

## 第 5 章 脆弱性の評価、気候変動による影響 及び適応措置

この章は、気候変動が我が国に及ぼすと予想される影響についての現在の知見を整理したものである。ここでは、我が国への影響を明らかにするため、我が国で行われた気候変動に関連する研究（第 7 章参照）をレビューし、その成果から定量的な影響評価を中心に抽出した。

これまでの研究成果により気候変動は、我が国の農林水産業、水資源、沿岸域の管理、自然生態系、人の健康等に対し大きな影響を及ぼす可能性があるとして指摘されている。例えば、地球温暖化に伴い台風の数減少し、最大到達可能な強さは少し強くなる可能性がある。水稻については、高緯度地域では生産量の増加が、低緯度地域では高温による生育障害が起こることが予想される。また上水道の需要は、3 の気温上昇によって 1.2 - 3.2% 程度増加すると考えられる。さらに夏の高温による熱ストレスの増加をもたらすほか、寄生虫や病原体の生育条件、媒介動物等の生育への影響を通じて人の健康に影響を及ぼすと考えられる。

一方、地域レベルでの気候変動予測や、食糧やエネルギーなど輸入資源の問題等、我が国の社会・経済システムに対する間接的影響等については、今後の研究課題であり、今回の影響評価には含まれていない。また、生態系に対しても多大な影響があると考えられるが、これも現時点では定量的な評価が極めて困難である。

広大で多分野に及ぶ地球温暖化による影響のうち、ここに示すのは現時点で研究成果がまとまっているごく一部の影響である。従って、気候変動枠組条約第 4 条第 1 項 (b) 及び (e) の履行にこの評価を使用する際には、ここに示されていないが重要な影響があることに対し十分な配慮が必要である。

### 5.1 我が国における気候への影響

#### 5.1.1 我が国の気温への影響

地球温暖化が我が国への気候へ及ぼす影響について、世界の 9 つの研究機関等（注 1）における 11 種類の大気・海洋結合モデルによる予測結果をもとに評価を行った。

11 種類のモデルが示す二酸化炭素濃度 1% / 年（複利）増加または IS92a シナリオを用いた場合の日本付近における 100 年間の年平均地上気温の昇温量は、南日本で +4 、北日本で +5 となっている。全球平均年平均地上気温の昇温量は +3.6 であり、日本付近の昇温量は、全球平均よりやや大きい値となっている。日本付近でのモデル間のばらつきは約 2 である。

## 5.1.2 我が国に特徴的な気象現象への影響

現在の大気・海洋結合モデルの空間的解像度が粗いこと及び地域気候モデルの予測結果が少ないため、細かな点については判断できないが、以下のような変化が考えられる。

- アジアの冬のモンスーン強度は有意に減少するが、降水量の変化についてはその符号も含めてモデル間の違いが大きい。
- インドの夏季モンスーン降水量は増加するとするモデルが多い。東アジアでの夏季の降水量変化は、温室効果ガスの増加のみを考慮した場合には増加するモデルが多いが、エアロゾルの効果も含めた場合にはモデル間の一致は得られていない。
- 温暖化による台風の気候変化の予測に関しては不確実性が大きい。台風の数は減少し、最大到達可能な強さは少し強くなると考えられる。台風に伴う降水については、同じ強さの台風なら温暖化時の方が降水量が 10 - 30% 多くなる可能性が指摘されている。

(注1) カナダ気候センター、東京大学気候システム研究センター / 国立環境研究所、豪州科学産業研究機構、ドイツ気候研究センター、米国地球流体力学研究所、英国ハドレーセンター(2種類)、ドイツマックスプランク気象研究所、気象庁気象研究所(2種類)、米国大気科学センター。

## 5.2 農林水産業への影響

### 5.2.1 農業への影響

我が国は、年平均 1,800mm という豊富な降水量と温暖な気候のもとで、水田を中心とした農業を発展させ、狭い国土の中で多くの人口を支えてきた。1950 年以降、我が国の農業技術は、新品種、肥料・農薬、農業機械等の開発及び圃場整備により飛躍的に発展し、これにより現在は、高度に管理された農業を行っている。しかし、農業生産は、現在も強く気候変動による影響を受けており、今後予想される地球温暖化により一般的に大きな影響を受けると考えられる。

