

第3章 気候変動による影響

前章では、世界各国や日本でこれまでに観測されている気候変動の現状と将来予測について述べた。この章では、その結果既に生じている影響と、将来起こりうる影響の予測について、各分野の最新の知見を踏まえながら解説する。

気候変動による影響には、気温の上昇量に応じて徐々に大きくなるものと、ある閾値を超えると急変をもたらすものがある。後者には、海洋大循環の停止、グリーンランドや西南極の氷床の不安

定化による数m以上の海面上昇などの可能性が挙げられている（コラム 11 参照）。

本章では、気候変動がもたらす世界及び日本への影響の全体像や、各分野・地域での影響について示す。なお、影響の予測結果は、気候変動予測シナリオや予測期間によって異なるため、できるだけこれらも合わせて示すことにした。また、予測結果を見る際には、気候予測や影響評価自体の不確実性の影響があることも留意する必要がある。

コラム 11 気候システムの急変～「ティッピング・ポイント」とは？

「ティッピング・ポイント (tipping point)」とは、少しずつの変化が急激な変化に変わってしまう転換点を指す用語である。気候変動についても、あるレベルを超えると、気候システムにしばしば不可逆性を伴うような大規模な変化が生じる可能性があることが指摘されており、地球環境の激変をもたらすこのような事象は、「ティッピング・エレメント」と呼ばれている。現在指摘されているティッピング・エレメントの例としては、下記のようなものがある。こうした変化については、現時点では未解明な部分も多く、さらなる研究が必要であるが、その潜在的な深刻さについては認識しておくことが重要である。

◆海洋深層大循環の停止

海洋深層大循環とは、北大西洋のグリーンランド沖や南極周辺で低温・高塩分のために密度の高い海水が深層まで沈み込み、2000年ほどかけて世界の海洋を一周する流れである。気候変動により海水温が上がることで、高緯度での降雨の増加等によって海水の塩分が下がることで、北大西洋の海水の沈み込みが止まり、海洋深層大循環全体が停止する可能性が指摘されている。その結果、北大西洋の暖流が高緯度まで来なくなって、ヨーロッパ全体が寒冷化する等、世界全体の気候に影響する恐れがある。これまでの研究では、21世紀のうちに循環が弱まる可能性は非常に高いものの、循環そのものが停止してしまう可能性は非常に低いと考えられている。

◆グリーンランド及び南極における氷床の不安定化

グリーンランドと南極において、最近10年の氷床の質量が過去に比べて明らかに減少してきたことが報告されている。グリーンランドの氷床については、夏季における氷の融解により、地表面での日射の反射率が低下してより日射を吸収しやすくなることと、雪氷の表面高度が下がって表面気温が高くなることにより、融解をさらに促進するフィードバックがあるため、気候が一定以上温暖となる状態が続くと氷床の融解が急激に進むと考えられている。ただし、それには数百年～数千年かかると見積もられており、その間に再び一定以下の気温に下げられれば氷床の不安定化は止めることができる。一方、南極では、氷床から突き出た棚氷が切り離されたり、氷床の底が融けて潤滑油のような働きをしたりすることで、流出が加速すると考えられている。特に南極の西側全体は、氷床の底が水深数百メートル以上の海中にあるため、ひとたび氷の後退が始まると海底と氷床の間に海水が入り込み、浮力が働くことで後退がさらに加速する可能性があるが、メカニズムが複雑なためさらなる研究が必要である。

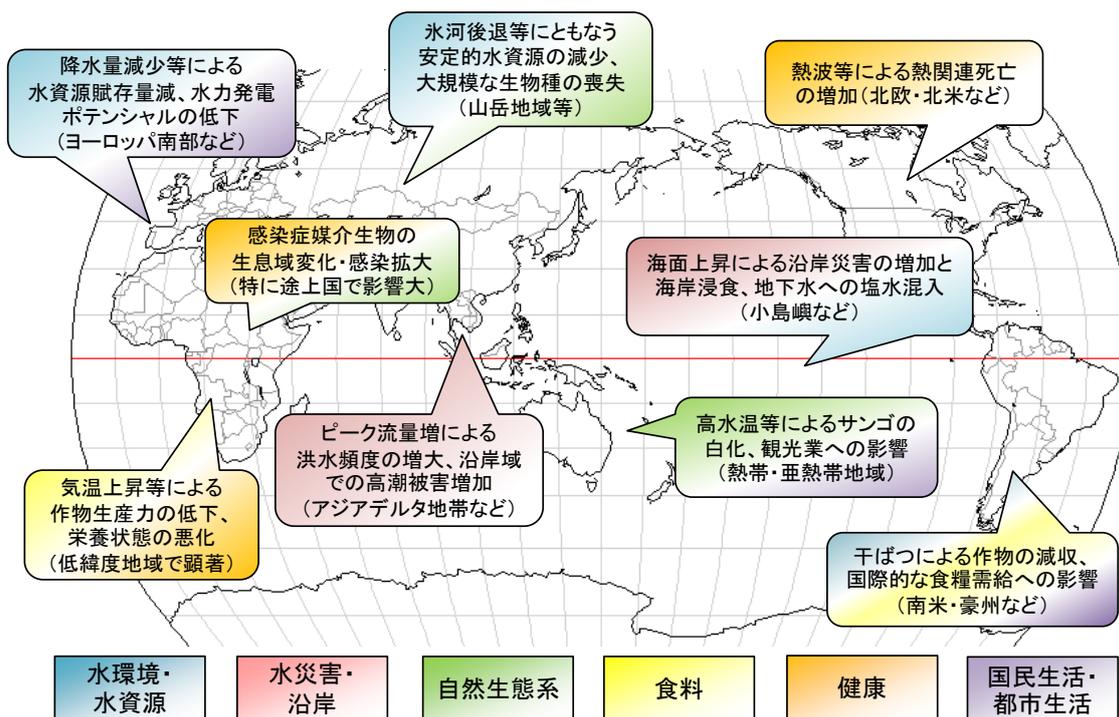


図 3.1.1 気候変動によって各地域・分野で予測される影響の事例

吹き出しが複数色で着色されているものは、分野にまたがって影響が現れることを示す。
 出典：IPCC、2007a (AR4 表 SPM.2.) と江守ら、2012 の記述をもとに作成

3. 1 気候変動の分野別影響（世界）

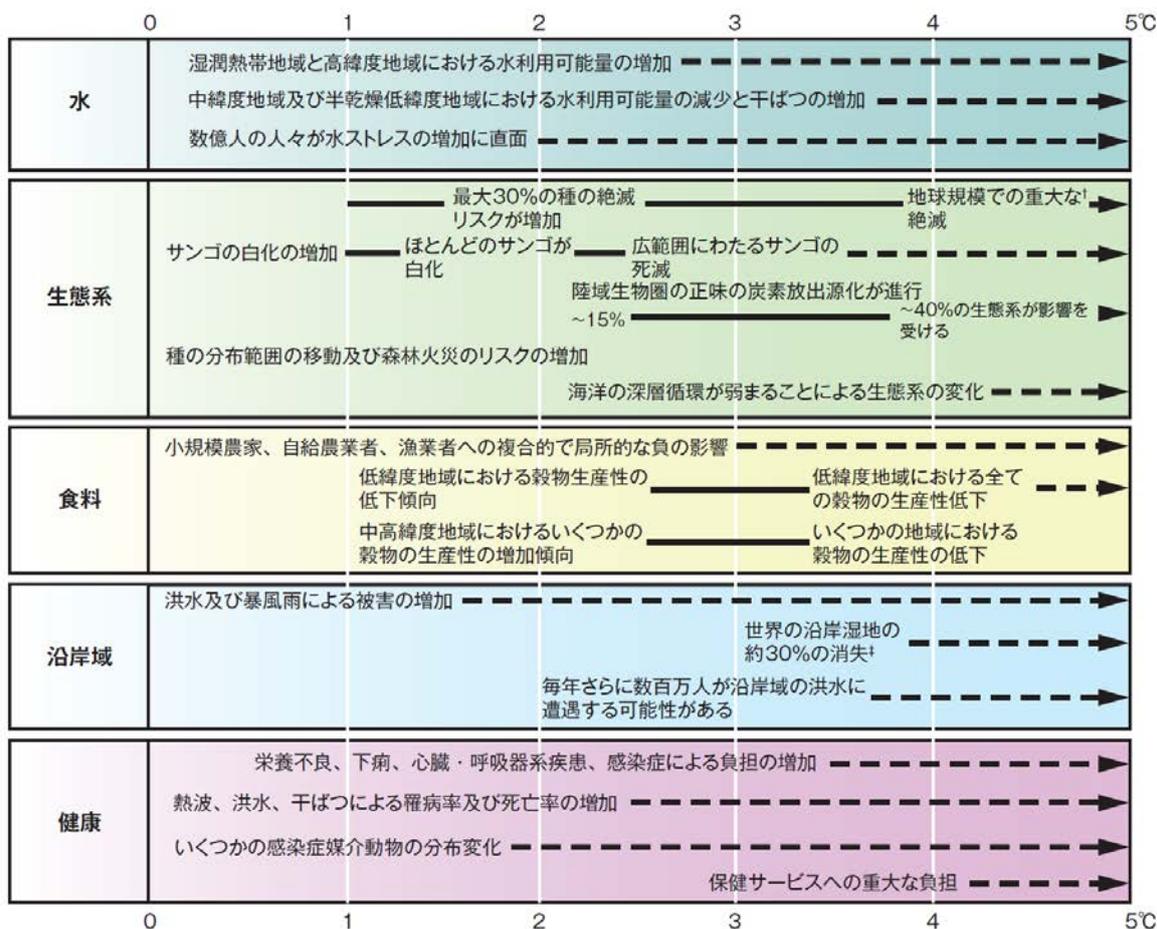
気候変動の影響は、世界の様々な場所で、水環境・水資源、水災害・沿岸、自然生態系、食料、健康や、国民生活・都市生活といった、複数の分野に現れる。図 3.1.1 は、世界において将来生じると予測される影響の例を分野別に示したものである。

水資源分野では、熱帯・亜熱帯の乾燥地域で現在よりさらに降水量が減り、水資源量が減少すると予測されているほか、小島嶼や海岸沿いの地域では、海面上昇に伴い塩水が地下水に混入する恐れがある。水災害分野では、豪雨が増加して洪水のリスクが増大する地域がある一方、渇水の期間が長期化する地域もあるという予測がある。また、海面上昇などにより沿岸域で高潮被害のリスクに曝される人口が増加すると予測されている。自然生態系の分野では、サンゴの白化等気温・水温上昇によって生物に直接的な影響が現れる。また、生息適地の移動に追従する能力が異なるため、植物とその授粉を行う昆虫の共生関係が崩れるといった、生態系構造の変化が生じる可能性がある。食料の分野では、地域によって作物の生産力の低

下が予想されているだけでなく、病害虫による被害も変化すると考えられている。人間の健康については、気温の上昇による熱関連疾患の増加や感染症の拡大が懸念されている。また経済活動や日常生活に対しても、例えば農産物の価格上昇や冷暖房に用いるエネルギー需要の変化があると考えられる。気候変動は、気温や降水量といった基本的環境条件を変えるため、影響が様々な分野に連鎖的に波及する。さらに、高齢化や都市化の進展、土地利用の変化といった他の要因とも重なり合って、より深刻な影響が現れる場合もあることに注意が必要である。

こうした影響の中には、過去に予測されていたものが既に顕在化している事例もある。例えばオーストラリアやサヘル地域では干ばつの強度の増加が見られるほか、ヨーロッパでは暑熱関連の死亡者数が増加している^{96) 102)}。また一部の生態系でみられる在来種の置き換えは、気温上昇が影響している可能性が高い¹⁰²⁾。

図 3.1.2 は、世界平均気温の変化に伴う各分野の影響の変化予測を示している。気温の上昇に応じて、様々な影響が顕在化したり、影響の及ぶ範囲がより拡大していくものと予測される。



† 「重大な」はここでは40%以上と定義する。 ‡ 2000年から2080年までの海面水位平均上昇率4.2mm/年に基づく

緩和策を考慮しないシナリオ (SRES シナリオと呼ばれる) における 1980~1999 年に対する 2090~2099 年の気温上昇予測

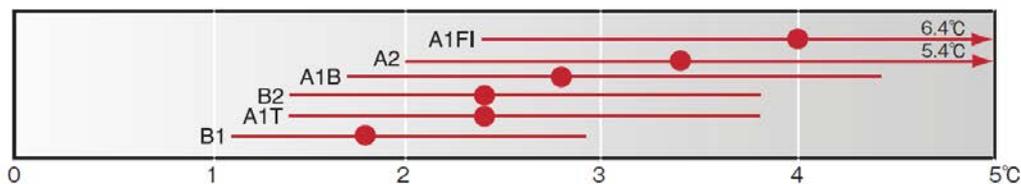


図 3.1.2 世界平均気温の変化に伴う影響の事例

黒い線は影響間のつながりを表し、点線の矢印は気温上昇に伴い継続する影響を示す。文章の左端がその影響が出始めるおおよその気温上昇のレベルを示すように、事項の記述が配置されている。下の図の点及び帯は、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及び可能性が高い予測幅 (最良の推定値の -40~+60%の幅) である。気温変化は、1980~1999 年の期間との差として表されている。1850~1899 年の期間に対する変化を表す場合には、これに 0.5°C を足す。

出典：IPCC、2007a

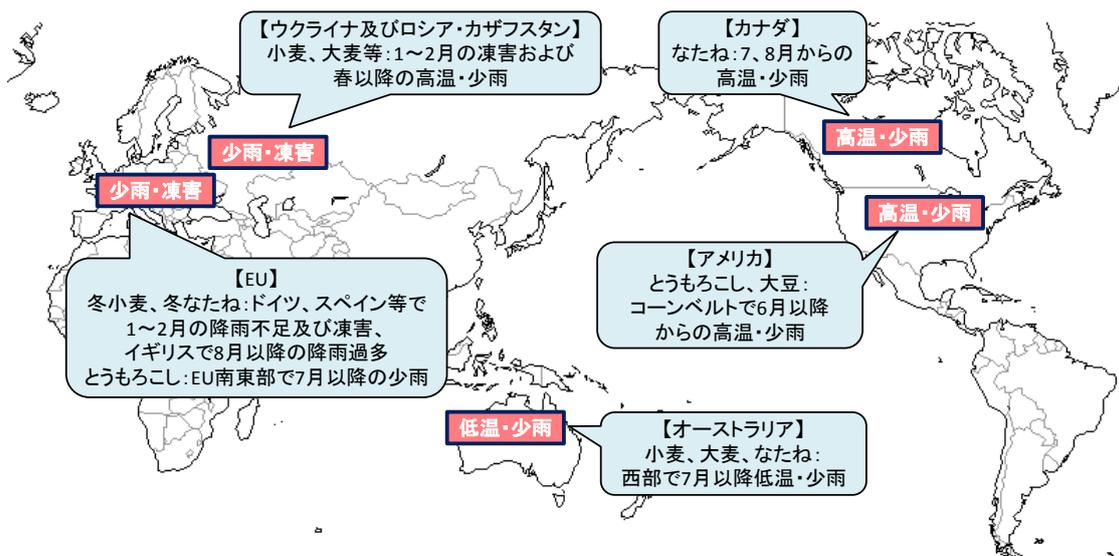
コラム 12 海外での極端な気象・気候現象と日本に及ぼす影響

気候変動によって、熱波や干ばつ、大雨といった極端な気象・気候現象が出現する可能性が高くなると予測されており、そういった現象に伴って世界各国で生じた被害が、日本に暮らす私たちにも間接的に影響を及ぼす恐れがある。

