

気候変動影響評価報告書

詳細

令和 2 年 12 月

環境省

1	本報告の目的.....	1
1.1	背景.....	1
1.2	目的.....	2
1.3	検討の進め方.....	3
2	日本における気候変動による影響の評価の取りまとめ手法.....	4
2.1	評価の目的.....	4
2.2	評価の手法.....	4
3	日本における気候変動による影響及び評価結果.....	13
3.1	農業・林業・水産業.....	14
3.2	水環境・水資源.....	81
3.3	自然生態系.....	106
3.4	自然災害・沿岸域.....	177
3.5	健康.....	217
3.6	産業・経済活動.....	245
3.7	国民生活・都市生活.....	278
3.8	分野間の影響の連鎖.....	292
4	気候変動による影響の評価（一覧表）.....	298
	(参考)気候予測に用いられている各シナリオの概要.....	335
	引用文献一覧.....	340
	検討体制.....	462

1 本報告の目的

1.1 背景

2013年9月から2014年10月にかけて、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）により公表された第5次評価報告書では、気候システムの温暖化は疑う余地がないことや、人間による影響が温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高いこと、気候変動は全ての大陸と海洋にわたり、自然及び人間社会に影響を与えていること、現行を上回る追加的な緩和努力がないと、たとえ適応があったとしても、21世紀末までの温暖化は深刻で広範囲にわたる不可逆的な世界規模の影響に至るリスクが、高いレベルから非常に高いレベルに達するであろうことなどが示されている。一方、産業革命前と比べた温暖化を2℃未満に抑制する可能性が高い緩和経路は複数あり、これらの経路の場合、今後数十年にわたり大幅に温室効果ガスの排出を削減し、21世紀末までに排出をほぼゼロにすることを要するとしている。

2015年にフランスのパリで開催された、国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）第21回締約国会議（COP21）では、2020年以降の気候変動対策について、先進国、開発途上国を問わず全ての締約国が参加する公平かつ実効的な法的枠組みである「パリ協定」が採択された。パリ協定では、世界全体の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求することが示された。COP21における決定では、IPCCに対し、1.5℃の地球温暖化による影響と、そこに至る温室効果ガスの排出経路について特別報告書の作成を招請した。

これを受け、IPCCは2018年10月に「1.5° Cの地球温暖化：気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から1.5° Cの地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス（GHG）排出経路に関するIPCC特別報告書」（1.5℃特別報告書）を公表した。1.5℃特別報告書によると、人為的な活動による世界全体の平均気温の上昇は2017年時点で約1.0° Cとなっており、現在の度合いで温暖化が進行すれば、2030～52年の間に1.5° Cに達する可能性が高いとされている。

こうした国際的な動向の中で、世界各国で気候変動による影響の評価や適応計画策定の取組が進んでいる。欧州では、オランダが2005年に気候変動影響評価報告書を公表し、2007年に気候変動適応計画の公表をしているのに加え、2013年に気候変動影響評価報告書の改訂を行っている。英国においても、2013年に気候変動適応計画を公表しており、2017年には第2次気候変動影響評価報告書（CCRA2）を策定している。米国では、2009年に気候変動影響評価報告書を公表、2013年には今後の適応策の取組の方向性を示した大統領令を公布し、2017年には第4次気候変動影響評価報告書を公表している。アジアにおいても韓国が2010年に気候変動影響評価報告書とともに適応計画を公表し、2019年には、「第2次気候変動対応基本計画」を閣議決定している。

我が国においても、気温の上昇、降水量の変化、海面水位の上昇、海洋の酸性化などにより、災害、食料、健康などの様々な面で影響が生ずることが予測されており、緩和の取組を着実に進めるとともに、既に現れている影響や今後中長期的に避けることのできない影響への適応を計画的に進めることが必要となっている。

こうした中、2015年3月、中央環境審議会から環境大臣への意見具申として、「日本における

気候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について」が公表された。ここで示された科学的知見をもとに、同年 11 月に「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定された。その後、2018（平成 30 年）6 月には気候変動適応法が成立し（2018 年（平成 30 年）12 月 1 日施行）、同法第 10 条において、環境大臣はおおむね 5 年ごとに気候変動影響評価報告書を作成、公表することが位置づけられた。また、同法施行に先立ち、2018 年（平成 30 年）11 月には、気候変動適応法第 7 条に基づく気候変動適応計画が閣議決定された。

本報告は、2015 年の意見具申から 5 年後にあたる 2 回目の気候変動影響評価であり、気候変動適応法に基づくものとしては初めてのものである。

気候変動適応法 第 10 条

環境大臣は、気候変動及び多様な分野における気候変動影響の観測、監視、予測及び評価に関する最新の科学的知見を踏まえ、おおむね五年ごとに、中央環境審議会の意見を聴いて、気候変動影響の総合的な評価についての報告書を作成し、これを公表しなければならない。ただし、科学的知見の充実その他の事情により必要があると認めるときは、その期間を経過しない時においても、これを行うことができる。

2 前項の報告書を作成しようとするときは、環境大臣は、あらかじめ、その案を作成し、関係行政機関の長と協議しなければならない。

1.2 目的

気候変動及び多様な分野における気候変動影響の観測、監視、予測及び評価に関する最新の科学的知見を踏まえ、気候変動影響の総合的な評価についての報告書（「気候変動影響評価報告書」）を作成するため、中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会（以下、「小委員会」という。）において、既存の研究による気候変動の将来予測や、気候変動が日本の自然や人間社会に与える影響（以下、「影響」という。）の評価等について整理し、気候変動が日本に与える影響の評価について審議を進めてきた。

気候変動影響評価報告書は、影響評価の詳細な内容等を記載する「詳細」と、その要約に加えて日本における気候変動の概要や、影響評価に関連する現在の取組、課題や展望等をまとめた「総説」の 2 部構成とする。

「気候変動影響評価報告書（詳細）」は、「気候変動影響評価報告書（総説）」に対し、日本における気候変動による影響の評価に関する情報を提供するため、小委員会及び気候変動の影響に関する分野別ワーキンググループにおける議論の結果を取りまとめたものである。

本報告は、気候変動が日本にどのような影響を与え得るのか、また、その影響の程度、可能性等（重大性）、影響の発現時期や適応の着手・重要な意思決定が必要な時期（緊急性）、予測の確からしさ（確信度）はどの程度であるかを科学的観点から取りまとめることで、政府による「気候変動適応計画」や、自治体や事業者等による適応計画の策定において、各分野・項目ごとの気候変動影響やその対策に関する情報を効率的に抽出できるようにすることを主な目的としている。

1.3 検討の進め方

本報告書の作成にあたり、平成 29 年 3 月、中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会（小委員会）において、「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リスク情報に関する取組の方針（中間とりまとめ）」がまとめられた。その中の「定期的な気候変動影響評価」において、令和 2 年度を目途とする気候変動影響評価に向けて、あらかじめ年次計画を定め、様々な専門家の協力を得て、小委員会において継続的に科学的知見の収集・整理を進めていくことが適当であり、そのために平成 27 年度の気候変動影響評価と同様に、専門家による分野別ワーキンググループ（以下、「分野別WG」という。）を設置し、スケジュールや、文献・データの収集や整理の方針等を示した上で、具体的な検討を開始することとされた。

これを受け、「農業・林業・水産業WG」、「水環境・水資源、自然災害・沿岸域WG」、「自然生態系WG」、「健康WG」、「産業・経済活動、国民生活・都市生活WG」の 5 つの分野別WGを設置し、各分野に関する気候変動影響に関する詳細な議論を行うこととした。

また、分野別WG 座長間会合を開催し、重大性・緊急性・確信度の評価方法など、本影響評価に関する全分野共通の基本方針を決定した。基本方針に沿って、文献の収集、整理を行うとともに、平成 29 年から令和 2 年にかけてそれぞれ 5 回ずつ分野別WG 会合を開催し、収集した文献をもとに科学的な観点から気候変動による影響を「現在の状況」と「将来予測される影響」として取りまとめるとともに、重大性、緊急性、確信度の評価を行った。評価の結果は、座長間会合において分野横断的な視点で確認するとともに、分野をまたぐ影響の取扱い（分野間の影響の連鎖等）についても議論した。

並行して、平成 31 年から令和 2 年にかけて小委員会を計 4 回開催し、各段階における影響評価の進捗や報告書案について、評価内容の吟味に加え、報告書の構成や今後の課題に関する議論も含め、総合的な観点での審議を重ねた。令和 2 年 12 月、中央環境審議会地球環境部会において、「気候変動影響評価報告書（総説）」及び「気候変動影響評価報告書（詳細）」が承認された。

なお、本報告を取りまとめるにあたり、我が国における気候変動による影響を中心に、IPCC 第 5 次評価報告書、1.5°C 特別報告書、海洋・雪氷圏特別報告書などの知見も含めて、査読付き論文などの文献を収集し、分野別WG 等における確認を経て、最終的に 1443 件の文献を引用した。

2 日本における気候変動による影響の評価の取りまとめ手法

2.1 評価の目的

気候変動適応法第 10 条に基づき、政府全体の適応計画策定に向けて、我が国において重要な影響を抽出することを目的とする。

2.2 評価の手法

前回の気候変動影響評価報告書（2015 年）における評価の手法を踏襲しつつ、科学的知見の充実や現状を踏まえた修正を行った。具体的には、IPCC 第 5 次評価報告書の主要なリスクの特定の考え方、英国の気候変動リスク評価（CCRA: Climate Change Risk Assessment、以下、「英国 CCRA」という。）などの諸外国の事例におけるリスク評価の考え方を参考とし、以下の通りとした。

i) 検討体制

評価の観点として「重大性」「緊急性」「確信度」の 3 つを設け、7 つの対象分野（農業・林業・水産業、水環境・水資源、自然生態系、自然災害・沿岸域、健康、産業・経済活動、国民生活・都市生活）について、分野を細分化した表 2-1 の小項目の単位ごとに評価した。また、評価は実施しなかったが、今回新たに、7 つの個別の分野の他に、「分野間の影響の連鎖」について気候変動影響をとりまとめた。分野ごとの特性もあり、一律機械的・定量的な評価基準を設定することは難しいことから、「重大性」「緊急性」「確信度」の判断において分野共通的な目安は示しつつも、各ワーキンググループ（WG）において科学的知見に基づく専門家判断（エキスパート・ジャッジ）により評価を行った。

また、WG における検討結果をもとに、中央環境審議会地球環境部会気候変動影響等小委員会において本報告書に関する総合的な議論を行った。

ii) 評価の観点

- ・ 重大性：社会、経済、環境の 3 つの観点で評価する。詳しくは 7 ページを参照。
- ・ 緊急性：影響の発現時期、適応の着手・重要な意思決定が必要な時期の 2 つの観点で評価する。詳しくは 9 ページを参照。
- ・ 確信度：IPCC 第 5 次評価報告書の確信度の考え方がある程度準用し、研究・報告のタイプ（モデル計算などに基づく定量的な予測／温度上昇度合いなどを指標とした予測／定性的な分析・推測）、見解の一致度の 2 つの観点で評価する。研究・報告の量そのものがかなり限定的（1～2 例）である場合は、その内容が合理的なものであるかどうかにより判断。詳しくは 10 ページを参照。

iii) 取りまとめ様式

各分野・小項目ごとに「重大性」「緊急性」「確信度」の評価結果を表形式で取りまとめる。詳しくは 12 ページを参照。

表 2-1 分野・項目の分類体系

分野	大項目	小項目	関連 WG
農業・林業・水産業	農業	水稻	農業・林業・水産業 WG
		野菜等	
		果樹	
		麦、大豆、飼料作物等	
		畜産	
		病虫害・雑草等	
		農業生産基盤	
		食料需給	
	林業	木材生産（人工林等）	
		特用林産物（きのこ類等）	
	水産業	回遊性魚介類（魚類等の生態）	
		増養殖業	
		沿岸域・内水面漁場環境等	
水環境・水資源	水環境	湖沼・ダム湖	水環境・水資源、自然災害・沿岸域 WG
		河川	
		沿岸域及び閉鎖性海域	
	水資源	水供給（地表水）	
		水供給（地下水）	
		水需要	
自然生態系	陸域生態系	高山帯・亜高山帯	自然生態系 WG
		自然林・二次林	
		里地・里山生態系	
		人工林	
		野生鳥獣の影響	
		物質収支	
	淡水生態系	湖沼	
		河川	
		湿原	
	沿岸生態系	亜熱帯	
		温帯・亜寒帯	
	海洋生態系		
	その他	生物季節	
		分布・個体群の変動	
	生態系サービス		
自然災害・沿岸域	河川	洪水	水環境・水資源、自然災害・沿岸域 WG
		内水	
	沿岸	海面水位の上昇	
		高潮・高波	
		海岸侵食	
	山地	土石流・地すべり等	
	その他	強風等	
	複合的な災害影響		
健康	冬季の温暖化	冬季死亡率等	健康 WG

分野	大項目	小項目	関連 WG
健康	暑熱	死亡リスク等	健康 WG
		熱中症等	
	感染症	水系・食品媒介性感染症	
		節足動物媒介感染症	
		その他の感染症	
	その他	温暖化と大気汚染の複合影響 脆弱性が高い集団への影響 (高齢者・小児・基礎疾患有病者等)	
その他の健康影響			
産業・経済活動	製造業		産業・経済活動、国民生活・都市生活 WG
	エネルギー	エネルギー需給	
	商業		
	金融・保険		
	観光業	レジャー	
	建設業		
	医療		
	その他	海外影響 その他	
国民生活・都市生活	都市インフラ、ライフライン等	水道、交通等	
	文化・歴史などを感じる暮らし	生物季節、伝統行事・地場産業等	
	その他	暑熱による生活への影響等	
分野間の影響の連鎖	インフラ・ライフラインの途絶に伴う影響		

※ 赤字は、今回新たに追加されたもしくは細分化された大・小項目

(1) 重大性の評価の考え方

重大性の評価では、IPCC 第 5 次評価報告書の主要なリスクの特定において基準として用いられている以下の「IPCC 第 5 次評価報告書における主要なリスクの特定の基準」に掲げる要素を切り口として、英国 CCRA の考え方も参考に、「社会」「経済」「環境」の 3 つの観点から評価を行った。

○ IPCC 第 5 次評価報告書における主要なリスクの特定の基準

- ・ 影響の程度 (magnitude)
- ・ 可能性 (probability)
- ・ 不可逆性 (irreversibility)
- ・ 影響のタイミング (timing)
- ・ 持続的な脆弱性または曝露 (persistent vulnerability or exposure)
- ・ 適応あるいは緩和を通じたリスク低減の可能性
(limited potential to reduce risks through adaptation or mitigation)

ただし、上記要素のうち、「影響のタイミング」は重大性の評価に用いず、緊急性の評価に用いている。また、「適応あるいは緩和を通じたリスク低減の可能性」に関しては、直接的に重大性の評価に用いず、緩和や適応の観点を以下のように評価に取り入れた。

緩和：一部の項目において、前提としている排出シナリオ (RCP2.6、RCP8.5 等)、予測時期 (21 世紀中頃、21 世紀末等)、工業化以前からの気温上昇幅などに基づき、<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当> 及び <RCP8.5 及び 4°C 上昇相当> の 2 つの場合に分けて重大性を評価することで、緩和の効果を示すこととした。また、複数のシナリオ等に基づく知見があるものの、重大性の評価の場合分けが難しい場合は、文中においてのみ可能な限り、影響の差異を記述することとした。なお、前回の影響評価ではこのような観点は考慮されていなかったが、知見の充実によって評価への反映が可能となったものである。

適応：適応策の実施による効果を考慮した気候変動影響に関する文献が現時点では限られているため、将来の追加的な適応策による効果は重大性の評価に反映しないこととした。一方で、治水や農林水産業など、既に一定程度適応策が講じられている分野もあることから、現状の影響の重大性の評価においては実施済みの適応策の効果を考慮に入れることとした。

なお、重大性の評価に当たっては、研究論文等の内容を踏まえるなど科学に基づいて行うことを原則としつつ、表 2-2 で示した評価の考え方に基づき、専門家判断 (エキスパート・ジャッジ) も取り入れることにより、「特に重大な影響が認められる」または「影響が認められる」の評価を行った。また、現状では評価が困難な場合は「現状では評価できない」とした。

表 2-2 重大性の評価の考え方

評価の観点	評価の尺度（考え方）		最終評価の示し方
	特に重大な影響が認められる	影響が認められる	
	以下の切り口をもとに、社会、経済、環境の観点で重大性を判断する <ul style="list-style-type: none"> ● 影響の程度（エリア・期間） ● 影響が発生する可能性 ● 影響の不可逆性（元の状態に回復することの困難さ） ● 当該影響に対する持続的な脆弱性・曝露の規模 		重大性の程度と、重大性が「特に重大な影響が認められる」の場合は、その観点を示す
1.社会	以下の項目に1つ以上当てはまる <ul style="list-style-type: none"> ● 人命の損失を伴う、もしくは健康面の負荷の程度、発生可能性など（以下、「程度等」という）が特に大きい 例) 人命が失われるようなハザード（災害）が起きる 多くの人の健康面に影響がある ● 地域社会やコミュニティへの影響の程度等が特に大きい 例) 影響が全国に及ぶ 影響は全国には及ばないが、地域にとって深刻な影響を与える ● 文化的資産やコミュニティサービスへの影響の程度等が特に大きい 例) 文化的資産に不可逆的な影響を与える 国民生活に深刻な影響を与える 	「特に重大な影響が認められる」の判断に当てはまらない。	
2.経済	以下の項目に当てはまる <ul style="list-style-type: none"> ● 経済的損失の程度等が特に大きい 例) 資産・インフラの損失が大規模に発生する 多くの国民の雇用機会が損失する 輸送網の広域的な寸断が大規模に発生する 	「特に重大な影響が認められる」の判断に当てはまらない。	
3.環境	以下の項目に当てはまる <ul style="list-style-type: none"> ● 環境・生態系機能の損失の程度等が特に大きい 例) 重要な種・ハビタット・景観の消失が大規模に発生する 生態系にとって国際・国内で重要な場所の質が著しく低下する 広域的な土地・水・大気・生態系機能の大幅な低下が起こる 	「特に重大な影響が認められる」の判断に当てはまらない。	

(2) 緊急性の評価の考え方

緊急性に相当する要素として、IPCC 第 5 次評価報告書では「影響の発現時期」に、英国 CCRA では「適応の着手・重要な意思決定が必要な時期」に着目をしている。これらは異なる概念であるが、ここでは、双方の観点を加味し、どちらか緊急性が高いほうを採用することとした。なお、適応には長期的・継続的に対策を実施すべきものもあるため、「適応の着手・重要な意思決定が必要な時期」の観点においては、対策に要する時間を考慮する必要がある。

影響の発現時期の考え方：前回の影響評価においては、近未来予測（現在～2030 年前後）の予測結果をもとに 2030 年頃までに影響が生じる可能性が高いものについて緊急性は中程度とされていた。しかし、前回の影響評価から 5 年が経過し、適応策の検討や実施にかかる時間を踏まえると、2030 年という目安は必ずしも適切ではなくなっている。また、前回の影響評価以降、21 世紀中頃（2040～2060 年頃）を対象期間に含む将来予測の知見が増加しており、21 世紀中頃までに生じる可能性が高い影響であるかどうかをもって緊急性を判断することが可能な状況となっている。したがって、今回の影響評価では、緊急性を中程度と評価する目安を、前回の影響評価の「2030 年頃までに影響が生じる可能性が高い」から、「21 世紀中頃までに影響が生じる可能性が高い」に変更した（図 2-1 参照）。

適応の着手・重要な意思決定が必要な時期の考え方：適応には長期的・継続的に実施すべきものや効果の発現までに時間を要するものが含まれるため、適応に要する時間や適応効果が表れるまでの時間をよく考慮し、手遅れにならないよう早めに着手・重要な意思決定を行うことが必要となる。行政・事業者等が一定の対策の実効性を確保しうる時間的スケールとしては現在（2020 年頃）から 10 年後程度までが現実的であることを踏まえ、今回の影響評価では、前回に引き続き、「2030 年頃より前に重大な意思決定が必要である」ことを、緊急性を中程度と評価する目安とした。

なお、現状では評価が困難なケースは「現状では評価できない」とした。

表 2-3 緊急性の評価の考え方

評価の観点	評価の尺度			最終評価の示し方
	緊急性は高い	緊急性は中程度	緊急性は低い	
1. 影響の発現時期	既に影響が生じている。	21 世紀中頃までに影響が生じる可能性が高い。	影響が生じるのは 21 世紀中頃より先の可能性が高い。または不確実性が極めて大きい。	1 及び 2 の双方の観点からの検討を勘案し、小項目ごとに緊急性を 3 段階で示す。
2. 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期	できるだけ早く意思決定が必要である	概ね 10 年以内（2030 年頃より前）に重大な意思決定が必要である。	概ね 10 年以内（2030 年頃より前）に重大な意思決定を行う必要性は低い。	

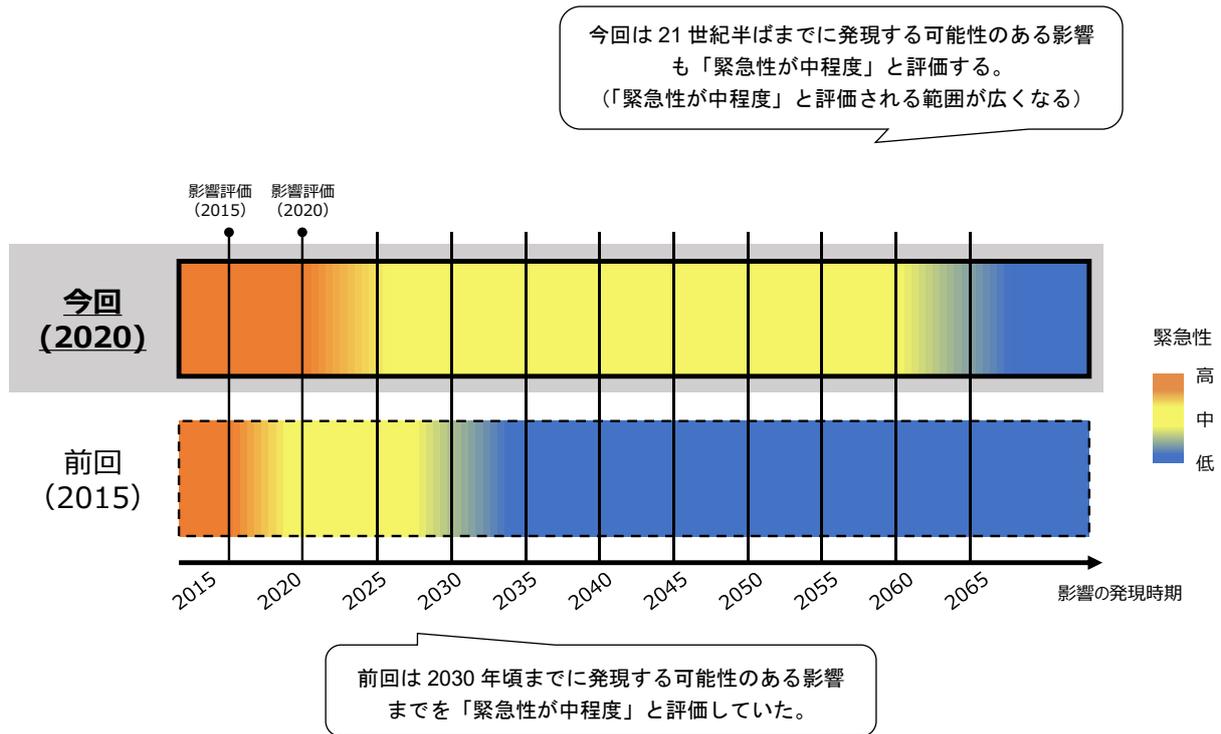


図 2-1 前回（2015 年）と今回（2020 年）の影響評価における緊急性の評価の比較

(3) 確信度の評価の考え方

確信度の評価は、IPCC 第 5 次評価報告書では基本的に以下に示すような「証拠の種類、量、質、整合性」と「見解の一致度」に基づき行われ、「非常に高い」「高い」「中程度」「低い」「非常に低い」の 5 つの用語を用いて表現される。

証拠の種類：現在までの観測・観察、モデル、実験、古気候からの類推などの種類

証拠の量：研究・報告の数

証拠の質：研究・報告の質的内容（合理的な推定がなされているかなど）

証拠の整合性：研究・報告の整合性（科学的なメカニズム等の整合性など）



見解の一致度：研究・報告間の見解の一致度

図 2-2 証拠と見解の一致度の表現とその確信度との関係

確信度は右上にいくほど増す。一般に、整合性のある独立した質の高い証拠が複数揃う場合、証拠は最も頑健となる。

出典：統一的な不確実性の扱いに関する IPCC 第 5 次評価報告書主執筆者のためのガイダンスノート (2010 年、IPCC)

ここでは、IPCC 第 5 次評価報告書と同様「証拠の種類、量、質、整合性」及び「見解の一致度」の 2 つの観点を用いた。「証拠の種類、量、質、整合性」については、総合的に判断するが、日本国内では、将来影響予測に関する研究・報告の量そのものが IPCC における検討に比して限られている場合があるため、定量的な分析の研究・報告事例があるかどうかという点を主要な判断材料のひとつとしている。

評価の段階として、「高い」「中程度」「低い」の 3 段階の評価とした。なお、確信度の評価の際には、前提としている気候予測モデルから得られた降水量などの予測結果の確からしさも踏まえた。また、現状では評価が困難なケースは「現状では評価できない」とした。

表 2-4 確信度の評価の考え方

評価の視点	評価の段階 (考え方)			最終評価の示し方
	確信度は高い	確信度は中程度	確信度は低い	
IPCC の確信度の評価 ○研究・報告の種類・量・質・整合性 ○研究・報告の見解の一致度	IPCC の確信度の「高い」以上に相当する。	IPCC の確信度の「中程度」に相当する。	IPCC の確信度の「低い」以下に相当する。	IPCC の確信度の評価を使用し、小項目ごとに確信度を 3 段階で示す。

(4) 取りまとめのフォーマット

分野別小項目ごとに、現在の状況と将来予測される影響の概要とあわせて、重大性・緊急性・確信度の最終的な評価結果を下表のようなフォーマットで報告する。

表 2-5 気候変動による影響の評価（一覧表）（例）

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	水稲	<ul style="list-style-type: none"> 既に全国で、気温の上昇による品質の低下が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> RCP2.6 シナリオの予測では、全国的に・・・ d2PDF を用いた予測では、・・・ 	◆	社経	コメの収量・品質の変化の影響の範囲は、○○			
				<ul style="list-style-type: none"> RCP8.5 シナリオの予測では、全国的に・・・ SRESA2 シナリオの予測では・・・ d4PDF を用いた予測では、・・・ 	●	社経	コメの収量・品質の変化の影響の範囲は、○○	●	●	

現在の状況については、観測された影響だけではなく、気候変動が原因と断定できない現象であっても、気候変動の影響も考えられる現象については、そのようなことを明確にした上で記載する。

気候変動により将来予測される影響について本欄に記載する。記載内容は、影響の発生条件（前提とする気温上昇など）、発現時期、発現場所、影響の内容、影響の程度、影響の発生の可能性を可能な限り明記した上で、確信度を付記する。小項目によっては、「影響の概要」が複数記載される可能性もある。なお、影響の概要には、悪影響だけでなく、好影響も記述する。

重大性を判断した判断理由を記載する

「特に重大な影響が認められる」とした場合に、その観点を記載する。

備考欄には、緊急性、確信度等に関する判断理由を可能な限り記述するほか、必要に応じて適応の可能性や他の分野・項目との関係なども

重大性の凡例

●：特に重大な影響が認められる ◆：影響が認められる —：現状では評価できない

緊急性の凡例

●：高い ▲：中程度 ■：低い —：現状では評価できない

確信度の凡例

●：高い ▲：中程度 ■：低い —：現状では評価できない

3 日本における気候変動による影響及び評価結果

本章では、前回の影響評価に引き続き、農業・林業・水産業、水環境・水資源、自然生態系、自然災害・沿岸域、健康、産業・経済活動、国民生活・都市生活の7つの分野について分野別の気候変動による影響を記載するとともに、今回新たに、分野間の影響の連鎖についても記載した。

各分野において、分野の気候変動影響の概要を冒頭で記載した上で、分野別小項目※ごとに（気候変動による影響の要因）を記載し、（現在の状況）について科学的知見を引用しつつ詳説した〔本文〕及びその〔概要〕、（将来予測される影響）について科学的知見を引用しつつ詳説した〔本文〕及びその〔概要〕、（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）を記載した。

※分野を細分化したもので、評価の単位となるもの（p 5-6、表 2-1 参照）

気候変動により正の影響を指摘する知見があった場合は、正の影響についても記載する。ただし、気候変動影響に関する文献は主として負の影響に関する影響を取り扱うものが多いため、本報告書における気候変動影響も負の影響に偏りが生じている可能性があることに留意する必要がある。

なお、影響に関しては、全国的に影響がみられるものを優先して記載し、影響の範囲が全国に及ぶ場合でも、影響の程度が地域によって異なる場合は、地域別の影響について記載した。特定の地点や地域固有の影響はこれらの後に記載し、一部の地域の影響であることを明記した。

また、特定の地域のみにおける影響に言及している場合があるが、これは、現時点で得られた知見がその地域に関するものに限られているためであり、その他の地域において気候変動影響が生じないことを意味するものではない。

3.1 農業・林業・水産業

農業・林業・水産業分野における気候変動による影響の概略は、図 3-1、図 3-2 に示すとおりである。気候変動は、作物の生育や栽培適地の変化、病虫害・雑草の発生量や分布域の拡大、家畜の成長や繁殖、人工林の成長、水産資源の分布や生残に影響を及ぼし、食料や木材の供給や農業・林業・水産業に従事する人々の収入や生産方法に影響を及ぼす。こうした影響は、気温や水温、CO₂濃度の上昇といった気候変動の直接的な原因によるものと、水資源量の変化や自然生態系の変化を介した間接的な原因によるものがある。また、農業・林業・水産業分野における気候変動影響は、商業、流通業、国際貿易等にも波及することから、経済活動に及ぼす影響は大きい。

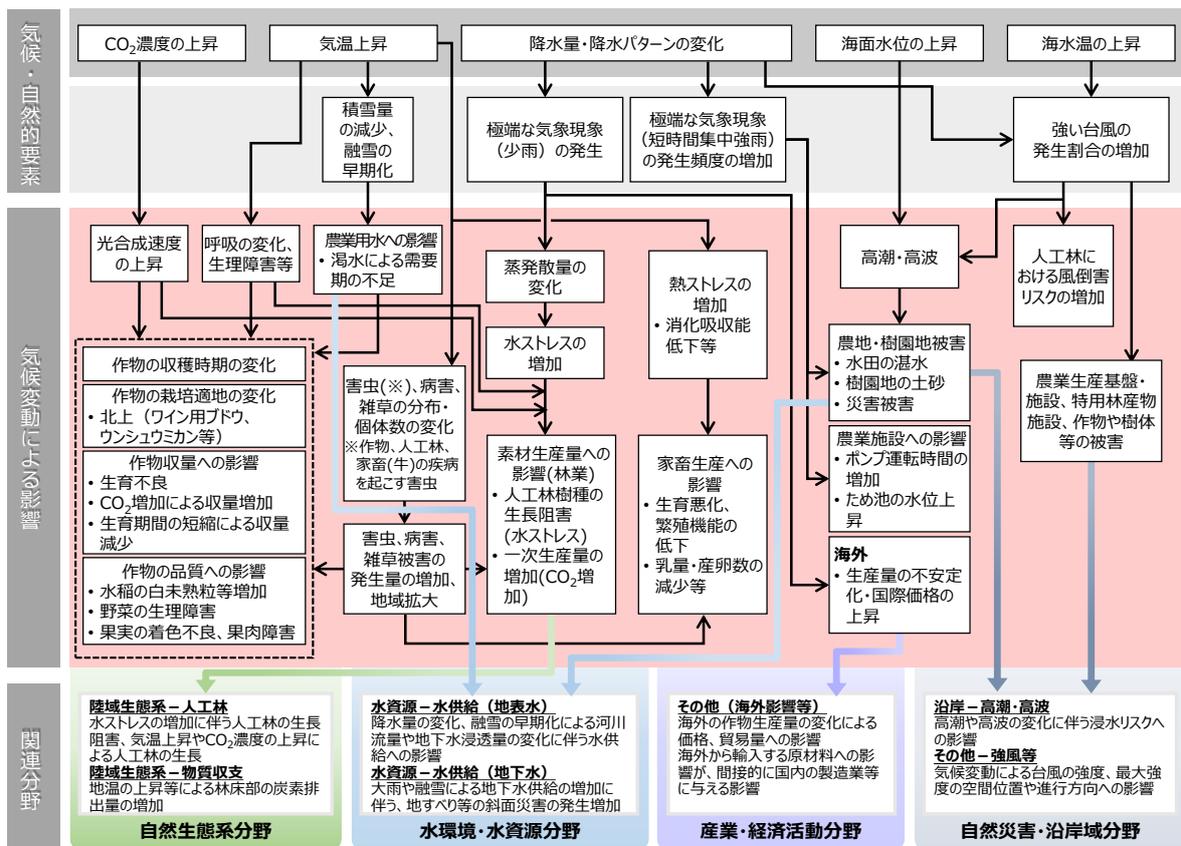


図 3-1 気候変動により想定される影響の概略図（農業・林業・水産業分野（農業、林業））¹

¹ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される農業・林業分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか農業・林業分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の2段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

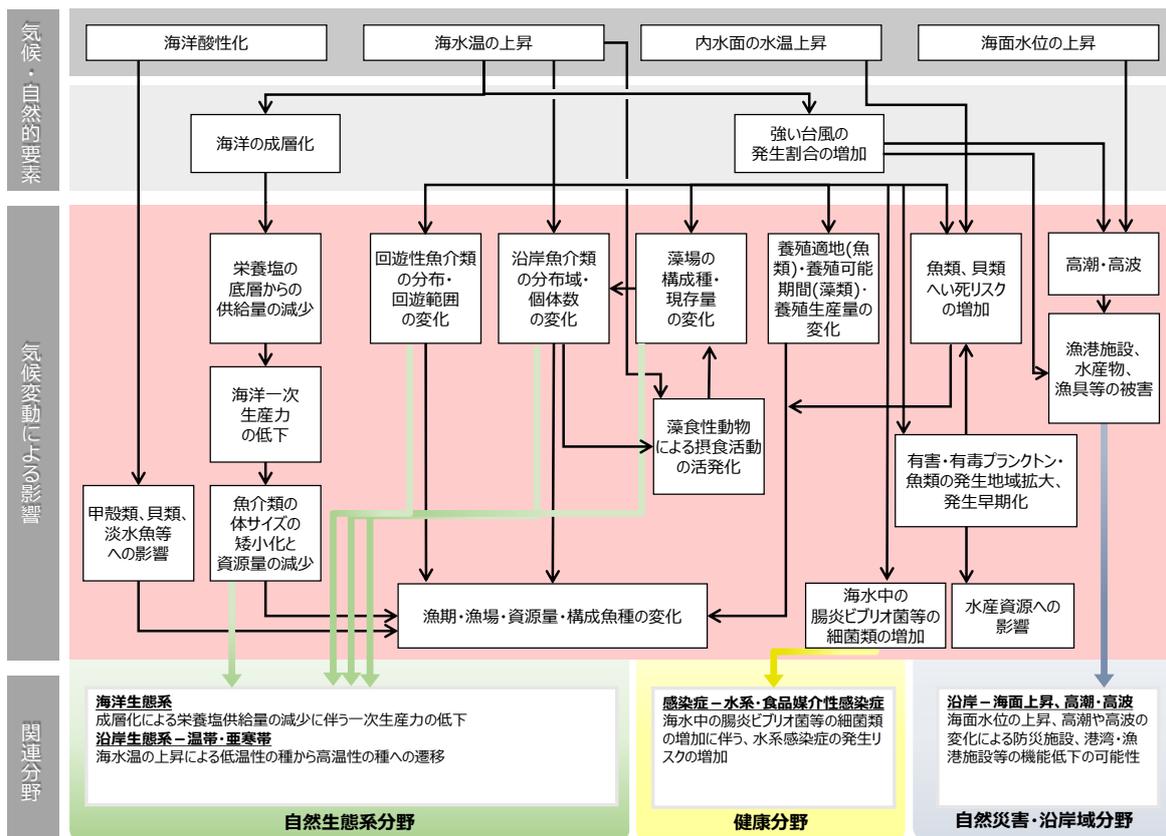


図 3-2 気候変動により想定される影響の概略図（農業・林業・水産業分野（水産業））²

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、農業・林業・水産業分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 339 件の文献（現状影響 188 件、将来影響 149 件、両方 2 件）を引用しており、このうち、前回の影響評価から新たに追加された文献は 243 件である。項目別に見ると、「水稲」、「病虫害・雑草等」、「水産業」において文献数が特に増加している。

前回の影響評価からの構成上の変更点としては、海外での穀物生産に対する気候変動影響が日本に及ぶ可能性を踏まえ、新たに大項目「農業」に小項目「食料需給」が追加された。また、大項目「水産業」では多数の知見が蓄積されたため、「回遊性魚介類（魚類等の生態）」、「増養殖業」、「沿岸域・内水面漁場環境等」の 3 つの小項目に再編された。さらに、花きを野菜、かび毒を病虫害・雑草と共に扱うこととしたため、小項目名がそれぞれ「野菜等」（前回の影響評価では「野菜」）、「病虫害・雑草等」（同じく「病虫害・雑草」）と変更された。

² 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される水産業分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか水産業分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の 2 段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

農業では、水稻における一等米比率の低下、野菜の生育不良や果樹の生理障害等、気温上昇や降水の時空間分布の変化等による作物の品質や収量の低下が多く品目で全国的に生じており、畜産分野においても暑熱ストレスの影響が顕在化している。害虫や病害の分布の拡大、発生量の増加による農作物の被害も生じている。農業生産基盤では、少雨等による農業用水の不足や農業利水施設への影響が生じている。林業では、シイタケ原木栽培における病害の発生地が拡大している。水産業では、スルメイカやサンマ等の回遊性魚介類の分布域の変化、それに伴う加工業や流通業への影響、養殖業や内水面漁業における魚類・貝類のへい死や海藻類の収量の減少が生じている。さらに、海水温の上昇によるものと考えられる藻場の減少が深刻化している。一方、一部の地域では飼料作物の収量の増加、果樹（ワイン用ブドウ等）の栽培適地の拡大、ブリ・サワラ等の漁獲量の増加が報告されている。そのほか、特に農業では、一部の品目で高温耐性品種の栽培や作期の移動といった適応策の実施が既に進められていることから、気候変動による生産方法への影響として一部を本報告書で取り上げている。

世界では、気候変動により主要穀物の平均収量の伸びが鈍化していると推計されており、干ばつなど異常気象による収量減少が穀物価格の高騰の一因になった事例もある。

将来予測される影響

温室効果ガスの排出・濃度シナリオを用いた研究、複数の気候予測モデルを用いることにより不確実性を踏まえた研究、フィールド実験、栽培試験結果を生育モデル等に反映させた研究等、多様な手法が用いられている。「水稻」、「果樹」、「沿岸域・内水面漁場環境等」などの小項目でRCP2.6、RCP8.5シナリオを用いた将来予測に関する知見が新たに報告されている。農業では、水稻、果菜類、秋播き小麦、暖地生産の大豆、茶などで収量の減少が予測あるいは示唆されているほか、水稻では高温リスクを受けやすいコメの割合の増加、果樹ではブドウの着色度の低下、ウンシュウミカンやリンゴの栽培適地の変化等が予測されている。そのほか、家畜の成長の低下、害虫の発生量の増加や生息地の拡大、病害の被害の増大が予測されている。農業生産基盤では、一部の地域で代かき期における融雪流出量の減少による農業用水の不足、強雨による低標高の水田における被害リスクの増加等が予測されている。林業では、スギ人工林の純一次生産量を推定する研究が進められているほか、シイタケ原木栽培の害虫の出現時期の早まりや発生日数の増加が予測されている。水産業では、日本周辺海域において、まぐろ類、マイワシ、ブリ、サンマの分布域の移動や拡大、さけ・ます類の生息域の減少、スルメイカの分布密度が低くなる海域の拡大が予測されている。養殖業では、一部の魚類及び貝類で夏季の水温上昇により生産が不適になる海域が出るのが予測されている。海藻類では、コンブの生息域の大幅な北上、ワカメ養殖での漁期の短縮、ノリ養殖での育苗開始時期の後退、日本沿岸の藻場を構成する海藻の減少等が予測されている。

世界では、コメの主要生産国での平均収量の減少、小麦の米国での収量減少及びカナダでの収量増加、大豆の米国での収量減少、トウモロコシの米国での収量減少、南アフリカでの収量増加等が予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

農業・林業・水産業は、気象の影響を受けやすい産業であること、また既に重大な気候変動影響が生じていることから、影響の重大性は「特に重大な影響が認められる」、緊急性は「高い」と評価される傾向が強い。また、気候シナリオを用いた予測研究や温暖化を想定した実験等が多数進められているため、確信度の評価が上方修正された項目が多くなっている。

気候シナリオに応じて重大性の評価を実施した3項目（「水稲」、「果樹」、「沿岸域・内水面漁場環境等」）では、RCP2.6、RCP8.5の両シナリオで「特に重大な影響が認められる」と評価された。これら項目では現在既に重大な影響が生じている。特に、「果樹」「沿岸域・内水面漁場環境等」の品目等は気候変動への適応性が低い。

農業・林業・水産業分野は、適応策のみで影響を低減させることには限界があることから、緩和策との連携の重要性が示唆される。

【農業】

(1) 水稲

（気候変動による影響の要因）

ここでは、主に気温上昇、CO₂濃度の上昇、降水の時空間分布の変化に伴う水稲の品質・収量の変化や生育期間の変化を扱う。

- 気温の上昇は、コメの収量や品質に影響を及ぼす。特に、出穂・開花から成熟までの登熟期間の気温上昇は、白未熟粒の増加をもたらす。品質低下による一等米比率の低下が懸念される。
- 気温の上昇は、コメの生育を早め、新たな生育期間での気象による影響が生じる可能性がある。
- CO₂濃度の上昇は、施肥効果によりコメの収量を増加させるが、その効果は気温上昇により低下する可能性がある。
- 強雨の増加は水稲の冠水頻度を増加させ、コメの収量が減少する可能性がある。

（現在の状況）

〔概要〕

- 既に全国で、気温の上昇による品質の低下（白未熟粒の発生、一等米比率の低下等）等の影響が確認されている。また、一部の地域や極端な高温年には収量の減少も見られている。
- 一部の地域では、気温上昇により生育期間が早まることで、登熟期間前後の気象条件が変化することによる影響が生じている。

コメの品質は、出穂・開花から成熟までの登熟期間の気温によって大きな影響を受けることが知られている。高温障害に関する調査等から、出穂後 20 日間において基準温度 (26℃) を上回る日平均気温を積算したヒートドース値が白未熟粒率や整粒歩合と統計的に有意な関係があること¹¹¹⁰⁰⁰¹⁾、胴割粒は出穂後 10 日間の最高気温が 32℃以上の条件で発生が増加することが報告されている¹¹¹⁰⁰²⁾また、登熟期の高温による白未熟粒の発生には、デンプン集積阻害による乳白化の他に、タンパク質顆粒の局在、形態変化や増加^{111003, 111004)}、デンプン分解酵素の分泌¹¹¹⁰⁰⁵⁾が関与しているとする研究がある。

既に全国で、白未熟粒の発生や、その影響も含めた一等米比率の低下等、品質への影響が明らかとなっているほか、一部の地域や極端な高温年には収量の減少も見られている。^{111002, 111007, 111008)}登熟期前半の気温が特に高かった 2010 年は、北海道を除き品質低下が著しく、北陸や北関東の一部で特に大きかった。¹¹¹⁰⁰⁹⁾ 実際に 1994 年以降は、夏季の異常高温の発生頻度が全国的に増加傾向にあり、例えば出穂後 20 日間の平均気温が 26~27℃を超えた地域で白未熟粒が多く発生するなど、一等米比率の低下も含めたコメの品質の低下が見られている。¹¹¹⁰¹⁰⁾なお、こうした品質低下は高温以外にも、品種の違い、出穂後の日射量、籾数、窒素不足等の要因も関連しているとする研究もある。^{111011, 111012, 111013, 111014, 111015, 111016)} 2007 年には熊谷や多治見で 40℃を超える異常高温となり、この期間に出穂・開花した水稻において、通常より高い割合で高温不稔³⁾が発生した。高温不稔の発生には、気温よりもイネの穂温との関係が深い¹¹¹⁰¹⁷⁾ ほか、品種や肥培管理とも関係しているとされる。また、北海道では、夏季に平年を 2.2℃上回る高温であった 2010 年において、作況指数が平均値を下回った。これは、6 月の高温により生長期間が短縮し、分けつ数や子実数が減少したためと考えられた。¹¹¹⁰⁰⁷⁾酒米でも登熟期間の気温が高いと品質が低下する傾向が確認されている。^{111018, 111019)}猛暑となった 2010 年に生産された酒米では、デンプン糊化温度の高温化と蒸米酵素消化性の低下が確認されている。¹¹¹⁰²⁰⁾

分散分析、重回帰式等の統計解析や統計的モデルによれば、一等米の比率は出穂盛期後 10 日から 30 日までの平均最低気温が 1℃でも上昇すれば全国的に減少することが示されており¹¹¹⁰⁰²⁾、その年々変動には、気温だけでなく日射量の変動も影響していることがわかっている。¹¹¹⁰²¹⁾

こうした状況の中、高温耐性品種への作付け転換が徐々に進められている。2017 年産の作付面積は約 9 万 4 千 ha と 7 年間で約 2.5 倍に増加しており、水稻の主食用作付面積に対する割合は、2016 年で約 6.6%となっている^{111008, 111022)}

気温上昇による生育の早まりによる影響が懸念されている。千葉県の内湾地域に位置する水田圃場において 1988~2015 年の栽培データと気温を分析した結果、気温上昇により生育ステージが前進し、出穂前後の気温が高くなっている。このことから、稲体窒素含有率の低下による未熟粒割合の増加が懸念されている。¹¹¹⁰¹¹⁾南九州地域の早期栽培では、植付け時期の前進に加えて温暖化の影響により出穂が早まり、登熟初期~中期の気温が比較的低下したため、背白米⁴⁾が減少した。その一方、幼穂形成期から登熟期間が梅雨期と重なり、日照不足による品質及び収量の低下が問題となっている。¹¹¹⁰²⁴⁾ また、北日本地域では、1961~2010 年の 50 年間に気温上昇によって

³ 高温不稔(こうおんふねん):35 度を超えるような暑さにより、実らない籾の割合が高まること。

⁴ 背白米:白未熟粒(白色不透明部をもつ粒)の中でも、玄米の背側維管束に沿った数層の澱粉細胞が澱粉の蓄積不良のため、白色不透明で止まり外観上玄米の背側稜線に沿って白色の筋があるものをいう。登熟期間が高温で経過した場合に生じやすい。

出穂日が10年あたり0.7～1.9日早まった一方、穂ばらみ期（出穂日の6～15日前）の気温が10年あたり0.18℃低下した。これにより、穂ばらみ期の冷害による潜在的な収穫減少量が増加していると分析する事例がある。¹¹¹⁰²⁵⁾

同一県内でも沿岸部と内陸部では、最高分けつ期における気象条件の経年的な変化が異なるため、イネの生育にも異なる影響を及ぼしているとする研究もある。¹¹¹⁰²⁶⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 全国的に2061～2080年頃までは全体として増加傾向にあるものの、21世紀末には減少に転じるほか、品質に関して高温リスクを受けやすいコメの割合がRCP8.5シナリオで著しく増加すると予測されている。
- 高温リスクを受けにくい（相対的に品質が高い）コメの収量の変化を地域別に見た場合、収量の増加する地域（北日本や中部以西の中山間地域等）と、収量が減少する地域（関東・北陸以西の平野部等）の偏りが大きくなる可能性がある。
- RCP2.6及びRCP8.5の両シナリオにおいて、2010年代と比較した乳白米の発生割合が2040年代には増加すると予測され、一等米面積の減少により経済損失が大きく増加すると推計されている。
- CO₂濃度の上昇は、施肥効果によりコメの収量を増加させることがFACE（開放系大気CO₂増加）実験により実証されているが、CO₂濃度の上昇による施肥効果は気温上昇により低下する可能性がある。
- 将来の降雨パターンの変化はコメの年間の生産性を変動させ、気温による影響を上回ることも想定される。様々な生育段階で冠水処理を施した試験では、出穂期の冠水でコメの減収率が最も高く、整粒率が最も低くなることが示されている。

多数の気候予測モデルと温室効果ガス濃度シナリオを用いてコメの収量を予測した研究によれば、全国的に2061～2080年頃までは全体として増加傾向にあるものの、21世紀末には減少に転じるほか、品質に関して高温リスクを受けやすいコメの割合がRCP8.5シナリオで著しく増加することが予測されている。また、高温リスクを受けにくい（相対的に品質が高い）コメの収量の変化を地域別に見た場合、21世紀中頃（2031～2050年）及び21世紀末（2081～2100年）には、収量の増加する地域（北日本や中部以西の中山間地域等）と、収量が減少する地域（関東・北陸以西の平野部等）の偏りが大きくなる可能性が示されている（MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3等、6つのモデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰²⁷⁾

経済モデル（日本の動学地域一般均衡モデル）を用いて水稻生産の変化が全国及び地域の経済に及ぼす影響についてSRES A1Bシナリオを用いて予測した研究では、コメ生産額は北日本で増加、西日本で減少し、全国的には増加すると予測されている。一方コメ価格は北日本で低下、西

日本で上昇し、全国的には低下すると予測されている（人口は変わらないと仮定）。さらに価格の低下が生産増加を上回り、農業所得は北日本及び全国平均で減少すると予測されている。また、コメの価格低下により消費者の厚生水準と他産業の雇用が増加し、全国的には GDP の増加効果が発現することも示唆されている（MIROC ver. 3 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰²⁸ 乳白米の発生を予測するモデルを構築し、乳白米の発生割合と、一等米及び二等米の面積を予測した上で、経済損失額を推定した研究によると、RCP2.6 及び RCP8.5 の両シナリオにおいて、2010 年代と比較した乳白米の発生割合が 2040 年代には増加すると予測され、2040 年代での乳白米の発生による経済損失額は、RCP2.6 シナリオでは年間 3.2 億米ドル、RCP8.5 シナリオでは年間 4 億米ドルと推定された。¹¹¹⁰²⁹ また、市町村レベルのパネルデータ⁵を用いて、全国及び地域別モデルにより気象条件等と単収（面積あたりの収量）の関係性を明らかにした上で、2081～2100 年の予測を行った研究によると、RCP8.5 シナリオでは県平均での単収が減少し、影響を受ける市町村も多くなると予測されている（MIROC モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰³⁰

地域別に見た場合、冷涼地では、収量の増加、冷害のリスク、一部の品種で栽培可能地域の北上などが予測されている。東日本の冷涼地を対象として、代表的な 10 品種の収量予測を行った研究では、1981～2000 年と比較して、2081～2099 年には収量が 17%増加すると予測されている。また、低温リスクは減少するが高温リスクが顕在化することが示唆されている（RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰³¹ 一方で、日本北部では 21 世紀の間は冷害リスクが依然として存在すると予測する研究が SRES シナリオ ¹¹¹⁰³²、及び RCP シナリオ ¹¹¹⁰³³を用いた研究で示されている（¹¹¹⁰³²：SRES A1B シナリオを前提とした MRI AGCM モデルによる気候予測情報を使用、¹¹¹⁰³³：RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用）。また、気温の年々変動も考慮し、日平均・日最高気温を 1℃ずつ 5℃まで上昇させて、北海道の不稔発生リスクを評価した結果、気温の年々変動が温暖化による気温上昇を上回るため、低温による不稔リスクが残る可能性があるとする研究もある。¹¹¹⁰³⁴ そのほか、東北以南を対象として気温が 1～4℃上昇した場合のコシヒカリの移植晩限日への影響を予測した研究では、気温が現在よりも 3℃上昇すると移植晩限日が遅くなるほか、コシヒカリの栽培可能地域が現在の庄内平野～仙台平野南部から青森県まで北上する可能性があるとする研究もある。¹¹¹⁰³⁵

茨城県、兵庫県では気温上昇によるコメの品質低下や生産性の減少が予測されている。茨城県では、気温上昇により今世紀中頃までは収量が増加し、その後は今世紀末にかけてやや増加（RCP2.6）あるいは減少（RCP8.5）すると予測されており、白未熟粒発生率は 2030 年代から顕著に増加すると予測されている（CSIRO-Mk3-6-0, MIROC5, MRI-CGCM3, HadGEM2-ES, GFDL-CM3 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰³⁶ 兵庫県の市町では、1981～2000 年と比較して、2081～2100 年には作付面積あたり収穫量が RCP2.6 シナリオで 0.04%増加～2.00%減少（県全体 0.92%減少）、RCP8.5 シナリオで 1.90～7.10%減少（県全体：4.16%減少）すると予測されており、気温上昇に対して相対的に脆弱な市町では、気温上昇による被害が指数関数的に大きくなる可能性が示唆されている（MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰³⁷

CO₂濃度の上昇は、施肥効果によりコメの収量を増加させることが想定されることから、将来に

⁵ パネルデータ：同一の標本について、複数の項目を継続的に調べて記録したデータ

おけるコメ増収には、冷害減少のほか、CO₂濃度の上昇が大きく関わっている。実際の水田でCO₂を現在よりも約200ppm高めたFACE（開放系大気CO₂増加）実験⁶より、コメ収量は増加すること、その増収率は品種や遺伝子型により異なり、品種によっては30%増加するものもあることが明らかになっている。^{111038, 111039, 111040, 111041}しかし、同様の実験より、出穂後30日間の気温が20℃を超えると1℃の上昇につき増収量が2.1%減少したこと¹¹¹⁰⁴²、整粒率が高温時に低下したこと¹¹¹⁰⁴³から、CO₂濃度の上昇による施肥効果は気温上昇により低下する可能性が示されている。なお、生育モデルを使用してCO₂施肥効果による収量への影響をシミュレーション予測する研究では、予測結果がモデル間で大きく異なり、不確実性の低減が課題となっている。様々な生育モデルを比較してこの不確実性の要因を検討した研究では、葉面積の予測値がモデルによって異なることが不確実性の要因であるとしている。¹¹¹⁰⁴⁴

今世紀末までの長期的な予測として、気温の上昇に伴う水田水温の上昇から、コメ生産適地が、現行よりも大幅に北上することが示唆されている（A2シナリオを前提としたCGCM2によるGCM実験出力を境界条件に、RCM20によりダウンスケールした気候予測情報を使用）。¹¹¹⁰⁴⁵生長初期に水温を1.5℃高めて乾物生産、コメ品質への影響を調べた実験では、出穂日が早期化し、収量が1～20%増加した。¹¹¹⁰⁴⁶一方、FACE実験で水温を2℃上昇させた場合、乳白粒が増加した。¹¹¹⁰⁴⁷

このほか今世紀末までの長期的な予測として、アジア各国との同時比較においても、日本のコメ収量には負の影響が現れること（A1B, A2, B1⁷シナリオを前提とした19のGCMによる気候予測情報を使用）¹¹¹⁰⁴⁸が示されている。

長期かつ強い降雨がコメの生産性に及ぼす影響について、作物モデルと水文モデルを用いて2100年まで予測した研究によると、将来の降雨パターンの変化はコメの年間の生産性を変動させ、気温による影響を上回ることが示唆されている（SRES A1Bシナリオを前提としたMIROC3モデルによる予測）。¹¹¹⁰⁴⁹また、様々な生育段階で冠水処理を施した試験では、出穂期の冠水でコメの減収及び整粒率の低下が最も大きくなることが示されている。¹¹¹⁰⁵⁰そのほか、冠水試験と収量調査で得られたデータを用いて、冠水による直接的被害と冠水後に発生し得る二次的な被害（病害の影響等）を合わせた総合的な被害を推定した研究では、特に出穂前後の時期の冠水で収量と品質への影響が大きくなるとの結果が得られている。¹¹¹⁰⁵¹

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6及び2℃上昇相当>特に重大な影響が認められる

<RCP8.5及び4℃上昇相当>特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

⁶ FACE 実験：高CO₂濃度が作物に与える影響を調べるため、屋外の囲いのない条件で作物群落や自然植生における大気CO₂濃度を高める実験

⁷ シナリオの概要については、P390以降の『（参考）気候予測に用いられている各シナリオの概要』を参照。

コメの収量・品質の変化の影響の範囲は、好影響も含め全国に及び、我が国の主食としての供給及び農業従事者の収入の増減に直接影響する。また、将来では RCP2.6 及び 2°C 上昇相当でも全国的に品質低下が進む可能性は高く、今後のコメの経済価値の減少が危惧される。さらに、強雨の増加や降雨パターンの変化に伴う冠水による減収も懸念される。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

全国的には品質低下、さらに品質低下による経済損失が予測されている。フィールド実験では、気温上昇による CO₂ の施肥効果の低下、水温上昇による品質低下が示唆されている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

全国的な収量は、21 世紀中頃までは増加が予測されているが、21 世紀末では減少が予測されている。そのほか、著しい品質低下、品質低下による経済損失が予測されている。

- 緊急性：【評価】高い

既に全国で、気温の上昇による品質の低下（白未熟粒の発生、一等米比率の低下等）が生じている。また今世紀半ば～今世紀末により大きな影響が生じることが予測されている。一部の地域や極端な高温年での減収と併せ、我が国の主食としての供給及び農業従事者の収入等、経済的側面に関わる影響であり、農業現場では既にある程度の適応策が進められているが、品種改良や持続的な適応技術の導入には時間を要するため、各地域の実情に応じた系統的な適応策の立案と技術開発に、早期に着手する必要がある。

- 確信度：【評価】高い

研究・報告は多数あり、かつ統計的解析だけでなくフィールド実験による知見を組み込んだ数理モデルによる定量的な予測に基づいていること、さらにこれらのモデルにより予測された結果が 2010 年以降、実際に起こりつつあることから、特に広域スケールでの、南北の地域性を含めた影響は高い確信度を持つ。一方、生育モデルを使用して CO₂ 施肥効果による収量への影響を予測する研究では不確実性が高くなるなど、シミュレーション予測研究の課題もある。

(2) 野菜等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇に伴う野菜及び花きの品質・収量の変化や収穫時期の変化を扱う。

- 気温の上昇、降水の時空間分布の変化は、野菜の生育障害、品質の低下、収量の減少をもたらす。
- 気温の上昇は、野菜の生育を早め、収穫時期を前進させる。
- 大気中のCO₂濃度の増加は、施肥効果として野菜の生育に影響を及ぼすことが想定される。
- 花きの場合、気温の上昇は開花の前進・遅延や生育不良・障害を生じさせ、出荷時期の変化や収量・品質の低下をもたらす。キク、カーネーションについては、特定需要期（お盆、お彼岸、母の日）での出荷が不安定になり得る。
- 冬季の気温の上昇は、施設生産における燃料消費の減少が期待できる一方、夏季の高温は生産抑制、品質低下をもたらす。

(現在の状況)

[概要]

- 過去の調査で、40以上の都道府県において、既に気候変動の影響が現れていると報告されており、全国的に気候変動の影響が現れていることは明らかである。
- 特にキャベツなどの葉菜類、ダイコンなどの根菜類、スイカなどの果菜類等の露地野菜では、多種の品目でその収穫期が早まる傾向にあるほか、生育障害の発生頻度の増加等もみられる。
- ホウレンソウ、ネギ、キャベツ、レタスといった葉菜類では、高温や多雨あるいは少雨による生育不良や生理障害等が報告されている。高温・乾燥や強日照のストレスが原因と考えられるブロッコリーの生理障害、品質低下も報告されている。
- トマト、ナス、キュウリ、ピーマンといった果菜類では、高温・多雨等による着果不良、生育不良等が報告されている。
- ダイコン、ニンジン、サトイモといった根菜類では、高温、多雨等による生育不良や発芽不良等が報告されている。
- イチゴでは、冬から春に収穫する栽培で気温上昇による花芽分化の遅れが、夏から秋に収穫する栽培で花芽形成の不安定化が報告されている。
- 施設生産では冬季の気温上昇により燃料消費が減少するとの報告もある。
- 花きでは、キク、バラ、カーネーション、トルコギキョウ、リンドウ、ユリなどで高温による開花の前進・遅延や生育不良が報告されている。

2005年に実施された都道府県立の野菜関係研究機関に対する調査では、40以上の都道府県において既に温暖化の影響が現れていると報告されており、全国的に温暖化の影響が現れていることは明らかである。^{112001, 112002} とくに露地野菜においては、葉菜類（キャベツ、レタス、ハクサイ、ホウレンソウ、ブロッコリー、ネギ）、根菜類（ダイコン、ニンジン、ショウガ、サツマイモ、ジャガイモ、サトイモ）、果菜類（スイカ、イチゴ）等、多種の品目で、気候変動による気温の上昇により、その収穫期が前進傾向である。^{112001, 112002} 8

ホウレンソウ、ネギ、キャベツ、レタスといった葉菜類では、高温や多雨あるいは少雨による生育不良や生理障害等が報告されている。¹¹²⁰⁰³ キャベツ、レタスでは物質生産面から見た作物生産性に対する高温の影響は相対的に小さく、キャベツの脇芽球やレタスの抽だいなどの異常結球関連要素といった品質面において、より高温に対する感受性が高いことが明らかになっている。¹¹²⁰⁰⁴ 長野県では、高温・乾燥や強日照のストレスが原因と考えられるブロッコリーの生理障害、商品性の著しい低下が生じている。¹¹²⁰⁰⁵

トマト、ナス、キュウリ、ピーマンといった果菜類では、高温・多雨等による着果不良、生育不良等が報告されている。トマトでは、開花期の高温による着果不良（受精障害等）のほか、生育期間中の高温・強日射または高温・多雨等の影響による生育不良や生理障害、不良果（裂果、着色不良等）の発生が生じ、収量や品質が低下していると報告されている。^{112006, 112007, 112003} 宮崎県の夏秋トマトでは7月の高温による花落ち（着果不良）の増加¹¹²⁰⁰⁸、大分県の夏秋雨よけトマトでは夏季の高温や強日射等による生理障害（特に裂果）の増加が報告されている。¹¹²⁰⁰⁹ ナス、キュウリでは高温、多雨等による着果不良や生育不良が報告されている。¹¹²⁰⁰³ ピーマン（施設栽培）では、秋の高温により栽培初期に花が着果しない現象や、キュウリ（施設栽培）では秋の高夜温による茎葉の徒長と病害の多発が報告されている。また、どちらも冬季の高夜温時に暖房機の作動時間が短くなることに起因する葉の濡れによる病害の増加が報告されている。¹¹²⁰⁰⁸

ダイコン、ニンジン、サトイモといった根菜類では、高温、多雨等による生育不良や発芽不良等が報告されている。¹¹²⁰⁰³ 宮崎県では夏の高温・少雨によるサトイモの芽つぶれ、水晶症の増加が報告されている。¹¹²⁰⁰⁸

20品目の野菜を対象として、気温が生産費に及ぼす影響について統計解析を行った結果、大玉トマト、キュウリ、シントウ、スイカ、ナス（施設栽培）、ホウレンソウでは気温と関連していることが確認された。¹¹²⁰¹⁰ また、熊本県では、夏季の高温以外にも、大雨による野菜生産の不安定化が懸念されている。¹¹²⁰¹¹

イチゴでは、冬から春に収穫する栽培で気温上昇による花芽分化の遅れが^{112012, 112013, 112014, 112003}、夏から秋に収穫する栽培で花芽形成の不安定化¹¹²⁰¹⁴が報告されている。そのほか、イチゴの品質低下（日焼け果、色ムラ果、軟化）、盛夏の高温による肥料の溶出・溶脱、収穫後の品質保持の必要性なども問題となっている。¹¹²⁰¹⁵

一方、一部の施設生産については、冬季の気温の上昇により、燃料消費の減少という温暖化のメリットもみられる。^{112001, 112002}

キク、カーネーション、ユーストマ、スターチス・シヌアータ、宿根カスミソウ、リンドウ、シ

⁸ 2005年以降は同規模の調査は確認できていない。

ヤクヤク、デルフィニウムといった花きでは、高温により生育・開花に障害が生じることが知られている。^{112016, 112017}キクでは、生育期の高温による開花の前進や花芽分化期・発達期の高温による開花の遅延により出荷時期にずれが生じている。また、花芽分化期・発達期の高温による奇形花の発生も報告されている。¹¹²⁰⁰³バラ、カーネーション、トルコギキョウ、リンドウ、ユリでも高温等による開花期の前進・遅延や生育不良が報告されている。¹¹²⁰⁰³

(将来予測される影響)

[概要]

- 葉根菜類は、生育期間が比較的短いため、栽培時期をずらすことで栽培そのものは継続可能な場合が多いと想定される。
- キャベツ、レタスなどの葉菜類では、気温上昇による生育の早期化や栽培成立地域の北上、CO₂濃度の上昇による重さの増加が予測されている。
- 果菜類（トマト、パプリカ）では気温上昇による果実の大きさや収量への影響が懸念される。

露地栽培で生産されることが多い葉根菜類の場合、成熟種子を収穫する食用作物に比べ、生育期間が相対的に短く、栽培時期の調整が可能な場合が多い。そのため、適正な品種選択を組み合わせたり、栽培時期をずらしたりすることで栽培そのものは継続可能な場合が多いと想定される。しかし、野菜は長年の産地間競争の結果として、周年出荷体制ができあがっており、ほとんどの地域、多くの作目で収穫期が変動している現状を考えると、今後さらなる温暖化が、計画的な出荷を困難にするだけでなく、全国的な作型・作期の見直しが迫られる可能性が高い。¹¹²⁰⁰²

キャベツ、レタスなどの葉菜類では、気温上昇による生育の早期化や栽培成立地域の北上、CO₂濃度の上昇による重さの増加が予測されている。春どりキャベツについて、生育モデルを用いて日平均気温が2℃上昇した場合の抽だいリスクを予測した結果、生育が進み収穫時期が大幅に前進することで抽だいリスクは低下することが報告されている。しかし、温暖化条件が時期によって変動すれば、現状よりも抽だいリスクが高まる場合があり、播種適期が狭められる可能性も示唆されている。¹¹²⁰⁰⁴暖候期レタスについて、作期移動試験により球内抽苔長に及ぼす気温の影響を解析した上で将来の栽培成立確率を評価した結果、栽培成立地域が北上し、栽培成立時期が前進することが予測されている（MIROCモデルによる気候予測情報を使用）。¹¹²⁰¹⁸ キャベツ、レタスについて、オープントップチャンバ内のCO₂濃度を419ppmに上昇させて実施した生育調査では、CO₂濃度を上昇させない場合と比較して地上乾物重・生体重、結球部乾物重・生体重が大きくなった。¹¹²⁰¹⁹また、ハウレンソウについて、グロースチャンバー内の日長・温度条件を変化させた栽培試験では、一般的にハウレンソウの花成誘導は長日低温条件下で進むが、長日を伴わない場合、高温環境下では花成が著しく遅延・抑制された。¹¹²⁰²⁰

果菜類（トマト、パプリカ）では気温上昇による果実の大きさや収量への影響が懸念される。夏季のトマト（施設栽培）について、栽培試験より果実赤道面の長さや果実面温度の間に相関関

係が確認され、気温上昇による果実サイズの減少、収量の増減、裂果のような障害の増加が示唆されている。¹¹²⁰⁰⁴⁾パプリカについて、環境制御温室内で夜温を固定して様々な昼温で実施した栽培試験では、昼温が継続的に30℃以上になると、パプリカの着果数及び果実の肥大が顕著に阻害された。¹¹²⁰⁰⁴⁾

全国8地域のパネルデータ⁹⁾を使用して気象(年平均気温、年平均日照、年平均降水量)が農業生産に及ぼす影響を分析した結果、1℃の気温上昇は野菜、イモの生産量を減少させることが示唆されている。¹¹²⁰²¹⁾

宮崎県内のスイートピーハウス栽培では、21世紀末において、最高気温や最低気温の上昇等による落蕾発生率の上昇、最低気温の上昇による波打ち発生率の低下、気温等の上昇による花梗長の減少が予測されている(RCP8.5シナリオを前提としたMRI-CGCM3,MIROC5モデルの気候予測情報を使用)。¹¹²⁰²²⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

【観点】社会／経済

既に影響の範囲は全国に及んでいる。将来では葉菜類に関し気温上昇による生育の早期化、栽培成立地域の北上が予測されているほか、果菜類では果実サイズの減少や収量減少が懸念されている。農業総生産額に占める野菜・花きの割合は約30%であり、野菜・花きの供給、野菜・花き生産従事者の経営に直接影響する。しかしながら、野菜や花きは生育期間が比較的短いため、適正な品種選択を組み合わせたり、栽培時期をずらしたりすることで栽培そのものは継続可能な場合が多いと想定される。

- 緊急性：【評価】高い

既に高温による野菜の品質低下、花きの開花時期の変化や生育不良が生じており、高温期の産地と作期に関して緊急に適応策を講じる必要がある。一方、作期の調整や品種変更には限界があり、周年出荷体制の維持には全国的な作型・作期の見直しが欠かせないが、これは個々の産地で適応策を導入するのとは異なり、全国的な調整が必要で、時間をかけて進めていくことになる。

- 確信度：【評価】中程度

現時点で気候変動の影響が現れていることは確実に個々の事象に関する定性的な研究はあるが、将来の影響についての定量的な研究は、他の品目と比べると不十分な状況である。

⁹⁾ パネルデータ：同一の標本について、複数の項目を継続的に調べて記録したデータ

(3) 果樹

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇、降水の時空間分布の変化に伴う果樹の品質・収量の変化や栽培適地の変化を扱う。

- 気温の上昇は、果実の着色不良・遅延による品質の低下や出荷時期の遅れ（例：リンゴ、ブドウ、カキ）、貯蔵性の低下（例：ウンシュウミカン、リンゴ、カキ）、秋冬季の低温不足を通じた生育不良や凍害に伴う収量の低下（例：ナシ、モモ、クリ）、さらに、成熟期の前進（例：ナシ、モモ）をもたらす。
- 気温の上昇は、栽培適地の変化をもたらす（例：ウンシュウミカン、リンゴ、ワイン用ブドウ）。これまで果樹の栽培が難しかった寒地など一部の地域では栽培適地が広がる。
- 降水の時空間分布の変化は、高温の影響ともあいまって、果肉障害やそれに伴う収量・品質の低下をもたらす（例：ナシ、モモ）。

(現在の状況)

[概要]

- 果樹は気候への適応性が非常に低い作物であり、2003年に実施された全国的な温暖化影響の現状調査で、他の作物に先駆けて、すでに温暖化の影響が現れていることが明らかになった。
- 果樹は、一度植栽すると同じ樹で30～40年栽培することになることから、気温の低かった1980年代から同じ樹で栽培されていることも多いなど、品種や栽培法の変遷も少なく、1990年代以降の気温上昇に適応できていない場合が多い。
- カンキツでの浮皮、生理落果、リンゴでの着色不良、日焼け、ニホンナシの発芽不良、モモのみつ症、ブドウの着色不良、カキの果実軟化など、近年の温暖化に起因する障害は、ほとんどの樹種、地域に及んでいる。
- リンゴでは、食味が改善される方向にあるものの、果実が軟化傾向にあり、これが貯蔵性の低下につながっている。
- 一部の地域で、気温上昇により栽培適地が拡大している樹種がみられる。

果樹農業は他の分野に先駆けて、2003年に全国的な温暖化影響の現状調査が実施されている。その結果、全47都道府県における果樹関係公立研究機関から、既に温暖化の影響が現れていると報告されており、温暖化の影響は早くから広範囲に現れている状況である。¹¹³⁰⁰¹⁾ 2017～2018年に実施された、47都道府県の果樹試験研究機関及び普及指導機関を対象としたアンケートにおいても、回答した98機関のうち96%が気候変動による影響が生じていると回答している。¹¹³⁰⁰²⁾ 北海道から沖縄まで栽培される水稲などと異なり、リンゴは東北と長野、ウンシュウミカンは関東以西の太平洋側の沿岸部というように栽培地が限られるように、果樹は気候への適応性が非常に低い

ため、気候変化に特に弱い作物である。¹¹³⁰⁰³⁾ しかも、気温の低かった 1980 年代から同じ樹で栽培されていることも多いなど、品種や栽培法の変遷も少なく、1990 年以降の気温上昇に適応できていない。¹¹³⁰⁰³⁾ このため、カンキツでは浮皮、水腐れ症、生理落果、リンゴでは着色不良、日焼け、ニホンナシでは、霜害、発芽不良、みつ症、モモではみつ症、赤肉果などの生理障害、樹体の凍害、ウメ・オウトウでは結実不良、ブドウでは、着色不良、縮果症、カキでは、着色遅延、果実軟化や貯蔵性の低下が増加しているなど、近年の気温上昇に起因する障害はほとんどの樹種、ほとんどの地域に及んでいる。^{113004, 113005, 113006, 113007, 113003, 113008)} また、多くの果樹で発芽・開花期は早期化傾向にあるのに対し、果実の成熟期は前進と遅延の両方の傾向がみられ、前進が顕著なのはニホンナシとモモであり、比較的遅延が多いのはカキである。¹¹³⁰⁰⁹⁾

気温上昇と果樹の生育障害との関係が、過去の気象データと果樹の生育の分析、栽培試験、シミュレーション解析によって確認されつつある。ウンシュウミカンでは、開花期～生理落果期、成熟期の高温が浮皮を助長することが実証されている。¹¹³⁰¹⁰⁾ ナシでは、秋冬季の低温不足が発芽異常、開花障害の要因と推定されている。^{113010, 113011, 113012, 113013)} モモ、クリでは、秋冬季の気温上昇による耐凍性の低下が凍害の要因と推定されている。¹¹³⁰¹⁰⁾ ブドウでは、着色期における高温により着色不良が引き起こされると考えられており^{113010, 113014)} 例えば‘巨峰’では、気温上昇により開花日が早まり、皮の色づきが薄くなっていることが確認されている。¹¹³⁰¹⁵⁾

果実の貯蔵性については、リンゴを例にとると、食味が改善される方向にあるものの、果実が軟化傾向にあり、これが貯蔵性の低下につながっている。¹¹³⁰⁰⁶⁾ リンゴは 9～11 月の 3 か月間に収穫され、12 月以降の 9 か月間は貯蔵リンゴが市場出荷されるため、貯蔵性の低下は大きな問題である。¹¹³⁰⁰⁵⁾

栽培適地の変化については、果樹の栽培が難しかった寒地で、果樹の栽培適地が拡大する現象もみられる。北海道では、気温上昇によりワイン用ブドウの栽培可能地域が拡大している。¹¹³⁰¹⁶⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- ウンシュウミカンについて、栽培適地は北上し、内陸部に広がることが予測されている。RCP8.5 シナリオを用いた予測では、21 世紀末に関東以西の太平洋側で栽培適地が内陸部に移動する可能性が示唆されている。
- リンゴについて、21 世紀末になると東北地方や長野県の主産地の平野部 (RCP8.5 シナリオ)、東北地方の中部・南部など主産県の一部の平野部 (RCP2.6 シナリオ) で適地よりも高温になることや、北海道で適地が広がることが予測されている。
- ブドウ、モモ、オウトウについては、主産県において、高温による生育障害が発生することが想定される。露地栽培の‘巨峰’について、RCP4.5 シナリオを用いた予測では、2040 年以降に着色度が大きく低下する。
- ニホンナシについて、一部の地域では、自発休眠打破に必要な低温積算量が減少し、21 世紀末には沿岸域を中心として低温要求量が高い品種の栽培が困難となる地域が広

がる可能性がある。

- 果樹の栽培が難しかった寒地では、果樹の栽培適地が拡大することが予測されている。全球の地上気温の平均が 1990 年代と比べて 2°C 上昇した場合、北海道では標高の低い地域でワイン用ブドウの栽培適地が広がる可能性がある。また、亜熱帯果樹のタンカンも、現在の適地は少ないが、気温上昇に伴い栽培適地が増加する可能性がある。

日本の果樹生産面積で 1 位を占めるウンシュウミカンについて、6 つの気候モデル (SRES A1B シナリオを前提とした BCCR, CSIRO-30, GISS-AOM, INMCM3, MIROC-H, MIROC-M のモデル) より算出された将来の年平均気温と最低気温に基づいて栽培適地を予測した研究によれば、気温が上昇するにつれて栽培適地は北上し、内陸部へ広がっていく。¹¹³⁰¹⁷⁾ RCP8.5 シナリオでは、21 世紀末には関東以西の太平洋側で栽培適地が内陸部へ移動する可能性があることを示唆する研究もある (MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0 モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹³⁰¹⁸⁾ また、冬季に加温を行ったガラス室と露地栽培において、ウンシュウミカンの着花変動を調べた研究では、温暖化条件では直花数が増加し、有葉花数が減少する可能性が示唆されている。¹¹³⁰¹⁹⁾ ウンシュウミカンを含む複数のカンキツについて、異なる温度制御を施した人工気象室で栽培した研究では、満開期以降の 2°C の気温上昇が生理落果を増加させる傾向があることが確認された。¹¹³⁰²⁰⁾

日本の果樹生産面積で 2 位を占めるリンゴについて、5 つの気候モデル (MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0 モデル) より算出された将来の年平均気温に基づいて栽培適地を予測した研究によれば、21 世紀末になると東北地方や長野県の主産地の平野部 (RCP8.5 シナリオ)、東北地方の中部・南部など主産地の一部の平野部 (RCP2.6 シナリオ) で適地よりも高温になることや、北海道で適地が広がることが予測されている。¹¹³⁰¹⁸⁾ また、東日本を対象として、気温上昇によるリンゴの霜害リスクを評価した研究によると、春季の生育期間が早まることや、気温上昇量が比較的小さい場合に現在よりも霜害リスクが増加し、大きい場合に凍霜害リスクが減少することが予測されている (RCP2.6, RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3, MIROC6 モデルの気候予測情報を使用)。¹¹³⁰²¹⁾ また、北海道及び東北地方では、日最高気温の上昇による日焼けリスクの増加が予測されている。¹¹³⁰²²⁾

亜熱帯果樹は、適地を広げる可能性がある。現在、わが国で最も生産量の多い亜熱帯果樹のタンカンについて、栽培適地の北上を予測した結果 (A1B シナリオを前提とした BCCR, CSIRO-30, GISS-AOM, INMCM3, MIROC-H, MIROC-M モデルによる気候予測情報を使用) によれば、ウンシュウミカンの栽培適地が縮小する一方で、ウンシュウミカン栽培適地の沿岸部ではタンカンの栽培が可能になるが、内陸部では寒害の発生可能性があるため、今後数十年間は内陸部でのタンカンの栽培は困難であることが示唆されている。¹¹³⁰¹⁷⁾ RCP2.6、RCP8.5 シナリオに基づく栽培適地の予測においても、21 世紀中頃に適地が拡大することや、21 世紀末に現在のウンシュウミカンの栽培適地をカバーすること等が予測されている (どの程度カバーするかは、シナリオや気候モデルによって異なる) (MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0 モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹³⁰¹⁸⁾

ブドウの将来の開花期と着色度について予測した結果（RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, CSIRO-Mk3-6-0, HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用）によれば、露地栽培の全国の平均的な‘巨峰’の着色度（カラーチャート値）は、1981～2000年の9.4から2031～2050年で7.9、2081～2100年で7.0と2040年以降に大きく低下することが示唆されている。¹¹³⁰²³⁾

北海道におけるワイン用ブドウ生産の適地を予測した研究によれば、全球の地上気温の平均が1990年代と比べて2℃上昇した場合、北海道の標高の低い地域で栽培適地が広がる可能性がある（SRES A1B シナリオを前提とした MIROC3.2 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹³⁰²⁴⁾

果樹の主産県のひとつである山梨県において、30年後の夏季の気温上昇値を用いた研究例によると、平年値に比べ30℃以上になる時間が倍増するため、ブドウ、モモ、オウトウでは高温による生育障害の発生が予想される。また、施設栽培での加温の目安になる7.2℃以下の低温遭遇時間の推移を比較すると加温開始時期が7～10日遅れると予想される。¹¹³⁰²⁵⁾ ブドウ（品種「デラウェア」）では、発芽期以降の気温の上昇にともなって、2030年頃には成熟期が前進すると推定できる。さらに気温上昇が著しくなると、この傾向は顕著になる。¹¹³⁰²⁶⁾

二ホンナシに関して、中国・四国地域では、自発休眠打破¹⁰⁾に必要な低温積算量¹¹⁾が減少し、21世紀末には沿岸域を中心として「二十世紀」や「新高」（低温要求量が高い品種）の栽培が困難になる地域が広がると予測されている。¹¹³⁰²⁷⁾ また、品種「にっこり」について、高温処理と乾燥処理を行った実験では、高温と乾燥は水浸状果肉障害（果実生理障害の一種）を助長することが示唆されている。¹¹³⁰²⁸⁾ 品種「豊水」を用い、暖冬を想定して行った栽培実験では、秋冬季における低温遭遇の開始時期が遅れるほど、発芽不良や花芽のネクロシス現象¹²⁾が多発する傾向にあるという結果が得られている。¹¹³⁰²⁹⁾

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6及び2℃上昇相当>特に重大な影響が認められる

<RCP8.5及び4℃上昇相当>特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

既に温暖化の影響の範囲は全国に及び、農家の収入の増減に直接影響するほか、食料品の価格等を通じて一般世帯にも影響が及ぶ可能性がある。特に、東日本におけるリンゴや西日本におけるウンシュウミカン等、果樹は地域ブランドが確立していることが多く、これらの一部の県ではコメよりも産出額が多く、かつ、貯蔵や加工産業などの周辺産業も多数存在することから、適地

¹⁰⁾ 自発休眠打破：十分な低温時間を経験し、展葉・開花が可能となる状態をいう。

¹¹⁾ 低温積算量：低温に曝される時間の積算量。自発休眠打破に必要な量（低温要求量）は品種により異なる。

¹²⁾ ネクロシス現象：壊死を意味する言葉であり、生体の一部（器官・組織・細胞）の死を指す。植物においては、栄養障害や植物病害をはじめさまざまな障害によって引き起こされる。

移動の結果により生産が難しくなれば、地域経済に影響が及ぶことになる。

また、カンキツ類を中心として果樹は中山間地では基幹作物になっている地域もあり、他の産業が少ないこれらの地域での、適地移動の影響は大きい。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

ウンシュウミカンを含む複数のカンキツでは、満開期以降の生理落下の増加（栽培実験）が予測されている。気候シナリオを用いたシミュレーション予測では、2°C 程度の上昇でリンゴの主産地の一部が栽培適地でなくなる可能性（RCP2.6）、‘巨峰’の主産地で着色不良が頻発する可能性（RCP4.5）が示されている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

ウンシュウミカンでは栽培適地の北上・内陸部への拡大（SRES A1B、RCP8.5）、直花数の増加や有葉花数の減少（栽培実験）が予測されている。リンゴでは主産地の平野部で栽培適地でなくなる可能性（RCP8.5）が予測されている。また、‘巨峰’では着色度の低下や低標高地でのワイン用ブドウ栽培適地の拡大（SRES A1B）、タンカンでは沿岸部への栽培適地の拡大（SRES A1B、RCP8.5）、ニホンナシでは低温積算量の減少による自発休眠に至らない年の増加（RCP8.5）が予測されている。

● 緊急性：【評価】高い

既に収量・品質への影響が確認されている。これに加えて、近未来（2030～2050年）から長期（2080～2100年）に影響が生じることも予測されている。

適応着手時期の観点では、果樹は一度栽植すると同じ樹で30～40年栽培することになるため、他の作物と比べ30年前から対策を検討していく必要がある。

● 確信度：【評価】高い

全都道府県から、既に温暖化の影響が出ていると報告があり、現時点での影響は確実に発生している。果樹の適地移動は年間の平均気温と直結しているが、将来の気候予測において、平均気温上昇は、降水や極端現象の変化と比べ、不確実性が小さいことから、将来の影響についても確信度は極めて高い。

(4) 麦、大豆、飼料作物等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇、降水の時空間分布の変化に伴う麦、大豆、飼料作物等の品質・収量の変化、生育期間の変化、栽培適地の変化を扱う。

- 気温の上昇は、麦の生育期間に変化をもたらし、これが収量に影響する可能性がある。
- 気温の上昇は、大豆の収量・品質の低下をもたらす可能性がある。
- 気温の上昇は、一部の飼料用作物の収量を増加（例：トウモロコシ）させる可能性があるが、一部の作物では冬枯れリスクが高まる（例：エンバク）可能性がある。
- 夏季の高温・少雨は茶の生育抑制を生じさせ、二番茶・三番茶の収量を減少させる可能性がある。秋冬季の気温上昇は、冬芽の再萌芽、一番茶芽の遅延を生じさせ、収穫時期を遅らせる可能性がある。一方、春季の気温上昇は一番茶生育を早め、収穫時期や凍霜害の発生時期を早める可能性がある。
- CO₂濃度の上昇は、寒冷地で栽培される大豆の収量を増加させる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 小麦では、冬季及び春季の気温上昇により、全国的に播種期の遅れと出穂期の前進がみられ、生育期間が短縮する傾向が確認されている。
- 大豆では、一部の地域で夏季の高温による百粒重の減少や高温乾燥条件が継続することによるさや数の減少、品質低下が報告されている。
- 飼料作物では、関東地方の一部で2001～2012年の期間に飼料用トウモロコシにおいて、乾物収量が年々増加傾向になった報告例がある。
- 茶では、夏季の高温・少雨による二番茶・三番茶の生育抑制、暖冬による冬芽の再萌芽・一番茶萌芽の遅延などの生育障害が報告されている。

小麦では、冬季及び春季の気温上昇傾向により全国的に播種期の遅れと出穂期の前進がみられ、その結果生育期間が短縮している。^{114001, 114002, 114003}一方、出穂期から収穫までの期間は短縮していない。¹¹⁴⁰⁰¹ 関東における45年間の栽培データからは、播種から出穂までの平均気温の上昇、出穂期以降の降水量増加により減収する傾向がある。¹¹⁴⁰⁰⁴ 北海道では2010年に、春季の低温（穂数等のシンクサイズの増加に影響）と夏季の高温（登熟期間の短縮に影響）による大幅な減収が生じた。¹¹⁴⁰⁰⁵九州北部の小麦収量と2004～2014年の旬別気象（平均気温、降水量、日照時間）を解析した研究では、登熟後期（5月中旬）の高温は減収、1月上旬の高温は増収を引き起こすことが示されている。¹¹⁴⁰⁰⁶大豆については、2010年の夏季高温は東北地方では青森、岩手県北部では増収したが、それより南では減収し、裂皮、紫斑、虫害、未熟、しわ粒等の障害も多くなった。

2010年の東北全域の調査では、夏季真夏日日数が多いと百粒重（100粒当たりの重量）が減少し、高温乾燥条件が続くとさや数も減少した。¹¹⁴⁰⁰⁷⁾新潟県でも2010年の夏季の高温による不定形裂皮の多発が報告されている。¹¹⁴⁰⁰⁸⁾寒冷地における作況試験では登熟期の高温は大豆の百粒重を低下させた。¹¹⁴⁰⁰⁷⁾温暖地における栽培試験では収量、百粒重などは開花期から子実肥大初期の気温との間に二次曲線の関係があり最適温度は25℃前後である。¹¹⁴⁰⁰⁹⁾メッシュ農業気象データと生育予測モデルを使用して、大豆栽培における乾燥ストレスの発生リスクを全国で評価した研究によれば、品種「エンレイ」の主産地である北陸地域では乾燥ストレスが発生しやすい地域として福井県北部が挙げられているほか、九州の北西部で乾燥傾向となっていることが示された。¹¹⁴⁰¹⁰⁾

飼料作物では、収量の増加や作期の拡大が報告されている。関東地域における飼料用トウモロコシ栽培試験成績（2001～2012年）によると、乾物収量は全ての品種で年々増加傾向にあり、特に早生品種で積算気温の上昇と共に乾物収量も増加した。一方で2009年以降、病害（「紋枯病¹³⁾」と「根腐病¹⁴⁾」の発生率が増加していた。¹¹⁴⁰¹¹⁾飼料用トウモロコシの乾物収量、登熟期間及び栽培期間の有効積算温度を検討した神奈川県での栽培試験より、関東地域では飼料用トウモロコシの二期作が可能となる気象条件になってきているとする研究もある。¹¹⁴⁰¹²⁾

茶では、夏季の高温・少雨による二番茶・三番茶の生育抑制、暖冬による冬芽の再萌芽・一番茶萌芽の遅延などの生育障害の発生が報告されている。¹¹⁴⁰¹³⁾静岡県において品種「やぶきた」のうねにビニールハウスを被せて降雨の遮断・灌水の制御を行った実験では、三番茶芽生育期（主に7月）、次いで四番茶芽生育期（主に9月）における高温・少雨が翌年一番茶の収量を低下させた。このことから、過去の夏季の高温・少雨が一番茶の収量を減少させた可能性が指摘されている。¹¹⁴⁰¹⁴⁾東海地方では、干ばつ・異常高温と大雨・寡照の天候が同時期に近接して発生することが多くなり、茶樹地下部への悪影響が懸念されるが影響の詳細は未解明である。¹¹⁴⁰¹⁵⁾

¹³⁾ 紋枯病(もんがれびょう)：イネ科植物に糸状菌(カビ)が感染して起こる病気。高温・高湿状態が続くと発生しやすい。

¹⁴⁾ 根腐病(ねぐされびょう)：細菌によって根が腐敗する病気

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 小麦では、北海道の秋播き小麦に関する統計解析の結果、生育期間の気温は茎や穂の長さや千粒重と負の相関関係にあるため、出穂から成熟期までの平均気温の上昇による減収が危惧される。
- また、播種後の高温に伴う生育促進による凍霜害リスクの増加、高 CO₂ 濃度によるタンパク質含量の低下等が指摘されている。
- 寒冷地の大豆栽培では、気温上昇は収量に大きな影響を及ぼさないが、CO₂ 濃度上昇は光合成を促進させ子実重を増加させることが示唆されている。一方、温暖地の大豆栽培では、気温上昇による減収が示唆されている。
- 北海道では、2030 年代には、てんさい、大豆、小豆では増収の可能性もあるが、病害発生、品質低下も懸念され、小麦、ばれいしょでは減収、品質低下が予測されている。
- 一方、北海道でのジャガイモ生産について、2℃の気温上昇のみを考慮すると潜在収穫量は減少するが、気温上昇による栽培期間の長期化や CO₂ 濃度上昇を考慮すると、潜在収穫量は増加するという研究がある。
- 関東地域では、平均気温が 2℃上昇すると、平野部全域でエンバクの冬枯れのリスクが高まると予測されている。
- 飼料作物（飼料用トウモロコシ）では、2080 年代には、関東地域から九州地域にかけて、飼料用トウモロコシの二期作の栽培適地が拡大すると予測されている。
- 茶（品種「やぶきた」）では、静岡県を含む関東地域で一番茶摘採期の早期化に伴い凍霜害発生リスクの高い時期が早まる可能性、南西諸島全域で秋冬季における低温遭遇時間の不足により一番茶の減収が顕在化することが推定されている。

小麦では、気温上昇に伴う生育期間の短縮や収量減少が予測されている。圃場試験等のデータに基づき全国の主要品種の発育モデルを作成して生育期間の変化を推定した研究によれば、2045～2055 年において気温上昇により播種～出穂までの期間は短縮するが、出穂期の前進により登熟期間の気温が現在と同程度になる場合、登熟期間は短縮しないことが推察された（SRES A1B シナリオを前提とした MIROC-H-MO, MIROC-M, MRI モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁴⁰¹⁶⁾

北海道で栽培された秋播き小麦の収量構成要素と生育期間の気温との統計解析の結果、生育期間の気温は茎や穂の長さや千粒重と負の相関関係にあることが確認された。出穂から成熟期までの平均気温が 1℃上昇すると千粒重が品種「ホクシン」で 6.1%、品種「キタノカオリ」で 4.6%減少するため、将来の気温上昇による減収が危惧される。¹¹⁴⁰¹⁷⁾ そのほか、播種¹⁵⁾後の高温による生育

¹⁵⁾ 播種(はしゅ): 種子をまくこと。

促進で幼穂形成¹⁶及び茎立ち¹⁷が早まると凍霜害¹⁸リスクが高まる。また高 CO₂ はタンパク質含量を低下させ、高温下の登熟は穂発芽のリスクを高める可能性など、品質への影響が指摘されている。

大豆では、高 CO₂ 条件下で栽培した実験によると、生長期間の平均気温が 25°C 付近またはそれ以下の地域では、CO₂ 濃度上昇は子実（果実や種子）の窒素濃度を下げずに収量を増加させる可能性が示唆されている。¹¹⁴⁰¹⁸ 一方、最適気温以上の範囲では乾物重、子実重、収穫指数は、気温上昇に伴い減少する。¹¹⁴⁰²⁹ 寒冷地で品種「ユキホマレ」、「リュウホウ」、「エンレイ」を栽培した実験では、20°C から 24°C までの温度上昇は増収に作用するか、あるいは影響を与えないが、それ以上の高温は減収を引き起こすこと、気温上昇により中生品種では莢数や子実数が増える可能性が示唆されている。¹¹⁴⁰¹⁶ 寒冷地で品種「エンレイ」を栽培した実験では、CO₂ 濃度上昇は光合成を促進させ子実重を増加させたが、23°C から 26°C への温度上昇は子実重に影響しなかった。¹¹⁴⁰¹⁶ 温暖地において温度勾配型温室で品種「エンレイ」を栽培した実験では、温度上昇により莢・子実数、1 粒重、子実サイズ、子実収量が減少し、1°C の上昇ごとに収穫指数が 3.5% 低下した。^{114016, 114019} 国内主要品種である「リュウホウ」、「エンレイ」、「フクユタカ」の発育モデルを作成し、メッシュ農業気象データを用いて 1980～2013 年の平均気温から 3°C 上昇した場合の発育速度への影響を広域的に調べた研究によれば、開花期までの発育速度は播種期が早く気温が低い東日本で影響が大きく、播種期が遅く温暖な九州では影響が小さくなることが示唆されている。¹¹⁴⁰¹⁵

地域特産作物についても、限られた栽培試験データを用いた将来影響の調査結果が報告されている。石川県能登地域の特産品である能登大納言小豆について、生育期間における気象要因と収量との関係を解析した調査によると、開花期の日最低気温の上昇により収量が低下する可能性が示唆されている（RCP2.6, RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3, MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁴⁰²¹ また、京都府の特産品である丹波黒大豆では、開花前の生育中期の平均気温の上昇、開花期間の最低気温の上昇、開花期間の降水量変化による収量増加の可能性が示唆されている（RCP2.6, RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3, MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁴⁰²²

モデルに CCSR 及び CGCM1、排出シナリオに IS92a を用いた北海道での 2030 年代における各作物（小麦、てんさい、ばれいしょ、大豆、小豆）について影響予測が行われ、てんさい、大豆、小豆では増収の可能性もあるが、病害発生、品質低下も懸念されるとともに、小麦、ばれいしょでは減収、品質低下が予測された。¹¹⁴⁰²³ 北海道でのジャガイモ生産について、生育モデルを用いて 2°C の気温上昇と 45% の CO₂ 濃度上昇による潜在収穫量への影響を予測した結果、気温上昇のみを考慮すると潜在収穫量は減少するが、気温上昇による栽培期間の長期化や CO₂ 濃度上昇を考慮すると、潜在収穫量は増加するという研究がある。¹¹⁴⁰²⁴

気候変化メッシュデータ（日本）2003¹⁹を用いて、気象要因と生育・収量に関する主要項目の関

¹⁶ 幼穂形成(ようすいけいせい): 穂の元が形成されること。

¹⁷ 茎立ち(くきだち): 茎の節と節の間が伸びはじめること。

¹⁸ 凍霜害(とうそうがい): 寒さや霜によって作物が被害を受けること。

¹⁹ 気候変化メッシュデータ(日本)2003(Yokozawaら2003): 将来の気候予測データ。気候シナリオとして、東京大学気候システム研究センター(CCSR)と国立環境研究所(NIES)によるCCSR/NIESモデル、カナダ気候モデル・解析センター(CCCma)によるCGCM1モデル、オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)によるCSIRO-Mk2モデル、及びドイツ気象センター(DKRZ)によるECHAM4/OPYC3モデルの4つの大気・海洋循環結合モデル(AOGCM)を採用し、IS92aシナリオを用いて計算した、それらの予測結果を約10×10km単位のメッシュ(2次メッシュ)化したもの。

係を解析した研究によると、2030年代の北海道の牧草では、1番草の出穂期は早まるが、生育日数に大きな変化はない。年間収量は気温上昇にも関わらず日射量の減少で現在の8~9割にとどまり、気温の影響のみを考慮すると現在と同等か、わずかに増加する。¹¹⁴⁰²³⁾

「局地気候シナリオ」を用いて100年後の牧草生産量に及ぼす影響を解析した研究によると、寒地型牧草では北海道ではほとんどが増収、東北地方では63%で増収、16%が夏枯れ、21%が暖地型牧草地帯になる。また、夏枯れ地帯は東北地方に多く分布するようになり、夏枯れ地域の面積は1.5倍に拡大する。乾物生産量は寒地型牧草で1.4倍、暖地型牧草で4.6倍、牧草全体では1.5倍になる。¹¹⁴⁰²⁵⁾

栽培データと気象データから関東地方におけるエンバク冬枯れ発生の危険マップを作成した研究によれば、現在の気候では冬枯れが発生して40%以上の大幅な減収となる危険性が高い地域は南関東の沿岸部に限られているが、1℃の気温上昇により、千葉県、神奈川県、東京都のほぼ全域と埼玉県の大部分で冬枯れの危険性が増大し、2℃の気温上昇では関東の平野部全域が危険地域となる。¹¹⁴⁰¹⁶⁾

一部の地域では、飼料用作物の栽培適地が拡大するという研究もある。東北地域から九州地域を対象として、有効積算温度から2080年代の飼料用トウモロコシの栽培適地を判定した研究によると、関東地域から九州地域にかけて、トウモロコシの二期作の栽培適地が現在と比べて3.5倍に拡大する(SRES A1Bシナリオを前提としたMRIモデルの気候予測情報を使用)。¹¹⁴⁰²⁶⁾ また、関東地域では栽培適地のメッシュ数割合が2040年では38%、2090年では54%となり、2090年頃までに関東地域の低標高地域のほとんどが二期作の栽培適地になることが予測されている(RCP4.5シナリオを前提としたMRI-CGCM3モデルの気候予測情報を使用)。¹¹⁴⁰²⁷⁾

茶(一番茶)では、関東地域では摘採期及び凍霜害発生リスクの高い時期の早まり、南西諸島では減収が予測されている。日平均気温の観測値と5つの主産県の作況調査データを用いて一番茶摘採期の推定式を作成し、静岡県を含む関東地域の摘採期を予測した調査によると、現在(1981~2000年)と比較して21世紀中頃では3日~1週間程度、21世紀末では2週間程度、摘採期が早まると予測され、凍霜害発生リスクの高い時期も早期化する可能性が示された(RCP8.5シナリオを前提としたMRI-CGCM3, MIROC5モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁴⁰²⁸⁾ また、茶園試験とセル苗試験の結果より、秋冬季における低温遭遇期間の不足が品種「やぶきた」の一番茶の減収の要因になることを明らかにした上で、気候シナリオデータの最低気温を用いて一番茶の減収が顕在化する地域を予測した研究では、2060年代には南西諸島全域で一番茶の減収が顕在化することが推定されている。¹¹⁴⁰¹⁶⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

小麦では気温上昇に伴う生育期間の短縮が生じており、一部の地域では今後減収する可能性が示されている。大豆では一部の地域で夏季の高温による減収、品質低下が生じている。寒冷地で

の栽培では増収の可能性（IS92a）が示されているものの、温暖地での栽培では気温上昇により減収する可能性（栽培実験）が示唆されている。飼料作物では一部の地域で増収すると予測される作物と冬枯れリスクが増大するとされる作物がある。茶では夏季の高温・少雨による二番茶以降の生育抑制等が生じているほか、一部の地域で秋冬季の気温上昇による一番茶の減収が予測されている。こうした穀物等の収量・品質の変化は（好影響も含め）農家の収入の増減に直接影響するほか、食料品の価格等を通じて一般世帯にも影響が及ぶ可能性がある。

● 緊急性：【評価】 中程度

大豆では夏季の気温上昇による減収及び品質低下、茶では夏季の気温上昇及び少雨による二番茶以降の生育抑制等が既に生じている。将来においては、小麦では、2030年代において一部の地域で気温上昇による減収、品質低下が予測されている。大豆では、2030年代において寒冷地では増収の可能性が示されているものの、温暖地での栽培において気温上昇による減収（栽培実験）が予測されている。茶では、2060年代において一部の地域で一番茶の減収が予測されている。

確信度：【評価】 中程度

統計データ、モデルや実験に基づく定量的な予測など、研究・報告は一定程度ある。

(5) 畜産

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇による家畜及び家禽の成育や肉質の変化、繁殖機能の変化、乳量・乳成分の変化、産卵数・卵の質の変化、動物感染症を扱う。

- 気温の上昇は、肉用牛、肉豚、肉用鶏の飼料摂取量や消化吸収能を低下させ、成育の悪化、肉質の低下をもたらす。
- 気温の上昇は、乳用牛の飼料摂取量の低下、体温上昇に伴う代謝量の増大等を通じて、成育の悪化、乳量・乳成分の低下をもたらす。
- 気温の上昇は、家畜（牛、豚）の繁殖機能を低下させる。
- 気温の上昇は、採卵鶏の飼料摂取量の低下などにより、産卵数や卵質を低下させる。
- 気温の上昇は、熱帯・亜熱帯地域が起源の節足動物媒介性ウイルスの国内での流行や、媒介種の分布拡大に影響し、畜産の異常産や病気の発生を増加させる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 夏季に、肉用牛と豚の成育や肉質の低下、採卵鶏の産卵率や卵重の低下、肉用鶏の成育の低下、乳用牛の乳量・乳成分の低下等が報告されている。
- 記録的猛暑であった 2010 年の暑熱による家畜の死亡・廃用頭羽数被害は、畜種の種類・地域を問わず前年より多かったことが報告されている。
- 乳用牛では温湿度指数の上昇に伴う泌乳量の低下、気温上昇による繁殖成績や子牛の成長量の低下の研究事例がある。また、肉用豚では気温上昇による消化吸収能の低下や分娩率の低下、採卵鶏では気温上昇による飼料摂取量の減少等に伴う産卵数の減少や卵質の低下などを示す研究事例がある。
- 国内では見られなかった熱帯・亜熱帯地域に分布する牛のアルボウイルス類（節足動物媒介性ウイルス）の流行や、南西諸島のみ定着すると考えられていたアルボウイルス媒介種であるオーストラリアヌカカの分布が九州地方で確認されている。
- アルボウイルス類の一種であるアカバネウイルスが東北地方に直接侵入し、北海道までウイルス感染による牛の異常産の発生が広まった事例も報告されている。

夏期には東日本・西日本で、乳用牛について乳量・乳成分、繁殖成績の低下とへい死²⁰の発生、肉用牛と豚について増体・肉質及び繁殖成績の低下とへい死の発生、採卵鶏について産卵率・卵重の低下とへい死の発生、肉用鶏について増体の低下とへい死の発生が報告されている。¹¹⁵⁰⁰¹

²⁰ へい死：動物が死ぬこと。

115002, 115003) 北海道でも近年の暑熱による乳牛の分娩時期の偏りが報告されている。115004) また、記録的暑夏であった2010年夏の暑熱による家畜の死亡・廃用²¹ 頭羽数被害が、畜種の種類・地域を問わず前年より多かったと報告されている。115005)

暑熱ストレスによる家畜への影響に関する研究が進められている。乳用牛では、過去約10年間の泌乳データと気象情報を分析した研究によると、温湿度指数の上昇に伴い乳用牛の泌乳期の乳量が減少していた。115006) 牛乳のカルシウムイオン濃度と乳量との間に正の相関があることから、暑い時期のカルシウムイオン濃度の低下が乳量の減少に関係している可能性があるとする研究もある。115007) さらに、気温上昇による乳用牛の活動、繁殖成績、子牛の成長の低下を示した研究事例もある。115006, 115008, 115009) 計量経済分析の手法を用いた研究では、夏季の気温上昇は酪農の生産性を低下させるとしている。115010) 肉用牛では、暑熱による影響は給与飼料や肥育ステージにより異なることが示されている。115011) 肉豚では、気温上昇による消化吸収能の低下^{115012, 115013, 115014}、有効精子数の減少による分娩率の低下¹¹⁵⁰¹⁵を示した研究がある。採卵鶏では、気温上昇に伴う飼料摂取量の減少、血清中のリポタンパク質含量の低下、ホルモンへの悪影響による産卵数の減少、卵質の低下を示した研究がある。115016)

国内では見られなかった熱帯・亜熱帯地域に分布する牛のアルボウイルス²²類(節足動物媒介性ウイルス)が、九州以北の地域で流行していることが2005年に確認された。アルボウイルスは、温暖化などの気象要因により、媒介昆虫の活動が活発化し、媒介昆虫であるヌカカなどによって、熱帯・熱帯地域から運ばれてくると考えられている。115017) 2008～2009年には、南西諸島にのみ定着すると考えられていたアルボウイルス媒介種であるオーストラリアヌカカが九州にも分布していることが確認されている。115018) また、アカバネウイルス(アルボウイルス類の一種)は、これまでは、西日本に最初に侵入し、東日本に広がるパターンが一般的であったが、2010年には東北地方にウイルスが直接侵入し、最終的には北海道までウイルス感染による牛の異常産の発生が広がった。115019)

(将来予測される影響)

[概要]

- 影響の程度は、畜種や飼養形態により異なると考えられるが、温暖化とともに、乳用牛、肥育去勢豚、肉用鶏の成長への影響が大きくなることが予測されており、成長の低下する地域が拡大し、低下の程度も大きくなると予測されている。
- 乳用牛では、高温だけでなく高湿度になると生産性への負の影響がさらに大きくなることが示唆されている。

乳用育成雌牛²³を用いて環境制御室において温湿度と飼養成績の関係を検討し、気候変化メッシュデータ(日本)2003のもとで予測した研究によると、2020、2040、2060年と年代の経過に

²¹ 廃用：家畜としての用をなさなくなること。

²² アルボウイルス：蚊、ヌカカやダニなど吸血性の節足動物によって媒介されるウイルスの総称。牛のアルボウイルスの中には、流産・早産・死産・先天異常などのいわゆる流行性異常産や、流行性の熱病を引き起こすものが含まれる。

²³ 育成牛は、離乳してから成牛まで育てる期間の牛のこと。

伴い増体日量の低下する地域は拡大するが、その低下量は地域によって異なり、湿度によって大きく変化するとされている。¹¹⁵⁰²⁰⁾ また、同様に乳用育成雌牛を用いて環境制御室において高温と高湿度の影響を調べた実験によると、高温だけでなく高湿度になると生産性への負の影響はさらに大きくなり、呼吸数の増加や体温上昇に加えて、血液性状の変化、飼料摂取量の低下、増体日量の減少、特にタンパク質としての蓄積量の減少が生じることが示唆されている。¹¹⁵⁰²¹⁾ 肥育去勢豚を用いて環境制御室において温度と飼養成績との関係を検討し、気候変化メッシュデータ（日本）2003のもとで予測した研究によると、現在と比べて2030年、2060年と年代の経過とともに増体日量（日あたりの体重増加量）の低下する地域が広がり、低下する程度も厳しくなるとされている。2060年代には、北海道の一部及び標高の高い山間部を除く大半の地域で増体日量が低下するとされている。¹¹⁵⁰²²⁾

環境制御室を用いて気温が肉用鶏の産肉量に及ぼす影響を検討し、気候変化メッシュデータ（日本）2003²⁴⁾のもとで予測した研究（2060年の7～9月における気温の上昇は、宮崎市と鹿児島市で1.8～2.5℃、青森市と盛岡市で3.0～4.5℃と推定）によると、現在と比べて2020年、2040年、2060年と年代の経過とともに産肉量への影響が大きくなり、特に西日本において、産肉量が比較的大幅に低下する地域の拡大が懸念されている。また、現在は産肉量の低下する気温ではない東北地方においても、年代の経過とともに産肉量の低下する地域となる可能性が示されている。¹¹⁵⁰²³⁾

中国四国地域を対象として、相対湿度も考慮して気温上昇による家畜への影響を予測した調査によると、日平均湿球温度の上昇による乳用牛への死リスクの増加、日平均体感温度の上昇による乳量減少リスクの増加、日最高湿球温度の上昇による乳用牛の受胎低下リスクの増加、日最低気温の上昇による卵生産量減少リスクの増加が示されている（RCP2.6, RCP8.5シナリオを前提としたMRI-CGCM3, MIROC5モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁵⁰²⁴⁾

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

夏季の暑熱ストレスによる家畜や家禽への影響（成育の悪化、肉質の低下、乳量・乳成分の低下、採卵数や卵の質の低下等）は全国に及んでいる。また温暖化の影響と考えられる動物感染症の発生地域の拡大がみられる。将来では家畜・家禽の成長量の低下が予測されている。家畜や家禽への影響の範囲は畜種や飼養形態により異なるが、農業総生産額に占める畜産の割合は約30%であることから、わが国の畜産物の供給、畜産従事者の経営に直接影響する。

²⁴⁾ 気候変化メッシュデータ（日本）2003（Yokozawaら2003）：将来の気候予測データ。気候シナリオとして、東京大学気候システム研究センター（CCSR）と国立環境研究所（NIES）によるCCSR/NIESモデル、カナダ気候モデル・解析センター（CCCma）によるCGCM1モデル、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）によるCSIRO-Mk2モデル、及びドイツ気象センター（DKRZ）によるECHAM4/OPYC3モデルの4つの大気・海洋循環結合モデル（AOGCM）を採用し、IS92aシナリオを用いて計算した。それらの予測結果を約10×10km単位のメッシュ（2次メッシュ）化したもの。

- 緊急性：【評価】高い

夏季に乳量や増体量の低下等の影響が生じており、生産現場ではいくつかの対策が行われている。また複数の研究事例より、気温上昇と家畜・家禽への影響との関係も明らかになってきている。さらに動物感染症の発生地域が既に拡大している。将来影響に関する報告では、影響の範囲は特に西日本において大きく、年代の経過とともに影響を受ける地域が拡大すると予測されている。将来影響に関する報告は限定的で、影響の程度は畜種や飼養形態により異なるため、ケースに応じた対応が必要である。

- 確信度：【評価】中程度

気温上昇と既に家畜・家禽に生じている影響との関係を証明する研究事例は増えている。一方、環境制御室での実験結果を踏まえてモデル予測を行う研究・報告は少数であるため、今後も研究の実施が求められる。

(6) 病害虫・雑草等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇に伴う害虫の分布域や発生量の変化、病害の発生地域や発生量の変化、雑草の分布域の変化等を扱う。

- 気温の上昇は、害虫の分布域の拡大（例：ミナミアオカメムシ）や年間世代数²⁵及び発生量の増加（例：オオタバコガ、スクミリンゴガイ）、発生盛日の変化（例：アカスジカスミカメ、フタテンチビヨコバイ）をもたらす可能性がある。
- 気温の上昇は、海外から飛来する害虫の種類と数を増加させる可能性がある（例：ツマジロクサヨトウ、ウンカ類）。
- 気温の上昇は、病害の発生地域の拡大（例：ライグラスいもち病）をもたらす可能性がある。また発生量の増加（例：イネ紋枯病）が想定される。
- CO₂濃度の上昇は、水稻の病害発生を増加させることが想定される。
- 気温の上昇は、雑草の分布域を変化させ、農作物の被害を拡大させることが想定される（例：帰化アサガオ類）。

(現在の状況)

[概要]

(害虫)

- 西南暖地（九州南部などの比較的温暖な地域）を中心に発生していたイネなどの害虫であるミナミアオカメムシやスクミリンゴガイが、近年、西日本の広い地域から関東の一部でも発生し、気温上昇の影響が指摘されている。
- 海外から九州地方に飛来するイネの害虫であるウンカ類の数は、ベトナム北部での越冬や強い上層風の頻度が関係する。
- イネの害虫以外でも、気温上昇による分布の北上・拡大、発生量の増加、越冬の可能性が報告・指摘されている。

(病害)

- 圃場試験の結果、出穂期前後の気温が高かった年にイネ紋枯病の発病株率、病斑高率が高かったことが報告されている。
- 一部の地域では、高温によるレタス根腐病やトウモロコシ根腐病の発生が報告されている。
- ライグラスいもち病の発生地域が北上しており、温暖化との関連が指摘されている。

²⁵ 年間世代数：1年間に卵から親までを繰り返す回数

(雑草)

- 奄美諸島以南に分布していたイネ科雑草が、越冬が可能になり、近年、九州各地に侵入した事例がある。
- 北海道では、土壌凍結深が浅くなったことにより、収穫後圃場に残存するバレイショの雑草化（野良イモ化）が問題となっている。
- 東北地方では、気温上昇はチガヤ（イネ科の雑草）の生態型の分布特性に影響を及ぼしている。
- 特定外来生物のナルトサワギクの分布の拡大には、気温が高い四半期の平均気温が大きく関与していると推定されている。

(かび毒)

- 土壌中に生息するアフラトキシン産生菌の分布を全国で調査した結果、産生菌の分布には気温が関与していることが推察されている。

(害虫)

水稻や大豆の害虫であるミナミアオカメムシの分布域は、1960年代には西南暖地（九州南部などの比較的温暖な地域）の太平洋岸に限られていたが、近年、西日本の広い地域から関東の一部にまで拡大している。本種の生息域は、1月の平均気温が5℃以上の地域とされており、気温上昇によりその北限が北上している。^{116001, 116002, 116003, 116004} なお、近年分布が確認された地域や被害が問題となっている地域には、最寒月の月平均気温が5℃を下回る場所も含まれる。¹¹⁶⁰⁰⁵ 主に越冬個体が水稻やレンコンの稚苗を食害するスクミリンゴガイによる被害が関東地域でも拡大していることが問題になっている。¹¹⁶⁰³⁹ スクミリンゴガイの越冬生存率は、12月～2月の平均気温に比例することが知られている。¹¹⁶⁰⁴⁰ 茨城県では、秋の平均気温の上昇がイネ縞葉枯病を媒介するヒメトビウンカの吸汁行動とひこばえ（再生イネ）の再生を活発にし、ウイルス獲得が効率的に行われたと推測される事例がある。¹¹⁶⁰⁰⁶ 海外から九州地方に6月から7月にかけて飛来するウンカ類については、12年間のデータの解析から、飛来数は越冬に影響するベトナム北部の1～2月の平均気温と関連していた。なお、飛来数には、ベトナム北部での越冬に加えてベトナム北部から中国南部、及び中国南部から九州地方に吹く強い上層風の頻度が大きく関連していることが確認されている。¹¹⁶⁰⁰⁷

アブラナ科の害虫であるコナガは、岩手県盛岡市の露地では越冬できないと考えられていたが、1～2月の月平均気温あるいは積雪期間の条件より越冬していた可能性が指摘されている。¹¹⁶⁰⁰⁶ 九州地域では飼料用トウモロコシ栽培において、温暖化によると考えられるフタテンチビヨコバイの発生が増加している。特に九州の中部及び南部では2期作目（6月後期～11月）でのワラビー萎縮症による被害の発生が増えている。¹¹⁶⁰⁰⁹

そのほか、西日本では、熱帯起源の種と考えられており、寄主範囲の広いオオタバコガが1994年の猛暑に多数発生し、その後、関東・東北、北海道などでも発生が増えており、発生地域の拡

大と温暖化との関係が指摘されている。^{116010, 116011, 116012)} さらに、南方性の害虫であるツマジロクサヨトウが 2018 年にアフリカからインドに分布を拡大し、2019 年 1 月には中国、2019 年 7 月には日本への飛来がそれぞれ初めて発生が確認された。¹¹⁶⁰⁴¹⁾

(病害)

イネ紋枯病については、熊本県で実施された圃場試験では、出穂期前後の気温が高かった 2012 年に発病株率、病斑高率が高かったことが報告されている。¹¹⁶⁰¹³⁾ レタス根腐病については、青森県の夏秋レタスで、2010 年及び 2012 年の夏季の高温による甚大な被害が報告されている。¹¹⁶⁰¹⁴⁾ 飼料用トウモロコシでは、降雨及び気温が発生に関わっているとされるトウモロコシ根腐病が、これまで報告のなかった北海道十勝地方で 2011 年に大発生し、最重要病害の一つになりつつある。¹¹⁶⁰¹⁵⁾ ライグラスいもち病の発生は、1970 年代には宮崎県、高知県、岐阜県、静岡県、栃木県に限られていたが、近年は石川県、富山県、新潟県、宮城県でも病原菌が採集されたとの報告がある。本病の発生と気温との間に高い相関があるため、温暖化により発生地域が北上している可能性が指摘されている。¹¹⁶⁰¹⁵⁾

(雑草)

水稻への直接被害は明らかではないが、水田や周辺の雑草であり奄美諸島以南に分布していたコヒメビエが、種子が死滅するとされる最低気温が -5°C 以下となる日の総日数の減少により越冬し、1991 年以降九州各地に侵入していることが明らかとなった。¹¹⁶⁰¹⁶⁾ 北海道十勝地方では、土壌凍結深が浅くなったことにより、収穫後圃場に残留したバレイショが雑草化(野良イモ化)し、問題となっているため、除雪により土壌凍結を促進する技術が開発されている。¹¹⁶⁰¹⁷⁾ また、東北地方では、気温上昇により普通型チガヤ(イネ科の雑草)の分布が北上しているのではなく、山形県中部以北で普通型と寒冷地型のチガヤの雑種が広く分布していることが確認され、生態型の分布特性に影響を及ぼしている。¹¹⁶⁰¹⁸⁾ 特定外来生物のナルトサワギクについて、分布と気候変数との関係を分析した結果、分布の拡大には最も気温が高い四半期の平均気温が大きく関与していると推定されている。¹¹⁶⁰¹⁹⁾

(かび毒)

土壌中に生息するアフラトキシン²⁶⁾産生菌の分布を全国で調査した結果、年平均気温 16°C の等温線が産生菌分布と高い相関を示したことから、産生菌の分布に気温が関与していると推察されている。¹¹⁶⁰²⁰⁾

²⁶⁾ アフラトキシン：マイコトキシンの中でも動物に強い発がん性を示す(マイコトキシン：かび(糸状菌類)の産生する二次代謝産物で、ヒトあるいは家畜、魚類など高等動物に対して急性もしくは慢性の生理的あるいは病理的障害を与える物質群に与えられた総称。)

(将来予測される影響)

[概要]

(害虫)

- 害虫については、気温上昇により寄生性天敵、一部の捕食者や害虫の年間世代数（1年間に卵から親までを繰り返す回数）が増加することから水田の害虫・天敵の構成が変化することが予測されている。
- 水稲の害虫であるミナミアオカメムシ、ニカメイガ、ツマグロヨコバイについて、気温上昇による発生量の増加が予測されている。ヒメトビウンカとそれが媒介するイネ縞葉枯病の発生に関し、東北、北陸地方で潜在的な危険性が増加すると予測されている。
- 水稲の害虫であるアカスジカスミカメの成虫発生盛日がイネの出穂期に近づくことで斑点米被害リスクが増加すると予測する研究がある。
- 水稲害虫以外でも、越冬可能地域や生息適地の北上・拡大や、発生世代数の増加による被害の増大の可能性が指摘されている。
- 夏季の気温上昇は、ミナミアオカメムシ及び一部のアブラムシに高温障害を引き起こす可能性が指摘されている。

(病害)

- 病害については、高CO₂条件実験下（現時点の濃度から200ppm上昇）では、発病の増加が予測された事例がある。
- 気温上昇によりイネ紋枯病による被害の増大が予測された事例がある。
- 降水頻度の減少により葉面の濡れが低下し、降水強度の増加により病菌が流出するため、感染リスクが低下するとする研究もある。

(雑草)

- 雑草については、コヒメビエ、帰化アサガオ類など一部の種類において、気温の上昇により定着可能域の拡大や北上の可能性が指摘されている。
- 北海道では、気温上昇により帰化雑草イガホビユの発芽条件を満たす日数が増加・早期化するため、畑作物の播種後の発生が増加する可能性が示唆されている。

(かび毒)

- 気温上昇による土壌中でのアフラトキシン産生菌の生息密度の上昇が懸念されている。

(害虫)

年平均気温15℃の関東地方で各月の平均気温が2℃ずつ上昇したと仮定して、年間世代数（1年間に卵から親までを繰り返す回数）の変化を予測した結果、クモ類については世代数の増加は起こらないが、寄生性天敵や一部の捕食者は1~3世代増加する。また、害虫の中ではウンカ類で世

代数が増加することから、気温上昇によって水田内の害虫・天敵相の構成が変化することが予測された。^{116021, 116022)}

日本産昆虫、ダニ、線虫の約 580 種の発育パラメータが取りまとめられており、気温変動による発生世代数の推定が可能である。¹¹⁶⁰²¹⁾

外気より 2.5℃上昇させて 10 月から 6 月にかけてミナミアオカメムシを飼育した実験では、外気温で飼育した場合と比べて冬から春の生存率が増加したほか、生殖時期の早期化により個体数が増加し、定着が促進された。¹¹⁶⁰²³⁾

ヒメトビウンカとそれが媒介するイネ縞葉枯病の発生危険地帯判定を行った (IS92a シナリオを前提とした ECHAM4/OPYC3・CCSR/NIES 両気候モデルによる気候予測情報を使用) 結果によると、2060 年には北海道は危険地帯から外れるが、東北、北陸地方では潜在的な危険性が増加すると予測された。¹¹⁶⁰²⁴⁾ また、過去の個体群動態データから冬季と夏季の気温の影響を推定し、2031~2050 年の害虫の発生量を予測 (SRES A2 シナリオを前提とした MRI-CGCM2 モデルによる気候予測情報を使用) すると、ニカメイガでは 1.6 倍、ツマグロヨコバイは 3 倍程度に増加するとされた。¹¹⁶⁰²⁵⁾

福島県相馬市におけるアカスジカスミカメの成虫発生盛日とイネ出穂期の予測値を比較した研究によれば、気温のみに影響を受けるアカスジカスミカメの発生盛日が気温と日長に影響を受けるイネの出穂期に近づくことにより、斑点米被害リスクが増加することが示された (MIROC-H, MIROC-M, MRI モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁶⁰⁰⁶⁾

水稻害虫以外では、野菜、果樹、茶のチョウ目、カメムシ類、アザミウマ、カイガラムシ、ヨコバイ、ハダニ類などで、越冬可能地域の北上・拡大や発生世代数の増加による被害の増大が指摘されている。¹¹⁶⁰²⁶⁾ 12 月から 3 月 (越冬期) の降水量と気温がフタテンチビヨコバイの年次変動を決める主な要因であることに基づき、冬期の気温の変化によるフタテンチビヨコバイの個体群密度、増殖、生息域、被害域の変化を予測した研究がある。2℃の気温上昇では個体群密度が 2.7 倍になり、個体群密度が最大となる時期が早期化することが予測されている。¹¹⁶⁰²⁸⁾ また、フタテンチビヨコバイの生息域が拡大し、飼料用トウモロコシのワラビー萎縮症の被害域が拡大する可能性が示されている。さらに、ワラビー萎縮症への耐性をもつトウモロコシであっても、フタテンチビヨコバイが多いと被害が発生することから、そのような耐性をもつトウモロコシの有用性も、2060 年代には九州、四国、本州南西部で低減する可能性が示されている (MIROC3.2_Hires モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁶⁰²⁹⁾ 野菜や花き類を食害するオオタバコガについて、成虫の羽化ピーク日の予測モデルを用いて気温上昇時の羽化ピーク日と年間発生世代数を予測した研究によれば、気温上昇に伴い羽化ピーク日が早期化すること、年平均気温が現在の平年値から 1℃以上上昇すると、年間の発生世代数は 4 世代から 5 世代に増加することが予測されている。¹¹⁶⁰³⁰⁾

夏季の気温上昇は、ミナミアオカメムシ^{116031, 116032)} 及び一部のアブラムシ¹¹⁶⁰³³⁾ に高温障害を引き起こす可能性がある。ミナミアオカメムシの卵を野外よりも 2℃高い温暖区と野外気温下の非温暖区で飼育した研究によれば、盛夏に温暖区に設置した卵塊では発育が大きく遅延し、成虫への脱皮に失敗する個体が増え、羽化成虫の体サイズも小さくなった。一方、晩夏あるいは初秋に設置された卵塊では発育が早まり、体サイズが大きくなったことから、温暖化が進行すると、秋がミナミアオカメムシの最適な発育環境になることが示唆された。¹¹⁶⁰³¹⁾

(病害)

気温上昇による作物病害の発生動態への影響については、水稲、野菜、果樹、茶のそれぞれ3病害（水稲：いもち病、紋枯病、もみ枯細菌病、野菜：ナス科野菜の青枯病、各種野菜の白絹病、ネギさび病、果樹：リンゴ白紋羽病、黒星病、茶：炭疽病、輪斑病、赤焼病）でこれまでの発生生態の知見に基づいて検討され、分布域の拡大・北上、発生期間の拡大などによる被害の増大が指摘されている。¹¹⁶⁰²⁶⁾

野外水田においてCO₂を人為的に増加させるFACE (Free-Air CO₂ Enrichment) 実験水田での発病調査により、高CO₂条件下（現時点の濃度から200ppm上昇）ではイネ紋枯病の発病株率が増加するが、病斑高率（株元から病斑が達する高さ）は変化しない。またイネいもち病では葉いもちの発生は有意に上昇するが、穂いもちでは変化はみられなかった。^{116034, 116006)} 10種類の気候予測モデルを使用して秋田県大仙市でのイネ紋枯病の発生リスクを予測した研究によれば、気温上昇により2090年には被害度が2010年の約1.8倍になる（SRES A1Bシナリオを前提としたMIROC-Hモデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁶⁰⁰⁶⁾

一方、イネの葉面の濡れをイネいもち病の発生リスクの指標に設定し、日本などの温帯地域を対象に2081～2100年の予測を行った研究によれば、降水頻度の減少による濡れの低下と降水強度の増加による病菌の流出により、感染リスクが低下するとする研究もある。¹¹⁶⁰³⁵⁾

(雑草)

コヒメビエについては、日長に対する出穂反応や、種子の低温耐性などから気温上昇による定着可能域の拡大が予測されている。¹¹⁶⁰¹⁶⁾ 帰化アサガオ類の出芽、開花、結実時期の生態特性をもとに、気温上昇時の分布拡大を推定した研究によれば、2℃の気温上昇でマメアサガオ、ホシアサガオ、アメリカアサガオは北海道南部まで拡大する。また、2031年にはアメリカアサガオが北海道南部からやや北に分布拡大する（SRES A1Bシナリオを前提としたMIROC-Hモデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁶⁰⁰⁶⁾ 帰化雑草イガホビユの発芽条件（20℃を超える日）に基づき北海道での発生日数を調べた研究によれば、21世紀中頃（2031～2050年）から21世紀末（2081～2100年）にかけて20℃を超える日が増加、早期化するため、畑作物の播種後の発生被害の拡大が示唆されている（RCP4.5シナリオを前提としたMIROC5モデルの気候予測情報を使用）。¹¹⁶⁰⁰⁶⁾ 北海道東部の沿岸地域及び十勝地域の中中部では、バレイショの雑草化に影響する土壌凍結深度の減少が予測されている。¹¹⁶⁰³⁶⁾

(かび毒)

世界全体では気候変動によるマイコトキシン汚染の深刻化に伴う食料の安全性の低下が懸念されている。¹¹⁶⁰³⁷⁾ 国内では、温暖化による土壌中でのアフラトキシン産生菌の生息密度の上昇が懸念されている。¹¹⁶⁰³⁸⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

害虫では分布域の北上・拡大、発生量の増加が既に生じており、同様の傾向が予測されていることから、害虫被害の増加あるいは発生地域の拡大、防除のための労力の増大が懸念される。病害では、高温による被害の甚大化や気温上昇による発生地域の北上が生じているほか、将来では気温上昇による被害の増大が予測されている事例もある。雑草では、気温上昇が分布拡大に寄与しているとする研究事例があるほか、将来においても分布拡大や発生増加を予測する研究事例がある。病虫害雑草の分布域や発生量の増加は、作物の収量・品質に影響が及び、かつ農薬をはじめとする様々な防除手段を講じる必要があるため、直接的・間接的に、農家の収入低下等の経済的損失につながる可能性がある。また、土壌に生息し強い発がん性を示すかび毒（アフラトキシン）の産生菌の分布に気温が関与しているという知見も得られており、今後の生息密度の上昇が懸念される。

● 緊急性：【評価】高い

害虫では既にミナミアオカメムシの分布域の拡大が確認されている。オオタバコガの分布域の拡大、一部の地域におけるフタテンチビヨコバイの発生の増加も温暖化が関係していると考えられている。気温上昇との関連は明確ではないが、分布域が拡大している侵入・難防除病虫害・雑草は増加しており、侵入警戒・防除対策は重要である。

● 確信度：【評価】高い

害虫ではモデル予測や飼育実験にもとづく研究が増加しており、水稻、野菜・花き、果樹、飼料用作物等の害虫で個体数・年間発生世代数の増加などが予測されている。雑草では、モデル予測にもとづく研究は少数であるが、帰化アサガオ類の分布拡大や、一部の地域で帰化雑草イガホビユの発生日数の増加が予測されている。

(7) 農業生産基盤

※農業生産基盤：農地、農業用水、土地改良施設（ダム、頭首工、農業用排水路等）

（気候変動による影響の要因）

ここでは、主に降水の時空間分布の変化に伴う農業生産基盤（農地、農業用水、農業水利施設等）への影響を扱う。

- 降水の時空間分布の変化は、渇水による水資源の不足や、融雪の早期化等を引き起こし、用水路等の農業水利施設における取水に影響を及ぼす。
- 降雨強度の増加、降雨強度の増加に伴う洪水氾濫、地下水供給、あるいは高潮や高波の発生増加は、低標高の水田で湛水時間が長くなる、斜面災害が多発するなど、農地被害のリスクを増加させる可能性がある。また、農業水利施設を管理する労力や、ため池の水位が設定された洪水位を超過する可能性が高まる可能性がある。

（現在の状況）

〔概要〕

- 農業生産基盤に影響を及ぼしうる降水の時空間分布の変化について、1901～2000年の最大3日連続降雨量の解析では、短期間にまとめて強く降る傾向が増加し、特に、四国や九州南部でその傾向が強くなっている。
- また、年降水量の10年移動変動係数をとると、移動平均は年々大きくなり、南に向かうほど増加傾向は大きくなっている。
- 全国のため池管理では、少雨（少雪）の頻度が増加したことにより、貯水量が十分に回復しなかった、受益地で用水不足が生じたといった問題が発生している。さらに、全国の排水機場管理に関しては、大雨・洪水により年間のポンプ運転時間が増大・拡大しているといった変化が生じている。
- コメの品質低下などの高温障害が見られており、その対応として、田植え時期や用水時期の変更、掛け流し灌漑の実施等、水資源の利用方法に影響が生じている。

農業生産基盤に影響を及ぼしうる降水の時空間分布について、1901～2000年の気象庁における日単位の降水量観測値の解析では、年降水量は減少傾向を示す地点が多いが、最大3日連続降雨量の解析では、短期間にまとめて強く降る傾向が増加し、特に、四国や九州南部でその傾向が強いとされている。¹¹⁷⁰⁰¹⁾ また、1875年以降の年降水量データを用いて、北海道から沖縄まで12地域に分け、年降水量の10年移動変動係数をとると、移動平均は年々大きくなり、南に向かうほど増加傾向は大きくなっている。このことは、多雨年と渇水年が頻繁にかつ大きな強度で起こることを意味している。¹¹⁷⁰⁰²⁾

このような雨の降り方の変化が、全国のため池及び排水機場の管理に及ぼす影響を把握するた

めアンケート調査が実施され、有識者による評価が行われた。2011年に実施された全国約1,500のため池管理者への調査では、少雨(少雪)の頻度が増加したことによるため池への影響として、約1割の管理者が「初夏から梅雨にかけて雨が少なく、貯水量が十分回復しなかった」、「受益地で用水不足が生じた(通常の水利用ができなかった)」と回答した。¹¹⁷⁰⁰³⁾また、2012年に実施された全国56の排水機場管理者への調査では、最近5年間の大雨・洪水による影響や被害の程度について10年前との比較を質問したところ、約7割の管理者が「年間のポンプ運転時間が増加」と回答した。¹¹⁷⁰⁰⁴⁾

また、高温による水稻の品質低下¹¹⁷⁰⁰⁵⁾などの影響が発生しており、その対応として、田植え時期や用水時期の変更^{117006, 117007)}、掛け流し灌漑^{117008, 117009)}が、実施されるなど、水資源の利用方法に影響が生じている。また、水温に関する影響の調査¹¹⁷⁰¹⁰⁾も行われている。

(将来予測される影響)

[概要]

- 水資源の不足、融雪の早期化等による農業生産基盤への影響については、気温上昇により融雪流出量が減少し、用水路等の農業水利施設における取水に影響を与えることが予測されている。具体的には、今世紀末の代かき期において北日本(東北、北陸地域)ではRCP2.6シナリオでも利用可能な水量が減少し、RCP8.5シナリオではこれらに加えて西日本(近畿、中国地域)や北海道でも利用可能な水量が減少すると予測されている。一方、梅雨期や台風期にあたる6~10月では、全国的に洪水リスクが増加すると予測されている。
- 降雨強度の増加による洪水の農業生産基盤への影響については、低標高の水田で湛水時間が長くなることで農地被害のリスクが増加することが、将来の大雨特性の不確実性も踏まえた上で予測されている。
- 全国を対象として、気候変動による中長期的な降水変化がため池に及ぼす影響を分析した結果、RCP2.6、RCP8.5の両シナリオにおいて、大雨注意報の発表回数が21世紀末に増加するため、ため池管理にかかる労力が増加すると予測されている。また、RCP2.6、RCP8.5の両シナリオにおいて、21世紀末では大雨時のため池水位が設定された洪水位を超過する可能性が増加すると予測されている。

将来の渇水と洪水が全国の農業水利用に及ぼす影響について、地域の自然条件、農業水利用の多様性を考慮して、CMIP5の5つの気候モデルから出力された11通りの気候シナリオと分布型水循環モデルを用いて評価した研究では、今世紀末(2081-2100年)の代かき期において北日本(東北、北陸地域)ではRCP2.6シナリオでも利用可能な水量が減少し、RCP8.5シナリオではこれらに加えて西日本(近畿、中国地域)や北海道でも利用可能な水量が減少すると予測されている。一方、梅雨期や台風期にあたる6~10月では、全国的に洪水リスクが増加し、その程度は将来のCO₂濃度が高くなるほど増加する(RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5シナリオを前提としたMIROC5, CSIRO-

Mk3-6-0, HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用)。^{117011, 117012)} また、RCM20 による積雪メッシュデータの現在と将来 (2081~2100 年) を比較した研究 (A2 シナリオを使用) では、日本全国で積雪メッシュ数が 50%減少するとされており、融雪の早期化や融雪水の減少により、ダム流域の融雪流入量が減少し、農業用水に大きな影響を与える可能性があるとしている。¹¹⁷⁰¹³⁾ 加えて、代かき期など水の需要期に河川流量が減少し、従来の水利用パターンとのミスマッチが発生するとの報告もある。¹¹⁷⁰¹⁴⁾

このような水資源の不足、融雪の早期化などによる農業生産基盤への影響として、気候モデル (GCM) と分布型水循環モデルを用いて灌漑に与える影響を評価した研究では、気温上昇により融雪流出量が減少し、頭首工²⁷⁾ における取水に影響を与えることが予測されている (文献 117015 は A1B シナリオを前提とした MIROC3.2-hires モデルによる気候予測情報を使用。)^{117015, 117016)}

一方で、将来的に大雨規模は増大する傾向にあり、10 年確率 3 日雨量が最大 50~60mm 程度増加するとの予測¹¹⁷⁰¹⁷⁾ や、堤防護岸相当の降雨強度の発生確率が、現状の 29 年確率 (中央集中型) から 8 年確率相当に変化するとの予測¹¹⁷⁰¹⁸⁾ もある。このような降雨強度の増加による洪水の農業生産基盤への影響については、大雨の増加と排水の解析とを踏まえた予測において、低標高の水田で湛水時間が長くなることで、農地被害のリスクが増加するとされている (文献 117019 は A1B シナリオを前提とした MIROC3.2-hires モデルによる気候予測情報、及び A2 シナリオを前提とした CGCM2 による GCM 実験出力を境界条件に RCM20 によりダウンスケールした気候予測情報を使用。文献 117020 は A1B シナリオを前提とした MIROC3.2-hires モデルによる気候予測情報を使用。)^{117017, 117019, 117020)}

低標高地への影響として、例えば、石川県加賀三湖地区では、将来の大雨の発生頻度と雨量規模の増大により、今世紀中頃 (2046-2065 年) では排水施設 (排水路、排水機場等) の容量が不足する恐れがあるとする研究がある (MIROC_3.2hire モデルによる気候予測情報を使用。)¹¹⁷⁰²¹⁾ 加えて、同地域において、複数の気候シナリオの大雨特性の違いを不確実性として考慮した確率雨量の推定分布を作成し、水田の浸水被害のリスク評価に用いた結果、水稻減収で表される水田被害リスクが増大すると予測された。^{117022, 117023)}

さらに、極端な降雨の頻度や強度の増加に伴う地すべり等の斜面災害の多発¹¹⁷⁰²⁵⁾ による農地への影響や、気候変動により台風勢力が増大した場合の河口低平農地における高潮災害の危険性の増加¹¹⁷⁰²⁶⁾ が懸念される。

そのほか、全国を対象として、気候変動による中長期的な降水変化がため池に及ぼす影響を分析した事例において、RCP8.5 シナリオでは現在から 21 世紀半ば、21 世紀末にかけて大雨注意報の発表回数が大きく増加し、RCP2.6 シナリオでも 21 世紀半ばに一旦発表回数が減少するものの、21 世紀末には現在よりも増加するため、ため池管理にかかる労力が増加すると予測された。また、ため池簡易解析モデルを用いて、大雨時のため池水位が設定された洪水位を超過する可能性について評価した結果、RCP2.6 シナリオでは今世紀半ばに洪水位超過可能性が減少する地域が多いものの、21 世紀末には RCP2.6 シナリオでも増加し、RCP8.5 シナリオで増加率が大きくなると予測された (MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用。)¹¹⁷⁰²⁷⁾ 北九州市を対象として、確率降水

²⁷⁾ 頭首工: 河川から必要な農業用水を用水路に引き入れる目的で設置する施設の総称。

量²⁸の増加が堤頂上流端を越流するため池箇所数に及ぼす影響を予測した調査によると、21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）には現在よりも 4 割増加すると予測されている。¹¹⁷⁰²⁸⁾

また、気候変動に関して、水田稲作等への被害として捉えるだけでなく、水田の貯留機能を流域の洪水被害を緩和するプラスの効果として評価する例もある。^{117016, 117029)}

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

流量等の両極端現象について大きな増大が予測される。全国的に影響が及ぶが、代かき期では特に融雪を水資源とする地域に大きな影響が及び、流量の減少とともに融雪時期の変化は水田の管理に多大な影響を及ぼす。また梅雨期や台風期では、降雨強度の増加に伴い全国的な洪水リスクの増加が予測されている。水不足は農業用水に影響を与える可能性があり、一方で、大雨の発生頻度と雨量規模の増大は低平地の排水不良、土壌侵食、農業水利施設の管理などに影響を与える可能性がある。いずれも社会的経済的影響が大きい。すなわち、洪水や渇水といった両極端現象の発生頻度増大に注目していくことが重要となる。

- 緊急性：【評価】高い

全国的な気象現象の変化により、多雨年や渇水年が頻繁に発生していると同時に、短時間で降る極端な降水の頻度及び強度が増加している。大雨・洪水による排水機場への影響や、少雨によるため池での用水不足が既に生じている。また、高温障害によるコメなどの品質の低下への対応等により、水資源の利用に影響が生じている。近未来（2015～2039 年など）から 21 世紀末にかけて農業生産基盤に対して各種の影響が予測されている。

- 確信度：【評価】高い

研究・報告数は、気候モデルを用い、その結果を流出計算により定量的に評価した文献が比較的多くあり、流出計算により定量的評価を行っている文献でも、洪水面、渇水面の予測の結果はほぼ整合している。更に発展させ、複数の気候モデルや気候シナリオを用いて、気候モデルや降雨特性の不確実性を踏まえた研究も増えている。農業水利用への影響評価法の開発やそれによる全国的な将来予測の結果も示されていることから、確信度は高いと判断できる。

²⁸ 確率降水量：大雨の対策を立てるために、過去の降水量の観測データから 50 年、100 年といった長い期間に 1 回といった稀な大雨はどれくらいの降水量かを統計的に推定した値。

(8) 食料需給

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇による主要輸出国²⁹における主要穀物（小麦、大豆、トウモロコシ、コム）の収量の変化やそれに伴う国内穀物価格の変化等を扱う。輸出国における食料等の原材料の影響が、国内の製造業等に与える影響については、産業・経済活動分野のその他（海外影響）で扱う。

- 気温の上昇は、主要穀物など国際的に取引される作物の収量の減少や不安定化（年々変動の増大や複数の生産地域での同時不作）を引き起こす可能性がある。
- 作物の収量減少・不安定化は、国際市場への供給量の低下や価格の上昇をもたらす可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 主要穀物（小麦、大豆、トウモロコシ、コム）を中心に、世界各地で気候変動による収量等への影響が報告されている。暑熱と気温上昇に伴う潜在蒸発散量の増加により、特に低緯度地域で収量が減少していることや、CO₂濃度の上昇による施肥効果と播種日の移動など簡易な対応策を考慮しても、気候変動により世界全体での平均収量が減少していること等が報告されている。
- 既に世界的にさまざまな段階の適応が進んでいる。播種日の移動や品種の変更といった栽培管理を変更する比較的簡易な対応だけでなく、栽培する作物の変更や栽培地域の移動などより大掛かりな対応も見られる。
- 穀物収量の減少が社会・経済に影響を及ぼした近年の事例として、オーストラリアでの干ばつなど異常気象による世界的な減産が2006～2008年の穀物価格高騰の一因になったこと、2010年のロシアの熱波と干ばつによる小麦の供給不足が中東や北アフリカで暴動を引き起こしたこと、2012年の米国の高温・乾燥による減産でトウモロコシや大豆の国際価格が史上最高値を更新したことなどが報告されている。また、1983～2009年の27年間では主要穀物の栽培面積の4分の3が干ばつによる被害を受けたことがあり、収量減少による被害額を推計した研究もある。
- 気候の年々変動（気候システムの自然変動）が穀物の収量変動の主要因だが、人為的な気候変動により、気候システムの年々変動が変調してきており、一部の地域では干ばつの深刻化を通じて作物生産に影響を与えているとする研究がある。

小麦、大豆、トウモロコシ、コムを中心に世界各地で気候変動による収量等への影響が報告されている。暑熱と気温上昇に伴う潜在蒸発散量の増加により世界全体で収量が減少していること

²⁹ 主要輸出国：本報告書では、日本への輸出量が多い国を指す。

¹¹⁸⁰⁰¹⁾、CO₂濃度の上昇による施肥効果と播種日の移動など簡易な対応策を考慮しても、気候変動により世界全体での平均収量が減少していること¹¹⁸⁰⁰²⁾等が報告されている。

コメに関しては、世界全体で見れば気候変動による影響は比較的小さいとする研究¹¹⁸⁰⁰²⁾、¹¹⁸⁰⁰¹⁾がある。ただし、影響は地域的に大きく異なり、フィリピンでは乾季の生育期間の最低気温が既に約1℃上昇し、収量が10%減少したとする研究¹¹⁸⁰⁰³⁾もある。

既に観測されている気候変動に対して世界的にさまざまな段階の適応が進んでいる。播種日の移動や品種の変更といった栽培管理を変更する比較的簡易な対応だけでなく、栽培する作物の変更や栽培地域の移動などより大掛かりな対応も見られる。¹¹⁸⁰⁰⁴⁾開発途上国では、農業以外の収入源を確保するなどの対応も見られる。¹¹⁸⁰⁰⁵⁾

収量の減少が社会・経済に影響を及ぼした近年の事例として、オーストラリアでの干ばつなど異常気象による世界的な減産が2006～2008年の穀物価格高騰の一因になったこと、2010年のロシアの熱波と干ばつによる小麦の供給不足が中東や北アフリカで暴動を引き起こしたこと、2012年の米国の高温・乾燥による減産でトウモロコシや大豆の国際価格が史上最高値を更新したことなどが報告されている。¹¹⁸⁰⁰⁶⁾、¹¹⁸⁰⁰⁷⁾ 1983～2009年の27年間では世界の主要穀物（トウモロコシ、コメ、ダイズ、コムギ）の栽培面積の4分の3（4億5千万ha）が干ばつによる被害を受けたことがあり、収量減少による被害額を1,660億米ドルと推計する研究¹¹⁸⁰⁰⁸⁾もある。さらに、気候の年々変動が穀物の収量変動の32～39%（主要穀倉地帯では60%以上）に寄与しているとする研究¹¹⁸⁰⁰⁹⁾がある。これらの気候の年々変動は気候システムの自然変動だが、人為的な気候変動により、気候システムの年々変動が変調してきており、干ばつの深刻化を通じてアフリカ南部の作物生産に影響を与えているとする研究がある。¹¹⁸⁰¹⁰⁾

（将来予測される影響）

- 世界全体では、予測される将来の気温上昇はコメ、小麦、大豆、トウモロコシの収量を減少させることが多数の文献を調査した研究で確認されている。一方で、予測される気候変動の収量影響は地域や作物、想定するCO₂濃度、適応策の有無で異なる。
- コメ、コムギ、ダイズ、トウモロコシの主要生産国・輸出国の収量予測結果は下記のとおりである。
 - コメについて、RCP4.5シナリオでは13の主要生産国で2080～2089年に平均収量の減少が予測されている。主要輸出国であるタイでは、RCP8.5シナリオにおいて高い脆弱性が指摘されている。
 - 小麦について、主要輸出国である米国では、RCP8.5シナリオの場合、2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して70%減少すると予測されている。豪州では、RCP4.5シナリオ及びRCP8.5シナリオでは、2050年代では播種日の変更、品種選択の適応策の実施により収量増加が期待できる一方、RCP8.5シナリオでは、2090年代に栽培適地の減少による収量減少のほうがCO₂濃度の上昇や適応策の効果を上回ることが危惧されている。

- 大豆について、主要輸出国である米国では、RCP8.5 シナリオの場合、2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して70%減少すると予測されている。カナダでは、気温上昇による栽培期間の短縮、2041～2070年における収量の微増、RCP8.5 シナリオでは2071～2100年における減少が予測されている。ブラジルでは、RCP8.5 シナリオの場合、雨季の短縮により、2031～2050年には2013～2030年と比較して二毛作に適した農地が10%減少すると予測されている。
- トウモロコシについて、主要輸出国である米国では、2021～2050年の収量が1970～1999年と比較して20～50%、RCP8.5 シナリオの場合2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して71%減少すると予測されている。また、RCP4.5 シナリオ、RCP8.5 シナリオでは2085～2094年において乾燥により米国中西部での減収量が大きくなることも予測されている。

世界全体では気温上昇はコメ、小麦、大豆、トウモロコシの収量を減少させることが多数の文献を調査した研究で確認されている。^{118011, 118012)} また、適応費用と、適応が不可能となる生産被害額との合計や、その合計額のうち適応が不可能となる生産被害額が占める割合が気温上昇と共に増加することが予測されている（各 RCP シナリオに基づいた CMIP5 の気候モデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁸⁰¹³⁾ 一方で、予測される気候変動の収量影響は地域や作物、想定する CO₂ 濃度、適応策の有無で異なる。¹¹⁸⁰¹⁴⁾ 例えば、小麦及びトウモロコシでは高緯度地域で収量の増加、低緯度地域で収量の減少、コメ及び大豆では中・高緯度地域で収量の増加が予測されている（気候モデル間での整合性は小麦、トウモロコシよりも低い）（CMIP5 の気候モデルによる予測情報を使用）。¹¹⁸⁰¹⁵⁾ また、大豆、トウモロコシでは生産地の北上が予測されている¹¹⁸⁰¹⁶⁾ ほか、トウモロコシについては複数の主要生産・輸出国での同時不作の可能性が気候変動で高まるとする研究がある。¹¹⁸⁰¹⁷⁾ なお、小麦のタンパク含有量や米の外観品質は気候変動で低下する可能性が高いと予測されるが、収量の低下を抑制するための適応策と穀物品質の低下を抑制するための適応策は必ずしも一致しない可能性があるため、注意が必要である。

コメについて、RCP4.5 シナリオでは13の主要生産国で2080～2089年に平均収量の減少が予測されている。^{118018, 118019)} そのうち主要輸出国であるタイでは、RCP8.5 シナリオにおいて高い脆弱性が指摘されている。（CMIP5 の26の気候モデルの気候予測情報を使用）。¹¹⁸⁰²⁰⁾

小麦について、主要輸出国である米国では、気温上昇、降水量変化により2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して平均で70%減少すると予測されている（RCP8.5 シナリオを前提とした HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用。6つの生育モデルによる予測結果の平均値。）。¹¹⁸⁰²¹⁾ 一方カナダでは、気温上昇、降水量変化、CO₂ 濃度上昇により、2041～2070年の収量が1971～2000年と比較して26～37%増加すると予測されている（SRES A2 シナリオを前提とした CRCM, CRCMwG, CGCM3WG 等の8つのモデルによる気候予測情報を使用）。¹¹⁸⁰²²⁾ 豪州では、RCP4.5 シナリオ、RCP8.5 シナリオにおいて、2050年代では播種日の変更、品種選択の適応策の実施により収量増加が期待できる一方、RCP8.5 シナリオでは、2090年代に栽培適地の減少による収量減少のほうがCO₂ 濃度の上昇や適応策の効果を上回ることが危惧されている（BCC-CSM1.1, CCSM4, CESM1 (BCG)等の12

のモデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁸⁰²³⁾

大豆について、主要輸出国である米国では、気温上昇、降水量変化により 2067～2099 年の収量が 1981～2004 年と比較して平均で 70%減少すると予測されている (RCP8.5 シナリオを前提とした HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用。6 つの生育モデルによる予測結果の平均値。)¹¹⁸⁰²¹⁾ また、RCP4.5 シナリオ、RCP8.5 シナリオでは 2085～2094 年において乾燥により米国中西部での減少量が大きくなることも予測されている (CCSM4, GFDL-ESG2G, HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁸⁰²⁴⁾ カナダでは、気温上昇による栽培期間の短縮、2041～2070 年における収量の微増、RCP8.5 シナリオでの 2071～2100 年における減少が予測されている (CanRCM4 モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁸⁰²⁵⁾ ブラジルでは雨季の短縮により、2031～2050 年には 2013～2030 年と比較して二毛作に適した農地が 10%減少すると予測されている (RCP8.5 シナリオを前提とした HadGEM2ES モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁸⁰²⁶⁾

トウモロコシについて、主要輸出国である米国では、2021～2050 年の収量が 1970～1999 年と比較して 20～50%¹¹⁸⁰²⁷⁾、2067～2099 年の収量が 1981～2004 年と比較して 71%減少する¹¹⁸⁰²¹⁾と予測されている (118027 : RCP2.6 シナリオ、RCP4.5 シナリオ、RC6.0 シナリオ、RCP8.5 シナリオを前提とした access1-0, bcc-csm1-1, canesm2 等 合計 31 の気候モデル (97 の気候シナリオ) を使用、118021 : RCP8.5 シナリオを前提とした HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用。6 つの生育モデルによる予測結果の平均値。)。また、RCP4.5 シナリオ、RCP8.5 シナリオでは 2085～2094 年において乾燥により米国中西部での減収量が大きくなることも予測されている (CCSM4, GFDL-ESG2G, HadGEM2-ES モデルによる気候予測情報を使用)。¹¹⁸⁰²⁸⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

【観点】社会／経済

主要穀物 (コメ、小麦、大豆、トウモロコシ) について、世界全体では、気候変動がなかった場合に比べて、気温上昇による収量低下が生じており、今後も気候変動が進行すれば、収量低下が大きくなると予測されている。しかしながら、気候変動と同時に栽培技術の進歩が同時に進んでいるため、気候変動の影響は、収量の正味の低下ではなく、収量増加の鈍化として顕在化すると見込まれる。人口増加に伴って食料需要が逼迫傾向にある場合、作物の収量減少は国際市場への供給量の低下を通じて価格を上昇させる可能性があり、食品原材料や飼料原料としてコムギやダイズ、トウモロコシの国内消費量の 8～9 割を輸入している我が国への影響は大きいと想定される。ただし、国内の生産力を強化する、輸入先を変更・分散する等の対策を講じることにより、影響を低減することは可能であると考えられる。

- 緊急性：【評価】中程度

異常気象による穀物の収量低下やそれに伴う穀物価格の高騰の事例がある。また 21 世紀中頃では主要輸出国での収量減少 (高緯度地域など一部では収量増加) が予測されている。コメを除く穀物の自給率 (重量ベース) が低い我が国では、今後、国内生産力の強化や輸入国の変更・分散

等の検討が必要となる可能性がある。

- 確信度：【評価】 高い

主要穀物の収量や栽培適地の変化等について、将来気候シナリオを用いた全球レベル及び主要生産国の予測研究が多数ある。地域間差や作物間差はあるものの、気候変動の進行に伴い世界の平均収量は低下するとの将来見通しは複数の研究事例で概ね一致している。

【林業】

(9) 木材生産(人工林等)

(気候変動による影響の要因)

ここでは林業の観点から、主に気温の上昇や CO₂ 濃度の上昇に伴うスギやヒノキ等の人工林の成長、林業害虫や風害を扱う。一部重複する内容もあるが、自然生態系分野の陸域生態系（人工林）では主に人工林の生産量の変化や生育適地の変化を扱う。

- 気温の上昇は、大気の乾燥化等を通して、スギ人工林の成長に影響を及ぼすことが想定される。
- 気温や CO₂ 濃度の上昇は、人工林の純一次生産に影響することが想定される。
- 気温の上昇は、病虫害の分布の拡大や害虫の発生世代数の増加を生じさせ、人工林への被害が拡大することが想定される。
- 気候変動により強い台風が増加すると予想されており、人工林の風害の増加が懸念される。

(現在の状況)