イネは、我が国の穀物生産の 9 割以上を占める基幹作物であり、その大部分は水稲として水田で栽培されている。我が国のコメの生産量は約 900 万トン、水稲栽培面積は約 170 万 ha である。一般に地球温暖化により、比較的高緯度地域では生産量の増加が、低緯度地域では高温による生育障害が起こることが予想される。また、現在と同程度の収量を維持するためには、東北・北海道地方で栽培期間を早める一方、これ以外の地方では栽培期間を遅くする必要が生じると考えられる。

また、最近では、二酸化炭素濃度の上昇効果を評価する研究が進み、二酸化炭素が倍増した場合には、現在の品種では到穂日数(播種から出穂までの日数)が約 5% 短縮するこ

と、乾物重や収量が約 25% 増加することが明らかとなった。しかし、高温による不稔の発生が二酸化炭素濃度が高い条件下で増加するなど、複合的にみると負の効果が予測される。

水稻以外の作物栽培への影響としては、小麦については高温条件で栽培した場合、出穂時期が早まる。冬小麦の場合には、出穂の早期化によって登熟期（出穂から成熟までの種子が肥大する期間）が春先の気温変動が激しい時期になるため、低温に遭遇する危険性が増すと考えられる。ダイズについては、根圏の地温が上昇すると生育が抑制される可能性が認められており、トウモロコシについては、生育後期に高温に遭遇すると不稔障害が生じる危険性が認められている。

### 5.2.2 林業への影響

降水量が豊富で温暖な我が国は、農地・工業地・住宅地等の非森林面積が拡大した現在でも、国土の 67% にあたる 252,300km<sup>2</sup> が森林に覆われ、その比率は世界平均の森林率 29% を大きく上回っている。地球温暖化の影響として代表樹種であるスギを例にとれば、高緯度地域では高い気温と長い日照時間が成長に有利に働く場合も考えられるが、高温化に伴う水分条件の悪化により、総じて成長量の低下や高齢木の枯損の増加をもたらすおそれがある。また、高温化は病害虫の発生地域の拡大につながるおそれもある。

林業への影響については未解明な点が多いが、森林資源の育成には超長期を要することから林業にも影響を与える可能性があり、ひいては水源かん養等森林の持つ公益的機能の発揮にも支障が生じるおそれも否定できない。

### 5.2.3 水産業への影響

日本周辺の海域は、亜熱帯海流である黒潮と亜寒帯海流である親潮が接するという特徴を持ち、豊富な魚種が生息するとともに、世界でも最も漁業生産量の高い海域である。地球温暖化による影響は、浮魚類の資源変動に最も直接的に現れると予想され、我が国の漁業生産は、主として地球温暖化による黒潮の流路や流量の変化に依存すると考えられる。

植物プランクトンに関しては、水温の上昇により、これまで低緯度に生息していた種が日本近海に出現するようになることが予測される。また、水温の上昇により成層が強化され、底層からの栄養塩が供給されにくくなると、大型の珪藻から小型の鞭毛藻への遷移が起こることも予想される。さらに海氷面積の減少により、海氷に付着したアイスアルジー（海氷の底や中で生活している藻類）が減少するため、オホーツク海の生産力は低下すると予想される。

動物プランクトンに関しては、水温の上昇により小型化すると予想される。また、水温上昇により暖冬傾向が続くと、越冬可能なクラゲの個体数が増大し、食物連鎖の影響段階でライバルとなるイワシ類に打ち勝つため、沿岸海域の漁場価値が低下する可能性もある。

## 5.2.4 食糧安全保障への影響

我が国の食糧安全保障が脅かされるとすれば、国内では温暖化に伴って新たな病虫害が急激に発生したり、冷害を引き起こすような異常気象が頻発したり、降雨のパターンが著しく変化するような場合が考えられるが、現在の知見だけでは予測は困難である。一方、より蓋然性の高いのは、海外、特に主要食糧輸出地域での減収による影響であると考えられる。ダイズ、トウモロコシ、小麦などは天水に依存する割合が高く、作況変動も激しい。わずかな気候変動が大きな生産変動と市場での混乱をもたらし、多くの農作物の供給に不安を招来する可能性がある。

## 5.3 水文・水資源への影響

### 5.3.1 水文・水資源への影響

日本における降水量は大きいですが、それは時間的・空間的にかなり変動し、また河川が急峻で短く、流域面積が小さいため、降水量を十分に水資源として利用できない状況にある。温暖化シナリオと長期流出モデルを用いた研究が多数なされている。これらの研究から抽出される知見は以下の通りである。

