

気候変動への賢い適応

— 地球温暖化影響・適応研究委員会報告書 —

第一部 気候変動への賢い適応

(総論・各論の概要)

※図表・写真等の使用に際しては、出典を必ず明記いただけますようお願いいたします。

※ **要通知！** 印のある図表・写真は使用にあたり執筆者等への連絡が必要のため環境省に問合せ願います。

※ **要許諾！** 印のある図表・写真は使用にあたり学会等、引用元の使用許諾等が別途必要ですのでご注意ください。

目 次

はじめに	5
委員及びワーキンググループメンバー	7
本検討による結論	10
検討の背景・目的	13
1. 影響について	15
1.1 食料	16
1.2 水環境・水資源	18
1.3 自然生態系	20
1.4 防災・沿岸大都市	22
1.5 健康	24
1.6 国民生活・都市生活	26
1.7 途上国	28
1.8 その他	30
2. 適応について	34
2.1 適応とは	34
2.2 「賢い適応」とは	36
2.3 適応を阻む障壁	48
3. 今後の課題	53
参考：影響の把握・予測・評価のあり方	57

第一部 気候変動に対する賢い適応 構成

本検討による結論

検討の背景・目的

1. 影響について

1.1 食料

1.3 自然生態系

1.5 健康

1.7 途上国

1.2 水環境・水資源

1.4 防災・沿岸大都市

1.6 国民生活・都市生活

1.8 その他

2. 適応について

2.1 適応とは

2.2 「賢い適応」とは

2.2.1 適応策実施に関するプロセス

2.2.2 賢い適応を構成する具体的な要素

- | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| (1)地域における脆弱性評価の促進 | (5)観測結果の活用と一定の余裕を確保した適応策の導入 | (8)保険等の経済システムを活用した社会全体の適応力の向上 |
| (2)モニタリングとこれを活かした早期警戒システムの導入 | (6)適応の主流化 | (9)関係組織の連携・協力体制の構築 |
| (3)多様なオプションの活用 | (7)脆弱性の低い「柔軟な対応力のあるシステム」の効果的・効率的な実現 | (10)現場でのきめ細かな取組が可能な主体による自発的取組の促進 |
| (4)長期・短期の双方の視点の活用 | | (11)人材の育成 |

2.2.3 賢い適応の評価軸

2.2.4 適応策の主要なオプション

技術

政策

社会経済

2.2.5 賢い適応を進める上での留意事項

- (1)適応と緩和の関係への留意
- (2)適応策として参考にできる既存の事例・政策の共有
- (3)適応策の効果、総合的な視点から見た妥当性等についてのさらなる検討の必要性

2.3 適応を阻む障壁

3. 今後の課題

参考：影響の把握・予測・評価のあり方

- (1) 影響のメカニズムの把握
- (2) 着目すべき重要な影響事象
- (3) 影響の将来予測の方法
- (4) 影響の指標・評価の方法
- (5) 脆弱性評価の方法

最終稿

はじめに

2005年に米国に上陸し1700名の死者を出したハリケーン、2003年に数万人の死者を出したとされるヨーロッパの熱波、6年以上も干ばつの続くオーストラリア、2007年、2008年にバングラデシュとミャンマーを襲い甚大な被害を引き起こした巨大サイクロン。このような異常気象にどの程度地球温暖化が寄与しているのか結論付けることは難しいのですが、今後、地球温暖化が進むとこのような異常気象が増加すると科学的に予測されています。こうした報道を見て、日本でも地球温暖化によりいずれ何か大きな被害が生ずるのではないかと漠然とした不安を持っている人も多いことでしょう。

異常気象による被害の報道に加えて、2007年にはIPCCが第4次評価報告書の第1、第2、第3作業部会報告書を順に発表し、11月には統合報告書の発表を行いました。それと時期を同じくして世界の人々の温暖化問題に対する関心は一気に高まりました。気候変動問題は、気候変動枠組条約の関連だけでなく、水資源、食料、安全保障、生物多様性など、今や様々な文脈で論じられています。

以前は、地球温暖化影響と言えば、アフリカのような低開発国、アジアのメガデルタ、小島嶼国等の脆弱な地域で深刻になると考えられ、我が国のような先進国はまだまだ余裕があると思われてきました。しかし、ヨーロッパの熱波や北米の松枯れ、森林火災など先進国でも被害が明らかとなり、今や日本でも身近な問題であるとの認識が高まっています。

我が国でも、2007年夏は、熊谷市と多治見市で40.9℃という観測史上初の最高気温を記録したことは、記憶に新しい出来事です。また、農林水産省が農業関係の公立試験研究機関に対して実施したアンケート調査によれば、すべての都道府県ですでに何らかの形で地球温暖化が原因と考えられる影響は現れているとの回答が得られました。近年、身近な生き物、水産資源などでも、さまざまな異変が報告されています。

このまま化石燃料に依存した文明を続けると2100年には世界平均気温が約4.0℃上昇すると予測されています。この地球温暖化は、今後、我が国にどんな悪影響をもたらすのでしょうか。そして、私たちはどのような準備をして、この影響に対応していくべきでしょうか。

本報告書は、このような疑問に答えるために、三村信男教授を座長として各分野の専門家43人に集まっていただき、2007年10月より約8ヶ月間、集中的な検討を行っていただきました。地球温暖化は、気候と自然環境と社会システムのあらゆる方面に影響を与えます。科学的知見を最大限活用して、将来状況を予測し、対応策を考えていく必要があります。

温暖化影響に対する適応の問題は、まだ比較的新しい問題であり、これまで我が国で体系的な検討が行われたことはなかったのですが、今回の検討に当たっては、この新しく困難な課題に数多くの研究者の協力を得ることができました。その協力により、本報告書は、今後、我が国において地球温暖化の影響と適応を考えるための貴重な示唆を与えてくれるものとなりました。

最終稿

特に、今回の報告の柱である「賢い適応」という考え方は、我が国が効果的で効率的な適応策を実施するうえで極めて重要な考え方であり、今後、さまざまな分野での適応策の検討にあたり、「賢い適応」の考え方をより具体化していくことが重要だと考えます。また、適応能力が不十分で脆弱性の高い途上国においては地球温暖化への適応策の実施は喫緊の課題ですが、深刻な状況にあればあるほど「賢い適応」の考え方が役に立つと期待しております。

適応策は関係する幅広い諸機関の連携と協力によって実現されるものです。「賢い適応」を実施するためには、既存の政策に地球温暖化の影響と適応の観点を組み込み、計画的に事業や対策を実施することが必要です。本報告書が、関係諸機関における適応策の検討にも役立つとともに、地球温暖化の影響と適応の問題を共に考える礎となれば幸いです。

平成 20 年 6 月 18 日 環境省地球環境局長 南川秀樹

委員及びワーキンググループメンバー

本検討を行うため、以下に示す 12 名の専門家からなる地球温暖化影響・適応研究委員会を設置した。また個々の分野についてさらに専門的観点から検討するための支援組織として、分野別ワーキンググループ（7 分野・38 名、各分野の主査 7 名は委員会委員と兼任）を設置した。

環境省 地球温暖化影響・適応研究委員会 委員名簿

（敬称略、座長以外は五十音順、平成20年6月18日現在）

座長	三村 信男	茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター	学長特別補佐・教授
	磯部 雅彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授
	大垣 眞一郎	東京大学大学院工学系研究科	教授
	大野 輝之	東京都環境局都市地球環境部長	
	倉根 一郎	国立感染症研究所ウィルス第一部	部長
	田中 充	法政大学大学院政策科学研究科	教授
	中静 透	東北大学大学院生命科学研究科	教授
	西岡 秀三	国立環境研究所	特別客員研究員
	林 陽生	筑波大学生命環境科学研究科	教授
	原沢 英夫	内閣府政策統括官付参事官（環境・エネルギー担当）	（平成 20 年 4 月より） 国立環境研究所社会環境システム研究領域 領域長（平成 20 年 3 月まで）
	日引 聡	国立環境研究所社会環境システム研究領域環境経済・政策研究室長	
	平石 尹彦	地球環境戦略研究機関(IGES)	上級コンサルタント

最終稿

環境省 地球温暖化影響・適応研究委員会 ワーキンググループ メンバー名簿

(敬称略、主査・副主査以外は五十音順、平成20年6月18日現在)

食料分野ワーキンググループ

主査	林 陽生	筑波大学生命環境科学研究科 教授
副主査	横沢 正幸	農業環境技術研究所大気環境研究領域 主任研究員
	高柳 和史	(旧)水産総合研究センター西海区水産研究所 部長 (新)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 業務推進部長
	森田 敏	農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター 上席研究員

水環境・水資源分野ワーキンググループ

主査	大垣 眞一郎	東京大学大学院工学系研究科 教授
副主査	古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科 教授
	大瀧 雅寛	お茶の水女子大学大学院 准教授
	沖 大幹	東京大学生産技術研究所 教授
	風間 聡	東北大学大学院環境科学研究科 准教授
	藤田 光一	(旧)国土交通省国土技術政策総合研究所 河川環境研究室長 (新)国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究官

自然生態系分野ワーキンググループ

主査	中静 透	東北大学大学院生命科学研究科 教授
副主査	占部 城太郎	東北大学生命科学研究科 教授
	清野 嘉之	森林総合研究所温暖化対応推進拠点 拠点長
	木暮 一啓	東京大学海洋研究所海洋生態系動態部門微生物分野 教授
	清水 庸	東京大学大学院農学生命科学研究科 助教
	田中 信行	森林総合研究所植物生態研究領域環境影響担当チーム チーム長
	仲岡 雅裕	(旧)千葉大学大学院理学研究科 准教授 (新)北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 教授
	増沢 武弘	静岡大学大学院理学研究科植物生理生態学研究室 教授

防災・沿岸大都市分野ワーキンググループ

主査	磯部 雅彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科 研究科長・教授
副主査	横木 裕宗	茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 准教授
	中北 英一	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
	福濱 方哉	(旧)国土交通省国土技術政策総合研究所 海岸研究室長 (新)国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所 事務所長

健康分野ワーキンググループ

主査	倉根 一郎	国立感染症研究所ウイルス第一部 部長
副主査	小林 睦生	国立感染症研究所昆虫医科学部 部長
	小野 雅司	国立環境研究所環境健康研究領域 室長
	田村 憲治	国立環境研究所環境健康研究領域 主任研究員
	本田 靖	筑波大学大学院人間総合科学研究科 教授

国民生活・都市生活分野ワーキンググループ

主査	田中 充	法政大学大学院政策科学研究科 教授
副主査	中口 毅博	環境自治体会議環境政策研究所 所長 芝浦工業大学システム工学部環境システム学科 教授
	島田 英雄	(旧)熊谷市環境部環境政策課 課長 (新)熊谷市総務部市民税課 課長
	田浦 健朗	特定非営利活動法人気候ネットワーク 事務局長
	肱岡 靖明	国立環境研究所社会環境システム研究領域統合評価研究室 主任研究員

途上国分野ワーキンググループ

主査	原沢 英夫	(旧)国立環境研究所社会環境システム研究領域 領域長 (新)内閣府政策統括官付参事官(環境・エネルギー担当)
副主査	高橋 潔	国立環境研究所地球環境研究センター温暖化リスク評価研究室 主任研究員
	小川 晃範	国際連合大学 上級研究員
	川西 正人	(旧)国際協力機構国際協力総合研修所 国際協力専門員 (新)国際協力機構 国際協力専門員
	久保田 泉	国立環境研究所社会環境システム研究領域 研究員
	信岡 尚道	茨城大学工学部都市システム工学科 講師

なお、第二部第1章 将来の気候シナリオ・社会シナリオの概要の執筆には、一部について、国立環境研究所地球環境研究センター温暖化リスク評価研究室の江守正多室長、同研究室の高橋潔主任研究員らの協力を得た。

本検討による結論

1. 我が国でも、既に気候変動の影響が現れている。特に、今世紀に入って以降、影響は急速に現れつつある。

世界各地で、気候変動による影響の可能性のある熱波、ハリケーン、サイクロン、洪水、干ばつ等の災害が報告されている。我が国においても、特に今世紀に入って以降、気候変動が原因である可能性のあるさまざまな影響が顕在化している。

具体例として、高温による農産物の収量減少や品質低下、ブナ等樹木の衰退や高山植物の減少、湖の鉛直循環停滞による生態系の変化、淡水域における冷水魚の分布域の縮小、猛暑による熱中症患者の増加、感染症を媒介する蚊の分布域の拡大等が挙げられる。また、現時点で気候変動による影響とは断定できないが、記録的少雨による断水等の利水上の障害、台風による高潮被害や記録的豪雨による浸水被害等も生じている。

2. 今後、国民生活に関係する広い分野で一層大きな影響が予想される。

気候変動による影響は、国民一人ひとりの生活に密接に関わり、今後、一層大きな影響が生じることが予想される。その影響は、国民の安全な暮らし、健康な暮らし、経済的に豊かな暮らし、快適な暮らし、文化や歴史を感じられる暮らしのさまざまな側面に及ぶ。

特に、台風の強大化や豪雨の頻発化による土砂災害被害、浸水被害、洪水被害の増加、熱中症、熱ストレス、感染症、大気汚染リスクの増加、農作物価格の上昇や冷房費、適応対策費等による家計支出の増加、猛暑日や熱帯夜の増加による不快感やストレスの増加、自然景観、レクリエーション空間や季節感の喪失等の影響が挙げられる。

3. 我が国の自然や社会が有する固有の脆弱性に気候変動の影響が重なると、社会の安全と安定にとって、厳しい影響が生じ得る。

従来、気候変動の影響は、主としてアフリカのような後発開発途上国、小島嶼国、アジアのメガデルタなど、気候変動に対する脆弱性の高い途上国について論じられることが多かった。しかし、科学技術や社会基盤が発達し、一定の適応力を有するとみられる我が国においても、台風や土砂災害・地震の多発、食料・資源の海外への依存、高齢化等、我が国の自然や社会の特性に起因する脆弱性を有している。

このような脆弱性に気候変動の影響が重なると、社会の安全と安定を脅かす厳しい影響の生じる恐れがある。

4. 気候変動の悪影響に対して「賢い適応（効果的・効率的な適応）」が必要である。

国民生活に多大な影響を与える気候変動の悪影響に適切に対処する効果的・効率的な「賢い適応」のためには、①地域の脆弱性評価、モニタリング等の最新の成果を活用すること、②多様な適応策オプションを検討し組み合わせること、③短期・長期の両方を視野に入れ、適応策の対応できる温度幅とともに余裕幅を考慮すること、④防災計画等既存の政策があればそれらに適切に組み込むこと、⑤自然や社会経済のシステムをより柔軟で対応力のあるシステムとしていくこと等が重要であり、そのために予防的に早くから検討する必要がある。

特に、賢い適応を実現するためには、土地利用計画、都市計画、農業政策、自然保護政策、地方自治体の環境政策等、既存の政策分野や関連する諸計画の中に、気候変動に対する適応の視点を組み込むことが必要である。この考え方に即し、既存の対策や資金に対して追加的に適応策を実施していくことで、全体の資源の有効活用を図る必要がある。

気候変動のみならず高齢化、過疎化等の諸課題を有する我が国において、地域の実情に応じた賢い適応を進めることが、結果的に地域のあり方を変え、他の問題の解決をも導く可能性がある。まちづくり等を含む総合的な観点から、長期的視野の下に、安全・安心な、より豊かな暮らしができる国土づくりを目指すことが重要である。

5. 適応策を実施できる体制を構築するため、さらに検討を重ねるとともに我が国における適応計画を策定することが必要である。

気候変動による影響には、現時点で既に顕在化しており、今から早急に適応策の実施を進めることが必要なものもある。また、上述したように、限られた財政的・人的・時間的な資源を有効に活用し、賢い適応策を実施していく必要がある。さらに、国民の意見を広く聞くことによりコンセンサス形成を促進し、政策のフォローアップを実施していくことも重要となる。

このため、今後の検討に際しては、関係省庁の参加を得ることも視野において、分野横断的に、より政策志向の検討を実施し、その十分な検討成果を踏まえて国レベルの「適応計画」を立案し、計画、実行、評価、改善を含むサイクルを確立していく必要がある。

6. 特に脆弱な途上国に対する協力・支援が必要である。

脆弱性の高い途上国における気候変動の影響はより深刻である。アジア・太平洋地域では、氷河の融解による洪水の増加、一部の途上国における飢餓リスク、人口の集中するメガデルタ地帯での洪水の増加、小島嶼における海面上昇による国土面積の減少等が予測される。また、途上国における影響は、例えば食料輸入先国を通じた影響や海外渡航を通じた健康影響拡大等、間接的に我が国にも波及する場合がある。

最終稿

これらを踏まえ、我が国は、特に脆弱性の高い途上国が直面する問題に対し、国際社会の一員として、また、科学的知見、先進技術等を有する先進国として、適切な適応協力や支援を推進していくことが求められている。

7. 最新の科学的知見の整理とともに、さらなる研究・検討が求められている。

今後、上記のような「賢い適応」を推進していくためには、まず、我が国において既に生じている影響、将来予測される影響についての知見・評価の状況を、主要な分野ごとに、及び分野横断的に整理する必要がある。それには、影響を検知するための基礎となるモニタリング、将来の影響予測、脆弱性評価、影響（被害）の経済評価などが必要となる。その上で、これらの影響に対する賢い適応のあり方の提示やその具体化のためのさらなる研究・検討が必要となる。

当面、取り組むべき課題として、以下の事項が想定される。

- ・ 科学的評価に基づく適応策の実施とそのためのデータ・情報・研究成果の蓄積・共有化
- ・ 過去の事例に学ぶとともに、適応の視点を種々の政策に組み込んで実施
- ・ 早急に実施すべき適応策の計画的推進
- ・ 継続的な検討体制の構築と検討成果の定期的な発信
- ・ 途上国の適応支援に関する検討の継続
- ・ 気候変動の影響と適応に関するさらなる研究の推進

検討の背景・目的

1. 背景

● 「気候システムの温暖化は疑う余地がない。」

2007 年、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書において、**気候システムの温暖化は疑う余地がない**と断定した。世界平均気温の上昇、世界平均海面水位の上昇、雪氷の広範囲の融解等の観測により、今や温暖化が生じていることは明らかとなっている。

● 気候変動の更なる影響は回避することができない。

気候変動に対処する適応については、IPCC 第 2 作業部会報告書において、「もっとも厳しい削減努力であっても、今後数十年間は、気候変化の更なる影響を回避することができないため、適応は、特に短期的な影響への対処において不可欠となる。」と記述された¹。

● 適応能力の高い社会においても影響が顕在化している。

世界各地で気候変動による影響の可能性がある熱波、ハリケーン、洪水、干ばつ等の災害が報告されており、我が国においても、気候変動が原因である可能性のあるさまざまな影響が顕在化している。気候変動の影響は、平均的な気温上昇として徐々に顕在化するだけでなく、極端な現象の増加という形で突然その刃を人間社会に突きつける場合のあることに留意する必要がある。

従来、適応策は、主として小島嶼国やアフリカなど脆弱性の高い途上国について論じられることが多かった。しかし、我が国のように適応力の高い先進国においても、気候変動の影響に対し、喫緊の課題として、予防的に対処する適応策を検討する必要性が生じている。

2. 目的

上記の背景を踏まえ、本検討は以下の三点を目的として実施した。

- (1) 我が国と途上国における気候変動の影響・適応に関して現在までの科学的知見を明らかにする。
- (2) 賢い適応（効果的・効率的な適応）のあり方を提示する。
- (3) (1)(2)の検討を通じて、我が国と途上国における影響・適応に関する今後の研究の方向性や課題を提示する。

¹気候変動枠組条約では、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととしない水準において、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を究極の目的としている(第 2 条)。この究極の目的の達成に向けて、まず最大限の緩和努力を行うことが重要である。IPCC 第 4 次評価報告書においても示されたとおり、適応と緩和、いずれも単独ではすべての気候変化の影響を避けることはできず、両者を用いて相互補完的に取り組むことにより、気候変化のリスクを大きく減少させることができる（統合報告書、政策決定者向け要約, p.20）。

3. 検討の方法

検討に際しては、環境省地球環境局長諮問委員会として「地球温暖化影響・適応研究委員会」を設置し、個々の分野についてさらに専門的観点から検討するための支援組織として分野別ワーキンググループを設置した。

各ワーキンググループにおいては、気候変動の影響・適応に関する既存の研究成果を可能な限り集約することに主眼を置いた。また、現時点では既存知見の少ない脆弱性評価や、適応策の実施にあたっての考え方等についても議論を重ね、とりまとめを行った。

