

【図4】安定化濃度における影響の分布の例

3 2 日本に対する影響

IPCCを中心にした国際的な研究と並行して、日本でも1990年代以降、温暖化の影響やリスクに関する研究が精力的に取り組まれている。対象とする研究分野は、水資源・水環境、陸上生態系、農林水産業、海洋環境、沿岸域、国土保全・防災・国民生活、産業・エネルギー、人の健康といった極めて広い範囲に及んでいて、これらの分野ごとに相当進んだ成果が得られてきている。さらに、最近では、アジア・太平洋地域の途上国に対する影響の予測とそれへの適応策の研究が取り組まれるようになってきている。

以下では、こうした研究成果をまとめて温暖化の日本への影響に関する現在の知識を紹介する（環境省地球温暖化問題検討会温暖化影響評価ワーキンググループ，2001）。

3 | 2 | 1 | 温暖化の影響のあらわれ

上昇傾向を示す日本の平均気温

日本の年平均気温は過去100年で約1.0 上昇し、明らかな上昇傾向

にある【第2部1章図2参照】。とくに1980年代後半から温度上昇が加速し、1990年代には明らかに高温になった。過去100年の暑かった年ベスト10のうち8年がここ10年間に生じており、これは世界的な傾向とも一致する。都市部での気温上昇は100年間で2.0 以上で、とくに東京では3.0 に達している。都市部での大きな昇温はヒートアイランド現象のためであり、都市に特有の現象である。しかし、それを除いても日本の温暖化は明らかである。

温暖化を感知する生物の変化

生物や生態系は温暖化を感知してさまざまな反応を示す。最悪の場合、種の絶滅が生じることもある。

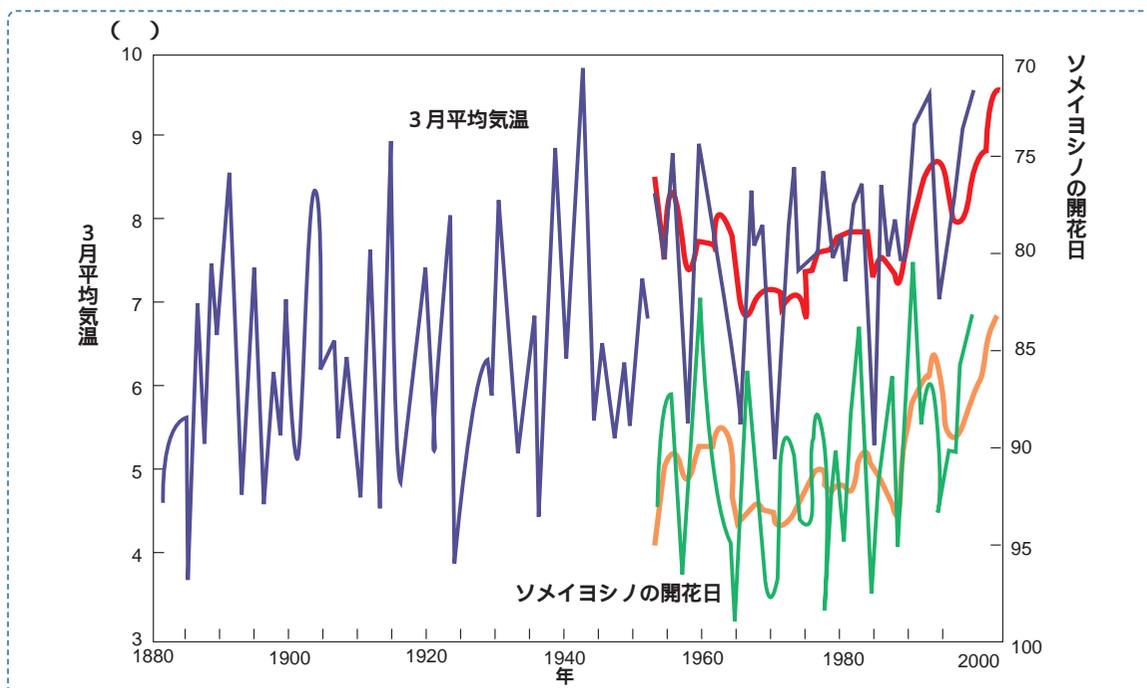
気象庁が1953年以来全国で行っている生物季節観測の中で目につくのは、ソメイヨシノ（桜）の開花日の変化で、ここ50年間で5日早まっている【図5】。2002年の春も、各地でこれまでにない早さで桜が開花してしまい、散った後で桜祭りが開かれたのは記憶に新しい。