例えば 2012 年、アメリカ・カナダは広範囲で厳しい干ばつに見舞われた。特にとうもろこしの収穫量が大きく減少したことから、他の作物も収穫量が減少するとの見通しが生じ、とうもろこし・大豆の国際価格は、8 月～9 月にかけて史上最高値を記録した。これによって飼料産業にも影響が波及したほか、それに付随する形で小麦の価格も上昇した。日本における消費者への影響は限定的であったものの、一部作物の輸入価格が値上げされ、特に飼料価格の高騰は畜産農家にとって大きな負担となった。

また 2011 年には、インドシナ半島で平年より降水量の多い状況が雨季を通して長期間継続したことによって、タイでは大規模な洪水が発生し、タイに進出している各国企業にも大きな打撃を与えた。タイに工場を有している日系企業も、製造拠点が浸水して多大な経済的被害を受けたほか、現地で生産していたハードディスクドライブなどの電子部品の供給不足や製品価格の上昇が日本でも見られた。

経済のグローバル化や、我が国が多くの食料品を海外から輸入している状況を考えると、海外における気候変動の影響は、決して私たちと無関係ではない。



農産物の需給への影響が懸念された 2012 年の気象状況

出典：農林水産省、2012 をもとに作成

3. 2 日本における気候変動の影響

3. 2. 1 各分野への影響とその捉え方

気候変動の影響は、日本でも既に現れ始めており、今後様々な分野で拡大するとみられている。

図 3.2.1 は、日本の年平均気温の変化に伴って、各分野で予測される影響を整理したものである。

水資源については、いくつかの地域で将来、河川流量が減少する可能性が高く、また源流域の積雪量の減少により水資源が減少し、渇水リスクが増す恐れがある。一方で渇水リスクは、水の需給構造にも依存するため、影響の受けやすさは地域差が大きい。

人的あるいは家屋等への被害を及ぼす水災害では、様々な地域で豪雨等の災害外力が治水安全度等の防災力を上回る可能性が現状より高くなる。また、洪水氾濫や斜面崩壊の発生確率の増加、海面上昇等による高潮被害人口の増加が予測されている。

食料については、長期的には被害リスクが拡大する一方で、地域によっては、短期的には収量の増加や新しい作物の導入など好ましい影響も存在する。

自然生態系の分野では、ブナ林やサンゴの分布適地の減少が予測されている。ただし、生態系の分布域の変化には他の要因も作用するため、気候変動の寄与がどの程度であるかを特定することは難しい。また、生物種によって適応能力には差があるため、生態系の中でこれまで成り立っていた共生関係が崩れたりする可能性がある。

健康分野では、熱ストレスによる死亡リスクの増加や、感染症を媒介する生物の生息可能域の拡大などが予測されている。

予測されている気候変動の影響を見るときには、以下に示すように留意すべき点がある。

1 つ目は、気温上昇や降水量の変化といった気候変動の予測は、想定する温室効果ガス排出シナリオや使用する気候モデルによって変化の大きさに幅があり、予測に不確実性を伴うという点である。気候予測の条件の違いによって影響予測にも差が出るため、どのような排出シナリオの下での予測なのかなどに注意が必要である。

2 つ目は、各分野における影響は必ずしも気候変動のみによって引き起こされるものではないという点である。例えばある場所における生態系の変化は土地利用の改変などの要素にも大きく影響を受ける。

3 つ目は、影響の現れ方は、外力を受ける側の特性によって大きく異なるという点である。災害のリスクは生じる気象現象の激しさだけでなく、影響を受ける分野の曝露¹⁴や脆弱性¹⁵にも依存する。例えば、渇水リスクや水災害は、関連するインフラの整備状況等にも左右されるほか、同じ量の雨が降っても、治水安全度の高い地域と低い地域、人口の集中地帯とそうでない地域では、受ける被害の大きさは変わってくる。

このように、影響予測には様々な不確実性があるが、気候変動のもたらすリスクを把握するためには、これらの不確実性を含めて、起こりうる影響を予測することが不可欠である。また、現在起こりつつある影響や将来の影響に対しては、予防的な対応という考え方が重要であり、そうした予防的適応策の立案のためには、リスクの高い事柄について、あらかじめ把握し、考慮しておくことが不可欠である。さらに、地域特性に応じた適応策を考えるうえでは、地域毎の影響予測が重要である。なお、こうした地域別の影響評価をより詳細に行うために、気候予測のダウンスケーリング（第 2 章参照）の取り組みも進められている。

以下の 3.2.2~3.2.7 では、各分野における気候変動の影響の現状と将来予測についての知見を示す。分野によって調査・研究の進展の違いがあるが、いずれの分野でも、現在までに得られている最新の知見に基づいて、なるべく体系的に示すように整理した。

¹⁴ 曝露：悪影響を受ける可能性がある場所に、人々、生計、環境サービス及び資源、インフラ、あるいは経済的、社会的、文化的資産が存在すること。例えば洪水被害を受ける場所に人口が集中している場合、曝露の度合いは大きくなる。

¹⁵ 脆弱性：悪影響を受けてしまう傾向あるいは素因。そのような素因は影響を受ける要素の内的特性から成っており、災害リスクの分野では、自然現象による悪影響を予測し、悪影響に対処、抵抗し、悪影響から立ち直る能力に影響する個人／集団の特性およびその人たちが置かれている状況の特性のことを言う。例えば地盤が弱い場所ほど、大雨に対する脆弱性が高いと言える。

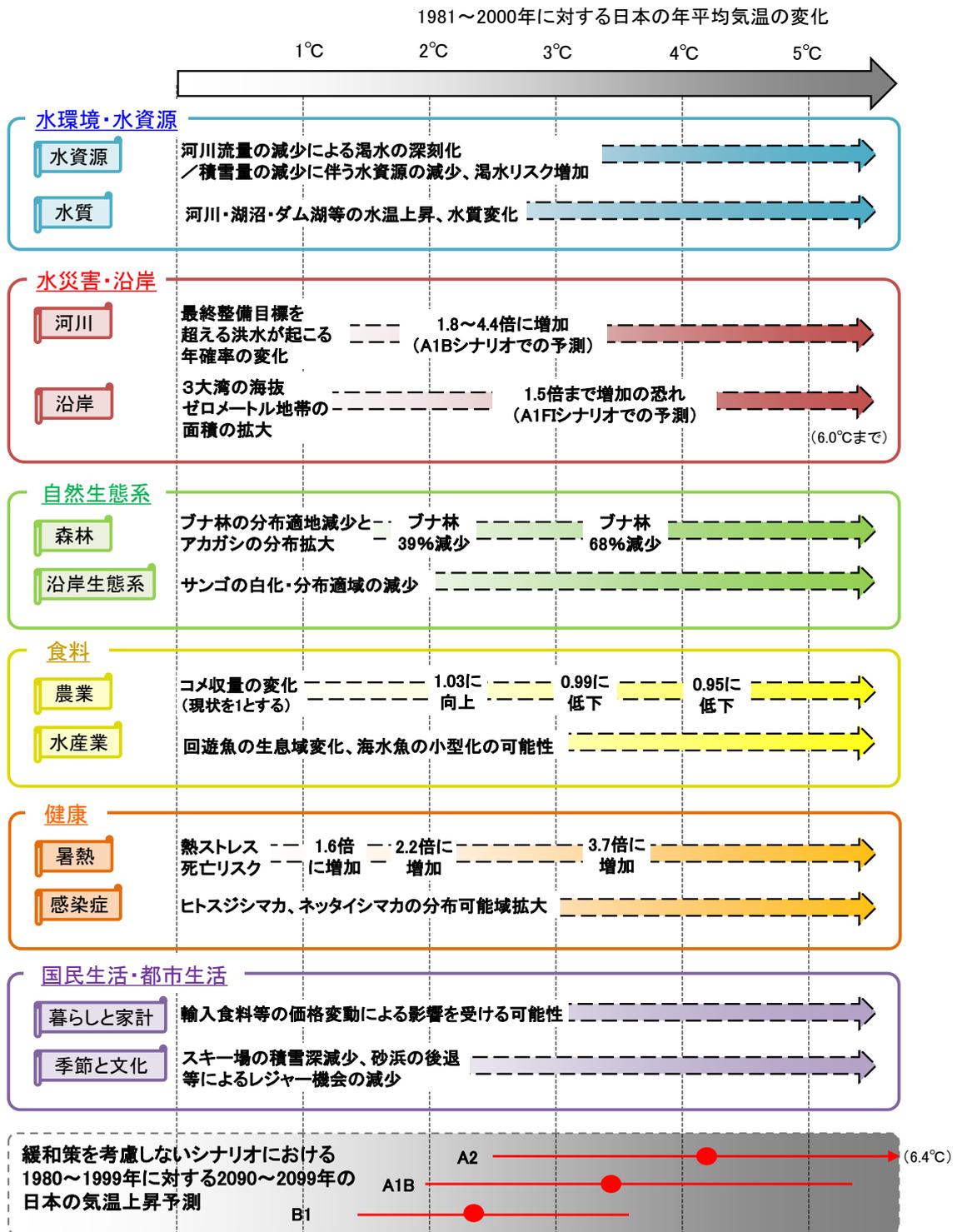


図 3.2.1 日本における平均気温変化に伴う影響の事例

矢印は気温上昇に伴い影響が継続することを示す。文章の左端がその影響が開始するおおよその気温上昇のレベルを示すように、事項の記述が配置されている。出典：温暖化影響総合予測プロジェクトチーム、2009をもとに作成

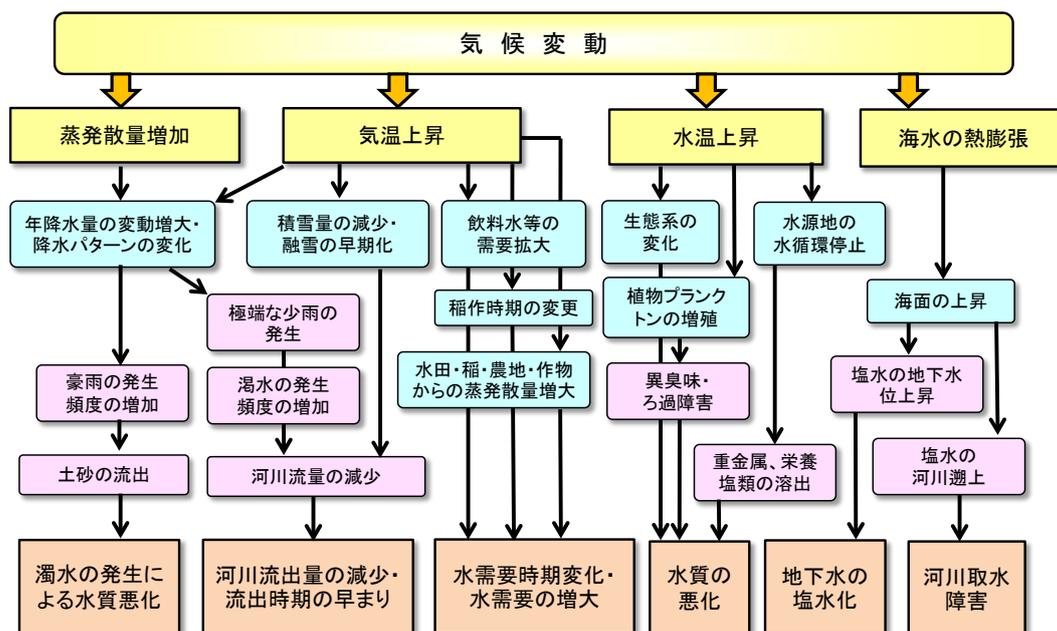


図 3.2.2 水環境・水資源分野における気候変動の影響 出典：国土交通省、2008a をもとに作成

3. 2. 2 水環境・水資源

気候変動が水環境・水資源に及ぼす影響としては、降水特性の変化や、気温・水温の上昇、海面上昇などを通じた、河川流量の変化、水質の悪化、地下水の塩水化などが挙げられる。これらによって、飲料水や農業・工業用水等の利用に悪影響が及ぶ可能性があるほか、生態系にもその影響が波及する恐れがある。(図 3.2.2)

(1) 現状

① 渇水・水量変動

第 2 章 (図 2.1.8) で述べたように、降水については 1970 年代以降、多雨の年と少雨の年の降水量の変動の幅が大きくなっている。図 3.2.3 は、1991～2010 年の渇水状況を表したものであり、四国地方を中心とする西日本、東海、関東地方で渇水が発生している。特に渇水が多発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 年となっている (図 3.2.4)。また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給水制限が実施された年が 6 年にものぼっている。このように、降雨形態の変化により、ダム等の水資源施設を計画した時点に比べて、近年では必ずしも十分な水供給ができていない状況にある。

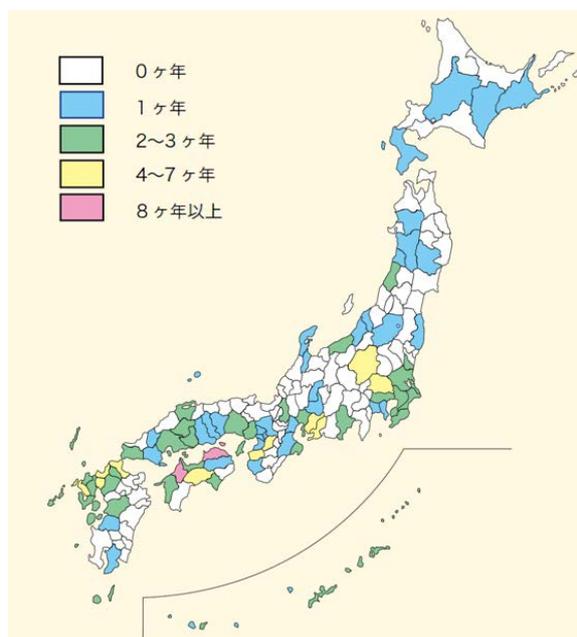


図 3.2.3 1991～2010 年における渇水の状況

(注) 1. 国土交通省水資源部調べ。2. 1991 年から 2010 年の間で、上水道について断水・減圧給水のあった年を渇水が発生した年として年数を図示したもの。3. 都道府県ごとに流域界や市区町村の行政区を考慮してエリアを分割。出典：国土交通省、2011a