4. 対象とした地域・時期

対象地域は、原則として日本とし、分野によっては関連国・地域も必要に応じ考慮した。途上国分野では、我が国と密接な関係を有するアジア太平洋地域諸国を対象とした。

対象時期は、2050 年、2100 年という長期的な将来を見通しつつも、適応策を考える上での中間時点として 2020～2030 年という比較的短期の年次に焦点をあて、各分野の影響・適応に関する既存の研究知見を整理した。また、今後の研究の方向性については、約 3 年先までに実施すべき研究内容を想定して検討した。

1. 影響について

ここでは、各分野ごとに、まず「これまでに観測された影響」として、各分野における気候変動による影響の特徴を述べるとともに、これまでに観測されている影響事象の例を示す。次に、「将来予測される影響」として、将来の気候変動によって生じることが予測される影響の例を示す。

特に、「これまでに観測された影響」として挙げた事例の中には、現時点では必ずしも気候変動の影響と断定できないものもある。しかし、将来、気候変動が進行すれば、これらの事象が頻発する可能性があり、それによって甚大な被害が及ぶことも憂慮される。そのため、ここでは、将来の影響の予測や賢い適応の検討にも資するよう、気候変動による影響であるかどうか現時点で明確には判断し難いが、その可能性が高いと考えられる事象、気候変動が進行すればさらに増加すると考えられる事象も含めて扱うこととした。即ち、ここで挙げた「これまでに観測された影響」の事例の全てが、気候変動の影響と断定された事例ではないことに、留意が必要である。

なお、各分野のより具体的な影響事象の内容については、第二部の各分野別章の「現在把握されている影響」の節及び「将来予測される影響」の節に記載している。

1.1 食料

1.1.1 これまでに観測された影響

食料への影響は、農業、畜産業、水産業への影響を通して生じる。これまでに、高温によるコメの白未熟粒や胴割れの発生と品質および食味の低下、ムギの幼穂形成が早まったことによる凍霜害の増加および登熟期間短縮による減収、ダイズの病虫害被害の増加および高温乾燥による被害などが現れている。果樹では品質および貯蔵性の低下、茶の凍霜害の増加および病虫害の増加が認められる。畜産業では受胎率の低下、乳量低下および発育低下が現れている。水産業では南方系魚類の増加および漁期の変化や養殖の不振が起こっている。

- ・ 東北以南における白未熟粒（白濁した玄米）等の発生 [第 2 章 2.2]
- ・ 東北や北陸で発生頻度の高い胴割粒（亀裂の生じた玄米） [第 2 章 2.2]
- ・ 冬季の高温化によるムギの幼穂形成や茎立ちの早まり、これによる凍霜害の増加 [第 2 章 2.2]
- ・ 高温・多雨によるミカンの浮皮症^{うきかわしょう}、高温によるブドウの着色不良の発生 [第 2 章 2.2]
- ・ 全国 47 都道府県の農業関係公立試験研究機関を対象とした農業に対する地球温暖化の影響の現状に関するアンケート調査では、果樹で全都道府県、野菜・花きで 9 割、畜産で 4 割程度の都道府県が、何らかの形で地球温暖化が原因と考えられる影響が生じていると回答 [第 2 章 2.2]
- ・ 秋の水温低下の遅れによるノリ漁期の遅れ [第 2 章 2.2] など

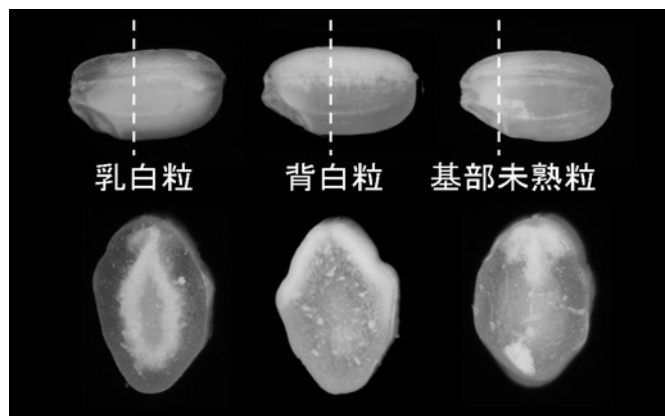


図 1 水稻の白未熟粒（森田，2005）



要通知！

図 2 高温、多雨によるミカンの「浮皮症」

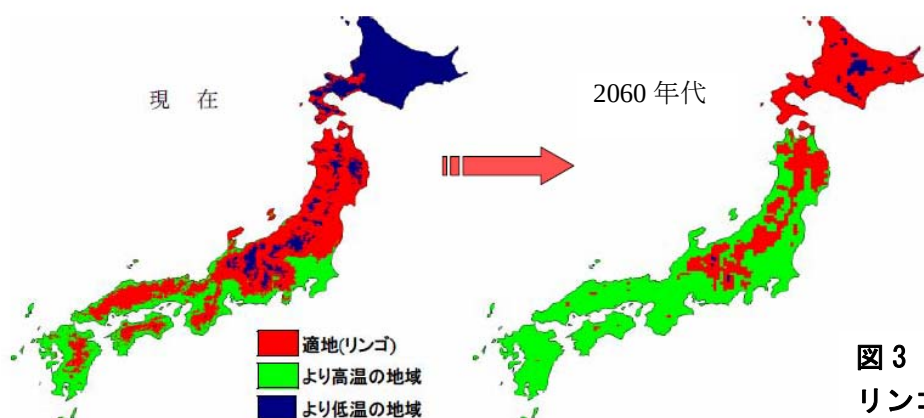
写真提供：広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部

1.1.2 将来予測される影響

農業では、コメの品質低下が甚大化するほか、水稻栽培適期が二極分化する（関東以西の西南暖地では遅れ、それ以外の地域では早まる）可能性と、これに伴う全国平均収量の減少が予測される。高温による麦や大豆の減収、果樹の栽培適地の移動等も予測される。また、病虫害の増加や雑草の繁茂により防除に対する労働力の増加が考えられる。さらに、積雪量の減少や融雪時期の早まりによる農業水資源の枯渇や台風に伴う潮風害の増加が予想される。水産業では北方系魚類の生息域の北上や南方系魚類の生息域拡大、養殖の適地の移動や感染症増加の可能性等が予想される。

【予測される主要な影響例】

- ・ コメの登熟不良（品質・粒重低下）の甚大化 [第2章 2.3]
- ・ リンゴの栽培適地の北上（東北中部平野部で栽培できなくなる可能性）[第2章 2.3]
- ・ 高温で発生する病虫害の北上 [第2章 2.3]
- ・ 積雪量の減少と融雪量の増大による田植期の水不足 [第2章 2.3]
- ・ サケ類の生息域の減少、ニシンの生息域の北上 [第2章 2.3]
- ・ サンマの餌環境の悪化による成長の鈍化、一方で、産卵期の餌環境の好転による産卵量の増加（東日本太平洋側）[第2章 2.3]
- ・ トラフグの養殖適地の北上 [第2章 2.3]



要許諾！

図3
リンゴの生産適地分布
の変化（杉浦ら，2004）

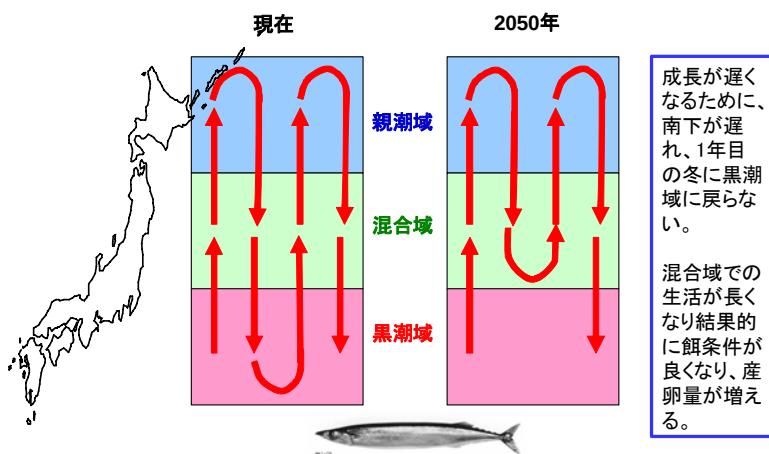


図4
数値モデルで計算したサン
マの回遊経路
（伊藤，2007 a, b より作成）

1.2 水環境・水資源

1.2.1 これまでに観測された影響

水環境・水資源への影響は、まず直接的には、河川水、湖沼・ダム湖、地下水等の水源ごとに、その水量、水温、水質の変化として現れる。この変化が、自然生態系のシステム、及び社会の利水システムと水需要構造に影響を与える。気候変動による影響であるかどうか現時点では明確に判断することは難しいが、異常な気象の頻度あるいは降雨・降雪の変動傾向などの変化が記録・報告されており、気候変動が進行すればさらにその変化が増幅されるおそれもある。また、水量や水質の変化を通じて農業生産、自然生態系、防災、健康など広く他分野にも影響を及ぼす点が水環境・水資源分野の特徴である。

- ・記録的少雨による水道原水の取水制限・給水制限や、水道の断水の発生 [第3章 3.2]
- ・湖沼でのアオコの異常発生（水利用や水域の生態系への影響） [第3章 3.2]
- ・渇水に伴う地下水利用の増加、これに伴う地盤沈下の発生 [第3章 3.2] など

緑色：河川の水量、水質等に関する事例

水色：湖沼・ダム湖の水量、水質等に関する事例

橙色：地下水の水量、水質等に関する事例

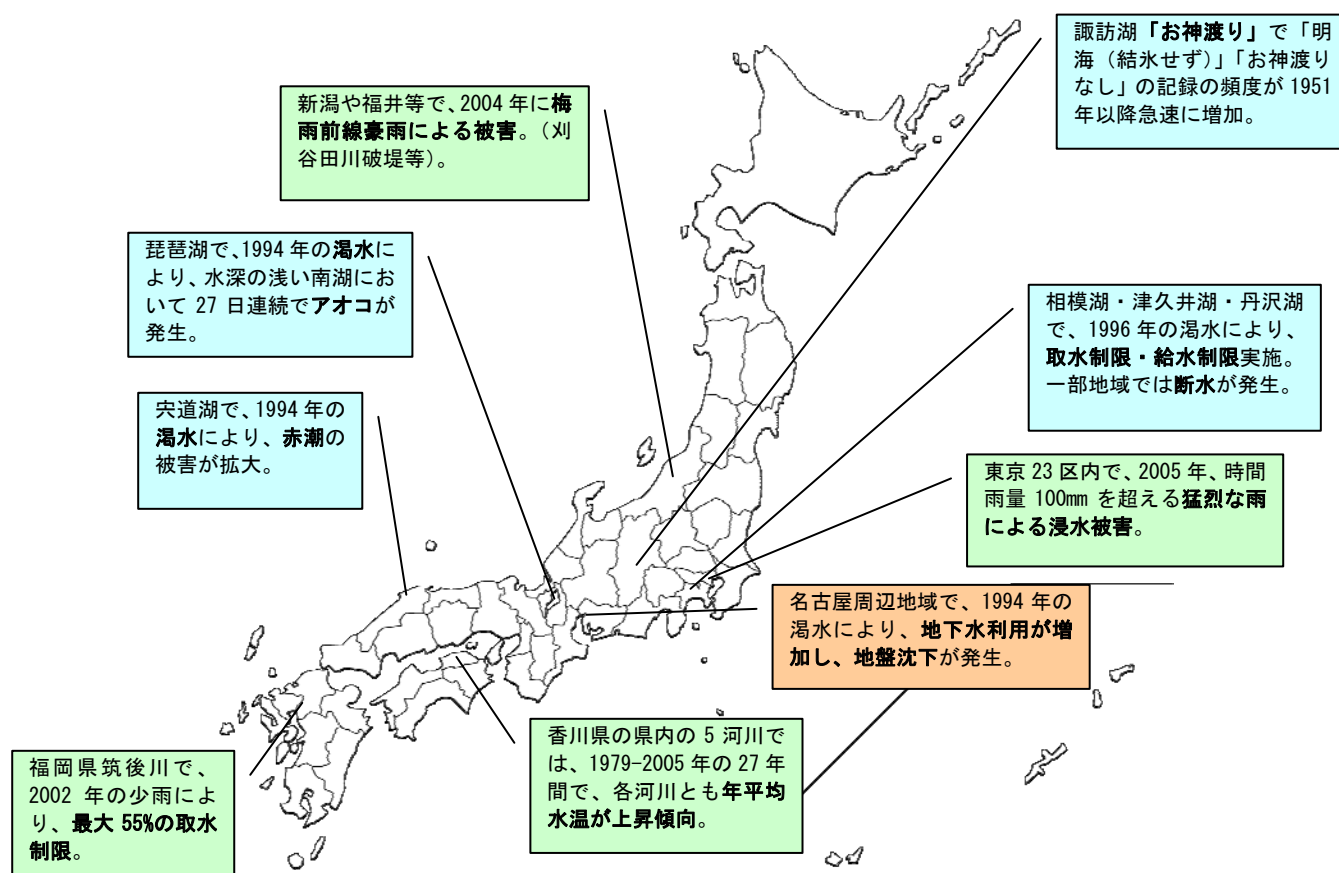


図5 気候変動の進行に伴い、懸念される事象の既存類似事例

1.2.2 将来予測される影響

平均的事象の変化による影響と極端な事象の頻度・強度の変化による影響がある。水温、降水量の平均値の量的な変化ならびに時期の変化により、河川流量の変化、積雪量の減少、融雪時期の変化、湖水水位の変化、水質の変化等が生じ、水供給への影響、生態系への影響が現れるおそれがある。また、極端事象の頻度とその強度の増加、例えば、著しい少雨の発生頻度と強度の増加等により渇水リスクの増大という形で影響が現れるおそれがある。一方、降雨量が異常に多い極端事象の場合は、例えば、短期集中型の豪雨の頻度と強度の増大が、洪水リスクの増大としての影響を与える。海面上昇が想定される場合には、沿岸部で地下水塩水化としての影響も予測される。

【予測される主要な影響例】

- ・ 渇水リスクの増加 [第3章 3.3]
- ・ 短期集中型の豪雨の頻度増加による斜面災害の増加 [第3章 3.3]
- ・ 河川水や湖沼・ダム湖、地下水の水温上昇、アオコ発生確率の上昇 [第3章 3.3]
- ・ 海面上昇に伴う地下水塩水化 [第3章 3.3] など

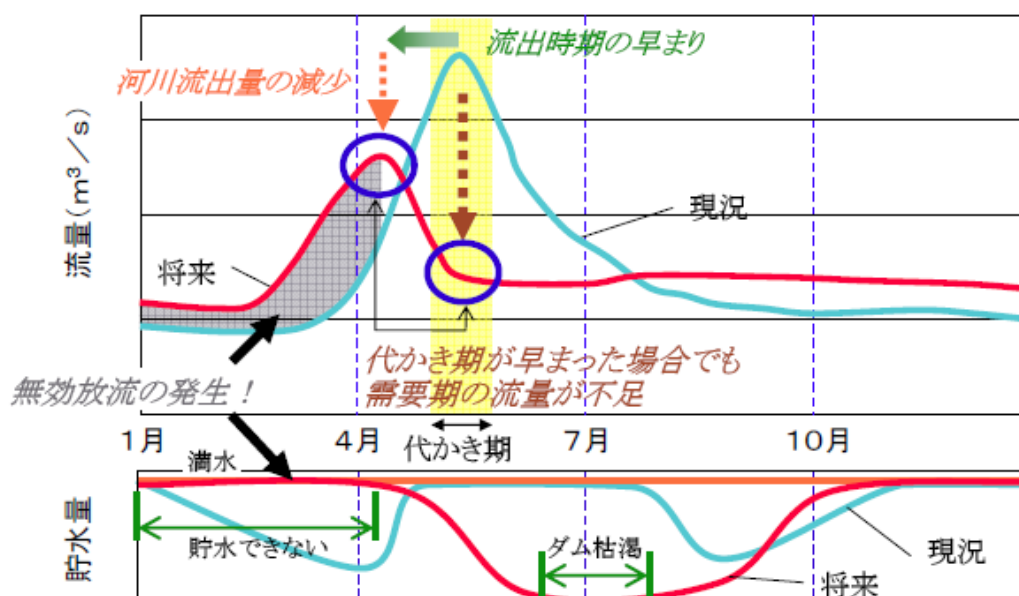


図6 気候変動による少雪化が河川流量の年間変動パターンと水資源確保に与える影響についての説明（後者への影響はダム貯水量で表現）（国土交通省，2007）

1.3 自然生態系

1.3.1 これまでに観測された影響

自然生態系への影響は、森林、高山、淡水、海洋、沿岸、湿原の生態系への影響、及び生物多様性への影響に大別される。それぞれの生態系の基盤となる植生・水域等の変化や、生物の分布の変化等が報告されている。また、自然生態系分野は、気候変動による影響以前に人間活動による影響を大きく受けており、既に人間活動による影響で生態系が劣化しているところに、気候変動が最後の一撃を加えてしまう恐れが懸念されている。

- ・ブナ林の衰退・再生不良や里山でのマツ枯れ、高山帯の植物の減少 [第4章 4.2]
- ・高層湿原の乾燥化、雪田植生の衰退 [第4章 4.2]
- ・積雪の減少によるニホンジカ等の分布拡大 [第4章 4.2]
- ・湖の鉛直循環が停滞し、湖底の溶存酸素が減少するなどの原因による生態系の変化 [第4章 4.2]
- ・淡水域における冷水魚の分布域縮小 [第4章 4.2]
- ・沿岸における南方種の増加・北方種の減少、サンゴ礁の白化・死滅 [第4章 4.2]
- ・オホーツク海等の高温化・溶存酸素低下による生物生産への影響 [第4章 4.2]
- ・ツバキ・ウメ・タンポポ・サクラ等の開花の早まり、イチョウの黄葉・カエデの紅葉・落葉の遅れ [第4章 4.2]
- ・九州では低温による休眠解除ができず逆に開花の遅れる例 [第4章 4.2] など

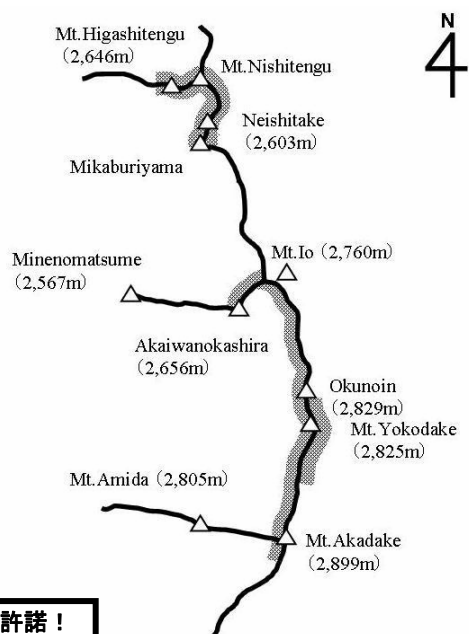


図7 ハヶ岳の高山植物群落の分布（増沢，2005） 図8 影響を受けている高山植物の例

■：高山植物群落
現在高山植物群落が残存しているのは、稜線部分のみとなっている。

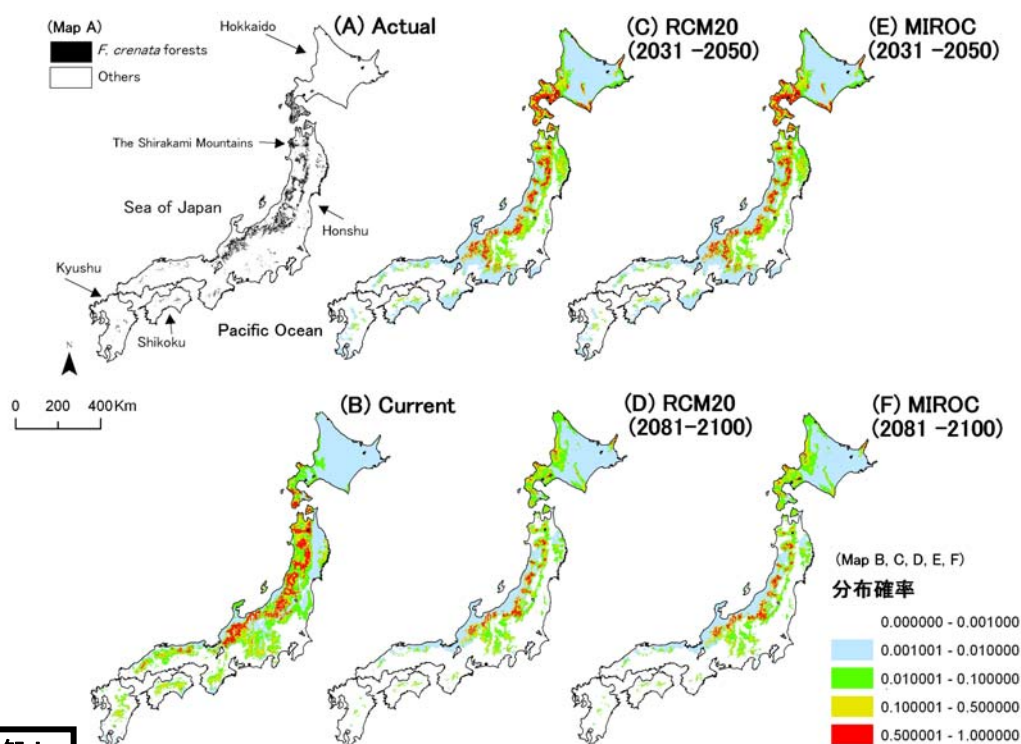
左上：イワウメ 左下：キバナシャクナゲ
右：イワヒゲ
写真提供：静岡大学大学院理学研究科植物生理生態学研究室 増沢武弘教授