その他、いくつか例を挙げてみよう。

北海道での高山植物の減少

南方系のシラカシなど常緑広葉樹の分布拡大

九州・四国が北限の、ナガサキアゲハが90年代には三重県に上陸



【図5】京都におけるソメイヨシノの開花日(緑)と3月平均気温の経年変化(紫)。太い線(赤と橙)は5年の移動平均を示す。(龍谷大学, 増田啓子助教授提供)

1970年代には西日本でしかみられなかった南方系のスズミグモが、80年代には関東地方にも出現
 マガンの越冬地が北海道にまで拡大
 熱帯産の魚が大阪湾に出現
 白山や立山などでは、オコジョやライチョウの生息域が高地に移動し、消滅する危険もある
 など、多様な変化の兆候が観察されている。こうした観察結果は、温暖化の影響がわが国の生物や生態系に現れ始めていることを示している。

3 | 2 | 2 | 自然環境に対する影響

森林と植生への影響

わが国に広く分布するブナ林は冷温帯の代表的な森林であるが、温暖化によって南限の地域では照葉樹林などに移行する。現在の日本の森林は人工林が40%を超えているが、温暖化するとスギ・ヒノキ造林地の環境がブナ帯からシイ・カシ帯に移り、造林地で競争する樹種が常緑樹となる。

近年、森林帯にすむニホンジカ、ニホンザル、イノシシなどの大型哺乳動物の生息分布が拡大しているが、これには気候変化による積雪量・積雪期間の減少の影響が大きい。雪が少なくなれば、野生動物の生存率が高まり、個体数が増加するため、作物被害をはじめ人間社会との摩擦が多発するようになる。

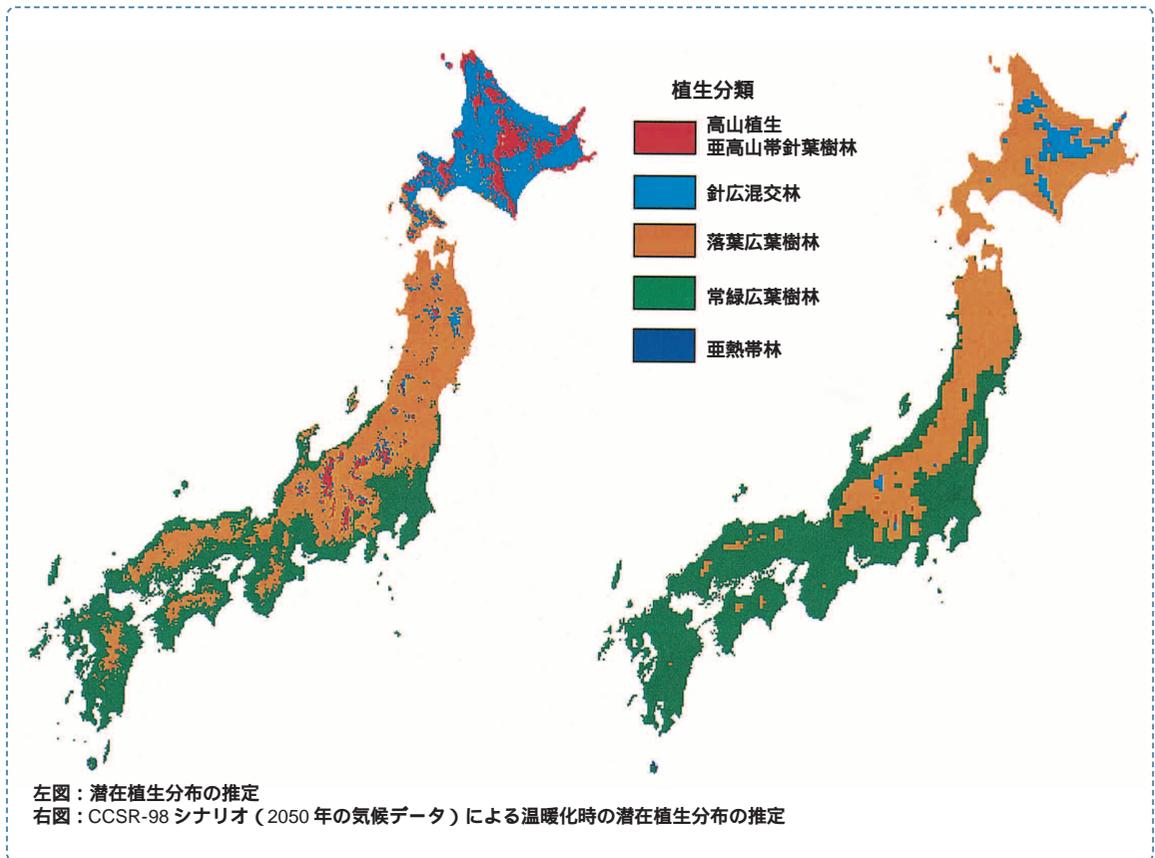
日本全体の潜在植生変化では、2050年には高山植生・亜高山針葉樹林の分布が大幅に減少すること、北部の針葉樹林【 9】が落葉広葉樹林に、南西部では落葉広葉樹林が常緑広葉樹林に変化する危険性が予測されている【図6】。この図は、温暖化によって山岳生態系は著しく縮小し、同時に植生帯が全体的に日本列島を北上することを示している。