〔概要〕

- 一部の地域で、スギの衰退現象が報告されており、その要因に大気の乾燥化による水ストレスの増大を挙げる研究報告例もある。ただし、大気の乾燥化あるいはそれによるスギの水ストレスの増大が、気候変動による気温の上昇あるいは無降雨の発生頻度の増加に伴う土壌の乾燥によって生じているか明確な証拠はない。スギの衰退と土壌の乾燥しやすさとの関連も明らかではない。
- 気温が高いとマツ材線虫病被害の危険度が高くなることや、マツ材線虫病の分布北限地で被害の分布北限が拡大していることが報告されている。ただし、気温以外の要因もマツ材線虫病被害に影響を与えうるので慎重な検証が必要である。
- 人工林における風害が増加しているかどうかについては、研究事例が限定的であるため、現時点では必ずしも明らかでない。一方で、林木が過密な状態で成長した場合や、強雨によって土壌へ大量の水が供給された場合に、強風に対する力学的抵抗性が減少することが示されている。

関東地方の平野部あるいは瀬戸内地域では、スギの衰退現象が報告されているが^{121001, 121002, 121003}、これは大気の乾燥化による水ストレスの増大が原因であると指摘する論文がある。¹²¹⁰⁰⁴ スギの衰退が報告されている地域と蒸散降水比（年蒸散量と年降水量の比）が高い地域とが概ね対応していたことから、蒸散量と降水量がスギの衰退と関連している可能性がある。¹²¹⁰⁰⁵ しかし、大気の乾燥化あるいはそれによるスギの水ストレスの増大が、温暖化あるいは無降雨の発生頻度の増加に伴う土壌の乾燥によって生じているかについては明確な証拠はない。スギの衰退現象が報告されている地域（三河、瀬戸内）には土壌保水力が低い土壌が分布していたが、一方で、同

じくスギの衰退が報告されている関東地方の土壌保水力は高かった。¹²¹⁰⁰⁵⁾また、スギ人工林において5月から4ヶ月間、樹液流速、飽差、土壌水分を観測した調査では、スギ成木の蒸散量は主に飽差によって決まり、土壌水分の影響を受けていなかったという報告もある。¹²¹⁰⁰⁶⁾そのため、スギの衰退と土壌の乾燥のしやすさとの関連は明らかでなく、スギの衰退が乾燥化によるものであるとは明確には言えない。また、スギの衰退は大気汚染や土壌物理性等の乾燥化以外の要因であるとする論文もあり^{121001, 121003)}、慎重な検証が必要である。

人工林の成長量の変化については様々な推定が行われているが、日本では気候変動の影響が顕著でなく、樹木種や場所、林齢などにより異なる結果が得られており、データの蓄積が必要である。^{121007, 121008)}

気温が高いとマツ材線虫病被害の危域度が高くなるという報告がある。¹²¹⁰⁰⁹⁾マツ材線虫病の分布北限地である東北地域において、マツ材線虫病による枯死木の分布北限が拡大しているとの報告もある。¹²¹⁰¹⁰⁾ただし、気温以外の要因もマツ材線虫病の被害に影響を与えうるので、現状影響に関しても慎重な検証が必要である。

全国の人工林の風害被害面積の合計値からは台風等による風害が増加しているとは言えない¹²¹⁰¹¹⁾とする論文と、大分県のある地域では台風による風害の被害確率は1991年から2007年の間に上昇傾向にあった¹²¹⁰¹²⁾とする論文があり、台風の強度の増加による人工林の風害の増加は必ずしも明らかでない。

一方で、人工林での強風・強雨による被害の要因や発生メカニズムに関する研究が進められている。北海道中央部の針葉樹人工林で生じた風倒被害では、樹形（形状比、樹冠の大きさ）と風倒抵抗性に関係があること¹²¹⁰¹³⁾、静岡県で生じたヒノキ人工林の風害では、樹冠面積と胸高直径との比と個体の耐風性との間に関係があること¹²¹⁰¹⁴⁾が報告されている。また、台風の強雨を再現してヒノキの風に対する力学抵抗性を調べた実験では、土壌に急速に供給される水はヒノキの根返り抵抗性を減少させることが示されている。¹²¹⁰¹⁵⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 気温が現在より3℃上昇すると、蒸散量が増加し、特に年降水量の少ない地域でスギ人工林の脆弱性が増加する可能性を指摘する研究事例がある。
- その他、ヒノキの苗木について、気温の上昇によるバイオマス成長量の増加は明らかではないとの研究事例や、3℃の気温上昇はアカマツ苗の成長を抑制させるとの研究事例がある。
- 森林の光合成や蒸発散、有機物分解過程を数式化したプロセスモデルを用いてスギ人工林の純一次生産量を推定する研究が進められている。2050年までに年平均0.9℃上昇する場合には、九州地方のスギ人工林で純一次生産量が低下するという研究事例がある。一方、2100年までに世界平均で4.5℃気温が上昇する場合には、九州地方の広範囲でス

ギ人工林の純一次生産量が増加するという試算結果もある。

- カラマツ人工林で実施された林床部炭素フラックス(土壌呼吸、微生物呼吸、林床植生による光合成等)の観測調査では、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加した。気温上昇により林床部の地温が上昇した場合、カラマツ人工林から排出される二酸化炭素排出量が増加する可能性がある。
- マツ材線虫病発生危険域、トドマツオオアブラムシによる被害、南根腐れ病菌の分布が拡大すると予測する研究事例がある。また、ヤツバキクイムシの世代数増加によりトウヒ類の枯損被害が増加するとの研究事例、スギカミキリの世代数増加を予測する研究事例がある。
- 高齢林化が進むスギ・ヒノキ人工林における風害の増加が懸念される。

現気候下では、葉量が 1ha あたり 2×10^4 kg の仮想スギ林の蒸散量が北日本で年間 450mm、南日本で同じく 850mm と推定されている。これと同じ仮想スギ林について気温が現在より 3°C 上昇した場合のシミュレーションを行ったところ、蒸散量が年間 65~100mm 増加すると推定された。¹²¹⁰¹⁶ 降水量が現在と同様であると仮定すると、水環境の指標である蒸散降水比(年蒸散量/年降水量)は 3°C の気温上昇で現在よりも増加し、特に年降水量が少ない地域で、スギ人工林の脆弱性を増加させる懸念があるとする論文がある。¹²¹⁰¹⁶ 2081~2100 年の蒸散降水比の分布を温暖化シナリオ(気象庁・気象研究所開発による気候統一シナリオ第 2 版)に基づいて作成すると、地域により蒸散降水比の上昇や下降が見られるが、関東地方では概して蒸散降水比が上昇し、この地域でのスギ衰退が懸念されるとする論文がある。¹²¹⁰⁰⁵ ただし、これらについては、大気 CO_2 濃度の上昇の影響が考慮されていないため、温暖化・乾燥化によるスギの衰退についての正確な予測のためには今後さらに研究を進めていく必要がある。

間伐や伐採、再造林等の林業活動が現状と同じと仮定してシミュレーションを行った結果、気候シナリオデータ(A1B シナリオ³⁰を前提とした MIROC3.2-hires モデルによる気候予測情報を使用)を用いた場合(温暖化)に、平年値を用いた場合(現状)よりも日本のスギ人工林の炭素蓄積量及び炭素吸収量が低くなったという論文がある。¹²¹⁰¹⁷ ただし、大気 CO_2 濃度の上昇の影響は考慮されていない。

また、森林の光合成や蒸発散、有機物分解過程を数式化したプロセスモデルを用いて、2050 年の九州(高山帯を除く)のスギ人工林の純一次生産量を推定した結果、気温上昇に伴う呼吸量の増加によりスギ人工林の純一次生産量は低下することが示唆されている(2050 年までに対象地域において年平均 0.9°C の気温上昇を想定した MIROC-h3.2 モデルによる気候予測情報、3PG プロセスモデルを使用)。¹²¹⁰¹⁸ 一方、スギ人工林の観測データを用いてプロセスモデルのパラメータを最適化し、2071~2100 年の九州のスギ人工林の純一次生産量を推定・地図化した研究では、純一次生産量は広範囲で上昇するが、現時点で純一次生産量が高い水準にある地域では必ずしも温暖化による純一次生産量の上昇は見込めないことが示されている(2100 年までに世界平均で 4.5°C の

³⁰ シナリオの概要については、P390 以降の『(参考)気候予測に用いられている各シナリオの概要』を参照。

気温上昇を想定した MIROC5 モデルによる気候予測情報、Biome-BGC プロセスモデルを使用)。¹²¹⁰¹⁹⁾ スギは本来の適地でない高標高地域や寒冷な地域にも植林されてきた経緯があり、気温の上昇による生産量の変化にはこのような植栽環境の違いも踏まえるなど、温暖化によるスギ人工林の生産量の正確な予測のためには、今後さらに研究を進めていく必要がある。

外気温に追従させて+1.0℃、+2.0℃、+3.0℃で制御した人工気象室でヒノキの苗木を栽培したところ、どの温度上昇区でもバイオマス成長量の増加は明らかでなかったという論文がある。¹²¹⁰²⁰⁾ また、秋季に外気温に追従させて+3℃で制御した人工気象室で当年生アカマツ苗を栽培した実験では、アカマツ苗の成長が抑制された。¹²¹⁰²¹⁾ ただし、これらについては実験室内での結果であるため、温度上昇に対するヒノキやアカマツの成長応答の正確な予測のためには今後さらに研究を進めていく必要がある。

富士北麓のカラマツ人工林において、8年間行われた林床部炭素フラックス(土壌呼吸、微生物呼吸、林床植生による光合成等)の観測調査では、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加し、林床部の呼吸量には地温が強く影響することが示された。気温上昇により林床部の地温が上昇した場合、カラマツ人工林から排出される二酸化炭素排出量が増加する可能性がある。¹²¹⁰²²⁾

マツ材線虫病に感受性のある世界のマツ 21 種の天然分布域を対象として、マツ材線虫病の発生危険地域を推定した結果、RCP2.6 シナリオでは 2050～2070 年の期間での危険地域の拡大は少ないが、RCP8.5 シナリオでは危険地域の面積の拡大が大きいと推定されたものの、東アジア地域に関しては RCP シナリオ間で危険地域の拡大の程度は大きく変わらないと推定された(RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 を前提とした GFDL-CM3, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, NorESM1-M モデルによる気候予測情報を使用)。¹²¹⁰²³⁾ 一方、国内を対象として、現在のマツ枯れ発生地点と気温、降水の条件の関係をもとにマツ枯れ発生危険域を予測するモデルを作成した研究によると、気温上昇に伴い、近未来(2026～2050年)では RCP2.6 シナリオでも危険域が北海道まで拡大すること、全国で危険が高いと判定されたエリアは現在(1981～2000年)よりも 15%(RCP2.6 シナリオ)～58.6%(RCP8.5 シナリオ)増加することが予測されている(CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用)。¹²¹⁰²⁴⁾

北海道におけるヤツバキクイムシの平均世代数³¹⁾が、2001～2010年には 1.8であったものが 2041～2050年には 2.0に、2091～2100年には 2.4に増加するという予測結果を得たとする論文がある(A1B シナリオを前提とした MIROC3.2-hires モデルによる気候予測情報を使用)。¹²¹⁰²⁵⁾ 温暖化によるヤツバキクイムシによる北海道のトウヒ類(エゾマツ、アカエゾマツ)の枯損被害の拡大が懸念される。ただし、温暖化は世代数以外にも天敵、餌、木の抵抗性などに影響を及ぼすことが考えられ、ヤツバキクイムシの被害の正確な予測のためにはこれらの要因を含め、今後さらに研究を進めていく必要がある。

その他の病害虫についても気候シナリオを用いて被害拡大を予測する研究がある。北海道では 1～2℃程度の気温上昇でもトドマツオオアブラムシによる被害が拡大するという予測が得られた研究がある。¹²¹⁰²⁶⁾ また、2年1世代のスギカミキリが発生している北東北で 2080～2090年には全て1年1世代になるという予測、南根腐病菌の分布が 2040年代には種子島まで、2090年代には

³¹⁾ 平均世代数：1年間に卵から親までを繰り返す回数

鹿児島県南部まで拡大するという予測を行った研究がある（SRES A1B シナリオを前提としたMIROC-Hモデルによる気候予測情報を使用）。¹²¹⁰²⁷⁾

若齢林よりも高齢林で台風による風害が発生しやすく¹²¹⁰²⁸⁾、樹高の高い林分ほど風害が発生しやすい¹²¹⁰²⁹⁾という研究があり、温暖化により強い台風が増加する可能性があるという中長期の予測と合わせて考えると、高齢林化が進んでいるスギ・ヒノキ人工林の風害の増加が懸念される。ただし、台風による風害の発生についてのデータの蓄積が十分でなく、林分の過密化による形状比の増加の影響等の森林管理の有り様も踏まえた上で、人工林の風害リスクを正確に予測するため今後さらに研究を進めていく必要がある。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ等の人工林の主要樹種については、影響があればその影響の範囲は全国に及ぶ。これらの人工林の衰退、生産力の低下等は、森林の生態系サービスの低下を引き起こし、社会、経済、環境に大きな影響を及ぼす可能性がある。社会面では、山地、中山間地の住民生活への影響、経済面では、林業への影響、観光業への影響、環境面では、水源涵養・洪水調節、土砂流出防備、生物多様性保全、二酸化炭素吸収などの機能の低下が挙げられる。これまでの知見によれば、気温が高いとマツ材線虫病被害の危険度が高くなることや、林木が過密に成長している場合や強雨によって土壌へ大量の水が供給された場合に強風に対する力学的抵抗性が減少することが示されている。将来予測では人工林の純一次生産量に影響することや、害虫による被害の拡大及び害虫の年間世代数の増加、病菌の分布拡大が予測されている。高齢林化が進んでいる人工林での風害の増加が懸念される。

- 緊急性：【評価】高い

既に森林の衰退、病害の増加、風害の増加などの被害が生じているという報告がある。育種や森林管理等による適応策が考えられるが、林木の生産期間は長く、また育種に要する期間も長く、適応策の策定、実施には大変時間がかかるので、すぐに着手する必要がある。

- 確信度：【評価】中程度

森林の光合成や蒸発散、有機物分解過程を数式化したモデルを用いて、将来の人工林の純一次生産量を定量的に予測する研究が複数みられる。しかし、収集した知見の中には研究プロジェクトの中間段階の成果も含まれていることから、今後さらに科学的知見を蓄積する必要がある。

(10) 特用林産物(きのこ類等)

(気候変動による影響の要因)

ここでは、シイタケ原木栽培について、主に気温上昇に伴う病害虫による影響や収量の変化を扱う。

- 気温の上昇は、原木栽培のシイタケに影響を及ぼす病原体（真菌）の侵害力を高め、シイタケへの被害を悪化させる可能性がある。
- 夏季の気温の上昇は、原木栽培のシイタケの子実体（きのこ）発生量を減少させることが想定される。
- 気温の上昇は、シイタケ原木栽培の害虫の発生早期化、年間世代数の増加を通じて、シイタケの害虫被害を増加させることが想定される。

(現在の状況)

[概要]

- シイタケほだ場での分離頻度が高いシイタケ病原体のトリコデルマ・ハルチアナムによる被害は、高い温度環境で大きくなることが確認されつつある。
- ヒポクレア属菌が九州地域のシイタケ原木栽培の生産地で被害を与えるようになってきたことが報告されている。これまで被害報告のなかった千葉県、茨城県、静岡県、愛知県などからも被害が報告されていることから、被害地域は拡大していると考えられる。
- 夏場の高温がヒポクレア菌による被害を助長する要因となっている可能性があるとの報告がある。

シイタケほだ場での分離頻度が高くシイタケ菌糸への侵害力が高いことが確認されているシイタケ病原体の *Trichoderma harzianum* (トリコデルマ・ハルチアナム) は、高い温度環境で被害が大きくなることが確認されつつある。全国に設置した試験地での害菌分離率の調査では、最高気温が 30℃以上になる日数と *Trichoderma harzianum* の分離率に相関関係があることが示されている。^{122001, 122002}シイタケ菌と *Trichoderma harzianum* の対峙培養試験を行い、培養温度条件を変化させた場合、30℃以上でシイタケ菌が侵害されやすくなるという結果も得られている。^{122001, 122002}

ヒポクレア属菌が九州地域のシイタケ原木栽培の生産地で被害を与えるようになってきたことが報告されている。^{122001, 122003, 122002}九州地域で分離されたヒポクレア属菌の温度別菌糸伸長速度の測定を行った結果、ヒポクレア属菌の菌糸伸長は 25℃もしくは 30℃で最大となった¹²²⁰⁰¹ことを示す研究もあり、九州地域におけるヒポクレア属菌の被害拡大には気温の上昇が寄与している可能性がある。実際に、宮崎県の生産現場でのヒポクレア属病原菌によるシイタケの被害発生率は、2012 年が 2～3 割、2013 年が 4 割であったが、夏場（6～9 月）の平均気温は 2013 年の方が 1℃高く、真夏日の日数も多かったことから、夏場の高温がヒポクレア属菌による被害を大きくし

ている可能性がある。¹²²⁰⁰⁴⁾また、5年ほど前からこれまで報告のなかった千葉県、茨城県、静岡県、愛知県などからも被害が報告されており、聞き取り調査より被害地域は拡大していると考えられる。千葉県、茨城県の被害ほだ木から分離した、ヒポクレア属菌の遺伝型と九州地域の被害現場から分離された菌の遺伝型が一致したことから、九州地域で発生していた系統が侵入した可能性が示唆された。

(将来予測される影響)

[概要]

- シイタケの原木栽培において、夏場の気温上昇と病害菌の発生あるいはシイタケの子実体（きのこ）の発生量の減少との関係を指摘する報告がある。
- 冬場の気温の上昇がシイタケ原木栽培へ及ぼす影響については、現時点で明らかになっていない。
- 原木栽培のシイタケの害虫であるナカモンナミキコバエの出現時期の早まりや、ムラサキアツバの発生回数の増加を予測する研究事例がある。

夏場に 32℃、15 日間の高温処理を行うと接種 2 年目のシイタケ子実体（きのこの本体の部分）の発生量の顕著な減少が見られた。¹²²⁰⁰⁴⁾シイタケの原木栽培において、夏場の気温と病害菌の発生¹²²⁰⁰⁵⁾あるいは子実体発生量の減少¹²²⁰⁰⁴⁾との関連が指摘されており、温暖化によるシイタケ原木栽培の生産量の低下が懸念される。一方で、これまで不適とされていた地域でシイタケ栽培が可能になる可能性もある。

冬場の気温上昇がシイタケ子実体発生量に及ぼす影響は明瞭にはなっていない^{122006, 122007)}。一方で、九州地域のシイタケ原木栽培で使用される品種は、比較的低い最低気温でシイタケが発生する低温菌が主流であったが、それよりも高温域で発生する中温菌の品種に移行しつつある。冬場の気温上昇によるシイタケ原木栽培への影響については、正確な予測のためにデータの蓄積を進めていく必要がある。

原木栽培のシイタケの害虫について、出現時期の早まりや発生回数の増加を予測する研究事例がある。大分県で実施されたナカモンナミキコバエの捕獲調査、飼育実験の結果から、1 月から 3 月までの平均気温の上昇に伴い成虫の出現時期が 1 ヶ月から 1 ヶ月半ほど早まるとする研究がある（IPCC による 1.8～4.0℃の上昇を想定）。¹²²⁰⁰²⁾北関東以南で 1 年に 3～4 回発生しているムラサキアツバについて、飼育実験結果と気候シナリオデータを用いて年間発生回数を予測した研究によると、2000 年代後半には山形・宮城県以南でも 1 年に 4 回発生する。¹²²⁰⁰⁸⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

病原体によるシイタケ原木栽培への被害の拡大が報告されている。また試験・調査では高い温度環境で病原体の侵害力が大きくなることも確認されている。さらに将来では、シイタケ原木栽培の害虫の発生時期の早期化や発生回数の増加が予測されている。栽培きのこ類の生産額は林業産出額の約半分を占めるため、こうした影響の範囲が全国に及ぶことによるシイタケ原木栽培の生産力の低下等は、社会、経済、環境に大きな影響を及ぼす可能性がある。社会面では、シイタケ原木栽培の生産力の低下による、シイタケ原木栽培に依存した山地、中山間地のコミュニティへの影響が想定される。経済面では、シイタケ原木栽培の生産力の低下による極めて大きな経済的損失、環境面では、コミュニティの崩壊による森林管理の不全による生態系サービスの低下が挙げられる。

- 緊急性：【評価】高い

既にシイタケ原木栽培への被害（生産量の低下）が生じており、育種等による適応策の策定、実施には大変時間がかかるので、すぐに着手する必要がある。

- 確信度：【評価】中程度

高温と病原体による被害の関係が試験・調査より明らかになりつつあり、気候モデルを用いた定量的な予測研究も蓄積されつつあるが、正確な予測のためには今後引き続き研究を進めていく必要がある。

【水産業】

(1) 回遊性魚介類(魚類等の生態)

(気候変動による影響の要因)

ここでは、水産資源として重要な回遊性魚介類を対象とし、主に水温上昇に伴う分布回遊や成長の変化のほか、これらの変化による各地域の水産業への影響を扱う。海洋の生物量、生産量を支える一次生産力への影響は、自然生態系分野の海洋生態系で扱う。

- 回遊性魚介類は適水温域を分布・回遊する特性がある。そのため、海水温の上昇によって分布・回遊範囲が極方向（北半球では北方）または深い水深に移動する。
- 高水温によって海洋の鉛直混合が弱まると、深層域からの栄養塩類の供給量が少なくなる。その結果、生物の基礎生産が低下し、魚介類の成長、資源量が低下することが想定されている。
- 日本周辺海域では、高水温によって暖水性魚種が増加し、冷水性魚種が減少する。その結果、各地域の漁獲量、構成魚種が変化し、漁業、加工業や流通業に影響を与えることになる。
- 海洋生態系は、地球温暖化による昇温の影響の他、10～数十年スケールの周期的な海水温の変化による影響もあり、温暖化の影響のみを分離することは難しいため、慎重な要因分析が必要である。

(現在の状況)

〔概要〕

- 20世紀以降の海洋の昇温は、世界全体の漁獲可能量を減少させた要因の一つとなっていることが指摘されている。
- 現在、温暖化に伴う海洋生物の分布域の変化が世界中でみられている。日本周辺海域における主要水産資源（回遊性魚介類）の分布域の変化、それに伴う漁期・漁場の変化は下記の通りである。
 - クロマグロは、昇温が著しい日本海において、仔魚の分布が拡大したと推測されている。
 - マサバの産卵場が表面水温の上昇とともに北上し、産卵が終了する時期が延びた。
 - ブリは、日本全体で漁獲量が増加しており、特に北海道、東北地域で増加が顕著となっている。
 - サワラは、日本海や東北地方太平洋沿岸域で漁獲量が増加している。
 - シロザケは、海洋生活初期の高水温によって回帰率が低下したと推察される。
 - スルメイカの回遊経路の変化に伴い、漁期の短縮や来遊量の変化が各地で指摘されている。
 - サンマは、親潮の流路変動の影響も受けながら道東海域の漁場が縮小した。

- スケトウダラは、北海道周辺海域や日本海において加入量が減少している可能性がある。
- 高水温によるこのような変化によって加工業や流通業に影響が出ている地域もある。

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書 では、20 世紀以降の海洋の昇温は、世界全体の漁獲可能性を減少させた大きな要因の一つとなっていることが指摘されている。また、海洋の昇温、生化学的変化、その他の変化に伴い、世界の多くの地域で漁獲される資源の量や構成が変化しているとしている。¹³¹⁰⁰¹

現在、温暖化に伴う海洋生物の分布域の変化が世界中でみられ、それに伴う漁獲量の変化も報告されている。¹³¹⁰⁰² 日本周辺海域における主な変化として、昇温が著しい日本海ではクロマグロの仔魚の分布が拡大したと推測されている。¹³¹⁰⁰³ また、卵仔稚魚分布調査の解析から、2000 年代以降、表面水温の上昇と共にマサバの産卵場が北上し、産卵が終了する時期が延びたことが明らかとなった。¹³¹⁰⁰⁴ ブリでは、日本全体での漁獲量が増加しており、特に北海道、東北海域で増加が顕著であることから、海水温の上昇が理由の一つとして考えられている。^{131005, 131006, 131007, 131008, 131009, 131010} その他、海水温の上昇によってサワラの漁獲量が日本海や東北地方太平洋沿岸域で増加したことが報告されている。^{131006, 131011}

一方、シロザケについては、海洋生活初期の高水温が回帰率の低下に関係すると推察されている。¹³¹⁰¹² 加えて、スルメイカについても回遊経路の変化による漁期の短縮や来遊量の変化が日本の各地で指摘されている。¹³¹⁰¹³ サンマにおいても、親潮の流路変動と水温上昇によって道東海域の漁場が縮小したとする研究がある。¹³¹⁰¹⁴ スケトウダラでは、北海道周辺海域や日本海において、海水温の上昇が原因の一つと考えられる加入量の減少が報告されている。^{131015, 131016} もの、冬季の水温上昇はスケトウダラ幼魚の成長を加速させることから生残率が向上するとする研究結果もある。¹³¹⁰¹⁷

そのほか、ふぐ類では、太平洋沿岸で自然交雑種が出現しており、海水温の上昇による分布域の変化が要因となっている可能性も示されている。¹³¹⁰¹⁸

以上のように日本周辺海域においても高水温に起因する回遊性魚介類の分布域や漁期・漁場の変化が各地で見られている。このような変化によって加工業や流通業に影響が出ている地域もある。¹³¹⁰¹⁹ ただし、海洋生態系は、地球温暖化による昇温の影響の他、10～数十年スケールの周期的な海水温の変化による影響もあることから¹³¹⁰²⁰、温暖化の影響のみを分離するのは難しいのが現状である。

(将来予測される影響)

[概要]

- 世界全体の漁獲可能性が減少することが予測されている。RCP8.5 シナリオの場合、21 世紀末の漁獲可能性は、21 世紀初めと比較して約 2 割減少すると予測されている。
- 日本周辺海域の回遊性魚介類については、分布回遊範囲及び体のサイズの変化に関する

影響予測が数多く報告されている。魚種別の影響は下記のとおりである。

- まぐろ類は、RCP8.5 シナリオの場合、2081～2100 年には海水温上昇と動物プランクトンの減少により太平洋亜熱帯部で漁獲量が減少し、分布が北東へ移動すると予測されている。台湾、沖縄周辺海域においては、クロマグロの産卵に適した水温域が北上し、仔魚の生残率が低下すると予測されている
- さけ・ます類では日本周辺や北太平洋西部での生息域の減少が予測されている。特に夏季の分布域が水温上昇によって縮小することが示唆されている。
- サンマは、餌料環境の悪化から成長が鈍化するものの、回遊範囲の変化によって産卵期では餌料環境が好転し、産卵量が増加する場合も予測されている。水温上昇によってサンマの漁場が公海域に形成されやすくなることから、小規模漁業者の操業に問題が生じることや、体重減少による価格への影響も懸念されている。
- スルメイカは、2050 年には本州北部沿岸域で、2100 年には北海道沿岸域で分布密度の低い海域が拡大することが予測されている。日本海におけるサイズの低下、産卵期の変化も予測されている。
- マイワシは、海面温度の上昇への応答として、成魚の分布範囲や稚仔魚の生残に適した海域が北方へ移動することが予測されている。
- ブリは、分布域の北方への拡大、越冬域の変化が予測されている他、既存産地における品質低下が危惧されている。
- 海洋酸性化により、東ベーリング海におけるオオズワイガニの漁獲量が減少することが飼育実験により予想されている。将来的には、海洋酸性化により日本近海のかに類にも影響が生じる可能性がある。
- 漁獲量の変化及び地域産業への影響に関しては、資源管理方策等の地球温暖化以外の要因も関連することから不確実性が高く、精度の高い予測結果は得られていない。

国連食糧農業機関の報告書では、世界の排他的経済水域における漁獲可能性が 2000 年と比較して、2095 年に 16.2～25.2%減少すると予測されている (RC8.5 シナリオを使用)。¹³¹⁰²¹⁾ 同様に CMIP5 の気候モデルの予測結果に基づいた IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書でも、世界全体の漁獲可能性は、21 世紀末には 1986～2005 年と比較して 20.5～24.1%減少すると予測されている (RCP8.5 シナリオを使用)。¹³¹⁰⁰¹⁾

各魚種への影響についても、RCP8.5 シナリオを前提とした 2081～2100 年の予測では、海水温上昇と動物プランクトンの減少により、太平洋亜熱帯部ではまぐろ類の漁獲量が減少し、分布が北東へ移動すると予測されている (CanESM2, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M 等 CMIP5 の 11 の気候予測情報を使用)。¹³¹⁰²²⁾ 台湾、沖縄周辺海域においては、クロマグロの産卵に適した水温域が北上し、仔魚の生残率が低下すると予測されている (SRES A2 シナリオ、MIROC モデルによる気候予測情報

を使用)。¹³¹⁰²³⁾ さけ・ます類では日本周辺や北太平洋西部での生息域の減少が予測されており、特に夏季の分布域が水温上昇によって縮小することが示唆されている (MIROC モデルによる気候予測情報を使用)。^{131024, 131025, 131026, 131027)} また、宮城県沿岸では海水温の上昇によるシロザケ稚魚の放流適期の短縮¹³¹⁰²⁸⁾、山形県五十川の下流では水温上昇によるサクラマス¹³¹⁰²⁹⁾の越夏適期の短縮が予測されている (131028:RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオに基づく MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用) (131029:RCP8.5 シナリオに基づく MRI-NHRCM02 モデルによる気候予測情報を使用)。

日本近海においては、サンマでは餌料環境の悪化から成長が鈍化するものの、回遊範囲の変化によって産卵期では餌料環境が好転し、産卵量が増加する場合も予測されている。¹³¹⁰³⁰⁾ しながら、水温上昇によってサンマの漁場が公海域に形成されやすくなることから、小規模漁業者の操業に問題が生じることや、体重減少による価格への影響も懸念されている。¹³¹⁰²¹⁾ スルメイカでは、分布密度が温暖化によって低下することが予測され、2100年には北海道沿岸域でも分布密度が低い海域が拡大すると予測されている (A1B シナリオを前提とした MIROC3 モデルによる気候予測情報を使用)。¹³¹⁰³¹⁾ 加えて、日本海におけるサイズの低下^{131032, 131033)}、産卵期の遅延^{131026, 131033)}も予測されている。マイワシは、海面温度の上昇への応答として、成魚の分布範囲や稚仔魚の生残に適した海域が北方へ移動することが予測されている。¹³¹⁰³⁴⁾ ブリでは、分布域の北方への拡大、越冬域の変化が予測されている¹³¹⁰³⁵⁾ 他、既存産地における品質低下が危惧されている。¹³¹⁰³¹⁾

海洋酸性化による影響として、オオズワイガニを pH 7.8 及び pH 7.5 (2100年、2200年の海洋 pH³²⁾に相当) で飼育した実験結果では、若齢期の生残率が低下することから、海洋酸性化によって東ベーリング海のオオズワイガニの漁獲量が減少すると予想されている。¹³¹⁰³⁶⁾ 将来的には、海洋酸性化によって日本近海のかに類にも影響が生じる可能性がある。

以上の様に、回遊性魚介類については、分布回遊範囲及び体サイズの変化に関する影響予測が数多く報告されている。しかし、漁獲量の変化及び地域産業への影響に関しては、資源管理方策等の地球温暖化以外の要因も関連することから不確実性が高く、精度の高い予測結果は得られていない現状にある。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

20世紀以降の海洋の昇温は、世界全体の漁獲可能量を減少させた要因の一つであることが IPCC の報告書で指摘されており、将来も世界全体で見た漁獲可能量の減少傾向が予測されている。日本周辺海域では、高水温に起因する回遊性魚介類の分布域や漁期・漁場の変化が生じており、加工業や流通業に影響が出ている地域もある。将来では、北太平洋及び日本周辺海域において、分布回遊範囲の変化や体のサイズの変化に関する予測が多数ある。

- 緊急性：【評価】高い

既に高水温の影響による漁獲量の増加・減少等が報告されており、加工業や流通業に影響が出

³²⁾ pH：酸性度を示す水素イオン指数

ている地域がある。将来においても日本周辺海域では、回遊性魚介類の分布域や回遊範囲の変化、体のサイズの減少が予測されているため、各地域での影響に応じた対策が必要となる。

- 確信度：【評価】中程度

水温上昇による日本周辺海域での水産資源への影響が、様々な魚種で明らかになりつつあり、将来の分布域の変化予測に関しては、類似した見解の報告が多い。また、IPCCの報告では東シナ海から日本海における回遊性魚介類の分布域の変化予測は、中程度の確信度とされている。複数の国際機関より世界全体の漁獲可能量が減少すると報告されている。しかし、日本周辺海域における個別魚種の漁獲可能量への影響については、現状では知見が限られているため、今後の研究による成果が求められる。なお、資源量や漁獲量の変化には、資源管理等の様々な要因が関与することにも留意が必要である。

(2) 増養殖業

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に水温上昇に伴う内水面を含む増養殖業の生産量への影響を扱う。海藻の養殖（ノリ、ワカメ）への影響は水産業の沿岸域・内水面漁場環境等で扱う。

- 気候変動による海水温の上昇は、増養殖における漁獲量や生産適地に影響を及ぼす。
- 内水面の水温の上昇は、魚類のへい死リスクを上昇させることが想定される。
- 日本沿岸の海水 pH の低下傾向は、今後、貝類等への影響が懸念される。

(現在の状況)

[概要]

(海面養殖業)

- 高水温によるホタテ貝の大量へい死、7～10月の4ヶ月間の降水量が平年より少なく、高水温かつ少雨傾向の年におけるカキのへい死が報告されている。

(内水面漁業)

- 高温によるワカサギのへい死が報告されている。

(海面養殖業)

青森県では、高水温によるホタテ貝のへい死³³ [132001](#), [132002](#), [132003](#), [132004](#)、広島県では高水温と7～10月の降水量の減少によるカキのへい死率の上昇¹³²⁰⁰⁵、岡山県では夏季の高水温によるカキのへい死¹³²⁰⁰⁶が報告されている。

(内水面漁業)

内水面漁業では、中国地方の江の川での水温上昇によると推測されるアユの漁獲量の減少¹³²⁰⁰⁷、茨城県霞ヶ浦では高温によるワカサギのへい死が報告されている。¹³²⁰⁰⁸

³³ へい死：動物が死ぬこと

(将来予測される影響)

[概要]

(海面養殖業)

- 養殖魚類の産地については、夏季の水温上昇により不適になる海域が出ると予想されている。

(内水面漁業)

- 湖沼におけるワカサギの高水温による漁獲量減少が予想されている。
- 21世紀末頃において、海洋と河川の水温上昇によるアユの遡上時期の早まりや遡上数の減少が予測されている。

(その他)

- IPCCの報告では、海洋酸性化による貝類養殖への影響が懸念されている。

(海面養殖業)

ブリ養殖では、飼育実験による成長と温度の関係¹³²⁰⁰⁹⁾から高水温による夏季のへい死の懸念と同時に、秋冬季の成長促進が期待される。マダイ養殖では、高水温化による成長鈍化、感染症発症リスクの上昇が飼育実験で示されている。¹³²⁰¹⁰⁾また、養殖産地については、ブリ¹³²⁰¹¹⁾、トラフグ¹³²⁰¹²⁾、ヒラメ^{132012, 132011)}の産地が北上化し、不適になる海域が出ることが予測されている。特に中部以北には、養殖に適した地形(内湾構造をとり適度な深度がある海域)が少ないため、養殖産地が北上化すると狭域化が懸念される。¹³²⁰¹³⁾

東北地域のホタテガイ養殖では、21世紀中頃及び21世紀末のRCP2.6シナリオでは高水温の日には深く沈めることが適切であるが、21世紀末のRCP8.5シナリオではへい死リスクが高まり、養殖地域が縮小すると予測されている(MRI-CGCM3モデルによる気候予測情報を使用)。¹³²⁰¹⁴⁾カキ養殖では、中国・四国地域において海水温の上昇によりマガキ採苗時期が早期化する(RCP2.6及びRCP8.5シナリオ)こと¹³²⁰¹⁵⁾、中部地域において21世紀末には表層近くでの養殖が困難になること¹³²⁰¹⁶⁾が予測されている(MRI-CGCM3, MIROC5モデルによる気候予測情報を使用)。

(内水面漁業)

内水面漁業では、湖沼におけるワカサギの高水温による漁獲量減少が諏訪湖で予想されている。¹³²⁰¹⁷⁾また、21世紀末頃において、海洋と河川の水温上昇によるアユの遡上時期の早まり¹³²⁰¹⁸⁾、遡上数の減少¹³²⁰¹⁹⁾が予測されている(132018: SRES A1Bシナリオに基づくCMIP3モデルの気候予測情報を使用、132019: SRES A1Bシナリオ, SRES B1シナリオに基づくCMIP3モデルの気候予測情報を使用)。

(その他)

海域や淡水域の酸性化による貝類や淡水魚等への影響が実験室レベルで報告されており、今後、貝類養殖業等への影響が懸念されている。^{132020, 132021)}しかし、二酸化炭素の人為的排出に由来する

海洋酸性化の貝類養殖等への影響は、我が国ではまだ報告されていない。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

海水温の上昇による養殖貝のへい死、内水面の水温上昇による魚類のへい死は既に生じており、影響は日本全国に及んでいる。将来では養殖産地の適地の減少、内水面漁業における漁獲量の減少等が予測されている。特に水産業への依存度が高い地域において社会・経済への影響が重大になる。

- 緊急性：【評価】高い

既に、高水温による貝類や魚類のへい死が生じている。また、高水温への適応技術の開発や高水温耐性を有する新品種の開発・実用化には時間を要するため、早急な対策が必要である。

- 確信度：【評価】中程度

長期的な高水温による増養殖業への影響が様々な現象として認められ、将来影響に関する研究・報告例も複数みられる。しかし、温暖化シナリオ等を用いた定量的なモデル解析による研究例は限定的である。

(3) 沿岸域・内水面漁場環境等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に水温上昇に伴う回遊性魚介類以外の魚介類の分布域及び生産量の変化や、これらによる各地域での漁獲量や構成種の変化、漁場として重要となる藻場への影響やこれが漁業生産に与える影響、有害な藻類等の発生への影響を扱う。生態系としての藻場への影響は自然生態系分野の温帯・亜寒帯で扱う。

- 気候変動による海水温の上昇は、漁獲対象種の分布域に変化を及ぼすことが想定される。
- 海水温の上昇は、藻場における藻類の種構成や現存量を変化させ、藻場への依存性が強い魚類・貝類・藻類等水産資源（磯根資源）に影響を及ぼすことが想定される。海水温の上昇は、藻場における藻類の種構成や現存量を変化させ、藻場への依存性が強い魚類・貝類・藻類等水産資源（磯根資源）に影響を及ぼすことが想定される。また、水温上昇による藻食性動物の摂食活動の活発化も藻類を減少させる。
- 海水温の上昇は、赤潮の発生頻度を増加させ、二枚貝類や養殖魚等のへい死³⁴リスクを上昇させること等が想定される。

(現在の状況)

[概要]

(回遊性魚介類以外の海面漁業)

- 各地で南方系魚種数の増加や北方系魚種数の減少などが報告されている。
- アワビでは、主要漁獲物が在来種から暖海性小型アワビに遷移する事例がある。
- アサリでは、水温や地温の上昇が資源量や夏季の生残に影響しているとする研究事例がある。
- 藻場の減少に伴い、生息場としての藻場への依存性の強い、イセエビやアワビ類の漁獲量も減少していることが報告されている。

(海藻・藻場)

- 高水温による天然ワカメの不漁、水温上昇によるマコンブのバイオマス量の減少が報告されている。
- 養殖ノリでは、秋季の高水温により種付け開始時期が遅れ、年間収穫量が各地で減少している。
- 養殖ワカメでは、一部の地域で秋季及び収穫時期（2～3月）の水温上昇により、種苗を海に出す時期が遅くなるとともに、収穫盛期の生長や品質に影響が及んでいることが減収の一因となっている。また、食性魚類による養殖ワカメの食害も報告されている。

³⁴ へい死：動物が死ぬこと

- 水温の上昇による藻類の生産力への直接的な影響と、藻食性魚類等の摂食活動の活発化による間接的な影響によるものと考えられる藻場の減少や構成種の変化が、各地で生じており、地理的な分布も変化している。

(有害有毒プランクトン・魚類)

- 有害有毒プランクトンについて、発生北限の北上、寒冷地における暖水種の発生、発生の早期化が報告されている。そのほか、食中毒のシガテラ中毒の原因となる毒化した魚や南方性有毒種の分布域が広がっている可能性がある。

(回遊性魚介類以外の海面漁業)

海水温の上昇によるものと考えられる、漁獲量や生産量、地理的生息範囲の変化などが各地で報告されている。九州では、南方系種の漁獲量¹³³⁰⁰¹や採取魚種数^{133002, 133003}の増加が認められる。若狭湾では南方系魚種の増加と北方系魚種の減少が認められている。¹³³⁰⁰⁴瀬戸内海では低水温耐性が低い魚種の漁獲量の増加が著しい。¹³³⁰⁰⁵

アワビ漁では、漁獲対象が熱帯・亜熱帯性に多くみられる暖海性小型アワビに移行する事例がある。¹³³⁰⁰⁶北海道沿岸のエゾアワビでは、北部においては気候変動による冬季の水温低下による死亡率の増加、南部においては冬季の水温上昇による磯焼けの進行が新規加入量を減少させているとする研究がある。¹³³⁰⁰⁷また、近年温暖化が進んだことにより、アワビ類の養殖に適した海域が限られてきているという報告もある。¹³³⁰⁰⁸

アサリでは、瀬戸内海の周防灘では冬季の水温上昇が資源減少に関係している可能性があるとする研究¹³³⁰⁰⁹や、大分県の中津干潟では、夏季の高温とアサリの大量死が関係しているとする研究^{133010, 133011}、干潟の地温の上昇がアサリの越夏を困難にしているとする研究などがある。¹³³⁰¹²

また、藻食性魚類（ノトイヌズミなど）の摂食行動の活発化と分布域の拡大により藻場が減少し、イセエビ¹³³⁰¹³、アワビ¹³³⁰¹⁴の漁獲量減少が報告されている。さらに、南方系エイ（ナルトビエイ）の瀬戸内海への分布拡大¹³³⁰¹⁵と、それに伴う同種の食害によるアサリ資源再生の妨げの可能性¹³³⁰¹⁶が報告されている。

(海藻・藻場)

海藻類では、大分県では天然ワカメの高水温による不漁¹³³⁰¹⁷、青森県下北半島の大間岬では海水温の上昇によるマコンブのバイオマス量の減少が報告されている。¹³³⁰¹⁸ノリ養殖では、秋季の高水温により種付け開始時期が遅れ、収穫量が各地で減少している。^{133019, 133020, 133021, 133022}鳴門海域のワカメ養殖漁場では、秋季及び収穫時期（2～3月）の水温上昇が生じており、種苗を海に出す時期が遅くなるとともに、収穫盛期の生長や品質に影響が及んでいることが減収の一因となっている。¹³³⁰²³また、アイゴ及びビクロダイによる食害も確認されている。¹³³⁰²⁴

1989年～1991年に実施された調査で確認された全国の藻場（201,212 ha）の約4割（83,798ha）

について 2000 年以降に再調査した結果、既に 18,538 ha が失われていた。藻場面積の減少率は海域により異なり、特に九州西岸と四国・本州南部太平洋岸では、再調査の対象となった 26,916ha のうち 44.7% が消失していた。¹³³⁰²⁵⁾ 主な原因として、海水温の上昇による生長や分布域への直接的な影響と、藻食性魚類の摂食活動の活発化による間接的な影響が挙げられている。¹³³⁰²¹⁾ 藻場の減少、構成種の変化等に関しては、そのほかにも多くの報告がある。九州西岸域、高知県ではイベント的な異常高水温現象によりカジメが大規模に衰退したという報告がある。^{133026, 133027)} 鹿児島湾、長崎県野母半島、土佐湾の藻場では、暖海性藻類の種数増加と温帯性種の減少が認められている。^{133028, 133029, 133025, 133030)} 高知県や静岡県沿岸ではカジメ群落の個体が小型化し現存量が低下していると推測される事例¹³³⁰³¹⁾、九州ではカジメ科藻類の分布南限の北上が認められる事例がある。¹³³⁰³²⁾ 徳島県では藻食性魚類の摂食行動の活発化によると考えられるヒジキの生育不良の事例^{133033, 133034)}、和歌山県及び長崎県では高水温の年に藻食性魚類による食害でクロメ群落が減少する事例が確認されている。^{133025, 133035)} また、藻食性魚類のアイゴにより、神奈川県では海藻類の食害¹³³⁰³⁶⁾、徳島県では大規模な磯焼け¹³³⁰³⁷⁾が報告されている。

(有害有毒プランクトン・魚類)

海水温の上昇は、有害有毒プランクトン・魚類の発生場所や時期、藻類の異常発生にも影響を及ぼしている可能性がある。新潟県ではそれまで福井県が発生北限であった有害渦鞭毛藻のヘテロカプサ (*H. circularisquama*)^{133038, 133039)}、北海道函館湾では暖水種である有害渦鞭毛藻のカレニア (*K. mikimotoi*) による赤潮の発生が報告されている。^{133040, 133039)} 瀬戸内海ではシャットネラ赤潮の発生が早期化している。¹³³⁰³⁹⁾ 東京湾の谷津干潟では 1990 年代の気温の上昇により、アオサ類の異常増殖 (グリーンタイド) が発生・拡大したとの報告がある。¹³³⁰⁴¹⁾ また、食中毒のシガテラ中毒の原因となる毒化した魚¹³³⁰⁴²⁾ や南方性有毒種¹³³⁰⁴³⁾ の分布する海域が広がっている可能性がある。

生態系の変化を介した影響としては、発生が長期化傾向にある赤潮^{133044, 133045)} による真珠貝 (アコヤガイ) の大量へい死¹³³⁰⁴⁵⁾ や熱帯性有毒プランクトンによる貝類の毒化¹³³⁰¹⁵⁾ が報告されている。

(将来予測される影響)

〔概要〕

(回遊性魚介類以外の海面漁業)

- 生態系モデルと気候予測シナリオを用いた影響評価は行われていないものの、多くの漁獲対象種の分布域が北上すると予測されている。
- 海水温の上昇による藻場を構成する藻類種や現存量の変化によって、アワビなどの磯根資源の漁獲量が減少すると予想されている。

(海藻・藻場)

- 北日本沿岸域の主要コンブ 11 種では、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があるとして予測されている。RCP8.5 シナリオでは全種を合わせた分布域が 2090 年代では 1980 年代の 0~25% に縮小し、RCP4.5 シナリオでも 11 種中 4 種のコンブが日本海域から消失する可能性があるとして予測されている。
- ワカメ養殖では、RCP8.5 シナリオの場合、21 世紀末には芽出し時期が現在と比べて約 1 ヶ月遅くなることや漁期が短くなることと予測されている。
- ノリ養殖では、RCP2.6 シナリオの場合、2050 年代には水温上昇により育苗の開始時期が現在と比べて 20 日程度遅れると予測されている。RCP8.5 シナリオの場合、2050 年代、2090 年代になるにつれて育苗開始時期が後退し、摘採回数の減少や収量低下が懸念される。
- 北西太平洋では、水温上昇によりホンダワラ属アカモクの分布が北上し、2100 年には本州の広い範囲で消失すると予測されている。
- RCP2.6 シナリオの場合、日本沿岸のカジメの分布には、藻食性魚類による食害の影響のみ顕在化する。RCP8.5 シナリオの場合、高水温による生理的影響と食害の双方の影響により、2090 年代にはこれまで分布適域であった海域で生育が困難になると予測されている。
- RCP2.6 シナリオの場合、瀬戸内海から黒潮流域のカジメ類の分布について、2050 年代では現状の藻場を維持できる可能性があるが、RCP8.5 シナリオの場合、瀬戸内海の全域で大幅に減少する可能性があるとして予測されている。

(有害有毒プランクトン)

- 海水温の上昇に係る赤潮発生による二枚貝等のへい死リスクの上昇等が予想されている。

(回遊性魚介類以外の海面漁業)

生態系モデルと温暖化シナリオを用いた影響評価は行われていないものの、多くの漁獲対象種

の分布域が北上すると予測されている。¹³³⁰⁴⁶⁾ また、海水温の上昇によって藻場の種構成や現存量が変化するため、アワビ等の磯根資源への影響も予想されている。^{133046, 133047)} イカナゴでは、高水温時に加入量が減少する傾向が報告されており¹³³⁰⁴⁸⁾、食用と共に養殖用餌料の確保が懸念される。また、海水温上昇による漁期の短縮や夏眠期のへい死リスクの増加等が予測されている (RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁴⁹⁾ 一方、広島湾のカタクチイワシは、生息水深を変えることで水温上昇に対応することができるため、21 世紀末でも高温へい死のリスクは低いと予測されている (RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁰⁾

(海藻・藻場)

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書によると、気候変動の影響を受けやすい藻場を構成する温帯性の藻類やコンブ類は、2°Cを超える温暖化で高いリスクが予測されている。また、温帯地域の沿岸のコンブ類では、海洋熱波の頻度の増加による減少、さらに RCP8.5 シナリオでは絶滅が危惧される。¹³³⁰⁵¹⁾

北日本沿岸域の主要コンブ 11 種について、分布予測モデルを用いて 2040 年代、2090 年代の分布を予測した結果、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があるとして予測されている。RCP8.5 シナリオでは全種を合わせた分布域が 2090 年代では 1980 年代の 0~25%に縮小し、RCP4.5 シナリオでも 11 種中 4 種のコンブが日本海域から消失する可能性があるとして予測されている。(MIROC-ESM モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵²⁾

岩手県沿岸の養殖ワカメでは、RCP8.5 シナリオの場合、21 世紀末にはワカメの芽出し時期が現在と比べて約 1 ヶ月遅くなると予測されており、養殖可能期間の短縮化により収量が減少する可能性が示唆されている。(RCP2.6, RCP8.5 シナリオに基づく MRI-CGCM3, MIROC5 モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵³⁾

瀬戸内海の水温変動と養殖業への影響の将来予測を行った研究では、ノリ養殖における育苗の開始時期の遅れが示唆されている (RCP2.6 シナリオでは育苗の開始に好適な水温まで下がる時期が現在と比べて 2050 年代では 20 日程度遅れるが、それ以降 2090 年代までには大きな変化は生じない。RCP8.5 シナリオでは 2050 年代、2090 年代になるにつれて育苗開始時期が大幅に遅れ、摘採回数の減少や収量低下が懸念される)。¹³³⁰⁵⁴⁾ 同じく瀬戸内海を対象として、ノリ養殖及びワカメ養殖に適する水温から養殖期間を評価した調査によると、養殖開始時期の遅れと終了時期の早期化が予測され、養殖期間が短縮する可能性があることや、収穫が困難となる年が発生する可能性が示唆されている (RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオを前提とした MRI-CGCM3 モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁰⁾ 有明海の養殖ノリでは、21 世紀末において、一部の海域で採苗開始時期が遅れることによる収量低下の可能性 (RCP2.6 シナリオ) や、全域で 10 月に採苗できない可能性 (RCP8.5 シナリオ) が予測されているほか、養殖ワカメでも 21 世紀末において、一部の海域で漁期が短縮する可能性 (RCP8.5 シナリオ) が予測されている。¹³³⁰⁵⁵⁾

その他国内の藻場を構成する温帯性藻類の分布域の縮小や藻食性動物による食害の甚大化、暖

海性種の増加などが予測されている。将来の2月～8月の水温情報を用いて北西太平洋の藻類の分布を予測した研究によると、水温上昇によりホンダワラ属アカモクの分布が北上し、2100年には本州の広い海域で消失すると予測されている。(SRES A2 シナリオに基づく BCCR-BCM2.0, CGCM3.1(T47), CNRM-CM3 など12のモデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁶⁾ 将来の水温情報を用いて日本沿岸のカジメの分布域を予測した結果、RCP2.6 シナリオによる水温上昇のもとでは、藻食性魚類による食害の影響のみ顕在化するが、RCP8.5 シナリオでは高水温による生理的影響と食害の双方の影響により2090年代にはこれまで分布適域であった海域で生育が困難になるとの推定結果が得られている(MIROC5, MRI-CGCM3 など17のCMIP5モデルによる気候予測情報の平均値を使用)。¹³³⁰⁵⁷⁾ 瀬戸内海流動モデルを用いた水温上昇予測により瀬戸内海から黒潮流域のカジメ属藻類の分布を予測した研究では、2050年代においてRCP2.6 シナリオでは現状の藻場を維持できる可能性があるが、RCP8.5 シナリオでは瀬戸内海の全域で大幅に減少する可能性が示されている。一方、亜熱帯性ホンダワラ属はRCP2.6 シナリオでは2090年代でも生育できないが、RCP8.5 シナリオでは瀬戸内海の多くの海域で生育可能となるとする予測結果もある。¹³³⁰⁵⁴⁾ 水温と溶存態無機窒素量を変化させ、幼少期のカジメに及ぼす影響を調べた実験では、代謝が活発になる高水温時において窒素が不足することがカジメの減少の要因になると推定されている。¹³³⁰⁵⁸⁾ 一方、瀬戸内海の藻食性動物による影響予測に関する調査によると、水温上昇により21世紀中頃にはアイゴの越冬域及び繁殖域が拡大し(RCP8.5 シナリオ)、21世紀末では新たな暖海性藻類食害魚が出現する可能性が予測されている(RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオを前提としたMRI-CGCM3モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁰⁾ 過去の分布域の変化に基づき日本海での大型藻類、サンゴ、藻食性魚類の分布を予測した結果、熱帯サンゴが大型藻類との競争の結果優占するという直接的な要因と、藻食性魚類の分布拡大に伴う大型藻類の減少という間接的な要因により、大型藻類からサンゴに移行することが予測された(MIROC4hモデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁹⁾

(有害有毒プランクトン)

温暖化の進行により熱帯性シガテラ食中毒の発生リスクが増加する可能性が示唆されており¹³³⁰⁶⁰⁾、貝毒に伴う水産資源への影響が懸念される。また、高水温化により赤潮発生の頻度が増加し^{133044, 133045)} 二枚貝等のへい死リスクの上昇も懸念される。有明海及び八代海では、21世紀末(RCP2.6 シナリオ)において夏季にシャットネラ赤潮が増殖しやすい水温となることが予測されている(MRI-NHRCM02, MRI-CGCM3モデルによる気候予測情報を使用)。¹³³⁰⁵⁵⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

水温上昇による水産資源の分布域の変化、資源量の減少、藻場の面積の減少や構成種の変化が既に生じている。また藻場への依存性が高い水産資源の漁獲量の減少も報告されている。さらに有害有毒プランクトンの発生北限の北上や発生早期化、寒冷地での暖水種の発生が報告されている。こうした影響は日本全国に及んでおり、特に水産業への依存度が高い地域において社会・経済への影響が重大になる。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

IPCC 報告書によると、気候変動の影響を受けやすい藻場を構成する温帯性の藻類やコンブ類は、2°C を超える温暖化で高いリスクが予測されている。日本への影響として、ノリ養殖では育苗の開始時期の遅れによる養殖期間の短縮化、日本沿岸のカジメ類の藻場では藻食性魚類による食害の甚大化が予測されている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

北日本沿岸域のコンブでは分布域の大幅な縮小、ノリ養殖では摘採回数の減少や収量低下、ワカメ養殖では、芽出し時期の遅れや漁期の短縮が予測されている。アカモクでは分布北上や消失、カジメではこれまでの分布域での生息困難が予測されている。

● 緊急性：【評価】高い

既に、高水温による水産資源の減少、漁場として重要な藻場の減少、有害有毒プランクトンの発生量の増加等が各地で認められる。また、高水温への適応技術の開発や高水温耐性を有する新品種の実用化には時間を要するため、早急な対策が必要である。

● 確信度：【評価】中程度

長期的な高水温による水産業への影響が様々な現象として認められ、将来影響に関する研究・報告例も多い。また、気候シナリオを用いた定量的な知見が増加している。また、IPCC による報告書でも藻場やコンブは 2°C を超える温暖化で高いリスクがあることが示されている。

3.2 水環境・水資源

水環境・水資源分野における気候変動による影響の概略は、図 3-3 に示すとおりである。

【水環境分野】

気候変動による気温の上昇は、湖沼やダム貯水池、河川、沿岸域や閉鎖性海域の水温を上昇させ、水質にも影響を及ぼす恐れがある。また、気候変動による降水パターンの変化は、ダム貯水池や河川への土砂流入量を増加させ、沿岸域や閉鎖性海域では、河川からの濁質の流入増加も懸念される。

【水資源分野】

気候変動による降水パターンの変化は、無降水日数の増加等や積雪量の減少、蒸発散量の増加による河川流量の減少や地下水位の低下を引き起こす。気温の上昇により、農業用水・都市用水等の水需要量や、人々の水使用量は増加することが想定されるが、冬季の降雨事象の増加とともに積雪量が減少することや融雪時期の早期化などにより、需要期に水を供給することができない可能性も懸念される。また、海面水位の上昇は、河川河口部や地下水において塩水遡上範囲を拡大させ、塩水化を引き起こす。

これらの影響は、農業生産基盤や自然生態系、国民生活等の他分野にも影響を及ぼす。

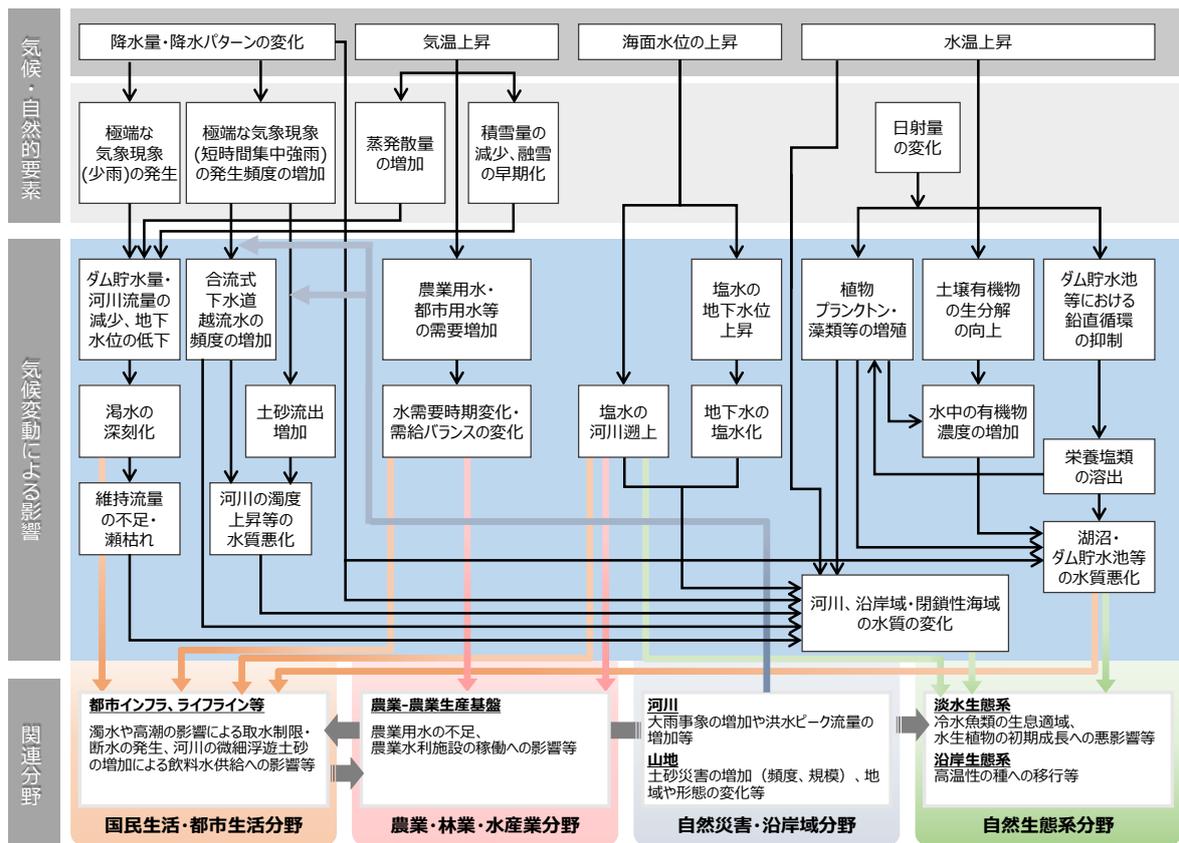


図 3-3 気候変動により想定される影響の概略図（水環境・水資源分野）³⁵

³⁵ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される水環境・水資源分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか水環境・水資源分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の2段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、水環境・水資源分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 88 件の文献（現状影響 39 件、将来影響 48 件、両方 1 件）を引用しており、このうち、前回の影響評価から新たに追加された文献は 73 件である。小項目別に見ると、「水環境（湖沼・ダム湖）」、「水環境（河川）」や「水資源（地表水）」、「水資源（水供給（地下水）」において文献数が特に増加している。なお、前回の影響評価からの構成上の変更はない。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

水環境分野では、全国の湖沼の 265 観測点のうち、夏季は 76%、冬季は 94%で水温の上昇傾向にある等、既に全国の公共用水域（湖沼・河川・海域）における水温の上昇、それに伴う水質の変化、一部の湧水起源の池の湧水水温の上昇等の影響が生じていることが新たに明らかとなった。水資源分野では、無降雨・少雨等に伴う渇水による給水制限の実施、冬季の融雪の増加による春先の灌漑用水の不足、農業用水・都市用水の需要の増加等の影響が発生したことが報告されている。新たに報告されている影響として、臨海部における帯水層への海水の侵入や小規模な島の淡水レンズの縮小などが挙げられる。

将来予測される影響

水環境分野では、富栄養湖に分類されるダムの増加等の影響が予測されている。水資源分野では、無降雨日数の増加等による渇水の深刻化、冬季の降雪が降雨に変わることによる河川流量の増加、春季の融雪量の減少による河川流量の減少、融雪時期の早期化による需要期の河川流量の減少、地下水の低下等による農業用水の需要と供給のミスマッチ、海面水位の上昇に伴う塩水遡上距離の増大や、それに起因する河川水の利用への影響渇水リスク・洪水リスクの二極化の進行、大雨や融雪による地下水供給の増加による地すべり等の斜面災害の発生等が予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

水環境・水資源分野では、影響の程度や範囲が限定的と判断されることから、影響の重大性は「影響が認められる」と評価される傾向にある。

しかしながら、今回収集された文献に基づき、「水環境（河川）」については、現在既に生じている影響が確認されたこと等から、緊急性評価が上方修正となった。また、「水環境（沿岸域及び閉鎖性海域）」、「水資源（水供給（地下水）」の 2 つの小項目については、限定的であるものの気候予測モデルを用いた定量的な予測が行われていたため、確信度が上方修正された。

【水環境】

(1) 湖沼・ダム湖

（気候変動による影響の要因）

ここでは、主に気候変動に伴う湖沼・ダム貯水池の水温の変化及び、水温上昇や降水条件の変化に伴う水質の変化を扱う。また、水質の変化に伴う人の健康被害は健康分野の「水系・食品媒介性感染症」で、自然生態系への影響は自然生態系分野で取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、湖沼等の水温を上昇させる。
- ダム貯水池等の水温の上昇は、植物プランクトンの発生確率の増大、土壌有機物の生分解の向上による水中の有機物濃度の増加などを通じて、カビ臭原因物質や消毒副生成物前駆物質の増加など水質を悪化させる可能性がある。また、冬季の水温上昇に伴い、冬季循環が抑制されて下層の DO³⁶（溶存酸素）低下を招き、底泥からの栄養塩類の溶出を引き起こす可能性がある。
- 気候変動による大雨事象の頻度の増加により、ダム貯水池への土砂流入量の増加に伴う SS（浮遊物質）濃度の上昇が想定される。

（現在の状況）

〔概要〕

- 全国の湖沼における 1981～2007 年度の水温変化を調べたところ、265 観測点のうち、夏季は 76%、冬季は 94%で水温の上昇傾向が確認されている。
- また、水温の上昇に伴う水質の変化が指摘されているが、水温の変化は、現時点において必ずしも気候変動の影響と断定できるわけではないとの研究報告もある。
- 一方で、年平均気温が 10℃を超えるとアオコの発生確率が高くなる傾向を示す報告もあり、長期的な解析が今後必要である。

全国の湖沼における 1981～2007 年度の水温変化を調べたところ、265 観測点のうち、夏季は 76%、冬季は 94%で水温の上昇傾向が確認されている。²¹¹⁰²⁵⁾

その一方で、全国の 20 ダム貯水池においては、気温、水温（表層水温、底層水温）、富栄養化関連項目（Chl-a 濃度、総リン濃度、総窒素濃度）について、個々では上昇や低下の傾向はみられるものの、共通して水温の上昇や富栄養化が進んでいるというような一定の長期的変動の傾向はみられなかったことも報告されている²¹¹⁰⁰²⁾。

また、ダム貯水池の表層と底層で水温を比較している研究もある。1993～2006 年の水温について、全国 9 つのダム貯水池（桂沢、釜房、五十里、岩屋、一庫、土師、早明浦、松原、安波）を調べたところ、最表層水温には気温上昇が要因と思われる水温上昇が全てのダム貯水池で認められた。最下層水温に関しては、堆砂による湖底上昇、冬季鉛直循環の弱まり、水温躍層³⁷⁾の強まりなどの影響により、上昇傾向を示すダム貯水池と下降傾向のダム貯水池の両方が存在していた。²¹¹⁰⁰³⁾

池田湖（鹿児島県）では、1976～2005 年の 30 年間で気温が約 1.5℃上昇したことにより、湖の各層ごとの水温もわずかずつではあるが上昇傾向にあり、特に水深 15m 付近での水温の上昇が他の層よりも顕著であることが示されている。また、気温の上昇に伴って、鉛直混合の規模が縮小することも指摘されている。²¹¹⁰⁰⁴⁾

³⁶ 水中に溶けている酸素の量。

³⁷ 表面付近の暖められた水と、その下層の冷たい水の間形成される水温が急激に変化する層のこと。水温躍層が形成されると、鉛直混合が妨げられ貯水池全体の循環が抑制され、富栄養化を促進させる要因の一つとなる。

水温の上昇に伴う水質の変化も指摘されている。

霞ヶ浦と琵琶湖における既存の水質調査結果をもとに、約 30 年間の気温と水質変化の傾向を隣接年比較法（隣接年で気象差と水質差を比較する方法）により解析した結果によれば、水温の上昇に対して、霞ヶ浦では COD（化学的酸素要求量）が増加傾向、DO が減少傾向を示した。²¹¹⁰⁰⁵ また、琵琶湖の表層では、pH が増加傾向、DO と NO₃-N（硝酸態窒素）濃度が減少傾向を示すことが報告されている。²¹¹⁰⁰⁵ 琵琶湖の全循環の遅れや循環期の短期化²¹¹⁰⁰⁶による低酸素化²¹¹⁰⁰⁷の進行も懸念されている。

一方、水温上昇、水質悪化等の事象は、現時点において必ずしも気候変動の影響と断定できるわけではないとの報告もある²¹¹⁰⁰⁸。

また、水温変化と気温変化やその他要因との関連性を分析した結果では、水温と気温、水温と人口密度、市街化率とも、明確な相関関係は示されていないとの報告もある²¹¹⁰⁰⁹。この理由として、水温の変化は、気温変化や流量の増減、温排水流入、都市排熱など、様々な要因が複雑に影響した結果であり、それらは対象地域によって大きく異なるため、特定要因との相関関係が抽出できなかった可能性がある。

しかし、年平均気温が 10℃を超えるとアオコの発生確率が高くなる傾向²¹¹⁰⁰¹や、水道水源ダム貯水池において、カビ臭産生植物プランクトンの異常増殖により異臭味被害が発生しているなど^{211010, 211011}、水道水源の生物障害^{211013, 211014}が近年北上しているとの事例も報告されており、長期的なデータに基づく解析が今後必要であるものの、温暖化による影響の顕在化が懸念されている。

北海道の火山性カルデラ湖である倶多楽湖において、2013 年～2016 年間に計 4 回の冬季結氷状態を調べた研究によると、1978～2018 年間の年平均気温と 1～3 月平均気温の変動とトレンド³⁸は、両気温とも、97 %以上の信頼度水準で上昇傾向にあり、1～3 月平均気温が上昇することは、今後、12 月下旬の湖水全層循環後に続く結氷の進行を遅らせ、結氷しても融解が早く、結果として、結氷期間の短縮と薄氷化を招くことが推察される。また、1989～2019 年間における 2～3 月総降雪量と 1 月降雪量の変動とトレンド³⁸は、両者とも、97 %の高い信頼度水準で降雪量は減少傾向にある。1 月は、12 月下旬の全層循環期と 1 月下旬～2 月上旬の全面結氷開始時の間の結氷進行時期に当たるため、1 月降雪量の減少は、水面への降雪で起こる融解熱放出が抑えられ、より結氷が進行しにくい条件を与えることが示されている。さらに、氷厚に対する数値実験の感度を調べるため、10 年後に気温が一様に 0.28℃上昇するとした場合の氷厚計算を行った結果、2013 年、2014 年、2016 年で平均氷厚がそれぞれ、9.1%、57.0%、83.3%減少し、暖冬ほど薄氷化が強いことが分かった。²¹¹⁰¹²

³⁸ アメダス登別地点データ。

(将来予測される影響)

[概要]

- RCP2.6、8.5シナリオを用いた研究で、国内37のダムのうち、富栄養湖に分類されるダムが2100年代で増加し、特に東日本での増加数が多くなる予測例がある。
- 研究は限定的であるものの、RCP8.5シナリオを用いた場合、宍道湖、中海では、21世紀末の表層水温、底層水温の上昇や、海面水位上昇に伴う塩分濃度の上昇が予測されている。
- RCP8.5シナリオを用いて東北地方のダムを対象にした研究では、将来の流入量の増加に伴うSSの増加によって、濁水の放流が長期化することが予測されている。ただし、気温上昇及び日射量増加が貯水池内濁水現象に与える影響は、年間湖水回転率の大小によって異なる可能性も示唆されている。
- 気候変動による降水量や降水の時空間分布の変化に伴う河川流量の変化や極端現象の頻度や強度の増加による湖沼・ダム貯水池への影響については、具体的な予測の研究事例は確認できていない。

気候予測モデルを使用して全国37のダムを対象に影響を予測した研究(MIROC5による気候予測情報を使用)によればRCP2.6シナリオでは、適応策の有無にかかわらず2010年代～2050年代にかけてChl-a濃度が東日本で1.2倍～1.3倍程度、西日本でおおよそ1.1倍～1.2倍程度に増加することが予測されている。これに対し、2050年代～2100年代にかけては、東日本、西日本ともに1倍～1.1倍程度の緩やかな増加傾向となる予測結果であった。一方で、RCP8.5シナリオで適応策(曝気循環施設³⁹の設置)が未導入の場合、東日本では、2010年代～2050年代にかけてChl-a濃度が1.3倍に増加するが、2050年代～2100年代では1.4倍程度増加する予測結果となった。富栄養湖と判定されるダム貯水池の数においては、東日本で適応策を導入していない場合、富栄養と判定されるダム貯水池の数は2010年代ではわずか3箇所であるが、2100年代になると、RCP2.6では6箇所、RCP8.5では12箇所にまで増加し、西日本の増加数より多いことが予測されている。^{211015,211016} また、寒河江ダム、釜房ダム、早明浦ダム、耶馬溪ダムでは、水温や濁度の上昇、底層水質の悪化や植物プランクトン増殖(ダム貯水池の表層Chl-a濃度及び表層Chl-aの25 μ g/L超過日数)が予測されている(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5シナリオを前提としたMRI-NHRCM20による気候予測情報を使用)。²¹¹⁰¹⁷ 気候変動が印旛沼の水質に与える影響を調査した結果によると(MRI-NHRCM02による気候予測情報を使用)、RCP8.5シナリオにおいて、沼内では、水温の上昇に伴い、アオコ発生の原因となる藍藻類の優占する期間が、現在から21世紀末にかけて、約2ヶ月長くなる可能性があり、アオコが問題となる期間が長期化する可能性があることが示唆されている。²¹¹⁰¹⁸ また、八郎湖においては、水温変化に伴う変化としては、夏季にピークを迎える植物プランクトン(Chl.a)の増殖が、水温上昇に伴い早期化すると予測されている。また、主に出水時の流入負荷量の増加により、夏季の植物プランクトン(Chl.a濃度)のピーク値が増加すると予測されている。池田湖(鹿児島県)では、湖面積に比べて流域が狭いため、降水量より気温

³⁹ ダム貯水池内で植物プランクトンが異常増殖することによる富栄養化現象に伴って発生する水質障害の軽減を目的として設置されている水質保全施設。

上昇による影響が大きく、これまでも冬季全循環の停止が見られたがこれが継続するとともに、夏季の表層水温上昇等により、表層の有機物濃度が現在より高くなると予測されている。(RCP2.6、RCP8.5シナリオを前提としたMRI-NHRCM20、RCP8.5シナリオを前提としたMIROC5mid、GFDL-3CMによる気候予測情報を使用)。²¹¹⁰¹⁹⁾

琵琶湖においては、冬季の気温上昇等により冬季全循環が生じなくなる年が生じ、また底層水が貧酸素化する年が増えることで底層利用魚の生息適水域の面積が減少する年が生じることが予測されている(RCP2.6、RCP8.5シナリオを前提としたMRI-NHRCM20、RCP8.5シナリオを前提としたMIROC5mid、GFDL-3CMによる気候予測情報を使用)。²¹¹⁰¹⁹⁾ 気候変動による宍道湖・中海の水質等への影響を予測した結果によると(MRI-CGCM3による気候予測情報を使用)、RCP8.5シナリオにおいて、21世紀末の水温上昇は、表層水温は宍道湖、中海とも年平均で約4.0℃と同程度であったが、底層水温は、水深の浅い宍道湖の上昇幅(+3.9℃)が、中海(+3.0℃)よりも大きかった。気候変動に伴い、日本海の海面水位が上昇することによって、宍道湖、中海に流入する塩水が増加し、塩分濃度が上昇する可能性がある。また、21世紀末の塩分も、水温同様に高くなる可能性がある。現在の塩分が比較的低い宍道湖の上昇幅(表層+2.7PSU、底層+5.4PSU)の方が、中海(表層+1.4PSU、底層+1.0PSU)よりも上昇幅が大きかった。なお、中海よりも宍道湖の方が塩分の上昇幅が大きいのは、中海の方が宍道湖よりも平均水深が深く、湖内の水量が多いため、海水と同程度の濃い塩水が同量程度入ってきた場合であっても、そのインパクトが異なるからと考えられる。さらに、現在に比べ、21世紀末は塩分躍層⁴⁰⁾が発生している時間が長くなり、発生のピークが9月であり、現在よりも2ヶ月ほど早まると予測されている。宍道湖におけるアオコの発生予測式を用いて、現在と21世紀末のアオコの発生有無を1日単位で予測し、その頻度を比較したところ、21世紀末は、現在よりも約2.2倍発生頻度が高まると予測されている。²¹¹⁰²⁰⁾

埼玉県のパ山ダムを対象にした研究(RCP4.5シナリオを前提としたGFDL-CM3による実験出力を境界条件に、WRFによりダウンスケールした気候予測情報を使用)では、気候予測モデルと流出モデルを用いて将来のダムへの土砂流入量の増加や、DOの低下、SS濃度の上昇などが予測されている。^{211021,211022)} 東北地方にある月山ダム、七ヶ宿ダム、皆瀬ダム、御所ダムを対象にした研究では、将来の流入量の増加に伴うSSの増加によって、濁水の放流が長期化することが予測されている。ただし、気温上昇及び日射量増加が貯水池内濁水現象に与える影響は、年間湖水回転率⁴¹⁾の大小によって異なる可能性も示唆されている(RCP8.5シナリオを前提としたMIROC5による気候予測情報を使用)。²¹¹⁰²³⁾

また、海外では植物プランクトンの繁殖期の長期化、湖沼・貯水池における物理化学的な水質変化により、浄水施設の凝集処理等で取り除けない溶存態有機物濃度が上昇するといったことや、消毒副生成物前駆物質の増加が懸念されている。²¹¹⁰²⁴⁾

⁴⁰⁾ 淡水(あるいは塩分のうすい水)と海水(塩分の濃い水)では、海水の方が重い(密度が大きい)ため、淡水は上層、海水は下層と層をなし、その境界がはっきりと分かれ、二つの層の境界では塩分が急激に変化することから、この境界のことを塩分躍層という。

⁴¹⁾ 年間総流入量(m^3)／総貯水容量(m^3)で算出される。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当> 影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

【観点】 社会／経済／環境

既に、水道水源ダム貯水池において、カビ臭発生植物プランクトンの異常増殖により異臭味被害が発生や、水道水源の生物障害が近年北上しているとの事例が報告されている。湖沼やダム貯水池は、気温・水温の上昇によりダム貯水池での温度成層や植物プランクトンの発生確率の増大や発生する期間の長期化、土壌有機物の生分解の向上による水中の有機物濃度の増加等、河川以上に厳しい水質変化が予想される。また、汽水湖でも水温の上昇や塩分濃度の上昇が予測されている。湖沼・ダム貯水池の水温・水質の変化は、水道水源として、社会に与える影響は甚大であり、水質悪化に伴う浄水場への影響におけるコストの増大といった経済への影響も懸念される。影響の範囲は全国の湖沼・ダム貯水池と広範囲に及び、生態系への影響も含め、一度悪化した水環境は簡単に元に戻せるものではない。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

全国 37 のダムにおいて 2010 年代～2050 年代、2050 年代～2100 年代にかけて Chl-a 濃度はそれぞれ増加し、富栄養と判定されるダム貯水池の数も 2100 年代では東日本で 6 箇所となることが予測されている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

全国 37 のダムにおいて 2010 年代～2050 年代、2050 年代～2100 年代にかけて Chl-a 濃度はそれぞれ増加し、富栄養と判定されるダム貯水池の数も 2100 年代では東日本で 12 箇所となることが予測されている。宍道湖、中海では、21 世紀末の表層水温、底層水温の上昇や、海面水位上昇に伴う塩分濃度の上昇が予測されている。月山ダム、七ヶ宿ダム、皆瀬ダム、御所ダムでは、流入量の増加に伴う SS の増加が予測され、濁水の放流が長期化することも懸念されている。

● 緊急性：【評価】 中程度

2010 年代～2050 年代までにダム貯水池における Chl-a 濃度の増加等、気候変動による影響が生じる可能性がある。一方、対策に関しては、曝気循環施設の設置等、事業者側で対応可能なものも多くあり、気候変動の進行度合いをモニタリングしながら判断することが重要と考えられる。

● 確信度：【評価】 中程度

温暖化による将来影響に関して、研究・報告書間の見解の一致度は高い。一方、証拠の種類、量、質、整合性に関しては、水温上昇、DO の低下、底層の低酸素化、富栄養化などにおいて、比較的予測結果の傾向に一致がみられるが、研究・報告数は一定程度に留まっているため、証拠はいまだ限定的と判断される。また、降水の時空間分布の変化については近未来の予測等が行われているが、それが水質に及ぼす影響についての研究報告は少ない。

(2) 河川

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気候変動に伴う河川や帯水層における水温の変化及び、水温上昇や降水条件の変化に伴う水質の変化を扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、河川の水温を上昇させる可能性がある。
- 河川の水温の上昇は、DOの低下、DOの消費を伴った微生物による有機物分解反応、硝化反応の促進、植物プランクトンの増加などを通じて、水質に影響を及ぼすことが想定される。
- 気候変動により短時間で降る極端な降水の頻度及び強度が増大する流域では、土砂生産量を増加させ、土砂の流出量や浮遊砂量を増加させる。
- 降水の時空間分布の変化は、河川の水質へ影響を及ぼすことも想定される。
- 気候変動による気温の上昇は、湧水や帯水層の水温上昇の影響も想定される。

(現在の状況)

[概要]

- 全国の河川の1981～2007年度の水温変化を調べたところ、3,121観測点のうち、夏季は73%、冬季は77%で水温の上昇傾向が確認されている。
- また、水温の上昇に伴う水質の変化も指摘されているが、河川水温の上昇は、都市活動（人工排熱や排水）や河川流量低下などにも影響されるため、気候変動による影響の程度を定量的に解析する必要がある。
- 長良川においては、短期集中降雨の増加、大雨間隔の短期化等により土砂流出量が増加することが報告されている。
- 平成30年の記録的な高潮により、淀川で塩水遡上が起こり、浄水場の原水に塩水が混入したことや、信濃川では、夏季に渇水により流量が減少したことにより塩水遡上が発生し、水門の一部が閉鎖されたことも報告されている。
- 芦田川支流では、近年の河川流出の傾向として、流量と応答して非常に多くの栄養塩が流出する洪水期と流出量が減少する渇水期の二極化の進行を予測する研究もある。
- 1980年代の終わりから、気温上昇に伴う真姿の池の湧水水温の上昇が確認されている。

全国の河川の1981～2007年度の水温変化を調べたところ、3,121観測点のうち、夏季は73%、冬季は77%で水温の上昇傾向が確認されている。²¹²⁰¹⁵⁾

また、香川県内の5河川について、1979～2005年までの27年間に観測した水温測定結果の年平均値は、各河川とも上昇傾向にあり、その上昇率は0.012～0.065℃/年であったことが報告されている。しかしながら、湖沼・ダム貯水池と同様に、河川水温の上昇は、都市活動（人工排熱や排水）や河川流量低下などにも影響されるため、気候変動による影響の程度を定量的に解析する必要がある。

水温の上昇に伴う水質の変化も指摘されている。平衡水温⁴²の理論より、気温、雨量（または流量）、日射量、蒸発散量などが、水温に影響を及ぼしうる重要因子であることは、実測された河川水温データを用いた解析からも明らかとなっている²¹²⁰⁰²）。

1982～2007年の全期間平均水温とその近似直線の傾きによってクラスター分析を行い、抽出地点を8つに類型区分した結果、自然的要因により水温が低下・上昇傾向を示している類型もあるものの、人口集中による流域の開発（下水道の流入等）といった人為的影響により水温の上昇度合いが気温の上昇度合いを大きく上回る要因となった類型が存在することも示唆された。なお、水温の上昇度合いについて、取水による河川水量の減少及び下水処理場からの処理排水の流入のある地点においては、河川流量に占める処理水量の増加が水温上昇の原因となっていることが考えられ、河川によっては水温も人為影響によるものと見られる変化が現れているところもある。²¹²⁰⁰³また、特に都市河川においては、水質項目によって現在も悪化を続けている地点があることも示されている²¹²⁰⁰⁴）。北東アジアの山岳流域では、暖冬に伴う降雪量、積雪量の減少や融雪時期の変化による河川水へ流出する栄養塩が増加する可能性も報告されている。²¹²⁰⁰⁵しかしながら、湖沼・ダム貯水池と同様に、河川水温の上昇は、都市活動（人工排熱や排水）や河川流量低下などにも影響されるため、気候変動による影響の程度を定量的に解析する必要がある。

芦田川支流では、近年の河川流出の傾向として、流量と応答して非常に多くの栄養塩が流出する洪水期と流出量が減少する渇水期の二極化の進行について予測している研究もある。²¹²⁰⁰⁶長良川においては、短期集中降雨の増加、大雨間隔の短期化等により土砂流出量が増加することも報告されている。²¹²⁰⁰⁷雨天時に大量の雨水と共に汚水が未処理のまま公共用水域に放流される合流式下水道越流水が発生すること^{212008,212009}が問題となり、放流先水域の公衆衛生、生態系、景観への影響が懸念されている。今後短期集中降雨の発生頻度が増大することにより、河川や都市沿岸域などの受水域の病原微生物に伴う汚染が増大する可能性が懸念されるが、対象の地方公共団体では平成15年に改正された下水道法施行令に基づき令和5年度の期限に向けて合流式下水道の改善対策が推進されているところである。

大阪湾では、平成30年台風第21号に伴い記録的な高潮が発生し、淀川で塩水遡上が起こった結果、浄水場の原水に塩水が混入したことが報告されている。^{212010, 212011}

一方、信濃川では、夏季の渇水により流量が減少し塩水遡上が発生するため、水門の一部が閉鎖されたことが報告されており²¹²⁰¹²、阿賀野川では、夏季の河川流量の低下により塩水遡上が発生し、予備取水口からの取水に切り替えを行ったことが報告されている²¹²⁰¹³）。

さらに、1980年代の終わりから、気温上昇に伴う真姿の池の湧水水温の上昇が確認されている。²¹²⁰¹⁴

⁴² 地上におかれた開水面をもつ水塊は、その初期水温にかかわらず水面を通しての受熱・放熱によって、最終的には大気の熱的状態と釣り合った水温を示すこと。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 雄物川における将来の水温変化の予測では、1994～2003年の水温が11.9℃であったのに対して、2030～2039年では12.4℃に上昇すること、特に冬季に影響が大きくなることが予測されている。
- 2090年までに日本全国で浮遊砂量が8～24%増加することや強い台風の発生割合の増加等により9月に最も浮遊砂量が増加すること、8月の降水量が5～75%増加すると河川流量が1～20%変化し、1～30%土砂生産量が増加する可能性も予測されている。
- 水温の上昇によるD0の低下、D0の消費を伴った微生物による有機物分解反応や硝化反応の促進、植物プランクトンの増加による異臭味の増加等も予測されている。
- 仙台平野における帯水層の温度上昇にも影響を及ぼすことが予測されている。

雄物川において、琵琶湖流域の将来予測に用いた分布型流出・水温解析モデルを適用し将来の水温変化を予測した調査（A1Bシナリオ前提としたMRI-AGCM3.2Sによる気候予測情報を使用）では、現在気候（1994～2003年）の11.9℃に対して近未来気候（2030～2039年）では12.4℃であり、0.5℃上昇すること、特に冬季に影響が大きくなることが予測されている。²¹²⁰¹⁵⁾

また、気候予測モデルを用いて将来の浮遊砂量や土砂生産量を予測した研究では、2090年までに日本全国で浮遊砂量が8～24%増加することや強い台風の発生割合の増加等により9月に最も浮遊砂量が増加すること（A1Bシナリオを前提としたMIROC3.2-hires・MRI-CGCM2.3.2の両気候モデルによる気候予測情報を使用）²¹²⁰¹⁶⁾、8月の降水量が5～75%増加すると河川流量が1～20%変化し、1～30%土砂生産量が増加すること（A1Bシナリオを前提としたMRI-AGCM3.2Sによる気候予測情報を使用）²¹²⁰¹⁷⁾、などが予測されている。さらに、水温の上昇によるD0の低下、D0の消費を伴った微生物による有機物分解反応や硝化反応の促進²¹²⁰¹⁸⁾、植物プランクトンの増加による異臭味の増加²¹²⁰¹⁹⁾等も予測されている。

降水量の変動幅が大きくなることから、異常洪水や異常渇水が発生し、流量の変動幅が大きくなるとともに、積雪量や雪解け時期の変化により流量パターンが変化する。また、異常洪水の発生や大規模な洪水の発生頻度の増加により、土砂・物質の流出量が増加し、水質（濁度）や河床の環境に影響を及ぼすことが予想される。^{212020, 212021, 212022, 212023)}

埼玉大学キャンパスを対象に実験を行った研究では、浅層の地下水の温度上昇に伴う水質への影響も示唆されている。²¹²⁰²⁴⁾

仙台平野における帯水層の温度を調査した研究では、2006年に観測された値と比較すると、地表面から8mの深さの帯水層温度は、2080年までに1.2～3.3℃の範囲内で上昇することが予測されている（A2、A1B、B1シナリオ前提としたHADCM3、MRI、ECHAM5による気候予測情報を使用）。

²¹²⁰¹⁵⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

影響の範囲は全国の河川に及ぶ。気候変動による気温の上昇は、河川の水温を上昇させる可能性がある。

また、気候変動により短時間で降る極端な降水の頻度及び強度が増大する流域では、土砂の流出量を増加させる。水温上昇や濁度の程度にもよるが、河川や帯水層の水温・水質の変化における気候変動により生じるリスクは、社会・経済・環境のすべての観点において、その影響の程度や範囲は限定的と判断される。

● 緊急性：【評価】中程度

2030年頃までに、気温上昇のみならず、降水の時空間分布の変化に伴う水質の悪化が生じる可能性はあるものの、水道用の取水に対しては、水門の一部閉鎖、取水のピークカットや沈澱池の改良、高濁度原水に対する対応など、比較的短期間で対処可能な対策が今後も有効な適応策として考えられる。夏季の渇水による塩水遡上等の影響が報告されているものの、気候変動との因果関係については必ずしも明確になっていない。

● 確信度：【評価】低い

河川や帯水層の水温上昇や、河川における浮遊砂量、土砂生産量については気候予測モデルやシナリオを用いた予測がされているが、見解の一致度は気候シナリオの不確実性もあり中程度である。研究・報告数は一定程度に留まり、水質や異臭味等に関する定量的な予測の文献は現時点で確認できていないため、証拠は限定的である。また、降水の時空間分布の変化については近未来の予測等が行われているが、それが水質に及ぼす影響についての研究報告は少ない。

(3) 沿岸域及び閉鎖性海域

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇に伴う沿岸域及び閉鎖性海域における水温の変化及び、水温上昇の変化に伴う水質の変化を扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、沿岸域や閉鎖性海域の水温を上昇させる事が想定される。
- 沿岸域や閉鎖性海域における水温の上昇は、水質にも影響を及ぼすことが想定される。
- また、降水の時空間分布の変化による河川からの濁質の流入増加などによる水質への影響も想定される。
- 人為影響により排出される二酸化炭素は、海洋内部に蓄積することで海水中の水素イオン濃度指数 (pH) を低下させ、海洋酸性化を進行させることが報告されている。

(現在の状況)

[概要]

- 全国 207 地点の表層海水温データ (1970 年代～2010 年代) を解析した結果、132 地点で有意な上昇傾向 (平均 : 0.039℃/年、最小 : 0.001℃/年～最大 : 0.104℃/年) が報告されている。なお、この上昇傾向が見られた地点には、人為的な影響を受けた測定点が含まれていることに留意が必要である。
- 沖縄島沿岸域では、有意な水温上昇あるいは下降傾向は認められなかったとの研究報告もある。
- 全国 289 点の沿岸海域の pH データ (1978～2009 年) を用いて解析した結果、有意な酸性化傾向 (0.0014/年～0.0024/年) にあることが確認されている。

全国 207 地点の表層海水温データ (1970 年代～2010 年代) を解析した結果、132 地点で有意な上昇傾向 (平均 : 0.039℃/年、最小 : 0.001℃/年～最大 : 0.104℃/年) が報告されている²¹³⁰⁰¹⁾。

なお、この上昇傾向が見られた地点には、人為的な影響を受けた測定点が含まれていることに留意が必要である。

一方、沖縄島沿岸域の 5 地点における公共用水域では、有意な水温上昇あるいは下降傾向は認められなかったとの報告がある²¹³⁰⁰²⁾。

なお、日本近海の年平均海面水温の長期変化傾向 (上昇率) は、1900 年から 2019 年までの統計期間において 0.0114℃/年である。

日本沿岸域において、289 点の pH データ (1978～2009 年) から、酸性化傾向 (0.0014/年～0.0024/年) にあることが確認されている。²¹³⁰⁰³⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 瀬戸内海の物理・熱環境の将来変化予測を行った研究においては、RCP8.5 シナリオを前提として、夏季における昇温傾向が強く最大で6月の3.58度、最小昇温は12月の2.84度の海面温度が上昇する予測例もある。
- 伊勢湾全体の将来の水温について予測した研究では、将来 2°C以上上昇し、特に沿岸部での上昇が顕著である可能性が高い。
- 東京湾を対象とした研究では、2046～2065年における強風（AMeDAS 観測値における南西の風速 10 m/s 以上）の継続時間は減少する可能性が示唆されており、DO 濃度の回復が困難となる恐れもあることが予測されている。

瀬戸内海の物理・熱環境の将来変化予測を行った研究においては、RCP8.5 シナリオを前提として月平均の将来変化を予測した研究によると（現在気候を 1996～2005 年、将来気候を 2084～2093 年と定義し、それぞれ 10 年間の月平均を求め、将来気候と現在気候の差を将来変化と見なした）、夏季における昇温傾向が強く最大で6月の3.58度、最小昇温は12月の2.84度の海面温度が上昇することが分かった（CMIP5 に登録されている全 61 種類の GCM による気候予測情報を使用）。²¹³⁰⁰⁴ 瀬戸内海における水質への影響については、RCP8.5 シナリオを前提とした将来予測では、水温の上昇により、夏季での表層 Chl-a 濃度の低下がみられ、それに伴い栄養塩類の消費が減少し、表層の栄養塩類濃度が上昇する傾向がみられた。一方、冬季の将来気候は現在気候よりも水温が高く、表層 Chl-a 濃度の上昇がみられ、栄養塩類濃度が低下する傾向がみられた。大阪湾の底層 DO については、表層 Chl-a 濃度の低下によって増加傾向がみられ、夏～秋の貧酸素化が弱まる傾向がみられたが、貧酸素水塊の発生期間は長期化する可能性がみられた（RCP 8.5 シナリオを前提とした MRI-NHRCM20 による気候予測情報を使用）。²¹³⁰⁰⁸

伊勢湾全体の将来（100 年後）の水温について予測した研究では、将来 2°C以上上昇し、特に沿岸部での上昇が顕著であることが分かった。水深の浅い沿岸部では、気温上昇や日射による水温上昇が効果的に行われることに起因するものと考えられている（A1B シナリオ前提とした CMIP3 に登録されている 15 種類の GCM による気候予測情報を使用）。²¹³⁰⁰⁵

なお、日本近海の平均海面水温は、21 世紀末（2081-2100 年平均）には、20 世紀末（1986-2005 年平均）と比べて、RCP2.6 シナリオでは $1.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 上昇し、RCP8.5 シナリオでは $3.6 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 上昇すると推定される（SI-CAT 海洋モデルによる予測）。

また、東京湾を対象とした研究では、2046～2065年における強風（AMeDAS 観測値における南西の風速 10 m/s 以上）の継続時間は減少する可能性が示唆されており、DO 濃度の回復が困難となる恐れもあることが予測されている（A1B シナリオを前提とした CMIP3 より提供された気候予測モデルの情報を使用）。²¹³⁰⁰⁶

さらに、海面水位の上昇に伴い、沿岸域の塩水遡上域の拡大も想定される²¹³⁰⁰⁷。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

影響の範囲は全国の海域（沿岸域及び閉鎖性海域）に及び、日本近海における平均海面水温の上昇、海洋酸性化、一部地域における貧酸素水塊の発生期間の長期化の影響が懸念されるが、人命や資産、環境生態系機能の損失などの観点から考えると、その影響の程度や範囲は限定的と判断される。

- 緊急性：【評価】中程度

瀬戸内海や伊勢湾全体で水温の上昇が生じるとする予測があることから、それに伴って水質の悪化が生じる可能性がある。その結果、水質汚濁物質が広範囲に蓄積する可能性を考慮すると、適応の着手・重要な意思決定が必要な時期の観点から、緊急性は中程度と判断される。

- 確信度：【評価】中程度

気温上昇や降水の時空間分布の変化についての近未来の予測はなされているが、それが水質等に及ぼす影響について、限定的ではあるものの、定量的な予測を行った研究事例が報告されている。

【水資源】

(1) 水供給(地表水)

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に降水条件等の変化による地表水への水供給量の変化及び、水資源量の変化や融雪の早期化が水供給全般（農業用水、工業用水等）に与える影響について扱う。

- 気候変動による降水量や積雪量の変化に伴い、河川流量が変化する。
- 無降雨日数の増加や積雪量の減少は、渇水を引き起こす原因となる。
- 冬季の降雨事象の増加とともに積雪量が減少することや融雪時期の早期化は農業などの水の需要期に十分な量の水を供給できない原因となる。
- 降水の時間推移の変化などによる渇水の深刻化に伴うダム貯留水の減少は、ダムからの用水の補給可能量を減少させる原因となる。
- 海面水位の上昇は、河川河口部における海水（塩水）の遡上範囲を拡大させ、淡水の塩水化を引き起こす原因となる。

(現在の状況)

〔概要〕

- 降水の時空間分布が変化しており、無降雨・少雨が続くこと等により日本各地で渇水が発生し、給水制限が実施されている。
- 1980～2009年の高山帯の融雪時期も時期が早くなる傾向があるが、流域により年変動が大きい。多雪地域である北陸などでは、冬季における融雪量が増加することが報告されており、取手川流域では、降雪現象の減少により春先の灌漑用水が不足することも示唆されている。
- 気候変動に伴う渇水による維持用水（渇水時にも維持すべき流量）への影響、海面水位の上昇による河川河口部における海水（塩水）の遡上範囲の拡大に関しては、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。

IPCC 第5次評価報告書では、観測された影響として、多くの地域において、降水量又は雪氷の融解の変化が水象システムを変化させ、量と質の面で水資源に影響を与えている（確信度が中程度）、と指摘している。²²¹⁰⁰¹

年降水量の変動が大きくなっており、無降雨・少雨が続くこと等により日本各地で渇水が発生し、給水制限が実施されている。^{221002, 221003, 221004, 221005, 221006} 1901～2000年の気象庁における日単位の降水量観測値の解析から、年降水量は減少傾向を示す地点が多いが、最大3日連続降雨量の解析からは、短期間にまとめて強く降る傾向が増加し、とくに、四国や九州南部でその傾向が強い。²²¹⁰⁰⁷ 1875年以降の年降水量データを用いて、北海道から沖縄まで12地域に分け、年降水量の10年移動変動係数をとると、移動平均は年々大きくなり、南に向かうほど増加傾向は大きくなった。このことは、多雨年と渇水年が頻繁にかつ大きな強度で起こることを意味している。²²¹⁰⁰⁸

また、1958～1967年の暖候期の前半の概ね梅雨期に相当する時期の降水量については、北海道を除く9地域で温暖な時期の最小降水量が小さくなっているほか、気温の上昇に伴い最大積雪深は小さくなっている。²²¹⁰⁰⁹⁾ さらに、四国の重信川流域における河川流出量は、1980年代から現在まで100mm/イベント以下の小雨時の流量が減少傾向を示している。²²¹⁰¹⁰⁾ 渇水が発生している四国の吉野川では、ダムを計画した際の基準年の降水量を下回る年が最近20年間で8ヵ年となっている。²²¹⁰⁰²⁾

1980～2009年の高山帯の融雪時期も時期が早くなる傾向があるが、流域によっては年変動が大きかった。²²¹⁰¹¹⁾ 特に、多雪地域である北陸では、流域の標高が高い河川ほど長期的な温暖化に伴う融雪流出の早期化トレンドが顕著であることが示されている。²²¹⁰¹²⁾ 冬季の気温上昇は、日本アルプスや中部における融雪を促進させ²²¹⁰¹¹⁾、阿賀野川流域では、冬季の融雪量が増加したことにより4月の積雪水当量が減少したことも報告されている²²¹⁰¹⁴⁾。取手川流域では、地球温暖化により降雪現象が減少した場合、特に早春における灌漑用水が不足することが示唆されている。²²¹⁰¹⁵⁾

岡山県の森林流域における1937年からの長期観測では、1987年頃から蒸発散量の増加が顕著になり、基底流出量⁴³⁾が減少した。²²¹⁰¹⁶⁾

現在気候下における日本流域の水需要量に対する取水可能量の比を、水ストレスとして評価した研究では(水利用量について、蒸発量を基に河川流量の季節性を考慮して水ストレスを評価した場合)、東北・中国・九州地方で水ストレスが検出されており、離島や小流域など、流出が速く水資源管理の難しいとされる流域での水ストレスも高くなっている。²²¹⁰¹⁷⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 北日本と中部山地以外では近未来(2015～2039年)から渇水の深刻化が予測されている。また、融雪時期の早期化による需要期の河川流量の減少、これに伴う水の需要と供給のミスマッチが生じると、水道水、農業用水、工業用水等の多くの分野に影響を与える可能性があり、社会経済的影響が大きい。
- 海面水位の上昇による新釧路川の塩水遡上形態の変化を調査した研究では、下流付近で高濃度の塩水が恒常的に侵入する可能性があることが予測されており、河川への塩水遡上範囲が延伸した場合、河川水を利用している施設へ影響が生じる恐れがあることも予測されている。また、由良川では、21世紀末において、河川流量が比較的多いケースにおいても、各取水場付近の塩分は現在よりも高くなり、遡上距離も延びることが予測されている。
- このほか、現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、維持用水(渇水時にも維持すべき流量)等への影響、海面水位の上昇による河川河口部における海水(塩水)の遡上による取水への支障などが懸念される。

⁴³⁾ 降った雨が地下水となって日単位あるいは、数ヶ月かけて河川に流出する量。

日本全域を対象に渇水リスクの変化を分析した研究（A1B シナリオを前提とした AGCM20 モデルによる気候予測情報を使用）によれば、近未来（2015～2039 年）及び 21 世紀末（2075～2099 年）共に、無降雨日数の増加や積雪量の減少により河川流量が減少し、渇水が増加することが予測されている。北日本と中部山地以外では、河川の流量が減少し渇水が深刻になることも予測されている。²²¹⁰⁰² 淀川水系において琵琶湖の水位を渇水リスクの評価指標とした研究によると（アンサンブル気候予測データ（d4PDF の 4℃上昇実験）360 年分の計算結果における、琵琶湖の年最低水位から確率評価を行った）、1/10、1/20 渇水年⁴⁴の水位は現況・過去実験から大幅に低下した。また、琵琶湖の利用低水位⁴⁵（B. S. L. -1.5 m）を下回らない利水安全度⁴⁶については、現況で 1/10 に対し、将来予測では 1/2 未満へ低下する結果となった。²²¹⁰¹⁸

日本各地の河川においては、冬季の降雪が降雨に変わることで河川流量が増加し、春季の融雪量の減少により河川流量が減少する傾向が示されている。^{221019, 221020, 221021, 221022} また、A2 シナリオを前提とした RCM20 による気候予測情報を用いた研究では、流域によっては、融雪期の早期化や融雪流出後期の流量減少が、近未来（2031～2050 年）に引き起こされるとする予測結果も報告されている。²²¹⁰²³ 日本海側の積雪・融雪が発生するダムと発生しないダムを対象に、RCP8.5 シナリオを前提として、2080 年 9 月～2100 年 8 月のダムの貯水位を比較した研究では、積雪・融雪が発生しないダムの方が、現在と比較して渇水の頻度、期間ともに深刻化することが予測されている（MRI-AGCM3.2H 及び MRI-NHRCM20 の気候予測情報を使用）。²²¹⁰²⁴ 2075～2099 年の吉野川流域、最上川流域において、RCP8.5 シナリオを前提とした河川流量の変化がダム貯水池の利水運用に及ぼす影響を予測した研究によると、夏季以降のダム貯水量が低下する傾向が示されており、最上川流域白川ダムでは、融雪時期の早期化の影響により、初夏に貯水量が減少する傾向が予測されている。ただし、夏季の水位制限の存在により、多くの年では融雪時期の早期化の影響は限定的である可能性も示唆されている（MRI-AGCM3.2S の気候予測情報を使用）。²²¹⁰²⁵ 定山溪ダム流域において、RCP8.5 シナリオを前提に現在気候と将来気候における水資源量の定量化及び比較を行った研究によると（MRI-NHRCM20 による気候予測情報を使用）、降雨量と蒸発散量は増加傾向にあるのに対し、降雪水量、融雪量、年最大積雪水量が約 5 割減少しており、その影響が大きいため水資源賦存量が約 400mm 減少することが予測されている。さらに年最大積雪水量は平均で約 250mm 減少しており、天然のダムを失うことが示されている。²²¹⁰²⁶

日本における水需給ギャップ（水需要量と水供給可能量の関係）を推計した研究では、2050 年において関東圏や大阪府で水需給ギャップが著しく、水需要量が水供給可能量を超過することが分かった（MRI-AGCM3.2S の気候予測情報を使用）。²²¹⁰²⁷ その一方で、水需要量を将来推定値とした場合では、2081～2100 年における全国の 88 水共同域で渇水リスクが増大する地域の数が半減することを示唆している研究もある（SRES A2 シナリオを前提とした RCM20 の気候予測情報を使用）。²²¹⁰¹²⁸

また、代かき期など水の需要期に河川流量が減少し、従来の水利用パターンとのミスマッチが発生するとの報告もある。²²¹⁰²⁹ 日本全国 336 流域を対象とした農業水利用への影響評価により、2081～2100 年の代かき期では、北日本（東北、北陸地域）において RCP2.6 シナリオでも利用可能

⁴⁴ 10 年に 1 回、20 年に 1 回程度。

⁴⁵ 利水のための最低水位。

⁴⁶ 河川水を利用する場合における渇水に対する取水の安全性を示す指標。

な水量が減少し、RCP8.5 シナリオでは西日本（近畿、中国地域）や北海道でも減少することが予測されている（RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 シナリオを前提とした複数の気候予測情報を使用）。²²¹⁰³⁰ 灌漑期及び非灌漑期における早明浦ダム流域の貯水率を調査した研究では、2091～2100年の灌漑期に低い貯水率の発生頻度が上昇し、非灌漑期に低い貯水率の発生回数が減少することも予測されている（RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC5 の気候予測情報を使用）。²²¹⁰³¹ このような河川流量の減少による渇水の増加や水の需要期と供給可能な時期とのミスマッチなどは、水道水、農業用水、工業用水等の多くの分野に影響を与える可能性があり、社会経済的影響が大きい。

河川では、河川環境や河川管理等に支障が生じないように、渇水時にも維持すべき流量（維持用水）が定められているが、渇水の深刻化によってこの流量を確保できず維持用水の枯渇が生じれば、自然生態系や水産業、水利用等への影響が生じる。

加えて、短時間降雨の降雨規模が増加することによる水供給への影響として、土砂生産が増加し、ダムに土砂が堆積することで、利水容量へ影響を及ぼすことが想定される。特に土砂生産の大きい地域において考慮すべき影響となり得る。（降雨規模と土砂災害の発生件数の関係、及び降雨規模と土砂災害の規模の関係について、詳細は「山地－土石流・地すべり等」を参照。）

さらに、海面水位の上昇に伴う水供給への影響として、河川の河口部における海水（塩水）の遡上範囲が拡大することが挙げられる（塩水くさびの発生）。上流側からの淡水の流入量が多くなければ、塩水くさびを押し戻すことができない。海面水位の上昇による新釧路川の塩水遡上形態の変化を調査した研究では、海面水位の上昇量を 0.59m 及び 1m と想定した場合、どちらにおいても下流付近では高濃度の塩水が恒常的に侵入する可能性があることが予測されている。²²¹⁰³² また、新釧路川では、将来、河川への塩水遡上範囲が延伸した場合に、河川水の利用に対して影響が生じる恐れがあることも予測されている。²²¹⁰³³ また、由良川において海面水位上昇を踏まえた河川内の塩水遡上のシミュレーションを行ったところ（RCP2.6、RCP8.5 シナリオを前提とした MIROC5 による気候予測情報の現在と将来の差分に、全球平均海面水位上昇分を加えた値を使用）、将来は塩水遡上距離がさらに延びるとともに、取水場付近の高塩分が長時間継続する恐れがある。特に 21 世紀末においては、流量が比較的多いケースにおいても、各取水場付近の塩分は現在よりも高くなり、遡上距離も延びることが予測されている。²²¹⁰³⁴

日本全国 336 流域の影響評価では、6～10 月にかけて大雨の発生する可能性が増加し、各地で洪水流量の増加も予測されている（RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 シナリオを前提とした複数の気候予測情報を使用）。²²¹⁰³⁰ 相模ダム流域では、RCP4.5 シナリオにおいても 6、7 月の洪水リスクの増加が示唆されている（RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 シナリオを前提とした MIROC5 の気候予測情報を使用）。^{221035, 221026} 吉見浄水場を対象とし、2081～2100 年の月平均降水量を用いて各月の河川流量を予測した研究では、洪水による水道施設被害や高濁度化のリスクが増加することが想定されており、過去と比較して洪水リスク発生の閾値が増加する傾向が見られ、特に 6、9 月の増加が顕著となることが予測されている（RCP2.6、8.5 シナリオを前提とした MIROC5、MRI-CGCM3.0 の気候予測情報を使用）。²²¹⁰³⁴

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

全国的に影響が及ぶ。特に融雪を水資源とする地域に大きな影響が及び、流量の減少とともに冬季の降雨事象の増加に伴う積雪量の減少や融雪時期の早期化は水田の管理に多大な影響を及ぼす。水不足は水道水、農業用水、工業用水など多くの分野に影響を与える可能性があり、社会的経済的影響が大きい。RCP2.6、8.5 シナリオともに洪水、渇水の両極端現象の発生頻度の増大を予測する研究事例もあり、注目していくことが重要となる。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

2081～2100年の代かき期では、北日本（東北、北陸地域）において利用可能な水量が減少することが予測されている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

夏季の水位制限の存在によって、多くの年では融雪時期の早期化の影響は限定的であると示唆されているものの、吉野川流域、最上川流域において夏季以降のダム貯水量が低下する傾向が示されており、最上川流域白川ダムでは、融雪時期の早期化の影響により、初夏に貯水量が減少する傾向が予測されている。また、2081～2100年の代かき期では、西日本（近畿、中国地域）や北海道でも減少することが予測されている。将来の水資源賦存量の減少により、札幌市民の生活用水への影響も予測されている。

● 緊急性：【評価】高い

日本各地において気象現象の変化による渇水とそれによる給水制限等の被害が既に発生している。また、その他の地域においても、近未来（2015～2039年など）から影響が生じることが予測されている。

● 確信度：【評価】高い

研究・報告数は、気候予測モデルを用い、その結果を流出計算により定量的に評価した文献が増加してきており、それ以外にも定性的な予測等も含めると多くの文献が存在する。流出計算により定量的評価を行っている文献でも、予測の結果はほぼ整合している。今後は、降雨分布等の不確実性もふまえたリスク評価への展開が必要であるが、現時点で得られている情報の下での確信度は高いと考えられる。

(2) 水供給(地下水)

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に降水条件等の変化による地下水への水供給量の変化及び、水資源量の変化や融雪の早期化が水供給全般（農業用水、工業用水等）に与える影響について扱う。

- 気候変動による日降水量や降水の時間推移の変化により地下水位が変動し、水利用に影響を及ぼす。
- 地下水利用量の変化には人為的な要因だけでなく、気候変動要因も関係する。気候変動により、無降雨日数の増加等に伴う渇水が頻発することで、過剰な地下水の採取が行われ、地盤沈下が進行する可能性がある。
- 海面水位の上昇は、地下水の塩水化を引き起こす原因にもなる。
- 大雨や融雪による地下水供給の増加は、地すべり等の斜面災害の発生に大きく関係する。

(現在の状況)

[概要]

- 気候変動による日降水量や降水の時間推移の変化に伴う地下水位の変化の現状については、現時点で具体的な研究事例は確認できてない。
- 地盤沈下が続いている地域が多数存在していることや、渇水時における過剰な地下水の採取により地盤沈下が進行することもある。特に臨海部では、地下水の過剰採取によって帯水層に海水が浸入して塩水化が生じ、水道用水や工業用水、農作物への被害等が生じている地域があることも報告されている。海面水位の上昇による地下水の塩水化の現状については、現時点で具体的な研究事例は確認できてないものの、地球温暖化に伴う海面水位の上昇や高潮氾濫、渇水の頻発化・長期化によって、小規模な島の淡水レンズ⁴⁷が縮小する可能性が指摘され、また過剰揚水によって既に縮小した事例が報告されている。

地下水利用に関しては、渇水に伴う水利用可能量減少の結果、地下水を利用している地域における地下水揚水量の増加が生じ、さらにそれによって地盤沈下が引き起こされる可能性がある。

222001)

地下水の過剰な採取による地盤沈下が、関東平野南部では明治中期から、大阪平野でも昭和初期から認められ、昭和 30 年以降は全国に拡大したが、地表水への水源の転換を推進したことや、法律、条約、要綱等による規制が行われたことにより、近年沈静化の方向である。しかしながら、依然として地盤沈下が続いている地域が多数存在していることや、渇水時における過剰な地下水の採取により地盤沈下が進行することもある。特に臨海部では、地下水の過剰採取によって帯水層に海水が浸入して塩水化が生じ、水道用水や工業用水、農作物への被害等が生じている地域が

⁴⁷ 透水性の土質の地下で地下水（淡水）が海水（塩水）の上にレンズ状の形で浮いている状態のこと。

あることも報告されている。²²²⁰⁰²⁾

関東平野北部でも、地盤沈下は沈静化傾向にあるが、過去、地下水揚水量の多かった年には沈下面積が増加している。これだけでは渇水との関係性に言及はできないが、将来気候変動により渇水が生じ、地下水揚水量の増加が生じれば、地盤沈下面積の増加という影響につながる可能性が示唆される。²²²⁰⁰¹⁾

海面水位の上昇による地下水の塩水化については現時点で現状に関する文献が確認できていないものの、高波の発生により飲用利用されている井戸水に海水が流入する塩水被害も報告されている²²²⁰⁰³⁾。

近年では、地球温暖化に伴う海面水位の上昇や高潮氾濫、渇水の頻発化・長期化によって、小規模な島の淡水レンズが縮小する可能性が指摘され、また過剰揚水によって既に縮小した事例も報告されている。²²²⁰⁰⁴⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 武蔵野台地や京都盆地を対象とし、気候変動による日降水量や降水の時間推移の変化に伴う地下水位の変化について予測した研究事例がある。黒部川流域において、21世紀末では月降雨量及び融雪量、地下水浸透量は、11～4月に現在より増加、5～6月に現在より減少することが予測されており、地下水資源を活用する地域への影響が懸念される。また、胆沢川扇状地を対象にした研究では、2081～2100年にかけて稲作の灌漑期における地下水位の低下が予測されている。
- 渇水に伴い地下水利用が増加し、地盤沈下が生じることについては、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。
- 現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、海面水位の上昇による地下水の塩水化、取水への影響が懸念される。わが国の沖積平野にある大都市や灌漑用水としては河川水利用が多いことから、地下水塩水化による水源への影響はさほど大きくないと想定されるが、地下水を利用している自治体では、塩水化の影響は大きくなることが懸念される。

気候変動が地下水環境に及ぼす影響について、武蔵野台地を対象に RCP4.5 シナリオを用いた研究では、2013～2050年において、適度な強度の日降水量の増加が地下水位の上昇に大きく影響していることが示されている。²²²⁰⁰⁵⁾ また、京都盆地を対象にした研究によると、2075～2099年にかけて地下水位が低下する可能性が高い地域がある (SRES A1B シナリオ前提とした MRI-AGC3.2H による気候予測情報を使用) ことが予測されている。²²²⁰⁰⁶⁾ 黒部川流域において、融雪時期の変化を反映して地下水資源に影響を与える指標 (流域毎の降雨量 (降水量の内、雨として降った量) 及び融雪量の和、地下浸透量) は、11～4月は現在より増加、5～6月は現在より減少する可能性が

示されている。調査対象地域では地下水資源を産業用途や消雪等の日常用途に活用しているため、地下水環境の安定化への影響が懸念される（RCP2. 6、8. 5 シナリオを前提とした MIROC5、MRI-CGCM3 による気候予測情報を使用）。²²²⁰⁰⁷⁾ また、胆沢川扇状地を対象にした研究では、2081～2100 年にかけて稲作の灌漑期における地下水位の低下が予測されている（RCM20 による気候予測情報を使用）²²²⁰⁰⁸⁾。

また、仙台平野では、気温の上昇や涵養率の変化による帯水層温度の上昇が予測されており、地下の温度上昇による水環境へも影響も示唆されている（SRES B1、A1B、A2 シナリオ前提とした複数の気候予測モデルによる情報を使用）。²²²⁰⁰⁹⁾

海面水位の上昇による地下水の塩水化により、地下水の取水への影響が懸念される²²²⁰¹⁰⁾。沖積平野の沿岸域において観察される塩水化現象をもとにした考察によると、淡水レンズが存在する島嶼地域において、海面水位の上昇による淡水レンズの縮小を予想している。また、淡水レンズの縮小に伴って塩分濃度が上昇する可能性もあること、特にこの縮小の規模は尖った地形の島嶼あるいは半島部で大きくなるとしている。このほか、感潮域が上流に移動することで、塩水侵入の促進が想像されるともしている。さらに、河道及び帯水層の構造にも依存するが、長期的に高い海面水位が継続すれば、地下水の塩水化は河川からも進むとしている。²²²⁰¹¹⁾ わが国の沖積平野にある大都市では、表流水を主水源としており、灌漑用水としても河川水利用が多いことから、地下水塩水化による水源への影響はさほど大きくないと想定している。ただし、地下水を利用している小規模自治体では、水道、工場、個人事業、農・水産業への塩水化の影響は大きくなる可能性があり²⁰⁵⁷⁾、北海道利尻島西部では、積雪の減少による地下水涵養の減少から沿岸域において海水の侵入が起き始め、将来、より大量の海水が侵入した場合は、飲料水質に影響を及ぼす恐れがあることも示唆されている²²²⁰¹²⁾。

また、富山湾片貝川扇状地においては、月降雨量の増加による地下水位の上昇に伴い、海底地下水の湧出量の増加も予測されている²²²⁰¹³⁾。

大雨や融雪による地下水供給の増加は地すべり等の斜面災害の発生に大きく関係することから、降雨・降雪は重要な誘因の一つである。大規模な深層崩壊は、月あるいは季節的な降水量の影響とそれによる地下水の変動の影響を受ける。²²²⁰¹⁴⁾ また、斜面災害の多発、これまで想定していなかった場所での災害の発生、雨の降り始めから災害発生までの時間の短縮、災害規模の拡大、発生タイミングの変化による被害の拡大等が懸念される。²²²⁰¹⁵⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

影響の範囲は全国に及ぶ。稲作の灌漑期における地下水位の低下が予測されている地域もあり、地下水を主水源としている地域では社会的経済的影響を受ける。ただし、わが国の沖積平野にある大都市では、表流水を主水源としており、灌漑用水としても河川水利用が多い。したがって、地下水塩水化による水源への影響はさほど多くはないと想定される。一方で、大雨や融雪による

地下水供給の増加は地すべり等の斜面災害の発生に大きく関係する。

- 緊急性：【評価】 中程度

現状で、海面水位の上昇による地下水塩水化の被害等に関する報告は確認できていないものの、臨海部においては、渇水時に地下水を過剰採取したことによって帯水層に海水が浸入し、塩水化が生じていることが報告されている。また、長期（2080～2099年）を対象とした研究で影響が予測されている。地下水は、一旦塩水化等の影響が生ずれば、地下水環境の回復・修復は困難が予想されるため、適応策については比較的早期に検討・準備が必要と考えられる。

- 確信度：【評価】 中程度

研究・報告数は一定程度である。気候予測モデルを使用した報告、室内モデル実験による研究を含む。

(3) 水需要

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に気温上昇や降水条件の変化による農業用水、生活用水等の水需要量の変化について扱う。

気候変動による気温の上昇は、飲料水・冷却水等都市用水の需要を増加させる可能性があり、東京では、気温上昇に応じて水使用量が増加することが報告されている。

- 気温の上昇は、作付け時期の変化や蒸発散量の増加などを引き起こし、農業用水の需要を増加させる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 気温上昇と水使用量の関係について、東京では、気温上昇に応じて水使用量が増加することが実績として現れている。
- 農業分野では、高温障害への対応として、田植え時期や用水時期の変更、掛け流し灌漑の実施等に伴う増加が報告されている。

実績に基づく気温上昇程度に応じた水使用量の増加に関する研究によれば、東京では最高気温が1℃上昇すると水の使用量が0.7%増加すること、小口径では影響が少なく中口径・大口径の契約者で影響が大きいことが示されている。²²³⁰⁰¹⁾

また、農業分野での高温障害による掛け流し灌漑の実施に伴う需要増加などが報告されているほか、営農実態調査から、高温時の営農対策として取水量を増やす等、一時的に用水需要が高まる傾向がみられる。²²³⁰⁰²⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 現時点で、気候変動による影響を定量的に予測した研究事例は確認できていないものの、気温の上昇による飲料水等の需要増加が懸念される。
- 九州で2030年代に水田の蒸発散量増加による潜在的な水資源量の減少が予測されており、その他の地域も含め、気温の上昇によって農業用水の需要が増加することが想定される。
- 気候変動・将来の人口・経済発展を考慮して2050年の水供給・水需要を推定した結果においては、国内の人口の減少傾向も関係し、生活用水・工業用水の必要量が将来的に確保されることが予測されている。
- 松山市では将来人口の減少及び世帯構成変化により、総家庭用水需要が減少し、2007年同様の渇水期ではダム貯水量が増加するといった予測例もある。

松山市では、2071～2100年における平均日降水量の減少により、灌漑水量を現在と比較して30%程度増やさないと水ストレスによる水稲の生育阻害要因を除去できない可能性があることが予測されている（SRES A1B、A2シナリオを前提としたCGCM3の気候予測情報を使用）。²²³⁰⁰³九州では2030年代に水田の蒸発散量増加による潜在的水資源量の減少が予測されていることから、その他の地域も含め、気温の上昇によって農業用水の需要が増加することが想定されるとしている。²²³⁰⁰⁴

また、気温の上昇による飲料水・冷却水等都市用水の需要の増大を予測する報告もある。²²³⁰⁰⁵その一方で、気候変動・将来の人口・経済発展を考慮して2050年の水供給・水需要を推定した結果においては、国内の人口の減少傾向も関係し、生活用水・工業用水の必要量が将来的に確保される²²³⁰⁰⁶ことが予測されている。また、松山市では将来人口の減少及び世帯構成変化により、総家庭用水需要が減少し、2007年同様の渇水期ではダム貯水量が増加する²²³⁰⁰⁷ことも予測されている。

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：【評価】影響が認められる

影響の範囲は全国に及ぶ。農業用水、生活用水のいずれにも影響が及ぶことが想定される。特に、大量に水を使用する農作物栽培地域や、公共施設等の確実な水供給を必須とする施設、福祉・医療施設は持続的な脆弱性・曝露の要素となり得る。ただし、それらの影響の程度については現時点で特に大きいと判断される十分な根拠等はない。

● 緊急性：【評価】中程度

現状での水使用量への影響は既に確認されている。2030年代における水田の潜在的水資源量の減少や、長期（2071～2100年）における灌漑水量の減少が予測されているなどの影響の発現も想定される。

● 確信度：【評価】中程度

研究・報告数は限定的である。気温上昇による現状での水使用量への影響は現れているため、将来の需要増に関してもある程度確信度が高いと考えられる。気候予測モデルを用いて将来の農業用水への影響を予測している研究はあるものの、水使用量への影響について予測を行っている例は確認できていない。

3.3 自然生態系

自然生態系分野における気候変動による影響の概略は、図 3-4 に示すとおりである。

気候変動は、分布適域の変化や生物季節の変化、及びこれらの相互作用の変化を通し、生態系の構造やプロセスに影響を及ぼす。加えて、自然生態系分野における気候変動影響は、生態系から人間が得ている恵み、すなわち生態系サービス⁴⁸を通して、農業・林業・水産業分野や国民生活、産業経済分野へも影響が波及することが特徴である。人間社会は食料や原材料、極端な気候現象による被害の緩和、水質や大気質の向上、文化的・美的価値等の生態系が提供する様々な生態系サービスに依存している。気候変動等の影響によりこれらを提供する生態系が効果的に機能しなくなると、提供される生態系サービスが劣化したり、喪失したりする恐れがある。

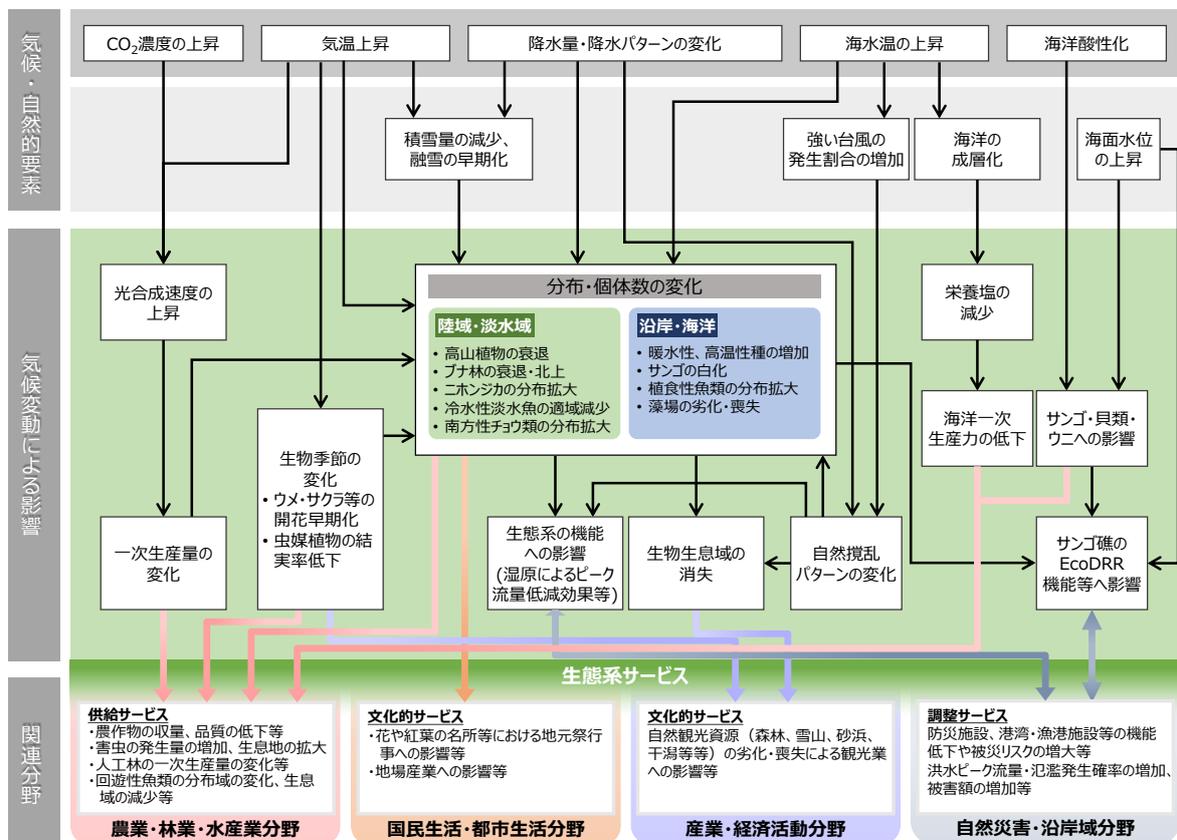


図 3-4 気候変動により想定される影響の概略図（自然生態系分野）⁴⁹

● 文献数・構成等の変化

⁴⁸ 生態系サービス：食料や水、気候の安定など、多様な生物が関わりあう生態系から、人間が得ることのできる恵み。「国連の主導で行われたミレニアム生態系評価（2005年）」では、食料や水、木材、繊維、医薬品の開発等の資源を提供する「供給サービス」、水質浄化や気候の調節、自然災害の防止や被害の軽減、天敵の存在による病害虫の抑制などの「調整サービス」、精神的な価値や自然景観などの審美的な価値、レクリエーションの場の提供などの「文化的サービス」、栄養塩の循環、土壌形成、光合成による酸素の供給などの「基盤サービス」の4つに分類している。

⁴⁹ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される自然生態系分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか自然生態系分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の2段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

今回の影響評価において、自然生態系分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 252 件の文献（現状影響 135 件、将来影響 116 件、両方 1 件）を引用しており、このうち、前回の影響評価から新たに追加された文献は 161 件である。小項目別に見ると、高山・亜高山帯や自然林・二次林（陸域生態系）、亜熱帯や温帯・亜寒帯（沿岸生態系）において文献数が特に増加している。

前回の影響評価からの構成上の変更点としては、大項目として「生態系サービス」が追加された他、「生物季節」「分布・個体群の変動」については新たに設ける大項目「その他」のもとに整理を行い、他の各小項目で扱うことが適当でない、分布が広域で複数の生態系を利用する種等に関する影響を取扱うこととした。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

既に高山帯及び植生移行帯付近の森林における種構成の長期的な変化、植物の開花期と送粉者との季節的なミスマッチの発生、ニホンジカの生息適地の全国的な増加、河川や沿岸生態系における南方性生物種の分布北上等の影響が国内各所で生じていることが報告されている。また、新たに顕在化してきた影響として、過去 30 年間に於けるモウソウチクやマダケの分布北限付近における拡大、沿岸域における藻場生態系の衰退とサンゴ礁群集への移行、海洋酸性化及び貧酸素化の全国的な進行等が挙げられる。

将来予測される影響

高山性のライチョウや、冷水性魚類であるイワナ等の生息適域の減少及び一部地域での消失、森林構成樹種の分布や成長量の変化、ニホンジカやタケ類の高緯度・高標高への分布拡大、亜熱帯域におけるサンゴ礁の分布適域の減少や消失、温帯域における藻場生態系からサンゴ礁への移行、海洋酸性化の進行によるサンゴやウニ、貝類の生息適域の減少等の影響が予測されている。加えて、「自然林・二次林」「亜熱帯（沿岸生態系）」などで RCP2.6、RCP8.5 シナリオを用いた将来予測に関する知見が新たに報告されている。

また、これらの変化に加えて、流域の栄養塩・混濁物質の保持機能の低下や、沿岸域の藻場生態系の劣化・消失による水産資源の供給量の減少、サンゴ礁の劣化・消失による Eco-DRR 機能の低下、自然生態系と関連するレクリエーション機能の低下等、生態系サービスの負の影響を通じた、社会経済への影響の波及も予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

自然生態系分野では、影響は早期に発見される場合が多いものの、適応策としてできることが限られており、気候変動そのものを抑止する（緩和）しか方策がないという場合もある。そのような場合、緊急性の評価における「適応の着手・重要な意思決定の必要な時期」の観点で評価を行うことは難しく、「影響の発現時期」の観点のみで評価を行っている。

自然生態系はその変化を通して重要な種やハビタットに大きな影響を与えることに加え、生態系サービスを通して地域社会の文化や経済への影響の波及も考えられることから、影響の重大性は「特に重大な影響が認められる」と評価される傾向が強い。

しかしながら、自然生態系は気候変動以外にも、開発行為や人口減少に伴う管理放棄など、他

の要因による脅威にさらされてきたことに加え、気象条件等の変化と生物との相互作用が複雑であることから、気候変動による直接的な影響を検出することが難しく、確信度は他分野と比較して低く評価される傾向にあった。その中でも、今回収集された文献に基づき「野生鳥獣による影響」及び「亜熱帯（沿岸生態系）」の2つの小項目については、確信度が上方修正された。また、「自然林・二次林」「里地・里山生態系」「人工林」の3つの小項目については、現在既に生じている影響が確認されたこと等から、緊急性評価が上方修正となった。

今回の影響評価より新たに評価を実施した生態系サービスについては、気候変動による直接的な影響を論じた文献こそ限られるものの、サンゴ礁や藻場生態系の劣化や、サクラやカエデの生物季節の変化等、生態系サービスの基盤である各生態系の構成要素への影響については一定程度の文献が収集されたことから、これらの生態系に関連が深いサービスについては、細目として個別に評価を行っている。その結果、細目評価の対象とした「流域の栄養塩・懸濁物質の保持機能等」、「沿岸域の藻場生態系による水産資源の供給機能等」、「サンゴ礁によるEco-DRR機能等」、及び「自然生態系と関連するレクリエーション機能等」の4つの細目に置いて、影響の重大性について「特に重大な影響が認められる」と評価された。

気候シナリオに応じた重大性評価を実施した「自然林・二次林」「亜熱帯（沿岸生態系）」の結果から、気温の上昇を2℃上昇程度に抑えることは、「自然林・二次林」の影響の低減に貢献するものの、サンゴ礁等を対象とする「亜熱帯（沿岸生態系）」は2℃上昇相当であっても重大な影響が生じることが予測された。このことから、特に「亜熱帯（沿岸生態系）」においては適応策のみで影響を低減させることには限界があり、緩和策との連携の重要性が示唆される。

【陸域生態系】

(1) 高山帯・亜高山帯

(気候変動による影響の要因)

ここでは、高山・亜高山生態系における動植物や植生等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。

- 気候変動による気温の上昇、夏季の降水量の増加、積雪環境の変化は、高山植物に影響を及ぼす。具体的には、気温の上昇により、高山植生の高標高及び高緯度地域への移動が生ずると考えられるが、地形要因や土地利用等様々な要因により移動が制限される可能性もある。積雪期間の短縮は植物の生育期間の増加と土壌の乾燥化を引き起こし、植生変化、特に雪田植生や高層湿原の衰退・消失をもたらすことが想定される。ハイマツ、ササ類、イネ科草本植物の分布拡大は、日本各地の高山帯で既に観測されている植生変化であり、それによって植物群落の種多様性は減少する。気温上昇と融雪時期の早期化は、高山植物群落の開花時期や展葉時期を早め、開花期間を短縮するなどの生物季節の改変をもたらす。その結果、開花時期と花粉媒介昆虫の活動時期とのずれや、展葉期における霜害を引き起こす可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 気温上昇や融雪時期の早期化等の環境変化に伴い、高山帯・亜高山帯の植生分布、群落タイプ、種構成の変化が報告されている。大規模な植生変化としては、森林帯の標高変化、高山帯におけるハイマツやチシマザサ等の分布拡大、高山帯へのイノシシやニホンジカの侵入、高山湿生植物群落の衰退が報告されている。
- 高山植物群落の開花期の早期化と開花期間の短縮により、花粉媒介昆虫の活動時期と開花期のずれ（生物季節の改変による相互関係の崩壊）が観測されている。

日本各地の高山帯で、ハイマツの伸長量の増加と分布域の拡大が見られる。^{311001, 311002, 311003, 311037} ハイマツの年枝伸長量は、夏の気温の増大により促進される。^{311004, 311005} 一方で、春の雪解けの早まりにより霜害のリスクが高まり、枝枯れもしばしば起きている。^{311006, 311003}

北海道大雪山五色ヶ原（高山湿生草原）では、融雪時期の早期化に伴う無雪期間の延長や土壌乾燥化により、過去 20～30 年間にチシマザサの分布拡大^{311007, 311008, 311003} とエゾノハクサンイチゲ個体群の衰退³¹¹⁰⁰⁹ が進行している。大雪山国立公園の高山帯全域(203km²)では、過去 40 年間にチシマザサの優占面積が 31%拡大し、高山帯の 11.3%を占めるに至っていることが判明した。³¹¹⁰¹⁰ また、同期間に雪田群落における高茎草本の減少、低木種の増加、群落タイプ間の種構成の類似化等の変化が起きている。³¹¹⁰¹¹

青森県八甲田山の亜高山帯では、過去 30 年間でオオシラビソの分布域が高標高へシフトしている。^{311012, 311013} 北海道から日本アルプスまでの 29 の山岳を対象に、空中写真判読により森林限界の上昇速度を推定した研究によれば、平均の上昇速度は年間約 0.3m とされている。^{311014, 311015}

ニホンライチョウ生息地の北限に当たる妙高戸隠連山の火打山では、大型イネ科草本植物が高山草原で急速に分布拡大しており、ニホンライチョウの営巣環境への影響が懸念されている。^{311038, 311016}

富士山山頂の上部高山帯においては、ヤノウエノアカゴケ群落が衰退し、維管束植物の侵入が拡大している。³¹¹⁰⁰¹

石川県白山では、越年雪溪の縮小が観察されている。³¹¹⁰⁰⁴

北海道アポイ岳では、ヒダカソウの開花日が過去 30 年間で 7.6 日早まったと推定されている。³¹¹⁰¹⁸

高山帯では、春の温暖化により植物群集の開花期の早期化と開花期間の短縮が起こり、花粉媒介昆虫（マルハナバチ）とのフェノロジカルミスマッチ（生物季節間の相互関係の変化）が生じている。^{311019, 311037}

後立山連邦において 2007 年から実施されている赤外線センサーカメラによるモニタリング調査によれば、2015 年にイノシシが確認されており、これは同山域で初めての記録であるとされて

いる。また、翌年の2016年にも2年連続でイノシシが確認された他、高茎草本群落でイノシシによる高山植物の掘り返し跡も確認された。³¹¹⁰²⁰⁾ また、立山アルペンルート沿いでは、2018年には標高1600m付近の地点を含む広い範囲で幼獣の記録が確認されるなど、繁殖個体が調査地域の広い範囲で生息していることが確認された。³¹¹⁰²¹⁾ 同じく立山連峰の高山帯においては、ニホンジカの侵入も確認されている。³¹⁵⁰²²⁾ 特にオスジカに関しては、6～10月の期間において広い範囲で撮影記録があることから、恒常的な生息地となっている可能性が高いとされている。³¹¹⁰²¹⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 高山帯・亜高山帯の植物種・植生、及び動物（ライチョウ）について、分布適域の変化や縮小が予測されている。例えば、ハイマツ、コメツガ、及びシラビソは21世紀末に分布適域の面積が現在に比べて減少することが予測されている。
- 地域により、融雪時期の早期化による高山植物の地域個体群の消滅が予測されている。
- 生育期の気温上昇により高山植物の成長が促進され、植物種間の競合状態が高まることによる種多様性の減少、低木類やチシマザサの分布拡大などの植生変化が進行すると予測されている。
- 生育期の気温上昇と融雪時期の早期化により、高山植物群落の開花時期の早期化と開花期間の短縮化が促進され、花を利用する花粉媒介昆虫の発生時期とのミスマッチ（フェノロジカルミスマッチ）のリスクが高まると予測されている。

ハイマツの分布適域を全国スケールで予測した研究によれば、現在と比較して2081～2100年までに分布適域は14.7（A1Bシナリオを前提としたMIROCモデルによる気候予測情報を使用）～25.0%（SRES A2シナリオを前提としたRCM20モデルによる気候予測情報を使用）に減少する。³¹¹⁰²³⁾ 同様にハイマツを対象としてRCPシナリオ下における将来の分布適域を推定した研究においても、全国的な適域の減少傾向が予測され、特に東北地方の山塊に孤立的に分布する個体群において適域の顕著な減少が予測されている。³¹¹⁰²⁴⁾ 一方で、過去30～40年間スケールではハイマツの分布域は拡大傾向にあり^{311007, 311003)}、予測モデルとは逆の傾向が観測されており、両者の不一致の原因について検討が必要である。

亜高山帯の針葉樹種であるコメツガ及びシラビソの分布適域を全国スケールで予測した研究によれば、現状の分布適域のうちコメツガで88%、シラビソで97%が分布不適地になると予測されている（A1Bシナリオを前提としたBCCR-BCM2.0等20のモデルによる気候予測情報を使用）。³¹¹⁰²⁵⁾

シラビソの分布適域を予測した他の研究においても、気候変動の進行に伴う分布適域の減少が予測されている。シラビソの分布南限域に当たる四国山地や紀伊半島の大峰山系では、RCP2.6において潜在生育域がわずかに残存するが、RCP8.5では消失すると予測された。同様に、東北地方の山地においても、潜在生育域の縮小が予測された。一方、中部山岳域では、RCP8.5においても

潜在生育域は残存すると予測された。³¹¹⁰²⁴⁾

北海道大雪山のエゾノハクサンイチゲについて個体群動態を解析した研究によれば、融雪時期の早期化により、50年以内に局所的な個体群消滅が起こる立地もあれば、分布シフトにより個体群が維持される立地もあると予測されている。³¹¹⁰⁰⁹⁾ 同様に北海道大雪山の国立公園における高山植生(雪田草原・高山ハイデ・亜高山帯低木群落)の分布適域を予測した研究によれば、RCP2.6シナリオを前提とした2096~2100年時点における予測では、分布適域面積が現在より大きく減少するものの比較的広い範囲に生育可能な条件が残存する事に対し、RCP8.5シナリオを前提とした予測では、いずれの群落においても生育可能な条件が存在しないことが示唆されている(MIROC5、MRI-CGCM3、IPSL-CMA5A-LRモデルによる気候予測情報を使用)。³¹¹⁰²⁶⁾

妙高戸隠連山国立公園の高山生態系を対象に、観光資源及びライチョウの生息環境として重要な高山植生について気候変動下における分布適域を予測した研究によれば、雪田群落の分布適域は21世紀末において現状の約半分程度へ減少すること(RCP8.5シナリオ及びRCP2.6シナリオを仮定)、ハイマツを含む高山低木群落の適域はRCP2.6シナリオを仮定した今世紀中頃(2040~2060年)であってもほとんど消失することが予測されている。加えて、RCP8.5シナリオを前提とした21世紀末(2080~2100年)においては、競合植生である亜高山帯針葉樹林の分布適域が高標高状況へ拡大し、高山帯への顕著な侵入が予測されている(MIROC-5及びMRI-CGCM3による気候予測情報を使用)。³¹¹⁰²⁷⁾

同様に、群馬県周辺や中国・四国地方の高山帯や亜高山帯の植生を対象として、分布推定モデルと気候シナリオを用いて将来の分布適域の予測を行った研究においても、気候変動の進行に伴う分布適域の減少が予測されている。群馬県周辺の高山・亜高山帯植生(高山低木群落・高山ハイデ・雪田群落・亜高山帯針葉樹林・山地湿原等の10区分の植生を対象)を対象とした分布適域の予測結果によれば、各群落により変化量に違いはあるものの、すべての群落において将来における分布適域の減少が予測され、RCP2.6シナリオを前提とした21世紀末(2080~2100年)においては概ね現在の30~50%程度に、RCP8.5シナリオを前提とした場合には現在の10~15%へ適域が減少すること予測されている(MIROC-5及びMRI-CGCM3による気候予測情報を使用)。³¹¹⁰²⁸⁾ また、中国・四国地方における亜高山帯及び冷温帯に分布する自然林の分布適域の予測結果によれば、21世紀末には、落葉広葉樹林や冷温帯針葉樹林の分布適地が四国地域からほぼ消失し、中国地域でも高い山の山頂周辺にわずかに残る状態となる可能性が指摘されている(RCP8.5シナリオを仮定)。これに伴い、これらの自然林を分布域とする希少植物の生息地が大きく消失することが予測されている。³¹¹⁰²⁹⁾

青森県八甲田山では、プラス1~2℃のシナリオではオオシラビソの生育適地はより高所に移動するとともに生育適地が2つに分断されることが予測され、プラス4℃の上昇では生育適地がほぼ消失すると予測されている。³¹¹⁰¹³⁾ 他の予測モデルにおいても、亜高山帯林は温暖化に伴い分布域の縮小と高標高・高緯度へのシフトが予測されている。^{311030, 311031)} 一方、北海道東部におけるアカエゾマツの年輪幅と気象要因の解析ならびに炭素安定同位体比による乾燥ストレスの評価では、夏の温暖化により乾燥ストレスが助長される場合には、高標高域で肥大生長(植物の根や茎が成長するにつれて太くなる現象)が抑制され、森林限界が現在よりも下降する可能性も示唆されている。³¹¹⁰³²⁾ また、格子モデルを用いて森林限界の分布を予測した研究によれば、気候変動に

伴う気温上昇により森林限界下部のオオシラビソの成長が促進されるものの、高標高帯においては強風等による枯死率が卓越することから、必ずしも森林限界が高標高へ拡大しないことも示唆されている。³¹¹⁰³³⁾ 以上のように、森林帯の分布シフト予測についての見解は地域により様々であり、統一した予測は得られていない。各山域の地域性を踏まえた予測が重要である。

気候変動に伴う月平均気温と月降水量の増加により、亜高山帯のオオシラビソ、ダケカンバの肥大成長が促進されることが予測されている(SRES B1、A1B、A2 シナリオを前提とした BCCR-BCM2.0、CGCM3.1 等6つの気候モデルによる気候予測情報を使用した年輪年代学的手法による予測)。³¹¹⁰³⁴⁾

加えて、中部山岳地域においては、ライチョウの分布適域が、2081～2100年までに現在と比較して0.4%に減少することが予測されている(SRES A1B シナリオを前提とした、CMIP3に含まれる24の気候モデルによる気候予測値に基づく分布適域予測の中央値)。³¹¹⁰³⁵⁾

高山植物群落の開花シーズンは、気温上昇と雪解け時期の早期化により季節進行が促進される。過去9年間の開花フェノロジー調査と気候変動の解析により、1℃の気温上昇と10日間の雪解けの早期化により、高山植物群落全体の開花期間は5日間短縮されると予測されている。³¹¹⁰³⁶⁾ それによって、花粉媒介昆虫との種間相互作用にも影響が及ぶ可能性が指摘されている。

妙高戸隠連山国立公園の高山・亜高山帯における紅葉時期の変化について、衛星データから観測した紅葉における色の変化と、気温との対応関係をモデル化し、気候変動下における紅葉時期の変化を予測した研究がある。これによれば、現在気候下では11月中旬頃と予測されている紅葉最盛日が、RCP8.5 シナリオを前提とした21世紀末(2080～2100年)においては12月上旬頃(MRI-CGCM3による気候予測情報を使用)～12月中旬頃(MIROC5による気候予測情報を使用)へとずれ込むことが予測されている。³¹¹⁰²⁷⁾

ある地域に存在する生物や生産活動が、将来気候下で同様の気候条件へと移動する場合に必要な速度は、Velocity of Climate Change (以下、VoCC) と呼ばれ、その場所の気候の安定性を表す指標として用いられる。VoCCを用いて全国レベルで気候条件の安定性の評価を行った研究では、VoCCは山頂付近で極大となることが予測され、これは周辺により涼しい環境が残存しないことを意味している。特に北海道の大雪山や日高山脈においては、気候変動が進行すると周辺に同様の気候条件を持つ移動先が存在せず、高山帯に生息・生育する生物が気候変化に追従できない可能性が懸念されている。³¹¹⁰²⁸⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境：希少種・ハビタット・生物多様性・景観の消失

影響の範囲は全国の山岳域に及ぶ。高標高及び高緯度への移動の限界は、当該影響に対する持続的な脆弱性の一要素となる。また、積雪期間の短縮は土壌の乾燥化を引き起こし、急速な植生変化や雪田、高層湿原の衰退・消失をもたらす。これらのことは、希少種・ハビタット・生物多様性・景観の消失につながる。また、気温上昇や融雪時期の早期化により高山植物群集の生物

季節は大きく改変され、それにより凍害リスクの増大や生物間相互作用の改変が起こる可能性が高い。

● 緊急性：

(生態系への影響)

【評価】 高い

・ 影響の発現時期 【評価】 高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期 【評価】 高い

既に気温上昇が一因となって生じている可能性のある影響（ハイマツの年枝伸長量の増加等）が報告されている。また、大規模な植生変化として、森林帯の標高変化、ハイマツやチシマザサ等の分布拡大、高山湿生植物群落の衰退等が報告されている。これらの報告では、気温上昇との直接的な因果関係が明確なものばかりでなく、様々な要因が合わさって影響が生じている可能性もあることに留意が必要である。特に高山帯では、融雪時期の早期化や雪溪の縮小が生態系に及ぼす影響が大きい。将来予測モデルでは、日本全域を対象としたような、広域スケールでの植生分布（植生帯レベル）の変化を、今世紀中頃から今世紀末にかけての時間スケールで予測しているものが多い。しかし現実には急速かつ大規模な植生変化が地域スケール（個々の山域や特定地域の群落・個体群レベル）で報告されている。高山生態系の生物多様性は、立地環境の違いを反映したハビタットのモザイク構造（異なる群落がパッチ状を成す構造）により維持されているため、一旦モザイク構造に影響が生じれば回復・再生は困難である。

● 確信度：

【評価】 中程度

研究・報告は比較的多くあるが、将来予測の対象種は様々であり、予測結果の傾向は必ずしも一様ではない。その理由として、我が国の山岳生態系は環境要因の地域性が大きいことが挙げられる（南北の緯度傾度と太平洋側と日本海側の気候の違い）。現状では総合的な評価のための情報が不足している。また、気候モデルを用いた種や群集の分布適地の予測については、用いる気候モデルや予測手法による不確実性に関して留意が必要である。

(2) 自然林・二次林

(気候変動による影響の要因)

ここでは、自然林・二次林生態系における樹木や植生等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。なお、コメツガやシラビソ等の亜高山帯にみられる森林については、「高山・亜高山帯」で取り上げる。

- 気候変動による気温の上昇、成育期・非生育期における降水量の変化、積雪環境の変化等は、自然林・二次林の植物に影響を及ぼす。具体的には、気温の上昇により、植物の高標高及び高緯度地域への移動が生ずると考えられるが、地形要因や土地利用等様々な要因により移動が制限される可能性もある。また山頂や沿岸部では移動が不可能となる。
- 冬季の気温の上昇等により、植物の越冬芽の休眠が打破される時期が早まり、開花や展葉が早まることが想定される。このような温度変化への反応が生物種間で異なる場合、種間の相互作用に影響が生じる。その相互作用が、それぞれの種の個体群の存続に重要なものである場合、個体群動態や生態系プロセスに深刻な影響が生じる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 気候変動に伴う自然林・二次林の分布適域の移動や拡大の現状について、各植生帯の南限・北限付近における樹木の生活型別の現存量の変化が確認されている他、北海道の天然生針広混交林における針葉樹の成長量の経年的な減少傾向、及び広葉樹の成長量の増加傾向が確認されている。
- 気温上昇の影響によって、過去から現在にかけて落葉広葉樹が常緑広葉樹に置き換わった可能性が高いと考えられている箇所が国内複数地域において確認されている。
- 樹木の肥大成長について、早材成長の急速化が報告されている樹種がある。
- 北海道の春植物においては、春の雪解けが早い年には花粉媒介昆虫の発生日よりも開花期が早まることで、送粉者とのミスマッチ（フェノロジカルミスマッチ）が発生し、結実率が低下する傾向が確認されている。

北海道北部の天然生針広混交林においては、針葉樹の成長量の経年的な減少傾向、及び広葉樹の成長量の増加傾向が約 40 年間のモニタリング調査データの解析から確認され、針葉樹の衰退が進行している。この原因として、近年の夏季における気温及び降水量の増加、積雪量の減少によるものと結論付けられている。また、台風等に伴う風倒攪乱による優勢木の枯死が、この傾向を増強させる可能性を指摘している。³¹²⁰⁰¹⁾

全国 39 地点の長期モニタリング調査地点において、2004～2012 年における樹木の生活型別の現存量の変化を解析した研究から、相対的に急速な変化とは言えないものの、各植生帯の南限・北限付近における現存量の変化(常緑広葉樹の分布北限付近における相対現存量の増加及び落葉

広葉樹の減少、落葉広葉樹の分布北限付近における相対現存量の増加及び冷温帯性針葉樹の減少)が検知されており、気候変動に伴うとみられる樹種構成の変化が推察されている。一方、特に二次林における変化については過去の人為攪乱に基づく植生変化に起因する部分も多く、温帯林における遷移の影響を無視すると、気候変動の影響を過大評価する可能性があることに留意する必要がある。³¹²⁰⁰²⁾

2004～2017年において、全国の成熟林及び古い二次林で構成される24調査区を対象とし、各調査区の森林を構成する生活型別の樹木の幹数の相対頻度に変化が生じているかどうか、また、その相対頻度の変化と気温及び緯度の間に関係があるかを解析した。その結果、年平均気温が5℃までの森林では、落葉広葉樹の割合が増加し、亜寒帯・亜高山帯性針葉樹の割合が減少する傾向にあり、年平均気温が8～13℃の森林では、常緑広葉樹と温帯性針葉樹の割合が増加し、落葉広葉樹の割合が減少する傾向にあった。さらに、樹種転換が起きていると考えられる気温帯における、亜寒帯・亜高山帯性針葉樹から落葉広葉樹への転換度及び、落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換度を解析した。その結果、針葉樹から落葉広葉樹、あるいは、落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換は、それぞれ冷温帯林から亜寒帯・亜高山帯林、あるいは、冷温帯林から暖温帯林への移行帯に位置する地域で特に顕著であった。³¹²⁰²⁸⁾

常緑広葉樹の分布拡大・定着については、関東甲信越周辺において地域的な報告が見られる。1961年と2008年の筑波山の空中写真を用いて常緑広葉樹の分布図を作成・比較した研究によれば、すべての標高で常緑広葉樹の本数及び合計樹冠面積率の増加が認められ、その増加速度は1961年から2008年で0.18本/年(1haあたりの本数)、0.21%/年(合計樹冠面積率)であった。筑波山の南斜面の森林は極相林であると考えられるため、この森林変化は、遷移後期種への置換ではなく気温上昇の影響である可能性が高いと考えられている。^{312003、312004)} 同様に、静岡県函南原生林³¹²⁰⁰⁵⁾、鹿児島県柴尾山³¹²⁰⁰⁶⁾の落葉広葉樹-常緑広葉樹の分布境界付近においても、過去30～40年間における常緑広葉樹の樹冠面積率の増加が報告されている。

長野県の北東部において、本来自然分布はしないシラカシの逸出・定着が確認されており、その原因の一つとして気候変動の影響が示唆されている。³¹²⁰⁰⁷⁾

また、1970年から2004年の35年間において、ミズナラの早材成長の急速化が報告されており、春季の気温の長期的な上昇傾向との関係が示唆されている。³¹²⁰⁰⁸⁾

自然林における生物季節の変化としては、ダケカンバの開葉日の早期化及び黄葉日の晩期化³¹²⁰⁰⁹⁾が報告されている他、北海道における19年間のモニタリング結果と除雪実験から、春の雪解けが早い年には開花日がハチの出現日よりも早まり、エゾエンゴサクの結実率が低下する傾向が確認されている。この原因として、開花と送粉者の同調性に変化が生じ、季節的なミスマッチが発生したことが挙げられている。³¹²⁰²⁹⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 冷温帯林の構成種の多くは、分布適域がより高緯度、高標高域へ移動し、分布適域が減少することが予測されている。特に、ブナ林は 21 世紀末に分布適域の面積が現在に比べて減少することが示されている。
- 暖温帯林の構成種の多くは、分布適域が高緯度、高標高域へ移動し、分布適域が拡大することが予測されている。
- ただし、実際の分布については、地形要因や土地利用、分布拡大の制限などにより縮小するという予測もあり、不確定要素が大きい。
- 大気中の CO₂ 濃度の上昇は光合成速度や気孔反応など、樹木の生理過程に影響を与えることが予測されている。

ブナ、アカガシなど冷温帯及び暖温帯林の主要構成種については、現在の分布を説明するモデルをもとに、温暖化シナリオに沿った将来の分布適域の変化が予測されている。これによると、高緯度、高標高域への移動にともない、冷温帯林の構成種の多くで分布適域の減少が予測され、他方、暖温帯林の構成種の多くで分布適域の移動と拡大が予測されている。ただし、実際の分布については、地形要因や土地利用の変更等による分布拡大の制限などにより縮小するという予測もあり、不確定要素が大きい。^{312011, 312012, 312013)}

SRES A1B シナリオを前提とした CMIP3 の 20 の気候モデルによる気候予測情報を使用して常緑樹の分布を予測した研究によれば、2081～2100 年までに常緑樹 10 種（スダジイ、ツバキ、イスノキ、コバンモチ、ホルトノキ、ガジュマル、アカメイヌビワ、タブノキ、イチイガシ、アラカシ）の潜在分布域（種が分布する可能性がある地域）が、北部、冷温帯へと拡大すると予測されている。一方で、沖縄ではスダジイとコバンモチの潜在分布域が 23.6～38.1%減少すると予測されている。³¹²⁰¹⁴⁾

