

地球温暖化に起因する気候変動に対する  
適応策に関する研究の概要

河川研究部長

大平 一典

1. 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書について

1. 1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の概要

「気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）」は、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された組織である。IPCCは、議長、副議長、三つの作業部会及び温室効果ガス目録に関するタスクフォースにより構成される（図）。それぞれの任務は以下の通りである。

第1作業部会 “The Physical Science Basis”

（気候システム及び気候変化の自然科学的根拠についての評価）

第2作業部会 “Impacts, Adaptation and Vulnerability”

（気候変化に対する社会経済及び自然システムの脆弱性、気候変化がもたらす好影響・悪影響、並びに気候変化への適応のオプションについての評価）

第3作業部会 “Mitigation of Climate Change”

（温室効果ガスの排出削減など気候変化の緩和のオプションについての評価）

温室効果ガス目録に関するタスクフォース：温室効果ガスの国別排出目録作成手法の策定、普及および改定

最新の報告書である IPCC 第4次の報告は、本年2月～5月にかけて各作業部会の政策決定者向け要約（SPM）が公表されており、11月には統合報告書が承認される予定である。

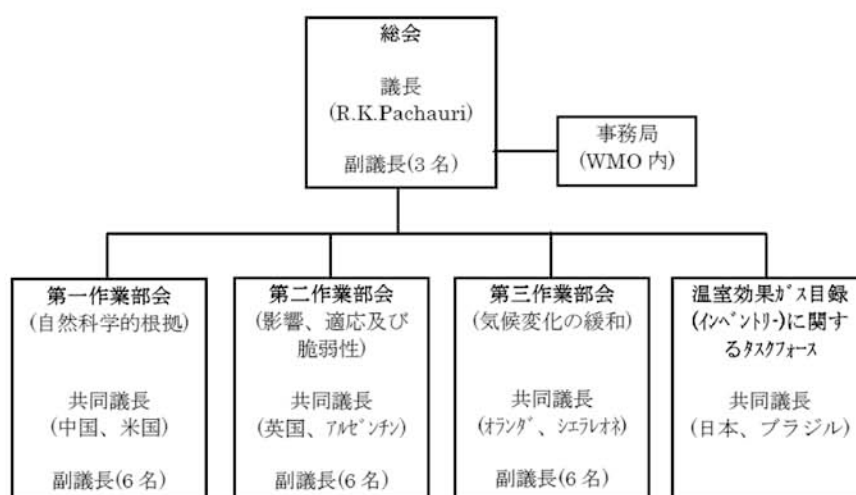


図 1.1 IPCC の組織

## 1.2 IPCC 第4次評価報告書の要約

### 1.2.1 第1作業部会（自然科学的根拠）

#### a. 気候変化の人為起源及び自然起源の駆動要因

・気候システムに温暖化が起こっていると断定するとともに、人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因とほぼ断定。（第3次評価報告書の「可能性が高い」より踏み込んだ表現）