生物多様性への影響

温暖化の影響で、生物多様性が減る危険性もある。影響を受けやすい土地として、山岳や高山、島や分断された磯海岸や砂浜、市街地内の樹林などを挙げることができる。これらの生態系では、面積が小さいために、そこに生存する生物が絶滅しないだけの数を維持しにくいからである。

とくに危険なのは、生存するエリアが限定されている生物であり、たとえば日本には、屋久島・種子島にのみに生息する五葉松の一種であるヤクタネゴヨウなど、その種類は多く、大半は生存力の低い種である。

【 9】針葉樹林
 針葉樹よりなる樹林。熱帯の山地から高木限界まで広く分布するが、代表的なものは温帯北部から寒帯に見られる。



【図6】現在と2050年における潜在植生分布の変化の予測結果。（Ishigamiら，2000）

南西諸島や島嶼などに固有な植物群落などは温暖化で危機に直面する可能性が高い。

悪化する水環境と淡水生態系

【10】COD

〔Chemical Oxygen Demand〕 化学的酸素要求量。水中の有機物を酸化剤で酸化するのに消費される酸素の量で、水質汚濁の指標の一つとなっている。湖沼・海域で環境基準値として定められている。単位はppmまたはmg/l。

【11】貧酸素水塊

魚などの生息に必要な酸素の量が極端に少ない水の塊のこと。いったん貧酸素水塊が発生すると、生物は酸素欠乏状態になり、最悪の場合には窒息死する。

霞ヶ浦などの浅い湖沼では、水温の上昇と降水量の増加によって、COD【10】や窒素やリンといった栄養塩濃度が上昇し、透明度が低下するなど水質汚濁が進むことが考えられる。このほか沿岸域でも、貧酸素水塊【11】がいつそう作られやすくなる。

また、海面の上昇によって海水の侵入が進めば、塩分濃度が海水と淡水の間にある宍道湖・中海や瀬沼などの汽水湖（きすいこ）では、塩分濃度が高まり、生態系が大きく変わることになる。

河川の生態系については、オショロコマ、イワナなどの冷たい水に住む魚の生息エリアは大幅に減少することが懸念される。しかし、例え種が減ったとしても、新たな種が加われば生態系の多様性は保たれるが、気候変化の速度に追いつけなければ、種の多様性の低下は避けられない。

大きく変わる海洋環境

近年、日本海の深層での水温の上昇や、海水温度の上昇によるオホーツク海の海水面積の減少などが確認されるようになってきている。海面水位の変化に関しては、ここ100年程度、三陸沿岸で海面上昇、日本海沿岸で海面下降という傾向を示している。これは温暖化に起因する海面上昇の影響というよりも、日本周辺のプレートテクトニクス【12】で説明される地盤の上昇・下降の影響が大きいためである。

また海水温度が上昇すると、これまで低緯度に生息していたプランクトンが日本近海に出現するようになる。実際、今まで出現しなかった南方のプランクトンが日本南西海域に出現し、カキなどの貝類を死滅させるという社会問題を引き起こしている。さらに食物獲得においてイワシ類のライバルが現れて、沿岸海域の漁場価値が低下する可能性もある。

