

気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート

# 『日本の気候変動とその影響』

(2012年度版)

2013年3月

文部科学省 気象庁 環境省



## 目 次

はじめに .....	1
第1章 気候変動のメカニズム .....	2
1. 1 気候変動とその要因 .....	2
1. 1. 1 気候とは .....	2
1. 1. 2 気候を決める要因と気候システム .....	2
【コラム1】 平年値の基準期間 .....	3
1. 2 温室効果ガス濃度の変化 .....	4
1. 3 近年の地球温暖化の原因 .....	5
【コラム2】 炭素循環 .....	7
【コラム3】 太陽活動と気候 .....	8
【コラム4】 「地球温暖化は止まった」のではないか .....	9
【コラム5】 気候における様々な変動や変化とその用語について .....	10
第2章 気候変動の観測結果と将来予測 .....	11
2. 1 気候に関する観測事実 .....	11
2. 1. 1 気温 .....	11
2. 1. 2 降水量 .....	12
【コラム6】 アメダスでみた短時間強雨の観測回数の変化 .....	14
2. 1. 3 海洋 .....	15
2. 1. 4 海氷 .....	16
2. 1. 5 台風 .....	17
【コラム7】 世界における極端な現象の変化 .....	17
2. 2 将来予測される気候変動 .....	18
2. 2. 1 気候変動予測と将来シナリオ .....	18
【コラム8】 IPCC の評価報告書における可能性と確信度の表現 .....	20
2. 2. 2 気温 .....	21
2. 2. 3 降水量 .....	23
2. 2. 4 降雪量、最深積雪 .....	25
2. 2. 5 台風 .....	25
【コラム9】 極端に強い台風のシミュレーション .....	26
2. 2. 6 海面水温 .....	27
2. 2. 7 海面水位 .....	27
【コラム10】 RCP シナリオを用いた予測 .....	28
第3章 気候変動による影響 .....	29
【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？ .....	29
3. 1 気候変動の分野別影響（世界） .....	30
【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 .....	32
3. 2 日本における気候変動の影響 .....	33
3. 2. 1 各分野への影響とその捉え方 .....	33
3. 2. 2 水環境・水資源 .....	35
【コラム13】 日本の1人あたり水資源量 .....	36
【コラム14】 「年超過確率 1/100 の現象」とは？ .....	37
3. 2. 3 水災害・沿岸 .....	38

【コラム 15】 近年における水災害事例	39
【コラム 16】 複合災害について	41
【コラム 17】 深層崩壊について	42
3. 2. 4 自然生態系	43
【コラム 18】 生物多様性のモニタリング	47
3. 2. 5 食料	48
3. 2. 6 健康	52
【コラム 19】 ヒートアイランド現象	52
3. 2. 7 国民生活	55
第4章 将来の気候変動に対する適応策の現状と課題	56
4. 1 我が国における適応の取組	56
4. 1. 1 個別分野での適応の取組	56
4. 1. 2 モニタリング及び予測	56
4. 1. 3 関係府省における連携	56
4. 2 我が国における適応の取組強化の必要性	59
4. 3 適応策の概念と枠組み及び課題等	59
4. 3. 1 適応とは	59
4. 3. 2 適応策の枠組み	59
4. 3. 3 適応策の課題と留意すべき事項	59
【コラム 20】 現時点の科学的知見を踏まえた適応策の方向性と取組のステップ	60
4. 4 適応に関する今後の我が国の取組について	62
4. 5 諸外国における適応の取組	63
【コラム 21】 イギリスの適応政策の概要	64
【コラム 22】 自治体における適応への取組	65
【コラム 23】 自治体の取組の支援	66
【コラム 24】 行政・企業等の多主体が連携した適応への取組	67
おわりに	68
謝辞	68
付録 気候変動の観測・予測・影響評価に関する研究調査	69
1. 観測分野での取組	69
【コラム 25】 アルゴ (Argo) 計画	70
【コラム 26】 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG)	71
【コラム 27】 民間航空機による二酸化炭素の観測	71
【コラム 28】 GOSAT (温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」)	72
【コラム 29】 GCOM-W (水循環変動観測衛星「しずく」)	72
2. 予測分野での取組	73
3. 影響評価分野での取組	73
4. データインフラ構築の取組	75
【コラム 30】 気候変動予測研究とスーパーコンピュータ	75
略語集	76
参考文献	78
「温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート」 専門家委員会名簿	85

## はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC<sup>1</sup>、以下「IPCC」という）が2007年に公表した第4次評価報告書（AR4<sup>2</sup>、以下「AR4」という）は、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」ことを示し、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」ことを明らかにした。また、多くの自然システムが、地域的な気候変動、とりわけ気温上昇の影響を受けつつあることを示した。

また、温室効果ガスの増加と、個々の極端現象を結びつけて論ずることは難しいが、その頻度の増加や影響の大きさの拡大の傾向に、温室効果ガスの増加が関係している可能性が指摘されている。極端現象の増加は、人間社会に対して大きな影響をもたらす可能性が高い。このため、IPCCはこれまでに観測された極端現象の傾向や将来予測、それに伴って増大する災害リスクの管理についてとりまとめ、2012年に「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」（SREX<sup>3</sup>、以下「SREX」という）として、公表した。

気候変動に伴う様々な影響を防ぐために、我が国をはじめ各国で進めている対策は、大きく「緩和策」と「適応策」に分けられる。緩和策は、省エネルギーや再生可能エネルギー導入等による温室効果ガスの排出削減や森林等の吸収源の増加などで気候に対する人為的影響を抑制する対策である。一方、適応策は、気候変動がもたらす水資源、食料、生物多様性等への様々な影響に対して人や社会、経済のシステムを再構築することで影響を軽減しようという対策である（図1）。

AR4は、「最も厳しい緩和努力をもってしても、今後数十年の気候変動の更なる影響を回避することができないため、適応は特に至近の影響への対応において不可欠」であり、また、「緩和されない気候変動は、長期的には、自然システム、人為システム及び人間システムの適応能力を超える可能性が高い」と述べている。このため、同統

合報告書は「適応策と緩和策のどちらも、その一方だけでは全ての気候変動の影響を防ぐことはできないが、両者は互いに補完しあい、気候変動のリスクを大きく低減することが可能である」と述べている。

本レポートの目的は、2009年に公表した「温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響』」のとりまとめの後に得られた知見を加え、日本を中心とする近年の気候変動の現状と将来の予測及び気候変動が及ぼす影響について体系だった情報を提供することである。さらに、国や地方の行政機関や国民が気候変動に対する適応策を考える際に役立つ最新の科学的知見を提供することである。

本レポートでは、第1章でまず気候変動対策を考えるにあたって必要となる基本的な用語・概念や気候変動の要因・メカニズムについて解説する。第2章ではこれまでの観測結果に基づく近年の気候変動の現状と将来予測、第3章では気候変動により現在生じている影響及び将来予測される影響について分野ごとに示す。第4章では、適応策の必要性と考え方、適応策に関する現状の取組と課題について解説する。なお、付録として、気候変動に関する観測・予測とその影響評価に対する取組についてまとめた。

科学的信頼性を確保するとともに、できるだけ最新の研究成果を反映させるため、本レポートは、主として、IPCC AR4及びAR4で用いられた気候予測モデルの結果、政府が設置した検討委員会、政府の研究プロジェクト及び定常観測や予測実験の成果報告書等の既存の資料をもとにとりまとめた。なお、本レポートの理解を助ける用語等の解説、また関心が高いと思われるトピックについてコラムとして話題提供した。

とりまとめにあたっては、観測、予測、影響評価の各分野の専門家からなる「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート」専門家委員会（委員長：住 明正 国立環境研究所理事）を設置し、委員の協力を得て、報告書の構成・内容等の検討、査読等を実施した。

<sup>1</sup> IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>2</sup> AR4: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

<sup>3</sup> SREX: Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation

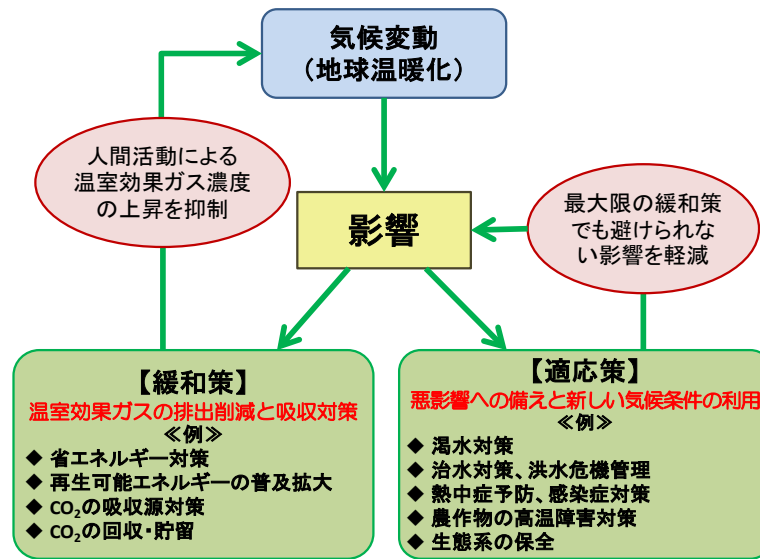


図1 気候変動と緩和策・適応策の関係

## 第1章 気候変動のメカニズム

この章では、気候変動対策を考えるにあたって必要となる基本的な用語や概念、及び近年の気候変動の要因について解説する。

### 1.1 気候変動とその要因

#### 1.1.1 気候とは

気候とは、一般に「十分に長い時間について平均した大気の状態」のことをいう。平均によって短期間の変動が取り除かれるため、それぞれの場所で現れやすい気象の状態と考えることができる。具体的には、ある期間における気温や降水量などの平均値や変動の幅によって表される（コラム1参照）。

平均期間より長い時間で見ると、気候は必ずしも定常的なものではなく、様々な変動や変化をしている。このような変動や変化を広く「気候変動」と呼ぶ。本レポートでは、基本的に人為的要因によると推定される長期的な変動や変化を対象として「気候変動」の語を用いるが、自然変動を含む気候の変化や変動を「気候変動」と記述しているところもある（詳しくはコラム5参照）。

#### 1.1.2 気候を決める要因と気候システム

気候は大気の平均的な状態を示すものであるが、大気や水の循環には海洋、陸面、雪氷が深くかかわっている。このため、大気と海洋・陸面・雪氷を相

互に関連する一つのシステムとして捉えて「気候システム」と呼ぶ。

地球規模の気候は、気候システムに外部から強制力が加わることで変化する。外部強制力には自然的要因によるものと人為的要因によるものがある。自然的要因としては、太陽活動の変動や、火山噴火による大気中の微粒子「エアロゾル<sup>4</sup>」の増加などがあり、人為的要因としては、人間活動に伴う化石燃料の燃焼や土地利用の変化などによる温室効果ガスの増加やエアロゾルの増加などが挙げられる（表1.1.1）。一方、気候は外部強制力を受けなくとも気候システム内部の要因によっても変動する（内部的な自然変動）。内部の要因とは、大気・海洋・陸面が自然法則に従って相互作用することであり、これによる自然変動の代表的な例にはエルニーニョ／ラニーニャ現象がある。

地球全体の平均気温は、地球に入ってくるエネルギー（太陽放射）と地球から出ていくエネルギー（外向きの長波放射）のバランスによって決まっている。人為的要因が大きくなると、図1.1.1のように地球規模でのエネルギーのバランスに変化をもたらし、気候に大きな影響を与えることになる。

<sup>4</sup> エアロゾル：大気中に浮遊する固体又は液体の微粒子。エアロゾルともいう。

### コラム1 平年値の基準期間

気候の地域性や時間的変化を解析する際の基準としてしばしば用いられる平年値は、世界気象機関（WMO）により 30 年間の平均値として定義されている。30 年が使われているのは、「1 世代 30 年」と言われるように社会の変化の時間スケールが 30 年程度であるためである。我が国の気象庁では、平年値を 10 年毎に更新しており、2011 年より 1981～2010 年の平均を用いている。

しかし、気候を定義する時間スケールは様々であり、実際には 30 年とは異なる平均期間が使われることもある。また平年値がどの 30 年間を用いているかも、国によって、あるいは統計によって異なるので、相互に比較するときには注意が必要である。本レポートでは、原則として 1981～2010 年の平均を平年値として用いた。

表 1.1.1 地球規模の気候を決める主な要因

外部強制力				
主な自然的要因	太陽活動の変動	→	大気上端で受け取る太陽放射量の変化	
	地球の公転軌道の変動			
	火山の噴火によるエアロゾルの増加			地表で受取る日射量の変化
主な人為的要因	化石燃料等を起源とする温室効果ガス(二酸化炭素等)の排出による大気組成の変化	→	宇宙に出ていく長波放射量の変化	
	森林伐採や土地利用の変化			地表面の反射率の変化、二酸化炭素吸収源の変化、水循環の変化
	大気汚染物質(硫酸塩エアロゾルや黒色炭素など)の排出			地表で受取る日射量の変化、雲粒径や雲量変化を通じた雲の反射率の変化
内部の要因				
熱帯太平洋の海面水温が数年規模で変動するエルニーニョ/ラニーニャ現象(ENSO)や、太平洋十年規模振動(PDO)などをもたらす、大気-海洋相互作用など				

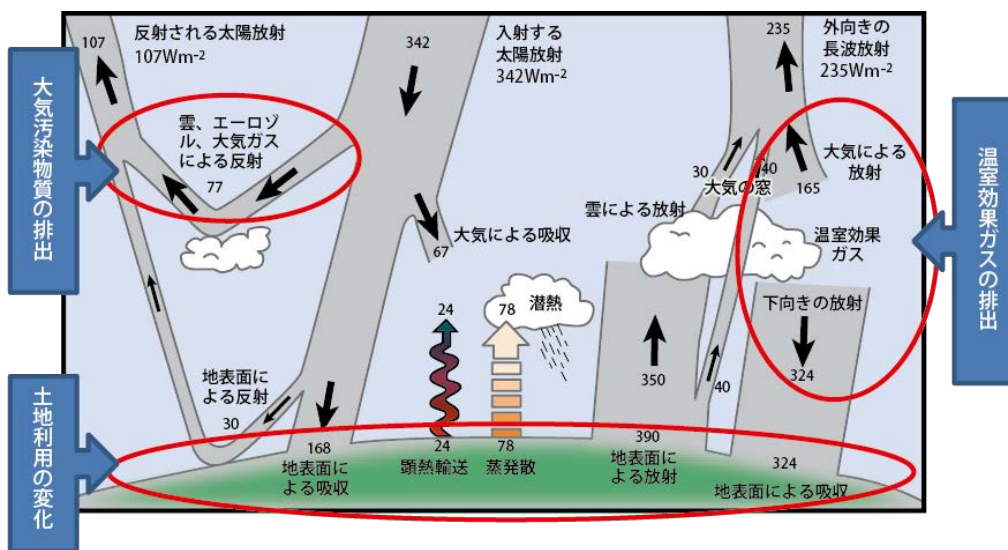


図 1.1.1 年平均した地球全体のエネルギー収支と人為的要因が影響する主な過程

出典：IPCC、2007a を改変、加筆

放射強制力<sup>5</sup>は、気候に与える影響力を定量的に評価し比較するための物差しとなるもので、地球のエネルギー収支のバランスを変化させる様々な人為起源及び自然起源の要因の影響を示す。正の放射強制力は地表を加熱し、負の放射強制力は冷却する。

産業革命以前（1750年頃）を基準とした2005年時点の放射強制力の内訳をみると（図1.1.2）、正の放射強制力については、長寿命の温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、ハロカーボン類）及び対流圏オゾンの増加による温室効果の寄与が大きい。一方、負の放射強制力は、主に人為起源のエアロゾル（硫酸塩など）によってもたらされている。エアロゾルは、直接太陽放射を散乱・吸収して日射を減衰させる（日傘効果）。また、雲の凝結核となることから雲粒径や雲量の変化を通じて間接的に雲アルベド（反射率）を増加させ、地表に届く日射を減少させる。

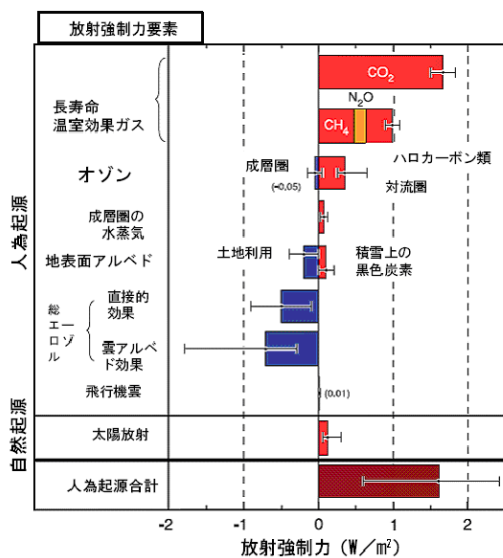


図 1.1.2 2005 年時点で世界平均した放射強制力の推定値（1750 年頃を基準）

火山によるエアロゾルは自然起源の放射強制力として付加的に寄与するが、影響が一時的であるため、この図には含まれていない。色つきの棒グラフについての細い黒線は、個々の値の 90%信頼区間を示す。

出典：IPCC、2007a

## 1. 2 温室効果ガス濃度の変化

温室効果ガス濃度は、20 世紀後半以降、世界各地でモニタリングされるようになった。日本でも、気象庁が綾里（岩手県）、南鳥島（東京都）、与那国島（沖縄県）において、国立環境研究所が落石岬（北海道）、波照間島（沖縄県）において、それぞれ二酸化炭素などの温室効果ガス及び他の微量ガスの観測を継続的に行っている。

大気中の二酸化炭素濃度は、北半球の春から夏に減少し、秋から翌春に増加する季節変動を伴いながら、年々明瞭に増加している（図 1.2.1）。季節変動は主に陸域生態系の活動（植物の光合成や土壌有機物の分解）によるもので、南半球は北半球に比べて陸地が少なく森林等の植物も少ないため、季節変動が小さい。

世界気象機関（WMO<sup>6</sup>、以下「WMO」という）の温室効果ガス世界資料センター（WDCGG<sup>7</sup>、以下「WDCGG」という）の解析によると、二酸化炭素の世界平均濃度は、2011 年時点で 390.9 ppm<sup>8</sup>と産業革命以降 40%増加した（表 1.2.1）。また、最近 10 年は年平均 2.0ppmの割合で増えており、増加率は 1990 年代（年平均 1.5ppm）よりも大きくなっている。二酸化炭素以外の温室効果ガス濃度も増加しており、特にメタンの 2011 年の平均濃度は 1,813ppb<sup>9</sup>と産業革命以降 154%の増加となっている（表 1.2.1）。

図 1.2.2 は、氷床コアから得られた過去 80 万年における二酸化炭素濃度と気温の変化である。これまで、およそ 10 万年毎に氷期と間氷期が繰り返され、寒冷な氷期に比べて温暖な間氷期には、二酸化炭素濃度が高かったこと、氷期の最寒冷期と間氷期の間で約 100ppm の濃度差があったことがわかる。これらは、地球の公転軌道や自転軸の傾きの周期的な変動に起因する気候の変動をきっかけとして二酸化炭素などの温室効果ガス濃度が増加し、さらに気候の変動を促進した結果と考えられている。近年の二酸化炭素濃度（図 1.2.1）は、過去 80 万年のいずれの間氷期における濃度（～300ppm）よりも遙かに高く、過去 80 万年にわたる地球大気の世界の歴史の中でも極めて特殊であることがわかる。

<sup>5</sup> 放射強制力：IPCC 第 1 次評価報告書で、「対流圏の上端（圏界面）における平均的な正味の放射の変化」と定義されている。平衡状態にある大気と地表とのエネルギーのバランスがさまざまな要因によって変化した際の変化量を圏界面における単位面積あたりの放射量の変化 (W/m<sup>2</sup>) で表した指標である。

<sup>6</sup> WMO: World Meteorological Organization

<sup>7</sup> WDCGG: World Data Centre for Greenhouse Gases

<sup>8</sup> ppm: 容積比で 100 万分の 1

<sup>9</sup> ppb: 容積比で 10 億分の 1



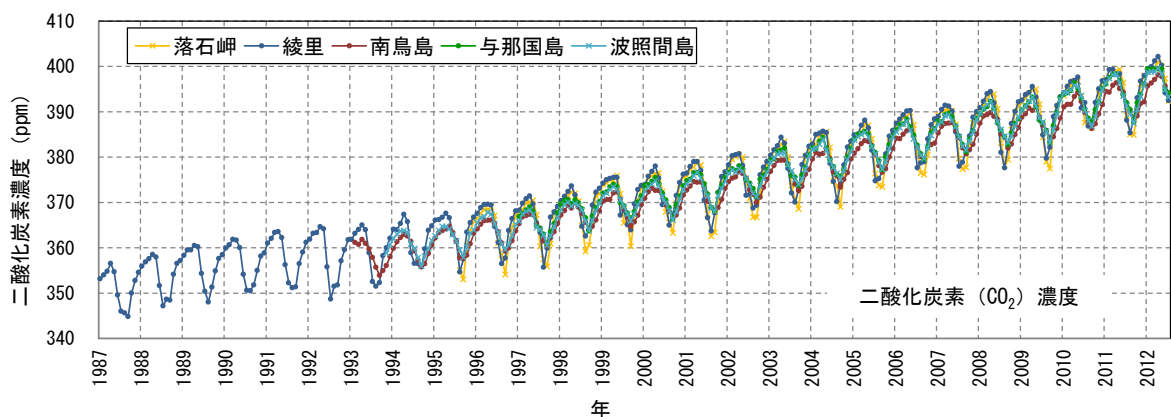


図 1.2.1 大気中の二酸化炭素平均濃度の経年変化

WMO 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) 及び国立環境研究所の観測データを使用。

表 1.2.1 温室効果ガス等の世界平均濃度 (2011 年)

温室効果ガスの種類	大気中の濃度		前年との差	参考数値 寿命 (年)
	産業革命以前 (1750 年頃)	2011 年平均濃度 (産業革命以降の増加率)		
二酸化炭素	約 280ppm	390.9ppm (+40%)	+2.0ppm	不定
メタン	約 715ppb	1813 ppb (+154%)	+5 ppb	12
一酸化二窒素	約 270ppb	324.2ppb (+20%)	+1.0ppb	114

WMO (2012) 及び IPCC (2007a) を基に作成。

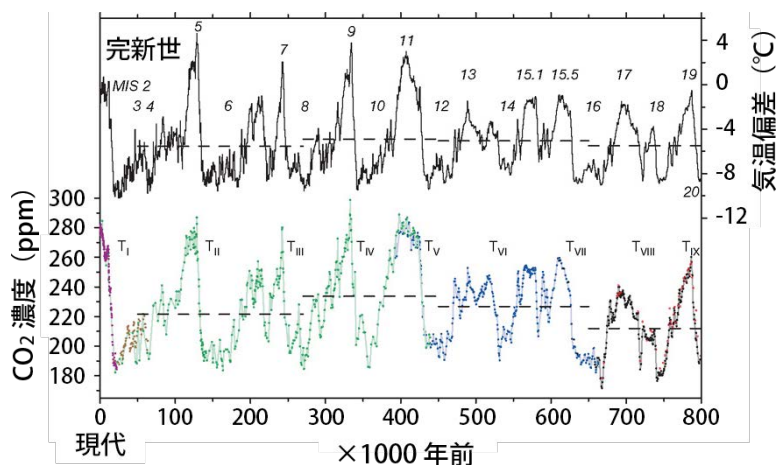


図 1.2.2 氷床コアから推定した二酸化炭素濃度と気温の変化

過去 80 万年以降の二酸化炭素の大気中濃度 (下段、T は氷河期の終了) と氷床コア採取点における気温偏差 (上段)。二酸化炭素濃度の異なる色の印は異なる研究を示す。なお、近年の急激な二酸化炭素濃度の増加は反映していない。出典: Lüthi *et al.*, 2008

### 1.3 近年の地球温暖化の原因

19 世紀後半以降、世界の平均気温や海面水位は、長期的に上昇している (図 1.3.1)。また、海洋表層の貯熱量は、1950 年以降上昇と下降を繰り返しつつ増加しており、水温の上昇が海面のみならず海洋内部まで及んでいることを示してい

る。これらの観測結果により、気候システムが温暖化していることには疑う余地がないとされている (IPCC, 2007a)。

観測された地球温暖化が自然変動によるものなのか、人為的要因によるものなのかは、気候モデルで強制力を分離して計算した結果から推測

できる。図 1.3.2 は世界の平均地上気温の変化について観測値とモデルによる再現シミュレーションを比較したものである。自然起源と人為起源の強制力の双方を考慮した気候モデルの計算結果（赤陰影）は、観測された気温の変化（黒線）、特に 20 世紀後半の気温上昇をよく再現している。一方、人為起源の強制力を考慮していない計算結果（青陰影）では、この気温上昇は再現されてい

ない。この違いは陸域に限らず、海洋においても同じである（図 1.3.2 (b), (c)）。

以上に紹介した観測結果及び気候モデルによる 20 世紀気候再現実験の結果等に基づき、IPCC(2007a)は、「20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い。」とした。

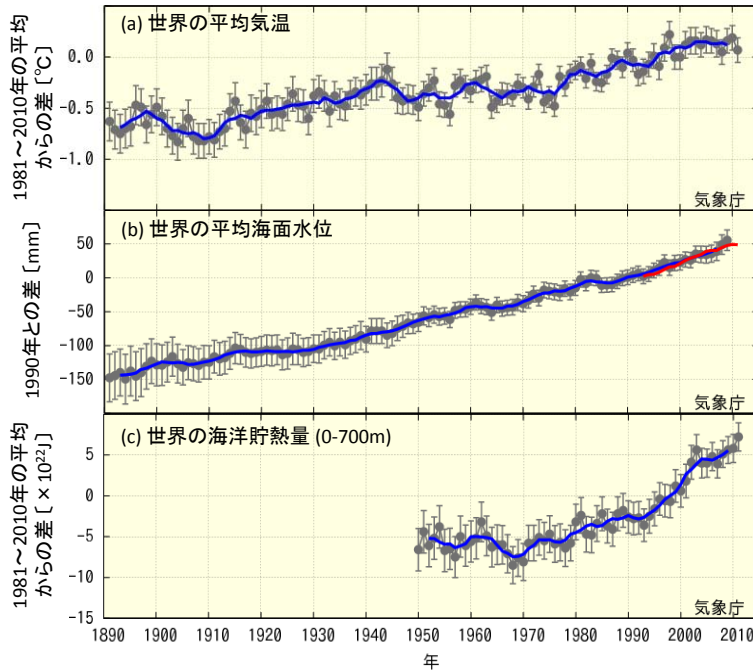


図 1.3.1  
(a) 世界の平均気温、  
(b) 潮位計（青）と衛星（赤）データによる世界の平均海面水位、  
(c) 世界の海洋貯熱量 (0~700m)

気温と海洋貯熱量は 1981 年～2010 年の平均からの差、水位は 1990 年を 0 としたときの差で示している。滑らかな曲線は 5 年移動平均値、丸印は各年の値をそれぞれ示す。エラーバーは 90% の信頼区間を示す。データソース：(a)、(c)及び(b)の衛星データは気象庁の解析値、(b)の潮位計データは Church and White (2011)による解析値である。作成：気象庁

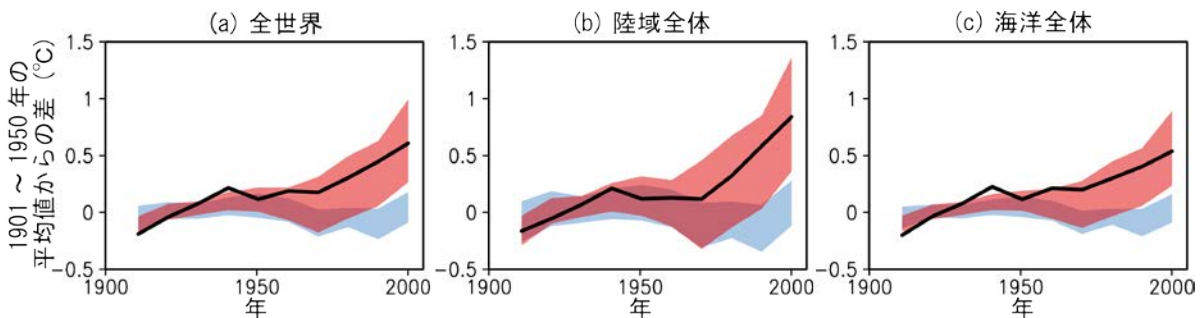


図 1.3.2 観測された地上気温の変化と気候モデルによるシミュレーションの比較

1901～1950 年平均からの偏差の 10 年間平均値。(a) 世界全体、(b) 陸域のみ、(c) 海洋のみの結果。  
黒線：観測値（気象庁による解析値）  
陰影：第 5 期結合モデル相互比較計画(CMIP5)<sup>10</sup>の複数のモデルのシミュレーション結果の 5～95%が含まれる範囲  
(青) 自然起源の強制力のみを用いた 15 のモデルのシミュレーション結果  
(赤) 自然起源と人為起源の両方の強制力を用いた 35 のモデルのシミュレーション結果 作成：気象研究所

<sup>10</sup> 結合モデル相互比較計画：Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)。気候モデルの開発は各国でそれぞれ行われているが、世界気候研究計画 (WCRP) の下にある結合モデル作業部会 (WGCM) では、国際的な気候モデルの開発を推進するため、実験設定を共通にしたシミュレーション結果の相互比較により気候モデルの性能を評価し気候予測の可能性や不確実性を探求するプロジェクトとして Coupled Model Intercomparison Project を行っている。CMIP は IPCC 評価報告書における温暖化の原因特定や将来予測に関する主要な結論の科学的根拠となるデータを提供する役割を果たしている。CMIP3 は第 3 期、CMIP5 は第 5 期結合モデル相互比較計画である。

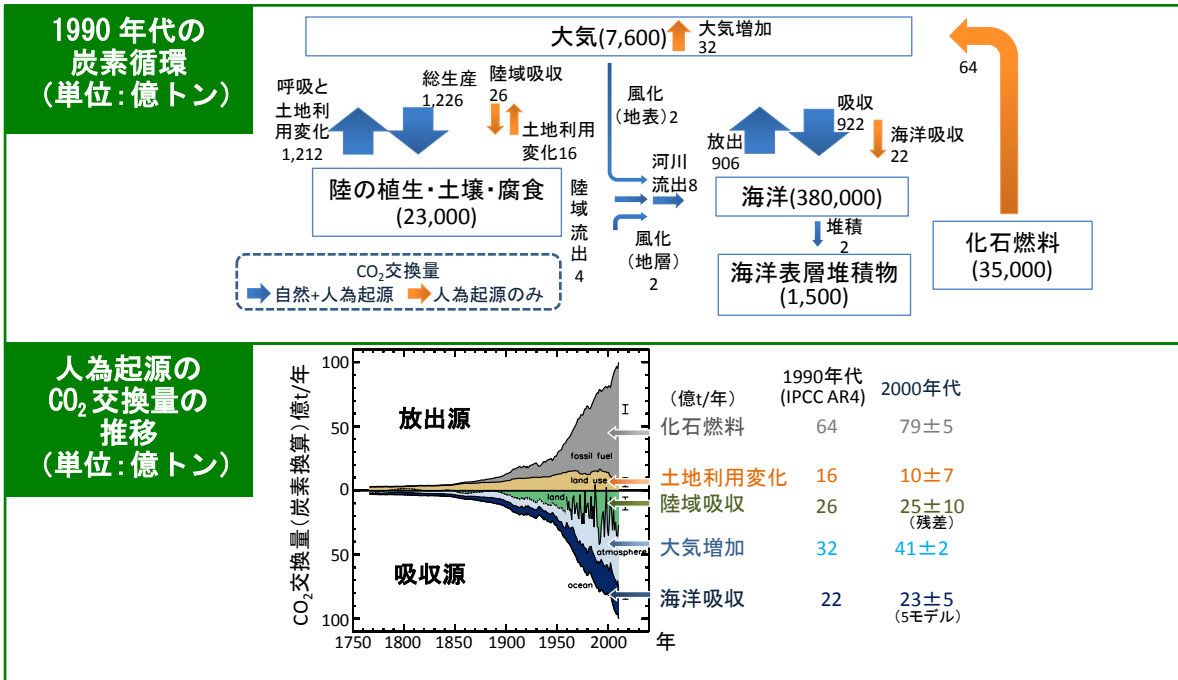
## コラム 2 炭素循環

大気中の温室効果ガス濃度は、地球規模の炭素循環や窒素循環の結果として変化する。代表的な生元素（生体の維持・活動に不可欠な元素）である炭素や窒素は、大気や水の循環、地殻変動などにより循環し、海洋への溶解や生物の光合成、呼吸、分解など生物化学過程による変化を受ける。炭素循環では、図に示すように、大気、海洋、陸域生態系が主要な炭素の貯蔵庫となっており、これらの貯蔵庫間で炭素が交換され循環する結果として、大気中二酸化炭素の濃度が決まる。大気と海洋中での主な炭素の形態はガスとしての二酸化炭素と溶存無機炭酸種であるが、陸域生態系では、植物体を構成する有機物とそれが変化した土壌有機物や腐食物質が主要な存在形態となる。

循環する炭素の一部は重要な温室効果ガスであるメタンとして存在し、生物化学過程がその存在量と循環量を決める主要なプロセスとなっている。窒素を含む主要な温室効果ガスは一酸化二窒素であり、二酸化炭素と同様に大気、海洋、陸域生態系間での循環過程が存在する。

産業革命以降、人類が大量に消費するようになった化石燃料は、数億年以上も昔の生物の死骸が地下の熱や圧力の作用で変化してできたもので、炭素を含んでいる。化石燃料の消費は、長い年月をかけて地下に蓄積されてきた炭素を、短期間で大気中に放出することであり、地球上の炭素循環に不均衡をもたらす。

自然の炭素循環量と比較すると人為起源の炭素交換量は小規模に見えるものの、産業革命以前には均衡していた収支に不均衡をもたらし、貯蔵庫の炭素現存量を変化させている。大気貯蔵庫の二酸化炭素量の増加は地球温暖化の最大の原因となっており、近年（2000年代）は、1990年代に比べ、化石燃料からの放出の増大で、大気中の二酸化炭素濃度の年々の増加量が大きくなった。



### 地球の炭素循環

#### (上) 1990年代の炭素循環

各数値は炭素重量に換算した二酸化炭素貯蔵量（□中の数値、1750～2004年末の積算値、単位：億トン）と移動量（矢印、青：産業革命前の自然の循環＋人為起源、オレンジ：人為起源のみ、1990年代（1990～1999年）の平均値、単位：億トン／年）を表している。IPCC(2007a)をもとに作成。ただし、炭素貯留量は有効数字 2 桁で示した。ここでは示さないが、これら炭素貯留量は推定誤差を含んでおり、誤差の大きさは項目別に大きく異なる。移動量のうち数値を 3 ないし 4 桁目まで示したものは小さい移動量を含めた収支を整合させる目的であり、移動量の有効数字は 1 ないし 2 桁程度である。

#### (下) 人為起源の CO<sub>2</sub> 交換量の推移

産業革命以降の推移を放出源、吸収源別に示したもの。Global Carbon Project, 2011（グラフと 2000 年代（2000～2010 年）の数値）に、1990 年代の数値（IPCC, 2007a）を加筆。

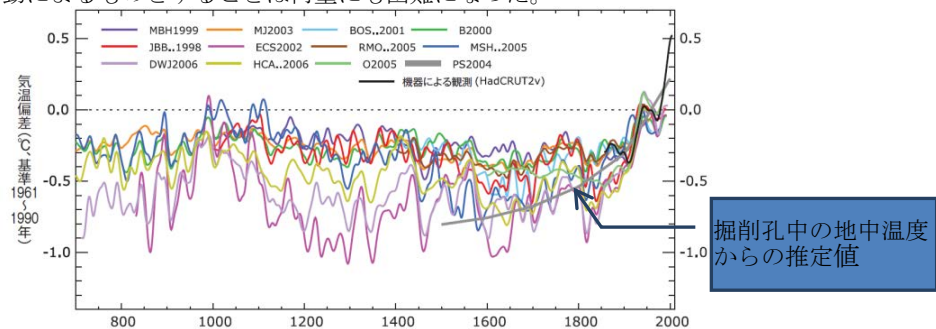
### コラム3 太陽活動と気候

太陽活動はさまざまな時間スケールの変動を繰り返している。とりわけ平均約 11 年の周期変動が卓越しており、その指標となっている黒点数の増減と、太陽面の爆発現象（フレア）によってもたらされる地球の現象すなわちオーロラの出現、地球磁場と電離層の乱れなどがよく対応していることは古くから知られていた。一方、日射強度に関しては、地上観測から確かな関係を見出すのは困難であったが、1979 年以降、人工衛星による直接観測によって、黒点数の増減に対応して 0.1%程度の変動が確認された。それから 30 年余り経過し、その間系統的なトレンドは見出されず近年の温暖化の原因としては無視できる大きさ（温室効果ガス増加による放射強制力の数%以下）であることが明らかになった。