ブナ林、及びブナ個体の生育適域を予測した研究では、使用したいずれの気候シナリオにおいても生育適域面積の縮小が予測されている。全国の生育適域の面積は、現在気候では 31,374km²であったが、RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 に基づく 2080～2100 年の気候シナリオではそれぞれ現在の 97.5%、76.3%、22.0%に減少すると予測された(MIROC5、MRCGCM3、GFDL-CM3、HADGEM2-ES の 4 つの気候予測モデルに基づく分布確率の各シナリオの中央値)。本州太平洋側では主に夏季の高温と冬季の乾燥がブナ林の分布を制限しているが、温暖化に伴い、北海道の生育適域は拡大するものの、本州太平洋側から西日本ではほとんど消滅することが予測されるため、この地域のブナ個体群は脆弱であると推定されている。³¹²⁰¹⁵⁾ 同様に、ブナを対象に将来における分布適域の予測を行った研究では、西日本の分布適域の顕著な減少が予測されている。特に、現在でも山頂部に孤立的に分布する脊振山地（福岡県と佐賀県の県境）やブナ分布南限の高隈山（鹿児島県）の適地は、RCP2.6 で大幅に縮小し、RCP8.5 ではいずれの気候モデルでも地域内から潜在生育域が消失する。一方、西日本地域においても、九州山地、中国山地、四国山地の主稜線部が潜在生

育域として残る可能性があるため、各地域におけるブナの逃避地として重要な場所となり得ることが示されている。(MIROC5 及び MRI-CGCM による気候予測情報を使用) ³¹²⁰¹⁶⁾

また、ブナとその競合種を対象に生育適域の予測を行うことで、気候変動によるブナの生育適域の減少に加えて、競合種が優占する森林への移行といった、森林タイプの変化について予測した研究がある。これによれば、現在気候下におけるブナ優占林は、気候変動に伴い 59%がミズナラ優占型、22%がコナラ優占型、8%がウラジロガシ優占型へ移行することが予測され、将来においてもブナ優占型のまま残存する森林は、現在の 11.4%となることが示された。(SRES A1B シナリオを仮定した 24 の気候予測モデルによる予測情報を使用) ³¹²⁰¹⁷⁾ ブナの稚樹と母樹の生育環境予測モデルの比較を行った研究からは、今後の気候変動に伴い、積雪量の少ない地域で稚樹の定着阻害を通じた個体群の縮小が進行することが予想されている。³¹²⁰¹⁸⁾ ブナ稚樹について、同様のモデルを用いて白神山地における将来の分布適域を予測した研究によれば、RCP8.5 シナリオにおける 21 世紀末 (2080~2100 年) においては、ブナ稚樹の分布適域は現在と比較して大きく減少し、白神山地の領域内においても高標高域においてのみ残存することが予測されている。³¹²⁰¹⁹⁾

アカガシの気候的な潜在生育域の面積を予測した研究では、現在の潜在生育域面積が 147,126km² であるところ、気候変動を考慮した今世紀末 2081~2100 年における潜在生育域は、現在の面積の 1.09~1.20 倍である 159,758~176,551 km² に増加すると予測されている (RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 シナリオを前提とした MIROC5、MRICGCM3、GFDL-CM3、HADGEM2-ES の 4 つの気候予測モデルに基づく分布確率の各シナリオの中央値)。一方、これらの結果は各個体の移動分散プロセス (ドングリが動物によって運ばれる距離や速度) や、都市等による分断化の影響を考慮できておらず、実際の分布速度を過大推定している可能性もある。³¹²⁰¹⁵⁾ また、土地利用等の分布拡大の制限を考慮すると、現実の分布面積は縮小するという予測もある。³¹²⁰¹¹⁾

ブナをはじめ、冷温帯林から亜高山帯林にかけての構成種については、特に本州中部以西の地域での分布適域の減少や消失が予測されている。25 種の針葉樹種の分布適域について将来予測を行った研究 (SRES A2 シナリオを前提とした RCM20 モデルによる気候予測情報を使用) によれば、80%の樹種が 2100 年までに、現在の分布適域を失い、標高が低い地域では、分布適域の限界が平均して 293m 上昇すると予測されている。³¹²⁰²⁰⁾ また、日本全域の現在と温暖化後の 3 次メッシュ気候データ (SRES A2 シナリオを使用) を当てはめ、チマキザサ節の潜在分布域を予測した結果では、2081~2100 年の潜在分布域は、本州の低地を中心に減少し、その面積は現在の 67.9%になると予測されている。特に、九州では、分布適域が完全に消滅し、四国でも石鎚山の 1 セル (約 1km²) を除いて消滅すると予測されている。³¹²⁰²¹⁾

また、極端現象の変化に伴う森林の攪乱体制の変化について、日本を含む全球の天然生の温帯林・北方林を対象に、2001-2014 年の期間において、衛星リモートセンシングによる攪乱規模の定量化と気候への感度の分析を行った研究がある。これによれば、北方林・温帯林ともに自然攪乱の規模と年間平均気温・平均年降水量の間には強い関係が確認され、平年よりも暖かく乾燥している年において自然攪乱が激化することが明らかになった。このことから、将来の気候変動が温帯林・北方林における自然攪乱を大幅に増加させる可能性が示唆されている。³¹²⁰¹⁰⁾ 一方、国内においては、過去に発生した台風の擬似温暖化実験に基づく予測から、温暖化条件下では北海

道において森林の風倒発生確率が低下するという結果が得られているが、単一の台風の再現実験に基づく予測に限られており、一般性の高い知見は得られていない。³¹²⁰²²⁾

CO₂の濃度上昇に伴う樹木の生理生態的特性の変化について、FACE^{※注釈}等を用いた野外実験による研究が進められている。CO₂は光合成の基質であることから、CO₂濃度の上昇により光合成速度は一時的に上昇するものの、時間の経過とともに上昇した光合成速度が低下する「光合成のダウンレギュレーション」が認められる場合がある。ミズナラ・ホオノキ・シウリザクラ・サワシバを対象にFACEによるCO₂濃度上昇試験を行った結果からは、上記4種の全てで光合成のダウンレギュレーションが発生したことが確認されており、この原因としては個葉における窒素濃度の低下が作用したものとされている(CO₂濃度720ppmを実験条件として設定)³¹²⁰²³⁾ また、窒素固定能力を持つケヤマハンノキは、これらの樹種に見られたようなダウンレギュレーションは確認されず、高CO₂条件下においても光合成能力の上昇が持続した一方、個葉の窒素含有率の上昇によるものと見られる大規模な虫害の発生も確認された。³¹²⁰²⁴⁾ このような高CO₂環境に対する植物の反応は、種間の生態的特性や立地条件等の違いにより大きく異なることに加え、対流圏オゾンの増加等のCO₂以外の環境条件の変化にも影響を受けることにも留意が必要である。³¹²⁰²⁵⁾

着葉期間等のフェノロジーについては、中分解能の衛星画像より取得した森林の着葉期間の時空間分布のデータから、落葉樹の着葉期間の日本のほぼ全域における早期化(着葉期間が2030～39年で7～12日、2090～99年で15～20日早期化(SRES A1Bシナリオを仮定したAGCM 3.1Sモデルによる気候予測情報を使用))³¹²⁰²⁶⁾、岐阜県における落葉樹の開葉日の早期化(開葉日が2040年代で14日、2090年代で28日早期化(SRES A1Bシナリオを仮定したMIROCによる気候予測情報を使用))等についての予測が得られている。同様に、白神山地のブナ林を対象に、衛星データから観測した紅葉における色の変化と、気温との対応関係をモデル化し、将来における紅葉時期の変化を予測した研究によれば、紅葉が寒冷な高標高側から始まり徐々に麓に降りてくるという空間的な変化は変わらないものの、紅葉最盛日は11月下旬～12月上旬と、現在よりも遅くなることが予測されている(MIROC5及びMRI-CGCM3による気候予測情報を使用)。³¹²⁰¹⁹⁾ 陸域生態系モデル(VISITモデル)を用いて着葉期間を予測した研究からは、今世紀末には展葉日と落葉日がそれぞれ約10日早期化・晩期化するとの予測がある。(領域気候モデルとSRES A1Bシナリオを仮定したCMIP3アンサンブル気候予測値による気候予測情報を使用。CO₂濃度は627-641ppmを仮定)³¹²⁰⁸³⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当> 影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

【観点】 環境

影響の範囲は全国に及ぶ。特に本州中部以西の地域では、冷温帯構成種の分布適域の縮小、消失の可能性が高い。また、生息地の分断・孤立や植物の移動能力（速度）の低さは当該影響に対する持続的な脆弱性の一要素となる。また、大気中の CO₂ 濃度の増加は、光合成反応等の生理生態特性に影響を及ぼす可能性がある。重要な種・ハビタット・景観の消失につながるものであり、環境面での重大性が高い。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

ブナにおいては、全国の生育適域面積は現在の 97.5% となることが予測されており、RCP8.5 シナリオと比較して多くの適域が残存することが予測されている。また、アカガシにおいても、RCP2.6 シナリオ下における生育適域面積は現在と概ね変化がないと予測されている。尚、これらの予測事例は分布適域の評価であり、個体の移動分散プロセス等が考慮されていないことに留意が必要である。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

ブナにおいては、RCP8.5 シナリオ下における今世紀末の全国の生育適域面積は、現在の 22% となることが予測されており、RCP2.6 シナリオ下の予測結果である現在の 97.5% とは大きく異なる。また、SRES A1B シナリオにおいては、将来においてもブナ優占型のまま残存する森林は、現在の 11.4% となることが示されている。SRES A2 シナリオにおいては、複数の種において 2100 年までに現在の分布適域が縮小・消失することが予測されている。尚、これらの予測事例は分布適域の評価であり、個体の移動分散プロセス等が考慮されていないことに留意が必要である。

● 緊急性：

【評価】 高い

・ 影響の発現時期

【評価】 高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】 中程度

暖温帯林から冷温帯林への移行帯においては、既に落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換が進行している可能性が複数地域から指摘されている他、全国規模のモニタリングデータの解析からもその傾向を裏付ける結果が得られている。加えて、北海道における針葉樹の成長量の減少傾向、広葉樹の増加傾向が確認されている。一方、森林構成種の変化には、人為攪乱の影響も大きく、進行中の温暖化影響を確認するためには、さらに多くの、かつ長期間の情報を蓄積する必要がある。

● 確信度：

【評価】 高い

研究・報告は多数あるが、その半数程度はブナあるいはブナ林に関する予測研究である。ほとんどが、潜在的な分布適域の予測であり、実際の分布を予測したものではない。ただし、気候要因だけではなく、地形等の要因も組み込まれており、一部の研究では土地利用や分布拡大速度の影響も考慮されている。また、ブナ単一の予測に加えて、競合植生の分布適域の予測により、ブナ群落からその他の植生への移行を予測した研究も確認される。ブナを含む冷温帯林から亜高山帯林にかけての構成種は、全体として分布適域が減少の傾向にあること、特に西日本及び太平洋側で分布適域が減少することについて、共通して指摘されている。したがって、これらの分布適域の変化に関しての確信度は高い。なお、実際の分布変化の予測については、種間の相互作用や攪乱体制の変化といった動的なメカニズムを考慮する必要がある。

また、分布適域の変化といったマクロ的な影響予測に加え、CO₂の濃度上昇による樹木の生理生態学的な影響についても、FACE等を用いた野外実験による研究が蓄積されつつある。CO₂濃度の上昇は光合成速度の変化や虫害への影響を引き起こす可能性が指摘されている一方、現時点では特定の樹種や研究サイトにおける知見が多くを占めていることに留意が必要である。

(3) 里地・里山生態系

(気候変動による影響の要因)

ここでは、里地・里山生態系における動植物や植生等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。シカやイノシシ等の野生鳥獣による影響については、「自然生態系分野-野生鳥獣による影響」において扱う。また、紅葉など季節、文化・歴史などを感じる暮らしの影響は別途設けている「国民生活・都市生活分野-文化・歴史などを感じる暮らし」の項目で扱う。

- 気候変動による気温の上昇や降水の時空間分布の変化等により、里地・里山の構成種を変化させる可能性がある。
- ただし、気候変動以外の人間活動の影響も受けやすいため、不確定要素が大きい。

(現在の状況)

[概要]

- 気温の上昇による、モウソウチク・マダケの分布上限及び北限付近における分布拡大が報告されている。
- マダケ・モウソウチク以外の里地・里山の構成種の変化の現状について、一部の地域で南方性チョウ類の増加等が報告されているものの、現時点で網羅的な研究事例は確認されていない。

温暖な気候に適応したタケ類(マダケとモウソウチク)について、過去 30 年間における分布域の拡大が空中写真の分析により明らかになっており、特に両種の分布上限及び北限付近での拡大が顕著であることから、温暖化による気温の上昇が原因の一つである可能性が高い。³¹³⁰⁰¹⁾

全国の里地のモニタリング調査において、南方系チョウ類 8 種の分布域の変化をみたところ、北限がより南にあるイシガケチョウ、ナガサキアゲハ、ムラサキツバメの 3 種は出現した調査サイトの割合が年々増加し、ナガサキアゲハ、ムラサキツバメの分布北限は 1990 年代～2017 年の約 20 年間で拡大し、クロコノマチョウを除く 7 種では分布北限が南にある種ほど 1 年あたりの個体数増加率が高くなる傾向が見られている。³¹³⁰⁰⁸⁾ また、京都市北郊の里山景観において 1930 年代からのチョウ類相の長期変化を分析した研究からは、2000 年代以降に南方性のチョウ類が確認されるようになったことが明らかになっており、温暖化傾向との関係が推察されている。³¹³⁰⁰²⁾

全国の里地のモニタリング調査において、南方系チョウ類 8 種の分布域の変化をみたところ、北限がより南にあるイシガケチョウ、ナガサキアゲハ、ムラサキツバメの 3 種は出現した調査サイトの割合が年々増加し、ナガサキアゲハ、ムラサキツバメの分布北限は 1990 年代～2017 年の約 20 年間で拡大し、クロコノマチョウを除く 7 種では分布北限が南にある種ほど 1 年あたりの個体数増加率が高くなる傾向が見られている。³¹³⁰⁰⁸⁾

また、農村部及び都市部における、街路樹の成長量の急速化が、日本(札幌)を含む世界各地を対象にした研究から明らかになっており、ヒートアイランド現象及び気候変動との関連性が示唆

されている。³¹³⁰⁰³⁾里山構成種であるコナラやシイノキ属に対するカシノナガキクイムシの加害によるナラ枯れや、雑草の分布域や現存量の拡大等³¹³⁰⁰⁴⁾について、温暖化の影響を指摘する声もあるが、科学的に実証されてはいない。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- モウソウチクとマダケについて、気候変動に伴う分布適域の高緯度・高標高への拡大が予測されており、4℃の昇温を仮定した場合、分布北限が現在より約 500km 北上する可能性がある。
- 一部の研究で、自然草原の植生帯は、暖温帯域以南では気候変動の影響は小さいと予測されている。標高が低い山間部や日本西南部での、アカシデ、イヌシデなどの里山を構成する二次林種の分布適域は、縮小する可能性がある。
- ただし、里地・里山生態系は人為影響下で形成されていることから、気候変動の影響については十分な検証はされておらず、今後の研究が望まれる。

里地・里山生態系を構成する景観要素の一つである自然草原の植生帯の分布は、暖温帯域以南では温暖化の影響は小さいと予測されている。³¹³⁰⁰⁵⁾ 標高が低い山間部や日本西南部での、アカシデ、イヌシデなど里山を構成する二次林種の分布適域の縮小が指摘されている。³¹³⁰⁰⁵⁾ 野生食用植物のうち、感受性の高い一部の種の生育適地の減少が報告されている。³¹³⁰⁰⁶⁾

モウソウチク・マダケについて、東日本における生育適地の将来変化を予測した研究によれば、現在の生育適地の面積割合は東日本の約 35%であるのに対し、将来の生育適地の割合が 46-48% (1.5℃上昇を仮定)、51-54% (2.0℃上昇を仮定)、61-67% (3.0℃上昇を仮定)、77-83% (4.0℃上昇を仮定) に増加すると推定されている。また、4℃の昇温を仮定した場合、分布北限が現在より約 500km 北上するとしている (RCP8.5 シナリオと MRI-AGCM による気候予測値をもとに算出したパターンスケールによる気候シナリオを使用) ³¹³⁰⁰¹⁾。また、同様にマダケ類を対象として、RCP シナリオ下における分布確率を推定した研究においても、分布確率の高い地域がより高緯度、高標高地域に広がることが予測されている。東北地方や本州中部の山岳域では、現在の気候条件下では分布確率が 0.4 を超える地域は広がらないが、RCP2.6 を仮定した 21 世紀末では、低標高域を中心に分布確率が 0.4 を超える地域が広がることが予測されている。特に MIROC5 の RCP8.5 を前提とした 21 世紀末の予測では、北海道の低地にまで分布確率の高い地域として判定されている。一方、将来気候下ではより温暖な南方の低標高域の一部で分布可能域が縮小する傾向もみられた。³¹³⁰⁰⁷⁾

人為の影響下で形成されている里地・里山生態系を構成する生物群について温暖化の将来影響についての検証事例は乏しく、今後の研究が望まれる。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：

【評価】 影響が認められる

(生態系サービスへの影響 (国民生活への影響))

【評価】現状では評価できない

モウソウチク、マダケについて、分布域の高緯度・高標高への拡大が予測されており、竹林の拡大による里山景観の変化が示唆される。一方、他の里地里山生態系の構成種等に関する定量的な予測事例は確認されていない。また、里地・里山生態系が特に人為影響下で形成されていることから、将来の気候変動による影響が特に大きいとは言い切れない。

● 緊急性：

(生態系への影響)

【評価】高い

・影響の発現時期

【評価】高い

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】中程度

研究・報告が限定的ではあるものの、モウソウチク・マダケの分布については過去 30 年における分布北限付近における拡大傾向が確認されており、この原因として気温の上昇傾向が示唆されている。また、将来においても高緯度・高標高へ分布が拡大するとの予測が得られている。

一部の地域でナラ枯れの拡大や雑草の分布域拡大や現存量の増加について気候変動の影響が指摘されているものの、科学的に検証されてはいない。

里地・里山生態系については、現状ではアンダーユースの影響が顕在化していることから早急な保全が求められているが、気候変動影響の緊急性については中程度と考えられる。

● 確信度：

(生態系への影響)

【評価】低い

研究・報告が限定的で、気候変動による影響の検証事例は竹林を対象とした事例に限られること、また、里地・里山生態系が特に人為影響も受けやすいことから、里地・里山生態系全体としての確信度は低い。

(4) 人工林

(気候変動による影響の要因)

ここでは、スギやヒノキ等の人工林生態系における成長量の変化や生育適地の変化を扱う。なお、人工林における病虫害や風害などの産業としての林業と関係が深い影響は、「農業・林業・水産業-木材生産（人工林等）」において取り上げる。

- 気候変動による気温の上昇や降水の時空間分布の変化は、水ストレスの増大を引き起こし、人工林を構成するスギなどの生長に影響を及ぼす可能性がある。

- 気温上昇は、樹木の呼吸量を増加させ、炭素蓄積量及び吸収量に対してマイナスに作用する可能性がある。
- 大気 CO₂ 濃度の上昇は光合成速度や気孔反応など樹木の生理過程に影響を与えると考えられる。

(現在の状況)

[概要]

- 一部の地域で、気温上昇と降水の時空間分布の変化による水ストレスの増大により、スギ林が衰退しているという報告がある。

1960年代以降は、九州地方を中心とする西南日本においてスギ壮齢林の乾燥被害が報告されている。関東、関西、瀬戸内地域の平野部では、1970年代からスギ衰退現象が報告されている。スギは生理的適地が湿潤で肥沃な立地であることから、大気の乾燥化による水ストレスの増大がこうした衰退の原因と指摘されている。また、近年、宮崎県ではスギ造林木の干害が増加する傾向にあり、気温上昇と降水の時空間分布の変化が関係していることが示唆されている。³¹⁴⁰⁰¹⁾

北海道十勝地方のカラマツ林においては、土壌凍結深と年輪指数^{※要注釈}に負の相関関係が確認され、凍結深が深くなるほど年輪指数が低下する傾向が、32年間の長期観測データより得られている。³¹⁴⁰⁰⁴⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 現在より3℃気温が上昇すると、年間の蒸散量が増加し、特に年降水量が少ない地域で、スギ人工林の脆弱性が増加することが予測されているが、生育が不適となる面積の割合は小さい。
- 2050年までの影響を予測した場合、日本全体で見ると、森林呼吸量が多い九州や四国で人工林率が高いこと、高蓄積で呼吸量の多い40から50年生の林分が多いことから、炭素蓄積量及び吸収量に対してマイナスに作用する結果となる。ただし、当該予測では、大気中のCO₂濃度の上昇による影響は考慮されていない。スギ人工林生態系に与える影響予測のためには樹木の生理的応答などさらなる研究が必要である。九州のスギ人工林を対象にプロセスモデルを用いて一次生産量を予測した研究からは、生育適域かどうかによる違いは見られるものの、現状で生産量が多い地域では温暖化による一次生産の上昇は見込めないと予測されている。

現在の気候下では、スギの年間蒸散量は、日本北部で450mm^{y⁻¹}、南部で850mm^{y⁻¹}であるが、3℃の気温上昇下では、年間65mm^{y⁻¹}~100mm^{y⁻¹}増加し、特に年降水量が少ない地域で、スギ人

工林の脆弱性が増加する。³¹⁴⁰⁰⁵⁾ さらに、有効保水容量含水率（土壌保水力）及び、年蒸散量と年降水量の比（蒸散降水比）を水分環境の指標として、2081～2100年にスギの生育が不適となる閾値以上の値を示す地域は、現在の環境下では全スギ人工林4,500,000ha中の約24,000haであるが、温暖化シナリオでは約43,000haに増加する。³¹⁴⁰⁰¹⁾

また、気温が上昇すると光合成の面で有利になるが、同時に呼吸量も増加することから、正味での生産量に気候変動が与える影響を予測した報告からは、生産量の増加³¹⁴⁰⁰⁶⁾及び減少³¹⁴⁰⁰⁷⁾、³¹⁴⁰⁰⁸⁾のいずれの結果も確認されている。SRES A1Bシナリオを前提としたMIROC-3.2 hiモデルによる気候予測情報を用い、2050年までの影響を予測した場合、気温が高く、森林呼吸量が多い九州や四国で人工林率が高いこと、高蓄積で呼吸量の多い40から50年生の林分が多いことから、呼吸量増加の影響が大きく、日本全体で見ると、気温上昇の影響が炭素蓄積量及び吸収量に対してマイナスに作用するため、呼吸の増大による損失の影響が、卓越する結果となった。³¹⁴⁰⁰⁷⁾ 同様の傾向を示した報告として、プロセスモデルを用いて2050年の九州（高山帯を除く）のスギ一次生産を算出した研究からは、気温上昇に伴う呼吸量の増加によりスギ一次生産力は低下することが示唆されている（2050年までに対象地域において年平均0.9℃の気温上昇を想定したMIROC-h3.2モデルによる気候予測情報、3PGプロセスモデルを使用）。³¹⁴⁰⁰⁸⁾ 一方、九州地方のスギ人工林について、プロセスモデルを用いて2071～2100年における純一次生産を地図化した研究では、純一次生産は広範囲で上昇する一方、現時点で純一次生産が高い水準にある地域では必ずしも温暖化による純一次生産の上昇は見込めないとする報告もある（2100年までに世界平均で4.5℃の気温上昇を想定したMIROC5モデルによる気候予測情報、Biome-BGCプロセスモデルを使用）。³¹⁴⁰⁰⁶⁾

温暖化は主に大気CO₂濃度の上昇によるものであるが、大気CO₂濃度の上昇は光合成速度や気孔反応など樹木の生理過程に影響を与えると考えられる。ここで得られた報告ではこうした影響が考慮されていないことから、スギ人工林生態系に与える影響予測のためには樹木の生理的応答などさらなる研究が必要である。

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

国内の人工林面積は約1000万haであり、これは国土面積の約25%に相当する。したがって、影響の範囲は全国に及ぶ。特に降水量が少ない地域でスギ人工林生態系の脆弱性を増加させ、流域全体のランドスケープへの影響につながるものである。

● 緊急性：

【評価】高い

・影響の発現時期

【評価】中程度

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期 【評価】 高い

生産量の変化等の影響が生じるのは今世紀中頃以降の可能性が高いが、気候変動リスクを踏まえた森林のゾーニングや、林木育種、森林管理等の人工林生態系における適応策の実施には数十年にわたる長期的視点が必要である。

● 確信度：

【評価】 中程度

気候変動が人工林に与える影響に関する研究・報告は一定程度あり、それらはスギの生育に影響が現れるといった内容が主である。

プロセスモデルによる人工林生態系の生産量の変化に関しては、タワーフラックス観測によるデータを用いたパラメータ最適化等によるモデルの改善が進んでおり、一定程度の確信度が認められるものと考えられる。一方、スギ等の人工林樹種については、拡大造林政策により本来の適地ではない寒冷な環境にも多く植えられてきた経緯があり、本来の適地では負の影響が生じる反面、適地でない地域においては気温の上昇等により生産量が増加するものと考えられる。したがって、広域的に評価した際には、このような場の適性の違いにより、全体としての変化傾向に違いが生じる可能性に留意が必要である。

人工林の蒸散量の変化については、研究・報告数が豊富にあるわけではないが、気温の上昇や降水パターンの変化は、水ストレスを増大させるため、温暖化の影響は明確と考えられる。

(5) 野生鳥獣による影響

(気候変動による影響の要因)

ここでは、シカ等、食害等を通して森林生態系等に大きく影響を与えられられる野生鳥獣の分布等の変化について扱う。その他の動物種については、関係する自然生態系分野の各小項目または小項目「分布・個体群の変動」において扱う。

- 気候変動による気温の上昇や積雪量の減少は、野生鳥獣の生息適地を拡大させる可能性がある。
- 野生鳥獣の分布域の拡大に伴い、採食・樹木の剥皮・地面の踏みつけ等により、下層植生の消失や樹木の枯死をもたらす、土壌の流失や水源涵養の機能低下、景観の劣化など、生態系への影響を拡大させる可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 日本全国でニホンジカやイノシシの分布を経年比較した調査において、分布が拡大していることが確認されている。
- 積雪深の低下に伴い、越冬地が高標高に拡大したことが観測により確認されている。また、

ニホンジカの生息適地が 1978 年から 2003 年の 25 年間で約 1.7 倍に増加し、既に国土の 47.9%に及ぶという推定結果が得られており、この増加要因としては土地利用変化よりも積雪量の減少が大きく影響している可能性が指摘されている。

- ニホンジカの増加は狩猟による捕獲圧低下、土地利用の変化、積雪深の減少など、複合的な要因が指摘されている。ニホンジカの分布拡大に伴う植生への食害・剥皮被害、ヤマビルの分布拡大等の影響が報告されている。

ニホンジカについて 1978 年と 2003 年の日本全国の分布を比較した調査によれば、1978 年に分布していた地域を中心にニホンジカの分布は大きく拡大しており、新潟県、福井県、石川県などこれまで分布が見られなかった地域にも広がっている。イノシシも同様に 1978 年から 2003 年にかけて増加し、栃木県、群馬県、新潟県、長野県などを中心に分布が拡大している。³¹⁵⁰⁰¹⁾ 日光地域では、1980～82 年から 1992～93 年の 10 年間の間に、積雪量の減少に伴い、越冬地が高標高域に拡大した。^{315002, 315003)} また、立山連峰の高山帯においてもニホンジカの侵入が確認されている。³¹⁵⁰⁰⁴⁾

ニホンジカの増加は狩猟による捕獲圧の低下や³¹⁵⁰¹⁵⁾、土地利用の変化・積雪深の減少³¹⁵⁰⁰⁵⁾ など、複合的な要因が指摘されている。土地利用、気候条件(積雪量及び積雪期間)、地形条件をもとにニホンジカの生息適地を全国的に推定した研究によると、ニホンジカの生息適地は 1978 年時点で国土の 27.7%だったのに対し、2003 年では国土の 47.9%へと約 1.7 倍に増加したことが明らかになっている。加えて、この増加に対する土地利用変化及び気候変動の寄与度の比較から、増加した生息適地のほとんどにおいて、気候変動による寄与のほうが土地利用変化よりも大きかったことが確認されている。³¹⁵⁰⁰⁵⁾

ニホンジカの分布拡大に伴う植生への食害・剥皮被害等の影響が南アルプス国立公園や尾瀬国立公園、日光国立公園、吉野熊野国立公園、秩父多摩甲斐国立公園等で確認されている。^{315006, 315007, 315008, 315009)} 加えて、ニホンジカの分布拡大に伴い、ニホンヤマビルの分布域が拡大したことが示唆されている。岩手県における報告によれば、これまで県内では確認されていなかったニホンヤマビルが県北部まで拡大していることが明らかになっており、その原因としてニホンジカの分布拡大及び気温上昇に伴うニホンヤマビルの活動可能期間の長期化の可能性が指摘されている。³¹⁵⁰¹⁰⁾

また、野生鳥獣の分布拡大による農作物や造林木への被害や、土壌の流出など社会・経済的な影響についても報告されているが、気候変動との直接の因果関係や、気候変動の寄与度については、評価されておらず、さらなる調査が必要である。^{315007, 315011, 315012, 315013)}

(将来予測される影響)

[概要]

- ニホンジカについては、気候変動による積雪量の減少と耕作放棄地の増加により、2103

年におけるニホンジカの生息適地は、国土の9割以上に増加するとの予測がある。

- 一方、イノシシ等ニホンジカ以外の種については、気候変動による分布域の変化等の将来影響については知見が確認されていない。

エゾジカについて CART（データの分類ルールを偏在性等を測る指標により作成し、回帰式を作成する統計処理方法）により分布を拡大する地域と拡大しない地域を分類し、1997年の分布から個体群圧を再計算して分布拡大予測を実施した研究によれば、2020年ごろには、石狩・胆振支庁ではほぼ全域にエゾジカが拡大する可能性が示唆されている。³¹⁵⁰¹⁴⁾

ニホンジカについて、気候変動による積雪の減少に加え、人口減少による耕作放棄地の増加を仮定し、将来の生息適地の変化を予測した研究によれば、2103年におけるニホンジカの生息適地は、国土の9割以上となる $340.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ に増加することが予測されている（SRES A1Bを仮定した、CMIP3に含まれる4つの気候モデル（CSIRO-Mk3.0、MRI-CGCM2.3.2a、GFDL-CM2.1、及びMIROC3.2 (high)）による気候予測値を使用）³¹⁵⁰⁰⁵⁾。

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

- 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

ニホンジカの分布拡大に伴う植生の食害・剥皮被害等の影響が報告されている他、気候変動による積雪の減少及び耕作放棄地の増加による、分布適域の拡大が予測されている。影響の範囲は全国に及び、重要な種・ハビタット・景観の変化などにつながる。影響には、農林業被害、広域的な土地・水・生態系機能の低下などにつながるものも含まれる。イノシシ等、ニホンジカ以外の野生鳥獣の分布等の拡大についても、気候変動による影響が推測されるが、検証事例は確認できない。

- 緊急性：

【評価】高い

・ 影響の発現時期 【評価】高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期 【評価】高い

既にニホンジカの分布域は過去25年で約1.7倍に拡大し、この原因として積雪量・積雪期間の減少が指摘されている。また、分布域の拡大に伴い農林業の被害地域も拡大している。将来影響についても、エゾジカの分布拡大が2020年頃には予測されている他、ニホンジカについては今世紀末に国土の8割近い面積が分布適域となるとの予測も得られている。

- 確信度：

【評価】低い

ニホンジカの分布拡大については、研究の数は限られるものの、気候変動による影響が示唆されている。それ以外の種については、気候変動による影響が推測されるが、気候変動との因果関係については明らかになっておらず、研究・報告数も限定的である。

(6) 物質収支

(気候変動による影響の要因)

ここでは、森林生態系等における炭素・水フラックス^{※注釈}や土壌への影響を取り扱う。

- 気候変動により、年平均気温の上昇や無降水期間が長期化することで、地温の上昇、森林土壌の含水量低下や表層土壌の乾燥化が進行し、土壌と大気間の物質収支が変化したり、降水による細粒土砂の流出や河川等の濁度回復の長期化のほか、雨水が短時間で流下したり、土壌中の炭素量の変化などが生じる可能性がある。
- 気候変動に伴う地温の上昇は、土壌呼吸を上昇させることで、土壌から大気に排出される二酸化炭素が増加し、気候変動をさらに加速させる効果(正のフィードバック効果)が生じる可能性についての指摘もある。

(現在の状況)

[概要]

- 気候変動に伴う物質収支への影響の現状について、現時点で研究事例は限定的である。
- 日本の森林における土壌 GHG フラックスは、1980 年から 2009 年にわたって、CO₂・N₂O の放出、CH₄ の吸収の増加が確認されている。
- 富士山麓のカラマツ林における林床部炭素フラックスについて、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加する傾向が確認されている。また、林床植生の光合成量は、台風による林冠の攪乱等による、林床部の光環境の変化に大きく影響されることが確認されている。
- 降水の時空間分布の変化傾向が、森林の水収支や土砂動態に影響を与えている可能性があるが、長期データに乏しく、変化状況を把握することは困難な状況となっている。

日本の森林における土壌 GHG フラックスは過去 30 年 (1980~2009 年) にわたって、CO₂ 放出は 0.31 Tg C yr⁻² (1980~2009 年の平均との比較では 0.23 % yr⁻¹)、CH₄ 吸収は 0.40 Gg C yr⁻²

(0.44 % yr⁻¹)、N₂O 放出は 0.0052 Gg N yr⁻² (0.27 % yr⁻¹) の割合で増加している。³¹⁶⁰⁰¹⁾ また、富士北麓のカラマツ林において 8 年間行われた林床部炭素フラックス(土壌呼吸、微生物呼吸、林床植生による光合成等)の観測調査では、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加し、林床部の呼吸量には地温が強く影響することが示されている。また、林床植生による光合成量は、台風による林冠部の攪乱等の林床の光環境の変化により影響を受けることが示されている。

³¹⁶⁰⁰²⁾

気象観測データから、無降水期間の長期化と降水継続期間の短期化の傾向や、降水継続期間とイベント内総降水量との相関は弱まる傾向がみられる。こうした傾向は森林の水収支のみならず土砂動態にも影響を与えると考えられるが、現状では土砂流出の状況に関する長期間の変化を掴むことのできるデータは極めて乏しく、変化状況を把握するのは困難である。³¹⁶⁰⁰³⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 年平均気温の上昇や無降水期間の長期化により、森林土壌の含水量低下、表層土壌の乾燥化が進行し、細粒土砂の流出と濁度回復の長期化、最終的に降雨流出応答の短期化をもたらす可能性がある。ただし、状況証拠的な推察であり、更なる検討が必要である。
- 土壌温暖化実験により、地温の上昇に伴う土壌呼吸の上昇が各地で確認されており、正のフィードバック効果を支持する知見が複数得られている。一方、地温の上昇に伴う土壌呼吸の上昇の程度が、土壌微生物等の気候への順化により経年的に減少する傾向を示す知見も確認されており、地温の上昇が土壌呼吸に与える影響は、森林生態系の種類や立地によってもばらつきがあるものと考えられる。
- 森林土壌の炭素ストック量は、純一次生産量が 14%増加し、土壌有機炭素量が 5%減少することが予測されている。

年平均気温の上昇により、蒸発散量が増大し、その傾向は森林域において顕著となる。これにより、有効降水量が減少するとともに、無降水期間の長期化とも相まって、森林土壌の含水量低下・表層土壌の乾燥化が進行し、細粒土砂の流出と濁度回復の長期化、最終的には降雨流出応答の短期化をもたらす可能性がある。³¹⁶⁰⁰³⁾ ただし、これらは状況証拠的に推察されたメカニズムであり、今後は現地観測や数値モデル解析などからさらに検討する必要がある。また、森林の遷移を考慮して、国土スケールで将来の地表面流出量を予測した研究からは、使用した気候モデル・シナリオにより結果に幅はあるものの、2090 年代における表面流出量の年変動は現在と比較して 14~44%増加すること、この変化は常緑広葉樹林の面積と相関があったことが明らかにされている。³¹⁶⁰⁰⁴⁾

CENTURY 生態系モデルを使用し、森林土壌の炭素ストック量を評価した研究では、気候変化シナリオ (SRES A1B シナリオを前提とした IPCC 第 4 次評価報告書に記載された 24 の GCM による気候予測情報を使用) の下では、純一次生産量 (NPP) は 14%増加し、土壌有機炭素量が 5%減少することが予測されている。³¹⁶⁰⁰⁵⁾岐阜県高山地域の山岳域を対象に陸域生態系モデル (VISIT モデル) を用いて炭素収支の将来変化を予測した研究によれば、将来気候条件下では展葉日と落葉日がそれぞれ約 10 日早期化・晩期化し、生態系純一次生産量 (NPP) が 27.45%増加することが予測されている。この増加の要因としては、気温の上昇よりも CO₂ 濃度の上昇による施肥効果によるものが大きかったとしている。(領域気候モデルによる現況再現結果に、SRES A1B シナリオを仮定した CMIP3 アンサンブル気候予測値による今世紀後半の将来予測値と現況値との差分を加算。CO₂ 濃度は 627-641ppm を仮定。) ³¹⁶⁰⁰⁶⁾

気候変動に伴う土壌呼吸^{*}の上昇により二酸化炭素濃度が上昇し、気候変動をさらに加速させる効果(正のフィードバック効果)が生じる可能性について、土壌温暖化実験による検証が国内の複数の森林サイトで行われている。北海道天塩地域の泥炭林においては、微生物呼吸^{*}により排出される CO₂ の量が、1°Cの地温上昇により 26%増加することが明らかになっている(実験条件として 3°Cの地温上昇を設定)³¹⁶⁰⁰⁷⁾。同様に、白神山地のミズナラ林において行われた 5 年間の土壌温暖化実験の結果からは、微生物呼吸^{*}により排出される CO₂ の量が、1°Cの地温上昇により 6.2~17.7% (5 年平均で 10.9%) 増加することが明らかになった(実験条件として 2.5°Cの地温上昇を設定)。³¹⁶⁰⁰⁸⁾また、九州の暖温帯性常緑広葉樹林における 6 年間の土壌加温実験の結果からは、微生物呼吸^{*}により排出される CO₂ の量が、1°Cの地温上昇により 7.1%~17.8%(6 年平均で 9.4%) 増加し、増加の程度は夏季の降水量と正の相関関係にあったことが確認されている(実験条件として 2.5°Cの地温上昇を設定)。³¹⁶⁰⁰⁹⁾ 乗鞍岳のシバ草原における土壌加温実験の結果からは、加温によりシバのバイオマス量の増加、土壌有機物の減少、土壌菌類のバイオマス量の減少及び群集構造の変化が見られたことが示されている。(実験条件として 2°Cの地温上昇を設定)³¹⁶⁰¹⁰⁾

一方で、土壌呼吸の温暖化による上昇傾向が、土壌微生物の気象条件への順化等の理由により年数経過とともに低下していく可能性も指摘されている。岐阜県高山の冷温帯性落葉広葉樹林における土壌温暖化実験の結果からは、地温上昇による土壌呼吸量が 9.9~18.1%増加することが示されたが、実験の年次を経るごとに根呼吸が加温条件に順化し、温暖化の土壌呼吸への影響が低下傾向にあることが示されている(実験条件として 3.0°Cの地温上昇を設定)。³¹⁶⁰¹¹⁾ 同様に、北海道苫小牧における 7 年間の土壌温暖化実験による報告でも、4.0°Cの加温条件において土壌呼吸が 32-45%増加した一方、根呼吸及び微生物呼吸の温度俊敏性は年々減少し、この減少は特に根呼吸において大きかったことが明らかとなっている。³¹⁶⁰¹²⁾

地温の上昇は冷温帯林の冬季間の可溶性窒素を 17~25%減少させ、結果として可給態窒素量の減少を引き起こす可能性がある。³¹⁶⁰¹³⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

影響の範囲は全国に及ぶ。また、物質収支は生態系の基盤として重要であることに加え、土壌生成にかかる時間が長いことは当該影響に対する持続的な脆弱性の一要素となる。また、国内各地の土壌加温実験から、気候変動に伴う土壌呼吸の上昇により二酸化炭素濃度が上昇し、気候変動を更に加速させる正のフィードバック効果を示唆する知見が得られており、生態系のみならず気候システムへの影響も懸念される。また、土壌に関しては現時点では有効な適応策が明確でないことを考慮すると、影響の不可逆性は大きいと考えられる。

● 緊急性：

【評価】中程度

・影響の発現時期

【評価】中程度

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】現状では評価できない

土壌由来の温室効果ガス交換量（フラックス）の増加は確認されている。ただし、有効な適応策が現時点で明確ではない。土壌加温実験による結果から、1℃～4℃程度の地温の上昇を仮定した影響予測が行われているが、気候シナリオとこれらの地温上昇の関係性は必ずしも明確ではなく、影響の発現時期については知見が不足している。

● 確信度：

【評価】中程度

定量的な評価・予測をおこなった研究・報告は少数に限られているが、温暖化が森林の温室ガス収支や水収支、土砂動態などに何らかの影響を与えることは明確と考えられる。

土壌加温実験からは、正のフィードバック効果を支持する知見が国内の複数の研究サイトから報告されている。一方で、土壌微生物の気象条件の順化等の理由から、土壌呼吸の温暖化による上昇傾向が経年的に低下していく事例も確認されている。地温の上昇と土壌呼吸の関係については、生態系の地域的な差異や極端な気象現象の有無等によって異なると考えられ、今後の研究が望まれる。

【淡水生態系】

(1) 湖沼

(気候変動による影響の要因)

ここでは、湖沼生態系における生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。なお、水質等の生物以外への影響については、「水環境・水資源分野-湖沼・ダム湖」において取り上げる。

- 気候変動の影響による湖沼水温の上昇は、富栄養化が進行している深い湖沼では、その湖沼の鉛直方向の循環を弱め、湖底の溶存酸素が低下して貧酸素化が進む可能性がある。また、湖沼の貧酸素化が貝類等の底生生物に影響を及ぼすとともに、底泥からの栄養塩の溶出を促進し、富栄養化を加速することが予想される。
- 湖沼水温の上昇やCO₂濃度の上昇は、成層化を強め、栄養豊富な深層水の湧昇を減少させる。このことは、栄養塩供給が乏しい生態系において、植物プランクトンの栄養塩含量や現存量を減少させ、植物プランクトンを餌とする動物プランクトンの成長量を低下させる可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 湖沼生態系は、流域土地利用からの栄養塩負荷の影響を受けるため、気候変動の影響のみを検出しにくく、直接的に気候変動の影響を明らかにした研究は国内では限られている。
- ただし、鹿児島県の池田湖において、暖冬により循環期がなくなり、湖底の溶存酸素が低下して貧酸素化する傾向が確認されている。また、滋賀県琵琶湖におけるホンモロコ・ニゴロブナの個体数の激減について、暖冬による循環の遅れ、及び人為的な水位操作や湖岸環境の改変等との複合作用によるものとする報告がある。
- 1900年代から2000年代にかけて、全国の湖沼における水草の種構成が変化しており、この変化には気温及び降水パターンの変動が影響しているとの報告がある。
- 北海道の湖沼について、結氷期間の短縮や、それに伴う植物プランクトンブルームの早期化が確認されている。

国内の248の湖沼を対象に、1900年代初頭から2000年代にかけての水草の種構成の変化と、気候条件を含む環境条件の関係を解析した研究によれば、対象とした58種の水草のうち3分の2に相当する種（ヒンジモ、イトクズモ、オニバス、デンジソウ、ヒシモドキ等）において、分布の変化に対する気候変動（温度上昇・降水パターンの変化）の影響が検知されている。³²¹⁰⁰¹

滋賀県琵琶湖では、固有種であるホンモロコ及びニゴロブナの個体数が大きく減少しており、

その原因の一つに、富栄養化による酸素消費量の増加と、暖冬に伴う冬季の上下循環の遅れや衰退による、深層水の酸素量の低下が挙げられている。一方、これらの魚類の減少要因については、気候変動に関連するもののみならず、人為的な水位操作や産卵場である内湖やヨシ帯の減少、外来生物による捕食圧の増加や過剰な漁獲圧等の影響も要因として挙げられており、複合的な影響によるものとされている。³²¹⁰⁰²⁾

鹿児島県池田湖では、1977年以降は暖冬になり、1年を通して循環期がなくなり、湖底の溶存酸素が年を越えて次第に低下し、貧酸素層が生れていることが明らかになっている。³²¹⁰⁰³⁾

北海道の湖沼では、湖水フェノロジーの短縮が報告されている。サロマ湖では、観測が開始された1964年以降、湖面が完全に結氷する（全面結氷）期間は短縮傾向にあり、1990年代以降は湖面が完全に氷に覆われない年も頻繁に観察されている。全面結氷が起こらなかった2009年において行われた調査から、通常は春季に発生する植物プランクトンのブルームが2月より発生し、4月まで継続したことが明らかになっている。³²¹⁰⁰⁴⁾ 網走湖においても、1961-2015の55年間における解氷日と結氷期間が、それぞれ1.7日/10年、2.4日/10年程短縮しており、北半球における報告(1.9日/10年、4.3日/10年)と同様の傾向を示していることが明らかになっている。³²¹⁰⁰⁵⁾

湖沼生態系は、流域土地利用からの栄養塩負荷などにより、既に大きな変貌を遂げてきた。このため、温暖化のみの影響を検出しにくい状況にあり、直接的に温暖化影響を明らかにした研究は限られている。

(将来予測される影響)

[概要]

- 現時点で日本における影響を定量的に予測した研究事例は限られるものの、富栄養化が進行している深い湖沼では、水温の上昇による湖沼の鉛直循環の停止・貧酸素化と、これに伴う貝類等の底生生物への影響、富栄養化の加速が懸念される。
- 水温上昇によるアオコを形成する植物プランクトンの増加と、それに伴う水質の悪化や、水生植物の発芽後の初期成長への悪影響等が予測されている。
- 室内実験により、湖沼水温の上昇やCO₂濃度上昇が、動物プランクトンの成長量を低下させることが明らかになっている。

深い湖沼では、季節的な水温変化によって循環期と成層期が交互に訪れる。しかし、温暖化によりこの鉛直方向の循環が弱まると、成層期の時期が早まったり、期間が長くなったり、最悪1年を通して循環しなくなる可能性がある。その結果、表層水から湖底に酸素が供給されなくなり、貧酸素層が発達するため、貝類等の底生生物に多大な影響を与えると予測される。同時に、底泥からの栄養塩の溶出を促進し、富栄養化を加速することが予想される。³²¹⁰⁰⁶⁾

気候モデルから提供される気温と降水量の将来データを用いて、水質予測モデルによる水質

変化を予測した結果から、国内の特定の湖沼生態系における気候変動影響を評価した研究が確認されている。これによれば、八郎湖においては、主に降水量の変化により流入負荷量が増加し、それによる湖内の夏季での植物プランクトン量が増加する傾向が見られた。また、琵琶湖においては、気温上昇等により冬季全循環が生じなくなる年が生じ、また底層水が貧酸素化する年が増えることで底層利用魚であるイサザの生息適水域の面積が減少する年が生じることが予測されている。池田湖では、湖面積に比べて流域が狭いため、降水量より気温の変化影響が大きく、現状でも確認されている冬季全循環の停止が継続するとともに、表層の植物プランクトン量が増加する傾向が見られている（RCP2.6、RCP 8.5 シナリオを前提とした MRI-NHRCM20、RCP8.5 シナリオを前提とした MIROC5mid、GFDL-3CM による気候予測情報を使用）。³²¹⁰⁰⁷

琵琶湖において、植物プランクTONの成長率と環境条件の関係性をモデル化したところ、特に気温が与える影響が大きいことが明らかとなった。このモデルと、気候シナリオによる将来の気候予測情報を用いて気候変動下における植物プランクTONの成長率を予測した結果によると、現在と比較して21世紀中頃及び21世紀末では、比較的気温上昇の小さいRCP2.6では植物プランクTONの大きな増減は見られないが、気温上昇の大きいRCP8.5ではアオコ形成種及びカビ臭原因種が増加することが予測されている。³²¹⁰⁰⁸

新潟県の佐潟において、気候シナリオによる将来の気候情報の予測値と、三次元水循環解析モデルによる解析から、水温及び湧水量の変化が水生植物に与える影響を予測した研究がある。これによれば、アオコ発生が見られるようになる湖面水温が30℃を超える頻度が現在よりも増加し、RCP2.6の21世紀中頃で20年辺り4回、RCP8.5の21世紀末では20年辺り18回に上ることが予測された。これにより、水中光量の減少と、それに伴う水質悪化・底質悪化の進行、ハスやオニバス等の発芽後の初期成長に悪影響を及ぼす可能性が示されている。一方、湧水量については、いずれのシナリオでも変化は小さく、佐潟においては水収支よりも水温変化による影響が大きいことが示唆されている。³²¹⁰⁰⁹

室内で3種のミジンコを異なった水温で飼育し、体成長を調べた実験結果において、水温の上昇に伴い、成熟サイズが小さくなることが示されており、湖沼生態系が温暖化の影響を受けると、動物プランクTONが全体的に小型化し、エネルギー転換効率が低下する可能性が示唆されている。³²¹⁰⁰³

さらに、湖沼では、温度上昇やCO₂増加により、植物プランクTON生産が上がるが、栄養塩供給が乏しい生態系では、植物プランクTONの栄養塩含量が低下し、それを餌とする動物プランクTON（ミジンコ）の成長量が低下することが室内実験により明らかになっている。³²¹⁰¹⁰

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

湖沼は特有の生物相を有しており、成立要因は地史的にも、地形的にも限られている。また、

河川と比べて閉鎖性を有するため、気候変動によって分布域を変えることが困難である。したがって、湖沼は影響が生じた際の不可逆性が高く、きわめて脆弱な生態系の一つと言える。また、現在においても全国各地の湖沼において水草の種構成の変化が確認されている他、琵琶湖や八郎潟、池田湖等の各地の主要な湖沼において植物プランクトンの増加や冬季全循環の停止等が予測されている等、影響は全国の湖沼で広範囲に生じる可能性がある。加えて、多くの湖沼及びその周辺域は、歴史的に人間に利用され、流域からの水供給によって維持され、一方で土砂や栄養塩などの負荷を受けながら変貌してきた。したがって、気候変動に伴い水・物質循環が変化した場合、これらの持続的な環境変化への脆弱性を更に増加させる可能性があり、結果として多くの生物種が影響を受ける可能性が高い。^{321011, 321012)}

● 緊急性：

【評価】 中程度

・ 影響の発現時期

【評価】 中程度

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】 中程度

湖沼も戦後の干拓に伴い大きく減少した生態系の一つである。特定の湖沼に限られるものの、固有種の減少が報告されており、その要因として気候変動による影響が示唆されている。また、モデルによる予測から、気候変動に伴う全循環の停止や貧酸素化が予測されており、底層利用魚への影響が懸念される。知見としては確認できていないものの、このような循環機構の変化は、底層利用魚以外の湖沼生態系構成種へも広く影響を及ぼすことが考えられる。加えて、水域において一旦生じた影響・被害の修復・再生は困難を伴う。一方で、対応の緊急性の度合いは、個々の湖沼の状況（気温、水温、湖沼の深さ、富栄養度など）によっても異なると考えられる。

● 確信度：

【評価】 低い

現地での報告は限定的である。固有種の減少に関する報告、湖水フェノロジーの変化に関する報告、特定の湖沼を対象に気候モデルと水質予測モデルを使用した底層利用魚への影響予測、生態系への影響を室内実験によって確かめた予測等があるものの、前述の通り湖沼生態系は固有性が高いことから、長期モニタリングを行い、変容を監視する必要がある。

(2) 河川

(気候変動による影響の要因)

ここでは、河川生態系における動植物や植生等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。なお、水質等の生物以外への影響については、「水環境・水資源分野-河川」において取り上げる。

- 気候変動の影響に伴う河川水温の上昇により、生物の生育・生息適地が変化する。特に、冷水魚については、生息域が縮小したり分断されたりする可能性がある。また、河川水温の上昇は繁殖期間等の生活史にも影響を及ぼす可能性がある。
- 積雪量や融雪出水の時期・規模の変化により、融雪出水時に合わせて遡上、降下、繁殖等を行う河川生物相に影響を及ぼす可能性がある。
- 降雨の時空間分布の変化による大規模な洪水の頻度の増加等により細粒土砂が増加する。細粒土砂が堆積し滞留すると、河床環境に影響を与え、魚類や、底生動物、付着藻類等にも影響が及ぶ可能性がある。また、砂礫間隙が細粒土砂によって埋められると、浸透する流れが抑えられ、産卵床への酸素供給が不足し、卵を窒息させることが想定される。
- 気候変動に伴う渇水により、水温の上昇、溶存酸素の低下が生じ、河川生物相に影響が及ぶ可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 我が国の河川は取水や流量調節が行われているため気候変動による河川の生態系への影響を検出しにくく、現時点で気候変動の直接的影響を捉えた研究成果は確認できていない。一方で、魚類の繁殖時期の早期化・長期化や暖温帯性・熱帯性の水生生物の分布北上等、気候変動に伴う水温等の変化に起因する可能性がある事象についての報告が見られる。

日本のほとんどの河川は、堰やダム構造物により取水や流量調節が行われており、本来の流況とは大きく異なっている。このため、気候変動による河川の生態系への影響を検出しにくく、温暖化の直接的影響を捉えた研究成果は確認できていない。一方で、淡水性魚類の繁殖時期の早期化・長期化や暖温帯性・熱帯性の水生生物の分布北上等、気候変動に伴う水温等の変化に起因する可能性がある事象についての報告が見られる。

全国の河川におけるモニタリング調査結果から、温水性の淡水魚類の確認地点の北進・東進傾向が見られる。栃木・茨城県以南（太平洋側）及び福井県以西（日本海側）に分布するカワアナゴについては、太平洋側での分布に大きな変化が確認できなかったものの、日本海側の北陸地方において分布の拡大傾向が確認されている。また、福島県以南（太平洋側）・新潟県以南（日本海側）に分布するウロハゼも、分布北端であった関東地方での確認河川数が経年的に増加してい

る。³²²⁰²⁶⁾ また、伊豆半島及び神奈川県複数の河川での調査において、神奈川県内初確認種を含む5種の熱帯性のコエビ類が確認されたとの報告があるが、越冬個体については温泉排水の流入がある河川等の特殊な環境以外では確認されておらず、現状ではこれらの種は無効分散であると結論づけている。³²²⁰⁰²⁾

北海道の千歳川では、婚姻色が現れたウグイの個体の写真とその撮影時期を分析することにより、繁殖期が過去80年間で3週間ほど早期化していることが推定されており、気候変動による影響が示唆されている。³²²⁰⁰³⁾

高知県四万十川河口域周辺では、1990年代以降アユ仔稚魚の孵化ピークが遅くなる傾向が見られており、その原因として海水温の上昇が指摘されている。³²²⁰⁰⁴⁾ また、大阪府淀川においても、大阪湾の冬場の海水温が10℃を上回ると、アユ遡上数が減少する傾向にあることが確認されている。³²²⁰⁰⁵⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 平均気温が現状より3℃上昇すると、冷水魚であるアメマス及び本州イワナ（ニッコウイワナ・ヤマトイワナ・ゴギ）の分布適域が現在の約7割に減少することが予測されている。また、中国・近畿地方では平均気温の1℃の上昇でも、分布適域が現状の約半分に減少することが予測されている。
- 源流域のカワゲラ目の分布適域や、サクラマス（ヤマメ）の越夏環境、アユ遡上量についても、気候変動による適域の縮小・消失や遡上数の減少が予測されている河川がある。
- このほか、現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、以下のような影響が想定される。
 - 積雪量や融雪出水の時期・規模の変化による、融雪出水時に合わせた遡上、降下、繁殖等を行う河川生物相への影響
 - 降雨の時空間分布の変化に起因する大規模な洪水の頻度増加による、濁度成分の河床環境への影響、及びそれに伴う魚類、底生動物、付着藻類等への影響
 - 渇水に起因する水温の上昇、溶存酸素の減少に伴う河川生物への影響

冷水性の魚種であるアメマス及び本州イワナ（ニッコウイワナ・ヤマトイワナ・ゴギ）について、分布推定モデルを用いて生息適域の変化を評価した研究によれば、年平均気温が1℃・2℃・3℃と上昇するに従い、生息適地がそれぞれ7.3%、15.5%、28.4%減少すると予測している。特に現在の生息適域が少ない地域ほど減少率が大きく、中国・近畿地方では1℃の上昇で生息適域が現在の50%以上減少することが予測されている。一方で、北海道においては多くの流域で気温の上昇に伴い生息適域が上流方向に拡大することが予測されている。これにより、同地域のより上流側に生息する近縁種であるオシヨロコマとの競争が増加し、競争的に劣位であるオシヨロ

コマの生息に負の影響を与えることも示唆されている。³²²⁰⁰⁶⁾

宮城県名取川流域において、気候シナリオと分布型流出モデルにより得られた水温変化から、源流域におけるカワゲラ目の個体数密度を予測した研究によれば、カワゲラ目の個体数密度は近未来（2031～2050年）においては現状の64%（RCP2.6シナリオを仮定）～94%（RCP8.5シナリオを仮定）の減少、遠未来（2081～2100年）においては69%（RCP2.6シナリオを仮定）の減少、あるいは消失（RCP8.5シナリオを仮定）することが予測されている（MIROC5、MRI-CGCM3等の8つの気候予測モデルと分布流出モデルによる水温予測の各シナリオにおける平均値を用いた予測）。³²²⁰⁰⁷⁾

山形県五十川において、現在の気温及び水温の実測値から構築した日最高水温予測式と、気候シナリオによる日最高気温の予測値を用いて、サクラマス（ヤマメ）の越夏環境への気候変動の影響を調査した研究によれば、21世紀末における五十川の水温は、特に生息域の下流側の地点においてサクラマスが選好しないと考えられる25℃を超える日が現在よりも増加し、地点によってはその日数が現在の約5倍に増加するとの予測も得られている。また、いずれの地点においても、遡上時における適水温の上限（20℃）を超える日数が現在の2～3倍に増加することが予測されている。これらのことから、21世紀末の五十川では、上流域においては将来も越夏適地が残存するものの、下流域を中心に越夏適地が縮小することが予想される。（RCP8.5シナリオを前提としたMRI-NHRCM02による気候予測情報を使用）。³²²⁰⁰⁸⁾

淀川流域のアユ遡上量について、気候シナリオと分布型流出モデルにより、将来気候下における流量と水温を予測し、将来におけるアユ遡上数を予測した研究によれば、淀川河口水温は21世紀末に1.43～1.99℃上昇（SRES A1B及びB1シナリオを仮定した、CMIP3マルチモデルアンサンブルによる気候予測値を使用）し、遡上数が減少することが予測されている。³²²⁰⁰⁹⁾

北海道や東北地方では積雪量や融雪出水の時期・規模が大きく変化する可能性がある。これらの地域では、融雪出水時に合わせて、遡上や降下、繁殖などを行う生物種が存在するため、季節的流況の変化は河川生物相に大きな影響を与えることが予想される。たとえば、融雪出水に合わせて種子散布するヤナギ科木本種の更新動態を維持することは難しくなると考えられる。³²²⁰¹⁰⁾ さらに、融雪洪水の減少は、ブラウントラウトなどの外来種の侵入を容易にし、在来種の生息域が縮小する可能性もある。³²²⁰¹¹⁾

また、IPCC（2001）によると、渇水と異常出水の増加が予想されている。異常出水等により大規模洪水の頻度が増加し、濁度成分（細粒土砂）が河床環境に影響を与えることが予想されている。³²²⁰¹²⁾ その結果、魚類の産卵床や底生動物、付着藻類等に影響を及ぼすと考えられる。^{322013, 322014)} また、渇水は、水温を上昇させ、溶存酸素量を減少させるため、少なからず河川生物相に影響を与えることは容易に想像できる。

一方で、止水環境の室内実験で確かめられたCO₂増加による藻類生産の上昇そして質の低下から高次生産量は減少するという現象は、流水環境の室内実験では異なる結果を得ている。藻類生産の質の低下は起こるが、生産量の増加とともに底生動物の密度、サイズ、生物量は増加することが明らかになっている。³²²⁰¹⁵⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

- 気候変動の影響は全国に及ぶ。河川上流域の典型種であるイワナ・アメマスにおいては全国的な生息適地の減少が予測されていること等から、特に気温と密接な関係をもち、流量も限られる上流域の小溪流で影響がより顕著に表れると予想される。また、一般的に淡水魚類は、卵や若齢の個体等の生活史の初期段階において、水温上昇や溶存酸素量を始めとする環境因子に鋭敏であるため、これらの環境条件の変化に脆弱であると考えられる。加えて、生活史の初期段階の死亡率は個体群の維持に大きな影響を及ぼす。したがって、気候変動に伴う水温や水質、流量等の環境変化により、産卵期の変化や卵の死亡率の上昇などを通じた個体群の崩壊が引き起こされる可能性がある。³²²⁰¹⁶⁾水温上昇等の生息環境の変化に対して、魚類は上流部生息適地への移動を試みると考えられるが、日本の場合、山地部に限られて分布している種や、滝などの地形や河川を横断する工作物により連続性が遮断されている場合が多く、移動が困難になる。ただし、魚類に比べて、水生昆虫など成虫段階で飛翔できる昆虫類への影響は、相対的に小さいと予想される。

● 緊急性：

【評価】中程度

・影響の発現時期

【評価】中程度

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】中程度

気候変動との因果関係は検証されていないものの、全国の複数の河川において南方性魚類の東進・北進傾向が確認されている。また、ウグイの繁殖期の長期化や、アユ遡上数の減少・孵化ピークの遅延が報告されている河川がある。将来影響については、冷水性の魚類や水生昆虫において予測事例があり、今世紀中頃あるいは年平均気温1℃の上昇で、生育適地が大幅に減少する地域がみられる。気温・水温上昇に対して、水系を移動することによってのみ適応しなければならぬ生物種や、融雪出水等の攪乱を必要とする生物種にとっては致命的であり、一旦生じた影響・被害の修復・再生は困難を伴う。一方で、対応の緊急性の度合いは、個々の河川の状況（緯度、流況、水質など）によっても異なると考えられる。

● 確信度：

【評価】低い

研究・報告数は少数である。モデルを用いた研究・報告は多くは無いものの、一部の冷水魚やアユ、源流域の水生昆虫において、定量的な予測が見られる。河川生態系は、河川改修、ダム建設、取水、流域土地利用による負荷など、既に歴史的に強い人為的影響を受けてきた。そのため、既に多くの生物種が絶滅、もしくは絶滅に瀕しており、気候変動との複合影響も含めて長期モニタリングを実施し、変容を監視する必要がある。

(3) 湿原

(気候変動による影響の要因)

ここでは、湿原生態系における動植物や植生等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。

- 気候変動による気温の上昇、霧日数の低下に伴う湿度低下、蒸発散量の上昇等は、湿原の乾燥化を引き起こし、湿原の生態系に影響を与える可能性がある。また、沿岸域に分布する湿原においては、極端な降水の頻度及び強度の増大に伴う流域からの土砂及び栄養塩の負荷量の増大、海面水位の上昇やそれに伴う塩水遡上距離の変化による湿原の植生構成の変化が引き起こされる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 湿原の生態系は気候変動以外の人為的な影響を強く受けており、気候変動による影響を直接的に論じた研究事例は限られている。
- 一部の湿原で、気候変動による湿度低下や蒸発散量の増加、積雪深の減少等が乾燥化をもたらした可能性が指摘されている。

日本の湿地生態系は、1950～60年代の高度成長期に、農地開発など多くの人為的影響を直接的、間接的に強く受けており、温暖化の影響を検出しづらくなっている。そのため、現状では直接的に影響を論じた研究はない。

一方、国内のいくつかの山地湿原においては、乾燥化の進行やそれに伴う樹木等の非湿原植物の侵入が報告されている。八島ヶ原高層湿原ドーム地形の亀裂から乾燥化を指摘した研究では、気候変動による湿度低下や蒸発散量の増加等が大きな影響を与えている可能性を指摘している。³²³⁰⁰¹⁾ また、上越山地平ヶ岳上部の湿原において乾燥化に伴う非湿原植物の侵入の過程を明らかにした研究では、高層湿原の乾燥化の原因の一つとして積雪深の減少との関連性を指摘している。³²³⁰⁰²⁾ 秋田県八幡平山系の山地湿原郡において、1950年代後半から2004年までの湿原の面積変化を空中写真判読により比較した研究では、特に風衝と積雪を成因とする湿原において減少の速度が大きかったことから、その要因として近年の積雪量減少による環境変化の可能性を挙げている。

³²³⁰⁰³⁾

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 釧路湿原において、極端な降水の強度の増大に伴う流域からの土砂及び栄養塩の負荷量の増大が予測されている。加えて、海面水位の上昇に伴い塩水遡上距離が拡大し、湿原生態系の構成種等に影響を及ぼすことが予測されている。
- 降水量の変化や地下水位の低下により、雨水滋養型の高層湿原における植物群落への影響が予測されている。
- 現時点で定量的に予測をした研究事例としては確認できていないものの、以下のような影響が想定される。
 - 日本全体の湿地面積の約8割を占める北海道の湿地への影響
 - 気候変動に起因する流域負荷（土砂や栄養塩）に伴う低層湿原における湿地性草本群落から木本群落への遷移、蒸発散量の更なる増加

IPCC 第5次評価報告書では、今世紀中に、中～高排出シナリオ（RCP4.5、6.0及び8.5）に伴う気候変動の程度や速度は、湿地を含む陸域や淡水生態系の構成、構造、機能において急激で不可逆的な地域規模の変化が起きる高いリスクをもたらすことが指摘されている。³²³⁰⁰⁴

世界の土地面積の6%を占める湿地生態系は、世界の陸域炭素量の約3割程度を貯留していると言われている。³²³⁰⁰⁵ このため、今世紀末までに、すべてのRCPシナリオにおいて、日本の平均土壌水分量が減少するとのIPCC（2013）による予測を考慮すると、日本全体の湿地面積の約8割を占める北海道の湿地では大きな影響を受けると予想される。特に地下水位の低下に伴い好気的な環境が形成されると蓄積した有機物が分解され、炭素が大気中に放出される可能性が強まる。

温暖化が湿原に与える影響としては、降水量の変化、霧日数の低下に伴う湿度低下、蒸発散量の上昇などが考えられる。雨水滋養型の高層湿原の植物群落（ミズゴケ類）では、無降水日数の増加等や地下水位の低下の影響を直接受けるであろうし、低層湿原でも流域負荷（土砂や栄養塩）に伴い草本から木本群落に遷移し³²³⁰⁰⁶、蒸発散量がさらに増えることが予想される。

京都市の深泥池は、近畿地方以南では貴重な高層湿原であるが、気候変動に伴う水位変化による湿地生態系への影響が予測されている。気候シナリオと水位モデルを用いた影響予測事例では、今世紀末において、深泥池位の水位低下が起こる頻度が著しく増加し、水位低下の程度も現在では起こらないような程度にまで達する可能性が予測されている。このような水位の低下に伴い、浮島地下水内の溶存酸素濃度の低下に加え、シュレンケの減少、ビュルテの乾燥化・陸地化等の湿原内の微地形の環境変化が生じ、水生生物にも影響が及ぶことが予測されている。（RCP8.5シナリオを前提としたMRI-NHRCM02モデルによる気候予測情報を使用）。³²³⁰⁰⁷

一方、低層湧水湿原である佐賀県の檜原湿原において、気候シナリオ及び水収支モデル（タンクモデル）、水域変化モデルを用いて気候変動による水位変化が湿原内の植生に与える影響を調査した事例によれば、いずれの気候モデル・濃度シナリオ・予測期間においても地下水位の大きな変化は確認されず、また降水量による水質流入濃度の差異も小さいことが実測調査にて確認さ

れたことから、植生等へ与える影響は小さいとする事例もある(RCP2.6/8.5シナリオ及びMIROC-5/MRI-CGCM3モデルによる気候予測情報を使用)。³²³⁰⁰⁸⁾

また、北海道釧路湿原においては、将来の極端な降水の強度の増大に伴う土砂及び栄養塩の負荷量の増大が懸念されている。21世紀末(RCP8.5シナリオ)の気象条件を仮定して、水循環モデルとL-Q式による湿原への土砂・栄養塩負荷量を予測した研究によれば、大雨時の流量の増大に伴い、釧路湿原に流入する3河川(久著呂川、雪裡川、幌呂川)におけるSS(浮遊土砂)・全窒素・全リン負荷量が大幅に増大(SS:4.3~8.3倍、全窒素:2.3~3.3倍、全リン:2.6~4.2倍)することが予測されている。(MRI-NHRCM02による気候予測情報を使用)³²³⁰⁰⁹⁾

同じく釧路湿原においては、海面水位の上昇により湿原中央部を流れる新釧路川の塩水遡上距離が現在よりも上流側に拡大し、耐塩性の低いミクリ等の水生植物の消失や耐塩性の高いヨシ・クサヨシ群落への遷移、及び地下水への塩水侵入に伴う両生類の生息環境の悪化等が予測されている。(IPCC AR4における100年後の最大海面水位の上昇量0.59mと気象偏差(+0.93m)を仮定した環境流体モデル(Fantom3D)による塩水遡上解析結果に基づく予測)³²³⁰¹⁰⁾

幾つかの研究では、湿地性のC3植物はC4植物よりも高CO₂下で増加すると指摘されているが、温度や降水量など、様々な要因を考慮すると複雑で単純化することは難しい。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

湿地生態系は特有の生物相を有しており、地形的要因に強く影響を受けて維持されている。したがって湿地性植物は、森林構成種のように気候変動によって水平方向ならびに垂直方向に分布域を変えることが難しく、気候変動に対してきわめて脆弱な生態系の一つと言える。また、多くの湿地生態系、とくに低層湿原は、流域からの水供給によって維持され、一方で土砂や栄養塩などの負荷を受けながら変貌してきた。したがって、気候変動に伴い水・物質循環が変化した場合、多くの生物種が影響を受ける可能性が高い。また、沿岸部あるいは汽水域と連続性を持つ環境に立地する湿原においては、海面水位の上昇に伴う塩水影響も予測される。

● 緊急性：

【評価】中程度

・影響の発現時期

【評価】中程度

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】中程度

高山帯・亜高山帯の湿原については積雪量の減少によるものと見られる湿原面積の縮小が報告される地域もあり、これらについては緊急性が認められるが、その他の場所の湿原についてはそこまでの緊急性は認められない。釧路湿原においては極端な降水の強度の増大に伴う流域からの土砂及び栄養塩の負荷量の増大、海面水位の上昇に伴う塩水遡上距離の増大を予測する事例もあるが、予測される影響の発現時期はいずれも今世紀後半である。

国土地理院が2000年にとりまとめた「日本全国の湿地面積の変化」によると、明治・大正時代に存在した全国の湿地面積は2110.62 km²であったが、1999年には820.99km²に減少しており、その61%が失われたことになる。このように、現存する湿地は全国的にも希少な生態系であり、既に多くの人為的影響が及んでいることを考えると、気候変動との複合的な影響を予知するために、モニタリング、研究等を進める必要がある。

● 確信度：

【評価】低い

気候変動の影響を直接明らかにした研究・報告は国内では限られており、土地利用等の影響についての研究事例が多い。長期モニタリングを行い、変容を監視する必要がある。

【沿岸生態系】

(1) 亜熱帯

(気候変動による影響の要因)

ここでは、サンゴ礁やマングローブ等の亜熱帯域の沿岸生態系における、動植物等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。

- 亜熱帯地域の沿岸生態系において特徴的な亜熱帯性サンゴでは、水温上昇などのストレスにより共生藻を失うと白化現象が観察され、その状態が続くと、共生藻の栄養を受け取れないために死滅する。
- 気候変動により海水温が上昇すると、サンゴの分布域が北上したり、現在生息している海域では、白化現象により死滅する可能性がある。
- サンゴそのものの生育や分布に変化が生じれば、サンゴ礁に依存して生息する多くの生物・生態系にも影響を及ぼす。
- マングローブ林は、海水の干満の影響を受ける河口や干潟に生育する樹木群で、耐塩性を持つが、水中では生育できない。そのため、マングローブの堆積物が蓄積していく速度を海面水位の上昇が上回ると水没し、生育できなくなる場所も生じる可能性がある。また、海面水位の上昇によって海岸侵食が起こるとそこに生息する生物が影響を受ける可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 沖縄地域で、海水温の上昇により亜熱帯性サンゴの白化現象の頻度が增大している。2016年には、石垣島の石西礁湖周辺において夏季の高水温によるものと考えられる大規模な白化現象が発生している。
- 太平洋房総半島以南と九州西岸北岸における温帯性サンゴの分布が北上している。
- 室内実験により、造礁サンゴ種の一部において石灰化量の低下が生じている可能性が指摘されている。
- 西表島のマングローブについて、海面水位の上昇に伴う冠水頻度の増加によるものと考えられる立ち枯れが確認されている。

沖縄地域で、亜熱帯性サンゴの白化現象の頻度が增大している。^{331001, 331002, 331003, 331004, 331005)} ³³¹⁰⁰⁶⁾ 2016年夏季には、石西礁湖周辺においてミドリイシ等の大規模な白化が確認されており、これは同年の夏季の高水温によるものとされている。³³¹⁰⁰⁷⁾ ³³¹⁰⁰⁸⁾ ³³¹⁰⁰⁹⁾ また、白化現象からの回復はサンゴ群集間で異なり、白化後年数が経過しても以前の水準まで回復しない種類もあることが明らかになっている。³³¹⁰¹⁰⁾ 室内飼育実験によると、造礁サンゴ種で石灰化量の低下が特定種で既に低下している可能性がある。^{331011, 331012)} 日本の太平洋岸房総半島以南と、九州西岸北岸の双方において、温帯性サンゴの分布が北上中と確認された。³³¹⁰¹³⁾

また、沖縄地域では、土壌流出が一部のサンゴの熱ストレスに対する回復力低下を引き起こしていることが最近報告されている。³³¹⁰⁰²⁾ 水温上昇以外に土砂流出もサンゴ礁に影響を与えている実態はあるが、気候変動による降水の変化と土砂流出との関係や地域性については現時点で明確でなく、将来気候下での予測はなされていない。

マングローブ生態系については、西表島における植生調査の結果から、通常は殆ど潮位の届かない環境に生育するシマシラキの立ち枯れが観察されており、近年の海面水位の上昇により冠水頻度が増加し、枯死につながった可能性が指摘されている。³³¹⁰¹⁴⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 4度上昇を仮定した予測では、熱帯・亜熱帯の造礁サンゴの生育に適する海域が水温上昇と海洋酸性化により日本近海から消滅すると予測されている。一方、3度上昇を仮定した予測では、今世紀末においても生育適域が一定程度残存するとされている。生育に適した海域から外れた海域では白化等のストレスの増加や石灰化量の低下が予測されているが、その結果、至適海域から外れた既存のサンゴ礁が完全に消失するか否かについては予測がなされていない。
- もう一つの亜熱帯沿岸域の特徴的な生態系であるマングローブについては、海面水位の上昇による分布域の縮小や内陸側への移動が予測されている。特に、後背地が構造物等で分断されている場合は、土砂の利用可能性や移動分散を妨げ、より影響が悪化するとされている。国内における将来予測の知見については現時点では限られており、気温上昇による枯死率の増加を示す予測がある一方、生理特性の温度順化により生育阻害は発生しないとする予測もあり、今後の研究が望まれる。

IPCC 第5次評価報告書では、海洋酸性化が、植物プランクトンから動物までの個々の種の生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響に伴い、中～高排出シナリオ(RCP4.5、6.0及び8.5)において、特に極域の生態系やサンゴ礁といった海洋生態系に相当のリスクをもたらすことが指摘されている。³³¹⁰¹⁵⁾ また、1.5℃特別報告書によれば、暖水性のサンゴは2℃上昇で99%が、1.5℃上昇でも70～90%が消滅のリスクに晒されるとしている。³³¹⁰¹⁶⁾

造礁サンゴの生育に至適と考えられる海域について、白化を招く水温及び造礁サンゴにとっての最適二酸化炭素濃度条件を設定する予測モデルを用いた研究(SRES A2シナリオを前提としたIPSL-CM4-LOOP model、MPIM、NCAR CSM1.4、NCAR CCSM3の各気候モデルによる気候予測情報を使用)では、SRES A2シナリオ下における熱帯・亜熱帯性サンゴの生育適域は、海洋酸性化に伴う低アラゴナイト飽和度域の低緯度側への拡大と、高水温による白化域の高緯度側への拡大に挟まれ、日本近海から適域が消滅することが予測されている。SRES B2シナリオにおいては、海洋酸性化に伴うアラゴナイト飽和度の低緯度側への拡大が予測される一方、高水温による白化域の高緯度側への拡大はほぼ確認されず、サンゴの分布は海洋酸性化のみに影響を受けることが予測

された。また、B2 シナリオ下では、SRES A2 シナリオと同様経年的にアラゴナイト飽和度が低下するものの、2090 年代においてもサンゴの生育下限とされるアラゴナイト飽和度 2.3 を上回る海域が残存し、熱帯・亜熱帯性サンゴの生育適域が残存すると予測している。^{331017, 331018)}

至適海域から外れた海域では、白化等のストレスの増加や、石灰化量の低下が発生する事が予測されているが³³¹⁰¹⁹⁾、その結果至適海域から外れた既存のサンゴ礁が完全に消失するか否かについては予測がなされていない。

また、石垣島の白保サンゴ礁域を対象に、海面水位の上昇と海洋酸性化がサンゴ礁の石灰化率に与える影響を生態系モデルにより予測した研究によれば、今世紀後半においては海面水位の上昇による石灰化率への正の影響を考慮したとしても、海洋酸性化による負の影響により、正味の石灰化率は減少する傾向にあることが予測されている (RCP4.0、RCP6.0、RCP8.0 の各シナリオにおいて、2100 年次点では石灰化率が現状の 96.9%、91.1%、80.7%に減少)。³³¹⁰²⁰⁾

一方で、造礁サンゴの CO₂ 分圧増加に対する反応について、生息環境による違いを指摘する報告もある。沿岸域に近く環境条件の変動を受けやすい場所で採集した造礁サンゴ(コユビミドリイシ)集団と、より安定的な環境で採集した集団について、CO₂ 分圧の上昇に伴う石灰化率の変化を実験的に検証した研究によれば、CO₂ 分圧の上昇に伴う石灰化率の減少傾向は、より安定的な環境で採集した集団にのみ確認され、その原因として集団間の遺伝子発現の違いを指摘している。³³¹⁰²¹⁾

また、マングローブ生態系・藻場生態系・サンゴ礁生態系の底質環境に対する、温度及び CO₂ 分圧の上昇による影響を実験的に検証した研究から、温度上昇と CO₂ 濃度上昇の複合作用による生態系機能の変化(総一次生産量の増加・底質の Chl. a 量の増加)が確認されている。(現状+4°C 及び、高 CO₂ 環境として CO₂ 濃度 936 ppm を仮定)³³¹⁰²²⁾

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書(2019 年)においては、海面水位の上昇によりマングローブを始めとする沿岸生態系の縮小や内陸側への移動が予測されている。マングローブは 10mm/年程度の速い上昇速度にも追従できる可能性があるが、この追従能力は、局所的な波浪への暴露、潮位、土砂動態により大きく異なると予測されている。特に、後背地が構造物等で分断されている場合は、土砂の利用可能性や移動分散を妨げ、より影響が悪化すると予測されている。^{331XX1)} マングローブの分布規定要因を全球的に解析した研究からは、東アジア地域におけるマングローブの分布は年最低気温に大きく規定されていることが明らかになっており、冬季の平均気温の上昇により極方向へ分布域が拡大する可能性が示唆されている。³³¹⁰²³⁾ また、マングローブを構成する樹種の一つであるヤエヤマヒルギの実生について、生育状況の温度環境による違いを実験室において比較した研究によれば、中程度(平均気温 30°C)の温暖化環境においては、生理特性の温度順化のために生育阻害は確認されず、生育に正の影響を及ぼすことが示唆されている。³³¹⁰²⁴⁾ 一方、夜間でも 35°C を下回らないような環境において、ヤエヤマヒルギやオヒルギが枯死する可能性についての指摘もある。³³¹⁰²⁵⁾

海面水位の上昇による砂浜の侵食が予測されている³³¹⁰²⁶⁾ が、その生物への影響について予測した文献は確認できていない。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>特に重大な影響が認められる

【観点】 環境

サンゴそのものの生育や分布に変化が生じるとともに、サンゴ礁に依存して生息する多くの生物・生態系に重大な影響を及ぼす。

また、亜熱帯域では、サンゴ礁域の各種資源（観光資源、水産資源を含む）への影響が重大である。これらの生態系サービスへの影響については、小項目「生態系サービス」において取り扱う。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

日本周辺においては今世紀末においても九州・沖縄以南において生息適域が残存するという予測がある (SRES B2)。一方、IPCC 1.5°C 特別報告書によれば、サンゴ礁は 2°C 上昇であっても現存するサンゴ礁の 99% が消滅のリスクに晒されるとしている。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

海洋酸性化に伴う低アラゴナイト飽和度域の低緯度側への拡大と、高水温による白化域の高緯度側への拡大に挟まれ、今世紀末には日本近海からサンゴの生息適域が消滅することが予測されている (SRES A2)。

● 緊急性：

【評価】 高い

・ 影響の発現時期

【評価】 高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】 現状では評価できない

現状において既にサンゴの白化や温帯サンゴの北上が確認されており、石垣島周辺等では大規模な白化が発生している。また、定量的な予測事例は限定されるものの、海洋酸性化によるアラゴナイト飽和度の低下と水温の上昇の複合的な影響を受けることで、2030 年までに影響が現れる可能性もあり、緊急度が高い。また、サンゴの白化や分布の変化に対しての適応が困難である。

また、報告の数は限られるものの、マングローブについても近年の海面水位の上昇によるものとされる立ち枯れの増加が報告されている地域がある。

● 確信度：

【評価】 高い

サンゴ分布適域に関しては、水温及び pH の低下を考慮したモデルによる定量的な予測が確認

される。また、IPCC のレビューにおいても、現存するサンゴ礁へのリスクに関する確信度は高いと判断されている。サンゴ以外の他の生物への影響は、マングローブにおいて限られた報告が確認されるに留まるが、高水温によるサンゴ白化は現状でも顕著に見られること、及びサンゴ礁は亜熱帯の沿岸域における主要な生態系であることから、生態系全体の影響評価の確信度は高いと判断する。

(2) 温帯・亜寒帯

(気候変動による影響の要因)

ここでは、温帯域以北の海藻藻場等の沿岸生態系における、動植物等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。なお、水産資源として重要な種の影響等、沿岸漁業に与える影響については、「農業・林業・水産業分野-水産業」の各小項目において取り上げる。

- 海水温の分布に従い生息する生物が異なるため、気候変動により海水温が上昇すると、これまで生息していた種の分布も、それに伴って変化する可能性がある。
- 海洋酸性化は、大気中の CO₂ が海洋に溶解し、海水中の炭酸系の化学平衡が変化して、水素イオン濃度が増大 (pH が低下) する、すなわち、海水の酸性度が高まる現象。人間活動によって放出される CO₂ の量が増大し、大気中の CO₂ 濃度が高まっているため、海洋に溶解する CO₂ 量が増大している。炭酸系の化学平衡の変化は、海水中の炭酸イオン濃度を低下させ、サンゴ・貝類・ウニなどの外骨格や外殻を形成する石灰化 (炭酸カルシウム形成) に影響が生じることが想定される。
- 海面水位の上昇によって海岸侵食が起こるとそこに生息する生物が影響を受ける可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 日本沿岸の各所において、海水温の上昇に伴い、低温性の種から高温性の種への遷移が進行していることが確認されている。
- 亜熱帯性の造礁サンゴの分布北限付近での北上、及び海藻藻場の分布南限付近における衰退が観測されており、海藻藻場からサンゴ群集への移行が進行している。
- 日本沿岸の海水の pH は、海域ごとにばらつきが大きいものの、全体的に低下傾向であり、海洋酸性化の進行が確認されている。
- 日本沿岸の溶存酸素についても、海域ごとにばらつきが大きいものの、全体的な低下傾向が確認されている。
- 既に起こっている海洋生態系の変化を、海洋酸性化の影響として原因特定することは、現時点では難しいとされている。
- 日本周辺に生息する海鳥の一部について個体数の長期的な減少傾向が確認されており、その原因の一つとして気候変化による餌不足が示唆されている。

日本沿岸の各所において、コンブ³³²⁰⁰¹⁾ やヤマトシジミ³³²⁰⁰²⁾ 等の水産資源の生産量の減少、水温の上昇や植食性魚類(アイゴ等)の北上による藻場の構成種の変化³³²⁰⁰³⁾ や衰退³³²⁰⁰⁴⁾ ³³²⁰⁰⁵⁾ ³³²⁰⁰⁶⁾ ³³²⁰⁴⁴⁾ ³³²⁰⁴⁵⁾、魚類や底生動植物の種構成の変化³³²⁰⁰⁷⁾ ³³²⁰⁰⁸⁾ ³³²⁰⁰⁹⁾ ³³²⁰¹⁰⁾、ウニ類の群集種組成の変化やムラサキウニの発生異常率の上昇³³²⁰¹¹⁾ 等が報告されている。また、バフンウニ³³²⁰¹²⁾、暖水性サンゴとその共生種であるサンゴガニ³³²⁰¹³⁾、ヤシャベラ³³²⁰¹⁴⁾、テンジクタチ³³²⁰¹⁵⁾、等について、本来の分布域より北側の海域における初確認や個体数の増加等の分布北上傾向が報告されている。

国内の温帯域において、1950～2010年代における海藻及び植食性魚類、造礁サンゴの分布変化(海藻の分布南限における分布域の縮小、サンゴ及び植食性魚類の分布北限の拡大)が検知されている。これらの結果から、温帯域における造礁サンゴ群集の分布拡大と海藻藻場の減少のメカニズムとしては、サンゴと海藻に対する温度による直接的な影響に加え、アイゴ類などの魚類が迅速に分布を拡大し、海藻への捕食圧が高まることでサンゴへの置き換わりが促進されることが示唆されている。³³²⁰¹⁶⁾

分布域を拡大した種の定着については、水温の変化に加えて、定着場所の環境(藻場・岩場等)の違いにも影響されると考えられる。高知県において新たに分布を拡大した熱帯性魚類を対象に、生息環境の選好性の違いを調査した研究によれば、熱帯性魚類は岩場よりも海藻藻場をより選好して定着する傾向が確認されている。³³²⁰¹⁷⁾

また、日本周辺に生息する海鳥について、全国の繁殖地における経年観察データの解析から、対象とした10種の内4種(エトピリカ、ウミガラス、ウミネコ、オオセグロカモメ)の個体数が長期的に減少していることが示されており、その原因について気候変化による餌不足の可能性

も示唆されている。³³²⁰¹⁸⁾

有明海、八代海、東京湾においては、干潟面積が減少している。³³²⁰¹⁹⁾

日本沿岸の海水の pH は全体的には低下傾向にあるが、人為起源炭素の吸収以外の要因（陸域栄養塩負荷量の変化による生物生産力の変化、河川改修に伴う淡水流入量の変化、地形の改変による潮通しの変化など）による pH 変動の影響により、海域ごとの pH の変動傾向には大きなばらつきがあり、場所によっては pH が上昇傾向にある海域も存在する⁽³³²⁰²⁰⁾。日本沿岸の溶存酸素濃度も同様に、全体としては減少傾向にあるが、海域によるばらつきも大きく、場所によっては溶存酸素濃度が上昇傾向にある海域も存在する³³²⁰²¹⁾。このような沿岸域の酸性化傾向と貧酸素傾向が沿岸生物に与える影響については未だ不明な点が多いが、天然の CO₂ 噴出泉 (CO₂ シープ) 周辺の pH の低下した海域では、CO₂ 分圧の勾配に沿った石灰藻・石灰質生物の減少、多肉藻類の増加が確認されている。³³¹⁰²²⁾

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 海水温の上昇に伴い、エゾバフンウニからキタムラサキウニへといったより高温性の種への移行が想定され、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性があるが、定量的な研究事例が限定されている。
- 海洋酸性化による影響については、中～高位の二酸化炭素排出シナリオの場合、特に極域の生態系やサンゴ礁といった脆弱性の高い海洋生態系に相当のリスクをもたらすと考えられる。炭酸カルシウム骨格・殻を有する軟体動物、棘皮動物、造礁サンゴに影響を受けやすい種が多く、その結果として水産資源となる種に悪影響がおよぶ可能性がある。また、水温上昇や低酸素化のような同時に起こる要因と相互に作用するために複雑であるが、影響は増幅される可能性がある。
- 水温の上昇や植食性魚類の分布北上に伴う藻場生態系の劣化や、熱帯性サンゴ礁生態系への移行が予測されている。
- また、沿岸域の生態系の変化は沿岸水産資源となる種に影響を与えるおそれがある。また漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種等に依存した地域文化を形成している事が多く、地域文化への影響も想定される。
- 海面水位の上昇による海岸域の塩性湿地等への影響が想定される。

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書によると、温帯域における温暖化に伴う藻場の減少は今後も継続し、地域的な絶滅のリスクを上昇させると予測されており、この傾向は特に海洋熱波の強化が予測される地域において顕著であるとしている（RCP8.5 シナリオ）。³³²⁰²³⁾

国内の温帯域においても、水温の上昇や植食性魚類の北上に伴う藻場生態系の劣化や熱帯性のサンゴ礁生態系への移行がいくつかの研究から予測されている。海面水温を閾値として将来気候条件下におけるアカモクの分布適域の変化を予測した研究からは、2100年には東シナ海・本州中部の沿岸はアカモクの適域から外れ、本種の流れ藻を生育場として利用するブリの生態に影響をもたらすことが示唆されている（SRES A2 シナリオを仮定した BCCR-BCM2.0 等の CMIP3 の 12 の気候モデルによる予測情報の平均値を使用）³³²⁰²⁴⁾ カジメについては、水温の上昇による生理的影響と、植食性魚類の摂食活動の増大による種間的影響により、RCP8.5 シナリオ下においては日本近海の生育適地が消失すると予測されている。一方、RCP2.6 シナリオ下においては、水温上昇による生理的影響は受けないものの、植食性魚類の摂食活動による影響が増大すると予測されている（BCC-CSM1-1 等の CMIP5 の 17 の気候モデルによる予測情報の平均値を使用）³³²⁰²⁵⁾。北日本沿岸域の主要コンブ 11 種について、分布予測モデルを用いて 2040 年代、2090 年代の分布を予測した研究によれば、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があるとして予測されている。RCP8.5 シナリオでは全種を合わせた分布域が 2090 年代では 1980 年代の 0～25%に縮小し、RCP4.5 シナリオでも 11 種中 4 種のコンブが日本海域から消

失する可能性がある」と予測されている。(MIROC-ESM モデルによる気候予測情報を使用)。³³²⁰²⁶⁾

同様に、海水温の上昇と海流輸送による海藻・造礁サンゴの分布変化速度のモデリングにより、温帯における海藻藻場からサンゴ群集への移行のメカニズムを検証した研究から、食性魚類の北上に伴う食害の増加や、サンゴの北上による競争の発生等により、現在から近い将来(2009-2035)、海草藻場がサンゴ礁群集へ移行する可能性が現状よりも増加することが示されている(RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による予測情報を使用)。³³²⁰¹⁶⁾

最寒月水温の年々変動とサンゴの斃死水温を考慮し、造礁サンゴ2種(スギノキミドリイシ・エンタクミドリイシ)の分布変化について予測した研究によれば、予測期間である1950~2029年の80年間で、東シナ海においては分布北限がそれぞれ84km(スギノキミドリイシ)・42km(エンタクミドリイシ)北上し、太平洋においては42km(スギノキミドリイシ)・63km(エンタクミドリイシ)北上し、北限が温帯域へ拡大することが予測されている(RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による気候予測情報を使用)。³³²⁰²⁷⁾

足摺宇和海国立公園において、気候モデルによる将来の月平均海水温から、将来気候下におけるアイゴの採食・コンブ類の高温生存・オニヒトデの繁殖・サンゴの高温生存について予測した研究によれば、RCP2.6 シナリオの将来水温を仮定した場合でも、アイゴの採食目安及びオニヒトデの生存可能域が約50km北上して瀬戸内海へ到達すること、さらにコンブ類の生存南限とオニヒトデ繁殖目安の限度は約70km北上する可能性があるとしている。さらに、RCP8.5の将来水温のもとでは、足摺宇和海国立公園の全開域がアイゴの採食目安及びオニヒトデの生存可能域、オニヒトデの繁殖可能域となり、さらには同国立公園の全海域がサンゴの白化域となる予測が得られている。³³²⁰²⁸⁾

アサリやウニ等の水産資源の生産力の変化については限られた海域での仮想的条件下でのモデル予測があるのみである。^{332029, 332030)}

海洋酸性化による影響については、中~高位の二酸化炭素排出シナリオ(RCP4.5, 6.0及び8.5シナリオ)の場合、特に極域の生態系やサンゴ礁といった脆弱性の高い海洋生態系に相当のリスクをもたらすと考えられる。³³²⁰³¹⁾炭酸カルシウム骨格・殻を有する軟体動物、棘皮動物、造礁サンゴに影響を受けやすい種が多く^{332032, 332033, 332034, 332035, 332036, 332037, 332038)}、その結果として水産資源となる種に悪影響がおよぶ可能性がある。また、水温上昇や低酸素化のような同時に起こる要因と相互に作用するために複雑であるが^{332038, 332039)}、我が国の水産種に対する複合影響の研究例は少ない。

ただし、沿岸域の酸性化環境の将来予測は二酸化炭素排出シナリオ以外の様々な海域開発選択によっても大きく変化することに留意する必要がある。例えば東京湾では、陸域からの栄養塩負荷量を現在の半分から2倍まで変動させる事で、湾内海水のアラゴナイト飽和度が1を下回るまでにかかる年数が±30年程度変化するという試算がなされている³³²⁰⁴⁰⁾。

また、海岸域に分布する塩性湿地などは、海水面の上昇に伴い破壊される恐れもある。³³²⁰⁴¹⁾

海面水位の上昇による砂浜と干潟の侵食が予測されている^{332042, 332019)}が、その生物への影響について予測した研究は確認されていない。一方、閉鎖性海域における水位変化が生物に与える影響については、八代海において現地調査により取得した潮間帯・潮上帯の希少種の生息範囲の情

報と、気候モデルによる 21 世紀末 (RCP2.6、RCP8.5) の水位の予測結果から、潮間帯・潮上帯の希少種生息可能域を推定した研究がある。これによれば、21 世紀末 (RCP2.6) の八代湾では、平均水位が 0.3~0.4m、21 世紀末 (RCP8.5) で 0.7~0.8m 高くなるため、低地盤域に分布する貝類・カニ類は、水位が上昇しても現在よりも高地盤域へ移動することができる一方、護岸沿いの高地盤域に分布する貝類・カニ類は、現在の分布域よりも高い場所が堤防等によって分断され、移動が困難になる可能性が示されている。また、水位上昇により海水の冠水時間が長くなり、干潟域の底泥中の塩分が上昇するため、生息場所となっている塩沼地植物群落が衰退し、これらの種は生息できなくなる可能性も指摘されている。³³²⁰⁴³⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

エゾバフンウニからキタムラサキウニへといった低温性の種から高温性の種への移行、藻場生態系の分布適域の縮小や、熱帯性のサンゴ礁生態系への移行等が想定されるとともに、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性がある。

沿岸性生物相の変化は沿岸漁業の漁獲対象種の変化に直結する。また漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種等に依存した地域文化を形成している事が多いため、地域文化への影響もありうる。

● 緊急性：

【評価】 高い

・ 影響の発現時期

【評価】 高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】 現状では評価できない

既に現状でも、植食性魚類の北上に伴う藻場生態系の分布適域の縮小や、熱帯性のサンゴ礁生態系への移行といった、生態系の遷移が進行している。また、高次捕食者である海鳥の近年の個体数減少傾向の原因として、気候変動による餌不足を指摘する研究もある。加えて、pH濃度及び沿岸域の溶存酸素濃度の全国的な低下傾向が確認されている。

将来予測についても、藻場生態系の劣化・減少やのサンゴ礁への移行について、定量的な予測が確認されている。特に藻場生態系のサンゴ礁生態系への移行については、今世紀中頃までに潜在的な移行確率が上昇することが予測されている。

● 確信度：

【評価】 中程度

既に現状でも種の遷移の進行が確認されている。互いに離れた海域において同方向の種の遷移が観測されていることから、現象の定性的な信頼性は高い。藻場生態系から亜熱帯性のサンゴ礁生態系への移行については、過去の標本情報や海流による輸送を考慮したモデリングにより気候変動による移行メカニズムの解明が進んでおり、確信度は高いと考えられる。一方、ウニや死滅回遊魚等の分布変化については、現状における分布域の変化が示唆されるものの、モデルによる定量的な予測事例は確認されていない。

海洋酸性化については、近年の大規模な pH 観測データの解析により、日本沿岸の海水の酸性化傾向が確認されている。この要因としては大気中の CO₂ 濃度上昇以外にも、陸域栄養塩負荷量や淡水流量の変化等を含めた複合的な要因であるとされ、海域開発等の要因による変動も大きいことに留意が必要である。溶存酸素濃度についても、全国的には減少傾向にあることが示唆されるが、個々の海域におけるばらつきが大きい。

【海洋生態系】

(1) 海洋生態系

(気候変動による影響の要因)

ここでは、海洋生態系におけるプランクトン等の分布の変化、生物季節の変化、種構成や現存量等の生態系の構造の変化等について扱う。なお、水産資源として重要な回遊性魚介類等に与える影響については、「農業・林業・水産業分野-水産業」の各小項目において取り上げる。

- 気候変動による海水温の上昇は、海水の鉛直混合速度や海流に影響し、それが海洋全体の生物の分布や挙動、生物群を介した物質循環の変化をもたらす可能性がある。
- 海面の温度上昇により、温度成層の発達や海氷の融解による塩分成層の発達が早まることで、春季ブルームが早期化する可能性がある。
- また、成層化による栄養塩供給の減少により、純一次生産力が低下すると指摘されている。一方、メソ動物プランクトンの現存量については、親潮域では、純一次生産力の低下による成体期の餌料環境の悪化と、春季ブルームの早期化による幼少期の餌料環境の向上がほぼ相殺するため、一次生産力の低下にもかかわらず大きな変化が起こらないことが指摘されている。
- 海域の植物プランクトンや動物プランクトンなどは魚類などの餌となる生物であることから、水産資源への潜在的影響も想定される。

(現在の状況)

〔概要〕

- 日本周辺海域ではとくに親潮域、黒潮域、及び混合水域において、植物プランクトンの現存量と一次生産力の減少が始まっている可能性がある。
- 海洋の亜表層域（水深 100m～1000m）では溶存酸素量が継続的に減少していることが判明しており、日本周辺海域でもほぼ全域で亜表層の溶存酸素濃度が減少している。一方、日本周辺海域はもともと溶存酸素濃度が比較的高いことから、海洋生物への直接的な影響は一部の底魚類以外には検出されていない。
- 西部北太平洋亜寒帯域においては、近年の表層水温の上昇に伴い、暖水性のカイアシ類の分布北上が確認されている。

日本周辺海域ではとくに親潮域、黒潮域、及び混合水域において、温暖化に伴う植物現存量と一次生産力の低下が始まっている可能性がある。^{341001, 341002, 341003, 341004, 341005}。一方日本海及びオホーツク海においては、クロロフィル濃度が継続的に増加傾向であるとの報告がある。^{341006, 341004, 341007} 春季ブルームに関しては、道東・千島列島沖において、開始時期が早まる傾向が確認されている³⁴¹⁰⁰⁸ また、日本周辺における 2003～2012 年の衛星画像の観測結果から、オホーツク海

においては海水温が高い年における春季ブルームの早期化と規模(期間内の平均クロロフィル量)の減少傾向が見られた一方、南シナ海の北側、黒潮域、日本海においてはそのような傾向は見られなかったとしている。³⁴¹⁰⁰⁹⁾

動物プランクトン現存量の変化に関しても、親潮海域と混合水域(本州東方で親潮と黒潮が混合する海域)の限定的な海域で研究がされているものの、^{341002, 341003)} 海域間でその傾向が一致していない。また、親潮域では植物プランクトンの増減と動物プランクトンの経年変動には相関がない事も確認されている。^{341010, 341002, 341003)}

西部北太平洋亜寒帯域では、近年の表層水温の上昇にともなって、暖水性カイアシ類の生息域が北上していることが報告されている⁽³⁴¹⁰¹¹⁾。この他の海域では、動物プランクトン分布域の経年変化に関する報告は得られていない。

海洋の亜表層域(水深 100m~1000m)では溶存酸素量が継続的に減少していることが判明しており³⁴¹⁰¹²⁾、日本周辺海域でもほぼ全域で亜表層の溶存酸素濃度が減少している^{341013, 341014, 341015, 341016)}。特に日本海では水深 2000m から底層までの全域で溶存酸素濃度の減少が進行している³⁴¹⁰¹⁷⁾。全球規模でみて特に溶存酸素濃度が低下している東部北太平洋域では、溶存酸素濃度の低下に伴って底魚類の斃死や生息深度の上昇などの様々な影響が現れているが、日本周辺海域ではもともとの溶存酸素濃度が比較的高いため、継続的な溶存酸素濃度の減少にもかかわらず、海洋生物への直接的な影響は、一部の底魚類でその可能性が疑われている³⁴¹⁰¹⁸⁾他は、未だ検出されていない。

(将来予測される影響)

[概要]

- 気候変動に伴い、植物プランクトンの現存量に変動が生じる可能性がある。全球では熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加すると予測されているが、日本周辺海域については、モデルの信頼性が低く、変化予測は現状困難である。動物プランクトンの現存量の変動についての予測も、日本周辺海域の予測の信頼性が高いとはいえない。また、これらから生じる地域毎の影響の予測は現時点では困難である。
- 日本周辺の海洋保護区について、気候変動への脆弱性を示唆する予測が確認されている。

IPCC 第 5 次評価報告書では、海洋酸性化が、植物プランクトンから動物までの個々の種の生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響に伴い、中～高排出シナリオ(RCP4.5、6.0及び8.5)において、特に極域の生態系やサンゴ礁といった海洋生態系に相当のリスクをもたらすことが指摘されている。³⁴¹⁰¹⁹⁾

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書では、海洋の貧酸素化も将来にわたり進行する事が予測されているが、その各海域における進行速度の予測精度は未だ信頼性が低いため、日本周辺海域に関する貧酸素化とその生物影響の将来予測は現時点では困難である。

気候変動により予測される海洋の温暖化と海洋一次生産の変化は、海洋生態系のバイオマス量、生産力、群集構造を変化させる。これにより、RCP8.5 シナリオ下の今世紀末においては、1986-2005 年時点比較して海洋生物の食物網全体のバイオマス量が $15 \pm 5.9\%$ 減少し、潜在的な漁獲量の最大値が $20.5-24.1\%$ 減少するとしている。加えて、この変化は、RCP8.5 シナリオにおいて RCP2.6 の 3~4 倍になると予測されている。³⁴¹⁰²⁰⁾

気候変動に伴い、植物現存量と一次生産力に変動が生じる可能性がある。^{341021, 341022, 341023, 341024, 341025)} 植物現存量と一次生産力は、全球で見れば熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加するという予測で多くのモデルが一致するので^{341022, 341023, 341024, 341025)}、一定程度の確信度があるとされる。しかし、亜寒帯と亜熱帯の境界に位置する日本周辺海域の変化予測はモデル間の一致度が低い。また、これに伴い植物種組成や生物季節性にも変化が生じる可能性も指摘されているが^{341021, 341024, 341025)}、海域毎の変化予測は現状困難である。動物プランクトンの予測は、これら植物プランクトンと一次生産力の予測結果を用いるものであるため、日本周辺海域の予測の信頼性が高いとはいえない。

東シナ海では、2100 年時点において、水温の上昇と富栄養化により、現状優占している珪藻類のバイオマス量が約 60% 減少し、渦鞭毛藻が現状の約 70% 増加するとの予測がある。この変化により、生物ポンプ⁵⁰⁾の効率低下等、海洋生態系の機能へも影響が生じる可能性が指摘されている（東シナ海における 2°C の水温上昇を仮定）。³⁴¹⁰²⁶⁾

日本周辺の海洋保護区について、将来気候条件下における安定性や連結性の変化について評価を行った研究によれば、日本近海の 88% が 2035 年までに予測される気候変化が、これまで経験されてきた変化の幅以上の変化にさらされることが予測されている。これにより、海洋保護区 (MPA) についても、将来においてもこれまでの気候の変動幅に収まる領域は 4.1~13.9% に留まることが予測され、海洋保護区の気候変動に対する脆弱性が示唆されている。(RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による気候予測情報を使用)³⁴¹⁰²⁷⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境

海洋生態系は地表の生態系の 70% を面積的に占めていて、その生物多様性や生態系機能の維持は不可欠である。ここでの低次生産力段階の変動は、食物連鎖を通じて生態系全体へ広範な影響を及ぼす。加えて、日本周辺の海洋保護区について、気候変動への脆弱性を示唆する予測が確認されている。

また、水産資源餌料生物の現存量の変化から、魚類の生物量への潜在的影響も重大である。

⁵⁰⁾ 海洋生態系における、生物による海面から海底への炭素輸送の経路のこと。

なお、動植物プランクトンまでの海洋生態系は、それ自体で社会的重要性をもつものではない。分布域が変化するだけであり種の絶滅のリスクが高いとはいえない。ただし、氷縁生態系、無酸素化が進行し得る大陸斜面などに生息する生物、冷水性サンゴなど、特殊な環境では絶滅リスクが低いとはいえない。

- 緊急性：

- 【評価】 中程度

- ・ 影響の発現時期 【評価】 中程度
 - ・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期 【評価】 現状では評価できない

既に現状でも、親潮域及び混合域において、クロロフィル及び一次生産力の減少の可能性を示唆する複数の知見が得られている。動物プランクトンについては、西部北太平洋亜寒帯域における暖水性カイアシ類の生息域の北上が報告されているが、この他の海域については確認できていない。溶存酸素については、日本周辺海域の亜表層域における濃度の低下が確認され、それに伴う一部の底生魚への影響が疑われているものの、日本周辺はもともと溶存酸素濃度が比較的高いことから、その他の海洋生物への影響は確認されていない。海洋生態系においては、人為的制御が可能な範囲が限られ、特に生態系への影響については人為的制御が不可能であるため、適応の着手に係る意思決定の時期の議論は意味がない。すなわち、気候変動の進行を抑制すること（緩和策）以外に有効な対処策はない。

- 確信度：

- 【評価】 低い

親潮域及び混合域におけるクロロフィル及び一次生産力の減少傾向、日本周辺海域の亜表層域における溶存酸素濃度の低下傾向については、複数の知見が得られており、一定程度の確信度があると判断できるが、これらの変化による魚類等のより高次の生態系構成種への影響については、現時点では報告・予測が限られる。将来予測については、モデル予測の結果は未だ定性的にもバラツキがある段階であり、全球の予測についてはその変化について中程度の確信度があるものの、日本周辺海域や生物種・生物群に限ると将来の傾向を予測判断できる状態ではない。

【その他】

(1) 生物季節

(気候変動による影響の要因)

ここでは、分布が広域で複数の生態系を利用する種または都市域等の身近な生態系における生物季節の変化、及びこれらの国土スケールにおける変化等について扱う。なお、高山や森林等の特定の生態系における生物季節の変化は、自然生態系分野のそれぞれの小項目において取り上げる。また、紅葉などの生物季節の変化に伴う人間活動や文化への影響については、「国民生活・都市生活分野-文化・歴史などを感じる暮らし」において取り上げる。

- 冬季の気温の上昇等により、植物の越冬芽の休眠が打破される時期が早まり、開花や展葉が早まることが想定される。さらに気温が上昇すると冬季休眠が充分でなくなり、翌年の開花・展葉に支障をきたす可能性がある。
- 冬季の気温の上昇は、昆虫の冬眠スケジュールや発生頻度、鳥の渡りの時期など、動物の温度依存性の行動特性・生活史への影響を通し、フェノロジーの変化を引き起こす。また、冬季にも木の実などが取れるようになるとそれらを食物とする動物が冬眠をしなくなるなど、間接的な影響も想定される。
- 植物の開花のように、気温ではなく日長に依存して時期が決まっている現象の場合、日長と気温のミスマッチによる影響が生じる可能性がある。
- 生物種間で温度変化への反応が異なる場合、種間の相互作用に影響が生じる。その相互作用が、それぞれの種の個体群の存続に重要なものである場合、個体群動態や生態系プロセスに深刻な影響が生じる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 植物の開花の早まりや動物の初鳴きの早まりなど、動植物の生物季節の変動について多数の報告が確認されている。

IPCC 第5次評価報告書では、陸域、淡水及び海洋の多くの生物種は、進行中の気候変動に対応し、その生息域、季節的活動、移動パターン、生息数及び種の相互作用を変移させていることが報告されている。³⁵¹⁰⁰¹⁾

国内でも、動植物の生物季節の早期化³⁵¹⁰⁰²⁾等について多数の報告が現時点で確認されている。ヒダカソウ³⁵¹⁰⁰²⁾、ツバキ³⁵¹⁰⁰³⁾、ウメ³⁵¹⁰⁰³⁾、サクラ^{351003, 351004, 351005)}、ノダフジ³⁵¹⁰⁰³⁾、ヤマハギ³⁵¹⁰⁰³⁾、イチョウ³⁵¹⁰⁰³⁾、サルスベリ³⁵¹⁰⁰⁶⁾等の開花日の早期化、ヒバリ³⁵¹⁰⁰⁶⁾、ウグイス³⁵¹⁰⁰⁶⁾、ニイニイゼミ^{351006, 351007)}、アブラゼミ^{351006, 351007)}、ツクツクボウシ^{351006, 351007)}の初鳴き日の早まり、スズメ、キビタキの春季の渡来時期の早期化³⁵¹⁰⁰⁸⁾、夏鳥であるツバメ、オオヨシキリ、コ

ムクドリの出現時期の早期化³⁵¹⁰⁰⁹、アオジやジョウビタキ等の冬鳥の平均滞在期間の短期化³⁵¹⁰¹⁰等が確認されている。一方で、冬季の温暖化傾向に伴うサクラの開花日の遅延傾向³⁵¹⁰¹¹、イロハカエデ^{351012, 351006, 8005}等の紅葉の遅れ、モンシロチョウの初見日の遅れ^{351002, 351006}、カッコウの出現時期の晩期化³⁵¹⁰¹³などについても確認されている。

(将来予測される影響)

[概要]

- 生物季節の変動について、ソメイヨシノの開花日の早期化、落葉広葉樹の着葉期の長期化、紅葉開始日の変化や色づきの悪化など、様々な種への影響が予測されている。
- 個々の種が受ける影響にとどまらず、種間のさまざまな相互作用への影響が予想されている。

ソメイヨシノについて開花モデルを将来の予測気候に適用して予測した研究によれば、温暖化が進行するとソメイヨシノの開花の南限が北上することが示されている。温暖化の進行に従い、i) まずソメイヨシノの生長が早まり、開花日は早くなる(南限を除く)。ii) さらに気温が高まると、休眠打破の遅れが目立つようになり次第に遅くなる。iii) その後、さらに開花が遅れて結果的に現在よりも遅くなる。iv) 満開にならない年が発生する。v) 開花しない年が発生する。vi) 開花しなくなる、の過程をたどると考えられる。³⁵¹⁰¹⁴

その他、サザンカの開花の遅れ(1.5℃加温条件で22日、3.0℃加温条件で29日、4.5℃加温条件で39日の遅延)³⁵¹⁰¹⁵、キンモクセイの開花の遅れと開花期間の長期化(3.0℃加温条件で開花日の5~13日遅延、開花期間の+3~4週間の長期化)³⁵¹⁰¹⁶、ヒノキの成長期間の長期化(1℃加温条件で+25日、2℃加温条件で+32.5日、3℃加温条件で+37日)³⁵¹⁰¹⁷、ウリハダカエデの落葉時期の遅れ落葉しない葉の発生する可能性(対照区と1℃加温条件下での落葉ピークが11月上旬であったことに対し、2℃・3℃加温条件では12月上旬まで遅延)³⁵¹⁰¹⁸、等が、温暖化条件を仮定した加温実験等により予測されている。また、ハクサンハタザオについては、開花に関連する遺伝子の活動量と温度上昇の関係により構築した開花期間の予測モデルから、気温の上昇に伴い開花期間が短期化し、4.5-5.3℃の昇温で開花が発生しなくなることが予測されている。³⁵¹⁰¹⁹

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性:

【評価】 影響が認められる

【観点】 環境

広汎な生物現象のタイミングが気候変動の影響を受けて前後することが考えられ、変化の範囲は全国に及ぶ。一方、生物季節の変化自体の影響の大きさを考えると、現時点で収集されている

生物季節の変化に関する知見については、それらの変化が生態系全体の機能や構造へ大きな影響を及ぼすとまでは言い切れないため、生態系全体への影響としての重大性は高いとは言えない。しかしながら、生物季節の変化が生物種や生物現象の間で異なることにより、生物間相互作用が変化することも予想されていることから、モニタリングによる長期的な影響の検証が必要である。

● 緊急性：

【評価】 高い

・ 影響の発現時期

【評価】 高い

・ 適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】 現状では評価できない

現象は既に顕在化している。一方、この現象自体への対策開始の判断は緊急ではない。季節的な生物現象が影響を受けること自体について適応策を講じることはできず、緊急の対応は考えられない。

● 確信度：

【評価】 高い

研究・報告は一定程度であり、また、多くの季節的な生物現象が気候の影響を受けていることは、過去の年ごとの気候と現象のタイミングとの関係や実験からも明らかである。気候が長期的に変動すれば、それらの現象もまた長期的な変動を見せることは確実であり、実際に長期のトレンドが報告されている。また、モデル植物（ハクサンハタザオ）を用いて、気温上昇が遺伝子発現の変化を通して開花等へ影響を与えるメカニズムについても検証が進んでいる。

(2) 分布・個体群の変動

(気候変動による影響の要因)

ここでは、分布が広域で複数の生態系を利用する種についての分布変化や、生活史や種間相互作用の変化などの個体群動態に関する影響、外来生物に関する影響、これらの国土スケールにおける変化等について扱う。なお、高山や森林など特定の生態系における生物季節の変化は、自然生態系分野のそれぞれの小項目において取り上げる。また、紅葉などの生物季節の変化に伴う人間活動や文化への影響については、「国民生活・都市生活分野-文化・歴史などを感じる暮らし」において取り上げる。

- 気候変動による気温の上昇や降雨の変化、それらを通じた積雪や土壌、水温・水質等の自然的要素の変化等により、生物の生育・生息適地の分布や、一日の活動時間帯や世代数、ライフサイクルなどが変わり、分布の変化や種・個体群の絶滅、外来生物の侵入・定着率の変化につながるものが想定される。

(現在の状況)

[概要]

- 過去 50 年間の全球的な自然生態系の変化の要因について、気候変動は陸域・海域の利用変化及び直接採取（森林伐採、漁獲等）に次ぐ要因であるとされ、加えて気候変動は他の直接的要因による影響を悪化させつつあるとの報告がある。
- 昆虫や鳥類などにおいて、分布の北限や越冬地等が高緯度に広がるなど、気候変動による気温の上昇の影響と考えれば説明が可能な分布域の変化、ライフサイクル等の変化の事例が確認されている。ただし、気候変動以外の様々な要因も関わっているものと考えられ、どこまでが気候変動の影響かを示すことは難しい。
- シバズズやダンダラテントウ等の一部の昆虫種については、現地調査及び過去の標本等との比較により、生活史の境界や分布北限が変化したことが明らかになっており、この変化傾向が気温変化の傾向と一致することから、気温の上昇に伴い分布を拡大した可能性が高いとされている。

IPCC 第 5 次評価報告書では、陸域、淡水及び海洋の多くの生物種は、進行中の気候変動に対応し、その生息域、季節的活動、移動パターン、生息数及び種の相互作用を変移させていることが報告されている。³⁵²⁰⁰¹⁾ IPBES グローバルアセスメントの報告によれば、過去 50 年間の自然の変化の主要な直接的要因は、陸域・海域の利用状況の変化と直接採取（森林伐採、漁獲等）としつつも、気候変動はそれらに次ぐ要因であるとしている。一方で、気候変動は前述の通り直接的要因のひとつである上に、他の直接的要因が自然や人間の福利に与える影響をさらに悪化させる作用があることを示唆している。³⁵²⁰⁰²⁾

陸上生物種の分布域の変化について、現時点で収集された文献では、クマゼミの生息域の北上、³⁵²⁰⁰³⁾ ナガサキアゲハの北方への分布拡大、³⁵²⁰⁰⁴⁾ ツマグロヒョウモンの北方への分布拡大、³⁵²⁰⁰⁵⁾ モンキアゲハの北方への分布拡大³⁵²⁰⁰⁶⁾、アカボシゴマダラの分布域拡大³⁵²⁰⁰⁵⁾ 等が報告されている。特に、ナガサキアゲハ、ムラサキツバメ及びツマグロヒョウモン等の南方性チョウ類は、全国のモニタリング調査から確認地点の北上が確認されている他³⁵²⁰²⁶⁾、埼玉県³⁵²⁰⁰⁷⁾、東京都³⁵²⁰⁰⁸⁾等の地域での定着が報告されており、気候変動やヒートアイランド現象に伴う気温上昇との関連が示唆されている。また、鳥類については、ツバメ³⁵²⁰⁰⁹⁾、アカハラ³⁵²⁰¹⁰⁾、オオジュリン³⁵²⁰¹⁰⁾等の複数の種において越冬地の北上や越冬個体の増加が報告されている他、リュウキュウサンショウクイの分布の北上、越冬期のミソサザイ、ヒヨドリの分布の拡大が報告されている。³⁵²⁰²⁷⁾

また、自治体の気候変動影響の調査報告書によれば、シントウトガリネズミは、1988 年を最後に南限とされていた三重県における確認事例がなく、ヒメヒミズとヤチネズミにおいては、生息環境が限定的かつ局地的であり、減少傾向にある。様々な要因が想定され、気候変動の影響のみによるものとはいえないが、気候変動が進行すればさらに県内での生息環境が縮小する可能性があり、今後もその生息動向を注視する必要がある。³⁵²⁰¹¹⁾

また、気候の変化に伴うと考えられる昆虫の生活史の変化についての報告もある。小型のコオロギであるシバズは、涼しい北日本では年 1 世代、温かい南日本においては年 2 世代の生活史を持つが、2015 年に行われた調査では、40 年前と比較してこの生活史の境界が緯度にして 1~2 度北上し、この分布変化は過去 40 年間の気温の変化とほぼ一致していたことが明らかになっている。³⁵²⁰¹²⁾ テントウムシの一種であるダンダラテントウは、1910 年代から 1990 年代にかけて北緯 33 度から北緯 36 度へ分布北限が移動したことが報告されている。また、新たに分布を拡大した個体については、輻射熱を有効に利用することができる、体サイズが小さい暗色型の個体の増加が確認されており、分布域の拡大に伴い気候への適応能力に関連した形質の変化が生じたことが示唆されている。³⁵²⁰¹³⁾

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 気候変動により、分布域の変化やライフサイクル等の変化が起こるほか、種の移動・局地的な消滅による種間相互作用の変化がさらに悪影響を引き起こすことや、生育地の分断化により気候変動に追従した分布の移動ができないなどにより、種の絶滅を招く可能性がある。2050年までに2℃を超える気温上昇を仮定した場合、全球で3割以上の種が絶滅する危険があると予想されている。
- 渡り鳥であるハチクマについて、気候変動に伴う風向き等の変化により、現在の東シナ海上の渡り適地が将来において分断あるいは消失するとの予測がある。
- 種の分布域が変化することで、地理的に隔離され分化が進んだ2つの集団の生息域が再び重複する「二次的接触」が生じる可能性についての予測も確認されている。
- 気候変動は外来生物の分布拡大や定着を促進することが指摘されており、今後、外来生物による生態系への被害のリスクが高まることが懸念される。現時点で定量的に予測をした研究事例は限られているものの、一部の侵略的外来生物について、侵入・定着確率が気候変動により高まることが予測されている。

IPCC 第5次評価報告書では、人々の生計を支える陸域及び内水の生態系と生物多様性、生態系の財・機能・サービスが失われるリスクや、21世紀中及びその後において予測される気候変動下で、特に生息地の改変、乱獲、汚染及び侵入生物種といった他のストレス要因と気候変動が相互作用するほど、陸域及び淡水域両方の種の大部分が、増大する絶滅リスクに直面することが指摘されている。³⁵²⁰⁰¹⁾

全球の種ごとの分布可能域とその面積の気候変動による変化予測にもとづいて絶滅確率を推定した研究³⁵²⁰¹⁴⁾では、条件によっては3割以上の種が絶滅する危険(2℃を超える気温上昇を仮定)があると予想されているなど、深刻な影響を予測する研究がある。国内においては、216種の維管束植物を対象に、LCA手法を用いて気候変動による絶滅リスクを評価した研究がある。これによれば、対象とした植物種の2100年における分布適域は、2000年時点と比較して15～60%に減少することが示されている(WRE750シナリオを仮定したBCCRBCM2、MIROC Hi、CCCMA31、UKHADCM3、ECHO Gの5つの気候モデルによる予測情報を使用)。³⁵²⁰¹⁵⁾

分布域が変化することにより、地理的に隔離され分化が進んだ2つの集団の生息域が再び重複する「二次的接触」の可能性について指摘した報告もある。絶滅危惧種であるシルビアシジミ(*Zizina emelina*)及び、その近縁種であるヒメシルビアシジミ(*Zizina otis*)の飼育実験の結果から、両種が同所に分布することで雑種が形成されることが示されている。さらに、これらの雑種では適応度が低下することが確認されていることから、既存集団への遺伝子移入や繁殖干渉が生じ、個体群が衰退する可能性が指摘されている。³⁵²⁰¹⁶⁾

猛禽類の一種であるハチクマは、秋季に五島列島から中国大陸へ渡る渡り鳥であるが、東シナ海上の渡りの適地について気候変動の影響を予測した研究がある。これによれば、今世紀半ば

(2046～2055年)においては、渡りの適地が減少することにより中国大陸までの連結性が失われ、RCP4.5及びRCP8.5の両シナリオ下での予測の比較から、RCP4.5において減少の程度がより深刻であったことが示されている。また、今世紀後半(2091から2100年)においては、両シナリオともに東シナ海上の渡り適地はほとんど消失することが予測されている。(RCP4.5及びRCP8.5シナリオを仮定したHadGEM3-RAによる気候予測情報を使用)³⁵²⁰¹⁷⁾

また、気候変動は外来生物の分布拡大や定着を促進することが指摘されており、今後、外来生物による生態系への被害変化のリスクが高まることが懸念される。³⁵²⁰¹⁸⁾ 環境省及び農林水産省が作成した「我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト」において重点対策外来種とされているスクミリンゴガイについて、気候変動による分布適域の拡大を予測した研究がある。これによると、2080年代における全球での分布適域の合計面積は、RCP2.6シナリオ下では現状より+2.6%、RCP8.5シナリオ下では+10.3%に増加し、国内においても東北地方北部や北陸地方において分布適域が増加すると予測されている(CCCma-CanESM2とCSIRO Mk3.6.0による気候予測情報を使用)。³⁵²⁰¹⁹⁾

気温上昇を2℃以内に抑えるには、全球的には新規植林やバイオ燃料用作物栽培など土地改変を伴う対策が有効とされており、緩和策の実施と生物多様性保全とのコンフリクトが懸念されている。このような緩和策の実施に伴う土地利用変化と、気候変動のそれぞれによる世界の生物多様性への影響を比較した研究によれば、温暖化対策による大規模な土地改変が野生生物にもたらす負の影響を考慮したとしても、温暖化対策を積極的に進めて2℃目標を達成することにより、地球規模の生物多様性の損失を抑えられるとの予測が得られている。(世界の生物の分布情報をもとに構築した生息適地モデルによる評価。将来シナリオとして、RCP2.6及びRCP8.5の2つの気候シナリオと、5つの社会経済シナリオを考慮したAIM/CGEによる将来の土地利用シナリオを使用)。³⁵²⁰²⁰⁾ ただし個別の生態系や地域スケールでは、風力発電施設でのバードストライク³⁵²⁰²¹⁾、太陽光発電施設での微気象改変³⁵²⁰²³⁾、水文学的環境の改変³⁵²⁰²⁴⁾、動物移動の阻害³⁵²⁰²⁵⁾を通じた生物多様性への悪影響³⁵²⁰²²⁾など、再生可能エネルギー利用の推進と生物多様性保全のコンフリクトを報じた論文も複数存在する。緩和策の推進においては、生物多様性の不可逆な損失を招かないよう、慎重な検討が求められる。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】 在来生物：特に重大な影響が認められる

外来生物：特に重大な影響が認められる

[在来生物]

分布の変化の範囲は広範囲に及ぶ。国土の広範囲に生息する種に関しては、分布が変化したとしても、分布域が移動するのみで、国土スケールで見際には大きな影響を及ぼさないことも考えられるが、現状では開発やアンダーユースによる生態系の連続性の消失等、気候変動以外の要因に起因する生態系の変化が進行中であり、これらとの複合的な影響の可能性を考慮すると、気

候変動により種の絶滅が加速する可能性は十分に考えられる。また、分布域の拡大による二次的接触のリスク等を予測する知見もあり、種間相互作用を介した個体群への間接的なリスクも考えられる。加えて、既に高い絶滅リスク下にある、猛禽類や一部の昆虫等の絶滅危惧種への影響も予測されていることから、環境面での損失は大きいことが予測される。

[外来生物]

定着による深刻な影響が懸念される侵略的外来生物の侵入・定着確率が気候変動により高まるならば、外来生物問題自体の深刻性を反映して、重大な問題と考えるべきである。人と物の流通の広域化に伴い、外来生物の侵入圧力はつねに高い状態に維持されていることは、持続的な脆弱性の要因である。

● 緊急性：

【評価】 在来生物：高い

外来生物：高い

[在来生物]

既に一部の昆虫類では、国土スケールでの分布変化を示唆する報告が確認されていることから、緊急性は高い。加えて、現存の保護区が、そこを生活の場としている生物にとって、気候変動により存続に不適當な環境となる懸念があり、生物の移動経路の確保を考慮した保護区の拡大などは個体群サイズの減少が顕在化する前に早めに対応することが必要となる。

[外来生物]

現時点で、気候変動と外来生物の分布拡大との関係を検証した事例は一部の種に限られているものの、適応策の視点からは、侵入・定着の可能性が高いと考えられ、かつ定着による深刻な影響が懸念される侵略的外来生物の場合には、緊急に対策を講じる必要があると判断できる。侵入・定着の確率が気候変動によってさらに高まるならば、より緊急性は高まる。熱帯域起源の生物については気候変動により定着確率が高まる懸念がある。

● 確信度：

【評価】 在来生物：高い

外来生物：中程度

[在来生物]

多くの生物の分布の限界を決めている要因のひとつは気候条件であることから、それらの生物の分布が気候変動の影響を受けることには疑いがない。分布や生活史の変化と過去の気候変化との対応の検証から、これらの因果関係を裏付ける報告も確認される。しかし、これらの分布や生活史の変化により、地域個体群のサイズがどのように変動するか、種個体群の存続にとって気候変動がマイナスの効果を持つのかプラスの効果を持つのかはケースバイケースであり、気候要因のほか、種間相互作用、人間による土地利用パターンなど多様な要因が関わることもあって、確

度の高い予測は困難である。

[外来生物]

- 現時点では、気候変動による外来生物の分布拡大等を定量的に検証、予測した事例は限られている。一方、気象条件は生物種の主要な分布規定要因の一つであり、一般論として気候変動が外来生物の分布拡大を促進し、生態系に被害を及ぼす可能性について指摘する知見は確認されている。現状で拡大・定着している外来生物については、土地改変等の気候変動以外の要因を大きく受けていることが考えられ、純粋に気候変動のみの影響を評価することは困難である。

【生態系サービス】

(1) 生態系サービス

(気候変動による影響の要因)

ここでは、生態系サービス（生物多様性を基盤とする生態系がもたらす恵み）の変化について扱う。なお、生態系サービスの区分のうち、水産資源の供給等の「供給サービス」に関する影響については農林水産分野と、水質等の「調整サービス」に関する影響については水環境・水資源分野と、レクリエーション機能等の「文化的サービス」については国民生活・都市生活分野と、それぞれ重複する影響も考えられるが、本小項目では収集した知見の中で特に生態系サービスとの関連が明記されている事象についてとりあげる。

- 人間社会は、食料や原材料、極端な気候現象による被害の緩和、水質や大気質の向上、文化的・美的価値等の生態系が提供する様々な便益(生態系サービス)に依存している。これらを提供する生態系が効果的に機能しなくなると、提供される生態系サービスが劣化したり、喪失したりする恐れがある。
- 気候変動を含む環境変化は、種や生態系への変化を通して、直接的あるいは間接的に、社会が依存している様々な生態系サービスへリスクをもたらす可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 全球的には、気候変動による生態系を構成する生物種の種構成や生物季節、種間の相互作用の変化が生態系の構造や機能に影響を与え、結果として既に生態系サービスへの影響が生じているとする報告がある。
- 一方、国内において気候変動による生態系サービスへの影響を明らかにした研究は少なく、今後の研究が望まれる。
- 2016年に石西礁湖で発生したサンゴ礁の白化は、同地域のサンゴ礁がもたらす生態系サービス（漁業生産・水族館への魚の供給、レクリエーション・ダイビング、海藻の防除）の経済価値を減少させたことが示されている。

自然生態系分野の各項目で挙げた通り、各生態系を構成する種の分布変化や、それに伴う種構成の変化、及び生物季節等の変化が観測されている。したがって、これらが直接的、あるいは生態系の構造やプロセスの変化を通して間接的に、調整サービス・文化的サービス等の生態系サービスに影響を及ぼしている可能性がある。また、IPBESの報告によれば、人為的な気候変動による平均気温の上昇、極端な気象現象の増加、海水面の上昇が、種の分布・生物季節・個体群動態・群集構造・生態系の機能等、生態系や生物多様性の多くの側面において広範囲に影響を与えており、結果として農業・養殖業・漁業、及び生態系サービスへの悪影響をもたらしていることが、観測事例により確認されているとしている。³⁶¹⁰⁰¹⁾

国内においては、サンゴ礁の白化現象に伴う生態系サービスの経済価値の現象が報告されてい

る。2016年に発生した石西礁湖のサンゴ礁の大量白化現象の前後において、サンゴ礁に生息する魚類から得られる主要な生態系サービス（漁業生産・水族館への魚の供給、レクリエーション・ダイビング、海藻の防除）の潜在的な経済価値を推算した研究がある。これによれば、経済価値を算出することができた3つのサービスにおいて、石西礁湖全体での白化現象の前後で各サービスの経済価値を比較すると、漁業は21億円から19.8億円で、観賞魚は150.3億円から120億円で、ダイビングは414.4億円/年から362.6億円/年にそれぞれ減少したことが明らかとなった。

361002)

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 生態系サービスへの気候変動による影響予測についての研究を対象に行われたレビューによれば、対象とした研究のうち約60%において、気候変動による生態系サービスへの負の影響が予測されている。
- 北海道天塩川流域において、気候変動に伴い河川への窒素やリン等の栄養塩の流入量の増加が予測されている。
- 国内のサンゴ礁がもたらす生態系サービスについて、年間あたり、観光・レクリエーション価値として2399億円、漁業（商業用海産物）価値として107億円、海岸防護機能として、75.2～839億円とする試算があり、気候変動に伴うサンゴの生息適域の減少に関する予測を考慮すると、これらの生態系サービスが減少あるいは消失する可能性が考えられる。
- 白化や海洋酸性化によるサンゴ礁へのストレスは、海面水位の上昇へのサンゴ礁の追従を妨げることに加え、サンゴの死滅による海底面の摩擦効果の減少を引き起こし、これらの複合作用の結果としてサンゴ礁による防波機能に深刻な影響が生じる可能性がある。

気候変動が生態系サービスへ及ぼす影響予測についての研究を対象に行われたレビューによれば、対象とした117件の研究結果のうち、気候変動による負の影響を結論づけたものは全体の59%、正の影響については13%、正・負の混合が24%、中立が4%であったとしている。一方、対象となった研究は北米及び欧州に集中しており、日本国内を対象とした研究は含まれていない。³⁶¹⁰⁰³⁾

国内においては、生態系サービスへの気候変動による影響を予測した研究は限られるものの、北海道天塩川流域において、気候変動に伴う水文学的な生態系サービスの変化を予測した研究が確認されている。これによれば、気候変動による気温の上昇や極端な降水の頻度及び強度の増大は、流域における無機態窒素及び無機態リン、懸濁物質の保持機能を増加させる一方、微

生物による有機物分解速度の増加により、有機態窒素及び有機態リンの保持機能を低下させることが予測されている（B1 シナリオを前提とした MIROC3.2-HI による気候予測情報を使用）。³⁶¹⁰⁰⁴ また、同じく北海道天塩川流域において、気候変動に伴う流域の経済的・環境的リスクの変化を予測した研究によれば、気温の上昇により農作物の収量が増加し、経済的な便益が増加するものの、気温の上昇や極端な降水の頻度及び強度の増大が水質悪化の原因となる栄養塩の河川への流入量を増加させ、環境面におけるリスクが増幅すると予測されている。加えて、農作物の収量増加に伴う経済的な便益の上昇の程度は、気候変動の進行とともに減少することから、気候変動の進行は経済面・環境面の双方にリスクを及ぼすと結論付けられている。³⁶¹⁰⁰⁵

流域の下流部にある湿原においては、大雨時における洪水調整機能が知られており、防災・減災機能（Eco-DRR 機能）として注目されている。北海道釧路湿原において、21 世紀末（RCP8.5 シナリオを仮定）における大雨を仮定し、湿原によるピーク流量の低減効果を推定した結果によると、釧路川下流部におけるピーク流量は 789m³/s であったことに對し、湿原が無いと仮定した場合のピーク流量は 1145m³/s であると推定されている。これらを 2016 年 8 月の大雨時の再現結果と比較すると、湿原が無いと仮定した場合のピーク流量は約 2.1 倍、湿原があることによるピーク流量の低減効果は約 2.3 倍となっており、将来予測される大雨の増加に対して釧路湿原の洪水調整機能がより重要となることが示唆されている。（MRI-NHRCM02 による気候予測情報と水循環モデルによる予測結果）³⁶¹⁰⁰⁶

大項目「沿岸生態系」「海洋生態系」において挙げられたように、国内の温帯域の沿岸における藻場の衰退や海洋酸性化の進行、日本周辺海域の垂表層域における溶存酸素濃度の低下、親潮域及び混合水域におけるクロロフィル濃度や海洋一次生産力の減少傾向等、沿岸及び海洋生態系の変化が報告されており、このような沿岸域の生態系の変化は沿岸水産資源となる種に影響を及ぼす可能性がある。例えば、北日本沿岸域の主要コンブ 11 種について、分布予測モデルを用いて 2040 年代、2090 年代の分布を予測した結果、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があると予測されている。RCP8.5 シナリオでは全種を合わせた分布域が 2090 年代では 1980 年代の 0～25%に縮小し、RCP4.5 シナリオでも 11 種中 4 種のコンブが日本海域から消失する可能性があると予測されている。（MIROC-ESM モデルによる気候予測情報を使用）。³⁶¹⁰⁰⁷

また、国内のサンゴ礁がもたらす生態系サービスについて、年間あたり、観光・レクリエーション価値として 2399 億円、漁業（商業用海産物）価値として 107 億円、海岸防護機能として、75.2～839 億円とする試算がある。³⁶¹⁰⁰⁸ 日本周辺のサンゴの分布適域について、海水温の上昇と海洋酸性化の進行により、2090 年代には適域の大幅に減少（SRES B1 シナリオを仮定）、あるいは消失（SRES A2 シナリオを仮定）するとの予測³⁶¹⁰⁰⁹を踏まえると、これらの生態系サービスが減少・消失する可能性も考えられる。

サンゴ礁の持つ防波機能（EcoDRR 機能）では、サンゴ礁が形成する礁嶺や礁裾等の地形と、サンゴが存在することによる海底面の摩擦効果が重要な要素である。³⁶¹⁰¹⁰ 特にサンゴ礁の地形による防波機能については、外洋に面する礁嶺部分で波浪エネルギーの 86%、その内側の礁原部分まで含めると 97%を減衰させることが世界のサンゴ礁を対象としたメタ解析により明らかになっているが³⁶¹⁰¹⁰、このような地形による波浪の減衰は、サンゴ礁の構造とその上部の

水深に大きく関係する。したがって、海面水位の上昇等によりサンゴ礁の上部の水深が増加すると、防波機能に深刻な影響が生じる可能性が指摘されている。³⁶¹⁰¹¹⁾

サンゴ礁が健全な状態であれば、海面水位の上昇にともないサンゴ礁の高さも自然に追従するため、将来においてもサンゴ礁の構造と水深には大きな変化は生じないと考えられるが、白化や海洋酸性化により不健全な状態となったサンゴ礁においては、サンゴ礁の成長速後が海面水位の上昇による水深の増加に追従できず、防波機能が劣化する可能性がある。³⁶¹⁰¹¹⁾

また、もう一つの要素である海底面の摩擦効果についても、サンゴ礁が死滅することで海底面の構造が滑らかになり、防波機能が減少する。カリブ海地域のサンゴ礁生態系において行われた研究によると、サンゴが死滅と将来の海面水位の上昇を仮定した場合、サンゴが生きている状態と比較して、サンゴ礁を透過する波の最大波高及び平均波高を5倍に増加させるという予測がある。³⁶¹⁰¹¹⁾ 亜熱帯地域の沿岸域における自然の防波機能は、サンゴ礁のみならず、その内側の藻場、マングローブの多重構造が果たす効果も大きい。しかしながら、礁嶺での防波機能が劣化すると、その陸側にある海草藻場等が波にさらされて劣化する可能性も懸念されている。³⁶¹⁰¹²⁾ 以上より、白化や海洋酸性化によるサンゴ礁へのストレスは、海面水位の上昇へのサンゴ礁の追従を妨げることに加え、サンゴの死滅による海底面の摩擦効果の減少を引き起こし、これらの複合作用の結果としてサンゴ礁による防波機能に深刻な影響が生じる可能性がある。

沿岸環境を保全することに対する市民の支払意志額に関して、コンブ場、海藻藻場、海藻とサンゴの混成域、アマモ場、干潟、サンゴ礁の6つの生態系の場の評価を行った研究によれば、沿岸域の自然環境の変化を防ぐための支払意志額で最も高かったのは北方のコンブ場と南方のサンゴ礁であり、次いで干潟と海藻藻場とが同程度、混成域とアマモ場が同程度となった(2100年を想定し、沿岸環境税を設立するという前提で選択型実験を適用)。したがって、気候変動によるコンブ場の北上、サンゴ礁の白化による衰退の予測を考慮すると、国全体として将来の自然資本の価値が低下する可能性がある。³⁶¹⁰¹⁷⁾

生物季節の変化が生態系サービスにもたす影響の研究は多くはないが、たとえばカエデ類の紅葉やサクラの開花の時期・期間の変化に対し、休日やイベントの日程を調整しないと、観光収益などの生態系サービスの低下を招く可能性があることが指摘されている。^{361014、361015)}

また、携帯電話から得られた位置情報データの解析により、トラベルコスト法を用いて国内の砂浜のレクリエーション機能の経済価値を推定した研究によれば、評価の対象とした全国536地点の砂浜毎のレクリエーション価値は1日あたり4,865円から36,136,364円(夏季)、1,684円から19,842,105円(冬季)と推定されており、地域によって得られる砂浜のレクリエーション価値にばらつきがあることが示されている。これらをもとに、海面水位の上昇による経済価値の変化を予測したところ、現在はレクリエーション価値が高い南日本の砂浜が価値を失う傾向にある一方、北日本の砂浜は一定の価値を保つ傾向が示された。これにより、気候変動下における砂浜のレクリエーション価値の減少率は、砂浜面積の減少率よりも大きくなる傾向が得られている。³⁶¹⁰¹⁶⁾

● 重大性：

【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】環境/社会/経済

全球的な傾向として、人為的な気候変動による平均気温の上昇、極端な気象現象の増加、海水面の上昇が、種の分布・生物季節・個体群動態・群集構造・生態系の機能等、生態系や生物多様性の多くの側面において広範囲に影響を与えており、結果として農業・養殖業・漁業、及び生態系サービスへの悪影響をもたらしているとの報告がある。

● 緊急性：

【評価】現状では評価できない

・影響の発現時期

【評価】現状では評価できない

・適応の着手・重要な意思決定が必要な時期

【評価】現状では評価できない

国内において、現在発生している生態系サービスへの変化について、気候変動との関係を十分に検証した報告は確認されていない。また、将来予測についても、一部の生態系サービス・一部の地域を対象とした知見に限られる。

● 確信度：

【評価】低い

収集された知見は一部の生態系サービスに限られ、また地域的な偏りがある。レビュー文献からも、北米や欧州と比較して国内における研究が少ないことが報告されている。

また、生態系の状態や構造と、各生態系サービスの関係は様々であり、加えて生態系サービス間においてもシナジー・トレードオフがあることに留意が必要である。

なお、下記の生態系サービスについては知見が一定程度蓄積されているため、細目として評価を行う。

〈流域の栄養塩・懸濁物質の保持機能等〉

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

緊急性：【評価】中程度

確信度：【評価】低い

気候変動による気温の上昇や極端な降水の頻度及び強度の増大は、流域における無機態窒素及び無機態リン、懸濁物質の保持機能を増加させる一方、有機態窒素及び有機態リンの保持機能を

低下させ、水質浄化機能等の調整サービスの劣化、それに伴う環境リスクの増加が予測されている。これらの予測はモデルによる定量的な予測結果が得られていることから一定程度の確信度が認められるものの、現状収集された知見は北海道の一部流域に限られ、またこれらの生態系サービスは気候以外にも土地利用の影響も受けることから、同様の事象が広範囲に及ぶかについては知見が不足しており、現状では判断が困難である。

〈沿岸域の藻場生態系による水産資源の供給機能等〉

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

緊急性：【評価】高い

確信度：【評価】中程度

藻場生態系は水産資源として重要な種を含む多くの生物種のハビタットとして重要であり、沿岸漁業の基盤と考えられることから、これらの環境変化が漁獲対象種の変化等を通して沿岸域の地域社会等に与える影響は大きいと考えられる。加えて、漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種に依存した地域文化を形成していることが多いため、地域文化への影響もありうる。現状でも温帯-熱帯境界付近の沿岸域において、水温の上昇や植食性魚類の分布拡大に伴う藻場生態系の劣化・衰退が報告されており(参照：「自然生態系分野：沿岸生態系-温帯・亜寒帯」)、緊急性は高い。一方、これらの基盤環境の変化が地域社会の文化や景観へ与える影響について検証した研究は確認できていない。

〈サンゴ礁による Eco-DRR 機能等〉

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

緊急性：【評価】高い

確信度：【評価】高い

サンゴ礁によりもたらされる Eco-DRR 機能(海岸防護機能)等の生態系サービスの経済価値試算と、サンゴ礁の分布変化の予測を踏まえると、これらの生態系サービスが減少または消失する可能性は十分に考えられる。国内においてサンゴ礁の生態系サービス評価を行った知見は限られているが、サンゴ礁自体への影響は一定程度確認されている(参照：「自然生態系分野：沿岸生態系-亜熱帯」)。白化や海洋酸性化によるサンゴ礁へのストレスは、海面水位の上昇へのサンゴ礁の追従を妨げることに加え、サンゴの死滅による海底面の摩擦効果の減少を引き起こし、これらの複合作用の結果としてサンゴ礁による防波機能に深刻な影響が生じる可能性がある。また海外においては、サンゴ礁の消失による Eco-DRR 機能の劣化についての予測が確認されており、同様の事象が国内でも生じる可能性は高い。

一方、サンゴ礁は分布の北上が進んでおり、今後も分布適域の拡大が予測されているが、新たにサンゴ礁の分布が拡大した地域においてもたらされる生態系サービスについては予測事例が少なく、その評価は現状では困難である。

〈自然生態系と関連するレクリエーション機能等〉

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

緊急性：【評価】中程度

確信度：【評価】低い

サクラ等の植物の開花期や紅葉期の変化については、報告及び予測が一定程度確認されており（参照：「自然生態系分野：その他-生物季節」）、このような変化に伴う生態系サービス（文化的サービス）の変化が、観光業へ与える影響についての検証事例も確認される。また、将来における海面水位の上昇が、レクリエーション価値の高い砂浜の経済価値を減少させる可能性を論じた研究も確認される。一方、地域によって影響の種類や大きさが異なることが考えられ、このような影響の地域的な違いや、影響の経済的な評価については、さらなる研究が望まれる。

3.4 自然災害・沿岸域

自然災害・沿岸域分野における気候変動による影響の概略は、図 3-5 に示すとおりである。

気候変動による海面水位の上昇や極端な気象事象の発生頻度や強度の増加、強い台風の増加などの気候・自然的要素は、それぞれが複雑に影響し合い河川の洪水や内水、土砂災害の発生頻度を増加させたり、高潮・高波の頻発化や激甚化を引き起こしたりする。また、極端及び平均的な波浪特性の変化は、砂浜を堆積・侵食させる。これらの影響は、様々な産業や経済活動、国民生活等の他分野にも波及する。

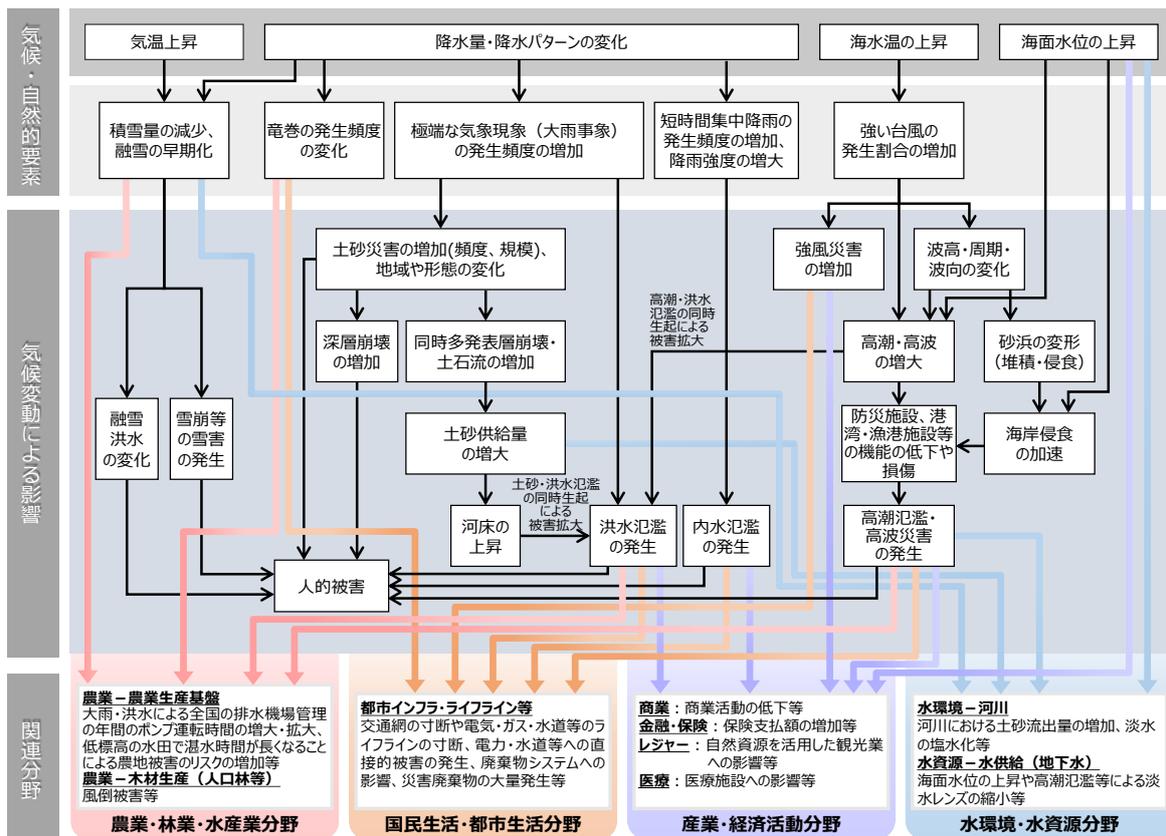


図 3-5 気候変動により想定される影響の概略図（自然災害・沿岸域分野）⁵¹

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、自然災害・沿岸域分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 136 件の文献（現状影響 53 件、将来影響 78 件、両方 5 件）を引用しており、このうち、前回の影響評価から新たに追加された文献は 95 件である。小項目別に見ると、「沿岸（高潮・高波）」や「その他（強風等）」において文献数が特に増加している。

前回の影響評価からの構成上の変更点としては、新たに大項目として「複合的な災害影響」が

⁵¹ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される自然災害・沿岸域分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか自然災害・沿岸域分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の 2 段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

追加された。この項目では、昨今の豪雨災害等の実態を踏まえ、土砂災害と洪水氾濫、高潮と洪水氾濫など、複数の要素が相互に影響しあうことで、単一で起こる場合と比較して広域かつ甚大な被害をもたらす影響を整理した。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

既に地盤上下変動、気圧や潮汐の補正を施して解析した海面水位の上昇傾向、最大級の台風（上陸時の中心気圧 930hPa 以下）による極端な高潮位の発生、多数の深層崩壊や同時多発型表層崩壊の発生、土砂・洪水氾濫のような大規模複合災害や、大雨の発生地域の変化によりこれまで土砂災害が少なかった東北、北海道地域における甚大な土砂災害及び比較的緩い斜面における崩壊性土すべりの発生、台風の強度や進行方向の変化、自然災害による保険金支払いが増加していることや気候変動研究の成果による火災保険の契約期間の最長年数の引き下げ等が生じていることが明らかとなった。さらに、イベント・アトリビューション⁵²などの手法を用いることにより、洪水氾濫や内水氾濫などの災害に対する気候変動の寄与についても新たに明らかになりつつある。

将来予測される影響

洪水を起こしうる大雨事象の増加や洪水ピーク流量・氾濫発生確率の増加や被害額の増加、内水氾濫による浸水の影響を受けることが想定される人口の増加、内水災害被害額の期待値の増加、海面水位の上昇傾向やそれに伴う河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等への影響、台風の規模や経路の変化による高潮偏差の増大や高波リスクの増大、海面水位の上昇に伴う砂浜の消失、強風や強い台風の増加等の影響が予測されているほか、厳しい降雨条件下における土砂・洪水氾濫の発生頻度の増加や流木被害の増加、強い竜巻の発生頻度の増加の影響が懸念されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

自然災害・沿岸域分野は、影響の範囲が全国に及び、また、影響が発現する可能性は高く、社会・経済・環境への影響の規模及び頻度が増大するため、重大性は「特に重大な影響が認められる」と評価される傾向が強い。

これまで、甚大な被害をもたらした災害が、気候変動によって発生したかどうかを判断することは難しかったものの、近年ではイベント・アトリビューションの方法で、特定の極端現象に地球温暖化が寄与したかどうか評価することができるようになった。今回収集された文献に基づき「河川（内水）」及び「沿岸（海岸侵食）」、「山地（土石流・地すべり等）」の3つの小項目については、確信度が上方修正された。また、「その他（強風等）」の小項目については、現在既に生じている影響が確認されたこと等から、緊急性評価が上方修正となった。

気候シナリオに応じた重大性評価を実施した「河川（洪水）」「沿岸（海岸侵食）」の結果から、2℃上昇相当であっても重大な影響が生じることが予測されている。

● 自然災害全般へ影響を及ぼす共通の外力について

大雨について、平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、線状降水帯により同じ場所に猛烈な雨を継続して降らせ、平成 30 年 7 月豪雨では、広域で持続的な大雨をもたらした。また、東日本から東北

⁵² 個別の極端現象について気候変動の影響を定量的に評価する手法。

地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となるとともに、静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で3、6、12、24時間降水量の観測史上1位の値を更新した令和元年東日本台風（台風第19号）などによる被害が報告されている。また、台風に伴う高潮災害や風害については、大阪湾で第二室戸台風を上回る既往最高の潮位を記録した平成30年台風第21号や、千葉県を中心に多くの地点で観測史上1位の最大風速や最大瞬間風速を観測する記録的な暴風となった令和元年房総半島台風（台風第15号）などの災害事例が報告されている。

イベント・アトリビューションの方法を用いて、平成30年7月豪雨における地球温暖化の影響を調べたところ、近年の気温上昇が、平成30年7月豪雨の降水量を6.5%程度増加させた可能性があることなどが新たに示されている。

将来の梅雨期の大雨の発生頻度を予測した研究では、7月上旬において大雨が増加し、発生地域を予測した研究では、将来的に西日本だけでなく、北日本でも大雨が発生することが新たに示されている。東日本太平洋側では梅雨期の大雨の有意な増加は見られないものの、現在気候では東日本太平洋側での大雨に台風等の低気圧性擾乱が寄与しているパターンが多かった一方で、将来では太平洋高気圧の縁辺流のみで大雨が発生するといった、梅雨期の大雨の成因変化が見られた。また、平成30年7月豪雨と類似した大気場は将来気候でも増加するとは限らないものの、もし将来気候で本豪雨と同様の停滞する大気場から大雨が発生した場合、将来は水蒸気流入量が増加することから総雨量が増大する可能性も示されている。

台風においては、21世紀後半にかけて気候変動による強い台風の増加等が予測されている。

【河川】

洪水氾濫、内水氾濫について説明する。

（洪水氾濫）

- 大雨や雪どけなどにより、河川流量が増大し、河川水位が上昇して、河川区域から水が河川区域外にあふれる現象を洪水氾濫という。
- 河川の堤防から水が溢れ又は破堤して家屋や田畑が浸水することを外水氾濫と呼ぶ。

外水氾濫は、当該地点の洪水を引き起こしている流域規模での大雨を背景としているため、その水量は膨大である。また、破堤氾濫の場合、急激な浸水位上昇と高流速が発生するため、人命・資産の双方にとって大きな被害につながるおそれが高い。（内水氾濫）

- 堤防から水が溢れなくても、降雨の量・強度に比して地面に浸透させる能力や河川や下水道などに排水する能力が小さい場合、降った雨を排水処理できなくて引き起こされる氾濫を内水氾濫と呼ぶ。
- 内水氾濫が起りやすい土地状況には、以下が挙げられる。
 - 浸透能力が低い都市部で、雨水排水のための下水道や河川への排水施設などの排水能力が降雨強度等に追いつかない。
 - 雨水排水のための下水道や河川への排水施設の排水能力が、それらが流れ込む先の河川の水位上昇によって十分な排水能力を発揮できない。

- 浸水に対して脆弱な土地利用がなされていると大きな被害をもたらす場合がある。また、特に都市部においては人的被害につながる場合がある。

(1) 洪水

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に洪水氾濫の変化及び、それに伴う直接的な被害（人的被害、建物への被害等）を扱う。近年の災害による他分野への波及的な影響（洪水氾濫による農地への影響等）については、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

(気候変動により影響が生じるメカニズム)