このような海洋生態系の変化により、北極海のシロクマ個体数の減少に代表されるように、大型哺乳類などの食物連鎖の上位にいる生物たちにも影響が出ている。

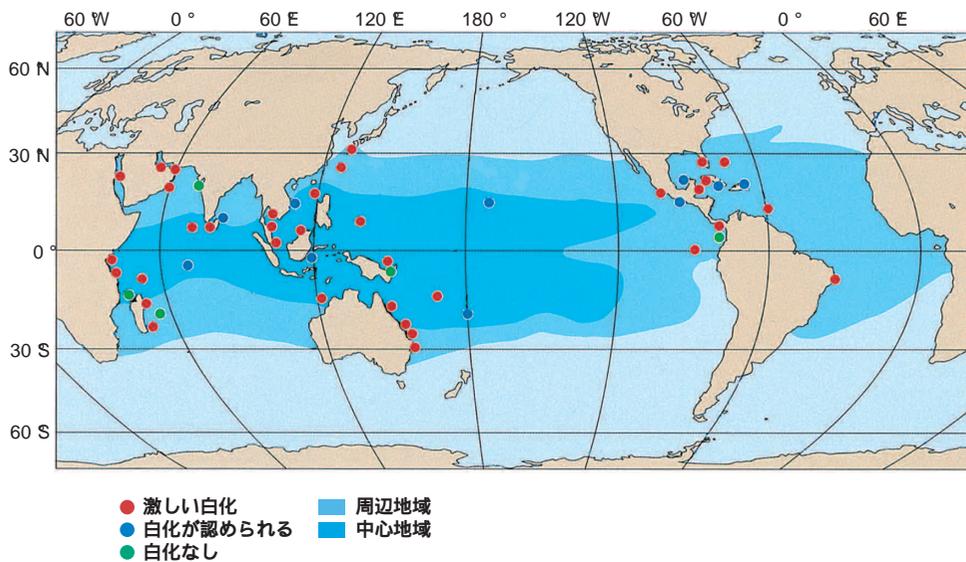
沿岸の地形と生態系

沿岸域には、気候変化に非常に弱い生物が生息している。その一つはサンゴ礁である。サンゴ礁の上方への成長速度は100年に40cm程度なので、今後の海面上昇率がそれを超えると沈水してしまう可能性がある。さらに深刻なのは海水温の上昇である。サンゴの生育最適水温は18～28なので、30以上の高水温に居続けると共生する藻類が離脱し、脱色して死滅する。これを白化現象という。1997～98年に起こったエルニーニョの前後には、沖縄を含む地球上のほとんどの海域で、大規模な白化現象が発生した。今後このような事態が起こる頻度は多くなり、貴重なサンゴ礁生態系は大きな打撃を受けるとされる【図7】。

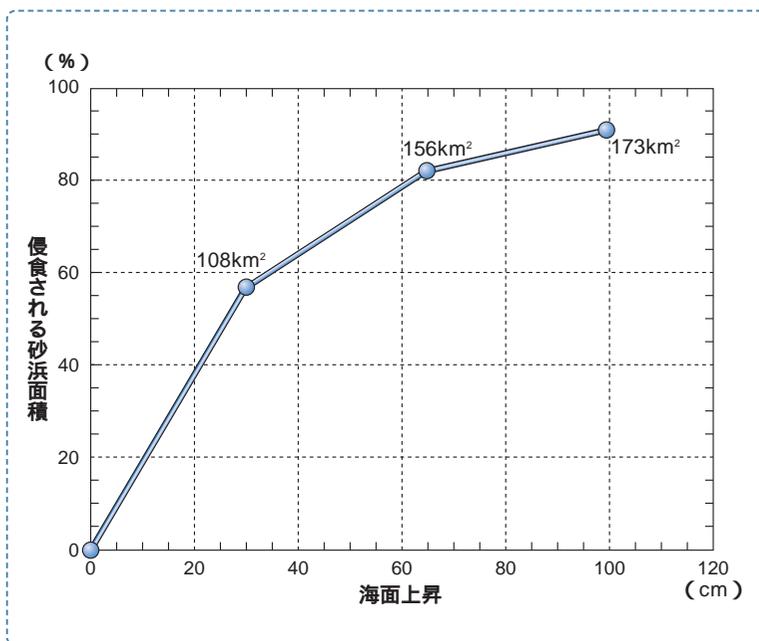
砂浜海岸の侵食も、近年大きな社会問題となっている。侵食の主な原因は、砂浜への砂の供給が少なくなったり、砂の動きが遮断されているためだが、海面の上昇によって侵食はさらに加速する。もし、海面が30cm上昇したとすると、日本全国の砂浜海岸の実に56.6%が侵食されると予測されている【図8】。海面上昇が65cmと1mになると砂浜の侵食は実に、81.7%と90.3%に及ぶ。