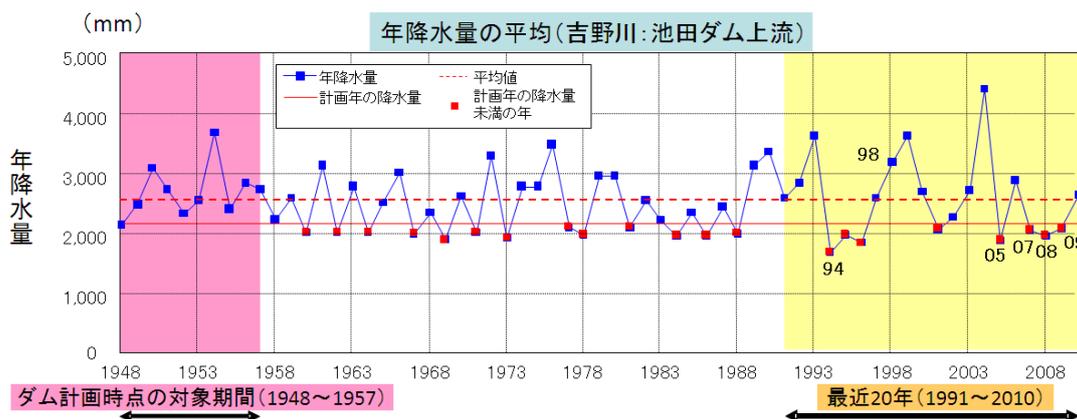


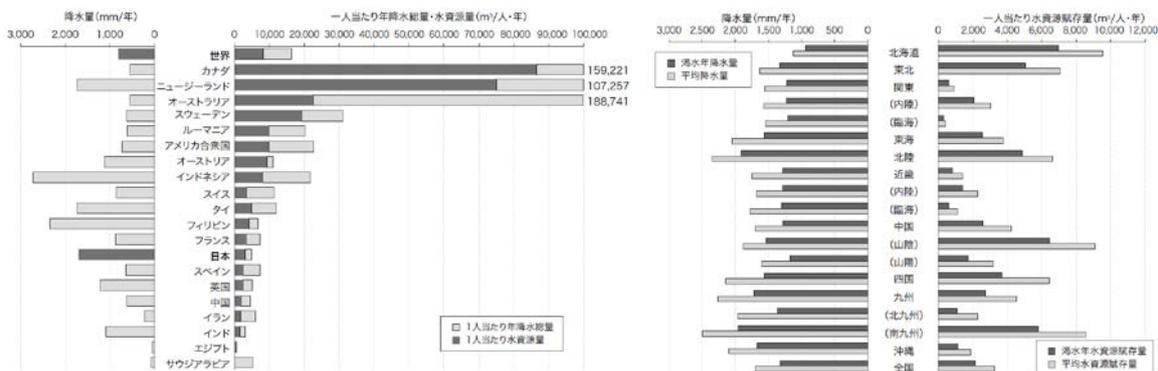
図 3.2.4 吉野川水系における年降雨総量の経年変化

注 1. 「ダム計画時点の対象期間」とは、ダムを計画する際に用いた水文データの対象期間である。
 注 2. 「計画年の降水量」とは、ダムを計画した際の基準年の降水量である。
 注 3. 図中の数字は、最近 20 年間に給水制限が実施された年を示す。出典：国土交通省、2010a

コラム 13 日本の 1 人あたり水資源量

日本は、降水量が多く「水に恵まれた国である」と考えられることが多い。しかし、水資源が十分に存在するかどうかは、需要と供給の相対的なバランスによって決まるものである。日本は人口密度が高いため、1 人当たりの降水量や水資源賦存量（降水量から蒸発散量を差し引いた値）は、必ずしも他国に比べて豊富にあるわけではない（左図）。

また日本国内でも、水需給の逼迫度合いが地域によって異なる（右図）。1 人当たりの水資源賦存量は、人口密度を反映して関東臨海部で極めて少なく、北海道や山陰、南九州ではその 20 倍以上となっている。日本では、他地域の水資源を利用して水資源供給を安定させる手段を確保しているため、普段は水不足を感じることは少ない。しかし、気候変動によって渇水リスクが増す可能性を考えると、必ずしも水資源自体が無限に存在するものではないこと、また都市部では水の自給自足は難しいことを理解しておくべきである。（参考：沖、2012）



左図：世界各国の 1 人当たり降水量と水資源賦存量

注 1. FAO（国連食糧農業機関）「AQUASTAT」の 2012 年 4 月時点の公表データをもとに国土交通省水資源部作成。2. 「世界」の値は「AQUASTAT」に「水資源量[Water resources: total renewable (actual)]」が掲載されている 177 カ国による。出典：国土交通省、2012a

右図：日本国内各地域の 1 人当たり降水量と水資源賦存量

注 1. 国土交通省水資源部作成。2. 人口は総務省統計局「国勢調査」（2010 年）。3. 平均降水量は 1976～2005 年の平均で、国土交通省水資源部調べ。4. 渇水年とは 1976～2005 年において降水量が少ない方から数えて 3 番目の年。5. 水資源賦存量は、降水量から蒸発散によって失われる水量を引いたものに面積を乗じた値で、平均水資源賦存量は 1976～2005 年の平均値で、国土交通省水資源部調べ。出典：国土交通省、2012a

②水温・水質変化

全国の公共用水域（河川・湖沼・海域）の過去約 30 年間の水温変化を調べたところ、4,477 観測点のうち、夏季は 3,244 地点（72%）、冬季は 3,654 地点（82%）で水温の上昇傾向が認められた。水温変化は、様々な自然的・人為的要因が関係するが、気温変化もその一因であると考えられる²²⁾。

水温の上昇に伴う水質の変化も指摘されている。例えば、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があることが報告されており³⁶⁾、水環境や水資源に悪影響を及ぼすと考えられる。また、湖などの循環への影響も指摘されている⁶⁸⁾。滋賀県の琵琶湖では、冬季には通常表層水の冷却と融雪水の流入によって湖水の全循環が起こり、深層にも酸素が供給される。しかし、暖冬となった 2007 年は、例年 2 月頃に起こる全循環が 3 月下旬まで起こらず、湖底付近まで十分な酸素が届かない状態が長く続いた。溶存酸素濃度が低いと、富栄養化の原因となるリンが湖底から溶出しやすい状態となるため、水質が悪化したり、湖内の生態系にも悪影響を及ぼす恐れが指摘されている（図 3.2.5）。

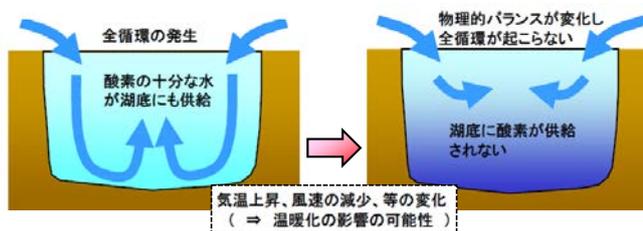


図 3.2.5 湖における全循環とその変化

出典：国土交通省、2008a をもとに作成

(2) 将来

① 渇水・水量変動

気候変動に伴う将来の日本付近の降水量変化については、まだ不確実な部分が多いものの、無降水日数の増加（第 2 章 図 2.2.16）や積雪量の減少（第 2 章 図 2.2.17）による渇水の増加が予測されている。図 3.2.6 は、全国の年超過確率 1/10 渇水流量（コラム 14 参照）の将来増加比を予測した研究例である。これによると、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恐れがある。また、河川の源流域において積雪量が減少すると、融雪期に生じる最大流量が減少するとともに、そのピーク時期が現在より早ま

ることが想定される（図 3.2.7）。これにより、需要期における河川流量が減少すると考えられる。

コラム 14 「年超過確率 1/100 の現象」とは？

しばしば耳にする「100 年に 1 度の現象」という言い方は、誤解を招きやすい表現であり、正確には「年超過確率 1/100 の現象」を意味する。例えば洪水の場合、そのような洪水現象が「100 年に 1 度の頻度で生じる」ということではなく、「その規模を超える洪水現象が発生する確率が毎年 1% ある」という意味である。このため、「100 年に 1 度の洪水現象」が 1 年に複数回発生する場合もあれば、100 年を超えて発生しない場合もあり得る。

防災分野では、このような「年超過確率〇〇」の大雨や洪水を想定して防災計画が作成されていることが多い。しかし仮にこのような大雨が頻繁に続く場合は、以前とは気候が変化している可能性があり、その想定を再検証する必要がある。

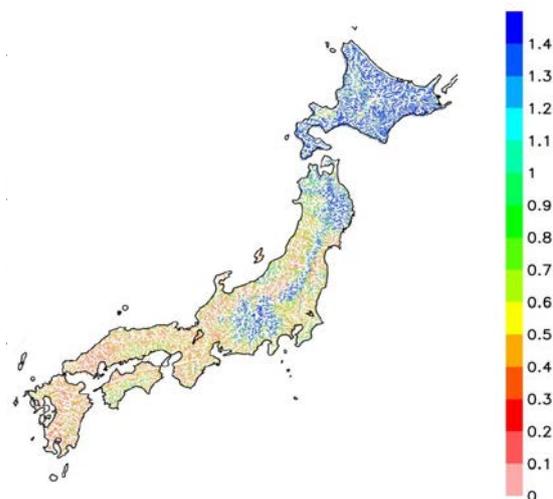


図 3.2.6 年超過確率 1/10 に対応する渇水流量の変化比率（21 世紀末）

気象研究所全球気候モデル (MRI-AGCM 20km)、SRES A1B シナリオを利用 (SRES シナリオについては 2.2 節 (1) 気候変動予測と将来シナリオを参照)。現在気候 (1979-2003 年) に対する 21 世紀末 (2075-2099 年) の変化比率を示す。なお、台風の到来頻度が変化することが渇水流量変化の大きな要因と考えられるが、台風到来頻度が元々相対的に少ない東海・関東以北では、不確実性がやや大きい点に留意が必要である⁶²⁾。出典：立川ら、2011

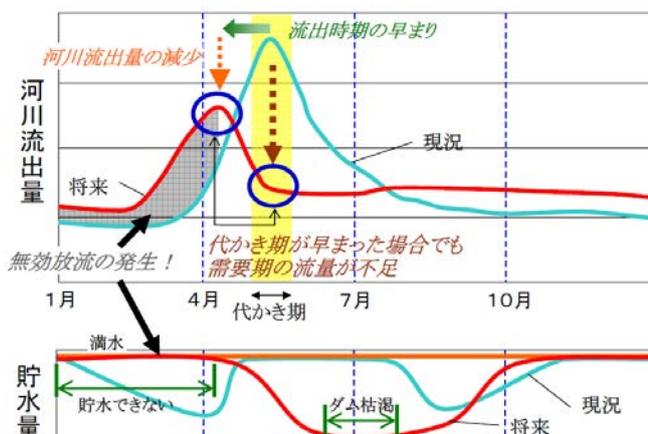


図 3.2.7 少雪化に伴う河川流量と
ダム貯留量の変化

積雪量の減少及び融雪水の早期流出により、春先(4~5月)の河川流量が減少する。また、満水状態に達して貯留されずにそのまま下流に放流される「無効放流」も発生する。

出典：国土交通省、2008a

②海面水位上昇

気候変動に伴い、長期的に世界の海面水位が上昇すると予測されている(第2章 2.2.7 海面水位参照)。一方、日本周辺の海面水位は、周期的変動が顕著で、かつ海域によって変化の大きさが異なる。海面上昇に伴う島嶼や沿岸での地下水への塩水浸入^{54), 79)}は、土地利用の変化など他の要因と合わせて起こることが指摘されているが¹¹⁹⁾、離島などで地下水を飲料水や農業用水などに利用している地域では、利用可能な水量が減少する恐れがある。また、河川への塩水の遡上により、勾配が緩やかな河川においては、河川水の利用が困難になる恐れがある。

③水温・水質変化

気候変動が水温・水質等に及ぼす影響要因と相互の関連は非常に複雑であり、影響発生の有無、頻度、程度を正確に予測することは困難であるが、環境省(2013)によれば、現在気候(1973~2003)から将来気候(2030~2039)にかけて平均気温が約1℃上昇した場合、年平均水温は、雄物川(秋田県)では約0.3℃程度上昇、琵琶湖では表層で1.1℃~1.3℃程度上昇し、湖水の全循環不全やその影響による下層の溶存酸素濃度の低下等が予測されている。

3. 2. 3 水災害・沿岸

気候変動の影響でリスクが増大しうる水災害としては、大雨の頻度増大による河川の洪水、内水氾濫や土砂災害と、海面水位の上昇や台風の強大化による高潮等の浸水害が挙げられる。また、これまでになかったような強い雨による災害の発生も懸念される。

(1) 現状

①大雨災害

第2章(図2.1.10、コラム6)でも述べたように、大雨については、日降水量200mm以上の日数は増加傾向にあり、時間降水量50mm以上の発生回数も近年増加傾向が明瞭である。

宅地等の浸水面積の経年変化(図3.2.8)で見ると、年毎の変動はあるものの減少傾向が見られる。こうした被害の減少は、治水対策や下水道等の整備による都市浸水対策等が進められてきたことも大きな要因である。ただし、大河川においては年超過確率1/30~1/40程度、中小河川においては年超過確率1/5~1/10程度の規模の降雨に対して防御する計画となっているが、防御されている区域の割合は約63%であり⁴⁷⁾、このような計画上の治水安全度は、現在の気候における大雨に対しても十分なものとはなっていない。

また、浸水面積は減少している一方で、氾濫域への資産集中が進んだため、浸水面積あたりの被害額は増加傾向にあり、ひとたび氾濫が起きた場合には被害が深刻化する傾向にある。さらに近年、都市部において大雨による内水氾濫¹⁶⁾が頻発し、人口や都市機能の集積した地区等において、毎年甚大な浸水被害が発生している。したがって、気候変動による大規模洪水や内水氾濫の発生頻度が上昇すると、現状よりも被害額が大幅に増大するおそれがある。