2012 年、東京天文台と NASA の研究チームは、過去 20 年間で太陽活動は次第に低下しており、太陽観測衛星「ひので」の観測結果を含めた分析から、黒点の原因となる太陽磁場の構造が通常と異なる事を明らかにした。東京天文台は、今後も黒点活動の低下傾向は続くだろうとの見解を示している。しかし、衛星観測による太陽放射強度は通常の 11 年周期変動と同様に回復してきており、すぐには地球の温度の低下をもたらすとは考えられない。

100 年以上前の歴史時代の気候の変化に関しては、太陽活動の変動による日射の変化が影響しているとする考えが有力である。歴史時代の気候の変化は、歴史記録や樹木の年輪、堆積物中の花粉の分析など様々な代替データで研究されている。また掘削抗中の地中温度から過去の温度を推定することも行われている（Pollack and Smerdon, 2004, IPCC, 2007a など）。これらを総合して、15 世紀半ば～19 世紀半ばの期間は低温傾向が続いたと推定されており、「小氷期」と呼ばれている。この中で、およそ 1645～1715 年の期間は黒点数が著しく減少し（マウンダー極小期として知られる）、その前後を含んで宇宙線を遮蔽する太陽磁場も弱かったことから、太陽活動低下の時期であった。小氷期の気温は、20 世紀初頭に比べて 0.5℃程度（0.3～0.7℃）低かったと推定されている（下図）。現在問題とされている人為起源の温暖化が 2～3℃であることを考えると、仮に太陽活動が弱まりその影響があったとしても、温度上昇を大幅に減らすものとは考えにくい。

また、デンマークの宇宙物理学者スベンスマルクは太陽活動の間接的な温暖化への影響として以下のような説を唱えている。この説は、日射強度の変化が人工衛星による直接観測によってきわめて小さい(0.1%)ことが明らかになったのち、直接の加熱の変化でない別のプロセスで太陽活動が気候に影響を与え得るものとしてヨーロッパを中心に他分野の科学者の注目を浴びた。地球には銀河からの宇宙線（超新星爆発などで発生した高エネルギーの粒子）が降り注いでおり、それが空気を電離してイオンを作っていることが知られている。スベンスマルクは、雲粒を作る凝結核の中でも重要とされる硫酸エアロゾルが、ガス状態の硫酸から最初の微小な核を作るのにイオンが重要な働きをすとの考えを取り上げた。銀河宇宙線は太陽磁場の活動が強いと地球を含む太陽系空間に入りにくくなるので、太陽活動によって宇宙線の強度は変わる。そこで太陽活動に応じて雲核の数が変わり、雲量の変化をもたらして日射加熱を変え、それによって気候が変わる可能性があると考えた。硫酸エアロゾル生成のメカニズムは専門の間でも議論されていたので、この仮説を検証するため欧州原子核研究機構(CERN)では、2010 年、2011 年に硫酸ガスを含むチャンパーに高エネルギー粒子を照射する実験を行った。その結果、イオンは有効でなく、専門家が考えていたように空気中にごく微量含まれるアンモニアやそのほかの物質の方が重要との結論が得られた（Duplissy *et al.*, 2010, Kirkby *et al.*, 2011）。スベンスマルクは近年の温暖化に関して、宇宙線の減少傾向から、雲量が減ったためと推定していた。しかし、その後、太陽活動は弱まる傾向になり宇宙線は記録的強さとなって、スベンスマルクの説によれば宇宙線が雲を増やすなら低温化すべきであるが、実際には気温低下は起きていない。従って 20 世紀後半の温暖化は温室効果ガスの増加ではなく太陽活動によるものとするのは何重にも困難になった。



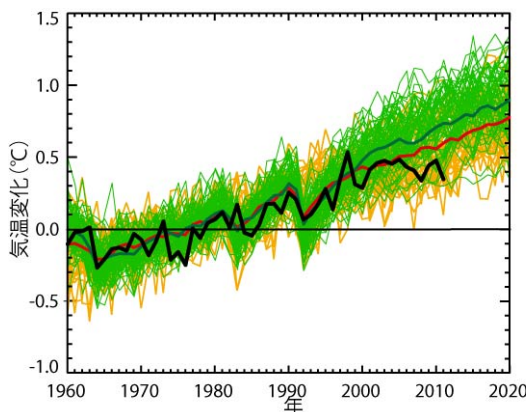
復元された過去 1300 年の北半球の気温の変化

黒線は観測機器による記録。その他の色が示すのは、複数の代替データによる 12 の研究結果。出典：IPCC, 2007a



#### コラム4 「地球温暖化は止まった」のではない

近年、世界平均気温の上昇が停滞していることから、地球温暖化は止まったのではないか、という説がある。図Aに示すように、2000年前後以降、黒線で示される世界の平均気温の観測値の上昇が横ばいになっているように見える。しかし、過去約120年間の推移にもこのような気温の一時的な低下や停滞は見られ(図1.3.1、図2.1.1)、大きく変動しながらも再び上昇に向かいトレンドとして気温は上昇していることがわかる。また、気象庁による世界平均気温の解析では、1891年の統計開始以降の1位から10位までの高温年はすべて1998年以降に現れている。この変動は気候変動予測モデルによるシミュレーション(CMIP3、CMIP5)の幅(細線)の範囲内であり、現時点でトレンドが変わったと判断することはできない。



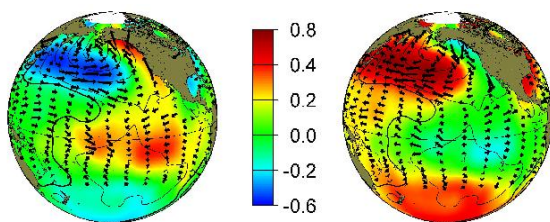
図A 世界の年平均気温偏差の推移

黒線：観測値  
 オレンジ線：CMIP3  
     細線：各シミュレーション予測値  
     太線：アンサンブル平均値  
 緑線：CMIP5  
     細線：各シミュレーション予測値  
     太線：アンサンブル平均値

作成：東京大学・国立環境研究所

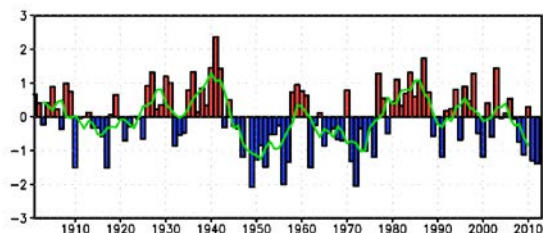
2000年前後からの世界平均気温の横ばい傾向の要因の可能性の一つとして、「太平洋十年規模振動(Pacific Decadal Oscillation (PDO))」が挙げられている(図B)。PDOとは、太平洋の海面水温が上がったり下がったりする現象で、熱帯太平洋が高温のときは北部北太平洋が低温(図B左：PDO指数プラス)、熱帯太平洋が低温のときは北部北太平洋が高温(図B右：PDO指数マイナス)というパターンで数十年の時間規模で不規則に変動する現象である。図Cに示されるとおり、ここ数年はPDO指数がおおよそマイナスとなっており、熱帯太平洋の広い面積で海面水温が相対的に低いことを表している。この影響により世界の平均気温の上昇が横ばい傾向となっている可能性がある。

このように、温暖化のトレンドにPDOに代表される数十年周期の内部的自然変動が重なったことによって、気温上昇が一時的に減速または加速したように見えることがある。気候の変化や変動を分析する際には、それに伴う時間のスケールを的確に切り分けて評価することが重要である。



図B 太平洋十年規模振動のパターン

PDOの正極(左)、及び負極(右)の冬季における海面水温(色)、海面気圧(等値線)、海面の風応力(矢印)の典型的な偏差パターン。出典：気象庁、2012a(原著論文はMantua *et al.*, 1997)



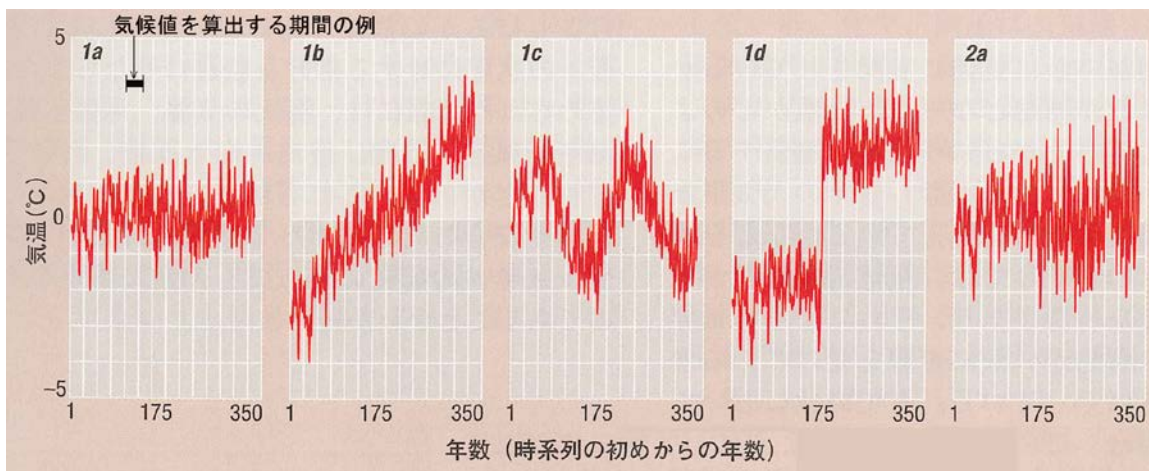
図C PDO指数の時系列(1901年～2012年)

棒グラフ：PDO指数の冬季平均値  
 実線：5年移動平均値 出典：気象庁、2012b

## コラム5 気候における様々な変動や変化とその用語について

ある地点や地域の気候は、気温や降水量などの観測値の平均（気候値）や変動の幅などによって示される。長期間にわたる観測から、それらの年々の変動を時系列として示すことが出来る（例として、気温の場合のイメージを下図に示す）。氷期・間氷期のような数万年に及ぶ長期変動から、年ごとの暑さ寒さの違いのように気候値を算出する期間の中での短期変動まで様々な周期の変動があり、短期変動は気候の揺らぎあるいは（短期の）気候の変動性とも称される。このような変動の幅は平均する領域の広さにも依存し、世界平均など広い領域での気候値における変動幅は、狭い領域での変動幅よりも小さくなる。

長期にわたる観測の全期間にわたって、気候値を統計的に算出する期間ごとの平均や短期変動の幅が事実上同じとみなせる場合（1a）、この時系列は定常であると言われる。実際には、長期的に見ると気候には様々な要因によって変動や変化があり、多くの時系列は定常とならない。そのパターンは、平均的な状態がある方向に継続して変化するもの（1b）、周期的・規則的に変動するもの（1c）、ある時点を境に平均的な状態が大きく変化するもの（1d）、に大別できる。また、平均値は変化しなくても、短期変動の幅が増大あるいは減少することもある（2a）。多くの時系列は、これらの変動が重なりあっているとみなせる。気象学ではこのような変化や変動を総称して気候変動と呼んでいるが、（1b）のような長期的に一方向の変化を「気候変化」と呼んで、「気候変動」と区別することもある。また、気候学では長期の変化・変動の総称を「気候変化」とする場合がある。



気候の変動や変化のパターンの例

出典：WMO 気候の事典、2004 に加筆

なお、「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）や「気候変動に関する国際連合枠組条約（気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)、以下「UNFCCC」という）」のような国際機関や条約の行政上の正式名称では、英文表記での「気候変動に関する国際連合枠組条約の訳語に「気候変動」があてられている。特に、気候変動枠組条約第1条では、「『気候変動』（“Climate Change”）とは、地球の大気の組成を変化させる人間活動に直接又は間接に起因する気候の変化であって、比較可能な期間において観測される気候の自然な変動に対して追加的に生ずるものをいう。」と定義されており、条約の対象となる気候変動の要因を人為起源のものに限定している。

本レポートは、UNFCCC で定義された「気候変動」を対象としている。一方、このコラムの前半に記されているように、「気候変動」という用語は、広く自然の気候の変化を指して用いられてきた。このため、本レポートにおいても、自然変動を含む気候の変化や変動を「気候変動」と記述しているところもある。これは、人為起源の気候変動を分析・理解し、さらに予測するには自然変動を含めた取り扱いが必要なためであり、文章の前後関係で区別がつくよう注意を払っている。

## 第2章 気候変動の観測結果と将来予測

19世紀後半以降、世界各国や日本で観測機器による気象観測が行われるようになった。また、気候変動の将来予測に向けた研究が国内外で進められている。本章では様々な観測データにより明らかになった、世界及び日本における近年の気候変動の現状を概観するとともに、気候変動の将来予測に関する最新の研究成果をとりまとめる。

### 2.1 気候に関する観測事実

#### 2.1.1 気温

世界の平均気温は1891年以降100年あたり0.68℃の割合で上昇している。また、日本の平均気温は1898年以降100年あたり1.15℃の割合で上昇している。気温の上昇に伴って、猛暑日や熱帯夜の日数が増加している。

#### (1) 世界の気温

地球表面の7割は海洋が占めるため、世界の平均気温は陸上の観測のみならず、海面水温のデータを併せて解析している。機器を用いた観測が広く開始された19世紀後半以降、世界の平均気温は変動を繰り返しながら上昇しており、長期的には100年あたり0.68℃の割合で有意に上昇している(図2.1.1)。世界の平均気温の経年変化には、二酸化炭素など温室効果ガスの大気中濃度の増加による地球温暖化の影響に、数年～数十年程度で繰り返される自然変動が重なって現れていると考えられる。

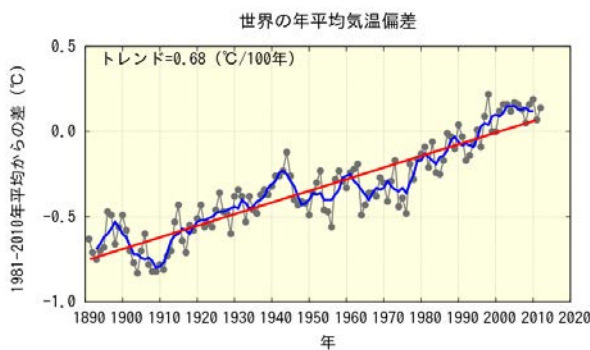


図2.1.1 世界の年平均気温の変化

観測機器によって得られた資料に基づく、1891～2012年の世界全体の年平均気温の推移。黒線は各年の平均気温の平年差(平年値との差)、青線は5年移動平均、赤線は長期変化傾向を示す。平年値は1981～2010年の30年平均値。

出典：気象庁、2012c に追加

気温の上昇は世界的に一様に起こっているのではなく、地域による違いが現れている。アジア地域では、北アジア、中央アジアといった北半球中・高緯度に属する地域における気温の上昇が顕著である(図2.1.2)。

また、これら長期的な変化傾向とともに、顕著な高温や低温などの極端な現象も変化している。IPCCのSREXでは、これまでの観測結果から、世界規模で寒い昼と寒い夜の数が減少し、暑い昼と暑い夜の数が増加した可能性が非常に高いことや、多くの地域で熱波などの高温期間の長さや発生数が増加したことの確信度は中程度、とまとめられている(コラム7)。

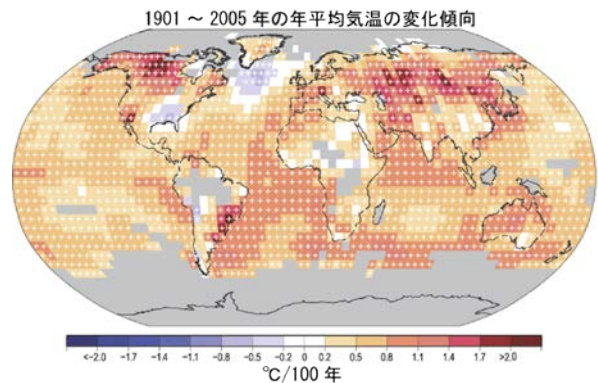


図2.1.2 世界の年平均気温の変化の分布

観測機器によって得られた資料に基づいて推定された、1901～2005年の年平均気温の変化傾向(100年あたりの変化量:℃)。灰色の領域はデータが不十分な地域。  
出典：IPCC、2007a

#### (2) 日本の気温

日本の平均気温は、観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化の影響が比較的少ないとみられる気象庁の17観測地点(図2.1.3)のデータから求められている。

日本の平均気温も世界の平均気温と同様、変動を繰り返しながら上昇しており、長期的には100年あたり1.15℃の割合で有意に上昇している(図2.1.4)。1940年代までは比較的低温の期間が続いたが、その後上昇に転じ、1960年頃を中心とした高温の時期、それ以降1980年代半ばまでのやや低温の時期を経て、1980年代後半から急速に気温が上昇した。顕著な高温を記録した年は、おおむね1990年代以降に集中している。これは世界の平均気温と同様に、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年～数十年程度で繰り返される自然変動が重なって現れているため



と考えられる。

顕著な高温や低温などの極端な現象について、日最高気温が 35℃以上（猛暑日）の日数及び日最低気温が 25℃以上（熱帯夜<sup>11</sup>）の日数は、統計期間 1931～2012 年での変化傾向をみると、それぞれ 10 年あたり 0.2 日、1.4 日の割合でいずれも有意に増加している。一方、日最低気温が 0℃未満（冬日）の日数は、同期間において 10 年あたり 2.2 日の割合で有意に減少している（図 2.1.5）。

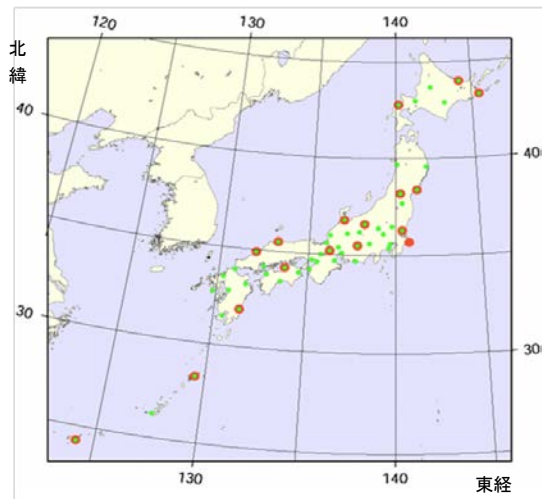


図 2.1.3 日本の平均気温・平均降水量の算出に用いたデータの観測地点図

赤丸は平均気温の算出に用いた 17 地点を、緑丸は平均降水量の算出に用いた 51 地点を示す。なお、宮崎は 2000 年 5 月に、飯田は 2002 年 5 月に庁舎を移転したため、移転による観測データへの影響を評価し、その影響を除去するための補正を行ったうえで利用している。 出典：気象庁、2005

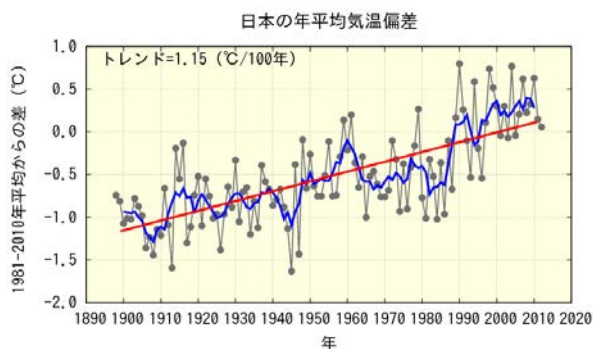


図 2.1.4 日本の年平均気温の変化

国内 17 地点（図 2.1.3）での 1898～2012 年の年平均気温の推移。黒線は各年の平均気温の平年差（平年値との差）、青線は 5 年移動平均、赤線は長期変化傾向を示す。平年値は 1981～2010 年の 30 年平均値。出典：気象庁、2012c に追加

<sup>11</sup> 熱帯夜：熱帯夜は夜間の最低気温が 25℃以上のことを指すが、ここでは日最低気温 25℃以上の日を便宜的に「熱帯夜」と呼んでいる。

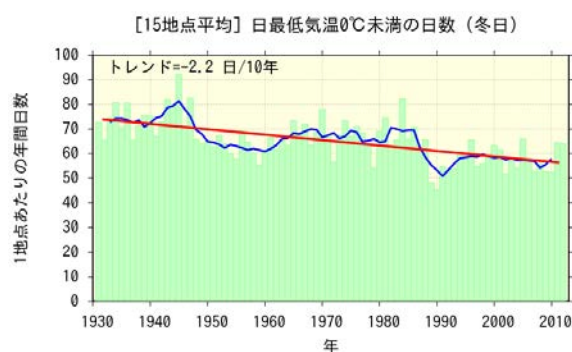
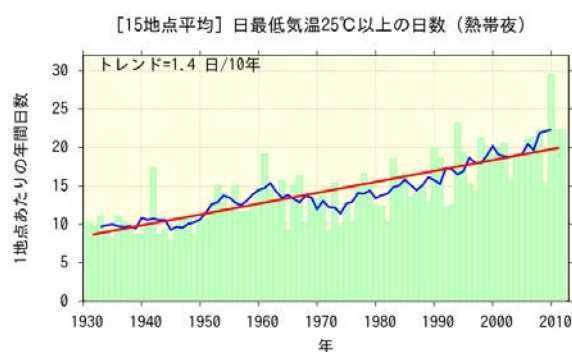
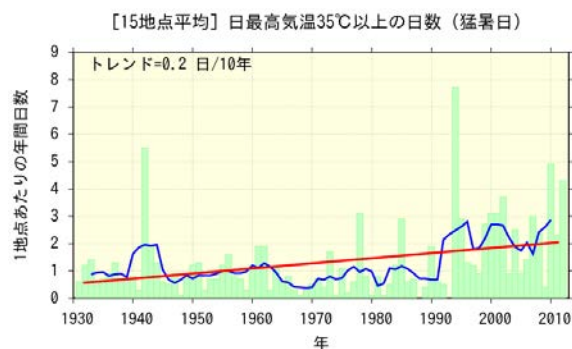


図 2.1.5 猛暑日(上)、熱帯夜(中)、冬日(下)の年間日数の経年変化

国内 15 地点（図 2.1.3 の赤丸の 17 地点から庁舎移転のあった宮崎、飯田を除いた地点）の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数（1931～2012 年）。棒グラフは各年の値、青線は 5 年移動平均、赤線は長期変化傾向を示す。 出典：気象庁、2012c に追加

## 2. 1. 2 降水量

世界及び日本の年降水量は大きく変動している。日本は 1970 年代以降、年ごとの変動が大きい。1mm 以上の降水の年間日数は減少する一方、大雨の年間日数に増加傾向が現れている。

### (1) 世界の降水量

世界（陸域）の年降水量は、変動を繰り返しながらも、1950 年代と 2000 年代半ば以降に多い時期が現れている（図 2.1.6）。降水量は気温と異



なり、全球で一様な変化傾向はなく、年降水量の長期変化傾向は、地域によって大きく異なり、年降水量が増加している地域や、減少している地域がある。降水量の変動は空間的・時間的に非常に大きく、はっきりした長期変化傾向が見られない地域もある（図 2.1.7）。

また IPCC の SREX は、これまでの観測結果から、強い大雨の発生数が増加した地域が、減少した地域よりも多い可能性が高いとしている（コラム 7）。

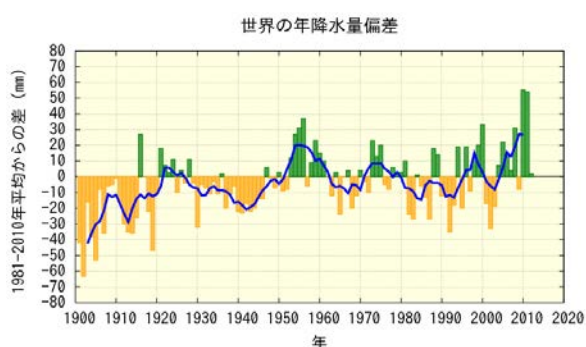


図 2.1.6 世界（陸域）の年降水量の変化

世界の陸上の観測地点での、1901～2012 年の年降水量の推移。棒グラフは各年の年降水量の年差（年値からの差）、青線は 5 年移動平均を示す。年値は 1981～2010 年の 30 年平均値。 出典：気象庁、2012c に追加

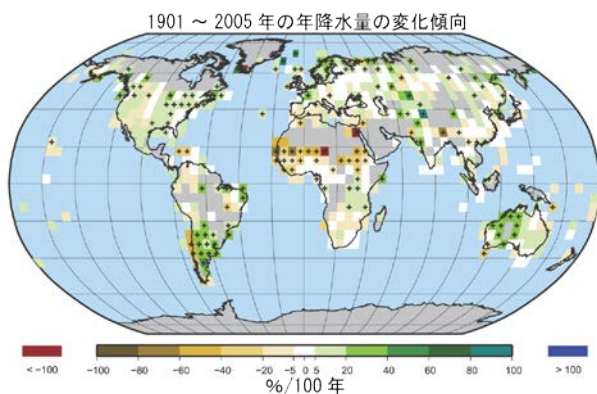


図 2.1.7 世界（陸域）の年降水量の変化の分布

1961～1990 年の平均を基準とした、1901～2005 年の世界（陸域）の年降水量の傾向（100 年あたりの変化率：%）。灰色の領域はデータが不十分な地域。+を付した領域は 5%の危険率で有意なトレンドであることを示す。 出典：IPCC、2007a

## （2）日本の降水量

日本の年降水量は、観測データの均質性が長期間維持されている気象庁の 51 観測地点（図 2.1.3）のデータから求めている。その変化を見ると、1920 年代半ばまでと 1950 年代頃に多雨期がみられ、1970 年代以降は年ごとの変動が大きくなっている（図 2.1.8）。降水日数の変化を見ると、日降水量 1.0mm 以上の日数には有意な減少傾向（日降水量が 1.0mm 未満あるいは無降水の日数に有意な増加傾向）が見られる（図 2.1.9）。

極端な降水現象の変化として、日降水量 100mm 以上の日数及び日降水量 200mm 以上の日数の変化傾向をみると、いずれも有意な増加傾向が見られ、長期的にはそれぞれ 100 年あたり 0.25 日、0.04 日の割合で増加している（図 2.1.10）。

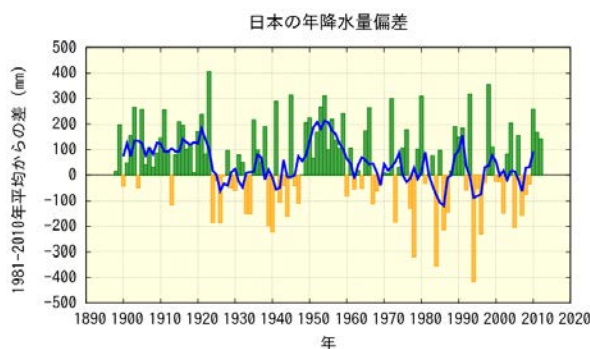


図 2.1.8 日本の年平均降水量の変化

国内 51 地点（図 2.1.3）の、1898～2012 年の年降水量の推移。棒グラフは各年の年降水量の年差（年値からの差）、青線は 5 年移動平均を示す。年値は 1981～2010 年の 30 年平均値。 出典：気象庁、2012c に追加

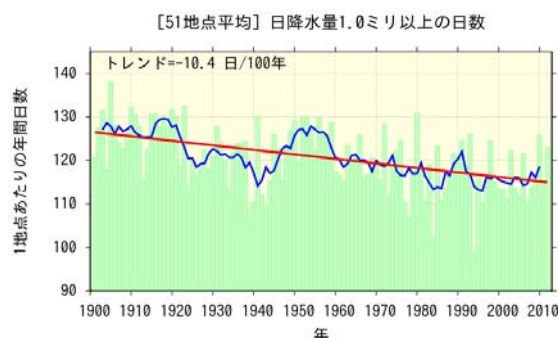


図 2.1.9 日降水量 1.0mm 以上の年間日数の変化

国内 51 地点（図 2.1.3）の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数（1901～2012 年）。棒グラフは各年の値、青線は 5 年移動平均を、赤線は長期変化傾向を示す。作成：気象庁

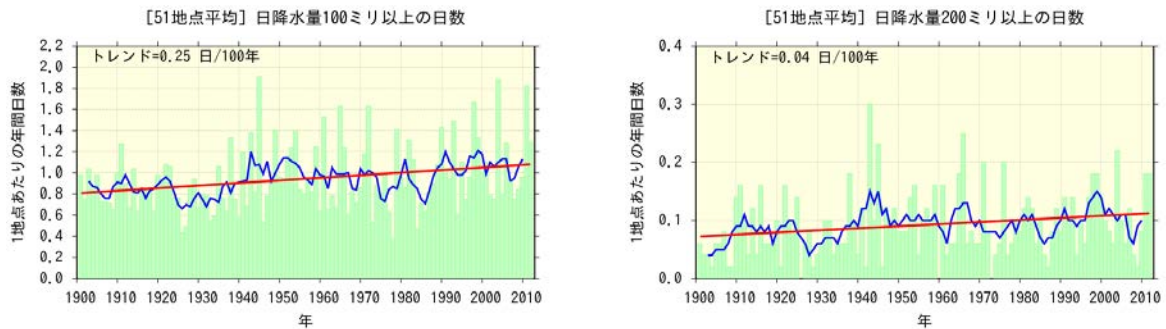


図 2.1.10 日降水量 100mm 以上(左)、200mm 以上(右)の年間日数の変化

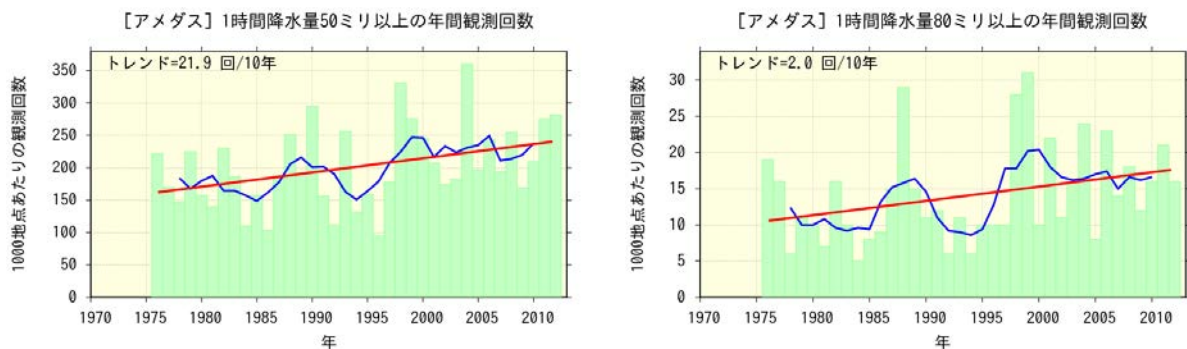
国内 51 地点 (図 2.1.3) の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数 (1901~2012 年)。棒グラフは各年の値、青線は 5 年移動平均を、赤線は長期変化傾向を示す。 出典：気象庁、2012c に追加

### コラム 6 アメダスでみた短時間強雨の観測回数の変化

現在、気象庁では、全国約 1,300 箇所の地域気象観測所 (アメダス) (气象台、測候所、特別地域気象観測所を含む) において、降水量の観測を行っている。観測開始年は地点により異なるものの、多くの地点では 1970 年代後半に観測を始めており、35 年間程度のデータが利用可能となっている。气象台や測候所等における約 100 年間の観測データと比べるとアメダスの 35 年間は短い、アメダスの地点数は气象台や測候所等の約 8 倍あり面的に緻密な観測が可能であることから、短時間強雨などは比較的よく捉えることができる。

アメダスで観測された 1 時間降水量 (毎正時前 1 時間降水量) 50mm 及び 80mm 以上の短時間強雨の観測回数の 30 年余りの変化傾向をみると、いずれも 1976~2012 年の期間において増加傾向が明瞭に現れている。

ただし、短時間強雨の発生回数は年ごとの変動が大きく、それに対してアメダスの観測期間は比較的短いことから、変化傾向を確実に捉えるためには今後のデータの蓄積が必要である。



アメダス地点で 1 時間降水量が 50mm 以上(左)及び 80mm 以上(右)となった年間観測回数の変化 (1,000 地点あたりの観測回数に換算)

棒グラフは各年の値 (1976~2012 年)、青線は 5 年移動平均、赤線は期間にわたる変化傾向を示す。

出典：気象庁、2012c に追加

### 2. 1. 3 海洋

世界の平均海面水温、平均海面水位はいずれも上昇している。一方、日本近海の平均海面水温は概ね上昇傾向を示しているが、平均海面水位は約20年周期の変動が顕著であり世界平均海面水位にみられるような明瞭な上昇傾向はみられない。

#### (1) 世界の海面水温、海面水位、海洋酸性化

世界全体の年平均海面水温は、1891～2012年において100年あたり0.51℃の割合で有意に上昇している(図2.1.11)。

また、世界全体の年平均海面水位は20世紀を通じて0.17m上昇したと見積もられており、海洋表層の貯熱量は長期的に有意な上昇傾向にある(図1.3.1)。海面水位の上昇の要因は、海洋の昇温(貯熱量の増加)に伴う熱膨張と、氷河、氷帽及びグリーンランドや南極の氷床といった陸氷の融解や海洋等への流出によると考えられている。

産業革命以後、大気中に放出された化石燃料起源の二酸化炭素のうち、約3分の1が海洋に吸収されていると見積もられており、吸収された二酸化炭素によって海水は酸性化している。これまでに、観測結果に基づいて太平洋、大西洋、南大洋、北極海などで海洋酸性化が起きていると報告されている。北西太平洋における気象庁の海洋気象観測船による観測データによると、この海域での冬季の表面海水中の水素イオン濃度(pH)は北緯10～30度で10年あたり0.014～0.018(1984～2012年冬季の平均)低下している(図2.1.12)。

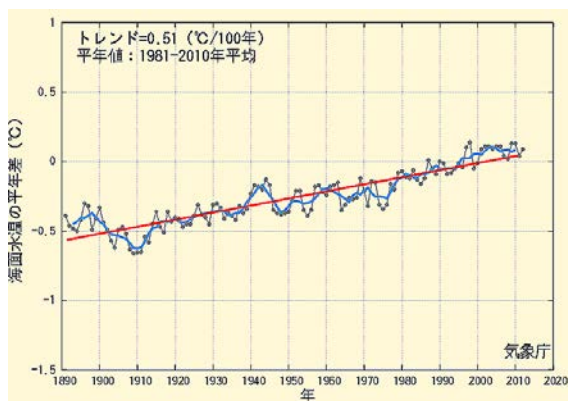


図 2.1.11 世界全体の年平均海面水温の変化

観測船の観測等により得られた資料に基づく、1891～2012年の世界全体の年平均海面水温の推移。黒線は各年の平均海面水温の平年差(平年値との差)、青線は5年移動平均、赤線は長期変化傾向を示す。平年値は1981～2010年の30年平均値。出典：気象庁、2012c に追加

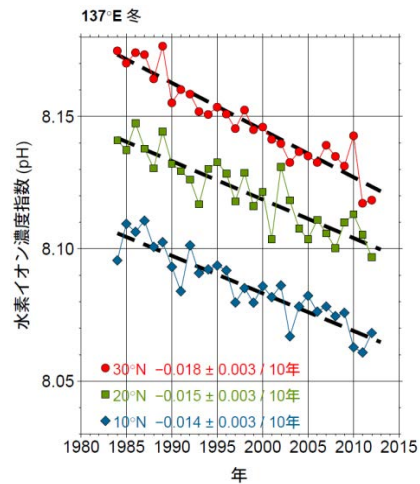


図 2.1.12 東経 137 度に沿った冬季表面海水の水素イオン濃度 (pH) の変化

赤線は北緯 30 度、緑線は北緯 20 度、青線は北緯 10 度での解析結果。各線は観測値(1984～2012年)、黒破線は期間にわたる変化傾向を示す。水素イオン濃度(pH)とは、酸性/アルカリ性を示す指数で、pH7が中性、小さいほど酸性が強くなり、大きいほどアルカリ性が強くなる。二酸化炭素濃度や全炭酸濃度をもとに、緯度帯ごとに表面海水中の水素イオン濃度(pH)を計算した。出典：気象庁、2012d

#### (2) 日本の海面水温、海面水位

日本付近の海域別の年平均海面水温は、2012年までの約100年間で、100年あたり0.63～1.72℃の割合で上昇した(図2.1.13)。これらの上昇率は世界全体の年平均海面水温の上昇率(図2.1.11)より大きな値となっている。

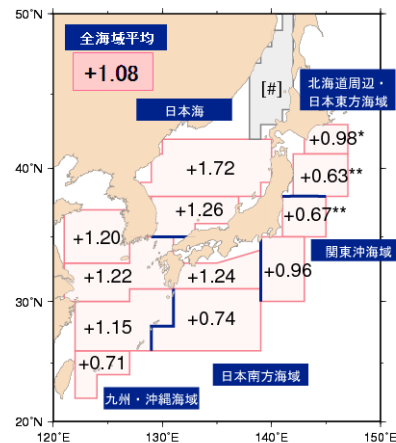


図 2.1.13 日本付近の海面水温の変化

1900～2012年の年平均海面水温の長期変化傾向(100年あたりの変化率:℃)を、無印は信頼度99%、\*\*付は信頼度90%で統計的に有意、#は変化傾向が明確に見出せないことを示す。出典：気象庁、2012c を更新