1.3.2 将来予測される影響

森林、高山、淡水、海洋、沿岸、湿原の各生態系において、これまでに観測されている影響がさらに進行することが予測される。多くの生物の分布北上が予想されているが、生息地の分断化などにより北上が阻止される可能性が高い。また、生物の避難場所となる場所の消失による種の絶滅等、気候変動の程度によって不可逆的な影響が生じる可能性もある。湖では鉛直循環の停滞が広がり、水質汚染、外来種等の影響と複合的な変化をおこす。海洋では、酸性化が進み、プランクトンや石灰化生物に影響が出る。

【予測される主要な影響例】

- ・ブナ林、亜高山帯・亜寒帯の針葉樹林の分布適地の減少、北海道の高山植物群落の急速な減少 [第4章 4.3]
- ・東北地方での竹林の拡大、マツ枯れの拡大 [第4章 4.3]
- ・寒冷地の森林土壌からの二酸化炭素排出 [第4章 4.3]
- ・湖、海洋の鉛直循環の停滞が拡大 [第4章 4.3]
- ・淡水域における種の分布域変化、新たな外来種の侵入 [第4章 4.3]
- ・オホーツク海における海氷減少に伴う食物連鎖の変化、回遊性生物の回遊ルートの変化 [第4章 4.3]
- ・海洋の酸性化によるプランクトン、石灰化生物への影響拡大 [第4章 4.3]
- ・サンゴの白化や病気の拡大、砂浜環境の減少 [第4章 4.3] など



要通知！

図9 気候シナリオ RCM20 と MIROC による将来のブナ林分布確率の予測
(環境省, 2008)

1.4 防災・沿岸大都市

1.4.1 これまでに観測された影響

防災・沿岸大都市への影響は、沿岸域における高潮被害等と河川における洪水・土砂災害等の影響に大別される。気候変動による影響であるかどうか現時点で明確には判断し難いが、その可能性が高いと考えられる現象、あるいは気候変動が進行すればさらに増加すると考えられる現象が生じている。降雨に関しては、近年、年降水量の変動幅が増加しており、少雨傾向にある一方、短期集中型の豪雨の発生頻度は増加している。

- ・ 高知県菜生海岸^{なばえ}における 2004 年の台風 23 号による高潮被害の発生 [第 5 章 5.2]
- ・ 厳島神社回廊の冠水回数の増加² [第 5 章 5.2]
- ・ 九州北部における記録的豪雨による地下空間の浸水被害 [第 5 章 5.2]
- ・ 狭領域・短期集中型の豪雨頻度の増加 [第 5 章 5.2]
- ・ 木曽川水系におけるダムからの安定供給可能量の低下 [第 5 章 5.2]



図 10 高知県菜生海岸^{なばえ}の被災
写真提供：福濱方哉 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所長

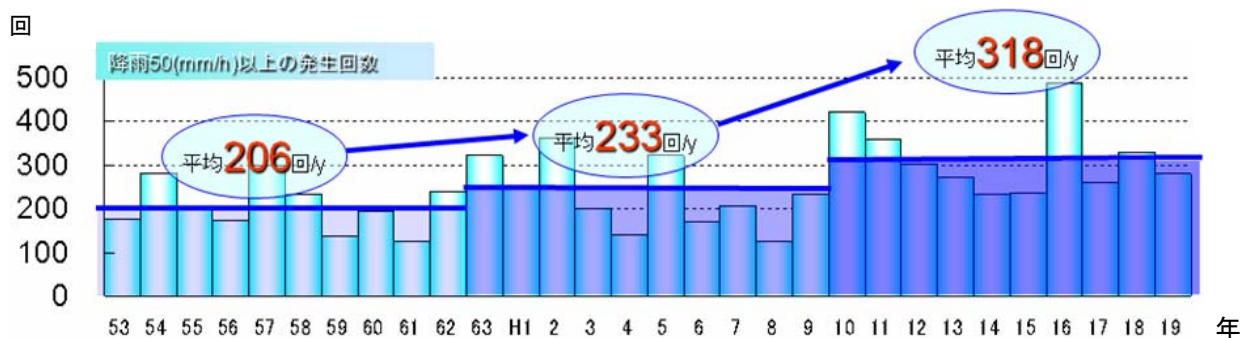


図 11 10 年ごとの 50mm 以上の時間降水量の発生件数 (国土交通省, 2007)

² 神社の社務日誌における目視記録。年による変動がある点に留意が必要である。

1.4.2 将来予測される影響

沿岸域では、海面上昇に高潮が重なることによる被害拡大、海面上昇による海岸侵食や砂浜の消失等が予測される。上流からの河川流量増大や土砂流出量増大による下流域・沿岸域への影響、内水氾濫による影響等は、現在、研究途上にある。また、台風の進路の変化により、従来想定していなかった地域で高潮被害が生ずる可能性が指摘されている。

【予測される主要な影響例】

- ・ 台風の強度の増加 [第 5 章 5.3]
- ・ 台風の進路変化による、南東向きの湾における高潮被害発生の可能性 [第 5 章 5.3]
- ・ 台風による風速や波浪の増大
- ・ 海面上昇による越波量の増加、海岸侵食 [第 5 章 5.3]
- ・ 海面上昇による砂浜の消失（1m の海面上昇により 90% の砂浜が消失） [第 5 章 5.3]
- ・ 全国の水系における治水安全度の低下 [第 5 章 5.3]
- ・ 融雪による土砂災害の発生増加 [第 5 章 5.3] など

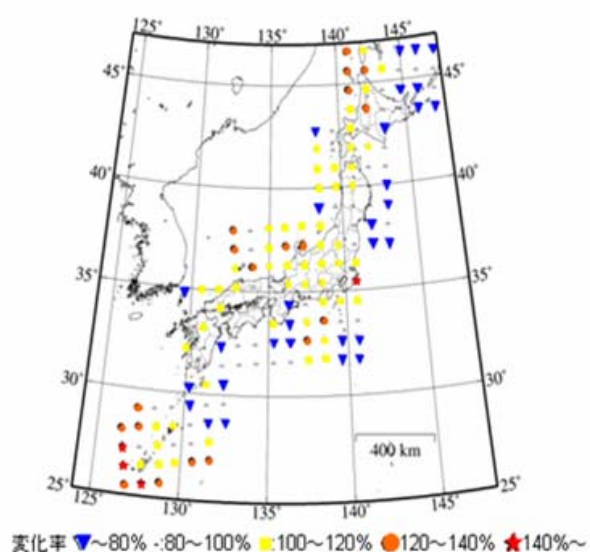


図 12 100 年確率最大日降水量の変化
(50 年後/現在) (和田ら, 2005a)

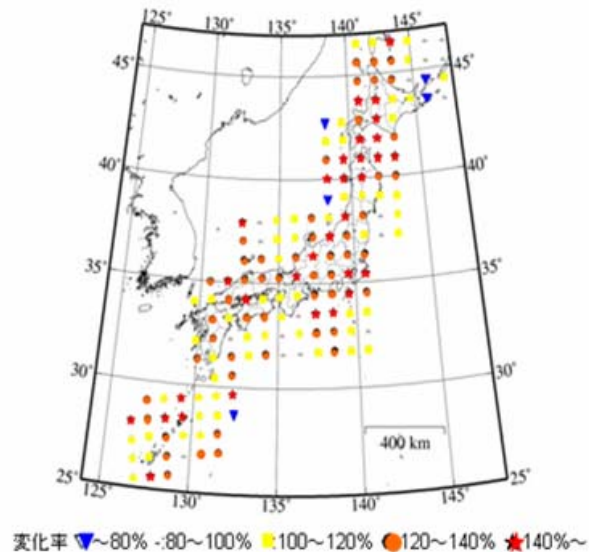


図 13 100 年確率最大日降水量の変化
(100 年後/現在) (和田ら, 2005b)

1.5 健康

1.5.1 これまでに観測された影響

人間への健康影響としては、暑熱による直接的な影響、感染症やその他、大気汚染への影響、大規模自然災害、衛生害虫等に対する間接的影響に大別される。暑熱による影響としては循環器疾患や呼吸器疾患を有する患者の死亡率の増加、熱中症患者の増加が報告されている。感染症に関してはデング熱等の媒介蚊であるヒトスジシマカの国内での分布域の北上、新たな日本脳炎媒介蚊の東南アジアからの侵入等感染症媒介生物の分布域の変化が報告されている。また、水系感染症を起こす菌の海水中の検出域の北上が報告されている。

- ・熱ストレスによる超過死亡の増加 [第6章 6.2]
- ・2007年に、多くの都市で熱中症患者数³が過去最高を記録（東京都及び17政令市合計で5,000名を超える患者） [第6章 6.2]
- ・デング熱等を媒介するヒトスジシマカの分布域の拡大、東南アジアからの新たな日本脳炎媒介蚊の侵入 [第6章 6.2]
- ・海水中のビブリオ・バルニフィカス菌検出域の北上 [第6章 6.2] など

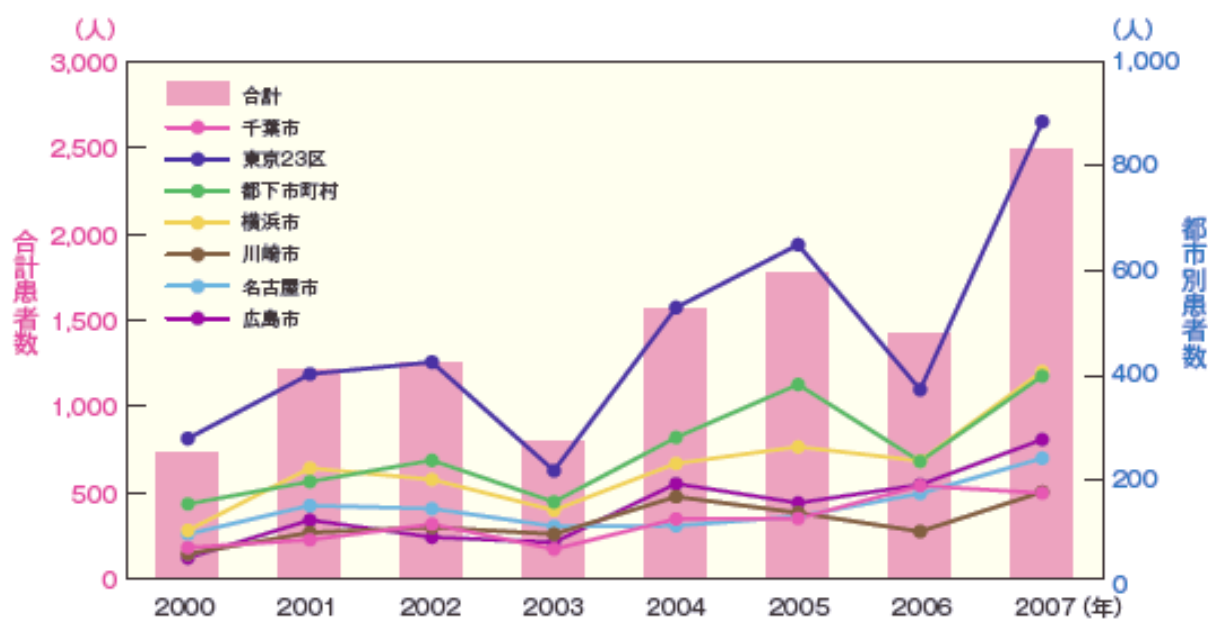


図 14 都市別熱中症患者数の推移

資料提供：国立環境研究所環境健康研究領域総合影響
評価研究室 小野雅司室長

³ここでの熱中症患者数は、消防庁・消防局管内で救急車により搬送された患者数であり、救急車を使わずに直接医療機関を受診した患者数、あるいは受診しなかった患者数は含まれていない。

1.5.2 将来予測される影響

暑熱の影響として、熱ストレスによる死亡リスクの増加、特に循環器疾患患者の増加が予想される。さらに、熱中症患者数の増加、および熱帯夜日数の増加による夜間の睡眠障害の増加等が予測される。これら暑熱の影響は特に高齢者において影響が大きいと予想される。感染症への影響としては、ヒトスジシマカ分布域の東北・北海道での北上、ネッタイシマカの日本への侵入により日本全域がデング熱、チクングニヤ熱の流行リスクを有する地域となると予想される。また、日本脳炎患者発生域の北上も予想される。

【予測される主要な影響例】

- ・ 熱ストレスによる超過死亡の増加 [第 6 章 6.3]
- ・ 熱中症患者数の増加（東京都を対象とした将来予測） [第 6 章 6.3]
- ・ デング熱を媒介するヒトスジシマカやネッタイシマカの分布域拡大の可能性 [第 6 章 6.3] など

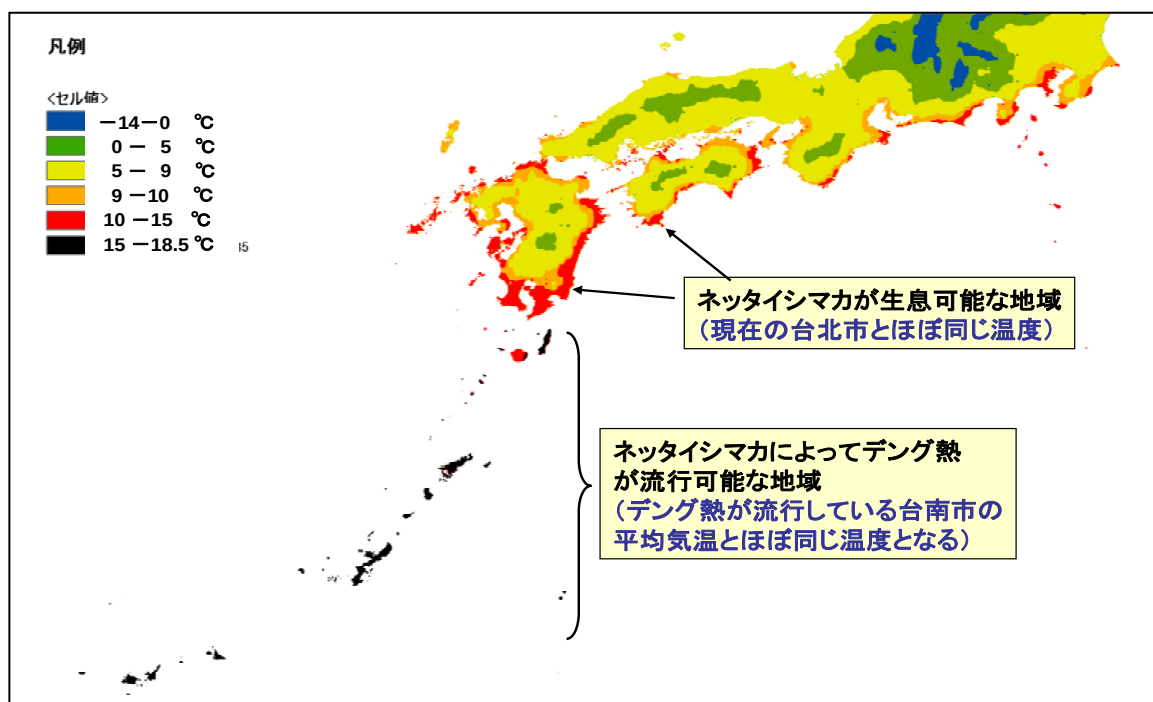


図 15 1 月の平均気温の温度分布とネッタイシマカの分布拡大予測 (2100 年)

要通知！

(Kobayashi et al., 2008)

1.6 国民生活・都市生活

1.6.1 これまでに観測された影響

国民生活・都市生活への影響は、国民一人ひとりに密接に関わり、日常生活で実感する事象であり、特に国民の安全な暮らし、健康な暮らし、経済的に豊かな暮らし、快適な暮らし、文化や歴史を感じられる暮らしという段階的な区分に着目して、前記の 1.1～1.5 の影響や国民生活に特徴的な事象がどのような形で影響を及ぼすかという視点で整理できる。

- ・小麦、とうもろこし、大豆等の国際価格の上昇⁴ [第 7 章 7.2]
- ・ウメやサクラ等の開花の早まり、紅葉や落葉の遅れ [第 7 章 7.2]
- ・観光業やスポーツ産業（スキー場等）における、自然環境の変化や気象条件の変化による影響 [第 7 章 7.2]
- ・諏訪湖の「お神渡し」で「明海（結氷なし）」「お神渡しなし」の記録が増加 [第 7 章 7.2]
- ・厳島神社回廊の冠水回数の増加 [第 7 章 7.2] など



図 16 諏訪湖の御神渡りの様子
(昭和 50 年代)
(諏訪市誌編集委員会, 1995)

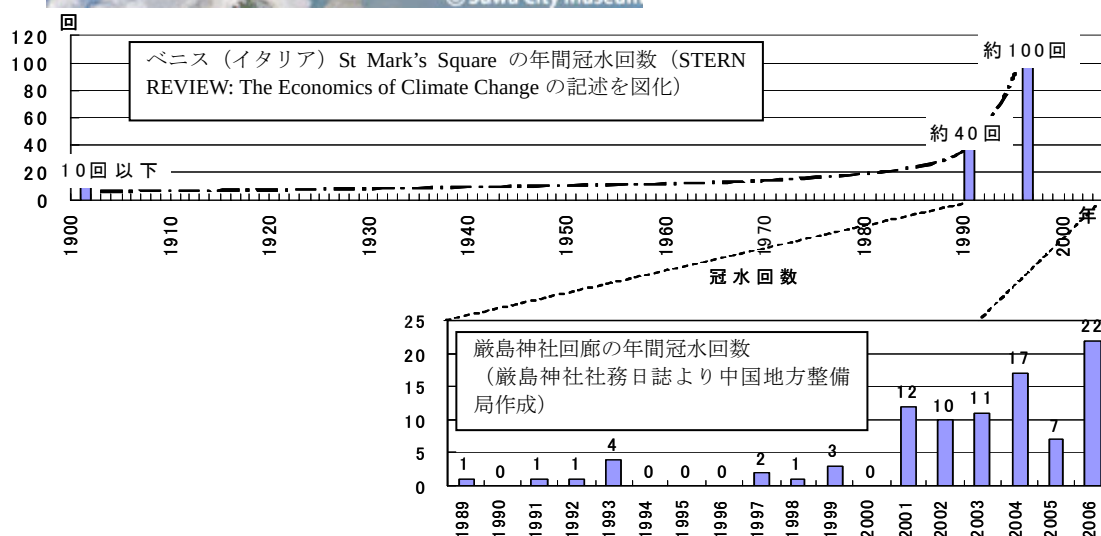


図 17 厳島神社回廊などの冠水回数（国土交通省, 2007）

⁴ 国際価格の上昇には、気候変動の影響だけでなく、中国やインド等の人口超大国の経済発展による食料需要の増大、世界的なバイオ燃料の原料としての穀物等の需要増大等の要因も関係している。