¹⁶⁾ 内水氾濫：市街地などに降った雨を下水道や排水路だけでは流しきれなくなり、建物や道路などが水につかってしまう現象。

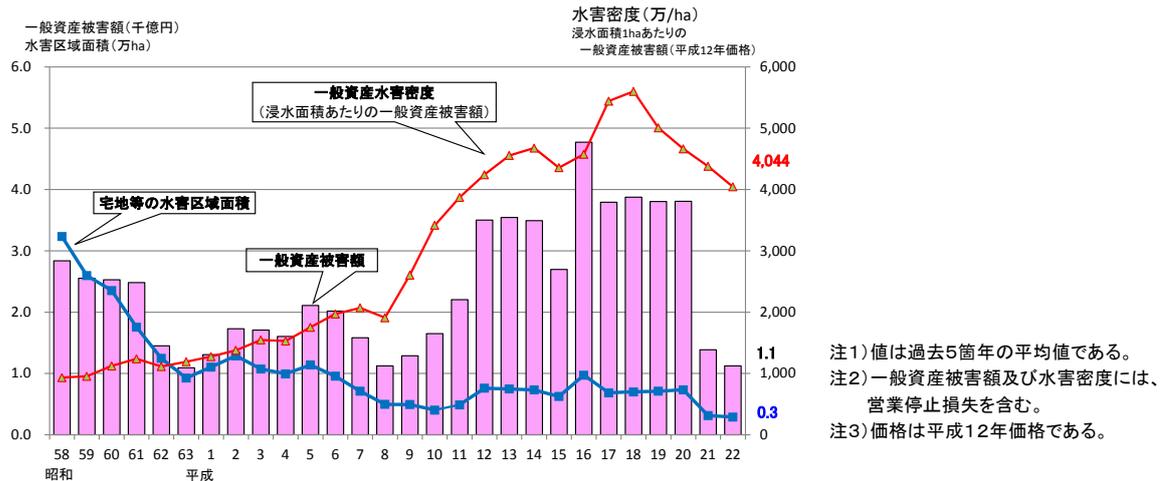


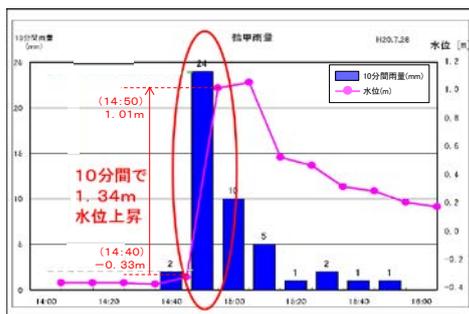
図 3.2.8 日本の気象災害による宅地等の浸水面積(青線)と浸水面積当たりの被害額(赤線)と一般資産被害額(棒グラフ)の経年変化 出典：国土交通省水管理・国土保全局、2011c より国土交通省作成

コラム 15 近年における水災害事例

近年の短時間強雨や台風による被害事例を示す。こうした気象災害の一つひとつは気候変動と直接に関係を論ずることはできないが、気候変動に伴ってその発生頻度や強度が変化する可能性がある。

◆近畿地方での局地的大雨(2008年7月28日)

兵庫県南部で発生した積乱雲により、都賀川(神戸市)流域周辺では、特に14時40分からの10分間は強烈な降雨となった。都賀川甲橋水位観測所の水位は、わずか10分程度で1m以上も上昇した。河川敷にいた市民が水に流され、児童を含む5名が亡くなった。降り始めから約15分後のことであった。



神戸市都賀川(甲橋水位観測所)における雨量・水位データ(左)、モニタリングカメラ画像(右)

提供：国土交通省 第1回中小河川における水難事故防止検討WG兵庫県説明資料より

◆台風第12号による被害(2011年8月~9月)

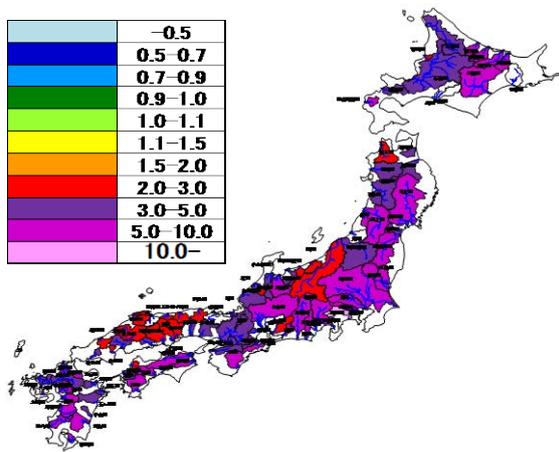
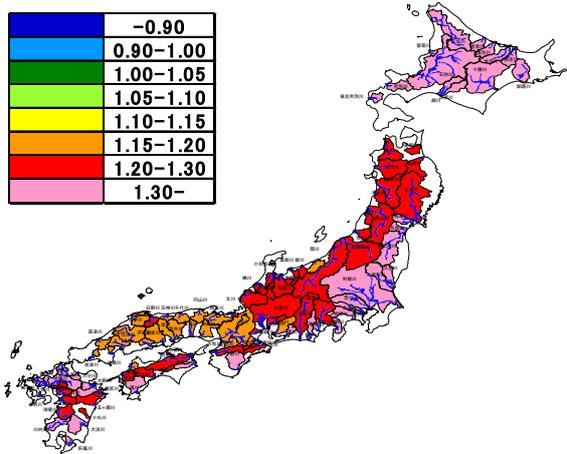
2011年の台風第12号は大型で動きが遅かったため、8月30日~9月6日に西日本から北日本にかけて、広い範囲で記録的な大雨となった。紀伊半島の一部では解析雨量*で2,000mmを超え、熊野川では観測史上最大の流量を記録した。土砂災害、浸水、河川のはん濫等により死者81名、行方不明者16名となり、北海道から四国にかけて床上・床下浸水、田畑の冠水、鉄道の運休など交通障害が発生した。

*解析雨量：気象レーダーとアメダス等の雨量計観測値を組み合わせて、雨量分布を細かく解析したもの



台風第12号による雨量(左)、三重県南牟婁郡紀宝町熊野川の越水状況(右)

出典：統一河川情報システム/国土交通省、2012b



	豪雨量倍率	氾濫可能性倍率
4モデル 平均値	1.16	2.87
GCM20 前期	1.12 (0.96~1.24)	2.04 (0.75~4.55)
GCM20 後期	1.12 (1.03~1.24)	2.17 (1.20~6.67)
RCM5 前期	1.09 (0.89~1.32)	1.79 (0.34~7.69)
RCM5 後期	1.26 (1.17~1.42)	4.35 (2.00~12.50)

カッコ外の数値：流域別倍率の中央値
 カッコ内の数値：同最大・最小値

図 3.2.9 流域別の豪雨量倍率(RCM5 後期)(上)、流域別の氾濫可能性倍率(RCM5 後期)(中央)、豪雨量倍率と氾濫可能性倍率(下)

SRES A1B シナリオを利用。倍率は将来気候(2075~2099)の氾濫発生確率を現在気候(1979~2003)の氾濫発生確率で割ったものの中央値。提供：国土交通省

(2) 将来

①大雨災害

図 3.2.9 は、全国の 1 級河川 109 水系における年最大流域平均雨量¹⁷の変化率(以下、豪雨量倍率とする)と、河川の最終整備目標を超える洪水が起こる年確率の変化率(以下、氾濫可能性倍率とする)を分析した研究例である。これによると両変化率ともに全国で増加しているが、氾濫可能性倍率の増加率(約 1.8~4.4 倍)の方が、豪雨量倍率の増加率(約 1.1~1.3 倍)よりも大きくなっている。これは、豪雨の増加割合よりも、治水施設の能力を超える河川流量の増加割合の方が大きくなることが多いため、それに伴い氾濫発生への恐れも高まることによる。

②斜面崩壊

図 3.2.10 は、現在に比べて 2050 年と 2100 年で、都道府県別に斜面崩壊の発生確率がどの程度変化するかを予測した研究例である。関東北部から東北南部、東北日本海側から北陸地方を中心に、斜面崩壊確率の上昇が見込まれている。

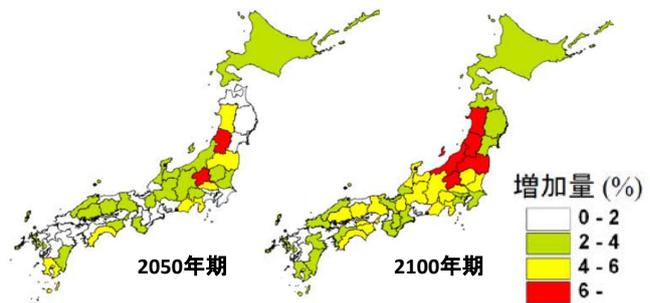


図 3.2.10 斜面崩壊発生確率の増加量

現在気候(1971-2000年)に対する 2050 年(2046-2065年)、2100 年(2081-2100年)の増加量。斜面崩壊発生確率モデル¹²⁾と温暖化政策支援モデル¹⁰⁰⁾、SRES A1Bシナリオを利用。出典：川越ら、2010 年より抜粋

③沿岸環境の変化

三大湾(東京湾・伊勢湾・大阪湾)周辺には、ゼロメートル地帯が広がっており、現在 388 万人が暮らしている。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(図 3.2.11)。

図 3.2.12 は、日本近海における年超過確率 1/50

¹⁷ 流域平均雨量：流域全体に降った推計雨量のこと。地点雨量から求める。

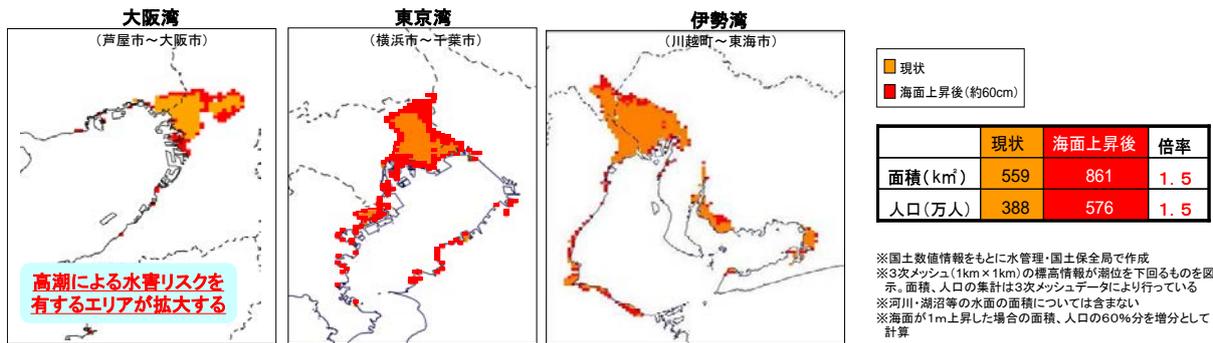


図 3.2.11 高潮リスクを有するエリアの変化

約 60cm の海面上昇とは、AR4 で 21 世紀末に予測される全球平均海面水位の上昇の予測の上限 (A1FI シナリオ: 59cm) に相当する。現在気候は 1979-2003 年、将来気候は 2075-2099 年。 出典: 国土交通省、2008b

波高の分布の将来変化の研究例である。現在気候では、南西諸島の東方海上とオホーツク海で比較的大きな値を示しているが、将来気候では、高い波高を示す地域が関東の南方海上まで広がるほか、その極値も増大すると予測されている。これは主に、太平洋における将来の台風強大化と、発生・来襲域の北東方向への拡張に起因するものと考えられ、特に太平洋沿岸地域では、高波によるリスクが高まる可能性がある。

台風の強大化や経路の変化にともなって、従来高潮災害が生じにくかった地域で高潮災害が生じたり、頻度分布が変化したりする可能性がある。

図 3.2.13 は、予測された風及び気圧データから高潮計算を行い、得られた現在気候と将来気候における年超過確率 1/25 に相当する高潮偏差をそれぞれ示した研究例である。

また、海岸侵食についても、気候変動の影響が出てくると考えられている。海岸侵食は、海底で生じる岸向きと冲向きの土砂移動の平衡が崩れること等によって生じる。これが、海面水位の上昇に伴って平衡状態が変化していくことにより、

上昇分以上に汀線が後退する。さらに、台風の激化に伴い高波浪が増加すること等によって、海岸侵食がより進行していくと想定される。その一方で、土砂生産量や流出量の変化により供給が増える可能性があるなど、不確実性が高い。

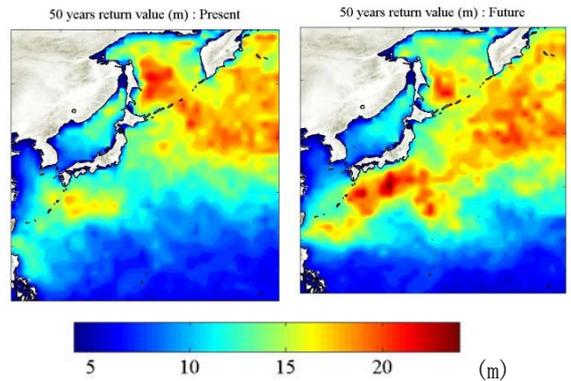
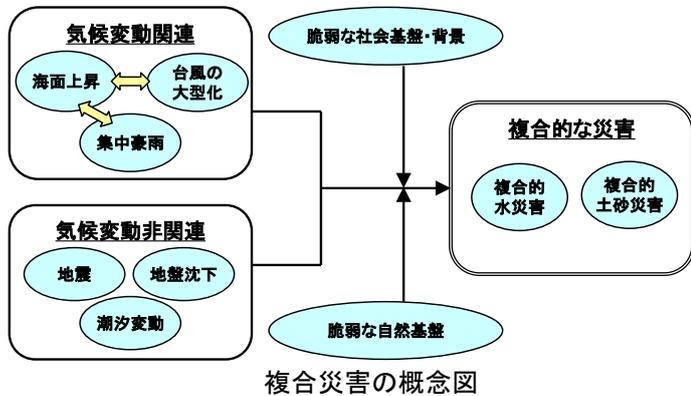


図 3.2.12 年超過確率 1/50 に相当する日本近海の予測波高 (m) (左: 現在気候、右: 将来気候)

気象研究所全球気候モデル (MRI-AGCM 20km)、SRES A1B シナリオを利用。現在気候は 1979-2003 年、将来気候は 2075-2099 年。 出典: 森ら、2010

コラム 16 複合災害について

「複合災害」とは、気候変動の影響で生じる海面水位の上昇や集中豪雨と、地震や地盤沈下といったそれ以外の現象が合わさって生じる災害のことである。例えば、海面水位の上昇と豪雨によって地下水位が上昇したところで地震があると、液状化のリスクは非常に高くなる。適応においては、こうした複合的な被害についても考慮に入れる必要がある。