日本沿岸の海面水位は、1906年以降のデータを長期的に見た場合、約20年周期の変動が顕著であり、世界全体の海面水位（図1.3.1(b)）にみられるような明瞭な上昇傾向はみられない。日本沿岸の海面水位に卓越している周期的な変動は、主に北太平洋偏西風の強弱や南北移動を原因とした海洋循環の変動によることが、海洋大循環モデルを用いた解析により明らかとなっている。1960～2012年の期間で見ると、日本沿岸の水位は年あたり1.1mmで上昇している（図2.1.14）。

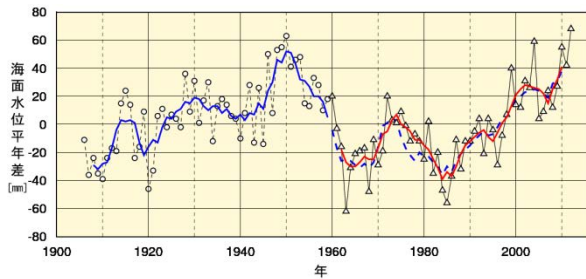


図 2.1.14 日本沿岸の海面水位の変化

地盤変動の影響が小さい検潮所の観測結果に基づく、各年の年平均海面水位年差（1906～2012年）の時系列。年平値は1981～2010年の期間の平均値。1906～1959年は4地点（忍路、輪島、浜田、細島）での年平差を平均した値。1960年以降は変動パターンが類似している4海域（北海道・東北地方の沿岸、関東・東海地方の沿岸、近畿太平洋側～九州太平洋側の沿岸、北陸地方～九州東シナ海側）の海域毎に求めた年平差を平均した値。青線は4地点平均の年平差の5年移動平均値、赤線は4海域平均の年平差の5年移動平均値を示す。青点線は、参考のために4地点平均の年平差の5年移動平均を期間後半について示したもの。出典：気象庁、2012c に追加

## 2. 1. 4 海氷

北極域の年平均海氷域面積は長期的に減少している。また、オホーツク海の積算海氷域面積も長期的に減少している。一方、南極域の海氷域面積は増加している。

### (1) 極域

北極域の年平均海氷域面積は観測データのある1979年以降、年あたり5.9万km<sup>2</sup>の割合で長期的に減少し、2012年には過去最少の1,046万km<sup>2</sup>となった（図2.1.15）。また、2012年9月には、北極域の海氷域面積は過去最少の336万km<sup>2</sup>を記録した（付録のコラム29「しずく」の項参照）。一方、南極域の海氷域面積は年あたり2.5万km<sup>2</sup>の割合で増加している。

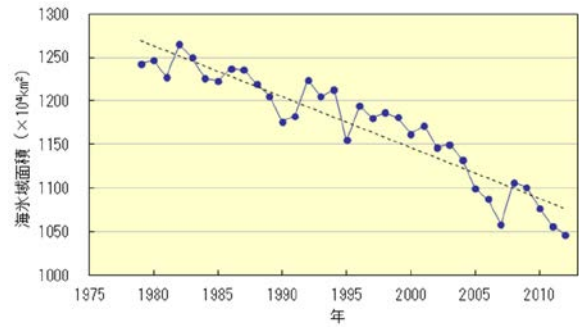


図 2.1.15 北極域の年平均海氷域面積の変化

青線は観測値（1979～2012年）、黒点線は期間にわたる変化傾向を示す。NSIDC（米国雪氷データセンター）等が提供する、衛星観測による輝度温度（赤外放射エネルギーをプランクの法則を用いて変換した温度）データから海氷の密接度を算出し、密接度が15%以上の領域を海氷域面積としている。出典：気象庁、2012c に追加

### (2) オホーツク海

オホーツク海の積算海氷域面積（前年12月5日～当年5月31日まで5日ごとの海氷域面積の合計）や最大海氷域面積（海氷域が年間で最も拡大した半月の海氷域面積）は年ごとに大きく変動しているものの、長期的には減少している。オホーツク海の積算海氷域面積は1971年以降、10年あたり173万km<sup>2</sup>の割合で減少し、最大海氷域面積は10年あたり5.8万km<sup>2</sup>（オホーツク海全体の3.7%に相当）の割合で減少した（図2.1.16）。

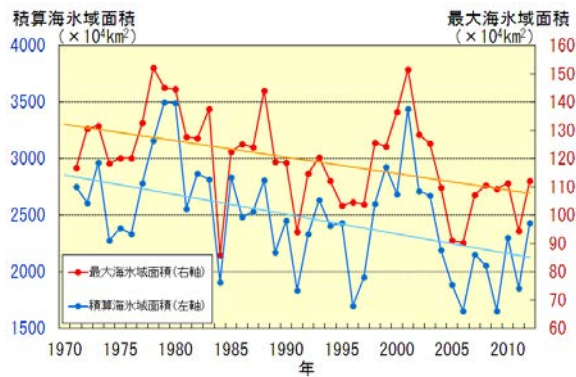


図2.1.16 オホーツク海の積算海氷域面積と最大海氷域面積の変化

赤線は各年（1971～2012年）の最大海氷域面積（右軸）、青線は各年の積算海氷域面積（左軸）、オレンジと水色の直線は期間にわたる変化傾向を示す。出典：気象庁、2012c に追加

## 2. 1. 5 台風

台風の発生数及び全発生数に対する「強い」台風の割合に長期的な変化傾向は見られない。

台風の発生数は、最近の数年は平年値を下回る年がほとんどであるが、台風に関する統計がある1951年以降において明瞭な長期変化傾向は見られない(図2.1.17)。また、台風中心付近の最大風速データが揃っている1977年以降で、「強い」

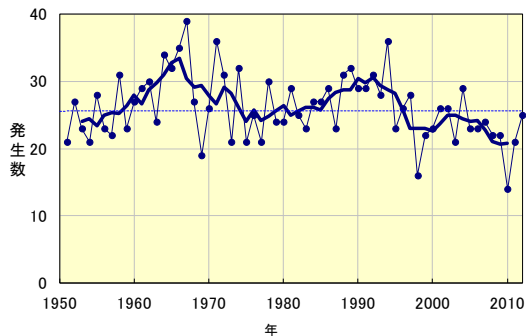


図 2. 1. 17 台風の発生数の長期変化(1951~2012年)  
細い実線は各年の発生数を、太い実線は5年移動平均を示す。  
細い破線は平年値(1981~2010年の平均値)を示す。 出典：気象庁、2012c に追加

(中心付近の最大風速が33~44m/s)以上の勢力となった発生数、及び全発生数に対する割合にも長期変化傾向は見られない(図2.1.18)。

なお、IPCCのSREXによると、観測結果に基づいて熱帯低気圧の活動(強度、発生頻度、継続期間)が長期的に増加しているとの報告はあるが、過去における観測能力の変化を考慮すると、いずれも確信度は低いとしている(コラム7)。

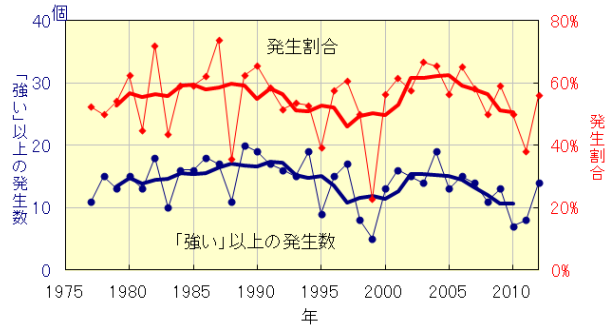


図 2. 1. 18 「強い」以上の台風の発生数と全発生数に対する割合(1977~2012年)

細い実線：「強い」以上の勢力の台風の発生数(青：左軸)と全台風に対する割合(赤：右軸)、太い実線はそれぞれの5年移動平均を示す。出典：気象庁、2012c に追加

### コラム7 世界における極端な現象の変化

2012年に公表されたIPCCのSREXでは、「1950年以降の観測によれば、いくつかの極端現象には変化の証拠がある。極端現象の変化に対する確信度は、データの質と量、及びこれらのデータを解析した研究の有無に依存し、地域によっても極端現象の種類によっても異なる。特定の極端現象や、世界規模・地域スケールでの極端現象に関する観測された変化に対し、確信度が低いとされたとしても、変化の可能性を排除するものではない。」として、以下の通り極端現象の変化についてまとめられている。

種類	1950年以降観測された変化	可能性・確信度
気温	世界規模で寒い昼と夜の日数が減少、暑い昼と夜の日数が増加	可能性は非常に高い
	多くの地域で熱波など高温期間の長さや発生数が増加	確信度は中程度
降雨	強い大雨の発生数が統計的に有意に増加した地域が、統計的に有意に減少した地域よりも多い	可能性は高い
低気圧の活動など	熱帯低気圧の活動(強度、発生数、持続期間)が長期的に増加	確信度は低い(過去の観測能力の変化があるため)
	温帯低気圧の主要な経路が極側へシフト	可能性は高い
	竜巻・雹といった小スケールの現象が地域により増加傾向にある	確信度は低い(データの不均一・観測体制の不十分さのため)
干ばつ	ヨーロッパ南部・西アフリカでは干ばつの強度・持続期間が増加、北アメリカ中央部・オーストラリア北西部では干ばつの頻度・強度・持続期間が減少	確信度は中程度
洪水	洪水の強度・頻度が変化しているとの証拠は限られており、世界規模では変化の方向についてすらはっきりしない	確信度が低い(証拠が限られているため)
海面水位	平均海面水位の上昇に関連し、沿岸域の極端な高潮の高さが上昇	可能性は高い

## 2. 2 将来予測される気候変動

### 2. 2. 1 気候変動予測と将来シナリオ

#### (1) 予測の信頼性と不確実性

気候変動予測は、今後、大気中の温室効果ガスやエアロゾルなどの濃度がどのように変化するかというシナリオをもとに、気候モデルにより計算される。気候モデルでは、太陽活動の変動や火山噴火など自然起源や温室効果ガスやエアロゾルなど人為起源の外部強制力に対する、気候システムの応答の結果としての気候の「平均的」な変化が示される。日々の天気予報は「いつでもどのような現象が起こるか」を予測しており、計算における初期値（観測値や解析値等）のわずかな違いが予測結果に大きな影響を与えるが、気候モデルで予測しているのは気候の「平均的」な状態であり、これは外部強制力の変化に大きく依存していることから、気候モデルによる将来予測が可能となる。気候モデルの妥当性は、図 1.3.2 に示したような 20 世紀の気候の再現実験において、ある程度の誤差を持ちつつも過去の気温変化を再現していることによって確認されている。

一方で、気候モデルは、基本的には物理法則に基づいているものの、気候システムの全てを気候モデルの中に含めることは不可能であり、一部に観測や経験等に基づいた近似や仮定が用いられている。また、空間解像度の制約などにより気候モデルで用いる地形は現実のものとは異なることなどから、過去の気候の再現や将来の予測においてある程度の不確実性が生じる。

このため、IPCC AR4 では、多数の気候モデルの予測結果を用いて、将来の気候の変化傾向を不確実性ととも示している。図 2.2.1 は個々のモデルが予測した気温と降水量の変化を示しており、モデルにより予測結果にばらつきがあることがわかる。このような気候変動予測の不確実性については、異なる気候モデルの結果を比較したり、同一モデルでも条件を変えて計算した複数の結果を比較したりすることで、評価することができると考えられている。

#### (2) 将来シナリオ

気候システムの外部強制力として最も大きいものは温室効果ガスであり（図 1.1.2 参照）、気候変動予測には温室効果ガスの排出量の予測値が必要である。このためには人口、経済、エネルギー需要、石油に替わるエネルギー技術開発など、

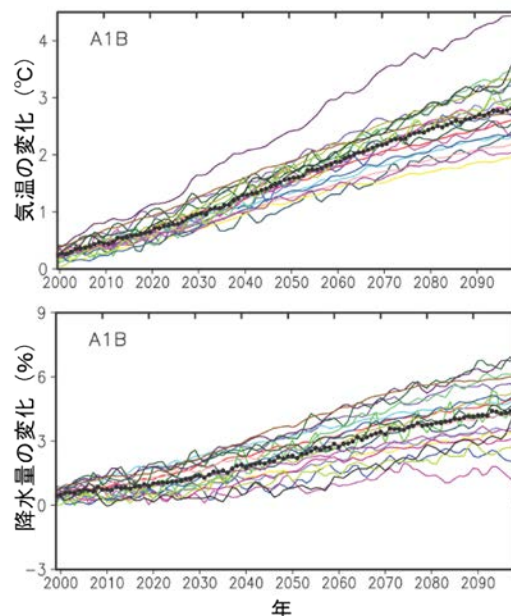


図 2.2.1 IPCC AR4 における大気・海洋結合モデルの世界平均気温と世界の降水量の将来予測 1980～1999 年の平均との比較。A1B については (3) を参照。出典：IPCC、2007a

社会的・経済的な側面の将来予測の検討が必要である。しかし、研究ごとに異なる想定を用いると、予測結果を相互に比較することが困難となるうえ、政策を検討する上での有用性も低下する。そこで、前提として使用する統一したシナリオを定めている。

IPCC では、これまで「排出シナリオに関する特別報告書」（SRES<sup>12</sup>、以下「SRES シナリオ」という）を作成しており、IPCC AR4 の将来予測はこの SRES シナリオに基づいて実施された。本レポートでは主に SRES シナリオに基づいた予測結果を示す。

なお、SRES シナリオにおける二酸化炭素排出量には、UNFCCC や京都議定書の削減目標の履行などの積極的な排出削減対策は含まれていない。そのため、SRES シナリオに代わる気候変動予測のための新たなシナリオとして、代表的濃度経路（RCP<sup>13</sup>シナリオ、以下「RCP シナリオ」という）が作成された。2013～2014 年に公表される IPCC 第 5 次評価報告書（AR5、以下「AR5」という）では、この RCP シナリオを用いた結果が示される予定である（RCP シナリオとそれに基づいた最新の気候変動予測はコラム 10 を参照）。

<sup>12</sup> SRES: Special Report on Emissions Scenarios, 2000

<sup>13</sup> RCP: Representative Concentration Pathways



### (3) SRES シナリオ

これまでの気候変動予測で多く用いられてきた SRES シナリオでは、世界の発展の形態として二つの軸で将来の方向を想定し(図 2.2.2)、それぞれの将来像のもとに人口、経済活動、技術発展、エネルギー、土地利用などの変化が統合的に推定されている。それぞれの推定について社会経済シナリオに基づき将来の二酸化炭素排出量と二酸化炭素濃度に関する 6 つのシナリオが図 2.2.3 に示すように与えられている。気候変動予測計算においては、二酸化炭素等の温室効果ガス濃度レベルの代表として、この中から(低い方から順に) B1、A1B、A2 の各シナリオが主に用いられている。



図 2.2.2 SRES シナリオにおける 4 つの世界像

A1 シナリオはさらに A1B、A1T、A1FI シナリオに細分されている。よく用いられる A1B シナリオは、「各エネルギー源のバランスを重視した高成長型社会シナリオ」である。  
出典：国立環境研究所、2001 より作成

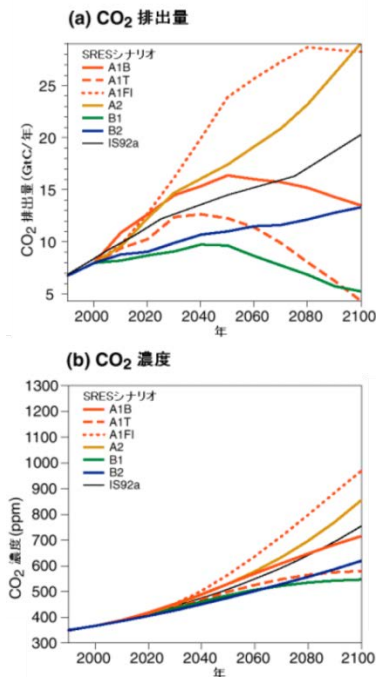


図 2.2.3 シナリオ毎の二酸化炭素の排出量 (a) と二酸化炭素濃度 (b) 出典：気象庁、2005

### (4) 予測の空間スケール

気候変動に対するきめ細かな対策を行うためには、地域ごとの気候変動を詳細に予測する必要がある。しかしながら、現状の全球気候モデルは空間解像度が十分でなく、気候変動に対する地域的な影響評価への利用が難しい。このため、高解像度の全球気候モデルや全球大気モデルを用いる、あるいは、粗い空間分布で表された予測結果から、より細かい空間分布の予測結果を求める「ダウンスケーリング」が行われている。ダウンスケーリングには、「力学的ダウンスケーリング」と、「統計学的ダウンスケーリング」がある。

力学的ダウンスケーリングは、全球気候モデルの計算結果を境界条件とし、より細かい空間分解能で計算が可能な地域気候モデルでさらに計算し、特定の領域における詳細な気候変動予測を行う手法である。より空間解像度の高い地形、土地利用などの情報を与えることにより、地形性降水など、時空間スケールの小さな現象が表現可能となる。ただし、全球気候モデル自身が有する不確実性(誤差)を引き継ぐため、空間的に詳細な表現ができて、必ずしも予測精度が高くなるわけではないことに注意が必要である。

図 2.2.4 は、全球気候モデル、地域気候モデル(RCM) 60km 版、RCM 20km 版、気象庁のレーダーとアメダスの観測結果を使用して解析した雨量(レーダーアメダス; 格子間隔 5km) の年平均降水量分布を示したものである。全球気候モデルでは、日本列島の地形は降水分布に影響を与えていないが、RCM 60km 版、RCM 20km 版と細かくなるに従い、レーダーアメダスの観測結果に示されるような、地形の影響を受けた特徴的な降水分布の表現が可能となる。

統計学的ダウンスケーリングは、任意の地点における観測データと、気候モデルによる現在気候の再現結果から得られるその地点周辺の大気場との間に統計的な関係式を検出し、それに基づいて空間詳細化を行う手法である。観測データがあれば比較的少ない計算機資源や計算時間で利用可能である。一方、現在気候において検出した統計的な関係を将来に外挿して対象地点の予測を行うため、独立した期間や地点で統計的な関係を検証し、極端な外挿にならないようにする等の注意が必要である。

このように、空間スケールの小さい範囲の気候変動予測とその影響評価には、ダウンスケール手法が必要であり、より精度の高い予測結果を得るための様々な研究が進められている。

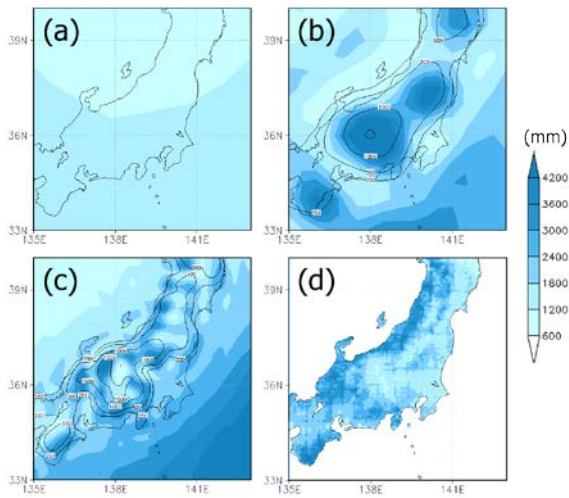


図 2.2.4 日本列島中部の年平均降水量の再現性の比較

(a) 全球気候モデル (解像度 280km 相当)、(b) 地域気候モデル(RCM) 60km 版、(c) RCM 20km 版、それぞれ 10 年平均値、(d) レーダーとアメダスの観測値に基づく解析による 6 年間 (1995-2000) 平均値 出典：高藪、2005 を拡大

#### (5) 日本付近の詳細な予測

日本付近を対象とした地域的に詳細な気候変動予測は、日本のいくつかの研究グループが高解像度大気海洋結合モデルや超高解像度全球大気

モデル、日本付近の地域気候モデルなどを使って研究を行い、成果をあげている。本レポートでは、日本付近の詳細な予測結果として、主に気象庁気象研究所が開発した非静力学地域気候モデル (NHRCM) により 5km の解像度で力学的にダウンスケーリングした、21 世紀末 (2076~2095 年) の予測結果を示している。なお、地域気候モデルのもととなる全球予測結果には、SRES の A1B シナリオにより 20km の解像度で計算した高解像度全球大気モデル (MRI-AGCM3.2) の結果を用いている (詳細は気象庁、2013 を参照)。

なお、本レポートに掲載されている予測の多くは、特記のない限りその前提となる温室効果ガスの排出については単一のシナリオ、そして単一の気候モデルの結果をもとに記述している。このため、用いるシナリオや気候モデルが異なると計算結果に違いを生じる可能性があることに注意が必要である。また、降水量等の変化の予測は、気温に比べて一般に不確実性が大きい。これは、台風や梅雨前線に伴う大雨等の顕著現象の頻度や程度は年々の変動が大きいことに加え、空間的な代表性が小さく、さらに発生頻度が稀であるためであり、このことについても注意が必要である。

### コラム 8 IPCC の評価報告書における可能性と確信度の表現

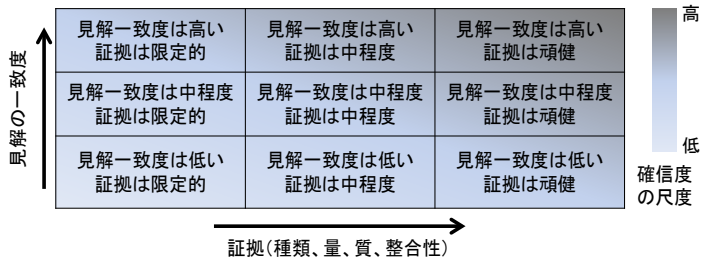
IPCC では、評価結果の「可能性」と「確信度」を表す用語を、一貫した基準に基づいて使用している。以下に、IPCC AR5 で用いるために準備され、SREX でも用いられている、「可能性」と「確信度」を表現する用語を示す (Mastrandrea *et al.*, 2010)。

「可能性」とは、はっきり定義できる事象が起こった、あるいは将来起こることについての確率的評価である。また、「確信度」とは、モデル、解析あるいはある意見の正しさに関する不確実性の程度を表す用語であり、証拠 (例えばメカニズムの理解、理論、データ、モデル、専門家の判断) の種類や量、品質及び整合性と、特定の知見に関する文献間の競合の程度等に基づく見解の一致度に基づいて定性的に表現される。

#### 「可能性」の定義

用語	発生する可能性
ほぼ確実	>99%
可能性が極めて高い*	>95%
可能性が非常に高い	>90%
可能性が高い	>66%
どちらかと言えば*	>50%
どちらも同程度	33%~66%
可能性が低い	<33%
可能性が非常に低い	<10%
可能性が極めて低い*	<5%
ありえない	<1%

#### 証拠と見解の一致度の記述およびそれらの「確信度」との関係



「可能性」の定義のうち、\*が付されているものは、IPCC AR4 で付加的に用いられた定義。適切な場合は AR5 でも用いてよいとされている。



## 2. 2. 2 気温

温室効果ガス濃度の増加に伴い、日本の平均気温は上昇し、その上昇幅は世界平均を上回ると予測される。また、平均気温の上昇に伴い、真夏日や熱帯夜の日数は増加し、冬日や真冬日の日数は減少すると予測される。

### (1) 世界の気温

21世紀末までの世界平均気温は、温室効果ガス濃度の増加に伴って上昇し続けると予測されている(図2.2.5)。今後20年間程度は、温室効果ガスの排出シナリオによらず、気温は10年あたり約0.2°Cの割合で上昇するが、その後はシナリオごとの差異が顕在化し、21世紀末には、1980～1999年の平均と比較して、B1シナリオで1.8°C(可能性が高い予測幅は1.1～2.9°C)、A1FIシナリオでは、4.0°C(可能性が高い予測幅は2.4～6.4°C)と予測されている。

予測された気温の上昇量の地理的分布をみると、温室効果ガス排出シナリオによる分布の差異は小さく、過去数十年に観測された気温上昇の分布とも類似している。気温上昇の程度は、陸域とほとんどの北半球高緯度で大きい(図2.2.6)。

平均気温の上昇に伴い、世界規模で暑い昼や夜の数が増加するとともに、寒い昼や夜の数が減少する可能性が高いと予測されている。また、日最高気温について数十年間に一度しか起こらなかったような暑い日の頻度が、21世紀末にはさらに増加すると予測されている。

### (2) 日本の気温

日本の平均気温は、世界平均と同様に温室効果ガス濃度の増加に伴って上昇し続けると予測されている(図2.2.7)。世界平均と同様に、21世紀前半の気温上昇は温室効果ガスの排出シナリオによらないが、その後はシナリオごとの差異が顕在化し、21世紀末には、1980～1999年の平均と比較して、A2、A1B、B1の各シナリオでそれぞれ4.0°C、3.2°C、2.1°C上昇すると予測されている。これは、いずれのシナリオでも世界平均気温の上昇量より大きい。

地域気候モデルでA1Bシナリオについて予測された気温の上昇量を地域別(図2.2.8参照)にみると、北日本ほど昇温が大きい。これは、世界平均気温の予測にみられる傾向と同様の傾向である(図2.2.9)。また、夏季に比べて冬季の昇温が大きいと予測されている。

気温の上昇に伴い、冬日や真夏日などの日数が変化することが予測されている。A1Bシナリオによる予測では、21世紀末(2076～2095年)には、真夏日や熱帯夜の日数は東日本、西日本、沖縄・奄美を中心に増加すると予測されている。一方で、冬日や真冬日の日数は北日本を中心に減少すると予測されている。(図2.2.10)。

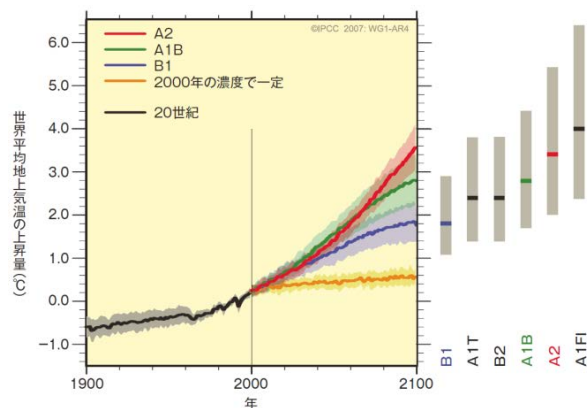


図 2.2.5 世界平均気温の上昇量

実線は、A2、A1B、B1シナリオにおける複数のモデルによる(1980～1999年と比較した)世界平均地上気温の上昇量を20世紀の状態に引き続いて示す。陰影は、個々のモデルの年平均値の標準偏差の範囲。橙色の線は、2000年の濃度を一定に保った実験のもの。右側の灰色の帯は、6つのSRESシナリオにおける最良の推定値(各帯の横線)及び可能性が高い予測幅。出典: IPCC, 2007a

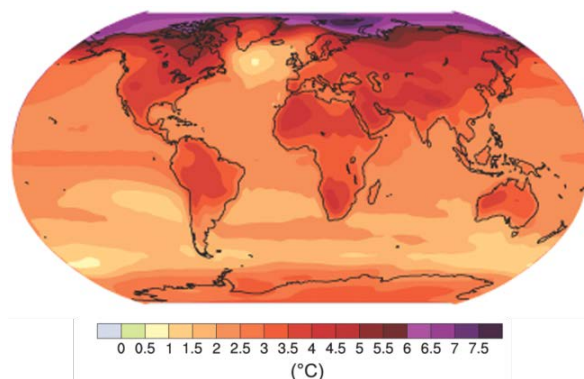


図 2.2.6 地上気温の上昇量の地理的分布

1980～1999年を基準とした、21世紀末(2090～2099年)の地上気温の変化の予測。なお、海面水温の変化は、広域的・長期的には直上の海上気温の変化と同じと見なせる。複数の大気海洋結合モデル(AOGCM)によって計算された、SRES A1Bシナリオでの予測の平均値を示す。出典: IPCC, 2007a

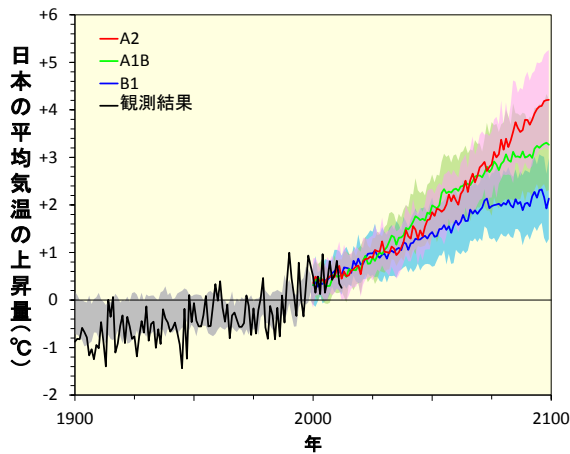


図 2.2.7 日本の平均気温の予測

IPCC 第 4 次評価報告書で使われた複数の気候モデルによる A2、A1B、B1 シナリオでの日本の平均気温の予測結果。各モデルの格子のうち、日本の陸地が占める割合が 30%以上ある格子を選び、それらの格子の値の平均値を各モデルの予測結果における日本の気温の予測値とした。シナリオごとの平均値と予測のばらつき幅（±標準偏差の範囲）を赤、緑、青の実線と陰影で示す。黒線は日本の平均気温の観測結果（図 2.1.4）。2000 年以前の陰影は過去の再現実験の再現値のばらつき幅（±標準偏差）。1980～1999 年の 20 年平均値からの差で示す。作成：気象庁



図 2.2.8 予測における地域区分

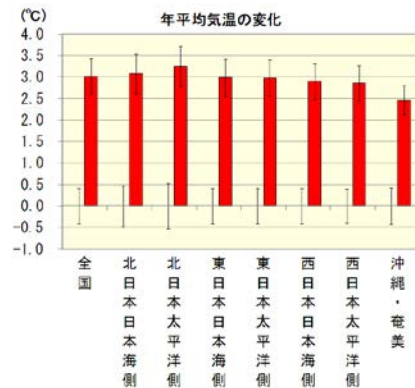


図 2.2.9 地域別の年平均気温の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の年平均気温の変化予測。棒グラフは 1980～1999 年平均と 2076～2095 年の差を表わし、縦棒は年々変動の標準偏差（左：1980～1999 年、右：2076～2095 年）を示す。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。A1B シナリオによる予測結果に基づく。出典：気象庁、2013

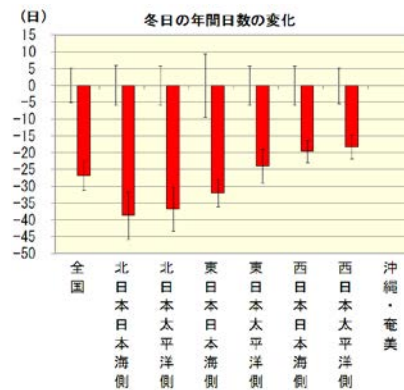
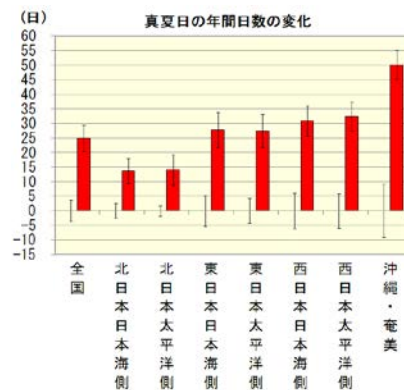


図 2.2.10 地域別の真夏日、冬日日数の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の真夏日、冬日の変化予測。棒グラフは 1980～1999 年平均と 2076～2095 年の日数の差を表わし、縦棒は年々変動の標準偏差（左：1980～1999 年、右：2076～2095 年）を示す。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。いずれも A1B シナリオによる予測結果に基づく。出典：気象庁、2013

### 2. 2. 3 降水量

世界では、高緯度地域で降水量が増加する可能性が非常に高い一方、ほとんどの亜熱帯陸域では減少する可能性が高い。極端な大雨の頻度や総降水量に対する大雨の割合は、21世紀中に多くの地域で増加する可能性が高い。

日本の年降水量は、21世紀末には20世紀末に対して平均的に5%程度増加すると予測される。ただし、降水量は予測の不確実性ととも、年々の変動が大きいことに注意する必要がある。

1時間降水量50mm以上など、極端な降水現象の頻度の増加が予測される。

#### (1) 世界の降水量

大気中の温室効果ガス濃度の増加に伴って地球上のほぼ全ての地域で気温が上昇するのに対し、降水量は増加する地域と減少する地域がある。地域ごとにみると、高緯度地域では降水量が増加する可能性が非常に高い一方、ほとんどの亜熱帯陸域では減少する可能性が高いと予測されている。また、地域によっては、気候モデルによる予測のばらつきが大きく、増加するか減少するかははっきり傾向が見いだせない地域がある(図2.2.11)。

降水量は増加する地域と減少する地域があるが、極端な大雨の頻度あるいは総降水量に占める大雨の割合は21世紀中に世界の多くの地域で増加する可能性が高いと予測されている(IPCC, 2012)。

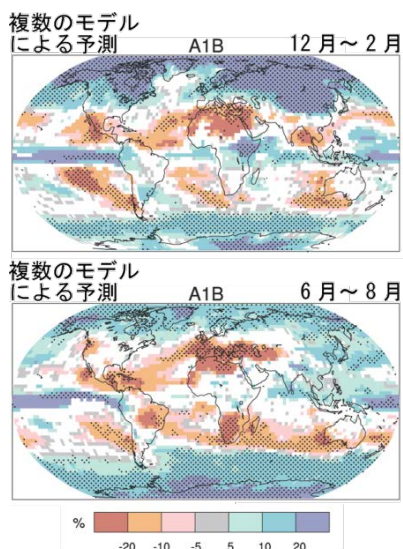


図 2.2.11 2090~2099年を対象とする降水量の相対的な変化率(1980~1999年が基準)

SRES A1B シナリオの複数の気候モデルの平均。上図は12~2月、下図は6~8月。白色の地域は、変化の符号が一致したモデルが66%に満たない地域、点描の地域は、90%以上のモデルで変化の符号が一致した地域。出典：IPCC, 2007a

#### (2) 日本の降水量

日本の年降水量の予測結果は、A2、A1B、B1のいずれのシナリオでも、21世紀末には20世紀末に対して平均的に5%程度増加する傾向を示しており、シナリオによる差異はほとんどない。ただし、降水量については、予測の不確実性ととも、年々の変動が大きいことに注意する必要がある(図2.2.12)。

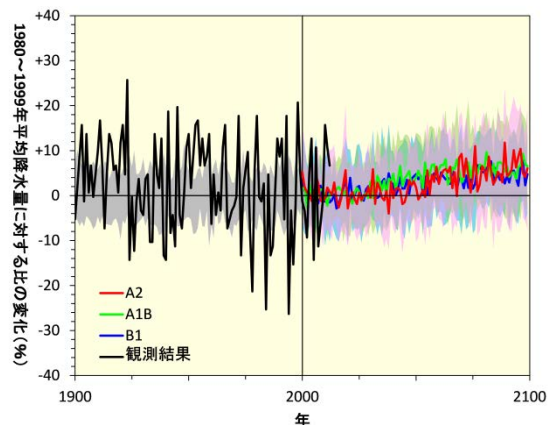


図 2.2.12 日本の年平均降水量の予測

IPCC AR4 で使われた複数の気候モデルによる A2、A1B、B1 シナリオの予測結果から算出した日本の年平均降水量の将来予測を観測結果とともに示す。各モデルの格子のうち、日本の陸地が占める割合が30%以上ある格子を選び、それらの格子の値の平均値を各モデルの予測結果における日本の年平均降水量の予測値とした。シナリオごとの平均値と予測のばらつき(±標準偏差)を赤、緑、青の実線と陰影で示す。黒線は日本の降水量の観測結果(図2.1.8)。2000年以前の陰影は過去の再現実験の再現値のばらつき(±標準偏差)を示す。1980~1999年の20年平均値との比で示す。作成：気象庁

地域気候モデルで A1B シナリオについて予測された年降水量の変化を地域別にみると、北日本で有意に増加すると予測されている(図2.2.13)。

また、梅雨期の降水現象の変化に着目して現在と将来予測を比較すると、西日本における梅雨後期の降水量が増加するとともに、大雨の頻度が増加する可能性があるとして予測している研究結果がある(図2.2.14)。

極端な降水現象については、全ての地域で、21世紀末には、短時間強雨(1時間降水量50mm以上)の年平均発生回数が増加する傾向が現れている(図2.2.15)。また、総降水量に対し大雨によってもたらされる降水量は増加する傾向が現れており、総降水量では減少傾向が見られる地域でも、大雨による降水の寄与分としては増加している