- 気候変動により、極端な降水の発生頻度や強度が増えるという影響が現れ、この結果、治水施設の整備水準を超える規模の洪水が発生し、洪水氾濫が起こり、被害を生じさせる可能性が増大する。
- 気候変動により、海面水位の上昇という影響が現れ、この結果、海岸近くの低平地等では、河川水位の上昇による洪水氾濫の発生及び海への排水不良による浸水時間の長期化をもたらす可能性が増加する。

(現在の状況)

[概要]

- 既往降雨データの分析によると、比較的多頻度の大雨事象については、その発生頻度が経年的に増加傾向にあることが示されている。
- 浸水面積の経年変化は全体として減少傾向にある。この傾向を説明する主たる要因として治水対策の進展が挙げられる。一方、氾濫危険水位を超過した洪水の発生地点数は国管理河川、都道府県管理河川ともに増加傾向にあり、気候変動による水害の頻発化・激甚化が懸念されている。
- これまでの治水施設の整備水準は、現行計画上の目標に対して整備途上である。
- 日本は洪水氾濫による水害に関して依然として脆弱性を抱えており、気候変動がより厳しい降雨状況をもたらすとすれば、その影響は相当に大きい可能性がある。
- 平成 30 年 7 月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあったとされており、記録的な長時間の降雨に加え、短時間高強度の降雨も広範囲に発生したことにより、各地で洪水氾濫と内水氾濫が同時に発生するなどした。

既往降雨データの分析によると、大雨事象の頻度（日降水量 200mm 以上の年間日数⁵³に関する過去 100 年程度の変化や時間降水量 50mm 以上の年間観測回数⁵⁴に関する過去 30 年程度の変化など）が増加傾向にある。⁴¹¹⁰⁰¹ また、北海道における過去 20 年程度の分析によると、線状降水帯（線状に伸びる強い雨域）の年間発生回数が増加傾向にあると推察されている。^{411002, 411003} 一級河川水

⁵³ 国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数（1901～2012 年）。

⁵⁴ アメダスによる観測値を 1,000 地点あたりの観測回数に換算。

系における河川整備基本方針の治水目標に対応する年超過確率 1/100～1/200 程度という相対的に低頻度の大雨事象については、統計的有意性を確保するため観測期間を長く取る必要があることから、増加傾向を明瞭に説明する知見はまだ得られていない。水害に直結する浸水面積の経年変化は、年毎の変動はあるものの全体として減少傾向となっている。この減少傾向には、治水対策が進められてきたことが大きな要因となっており、浸水面積の経年変化傾向を大雨事象生起のそれと単純に関係づけることはできない。なお、氾濫危険水位を超過した洪水発生地点数は国管理河川、都道府県管理河川ともに増加傾向にあり、気候変動による水害の頻発化・激甚化が懸念されている。

我が国においては、海や河川の水位より低いエリアへの居住が歴史的に高く、その度合いが国土の発展とともに強くなってきている。こうした地域を含め各地で甚大な水害が起り、復旧・復興にも大きな労力が割かれてきた。こうしたことから我が国では、現在に至るまで精力的に治水対策が進められてきている。現在の河川整備はまだ整備途上であり、多くの河川においては、河川整備計画の目標は河川整備基本方針の目標と比べると相当低いところにとどまっております、⁴¹¹⁰⁰⁴ 気候変動も含めた治水施設の整備による現在の治水安全度は達成されていない。ダムや遊水地事業、河道掘削等により、河川水位を低下させる対策を計画的に実施しているものの、気候変動による大雨の増加傾向は顕在化しており、河川整備基本方針、河川整備計画の計画規模を上回る洪水が発生しており、氾濫危険水位（河川が氾濫する恐れのある水位）を超過した洪水の発生地点数は、国管理河川、都道府県管理河川ともに近年、増加傾向を示している。⁴¹¹⁰⁰⁵

平成 30 年 7 月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあつたとされている。⁴¹¹⁰⁰⁶ 記録的な長時間の降雨に加え、短時間高強度の降雨も広範囲に発生したことにより、各地で洪水氾濫と内水氾濫が同時に発生するなどした。このため、二級河川や支川などの中小河川のみならず、比較的流域面積の広い一級河川においても洪水氾濫が発生した。高梁川水系小田川等において、本川と支川の水位が高くなる時間が重なって、支川の洪水が流れにくくなる、いわゆる、バックウォーター現象等により、両岸決壊や上下流での多点決壊が発生したことが報告されている。⁴¹¹⁰⁰⁷ また、平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害では、広範囲にわたる斜面崩壊や土石流が直接的な災害の原因となり、それに伴う多量の土砂が下流域に流出し、河川を埋め尽くすような河床上昇を引き起こし、甚大な洪水氾濫を助長する原因となった。⁴¹¹⁰²⁶

氾濫域において資産増や家屋・施設設置が進んだため、浸水面積あたりの被害額は増加傾向にあり、水害被害額は年ごとに大きな変動を示すなか、明確な増減傾向は認められずほぼ横ばいである（約 5,300 億円：1997～2018 年の平均値⁴¹¹⁰⁰⁹）。

また、ひとたび大規模な氾濫が起きた場合には、経済的な被害の大きさとどまらず、人的被害の発生に加え、地下施設の浸水による都市機能の麻痺や、基幹的機能の麻痺による経済被害の全国・世界への波及など、看過できない被害が生じることが懸念されている。

以上を総合すると、我が国は洪水氾濫による水害に対して依然として脆弱性を抱え、その脆弱性を克服する施策遂行が効果を生み出しつつも未だ途上にあることから、治水にとって厳しい降雨生起状況を気候変動がさらにもたらすとなれば、その影響は相当に大きいと言える。さらに、融雪期における融雪洪水の影響も懸念されることから、今後も、水害に関わる現状影響を早期かつ的確に探知・把握するための取り組みが重要である。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- RCP2.6、RCP8.5シナリオなどの将来予測によれば、洪水を起こしうる大雨事象が日本の代表的な河川流域において今世紀末には現在に比べ有意に増加することが予測されている。
- 複数の文献が、洪水を発生させる降雨量の増加割合に対して、洪水ピーク流量の増加割合、氾濫発生確率の増加割合がともに大きくなる（増幅する）ことを示している。この増幅の度合いについては、洪水ピーク流量に対して氾濫発生確率のそれがはるかに大きくなると想定される。
- 世界や日本において、気温上昇に伴う洪水による被害の増大が予測されている。
- 河川堤防により洪水から守られた地域（堤内地）における氾濫発生確率が有意に高まれば、水害の起こりやすさは有意に増す。
- 海岸近くの低平地等では、海面水位の上昇が洪水氾濫の可能性を増やし、氾濫による浸水時間の長期化を招くと想定される。
- 将来予測結果の信頼性をさらに向上させるには、それを規定する大きな要素となっている気候モデルについて、現象再現における空間解像度を向上させ、同時に計算ケースを増やすことの両立が求められる。近年では、多数のアンサンブル実験を行い極端現象の将来変化を高精度に評価するアンサンブル気候予測データセット（d2PDF、d4PDF）や、空間解像度を高くし、集中豪雨や前線性の降雨、台風規模の降雨を再現性高く評価することができる非静力学地域気候モデル（NHRCM02、NHRCM05）が開発されてきている。
- 最大規模の台風を想定し、温暖化条件の下で起こりうる最悪の水害想定を検討する取り組みがなされている。

IPCC 第5次評価報告書では、将来における気候変動の主要なリスクの一つとして、いくつかの地域における内陸洪水による大都市住民の深刻な健康障害や生計崩壊のリスクを挙げている。

411010)

我が国において、将来影響を定量的に検討した文献は、気候モデルの利用を起点とする次のような基本構成を持つ。

- 気候モデルによる大雨生起の将来変化推定（温暖化シナリオとの組み合わせ）
- 流出・流下モデルによる降雨から河道洪水流量への変換（必要に応じ洪水調節施設の効果を組み込み）
- 流量と河道・堤防整備状況に基づく氾濫生起計算（破堤を適宜考慮）
- 氾濫状況の計算

- 曝露・脆弱性に基づき被害を計算
- 以上に基づき気候変動が洪水氾濫やそれに伴う被害に与える影響を推算

これら各ステップについてハザードをより忠実に再現するレベルの手法（使用データや検証を含む）が採用されるほど、最終的な影響推算の信頼性は向上する。他方、掛かる労力と手法レベルとの間にはトレードオフ関係が存在し、その制約の下、各文献において設定した重点事項に応じて最大の情報を得るための工夫が様々になされており、「何に重点を置き、工夫をどのように施したか」も、推算結果の信頼性や活用法を判断するための重要な着眼点となる。

たとえば、気候モデルについてマルチモデル・アンサンブルを適用し、将来降雨推定の信頼度を高めようとする、モデルの空間解像度を落とさざるを得ず、逆に、日本の河川流域スケールに見合う空間解像度を確保しようとする、ダウンスケーリングを含む超高解像度計算が必要となり、マルチモデル・アンサンブルの実行は難しくなる。こうした中で、前者においては全球レベルでの大河川流域の影響把握が主目標となり、後者においては日本の河川流域スケールでの影響把握に重点が置かれるなど、手法選択に応じて成果活用方向が定まることになる。計算の期間を長く、あるいは回数を多く取れば、我が国の治水目標に対応するような低頻度の大雨に対する気候変動影響見積もりの信頼性が向上するが、計算労力が増大するため、高解像度のモデルでこれを行うことは容易でない。これもトレードオフの代表例である。近年では、全球平均気温が産業革命以降 2℃及び 4℃上昇した未来の気候状態を想定したアンサンブル気候予測データセット（d2PDF、d4PDF）が開発されており、空間解像度は低いものの、多数のアンサンブル実験を行うことで、台風や集中豪雨などの極端現象の将来変化を、確率的に、かつ高精度に評価し、また、気候変化による自然災害がもたらす未来社会への影響についても確度の高い結論を導くことも可能となり、現在、解像度の高いデータセットの整備も進んでいるところである。また、アンサンブル実験数は d2PDF や d4PDF より少ないものの、空間解像度が 2km、5km と高く、集中豪雨や前線性の降雨、台風規模の降雨を再現性高く評価することができる非静力学地域気候モデル（NHRCM02、NHRCM05）も開発されており、こちらについても、アンサンブル実験数を多くするような取組がなされている。

影響検討においては、上記をはじめ様々なトレードオフ制約の下での手法選択を迫られるため、現時点において、洪水氾濫を伴う被害に与える気候変動影響の推定の信頼性には一定の限界が存在する。その上で、洪水を起こしうる大雨事象の生起が、日本の代表的な河川流域について今世紀末には現在に比べ有意に増大すること、1～3 割程度であることについては、多くの文献で見解が一致している。^{411011, 411012, 411013, 411014, 411015, 411016} また、複数の文献が、洪水を発生させる降雨量の増加割合に対して、洪水ピーク流量の増加割合、氾濫発生確率の増加割合ともに大きくなることを示している。^{411011, 411013, 411014, 411016, 411004} RCP8.5 シナリオ（4℃上昇に相当）の場合では、全国一級水系の 21 世紀末における降雨量・流量などについて検討した文献において、治水計画が目標としている規模の 1.3 倍に増加するとの解析結果を示している。またこの結果に基づいて、RCP2.6 シナリオ（2℃上昇に相当）の場合では、約 1.1 倍 RCP8.5 シナリオ（4℃上昇に相当）、RCP2.6 シナリオ（2℃上昇に相当）の場合において、治水計画規模の流量（全国 109 の一級河川についての変化予測の平均値）がそれぞれ約 1.4 倍、約 1.2 倍となること及び、現況における治水計画の計

画規模に相当する洪水の生起確率⁵⁵がそれぞれ約4倍、約2倍（例：年超過確率1/100ではそれぞれ年超過確率約1/25、約1/50）となることを示している。一方、北海道北部、北海道南部、九州北西部においては、RCP8.5シナリオに相当する4℃上昇の場合、降雨量変化倍率は1.4倍を示している。このことについて、北海道地域については、平均気温が低いものの、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が高くなるため、降雨量の増加率が高くなること、九州北西部については、付近の海面水温が高く、水蒸気量が豊富に供給されるとともに、偏西風が九州を南北に走る九州山地に当たることで西側に雨が降りやすくなることに寄与していると考えられる。（過去3000年分、将来5400年分のアンサンブル計算を実施したデータベースd4PDF⁵⁶を使用）。^{411017, 411005, 411018} 利根川上流域を対象に、RCP8.5シナリオを前提としPMP（可能最大降水量）を予測した研究では、2080年9月～2100年8月において治水基準点である八斗島地点において72時間雨量のPMPが484mmとなり、カスリン台風時の三日雨量318mmを上回り、現況のPMPより140mm程度大きくなることが予測されている。その結果を用いて算定したPMF（可能最大洪水）は36,000m³/sとなり、現況のPMFに対して10,000m³/s程度大きくなることも予測されている（MRI-NHRCM20を用いて算定された環境省地域気候変動モデル予測データ情報を使用）。⁴¹¹⁰¹⁹ また、RCP8.5シナリオを前提とし、荒川流域、庄内川流域、淀川流域における2050年9月～2111年8月の最大クラス洪水（年超過確率1/1000以下に対応する洪水）の発生について調査した研究では、過去実験の最大クラス洪水の1.5～1.8倍に増加し、最大クラス洪水も気候変動によって増加することが予測されている（d4PDFから得た降水量データを使用）。⁴¹¹⁰²⁰ 2050年における洪水時の浸水深と被害額を算出した研究として、将来気候における年超過確率1/100及び年超過確率1/50の洪水の潜在被害額を用いて将来気候における年期待被害額（全国の河川の計画規模を概ね50年として仮定し、年超過確率1/50までの洪水に耐えうるよう設計された堤防のある地域において、追加的に治水整備をしない場合に今後発生しうる被害を1年当たりの被害額として平均化したもの）を推定したものがあ。年期待被害額はRCP2.6シナリオにおいて6つのGCMの平均値が1兆4,266億円、RCP8.5シナリオにおいて6つのGCMの平均値が1兆4,458億円と推定され、現在気候の年期待被害額からそれぞれ2.7%、4.1%増加することが予測された。RCP8.5シナリオからRCP2.6シナリオに温暖化を緩和することによる洪水被害軽減額は年192億円と推定された。また、現在気候における年超過確率1/100の洪水において、3m以上浸水した建物用地の土地利用を被害額を計上しない森林へと一律に変えた場合、年期待額にして4380億円、10mの場合は576億円の洪水災害抑制効果があることが示唆されている（GFDL-CM23, HadGEM2-ES, MIROC5, MRI-CGCM3, CISRO-Mk3-6-0, IPSL-CM5A-LRの6つのGCMを用いて将来気候における降水量を求め、それを入力値とした）。⁴¹¹⁰²¹

さらに、河川堤防により洪水から守られた地域（堤内地）における破堤氾濫の頻度が有意に増せば明瞭な被害増加が生じることは明らかである。十勝水系における気候変動による氾濫リスクの変化を予測した研究では、RCP8.5シナリオに相当する4℃上昇の場合、2090年時点において浸水面積が増加するほか、同一地点であっても浸水深が増大し、床上から50cm程度の浸水深と

⁵⁵ 治水計画の対象降雨は、河川毎に目標としている年超過確率に対応するように、現在までに得られた降雨記録に基づいて設定されている。このため、気候変動が生じると、同じ対象降雨の降雨量でも年超過確率値が変化することとなる。

⁵⁶ 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（database for Policy Decision making for Future climate change）の略。

なる確率（浸水深 1m）や 1 階が水没する程度の浸水深となる確率（浸水深 3.2m）も増大する傾向が示されている。⁴¹¹⁰²² また、流域全体の年平均被害額の推計が、過去実験では約 300 億円となったのに対し、4°C 上昇実験では約 1,530 億円（約 5.1 倍）となったことが報告されている。

⁴¹¹⁰²⁹

世界の洪水リスクについて、社会経済シナリオ（SSP; Shared Socioeconomic Pathways）を用いて調査した研究がある。SSP シナリオは、緩和策と適応策の困難度を指標に SSP1~5 で示される。SSP1（理想的な世界）は、教育水準、ガバナンスともに高水準であり、国際的に協調し、その結果技術進歩も高いシナリオである。SSP2（中庸的な世界）は、SSP1 と SSP3 の間に位置し、SSP3（望ましくない世界）は、教育水準、ガバナンスともに低く、世界は分断、技術は停滞するシナリオとなる。SSP4（分裂社会）は、国際的、各国内で社会的格差が開く分断された世界となり、技術水準は高いが貧困層は脆弱となり、SSP5（化石燃料依存）は、教育水準は高く技術進歩も高いが、エネルギーは化石燃料に依存するシナリオである。洪水による直接的な被害は、現在の世界平均で年間 1,100 億ユーロと推定されているが、SSP5 を用いた推定では、年間の被害が、1.5°C の気温上昇で 240%、2°C 上昇で 520%、3°C 上昇で 1,000% に増加することが予測されており、3°C 上昇の場合の被害は、年間 1 兆 2,500 億ユーロとなることが予測されている。一方で、SSP3 では、直接的な被害の増加は小さくなることが予測されている（それぞれ+160%、+320%、+620%）。⁴¹¹⁰²³

今世紀末に至る過程での影響については、時期が早い方が、影響の度合い（大雨の増加率等）が相対的に小さい、したがって今世紀末に向かって影響度が次第に大きくなっていくとの推測結果が一部で提示されているが（A2 シナリオを前提とした RCM20 による気候予測情報を使用）^{411012, 411024}、世紀末を対象にした検討に比較して情報量は少ない。

気候モデルによる今世紀末の計算結果を用いるものの、以上のアプローチとは着眼点を変え、気候変動後の気候条件を初期・境界条件として取り込んだ超高解像度計算を用い、対象地域に襲来する最大規模の台風を想定するというアプローチにより、温暖化条件の下で起こりうる最悪の水害想定を検討する取り組みがなされている。⁴¹¹⁰²⁵ 最大規模の洪水を想定して、伊勢湾台風を対象とし、擬似温暖化条件下における淀川流域の洪水流出量を推定した研究では、枚方地点のピーク流量が現在気候条件下における値を上回ったことが示されている。⁴¹¹⁰²⁶ このような最悪事象の特定と、その気候変動による変化の検討も、適応に資する影響評価の 1 つのポイントとなり得る。なお、水防法の改正（平成 27 年 5 月）に伴い、河川整備において基本となる降雨を前提とした洪水に係る浸水想定区域を、想定し得る最大規模の降雨（想定最大規模降雨）を前提とした区域に拡充するとともに、それに対応した洪水ハザードマップを周知していくとされている。⁴¹¹⁰²⁷

洪水氾濫に関わる気候変動影響に関しては、降雨の増大が土砂流出の増加をもたらし、洪水を安全に流下させる機能の継続的確保を目的とした洪水調節施設及び河道の維持管理を困難にするという観点から、水害リスク増の可能性を指摘する文献がある。⁴¹¹⁰²⁸（降雨規模と土砂災害の発生件数の関係、及び降雨規模と土砂災害の規模の関係について、詳細は「山地—土石流・地すべり等」を参照。）また、高い河川水位が継続する洪水が増加する場合には河川堤防への水の浸透を助長するなど、降雨の変化が防災施設の機能発揮に影響する観点からの検討が重要となる可能性がある。これらについては、まだシナリオ提示あるいは定性的な影響推定にとどまっているが、このような着眼点も含め、降雨→流出→洪水の河川流下→氾濫という水の移動に関わるシステム

だけに限定せず、個々の防災施設（河道改修や流域での対策を含む）及びそれらにより構成される氾濫防御システム全般への影響も検討対象に含めて行くことが必要である。

下流域、特に海岸近くの低平地やゼロメートル地帯が広がる地域においては、海面水位の上昇が河川水位の上昇及び氾濫水の排水不良をもたらすことから、大雨の変化だけでなく平均海面水位の上昇や高潮等の変化も考慮して、洪水氾濫に及ぼす気候変動影響を検討する必要がある。定性的には、海面水位の上昇は洪水氾濫の可能性を増やし、氾濫による浸水時間の長期化をまねくと推定される。^{411010, 411028, 411024} 日本においては、今後の海面水位の上昇の動向が明確に示されておらず、過去の潮位変動と、黒潮等の海流変動や北太平洋振動⁵⁷等の影響を総合的に検討した研究成果が期待されている。

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

<RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

【観点】 社会／経済／環境

影響範囲は全国に及び、出現すれば常態化する。影響が発現する可能性は高い。影響は人的被害を含む水害の増大となって現れ、その規模によっては被災エリアの根幹機能を長期にわたり麻痺させる可能性もあることから、不可逆性を持つ。洪水氾濫が生じる可能性があるエリアは当該リスクに持続的に曝露し、通常の土地利用において抜本的な抗水害機能を具備させることは困難であり、上記エリアは洪水氾濫に対する脆弱性を持続的に示す。洪水氾濫・浸水（それらに伴う土砂・流木・廃棄物などの堆積・集積を含む）が起こす水害による広範な社会・経済・環境への影響の規模及び頻度が増大する。

<RCP2.6 (2℃ 上昇相当) >

治水計画規模の流量（全国 109 の一級河川についての変化予測の平均値）は約 1.2 倍、現状における治水計画規模に相当する洪水の生起確率は約 2 倍となることが予測されている。2050 年における洪水時の年期待被害額（平均値）は 1 兆 4,266 億円と予測されている（現在気候の年期待被害額から 2.7% 増加）。

<RCP8.5 (4℃ 上昇相当) >

治水計画規模の流量（全国 109 の一級河川についての変化予測の平均値）は約 1.4 倍、現状における治水計画規模に相当する洪水の生起確率は約 4 倍となることが予測されている。2050～2111 年における最大クラス洪水（年超過確率 1/1000 以下に対応する洪水）も 1.5～1.8 倍に増加することが示されている。2050 年における洪水時の年期待被害額（平均値）は 1 兆 4,458 億円と予測されている（現在気候の年期待被害額から 4.1% 増加）。

⁵⁷ 北太平洋の水温場やその上空の大気場の年々変化。

- 緊急性：【評価】高い

現在、今世紀末に向けて洪水による水害リスクが増大していくとの推測結果が提示されている。今世紀中の早期に影響が出現するかどうかについては不確実性が高いものの、適応策実施に要する期間が総じて長いこと（例えば、防災・減災施設の整備やソフト施策の実装において必要となる合意形成、資金調達、諸制度の設計、住民・企業等への定着）を踏まえると、時間的余裕は少ないと判断される。

- 確信度：【評価】高い

気候変動シナリオを組み込んだ気候予測モデルを起点に、降雨－流出モデル、河川での洪水流下計算モデル、洪水流と河道・堤防整備状況に基づく氾濫生起計算、氾濫流計算、氾濫に曝露されるエリアの脆弱性に基づく被害計算という構成からなる定量評価手法を適用しての評価が多数の文献で報告されている。洪水を起こしうる大雨事象の生起が、日本の代表的な河川流域について今世紀末には現在に比べ有意に増大すること、それに伴う水害発生の可能性が有意に増大することについて、多くの文献が見解の一致を示している。

(2) 内水

内水氾濫の説明については、河川の冒頭を参照。

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に内水氾濫の変化及び、それに伴う直接的な被害（人的被害、建物への被害等）を扱う。近年の災害による他分野への波及的な影響（内水氾濫による農地における排水の問題等）については、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

(気候変動により影響が生じるメカニズム)

- 気候変動により、極端な降水の発生頻度や強度が増えるという影響、中でも、内水氾濫につながりやすい短時間に集中する降雨事象の発生頻度や降雨強度が増えるという影響が現れ、この結果、内水氾濫の可能性が増大する。

(現在の状況)

[概要]

- 既往降雨データの分析によると、比較的多頻度の大雨事象については、その発生頻度が経年的に増加傾向にあり、年超過確率 1/5 や 1/10 の、短時間に集中する降雨の強度が過去 50 年間で有意に増大してきている。
- これまでの下水道整備により達成された水害に対する安全度は、現在気候を前提にした場合でも、計画上の目標に対して相当不足している。
- 水害被害額に占める内水氾濫による被害額の割合（2005～2012 年の平均値）は、全国では約 40%であり、大都市を抱える東京、愛知、大坂、福岡ではそれを上回る割合となった。
- このような短時間に集中する降雨の頻度及び強度の増加は、浸水対策の達成レベルが低い都市部における近年の内水被害の頻発に寄与している可能性がある。平成 30 年 7 月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあつたとされており、内水氾濫による床上浸水、床下浸水の被害の約 9 割が下水道の排水施設の整備が途上である地区で発生したことが報告されている。

既往降雨データの分析によると、大雨事象の頻度（日降水量 200mm 以上の年間日数⁵⁸に関する過去 100 年程度の変化や時間降水量 50mm 以上の年間観測回数⁵⁹に関する過去 30 年程度の変化など）が増加傾向にある。⁴¹²⁰⁰¹ 年超過確率 1/5 や 1/10 の短時間に集中する降雨の強度が過去 50 年間で有意に増大してきているとの分析が示されている。⁴¹²⁰⁰² 一方で、これまでの下水道整備により達成された水害に対する安全度は、現在気候を前提にした場合でも、計画上の目標に対して相当不足している。

水害被害額に占める内水氾濫による被害額の割合（2005～2012 年の平均値）は、全国では約 40%

⁵⁸ 国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数（1901～2012 年）。

⁵⁹ アメダスによる観測値を 1,000 地点あたりの観測回数に換算。

であり、大都市を抱える東京、愛知、大坂、福岡ではそれを上回る割合となった（68, 85, 95, 52%）。

412003)

上記の短時間集中降雨の増加傾向が、浸水対策の達成レベルが低い都市部における近年の内水被害の頻発に寄与している可能性がある。内水氾濫・浸水をもたらす降雨事象が気候変動により増えれば、特にそのような都市部の水害対策の困難性を一層高めると懸念される。平成 30 年 7 月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあったとされている 412004)。記録的な長時間の降雨に加え、短時間高強度の降雨も広範囲に発生したことにより、各地で洪水氾濫と内水氾濫が同時に発生するなどした。また、内水氾濫による浸水被害は西日本を中心に 19 道府県 88 市町村で発生した。412005) 各地方公共団体の調査によると内水氾濫による床上浸水、床下浸水が 15, 186 戸で発生している。412009)

(将来予測される影響)

[概要]

- 線状降水帯や地形性強雨などの組織化された強雨については、気候変動影響評価が進んできている。さらに局所的な、単一の積乱雲（スーパーセルなど）により都市の内水氾濫を生じさせるような強雨の表現は、近畿地方における 8 月の短時間強雨生起頻度が増加するメカニズムを解析した研究例もある。
- RCP8.5 シナリオを用いて埼玉県における内水氾濫の将来予測を行った結果、現行計画の年超過確率 1/5 規模の降雨に対応した下水道を整備した場合でも、21 世紀末では内水浸水範囲の拡大及び内水浸水深が増加し、内水氾濫により浸水の影響を受けることが想定される人口も増加する可能性が示唆された。一方、将来の人口変動を考慮した場合は、人口減少の影響が大きく、現在人口条件の場合と比べて浸水リスク人口が減少する可能性が示されている。
- RCP8.5 に対応するシナリオを前提とし、日本全国における内水災害被害額の期待値を推算した研究では、2080～2099 年において被害額が現在気候の約 2 倍に増加することを示している。
- 河川や海岸等の近くの低平地等では、河川水位が上昇する頻度の増加や海面水位の上昇によって、下水道等から雨水を排水しづらくなることによる内水氾濫の可能性が増え、浸水時間の長期化を招くと想定される。
- 都市部には、特有の氾濫・浸水に対する脆弱性が存在するため、短時間集中降雨が気候変動影響により増大し、そこに海面水位の上昇が重なれば、その影響は大きい。
- 大雨の増加は、都市部以外に農地等への浸水被害等をもたらすことも想定される。

内水による氾濫・浸水の生起は、大河川からの洪水氾濫（外水氾濫）に比較すれば、時空間的スケールのより小さい強雨によってもたらされ、その確率規模も小さい。この傾向は、都市化の

進行により、雨水の一次的な貯留や浸透が大幅に低減した地域において顕在化している線状降水帯や地形性強雨などの組織化された強雨については、気候変動影響評価が進んできている。また、局所的な、単一の積乱雲（スーパーセルなど）により都市の内水氾濫を生じさせるような強雨については、近畿地方における 8 月の短時間強雨生起頻度が増加するメカニズムを解析した研究事例がある。この研究によれば、将来気候の下層水蒸気量の増加に伴う大気の静的な不安定度（シヨワルター安定度指数：SSI）の不安定化により、将来気候において短時間強雨を生起させやすくしたことが示されている⁴¹²⁰⁰⁶ 内水氾濫をもたらす降雨の確率規模が比較的小さいことは、統計的有意性を確保するための観測期間が相対的に短くて済むことを意味し、既往降雨データに基づく経年変化傾向の分析が、将来の降雨変化について一定の情報を与えることになる。

RCP8.5 シナリオを前提に、埼玉県における内水氾濫の将来予測を行った結果（MRI-NHRCM02 により算出された現在と 21 世紀末の時間雨量の増加率を使用）、現行計画の年超過確率 1/5 規模の降雨に対応した下水道を整備した場合でも、内水浸水範囲の拡大及び内水浸水深が増加する可能性が予測されている。また、これにより、内水氾濫による浸水リスク人口⁶⁰（将来人口が変わらなると想定した場合）は 21 世紀末において増加する可能性が示唆された。一方、将来の人口変動を考慮した場合は、人口減少の影響が大きく、現在人口条件の場合と比べて浸水リスク人口が減少する可能性が示されている。⁴¹²⁰⁰⁶ RCP8.5 に対応するシナリオを前提とし、日本全国における内水災害被害額の期待値を推算した研究では、2080～2099 年において、被害額期待値 1,932 億円/年となり、現在気候の約 2 倍に増加することを示している（GCM20 により算出された日降水量データを使用）。⁴¹²⁰⁰⁷

河川近くの低平地等では、河川水位が上昇する頻度の増加によって、下水道等から河川へ雨水を排水しにくくなることによる内水氾濫の可能性が増大する。また、排水しにくい状態が継続することによって、内水氾濫の長期化を招く可能性が増大する。また、特に都市部での内水被害は、局所・短時間の強雨により突発的にもたらされることが多く、リードタイムが短いことに加えて、高密度な人間及び経済活動、それを支える諸施設の集中的な設置と地下利用など都市部特有の氾濫・浸水に対する脆弱性が存在することから、そうした場所において、内水被害をもたらす短時間集中降雨が気候変動影響により増大するとすれば、また排水条件を大きく規定する海面水位の上昇が重なると、その影響は大きい。低平地やゼロメートル地帯では、市街化の進展により流出量が増加している上に、排水が困難であることから、洪水や高潮による外水や内水の氾濫による浸水が長時間に及ぶとの想定も提示されている。⁴¹²⁰⁰¹

また、平成 30 年 7 月豪雨や令和元年東日本台風による東日本での水害に典型的に表れたように、広域にわたる大規模な大雨が今後も増加するならば、支川などから本川への洪水流下に伴う支障を来し、それにより本川のみならず支川も含めて堤内地からの排水に支障を来し、氾濫・浸水被害の頻度を増加させると想定される。同じく大雨の増加が、農地からの排水が滞る頻度や農地の土壌浸食量を増加させるなどの影響をもたらすとの検討事例がある。⁴¹²⁰⁰⁸ これらの観点から、都市部以外での内水被害などに対する気候変動影響にも留意する必要がある。

⁶⁰ 内水氾濫による浸水深が 50cm 以上の場合において、浸水の影響を受けることが想定される人口。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

影響範囲は全国に及び、出現すれば常態化する。影響が発現する可能性がある。影響は人的被害を含む水害の増大となって現れ、その規模によっては被災エリアに不可逆的影響を与える。内水による氾濫・浸水が生じる可能性があるエリアは当該リスクに持続的に曝露し、通常の土地利用において抜本的な抗水害機能を具備させることは困難であり、上記エリアは脆弱性を持続的に示す。内水氾濫・浸水が起こす水害による広範な社会・経済・環境への影響の規模及び頻度が増大する。特に都市域では、高密度な人間及び経済活動、それを支える諸施設の集中的な設置と地下利用など都市部特有の氾濫・浸水に対する脆弱性が存在し、影響がより大きくなる可能性がある。

- 緊急性：高い

既に気候変動による内水氾濫の被害が報告されている。今世紀半ばに向けて、内水被害をもたらす大雨事象が増加する可能性がある。このことに加え、適応策実施に要する期間が総じて長いこと（例えば、防災・減災施設の整備やソフト施策の実装において必要となる合意形成、資金調達、諸制度の設計、住民・企業等への定着）、特に都市部の水害対策の困難性が高いことを踏まえると、時間的余裕は少ないと判断される。

- 確信度：高い

研究・報告数は少数であり、採られているアプローチは異なる。将来影響に関する見解の一致度を判断する情報量は整っていないが、現在既に影響が出ており、「洪水」の項における影響評価内容との関連性を考慮すると、内水被害をもたらす大雨事象（線状降水帯や地形性強雨などの組織化された強雨）については、限定的ではあるものの気候変動影響評価が進んできており、今世紀後半に向けて増加していくとの推測は、一定の確信度を持つと判断される。この大雨事象の増加が内水被害を増大させることは明らかである。

【沿岸】

(1) 海面水位の上昇

(気候変動による影響の要因)

ここでは、海面水位の長期変化の観測状況、海面水位の上昇により生じ得る影響とリスクについて述べる。

- 気候変動による気温の上昇は、海水の熱膨張、氷河や氷床の融解、滑り落ちを引き起こすことで、海面水位を上昇させる。
- 海面水位の上昇により、河川感潮区間に設置された取水施設の運用が困難になり、河口部や沿岸に設置された堤防や護岸、離岸堤、防波堤などの防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷が生じる。また、干潟・河川の感潮区間の生態系等に変化が現れる可能性がある。具体的には以下の可能性である。
- 海面水位の上昇は、水資源分野の「水供給（地表水）」、「水供給（地下水）」に記載の、塩水遡上や地下水の塩水化、淡水レンズの縮小を引き起こす。
- 塩水遡上距離の変化により、自然生態系分野に記載されている「湿原」の植生構成の変化や、海面水位の上昇に伴う海岸侵食により「亜熱帯」、「温帯・亜寒帯」の生物へも影響を及ぼす。
- 自然災害・沿岸域分野の「洪水」に記載の洪水氾濫を増大させる。
- 産業・経済活動分野の「レジャー」に記載の、自然資源（森林、雪山、砂浜、干潟等）を活用したレジャーに対して、活用可能な場・資源の消失や減少、活動に適した期間の変化等の影響や、「その他（海外影響等）」に記載の、海外にサプライチェーンを持つ企業の、現地での気候変動による海面水位の上昇あるいは極端現象の頻度や強度の増加等による経済活動上の直接的・物理的な被害を発生させる。
- 国民生活・都市生活分野の「水道、交通等」に記載の、海面水位の上昇や高潮・高波の増加による道路の交通障害や越波による事故の発生や、「生物季節、伝統行事、地場産業等」に記載の、地域独自の伝統行事や観光業、地場産業等への影響を及ぼす。

(現在の状況)

[概要]

- 日本周辺の海面水位は上昇傾向 (+ 2.8 [1.7~4.0] mm/年 : 1993~2015年、+ 4.19 [-1.10~+8.20] mm/年 : 2004年以降から2019年) にあったことが、潮位観測記録の解析結果より報告されている。
- 現時点で、海面水位の上昇により生じた障害の報告は無い。

【海面水位の上昇】

近年の日本周辺の海面水位が上昇傾向にあることが、潮位観測記録の解析結果より報告されている。地盤変動の影響が小さい検潮所を選択し年平均海面高さを求めて行った解析では、+2.8

[1.7～4.0] mm/年 (1993～2015 年) ⁴²¹⁰⁰¹⁾、験潮場の地盤上下変動補正、気圧補正、潮汐補正を施して行った解析では、+ 4.19 [-1.10～+ 8.20] mm/年 (2004 年以降から 2019 年) ⁴²¹⁰⁰²⁾ という上昇率が報告されている。一方、過去 100 年の日本沿岸の潮位記録には 10 年から 20 年周期の変動 (十年規模の変動) が現れており、将来にもこれが現れる可能性を認識する必要がある。⁴²¹⁰⁰¹⁾ 海面水位上昇と海水温上昇の間の相関が高いことが報告されている。⁴²¹⁰⁰¹⁾

SI-CAT 海洋モデルによる予測では、21 世紀末における日本沿岸の平均海面水位の、20 世紀末に比べた上昇の度合いは、4℃上昇シナリオ (RCP8.5) では 0.46-0.97m (中央値 0.71m)、2℃上昇シナリオ (RCP2.6) では 0.22-0.55m (中央値 0.39m) である。その中央値は世界平均海面水位の予測値と同程度である。

現時点で、海面水位の上昇により生じた障害の報告は無い。

潮汐記録より、気候変動、海流の変化等に由来する海面位置の変動を抽出するためには、地殻変動の大きさを正確に評価することが必要である。港湾域にある潮位観測所でも精密な地盤の高さの測定が行われている。⁴²¹⁰⁰⁴⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 気候変動による海面水位の上昇については多くの研究が行われている。
- 1986～2005 年平均を基準とした、2081～2100 年平均の世界平均海面水位の上昇は、RCP2.6 シナリオの場合 0.26～0.53m、RCP8.5 シナリオの場合 0.51～0.92m の範囲となる可能性が高いとされており、温室効果ガスの排出を抑えた場合でも一定の海面水位の上昇は免れない。
- 80cm 海面が上昇した場合、三大湾 (東京湾・伊勢湾・大阪湾) のゼロメートル地帯の面積が現在の 1.6 倍に増加するなど、影響の範囲は全国の海岸に及ぶ。
- 海面水位の上昇が生じると、台風、低気圧の強化が無い場合にも、現在と比較して高潮、高波による被災リスクが高まる。
- 河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷が生じ、沿岸部の水没・浸水、海岸侵食の加速、港湾及び漁港運用への支障、干潟や河川の感潮区間の生態系への影響が想定される。

IPCC 第 5 次評価報告書 (2014 年) は、将来における気候変動のリスクの一つとして、21 世紀及びその後を通じて予測されている海面水位の上昇を指摘している。これにより、沿岸域の低平地の浸水と氾濫、海岸侵食のような悪影響が現れるとしている (確信度: 可能性が非常に高い)。⁴²¹⁰⁰⁵⁾

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書 (2019 年) の予測では、新たに南極の氷床融解の効果が検討された。そこでは、1986～2005 年平均を基準とした 2081～2100 年平均の世界平均海面水位の上昇は、

RCP2.6 シナリオの場合 0.26～0.53m、RCP4.5 シナリオの場合 0.34～0.64m、RCP8.5 シナリオの場合 0.51～0.92m の範囲となる可能性があるとしている（確信度：可能性が高い）。⁴²¹⁰⁰⁶ IPCC 第5次評価報告書（2014年）の予測と比較すると、RCP2.6、RCP4.5 シナリオではほぼ同一の上昇量が示されているのに対して、RCP8.5 シナリオでは南極の氷床融解の効果が大きくなり上昇量が約 0.1m 大きくなっている。

日本の周辺には、海面水位の上昇量の平均が世界平均を上回っている領域があるが、個々の予測値にはかなりの幅があることに注意が必要である。⁴²¹⁰⁰⁵

80cm 海面水位が上昇した場合、三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）のゼロメートル地帯の面積が現在の 1.6 倍に増加する。⁴²¹⁰⁰⁷

将来の海洋流動計算結果（複数計算結果のアンサンブル）から、茨城沿岸、鳥取沿岸に生じ得る海水位変動を確認した知見によると、例えば、鳥取県の境港付近の海水位（日平均値、RCP8.5 シナリオ）の出現頻度を調べたところ、対馬暖流の日本海への流入パターンが変化することにより、現在よりも約 0.2m 高い海水位が観測される日が約 5% 増加する可能性が示された。⁴²¹⁰⁰⁸

世界 136 の沿岸都市部における年間の浸水被害は、2005 年では約 60 億ドルと推定されているが、2050 年までに社会経済の変化のみを考慮した場合で 520 億ドルに増加することが予測されている。さらに、現在の洪水防護基準の下では、社会経済の変化に加えて地盤沈下及び海面水位の上昇により 2050 年に少なくとも 1 兆ドル（約 100 兆円）に達することが予測されている。一方で、社会経済の変化を考慮しつつ浸水の発生確率を一定に維持させた場合 2050 年時点での年間の被害は減少するものの、地盤沈下量はより増加し、海面水位もより上昇することから、被害は 600～630 億ドル（約 6～6.3 兆円）に達することが予測されている。⁴¹¹⁰²⁹

【海面水位の上昇：高潮災害（浸水・越波被害）との複合】

海面水位の上昇が生じると、台風、低気圧の強化が無い場合にも、現在に比較して高潮、高波により被災するリスクは高まる。三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）周辺には、いわゆるゼロメートル地帯が広がっており、388 万人（2013 年時点）が暮らしている。ゼロメートル地帯は、浸水リスクが非常に高く、仮に海面水位が 60cm 上昇すると、ゼロメートル地帯の面積とそこに暮らす人口が 5 割も拡大するため、将来の海面水位の上昇は、深刻な事態をもたらす恐れがある。⁴²¹⁰⁰⁹ また、海面水位の上昇量によっては、台風の強度の増加と相まって浸水面積が増加する。⁴²¹⁰¹⁰

【海面水位の上昇：高潮災害以外の被害】

海面水位の上昇により、次の事象が発現する可能性がある：河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能低下や損傷。沿岸部の浸水・水没、海岸侵食の加速。物揚場等の天端高が低い係留施設や荷さばき地等への浸水・水没による港湾及び漁港機能の障害。⁴²¹⁰¹¹ 河口堰の機能低下による淡水資源の減少。干潟、河川の感潮区間の生態系の変化。

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

影響の範囲は全国の沿岸域に及ぶ。海面水位の上昇は、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等に機能低下や損傷をもたらし、産業施設、住宅地等の資産に広く甚大な被害を及ぼす可能性があるため、社会的・経済的に与える影響が非常に大きい。特に、東京湾・大阪湾・伊勢湾等の人口・産業の集積する沿岸大都市は持続的な脆弱性・曝露の要素となり得る。

- 緊急性：【評価】中程度

現時点で気候変動を要因とする海面水位の上昇による被害について述べた文献、報告を確認できていない。近未来（2020s）から長期（2100年頃）にかけて影響が予測されている。潮汐記録の検討を継続的に続け、状況を監視して適切な時点で意思決定をする必要がある。

- 確信度：【評価】高い

これまでの観測結果には、海水温上昇と海面水位上昇の間の相関が高いことが示されている。地球温暖化に伴い、海面水位の上昇が生じることについての確信度は高く、地盤変動等を加味した観測においても海面水位が上昇傾向にあることが報告されている。日本沿岸の海面水位には10年から20年周期の変動（十年規模の変動）があり、これを不確実性として考慮する必要がある。

(2) 高潮・高波

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に高潮・高波の観測状況及び、それによる直接的な被害（構造物への被害等）を扱う。他分野への波及的な影響については、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

- 気候変動に伴う海面水位の上昇は、高潮や高波による浸水リスクを増大させる可能性がある。
- 気候変動は台風の数、強度、経路等の特性を変化させる可能性がある。高潮をもたらす直接の原因の多くは台風であり、そうした台風の特性が変化すれば、沿岸域における高潮・高波の発生動向に影響を及ぼす。冬季の発達した低気圧の変化も高潮・高波のリスク増大につながる可能性がある。
- このような気候変動による高潮・高波の変化は、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能低下や被災リスクを高め、人命や資産、経済活動に影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加が高潮や高波に既に及ぼしている影響又はそれに伴う被害に関しては、具体的な事象や研究は確認できていない。
- 高潮については、極端な高潮位の発生が、1970年以降全世界的に増加している可能性が高いことが指摘されている。
- 高波については、観測結果より、有義波高⁶¹の最大値が冬季は日本海沿岸で、秋季は東北太平洋沿岸で増加傾向であること等が確認されているが、これが気候変動によるものであるとの科学的根拠は未だ得られていない。

【高潮】

現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加が高潮や高波に既に及ぼしている影響又はそれに伴う被害に関しては、具体的な事象や研究は確認できていない。IPCC 第5次評価報告書は、極端な高潮位の発生が、1970年以降全世界的に増加している可能性が高いことを指摘している。⁴²²⁰⁰¹ なお、高潮をもたらす原因のほとんどは台風であるので、高潮の発生動向は台風の発生数、経路、強度等に依存する。最近100年弱の間に日本に上陸した最大級の台風（上陸時の中心気圧930hPa以下）は、室戸台風（1934年）、枕崎台風（1945年）、伊勢湾台風（1959年）、第2室戸台風（1961年）、1993年台風第13号であり、50年以上前の台風が多いが⁴²²⁰⁰²、

⁶¹ ある地点で連続する波を1つずつ観測したとき、波高の高い方から順に全体の1/3の個数の波（例えば100個の波が観測された場合、高い方から33個の波）を選び、これらの波高及び周期を平均したものをそれぞれ有義波高と呼ぶ。

それに近い規模の台風が近年来襲しており、2018年9月には台風第21号により大阪湾において第二室戸台風の観測潮位を上回る既往最大潮位を記録した⁴²²⁰²⁹⁾。また、これまで国内では台風による高潮が顕著であったが、近年は発達した低気圧による高潮災害も目立つようになってきている。2012年4月3日から4日には秋田沿岸部で、2014年12月17日には根室港やその周辺部で高潮が発生し、浸水災害が発生した。^{422030, 422031)}

【高波】

全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)による1970年から40年間の長期解析によれば、平均有義波高は増加傾向を示す地点があり、平均有義波周期は台風より温帯低気圧の影響の大きな地方を中心とする多くの地点で増加傾向である。波パワー⁶²⁾は日本海側、太平洋側ともに南の地方を中心に増加傾向を示す地点があり、有義波高の最大値は、冬季は日本海沿岸で、秋季は東北太平洋沿岸で増加傾向である。また、平均有義波高と水温の関係性が他の気候変動指標よりも高いことが確認されている⁴²²⁰⁰³⁾。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 気候変動により海面水位が上昇する可能性が非常に高く、それにより高潮の浸水リスクは高まる。
- 高潮をもたらす主要因は台風であり、気候変動による台風の挙動(経路、規模等)を予測し、それを高潮の将来変化に反映させるための技術開発が近年精力的に進められている。それに基づく検討結果の多くは気候変動による高潮偏差の増大を支持するものとなっている。
- 高波をもたらす主要因は台風と冬季の発達した低気圧であり、気候変動による台風の挙動(経路、規模等)を予測し、それを予測に反映させるための技術開発が近年精力的に進められている。台風の強度や経路の変化等による高波のリスク増大の可能性が予測されている。
- 河川の取水施設や沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の構造物などでは、海面水位の上昇や台風や冬季の発達した低気圧の強度が増加して高潮偏差や波高が増大すると、安全性が十分確保できなくなる箇所が多くなると予測されている。

IPCC第5次評価報告書では、高潮と高波の将来変化について、Sea Level Extremeとして海面水位の上昇とともに議論されており、これらの21世紀末における増大は「可能性が非常に高い」、近未来における変化も「可能性が高い」としている。⁴²²⁰⁰⁴⁾ さらにIPCC海洋・雪氷圏特別報告書

⁶²⁾ 波パワーは、単位時間単位幅当たりの波のエネルギーフラックスに相当するものであり、波力発電の計画や海洋生物の生育条件など環境分野にも応用されている指標の一つ。

では、これまでは1世紀に1回程度の頻度で発生している各地の極端な高潮位が、2100年までにすべてのRCPシナリオで少なくとも年に1回発生するとされている。⁴²²⁰⁰⁵⁾ ただし、領域毎の振る舞いにはかなりの幅があることに注意が必要である。^{422004, 422005)} また、将来における気候変動の主要なリスクの一つとして、高潮、沿岸洪水、海面水位の上昇により、沿岸の低地や小島嶼国において死亡、負傷、健康被害、または生計崩壊のリスクを挙げている。^{422006, 422005)}

【高潮】

高潮をもたらす原因は台風と発達した低気圧であるので、高潮による諸影響の評価は、気候変動下の台風等の予測精度に大きく依存する。また、高潮は災害を引き起こすような大きな水位上昇（高潮偏差）を生じる頻度が極端に少ないため、その定量的な評価や気候システムとの関係把握が難しい事象であるが、現在、気候変動下の高潮予測の精度を向上させるために必要な技術開発が精力的に進められている^{422007, 422008, 422009, 422010, 422011)}。

それらに基づくSRES A1BもしくはRCP8.5シナリオを中心とした検討結果の多くが、気候変動による高潮偏差の増大を支持するものとなっている^{422012, 422013, 422014, 422015)}。また、1990年以降の東京湾、大阪湾及び伊勢湾を対象とした高潮の最大潮位偏差推定に関する研究レビューの結果では、各湾の将来変化の平均的予測は、東京湾で0.72m、大阪湾で1.73m、伊勢湾で0.90mであったことが示されている⁴²²⁰³²⁾。沿岸低平地の高潮による浸水リスクは現在も大きい、気候変動により海面水位が上昇する可能性は高く、これに高潮偏差の増大、後述する高波の増加も相まって、そのリスクはさらに高まる。⁴²²⁰¹⁶⁾

【高波】

日本沿岸の波浪は、冬季において、日本海・太平洋側で季節風等によって発達する波のエネルギーの減少、太平洋側では西向きうねりのエネルギーの減少が予測されており、平均波高の減少や平均波向の変化が指摘されている^{422017, 422018, 422019, 422028)}。一方、10年間に1回程度発生する高波（10年確率波）については、主に台風経路の影響によって東日本沖を中心とした太平洋側で顕著な増加が示されている^{422020, 422021, 422002)}。

海面水位の上昇に加え、台風や冬季の発達した低気圧の強度が増加して高潮偏差や波高が増大すると、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能が低下し、安全性が十分確保できなくなる箇所が多くなる可能性が高い^{422022, 422023, 422024, 422022, 422025, 422026, 422027)}。

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

高潮は、三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）、その他の高潮被災を経験した沿岸部を中心として、人命への危機、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷、企業活動、文化資産等に広く甚大な被害を与えるため、社会的・経済的に与える影響が非常に大きい。高波の影響は全国に及び、人命への影響のほか、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷、港内静穏度、さらには、沿岸部の海岸に位置する文化的資産等にも広く甚大な影響を及ぼす。

- 緊急性：【評価】高い

現時点で気候変動を要因とする高潮・高波等の被害について述べた文献を確認できていないが、高潮については、極端な高潮位の発生が1970年以降全世界的に増加している可能性が高いことが指摘されており、高波については、観測結果より、有義波高の最大値が冬季は日本海沿岸で、秋季は東北太平洋沿岸で増加傾向であること等が確認されている。また対策に時間を要する点や現在でも整備が不十分な箇所があり高潮・高波等に対して脆弱であることから、できるだけ早く意思決定をする必要がある。

- 確信度：【評価】高い

研究・報告数は多数あり、気候予測モデルやシナリオを用いた予測がされている。高潮は、台風等による気圧低下で海面水位が上昇し、風による吹き寄せや高波浪が重なることで生じる事象である。これに気候変動による海面水位の上昇が加わることで高潮による危険性が増大する確信度は高い。気候変動下の台風の挙動が高潮の危険性をさらに増大させる可能性があり、それを高潮に反映させるための技術開発が近年精力的に進められている。それに基づく検討結果の多くは気候変動による高潮偏差の増大を支持するものとなっている。高波に高潮偏差の増大、海面水位の上昇が加わることで、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等への危険性が増大する確信度は高い。

(3) 海岸侵食

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主として気候変動による海岸侵食の可能性やその程度を述べるとともに、海岸侵食のマイナスの影響についても触れる。

- 気候変動による海面水位の上昇は、現在海岸侵食が生じている海岸の侵食をさらに進行させるとともに、現在侵食が生じていない海岸でも侵食を生じさせる可能性が高い。気候変動による台風の強度の増加に伴う荒天時の波高の増加は短期的な海岸侵食量を増大させる。一方、気候変動によって平均波高が減少する可能性があり、荒天時の波高の増大と平均波高の減少の両方を考慮した時の波浪特性の長期変動は、砂浜を減少させる可能性と増大させる可能性を持つ。しかし、波浪特性の長期変動が砂浜に与える影響は、海面水位の上昇が与える影響よりも小さい可能性が高く、気候変動によって砂浜がより侵食される可能性が高い。
- 気候変動によって、波高や周期のみならず波向も変化する可能性がある。波向が変化した場合、それに対応して砂浜の向きが変化し、砂が堆積する場所と砂浜が侵食される場所が生じる。
- 極端な降水の頻度及び強度の増大は、自然災害・沿岸域分野の「山地」に記載の斜面崩壊と大きい河川流量の頻度の増加を引き起こし、水環境・水資源分野の「水環境」－河川に記載の河川から海岸への供給土砂量を増加させることで、河口周辺の海岸などで侵食を緩和する、あるいは、堆積を生じさせる可能性がある。
- 砂浜が侵食されると、砂浜による波のエネルギーの減衰効果が小さくなり、よって、砂浜を越えて岸側に輸送される海水の量が増える危険性がある。また、護岸などの海岸保全施設に作用する波の力が増大したり、施設の基礎部分が洗掘されやすくなることから、施設の機能が低下したり、施設が損傷したりする危険性がある。さらに、砂浜の侵食は、砂浜の持つ海水浄化機能を低下させるとともに、自然生態系分野の「沿岸生態系」に記載の沿岸域の生態系を変化させる可能性があり、利用面に関しては、産業・経済活動分野の「観光業」に記載のレクリエーション・スポーツの場や農業・漁業の作業場などを減少させる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加等が、既に海岸侵食に影響を及ぼしているかについては、具体的な事象や研究は確認できていない。

海岸侵食は、海岸から流出する土砂量が流入する土砂量よりも多いときに生じる。ダム建設や砂利採取などに伴う河川からの流出土砂量の減少や海岸や港湾に設置された導流堤や防波堤などの構造物等による沿岸に沿う土砂の移動の阻害などにより、現在、日本の至る所で海岸侵食が生じている。気候変動によって海面が上昇すると、現在海岸侵食が生じている海岸では侵食がさ

らに進行し、現在侵食が生じていない海岸でも侵食が生ずる可能性が高い。さらに、台風の強度が増加して荒天時の波が大きくなると、荒天時に生じる短期的な海岸侵食量が増大する可能性が高い。しかし、現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加が海岸に影響を及ぼしていることは確認できていない。

ただし、茨城県の波崎海岸において、汀線位置の変動が気候変動を示す指標と関連することが報告されている。⁴²³⁰⁰¹⁾ また、波浪特性の変動と気候変動との明確な関係は得られていないものの、茨城県波崎海岸では、発達した低気圧による高波が連続して来襲することにより砂浜が以前よりも急勾配となり、それから6年経過しても元の地形に戻っていないこと⁴²³⁰⁰²⁾や北海道サロマ湖では、近年の波向の変化によって、33年間生じていなかった航路埋没が急激に進行したと^{423003, 423004)}が報告されている。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 気候変動による海面水位の上昇によって、海岸が侵食される可能性が高い。具体的には、2081～2100年までに、RCP2.6シナリオでは日本沿岸で平均62% (173km²) の砂浜が、RCP8.5シナリオでは平均83% (232km²) の砂浜が消失するとの報告例がある。
- 気候変動によって台風の強度が増加すると荒天時の波高が増加する。一方、平均波高は長期的に減少する可能性がある。荒天時の波高の増大と平均波高の減少の両方を考慮すると、波浪特性の長期変動によって、砂浜が増大する可能性と減少する可能性の両方の可能性がある。しかし、波浪特性の長期変動が砂浜に与える影響は、海面水位の上昇が与える影響よりも小さい可能性が高く、気候変動によっては砂浜がより侵食される可能性が高い。
- 気候変動による極端な降水の頻度及び強度の増大に伴い河川からの土砂供給量が増大すると、河口周辺の海岸を中心に、侵食が緩和されたり、土砂堆積が生じたりする可能性がある。

海岸への正味の土砂供給が無い場合には、海面が上昇した分、海浜が減少する。さらに、海面水位の上昇により汀線（海と陸との境界線）付近の土砂が陸側あるいは海側に輸送されることにより、汀線付近がさらに侵食される可能性がある。^{423005, 423006, 423007, 423008, 423009)} 海面水位の上昇のみを考慮した時の具体的な砂浜変動量としては、砂浜の形状が海面を基準として一定であり（Bruun則と呼ばれる）、砂の粒径が0.3mmであると仮定し、海面水位の上昇量として21のCMIP5モデルによる日本沿岸における平均推定値を用いると、2081～2100年までに、RCP2.6シナリオでは日本沿岸で平均62% (173km²) の砂浜が、RCP8.5シナリオでは83% (232km²) の砂浜が消失する予測がある。⁴²³⁰¹⁰⁾ 各海岸の砂浜勾配とIPCC第5次評価報告書の世界平均海面水位の上昇量を用いた予測では、RCP2.6シナリオにおいて日本沿岸の20%の砂浜で現状よりも浜幅が半分以下になり、RCP8.5シナリオではその割合が45%となることが報告されている。⁴²³⁰¹¹⁾ なお、AR5では、1986～

2005年平均を基準とした、2081～2100年平均の世界平均海面水位の上昇は、RCP2.6シナリオで0.26～0.55m、RCP4.5シナリオで0.32～0.63m、RCP6.0シナリオで0.33～0.63m、RCP8.5シナリオで0.45～0.82mの範囲となる可能性が高いとされている。⁴²³⁰¹²⁾ IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書では、RCP8.5シナリオにおける海面水位の上昇量はAR5の値よりも約0.1m高い。⁴²³⁰¹³⁾

気候変動によって台風の強度が増加すると荒天時の波高が増加する。日本の6海岸（仙台、波崎、新潟、柏崎、高知、宮崎）では、荒天時の波高の増大によっては、平均波高の長期的な減少を考慮しても海岸が侵食される予測がある。^{423005, 423006, 423014)} 一方、鳥取海岸では、荒天時の波高の増大と平均波高の減少を仮定した波浪特性の長期変動と海面水位の上昇量を考慮した時の汀線後退量が海面水位の上昇量だけを考慮した値よりも小さくなる予測があり、⁴²³⁰¹⁵⁾ 波浪特性の長期変動は汀線を前進させる可能性と後退させる可能性を持つ。ただし、それらの予測では、波浪特性の長期変動が砂浜に与える影響は海面水位の上昇が与える影響よりも小さく、気候変動によっては砂浜がより侵食される可能性が高い。

上記の検討は、将来、波向きが変化しない、すなわち、沿岸方向（岸に平行な方向）の砂の移動量が変化しないと仮定した時のものであるが、気候変動によって、波高や周期のみならず波向も変化する可能性がある。鳥取、日高、北見の海岸では、波向の変化によって砂の移動パターンが変化し、その結果、汀線の向き（砂浜の向き）が変化し、海岸に堆積が生ずる箇所と侵食が生ずる箇所とが現れる予測結果や、^{423004, 423017)} 鳥取の海岸では波向きの変化によって沖の構造物（人工リーフ）周辺で侵食が増大する予測結果が^{423018, 423019)} 報告されている。

気候変動により極端な降水の頻度及び強度が増大し、その結果、斜面崩壊や大きい河川流量の頻度が増加すると河川から海岸への供給土砂量が増加する可能性がある。⁴²³⁰²⁰⁾ その場合は、河口周辺の海岸において、侵食が緩和される、あるいは、堆積が生じる可能性がある。

日本では、砂浜の侵食対策として、離岸堤や潜堤などの構造物が利用されることが多い。気候変動による海面水位の上昇によって、離岸堤や潜堤などの構造物の頂部の位置は海面を基準とすると徐々に低くなり、それに伴い、構造物を通過して岸側に来襲する波のエネルギーが大きくなる可能性がある。特に、潜堤は海面下に没しているため、その影響が大きい。潜堤で防護されている新潟海岸では、IPCC 第5次評価報告書におけるRCP8.5シナリオによる海面水位の上昇と地盤沈下（13 mm/year）を考慮すると、2111年までに汀線が約60m後退する予測がある。⁴²³⁰²¹⁾

砂浜侵食に伴う砂浜のレクリエーション価値の損失額に関して、気候モデルMIROCの海面水位の上昇量を基にした砂浜消失量⁴²³⁰²²⁾から損失額を算定した研究例があり、それによると、全国での損失額は、RCP2.6シナリオでは2031～2050年に約254億円/年、2081～2100年に約426億円/年であり、RCP8.5シナリオでは2031～2050年に約284億円/年、2081～2100年に約494億円/年である。⁴²³⁰²³⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

● 重大性：

【評価】

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当> 特に重大な影響が認められる

【観点】 社会／経済／環境

影響の範囲は全国の海岸に及ぶ。海岸侵食は、国土を消失させるとともに、高い消波機能を有した空間をも消失させることになり、それによって高潮・高波災害の危険性が高まり、人命や資産、社会インフラ、文化的資産などが危険にさらされる可能性が高くなる。さらに、海岸侵食は、レクリエーションや観光のための空間を消失させるとともに、自然生態系にも大きな影響を及ぼす。よって、重大性は特に大きい。

<RCP2.6 及び 2°C 上昇相当>

2081～2100 年までに日本沿岸で平均 62%の砂浜が消失する予測や、日本沿岸の 20%の砂浜が今よりも浜幅が半分以下となる予測がある。

<RCP8.5 及び 4°C 上昇相当>

2081～2100 年までに日本沿岸で平均 83%の砂浜が消失する予測や、日本沿岸の 45%の砂浜が今よりも浜幅が半分以下となる予測がある。

● 緊急性：【評価】 中程度

現時点でも気候変動の影響である海面水位の上昇や台風の強度の増加によって海岸が侵食されている可能性があるものの、具体的な研究事例は確認できていない。ただし、気候変動によってさらなる海岸侵食が発生する可能性は高く、対策には時間がかかるため、緊急性は中程度、すなわち、2030 年頃より前には重大な意思決定が必要である。

● 確信度：【評価】 高い

砂浜への沿岸方向からの正味の土砂供給が無い場合に海面水位の上昇が海岸侵食に及ぼす影響については、一定程度の論文で同様の結果が得られており、確信度は高い。ただし、海岸侵食に及ぼす台風強度増加の影響や河川からの流出土砂増加の影響の定量的評価にはさらなる検討が必要である。

【山地】

(1) 土石流・地すべり等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に近年各地で頻発している甚大な土石流等山地での災害の特徴や、降雨条件等との関係性について考察する。また、土砂・洪水氾濫のような複合的に絡み合っただけ被害をもたらす事例については、「複合的な誘因による影響」でも取り扱う。

- 降雨強度と総降水量のどちらかまたは両方が極めて大きい大雨の発生頻度の上昇、大雨の頻発地域の拡大、一つの大規模の広範囲化は、崩壊や土石流、地すべりなどによる土砂災害の発生頻度の増加、発生規模の増大、発生形態の変化、発生地域の変化などをもたらす。防災政策上、非常に重要な影響をもたらす。
- したがって、気候変動による土砂災害への影響の要因としては、これらの降雨条件の変化が挙げられる。
- 気候変動による降水量や気温の変化、降雪量や降雪の時空間分布の変化は、地盤や地表面の状態（植生等）を変化させ、崩壊や侵食現象の素因に影響を及ぼすだけでなく、凍結融解現象など基岩の風化現象にも影響を与える。
- 気候変動による降雪条件の変化は雪崩等の雪害に影響を及ぼすことが想定される。

(現在の状況)

〔概要〕

- 降雨条件と土砂災害の原因となる崩壊や土石流、地すべりなどの現象の関係に関する理論的知見とそれに基づく予測手法の研究結果は十分あるので、土砂災害の誘因となる降雨条件が気候変動によってどのように変化するかが明確になれば、気候変動の土砂災害への影響に関する実態や将来予測についてはある程度正確に分析できると考えられる。
- 気候変動の土砂災害に及ぼす影響を直接分析した研究や報告は、現時点で多くはない。しかし、最近の降雨条件と土砂災害の実態、最近発生した土砂災害、特に多数の深層崩壊や同時多発型表層崩壊・土石流、土砂・洪水氾濫による特徴的な大規模土砂災害に関する論文や報告は多く発表されている。これらの大規模土砂災害をもたらした特徴のある降雨条件が気候変動によるものであれば、気候変動による土砂災害の形態の変化が既に発生しており、今後より激甚化することが予想される。

(a) 素因の変化

崩壊や土石流、地すべり等による山地で発生する土砂災害は、大雨や融雪、地震を誘因として起きるが、その発生のしやすさは、地質、地形、土壌、植生等、それぞれの地域、山地あるいは斜面に固有の地盤条件や地被条件等の素因の影響を受ける。気象条件が変化すると、地盤の風化の程度が変化し、森林植生の状態の変化も現れる。これらの地盤条件や地被条件はどちらも崩壊や侵食に大きな影響を与えるので、気候変動に伴う極端な降水の強度及び頻度の増大が懸念される中、これらの素因がどのように変化するのも問題である。しかし、気候条件の変化に対する素因の応答は緩やかであると考えられ、既往の研究もほとんどない。しかし、長期的な問題として考慮すべき問題である。

(b) 誘因の変化

誘因としての降雨量（短時間雨量、連続雨量、総雨量）の増加、降雨分布の偏在及び変動の拡大は、土砂災害の①発生頻度の増加（崩壊発生分布域の拡大、同時多発的な災害の増加、災害未発生地区での発生）、②発生タイミングの変化（降雨の降り始めから崩壊発生までの時間の短縮）、③発生規模の増大（深層崩壊の発生頻度の増加、土石流等の到達範囲の拡大）に繋がると考えられている。^{431001, 431002} 現に、過去 30 年程度の間で 50mm/h 以上の大雨の発生頻度は約 1.4 倍に増加しており、人家・集落等に影響する土砂災害もそれに応じて増加している。^{431003, 431004} また、深層崩壊の発生件数も、データ数は少ないものの、近年は増加傾向がうかがえる。⁴³¹⁰⁰⁵

(c) 降雨規模と土砂災害の発生件数の関係

与えられる降雨条件が厳しくなれば、斜面崩壊等の土砂移動現象が多発するのは当然であり、近年発生した土砂災害時の降雨強度を引き延ばした場合、その比率と同等以上に斜面崩壊数が増加する可能性があるという検討結果もある。⁴³¹⁰⁰⁶ 実際、降雨規模が 20 年確率を超えて大きくなると、急激に人的な被害が生じるような土石流の発生頻度が高まることが明らかにされている。⁴³¹⁰⁰⁷ 同様に、深層崩壊においても、2011 年台風第 12 号による紀伊半島における深層崩壊の分布状況の分析から、深層崩壊はある閾値を超える降雨量するとき、急激に発生密度が高まることが示されている。⁴³¹⁰⁰⁸ これらは、降雨規模の増大に従い災害の程度が徐々に大きくなるのではなく、降雨規模がある閾値を越えると急激に災害の程度が深刻になる可能性を示している。最近、このような閾値を超えるような大雨が発生しており、気候変動による土砂災害への影響の一側面を表すものであると考えられる。

また、単純に降雨規模だけではなく、当該地域の既往の降雨規模を上回るかどうかにより、深層崩壊発生確率に差があることも示されてきている。⁴³¹⁰⁰⁹ すなわち、観測史上最大となるような降雨では、深層崩壊の発生確率が急激に増加する可能性を示唆している。これは気候変動によって大雨の発生域が変化すれば、今後土砂災害の危険性が急激に高まる地域が出てくることを示唆するものである。最近、これまで土砂災害の原因となる大雨の発生頻度が小さかった東北や北海道地域で土砂災害が発生しているが、これは気候変動の影響が既にこれらの地域に及んでいることを示唆するものである。

(d) 降雨規模と土砂災害の規模の関係

過去のがけ崩れデータからは、崩壊発生までの連続雨量や最大時間雨量が大きくなると、崩壊土砂量が大きなものが発生する傾向が見られる。⁴³¹⁰¹⁰ また、同じ地域における斜面崩壊・土石流

の発生数及び規模と降雨規模の関係を見ると、降雨規模が大きくなるに従い、斜面崩壊・土石流の発生数が増加する場合、平均の発生規模が大きくなる場合、あるいは、発生数及び発生規模が共に大きくなる場合があることが示されている。⁴³¹⁰¹¹⁾ 特に、48 時間雨量や累積雨量が大きい降雨では、深層崩壊の発生確率が高まることが明らかとなっている。⁴³¹⁰⁰⁹⁾

2011 年の台風第 12 号は紀伊半島の山地部に数十の深層崩壊や大規模崩壊を誘発した。山地部でのこの大雨の特徴として、降雨強度は 30~50 mm/h⁴³¹⁰²³⁾ でそれほど大きくないが、積算降雨量がおおよそ 1000~2000 mm に及んだことが挙げられる。その結果、紀伊半島の山地部の地質特性も要因となり、多数の深層崩壊や大規模崩壊が発生した。過去 120 年間の日本国内の深層崩壊発生頻度と大雨の発生頻度は数十年周期で増減を繰り返しており、その傾向がおおむね一致していることも分かっている⁴³¹⁰¹³⁾。このような大雨が気候変動の特徴の一つとして現れているとすれば、気候変動が土砂災害に及ぼす影響として、深層崩壊を伴う土砂災害の発生頻度が増加することが懸念され、土砂災害の影響範囲の拡大や影響期間の長期化も重要な問題となる。

また、長時間にわたって停滞する線状降水帯による集中豪雨の事例も頻繁に発生しており、それが比較的広範囲に高強度の大雨をもたらすことにより、流域に同時多発的な表層崩壊や土石流を誘発した例も多くみられる。平成 25 の伊豆大島における土砂災害^{431014, 431015)}、平成 29 年 7 月九州北部豪雨^{431016, 431017)}、平成 30 年 7 月豪雨⁴³¹⁰¹⁸⁾ などがそれにあたる。このような同時多発的な表層崩壊、土石流は流域に大規模土砂災害をもたらすことは言うまでもない。このような比較的広範囲にわたる線状降水帯の発生が気候変動の特徴の一つとして現れているとすれば、同時多発的な表層崩壊や土石流による土砂災害も重要な問題となる。

(e) 崩壊や土石流の規模と影響範囲・影響期間の関係

崩壊や土石流の規模が大きくなるというまでもなく、被害の程度は大きくなる。例えば、深層崩壊やそれに起因する土石流の場合、土砂がより長く移動することになり、被害が及ぶ範囲も拡大する。⁴³¹⁰¹⁹⁾ また、非常に規模の大きい崩壊や土石流が河川を閉塞すると天然ダムが生じることにより、それが決壊すると通常規模の斜面崩壊では影響が及ばない場所にも影響が達する場合がある。⁴³¹⁰²⁰⁾ 決壊しない場合でも長期にわたって決壊の危険性がある場合、長期にわたって下流域の安全性が低下する。さらに、大規模崩壊などの土砂生産現象のあと、下流域において河床が数年以上にわたり上昇し続けるなど、影響が広範囲に及ぶとともに、長期化する場合がある。⁴³¹⁰²¹⁾ このように、規模の大きい崩壊や土石流による被害は、影響範囲、影響期間が中小規模のものに比べて深刻になる可能性が高いと考えられる。

(f) 土砂・洪水氾濫災害

平成 29 年 7 月九州北部豪雨^{431016, 431017)} や平成 30 年 7 月豪雨⁴³¹⁰³⁹⁾ では、土砂・洪水氾濫が規模の大きい災害をもたらした原因となる現象の一つである。これらの災害では、線状降水帯が長時間にわたって留まり、比較的広範囲に高強度の雨が降り続けて、流域に多量の降水量をもたらした。その結果、流域全体に多数の表層崩壊や土石流が発生し、河川の流量も非常に大きくなり、表層崩壊や土石流による直接的な被害だけでなく、多量の生産土砂が大洪水によって下流に運ばれ、下流域で異常な河床上昇が発生し、洪水氾濫を助長するとともに、土砂も河川から氾濫して、災害規模を大きくした。また、土砂・洪水氾濫では、表層崩壊や溪岸侵食等に伴い流木も大量に発生し、それが下流に流下して被害を生じる。特に平成 29 年九州北部豪雨では大量の流木が被害

を拡大させた。^{431016, 431022}このような土砂・洪水氾濫は、比較的広範囲に高強度の降雨をもたらす線状降水帯が長時間留まることなどにより発生し、気候変動の結果、このような降雨が発生しているとすれば、これらの土砂災害は気候変動の影響であると判断することができる。

(g) 大雨の発生地域の変化

これまで土砂災害が少なかった東北^{431023, 431024, 431025}、北海道地域^{431023, 431025, 431026}にも最近豪雨による甚大な土砂災害が発生している。大雨の発生域の変動が気候変動の影響であるとすれば、東北や北海道地域での最近の土砂災害は気候変動の影響であると思われる。

(h) 降雪による土砂災害

積雪・降雪量に関しては、本州では冬季の平均気温が2~3℃上昇することによって減少するが、北海道の内陸部では現在と同程度か増加するという予測もある。^{431027, 431028, 431029}一方で、近年は暖冬少雪傾向の後に豪雪が続いており⁴³¹⁰³⁰、降積雪の年ごとの変動が大きくなったり、2014年2月の関東甲信越地方を中心とした大雪のように、積雪寒冷地に指定されていない地域でも雪崩などの雪害の問題が発生することも考えられるが、詳細については今後の研究を待つ必要がある。

(将来予測される影響)

[概要]

- 降雨条件が厳しくなるという前提の下で状況の変化が想定されるものとして以下が挙げられる。(ここで、厳しい降雨条件として、極端に降雨強度の大きい大雨及びその高降雨強度の長時間化、極端に総降雨量の大きい大雨、広域に降る大雨などを表す。)
- ①集中的な崩壊・がけ崩れ・土石流等の頻発、山地や斜面周辺地域の社会生活への影響
- ②ハード対策やソフト対策の効果の相対的な低下、被害の拡大
- ③土砂・洪水氾濫の発生頻度の増加
- ④深層崩壊等の大規模現象の増加による直接的・間接的影響の長期化
- ⑤現象の大規模化、新たな土砂移動現象の顕在化による既存の土砂災害警戒区域以外への被害の拡大
- ⑥河川への土砂供給量増大による治水・利水機能の低下
- ⑦森林域で極端な大雨が発生することによる流木被害の増加

(a) 素因に与える影響

気象条件が変化すれば、将来の素因の状態は変化することが予想される。この点に着目した研究はいくつか見られ、その成果をまとめると次のようである。

① 地盤条件

土砂生産や斜面崩壊の素因としての地盤条件には物理的風化と化学的風化が影響しているので、気候変動による熱環境の変化、植生の変化、地下水の動態変化が地盤条件に影響を与える。熱環

境としては、気温、日射量、日較差などが考えられ、これらは物理的風化の中でも凍結融解作用による風化に大きな影響を与える。直感的には気温が上昇すれば凍結融解の頻度は少なくなり、凍結深度も小さくなると考えられる。凍結融解回数を深度方向に積分した凍結融解強度を凍結融解特性指標として影響評価を行った研究⁴³¹⁰³¹⁾によると、気温が2度上昇すると同一標高、同一斜面勾配、同一斜面方向の裸地斜面の凍結融解強度分布は、東北地方では凍結融解強度が下がり、凍結融解が起こらない県も増加することが示されている。また、気温2度上昇による凍結融解強度指数の変化をある地点の標高別に見ると、低標高の地点は気温上昇と共に凍結融解強度の減少が認められるが、2,000mの地点ではむしろ増加しており、凍結融解強度のピークが標高の高い位置に移動していることも示されている。ただし、気温上昇とともに積雪が少なくなると積雪による断熱効果が減少し、凍結融解がむしろ活性化される可能性もあるが、積雪分布の変化を考慮した研究は行われていない。

② 地被条件

急峻な地形、脆弱な地質、台風の常襲地帯という自然条件下にある我が国において、国土面積の7割近くを占める森林は、山地で発生する土砂災害への気候変動の影響を考える上で最も重要な地被条件である。森林には下層植生や落枝落葉が地表の侵食を抑制するとともに、樹木が根を張り巡らすことによって土砂の崩壊を防ぐ機能があるが、気候変動にともなう大雨の頻度増加、局地的な大雨の増加は確実視され、これらの機能を大きく上回るような極端な大雨に起因する外力が働いた際には、特に脆弱な地質地帯を中心として、山腹斜面の同時多発的な崩壊や土石流の増加が予想されている。⁴³¹⁰⁰²⁾ 特に、風化層が形成されやすい花崗岩山地では植生変化が崩壊の多発化につながりやすいことが指摘されている。⁴³¹⁰³²⁾ また、台風の強度の増加や強い台風の増加については不確実性が大きいですが、台風による大雨や強風によって発生する風倒木等は山地災害の規模を大きくする可能性が指摘されている。⁴³¹⁰⁰²⁾ また、気候変動による植生分布への影響として、ブナ林の適域の変化が予測され、温暖化の進行にともなう樹種の交代がスムーズに進行しない場合、若齢のその他の樹種に置き換わるため、一時的に樹木根系による支持効果が低下する可能性が指摘されている⁴³¹⁰³³⁾ が、根系の支持効果の樹種や樹齢による違いの定量的予測には今後さらに研究を進める必要がある。

(b) 土砂災害の変化

数十年～100年後にどの程度降雨条件が変わっているのかについては、種々のシナリオが示されており定量的な評価は難しいが、年最大日雨量や年最大時間雨量が現在よりも数十%増加するという予測も複数あり^{431028, 431034, 431035)}、土砂災害の増加については概ね一致した見解が示されていると考えられる。また、日本における将来の土砂災害の一般資産被害額を予測した研究によると、2050年期ではRCP2.6シナリオで126～137億円、RCP8.5シナリオで129～135億円となることが示され、2100年期では、RCP2.6シナリオで127～136億円、RCP8.5シナリオで133～143億円と示された。RCP2.6シナリオによる被害額に関しては2050年期と概ね変化はないが、RCP8.5シナリオの被害額は2100年期にかけて増加することが予測されている(複数の気候予測モデル情報を使用)。⁴³¹⁰³⁶⁾

そこで、降雨条件が厳しくなるという前提の下で状況の変化が予測されるものとして、以下の様なものが挙げられる。

- ① 観測史上最大となるような極めて激しい強度の降雨が増えることで、集中的な崩壊・土石流等が頻発し、山地や斜面周辺地域の社会生活に与える影響が増大する。
- ② 同時多発の土石流等が発生することなどで土砂移動現象の規模が計画を上回り、砂防施設等のハード対策の効果も相対的に低下し、被害範囲が拡大する。
- ③ 高降雨強度の大雨が広い範囲に長く継続することで、流域全体で多数の崩壊や土石流が発生し、また、洪水流量も大きくなることで生産土砂が下流域に運ばれ、土砂・洪水氾濫が発生する。このような大雨の頻度が高まれば、土砂・洪水氾濫の発生頻度も増加すると考えられる。また、崩壊性土すべりや不明瞭な谷地形における土石流のようなこれまで顕在化していなかった土砂移動現象による被害が生じるおそれがある。⁴³¹⁰³⁷⁾
- ④ 強雨の降り始めから短時間で災害が発生することで、警戒避難のためのリードタイムが十分確保できず、ソフト対策の効果が相対的に低下し、人的被害が増大する。
- ⑤ 累積雨量の大きな降雨が増えることで、深層崩壊等の大規模現象が増加し、直接的及び間接的（天然ダムの形成などによる）影響が長期化する。
- ⑥ 現象が大規模化、または、これまで顕在化しなかった土砂移動現象が顕在化⁴³¹⁰³⁷⁾することなどで、これまで把握されている土砂災害警戒区域等以外での発生も含め、被害が拡大する。
- ⑦ 河川への土砂供給量が増大することで、下流河道断面や河川管理施設等に影響を与え、治水・利水機能を低下させる。
- ⑧ 国内の森林蓄積の長期的な増大は崩壊発生や土壌侵食に抑制効果があるものの、極端な大雨により森林域で崩壊が発生すると、流木の流下による下流域への被害のリスクが増大する。花月川流域を対象とした流木発生ポテンシャル（流木発生源の特定の後、各斜面の林相区分から、針葉樹・広葉樹・竹林に区分して、斜面面積に種別の流木流出係数を乗じることで各斜面から発生しうる最大流木量）を評価した研究によると、平成24年7月九州北部豪雨規模（1時間雨量80mmの確率年を約40年）と200年規模を比較すると雨量は1.4倍であるが、流木ポテンシャルは2.8倍となっており、雨量の増加が流木発生量に影響することが示されている。⁴³¹⁰¹²⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

現在、日本で67万個所以上が土砂災害警戒区域等として把握されているが、それ以外の場所でも土砂移動現象は発生するものであり、さらに生産土砂は河川を通じて下流地域に流送されるため、人命・集落、交通、社会インフラ、自然生態系等への影響範囲は国土全体に及ぶ。また、過疎化・高齢化の進む中山間地、急傾斜地付近に立地する住宅地等は持続的な脆弱性・曝露の要素となり、地域の活力衰退の要因ともなり得る。

- 緊急性：【評価】高い

気候変動と土砂災害等の被害規模とを直接関連付けて分析した文献は多くないが、実際に大雨の出現頻度と土砂災害の発生数は増加傾向にあり、その連関性については疑う余地がない。既に多数の深層崩壊や同時多発型表層崩壊・土石流、土砂・洪水氾濫による大規模土砂災害が発生しており、今後も降雨条件（極端に降雨強度の大きい大雨及びその高降雨強度の長時間化、極端に総降雨量の大きい大雨、広域に降る大雨など）が厳しくなると仮定すれば、対応策が十分に採られていない土砂災害危険箇所等においては、大雨の出現による不可逆的直接被害が生ずる可能性が高まるのを待っている状態であることになり、被害発生の前に適切な対策を早急に推進する必要がある。

- 確信度：【評価】高い

土砂災害等の発生頻度や規模の増大は、降雨条件が厳しさを増すことに強く影響されるため、確信度は我が国における年最大日雨量・年最大時間雨量等の変化予測に依存するが、その増大傾向に関しては概ね一致した見解が示されている。また、近年の甚大な土砂災害をもたらした特徴のある降雨条件が気候変動によるものであれば、気候変動による土砂災害の形態の変化が既に発生しており、今後より激甚化することが想定される。

【その他】

(1) 強風等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に強風や台風の変化及び、それによって生じる被害を扱う。台風に伴い発生する高潮等の被害については、自然災害・沿岸域分野の各小項目で取り扱い、近年の災害による二次的な影響については、「3.8 分野間の影響の連鎖」でも整理する。

- 気候変動によって強い台風が増加し、台風による風倒木などの被害を増加させる可能性がある。
- 気候変動により強い竜巻を発生させるスーパーセル⁶³の発現頻度が高くなることで、竜巻が増加し、それに伴う被害が生じる可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 気候変動に伴う強風・強い台風の増加等とそれによる被害の増加との因果関係について、具体的に言及した研究事例は現時点で確認できていないが、気候変動が台風の最大強度の空間位置の変化や進行方向の変化に影響を与えているとする報告もみられる。
- 気候変動による竜巻の発生頻度の変化についても、現時点で具体的な研究事例は確認できていないものの、竜巻による被害として木造建築物が多く破損するといった被害が報告されている。
- 急速に発達する低気圧 (Explosive Cyclone) は長期的に発生数が減少している一方で、1 個あたりの強度が増加傾向にあることも報告されている。

気候変動に伴う強風・強い台風の増加等とそれによる被害の増加との因果関係について、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。ただし、これは強い台風等の発生が低頻度の現象であるため、気候変動との因果関係の議論が難しいためであり、これまでに生じた強風等の被害に気候変動の影響が無いことを必ずしも意味するものではない。台風の強度に関しては、最大強度の空間位置が変化⁴⁴¹⁰⁰¹⁾しており、台風の進路についても変化⁴⁴¹⁰⁰²⁾している可能性もある。また、気候変動による竜巻の発生頻度の変化についても、現時点で具体的な研究事例は確認できていないものの、2012年に北関東で発生した竜巻においては、木造建築物が多く破損し、筑波の工業団地では鉄筋コンクリート建造物の屋根材や窓ガラス等に深刻な被害を受けるなど、日本ではあまり見られていない被害が報告されている。⁴⁴¹⁰⁰³⁾

さらに、過去55年間に日本周辺で発生した急速に発達する低気圧 (Explosive Cyclone) を解析した結果によると長期的に発生数が減少している一方で、1 個あたりの強度が増加傾向にあるこ

⁶³ スーパーセル：巨大な積乱雲で強風や竜巻等激しい気象現象をもたらすもの。

とも報告されている。⁴⁴¹⁰⁰⁴⁾

(将来予測される影響)

〔概要〕

- RCP8.5 シナリオを前提とした研究では、21 世紀後半にかけて気候変動に伴って強風や熱帯低気圧全体に占める強い熱帯低気圧の割合の増加等が予測されているものの、地域ごとに傾向は異なることが予測されている。
- また、強い竜巻の頻度が大幅に増加するといった予測例もある。
- 現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、強い台風の増加等に伴い、中山間地域における風倒木災害の増大が懸念されている。

スーパーセルや竜巻の発生しやすさの指標について予測した報告（A1B シナリオを前提とした NHRCM による気候予測情報を使用）では、近未来（2015～2039 年）及び長期（2075～2099 年頃）ともに、沖縄・奄美を除き、すべての季節で当該指標が増加することが予測されている。⁴⁴¹⁰⁰⁵⁾

21 世紀後半において、北太平洋西部や日本周辺に來襲する熱帯低気圧の発生数は減少するものの、より強い熱帯低気圧の増加が予測されている（A1B シナリオを前提とした CMIP3 の気候予測モデルによる気候予測情報を使用）。⁴⁴¹⁰⁰⁶⁾

RCP8.5 シナリオを前提とし、日本周辺における熱帯低気圧の変化を調査した研究も行われている。強度に関しては、2075～2099 年における最大強度の増大が予測されており（AGCM20 による気候予測情報を使用）⁴⁴¹⁰⁰⁷⁾、発生頻度に関しては、将来気候においてより強い台風の発生が予測されている（MRI-AGCM3.2 による気候予測情報を使用）⁴⁴¹⁰⁰⁸⁾。また、2074～2087 年においては、スーパー台風⁶⁴⁾の強度も増大することが示唆されている（A1B シナリオを前提とした MRI-AGCM3.1 による気候予測情報を使用）。⁴⁴¹⁰⁰⁹⁾

大阪湾、伊勢湾、東京湾では、2075～2100 年において台風の発生頻度の減少や、より強い台風が上陸する確率の増加が予測されており（A1B シナリオを前提とした AGCM による気候予測情報を使用）⁴⁴¹⁰¹⁰⁾、熱帯低気圧の通過頻度を東日本と西日本で比較した研究では、東日本では増加、西日本では減少することが予測されている⁴⁴¹⁰¹¹⁾。

（50 年に一度といった極端な）高風速の発現頻度が大きくなるため、高風速による被害の発生率は上昇すると予測されている。⁴⁴¹⁰¹²⁾ また、RCP8.5 シナリオを前提とした 2075～2099 年における台風の平均風速は、九州で強くなり、東北で弱くなることも示されている（MRI-AGCM の気候予測情報を使用）。^{441013, 441014)}

竜巻強度の将来変化に関する研究によると、強い竜巻の頻度が大幅に増加することも予測されている（A1B シナリオを前提とした AGCM による気候予測情報を使用）。⁴⁴¹⁰¹⁵⁾

日本周辺における急速に発達する低気圧（Explosive Cyclone）の変化を予測した研究によれば、太平洋上を通過する数が減少するのに対して、日本海上を通過する数が増加することが有意な傾

⁶⁴⁾ 気象庁の「猛烈な」台風より強く Saffir-Simpson Hurricane Scale の 4 の上限付近から 5 に相当する。

向であることが報告されている。また、日本周辺域の急速に発達する低気圧 (Explosive Cyclone) の最低中心気圧の強度を解析した結果においては、日本沿岸域における強度や、台風並みに強い急速に発達する低気圧 (Explosive Cyclone) の割合が増加する傾向が示唆されている。⁴⁴¹⁰¹⁶⁾

台風に伴う強風による建物の被害率の変化に関する研究によると、温暖化時の将来気候では年最大風速の中央値が下がるため日本全体としては建物の被害率は下がる⁴⁴¹⁰¹⁷⁾が、日本海側で被害率の増加、太平洋側で被害率の減少が予測されている。⁴⁴¹⁰¹²⁾ 100年に1回、50年に1回発生する風速は、日本の南西部で増加する傾向があるのに対し、日本の北部/東部で減少する傾向が予測されており、⁴⁴¹⁰¹⁸⁾ 地域による差がみられる。また、台風の被害による影響を評価した研究では、被害額期待値が減少する傾向が予測されている (RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC3.2 の気候予測情報を使用)。⁴⁴¹⁰¹⁹⁾

国土交通省の審議会答申では、過疎化、高齢化が進む中山間地域において、管理の放棄等により森林の荒廃が進む中で、総雨量や短時間降雨強度の増大、台風の激化等による、風倒木災害の増大の懸念が言及されている。⁴⁴¹⁰²⁰⁾ その一方で、単一の台風の再現実験に基づき、北海道を対象に森林の風倒リスクを調査した場合には、北海道において風の強度が低下することから風倒リスクが減少する傾向を示している研究もある。⁴⁴¹⁰²¹⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済／環境

影響の範囲は全国に及ぶ。強風は、自然生態系、人間社会のインフラや家屋、資産、農林業、運輸、さらに竜巻や大型台風になれば、人命や人の健康等にも広く甚大な影響を及ぼす。ただし、低頻度の現象であるため、影響の発生確率が高まったとしても、実際の発生は偶然に左右される。

- 緊急性：【評価】高い

現時点で気候変動を要因とする強風・台風等の被害について述べた文献を確認できていない。ただし、これは強い台風等の発生が低頻度の現象であるため気候変動との因果関係の議論が難しいためであり、これまでに生じた強風等の被害に気候変動の影響が無いことを必ずしも意味するものではなく、台風の最大強度の空間位置の変化や進行方向の変化、これまで日本では見られなかった竜巻の被害も報告されている。近未来 (2015～2039年) 及び長期 (2075～2099年頃) にかけて影響が予測されている。

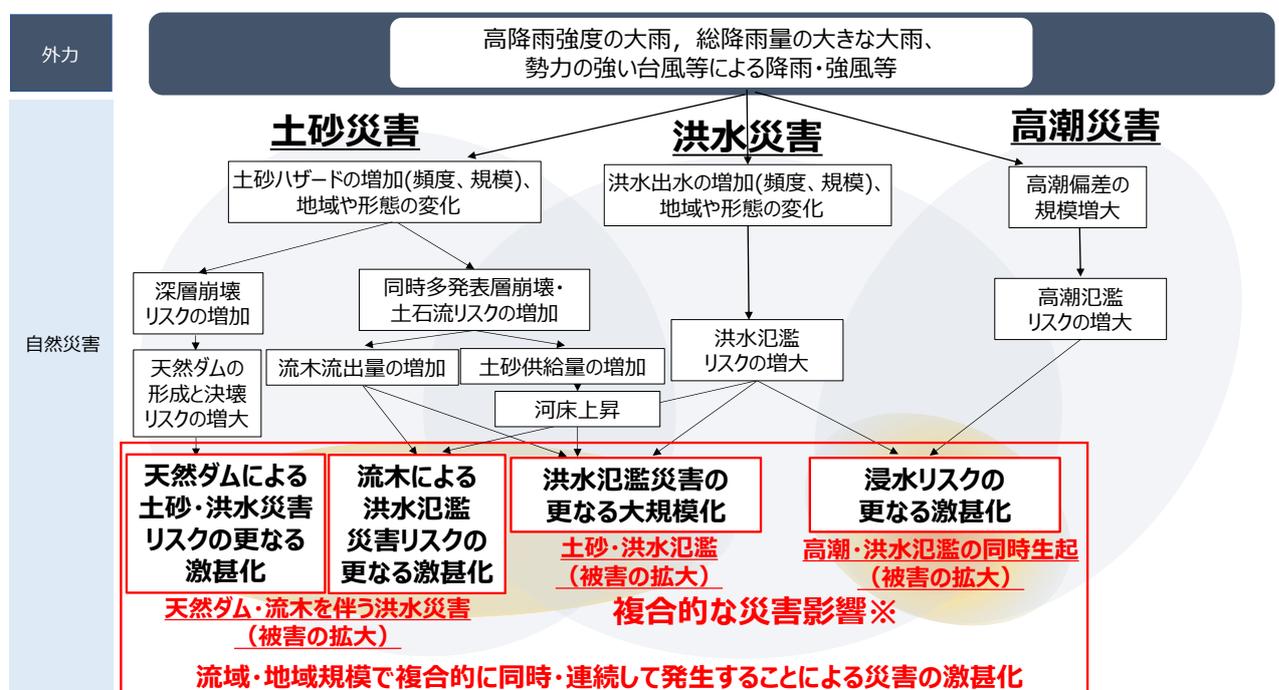
- 確信度：【評価】中程度

気候予測モデルやシナリオを用いた予測がなされており、強い台風の増加、高風速による被害の発生率の増加、竜巻頻度・強度の増加など、強風による影響の増加については比較的予測結果の傾向に一致がみられる。ただし、増加の程度や地域的・季節的分布は用いる気候予測モデルによって異なる恐れがあるため、不確実性が大きい。また、自然生態系に対する影響の予測が行われているものの、この研究では単一の台風の再現実験に基づく予測に限られているため、一般性の高い知見は得られていないことに留意する必要がある。

【複合的な災害影響】

自然災害・沿岸域分野では「河川」「沿岸」「山地」の3つの大項目で影響を整理してきたが、中でも平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨は、土砂災害と洪水氾濫という「河川」「山地」の両項目に関わる影響被害の深刻さを如実にあらわした。

複合的な災害とは、一般的にはあるハザードが別の要因により増幅された、あるいは、ある災害対策が別の要因によりその機能を発揮できなくなることを指す。別の要因としては地震や感染症、火山活動等が要因となることが想定されるが、この報告書では特に、気候変動との因果関係に着目し、「土砂災害と洪水氾濫、高潮と洪水氾濫など、複数の要素が相互に影響しあうことで、単一で起こる場合と比較して広域かつ甚大な被害をもたらす影響」を「複合的な災害影響」と定義する。災害の外力となる総降雨量の大きい大雨、勢力の強い台風などは、気候変動による発生頻度の増加が予測されている。複合的な災害影響の例を以下に示す。



※複数の要素が相互に影響しあうことで、単一で起こる場合と比較して広域かつ甚大な被害をもたらす影響

図 3-6 複合的な災害影響の例

なお、自然災害によるインフラ損傷・ライフラインの途絶による影響など、ある影響が分野・項目を超えてさらに他の影響を誘発することによる影響の連鎖や、異なる分野での影響が連続することにより、影響の甚大化をもたらす事象（分野間の影響の連鎖）については、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

現在の状況

平成29年7月九州北部豪雨では、広範囲にわたる斜面崩壊や土石流が直接的な災害の原因となったが、それに伴う多量の土砂が下流域に流出し、河川を埋め尽くすような河床上昇を引き起こすことで、甚大な洪水氾濫を助長する原因となった。このような崩壊・土石流等に起因する洪水

氾濫災害は流域規模で発生する土砂災害の一つの形態といえる。また、崩壊によって発生した多量の流木は、溪岸や河岸の樹木の流木化と合わさって、下流域の被害を拡大させた。⁴⁵¹⁰⁰¹⁾

平成30年7月豪雨は、これまでの前線や台風による大雨事例と比べ、特に2日間(48時間)から3日間(72時間)の降水量が記録的に多い地域が、普段は比較的雨の少ない中国・四国地方の瀬戸内海側も含め、西日本から東海地方を中心に広い範囲に広がっていたことが大きな特徴であり⁴⁵¹⁰⁰²⁾、11府県に特別警報が出され、災害として初めて特別非常災害に指定された。この豪雨には、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあったとされている。⁴⁵¹⁰⁰²⁾ 記録的な長時間の降雨に加え、短時間高強度の降雨も広範囲に発生したことにより、各地で洪水氾濫と内水氾濫が同時に発生するなど、西日本を中心に被害が発生した。この豪雨の際は、上流部で発生した土砂災害による大量の土砂が、継続する降雨により河川内に流入し続けたために、流速が比較的緩やかになる下流部に堆積して、河床上昇を引き起こすとともに、下流で土砂が氾濫したことにより、土砂・洪水氾濫が発生した。⁴⁵¹⁰⁰⁴⁾

令和元年東日本台風に伴う豪雨では、宮城県丸森町の内川、五福谷川、新川の平野部において土砂・洪水氾濫が発生した。五福谷川が最も顕著であり、河床の上昇、橋梁における流木の堆積が確認された。⁶⁵また、廻倉地区では不明瞭な谷地形において土石流が発生した。⁴⁵¹⁰⁰⁵⁾ 群馬県富岡市内匠地区においては、風化軽石層が斜面に沿って堆積(流れ盤状態の弱層)し、風化軽石層の上位は透水性の高い軽石や砂質火山灰土、下位は透水性の低い粘土の地質状況で、15~25度の比較的緩い斜面で崩壊性地すべりが発生した。⁶⁶

一方で、「河川」、「沿岸」の両項目に関わる影響として、洪水氾濫と高潮氾濫の同時生起に伴う影響被害が想定され、たとえば2018年台風第21号では淀川河口がそれを彷彿させる状況にはなかったが⁴⁵¹⁰¹⁰⁾、そのような影響被害の実例報告は今のところ確認されていない。

2018年台風第21号による保険金支払額は1兆円を超えており⁶⁷、保険会社等からなる損害保険料率算出機構からは、自然災害による保険金支払いが増加していることや気候変動研究の成果から、火災保険の契約期間の最長年数を35年から10年に引き下げていることも報告されている。

^{451006, 451007)}

将来予測される影響

土砂災害と洪水氾濫の複合的な災害である土砂・洪水氾濫や、深層崩壊の増加については、将来の可能性や予測に言及した研究知見がある。

総降雨量の大きい大雨や数時間続く高降雨強度の大雨の発生頻度に増加傾向がみられ、このような大雨による土砂災害の激甚化が予想されている。また、土砂災害の形態・様相そのものの変化も懸念されている。例えば、これまで我が国では、土砂災害は深層崩壊によるものも発生しているが表層崩壊によるものが多かった。しかし、今後、総降雨量の大きな降雨頻度の増大により

⁶⁵ 令和元年10月宮城県丸森町における土砂・洪水氾濫等
(https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo/200108/04shiryo2.pdf)

⁶⁶ 令和元年10月群馬県富岡市内匠地区における崩壊性地すべり

⁶⁷ 風水害等による保険金の支払い (https://www.sonpo.or.jp/report/statistics/disaster/ctuevu000000530r-att/c_fusuigai.pdf)

深層崩壊が増えると大規模な崩壊による被害に加え、それが河川を堰き止め天然ダムを形成し、その後決壊すると土石流等による被害が拡大するとともに、下流部における河床上昇により甚大な洪水被害をもたらす。また、広範囲に同時多発する表層崩壊・土石流の発生頻度の増加も予想される。これらの崩壊により供給された大量の土砂は河床上昇に伴う土砂・洪水氾濫を引き起こし、二次災害や下流の貯水池堆砂の急速な進行をもたらす。さらに、深層崩壊・表層崩壊・土石流の増加の増加に伴い流木量が増加し、家屋等への直接的被害、橋梁部等への集積・閉塞が洪水氾濫の新たな原因となる可能性がある。⁴⁵¹⁰⁰¹⁾

将来の潜在的な土砂災害の数を評価した研究によると、表層崩壊は 21 世紀末に現在と比較して 20%増加し、深層崩壊は 30%増加することが予測されている。⁴⁵¹⁰⁰⁹⁾

洪水氾濫と高潮氾濫の複合的な災害影響についても、将来の可能性や予測に関する研究知見がある。

気候変動により勢力の強い台風の出現頻度の増加が予測され、また、将来の河川における治水計画規模に相当する降雨量の変化倍率は 1.1～1.15 倍と試算されており、高潮と洪水が同時生じた場合には、被害が拡大することが想定される。⁴⁵¹⁰⁰⁴⁾

また、洪水と高潮が同年もしくは同日に発生する複合災害において、将来気候下の複合災害の年期待被害額は、2050 年気候で約 1.1～1.2 兆円、2100 年気候で約 1.2～1.4 兆円となる。被害額はそれぞれ 1.4～1.5 倍、1.5～1.8 倍となることから、将来にかけて複合災害被害額は大きく増加することが予測されている。⁴⁵¹⁰⁰⁸⁾

以上のような将来予測に関する知見や現在の状況を踏まえ、自然災害分野での土砂災害・洪水氾濫・高潮氾濫の複合的な災害影響の可能性についてまとめる。

極端な大雨（総降雨量の大きい大雨や数時間続く高降雨強度の大雨、局所的に長時間にわたり停滞する線状降水帯による大雨）は、流域に表層崩壊や土石流をもたらし、これが河床の上昇に伴う土砂・洪水氾濫、流木量の増加につながる。また、表層崩壊に加え深層崩壊も予測され、これは天然ダムの形成につながる。こうした事象が下流域の洪水氾濫の拡大を助長する。また、これらが同時多発的に起きれば影響被害はさらに拡大する。

一方、洪水氾濫と高潮氾濫については、同時生じた場合の被害予測の研究例⁴⁵¹⁰⁰⁸⁾はあるもののこれまでに実際に起きた事例報告はない。しかし、このような影響被害の可能性も全くないとは言えず、今後は視野に入れていく必要性が指摘されている。さらに言えば、地理的条件次第では、土砂災害・洪水氾濫・高潮氾濫の全てが同時に起きることを想定しなければならない地域もありうる。

3.5 健康

健康分野における気候変動による影響の概略は、図 3-7 に示すとおりである。

気候変動による気温上昇は熱ストレスを増加させ、熱中症リスクや暑熱による死亡リスク、その他、呼吸器系疾患等の様々な疾患リスクを増加させる。特に、暑熱に対して脆弱性が高い高齢者で影響が顕著である。加えて、気温上昇は感染症を媒介する節足動物の分布域・個体群密度・活動を変化させ、節足動物媒介感染症の流行地域や患者発生数に影響を及ぼす可能性がある。また、外気温の変化は水系・食品媒介性感染症やインフルエンザのような感染症類の流行パターンを変化させる。猛暑や強い台風、大雨等の極端な気象現象の増加に伴い自然災害が発生すれば、被災者の暑熱リスクや感染症リスク、精神疾患リスク等が増加する可能性がある。

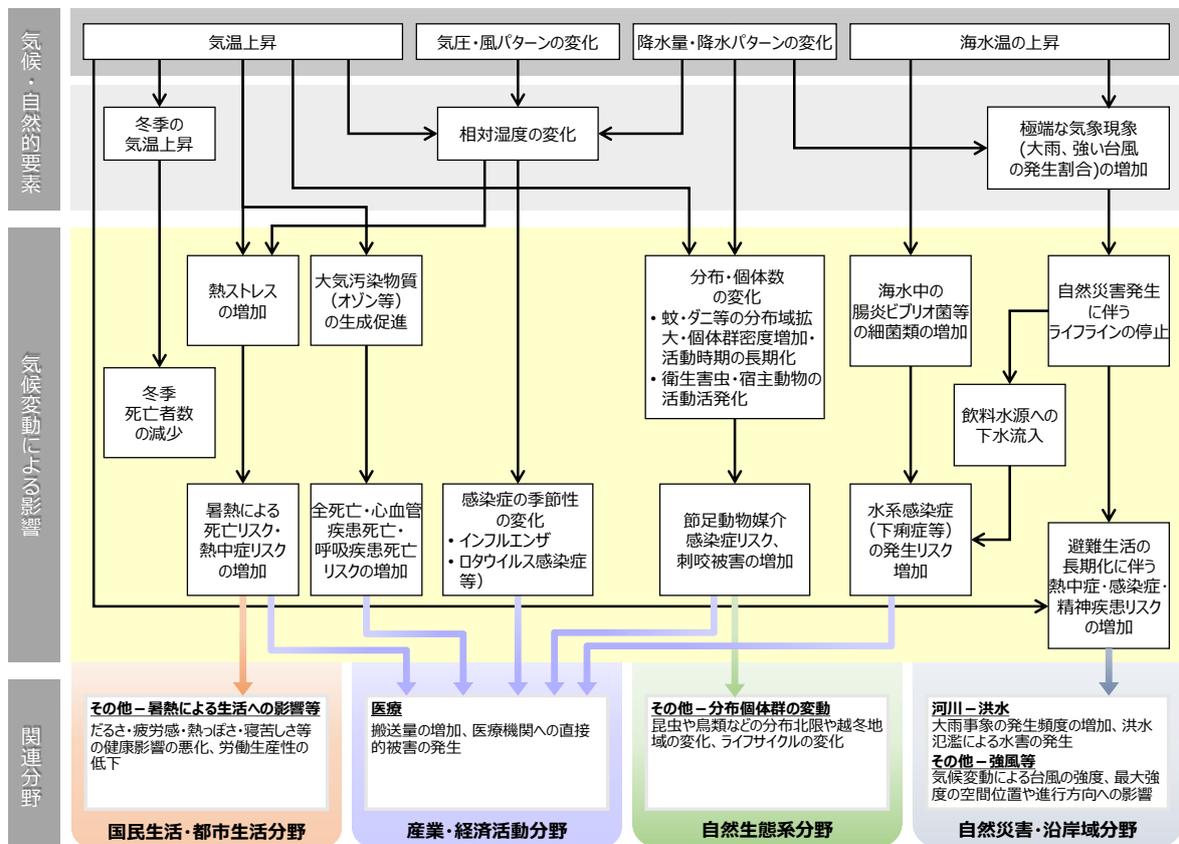


図 3-7 気候変動により想定される影響の概略図（健康分野）⁶⁸

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、健康分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 178 件の文献（現状影響 135 件、将来影響 42 件、両方 1 件）を引用しており、このうち、前回の影響

⁶⁸ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される健康分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか健康分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の2段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

評価から新たに追加された文献は 170 件である。全ての小項目で文献が増加している。

前回の影響評価からの構成上の主な変更点として、「その他」の大項目について、取り扱う知見が増えたことから「温暖化と大気汚染の複合影響」「脆弱性が高い集団への影響（高齢者・小児・基礎疾患有病者等）」「その他の健康影響」の 3 つの小項目を新たに設けて分類することとした。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

高齢者を中心に暑熱による超過死亡が増加傾向にあることが報告されている。また熱中症については、年によってばらつきはあるものの、熱中症による救急搬送人員・医療機関受診者数・熱中症死者数が増加傾向にある。2018 年には熱中症による救急搬送人員が、調査開始以降、過去最多を記録し 9 万 5 千人を超えた。この年の熱中症による死者数は 1,500 名を超えており、死者数の 8 割以上は高齢者であった。高齢者への影響は大きいものの、真夏日・猛暑日の増加に伴い、若年層の屋外活動時の熱中症発症リスクも高くなっている。暑熱による影響は、睡眠の質の低下やだるさ、疲労感などの身体機能の低下や心身ストレスなどの健康影響にもおよぶ。

加えて、外気温の変化に伴い、感染性胃腸炎やロタウイルス感染症、下痢症などの水系・食品媒介性感染症、インフルエンザや手足口病などの感染症類の発症リスク・流行パターンの変化が新たに報告されている。節足動物媒介感染症については、気温上昇が節足動物の分布域・個体群密度・活動を変化させ、感染者の移動も相まって、国内での感染連鎖が発生することが危惧される。

将来予測される影響

気温上昇により熱ストレスが増加し、特に高齢者の熱中症リスクが増加することが予測されている。水系・食品媒介性感染症については、気温上昇に伴い、21 世紀末にかけて日本全国で下痢症の罹患率が低下することが予測されている。また、気温上昇に伴い、これまで侵入・定着がされていない北海道南部でもヒトスジシマカの生息が拡大する可能性や、日本脳炎ウイルスを媒介する外来性の蚊の鹿児島県以北への分布域拡大の可能性などが新たに指摘されている。また、温暖な地域を好むマダニ種が東北地域で報告され、さらに海外から持ち込まれるマダニの国内定着の可能性も想定される。2030 年代までの短期的には、温暖化に伴い光化学オキシダント・オゾン等の汚染物質の増加に伴う超過死者数が増加するが、それ以降は減少することが予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

健康分野での影響は、暑熱による熱中症患者の発生や超過死亡の発生、感染症の発生など、影響の範囲が全国に及ぶ可能性があるものが多い傾向にある。その影響が社会的に大きい、あるいは人命損失への影響につながる小項目については、重大性は「特に重大な影響が認められる」、緊急性は「高い」と評価された。

「水系・食品媒介性感染症」「その他の感染症」については、前回の影響評価では十分な研究がないとして「現状では評価できない」と評価されていたが、知見が増えたため重大性・緊急性・確信度の評価が上方修正された。ただし、依然として研究対象とされる感染症類が限定的であり、重大性は「特に重大な影響が認められる」との評価までは至っていない。

重大性の評価が「特に重大な影響が認められる」とは言えない、あるいは緊急性の評価が「中程度」とされた項目であったとしても、対策が遅れることによって、社会・経済的損失が格段に大きくなる可能性がある点については十分に留意する必要がある。

※人の健康に対しては、気候変動だけでなく、グローバル化に伴う膨大な人と物の移動、土地開発に伴う自然環境の著しい変化など、さまざまな要因が関与している。気候変動による影響を評価する際にはそのような他の多様な要因も存在していることを理解したうえで影響評価を検討する必要がある。

【冬季の温暖化】

(1) 冬季死亡率等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、極端な寒さによる死亡リスクや冬季の気温の上昇に伴う死亡率が低下を取り扱う。

- 気候変動による冬季の平均気温の上昇は、冬季の死亡者数を低下させる可能性がある。ただし、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加する予測もされている。
- 極端な低温環境では、高温環境に比して死亡リスクや救急搬送リスクが高い。影響は低温発生日から遅れて発現し、長期間（10日間前後）継続する傾向にある。

(現在の状況)

[概要]

- 冬季の気温の上昇に伴い冬季死亡率が低下しているという具体的な研究事例は現時点では確認できていない。
- 一方、低温による死亡者数・死亡率については、1990年代以降国内で増加傾向にあり、特に高齢者で増え、若年～中年者で減少傾向にある。
- 近年、暑熱に対する相対危険度⁶⁹は低下している一方、低温に対する相対危険度は増加傾向にあり、極端な低温環境下では、全疾患や循環器病（脳卒中や院外心停止、心筋梗塞）、呼吸器系疾患のリスクが増加する可能性が報告されている。

現時点で収集された文献からは、温暖化による冬季死亡率の低下が既に生じているとの報告は確認できていない。一方で、低温と死亡・疾患との関係を報告する文献が確認できる。

低温による死亡者数・死亡率については、1990年代以降国内で増加傾向にあり、特に高齢者で増え、若年～中年者で減少傾向にあることが報告されている。⁵¹¹⁰⁰¹ また極端な高温環境下に比べて、極端な低温環境の方が死亡リスクや救急搬送リスクが高く^{511002, 511003, 511004, 511005, 511006, 511007, 511008}、影響は低温発生日から遅れて発現し、長期間(10日間前後)継続することが報告されている⁵¹¹⁰⁰⁵。

低温と疾患との関係については、2010年代に暑熱に対する相対危険度は低下している一方、低温に対する相対危険度は増加傾向にあること、⁵¹¹⁰⁰⁹ 極端な低温環境では全疾患や循環器病（脳卒中や院外心停止、心筋梗塞）、呼吸器系疾患のリスクが増加する可能性が報告されている^{511010, 511011, 511012, 511007, 511013, 511014, 511015, 511016, 511017, 511018}。

他方、国外を対象とした文献ではあるが、低温環境は冠状動脈硬化などの心血管疾患と関連がある可能性が示されている。^{511019, 511020, 511021} 一方で、心血管疾患による突然死は、冬季よりも、気温の変動の大きい秋季に多いという報告もあり、⁵¹¹⁰²² 室温の調整や適切な冠状動脈硬化の予防を行うことが必要となる。

⁶⁹ 相対危険度：ある原因により、それを受けた個人の疾病リスクが何倍高まるかを表す指標をいう。

(将来予測される影響)

[概要]

- 国内の冬季の平均気温は、RCP4.5シナリオの場合、2030年代に、全国的に2000年代よりも上昇し、全死亡（非事故）に占める低温関連死亡の割合が減少することが予測されている。一方、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加することが予測されている。
- 全球を対象とした予測でも、RCP8.5シナリオにおいて、日本を含む東アジアで、気温の上昇に伴い、低温関連死亡が2010年代に比して減少することが予測されている。

1970年代、2000年代、2030年代の関東及び日本のメッシュ別の気温データ、死亡推定数、低温に曝露されることによる健康影響の推定値を用いて低温関連死亡数等を予測した研究によれば、RCP4.5シナリオを前提としたNICAMモデルによる予測情報を用いた場合、2030年代の冬季の平均気温は全国的に2000年代よりも上昇し、全死亡（非事故）に占める低温関連死亡の割合は全国的に減少する。一方、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加し、都市部で多くみられる。⁵¹¹⁰²³⁾

全球を対象とした、4つのRCPシナリオを前提としたISI-MIPの5つの気候モデルによる予測結果では、RCP8.5シナリオの場合、現状で低温による超過死亡率が高い北ヨーロッパ、東アジア、オーストラリアでは、気温の上昇により、低温による超過死亡率が2010年代の7.4～8.7%から2090年代には3.7～5.9%に減少することが予測されている。⁵¹¹⁰²⁴⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

現在の状況として、低温による死亡が特に高齢者で増加傾向にあり、極端な高温環境下に比べ、極端な低温環境の方が死亡リスクや救急搬送リスクが高くなることが報告されている。しかし、超過死亡に占める割合は、それら極端な寒暑よりも穏やかな寒冷によるものの方が大きい。一方で、気温と死亡リスクとの関連が一定という仮定の下での将来予測においては、気温上昇に伴い、全死亡（非事故）に占める低温関連死亡の割合が減少することが予測されている。ただし、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加する予測もされており、冬季の温暖化により人命損失の総数が増えるか減るかは分かっていない。

- 緊急性：【評価】中程度

既に気候変動による冬季死亡率の低下が顕在化しているかどうかについては、既往の知見が確認できていない。2030年代に冬季死亡率が低下することが予測されている一方、現状・将来ともに高齢者の低温関連死亡が増加することが報告されている。

- 確信度：【評価】中程度

気候変動による冬季死亡率の低下が顕在化しているかどうかの報告は確認できないが、

低温関連の死亡や低温に起因する疾患の増加傾向が複数報告されている。将来予測については、研究・報告数は限定的であるが、気候予測モデル（NICAMモデルやISI-MIPの5つのモデル）を使用した定量的予測で、東アジアでは21世紀末にかけて高温による超過死亡率は上昇するが、低温による超過死亡率は低下することが予測されている。

【暑熱】

(1) 死亡リスク等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、暑熱による影響のうち死亡リスクを扱う。国民生活・都市生活分野の「その他―暑熱による生活への影響等」では熱ストレス・睡眠阻害、暑さによる不快感等を主な対象として取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、熱ストレスの生理学的影響により、熱中症を増加させ、また心血管疾患や呼吸系疾患を持つ患者、高齢者の死亡と関連している可能性がある。間接的には、気温上昇に伴う光化学オキシダント濃度の上昇による呼吸器・循環器病などによる死亡リスクを増加させる可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 日本全国で気温上昇による超過死亡（直接・間接を問わずある疾患により総死亡がどの程度増加したかを示す指標）の増加傾向が確認されている。
- 特に高齢者の超過死亡者数が増加傾向にあるが、15歳未満の若年層においても、気温の上昇とともに外因死が増加する傾向にあることが報告されている。
- 気温上昇により自殺件数が増加すること、日中の気温差は心血管疾患や高齢者の死亡数が多いことと関連している可能性を報告する文献もある。

日本全国で気温上昇による超過死亡の増加傾向が報告されている。具体的には、気温上昇により、高齢者の超過死亡者数・熱中症による死亡者数が増加傾向にあること^{521001, 521002, 521003, 521004, 521005, 521006}、特に相対的に寒冷な地域で、高齢者死亡率が顕著に上昇していることが確認されている⁵²¹⁰⁰⁷。高齢者だけでなく、15歳未満の若年層においても、気温の上昇とともに熱ストレスによる死亡が増加する傾向にあること⁵²¹⁰⁰³、暑熱に起因した死亡は所得などの要因にも関係することが報告されている^{521008, 521009}。

日本を含む複数国を対象とした調査では、極端な高温・低温により、少なくとも1年間分の寿命が短縮されている可能性を指摘する文献もみられる。⁵²¹⁰¹⁰ 暑熱による死亡リスクの時間的特徴として、晩夏よりも初夏にリスクが大きいこと、⁵²¹⁰¹¹ 低温による超過死亡は時間差を置いて発現し、長期間継続（10日間前後）するが、高温による影響は即座に発現し、短期間（1～2日間）で収束することが報告されている⁵²¹⁰¹²。一方で、社会経済の発展に伴い、人の暑熱に対する脆弱性が低減されているといった報告もある。^{521013, 521014, 521015}

この他、気温上昇による自殺件数の増加や、^{521016, 521017, 521018} 日中の気温差が心血管疾患や高齢者の死亡数が多いことと関連している可能性を報告する文献もある⁵²¹⁰¹⁹。

(将来予測される影響)

〔概要〕

- 日本を含む複数国を対象として研究では、将来にわたって、気温上昇により心血管疾患による死亡者数が増加すること、2030年・2050年に暑熱による高齢者の死亡者数が増加することが予測されている。
- さらに、日本を含む東アジア地域では、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオのいずれのシナリオにおいても、今世紀末にかけて暑熱による超過死亡者数が増加することが予測されている。
- 一方で、日本を含む複数国を対象とした研究では、気温上昇を2°C未満に抑えることで、気温に関連した死亡の大幅な増加を抑制することが可能となると報告されている。

IPCC 第5次評価報告書では、将来における気候変動の主要なリスクの一つとして、特に脆弱な都市住民及び都市域又は農村域の屋外労働者についての、極端な暑熱期間における死亡及び罹病のリスクを挙げている。⁵²¹⁰²⁰⁾

日本を含む複数国を対象とした研究では、将来にわたって、気温上昇により心血管疾患による死亡者数が増加すること、⁵²¹⁰²¹⁾ 日本を含む高所得アジア太平洋地域でも、SRES A1Bシナリオにおいて、2030年・2050年に気候変動によって高齢者の熱関連超過死亡者数が増加すること、⁵²¹⁰²²⁾ RCP 2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオのいずれのシナリオにおいても、今世紀末にかけて、日本を含む東アジア地域で暑熱による超過死亡者数が増加することが予測されている⁵²¹⁰²³⁾。気温上昇だけでなく、日中の気温差が死亡率に寄与することも指摘されている。⁵²¹⁰²⁴⁾

日本を対象に、目標とする安定化レベル別のシナリオに基づき熱ストレスによる死亡リスクの変化を予測した研究(450sシナリオ、BaUシナリオを前提としたMIROC3.2-hiresによる気候予測情報を使用)によれば、死亡リスクは今世紀中頃(2050年代)には約1.8倍、約2.1倍、約2.2倍と比較的小さな差にとどまるが、今世紀末(2090年代)には約2.1倍、約2.8倍、約3.7倍に達することが示されており、中国・四国・九州地方がいずれの安定化レベルにおいても最も高いリスクの変化を生じるとされている。⁵²¹⁰²⁵⁾ さらに、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオを用い、全年齢を対象にして、2031～2050年及び2081～2100年(2010年基準)の超過死亡数を計算した研究(MIROC5等複数モデルを使用)によれば、熱ストレス超過死亡数は、将来期間、RCP、年代によらず、すべての県において2倍以上となる。⁵²¹⁰²⁶⁾

また、日本全国を対象に、熱ストレスによる死亡リスク増加を容認するための受取補償額(被害を甘受するために支払ってほしい金額)をもとに統計的生命価値(死亡リスクを回避するために支払ってもよいと考える金額)を算出した研究では、近い将来水準(2031～2050年)での統計的生命価値は0.688万円から6.772億円、遠い将来水準(2081～2100年)では0.411万円から2.546億円と推計されている。⁵²¹⁰²⁷⁾

一方で、日本を含む複数国を対象とした研究では、気温上昇を2°C未満に抑えることで、気温に関連した死亡の大幅な増加を抑制することが可能となることが報告されている。⁵²¹⁰²⁸⁾

(重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会

国内で気温上昇による超過死亡の増加傾向が確認されている。影響の範囲は全国に及び、人命損失への影響に直接つながるものである。

- 緊急性：【評価】高い

既に気温上昇による超過死亡の増加傾向が確認されており、将来においても増加が予測されている。人命損失に関わる影響であり、可能な限り早く対応・意思決定が必要である。

- 確信度：【評価】高い

研究・報告は複数みられ、熱ストレスによる死亡リスクの増加という予測の傾向には一致がみられる。気候モデル等を使用した定量的予測等も含まれる。

(2) 熱中症等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、暑熱による影響のうち熱中症リスクを扱う。「3.7. 国民生活・都市生活」の「その他－暑熱による生活への影響等」では熱ストレス・睡眠障害、暑さによる不快感等を主な対象として取り扱う。また、災害による被災者の熱中症リスクについては、「3.8 分野間の影響の連鎖」において、近年の被害実態を取り扱う。

- 夏季の気温の上昇は、熱中症患者発生数を増加させる可能性がある。特に高齢者は、その影響がより深刻となる可能性がある。

(現在の状況)

[概要]

- 年によってばらつきはあるものの、熱中症による救急搬送人員、医療機関受診者数・熱中症死亡者数の全国的な増加傾向が確認されている。
- 年齢階級別では、高齢者の熱中症による救急搬送人員・熱中症死亡者が多く、住宅内で多く発症し、重症化しやすい傾向にあることが報告されている。また、若・中年層では、屋外での労働時・スポーツ時に発症することが多いことが報告されている。
- 高温による労働効率への影響については、国内の報告は限られている。

全国各地で WBGT の上昇傾向が報告されている。^{522001, 522002} それに伴い、年によってばらつきはあるものの、熱中症による救急搬送人員、^{522003, 522004, 522005, 522006, 522007} 医療機関受診者数、⁵²²⁰⁰⁸ 熱中症死亡者数^{522009, 522010, 522011, 522007} の増加傾向が報告されている。2018 年の夏季の全国における熱中症による救急搬送人員数の合計は 9 万 5 千人を超えており、2008 年の消防庁の調査開始以来、過去最多を記録した。⁵²²⁰¹² この年の熱中症による死亡者数は 1,500 名を超えており、死亡者の 8 割以上が 65 歳以上の高齢者であった。⁵²²⁰¹³ 東京都においても全国と同様の結果が報告されている。⁵²²⁰¹⁴ なお、気候モデルを用いて、温暖化した気候状態と温暖化しなかった気候状態を比較した結果、温暖化がなければ、2018 年 7 月のような猛暑は起こりえなかったことが明らかとなっている。⁵²²⁰¹⁵

年齢階級別に過去からの熱中症の傾向をみると、65 歳以上の高齢者の熱中症による救急搬送人員・熱中症死亡者が多く、住宅内での熱中症発症も多いこと、発症した場合、症状が重症化しやすいことが確認されている。^{522003, 522009, 522008, 522016, 522011, 522017, 522007, 522018, 522019, 522020, 522012}

高齢者だけでなく、炎天下で仕事・スポーツ等の活動する若・中年層での熱中症発症も多数報告されている。^{522003, 522021, 522005, 522023} 若年層では、真夏日・猛暑日の増加により、屋外での運動に配慮を要する日が多数発生しており^{522024, 522025}、学校管理下での熱中症死亡のほとんどが体育活動中に発生していることも報告されている⁵²²⁰²²。

また、時期的な傾向として、暑熱環境に慣れていない 7 月に熱中症の発生件数が増加することも指摘されている。⁵²²⁰²⁶

その他、所得や社会的地位等の社会・経済条件と熱中症発生リスクの相関性を報告する文献もみられる。[522027](#), [522028](#))

(将来予測される影響)

- 気温上昇に伴い、日本各地で WBGT が上昇する可能性が高い。
- これに伴い、2090 年代には、東京・大阪で日中に屋外労働可能な時間が現在よりも 30～40%短縮すること、屋外労働に対して安全ではない日数が増加することが予測されている。また、屋外での激しい運動に厳重警戒が必要となる日数が増加することが予測されている。
- 熱中症発生率の増加率は、2031～2050 年、2081～2100 年のいずれの予測も北海道、東北、関東で大きく、四国、九州・沖縄で小さいことが予測されている。RCP 4.5 シナリオを用いた予測では、東京都 23 区と仙台市では 2050 年代に、2000 年代と比較して熱中症リスクが 2.4 倍増加するとされている。
- 年齢別にみると、熱中症発生率の増加率は 65 歳以上の高齢者で最も大きく、将来の人口高齢化を加味すれば、その影響はより深刻と考えられる。

IPCC 第 5 次評価報告書では、将来における気候変動の主要なリスクの一つとして、小児・高齢者などの特に脆弱な都市住民及び都市域・農村域の屋外労働者についての、極端な暑熱期間における死亡及び罹病のリスクを挙げている。[522029](#)) 国内では、気候モデルを使用して、日本各地で気温上昇に伴う WBGT の上昇を予測した文献が多数確認されており、[522030](#), [5220311](#), [522032](#), [522033](#), [522034](#), [522035](#)) SRES A1B シナリオに基づく予測では、2090 年代には、東京・大阪で日中に屋外労働が可能な時間が現在よりも 30～40%短縮し、8 月には 3 分の 2 の日数が重労働に対して安全ではない WBGT となることが予測されている。[522032](#))

RCP 4.5 シナリオに基づく予測では、今世紀末までに、全国各地で WBGT の最低値が上昇し、東京以西では 8 月の日中、「熱中症予防のための運動指針 (日本スポーツ協会)」が規定する「ほぼ安全」なレベル (熱中症の危険性は少ないが、激しい運動や重労働時には注意が必要) に相当する WBGT が 21℃以下の日がなくなること、西日本では、WBGT が 31℃以上になるため「原則運動中止」となる日数が 8 月中 20 日を越えることが予測されている。[522030](#)) また、過去の夏季の気温の統計データを使用して東京 2020 オリンピック競技大会の熱中症リスクを予測した文献が複数見られ、[522036](#), [522037](#), [522038](#)) 例えば、マラソンコースで WBGT が「熱中症予防のための運動指針」が規定する「厳重警戒 (激しい運動は原則中止)」レベルとなる可能性が指摘されている [522037](#))。将来の熱中症患者発生率を予測した研究 (MIROC を使用) によれば、2031～2050 年、2081～2100 年の熱中症発生率は、九州、関西、愛知、首都圏が高く、北海道、東北、中部・東海・北陸が低い傾向がみられ、一方、現在との比較 (対 1981～2000 年比) では、現在発生率の高い地域ほど増加率は低く、現在発生率の低い地域ほど増加率は高い結果となることなどが示されている。増加率は、発生率以上に地域差が明確で、北海道、東北、関東で大きく、四国、九州・沖縄で小さい結果となっ

ている。また、2031～2050年、2081～2100年の増加率を年齢別にみると、65歳以上の高齢者で最も大きく、将来の人口高齢化を加味すれば、その影響はより深刻と考えられる。⁵²²⁰³⁹⁾ 適応政策に応じた影響量及び適応策の効果を評価した研究においても、熱中症搬送者数は、21世紀半ばのRCP8.5シナリオを前提とした4つのGCMモデルによる予測情報を用いた場合、四国を除き2倍以上を示す県が多数となり、21世紀末では、RCP2.6シナリオを除きほぼ全県において2倍以上の搬送者数になると見積もられている。⁵²²⁰⁴⁰⁾

地域を対象とした影響予測も見られる。RCP4.5シナリオに基づくMIROC4hを使用した予測では、2030年代に東京都（特に沿岸部）及び仙台市でWBGTの上昇に伴い、熱中症が増加すること、^{522034, 522035)} 同じくRCP4.5シナリオに基づいて複数の気候モデルを使用した予測では、東京都23区と仙台市では2050年代に、2000年代と比較して熱中症リスクが2.4倍増加することが予測されている⁵²²⁰⁴¹⁾。東京23区を対象に熱中症リスクを予測した調査では、21世紀中頃には現状と比較して、RCP2.6シナリオで1.3～2.9倍、RCP8.5シナリオで1.5～3.7倍、熱中症リスクが増加し、21世紀末には現状と比較して、RCP2.6シナリオで1.4～3.3倍、RCP8.5シナリオで3.2～13.5倍増加することが予測されている。⁵²²⁰⁴²⁾ さいたま市を対象に熱中症リスクを予測した調査では、21世紀中頃には最大約1.4倍、21世紀末には最大約1.6倍、熱中症リスクが増加することが予測される（MRI-CGCM3 RCP2.6シナリオ・RCP8.5シナリオによる予測）。⁵²²⁰⁴³⁾ 福岡市を対象とした予測では、夏季の平均気温の上昇に伴い、21世紀末の熱中症リスクは現在の3～4倍になること、都市のヒートアイランド現象により、都市部での熱中症リスクが住宅地の1.2倍になることが予測されている（MRI-NHRCM02 RCP8.5による予測）。⁵²²⁰⁴⁴⁾ 大阪市を対象とした予測では、WBGT値の増加に伴い、21世紀末には熱中症搬送者数が現在と比較して3倍以上になることが予測されている（MRI-ACGCM3.2 by 創生プログラム、RCP8.5による予測）。⁵²²⁰⁴⁵⁾

SRES A1Bシナリオに基づいて、熱中症や暑熱による睡眠障害を回避するための支払意思額を予測した事例では、2070年代8月の支払意思額は1970年代の2倍程度、2000年代の1.5倍程度になることが予測されている。⁵²²⁰⁴⁶⁾

（重大性・緊急性・確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会

年によってばらつきはあるものの、熱中症による救急搬送人員・医療機関受診者数・死亡者数は全国的に増加傾向にある。患者数の増加は人命損失につながるものであり、また患者の搬送・受入れに必要な医療機関等への社会的な影響も大きい。

- 緊急性：【評価】高い

既に全国的に熱中症による救急搬送人員・死亡者数の増加傾向が確認されており、将来においても増加が予測されている。人命にも関わる影響であり、できるだけ早く対応・意思決定が必要である。

- 確信度：【評価】高い

救急搬送患者数・死亡数（人口動態統計）・医療機関受診者数で熱中症患者数の発生（率）

の増加傾向には一致がみられる。

予測に用いられた温度・影響関数については複数の研究者による研究(救急搬送患者数)でほぼ同様の結果が得られていることに加えて、死亡データにおいても類似の傾向が見られており信頼性は高い。また、気候モデルについても国際的に確立したものが複数使われており信頼性は高い。

【感染症】

(1) 水系・食品媒介性感染症

(気候変動による影響の要因)

ここでは、水や食物などの媒介物をとおして発生する感染症リスクを取り扱う。

- 気候変動による海水温や淡水温の上昇は、海水中や淡水中の細菌類を増加させ、水系感染症のリスクを増加させることが想定される。
- 気温の上昇は、食品の加工・流通・保存・調理の各過程において食品の細菌汚染・増殖を通して、食品媒介性感染症のリスクを増加させることが想定される。

(現在の状況)

- 海水表面温度の上昇により、夏季に海産魚介類に付着する腸炎ビブリオ菌数が増加する傾向が日本各地で報告されている。
- 外気温と感染性胃腸炎のリスクの間に相関性があることが報告されており、外気温上昇により、ロタウイルス流行時期が日本各地で長期化していることが確認されている。一方で、外気温が低下すれば、急性下痢発生率が増加することを報告する文献もある。

近年、温暖で閉鎖性の高い汽水域に多く分布するビブリオ・バルニフィカス菌による感染症が、九州地方で比較的多く報告されている。この菌は下痢・腹痛や皮膚疾患等を起こすもので、海水表面温度及び塩分濃度と菌数には正の相関があり、海水表面温度が20℃以上になると検出数が増加するが、この20℃の北限線は近年北上する傾向がみられる。^{531001, 531002} 同様に、海水表面温度の上昇により、夏季に海産魚介類に付着する腸炎ビブリオ菌数が増加する傾向が日本各地で報告されている。^{531003, 531004, 531005}

外気温の変化と水系・食品媒介性感染症の関係性について、外気温上昇により、ロタウイルス流行時期が日本各地で長期化していることが確認されている⁵³¹⁰⁰⁶。一方で、外気温の低下により急性下痢症発生率が増加し、11℃で発生率が最大になることが日本、香港、台湾を対象とした研究により報告されている。⁵³¹⁰⁰⁷ また、感染性胃腸炎のリスクについては、13℃未満の環境では外気温が上昇するごとにリスクは増加するが、13℃以上の環境では、外気温が上昇するごとに逆にリスクが低下することが報告されている。^{531008, 531009}

人獣共通感染症であるレプトスピラ症は汚染された下水や河川、泥などにより経皮的・経口的に感染するが、フィリピンやタイなどの東南アジア諸国では台風・大雨による洪水後に流行が発生しており、国内でも大規模台風や集中豪雨により、被災者が下水や河川、泥などに接触することによる流行する可能性も考えられる^{531010, 531011}。

(将来予測される影響)

- 気候変動による感染症への影響として、水系感染症の発生数の増加がおこると考えられている。
- 国外の研究事例ではあるが、大雨によって飲料水源に下水が流入することにより、消化器疾患が発生する可能性が予測されており。国内でも同様の影響が発生することが懸念される。
- RCP シナリオを用いた予測では、RCP4.5 シナリオ・RCP8.5 シナリオで、21 世紀末にかけて日本全国で下痢症の罹患率が低下することが予測されている。

気候変動による感染症への影響として、水系感染症の発生数の増加がおこると考えられている。⁵³¹⁰¹²⁾ ただし、下痢症については、SRES シナリオを用いた予測では、気候変動により高所得地域を除いたアフリカ・アジアで将来的に増加するものの、日本では減少することが予測されている。^{531013, 531014)} また、RCP シナリオを用いた予測においても、RCP4.5 シナリオ・RCP8.5 シナリオで、21 世紀末にかけて日本全国で下痢症の罹患率が低下することが予測されている。ただし、特に冬季のロタウイルス等のウイルス性の下痢症が減少するとされており、夏季の細菌性の下痢症に対する対策は必要となる点に留意する必要がある。⁵³¹⁰¹⁵⁾

一方で、米国を対象とした研究では、大雨によって飲料水源に下水が流入することにより、消化器疾患が発生する可能性が予測されており⁵³¹⁰¹⁶⁾、国内でも同様の影響が発生することが懸念される。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

外気温の変化に伴い、感染性胃腸炎やロタウイルス感染症、下痢症などの感染症の発症リスク・流行パターンが変化することが報告されており、影響の範囲は全国に及ぶ可能性があるが、人命損失への影響に直接つながるものではない。

- 緊急性：【評価】中程度

日本各地で外気温上昇によるロタウイルス流行時期の長期化が報告されており、九州地方ではビブリオ・バルニフィカス菌による感染症が比較的多く報告されているが、将来予測については発現時期（予測時期）が必ずしも明確でない。また、下痢症については将来、罹患率が低下することが予測されている。

- 確信度：【評価】中程度

研究・報告は複数みられ、水系感染症の発病数の増加を予測するものがある一方で、下痢症罹患率は将来低下する予測されている。下痢症については、気候予測モデルを使用した予測がされているが、他の水系・食品媒介性感染症については、定量的な予測評価が限られている。

(2) 節足動物媒介感染症

(気候変動による影響の要因)

ここでは、感染症を媒介する蚊やダニ等の分布・個体群密度・活動の変化や、それに伴う感染症リスクを取り扱う。災害に伴う節足動物媒介感染症リスクについては、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇や降水の時空間分布の変化は、感染症を媒介する節足動物（蚊やダニ等）の分布可能域や個体群密度、活動を変化させ、節足動物媒介性感染症の流行地域や患者発生数に影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

- デング熱を媒介する蚊（ヒトスジシマカ）の生息域が 2016 年に青森県まで拡大していることが確認されている。
- 蚊媒介感染症の国内への輸入感染症例は増加傾向にあり、感染症媒介蚊の生息域や個体群密度の変化を考慮すると、輸入感染症例から国内での感染連鎖の発生が危惧される。
- 実際に、2019 年 9 月に京都府または奈良県でデングウイルスに感染してデング熱を発症した国内感染例が確認された。デングウイルス感染者の移動により、このような散発例は国内各地で発生するリスクがある。
- ダニ等（ツツガムシ含む）により媒介される感染症（日本紅斑熱や重症熱性血小板減少症候群（SFTS）やつつが虫病等）についても全国的な報告件数の増加や発生地域の拡大が確認されている。

媒介動物の分布域が拡大し、活動可能期間が長くなっている。また、国外等から日本で生息していないはずの媒介動物の侵入が懸念される。

2014 年夏には都内の公園を中心に多数の人がデング熱を発症する事象が発生した。2019 年にもデング熱の国内感染事例が関西地方で確認された。⁵³²⁰⁰¹ このことは、日本で定着していない病原体が海外から日本に侵入し、それが日本で感染症流行を引き起こすリスクがあることを示している。デングウイルス等の媒介生物であるヒトスジシマカの生息域は、1950 年以降、東北地方を徐々に北上し、2016 年には青森県で定着が確認されている。^{532002, 532003, 532004, 532005} また、これまで日本には分布していなかった外来性の日本脳炎媒介蚊（ニセシロハシエカ等）が 1990 年以降石垣島で、2002 年には沖縄本島でも確認されている。⁵³²⁰⁰⁶

デング熱やチクングニア熱等の国内への輸入感染症例の増加傾向が確認されている。^{532007, 532008, 532009, 532010} 海外からの日本への入国者の増加によっても、これらの病原体に感染している人の入国事例が増すと予想される。感染症媒介蚊の分布域拡大、またデング熱やチクングニア熱を媒介するヒトスジシマカの個体群密度は全国的に高いが、特に都市部で高いことを鑑みると^{532011, 532011}、輸入感染症例から国内での感染連鎖が発生するリスクが高まることが危惧される。

ダニ媒介感染症については、日本紅斑熱が全国的に増加傾向にあり、発生地域も拡大している。^{532013, 532014} また、マダニの活動が停滞する冬季を含め、年間を通して患者が発生している。つつが虫病については、依然として多くの患者が発生しており、山形県では発生件数と前年度の平均気温・降水量・降雪量・積雪量との間に正の相関性があることが報告されている⁵³²⁰¹⁶。さらに、2013年1月にダニ媒介性ウイルス感染症である重症熱性血小板減少症候群（SFTS）の流行が確認され、気候変動との関連は不明であるが年々患者報告数が増加し、2019年は過去最高の100名を超えた。

（将来予測される影響）

- ヒトスジシマカの分布可能域について、RCP8.5シナリオを用いた予測では、21世紀末には気温がヒトスジシマカの生息に必要な条件に達し、北海道の一部にまで分布が広がる可能性が高い。
- また、ヒトスジシマカの吸血開始日は初春期の平均気温と相関があり、気温上昇が進めば、吸血開始日が早期化する可能性がある。
- 気温上昇が進めば、ヒトスジシマカやアカイエカの活動期間が長期化する可能性がある。
- 他にも、気温上昇により、日本脳炎を媒介する外来性の蚊の奄美・沖縄地方での分布可能域が拡大する可能性が指摘されている。
- 感染症媒介蚊以外の節足動物も気候変動の影響を受ける可能性はあるが、現時点で日本における感染症リスクの拡大に関する具体的、直接的な研究事例は確認されていない。

媒介蚊の分布に関する定量的評価はあるが、病原体の分布変化（輸入感染症例数等）を考慮して、患者数を予測した定量的知見は限られている。

ヒトスジシマカの分布域を予測した研究（MIROC5、MRI-CGCM3.0等を使用）によれば、全国的な傾向として、現状ではヒトスジシマカの分布域は国土の約40%弱であるが、21世紀末のRCP8.5シナリオ下においては、国土全体の約75～96%に達すると見込まれる。⁵³²⁰¹⁷ さらに、MIROC K1モデルによる解析結果では、21世紀末までに、日平均気温がヒトスジシマカの生育に必要な11℃以上になることで、現在では侵入・定着が確認されていない北海道南部においても、生息が拡大する可能性が示唆されている。⁵³²⁰¹⁸

気温の上昇により、2030年までにインド、ブラジル、米国、日本、ドイツで農業・漁業、流通産業といった労働集約型産業でデング熱感染リスクが増加するといった研究も見られる。⁵³²⁰¹⁹

ヒトスジシマカの吸血開始日は初春期の平均気温と相関があり、気温上昇が進めば、吸血開始日が早期化することが予測されている。⁵³²⁰²⁰ 関東地域を対象にヒトスジシマカとアカイエカの活動期間を予測した調査では、気温上昇に伴い、ヒトスジシマカの活動期間は21世紀中頃に5カ月～5カ月半の地域が増加し、21世紀末には6カ月程度活動する地域も出現することが予測されている（MIROC5、RCP8.5シナリオによる予測結果）。アカイエカにおいても、21世紀末には7カ

月以上活動する地域が出現することが予測されている(MIROC5、RCP8.5シナリオによる予測結果)。
532021)

加えて、気温上昇により、日本脳炎ウイルスを媒介するニセシロハシエカの鹿児島県以北の地域へも分布域が拡大する可能性が指摘されている。^{532006, 532022)} デングウイルスやジカウイルスの主要な媒介蚊であるネッタイシマカは国内には生息しないが、仮に将来 3°Cの気温上昇が生じても、生存するために必要な冬季の気温である 10°Cを上回る地域は国内ではほとんどないと想定されることから南西諸島を除いては定着の可能性は低いと見込まれている。⁵³²⁰²³⁾ しかし、一定の温度が維持されている屋内での定着の可能性は否定できない。感染症媒介蚊以外の節足動物による感染症についても、気候変動の影響を受けることが想定される。ただし、現時点で日本における感染症リスクの拡大に関する具体的、直接的な研究事例は確認できていない。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会

蚊やダニ等の節足動物が媒介する感染症が発生した場合、影響の範囲は全国に及ぶ可能性がある。人の健康に直接影響するものであり、感染症の発生が拡大すれば、社会的影響も大きい。

- 緊急性：【評価】高い

感染症を媒介する節足動物の分布可能域や個体群密度、活動の変化が既に確認されている。節足動物の分布可能域や個体群密度、活動が変化すれば、患者が発生した場合に感染が拡大することにつながる。また流行地からの日本への病原体媒介節足動物の侵入・定着、入国者の増加から、国内での感染連鎖も危惧される。特にデング熱やチクングニア熱は、媒介蚊であるヒトスジシマカの生息域が北海道を除く国内全域に拡大しており、国内感染の発生リスクは増している。

- 確信度：【評価】中程度

感染症媒介蚊による感染リスクの拡大という予測傾向は多くの研究で一致している。ただし、病原体の分布変化(輸入感染症事例数等)、蚊以外の病原体媒介節足動物の分布変化(侵入・定着等)を考慮した患者数予測に関する知見は限定的である。また、節足動物媒介感染症のリスクを増加させる可能性はあるが、分布可能域の拡大が直ちに疾患の発生数の増加につながるわけではないとされている。海外で流行し、国内では流行していない節足動物媒介感染症は多々ある。節足動物媒介感染症リスクの予測に関する知見は限定的である。

(3) その他の感染症

(気候変動による影響の要因)

ここでは、まだ既往の研究知見が少ない感染症を「その他の感染症」としてまとめて取り扱っている。便宜上一括で扱うが、必ずしも「その他の感染症」の重要性が低いわけではない。災害に伴う感染症リスクについては、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇や降水量の変化は、水系・食品媒介性感染症や節足動物媒介感染症以外の感染症においても、感染リスクの増加や発生特性の変化をもたらす。
- 気温等の気象条件の変化は、インフルエンザや手足口病、水痘などの感染症類の発症リスクと関係する。ただし、発症には社会的要因、生物的要因の影響も大きい点に留意することが必要である。

(現在の状況)

- インフルエンザや手足口病、水痘、結核といった感染症の発生の季節性の変化や、発生と気象条件（気温・湿度・降水量など）との関連を指摘する報告事例が確認されている。
- ただし、これらの感染症類の発症には、社会的要因、生物的要因の影響が大きい点に留意する必要がある。

インフルエンザについては、九州・沖縄地方の事例から、発生件数と気象条件の関係性が示されている。鹿児島県及び沖縄県では、梅雨時期の降水量・日照時間と夏季におけるインフルエンザ流行の関係性や、⁵³³⁰⁰¹⁾ 沖縄県では高相対湿度と B 型インフルエンザ発生の間に関係性があること報告されている⁵³³⁰⁰²⁾。また、福岡県の事例では、インフルエンザ発生件数とインド洋ダイポール現象、エルニーニョ現象の発生に相関があることが報告されている。⁵³³⁰⁰³⁾

手足口病については、全国を対象とした事例では、日平均気温 12℃～30℃で罹患者が発生しやすくなること、⁵³³⁰⁰⁴⁾ 福岡県の事例では日平均気温と相対湿度の上昇に伴い患者が増加し、特に 10 歳以下の小児で増加が顕著になることが報告されている⁵³³⁰⁰⁵⁾。

その他、平均気温の上昇に伴い、水痘患者数が増加すること、⁵³³⁰⁰⁶⁾ 福岡県の事例では、極端な高温・低温下で結核患者数が増加することが報告されている⁵³³⁰⁰⁷⁾。

ただし、これらの感染症類の発症には、社会的要因、生物的要因の影響が大きい点に留意する必要がある。

(将来予測される影響)

- 気候変動に伴い、様々な感染症類の季節性の変化や発生リスクの変化が起きる可能性がある。
- 降水等の気象要素とインフルエンザ流行の相関性が多数報告されており、これらの知見

は、国内で将来予測される降水量の変化の観点からみても、重要と思われる。

- 一方で、インフルエンザ以外のものも含めた気候の変化によって生じる様々な感染症類について現状では文献が限られているため、今後の将来予測に向け、定量的リスク評価研究の進展が望まれる。

インフルエンザ⁵³³⁰⁰⁸⁾については、気温の上昇に伴い、季節性の変化や発生リスクの変化が起こり得るが、文献が限られており定量的評価が困難である。

一方で、緯度や気候の違いによるインフルエンザ流行パターンの違いについては、注目すべき多くの知見が得られている。従来から、高緯度地方では、低い気温と低い湿度が、インフルエンザ流行に大きく影響すると言われてきたが、紫外線が少ないことの影響も注目されている。⁵³³⁰⁰⁹⁾ 低緯度地方の熱帯・亜熱帯地方では、湿度が高くなる雨季にインフルエンザが増える傾向が指摘されている。さらに、中緯度地方では、相対的に温度が低く雨の多い時期にも、インフルエンザが増える傾向が指摘されている。^{533010, 533011, 533012, 533013, 533014)} これらの知見は、最近の日本の気候変動、特に降水量の変化の観点からみても、重要と思われる。インフルエンザ以外にも含めた気候の変化によって生じる様々な感染症類について、今後の将来予測に向け、定量的リスク評価研究の進展が望まれる。

また、米国や欧州の研究では、気温上昇と抗微生物薬耐性（微生物に対して抗生物質が効かなくなること）の関係性が報告されている。気温が上昇すれば、大腸菌や肺炎桿菌、黄色ブドウ球菌、緑膿菌等の細菌類の抗生物質に対する耐性が増加されることが報告されており、日本においても今後、懸念すべき事項となり得る。^{533015, 533016)}

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】影響が認められる

気温等の気象条件の変化は、インフルエンザや手足口病、水痘などの感染症類の発生リスクを変化させる可能性がある。影響の範囲は全国に及ぶ可能性があり、集団感染が起これば社会・経済的影響は大きい、人命損失への影響に直接つながるものではない。

- 緊急性：【評価】低い

気温等の気象条件の変化と、インフルエンザや手足口病、水痘などの感染症類の発生リスクの相関性が報告されているが、これらの感染症の発症には社会的要因や生物的要因の影響も大きい。

- 確信度：【評価】低い

インフルエンザに関する知見は一定程度あるが、その他の感染症類に関する知見は限定的である。

【その他】

(1) 温暖化と大気汚染の複合影響

(気候変動による影響の要因)

ここでは、気候変動による大気汚染物質濃度の変化や大気汚染と高温の複合曝露が与える健康影響を取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、オゾン等の大気汚染物質の生成反応を促進させる等により、様々な汚染物質の濃度を変化させることが想定される。

(現在の状況)

- 温暖化と大気汚染に関して、気温上昇による生成反応の促進その他のメカニズムにより、粒子状物質を含む様々な汚染物質の濃度の変化が報告されている。
- 近年、光化学オキシダント (Ox) 及びその大半を占めるオゾン (O₃) の濃度の経年的増加を示す報告が多く、温暖化も一部寄与している可能性が示唆されている。
- 温暖化に伴う O₃ 濃度上昇は、O₃ 関連死亡 (全死亡・心血管疾患死亡・呼吸器疾患死亡) を増加させる可能性がある。

温暖化と大気汚染に関して、気温上昇による生成反応の促進その他のメカニズムにより、粒子状物質を含む様々な汚染物質の濃度の変化が報告されている。

近年、光化学オキシダント (Ox) 及びその大半を占めるオゾン (O₃) の濃度の経年的増加を示す報告が多く、温暖化も一部寄与している可能性が示唆されている。

541001, 541002, 541003, 541004, 541005, 541006, 541007, 541008) O₃ は心血管疾患死亡・呼吸器疾患死亡との関連が示されており、541008) 温暖化に伴う O₃ 濃度上昇は、O₃ 関連死亡を増加させる可能性がある。

また、気温による大気汚染の健康影響が修飾される可能性が報告されている。国際的には高温環境下では、O₃ への短期的曝露に対する身体的反応を悪化させ、死亡リスクが増強されること、PM10 による呼吸器系死亡等の影響が増強することを示唆する報告もある。541008) ただし、気候変動による大気汚染の死亡に対する影響について逆の結果を示す報告もあり、現在のところ結論は出ていない。541009)

(将来予測される影響)

- 産業や交通の集中でオキシダント濃度が高くなっている都市部で、現在のような大気汚染が続いた場合、温暖化によってさらにオキシダント濃度が上昇し、健康被害が増加する可能性がある。
- 複数の RCP シナリオに基づく、オゾン・PM2.5 による超過死亡率の予測では、東アジアにおいて、RCP 6.0 シナリオで 2050 年に、その他の RCP シナリオでは 2030 年代に超過死亡率がピークに達し、その後減少に転じることが予測されている。
- 日本を対象とした研究では、2020 年代までにオゾン・PM2.5 による早期死亡者数が増加することが予測されている。

産業や交通の集中でオキシダント濃度が高くなっている都市部で、現在のような大気汚染が続いた場合、温暖化によってさらにオキシダント濃度が上昇し、健康被害が増加する可能性がある。

541010)

日本を含む東アジアを対象に、将来のオゾン濃度・PM2.5 濃度による健康影響を予測した研究がある。複数の SRES シナリオに基づく、2020 年代・2050 年代・2090 年代のオゾン濃度に関する予測では、SRESA2 シナリオを除くシナリオで、2020 年代に夏季のオゾン濃度がピークに達することが予測されている。⁵⁴¹⁰¹¹⁾ また、複数の RCP シナリオに基づく、2030 年代・2050 年代・2100 年代のオゾン・PM2.5 による超過死亡率の予測では、東アジアにおいて、RCP6.0 シナリオで 2050 年に、その他の RCP シナリオでは 2030 年代に超過死亡率がピークに達し、その後減少に転じることが予測されている。⁵⁴¹⁰¹²⁾ 日本を対象とした研究では、2020 年代までにオゾン・PM2.5 による早期死亡者数が増加することが予測されている。⁵⁴¹⁰¹³⁾

- 重大性：【評価】 影響が認められる

光化学オキシダントとオゾン濃度の経年的増加傾向を示す報告が確認されており、増加には温暖化も一部寄与している可能性が示唆されている。オゾン濃度の上昇は心血管疾患や呼吸器系疾患等による死亡と関連している可能性がある。国内では、2020 年代までにオゾン・PM2.5 による早期死亡者数が増加するが、その後は死亡者数は減少に転じると推測されている。

- 緊急性：【評価】 中程度

気温上昇による生成反応等のメカニズムの変化により、光化学オキシダントやオゾン、粒子状物質を含む様々な汚染物質の濃度変化が報告されている。それに伴い、死亡者数が増加することが推察される。ただし、PM2.5 による死亡については、2030 年代をピークに減少に転じることが予測されている。

- 確信度：【評価】 中程度

温暖化とオゾンについての複数の研究報告は、温暖化でオゾンの濃度が高まることにつ

いて確信度は比較的高い。一方で、国際的には気候変動が大気汚染による超過死亡を低減させることを示唆する報告もある。

(2) 脆弱性が高い集団への影響(高齢者・小児・基礎疾患有病者等)

(気候変動による影響の要因)

ここでは、暑熱等に脆弱な高齢者や小児、基礎疾患有病者等への影響を取り扱う。

気温上昇は、暑熱に対して脆弱な高齢者や小児、基礎疾患有病者等に様々な健康影響をもたらす。

(現在の状況)

- 暑熱による高齢者への影響が多数報告されている。日射病・熱中症のリスクが高く、発症すれば重症化しやすいことや、気温が上昇すれば、院外心停止のリスクが増すことが報告されている。
- 熱中症発症リスク・熱中症死亡リスクについては、高齢者と比して屋外で暑熱環境に暴露される可能性が高い 20 代～60 代のリスクが高いことも確認されているほか、所得や社会的地位等の生活水準との関係性を報告する文献も多数見られる。
- 基礎疾患有病者に関しては、呼吸器疾患を持つ高齢者にとっては、睡眠時の暑熱環境が呼吸困難感と身体の調子の低下に影響することが報告されている。また、低温に伴う影響として、高齢者に加えて、高血糖症患者の脆弱性が高く、循環器病死亡を発生させるリスクが高いことが報告されている
- 小児あるいは胎児（妊婦）への影響については、米国の事例では暑熱や下痢症に対する脆弱性が指摘されているが、国内では情報が限定的である。

暑熱による高齢者への影響が多数報告されている。熱中症患者の年齢区分を見ると、高齢者の割合が多く、^{542001, 542002} 夏季の暑熱環境の長期化に伴い、高齢者の熱中症患者数が増加傾向にあること、^{542003, 542004, 542005} 自宅寝室等の屋内での発症リスクが高いことが報告されている⁵⁴²⁰⁰⁶。また、高齢者は暑熱に対する脆弱性が高く、日射病・熱中症が発症すれば重症化しやすいことが報告されており、その原因の一つとして、高齢者は体温調節が上手くいかず、暑いと感じるのが遅いことが指摘されている。^{542012, 542008, 542009, 542010} 気温の上昇と、80 歳以上の高齢者の院外心停止が関連する可能性も報告されている。⁵⁴²⁰¹¹ また呼吸器疾患を持つ高齢者にとっては、睡眠時の暑熱環境が呼吸困難感と身体の調子の低下につながることも報告されている。⁵⁴²⁰¹²