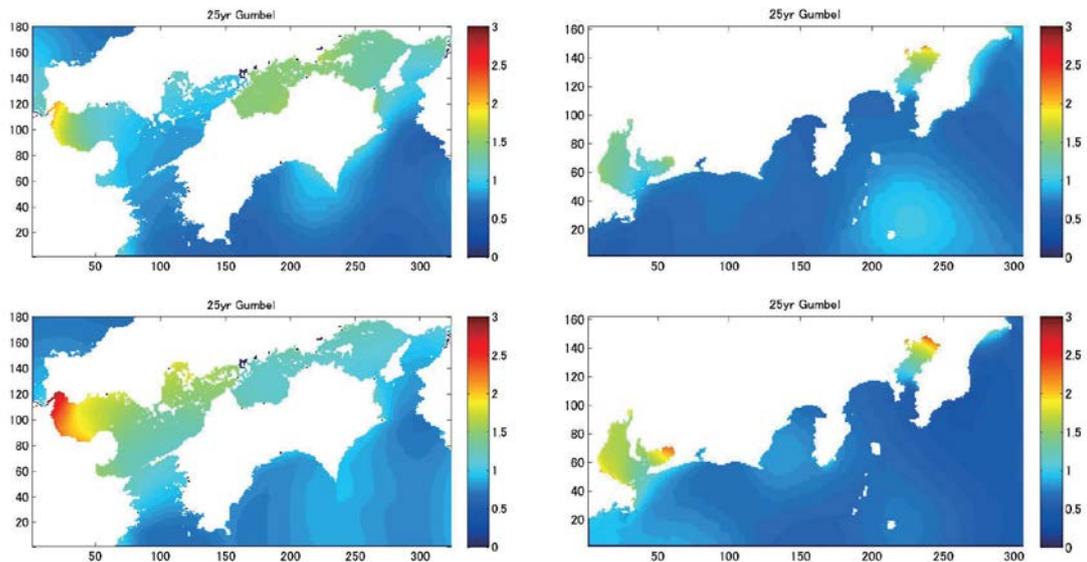


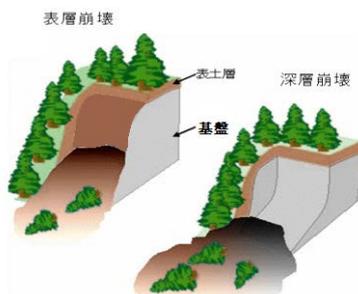
図 3.2.13 年超過確率 1/25 の高潮偏差 (上：現在気候、下：将来気候実験)

気象研究所全球気候モデル (MRI-AGCM 20km)、SRES A1B シナリオを利用。
現在気候は 1979-2003 年、将来気候は 2075-2099 年。出典：安田ら、2011

コラム 17 深層崩壊について

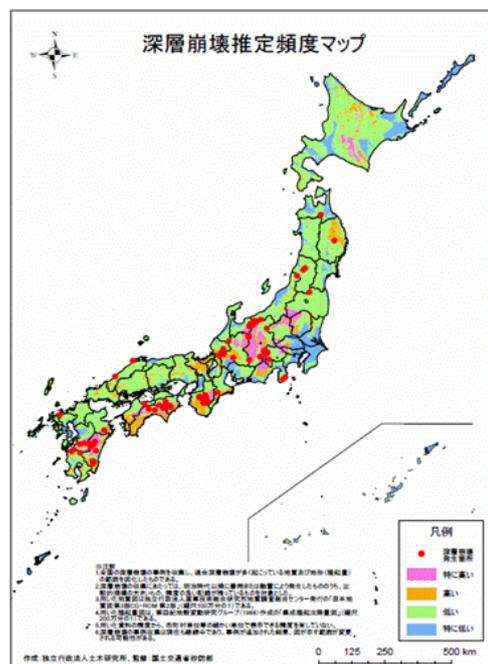
深層崩壊とは、山地及び丘陵地の斜面の一部が表土層（風化の進んだ層）だけでなく、その下の基盤まで崩壊する現象であり、崩壊規模が比較的大きいものをいう。深層崩壊は、土砂災害の中でも発生頻度が低いが、平成 20 年岩手・宮城内陸地震や、平成 23 年台風第 12 号による紀伊半島における河道閉塞等、大きな被害を引き起こすことが多い。

深層崩壊の危険度は、地盤の状態と豪雨の影響との重ねあわせで決まるため、その両者の評価が必要となる。右図は、平成 22 年 8 月に国土交通省から公表された「深層崩壊推定頻度マップ」で、これは過去の深層崩壊発生箇所と地形・地質条件との関連を統計的に分析したものである。もともと地盤の状態から危険度が高い場所では、気候変動によって降水量が増加すると、深層崩壊のリスクがさらに増す可能性がある。



上図：深層崩壊推定頻度マップ 出典：国土交通省、2010b

●：深層崩壊発生箇所、推定頻度が■特に高い／■高い／■低い／■特に低い



左図：表層崩壊と深層崩壊の模式図 提供：国土交通省

3. 2. 4 自然生態系

気候変動による動植物への影響は既に現れており、植生の変化、野生哺乳類の増加や分布拡大、一部昆虫類の北上、サンゴの白化や群集変化等が確認されている。将来は、このような影響がさらに進行することが予測されている。

気候変動による生物多様性への影響を特定することは難しい。このため生物多様性の監視体制の取組が進んでいる。

(1) 現状

①森林

筑波山では、落葉広葉樹が減少し、温暖な地域に分布する常緑広葉樹が増えている⁶³⁾。筑波山南斜面には老齢な天然林が残り、中腹にアカガシ(図 3.2.14)が優占する常緑広葉樹林、標高約700mから山頂(876m)にブナが優占する落葉広葉樹林が広がっている。

1975年と2005年の空中写真(図 3.2.15)を用いて常緑広葉樹の分布図を作成・比較したところ、すべての標高で常緑広葉樹の増加が認められ、過去30年間に落葉広葉樹から置き換わったことが示された。筑波山の南斜面の森林は極相林¹⁸⁾であると考えられるため、この森林変化は、気温上昇の影響である可能性が高いと考えられている。

八甲田山系では、オオシラビソ(図 3.2.16)の分布について、1967年と2003年の航空写真を用いた解析が行われた¹²⁴⁾。その結果、標高1000m以下の区域で密度の減少が見られた一方、1300m以上で増加していた。この変化も、気温上昇に伴う変化であると推定される。

②昆虫

暖かい気候を好み、東南アジアに広く分布するナガサキアゲハ(図 3.2.17)の分布北上が、冬季の気温上昇と強い関連があることは報告されていた³³⁾。環境省が2008年から開始した市民参加型の調査¹⁷⁾によっても、1998年までの分布と比較すると、日本海側の分布は大きく変わっていないものの、太平洋側で分布の北限が愛知県南部から茨城県・栃木県へと移動し、北へ分布が拡大していることが明らかになった。また、この市民参

加型調査によれば、暖帯から熱帯域にかけて広く分布し日本が分布の北限となるツマグロヒョウモンについても、1980年代までは近畿地方より西に分布していたが、その後北上を続け、関東地方での定着が確実となり、2000年までの分布確認では記録されていなかった岩手県、宮城県、福島県と茨城県北部からも確認報告があった。



図 3.2.14 気温上昇による分布拡大が確認されたアカガシ 写真提供：福井聡



図 3.2.15 筑波山の空中写真における南斜面125haプロットと常緑広葉樹の樹冠(緑) 出典：田中ら、2012



図 3.2.16 気温上昇により分布域が高地へ移行するオオシラビソ 写真提供：中静透

18 極相林：樹種の構成がほとんど変化しない状態(平衡状態)に達した森林のこと。

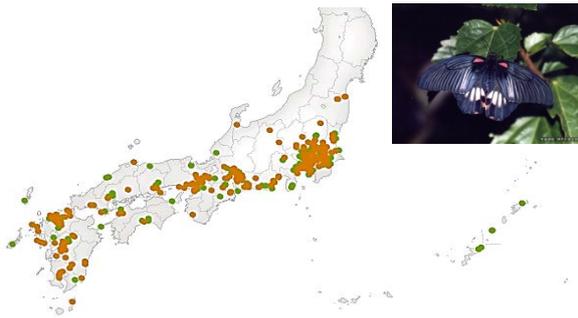


図 3.2.17 気温上昇により分布域が北上しつつあるナガサキアゲハ (●2010年度、●2009年度)
地図は環境省¹⁷⁾、写真提供：伊丹昆虫館

③哺乳類

近年、ニホンジカやイノシシなどによる農作物等への被害が広がっており⁷²⁾、ニホンジカ(図 3.2.18)については、木々の食害やそれに伴う森林生態系への影響、下層植生の消滅による表土流出等の可能性も指摘されている⁹⁰⁾。こうしたニホンジカやイノシシの分布には拡大傾向がみられ(図 3.2.19、図 3.2.20)、その要因として、山村地域の人口減少、耕作放棄地の増加、狩猟者の減少等に加え、気温上昇による積雪条件の変化が挙げられる。

ニホンジカやイノシシの分布は、森林の連続性と積雪が制限要因であることから、温暖化に伴う積雪域の変化による分布域の拡大が予測されている。栃木県日光市一帯に生息するニホンジカの越冬地について、1980年代前半と1990年代初期を比較したところ、多雪地帯である奥日光への越冬地の拡大が確認された。これは奥日光の積雪量が1980年代以降に減少したことと、冬季の気温上昇によるものであると推察された⁸⁹⁾。



図 3.2.18 気温上昇が一因で分布を拡大しつつあるニホンジカ 写真提供：中静透

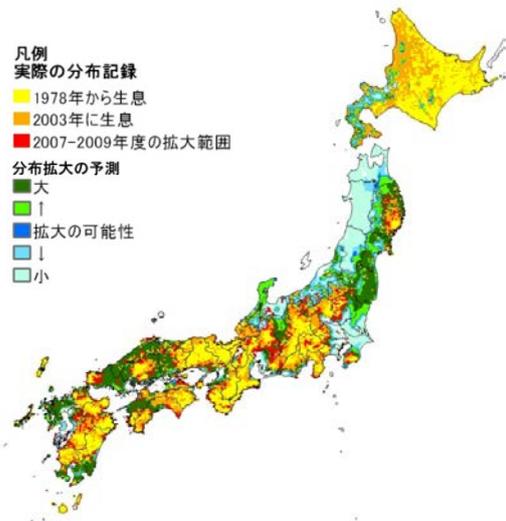


図 3.2.19 ニホンジカ分布図 出典：環境省、2012a
(■：2007-9年度の拡大範囲、■：分布拡大の可能性が大)

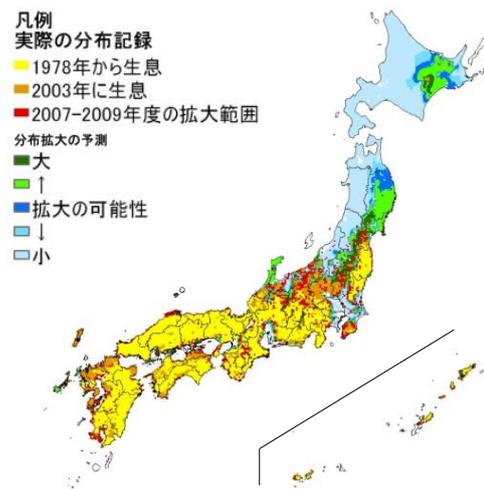


図 3.2.20 イノシシ分布図 出典：環境省、2012b
(■：2007-9年度の拡大範囲、■：分布拡大の可能性が大)

④鳥類

日本で越冬するコハクチョウの越冬数は、1980年代に入って増加を続け、2008年には40,485羽(1975年比で約23倍)に達しており、繁殖地や渡り中継地及び越冬地での気温上昇による可能性が高いとする報告がある⁷⁷⁾。ただし、同報告では中継地の一部で行われている給餌の影響も検討する必要があるとしている。

環境省が2003年度から開始した「モニタリングサイト1000」(コラム18参照)の第一期とりまとめによれば、森林に生息する鳥類群集は、気候帯や環境によって区分され、それらの区分を説

明付ける種として、寒冷な森林に生息するセンダイムシクイ、ゴジュウカラ、ヒガラ、比較的温暖な森林に生息するヤマガラ、メジロ、シロハラ等が挙げられた。これらの種は、気候変動による環境変化で分布や個体数が変化する可能性があり、今後のモニタリング結果が注目されている¹⁵⁾。

⑤海洋生物

第2章で述べたように（図 2.1.12）、太平洋、大西洋などで海洋酸性化が起きていることが報告されている。海洋の酸性化は、カルサイトやアラゴナイト¹⁹⁾など炭酸カルシウムの殻を形成する生物に影響を及ぼすが、その中でもpHの低下によってより溶解しやすいアラゴナイトの殻を作るサンゴ等への成長阻害が懸念されている。

海水温の上昇による生物の分布域の変化や、サンゴの白化、藻場の消失・北上等も確認されている。石垣島と西表島の間位置する石西礁湖では、1998年以降、サンゴの深刻な白化現象（図 3.2.21、図 3.2.22）が増加し、造礁サンゴ類の被度が低下した。サンゴ白化の原因のひとつとして、サンゴ内部の褐虫藻が海水温 30℃以上で色素を失うことは知られていたが、その原因は不明であった。近年の研究¹²⁵⁾では、色素を失うメカニズムの一部が解明され、高温耐性の褐虫藻を共生させることで白化を抑制させる可能性も示唆されている。また、高知県沿岸海域における造礁サンゴ群集の分布域は、長期的には顕著に増加した⁸⁰⁾。

⑥回遊魚

サケは、気候変動の影響を顕著に受けているとする報告がある¹¹⁾。1980年代後半～2000年代はじめにかけ、シロザケの成長は非常に良かった。そこでサケの成長と生残、気候変動の様々な要因を解析したところ、春と秋におけるオホーツク海の表面の水温が高くなることで、サケの生残率が高まり、資源量を増やしていることが示唆された。しかし将来的には、ベーリング海でサケの分布域が非常に狭くなり、環境収容力²⁰⁾も減少するため、

¹⁹⁾ カルサイト、アラゴナイト：カルサイトは方解石、アラゴナイトはアラレ石とも呼ばれる鉱物である。いずれも炭酸カルシウム（CaCO₃）から成るが、結晶の形が異なり、pHの低下に対する影響の受けやすさにも違いがある。