- 3 程度の気温上昇の影響よりも、10%程度の降水量の変動のほうが流況に与える影響は大きい。
- 3 程度の気温上昇があっても10%の降水量増加があれば、平均的にみて低水部流量はあまり変化せず、高水部流量は15%程度増大する。ただし、蒸発散や融雪が卓越する場合には10%の降水量増加があっても高水部流量が減ることもあり得る。
- 気温上昇により降雪が雨になったり融雪が早まったりするので、1 - 3 月の流量が増加し、4 - 6 月の流量が減少する。

水資源に与える影響を考えるときには、さまざまな人間活動に起因する水の需要と、自然の水資源システム、ダムのような人工的な水資源システムとの間の関係が重要である。上水道の需要は、3 の気温上昇によって1.2 - 3.2%程度増加すると考えられる。

## 5.4 社会基盤施設と社会経済への影響

### 5.4.1 我が国の沿岸域の特性と影響

我が国は四方を海に囲まれ長い海岸線を有し、人口や経済活動は沿岸地域に集中してい

る。このため海面上昇や高潮の増加は、我が国の自然環境や社会・経済システム等に大きな影響をもたらすと懸念される。特に、社会基盤施設（インフラストラクチャー）や社会・経済システムは、現在の気候に対して最適化されており、地球温暖化に伴い海面上昇や気温上昇、降雨の変化、台風の変化が生じれば、広範な影響を受けると考えられる。

海面上昇によって海岸保全施設（防災施設）の機能と安全性が低下する。堤防や護岸に打ち上げる波が高くなり、越波量も増加する。現状と同じ安全性を確保しようとする、1mの海面上昇に対して、外洋に面した堤防では2.8mの嵩上げが必要になり、内湾の岸壁では3.5mの嵩上げが必要である。この他に、港湾・漁港施設、人工島、埋め立て地、内水排除・下水道システムなど、沿岸域にあるあらゆる種類の社会基盤施設に対して影響が及ぶと考えられる。

海面上昇の結果、地下水位の上昇や塩水化が生じ、基礎地盤の支持力と液状化強度の低下をもたらす。海岸部の軟弱地盤上には、多くの社会基盤施設やビルが集積しているため、地震時における支持力低下や液状化の危険性の増大は、都市の地震安全性の確保にとって重大な問題である。

現在、我が国では、861km<sup>2</sup>の国土が満潮位以下であり、そこには200万人が住み、54兆円の資産が集積されている。これに対してIPCC第3次評価報告書が示した全球平均海面水位上昇における、2100年での最も高い変化の予測（88cm）に近い1mの海面上昇が生じるとすると、面積は2.7倍以上の2,339km<sup>2</sup>に拡がり、人口及び資産もそれぞれ410万人及び109兆円に拡大する。

#### 5.4.2 沿岸域と社会基盤施設に対する影響の経済評価

我が国の港湾区域における浸水被害ポテンシャルの推計及び港湾施設・海岸保全施設での対策費用を計測したところ、IPCC第3次評価報告書が示した全球平均海面水位上昇における、2100年での最も高い変化の予測（88cm）に近い1mの海面上昇に対して、港湾施設の対策に7.8兆円、海岸保全施設の対策に3.6兆円必要であり、対策費用の合計は11.5兆円にのぼることが示された。

#### 5.4.3 産業・エネルギーへの影響

温暖化の国民生活そのものに対する影響として、消費構造については、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%増加するという分析をしている予想もある。

夏季の電力需要の40%は冷房需要であり、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）増加する。都市部での冷房需要の増加や夏物商品増産による工場稼働率の上昇により、夏期の電力需要は増加すると予想される。

温暖化は電力供給にも様々な影響を及ぼす。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。また、河川や海水温度の変化は、それらを冷却水に使用する火力・原子力発電所の発電効率に影響を与えることも予想されている。