(図省略)。これは世界全体について予測されている傾向と一致している。

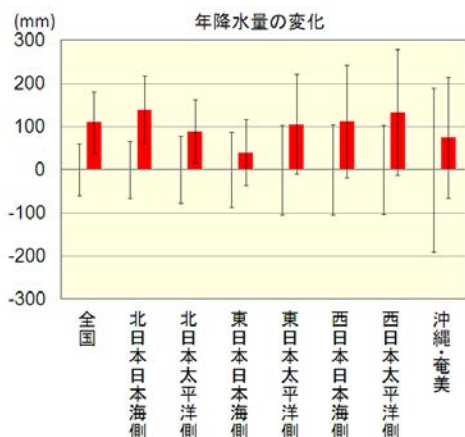


図 2.2.13 地域別の年平均降水量の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の年平均降水量の変化予測。棒グラフは 1980~1999 年平均と 2076~2095 年の差を表わし、縦棒は年々変動の標準偏差 (左: 1980~1999 年、右: 2076~2095 年) を示す。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。A1B シナリオによる予測結果に基づく。出典: 気象庁、2013

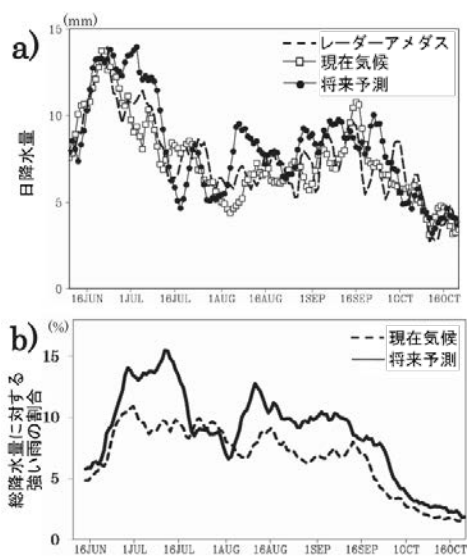


図 2.2.14 日降水量の季節変化及び総降水量に占める大雨の割合の将来予測

雲システム解像地域気候モデル (解像度 5km) による予測結果。西日本付近の領域 (東経 127-137 度、北緯 30-35 度) における a) 25 年平均日降水量 (mm) の季節変化 (5 日移動平均) 及び b) 日降水量 100mm 以上の大雨によってもたらされる降水量の総降水量に対する割合 (%: 5 日移動平均) の現在気候と将来予測の比較。A1B シナリオによる予測結果に基づく。a) 日降水量の変化には、レーダーとアメダスによる観測結果 (点線; 1996~2009 年の平均) も合わせて示す。出典: Kanada *et al.*, 2012 を和訳

一方で、日本においては年間の無降水日数がほとんどの地域で増加すると予測されている (図 2.2.16)。これは気温の上昇に伴って降水イベントの間隔が延びる可能性が指摘されていることと整合している。

これらの極端な降水現象の結果についても、予測の不確実性とともな年々の変動が大きいことに注意が必要である。

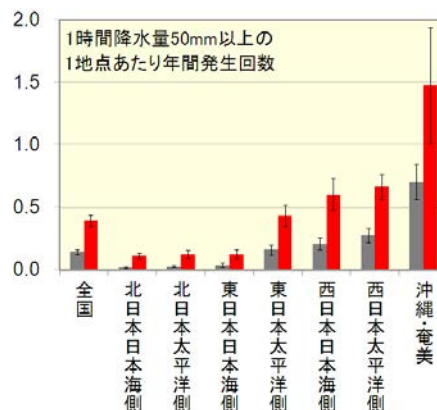


図 2.2.15 地域別の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の変化予測。棒グラフは 1 地点あたりの年間発生回数を表し (灰: 1980~1999 年、赤: 2076~2095 年)、縦棒は年々変動の標準偏差 (左: 1980~1999 年、右: 2076~2095 年) を示す。A1B シナリオによる予測に基づく。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。出典: 気象庁、2013

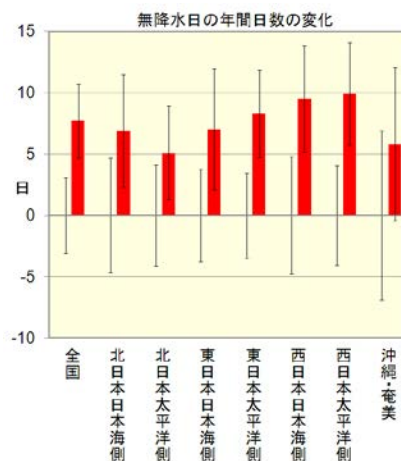


図 2.2.16 地域別の年平均無降水日数の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の年平均無降水日数の変化予測。棒グラフは 1980~1999 年平均と 2076~2095 年の差を表わし、縦棒は年々変動の標準偏差 (左: 1980~1999 年、右: 2076~2095 年) を示す。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。A1B シナリオによる予測結果に基づく。出典: 気象庁、2013

## 2. 2. 4 降雪量、最深積雪

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。

日本における降雪量は、ほとんどの地域で減少すると予測されている。また、最深積雪もほとんどの地域で減少すると予測されている(図 2.2.17)。

なお、北海道など一部地域では、降雪量や最深積雪が増加すると予測されている地域もある。これは各地域における降雪量、気温等の変化が関係していると考えられる。一般に、気温・海面水温が上昇すると大気中の水蒸気量は増加すると予測されており、地球温暖化が進行しても冬季が十分に寒冷な地域においては、降雪量及び最深積雪が増加すると考えられる。

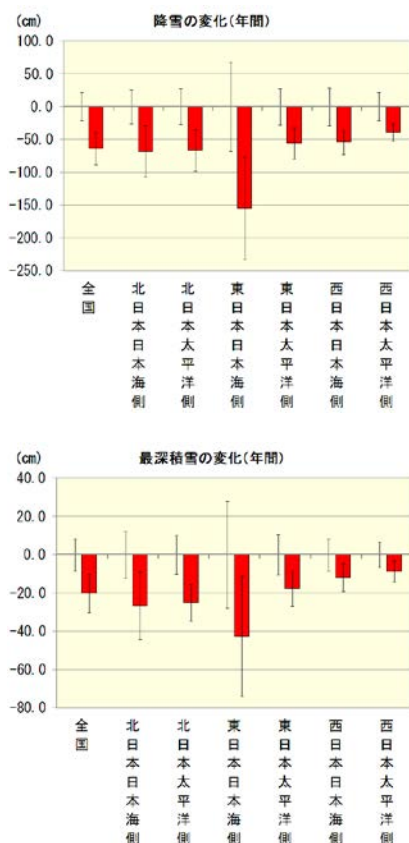


図 2.2.17 降雪量と最深積雪の変化

非静力学地域気候モデル(NHRCM, 解像度 5km) による地域別の降雪量と最深積雪の変化予測。棒グラフは 1980~1999 年平均と 2076~2095 年の差を表わし、縦棒は年々変動の標準偏差(左: 1980~1999 年、右: 2076~2095 年)を示す。各地域の範囲は図 2.2.8 参照。いずれも A1B シナリオによる予測結果に基づく。出典: 気象庁、2013

## 2. 2. 5 台風

世界では熱帯低気圧の平均最大風速が強まる可能性が高いと予測される。日本では、台風の来襲確率は減少するが、中心気圧の低い台風が接近する頻度が現在よりも大きくなる可能性があるとの研究結果がある。

水平格子間隔が細かい高解像度の全球気候モデルや、全球気候モデルからダウンスケーリングした高解像度の地域モデルを用いることによって、現実的な熱帯低気圧の特徴を再現できるようになった。これらの複数のモデルの結果に基づき、世界では熱帯低気圧の平均最大風速が強まる可能性が高い一方、発生頻度については、世界全体で減少するか実質的に変わらない可能性が高いと予測されている (IPCC, 2012)。

また、高解像度全球気候モデルの予測結果のマクロ統計量を用いて、日本沿岸における台風特性の変化を確率台風モデルにより確率的に検討した研究結果がある。この結果によると、地球温暖化の進行に伴う台風の発生個数、中心気圧と経路の将来変化を考慮すると、東京湾、伊勢湾、大阪湾の三大湾への台風来襲確率は減少し、三大湾近傍を通過する際の台風の最低中心気圧の平均値は大きく変化しないが、中心気圧の低い台風の頻度が現在よりも大きくなる可能性があるとされた(図 2.2.18、図 2.2.19; 東京湾での例)。ただし、この予測結果は、気候モデルの不確実性に加えて、湾スケールでは統計的変動が大きいことにも注意する必要がある。

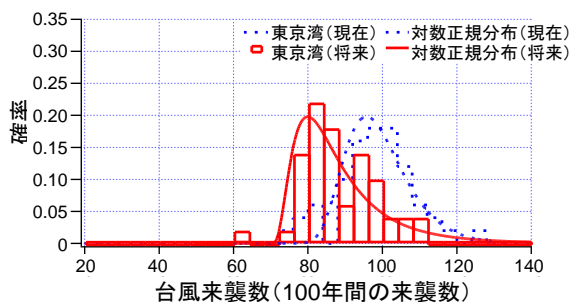


図 2.2.18 東京湾への台風来襲数の変化

現在気候（青）及び将来予測（赤：21 世紀末）における、東京湾に台風が来襲する数の確率分布（100 年間の来襲数）。A1B シナリオによる予測。出典：文部科学省、21 世紀気候変動予測革新プログラム、2010

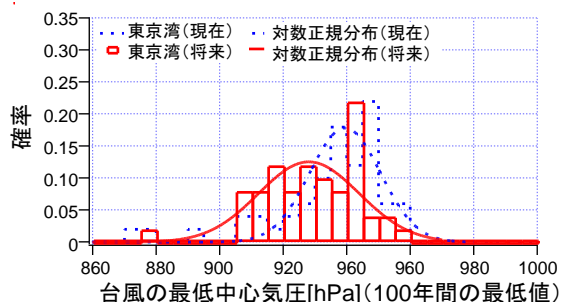


図 2.2.19 東京湾への来襲台風の最低中心気圧の変化

現在気候（青）及び将来予測（赤：21 世紀末）における、東京湾近傍を通過する時の台風の最低中心気圧の確率分布（100 年間の最低値）。A1B シナリオによる予測。出典：文部科学省、21 世紀気候変動予測革新プログラム、2010

### コラム 9 極端に強い台風のシミュレーション

台風は日本など東アジア諸国に大きな災害と水資源の両方をもたらしているため、温暖化に伴う台風の将来変化は人間社会に大きな影響を与える。特に最も大きな強度のクラスの台風がどのくらい強いものになるのかは、防災計画や災害リスク管理において大きな問題となる。雲解像モデル（個々の積雲を表現することが可能な詳細な高解像度の気候モデル）を用いた台風シミュレーションでは、21 世紀末頃には現在では見られない強度まで発達する台風が予測されている。最大風速 67m/s を超えるような極端に強い台風については、その数と最大強度が顕著に増大するとともに、日本に上陸する直前でも中心気圧が 880hPa 以下、最大風速 70 m/s 以上を維持するものも予測されている。



21 世紀末頃の温暖化気候の条件における極端に強い台風の雲解像モデル（解像度 2km）を用いたシミュレーション結果の例

出典：文部科学省、21 世紀気候変動予測革新プログラム、2012

## 2. 2. 6 海面水温

世界の海面水温は、温室効果ガス濃度の増加に伴って長期的に上昇する。昇温量は、南極海と北大西洋の一部で最小となる。日本近海海面水温も長期的に上昇し、その長期変化傾向は、日本南方海域よりも日本海で大きいと予測される。

21 世紀末までの世界の海面水温は、温室効果ガス濃度の増加に伴って長期的に上昇すると予測されている（図 2.2.6）。その変化量の地理的分布は、シナリオに依存せず、過去数十年に観測された分布と類似している。海面水温の昇温量は、南極海と北大西洋の一部で最小となると予測されている。

21 世紀末までの日本付近の海面水温は、A1B シナリオの場合で 100 年あたり 2.0～3.1℃程度、B1 シナリオの場合で 0.6～2.1℃上昇することが予測されている。海面水温の長期変化傾向は、日本南方海域よりも日本海で大きい（図 2.2.20）。

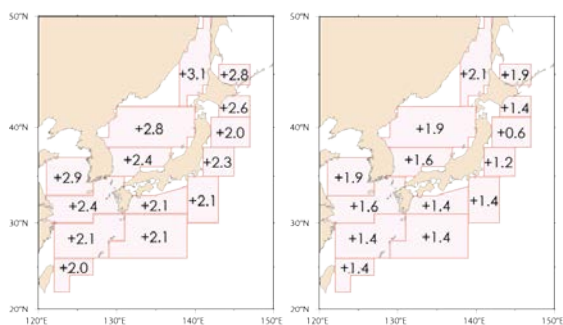


図 2.2.20 日本近海の海域平均海面水温（年平均）の長期変化傾向の将来予測（℃/100 年）

高解像度北太平洋海洋モデル（NPOGCM）による 1981～2100 年の将来予測をもとに、一次回帰分析によって求めた海域別海面水温の 100 年あたりの変化量（℃）。左は A1B シナリオ、右は B1 シナリオによる予測結果を示す。この予測結果は、単一モデルの二つのシナリオによるものであり、モデルやシナリオが異なると計算結果に違いを生じる可能性がある。出典：気象庁、2008

## 2. 2. 7 海面水位

海面水位は長期的に上昇することが予測される。ただし、日本周辺の海面水位については、顕著に現れる周期的な変動を、予測の不確実性として考慮する必要がある。

### （1）世界の海面水位の変化

世界の気温や水温の上昇に伴い、世界の平均海面水位は上昇すると予測されている。複数のモデルの予測結果によると、1980～1999 年の平均に

比べ、21 世紀末（2090～2099 年）には、B1 シナリオで 18～38cm 上昇、A1FI シナリオでは 26～59cm 上昇するとされている（図 2.2.21）。海面水位の上昇には海水の熱膨張が最も寄与し、陸氷（氷河、氷帽、およびグリーンランドや南極の氷床など）の融解や流出も寄与するとされている。ただし、この予測には炭素循環の不確実性と氷床流出の変化の効果が含まれておらず、特に氷床流出の変化を考慮すると予測は上方修正されると考えられることに注意が必要である。

### （2）日本近海海面水位の変化

海面水位の変化は、海水密度や海洋循環の違いのため、海域によって大きさが異なり、日本周辺の海域では北海道東方を除き、世界平均に比べて 5cm～10cm 大きくなると予測されている（IPCC, 2007a）。

また、過去 100 年の日本沿岸の海面水位には約 20 年周期の変動が顕著である（図 2.1.14）が、ここで示した予測にはこのような周期変動は考慮されていない。従って、日本周辺の海面水位予測には、この周期変動の影響も加味する必要がある。

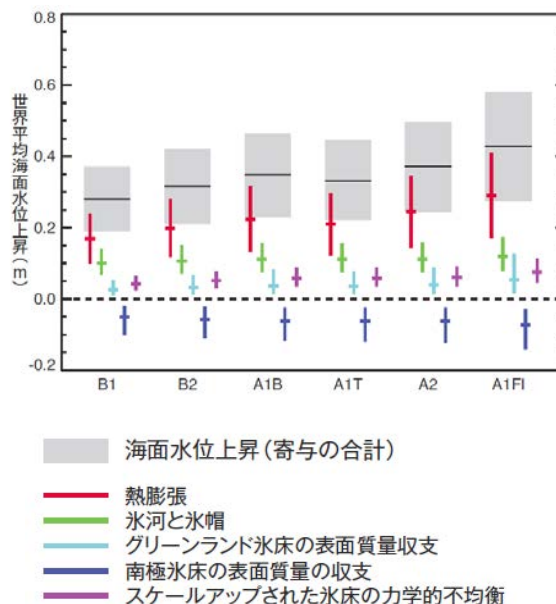


図 2.2.21 21 世紀末における海面水位上昇予測 6 つの SRES シナリオに対する（1980～1999 年を基準とした）2090～2099 年の世界平均海面水位上昇とその内訳の予測。不確実性は 5～95% の範囲を表し、モデル結果の広がりに基づき、炭素循環の不確実性を含まない。出典：IPCC、2007a



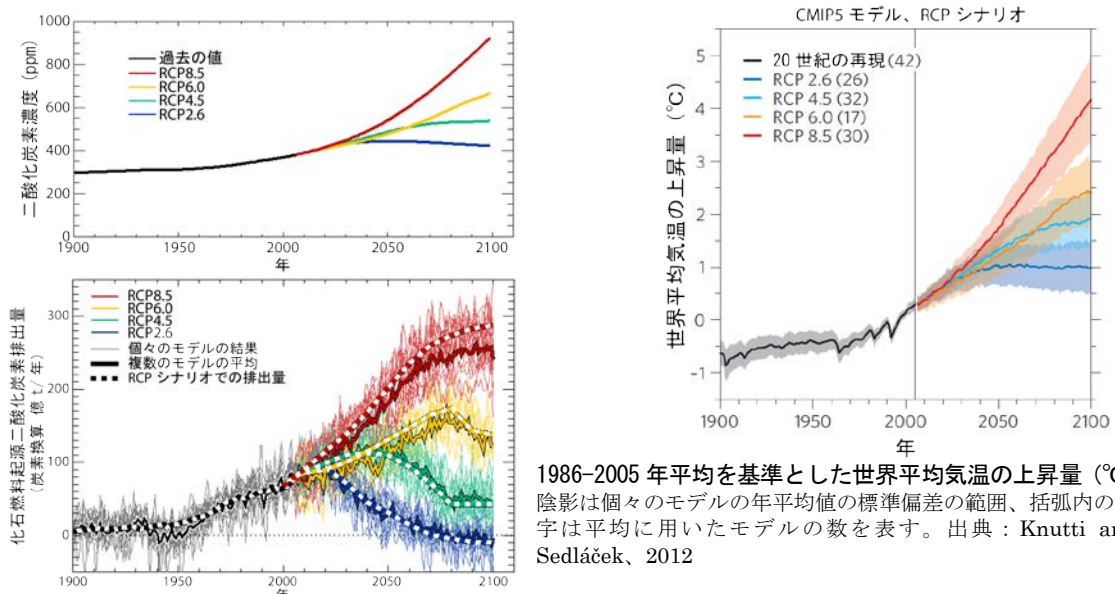
## コラム 10 RCP シナリオを用いた予測

IPCC AR5 では、SRES シナリオに代わる気候変動予測のための新たなシナリオとして、RCP (Representative Concentration Pathways; 代表的濃度経路) シナリオを用いた気候予測の結果が示される予定である。

RCP シナリオは、政策的な安定化を前提とし、将来どのような濃度に安定化させるかという考えに基づいた 4 つの温室効果ガス濃度に対応した排出シナリオである。シナリオは大気中の温室効果ガスの濃度が放射強制力に与える影響の大きさをもとに特徴づけられ、それぞれ RCP8.5 (高位参照シナリオ)、RCP6.0 (高位安定化シナリオ)、RCP4.5 (中位安定化シナリオ)、RCP2.6 (低位安定化シナリオ) と呼ばれ、産業革命以前と比較した今世紀末の放射強制力の目安がそれぞれ 8.5W/m<sup>2</sup>、6.0W/m<sup>2</sup>、4.5W/m<sup>2</sup>、2.6W/m<sup>2</sup> となるシナリオに対応している (下表)。下左図 (上) は、RCP シナリオにおける二酸化炭素濃度の推移を示している。下左図 (下) は、二酸化炭素濃度が下左図 (上) のようになるには化石燃料からの排出量がどれだけとなるかを、複数の地球システムモデルによって逆算した結果である。このような評価を行うことが、RCP シナリオの重要な使い方の一つである。下右図は、RCP の 4 つのシナリオの複数のモデルによる全球平均気温の上昇量の予測結果である。2100 年時点での全球平均地上気温の上昇量は 1986-2005 年平均と比較して、RCP2.6 で 1°C 程度、RCP8.5 で 4°C 程度という結果となっている。

RCP シナリオの概要 出典：IPCC、2007b より作成

名称	産業革命以前と比較した放射強制力の目安	2100 年における各種の温室効果ガス濃度(二酸化炭素濃度に換算)	濃度の推移
RCP8.5 (高位参照シナリオ)	2100 年において 8.5W/m <sup>2</sup> を超える	約 1,370ppm を超える	上昇が続く
RCP6.0 (高位安定化シナリオ)	2100 年以降約 6.0W/m <sup>2</sup> で安定化	約 850ppm (2100 年以後安定化)	安定化
RCP4.5 (中位安定化シナリオ)	2100 年以降約 4.5W/m <sup>2</sup> で安定化	約 650ppm (2100 年以後安定化)	安定化
RCP2.6(RCP3-PD) (低位安定化シナリオ)	2100 年以前に約 3W/m <sup>2</sup> でピーク、その後減少、2100 年頃に約 2.6W/m <sup>2</sup>	2100 年以前に約 490ppm でピーク、その後減少	ピーク後減少



1986-2005 年平均を基準とした世界平均気温の上昇量 (°C) 陰影は個々のモデルの年平均値の標準偏差の範囲、括弧内の数字は平均に用いたモデルの数を表す。出典：Knutti and Sedláček、2012

### 二酸化炭素濃度シナリオ (上) とそれぞれの濃度に対応する化石燃料からの二酸化炭素排出量 (下)

下図の細線は個々の地球システムモデルによる逆算の結果、太線は複数のモデルの平均を示す。参考のため、RCP シナリオでの排出量 (社会経済シナリオと簡略炭素循環モデルを含む統合評価モデルにより算出) を破線で示す。出典：Jones *et al.*、2013 から 1900 年以降を抜粋、和訳



### 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。

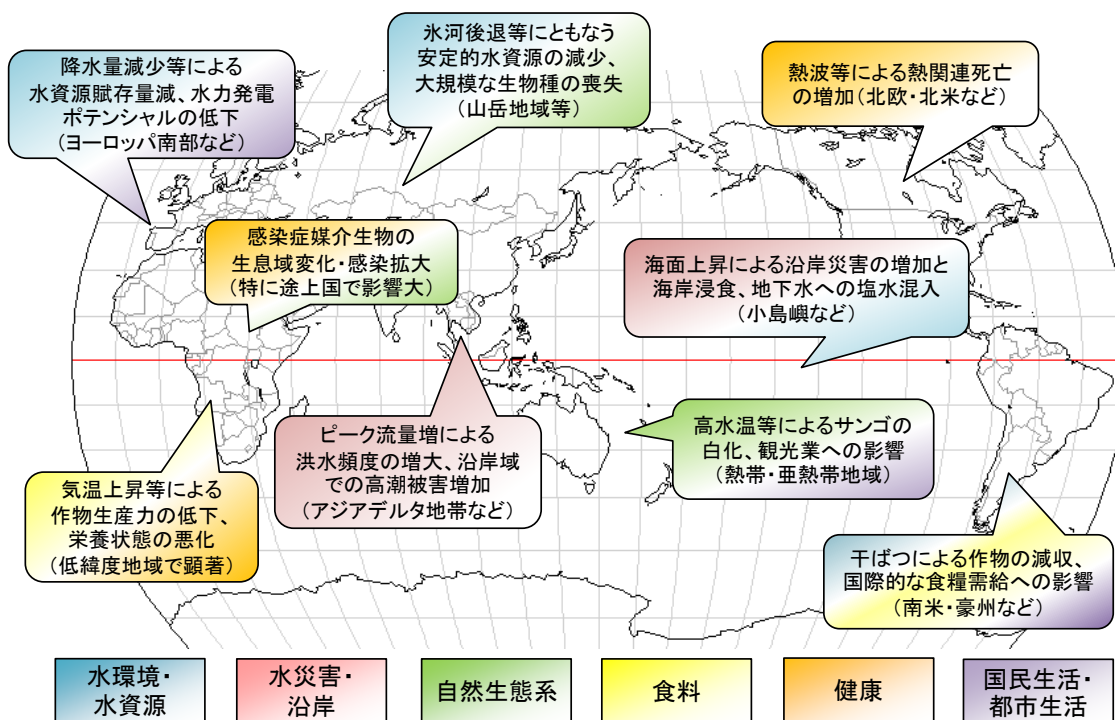


図 3.1.1 気候変動によって各地域・分野で予測される影響の事例

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）

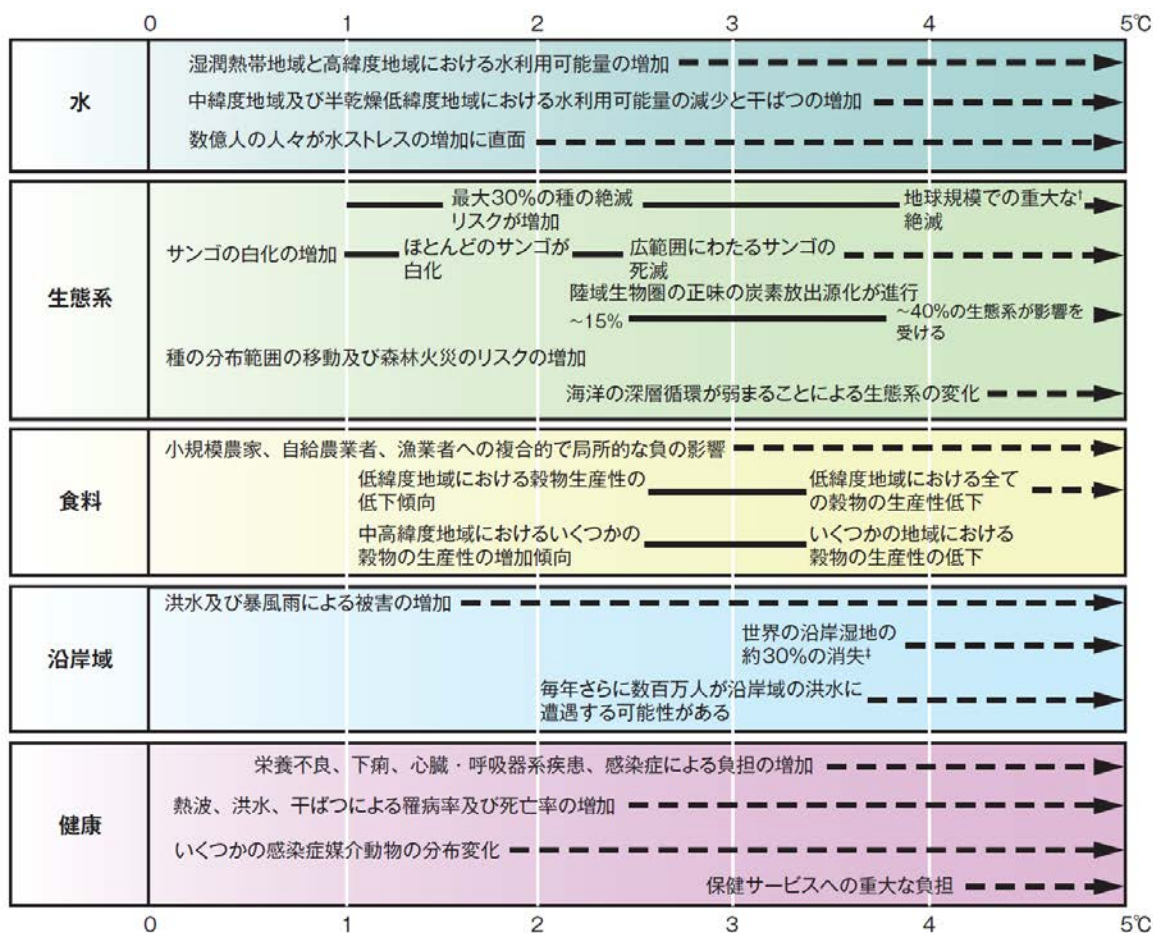
気候変動の影響は、世界の様々な場所で、水環境・水資源、水災害・沿岸、自然生態系、食料、健康や、国民生活・都市生活といった、複数の分野に現れる。図 3.1.1 は、世界において将来生じると予測される影響の例を分野別に示したものである。

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<sup>96) 102)</sup>。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<sup>102)</sup>。

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

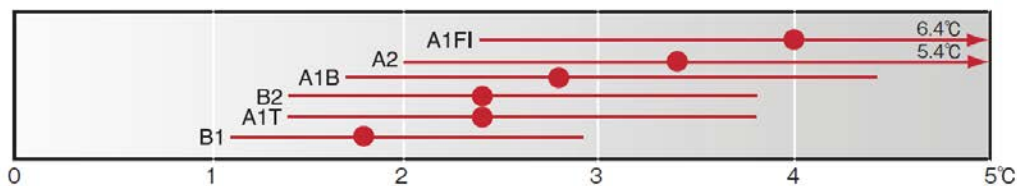


図 3.1.2 世界平均気温の変化に伴う影響の事例

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

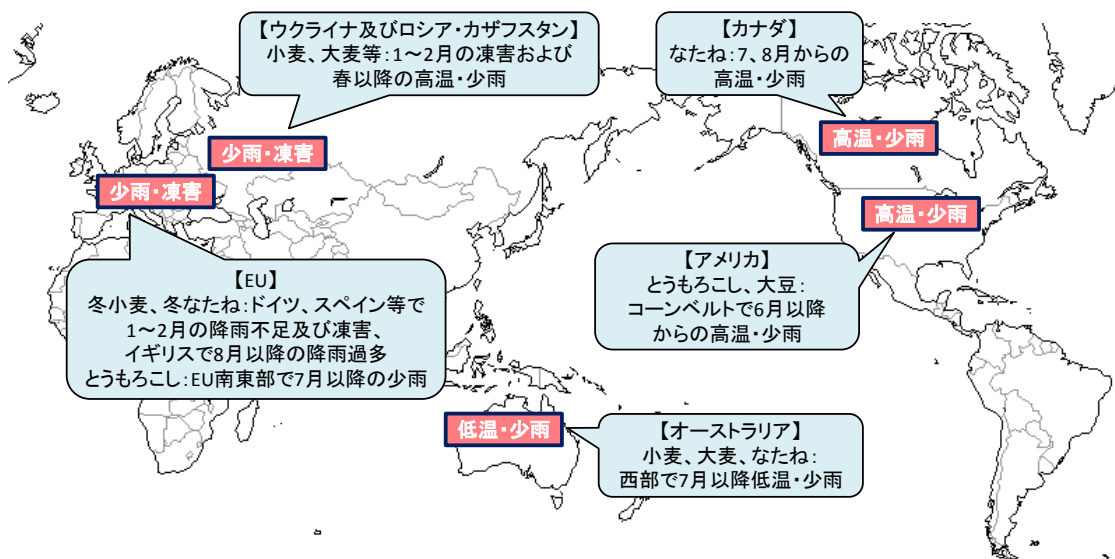
## コラム 12 海外での極端な気象・気候現象と日本に及ぼす影響

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、ブナ林やサング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<sup>14</sup>や脆弱性<sup>15</sup>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。

<sup>14</sup> 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。

<sup>15</sup> 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。

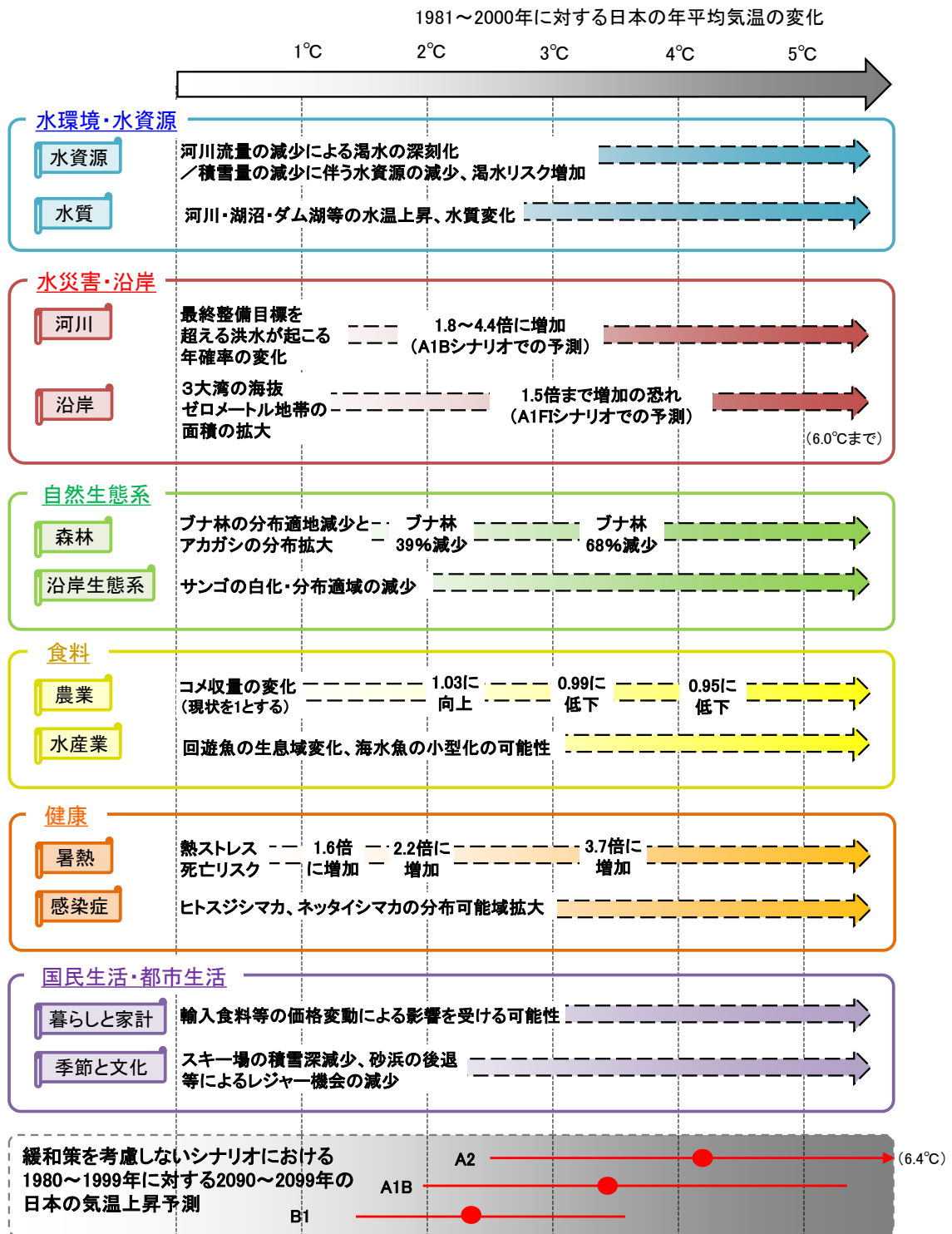


図 3.2.1 日本における平均気温変化に伴う影響の事例

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

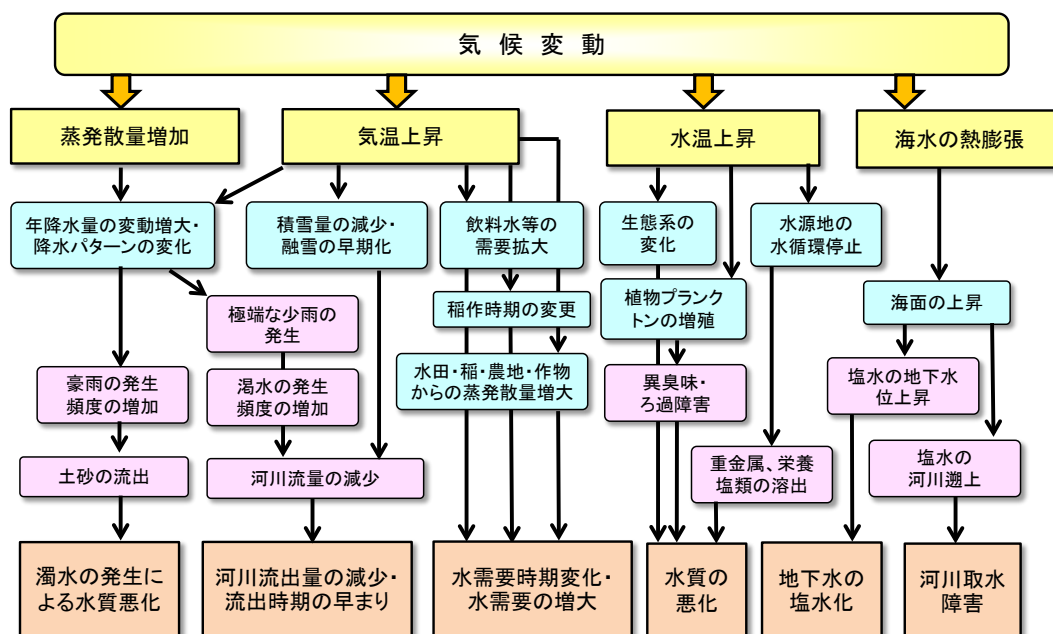


図 3.2.2 水環境・水資源分野における気候変動の影響 出典：国土交通省、2008a をもとに作成

### 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。

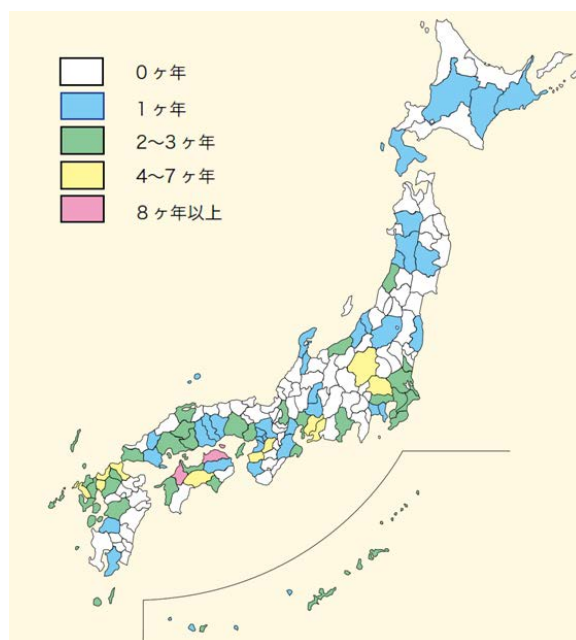


図 3.2.3 1991～2010 年における渇水の状況

(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界を考慮してエリアを分割。出典：国土交通省、2011a