²⁰⁾ 環境収容力：ある環境において、そこに継続的に存在できる生物の最大量のこと。

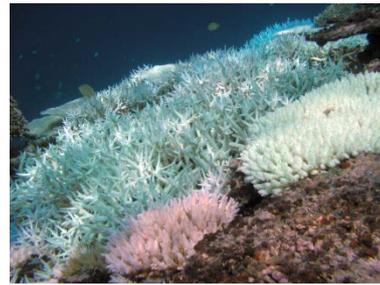


図 3.2.21 白化したサンゴ 写真提供：環境省

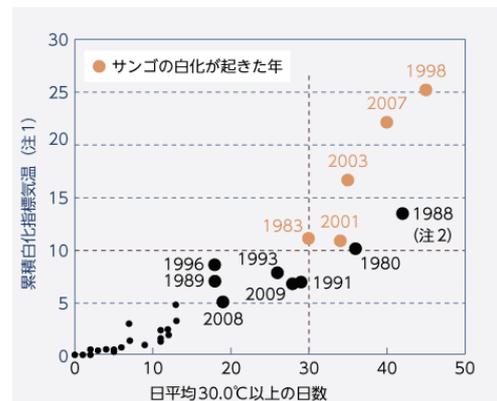


図 3.2.22 石西礁湖におけるサンゴの白化と温度との関係（注1）「累積白化指標気温」とは、気温から30℃を差し引いた値の合計を示す。（注2）1988年も危険範囲にあるが、この年はオニヒトデの食害で気温の影響を受けるサンゴ自体がほとんどなかった。

出典：環境省、2011b 元図は Okamoto *et al.*, 2007

サケの小型化・高齢化が顕著になると予想されている¹⁰⁶⁾。

（2）将来

①森林

照葉樹林の分布域の北限及び標高上限の優占種であるアカガシへの気候変動の影響を評価した研究¹¹⁵⁾では、気候モデルによる2081～2100年の気候変動予測をもとに、気候条件、土地利用の考慮、移動距離の考慮を入れた場合の潜在生育域が予測された。気候条件のみから推定される潜在生育域（現在：約15.1万km²）は、気温の上昇に伴い、東北地方など緯度の高い地域や九州、中国、四国地方の標高の高い地域に拡大し、その面積は約17.6万km²に拡大すると予測される。一方、土地利用を考慮して自然植生以外の地域を除いた場合、現在の生育域の面積（約7.5万km²）は、気候的潜在生育域の面積の49.5%と推定されている。土地利用を考慮し、かつ現在の潜在生育

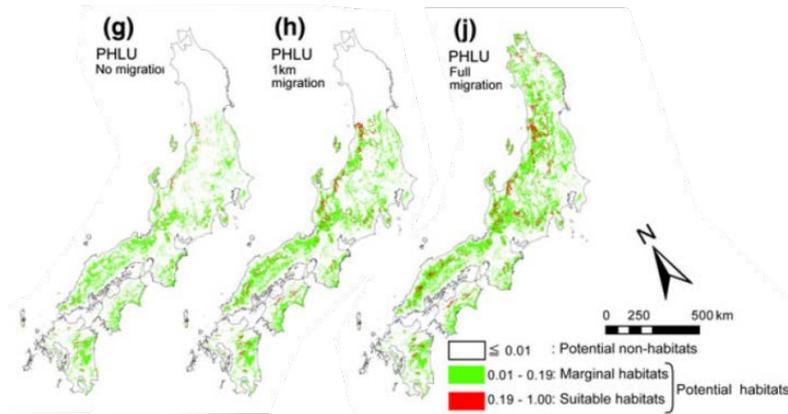


図 3.2.23 気候モデル(MIROC)に基づくアカガシの分布予測図 SRES A2 シナリオを利用。2081-2100 年における予測。□:潜在生息域ではない、■、■:潜在生息域 (g): 潜在生育域に土地利用を考慮し、分布移動なしと仮定した場合。(h): 同、分布移動 1km と仮定した場合。(j): 同、あらゆる場所に移動すると仮定した場合。出典: Nakao *et al.*, 2011 より抜粋

域からの分布移動が今後 100 年間で 1km であると仮定した場合は、潜在生育域の面積は約 6.0 万 km^2 となり、現在より減少すると予測された(図 3.2.23 の(h))。アカガシは、将来、東北地方を北上する可能性は低いが、九州、中国、四国地方等において高標高域へ分布拡大し、ブナなど落葉広葉樹と徐々に置き換わると推定されている。

②淡水魚

イワナ類の本州の生息適地は、東北地方から中部地方までの山間部に広く分布しているほか、中国地方や紀伊半島の高標高域にも適地が存在する。水温が 3°C 上昇するとした予測では、中部山岳以西の西日本の適地はほぼなくなり、東日本の生息適地は高標高地のみに限られる。北海道の生息適地は、石狩平野以東や十勝平野などの低標高の平野部を除く北海道全域に広く分布する。仮に水温が 3°C 上昇すると、石狩平野以西の適地はほとんど無くなり、石狩平野以東も石狩山地、日高山地、知床半島等の高標高地に分断される(図 3.2.24)。

③海洋生物

海洋の酸性化は、カルサイトやアラゴナイトなど炭酸カルシウムの殻を形成する生物に影響を及ぼすため、気候変動に伴うサンゴ礁の適温海域への移行を妨げる方向に働くと予測されている¹³³⁾。海水温と酸性度に着目し、気候変動予測シナリオを用いて日本沿岸のサンゴ礁の分布域について将来予測を行ったところ、分布域は北上するものの、同時に、白化現象の増加域とサンゴ

骨格の形成に適さない酸性化域に挟まれる形となった。結果として、日本沿岸の熱帯・亜熱帯サンゴ礁の分布域は、2020~30 年代に半減し、2030~40 年代には消失すると予測されている(図 3.2.25、図 3.2.26)。

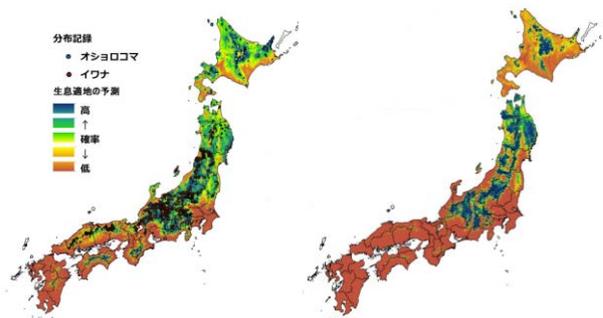


図 3.2.24 イワナ類の生息適地 左: 現在、右: 水温が 3°C 上昇した場合 出典: 環境省、2012c

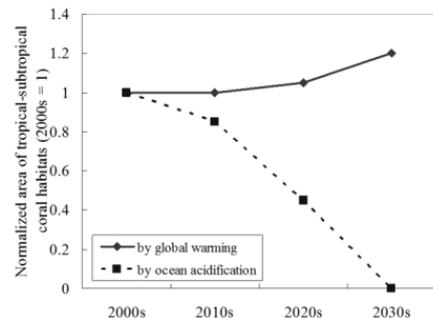


図 3.2.25 熱帯・亜熱帯性サンゴ礁の生息域の変化 (2000~2030 年代)

SRES A2 シナリオを利用。海水温のみの予測では増加するが(黒線)、一方で酸性化が進むため生息域は消滅する(破線) 出典: Yara *et al.*, 2012 より抜粋。

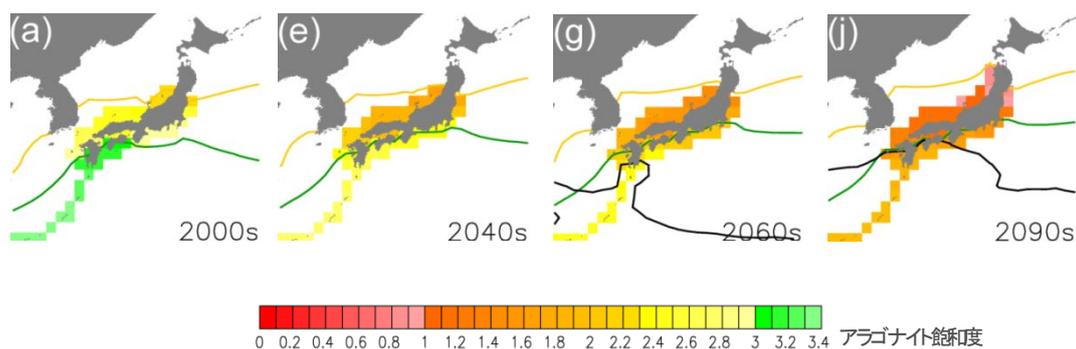


図 3.2.26 現在(2000年)と将来(2040、2060、2090年)のサンゴ礁の北限の変化

SRES A2 シナリオを利用。値は4つの気候モデル (IPSL, MPIM, NCAR CSM1.4, NCAR CCSM3) の平均値を示す。緑線：熱帯/亜熱帯サンゴ礁の北限、黄色線：温帯サンゴの北限。黒線：サンゴ生息に不適とされる海水温 30°C。メッシュ：酸性度の指標 (アラゴナイト飽和度：スケールバー参照) アラゴナイト飽和度は二酸化炭素が海に溶け込むことで低下し、1を下回るとアラゴナイトは溶解する。出典：Yara *et al.*, 2012 より一部抜粋

コラム 18 生態系のモニタリング

気候変動による生物多様性への影響を特定することは難しい。これは、人間活動や開発、外来種による生物多様性への影響とも結びつき、複合的に作用する特殊性があることに起因する。そのため、生物多様性の監視体制(モニタリング)の充実化を図り、影響が深刻化する前の段階から調査研究に着手することが重要である。

現在、日本のモニタリング機関として、JaLTER 及びモニタリング 1000 の整備が進みつつあり、観測を通して気候変動の影響と生態系応答の調査研究が行われている。

JaLTER

学術的あるいは長期の生態学研究を LTER(Long-Term Ecological Research)と呼び、その研究サイトを結ぶ国際ネットワークが 1993 年に結成された。2006 年には、国際長期生態学研究ネットワーク (ILTER) と連携する目的で、日本長期生態学研究ネットワーク (JaLTER) が結成され、2007 年に ILTER に加盟した。現在、森林、湖沼、草原、沿岸域の生態系を含む、15 のコアサイトと 24 の準サイトが参加している。なお、JaLTER は環境省のモニタリングサイト 1000 にも協力しており、数多くのサイトがモニタリングサイト 1000 に含まれている。

公式ホームページ：<http://www.jalter.org/>

モニタリングサイト 1000

国の多様な生態系に 1000 箇所程度のモニタリングサイトを設置し、生態系の指標となる動植物や基礎的な生態系の情報を 100 年以上にわたって蓄積し、生態系の重大な変化を早期にとらえ、迅速な保全施策に資することを目的としたものである。2003 年から、環境省自然環境局生物多様性センターが中心となって開始した。

公式ホームページ：<http://www.biodic.go.jp/moni1000/index.html>

なお、地球規模・地域(アジア域等)・国別にまたがる生物多様性観測ネットワークとして、GEO BON (Biodiversity Observation Network)、AP-BON (Asia-Pacific.)及び、国別 BON(日本は J-BON)がある。このうち、AP-BON は、リモートセンシング、生態学的プロセスの調査研究、種/遺伝子レベルの 3 レベルで観測を行い、多様性保全に関する政策に資することを目指している。2012 年 8 月には、AP-BON の観測結果が AP-BON ブック第 1 巻として出版された。

3. 2. 5 食料

気候変動が農林水産業に及ぼす影響は、地域や作物種、動物種によってさまざまである。大気中の二酸化炭素濃度の上昇は、作物の光合成を活発にし、収量を高める効果がある一方、温度の上昇による作物の生育期間の短縮や高温障害、品質低下、生育適地の変化などが懸念されている。我が国の農林水産業への気候変動の影響としては、水稻の高温障害、果実の着色不良、冬季の低温不足による発芽・開花障害、若木の凍害、家畜の体重変化や乳生産量の低下などが報告されている。

(1) 現状

① 水稻

高温障害に関する調査等から、心白粒、乳白粒など白未熟粒は出穂後約 20 日間に日平均気温が 26~27℃以上になると発生が増加し、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など、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。記録的な高温となった 2010 年は、登熟期間の平均気温は各地とも平年値を上回り、28~29℃に達した地域が多かった。米の内部が白く濁る白未熟粒の発生が多発し、一等米比率の著しい低下が各地で見られた(図 3.2.27)。また、北海道を除いて全国的に品質低下が著しく、特に北陸や北関東の一部の県での影響が大きかった。品種別に見ると、高温耐性品種(水稻では登熟期の高温に対する耐性を有する品種)が、従来品種と比較し品質低下の割合が小さかったことが報告されている⁷³⁾。

② 小麦

2010 年北海道の秋まき小麦は、平年比 65%という大幅な減収であった。要因として、春季の低温による穂数や穂長などの増加と、夏季の高温による登熟期間の短縮があげられている⁷⁰⁾。これは、単に平均的な気温上昇ではなく、季節による変動幅の大きさの違いが、作物生育・収量に大きな影響を与えることを示唆しており、今後十分に考慮する必要がある。

③ 果樹

夏季の高温・少雨が果樹生産に及ぼす具体的な影響として、強い日射と高温による日焼け果の発

生、高温が続くことによる着色不良等が知られている。全国的に記録的な猛暑となった 2010 年の夏は、高温・少雨により、各地でこれらの影響が平年より多く発生した。うんしゅうみかんの主産県の多くで日焼け果の多発、うんしゅうみかんと中晩かん類で梅雨前後の乾燥による生理落果や肥大・減酸の抑制がみられた。りんごでは、主産県の多くで日焼け果の発生や着色不良、ぶどうでも着色不良、果粒の軟化・萎れがみられた。

また、モモ等の落葉果樹は、比較的温かい地域でも凍害発生が報告されている。果樹が冬に向かう際に(低順化期)気温が高めに推移すると、耐凍性が発揮できず強い冷え込みに被害を受けたり、脱順化期に気温が高く推移すると、成長を開始し耐凍性が弱まり、その後の寒気による凍害発生の危険性が增大するとの報告がある⁵⁷⁾。

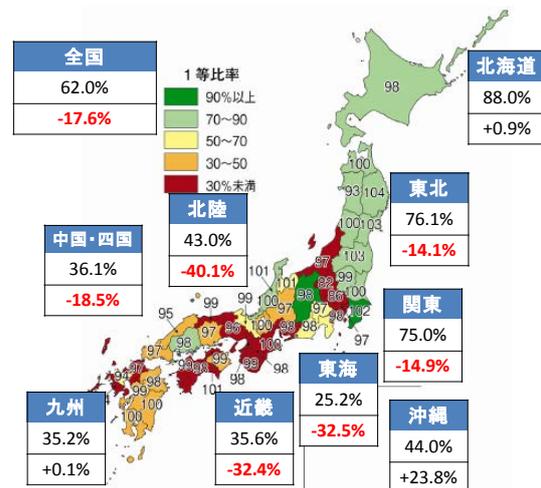


図 3.2.27 2010 年産水稻の作況、品質の状況

日本地図は県別水稻作況指数(地図内の県別の数値)、一等米比率(県別の色)。各地域の枠内の数値は 2010 年の一等米比率(上段)と過去 5 年間平均値からの偏差(下段)。農林水産省資料より作図(渡邊, 2012)。