## 5.5 自然への影響

### 5.5.1 日本の自然環境の脆弱性

我が国は、亜熱帯から亜寒帯に属する多様な森林生態系が近接して分布する変化に富む自然環境を有する。地球温暖化により今後 100 年間に平均気温が 3℃ 上昇するとすれば、現在の生態系分布は緯度方向には約 500km、標高では 500m 移動しなければならない。これは、それぞれ 5km/年、5m/年に相当する速度である。この変化に生態系がどのように対応するかに関しては、生物種は種毎にさまざまな環境耐性や移動能力を有しており、さらに既存の生態系との競合もあり単純に予測できない。また、我が国は、地形のひだが細かく地質的にも多様であり、さらに海峡や都市や道路、鉄道などのさまざまなレベルの障壁がその間に存在する。これらの障壁は生物相や生態系が温暖化に対して適応する際に大きな制限を与え、小さい領域に孤立した種などは行き場を失い絶滅する可能性がある。また、人口密集地に隣接する湖沼や沿岸海域などの生態系は、人間活動によるストレスを既に受けており、新たに生じる温暖化ストレスに対して敏感であると指摘されている。以上のことから、地球温暖化による日本の生態系への影響をマクロなスケールで定量的に評価することは、現時点では不可能に近い。

### 5.5.2 高山生態系への影響

多くの高山植物種の開花時期を規定する主要な要因の一つは消雪時期である。今のところ温暖化による降雪量の変化は明確ではないものの、融雪期の気温が上昇すれば開花時期への影響が予測される。

最近、中部山岳を中心に北海道においてもハイマツの枝先が春先に枯れる現象が認められる。この原因のひとつとして、積雪深の減少により雪の保護効果が小さくなっている可能性が示唆される。

### 5.5.3 森林生態系への影響

我が国は、北緯 25 度から 45 度、南北に 3,000km にわたって東アジアのモンスーン地域に広がっており、その全域が森林の成立を十分支える多雨林地帯にある。温暖化の影響は、温度の直接的影響に加え、特に温暖化に伴う積雪の変化が、森林の分布や種組成に大きく影響することが我が国の特徴である。

冷温帯の代表的な森林であるブナ林は、冷温帯の中でも湿潤または多雪と考えられる場所に多く、乾燥地または寡雪と考えられる場所ではミズナラ林の方が多かった。温暖化によってブナ林分布下限域が照葉樹林などに移行するだけでなく、温度的には冷温帯域に残

った場所であっても高温化による乾燥化や積雪の減少などでブナ林からミズナラ林などに移行する可能性がある。例えば、西日本のブナ林はわずかな部分を残して分布適地からはずれると予想される。

温暖化によると考えられる、昆虫類の高緯度、高標高地域への進出が認められてきている。そのなかで、環境破壊や植物の移動が比較的困難であることから、高山のような特殊な環境の昆虫類の絶滅と、気温で分布が制限される種、たとえばマツノマダラカミキリの進出によるマツ材線虫病被害拡大が危惧される。

また近年、ニホンジカ、ニホンザル、イノシシなどの大型哺乳動物が生息分布を拡大しているが、これは気候変化による積雪量・積雪期間の減少による影響が大きいと考えられる。寡雪状況は、野生生物の生存率を高め、個体数や分布を拡大し、農林業被害を多発させる。

#### 5.5.4 草原への影響

我が国の自然草原は、その大半が何らかの自然的あるいは人為的圧力を受けている中で成立しているので、これまで草原植生と気候要因との関係は不明確であった。このため植生帯区分を気候要因との関係から検討し、その結果を温度と降雪量により基準化した。その基準をもとに作成した温暖化時点での植生帯の変動予測を行った。

この予測によると、50年後には亜寒帯植生が石狩低地以南から消滅し、冷温帯植生も九州・四国・紀伊半島から消滅し、亜熱帯植生が九州南端に出現する。100年後には、亜寒帯植生は北海道の山地を除いて消滅し、冷温帯植生も本州では山地帯に縮小し、暖温帯植生が本州の大半を占め、亜熱帯植生が九州・四国・本州南部の低平地に拡大する。

#### 5.5.5 生物多様性への影響

我が国における温暖化の影響が危惧されるのは、特に地理的に分布が限定されている種である。例えば、屋久島、種子島のみ分布するヤクタネゴヨウなど、これに当たる種が多く、その大半は生存力の低い種である。また、南西諸島の温帯域や小島嶼に固有な植物群落は温暖化で危機に直面する可能性が大きいと考えられる。