一方で、福岡市を対象に、暑熱による急病発生に伴う救急搬送と気温との関係性を年齢別に見た事例では、高齢者と比較して屋外で暑熱環境に暴露される可能性が高い 20 代～60 代の年齢層でリスクが高いとの報告もある。⁵⁴²⁰¹³

熱中症発症リスク・熱中症死亡リスクについては、所得や社会的地位等の生活水準との関係性を報告する文献も多数見られる。^{542014, 542015, 542016, 542017}

人口動態統計では、過度の低温への曝露を直接の原因とする死亡者は 1990 年代から増え、60 歳以上で増加傾向にある。⁵⁴²⁰¹⁸ 低温と循環器病死亡との関連では、高齢者に加えて、高血糖症患者

の感受性が高いことが報告されている。⁵⁴²⁰¹⁹⁾

小児あるいは胎児（妊婦）への影響については、米国では、0～4歳児における暑熱に関連した超過死亡は、高齢者のそれと同程度で、一般成人集団に較べると高い値だったことが確認されている。⁵⁴²⁰²⁰⁾ また、エルニーニョの年にペルーでは小児の下痢患者数が200%増加、さらには妊婦が暑熱に曝露されることによって、低体重出生や妊娠合併症が増加した事報告されている。⁵⁴²⁰²⁰⁾ 国内での報告事例は、年間気温の変動と新生児の男児対女児比の関連については検討されているが、国外の知見と比較して結果は一致していない。⁵⁴²⁰²¹⁾

(将来予測される影響)

- 脆弱が高い集団への影響について、暑熱により高齢者の死亡者数の増加を予測する文献はみられるものの、基礎疾患有病者や小児への影響についての情報は限定的である。

日本を含む高所得太平洋アジア地域を対象とした予測（SRES A1B シナリオを使用）では、2030年代及び2050年代までに、暑熱による高齢者の死亡者数の増加が予測されている。⁵⁴²⁰²²⁾

一方で、小児影響についての情報が欠落している。^{542023, 542020)} 胎児期や小児の早い段階での環境要因の変動が一生涯の健康状態に影響を及ぼすという仮説（Developmental Origin of Health and Disease）は、化学物質の影響を対象として多くの検証が行なわれているが、気候変動に関連した要因についてはそれほど情報が集まっていない。

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会

高齢者や小児等は特に暑熱の影響に対して脆弱であり、気温が上昇すれば、熱中症の発症・死亡リスクが増加することに加えて、院外心停止の増加や呼吸器系疾患の悪化などの報告もあり、様々な影響を受けることが想定される。影響の範囲は全国に及び、人命損失への影響に直接つながる可能性もある。

- 緊急性：【評価】高い

暑熱と高齢者の熱中症や80歳以上の高齢者の院外心停止が関連する可能性が報告されており、将来も気温上昇に伴い、影響が増加することが予測される。

- 確信度：【評価】中程度

暑熱が高齢者に与える影響に関する知見は多数確認できる。一方で、小児や胎児（妊婦）、基礎疾患有病者に与える影響に関する知見は限定的である。

(3) その他の健康影響

(気候変動による影響の要因)

ここでは、まだ既往の研究知見が少ない健康影響を「その他の健康影響」としてまとめて取り扱っている。便宜上一括で扱うが、必ずしも「その他の健康影響」の重要性が低いわけではない。災害に伴う健康影響については、「3.8 分野間の影響の連鎖」で取り扱う。

- 気温上昇は、睡眠の質の低下・だるさ・疲労感・熱っぽさなどの健康影響の発生・増加をもたらす。
- この他、気象の変化は、腎疾患や腎結石、喘息悪化、口腔の炎症性疾患、疼痛疾患等の様々な疾患のリスクに関係することが想定される。
- 気温上昇に伴い、労働効率や教育・学習の効率に影響が生じたり、極端現象（強い台風、熱波・寒波、洪水など）により心身ストレスに影響が生じる。

(現在の状況)

- 気温上昇による睡眠の質の低下・だるさ・疲労感・熱っぽさなどの健康影響の発生・増加が報告されている。
- 高温・低温と心血管疾患や呼吸器疾患の発症・救急搬送との関係を指摘する報告もみられる。
- 国内では知見が限定的であるが、国外を対象とした研究では、高温環境にも伴う急性腎障害の発生や労働者の生産性低下、自然災害に伴う精神疾患の発生が報告されており、国内でも同様の影響が生じることが懸念される。

気温上昇による睡眠の質の低下・だるさ・疲労感・熱っぽさといった健康影響の発生・増加が報告されている。^{543001,543002} 特に、ヒートアイランド現象や熱帯夜の増加により、睡眠障害有症率の増加が確認されており、夏季に夜間最低気温が1℃上昇すれば、睡眠障害有症率が2.3%増加することを指摘する文献も見られる⁵⁴³⁰⁰³。これらの関係を基にした、暑熱の健康影響による経済損失を推定した研究結果もある。⁵⁴³⁰⁰⁴

また、救急搬送のデータを用いて、気温と救急搬送の関連性を研究した事例では、高温・低温が心血管疾患や呼吸器疾患の発症・救急搬送と関係することが報告されている。^{543035, 543005,543006}

気温上昇と犯罪発生件数や自殺件数との相関性を報告する文献が見られる。^{543007,543008,543009} また、高温や降水といった気象要素と交通事故等も含めた外傷患者の搬送者数との相関性を報告する文献もある。⁵⁴³⁰¹⁰

国外を対象とした事例では、高温環境が、脱水や電解質異常から急性腎障害を起こすだけでなく、慢性腎障害にも影響を与えることが確認され、これらの影響は特に高齢者で顕著にみられる。⁵⁴³⁰¹¹ 2000年代に発生した熱波では、電解質異常や腎不全による救急外来受診や入院の増加が温帯地域で確認されている。^{543012,543013} また、熱波の慢性疾患への影響については、末期腎不全患者の入院や死亡のリスク増加と関連し、特に心不全、慢性閉塞性肺疾患、糖尿病をもつ末期

腎不全の患者において、死亡のリスク増加と関連していたという報告もある。⁵⁴³⁰¹⁴ 最近の地球規模での温暖化の結果、熱波のような事象がおきなくても、暑熱に関連した腎障害の増加が、世界的規模で見られる可能性は高く、日本国内においても定量的リスク評価が求められる。

また、国内では知見は確認できないが、熱波やハリケーン等の自然災害被災者の精神疾患の発症が米国等の国外で報告されており、^{543015,543016} 今後自然災害が頻発化すれば、国内でも同様の影響が生じると想定される。

高温による労働者の生産性低下の可能性も世界的には指摘されているが報告は限られており、社会・経済へのインパクトを考えた場合、これを定量的に評価する努力も必要である。⁵⁴³⁰¹⁷

スギ・ヒノキ・シラカバ等の花粉飛散量については、気候の温暖化だけでなく土地利用状況の変化など種々の要因にも関係すると想定されるが、年次変動を繰り返しながら増加している傾向にある。^{543018,543019,543020,543021} スギ花粉飛散量の多い都道府県では、スギ花粉症の有病率が高いことが指摘されており、⁵⁴³⁰²² 一部の医療センターでは、スギ花粉症患者の再診割合の増加や抗アレルギー剤投与日数の長期化も報告されるなど、医療費にも大きな影響を与えている⁵⁴³⁰²³。

海洋プランクトン由来の食中毒であるシガテラ中毒は、近年、亜熱帯地域だけではなく、(日本の本州、四国、九州地域を含む) 温帯地域でも報告されており⁵⁴³⁰²⁴、原因物質シガトキシン類を生産する渦鞭毛藻の生息域が北上していることが推測されている^{543025,543026}。これまでは熱帯地域で発生していたかび毒アフラトキシンによるコメの汚染が国内で発生する可能性も実験により明らかとなっている。⁵⁴³⁰²⁷

近年、国外から流入したヒアリの国内定着が懸念されている。散発的には、茨城県や愛知県の内陸部でも、生息が確認されたことはあるが、2019年になって東京湾岸で、大きなコロニーが発見された。ヒアリ咬傷では、土着のアリに比して炎症や腫れが強く、アナフィラキシーを起こす確率も高いと言われている。^{543028,543029} ヒアリは亜熱帯・温帯地域でも生息が可能であることから、日本国内の定着のリスクには、細心の注意を払う必要がある。⁵⁴³⁰³⁰ この他に、気温上昇によりハチ類やトコジラミ、ゴケグモ、アルゼンチンアリ等の衛生害虫の活動が活発化することで、刺咬被害が増加することも懸念される。

(将来予測される影響)

- 2070年代8月の健康影響を予測した文献では、暑熱により、だるさや疲労感、寝苦しさに影響を与えることが指摘されている。
- 過去の統計データに基づいた研究では、気温上昇に伴い、各種犯罪件数(殺人・暴行・窃盗など)と自殺件数が増加することも推測されている。
- 気温上昇に伴い、労働効率や教育・学習の効率に影響が生じたり、極端現象(強い台風、熱波・寒波、洪水など)により心身ストレスに影響が生じることが想定されるが、文献は限定的であり、今後、定量的リスク評価に関する研究が望まれる。

東京・名古屋・大阪を対象に、2070年代8月の熱中症と睡眠障害を回避するための支払意思

額を予測した研究では（SRES A1B シナリオに基づく、MIROC3.2-Medres による予測）、一人当たりの支払意思額は年々増加し、2070 年代には 1970 年代の 2 倍程度、2000 年代の 1.5 倍程度に増加することが予測されている。睡眠困難と熱中症を比較すると、年代によらず、睡眠困難のほうが熱中症よりも支払意思額が 2 倍程度高いことも指摘されている。⁵⁴³⁰³¹⁾

また、東京都区内を対象に、2070 年代 8 月の健康影響（月額）を予測した研究では（SRES A2 シナリオを使用）、だるさ・疲労感で 2.14×10^9 円、寝苦しさを 3.60×10^9 円、合計 6.82×10^9 円の健康影響を及ぼすと推測しており、いずれの症状についても被害量は現状に比べて 1 桁近く増加すること、だるさ・疲労感が昼間気温が上昇する将来においてはさらに大きな被害となり得ることが予測されている。⁵⁴³⁰³²⁾

過去の統計データに基づき、気温上昇による 21 世紀末の日本全国の犯罪・自殺件数を予測した事例では（RCP2.6 シナリオ・RCP8.5 シナリオを使用）、RCP8.5 シナリオにおいて、各種犯罪件数（殺人・暴行・窃盗など）と自殺件数はいずれも現在と比べて数パーセント程度増加することが推測されている。⁵⁴³⁰³³⁾

気温上昇に伴い、労働効率や教育・学習の効率に影響が生じたり、極端現象（強い台風、熱波・寒波、洪水など）により心身ストレスに影響が生じることが想定されるが、文献は限定的であり、今後、定量的リスク評価に関する研究が望まれる。

また花粉症への影響については、気候変動とスギなどの花粉飛散量との関係から将来予測を行った知見は確認できず、現時点で評価をすることができない。

海水表面温度・塩分濃度と渦鞭毛藻属個体群の関係性を研究した文献では、日本海沿岸域で海水表面温度の上昇が続けば、熱帯性である渦鞭毛藻属個体群の増加及び分布拡大が生じ、シガテラ中毒のリスクが増加することが予測されている。⁵⁴³⁰³⁴⁾

- 重大性：【評価】 影響が認められる

気温上昇は睡眠の質の低下やだるさ、疲労感などの身体機能の低下や、腎障害の発症、心身ストレスに影響を与えることが想定される。影響の範囲は全国に及ぶ可能性があるが、直ちに人命の損失への影響につながるものではない。

- 緊急性：【評価】 中程度

ただちに人命への影響にかかわるものではない、という意味では緊急性は低いですが、実際に影響の大きさが無視し得ないと判明した場合、対策が遅れることによって社会・経済的損失が格段に大きくなる可能性については十分に留意する必要があります。

- 確信度：【評価】 中程度

取り上げた健康影響の多くが、現時点では具体的な予測研究・報告の量等が限定的である。

日常生活・社会への影響との区分けが難しい部分もあるが、ここに言及した影響は、基本的には疾病・死亡にもつながる健康影響の表現として捉えることによって、はじめて適切に評価されると考える。

3.6 産業・経済活動

産業・経済活動分野における気候変動による影響の概略は、図 3-8 に示すとおりである。

気候変動は、気温の変化、自然災害の強さや頻度等に変化をもたらし、海外のサプライチェーン等を含む企業活動に影響を及ぼし得るものの、産業・経済活動は多様であり、製造業、商業、医療や海外影響では影響を及ぼすメカニズムがはっきりしていない。また、欧米等の研究事例では気候変動が安全保障等に影響を及ぼす可能性を示唆しているものの、我が国ではこれらに関する研究が限定的である。

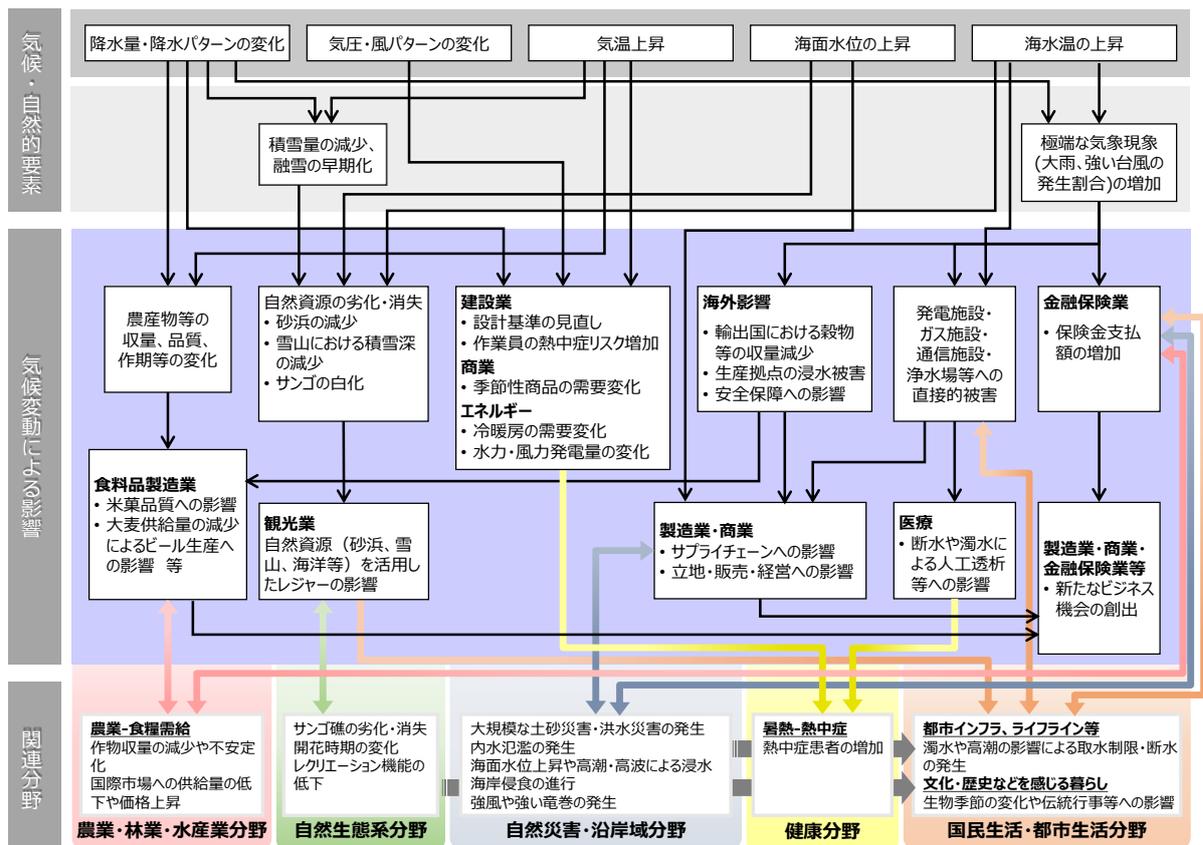


図 3-8 気候変動により想定される影響の概略図（産業・経済活動分野）⁷⁰

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、産業・経済活動分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 104 件の文献（現状影響 56 件、将来影響 48 件）を引用しており、このうち、前回の影響評価から新たに追加された文献は 76 件である。大項目別に見ると、製造業、エネルギーや建設業において文献数が増加しているものの、分野全体で確認された文献数は、他分野と比較すると、

⁷⁰ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される産業・経済活動分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか産業・経済活動分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の 2 段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

現在の状況及び将来予測される影響ともに少ない。

前回の影響評価からの構成上の変更点としては、小項目として「その他（その他）」を追加し、他の各小項目で扱うことが適当でない影響を取扱うこととした。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

既に農産物を原料とする製品（米菓製品等）の品質への影響、強い台風等の自然災害の影響によるエネルギー供給の不安定化や商業活動の低下、損害保険支払額の増加、スキー等の自然資源を活用した観光業への影響、建設現場の熱中症による死傷者数の増加や建設基準の見直し、洪水や断水による医療施設への影響、更に海外のサプライチェーンへの気候変動の影響が国内企業の活動に影響を及ぼした事例が生じていることが新たに明らかとなった。その他に、気候安全保障に関する報告等が新たに確認された。

将来予測される影響

自然災害による生産能力への物理リスクの増加、季節性商品等の需給の変化、損害保険支払額の増加等といった気候変動へのリスクを企業が認識するとともに、新たな需要に応じた商品の開発といったリスクを新たなビジネス機会ととらえる重要性が示唆されている。観光業では、降雪量の変化により観光資源によっては正あるいは負の影響が予測されている。海外の影響では、我が国の穀物輸入量の増減と関連商品の価格等に影響が及ぶことが予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

産業・経済活動は全国に多様な形態で広がっており、気候変動の影響は地域や業種によって異なることに加え、本分野は他分野と比較して研究事例が少ないことから、影響の重大性は「影響が認められる」と評価される傾向が強い。緊急性・確信度においても同様のことが言え、他分野と比較して低く評価される傾向にあった。

しかしながら、新たに明らかになりつつある影響として、食料品製造における原材料の品質悪化が製品に及ぼす影響、損害保険支払額の増加、自然資源を活用したレジャーへの負の影響や建設現場での熱中症による死傷者数の増加が見られるため、これらについては重大性が高いと評価された。また、建設業においては、熱中症対策の観点から緊急性が高いと評価された。更に、自然資源を活用したレジャーへの負の影響を予測する事例が複数みられ、確信度が高いと評価された。

今回の影響評価より新たに評価を実施した小項目「その他」については、主に気候変動が我が国の安全保障に及ぼす影響について示した。我が国への影響を論じた文献は限定的であることから重大性・緊急性・確信度ともに現状では評価できないとされたものの、我が国にも該当する可能性があるリスクが欧米等の文献から数多く示唆された。

【製造業】

(1) 製造業

(気候変動による影響の要因)

本項目では国内の製造業に及ぼす影響を主に取り扱い、海外において発生した自然災害等によ

りもたらされる国境を越えた影響については、産業・経済活動分野の小項目「その他（海外影響）」で主に扱う。

- 気候変動が製造業に影響を及ぼすメカニズムについては、学術的な研究例が数少なく、メカニズム自体ははっきりしているわけではない。
- 一部の研究例として、平均気温の上昇によって、企業の生産・販売過程や、生産設備立地場所の選定に影響を及ぼすことを示唆するものがある。
- また、長期的に起こり得る海面水位の上昇や極端現象の頻度や強度の増加は、生産設備等に直接的・物理的な被害を与えるとするものもある。他方で、新たなビジネスチャンスの創出につながる場合もあるとの研究例もある。

（現在の状況）

- 気候変化により、様々な影響が想定されるが、現時点で製造業への影響の研究事例は少数である（調査で確認できた範囲では、長野県茅野市の伝統産業である天然寒天生産における事例、乳白粒のコメの発生が米菓品質に及ぼす影響を実験で確認した事例及び気候変動等の課題に対応可能な植物工場の稼働数に関する報告など）。
- ただし、製造業は水害により 131 億円（2017 年）の被害が発生しており、大雨発生回数増加による水害リスクの増加が指摘されている。
- CDP 気候変動質問書（2017 年）の回答では、製造業においては気候変動の影響を事業活動へのリスク要因とみる一方で機会要因とみる企業が多い結果を得ている。
- 製造業についてはサプライチェーンなどの海外影響が国内の製造業に影響を与えることについて留意する必要がある。

長野県茅野市の伝統産業である天然寒天生産への気候変動影響に関する事例調査によれば、生産可能期間の短期化に伴う生産効率の悪化、高温化による品質の悪化や生産コストの上昇等も挙げられている。^{611001,611002)}

気候変動影響により増加が懸念される乳白粒のコメの混入が米菓の品質に与える影響を実験した事例調査によれば、形状、表面の亀裂や断面に空隙等を与えることが確認されている。⁶¹¹⁰⁰³⁾

このような気候変動影響によるリスクが生じる一方で、気候変動等の課題に対応可能な（周年の計画生産が可能な）植物工場の稼働数が増加していることも確認されている。⁶¹¹⁰⁰⁴⁾

極端現象の頻度や強度の増加に関しては、製造業は水害により 131 億円（2017 年）の被害が発生しており⁶¹¹⁰⁰⁵⁾、大雨発生回数増加による工場の被災や設備の損傷等の水害リスクの増加が指摘されている。⁶¹¹⁰⁰⁶⁾ 中小企業には、近年の大規模な自然災害⁷¹⁾により、工場・事務所等の破損や損壊、従業員の出勤困難やインフラの途絶による操業の停止、販売先・顧客の被災による売上げ

⁷¹⁾ ここで言う自然災害には風水害だけでなく地震等も含まれている。

の減少、取引先の被災による原材料の供給停止など様々な被害が発生しており、経済的損失を受け、営業停止に追い込まれる事業者も存在していることが報告されている。⁶¹¹⁰⁰⁷⁾

CDP 気候変動質問書（2017 年）の回答では、気候変動の影響による物理リスクとして生産能力の減少に対するリスク要因としての認識が高い（回答した製造業の合計 53.6%）一方で、既存製品／サービスの需要増に対する機会要因としての認識が高い（同 47.5%）結果を得られている。回答において、例えば、海外の製造業者からは、台風が工場設備に与える損害がより頻繁になることによる設備保守費用等の増加への懸念が示されている。⁶¹¹⁰⁰⁸⁾

企業の環境報告書等からは、基幹原料の品質・調達への影響や物流障害による供給不可のリスクを懸念する内容がみられる一方で、気候変動の影響に対して新たに生じる需要に対応するための技術開発の促進など、新たな機会を活用する内容が見られる。⁶¹¹⁰⁰⁹⁾

(将来予測される影響)

[概要]

- 気候変動による製造業への将来影響が大きいと評価している研究事例は乏しいものの、企業が気候変動をリスクやビジネス機会として認識していることを示唆する報告がみられる。
 - 最も大きな海面水位の上昇幅を前提として、2090 年代において海面水位の上昇により東京湾周辺での生産損失額は、沿岸対策を取らなかった場合、製造業にも多額の損失が生じるとしている研究もある。
 - 現時点で定量的に予測した研究事例ではないが、アパレル業界など、平均気温の変化が、企業の生産・販売過程、生産施設の立地等に直接的、物理的な影響を及ぼすことも懸念される。
 - CDP 気候変動質問書（2017 年）では、気候変動の影響による生産能力への物理リスクや需要増によるビジネス機会を認識している企業が多い結果を得ている。

海面水位の上昇による東京湾周辺での生産損失額を推計した研究によれば、IPCC 第 4 次評価報告書において評価されたシナリオのうち最も海面水位の上昇が大きい海面水位の上昇幅 0.59m を想定した場合⁷²⁾、生産損失額は約 8 兆円に上ると予想されている。⁶¹¹⁰¹⁰⁾ ただし、海面水位の上昇幅を下回った土地に立地している製造業の生産額すべてが失われるとの想定による試算であることに留意が必要である。

平均気温の変化は、企業の生産過程、生産物の販売、生産施設の立地などに直接的、物理的な影響を及ぼすとともに、国内で導入される気候政策を通じて要素価格や生産技術の選択、その他の生産費用と経営環境等にも影響を及ぼす。⁶¹¹⁰¹¹⁾ 例えば、気候に影響を受けやすいアパレル産

⁷²⁾ 海面水位の上昇幅 0.59m を想定した場合：SRES A1FI シナリオに相当。1980～1999 年を基準とした 2090～2099 年の世界平均地上気温の上昇幅が最良の推定値で 4.0℃、海面水位変化が 0.26～0.59m となるシナリオ。

業では、販売データと気象観測データの分析により、季節性を有する製品の売上げが気温の変化と密接に関係していることが示されている。⁶¹¹⁰¹²⁾ また、気候変動は、地域固有の文化・歴史を育む、地域固有の気候に根ざした地場産業にも影響する。⁶¹¹⁰⁰¹⁾ なお、産業への影響には生産損失のような負の影響だけでなく新たなビジネス機会の創出のような正の影響もあることに留意が必要である。

CDP 気候変動質問書（2017 年）では、気候変動の影響による物理リスクがいずれ（6 年以上）顕在化する可能性が高いと認識している企業が多く（回答した製造業の合計 34.8%）、気候変動の影響がビジネス機会として得られる可能性が高いと認識している企業が多い（同 53.8%）という結果を得ている。⁶¹¹⁰⁰⁸⁾

（重大性、緊急性、確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】影響が認められる

影響の範囲は全国に及ぶ。期間は、影響を与える気候変動のイベントにより異なる。生産過程や施設の立地等に直接影響を及ぼすという報告があるほか、製造業において、多大な生産損失や雇用への影響を予測する報告もある。被災により工場・事務所等の損壊や操業の停止、原材料の調達が困難になるなどの被害が発生しており、中小企業では影響の程度が大きくなる可能性がある。一方で、産業への影響を新たなビジネス機会の創出といった正の影響を予測する研究もある。

- 緊急性：【評価】低い

既に気候変動による地場産業の生産効率が悪化したという事例もあるが、報告事例は限定的である。海面水位の上昇によって立地している製造業に生産損失や雇用への影響が生じるとの報告もあるが、2090 年代を対象にした評価でかつ、最も大きな排出を前提としたシナリオの下での評価であり、総合的に判断して、現時点で緊急性が高いと判断する必要性は乏しい。一方で、水害リスクの増加が懸念され、被災した場合の影響は大きいと、浸水リスクがある地域に立地する事業者の緊急性は中程度と考えられる。

- 確信度：【評価】低い

研究・報告数は少数である。気候モデルや排出/濃度シナリオを活用した事例は確認できていない。研究・報告数が少ないのは、多くの研究者において深刻な影響がないと考えられている可能性や、複雑な関係があり研究としてのアプローチが難しい可能性などが考えられる。

なお、下記の業種については知見が報告されているため細目として評価を行う。

<食料品製造業>

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】経済

緊急性：【評価】中程度

確信度：【評価】 中程度

農畜水産物は気候変動の影響を受けやすく、それらを原材料とする食料品製造業は、例えば農作物の品質悪化や災害によるサプライチェーンへの影響を通じて、特に原材料調達や品質に対して影響を受けやすいと考えられ、既に影響が生じ始めている事例が報告されている。

【エネルギー】

(1) エネルギー需給

(気候変動による影響の要因)

本項目では、エネルギー需給量に及ぼす影響を取り扱うが、エネルギー供給インフラへの影響については、国民生活・都市生活分野の小項目「都市インフラ、ライフライン」で主に扱う。

- 気候変動による気温の上昇などにより、エネルギー需要に正負双方に影響を与える可能性がある。
- 流況等の変化により、水力発電量が全国的に減少するが、地域によっては増加も見込まれると予測する研究事例がある。
- 極端現象の頻度や強度の増加、長期的な海面水位の上昇によるエネルギーインフラへの影響被害については研究事例が少なく、コンセンサスがあるとは言えないものの、強い台風等によるエネルギー供給インフラへの被害が確認されており、エネルギーの安定供給に影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

- 現時点では、気候変動によるエネルギー需給への影響に関する具体的な研究事例は少数である。
- 猛暑により事前の想定を上回る電力需要を記録した報告がみられる。
- 強い台風等によりエネルギー供給インフラが被害を受けエネルギーの供給が停止した報告がみられる。

2018年夏季においては、猛暑により全国各地で事前の想定を上回る電力需要を記録した。⁶²¹⁰⁰¹⁾

強い台風等によりエネルギー供給インフラが被害を受け、電力やガスの安定供給に影響が生じた事例が報告されている。^{621002, 621003, 621004)}

CDP 気候変動質問書 (2017) の回答によると、業態により、極端な気象条件や暴風雨による送配電システムや通信システムへの被害、平均気温の上昇による暖房や給湯へのガス需要の低下等による業績や財務状況への影響への懸念を示す回答が見られる。⁶²¹⁰⁰⁵⁾

企業の環境報告書等では、局地的な降雨等に伴う災害に対して貯蔵施設の被害や燃料輸送の遅延・停滞の可能性への懸念を示す内容が見られる。⁶²¹⁰⁰⁶⁾

(将来予測される影響)

- 気候変動によるエネルギー需給への将来影響を定量的に評価している研究事例は一定程度あるが、現時点の知見からは、地域的にエネルギー需給量の増減があるものの、総じてエネルギー需給への影響は大きいとは言えない。
 - 気温の上昇によるエネルギー消費への影響について、以下のような予測を示した事例がある。
 - ◇ 産業部門や運輸部門においてはほとんど変化しない
 - ◇ 家庭部門では減少する（気温が1度上昇すると、家庭でのエネルギー消費量は北海道・東北で3～4%、その他の地域で1～2%減少する）
 - ◇ サービス業等の業務部門では増加する（気温が1度上昇すると、業務部門では1～2%増加する）
 - ◇ 家庭、業務部門を併せた民生部門全体では、大きな影響は無い、または地域によっては減少する
 - ◇ 全国的には夏季は気温上昇により冷房負荷が増加し、冬季は暖房負荷が減少する。冷房負荷は低緯度地域ほど増加し、暖房負荷は高緯度地域ほど減少する。
 - 流況等の変化による水力発電量の全国的な減少、2040年代において日射量の減少による多結晶型太陽電池の発電量の全国的な減少を予測する研究事例がある一方で、福島県を対象とした研究事例では主に日射量の増加による太陽光発電量の増加を予測している。

気温上昇程度に応じたエネルギー消費量を部門別にマクロ評価した報告によれば、運輸部門、産業部門⁷³では気温上昇によるエネルギー消費への影響はほとんど見られなかったとの結果が示されている。一方、民生部門（家庭とサービス業等の業務系施設）では、通年で気温が1度上昇すると、家庭でのエネルギー消費量は北海道・東北で3～4%、その他の地域で1～2%減少するが、業務では1～2%増加するとしている。また、大阪府を対象としたミクロ評価では、通年で評価をすると都心部では2.5%増加するが、郊外地域では影響がほとんど見られないとの結果が、年間を通じた評価では、夏季の増加と冬季の減少で相殺され、それほど大きな影響とはならないとの結果が示されている。⁶²¹⁰⁰⁷ 気温の変化がエネルギー需給の変動に与える影響について日本の8都市域を対象とした研究では、対象地域の民生部門全体において概ね需要が低下することが予測されている。⁶²¹⁰⁰⁸ 大阪府を対象に、エネルギー消費量と気温との関係について予測を実施した報告では、年間を通して気温が1℃上昇した場合、民生、産業、運輸の各部門の総合影響のうち、民生部門でのエネルギー消費量の年間変動量が2.5 PJ/年の増加と突出しており、運輸部門では0.2 PJ/年の増加にとどまるとの結果が示されている。⁶²¹⁰⁰⁹ また、やはり大阪府において、気温が1℃変化した際の電力供給量の日変動を地区別に調査した報告では、地区に住宅の占

⁷³ 一般的には、運輸部門には自動車、船舶、鉄道や航空等が、産業部門には製造業や建設業等が含まれるが、文献6005では明示されていない。

める割合が大きい場合に供給量の変動度が上昇することが示されている。⁶²¹⁰¹⁰⁾ さらに、東京都を対象に気温とエネルギー消費の関係について調査を実施した報告においては、年間を通して気温が1℃上昇すると、東京都全体や23区では減少する一方で、都心では増加することが示されている。⁶²¹⁰⁰⁸⁾

空調電力需要について、1990年代と比較して、2040年代から2090年代にかけて、全国的に冷房ピーク負荷が増加し、暖房ピーク負荷が減少することが予測されている（SRES A2シナリオを前提としたRCM20による予測）。^{621011, 621012)} 都市域を対象とした予測では、名古屋市域では、気温上昇により2070年夏季に現状と比較して最大25%冷房電力需要が増加し（SRES A2シナリオを前提としたMIROC3.2による予測）^{621013, 621014)}、東京都内のオフィスビルでは、近未来にかけて、暖房負荷は年率約0.8～2.1%減少し、冷房負荷が年率約0.02～0.25%増加し続けることが予測されている（SRES A1Bシナリオ及びB1シナリオを前提とした予測）⁶²¹⁰¹⁵⁾。

これら気温とエネルギー消費量に関する報告に加えて、湿度の上昇が電力需要の増加に繋がるとする報告もある。⁶²¹⁰¹⁶⁾

さらに、気候変動がエネルギー需給に与える影響を包括的にまとめた報告によれば、気温上昇や降雨の時空間分布の変化、海面水位の上昇、極端な気象現象や、それに伴う自然生態系の変化などは、冷暖房の需要などのエネルギー消費や、発電施設の運用面等のエネルギー供給にも様々な影響を与えることが予想されている。⁶²¹⁰¹⁷⁾

気候変動がGDPに与える影響に関して分析した研究（応用一般均衡モデルを使用）では、2050年、2100年いずれにおいても、家庭におけるエネルギー需要は負の影響を被る、つまりエネルギー需要は低下することを予測している。⁶²¹⁰¹⁸⁾ ただし、これはエネルギー需要の変動対象として家庭のみを考慮した予測結果であり、家庭部門以外での経済活動等におけるエネルギー需要の変動は考慮されていないことに留意が必要である。

再生可能エネルギーの観点では、現状の水力発電設備が維持された場合、流況の変化等により、全国的に2075～2099年の発電量は11%減少する一方、一部の地域で発電量の大幅な増大（北海道で約17%の増加）が見込まれると予測する研究事例がある（RCP8.5シナリオを前提としたMRI-AGCM3.2Sモデルによる予測情報を利用）。⁶²¹⁰¹⁹⁾ 多結晶型太陽光発電電池の2040年代と2090年代の発電量の変化に関する研究では、2040年代に日射量の減少と太陽光発電電池セル内の温度上昇による発電効率の低下により、全国的に減少傾向が見られ、特に太平洋側の一部地域で、1990年代と比較して2040年代に発電量が10%程度減少することが予測されている（SRES A2シナリオを前提とした予測で気候予測モデルの記述は見られない）。⁶²¹⁰²⁰⁾ 一方で、福島県を対象とした研究では（RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5シナリオを前提としたGFDL-CM3、GFDL-ESM2M、HadGEM-2-ES、IPSL-CMA5A-LR、MIROC5h、MIROC-ESM-CHEM、MRI-CGCM3.0モデルによる予測情報を利用）、主に日射量の増加により2030年に平均1.7%、2050年に平均3.9%、2070年に平均4.9%の太陽光発電量の増加を予測している。⁶²¹⁰²¹⁾ 将来の風力についてRCP4.5シナリオ及び8.5シナリオにおいて日本で風力が減少することを予測した事例がある（RCP8.5シナリオ、RCP4.5シナリオを前提とした予測）。

⁶²¹⁰²²⁾

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

影響の範囲は全国に及ぶ。影響の及ぶ期間は、影響を与える気候変動のイベントにより異なる。エネルギー消費量が気候変動によって変動するという報告や、発電所における災害の増加や発電効率の低下を招くとする報告、エネルギー需要は産業や業務等の部門や地域によって増減するとした報告がある。エネルギー需要全体としては、それほど大きな影響がない、または減少することが予測されている。現時点で重大な影響があると判断されるような材料は乏しい。ただし、エネルギー供給の観点では、強い台風等によりエネルギー供給インフラが損壊する事例が報告されており、エネルギーの安定供給に影響を及ぼす可能性がある。

● 緊急性：【評価】低い

既に気候変動によるエネルギー消費の変化が顕在化しているかどうか、また、将来のいつ頃に影響が生じるかについては、既往の知見は一定程度みられるものの、現時点で緊急性が高いと判断する材料は乏しい。

● 確信度：【評価】中程度

研究・報告数は一定程度ある。気候モデルや排出/濃度シナリオを活用した事例は、空調需要に関する研究や再生可能エネルギーのポテンシャルの変化に関する研究が見られる。気温の上昇によるエネルギー需給の変化や海面水位の上昇等によるエネルギーインフラ設備への影響が生じることについての整合は一定程度認められる。研究・報告数が少ないのは、多くの研究者において深刻な影響がないと考えられている可能性や、複雑な関係があり研究としてのアプローチが難しい可能性などが考えられる。

【商業】

(1) 商業

(気候変動による影響の要因)

本項目では国内の商業に及ぼす影響を主に取り扱い、海外において発生した自然災害等によりもたらされる国境を越えた影響については、産業・経済活動分野の小項目「その他（海外影響）」で主に扱う。

- 気候変動が商業に影響を及ぼすメカニズムについては、要因が複雑であり、また、メカニズム自体ははっきりしているわけではないが、気象の変化による商業活動への影響について一定程度の報告が見られる。
- 気候の変化によって、季節性を有する製品の売上げや、企業の販売計画に影響を及ぼすことを示唆する研究がある。気候の変化に適切に適応できれば、新たなビジネスチャンスの創出につながるという考え方もある。

(現在の状況)

- 日本における商業への影響について、具体的な研究事例が一定程度見られる。
- 飲料やエアコンの販売数と気温上昇との間に関係があることが報告されている。
- 急激な気温変化や大雨の増加等により季節商品の需給予測が難しくなっている事例、大雨や台風により百貨店やスーパーなどの売上の増減や臨時休業が起きる事例等が報告されている。

日本における商業への影響について、具体的な研究事例が一定程度見られる。

飲料やエアコンの販売数と気温上昇との間に関係があることが報告されている。

- ・ 平均気温の上昇に伴い冷たい飲料の販売数が増加する。飲料の種類によって販売数が増加する気温が異なる [631001](#), [631002](#))
- ・ エアコンの販売数と平均気温の平年差との間に相関があることが報告されている [631003](#))

急激な気温変化や大雨の増加などにより季節商品の需要予測が難しくなっている事例、大雨や台風により百貨店やスーパーなどの売上の増減や臨時休業が起きる事例等が報告されている。

- ・ 急激な気温の変化や局地的な大雨の増加などにより、季節商品の需要予測が難しくなっている [631004](#))
- ・ 中国地域では、平成 30 年 7 月豪雨等により、百貨店での売上やスーパーでの衣料品の売上が低下したが、スーパーやドラッグストアでは飲料水、缶詰等の売上が増加し、ホームセンターでは土のう袋やブルーシートの売上が増加した [631005](#))
- ・ 近畿地方では、平成 30 年の二度にわたる台風上陸による臨時休業や関西国際空港の一時閉

鎖等による訪日客の減少等から、百貨店・スーパーの販売額が低下した⁶³¹⁰⁰⁶

企業の環境報告書等からは、世界各地のサプライチェーンにおける異常気象による農作物の不作による調達リスク、冷夏や暖冬による季節性商品の売上が減少することによる業績への影響、食中毒等の増加に対するリスク等が懸念されている。⁶³¹⁰⁰⁷

(将来予測される影響)

- 日本における気候変動による商業への将来影響を評価している研究事例は乏しく、商業への影響は現時点では評価できない。
 - アパレル業界では、気候変動は季節性を有する製品の売上、販売計画に影響を与えると指摘する研究がある。
 - 気候変動による温暖化が飲料の需要を通年で増加させ、魚介類・肉類の需要を通年で減少させる効果があると指摘する研究がある。
 - 2014年のCDPの報告において、海外でのアパレル、ホテルなどの企業が、今後気候変動に関連して生じる自社への影響やそれに伴う経済損失を試算し、評価した例がある。

アパレル業界では、気候変動は季節性を有する製品の売上、販売計画に影響を与えると指摘する研究がある。⁶³¹⁰⁰⁸。また、少子高齢化と地球温暖化が日本の食料需給に与える影響を定量的に分析した研究によると、温暖化は飲料の需要を通年で増加させ、魚介類及び肉類の需要をほぼ年間を通して減少させる効果があると指摘している。⁶³¹⁰⁰⁹ 2014年のCDPの報告において、個別の企業や業界がこれまで被ったと考える影響を試算したり、今後の経済損失や影響を試算したりした海外の事例（一部、現在の状況に関する事例も含む）があり⁶³¹⁰¹⁰、日本の個別企業、業界においても同様の例がありうると考えられる。

- ・ アパレル：降雨や干ばつといった降水の時空間分布の変化は綿花の収穫減少と綿花価格の上昇をもたらす。異常気象は消費行動の変化を通じてビジネスへの打撃となる。
- ・ ホテル：平均気温の変化は、光熱費の増加となりコストアップにつながる。
- ・ 小売：異常気象により店舗の閉鎖を余儀なくされる。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

強い台風が小売店等の売上に影響した事例が見られる。商業は規模・業種も多様で、気候変動からの直接的な影響や消費行動の変化やエネルギーコストの変化などを通じた間接的な影響もあることから、商業として判断する材料に乏しいものの、商品の需要の変化やサプライチェーンへの影響による調達リスク等による商業活動への影響が懸念される。

● 緊急性：【評価】低い

商業は規模・業種も多様で、気候変動からの直接的な影響や消費行動の変化やエネルギーコストの変化などを通じた間接的な影響もあることから、商業として緊急性が高いと判断する材料に乏しい。一方で、強い台風による小売店等の売上への影響を報告する事例等が報告されていることから、水害等の災害リスクが高い地域に立地する事業者の緊急性は中程度と考えられる。

● 確信度：【評価】低い

現状の影響に関する研究・報告は一定程度あり、強い台風等による小売店等の売上への影響が見られる点においては一定の傾向を示している。将来の影響に関する研究・報告数は少数である。気候モデルや排出/濃度シナリオを活用した事例は確認できていない。これらから、商業として確信度が高いと判断する材料に乏しい。

なお、下記の業種については知見が報告されているため細目として評価を行う。

<小売業>

重大性：【評価】影響が認められる

緊急性：【評価】中程度

確信度：【評価】中程度

季節商品の需要予測が難しくなっていることや強い台風がスーパー等の売上に影響した事例等が複数見られ、地域によって度合いは異なるものの小売業に影響が及ぶ可能性がある。また、気象災害によるインフラの損壊等や調達先の被災は商品の調達にリスクを及ぼす。中小企業ではこれら影響・リスクの程度が大きくなる可能性がある。

【金融・保険】

(1) 金融・保険

(気候変動による影響の要因)

本項目では国内の金融・保険業に及ぼす影響を主に取り扱い、海外において発生した自然災害等によりもたらされる国境を越えた影響については、産業・経済活動分野の小項目「その他（海外影響）」で主に扱う。

- 気候変動による極端現象の頻度や強度の増加に伴う自然災害の増加は、保険損害とそれに伴う保険支払額を増加させる可能性がある。
- 極端現象の頻度や強度の増加、将来の気候の不確実性の増加は、保険引受の際の保険料計算やリスク分散のあり方に影響を及ぼす可能性がある。
- 一方で、気候変動リスクに適切に対処できれば、保険業に対して新たなビジネス機会が生じることも想定される。
- 気候変動による極端現象の増加に伴う自然災害などにより、金融業に対して資産の損害などの脅威がある一方、気候変動リスクに適切に対処できれば、ビジネス機会が生じることも想定される。

(現在の状況)

- 1980年からの約30年間の自然災害とそれに伴う損害保険の支払額の推移からは、近年の傾向として、支払額が著しく増加し、恒常的に被害が出る確率が高まっていることが確認されている。
- 保険会社では、従来のリスク定量化の手法だけでは将来予測が難しくなっており、今後の気候変動の影響を考慮したリスクヘッジ・分散の新たな手法の開発を必要としているとの報告もなされている。
- 長期での損害保険の支払い予測が困難になったため長期火災保険の保険期間が短縮された
- 日本における金融分野への影響については、具体的な研究事例が確認できていない。

現時点で収集された文献からは、日本については、特に保険分野への影響が既に生じているとの報告がある。他方で、金融分野への具体的な影響については確認できていない。

1980年からの約30年間の自然災害とそれに伴う損害保険の支払額の推移を見ると、近年の傾向として、社会的・経済的要因とも相まって、支払額が著しく増加し、恒常的に被害が出る確率が毎年高まっており^{641001, 641002}、保険会社の経営への影響が増している。^{641003, 641004, 641005, 641006, 641007, 641008} 一般社団法人日本損害保険協会がまとめた過去の主な風水災害による保険金の支払額を見ると、上位10件のうち7件を2014年以降の災害が占めており、2018年の台風第21号による損害への支払額が最も大きく1兆円に達している。⁶⁴¹⁰⁰⁹ 極端な気象現象の頻度や将来の気候の不

確実性が今後増していくことから、保険引受の際の保険料計算やリスク分散のあり方にも影響を及ぼしている。保険会社では、過去のデータに依存した従来のリスク定量化の手法だけでは適切な損害予測が難しくなっているため、気候の将来リスクに基づき、今後の気候変動の影響を考慮したリスクヘッジ・分散の新たな手法の開発が必要となっている。⁶⁴¹⁰⁰²⁾ なお、保険会社等からなる損害保険料率算出機構は、自然災害による保険金支払いが増加していること、IPCC 第五次評価報告書等近年の気候変動研究の成果から、自然災害による損害の将来リスクが不透明で、長期のリスク評価が難しくなったことを理由に、火災保険の契約期間の最長年数を 35 年から 10 年に引き下げている。^{641010, 641011)}

CDP 気候変動質問書 (2017) の回答では、気候変動の影響による物理リスクとして運用コストの増加に対するリスク要因としての認識が高い (回答した金融業の合計 44.8%) 一方で、既存製品／サービスの需要増に対する機会要因としての認識が高い (同 36.7%) 結果を得ている。回答において、例えば、極端な気象現象の頻度と深刻度についての不確実性が高まる結果としてのクレームへの対応費用に与える影響の増大、資産所有者への重大な財務的影響をもたらすことが重大な請求につながる可能性やコンピューターセンターへの被害によりオンライン取引が出来なくなること等が示されている。⁶⁴¹⁰⁰⁷⁾

民間企業の環境報告書等からは、金融業では、自然災害により、保有資産や投融資先の資産等が被災するリスク、国内外の店舗・電算センター等の施設が被災するリスク、企業の経営状況の悪化等が財務状況に影響を及ぼすリスク等が示されている。⁶⁴¹⁰⁰⁸⁾

(将来予測される影響)

- 自然災害とそれに伴う保険損害が増加し、保険金支払額の増加、再保険料の増加が予測されている。ただし、現時点では、日本に関する研究事例は限定的にしか確認できていない。
- 不動産の観点から気候変動と社会経済の変化による水災害リスクの分析を行った研究事例がある。
- 現時点で日本に関して定量的に予測をした研究事例は限定的であるものの、以下のような影響も想定される。
 - (保険業)
 - 付保できない分野の登場、再保険の調達困難などの脅威
 - 保険需要の増加、新規商品開発の可能性などのビジネス機会。
 - (金融業)
 - 資産の損害や気象の変化による経済コストの上昇などの脅威
 - 適応事業融資、天候デリバティブの開発などのビジネス機会
- 金融分野への影響については、現時点で日本に関する具体的な研究事例は確認できていない

が、金融市場に及ぼすリスクや機会が世界的に議論され、指摘されている。

日本においても、自然災害とそれに伴う保険損害が増加し、保険金支払額が増大すると予測され、再保険料の増加が予測されている。⁶⁴¹⁰⁰²⁾ ただし、その定量的な予測の方法については明示されていない。

なお、日本を含む世界全体では、再保険会社などが自然災害に伴う損害額について定量的予測を示している。1つのシナリオ⁷⁴⁾は、2040年までに単年で1兆米ドルを超える直接損失を少なくとも1回は生じさせるとの予測を示している。⁶⁴¹⁰¹²⁾ また、保険・金融業への影響リスクについて定性的に整理されている。保険業については、付保できない分野の登場、再保険の調達困難などの脅威がある一方、保険需要の高まり、新規商品開発の可能性などビジネス機会が生じると示されている。金融業については、担保資産への損害や気象の変化による経済コストの上昇などの脅威がある一方、適応事業融資、天候デリバティブの開発などのビジネス機会が示されている。

641002, 641013, 641012, 641007, 641008)

沖縄を除く日本全土を対象に、気候変動による稲作不良に対する保険金支払額の影響評価を行った研究では(SRES A2シナリオを前提としたMRI-CGCM2による気候予測情報を使用)、政府の稲作不良への保険金支払い額は、日本全体で、2070年代に1990年代の支払額の87%に減少すると予測している。これは、冷夏が減少するためである。北海道、東北地方で支払い額が減少する一方で、関東、北陸、近畿地方で支払額が増加すると予測している。⁶⁴¹⁰¹⁴⁾

気候変動と社会経済変化による東京都市圏での水害リスクへの影響について、不動産の観点を取り込み分析した研究によると、2100年相当での地域気候シナリオ(S-8共通シナリオ第1版補稿)を考慮した場合、東京の水害リスクは2000年代と比較して増大するものの、2050年時点の社会経済シナリオを考慮した場合は人口が減少することで2000年代と比較して水害リスクは低下するため、水害危険地域からの撤退等の適応策を実施することにより2100年相当においてもリスクを低減していくことが可能であることが示唆されている。ただし、不動産価格や保険市場等の市場メカニズムに自然災害リスクを反映させていく等の検討が必要であるとしている。⁶⁴¹⁰¹⁵⁾

気候変動が金融部門に及ぼす影響について、日本を含む世界70カ国あまりの中央銀行及び金融監督機関を中心としたネットワークである気候変動リスクに係る金融当局ネットワークが報告書を公表しており、気象災害等による物理的な影響及び脱炭素・低炭素経済への移行の影響により、気候変動が金融の安定性やマクロ経済状況に影響を及ぼす可能性を指摘している。例えば、物理的な影響による借り手の債務返済能力の低下や担保価値の低下は貸し手の信用リスクを増大させる可能性があり、貸し手の収益の減少は金融市場に反映され、投資家や資産所有者に影響を及ぼす。また脱炭素・低炭素経済への移行にはエネルギー、インフラ、産業システムなど広範囲にわたる移行が必要となり、金融部門にリスクと機会をもたらす。^{6410XY)}

CDP気候変動質問書(2017)では、気候変動の影響による物理リスクが顕在化する可能性が高いと認識している企業が多く(回答した金融業の合計66.7%)、気候変動の影響がビジネス機会と

⁷⁴⁾ ここで言うシナリオは、自然災害による経済損失等のコストに関する近年のトレンド等から将来生じうる気候変動関連の損害の予測を示したものである。

して得られる可能性が高いと認識している企業が多い（同 63.7%）という結果を得ている。⁶⁴¹⁰⁰⁷

（重大性、緊急性、確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】経済

社会的・経済的要因とも相まって、日本を含め、世界的な自然災害に伴う損害額の増大が予測され、こうした自然災害による損害リスクに適切に対処できない場合、時間とともに、保険業をはじめとする様々な業種に多大な影響を及ぼすと予測されている。保険業界では、再保険を通じてリスクを移転することが一般的だが、再保険はグローバルにリスクを移転する制度であるため、自然災害に伴う世界的な損害額の増大は日本の保険業にも影響を及ぼすことが予測されている。保険料の値上がりや付保条件の変更などは保険業のみならず社会への影響も大きい。他方で、こうしたリスクに適切に対処することができれば、ビジネスの機会ともなり得る。

金融分野では、気象災害等による物理的な影響及び脱炭素・低炭素経済への移行の影響により、気候変動が金融の安定性やマクロ経済状況に影響を及ぼす可能性が指摘されている。

- 緊急性：【評価】中程度

既に保険業については自然災害に伴う保険損害の増大による影響があり、一定の対応が始まっている。日本において影響が生じる具体的な時期や規模については、既往の知見が確認できていない。ただし、自然災害による損害分野については対応を早期に検討し、準備するという意味で緊急性は高い。

- 確信度：【評価】中程度

研究・報告数は一定程度あるが、日本に関する学術研究の数は限定的で、モデル、シナリオを用いた定量的予測も限定的である。他方で、保険業界において一定の定量的予測が行われている。自然災害に対する保険金支払額は増加しており、この点において確信度は高い。

【観光業】

(1) レジャー

(気候変動による影響の要因)

本項目では森林、雪山、砂浜、干潟などの自然資源を活用したレジャーを主体に扱っている（人工施設、屋内におけるレジャーは扱っていない）。

- 気候変動による気温の上昇、降雨量・降雪量や降水の時空間分布の変化、海面水位の上昇などは、自然資源（森林、雪山、砂浜、干潟等）を活用したレジャーに対して、活用可能な場・資源の消失や減少、活動に適した期間の変化等の影響を及ぼす可能性がある。
- 極端現象の頻度や強度の増加は、自然資源を活用したレジャーに対して、活用可能な場・資源に影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

- 気温の上昇、降雨量・降雪量や降水の時空間分布の変化、海面水位の上昇は、自然資源（森林、雪山、砂浜、干潟等）を活用したレジャーへ影響を及ぼす可能性があるが、現時点で研究事例はスキー場への影響を除いて限定的にしか確認できていない。
- 観光資源である滝の凍結度や流氷の減少、スキー場における積雪深の減少のほか、厳島神社での台風・高潮被害の増加が報告されている。

暖冬によるスキー場への影響（積雪量の不足）が報告されている。^{651001, 651002} 2007年から2016年までの長野県のスキー場来客数に対する気象的要因と社会的要因の影響を重回帰分析した報告では、当該期間におけるスキー場来客数の減少は主に社会的要因の影響が大きいことが示唆されたものの、気温は負に有意、積雪深は正に有意であった。⁶⁵¹⁰⁰³

12～2月の気温上昇により茨城県袋田の滝の凍結度が減少傾向にある⁶⁵¹⁰⁰⁴こと、世界遺産が位置する知床半島の流氷が減少していること⁶⁵¹⁰⁰⁵、広島県厳島神社で台風・高潮被害が増加傾向にあること⁶⁵¹⁰⁰⁶といった、観光資源への影響が全国で報告されている。

全国3か所（秋田県角館町、長野県小諸市、東京都中野区）における桜まつりへの出店者等に対するインタビュー調査によると、約9割はサクラの開花時期の変化を認識しているものの、商売に与える影響への意識には地域差があることが報告されている。⁶⁵¹⁰⁰⁷

企業の環境報告書等からは、レジャーランドでの訪問客の待機時における暑さ対策の必要性、ゴルフ場での大雨や熱波による芝の病気等に対する管理費用の増大や夏場の入場者の減少による利益損失が挙げられている。⁶⁵¹⁰⁰⁸

(将来予測される影響)

- 2050年頃には、夏季は気温の上昇等により観光快適度⁷⁵が低下するが、春季や秋～冬季は観光快適度が上昇すると予測されている。
- スキーに関しては、降雪量及び最深積雪が、2031～2050年には北海道と本州の内陸の一部地域を除いて減少することで、ほとんどのスキー場において積雪深が減少すると予測されている。また、積雪量の減少により来客数・営業利益の減少が予測されている。
- 積雪量の減少により交通負担が軽減することで社寺への来客数が増加すると予測する研究がある一方で、原生林の衰退により世界自然遺産登録が抹消されると想定した場合に来客数が減少すると予測している研究もある。
- 海面水位の上昇により砂浜が減少することで、海岸部のレジャーに影響を与えると予測されている。

気候変動が観光快適度（TCI：Tourism Climate Index）⁷⁶に及ぼす影響を予測した研究（A1Bシナリオを前提としたMIROC3.2、及びCMIP3から5モデル（CSIRO-Mk3.5、MPI-ECHMAN5、GFDL-CM2.0、CSIRO-Mk3.0、MIROC-3.2-HIRESモデル）による予測情報を使用）によれば、現在、観光快適度が観光適値（50）を超える地域は、北緯25度以南であるが、2050年頃⁷⁷には、このラインが北上すると予測している。時期別にみると、6～8月は気温が上昇して不快域に入るため日本全土でTCIが低下し、近畿地方では月総降雨量の増加も加わってさらにTCIが低下すると予測されている。一方、3～5月と9～2月にはTCIが50を超える地域が増加すること等が示されている。⁶⁵¹⁰⁰⁹ また、気候変動がGDPに与える影響に関して世界を8地域に区分して分析した研究（応用一般均衡モデルを使用）では、2001年と比較して2050年、2100年のいずれにおいても、日本の観光部門では観光需要が増加することを予測している。⁶⁵¹⁰¹⁰

気候変動のレジャーへの影響は、レジャーのタイプによっても異なる。スキーに関しては、2031～2050年には降雪量及び最深積雪は北海道と本州の内陸の一部地域を除いて減少し、ほとんどのスキー場で積雪深が大きく減少すると予測されている。⁶⁵¹⁰¹¹ 富山県のスキー場に及ぼす影響を予測した研究（A1Bシナリオを前提としたMRI-AGCM3.2Sモデルによる予測情報を使用）によれば、今世紀後半（2075年～2099年）にかけて約50cm程度の積雪深の減少を予測しており、また、積雪量と来客数の実績データから、来客数と営業利益の大幅な減少を予測している。⁶⁵¹⁰¹² 2007年から2016年までの長野県のスキー場来客数に対する気象的要因と社会的要因の影響を重回帰分析した報告では、気温は負に有意、積雪深は正に有意となり、気候変動の進展により気温の上昇、積雪深の減少が起きた場合に、スキー場来客数がさらに減少していくことが予測されている。⁶⁵¹⁰⁰³ 気候変動による長野県のスキー場来客数の変化を、旅行費用法を用いて算出した報告（RCP2.6、RCP8.5シナリオを前提としたMIROCモデルによる2031年～2050年、2081年～2100

⁷⁵ 観光快適度：気温や降水量、日射量などから観光するにあたっての気候の快適性を指標化したもの。

⁷⁶ 観光快適度（TCI）とは、観光業を気象条件から評価する指標であり、TCIの値が50以上の場合に観光に適していると考えられる。⁶⁰²³

⁷⁷ 正確にはMIROCを用いた予測は2041～2050年、CMIP3の5モデルを用いた予測は2046～2055年を対象である。

年の2つの対象期間の予測情報を使用)によれば、2031年～2050年におけるRCP2.6シナリオの下での長野県全体の被害額は、3.04億円/年であり、現在の雪山のレクリエーション価値の4.43%の被害率となった。一方、RCP8.5のシナリオでは、6.26億円/年であり9.13%の被害率となった。2081年～2100年におけるRCP2.6シナリオの下での長野県全体の被害額は、4.96億円/年であり7.23%の被害率となった。一方、RCP8.5のシナリオでは、24.43億円/年であり35.60%の被害率となった。⁶⁵¹⁰¹³ 愛媛県を対象にした研究(RCP8.5シナリオを前提としたMRI-AGCM3モデルによる予測情報を、NHRCMを用いてダウンスケーリング)においても、今世紀後半(2076年～2096年)にかけて降雪量の減少及び営業日数の減少を予測している。標高が低いスキー場では、人工降雪機を用いても、営業日数が大幅に減少すると予測している。⁶⁵¹⁰¹⁴ 降雪量の変化に関して、さっぽろ雪まつりでの採雪可能量の変化が採雪費用に及ぼす影響を予測した事例(RCP8.5シナリオを前提としたNHRCM02モデルによる予測情報を使用)では、21世紀末(2076年～2095年)に、札幌市内の平地における採雪は困難となり、採雪費用が現在よりも約2.2倍になると予測している。⁶⁵¹⁰¹²

栃木県日光市の社寺を対象に、旅行費用法を用いて、降雪量を考慮(A1Bシナリオを前提としたMRI-AGCM3.2Sによる予測情報)した冬季における需要関数を設定し、日光の社寺のレクリエーション価値を算出した研究によれば、今世紀後半(2075～2099年)にかけて、降雪量が減少することで交通費用が低下し、現在の訪問客数と比較して年間2万人程度増加し、3.19億円程度増加することを予測している。⁶⁵¹⁰¹⁶

気候変動による影響として白神山地の世界自然遺産登録の抹消を想定し、それによる観光への影響(観光客数とレクリエーション価値への影響)を、アンケート及び仮想行動法を用いて算出した研究によれば、登録抹消時には観光客が約34%減少し、年間約786億円のレクリエーション価値の損失を予測している。⁶⁵¹⁰¹⁷ 同様の手法により白川郷を対象にした研究では、年間278億円のレクリエーション価値の損失を予測している。⁶⁵¹⁰¹⁸

また、海岸部のレジヤーに関しては、旅行費用法を用いた砂浜の経済価値評価に関する研究がいくつか見られる。先行研究^{651019, 651020}の結果を踏まえて、30cm、65cm、100cmの海面水位の上昇により56.5%、81.7%、90.3%の日本全国の砂浜が消失すると仮定して消失する砂浜のレクリエーション価値を試算した例では、それぞれの海面水位の上昇幅において、522億円/年(現在価値13,044億円)、753億円/年(同18,829億円)、832億円/年(同20,811億円)としている。⁶⁵¹⁰²¹ また、前述した砂浜の消失率を用いて、レクリエーション需要量の減少に伴い生じる等価変分⁷⁸及び消費者余剰⁷⁹の変化を被害額として試算した例では、それぞれ247億円/年、440億円/年、551億円/年としている。⁶⁵¹⁰²² 一方、都道府県別の砂浜侵食率の違いを考慮した被害額から日本全体の経済的被害額(レクリエーション価値の損失)を試算した例では、海面水位の上昇幅30cm、65cmでそれぞれ約290億円/年、約530億円/年としている。⁶⁵¹⁰²³ 応用一般均衡モデルと砂浜の物理的将来予測データを用いて、砂浜侵食による経済的被害額を推計した研究(RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5の3シナリオを前提に、MIROC5、MRI-CGCM3、HadGEM2-ESの3つの気候予測モデルによる2031年～2050年、2081年～2100年の2つの対象期間の予測情報を使用)では、いずれ

⁷⁸ 等価変分: 変化前の価格の下で、価格上昇後と同じ効用の状態にするために消費者が支払う金額。

⁷⁹ 消費者余剰: 消費者が財の消費から得る効用の貨幣的価値から、その財を得るのに支払った費用を引いた差額。(大辞林第三版)

の期間及び RCP シナリオにおいても、沖縄県、神奈川県、新潟県、兵庫県の被害額合計が、日本全体における総被害額のうちの約 40%から 45%を占め、いずれの期間でも、気温上昇が大きくなるほど、砂浜侵食の被害額は大きくなることが示された。また、気温上昇が大きくなるほど養浜事業による適応策の費用対効果が得られる都道府県が増加するとしている。⁶⁵¹⁰²⁴⁾

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

観光部門全体としては、スキー等の自然資源を活用したレジャーにおいては主に観光資源の損失等の負の影響を受けるとする事例がみられるものの、地域によっては観光快適度の上昇や降雪量の減少による観光需要の増加といった正の影響を受けるとする報告もある。

● 緊急性：【評価】中程度

適応の着手時期について述べている既往の知見は確認できないが、既に暖冬によるスキー場への影響が報告されている。既に影響が生じているところも見られるが、影響の範囲は限定的であり、緊急性は中程度である。

● 確信度：【評価】高い

個々のレジャータイプ毎（スキー、森林、干潟、砂浜等）の研究・報告数はそれぞれ限定的であるものが多いが、全体では比較的多くある。モデル、シナリオを用いた定量的予測も少数ある。結果は合理的で整合的でもある。RCP（代表的濃度経路）シナリオに基づいた試算もあり、見解の一致度は高いといえる。このことから、確信度は高いといえる。

なお、下記の業種については知見が報告されているため細目として評価を行う。

<自然資源を活用したレジャー業及び関連するサービス業>

重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】経済

緊急性：【評価】中程度

確信度：【評価】高い

スキー場や海岸部等の自然資源を活用したレジャーについては、主に観光資源の損失等の負の影響が予測されている。これらは、地域における観光産業への影響にもつながる。経済的な損失から、自然資源を活用した観光業に依存している地域や住民にとっては、重大性が大きく、緊急性、確信度は全体の評価と同様である。

【建設業】

(1) 建設業

(気候変動による影響の要因)

本項目では、気候変動による建設業への二次的な影響を取り扱うが、自然災害・沿岸域分野や国民生活・都市生活分野の小項目「都市インフラ、ライフライン等」では、気候変動による建築物への直接的な影響を取り扱う。

- 気候変動による極端現象の頻度や強度の増加は、建築物の性能を確保するための設計条件・基準や、建設工事の現場等へ直接的な被害を及ぼすことが想定される。
- 気温の上昇などが建築物の建材や構造健全性に影響を及ぼすことが想定される。
- 洪水や高潮等によるインフラ等への被害のほか、適応策の導入を通じて、建設業に間接的な影響を及ぼすことも想定される。

(現在の状況)

- 現時点で、建設業への影響について具体的な研究事例が一定程度確認されている。
- 夏季の気温上昇により、コンクリートの質を維持するための暑中コンクリート工事の適用期間が長期化している。
- 過去5年間（2015年～2019年）の職場における熱中症による死亡者数、死傷者数は、ともに建設業において最大となっている。
- 建築物への風や積雪による荷重、空調負荷、洪水等による浸水対応など、建築物の性能を確保するための設計条件や基準・指針の見直しの必要性が検討されている。
- 日本建築学会では、建築物の気候変動への対応に関し、自助・公助の課題、設計基準の見直しの必要性等が示され、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。

建設業への影響については、夏季の気温上昇により、コンクリートの質を維持するための対策を行う暑中コンクリート工事の適用期間が日本の西南地域を中心に長期化している事例が報告されている。^{661001, 661002, 661003}

過去5年間（2015年～2019年）の職場における熱中症による死亡者数、死傷者数は、ともに建設業において最大となっている。⁶⁶¹⁰¹³

建物への被害では、台風による店舗建物の屋根材等のはく離・建具の脱落等・窓の損傷後に強風が屋内に吹き込むことによる天井や内壁の脱落等の事例等が報告されている。また、竜巻により木造建物のべた基礎の底面が地盤から離れ、建物が裏返しになった事例や鉄骨建物の屋根が脱落・飛散する事例等が報告されている。大雪では、大規模な屋根を有する建物や屋根の勾配が緩い建物で屋根が崩落した事例等が報告されている。⁶⁶¹⁰⁰⁵

日本建築学会に設置されている「気候変化による災害防止に関する特別調査委員会」において

建築物の気候変動への対応に関し、建築物個々の自助対策や公的なインセンティブなど公助に対する課題、設計基準の見直しの必要性等が示され、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。^{661006, 661007, 661008)}

CDP 気候変動質問書（2017）の回答によると、降水パターンの変化により、下水道の水量が急激に増加することで下水管の更新工事の遅延が懸念されることや、国外企業の回答では極端な降水量の変化による遅延、損失及び損傷にさらされることへの懸念を示す回答が見られる。⁶⁶¹⁰⁰⁹⁾

企業の環境報告書等からは、施工現場での熱中症対策の重要性や木材資源の調達へのリスクが懸念されている。⁶⁶¹⁰¹⁰⁾

(将来予測される影響)

- 日本建築学会において、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。
- 関東地域の夏季において建築物の空調熱負荷が増加すると予測されている。

日本建築学会に設置されている「気候災害特別調査委員会」等において、水害への防災・減災対策として、水流と建築の構造的耐力との関係整理、浸水しても機能停止に陥らない建築構造や重要設備等の配置、早期復旧が可能で健康被害も小さい建築計画、リスクの高い地域の居住を避ける施策提案等、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。^{661007, 661008)}

気候変動が関東地方の夏季 8 月の建築物の空調熱負荷へ与える影響について研究した事例（RCP4.5 シナリオを前提とした MIROC4h モデルを使用）では、近未来（2029 年 8 月）は現在（2001～2010 年）と比べ顕熱負荷が 26%上昇し、潜熱負荷が 10%上昇すると予測されている。⁶⁶¹⁰¹¹⁾

気候変動がパーティクルボードの剥離強さに与える影響について研究した事例（RCP2.5、RCP4.6、RCP8.5 の 3 つのシナリオを前提に、MIROC5 モデルによる 2031 年～2050 年の予測情報を使用）では、気候変動の進展に伴い剥離強さが低下することを予測している。⁶⁶¹⁰¹²⁾

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

日本建築学会で建築物の設計基準の見直しが議論されていること等に留意が必要であるが、現時点で、予測・評価をした研究事例は限定的である。しかしながら、極端な気象現象による建築物の被害が発生していることに加えて、過去 5 年間（2015 年～2019 年）の職場における熱中症の死亡者数、死傷者数は、ともに建設業において最大となっており、これらの点から、重大性は特に大きいといえる。

- 緊急性：【評価】高い

日本建築学会で建築物の設計基準の見直し等が議論されていることや、過去5年間（2015年～2019年）の職場における熱中症の死亡者数、死傷者数は、ともに建設業において最大となっていることから高いと考えられる。

- 確信度：【評価】低い

現時点で、日本建築学会で影響やリスクが議論されるなどが見られるが、予測・評価をした研究事例は限定的であり、確信度の評価は低い。これについては今後更なる調査・研究が必要である。ただし、建設業における熱中症の発生状況については、過去5年間（2015年～2019年）の職場における熱中症の死亡者数、死傷者数ともに業種別で最大となっており、確信度は高い。

【医療】

(1) 医療

(気候変動による影響の要因)

本項目では、医療産業への影響を取り扱うが、健康分野では人の健康そのものへの影響を取り扱う。

- 気候変動による気温の上昇は、熱中症のリスク、水や節足動物等により媒介される感染症のリスク等を拡大させることが懸念されていることから、医療産業に対しても何らかの影響を与えることが想定される。
- また、極端現象の頻度や強度の増加に伴う災害リスクの増加や無降雨・少雨等に伴う渇水の増加は、医療に影響を及ぼすことも想定される。

(現在の状況)

- 現時点で、医療産業への影響について、以下のような影響や報告が一定程度見られる。
 - 断水や濁水による人工透析への影響や気温と救急搬送量との関係等に関する研究報告
 - 熱帯あるいは亜熱帯地域に存在する病原細菌への国内での感染事例
 - 洪水による浸水が発生した医療機関への被害事例

自然災害による断水、濁水が人工透析に及ぼす影響が報告されている。^{671001, 671002, 671003)}

2007年から2010年における47都道府県の救急搬送量を分析した事例では、異常高温が救急搬送量に影響することが報告されている⁶⁷¹⁰⁰⁴⁾。福岡県でのデータを用いて分析した事例では、23.5℃を超えると若・中年層の救急搬送が増加する傾向にあることが報告されている。⁶⁷¹⁰⁰⁵⁾

また、熱帯あるいは亜熱帯地域に存在する病原細菌(クロモバクテリウム・ビオラセウム)の国内での院内感染の事例が報告されている。⁶⁷¹⁰⁰⁶⁾

洪水による浸水が発生した福祉施設への調査では、機械類の被害が多く、入居者の多くからは冷房の復旧を要望されたことが報告されている。また、医療機関への調査では、入居者が施設内に閉じ込められたことが報告されている。⁶⁷¹⁰⁰⁷⁾

民間企業の環境報告書等において製薬会社では、感染症薬の需要が増加した場合に供給不足となるリスク、一方で需要に適切に対応することがビジネス機会につながる可能性が認識されている。⁶⁷¹⁰⁰⁸⁾

(将来予測される影響)

現時点で、医療産業への影響について具体的な研究事例は確認できていない。ただし、健康への影響については、「3.5 健康」を参照されたい。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

現時点で、予測・評価をした研究事例は確認できていない。気温と救急搬送量との関係に関する報告、亜熱帯性病原細菌への院内感染の事例や大雨による医療機関の浸水被害事例等が報告されているものの、判断する材料に乏しい。

● 緊急性：【評価】中程度

現時点で、大雨による医療機関の浸水被害等が報告されており、中程度と考えられる。

● 確信度：【評価】低い

現時点で、大雨による医療機関の浸水被害の事例等の報告は見られるものの、予測・評価をした研究事例が確認できていないことから確信度の評価は低い。

【その他】

(1) その他(海外影響等)

(気候変動による影響の要因)

本項目では、農作物に関連した海外影響を扱う場合、どちらかといえば貿易への影響（貿易量、価格、品目の変化など）や、それらを材料とする製品への影響（飲料生産や加工食品生産への影響など）を取り扱うが、農業・林業・水産業分野の小項目「食料需給」では、主にコメ・トウモロコシ・コムギ・ダイズの主要輸入国における生産量や栽培適地の変化などの影響を取り扱う。

- 気候変動による日本国外での影響が、サプライチェーンや日本国内の産業・経済に影響を及ぼすメカニズムについては、要因が複雑であり、メカニズム自体ははっきりしているわけではないが、海外での自然災害が国内企業の活動に影響を及ぼした事例や、将来の影響を研究する事例が蓄積されてきている。
- 英国外で生じた気候変動の影響が英国内に及ぼす影響を分析した事例では、以下のような影響について言及している。
 - 海外にサプライチェーンを持つ企業は、現地での気候変動による海面水位の上昇あるいは極端現象の頻度や強度の増加等により、経済活動上の直接的・物理的な被害を受ける可能性がある。
 - 海上における暴風雨の増加や発生パターンの変化は、海上輸送時間や輸送ルートの変更を引き起こし、サプライチェーンへの影響を生じさせ、製品や資源の輸送の遅れや輸送費用の増加等に繋がる可能性がある。
 - 気候変動による極端現象の頻度や強度の増加などにより、エネルギーの輸入先においてエネルギー関連インフラが損傷を受けることで、エネルギーセキュリティや燃料輸入価格等に影響を与える可能性がある。
 - 極端現象の頻度や期間の増加、水資源の減少、海洋の酸性化、水温の変化により、輸入している農水産物が不作となり、農水産物の輸入価格に影響を与える可能性がある。
 - 気温の上昇などに伴う感染症パターンの変化は、海外における感染症の媒介者を増加させ、国内への移住や旅行を通じて国内で拡大させる可能性がある。

(現在の状況)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">● 気候変動による日本国外での影響が日本国内や日系企業に及ぼす影響について、研究事例が少数見られる。● 気候変動の影響として予想される海外の影響事例が報告されている。例えば、気候変動による過去 30 年間の世界の主要穀物の収量低下を推定した事例、海外の穀物生産地で生じた干ばつにより食料価格が上昇した事例がある。2011 年のタイ国チャオプラヤ川の洪水では、多数の日系企業に被害をもたらし、ハードディスクのサプライチェーンにおける日系企業の損失を約 3,150 億円と試算している事例や、日本の損害保険会社が日系企業に支払う保険金の |
|---|

額が 2011 年の地震・津波に対する額を上回ったと報告している事例がある。

現時点で収集された文献からは、気候変動による国外での影響が日本国内に影響しているとの報告は確認できていない。しかし、IPCC の報告では、全球規模での農業生産性に関して作物収量に対する気候変動の負の影響は、正の影響に比べてより一般的に見られるとしている。⁶⁸¹⁰⁰¹⁾ 世界的に重要な穀物生産地で生じた干ばつにより生産量が減少し、食料価格が上昇した事例がある。⁶⁸¹⁰⁰²⁾ 気候変動がトウモロコシ、コメ、コムギ、ダイズの 1981 年から 2010 年の平均収量に与えた影響について、過去の実際の気候条件下で推定した収量と、温暖化が起きなかったという仮定の下で推定した収量を比較した研究によると、コメを除き、トウモロコシ 4.1%、コムギ 1.8%、ダイズ 4.5%の低下が推定された。また、これら収量への影響に 2000 年頃の世界の収穫面積分布と国別の生産者価格（2005 年から 2009 年の平均値）を乗じて算出した生産額の減少は、それぞれ年間 223 億ドル、136 億ドル、65 億ドルに上ると見積られている。⁶⁸¹⁰⁰³⁾ また、例えば 2011 年に発生したタイ国チャオプラヤ川の洪水に関して、日系企業の被害を調査した報告は複数見られる。^{681004, 681005, 681006, 681007, 681008, 681009)} チャオプラヤ川の洪水が、気候変動が主たる影響であるかは別にして、これらの報告によると、自動車、精密機械や化学産業等の多くの工場が操業停止に至った上に、生産に必要な図面や金型等の資材が水没したために代替生産・調達に時間を要したことが報告されている。⁶⁸¹⁰⁰⁷⁾ さらにハードディスクのサプライチェーンの例では日系企業の損失は約 3,150 億円と試算されていることや⁶⁸¹⁰⁰⁵⁾、モーター工場の浸水による供給不足からハードディスクの価格が 1.8 倍程度に上昇したこと⁶⁸¹⁰⁰⁸⁾、日本の損害保険会社が日系企業に支払った金額が 2011 年の地震と津波に対する保険を上回ったこと⁶⁸¹⁰⁰⁹⁾、特定の工業団地に技術集約度の高い製品と関連部品メーカーの集積が進んだことによりグローバルサプライチェーンにまで影響が及んだこと^{681004, 681009)}などが報告されている。気候変動と安全保障に関する米国の報告では、日本は総輸入量の約 17%を気候変動に関連した安全保障上の脅威が中程度以上に高い国々から輸入していることを指摘している。⁶⁸¹⁰¹⁰⁾ これらにより、生産拠点の自然災害リスクをいかに軽減するかという課題は、国内だけでなく海外にも存在することが示唆される。ただし、サプライチェーンの影響の試算は複雑であり、周辺国の各産業への影響を含めた海外での間接的被害の総額は現時点では推計されていない。

(将来予測される影響)

- 国外での影響が、日本国内にどのような影響をもたらすかについては、貿易等の要因が関与する間接的な影響が中心であるが、以下のような研究事例が報告されている。
 - 気温の上昇により、世界全体で見た場合に作物生産量が変動し、価格に影響を及ぼす可能性がある。
 - 気温上昇や降水量の変化が、コメ、トウモロコシ、コムギの貿易量に変化を及ぼす。海外の大麦生産地での干ばつ等によりビール生産向けの大麦供給量の減少と、それに伴う日本を含めた世界的なビール消費量の減少及び価格の上昇が生じる。

- 輸入国の土地利用や労働者の健康への気候変動の影響は、日本への農畜産物・工業製品の輸入の脆弱性を高める。
- 英国での検討事例等を踏まえると、エネルギーや農水産物の輸入価格の変動、海外における企業の生産拠点への直接的・物理的な影響、海外における感染症媒介者の増加に伴う移住・旅行等を通じた感染症拡大への影響等が日本においても懸念される。

本分野は貿易等の要因が関与する間接的な影響が中心であり、まだ研究が十分蓄積されていないが、研究事例が少数報告されている。例えば、気候変動がコムギ、コメ、トウモロコシの貿易量の変化に与える影響を分析した事例⁶⁸¹⁰¹¹⁾では、世界全体で気温が平均 3℃上昇する場合、コムギ・コメ・トウモロコシはそれぞれ 8.91%輸出減少、1.13%輸出増加、0.15%輸出減少となり、世界全体で年平均降水量が 10%増加する場合、それぞれ 2.25%輸出減少、0.84%輸出増加、3.15%輸出増加となる。干ばつの発生がオオムギの収量等に与える影響を分析した事例（RCP2.5 シナリオから RCP8.5 シナリオまでの 4 通りの排出シナリオを前提に 5 つの気候予測モデル（GFDL-ESM2M、HadGEM2-ES、IPSL-CM5A-LR、MIROC-ESM-CHEM、NorESM1-M）を使用）⁶⁸¹⁰¹²⁾では、3～17%のオオムギ収量の減少、日本への輸出量の減少、ビール生産向けのオオムギの減少とそれに伴うビール消費量の減少及び価格の上昇を予想している。気候変動が作物生産量に及ぼす影響を予想する事例（RCP2.5 シナリオから RCP8.5 シナリオまでの 4 通りの排出シナリオによる気温上昇を想定）では、気温が 1℃上昇するごとに、コメ、ダイズ、トウモロコシ、コムギの収量がそれぞれ 3.2%、3.1%、7.4%、6.0%減少すると予想している。他方で、気温上昇を加味した 2030 年における作物生産量と価格を予想する事例（SRES A1B シナリオを前提とした ECHAM5 モデルを使用）⁶⁸¹⁰¹³⁾では、世界全体での作物生産量の 1.7～6%の増加（作物生産変動：EU3%増加、米国 8%増加、ロシア 10%増加）及び作物価格の低下（熱帯地域のブラジル・東南アジア・マレーシア・インドネシアでは上昇）を予想している。その他に、土地利用や労働者の健康への気候変動の影響が日本への輸入品に及ぼす影響を分析した事例^{681014, 681015)}では、輸入対象の農畜産物（トウモロコシ、穀物、豚肉製品、エビ等）や工業製品（電子部品や繊維製品等）に直接的・間接的な気候変動の影響が生じることで脆弱性が高いと評価している。このような食料生産等への影響が、海外食料依存度の高い日本に与える影響については、留意が必要と考えられる。

気候変動による国外の影響が自国内に及ぼす影響について、英国では科学技術庁が 2011 年に取りまとめを行っている。⁶⁸¹⁰¹⁶⁾ その中には、英国だけでなく我が国においても同様に想定される内容が多く見受けられる。例えば、健康面では、海外での感染症パターンが変化することで感染症の媒介者が増加し、英国への移住や旅行を通じて国内で拡大する可能性があるとしている。また、企業の競争力の観点からは、海面水位の上昇の影響を受けやすい海外の沿岸域に立地する英国企業のサプライチェーンを通じて、貿易や国内の金融、産業が影響を受ける可能性があることが指摘されている。加えて、海上における暴風雨の増加や発生パターンの変化は、海上輸送時間や輸送ルート変更をもたらし、サプライチェーンへの影響を生じさせ、製品や資源の輸送の遅れや輸送費用の増加等に繋がることも指摘されている。エネルギーの輸入先においてエネルギー関連インフラが気候変動影響により損傷を受けることで、エネルギーセキュリティや燃料輸入価格等に影響し、さらに、農水産物の輸入先での極端現象の頻度や期間の増加、水資源の減少、海

洋の酸性化、水温の変化等は、農水産物の輸入価格に影響を与える可能性があることも示唆されている。以上のような、海外への移住・旅行等を通じた感染症拡大の可能性、海外にサプライチェーンをもつ企業が現地での海面水位の上昇あるいは極端現象等により経済活動上の大きな打撃を受ける可能性、エネルギーや農水産物の輸入価格変動の可能性等は、日本においても同様にその可能性を否定できないものであり、今後、このような分野の影響の顕在化あるいは将来生じる可能性についてのさらなる調査・研究が必要と考えられる。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：【評価】影響が認められる

※ただし、気候変動の影響を受けるリスクが高い海外の地域にサプライチェーンを有する場合には、生産等に及ぶ影響の程度が大きくなる可能性がある。

気温上昇による世界的な作物生産量の変化による食料需給量の変動は、わが国の食料価格や輸出入に直接つながるものであり、経済面への影響が生じる可能性がある。その他に、海外での土地利用の変化や労働者の健康への影響等から、我が国が輸入する農畜産物や電子部品等の工業製品の脆弱性が高いと評価する報告がある。

なお、英国の科学技術庁が2011年に取りまとめた、気候変動による海外の影響が自国内に及ぼす影響の評価では、輸入先での異常気象の頻度や期間の増加、水資源の減少、海洋の酸性化、水温の変化等が農水産物の輸入価格に影響を与えると予測されている。

● 緊急性：【評価】低い

※ただし、気候変動の影響を受けるリスクが高い海外の地域にサプライチェーンを有する場合には、中程度と考える。

気候変動による国外での影響が日本国内に影響しているとの研究・報告は少数である。しかし、2011年のタイ国チャオプラヤ川の洪水では、日系企業に大きな被害をもたらした。また、サプライチェーンの広がりにより、製造業への自然災害リスクは、国内の生産拠点のみならず海外拠点にも存在することが報告されている。しかし、気候変動の影響を受ける海外の地域や業種、影響の程度などの不確実性は大きく、現時点で評価は難しい。

● 確信度：【評価】中程度

モデル、排出シナリオを使用した定量的予測は少数である。作物や工業製品等の輸入品に対する影響において一定の見解の一致が見られる。

(2) その他(その他)

(気候変動による影響の要因)

本項目では、気候変動が社会的リスクに及ぼす影響など、産業経済分野の他の小項目に該当しない影響を取り扱う。

- 気候変動に伴うアジア・太平洋地域における影響を踏まえた外交政策について、各地域や国における気候変動のリスクの分析を外務省が2017年に報告しているが、さらなる検討・分析が必要であるとしている。
- 気候変動に伴う社会的リスクについて欧米等では多数の学術論文が公表されており、例えば下記に示すようなリスクを挙げている。これらは日本にも該当する可能性があるものの、日本国内ではこれらのリスクに関する文献は限定的である。
 - 海面水位の上昇や干ばつによる食料難などの事由により、移住を余儀なくされる環境難民が生じ、安全保障に影響を及ぼす可能性がある。
 - 干ばつなどによる水や食料の不足を原因として地域的な紛争が生じる可能性がある。
 - 国外で自然災害の発生頻度が高まることで、人道支援等の回数が増大することによりコストが増大する可能性がある。
 - 気候変動の影響が国境地域のリスク管理に影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

- 気候安全保障に関する報告や、気候変動に伴うアジア・太平洋地域における影響を踏まえた外交政策の分析・立案が報告されている。
- 夏季に北極海の氷が融けることにより利用可能となる、北極海航路の産業利用を推進する一方で、多数の国が同航路を利用して北極圏に進出することによる我が国の安全保障への影響を懸念する報告がある。
- 気候変動に伴う紛争リスクについて欧米等では多数の学術論文が公表されている。
- 現時点では、産業・経済活動分野で挙げた中小項目以外での気候変動によるその他の影響について、国内の研究事例は確認できていない。
- 世界規模では、気候変動が農業生産量の変動や食料価格の高騰、農業への影響や災害による経済成長の低下、環境難民の流入等が紛争リスクの要因の一つとなっている可能性があることが示唆されている。

気候変動と安全保障の関係についての報告では、両者の連動する関係性から気候安全保障の概念を導入し、国際社会における安全保障上の脅威とその対応について示している。⁶⁸²⁰⁰¹⁾

夏季において北極海の氷が融けることで、北極海航路としての利用や資源の開発等が議論されている一方、安全保障面への影響を懸念する報告がある。⁶⁸²⁰⁰²⁾

アジア・太平洋地域における気候変動の影響及び社会経済的分析を行った報告があるが、それら国外の影響が日本に及ぼす影響については述べられておらず、さらなる検討・分析が必要であるとしている。⁶⁸²⁰⁰³⁾

気候変動に伴う紛争リスクについて世界規模での既存文献を米国の研究者がレビューしており、例えば、農業生産量の変動や食料価格の高騰、農業への影響や災害による経済成長の低下、環境難民の流入等が紛争リスクの要因の一つとなっている可能性があることを示している。⁶⁸²⁰⁰⁴⁾

(将来予測される影響)

- 欧米等の国際関係や安全保障に気候変動が及ぼす影響に関する報告では、国際支援の弱体化や負担等の増加、資源管理をめぐる対立の激化などが予測されている。
- 欧米等の研究事例によると、資源管理、環境移民、脆弱な人々への補償等をめぐり、気候変動が国際社会の不安定化を深める可能性が指摘されている。特に、気候変動の影響を受けやすい国と主要排出国との補償や人権をめぐる対立、環境移民の増加とその補償等に関する対立、社会的に不安定な地域の増加による安全保障政策のリスク等が拡大する可能性が示唆されている。

米国政府の国際関係に気候変動が及ぼす影響に関する報告では、気候変動の影響が途上国の経済成長を悪化させることにより、米国が実施する国際支援や投資を弱体化させ、人道支援や災害支援の必要性が増加する可能性、また、気候変動の影響が他の要素と相互に関係し、紛争が悪化することにより国家安全保障に影響を及ぼす可能性、加えて、国境にまたがる資源の管理に影響を及ぼす可能性を指摘している。⁶⁸²⁰⁰⁵⁾

気候変動が国防に及ぼす影響に関する報告では、2018年の英国防衛省の報告⁶⁸²⁰⁰⁶⁾では防衛及び安全保障計画の前提を改めて確認する必要性について述べており、オーストラリア⁶⁸²⁰⁰⁷⁾やニュージーランド⁶⁸²⁰⁰⁸⁾は気候難民の移住による紛争の増加への懸念を指摘している。

気候変動の影響による国際社会の安全保障へのリスクをまとめたドイツの報告では、資源管理、環境移民、脆弱な人々への補償等をめぐり、気候変動が国際社会の不安定化を深める可能性を指摘している。特に、気候変動による主要な影響として、淡水資源の劣化、農業生産量の減少、自然災害の増加及び環境移民の増加を挙げており、これらによるリスクとして、気候変動に脆弱な国家の増加、工業生産とインフラへの被害が世界経済に与えるリスク、温室効果ガス排出量が少ないが気候変動の影響を受けやすい国と主要排出国との補償や人権をめぐる対立、環境移民の増加とその補償等に関する対立、社会的に不安定な地域の増加による安全保障政策の拡大リスクを挙げている。⁶⁸²⁰⁰⁹⁾

- 重大性：【評価】現状では評価できない

既往の文献では、海外での気候変動による影響を踏まえた外交政策の立案・分析、北極海航路の開発や安全保障上のリスクに関連する報告が多数見られ、これらは、わが国の

産業経済・安全保障への影響を及ぼす可能性があるが、現時点で重大な影響があると判断されるような材料は乏しい。

なお、欧米等の政府が取りまとめた、海外での気候変動による影響が自国の社会に及ぼす影響の報告では、災害復旧への人道支援等のコスト負担の増加、国境地域の資源管理におけるリスクの増加や環境難民の流入により自国内外で紛争が増加するリスク等を挙げている。

- 緊急性：【評価】現状では評価できない

海外での気候変動による影響が日本国内の安全保障等に影響しているとの研究・報告は限定的である。しかし、オーストラリアやニュージーランドでは、既に環境難民の受け入れが問題となっており、今後、さらに環境難民が増加すれば我が国も受け入れを求められる可能性がある。このような気候変動の社会的リスクについては欧米を中心に多数の論文が見られるが、日本国内ではそのような検討は確認できておらず、現時点での評価は難しい。

- 確信度：【評価】現状では評価できない

研究・報告数は少数である。モデル、排出シナリオを使用した定量的予測は確認できておらず、日本国内に与える影響の確信度は現状では評価できない。日本に比べて海外では気候変動による安全保障への影響を、定性的ではあるものの活発に議論・報告されており、世界的に見ると確信度は少なくとも中程度と言える。

3.7 国民生活・都市生活

国民生活・都市生活分野における気候変動による影響の概略は、図 3-9 に示すとおりである。

気候変動による短時間強雨や渇水の頻度の増加、強い台風の増加などは、交通・電力・通信・水道・廃棄物処理などの生活に密接にかかわる様々なインフラ・ライフラインや、地域独自の伝統行事・観光業・地場産業等に被害を及ぼす。加えて、気温上昇に伴う生物季節の変化は、国民の季節感や、サクラ・紅葉の名所等での伝統行事・観光に影響を及ぼす可能性がある。都市部では、気候変動による気温の上昇にヒートアイランド現象が加わることで、熱ストレスが増大し、睡眠の質の低下やだるさ・疲労感の増加などといった形で、都市生活における快適さに影響を及ぼす。

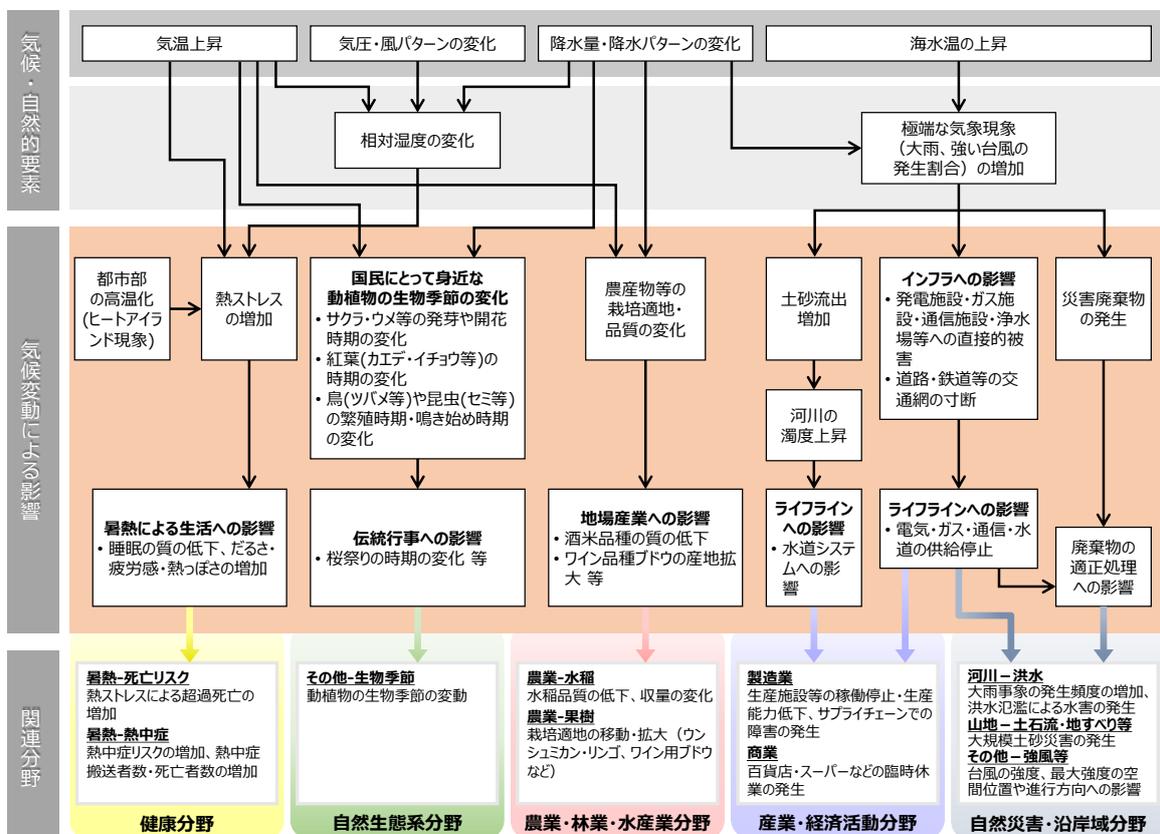


図 3-9 気候変動により想定される影響の概略図（国民生活・都市生活分野）⁸⁰

● 文献数・構成等の変化

今回の影響評価において、国民生活・都市生活分野全体では、複数分野で引用している文献を除いて合計 99 件の文献（現状影響 78 件、将来影響 21 件）を引用しており、このうち、前回の影

⁸⁰ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される国民生活・都市生活分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素（外力）との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」（上段）は、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）と、そのほか国民生活・都市生活分野に直接的な影響を及ぼす外力（薄い灰色部分）の 2 段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響（濃い灰色部分）のボックス間の因果関係は表示していない。

響評価から新たに追加された文献は74件である。

なお、前回の影響評価からの構成上の変更はない。

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

近年、日本各地で大雨・台風・渇水等による各種インフラ・ライフラインへの影響が顕在化している。これらの気象現象は発電施設や浄水場、廃棄物処理施設等に直接的に被害を及ぼすことに加えて、電気・ガス・水道等のライフラインの寸断、道路崩壊による孤立集落の発生等により住民生活に大きな支障をもたらしている。

サクラ・イチョウ・セミ・野鳥等の国民にとって身近な動植物の生物季節の変化が確認されており、地場産業に関連しては、気温上昇による酒米品種の品質の低下、北海道でのワイン品種ブドウの産地拡大等が報告されている。

都市部では、気候変動による気温上昇にヒートアイランドの進行による気温上昇が重なることで、人々が感じる熱ストレスが増大し、熱中症リスクの増加に加え、発熱・嘔吐・脱力感・睡眠の質の低下等により、生活の快適性に影響を与えている。

将来予測される影響

将来においても、極端な気象現象により電力・水道・交通・通信・廃棄物処理などの様々なインフラ・ライフラインに影響が及ぶことが懸念される。生物季節に関しては、気温上昇によりサクラの開花・満開期間が変化し、観光資源とする地域へ影響が及ぶことが予測されている。

都市部では、気候変動とヒートアイランドの相乗効果により気温は引き続き上昇を続ける可能性は高く、暑熱環境の悪化は都市生活に大きな影響を及ぼすことが懸念される。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

「都市インフラ、ライフライン等」については、現在でも日本各地で大雨や台風等の極端な気象現象による電力インフラ・水道インフラへの直接的被害や、交通網の寸断や電気・ガス・水道等のライフラインの寸断が新たに報告されており、将来においても様々な影響が生じることが予測され、損害・損傷による社会・経済面への影響は甚大であることから重大性は「特に重大な影響が認められる」、緊急性は「高い」と評価された。

「生物季節」については、サクラ等の生物季節の変化は既に顕在化しており、将来にかけても全国的な変化が予測されることから緊急性は「高い」とされたが、生物季節の変化による観光・地元経済への影響に関する研究事例は限定的であるため重大性は「影響が認められる」と評価された。「伝統行事、地場産業等」については、社会・経済面で一部の地場産業への影響は顕在化しているため緊急性は「高い」とされたが、影響の程度は個々の事象で異なり、全国一律での評価が困難であることから重大性は「現状では評価できない」と評価された。

「暑熱による生活への影響」については、熱ストレスの増大は熱中症リスクの増大や快適性の損失等により都市生活に及ぼす影響は大きく、経済損失も大きいことから重大性は「特に重大な影響が認められる」、緊急性は「高い」と評価された。

【都市インフラ、ライフライン等】

(1) 水道、交通等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、主に交通・電力・通信・水道・廃棄物処理などの様々なインフラ・ライフラインの障害の発生や寸断、設備への直接的被害を扱う。「3.8 分野間の影響の連鎖」では、自然災害に伴うインフラ・ライフラインへの影響について、近年の被害実態を取り扱う。

- 気候変動による短時間強雨や渇水の頻度の増加、強い台風の増加などは、交通・電力・通信・水道・廃棄物処理などの様々なインフラ・ライフラインへ被害を及ぼす可能性が極めて高い。

(現在の状況)

- 近年、各地で、大雨、台風、渇水等による各種インフラ・ライフラインへの影響が確認されている。
- 大雨による交通網の寸断やそれに伴う孤立集落の発生、電気・ガス・水道のライフラインの寸断が報告されている。
- この他、雷・台風・暴風雨などの異常気象による発電施設の稼働停止や浄水場施設の冠水、廃棄物処理施設の浸水等の被害、渇水・洪水、濁水や高潮の影響による取水制限や断水の発生、高波による道路の交通障害等が報告されている。
- これらの現象が気候変動の影響によるものであるかどうかは、明確には判断しがたいが、気候変動が進行すれば、さらに影響の程度・発生頻度は増加すると考えられる。

大雨、台風、渇水等によるインフラ・ライフラインへの影響が確認されている。例えば、平成29年7月九州北部豪雨では、河川の氾濫・土砂災害等により、道路崩壊・鉄道橋梁流出・土砂流入・冠水等が発生した結果、交通が寸断され、多数の集落が孤立状態となった。さらに一部地域では、電話回線や携帯電話が不通となったり、山腹崩壊や土石流の発生により、大量の流木が下流に流れ、通行障害の一因となった。その他、電気・ガス・水道等のライフラインも寸断され、住民生活に大きな支障をもたらした。⁷¹¹⁰⁰¹⁾ 平成30年7月豪雨においても、道路崩壊等による孤立集落の発生や電気・ガス・水道等のライフラインの寸断の発生など、住民の生活に大きな影響を与えた。⁷¹¹⁰⁰²⁾ 他にも、台風や集中豪雨が地域のインフラ・ライフラインに与えた被害が多数報告されている。^{711003, 711004, 711005, 711006, 711007, 711008, 711009)} また、2019年に発生した台風第13号や15号、17号、19号では、水道インフラでは水道施設の浸水や原水濁度上昇、取水不良、電力インフラでは暴風雨及びそれに伴う倒木・飛来物等による配電設備等の損壊による大規模な停電、交通インフラでは倒木等による鉄道の運転見合わせ、新幹線車両基地の浸水等、様々なインフラに影響が生じている。^{711010, 711011, 711012, 711013)}

電力インフラでは、雷・台風・暴風雨などの異常気象により、電力設備が損壊し、電力の供給が停止する事態が起きている。⁷¹¹⁰¹⁴⁾ 加えて、水力発電所では、豪雨災害による被害事例がその他

の災害・事故に比べて多く、設備の冠水や放水路の埋没などの被害が報告されている。⁷¹¹⁰¹⁵⁾

交通インフラに関しては、鉄道事業者が被害を受けた気象災害を分析した結果からは、近年、降水の時空間分布の変化により、土砂流入・土石流及び落石による被害の割合が増加していることが報告されている。⁷¹¹⁰¹⁶⁾ 気象災害が契機となって路線廃止となった事例も報告されている。⁷¹¹⁰¹⁷⁾ また、海面水位の上昇や高潮・高波の増加により、海岸道路に襲撃する高波の頻度が増加傾向にあり、高波による道路の交通障害や越波による事故の発生が報告されている。^{711018, 711019)} さらに、大雨や台風による影響として、高速道路の切土斜面の崩壊や鉄道の盛土の流出による交通への支障、流木による道路の通行障害の発生や河道閉塞による被害が報告されている。^{711020, 711021, 711022, 711029)}

さらに、大阪市内の地下鉄路線を対象とした研究では、局所的な集中豪雨により内水・外水氾濫が生じれば、地下鉄駅が浸水し、地下鉄利用者の安全に影響が生じる可能性が指摘されている。^{711023, 711024, 711025)}

水道インフラについては、大雨や台風による浄水場施設の冠水、水没や水管橋などの破断などの施設そのものへの影響や、渇水・洪水、濁水の影響による取水制限や断水の発生が確認されている。^{711026, 711027, 711028, 711029)}

近年見られる極端な降水の強度の増加傾向に対して、計画上の治水安全度（被害を発生させずに安全に流せる洪水の発生する確率）が現在の気候における大雨に対して十分なものとなっておらず、都市部では内水氾濫の頻発などが報告されている。⁷¹¹⁰³⁰⁾

この他、気候変動により影響を受けるインフラ・ライフラインとして、廃棄物処理施設・廃棄物処理システムがある。例えば、豪雨や台風などの気象災害により、廃棄物の収集運搬車両の通行に影響が生じたり、処理施設そのものが浸水して稼働が停止するなど、廃棄物の処理工程に影響が生じ、適正処理の維持に影響を及ぼす可能性がある。⁷¹¹⁰³¹⁾ 加えて、気象災害が激甚化すれば、様々な種類の災害廃棄物が大量発生することが想定される。実際に平成30年7月豪雨や2019年の東日本台風（台風第19号）では、家屋損壊等に伴う災害廃棄物の大量発生や固形廃棄物処理施設・し尿処理施設の浸水、最終処分場への搬入路の寸断等の影響が生じている。^{711013, 711032)}

これらの現象が気候変動の影響によるものであるかは、明確には判断しがたいが、降水量の増大には地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあるとしている報告もある。⁷¹¹⁰³³⁾ 気候変動が進行すれば、さらに影響の程度・発生頻度は増加すると考えられる。

(将来予測される影響)

- 気候変動がインフラ・ライフラインにもたらす影響について、全球レベルでは、極端な気象現象が、電気、水供給サービスのようなインフラ網や重要なサービスの機能停止をもたらすことによるシステムのリスクに加えて、国家安全保障政策にも影響を及ぼすとする報告がみられる。

- 国内では、電力インフラに関して、台風や海面水位の上昇、高潮・高波による発電施設への直接的被害や、冷却水として利用する海水温が上昇することによる発電出力の低下、融雪出水時期の変化等による水力発電への影響が予測されている。
- 水道インフラに関して、河川の微細浮遊土砂の増加により、水質管理に影響が生じること、交通インフラに関して、国内で道路のメンテナンス、改修、復旧に必要な費用が増加することが予測されている。
- この他に、気象災害に伴って廃棄物の適正処理に影響が生じることや、洪水氾濫により水害廃棄物が発生することや都市ガスの供給に支障が生じることとも予測されている。
- 交通インフラ等への影響に関して、国内の知見は限定的であるものの、国外では、極端な降雨による鉄道レールへの影響、洪水・土砂災害による道路網への影響、異常気象による通信インフラへの影響が予測されている。
- 今後、気候変動による短時間強雨や渇水の増加、強い台風の増加等が進めば、これらのインフラ・ライフライン等にも影響が及ぶことが懸念される。

全球レベルでは、極端な気象現象が、電気、水供給サービスのようなインフラ網や重要なサービスの機能停止をもたらすことによるシステムのリスクに加えて、国家安全保障政策にも影響を及ぼす可能性がある」と指摘されている。⁷¹¹⁰³⁴⁾

国内では、電力インフラに関して、2050年代頃までに台風や海面水位の上昇、高潮・高波により、海岸に立地する発電・送電施設に直接的被害を与え得ること、火力発電所や原子力発電所の冷却水として利用する海水温が上昇することにより、出力が低下するとする報告もみられる。⁷¹¹⁰³⁵⁾ また、21世紀末の水力発電の発電量について、牧尾ダム流域を対象とした研究では（SRES A1Bシナリオを前提としたMRI-AGCMモデルによる予測）、夏季の発電量は将来気候で減少することが予測されており、水供給の面では、堆砂進行による有効貯水量の減少や温暖化による夏季流入量の減少により多大な経済損失が出る可能性がある。⁷¹¹⁰³⁶⁾ また、北海道を対象とした研究では（MRI-RCM20モデルによる気候予測結果を使用）、21世紀末において、融雪出水が早まることにより、洪水調整が必要になることや発電用放流のタイミングを調整する必要が生じる可能性が示されている。⁷¹¹⁰³⁷⁾

水道インフラに関しては、気候変動による影響を類推させる研究として、紀ノ川流域及び大淀川河流域での自然災害に対する水道事業者の脆弱性を既存の各種ハザードマップを用いて評価した調査がある。本調査では、洪水による浄水場及び取水点での浸水被害、がけ崩れによる水道管の被害及び土石流による被害の発生の因果関係を示している。⁷¹¹⁰³⁸⁾ 気候変動の進行により、洪水などのリスクが高まることは、水道事業のリスクも高まることを示している。また、全国の小規模水道事業者の気候変動に対する脆弱性を水道事業の業務指標を用いて評価した調査では、渇水への頑強度、濁度上昇や富栄養化への対応という視点では、水道事業者ごとにばらつきが大きいとする報告もある。⁷¹¹⁰³⁹⁾ 21世紀中頃及び21世紀末の日本国内の河川の微細浮遊土砂量を予測した研究では（RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオを前提とした、複数の気候モデ

ルを使用した予測)、いずれのシナリオでも微細浮遊土砂量が増加し、処理工程の水質の悪化や水質管理に影響を与える可能性がある。⁷¹¹⁰⁴⁰⁾

交通インフラに関しては、異常気象の増加に伴い、今世紀中頃及び21世紀末に国内で道路のメンテナンス、改修、復旧に必要な費用が増加することや、⁷¹¹⁰⁴¹⁾ 地下空間が低平地に位置する地域で、内水氾濫による地下空間・地下鉄の浸水に対して脆弱性が高いことが予測されている。⁷¹¹⁰⁴²⁾ また、洪水氾濫の規模の大きい状況では、広域にわたり都市ガスの深刻な供給停止が発生し得ることが予測されている。⁷¹¹⁰⁴³⁾ 加えて、首都圏が広域的に氾濫した場合、浸水継続時間に応じて水害廃棄物が大量に発生する可能性がある。⁷¹¹⁰⁴⁴⁾

一方で、国内を対象とした予測研究は確認できないが、英国の事例では、極端な降雨により鉄道レール等への被害が生じやすくなったり、洪水や土砂崩れ等により道路への被害が生じやすくなることが推測されている。また、通信インフラでも、洪水等の異常気象によりデータセンターや国際通信ネットワークが被害を受けることで、インターネット・電話通信に影響を与えるリスクが増大することが推測されている。⁷¹¹⁰⁴⁵⁾ これらは、我が国の通信・交通インフラにおいても同様に想定しうる内容を含んでいるものと考えられる。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

現在でも、全国各地で大雨や台風による交通網の寸断や電気・ガス・水道等のライフラインの寸断、電力インフラや水道インフラ、廃棄物処理施設への直接的被害が報告されている。将来、気候変動が進行すれば、電力・交通・水道インフラ・廃棄物処理に様々な影響が生じることが予測されており、被害・損傷による社会・経済面への影響は大きい。

- 緊急性：【評価】高い

近年、各地で、大雨、台風、渇水等による各種インフラ・ライフラインへの影響が確認されている。将来影響としても、極端な気象現象により、各種のインフラ・ライフラインに影響が生じることが予測されている。

インフラ・ライフラインの対策は検討から実装まで時間を要することが多く、緊急性は高い。

- 確信度：【評価】高い

気象災害に伴うインフラ・ライフラインへの被害や損害を報告・予測する知見が増加している。現在生じている現象が気候変動の影響によるものであるかどうかは明確には判断しがたく、また、気候モデルを活用した将来予測事例は限定的であるが、気候変動が進行すれば、様々なインフラ・ライフラインに生じる影響の程度・発生頻度は増加すると考えられる。

【文化・歴史などを感じる暮らし】

(1) 生物季節、伝統行事・地場産業等

(気候変動による影響の要因)

ここでは、人間活動や文化に関する生物季節（国民生活の中で感じる生物季節（季節感））を主に扱い、自然生態系分野の「生物季節」では生態系への影響及び生態系サービスの内容を主に扱う。

- 気候変動による気温の上昇等により、植物の発芽や開花、紅葉の時期、鳥や昆虫の鳴き始め等の生物季節が変化する。例えば、サクラでは、気温上昇や積雪量減少に伴い、開花の早期化や開花期間の短縮化が報告されている。このような生物季節の変化に伴い、国民の季節感の変化や、桜や紅葉の名所等における伝統行事、観光等に影響が及ぶ可能性がある。
- 気温の上昇や降水量の変化、降雨の時空間分布の変化、海面水位の上昇、極端現象の頻度や強度の増加は、地域独自の伝統行事や観光業、地場産業等にも影響を及ぼす可能性がある。

(現在の状況)

〔概要〕

- 国民にとって身近なサクラ、イチョウ、セミ、野鳥等の動植物の生物季節の変化について報告されている。特に、サクラについては、ヒートアイランド現象と相まって、郊外に比べて、都市部で開花や花芽の成長速度が速まっていることが報告されている。
- 生物季節の変化が国民の季節感や地域の伝統行事・観光業等に与える影響について、日光においてサクラの開花の早期化が地元の祭行事に影響を与えている事例が確認できるものの、その他の具体的な研究事例は確認されていない。
- 地場産業については、気温上昇に伴い、例えば、兵庫県で酒米品種の検査等級・精玄米歩合の低下が生じていることや長野県で寒天産業への影響が生じていることが確認されている。

生物季節に関して、サクラでは、気温上昇や積雪量減少に伴う開花の早期化や開花期間の短縮化が報告されている。[721001](#), [721002](#), [721003](#), [721004](#), [721005](#), [721006](#))

また、サクラに関連した伝統行事への影響事例として、日光の弥生祭において、サクラの開花が早期化したことにより、屋台にサクラの生花ではなく、造花を用いることが多くなっているとの報告がある。[721007](#))

埼玉県熊谷市や横浜市、仙台市などの都市部では、ヒートアイランド現象や構造物からの熱に相まって、ソメイヨシノの開花や花芽の成長速度が郊外に比べて早期化していることが報告されている。[721008](#), [721009](#), [721010](#), [721011](#))

一方で、冬季の気温上昇により、サクラの休眠解除に遅れが生じ、開花が遅れる地域が拡大していることも報告されている。[721012](#))

その他、カエデやイチョウの全国的な紅葉の遅延^{721013, 721014, 721006}、ツバメ等の野鳥の飛来・繁殖時期の全国的な変化^{721002, 721015, 721016}、セミの繁殖時期の早期化や聞き始め・聞き終わりの時期の早期化の可能性が報告されている^{721017, 721018}。

さらに、地場産業に関して、コメの登熟期間の気温上昇により、兵庫県の酒米品種の検査等級・精玄米歩合が低下している事例や、⁷²¹⁰¹⁹ 気温上昇により、北海道でワイン品種ブドウの産地が拡大している報告が見られる⁷²¹⁰²⁰。地域独自の伝統行事や観光業への影響として、諏訪湖での御神渡りなしとなる頻度の増加、高潮による巖島神社回廊の冠水回数の増加が報告されている。

721021, 721022, 721023)

(将来予測される影響)

- サクラの開花及び満開期間について、将来の開花は北日本などでは早まる傾向にあるが、西南日本では遅くなる傾向にあること、また、今世紀中頃及び今世紀末には、気温の上昇により開花から満開までに必要な日数は短くなる可能性が高い。それに伴い、花見ができる日数の減少、サクラを観光資源とする地域への影響が予測されている。
- ナンコウウメの開花期間について、3℃の気温上昇により、花粉媒介者のフェノロジーとのミスマッチが生じることで自然受粉に影響が生じ、開花期間が短縮化されるとの報告もみられる。
- 地域独自の伝統行事や観光業・地場産業等への影響については、現時点で研究事例が限定的にしか確認できていない。

気候変動が2046～2065年及び2081～2100年におけるサクラの開花及び満開期間に及ぼす影響に関する研究（SRES A1B シナリオ及びSRES A2 シナリオを前提としたCGCM3_1, CSIRO_Mk3_0, CSIRO_Mk3_5, GFDL_CM2_0, MIROC3_2_Medres, MRI CGCM2 3 2モデルによる気候予測情報を使用）によると、いずれの将来期間においても開花は北日本などでは早まる傾向にあるが、西南日本では遅くなる傾向にあること、気温の上昇に伴い開花から満開までに必要な日数は短くなる可能性が高い。⁷²¹⁰²⁴ 加えて、2081～2100年の4種（サクラシダレザクラ、ソメイヨシノ、ヤマザクラ、サトザクラ）の開花日を予測した研究（SRES A1B シナリオを前提とした、3つの領域気候モデル（NHRM, NRAMS, TWRP）による気候予測情報を使用）によれば、気温上昇により東京都内で30日程度開花が早期化する可能性があるとしている。⁷²¹⁰²⁵ これらの研究では、開花から満開までの期間の短縮は、それだけ花見ができる日数が減ることになり、市民が楽しむ機会が減ること、観光産業にとっても観光資源が減少するという負の影響が現れるかもしれないこと（特に桜まつり等がゴールデンウィークに開催される地域）にも言及している。

さらに、ナンコウウメの開花期間について、野外より3℃高い温度条件下で育成した実験結果では、3℃の高温化によって、花粉媒介者のフェノロジーとのミスマッチが生じることで自然受粉が困難となり、開花期間が短縮化されるとする報告もみられる。⁷²¹⁰²⁶

上記のような事例以外に、気候変動による地域の伝統行事や観光業・地場産業等への将来予測

される影響については、具体的な文献は確認できていない。

(重大性、緊急性、確信度の評価と根拠)

● 重大性：

(生物季節)

【評価】 影響が認められる

生物季節への影響の範囲はほぼ全国に及ぶ。桜の開花日・満開の期間や紅葉の遅延は、これら景観の名所等における伝統行事や観光業等に影響を与える可能性があり、社会・経済・環境の広範に影響が及ぶ。具体的には、サクラやカエデの名所において開花時期、紅葉時期がずれると観光客の数に変動が生じ、地元の経済に影響を与えられられる。生物季節の変化による観光や地元経済への影響の程度について、定量的に予測をした研究事例は確認できない。

(伝統行事、地場産業等)

【評価】 現状では評価できない

影響は個々の事象で異なり、地域の社会・経済面への影響も事象により様々であることから、全国一律に評価することは困難である。

● 緊急性：

(生物季節)

【評価】 高い

サクラの開花、カエデの紅葉、野鳥の飛来・繁殖時期の変化、セミの繁殖時期の変化については、全国的に温暖化の影響が既に表れていると言える。気候予測モデルを使用した予測でも、サクラの開花の全国的な変化が予測されている。

(伝統行事、地場産業等)

【評価】 高い

気温上昇による既に影響を受けている産業では、社会・経済面で影響が生じている。今後影響が生じることが見込まれる地域でも対策の検討が必要である。

- 確信度：

(生物季節)

【評価】 高い

サクラやカエデ、ナンコウバイ、野鳥、セミなど、具体の生物季節の変化に関する影響を報告する知見が増えている。日本の将来の気温は上昇することは疑いようがなく、様々な生物季節の変化は避けられない。また、生物季節が地域の花見のできる時期や観光業に影響を及ぼす可能性を示唆する研究事例もある。

(伝統行事、地場産業等)

【評価】 中程度

地域独自の伝統行事や観光業・地場産業等への影響について報告する知見は一定程度確認される。ただし統計期間が短いものや事例数が少ないもの、観光用パンフレットのなものも多い。将来予測に関する知見については限定的である。

【その他】

(1) 暑熱による生活への影響

(気候変動による影響の要因)

ここでは、都市における熱ストレス・睡眠障害、暑さによる不快感等による影響を主に扱う。健康分野の「暑熱」では死亡リスクや熱中症等に関する影響を主に扱う。

- 都市部においては、気候変動による気温の上昇にヒートアイランド現象による昇温が加わることで熱ストレスが増大し、熱中症リスクの増加にとどまらず、睡眠障害、暑さによる不快感、屋外活動への影響等、都市生活における快適さに影響を及ぼす。

(現在の状況)

- 日本の中小都市における 100 年あたりの気温上昇率が 1.5°Cであるのに対し、主要な大都市の気温上昇率は 2.6~3.2°Cであり、大都市においては気候変動による気温上昇にヒートアイランドの進行による気温上昇が重なっていることが確認されている。
- また、中小都市でもヒートアイランド現象が確認されている。ヒートアイランド現象により都市部で上昇気流が発生することで短期的な降水量が増加する一方、周辺地域では雲の形成が阻害され、降水量が短期的に減少する可能性があることが報告されている。
- 大都市における気温上昇の影響として、特に人々が感じる熱ストレスの増大が指摘され、熱中症リスクの増大に加え、発熱・嘔吐・脱力感による搬送者数の増加、睡眠の質の低下による睡眠障害有症率の上昇が報告されている。

高層ビル群や建築物、道路舗装などが増えたことによる表面被覆の変化や、冷暖房・交通量の増加などに伴う人工排熱の増大により、都心部の気温が郊外に比べて高くなるヒートアイランド現象が発生している。1927年から2018年までの観測値を基に調査した結果では、日本の中小都市の気温は100年あたり平均1.5°Cの率で上昇しているのに対し、主要な大都市の気温上昇率は100年あたり2.6~3.2°Cとなっている。⁷³¹⁰⁰¹⁾ 大都市では気候変動による広域の温暖化にヒートアイランドの進展による気温上昇が重なり、特に大都市圏の内陸域において高温な地点が増加し、大きな気温上昇が引き起こされている。⁷³¹⁰⁰²⁾ なお、ヒートアイランド現象は、東京や大阪などの大都市だけでなく、地方の中小都市でも確認されており^{731003, 731004, 731005, 731006)}、中小都市においても、ヒートアイランドの影響を受け、都市化されていない場所に比べて長期的な気温上昇率が大きいことが報告されている^{731007, 731008)}。こうしたヒートアイランド現象により、都市部で上昇気流が発生することで短期的な降水量が増加する一方、周辺地域では雲の形成が阻害され、降水量が短期的に減少する可能性があることが報告されている。

731009, 731010, 731011, 731012, 731013, 731014, 731015, 731016, 731017)

大都市を中心とした気温の上昇に伴う影響として、特に人々が感じる熱ストレスの増大が指摘され、その影響は熱中症患者の増大として顕在化している。人々が熱ストレスを感じるには、気温以外にも湿度や気流速、放射などの要素が関係しており、これらに基づいて実際に人が体感し

ている温熱環境指標（体感温度や温熱快適性指標、不快指数、暑さ指数など、以下体感指標）の評価が進められている。^{731018, 731019} また、気温の上昇に加えて、日射や高温となった表面被覆からの赤外放射の増加による放射環境の悪化、高度に密集した都市形態による風通しの悪化などが、温熱快適性を損なう要因として挙げられている。⁷³¹⁰²⁰ 体感指標を用いることで、熱中症リスクや睡眠、屋外活動への影響が評価され、ヒートアイランド対策における適応策の指標として用いられている。

2007年の大阪市街地を対象とした数値解析では、地域差があるものの、都市内に熱中症リスクの高いエリアがあることが示されている。⁷³¹⁰²¹ 大阪市内では、日最高気温が31℃を超えると熱中症による搬送者が増えており、搬送者の年齢別の割合は高齢者の患者が多く、その症状の程度も若年層に比べ重くなる傾向が報告されている。⁷³¹⁰²² なお、2018年の夏季の全国における熱中症による救急搬送人員数が過去最多を記録したが、⁷³¹⁰²³ 気候モデルを用いて、温暖化した気候状態と温暖化しなかった気候状態を比較した結果、温暖化がなければ、2018年7月のような猛暑は起こりえなかったことが明らかとなっている⁷³¹⁰²⁴。

熱中症以外でも、気温が高い日に発熱、嘔吐、脱力感を訴える人の搬送者数が増えることが報告されている。⁷³¹⁰²⁵ 温熱快適性の観点では、SET*やWBGT等の体感指標を用いた評価により、屋外空間の利用と体感温度の関係を示した事例もみられ、夏季日中において、人々が熱ストレスを感じずに屋外空間を快適に活用するためには、体感温度を指標として空間を構成する必要性が示されている。^{731026, 731027} さらに、夏季の夜間においても、暑熱環境の進行により睡眠の質が低下することで睡眠障害有症率が上昇することが指摘されており、^{731028, 731029} 睡眠効率を90%に維持するためには、体感指標としてSET*を23～29℃に維持する必要性⁷³¹⁰³⁰ や、東京23区における現状での睡眠障害による年間の経済損失を約301億円と算出した事例^{731031, 731032} が報告されている。

暑熱による影響とは異なるが、北海道を対象に気象条件と雪下ろし作業時の死亡事故の関係を分析した文献では、日最高気温0℃付近で死亡事故の発生が多いことが報告されており^{731046, 731047}、冬季の気温上昇が進めば死亡事故数が減少する可能性がある。

（将来予測される影響）

- 国内大都市のヒートアイランドは、今後は小幅な進行にとどまると考えられるが、既に存在するヒートアイランドに気候変動による気温の上昇が加わり、気温は引き続き上昇を続ける可能性が高い。
- 気温上昇に伴い、体感指標であるWBGTも上昇傾向を示す可能性が高い。全国を対象に21世紀末の8月のWBGTを予測した事例（RCP4.5シナリオを使用）では、将来、暑熱環境が全国的に悪化し、特に東北地方で現在と比較して大きくなる可能性が示されている。
- 熱ストレスの増加に伴い、だるさ・疲労感・熱っぽさ・寝苦しさといった健康影響が現状より悪化し、特に昼間の気温上昇により、だるさ・疲労感がさらに増すことが予測さ

れており、気温上昇後の温熱環境は、都市生活に大きな影響を及ぼすことが懸念される。

- 加えて、熱ストレスが増加することで労働生産性が低下し、労働時間の経済損失が発生することが予測される。

国内大都市のヒートアイランドは、今後は小幅な進展にとどまると考えられるが、既に存在するヒートアイランドに加えて気候変動による昇温が進むため、気温は引き続き上昇を続ける可能性が高い。⁷³¹⁰³³⁾ また、都市計画の内容次第で都市域の気温分布が変化する可能性がある。^{731034, 731035)}

都市部（東京、大阪、名古屋）を対象に寝室内外の気温・湿度と睡眠感に関してアンケートを実施した調査によれば、室内最高気温の上昇及び室外最低気温が 25℃を超えることで覚醒する人の割合が増加すること、冷房を使用していない場合に覚醒する人の割合が増加すると報告されている。⁷³¹⁰³⁶⁾

また、名古屋の将来気候条件（2030 年、2070 年）を想定した検討では、保水性建材による対策効果は、気温や平均放射温度の上昇抑制には効果的であるが、湿度が上昇することの影響が大きく、温熱快適性の改善には寄与しないことが指摘されており、潜熱利用型のヒートアイランド対策の多面的な評価の必要性を示している。⁷³¹⁰³⁷⁾

気候変動のモデルを導入した数値解析により、将来の都市の気温上昇を予測した研究も進められている。2050 年代における名古屋の気温を、集中型都市と分散型都市で比較をした事例⁷³¹⁰³⁸⁾では、夏季 14 時の気温が 30℃を超える地点は、分散型都市で増加し集中型都市で減少する結果となっている。また、東京・名古屋・大阪の 2070 年代のヒートアイランド現象を予測した研究では（SRES A2 シナリオを前提とした、MIROC モデルによる予測）、夏季の早朝 5 時には広域ヒートアイランドが出現し、いずれの都市においても気温が 2000 年代に比べて 3℃程度上昇する可能性がある。時間頻度分布では、高温となる時間数の増加が予測されている。⁷³¹⁰³⁹⁾

暑夏であった 2010 年 8 月を基準に、温暖化後の名古屋都市圏の高温となる時間数を予測した研究では、SRES A2 シナリオでは 2070 年代以降、SRES B1 シナリオでは 2050 年代以降において、25℃未満の気温となる時間数が存在せず、8 月には 1 ヶ月間すべての日で熱帯夜が生じる可能性がある。また、2070 年代に SRES B1 シナリオに比べて A2 シナリオの方が気温上昇が大きく（それぞれ SRES A2 シナリオで約 2.5℃、SRES B1 シナリオで約 1.8℃）、2030 年代・2050 年代では、SRES B1 シナリオの方で気温上昇が大きくなると予測される（それぞれ A2 シナリオで約 0.4℃と約 1.2℃、SRES B1 シナリオで約 1.2℃と 1.3℃）。⁷³¹⁰⁴⁰⁾

同じく名古屋を対象に 2070 年代 8 月の気温を予測した事例（SRES A2 シナリオを使用）では、2000～2009 年の 8 月の平均気温と比較して 3℃程度上昇する可能性が高いと予測されている。⁷³¹⁰⁴¹⁾

加えて、全国を対象に 21 世紀末の 8 月の WBGT を予測した研究では（RCP4.5 シナリオを前提とした、MIROC5 モデルによる予測）、将来、暑熱環境が全国的に悪化し、日中平均 WBGT は全国平均で 2.5℃上昇する可能性がある。その昇温量は東北地方で大きく、例えば将来の秋田市は現在

の大阪市のような気候になる可能性がある。⁷³¹⁰⁴²⁾

熱ストレスによる健康への影響については、東京・名古屋・大阪の2070年代8月を対象に、環境悪化を阻止するために支払ってよい支払意思額を予測した事例では（SRES A1B シナリオを前提とした、複数の気候モデルによる予測）、熱中症と睡眠障害を回避するための1人当たりの支払意思額はいずれも年々増加し、2000年代と比べて1.5倍程度に増加するとする報告もある。⁷³¹⁰⁴³⁾ また、2070年代8月の東京都内の暑熱による健康影響を予測した研究では（SRES A2 シナリオを前提とした予測）、だるさ・疲労感、熱っぽさ・寝苦しさといった健康影響が現状より悪化し、特に昼間の気温上昇により、だるさ・疲労感がさらに増す可能性が示されている。⁷³¹⁰⁴⁴⁾

さらに、熱ストレスの増加は労働生産性にも影響し、このまま地球温暖化が進むと、労働生産性低下による経済損失が2030年には世界で年間約2兆4,000億ドル（約260兆円）に達する可能性も示唆されている。国内では、2030年までに年間で0.2%近い労働時間（フルタイム労働換算で約12万6千人分の雇用に相当）が熱ストレスにより失われると予測されている。⁷³¹⁰⁴⁵⁾

（重大性、緊急性、確信度の評価と根拠）

- 重大性：【評価】特に重大な影響が認められる

【観点】社会／経済

都市部では、気候変動に伴う気温の上昇に加えて、ヒートアイランド現象の影響により、全体として気温の上昇幅が大きくなること、短期的な降水量が増加することが予測される。また、大都市に限らず、現在は気温上昇が顕著化していない地方都市でも、ヒートアイランドによる高温化に気候変動の影響が加わることで気温上昇が顕著化することが予測される。特に、夏季における熱ストレスの増大は、熱中症リスクの増大や快適性の損失、睡眠効率の低下による睡眠障害、労働生産性の低下など、都市生活における及ぼす影響は大きく、経済損失も大きい。

- 緊急性：【評価】高い

既にヒートアイランド現象によって都市部の気温は大きく上昇しており、今後は気候変動によってさらに上昇し、それに伴い健康影響（熱中症や睡眠障害等）が深刻化することが予測される。熱ストレスを受けずに快適な都市生活ができる環境づくりに向けた取り組み・システム作りを行い、早急に普及させていくことが重要である。

- 確信度：【評価】高い

研究・報告数は一定程度あり、気候変動による将来の気温上昇はほぼ確実であるとされている。また、大都市の気温上昇も顕在化している。気候変動に伴う気温の上昇とヒートアイランド現象の相乗効果により、都市部で上昇気流が発生することで短期的な降水量が増加することについては研究途中であり、確信度は高いとはいえない。

3.8 分野間の影響の連鎖

前節までの各分野では、各分野の各項目において把握・予測される個々の影響に主眼を置いて整理をしてきた。

一方で、自然生態系とそれらを基盤とする人間社会の活動は、互いに様々な影響を及ぼし合いながら複雑な相互依存関係のもとで成り立っていることから、分野・項目を超えて気候影響が連鎖することが指摘されている。例えば、気候変動に伴う降雨パターンの変化や気温上昇は、生物の分布・個体群や生物季節を変化させ、生態系サービスを通して農業・林業・水産業分野などの他分野に連鎖することが知られている。

これらの事象については、影響の要因が複雑であるため、気候変動に起因するものであるかどうかは明確になっていないものもあるが、専門家の間では分野・項目を超えた影響の連鎖に着目することの重要性が議論されている。

そのため、本節では、ある影響が分野を超えてさらに他の影響を誘発することによる影響の連鎖や、異なる分野での影響が連続することにより、影響の甚大化をもたらす事象を「分野間の影響の連鎖」と定義し、分野横断的な視点で影響の関係性を整理した（図 3-10 参照）。

連鎖の終点に着目して整理すると、分野間の影響の連鎖は、大きく健康への影響、農業・林業・水産業への影響、産業・経済活動への影響、国民生活への影響、インフラ損傷・ライフラインの途絶による影響に分けられる。

健康への影響は、節足動物感染症リスクの増加（気温上昇に伴うヒトスジシマカ等の分布拡大（自然生態系分野））や、水系感染症リスクの増加（気温上昇に伴う水質悪化や内水氾濫による下水等への接触（水環境・水資源分野））、停電と猛暑が連続することによる熱中症搬送者数の増加（国民生活・都市生活分野）などが他分野との影響の連鎖によって引き起こされると考えられる。

農業・林業・水産業分野は、生態系サービスのうち供給サービス（自然生態系分野）を直接的に享受する分野である。そのため、気候変動により分布適域の変化や生物季節の変化、海洋一次生産量の変化などが起こると、その生態系から恵みを得ていた一次産業に影響が連鎖する可能性がある。また、極端現象に伴う斜面崩壊などによって、生産基盤そのものが被害を受ける事例も報告されている。

産業・経済活動のうち観光業は、スキーなどのレクリエーションの場として自然を活用する他、自然景観そのものを観光資源とするなど、生態系サービス（自然生態系分野）の文化的サービスの恩恵を受けている。海面水位の上昇による砂浜の消失や、冬季の降雪量の減少による積雪深の不足は、自然を活用したレジャー・観光業に重大な影響をもたらす。

国民生活への影響では、サクラ・ウメの開花の早期化に代表されるように、気温上昇が生物季節の変化（自然生態系分野）をもたらす、その結果それらを鑑賞するための伝統行事や祭りの時期に影響が連鎖する。また、集中豪雨などによって河川等の水質が悪化すると、河川等から取水している水道システムに影響が連鎖し、国民生活に影響を及ぼす。

インフラ損傷・ライフラインの途絶による影響は、土砂災害・洪水氾濫、高潮・高波などの災害を通じて他分野に直接的な影響を及ぼす。特に、電力システムの途絶は農業・林業・水産業分

野や産業・経済活動に甚大な影響をもたらす。また、通信システム、上下水道システム、廃棄物処理システムなどの途絶は、産業・経済分野だけでなく国民生活にも影響を及ぼす。実際に、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年台風第21号、令和元年8月の前線に伴う大雨、令和元年の房総半島台風（台風第15号）や東日本台風（台風第19号）が、自然生態系、農林水産業、産業経済活動、人の健康、国民生活等の分野に多岐にわたる甚大な影響をもたらした実態が確認されている。

インフラ損傷・ライフラインの途絶による影響については近年特に社会・経済への影響が大きいことから、本節で近年の災害による被害状況や気象の概況について整理する。

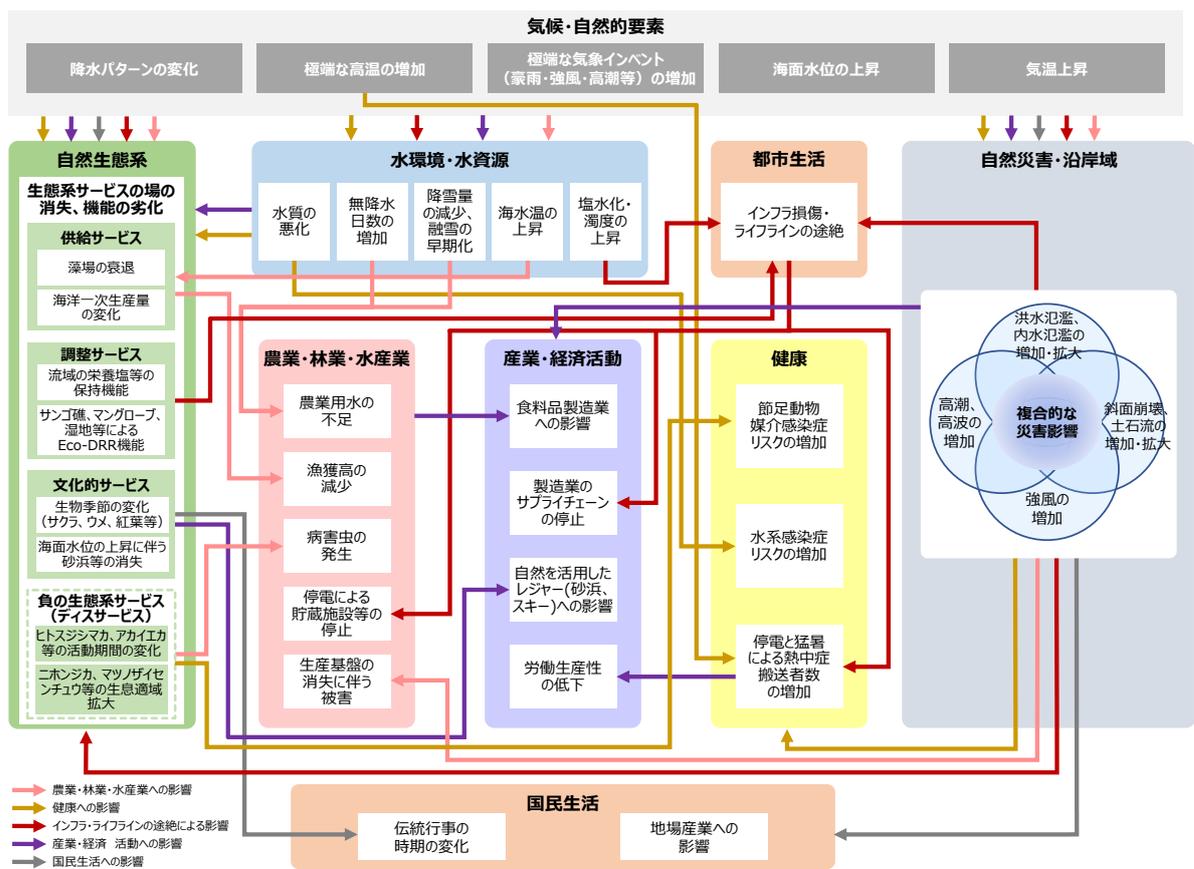


図 3-10 分野間の影響の連鎖の例⁸¹

⁸¹ ・ 図中の白のボックスは、本報告書において取りまとめられた影響の例を示す。また、色付きの四角形で囲われた領域は、影響評価の対象とした7分野を表す。
 ・ 図中の矢印は、影響が波及する方向を示しており、影響のエンドポイントに応じて色分けをしている。
 ・ 本図で示す「分野間の影響の連鎖の例」は、本報告書において引用された知見に基づき記載されているため、各分野の影響や分野間・項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。
 ・ 「国民生活・都市生活」では、影響の連鎖の上流側に位置する「インフラ損傷・ライフラインの途絶」と、より下流側に位置する「伝統行事の時期の変化」「地場産業への影響」が含まれているため、図の表現上では前者を「都市生活」、後者を「国民生活」として区別している。
 ・ 「インフラ損傷・ライフラインの途絶」に関しては、図 3-11 において詳細を示す。

【インフラ損傷・ライフラインの途絶に伴う影響】

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、記録的な大雨に伴う土砂災害が下流域の洪水氾濫をさらに助長し、平成 30 年 7 月豪雨では、それに加えて土砂が河道を下流まで流れたことにより氾濫するなど、ある影響被害が他の影響被害を拡大させる状況が確認されている。また、令和元年の房総半島台風（台風第 15 号）や東日本台風（台風第 19 号）では、台風に伴う強風や大雨が、人命損失・建物浸水・農林水産被害、工場・商業施設等被害などの直接的被害とともに、電力・通信・上下水道・運輸・廃棄物処理システム等のあらゆるインフラ・ライフラインの途絶等を引き起こし、これらがさらにまた国民生活や事業活動にはね返って甚大な影響をもたらしたことは記憶に新しい。

これらの影響被害は、起点となる外力の変化が気候変動に起因するものであるかどうかは研究により明らかにされているものもあれば、まだ明確には断定し難いものもある。しかし、これらの影響被害が気候変動によるものであったかどうかは現時点で明確でないとしても、極端な大雨や勢力の強い台風の出現頻度の増加は一定の確度をもって予測されており、仮にこれらの予測のように外力が変化すれば、将来、同様の影響被害が増加する可能性も十分想定されるということはある。

以上を踏まえ、このような極端な大雨・台風等によるインフラ・ライフラインの途絶に伴う影響について、主に現在の状況で述べた台風被害の実態やこれを補完する専門家の考察に基づいて整理した（図 3-11 参照）。

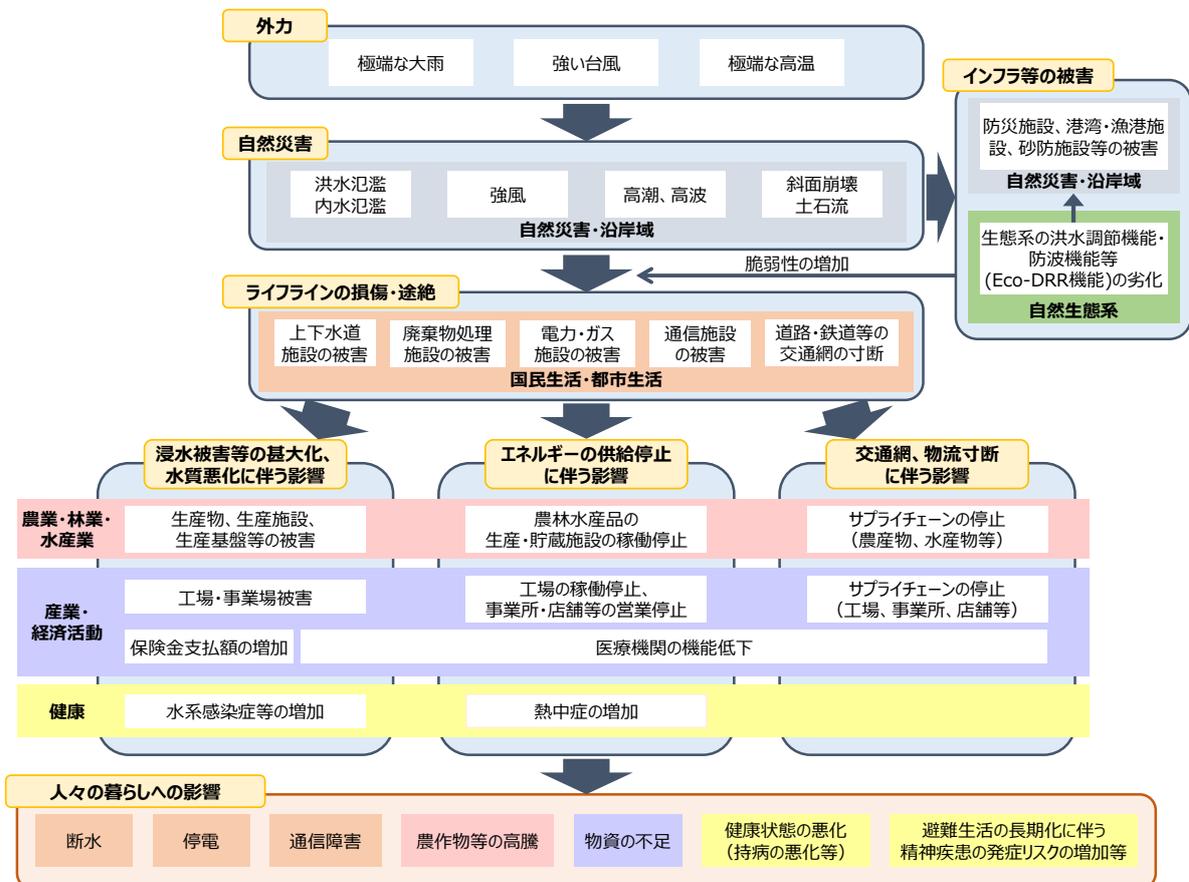


図 3-11 インフラ・ライフラインの途絶に伴う影響の例

現在の状況

- 平成 29 年 7 月九州北部豪雨（応用生態工学会・平成 29 年 7 月九州北部豪雨調査報告書）

今回の災害で、幾つかの河川は土砂で埋まり、そこに生息した魚類は壊滅的状態となり、そのような河川の生態系はリセットされたといっても過言ではないだろう。（中略）長期的な生態系の回復のプロセスを受け入れ、継続的で長期にわたるモニタリングを行うことが重要だろう。（略）

- 平成 30 年台風第 21 号

平成 30 年 9 月 4 日に「非常に強い」勢力を保ったまま徳島県南部に上陸し、その後兵庫県神戸市付近に再上陸した台風第 21 号は、四国や近畿地方に記録的な暴風をもたらした。この台風はまた記録的な高潮ももたらし、接近・上陸に伴って近畿や四国の沿岸部では急激に潮位が上昇し、大阪では 1961 年の第 2 室戸台風の時に観測した過去の最高潮位を瞬間的に上回る値を観測した。さらに、四国や近畿、北陸周辺に台風本体の活発な雨雲がかかった。これらにより、樹木の転倒、建物屋根の飛散、床上・下浸水などの住宅被害、トラックの横転、建設現場の足場やクレーン、さらには、港のガントリークレーンの転倒など、多大な被害をもたらした。大規模な停電も発生した。大阪湾沿岸では、強風に伴う高潮被害、関西空港では浸水及び漂流したタンカーの衝突による連絡橋の破損など、公共インフラ、土木構造物などにも多大な被害をもたらした。⁸²また、この災害による水害被害額（建物被害額等の直接的な物的被害額等）は約 410 億円⁸³、支払保険金額は、約 9,698 億円⁸⁴にもものぼる。

- 令和元年房総半島台風（台風第 15 号）（内閣府・令和元年台風第 15 号に係る被害状況等について）

〔気象の概況〕

台風の接近・通過に伴い、伊豆諸島や関東地方南部を中心に猛烈な風、猛烈な雨となった。特に、千葉市で最大風速 35.9m、最大瞬間風速 57.5m を観測するなど、多くの地点で観測史上 1 位の最大風速や最大瞬間風速を観測する記録的な暴風となった。

（被害状況）

- ✓ 人的被害（死者 1 名）、建物被害（住家全壊 342391 棟、半壊 4204 棟、一部損壊 7 万件以上等）
- ✓ 河川被害（国管理の 10 河川で護岸損壊等、都道府県管理 4 河川で溢水・内水）
- ✓ 土砂災害 77 件
- ✓ 農業用ハウス・農作物・畜産用施設のほか農業用施設・家畜・樹体への被害
- ✓ 林地荒廃のほか、林道施設・特用林産物施設等への被害
- ✓ 漁具倉庫や漁具・漁船等への被害

⁸²災害調査報告－平成 30 年台風第 21 号による強風・高潮災害について－（京都大学防災研究所年報 第 62 号

⁸³平成 30 年の水害被害額（確報値）（国土交通省）

⁸⁴平成 30 年台風第 21 号及び台風第 24 号に係る各種損害保険の支払件数・支払保険金（見込含む）等について

- ✓ 農業・林業・水産業関連の合計被害額は約 815 億円（2019 年 12 月 5 日時点）
 - ✓ 日本原子力研究開発機構大洗研究所敷地内の冷却塔の倒壊
 - ✓ 君津市の石油コンビナート（日本製鉄(株)君津製鉄所）で燃焼放散塔の倒壊
 - ✓ 大規模な倒木、土砂崩れ等による停電、停電による断水、停電や基地局の被災による通信障害
 - ✓ 鉄道の運転見合わせや高速道路の通行止め等の交通網の停止による空港へのアクセス制限
 - ✓ 停電による医薬品の製造・出荷の一時停止
 - ✓ コンビナートからの希塩酸の一部海洋流出
 - ✓ 浸水等による多量の災害廃棄物の発生
 - ✓ 横浜港を中心に、想定外の高波による護岸の損壊や背後地の浸水、暴風で走錨した船舶の臨港道路橋梁への衝突及びコンテナの飛散
- 令和元年東日本台風（台風第 19 号）（内閣府・令和元年台風第 19 号に係る被害状況等について）

〔気象の概況〕

台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。10 日からの総雨量は神奈川県箱根町で 1,000mm に達し、関東甲信地方と静岡県の 17 地点で 500mm を超えた。この記録的な大雨により、12 日 15 時 30 分に静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県の 7 都県に、12 日 19 時 50 分に茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県の 5 県に、13 日 0 時 40 分に岩手県に特別警報を発表した。

東京都江戸川臨海では観測史上 1 位の値を超える最大瞬間風速 43.8m を観測するなど、関東地方の 7 箇所最大瞬間風速 40m を超える暴風となったほか、東日本から北日本にかけての広い範囲で非常に強い風を観測した。また、12 日には千葉県市原市で竜巻とみられる突風が発生した。

〔被害状況〕

- ✓ 人的被害（死者 104 名）
- ✓ 河川被害（国管理河川で堤防決壊 14 箇所、県管理河川で堤防決壊 128 か所）、土砂災害 952 件
- ✓ 防災重点ため池や防災重点以外のため池で、決壊や損傷の被害
- ✓ 農業用施設等への被害や農地の損壊のほか、農作物、農業・畜産用機械、農業用ハウス等への被害
- ✓ 林地荒廃のほか、林道施設、木材加工・流通施設、治山施設、特用林産物施設等への被害
- ✓ 漁港施設、共同利用施設、水産物、漁具等への被害、海外漂着物による被害
- ✓ 農業・林業・水産業関連の合計被害額は約 3,446 億円（2020 年 4 月 10 日時点）
- ✓ 暴風雨で倒木・飛来物等が配電設備を損傷したことによる停電
- ✓ 道路崩壊等に伴う水道管破損による断水、浄水場への濁水流入による断水、河川増水に

伴う浄水場・ポンプ場水没による断水、停電による断水、橋梁添架の水道管の流出

- ✓ 浄化センターの浸水による下水処理機能の停止
- ✓ 長野新幹線車両センター留置中の北陸新幹線の車両の浸水に伴う運転見合わせ
- ✓ 国宝・重要文化財等の物的被害
- ✓ 浸水等による金融機関店舗や郵便局の営業停止
- ✓ 横浜港で高波による護岸の損傷や埠頭の浸水、川崎港沖で停泊中の船舶の沈没・油流出

また、この災害による水害被害額（建物被害額等の直接的な物的被害額等）は約 1 兆 8,600 億円にのぼり、統計開始以来最大の金額となった。⁸⁵

将来予測される影響

極端な大雨や勢力の強い台風に伴う強風・大雨によって、まず、洪水氾濫・高潮氾濫・土砂災害・強風被害といったいわゆる自然災害が発生し、人命損失や建物損壊等の直接的被害が生じる。同時に、こうした自然災害は、複数の分野に一気に影響を及ぼすため、重大である。例えば、水環境や水資源（地下水・水循環）等の物理的な自然環境に変化をもたらす、自然生態系にも生物の生育・生息地の消失等の形で直接的被害をもたらす可能性がある。農業・林業・水産業においても、農作物・林地・水産物といった生産物そのものや各種の生産施設・設備、生産基盤等への直接的被害が発生し、さらに、工場・商業施設等の産業施設や、電力・通信・上下水道・運輸・廃棄物処理システム等のあらゆるインフラ・ライフラインにも浸水・損壊・途絶等の直接的被害をもたらす。

国民生活や事業活動の基盤であるインフラ・ライフラインへの影響被害をもたらす更なる波及影響は極めて甚大で、国民の日常的な暮らしに停電・断水等の形で支障を与え、様々な事業者の製造・流通・販売等の事業活動にも深刻な打撃となる可能性がある。また、インフラ・ライフラインにおける影響被害は、農業・林業・水産業等の一次産業に対しても停電・断水・流通途絶等で同様に波及的な影響をもたらしかねない。

自然災害は、人命損失だけでなく、国民の健康にも影響を及ぼす可能性がある。例えば、避難生活の長期化に伴う持病の悪化や感染症の発症等の拡大が想定される。なお、梅雨や台風の時期は、極端な高温日と重なる可能性が少なからずある。実際に、令和元年房総半島台風通過の翌日には、大規模停電の影響を受けた千葉県において、高気温の程度が同様の東京都に比べてはるかに多くの熱中症による救急搬送人員が報告されている。このように、梅雨や台風による甚大な自然災害と高温とが重なれば、新たな人命損失を招きかねず、今後、防災面の検討に際してはこのような事態も想定していく必要がある。

以上の連鎖の可能性は、研究に基づく知見だけでなく専門家の判断・考察により補完している部分もあるが、このような影響・リスクの可能性を排除せず、想定しておくことが今後気候変動影響に備えていく上で重要になる。なお、ここでは、あくまで極端現象による影響被害に着目をしてまとめており、漸進的变化（年平均気温の上昇、海面水位の上昇等）による影響被害は含まれていないことに注意が必要である。

⁸⁵ 令和元年の水害被害額（暫定値）（国土交通省）

4 気候変動による影響の評価(一覧表)

凡 例:									
分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
農業・林業・水産業 ⁸⁶	農業	水稻	<ul style="list-style-type: none"> 既に全国で、気温の上昇による品質の低下(白未熟粒の発生、一等米比率の低下等)等の影響が確認されている。また、一部の地域や極端な高温年には収量の減少も見られている。 一部の地域では、気温上昇により生育期間が早まることで、登熟期間前後の気象条件が変化することによる影響が生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> 全国的に2061~2080年頃までは全体として増加傾向にあるものの、21世紀末には減少に転じるほか、品質に関して高温リスクを受けやすいコメの割合がRCP8.5シナリオで著しく増加すると予測されている。 高温リスクを受けにくい(相対的に品質が高い)コメの収量の変化を地域別に見た場合、収量の増加する地域(北日本や中部以西の中山間地域等)と、収量が減少する地域(関東・北陸以西の平野部等)の偏りが大きくなる可能性がある。 RCP2.6及びRCP8.5の両シナリオにおいて、2010年代と比較した乳白米の発生割合が2040年代には増加すると予測され、一等米面積の減少により経済損失が大きく増加すると推計されている。 CO₂濃度の上昇は、施肥効果によりコメの収量を増加させることがFACE(開放系大気CO₂増加)実験により実証されているが、CO₂濃度の上昇による施肥効果は気温上昇により低下する可能性がある。 将来の降雨パターンの変化はコメの年間の生産性を変動させ、気温による影響を上回るとも想定される。様々な生育段階で冠水処理を施した試験では、出穂期の冠水でコメの減収率が最も高く、整粒率が最も低くなるが示されている。 	<p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p> <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p>	<p>社経</p> <p>コメの収量・品質の変化の影響の範囲は、好影響も含め全国に及び、我が国の主食としての供給及び農業従事者の収入の増減に直接影響する。また、将来ではRCP2.6及び2℃上昇相当でも全国的に品質低下が進む可能性は高く、今後のコメの経済価値の減少が危惧される。さらに、強雨の増加や降雨パターンの変化に伴う冠水による減収も懸念される。</p> <p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p> <p>全国的には品質低下、さらに品質低下による経済損失が予測されている。フィールド実験では、気温上昇によるCO₂の施肥効果の低下、水温上昇による品質低下が示唆されている。</p> <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p> <p>全国的な収量は、21世紀中頃までは増加が予測されているが、21世紀末では減少が予測されている。そのほか、著しい品質低下、品質低下による経済損失が予測されている。</p>			