1.6.2 将来予測される影響

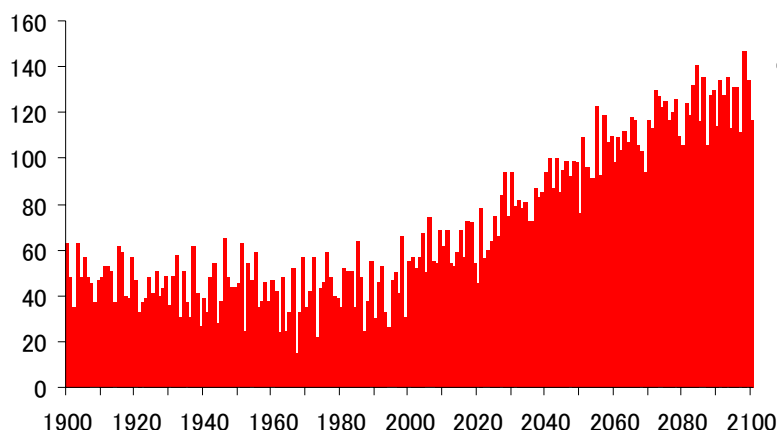
国民生活・都市生活への影響は、安全や生命に関わる影響から、経済的な暮らしへの影響、より高次の精神的な欲求に関わる影響まで、国民生活の幅広い分野で生じると予測される。これらの影響は、居住地（都市域、農村域）や主体（個人、家庭、高齢者、教育機関、自治体等）によって、各々が受ける影響の種類・程度は異なると考えられる。

【予測される主要な影響例】

- ・ 異常気象の被害による生命、資産（家屋等）、生活の場の喪失 [第 7 章 7.3]
- ・ 異常気象による地域の交通機関、通信施設等への影響 [第 7 章 7.3]
- ・ 熱波による死亡や熱中症・感染症の増加 [第 7 章 7.3]
- ・ 農産物物価上昇やエアコン使用時間延長による家計への負担の増加 [第 7 章 7.3]
- ・ 猛暑日や熱帯夜の増加による日常生活のストレス・不快感の増加 [第 7 章 7.3]
- ・ 高山植物の減少等の生態系の変化、砂浜の消失、湿原の減少等による観光業やレクリエーション機会への影響 [第 7 章 7.3]
- ・ 降雪の減少や時期の遅れ等によるスポーツ産業への影響 [第 7 章 7.3]
- ・ 雪不足や桜開花時期の変化等による地域文化への影響、季節感の喪失 [第 7 章 7.3] など

図 18 日本の真夏日日数の
変化の例（単位：日）

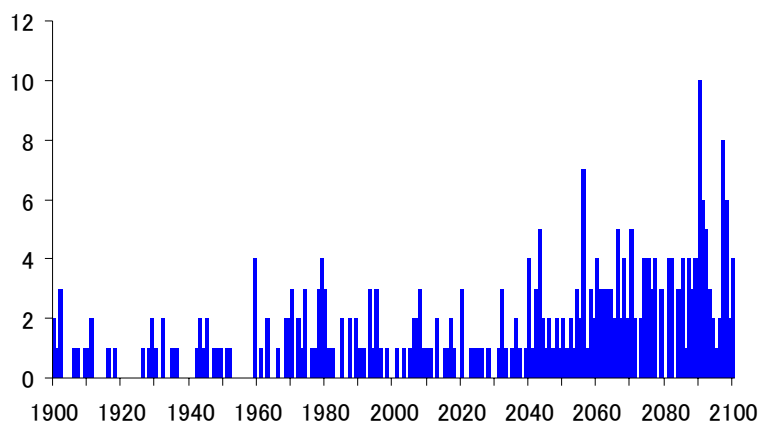
（東京大学など合同研究チーム，2004）



計算された、1900 年から 2100 年までの日本の真夏日日数の変化（2001 年以降についてはシナリオ「A1B」を用いた結果）。日本列島を覆う格子（100km×100km 程度）のうち一つでも最高気温が 30℃を超えれば、真夏日 1 日と数えた。都市化が考慮されていないこと、広い面積の平均を基にしていることから、絶対値は観測データと直接比較できない。相対的な変化のみが重要。

図 19 日本の夏季豪雨日数の
変化の例（単位：日）

（東京大学など合同研究チーム，2004）



計算された、1900 年から 2100 年までの日本の夏季（6・7・8 月）の豪雨日数の変化（2001 年以降についてはシナリオ「A1B」を用いた結果）。日本列島を覆う格子（100km×100km 程度）のうち一つでも日降水量が 100mm を超えれば、豪雨 1 日と数えた。広い面積の平均を基にしていることから、絶対値は観測データと直接比較できない。相対的な変化のみが重要。

1.7 途上国

1.7.1 これまでに観測された影響

アジア太平洋地域の途上国は、自然・社会条件とも非常に多様である。これら途上国への影響は、雪氷圏・水資源・生態系等の自然システムへの影響と、人間の健康や沿岸域・都市域等の社会システムへの影響に大別される。自然システムでは、永久凍土層や氷河の急速な融解、森林火災の強度増加と拡大、草原や湿地の劣化、多くの動植物種のより高い緯度・高度への移動等が報告されている。社会システムでは、人間の健康への影響の顕在化、海面上昇による沿岸域への影響、極端な気象現象の強度と頻度が増加等が報告されている。

- ・氷河の急速な融解の結果、氷河湖決壊の頻度が増大 [第 8 章 8.2]
- ・中国の一部地域において、湖や河川の枯渇の原因となる水不足の発生 [第 8 章 8.2]
- ・パキスタン、バングラデシュ、インド、中国のデルタ地域における湿地等の深刻な生態系劣化 [第 8 章 8.2]
- ・近年の熱波によりインドのいくつかの州において多数の死亡例 [第 8 章 8.2]
- ・バングラデシュ、ミャンマー等におけるサイクロン発生による多数の被災者数発生など



集落 (バゴー川右岸・河口から 21km)
(証言) 道路上 15cm 程度まで冠水。



川のほとり (バゴー川左岸・河口から 43km)
(証言) 高潮の潮位は雨季の最大潮位と同程度だった。

撮影日時：2007 年 5 月 14 日 11:36

撮影日時：2007 年 5 月 14 日 16:27

図 20 ミャンマーにおけるサイクロンによる高潮被害の状況

写真提供：横浜国立大学 柴山和也・高木泰士研究室

1.7.2 将来予測される影響

アジア・太平洋地域の途上国への影響としては、氷河の融解による洪水や岩なだれの増加、大河川集水域等における淡水利用可能性の減少、生態系や生物多様性への悪影響、一部の途上国における飢餓リスク、人口の密集するメガデルタ地帯での洪水増加、洪水や干ばつに伴う下痢性疾患に起因する罹患率と死亡率の増加等が予測される。特に小島嶼においては、海面上昇による国土面積の減少、浸水被害、淡水レンズの減少、固有種やサンゴ礁等への影響、観光業の衰退等が予測される。

【予測される主要な影響例】

- ・ ヒマラヤ山脈の氷河の融解による洪水等の増加 [第 8 章 8.3]
- ・ 淡水利用可能性の減少で 2050 年代までに 10 億人以上の人々に悪影響 [第 8 章 8.3]
- ・ 21 世紀半ばまでに、穀物生産量は、東アジア及び東南アジアで最大 20%増加、ただし、中央アジア及び南アジアでは最大 30%減少 [第 8 章 8.3]
- ・ 特に南アジア、東アジア及び東南アジアの人口が密集しているメガデルタで洪水増加のリスクに直面 [第 8 章 8.3]
- ・ 小島嶼における海面上昇による国土面積の減少、インフラへの影響、観光業の衰退

など

アジア

■水資源

- ・ ヒマラヤ山脈の氷河の融解により、洪水や岩なだれの増加、及び今後 20～30 年間における水資源への影響が予測される。
- ・ 中央アジア、南アジア、東アジア及び東南アジアにおける淡水の利用可能性が、特に大河川の集水域において減少すると予測される。人口増加等とあいまって、2050 年代までに 10 億人以上の人々に悪影響を与える。

■農業・食料

- ・ 21 世紀半ばまでに、穀物生産量は、東アジア及び東南アジアにおいては最大 20%増加するが、中央アジア及び南アジアにおいては最大 30%減少すると予測される。他の要因とあいまって一部の途上国において非常に高い飢餓のリスクが継続すると予測される。

■沿岸

- ・ 沿岸地域（特に南アジア、東アジア、東南アジアの人口が集中するメガデルタ地帯）は、最も高いリスクに直面する。

■健康

- ・ 温暖化に関連する水循環の変化によって、東アジア、南アジア、東南アジアにおいて、主として洪水と干ばつに伴う下痢性疾患に起因する罹患率と死亡率が増加すると予測される。

小島嶼

■沿岸

- ・ 海面上昇による国土の減少や、浸水、高潮、侵食面積の増大などにより、コミュニティや人々の生計や福祉を支えるインフラ、住居や施設が脅威にさらされる。

■水資源

- ・ 太平洋の小島嶼では、2050 年に平均降水量が 10%減少すると淡水レンズが 20%減少する。

■産業

- ・ 海面上昇や海水温上昇により、海浜の侵食、サンゴ礁の劣化や白化が生じ、主要産業である観光業の衰退をもたらす。

図 21 途上国において予測されている影響の例（IPCC, 2007 より作成）

1.8 その他

本検討では、産業分野の影響・適応について、特にワーキンググループを設置していないが、気候変動は、産業にも様々な影響を及ぼすことが想定される。例えば、製造業への影響（家電製品・衣料品・食料飲料製品等の売上げの変化、極端な現象による生産ラインや沿岸立地設備への影響等）、発電事業への影響（電力需要の変化、海面上昇による沿岸立地施設への影響等）、保険業への影響（災害による保険金支払い額の増加等）等が生じる可能性がある。

さらに、気候変動が進むことで、地政学的な問題が生じ、国際紛争に発展しかねない懸念される事項がある。例えば、北極海の海水の融解による新たな航路出現や、沖ノ鳥島のような場所の海面上昇による侵食・水没等は、関係諸国の領土・領海に絡む問題を生じ得る。また、ツバル等のように海面上昇により国土の消失も予測される地域では、環境難民を発生させる可能性がある。

コラム 開発途上国、後発開発途上国(LDC)における脆弱性と適応

● 後発開発途上国と小島嶼開発途上国

国連は開発途上国のうちで、開発が遅れている国々を特に後発開発途上国(LDC: Least Developed Countries)として次の3つの基準で認定している。1) 所得水準が低いこと(一人当たりの国民総所得GNIが750米ドル以下)、2) 人的資源が乏しいこと(HAI指標が一定値以下)、3) 経済が脆弱であること(EVIが一定値以下であること)。2005年現在50カ国が認定されている。一方、太平洋・西インド諸島・インド洋・カリブ海などに位置する島国は、国土が狭く標高も低いために気候変動による海面上昇の影響を受けやすく、また島国固有の問題や経済状態が脆弱であることから持続可能な開発が困難な小島嶼開発途上国(SIDS: Small Island Developing States)として国連により51国・地域が認定されている。小島嶼国連合(AOSIS: Alliance of Small Island States)は、太平洋・インド洋・大西洋上の43の島嶼国からなる国家連合で、小島嶼が、気候変動に対する脆弱性と開発に関して共通の問題意識を有し、国連のSIDSと国際交渉などを協力して進めている。表は後発開発途上国と小島嶼開発途上国を示したものである。

● ミレニアム開発目標(MDGs)

2000年9月ニューヨークで開催された国連ミレニアム・サミットにおいて21世紀の国際社会の目標として国連ミレニアム宣言が採択された。ミレニアム宣言は、平和と安全、開発と貧困、環境、人権と統治、アフリカの特別なニーズなどを課題として、21世紀の国連の役割に関する方向性を示した。この国連ミレニアム宣言と1990年代に開催された主要な国際会議やサミットで採択された国際開発目標を統合し、一つの共通の枠組みとしたのが、ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals: MDGs)であり、2015年までに達成すべき8つの具体的な目標を掲げている。

2007年に発表されたMDGsに関する中間報告では、極度に貧困な人の割合が、1990年の約3分の1から2004年の5分の1未満にまで低減したが、一方、サハラ以南のアフリカでは、極度の貧困の人数が増加傾向から横ばいへと変化し、貧困率は改善しているが、このままでは「2015年までに貧困な人の割合を半減させる」というミレニアム開発目標を達成することができないと評価している。アジア地域では、1日1ドル未満で生活する人口の割合を半減させ、極度の貧困と飢餓の撲滅に向かって飛躍的に前進しており、特に東アジアでは大きな成果があったとされている。たとえば、1990年時点で33%であった極度の貧困な人の比率が2004年には9.9%まで削減され、東南アジアでも1990年までに既に20.8%まで削減されたが2004年に更に6.8%まで減少した。しかし、その一方で、インド、バングラデシュなど南アジアでは経済成長の恩恵を享受できていないところがあることが指摘されている。

● 開発途上国は現在の気候変動に対しても脆弱である。気候変動は脆弱性を拡大する。

開発途上国、特に後発開発途上国や小島嶼開発途上国は、現在でも自然災害など気候変化に非常に脆弱であり、経済構造が気候変化に極度に影響されやすい農林水産業に依存していること、そして経済力が弱いことから適応力が低いことなど、現在および将来の気候変動に対して極度に脆弱である。これらの途上国に共通した主要な脆弱性要因は以下のとおりである。

- ・ 気候変動の影響を受けやすい農林水産業に依存しており、また脆弱な生態系に生活や活動を依存している。
- ・ 人口の急激な増加や、地方から都市への人口流入による都市化が急速に進んでいる。
- ・ 食料需給へ気候変動が影響する可能性が高く、食料安全保障面で脆弱であり、食料不足などによる栄養不良や健康への影響の可能性が高い。
- ・ 適応力が極度に限定されている。適応力を強化するための社会基盤が弱い。たとえば水供給や管理のためのインフラが不備、低所得や社会のセーフティネットとしての金融市場が未発達、そして公共サービスなどへのアクセスが不十分であることが挙げられる。

こうした途上国においては、貧困の撲滅や雇用の確保、食料や水などの確保などが持続可能な開発を進めるための必須要件になっている。従来の途上国支援においては、地域やコミュニティの脆弱性を低下させ、自然災害等への対応を十分かつ適切にできるようにしてきたが、今後は気候変動による将来の影響リスクを、開発に統合化する適応策の主流化が重要になってきている。

表 後発開発途上国と小島嶼開発途上国

後発開発途上国 (2005)	小島嶼開発途上国
アジア(10) アフガニスタン、バングラデシュ、ブータン、カンボジア、ラオス、モルディブ、ミャンマー、ネパール、東ティモール、イエメン 大洋州(5) キリバス、サモア、ソロモン諸島、ツバル、バヌアツ アフリカ(34) アンゴラ、ベナン、ブルキナファソ、ブルンジ、カーボベルデ、中央アフリカ、チャド、コモロ、コンゴ民主共和国、ジブチ、赤道ギニア、エリトリア、エチオピア、ガンビア、ギニア、ギニアビサウ、レソト、リベリア、マダガスカル、マラウイ、マリ、モーリタニア、モザンビーク、ニジェール、ルワンダ、サントメ・プリンシペ、セネガル、シエラレオネ、ソマリア、スーダン、トーゴ、ウガンダ、タンザニア、ザンビア 中南米(1) ハイチ	アジア(2) : モルディブ、シンガポール 大洋州(20) : キリバス、サモア、ソロモン、ツバル、トンガ、ナウル、バヌアツ、パプアニューギニア、パラオ、フィジー、マーシャル、ニウエ、クック諸島、ミクロネシア カリブ(14) : アンティグア・バーブーダ、キューバ、ジャマイカ、セントクリストファー・ネイヴィース、セントビンセント、セントルシア、ドミニカ、トリニダード・トバゴ、ハイチ、バハマ、バルバドス、ベリーズ、グレナダ、スリナム 欧州(2) : マルタ、キプロス アフリカ(7) : ギニア、ギニアビサウ（政府未承認）、コモロ、サントメ・プリンシペ、セーシェル、モーリシャス、カーボヴェルデ

出典：外務省ホームページより作成

2. 適応について

2.1 適応とは

● 適応とは、気候変動に対して自然や人間社会のあり方を調整することである。

「適応 (adaptation)」に関して、IPCC 第4次評価報告書では、「現実の、もしくは予期される気候変化・気候変動とその効果に対する自然あるいは人間システムの調整。被害を軽減し、あるいはその機会を活用する。」としている⁵。

また、「適応能力 (adaptive capacity)」に関して、IPCC 第4次評価報告書では、「適応能力とは、気候変動（気候変動性や極端な現象を含む）に対して、起こりうる被害を和らげる機会をうまく活用する、または、その結果に対処するためのシステムの調整能力のことである。」としている⁶。

● 本検討では、人間が意思的に実施する適応に主眼を置く。

本検討においては、社会の安全や人命、健康、利便性や快適さ等を守るために、人間が意思的に実施する適応に主眼を置くこととした。すなわち、政府や地方自治体の政策決定者による意思決定の下で実施される適応、あるいは、個人やコミュニティ等が意思的に実施する適応を、主な検討対象としている。また、本検討において、具体的な個々の政策・施策レベルの適応に言及する場合は、「適応策」との表現を用いることとした。

● 生物学的な適応は検討の対象ではないが、考慮が必要である。

生物学や生態学の分野では、生物個体が環境の変化に対して自発的に対応すること、あるいは、進化を通じて対応することが「適応」と呼ばれる。本検討では、このような対応は原則として検討の対象には含めないこととした。ただし、自然生態系分野において適応策を考える際には、生物が自ら調整する生物学的適応や順応⁷等も無視できない。したがって、自然生態系分野では、このような生物学的な意味での適応も考慮することとし、誤解を生じないように用語を使い分ける点に留意した。

⁵ IPCC 第4次評価報告書 第2作業部会報告書 用語解説より。Adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic stimuli or their effects, which moderates harm or exploits beneficial opportunities. Various types of adaptation can be distinguished, including anticipatory, autonomous and planned adaptation

⁶ IPCC 第4次評価報告書 第2作業部会報告書 政策決定者向け要約, Endbox 1より。Adaptive capacity is the ability of a system to adjust to climate change (including climate variability and extremes) to moderate potential damages, to take advantage of opportunities, or to cope with the consequences.