#### 5.5.6 サンゴ礁への影響

我が国のサンゴ礁は世界のサンゴ礁分布から見れば北限域にあり、温暖化による水温上昇はサンゴの生育にとって望ましい方向に働く。

しかしながら、過去のサンゴ礁の最大上方成長速度は4m / 1000年程度なので、今後の海面上昇率が40cm / 100年を超えると、サンゴ礁は海面の上昇に追いつくことができないうで、沈水してしまう可能性がある。また、造礁サンゴの生育最適水温は18 - 28℃なので、

30 以上の高水温が続くとサンゴは白化して死滅する。1997 - 98 年のエルニーニョ現象前後には、琉球列島を含む地球上のほとんどの海域のサンゴ礁で、大規模な白化現象が発生した。今後このような白化現象が発生する頻度は多くなると考えられる。

### 5.5.7 マングローブへの影響

鹿児島県の喜入を北限とするマングローブ生態系は陸と海の境界に位置し、それぞれの作用を緩和する役割を果たしているが、海面上昇率が 50cm / 100 年以下であれば、自らの腐蝕物などを堆積して、その生態系を維持できる。また潮差が 2m 以上あるような感潮域の場合は 50cm / 100 年程度の海面上昇があっても、立地の大半は平均海面上に維持されるので、マングローブ林は維持される。西表島の大規模なマングローブ林は近未来の海面上昇に対して、その分布域は移動して、森林内部の植生分布は変化することが予想される。

### 5.5.8 砂漠化への影響

我が国では現在、砂漠化の危険はない。ただし、アジア大陸での砂漠化の進行による気候変化が日本の気候に影響するなど間接的な影響が予想される。

## 5.6 人の健康への影響

地球温暖化は、直接影響として夏の高温による熱ストレスの増加をもたらすほか、寄生虫や病原体の生育条件、媒介動物等の生育への影響を通じて人の健康に影響を及ぼすと考えられている。また、光化学大気汚染の増加等による健康影響も懸念される。

### 5.6.1 熱ストレスによる直接的影響

地球温暖化による熱ストレスが人の健康に与えるリスクとしては熱中症や熱射病の増加が考えられ、これらに関して研究が進められている。

暑熱への適応力が低い高齢者（65 歳以上）について、リスクの高い疾患と日最高気温、大気汚染との関係から、夏季に熱中症や肺炎の罹患率が日最高気温の上昇につれて上昇することが示された。また、日最高気温と高齢者の死亡率については V 字型の関連があることがわかっているが、気候が温暖になるにつれて V 字型は高温方向にシフトすることが示された。



## 5.6.2 動物媒介性感染症等の間接的影響

地球温暖化は、感染症を媒介する動物の生息域・活動期間の拡大をもたらし、マラリア、デング熱等の動物媒介性感染症の発生域、発生数が増加すると考えられている。

我が国では現在、石垣島、宮古島が北限とされているハマダラカ（マラリア媒介蚊）の生息域が北上するとともに活動の活発化で亜熱帯地域では大きな影響が生じる可能性がある。

## 5.7 適応措置

地球温暖化を防止する対策として各種施策により温室効果ガスの排出抑制等が進められているが、同時に、気候変動が生じた場合でもそれに伴う悪影響を可能な限り抑え、また、変化した気候に対する適応を容易にするための適応措置を講ずることが気候変動枠組条約に述べられている。このことから我が国では、主に沿岸域と社会基盤施設、及び農業生産における適応策について検討を進めている。

### 5.7.1 沿岸域及び社会基盤施設における適応

適応策には、IPCC が提案したように、計画的撤退、順応、防御の 3 つがある。沿岸域の土地利用密度の高い我が国では、脆弱な地域の継続的な利用を前提とした順応や防御が主体とならざるを得ない。適応策には、計画面、制度面といったソフト面の対応から構造物といったハード面まで幅広い方策があるので、影響の回避のために予見的な検討を進める必要がある。

また、港湾及び海岸における海面上昇の動向を把握するため、各機関において今後も継続的にモニタリングを実施し、定期的にこれらの観測結果について評価を行う必要がある。

### 5.7.2 農業における適応

温暖化によって、将来、国内の農業生産は影響を受けると考えられ、適応策としては、より気候に適した品種の開発、作目の転換、栽培方法の変更等により、環境変化に順応していくことが考えられる。

## 第 5 章 引用文献

IPCC (2001): 第 3 次評価報告書

環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ (2001): 地球温暖化の日本への影響 2001

西岡秀三、原沢英夫編集 (1997): 地球温暖化と日本、古今書院