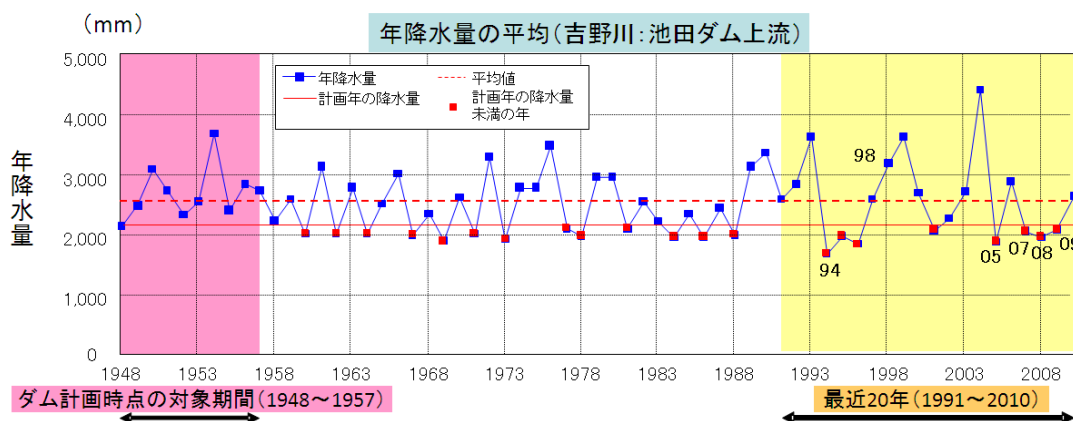


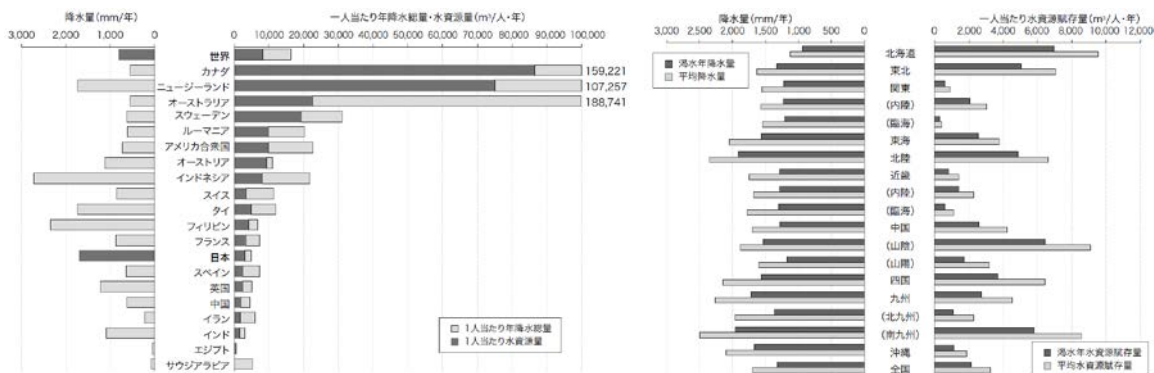
図 3.2.4 吉野川水系における年降雨総量の経年変化

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<sup>22)</sup>。

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<sup>36)</sup>、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<sup>68)</sup>。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）。

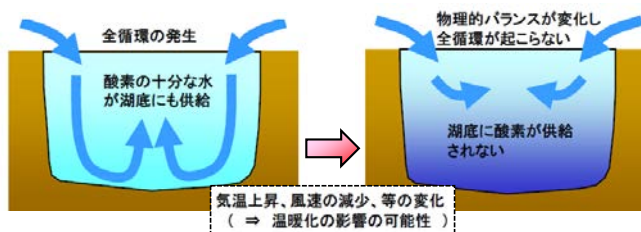


図 3.2.5 湖における全循環とその変化

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。

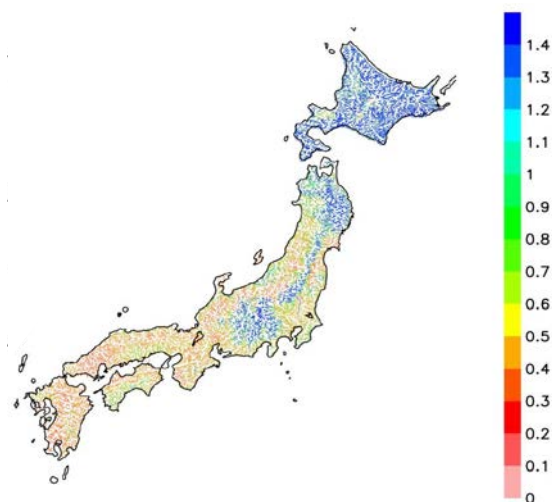


図 3.2.6 年超過確率 1/10 に対応する渇水流量の変化比率（21 世紀末）

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<sup>62)</sup>。出典：立川ら、2011

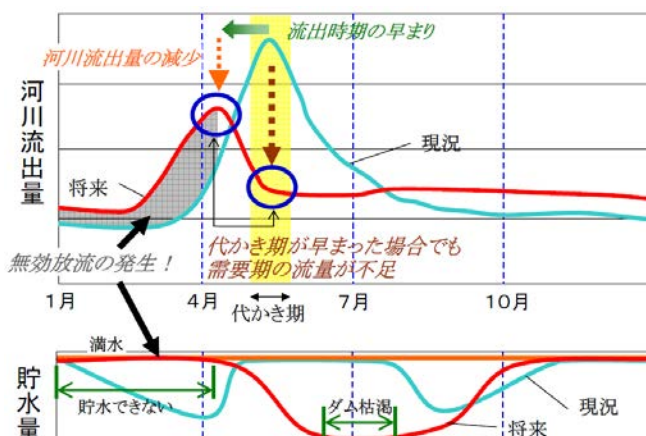


図 3.2.7 少雪化に伴う河川流量と  
ダム貯留量の変化

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<sup>54), 79)</sup>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<sup>119)</sup>、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<sup>47)</sup>、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<sup>16)</sup>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。

<sup>16)</sup> 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。

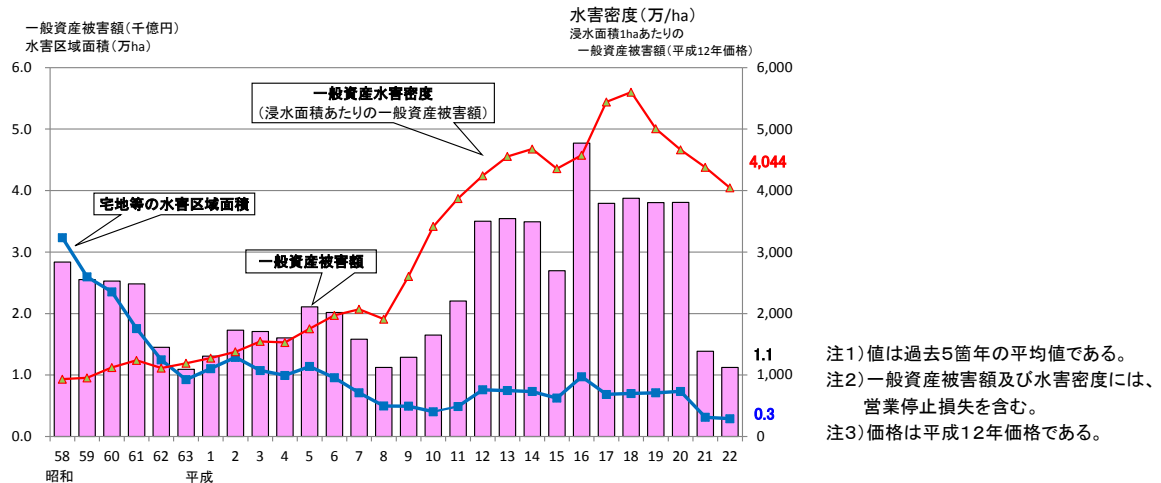


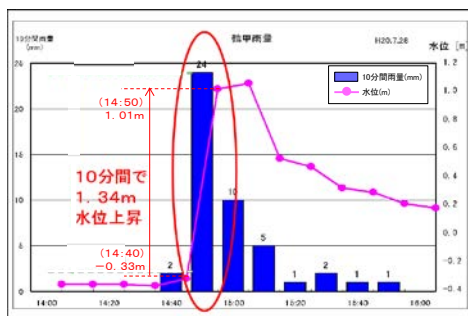
図 3.2.8 日本の気象災害による宅地等の浸水面積(青線)と浸水面積当たりの被害額(赤線)と一般資産被害額(棒グラフ)の経年変化 出典：国土交通省水管理・国土保全局、2011c より国土交通省作成

### 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。



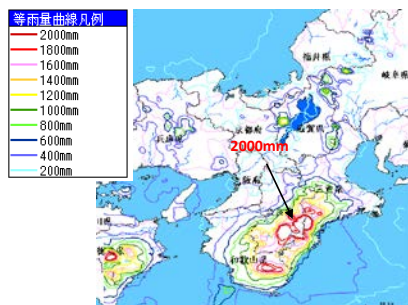
神戸市都賀川(甲橋水位観測所)における雨量・水位データ(左)、モニタリングカメラ画像(右)

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。

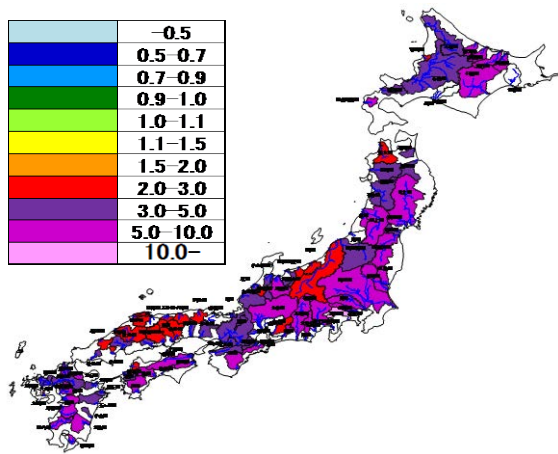
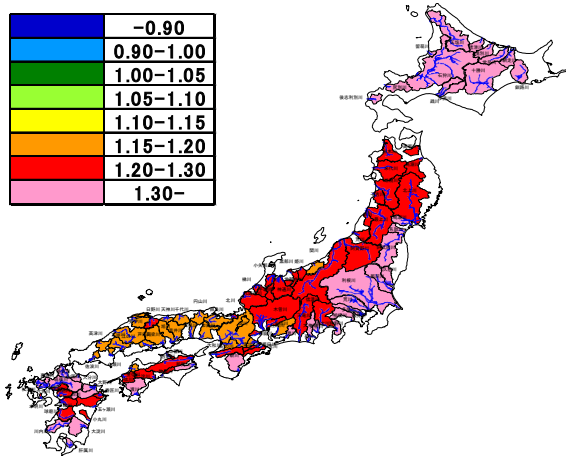
\*解析雨量：気象レーダーとアメダス等の雨量計観測値を組み合わせて、雨量分布を細かく解析したもの



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<sup>17</sup>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。

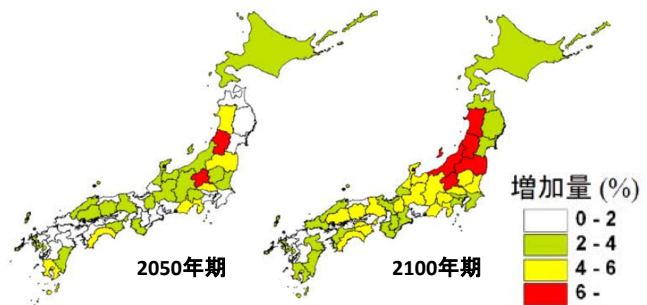


図 3.2.10 斜面崩壊発生確率の増加量

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<sup>12)</sup>と温暖化政策支援モデル<sup>100)</sup>、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

<sup>17</sup> 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。



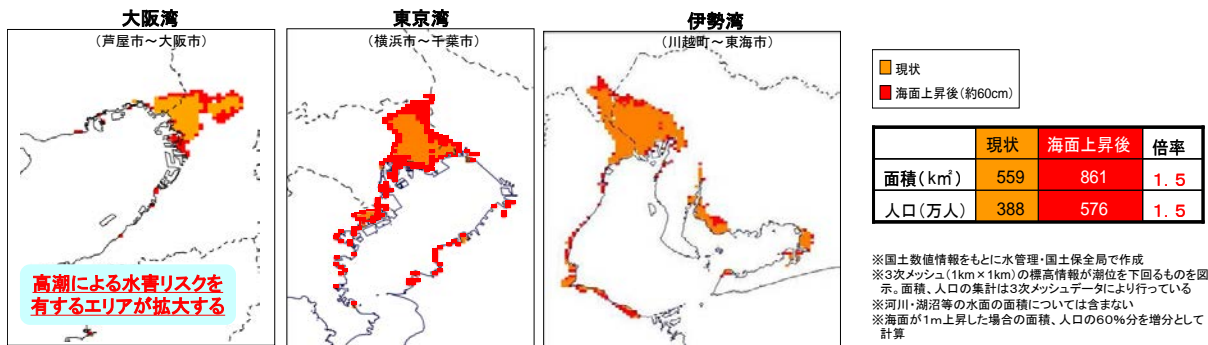


図 3.2.11 高潮リスクを有するエリアの変化

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。

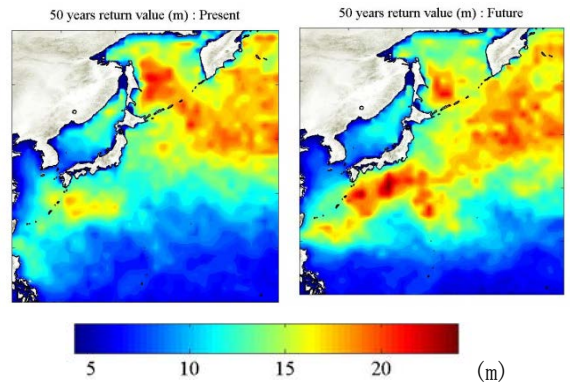
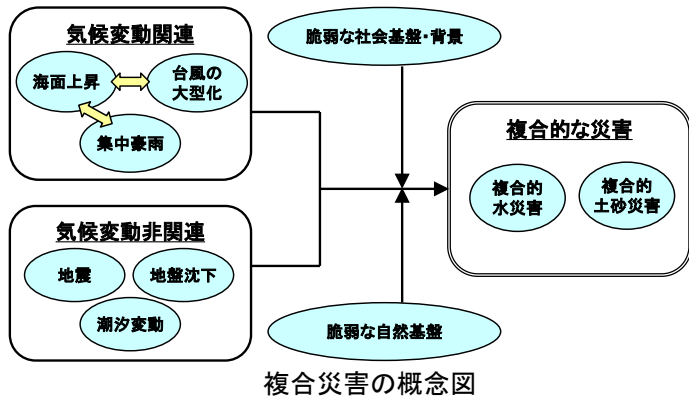


図 3.2.12 年超過確率 1/50 に相当する日本近海の予測波高 (m) (左: 現在気候、右: 将来気候)

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。



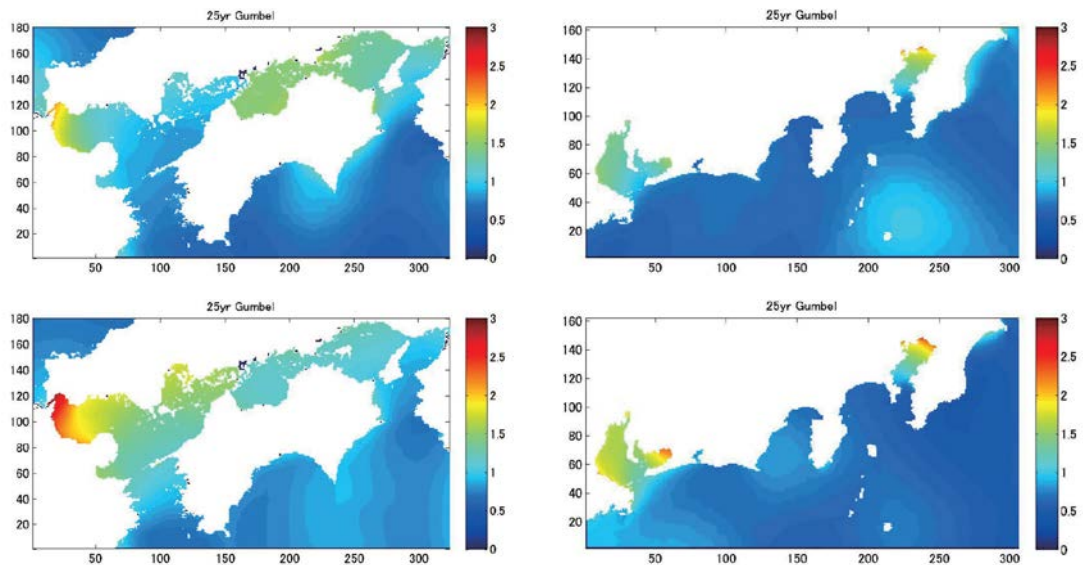


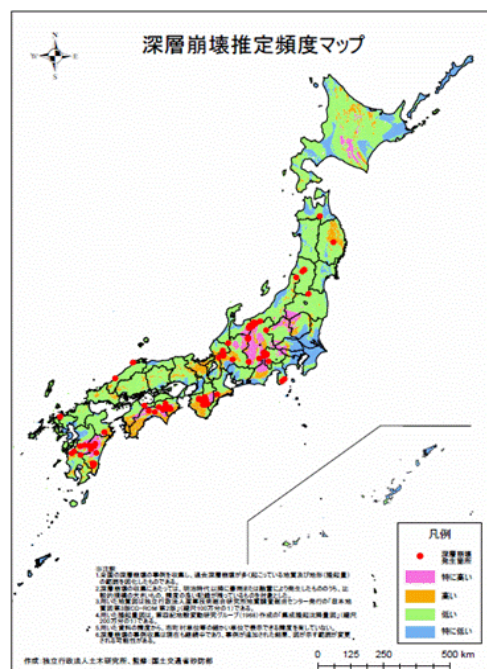
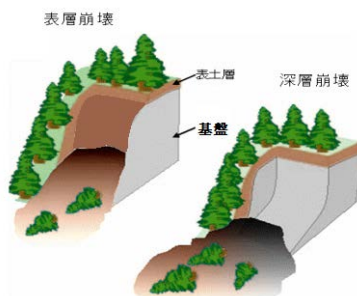
図 3.2.13 年超過確率 1/25 の高潮偏差 (上：現在気候、下：将来気候実験)

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<sup>63)</sup>。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<sup>18)</sup>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<sup>124)</sup>。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<sup>33)</sup>。環境省が2008年から開始した市民参加型の調査<sup>17)</sup>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。

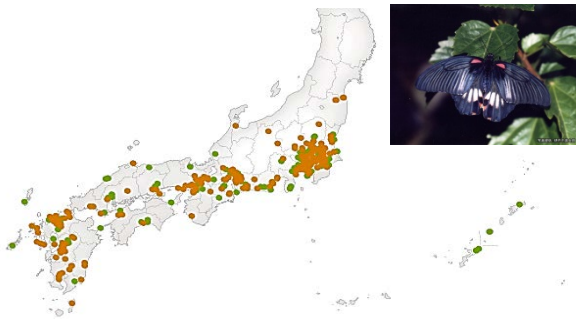


図 3.2.17 気温上昇により分布域が北上しつつあるナガサキアゲハ (●2010年度、●2009年度)  
地図は環境省<sup>17)</sup>、写真提供：伊丹昆虫館

### 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<sup>72)</sup>、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<sup>90)</sup>。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<sup>89)</sup>。



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

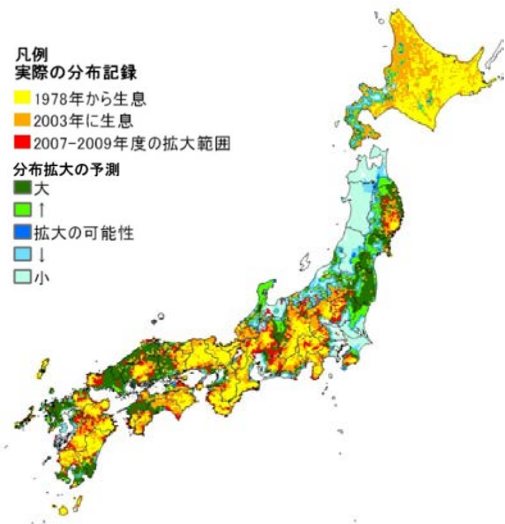


図 3.2.19 ニホンジカ分布図 出典：環境省、2012a  
(■：2007-9年度の拡大範囲、■：分布拡大の可能性が大)

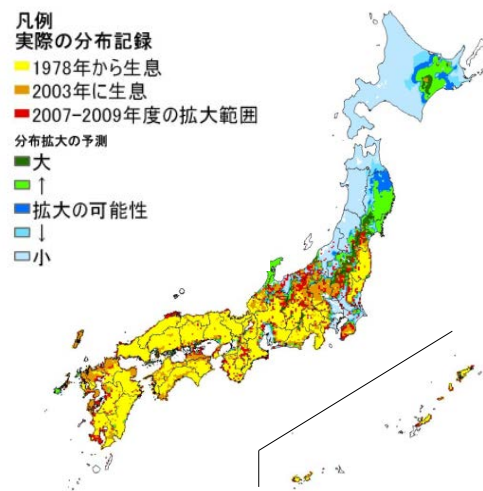


図 3.2.20 イノシシ分布図 出典：環境省、2012b  
(■：2007-9年度の拡大範囲、■：分布拡大の可能性が大)

### 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<sup>77)</sup>。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<sup>15)</sup>。

### 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<sup>19)</sup>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<sup>125)</sup>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<sup>80)</sup>。

### 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<sup>11)</sup>。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<sup>20)</sup>も減少するため、

<sup>19)</sup> 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（CaCO<sub>3</sub>）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。

<sup>20)</sup> 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。

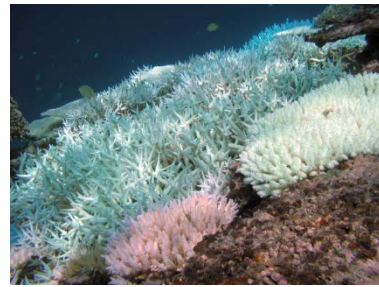


図3.2.21 白化したサンゴ 写真提供：環境省

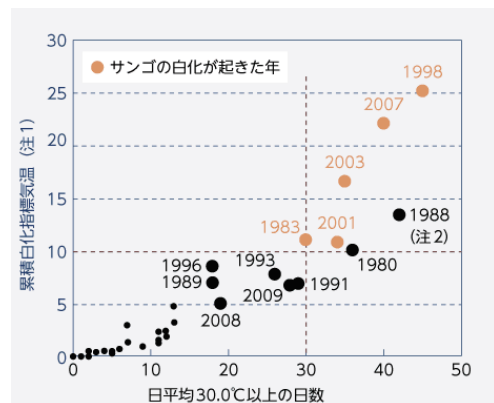


図3.2.22 石西礁湖におけるサンゴの白化と温度との関係（注1）「累積白化指標気温」とは、気温から30℃を差し引いた値の合計を示す。（注2）1988年も危険範囲にあるが、この年はオニヒトデの食害で気温の影響を受けるサンゴ自体がほとんどなかった。

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<sup>106)</sup>。

## （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<sup>115)</sup>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km<sup>2</sup>）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km<sup>2</sup>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km<sup>2</sup>）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

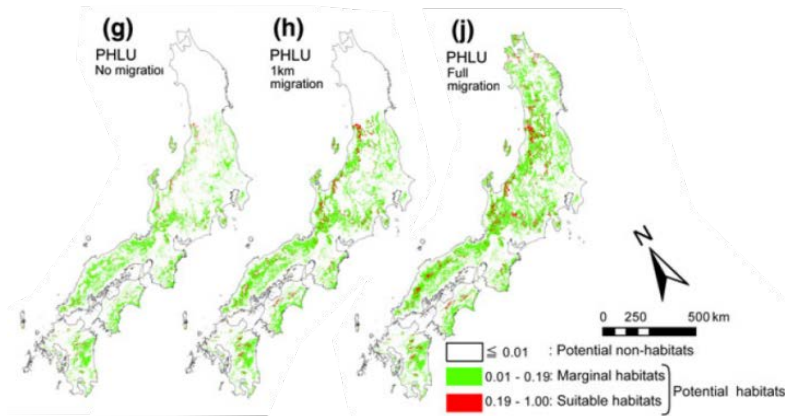


図 3.2.23 気候モデル(MIROC)に基づくアカガシの分布予測図 SRES A2 シナリオを利用。2081-2100 年における予測。□:潜在生息域ではない、■、■:潜在生息域 (g): 潜在生育域に土地利用を考慮し、分布移動なしと仮定した場合。(h): 同、分布移動 1km と仮定した場合。(j): 同、あらゆる場所に移動すると仮定した場合。出典: Nakao *et al.*, 2011 より抜粋

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  $\text{km}^2$  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  $3^{\circ}\text{C}$  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  $3^{\circ}\text{C}$  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<sup>133)</sup>。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)。

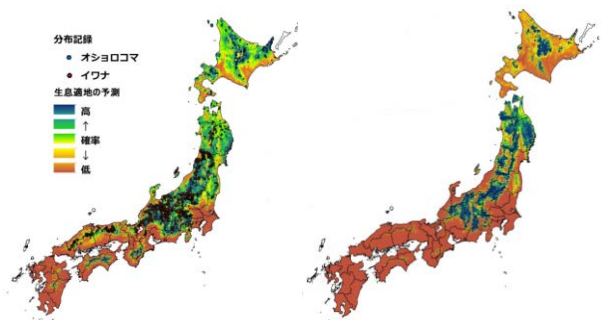


図 3.2.24 イワナ類の生息適地 左: 現在、右: 水温が  $3^{\circ}\text{C}$  上昇した場合 出典: 環境省、2012c

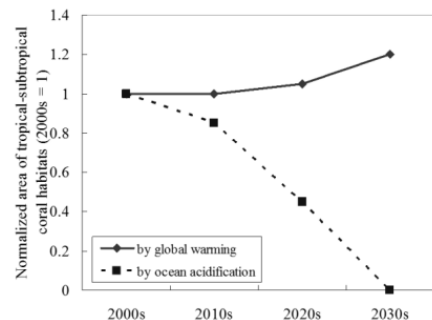


図 3.2.25 熱帯・亜熱帯性サンゴ礁の生息域の変化 (2000~2030 年代)

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。

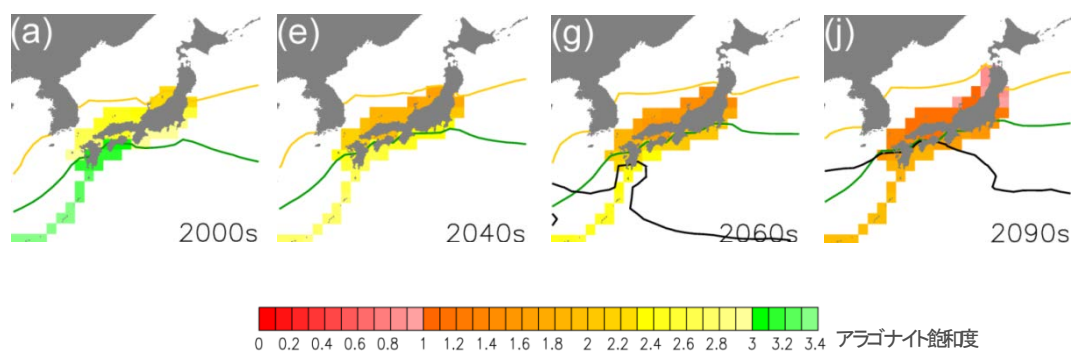


図 3.2.26 現在(2000年)と将来(2040、2060、2090年)のサンゴ礁の北限の変化

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<sup>73)</sup>。

##### 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<sup>70)</sup>。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<sup>57)</sup>。

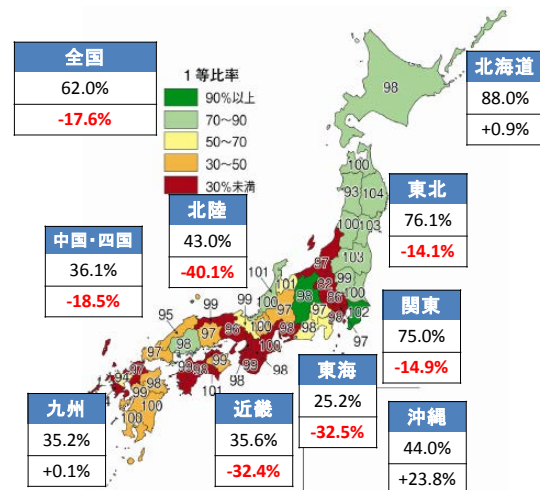


図 3.2.27 2010 年産水稻の作況、品質の状況

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。



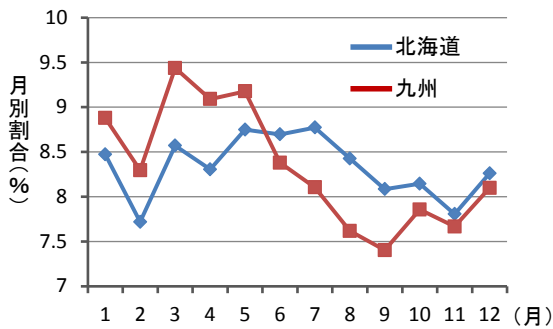


図 3.2.28 牛乳生産量の月別割合の推移 (2010年) 提供：農業環境技術研究所  
平成 22 年度牛乳乳製品統計より作成

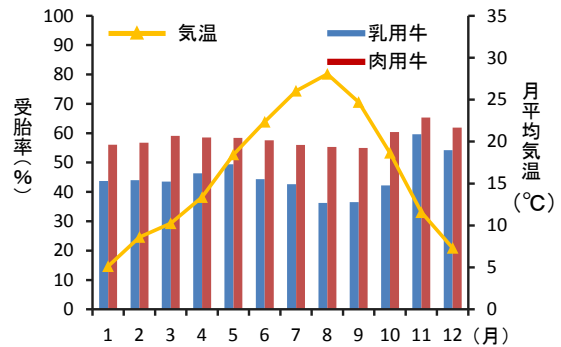


図 3.2.29 牛の人工授精による受胎率の季節変化 (2010年) 提供：農業環境技術研究所  
平成 22 年度家畜改良事業団調査報告—九州地区より作成

### 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<sup>88)</sup>。

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<sup>35)</sup>。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<sup>65)</sup>。*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）。

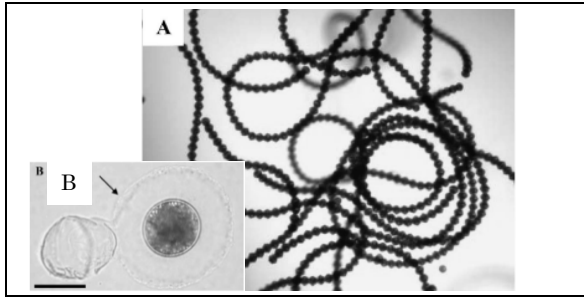


図 3.2.31 *Alexandrium tamiyavanichii* の栄養細胞 A は連鎖形成、B は形成シスト  
出典：長井ら、2008 より抜粋

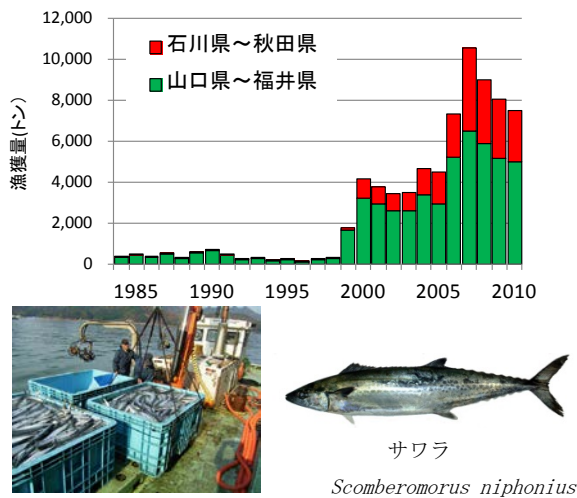


図 3.2.32 日本海におけるサワラの漁獲量の変化と京都府沿岸域におけるサワラの漁獲風景  
出典：木所・戸嶋、2012 に我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産総合研究センター、2012）を加えて作成、サワラの漁獲風景は京都府海洋センター提供資料

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<sup>108)</sup>。

## （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<sup>53)</sup>。

### 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<sup>87)</sup>によると、家禽につい

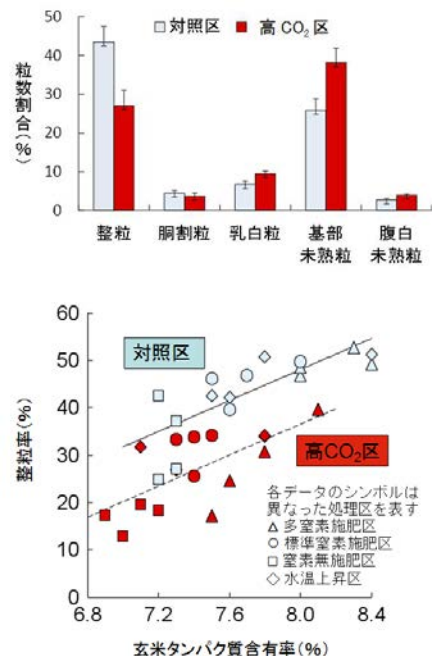


図 3.2.33 高二酸化炭素濃度がコシヒカリの玄米品質に与えた影響（上）と二酸化炭素濃度・温度・施肥水準がコシヒカリの整粒率に与えた影響（下）  
出典：農業環境技術研究所、2011 を改変 原著は長谷川ら、2011

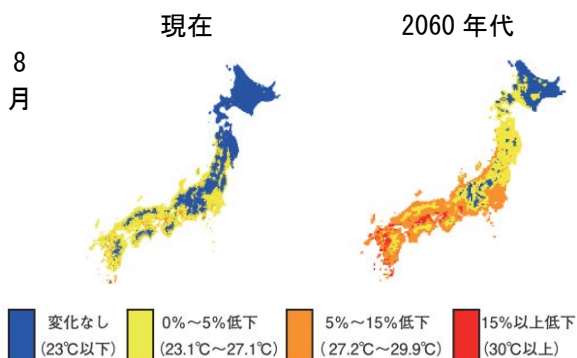


図 3.2.34 現在及び 2060 年代における家禽の産肉量の予測（月平均気温 23°C 以下の増体日量と比較した低下割合）

気候変化メッシュデータ<sup>134)</sup>を使用した予測値。プロイラーを 23、28 及び 33°C で、一定期間飼育後、産肉量を測定。23°C の産肉量を 100 としたときの 28 及び 33°C 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°C、30.0°C 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。

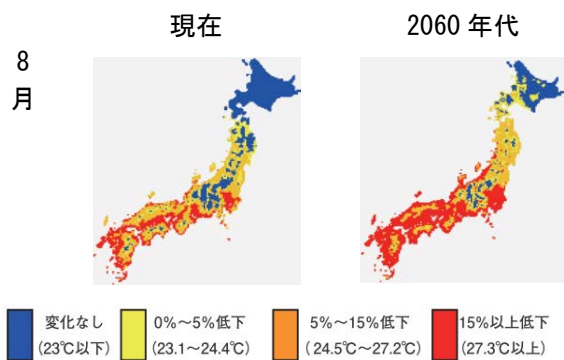


図 3.2.35 現在及び 2060 年代における肥育豚の増体日量の予測（月平均気温 23°C 以下の増体日量と比較した低下割合）

気候変化メッシュデータ<sup>134)</sup>を使用した予測値。肥育去勢豚を、23°C、28°C、30°C 及び 33°C 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°C 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°C、27.3°C、30.4°C 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<sup>59)</sup>。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<sup>56)</sup>。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<sup>37)</sup>。