⁷ 生物体の機能・性質・状態が、与えられた外部条件の持続的な変化に応じて変化すること。

コラム 条約と議定書における適応関連の動向

1992 年に採択された気候変動枠組条約において、排出削減等の緩和策とともに適応は重要な概念として、表に示すように、いくつかの条項において言及されている。

表 気候変動枠組条約における適応関連の規定

条文	概 要
第 2 条 目的	安定化レベルについて、生態系が気候変動に自然に「適応」できるような期間内に達成されるべきとの説明がある。
第 4 条 約束	すべての締約国のなすべきこと
1 項(b)	気候変動に対する適応を容易にするための措置
1 項(e)	適応のための準備について協力(沿岸地域、水資源、農業について、並びに、干ばつ、砂漠化、洪水により影響を受けた地域の保護・回復のための計画作成)
1 項(f)	適応のための事業・措置による悪影響を最小化するための適切な方法(例えば影響評価)を用いる等
4 項	附属書 II の締約国は、悪影響を受けやすい途上国の適応するための費用について支援する。
8 項	資金供与、保険、技術移転を含む措置について考慮(「a. 島嶼国」等、a～h まで具体的に脆弱な国についてのリストがある)
9 項	資金供与、技術移転については、後発開発途上国について特に考慮(注: COP7 において NAPA ⁸ の概念に発展)

表の他、適応の問題は、条約の第 12 条に規定されている国別報告書⁹、地球環境ファシリティ (GEF) に対するガイダンス、技術移転、教育・訓練及び啓発(条約第 6 条)や、研究・組織的観測の文脈においても議論されている。

また、京都議定書の下では適応基金が重要なテーマであり、第 12 条 8 項には、議定書の締約国会議が、「認証された事業活動からの収益の一部」が適応の費用を支援するために用いられることを確保するとの規定がある。

第7回締約国会議 (COP7) (2001年) では、途上国支援のために、条約に基づく「特別気候変動基金」と「後発開発途上国基金」、及び京都議定書に基づく「適応基金」の3つの基金が新たに設立された。しかし、先進国による資金の拠出は自主的なものとどまり、これらに対する拠出には一貫性がなく不十分であったといえる (IGES, Ancha Srinivasan, 2005)。

COP10(2004 年)では、途上国への資金支援や人材育成支援に加え、「5 カ年行動計画」の策定について決議された。これは次の内容が含まれ、「適応策と対応措置に関するブエノスアイレス作業計画」と呼ばれている。

- ① 途上国の適応策に関する地域ワークショップや島嶼国のための専門家会合の開催¹⁰
- ② 対応措置の実施による産油国への影響に関する専門家会合の開催
- ③ 適応の科学的・社会的側面に関する5ヵ年作業計画の策定
- ④ 実施状況のCOP14でのレビュー

COP11 (2005 年) において、「気候変動の影響、気候変動に対する脆弱性及び適応の科学的、技術的及び社会的側面に関する 5 ヶ年計画」が採択された。

COP12 (2006 年) では計画の前半期 (2007 年まで) の具体的な活動内容「ナイロビ作業計画」が合意された。本計画は、各国が気候変動の影響、気候変動への脆弱性、適応について理解を深め、評価を改善し、科学的及び社会経済学的知見に基づいた適応活動に関する意思決定を可能にすることを目的としている。

COP/MOP2 (2006 年) では、CDM プロジェクトからの収益の 2%を原資とする、適応基金の運営についての原則・形態についての合意がなされた。同基金は、国家、地方、コミュニティーレベルでの適応活動支援に利用できることとなった。

COP13 (2007 年) において、「適応基金」については、適応基金理事会を設置することが決定され、事務局としては地球環境ファシリティ(GEF)、被信託者としては世界銀行が暫定的に指名された。プロジェクトの実施については、一定の条件を満たせば途上国が直接行うことも認めることとなった。

⁸ NAPA : National Adaptation Plan of Action

⁹ National Communication

¹⁰ UNFCCC が 2007 年に作成した報告書“Impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries”では、その成果が紹介されている。

2.2 「賢い適応」とは

2.2.1 適応策実施に関するプロセス

適応の実効性を高めるためには、現状の把握（モニタリング、データベース構築等）⇒影響の予測⇒政策の立案⇒実施⇒評価、という手順からなる仕組みを構築することが重要となる。特に、途上国においては、影響の予測や政策の立案等を実施しようとしても、その基盤となるデータそのものが未整備である場合が多いことから、まず、最初の現状の把握に力を置き、モニタリングを実施してデータの蓄積を進めることが不可欠となる。

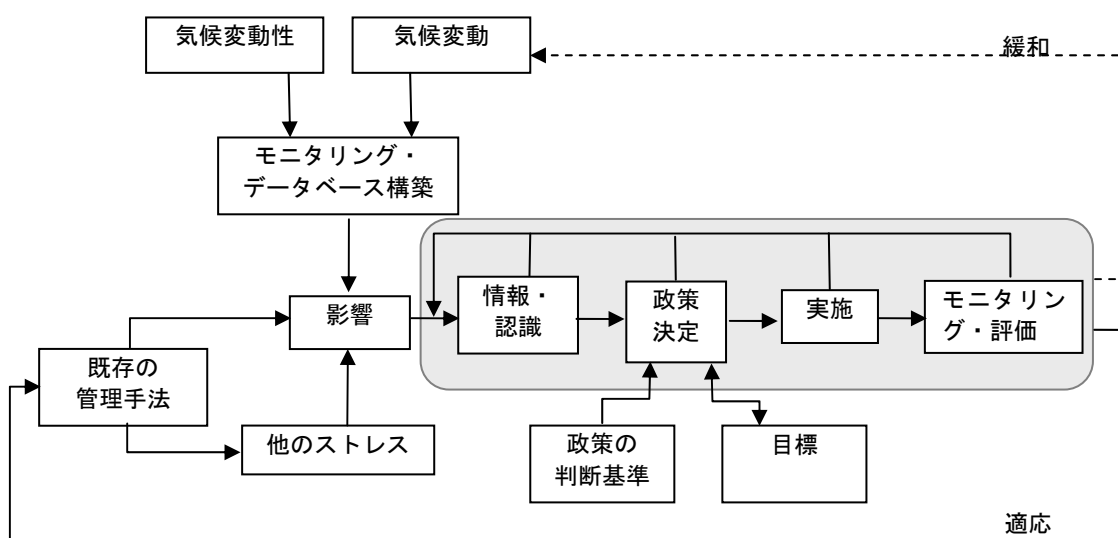


図 22 適応策のプロセス（三村，2008 を一部改変）

2.2.2 賢い適応を構成する具体的な要素

(1) 地域における脆弱性評価の促進

気候変動に対する適応策の実施にあたり、対症療法的な事業の追加や拡大は、効果的・効率的な適応とは言い難い。気候変動に伴う脆弱性評価に基づいて、科学的な合理性に立った事業の追加、見直しを計画的に実施することが求められる。地域の脆弱性評価の結果、事業分野間の優先順位や同一事業における地域の優先順位の見直しを必要とする場合があり得ることに留意すべきである。

最終稿

脆弱性評価では、地域に存在する情報を活用して、脆弱性やリスクの評価を行う手法の開発も重要となる。特に、後発開発途上国のような地域においては、草の根レベルのコミュニティが主体となって、適切な脆弱性評価に基づく適応策を実施することで、人々の生活基盤を確保し、持続可能な開発を図ることが重要と考えられる。

(2) モニタリングとこれを活かした早期警戒システムの導入

前項に挙げた地域における脆弱性評価のためには、気候変動による影響のモニタリングが重要となる。ある地域全体で統一的評価が可能となるような面的なデータの把握、季節単位や日単位での変動の把握等、よりきめ細かな把握・評価を可能とするモニタリングの手法開発、体制整備が必要である。

また、モニタリングにより得られるデータ・情報を活かし、一般市民等に早期警戒を促すシステムの導入は我が国においても、また、途上国においても今後重要な取組となる。特に、極端な現象による影響に対しては、被害発生前に警報を発する等の対応が効果的な対処方法の一つとなる。なお、このような早期警戒システムの導入のためには、その前提として、特定の指標について被害の現れるレベルを明らかにしておく必要がある。

モニタリングや早期警戒システムの開発・導入などのソフト対策は、一定の効果を生むまでに時間を要する場合もあるが、長期的視点でより効果的・効率的な適応を実施するためには、このようなソフト対策を重視し、安易に対症療法的なハード事業を急ぐことのないよう、留意する必要がある。

(3) 多様なオプションの活用

適応策には、通常様々なオプションがある。インフラ整備等のハード対策もあれば、ソフト対策もある。適応策のアプローチに着目すると、技術的対策、法制度整備、保険等の経済的手法、情報整備、人材育成などに分けることができる。また、影響を受ける時点と適応策実施の時点の関係でいえば、被害を最小限にするため事前に予防的に実施される適応策と、被害が生じた後の事後的な対応を準備する適応策がある。さらに、リスク管理の視点では、根本的なリスク回避策から、リスク低減策、リスクの移転等に分けて捉えることもできる。

例えば、防災分野では、適応策は「防護」「順応」「撤退」に大別される。防護は、構造物等で被害を防ぐもので、人口や資産が集中する地域では高潮等に対する高水準の防護が必要となる。順応は、生活様式や建築物構造の工夫、ハザードマップ作成による避難体制整備等を行うものであり、防護の実施がコスト面で現実的でない場合や自然環境への影響が懸念される場合等に有効である。撤退は、人口が極めて希薄な地域等から防護することなしに撤退し、自然に任せて高潮や海岸侵食を受け入れるものである。これらは、それぞれ単独で用いるだけでなく、組み合わせ、二重、三重の防災・減災態勢を目指すことが重要となる。

最終稿

賢い適応のためには、このように多様な適応策のオプションを体系的に整理し、分野横断的観点から他分野の効果的なオプションの応用可能性も検討し、時と場所、場合に応じて効果的に組み合わせ、活用していくことが重要となる。

(4) 長期・短期の双方の視点の活用

近年、北極の海氷の融解等、気候変動の進行速度が過去に想定されていたよりかなり早いことを示す現象が明らかにされ、また、世界各地における異常気象の頻発等、気候変動が進めば増加すると予測される現象が数多く観測されるようになってきている。このような事態においては、完全に科学的な証明が得られるのを待つのではなく、数年程度先を見据える短期的視点の下、既存の科学的知見と不確実性の幅の中で総合的判断を行い、適応策を実施していくことが必要となる。

一方、気候変動への適応策は、国土や地域社会のあり方を総合的・長期的に作り変えていく要素も持っており、都市計画・社会インフラ整備等に関する長期的視点からの対応を重視することも必要となる。

適応策の実施にあたっては、このような、長期的対応と短期的対応の双方の視点を持ち、それぞれの視点から必要な適応策を、全体として効果的・効率的となるように実施していくことが重要となる。

(5) 観測結果の活用と一定の余裕を確保した適応策の導入

気候シナリオや各分野の影響予測は不確実性を伴う。適応計画を策定する一時点において、これらのシナリオや予測に基づき長期にわたる計画を立案すれば、新しい科学的知見に基づく予測により予測値が改訂された場合、結果的に無駄な投資が生じたり、計画の変更を余儀なくされる事態が生ずるおそれがある。また、不確実性を前提とした予測に基づく適応計画は、関係者のコンセンサスを得る上で困難があり、さらに、予測以上に深刻な事態が生じた場合には、予算措置等が間に合わず対応が遅れる可能性もある。

このような視点から、効果的・効率的な適応のためには、過度に予測に依拠するのではなく、過去から現在までの観測結果を最大限に活用し、観測された程度の変化分を上乗せして、常に一定の余裕を確保するような適応策が有効である。

例えば、防災分野では、構造物の更新や災害復旧の際に、まずそれまでに実際に観測された海面上昇分を取り入れて設計を行い、さらに後の更新時には気候変動現象がより明確になるであろうから、海面上昇の実績だけでなく耐用期間中の上昇予測値も加えるなどして設計を行う方式が考えられる。このような方式は過大投資を防止し、関係者間の合意形成の円滑化に寄与する上、手遅れになることのないよう確実に、徐々に海岸構造物を“気候変動に慣らす”現実的な方法と捉えることができる。

このような観測結果の活用と一定の余裕を確保した適応策の導入の考え方は、防災分野のみならず他分野においても適用できると考えられる。

(6) 適応の主流化

開発援助の分野においては、適応に関して新たな政策や計画を立てるのではなく、既存の政策や計画に配慮事項として適応を組み込む「適応の主流化（メインストリーミング）」との考え方がある。適応策は、気候変動への対応のみを目的として行われることはほとんどなく、例えば、水資源管理、海岸保護、災害計画、感染症予防計画等の中に組みこまれて実施される。実際に、これらの分野では既に自然変動に対する各種の対策の経験も豊富にある。

日本国内でも、土地利用計画、都市計画、農業政策、自然保護政策、地方自治体の環境政策等に、気候変動に対する適応の視点を組み込むことが重要となる。途上国においては、最近、適応に関して新規の活動や資金制度が必要となるかのような論調があるが、同様に主流化の考え方に即し、既存の対策や資金に対して追加的に適応策を実施していくことで、全体の資源の有効活用を図る必要がある。

国内においては気候変動以外の政策分野の担当者が、途上国においては開発援助の担当者が、実務レベルで適応の視点を持ち、生かせるようにすることが“主流化”の実現に不可欠であり、それを可能にする人材育成のあり方や普及啓発方策が重要となる。さらには、気候変動の専門家が開発の現場に出向き、その専門性を生かすことができるような受け皿の整備も必要である。

(7) 脆弱性の低い「柔軟な対応力のあるシステム」の効果的・効率的な実現

「賢い適応」が最終的に目指すものは、気候変動に対する対症療法的な適応ではなく、長期的視点と短期的視点の双方から、気候変動の影響を受け得る様々なシステムの脆弱性が低減され、体質改善の図られた、気候変動に対して「柔軟な対応力のあるシステム」の構築である。

例えば、水資源は、生活や農業等、様々な分野で利用されるが、危急の場合に柔軟に水を融通しあえるよう現状の利水構造を改善することによって、より適応力の高いシステムへと改善できる。ヒートアイランド対策と兼ねた都市構造そのものの見直しも、脆弱性の低いシステム構築の一つとなりうる。さらに、自然生態系分野においては、人工林から自然林への転換、生物の避難場所や生態的回廊（コリドー）の確保等が、気候変動による影響に耐えうる生態系のシステムを守ることにつながり、かつ生物多様性の保全そのものにも大きく資することになる。

(8) コベネフィット型適応の促進

適応策が、気候変動への適応を実現すると同時に、気候変動の緩和策にもなる、あるいは地域の環境・社会経済にとって何らかの便益、相乗効果（コベネフィット）をもたらすことができれば、より望ましい。コベネフィットがある場合には、適応策の必要コストを割り引いて考えることもできる。

最終稿

例えば、緑化は、適応策としての意味をもつほか、緩和策（温室効果ガス排出の削減）、災害防止、水源の涵養、生物多様性の保全、アメニティの向上等の様々な便益を有する対策である。また、これまでに気候変動への適応以外の目的で実施された対策・政策で、適応の効果も持ち得るもの（例：食料自給率向上施策、渇水頻度の高い地域での海水淡水化、自然保護区設定、感染症サーベイランス等）は、これ自体がコベネフィットの性格を有する適応策と捉えて、参考にできる。逆に、大きな温室効果ガス排出を伴う、もしくは別の環境問題・社会経済問題を引き起こすような適応策は、推奨できない点に留意が必要である。

(9) 保険等の経済システムを活用した社会全体の適応力の向上

気候変動による洪水、台風による家屋や農産物被害等について、リスク分散・移転の仕組みとして保険等の経済システムが有効となる。天候デリバティブ等、既に活用されている仕組みを運用の参考とし、社会全体の適応力向上策の一つとしてこのような仕組みの制度化、利用促進を図る必要がある。

(10) 関係組織の連携・協力体制の構築

気候変動の影響は、既に述べたとおり多岐にわたるものであり、国民生活の多様な側面において、影響が二次的、三次的に広がる場合もある。従って、適応策の実施に当たっても、多分野横断的な体制の構築が必要とされる。例えば、熱中症に関する関係省庁連絡会議の組織化のように、関係組織の連携が重要な場合がある。

途上国支援に関しては、援助の実施に携わる JICA 等と、気候変動の知見を提供する研究者や環境行政、地元の政府機関、研究機関、NGO、地域コミュニティ、さらに国連等の国際機関や、ADB（アジア開発銀行）、SPREP（南太平洋地域環境計画）等の地域機関等との連携が重要と考えられる。

(11) 現場でのきめ細かな取組が可能な主体による自発的取組の促進

気候変動により生ずる影響の内容・規模等は、受ける側の地理的特性によって大きく異なるため、その影響に対してとられる適応策は、排出削減の場合以上に、地域等の現場での主体的な検討・取組が重要となる。したがって、中央政府や大規模企業だけでなく、個人、コミュニティ、地方自治体、一次産業従事者を含む中小規模事業者等が、自ら気候変動による影響や適応についてよく理解し、地域レベルでのきめ細かな取組に自発的に取り組む必要がある。

(12) 人材の育成

適応策に対する理解がまだ必ずしも十分には進んでいない中で、今後、各分野の影響や適応策に関する研究・実施を担う専門家の育成、幅広い主体に適応策の意義と具体的な実施方を分かりやすく伝えるアドバイザーやファシリテータ等の育成、各主体の自発的取

最終稿

組を促す効果的な普及啓発方策等が必要となる。

また、特に、面的な広がりをもつ脆弱性評価を各地域で行う場合、分野によっては、例えば一定の知識・技術を習得したボランティア等により、広範な地域をカバーするモニタリングの方法が効果を発揮する場合もある。このようなモニタリングの統一的手法の開発やボランティア等の育成、その成果を活かしうる脆弱性評価手法の開発と活用等を積極的に推進する必要がある。

人材の育成は、一定の効果を生むまでに時間を要する場合もあるが、より効率的・効果的な適応のためにはこのようなソフト対策への取組が重要となる。

2.2.3 賢い適応の評価軸

今後、賢い適応の実施を促していく上で、どのような適応が“賢い適応”と言えるかについての評価の視点（評価軸）が必要となる。2.2.2 に示した賢い適応を構成する具体的要素を踏まえると、例えば以下のようないくつかの評価軸を想定して、適応策の適切性について評価することも考えられる。

表1 賢い適応の評価の例（イメージ）

技術面	・多様なオプションが検討・活用されているか ・予測に不確実性を伴う場合も観測結果を活用した検討がなされているか ・適応策に、予測の不確実性を前提とした一定の余裕幅が確保されているか ・必要なモニタリングや人材育成等のソフト対策が適切に組み込まれているか
政策面	・関係組織の連携・協力体制が構築されているか ・長期・短期の双方の視点から考慮されているか ・適応の主流化が図られているか (既存の計画に組み込まれているか 等) ・異常気象など突発的影響への対応が考慮されているか (被害発生前に適切に予報する体制ができているか 等)
社会経済面	・現場でのきめ細かな取組が可能な主体による自発的取組が組み込まれているか ・地域における脆弱性評価の結果が踏まえられているか ・被害補償等の適切な経済的仕組みが用意されているか

なお、適応の評価に関する既存の例として、世界銀行が2007年に試作品（Prototype）として公開した、気候変動への適応を評価・設計するためのツール：ADAPT（Assessment & Design for Adaptation to Climate Change）が挙げられる。これは南アジアとサブサハラアフリカ地域を対象に、農業や自然資源管理のプロジェクトの計画・設計段階から、気候変動によるリスクを把握するものである。政策決定者などの利用を想定して簡易に設計された、Excelのシステムであり、対話形式で必要な情報を入力していくことで、その地域の特性に応じた適応策や留意事項が選定できる。なおこのツールでは、我が国気象庁の地球シミュレーターによる気候トレンドが参照されている。

このように、地域・セクターの特性を反映し、かつ多様な利用者にとって使いやすい各種の評価手法やツールの開発が期待される。

最終稿

2.2.4 適応策の主要なオプション

一般に、適応策にはさまざまなオプションがある。それらは組み合わせることで補完する場合もあるが、より賢い適応を実現するために選択を求められる場合もある。

ここでは、適応策の主要なオプションとして、各ワーキンググループでの検討成果を踏まえ、「技術」、「政策」、「社会経済」の3つに分けて整理した。

【技術オプション】

技術及び情報・知識に係るオプションである。

技術に係るオプションは、個別対策技術の開発・利用、包括的な計画策定等に関する技術の開発・利用を推進するものである。また、情報・知識に係るオプションは、モニタリング、早期警戒システム、データベースの蓄積・利用を推進するものである。

【政策オプション】

法制度及び人材に係るオプションである。

法制度に係るオプションは、法律、条例、各種制度等の整備や見直しであり、技術オプションや社会経済オプションなどすべての促進にも資するものである。また、人材に係るオプションは、専門家の育成・能力開発、意思決定者及び一般市民への普及啓発等を推進するものである。

【社会経済オプション】

経済システム及び社会システムに係るオプションである。

経済システムに係るオプションは、保険、補助金、税金、その他経済的インセンティブを活用した手法を用いるものである。また、社会システムに係るオプションは、慣習、文化に関連した取組、その他社会の仕組みの構築・見直し等を推進するものである。

これら技術・政策・社会経済のオプションの具体例を分野ごとに表に示す。

この表は、気候変動影響に対する適応策として考え得るオプションを参考情報として示したものであり、必ずしもこれらの施策の導入を推奨するものではない。実際の選択に際しては、地域の様々な状況や制約等を考慮して検討される必要がある。

なお、各分野の適応策オプションの詳細やここに挙げた例以外のオプション、また、各分野における適応策の選択・実施にあたっての考え方等については、第二部の各分野別章の「適応策のメニューとその体系」に記載している。

表2 適応策の主要なオプションの具体例

種類 分野	技術オプション	
	技術	情報・知識
食料	・高温耐性品種等開発、導入 ・栽培地域移動 ・栽培手法変更 ・畜舎環境制御 ・魚類の回遊経路、漁場形成に合わせた漁期設定 ・養殖地域の移動、養殖技術の開発	・農業改良普及員からの情報収集と整理
水環境・水資源	・渇水対策としての導水、排水管理システムの導入 ・海水の淡水化 ・下水再生水、浸出水、雨水等の利用 ・地下水塩水化防止対策 ・富栄養化対策（アオコフェンス等） ・節水機器普及	・水道原水の特性の総合評価とこれに適した浄水プロセスの選定
自然生態系	・生物の避難場所の特定・確保 ・コリドー設置 ・スギ人工林の自然林化 ・マツ枯れの早期発見・防除 ・高山帯等へのシカ柵設置等 ・栄養塩等の環境負荷物質の削減	・各生態系のモニタリング体制整備
防災・沿岸大都市	・建築様式等の変更 ・海岸保全施設の整備・改良 ・排水システム強化 ・スーパー堤防整備 ・既存施設の有効活用・長寿命化 ・河川・海岸の総合的土砂管理 ・ダム群の再編	・ハザードマップの作成・配布 ・情報提供（webの活用等） ・モニタリング体制の高度化（長期的モニタリング、リアルタイムモニタリング）
健康	・感染症のワクチン、新治療薬開発 ・媒介蚊対策徹底（発生環境の除去、幼虫防除等） ・大気汚染物質の排出抑制（気候変動による大気汚染への影響に対して）	・熱中症等に関する保険指導マニュアル等作成・普及 ・感染症サーベイランスの徹底 ・媒介生物の発生・分布状況の調査
国民生活・都市生活	・災害による家屋被害軽減のための建物の強化 ・遮熱性・断熱性の塗料・建材等の活用 ・媒介蚊や衛生害虫の発生環境の除去 ・緑化の推進	・ハザードマップ等の提供・活用 ・熱中症注意情報等の提供・活用
途上国	・農業：灌漑地域やシステムの変更 ・水資源：雨水収集、土壌浸食対策 ・生態系：生育・生息地分断化の低減とコリドーや緩衝地帯の設置 ・防災・沿岸：湿地の保護、氷河湖の人工的水位低下 ・健康：衛生設備の改善、生物媒介性疾病予防の技術的解決策の適用	・農業：気象予測情報の提供 ・水資源：国家計画等の再調整のための水資源モニタリング ・生態系：脆弱な生態系のモニタリング ・防災・沿岸：気象及び水文関連サービスにおける早期警戒システムの強化