#### b. 近年の気候変化に関する直接的な観測結果

・過去100年に、世界平均気温が長期的に0.74℃（1906～2005年）上昇した。

#### c. 古気候的な観点

・20世紀後半の北半球の平均気温は、過去1300年間で最も高温である。

#### d. 将来の気候変化に関する予測

・1980年～1999年に比べ、21世紀末（2090年から2099年）の平均気温上昇は1.1～6.4℃

（第3次評価報告書では1.4～5.8℃）

・1980年～1999年に比べ、21世紀末（2090年から2099年）の平均海面水位上昇は18～59cm

（第3次評価報告書（9～88cm）より不確実性減少）

・2030年までは、社会シナリオによらず10年当たり0.2℃上昇する。

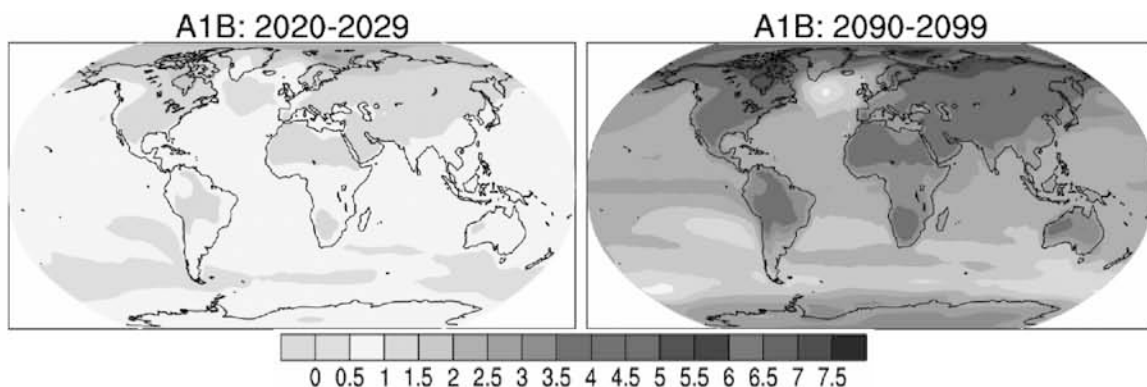
・熱帯域の海面水温上昇に伴って、将来の台風の強度は増大し、最大風速や降水強度は増大する可能性が高い。

・台風の発生数は減少する（信頼性は低い）

・積雪面積や極域の海氷は縮小。北極海の晩夏における海氷が、21世紀後半までにほぼ完全に消滅するとの予測もある。

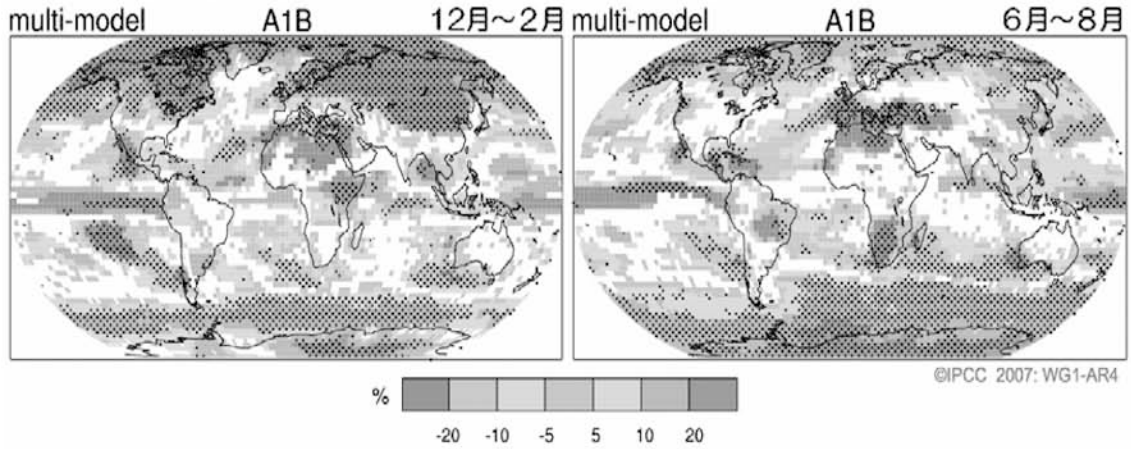
・大気中の二酸化炭素濃度上昇により、海洋の酸性化が進む。

・人為起源排出の大気中への残留分が増加する。



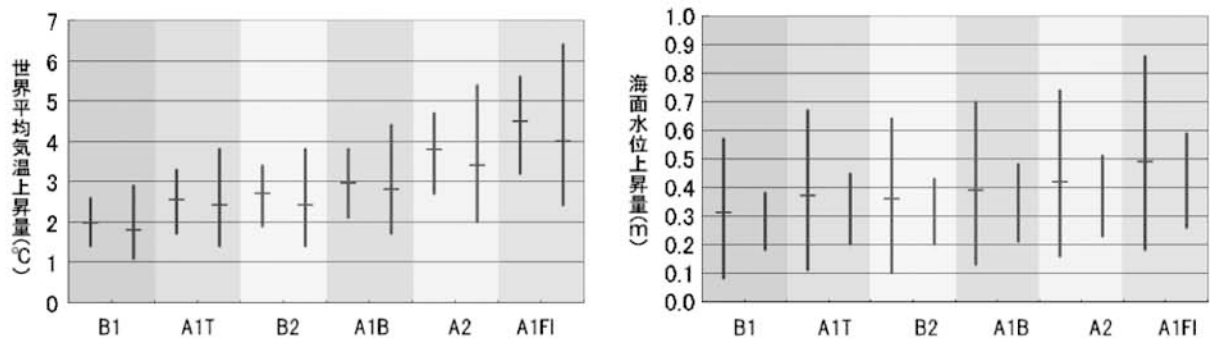
1980～1999年を基準とした、21世紀初頭及び21世紀末の世界平均気温の変化の予測。複数の大気海洋結合モデル（AOGCM）によって計算された、A1Bシナリオでの、2020～2029年及び2090～2099年の予測。