豊かな生物群集の生息地である干潟も例外ではない。干潟の背後は堤防などで遮断されているため、海面が上昇して侵食されても陸側に後退することができない。そのため、平均勾配が1/300程度と非常に緩やかな干潟は、50cmの海面上昇で幅150mの面積が消失する。こうした干潟の消失が進めば、シギやチドリなどの渡り鳥の生態も大きく影響を受けることになるだろう。

【12】プレートテクトニクス
〔plate tectonics〕地球表面は10数枚のプレートに分かれており、各プレートは年間数cmの速度で動いている。そのプレートの動きで、地震現象や山脈・海溝の成因などを全地球的規模で統一的に理解しようとする学説。大陸移動説や海洋底拡大説をさらに体系化した理論。



【図7】1997～1998年のサンゴの白化



【図8】海面上昇による砂浜の侵食予測 (Mimura and Kawaguchi, 1996)

自然の適応への配慮

以上のように、日本でも自然環境の広い範囲に温暖化の影響が現れると予測されている。温暖化のもとでも、自然環境が今のままでいられるかどうかは、それぞれの適応力によって決まる。気温の上昇や降雨・降雪の変化、海面上昇に強いものもあれば極めて脆いものもある。

さらに、人間活動によって影響が一層強められる場合も出てくる。たとえば、沿岸の干潟や湿地帯は、海面が上昇すれば陸側に移動することによって自らを維持しようとするが、ほとんどの海岸で背後に護岸や堤防があるため、後退する余地がない。これらの地形や生態系は結局その面積を縮小させることになるだろう。

自然生態系の温暖化に対する適応は、すべて事後的に生じる。したがって、人間ができる自然環境への配慮は、たとえば退避回廊という空き地を作っておくことなど、自然が適応するための余地を確保しておくことにとどまらざるを得ない。

3 | 2 | 3 | 人間社会への影響

水資源 両方が懸念される洪水と渇水

水に関する大きな問題は洪水と渇水である。最近、世界の各地で洪水が激化したというニュースをよく聞く。逆にアフリカや中国では干ばつによる被害も報告されている。

日本においても、少雨・多雨という極端な現象が増えている。全国の少雨年（おおむね10年に1回程度の頻度で生じる少雨の年）の出現数は最近100年間で増加傾向にある。一方、特に都市型水害の原因になる強い雨を記録した日数も近年出現頻度が高くなっている。これらの影響は大きく、たとえば、1994年の渇水【13】によって、西日本を中心に最高で1,176万人が水道の減圧給水あるいは時間給水の影響を受け、容易に金銭に換算できるものだけでも被害は1,409億円に達した。

気候変化の影響は、それぞれの地域の降雨が将来どのように変化するかによって異なってくる。日本における将来予測の一例では、将来洪水の恐れが増大すること、積雪地帯では1～3月の河川流量が増え、4～6月は減少することが示されている。

わが国の農業への影響

日本のコメは、約200万haの水田で約1,000万トン生産されているが、温暖化によって、この生産量にも変化が生じる。おおよそで言うと、高緯度地域では生産量の増加が、低緯度地域では生育障害による減収

【13】1994年の渇水

1994年夏、日本列島は記録的な猛暑に見舞われた。各地の降水量は平年を大きく下回り、北海道から沖縄まで全国的規模の渇水が発生した。中でも西日本の水不足は深刻で、厳しい断水や制限給水が各地で実施され、市民生活に大きな影響を及ぼした。

が予測されている。もし現在と同じ品種を用いて、同程度の収量を維持しようとするならば、東北・北海道地方で栽培期間を早め、これ以外の地方では栽培期間を遅くする必要が生じる。