⁸⁶ 農業・林業・水産業においては、気候変動の将来影響を予測するにあたって、人口・産業構造の変化やグローバル化など、さまざまな社会経済環境による影響も合わせて評価する必要がある。しかし、現時点では、そのような総合評価の知見は限られているため、ここでの情報整理と評価は気候変動による直接的な影響を対象としていることに留意すべきである。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	野菜等	<ul style="list-style-type: none"> 過去の調査で、40以上の都道府県において、既に気候変動の影響が現れていると報告されており、全国的に気候変動の影響が現れていることは明らかである。 特にキャベツなどの葉菜類、ダイコンなどの根菜類、スイカなどの果菜類等の露地野菜では、多種の品目でその収穫期が早まる傾向にあるほか、生育障害の発生頻度の増加等もみられる。 ホウレンソウ、ネギ、キャベツ、レタスといった葉菜類では、高温や多雨あるいは少雨による生育不良や生理障害等が報告されている。高温・乾燥や強日照のストレスが原因と考えられるブロッコリーの生理障害、品質低下も報告されている。 トマト、ナス、キュウリ、ピーマンといった果菜類では、高温・多雨等による着果不良、生育不良等が報告されている。 ダイコン、ニンジン、サトイモといった根菜類では、高温、多雨等による生育不良や発芽不良等が報告されている。 イチゴでは、冬から春に収穫する栽培で気温上昇による花芽分化の遅れが、夏から秋に収穫する栽培で花芽形成の不安定化が報告されている。 施設生産では冬季の気温上昇により燃料消費が減少するとの報告もある。 花きでは、キク、バラ、カーネーション、トルコギキョウ、リンドウ、ユリなどで高温による開花の前進・遅延や生育不良が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 葉根菜類は、生育期間が比較的短いため、栽培時期をずらすことで栽培そのものは継続可能な場合が多いと想定される。 キャベツ、レタスなどの葉菜類では、気温上昇による生育の早期化や栽培成立地域の北上、CO₂濃度の上昇による重さの増加が予測されている。 果菜類（トマト、パプリカ）では気温上昇による果実の大きさや収量への影響が懸念される。 	◆	社経	既に影響の範囲は全国に及んでいる。将来では葉菜類に関し気温上昇による生育の早期化、栽培成立地域の北上が予測されているほか、果菜類では果実サイズの減少や収量減少が懸念されている。農業総生産額に占める野菜・花きの割合は約30%であり、野菜・花きの供給、野菜・花き生産従事者の経営に直接影響する。しかしながら、野菜や花きは生育期間が比較的短いため、適正な品種選択を組み合わせたり、栽培時期をずらしたりすることで栽培そのものは継続可能な場合が多いと想定される。	●	▲	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
農業・林業・水産業	農業	果樹	<ul style="list-style-type: none"> ● 果樹は気候への適応性が非常に低い作物であり、2003年に実施された全国的な温暖化影響の現状調査で、他の作物に先駆けて、すでに温暖化の影響が現れていることが明らかになった。 ● 果樹は、一度植栽すると同じ樹で30～40年栽培することになることから、気温の低かった1980年代から同じ樹で栽培されていることも多いなど、品種や栽培法の変遷も少なく、1990年代以降の気温上昇に適応できていない場合が多い。 ● カンキツでの浮皮、生理落果、リンゴでの着色不良、日焼け、ニホンナシの発芽不良、モモのみつ症、ブドウの着色不良、カキの果実軟化など、近年の温暖化に起因する障害は、ほとんどの樹種、地域に及んでいる。 ● リンゴでは、食味が改善される方向にあるものの、果実が軟化傾向にあり、これが貯蔵性の低下につながっている。 ● 一部の地域で、気温上昇により栽培適地が拡大している樹種がみられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ウンシュウミカンについて、栽培適地は北上し、内陸部に広がる事が予測されている。RCP8.5シナリオを用いた予測では、21世紀末に関東以西の太平洋側で栽培適地が内陸部に移動する可能性が示唆されている。 ● リンゴについて、21世紀末になると東北地方や長野県の主産地の平野部（RCP8.5シナリオ）、東北地方の中部・南部など主産地の一部の平野部（RCP2.6シナリオ）で適地よりも高温になることや、北海道で適地が広がる事が予測されている。 ● ブドウ、モモ、オウトウについては、主産地において、高温による生育障害が発生することが想定される。露地栽培の‘巨峰’について、RCP4.5シナリオを用いた予測では、2040年以降に着色度が大きく低下する。 ● ニホンナシについて、一部の地域では、自発休眠打破に必要となる低温積算量が減少し、21世紀末には沿岸域を中心として低温要求量が高い品種の栽培が困難となる地域が広がる可能性がある。 ● 果樹の栽培が難しかった寒地では、果樹の栽培適地が拡大することが予測されている。全球の地上気温の平均が1990年代と比べて2℃上昇した場合、北海道では標高の低い地域でワイン用ブドウの栽培適地が広がる可能性がある。また、亜熱帯果樹のタンカンには、現在の適地は少ないが、気温上昇に伴い栽培適地が増加する可能性がある。 	<p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p>  <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p> 	<p>社経</p> <p>既に温暖化の影響の範囲は全国に及び、農家の収入の増減に直接影響するほか、食料品の価格等を通じて一般世帯にも影響が及ぶ可能性がある。特に、東日本におけるリンゴや西日本におけるウンシュウミカン等、果樹は地域ブランドが確立していることが多く、これらの一部の県ではコメよりも産出額が多く、かつ、貯蔵や加工産業などの周辺産業も多数存在することから、適地移動の結果により生産が難しくなれば、地域経済に影響が及ぶことになる。</p> <p>また、カンキツ類を中心として果樹は中山間地では基幹作物になっている地域もあり、他の産業が少ないこれらの地域での、適地移動の影響は大きい。</p> <p><RCP2.6及び2℃上昇相当> ウンシュウミカンを含む複数のカンキツでは、満開期以降の生理落下の増加（栽培実験）が予測されている。気候シナリオを用いたシミュレーション予測では、2℃程度の上昇でリンゴの主産地の一部が栽培適地でなくなる可能性、‘巨峰’の主産地で着色不良が頻発する可能性が示されている。</p> <p><RCP8.5及び4℃上昇相当> ウンシュウミカンでは栽培適地の北上・内陸部への拡大（SRES A1B、RCP8.5）直花数の増加や有葉花数の減少（栽培実験）が予測されている。リンゴでは主産地の平野部で栽培適地でなくなる可能性（RCP8.5）が予測されている。また、‘巨峰’では着色度の低下や低標高地でのワイン用ブドウ栽培適地の拡大（SRES A1B）、タンカンでは沿岸部への栽培適地の拡大（SRES A1B、RCP8.5）、ニホンナシでは低温積算量の減少による自発休眠に至らない年の増加（RCP8.5）が予測されている。</p>	 		

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	麦、大豆、飼料作物等	<ul style="list-style-type: none"> ● 小麦では、冬季及び春季の気温上昇により、全国的に播種期の遅れと出穂期の前進がみられ、生育期間が短縮する傾向が確認されている。 ● 大豆では、一部の地域で夏季の高温による百粒重の減少や高温乾燥条件が継続することによるさや数の減少、品質低下が報告されている。 ● 飼料作物では、関東地方の一部で2001～2012年の期間に飼料用トウモロコシにおいて、乾物収量が年々増加傾向になった報告例がある。 ● 茶では、夏季の高温・少雨による二番茶・三番茶の生育抑制、暖冬による冬芽の再萌芽・一番茶萌芽の遅延などの生育障害が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 小麦では、北海道の秋播き小麦に関する統計解析の結果、生育期間の気温は茎や穂の長さや千粒重と負の相関関係にあるため、出穂から成熟期までの平均気温の上昇による減収が危惧される。 ● そのほか、小麦では、播種後の高温に伴う生育促進による凍霜害リスクの増加、高CO₂濃度によるタンパク質含量の低下等が指摘されている。 ● 大豆では、高CO₂濃度条件下で栽培した実験では、生長期間の平均気温が25℃付近またはそれ以下の地域では、CO₂濃度上昇は子実（果実や種子）の窒素濃度を下げずに収量を増加させる可能性が示唆されている。 ● また、寒冷地の大豆栽培では、気温上昇は収量に大きな影響を及ぼさないが、CO₂濃度上昇は光合成を促進させ子実重を増加させることが示唆されている。一方、温暖地の大豆栽培では、気温上昇による減収が示唆されている。 ● 北海道では、IS92a シナリオ による予測では、2030年代には、てんさい、大豆、小豆では増収の可能性もあるが、病害発生、品質低下も懸念され、小麦、ばれいしょでは減収、品質低下が予測されている。 ● 北海道でのジャガイモ生産について、2℃の気温上昇のみを考慮すると潜在収穫量は減少するが、気温上昇による栽培期間の長期化やCO₂濃度上昇を考慮すると、潜在収穫量は増加するという研究がある。 ● 関東地域では、平均気温が2℃上昇すると、平野部全域でエンバクの冬枯れのリスクが高まると予測されている。 ● SRES A1B シナリオによる予測では、2080年代には、関東地域から九州地域にかけて、飼料用トウモロコシの二期作の栽培適地が拡大すると予測されている。 ● 茶（品種「やぶきた」）では、静岡県を含む関東地域で一番茶摘採期の早期化に伴い凍霜害発生リスクの高い時期が早まる可能性、南西諸島全域で秋冬季における低温遭遇時間の不足により一番茶の減収が顕在化することが推定されている。 	●	社経	小麦では気温上昇に伴う生育期間の短縮が生じており、一部の地域では今後減収する可能性が示されている。大豆では一部の地域で夏季の高温による減収、品質低下が生じている。寒冷地での栽培では増収の可能性（IS92a）が示されているものの、温暖地での栽培では気温上昇により減収する可能性（栽培実験）が示唆されている。飼料作物では一部の地域で増収すると予測される作物と冬枯れリスクが増大するとされる作物がある。茶では夏季の高温・少雨による二番茶以降の生育抑制等が生じているほか、一部の地域で秋冬季の気温上昇による一番茶の減収が予測されている。こうした穀物等の収量・品質の変化は（好影響も含め）農家の収入の増減に直接影響するほか、食料品の価格等を通じて一般世帯にも影響が及ぶ可能性がある。	▲ ▲		

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	畜産	<ul style="list-style-type: none"> ● 夏季に、肉用牛と豚の育成や肉質の低下、採卵鶏の産卵率や卵重の低下、肉用鶏の育成の低下、乳用牛の乳量・乳成分の低下等が報告されている。 ● 記録的猛暑であった2010年の暑熱による家畜の死亡・廃用頭羽数被害は、畜種の種類・地域を問わず前年より多かったことが報告されている。 ● 乳用牛では温湿度指数の上昇に伴う泌乳量の低下、気温上昇による繁殖成績や子牛の成長量の低下の研究事例がある。また、肉用豚では気温上昇による消化吸収能の低下や分娩率の低下、採卵鶏では気温上昇による飼料摂取量の減少等に伴う産卵数の減少や卵質の低下などを示す研究事例がある。 ● 国内では見られなかった熱帯・亜熱帯地域に分布する牛のアルボウイルス類（節足動物媒介性ウイルス）の流行や、南西諸島のみ定着すると考えられていたアルボウイルス媒介種であるオーストラリアヌカカの分布が九州地方で確認されている。 ● アルボウイルス類の一種であるアカパネウイルスが東北地方に直接侵入し、北海道までウイルス感染による牛の異常産の発生が広まった事例も報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 影響の程度は、畜種や飼養形態により異なると考えられるが、温暖化とともに、乳用牛、肥育去勢豚、肉用鶏の成長への影響が大きくなることが予測されており、成長の低下する地域が拡大し、低下の程度も大きくなると予測されている。 ● 乳用牛では、高温だけでなく高湿度になると生産性への負の影響がさらに大きくなることが示唆されている。 	●	社経	夏季の暑熱ストレスによる家畜や家禽への影響（育成の悪化、肉質の低下、乳量・乳成分の低下、採卵数や卵の質の低下等）は全国に及んでいる。また温暖化の影響と考えられる動物感染症の発生地域の拡大がみられる。将来では家畜・家禽の成長量の低下が予測されている。家畜や家禽への影響の範囲は畜種や飼養形態により異なるが、農業総生産額に占める畜産業の割合は約30%であることから、わが国の畜産物の供給、畜産従事者の経営に直接影響する。	●	▲	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	病害虫・雑草等	<p>(害虫)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 西南暖地(九州南部などの比較的温暖な地域)を中心に発生していたイネなどの害虫であるミナミアオカメムシやスクミリンゴガイが、近年、西日本の広い地域から関東の一部でも発生し、気温上昇の影響が指摘されている。 ● 海外から九州地方に飛来するウンカ類の数は、ベトナム北部での越冬や強い上層風の頻度が関係する。 ● 水稲害虫以外でも、気温上昇による分布の北上・拡大、発生量の増加、越冬の可能性が報告・指摘されている。 <p>(病害)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 圃場試験の結果、出穂期前後の気温が高かった年にイネ紋枯病の発病株率、病斑高率が高かったことが報告されている。 ● 一部の地域では、高温によるレタス根腐病やトモロコシ根腐病の発生が報告されている。 ● ライグラスいもち病の発生地域が北上しており、温暖化との関連が指摘されている。 <p>(雑草)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 奄美諸島以南に分布していたイネ科雑草が、越冬が可能になり、近年、九州各地に侵入した事例がある。 ● 北海道では、土壌凍結深が浅くなったことにより、収穫後圃場に残存するバレイシヨの雑草化(野良イモ化)が問題となっている。 ● 東北地方では、気温上昇はチガヤ(イネ科の雑草)の生態型の分布特性に影響を及ぼしている。 ● 特定外来生物のナルトサワギクの分布の拡大には、気温が高い四半期の平均気温が大きく関与していると推定されている。 <p>(かび毒)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 土壌中に生息するアフラトキシン産生菌の分布を全国で調査した結果、産生菌の分布には気温が関与していることが推察されている。 	<p>(害虫)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 害虫については、気温上昇により寄生性天敵、一部の捕食者や害虫の年間世代数(1年間に卵から親までを繰り返す回数)が増加することから水田の害虫・天敵の構成が変化することが予測されている。 ● 水稲の害虫であるミナミアオカメムシ、ニカメイガ、ツマグロヨコバイについて、気温上昇による発生量の増加が予測されている。ヒメトビウンカとそれが媒介するイネ縮葉枯病の発生に関し、東北、北陸地方で潜在的な危険性が増加すると予測されている。 ● 水稲の害虫であるアカスジカミカメの成虫発生盛日がいねの出穂期に近づくことで斑点米被害リスクが増加すると予測する研究がある。 ● 水稲害虫以外でも、越冬可能地域や生息適地の北上・拡大や、発生世代数の増加による被害の増大の可能性が指摘されている。 ● 夏季の気温上昇は、ミナミアオカメムシ及び一部のアブラムシに高温障害を引き起こす可能性が指摘されている。 <p>(病害)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 病害については、高CO₂条件実験下(現時点の濃度から200ppm上昇)では、発病の増加が予測された事例がある。 ● 気温上昇によりイネ紋枯病による被害の増大が予測された事例がある。 ● 降水頻度の減少により葉面の濡れが低下し、降水強度の増加により病菌が流出するため、感染リスクが低下するとする研究もある。 <p>(雑草)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 雑草については、コヒメビエ、帰化アサガオ類など一部の種類において、気温の上昇により定着可能域の拡大や北上の可能性が指摘されている。 ● 北海道では、気温上昇により帰化雑草イガホビユの発芽条件を満たす日数が増加・早期化するため、畑作物の播種後の発生が増加する可能性が示唆されている。 <p>(かび毒)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 気温上昇による土壌中でのアフラトキシン産生菌の生息密度の上昇が懸念されている。 	●	社経	<p>害虫では分布域の北上・拡大、発生量の増加が既に生じており、同様の傾向が予測されていることから、害虫被害の増加あるいは発生地域の拡大、防除のための労力の増大が懸念される。病害では、高温による被害の甚大化や気温上昇による発生地域の北上が生じているほか、将来では気温上昇による被害の増大が予測されている事例もある。雑草では、気温上昇が分布拡大に寄与しているとする研究事例があるほか、将来においても分布拡大や発生増加を予測する研究事例がある。病害虫雑草の分布域や発生量の増加は、作物の収量・品質に影響が及び、かつ農薬をはじめとする様々な防除手段を講じる必要があるため、直接的・間接的に、農家の収入低下等の経済的損失につながる可能性がある。また、土壌に生息し強い発がん性を示すかび毒(アフラトキシン)の産生菌の分布に気温が関与しているという知見も得られており、今後の生息密度の上昇が懸念される。</p>	●	●	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	農業	農業生産基盤 ⁸⁷	<ul style="list-style-type: none"> ● 農業生産基盤に影響を及ぼしうる降水量の変動について、1901～2000年の最大3日連続降雨量の解析では、短期間にまとめて強く降る傾向が増加し、特に、四国や九州南部でその傾向が強くなっている。 ● また、年降水量の10年移動変動係数をとると、移動平均は年々大きくなり、南に向かうほど増加傾向は大きくなっている。 ● 全国のため池管理では、少雨（少雪）の頻度が増加したことにより、貯水量が十分に回復しなかった、受益地で用水不足が生じたといった問題が発生している。さらに、全国の排水機場管理に関しては、大雨・洪水により年間のポンプ運転時間が増大・拡大しているといった変化が生じている。 ● コメの品質低下など的高温障害が見られており、その対応として、田植え時期や用水時期の変更、掛け流し灌漑の実施等、水資源の利用方法に影響が生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水資源の不足、融雪の早期化等による農業生産基盤への影響については、気温上昇により融雪流出量が減少し、用水路等の農業水利施設における取水に影響を与えることが予測されている。具体的には、今世紀末の代かき期において北日本（東北、北陸地域）では RCP2.6 シナリオでも利用可能な水量が減少し、RCP8.5 シナリオではこれらに加えて西日本（近畿、中国地域）や北海道でも利用可能な水量が減少すると予測されている。一方、梅雨期や台風期にあたる6～10月では、全国的に洪水リスクが増加すると予測されている。 ● 降雨強度の増加による洪水の農業生産基盤への影響については、低標高の水田で湛水時間が長くなることで農地被害のリスクが増加することが、将来の大雨特性の不確実性も踏まえた上で予測されている。 ● 全国を対象として、気候変動による中長期的な降水変化がため池に及ぼす影響を分析した結果、RCP2.6、RCP8.5の両シナリオにおいて、大雨注意報の発表回数が21世紀末に増加するため、ため池管理にかかる労力が増加すると予測されている。また、RCP2.6、RCP8.5の両シナリオにおいて、21世紀末では大雨時のため池水位が設定された洪水位を超過する可能性が増加すると予測されている。 	●	社経	流量等の両極端現象について大きな増大が予測される。全国的に影響が及ぶが、代かき期では特に融雪を水資源とする地域に大きな影響が及び、流量の減少とともに融雪時期の変化は水田の管理に多大な影響を及ぼす。また梅雨期や台風期では、降雨強度の増加に伴い全国的な洪水リスクの増加が予測されている。水不足は農業用水に影響を与える可能性があり、一方で、大雨の発生頻度と雨量規模の増大は低平地の排水不良、土壌侵食、農業水利施設の管理などに影響を与える可能性がある。いずれも社会的経済的影響が大きい。すなわち、洪水や湛水といった両極端現象の発生頻度増大に注目していくことが重要となる。	●	●	

87 農業生産基盤：農地、農業用水、土地改良施設（ダム、頭首工、農業用排水路等）

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
農業・林業・水産業	農業	食糧供給	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要穀物（小麦、大豆、トウモロコシ、コム）を中心に、世界各地で気候変動による収量等への影響が報告されている。暑熱と気温上昇に伴う潜在蒸発散量の増加により、特に低緯度地域で収量が減少していることや、CO₂濃度の上昇による施肥効果と播種日の移動など簡易な対応策を考慮しても、気候変動により世界全体での平均収量が減少していること等が報告されている。 ● 既に世界的にさまざまな段階の適応が進んでいる。播種日の移動や品種の変更といった栽培管理を変更する比較的簡易な対応だけでなく、栽培する作物の変更や栽培地域の移動などより大掛かりな対応も見られる。 ● 穀物収量の減少が社会・経済に影響を及ぼした近年の事例として、オーストラリアでの干ばつなど異常気象による世界的な減産が2006～2008年の穀物価格高騰の一因になったこと、2010年のロシアの熱波と干ばつによる小麦の供給不足が中東や北アフリカで暴動を引き起こしたこと、2012年の米国の高温・乾燥による減産でトウモロコシや大豆の国際価格が史上最高値を更新したことなどが報告されている。また、1983～2009年の27年間では主要穀物の栽培面積の4分の3が干ばつによる被害を受けたことがあり、収量減少による被害額を推計した研究もある。 ● 気候の年々変動（気候システムの自然変動）が穀物の収量変動の主要因だが、人為的な気候変動により、気候システムの年々変動が変動してきており、一部の地域では干ばつによる深刻化を通じて作物生産に影響を与えているとする研究がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 世界全体では、予測される将来の気温上昇はコム、小麦、大豆、トウモロコシの収量を減少させることが多数の文献を調査した研究で確認されている。一方で、予測される気候変動の収量影響は地域や作物、想定するCO₂濃度、適応策の有無で異なる。 ● コム、コムギ、ダイズ、トウモロコシの主要生産国・輸出国の収量予測は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ コムについて、RCP4.5シナリオでは13の主要生産国で2080～2089年に平均収量の減少が予測されている。主要輸出国であるタイでは、RCP8.5シナリオにおいて高い脆弱性が指摘されている。 ➢ 小麦について、主要輸出国である米国では、RCP8.5シナリオの場合、2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して70%減少すると予測されている。カナダでは、SRES A2シナリオの場合、2041～2070年の収量が1971～2000年と比較して26～37%増加すると予測されている。豪州では、RCP4.5シナリオ及びRCP8.5シナリオでは、2050年代では播種日の変更、品種選択の適応策の実施により収量増加が期待できる一方、RCP8.5シナリオでは、2050年代に栽培適地の減少による収量減少のほうがCO₂濃度の上昇や適応策の効果を上回ることが危惧されている。 ➢ 大豆について、主要輸出国である米国では、RCP8.5シナリオの場合、2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して70%減少すると予測されている。また、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオでは2085～2094年において乾燥により米国中西部での減少量が大きくなることも予測されている。カナダでは、気温上昇による栽培期間の短縮、2041～2070年における収量の微増、RCP8.5シナリオでは2071～2100年における減少が予測されている。ブラジルでは、RCP8.5シナリオの場合、雨季の短縮により、2031～2050年には2013～2030年と比較して二毛作に適した農地が10%減少すると予測されている。 ➢ トウモロコシについて、主要輸出国である米国では、2021～2050年の収量が1970～1999年と比較して20～50%、RCP8.5シナリオの場合2067～2099年の収量が1981～2004年と比較して71%減少すると予測されている。また、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオでは2085～2094年において乾燥により米国中西部での収量が大きくなることも予測されている。 	<p>社会</p>	<p>主要穀物（コム、小麦、大豆、トウモロコシ）について、世界全体では、気候変動がなかった場合に比べて、気温上昇による収量低下が生じており、今後も気候変動が進行すれば、収量低下が大きくなると予測されている。しかしながら、気候変動と同時に栽培技術の進歩が同時に進んでいるため、気候変動の影響は、収量の正味の低下ではなく、収量増加の鈍化として顕在化すると見込まれる。人口増加に伴って食料需要が逼迫傾向にある場合、作物の収量減少は国際市場への供給量の低下を通じて価格を上昇させる可能性があり、食品原材料や飼料原料としてコムギやダイズ、トウモロコシの国内消費量の8～9割を輸入している我が国への影響は大きいと想定される。ただし、国内の生産力を強化する、輸入先を変更・分散する等の対策を講じることににより、影響を低減することは可能であると考えられる。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・林業・水産業	林業	木材生産(人工林等)	<ul style="list-style-type: none"> 一部の地域で、スギの衰退現象が報告されており、その要因に大気乾燥化による水ストレスの増大を挙げる研究報告例もある。ただし、大気乾燥化あるいはそれによるスギの水ストレスの増大が、気候変動による気温の上昇あるいは無降雨の発生頻度の増加に伴う土壌の乾燥によって生じているか明確な証拠はない。スギの衰退と土壌の乾燥しやすさとの関連も明らかではない。 気温が高いとマツ材線虫病被害の危険度が高くなることや、マツ材線虫病の分布北限地で被害の分布北限が拡大していることが報告されている。ただし、気温以外の要因もマツ材線虫病被害に影響を与えらるので慎重な検証が必要である。 人工林における風害が増加しているかどうかについては、研究事例が限定的であるため、現時点では必ずしも明らかでない。一方で、林木が過密な状態で成長した場合、強雨によって土壌へ大量の水が供給された場合に、強風に対する力学的抵抗性が減少することが示されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 気温が現在より3℃上昇すると、蒸散量が増加し、特に年降水量の少ない地域でスギ人工林の脆弱性が増加する可能性を指摘する研究事例がある。 現状と同じ林業活動を仮定し、日本のスギ人工林の炭素蓄積量及び炭素吸収量の低下を予測した研究事例がある。 森林の光合成や蒸発散、有機物分解過程を数式化したプロセスモデルを用いてスギ人工林の純一次生産量を推定する研究が進められている。2050年までに年平均0.9℃上昇する場合には、九州地方のスギ人工林で純一次生産量が低下するという研究事例がある。一方、2100年までに世界平均で4.5℃気温が上昇する場合には、九州地方の広範囲でスギ人工林の純一次生産量が増加するという試算結果もある。 その他、ヒノキの苗木について、気温の上昇によるバイオマス成長量の増加は明らかではないとの研究事例や、3℃の気温上昇はアカマツ苗木の成長を抑制させるとの研究事例がある。 カラマツ人工林で実施された林床部炭素フラックス(土壌呼吸、微生物呼吸、林床植生による光合成等)の観測調査では、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加した。気温上昇により林床部の地温が上昇した場合、カラマツ人工林から排出される二酸化炭素排出量が増加する可能性がある。 マツ材線虫病発生危険域、トドマツオオアブラムシによる被害、南根腐れ病菌の分布が拡大すると予測する研究事例がある。また、ヤツバキイムシの世代数増加によりトウヒ類の枯損被害が増加すると研究事例、スギカミキリの世代数増加を予測する研究事例がある。 高齢林化が進むスギ・ヒノキ人工林における風害の増加が懸念される。 	●	社経環	スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ等の人工林の主要樹種については、影響があればその影響の範囲は全国に及ぶ。これらの人工林の衰退、生産力の低下等は、森林の生態系サービスの低下を引き起こし、社会、経済、環境に大きな影響を及ぼす可能性がある。社会面では、山地、中山間地の住民生活への影響、経済面では、林業への影響、観光業への影響、環境面では、水源涵養・洪水調節、土砂流出防備、生物多様性保全、二酸化炭素吸収などの機能の低下が挙げられる。これまでの知見によれば、気温が高いとマツ材線虫病被害の危険度が高くなることや、林木が過密に成長している場合や強雨によって土壌へ大量の水が供給された場合に強風に対する力学的抵抗性が減少することが示されている。将来予測では人工林の純一次生産量に影響することや、害虫による被害の拡大及び害虫の年間世代数の増加、病菌の分布拡大が予測されている。高齢林化が進んでいる人工林での風害の増加が懸念される。	●	▲	
		特用林産物(きのこ類等)	<ul style="list-style-type: none"> シイタケほだ場での分離頻度が高いシイタケ病原体のトリコデルマ・ハルチアナムによる被害は、高い温度環境で大きくなる事が確認されつつある。ヒボクレア属菌が九州地域のシイタケ原木栽培の生産地で被害を与えるようになってきたことが報告されている。これまで被害報告のなかった千葉県、茨城県、静岡県、愛知県などからも被害が報告されていることから、被害地域は拡大していると考えられる。 夏場の高温がヒボクレア菌による被害を助長する要因となっている可能性があるとの報告がある。 	<ul style="list-style-type: none"> シイタケの原木栽培において、夏場の気温上昇と病害菌の発生あるいはシイタケの子実体(きのこ)の発生量の減少との関係を指摘する報告がある。 冬場の気温の上昇がシイタケ原木栽培へ及ぼす影響については、現時点で明らかになっていない。 原木栽培のシイタケの害虫であるナカモンナミキコバエの出現時期の早まりや、ムラサキアツバの発生回数の増加を予測する研究事例がある。 	●	社経環	病原体によるシイタケ原木栽培への被害の拡大が報告されている。また試験・調査では高い温度環境で病原体の侵襲力が大きくなることも確認されている。さらに将来では、シイタケ原木栽培の害虫の発生時期の早期化や発生回数の増加が予測されている。栽培きのこ類の生産額は林業産出額の約半分を占めるため、こうした影響の範囲が全国に及ぶことによるシイタケ原木栽培の生産力の低下等は、社会、経済、環境に大きな影響を及ぼす可能性がある。社会面では、シイタケ原木栽培の生産力の低下による、シイタケ原木栽培に依存した山地、中山間地のコミュニティへの影響が想定される。経済面では、シイタケ原木栽培の生産力の低下による極めて大きな経済的損失、環境面では、コミュニティの崩壊による森林管理の不全による生態系サービスの低下が挙げられる。	●	▲	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
農業・林業・水産業	水産業	回遊性魚介類(魚類等の生態)	<ul style="list-style-type: none"> 20世紀以降の海洋の昇温は、世界全体の漁獲可能性を減少させた要因の一つとなっていることが指摘されている。 現在、温暖化に伴う海洋生物の分布域の変化が世界中でみられている。日本周辺海域における主要水産資源(回遊性魚介類)の分布域の変化、それに伴う漁期・漁場の変化は下記の通りである。 クロマグロは、昇温が著しい日本海において、仔魚の分布が拡大したと推測されている。 ブリは、日本全体で漁獲量が増加しており、特に北海道、東北地域で増加が顕著となっている。 サワラは、日本海や東北地方太平洋沿岸域で漁獲量が増加している。 シロザケは、海洋生活初期の高水温によって回帰率が低下したと推察される。 スルメイカの回遊経路の変化に伴い、漁期の短縮や来遊量の変化が各地で指摘されている。 サンマは、親潮の流路変動の影響も受けながら道東海域の漁場が縮小した。 スケトウダラは、北海道周辺海域や日本海において加入量が減少している可能性がある。 高水温によるこのような変化によって加工業や流通業に影響が出ている地域もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 世界全体の漁獲可能性が減少することが予測されている。RCP8.5シナリオの場合、21世紀末の漁獲可能性は、21世紀初めと比較して約2割減少すると予測されている。 日本周辺海域の回遊性魚介類については、分布回遊範囲及び体のサイズの変化に関する影響予測が数多く報告されている。魚種別の影響は下記のとおりである。 まぐろ類は、RCP8.5シナリオの場合、2081～2100年には海水温上昇と動物プランクトンの減少により太平洋亜熱帯部で漁獲量が減少し、分布が北東へ移動すると予測されている。台湾、沖縄周辺海域においては、クロマグロの産卵に適した水温域が北上し、仔魚の生残率が低下すると予測されている さけ・ます類では日本周辺や北太平洋西部での生息域の減少が予測されている。特に夏季の分布域が水温上昇によって縮小することが予測されている。 サンマは、餌料環境の悪化から成長が鈍化するものの、回遊範囲の変化によって産卵期では餌料環境が安定し、産卵量が増加する場合も予測されている。水温上昇によってサンマの漁場が公海域に形成されやすくなることから、小規模漁業者の操業に問題が生じることや、体重減少による価格への影響も懸念されている。 スルメイカは、2050年には本州北部沿岸域で、2100年には北海道沿岸域で分布密度の低い海域が拡大することが予測されている。日本海におけるサイズの低下、産卵期の変化も予測されている。 マイワシは、海面温度の上昇への応答として、成魚の分布範囲や稚仔魚の生残に適した海域が北方へ移動することが予測されている。 ブリは、分布域の北方への拡大、越冬域の変化が予測されている他、既存産地における品質低下が危惧されている。 海洋酸性化により、東ペーリング海におけるオオズワイガニの漁獲量が減少することが飼育実験により予想されている。将来的には、海洋酸性化により日本近海のカニ類にも影響が生じる可能性がある。 漁獲量の変化及び地域産業への影響に関しては、資源管理方策等の地球温暖化以外の要因も関連することから不確実性が高く、精度の高い予測結果は得られていない。 	<p>●</p>	<p>社経</p>	<p>●</p>	<p>▲</p>	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
農業・ 林業・ 水産業	水産業	増養殖業	<p>(海面養殖業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 高水温によるホタテ貝の大量へい死、7～10月の4ヶ月間の降水量が平年より少なく、高水温かつ少雨傾向の年におけるカキのへい死が報告されている。 <p>(内水面漁業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 高温によるワカサギのへい死が報告されている。 	<p>(海面養殖業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 養殖魚類の産地については、夏季の水温上昇により不適になる海域が出ると予想されている。 <p>(内水面漁業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 湖沼におけるワカサギの高水温による漁獲量減少が予想されている。 ● 21世紀末頃において、海洋と河川の水温上昇によるアユの遡上時期の早まりや遡上数の減少が予測されている。 <p>(その他)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● IPCCの報告では、海洋酸性化による貝類養殖への影響が懸念されている。 		社経	海水温の上昇による養殖貝のへい死、内水面の水温上昇による魚類のへい死は既に生じており、影響は日本全国に及んでいる。将来では養殖産地の適地の減少、内水面漁業における漁獲量の減少等が予測されている。特に水産業への依存度が高い地域において社会・経済への影響が重大になる。			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
農業・林業・水産業	水産業	沿岸域・内水面漁場環境等	<p>(回遊性魚介類以外の海面漁業)</p> <ul style="list-style-type: none"> 各地で南方系魚種数の増加や北方系魚種数の減少などが報告されている。 アワビでは、主要漁獲物が在来種から暖海性小型アワビに遷移する事例がある。 アサリでは、水温や地温の上昇が資源量や夏季の生残に影響しているとする研究事例がある。 藻場の減少に伴い、生息場としての藻場への依存性の強い、イセエビやアワビ類の漁獲量も減少していることが報告されている。 <p>(海藻・藻場)</p> <ul style="list-style-type: none"> 高水温による天然ワカメの不漁、水温上昇によるマコンブのバイオマス量の減少が報告されている。 養殖ノリでは、秋季の高水温により種付け開始時期が遅れ、年間収穫量が各地で減少している。 養殖ワカメでは、一部の地域で秋季及び収穫時期(2～3月)の水温上昇により、種苗を海に出す時期が遅くなるとともに、収穫盛期の生長や品質に影響が及んでいることが減収の一因となっている。また、食性魚類による養殖ワカメの食害も報告されている。 水温の上昇による藻類の生産力への直接的な影響と、藻食性魚類等の摂食活動の活発化による間接的な影響によるものと考えられる藻場の減少や構成種の変化が、各地で生じており、地理的な分布も変化している。 <p>(有害有毒プランクトン・魚類)</p> <ul style="list-style-type: none"> 有害有毒プランクトンについて、発生北限の北上、寒冷地における暖水種の発生、発生の早期化が報告されている。そのほか、食中毒のシガテラ中毒の原因となる毒化した魚や南方性有毒種の分布域が広がっている可能性がある。 	<p>(回遊性魚介類以外の海面漁業)</p> <ul style="list-style-type: none"> 生態系モデルと気候予測シナリオを用いた影響評価は行われていないものの、多くの漁獲対象種の分布域が北上すると予測されている。 海水温の上昇による藻場を構成する藻類種や現存量の変化によって、アワビなどの磯根資源の漁獲量が減少すると予想されている。 <p>(海藻・藻場)</p> <ul style="list-style-type: none"> 北日本沿岸域の主要コンブ11種では、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上すると、もしくは生育適地が消失する可能性があるとして予測されている。RCP8.5シナリオでは全種を合わせた分布域が2090年代では1980年代の0～25%に縮小し、RCP4.5シナリオでも11種中4種のコンブが日本海域から消失する可能性があるとして予測されている。 ワカメ養殖では、RCP8.5シナリオの場合、21世紀末には芽出し時期が現在と比べて約1ヵ月遅くなることや漁期が短くなることが予測されている。 ノリ養殖では、RCP2.6シナリオの場合、2050年代には水温上昇により育苗の開始時期が現在と比べて20日程度遅れると予測されている。RCP8.5シナリオの場合、2050年代、2090年代になるにつれて育苗開始時期が後退し、摘採回数減少や収量低下が懸念される。 北西太平洋では、水温上昇によりホンダワラ属アカモクの分布が北上し、2100年には本州の広い範囲で消失すると予測されている。 RCP2.6シナリオの場合、日本沿岸のカジメの分布には、藻食性魚類による食害の影響のみ顕在化する。RCP8.5シナリオの場合、高水温による生理的影響と食害の双方の影響により、2090年代にはこれまで分布適域であった海域で生育が困難になると予測されている。 RCP2.6シナリオの場合、瀬戸内海から黒潮流域のカジメ類の分布について、2050年代では現状の藻場を維持できるが、RCP8.5シナリオの場合、瀬戸内海の全域で大幅に減少する可能性があるとして予測されている。 <p>(有害有毒プランクトン)</p> <ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇に関係する赤潮発生による二枚貝等のへの死リスクの上昇等が予想されている。 	<p><RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当></p>  <p><RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当></p> 	<p>社経環</p>	<p>水温上昇による水産資源の分布域の変化、資源量の減少、藻場の面積の減少や構成種の変化が既に生じている。また藻場への依存性が高い水産資源の漁獲量の減少も報告されている。さらに有害有毒プランクトンの発生北限の北上や発生早期化、寒冷地での暖水種の発生が報告されている。こうした影響は日本全国に及んでおり、特に水産業への依存度が高い地域において社会・経済への影響が重大になる。</p> <p><RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当></p> <p>IPCC 報告書によると、気候変動の影響を受けやすい藻場を構成する温帯性の藻類やコンブ類は、2℃を超える温暖化で高いリスクが予測されている。日本への影響として、ノリ養殖では育苗の開始時期の遅れによる養殖期間の短縮化、日本沿岸のカジメ類の藻場では藻食性魚類による食害の甚大化が予測されている。</p> <p><RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当></p> <p>北日本沿岸域のコンブでは分布域の大幅な縮小、ノリ養殖では摘採回数の減少や収量低下、ワカメ養殖では、芽出し時期の遅れや漁期の短縮が予測されている。アカモクでは分布北上や消失、カジメではこれまでの分布域での生息困難が予測されている。</p>	 	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
水環境・水資源	水環境	湖沼・ダム湖	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国の湖沼における 1981～2007 年度の水溫変化を調べたところ、265 観測点のうち、夏季は 76%、冬季は 94%で水溫の上昇傾向が確認されている。 ● また、水溫の上昇に伴う水質の変化が指摘されているが、水溫の変化は、現時点において必ずしも気候変動の影響と断定できるわけではないとの研究報告もある。 ● 一方で、年平均気温が 10℃を超えるとアオコの発生確率が高くなる傾向を示す報告もあり、長期的な解析が今後必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● RCP2.6、8.5 シナリオを用いた研究で、国内 37 のダムのうち、富栄養湖に分類されるダムが 2100 年代で増加し、特に東日本での増加数が多くなる予測がある。 ● 研究は限定的であるものの、RCP8.5 シナリオを用いた研究で、宍道湖、中海では、21 世紀末の表層水溫、底層水溫の上昇や、海面水位上昇に伴う塩分濃度の上昇が予測されている。 ● RCP8.5 シナリオを用いて東北地方のダムを対象にした研究では、将来の流入量の増加に伴う SS の増加によって、濁水の放流が長期化することが予測されている。ただし、気温上昇及び日射量増加が貯水池内濁水現象に与える影響は、年間湖水回転率の大小によって異なる可能性も示唆されている。 ● 気候変動による降水量や降水の時空間分布の変化に伴う河川流量の変化や極端現象の頻度や強度の増加による湖沼・ダム貯水池への影響については、具体的な予測の研究事例は確認できていない。 	<p><RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当></p>  <p><RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当></p> 	社経環	<p>既に、水道水源ダム貯水池において、カビ臭産生物プランクトンの異常増殖により異臭味被害が発生や、水道水源の生物障害が近年北上しているとの事例が報告されている。湖沼やダム貯水池は、気温・水溫の上昇によりダム貯水池での温度成層や植物プランクトンの発生確率の増大や発生する期間の長期化、土壌有機物の生分解の向上による水中の有機物濃度の増加等、河川以上に厳しい水質変化が予想される。また、汽水湖でも水溫の上昇や塩分濃度の上昇が予測されている。湖沼・ダム貯水池の水溫・水質の変化は、水道水源として、社会に与える影響は甚大であり、水質悪化に伴う浄水場への影響におけるコストの増大といった経済への影響も懸念される。影響の範囲は全国の湖沼・ダム貯水池と広範囲に及び、生態系への影響も含め、一度悪化した水環境は簡単に元に戻せるものではない。</p> <p><RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当></p> <p>全国 37 のダムにおいて 2010 年代～2050 年代、2050 年代～2100 年代にかけて Chl-a 濃度はそれぞれ増加し、富栄養と判定されるダム貯水池の数も 2100 年代では東日本で 6 箇所となることが予測されている。</p> <p><RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当></p> <p>全国 37 のダムにおいて 2010 年代～2050 年代、2050 年代～2100 年代にかけて Chl-a 濃度はそれぞれ増加し、富栄養と判定されるダム貯水池の数も 2100 年代では東日本で 12 箇所となることが予測されている。宍道湖、中海では、21 世紀末の表層水溫、底層水溫の上昇や、海面水位上昇に伴う塩分濃度の上昇が予測されている。月山ダム、七ヶ宿ダム、皆瀬ダム、御所ダムでは、流入量の増加に伴う SS の増加が予測され、濁水の放流が長期化することも懸念されている。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
		河川	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国の河川の1981～2007年度の水溫変化を調べたところ、3,121観測点のうち、夏季は73%、冬季は77%で水溫の上昇傾向が確認されている。 ● また、水溫の上昇に伴う水質の変化も指摘されているが、河川水溫の上昇は、都市活動（人工排熱や排水）や河川流量低下などにも影響されるため、気候変動による影響の程度を定量的に解析する必要がある。 ● 長良川においては、短期集中降雨の増加、大雨間隔の短期化等により土砂流出量が増加することが報告されている。 ● 平成30年の記録的な高潮により、淀川で塩水遡上が起こり、浄水場の原水に塩水が混入したことや、信濃川では、夏季に潟水により流量が減少したことにより塩水遡上が発生し、水門の一部が閉鎖されたことも報告されている。 ● 芦田川支流では、近年の河川流出の傾向として、流量と応答して非常に多くの栄養塩が流出する洪水期と流出量が減少する潟水期の二極化の進行を予測する研究もある。 ● 1980年代の終わりから、気溫上昇に伴う真姿の池の湧水水溫の上昇が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 雄物川における将来の水溫変化の予測では、1994～2003年の水溫が11.9℃であったのに対して、2030～2039年では12.4℃に上昇すること、特に冬季に影響が大きくなることが予測されている。 ● 2090年までに日本全国で浮遊砂量が8～24%増加することや強い台風が発生割合の増加等により9月に最も浮遊砂量が増加すること、8月の降水量が5～75%増加すると河川流量が1～20%変化し、1～30%土砂生産量が増加する可能性も予測されている。 ● 水溫の上昇によるDOの低下、DOの消費を伴った微生物による有機物分解反応や硝化反応の促進、植物プランクトンの増加による異臭味の増加等も予測されている。 ● 仙台平野における帯水層の温度上昇にも影響を及ぼすことが予測されている。 	◆	—	影響の範囲は全国の河川に及ぶ。気候変動による気溫の上昇は、河川の水溫を上昇させる可能性がある。 また、気候変動により短時間で降る極端な降水の頻度及び強度が増大する流域では、土砂の流出量を増加させる。水溫上昇や濁度の程度にもよるが、河川や帯水層の水溫・水質の変化における気候変動により生じるリスクは、社会・経済・環境のすべての観点において、その影響の程度や範囲は限定的と判断される。	▲	■	
水環境・水資源	水環境	沿岸域及び閉鎖性海域	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国207地点の表層海水温データ（1970年代～2010年代）を解析した結果、132地点で有意な上昇傾向（平均：0.039℃/年、最小：0.001℃/年～最大：0.104℃/年）が報告されている。なお、この上昇傾向が見られた地点には、人為的な影響を受けた測定点が含まれていることに留意が必要である。 ● 沖縄島沿岸域では、有意な水溫上昇あるいは下降傾向は認められなかったとの研究報告もある。 ● 全国289点の沿岸海域のpHデータ（1978～2009年）を用いて解析した結果、有意な酸性化傾向（0.0014/年～0.0024/年）にあることが確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 瀬戸内海の物理・熱環境の将来変化予測を行った研究においては、RCP8.5シナリオを前提として、夏季における昇温傾向が強く最大で6月の3.58度、最小昇温は12月の2.84度の海面温度が上昇する予測例もある。 ● 伊勢湾全体の将来の水溫について予測した研究では、将来2℃以上上昇し、特に沿岸部での上昇が顕著である可能性が高い。 ● 東京湾を対象とした研究では、2046～2065年における強風（AMeDAS観測値における南西の風速10m/s以上）の継続時間は減少する可能性が示唆されており、DO濃度の回復が困難となる恐れもあることが予測されている。 	◆	—	影響の範囲は全国の海域（沿岸域及び閉鎖性海域）に及び、日本近海における平均海面水溫の上昇、海洋酸性化、一部地域における貧酸素水塊の発生期間の長期化の影響が懸念されるが、人命や資産、環境生態系機能の損失などの観点から考えると、その影響の程度や範囲は限定的と判断される。	▲	▲	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
	水資源	水供給 (地表水)	<ul style="list-style-type: none"> ● 降水の時空間分布が変化しており、無降雨・少雨が続くこと等により日本各地で渇水が発生し、給水制限が実施されている ● 1980～2009年の高山帯の融雪時期も時期が早くなる傾向があるが、流域により年変動が大きい。多雪地域である北陸などでは、冬季における融雪量が増加することが報告されており、取手川流域では、降雪現象の減少により春先の灌漑用水が不足することも示唆されている。 ● 気候変動に伴う渇水による維持用水(渇水時にも維持すべき流量)への影響、海面水位の上昇による河川河口部における海水(塩水)の遡上範囲の拡大に関しては、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 北日本と中部山地以外では近未来(2015～2039年)から渇水の深刻化が予測されている。また、融雪時期の早期化による需要期の河川流量の減少、これに伴う水の需要と供給のミスマッチが生じると、水道水、農業用水、工業用水等の多くの分野に影響を与える可能性があり、社会経済的影響が大きい。 ● 海面水位の上昇による新幹路川の塩水遡上形態の変化を調査した研究では、下流付近で高濃度の塩水が恒常的に侵入する可能性があることが予測されており、河川への塩水遡上範囲が延伸した場合、河川水を利用している施設へ影響が生じる恐れがあることも予測されている。また、由良川では、21世紀末において、河川流量が比較的多いケースにおいても、各取水場付近の塩分は現在よりも高くなり、遡上距離も延びることが予測されている。 ● このほか、現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、維持用水(渇水時にも維持すべき流量)等への影響、海面水位の上昇による河川河口部における海水(塩水)の遡上による取水への支障などが懸念される。 	<p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p>  <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p> 	<p>社経</p> <p>全国的に影響が及ぶ。特に融雪を水資源とする地域に大きな影響が及び、流量の減少とともに冬季の降雨事象の増加に伴う積雪量の減少や融雪時期の早期化は水田の管理に多大な影響を及ぼす。水不足は水道水、農業用水、工業用水など多くの分野に影響を与える可能性があり、社会的経済的影響が大きい。RCP2.6、8.5シナリオともに洪水、渇水の両極端現象の発生頻度の増大を予測する研究事例もあり、注目していくことが重要となる。</p> <p><RCP2.6及び2℃上昇相当> 2081～2100年の代かき期では、北日本(東北、北陸地域)において利用可能な水量が減少することが予測されている。</p> <p><RCP8.5及び4℃上昇相当> 夏季の水位制限の存在により、多くの年では融雪時期の早期化の影響は限定的である可能性も示唆されているものの、夏季以降のダム貯水量が低下する傾向が示されており、最上川流域白川ダムでは、融雪時期の早期化の影響により、初夏に貯水量が減少する傾向が予測されている。また、2081～2100年の代かき期では、西日本(近畿、中国地域)や北海道でも減少することが予測されている。将来の水資源賦存量の減少により、札幌市民の生活用水への影響も予測されている。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
水環境・水資源	水資源	水供給 (地下水)	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による日降水量や降水の時間推移の変化に伴う地下水水位の変化の現状については、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。 地盤沈下が続いている地域が多数存在していることや、渇水時における過剰な地下水の採取により地盤沈下が進行することもある。特に臨海部では、地下水の過剰採取によって帯水層に海水が浸入して塩水化が生じ、水道用水や工業用水、農作物への被害等が生じている地域があることも報告されている。海面水位の上昇による地下水の塩水化の現状については、現時点で具体的な研究事例は確認できていないものの、地球温暖化に伴う海面水位の上昇や高潮氾濫、渇水の頻発化・長期化によって、小規模な島の淡水レンズが縮小する可能性が指摘され、また過剰揚水によって既に縮小した事例が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 武蔵野台地や京都盆地を対象とし、気候変動による日降水量や降水の時間推移の変化に伴う地下水水位の変化について予測した研究事例がある。黒部川流域において、21世紀末では月降水量及び融雪量、地下水浸透量は、11～4月に現在より増加、5～6月に現在より減少する可能性が予測されており、地下水資源を活用する地域への影響が懸念される。また、胆沢川扇状地を対象にした研究では、2081～2100年にかけて稲作の灌漑期における地下水水位の低下が予測されている。 渇水に伴い地下水利用が増加し、地盤沈下が生じることについては、現時点で具体的な研究事例は確認できていない。 現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、海面水位の上昇による地下水の塩水化、取水への影響が懸念される。わが国の沖積平野にある大都市や灌漑用水としては河川水利用が多いことから、地下水塩水化による水源への影響はさほど大きくないと想定されるが、地下水を利用している自治体では、塩水化の影響は大きくなる懸念される。 	●	社経	影響の範囲は全国に及ぶ。稲作の灌漑期における地下水水位の低下が予測されている地域もあり、地下水を主水源としている地域では社会的経済的影響を受ける。ただし、わが国の沖積平野にある大都市では、表流水を主水源としており、灌漑用水としても河川水利用が多い。したがって、地下水塩水化による水源への影響はさほど多くはないと想定される。一方で、大雨や融雪による地下水供給の増加は地すべり等の斜面災害の発生に大きく関係する。	▲	▲	
		水需要	<ul style="list-style-type: none"> 気温上昇と水使用量の関係について、東京では、気温上昇に応じて水使用量が増加することが実績として現れている。 農業分野では、高温障害への対応として、田植え時期や用水時期の変更、掛け流し灌漑の実施等に伴う増加が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で、気候変動による影響を定量的に予測した研究事例は確認できていないものの、気温の上昇による飲料水等の需要増加が懸念される。 九州で2030年代に水田の蒸発散量増加による潜在的水資源量の減少が予測されており、その他の地域も含め、気温の上昇によって農業用水の需要が増加することが想定される。 気候変動・将来の人口・経済発展を考慮して2050年の水供給・水需要を推定した結果においては、国内の人口の減少傾向も関係し、生活用水・工業用水の必要量が将来的に確保されることが予測されている。 松山市では将来人口の減少及び世帯構成変化により、総家庭用水需要が減少し、2007年同様の渇水期ではダム貯水量が増加するといった予測例もある。 						

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
自然生態系 ⁸⁸	陸域生態系	高山帯・亜高山帯	<ul style="list-style-type: none"> 気温上昇や融雪時期の早期化等の環境変化に伴い、高山帯・亜高山帯の植生分布、群落タイプ、種構成の変化が報告されている。大規模な植生変化としては、森林帯の標高変化、ハイマツやチシマザサ等の高山帯への侵入、高山湿生植物群落の衰退が報告されている。 高山植物群落の開花期の早期化と開花期間の短縮により、花粉媒介昆虫の活動時期と開花期のずれ（生物季節の改変による相互関係の崩壊）が観測されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 高山帯・亜高山帯の植物種・植生、及び動物（ライチョウ）について、分布適域の変化が縮小が予測されている。例えば、ハイマツ、コメツガ、及びシラビソは21世紀末に分布適域の面積が現在に比べて減少することが予測されている。 融雪時期の早期化による高山植物の地域個体群の消滅も予測されている。 生育期の気温上昇により高山植物の成長が促進され、植物種間の競合状態が高まることによる種多様性の減少、低木植物やチシマザサの分布拡大などの植生変化が進行すると予測されている。 生育期の気温上昇と融雪時期の早期化により、高山植物群落の開花の早期化と開花期間の短縮化が促進され、花を利用する花粉媒介昆虫とのフェノロジカルミスマッチのリスクが高まると予測されている。 	環	<p>影響の範囲は全国の山岳域に及ぶ。高標高及び高緯度への移動の限界は、当該影響に対する持続的な脆弱性の一要素となる。また、積雪期間の短縮は土壌の乾燥化を引き起こし、急速な植生変化や雪田、高層湿原の衰退・消失をもたらす。これらのことは、希少種・ハビタット・生物多様性・景観の消失につながる。また、気温上昇や融雪時期の早期化により高山植物群集の生物季節は大きく改変され、それにより凍害の増加や生物間相互作用の改変が起こる可能性が高い。</p>	●	▲	<p>緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：高い 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：高い</p>
		自然林・二次林	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動に伴う自然林・二次林の分布適域の移動や拡大の現状について、各植生帯の南限・北限付近における樹木の機能型別の現存量の変化が確認されている他、北海道の天然生針広混交林における針葉樹の成長量の経年的な減少傾向、及び広葉樹の成長量の増加傾向が確認されている。 気温上昇の影響によって、過去から現在にかけて落葉広葉樹が常緑広葉樹に置き換わった可能性が高いと考えられている箇所が国内複数地域において確認されている。 樹木の肥大成長について、早材成長の急速化が報告されている樹種がある。 北海道の春植物においては、春の雪解けが早い年には花粉媒介昆虫の発生日より開花期が早まることで、送粉者とのミスマッチが発生し、結実率が低下する傾向が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 冷温帯林の構成種の多くは、分布適域がより高緯度、高標高域へ移動し、分布適域が減少することが予測されている。特に、ブナ林は21世紀末に分布適域の面積が現在に比べて減少することが示されている。 暖温帯林の構成種の多くは、分布適域が高緯度、高標高域へ移動し、分布適域が拡大することが予測されている。 ただし、実際の分布については、地形要因や土地利用、分布拡大の制限などにより縮小するという予測もあり、不確定要素が大きい。 大気中のCO₂濃度の上昇は光合成速度や気孔反応など、樹木の生理過程に影響を与えることが予測されている。 					

88、自然生態系分野では、そもそも適応策としてできることが限られており、気候変動そのものを抑止する（緩和）しか方策がないという場合もある。そのような場合、緊急性の評価における「適応の着手・重要な意思決定の必要な時期」の観点で評価を行うことは難しく、「影響の発現時期」の観点のみで評価を行っている。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然生態系	陸域生態系	里地・里山生態系	<ul style="list-style-type: none"> モウソウチク・マダケの分布上限及び北限付近における分布拡大が報告されている。 マダケ・モウソウチク以外の里地・里山の構成種の変化の現状について、一部の地域で南方性チョウ類の増加等が報告されているものの、現時点で網羅的な研究事例は確認されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> モウソウチクとマダケについて、気候変動に伴う分布適域の高緯度・高標高への拡大が予測されており、4℃の昇温を仮定した場合、分布北限が現在より約500km北上する可能性がある。 一部の研究で、自然草原の植生帯は、暖温帯域以南では気候変動の影響は小さいと予測されている。標高が低い山間部や日本西南部での、アカシデ、イヌシデなどの里山を構成する二次林種の分布適域は、縮小する可能性がある。 ただし、里地・里山生態系は、気候変動の影響については十分な検証はされておらず、今後の研究が望まれる。 	◇	環	モウソウチク、マダケについて、分布域の高緯度・高標高への拡大が予測されており、竹林の拡大による里山景観の変化が予測される。一方、他の里地里山生態系の構成種等に関する定量的な予測事例は確認されていない。また、里地・里山生態系が特に人為影響下で形成されていることから、将来の気候変動による影響が特に大きいとは言いがけない。	●	■	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：中程度
		人工林	<ul style="list-style-type: none"> 一部の地域で、気温上昇と降水の時空間分布の変化による水ストレスの増大により、スギ林が衰退しているという報告がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 現在より3℃気温が上昇すると、年間の蒸散量が増加し、特に年降水量が少ない地域で、スギ人工林の脆弱性が増加することが予測されているが、生育が不適となる面積の割合は小さい。 2050年までの影響を予測した場合、日本全体で見ると、森林呼吸量が多い九州や四国で人工林率が高いこと、高蓄積で呼吸量の多い40から50年生の林分が多いことから、炭素蓄積量及び吸収量に対してマイナスに作用する結果となる。ただし、当該予測では、大気中のCO₂濃度の上昇による影響は考慮されていない。スギ人工林生態系に与える影響予測のためには樹木の生理的応答などさらなる研究が必要である。 九州のスギ人工林を対象にプロセスモデルを用いて一次生産量を予測した研究からは、生育適域かどうかによる違いは見られるものの、現状で生産量が多い地域では減少傾向にあることが予測されている。 	●	環	国内の人工林面積は約1000万haであり、これは国土面積の約25%に相当する。したがって、影響の範囲は全国に及ぶ。特に降水量が少ない地域でスギ人工林生態系の脆弱性を増加させ、流域全体のランドスケープへの影響につながるものである。	●	▲	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：中程度
		野生鳥獣被害	<ul style="list-style-type: none"> 日本全国でニホンジカやイノシシの分布を経年比較した調査において、分布が拡大していることが確認されている。積雪量の低下に伴い、越冬地が高標高に拡大したことが観測により確認されている。また、ニホンジカの生息適地が1978年から2003年の25年間で約1.7倍に増加し、国土の47.9%に及ぶという推定結果が得られており、この増加要因としては土地利用変化よりも積雪量の減少が大きく影響している可能性が示されている。 ニホンジカの増加は狩猟による捕獲圧低下、土地利用の変化、積雪量の減少など、複合的な要因が指摘されている。 ニホンジカの分布拡大に伴う植生への食害・剥皮被害等の影響が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ニホンジカについては、気候変動による積雪量の減少と耕作放棄地の増加により、2103年におけるニホンジカの生息適地は、国土の9割以上に増加するとの予測がある。 一方、イノシシ等ニホンジカ以外の種については、気候変動による分布域の変化等の将来影響については知見が確認されていない。 	●	環	ニホンジカの分布拡大に伴う植生の食害・剥皮被害等の影響が報告されている。他、気候変動による積雪の減少及び耕作放棄地の増加による、分布適域の拡大が予測されている。影響の範囲は全国に及び、重要な種・ハビタット・景観の変化などにつながる。影響には、農林業被害、広域的な土地・水・生態系機能の低下などにつながるものも含まれる。イノシシ等、ニホンジカ以外の野生鳥獣の分布等の拡大についても、気候変動による影響が推測されるが、検証事例は確認できない。	●	■	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：高い 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：高い 緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：現状では評価できない 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
自然生態系	陸域生態系	物質収支 [※]	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動に伴う物質収支への影響の現状について、現時点で研究事例は限定的である。 日本の森林における土壌 GHG フラックスは、1980年から2009年にわたって、CO₂・N₂Oの放出、CH₄の吸収の増加が確認されている。 富士山麓のカラマツ林における林床部炭素フラックスについて、年平均地温の上昇に伴い年積算炭素排出量が増加する傾向が確認されている。また、林床植生の光合成量は、台風による林冠の擾乱等による、林床部の光環境の変化に大きく影響されることが確認されている。 降水の時空間分布の変化傾向が、森林の水収支や土砂動態に影響を与えている可能性があるが、長期データに乏しく、変化状況を把握することは困難な状況となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 年平均気温の上昇や無降雪期間の長期化により、森林土壌の含水量低下、表層土壌の乾燥化が進行し、細粒土砂の流出と濁度回復の長期化、最終的に降雨流出応答の短期化をもたらす可能性がある。ただし、状況証拠的な推察であり、更なる検討が必要である。 土壌温暖化実験により、地温の上昇に伴う土壌呼吸の上昇が各地で確認されており、正のフィードバック効果を支持する知見が複数得られている。一方、地温の上昇に伴う土壌呼吸の上昇の程度が、土壌微生物等の気候への順化により経年的に減少する傾向を示す知見も確認されており、地温の上昇が土壌呼吸に与える影響は、森林生態系の種類や立地によってもばらつきがあるものと考えられる。 森林土壌の炭素ストック量は、純一次生産量が14%増加し、土壌有機炭素量が5%減少することが予測されている。 	環	<p>影響の範囲は全国に及ぶ。また、物質収支は生態系の基盤として重要であることに加え、土壌生成にかかる時間が長いことは当該影響に対する持続的な脆弱性の一要素となる。また、国内各地の土壌温暖化実験から、気候変動に伴う土壌呼吸の上昇により二酸化炭素濃度が上昇し、気候変動を更に加速させる正のフィードバック効果を示唆する知見が得られており、生態系のみならず気候システムへの影響も懸念される。また、土壌に関しては現時点では有効な適応策が明確でないことを考慮すると、影響の不可逆性は大きいと考えられる。</p>	▲	▲	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない
	淡水生態系	湖沼	<ul style="list-style-type: none"> 湖沼生態系は、流域土地利用からの栄養塩負荷の影響を受けるため、気候変動の影響のみを検出しにくく、直接的に気候変動の影響を明らかにした研究は日本にはない。 ただし、鹿児島県の池田湖において、暖冬により循環期がなくなり、湖底の溶存酸素が低下して貧酸素化する傾向が確認されている。また、滋賀県琵琶湖におけるホンモロコ・ニゴロブナの個体数の激減について、暖冬による循環の遅れ、及び人為的な水位操作や湖岸環境の改変等との複合作用によるものとする報告がある。 1900年代から2000年代にかけて、全国の湖沼における水草の種構成が変化しており、この変化には気温及び降水パターンの変動が影響しているとの報告がある。 北海道の湖沼について、結氷期間の短縮や、それに伴う植物プランクトンブルームの早期化が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で日本における影響を定量的に予測した研究事例に限られるものの、富栄養化が進行している深い湖沼では、水温の上昇による湖沼の鉛直循環の停止・貧酸素化と、これに伴う貝類等の底生生物への影響や富栄養化が懸念される。 水温上昇によるアオコ等の植物プランクトンの増加と、それに伴う水質の悪化や、水生植物の発芽後の初期成長への悪影響等が予測されている。 室内実験により、湖沼水温の上昇やCO₂濃度上昇が、動物プランクトンの成長量を低下させることが明らかになっている。 					

89 ここで物質収支とは、生態系における炭素、窒素等の循環（出入り）を表したものを。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然生態系	淡水生態系	河川	<ul style="list-style-type: none"> 我が国の河川は取水や流量調節が行われているため気候変動による河川の生態系への影響を検出しにくく、現時点で気候変動の直接的影響を捉えた研究成果は確認できていない。一方で、魚類の繁殖時期の早期化・長期化や暖温帯性・熱帯性の水生生物の分布北上等、気候変動に伴う水温等の変化に起因する可能性がある事象についての報告が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 平均気温が現状より 3℃上昇すると、冷水魚の分布適域が現在の約 7割に減少することが予測されている。また、中国・近畿地方では平均気温の 1℃の上昇でも、分布適域が現状の約半分に減少することが予測されている。 源流域のカワガラスの分布適域や、サクラマス（ヤマメ）の越夏環境、アユ遡上量についても、気候変動による適域の縮小・消失や遡上数減少が予測されている河川がある。 このほか、現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないもの、以下のような影響が想定される。 <ul style="list-style-type: none"> 積雪量や融雪出水の時期・規模の変化による、融雪出水時に合わせた遡上、降下、繁殖等を行う河川生物相への影響 降雨の時空間分布の変化に起因する大規模な洪水の頻度増加による、濁度成分の河床環境への影響、及びそれに伴う魚類、底生動物、付着藻類等への影響 渇水に起因する水温の上昇、溶存酸素の減少に伴う河川生物への影響 	●	環	<p>気候変動の影響は全国に及ぶ。河川上流域の典型種であるイワナ・アメマスにおいては全国的な生息適地の減少が予測されていること等から、特に気温と密接な関係をもち、流量も限られる上流域の小渓流で影響がより顕著に表れると予想される。また、一般的に淡水魚類は、卵や若齢の個体等の生活史の初期段階において、水温上昇や溶存酸素量を始めとする環境因子に鋭敏であるため、これらの環境条件の変化に脆弱であると考えられる。加えて、生活史の初期段階の死亡率は個体群の維持に大きな影響を及ぼす。したがって、気候変動に伴う水温や水質、流量等の環境変化により、産卵期の変化や卵の死亡率の上昇などを通じた個体群の崩壊を引き起こされる可能性がある。水温上昇等の生息環境の変化に対して、魚類は上流部生息適地への移動を試みると考えられるが、日本の場合、山地部に限られて分布している種や、滝などの地形や河川を横断する工作物により連続性が遮断されている場合が多く、移動が困難になる。ただし、魚類に比べて、水生昆虫など成虫段階で飛翔できる昆虫類への影響は、相対的に小さいと予想される。</p>	▲	■	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：中程度
		湿原	<ul style="list-style-type: none"> 湿原の生態系は気候変動以外の人為的な影響を強く受けており、気候変動による影響を直接的に論じた研究事例は限られている。 一部の湿原で、気候変動による湿度低下や蒸発散量の増加、積雪深の減少等が乾燥化をもたらした可能性が指摘されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 釧路湿原において、極端な降水の強度の増大に伴う流域からの土砂及び栄養塩の負荷量の増大が予測されている。加えて、海面水位の上昇に伴い塩水遡上距離が拡大し、湿原生態系の構成種等に影響を及ぼすことが予測されている。 降水量の変化や地下水位の低下により、雨水滋養型の高層湿原における植物群落への影響が予測されている。 現時点で定量的に予測をした研究事例としては確認できていないもの、以下のような影響が想定される。 <ul style="list-style-type: none"> 日本全体の湿地面積の約 8割を占める北海道の湿地への影響 無降水日数の増加等や地下水位の低下による雨水滋養型の高層湿原における植物群落（ミズゴケ類）への影響 気候変動に起因する流域負荷（土砂や栄養塩）に伴う低層湿原における湿地性草本群落から木本群落への遷移、蒸発散量の更なる増加 	●	環	<p>湿地生態系は特有の生物相を有しており、地形的要因に強く影響を受けて維持されている。したがって湿地性植物は、森林構成種のように気候変動によって水平方向ならびに垂直方向に分布域を変えることが難しく、気候変動に対してきわめて脆弱な生態系の一つと言える。また、多くの湿地生態系、とくに低層湿原は、流域からの水供給によって維持され、一方で土砂や栄養塩などの負荷を受けながら変貌してきた。したがって、気候変動に伴い水・物質循環が変化した場合、多くの生物種が影響を受ける可能性が高い。また、沿岸部あるいは汽水域と連続性を持つ環境に立地する湿原においては、海面水位の上昇に伴う塩水影響も予測される。</p>	▲	■	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：中程度

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然生態系	沿岸生態系	亜熱帯	<ul style="list-style-type: none"> ● 沖縄地域で、海水温の上昇により亜熱帯性サンゴの白化現象の頻度が増大している。2016年には、石垣島の石西礁湖周辺において夏季の高水温によるものと考えられる大規模な白化現象が発生している。 ● 太平洋房総半島以南と九州西岸北岸における温帯性サンゴの分布が北上している。 ● 室内実験により、造礁サンゴ種の一部において石灰化量の低下が生じている可能性が指摘されている。 ● 西表島のマングローブについて、海面水位の上昇に伴う冠水頻度の増加によるものと考えられる立ち枯れが確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 4度上昇を仮定した予測では、熱帯・亜熱帯の造礁サンゴの生育に適する海域が水温上昇と海洋酸性化により日本近海から消滅すると予測されている。一方、3度上昇を仮定した予測では、今世紀末においても生育適域が一定程度残存するとされている。生育に適した海域から外れた海域では白化等のストレスの増加や石灰化量の低下が予測されているが、その結果、至適海域から外れた既存のサンゴ礁が完全に消失するか否かについては予測がなされていない。 ● もう一つの亜熱帯沿岸域の特徴的な生態系であるマングローブについては、海面水位の上昇による分布域の縮小や内陸側への移動が予測されている。特に、後背地が構造物等で分断されている場合は、土砂の利用可能性や移動分岐を妨げ、より影響が悪化すると思われる。国内における将来予測の知見については現時点では限られており、気温上昇による枯死率の増加を示す予測がある一方、生理特性の温度順化により生育阻害は発生しないとする予測もあり、今後の研究が望まれる。 	<p><RCP2.6 及び 2°C 上昇相当></p>  <p><RCP8.5 及び 4°C 上昇相当></p> 	環	<p>サンゴそのものの生育や分布に変化が生じるとともに、サンゴ礁に依存して生息する多くの生物・生態系に重大な影響を及ぼす。</p> <p>また、亜熱帯域では、サンゴ礁域の各種資源（観光資源、水産資源を含む）への影響が重大である。これらの生態系サービスへの影響については、小項目「生態系サービス」において取り扱う。</p> <p><RCP2.6 及び 2°C 上昇相当></p> <p>日本周辺においては今世紀末においても九州・沖縄以南において生息適域が残存するという予測がある(SRES B2)。一方、IPCC 1.5°C 特別報告書によれば、サンゴ礁は2°C 上昇であっても現存するサンゴ礁の99%が消滅のリスクに晒されるとしている。</p> <p><RCP8.5 及び 4°C 上昇相当></p> <p>海洋酸性化に伴う低アラゴナイト飽和度域の低緯度側への拡大と、高水温による白化域の高緯度側への拡大に挟まれ、今世紀末には日本近海からサンゴの生息適域が消滅することが予測されている (SRES A2)。</p>	●	●	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：高い 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない
		温帯・亜寒帯 ⁹⁰	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本沿岸の各所において、海水温の上昇に伴い、低温性の種から高温性の種への移行が進行していることが確認されている。 ● 亜熱帯性の造礁サンゴの分布北限付近での北上、及び海藻養場の分布南限付近における衰退が観測されており、海藻養場からサンゴ群集への移行が進行している。 ● 日本沿岸の海水のpHは、海域ごとにばらつきが大きいものの、全体的に低下傾向であり、海洋酸性化の進行が確認されている。 ● 日本沿岸の溶存酸素についても、海域ごとにばらつきが大きいものの、全体的な低下傾向が確認されている。 ● 既に起こっている海洋生態系の変化を、海洋酸性化の影響として原因特定することは、現時点では難しいとされている。 ● 日本周辺に生息する海鳥の一部について個体数の長期的な減少傾向が確認されており、その原因の一つとして気候変化による餌不足が示唆されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水温の上昇に伴い、エゾバフンウニからキタムラサキウニといったより高温性の種への移行が想定され、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性があるが、定量的な研究事例が限定されている。 ● 海洋酸性化による影響については、中～高位の二酸化炭素排出シナリオの場合、特に極域の生態系やサンゴ礁といった脆弱性の高い海洋生態系に相当のリスクをもたらすと考えられる。炭酸カルシウム骨格・殻を有する軟体動物、棘皮動物、造礁サンゴに影響を受けやすい種が多く、その結果として水産資源となる種に悪影響がおよぶ可能性がある。また、水温上昇や低酸素化のような同時に起こる要因と相互に作用するために複雑であるが、影響が増幅される可能性がある。 ● 水温の上昇や植食性魚類の分布北上に伴う藻場生態系の劣化や、熱帯性サンゴ礁生態系への移行が予測されている。 ● また、沿岸域の生態系の変化は沿岸水産資源となる種に影響を与えるおそれがある。また漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種等に依存した地域文化を形成している事が多く、地域文化への影響も想定される。 ● 海面水位の上昇による海岸域の塩性湿地等への影響が想定される。 		環	<p>エゾバフンウニからキタムラサキウニへといった低温性の種から高温性の種への移行、藻場生態系の分布適域の縮小や、熱帯性のサンゴ礁生態系への移行等が想定されるとともに、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性がある。</p> <p>沿岸性生物相の変化は沿岸漁業の漁獲対象種の変化に直結する。また漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種等に依存した地域文化を形成している事が多いため、地域文化への影響もありうる。</p>	●	▲	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：高い 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない

90 沿岸漁業に与える影響について詳細は水産業の項目で別途扱う。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然生態系	海洋生態系 ⁹¹		<ul style="list-style-type: none"> 日本周辺海域ではとくに親潮域と混合水域において、植物プランクトンの現存量と一次生産力の減少が始まっている可能性がある。 海洋の亜表層域（水深 100m～1000m）では溶存酸素量が継続的に減少していることが判明しており、日本周辺海域でもほぼ全域で亜表層の溶存酸素濃度が減少している。一方、日本周辺海域はもともと溶存酸素濃度が比較的高いことから、海洋生物への直接的な影響は一部の底魚類以外には検出されていない。 西部北太平洋亜寒帯域においては、近年の表層水温の上昇に伴い、暖水性のカイアシ類の分布北上が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動に伴い、植物プランクトンの現存量に変動が生じる可能性がある。全球では熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加すると予測されているが、日本周辺海域については、モデルの信頼性が低く、変化予測は現状困難である。動物プランクトンの現存量の変動についての予測も、日本周辺海域の予測の信頼性が高いとはいえない。また、これらから生じる地域毎の影響の予測は現時点では困難である。 日本周辺の海洋保護区について、気候変動への脆弱性を示唆する予測が確認されている。 	●	環	海洋生態系は地表の生態系の70%を面積的に占めていて、その生物多様性や生態系機能の維持が不可欠である。ここでの低次生産力段階の変動は、食物連鎖を通じて生態系全体へ広範な影響を及ぼす。加えて、日本周辺の海洋保護区について、気候変動への脆弱性を示唆する予測が確認されている。また、水産資源餌料生物の現存量の変化から、魚類の生物量への潜在的影響も重大である。なお、動植物プランクトンまでの海洋生態系は、それ自体で社会的な重要性をもつものではない。分布域が変化するだけであり種の絶滅のリスクが高いとはいえない。ただし、氷縁生態系、無酸素化が進行し得る大陸斜面などに生息する生物、冷水性サンゴなど、特殊な環境では絶滅リスクが高いとはいえない。	▲	■	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：中程度 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない
	その他	生物季節 ⁹²	<ul style="list-style-type: none"> 植物の開花の早まりや動物の初鳴きの早まりなど、動植物の生物季節の変動について多数の報告が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 生物季節の変動について、ソメイヨシノの開花日の早期化、落葉広葉樹の着葉期の長期化、紅葉開始日の変化や色づきの悪化など、様々な種への影響が予測されている。 個々の種が受ける影響にとどまらず、種間のさまざまな相互作用への影響が予想されている。 	◆	環	広汎な生物現象のタイミングが気候変動の影響を受けて前後することが考えられ、変化の範囲は全国に及ぶ。一方、生物季節の変化自体の影響の大きさを考えると、現時点で収集されている生物季節の変化に関する知見については、それらの変化が生態系全体の機能や構造へ大きな影響を及ぼすとは言い切れないため、生態系全体への影響としての重大性は高いとは言えない。しかしながら、生物季節の変化が生物種や生物現象の間で異なることにより、生物間相互作用が変化することも予想されていることから、モニタリングによる長期的な影響の検証が必要である。	●	●	緊急性評価の内訳； 【影響の発現時期】：高い 【適応の着手・重要な意思決定が必要な時期】：現状では評価できない
		分布・個体群の変動	<ul style="list-style-type: none"> 過去 50 年間の全球的な自然生態系の変化の要因について、気候変動は陸域・海域の利用変化及び直接採取（森林伐採、漁獲等）に次ぐ要因であるとされ、加えて気候変動は他の直接的要因による影響を悪化させつつあるとの報告がある。 昆虫や鳥類などにおいて、分布の北限や越冬地等が高緯度に広がるなど、気候変動による気温の上昇の影響と考えれば説明が可能な分布域の変化、ライフサイクル等の変化の事例が確認されている。ただし、気候変動以外の様々な要因も関わっているものと考えられ、どこまでが気候変動の影響を示すことは難しい。 シバズズやダンダラテントウ等の一部の昆虫種については、現地調査及び過去の標本等との比較により、生活史の境界や分布北限が変化していることが明らかになっており、この変化傾向が気温変化の傾向と一致することから、気温の上昇に伴い分布を拡大した可能性が高いとされている。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動により、分布域の変化やライフサイクル等の変化が起こるほか、種の移動・局地的な消滅による種間相互作用の変化がさらに悪影響を引き起こすことや、生育地の分断化により気候変動に追いついた分布の移動ができないなどにより、種の絶滅を招く可能性がある。2050 年までに 2℃を超える気温上昇を仮定した場合、全球で 3 割以上の種が絶滅する危険があると予想されている。 渡り鳥であるハチクマについて、気候変動に伴う風向き等の変化により、現在の東シナ海上の渡り適地が将来において分断あるいは消失すると予測がある。 種の分布域が変化することで、地理的に隔離され分化が進んだ 2 つの集団の生息域が再び重複する「二次的接触」が生じる可能性についての予測も確認されている。 	●	在来	分布の変化の範囲は広範囲に及ぶ。国土の広範囲に生息する種に関しては、分布が変化したとしても、分布域が移動するのみで、国土スケールで見れば大きな影響を及ぼさないことも考えられるが、現状では開発やアンダーユースによる生態系の連続性の消失等、気候変動以外の要因に起因する生態系の変化が進行中であり、これらとの複合的な影響の可能性を考慮すると、気候変動により種の絶滅が加速する可能性は十分に考えられる。また、分布域の拡大による二次的接触のリスク等を予測する知見もあり、種間相互作用を介した個体群への間接的なリスクも考えられる。加えて、既に高い絶滅リスク下にある、猛禽類や一部の昆虫等の絶滅危惧種への影響も予測されていることから、環境面での損失は大きいことが予測される。	●	●	

91 ここでは、魚類や哺乳類等は対象としていない。一部の魚類や哺乳類等については水産業の回遊性魚介類（魚類等の生態）で扱う。

92 生物季節とは気温や日照など季節の変化に反応して動植物が示す現象をいう。なお、本項では、生態系への影響及び生態系サービス（国民生活の中で感じる生物季節（季節感）を除く）の内容を主に扱い、国民生活・都市生活分野の「文化・歴史などを感じる暮らし」では人間活動や文化に係る生物季節を主に扱う。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考		
					観点	判断理由					
自然生態系	その他	分布・個体群の変動		<ul style="list-style-type: none"> 気候変動は外来生物の分布拡大や定着を促進することが指摘されており、今後、外来生物による生態系変化のリスクが高まること懸念される。現時点で定量的に予測をした研究事例は限られているものの、一部の侵略的外来生物について、侵入・定着確率が気候変動により高まることが予測されている。 	外来		環境	<p>定着による深刻な影響が懸念される侵略的外来生物の侵入・定着確率が気候変動により高まるならば、外来生物問題自体の深刻性を反映して、重大な問題と考えるべきである。人と物の流通の広域化に伴い、外来生物の侵入圧力はつねに高い状態に維持されていることは、持続的な脆弱性の要因である。</p>			
			生態系サービス	<ul style="list-style-type: none"> 全球的には、気候変動による生態系を構成する生物種の種構成や生物季節、種間の相互作用の変化が生態系の構造や機能に影響を与え、結果として既に生態系サービスへの影響が生じているとする報告がある。 一方、国内において気候変動による生態系サービスへの影響を明らかにした研究は少ない。 2016年に石西礁湖で発生したサンゴ礁の白化は、同地域のサンゴ礁をもたらす生態系サービス（漁業生産・水族館への魚の供給、レクリエーション・ダイビング、海藻の防除）の経済価値を減少させたことが示されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 生態系サービスへの気候変動による影響予測についての研究を対象に行われたレビューによれば、対象とした研究のうち約60%において、気候変動による生態系サービスへの負の影響が予測されている。 北海道天塩川流域において、気候変動に伴い河川への窒素やリン等の栄養塩の流入量の増加が予測されている。 国内のサンゴ礁をもたらす生態系サービスについて、年間あたり、観光・レクリエーション価値として2399億円、漁業（商業用海産物）価値として107億円、海岸防護機能として、75.2～839億円とする試算があり、気候変動に伴うサンゴの生息適域の減少に関する予測を考慮すると、これらの生態系サービスが減少あるいは消失する可能性が考えられる。 白化や海洋酸性化によるサンゴ礁へのストレスは、海面水位の上昇へのサンゴ礁の追従を妨げることに加え、サンゴの死滅による海底面の摩擦効果の減少を引き起こし、これらの複合作用の結果としてサンゴ礁による防波機能に深刻な影響が生じる可能性がある。 		社経環	<p>全球的な傾向として、人為的な気候変動による平均気温の上昇、極端な気象現象の増加、海面面上昇が、種の分布・生物季節・個体群動態・群集構造・生態系の機能等、生態系や生物多様性の多くの側面において広範囲に影響を与えており、結果として農業・養殖業・漁業、及び生態系サービスへの悪影響をもたらしているとの報告がある。</p>	—	—	
					<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による気温や降水量の上昇は、流域における無機態窒素及び無機態リン、懸濁物質の保持機能を増加させる一方、有機態窒素及び有機態リンの保持機能を低下させ、水質浄化機能等の調整サービスを劣化及びそれに伴う環境リスクの増加が予測されている。これらの予測はモデルによる定量的な予測結果が得られていることから一定程度の確信度が認められるものの、現状収集された知見は北海道の一部流域に限られ、またこれらの生態系サービスは気候以外にも土地利用の影響も受けることから、同様の事象が広範囲に及ぶかについては知見が不足しており、現状では判断が困難である。 	流域の栄養塩・懸濁物質の保持機能等		社経環	<p>気候変動による気温や降水量の上昇は、流域における無機態窒素及び無機態リン、懸濁物質の保持機能を増加させる一方、有機態窒素及び有機態リンの保持機能を低下させ、水質浄化機能等の調整サービスを劣化及びそれに伴う環境リスクの増加が予測されている。これらの予測はモデルによる定量的な予測結果が得られていることから一定程度の確信度が認められるものの、現状収集された知見は北海道の一部流域に限られ、またこれらの生態系サービスは気候以外にも土地利用の影響も受けることから、同様の事象が広範囲に及ぶかについては知見が不足しており、現状では判断が困難である。</p>		
					沿岸域の養場生態系による水産資源の供給機能等		社経環	<p>養場生態系は水産資源として重要な種を含む多くの生物種のハビタットとして重要であり、沿岸漁業の基盤と考えられることから、これらの環境変化が漁獲対象種の変化等を通して沿岸域の地域社会等に与える影響は大きいと考えられる。加えて、漁村集落は養場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種に依存した地域文化を形成していることが多いため、地域文化への影響もあろう。現状でも温帯-熱帯境界付近の沿岸域において、水温の上昇や植食性魚類の分布拡大に伴う養場生態系の劣化・衰退が報告されており(参照:「自然生態系分野:沿岸生態系-温帯・亜寒帯」)、緊急性は高い。一方、これらの基盤環境の変化が地域社会の文化や景観へ与える影響について検証した研究は確認できていない。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然生態系	生態系サービス				サンゴ礁によるEco-DRR機能等	社経環	サンゴ礁によりもたらされるEco-DRR機能(海岸防護機能)等の生態系サービスの経済価値試算と、サンゴ礁の分布変化の予測を踏まえると、これらの生態系サービスが減少または消失する可能性は十分に考えられる。国内においてサンゴ礁の生態系サービス評価を行った知見は限られているが、サンゴ礁自体への影響は一定程度確認されている(参照:「自然生態系分野:沿岸生態系-亜熱帯」)。また海外においては、サンゴ礁の消失によるEco-DRR機能の劣化についての予測が確認されており、同様の事象が国内でも生じる可能性は高い。 一方、サンゴ礁は分布の北上が進んでおり、今後も分布適域の拡大が予測されているが、新たにサンゴ礁の分布が拡大した地域においてもたらされる生態系サービスについては予測が確認されず、その評価は現状では困難である。	●	●	
					自然生態系と関連するレクリエーション機能等	社経環	サクラ等の植物の開花期や紅葉期の変化については、報告及び予測が一定程度確認されており(参照:「自然生態系分野:その他-生物季節」)、このような変化に伴う生態系サービス(文化的サービス)の変化が、観光業へ与える影響についての検証事例も確認される。 一方、地域によって影響の種類や大きさが異なることが考えられ、このような影響の地域的な違いや、影響の経済的な評価については、さらなる研究が望まれる。	●	■	▲

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然災害 ・沿岸域	河川	洪水	<ul style="list-style-type: none"> 既往降雨データの分析によると、比較的多頻度の大雨事象については、その発生頻度が経年的に増加傾向にあることが示されている。 浸水面積の経年変化は全体として減少傾向にある。この傾向を説明する主たる要因として治水対策の進展が挙げられる。一方、氾濫危険水位を超過した洪水の発生地点数は国管理河川、都道府県管理河川ともに増加傾向にあり、気候変動による水害の頻発化・激甚化が懸念されている。 これまでの治水施設の整備水準は、現行計画上の目標に対して整備途上である。 日本は洪水氾濫による水害に関して依然として脆弱性を抱えており、気候変動がより厳しい降雨状況をもたらすとすれば、その影響は相当に大きい可能性がある。 平成30年7月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあつたとされており、記録的な長時間の降雨に加え、短時間高強度の降雨も広範囲に発生したことにより、各地で洪水氾濫と内水氾濫が同時に発生するなどした。 	<ul style="list-style-type: none"> RCP2.6、RCP8.5 シナリオなどの将来予測によれば、洪水を起こしうる大雨事象が日本の代表的な河川流域において今世紀末には現在に比べ有意に増加することが予測されている。 複数の文献が、洪水を発生させる降雨量の増加割合に対して、洪水ピーク流量の増加割合、氾濫発生確率の増加割合がともに大きくなる（増幅する）ことを示している。この増幅の度合いについては、洪水ピーク流量に対して氾濫発生確率のそれがはるかに大きくなる想定される。 世界や日本において、気温上昇に伴う洪水による被害の増大が予測されている。 河川堤防により洪水から守られた地域（堤内地）における氾濫発生確率が有意に高まれば、水害の起こりやすさは有意に増す。 海岸近くの低平地等では、海面水位の上昇が洪水氾濫の可能性を増やし、氾濫による浸水時間の長期化を招くと想定される。 将来予測結果の信頼性をさらに向上させるには、それを規定する大きな要素となっている気候モデルについて、現象再現における空間解像度を向上させ、同時に計算ケースを増やすことの両立が求められる。近年では、多数のアンサンブル実験を行い極端現象の将来変化を高精度に評価するアンサンブル気候予測データセット（d2PDF、d4PDF）や、空間解像度を高くし、集中豪雨や前線性の降雨、台風規模の降雨を再現性高く評価することができる非静力学地域気候モデル（NHRCM02、NHRCM05）が開発されてきている。 最大規模の台風を想定し、温暖化条件下で起こりうる最悪の水害想定を検討する取り組みがなされている。 	<p><RCP2.6 及び 2℃ 上昇相当></p>  <p><RCP8.5 及び 4℃ 上昇相当></p> 	社経環	<p>影響範囲は全国に及び、出現すれば常態化する。影響が発現する可能性は高い。影響は人的被害を含む水害の増大となって現れ、その規模によっては被災エリアの根幹機能を長期にわたり麻痺させる可能性もあることから、不可逆性を持つ。洪水氾濫が生じる可能性があるエリアは当該リスクに持続的に曝露し、通常の土地利用において抜本的な抗水害機能を具備させることは困難であり、上記エリアは洪水氾濫に対する脆弱性を持続的に示す。洪水氾濫・浸水（それらに伴う土砂・流木・廃棄物などの堆積・集積を含む）が起こす水害による広範な社会・経済・環境への影響の規模及び頻度が増大する。</p> <p><RCP2.6 (2℃ 上昇相当) > 治水計画規模の流量（全国109の一級河川についての変化予測の平均値）は約1.2倍、現状における治水計画規模に相当する洪水の生起超過確率は約2倍となることが予測されている。2050年における洪水時の年期待被害額（平均値）は1兆4,266億円と予測されている。</p> <p><RCP8.5 (4℃ 上昇相当) > 治水計画規模の流量（全国109の一級河川についての変化予測の平均値）は約1.4倍、現状における治水計画規模に相当する洪水の生起超過確率は約4倍となることが予測されている。2050～2111年における最大クラス洪水（年超過確率1/1000以下に対応する洪水）も1.5～1.8倍に増加することが示されている。2050年における洪水時の年期待被害額（平均値）は1兆4,458億円と予測されている。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
自然災害 ・沿岸域	河川	内水	<ul style="list-style-type: none"> ● 既往降雨データの分析によると、比較的多頻度の大雨事象については、その発生頻度が経年的に増加傾向にあり、年超過確率 1/5 や 1/10 の、短時間に集中する降雨の強度が過去 50 年間で有意に増大してきている。 ● これまでの下水道整備により達成された水害に対する安全度は、現在気候を前提にした場合でも、計画上の目標に対して相当不足している。 ● 水害被害額に占める内水氾濫による被害額の割合（2005～2012 年の平均値）は、全国では約 40%であり、大都市を抱える東京、愛知、大坂、福岡ではそれを上回る割合となった。 ● このような短時間に集中する降雨の頻度及び強度の増加は、浸水対策の達成レベルが低い都市部における近年の内水被害の頻発に寄与している可能性がある。平成 30 年 7 月豪雨においては、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあつたとされており、内水氾濫による床上浸水、床下浸水の被害が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 線状降水帯や地形性強雨などの組織化された強雨については、気候変動影響評価が進んできている。さらに局所的な、単一の積乱雲（スーパーセルなど）により都市の内水氾濫を生じさせるような強雨の表現は、近畿地方における 8 月の短時間強雨発生頻度が増加するメカニズムを解析した研究例もある。 ● RCP8.5 シナリオを用いて埼玉県における内水氾濫の将来予測を行った結果、現行計画の年超過確率 1/5 規模の降雨に対応した下水道を整備した場合でも、21 世紀末では内水浸水範囲の拡大及び内水浸水深が増加し、内水氾濫により浸水の影響を受けることが想定される人口も増加する可能性が示唆された。一方、将来の人口変動を考慮した場合は、人口減少の影響が大きく、現在人口条件の場合と比べて浸水リスク人口が減少する可能性が示されている。 ● RCP8.5 に対応するシナリオを前提とし、日本全国における内水災害被害額の期待値を推算した研究では、2080～2099 年において被害額が現在気候の約 2 倍に増加することを示している。 ● 河川や海岸等の近くの低平地等では、河川水位が上昇する頻度の増加や海面水位の上昇によって、下水道等から雨水を排水しづらくなることによる内水氾濫の可能性が増え、浸水時間の長期化を招くと想定される。 ● 都市部には、特有の氾濫・浸水に対する脆弱性が存在するため、短時間集中降雨が気候変動影響により増大し、そこに海面水位の上昇が重なれば、その影響は大きい。 ● 大雨の増加は、都市部以外に農地等への浸水被害等をもたらすことも想定される。 	●	社経環	<p>影響範囲は全国に及び、出現すれば常態化する。影響が発現する可能性がある。影響は人的被害を含む水害の増大となって現れ、その規模によっては被災エリアに不可逆的影響を与える。内水による氾濫・浸水が生じる可能性があるエリアは当該リスクに持続的に曝露し、通常の土地利用において抜本的な抗水害機能を具備させることは困難であり、上記エリアは脆弱性を持続的に示す。内水氾濫・浸水が起こす水害による広範な社会・経済・環境への影響の規模及び頻度が増大する。特に都市域では、高密度な人間及び経済活動、それを支える諸施設の集中的な設置と地下利用など都市部特有の氾濫・浸水に対する脆弱性が存在し、影響がより大きくなる可能性がある。</p>	●	●	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	沿岸	海面水位の上昇	<ul style="list-style-type: none"> 日本周辺の海面水位は上昇傾向 (+2.8 [1.7~4.0] mm/年; 1993~2015年、+4.19 [-1.10~+8.20] mm/年; 2004年以降から2019年) にあったことが、潮位観測記録の解析結果より報告されている。 現時点で、海面水位の上昇により生じた障害の報告は無い。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による海面水位の上昇については多くの研究が行われている。 1986~2005年平均を基準とした、2081~2100年平均の世界平均海面水位の上昇は、RCP2.6シナリオの場合0.26~0.53m、RCP8.5シナリオの場合0.51~0.92mの範囲となる可能性が高いとされており、温室効果ガスの排出を抑えた場合でも一定の海面水位の上昇は免れない。 80cm海面が上昇した場合、三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）のゼロメートル地帯の面積が現在の1.6倍に増加するなど、影響の範囲は全国の海岸に及ぶ。 海面水位の上昇が生じると、台風、低気圧の強化が無い場合にも、現在と比較して高潮、高波による被災リスクが高まる。 河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷が生じ、沿岸部の水没・浸水、海岸侵食の加速、港湾及び漁港運用への支障、干潟や河川の感潮区間の生態系への影響が想定される。 	●	社経	影響の範囲は全国の沿岸域に及ぶ。海面水位の上昇は、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等に機能低下や損傷をもたらす、産業施設、住宅地等の資産に広く甚大な被害を及ぼす可能性があるため、社会的・経済的に与える影響が非常に大きい。特に、東京湾・大阪湾・伊勢湾等の人口・産業の集積する沿岸大都市は持続的な脆弱性・曝露の要素となり得る。	▲	●	
自然災害・沿岸域	沿岸	高潮・高波	<ul style="list-style-type: none"> 現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加が高潮や高波に既に及ぼしている影響又はそれに伴う被害に関しては、具体的な事象や研究は確認できていない。 高潮については、極端な高潮位の発生が、1970年以降全世界的に増加している可能性が高いことが指摘されている。 高波については、観測結果より、有義波高の最大値が冬季は日本海沿岸で、秋季は東北太平洋沿岸で増加傾向であること等が確認されているが、これが気候変動によるものであるとの科学的根拠は未だ得られていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動により海面水位が上昇する可能性が非常に高く、それにより高潮の浸水リスクは高まる。 高潮をもたらす主要因は台風であり、気候変動による台風の挙動（経路、規模等）を予測し、それを高潮の将来変化に反映させるための技術開発が近年精力的に進められている。それに基づく検討結果の多くは気候変動による高潮偏差の増大を支持するものとなっている。 高波をもたらす主要因は台風と冬季の発達した低気圧であり、気候変動による台風の挙動（経路、規模等）を予測し、それを予測に反映させるための技術開発が近年精力的に進められている。台風の強度や経路の変化等による高波のリスク増大の可能性が予測されている。 河川の取水施設や沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の構造物などでは、海面水位の上昇や台風や冬季の発達した低気圧の強度が増加して高潮偏差や波高が増大すると、安全性が十分確保できなくなる箇所が多くなると予測されている。 	●	社経	高潮は、三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）、その他の高潮被災を経験した沿岸部を中心として、人命への危機、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷、企業活動、文化資産等に広く甚大な被害を与えるため、社会的・経済的に与える影響が非常に大きい。高波の影響は全国に及び、人命への影響のほか、河川の取水施設、沿岸の防災施設、港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷、港内静穏度、さらには、沿岸部の海岸に位置する文化的資産等にも広く甚大な影響を及ぼす。	●	●	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
		海岸侵食	<ul style="list-style-type: none"> 現時点では、気候変動による海面水位の上昇や台風の強度の増加等が、既に海岸侵食に影響を及ぼしているかについては、具体的な事象や研究は確認できていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による海面水位の上昇によって、海岸が侵食される可能性が高い。具体的には、2081～2100年までに、RCP2.6シナリオでは日本沿岸で平均62%（173km²）の砂浜が、RCP8.5シナリオでは平均83%（232km²）の砂浜が消失するとの報告例がある。 気候変動によって台風の強度が増加すると荒天時の波高が増加する。一方、平均波高は長期的に減少する可能性がある。荒天時の波高の増大と平均波高の減少の両方を考慮すると、波浪特性の長期変動によって、砂浜が増大する可能性と減少する可能性の両方の可能性がある。しかし、波浪特性の長期変動が砂浜に与える影響は、海面水位の上昇が与える影響よりも小さい可能性が高く、気候変動によっては砂浜がより侵食される可能性が高い。 気候変動による極端な降水の頻度及び強度の増大に伴い河川からの土砂供給量が増大すると、河口周辺の海岸を中心に、侵食が緩和されたり、土砂堆積が生じたりする可能性がある。 	<p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p>  <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p> 	社経環	<p>影響の範囲は全国の海岸に及ぶ。海岸侵食は、国土を消失させるとともに、高い消波機能を有した空間をも消失させることになり、それによって高潮・高波災害の危険性が高まり、人命や資産、社会インフラ、文化的資産などが危険にさらされる可能性が高くなる。さらに、海岸侵食は、レクリエーションや観光のための空間を消失させるとともに、自然生態系にも大きな影響を及ぼす。よって、重大性は特に大きい。</p> <p><RCP2.6及び2℃上昇相当></p> <p>2081～2100年までに日本沿岸で平均62%の砂浜が消失する予測や、日本沿岸の20%の砂浜が今よりも浜幅が半分以下となる予測がある。</p> <p><RCP8.5及び4℃上昇相当></p> <p>2081～2100年までに日本沿岸で平均83%の砂浜が消失する予測や、日本沿岸の45%の砂浜が今よりも浜幅が半分以下となる予測がある。</p>	 		
自然災害・沿岸域	山地	土石流・地すべり等	<ul style="list-style-type: none"> 降雨条件と土砂災害の原因となる崩壊や土石流、地すべりなどの現象の関係に関する理論的知見とそれに基づく予測手法の研究成果は十分あるので、土砂災害の誘因となる降雨条件が気候変動によってどのように変化するかが明確になれば、気候変動の土砂災害への影響に関する実態や将来予測についてはある程度正確に分析できると考えられる。 気候変動の土砂災害に及ぼす影響を直接分析した研究や報告は、現時点で多くはない。しかし、最近の降雨条件と土砂災害の実態、最近発生した土砂災害、特に多数の深層崩壊や同時多発型表層崩壊・土石流、土砂・洪水氾濫による特徴的な大規模土砂災害に関する論文や報告は多く発表されている。これらの大規模土砂災害をもたらした特徴のある降雨条件が気候変動によるものであれば、気候変動による土砂災害の形態の変化が既に発生しており、今後より激甚化することが予想される。 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨条件が厳しくなるという前提の下で状況の変化が想定されるものとして以下が挙げられる。（ここで、厳しい降雨条件として、極端に降雨強度の大きい大雨及びその高降雨強度の長時間化、極端に総降雨量の大きい大雨、広域に降る大雨などを表す。） <ol style="list-style-type: none"> 集中的な崩壊・がけ崩れ・土石流等の頻発、山地や斜面周辺地域の社会生活への影響 ハード対策やソフト対策の効果の相対的な低下、被害の拡大 土砂・洪水氾濫の発生頻度の増加 深層崩壊等の大規模現象の増加による直接的・間接的影響の長期化 現象の大規模化、新たな土砂移動現象の顕在化による既存の土砂災害警戒区域等以外への被害の拡大 河川への土砂供給量増大による治水・利水機能の低下 森林域で極端な大雨が発生することによる流木被害の増加 		社経環	<p>現在、日本で67万個以上が土砂災害警戒区域等として把握されているが、それ以外の場所でも土砂移動現象は発生するものであり、さらに生産土砂は河川を通じて下流地域に流送されるため、人命・集落、交通、社会インフラ、自然生態系等への影響範囲は国土全体に及ぶ。また、過疎化・高齢化の進む中山間地、や急傾斜地付近に立地する住宅地等は持続的な脆弱性・曝露の要素となり、地域の活力衰退の要因ともなり得る。</p>	 		

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	その他	強風等	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動に伴う強風・強い台風の増加等とそれによる被害の増加との因果関係について、具体的に言及した研究事例は現時点で確認できていないが、気候変動が台風の最大強度の空間位置の変化や進行方向の変化に影響を与えているとする報告もみられる。 気候変動による竜巻の発生頻度の変化についても、現時点で具体的な研究事例は確認できていないものの、竜巻による被害として木造建築物が多く破損するといった被害が報告されている。 急速に発達する低気圧 (Explosive Cyclone) は長期的に発生数が減少している一方で、1 個あたりの強度が増加傾向にあることも報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> RCP8.5 シナリオを前提とした研究では、21 世紀後半にかけて気候変動に伴って強風や熱帯低気圧全体に占める強い熱帯低気圧の割合の増加等が予測されているものの、地域ごとに傾向は異なることが予測されている。 また、強い竜巻の頻度が大幅に増加するといった予測もある。 現時点で定量的に予測をした研究事例は確認できていないものの、強い台風の増加等に伴い、中山間地域における風倒木災害の増大が懸念されている。 		社経環	影響の範囲は全国に及ぶ。強風は、自然生態系、人間社会のインフラや家屋、資産、農林業、運輸、さらに竜巻や大型台風になれば、人命や人の健康等にも広く甚大な影響を及ぼす。ただし、低頻度の現象であるため、影響の発生確率が高まったとしても、実際の発生は偶然に左右される。			
健康 ⁹³	冬季の温暖化	冬季死亡率等	<ul style="list-style-type: none"> 冬季の気温の上昇に伴い冬季死亡率が低下しているという具体的な研究事例は現時点では確認できていない。 一方、低温による死者数・死亡率については、1990 年代以降国内で増加傾向にあり、特に高齢者で増え、若年～中年者で減少傾向にある。 近年、暑熱に対する相対危険度は低下している一方、低温に対する相対危険度は増加傾向にあり、極端な低温環境下では、全疾患や循環器病（脳卒中や院外心停止、心筋梗塞）、呼吸器系疾患のリスクが増加する可能性が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の冬季の平均気温は、RCP4.5 シナリオの場合、2030 年代に、全国的に 2000 年代よりも上昇し、全死亡（非事故）に占める低温関連死亡の割合が減少することが予測されている。一方、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加することが予測されている。 全球を対象とした予測でも、RCP8.5 シナリオにおいて、日本を含む東アジアで、気温の上昇に伴い、低温関連死亡が 2010 年代に比して減少することが予測されている。 		社	現在の状況として、低温による死亡が特に高齢者で増加傾向にあり、極端な高温環境下に比べ、極端な低温環境の方が死亡リスクや救急搬送リスクが高くなることが報告されている。しかし、超過死亡に占める割合は、それら極端な寒暑よりも穏やかな寒冷によるものの方が大きい。一方で、気温と死亡リスクとの関連が一定という仮定の下での将来予測においては、気温上昇に伴い、全死亡（非事故）に占める低温関連死亡の割合が減少することが予測されている。ただし、影響を最も大きく受ける高齢者人口が増加するため、低温関連死亡数自体は増加する予測もされており、冬季の温暖化により人命損失の総数が増えるか減るかは分かっていない。			

93 人の健康に対しては、気候変動だけでなく、グローバル化に伴う膨大な人と物の移動、土地開発に伴う自然環境の著しい変化など、さまざまな要因が関与している。気候変動による影響を評価する際にはそのような他の多様な要因も存在していることを理解したうえで影響評価を検討する必要がある。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	暑熱 ⁹⁴	死亡リスク	<ul style="list-style-type: none"> 日本全国で気温上昇による超過死亡(直接・間接を問わずある疾患により総死亡がどの程度増加したかを示す指標)の増加傾向が確認されている。 特に高齢者の超過死亡者数が増加傾向にあるが、15歳未満の若年層においても、気温の上昇とともに外因死が増加する傾向にあることが報告されている。 気温上昇により自殺件数が増加すること、日中の気温差は心血管疾患や高齢者の死亡数が多いことと関連している可能性を報告する文献もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本を含む複数国を対象として研究では、将来にわたって、気温上昇により心血管疾患による死亡者数が増加すること、2030年・2050年に暑熱による高齢者の死亡者数が増加することが予測されている。 さらに、日本を含む東アジア地域では、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオのいずれのシナリオにおいても、今世紀末にかけて暑熱による超過死亡者数が増加することが予測されている。 一方で、日本を含む複数国を対象とした研究では、気温上昇を2℃未満に抑えることで、気温に関連した死亡の大幅な増加を抑制することが可能となると報告されている。 	●	社	国内で気温上昇による超過死亡の増加傾向が確認されている。影響の範囲は全国に及び、人命損失への影響に直接つながるものである。	●	●	
健康	暑熱	熱中症	<ul style="list-style-type: none"> 年によってばらつきはあるものの、熱中症による救急搬送人員、医療機関受診者数・熱中症死亡者数の全国的な増加傾向が確認されている。 年齢階級別では、高齢者の熱中症による救急搬送人員・熱中症死亡者が多く、住宅内で多く発症し、重症化しやすい傾向にあることが報告されている。また、若・中年層では、屋外での労働時・スポーツ時に発症することが多いことが報告されている。 高温による労働効率への影響については、国内の報告は限られている。 	<ul style="list-style-type: none"> 気温上昇に伴い、日本各地でWBGTが上昇する可能性が高い。 これに伴い、2090年代には、東京・大阪で日中に屋外労働可能な時間が現在よりも30～40%短縮すること、屋外労働に対して安全ではない日数が増加することが予測されている。また、屋外での激しい運動に厳重警戒が必要となる日数が増加することが予測されている。 熱中症発生率の増加率は、2031～2050年、2081～2100年のいずれの予測も北海道、東北、関東で大きく、四国、九州・沖縄で小さいことが予測されている。RCP4.5シナリオを用いた予測では、東京都23区と仙台市では2050年代に、2000年代と比較して熱中症リスクが2.4倍増加するとされている。 年齢別にみると、熱中症発生率の増加率は65歳以上の高齢者で最も大きく、将来の人口高齢化を加味すれば、その影響はより深刻と考えられる。 	●	社	年によってばらつきはあるものの、熱中症による熱中症による救急搬送人員・医療機関受診者数・死亡者数は全国的に増加傾向にある。患者数の増加は人命損失につながるものであり、また患者の搬送・受入れに必要となる医療機関等への社会的な影響も大きい。	●	●	
	感染症 ⁹⁵	水系・食品媒介性感染症	<ul style="list-style-type: none"> 海水表面温度の上昇により、夏季に海産魚介類に付着する腸炎ピブリオ菌数が増加する傾向が日本各地で報告されている。 外気温と感染性胃腸炎のリスクの間に相関性があることが報告されており、外気温上昇により、ロタウイルス流行時期が日本各地で長期化していることが確認されている。一方で、外気温が低下すれば、急性下痢発生率が増加することを報告する文献もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による感染症への影響として、水系感染症の発生数の増加が考えられている。 国外の研究事例ではあるが、大雨によって飲料水源に下水が流入することにより、消化器疾患が発生する可能性が予測されており、国内でも同様の影響が発生することが懸念される。 RCPシナリオを用いた予測では、RCP4.5シナリオ・RCP8.5シナリオで、21世紀末にかけて日本全国で下痢症の罹患率が低下することが予測されている。 	◆	社	外気温の変化に伴い、感染性胃腸炎やロタウイルス感染症、下痢症などの感染症の発症リスク・流行パターンが変化することが報告されており、影響の範囲は全国に及ぶ可能性があるが、直ちに人命の損失への影響につながるものではない。	▲	▲	

94 暑熱による影響のうち、本項では、死亡リスクや熱中症等を主な対象として扱う。国民生活・都市生活分野の「その他―暑熱による生活への影響等」では熱ストレス・睡眠阻害、暑さによる不快感等を主な対象として扱う。

95 感染症としては、比較的先行研究の多い水系・食品媒介性感染症・節足動物媒介感染症を取り上げ、また既往の研究知見が少ない感染症を「その他の感染症」としてまとめて取り扱っている。便宜上一括で扱うが、必ずしも「その他の感染症」の重要性が低いわけではない。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
		節足動物媒介感染症	<ul style="list-style-type: none"> ● デング熱を媒介する蚊（ヒトスジシマカ）の生息域が2016年に青森県まで拡大していることが確認されている。 ● 蚊媒介感染症の国内への輸入感染症例は増加傾向にあり、感染症媒介蚊の生息域や個体群密度の変化を考慮すると、輸入感染症例から国内での感染連鎖の発生が危惧される。 ● 実際に、2019年9月に京都府または奈良県でデングウイルスに感染してデング熱を発症した国内感染症例が確認された。デングウイルス感染者の移動により、このような散発例は国内各地で発生するリスクがある。 ● ダニ等（ツツガムシ含む）により媒介される感染症（日本紅斑熱や重症熱性血小板減少症候群（SFTS）やつがが虫病等）についても全国的な報告件数の増加や発生地域の拡大が確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ヒトスジシマカの分布可能域について、RCP8.5シナリオを用いた予測では、21世紀末には気温がヒトスジシマカの生息に必要な条件に達し、北海道の一部にまで分布が広がる可能性が高い。 ● また、ヒトスジシマカの吸血開始日は初春季の平均気温と相関があり、気温上昇が進めば、吸血開始日が早期化する可能性がある。気温上昇が進めば、ヒトスジシマカやアカイエカの活動期間が長期化する可能性がある。 ● 他にも、気温上昇により、日本脳炎を媒介する外来性の蚊の奄美・沖縄地方での分布可能域が拡大する可能性が指摘されている。 ● 感染症媒介蚊以外の節足動物も気候変動の影響を受ける可能性はあるが、現時点で日本における感染症リスクの拡大に関する具体的な、直接的な研究事例は確認されていない。 	●	社	蚊やダニ等の節足動物が媒介する感染症が発生した場合、影響の範囲は全国に及ぶ可能性がある。人の健康に直接影響するものであり、感染症の発生が拡大すれば、社会的影響も大きい。	●	▲	
健康	感染症	その他の感染症	<ul style="list-style-type: none"> ● インフルエンザや手足口病、水痘、結核といった感染症の発生の季節性の変化や、発生と気象条件（気温・湿度・降水量など）との関連を指摘する報告事例が確認されている。 ● ただし、これらの感染症類の発症には、社会的要因、生物的要因の影響が大きい点に留意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 気候変動に伴い、様々な感染症類の季節性の変化や発生リスクの変化が起きる可能性がある。 ● 降水等の気象要素とインフルエンザ流行の相関性が多数報告されており、これらの知見は、国内で将来予測される降水量の変化の観点からみても、重要と思われる。 ● 一方で、インフルエンザ以外のものも含めた気候の変化によって生じる様々な感染症類について現状では文献が限られているため、今後の将来予測に向け、定量的リスク評価研究の進展が望まれる。 	◆	社	気温等の気象条件の変化は、インフルエンザや手足口病、水痘などの感染症類の発生リスクを変化させる可能性がある。影響の範囲は全国に及ぶ可能性があり、集団感染が起れば社会・経済的影響は大きい。直ちに人命の損失への影響つながるものではない。	■	■	
	その他	温暖化と大気汚染の複合影響	<ul style="list-style-type: none"> ● 温暖化と大気汚染に関して、気温上昇による生成反応の促進その他のメカニズムにより、粒子状物質を含む様々な汚染物質の濃度の変化が報告されている。 ● 近年、光化学オキシダント（Ox）及びその大半を占めるオゾン（O3）の濃度の経年的増加を示す報告が多く、温暖化も一部寄与している可能性が示唆されている。 ● 温暖化に伴うO3濃度上昇は、O3関連死亡（全死亡・心血管疾患死亡・呼吸器疾患死亡）を増加させる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 産業や交通の集中でオキシダント濃度が高くなっている都市部で、現在のような大気汚染が続いた場合、温暖化によってさらにオキシダント濃度が上昇し、健康被害が増加する可能性がある。 ● 複数のRCPシナリオに基づく、オゾン・PM2.5による超過死亡率の予測では、東アジアにおいて、RCP6.0シナリオで2050年に、その他のRCPシナリオでは2030年代に超過死亡率がピークに達し、その後減少に転じることが予測されている。 ● 日本を対象とした研究では、2020年代までにオゾン・PM2.5による早期死亡者数が増加することが予測されている。 	◆	社	光化学オキシダントとオゾン濃度の経年的増加傾向を示す報告が確認されており、増加には温暖化も一部寄与している可能性が示唆されている。オゾン濃度の上昇は心血管疾患や呼吸器系疾患等による死亡と関連している可能性がある。国内では、2020年代までにオゾン・PM2.5による早期死亡者数が増加するが、その後は死亡者数は減少に転じると推測されている。	▲	▲	

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
		脆弱性が高い集団への影響 (高齢者・小児・基礎疾患有病者等)	<ul style="list-style-type: none"> 暑熱による高齢者への影響が多数報告されている。日射病・熱中症のリスクが高く、発症すれば重症化しやすいことや、気温が上昇すれば、院外心停止のリスクが増すことが報告されている。 熱中症発症リスク・熱中症死亡リスクについては、高齢者と比して屋外で暑熱環境に暴露される可能性が高い20代～60代のリスクが高いことも確認されているほか、所得や社会的地位等の生活水準との関係性を報告する文献も多数見られる。 基礎疾患有病者に関しては、呼吸器疾患を持つ高齢患者にとっては、睡眠時の暑熱環境が呼吸困難感と身体の調子の低下に影響することが報告されている。また、低温に伴う影響として、高齢者に加えて、高血糖症患者の脆弱性が高く、循環器病死亡を発生させるリスクが高いことが報告されている 小児あるいは胎児(妊婦)への影響については、米国の事例では暑熱や下痢症に対する脆弱性が指摘されているが、国内では情報が限定的である。 	<ul style="list-style-type: none"> 脆弱性が高い集団への影響について、暑熱により高齢者の死亡者数の増加を予測する文献はみられるものの、基礎疾患有病者や小児への影響についての情報は限定的である。 	●	社	高齢者や小児等には特に暑熱の影響に対して脆弱であり、気温が上昇すれば、熱中症の発症・死亡リスクが増加することに加えて、院外心停止の増加や呼吸器系疾患の悪化などの報告もあり、様々な影響を受けることが想定される。影響の範囲は全国に及び、人命損失に直接への影響につながる可能性もある。	●	▲	
		その他の健康影響	<ul style="list-style-type: none"> 気温上昇による睡眠の質の低下・だるさ・疲労感・熱っぽさなどの健康影響の発生・増加が報告されている。 高温・低温と心血管疾患や呼吸器疾患の発症・救急搬送との関係を指摘する報告もみられる。 国内では知見が限定的であるが、国外を対象とした研究では、高温環境にも伴う急性腎障害の発生や労働者の生産性低下、自然災害に伴う精神疾患の発生が報告されており、国内でも同様の影響が生じることが懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 2070年代8月の健康影響を予測した文献では、暑熱により、だるさや疲労感、寝苦しさに影響を与えることが指摘されている。 過去の統計データに基づいた研究では、気温上昇に伴い、各種犯罪件数(殺人・暴行・窃盗など)と自殺件数が増加することも推測されている。 気温上昇に伴い、労働効率や教育・学習の効率に影響が生じたり、極端現象(強い台風、熱波・寒波、洪水など)により心身ストレスに影響が生じることが想定されるが、文献は限定的であり、今後、定量的リスク評価に関する研究が望まれる。 						
産業・経済活動	製造業		<ul style="list-style-type: none"> 気候変化により、様々な影響が想定されるが、現時点で製造業への影響の研究事例は少数である(調査で確認できた範囲では、長野県茅野市の伝統産業である天然寒天生産における事例、乳白粒のコメの発生が米菓品質に及ぼす影響を実験で確認した事例及び気候変動等の課題に対応可能な植物工場の稼働数に関する報告など)。 ただし、製造業は水害により131億円(2017年)の被害が発生しており、大雨発生回数の増加による水害リスクの増加が指摘されている。 CDP気候変動質問書(2017年)の回答では、製造業においては気候変動の影響を事業活動へのリスク要因とみる一方で機会要因とみる企業が多い結果を得ている。 製造業についてはサプライチェーンなどの海外影響が国内の製造業に影響を与えることについて留意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による製造業への将来影響が大きいと評価している研究事例は乏しいものの、企業が気候変動をリスクやビジネス機会として認識していることを示唆する報告がみられる。 ➢ 最も大きな海面水位の上昇幅を前提として、2090年代において海面水位の上昇により東京湾周辺での生産損失額は、沿岸対策を取らなかった場合、製造業にも多額の損失が生じるとしている研究もある。 ➢ 現時点で定量的に予測した研究事例ではないが、アパレル業界など、平均気温の変化が、企業の生産・販売過程、生産施設の立地等に直接的、物理的な影響を及ぼすことも懸念される。 ➢ CDP気候変動質問書(2017年)では、気候変動の影響による生産能力への物理リスクや需要増によるビジネス機会を認識している企業が多い結果を得ている。 	◆	経	影響の範囲は全国に及ぶ。期間は、影響を与える気候変動のイベントにより異なる。生産過程や施設の立地等に直接影響を及ぼすという報告があるほか、製造業において、多大な生産損失や雇用への影響を予測する報告もある。被災により工場・事務所等の損壊や操業の停止、原材料の調達が困難になるなどの被害が発生しており、中小企業では影響の程度が大きくなる可能性がある。一方で、産業への影響を新たなビジネス機会の創出といった正の影響を予測する研究もある。	■	■	
				食品製造業						

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	エネルギー	エネルギー供給	<ul style="list-style-type: none"> 現時点では、気候変動によるエネルギー供給への影響に関する具体的な研究事例は少数である。 猛暑により事前の想定を上回る電力需要を記録した報告がみられる。 強い台風等によりエネルギー供給インフラが被害を受けエネルギーの供給が停止した報告がみられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動によるエネルギー供給への将来影響を定量的に評価している研究事例は一定程度あるが、現時点の知見からは、地域的にエネルギー供給量の増減があるものの、総じてエネルギー供給への影響は大きいとは言えない。 気温の上昇によるエネルギー消費への影響について、以下のような予測を示した事例がある。 ◇ 産業部門や運輸部門においてはほとんど変化しない ◇ 家庭部門では減少する（気温が1度上昇すると、家庭でのエネルギー消費量は北海道・東北で3~4%、その他の地域で1~2%減少する） ◇ サービス業等の業務部門では増加する（気温が1度上昇すると、業務部門では1~2%増加する） ◇ 家庭、業務部門を併せた民生部門全体では、大きな影響は無い、または地域によっては減少する ◇ 全国的には夏季は気温上昇により冷房負荷が増加し、冬季は暖房負荷が減少する。冷房負荷は低緯度地域ほど増加し、暖房負荷は高緯度地域ほど減少する。 ◇ 流況等の変化による水力発電量の全国的な減少、2040年代での日射量の減少による多結晶型太陽電池の発電量の全国的な減少を予測する研究事例がある一方で、福島県を対象とした研究事例では主に日射量の増加による太陽光発電量の増加を予測している。 		社経	<p>影響の範囲は全国に及ぶ。影響の及ぶ期間は、影響を与える気候変動のイベントにより異なる。エネルギー消費量が気候変動によって変動するという報告や、発電所における災害の増加や発電効率の低下を招くとする報告、エネルギー需要は産業や業務等の部門や地域によって増減するとした報告がある。エネルギー需要全体としては、それほど大きな影響がない、または減少することが予測されている。現時点で重大な影響があると判断されるような材料は乏しい。ただし、エネルギー供給の観点では、強い台風等によりエネルギー供給インフラが損壊する事例が報告されており、エネルギーの安定供給に影響を及ぼす可能性がある。</p>			
産業・経済活動	商業		<ul style="list-style-type: none"> 日本における商業への影響について、具体的な研究事例が一定程度見られる。 飲料やエアコンの販売数と気温上昇との間に関係があることが報告されている。 急激な気温変化や大雨の増加等により季節商品の供給予測が難しくなっている事例、大雨や台風により百貨店やスーパーなどの売上の増減や臨時休業が起きる事例等が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本における気候変動による商業への将来影響を評価している研究事例は乏しく、商業への影響は現時点では評価できない。 ◇ アパレル業界では、気候変動は季節性を有する製品の売上、販売計画に影響を与えようと指摘する研究がある。 ◇ 気候変動による温暖化が飲料の需要を通年で増加させ、魚介類・肉類の需要を通年で減少させる効果があると指摘する研究がある。 ◇ 2014年のCDPプロジェクト（現：CDP）において、海外でのアパレル、ホテルなどの企業が、今後気候変動に関連して生じる自社への影響やそれに伴う経済損失を試算し、評価した例がある。 		経	<p>強い台風がスーパー等の売上に影響した事例が見られる。商業は規模・業種も多様で、気候変動からの直接的な影響や消費行動の変化やエネルギーコストの変化などを通じた間接的な影響もあることから、商業として判断する材料に乏しいものの、商品の需要の変化やサプライチェーンへの影響による調達リスク等による商業活動への影響が懸念される。</p>			
				小売業		経	<p>季節商品の需要予測が難しくなっていることや強い台風がスーパー等の売上に影響した事例等が複数見られ、地域によって度合いは異なるものの小売業に影響が及ぶ可能性がある。また、気象災害によるインフラの損壊等や調達先の被災は商品の調達にリスクを及ぼす。中小企業ではこれら影響・リスクの程度が大きくなる可能性がある。</p>			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	金融・保険		<ul style="list-style-type: none"> 1980年からの約30年間の自然災害とそれに伴う損害保険の支払額の推移からは、近年の傾向として、支払額が著しく増加し、恒常的に被害が出る確率が高まっていることが確認されている。 保険会社では、従来のリスク定量化の手法だけでは将来予測が難しくなっており、今後の気候変動の影響を考慮したリスクヘッジ・分散の新たな手法の開発を必要としているとの報告もなされている。 長期での損害保険の支払い予測が困難になったため長期火災保険の保険期間が短縮された。 日本における金融分野への影響については、具体的な研究事例が確認できていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 自然災害とそれに伴う保険損害が増加し、保険金支払額の増加、再保険料の増加が予測されている。ただし、現時点では、日本に関する研究事例は限定的にしか確認できていない。 不動産の観点から気候変動と社会経済の変化による水災害リスクの分析を行った研究事例がある。 現時点で日本に関して定量的に予測をした研究事例は限定的であるものの、以下のような影響も想定される。 <p>(保険業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 付保できない分野の登場、再保険の調達困難などの脅威 ▶ 保険需要の増加、新規商品開発の可能性などのビジネス機会。 <p>(金融業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 資産の損害や気象の変化による経済コストの上昇などの脅威 ▶ 適応事業融資、天候デリバティブの開発などのビジネス機会 <ul style="list-style-type: none"> 金融分野への影響については、現時点で日本に関する具体的な研究事例は確認できていないが、金融市場に及ぼすリスクや機会が世界的に議論され、指摘されている。 		経	社会的・経済的要因とも相まって、日本を含め、世界的な自然災害に伴う損害額の増大が予測され、こうした自然災害による損害リスクに適切に対処できない場合、時間とともに、保険業をはじめとする様々な業種に多大な影響を及ぼすと予測されている。保険業界では、再保険を通じてリスクを移転することが一般的だが、再保険はグローバルにリスクを移転する制度であるため、自然災害に伴う世界的な損害額の増大は日本の保険業にも影響を及ぼすことが予測されている。保険料の値上がりや付保条件の変更などは保険業のみならず社会への影響も大きい。他方で、こうしたリスクに適切に対処することができれば、ビジネスの機会ともなり得る。 金融分野では、気象災害等による物理的な影響及び脱炭素・低炭素経済への移行の影響により、気候変動は金融の安定性やマクロ経済状況に影響を及ぼす可能性が指摘されている。			
産業・経済活動	観光業	レジャー ⁹⁶	<ul style="list-style-type: none"> 気温の上昇、降雨量・降雪量や降水の時空間分布の変化、海面水位の上昇は、自然資源（森林、雪山、砂浜、干潟等）を活用したレジャーへ影響を及ぼす可能性があるが、現時点で研究事例はスキー場への影響を除いて限定的にしか確認できていない。 観光資源である滝の凍結度や流水の減少、スキー場における積雪深の減少のほか、厳島神社での台風・高潮被害の増加が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年頃には、夏季は気温の上昇等により観光快適度が低下するが、春季や秋～冬季は観光快適度が上昇すると予測されている。 スキーに関しては、降雪量及び最深積雪が、2031～2050年には北海道と本州の内陸の一部地域を除いて減少することで、ほとんどのスキー場において積雪深が減少すると予測されている。 		経	観光部門全体としては、スキー等の自然資源を活用したレジャーにおいては主に観光資源の損失等の負の影響を受けるとする事例がみられるものの、地域によっては観光快適度の上昇や降雪量の減少による観光需要の増加といった正の影響を受けるとする報告もある。			
産業・経済活動	観光業	レジャー		<p>また、積雪量の減少により来客数・営業利益の減少が予測されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 積雪量の減少により交通負担が軽減することで社寺への来客数が増加すると予測する研究がある一方で、原生林の衰退により世界自然遺産登録が抹消されると想定した場合に来客数が減少すると予測している研究もある。 海面水位の上昇により砂浜が減少することで、海岸部のレジャーに影響を与えると予測されている。 	業及び関連するサービス業	経	スキー場や海岸部等の自然資源を活用したレジャーについては、主に観光資源の損失等の負の影響が予測されている。これらは、地域における観光産業への影響にもつながる。経済的な損失から、自然資源を活用した観光業に依存している地域や住民にとっては、緊急性、確信度は全体の評価と同様である。			

96 ここでは、森林、雪山、砂浜、干潟などの自然資源を活用したレジャーを主体に扱っている（人工施設、屋内施設におけるレジャーは扱っていない）。

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考	
					観点	判断理由				
	建設業		<ul style="list-style-type: none"> 現時点で、建設業への影響について具体的な研究事例が少数確認されている。 夏季の気温上昇により暑中コンクリート工事の適用期間が長期化している。 建設現場における熱中症災害の発生率が増加している。 学会に設置されている委員会において、建築物の気候変動への対応に関し、自助・公助の課題、設計基準の見直しの必要性等が示され、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本建築学会に設置されている「気候災害特別調査委員会」等において、気候変動に適応した建築計画・都市計画の在り方が議論されている。 関東地域の夏季において建築物の空調熱負荷が増加すると予測されている。 		経	日本建築学会で建築物の設計基準の見直しが議論されていること等に留意が必要であるが、現時点で、予測・評価をした研究事例は限定的である。しかしながら、極端な気象現象による建築物の被害が発生していることに加えて、建設現場での熱中症の発生率が増加しており、これらの点から、重大性は特に大きいといえる。			
	医療		<ul style="list-style-type: none"> 現時点で、医療産業への影響について、一定程度の報告が見られる。 断水や濁水による人工透析への影響、気温と救急搬送量との関係等に関する研究報告のほか、熱帯あるいは亜熱帯地域に存在する病原細菌への国内での感染事例、洪水による浸水が発生した医療機関への被害事例が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で、医療産業への影響について具体的な研究事例は確認できていない。 		経	現時点で、予測・評価をした研究事例は確認できていない。気温と救急搬送量との関係に関する報告、亜熱帯性病原細菌への院内感染の事例や豪雨による医療機関の浸水被害事例等が報告されているものの、判断する材料に乏しい。			
	その他	その他(海外影響)	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による日本国外での影響が日本国内や日系企業に及ぼす影響について、研究事例が少数見られる。 気候変動の影響として予想される海外の影響事例が報告されている。例えば、気候変動による過去30年間の正解の主要穀物の収量低下を推定した事例、海外の穀物生産地で生じた干ばつにより食料価格が上昇した事例がある。2011年のタイ国チャオプラヤ川の洪水では、多数の日系企業に被害をもたらし、ハードディスクのサプライチェーンにおける日系企業の損失を約3,150億円と試算している事例や、日本の損害保険会社が日系企業に支払う保険金の額が2011年の地震・津波に対する額を上回ったと報告している事例がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 国外での影響が、日本国内にどのような影響をもたらすかについては、貿易等の要因が関与する間接的な影響が中心であるが、以下のような研究事例が報告されている。 <ul style="list-style-type: none"> 気温の上昇により、2030年時点において世界全体で見えた場合に作物生産量が増加し、価格が低下する。 気温上昇や降水量の変化が、米、とうもろこし、小麦の貿易量に変化を及ぼす。海外の大麦生産地での干ばつにより国内のビール消費量が減少し、価格が上昇する。 輸入国の土地利用や労働者の健康への気候変動の影響は、日本への農畜産物・工業製品の輸入の脆弱性を高める。 英国での検討事例等を踏まえると、エネルギーや農水産物の輸入価格の変動、海外における企業の生産拠点への直接的・物理的な影響、海外における感染症媒介者の増加に伴う移住・旅行等を通じた感染症拡大への影響等が日本においても懸念される。 		経	ただし、気候変動の影響を受けるリスクが高い海外の地域にサプライチェーンを有する場合には、生産等に及ぶ影響の程度が大きくなる可能性がある。気温上昇による世界的な作物生産量の変化による食料需給量の変動は、わが国の食料価格や輸出入に直接つながるものであり、経済面への影響が生じる可能性がある。その他に、海外での土地利用の変化や労働者の健康への影響等から、我が国が輸入する農畜産物や電子部品等の工業製品の脆弱性が高いと評価する報告がある。なお、英国の科学技術庁が2011年に取りまとめた、気候変動による海外の影響が自国内に及ぼす影響の評価では、輸入先での異常気象の頻度や期間の増加、水資源の減少、海洋の酸性化、水温の変化等が農水産物の輸入価格に影響を与えると予測されている。			

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考
					観点	判断理由			
産業・経済活動	その他	その他	<ul style="list-style-type: none"> ● 気候安全保障に関する報告や、気候変動に伴うアジア・太平洋地域における影響を踏まえた外交政策の分析・立案が報告されている。 ● 夏季に北極海の氷が融けることにより利用可能となる、北極海航路の産業利用を推進する一方で、多数の国が同航路を利用して北極圏に進出することによる我が国の安全保障への影響を懸念する報告がある。 ● 気候変動に伴う紛争リスクについて欧米等では多数の学術論文が公表されている。 ● 現時点では、産業・経済活動分野で挙げた中小項目以外での気候変動によるその他の影響について、国内の研究事例は確認できていない。 ● 世界規模では、気候変動が農業生産量の変動や食料価格の高騰、農業への影響や災害による経済成長の低下、環境難民の流入等が紛争リスクの要因の一つとなっている可能性があることが示唆されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 欧米等の国際関係や安全保障に気候変動が及ぼす影響に関する報告では、国際支援の弱体化や負担等の増加、資源管理をめぐる対立の激化などが予測されている。 ● 欧米等の研究事例によると、資源管理、環境移民、脆弱な人々への補償等をめぐり、気候変動が国際社会の不安定化を深める可能性が指摘されている。特に、気候変動の影響を受けやすい国と主要排出国との補償や人権をめぐる対立、環境移民の増加とその補償等に関する対立、社会的に不安定な地域の増加による安全保障政策のリスク等が拡大する可能性が示唆されている。 	—	<p>既往の文献では、海外での気候変動による影響を踏まえた外交政策の立案・分析、北極海航路の開発や安全保障上のリスクに関連する報告が多数見られ、これらは、わが国の産業経済・安全保障への影響を及ぼす可能性があるが、現時点で重大な影響があると判断されるような材料は乏しい。</p> <p>なお、欧米等の政府が取りまとめた、海外での気候変動による影響が自国の社会に及ぼす影響の報告では、災害復旧への人道支援等のコスト負担の増加、国境地域の資源管理におけるリスクの増加や環境難民の流入により自国内外で紛争が増加するリスク等を挙げている。</p>	—	—	
国民生活・都市生活	都市インフラ、ライフライン等	水道、交通等	<ul style="list-style-type: none"> ● 近年、各地で、大雨、台風、渇水等による各種インフラ・ライフラインへの影響が確認されている。 ● 大雨による交通網の寸断やそれに伴う孤立集落の発生、電気・ガス・水道のライフラインの寸断が報告されている。 ● この他、雷・台風・暴風雨などの異常気象による発電施設の稼働停止や浄水場施設の冠水、廃棄物処理施設の浸水等の被害、渇水・洪水、濁水や高潮の影響による取水制限や断水の発生、高波による道路の交通障害等が報告されている。 ● これらの現象が気候変動の影響によるものであるかどうかは、明確には判断しがたいが、気候変動が進行すれば、さらに影響の程度・発生頻度は増加すると考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 気候変動がインフラ・ライフラインにもたらす影響について、全球レベルでは、極端な気象現象が、電気、水供給サービスのようなインフラ網や重要なサービスの機能停止をもたらすことによるシステムのリスクに加えて、国家安全保障政策にも影響を及ぼすとする報告がみられる。 ● 国内では、電力インフラに関して、台風や海面水位の上昇、高潮、高波による発電施設への直接的被害や、冷却水として利用する海水温が上昇することによる発電出力の低下、融雪出水時期の変化等による水力発電への影響が予測されている。 ● 水道インフラに関して、河川の微細浮遊土砂の増加により、水質管理に影響が生じること、交通インフラに関して、国内で道路のメンテナンス、改修、復旧に必要な費用が増加することが予測されている。 ● この他に、気象災害に伴って廃棄物の適正処理に影響が生じることや、洪水氾濫により水害廃棄物が発生することや都市ガスの供給に支障が生じることも予測されている。 ● 交通インフラ等への影響に関して、国内の知見は限定的であるものの、国外では、極端な降雨による鉄道レールへの影響、洪水・土砂災害による道路網への影響、異常気象による通信インフラへの影響が予測されている。 ● 今後、気候変動による短時間強雨や渇水の増加、強い台風の増加等が進めば、これらのインフラ・ライフライン等にも影響が及ぶことが懸念される。 	●	<p>現在でも、全国各地で大雨や台風による交通網の寸断や電気・ガス・水道等のライフラインの寸断、電力インフラや水道インフラ、廃棄物処理施設への直接的被害が報告されている。将来、気候変動が進行すれば、電力・交通・水道インフラ・廃棄物処理に様々な影響が生じることが予測されており、被害・損傷による社会・経済面への影響は大きい。</p>	●	●	社経

分野	大項目	小項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性		緊急性	確信度	備考		
					観点	判断理由					
国民生活・都市生活	文化・歴史などを感じる暮らし	生物季節・伝統行事・地場産業等 ⁹⁷	<ul style="list-style-type: none"> 国民にとって身近なサクラ、イチヨウ、セミ、野鳥等の動植物の生物季節の変化について報告されている。特に、サクラについては、ヒートアイランド現象と相まって、郊外に比べて、都市部で開花や花芽の成長速度が速まっていることが報告されている。 生物季節の変化が国民の季節感や地域の伝統行事・観光業等に与える影響について、日光においてサクラの開花の早期化が地元の祭行事に影響を与えている事例が確認できるものの、その他の具体的な研究事例は確認されていない。 地場産業については、気温上昇に伴い、例えば、兵庫県で酒米品種の検査等級・精玄米歩合の低下が生じていることや長野県で寒天産業への影響が生じていることが確認されている。 	<ul style="list-style-type: none"> サクラの開花及び満開期間について、将来の開花は北日本などでは早まる傾向にあるが、西南日本では遅くなる傾向にあること、また、今世紀中頃及び今世紀末には、気温の上昇により開花から満開までに必要な日数は短くなる可能性が高い。それに伴い、花見ができる日数の減少、サクラを観光資源とする地域への影響が予測されている。 ナンコウウメの開花期間について、3℃の気温上昇により、花粉媒介者のフェノロジーとのミスマッチが生じることで自然受粉に影響が生じ、開花期間が短縮化されるとの報告もみられる。 地域独自の伝統行事や観光業・地場産業等への影響については、現時点で研究事例が限定的にしか確認できていない。 	生物季節		生物季節への影響の範囲はほぼ全国に及ぶ。桜の開花日・満開の期間や紅葉の遅延は、これら景観の名所等における伝統行事や観光業等に影響を与える可能性があり、社会・経済・環境の広範に影響が及ぶ。具体的には、サクラやカエデの名所において開花時期、紅葉時期がずれると観光客の数に変動が生じ、地元の経済に影響を与えると考えられる。生物季節の変化による観光や地元経済への影響の程度について、定量的に予測をした研究事例は確認できない。				
		その他	暑熱による生活への影響等 ⁹⁸	<ul style="list-style-type: none"> 日本の中小都市における 100 年あたりの気温上昇率が 1.5℃であるのに対し、主要な大都市の気温上昇率は 2.6～3.2℃であり、大都市においては気候変動による気温上昇に伴ってヒートアイランド現象が確認されている。ヒートアイランド現象により都市部で上昇気流が発生することで短期的な降水量が増加する一方、周辺地域では雲の形成が阻害され、降水量が短期的に減少する可能性があることが報告されている。 大都市における気温上昇の影響として、特に人々が感じる熱ストレスの増大が指摘され、熱中症リスクの増大に加え、発熱・嘔吐・脱力感による搬送者数の増加、睡眠の質の低下による睡眠障害有症率の上昇が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内大都市のヒートアイランドは、今後は小幅な進行にとどまると考えられるが、既に存在するヒートアイランドに気候変動による気温の上昇が加わり、気温は引き続き上昇を続ける可能性が高い。 気温上昇に伴い、体感指標である WBGT も上昇傾向を示す可能性が高い。全国を対象に 21 世紀末の 8 月の WBGT を予測した事例（RCP4.5 シナリオを使用）では、将来、暑熱環境が全国的に悪化し、特に東北地方で現在と比較して大きくなる可能性が示されている。 熱ストレスの増加に伴い、だるさ・疲労感・熱っぽさ・寝苦しさといった健康影響が現状より悪化し、特に昼間の気温上昇により、だるさ・疲労感がさらに増すことが予測されており、気温上昇後の温熱環境は、都市生活に大きな影響を及ぼすことが懸念される。 加えて、熱ストレスが増加することで労働生産性が低下し、労働時間の喪失により経済損失が発生することが予測される。 	伝統・地場	-	影響は個々の事象で異なり、地域の社会・経済面への影響も事象により様々であることから、全国一律に評価することは困難である。			
							社経	都市部では、気候変動に伴う気温の上昇に加えて、ヒートアイランド現象の影響により、全体として気温の上昇幅が大きくなること、短期的な降水量が増加することが予測される。また、大都市に限らず、現在は気温上昇が顕著化していない地方都市でも、ヒートアイランドによる高温化に気候変動の影響が加わることで気温上昇が顕著化することが予測される。特に、夏季における熱ストレスの増大は、熱中症リスクの増大や快適性の損失、睡眠効率の低下による睡眠障害、労働生産性の低下など、都市生活における及ぼす影響は大きく、経済損失も大きい。			

97 生物季節とは気温や日照など季節の変化に反応して動植物が示す現象をいう。なお、本項では、人間活動や文化に関係する生物季節（国民生活の中で感じる生物季節（季節感））を主に扱い、自然生態系分野の「生物季節」では生態系への影響及び生態系サービスの内容を主に扱う。

98 本項では、都市における熱ストレス・睡眠障害、暑さによる不快感等を主に扱い、健康分野の「暑熱」では死亡リスクや熱中症等に関する影響を主に扱う。

(参考)気候予測に用いられている各シナリオの概要

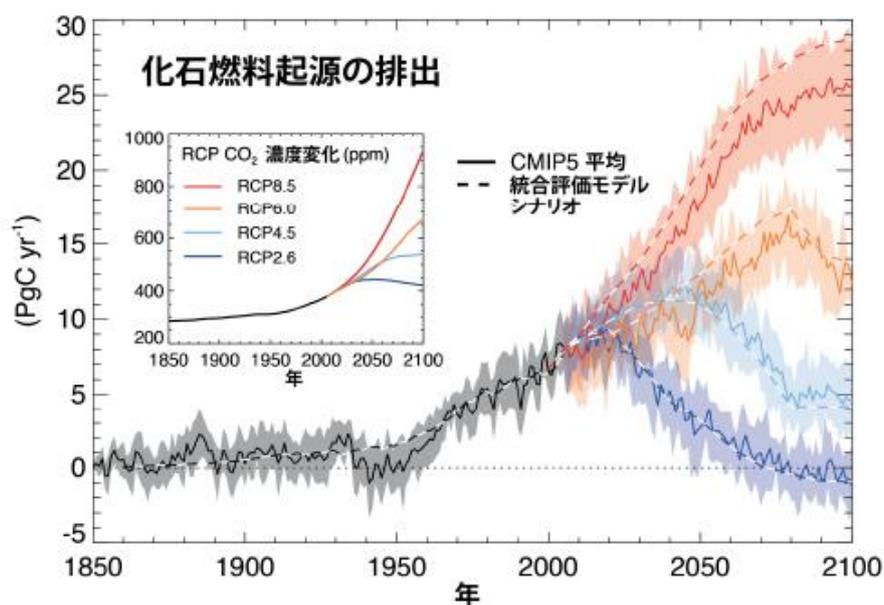
1. RCP シナリオ

SRES シナリオ (次項を参照) には、政策主導的な排出削減対策が考慮されていないなどの課題があった。このため、政策的な温室効果ガスの緩和策を前提として、将来の温室効果ガス安定化レベルとそこに至るまでの経路のうち代表的なものを選んだシナリオが作られた。このシナリオを RCP (Representative Concentration Pathways) シナリオという。⁹⁹

RCP シナリオは大気中の温室効果ガスの濃度が放射強制力に与える影響の大きさをもとに特徴づけられ、それぞれ RCP8.5 (高位参照シナリオ)、RCP6.0 (高位安定化シナリオ)、RCP4.5 (中位安定化シナリオ)、RCP2.6 (低位安定化シナリオ) と呼ばれ、産業革命以前と比較した今世紀末の放射強制力の目安がそれぞれ 8.5W/m²、6.0W/m²、4.5W/m²、2.6W/m² となるシナリオに対応している (下表)。¹⁰⁰

RCP シナリオの概要 出典：IPCC、2007b より作成

名称	産業革命以前と比較した放射強制力の目安	2100年における各種の温室効果ガス濃度(二酸化炭素濃度に換算)	濃度の推移
RCP8.5 (高位参照シナリオ)	2100年において8.5W/m ² を超える	約1,370ppmを超える	上昇が続く
RCP6.0 (高位安定化シナリオ)	2100年以降約6.0W/m ² で安定化	約850ppm (2100年以後安定化)	安定化
RCP4.5 (中位安定化シナリオ)	2100年以降約4.5W/m ² で安定化	約650ppm (2100年以後安定化)	安定化
RCP2.6(RCP3-PD) (低位安定化シナリオ)	2100年以前に約3W/m ² でピーク、その後減少、2100年頃に約2.6W/m ²	2100年以前に約490ppmでピーク、その後減少	ピーク後減少



図A-1 RCPシナリオに基づく二酸化炭素の濃度変化(図内側)とRCPシナリオに対応する化石燃料からの二酸化炭素排出量(図外側);地球システムモデルによる逆算の結果。細線:個々のモデルの結果、太線:複数のモデルの平均)。PgCは炭素換算で10億トン(10¹⁵g)。

⁹⁹ 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書第2作業部会報告書 (影響・適応・脆弱性) の公表について (文部科学省 経済産業省 気象庁 環境省、2014年)

¹⁰⁰ 本文及び図は「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響 (2012年度版)』」(文部科学省 気象庁 環境省、2013年)より抜粋。

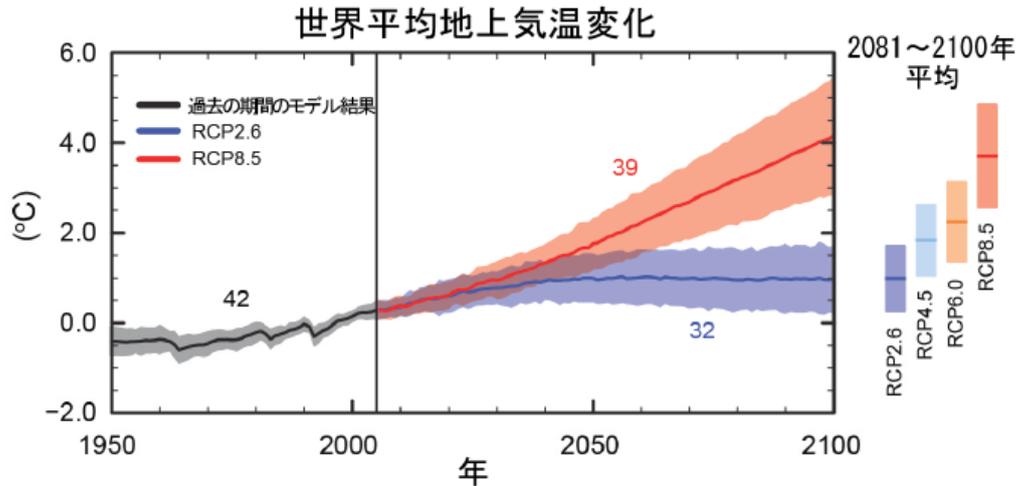


図 A-2 CMIP5 の複数のモデルによりシミュレーションされた時系列(1950 年から 2100 年)。1986~2005 年平均に対する世界平均地上気温の変化。予測と不確実性の幅(陰影)の時系列を、RCP2.6(青)と RCP8.5(赤)のシナリオについて示した。黒(と灰色の陰影)は、復元された過去の強制力を用いてモデルにより再現した過去の推移である。全ての RCP シナリオに対し、2081~2100 年の平均値と不確実性の幅を彩色した縦帯で示している。数値は、複数モデルの平均を算出するために使用した CMIP5 のモデルの数を示している。
(出典:IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約 図 SPM.7(a))

表 A-1 シナリオ別の世界平均気温の変化と世界平均海面水位の変化の予測

濃度シナリオ	気温変化 (°C)		海面水位変化 (m)	
	中期 (2046~2065 年)	長期 (2081~2100 年)	中期 (2046~2065 年)	長期 (2081~2100 年)
RCP 2.6	0.4~1.6 (1.0)	0.3~1.7 (1.0)	0.17~0.32 (0.24)	0.26~0.55 (0.40)
4.5	0.9~2.0 (1.4)	1.1~2.6 (1.8)	0.19~0.33 (0.26)	0.32~0.63 (0.47)
6.0	0.8~1.8 (1.3)	1.4~3.1 (2.2)	0.18~0.32 (0.25)	0.33~0.63 (0.48)
8.5	1.4~2.6 (2.0)	2.6~4.8 (3.7)	0.22~0.38 (0.30)	0.45~0.82 (0.63)

- ・ 予測は、1986~2005 年平均を基準とした変化量。
- ・ () の値は、予測の平均値を示す。

以下の出典より事務局作成。

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

注)

- ・ SRES シナリオに基づく気候予測は第 4 次評価報告書での評価結果、RCP シナリオに基づく気候予測は第 5 次評価報告書での評価結果であり、排出シナリオだけでなく気候予測の手法についても違いがある。

2. SRES シナリオ

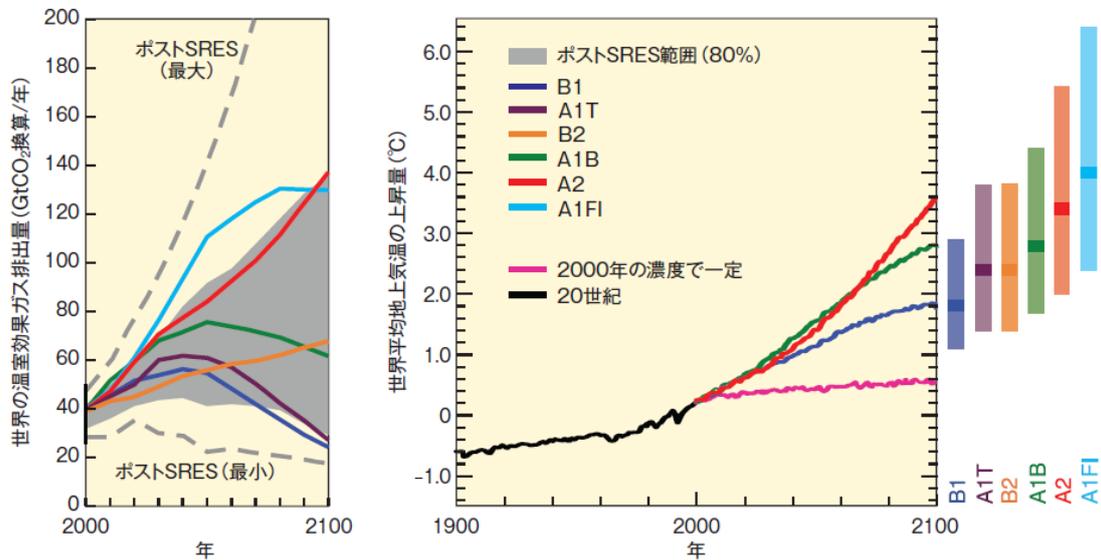
IPCC 第4次評価報告書において評価された気候予測実験で共通想定として用いられた排出シナリオであり、A1シナリオ（高成長型社会シナリオ）、A2シナリオ（多元化社会シナリオ）、B1シナリオ（持続発展型社会シナリオ）、B2シナリオ（地域共存型社会シナリオ）に分類している。A1シナリオは、A1FI（化石エネルギー源を重視）、A1T（非化石エネルギー源を重視）、A1B（各エネルギー源のバランスを重視）に更に区分されている。



図 A-3 SRES シナリオにおける 4 つの世界像

A1シナリオはさらに A1B、A1T、A1FI シナリオに細分されている。よく用いられる A1B シナリオは、「各エネルギー源のバランスを重視した高成長型社会シナリオ」である。
出典：国立環境研究所、2001 年より作成

2000～2100年の温室効果ガス排出シナリオ（追加的な気候政策を含まない）及び地上気温の予測



図A-4（左図）追加的な気候政策を含まない場合の世界の温室効果ガス排出量（CO₂換算）：6つのSRESマーカーシナリオ（彩色した線）、SRES以降に公表された最近のシナリオ（ポストSRES）の80パーセンタイル（灰色の彩色範囲）。点線はポストSRESシナリオ結果のすべての範囲を示す。排出量にはCO₂、CH₄、N₂O及びフロンガスが含まれる。

（右図）実線は、A2、A1B、B1シナリオにおける複数のモデルによる地球平均地上気温の昇温を20世紀の状態に引き続いて示す。これらの予測は短寿命温室効果ガス及びエアロゾルの影響も考慮している。ピンク色の線はシナリオではなく、2000年の大気中濃度で一定に保った大気海洋結合モデル（AOGCM）シミュレーションによるもの。図の右の帯は、6つの SRESシナリオにおける2090～2099年についての最良の推定値（各帯の横線）及び可能性が高い予測幅を示す。全ての気温は1980～1999年との比較。

（出典：IPCC第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約 図SPM.5）

表 A-2 シナリオ別の世界平均気温の変化と世界平均海面水位の変化の予測

排出シナリオ	気温変化 (°C)		海面水位変化 (m)	
	長期 (2090~2099 年)		長期 (2090~2099 年)	
SRES B1	1.1 ~ 2.9 (1.8)		0.18 ~ 0.38	
A1T	1.4 ~ 3.8 (2.4)		0.20 ~ 0.45	
B2	1.4 ~ 3.8 (2.4)		0.20 ~ 0.43	
A1B	1.7 ~ 4.4 (2.8)		0.21 ~ 0.48	
A2	2.0 ~ 5.4 (3.4)		0.23 ~ 0.51	
A1FI	2.4 ~ 6.4 (4.0)		0.26 ~ 0.59	

- ・ 予測は、1980~1999年平均を基準とした変化量。
- ・ () の値は、最良の推定値 (best estimate) を示す。

<補足> SRES シナリオと RCP シナリオの対応関係

SRES と RCP 及び SSP の各シナリオの関係について、SRES と SSP の社会経済発展のシナリオの比較、SRES と RCP の放射強制力・気候特性の比較を行い、SRES シナリオが当てはまる RCP シナリオと SSP シナリオの最適な組み合わせを示した研究がある。これによれば、概略の傾向としてではあるものの、各シナリオの対応関係は下表のとおりであることが示されている。

表 A-3 RCP シナリオと SRES シナリオの対応関係

RCP シナリオ	SRES シナリオ
RCP8.5 と SSP5	SRES A1FI
RCP8.5 と SSP3	SRES A2
RCP6.0 と SSP2	SRES B2 及び A1B
RCP4.5 と SSP1	SRES B1
RCP2.6	対応する SRES シナリオは無し

※SSP シナリオは、人口、ガバナンス、公平性、社会経済開発、技術、環境等の共通に社会像の諸条件を示す定量的・定性的な要素からなり、気候変動影響評価と緩和・適応政策分析の前提条件を示す。(SSP1:持続可能な発展、SSP2:中間的シナリオ、SSP3:分断シナリオ、SSP5:在来型発展シナリオ)

Detlef P. van Vuuren & Timothy R. Carter (2014) Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old. Climate Change 122: pp415-429 DOI 10.1007/s10584-013-0974-2

表 A-4 RCP 濃度シナリオ別の世界平均気温の変化と世界平均海面水位の変化の予測

濃度シナリオ	気温変化 (°C)		海面水位変化 (m)	
	中期 (2046~2065 年)	長期 (2081~2100 年)	中期 (2046~2065 年)	長期 (2081~2100 年)
RCP 2.6	0.4~1.6(1.0)	0.3~1.7(1.0)	0.17~0.32(0.24)	0.26~0.55(0.40)
4.5	0.9~2.0(1.4)	1.1~2.6(1.8)	0.19~0.33(0.26)	0.32~0.63(0.47)
6.0	0.8~1.8(1.3)	1.4~3.1(2.2)	0.18~0.32(0.25)	0.33~0.63(0.48)
8.5	1.4~2.6(2.0)	2.6~4.8(3.7)	0.22~0.38(0.30)	0.45~0.82(0.63)

- ・ 予測は、1986~2005年平均を基準とした変化量。
- ・ () の値は、予測の平均値を示す。

以下の出典より事務局作成。

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

3. 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF、d2PDF)

文科省・気候変動リスク情報創生プログラムでは、高解像度全球大気モデル及び高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化について、十分な議論ができる「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF、d2PDF) が作成されている。

確率的気候予測データである d4PDF、d2PDF は多数の実験例(アンサンブル) を活用することで、台風や集中豪雨などの極端現象の将来変化を確率的に、かつ高精度に評価することができる

引用文献一覧

「文献コード」が太字・下線の文献は、今回の影響評価において新たに引用した文献を示す。

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
111001	作況基準筆データを用いた近年の日本のコメ品質に対する気候影響の統計解析	西森基貴・石郷岡康史・若月ひとみ・桑形恒男・長谷川利拡・吉田ひろえ・滝本貴弘・近藤 始彦	2020	生物と気象, 20, p. 1-8
111002	近年の日本における稲作気象の変化とその水稻収量・外観品質への影響	河津俊作、本間香貴、堀江武、白岩立彦	2007	日作紀 (Jpn. J. CropSci.) 76(3):423-432(2007)
111003	高温登熟環境下での背白粒発生及び窒素施用による品質改善機構の品種間差異	島山友翔・中野洋・恩田弥生・野並浩・Rosa Erra-Balsells・中島大賢・平岡賢三・和田博史	2018	第 245 回日本作物学会講演会要旨集, p. 117
111004	登熟期の高温が穂上位置が異なる穎果における貯蔵物質の蓄積構造におよぼす影響	新田洋司・秋元拓己・浅木直美	2017	第 244 回日本作物学会講演会要旨集, p. 7
111005	高温登熟によるアリューロン細胞の増加がイネ子実の外観品質に及ぼす影響	小林拓矢・Chetphilin Suriyasak・玉田愛奈・立石亮太・小山唯・Wun Jin Chen・濱岡範光・井上眞理・石橋勇志	2018	第 245 回日本作物学会講演会要旨集, p. 71
111006	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』（2012 年度版）	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
111007	Extraordinary hot summer in Hokkaido decrease rice yield and satisfy growing of cultivar in Tohoku region “Hitomebore”	Manabu Nemoto, Takahiro Hamasaki, Hiroyuki Shimono	2011	JournalofAgriculturalMeteorology, 67 (4), p. 269-274
111008	平成 29 年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2018	—
111009	平成 22 年度高温適応技術レポート	農林水産省	2011	—
111010	平成 25 年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2013	—
111011	2010 年の夏季高温が北陸地域を中心にしたコシヒカリの品質に与えた影響 1. 外観品質について	中川博視・吉田ひろえ・大野宏之・中園江・近藤始彦・岩澤紀生・白井靖浩・常田岳志・長谷川利拡・桑形恒男・千葉雅大・松村修・神田英司・三浦重典・佐藤徹・川口祐男・高橋渉・塚口直史・永島秀樹・中村真也	2012	日本作物学会講演会要旨集, 第 233 回日本作物学会講演会, p. 126-127
111012	水稻白未熟粒発生予測モデル構築のための登熟期の気象条件および生育状態と白未熟粒発生状況の解析	脇山恭行・大原源二・丸山篤志	2010	農業気象, 66(4), p. 255-267