④ 畜産

家畜生産の適温域はおおよそ、乳用牛(搾乳牛・ホルスタイン種) 0~20℃、肥育牛(去勢) 10~15℃、成豚 5~20℃、採卵鶏(白色レグホン) 13~28℃、肉用鶏(ブロイラー) 19~23℃である。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。暑熱環境下では、牛乳生産量の低下(図 3.2.28)や人工授精による受胎率の低下(図 3.2.29)がおり、酸化ストレスの進行が要因の一つとされている。

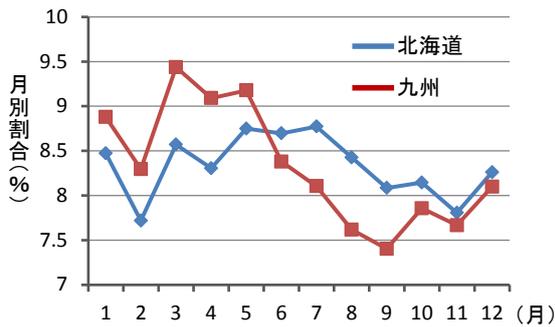


図 3.2.28 牛乳生産量の月別割合の推移 (2010年) 提供：農業環境技術研究所
平成 22 年度牛乳乳製品統計より作成

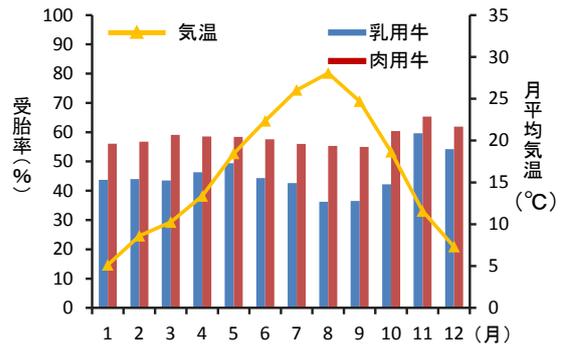


図 3.2.29 牛の人工授精による受胎率の季節変化 (2010年) 提供：農業環境技術研究所
平成 22 年度家畜改良事業団調査報告—九州地区より作成

⑤農業昆虫

気候変動は、害虫の分布域の変化を通して農業に影響を与える。ミナミアオカメムシは、イネ、ムギ、ダイズなど 32 科 145 種の植物を寄主とする害虫であり、1960 年代の分布域は、西南暖地の太平洋岸に限られていた。しかし、近年西日本の広い地域から関東の一部にまで分布域が拡大していることが明らかとなってきた(図 3.2.30)。本種の生息域は、1 月の平均気温が 5°C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⁸⁸⁾。

気候変動が水田動物群集に与える影響を、世代数の増加(気温上昇により世代更新が早まること)に着目して検討を行った研究例がある³⁵⁾。年平均気温 15°Cの関東地方で月平均気温が 2°C上昇したと仮定して、年間世代の増加を推定式によって求めた結果、クモ類は温度上昇への反応が鈍く世代数の増加は起こらない一方、寄生性の天敵や捕食者昆虫は、1~3 世代の増加が予想された。また、害虫のヨコバイ類、カメムシ類等は、0.5~1 世代の増加が見込まれるだけで、天敵類に比べ増加世代数は少ない結果が得られた。これに対して、斑点米カメムシ類の一部(カスミカメムシ類)及び海外から飛来するウンカ類は、世代増加の可能性が 2 世代弱と大きく、気候変動による発生量増加が懸念される。近年、イネ縞葉枯病ウイルスを媒介するヒメトビウンカの海外飛来も確認されており、ウンカ類の発生動向には注意する必要がある。

⑥水産

気候変動にともなって瀬戸内海においても冬季の水温が上昇し、1990 年代後半に入ると、熱



図 3.2.30 ミナミアオカメムシの分布状況

●：1960 年代の分布域 ●：2001 年以降に確認された府県
農林水産省・病虫害発生予察特殊報などから作図

帯性の有毒プランクトンの出現が新たに確認されている⁶⁵⁾。*Alexandrium tamiyavanichii*は、麻痺性貝毒の原因渦鞭毛藻で、日本では 1988 年に初めて相模湾油壺において確認された(図 3.2.31)。その後、1997、1998 年に沖縄県の塩屋湾で増殖し、これを摂食したミドリイガイが毒化した。瀬戸内海でも 1997 年に初記録され、1999 年にカキ、ムラサキイガイ及びアカガイの可食部から、それぞれ本種による麻痺性貝毒が検出された。2001 年には瀬戸内海のはほぼ全域で出現し、以後、瀬戸内海では毎年のように確認されている。このプランクトンは、海水温が 15°C以下になると死滅することから、冬季は海底泥中でシスト(休眠細胞)として生存し越冬していると考えられており、冬季の水温上昇によっては、シストの生残率が高まって出現頻度が増加し、貝毒が発生しやすくなると懸念されている。

第 2 章(図 2.1.13)でも示したように、日本周辺の海面水温は長期的にみると上昇しており、とりわけ日本海中部では上昇率が大きい(100 年あ

たり 1.72°C の割合)。このような日本海の水温上昇は、漁業資源へも影響を与えている。サワラは、体長 1m に達するサバ科の暖海性種で、主に東シナ海や瀬戸内海で漁獲されてきた。ところが、日本海の夏～秋季の水温が上昇した 1990 年代後半以降は、日本海での漁獲量が急増し、2006 年以降では、若狭湾沿岸域の京都府または福井県の漁獲量が日本で最も多くなっている（図 3.2.32）。

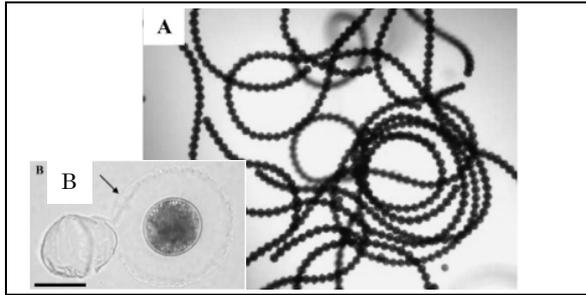


図 3.2.31 *Alexandrium tamiyavanichii* の栄養細胞 A は連鎖形成、B は形成シスト
出典：長井ら、2008 より抜粋

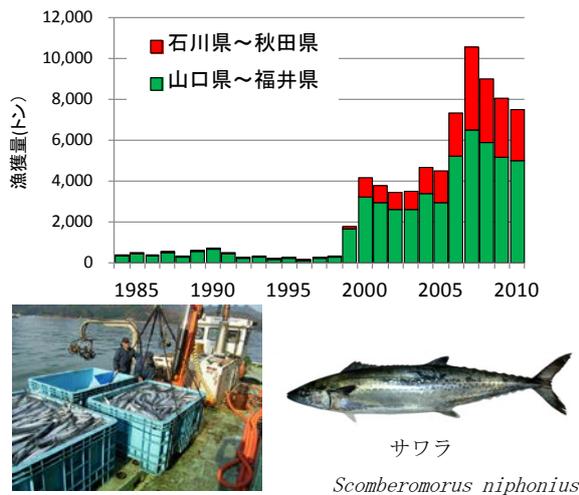


図 3.2.32 日本海におけるサワラの漁獲量の変化と京都府沿岸域におけるサワラの漁獲風景
出典：木所・戸嶋、2012 に我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産総合研究センター、2012）を加えて作成、サワラの漁獲風景は京都府海洋センター提供資料

一方、スルメイカ（秋季発生系群）は、資源水準が高水準を維持しているものの、日本海の水温上昇による分布の北偏化とともに、水温の高い夏～秋季に本州沿岸域では漁場が形成されにくくなった。その結果、夏～秋季の本州日本海沿岸域では、1990 年代後半以降、漁獲量が大きく減少（95%以上）した地域も見られる¹⁰⁸⁾。

（２）将来

①水稲

現在より約 200 ppm 高い二酸化炭素濃度下（平均 584 ppm）の実験区と、現在の二酸化炭素濃度の対照区において水稲を栽培したところ、収量は 16%増加したものの、整粒率（未熟米、割米を除いた整った米粒の割合）は 17%低下し、多数の白未熟粒が発生した。高温条件ではコメの外観品質の低下だけでなく、高二酸化炭素濃度条件が高温障害を悪化させることが明らかになった（図 3.2.33）。

寒冷地の稲作については、過去 70 年間の日本各地の気温は、年平均では昇温傾向が認められるが、夏の昇温量は、他の季節に比べて特に北日本では小さい。この知見に基づいたシナリオ（春は昇温し夏は昇温しない）での影響をモデルで解析した結果、品種や作期を変更しない条件では、春の昇温により発育ステージが前進し、障害型冷害のリスクが高まることが予測された⁵³⁾。

②畜産

気候変動が日本における家畜の生産性に及ぼす影響を評価した研究⁸⁷⁾によると、家禽につい

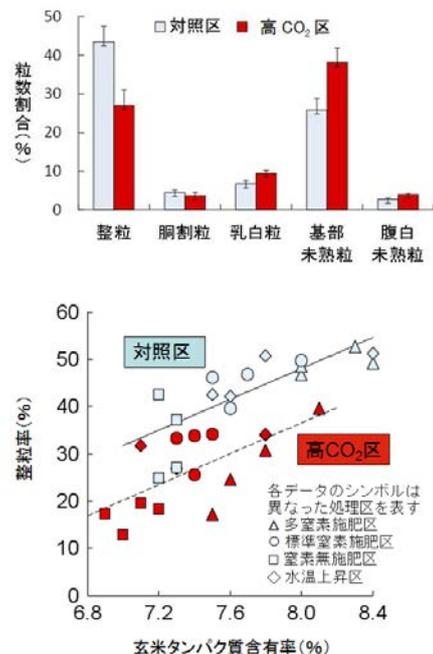


図 3.2.33 高二酸化炭素濃度がコシヒカリの玄米品質に与えた影響(上)と二酸化炭素濃度・温度・施肥水準がコシヒカリの整粒率に与えた影響(下)
出典：農業環境技術研究所、2011 を改変 原著は長谷川ら、2011

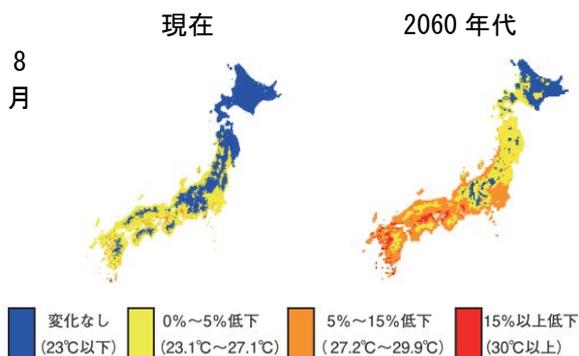


図 3.2.34 現在及び 2060 年代における家禽の産肉量の予測（月平均気温 23℃以下の増体日量と比較した低下割合）

気候変化メッシュデータ¹³⁴⁾を使用した予測値。プロイラーを 23、28 及び 33℃で、一定期間飼育後、産肉量を測定。23℃の産肉量を 100 としたときの 28 及び 33℃区の相対値を求め、環境温度との間の関係式を導出し、産肉量が 5 及び 15%低下する気温を、27.2℃、30.0℃と推定し、気候メッシュ値を色分け。出典：山崎ら、2006 より抜粋。

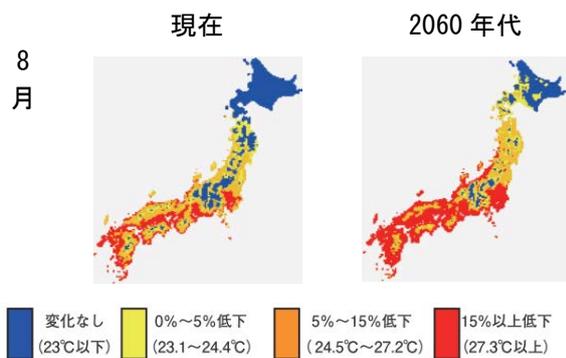


図 3.2.35 現在及び 2060 年代における肥育豚の増体日量の予測（月平均気温 23℃以下の増体日量と比較した低下割合）

気候変化メッシュデータ¹³⁴⁾を使用した予測値。肥育去勢豚を、23℃、28℃、30℃及び 33℃で、一定期間飼養後、温度と飼養成績との関係式を得る。増体日量が 23℃時のそれに対して 5%、15%、30%低下する時の気温はそれぞれ 24.5℃、27.3℃、30.4℃と推定し、気候メッシュ値を色分け。出典：高田ら、2008 より抜粋。

ては、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が拡大する。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になる可能性がある（図 3.2.34）。

肥育豚は、家禽と比較して生産性が低下し始める環境温度は低く、鶏よりも暑熱に弱いと考えられる⁵⁹⁾。予測の結果、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、また低下する程度もより厳しくなる。増体日量の低下は、現時点の 8 月に西日本の沿岸部を中心にみられるが、2060 年には、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の低下が予測されている（図 3.2.35）。

③水産

気候変動に伴う海水温上昇は、生物生産や分布・回遊に影響を及ぼし、沖合域の重要水産資源の漁場位置の北偏化や沖合化、及び漁獲物の小型化が予測されている⁵⁶⁾。沿岸域でも、海水温の上昇によって藻場の種組成が変化し、アワビ等の磯根資源に大きな影響を与えることが懸念されている。一方、スケトウダラ、ズワイガニなど底魚類については、水深 100m 以深の水温上昇は僅かなため影響は現れないと予測されている³⁷⁾。

日本近海のサンマでは、気候変動によって小型化が進むと予測されている。これは、環境の変動に伴う栄養塩供給を通して餌生物であるプランクトン、及びそれを捕食する魚類がどのように変動するのかを予測するための数値モデル（NEMURO.FISH）を用いた結果である。その計算結果によると、気候変動後のサンマは、回遊経路上の水温が上昇するため、採餌能力は増加するものの、プランクトン密度の低下に伴って採餌量が減少し、成長率が低下する。一方、サンマの回遊パターンも気候変動に伴って変化し、餌条件の良好な海域で産卵することから、サンマのサイズは小さくなるものの、産卵量は増えるため個体数としては増える可能性が示唆されている（図 3.2.36）。