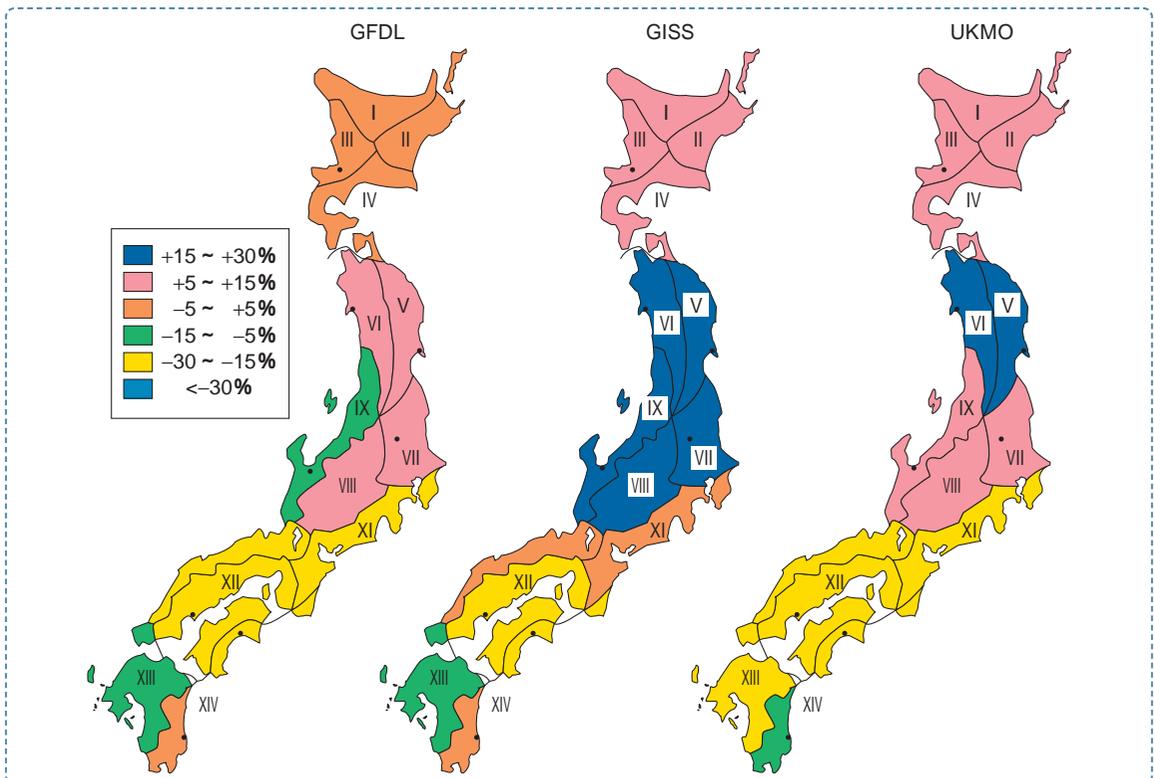
最近では二酸化炭素濃度の効果の研究が進み、二酸化炭素濃度が倍増すると稲が実るまでの日数が約5%短縮すること、北日本ではいずれの品種でも収量が10~25%増加し、東海地方より西では品種により反応が異なるという結果が得られた【図9】。

しかし、高温障害が増加するなど、トータルでみると負の効果も多いため、さらに研究する必要がある。

一方、害虫に関しては、主に冬季の気温が上昇することによって、昆虫の越冬可能地域が北へ広がり、昆虫分布が北上する。そのため、害虫の活動範囲や時期が広がると予測されている。

食料安全保障への影響

日本では高度成長以降に食生活の欧風化が進み、国内の農業生産の収益が低下して海外からの食料の輸入が急増した。カロリー換算の食料自給率は約40%までに低下している。



【図9】二酸化炭素倍増と温暖化が水稲収量に及ぼす影響（高温感受性品種）(Horieら, 1995)。GFDL(米国NOAA地球流体力学研究所)、GISS(米国NASAゴダード宇宙科学研究所)、UKMO(英国気象局)の気候モデルの予測結果に基づいて算定。

特に、コムギやダイズおよびトウモロコシなどの飼料作物は海外からの輸入に頼っているため、生産国における気候変動の影響を非常に受けやすい。1999年の麦類の輸入量は国内生産量の7～10倍、ダイズは約25倍、トウモロコシに至っては約90倍【14】である。

国内で生産される主要な穀物であるコメに関しては、灌漑設備が完備しているため気象条件の変化に対して比較的強い。また、野菜・果実類は、施設園芸化が進んでいるため、安定的生産を脅かすまでの悪影響は考えられない。そのため、将来、日本の食料安全保障を脅かすとなれば、温暖化による病害虫の発生、冷害を引き起こすような異常気象の頻発などである。

日本を含むアジア地域では、2050年までに食料供給に必要な量は現在の2倍に達すると指摘されている。海面上昇などの影響も考慮すると、大きな人口を抱えるアジア諸国で大規模な食料不安が生じた場合は、日本にも政治的・社会的影響が波及する可能性を考えておくべきである。対応策として、温暖化に適応できる品種の改良や、灌漑の効率化、耕作方法の改良などを、国内・国際の両面で進めることが必要である。