※国民生活・都市生活分野の適応策は、他分野における適応策の中から、国民や地方自治体に取り組むことのできる適応策を抽出しているため、ここで他分野の適応策として挙げられているものと重複している場合がある。

表2 適応策の主要なオプションの具体例（続き）

種類 分野	政策オプション		社会経済オプション	
	法制度	人材	社会システム	経済システム
食料	・高齢農家に対する適応策の支援・指導の仕組み作り ・予測される回遊経路、漁場形成の変化に合わせた、禁漁海域の設定	・農業改良普及員・営農指導員への情報提供・人材育成	・作期変更や落水時期の延長に伴う水利慣行の見直し	・共済システムの活用（被害発生状況の情報提供を迅速化し、被害申請に活かす）
水環境・水資源	・水運用の改善（耕地減少等を踏まえた農業用水の水道用水等への転用） ・地盤沈下抑制のための深層地下水の揚水規制	・節水意識の向上	・農地の集約・水利権の再配分 ・渇水時に地域で柔軟に水を融通し合う仕組みの導入	・深層地下水の利用制限における課徴金制度など経済手法による間接的な抑制（地盤沈下抑制のため）
自然生態系	・国立公園や生態系保護地域等の自然保護区の見直し、新たな設置等 ・人為的な生物の移植・放流の規制 ・観光者の行為制限	・モニタリングに協力可能な知識・技術を有するボランティアの育成 ・高山植物や湿原への踏圧軽減、サンゴ礁保護等に関する意識啓発	・温暖化影響の現状把握と対応のあり方に関する関係主体間の合意形成	
防災・沿岸大都市	・防災を考慮した土地利用の変更・規制（住居の移転、危険区域内の建設禁止・制限等） ・総合的沿岸域管理	・防災訓練、防災教育の実施	・自主防災組織の設置	・住民などが加入する浸水保険制度の創設 ・災害復旧基金、補助金の創設
健康	・熱中症予防等に関する条例等の制度制定 ・高齢者世帯へのケア（介護制度活用、町内会やボランティアによるケアの仕組み等）	・媒介蚊防除対策の立案可能な人材の養成 ・体調管理等の一般への普及啓発	・職場・学校での取組の支援	
国民生活・都市生活	・高齢者等への暑さ対策ケア（町内会、介護制度の活用） ・クールビズ ・サマータイム制	・防災訓練、防災教育の実施	・自主防災組織の設置	・天候デリバティブを活用した異常気象のリスク回避
途上国	・農業：穀物銀行の設置 ・水資源：水資源/洪水/干ばつ管理システムの開発 ・生態系：森林管理の強化 ・防災・沿岸：海面上昇に対応する危機管理計画の準備 ・健康：気候リスクを認識する公衆衛生政策	・農業：土と水の保全及び管理に関する教育と実践プログラム ・生態系：土地利用規制を行う組織の能力強化	・健康：公教育と識字率の改善	・農業：作物種保険、税制優遇措置/補助金 ・水資源：雨水貯蔵タンク購入のための銀行ローン ・生態系：社会経済的な要因を含む管理政策 ・防災・沿岸：気象災害に対応する保険等のオプションの検討 ・産業：観光資源及び収入源の多元化

※国民生活・都市生活分野の適応策は、他分野における適応策の中から、国民や地方自治体に取り組むことのできる適応策を抽出しているため、ここで他分野の適応策として挙げられているものと重複している場合がある。

2.2.5 賢い適応を進める上での留意事項

(1) 適応と緩和の関係への留意

適応策は、これを講ずることにより、温室効果ガス排出量が増加する場合と減少する場合とがあることに留意する必要がある。

例えば、温室効果ガス排出の増加を招く可能性のあるものとして、猛暑に適応するためのエアコンの過剰利用、海水温上昇に対応するための養殖業における冷水機の利用等が挙げられる。一方、温室効果ガス排出の削減にも資する可能性のあるものとして、断熱性の高い家屋へのリフォーム、森林整備、雨水利用、クールビズ等が挙げられる。

大きな緩和効果を併せ持つ適応策は、コベネフィット型適応の一つとして特に推奨されるべき対策であるが、大幅な排出増を伴う適応策の実施は可能な限り控える必要がある。ただし、たとえ緩和の面で排出増を伴うとしても、安全や生命の確保のため緊急に実施が必要な適応策もあり得ることから、それぞれのケース・地域固有の事情等に合わせて柔軟に対処することも重要である。

なお、脆弱な途上国における緩和と適応については、①気候変動の主たる原因が、これまでの先進国の発展による温室効果ガス排出と、今後の中国、インドを含む比較的经济力の強い途上国からの温室効果ガスの排出にあること、②小島嶼国などの特に脆弱な途上国は一方的な被害者であり、自国からの温室効果ガスの排出量は相対的に見て微々たるものであることを鑑みれば、まず適応に力点が置かれるべきである。

(2) 適応策として参考にできる既存の事例・政策の共有

既に我が国においても、熱中症予防のための体育館への温度計設置、施設整備における遮熱性素材の活用、感染症予防を目的とした、地域住民自身による蚊の集まりやすい水たまりのチェック活動等、具体的な適応策が実施されつつある。また、必ずしも気候変動への適応を目的としていなくとも、結果的に適応の効果を持ち得る対策事例・政策等もある。社会全体の抵抗力を高めうる対策事例・政策（認識の向上、早期警戒、自主避難、保険等）等も含め、このような、適応策として参考にできる既存の事例・政策を収集・蓄積し、広く情報発信していくことが、今後の取組促進の上で有効である。

本報告書においても、第二部の各分野別章の「適応策として参考にできる既存の事例・政策」節において、各分野の具体的な事例・政策を紹介しており、このような例も参考に今後の取組を検討・推進することが望まれる。

(3) 適応策の効果、総合的な視点から見た妥当性等についてのさらなる検討の必要性

個別には、適応策としての効果や総合的な観点で見た場合の妥当性等に関して、まだ議論を要する事例も存在する。これらについては、今後、研究課題として取り組むとともに、専門家、政策担当者、国民等、幅広い主体間での意見交換等が必要と考えられる。

最終稿

(例)

- ・食料分野：何を以って適応の効果とみなすか（収量さえ増加すれば品質は重視しなくてよいのか等）、何を以って有効な適応とみなすか（適地移動に合わせてリンゴを北海道に導入すればそれが良い適応と言えるのか等）。
- ・自然生態系分野：気候変動による影響への対応として、生物を人為的に移動させることが適切な適応策といえるか。また、技術的にそれが可能か（ある種だけでなく関係する他の生物種も一体的に移動させることが現実的か等）。

コラム 適応が難しい影響事象への留意

適応の中には、①当該地域で対応できるもの（例：農作物の品種改良等）、②場所を変えることで対応できるもの（例：農作物の栽培地域変更、養殖業の場所変更等）、とがある。

②の場所を変えることで対応できるものは、国全体でみれば適応可能とみなすことができるが、従来の適地にとっては適応できるとはいえない（あきらめざるを得ない）という問題が残る。したがって、これら①と②とは同じ適応であっても性格の異なるものとして分けて考える必要がある。

さらに②の中には、場所を変えることで対応するにも、非常に大きな困難が伴うもの（例：北方系魚類の分布域の減少等）も含まれる。また、海面上昇による国土面積減少等は、最も適応が困難な影響事象の例といえる。

2.3 適応を阻む障壁

適応は、相応の手順、費用、技術的困難等を伴うものであり、その実施は決して容易ではない。現時点で把握されている、適応を阻む具体的な障壁を整理するとともに、現場における適応策の現実的な適用可能性や障壁を打開する有効な方策についての調査・研究を推進する必要がある。

なお、各分野の適応を阻む障壁に関するより具体的な内容については、第二部の各分野別章の「適応策を実施する上でのバリア」に記載している。

2.3.1 技術に関する障壁

- 個別の適応技術について、引き続き技術開発・研究を必要としているものが多い。

各分野における個別の適応技術の中には、まだ技術的に確立しておらず、引き続き開発・研究を必要とするものが多くある。例えば、食料分野における新しい品種・栽培方法の開発、自然生態系分野における人工林の自然林化手法の開発、防災分野における災害予報システムの開発・整備、健康分野におけるワクチン開発を含む感染症の新治療法の開発等、その内容は多岐にわたる。今後、これらの適応技術に関する一層の開発・研究が必要である。

- 特に途上国への支援では、地域特性等を踏まえた最適な技術の活用が不可欠である。

途上国の適応策支援において、例えば、防災分野における災害予報システムの導入等が支援策の一つとして考えられるが、現状において情報システムが整備されていない地域では、実質的にこれを活用することができない。まず、我が国の最新の科学技術を用いて対応可能な場合と、地域特性等に応じてより最適な技術を用いる必要がある場合とを区別して捉えること、さらに、最適な技術選択のあり方や、地域特性等に応じて想定される具体的な技術・手法の研究・開発を推進することが必要である。

2.3.2 情報・知識に関する障壁

- データ・情報・研究成果の蓄積・共有化が不足している。

我が国のような先進国においても、例えば、感染症、富栄養化、大気汚染への影響、積雪量と関連する河川流量変化等、気候変動による影響に関する知見の不足により見過ごされる可能性のある問題が考えられる。このような、現状において不足している知見については、データ・情報の蓄積と研究が必要である。

最終稿

また、気候変動による影響、脆弱性や適応策に関連したデータ・情報・研究成果で現在存在しているものも、それらが必ずしも組織的に蓄積されておらず、また、政策立案側が活用しやすい形で提供されていない。データ・情報・研究成果の共有化がなされていなければ、今後、迅速な適応策の立案と実施が求められる場合に大きな障壁となりうる。したがって、研究側と政策側の協力の下で、データ・情報・研究成果の蓄積・共有化を図ることが重要となる。

● 脆弱性評価ツールや早期警戒を促すシステムの開発・利用が進んでいない。

地域における脆弱性評価のツールは、事業分野間の優先順位や同一事業における地域の優先順位の見直しに必要不可欠なものであるが、現状では、地域の自然的条件や社会的条件を加味した脆弱性評価が可能なツールはまだ開発されていない。また、ハザードマップ、熱中症注意情報等の早期に警戒を促すシステム等については、一部で開発・利用の事例があるものの、これもまだ、現状において広く社会に浸透しているとはいえない。これらは、我が国においても途上国においても、人々の生活基盤を確保し、気候変動に対して柔軟に対応できる社会システムを形成していく上で不可欠である。脆弱性評価のツールや早期警戒を促すシステムの開発とその利用促進が必要である。

2.3.3 法制度に関する障壁

● 地域一体、業種一体的に適応に取り組むための制度・仕組みが不足している。

適応は、地域一体的、業種一体的に取り組まねばならない課題であるが、現状では、これを可能にする制度・仕組みが十分に整備されているわけではない。

例えば、健康分野での適応策として、高齢者世帯へのケア等があるが、これをより効率的・効果的に実施するためには、既存の介護制度と連携させた仕組みの構築、あるいは、町内会やボランティアの協力を得る地域一体型のケアの仕組みをつくること等が有効と考えられる。今後、このような、賢い適応の実施に資する新しい制度・仕組みの検討が必要であり、そのためには、自然科学的側面の研究だけでなく社会科学的側面の研究も不可欠となる。

● 既存の制度が気候変動に対応できていないことで障害が生じる場合もある。

既存の法制度が、気候変動への対応を考慮しきれていない場合に、何らかの障害が生じる場合もある。例えば、水資源分野では、慣行水利権や過去に設定された特定水利権が、渇水リスクに対応した柔軟な水供給システムの実現に障害となる場合がある。また、防災分野でも、現行の土地利用規制のあり方や災害復旧時に回復すべき原状に関する既存制度等が、災害に強い安全な地域社会づくりの上で障害となる場合もある。既存の制度に、気候変動への適応の観点を加味し、必要な見直しを行っていくことが重要となる。

2.3.4 人材育成に関する障壁

● 意思決定者及び一般市民に対して普及啓発を図るための基盤が未整備である。

影響や適応策に関する知見の不足、専門的知見を国民等に分かりやすい形に読み替え、伝達するための情報の不足、それらの知見・情報を幅広く普及するための基盤の未整備等が、適応を阻む障壁となる。また、緩和策に比べると、適応策の必要性や実施すべき内容に関する国民の理解度・浸透度はまだ低い状況にあり、さらなる知識の普及啓発が重要となる。

さらに、後発開発途上国等では、政策決定者のレベルにおいても気候変動の現象そのものが十分に理解されていない場合があり、適応策の推進のためには、まず、知識の普及が急務となっている。先進国の指導による高度なシミュレーションモデル等の使い方が、必ずしも十分理解されず、実際の政策決定に生かされていない等の例も考えられる。

● 専門家やアドバイザー等の人材が不足している。

各分野の影響や適応策に関する研究を担う専門家の不足、幅広い主体に適応策の意義と具体的な実施方策を分かりやすく伝えるアドバイザー、ファシリテータの不足等、人材の不足も適応を阻む障壁の一つとなっている。

例えば、健康分野では、感染症の媒介生物に関する専門家の少ないことが問題として指摘されており、そのような専門家の育成が急務である。また、国民生活の分野では、個人やコミュニティ、事業所、地方自治体等に対して、緩和策における省エネ診断等のように、適応策に関するアドバイス（脆弱性の診断や適切な適応策の提案等）を行うことのできる人材を育成することが必要である。

2.3.5 経済的な障壁

● 適応にかかるコストに対する適正な評価が不足している。

適応策の実施においては、適応策を実施しなかった場合の気候変動の被害に関する累積的なコストを評価し、その被害を回避するための適応策のコストと比較することにより、適応策を実施すべきかどうかのおおよその判断が可能と考えられる。しかし、実際には、被害コストの算定は困難であり、特に、定量化困難な価値が算入されない場合には被害コストが過小評価され、結果的に適応策の必要性に説得力を持たせられず、適応策実施が進まない場合が多い。また、被害が多である場合には、適応策に要する資金も膨大となる印象を与えやすいが、実際には、効果的・効率的な適応策のオプションを選択することにより、膨大な資金を必要とせず適応が可能な場合もある。

適応にかかるコストの適正な評価（被害コストと適応にかかるコストの双方の評価）に係る研究を推進する必要がある。

- **適応に必要な資金の準備・調達に係る経済的手法・制度が未整備である。**

適応に必要な資金の準備・調達に関しては、補助制度、保険等の予防的仕組み、所得補償等の事後的救済措置等、何らかの経済的手法・制度が重要となる。例えば、農業・畜産業・漁業等では小規模・零細な事業者の場合が多く、適応のために必要な設備投資等が経済的に困難であることが想定され、補助制度等の整備が必要である。猛暑などの場合には、大規模な農産物被害が起き、農家の経営に大きな打撃を与える可能性があり、安定的な農業経営のために保険等の経済的手法を用いた制度を用意しておく必要もある。さらに異常気象等による大規模災害の発生時には、先進国・途上国を問わず、その復興に多大な資金が必要となり、所得補償等の措置を検討しておく必要がある。このような経済的手法・制度は現状ではまだ十分に整備されておらず、先行事例や効果的な手法・制度のあり方に関する研究を推進する必要がある。

- **最も適応策に必要な途上国が、十分な資金を有していない場合が多い。**

気候変動の影響を最も受けるのは、一般に、脆弱性の高い途上国である。しかし、その途上国において、適応策実施に必要な資金が不足している。気候変動枠組条約締約国会議においても、途上国における適応の資金問題が重要な話題としてとりあげられている。途上国における資金の不足に対する国際的支援のあり方等についての研究を推進する必要がある。

2.3.6 社会的な障壁

- **影響の現状把握と対応のあり方に関する合意形成の仕組みが不足している。**

気候変動の影響は、国民の暮らし方や経済活動等にも密接に関わるため、影響の現状把握や対応のあり方について、地域間、世代間、セクター間等で考え方の相違や利害対立が生じる場合も想定される。このような気候変動の影響や適応について社会的な合意形成を図るための仕組みはまだ用意されていない。今後、このような合意形成の仕組みを構築していくことも必要となる。

コラム スターンレビュー

2006年10月に英国政府は「気候変動の経済学（The Economics of Climate Change）」を公表した。この報告書は世界銀行の元チーフ・エコノミストで、現在は英国政府気候変動・開発における経済担当政府特別顧問ニコラス・スターン卿が英国政府の要請を受けてまとめたもので、スターン・レビューと呼ばれている。

報告書は、地球温暖化をこのまま放置すれば、経済的被害は1930年代の大恐慌や2度にわたる世界大戦に相当する規模になると警告している。このまま温暖化が進んだ場合(Business as Usual、なりゆきシナリオ)、世界のGDPの5%～最大20%に上る温暖化の被害が予測されている。温暖化防止にかかる費用は、世界のGDPの1%前後にとどまることから、早急に温暖化対策を進めることにより、経済成長と地球環境保全を両立させることは可能と結論づけている。

温暖化の影響面では、以下のように予測している。

- ①中程度の気温上昇であれば、先進国の中には利益を得る国もあるが、21世紀後半にさらに気温上昇するとそうした国々でも被害が深刻化する。
- ②異常気象（極端な気象現象、暴風雨、洪水、干ばつ、熱波など）は高い気温で急速に増加し、温暖化の当初の利益をすぐに相殺してしまう。異常気象の被害だけで21世紀半ばに、世界のGDPの0.5～1%に達し、その後気温が上昇するに従い増加し続ける。
- ③さらに高い気温上昇では、先進国経済への被害が増大し、異常気象の頻発などを通じて貿易と国際的な金融市場、さらに通信の破壊や保険や資本の一時的なコスト上昇に影響する。

温暖化防止に向けた国際的な取組みとして次の4つをあげ、早急に世界各国が対応を進めるべきであると呼びかけている。

- ・排出量取引： 世界・各国の排出量取引を拡大することにより、二酸化炭素の排出量削減を進めることは、開発途上国の対応を促す上でも説得力のある方法である。豊かな国が削減目標を設定することにより、年間何百億ドルという資金が流動する引き金となり、化石燃料に依存しない低炭素社会への発展の道を切り開く可能性がある。
- ・環境技術の協力体制： 環境技術について連携体制をとることは、世界各国による開発投資の効率性を高める。国際的な観点から、エネルギー研究開発への支援を少なくとも倍増させ、新開発の低炭素技術を普及させるための資金援助は5倍にしなければならない。また国際的な製品規準を作ることはエネルギー効率の改善を進める有効な方法である。
- ・森林伐採を防止対策： 世界中で自然森林が失われていき、それに起因する年間の温室効果ガス排出量は輸送部門よりも多い。森林伐採に歯止めをかけることは、温室効果ガス排出量を減らす非常に費用効率性の高い方法である。
- ・適応： 気候変動の影響を最も受けるのは貧しい国である。それらの国の開発計画には気候変動を考慮し、豊かな国は約束を守り、海外開発援助を通じて支援を増強することが肝要である。また、世界中から集めた資金は、気候変動が各地域に及ぼす影響に関する情報基盤を改善し、干ばつや洪水に強い新品種を作るための研究開発に使われることが望ましい。

参考文献

Stern, N., 2006: The Economics of Climate Change, Cambridge University Press.