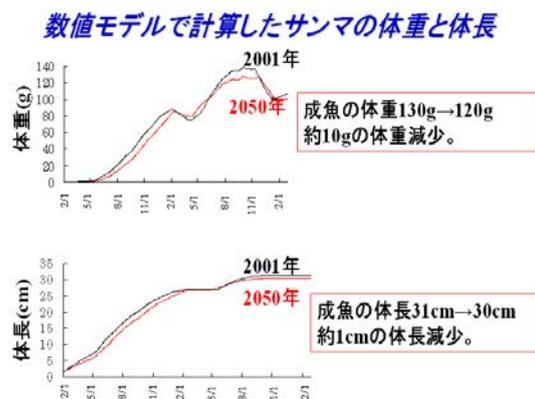


図 3.2.36 NEMURO を用いたサンマの成長の変化予測 出典：水産総合研究センター、2009 より抜粋、一部改変

3. 2. 6 健康

人間の健康に対する影響としては、暑熱による直接的な影響のほか、感染症への影響などが挙げられる。

(1) 現状

①熱中症

熱中症は、暑熱による直接的な影響の一つであり、気候変動との相関は強いと考えられている。図 3.2.37 は、国内における死亡分類の方法が変更された 1995 年以降の熱中症による年間死亡者数の推移である。熱中症による死亡者数には増加傾向があり、特に記録的な猛暑となった 2010 年には、過去最多の死亡者数となっている。また、日最高気温が高くなるにつれて熱中症の発生率は高くなる傾向にあるが、熱中症による死亡者数は、特に高齢者ほど多くなっている (図 3.2.38)

②感染症

感染症のリスクは、気温上昇によって全般的に高まることが示唆されているが、その程度や内容は、感染症の種類によって異なっている。表 3.2.1 に示したように、気温上昇の影響を最も受ける感染症として、蚊などの媒介生物を通して感染するもの (デング熱等) と、水を通して感染するもの (コレラ等) がある。

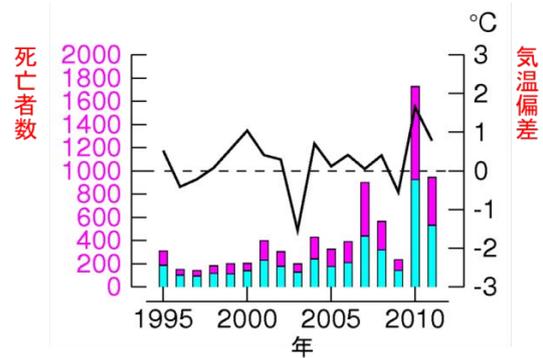


図 3.2.37 熱中症による年間死亡者数の推移

■：女性，■：男性。夏季気温 (図 2.1.4 等に使用されている 17 地点の 7、8 月の平均偏差) を重ねた。資料提供：気象研究所

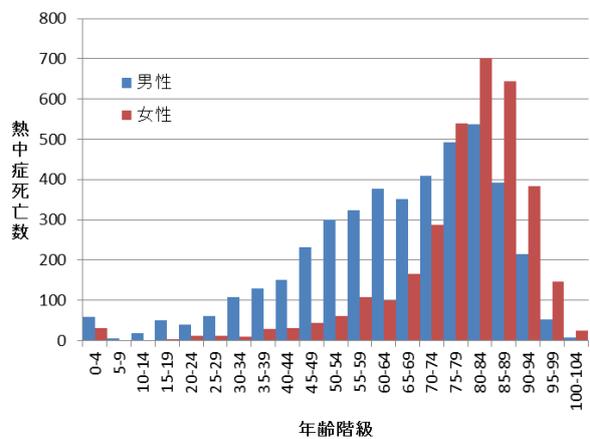
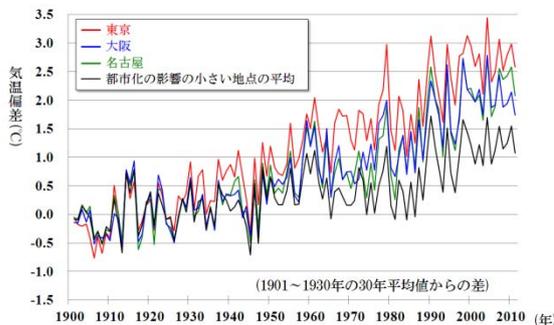


図 3.2.38 年齢階級別熱中症死亡者数

人口動態統計から 1995～2011 年までの累積を求めてグラフ化した。資料提供：気象研究所

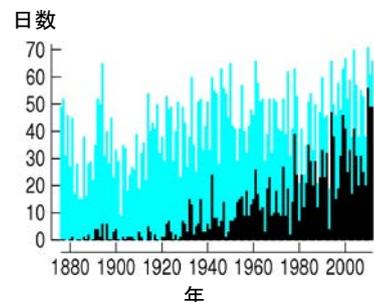
コラム 19 ヒートアイランド現象

ヒートアイランド現象は、人工的な建造物の増加や排熱の増大により都市域の気温が周辺地域に比べて高くなる現象のことであり、地球全体の気温上昇に加えて、都市における気温上昇の大きな要因となっている。大都市における気温や熱帯夜日数は、中小都市に比べて大きく上昇・増加しており、高温の時間が長く続くことで、都市部では熱中症の危険性がより高まるものと考えられる。



都市化の影響が小さい地点と大都市の年平均気温の長期変化傾向の比較

出典：気象庁、2012a



東京における熱帯夜と真夏日の年間日数

黒：熱帯夜、水色 (含黒)：真夏日

資料提供：気象研究所

表 3.2.1 さまざまな感染症と感染経路の例 出典：環境省、2007

	媒介するもの	感染経路	感染症の種類
直接感染		咬まれる なめられる ひっかき傷 排泄物	狂犬病 バズツレラ症 猫ひっかき病 トキソプラズマ症、回虫症
間接感染	媒介動物によるもの	蚊 ダニ げっ歯類 ノミ 巻き貝	日本脳炎、マラリア、デング熱、ウエストナイル熱、リフトバレー熱 ダニ媒介性脳炎 ハンタウイルス肺症候群 ペスト 日本住血吸虫
	環境が媒介するもの	水系汚染 土壌汚染	下痢症（コレラ等） 炭疽
	動物性食品が媒介するもの	肉 魚肉	腸管出血性大腸菌感染症（O157血清型）、サルモネラ症 アニサキス症

温暖化によって影響を受けると想定される感染症

ヒトスジシマカは、デング熱の媒介蚊として知られている。図 3.2.39 はヒトスジシマカの分布と年平均気温との関係を示したものである。ヒトスジシマカの分布は、年平均気温 11℃以上の地域とほぼ一致しており、1950 年以降、分布域は東北地方を徐々に北上していく傾向がみられる。岩手県では、2009 年と 2010 年の調査で、北限地点が約 30km 北上したことが確認され、これは気温の上昇が影響しているとの報告がある⁵¹⁾。ヒトスジシマカの分布拡大は、直ちにデング熱等の

流行に結びつくものではないが、今後デング熱流行のリスクを有する地域が拡大していくことを示唆しているといえる。

また近年、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。(図 3.2.40)

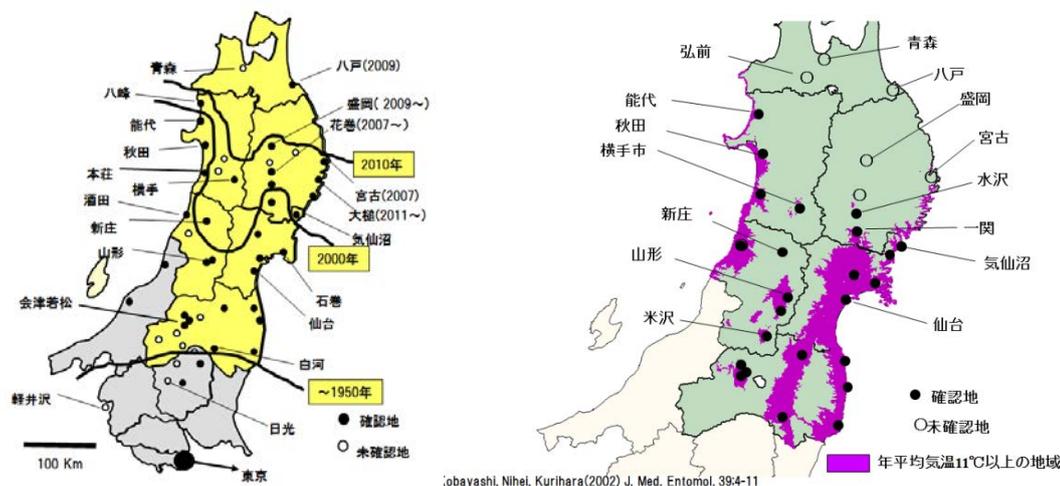


図 3.2.39 ヒトスジシマカの分布(左)と年平均気温との関係(右)

ヒトスジシマカは年平均気温が 11℃以上の地域に定着し、左図は 1950 年～2010 年の拡大傾向を示している。また右図は 2000 年におけるヒトスジシマカの東北地方における分布と、メッシュ気候図で年平均気温 11℃以上の地域との対応を示す。資料提供：国立感染症研究所 小林睦生



図 3.2.40 8月の海面水温 20°C線とビブリオ・バルニフィカス症の発症地域 出典：環境省、2007 元データは古城ら、1999 より

(2) 将来

①感染症

気温の上昇や降雨量の変化は、将来における感染症リスクを高める可能性がある。図 3.2.41 はヒトスジシマカの将来における分布を予測した研究例である。気温 11°C以上に相当する赤色と黄色の地域が分布可能域を示す。2035年(左図)には本州の北端まで、2100年(右図)には北海道までその分布可能域が拡大すると考えられている。また、ネッタイシマカもデング熱を媒介する媒介蚊であり、現在国内には分布していないが、平均気温の上昇に伴い、沖縄・奄美地方に加えて九州から関東地方の太平洋沿岸でも分布することが可能になると予想されている(図 3.2.42)。

②その他の健康影響

気候変動が、花粉症の原因となるスギ花粉等の飛散に及ぼす影響も指摘されている。前年の夏に気温が高くと、翌春の花粉飛散数は多くなる傾向があり、気温の上昇に伴って、平年並み・小飛散年であっても総飛散量が増加するとの報告もあることから⁶⁰⁾、花粉症の発症者数や重症例が増える可能性もある。

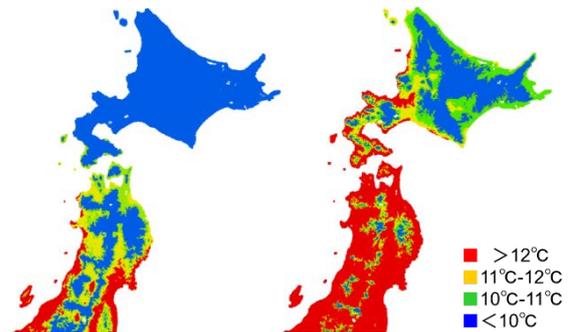


図 3.2.41 ヒトスジシマカの分布可能域の予測 MIROC K-1 モデルによる。赤色と黄色の部分(年平均気温が約 11°C以上)が分布可能域。左：2035年、右：2100年 出典：環境研究総合推進費(S-8)による調査、小林睦生らの研究結果

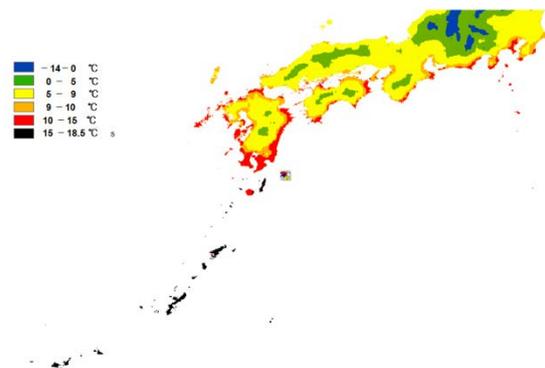


図 3.2.42 2100年におけるネッタイシマカの分布可能域の予測

MIROC K-1 モデルによる。2100年頃に予測される最寒月(1月)の平均気温の分布図。黒色(15-18.5°C)と赤色(10-15°C)の部分が分布可能域。黒色の平均気温は、現在の台湾(台北、台南市)と同等。資料提供：国立感染症研究所 小林睦生

3. 2. 7 国民生活

気候変動による影響は、国民一人ひとりの日常生活にも深く関わりを持っている。災害による家屋への被害や熱中症等の健康影響のほか、季節感のずれなど、日本の文化や季節感へ影響する恐れもある。

(1) 現状

①季節と文化

気候変動による身近な自然の変化は、我々の季節感との乖離を生じさせる。図 3.2.43 はさくらの開花日、かえでの紅（黄）葉日の経年変化を示したものである。図のように年々さくらの開花時期は早くなり、かえでの紅（黄）葉日は遅くなっていることが分かる。同様に、ウグイスの初鳴日が早まるなど、動物の初見や初鳴きなどにも変化傾向が見られ、こうした季節を感じさせる事象について、日本の伝統的な暦からのずれが生じつつある。

地域の文化へも、気候変動に関連した影響が波及している。たとえば諏訪湖の「お神渡し」の記録では、「明海（結氷せず）」や「お神渡しなし」の頻度が 1979 年以降増加しており⁵⁸⁾、こうした自然現象に関連した伝統行事等へも影響が現れている。これら季節を感じさせる事象の変化は、それを資源のひとつとする観光産業に与える影響も大きい。

(2) 将来

①季節と文化

気候変動は将来、自然を利用した観光やレジャーにも影響を与えると考えられる。日本の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すると予測される（2.2.4 降雪量、最深積雪を参照）。それに伴い、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⁶⁷⁾（図 3.2.44）。

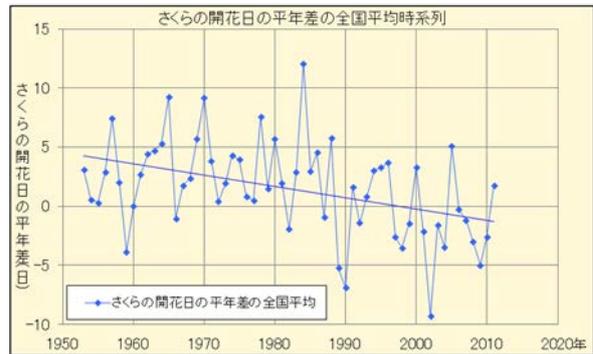


図 3.2.43 さくらの開花日の経年変化（上）、かえでの紅（黄）葉日の経年変化（下）

出典：気象庁、2012c

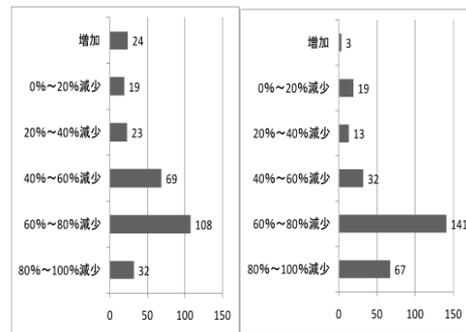


図 3.2.44 積雪深の増減率別スキー場数

気象研究所地域気候モデル（MRI-RCM 20km）、SRES A2 シナリオを利用。1971~2000 年比、左：2031~2050 年、右：2081~2100 年 出典：中口、2010