図 1.2



2090～2099 年を対象とする降水量変化予測（単位%）（1980～1999 年が基準）。値は、SRES A1B シナリオによる複数モデルの平均

図 1.3



21 世紀末における世界平均気温の上昇量（左が第 3 次評価報告書の予測、右が第 4 次評価報告書の予測）（SPM から気象庁作成）

21 世紀末における世界海面水位上昇量（左が第 3 次評価報告書の予測、右が第 4 次評価報告書の予測）（SPM から気象庁作成）

図 1. 4

排出シナリオに関する特別報告（SRES）の排出シナリオ

（参考：SPM Endbox3. 日本語訳）

◆ A 1.

A 1 の筋書きとシナリオファミリーは、高度経済成長が続き、世界人口が 21 世紀半ばにピークに達した後減少し、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いている。主要な基本テーマは、地域間格差の縮小、能力強化（キャパシティビルディング）及び文化・社会交流の進展で、1 人当たり所得の地域間格差は大幅に減少するというものである。

A 1 シナリオファミリーは、エネルギーシステムにおける技術革新の選択肢の異なる三つのグループに分かれる。この三つの A 1 グループは技術的な重点の置き方によって以下のものに区別される。すなわち、化石エネルギー源重視（A 1 F I）、非化石エネルギー源重視（A 1 T）、そして全てのエネルギー源のバランス重視（A 1 B）である。（ここで、バランス重視は、いずれのエネルギー源にも過度に依存しないことと定義され、すべてのエネルギー供給・利用技術の改善度が同じと仮定している）

◆ A 2.

A 2 の筋書きとシナリオファミリーは、非常に多面的な世界を描いている。基本テーマは独立独行と地域の独自性の保持である。出生率の低下が非常に穏やかなため、世界の人口は増加を続ける。地域的経済発展が中心で、1 人当たりの経済成長や技術変化は他の筋書きに比べバラバラで緩やかである。

◆ B 1.

B 1 の筋書きとシナリオファミリーは、地域間格差が縮小した世界を描いている。A 1 筋書きと同様に 21 世紀半ばに世界人口がピークに達した後減少するが、経済構造はサービス及び情報経済に向かって急速に変化し、物質志向は減少し、クリーンで省資源の技術が導入されるというものである。経済、社会及び環境の持続可能性のための世界的な対策に重点が置かれる。この対策には公平性の促進が含まれるが、新たな気候変動対策は実施されない。

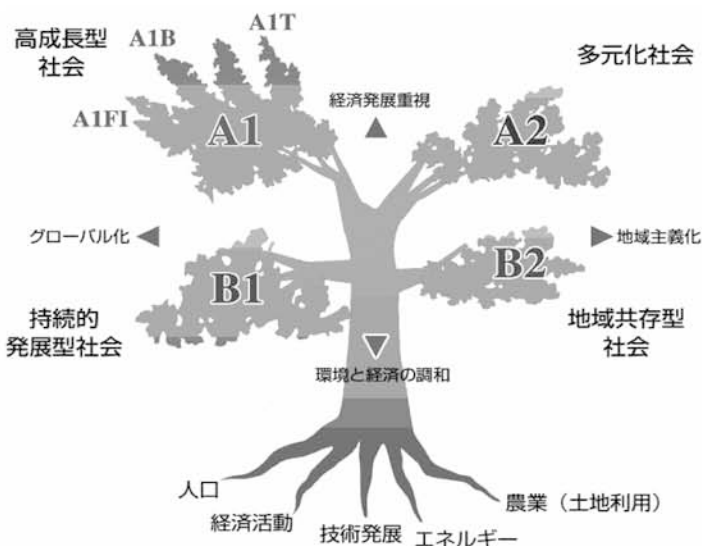
◆ B 2.