沿岸防災は大丈夫か

沿岸域は社会・経済活動にとって重要な地域である。実際、海に面する市町村には、人口の48%、工業出荷額の48%、商業販売額の62%が集中している。これらの地域では、現在でも満潮の水位より下の土地に200万人の人間が住み、54兆円の資産があるが、1m海面が上昇すると、これらの値は410万人、109兆円とほぼ倍になる。

さらに、海面の上昇は海岸の防災施設の機能と安定性の低下をもたらす。堤防や護岸の機能を現状と同じレベルに維持しようとする、1mの海面上昇に対して、外洋に面した堤防では2.8m高く、内湾の岸壁では3.5m高くする必要がある。

この他にも、海岸にある多くのインフラ施設（港湾・漁港施設、道路、埋め立て地、ポンプ場・下水道システムなど）に対して浸水や高波の影響が及ぶだろう。それを防ぐために行われた対策費用の見積もり（1mの海面上昇）では、港湾施設の対策に7.9兆円、隣接する海岸構造物の対策に3.6兆円必要であり、対策費用の合計は、11.5兆円にのぼる。

さらに、海面が上昇すると、地下水が上昇したり塩水化が生じ、地盤の支持力が弱まり地震時には液状化しやすくなると指摘されている。海岸部の軟弱地盤上には、多くのインフラ施設や建物が集積しているため、都市の耐震安全性が重大な問題になる。

これらの状況をふまえた、沿岸域の安全性を将来にわたって確保するための検討が始まっている（地球温暖化に伴う海面上昇に対する国

【14】国内生産量

コムギ、オオムギ、ダイズ、トウモロコシの国内生産量は、それぞれ約58万トン、20万トン、19万トン、18万トン。

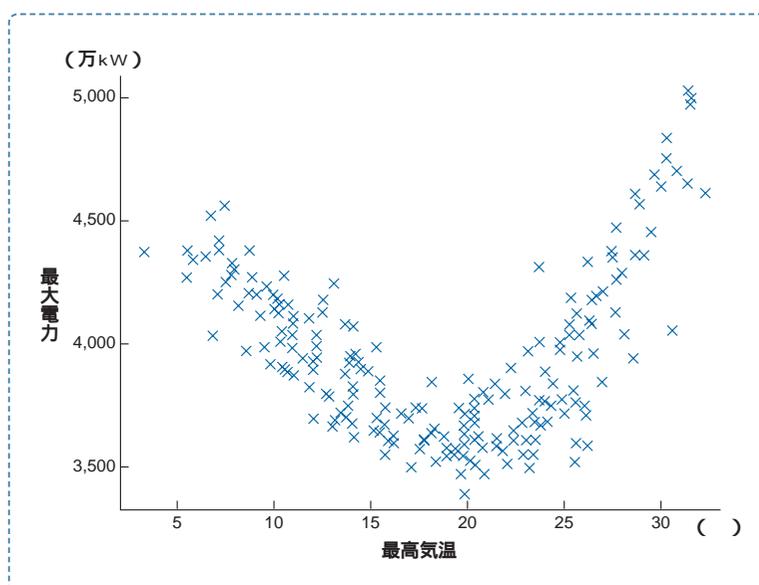
土保全研究会，2002）。この中では、海面水位の変化をきちんとモニタリングすること、港湾施設や防災施設などの設計に将来の海面上昇の効果を取り込むことなどが盛り込まれている。さらに、国際的には沿岸域の適応策として防護、順応、計画的な撤退という三つの方向が考えられており、防災施設による防護だけでなく、将来危険となる地域の土地利用を変更し沿岸域の脆弱性を減らす対策（計画的な撤退）も検討されている。

産業・エネルギーにも波及する影響

温暖化が進むと国民の消費構造が変化し、ひいては産業構造も変化する。たとえば、現在6～8月の平均気温が1℃上昇すると、夏物商品の消費が約5%増加する。夏の高温期が長くなると、エアコン、ビール、清涼飲料水、冷菓などの消費が増え、電機・食品メーカーは季節商品の生産体制を強化することになるだろう。しかし、全体的に見るといったいどの程度の影響を及ぼすのかについては、まだ確かな見通しが得られていない。