要約(Executive Summary)の和訳が英国大使館ホームページから入手可能である。

3. 今後の課題

本報告書は、我が国における地球温暖化の影響・適応に関する最新の科学的知見を明らかにし、賢い適応のあり方、今後の研究の方向性を提示することを目的として、各分野の専門家からなる委員会及びワーキンググループでの検討を踏まえ、とりまとめたものである。

本報告書を踏まえ、今後の課題を以下に示す。なお、各分野のより具体的な研究課題は、第二部の各分野別章の「今後の課題」に記載している。

● 科学的評価に基づく適応策の実施とそのためのデータ・情報・研究成果の蓄積・共有化

地球温暖化が及ぼす悪影響のリスクをできるだけ低減・回避するためには、適応策を効果的・効率的に実施すること、すなわち「賢い適応」が必要である。適応によって国民が得る長期的な便益を最大化するためには、適応すべき分野、地域、対策内容が広範多岐にわたり実施期間も長期間となることを念頭に置いて、優先的に適応すべき分野や地域を明らかにし対策内容を吟味して、貴重な財源や人的資源の最適配分を行うことが必要である。

賢い適応の実現のためには、それぞれの分野・地域で、温暖化に関する影響や脆弱性の調査・モニタリングを充実させることが不可欠である。加えて、今後の地球温暖化の進展に伴う気温、降水量、降水パターン、積雪量、極端現象等についての、信頼性の高い予測が必要となる。

将来の被害を予防的に低減・回避するためには、上述のように科学的評価に基づいて適応策を実施することが必要となるが、将来予測については不確実性が伴うことを理解し予防原則に立って、資源の最適配分等を総合的に勘案する必要がある。

また、適応策の計画立案に科学的知見や評価が十分に活用されるよう、必要なデータ・情報・研究成果を、組織的に蓄積し、政策立案側が活用しやすい形で提供することが求められる。研究側と政策側が協力して、必要な情報の蓄積、共有化を図っていくことが望まれる。

● 過去の事例に学ぶとともに、適応の視点を種々の政策に組み込んで実施

今後の適応を検討するに当たっては、渇水や高潮被害等の自然災害に対してこれまで行ってきた対応事例に学ぶことも有効である。気候変動に伴う適応策の多くは、従来からの自然変動への対処として既存の社会システムに組み込まれている場合が多い。こうした適応策はもとより、新たに予想される影響とその適応策についても、土地利用計画、都市計画、農業政策、自然保護政策、環境基本計画、地球温暖化対策地域推進計画等に地球温暖化の影響・適応の視点を組み込むことにより、既存の取組との整合性を高めることが必要である。それにより、例えば、気候の変化に影響を受ける各種基準を柔軟に改訂したり、まちづくり、都

最終稿

市再開発、老朽化したインフラの再整備等の機会を活用して必要な適応策を実施するなど、計画的、統合的な対応を実施することが可能となる。

● 早急に実施すべき適応策の計画的推進

気候変動による影響には、現時点で、既に顕在化しているものもある。そのような影響の中には、今から早急に適応策の実施を進めることが必要な場合もある（例：みかん農家、九州の稲作農家等）。

本委員会では、早急に実施すべき具体的な適応策については、今回まだ十分に検討していないが、次の課題としては、本報告書に示した考え方を参考として、各分野における検討とともに、国・地域のレベルで総合的・具体的な適応計画を策定し、必要に応じてこれを実施に移せる体制を構築していくことが必要である。このような計画作りの基礎として、気候システムの変化に係るモニタリングに加えて、現状では手薄な温暖化影響のモニタリング・監視を充実していくことが喫緊の課題である。

● 継続的な検討体制の構築と検討成果の定期的な発信

本検討では、各分野の専門家からなる作業によって、影響・適応に関する既存の科学的知見を整理し、今後の適応のあり方、研究の方向性等を検討した。気候変動の影響・適応研究は日進月歩の分野である。また、気候変動の影響が懸念される各種の大規模災害も世界各地で起こっている。今回の検討は、専門家による科学的な観点からの検討に重点を置いたところであるが、今後の検討に際しては、関係省庁の参加を得ることも視野において、より政策志向の検討を実施することが期待される。また、こうした検討成果については、定期的に国内外に発信することが有用であり、特に、IPCC における今後の検討に貢献することが期待される。

● 途上国の適応支援に関する検討の継続

現在、世界で排出されている温室効果ガスの大部分が 20 カ国程度の国から排出されている事実に鑑みれば、残りの約 160 カ国にとって、温暖化問題とは、すなわち、適応策であるということもできる。また、途上国は先進国に比べて脆弱性が高く、小島嶼、アジアのメガデルタ、アフリカの乾燥地域などは特に脆弱性が高い。したがって適応の分野では、先進国の協力が強く求められている。

我が国も、国際社会への貢献が求められる中、環境研究、科学技術等、我が国の強みを活かして積極的に支援していく必要がある。このため我が国は、気候変動対策における途上国支援のための新たな資金メカニズムとして、クールアース・パートナーシップを立ち上げた。今後、途上国における効果的・効率的な適応策の実施に貢献できるように、途上国の適

応支援に関する検討をさらに継続する必要がある。また、検討の成果は、クールアース・パートナーシップを推進する関係省に対しても積極的なインプットとなることが期待される。

● 気候変動の影響と適応に関するさらなる研究の推進

今後、我が国においても、次第に悪化すると予想される気候変動の影響に対して効果的・効率的な賢い適応を実施するためには、どのような気象・自然条件（閾値）において影響が顕在化し、どのような地域や主体において影響が生じやすいか（脆弱性が高いか）など影響メカニズムの一層の解明に努めるとともに、将来予測を行うシミュレーションについては、空間的・時間的な精度を上げ、適確な予測を可能とする研究を進める必要がある。加えて、適応策の実施にどのような障害や課題がありどのように克服できるか、限られた財政的・人的・時間的な資源をどの地域のどの分野に差し向けるのが効果的で効率的かなど賢い適応の具体化について、さらに研究を推進する必要がある。

以下に、現時点で想定される研究課題を示す。

➤ 影響のメカニズムの把握に係る研究課題

各分野の影響のメカニズムについては、現時点で未解明の部分も多く、それらの解明に向けた研究が必要である。例えば、食料分野における生物の環境変動への感受性の把握、水環境分野における渇水や洪水による水源での水質への影響の把握、防災分野における外力情報の精緻化に係る研究等が挙げられる。また、自然的要素だけでなく社会的要素に関する研究、例えば、自然生態系分野における生物多様性・生態系サービスと人間活動の相互作用等に関する研究等も必要である。

➤ 影響の将来予測の方法に係る研究課題

将来予測に関しては、今後も引き続き不確実性の低減に資する研究を推進するとともに、地域での影響予測に資するよう、シミュレーションモデルを全球レベルから地域レベルにダウンスケーリングする手法の研究が必要である。また、各分野における気候変動による影響の危険な水準（閾値）、あるいはそれに関連した指標の研究も重要となる。

➤ 脆弱性評価の方法に係る研究課題

諸条件をもとに脆弱な地域・主体等を特定する脆弱性評価の手法・ツールの開発が必要である。特に、脆弱性評価において、社会の適応能力までを加味した評価の事例は現時点では少なく、社会の適応能力の評価に資するデータの蓄積とそれを用いた評価手法の研究が重要となる。

➤ 適応策の技術面に係る研究課題

個別対策技術に関する開発・研究や、自然的要素・社会的要素の双方に関わるモニタリングとデータベース構築、脆弱性評価手法・ツールの開発に関する研究が必要である。

個別対策技術の開発・研究は、例えば、食料分野における高温耐性品種の開発、適切

な作期移動や水温維持を図る養殖技術の開発等、水環境・水資源分野における新しい水供給源に係る研究、自然生態系分野における人工林の自然林化手法の開発、健康分野におけるワクチン・新治療法の開発等、多岐にわたる内容が想定される。また、モニタリングとデータベース構築、脆弱性評価手法・ツールの開発は、モニタリングにより入手するデータを脆弱性評価に活用するため、一体的に推進する必要がある。

➤ 適応策の政策面に係る研究課題

法制度の整備・見直し等のあり方に関する研究や、専門家育成・能力開発の手法、一般への意識啓発・普及の手法等に関する研究が必要である。

法制度については、例えば、水資源分野における渇水時における法規制のあり方、慣行水利権や特定水利権の見直しに関する方法論的研究、防災分野における土地利用規制による適応のあり方の研究等が挙げられる。人材育成や意識啓発の手法については、例えば、自然生態系分野のモニタリング実施を担うボランティア等の育成手法、開発援助分野の担当者に対する適応についての普及啓発方策・人材育成方策の研究等が挙げられる。

➤ 適応策の社会経済面に係る研究課題

適応策を促す経済的インセンティブや適応策のコスト評価等の経済評価に関する研究、適応策を組み込んだ社会の仕組みのあり方等の社会システムに関する研究が必要である。これらは、広い意味では前項の法制度面の課題にも包含されうる内容であるが、特に、効率的・効果的な賢い適応を目指す上で、重要な課題となる。

経済的インセンティブに関しては、異常気象被害等のリスク分散・移転の仕組みとして保険制度等のあり方に関する研究、社会システムに関しては、適応策の推進に係る合意形成のあり方・具体的な方法論の研究等が挙げられる。

➤ 産業分野の影響・適応策に係る研究課題

本検討では、産業分野の影響・適応策について特にワーキンググループを設けて検討を行っていないが、産業分野への影響は大きく、またとるべき適応策も多種多様にあると想定される。諸外国の例として、イギリスでは環境食料農林省（DEFRA）が中心となって、産業界（農業、建築、自動車、金融等）における適応策の検討・実施の支援ツールを開発するなどの取組を推進している。我が国においても、今後、産業分野における影響・適応策の最新知見の整理を行うことが重要である。

参考： 影響の把握・予測・評価のあり方

ここでは、(1) 影響のメカニズムの把握、(2) 着目すべき重要な影響事象、(3) 影響の将来予測の方法、(4) 影響の指標・評価の方法、(5) 脆弱性評価の方法、に分けて、影響の把握・予測・評価のあり方を述べる。

(1) 影響のメカニズムの把握

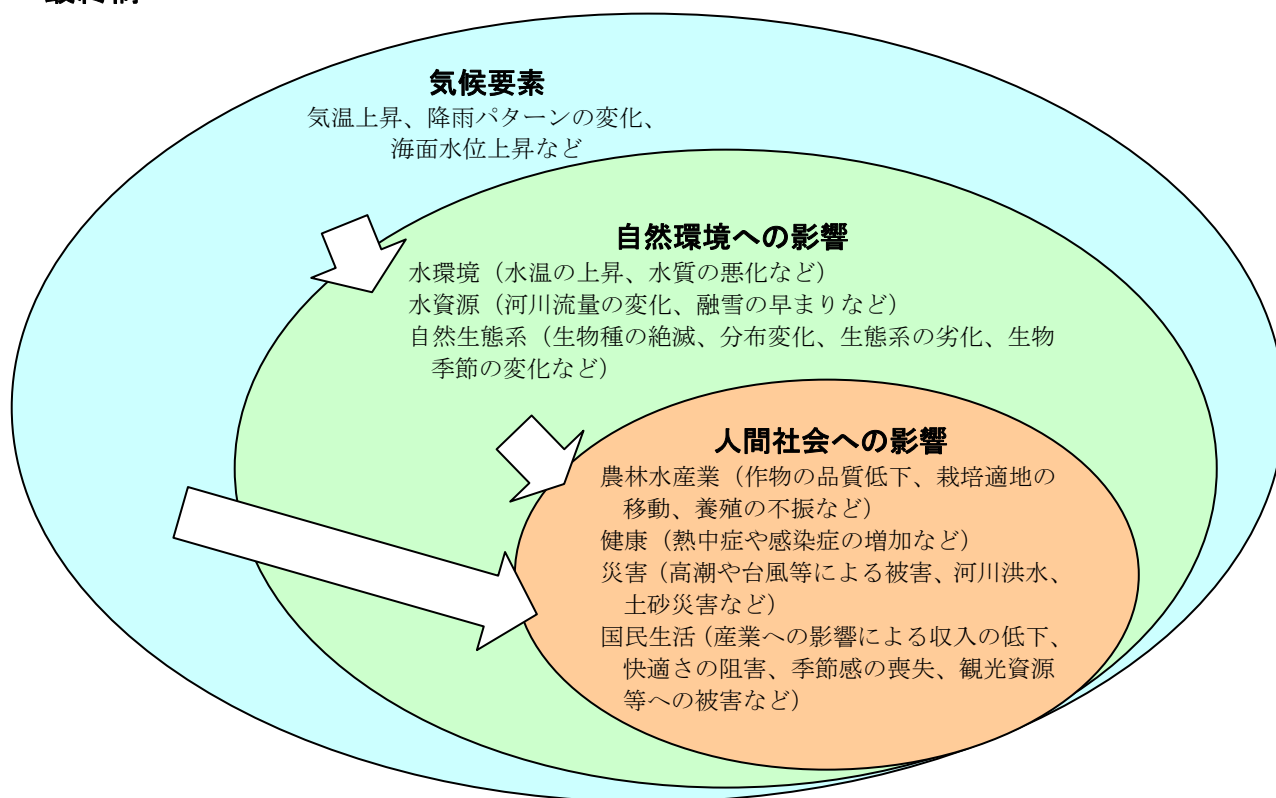
● 各分野、あるいは分野間の影響のメカニズムを明らかにする必要がある。

気候変動による影響は、まず、気温の上昇や降水パターンの変化、海面水位の上昇等の気候要素の変化を受けて、水環境・水資源や生態系等の自然的要素が変化し、さらに、人口動態・土地利用・産業・社会基盤・政策等の社会的要素の状態も関与して、様々な影響が生ずることとなる。また、影響には、水質の悪化、河川流量の変化、生物種の絶滅、生態系の劣化等、自然環境そのものへの影響と、農林水産業における収穫量・漁獲量等の変化、健康影響の発生、災害の増加等、人間社会に及ぶ影響とがある（参考図 1）。

本検討では、第二部の分野別章の冒頭で、各分野における影響のメカニズムの全体像を、最新の知見をもとに整理している。具体的には、影響のメカニズムを構成する要素として、①当該分野に特に関連する気候要素、②当該分野の影響に関連するその他の自然的要素（①の要素を除く）、③当該分野の影響に関連する社会的要素、④当該分野において生じる影響を整理し、これらの複合的な関係をフロー図などで示している。

- ① 気候要素の例：気温、降雨量、降雪量、海面上昇、異常気象、湿度(乾燥) 等
- ② 自然的要素の例：河川流量、植生面積・分布、海面水位、害虫分布、感染症媒介生物分布 等
- ③ 社会的要素の例：水使用量、自然保護区面積、農作物別従事者数、護岸整備率、高齢者割合 等
- ④ 影響の例：渇水頻度変化、高山植物分布変化、農作物収量変化、水害頻度変化、熱中症患者数変化 等

このような影響のメカニズムに関して、未解明の部分については引き続きその把握に努める必要がある。また、分野間のより複雑な相互関係等についても整理していく必要がある。



参考図 1 気候変動による影響の全体像

● 短期的な変動の多くは自然変動に支配されている。

IPCC 第 4 次評価報告書では、人為的な温室効果ガスの排出により温暖化が生じている可能性が非常に高いと結論づけられたが、一方で、影響を示す各種指標の短期的な変動の多くは、自然変動に支配されている。したがって、長期的な気候変動と、年々変動の識別に留意する必要がある。

● 気候変動以外の要因（人間活動や他の環境問題等）との複合的な影響を評価することが重要になる。

気候変動による影響は、単独で顕在化するだけでなく、人間活動や他の環境問題等による影響と重なり、複合的に現れる場合がある。

例えば、防災・沿岸大都市分野では、気候変動による複数の現象が重なり合って大規模な災害が生じる可能性や、気候変動による現象と気候変動とは関係のない地震、地盤沈下等の変動とが重なり合って大規模な災害へとつながる可能性が指摘されている。

大都市域では、気候変動に加えヒートアイランド現象も関与して気温が上昇しており、これも気候変動以外の要因との複合的な影響の例である。

自然生態系分野では、気候変動による影響以前に人間活動による影響を大きく受けており、既に人間活動による影響で生態系が劣化しているところに、気候変動が最後の一撃を加えて

最終稿

しまう恐れが懸念されている。

効果的な対策実施のためには、このような、気候変動でもたらされる複数の現象による複合的な影響、あるいは、気候変動と気候変動以外の要因との複合的な影響の理解及び評価に努める必要がある。

(2) 着目すべき重要な影響事象

● 平均値の変化に加え、ばらつき（分散）の拡大による影響に注意が必要である。

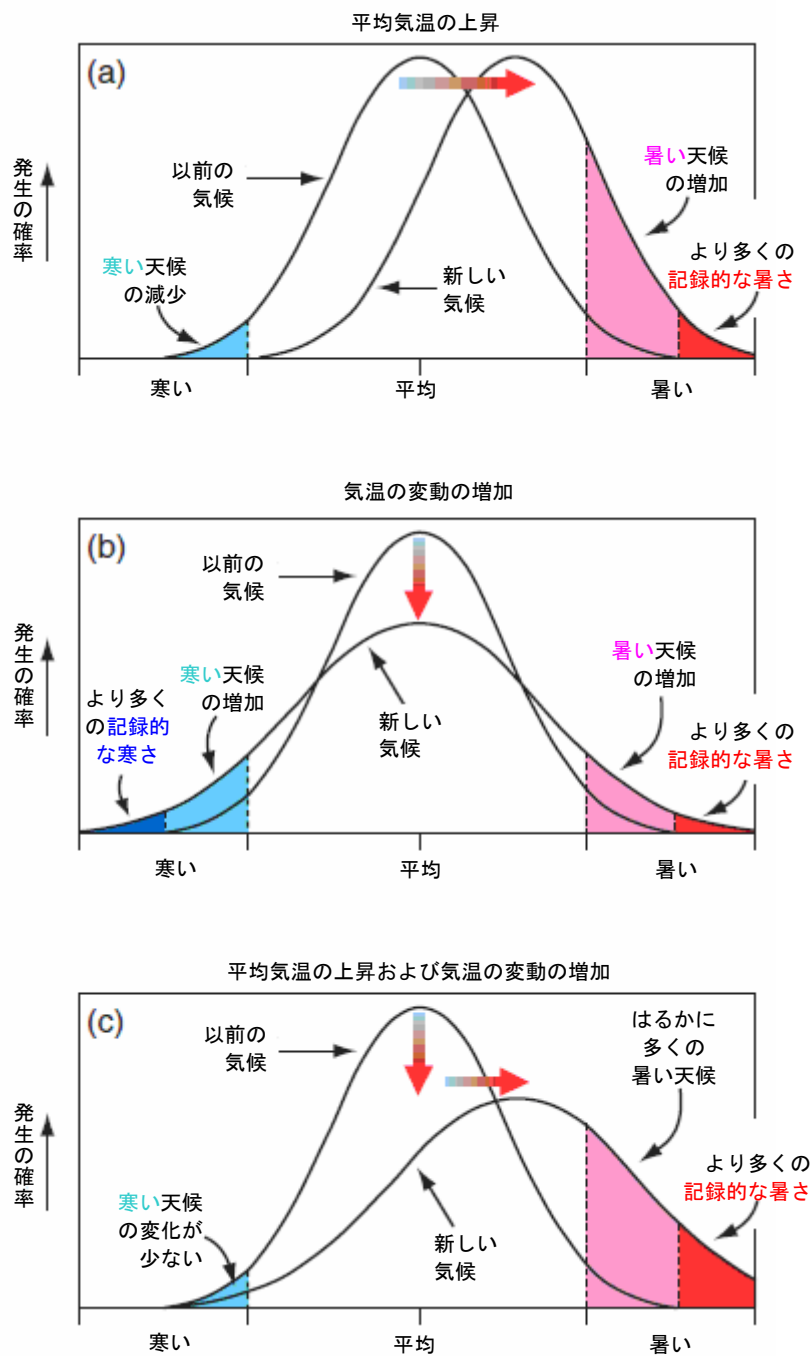
予測される気温の変化には、平均値の変化とばらつき（分散）の拡大の2つの側面がある。例えば、平均気温の上昇に伴い、気温の確率分布が将来にわたり高温側に移動するだけでなく、そのばらつきが拡大し、より極端な高温が生じる頻度が上昇する点に着目する必要がある。慢性的な平均気温の上昇に伴う影響も重要であるが、突発的な異常気象の発生頻度の上昇に伴う影響への対処は、喫緊の課題となる。（参考図2）

また、平均値は、「年間平均」のように時間的に平均化されるだけでなく、地域的な分散も平均化される。平均値に埋没してしまう季節変動や地域特性の方が平均値の変化そのものよりも重要な意味を持つ場合が多いことに留意すべきである。