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）。

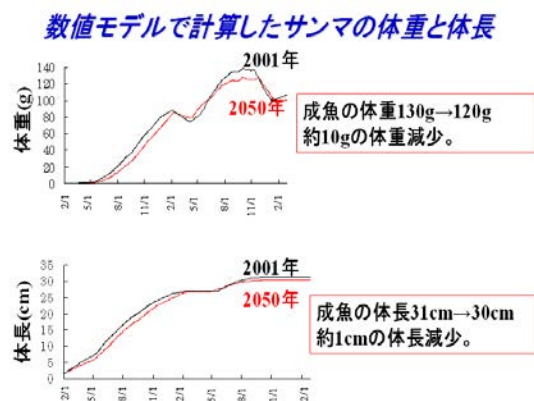


図 3.2.36 NEMURO を用いたサンマの成長の変化予測 出典：水産総合研究センター、2009 より抜粋、一部改変



### 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。

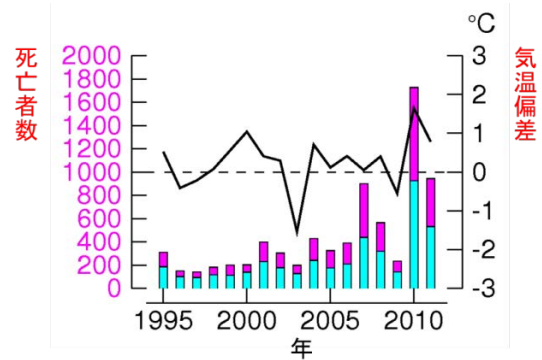


図 3.2.37 熱中症による年間死亡者数の推移  
 ■：女性，■：男性。夏季気温 (図 2.1.4 等に使用されている 17 地点の 7, 8 月の平均偏差) を重ねた。資料提供：気象研究所

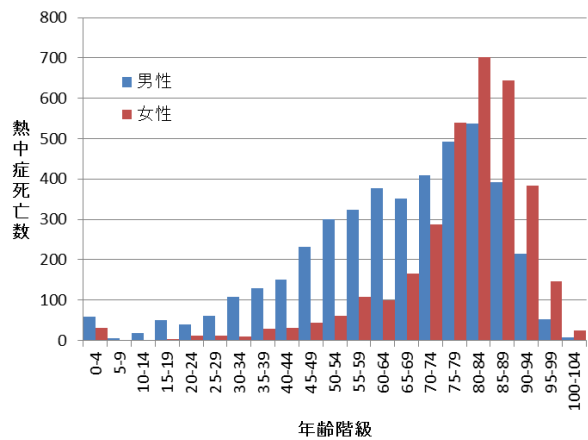
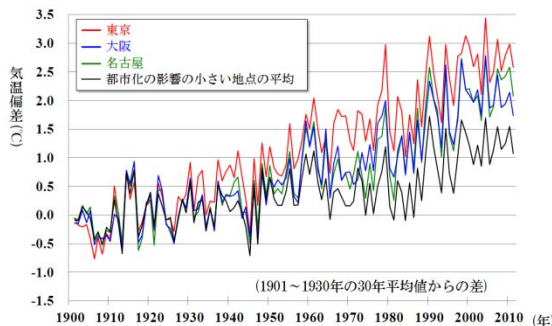


図 3.2.38 年齢階級別熱中症死亡者数

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

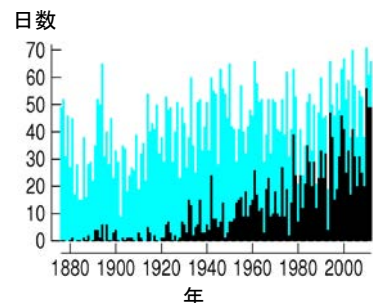
### コラム 19 ヒートアイランド現象

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<sup>51)</sup>。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)

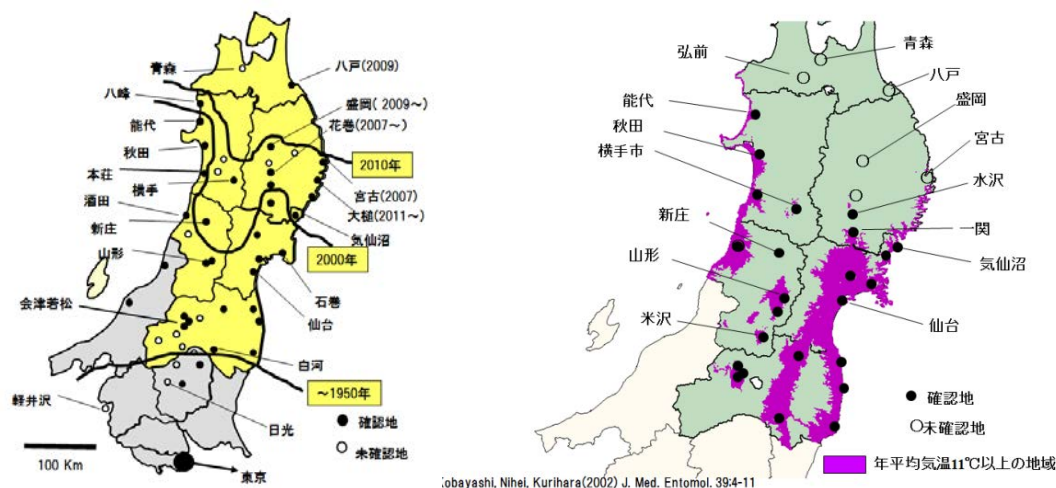


図 3.2.39 ヒトスジシマカの分布(左)と年平均気温との関係(右)

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<sup>60)</sup>、花粉症の発症者数や重症例が増える可能性もある。

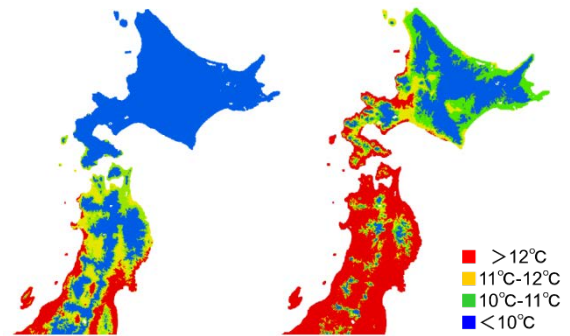


図 3.2.41 ヒトスジシマカの分布可能域の予測 MIROC K-1 モデルによる。赤色と黄色の部分(年平均気温が約 11°C以上)が分布可能域。左：2035年、右：2100年 出典：環境研究総合推進費(S-8)による調査、小林睦生らの研究結果

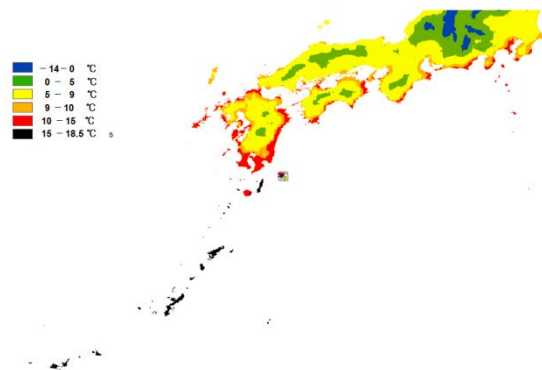


図 3.2.42 2100年におけるネッタイシマカの分布可能域の予測

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<sup>58)</sup>、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<sup>67)</sup>（図 3.2.44）。

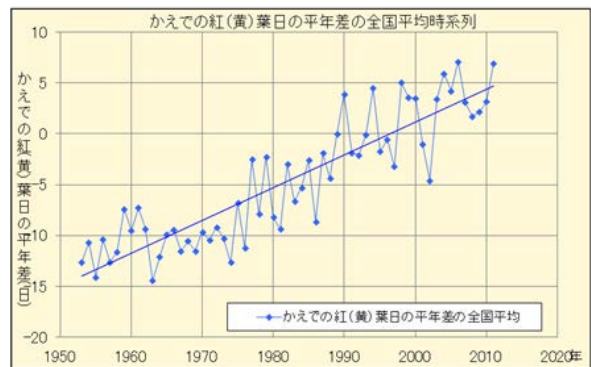
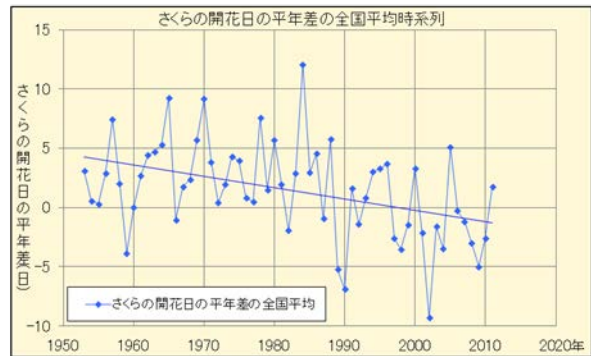


図 3.2.43 さくらの開花日の経年変化（上）、かえでの紅（黄）葉日の経年変化（下）

出典：気象庁、2012c

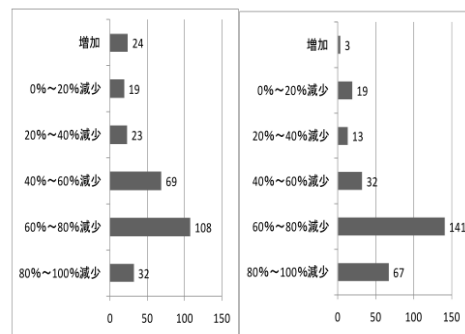


図 3.2.44 積雪深の増減率別スキー場数

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

## 第4章 将来の気候変動に対する適応策の現状と課題

前章までに、気候変動の観測結果と将来予測及びその影響について解説してきた。その中に述べたとおり、我が国でも気候変動の影響はすでに様々な分野で現れつつある。このため、すでに地球温暖化の影響への対処（適応）の取組が一部の分野においては開始されている。（表4.1.1～4.1.7参照）また、将来、国民生活に関係する幅広い分野で一層の影響が予測されている。

こうしたことから、すでに現れている気候変動の影響に加え、今後中長期的に避けることができない気候変動の影響に対して、①気候のモニタリング、②将来における気候変動の予測、そして③予測される気候変動による影響の評価を体系的に実施して、我が国全体として適応策を実施することが必要である。このため、国は平成26年度末を目途に政府全体の適応計画を策定する予定である。

この章では、我が国及び諸外国における適応の取組、適応策策定に当たっての留意点、技術的課題及び今後の取組の方向性等について説明する。

### 4.1 我が国における適応の取組

#### 4.1.1 個別分野での適応の取組

既に個別の分野において現れつつある温暖化影響への対処（適応）の取組が開始されている。具体的には、農林水産分野では、影響のモニタリングと将来予測・評価、高温環境に適応した品種・系統の開発、高温下での生産安定技術の開発、集中豪雨等に起因する山地等災害への対応等が進められてきている。

また、沿岸防災分野では、海面水位の上昇等による高潮による災害リスク対応の検討が進められ、高潮のモニタリング・予測、防護水準の把握、災害リスクの評価といった先行的な施策が実施されているとともに、防潮堤や海岸防災林の整備が実施されている。

さらに、水災害対策分野では、既に平成20年6月に「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策の在り方（社会資本整備審議会答申）」がとりまとめられ、治水安全度の評価など具体的な施策が検討、実施されている。

#### 4.1.2 モニタリング及び予測

このほか、適応策検討の基礎資料となる地球温暖化のモニタリング及び予測に関しては、平成8年度から毎年「気候変動監視レポート（気象庁）」が、数年ごとに「地球温暖化予測情報（気象庁、第7巻まで刊行）<sup>21</sup>」が、それぞれ公開されているほか、モニタリング、予測や温暖化影響の予測、評価に関する研究開発も進められ、平成21年に「日本の気候変動とその影響（文部科学省、気象庁、環境省）」により、温暖化と温暖化影響の予測評価の科学的知見のとりまとめも行われている。

#### 4.1.3 関係府省における連携

さらに、適応に関する取組の蓄積を踏まえ、関係府省庁で連携し、既に現れている可能性が高い影響に対する短期的適応策の実施、数十年先の影響予測に基づく個別分野での適応策や統合的適応策・基盤強化施策といった中長期的適応策の検討、情報整備の促進、意識向上の推進を、適応策の共通的な方向性として整理（気候変動適応の方向性に関する検討会報告書「気候変動適応の方向性」、平成22年11月）したほか、温暖化影響に関連する既存の統計・データの収集・分析とその公開（「気候変動影響統計ポータルサイト」の設置、平成24年3月）が行われている。

（本節、中央環境審議会地球環境部会報告「2013年以降の対策施策に関する報告書（地球温暖化対策の選択肢の原案について）」平成24年6月」（以下「中央環境審議会報告」という。）より抜粋。）

以下、分野ごとの現状の取組を表4.1.1～4.1.7にまとめた。

<sup>21</sup>平成25年3月に「地球温暖化予測情報第8巻」が公開された。また、平成21年から気象庁の管区気象台等において地域の気候変動に関するレポートもまとめられている。



表 4.1.1 水環境・水資源分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ）	平成 20 年 5 月	国土交通省土地・水資源局
水道ビジョン（平成 20 年改訂）	平成 20 年 7 月	厚生労働省健康局
総合水資源管理について（中間とりまとめ）	平成 20 年 10 月	国土交通省土地・水資源局
環境省環境研究総合推進費プロジェクト D-0804 温暖化が大型淡水湖の循環と生態系に及ぼす影響評価に関する研究	平成 20～22 年度	環境省
下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会報告書 新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて	平成 21 年 4 月	国土交通省都市・地域整備局
気候変動による水質等への影響解明調査	平成 21 年～	環境省
「平成 23 年版日本の水資源」	平成 23 年 8 月	国土交通省
「気候変動による水資源への影響検討会」の設置	平成 24 年～	国土交通省

表 4.1.2 水災害・沿岸分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）	平成 20 年 6 月	国土交通省
地球環境の変化に伴う水災害への適応	平成 20 年 6 月	日本学術会議 他
中小河川における局地的豪雨対策 WG 報告書	平成 21 年 1 月	国土交通省河川局
内水ハザードマップ作成の手引き（案）	平成 21 年 3 月	国土交通省都市・地域整備局
地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方（答申）	平成 21 年 3 月	国土交通省港湾局
大規模水害対策に関する専門調査会報告書	平成 22 年 4 月	中央防災会議
洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン	平成 22 年	国土交通省
海岸保全施設の更新等にあわせた地球温暖化適応策検討マニュアル（案）	平成 23 年	国土交通省
提言 気候変動下における水・土砂災害適応策の適応策の深化に向けて	平成 23 年	日本学術会議土木工学・建築学委員会
森林・林業基本計画	平成 23 年	林野庁

表 4.1.3 自然生態系分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
環境省モニタリングサイト 1000（サンゴ、高山帯などのモニタリングの実施）	平成 14 年 3 月～	環境省自然環境局
農林水産省地球温暖化対策総合戦略	平成 19 年 6 月	農林水産省
生物多様性ちば県戦略（気候変動による影響・適応に言及）	平成 20 年 3 月	千葉県
地球温暖化対策研究戦略	平成 20 年 7 月	農林水産省
環境省地球環境研究総合推進費戦略研究開発プロジェクト 気候変動に対する森林帯、高山帯エコトーンの多様性消失の実態とメカニズムの解明	平成 21～23 年度	環境省
農林水産省プロジェクト研究 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発	平成 22 年度～	農林水産省
森林・林業基本計画	平成 23 年	林野庁
生物多様性国家戦略 2012-2020	平成 24 年 9 月	環境省自然環境局

表 4.1.4 食料分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
農林水産省地球温暖化対策総合戦略	平成 19 年 6 月	農林水産省
品目別地球温暖化適応レポート	平成 19 年 6 月	農林水産省
平成 19 年夏季高温障害対策レポート	平成 20 年 4 月	農林水産省
地球温暖化対策研究戦略	平成 20 年 7 月	農林水産省
平成 20 年地球温暖化影響調査レポート	平成 21 年 9 月	農林水産省
気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発	平成 22 年度～	農林水産省
平成 21 年地球温暖化影響調査レポート	平成 22 年 9 月	農林水産省
平成 22 年度高温適応技術レポート	平成 23 年 2 月	農林水産省
地球温暖化と農林水産業に関する情報提供サイト(農業温暖化ネット、地球温暖化と農林水産業)	—	農林水産省

表 4.1.5 健康分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
熱中症予防情報サイト	—	環境省水・大気環境局
熱中症患者速報	平成 16 年度～	国立環境研究所
熱中症関係府省庁連絡会議	平成 19 年～	消防庁、文部科学省、厚生労働省、気象庁、環境省
熱中症環境保健マニュアル 2009	平成 23 年 5 月	環境省環境保健部

表 4.1.6 国民生活・都市生活分野の取組例

名称	策定等年月	策定者等
世界文化遺産の登録推薦に向けた包括的保存管理計画の策定について(中間報告)概要版(気候変動による文化財への影響への対策)	平成 20 年 3 月	文化庁
世界遺産一覧表への記載推薦に係る富士山包括的保存管理計画	平成 24 年 1 月	文化庁、環境省、林野庁、山梨県・静岡県他、関係市町村

表 4.1.7 府省連携の取組例

名称	策定等年月	策定者等
地球温暖化影響への適応策に関する関係府省連絡会議	平成 20 年～	文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、気象庁、環境省
温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」	平成 21 年 10 月	文部科学省、気象庁、環境省
「気候変動適応の方向性」	平成 22 年 11 月	気候変動適応の方向性に関する検討会
「気候変動影響統計ポータルサイト」	平成 24 年 3 月	環境省(関係省庁の協力のもと、国内のデータを対象として気候変動の影響に関する統計の整備)

## 4.2 我が国における適応の取組強化の必要性

既に温暖化により生じている可能性がある影響が農業、生態系などの分野に見られているほか、極端な高温による熱中症の多発や、短時間での強雨による洪水、土砂災害の被害などと温暖化の関連性が指摘されている。将来温暖化が進行することで、このような影響の原因となる極端な現象の大きさや頻度が増大することが予測される。

また、カンクン合意<sup>22</sup>やダーバン合意<sup>23</sup>における「産業革命以前と比べ世界の平均気温の上昇を2℃以内に抑制するために温室効果ガス排出量を大幅に削減する必要があることを認識する」という国際的な合意の下で2℃目標が達成されても、我が国において気温の上昇、降水量の変化、極端な現象の変化など様々な気候の変化、海洋の酸性化などの温暖化影響が生ずるおそれがある。

こうしたことから、既に現れている温暖化影響に加え、今後中長期的に避けることのできない温暖化影響に対し、治山治水、水資源、沿岸、農林水産、健康、都市、自然生態系など広範な分野において、影響のモニタリング、評価及び影響への適切な対処（＝適応）を計画的に進めることが必要となっている。（本節、中央環境審議会報告より抜粋）

## 4.3 適応策の概念と枠組み及び課題等

### 4.3.1 適応とは

適応とは、気候変動の影響に対し自然・人間システムを調整することにより、被害を防止・軽減し、あるいはその便益の機会を活用することである。気候変動の影響は既に起こりつつあり、将来さらに激化が予想されるために、気候変動に対しては、短期的適応策と中長期的適応策の2種類の適応策が必要である。短期的適応策は、既に起こりつつある影響の防止・軽減のために直ちに取組むべき施策であり、中長期的適応策は、予測される影響の防止・軽減のための施策である。

<sup>22</sup> カンクン合意：2010年、メキシコのカンクンで開催された国連気候変動枠組条約第16回締約国会議（COP16）での合意。気温上昇を工業化前2℃以内に抑えるために、2050年までの世界規模の大幅排出削減及び早期の頭打ちを共有のビジョンとする前提のもとで一連の合意がなされた。

<sup>23</sup> ダーバン合意：2011年、南アフリカのダーバンで開催された国連気候変動枠組条約第17回締約国会議（COP17）での合意。将来の枠組みへの道筋、京都議定書第二約束期間に向けた合意、緑の気候基金、及びカンクン合意の実施など一連の合意がなされた。

### 4.3.2 適応策の枠組み

適応策は、以下のような基本的コンセプトに基づいて設計される。（「気候変動適応の方向性」気候変動適応の方向性に関する検討会、2010より抜粋）

- ① リスクの回避  
予想される影響の出現に対して予防的な対策を取るもの。防災施設の強化や危険な地域の開発の抑制などがこの例。
- ② 悪影響の低減  
生じてしまった影響をなるべく少なく抑えようとする対策。防災分野では減災対策や復旧への支援がこれに当たる。
- ③ リスクの分散  
発生する影響を多くの住民の間で分散して負担したり、時間的に分散させることで影響の集中を抑える対策。損害保険が端的な例。
- ④ リスクの受容  
現時点では特段の対策をとらず、または対策の実施を延期することで様子を見つつ、悪影響の可能性を受容するもの。
- ⑤ 機会の活用  
気候変動のもたらす影響の中には、分野・地域により新たなビジネスチャンス等の好影響をもたらすものもあり得る。そのような機会を積極的に活用する。

### 4.3.3 適応策の課題と留意すべき事項

適応策は予防的に影響に対処しようとする点に特色があり、気候予測・影響予測・将来の社会動向といった将来予測に基づいて検討されるため、これらの予測の不確実性の取り扱いが課題となる（①参照）。

適応策の計画・実施のためには、その基礎となる情報整備が必要とされる。また、気候変動の悪影響をできるだけ少なく抑えるためには、緩和策と適応策の総合的推進が必要である（②参照）。さらに、こうした施策の推進のためには、地方公共団体を含めた行政部局、国民各層の適応策に関する認識の向上を図ることがすべての基盤として必要である（⑤参照）。

以下、これら適応策の課題及び留意すべき事項について説明する。

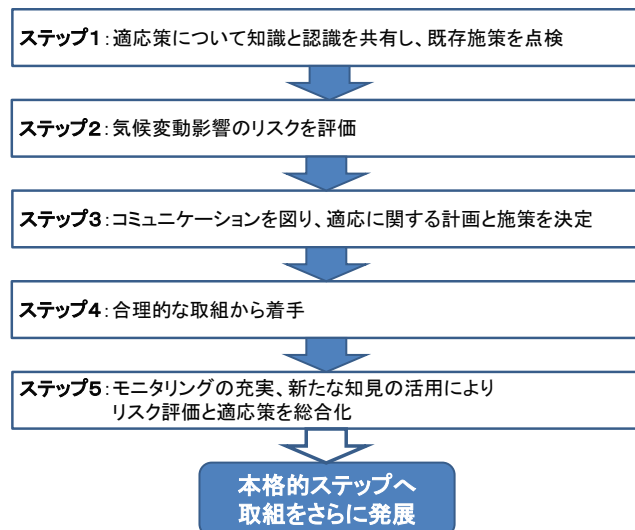
## コラム 20 現時点の科学的知見を踏まえた適応策の方向性と取組のステップ

### 現時点の科学的知見を踏まえた適応策の方向性

- ・ 短期的適応策  
既に生じている短期的影響を応急的に防止・軽減。
- ・ 中長期的適応策  
中長期的な影響のリスクを評価し、脆弱性の低減、対応力の強化等により、適応能力を向上。
- ・ 個別分野での適応策  
予測される特定の影響への適応を意図して実施。リスクの低減効果とコスト等の総合判断が必要。  
(例：海面上昇・高潮対策としての堤防の新規整備・既存施設の機能向上等)
- ・ 統合的適応策・基盤強化施策  
各個別分野の施策を一体的に扱い取組を合理化。また、地域や分野が持つべき技術等の基盤強化。
- ・ 情報整備（適応策推進の条件整備）  
適応策の検討・実施の基礎となる情報を収集・蓄積・管理・利活用する体制整備、手法構築。
- ・ 意識向上（適応策推進の条件整備）  
適応策の必要性に関する理解・意識を向上。自治体等での担当組織の明確化と主体間の連携も必要。
- ・ 研究・技術開発  
モニタリング・予測技術の開発、短期、中長期的に地域社会全体の対応力を高める適応技術の開発。

### 具体的な取組のステップ

地方公共団体などがはじめて適応策に取り組もうとする場合に、まず以下のような初動ステップを実施し、本格的取組へと発展させることが考えられる。



気候変動適応の方向性に関する検討会、2010より抜粋



### ① 不確実性のある予測の適応策への利用

気候変動予測および影響予測における不確実性は完全に避けることはできない。また長期的見通しについては影響の程度や対策の効果を実感しにくい。不確実性のある予測情報の適応策への利用にあたっては、柔軟で順応的な対応が必要であり、そのためには定期的に繰り返し影響評価を行い、適応策を検討することが求められる。

### ② 適応策と緩和策との関係

IPCC AR4 第2作業部会報告書 (IPCC, 2007a) は、「最も厳しい緩和努力をもってしても、今後数十年の気候変動の更なる影響を回避することができないため、適応は特に至近の影響への対応において不可欠」であり、また、「緩和されない気候変動は、長期的には、自然システム、人為システム及び人間システムの適応能力を超える可能性が高い」と述べている。このため、同統合報告書は「適応策と緩和策のどちらも、その一方だけでは全ての気候変動の影響を防ぐことはできないが、両者は互いに補完しあい、気候変動のリスクを大きく低減することが可能である」と述べている。(「はじめに」中の 図1 参照)。

### ③ 適応策における脆弱性<sup>24</sup>評価の重要性

適応策が最終的に目指すものは、気候変動に対する対症療法ではなく、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を低減し、気候変動に対して「柔軟な対応力のあるシステム」を構築することである。脆弱性は、システムの「感受性 (影響の受けやすさ)」と「適応能力」によって評価される。たとえば、感受性の観点でみると、同じ熱波であっても高齢者はより影響を受けやすく脆弱性が高いし、また、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。

脆弱性は地域の自然環境、社会環境、適応能力によって大きく異なってくることから、影響評価に加えて脆弱性の評価が適切になされることで、効果的な適応策の実施が可能となる。

### ④ 適応策の限界

IPCC AR4 (IPCC, 2007a) は、適応策には限界や障壁が存在する可能性が高いとしている。たとえば、適応策が必ずしも気候変動の影響を小さ

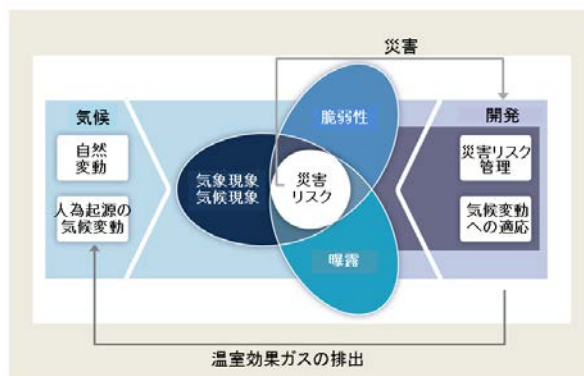


図 4.3.1 極端な気象・気候現象及び災害リスクについての概念図

災害リスクは、極端な気象・気候現象のみによってもたらされるのではなく、それらに対する人間社会や自然の曝露と脆弱性によって左右される。人間活動は温室効果ガスの排出等により気候に影響を与え、気候は災害リスクにつながる気象・気候現象や曝露、脆弱性に影響を与える。

開発によって、曝露や脆弱性及び災害リスクの傾向は変化する。一方で開発も災害の影響を受けるが、災害リスク管理と気候変動への適応策を組み込むことによって、曝露と脆弱性を低減して災害リスクを減らし、避けられないリスクに対する回復力を増すことができる。出典：IPCC, 2012

くできるわけではなく、また利用可能な適応策がすべて実際に講じられるとも限らない。ここで言う「限界」とは、適応策を効果のないものにする条件や要因と定義される。ほとんどは克服できないものであり、気候変動の進行の速さと規模、主な脆弱性とも密接に関係している。

また同報告書は、自然・生態系、技術面、財政面、情報や認識面、社会・文化面における、適応策の限界や障壁について具体例を挙げて解説している。たとえば、自然・生態系の例をあげると、北極グマの狩猟を減らしたとしても、北極海の海氷消失の進行により北極グマの生存は脅かされる。キーストーン種<sup>25</sup>の喪失は、社会—生態系システムを通じて伝播し、結局は人類が依存する生態系

<sup>25</sup> キーストーン種：生態系において、個体数が少なくとも、その種が属する生物群集や生態系に及ぼす影響が大きい種を、キーストーン種という。古代ローマの石橋には、石組を安定させるために橋のアーチの頂上に小さい楔 (くさび) 型の石がはめ込まれていた。この石は「キーストーン」と呼ばれ、橋全体から見ると小さな部品に過ぎないが、これが外れると石橋全体が崩壊してしまうことから、重要視される。これに例えて名付けられた概念のこと。例えば、ラッコは大量のウニを消費するためウニの増殖は抑えられるが、ラッコがいなくなるとウニ個体群が大きくなり、海藻が過剰に採食され、荒廃して海底が裸地化する。その結果、海藻を採食しているウニ以外の生物も生息できなくなる。この場合のラッコがキーストーン種である。キーストーン種は食物連鎖の上位捕食者であることが多い。

<sup>24</sup>脚注 15 を参照のこと。

サービスに影響を及ぼす可能性がある。財政面の例では、適応策の実施は多くの財政的障壁に直面するとしており、国際レベルでは、「耐気候」開発の総コストが100億～400億米ドル／年に達しうることが世界銀行によって示されており<sup>125)</sup>、投資額の規模が重大な資金的障害となること、また地域レベルでは財政的貧困や財源不足が、安価な措置さえも妨げる要因になることを例示している。

#### ⑤ 地方における取組及び住民参加の推進

適応の取組が必要となる現場は地域にあることから、地方公共団体の取組を活性化していく必要がある。適応策はあらゆる住民にとって無関係ではなく、協働して取組むべきものであり、その意味でも住民に最も近い公的機関である自治体の役割は重要である。

また住民の参加を促すためにも、気候変動の影響評価の結果などは住民に公表し、早い段階でリスクに関する情報と認識を広く共有化することが必要である。

#### ⑥ 技術的課題：予測の不確実性の低減とダウンスケーリング手法研究の推進

適応策は気候変動とその影響に関する既存の科学的知見と将来予測の不確実性の幅の中で総合的な判断を行っていく必要があるため、引き続き将来予測の不確実性の低減に向け、モデルの改善や効率的なアンサンブル手法の開発等の努力が必要である。また、地域の適応策の検討に利用できる将来予測を行うためには、より小さい空間スケールでより精度の高い予測ができるようモデルのダウンスケーリング手法の研究をさらに進める必要がある。

#### 4.4 適応に関する今後の我が国の取組について

中央環境審議会報告書では、我が国において適応の取組を進めるにあたっての考え方、取組の方向性について以下のとおりまとめている。

我が国において適応の取組を進めるに当たって、次の3つの考え方を基本とする。

##### ➤ リスクマネジメント<sup>26)</sup>としての取組

我が国において生ずる可能性のある温暖化影響によって、災害、食料、健康などの面で社

会に様々なリスクが生ずることが予想されることから、温暖化影響への適応は、リスクマネジメントという視点でとらえることが必要であり、ダーバン合意等で認識された2℃目標の下での温暖化影響への適応を基本としつつ、2℃を超えた場合の温暖化影響に対しても備える取組が適切である。

##### ➤ 総合的、計画的な取組

政府全体での統一的な温暖化とその影響の予測・評価の実施、それに基づく長期的な見通しを持った、費用対効果を分析・検証した総合的、計画的な取組を進める。

##### ➤ 地方公共団体と連携した取組

温暖化の影響は、気候、地形、文化に加え、(地域)産業などによっても異なるため、適応策の実施は、地域の取組を巻き込むことが必要不可欠であり、国レベルの取組だけでなく地方公共団体レベルの総合的、計画的な取組を促進する。

特に、国レベルの適応の取組として、今後、以下の取組に着手すべきである。

① 我が国における温暖化の影響に関する最新の科学的知見のとりまとめ(本統合レポート、平成24年度末)

② 政府全体の適応計画策定のための予測・評価方法の策定(平成25年度末<sup>注)</sup> 予定)

専門家による温暖化影響予測評価のための会議を設置し、その審議を経て、IPCC第5次評価報告書の最新の知見(気候モデル、社会シナリオ)をできるだけ活用し、我が国の温暖化とその影響を予測・評価する方法を策定し、予測・評価を実施(例えば2020～2030年、2040年～2050年、2090年～2100年を予測・評価)する。方法の策定に当たっては、適応計画策定に必要な機能を持った予測・評価方法とするため、関係府省と連携、協力する。

③ 政府全体の適応計画の策定(平成26年度末<sup>注)</sup> 予定)

②の予測・評価を踏まえ、政府全体で、短期的(～10年)、中期的(10～30年)、長期的(30～100年)に適応策を重点的に講ずべき分野・課題を抽出し、②の予測・評価方法に基づく予測・評価により、抽出された分野・課題別の適

<sup>26)</sup> リスクマネジメント：事象が生じる前にその影響を回避・低減させるための手法。

<sup>注</sup> IPCC第5次評価報告書の最新の知見の利用可能な時期、スーパーコンピュータによる計算時間の確保などから、②及び③は後年度にずれ込む可能性がある。

応策を関係府省において立案し、政府全体の総合的、計画的な取組としてとりまとめる。

#### ④ 定期的な見直し

最新の科学的知見、温暖化影響の状況、対策の進捗等を踏まえ、上記①統合レポート、②政府全体の適応計画策定のための予測・評価手法の策定、③適応計画について、定期的に見直し、5年程度を目途に改定する。

さらに、上記①～③の今後着手する取組と並行して、関係府省においてすでに現れている温暖化による気候変動に起因する可能性が高い影響に対する適応策を引き続き推進する。

また、国レベルの取組に今後着手するに当たって、以下の視点を重視する必要がある。

#### ➤ 既存の施策・事業への組み込み

既存の施策・事業には、温暖化影響への適応につながるものが多い。このため、効果的な適応策を進めるためには、温暖化影響への適応という視点を既存の施策・事業に取り込んでいくことが重要である。

#### ➤ 並行した地域の取組の促進

温暖化の影響が現れ、適応の取組が必要となる現場は地域にあることから、地方公共団体の取組を活性化していく必要がある。このため、国レベルの取組と並行して、地域における自主的・先行的な取組の支援、温暖化やその影響の予測情報を地域で活用できるようにすること等を通じ、地方公共団体における取組を積極的に支援することが重要である。

#### ➤ 法定化の検討

国全体での適応の取組を進めるためには、諸外国の例にならい、適応計画の策定等の適応に関する取組を法定化することを今後検討すべきである。

さらに、温暖化の影響は、気温上昇の大きさだけでなく、その変化の速さや、気温上昇以外の降水量等の要因によってももたらされ得ることや、我が国においてももはや避けられない影響が生じ得ること、温室効果ガスの排出削減が進まなければこうした影響が拡大し得ること等を、国民や事業者に的確に情報提供していくことが重要である。

## 4.5 諸外国における適応の取組

英、米、ドイツ、オランダ等の先進国や中国・韓国では、温暖化とその影響予測による気候変動

のリスク評価、適応計画の策定が行われ、リスク管理という観点からの国家レベルの適応策の取組が始められている。

#### (英国)

英国では、気候変動法（2008年成立・施行）により、政府は英国全体の気候変動リスク評価（CCRA：Climate Change Risk Assessment）を5年おきに実施し、CCRAに基づき国家適応計画（NAP：National Adaptation Plan）を策定することとされている<sup>97</sup>。

2012年1月に最初のCCRAが議会に提出されており、今後、2013年に最初のNAPが策定・公表される予定である。

#### (米国)

米国では、1990年地球変動研究107法に基づき米国地球変動研究プログラム（USGCRP：United State Global Change Research Program）は、4年おきに気候変動の合衆国における影響を評価（NCA：National Climate Assessment）することとされている<sup>128</sup>。最近では、第2回NCAが2009年に策定、次回NCAの策定は2013年に予定され、NCAに基づき連邦政府の各機関、相当数の州や地方公共団体において適応計画が策定されている。

さらに、米国では、2009年、連邦政府の20機関の高級幹部からなる省庁間気候変動タスクフォースが発足し、2010年10月にこのタスクフォースが、国家適応戦略の根拠となる推奨アクションをオバマ大統領に提出し、適応策に関する横断的な取組も始められている<sup>96</sup>。

#### (中国)

中国では、第12次5カ年計画（2011～2015年）において、適応能力向上が温暖化政策の重点活動として定められた<sup>117</sup>ほか、2011年末に第二次気候変動国家アセスメント報告書がとりまとめられている<sup>118</sup>。

#### (韓国)

韓国では、2010年に気候変動評価報告書がとりまとめられた<sup>121</sup>ほか、低炭素・グリーン成長枠組み法（2010年4月）に基づき2010年に国家適応マスタープランが策定されている<sup>122</sup>。このマスタープランに基づき、政府の各省及び地方政府が適応の実施計画を策定することとされ、地方政府の取組支援のため、2011年から国により脆弱な地域・セクターの評価が行われている<sup>123</sup>。

## コラム 21 イギリスの適応政策の概要

### ◆2008年11月 気候変動法成立(Climate Change Act)・施行

これにより政府は、英国全体の気候変動リスク評価(Climate Change Risk Assessment, CCRA)を5年おきに実施し、CCRAに基づき国家適応計画(National Adaptation Programme, NAP)を5年おきに策定することとなった。2013年に最初のNAPが策定・公表される予定である。