また電力の需要や供給にもさまざまな影響が出る。夏季の電力需要の40%は冷房需要なので、気温が1℃上昇すると電力需要は約500万kW（一般家庭の160万世帯分）増加し、その他にも、夏物商品増産による工場稼働率が上昇するため、さらに電力需要は増加すると予想される【図10】。

一方、降水量や積雪量の変化は、水力発電に大きな影響を与える。火力・原子力発電所の発電効率は冷却水温度に依存し、1℃冷却水温が上昇すると火力で0.2～0.4%、原子力で1～2%発電出力が低下する。



【図10】気温と最大電力の関係（大坂ら，1996）

高まる健康へのリスク

人の健康に関しては、気温上昇による直接的な影響として熱中症などの総死亡率の増加があり、とくに高齢者や基礎疾患を持った人たちが危険である。

その他にも大気汚染がひどくなったり、マラリアやデング熱などの媒介動物感染症の流行の可能性などがあげられる。最近、伝染病を媒介する蚊が東北地方まで北上しているという報告があり、蚊などの生息域の拡大に伴って、感染症の危険性が現実化する可能性がある。

しかし、健常者の生活・労働におけるストレスや慢性疾患を持つ患者などに関しては、社会的側面によるところが大きく、その影響の程度、起こりうる時期とその早さ、どの地域に偏って影響が出るかなど、まだ今後の研究が必要である。

3 | 2 | 4 | 研究の到達点と適応策 今後どのような情報が求められるか

今まで見てきたように、これまでの研究によって温暖化が極めて広い分野に影響を及ぼすことが明らかにされつつある。現在までの日本における研究成果を一覧表にしたのが、【表3】である。分野で見ると、陸上生態系や農林水産業、沿岸域では多くの成果がすでに出されている。

一方、影響・リスク研究には、影響の検出、要素研究、全国評価、脆弱性の閾値・脆弱な地域の抽出、適応策など多くの面で成果が求められている。これまでの研究の大多数は、影響予測手法などの要素研究であった。しかし、温暖化への対策につなげるためには、

【表3】日本を中心とした影響・リスク分野の研究成果マップ

	水資源 水環境	陸上生態系	農林水産業	海洋環境	沿岸域	国土保全・防災 人間居住	産業 エネルギー	健康
影響の検出								
影響予測手法など要素的研究								
影響の全国評価 影響マップ								
影響の閾値 脆弱な部門・地域 経済的評価								
適応策								
アジア・太平洋地域 に対する影響評価								

：ほとんどの分野で成果がある
：ある程度の分野で成果がある

：一部の分野で研究がある
空欄：あきらかでないもの

これらの影響が全国規模でどの程度（人数、数量、金額）に達するのか？

どの地域のどの分野にもっとも厳しい影響が現れるのか？

わが国で耐え難いような影響が出るのは何の気温上昇、何cmの海面上昇のときか（閾値）？

そしてこれらはいつ起きるのか？

といった問へのはっきりとした答えが必要である。

【表4】は影響の閾値に関する知識を整理したもののだが、ある程度はこうした情報も得られてきている。しかし、上のような基本的な問に答えるにはわれわれの知識はまだ不十分である。

温暖化の対策には、温暖化抑制策（緩和策）と適応策の二つがある。全力で温暖化抑制を図る必要があるのは言うまでもないが、現在の対策で温暖化の進展を十分防止できるとはいえない以上、温暖化の悪影響を排除するための適応策を同時に検討していかなければならない。今後、影響の予測精度を高めることと並行して、重大な影響や早期に現れる影響に対する適応策の検討が重要な研究課題なのである。

【表4】さまざまな分野における影響の閾値

脆弱な分野	対象, システム	閾値	備考
自然生態系	高山植生 マングローブ	0~2 で生息域縮小 海面上昇約50cm/100年で沈水	
農林水産業	稲	開花時35 を越えると高温障害	
海洋環境	サンゴ礁	1~2 水温上昇により白化現象 海面上昇40cm/100年で沈水	
沿岸域インフラ、 社会システム	砂浜 港湾・海岸施設	30cmの海面上昇で56.6%、1mで90.3%の砂浜減少 1mの海面上昇で対策費11.5兆円	
人間の健康	高齢者（65歳以上）	日最高気温が33~35 を越えると死亡率増（地域により変化）	
経済システム	各国経済 電力	2~3 以上で悪影響 夏期1 上昇で500万kWの電力需要増加	0~2、3 では分野、地域により便益