● 年変動が大きくなり、極端な現象が増えることによる影響に注意が必要である。

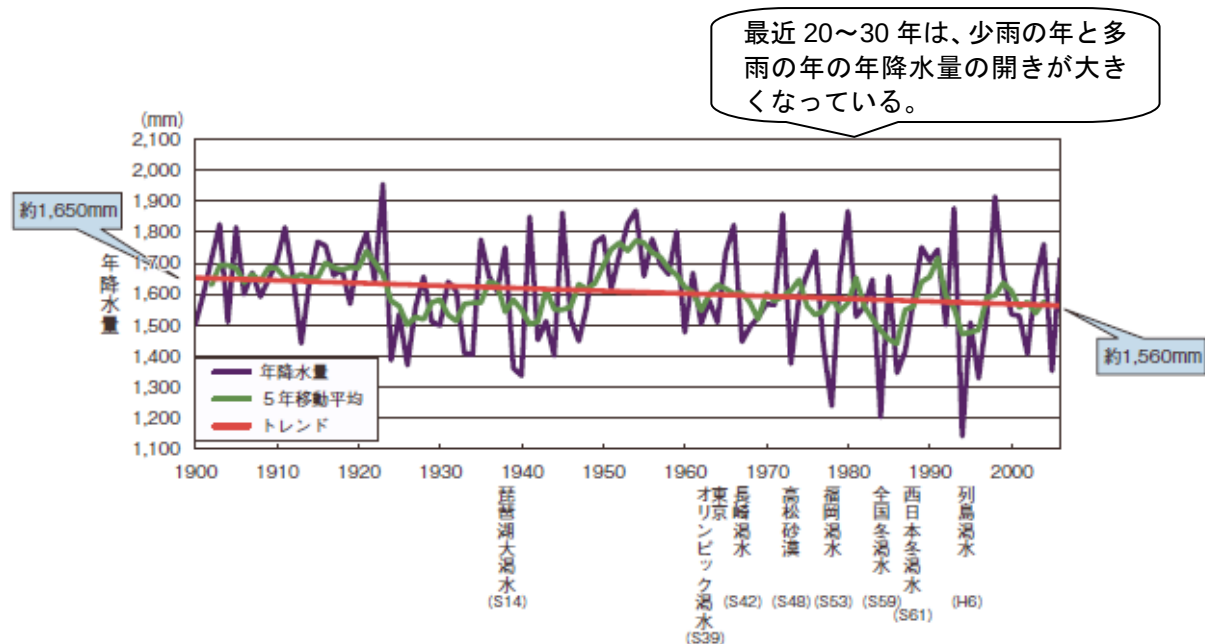
予測される降水量の変化には、年降水量の変化の傾向と、豪雨・渇水等の極端な現象の傾向の2つの側面がある。年降水量は、近年、極端に少雨の年が増えているとともに、少雨の年と多雨の年の年降水量の開きが次第に大きくなりつつあり、年変動が大きくなる傾向が認められる。（参考図3）

豪雨に関しては、このような年変動の傾向によりもたらされる影響と、1日、1時間等の極めて短い時間スケールの豪雨の発生によりもたらされる影響がある。近年、時間雨量50mm以上等の短期集中型の豪雨の頻度も増加する傾向にある。年変動の傾向と短期的な現象の双方に着目する必要がある。（参考図4）

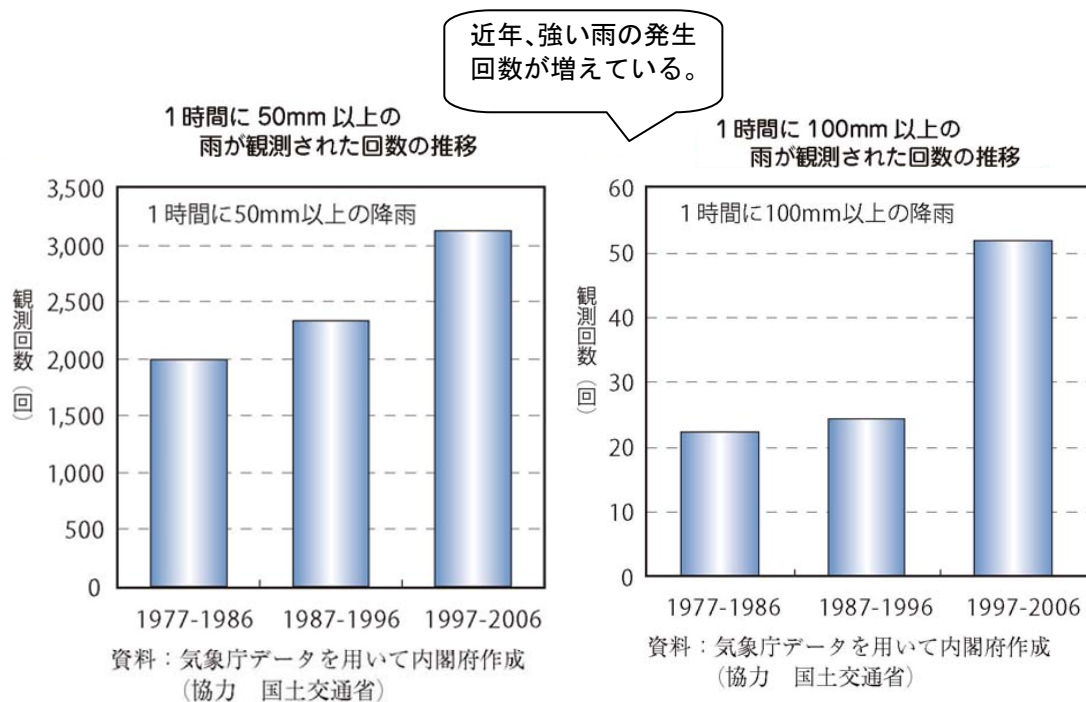


参考図 2 極端な気温による影響を示す模式図 (IPCC, 2001 より作成)

(a) より多くの記録的に暑い天候につながる平均気温の上昇、(b) 変動性の増加、(c) 平均気温が上昇し、変動性が増加することにより、非常に多くの記録的な暑い天候につながる。



参考図 3 日本における降水量の経年変化（国土交通省，2007）



参考図 4 日本における集中豪雨の観測回数の経年変化（内閣府，2007）

● 分野間の影響のつながりや、分野による影響の表れ方に留意する必要がある。

本報告書では、7つの分野を扱っているが、これらの分野は相互に結びついており、ある分野の影響が他の分野にも二次的、三次的に波及して影響をもたらす場合がある。例えば、河川や湖沼の水質・水温の変化は、淡水生態系に影響を及ぼし、水産業等の人間活動に関わる部分にも影響を及ぼす。夏の猛暑などは、電気の供給量を上回る需要量の増大を招くおそれがあり、これにより停電等の事態が生じた場合には、熱中症患者の増加に加え、産業活動や国民の生活にも計り知れない影響を与える。このような、二次的、三次的に影響が広く伝播するような事象には特に注意が必要である。

また、高山、海洋等、自然的要素が大部分を占める地域、自然を活用して成立する一次産業を主体とする地域、さらに、人口が集中し、都市基盤の発達している都市域等、地域の特性によって、影響の許容範囲の違いや脆弱性のパターンには違いがある。自然的要素が大部分を占める地域や一次産業を主体とする地域等では、非常に小さい変化でもすぐに影響が表れやすいことが想定される。一方、都市域等では都市基盤の整備が発達しているため、一定の抵抗力があり、影響に対して強いようにみえるが、逆に、ある閾値を越えてしまうと一気に大きな被害が生じることもある。このような影響の表れ方の特性に対して、例えば、ある限界値を超えても完全な倒壊には至らないなど、少しでも被害の回避・低減が可能となるような構造物や都市基盤のあり方を検討することも重要となる。

● 不可逆的な影響（回復不可能な影響）に着目する必要がある。

気候変動による影響の中には、一旦生じると回復できない不可逆的な影響がある。例えば、自然生態系分野では、高山帯の特殊な環境に生育する植物種が、気候変動の影響により下方から生育地を拡大させてきた他の植物と競争状態となる「追い落とし現象」がみられ、気候変動の進行によりこれらの希少な種が絶滅する可能性も指摘されている。このような不可逆的な影響については、早い段階で予防的な適応策を実施できるよう、特に着目する必要がある。

(3) 影響の将来予測の方法

● 引き続き不確実性の低減に向けた努力が必要。

気候や影響の将来予測には不確実性が伴う。特に、降水量や異常気象等については予測が困難であり、不確実性を伴いやすい。これらに対して引き続き不確実性低減のための検討が必要である。

● シミュレーションモデルのダウンスケーリングが必要。

シミュレーションモデルを、全球レベルから領域レベル、領域レベルからさらに小さいレベルにまでダウンスケーリングし、種々の気象要素についてのデータを各都道府県、あるいは各地上国等に提供できれば、それらのレベルにおける適応策等の検討の参考になる。このようなシミュレーションモデルのダウンスケーリングの手法についても引き続き検討が必要である。

● 適応の現場では、限られた知見と不確実性の幅の下で、適切な判断を下すことが必要。

科学的な知見の充実は、効果的・効率的な適応を実施する上での重要な基盤を提供する。その一方で、対策を講じる側にとっては、科学的な証明を待っているのは手遅れとなる場合がほとんどであり、予防的な立場で早目に対応していくことも重要である。既存の科学的知見と予測の不確実性の幅の中で総合的な判断を行い、効果的・効率的な適応を実施するための方法論の検討が必要である。

そのためには、影響の将来予測についても、平均値的な事態に加え、最悪・最良の事態も予測することで、ある幅を持って柔軟に対処することを可能にするような予測結果の提示の仕方が必要となる。

(4) 影響の指標・評価の方法

気候変動による影響は、平均気温の上昇だけではなく、様々な要因が複合的に関与して生ずる場合が多い。

● 影響を説明する適切な指標群の選定が重要となる。

平均気温の上昇は、気候変動の程度を示す代表的な指標であるが、例えば、冬の寒い日の日数、夏の最高気温等、最大や最小に関わる指標の変化が、生物の生存や人間社会等に対して決定的な影響を持つ場合も多い。例えば、水環境・水資源分野では、水需要を左右する指標の一つに夏季の最高気温があり、この最高気温の変化によって水供給のあり方を検討する必要が生ずる。個々の影響について考える際には、単に平均気温との関係だけでなく、それ

最終稿

ぞれの影響でどのような指標が重要であるか常に留意する必要がある。

● 気温を基準として各指標を統合化することが可能な場合もある。

前述のような個々の指標が、気温上昇と一定の関係を持つ場合には、気温上昇を基本的な指標として統合化することが可能となる場合もある。例えば、平均気温上昇を基本的な指標とし、1℃、2℃、3℃上昇時に冬の10℃以下の日数、海面水位など関連する様々な指標がどのように変化するかを整理することが想定される。

一方で、異常気象頻度の増加のように、平均気温の上昇を基本的な指標とすることが、あまり有効ではない場合もあることに留意する必要がある。

● 危険な水準（閾値）が存在するかどうか知ることが重要となる。

地球全体のシステムにおいて気温上昇幅に閾値があるかどうかという点に加え、個別の影響ごとにどのような閾値が存在するか明らかにするための研究が必要である。例えば、「〇度の温度上昇でサンゴが白化する」「気温△度になると熱中症患者が顕著に増える」等が想定される。また、閾値のない影響事象についても、連続的な影響関数の研究・開発が求められる。

● コスト評価手法は、異なる分野の影響の比較を可能にする有効なツールとなる。ただし、貨幣価値に換算できない価値もあり、コスト評価は常に過小評価となるおそれが高い。

異なる分野における影響を比較評価し、どの影響が特に深刻か、何が優先課題であるかを検討する上で、影響の程度を貨幣価値に換算するコスト評価は有効な手法の一つである。

ただし、人の健康や命、野生生物種の絶滅等の不可逆的変化や、文化的な価値は、貨幣換算することが、社会的コンセンサスの観点も含め技術的に難しい。そもそも貨幣換算することが適切かという問題もある。また、コスト評価の結果は、IPCC 第4次評価報告書でも報告されているように、過小評価となってしまう可能性が高い。

コスト評価は、今後さらに知見を集積し、研究を推進すべき課題の一つである。

(5) 脆弱性評価の方法

● 脆弱性とはシステムの影響の受けやすさ、対処できない度合いである。

脆弱性（Vulnerability）に関して、IPCC 第 4 次評価報告書では、「脆弱性とは、気候変動性や極端な現象を含む気候変動の悪影響によるシステムの影響の受けやすさ、または対処できない度合いのことである。脆弱性は、システムがさらされる気候変化及び変動の特徴・大きさ・速度と、システムの感度、適応能力の関数である。」としている¹¹。

例えば、影響の受けやすさについては、同じ熱波であっても主体別でいえば高齢者、地域別でいえば北海道等はより影響を受けやすい主体、地域であり、それだけ脆弱性も高いといえる。また、対処できない度合い、すなわち、適応力の程度については、途上国の中でも、特に技術・経済システムが未整備で適応の基盤となるインフラが欠如しているような地域では、社会全体の適応力が低く、それだけ脆弱性も高いといえる。脆弱性が高ければ、気候変動により受ける影響の度合いも大きくなる。脆弱性を低めるためには、抵抗力（Resilience）を高め、適応力（Adaptive capacity）¹²の向上を図ることが不可欠である。

● 気候変動がなくても脆弱な地域や集団がある。また、気候変動により脆弱性が高まる場合がある。

特に途上国においては、現在水不足の問題を抱えている地域のように、気候変動のない状態でも既に脆弱な場合がある。

また、気候変動により社会システム等が弱体化し、それにより脆弱性が高まって、さらに気候変動の影響を受けやすくなる場合がある。例えば、農業被害により収入が低下し、洪水等のリスクに対する適応力が低くなる等の例がありうる。

このような、気候変動がない中での脆弱性と、気候変動を受けることによる脆弱性があること、気候変動による脆弱性の高まりの連鎖がありうることに留意する必要がある。

● 影響の受けやすさや適応力も脆弱性の大きさを左右する。

脆弱性の大きさは、影響の受けやすさや適応力の程度によっても大きく変わりうる。

2007 年にバングラデシュを襲ったサイクロン・シドルは、30 万人を超える死者を出した 1970 年のサイクロンに匹敵する勢力であったが、レーダーによる早期警戒・早期警報システムの整備とその後の適切なフォローアップ、サイクロンシェルターの整備等により 1970 年と比べ死者数は大きく減少した（対策により、14 万人の被害が出た 1991 年以降、万人単

¹¹ IPCC 第 4 次評価報告書 第 2 作業部会報告書 用語解説より。Vulnerability is the degree to which a system is susceptible to, and unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate change and variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.

¹² 3.1 を参照。

最終稿

位の被害は生じていない)。これは、適応策が介在することで脆弱性の大きさも変わりうる例の一つといえる。

このように、気候変動の程度のみによって一義的に影響の大きさが決まるわけではないことに注意が必要であり、影響の受けやすさ、適応力の双方の側面から脆弱性を捉えていく必要がある。

● 各種の情報を重ね合わせた脆弱性評価を推進する必要がある（脆弱性評価マップ、チェックリスト等）。

特定の場所・時間における脆弱性は、一定のクライテリアがあれば、影響を受けるより前に特定することができるため、脆弱性評価は、一般に被害を予防的に防止するのに役立つといえる。ある地域における脆弱性は、気候要素、影響の受けやすさ、適応力に係る各種の情報（自然的・社会的・経済的・技術的な条件等）を重ね合わせることで評価できる。さらに、このような重ね合わせを「脆弱性評価マップ」の形で地図情報として整理することにより、関係者間で情報を共有し、地域レベルでのきめ細かな適応策の立案に活用することができる。例えば、自然生態系の脆弱性を評価するツールが開発されれば、保護区の見直しやコリドーの設定等における有効活用が想定できる。

地域レベルでの詳細な将来予測が行われていない場合でも、地域の脆弱性評価マップを作成し、気候のおおよその将来傾向を加味することで脆弱性を評価することは可能である。地域のデータ・情報が限定的なためマップ化が難しい場合には、チェックリストを作成する方式も考えられる。

脆弱性の評価においては、脆弱性軽減のために何らかの適応策を実施した場合の効果を加味して評価するのか、あるいは全く適応策を行わない（考慮しない）場合を評価するのかなど、前提を明らかにしておくことが重要となる。

● 脆弱性評価において地域でのモニタリングが重要となる。

地域の脆弱性を評価するためには、地域の現場からのデータ・情報が必要である。近年では、NPO、地方自治体等が地域の自然環境の指標となる生物種のモニタリングや河川水質・大気質等の簡易モニタリングを実施する活動が活発化しており、これらと気候変動の地域モニタリングとを連動させることが有効である。また、ある地域に長年居住している人々は、気象や周りの自然環境の変化に対して経験に基づく知見を有していることから、地域特有の影響や脆弱性について、このような層を対象とするアンケート調査が有効な場合もあろう。地域の住民、コミュニティ、NPO、地方自治体等の協力を得て、統一的かつ簡易な手法によりデータ取得、解析、評価を行う枠組みについて研究を進めることが望まれる。

途上国についても現場の情報収集・蓄積が重要であり、後発開発途上国に対して立案が推奨されている国家適応行動計画（NAPA）においても、地域コミュニティレベルの対応が重視されている。今後、現場での情報収集を効果的・効率的に実施する手法開発が必要であろう。

引用文献

- 新井正, 2000: 地球温暖化と陸水水温, 陸水学雑誌, 61 巻, 1 号, pp.25-34
- 原沢英夫, 西岡秀三, 2003: 地球温暖化と日本 自然・人への影響予測 第3次報告
- 橋谷博他, 1995: 1994 年の渇水と宍道湖の水質, 第 60 回日本陸水学会講演要旨集, p188
- IPCC, 2007: 第 4 次評価報告書第 2 作業部会報告書
- IPCC, 2001: 第 3 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 図 2.32
- 伊藤進一, 2007a: 温暖化シナリオにおいて推定されるサンマおよびニシンの応答, 月刊海洋, 39, 303-308.
- 伊藤進一, 2007b: 地球温暖化とサンマの予測モデル, FRANEWS, 10:, 16-17.
- 神野健二他, 2005: 2002 年筑後川渇水の実態と水資源運用, 水文・水資源学会誌, 18(5), pp.539-546
- 香川県 香川の環境ホームページ (<http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/data/0712/071225/2.pdf>)
- 神奈川県ホームページ (<http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/01/0104/suigenkaihatu/page20.html>)
- 環境省, 2008: 地球温暖化「日本への影響」－最新の科学的知見－(環境省地球環境研究総合推進費 S-4「温暖化影響総合予測プロジェクト」)
- 気象庁, 2005: 異常気象レポート 2005
- 国土交通省北陸地方整備局河川部, 2004: 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨河川災害速報(その2), 7pp.
- 国土交通省, 2007: 第 1 回 気候変動に適応した治水対策検討小委員会 資料 3
- 国土交通省, 2007: 第 5 回 気候変動に適応した治水対策検討小委員会 資料 5
- 国土交通省土地・水資源局水資源部, 2007: 平成 19 年版日本の水資源について～安全で安心な水利用に向けて～, 第 1 編
- Kobayashi M., Komagata O., Nihei N., 2008: Global warming and vector-borne infectious diseases. J. Disast. Res. 3(2), 105-112.
- 増沢武弘, 2005: 高山帯における山岳地形と高山植物の分布－富士山・白馬岳・八ヶ岳・アポイ岳－, 植物地理・分類研究, Vol. 53 No.2, 131-137
- 松居弘吉他, 1997: 平成 6 年度異常渇水に伴う琵琶湖の水環境 (特集 琵琶湖およびその集水域における水問題), 環境技術 26(8), pp.495-501
- 三村信男, 2008: 「東京大学 AGS セミナー 気候変動の影響と適応策」
- 森田敏, 2005: 水稻の登熟期の高温によって発生する白未熟粒, 充実不足および粒重低下, 農業技術, 60, 442-446.
- 内閣府, 2007: 平成 19 年版防災白書
- 大槻均他, 1995: 琵琶湖・淀川における平成 6 年大渇水の影響と対策, 水資源・環境研究, pp.96-100
- 杉浦俊彦・横沢正幸, 2004.: 年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響, 園芸学会雑誌, 73, 72-78.
- 諏訪市誌編集委員会, 1995: 諏訪市史上巻
- 東京大学など合同研究チーム, 2004: 平成 16 年 9 月 16 日報道発表資料「地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了－温暖化により日本の猛暑と豪雨は増加－」
- 和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介, 2005a: 地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う洪水・渇水リスク評価に関する考察, 水工学論文集, 49, 493-498pp.
- 和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介, 2005b: 地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究, 土木学会論文集, No.796/II-72, 23-27pp.
- 芳村圭, 咲村隆人, 沖大幹, 2006: 2005 年 9 月 4 日東京市街地浸水災害における気象水門状況分析, 生産研究, 58 巻 3 号, 139-142