### ◆2009年6月 英国気候予測(The UK Climate Projections 2009 (UKCP09))公表

気候リスク評価と適応策の検討を支援するために、ハドレーセンターほかが開発した全球気候モデルによるアンサンブル予測をダウンスケーリングし、時間的空間的により詳細な情報を提供している。また、不確実性も定量化されている。

### ◆2012年1月 気候変動リスク評価(CCRA: Climate Change Risk Assessment)公表

#### ・定期的な(5年ごと)リスク評価(CCRA)

英国において起こりうる700以上の気候変動の影響の根拠がレビューされた。また、11の主要分野にわたる100以上の影響について、その可能性や予測される影響のスケール、それに対処するための行動の緊急性に基づいて詳細な解析が行われた。以下の「The CCRA UK Government Report」ほか5つの資料が提供されている。

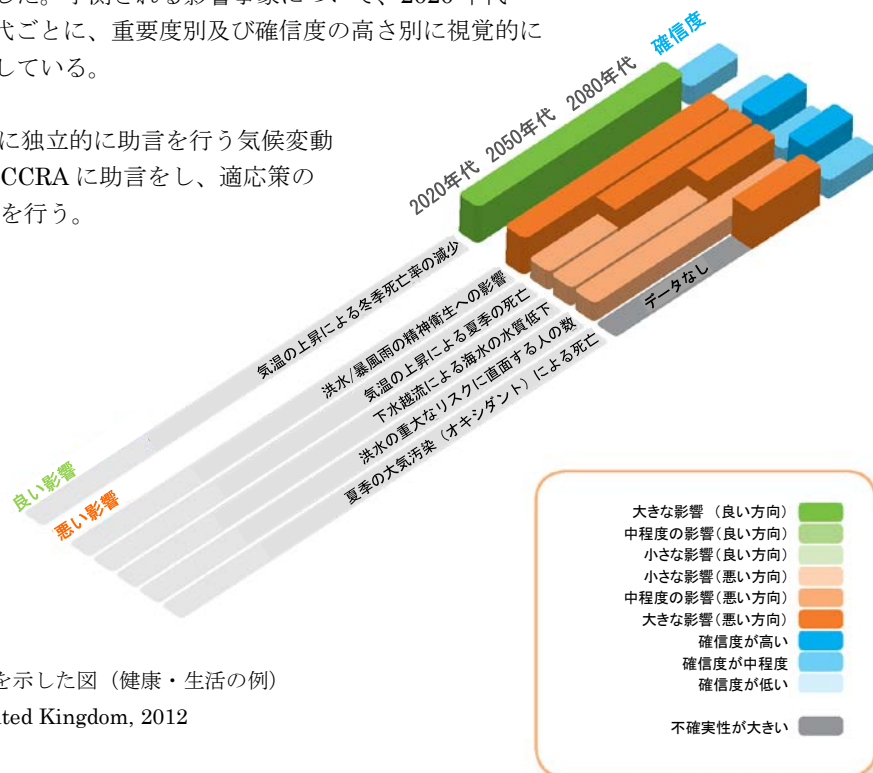
#### ・The CCRA UK Government Report

2100年までの気候変動を低位・中位・高位の排出シナリオで予測し、農業・森林、健康・生活、建築物・インフラ、自然環境、ビジネスの5分野で気候リスクを評価している。社会的及び環境的耐性を備えた経済成長を目指す上で、気候リスクを最小限にするため、リスクに対する深い理解と短・中・長期的計画立案に役立てるよう、分野別の主要なリスクと機会、今後の取組みのステップ、経済分析等を総合的・体系的に整理した。予測される影響事象について、2020年代・

2050年代・2080年代ごとに、重要度別及び確信度の高さ別に視覚的にわかりやすく図式化している。

#### ・適応小委員会

政府の気候変動政策に独立的に助言を行う気候変動委員会に設置した。CCRAに助言をし、適応策の進捗のモニタリングを行う。



分野ごとの影響予測を示した図(健康・生活の例)

出典: United Kingdom, 2012



## コラム 22 自治体における適応への取組

適応策はあらゆる市民にとって無関係ではなく、協働して取組むべきものであり、その意味でも市民に最も近い公的機関である自治体の役割は重要である。ここでは、市民の適応策に対する理解や受容性についての調査による知見と、適応策について先進的な2つの自治体の取組について紹介する。

### 【市民の適応策への態度形成】

馬場ら（2011）が、神奈川、埼玉、山梨、石川の各県において一般市民を対象に行った調査によれば、市民の適応策への認識・態度形成には以下の特徴がある。

- ・7割強の人が気候変動に対して何等かの危機感を持っており、その影響として風水害を中心に実感を持っている。
- ・適応策の重要性の認識は緩和策に比べて低いが、防災分野の適応策は個人的対策行動の備えや協力が得られる可能性が高い。これは自身の生命、財産を守るという根源的な便益に直結するためと考えられる。
- ・適応策に対する態度の規定要因としては、性別・被災経験・居住意向等に加え、政策のベネフィット（便益）認知と手続きの公正感が特に重要である。

### 【埼玉県の取組】

「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション 2050（埼玉県地球温暖化対策実行計画）」に適応策を位置づけ、庁内各担当部局を巻き込み、中長期的視点で適応策を検討、取組を推進。

#### ・県の地球温暖化対策に適応策を位置づけ

「埼玉県地球温暖化対策推進条例」に温暖化対策の一部として適応策を位置づけ、庁内推進体制を整備。「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション 2050（埼玉県地球温暖化対策実行計画）」に適応策を盛り込む。適応策の方向性を検討し、埼玉県版適応策ガイドラインを策定予定。

#### ・個別の取組（例：気候温暖化対応農業プロジェクト）

温暖化の進行により、作物の生育障害、品質低下、病害虫の多発が確認され、育苗ハウスの散水による冷却など様々な対応策がとられている。

一方、マンゴー栽培の試みなど新たな作物栽培の可能性も探っている。

出典：埼玉県環境部温暖化対策課，2012

### 【長野県】

長野県では適応策におけるモニタリングの重要性を認識し、市民参加型の取組を推進。

#### ・県の地球温暖化対策に適応策を位置づけ

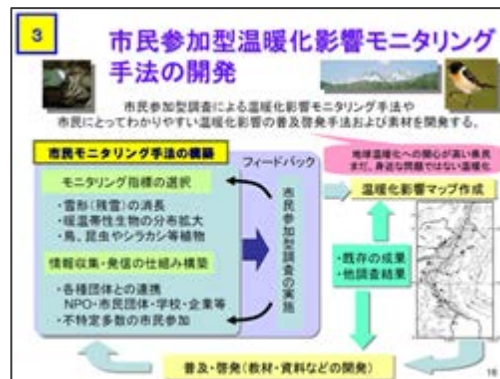
「地球温暖化防止県民計画」、「地球温暖化対策条例」に適応策を位置づけた。

#### ・適応策検討体制

地球温暖化対策戦略検討会適応策部門 タスクフォース  
長野県環境保全研究所、長野県温暖化対策課

#### ・「信州クールアース推進調査研究事業」

1. 長野県における温暖化の実態把握、予測
2. 温暖化影響予測・脆弱性評価
3. 市民参加型温暖化影響モニタリング手法の開発  
情報共有プラットフォーム「信州・温暖化ウォッチャーズ」
4. 長野県における適応策立案手法の開発



出典：長野県環境保全研究所，2013

## コラム 23 自治体の取組の支援

### 【他の自治体と適応策についての情報交換・情報共有したい】

#### ◆地域のカーボンレジストリ <http://registry-japan.org/>

イクレイ日本\*による地域の地球温暖化対策推進に資するデータの報告・共有制度

- ・緩和策・適応策に関する自治体間の情報共有と交換  
温暖化対策データベースでは、自治体から提供された地球温暖化対策の目標・計画・事業内容を自治体名・人口・年度・事業種別などから検索。各自治体の「取組報告」の閲覧が可能。
- ・アドバイザリ委員会からの協力・助言  
自治体の気候政策に関わる専門家から成るアドバイザリ委員会が調査結果を分析し、プロジェクト報告書を発行。
- ・公開セミナー  
調査結果・分析、ベストプラクティスの発表。

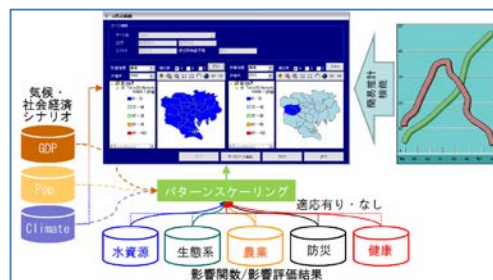


\*イクレイ；International Council for Local Environmental Initiatives（国際環境自治体協議会）は、持続可能な開発を公約した自治体で構成された国際連合組織で、2012年9月現在、世界83カ国から1,000を超える自治体が参加している。日本には1993年に事務局が設置された。

### 【将来、地域にどんな温暖化影響が出てくるのか知りたい】

#### ◆温暖化影響総合評価システム（簡易推計ツール）“AIM/Adaptation [Policy]”

日本全国および各都道府県を対象に様々な条件下における温暖化影響評価結果を表示するシステム。



出典：脇岡清明，2012

### 【適応策への取組を始めたい】

#### ◆気候変動適応社会をめざす地域フォーラム（地域適応フォーラム）

<http://www.adapt-forum.jp/index.html>

- ・地域適応フォーラムとは  
温暖化影響・適応策に関する研究、あるいは温暖影響・適応策に関する計画立案や進行管理等について、専門的なノウハウの共有、既存研究や地域施策の事例共有、人材交流・研修等を行う場。
- ・地域適応策研究データベース  
地方研究機関を対象としたアンケート結果に基づいた環境、農林水産、工業、土木等における温暖化影響・適応策に関する研究情報を検索・閲覧できる。
- ・適応策ガイドラインー地域適応策立案の支援ツール  
長野県等でのモデルスタディをもとに、地域レベルの適応策の検討の進め方と立案の手順等を取りまとめた適応策の手引書。



## コラム 24 行政・企業等の多主体が連携した適応への取組

濃尾平野のゼロメートル地帯においては平成 18 年から国、自治体、企業が連携し「東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会」（ネーデルランドとは低地地方を表す言葉）を設置し、計画規模や現況施設の整備水準を超える規模の高潮・洪水が発生し、大規模浸水が生じた場合の被害を最小化するための危機管理行動計画を関係機関が共同して策定している。



最大浸水深	
5.0m以上	
4.0m以上 - 5.0m未満	
3.0m以上 - 4.0m未満	
2.0m以上 - 3.0m未満	
1.0m以上 - 2.0m未満	
0.9m以上 - 1.0m未満	
0.8m以上 - 0.9m未満	
0.7m以上 - 0.8m未満	
0.6m以上 - 0.7m未満	
0.5m以上 - 0.6m未満	
0.4m以上 - 0.5m未満	
0.3m以上 - 0.4m未満	
0.2m以上 - 0.3m未満	
0.1m以上 - 0.2m未満	
0.1m未満	



高潮と洪水による大規模浸水が生じた場合の被害想定

分科会形式で議論を重ね被害を最小化するための計画を策定

佐賀平野においては国、自治体、企業が連携して平成 19 年に「佐賀平野大規模浸水危機管理計画」を作成し、情報収集・伝達手法や緊急輸送路ネットワークの拡充に向けた取組みを実施している。また、地域住民による防災マップを作成し、自主防災意識の向上を図っている。さらに、平成 24 年度からは産業・経済被害の最小化のための適応策の実装検討を始めている。



地域高規格道路と河川堤防の接続による広域応援・緊急輸送ネットワークの構築



地域住民が避難場所のシールを貼り作成した防災マップ

## おわりに

現在、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、第5次評価報告書のとりまとめ作業を進めており、2013年9月からおよそ1年をかけて順次、第1作業部会報告書(自然科学的根拠)、第2作業部会報告書(影響・適応・脆弱性)、第3作業部会報告書(気候変動の緩和)及び統合報告書が公開される予定である。これまで、IPCC評価報告書は、世界各国の政策決定者に対して最も信頼できる科学的知見をとりまとめて提供し、気候変動枠組条約の活動を支えてきた。第5次評価報告書では、第4次評価報告書でその重要性が言及された気候変動への適応に関する章が拡大される見込みである。

日本においても、平均気温は1898年以降100年あたり1.15℃の割合で上昇するなどしており、こうした気候変動に伴って、水資源・水環境、水災害・沿岸、自然生態系、食料、健康等の様々な分野においてその影響が顕在化しつつある。気候変動問題に対応するため、これまでも関係府省は、気候変動に関わる観測の継続と拡充、気候変動予測や気候変動の影響評価の高度化など、様々な取り組みを進めてきた。

今後、さらなる温暖化が進行するとともに、極端な気象・気候現象の頻度が増加することが予測されている。中長期的に避けることのできない気候変動の影響に対しては、温室効果ガス等を削減する「緩和策」とともに、気候変動に対して人や社会、経済のシステムを再構築することで影響を軽減する「適応策」が重要となってくる。国においては、効果的かつ効率的に適応策を講じるため、平成24年度より、関係府省の連携のもと、政府全体の総合的、計画的な「適応計画」の策定に向けた取組に着手した。その第一歩として、本レポートでは国内の気候変動の観測・予測・影響に関する現時点での科学的知見をとりまとめた。しかし、気候変動問題への対応を的確に進めていくには、今後さらに広範囲でより正確な科学的知見が必要となる。今後とも品質の高い観測の継続した実施や拡充、予測の精緻化やその不確実性の低減等への取り組みを進め、気候変動に関する新たな情報・知見を提供していくとともに、説明・解説の努力を積み重ねていくことが重要である。

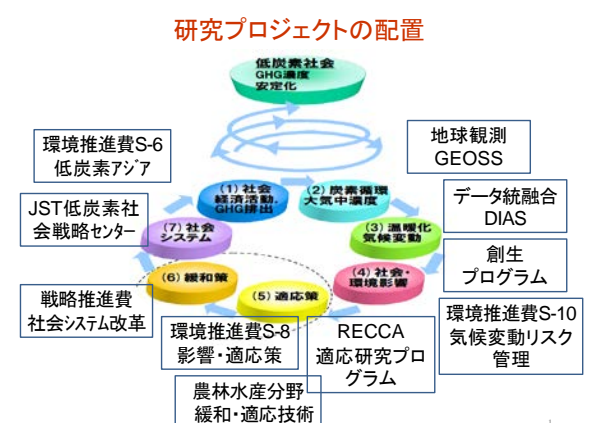
## 謝辞

本レポート作成にあたっては、住明正 国立環境研究所理事を委員長とする「温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート」専門家委員会の他、レポートの査読、掲載データの提供等において、国立環境研究所地球環境研究センター谷本浩志地球大気化学研究室長、同社会環境システム研究センター 統合評価モデリング研究室 高橋潔主任研究員、同社会環境システム研究センター 持続可能社会システム研究室 脇岡靖明主任研究員、東京大学大気海洋研究所 植松光夫国際連携研究センター長、海洋研究開発機構 地球環境変動領域 地球温暖化予測研究プログラム 時岡達志気候モデリング研究チームリーダー、農業環境技術研究所 大気環境研究領域 飯泉仁之直研究員、水産総合研究センター 東北区水産研究所資源海洋部 齊藤宏明生態系動態グループ長、国土技術政策総合研究所 藤田光一河川研究部長、同河川研究部 吉谷純一流域管理研究官のご協力をいただいた。また、国土交通省、農林水産省からも、資料提供及びレポート内容へのコメント等をいただいた。ここに感謝の意を表します。



## 付録 気候変動の観測・予測・影響評価に関する研究調査

気候変動に対する適応策をより有効なものにするためには、気候変動に関する観測を継続的に実施するとともに、将来の予測と影響の評価を精緻化させていく必要がある。以下では、観測・予測・影響評価の各分野（付録図 1 の(2)～(4)）における現在の取組と将来の展望について紹介する。



付録図 1 気候変動問題の全体像と関連する我が国の主な取組

例示したプロジェクトの名称は略称

出典：Hiramatsu *et al.*, 2008 をもとに三村信男作成

### 1. 観測分野での取組

気候変動の実態を正しく把握し、気候システムにおける外部強制力と内部の要因（表 1.1.1）の動向を理解するためには、世界各地で長期間にわたる定常的な観測（モニタリング）を継続的に実施して均質なデータを蓄積するとともに、メカニズムの解明を目的とした集中的な観測や新たな観測技術の開発が必要である。

我が国は、気象庁を中心に、19世紀末から気象及び海洋の観測を継続しそのデータを蓄積することで、気候変動の実態解明に貢献している。また、世界各地における観測データも気候変動の監視のためにデータベースとして整備している。

このような100年以上の長期にわたる定常観測の成果は、第2章で示したように、気温、降水量、海面水温、海面水位における気候変動のシグナルを見いだすために不可欠の基盤データとして活用されている。気候変動により生じる気温や降水量などの長期的な変化は、日々や年々の変動と比較

すると小さいため、このようなシグナルを的確に検出するためには、引き続き精度の高い観測を継続するとともに、観測所の情報などのメタデータも整備していく必要がある。気候変動の監視としては、陸上の定点観測や船舶による観測に加えて、近年は衛星による海氷分布などの観測、アルゴフロートによる水温・塩分観測（コラム 25）など新たな観測による成果も出てきている。

気候変動の要因である二酸化炭素やメタンなど温室効果ガス濃度に関しては、世界気象機関/全球大気監視（WMO/GAW）計画のもと、継続的な観測が行われている。世界各地で観測された温室効果ガスのデータは、気象庁が運営しているWMO温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）に蓄積され、利用者に提供されている（コラム 26）。また、民間航空機による温室効果ガス濃度観測（CONTRAIL<sup>27</sup>プロジェクト（コラム 27））により、広域で高度別の二酸化炭素濃度等の観測データが得られているほか、気象庁でも平成 23年から北西太平洋上において航空機による上空の温室効果ガス濃度観測を開始した。さらに、平成 21年に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT<sup>28</sup>）は、地表面や大気から届く赤外線を観測して、二酸化炭素とメタンの気柱平均濃度の全球分布やその変動、二酸化炭素の亜大陸スケールでの吸収排出の正味収支の推定等の成果を上げている（コラム 28）。また、平成 24年に打ち上げられた水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W<sup>29</sup>）は、高性能マイクロ波放射計により、降水量、海面水温、積雪深、土壌水分量などの高精度の観測を行っており、北極海の海氷の縮小の状況などを明らかにしている（コラム 29）。

炭素循環（コラム 2）の把握のためには、二酸化炭素の大気-海面間での交換量や海洋内部の蓄積量、地上の植生や海洋生態系が寄与する二酸化炭素の収支についての観測データが必要である。このため、海洋観測船等により海洋の二酸化炭素観測が継続的に行われているほか、国立環境研究所により森林観測タワーでの二酸化炭素収支観測などが行われている。また、「いぶき」の観測データも炭素循環のメカニズムの解明に貢献するものと期待される。

<sup>27</sup> CONTRAIL: Comprehensive Observation Network for Trace gases by Airliner

<sup>28</sup> GOSAT: Greenhouse gases Observing SATellite

<sup>29</sup> GCOM-W: Global Change Observation Mission -W

人類が直面している重大な問題である気候変動には自然や生態系、人間社会などが地球規模で関連しあっていることから、その解決には国際協力が必要である。国際協力に基づく大規模な観測枠組としては、全球地球観測システム(GEOSS<sup>30</sup>)や全球気候観測システム(GCOS<sup>31</sup>)が挙げられる。

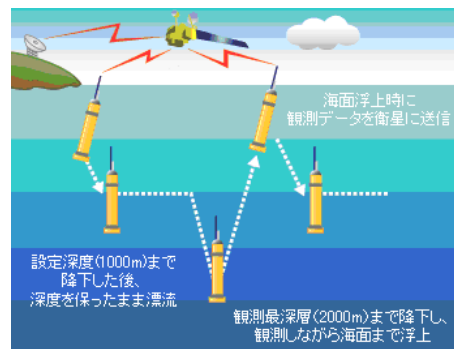
GEOSSは、大気、海洋、陸域、生態系などに関する現場、衛星、航空機等の複数の観測システムを統合した包括的な地球観測システムと、これらの観測データ等を管理するシステムからなる。GEOSSは国際的に共通な利用ニーズとして9つの公共的利益分野(災害、健康、エネルギー、気候、水、気象、生態系、農業、生物多様性)を設定し、政策決定者等の利用ニーズ主導のシステムとして構築された。現在、我が国を含む80以上の国と60以上の国際機関が参加している。

GCOSは、大気・海洋・氷雪・生物圏など気候系全体にわたる観測システムで、GEOSSの中で気候に関連する観測を担っている。気候システムのモニタリング、気候変動の影響評価及び適応策支援、気候システムのモデリングや予測等に必要な総合的観測を長期にわたって行っており、我が国を含む130以上の国が参加している。

一方、我が国では、総合学術会議が「地球観測の推進戦略」を平成16年にとりまとめ、地球観測を推進する組織と、関係府省・機関の連携を強化するための連携拠点の設置を提言した。これを受けて、地球観測推進組織として、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会に「地球観測推進部会」が設置されるとともに、環境省と気象庁は温暖化分野の連携拠点として「地球観測連携拠点(温暖化分野)」を設立した。地球温暖化の解明や信頼性の高い地球温暖化予測情報の提供を目指して、観測施設の共同利用や観測データの利用を促進する活動を行っている。

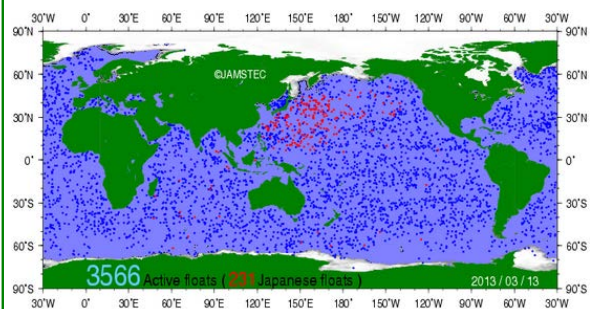
## コラム 25 アルゴ (Argo) 計画

アルゴ (Argo) 計画は、世界気象機関 (WMO) やユネスコ政府間海洋学委員会 (IOC) 等の国際協力のもとで、全世界の海洋に約 3,000 台の自動昇降式フロート (アルゴフロート) を展開し、全世界の海洋の状況をリアルタイムで監視するもので、日本では文部科学省 (海洋研究開発機構 (JAMSTEC))、気象庁、水産総合研究センター、大学等が連携して推進している。アルゴフロートは全長約 1~2m、重さ約 30kg で、通常は深さ 1,000m を漂流し、およそ 10 日ごとに深さ 2,000m まで降下した後、一度海面まで浮上して、浮上中に水温・塩分を観測し衛星を通じてデータを送信する。1 回の投入で約 4 年間稼働し、約 150 回の観測が可能である。データは取得後速やかに国際的に交換されて海水温予測やエルニーニョ現象の監視・予測などの気象・海洋業務に利用されるほか、インターネットを通じて公開され、様々な研究に用いられている。



### アルゴフロートの動作サイクル概念

出典：アルゴ計画・日本公式サイト,2013a



### 稼働中のアルゴフロートの分布

平成 25 年 3 月 13 日の例。

稼働している 3,566 のうち 231 が日本のフロート (赤)。

出典：アルゴ計画・日本公式サイト,2013b

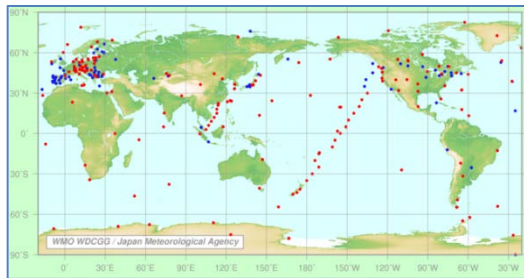
<sup>30</sup> GEOSS: Global Earth Observation System of Systems

<sup>31</sup> GCOS: Global Climate Observing System

**コラム 26 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG)**

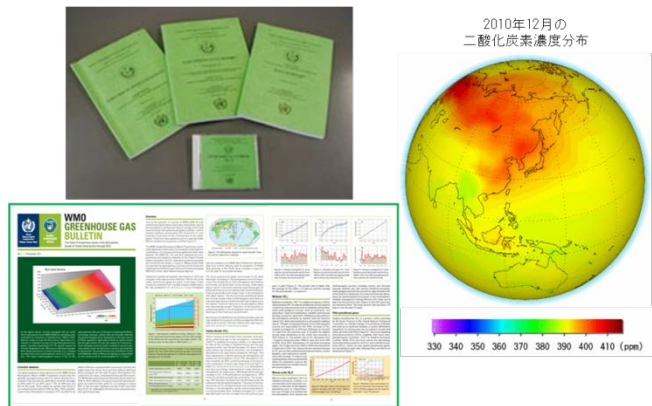
温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) は、世界気象機関 (WMO) の全球大気監視 (GAW) 計画の下に平成 2 年に設立された、温室効果ガス観測に関する唯一の国際的データセンターであり、気象庁が運営している。

WMO/GAW の観測網(左下図)は、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) を支援する全球気候観測システム (GCOS) の温室効果ガス (二酸化炭素とメタン) 観測網と位置づけられている。WDCGG は、科学的な研究や評価、また地球温暖化などの環境問題へ対応するための政策を支援し、それによって社会の環境リスクの軽減に貢献することを目的に、GAW の観測網をはじめとして世界中の大気や海洋上で観測された温室効果ガス等のデータの収集やその品質管理、インターネットや印刷刊行物を通じたデータ・情報の提供などの各種サービスを提供するとともに、データを解析して独自の情報 (右下図) を作成し、世界の政策決定者等に配布している。



WMO/GAW 温室効果ガス世界監視ネットワークの二酸化炭素観測地点

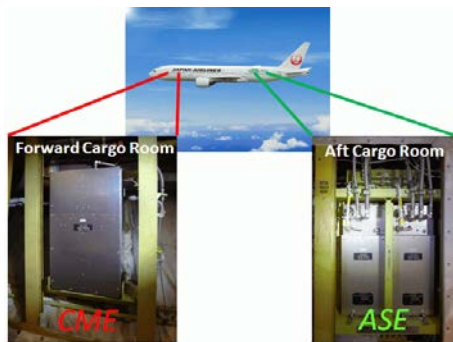
出典：温室効果ガス世界資料センター, 2013



WDCGG が提供する各種の情報 提供：気象庁

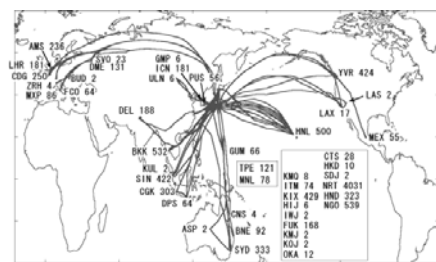
**コラム 27 民間航空機による二酸化炭素の観測**

世界初の民間航空機による離陸から着陸までの二酸化炭素濃度の連続観測が、日本航空 (JAL)、(財) 日航財団、国立環境研究所、気象庁気象研究所、(株) ジャムコが参加する共同研究プロジェクト (CONTRAIL) により、JAL の路線網を活用して平成 17 年から行われている。平成 23 年 10 月までに延べ約 6,000 フライト、世界 55 空港 11,500 件以上の観測データが取得された。これらの観測データは「CONTRAIL データ」として世界中で活用され、現在の地球温暖化をはじめとする気候変動メカニズムの基礎となる、地球上の炭素循環を解明する研究に活かされている。

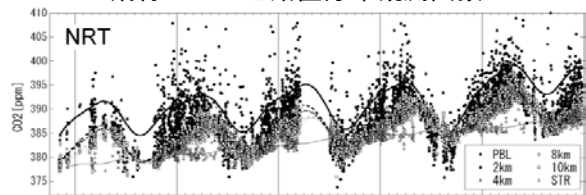


航空機に搭載の、CO<sub>2</sub>濃度連続測定装置 (下左) 及び自動大気サンプリング装置 (下右)

出典：CONTRAIL, 2013  
(機体の写真は国立環境研究所提供)



飛行ルートと鉛直分布観測回数



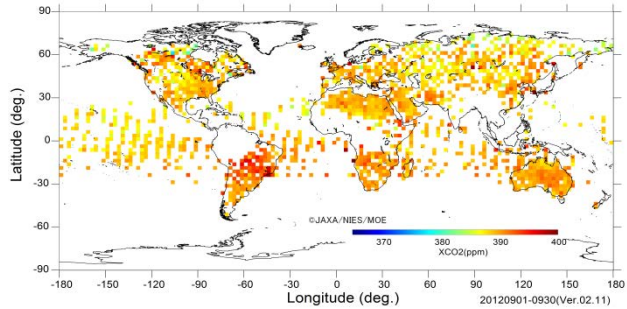
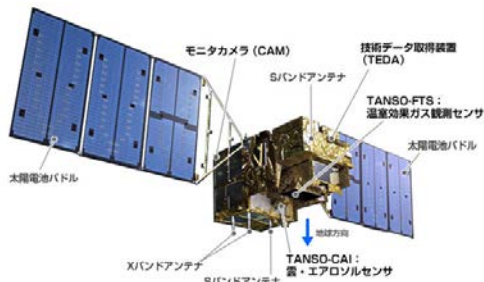
成田空港上空のCO<sub>2</sub>濃度観測結果

出典：環境省、地球環境保全試験研究費、2010



**コラム 28 GOSAT (温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」)**

GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの気柱平均濃度の観測を主目的とした世界初の人工衛星である。平成 21 年 1 月 23 日に打ち上げられ、平成 25 年 3 月現在も順調に観測を行っている。GOSAT の観測データの解析から、二酸化炭素とメタンの全球にわたる気柱平均濃度分布や、亜大陸スケールの領域ごとの二酸化炭素の吸収・排出の正味収支について、地理的分布、季節変動や年変動を知ることができる。また、解析結果は、将来の気候変化予測の高度化や緩和策策定などの温暖化対策に係る基礎情報として活用される。GOSAT プロジェクトは、環境省、国立環境研究所 (NIES)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で推進している。また、更なる精度向上に向けて、後継機 GOSAT-2 も計画されている。GOSAT の概要と最新の観測成果の一例を下図に示す。



**温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)**

TANSO-FTSにより二酸化炭素、メタンを観測

TANSO-CAIにより誤差要因となる雲・エアロゾルを観測

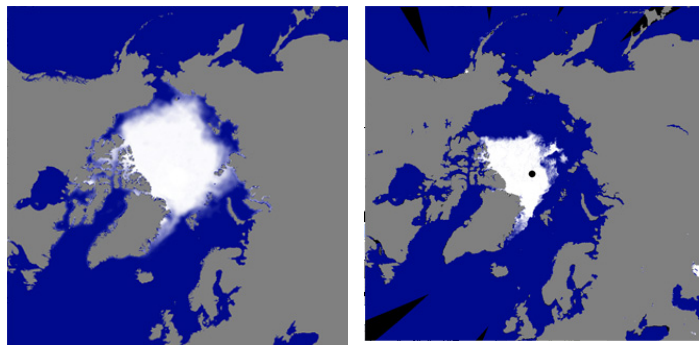
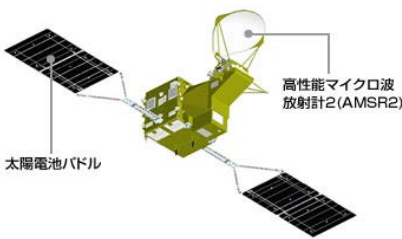
出典：宇宙航空研究開発機構，2013a

**二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)気柱平均濃度マップ (平成 24 年 9 月)**

注：「気柱」とは、地面から大気上端までの大気を「柱」とみなしたもの。 出典：国立環境研究所，2013

**コラム 29 GCOM-W (水循環変動観測衛星「しずく」)**

水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)は、平成 24 年 7 月 3 日から宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の運用のもと、地球の観測を行っている。「しずく」は、搭載されている高性能マイクロ波放射計 2 (AMSR2) によって、地表や海面、大気などから放射される微弱なマイクロ波を地表から 700km の宇宙で受信し、その強さを測定することで、降水量、海面水温、積算水蒸気量、積算雲水量、海上風速、海氷密接度、積雪深、土壌水分量の高精度な観測を可能としている。「しずく」が観測した北極海の海氷データを解析した結果、平成 24 年 9 月 16 日に観測史上最小の海氷面積を記録した事が明らかとなった。



**水循環変動観測衛星「しずく」**

出典：宇宙航空研究開発機構，2013b

(左) 1980 年代の 9 月 (海氷面積最小期) の平均的な分布

(米国衛星搭載マイクロ波センサの解析結果)

(右) 平成 24 年 9 月 16 日の「しずく」/AMSR2

の観測による解析結果 出典：宇宙航空研究開発機構，2013c



## 2. 予測分野での取組

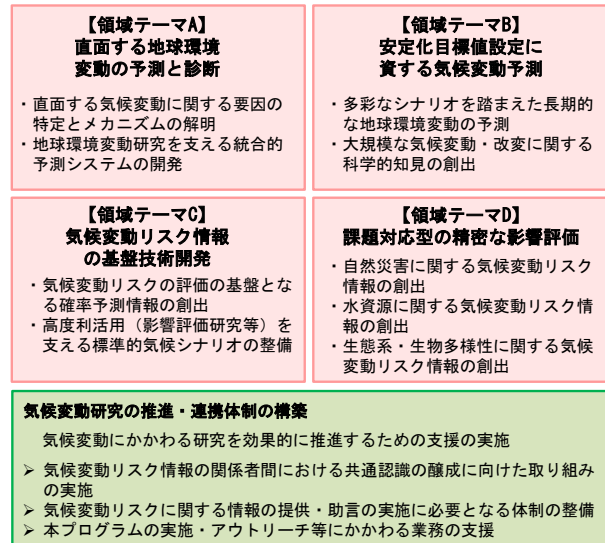
予測分野では、大気や海洋等の状態を数値化し、物理法則に従ってその将来の状態を予測する「気候変動予測モデル」の高度化をめざしている。並行して、地球シミュレータや「京」をはじめとする高性能計算機（コラム 30）の開発により、将来の気候変動シミュレーションをこれまでにない 20km という高い水平解像度で実施することを可能としてきた。このような予測研究では、地球規模の大気（気温、風、雲、降水、放射等）、海洋（水温、海流等）、陸域（植生、雪氷、土壌水分等）の変動メカニズムの理解を深める取組や、予測の不確実性を評価・低減することが必要である。また、局地的な現象や日本の複雑な地形効果を十分に再現できる分解能の精緻な地域気候モデルの開発も進められている。

世界気候研究計画（WCRP）は、気候の予測可能性の究明や、人間活動の気候への影響の程度を評価するために必要な物理的気候システム及び気候プロセスの科学的理解を発展させることを目的に設立された。その活動の中でも、IPCC の評価報告書に向けた研究で用いられている気候モデル間の相互比較プロジェクト（CMIP）は、将来予測情報の高度化・提供等を通じて気候変動対策に大きく貢献している。

国内においては、地球シミュレータを活用した、「人・自然・地球共生プロジェクト」（平成 14～18 年度）、それに続く「21 世紀気候変動予測革新プログラム（以下「革新プログラム」（平成 19～23 年度））において、当時の最新の科学的知見に基づいた温暖化予測実験が行われてきた。革新プログラムでは、特に、気候モデルの更なる高度化や不確実性の定量化に焦点をあてた研究が行われた。さらに、革新プログラムの成果を発展的に継承し、気候変動下での極端現象による自然災害等への影響評価について強化した「気候変動リスク情報創生プログラム」（平成 24 年度より 5 年間の予定）が実施されている。

### ●気候変動リスク情報創生プログラム

「気候変動リスク情報創生プログラム」は、気候変動予測の高度化とともに、気候変動によって生じる多様なリスクの管理に必要な基盤的情報の創出を目指して進められている。具体的には、地球シミュレータ等の世界最高水準のスーパーコンピュータを活用し、近未来（今後数年～数十年）で直面する地球環境変動の予測と診断、温室効果ガス排出シナリオ研究と連携した長期気候変動予



付録図 2 気候変動リスク情報創生プログラムの内容と実施体制 作成：文部科学省

測、気候変動の確率的予測技術の開発及び精密な影響評価技術の開発等を総合的に進めている。

## 3. 影響評価分野での取組

第 3 章で述べたように、気候変動が原因となっている可能性のある現象は、様々な分野で顕在化してきている。こうした影響への適応策の検討を行うための気候変動の影響評価においては、地域ごとの影響の違いを考慮できる詳細な気候変動予測や、複数のモデルに基づき、不確実性を確率的に評価する予測が求められる。

このような要請を鑑み、影響評価分野では、都道府県レベルの温暖化影響予測の精緻化、排出シナリオ・適応シナリオに応じた影響の定量化、自治体レベルで適用可能な脆弱性、影響、適応効果の評価手法・適応策立案手法の開発、地域の現状・課題を踏まえた総合政策化手法の確立などについての取組が行われている。