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>111013</u>	高知県の水稻早期栽培用品種における白未熟粒割合の年次、地域間差に關与する要因の解析	高田聖・坂田雅正・亀島雅史・山本由徳・宮崎彰	2010	日本作物学会紀事, 79(2), p. 205-212
<u>111014</u>	Ⅱ. 九州における近年の水稻の作柄・品質低下の実態・要因.	森田ら	2010	九州沖縄農業研究センター研究資料, 94, p. 1-53
<u>111015</u>	高温登熟条件で白未熟粒が多発する水稻品種における粒径および胚乳細胞の数と大きさの特徴	宮崎彰・山下真里藻・米丸淳一・森田敏	2018	第 245 回日本作物学会講演会要旨集, p. 189
<u>111016</u>	西南暖地の早期栽培における水稻品種の寡照条件下での高温登熟性の評価法	高田聖・坂田雅正・亀島雅史・山本由徳・宮崎彰	2010	日本作物学会紀事, 79(2), p. 142-149
111017	Spikelet sterility of rice observed in the record hot summer of 2007 and the factors associated with its variation.	Hasegawa T, Ishimaru T, Kondo M, Kuwagata T, Yoshimoto Y, Fukuoka M.	2011	J. Agrc. Meteorol. 67(4):225-232, 2011
<u>111018</u>	兵庫県における酒米品種「山田錦」の玄米品質と気温との関係	池上勝・藤本啓之・小河拓也・三好昭宏・矢野義昭・土田利一・平川嘉一郎	2015	日本作物学会紀事, 84(3), p. 295-302
<u>111019</u>	酒造好適米における心白（白色不透明部）の微細構造と高温登熟による影響	新田洋司・石川春香・浅木直美・高松光生	2018	第 245 回日本作物学会講演会要旨集, p. 90
<u>111020</u>	イネ登熟期が記録的な猛暑となった平成 22 年産米のデンプン特性及び蒸米酵素消化性	奥田将生・上用みどり・高橋圭・後藤奈美・高垣幸男・池上勝・鍋倉義仁	2013	日本醸造協会誌, 108(5), p. 368-376.
111021	Modeling the multiple effects of temperature and radiation on rice quality.	Okada M, Iizumi T, Hayashi Y, Yokozawa M.	2011	Environ. Res. Lett. 6(2011)034031(8pp)
<u>111022</u>	地球温暖化影響調査レポート 10	農林水産省	2018	-
<u>111023</u>	千葉県における近年の気温推移と水稻の乾物生産, 収量及び玄米外観品質との関係	太田和也・鶴岡康夫	2015	日本作物学会関東支部会報, 30, p. 34-35
<u>111024</u>	南九州の稲作における温暖化の影響と今後の課題	若松謙一	2013	日本作物学会講演会要旨集, 第 236 回日本作物学会講演会, p. 374-375
<u>111025</u>	Earlier rice phenology as a result of climate change can increase the risk of cold damage during reproductive growth in northern Japan	Hiroyuki Shimono	2011	Agriculture, Ecosystems&Environment, 144(1), p. 201-207
<u>111026</u>	山形県における 1980 年以降の気象推移が最高分げつ期のイネ生育に与える影響	松田裕之・中場勝・森静香・藤井弘志	2014	日本作物学会紀事, 83(3), p. 242-248
<u>111027</u>	Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan	Yasushi Ishigooka, Shin Ffukui, Toshihiro Hasegawa, Tsuneo Kuwagata, Motoki Nishimori, Motohiko Kondo	2017	JournalofAgriculturalMeteorology, 73(4), p. 156-173

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>111028</u>	日本における長期気候変動の経済影響：地域同学応用一般均衡モデルによる知見	國光洋二	2014	土木学会論文集 G (環境), 70(5), p. I_13-I_19
<u>111029</u>	Rice grain quality degradation and economic loss due to global warming in Japan	Yuji Masutomi, Takahiro Takimoto, Muneyoshi Shimamura, Toru Manabe, Makoto Arakawa, Naoya Shibota, Atsuya Ooto, Satoshi Azuma, Yoko Imai, Makoto Tamura	2019	Environmental Research Communications, I, 121003
<u>111030</u>	コメ生産に対する気候変動の影響と適応策	松本健一・高木三水珠	2017	環境科学会誌, 30 (6), p. 346-356
<u>111031</u>	Adaptation of rice to climate change through a cultivar-based simulation a possible cultivar shift in eastern Japan	Ryuhei Yoshida, Shin Fukui, Teruhisa Shimada, Toshihiro Hasegawa, Yasushi Ishigooka, Izuru Takayabu, Toshiki Iwasaki	2015	Climate Research, 64(3), p. 275-290
<u>111032</u>	Estimation of cool summer damage in the Tohoku region based on the MRI AGCM	Eiji Kanda, Hiromitsu Kanno, Sayuri Okubo, Teruhisa Sshimada, Ryuhei Yoshida, Takashi Kobayashi, Toshiki Asaki	2014	Journal of Agricultural Meteorology, 7(4), p. 187-198
<u>111033</u>	MIROC5 predictions of Yamase (cold northeasterly winds causing cool summers in northern Japan)	Hiromitsu Kanno, Masahiro Watanabe, Eiji Kanda	2013	Journal of Agricultural Meteorology, 69(3), p. 117-125
<u>111034</u>	Sensitivity of cool summer-induced sterility of rice to increased growing-season temperatures: A case study in Hokkaido, Japan	Akemi Tanaka, Tomonori Sato, Manabu Nemoto, Yasuhiro Yamanaka	2014	Journal of Agricultural Meteorology, 70(1), p. 25-40
<u>111035</u>	温暖化が水稻移植晩限日に及ぼす影響の解析と予測	中川 博視・神田 英司・大野 宏之・吉田 ひろえ・桑形 恒男・長谷川 利弘	2013	日本作物学会講演会要旨集, 第 235 回日本作物学会講演会, p. 62-63
<u>111036</u>	茨城県における気候変動影響と適応策－水稻への影響－	茨城大学・茨城県地域気候変動適応センター	2020	－
<u>111037</u>	気候変動が兵庫県 41 市町のコメの生産性に及ぼす影響に関する実証分析	中瀧一憲・工藤月子	2017	土木学会論文集 G (環境) (地球環境研究論文集), Vol. 73, No. 5, p. I_385-I_396

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
111038	Rice cultivar responses to elevated CO ₂ at two free-air CO ₂ enrichment (FACE) sites in Japan.	Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Zhu O, Usui Y, Yoshimoto M, Fukuoka M, Wakatsuki H, Katayanagi N, Matsunami T, Kaneta Y, Sato T, Takakai F, Sameshima R, Okada M, Mae T, Makino A.	2013	FunctionalPlantBiology, 2013, 40, 148-159
<u>111039</u>	Yield responses to elevated CO ₂ concentration among Japanese rice cultivars released since 1882	Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Yasuhiro Usui, Hirofumi Nakamura, Toshihiro Hasegawa	2019	PlantProductionScience, 22(3), p. 352-366
<u>111040</u>	A High-Yielding Rice Cultivar “Takanari” Shows No N Constraints on CO ₂ Fertilization	Toshihiro Hasegawa, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Yasuhiro Usui, Hirofumi Nakamura, Hitomi Wakatsuki, Charles P. Chen, Hiroki Ikawa, Guoyou Zhang, Hiroshi Nakano, Miwa Yashima Matsushima, Kentaro Hayashi	2019	FrontiersinPlantScience, 10, Article361
<u>111041</u>	Quantitative trait loci for large sink capacity enhance rice grain yield under free-air CO ₂ enrichment conditions	Hiroshi Nakano, Satoshi Yoshinaga, Toshiyuki Takai, Yumiko Arai-Sanoh, Katsuhiko Kondo, Toshio Yamamoto, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Yasuhiro Usui, Hirofumi Nakamura, Toshihiro Hasegawa, Motohiko Kondo	2017	ScientificReports, 7:1827
<u>111042</u>	Rice Free-Air Carbon Dioxide Enrichment Studies to Improve Assessment of Climate Change Effects on Rice Agriculture	Toshihiro Hasegawa, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Yasuhiro Usui, Mayumi Yoshimoto, Minehiko Fukuoka, Hirofumi Nakamura, Hiroyuki Shimono, Masumi Okada	2015	ImprovingModelingToolstoAssessClimateChangeEffectsonCropResponse, AdvancesinAgriculturalSystemsModeling, (7), p. 45-68
<u>111043</u>	Rice grain yield and quality responses to free-air CO ₂ enrichment combined with soil and water warming	Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Hiroshi Nakagawa, Toshihiro Hasegawa	2016	GlobalChangeBiology, 22(3), p. 1256-1270

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>111044</u>	Causes of variation among rice models in yield response to CO ₂ examined with Free-Air CO ₂ Enrichment and growth chamber experiments	Toshihiro Hasegawa, Tao Li, Xinyou Yin, Yan Zhu, Kenneth Boote, Jeffrey Baker, Simone Bregaglio, Samuel Buis, Roberto Confalonieri, Job Fugice, Tamon Fumoto, Donald Gaydon, Soora Naresh Kumar, Tanguy Lafarge, Manuel Marcaida, Yuji Masutomi, Hiroshi Nakagawa, Philippe Oriol, Françoise Ruget, Upendra Singh, Liang Tang, Fulu Tao, Hitomi Wakatsuki, Daniel Wallach, Yulong Wang, Lloyd Ted Wilson, Lianxin Yang, Yubin Yang, Hiroe Yoshida, Zhao Zhang, Jianguo Zhu	2017	ScientificReports, 7:14858
111045	Impacts of climate changes on the temperature of paddy waters.	Ohta S, Kimura A.	2007	AgriculturalandForestMeteorology147(2007)186-198
<u>111046</u>	Genotypic variation in the response to high water temperature during vegetative growth and the effects on rice productivity under a cool climate	Kakeru Horai, Ayako Ishii, Hiroyuki Shimono	2013	CropsResearch, 162, p. 12-19
<u>111047</u>	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト －農業分野における温暖化緩和技術の開発－ －地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発－ －地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価－	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557
111048	Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models.	Masutomi Y, Takahashi K, Harasawa H, Matsuoka Y.	2009	Agriculture, EcosystemsandEnvironment131(2009)281-291

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>111049</u>	Fluctuations in Rice Productivity Caused by Long and Heavy Rain Under Climate Change in Japan: Evidence from Panel Data Regression Analysis	Yoji Kunimatsu, Ryoji Kudo	2015	JIRCAS, 49(2), p. 159-172
<u>111050</u>	冠水が水稻品種「あきたこまち」の収量および玄米品質に及ぼす影響	三浦一将・進藤勇人・三浦恒子・佐野広伸	2016	第242回日本作物学会講演会, p. 17-
<u>111051</u>	洪水時の流域管理に向けた水田域の水稻被害推定手法	皆川裕樹・北川巖・増本隆夫	2016	農業農村工学会論文集, 303(84-3), p. I_271-I_279
112001	Overview of Recent Effects of Global Warming on Agricultural Production in Japan	Sugiura T, Sumida H, Yokoyama S, Ono H	2012	農業環境技術研究所・農業・食品産業技術総合研究機構プレスリリース
112002	温暖化がわが国の野菜・花き生産に及ぼしている影響の現状について	杉浦俊彦、住田弘一、横山繁樹、小野洋	2006	園芸学雑誌 75
<u>112003</u>	平成29年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2018	—
<u>112004</u>	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト — 農業分野における温暖化緩和技術の開発 — — 地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発 — — 地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価 —	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557
<u>112005</u>	ブロッコリーに発生するブラウンビーズはなぜ問題か	中村憲太郎	2014	10月のニュース試験場だより 458号(平成26年11月号)
112006	平成20年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
112007	「福井県から見る地球温暖化」調査研究報告書	福井県衛生環境研究センター	2012	—
<u>112008</u>	宮崎県農水産業地球温暖化対応方針	宮崎県農政水産部	2012	—
<u>112009</u>	夏秋雨よけトマト栽培における裂果軽減技術(第I報)	木村真美・藤谷信二・一万田賢治	2012	大分県農林水産研究指導センター研究報告(農業研究部編), 2, p. 23-42
<u>112010</u>	気温変化が野菜栽培に与える影響の予測手法の検討—生産費からのアプローチ—	小林 慎太郎, 古家 淳, 山本 由紀代, 米満 彩	2013	システム農学, 29(1), p. 11-22
<u>112011</u>	第9次熊本県野菜振興計画書～稼げる野菜農家経営の実現に向けて～	熊本県	2015	—
<u>112012</u>	Effect of temperature on development of primary axillary flower bunch in strawberry bench culture	K. Yamazaki, H. Kumakura, H. Hamamoto	2014	ActaHorticulturae, 1049, p. 809-812

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>112013</u>	気候変化レポート 2015 ー関東甲信・北陸・東海地方ー	気象庁	2016	ー
<u>112014</u>	イチゴのクラウン温度制御実証技術マニュアル	栗原地域農業研究・普及協議会	2011	ー
<u>112015</u>	気候変動に対応したイチゴの栽培技術、品質保持技術の確立	岐阜県農業技術センター 野菜・果樹部	2017	平成29年度岐阜県農業技術センター年報, p. 11-12
<u>112016</u>	農業技術体系 花卉編3 環境要素とその制御. 農業技術大系 花卉編	農村漁村文化協会	1995	ー
<u>112017</u>	温度が夏秋ギク‘精雲’の開花遅延と貫生花の発生に及ぼす影響および貫生花発生率の減少対策	谷川孝弘・松井洋・小林泰生	2009	園芸学研究. 8(4), p. 495-501
<u>112018</u>	抽苔長と結球葉数の関係に基づく暖候期レタスの生産成立条件の定式化および温暖化影響評価マップ表示	岡田 邦彦・大原 源二	2012	農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集 (CD-ROM), 2012
<u>112019</u>	オープントップチャンパ内で観察されたキャベツ・レタス1次生産力に及ぼす高炭酸ガス濃度・高温の影響	岡田邦彦	2010	園芸学研究, 9(別2), p. 236-236
<u>112020</u>	ハウレンソウの花芽分化および抽台に及ぼす適温長日条件と短日高温条件の影響	山崎 敬亮・岡田 邦彦	2004	園芸学会雑誌別冊, 73(2), p. 191
<u>112021</u>	Dynamic Panel Data Analysis of the Impacts of Climate Change on Agricultural Production in Japan	Suminori Tokunaga, Mitsuru Okiyama, Maria Ikegawa	2015	JapanAgriculturalResearchQuarterly, 49(2), p. 149-157
<u>112022</u>	気候変動によるスイートピーへの影響調査	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務報告書, p. 6-1-6-67
113001	Overview of Recent Effects of Global Warming on Agricultural Production in Japan	Sugiura T, Sumida H, Yokoyama S, Ono H	2012	農業環境技術研究所・農業・食品産業技術総合研究機構プレスリリース
<u>113002</u>	農林水産業における気候変動影響に関する調査	みずほ情報総研	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書, p. 15-40
113003	地球温暖化が果樹栽培に与える影響と対策	杉浦俊彦	2009	ー
113004	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	ー
113005	農業に対する温暖化の影響の現状に関する調査	杉浦俊彦、住田弘一、横山繁樹、小野洋	2006	ー

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
113006	Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change.	Sugiura T, Ogawa H, Fukuda N, Moriguchi T.	2013	SCIENTIFICREPORTS 3:2418
113007	温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状	杉浦俊彦、黒田治之、杉浦裕義	2007	園学研. (Hort. Res. (Japan))6(2):257-263. 2007.
113008	地球温暖化影響調査レポート10	農林水産省	2018	—
113010	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト —農業分野における温暖化緩和技術の開発— —地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発— —地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価—	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ557
113011	気温上昇が千葉県内におけるニホンナシ‘幸水’の休眠期と開花期に及ぼす影響	戸谷智明・川瀬信三	2011	園芸学研究, 10(4), p. 531-536
113012	温帯落葉果樹の休眠制御における低温シグナルの機能に関する研究	菅谷純子	2014	科学研究費助成事業研究成果報告書
113013	Comparative phenology of dormant Japanese pear (<i>Pyrus pyrifolia</i>) flower buds: a possible cause of 'flowering disorder'	A. Ito, T. Sakaue, O. Fujimaru, A. Iwatani, T. Ikeda, D. Sakamoto, T. Sugiura, T. Moriguchi	2018	TreePhysiology, 38(6), p. 825-839
113014	Prediction of Skin Coloration of Grape Berries from Air Temperature	Toshihiko Sugiura, Mikio Shiraishi, Shohei Konno, Akihiko Sato	2018	TheHorticultureJournal, 87(1), p. 18-25
113015	Impact assessment of global warming on past changes in coloring of grape berry skins by using a model for estimating berry skin coloring	T. Sugiura, D. Sakamoto, Y. Koshita, H. Sugiura, S. Konno	2017	ISHSActaHorticulturae1160, p. 341-347
113016	気候変動による北海道におけるワイン産地の確立—1998年以降のピノ・ノワールへの正の影響—	広田知良・山崎太地・安井美裕・古川準三・丹羽勝久・根本学・濱寄孝弘・下田星児・菅野洋光・西尾善太	2017	生物と気象, 17, p. 34-45
113017	Changes in locations suitable for satsuma mandarin and tankan cultivation due to global warming in Japan	T. Sugiura, D. Sakamoto, Y. Koshita, H. Sugiura, T. Asakura	2016	ISHSActaHorticulturae1130, p. 91-94
113018	気候変動が果樹生産適地に及ぼす影響に係る影響評価	みずほ情報総研	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書, p. 177-218

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>113019</u>	ウンシュウミカンの着花変動を指標とした温度環境適応性における品種間差異	小野拓生・岩崎直人	2010	園芸学研究, 9(2), p. 143-152
<u>113020</u>	温度制御下における 2℃の気温上昇がカンキツの生理落果に及ぼす影響.	佐藤景子・奥田 均・岩崎光徳・米本仁己・深町浩・高原利雄	2010	園芸学研究, 9(2), p. 159-164
<u>113021</u>	Future risk of frost on apple trees in Japan	Yoshimitsu Masaki	2020	ClimaticChange, 159, p. 407-422
<u>113022</u>	気温上昇や気象災害によるリンゴへの影響調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書, p. 1-34
<u>113023</u>	Assessment of deterioration in skin color of table grape berries due to climate change and effects of two adaptation measures	Toshihiko Sugiura, Mikio Shiraiishi, Shohei Konno, Akihiko Sato	2019	JournalofAgriculturalMeteorology, 75 (2), p. 67-75
<u>113024</u>	Prediction of climatic suitability for wine grape production under the climatic change in Hokkaido	Manabu Nemoto, Tomoyoshi Hirota, Tomonori Sato	2016	JournalofAgriculturalMeteorology, 72 (3-4), p. 167-172
113025	気候温暖化は 30 年後の果樹生産にどんな影響を及ぼすか(第 2 報)～近年の生育障害の特徴と将来の温度環境予測～	山梨県果樹試験場プロジェクト	2006	—
113026	気候温暖化は 30 年後の果樹生産にどんな影響を及ぼすか(第 3 報)～発育速度モデルによる果樹生育の将来予測～	齊藤典義	2008	—
<u>113027</u>	暖冬によるナシ栽培への影響調査	株式会社地域計画建築研究所(アルパック)・国立大学法人鳥取大学	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書, p. 4-28
<u>113028</u>	夏期の高湿および土壌乾燥がニホンナシ「にっこり」の水浸状果肉障害発生に及ぼす影響並びにその発生軽減技術	北原智史・石下康仁・大谷義夫	2016	栃木県農業試験場研究報告, 74, p. 1-8
<u>113029</u>	温暖化時代における果樹生活環の安定化—休眠芽のレドックスと水の動態制御の分子機構	弦間洋	2010	科学研究費補助金研究成果報告書
114001	小麦作への温暖化の影響と対策技術	中園江	2010	農林水産技術研究ジャーナル, 33(8)10-14, 2010
<u>114002</u>	環境変動が国内の農業生産に及ぼす影響とその対策	中川博視	2014	作物研究, 59, p. 55-58
<u>114003</u>	埼玉県におけるコムギの生育, 収量および収量構成要素と気象変動の関係	箕田豊尚・小林和彦・平沢正	2015	日本作物学会紀事, 84(3), p. 285-294

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
114004	埼玉県の畑作試験圃場におけるコムギ「農林 61 号」の収量に対する気象条件の影響	箕田農尚	2010	日作紀 (Jpn. J. CropSci.) 79(1)62-68 (2010)
114005	平成 22 年 異常高温・多雨等が農畜産物に与えた影響と今後の対策	北海道農政部食の安全推進局技術普及課	2011	—
114006	北部九州における気象条件との関係に基づいたコムギの収量向上の方策	西尾善太・内川 修・西岡廣泰・杉田知彦・岡見 翠・松中 仁・塔野岡卓司・中村和弘	2017	日本作物学会紀事, 86 (2) , p. 139-150
114007	2010 年の夏季異常高温が東北地域におけるダイズの生育、収量、品質に及ぼした影響	松波寿典、井上一博、工藤忠之、伊藤信二、長沢和弘、柴田康志、神崎正明、千田洋、二瓶直登、荒井義光、小林浩幸、山下伸夫	2013	日作紀 (Jpn. J. CropSci.) 82(4)386-396 (2013)
114008	2010 年に多発した裂皮粒による新潟県産ダイズの品質低下について	服部誠・藤田与一・堀武志・川上修・南雲芳文・樋口泰浩・高橋能彦	2012	日本作物学会講演会要旨集, 第 234 回日本作物学会講演会, p. 300-301
114009	北部九州におけるダイズの収量と気象条件との関係	内川修、福島裕助、松江勇次	2003	日作紀 (Jpn. J. CropSci.) 72(2)203-209 (2003)
114010	発育予測モデルとメッシュ気象データを利用したダイズの乾燥ストレス発生リスクの広域評価	中野聡史・大野宏之・島田信二	2017	生物と気象, 17, p. 55-63
114011	近年の気温と降水量が飼料用トウモロコシの病害発生と乾物収量に及ぼす影響 (2001~2012 年)	宇敷真子、横澤将美、高橋朋子	2013	群馬畜試研報第 20 号 (2013)
114012	関東南部におけるサイレージ用トウモロコシ(Zea mays L.) 二期作の品種の組み合わせ	折原健太郎	2017	日本草地学会誌 62 (4) , p. 181-188
114013	平成 29 年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2018	-
114014	夏季の干ばつが翌年一番茶に及ぼす影響	中野敬之	2017	静岡県農林技術研究所茶業研究センター平成 2 年度研究成果発表会
114015	東海地域を中心にみた茶生産の現状と展望	松尾喜義・大石哲也	2010	日本作物学会紀事, 79(2) , p. 231-240
114016	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト — 農業分野における温暖化緩和技術の開発 — — 地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発 — — 地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価 —	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>114017</u>	Influence of Higher Growing-season Temperatures on Yield Components of Winter Wheat	Zenta Nishio, Miwako Ito, Tadashi Tabiki, Koichi Nagasawa, Hiroaki Yamauchi, and Tomoyoshi Hirota	2013	CropScience, 53, p. 621-628
<u>114018</u>	Effects of elevated CO ₂ concentration and temperature on seed production and nitrogen concentration in soybean (Glycine max (L.) Merr.)	Etsushi Kumagai, Custodio P. Tacarindua, Koki Homma, Tatsuhiko Shiraiwa, Ryoji Sameshima	2012	JournalofAgriculturalMeteorology, 68(1), p. 1-13
<u>114019</u>	The response of soybean seed growth characteristics to increased temperature under near-field conditions in a temperature gradient chamber	Custodio R.P. Tacarindua, Tatsuhiko Shiraiwa, Koki Homma, Etsushi Kumagai, Ryoji Sameshima	2012	FieldCropsResearch, 131, p. 26-31
<u>114020</u>	ダイズ品種の発育モデルの作成と気温上昇が発育速度に及ぼす影響の広域推定	中野聡史・熊谷悦史・島田信二・鮫島良次・大野宏之・本間香貴・白岩立彦	2015	日本作物学会紀事, 84(4), p. 408-417
<u>114021</u>	気候変動による能登大納言小豆の生育への影響調査【石川県】	一般財団法人日本気象協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム中部地域事業委託業務成果報告書, p. 75-94
<u>114022</u>	降水量等の変化による丹波黒大豆への影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務成果報告書, p. 75-94
114023	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編	2011	北海道立総合研究機構農業試験場資料第39号
<u>114024</u>	Actual and Potential Yield Levels of Potato in Different Production Systems of Japan	T. Deguchi, K. Iwama, A. J. Haverkort	2016	PotatoResearch, 59, p. 207-225
114025	地球温暖化が牧草の地域区分と生産量に及ぼす影響	佐々木寛幸、神山和則、須山哲男、福山正隆	2003	畜産草地研究所研究報告4: 33-47.
<u>114026</u>	飼料用トウモロコシ栽培の今後の展望	菅野勉	2014	農業食料工学会誌, 76(5), p. 353-359
<u>114027</u>	最新の気象予測データに基づく関東地域におけるトウモロコシ (Zea mays L.) 二期作適地の変化予測	菅野勉・森田聡一郎・佐々木寛幸・西村和志・西森基貴	2017	日本草地学会誌, 63(2), p. 81-88

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
114028	夏季の高温・少雨による茶栽培への影響調査	パシフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務成果報告書, p. 1-1-1-63
114029	The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber.	Tacarindua C R P, Shiraiwaa T, Homma K, Kumagai E, Sameshima R	2013	Field Crops Research, 154, 74-81.
115001	平成25年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2013	—
115002	高泌乳牛の代謝特性と暑熱ストレスの影響	久米新一	2011	畜産の研究, 65(9), p. 881-891
115003	平成29年地球温暖化影響調査レポート	農林水産省	2018	—
115004	夏場の乳牛の飼養管理について	高橋強	2017	牧草と園芸, 65(3), p. 22-26
115005	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
115006	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト — 農業分野における温暖化緩和技術の開発 — — 地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発 — — 地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価 —	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557
115007	Relation of Calcium Activity in Milk and Milk Production of Holstein Cows in Hot Season	Masahito Tanaka, Tomoyuki Suzuki, Saber Kotb, Yuko Kamiya	2011	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 24(10), p. 1372-1376
115008	日本飼養標準乳牛	農業・食品産業技術総合研究機構	2017	中央畜産会, pp. 253 【p. 78-81】
115009	Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows	F. De Rensis, I. Garcia-Ispierto, F. López-Gatiús	2015	Theriogenology, 84(5), p. 659-666
115010	酪農及び肉牛生産の総合生産性に対する温暖化の影響	國光洋二	2016	農業経済研究, 87(4), p. 347-352
115011	暑熱環境が黒毛和種去勢肥育牛の飼料摂取量、発育、血液成分および飼料消化性に及ぼす影響	前田友香・西村慶子・中武好美・寺田文典・櫛引史郎	2017	日本畜産学会報, 88(3), p. 281-291
115012	暑熱ストレスが肥育豚の深部体温と消化吸収能力に及ぼす影響	松本光史・村上斉・阪谷美樹・井上寛暁・梶雄次	2010	日本養豚学会誌, 47(4), p. 240
115013	暑熱環境が肥育後期豚の深部体温と消化吸収能力に及ぼす影響	松本光史・村上斉・阪谷美樹・井上寛暁・梶雄次	2008	栄養生理研究会報, 52(2)別刷, p. 43-48

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>115014</u>	暑熱環境下におけるグルコースおよび多糖類分解性酵素の給与が肥育豚の発育成績、飼料の消化率および酸化ストレスに及ぼす影響	芦原茜・石田藍子・京谷隆侍・勝俣昌也	2014	日本養豚学会誌, 51(2), p. 63-67
<u>115015</u>	豚液状精液人工授精におけるカフェイン添加による暑熱期の分娩率低下の改善	山口昇一郎・金子和典・川島幸子・竹村陽・増本憲考・笠正二郎・舟橋弘晃・吉岡耕治	2017	日本養豚学会誌, 54(4), p. 155-160
<u>115016</u>	Effect of High Environmental Temperature on Egg Production, Serum Lipoproteins and Follicle Steroid Hormones in Laying Hens	Nami Yoshida, Masanori Fujita, Munehiro Nakahara, Teppei Kuwahara, Shin-Ichi Kawakami, Takashi Bungo	2011	The Journal of Poultry Science, 48(3), p. 207-211
<u>115017</u>	日本に新たに侵入した牛のアルボウイルス (2005年9月15日プレスリリース)	農業・食品産業技術総合研究機構	2005	—
<u>115018</u>	Detection of Culicoides brevitarsis Activity in Kyushu	Tohru Yanase, Miki Hirata, Yoichi Matsumori, Masaya Matsumura, Tomoko Kato, Hiroaki Shirafuji, Makoto Yamakawa, Yoko Hayama, Toshiyuki Tsutsui	2011	The Journal of Veterinary Medical Science, 73(12), p. 1649-1652
<u>115019</u>	Surveillance of Culicoides biting midges in northern Honshu, Japan, during the period of Akabane virus spread	Tohru Yanase, Yoko Hayama, Hiroaki Shirafuji, Toshiyuki Tsutsui, Yutaka Terada	2019	The Journal of Veterinary Medical Science, 81(10), p. 1496-1503
115020	わが国のホルスタイン種育成雌牛の夏季増体量に及ぼす温暖化の影響	野中最子、山崎信、田鎖直澄、樋口浩二、永西修、寺田文典、栗原光規	2010	日本畜産学会報 81 : 29-35.
<u>115021</u>	育成前期乳牛の生理および窒素・エネルギー代謝に及ぼす高温高湿の影響	野中最子・樋口浩二・田鎖直澄・田島清・鎌田八郎・栗原光規	2012	日本畜産学会報, 83(2), p. 133-144
115022	地球温暖化が肥育豚の飼養成績に及ぼす影響 — 「気候温暖化メッシュデータ (日本) 」によるその将来予測—	高田良三、山崎 信、杉浦俊彦、横沢正幸、大塚誠、村上斉	2007	日本畜産学会報 79(1) 59-65, 2008
115023	平均気温の変動から推定したわが国の鶏肉生産に対する地球温暖化の影響	山崎信、村上斉、中島一喜、阿部啓之、杉浦俊彦、横沢正幸、栗原光規	2005	日本畜産学会報 77(2) 231-235, 2006
<u>115024</u>	気温上昇が家畜の繁殖率や成長に与える影響調査	株式会社地域計画建築研究所 (アルパック) ・国立大学法人広島大学	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書, p. 29-65
116001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
116002	Distribution range shift of two allied species, <i>Nezara viridula</i> and <i>N. antennata</i> (Hemiptera: Pentatomidae), in Japan, possibly due to global warming.	Yukawa J, Kiritani K, Gyotoku N, Ueichi N, Yamaguchi D, Kamitani S.	2007	Appl. Entomol. Zool. 42(2):205-215 (2007)
116003	Northward range expansion by <i>Nezara viridula</i> (Hemiptera: Pentatomidae) in Shikoku and Chugoku Districts, Japan, possibly due to global warming.	Yukawa J, Kiritani K, Kawasawa T, Higashiura, Y., Sawamura, N., Nakada, K., Gyotoku, N., Tanaka, A., Kamitani, S., Matsuo, K., Yamauchi, S., & Takematsu, Y	2009	Appl. Entomol. Zool. 44(3):429-437 (2009)
<u>116004</u>	愛知県におけるミナミアオカメムシの発生とダイズの被害状況	小出 哲哉・山口 和広・大野 徹・森本 健次	2010	関西病虫害研究会報, 52, p. 163-165
<u>116005</u>	我が国におけるミナミアオカメムシの最近の分布および発生状況	水谷信夫	2013	植物防疫, 67(11), p. 595-601
<u>116006</u>	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト —農業分野における温暖化緩和技術の開発— —地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発— —地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価—	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557
<u>116007</u>	Annual fluctuations in the immigrant density of rice planthoppers, <i>Sogatella furcifera</i> and <i>Nilaparvata lugens</i> (Hemiptera: Delphacidae), in the Kyushu district of Japan, and associated meteorological conditions	Shin-ichirou Syobu, Akira Otuka, Masaya Matsumura	2012	AppliedEntomologyZoology, 47, p. 399-412
<u>116009</u>	Ecology of the Maize Orange Leafhopper, <i>Cicadulina bipunctata</i> (Melichar) (Hemiptera: Cicadellidae)	Keiichiro Matsukura, Masaya Matsumura	2013	JapanAgriculturalResearchQuarterly, 47(4), p. 365-369
<u>116010</u>	オオタバコガの休眠性の地理的変異と遺伝子発現に関する生態遺伝学的研究	藤崎憲司	2005	平成14年度～平成16年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(1))研究成果報告書
<u>116011</u>	地球温暖化と南方性害虫. II. 休眠と越冬(6. オオタバコガの耐寒性に及ぼす休眠誘導の違い)	積木久明	2011	—
<u>116012</u>	オオタバコガの発生と見分け方	農林水産省	1998	植物防疫病虫害情報第55号
<u>116013</u>	イネ紋枯病による水稻の収量および白未熟粒に対する被害解析	井上博喜・宮坂篤・川上顕・笹谷孝英・平八重一之	2015	九州病虫害研究会報, 61, p. 1-6

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>116014</u>	レタス根腐病の被害軽減技術の開発と実証	岩間 俊太	2016	植物防疫, 70(4)
<u>116015</u>	気候変動にともなう飼料作物病害の発生状況	月星隆雄	2012	平成 24 年度自給飼料利用研究会—気候変動に対応した自給飼料の生産・利用の展開—, 畜産草地研究所, p. 19-24
116016	九州地方に発生したコヒメビエの小穂と穂の形態と低温での種子の死亡条件から推定した定着不可能地点	森田弘彦	1996	雑草研究 Vol. 41(2)90~97(1996)
<u>116017</u>	北海道の気候条件から見た土壌凍結深制御による野良イモ防除の作業日程	矢崎友嗣・広田知良・鈴木剛・白旗雅樹・岩田幸良・井上聡・臼木一英.	2012	生物と気象, 12, p. 12-20
<u>116018</u>	温暖化による雑草の分布変化：イネ科多年生雑草チガヤの例	富永達	2013	京大農場報告, 22, p. 13-15
<u>116019</u>	Current and potential distribution of <i>Senecio madagascariensis</i> Poir. (fireweed), an invasive alien plant in Japan	Michio Tsutsumi	2011	GrasslandScience, 57(3), p. 150-157
<u>116020</u>	本邦土壌中のアフラトキシン生産菌群の分布	真鍋勝・鶴田理・田中健治・松浦慎治	1976	日本菌学会会報, 17, p. 436-444
116021	日本産昆虫、ダニの発育零点と有効積算温度定数：第 2 版	桐谷圭治	2012	農業環境技術研究所報告第 31 号
116022	A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones.	Yamamura K, Kiritani K.	1998	Appliedentomologyandzoology33(2), 289-298
<u>116023</u>	Dissecting insect responses to climate warming: overwintering and post-diapause performance in the southern green stink bug, <i>Nezara viridula</i> , under simulated climate-change conditions	Katsuaki Takeda, Dmitry L. Musolin, Kenji Fujisaki	2010	PhysiologicalEntomology, 35, p. 343-353
116024	Prediction of a geographical shift in the prevalence of rice stripe virus disease transmitted by the small brown planthopper, <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae), under global warming.	Yamamura K, Yokozawa M.	2002	Appl. Entomol. Zool. 37(1):181-190(2002)
116025	How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields.	Yamamura K, Yokozawa M, Nishimori M, Ueda Y, Yokosuka T.	2006	PopulEcol(2006)48:31-48
116026	近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育等に及ぼす影響に関する資料集	農林水産省	2002	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>116028</u>	Estimation of climatic factors relating to occurrence of the maize orange leafhopper, <i>Cicadulina bipunctata</i>	Keiichiro Matsukura, Kazuhiro Yoshida, Masaya Matsumura	2012	PopulationEcology, 54(3), p. 397-403
<u>116029</u>	Future risk of maize orange leafhopper <i>Cicadulina bipunctata</i> and maize wallaby ear symptom in temperature Japan	Keiichiro Matsukura, Kazuhiro Yoshida, Masaya Matsumura	2016	PopulationEcology, 58, p. 241-248
<u>116030</u>	JPP-NET が提供する有効積算温度計算シミュレーションを用いた大阪府でのオオタバコガ成虫の羽化ピーク日予測	金子修治・城塚可奈子・柴尾学	2017	関西病虫研報 (59), p. 105-108
<u>116031</u>	ミナミアオカメムシの高温障害	藤崎憲司	2010	植物防疫, 64(7), p. 434-438
<u>116032</u>	Collapse of Insect Gut Symbiosis under Simulated Climate Change	Yoshitomo Kikuchi, Akiyo Tada, Dmitry L. Musolin, Nobuhiro Hari, Takahiro Hosokawa, Kenji Fujisaki, Takema Fukatsu	2016	ClimateChange. AmericanSocietyForMicrobiology, 7(5), e01578-16
<u>116033</u>	高温がジャガイモヒゲナガアブラムシ（カメムシ目：アブラムシ科）とダイズアブラムシ（カメムシ目：アブラムシ科）の発育と増殖に及ぼす影響	菊池孝伸・加藤寛・香川清彦・園田昌司・村井保	2018	日本応用動物昆虫学会誌, 62(1), pp. 41-46
116034	Effects of Elevated Atmospheric CO ₂ Concentration on the Infection of Rice Blast and Sheath Blight.	Kobayashi T, Ishiguro K, Nakajima T, Kim H K, Okada M, Kobayashi K.	2006	PHYTOPATHOLOGYVol. 96, No. 4, 2006
<u>116035</u>	An Application of a Physical Vegetation Model to Estimate Climate Change Impacts on Rice Leaf Wetness	Ryhei Yoshida, Yumi Onodera, Takamasa Tojo, Takeshi Yamazaki	2015	JournalofAppliedmeteorologyandclimateology, 54
<u>116036</u>	Soil frost depth change in eastern Hokkaido under +2 K world climate scenarios	Inatsu, M., J. Tominaga, Y. Katsuyama, and T. Hirota,	2016	SOLA, 12, p. 153-158
<u>116037</u>	IPCC Expert Meeting on Climate Change, Food, and Agriculture Meeting Report	International Panel on Climate Change (IPCC)	2015	—
<u>116038</u>	茨城県および千葉県内の畑土壌における <i>Aspergillus flavus</i> および <i>A. parasiticus</i> の分布調査	斉藤道彦・岡崎博・田中健治・久城真代	2008	食品総合研究所研究報告. 72, p. 77-81.
<u>116039</u>	千葉県におけるスクミリンゴガイの発生状況と防除対策、および予察法の検討について	松下みどり	2015	植物防疫, 69(3), p. 152-154
<u>116040</u>	気温データを用いたスクミリンゴガイの水田における越冬死亡率の推定	菖蒲信一郎・御厨初子・山口純一郎・松崎正文・善正二郎・和田節	2001	日本応用動物昆虫学会誌, 45(4), p. 203-207
<u>116041</u>	「ツマジロクサヨトウ」防除マニュアル本編（第1版）	農林水産省消費・安全局植物防疫課 横浜植物防疫所	2020	—
117001	農業水利における地球温暖化対応のための気象・水文事象の評価	高橋順二、加藤敬、北村浩二、小山潤	2008	農業農村工学会誌 vol. 76No. 102008

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
117002	わが国の年降水量の変動について	近森邦英、紙井泰典	2000	農業土木学会誌 Vol. 68No. 42000
117003	豪雨・渇水に対する備えと対応（参考事例集）ため池編	農林水産省 農村振興局	2013	—
117004	豪雨に対する備えと対応（参考事例集）排水機場編	農林水産省 農村振興局	2013	—
117005	気象の極端化のウンシュウミカンへの影響を軽減する「マルドリ方式」	島崎昌彦、草場新之助、根角博久、森永邦久	2013	農業農村工学会誌 vol. 81No. 42013
117006	神流川沿岸地区における水稲高温障害に対する農業用水管理	志野尚司、柄澤昭司、田澤裕之、山本和雄	2013	農業農村工学会誌 vol. 81No. 42013
117007	猛暑に対応した水稲作付け体系が用水需要変動に及ぼす影響	坂田賢、友正達美、内村求	2013	Water, Land and Environ. Eng. Apr. 2013
117008	「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験	竹下伸一、池上勝、平山嘉一郎、土田利一	2013	農業農村工学会誌 vol. 81No. 42013
117009	掛流し灌漑による高温障害対策時の用排兼用水路の水温形成	木村匡臣、飯田俊彰、光安麻里恵、久保成隆	2013	農業農村工学会誌 vol. 81No. 42013
117010	水田地域を多く含む流域における農業用水の温度変化	新村麻実、谷口智之	2013	農業農村工学会誌 vol. 81No. 42013
117011	Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5	Ryoji Kudo, Takeo Yoshida, Takao Masumoto	2017	Hydrological Research Letters, 11(1), p. 31-36
117012	気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性	工藤亮治・吉田武郎・堀川直紀・増本隆夫・名和規夫	2016	応用水文, 28, p. 11-20
117013	気候変動に伴うわが国の農業用水・土地改良施設への影響	室本隆司、桑原耕一	2011	農業農村工学会誌 vol. 79No. 122011
117014	我が国の水利用の現状と気候変動リスクの認識	国土交通省	2008	—
117015	地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発	農林水産省 農林水産技術会議事務局	2011	—
117016	気候変動と水田の水利用	増本隆夫	2012	Journal of Rainwater Catchment Systems. Vol. 17, No. 2, pp. 79-85
117017	地球温暖化により豪雨や農地の洪水リスクは増加するのか	皆川裕樹、増本隆夫	2012	手取川流域の明日を目指して一人々の生活を支える水循環一, 石川県立大出版会, pp. 34-38

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
117018	気候変動がため池群の洪水緩和効果に与える影響の評価	吉迫 宏、皆川裕樹、増本隆夫	2013	平成 25 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、pp.518-519
117019	温暖化に伴う降水量と内部波形変化の予測と低平地排水への影響	皆川裕樹、増本隆夫	2012	石川県立大出版会、pp.23-32
117020	Variability in Intensity of Heavy Rainfall due to Climate Change and its Impact on Paddy Inundation in Low-lying Areas of Japan.	Minakawa H, Masumoto T.	2013	IrrigationandDrainage, 62, pp.679-686
<u>117021</u>	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト －農業分野における温暖化緩和技術の開発－ －地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発－ －地球温暖化が農林水産分野に与える経済的影響評価－	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 557
<u>117022</u>	低平水田域における豪雨排水に関するリスクとその不確実性の評価法	皆川裕樹・池山和美・北川 巖・増本隆夫	2018	農業農村工学会論文集, 307(86-2), p. I_175-I_184
<u>117023</u>	気候シナリオの不確実性を反映させた豪雨の確率評価法	皆川裕樹・工藤亮治・増本隆夫	2018	農業農村工学会論文集, 307, p. I_163- I_173
<u>117024</u>	Landslides in a changing climate	Gariano, S.L., Guzzetti, F	2016	Earth-ScienceReviews, 162, p. 227-252
<u>117025</u>	近年の地すべり災害の傾向と今後の課題	丸山清輝	2011	地質と調査, 2, p. 15-19
<u>117026</u>	河口低平農地における高潮氾濫モデルに関する研究	桐博英	2012	農村工学研究所報告, 51, p. 109-164
<u>117027</u>	気候変動がため池に及ぼす影響及び中長期的な適応策の検討に関する参考情報	農林水産省農村振興局農村環境課	2016	—
<u>117028</u>	気候変動による水害リスクの評価	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務報告書, p. 3-1-3-52
117029	モンスーンアジアの稲作と水文環境を考慮した温暖化適応策	増本隆夫	2009	ARDEC, No. 41, pp. 39-43
<u>118001</u>	Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961-2014	Michael Matiu, Donna P. Ankerst, Annette Menze	2017	PLoSOne, 12(5)
<u>118002</u>	Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981-2010 compared with preindustrial levels	Toshichika Iizumi, Hideo Shiogama, Yukiko Imada, Naota	2018	InternationalJournalofclimatology

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Hanasaki, Hiroki Takikawa, Motoki Nishimori		
<u>118003</u>	The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health	Nick Watts, Markus Amann, Sonja Ayeb-Karlsson, Kristine Belesova, Timothy Bouley, et. al.	2018	www.thelancet.com
<u>118004</u>	Emerging adaptation to climate change in agriculture.	Iizumi T	2019	Iizumi T, Hirata R, Matsuda R (eds) Adaptation to Climate Change in Agriculture - Research and Practices, Springer Nature, Singapore, p3-16
<u>118005</u>	Farm-level adaptation to climate change in Western Bangladesh: An analysis of adaptation dynamics, profitability and risks	Kabir MJ, Alauddin M, Crimp	2017	Land Use Policy 64:212-224
<u>118006</u>	海外食料需給レポート 2016	農林水産省	2017	—
<u>118007</u>	The Impact of Russia's 2010 Grain Export Ban	Welton,	2011	Oxfam
<u>118008</u>	Global Patterns of Crop Production Losses Associated with Droughts from 1983 to 2009	Wonsik Kim, Toshichika Iizumi, Motoki Nishimori	2019	Journal of Applied Meteorology and Climatology, 58, p. 1233-1244
<u>118009</u>	Climate variation explains a third of global crop yield variability	Deepak K. Ray, James S. Gerber, Graham K. MacDonald, Paul C. West	2015	Nature Communications, 6, Article number: 5989
<u>118010</u>	Anthropogenic Enhancement of Moderate-to-Strong El Niño Events Likely Contributed to Drought and Poor Harvests in Southern Africa During 2016	Chris Funk, Frank Davenport, Laura Harrison, Tamuka Magadzire, Gideon Galu, Guleid A. Artan, et al.	2018	Bull. Amer. Meteor. Soc., 99, S91-S96
<u>118011</u>	A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation	A. J. Challinor, J. Watson, D. B. Lobell, S. M. Howden, D. R. Smith, N. Chhetri	2014	Nature Climate Change, 4, p. 287-291

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>118012</u>	Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates	Chuang Zhao, Bing Liu, Shilong Piao, Xuhui Wang, David B. Lobell, Yao Huang, Mengtian Huang, Yitong Yao, Simona Bassu, Philippe Ciais, Jean-Louis Durand, Joshua Elliott, Frank Ewert, Ivan A. Janssens, Tao Li, Erda Lin, Qiang Liu, Pierre Martre, Christoph Müller, Shushi Peng, Josep Peñuelas, Alex C. Ruane, Daniel Wallach, Tao Wang, Donghai Wu, Zhuo Liu, Yan Zhu, Zaichun Zhu, and Senthold Asseng	2017	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114(35), p. 9326-9331
<u>118013</u>	Climate change adaptation cost and residual damage to global crop production	Toshichika Iizumi, Zhihong Shen, Jun Furuya, Tatsuji Koizumi, Gen Furuhashi, Wonsik Kim, Motoki Nishimori	2020	Climate Research, 80, p. 203-218
<u>118014</u>	A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO ₂ concentration	Makowski, D., et al	2015	Agricultural and Forest Meteorology, 214-215, 483-493
<u>118015</u>	Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison	Cynthia Rosenzweig, Joshua Elliott, Delphine Deryng, Alex C. Ruane, Christoph Müller, Almut Arneth, Kenneth J. Boote, Christian Folberth, Michael Glotter, Nikolay Khabarov, Kathleen Neumann, Franziska Piontek, Thomas A. M. Pugh, Erwin Schmid, Elke Stehfest, Hong Yang, James W. Jones	2014	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111(9), p. 3268-3273
<u>118016</u>	Integrating Plant Science and Crop Modeling: Assessment of the Impact of Climate Change on Soybean and Maize Production	Nándor Fodor, Andrew Challinor, Ioannis Droutsas, Julian Ramirez-Villegas, Florian Zabel, Ann-Kristin Koehler, Christine H. Foyer	2017	Plant Cell Physiol, 58(11), p. 1833-1847

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>118017</u>	Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks	Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Naylor, R.L., Ray, D.K.	2018	ProceedingsoftheNationalAcademyofSciences, 115, 6644-6649
<u>118018</u>	Climate change impact and adaptation for wheat protein	Senthold Asseng, Pierre Martre, Andrea Maiorano, Reimund P. Rötter, Garry J. O' Leary, Glenn J. Fitzgerald, Christine Girousse, Rosella Motzo, Francesco Giunta, M. Ali Babar, Matthew P. Reynolds, Ahmed M. S. Kheir, Peter J. Thorburn, Katharina Waha, Alex C. Ruane, Pramod K. Aggarwal, Mukhtar Ahmed, Juraj Balkovič, Bruno Basso, Christian Biernath, Marco Bindi, Davide Cammarano, Andrew J. Challinor, Giacomo De Sanctis, Benjamin Dumont, Ehsan Eyshi Rezaei, Elias Fereres, Roberto Ferrise, Margarita Garcia - Vila, Sebastian Gayler, Yujing Gao, Heidi Horan, Gerrit Hoogenboom, R. César Izaurralde, Mohamed Jabloun, Curtis D. Jones, Belay T. Kassie, Kurt-Christian Kersebaum, Christian Klein, Ann - Kristin Koehler, Bing Liu, Sara Minoli, Manuel Montesino San Martin, Christoph Müller, Soora Naresh Kumar, Claas Nendel, Jørgen Eivind Olesen, Taru Palosuo, John R. Porter, Eckart Priesack, Dominique Ripoche, Mikhail A. Semenov,	2019	GlobalChangeBiology, 25, p. 155-173.

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Claudio Stöckle, Pierre Stratonovitch, Thilo Streck, Iwan Supit, Fulu Tao, Marijn Van der Velde, Daniel Wallach, Enli Wang, Heidi Webber, Joost Wolf, Liujun Xiao, Zhao Zhang, Zhigan Zhao, Yan Zhu, Frank Ewert		
<u>118019</u>	Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan	Yasushi Ishigooka, Shin Ffukui, Toshihiro Hasegawa, Tsuneo Kuwagata, Motoki Nishimori, Motohiko Kondo	2017	JournalofAgriculturalMeteorology, 73(4), p. 156-173
<u>118020</u>	Spatially Distinct Response of Rice Yield to Autonomous Adaptation Under the CMIP5 Multi-Model Projections	Yonghee Shin, Eun-Jeong Lee, Eun-Soon Im, Il-Won Jung	2017	Asia-PacificJournalofAtmosphericSciences, 53(1), p. 21-30
<u>118021</u>	Simulated vs. empirical weather responsiveness of crop yields: US evidence and implications for the agricultural impacts of climate change	Malcolm N Mistry, Ian Sue Wing, Enrica De Cian	2017	EnvironmentalResearchLetters, 12(7), 075007
<u>118022</u>	Projecting yield changes of spring wheat under future climate scenarios on the Canadian Prairies	Budong Qian, Reinder De Jong, Ted Huffman, Hong Wang, Jingyi Yang	2016	Theoreticalandappliedclimatology, 123(3-4), p. 651-669

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>118023</u>	Australian wheat production expected to decrease by the late 21st century	Bin Wang, De L. Liu, Garry J. O'Leary, Senthold Asseng, Ian Macadam, Rebecca Lines - Kelly, Xihua Yang, Anthony Clark, Jason Crean, Timothy Sides, Hongtao Xing, Chunrong Mi, Qiang Yu	2017	GlobalChangeBiology, 24(6), p. 2403-2415
<u>118024</u>	The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO ₂	Zhenong Jin, Qianlai Zhuang, Jiali Wang, Sotirios V. Archontoulis, Zachary Zobel, Veerabhadra R. Kotamarthi	2017	GlobalChangeBiology, 23(7), p. 2687-2704
<u>118025</u>	Modelling soybean yield responses to seeding date under projected climate change scenarios	Q. Jing, T. Huffman, J. Shang, J. Liu, E. Pattey, M. Morrison, G. Jégo, B. Qian	2017	CanadianJournalofPlantScience, 97(6), p. 1152-1164
<u>118026</u>	Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems	Gabriel M. Abrahão, Marcos H. Costa	2018	AgriculturalandForestMeteorology, 256-257, p. 32-45
<u>118027</u>	Crop yield response to climate change varies with crop spatial distribution pattern	Guoyong Leng, Maoyi Huang	2017	ScientificReports, 7, Articlenumber:1463
<u>118028</u>	Assessment of deterioration in skin color of table grape berries due to climate change and effects of two adaptation measures	Toshihiko Sugiura, Mikio Shiraishi, Shohei Konno, Akihiko Sato	2019	JournalofAgriculturalMeteorology, 75(2), p. 67-75
121001	関東平野におけるスギ林衰退と土壌要因	伊藤江利子、吉永秀一郎、大貫靖浩、志知幸治、松本陽介、峠田宏	2002	森林立地 44 (2) , 2002, 37~43
121002	関東平野における樹木衰退の 1999 年~2001 年の状況	松本陽介、小池信哉、河原崎里子上村章、原山尚徳、伊藤江利子、吉永秀一郎、大貫靖浩、志知幸治、奥田史郎、石田厚、峠田宏	2002	森林立地 44 (2) , 2002, 53~62
121003	関東甲信・関西瀬戸内地方におけるスギの衰退現象	梨本真、高橋啓二	1991	森林立地 32 (2) 、1991、pp. 70~78
121004	スギの水分生理特性と関東平野における近年の気象変動-樹木の衰退現象に関連して-	松本陽介、丸山温、森川靖	1992	森林立地 34 (1) , 1992, pp. 2-13
121005	温暖化に対するスギ人工林の脆弱性マップ	松本陽介、重永英年、三浦覚、長倉淳子、峠田宏	2006	地球環境 11(1), 43-48.
<u>121006</u>	茨城県のスギ人工林における林分蒸散量に及ぼす飽差と土壌水分条件の影響	荒木眞岳・釣田竜也・阪田匡司・齊藤哲	2018	関東森林研究, 69-1, p. 67-68

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>121007</u>	森林生産性の傾向変化に寄与する気候的・非気候的要因	川口光倫	2014	日本生気象学会雑誌, 51(2), p. 71-82
<u>121008</u>	Evidence for environmentally enhanced forest growth	Jingyun Fang, Tomomichi Kato, Zhaodi Guo, Yuanhe Yang, Huifeng Hu, Haihua Shen, Xia Zhao, Ayaka W. Kishimoto-Mo, Yanhong Tang, Richard A. Houghton	2014	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111(26), p. 9527-9532
121009	温量指数によるマツ材線虫病自然抑制域・自然抑制限界域の推定—MB 指数のリニューアルを通して—	中村克典、野口絵美	2006	日本森林学会大会発表データベース, 第 117 回日本森林学会大会
<u>121010</u>	東北地方におけるマツ材線虫病とマツノマダラカミキリの分布変遷	東北林業試験研究機関連絡協議会森林保全部会	2014	森林総合研究所研究報告, 13(4), p. 335-343
121011	日本における森林気象害および林野火災の発生状況 (1954 年度～2003 年度)	鈴木覚、吉武孝、後藤 義明.	2009	森林総合研究所研究報告. 8:71-100.
121012	Analysis of wind damage caused by multiple tropical storm events in Japanese Cryptomeria japonica forests.	Kamimura K, Saito S, Kinoshita H, Kitagawa K, Uchida T, Mizunaga H.	2013	Forestry86:411-420.
<u>121013</u>	北海道中央部の針葉樹人工林における風倒被害と樹形	渋谷正人・浦田格・鳥田宏行・飯島勇人	2011	森林立地, 53 (2), p. 53-59
<u>121014</u>	Wind profiles and mechanical resistance of uprooted trees in a Japanese cypress (<i>Chamaecyparis obtusa</i>) plantation slightly damaged by Typhoon Melor 0918 at Kamiatago Experimental Forest, Tenryu, Japan : Validity of mechanistic models for wind damage risks	Kenji Kitagawa, Kana Kamimura, Satoshi Saito, Takanoh Uchida, Hiromi Mizunaga	2010	Japanese Journal of Forest Environment, 52(2), p. 57-66
<u>121015</u>	Root anchorage of hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Sieb. Et Zucc.) Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments	K. Kamimura, K. Kitagawa, S. Saito, H. Mizunaga	2012	European Journal of Forest Research, 131(1), pp219-227
121016	The Potential Effect of Climate Change on the Transpiration of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) Plantations in Japan.	Shigenaga H, Matsumoto Y, Taoda H, Takahashi M.	2005	農業気象 60(5), 451-456.
121017	森林炭素動態シミュレーションシステムを用いた気候変動が森林炭素吸収量に及ぼす影響評価の試行	光田靖、鹿又秀聡、松本光朗	2013	統計数理 61(2), 181-188.
<u>121018</u>	Evaluating the Effects of Climate Change on the Potential Site Productivity of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i>) Planted Forests in Kyushu Island, Japan	Yasushi Mitsuda	2018	Journal of Forest Planning, 22(2), p. 47-53

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>121019</u>	プロセスモデルを利用した九州のスギ林生産力のマップ化	鳥山淳平・橋本昌司・清水貴範・澤野真治・大曾根陽子・Lehtonen Aleksii	2018	九州森林研究, 71, p. 33-37
121020	温暖化条件化で育成したヒノキの成長と生物季節	吉田尚美、中島敦司、山本将功、奥田尚孝、櫛田達矢	2005	土木学会環境工学研究論文集 42, 157-162.
<u>121021</u>	秋季の加温処理が狭い範囲で産地の異なるアカマツ苗の成長に及ぼす影響	平田真智子・山本将功・青木まどか・中島敦司	2011	日本緑化工学会誌, 37(1), p. 32-37
<u>121022</u>	Long-term chamber measurements reveal strong impacts of soil temperature on seasonal and inter-annual variation in understory CO ₂ fluxes in a Japanese larch (<i>Larix kaempferi</i> Sarg.) forest	Teramoto M., Liang N., Zeng J., Saigusa N., Takahashi Y.	2017	AgriculturalandForestMeteorology
<u>121023</u>	Potential distribution of pine wilt disease under future climate change scenarios	Akiko Hirata, Katsunori Nakamura, Katsuhiko Nakao, Yuji Kominami, Nobuyuki Tanaka, Haruka Ohashi, Kohei Takenaka Takano, Wataru Takeuchi, Tetsuya Matsui	2017	PLoSOne, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182837
<u>121024</u>	Developing a point process model for ecological risk assessment of pine wilt disease at multiple scales	Saeko Matsushashia, Akiko Hirata, Mitsuteru Akiba, Katsunori Nakamura, Michio Oguro, Kohei Takenaka Takano, Katsuhiko Nakao, Yasuaki Hijioka, Tetsuya Matsui	2020	ForestEcologyandManagement, 463(2020)118010
121025	北海道における地球温暖化によるヤツバキクイムシの世代数変化予測	尾崎研一、上田明良、澤野真治.	2014	森林防疫 63:142-150
<u>121026</u>	地球温暖化によるトドマツオオアブラムシの世代数増加と被害拡大の予測	尾崎研一	2012	森林防疫, 61(2), p. 64-69
<u>121027</u>	温暖化により被害の拡大が危惧される森林病虫害	独立行政法人森林総合研究所	2014	—
121028	Relationships between stand ages and wind resistances of stand -Forest damage by Typhoon 7 in 1959 in the Tokyo regional forestry office, Japan-	Fujimori T.	1995	J. Jpn. For. Soc., 77:602-605.
121029	Developing a decision support approach to reduce wind damage risk - a case study on sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> (L. f.) D. Don) forests in Japan.	Kamimura K, Gardiner B, Kato A, Hiroshima T, Shiraishi, N.	2008	Forestry81:429-445.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>122001</u>	地球温暖化がシイタケ原木栽培の害菌問題に及ぼす影響に関する研究	宮崎和弘・新田剛・中武千秋・矢吹俊裕・奥田徹	2015	九州森林研究, 68, p. 173-176
<u>122002</u>	地球温暖化によるシイタケ原木栽培への影響と適応策について	独立行政法人森林総合研究所九州支所	2015	—
<u>122003</u>	九州地域で発生しているヒポクレア属菌の被害調査と特性評価について	宮崎和弘・中武千秋・甲斐充・有森由美	2013	九州森林研究, 66, p. 158-161
122004	シイタケ原木栽培における夏場の高温状態の発生に及ぼす影響と寒冷紗施用による環境改善効果について	宮崎和弘、中武千秋	2014	九州森林研究第67号
122005	Trichoderma 属菌の分離調査からのシイタケほだ場の気象環境診断について	宮崎和弘、矢吹俊裕、奥田徹	2013	—
122006	暖冬下の乾シイタケ安定生産技術の開発 (I) -温度条件の影響と水分管理について-	石井秀之、有馬忍	2003	大分県きのこ研報
122007	暖冬下の乾シイタケ安定生産技術の開発 (II) -温度条件の影響と水分管理について-	山下和久、石井秀之、有馬忍	2006	大分県きのこ研報
<u>122008</u>	温暖化により被害の拡大が危惧される森林病虫害	独立行政法人森林総合研究所	2014	—
<u>131001</u>	The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Summary for Policymakers)	International Panel on Climate Change (IPCC)	2019	—
131002	Signature of ocean warming in global fisheries catch.	Cheung, W. W. L., Watson R, Pauly D.	2013	Nature, 497, 365-368.
<u>131003</u>	Horizontal distribution and habitat of Pacific bluefin tuna, <i>Thunnus orientalis</i> , larvae in the waters around Japan	Seiji Ohshimo, Atsushi Tawa, Tomoko Ota, Satoru Nishimoto, Taiki Ishihara, Mikio Watai, Keisuke Satoh, Toshiyuki Tanabe, Osamu Abe	2017	Bulletin of Marine Science, 93 (3), p. 769-787
<u>131004</u>	Climate change shifts the spawning ground northward and extends the spawning period of chub mackerel in the western North Pacific	Yuki Kanamori, Akinori Takasuka, Shota Nishijima, Hiroshi Okamura	2019	Marine Ecology Progress Series, 624, p. 155-166
<u>131005</u>	平成 27 年度水産白書	水産庁	2016	-
<u>131006</u>	第 37 回「相模湾の環境保全と水産振興」シンポジウム 1. 日本周辺海域に起こっている海況と海洋生物の特異現象	渡邊朝生	2014	水産海洋研究, 78 (3), p. 208-210
<u>131007</u>	第 37 回「相模湾の環境保全と水産振興」シンポジウム 5. 関東・東海海域におけるブリ類資源の特徴	久野正博	2014	水産海洋研究, 78 (3), p. 221-223
<u>131008</u>	ブリの移動・回遊と海洋環境の関係の解明と来遊量予測手法の開発	田永軍	2010	水産総合研究センター研究報告, 30, p. 75-101
<u>131009</u>	積丹半島に來遊するブリについて	佐藤 充	2011	北水試だより, 83

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>131010</u>	北海道におけるブリの来遊状況	星野 昇	2017	北水試だより, 94
<u>131011</u>	平成 30 年度資源動向調査 (サワラ)	国立研究開発法人水産研究・教育機構	2019	—
<u>131012</u>	Relationship between coastal water properties and adult return of chum salmon (<i>Oncorhynchus keta</i>) along the Sanriku coast, Japan	Taku Wagawa, Tsuyoshi Tamate, Hiroshi Kuroda, Shin - Ichi Ito, Shigeho Kakehi, Takeshi Yamanome, Takuya Kodama.	2016	FisheriesOceanography, 25(6), p. 598-609.
<u>131013</u>	第 45 回北洋研究シンポジウム-北海道周辺海域における最近の気象・海洋環境変化と海洋生物の動向-(7. 2001 年以降のスルメイカ漁況の変化とその原因について)	澤村正幸	2015	水産海洋研究, 79(4), p340-341
<u>131014</u>	Interdecadal decrease in potential fishing areas for Pacific saury off the southeastern coast of Hokkaido, Japan	Hiroshi Kuroda, Katsumi Yokouchi	2017	FisheriesOceanography, 26(4), p. 439-454
<u>131015</u>	第 45 回北洋研究シンポジウム-北海道周辺海域における最近の気象・海洋環境変化と海洋生物の動向-(5. 最近の日本海および太平洋におけるスケトウダラ資源の動向)	武藤卓志・渡野邊雅道	2015	水産海洋研究, 79(4), p. 338-339
<u>131016</u>	Causes of walleye pollock (<i>Theragra chalcogramma</i>) recruitment decline in the northern Sea of Japan: implications for stock management	Tetsuichiro Funamoto	2011	FisheriesOceanography, 20(2), p. 95-103
<u>131017</u>	Abiotic and biotic factors affecting recruitment variability of walleye pollock (<i>Theragra chalcogramma</i>) off the Pacific coast of Hokkaido, Japan	Tetsuichiro Funamoto, Orio Yamamura, Tokihiro Kono, Tomonori Hamatsu, Akira Nishimura	2013	FisheriesOceanography, 22(3), p. 193-206
<u>131018</u>	Asymmetric hybridization and introgression between sibling species of the pufferfish Takifugu that have undergone explosive speciation	Hiroshi Takahashi, Airi Toyoda, Taku Yamazaki, Shusaku Narita, Tsuyoshi Mashiko, Yukio Yamazaki	2017	MarineBiology, 2017, 164:90
<u>131019</u>	近年の気候変動が北海道水産業に与える影響～近年の事例を基にして～	堀江 岳人・田中 仁	2016	東北地域災害科学研究, 52, p. 157-162
131020	Climate forcing on marine ecosystems. In: Global Change and Marine Ecosystems.	Drinkwater K, Hunt G, Lehodey P, Lluch-Cota S, Murphy E J, Sakurai Y, Schwing F, Beaugrand G, Sundby S.	2010	OxfordUniversityPress, Oxford, UK, pp. 1139. - 287-322.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>131021</u>	Impacts of climate change on fisheries and aquaculture	Food and Agriculture Organization of the United Nations	2018	—
<u>131022</u>	Climate change is projected to reduce carrying capacity and redistribute species richness in North Pacific pelagic marine ecosystems	Phoebe A. Woodworth-Jefcoats, Jeffrey J. Polovina, Jeffrey C. Drazen	2017	GlobalChangeBiology, 23, p. 1000-1008
<u>131023</u>	Impacts of environmental variability and global warming scenario on Pacific bluefin tuna (<i>Thunnus orientalis</i>) spawning grounds and recruitment habitat	Shingo Kimura, Yoshiki Kato, Takashi Kitagawa, Naoki Yamaoka	2010	ProgressinOceanography, 86(1-2), p. 39-44
131024	Effect of global warming on the life history and population dynamics of Japanese chum salmon.	Kaeriyama M, Seo H, Qin Y.	2014	FishSci(2014)80:251-260
131025	The effect of climate change on the growth of Japanese chum salmon (<i>Oncorhynchus keta</i>) using a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model (NEMURO).	Michio J.Kishi, Masahide Kaeriyama, Hiromich iUeno , Yasuko Kamezawa	2010	Deep-SeaResearchII57(2010)1257-1265
131026	地球温暖化による海洋生態系の変化	岸道郎	2011	MemoirsoftheFacultyofFisheriesSciences, Hokkaido University, 53(2):27-37
<u>131027</u>	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト —水産分野における温暖化緩和技術の開発— —地球温暖化が水産分野に与える影響評価と適応技術の開発—	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 559
<u>131028</u>	海水温の上昇等によるシロザケ等の漁獲量への影響に関する調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書, p. 93-128
<u>131029</u>	気候変動によるサクラマスノ越夏環境に与える影響調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書, p. 189-224
131030	Ocean ecosystem responses to future global change scenarios: a way forward.	Ito S, Rose KA, Miller AJ, Drinkwater K, Brander K, Overland JE, Sundby S,	2010	MARINEECOSYSTEMSANDGLOBALCHANGE, OxfordUniversityPress2010

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Curchitser E, Hurrell JW, Yamanaka Y.		
131031	温暖化が与える日本海の主要回遊性魚類の既存産地への影響予測	木所英昭、渡邊達郎、田永軍、井桁庸介、森本晴之、藤野忠敬	2011	地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発
131032	Environmental factors which affect growth of Japanese common squid, <i>Todarodes pacificus</i> , analyzed by a bioenergetics model coupled with a lower trophic ecosystem model.	Kishi M J, Nakajima K, Fujii M, Hashioka T.	2009	JournalofMarineSystems78(2009)278-287
131033	Climate forcing and the Kuroshio/Oyashio ecosystem	Akihiko Yatsu, Sanae Chiba, Yasuhiro Yamanaka, Shin-ichi Ito, Yugo Shimizu, Masahide Kaeriyama, Yoshio Watanabe	2013	ICESJournalofMarineScience, 70(5), p. 922-933
131034	Impacts of climate change on growth, migration and recruitment success of Japanese sardine (<i>Sardinops melanostictus</i>) in the Western North Pacific.	Okunishi T, Ito S, Hashioka T, Takashi T. Sakamoto, Yoshie N, Sumata H, Yara Y, Okada N, Yamanaka Y.	2012	ClimaticChange(2012)115:485-503
131035	Response of yellowtail, <i>seriola quinqueradiata</i> .	Tian Y, Kidokoro H, Watanabe T, Igeta Y, Sakaji H, Ino S.	2012	JournalofMarineSystems91, 1-10.
131036	Effects of long-term exposure to ocean acidification conditions on future southern Tanner crab (<i>Chionoecetes bairdi</i>) fisheries management	Andre E. Punt, Robert J. Foy, Michael G. Dalton, W. Christopher Long, Katherine M. Swiney	2016	ICESJournalofMarineScience, 73(3), p. 849-864
132001	平成 27 年度水産白書	水産庁	2016	—
132002	平成 22 年夏季から秋季に発生した養殖ホタテガイ大量へい死について	小谷健二・田中淳也・吉田達・工藤敏博・松尾みどり・川村要	2012	青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, p. 374-393
132003	平成 25 年夏季～秋季の高水温の特徴とホタテガイへの影響	吉田達	2014	青森県水産研究情報水と漁, 15, p. 7-10
132004	陸奥湾ホタテガイ高水温被害対策専門家委員会第 1 次報告書	陸奥湾ホタテガイ被害対策専門家委員会	2011	—
132005	平成 20 年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
132006	岡山県沿岸海域における季節別、年代別の水温上昇傾向の特徴	石黒貴裕	2012	岡山県農林水産総合センター水産研究所報告, 27, p. 1-4

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
132007	中国地方一級河川における河川水温変動特性	赤松 良久・河野 誉仁・乾 隆帝・宮本 仁志	2017	土木学会論文集 B1(水工学), 73(4), p. I_1207-I_1212
132008	2010 年夏季の霞ヶ浦におけるワカサギのへい死の発生とワカサギの生存可能な上限水温の推定	根本孝・根本隆夫	2010	茨城県内水面水産試験場研究報告, 44, p. 7-11
132009	ブリの増殖に関する研究—特にいけす網養殖における餌料と成長との関係—	原田輝雄	1965	—
132010	温暖化が魚類の養殖業生産に及ぼす影響の評価と予測技術の開発	安藤 忠、奥宏海、奥澤公一、伊藤文成、阿保勝之、徳田雅治、坂見知子	2008	—
132011	水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測	水産総合研究センター	2014	—
132012	温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測	桑原久実、明田定満、小林聡、竹下彰、山下洋、城戸勝利	2006	地球環境 Vol. 11No. 149-57 (2006)
132013	地球温暖化とさかな	安藤忠、奥宏海	2009	水産総合研究センター編, 地球温暖化とさかな, 成山堂書店
132014	海水温の上昇等によるホタテガイ及びワカメ等の内湾養殖業への影響調査に関する調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書, p. 35-92
132015	海水温上昇等による瀬戸内海の水産生物や養殖への影響調査	株式会社地域計画 建築研究所 (アルパック) ・ 国立大学法人広島大学 ・ 一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書, p. 66-123
132016	気候変動による水産業及び生物生息基盤 (藻場、アマモ場等) への影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中部地域事業委託業務成果報告書, p. 5-32
132017	湖沼の漁業生産安定化を目指した温暖化適応技術の開発	宮本幸太、沢木良宏、星河廣樹、河野成美、花里孝幸、君島祥、幡野真隆、伴修平	2014	気候変動に対応した循環型食料生産等の確率のためのプロジェクト研究成果
132018	水温の将来変化がアユの遡上時期に及ぼす影響について	鈴木靖・本間基寛・佐藤嘉展・道広有理・竹門康弘	2014	土木学会論文集 B1 (水工学), 70(4), p. 1213-1218

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>132019</u>	淀川におけるアユ遡上数の変動要因解析に基づいた将来予測モデルの検討	浦部真治・竹門康弘・角哲也	2016	京都大学防災研究所年報, 59(B), p. 557-569
132020	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
132021	Fishes in high-CO ₂ , acidified oceans.	Ishimatsu A, Hayashi M, Kikkawa T.	2008	MarineEcologyProgressSeries
133001	魚市場調査からみた五島列島福江島でのハタ科魚類の漁獲動向	中川雅弘	2014	豊かな海 34, 17-20.
133002	長崎県野母崎沿岸の浅海魚類相	田和篤史、竹垣毅	2009	長崎大学水産学部研究報告
133003	近年の海水温上昇による筑前海沿岸魚類相の変化	西田高志、中園明信、及川信、松井誠一	2005	九大農学芸誌 60(2). 187-201
133004	Seasonal and interannual variation of subtidal fish assemblages in Wakasa Bay with reference to the warming trend in the Sea of Japan.	Masuda R.	2008	EnvironmentalBiologyofFishes82 (4) ,387-399.
133005	瀬戸内海の魚類に見られる異変と諸問題	重田利拓	2008	日本水産学 74(5), 868-872.
<u>133006</u>	アワビ類の生態と資源変動要因	高見秀輝・清本節夫・鬼塚年弘・浜口昌巳・干川裕・河村知彦	2018	アワビ類の資源生態に基づく資源管理・増殖, p. 40-67
<u>133007</u>	北海道沿岸各海域におけるエゾアワビの資源量変動に及ぼす気候変動の影響	干川裕・河村知彦	2017	日本水産学会誌, 83(3), p. 373-384
<u>133008</u>	アワビ類漁業と資源管理・増殖の現状	鴨志田正晃・西洞孝広・大橋智志・三輪理・堀井豊充・平川直人・中丸徹	2018	アワビ類の資源生態に基づく資源管理・増殖, p. 1-39
<u>133009</u>	一次生産の変化と有用種の関係 (二枚貝)	浜口昌巳	2011	水研センター研報, 34, p. 33-47
<u>133010</u>	夏季高温下におけるアサリのへい死	木村聡一郎	2014	大分県農林水産研究指導センター研究報告, 4, p. 1-8
<u>133011</u>	2013 年夏季高温下における干潟温度環境	木村聡一郎	2015	大分県農林水研セ研報 (水産) , 5, p. 21-27
<u>133012</u>	大分県中津干潟における地温とアサリ着底稚貝個体数の変動特性	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳	2017	水産工学, 53(3), p. 149-157
133013	Shift from bottom-up to top-down control of the algal community due to climate change: impacts on the Japanese spiny lobster in southwestern Japan.	Yoshimura T., Yatsuya, K., Yaneda, T., Kiyomoto, S., & Yoshida, G.	2014	10thInternationalConferenceandWorkshoponLobsterBiologyandManagement

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
133014	Decrease of abalone resources with disappearance of macroalgal beds around the Ojika Islands, Nagasaki, Southwestern Japan.	Kimoto S., Tagawa, M., Nakamura, Y., Horii, T., Watanabe, A., Tozawa, T., Yatsuya, K., Yoshimura, T., & Tamaki, A.	2013	Journal of Shellfish Research, Vol. 32, No. 1, 51-58, 2013
133015	水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測	水産総合研究センター	2014	—
133016	平成 20 年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
133017	1998 年春に見られた大分県国東半島沿岸の天然ワカメ不漁とその原因	伊藤龍星	2001	大分県海水研調研報, 3, p. 5-7
133018	Recent fluctuations in distribution and biomass of cold and warm temperature species of Laminariales algae at Cape Ohma, northern Honshu, Japan	Shinji Kirihara, Toshiki Nakamura, Naoto Kon, Daisuke Fujita, Masahiro Notoya	2006	Journal of Applied Phycology, 18, p. 521-527
133019	平成 26 年度日本水産学会春季大会講演要旨集 関東におけるノリ養殖の現状と課題 東海におけるノリ養殖の現状と課題 有明海におけるノリ養殖の現状と課題	林俊裕、岩出将英、横尾一成	2014	平成 26 年度日本水産学会春季大会講演要旨集<シンポジウム>スサビノリの持続的生産への挑戦
133020	高水温耐性ノリ新品種「ちばの輝き」の開発について	千葉県	2014	千葉県ウェブページ
133021	平成 27 年度水産白書	水産庁	2016	—
133022	岡山県沿岸海域における季節別、年代別の水温上昇傾向の特徴	石黒貴裕	2012	岡山県農林水産総合センター水産研究所報告, 27, p. 1-4
133023	フリー配偶体を用いたワカメの実用規模種苗生産法および高水温耐性品種の開発	棚田教生	2016	海洋と生物, 38(4), p. 464-471
133024	養殖漁場でワカメ種苗の食害魚撮影に初めて成功	棚田教生・多田篤司・手塚尚明・清本節夫	2019	徳島水研だより第 109 号
133025	藻場を見守り育てる知恵と技術（磯焼け対策シリーズ③）	藤田大介・村瀬昇・桑原久実	2010	—
133026	九州西岸域における藻場の変遷	清本節夫・門田立・種子田雄・吉村拓	2018	海洋と生物, 40(3), p. 210-219
133027	気候変動による藻場植生の変化と魚類相の変遷	中村洋平	2018	海洋と生物, 40(3), p. 220-225
133028	鹿児島湾における藻場の分布と特性	田中博春、吉満敏、今吉雄二、石賀好恵、寺田竜太	2013	水産海洋研究 70(2) 114-121, 2006

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>133029</u>	Drifting algae and fish: Implications of tropical Sargassum invasion due to ocean warming in western Japan	Mami Yamasaki, Mikina Aono, Naoto Ogawa, Koichiro Tanaka, Zenji Imoto, Yohei Nakamura	2014	Estuarine, Coastal and Shelf Science, 147, p. 32-41
<u>133030</u>	藻場を食べる魚たち—生態から利用まで（磯焼け対策シリーズ①）	藤田大介・野田幹夫・桑原久実	2006	—
<u>133031</u>	水温環境の異なる2つの生育地のカジメ群落における現存量、密度、年齢組成の比較	芹澤如比古・秋野秀樹・松山和世・大野正夫・田中次郎・横浜康継	2001	SUISANZOSHOKU49(1), p. 9-14
133032	藻場の長期モニタリング 背景と課題	寺田竜太	2011	海洋と生物 33(4), 291-297.
<u>133033</u>	“ヒジキ生育不良の原因は“魚の食害”？ ～カゴを設置しての検証～	中西達也	2011	徳島水研だより, 78(2011年6月掲載)
<u>133034</u>	牟岐町地先におけるヒジキの生育不良原因	中西達也	2012	徳島水研報, 8, p. 23-26
<u>133035</u>	藻場の海藻と造成技術	能登谷正浩	2003	-
<u>133036</u>	2014年に神奈川県沿岸で漁獲されたアイゴの体長組成と体成分変化	白井一茂・櫻井繁・田村怜子	2017	神奈川県水産技術センター研究報告第8号
<u>133037</u>	徳島県沿岸で2012年に発生した大規模な磯焼けについて ～アイゴの大量出現との関係～	棚田教生・中西達也	2013	徳島水研だより, 85(2013年3月掲載)
<u>133038</u>	有害赤潮藻ヘテロカプサの分布域北上現象—佐渡島加茂湖での赤潮によるマガキの大量死—	近藤伸一・中尾令子・岩滝光儀・坂本節子・板倉茂・松山幸彦・長崎慶三	2012	日本水産学会誌, 78(4), p. 719-725
<u>133039</u>	有害有毒プランクトンの発生機構と発生防除に関する研究	今井一郎	2017	日本水産学会誌, 83(3), p. 314-324
<u>133040</u>	2015年秋季北海道函館湾における渦鞭毛藻 <i>Karenia mikimotoi</i> による有害赤潮の初記録	嶋田宏・金森誠・吉田秀嗣・今井一郎	2016	日本水産学会誌, 82(6), p. 934-938
<u>133041</u>	Green tide formed by free-floating <i>Ulva</i> spp. at Yatsu tidal flat, Japan	Tohru Yabe, Yuichi Ishii, Yoshimasa Amano, Tsunenori Koga, Seiji Hayashi, Seiichi Nohara, Hideki Tatsumoto	2009	Japan Limnology, 10, p. 239-245
<u>133042</u>	高水温化により忍び寄るシガテラ中毒	吉岡拓也	2017	徳島水研だより, 101(2017年3月掲載)
<u>133043</u>	瀬戸内海大崎上島沿岸域より採集された熱帯・暖海性魚類ソウシハギ <i>Aluterus scriptus</i> (カワハギ科 Monacanthidae) : 来遊背景の一考察	清水則雄・河田晃大・松浦靖浩・重田利拓・坂井陽一・橋本博明・大塚攻	2009	広島大学総合博物館研究報告 1:85-90

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
133044	沿岸海洋の富栄養化と赤潮の拡大	今井一郎	2001	日本海洋学会編『海と環境：海が変わると地球が変わる』p203-211. (2001) 講談社
133045	有害渦鞭毛藻 <i>Heterocapsa circularisquama</i> に関する生理生態学的研究－II <i>H. circularisquama</i> の毒性および貝類斃死機構の解明	松山幸彦	2003	水研センター研報, 第9号, 13-117, 平成15年 Bull. Fish. Res. Agen. No. 9, 13-117, 2003
133046	温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測	桑原久実、明田定満、小林聡、竹下彰、山下洋、城戸勝利	2006	地球環境 Vol. 11No. 149-57 (2006)
133047	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト －水産分野における温暖化緩和技術の開発－ －地球温暖化が水産分野に与える影響評価と適応技術の開発－	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	プロジェクト研究成果シリーズ 559
133048	水温が伊勢湾産イカナゴ初期生活史の成長と加入資源量に与える影響	富山実	2006	水産海洋研究 70(2)114-121, 2006
133049	海水温の上昇等によるイカナゴの資源量への影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務成果報告書, p. 24-42
133050	海水温上昇等による瀬戸内海の水産生物や養殖への影響調査	株式会社地域計画 建築研究所 (アルパック) ・ 国立大学法人広島大学 ・ 一般財団法人日本気象協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書, p. 66-123
133051	The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Summary for Policymakers)	International Panel on Climate Change (IPCC)	2019	—
133052	Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan	Kenji Sudo, Kentaro Watanabe, Norishige Yotsukura, Masahiro Nakaoka	2019	Ecological Research, 2019, 1-14
133053	海水温の上昇等によるホタテガイ及びワカメ等の内湾養殖業への影響調査に関する調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書, p. 35-92
133054	今後100年間に生じる水温と藻場生態系の変遷を予測する	島袋寛盛・吉田吾郎・加藤亜記・郭新宇	2018	海洋と生物, 40(3), p. 233-242

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>133055</u>	気候変動による有明海・八代海における漁業及び沿岸生態系への影響調査	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務報告書, p. 2-1-2-82
<u>133056</u>	Possible change in distribution of seaweed, <i>Sargassum horneri</i> , in northeast Asia under A2 scenario of global warming and consequent effect on some fish	Teruhisa Komatsu, Masahiro Fukuda, Atsuko Mikami, Shizuha Mizuno, Attachai Kantachumpoo, Hideaki Tanoue, Michio Kawamiya	2014	MarinePollutionBulletin, 85, p. 317-324
<u>133057</u>	Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios	Shintaro Takao, Naoki H. Kumagai, Hiroya Yamano, Masahiko Fujii and Yasuhiro Yamanaka	2014	EcologyandEvolution, 5(1), p. 213-223
<u>133058</u>	Growth and survival of juvenile sporophytes of the kelp <i>Ecklonia cava</i> in response to different nitrogen and temperature regimes	Xu Gao, Hikaru Endo, Michiko Nagaki, Yukio Agatsuma	2016	FisheriesScience, 82(4), pp623-629
<u>133059</u>	Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming	Naoki H. Kumagai, Jorge García Molinos, Hiroya Yamano, Shintaro Takao, Masahiko Fujii, Yasuhiro Yamanaka	2018	PNAS, 115(36), p. 8990-8995
133060	Effects of temperature, salinity and their interaction on growth of Japanese Gambierdiscus spp. (Dinophyceae).	Yoshimatsu T, Yamaguchi H, Iwamoto H, Nishimura T, Adachi M.	2014	HarmfulAlgae, 35, p. 29-37
211001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>211002</u>	水資源機構ダム貯水池における水質の長期的変動	柳橋泰生・今本博臣・廣瀬真由・楨暁史	2010	京都大学環境衛生工学研究会第32回シンポジウム講演論文集. 環境衛生工学研究, 24(3), p. 180-183
<u>211003</u>	国内9ヶ所のダム湖における水温傾向の評価に関する予備的研究	長尾正之・鈴木淳	2010	陸水学雑誌, 71, p. 27-36
<u>211004</u>	池田湖の底質環境の経年変化	日高正康・西隆一郎・前田広人・内山正樹・福田隆二	2013	土木学会論文集 B3 (海洋開発), 69(2), p. I_904-I_909
<u>211005</u>	地球温暖化が湖の水質に与える影響－霞ヶ浦と琵琶湖の約30年間の水質データの統計解析－	北村友一・南山瑞彦	2012	土木技術資料, 54(3), p. 6-9

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>211006</u>	過去 50 年間の気候変動の琵琶湖生態系への影響に関する数値解析	北澤大輔・石川俊之・熊谷道夫	2010	生産研究, 62(1), p. 45-49
<u>211007</u>	深湖底の溶存酸素濃度減少	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター	2012	びわ湖みらい, センターニュース, 18
211008	気候変動への賢い適応	環境省	2008	—
211009	気候変動による水質等への影響解明調査 報告	環境省 水・大気環境局 水環境課	2013	—
<u>211010</u>	全国水道関係担当者会議資料 【資料編】	厚生労働省 医薬・生活衛生局 水道課	2019	p. 119-120(平成 31 年 3 月 20 日発表)
<u>211011</u>	Nationwide survey of organism-related off-flavor problems in Japanese drinking water treatment plants (2010-2012)	Naohiro Kishida, Masaki Sagehashi, Hirokazu Takanashi, Naoshi Fujimoto, Michihiro Akiba	2015	Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA, 64(7), p. 832-838
<u>211012</u>	山岳湖沼における結氷現象と気候変動との関係	知北和久・大八木英夫・牧野 昌・漢那直也・刀根賢太・坂元秀行・波多俊太郎・安藤卓人・白井裕子	2020	陸水物理学会誌, 2, p. 3-13
<u>211013</u>	大分川水系において発生したかび臭障害への対応	高橋威一郎・馬見塚守・高橋博幸・一万田圭一・久知良啓三・岐津英明	2016	日本水処理生物学会誌, 第 52 巻, 第 4 号, p. 105-111
<u>211014</u>	異臭味発生の経緯及び今後の水質保全対策について	浅瀬石川ダム水質保全対策検討委員会	2012	—
<u>211015</u>	気候変動が水道水源ダムの水質に与える影響と水道事業における適応力の評価	川本圭彦・梅田信・大山秀格・小池亮・森本達男・小熊久美子・荒巻俊也・滝沢智	2015	土木学会論文集 G (環境), 71(5), p. I_117-I_126
<u>211016</u>	水資源としてのダム貯水池水質への気候変動の影響	梅田信	2017	用水と廃水, 59(1), p. 39-44
<u>211017</u>	気候変動によるダム貯水池の水質への影響に関する研究	川崎将生・西村宗倫	2015	国土技術政策総合研究所資料, 856
<u>211018</u>	気候変動による印旛沼とその流域への影響と流域管理方法の検討	パシフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務業務報告書, p. 3-1-3-70
<u>211019</u>	令和元年度気候変動による水循環への影響評価・適応策検討調査業務 報告書	パシフィックコンサルタンツ株式会社	2020	—
<u>211020</u>	気候変動による宍道湖・中海の水質等への影響調査	株式会社地域計画建築研究所 (アルバック)	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書, p. 124-146

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
211021	気候変動に適応したダム貯水池の選択取水設備による水質改善方法の検討	崔 貞圭、矢島 啓	2014	土木学会論文集 B1(水工学)Vol. 70, No. 4, I_1639-I_1644, 2014
211022	浦山ダムにおける気候変動に伴う長期間の将来水質予測	崔 貞圭、矢島 啓、谷口 健司、馬籠 純	2014	土木学会論文集 B1(水工学)Vol. 70, No. 4, I_1633-I_1638, 2014
211023	気候変動が貯水池の洪水時濁水現象に及ぼす影響に関する数値解析	安松陸史・梅田信	2017	土木学会論文集 G (環境) , 73(5), p. I_47-I_53
211024	The impact of climate change on the treatability of dissolved organic matter (DOM) in upland water supplies: A UK perspective	J.P. Ritson, N.J.D. Graham, M.R. Templeton, J.M. Clark, R. Gough, C. Freeman	2014	Science of The Total Environment, Volumes 473-474, 1, Pages 714-730
211025	気候変動による水質等への影響解明調査 報告	環境省 水・大気環境局 水環境課	2013	—
212001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
212002	気候変動への賢い適応	環境省	2008	—
212003	気候変動適応策に関する研究 (中間報告)	国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部	2013	国土技術政策総合研究所資料, 749
212004	全国の河川における流況・水質の経年変化の実態調査と流域環境との関連性分析	望月貴文・菊池佐智子・天野邦彦	2011	環境システム研究論文発表会講演集, 39, p. 437-442
212005	Potential effects of climate change and variability on watershed biogeochemical processes and water quality in Northeast Asia	Ji-Hyung Park, Lei Duan, Bomchul Kim, Myron J. Mitchell, Hideaki Shibata	2010	EnvironmentInternational, 36(2), p. 212-225
212006	郊外農業流域での栄養塩流出に及ぼす気候変動の影響	清水裕太・小野寺真一	2012	陸水学雑誌, 73(3), p. 235-254
212007	Ecological and hydrological responses to climate change in an urban-forested catchment, Nagara River basin, Japan	Goro Mouri, Seirou Shinoda, Valentin Golosov, Michiharu Shiiba, Tomoharu Hori, Shinjiro Kanae, Satoshi Takizawa, Taikan Oki	2012	UrbanClimate, 1, p. 40-54
212008	合流式下水道越流水の長期観測と流出解析による汚濁負荷の定量的評価	草場大作・竹谷究・藤田昌一・姫野修司・小松俊哉	2010	水環境学会誌, 33(5), p. 41-47

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>212009</u>	Effects of rainfall events on the occurrence and detection efficiency of viruses in river water impacted by combined sewer overflows	Akihiko Hata, Hiroyuki Katayama, Keisuke Kojima, Shoichi Sano, Ikuro Kasuga, Masaaki Kitajim, Hiroaki Furumai	2014	ScienceoftheTotalEnvironment, 468, p. 757-763
<u>212010</u>	高潮による取水施設への海水混入時の対応（Ⅰ）－取水一時停止を伴う影響回避の対応経過－	小林正継・本荘浩良・三原正和	2019	令和元年度全国会議（水道研究発表会）講演集, p. 938-939
<u>212011</u>	高潮による取水施設への海水混入時の対応（Ⅱ）－海水混入に伴う取水原水の水質実態調査－	片木孝徳・永木正洋・鯛谷将司	2019	令和元年度全国会議（水道研究発表会）講演集, p. 940-941
<u>212012</u>	信濃川水門の一部を閉鎖します～信濃川取水塔の塩水遡上に対応～	国土交通省 北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 新潟市水道局	2018	—
<u>212013</u>	阿賀野川浄水場における塩水遡上対応	増井一貴・高橋直・岡村直樹・渡辺琢	2019	令和元年度全国会議（水道研究発表会）講演集, p. 942-943
<u>212014</u>	Diagnostic study on warming mechanism of spring water temperature based on field observations and numerical simulation: a case study of Masugatanoiike spring, Tokyo, Japan	Hiroshi Matsuyama, Hiroshi Miyano	2011	HydrologicalResearchLetters, 5, p. 78-82
212015	気候変動による水質等への影響解明調査 報告	環境省 水・大気環境局 水環境課	2013	—
212016	Assessment of potential suspended sediment yeild in Japan in the 21st century with reference to the general circulation model climate change scenarios	Mouri.G., Golosov.V., Chalov.S., Takizawa.S., Oguma.K., Yoshimura.K., Shiiba.M., Hori.T., & Oki.T	2013	GlobalandPlanetaryChange102, 1-9
212017	超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究 平成 23 年度研究成果報告書	文部科学省研究開発局 21 世紀気候変動予測革新プログラム	2013	—
212018	地球温暖化問題を考慮した水環境管理	花木啓祐	2006	水環境学会誌、第 29 巻第 2 号企画編
212019	地球温暖化に対する東京都水道局の取り組み	増子敦	2012	水環境学会誌、第 15 巻第 11 号企画編
212020	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策－	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	—
212021	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>212022</u>	知床を対象とした MRI-AGCM3.1S を用いた栄養流出量の将来予測に向けて	丸谷靖幸・中山恵介・仲江川敏之・井上徹教・小俣雅嗣・石田哲也・駒井克昭	2014	土木学会論文集 B1(水工学), 70(4), p. I_1219-I_1224
<u>212023</u>	Simulation of watershed hydrology and stream water quality under land use and climate change scenarios in Teshio River watershed, northern Japan	Min Fan, Hideaki Shibata	2015	Ecological Indicators, 50, p. 79-89
<u>212024</u>	Temperature change affected groundwater quality in a confined marine aquifer during long-term heating and cooling	Saito T, Hamamoto S, Ueki T, Ohkubo S, Moldrup P, Kawamoto K, Komatsu T	2016	Water Research, 1(94), 120-7
<u>212025</u>	Climate change impacts on groundwater temperature change in the Sendai plain, Japan	Luminda Niroshana Gunawardhana, So Kazama	2011	Hydrological Processes, 25, p. 2665-2678
213001	「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化と適応策に関する研究」報告書	地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究	2011	—
213002	地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究—沖縄県における海水温変動傾向について—	天願博紀	2011	沖縄県衛生環境研究報第 45 号
<u>213003</u>	Long-term trends in pH in Japanese coastal seawater	Miho Ishizu, Yasumasa Miyazawa, Tomohiko Tsunoda, Tsuneo Ono	2019	Biogeosciences, 16, p. 4747-4763
<u>213004</u>	CMIP5 にもとづく瀬戸内海の長期物理環境場の将来変化予測	森信人・今井優樹・二宮順一・安田誠宏・間瀬肇	2014	土木学会論文集 B2(海岸工学), 70(2), p. I_1271-I_1275
<u>213005</u>	マルチモデルアンサンブルによる伊勢湾水温の将来変化予測と気候変化外力の影響分析	鈴木靖・佐藤嘉展・本間基寛・道広有理・Sergey M. Varlamov	2013	土木学会論文集 B2(海岸工学), 69(2), p. I_1286-I_1290
<u>213006</u>	東京湾における貧酸素水塊の解消要因である強風の将来予測に向けて	丸谷靖幸・アイヌルアプリズ・中山恵介・仲江川敏之・古川恵太・駒井克昭・鯉目淑範	2011	土木学会論文集 B2(海岸工学), 67(2), p. I_921-I_925
213007	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—
<u>213008</u>	環境省請負業務 平成 30 年度閉鎖性海域における気候変動による影響把握等検討業務	国立研究開発法人 国立環境研究所	2019	—
221001	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳(元文献は IPCC による)	2014	—
221002	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』(2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>221003</u>	水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～答申	社会資本整備審議会	2015	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
221004	平成 25 年渇水の概要	酒井義尚	2014	河川, p. 42-46
221005	平成 28 年渇水に対する国土交通省及び関係省庁の対応について	国土交通省 水管理・国土保全局水資源部	2016	河川, p. 8-11
221006	水源水質の変動と健康リスク	秋葉道宏・山田俊郎・中村怜奈・小坂浩司・浅見真理	2010	環境システム計測制御学会誌 EICA, 15(1), p. 16-19
221007	農業水利における地球温暖化対応のための気象・水文事象の評価	高橋順二、加藤敬、北村浩二、小山潤	2008	農業農村工学会誌 vol. 76No. 102008
221008	わが国の年降水量の変動について	近森邦英、紙井泰典	2000	農業土木学会誌 Vol. 68No. 42000
221009	長期観測資料に基づいた温暖化の水資源への影響評価について	盛谷明弘、丹羽 薫	1991	水工学論文集第 35 巻
221010	Long-term changes in flood event patterns due to changes in hydrological distribution parameters in a rural-urban catchment, Shikoku, Japan	Goro Mouri, Shinjiro Kanae, Taikan Oki	2011	AtmosphericResearch, 101, p. 164-177
221011	Is snowmelt runoff timing in the Japanese Alps region shifting toward earlier in the year?	Yamanaka, T., Y. Wakiyama, and K. Suzuki	2013	HydrologicalResearchLetters, 7(1), 1-5. (shouldbeVolume6, 87-91accordingtothelink)
221012	中部山岳地域における融雪流出特性の標高依存性	山中勤・脇山義史・鈴木啓助	2013	地学雑誌, 122(4), p. 682-693
221014	Simulated Snow Water Equivalent Change between the 1980s and 1990s in the Sea of Japan Side Area Using a Regional Climate Model	Takao Yoshikane, Masayuki Hara, Xieyao Ma, Hiroaki Kawase, Fujio Kimura	2011	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapan, 89(3), p. 269-282
221015	Evaluation of water resources by snow storage using water balance and tank model method in the Tedoru River basin of Japan	Noto Fumikazu, Maruyama Toshisuke, Hayase Yoshio, Takimoto Hiroshi, Nakamura Kimihito	2013	PaddyandWaterEnvironment, 11, p. 113-121
221016	長期にわたる森林放置と植生変化が年蒸発散量に及ぼす影響	谷誠、細田育広	2012	水文・水資源学会誌第 25 巻第 2 号 (2012)
221017	気候変動が日本の水資源に与える影響推計 (I) - 日本全域水資源モデルの開発 -	小槻峻司・田中賢治・小尻利治	2013	水文・水資源学会誌, 26(3), p. 133-142
221018	気候変動が淀川水系の渇水リスクに及ぼす影響	伊藤 昌資, 菅野 豊, 大八木 豊, 西澤 諒亮, 川瀬 宏明, 佐々井 崇	2020	水文・水資源学会誌, Vol. 33, No. 3, p. 83-97

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		博, 杉本 志織, 川崎 将生, 中北 英一		
<u>221019</u>	Assessment of climate change impacts on river discharge in Japan using the super-high-resolution MRI-AGCM	Yoshinobu Sato, Toshiharu Kojiri, Yuri Michihiro, Yasushi Suzuki, Eiichi Nakakita	2013	HydrologicalProcesses, 27(23), p. 3264-3279
<u>221020</u>	Influence of Climate Change on the Seasonal Runoff Pattern in a Headwater Basin, Northern Niigata Prefecture	Andrew Whitaker, Ayu Yoshimura, Hironobu Sugiyama	2011	新潟大学農学部研究報告, 63(2), p. 119-125
<u>221021</u>	Hydrological response to future climate change in the Agano River basin, Japan	Xieyao Ma, Takao Yoshikane, Masayuki Hara, Yasutaka Wakazuki, Hiroshi G Takahashi, Fujio Kimura	2010	HydrologicalResearchLetters, 4, p. 25-29
<u>221022</u>	Climate Change Impacts on the Seasonal Distribution of Runoff in a Snowy Headwater Basin, Niigata	Andrew C Whitaker, Ayu Yoshimura	2012	HydrologicalResearchLetters, 6, p. 7-12
221023	気候変動が積雪地域の水循環と水利用へ与える影響について	川村一人、中津川誠、白谷友秀	2010	水工学論文集, 第 54 巻, 2010 年
<u>221024</u>	国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告書「河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究」:水資源計画・管理の視点から見た気候変動影響	国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部	2017	国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告書, 142, p. 93 - 109
<u>221025</u>	将来の河川流量の変化がダム貯水池の利水運用に与える潜在的影響に関する一考察	鈴木俊亮・野原大督・堀智晴・佐藤嘉展	2018	土木学会論文集 B1(水工学), 74(4), p. I_115-I_120
<u>221026</u>	Assessment of the climate change risks for inflow into Sagami Dam reservoir using a hydrological model	Sho Momiyama, Masaki Sagehashi, Michihiro Akiba	2018	JournalofWaterandClimateChange
<u>221027</u>	全国都道府県別における将来水需給ギャップの把握	大西暁生・佐藤嘉展・佐尾博志	2015	土木学会論文集 G (環境), 71(5), p. I_369-I_382
<u>221028</u>	気候変動による降水特性変化がもたらす水需給バランスへの影響検討	多田智和・土屋修一	2008	地球環境シンポジウム講演集, 16, p. 137-142
221029	我が国の水利用の現状と気候変動リスクの認識	国土交通省	2008	—
<u>221030</u>	Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5	Ryoji Kudo, Takeo Yoshida, Takao Masumoto	2017	HydrologicalResearchLetter, 11(1), p31-36
<u>221031</u>	気候変動が早明浦ダムの渇水特性に与える影響の評価	井芹慶彦・白羽陽臓・藤村和正・村上雅博・鼎信次郎	2012	地球環境シンポジウム講演集, 20, p. 37-42

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>221032</u>	海面上昇を考慮した釧路湿原への塩水遡上の影響評価	中本篤嗣・新谷哲也・中山恵介・丸谷靖幸・石田哲也・法村賢一	2011	土木学会論文集 B1 (水工学), 67(4), p. I_1351-I_1356
<u>221033</u>	釧路湿原における地球温暖化に伴う海面上昇に係る技術資料～環境指標のモニタリング計画と温暖化への適応策の検討～ 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇に伴う周辺環境への影響予測と評価	国土交通省 北海道開発局 釧路開発建設部	2012	pp. 107, 【p. 57-98】
<u>221034</u>	海面上昇等による塩水遡上の河川への影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務成果報告書, p. 43-69
<u>221035</u>	相模ダム流域の水文モデル作成と気候変動影響評価. In: 厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業) 大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型水道システムの構築に関する研究	秋葉道宏・下ヶ橋雅樹・靱山将	2017	平成 28 年度総括・分担研究報告書, p. 21-43
222001	気候変動影響統計レポート	環境省	2011	—
<u>222002</u>	令和元年版日本の水資源の現況について	国土交通省	2019	p. 46
<u>222003</u>	水源水質の変動と健康リスク	秋葉道宏・山田俊郎・中村怜奈・小坂浩司・浅見真理	2010	環境システム計測制御学会誌 EICA, 15(1), p. 16-19
<u>222004</u>	トンガ王国ババウ島およびリフカ島における淡水レンズ地下水塩水化の要因と課題	石田聡・吉本周平・幸田和久・小林勤・白旗克志・土原健雄	2015	農村工学研究所技報, 217, p. 1-12
<u>222005</u>	武蔵野台地における浅層地下水位の長期変動解析および将来予測	久富悠生・中山大地・松山洋	2015	水文・水資源学会誌, 28(3), p. 109-123
<u>222006</u>	地下水環境への気候変動影響のアンサンブル評価に関する研究	北側有輝・城戸由能・中北英一	2015	京都大学防災研究所年報, 58(B), p. 257-265
<u>222007</u>	降雪量と融雪時期の変化が水資源管理及び地下水資源の利用に与える影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム中部地域事業委託業務成果報告書, p. 33-52
<u>222008</u>	地球温暖化による胆沢川扇状地水収支の将来予測	吉松一橋・佐藤喜一郎・奈倉弘・小林俊樹	2010	日本応用地質学会研究発表会講演論文集, p. 65-66
<u>222009</u>	Statistical and numerical analyses of the influence of climate variability on aquifer water levels and groundwater temperatures: The impacts of climate change on aquifer thermal regimes	Luminda Niroshana Gunawardhana, So Kazama	2012	GlobalandPlanetaryChange, 86-87, p. 66-78

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
222010	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—
222011	地球温暖化と地下水塩水化	神野健二、広城吉成	2006	水環境学会誌第 29 巻, 第 2 号, 72-76
222012	Climate change and the future of freshwater resources of the island: a case study on the Rishiri Island, Japan	Ajit K. Mandal, Jing Zhang	2012	EnvironmentalEarthSciences, 66 (5), p. 1309-1319
222013	Temporal variations of groundwater tables and implications for submarine groundwater discharge: a 3-decade case study in central Japan	Bing Zhang,, Jing Zhang,, Takafumi Yoshid	2017	HydrologyandEarthSystemSciences, 21, p. 3417-3425
222014	Landslides in a changing climate	Gariano, S.L., Guzzetti, F	2016	Earth-ScienceReviews, 162, p. 227-252
222015	近年の地すべり災害の傾向と今後の課題	丸山清輝	2011	地質と調査, 2, p. 15-19
223001	平成 20 年度 ヒートアイランド対策の環境影響等に関する調査業務 報告書	社団法人 環境情報科学センター	2008	—
223002	猛暑に対応した水稲作付け体系が用水需要変動に及ぼす影響	坂田賢、友正達美、内村求	2013	Water, LandandEnviron. Eng. Apr. 2013
223003	圃場における将来気候変動が水稲の収量と灌漑水量に与える影響に関する研究	辰己賢一・澁澤栄・小平正和・山敷盾亮	2013	土木学会論文集 G（環境）, 69(5), p. I_171-I_176
223004	気候変動と日本の水環境・水資源	脇岡靖明	2019	用水と廃水, p. 34-38
223005	我が国の水利用の現状と気候変動リスクの認識	国土交通省	2008	—
223006	気候変動による世界の水資源量変化と社会的態響に関する研究	大平一典	2014	中央大学博士論文
223007	渇水時のダム運用への人口変動に伴う水需要変化の影響予測	入江政安・戸井博彬・津田守正・西田修三	2017	土木学会論文集 G（環境）, 73(5), p. I_39-I_46
311001	モニタリングサイト 1000 高山帯調査－重要生態系監視地域モニタリング推進事業－2008～2012 年度とりまとめ報告書	環境省生物多様性センター	2014	【論文の名称と同じ】 p. 54
311002	長野県における適応策立案手法開発のための検討報告書	長野県環境保全研究所	2012	【論文の名称と同じ】 p. 5
311003	Habitat-specific responses of shoot growth and distribution of alpine dwarf-pine (<i>Pinus pumila</i>) to climate variation.	Amagai, Yukihiro and Kaneko, Masami and Kudo, Gaku	2015	EcologicalResearch, 30 (6), pp. 969-977
311004	空間情報を用いた高山帯の植生変化と環境変動のセンサス	金子正美、星野仏方、雨谷教弘	2014	地球環境 19(1), 13-21.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
311005	Climate change and shoot elongation of alpine dwarf pine (<i>Pinus pumila</i> Regel): Comparisons between six Japanese mountains.	Wada, N., Watanuki, K., Narita, K., Suzuki, S., Kudo, G., Kume, A.	2005	PHYTON-HORN-, 45(4), 253.
311006	気候変動下での山岳生態系のモニタリングの意義とその方向性	工藤岳	2014	地球環境 19(1), 3-11.
311007	Invasion of dwarf bamboo into alpine snow-meadows in northern Japan: pattern of expansion and impact on species diversity.	Kudo G, Amagai Y, Hoshino B, Kaneko M.	2011	EcologyandEvolution1(1), 85-96.
311008	Seasonal dry-down rates and high stress tolerance promote bamboo invasion above and below treeline.	Winkler, D. E., Amagai, Y., Huxman, T. E., Kaneko, M., & Kudo, G.	2016	Plantecology, 217(10), 1219-1234.
311009	大雪山国立公園における高山植生変化の現状と生物多様性への影響	川合由加、工藤岳	2014	地球環境 19(1), 23-32.
311010	高山帯におけるササの分布拡大メカニズムと生態系への応答	工藤岳、雨谷教弘	2018	地球環境, 23(1&2), p. 17-26
311011	Changes in alpine plant communities under climate change: Dynamics of snow-meadow vegetation in northern Japan over the last 40 years.	Amagai, Y., Kudo, G., & Sato, K.	2018	AppliedVegetationScience.
311012	Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs.	Shimazaki M, Sasaki T, Hikosaka K, Nakashizuka T.	2011	GlobalChangeBiology17, 3431-3438.
311013	気候変動が森林動態に与える影響と将来予測: 八甲田山のオオシラビソを例として	田中孝尚、嶋崎仁哉、黒川紘子、彦坂幸毅、中静透	2014	地球環境 19(1), 47-55.
311014	気候変動による森林限界の移動とその要因	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所	2017	平成 29 年度版森林総合研究所年報, p171
311015	気候変動リスク情報創生プログラム成果集	文部科学省	2016	【論文の名称と同じ】 p44
311016	平成 30 年度グリーンワーカー事業 火打山における協働型環境保全活動業務報告書	環境省長野県自然環境事務所 新潟県生態研究所	2019	【論文の名称と同じ】
311017	高山生態系の脆弱性評価と適応策に関する研究	国立環境研究所、静岡大学、石川県立白山自然保護センター	2004	—
311018	温暖化にともなうアポイ岳ヒダカソウの開花時期の変化	西川洋子・住田真樹子・棗庄輔	2009	保全生態学研究(14)p. 211-222
311019	Vulnerability of phenological synchrony between plants and pollinators in an alpine ecosystem.	Kudo G.	2014	EcologicalResearch29, 571-581.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
311020	北アルプス北部爺ヶ岳棒小屋乗越付近で発生したイノシシによる高山植物の掘り返し	尾関雅章・堀田昌伸	2017	植生情報, 21, 44-46
311021	北アルプス立山地域におけるカメラトッピング法によるイノシシとニホンジカのモニタリング調査 (2011~2018年)	間宮寿頼・赤座久明	2019	富山県自然博物館ねいの里研究報告第2号, pp1~7
311022	センサーカメラによる北アルプス後立山連邦の岩小屋沢岳周辺でのニホンジカ初確認	堀田昌伸・尾関雅章	2014	長野県環境保全研究所研究報告, 10, p. 33-36
311023	Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (<i>Pinus pumila</i>).	Horikawa M, Tsuyama I, Matsui T, Kominami Y, Tanaka N.	2008	LandscapeEcology24(1), 115-128.
311024	気候変動による森林生態系への影響に係る影響評価	みずほ情報総研株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
311025	How will subalpine conifer distribution be affected by climate change? Impact assessment for spatial conservation planning	Ikutaro Tsuyama, Motoki Higa, Katsuhiro Nakao, Tetsuya Matsui, Masahiro Horikawa, Nobuyuki Tanaka	2015	RegionalEnvironmentalChange, 15(2), pp393-404
311026	平成29年度生物多様性分野における気候変動への適応策検討業務報告書	国立研究開発法人 国立環境研究所	2018	【論文の名称と同じ】 p. 18
311027	国立公園等の生態系及び生態系サービスへの気候変動影響に関する調査及び適応策の検討	みずほ情報総研株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
311028	気候変動による高山・亜高山生態系への影響調査【群馬県】	パンフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務成果報告書
311029	気候変動による高山植生及び希少植物への影響調査 (中国四国地方)	株式会社地域計画建築研究所 (アルパック)、国立大学法人鳥取大学	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業委託業務成果報告書
311030	Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (<i>Abies</i>) species in Japan and on the East Asian continent.	Tanaka N, Nakao K, Tsuyama I, Higa M, Nakazono E, Matsui T.	2012	ProcediaEnvironmentalSciences, 13, 455-466.
311031	日本の潜在的な自然植生分布に対する気候変化の影響予測	神靖弘、清水庸、大政謙次	2003	農業気象 59(4), 269-276.
311032	気候変動に対する樹木の肥大成長と炭素安定同位体比の応答	宮田理恵、長谷川成明、甲山隆司	2014	地球環境 19(1), 57-62.
311033	Effects of wind and thermal conditions on timberline formation in central Japan: a lattice model	Koichi Takahashi	2014	EcologicalResearch, 29(2), pp121-131.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>311034</u>	Forecasting the effects of global warming on radial growth of subalpine trees at the upper and lower distribution limits in central Japan	Takahashi, K., & Okuhara, I.	2013	Climaticchange, 117(1-2), 273-287.
<u>311035</u>	Modeling future wildlife habitat suitability: serious climate change impacts on the potential distribution of the Rock Ptarmigan <i>Lagopus muta japonica</i> in Japan's northern Alps	Hotta, M., Tsuyama, I., Nakao, K., Ozeki, M., Higa, M., Kominami, Y., & Tanaka, N.	2019	BMCecology, 19(1), 23.
<u>311036</u>	Dynamics of flowering phenology of alpine plant communities in response to temperature and snowmelt time: Analysis of a nine-year phenological record collected by citizen volunteers	Kudo G.	2019	EnvironmentalandExperimentalBotany169:103843
<u>311037</u>	モニタリングサイト 1000 高山帯調査 2008-2017 年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2020	—
<u>311038</u>	平成 29 年度グリーンワーカー事業 火打山における協働型環境保全活動業務報告書	環境省長野県自然環境事務所 新潟県生態研究所	2018	—
<u>312001</u>	Long-term forest dynamics in response to climate change in northern mixed forests in Japan: A 38-year individual-based approach.	Hiura, Tsutom, Sato Go, and Hayato Iijima.	2019	ForestEcologyandManagement449(2019):117469
<u>312002</u>	Regional - scale directional changes in abundance of tree species along a temperature gradient in Japan.	Suzuki, S. N., Ishihara, M. I., & Hidaka, A.	2015	Globalchangebiology, 21(9), 3436-3444.
312003	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>312004</u>	Evergreen broadleaf forest transition zone changes in Japan from 1961 to 2008 detected by aerial ortho-photos	Etsuko Nakazono, Nobuyuki Tanaka, Masatsugu Yasuda, Hiromu Daimaru, Wataru Takeuchi	2016	IOPConferenceSeries:EarthandEnvironmentalScience, 37, 1-5.
<u>312005</u>	空中写真判読による函南原生林の 40 年間の林冠変化	中園悦子・武生雅明・田中信行・大丸裕武	2015	東京農大農学集報, 60(3), pp156-161.
<u>312006</u>	空中写真判読による柴尾山常緑広葉樹の 33 年間の林冠変化	中園悦子・田中信行	2016	関東森林研究, 67(1)
<u>312007</u>	長野県木曾地域における常緑広葉樹シラカシ (ブナ科) の分布	大塚孝一・尾関雅章	2015	長野県環境保全研究所研究報告, 11, p. 9-13
<u>312008</u>	Changes in radial growth of earlywood in <i>Quercus crispula</i> between 1970 and 2004 reflect climate change	Eri Nabeshima, Takuya Kubo, Koh Yasue, Tsutom Hiura, Ryo Funada	2015	Trees, 229(4), 【pp. 1273-1281.】

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
312009	志賀高原における温暖化の植物季節への影響	渡辺隆一・大久保明紀子・井田秀行	2006	信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績, 43, pp13-16
312010	Globally consistent climate sensitivity of natural disturbances across boreal and temperate forest ecosystems.	Seidl R, Honkaniemi J, Aakala T, Aleinikov A, Angelstam P, Bouchard M, Boulanger Y, Burton P, De Grandpré L, Gauthier S, Hansen W, Jepsen J, Jögiste K, Kneeshaw D, Kuuluvainen T, Lisitsyna O, Kobayashi M, Mori AS, Pureswaran D, Shorohova E, Shubnitsina E, Taylor A, Vladimirova N, Vodde F, Senf C	2020	Ecography43
312011	Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of <i>Quercus acuta</i> in Japan.	Nakao K T, Matsui M, Horikawa I, Tsuyama I, Tanaka N.	2011	PlantEcology212(2), 229-243.
312012	Influence of nonclimatic factors on the habitat prediction of tree species and an assessment of the impact of climate change.	Higa M, Tsuyama I, Nakao K, Nakazono E, Masui T, Tanaka N.	2013	InternationalConsortiumofLandscapeandEcologicalEngineeringandSpringer9, 111-120.
312013	地球温暖化は森林にどう影響するか？	田中信行、栗屋善雄	2012	—
312014	Changes in the potential habitats of 10 dominant evergreen broad-leaved tree species in the Taiwan-Japan archipelago.	Nakao K, Higa M, Tsuyama I, Lin C-T, Sun S-T, Lin J-R, Chiou C-R, Chen T-Y, Matsui T, Tanaka N.	2014	PlantEcology215, 639-650.
312015	気候変動が天然林の潜在生育域に与える影響の評価と温暖化適応策	松井哲哉・中尾勝洋・津山幾太郎・比嘉基紀・大丸裕武・小南裕志・大橋春香・安田正次・中園悦子・小出大・田中信行	2015	日本不動産学会誌, 29(1), p. 52-58.
312016	気候変動による森林生態系への影響に係る影響評価	みずほ情報総研株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
312017	Potential impact of climate change on canopy tree species composition of cool-temperate forests in Japan using a multivariate classification tree model.	Matsui, Tetsuya and Nakao, Katsuhiro and Higa, Motoki and Tsuyama, Ikutaro and Kominami,	2018	EcologicalResearch, 33(2), pp. 289--302,

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Yuji and Yagihashi, Tsutomu and Koide, Dai and Tanaka, Nobuyuki		
<u>312018</u>	Projecting spatiotemporal changes in suitable climate conditions to regenerate trees using niche differences between adult and juvenile trees.	Koide, D., Higa, M., Nakao, K., Ohashi, H., Tsuyama, I., Matsui, T., & Tanaka, N.	2016	Europeanjournalofforestresearch, 135(1), 125-136.
<u>312019</u>	国立公園等の生態系及び生態系サービスへの気候変動影響に関する調査及び適応策の検討	みずほ情報総研株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
312020	Assessing the potential impacts of climate change and their conservation implications in Japan: A case study of conifers.	Ogawa-Onishi Y, Berry P.M, Tanaka N.	2010	BiologicalConservation143(7), 1728-1736.
312021	日本におけるチマキザサ節の潜在分布域の予測と気候変化の影響評価	津山幾太郎、松井哲哉、堀川真弘、小南裕志、田中信行	2008	G I S -理論と応用 16, 99-113.
<u>312022</u>	Projection of impacts of climate change on windthrows and evaluation of potential adaptation measures in forest management: A case study from empirical modelling of windthrows in Hokkaido, Japan, by Typhoon Songda (2004).	Kohei T. Takano, Kosuke Nakagawa, Masahiro Aiba, Michio Oguro, Junko Morimoto, Yasuto Furukawa, Yoshio Mishima, Kenta Ogawa, Rui Ito, Tetsuya Takemi	2016	HydrologicalResearchLetters, 10(4), pp132-138.
<u>312023</u>	The photosynthetic response of four seral deciduous broad-leaved tree seedlings grown under elevated CO ₂ concentrations	Kitaoka, S., Matsuki, S., Kitao, M., Tobita, H., Utsugi, H., Maruyama, Y., & Koike, T	2016	JournalofAgriculturalMeteorology, 72(1), 43-49
<u>312024</u>	Ecophysiology of deciduous trees native to Northeast Asia grown under FACE (Free Air CO ₂ Enrichment).	Koike, T., Watanabe, M., Watanabe, Y., Agathokleous, E., Eguchi, N., Takagi, K., ... & Funada, R	2015	JournalofAgriculturalMeteorology, 71(3), 174-184
<u>312025</u>	Effects of CO ₂ and O ₃ on the interaction between root of woody plants and ectomycorrhizae.	Wang, X., Agathokleous, E., Qu, L., Watanabe, M., & Koike, T	2016	JournalofAgriculturalMeteorology, 72(2), 95-105
312026	High-resolution prediction of leaf onset date in Japan in the 21st century under the IPCC A1B scenario.	Hadano M, Nasahara K N, Motohka T, Noda H M, Murakami K, Hosaka M.	2013	EcologyandEvolution2013;3(6):1798-1807

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
312027	Current and future carbon budget at Takayama site, Japan, evaluated by a regional climate model and a process-based terrestrial ecosystem model	Kuribayashi, M., Noh, N.J., Saitoh, T.M. et al.	2017	International Journal of Biometeorology, 61(6), pp989-1001
312028	モニタリングサイト 1000 森林・草原調査 2004-2017 年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2020	—
312029	When spring ephemerals fail to meet pollinators: mechanism of phenological mismatch and its impact on plant reproduction.	Kudo, Gaku, and Elisabeth J. Cooper.	2019	Proceedings of the Royal Society B, 286(1904), 20190573.
313001	Detecting latitudinal and altitudinal expansion of invasive bamboo <i>Phyllostachys edulis</i> and <i>P. bambusoides</i> (Poaceae) in Japan to project potential habitats under 1.5°C/4.0°C global warming	Takano KT, Hibino K, Numata A, Oguro M, Aiba M, Shiogama H, Takayabu I, Nakashizuka T.	2017	Ecology and Evolution, 7:9848-9859.
313002	里山景観の長期的変化がチョウ類相に及ぼす影響の研究	今井健介	2013	環動昆, 24(1), pp21-25.
313003	Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide	Pretzsch, Hans, et al.	2017	Scientific reports, 7(1), 15403.
313004	都市の気候変動と深刻化する雑草問題	伊藤幹二	2011	草と緑 3 : 9-20 【p11】
313005	Influence of nonclimatic factors on the habitat prediction of tree species and an assessment of the impact of climate change.	Higa M, Tsuyama I, Nakao K, Nakazono E, Masui T, Tanaka N.	2013	International Consortium of Landscape and Ecological Engineering and Springer 9, 111-120.
313006	Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty.	Higa M, Nakao K, Tsuyama I, Nakazono E, Yasuda M, Matsui T, Tanaka N.	2013	Ecological Indicators 29, 307-315.
313007	気候変動による森林生態系への影響に係る影響評価	みずほ情報総研株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
313008	モニタリングサイト 1000 里地調査 2005-2017 年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2019	—
314001	温暖化に対するスギ人工林の脆弱性マップ	松本陽介、重永英年、三浦覚、長倉淳子、埴田宏	2006	地球環境 11(1), 43-48.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
314002	森林生産性の傾向変化に寄与する気候的・非気候的要因	川口光倫.	2014	日生氣誌, 51(2), p. 71-82
314003	Evidence for environmentally enhanced forest growth.	Fang, J., Kato, T., Guo, Z., Yang, Y., Hu, H., Shen, H., & Houghton, R. A.	2014	ProceedingsoftheNationalAcademyofSciences111(26), p9527-9532.
314004	年輪解析による少積雪寒冷地域におけるカラマツの肥大成長に及ぼす土壌凍結の影響	今村百太・武田一夫・野堀嘉裕.	2016	雪氷研究大会, p. 96
314005	The Potential Effect of Climate Change on the Transpiration of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) Plantations in Japan.	Shigenaga H, Matsumoto Y, Taoda H, Takahashi M.	2005	農業気象 60(5), 451-456.
314006	プロセスモデルを利用した九州のスギ林生産力のマップ化	鳥山淳平・橋本昌司・清水貴範・澤野真治・大曾根陽子・Lehtonen Aleksi	2018	九州森林研究, 71, p. 33-37.
314007	森林炭素動態シミュレーションシステムを用いた気候変動が森林炭素吸収量に及ぼす影響評価の試行	光田靖・鹿又秀聡・松本光朗	2013	統計数理 61(2), 181-188.
314008	Evaluating the Effects of Climate Change on the Potential Site Productivity of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i>) Planted Forests in Kyushu Island, Japan	Yasushi Mitsuda	2018	JournalofForestPlanning, 22(2), p. 47-53.
315001	生物多様性の地図化に関する検討調査業務報告書	財団法人自然環境研究センター	2012	—
315002	Wintering range expansion and increase of sika deer in Nikko in relation to global warming,	Li Y, Maruyama N, Koganezawa M, Kanzaki N.	1996	WildlifeConservationJapan2(1), 23-35.
315003	Factors explaining the extension of the sika deer' s range in Nikko, Japan.	Li Y, Maruyama N, Koganezawa M.	2001	BiosphereConservation3(2), 55-69.
315004	センサーカメラによる北アルプス後立山連邦の岩小屋沢岳周辺でのニホンジカ初確認	堀田昌伸・尾関雅章	2014	長野県環境保全研究所研究報告, 10, p. 33-36
315005	Land abandonment andchanges in snow-cover period accelerate range expansions of sika deer.	Ohashi Haruka, Kominami Yuji, Higa Motoki, Koide Dai, Nakao Katsuhiko, Tsuyama Ikutaro, Matsui Tetsuya, Tanaka Nobuyuki,	2016	EcologyandEvolutio, 6(21), pp7763-7775.
315006	尾瀬国立公園シカ管理方針	尾瀬国立公園シカ対策協議会	2009	—
315007	平成 21 年度 森林・林業白書	林野庁	2009	—
315008	南アルプスにおけるシカ被害	元島清人(林野庁中部森林管理局)	2010	植生情報 14, 13-17.
315009	自治体の施策に適応策を組み込むには	嶋田知英	2015	森林環境 2015, p. 170-78

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
315010	シカの生息域北上化にともなうヤマビルの増加	加藤愛咲・上村わか・切明畑沙織・伊藤絵梨・田中大介	2011	日本森林学会大会学術講演集, 122(0), p. 513
315011	鳥獣被害対策の現状と課題	農林水産省	2014	—
315012	ニホンジカの生息数増加による森林土壌への影響と現在の取組について	山田千尋、池田真之	2012	—
315013	森林における鳥獣被害対策のためのガイド-森林管理技術者のためのシカ対策の手引き- (平成 24 年 3 月版)	林野庁森林保護対策室	2014	—
315014	第 7 回自然環境保全基礎調査 生物多様性調査 種の多様性調査 (北海道) 報告書	環境省自然環境局生物多様性センター	2008	—
315015	ニホンジカ被害問題に残されている課題、神奈川県丹沢山地の経験から	山根 正伸	2003	森林科学 39 巻 p. 35-40
316001	Increasing trends of soil greenhouse gas fluxes in Japanese forests from 1980 to 2009.	Hashimoto S, Morishita T, Sakata T, Ishizaka S.	2011	ScientificReports1, 116.
316002	Long-term chamber measurements reveal strong impacts of soil temperature on seasonal and inter-annual variation in understory CO ₂ fluxes in a Japanese larch (<i>Larix kaempferi</i> Sarg.) forest	Teramoto M., Liang N., Zeng J., Saigusa N., Takahashi Y.	2017	AgriculturalandForestMeteorology
316003	気候変動による森林流域の変化- 長良川流域を対象として-	篠田成郎、守利悟朗、和田祐典、亀原裕、山川淳平、片桐 猛	2004	地球環境シンポジウム講演論文集 12, 165-170.
316004	The effects of future nationwide forest transition to discharge in the 21st century with regard to general circulation model climate change scenarios	Mouri G, Nakano K, Tsuyama I, Tanaka N	2016	EnvironmentalResearch, 149, 288-296.
316005	Potential carbon stock in Japanese forest soils - simulated impact of forest management and climate change using the CENTURY model.	Hashimoto S, Ugawa S, Morisada K, Wattenbach M, Smith P, Matsuura Y.	2012	SoilUseandManagement, 28(1), 45-53.
316006	Current and future carbon budget at Takayama site, Japan, evaluated by a regional climate model and a process-based terrestrial ecosystem model	Kuribayashi, M., Noh, N.J., Saitoh, T.M. et al.	2017	InternationalJournalofBiometeorology, 61(6), pp989-1001
316007	Sustained large stimulation of soil heterotrophic respiration rate and its temperature sensitivity by soil warming in a cool-temperate forested peatland.	Aguilos, Maricar and Takagi, Kentaro and Liang, Naishen and Watanabe, Yoko and Teramoto, Munemasa and Goto, Seiji and Takahashi, Yoshiyuki and Mukai, Hitoshi and Sasa, Kaichiro	2013	Tellus, SeriesB:ChemicalandPhysicalMeteorology, 65(1), pp. 0--13,

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>316008</u>	Long - Term Stimulatory Warming Effect on Soil Heterotrophic Respiration in a Cool - Temperate Broad - Leaved Deciduous Forest in Northern Japan.	Teramoto, M., Liang, N., Ishida, S., & Zeng, J	2018	JournalofGeophysicalResearch:Biogeosciences, 123(4), 1161-1177
<u>316009</u>	Sustained acceleration of soil carbon decomposition observed in a 6-year warming experiment in a warm-temperate forest in southern Japan	Munemasa Teramoto, Naishen Liang, Masahiro Takagi, Jiye Zeng, John Grace	2016	ScientificReports6, Articlenumber:35563
<u>316010</u>	Soil microbial response to experimental warming in cool temperate semi-natural grassland in Japan.	Yoshitake, Shinpei and Tabei, Nozomi and Mizuno, Yu and Yoshida, Hitomi and Sekine, Yuya and Tatsumura, Makoto and Koizumi, Hiroshi	2015	EcologicalResearch, 30(2), pp. 235--245,
<u>316011</u>	Different responses of soil, heterotrophic and autotrophic respirations to a 4-year soil warming experiment in a cool-temperate deciduous broadleaved forest in central Japan	Nam Jin Noh, Masatoshi Kuribayashi, Taku M. Saitoh, Hiroyuki Muraoka	2017	AgriculturalandForestMeteorology, 247(12), 560-570.
<u>316012</u>	Responses of Soil, Heterotrophic, and Autotrophic Respiration to Experimental Open-Field Soil Warming in a Cool-Temperate Deciduous Forest	Noh, Nam Jin and Kuribayashi, Masatoshi and Saitoh, Taku M. and Nakaji, Tatsuro and Nakamura, Masahiro and Hiura, Tsutom and Muraoka, Hiroyuki	2016	Ecosystems, 19(3), pp. 504--520,
316013	Soil warming decreases inorganic and dissolved organic nitrogen pools by preventing the soil from freezing in a cool temperate forest.	Ueda MU, Muller O, Nakamura M, Nakaji T, Hiura T.	2013	SoilBiology&Biochemistry61, 105-108.
<u>321001</u>	Responses of lake macrophyte species and functional traits to climate and land use changes	Kim, Ji Yoon, and Jun Nishihiro	2020	ScienceofTheTotalEnvironment
<u>321002</u>	琵琶湖固有（亜）種ホンモロコおよびニゴロブナ・ゲンゴロウブナ激減の現状と回復への課題	藤岡康弘	2013	魚類学雑誌, 60(1), p. 57-63
321003	湖水中の生き物の世界と、それに影響を与える地球温暖化	花里孝幸、永田貴丸	2011	四万十・流域圏学会誌 10(2), 9-12.
<u>321004</u>	An early spring bloom of large diatoms in the ice-covered Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan.	Shiomoto, Akihiro and Asakuma, Koji and Hoon, Han Dong and Sakaguchi, Koichi and Maekawa, Kimihiko	2012	JournaloftheMarineBiologicalAssociationoftheUnitedKingdom, 92(1), pp. 29-37

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
321005	網走湖における湖水フェノロジー.	大畑有, 豊田威信	2017	雪氷研究大会講演要旨集雪氷研究大会(2017・十日町)(p.63). 公益社団法人日本雪氷学会/日本雪工学会.
321006	気候変動 2007 影響、適応と脆弱性 日本語訳	国立環境研究所・環境省訳 (元文献は IPCC による)	2007	—
321007	平成 29 年度気候変動による水循環への影響評価・適応策検討調査業務報告書	環境省 水・大気環境局 水環境課	2018	【論文の名称と同じ】
321008	気候変動による琵琶湖の水環境への影響調査 (滋賀県)	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務報告書
321009	気候変動による湿地環境への影響調査 (新潟市)	パンフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務報告書
321010	Stoichiometric impacts of increased carbon dioxide on a planktonic herbivore.	Urabe J, Togari J, Elser JJ.	2003	GlobalChangeBiology9, 818-825.
321011	Terrestrial and inland water systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.	Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J.T. Overpeck, and M.A. Taboada	2014	Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
321012	地球温暖化と局所的環境攪乱が淡水魚類群集に及ぼす複合的影響: メカニズム, 予測そして波及効果	谷口義則, 中野繁	2000	陸水学雑誌, 61(1), 79-94.
322001	これまでの河川水辺の国勢調査結果総括検討 [河川版(生物調査編)ダイジェスト版]	国土交通省	2017	【論文の名称と同じ】 p. 30
322002	神奈川県および伊豆半島の河川から採集された注目すべき熱帯性コエビ類 5 種.	丸山智朗	2017	神奈川県自然誌資料第 38 号, 27.
322003	Web image search revealed large-scale variations in breeding season and nuptial coloration in a mutually ornamented fish, <i>Tribolodon</i> .	Atsumi, Keisuke, and Itsuro Koizumi.	2017	Ecologicalresearch, 32(4), 567-578.
322004	気候変動とアユ	高橋勇夫	2011	四万十・流域圏学会誌 10(2), p. 13-16.
322005	淀川のアユ遡上数に与える大阪湾の環境要因の影響	竹門康弘・浦部真治・角哲也.	2014	京都大学防災研究所年報, 57(B)
322006	日本におけるイワナ <i>Salvelinus leucomaenis</i> の生息適地推定と地球温暖化を考慮した保全計画への適用	竹川有哉・河口洋一・三橋弘宗・谷口義則	2017	保全生態学研究, 22(1), p121-134

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
322007	複数の全球気候モデルを用いた源流域における底生動物個体数密度の将来変化	糠澤桂・新井涼允・風間聡・竹門康弘	2014	土木学会論文集G(環境), 70(5), p. I_271
322008	気候変動によるサクラマス ¹ の越夏環境に与える影響調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書
322009	淀川におけるアユ ² 遡上数の変動要因解析に基づいた将来予測モデルの検討	浦部真治・竹門康弘・角哲也	2016	京都大学防災研究所年報, 59(B), pp557-569.
322010	Fluvial geomorphic disturbances and life history traits of riparian tree species.	Futoshi Nakamura, Satomi Inahara	2007	PlantDisturbanceEcology:TheProcessandtheResponse. AcademicPress, 283-310.
322011	The relationship between the snowmelt flood and the establishment of non-native brown trout (<i>Salmo trutta</i>) in streams of the Chitose River, Hokkaido, northern Japan.	Kawai H, Ishiyama N, Hasegawa K. and Nakamura, F.	2013	EcologyofFreshwaterFish22(4), 645-653.
322012	気候変動適応策に関する研究(中間報告)	国土技術政策総合研究所	2013	—
322013	Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the Makomanai River, northern Japan.	Yamada H, Nakamura F.	2002	RiverResearchandApplications18(5), 481-493.
322014	Effects of fine sediment accumulation on the redd environment and the survival rate of masu salmon (<i>Oncorhynchus masou</i>) embryos.	Yamada H, Nakamura F.	2009	LandscapeandEcologicalEngineering5(2), 169-181.
322015	Potential effects of elevated atmospheric carbon dioxide on benthic autotrophs and consumers in stream ecosystems: a test using experimental stream mesocosms.	Hargrave CW, Gary KP, Rosado SK.	2009	GlobalChangeBiology15(11), 2779-2790.
322016	地球温暖化と局所的環境攪乱が淡水魚類群集に及ぼす複合的影響: メカニズム, 予測そして波及効果	谷口義則, 中野繁	2000	陸水学雑誌, 61(1), 79-94.
323001	地球温暖化と日本 自然・人への影響予測	西岡 秀三、原澤 英夫	1997	—
323002	上越山地平ヶ岳湿原の乾燥化に伴うハイマツ・チシマザサの侵入	安田正次、沖津進	2001	理学評論 74A-12709-7192001

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
323003	八幡平山系の山地湿原の気候変動への応答.	安田正次	2017	日本地理学会発表要旨集 2017 年度日本地理学会春季学術大会. 公益社団法人日本地理学会, 2017. p. 100240.
323004	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
323005	Latest developments in peatland related climate policies UNFCCC, IPCC and voluntary carbon markets.	Joosten H.	2012	Ramsar convention on Wetlands (COP11).
323006	Changes in riparian forests in the Kushiro Mire, Japan, associated with stream channelization.	Nakamura F, Jitsu M, Kameyama S, Mizugaki S.	2002	River Research and Applications 18(1), 65-79.
323007	気候変動による高層湿原の生物群集への影響調査 (京都府)	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務成果報告書
323008	気候変動による檜原湿原の生態系への影響調査 (佐賀県)	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務報告書
323009	気温上昇や降水量の変化等による釧路湿原の水環境・生態系への影響に関する調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書
323010	オルソ化航空写真の年代間比較による山地湿原の植生変化の検出	安田正次・大丸裕武・沖津進	2007	地理学評論, 80(13), p. 842-856.
331001	Revisiting the winners and the losers a decade after coral bleaching.	R. van Woesik, K. Sakai, A. Ganase, Y. Loya	2011	Marine Ecology Progress Series 434, 67-76.
331002	Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995-2009).	Hongo C, Yamano H.	2013	PLoS One 8, e60952.
331003	Impacts of multiple disturbances on coral communities at Ishigaki Island, Okinawa, Japan during a 15 year survey.	Harii S, Hongo C, Ishihara M, Ishihara M, Ide Y, Kayanne H.	2014	Marine Ecology Progress Series, 509, 171-180.
331004	Significant drop of fertilization of Acropora corals in 1999: An after-effect of heavy coral bleaching?	Omori M, Fukami H, Kobinata H, Hatta M.	2001	Limnology and Oceanography 46(3), 704-706.
331005	Rapid response of an obligately corallivorous filefish <i>Oxymonacanthus longirostris</i> (Monacanthidae) to a mass coral bleaching event.	Kokita T, Nakazono A.	2001	Coral Reefs 20(2), 155-158.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
331006	Catastrophic impact of typhoon waves on coral communities in the Ryukyu Islands under global warming.	Hongo, C., Kawamata, H., & Goto, K.	2012	JournalofGeophysicalResearch:Biogeosciences, 117(G2)
331007	モニタリングサイト 1000 からみた 2016 年のサンゴの大規模白化.	川越久史	2017	日本サンゴ礁学会誌, 19(1), 21-28
331008	平成 29 年度 西表石垣国立公園石西礁湖及びその近隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2018	【論文の名称と同じ】
331009	国立公園等の生態系及び生態系サービスへの気候変動影響に関する調査及び適応策の検討	みずほ情報総研株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
331010	Transitions in coral communities over 17 years in the Sekisei Lagoon and adjacent reef areas in Okinawa, Japan.	Muko, S., Suzuki, G., Saito, M., Nakamura, T., & Nadaoka, K.	2019	EcologicalResearch, 34(4), 524-534.
331011	Symbiosis increases coral tolerance to ocean acidification.	Ohki S, Irie T, Inoue, K Shinmen, H Kawahata, T Nakamura, A Kato, Y Nojiri, A Suzuki, K Sakai, R van Woessik	2013	BiogeosciencesDiscussion10(4), 7013.
331012	Responses of calcification of massive and encrusting corals to past, present, and near-future ocean carbon dioxide concentrations.	Iguchi A, Kumagai M, Nakamura T, Suzuki A, Sakai K, Nojiri Y.	2014	MarinePollutionBulletin89(1-2), 348-355.
331013	Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures.	Yamano H, Sugihara K, Nomura K.	2011	GeophysicalResearchLetters38(4), L04601.
331014	気候変動による森林限界の移動とその要因	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所	2017	平成 29 年度版森林総合研究所年報, p171
331015	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
331016	SPECIAL REPORT Global Warming of 1.5 °C Summary for Policymakers	IPCC	2018	—
331017	Ocean Acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan.	Yara Y, Vogt M, Fujii M, Yamano H, Hauri C, Steinacher M, Gruber N, Yamanaka Y.	2012	Biogeosciences9, 4955-4968.
331018	Potential future coral habitats around Japan depend strongly on anthropogenic CO ₂ emissions	Yumiko Yara, Hiroya Yamano, Marco Steinacher, Masahiko Fujii, Meike Vogt, Nicolas Gruber, Yasuhiro Yamanaka	2016	AquaticBiodiversityConservationandEcosystem Services, (book) (), pp41-56.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
331019	Projected coral bleaching in response to future sea surface temperature rises and the uncertainties among climate models.	Yara Y, Fujii M, Yamano H, Yamanaka Y.	2014	Hydrobiologia733(1), 19-29.
<u>331020</u>	Reef-scale modeling of coral calcification responses to ocean acidification and sea-level rise.	Nakamura, Takashi and Nadaoka, Kazuo and Watanabe, Atsushi and Yamamoto, Takahiro and Miyajima, Toshihiro and Blanco, Ariel C.	2017	CoralReefs, 37(1), pp. 37--53,
<u>331021</u>	Intraspecific variation in the response of the scleractinian coral <i>Acropora digitifera</i> to ocean acidification.	Kurihara, Haruko and Takahashi, Asami and Reyes-Bermudez, Alejandro and Hidaka, Michio	2018	MarineBiology, 165(2), pp. 43111
<u>331022</u>	Response of Subtropical Coastal Sediment Systems of Okinawa, Japan, to Experimental Warming and High pCO ₂	Sultana, R., Casareto, B. E., Sohrin, R., Suzuki, T., Alam, M., Fujimura, H., & Suzuki, Y	2016	FrontiersinMarineScience, 3, 100
<u>331023</u>	Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests.	Osland, M. J., Feher, L. C., Griffith, K. T., Cavanaugh, K. C., Enwright, N. M., Day, R. H., ... & Rogers, K.	2017	EcologicalMonographs, 87(2), 341-359.
<u>331024</u>	Photosynthesis, respiration, and growth patterns of <i>Rhizophora stylosa</i> seedlings in relation to growth temperature	Akaji, Y., Inoue, T., Tomimatsu, H., & Kawanishi, A.	2019	Trees, 1-9.
<u>331025</u>	熱帯の海の森と気候変動	井上 智美	2018	国立環境研究所ニュース, vol. 37(5)
331026	最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測	有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明	2013	土木学会論文集 G (環境), Vol. 69, No. 5
332001	高水温耐性ノリ新品種「ちばの輝き」の開発について	千葉県	2014	千葉県ウェブページ
332002	Effects of temperature and salinity on spawning of the brackish water bivalve <i>Corbicula japonica</i> in Lake Abashiri, Hokkaido, Japan.	Baba K, Tada M, Kawajiri T, Kuwahara Y.	1999	MarineEcologyProgressSeries180213-221.
332003	Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds.	Tanaka K, Taino S, Haraguchi H, Prendergast G, Hiraoka M.	2012	EcologyandEvolution2(11), 2854-2865.
332004	Decline of the <i>Ecklonia cava</i> population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern Japan.	Serisawa Y, Imoto Z, Ishikawa T, Ohno M.	2004	FisheriesScience70(1), 189-191.
<u>332005</u>	徳島県沿岸で 2012 年に発生した大規模な磯焼けについて～アイゴの大量出現との関係～	棚田教生・中西達也.	2013	徳島水研だより(85) (2013年3月掲載)

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
332006	2014年に神奈川県沿岸で漁獲されたアイゴの体長組成と体成分変化	白井一茂・櫻井繁・田村怜子	2017	神奈川県水産技術センター研究報告, (8), 17-21.
332007	近年の海水温上昇による筑前海沿岸魚類相の変化	西田高志、中園明信、及川信、松井誠一	2005	九大農学芸誌 60(2). 187-201
332008	Seasonal and interannual variation of subtidal fish assemblages in Wakasa Bay with reference to the warming trend in the Sea of Japan.	Masuda R.	2008	Environmental Biology of Fishes 82 (4) , 387-399.
332009	Distribution of intertidal macrobenthos in 1993 around Hatakejima Island, central Japan, compared with 1969 and 1983-84.	Ohgaki S, Yamanishi R, Nabeshima Y, Wada K.	1997	Benthos Research 52(2), 89-102.
332010	2005～2009年の山口県日本海域における海洋生物に関する特記的現象	河野光久・堀成夫・土井啓行.	2011	山口県水産研究センター研究報告, (9) , p. 1-27
332011	Bleaching in the Ryukyu Islands in 2016 and associated degree heating week threshold.	Kayanne H, Suzuki R, Liu G	2017	Journal of Coral Reef Studies 19(1):17-18
332012	Northward extension of geographic range of the sea urchin <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> in Hokkaido, Japan.	Agatsuma Y, Hoahikawa H.	2007	Journal of Shellfish Research 26(2), 629-635.
332013	Ranges of obligate coral-dwelling crabs extend northward as their hosts move north.	Yamano H, Sugihara K, Goto K, Kazama T, Yokoyama K, and Okuno J.	2012	Coral Reefs 31(3), 663.
332014	鹿児島県口永良部島から得られたヤシヤベラ <i>Cheilinus fasciatus</i> の分布北限記録.	木村祐貴, 松尾怜	2017	Nature of Kagoshima=カゴシマネイチャー: an annual magazine for naturalists, 43, 201-205.
332015	相模湾から得られた北限記録のテンジクタチ.	三井 翔太・瀬能 宏	2018	神奈川自然誌資料第 39 号, 87～91.
332016	Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming.	Kumagai, N. H., Molinos, J. G., Yamano, H., Takao, S., Fujii, M., & Yamanaka, Y.	2018	Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(36), 8990-8995
332017	Temperate macroalgae impacts tropical fish recruitment at forefronts of range expansion.	Beck, H. J. and Feary, D. A. and Nakamura, Y. and Booth, D. J.	2017	Coral Reefs, 36(2), pp. 639--651,

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>332018</u>	Long-term declines in common breeding seabirds in Japan	SENZAKI, M., TERUI, A., TOMITA, N., SATO, F., FUKUDA, Y., KATAOKA, Y., & WATANUKI, Y.	2019	BirdConservationInternational, 1-13.
332019	日本の干潟における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測	有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明	2012	土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No. 5
<u>332020</u>	Ocean Acidification and Deoxygenation in the North Pacific Ocean	Christian, J and Ono, T	2019	PICESSpecialPublication6, 116pp.
<u>332021</u>	Evidence for greater oxygen decline rates in the coastal ocean than in the open ocean	D. Gilbert, N. N. Rabalais, R. J. Diaz, and J. Zhang	2010	Biogeosciences, 7, 2283-2296
<u>332022</u>	Ocean acidification drives community shifts towards simplified non-calcified habitats in a subtropical-temperate transition zone	Sylvain Agostini, Ben P. Harvey, Shigeki Wada, Koetsu Kon, Marco Milazzo, Kazuo Inaba & Jason M. Hall-Spencer.	2018	ScientificReportsvolume8, Articlenumber:11354
<u>332023</u>	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate	IPCC	2019	—
<u>332024</u>	Possible change in distribution of seaweed, Sargassum horneri, in northeast Asia under A2 scenario of global warming and consequent effect on some fish	Teruhisa Komatsu, Masahiro Fukuda, Atsuko Mikami, Shizuha Mizuno, Attachai Kantachumpoo, Hideaki Tanoue, Michio Kawamiya.	2014	MarinePollutionBulletin, 85, p. 317-324
<u>332025</u>	Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios	Shintaro Takao, Naoki H Kumagai, Hiroya Yamano, Masahiko Fujii, Yasuhiro Yamanaka	2015	EcologyandEvolution, 5(1), pp213-223.
<u>332026</u>	Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan.	Sudo, K., Watanabe, K., Yotsukura, N., & Nakaoka, M.	2020	EcologicalResearch, 35(1), 47-60.
<u>332027</u>	An improved estimation of the poleward expansion of coral habitats based on the inter-annual variation of sea surface temperatures	S. Takao, H. Yamano, K. Sugihara, N. H. Kumagai, M. Fujii, Y. Yamanaka	2015	CoralReefs, 34(4), pp1125-1137.
<u>332028</u>	国立公園等の生態系及び生態系サービスへの気候変動影響に関する調査及び適応策の検討	みずほ情報総研株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書
332029	Responses of Manila clam growth and its food sources to global warming in a subarctic lagoon in Japan	Yoon S, Abe H, Kishi M J.	2013	ProgressinOceangeography119, 48-53.
332030	北海道日本海沿岸における水温変動とウニ類稚仔の発生状況	干川裕	2006	月刊海洋 38(3), 205-209.
332031	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
332032	Effects of CO ₂ -driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates.	Kurihara H.	2008	MarineEcologyProgressSeries373, 275-284.
332033	Effects of elevated pCO ₂ on the early development of the commercially important gastropod, Ezo abalone <i>Haliotis discus hannai</i> .	Kimura R, Takami H, Ono T, Onitsuka T, Nojiri Y.	2011	FisheriesOceanography20(5), 357-366.
332034	Effects of ocean acidification on the early developmental stages of the horned turban, <i>Turbo cornutus</i> .	Onitsuka T, Kimura R, Ono T, Takami H, Nojiri Y.	2014	MarineBiology161(5), 1127-1138.
<u>332035</u>	Effects of ocean acidification on the early developmental stages of the horned turban, <i>Turbo cornutus</i>	Onitsuka, T., Kimura, R., Ono, T., Takami, H., & Nojiri, Y.	2014	Marinebiology, 161(5), 1127-1138.
<u>332036</u>	Effects of elevated CO ₂ on shell 13C and 18O content and growth rates in the clam <i>Scapharca broughtonii</i> .	K. Nishida, M. Hayashi, Y. Yamamoto, T. Irie, Y. Watanabe, C. Kishida, Y. Nojiri, M. Sato, T. Ishimura, A. Suzuki	2018	GeochimicaetCosmochimicaActa235, 246-261
<u>332037</u>	Effects of ocean acidification with pCO ₂ diurnal fluctuations on survival and larval shell formation of Ezo abalone, <i>Haliotis discus hannai</i>	Onizuka, T., Takami, H., Muraoka, D., Matsumoto, Y., Nakatsubo, A., Kimura, R., Ono, T., Nojiri, Y.	2018	MarineEnvironmentalResearch134, 28-36
<u>332038</u>	Vulnerability of early life stage Northwest Atlantic forage fish to ocean acidification and low oxygen	Elizabeth DePasquale, Hannes Baumann, Christopher J. Gobler	2015	MARINEECOLOGYPROGRESSSERIES523145-156
<u>332039</u>	Hypoxia and acidification in ocean ecosystems: coupled dynamics and effects on marine life	Christopher J. Gobler and Hannes Baumann	2016	Biol. Lett. 12:20150976.
<u>332040</u>	Calcium carbonate saturation and ocean acidification in Tokyo Bay, Japan	Michiyo Yamamoto - Kawai, Natsuko Kawamura, Tsuneo Ono, Naohiro Kosugi, Atsushi Kubo, Masao Ishii, and Jota Kanda	2015	JournalofOceanography71427-439
332041	Climate Change, Potential Impacts and Interactions in Wetlands of the United States.	Burkett V, Kusler J.	2000	JournalofAmericanWaterResourcesAssociation36(2), 313-315.
332042	最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測	有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明	2013	土木学会論文集 G (環境), Vol. 69, No. 5

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
332043	気候変動による有明海・八代海における漁業及び沿岸生態系への影響調査（熊本県）	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務報告書
332044	モニタリングサイト1000 沿岸域調査 磯・干潟・アマモ場・藻場 2008-2016年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2019	—
332045	2019年度モニタリングサイト1000 アマモ場・藻場調査報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2020	—
341001	Global phytoplankton decline over the past century.	Boyce D G, Lewis M R, Worm B.	2010	Nature466, 591-596.
341002	Possible mechanisms of decadal-scale variation in P04 concentration in the western North Pacific.	Tadokoro K, Ono T, Yasuda I, Osafune S, Shiomoto A, Sugiaki H.	2009	GeophysicalResearchLetters36, L08606.
341003	親潮域・混合域における海洋環境と低次生態系のモニタリングと影響評価	小埜恒夫、葛西広海、東屋知範、目下彰、川崎康寛、田中伸一、伊藤進一、清水勇吾、笥茂穂、齊藤宏明、桑田晃、高橋一生、中町美和、一宮陸雄、田所和明、岡崎雄二	2011	—
341004	Sixteen-year phytoplankton biomass trends in the northwestern Pacific Ocean observed by the SeaWiFS and MODIS ocean color sensors	Siswanto, E., Honda, M. C., Matsumoto, K., Sasai, Y., Fujiki, T., Sasaoka, K., Saino, T.	2016	JournalofOceanography72: (3)479-489
341005	Spatiotemporal Decreases of Nutrients and Chlorophyll-a in the Surface Mixed Layer of the Western North Pacific from 1971 to 2000	YUTAKA W. WATANABE, HIROSHI ISHIDA, TOSHIYA NAKANO and NAOKI NAGAI	2005	JournalofOceanography, 61, 1011-1016
341006	Trends in Ocean Colour and Chlorophyll Concentration from 1889 to 2000, Worldwide.	Wernand, M. R., van der Woerd, H. J., & Gieskes, W. W.	2013	PLoSOne, 8(6), e63766.
341007	Decadal Changes of Phytoplankton Chlorophyll a in the East Sea/Sea of Japan	S. H. Leea, S. Sonb, H. U. Dahmsc, J. W. Parka, J. H. Limd, J. H. Nohe, J. I. Kwone, H. T. Jooa, J. Y. Jeonge, and C. K. Kang	2014	Oceanology, 54(6)771-779.
341008	気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクトー地球温暖化が水産分野に与える影響評価と適応技術の開発ー	農林水産省農林水産技術会議事務局	2016	【論文の名称と同じ】