その一つとして、「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」（環境省環境研究総合推進費、S-5、平成 19～23 年度）においては、複数の気候モデル（マルチ気候モデルやマルチモデルアンサンブル）の結果を用いた不確実性の評価や日本における詳細な予測情報を得るためのダウンスケーリングの研究、社会経済シナリオ（人口、経済活動、土地利用など）のダウンスケーリングの研究、および気候変動シナリオに関する研究者と社会各層のコミュニケーションに関する研究が行われた。

現在、さらなる取組として「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（環境省環境研究総合推進費、S-8）、平成 22～26 年度」が進められており、次の 3 つのテーマが設定されている。

① 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量評価に関する研究

より詳細な分野毎の物理的・経済的影響の把握と適応策実施の効果推定を目的にした高度な影響・適応策評価モデル（ボトムアップ型モデル）と全国的なトップダウン型影響予測モデルを開発し、両者を併用することで全国影響評価を精緻化する。これにより適応策の実施が将来の影響リスクをどの程度低減するかを予測する。

② 自治体レベルでの影響評価と総合的適応政策に関する研究

都道府県・市町村レベルでのモニタリング手法を開発し温暖化影響を把握する。また、地域レベルで使いやすい影響予測手法と予測結果の可視化手法を開発して、地域における適応策策定の支援を可能にする。

③ アジア太平洋地域における脆弱性及び適応策効果指標に関する研究

国内の研究成果を基に、アジア太平洋地域における適応策実施の優先順位や費用対効果の分析を行う。そのために、途上国に適応可能な脆弱性・影響・適応効果評価指標の開発・標準化を行う。また、より厳しい影響が予想される途上国における適応策の計画・実施に貢献する。

また、異なる観点から、「地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究（環境省環境研究総合推進費、S-10）、平成 24～28 年度」では、地球規模の気候変動対策目標や様々な対策オプションの総合的な検討の一環として、気候変動に伴うリスクの包括的なリストアップや、人類にとって特に重要と考えられるリスクの評価を行っている。

さらに、次の研究プログラムやプロジェクトも進行中である。



付録図3 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（S-8）の研究体制のイメージ

出典：環境省・環境研究総合推進費 S-8 ホームページ

●気候変動適応研究推進プログラム（RECCA<sup>32</sup>）

気候変動を考慮した適応策の立案には科学的根拠となる気候変動予測情報が不可欠となるが、現在の気候変動予測の空間解像度では地域規模の使用には不十分であるなどの課題がある。

文部科学省が取り組む本プログラムでは、地球規模の気候変動予測の成果を都道府県あるいは市区町村などの地域規模で行われる気候変動適応策立案に科学的知見として提供するために、先進的なダウンスケーリング手法の開発、データ同化技術の開発、気候変動適応シミュレーション技術の開発を実施する等、12 課題を平成 22 年度より実施している。

●農林水産省気候変動対策プロジェクト

農林水産省では、農林水産分野における温室効果ガスの排出量削減、吸収機能の向上、および地球温暖化の進行に適応した農林水産物の収量・品

<sup>32</sup> RECCA: Research program on Climate Change Adaptation

質等の安定化に向けたプロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発（平成 22 年度～）」に取り組んでいる。本プロジェクトにおいては、気候変動に対応した適応策、緩和策の開発だけでなく、同時に、環境負荷を最小化する低投入循環型の農業生産のための技術開発、ゲノム情報を活用した温暖化適応品種の開発、および REDD（途上国の森林減少・劣化に由来する排出削減）の実効ある実施のための熱帯林における森林バイオマスのモニタリング及び変動予測技術の開発を目指している。

こうした予測分野や影響評価分野の研究プログラムは、互いの研究成果を活用し、より高度な成果を得るためにプログラム間の連携も実施している。例えば、S-8 と RECCA の間では、研究協力や合同シンポジウムの開催などを通じたプロジェクト間の連携が行われている。



#### 4. データインフラ構築の取組

##### ●地球環境情報統融合プログラム（DIAS-P<sup>33</sup>）

内閣府総合科学技術会議では、「地球観測の推進戦略」（平成 16 年 12 月 総合科学技術会議）において、我が国において実施する地球観測事業について、「関係府省・機関の特徴や強みを活かしながら、データ収集から情報提供にいたる段階が適切に統合された地球観測システムの構築に向けて、連携・協調する必要がある。」としている。

これを受けて、文部科学省では、本プログラムにおいて、地球観測データ、気候変動予測データ、社会経済データ等の多種多様で大容量のデータを統合・解析し気候変動適応策の立案等の科学的知見として役立つ情報を創出し、国際的・国内的な利活用の促進を図る情報基盤「データ統合・解析システム（DIAS）」を整備し、システムの高度化・拡張と長期的な運用に向けた取組を平成 23 年度より進めている。

付録図 4 データ統合・解析システム（DIAS）

写真提供：文部科学省

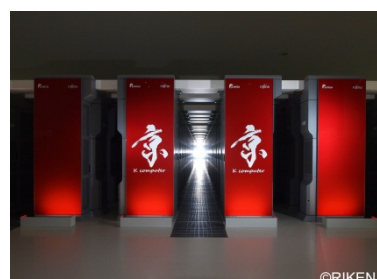
#### 【コラム 30】気候変動予測研究とスーパーコンピュータ

平成 14 年に登場した「地球シミュレータ」は、気候変動の解析や将来予測の研究において、数多くの研究成果の実現に活用され、日本の気候変動予測研究の水準を引き上げてきた。平成 21 年には新システムへ更新されて実効性能が向上し、今後も予測研究等の地球科学分野における基盤としての活躍が期待されている。

また、平成 24 年 9 月末から共用開始されたスーパーコンピュータ「京」は、世界に先駆けて演算性能 10 ペタフロップス（1 秒間に 1 京回の浮動小数点演算）を達成し（平成 23 年）、気候変動予測研究分野を含めた多様な計算科学分野で活用され、研究活動を飛躍的に加速させることが期待されている。



地球シミュレータ（写真提供：海洋研究開発機構）



スーパーコンピュータ「京」（写真提供：理化学研究所）

<sup>33</sup> DIAS-P: Data Integration & Analysis System Program



## 略語集

略語	英語表記	日本語表記
AMeDAS	Automated Meteorological Data Acquisition System	地域気象観測システム (通称：アメダス)
AMSR2	Advanced Microwave Scanning Radiometer 2	高性能マイクロ波放射計 2
AOGCM	Atmosphere-Ocean General Circulation Model	大気海洋結合モデル
AP-BON	Asia-Pacific Biodiversity Observation Network	アジア太平洋地域生物多様性観測ネットワーク
AR4	IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007	IPCC 第 4 次評価報告書
Argo	(ギリシャ神話に登場する船の名前に由来)	アルゴ (計画)
BON	Biodiversity Observation Network	生物多様性観測ネットワーク
CCRA	Climate Change Risk Assessment	(英国) 気候変動リスク評価
CERN	European Organization for Nuclear Research (開設準備理事会 Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire の頭文字に由来)	欧州原子核研究機構
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project	結合モデル相互比較計画
CONTRAIL	Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiner	航空機による大気観測プロジェクト
DIAS	Data Integration and Analysis System	データ統合・解析システム
DIAS-P	Data Integration and Analysis System program	地球環境情報統融合プログラム
ENSO	El Niño-Southern Oscillation	エルニーニョ・南方振動
GAW	Global Atmosphere Watch	(WMO) 全球大気監視 (計画)
GCM	Global Climate Model	全球気候モデル
GCOM	Global Change Observation Mission	地球環境変動観測ミッション
GCOS	Global Climate Observing System	全球気候観測システム
GEO BON	Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network	地球観測政府間会合 生物多様性観測ネットワーク
GEOS	Global Earth Observation System of Systems	全球地球観測システム
GOSAT	Greenhouse gases Observing SATellite	温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission	(ユネスコ) 政府間海洋学委員会
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
JaLTER	Japan Long-term Ecological Research Network	日本長期生態学研究ネットワーク
JAMSTEC	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	独立行政法人 海洋研究開発機構
JAXA	Japan Aerospace eXploration Agency	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構



略語	英語表記	日本語表記
ILTER	Long Term Ecological Research	長期生態学研究
MRI-AGCM	Meteorological Research Institute atmospheric general circulation model	気象研究所高解像度全球大気モデル
NAP	National Adaptation Plan	(英国) 国家適応計画
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NCA	National Climate Assessment	(全米) 気候評価
NEMURO	North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography	北太平洋領域海洋生態系モデル
NEMURO.FISH	NEMURO For Including Saury and Herring	NEMURO 小型浮魚類モデル
NHRCM	Non-Hydrostatic Regional Climate Model	非静力学地域気候モデル
NIES	National Institute for Environmental Studies	独立行政法人 国立環境研究所
NPOGCM	North Pacific Ocean General Circulation Model	高解像度北太平洋海洋モデル
NSIDC	National Snow and Ice Data Center	米国雪氷データセンター
PDO	Pacific Decadal Oscillation	太平洋十年規模振動
pH	potential of Hydrogen	水素イオン濃度
RCM	Regional Climate Model	地域気候モデル (領域気候モデル)
RCP	Representative Concentration Pathways	代表的濃度経路
RECCA	Research Program on Climate Change Adaptation	気候変動適応研究推進プログラム
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation	森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減
SRES	Special Report on Emissions Scenarios	排出シナリオに関する特別報告書
SREX	Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation	気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書
UKCP	UK Climate Projections	英国気候予測
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	気候変動に関する国際連合枠組条約
USGCRP	United States Global Change Research Program	米国地球変動研究プログラム
WCRP	World Climate Research Programme	世界気候研究計画
WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases	(WMO) 温室効果ガス世界資料センター
WGCM	Working Group on Coupled Modeling	(WCRP) 結合モデル開発作業部会
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関

## 参考文献

- 1) アルゴ計画・日本公式サイト, 2013a: アルゴのしくみ  
[http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/overview/overview\\_3.html](http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/overview/overview_3.html) (2013/03/14 閲覧)
- 2) アルゴ計画・日本公式サイト, 2013b: 全世界および日本のフロート分布状況  
[http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/index\\_j.html](http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/index_j.html) (2013/03/14 閲覧)
- 3) 宇宙航空研究開発機構, 2013a: 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)による観測データの初解析結果(温室効果ガス濃度)について  
[http://www.jaxa.jp/press/2009/05/20090528\\_ibuki\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/2009/05/20090528_ibuki_j.html) (2013/03/14 閲覧)
- 4) 宇宙航空研究開発機構, 2013b: 人工衛星プロジェクトGCOM-W1の概要  
[http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom\\_w1/gaiyo.html](http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_w1/gaiyo.html) (2013/03/14 閲覧)
- 5) 宇宙航空研究開発機構, 2013c: 人工衛星プロジェクトGCOM 最新情報詳細  
[http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom\\_w1/news/2012/120920.html](http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_w1/news/2012/120920.html) (2013/03/14 閲覧)
- 6) 江守正多+気候シナリオ「実感」プロジェクト影響未来像班, 2012: 地球温暖化はどれくらい「怖い」か?. 技術評論社
- 7) 温室効果ガス世界資料センター, 2013: トップページ  
[http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/jp/wdcgg\\_j.html](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/jp/wdcgg_j.html) (2013/03/14 閲覧)
- 8) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2009: 地球温暖化「日本への影響」—長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価—
- 9) 沖大幹, 2012: 水危機ほんとうの話. 新潮選書
- 10) 加藤修, 中川倫寿, 松井繁明, 山田東也, 渡邊達郎, 2006: 沿岸・沖合定線観測データから示される日本海及び対馬海峡における水温の長期変動. 沿岸海洋研究, 44, 19-24.
- 11) 帰山雅秀, 2011: 気候変動とサケ資源について. 北海道気候変動観測ネットワーク設立記念フォーラム講演資料  
<http://www.hokkaido-ies.go.jp/HSCC/forum201102/pdf/4.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 12) 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹, 2008: 数値地理情報と降雨局地データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築. 自然災害科学, No.27, 69-83.
- 13) 川越清樹, 肱岡靖明, 高橋潔, 2010: 温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価. 地球環境研究論文集, 18, 29-36.
- 14) 環境省, 2007: 地球温暖化と感染症
- 15) 環境省自然環境局 生物多様性センター, 2009: 重要生態系監視地域モニタリング推進事業 (モニタリングサイト1000) 森林・草原調査 第1期取りまとめ報告書
- 16) 環境省, 2010: 地球環境保全試験研究費(地球一括計上) 終了成果報告集 平成22年度  
[http://www.env.go.jp/earth/kenkyuhi/report/h22\\_report.html](http://www.env.go.jp/earth/kenkyuhi/report/h22_report.html) (2013/03/14 閲覧)
- 17) 環境省, 2011a: いきものみつけ・調査結果レポート「2009年・2010年 ナガサキアゲハの調査結果について」  
[http://www.mikke.go.jp/fun/report/2011/nagasaki\\_ageha.html](http://www.mikke.go.jp/fun/report/2011/nagasaki_ageha.html) (2013/03/14 閲覧)
- 18) 環境省, 2011b: 平成23年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書  
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/html/hj11010302.html> (2013/03/14 閲覧)
- 19) 環境省, 2012a: 財団法人自然環境研究センター, 平成23年度生物多様性評価の地図化に関する検討調査業務報告書(14-① ニホンジカの分布とその拡大予測)
- 20) 環境省, 2012b: 財団法人自然環境研究センター, 平成23年度生物多様性評価の地図化に関する検討調査業務報告書(14-② イノシシの分布とその拡大予測)
- 21) 環境省, 2012c: 財団法人自然環境研究センター, 平成23年度生物多様性評価の地図化に関する検討調査業務報告書(16-② 地球温暖化に伴うイワナ類の生息適地の変化予測)
- 22) 環境省, 2013: 気候変動による水質等への影響解明調査 (2013.3公表予定)

- 23) 環境省・環境研究総合推進費 S-8 ホームページ, 2013: 1. 研究課題名: S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究  
<http://www.env.go.jp/houdou/gazou/12772/s-8.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 24) 気候変動適応の方向性に関する検討会, 2010: 気候変動適応の方向性  
[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/adapt\\_guide/pdf/approaches\\_to\\_adaptation.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/adapt_guide/pdf/approaches_to_adaptation.pdf) (2013/03/14 閲覧)
- 25) 気象庁, 2005: 異常気象レポート 2005
- 26) 気象庁, 2008: 地球温暖化予測情報第 7 巻
- 27) 気象庁, 2012a: 太平洋十年規模振動 (PDO) の海面水温変動  
[http://www.data.kishou.go.jp/db/climate/knowledge/pdo/pdo\\_doc.html](http://www.data.kishou.go.jp/db/climate/knowledge/pdo/pdo_doc.html) (2013/03/14 閲覧)  
原著は Mantua. et al, 1997
- 28) 気象庁, 2012b: 太平洋十年規模振動 (PDO) 指数の変動  
[http://www.data.kishou.go.jp/shindan/b\\_1/pdo/pdo.html](http://www.data.kishou.go.jp/shindan/b_1/pdo/pdo.html) (2013/03/14 閲覧)
- 29) 気象庁, 2012c: 気候変動監視レポート 2011
- 30) 気象庁, 2012d: 表面海水中の pH の長期変化傾向 (北西太平洋)  
[http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a\\_3/pHtrend/pH-trend.html](http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a_3/pHtrend/pH-trend.html) (2013/03/14 閲覧)
- 31) 気象庁, 2012e: ヒートアイランド監視報告 (平成 23 年) <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2012/index.html> (2013/03/14 閲覧)
- 32) 気象庁, 2013: 地球温暖化予測情報第 8 巻
- 33) 北原正彦, 入来正躬, 清水剛, 2001: 日本におけるナガサキアゲハ (*Papiliomemnon Linnaeus*) の分布の拡大と気候温暖化との関係. 蝶と蛾, 52, 253-264.
- 34) 木所英昭, 戸嶋孝, 2012: 日本海におけるサワラの漁業と生態, 水産総合研究センター日本海区水産研究所編「サワラ加工マニュアル」, 33-37.
- 35) 桐谷圭治, 2012: 日本産昆虫, ダニの発育零点と有効積算温度定数: 第 2 版. 農環研報, 31, 1-74.
- 36) 草場智哉, 盛谷明弘, 2007: ダム貯水池の富栄養化 (アオコ発生) の簡易的な手法の研究. 平成 18 年度ダム資源池環境技術研究所所報, 3-9.
- 37) 桑原久実, 明田定満, 小林聡, 竹下彰, 山下洋, 城戸勝利, 2006: 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測. 地球環境, Vol. 11, No. 1, 49-57.
- 38) 国土交通省, 2008a: 我が国の水利用の現状と気候変動リスクの認識 <http://www.mlit.go.jp/common/000017984.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 39) 国土交通省, 2008b: 水災害分野における地球環境温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について (答申) (平成 20 年 6 月社会資本整備審議会)
- 40) 国土交通省, 2010a: 平成 22 年版日本の水資源
- 41) 国土交通省, 2010b: 深層崩壊推定頻度マップ  
<http://www.mlit.go.jp/common/000121614.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 42) 国土交通省, 2011a: 平成 23 年版日本の水資源
- 43) 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課, 2011b: 水害レポート 2010
- 44) 国土交通省水管理・国土保全局, 2011c: 「平成 22 年度水害統計」
- 45) 国土交通省, 2012a: 平成 24 年版日本の水資源
- 46) 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課, 2012b: 水害レポート 2011
- 47) 国土交通省, 2012c: 平成 23 年度政策チェックアップ評価書  
<http://www.mlit.go.jp/common/000218143.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 48) 国立環境研究所公開シンポジウム 2001 「環境の世紀の幕開け」ポスターセッション用パネル「地球温暖化による気候変化と社会変化の総合的解明に向けて」
- 49) 国立環境研究所, 2013: GOSAT User Interface Gateway ギャラリー  
[https://data.gosat.nies.go.jp/GosatBrowseImage/browseImage/fts\\_l2\\_swir\\_co2\\_gallery\\_ja.html](https://data.gosat.nies.go.jp/GosatBrowseImage/browseImage/fts_l2_swir_co2_gallery_ja.html) (2013/03/14 閲覧)

- 50) 古城八寿子, 城野昌義, 中川敬一, 小野友道, 1999: *Vibrio vulnificus* 感染症-診断と治療のフローチャートの試み. 日本皮膚科学会誌, Vol. 109, No. 6, 875-884.
- 51) 小林睦生, 佐藤卓, 松本文雄, 安部隆司, 二瓶直子, 2011: 岩手県におけるヒトスジシマカ分布調査 (2010 報告書)  
<http://www.pref.iwate.jp/view.rbz?of=1&ik=0&cd=31706> (2013/03/14 閲覧)
- 52) 埼玉県環境部温暖化対策課, 2012: 埼玉県における適応策の検討状況について. S-8 地域適応フォーラム第2回会合資料  
<http://www.adapt-forum.jp/meeting/backnumber121115.html> (2013/03/14 閲覧)
- 53) 下野裕之, 2008: 地球温暖化が北日本のイネの収量変動に及ぼす影響(収量予測・情報処理・環境). 日本作物學會紀事, 77(4), 489-497.
- 54) 神野健二, 広城吉成, 2006: 地球温暖化と地下水塩水化. 水環境学会誌, 29(2), 72-76.
- 55) 水産総合研究センター, 2009: 独立行政法人水産総合研究センター (編), 2009: 地球温暖化とさかな. 成山堂書店
- 56) 水産庁・水産総合研究センター, 2012: 「平成24年度 我が国周辺水域の資源評価」の公表について <http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/sigen/121107.html> (2013/03/14 閲覧)  
 平成24年度魚種別系群別資源評価 (52魚種 84系群)  
<http://abchan.job.affrc.go.jp/digests24/index.html> (2013/03/14 閲覧)
- 57) 杉浦俊彦, 2004: 中長期的な気象変動予測から推定される温度変化の果樹農業への影響. 平成15年度果樹農業生産構造に関する調査報告書, (独) 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所  
<http://www.naro.affrc.go.jp/fruit/contents/files/ondankikou.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 58) 諏訪市博物館, 2013: 過去30年間の御渡り拝観式一覧表  
<http://www.city.suwa.lg.jp/scm/dat/special/omiwatari> (2013/03/14 閲覧)
- 59) 高田良三, 山崎信, 杉浦俊彦, 横沢正幸, 大塚誠, 村上斉, 2008: 地球温暖化が肥育豚の飼養成績に及ぼす影響—「気候温暖化メッシュデータ (日本)」によるその将来予測. 日本畜産学会報, 79, 59-65.
- 60) 高橋裕一, 川島茂人, 相川勝悟, 1996: 空中スギ花粉濃度に及ぼす地球温暖化の影響: 山形市とその周辺地域で得られた予測結果. アレルギー, 45(12), 1270-1276.
- 61) 高藪出, 2005: 地域気候モデル研究の特性と課題について, 水文・水資源学会誌, 18, 547-556.
- 62) 立川康人, 滝野晶平, 藤岡優子, 萬和明, キムスンミン, 椎葉充晴, 2011: 気候変化が日本の河川流量に及ぼす影響の予測. 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 67, No. 1, 1-15.
- 63) 田中信行, 栗屋善雄, 2012: 農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」研究成果発表会 (資料)
- 64) 中央環境審議会地球環境部会, 2012: 2013年以降の対策・施策に関する報告書
- 65) 長井敏, 小谷祐一, 板倉茂, 2008: 熱帯性の有毒プランクトンの新たな出現と貝類の毒化問題. 日本水産学会誌, 74(5), 880-883.
- 66) 中北英一, 2012: 流域圏を総合した災害環境変動評価. 21世紀気候変動予測革新プログラム 平成23年度研究成果報告会講演資料
- 67) 中口毅博, 2010: 地球温暖化がスキー場の積雪量や滑走可能日数に及ぼす影響予測—気象庁RCM20 予測を用いて  
<http://homepage1.nifty.com/nakaguti/work/ondanka/ski.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 68) 永田俊, 熊谷道夫, 吉山浩平, 2012: 温暖化の湖沼学. 京都大学学術出版会
- 69) 長野県環境保全研究所, 2013: 信州クールアース推進調査研究事業  
[http://www.pref.nagano.lg.jp/xseikan/khozen/sizen/coolearth/coolearth\\_top.htm](http://www.pref.nagano.lg.jp/xseikan/khozen/sizen/coolearth/coolearth_top.htm) (2013/03/14 閲覧)
- 70) 西尾善太, 伊藤美環子, 田引正, 中司啓二, 長澤幸一, 山内宏昭, 広田知良, 2011: II 高温による小麦の減収要因. 北海道農業研究センター研究資料, 第69号, 15-21.



- 71) 農業環境技術研究所, 2011: 50年後に想定される高いCO<sub>2</sub>濃度条件下では, コメの高温障害はさらに進行—2010年の猛暑下におけるFACE実験結果から予測  
<http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/press/110622/press110622.html> (2013/03/14 閲覧)
- 72) 農林水産省, 2007: 野生鳥獣被害防止マニュアル イノシシ、シカ、サル—実践編—
- 73) 農林水産省, 2010: 平成22年度高温適応技術レポート  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h22\\_tekiou\\_gijyutu\\_report.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h22_tekiou_gijyutu_report.pdf) (2013/03/14 閲覧)
- 74) 農林水産省, 2012: 海外食料需給レポート (Monthly Report) 2012年12月
- 75) 長谷川利弘, 中村浩史, 常田岳志, 酒井英光, 吉本真由美, 福岡峰彦, 朱春梧, 臼井靖浩, 松波寿典, 金田吉弘, 鮫島良次, 岡田益己, 2011: 茨城県つくばみらい市における新たな水田開放系大気CO<sub>2</sub>増加(FACE)実験. 日本作物學會紀事, 80, 134-135.
- 76) 馬場健司, 杉本卓也, 窪田ひろみ, 肱岡靖明, 田中充, 2011: 市民の気候変動適応策への態度形成の規定因—変動リスクと施策ベネフィット認知, 手続き的公正感と信頼感の影響—. 土木学会論文集G (環境), 67(6) (環境システム研究論文集第39巻), II\_405-II\_413.
- 77) 樋口広芳, 小池重人, 繁田真由美, 2009: 温暖化が生物季節, 分布, 個体数に与える影響(地球温暖化—日本における影響の総合評価). 地球環境 14(2), 189-198.
- 78) 肱岡靖明, 2012: 温暖化影響の簡易予測ツール. 地域適応フォーラム適応策研修会資料  
<http://www.adapt-forum.jp/meeting/backnumber120719.html> (2013/03/14 閲覧)
- 79) 増岡健太郎, 藤縄克之, 古川正修, 長野宇規, 渡辺紹裕, 2005: 地球温暖化による海面上昇がゼロメートル地帯の地下水環境に及ぼす影響に関する実験的研究. 地下水学会誌, 47(1), 19-28
- 80) 目崎拓真, 久保田賢, 2012: 高知県沿岸海域における造礁サンゴ群集の変遷. 海洋と生物, 201, 332-337.
- 81) 森信人, 志村智也, 安田誠宏, 間瀬肇, 2010: 地球温暖化に伴う極大波高の将来変化予測. 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 66, No.1, 1231-1235.
- 82) 文部科学省, 2010: 21世紀気候変動予測革新プログラム平成21年度研究成果報告会要旨集
- 83) 文部科学省, 2012: 21世紀気候変動予測革新プログラム平成23年度研究成果報告会要旨集
- 84) 文部科学省: 文部科学省ホームページ 「データ統合・解析システム (DIAS)」  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/kankyousuishin/detail/1285045.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/kankyousuishin/detail/1285045.htm) (2013/03/14 閲覧)
- 85) 安田誠宏, 安藤圭, 森信人, 間瀬肇, 2009: 地球温暖化予測に基づく将来台風変化予測とその確率モデリング. 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol. 65, No.1, 1281-1285.
- 86) 安田誠宏, 中條壮大, 金洙列, 森信人, 間瀬肇, Kevin Horsburgh, 2011: 気候変動予測実験出力を直接用いた高潮リスクの評価. 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, 1171-1175.
- 87) 山崎信, 村上斉, 中島一喜, 阿部啓之, 杉浦俊彦, 横沢正幸, 栗原光規, 2006: 平均気温の変動から推定したわが国の鶏肉生産に対する地球温暖化の影響. 日本畜産学会報, 77, 231-235.
- 88) 湯川淳一, 桐谷圭治, 2010: 北上するミナミアオカメムシと局地的に絶滅するアオクサカメムシ. 地球温暖化と昆虫 (pp72-106), 全国農村教育協会
- 89) 李玉春, 丸山直樹, 小金澤正昭, 神崎伸夫, 1996: 日光におけるニホンジカの越冬地拡大, 個体群成長と地球温暖化との関係. 野生生物保護, 23-35.
- 90) 林野庁, 2010: 林野庁情報誌「林野」, 平成22年8月号
- 91) 渡邊朋也, 2012: 「農業生産への気候変動の影響はどの程度か? どう対応するか? 農林水産業は気候変動にどう対応するか?」～農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」研究成果発表会～ 要旨集. 11-16.
- 92) Canadell, J.G. C. Le Quéré, M.R. Raupach, C.B. Field, E.T. Buitenhuis, P. Ciais, T.J. Conway, N.P. Gillett, R.A. Houghton and G. Marland, 2007: Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. Proceedings of National Academy of Science, 104, 18866–18870.  
<http://www.pnas.org/content/104/47/18866.abstract> (2013/03/14 閲覧)

- 93) Church, J.A. and N. J. White, 2011: Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, doi:10.1007/s10712-011-9119-1.
- 94) CONTRAIL : What is CONTRAIL?  
<http://www.cger.nies.go.jp/contrail> (2013/03/14 閲覧)
- 95) Council on Environmental Quality, 2013: Climate Change Adaptation Task Force  
<http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ceq/initiatives/adaptation> (2013/03/14 閲覧)
- 96) Dai, A., P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones, and P. Xie, 2004: The recent Sahel drought is real. *Intl. J. Climatol.* 24: 1323–1331.
- 97) Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) ,2013 : Climate Change Act  
<http://www.defra.gov.uk/environment/climate/government> (2013/03/14 閲覧)
- 98) Duplissy, *et al.*, 2010: Results from the CERN pilot CLOUD experiment. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 1635-1647.
- 99) Global Carbon Project, 2011: Carbon budget and trends 2010.  
Updated from Le Quéré *et al.* 2009, *Nature G*; Canadell *et al.* 2007, *PNAS*
- 100) Hijioka, Y., Masui, T., Takahashi, K., Matsuoka, Y. and Harasawa, H, 2006 : Development of a support tool for greenhouse gass emissions control policy to help mitigate the impact of global warming, *Environmental Economics and policy studies*, Vol.7, No.3, 331-345.
- 101) Hiramatsu, A., N. Mimura and A. Sumi, 2008 : A mapping of global warming research based on IPCC AR4, *Sustain Sci.* vol.3, 201-213.
- 102) IPCC, 2007a: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
- 103) IPCC, 2007b: IPCC Expert Meeting Report, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies”
- 104) IPCC, 2012 : Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- 105) Jones, Robertson, Arora, Friedlingstein, Shevliakova, Bopp, Brovkin, Hajima, Kato, Kawamiya, Liddicoat, Lindsay, Reick, Roelandt, Segsneider and Tjiputra, 2013: 21st Century compatible CO<sub>2</sub> emissions and airborne fraction simulated by CMIP5 Earth System models under 4 Representative Concentration Pathways. *J. Climate.* doi:10.1175/JCLI-D-12-00554.1, in press.
- 106) Kaeriyama, M., H. Seo, H. Kudo and M. Nagata, 2012: Perspectives on wild and hatchery salmon interactions at sea, potential climate effects on Japanese chum salmon, and the need for sustainable salmon fishery management reform in Japan. *Environ. Biol. Fish.* Vol. 94, Issue 1, 165-177.
- 107) Kanada, S., M. Nakano and T. Kato, 2012: Projections of future changes in precipitation and the vertical structure of the frontal zone during the Baiu season in the vicinity of Japan using a 5-km-mesh regional climate model, *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 65-86.
- 108) Kidokoro H., T. Goto, T. Nagasawa, H. Nishida, T. Akamine, and Y. Sakurai, 2010 : Impact of a climate regime shift on the migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in the Sea of Japan. *Journal of Marine Science*, Vol. 67, Issue 7, 1314-1322.
- 109) Kirkby *et al.*, 2011: Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation. *Nature* 476, 429-433.
- 110) Knutti, R. and J. Sedláček, 2012: Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature climate change*, doi:10.1038/nclimate1716.
- 111) Le Quéré C, Raupach MR, Canadell JG, Marland G et al., 2009: Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature geosciences*, doi: 10.1038/ngeo689.

- 112) Lüthi, *et al.*, 2008: High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, 453, 379-382, doi:10.1038/nature06949.
- 113) Mantua, *et al.*, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069-1079.
- 114) Mastrandrea, Field, Stocker, Edenhofer, Ebi, Frame, Held, Kriegler, Mach, Matschoss, Plattner, Yohe, and Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties.
- 115) Nakao, K., T. Matsui, M. Horikawa, I. Tsuyama and N. Tanaka, 2011: Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan. *Plant Ecology*, Vol.212, Issue 2, 229-243.
- 116) Okamoto M., S. Nojima and Y. Furushima, 2007: Temperature environments during coral bleaching events in Sekisei Lagoon, *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 71 (2), 112-121.
- 117) People's Republic of China, 2011a: China's 12th Five-Year Plan  
<http://www.cbichina.org.cn/cbichina/upload/fckeditor/Full%20Translation%20of%20the%2012th%20Five-Year%20Plan.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 118) People's Republic of China, 2011b: Second National Assessment Report on Climate Change  
[http://www.cma.gov.cn/en/ClimateChange/ClimateChangeNews/201203/t20120320\\_166836.html](http://www.cma.gov.cn/en/ClimateChange/ClimateChangeNews/201203/t20120320_166836.html) (2013/03/14 閲覧)
- 119) Priyantha Ranjan S., S. Kazama and M. Sawamoto, 2006: Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers, *Journal of Environmental Management*, Vol.80, Iss.1, 25-35.
- 120) Pollack, H. N. and J. E. Smerdon, 2004: Borehole climate reconstructions: Spatial structure and hemispheric averages, *J. Geophys. Res.*, 109, D11106, doi:10.1029/2003JD004163.
- 121) Republic of Korea, 2010a: Korean Climate Change Assessment Report 2010  
[http://eng.me.go.kr/board.do?method=view&docSeq=8808&bbsCode=new\\_news](http://eng.me.go.kr/board.do?method=view&docSeq=8808&bbsCode=new_news) (2013/03/14 閲覧)
- 122) Republic of Korea, 2010b: The National Climate Change Adaptation Plan of Korea  
<http://www.oecd.org/env/cc/50426677.pdf> (2013/03/14 閲覧)
- 123) Republic of Korea, 2011: Local Adaptation Plan  
[http://www-iam.nies.go.jp/aim/AIM\\_workshop/17thAIM/presentation/5\\_5\\_Jung\\_presentation.pdf](http://www-iam.nies.go.jp/aim/AIM_workshop/17thAIM/presentation/5_5_Jung_presentation.pdf) (2013/03/14 閲覧)
- 124) Shimazaki M, T. Sasaki, K. Hikosaka and T. Nakashizuka, 2011: Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. *Global Change Biology*, Vol.17, Issue 11, 3431-3438.
- 125) Takahashi, S., S. Whitney, S. Itoh, T. Maruyama, and M. Badger, 2008: Heat stress causes inhibition of the de novo synthesis of antenna proteins and photobleaching in cultured *Symbiodinium*, *Proceedings of National Academy of Science*, vol. 105, no. 11, 4203-4208.  
[http://www.nagoya-u.ac.jp/research/pdf/activities/20080321\\_sci.pdf](http://www.nagoya-u.ac.jp/research/pdf/activities/20080321_sci.pdf) (2013/03/14 閲覧)
- 126) UNEP, 2005: Vital Climate Graphics – Update.
- 127) United Kingdom, 2012: Summary of the Key Findings from the UK Climate Change Risk Assessment 2012.
- 128) U.S. Global Change Research Program (USGCRP), 2013: National Climate Assessment (NCA)  
<http://www.globalchange.gov/what-we-do/assessment/nca-overview> (2013/03/14 閲覧)
- 129) WMO, 2004: WMO 気候の事典, 近藤洋輝訳, 丸善

- 130) WMO, 2012: WMO 温室効果ガス年報第 8 号 (気象庁訳)
- 131) World Bank, 2006: Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework, Annex K. World Bank, Washington, District of Columbia
- 132) Yamamura K., and K. Kiritani, 1998: A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology*, 33, 289-298.
- 133) Yara, Y., M. Vogt, M. Fujii, H. Yamano, C. Hauri, M. Steinacher, N. Gruber and Y. Yamanaka, 2012: Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan, *Biogeosciences*, 9, 4955-4968.
- 134) Yokozawa M., S. Goto, Y. Hayashi and H. Seino, 2003: Mesh climate change data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *J. Agric. Meteorol.*, 59, 117-130.



「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート」専門家委員会名簿

(敬称略、所属は2013年3月現在)

《委員長》

住 明正 国立環境研究所 理事

《観測分野》

安岡 善文【主査】 国立環境研究所 参与  
笹野 泰弘 国立環境研究所 地球環境研究センター長  
高藪 縁 東京大学大気海洋研究所 教授  
中島 映至 東京大学大気海洋研究所地球表層圏変動研究センター 教授・センター長  
野尻 幸宏 国立環境研究所地球環境研究センター 上級主席研究員  
藤部 文昭 気象庁気象研究所環境・応用気象研究部 第二研究室長

《予測分野》

住 明正 【主査】 国立環境研究所 理事  
江守 正多 国立環境研究所地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長  
河宮 未知生 海洋研究開発機構地球環境変動領域地球温暖化予測研究プログラム  
地球システム統合モデリング研究チームリーダー  
鬼頭 昭雄 気象庁気象研究所 気候研究部長  
木本 昌秀 東京大学大気海洋研究所 副所長・教授  
近藤 洋輝 リモート・センシング技術センター利用推進部 特任首席研究員  
高藪 出 気象庁気象研究所環境・応用気象研究部 第三研究室長  
松野 太郎 海洋研究開発機構地球環境変動領域地球温暖化予測研究プログラム 特任上席研究員  
山中 康裕 北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授

《影響評価分野》

三村 信男【主査】 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  
茨城大学地球変動適応科学研究機関長  
磯部 雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授  
沖 大幹 東京大学生産技術研究所 教授  
倉根 一郎 国立感染症研究所 副所長  
田中 充 法政大学大学院政策科学研究科 教授  
中北 英一 京都大学防災研究所 教授  
中静 透 東北大学大学院生命科学研究科 教授  
原澤 英夫 国立環境研究所 社会環境システム研究センター長  
古米 弘明 東京大学大学院工学系研究科水環境制御研究センター 教授  
高橋 正通 森林総合研究所 研究コーディネータ  
八木 一行 農業環境技術研究所 研究コーディネータ  
山田 正 中央大学理工学部都市環境学科 教授