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>341009</u>	Latitudinal and interannual variations of the spring phytoplankton bloom peak in the East Asian marginal seas.	Chen, Cheng and Mao, Zhihua and Han, Guoqi and Zhu, Qiankun and Gong, Fang and Wang, Tianyu	2016	ActaOceanologicaSinica, 35(12), pp. 81-88
341010	Detection of anthropogenic climate change in satellite records of ocean chlorophyll and productivity.	Henson S A, Sarmiento J L, Dunne J P, Bopp L, Lima I, Doney S C, John J, Beaulieu C.	2010	Biogeosciences. 7, 621-640.
<u>341011</u>	Northerly shift of warm-water copepods in the western subarctic North Pacific: Continuous plankton recorder samples (2001-2013)	Yoshiki, T., Chiba, S., Sasaki, Y., Sugisaki, H., Ichikawa, T., and Batten, S	2015	FisheriesOceanography24:414-429.
<u>341012</u>	Upper ocean O ₂ trends: 1958-2015	Takamitsu Ito, Shoshiro Minobe, Matthew C. Long, and Curtis Deutsch	2017	Geophys. Res. Lett. , 44, 4214-4223
<u>341013</u>	Temporal increases of phosphate and apparent oxygen utilization in the subsurface waters of western subarctic Pacific from 1968 to 1998.	Ono, T., Midorikawa, T., Watanabe, Y. W., Tadokoro, K., Saino, T.	2001	Geophys. Res. Lett. 28, 3285-3288.
<u>341014</u>	Decrease of dissolved oxygen after the mid-1980s in the western North Pacific subtropical gyre along the 137°E repeat section	Yusuke Takatani, Daisuke Sasano, Toshiya Nakano, Takashi Midorikawa, and Masao Ishii	2012	GLOBALBIOGEOCHEMICALCYCLES, 26, GB2013
<u>341015</u>	Decline and Bidecadal Oscillations of Dissolved Oxygen in the Oyashio Region and Their Propagation to the Western North Pacific	Daisuke Sasano, Yusuke Takatani, Naohiro Kosugi, Toshiya Nakano, Takashi Midorikawa, and Masao Ishii	2018	GlobalBiogeochemicalCycles, 32, 909-931.
<u>341016</u>	Warming and oxygen-decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk, 1955-2004.	Nakanowatari, T., K. I. Oshima, and M. Wakatsuchi	2007	GeophysicalResearchLetters34:L04602.
<u>341017</u>	日本海の水温と酸素量の変化について	気象庁	2016	気象庁報道発表資料平成 28 年 12 月 8 日
<u>341018</u>	東北-北海道沖の大陸棚斜面における溶存酸素量の減少と底魚類の分布に対する影響	小埜恒夫, 北川大二, 伊藤正木, 服部努, 成松庸二	2011	東北底魚研究 31, 93-98
341019	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
<u>341020</u>	The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Summary for Policy Makers	IPCC	2019	—
341021	Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem mode.	Hashioka T, Takahashi T, Sakamoto, Yamanaka Y.	2009	GeophysicalResearchLetters36,L20604.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
341022	Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models.	Bopp L, Resplandy J C, S C Doney S C, Dunne J P, Gehlen M, Halloran P, Heinze C, Iyana T, Seferian R, Tjiputra J, Vichi M.	2013	Biogeosciences10, 6225-6245.
341023	Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis.	Steinnacher M, Joos F, Frolicher T L, Bopp L, Cadule P, Cocco V, Doney S C, Gehlen M, Lindsay K, Moore J K, Schneider B, Segschneider J.	2010	Biogeosciences7, 979-1005.
341024	Sensitivity of global ocean biogeochemical dynamics to ecosystem structure in a future climate.	Manizza M, Buitenhuis E T, Le Quéré C.	2010	GeophysicalResearchLetters37(13), L13607.
341025	Projected impacts of climate change and ocean acidification on the global biogeography of planktonic foraminifera.	Roy T, Lombard F, Bopp L, Gehlen M.	2014	Biogeosci.encesDiscuss11, 10083-10121.
341026	Warming and eutrophication combine to restructure diatoms and dinoflagellates.	Xiao, W., Liu, X., Irwin, A. J., Laws, E. A., Wang, L., Chen, B., ... & Huang, B.	2018	Waterresearch, 128, 206-216.
341027	Improving the interpretability of climate landscape metrics: An ecological risk analysis of Japan's Marine Protected	García Molinos J, Takao S, Kumagai NH, Poloczanska ES, Burrows MT, Fujii M, Yamano H	2017	Globalchangebiology, 23(10), pp4440-4452
351001	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献は IPCC による）	2014	—
351002	気候変動下での山岳生態系のモニタリングの意義とその方向性	工藤岳	2014	地球環境 19(1), 3-11.
351003	地球温暖化の実態とそれが生態系と農業活動に及ぼす影響」に関する研究会に関する報告	小林和彦、桑形恒男、広田知良、近藤純正、清水庸、見延庄士郎	2007	生物と気象 7, B-1.
351004	日本各地のサクラの開花時期	小池重人、繁田真由美、樋口広芳	2012	地球環境 17(1), 15-20.
351005	「福井県から見る地球温暖化」調査研究報告書	福井県衛生環境研究センター	2012	—
351006	平成 20 年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
351007	岡山市におけるツクツクボウシの発生時期と地域温暖化の関係。	小野雅之；中村圭司。	2017	Naturalistae, (21), 29-36.
351008	新潟市の海岸林における鳥類の春季渡来時期の経年変化と気温との関係。	中田 誠, 千野 奈帆美, 千葉 晃, 小松 吉蔵, 伊藤 泰夫, 赤原 清枝, 市村 靖子, 沖野 森生, 佐藤 弘, 太刀川 勝喜, 藤澤 幹子	2011	日本鳥学会誌, 60(1), 63-72

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
351009	日本に飛来する夏鳥の渡りおよび繁殖時期の長期変化	Munemasa Teramoto, Naishen Liang, Masahiro Takagi, Jiye Zeng, John Grace	2016	日本鳥学会誌, 64(1), p. 39-51
351010	The effects of climate change on the phenology of winter birds in Yokohama, Japan.	Kobori, Hiromi and Kamamoto, Takuya and Nomura, Hayashi and Oka, Kohei and Primack, Richard	2012	Ecological Research, 27(1), pp. 173--180,
351011	近年におけるサクラの開花と冬季の温暖化	松本 太	2017	日本生物気象学会誌, 54(1), pp3-11.
351012	重要生態系監視地域モニタリング推進事業（モニタリングサイト1000）森林・草原調査 第1期とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2009	—
351013	平成24年度暮らしにおける温暖化適応策推進事業 気候変動適応策検討業務委託報告書	三重県	2013	—
351014	わが国のサクラ（ソメイヨシノ）の開花に対する地球温暖化の影響	丸岡知浩、伊藤久徳	2009	農業気象 65(3), 283-296.
351015	温暖化条件化で生育させたサザンカ'獅子頭'の開花と花の形態	中島敦司、櫛田達矢、十倉武司、中尾史郎、山田宏之、松本勝正、山田和司、養父志乃夫	2002	土木学会論文集（Proceedings of JSCE）713, 171-176.
351016	夏季から秋季にかけての気温がキンモクセイの開花に及ぼす影響	中島敦司、山本将功、大南真緒、中里長浩、廣岡ありさ	2011	日本緑化工学会誌 37(1), 26-31.
351017	温暖化条件化で育成したヒノキの成長と生物季節	吉田尚美、中島敦司、山本将功、奥田尚孝、櫛田達矢	2005	土木学会環境工学研究論文集 42, 157-162.
351018	温暖化条件下で育成した <i>Acer rufinerve</i> Sieb. Et Zucc. の成長と生物季節	山本将功、中島敦司、松本尚子、吉田尚美	2006	日本緑化工学会誌 32(1), 112-117.
351019	Forecasting flowering phenology under climate warming by modelling the regulatory dynamics of flowering-time genes	Satake, A., Kawagoe, T., Saburi, Y., Chiba, Y., Sakurai, G., & Kudoh, H.	2013	Nature communications, 4, 2303
352001	気候変動2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献はIPCCによる）	2014	—
352002	Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services	IPBES	2019	—
352003	全国クマゼミ調査	株式会社ウェザーニューース	2009	ウェブページ
352004	日本におけるナガサキアゲハ (<i>Papilio memnon</i> Linnaeus) の分布の拡大と気候温暖化の関係	北原正彦、入来正躬、清水剛	2001	蝶と蛾 52(4), 253-264.
352005	いきものみつけ 事業成果取りまとめ冊子	環境省 自然環境局生物多様性センター	2013	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>352006</u>	平成 28 年度 河川水辺の国勢調査結果の概要[河川版](生物調査編)	国土交通省	2018	【論文の名称と同じ】
<u>352007</u>	自治体の施策に適応策を組み込むには	嶋田知英	2015	森林環境 2015, p. 70-78
<u>352008</u>	東京区部西縁 3 区におけるチョウ相の変化とその生態的要因	前角達彦・須田真一・角谷拓・鷺谷いづみ	2010	保全生態学研究, 15(2), p. 241-254
<u>352009</u>	平成 25 年度河川水辺の国勢調査結果の概要 [河川版] (生物調査編), 4. 鳥類照査	国土交通省	2015	【論文の名称と同じ】 p. 4_26
<u>352010</u>	気候変動の影響? 越冬分布を拓げるアカハラ, オオバン…	植田睦之	2018	バードリサーチニュース 2018 年 4 月
352011	平成 24 年度暮らしにおける温暖化適応策推進事業 気候変動適応策検討業務委託報告書	三重県	2013	—
<u>352012</u>	Northward expansion of the bivoltine life cycle of the cricket over the last four decades	Matsuda, N., Tanaka, K., Watari, Y., Shintani, Y., Goto, S. G., Nisimura, T., ... & Numata, H.	2018	Globalchangebiology, 24(12), 5622-5628.
<u>352013</u>	温暖化がダンダラテントウの分布北上と鞘翅斑紋多型頻度の地理的・経時的変動に与える影響.	河上康子.	2018	(博士学位論文)
352014	Extinction risk from climate change.	Chiris D. Thomas et.	2004	Nature427, 145-148.
<u>352015</u>	Assessment of global warming impact on biodiversity using the extinction risk index in LCIA: a case study of Japanese plant species	Tang, L., Higa, M., Tanaka, N., Itsubo, N.	2017	TheInternationalJournalofLifeCycleAssessment, pp1-10
<u>352016</u>	Potential for interspecific hybridization between <i>Zizina emelina</i> and <i>Zizina otis</i> (Lepidoptera Lycaenidae).	Sakamoto, Yoshiko, and Masaya Yago.	2017	JournalofInsectConservation, 21(3), 509-515.
<u>352017</u>	Climate change alters the optimal wind-dependent flight routes of an avian migrant	Elham Nourani, Noriyuki M. Yamaguchi, Hiroyoshi Higuchi	2017	ProceedingoftheRoyalSocietyB, 284
<u>352018</u>	Poised to prosper? A cross - system comparison of climate change effects on native and non - native species performance.	Sorte, C. J., Ibáñez, I., Blumenthal, D. M., Molinari, N. A., Miller, L. P., Grosholz, E. D., ... & Dukes, J. S.	2013	Ecologyletters, 16(2), 261-270.
<u>352019</u>	Using ensemble forecasting to examine how climate change promotes worldwide invasion of the golden apple snail (<i>Pomacea canaliculata</i>)	Lei, Juncheng, Lian Chen, and Hong Li.	2017	Environmentalmonitoringandassessment
<u>352020</u>	Biodiversity can benefit from climate stabilization despite adverse side effects of land-based mitigation.	Ohashi, H., Hasegawa, T., Hirata, A., Fujimori, S.,	2019	Naturecommunications, 10(1), 1-11.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Takahashi, K., Tsuyama, I., ... & Matsui, T.		
<u>352021</u>	北海道におけるオジロワシ <i>Haliaeetus albicilla</i> の風力発電用風車への衝突事故の現状.	白木彩子	2012	保全生態学研究 17:85-96.
<u>352022</u>	20 - Solar Energy Development and the Biosphere.	Murphy-Mariscal, M., Grodsky, S. M., & Hernandez, R. R.	2018	A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems (pp. 391-405). Academic Press.
<u>352023</u>	The Influence of Solar Power Plants on Microclimatic Conditions and the Biotic Community in Chilean Desert Environments.	Suuronen, A., Muñoz-Escobar, C., Lensu, A., Kuitunen, M., Guajardo Celis, N., Espinoza Astudillo, P., Ferrú, M., Taucare-Rios, A., Miranda, M., & Kukkonen, J. V. K.	2017	Environmental Management, 60 (4), 630-642.
<u>352024</u>	Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants.	Turney, D., & Fthenakis, V.	2011	Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (6), 3261-3270.
<u>352025</u>	A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States.	Walston, L. J., Rollins, K. E., LaGory, K. E., Smith, K. P., & Meyers, S. A.	2016	Renewable Energy, 92, 405-414.
<u>352026</u>	モニタリングサイト1000 里地調査 2005-2017 年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2019	—
<u>352027</u>	モニタリングサイト1000 森林・草原調査 2004-2017 年度とりまとめ報告書	環境省自然環境局 生物多様性センター	2020	—
<u>361001</u>	Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services	IPBES	2019	—
<u>361002</u>	Changes in the potential stocks of coral reef ecosystem services following coral bleaching in Sekisei Lagoon, southern Japan: implications for the future under global warming.	Sato, M., Nanami, A., Bayne, C. J., Makino, M., & Hori, M.	2020	implications for the future under global warming. Sustainability Science. DOI : https://doi.org/10.1007/s11625-019-00778-6

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>361003</u>	Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: a review.	Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J., Mandle, L., Hamel, P., & Rhodes, J. R.	2017	Globalchangebiology, 23(1), 28-41.
<u>361004</u>	Optimal conservation planning of multiple hydrological ecosystem services under land use and climate changes in Teshio river watershed, northernmost of Japan	Fan M, Shibata H, Wang Q	2016	EcologicalIndicators(62), 1-13
<u>361005</u>	Environmental and economic risks assessment under climate changes for three land uses scenarios analysis across Teshio watershed, northernmost of Japan	Fan M, Shibata H, Chen L.	2017	ScienceofTheTotalEnvironment(599), 451-463
<u>361006</u>	気温上昇や降水量の変化等による釧路湿原の水環境・生態系への影響に関する調査	日本エヌ・ユー・エス株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務報告書
<u>361007</u>	Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan.	Sudo, K., Watanabe, K., Yotsukura, N., & Nakaoka, M.	2020	EcologicalResearch, 35(1), 47-60.
<u>361008</u>	第 2 回サンゴ礁保全行動計画策定会議 サンゴ礁価値評価分科会報告	サンゴ礁価値評価分科会	2009	—
<u>361009</u>	Potential future coral habitats around Japan depend strongly on anthropogenic CO ₂ emissions	Yumiko Yara, Hiroya Yamano, Marco Steinacher, Masahiko Fujii, Meike Vogt, Nicolas Gruber, Yasuhiro Yamanaka	2016	AquaticBiodiversityConservationandEcosystem Services, (book), pp41-56.
<u>361010</u>	The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation.	Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airoidi, L.	2014	Naturecommunications, 5(1), 1-9.
<u>361011</u>	The power of three: coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience.	Guannel, G., Arkema, K., Ruggiero, P., & Verutes, G.	2016	PloSone, 11(7), e0158094.
<u>361012</u>	Interdependency of tropical marine ecosystems in response to climate change.	Saunders, M. I., Leon, J. X., Callaghan, D. P., Roelfsema, C. M., Hamylton, S., Brown, C. J., ... & Hoegh-Guldberg, O.	2014	NatureClimateChange, 4(8), 724-729.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>361013</u>	海域における自然資本・生態系サービスがもたらす自然的価値の予測評価	—	2020	環境研究総合推進費戦略的研究開発領域課題(S-15)社会・生態システムの統合化による自然資本・生態系サービスの予測評価 PANCESPolicyBrief, No. 3
<u>361014</u>	Impact of climate-related changes to the timing of autumn foliage colouration on tourism in Japan.	Liu, J., Cheng, H., Jiang, D., & Huang, L.	2019	TourismManagement, 70, 262-272.
<u>361015</u>	Cultural ecosystem services provided by flowering of cherry trees under climate change: a case study of the relationship between the periods of flowering and festivals.	Nagai, S., Saitoh, T. M., & Yoshitake, S.	2019	Internationaljournalofbiometeorology, 1-8.
<u>361016</u>	Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change.	Kubo, T., Uryu, S., Yamano, H., Tsuge, T., Yamakita, T., & Shirayama, Y.	2020	TourismManagement, 77, 104010.
<u>361017</u>	海域における自然資本・生態系サービスがもたらす自然的価値の予測評価	—	2020	環境研究総合推進費 戦略的研究開発領域課題 (S-15) 社会・生態システムの統合化による自然資本・生態系サービスの予測評価 PANCES Policy Brief, No. 3
411001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>411002</u>	北海道で考えるべき地球温暖化への適応策：水資源リスクへの対応	中津川誠	2015	DoconReport, 198, p. 2-7
<u>411003</u>	Climatology of line-shaped rainbands over northern Japan in boreal summer between 1990 and 2010	Yamada T, J., J. Sasak, N. Matsuoka	2012	ATMOSPHERICSCIENCELETTERS, 13, pp. 133-138
<u>411004</u>	アンサンブル気候変動予測データベースを用いた洪水頻度解析による長良川流域の温暖化影響評価	原田守啓, 丸谷 靖幸, 児島 利治, 松岡 大祐, 中川 友進, 川原 慎太郎, 荒木 文明	2018	土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 74, No. 4, p. I_181-I_186.
<u>411005</u>	気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言～参考資料～	気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会	-	p. 21～22
<u>411006</u>	「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について	気象庁	2018	気象庁報道発表資料
<u>411007</u>	大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～答申	社会資本整備審議会	2018	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>411008</u>	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～	環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁	2018	—
<u>411009</u>	2019 河川ハンドブック	公益社団法人 日本河川協会	2019	—
411010	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献は IPCC による）	2014	—
411011	気候変動適応策に関する研究（中間報告）	国土技術政策総合研究所	2013	—
411012	地球温暖化に伴う洪水・渇水リスクの評価に関する研究	和田一範	2005	土木学会論文集 Vol. 796
411013	降雨極値データを利用した気候変動に伴う全国浸水被害額評価	佐藤歩、川越清樹、風間聡、沢本正樹	2008	水工学論文集 Vol.52 巻, pp. 433-438, 2008.
411014	地球温暖化による豪雨発生頻度の変化と洪水氾濫への影響評価	東博紀、大楽浩司、松浦知徳	2006	水工学論文集, 第 50 巻, pp. 205-210.
411015	Potential Changes in Extreme Events Under Global Climate Change	Koji Dairaku, Seita Emori, and Hironori Higashi	2008	Journal of Disaster Research, Vol. 3, No. 1, pp. 39-50.
411016	気候変化の治水施策への影響に関する全国マクロ評価	服部敦、板垣修、土屋修一、加藤拓磨、藤田光一	2012	河川技術論文集, 土木学会水工学委員会河川部会, 第 18 巻, pp. 481-486
<u>411017</u>	気候変動を見据えた新しい治水フレーム	天野邦彦	2018	国土技術政策総合研究所レポート 2019, p. 28-29
<u>411018</u>	気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 別紙 3	気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会	-	-
<u>411019</u>	気象条件の最大化による可能最大降水量（PMP）と可能最大洪水（PMF）の推定	橋本健・矢島啓	2017	水文・水資源学会誌, 30(6), p. 356-372
<u>411020</u>	超多数アンサンブル気候予測実験データを用いた極値河川流量の将来変化の分析	立川康人・宮脇航平・田中智大・萬和明・加藤雅也・市川温・キムスンミン	2017	土木学会論文集 B1（水工学）, 73(3), p. 77-90
<u>411021</u>	気候変動による洪水被害に対する緩和策と適応策の評価	山本道, 風間聡, 峠嘉哉, 多田毅, 山下毅	2019	土木学会論文集 G（環境）, 75(5), p. I_15-I_24
<u>411022</u>	北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会 気候変動を踏まえたリスク評価について（資料 3）	国土交通省 北海道開発局	2019	—
<u>411023</u>	Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming	Francesco Dottori・Wojciech Szewczyk・Juan-Carlos Ciscar・Fang Zhao・Lorenzo Alfieri・Yukiko Hirabayashi・Alessandra Bianchi・Ignazio Mongelli・Katja	2018	NATURECLIMATECHANGE, VOL8, p. 781-786

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Frieler・Richard A. Betts・Luc Feyen		
411024	気候変動に伴う洪水・氾濫リスクの将来予測 那珂川・久慈川流域における解析	横木裕宗、戸村達也、埴尚幸、桑原祐史、三村信男	2008	地球環境シンポジウム講演集 Vol:16 巻, pp. 87-93, 2008.
411025	Estimation of a possible maximum flood event in the Tone River basin, Japan caused by a tropical cyclone	Hirohiko Ishikawa, Yuichiro Oku, Sunmin Kim, Tetsuya Takemi and Jun Yoshino	2013	HydrologicalProcesses, 27, pp.3292-3300.
<u>411026</u>	最大クラス台風を想定した淀川流域における洪水流出シミュレーション	宮脇航平・立川康人・田中智大・石井大貴・市川温・萬和明・竹見哲也	2016	土木学会論文集 B1(水工学), 72(4), p. I_31-I_36
<u>411027</u>	浸水想定(洪水、内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法	国土交通省 水管理・国土保全局	2015	—
411028	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—
<u>411029</u>	第2回 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会 資料5 十勝川流域のリスク評価について	北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会	2019	—
412001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』(2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
412002	The Effects of Future Increases in Heavy Rain on Measure for the Prevention of Inundation in Urban Areas	Tsubasa Hashimoto, Hiroyuki Shigemura, Toshihiro Yokota	2012	9thInternationalConferenceonUrbanDrainageModellingBelgrade2012
<u>412003</u>	気候変動下の都市における戦略的水害リスク低減手法の開発	国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部	2019	国土技術政策総合研究所資料, 第1080号, p. 5-6
<u>412004</u>	「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について	気象庁	2018	気象庁報道発表資料
<u>412005</u>	大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～答申	社会資本整備審議会	2018	—
<u>412006</u>	降水量の増加と社会経済状況の変化を考慮した都市圏の内水氾濫リスク評価	パンフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務報告書, p. 2-1-2-37
<u>412007</u>	地域の脆弱性を考慮した日本の内水被害リスク推定	福林奈緒子・新田友子・沖大幹・瀬戸心太	2012	水文・水資源学会 2012年度研究発表会

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
412008	Reconsideration of reservoir operations under climate change: case study with Yagisawa Dam, Japan	Kim, S., Y. Tachikawa, E. Nakakita, and K. Takara,	2009	Japan. Annual Journal of Hydraulic Engineering, J SCE, 53, 115-120.
412009	気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について (提言) 参考資料	気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する検討会	2020	—
421001	日本沿岸の海面水位の長期変化傾向	国土交通省気象庁	2018	ホームページ： https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html
421002	地盤上下変動を補正した海面水位変化	国土地理院	-	ホームページ： https://www.gsi.go.jp/kanshi/tide_sl_trend.html (2019/10/30 確認)
421004	港湾の長期検潮記録から地盤変動を除去した平均海面水位の推定とその変動特性	内藤了二・浅井正・川口浩二・猪股勉・辰巳大介・成田圭介	2015	国土技術政策総合研究所資料, 855
421005	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
421006	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate	Intergovernmental Panel on Climate Change	2019	—
421007	第 16 回 気候変動に適応した治水対策検討小委員会資料	国土交通省	2014	—
421008	研究課題名：課題 2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発 サブ課題名：3-c モデル自治体等における技術開発 (茨城県及び鳥取県)	担当機関：国立大学法人筑波大学	2020	気候変動適応技術社会実装プログラム成果集, p. 33-34
421009	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
421010	期待越波・越流計算モデルを使った三大湾高潮浸水被害の地球温暖化に対する感度の分析	鈴木武、根木貴史	2011	土木学会論文集, G(環境), Vol. 67. No5
421011	地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方 (答申)	交通政策審議会	2009	—
422001	気候変動 2013 自然科学的根拠 政策決定者向け要約	気象庁訳 (元文献は IPCC による)	2014	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>422002</u>	上陸時（直前）の中心気圧が低い台風（統計期間：1951年～2019年第13号まで）	気象庁	2019	https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/ranking/air_pressure.html (2019/10/30 確認)
<u>422003</u>	全国港湾海洋波浪観測長期データに基づく日本沿岸の季節別波浪特性の経年変化	関克己・河合弘泰・佐藤真・川口浩二	2011	港湾空港技術研究所資料, 1241
422004	Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, Eds.	2013	AR5
<u>422005</u>	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate	Intergovernmental Panel on Climate Change	2019	—
422006	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献は IPCC による）	2014	—
<u>422007</u>	MRI-AGCM3.2H アンサンブル実験を用いた高潮の将来変化予測に関する研究	安田誠宏・山本耀介・森信人・間瀬肇	2016	土木学会論文集 B2（海岸工学）, 72(2), p. I_1477—I_1482
<u>422008</u>	Future changes in extreme storm surges based on mega-ensemble projection using 60-km resolution atmospheric global circulation model	Nobuhito Mori, Tomoya Shimura, Kohei Yoshida, Ryo Mizuta, Yasuko Okada, Mikiko Fujita, Temur Khujanazarov, Eiichi Nakakita	2019	CoastalEngineeringJournal, 61(3), p. 295-307
<u>422009</u>	気候変動を考慮した可能最大高潮の長期変動予測技術の開発	吉野純・高島利紗・小林智尚	2014	土木学会論文集 B2（海岸工学）, 70(2), p. I_1251-I_1255
<u>422010</u>	気候変動に伴う最大クラス台風経路と高潮偏差および再現期間の推定 -伊勢湾における検討-	澁谷容子・中條壮大・森信人・金洙列・間瀬肇	2015	土木学会論文集 B2（海岸工学）, 71(2), p. I_1513-I_1518
<u>422011</u>	Bias Correction in Typhoon and Storm Surge Projection Considering Characteristics of Global Climate Model MRI-AGCM3.2S	Noriaki Hashimoto, Yukihiro Kinashi, Tomoko Kawashima, Masaki Yokota, Masaru Yamashiro, Mitsuyoshi Kodama	2015	JournalofDisasterResearch, 10(3), pp. 448-456
<u>422012</u>	気候予測モデルの結果を用いて算出した三大湾の将来高潮偏差の変化特性	野口賢二・諏訪義雄	2011	土木学会論文集 B2（海岸工学）, 67(2), p. I_1186-I_1190

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>422013</u>	MRI-AGCM3.2Sの台風強度特性を考慮した有明海における高潮の将来予測に関する検討	田辺智子・横田雅紀・山根知洋・児玉充由・山城賢・橋本典明	2014	土木学会論文集 B3 (海洋開発), 70(2), I_1200-I_1205
<u>422014</u>	気象-高潮-潮汐 結合モデルを用いた東京湾における RCP8.5 シナリオ下での高潮予測	岩本匠夢・中村亮太・大山剛弘・水上亮・柴山知也	2014	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 70(2), p. I_1261-I_1265
<u>422015</u>	SST Ensemble Experiment-Based Impact Assessment of Climate Change on Storm Surge Caused by Pseudo-Global Warming: Case Study of Typhoon Vera in 1959	Junichi Ninomiya, Nobuhito Mori, Tetsuya Takemi, Osamu Arakawa	2017	CoastalEngineeringJournal, 59(2), p. 174002-1-174002-20
422016	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>422017</u>	Future Projection of Ocean Wave Climate: Analysis of SST Impacts on Wave Climate Changes in the Western North Pacific	Tomoya Shimura, Nobuhito Mori, Hajime Mase	2015	JournalofClimate, 28, p. 3171-3190
<u>422018</u>	Variability and future decreases in winter wave heights in the Western North Pacific	Tomoya Shimura, Nobuhito Mori, Mark A. Hemer	2016	GeophysicalResearchLetters, 42, p. 2716-2722
<u>422019</u>	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～	環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁	2018	—
<u>422020</u>	Future Projections of Extreme Ocean Wave Climates and the Relation to Tropical Cyclones: Ensemble Experiments of MRI-AGCM3.2H	Tomoya Shimura, Nobuhito Mori, Hajime Mase	2015	JournalofClimate, 28, p. 9838-9856
<u>422021</u>	Projection of tropical cyclone-generated extreme wave climate based on CMIP5 multi-model ensemble in the Western North Pacific	Tomoya Shimura, Nobuhito Mori, Mark A. Hemer	2017	ClimateDynamics, 49, p. 1449-1462
422022	地球温暖化による防波堤の滑動遭遇確率の変化	河合弘泰	1999	地球環境シンポジウム講演. Vol. 7321-326
422023	地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方 (答申)	交通政策審議会	2009	—
422024	Variation of sliding failure probability of breakwater caisson due to global warming.	Hiroyasu Kawai	2000	JournalofGlobalEnvironmentalEngineeringVol. 6p. 75
<u>422025</u>	Effect of Climate Change on Performance-Based Design of Caisson Breakwaters	Kyung-Duck Suh, Seung-Woo Kim, Nobuhito Mori, Hajime Mase	2012	JournalofWaterway, Port, CoastalandOceanEngineering, 138(3), p. 215-225

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>422026</u>	Stability analysis of composite breakwater with wave-dissipating blocks considering increase in sea levels, surges and waves due to climate change	Hajime Mase, Daiki Tsujio, Tomohiro Yasuda, Nobuhito Mori	2013	OceanEngineering, 71, p. 58-65
<u>422027</u>	地球温暖化に伴う海象要因変化が海岸構造物の安全性能に及ぼす影響評価	玉田崇・間瀬肇	2011	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67(2), p. I_1216-I_1220
<u>422028</u>	研究課題名：課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発 サブ課題名：2-b-② 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発	担当機関：国立大学法人京都大学	2020	気候変動適応技術社会実装プログラム成果集, p. 27-28
<u>422029</u>	国土交通省近畿地方整備局 大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会 最終とりまとめ 【参考資料】	国土交通省 近畿地方整備局	2019	第6回大阪港BCP協議会 資料-2
<u>422030</u>	平成24年4月3日からの暴風等による被害状況等について	秋田県災害警戒部	2012	—
<u>422031</u>	平成26年12月に発生した根室地方の高潮現地調査の概要について	市川真人	2016	測候時報, 第83巻, 特別号, p. S83-S91
<u>422032</u>	気候変動を考慮した我が国の三大湾の高潮最大潮位偏差についての研究レビュー	森信人・福井信気・志村智也	2020	土木学会論文集 B2(海岸工学), 76巻 1号, pp. 1-6
423001	Linkages among interannual variations of shoreline, wave and climate at Hasaki, Japan	Y. Kuriyama, M. Banno, and T. Suzuki	2012	GeophysicalResearchLetters, 39, L06604, doi:10.1029/2011GL050704.
<u>423002</u>	Regime shifts in the multi-annual evolution of a sandy beach profile	Yoshiaki Kuriyama, Shinichi Yanagishima	2018	EarthSurfaceProcessesandLandforms, 43(10)
<u>423003</u>	気象・海象変化に伴うサロマ湖沿岸域の地形変化特性	時沢武史・中村雅博・橋本孝治・酒向章哲・山下俊彦	2017	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73(2), p. I_775-I_780
<u>423004</u>	サロマ湖第二湖口周辺の漂砂特性への気象変化の影響	山下俊彦・押田亮祐・富沢進一・佐藤誠・時沢武史・山上佳範	2014	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 70(2), p. I_606-I_610
423005	日本の5海岸における過去の長期汀線変化特性と気候変動による将来の汀線変化予測	吉田惇、有働恵子、真野明	2012	土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 68, No. 2, 2012

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
423006	海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定	須川太一、有働恵子、三村信男、真野明	2011	土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 67, No. 2, 2011
423007	砂浜に対する海面上昇の影響評価	三村信男、幾世橋慎、井上馨子	1993	海岸工学論文集第 40 巻(1993)
423008	砂浜に対する海面上昇の影響評価 (2) -予測モデルの妥当性の検証と全国規模の評価	三村信男、井上馨子、幾世橋 慎、泉宮尊司、信岡尚道	1994	海岸工学論文集第 41 巻(1994)
423009	海面上昇による全国の砂浜消失将来予測における不確実性評価	有働 恵子、武田百合子	2014	土木学会論文集 G (環境) , 70, p. I_101-I_110.
423010	Projections of Future Beach Loss in Japan Due to Sea-Level Rise and Uncertainties in Projected Beach Loss	Keiko Udo, Yuriko Takeda	2017	CoastalEngineering, 59 (2), p. 1740006-1-1740006-16
423011	Projection of decrease in Japanese beaches due to climate change using a geographic database	Nobuhito Mori, Sota Nakajo, Syohei Iwamura, Yoko Shibutani	2018	CoastalEngineeringJournal, 60 (2), p. 239-246
423012	気候変動 2013 自然科学的根拠 政策決定者向け要約	気象庁訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
423013	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate	Intergovernmental Panel on Climate Change	2019	—
423014	潮位による影響及び時間的異質性を考慮した汀線変動モデルの構築と将来予測	伴野雅之、栗山善昭	2013	土木学会論文集 B2 (海岸工学) , Vol. 69, No. 2, pp. I_541-I_545
423015	気候変動に伴う海面上昇と波浪特性の変化が汀線に及ぼす影響—鳥取砂丘海岸をケーススタディーとして—	澁谷容子・藤原伸泰・森信人・黒岩正光・志村智也	2017	土木学会論文集 B3 (海洋開発) , 73 (2), p. I_546-I_551
423016	等深線変化モデルによる気候変動に伴う長期海浜変形予測と影響評価	澁谷容子・黒岩正光・林健太郎・池田健太・森信人・松原雄平・間瀬肇	2014	土木学会論文集 B3 (海洋開発) , 70 (2), p. I_684-I_689
423017	気候変動に伴う沿岸外力変化が汀線変化へ及ぼす影響評価—海面水温アンサンブル実験を用いた検討—	林健太郎・志村智也・森信人・間瀬肇	2015	土木学会論文集 B3 (海洋開発) , 69 (2), p. I_778-I_783
423018	気候変動に伴う波浪特性の変化が皆生海岸の地形に与える影響について	小坂田祐紀・澁谷容子・森信人・志村智也・黒岩正光・松原雄平	2016	土木学会論文集 B2 (海岸工学) , 72 (2), p. I_847-I_852
423019	気候変動による沿岸外力特性の変化が海浜に及ぼす影響—鳥取県浦富海岸—	林健太郎・澁谷容子・黒岩正光・森信人・間瀬肇	2015	土木学会論文集 B3 (海洋開発) , 71 (2), p. I_419-I_424

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
423020	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
423021	Shoreline change caused by the increase in wave transmission over a submerged breakwater due to sea level rise and land subsidence	Kuriyama, Y, Banno, M	2016	CoastalEngineering, 112, p. 9-16
423022	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」—新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策—	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	—
423023	砂浜侵食に伴うレクリエーション価値の損失と適応政策の効果の推計	佐尾博志・供田豪・森龍太・森杉雅史・大野栄治・中畠一憲・坂本直樹	2017	土木学会論文集 G (環境), 73(5), p. I_191-I_199
431001	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について (答申)	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—
431002	平成 23 年度気候変動に対応した森林の水土保全機能の向上方策検討調査	林野庁	2012	—
431003	土砂災害対策の強化に向けて__提言	土砂災害対策の強化に向けた検討会	2014	—
431004	現代砂防学概論	南哲行、小山内信智	2014	書籍
431005	歴史的に見た近年の土砂災害の特徴	内田太郎、西口幸希	2011	砂防学会誌, Vol. 64, No. 2, p. 58-64, 2011
431006	一連降雨によって引き起こされる土砂移動現象の変化	小山内信智、富田陽子、水野秀明、桂真也、山田孝、権田豊、菊池英明、島田徹、吉田真也、山下勝、石塚忠範、山越隆雄	2011	平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集
431007	土砂災害被害と降雨確率規模、災害発生頻度の関係	林真一郎、内田太郎、蒲原潤一	2014	土木技術資料 56-1 (2014)
431008	2011 年台風 12 号における降雨量と斜面崩壊特性	内田太郎、佐藤匠、水野正樹、林真一郎、岡本敦	2012	土木技術資料 56-10 (2012)
431009	Catastrophic landslide disasters triggered by record-breaking rainfall in Japan : Their Accurate Detection with Normalized Soil Water Index in the Kii Peninsula for the Year 2011	Hitoshi Saito, and Hiroshi Matsuyama	2012	SOLA, 2012, Vol. 8, 081-084
431010	気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関する研究委員会最終報告	砂防学会「気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関する研究委員会」	2011	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
431011	降雨規模と斜面崩壊・土石流の発生確率及び生産土砂量の時系列的な関係分析	林真一郎、内田太郎、奥山悠木、丹波諭、蒲原潤一、武蔵由育、小林真之、鈴木伴征	2014	平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集, No. 72, B-46~B-47
<u>431012</u>	Huge Sediment Disasters due to Typhoon Talas	Masaharu Fujita	2013	The 3rd International Workshop on Multimodal Sediment Disasters - Challenge to Huge Sediment Disaster Mitigation -
<u>431013</u>	Historical Patterns of Heavy Rainfall Event and Deep-Seated Rapid Landslide Occurrence in Japan: Insight for Effects of Climate Change on Landslide Occurrence	Taro Uchida, Wataru Sakurai, Atsushi Okamoto	2017	WLF2017: Advancing Culture of Living with Landslides pp. 251-257
<u>431014</u>	平成 25 年 10 月伊豆大島豪雨災害における土砂流下範囲と被害発生時刻	秋山怜子・石塚忠範・吉永子規・水谷佑・森田耕司	2014	砂防学会誌, 67(4), p. 3-12
<u>431015</u>	2013 年 10 月 16 日台風 26 号による伊豆大島土砂災害	石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武穂	2014	砂防学会誌, 66(5), p. 61-72
<u>431016</u>	2017 年 7 月の九州北部豪雨による土砂災害	丸谷知己・海堀正博・地頭菌隆・水野秀明・大野宏之・清水収・久保田哲也・植 弘隆・金澤瑛・河野貴則・古賀省三・小林央宜・小林拓也・坂島俊彦・酒谷幸彦・相楽渉・篠原慶規・鈴木大和・高木将行・鳥田英司・中濃耕司・藤澤康弘・山口和也・山田勇智	2017	砂防学会誌, 70(4), p. 31-42
<u>431017</u>	流砂・流木を伴う洪水流の解析 —2017 年 7 月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として—	原田 大輔・江頭 進治	2018	土木学会論文集 B1(水工学), 74(4), p. I_937-I_942
<u>431018</u>	2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書	公益社団法人 土木学会中国支部	2018	-
431019	Runout characteristics and grain size distribution of large-scale debris flows triggered by deep catastrophic landslides	Yuki NISHIGUCHI, Taro UCHIDA, Nagazumi TAKEZAWA, Tadanori ISHIZUKA, Takahisa MIZUYAMA	2012	International Journal of Japan Erosion Control Engineering, Vol. 5, No. 1, 2012

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
431020	日本の天然ダムと対応策	水山高久、森俊勇、坂口哲夫、井上公夫	2011	書籍
431021	大規模土砂生産後の土砂流出	内田太郎、丹波諭、蒲原潤一	2014	土木技術資料 56-10
<u>431022</u>	平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害	海堀正博、長谷川祐治、山下祐一、崎田博史、中井真司、桑田志保、平松晋也、地頭菌隆、井良沢道也、清水収、今泉文寿、中谷加奈、柏原佳明、加藤誠章、鳥田英司、平川泰之、吉永子規、田中健路、林拙郎	2018	砂防学会誌, Vol. 71, No. 4, p. 49-60
<u>431023</u>	日本列島における土砂災害発生危険性を高めた大雨の空間分布とその地域の特徴	瓜田真司・齋藤仁・中山大地・泉岳樹・松山洋	2011	地学雑誌, 120(4), p. 615-630
<u>431024</u>	2013年7月下旬及び8月9日豪雨により東北地方で発生した土砂災害	井良沢道也・檜垣大助・伊藤英之・蒲原潤一・丹羽諭・堀和彦・鈴木立男・山科真一・三嶋昭二	2014	砂防学会誌, 66(5), p. 53-60
<u>431025</u>	2016年8月30日台風10号による岩手県岩泉町及び宮古市における土砂災害	井良沢道也・檜垣大助・小岩直人・高橋未央・岡本隆・安野雅満・多田信之・中島達也・新井瑞穂・落合達也・笠原亮一・齋藤彰朗・佐藤聡・広瀬伸二・講武学・佐藤達也・大坪俊介・真壁さくら	2017	砂防学会誌, 69(6), p. 71-79
<u>431026</u>	平成28年台風10号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出	小山内信智・笠井美青・林真一郎・桂真也・古市剛久・伊倉万理・高坂宗昭・藤浪武史・水垣滋・阿部孝章・布川雅典・吉井厚志・紅葉克也・渡邊康玄・塩野康浩・宮崎知与・澤田雅代・早川智也・松岡暁・佐伯哲朗・稲葉千秋・永田直己・松岡直基・井上涼子	2017	砂防学会誌, 69(6), p. 80-91
431027	Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, Eds.	2013	AR5
431028	地球温暖化予測情報 第8巻	気象庁	2013	—
431029	雪崩に関するレビューと今後の研究について	野呂智之、小山内信智、富田陽子、川邊洋、辻本浩史、鈴木崇	2011	平成23年度砂防学会研究発表会概要集

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
431030	気候変動監視レポート 2013	気象庁	2014	—
431031	地球温暖化が全国の裸地斜面の凍結融解特性に与える影響評価	泉山寛明・堤大三・藤田正治	2010	京都大学防災研究所年報, 53(B), p. 545-552
431032	Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences: Analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan	H Saito, W Murakami, H Daimaru, T Oguchi	2017	Geomorphology, 276, p. 1-7
431033	流域の土砂生産・流出と自然環境変化の相互作用に関する研究報告書	社団法人砂防学会	2011	砂防学会報告書
431034	統計学的手法による地球温暖化にともなう降雨特性変化の推定	國友優・寺田俊樹・柳原幸希・辻本浩史	2003	平成 15 年度砂防学会研究発表会概要集
431035	気候変化が土砂災害の素因・誘因に及ぼす影響	藤田正治	2012	砂防学会誌, Vol. 65, No. 1, p. 14-20
431036	気候モデルを用いた将来の土砂災害被害額推計	川越清樹・江波悠里・伊藤圭祐・脇岡靖明	2014	土木学会論文集 G(環境), 70(5), p. I_167-I_175
431037	気候変動を踏まえた砂防技術検討会 中間とりまとめ	気候変動を踏まえた砂防技術検討会	2020	—
441001	Growing threat of intense tropical cyclones to East Asia over the period 1977-2010	Doo-Sun R Park, Chang-Hoi Ho, Joo-Hong Kim	2014	EnvironmentalResearchLetters, 9, p. 1-7
441002	渦位部分的逆変換法に基づく台風 1610 号の進路解析	吉野純・中田勇輝・古田教彦・小林智尚	2017	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73(2), p. I_493-I_498
441003	Tornado Disaster 2012 in Northern Kanto and the Features of Tornado Disasters in Japan	Junji Maeda, Eriko Tomokiyo	2013	JournalofDisasterResearch, 8(6), pp. 1078-1083
441004	JRA-55 を用いた日本周辺の冬期低気圧の長期変動特性について	森信人・千綿蒔・二宮順一・間瀬肇	2017	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73(2), p. I_487-I_492
441005	地球温暖化予測情報 第 8 巻	気象庁	2013	—
441006	Simulations of the Present and Late-Twenty-First-Century Western North Pacific Tropical Cyclone Activity Using a Regional Model	Liang Wu, Chia Chou, Cheng-Ta Chen, Ronghui Huan, Thomas R. knutson, Joseph J. Sirutis, Stephen T. Garner, Christopher Kerr, Chia-Jung Lee, Ya-Chien Feng	2014	JournalofClimate, 27(9), p. 3405-3424
441007	A Multimodel Intercomparison of an Intense Typhoon in Future, Warmer Climates by Four 5-km-Mesh Models	Sachie Kanada, Tetsuya Takemi, Masaya Kato, Shota Yamasaki,	2017	JournalofClimate, 30, p. 6017-6036

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Hironori Fudeyasu, Kazuhisa Tsuboki, Osamu Arakawa, Izuru Takayabu		
<u>441008</u>	海面水温の将来変化パターンによる近未来の台風特性の相違に関する研究	井手喜彦・中尾直幸・児玉充由・橋本典明・山城賢	2018	土木学会論文集 B3 (海洋開発), 74(2), p. I_587-I_592
<u>441009</u>	Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change	Kazuhisa Tsuboki, Mayumi K. Yoshioka, Taro Shinoda, Masaya Kato, Sachie Kanada, Akio Kitoh	2015	GeophysicalResearchLetters, 42(2), p. 646-652
<u>441010</u>	Projection of future typhoons landing on Japan based on a stochastic typhoon model utilizing AGCM projections	Tomohiro Yasuda, Hajime Mase, Nobuhito Mori	2010	HydrologicalResearchLetters, 4, p. 65-69
<u>441011</u>	Attribution of Projected Future Changes in Tropical Cyclone Passage Frequency over the Western North Pacific	Satoru Yokoi, Yukari N. Takayabu, Hiroyuki Murakami	2013	JournalofClimate, 26, p. 4096-4111
441012	超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究 平成 23 年度研究成果報告書	文部科学省研究開発局 21 世紀気候変動予測革新プログラム	2013	—
<u>441013</u>	Effects of global warming on the impacts of Typhoon Mireille (1991) in the Kyushu and Tohoku regions	Tetsuya Takemi, Rui Ito, Osamu Arakawa	2016	HydrologicalResearchLetters, 10(3), p. 81-87
<u>441014</u>	A Possible Reduction in the Severity of Typhoon Wind in the Northern Part of Japan under Global Warming: A Case Study	Rui Ito, Tetsuya Takemi, Osamu Arakawa	2016	SOLA, 12, p. 100-105
<u>441015</u>	Future Change of Tornadogenesis-Favorable Environmental Conditions in Japan Estimated by a 20-km-Mesh Atmospheric General Circulation Model	Takanari Muramatsu, Teruyuki Kato, Masahisa Nakazato, Hirokazu Endo, Akio Kitoh	2016	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapan, 94 A, p. 105-120
<u>441016</u>	大規模アンサンブル気候予測データを用いた爆弾低気圧の将来変化	高裕也・二宮順一・森信人	2018	土木学会論文集 B1 (水工学), 74(4), p. I_175-I_180
<u>441017</u>	A preliminary impact assessment of typhoon wind risk of residential buildings in Japan under future climate change	Nishijima, K., Maruyama, T., Graf, M	2012	HydrologicalResearchLetters, Vol. 6, pp23-28
<u>441018</u>	Climate model-based probabilistic assessment of wind risk for residential buildings under projected climate change	Zhang, S., Nishijima, K., Maruyama, T	2014	CivilEngineeringandEnvironmentalSystems, Vol . 31, No. 2, pp. 98-119

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>441019</u>	確率台風モデルを用いた近未来台風リスク評価	楠原啓右・今田由紀子・井芹慶彦・森正人・鼎信次郎	2012	土木学会論文集 B1 (水工学), 68(4), p. I_445-I_450
441020	水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について (答申)	国土交通省 社会資本整備審議会	2008	—
<u>441021</u>	Projection of impacts of climate change on windthrows and evaluation of potential adaptation measures in forest management: A case study from empirical modelling of windthrows in Hokkaido, Japan, by Typhoon Songda (2004)	Kohei T. Takano, Kosuke Nakagawa, Masahiro Aiba, Michio Oguro, Junko Morimoto, Yasuto Furukawa, Yoshio Mishima, Kenta Ogawa, Rui Ito, Tetsuya Takemi	2016	Hydrological Research Letters, 10(4), p. 132-138
<u>451001</u>	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～	環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁	2018	—
<u>451002</u>	「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について	気象庁	2018	気象庁報道発表資料
<u>451004</u>	気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言～参考資料～	気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会	-	p. 21～22
<u>451005</u>	気候変動を踏まえた砂防技術検討会 中間とりまとめ	気候変動を踏まえた砂防技術検討会	2020	—
451006	【火災保険】参考純率改定のご案内	損害保険料率算出機構	2014	—
<u>451007</u>	天候リスクと天候デリバティブの研究	可児滋	2017	横浜商大論集, p. 48-85
<u>451008</u>	気候変動下の洪水と高潮の複合災害リスク推定	三澤公希・風間聡・鈴木武・有働恵子・手塚翔也	2014	土木学会論文集 G(環境), 70(5), p. I_95-I_100
<u>451009</u>	Future change of the potential landslide disasters as evaluated from precipitation data simulated by MRI-AGCM3.1	Yuichiro Oku, Eiichi Nakakita	2013	Hydrol. Process. 27, p. 3332-3340
<u>451010</u>	2018年台風21号 Jebi による沿岸災害調査報告	森信人・中條壮大・安田誠宏・片岡智哉・鈴木高二朗・有川太郎	2018	2018年台風21号 Jebi による沿岸被害調査報告書
<u>511001</u>	低温による国内死者数と冬季気温の長期変動	藤部 文昭	2016	天気. 63 (6), 469-476
<u>511002</u>	人口動態統計を用いた住宅内の安全性に関する研究 その10 最寒日から死亡に至るまでの経過日数に関する研究	三上 遥, 羽山 広文, 森 太郎, 菊田 弘輝	2013	日本建築学会北海道支部研究報告集, 86, 253-254
<u>511003</u>	人口動態統計を用いた住宅内の安全性に関する研究 その12 最寒日と4疾患による死亡に関する研究	三上 遥, 羽山 広文, 森 太郎, 菊田 弘輝	2014	日本建築学会北海道支部研究報告集, 87, 219-220

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>511004</u>	Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study	Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Masahiro Hashizume, Eric Lavigne, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Aurelio Tobias, Shilu Tong, Joacim Rocklöv, Bertil Forsberg, Michela Leone, Manuela De Sario, Michelle L Bell, Yue-Liang Leon Guo, Chang-fu Wu, Haidong Kan, Seung-Muk Yi, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Yasushi Honda, Ho Kim, Ben Armstrong	2015	TheLancet, 386, 369-75
<u>511005</u>	Variation in vulnerability to extreme-temperature-related mortality in Japan: A 40-year time-series analysis	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	EnvironmentalResearch, 140, 177-184
<u>511006</u>	All-cause and cause-specific risk of emergency transport attributable to temperature	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	Medicine, 94(51), 1-7
<u>511007</u>	Out-of-hospital cardiac arrest risk attributable to temperature in Japan	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2017	ScientificReports, 7
<u>511008</u>	低温が救急搬送と死亡に及ぼす影響	土海 一美, 宮武 伸行, 田中 直子, 木下 博之	2018	日本ヒートアイランド学会第13回全国大会講演論文集
<u>511009</u>	Temporal changes in mortality impacts of heat wave and cold spell in Korea and Japan	Whanhee Lee, Hayon Michelle Choi, Jae Young Lee, Da Hye Kim, Yasushi Honda, Ho Kim.	2018	EnvironmentInternational, 116, 136-146
<u>511010</u>	全国労災病院 46,000 例からみた.脳卒中発症の季節性(2002-2008 年)	豊田 章宏	2011	脳卒中, 33(2)226-235
<u>511011</u>	Ambient temperature change increases in stroke onset: Analyses based on the Japanese regional metrological measurements	Takumi I, Mishina M, Kominami S, Mizunari T, Kobayashi S, Teramoto A, Morita A	2015	JournalofNipponMedicalSchool, 82(6), 281-286
<u>511012</u>	気候変動による健康ハイリスク集団の特定と効果的な予防・適応策の構築	津田 敏秀	2013	科学研究費助成事業研究成果報告書

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>511013</u>	Association of out-of-hospital cardiac arrest with prior activity and ambient temperature	Chika Nishiyama, Taku Iwami, Graham Nichol, Tetsuhisa Kitamura, Atsushi Hiraide, Tatsuya Nishiuchi, Yasuyuki Hayashi, Hiroshi Nonogi, Takashi Kawamura	2011	Resuscitation, 82, 1008-1012
<u>511014</u>	Impact of seasonal temperature environment on the neurologic prognosis of out-of-hospital cardiac arrest: A nationwide, population-based cohort study	Tatsuma Fukuda, Naoko Ohashi, Kent Doi, Takehiro Matsubara, Yoichi Kitsuta, Susumu Nakajima, Naoki Yahagi,	2014	JournalofCriticalCare, 29, 840-847
<u>511015</u>	Influence of weather conditions on the frequent onset of acute myocardial infarction	Tsuyoshi Honda, Kazuteru Fujimoto, Yuji Miyao	2016	JournalofCardiology, 67, 42-50
<u>511016</u>	Relation of ST-segment elevation myocardial infarction to daily ambient temperature and air pollutant levels in a Japanese nationwide percutaneous coronary intervention registry (J-PCI)	Kyohei Yamaj, Shun Kohsaka, Takeshi Morimoto, Kenshi Fujii, Tetsuya Amano, Shiro Uemura, Takashi Akasaka, Kazushige Kadota, Masato Nakamura, Takeshi Kimura,	2016	TheAmericanJournalofCardiology, 119(6), 872-880
<u>511017</u>	Relationship between cold temperature and cardiovascular mortality, with assessment of effect modification by individual characteristics - Ibaraki prefectural health study -	Akiko Atsumi, Kayo Ueda, Fujiko Irie, Toshimi Sairenchi, Kyoko Iimura, Hiroshi Watanabe, Hiroyasu Iso, Hitoshi Ota, Kazutaka Aonuma	2013	CirculationJournalOfficialJournaloftheJapaneseCirculationSociety, 77, 1854-1861
<u>511018</u>	Spatiotemporal variations of extreme low temperature for emergency transport: a nationwide observational study	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2016	InternationalJournalofBiometeorology, 61(6), 1081-1094
<u>511019</u>	Cold spells and ischaemic sudden cardiac death: effect modification by prior diagnosis of ischaemic heart disease and cardioprotective medication	Niilo R. I. Ryti, Elina M. S. Mäkikyrö, Harri Antikainen, M. Juhani Junntila, Eeva Hookana, Tiina M. Ikäheimo, Marja-Leena Kortelainen, Heikki V. Huikuri, and Jouni J. K. Jaakkolaa	2016	ScientificReports7:41060
<u>511020</u>	Coronary stenosis as a modifier of the effect of cold spells on the risk of sudden cardiac death: a case-crossover study in Finland	Ryti NRI, Junntila MJ, Antikainen H, Kortelainen ML, Huikuri HV, Jaakkola JJK	2018	BMJOpen, 8(8):e020865

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>511021</u>	Global association of cold spells and adverse health effects: A systematic review and meta-analysis	Ryti NR, Guo Y, Jaakkola JJ	2016	EnvironmentalHealthPerspectives, 124(1), 12-22
<u>511022</u>	Risk of sudden cardiac death in relation to season-specific cold spells: a case- crossover study in Finland	Ryti NRI, Mäkikyrö EMS, Antikainen H, Hookana E, Junntila MJ, Ikäheimo TM, Kortelainen ML, Huikuri HV, Jaakkola JJK.	2017	BMJOpen, 7(11):e017398
511023	平成 24 年度 大気環境物質のためのシームレス同化システムの構築とその応用 (SALAS) 報告書	中島 映至	2012	文部科学省気候変動適応研究推進プログラム成果
<u>511024</u>	Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios	Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Francesco Sera, Ana Maria Vicedo-Cabrera, Veronika Huber, Shilu Tong, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Eric Lavigne, Patricia Matus Correa, Nicolas Valdes Ortega, Haidong Kan, Samuel Osorio, Jan Kysely, Aleš Urban, Jouni J K Jaakkola, Niilo R I Ryti, Mathilde Pascal, Patrick G Goodman, Ariana Zeka, Paola Michelozzi, Matteo Scortichini, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Magali Hurtado-Diaz, Julio Cesar Cruz, Xerxes Seposo, Ho Kim, Aurelio Tobias, Carmen Iñiguez, Bertil Forsberg, Daniel Oudin Åström, Martina S Ragettli, Yue Leon Guo, Chang-fu Wu, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Michelle L Bell, Tran Ngoc Dang, Dung Do Van, Clare Heaviside, Sotiris Vardoulakis, Shakoor Hajat, Andy Haines, Ben Armstrong	2017	TheLancetPlanetaryHealth, 1(9), 360-367

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>521001</u>	Temperature deviation index and elderly mortality in Japan	Youn-Hee Lim, Colleen E. Reid, Yasushi Honda, Kim Ho	2015	InternationalJournalofBiometeorology, 60(7), 991-8
<u>521002</u>	暑熱（熱中症）による国内死者数と夏季気温の長期変動	藤部 文昭	2013	天気, 60(5), 371-381
<u>521003</u>	日本の6都道府県における外因死と暑熱の関連	水口 恵美子	2015	筑波大学, 12102 甲 7471
<u>521004</u>	Spatial and temporal features of heat stroke mortality in Japan and their relation to temperature variations, 1999-2014	Fumiaki Fujibe, Jun Matsumoto, Hideto Suzuki	2018	GeographicalReviewofJapanSeriesB, 91(1), 17-27
<u>521005</u>	Mortality related to extreme temperature for 15 cities in northeast Asia	Yeonseung Chung, Youn-Hee Lim, Yasushi Honda, Yue-Liang Leon Guo, Masahiro Hashizume, Michelle L. Bell, Bing-Yu Chen, Ho King	2015	Epidemiology, 26(2), 255-262
<u>521006</u>	Association between high and low ambient temperature and out-of-hospital cardiac arrest with cardiac etiology in Japan - a case-crossover study	Shin Yamazaki, Takehiro Michikawa	2017	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 22(1):60
<u>521007</u>	都道府県別高齢者夏季死亡率と気温との関係	北島 晴美	2014	日本地理学会発表要旨集 2014s(0), 100291
<u>521008</u>	Sociogeographic variation in the effects of heat and cold on daily mortality in Japan	Chris Fook Sheng Ng, Kayo Ueda, Ayano Takeuchi, Hiroshi Nitta, Shoko Konishi, Rinako Bagrowicz, Chiho Watanabe, Akinori Takami	2013	JournalofEpidemiology, 24(1), 15-24
<u>521009</u>	Economic status and temperature-related mortality in Asia	Youn-Hee Lim, Michelle L. Bell, Haidong Kan, Yasushi Honda, Yue-Liang Leon Guo, Ho Kim	2015	InternationalJournalofBiometeorology, 59(10), 1405-1412
<u>521010</u>	Longer-term impact of high and low temperature on mortality: An international study to clarify length of mortality displacement	Ben Armstrong, Michelle L. Bell, Micheline deSousaZanottiStagliorioCoelho, Yue-Liang LeonGuo, Yuming Guo, Patrick Goodman, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Ho Kim, Eric Lavigne, Paola Michelozzi, Paulo HilarionascimentoSaldiva, Joel Schwartz, Matteo Scortichini,	2017	EnvironmentalHealthPerspectives, 125(10):107009

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Francesco Sera, Aurelio Tobias, Shilu Tong, Chang-fu Wu, Antonella Zanobetti, Ariana Zeka, AntonioGasparrini		
<u>521011</u>	Changes in susceptibility to heat during the summer: A multicountry analysis	Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Masahiro Hashizume, Eric Lavigne, Aurelio Tobias, Antonella Zanobetti, Joel D. Schwartz, Michela Leone, Paola Michelozzi, Haidong Kan, Shilu Tong, Yasushi Honda, Ho Kim, Ben G. Armstrong	2016	AmericanJournalofEpidemiology, 183(11), 1027-1036
<u>521012</u>	Variation in vulnerability to extreme-temperature-related mortality in Japan: A 40-year time-series analysis	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	EnvironmentalResearch, 140, 177-184
<u>521013</u>	A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate	Ana M. Vicedo-Cabrera, Francesco Sera, Yuming Guob, Yeonseung Chung, Katherine Arbuthnotta	2018	EnvironmentInternational, 111, 239-246
<u>521014</u>	Heat-related mortality: Effect modification and adaptation in Japan from 1972 to 2010	Chris Fook Sheng Ng, Melanie Boeckmann, Kayo Ueda, Hajo Zeeb, Hiroshi Nitta, Chiho Watanabe, Yasushi Hondai	2016	GlobalEnvironmentalChange, 39, 234-243
<u>521015</u>	Changing susceptibility to non optimum temperatures in Japan, 1972-2012: The role of climate, demographic, and socioeconomic factors	Yeonseung Chung, Daewon Yang, Antonio Gasparrini, Ana M. Vicedo-Cabrera, Chris Fook Sheng Ng, Yoonhee Kim, Yasushi Honda, Masahiro Hashizume	2018	EnvironmentalHealthPerspectives, 126(5):0570-02
<u>521016</u>	Relation between temperature and suicide mortality in Japan in the presence of other confounding factors using time-series analysis with a semiparametric approach	Victoria Likhvar, Yasushi Honda, Masaji Ono	2011	EnvironHealthandPreventiveMedicine, 16(1), 36-43.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>521017</u>	Suicide and ambient temperature in East Asian countries: a time-stratified case-crossover analysis	Yoonhee Kim, Ho Kim, Yasushi Honda, Yue Leon Guo, Bing-Yu Chen, Jong-Min Woo, Kristie L. Ebi	2016	EnvironmentalHealthPerspectives, 124(1), 75-80
<u>521018</u>	Temperature-associated suicide mortality: contrasting roles of climatic warming and the suicide prevention program in Finland	Samuli Helama, Jari Holopainen, Timo Partonen	2013	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 18(5), 349-355
<u>521019</u>	Comprehensive approach to understand the association between diurnal temperature range and mortality in East Asia	Jayeun Kima, Jihye Shin, Youn-Hee Lim, Yasushi Honda, Masahiro Hashizume, Yue Leon Guo, Haidong Kan, Seungmuk Yi, Ho Kim	2016	ScienceoftheTotalEnvironment, 539, . 313-321
521020	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献は IPCC による）	2014	—
<u>521021</u>	Cold- and heat-related mortality: a cautionary note on current damage functions with net benefits from climate change	Veronika Huber, Dolores Ibarreta, Katja Frieler	2016	ClimaticChange, 142(3-4), 407-418
<u>521022</u>	Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s	World Health Organization	2014	—
<u>521023</u>	Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios	Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Francesco Sera, Ana Maria Vicedo-Cabrera, Veronika Huber, Shilu Tong, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Eric Lavigne, Patricia Matus Correa, Nicolas Valdes Ortega, Haidong Kan, Samuel Osorio, Jan Kyselý, Aleš Urban, Jouni J K Jaakkola, Niilo R I Ryti, Mathilde Pascal, Patrick G Goodman, Ariana Zeka, Paola Michelozzi, Matteo Scortichini, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Magali Hurtado-Diaz, Julio Cesar Cruz, Xerxes Seposo, Ho Kim, Aurelio Tobias, Carmen Iñiguez, Bertil Forsberg,	2017	TheLancetPlanetaryHealth, 1(9), 360-367

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Daniel Oudin Åström, Martina S Ragettli, Yue Leon Guo, Chang-fu Wu, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Michelle L Bell, Tran Ngoc Dang, Dung Do Van, Clare Heaviside, Sotiris Vardoulakis, Shakoor Hajat, Andy Haines, Ben Armstrong		
<u>521024</u>	Mortality burden of diurnal temperature range and its temporal changes: A multi-country study	Whanhee Lee, Michelle L. Bell, Antonio Gasparrini, Ben G. Armstrong, Francesco Sera, Sunghee Hwang, Eric Lavigne, Antonella Zanobetti, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Samuel Osorio, Aurelio Tobias, Ariana Zeka, Patrick G. Goodman, Bertil Forsberg, Joacim Rocklöv, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Yue Liang Leon Guo, Xerxes Seposo, Do Van Dung, Tran Ngoc Dang, Shilu Tong, Yuming Guo, Ho Kim	2017	EnvironmentInternational, 110, 123-130
521025	S-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究 第2回報告書 地球温暖化「日本への影響」-長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価-	温暖化影響総合予測プロジェクトチーム	2009	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
521026	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策－	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	—
<u>521027</u>	Estimation of VSL based on WTA for increase of heat stress mortality risk due to global warming	Eiji Ohno, Masafumi Morisugi, Hiroshi Sao, Ryuta Mori, Shuo Yang, Kazunori Nakajima, Naoki Sakamoto, Hisayoshi Morisugi	2017	Proceedings of 57th European Congress of Regional Science Association International 57, 1-21
<u>521028</u>	Temperature-related mortality impacts under and beyond Paris Agreement climate change scenarios	Ana Maria Vicedo-Cabrera, Yuming Guo, Francesco Sera, Veronika Huber, Carl-Friedrich Schleussner, Dann Mitchell, Shilu Tong, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Eric Lavigne, Patricia Matus Correa, Nicolas Valdes Ortega, Haidong Kan, Samuel Osorio, Jan Kyselý, Aleš Urban, Jouni J. K. Jaakkola, Niilo R. I. Rytö, Mathilde Pascal, Patrick G. Goodman, Ariana Zeka, Paola Michelozzi, Matteo Scortichini, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Magali Hurtado-Diaz, Julio Cruz, Xerxes Seposo, Ho Kim, Aurelio Tobias, Carmen Íñiguez, Bertil Forsberg, Daniel Oudin Åström, Martina S. Ragettli, Martin Röösli, Yue Leon Guo, Chang-fu Wu, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Michelle L. Bell, Tran Ngoc Dang, Dung Do Van, Clare Heaviside, Sotiris Vardoulakis, Shakoor Hajat, Andy Haines, Ben	2018	Climatic Change, 150 (3-4), 391-402

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Armstrong, Kristie L. Ebi, Antonio Gasparrini		
<u>522001</u>	関東地方の熱中症と気候変動の関係(気象システム, 口頭発表)	高谷 清彦, 森岡 優志, Behera Swadhin K.	2013	日本気象学会大会講演予講集, 103, 58
<u>522002</u>	岐阜県多治見市における夏季晴天日の暑熱環境の実態調査と領域気象モデル WRF を用いた予測実験: 物理モデルと水平解像度に伴う予測結果の不確実性の検討	高根 雄也, 日下 博幸, 高木 美彩, 岡田 牧, 阿部 紫織, 永井 徹, 富士 友紀乃	2013	地理学評論. [SeriesA], 86(1), 14-37
<u>522003</u>	山梨県における熱中症発生の地域特性	赤塚 慎, 宇野 忠, 堀内 雅弘	2014	日本生気象学会雑誌, 51(1), 23-36
<u>522004</u>	平成 27 年の熱中症による救急搬送状況	総務省消防庁	2015	—
<u>522005</u>	熱中症患者速報 平成 27 年度報告書	国立環境研究所	2016	—
<u>522006</u>	Characterizing the effect of summer temperature on heatstroke-related emergency ambulance dispatches in the Kanto area of Japan	Chris Fook Sheng Ng, Kayo Ueda, Masaji Ono, Hiroshi Nitta, Akinori Takami	2014	InternationalJournalofBiometeorology, 58(5), 941-948
<u>522007</u>	高齢者の熱中症発生における社会経済的生活環境要因の寄与	清野 薫子	2016	科学研究費助成事業研究成果報告書
<u>522008</u>	さいたま市立病院における 2010 年夏の熱中症患者の特徴	芳賀 佳之, 角田 修	2011	日本救急医学会誌 (22), 815-817
<u>522009</u>	熱中症の死亡数の年次推移—平成 6~25 年—	厚生労働省	2015	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
522010	わが国における熱中症死亡の地域差	星 秋夫, 中井 誠一, 金田 英子, 山本 享, 稲葉 裕	2010	日本生気象学会雑誌. 47(4), 175-184
522011	熱中症めぐる最近の動向と歴史的変換	中井 誠一	2015	公衆衛生, 79(6), 366-372
522012	平成 30 年 (5 月から 9 月) の熱中症による救急搬送状況	総務省	2018	総務省報道資料
522013	年齢 (5 歳階級) 別にみた熱中症による死亡数の年次推移 (平成 7 年~30 年) ~ 人口動態統計 (確定数) より	厚生労働省 熱中症による死亡者数 (人口動態統計) 平成 30 年確定数	2020	厚生労働省 HP
522014	今夏 5 度目 連日救急出場件数過去最多を更新	東京消防庁	2018	報道発表資料
522015	The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming	Yukiko Imada, Masahiro Watanabe, Hiroaki Kawase, Hideo Shiogama, Miki Arai	2019	SOLA, 15A, 8-12
522016	温熱環境の睡眠および自律神経活動に及ぼす影響	四十竹 美千代, 安井 宏, 堀 悦郎, 八塚 美樹, 島 茂, 小野 武年, 西条 寿夫	2012	富山大学看護学会誌, 11(1), 19-28
522017	大阪市における熱中症発症の実態	飯田 涼太, 黒木 尚長, 櫻井 嘉信, 廣崎 英和, 畑 明寿, 藤谷 登	2016	千葉科学大学紀要(9), 93-98
522018	Heatstroke in older adults	Masafumi Kuzuya	2013	JapanMedicalAssociation, 56(3), 193-198
522019	Population at high-risk of indoor heatstroke: the usage of cooling appliances among urban elderlies in Japan	Masahide Kondo, Masaji Ono, Kouichi Nakazawa, Momoko Kayaba, Emiko Minakuchi, Kazutoshi Sugimoto, Yasushi Honda	2013	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 18, 251-257
522020	都市における住宅内熱環境と熱中症リスクの評価	橋本 侑樹, 榎元 慶子, 大橋 唯太, 井原 智彦	2018	日本ヒートアイランド学会第 13 回全国大会講演論文集, 152-153
522021	本邦における熱中症の現状 Heatstroke STUDY2012 最終報告	熱中症に関する委員会	2014	日本救急医学会誌, 25(11), 846-862
522022	スポーツと熱中症	川原 貴	2015	公衆衛生 79(6), 401-404
522023	Effects of high ambient temperature on ambulance dispatches in different age groups in Fukuoka, Japan	Kazuya Kotani, Kayo Ueda, Xerxes Seposo, Shusuke Yasukochi, Hiroko Matsumoto, Masaji Ono, Akiko Honda and Hirohisa Takano	2018	GlobalHealthAction, 11(1):1437882

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
522024	温暖化する気候が子どもの運動遊び・身体活動量に与える影響	岡 みゆき, 地下 まゆみ	2017	大阪大谷大学幼児教育実践研究センター紀要, 8, 25-3
522025	全国の公立小学校の運動会開催時期と熱中症の危険度評価	渡邊 慎一, 石井 仁	2017	日本生気象学会雑誌, 54(2), 75-86
522026	大学バドミントン選手のスポーツ傷害と熱中症発生に関する調査研究	利根川 直樹, 浦辺 幸夫, 沼野 崇平, 福井 一輝, 前田 慶明	2018	理学療法科学, 33 (1) , 39-43
522027	東京 23 区の熱中症死亡率と気温分布との関係 -2013 年についての解析-	藤部 文昭, 松本 淳, 鈴木 秀人	2017	日本ヒートアイランド学会論文集, 12, 1-8
522028	Heat wave vulnerability and exposure mapping for Osaka City, Japan	Robert G. D. Macnee, Akihiro Toka	2016	EnvironmentSystemsandDecisions, 36, 368-376
522029	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
522030	WBGT に基づいた日本の暑熱環境の将来予測	鈴木パーカー 明日香, 日下 博幸	2015	日本生気象学会雑誌, 52(1), 59-72
522031	Assessment of the impact of metropolitan-scale urban planning scenarios on the moist thermal environment in a warmed climate: A study of the Tokyo metropolitan area using regional climate modeling	Suzuki-Parker, Asuka, Hiroyuki Kusaka, Yoshiki Yamagata	2015	AdvancesinMeteorology, 3, 1-11.
522032	Future projections of labor hours based on WBGT for Tokyo and Osaka, Japan, using multi-period ensemble dynamical downscale simulations	Suzuki-Parker, Asuka, Hiroyuki Kusaka	2016	InternationalJournalofBiometeorology, 60(2), 307-310
522033	A study of urban thermal environment in Tokyo in summer of the 2030s under influence of global warming	Kikumoto Hideki, Ooka Ryoze, Arima Yusuke	2016	EnergyandBuilding, 114, 54-61
522034	Heatstroke risk predictions for current and near-future summers in Sendai, Japan, based on mesoscale WRF simulations	Masataka Kasai, Tsubasa Okaze, Akashi Mochida and Kazumasa Hanaoka	2017	Sustainability, 9(8):1467
522035	Summer heatstroke risk prediction for Tokyo in the 2030s based on mesoscale simulations by WRF	Masataka Kasai, OkazeTsubasa, Miguel Yamamoto, Akashi Mochida, and Kazumasa Hanaoka	2017	JournalofHeatIslandInstituteInternational, 1 2(2)
522036	Preventing heat illness in the anticipated hot climate of the Tokyo 2020 Summer Olympic Games	Takeyasu Kakamu , Koji Wada, Derek R. Smith, Shota Endo, Tetsuhito Fukushima	2017	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 22 (1):68.
522037	温熱快適感マップの作成と夏季マラソンコースの温熱環境予測	山崎 雄大, 常松 展充, 横山 仁, 梅木 清, 本條 毅	2016	環境情報科学学術研究論文集, 30, 43-48

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>522038</u>	Microclimate variation and estimated heat stress of runners in the 2020 Tokyo Olympic marathon	Eichi Kosaka , Akiko Iida , Jennifer Vanos , Ariane Middel , Makoto Yokohari , Robert Brown	2018	Atmosphere, 9(5):192
522039	2010年夏 日本の猛暑	楠昌司 編	2012	気象研究ノート、第225号「2010年夏日本の猛暑」、日本気象学会
522040	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策－	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	－
<u>522041</u>	擬似温暖化手法を用いた WRF による気候解析結果に基づく熱中症リスクの評価 -2050 年代における東京と仙台の比較-	山本 ミゲイル, 河西 昌隆, 大風翼, 花岡 和聖, 持田 灯	2017	平成 29 年度日本風工学会年次研究発表会
<u>522042</u>	適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発	担当機関：国立大学法人筑波大学	2020	気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT) 成果集
<u>522043</u>	熱中症リスクの評価手法の整理・構築	パシフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務業務報告書
<u>522044</u>	熱中症発生要因の分析と熱中症予防行動の検討	一般財団法人九州環境管理協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム九州・沖縄地域事業委託業務業務報告書
<u>522045</u>	熱ストレス増大による都市生活への影響調査	一般財団法人日本気象協会	2020	平成 31 年度地域適応コンソーシアム近畿地域事業委託業務業務報告書
<u>522046</u>	2070 年代 8 月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測	日下 博幸, 飯島 奈津美, 井原 智彦, 原 政之, 高根 雄也, 飯塚 悟	2013	日本建築学会環境系論文集, 78(693), 873-881
531001	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	－
<u>531002</u>	長崎県沿岸における <i>Vibrio vulnificus</i> の分布と環境因子	山關 省吾, 右田 雄二, 中村 まき子, 浦伸 孝, 工藤 由起子, 三澤 尚明, 岡本 嘉六, 閨瀬 公三	2009	日本獣医公衆衛生学会会誌, 62, 649-655
<u>531003</u>	香川県における腸炎ビブリオ消長調査について	有塚 真弓, 関 和美, 宮本 孝子, 内田 順子, 池本 龍一	2013	香川県環境保健研究センター所報, 12, 112-114
<u>531004</u>	富山県における市販魚介類および漁港海水の腸炎ビブリオ菌数の推移と食中毒事例数との相関 (1979 ~1995, 2008~2012 年)	金谷 潤一, 磯部 順子, 木全 恵子, 清水 美和子, 佐多 徹太郎, 綿引 正則	2014	日本食品微生物学会雑誌, 31(2), 93-99

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>531005</u>	夏季に発生する腸炎ビブリオおよびサルモネラの動態について	後藤 郁男, 中居 真代, 宮崎 麻由, 木村 葉子, 矢崎 知子, 高橋 恵美, 有田 富和, 那須 務, 畠山 敬, 渡邊 節, 沖村 容子	2011	宮城県保健環境センター年報, 29, 33-36
<u>531006</u>	Seasonal trend and serotype distribution of rotavirus infection in Japan, 1981-2008	Shuvra K. Dey, Hiroshi Ushijima, Outavong Phathamavong,, Wisoot Chanit, Shoko Okitsu, Masashi Mizuguchi, Yoshimi Ota	2010	PediatricInfectiousDiseaseJournal, 29(2), 166-184
<u>531007</u>	The association between ambient temperature and acute diarrhea incidence in Hong Kong, Taiwan, and Japan	Chien-Chou Chen, Bo-Cheng Lin, Liwei Yap, Po-Huang Chiang, Ta-Chien Chan	2018	Sustainability, 10(5), 1-9
<u>531008</u>	Nationwide variation in the effects of temperature on infectious gastroenteritis incidence in Japan	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	ScientificReports5, 12932(5)
<u>531009</u>	Weather variability and paediatric infectious gastroenteritis	Daisuke Onozuka, Masahiro Hashizume	2011	EpidemiologyandInfection, 139, 1369-1378
<u>531010</u>	農作業にともなうレプトスピラ症の感染リスクと接触機会の推定	石橋 良信, 渡部 徹, 上原 鳴夫	2010	国際保健医療, 25(3), 143-153
<u>531011</u>	Leptospirosis in the Tohoku region: Re-emerging infectious disease	Hiroki Saitoh, Nobuo Koizumi, Junji Seto, Satoshi Ajitsu, Akio Fujii, Satoshi Takasaki, Shu Yamakage, Satoshi Aoki, Keisuke Nakayama, Yugo Ashino, Haorile Chagan-Yasutan, Hideyasu Kiyomoto and Toshio Hattori	2015	TohokuJournalofExperimentalMedicine, 236. 33-37
531012	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策－	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	—
<u>531013</u>	地球温暖化による水系感染症の健康被害係数の推定	湯龍 龍, 伊坪 徳宏	2011	日本 LCA 学会誌, 7(3), 242-256
<u>531014</u>	Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s	Editors: Simon Hales, Sari Kovats, Simon Lloyd, Diarmid Campbell-Lendrum	2014	WorldHealthOrganization
<u>531015</u>	Modeling future projections of temperature-related excess morbidity due to infectious gastroenteritis under climate change conditions in Japan.	Daisuke Onozuka, Antonio Gasparrini, Francesco Sera,	2019	EnvironHealthPerspect, 127(7), 77006

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Masahiro Hashizume, Yasushi Honda		
<u>531016</u>	Extreme precipitation and emergency room visits for gastrointestinal illness in areas with and without combined sewer systems: An analysis of massachusetts data, 2003-2007	Jyotsna S. Jagai, Quanlin Li, Shiliang Wang, Kyle P. Messier, Timothy J. Wade, Elizabeth D. Hilborn	2015	EnvironmentalHealthPerspectives, 123(9), 873-879
<u>532001</u>	デング熱の国内感染症例について	厚生労働省福保健局	2019	自治体あて通知
<u>532002</u>	岩手県におけるヒトスジシマカの分布と GIS を用いた生息条件の解析	佐藤 卓, 松本 文雄, 安部 隆司, 二瓶 直子, 小林 睦生	2012	衛生動物, 63(3), 195-204
<u>532003</u>	デング熱とジカ熱の国内輸入例と国内侵入リスク	高崎 智彦	2016	獣疫学雑誌, 20(2), 108-110
<u>532004</u>	Geospatial analysis of invasion of the Asian tiger mosquito <i>Aedes albopictus</i> : Competition with <i>Aedes japonicus japonicus</i> in its northern limit area in Japan	Naoko Nihei, Osamu Komagata, Kan-ichiro Mochizuki, Mutsuo Kobayashi	2014	GeospatialHealth, 8(2), 417-427
<u>532005</u>	デング熱とジカ熱の国内輸入例と国内侵入リスク	高崎 智彦	2016	獣疫学雑誌, 20(2), 108-110
<u>532006</u>	琉球列島における日本脳炎媒介蚊ニセシロハシエカ亜群, 特にニセシロハシエカ <i>Culex vishnui</i> の生息分布と発生状況	當間 孝子, 比嘉 由紀子, 宮城 一郎	2015	衛生動物, 66(3), 127-133
<u>532007</u>	チクングニアウイルス感染症	高崎智彦	2011	獣疫学雑誌, 15(2), 114-116
<u>532008</u>	注目すべき感染症	石塚達夫, 福沢嘉孝, 村上啓雄, 橋本迪子, 坂部茂俊, 大曲貴夫, 玉川達雄	2011	日本内科学会雑誌, 100(5), 1434-1442
<u>532009</u>	デング熱の現状と動向	森田 公一	2016	日本内科学会雑誌, 105(11), 2140-2145
<u>532010</u>	デング熱研究の歴史とデング熱流行 2014	高崎 智彦	2015	獣疫学雑誌, 19(1), 1-3
<u>532011</u>	Retrospective search for dengue vector mosquito <i>Aedes albopictus</i> in areas visited by a German traveler who contracted dengue in Japan	Mutsuo Kobayashi, Osamu Komagata, Mayuko Yonejima, Yoshihide Maekawa, Kimio Hirabayashi, Toshihiko Hayashi, Naoko Nihei, Masahiro Yoshida, Yoshio Tsuda, Kyoko Sawabe	2014	InternationalJournalofInfectiousDiseases26(2014), 135-137

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>532012</u>	Retrospective search for dengue vector mosquito <i>Aedes albopictus</i> in areas visited by a German traveler who contracted dengue in Japan	Mutsuo Kobayashi, Osamu Komagata, Mayuko Yonejima, Yoshihide Maekawa, Kimio Hirabayashi, Toshihiko Hayashi, Naoko Nihei, Masahiro Yoshida, Yoshio Tsuda, Kyoko Sawabe	2014	International Journal of Infectious Diseases, 26 (2014), 135-137
<u>532013</u>	つつが虫病と日本紅斑熱	馬原 文彦, 藤田 博巳	2011	公衆衛生, 75 (1), 31-35
<u>532014</u>	疫学検討から見た群馬県と利根沼田2次保健医療圏におけるつつが虫病の特徴	吉住 正和, 小池 幹義, 高橋 奈緒美, 田仲 久人, 木暮 政恵, 岡田 正敏, 津久井 智, 猿木 信裕, 高橋 篤	2017	北関東医学, 67 (1), 23-31
<u>532015</u>	Geographical distribution of Japanese spotted fever and tsutsugamushi disease in Japan - possible effect of environmental temperature	Hiroshi Yoshikura	2017	Japanese Journal of Infectious Disease, 70 (3), 349-351
<u>532016</u>	Meteorological factors affecting scrub typhus occurrence: A retrospective study of Yamagata Prefecture, Japan, 1984-2014	Junji Seto, Yasuhiro Suzuki, Ryo Nakao, Koichi Otani	2017	Epidemiology and Infection, 145 (3), 462-470
532017	S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策－	茨城大学地球変動適応科学研究機関 (ICAS)、独立行政法人 国立環境研究所	2014	—
<u>532018</u>	蚊媒介性感染症	小林 睦生	2015	生活衛生, 79 (7), 449-453.
<u>532019</u>	Future risk of dengue fever to workforce and industry through global supply chain	Katsuyuki Nakano	2017	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 23 (3), 433-449
<u>532020</u>	Predicting the start of the <i>Aedes albopictus</i> (Diptera: Culicidae) female adult biting season using the spring temperature in Japan	Osamu Komagata, Yukiko Higa, Atsuhiko Muto, Kimio Hirabayashi, Masahiro Yoshida, Takashi Sato, Naoko Nihei, Kyoko Sawabe, Mutuo Kobayashi	2017	Journal of Medical Entomology, 54 (6), 1519-1524
<u>532021</u>	気候変動による節足動物媒介感染症リスクの評価	パシフィックコンサルタンツ株式会社	2020	平成31年度地域適応コンソーシアム関東地域事業委託業務報告書
<u>532022</u>	気候変動と感染症	橋爪 真弘	2012	最新医学, 67 (4), 1020-1026

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>532023</u>	気温上昇がヒトスジシマカの分布に与える影響（特集 地球温暖化と節足動物媒介性感染症を考える）	駒形 修	2017	獣医畜産新報, 70(6), 413-417
<u>533001</u>	奄美地域におけるインフルエンザ夏季流行の要因について	石谷 完二, 濱田 まどか, 岩元 由佳, 濱田 結花, 御供田 睦代, 岩切 忠文	2014	鹿児島県環境保健センター所報, 15, 52-54
<u>533002</u>	Comparative epidemiology of influenza A and B viral infection in a subtropical region: a 7-year surveillance in Okinawa, Japan	Yoshikazu Iha, Takeshi Kinjo, Gretchen Parrott, Futoshi Higa, Hideaki Mori, Jiro Fujita	2016	BMCInfectiousDiseases, 16(1):650
<u>533003</u>	Non-stationary dynamics of climate variability in synchronous influenza epidemics in Japan	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	InternationalJournalofBiometeorology, 59(9), 1253-1259
<u>533004</u>	Association between meteorological factors and reported cases of hand, foot, and mouth disease from 2000 to 2015 in Japan	A. Sumi, S. Toyoda, K. Kanou, T. Fujimoto, K. Mise, Y. Kohei, A. Koyama, N. Kobayashi	2017	Epidemiology&Infection, 145(14), 2896-2911
<u>533005</u>	The influence of temperature and humidity on the incidence of hand, foot, and mouth disease in Japan	Daisuke Onozuka, Masahiro Hashizume	2011	ScienceoftheTotalEnvironment, 410-411, 119-125
<u>533006</u>	The role of temperature in reported chickenpox cases from 2000 to 2011 in Japan	K. Harigane, A. Sumi, K. Mise, N. Kobayashi	2015	Epidemiology&Infection, 143(12), 2666-2678
<u>533007</u>	The association of extreme temperatures and the incidence of tuberculosis in Japan	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2015	InternationalJournalofBiometeorology, 59, 1107-1114
533008	平成 20 年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
<u>533009</u>	Low temperature and low UV indexes correlated with peaks of influenza virus in northern Europe during 2010-2018	Aleksandr Ianevski, Eva Zusinaite, Nastassia Shtaida, Hannimari Kallio-Kokko, Miia Valkonen, Anu Kantele, Kaidi Telling, Irja Lutsar, Pille Letjuka, Natalja Metelitsa, Valentyn Oksenysh, Uga Dumpis, Astra Vitkauskiena, Kestutis Stašaitis, Christina Öhrmalm, Kåre Bondeson, Anders Bergqvist, Rebecca J. Cox, Tanel	2019	Viruses, 11(3), e207

文献 コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
		Tenson, Andres Merits, Denis E. Kainov		
<u>533010</u>	Environmental predictors of seasonal influenza epidemics across temperature and tropical climates	James D. Tamerius, Jeffrey Shaman, Wladimir J. Alonso, Kimberly Bloom-Feshbach, Christopher K. Uejio, Andrew Comrie, Cécile Viboud	2013	PLoSPathogens, 9(3), e1003194
<u>533011</u>	Climatic factors and influenza transmission, Spain, 2010-2015	Diana Gomez-Barroso, Inmaculada León-Gómez, Concepción Delgado-Sanz, Amparo Larrauri	2017	InternationalJournalofEnvironmentalResearchandPublicHealth, 14(12), 1469
<u>533012</u>	Global environmental drivers of influenza	Ethan R. Deyle, M. Cyrus Maher, Ryan D. Hernandez, Sanjay Basu, George Sugihara	2016	ProceedingsoftheNationalAcademyofScienceoftheUnitedStatesofAmerica, 113(46), 13081-13086
<u>533013</u>	Associations between meteorological parameters and influenza activity in Berlin (Germany), Ljubljana (Slovenia), Castile and Leon (Spain) and Israeli Districts	Radina P. Soebiyanto, Diane Gross, Pernille Jorgensen, Silke Buda, Michal Bromberg, Zalman Kaufman, Katarina Prosenec, Maja Socan, Tomás Vega Alonso, Marc-Alain Widdowson, Richard K. Kiang	2015	PLoSOne, 10(8), e0134701
<u>533014</u>	Seasonality of influenza and respiratory syncytial viruses and the effect of climate factors in subtropical-tropical Asia using influenza-like illness surveillance data, 2010-2012	Taro Kamigaki, Liling Chaw, Alvin G. Tan, Raita Tamaki, Portia P. Alday, Jenaline B. Javier, Remigio M. Olveda, Hitoshi Oshitani, Veronica L. Tallo	2016	PLoSOne, 11(12), e0167712

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
533015	Thinking outside the box: Association of antimicrobial resistance with climate warming in Europe - A 30 country observational study	Hani E. J. Kaba, Ellen Kuhlmann, Simone Scheithauer	2019	InternationalJournalofHygieneandEnvironmentalHealth, 223(1), 151-158
533016	Antibiotic resistance increases with local temperature	Derek MacFadden, Sarah F. McGough, David Fisman, Mauricio Santillana, John S. Brownstein	2018	NatureClimateChange, 8(6), 510-514
541001	Effects of temperature and ozone on daily mortality during the August 2003 heat wave in France	Keith Dear, Geetha Ranmuthugala, Tord Kjellström, Carol Skinner, Ivan Hanigan	2005	ArchivesofEnvironmental&OccupationalHealth, Vol. 60, No. 4, 2005
541002	Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality analysis of the NMMAPS data	C Ren, G M Williams, L Morawska, K Mengersen, S Tong	2008	OccupEnvironMed2008;65:255-260.
541003	光化学大気汚染の対策と現況 —近年の対策とその根拠—	若松 伸司	2013	大気環境学会誌, 48(3), 167-170
541004	観測データから見た近年の埼玉県における大気環境の状況と光化学オキシダント濃度推移の要因	竹内 庸夫	2012	全国環境研会誌, 37(4), 2-10
541005	光化学大気汚染の現状—発生源の変化と常時監視データを中心として—	星 純也	2013	大気環境学会誌, 48(3), 171
541006	大気汚染による健康影響—歴史的変遷と現状—	島 正之	2017	日衛誌, 72, 159-165
541007	炭化水素類の濃度と光化学オキシダント濃度上昇との関係について (III)	本田 雄一	2014	香川県環境保健研究センター所報, 13, 42-47
541008	Tropospheric ozone assessment report: present-day ozone distribution and trends relevant to human health	Zoë L. Fleming, Ruth M. Doherty, Erika von Schneidmesser, Christopher S. Malley, Owen R. Cooper, Joseph P. Pinto, Augustin Colette, Xiaobin Xu, David Simpson, Martin G. Schultz, Allen S. Lefohn, Samera Hamad, Raeesa Moolla, Sverre Solberg, Zhaozhong Feng	2018	ElementaScienceoftheAnthropocene, 6(1), 47
541009	The interplay of climate change and air pollution on health	Hans Orru, Kristie L Ebi, Bertil Forsberg	2017	CurrEnvironHealthRep. Dec;4(4):504-513
541010	「福井県から見る地球温暖化」調査研究報告書	福井県衛生環境研究センター	2012	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>541011</u>	Projections of summertime ozone concentration over East Asia under multiple IPCC SRES emission scenarios	Jae-Bum Lee, Jun-Seok Cha, Sung-Chul Hong, Jin-Young Choi, Ji-Su Myoung, Rokjin J. Park, Jung-Hun Woo, Changhoi Ho, Jin-Seok Han, Chang-Keun Song	2015	AtmosphericEnvironment, 106, 335-346
<u>541012</u>	The effect of future ambient air pollution on human premature mortality to 2100 using output from the ACCMIP model ensemble	Raquel A. Silva, J. Jason West, Jean-François Lamarque, Drew T. Shindell, William J. Collins, Stig Dalsoren, Greg Faluvegi, Gerd Folberth, Larry W. Horowitz, Tatsuya Nagashima, Vaishali Naik, Steven T. Rumbold, Kengo Sudo, Toshihiko Takemura, Daniel Bergmann, Philip Cameron-Smith, Irene Cionni, Ruth M. Doherty, Veronika Eyring, Beatrice Josse, Ian A. MacKenzie, David Plummer, Mattia Righi, David S. Stevenson, Sarah Strode, Sophie Szopa, Guang Zengas	2016	AtmosphericChemistryandPhysics, 16(15), 9847-9862
<u>541013</u>	Climate change and air pollution in East Asia: Taking transboundary air pollution into account	Ken Yamashita, Yasushi Honda	2018	ClimateChangeandAirPollutionTheImpactonHumanHealthinDevelopedandDevelopingCountries19: 309-326
<u>542001</u>	さいたま市立病院における 2010 年夏の熱中症患者の特徴	芳賀 佳之, 角田 修	2011	日本救急医学会誌 (22), 815-817
<u>542002</u>	平成 30 年 (5 月から 9 月) の熱中症による救急搬送状況	総務省	2018	総務省報道資料
<u>542003</u>	熱中症めぐる最近の動向と歴史的変換	中井 誠一	2015	公衆衛生, 79(6), 366-372
<u>542004</u>	高齢者の熱中症発生における社会経済的生活環境要因の寄与	清野 薫子	2016	科学研究費助成事業研究成果報告書
<u>542005</u>	暑熱 (熱中症) による国内死者数と夏季気温の長期変動	藤部 文昭	2013	天気, 60(5), 371-381

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>542006</u>	Population at high-risk of indoor heatstroke: the usage of cooling appliances among urban elderlies in Japan	Masahide Kondo, Masaji Ono, Kouichi Nakazawa, Momoko Kayaba, Emiko Minakuchi, Kazutoshi Sugimoto, Yasushi Honda	2013	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 18, 251-257
<u>542007</u>	埼玉県内の熱中症搬送者の特徴と対応に関する課題	藤野 毅, 河野 和宏, 桐原 啓真	2011	第 24 回 (2011 年度) 水文・水資源学会総会・研究発表会, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 30
<u>542008</u>	大阪市における熱中症発症の実態	飯田 涼太, 黒木 尚長, 櫻井 嘉信, 廣崎 英和, 畑 明寿, 藤谷 登	2016	千葉科学大学紀要(9), 93-98
<u>542009</u>	Heatstroke in older adults	Masafumi Kuzuya	2013	JapanMedicalAssociation, 56(3), 193-198
<u>542010</u>	Effects of solar heat on the thermoregulatory responses of young and older men	Kazuyo Tsuzuk, Ikusei Misaka, Kenichi Narita, Yasushi Ishimaru	2016	14thInternationalConferenceofIndoorairqualityandclimate
<u>542011</u>	Association between high and low ambient temperature and out-of-hospital cardiac arrest with cardiac etiology in Japan - a case-crossover study	Shin Yamazaki, Takehiro Michikawa	2017	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 22(1):60
<u>542012</u>	慢性閉塞性肺疾患患者の寝室暑熱環境と呼吸困難感に関連する気象要因	階堂 武郎, 鈴木 幸子, 本田 靖, 本城 綾子, 前倉 亮治	2017	日本健康学会誌, 83(3), 85-93
<u>542013</u>	Effects of high ambient temperature on ambulance dispatches in different age groups in Fukuoka, Japan	Kazuya Kotani, Kayo Ueda, Xerxes Seposo, Shusuke Yasukochi, Hiroko Matsumoto, Masaji Ono, Akiko Honda, Hirohisa Takano	2018	GlobHealthAction. 2018;11(1):1437882
<u>542014</u>	東京 23 区の熱中症死亡率と気温分布との関係 -2013 年についての解析-	藤部 文昭, 松本 淳, 鈴木 秀人	2017	日本ヒートアイランド学会論文集, 12, 1-8
<u>542015</u>	Heat wave vulnerability and exposure mapping for Osaka City, Japan	Robert G. D. Macnee, Akihiro Toka	2016	EnvironmentSystemsandDecisionsvolume, 36, 368-376
<u>542016</u>	関東地方における熱中症の社会経済要因に関する調査	小楠 智子, 関山 牧子, 橋本 侑樹, 井原 智彦	2018	日本ヒートアイランド学会第 13 回全国大会講演論文集
<u>542017</u>	都道府県別高齢者夏季死亡率と気温との関係	北島 晴美	2014	日本地理学会発表要旨集 2014s(0), 100291

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>542018</u>	低温による国内死者数と冬季気温の長期変動	藤部 文昭	2016	天気. 63 (6) , 469-476
<u>542019</u>	Relationship between cold temperature and cardiovascular mortality, with assessment of effect modification by individual characteristics - Ibaraki Prefectural Health Study -	Akiko Atsumi, Kayo Ueda, Fujiko Irie, Toshimi Sairenchi, Kyoko Iimura, Hiroshi Watanabe, Hiroyasu Iso, Hitoshi Ota, Kazutaka Aonuma	2013	CirculationJournalOfficialJournaloftheJapaneseCirculationSociety, 77, 1854-1861
542020	Global climate change and children's health: Threats and strategies for prevention	Perry E. Sheffield, Philip J. Landrigan	2011	JournalofCardiology, 67, 42-50
<u>542021</u>	Climate change is associated with male:female ratios of fetal deaths and newborn infants in Japan	Misao Fukuda, Kiyomi Fukuda, Takashi Shimizu, Miho Nobunaga, Linn Salto Mamsen, Claus Yding Andersen	2014	EnvironmentandEpidemiology, 102(5), 1364-1370
<u>542022</u>	Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s	World Health Organization	2014	—
542023	Non-heat related impacts of climate change on working populations	Charmian M. Bennett , Anthony J. McMichael	2010	GlobalHealthAction, 3:5640
<u>543001</u>	都市における屋外気温の変化が疲労度に与える影響	鳴海 大典, 井原 智彦, 福田 早苗	2017	日本建築学会技術報告集, 23, 54, 563-566
<u>543002</u>	気候変化による災害防止に関する特別調査委員会報告書	日本建築学会 気候変化による災害防止に関する特別調査委員会	2016	—
<u>543003</u>	東京 23 区を対象とした夏季の睡眠障害と夜間の屋外熱環境の関係について	大橋 唯太, 井原 智彦, 玄地 裕	2014	環境情報科学学術研究論文集 (28), 367-372
<u>543004</u>	都市における夏季の気温上昇が人間健康全般に与える影響	鳴海 大典, 宮沢 和貴, 下田 吉之, 井原 智彦, 玄地 裕	2010	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, C-33
<u>543005</u>	All-cause and cause-specific risk of emergency transport attributable to temperature	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2018	Medicine, 95(51):e2259
<u>543006</u>	Effects of high ambient temperature on ambulance dispatches in different age groups in Fukuoka, Japan	Kazuya Kotani, Kayo Ueda, Xerxes Seposo, Shusuke Yasukochi, Hiroko Matsumoto, Masaji Ono, Akiko Honda, Hirohisa Takano	2018	GlobHealthAction. 2018;11(1):1437882
<u>543007</u>	Relation between temperature and suicide mortality in Japan in the presence of other confounding factors using time-series analysis with a semiparametric approach	Victoria Likhvar, Yasushi Honda, Masaji Ono	2011	EnvironmentalHealthandPreventiveMedicine, 16(1), 36-43

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>543008</u>	Suicide and ambient temperature in East Asian countries: a time-stratified case-crossover analysis	Yoonhee Kim, Ho Kim, Yasushi Honda, Yue Leon Guo, Bing-Yu Chen, Jong-Min Woo, Kristie L. Ebi	2016	EnvironmentalHealthPerspectives, 124(1), 75
<u>543009</u>	東京都における気温上昇と犯罪件数増加の関係	野村 実広, 村上 道夫, 小野 雄也	2017	生産研究, 69(3), 171-175
<u>543010</u>	The influence of meteorological factors on the occurrence of trauma and motor vehicle collisions in Tokyo	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2008	EmergencyMedicineJournal, 25, 769-772
<u>543011</u>	A new era of climate medicine - Addressing heat-triggered renal disease	Cecilia Sorensen, Ramon Garcia-Trabanino	2019	TheNewEnglandJournalofMedicine, 381(8), 693-696
<u>543012</u>	The health impacts of heat waves in five regions of New South Wales, Australia: a case-only analysis	Behnoosh Khalaj, Glenis Lloyd Vicky Sheppard, Keith Dear	2010	InternationalArchivesofOccupationalandEnvironmentalHealth, 83(7), 833-42
<u>543013</u>	The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits	Kim Knowlton, Miriam Rotkin-Ellman, Galatea King, Helene G. Margolis, Daniel Smith, Gina Solomon, Roger Trent, Paul English	2009	EnvironmentalHealthPerspectives, 117(1), 61-7
<u>543014</u>	Association of extreme heat events with hospital admission or mortality among patients with end-stage renal disease	Richard V Remigio, Chengsheng Jiang, Jochen Raimann, Peter Kotanko, Len Usvyat, Frank W Maddux, Patrick Kinney, Amir Sapkota	2019	JAMANetworkOpen, 2:2(8):e198904
<u>543015</u>	Climate change and mental health	Janna Trombley, Stephanie Chalupka, Laura Anderko	2017	TheAmericanJournalofNursing, 117(4), 44-52
<u>543016</u>	Longitudinal impact of hurricane sandy exposure on mental health symptoms	Rebecca M. Schwartz, Christina N. Gillezeau, Bian Liu, Wil Lieberman-Cribbin, Emanuela Taioli	2017	InternationalJournalofEnvironmentalResearch, 14(9), 957
543017	Non-heat related impacts of climate change on working populations	Charmian M. Bennett, Anthony J. McMichael	2010	GlobalHealthAction, 3:5640
<u>543018</u>	スギ花粉飛散数とスギ特異的 IgE 抗体検査との関連性について	福嶋 陽子, 小貫 明美, 大矢 幸子, 池澤 剛	2015	医学検査, 64(5), 610-616.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>543019</u>	福井県におけるスギ・ヒノキ花粉の飛散観測	酒井 忠彰, 泉 宏導	2013	福井大学地域環境研究教育センター研究紀要, 究紀要「日本海地域の自然と環境」, 20, 49-54
<u>543020</u>	北海道 6 都市におけるカバノキ属花粉飛散量の年次推移	小林 智・武内 伸治・入坂 通泰	2013	日本花粉学会会誌, 59(2), 59-67
<u>543021</u>	関西地域におけるスギ科花粉飛散状況—兵庫県の 10 年間の調査結果から—	後藤 操	2010	生活衛生, 54(1), 3-12
<u>543022</u>	アレルギー性鼻炎と生活習慣	鈴木 元彦	2015	アレルギー, 64(7), 911-917.
<u>543023</u>	過去 26 年間のスギ花粉飛散パターンのクラスター分析	伊藤 由紀子	2014	日本耳鼻咽喉科学会会報, 117(5), 681-687
543024	Genetic diversity and distribution of the ciguatera-causing dinoflagellate gambierdiscus spp. (Dinophyceae) in coastal areas of Japan	Tomohiro Nishimura, Shinya Sato, Wittaya Tawong, Hiroshi Sakanari, Keita Uehara, Md Mahfuzur Rahman Shah, Shoichiro Suda, Takeshi Yasumoto, Yohsuke Taira, Haruo Yamaguchi, Masao Adachi	2013	PLoSOne, 8(4)
<u>543025</u>	奄美大島・加計呂麻島におけるシガテラ原因魚の毒組成解析	與儀 健太郎, 大城 直雅, 松田 聖子, 佐久川 さつき, 松尾 敏明, 安元 健	2013	食衛誌 54(6), 385-391
<u>543026</u>	沖縄県で発生している自然毒中毒事例	玉那覇 康二	2013	第 71 回日本マイコトキシン学会学術講演会要約, マイコトキシン, 63(1), 55-65
<u>543027</u>	Aflatoxins in rice artificially contaminated with aflatoxinproducing Aspergillus flavus under Natural Storage in Japan	Satoshi Sugiharaa, Hiroyuki Doia, Masahiko Katob, Yoshihiro Mitohe, Toshihide Tsudad, Satoru Ikeda	2016	ActaMedicaOkayama, 70(3), p. 167-173
<u>543028</u>	Prevalence of solenopsis invicta (Hymenoptera: Formicidae) venom allergic reactions in mainland China	Yijuan Xu, Jun Huang, Aiming Zhou, Ling Zeng	2012	TheFloridaEntomologist, 95(4), 961-965
<u>543029</u>	Anaplasia caused by stings from the Salenopsis invictica, lava-pes and or red imported fire ant	Vidal Haddad Junior, Carlos Eduardo Larsson	2015	AnaisBrasileirosdeDermatologia90(3):22-25

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
543030	日本の外来種対策、特定外来生物の解説、ヒアリ	環境省	-	環境省 HP「日本の外来種対策」
543031	2070 年代 8 月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測	日下 博幸, 飯島 奈津美, 井原 智彦, 原 政之, 高根 雄也, 飯塚 悟	2013	日本建築学会環境系論文集, 78(693), 873-881
543032	問題比較型影響評価手法を用いた都市気温上昇に伴う軽度の健康影響の推定	井原 智彦, 日下 博幸, 原 政之, 松橋 隆治, 吉田 好邦	2011	日本建築学会環境系論文集, 66(662), 459-467
543033	Climate, crime, and suicide : Empirical evidence from Japan	Ryo Takahashi	2017	ClimateChangeEconomics, 8(1), 1-14
543034	日本海若狭湾西部において見出された底生渦鞭毛藻 Gambierdiscus 属	畑山 裕城・石川 輝・夏池 真史・武市 有未・鯉坂 哲朗・澤山 茂樹・今井 一郎	2011	日本水産学会誌, 77(4), 685-687
543035	Spatial and temporal variation in emergency transport during periods of extreme heat in Japan: A nationwide study	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2016	ScienceofTheTotalEnvironment, 544, p. 220-229
611001	伝統産業と気候変動：茅野の天然寒天業への影響に関する事例調査	木村浩巳	2012	法政大学レポジトリ
611002	伝統産業への気候変動影響～長野県諏訪地域の天然寒天を事例として～	畑中健一郎・村浩巳	2015	2015 年度日本地理学会春季学術大会
611003	乳白米の特性および米菓加工に及ぼす混入率の影響—理化学特性による米菓加工適性評価—	北爪良太・中村澄子・熊谷武久・高橋肇・大坪研一	2012	日本食品科学工学会誌, 59(12), p. 621-627
611004	植物工場の新展開と課題	野末雅之	2013	オレオサイエンス, 13(6), p. 267-273
611005	平成 29 年水害統計調査：産業区分別事業所資産被害額	国土交通省	2019	—
611006	中小企業の防災・減災対策に関する 現状と課題について	経済産業省中小企業庁	2018	—
611007	中小企業強靱化研究会 中間とりまとめ	経済産業省中小企業庁	2019	—
611008	民間企業の気候変動適応ガイド—気候リスクに備え、勝ち残るために— 参考資料編	環境省	2019	—
611009	平成 29 年度環境省請負業務 平成 29 年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
611010	気候変動に伴う影響 —東京湾周辺における海面上昇による影響の経済的損失の一考察—	山本桂香	2010	環境情報科学論文集, 24 (2010)
611011	気候変動と産業競争力	Kim Ho Seok	2012	北東アジア研究島根県立大学開学十周年記念号
611012	アパレル・ファッション産業における気候リスク評価調査報告書	気象庁	2013	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>621001</u>	2018年度夏季の電力需給実績と冬季の電力需給見通しについての概要(案)	電力広域的運営推進機関	2018	第33回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会(資料2-1)
<u>621002</u>	台風21号対応検証委員会報告	関西電力株式会社	2018	—
<u>621003</u>	台風21号・24号非常災害対応検証委員会検討結果	中部電力株式会社	2018	—
<u>621004</u>	台風19号に伴う都市ガスの供給支障について	東京ガス株式会社	2019	—
<u>621005</u>	民間企業の気候変動適応ガイド—気候リスクに備え、勝ち残るために— 参考資料編	環境省	2019	—
<u>621006</u>	平成29年度環境省請負業務 平成29年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
621007	平成16年度 ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査	環境省環境管理局大気生活環境室	2004	—
621008	民生部門エネルギー消費の気温影響に関する地域特性	鳴海大典、橋本早紀、下田吉之、水野稔	2007	エネルギー・資源, Vol. 28, No. 6, pp. 396-402.
621009	昇温が大阪府域のエネルギー消費に及ぼす影響	鳴海大典、二浦尾友佳子、下田吉之、水野稔	2007	日本建築学会環境系論文集 613, pp. 71-78
621010	気温変化が地域の電力消費に及ぼす影響	鳴海大典、二浦尾友佳子、下田吉之、水野稔	2007	エネルギー・資源, No. 163, pp. 154-160.
<u>621011</u>	地球温暖化予測情報を用いた将来気象データの開発—気候変動に適応可能な建築・設備の計画支援を目的とする将来気象データに関する研究—	曾我和弘	2014	日本建築学会環境系論文集, 79(703), p. 803-812
<u>621012</u>	The effect of climate change on office building energy consumption in Japan	T. Shibuya, B. Croxford	2016	EnergyandBuildings, 117, p. 1-11
<u>621013</u>	領域気候・都市気候・建物エネルギー連成数値モデルを用いた名古屋市における夏季の電力需要および温熱快適性の将来予測	高根雄也・青木翔平・亀卦川幸浩・山川洋平・原政之・近藤裕昭・飯塚悟	2015	日本建築学会環境系論文集, 80(716), p. 973-983
<u>621014</u>	屋外の温熱環境およびエネルギー需要の観点からみた気候変動適応策の影響評価	山川洋平・高根雄也・亀卦川幸浩・近藤裕昭・青木翔平・原政之・足立幸穂, 飯塚悟	2014	日本ヒートアイランド学会第9回全国大会, A-16
<u>621015</u>	気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測 東京の最近50年間よりのオフィス年間冷暖房負荷予測	磯崎恭一郎・武田仁	2016	日本建築学会環境系論文集, 81(726), p. 669-678
621016	東京の事務所街区における電力需要の湿度依存性,	井原智彦、佐藤貴文、玄地裕、山口和貴、遠藤康之	2006	研究発表会講演論文集, エネルギー・資源学会[編]25, 105-108.

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
621017	地球温暖化に挑む土木工学	土木学会	2009	—
621018	Climate change feedback on economic growth: explorations with a dynamic general equilibrium model.	Fabio Eboli, Ramiro Parrado, Roberto Roson	2010	EnvironmentandDevelopmentEconomics, 15, pp515-533
621019	気候変動を考慮した日本の水力発電ポテンシャル評価	角哲也・桑田光明・石田裕哉・丹羽尚人・小島裕之・井上素行・佐藤嘉展・竹門康弘・Kantoush Sameh	2016	京都大学防災研究所年報.B, 59 (B) , p. 457-483
621020	将来の気候変動が太陽光発電に及ぼす影響	曾我和弘	2013	日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 1343-1344
621021	Climate change impacts on potential solar energy production: A study case in Fukushima, Japan	Kazutaka Oka, Wataru Mizutani, Shuichi Ashina	2020	RenewableEnergy, 153, pp. 249-260
621022	Southward shift of the global wind energy resource under high carbon dioxide emissions	Karnauskas et al.	2018	NatureGeoscience, 11, pp. 38-43
631001	気候情報を活用した気候リスク管理技術に関する調査報告書～清涼飲料分野～	株式会社インテージリサーチ (気象庁委託調査)	2017	—
631002	天候リスクと天候デリパティブの研究	可児滋	2017	横浜商大論集, p. 48-85
631003	気候情報を活用した気候リスク管理技術に関する調査報告書～家電流通分野～	株式会社インテージリサーチ (気象庁委託調査)	2017	—
631004	気象データを活用した省エネ物流プロジェクト	小腰久美	2017	エネルギー・資源, 38(6) , p. 333-337
631005	中国地域の経済動向 (平成30年7月の指標を中心に)	中国経済産業局	2018	ニュースリリース (平成30年9月13日)
631006	百貨店・スーパー販売状況 (近畿地域) (平成30年9月速報)	近畿経済産業局	2018	ニュースリリース (平成30年11月5日)
631007	平成29年度環境省請負業務 平成29年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
631008	アパレル・ファッション産業における気候リスク評価調査報告書	気象庁	2013	—
631009	少子高齢化と地球温暖化が食料需要に与える影響	松田敏信	2011	日本家政学会誌, 62(6) , p. 347-349
631010	Major public companies describe climate-related risks and costs: A review of findings from CDP2011-2013 disclosures	Carbon Disclosure Project	2014	—
641001	自然災害補償と官民役割分担	堀田一吉	2014	損害保険研究 75 巻 4 号

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
641002	<インタビュー> 保険事業の視点から見た「地球環境問題」 —気候変動における「適応と緩和」を目指して—	—	不明	損害保険研究 71 巻 3 号
641003	気候変動リスクが顕在化	村上芽	2016	金融財政ビジネス
641004	2017 年の自然災害と人災： 未曾有の損害をもたらした 1 年	Swiss Re Institute	2018	SIGMA, 2017 年の報告諸表.
641005	2015 年の自然災害と人災： 甚大な損害を被ったアジア	Swiss Re Institute	2016	SIGMA, 2015 年の報告諸表
641006	2014 年の自然災害と人災： 損害 の大部分をもたらした「対 流性 暴風雨」と「冬の嵐」	Swiss Re Institute	2015	SIGMA, 2014 年の報告諸表
641007	民間企業の気候変動適応ガイド—気候リスクに備え、勝ち残る ために— 参考資料編	環境省	2019	—
641008	平成 29 年度環境省請負業務 平成 29 年度民間事業者の気候変 動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
641009	A call for action: Climate change as a source of financial risk	Network for Greening the Financial System	2019	—
641010	【火災保険】 参考純率改定のご案内	損害保険料率算出機構	2014	—
641011	天候リスクと天候デリバティブの研究	可児滋	2017	横浜商大論集, p. 48-85
641012	UNEP Finance Initiatives, Adaptation and Vulnerability to Climate Change: The Role of the Finance Sector	UNEP FI	2006	—
641013	UNEP Finance Initiative e-Learning Course on Climate Change: Risks and Opportunities for the Finance Sector	UNEP FI	2009	—
641014	Climate Change Impact on Rice Insurance Payouts in Japan	Iizumi Toshichika, Masayuki Yokozawa, Yousay Hayashi, Fujio Kimura	2008	. JournalofAppliedMeteorologyandClimatologyV OLUME47
641015	東京都市圏の水災害リスクと不動産への影響	大楽浩司・山形 与志樹・平野 淳 平・瀬谷 創	2015	日本不動産学会誌, 29 (1)
651001	気候変動への賢い適応	環境省	2008	—
651002	野外活動における温暖化傾向現象について—スキーゲレンデの 積雪量変化から—	土方幹夫	2013	駿河台経済論集, 22(2), p. 27-37
651003	近年のスキー場来客数の慢性的な減少と気候変動に関する統計 的解析	供田豪・森龍太・森杉雅史・大野栄 治・中嶋一憲・坂本直樹	2018	土木学会論文集 G, Vol. 74, No. 5, I_349-I_357
651004	地球温暖化による自然観光資源と観光客への影響分析 —茨城県大子町袋田の滝を事例として—	石内鉄平・小柳武和・桑原祐史・大 橋健一	2012	土木学会論文集 G (環境), 68(5), p. I_111- I_119

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>651005</u>	World heritage and tourism in a changing climate	Adam Markham, Elena Osipova, Kathryn Lafrenz Samuels, Astrid Caldas	2016	https://whc.unesco.org/en/tourism-climate-change/
<u>651006</u>	Managing "Buffer" A Special Focus on the Itsukushima Shinto Shrine World Heritage Site, Japan	Yushi Utaka	2015	InternationalReviewforSpatialPlanningandSustainableDevelopment, 3(2), p. 79-95
<u>651007</u>	Culture and climate change: Japanese cherry blossom festivals and stakeholders' knowledge and attitudes about global climate change	Ryo Sakurai, Susan K. Jacobson, Hiromi Kobori, Richard Primack, Kohei Oka, Naoya Komatsu, Ryo Machida	2011	BiologicalConservation, 144(1), p. 654-658
<u>651008</u>	平成 29 年度環境省請負業務 平成 29 年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
651009	Evaluation of the Tourism Climate Index over Japan in a Future Climate Using a Statistical Downscaling Method	Hiroyasu KUBOKAWA, Tsuyoshi INOUE, Masaki SATOH	2014	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapanVol 92
651010	Climate change feedback on economic growth: explorations with a dynamic general equilibrium model.	Fabio Eboli, Ramiro Parrado, Roberto Roson	2010	EnvironmentandDevelopmentEconomics, 15, pp515-533
651011	地球温暖化がスキー場の積雪量や滑走可能日数に及ぼす影響予測-気象庁 RCM20 予測を用いて	中口毅博	2010	芝浦工業大学研究報
<u>651012</u>	地球温暖化による積雪量の変化がスキー場の営業に及ぼす影響-富山県を対象として-	大田原望海・大西暁生・佐藤嘉展・佐尾博志・森杉雅史	2014	土木学会論文集 G (環境), 70(5), p. I_21-I_29
<u>651013</u>	スキー場の経済的価値と温暖化による被害の推計	供田豪・森杉雅史・大野栄治	2019	土木学会論文集 G (環境), Vol. 75, No. 5, I_57-I_64
<u>651014</u>	Assessing the sustainability of ski fields in southern Japan under global warming.	Suzuki-Parker, A., Y. Miura, H. Kusaka, M. Kureha	2018	AdvancesinMeteorology
<u>651016</u>	気候変動に伴う降雪量の変化を考慮した日光の社寺のレクリエーション価値の推計	佐尾博志・堀越徹哉・佐藤嘉展・森杉雅史・大西暁生	2016	環境共生, 29, p. 13-23
<u>651017</u>	温暖化による世界自然遺産への影響分析-仮想行動法によるレクリエーション価値の変化の推計-	森龍太・今井海里・大野栄治・森杉雅史	2014	土木学会論文集 G (環境), 70(5), p. I_31-I_41

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
651018	世界遺産ブランドを考慮した観光需要推計に基づくレクリエーション価値の計測－温暖化がもたらす世界遺産ブランドへの影響－	森龍太・大野栄治・森杉雅史・佐尾博志・今井海里・山本誠也	2016	土木計画学研究・講演集, Vol. 53 (CD-ROM), pp. 171-176
651019	砂浜に対する海面上昇の影響評価	三村信男、幾世橋慎、井上馨子	1993	海岸工学論文集第 40 巻(1993)
651020	砂浜に対する海面上昇の影響評価 (2) -予測モデルの妥当性の検証と全国規模の評価	三村信男、井上馨子、幾世橋 慎、泉宮尊司、信岡尚道	1994	海岸工学論文集第 41 巻(1994)
651021	地球温暖化による砂浜消失の経済評価：旅行費用法によるアプローチ	大野栄治、杉山泰久、森杉壽芳、野原克仁	2009	地球環境 Vol14
651022	旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発	坂本直樹、中畠一憲	2012	土木学会論文集 G (環境), vol. 68, no. 6, pp. II_217-II_228
651023	気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応政策の検討	佐尾博志、森杉雅史、大野栄治、坂本 直樹、中畠一憲、森杉壽芳	2013	土木学会論文集 G (環境) Vol. 69No. 5pp. I_249-I_257
651024	気候変動による砂浜侵食に関する適応策の費用便益分析	中畠一憲・坂本直樹・大野栄治・森杉雅史・森龍太	2018	土木学会論文集 G (環境) (地球環境研究論文集第 26 巻)、Vol. 74, No. 5, I_425-I_436
661001	暑中コンクリートと九州	小山智幸・小山田英弘	2010	コンクリート工学, 48(1), p. 84-88
661002	暑中コンクリートの現状と対策	小山智幸・小山田英弘・伊藤是清	2012	コンクリート工学, 50(3), p. 239-244
661003	生コン工場での製造時における暑中対策について	石田聡	2013	コンクリート工学, 51(5), p. 442-445
661004	建設現場の暑熱環境と体調管理の取り組み	赤川宏幸 ほか	2019	異常気象にどう対応するか? -都市・建築環境分野への視座 (一般社団法人日本建築学会、2019)
661005	強風・豪雪等による建築物の被害 - 甚大な気象外乱に対する荷重外力分野からのアプローチ -	喜々津仁密	2019	異常気象にどう対応するか? -都市・建築環境分野への視座 (一般社団法人日本建築学会、2019)
661006	気候変化による災害防止に関する特別調査委員会報告書	日本建築学会 気候変化による災害防止に関する特別調査委員会	2016	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>661007</u>	異常気象にどう対応するか？—都市・建築環境分野への視座	一般社団法人日本建築学会	2019	2019年度日本建築学会大会（北陸） 環境工学部門研究協議会資料
<u>661008</u>	激甚化する既往災害への建築分野の実効性ある取組み	一般社団法人日本建築学会	2019	2019年度日本建築学会大会（北陸） 気象災害特別調査＋環境工学部門＋地球環境部門 パネルディスカッション資料
<u>661009</u>	民間企業の気候変動適応ガイド—気候リスクに備え、勝ち残るために— 参考資料編	環境省	2019	—
<u>661010</u>	平成29年度環境省請負業務 平成29年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
<u>661011</u>	夏季の関東地方を対象とした近未来標準気象データの試作と気候変動の建築熱負荷への影響評価	有馬雄祐・大岡龍三・菊本英紀・山中徹	2015	日本建築学会環境系論文集, 80(710), p. 371-379
<u>661012</u>	Effects of climate change on reduction of internal bond strength of particleboard subjected to various climatic conditions in Japan	Korai H, Nakao K, Matsui T, Watanabe K, Ishigooka Y	2017	Journal of Wood Science 63:253-262.
<u>661013</u>	2019年職場における熱中症による死傷災害の発生状況（確定値）	厚生労働省労働基準局	2020	—
671001	医療における水供給の課題—災害時の医療用水確保および人工透析用水の利用を例として—	島崎大、金見拓、岸田直裕、秋葉道宏	2010	保健医療科学 2010Vol. 59No. 2p. 100-108
671002	豪雨による断水被害 山形県からの報告	伊東稔	2014	—
671003	東日本大震災学術調査報告書—災害時透析医療展開への提言—	一般社団法人日本透析医学会医学部、東日本大震災学術調査ワーキンググループ	2013	—
<u>671004</u>	Spatial and temporal variation in emergency transport during periods of extreme heat in Japan: A nationwide study	Daisuke Onozuka, Akihito Hagihara	2016	Science of the Total Environment, 544, p. 220-229
<u>671005</u>	Effects of high ambient temperature on ambulance dispatches in different age groups in Fukuoka, Japan	Kazuya Kotani, Kayo Ueda, Xerxes Seposo, Shusuke Yasukochi, Hiroko Matsumoto, Masaji Ono, Akiko Honda and Hirohisa Takano	2018	GLOBALHEALTHACTION, 11, p. 1-8

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>671006</u>	Chromobacterium violaceum nosocomial pneumonia in two Japanese patients at an intensive care unit	Hideharu Hagiya, Tomoko Murase, Masato Suzuki, Keigo Shibayama, Yumi Kokumai, Naoto Watanabe, Miyako Maki, Fumio Otsuka	2014	Journal of Infection and Chemotherapy, 20(2), p. 139-142
<u>671007</u>	医療機関の洪水に対する防災・減災対策に関する調査－東京都東部デルタ地帯・博多湾沿岸地帯を例にして－	後藤浩・寛雄太・石野和男・竹澤三雄	2014	土木学会論文集 F6 (安全問題), 70(2), p. 93-98
<u>671008</u>	平成 29 年度環境省請負業務 平成 29 年度民間事業者の気候変動適応策推進のための調査業務報告書	国際航業株式会社	2018	—
681001	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳 (元文献は IPCC による)	2014	—
<u>681002</u>	気候変動による農産物貿易への影響と食料安全保障に関する分析	吉永健治	2011	国際地域学研究, 14, p. 51-74
<u>681003</u>	Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981-2010 compared with preindustrial levels	Toshichika Iizumi, Hideo Shioyama, Yukiko Imada, Naota Hanasaki, Hiroki Takikawa, Motoki Nishimori	2018	International Journal of Climatology, Vo. 38, pp. 5405-5417
681004	タイの洪水をどう捉えるか - サプライチェーンの自然災害リスクをいかに軽減するか -	大泉啓一郎	2012	環太平洋ビジネス情報 RIM Vol. 12 No. 44
681005	2011 年タイ王国チャオプラヤ川洪水における緊急災害対応 - 政府機関の組織間連携と情報共有に着目して -	川崎昭如、古森大輔、中村晋一郎、木口雅司、西島亜佐子、沖一雄、沖大幹、目黒公郎	2012	地域安全学論文集. N017
681006	タイ洪水による HDD サプライチェーンへの影響	清水誠	2011	DBJ (日本政策投資銀行) レポート
<u>681007</u>	自然災害の特徴とリスク対応	佐藤一郎	2013	品質, 43(2), p. 185-191
<u>681008</u>	持続可能なサプライチェーンマネジメント	中野冠	2015	安全工学, 54(3), p. 186-192
<u>681009</u>	Flood risks and impacts: A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making	Masahiko Haraguchi, Upmanu Lall	2015	International Journal of Disaster Risk Reduction, 14, p. 256-272
<u>681010</u>	Climate change lessons from the US military: What Japanese industry can learn from another global enterprise	The Center for Climate Security	2019	—
<u>681011</u>	気候要因が農作物貿易に与える影響に関する実証分析	日引聡・鶴見哲也・馬奈木俊介・花崎直太	2013	環境科学会誌, 26(3), p. 278-286

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>681012</u>	Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat	Wei Xie, Wei Xiong, Jie Pan, Tariq Alil, Qi Cui, Dabo Guan, Jing Meng, Nathaniel D. Mueller, Erda Lin, Steven J. Davis	2018	NaturePlants, 15October2018.
<u>681013</u>	Global economic-biophysical assessment of midterm scenarios for agricultural markets-biofuel policies, dietary patterns, cropland expansion, and productivity growth	Ruth Delzeit, Gernot Klepper, Florian Zabel, WolframMauser	2018	EnvironmentalResearchLetters, 13(2), 025003
<u>681014</u>	Screening of climatic impacts on a country's international supply chains: Japan as a case study	Katsuyuki Nakano	2015	MitigationandAdaptationStrategiesforGlobalC hange, 22(4), p. 651-667
<u>681015</u>	Future risk of dengue fever to workforce and industry through global supply chain	Katsuyuki Nakano	2017	MitigationandAdaptationStrategiesforGlobalC hange
681016	International dimensions of climate change	Government Office of Science, UK	2011	—
<u>682001</u>	気候安全保障 (Climate Security) に関する報告	中央環境審議会地球環境部会-気候変動に関する国際戦略専門委員会	2007	—
<u>682002</u>	北極海とわが国の防衛	金田秀昭	2013	北極のガバナンスと日本の外交戦略第4章 (公益財団法人日本国際問題研究所)
<u>682003</u>	気候変動に伴うアジア・太平洋地域における自然災害の分析と脆弱性への影響を踏まえた外交政策の分析・立案	外務省	2017	0
<u>682004</u>	The Field of Climate and Security: A Scan of the Literature.	Joshua Busby	2019	SocialScienceResearchCouncil.
<u>682005</u>	Climate Effects on U.S. International Interests	Reidmiller, D.R. et al.	2018	U.S. GlobalChangeResearchProgram, Impacts, Risks, andAdaptationintheUnitedStates:FourthNationalClimateAssessment, VolumeII. Chapter16
<u>682006</u>	Global Strategic Trends: The Future Starts Today Sixth Edition	UK Ministry of Defence	2018	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>682007</u>	Regional security implications of climate change and natural disasters in the South Pacific	Greg MacPherson, Australian Department of Defence	2017	Indo-PacificStrategicDigest2017
<u>682008</u>	The Climate Crisis: Defence readiness and responsibilities	New Zealand Ministry of Defence	2018	—
<u>682009</u>	Climate Change as a Security Risk	R. Schubert., et al	2008	GermanAdvisoryCouncilonGlobalChange(WBGU)
<u>711001</u>	平成 29 年版 消防白書	総務省消防庁	2017	—
<u>711002</u>	平成 30 年版 消防白書	総務省消防庁	2018	—
<u>711003</u>	平成 27 年版 消防白書	総務省消防庁	2015	—
<u>711004</u>	平成 28 年版 消防白書	総務省消防庁	2016	—
<u>711005</u>	うねり性波浪による越波災害の発生過程の推定とその対策	平山克也, 加島寛章	2013	港湾空港技術研究所資料, 1270
<u>711006</u>	2004 年に来襲した台風による波浪災害事例	平山 克也, 南靖彦, 奥野 光洋, 峯村 浩治, 河合 弘泰, 平石哲也	2005	港湾空港技術研究所資料, 1101
<u>711007</u>	平成 26 年 12 月 17 日低気圧による根室港及び周辺地域の高潮被害	熊谷 兼太郎, 関 克己, 藤木 峻, 富田 孝史, 鶴田 修己, 酒井 和彦, 山本 泰司, 柿崎 永己	2015	国土技術政策総合研究所資料, 854
<u>711008</u>	2004 年の高潮・高波災害	加藤 史訓, 稲垣 茂樹, 野口 賢二, 福濱 方哉	2005	国土技術政策総合研究所資料, 273
<u>711009</u>	2017 typhoon Lan reconnaissance field survey in coasts of Kanto region, Japan	Md. Rezuatul Islam, Hiroshi Takagi, Le Tuan Anh, Atsuei Takahashi, Ke Bowei	2018	JournalofJapanSocietyofCivilEngineers, Ser. B3(OceanEngineering), 74(2), p. I_593-I_598
<u>711010</u>	令和元年台風第 13 号に係る被害状況等について	内閣府	2019	—
<u>711011</u>	令和元年台風第 15 号に係る被害状況等について	内閣府	2019	—
<u>711012</u>	令和元年台風第 17 号に係る被害状況等について	内閣府	2019	—
<u>711013</u>	令和元年台風第 19 号に係る被害状況等について	内閣府	2019	—
<u>711014</u>	給電運用と気象情報	柴田 創	2015	電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), 135(3), 137-140
<u>711015</u>	水力発電施設に関わる災害事例の収集と溢水被害に伴う社会的影響評価法の検討	梶谷 義雄, 山本 広祐, 豊田 康嗣, 中島 正人	2011	土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), 67(1), 1-13

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>711016</u>	鉄道士構造物の災害復旧	杉山 友康, 太田 直之	2011	地盤工学会誌, 59(11), 8-11
<u>711017</u>	鉄道事業の自然災害リスク・ファイナンスにおける破産確率	大堀 勝正, 森地 茂	2016	土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), 72(2), 63-72
<u>711018</u>	海岸道路における越波による車両被害とその対策に関する研究	越智 聖志	2016	室蘭工業大学(博士論文)
<u>711019</u>	高波による海岸道路の盛土被害の発生条件と対策の検討	本間 大輔, 山本 泰司, 宮武 誠, 木村 克俊	2015	土木学会論文集 B3 (海洋開発), 71(2), 269-274
711020	異常降雨による高速自動車道における切土斜面の崩壊と対策	安原一哉, 金山義幸, 中山伸一, 伴夏男, 小野澤宏之	2011	ジオシンセティックス論文集第 26 巻 (2011. 12)
711021	豪雨発生が社会基盤施設に及ぼした被害に関する研究	松林由里子, 渡辺一也, 川越清樹	2014	土木学会論文集 G (環境), vo. 70, no. 5, pp. I_249-I256
<u>711022</u>	A survey on impacts of climate change on road transport infrastructure and adaptation strategies in Asia	Madan B. Regmi, Shinya Hanaoka	2011	Environmental Economics and Policy Studies, January 2011, 13(1), pp21-41
<u>711023</u>	密集市街地における内水氾濫時の地下鉄浸水に関する検討	寺田光宏・岡部良治・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一	2016	土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 2
<u>711024</u>	記録的水災害に対する大規模地下空間の浸水脆弱性に関する検討	濱口舜・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一	2016	土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 2
<u>711025</u>	計画中の新路線を考慮した内水氾濫時の地下鉄浸水に関する検討	寺田光宏・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一	2018	土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74
711026	水源水質の変動と健康リスク	秋葉道宏, 山田俊郎, 中村怜奈, 小阪 浩司, 浅見真理	2010	EICA:15(1)16-19
<u>711027</u>	降水が水道原水の懸濁物質およびその浄水処理時の凝集剤注入量に与える影響	下ヶ橋 雅樹, 山田 俊郎, 中村 怜奈, 小阪 浩司, 秋葉 道弘	2012	第 49 回環境工学フォーラム講演集, 121-123
<u>711028</u>	豪雨対策に向けた水道システムの機能強化	古米 弘明	2016	学術の動向, 21 (11), . 81
<u>711029</u>	高濁度に対応した水道システム	富井 正雄	2013	水坤, 45, 21-23
711030	気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 『日本の気候変動とその影響』 (2012 年度版)	文部科学省・気象庁・環境省	2013	—
<u>711031</u>	地方公共団体における廃棄物・リサイクル分野の気候変動適応策ガイドライン	環境省	2019	—
<u>711032</u>	平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について	内閣府	2019	—

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>711033</u>	「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について	気象庁	2018	気象庁報道発表平成30年8月10日
711034	気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約	環境省訳（元文献は IPCC による）	2014	—
<u>711035</u>	温暖化に対するエネルギー産業の課題	中岡 章	2011	気候影響・利用研究会会報 30 号セッション 4 社会・経済への影響解説論文, 13-18
<u>711036</u>	牧尾ダムの水資源管理に対するダム堆砂および気候変動の長期的影響	角 哲也, 寺田 和暉, 竹門 康弘, 佐藤 嘉展	2014	京都大学防災研究所年報, 57 (B), 491-503
<u>711037</u>	気候変動が積雪地域の多目的ダムの利水管理に与える影響	川村 一人, 中津川 誠	2011	第 24 回 (2011 年度) 水文・水資源学会総会・研究発表会, 84
711038	水道ハザードマップを用いた自然災害による水道事業への影響評価	吉川泰代、矢部博康、小池亮、森本達男、子熊久美子、荒巻俊也、滝沢智	2012	愛知教育大学研究報告, 57 (自然科学編), pp. 31~37, March, 2008
711039	業務指標を用いた気候変動に対する小規模水道事業体の脆弱性評価	渡辺直子、矢部博康、小池亮、森本達男、荒巻俊也、滝沢智	2011	N/A
<u>711040</u>	Assessment of spatiotemporal variations in the fluvial wash-load component in the 21st century with regard to GCM climate change scenarios	Goro Mouri	2015	ScienceofTheTotalEnvironment, 533(15), 238-246
<u>711041</u>	Climate change and infrastructure impacts: comparing the impact on roads in ten countries through 2100	Amy Schweikert, Paul Chinowsky, Xavier Espinet, Michael Tarbert	2014	ProcediaEngineering, 78, 306-316
<u>711042</u>	地下鉄を考慮した名古屋と大阪の大規模浸水解析	村瀬 将隆, 中島 勇介, 武田 誠, 川池 健司, 松尾 直規	2017	土木学会論文集 B1(水工学), 73(4), I_1441-I_1446
<u>711043</u>	洪水氾濫流が都市ガス供給システムに及ぼす影響に関する一考察: 供給地域の浸水過程と施設に作用する流体力に基づく被害推定	田代 喬, 八木 健太郎, 戸田 祐嗣	2018	土木学会論文集 B1(水工学), 74(5), 489-494
<u>711044</u>	首都圏大規模水害における水害廃棄物発生量の推定手法	平山 修久, 島岡 隆行, 藤原 健史, 岡山 朋子, 河田 恵昭	2010	第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会
711045	International dimensions of climate change	Government Office of Science, UK	2011	—
<u>721001</u>	奈良県吉野山におけるヤマザクラ樹林景観の開花期間に及ぼす気象要素の影響	飯田 義彦, 今西 純一, 森本 幸裕	2013	環境情報科学学術研究論文集 27, 1-4

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>721002</u>	温暖化が植物や鳥類の生物季節に及ぼす影響	樋口 広芳	2012	気候影響・利用研究会会報 31 号特集「地球温暖化と季節変化・開花の異常について」講演予稿, 25-26
<u>721003</u>	サクラの開花と積雪量の関連についてー福井県を対象としてー	三浦 麻, 松川 育美	2012	福井大学教育地域科学部紀要（自然科学環境科学編）, 3, 77-88
<u>721004</u>	過去百年間における都市化にともなう東京の生物相の変化	高岡 貞夫	2013	地学雑誌, 122(6), 特集号：東京-過去・現在・未来- (PartI) , 1020-1038
<u>721005</u>	史料による春の開花記録の特徴と気候復元への応用の有効性	青野 靖之	2011	時間学研究, 4, 17-29
<u>721006</u>	マクロスケールからみる温暖化の植物フェノロジーへの影響：気象庁・生物季節データセットによる解析	土居 秀幸, 高橋 まゆみ	2010	日本生態学会誌, 60, 241-247
<u>721007</u>	Pressures from long term environmental change at the shrines and temples of Nikkō	Peter Brimblecombe, Mikiko Hayashi	2018	BrimblecombeandHayashiHeritageScience, 6(27)
<u>721008</u>	都市の高温化が植物季節に及ぼす影響の評価：埼玉県熊谷市を事例として	松本 太	2012	地球環境, 17(1), 51-58
<u>721009</u>	横浜駅周辺における気温分布とソメイヨシノ開花日の関係	神田 萌, 赤坂 郁美	2014	2014 年度日本地理学会秋季学術大会
<u>721010</u>	仙台市におけるソメイヨシノの開花進行過程と土地利用の関係	西城 潔, 和田 枝里	2016	宮城教育大学環境教育研究紀要第 12 巻
<u>721011</u>	都市およびその近郊地域におけるソメイヨシノの開花日と周辺土地被覆の関係	多田 裕樹, 村上 暁信	2011	ランドスケープ研究, 74(5), 511-514
<u>721012</u>	近年におけるサクラの開花と冬季の温暖化	松本 太	2017	日生氣誌, 54(1), 3-11
<u>721013</u>	イチョウの開芽日・黄葉日の時系列変化と地理的傾向の解析.	清水 庸, 梅村 周平, 大政 謙次	2014	生物と気象, 14, 57-70
<u>721014</u>	植物指標としてのイチョウの黄葉と郊外都市における熱分布の関係	後藤明美・松田修三・小沢和浩・坂本憲昭・但馬文昭・宮武直樹	2015	第 29 回ファジィシステムシンポジウム, p. 800-803
<u>721015</u>	標識調査情報に基づいた 2000 年代と 1960 年代のツバメの渡り時期と繁殖状況の比較	出口 智広, 吉安 京子, 尾崎 清明	2012	日本鳥学会誌, 61(2), 273-282
<u>721016</u>	日本に飛来する夏鳥の渡りおよび繁殖時期の長期変化	出口 智広, 吉安 京子, 尾崎 清明, 佐藤 文男, 茂田 良光, 米田 重玄, 仲村 昇, 富田 直樹, 千田 万里子, 広居 忠量	2015	日本鳥学会誌, 64(1), . 39-51

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>721017</u>	A cicada that ensures its fitness during climate warming by synchronizing its hatching time with the rainy season	Moriyama Minoru, Numata Hideharu	2011	ZoologicalScience, 28(12), 875-881
<u>721018</u>	長野県環境保全研究所(飯綱庁舎)におけるセミの鳴き声調査	栗林正俊, 大塚孝一	2019	長野県環境保全研究所研究報告第15巻
<u>721019</u>	兵庫県における酒米品種「山田錦」の玄米品質と気温との関係	池上 勝, 藤本 啓之, 小河 拓也, 三好 昭宏, 矢野 義昭, 土田 利一, 平川 嘉一郎	2015	日本作物学会紀事, 84 (3) , 295-302
<u>721020</u>	気候変動による北海道におけるワイン産地の確立ー1998年以降のピノ・ノワールへの正の影響ー	広田 知良, 山崎 太地, 安井 美裕, 古川 準三, 丹羽 勝久, 根本 学, 濱岸 孝弘, 下田 星児, 菅野 洋光, 西尾 善太	2017	生物と気象, 17, 34-45
721021	2013:過去30年のお渡し拝観式一覧表	諏訪市博物館	—	諏訪市博物館HP
721022	気候変化レポート2012-関東甲信・北陸・東海地方-	東京管区气象台	2012	—
721023	平成20年度広島県内における温暖化影響調査報告書	広島県環境県民局環境部環境政策課	2009	—
721024	温暖化がサクラの開花期間に及ぼす影響	塚原 あずみ, 林 陽生	2012	地球環境, 17(1), 31-36
<u>721025</u>	Modeling daily flowering probabilities: expected impact of climate change on Japanese cherry phenology	Jenica M. Allen , Maria A. Terres, Toshio Katsuki, Kojiro Iwamoto, Hiromi Kobori, Hiroyoshi Higuchi, Richard B. Primack, Adam M. Wilson, Alan Gelfand, John A. Silander Jr	2014	GlobalChangeBiology, 20(4), 1251-1263
<u>721026</u>	年間を通じた高温がナンコウバイの開花、開芽に及ぼす影響	大野 拓也, 中島 敦司, 河野 仁美, 大南 真緒	2103	日本緑化工学会誌, 40(1), 78-83
<u>731001</u>	ヒートアイランド現象 都市の気温はどのくらい上昇しているのですか?	気象庁	-	気象庁HP
<u>731002</u>	メソ気象モデルWRFを用いた海岸に立地する都市の規模と夏期のヒートアイランド強度の関係分析	竹林 英樹, 妹尾 将司	2016	日本建築学会環境系論文集, 81(726), 707-713
731003	岡山県倉敷市における夏季ヒートアイランド現象の長期観測	佐藤 真由美, 大橋 唯太	2011	Naturalistae, 15, 23-30
731004	地方都市における移動・定点観測によるヒートアイランド特性	天野 智順, 岡田 拓, 須田 祥平	2009	富山県立大学紀要第19巻
731005	長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係	榊原保志	1999	気象学会天気46.9
<u>731006</u>	Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring	Fumiaki Fujibe	2011	InternationalJournalofClimatology, 31, 162-173

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
731007	Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan	Fumiaki Fujibe	2009	InternationalJournalofClimatology, 29, 1811-1822
731008	Evaluation of background and urban warming trends based on centennial temperature data in Japan	Fumiaki Fujibe	2012	気象研究所研究報告, 63, 43-56
731009	Diagnostic study of the effects of a large city on heavy rainfall as revealed by an ensemble simulation: A case study of central Tokyo, Japan	Tomohiko Inamura, Takeki Izumi, Hiroshi Matsuyama	2011	JournalofAppliedMeteorologyandClimatology, 50. AmericanMeteorologicalSociety,
731010	Mechanism of precipitation increase with urbanization in Tokyo as revealed by ensemble climate simulations	Hiroyuki Kusaka, Yuya Takane, Nana Furuhashi	2014	JournalofAppliedMeteorologyandClimatology, 53(3)
731011	2008年に東京都雑司ヶ谷付近で発生した局地的大雨へ都市加熱が与えた影響	相馬 一義, 田中 賢治, 砂田 憲吾, 末次 忠司, 坪木 和久, 榊原 篤志, 茂木 耕作	2012	土木学会論文集 B1(水工学), 68(4), I403-I408
731012	Long-term change and spatial anomaly of warm season afternoon precipitation in Tokyo	Fumiaki Fujibe, Hiroki Togawa, and Masaaki Sakata	2009	SOLA, 5, 17-20
731013	Numerical experiments on fair-weather clouds forming over the urban area in northern Tokyo	Tadao Inoue, Fujio Kimura	2007	SOLA, 3, 125-128
731014	Numerical simulation of urban impact on precipitation in Tokyo: How does urban temperature rise affect precipitation?	Naoko Seino, Toshinori Aoyagi, Hiroshige Tsuguti	2018	UrbanClimate, 23, 8-35
731015	Role and impact of the urban environment in a numerical forecast of an intense summertime precipitation event over Tokyo	Stéphane Bélair, Sylvie Leroyer, Naoko Seino, Lubos Spacek, Vanh Souvanlassy, Danahé Paquin-Ricard	2017	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapan, 96 A, 77-94
731016	The effect of changes of urban surfaces on rainfall phenomenon as determined by a non-hydrostatic mesoscale model	Mark A. Matheson, Yasunobu Ashie	2008	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapan, 86(5), 733-751
731017	Urban thermal influence on the background environment of convective precipitation	Hirofumi Sugawara	2017	JournaloftheMeteorologicalSocietyofJapan, 96 A, 67-76

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
731018	ヒートアイランド現象に対する適応策の効果の試算結果について、平成 22 年度ヒートアイランド現象に対する適応策の検討調査	環境情報科学センター	2010	—
731019	日本における夏季の不快指数の経年変化と分布に関する研究	井幕 知伸, 堀越 哲美	2011	人間と生活環境, 18(2), 67-82
731020	ヒートアイランド対策マニュアル—最新状況と適応策等の対策普及に向けて—	環境省	2012	—
731021	数値気象モデルを利用した屋外熱中症リスクの評価手法に関する研究	大橋 唯太, 亀卦川 幸浩, 井原 智彦	2011	環境情報科学論文集 25, 335-340
731022	都市域における気温変化が人間の健康面に及ぼす影響	廉林 篤, 二浦尾 友佳子, 鳴海 大典, 下田 吉之, 水野 稔	2007	空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
731023	平成 30 年（5 月から 9 月）の熱中症による救急搬送状況	総務省	2018	総務省報道資料
731024	The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming	Yukiko Imada, Masahiro Watanabe, Hiroaki Kawase, Hideo Shiogama, Miki Arai	2019	SOLA, 15A, 8-12
731025	「今夏 5 度目 連日救急出場件数過去最多を更新」	東京都消防庁	2018	報道発表資料（平成 30 年 7 月 24 日）
731026	大丸有地区の屋外アメニティ空間における温熱環境と利用状況の調査	安藤 邦明, 西田 恵, 三坂 育正, 成田 健一	2012	アーバンインフラ・テクノロジー推進会議技術研究発表会
731027	人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その 4 都内オフィスビルの屋外アメニティ空間における調査	安藤 邦明, 三坂 育正, 成田 健一	2013	日本建築学会大会(北海道)学術講演会・建築デザイン発表会学術講演梗概集 2013(環境工学 I), 897-898,
731028	東京 23 区を対象とした夏季の睡眠障害と夜間の屋外熱環境の関係について	大橋 唯太, 井原 智彦, 玄地 裕	2014	環境情報科学学術論文集, 28, p. 367-372
731029	気候変化による災害防止に関する特別調査委員会報告書	日本建築学会 気候変化による災害防止に関する特別調査委員会	2016	—
731030	夜間就寝時の温熱環境が睡眠に及ぼす影響	都築, 和代, 久保 博子	2008	日本建築学会環境工学委員会熱シンポジウム
731031	被害算定方 LCIA 手法によるヒートアイランド現象の県境影響評価 その 3 東京都 23 区の夜間高温化による睡眠障害の定量化と睡眠障害に伴う経済損失の評価	玄地 裕, 井原 智彦, 岡野 泰久	2007	日本建築学会大会学術講演梗概集

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
731032	被害算定方 LCIA 手法によるヒートアイランド現象の県境影響評価 その4 東京 23 区におけるヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価	玄地 裕, 井原 智彦, 岡野 泰久	2007	日本建築学会大会学術講演梗概集
731033	Comparison of the impact of global climate changes and urbanization on summertime future climate in the Tokyo Metropolitan Area	Sachiho A ADACHI, Fujio KIMURA, Hiroyuki KUSAKA, Tomoshige INOUE, Hiroaki UEDA,	2012	JournalofAppliedMeteorologyandClimatology, 51(8), 1441-1454
731034	Moderation of summertime heat island phenomena via modification of the urban form in the Tokyo Metropolitan Area.	Adachi, S. A., F. Kimura, H. Kusaka, M. G. Duda, Y. Yamagata, H. Seya, K. Nakamichi, T. Aoyagi	2014	JournalofAppliedMeteorologyandClimatology., 53, 1886-1900.
731035	Assessment of the impact of metropolitan-scale urban planning scenarios on the moist thermal environment under global warming: A study of the Tokyo metropolitan area using regional climate modeling	Asuka Suzuki-Parker, Hiroyuki Kusaka, Yoshiki Yamagata	2015	AdvancesinMeteorology, 2015(3):1-11
731036	平成 20 年度 ヒートアイランド対策の環境影響等に関する調査業務 報告書	社団法人 環境情報科学センター	2008	—
731037	将来の高温高湿下における保水性建材の効果の検討	浅野 真於, 玄 英麗, 飯塚 悟	2016	日本ヒートアイランド学会第 11 回全国大会, A-43
731038	WRF による名古屋都市圏温熱環境・風環境シミュレーション (その 8) 将来の都市形態の変化が温熱環境に及ぼす影響評価	近藤由美, 飯塚悟, 伊藤奨, 黒木美早衣, 日下博幸, 原政之	2013	日本建築学会環境系論文集 78(694), 957-963, 2013-12
731039	IPCC SRES A2 シナリオ下での三大都市圏の夏季気候の将来予測: WRF-UCM による力学的ダウンスケーリング	高根 雄也, 日下 博幸, 原 政之	2012	日本ヒートアイランド学会論文集, 7, 18-26
731040	複数の IPCC SRES シナリオに基づく 2030 年代・2050 年代・2070 年代・2090 年代の名古屋都市圏温熱環境・風環境の将来予測の比較、領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション (その 3)	黒木 美早衣, 飯塚 悟, 伊藤 奨, 日下 博幸, 原 政之	2012	日本建築学会環境系論文集, 77(678), 689-697
731041	三大都市圏を対象とした夏季気候の再現計算と将来予測	日下 博幸, 高田 智行, 原 政之, 足立 幸穂	2010	日本気象学会大会講演予講集 97, 111, 2010-04-30
731042	WBGT に基づいた日本の暑熱環境の将来予測	鈴木パーカー 明日香, 日下 博幸	2015	日本生気象学会雑誌, 52(1), 59-72
731043	2070 年代 8 月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測	日下 博幸, 飯島 奈津美., 井原 智彦, 原 政之, 高根 雄也, 飯塚 悟	2013	日本建築学会環境系論文集, 78(693), 873-881

文献コード	論文等の名称	執筆者名	発表年	掲載誌
<u>731044</u>	問題比較型影響評価手法を用いた都市気温上昇に伴う軽度の健康影響の推定	井原 智彦, 日下 博幸, 原 政之, 松橋 隆治, 吉田 好邦	2011	日本建築学会環境系論文集, 76(662), 459-467
<u>731045</u>	Working on a WARMER planet The impact of heat stress on labour productivity and decent work	International Labour Office	2019	—
<u>731046</u>	過去 4 年における北海道の雪による事故の傾向分析	阿部佑平・堤拓哉・高橋章弘	2011	雪氷研究大会 2011
<u>731047</u>	雪下ろし事故の発生と気象要素との関係 -北海道を対象とした分析-	堤 拓哉・高橋章弘・阿部佑平	2011	雪氷研究大会 2012

検討体制

(1) 中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会

(敬称略・五十音順)

委員等	氏名	職名
専門委員	秋葉 道宏	国立保健医療科学院 生活環境研究部 部長
専門委員	秋元 圭吾	公益財団法人地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ グループリーダー・主席研究員
臨時委員	浅野 直人	学校法人福岡大学 名誉教授
専門委員	石川 洋一	国立研究開発法人海洋研究開発機構 情報エンジニアリングプログラム プログラム長
専門委員	磯部 雅彦	高知県公立大学法人高知工科大学 学長
臨時委員	江守 正多	国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター 副センター長
専門委員	沖 大幹	国際連合大学上級副学長 国際連合事務次長補 国立大学法人東京大学 総長特別参与
専門委員	鬼頭 昭雄	一般財団法人気象業務支援センター 研究特進部 研究員
専門委員	木所 英昭	国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所 管理部門 特任部長
専門委員	木本 昌秀	国立大学法人東京大学 大気海洋研究所 教授
専門委員	西條 政幸	国立感染症研究所 ウイルス第一部 部長
専門委員	佐々木 隆	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部長
専門委員	白戸 康人	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 温暖化研究統括監
臨時委員	◎住 明正	東京大学 名誉教授 国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 特任教授
専門委員	高橋 潔	国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 副センター長
委員	高村 ゆかり	国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 教授
専門委員	高薮 出	気象庁気象研究所 気候・環境研究部 第1研究室 主任研究官
臨時委員	田中 充	学校法人法政大学社会学部・同大学院政策科学研究科 教授
専門委員	中北 英一	国立大学法人京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 水文気象災害研究分野 教授
専門委員	野尻 幸宏	国立大学法人弘前大学大学院 理工学研究科 教授
専門委員	橋爪 真弘	国立大学法人東京大学大学院 医学系研究科・国際保健学専攻・国際保健政策学分野 教授
専門委員	肱岡 靖明	国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター 副センター長

委員等	氏名	職名
専門委員	平田 泰雅	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター
専門委員	深見 和彦	国立研究開発法人土木研究所 企画部 研究企画監
臨時委員	古米 弘明	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授
臨時委員	増井 利彦	国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 統合環境経済研究室 室長
専門委員	松井 哲哉	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 戦略研究部門 国際連携・気候変動研究拠点 気候変動研究室 室長
専門委員	三上 正男	一般財団法人気象業務支援センター 研究推進部長代理 国際業務課長兼任
委員	三村 信男	国立大学法人茨城大学 地球・地域環境共創機構 特命教授
専門委員	安岡 善文	国立大学法人東京大学 名誉教授
専門委員	山田 正	学校法人中央大学理工学部 都市環境学科 教授
専門委員	山野 博哉	国立研究開発法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター センター長

◎：委員長

(2) 気候変動の影響に関する分野別ワーキンググループ(環境省請負検討会)

① 農業・林業・水産分野

(敬称略・五十音順)

氏名	職名
安藤 忠	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 主幹研究員
飯泉仁之直	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 影響予測ユニット 主任研究員
岡田 邦彦	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門 部門長
木所 英昭	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所 管理部門 特任部長
小島 克己	国立大学法人 東京大学 アジア生物資源環境研究センター 生物資源開発研究部門 教授
○白戸 康人	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 温暖化研究統括監
杉浦 俊彦	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 生産・流通研究領域 園地環境ユニット ユニット長
野中 最子	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門 家畜代謝栄養研究領域 精密栄養管理ユニット ユニット長
長谷川利拡	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 生産環境研究領域 農業気象グループ グループ長
平田 泰雅	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター

氏名	職名
増本 隆夫	公立大学法人 秋田県立大学 生物資源科学部 教授
松村 正哉	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター 虫・鳥獣害研究領域 研究領域長
宮田 明	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 前農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 研究領域長
吉田 吾郎	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 漁場生産力グループ 主幹研究員

○：座長

② 水環境・水資源、自然災害・沿岸域分野

(敬称略・五十音順)

氏名	職名
秋葉 道宏	国立保健医療科学院 生活環境研究部 部長
磯部 雅彦	高知県公立大学法人 高知工科大学 学長
江守 正多	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター 副研究センター長
栗山 善昭	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 理事長
佐々木 隆	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 部長
大丸 裕武	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター (国土保全・水資源研究担当)
武若 聡	国立大学法人 筑波大学 システム情報系 教授
長井 隆幸	国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 部長
仲江川敏之	気象庁 気象研究所 応用気象研究部 第二研究室 室長
○中北 英一	国立大学法人 京都大学 防災研究所 気象・水象災害研究部門 水文気象災害研究分野 教授
深見 和彦	国立研究開発法人 土木研究所 企画部 研究企画監
藤田 正治	国立大学法人 京都大学 防災研究所 防災研究所附属流域災害研究センター 教授
古米 弘明	国立大学法人 東京大学大学院 工学系研究科 教授
増本 隆夫	公立大学法人 秋田県立大学 生物資源科学部 教授
八木 宏	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授
山田 正	学校法人 中央大学 理工学部 都市環境学科 教授

○：座長

③ 自然生態系分野

(敬称略・五十音順)

氏名	職名
小笠 恒夫	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所 外洋資源部 国際資源環境グループ グループ長
和田 直也	富山大学 研究推進機構 極東地域研究センター 教授
中村 太士	国立大学法人 北海道大学大学院 農学研究院 基盤研究部門 教授
西廣 淳	国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 気候変動影響観測・監視研究室 主任研究員
野尻 幸宏	国立大学法人 弘前大学大学院 理工学研究科 教授
松井 哲哉	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 戦略研究部門 国際連携・気候変動研究拠点 気候変動研究室 室長
丸山 温	学校法人 日本大学 生物資源科学部 森林資源科学科 教授
○山野 博哉	国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター センター長

○：座長

④ 健康分野

(敬称略・五十音順)

氏名	職名
上田 佳代	国立大学法人 京都大学 地球環境学堂 准教授
大前 比呂思	学校法人 獨協医科大学 特任教授
小野 雅司	国立研究開発法人 国立環境研究所 客員研究員
西條 政幸	国立感染症研究所 ウイルス第一部 部長
沢辺 京子	国立感染症研究所 昆虫医科学部 主任研究官
○橋爪 真弘	国立大学法人 東京大学大学院医学系研究科 国際保健学専攻 国際保健政策学分野 教授
本田 靖	国立研究開発法人 国立環境研究所 客員研究員

○：座長

⑤ 産業・経済活動、国民生活・都市生活分野

(敬称略・五十音順)

氏名	職名
秋元 圭吾	公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ グループリーダー・主席研究員
亀山 康子	国立研究開発法人 国立環境研究所 社会環境システム研究センター センター長
高村 ゆかり	国立大学法人 東京大学 東京大学未来ビジョン研究センター 教授
田中 充	学校法人 法政大学 社会学部・同大学院 政策科学研究科 教授
中野 勝行	学校法人立命館 立命館大学 政策科学部 政策科学科 准教授
南齋 規介	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 国際資源循環研究室 室長
藤部 文昭	公立大学法人 首都大学東京 都市環境学部 特任教授
○増井 利彦	国立研究開発法人 国立環境研究所 社会環境システム研究センター 統合環境経済研究室 室長
三坂 育正	学校法人 日本工業大学 建築学部 建築学科 教授
村田 昭彦	気象庁 気象研究所 応用気象研究部 第一研究室 室長

○：座長

事務局

環境省 地球環境局 総務課 気候変動適応室

パシフィックコンサルタンツ株式会社