B 2 の筋書きとシナリオファミリーは、経済、社会及び環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点が置かれる世界を描いている。世界の人口は A 2 よりも緩やかな速度で増加を続け、経済発展は中間的なレベルに止まり、B 1 と A 1 の筋書きよりも緩慢だが、より広範囲な技術変化が起こるというものである。このシナリオも環境保護や社会的公正に向かうものであるが、地域的対策が中心となる。

6 つのシナリオグループの各々について、1 つずつ例示シナリオ A 1 B、A 1 F I、A 1 T、A 2、B 1、B 2 を選んだ。どれも同等の根拠を持っていると考えるべきである。

SRES シナリオは追加的な気候変動対策を含んでいない。すなわち、いずれのシナリオも気候変動枠組条約や京都議定書の削減目標が履行されることを明示的に仮定していない。

この SRES シナリオに関する囲み記事の内容は、第 3 次評価報告書 (TAR) の中で用いられたものと同じであり、パネルによる行毎の事前承認を得ている。



排出シナリオの概念図 (STOP THE 温暖化 環境省 2005を参照)

図1.5

## 1.2.2 第2作業部会（影響・適応・脆弱性）

### a. 気候変化が自然及び人間環境に及ぼす、観測された影響に関する現在の知見

- ・地球の自然環境は、温暖化の影響を受けている。（物理環境の94%、生物環境の90%）
- ・気候変動により生じている影響としては、以下のものが挙げられる。  
氷河湖の増加と拡大、永久凍土地域における地盤の不安定化、山岳における岩なだれの増加、春季現象（発芽、鳥の渡り、産卵行動など）の早期化、動植物の生息域の高緯度、高地方向への移動、北極及び南極の生態系（海水生物群系を含む）及び食物連鎖上位捕食者における変化、多くの地域の湖沼や河川における水温上昇、熱波による死亡、媒介生物による感染症リスク

### b. 将来の影響に関する現在の知見

#### <淡水資源とそれらの管理>

- ・今世紀半ばまでに、年間平均河川流量と水の利用可能性は、高緯度域及び・熱帯湿潤地域において10~40%増加し、中緯度域の乾燥地域及び熱帯乾燥地域において10~30%減少する。
- ・干ばつの影響を受ける地域の面積が増加する可能性が高い。強い降雨現象は、頻度が増す可能性が非常に高く、洪水リスクを増加させる。
- ・今世紀の間に、氷河及び積雪に蓄えられている水供給が減少し、主要な山岳地帯から融解水の供給を受ける地域における水の利用可能性を減少させる。淡水資源については、今世紀半ばまでに年間平均河川流量と水の利用可能性は、高緯度及び幾つかの湿潤熱帯地域で10~40%増加し、多くの中緯度および乾燥熱帯地域で10~30%減少する。

#### <生態系>

- ・植物及び動物種の約20~30%は、全球平均気温の上昇が1.5~2.5℃を超えた場合、増加する絶滅のリスクに直面する。

#### <食糧、繊維、森林製品>

- ・世界的には、地域平均気温が約1~3℃の幅で上昇すると、食糧生産の潜在量が増加するが、それを超えて上昇すれば、減少に転じる。
- ・継続する温暖化に起因してある種の魚種の分布及び生産量の地域的な変化が生じ、養殖及び淡水漁業へ悪影響を及ぼす。

#### <岸システム及び低平地>

- ・2080年代までに、多数の百万人単位でより多くの人々が、海面上昇により毎年洪水に見舞われると予測される。影響を受ける者の人数は、アジアとアフリカのメガデルタで最大である。

#### <産業、居住及び社会>

- ・気候変化の影響に対し最も脆弱な産業、居住及び社会は、沿岸平野及び河川氾濫原に存在するもの、その経済が気候感受性の高い資源に密接に関連しているもの、及び極端な気候現象の発生しやすい地域、とりわけ、急速な都市化が進んでいる地域である。

#### <健康>

- ・温帯において、気候変化は、寒冷暴露による死亡の減少などいくつかの便益をもたらすが、世界全体で、とりわけ途上国において、これらの便益は気温上昇による悪影響に凌駕される。

#### <アジアにおける将来の影響に関する予測>

- ・ヒマラヤ山脈の氷河の融解による洪水と、その後の氷河の後退により河川流量が減少する。
- ・中央アジア、南アジア、東アジア及び東南アジアにおける淡水の利用可能性は、特に大川川の集水域において、減少する。
- ・南アジア、東アジア及び南東アジアのメガデルタ地帯は、海・河川からの洪水の増加に起因して、最も高いリスクに直面する。

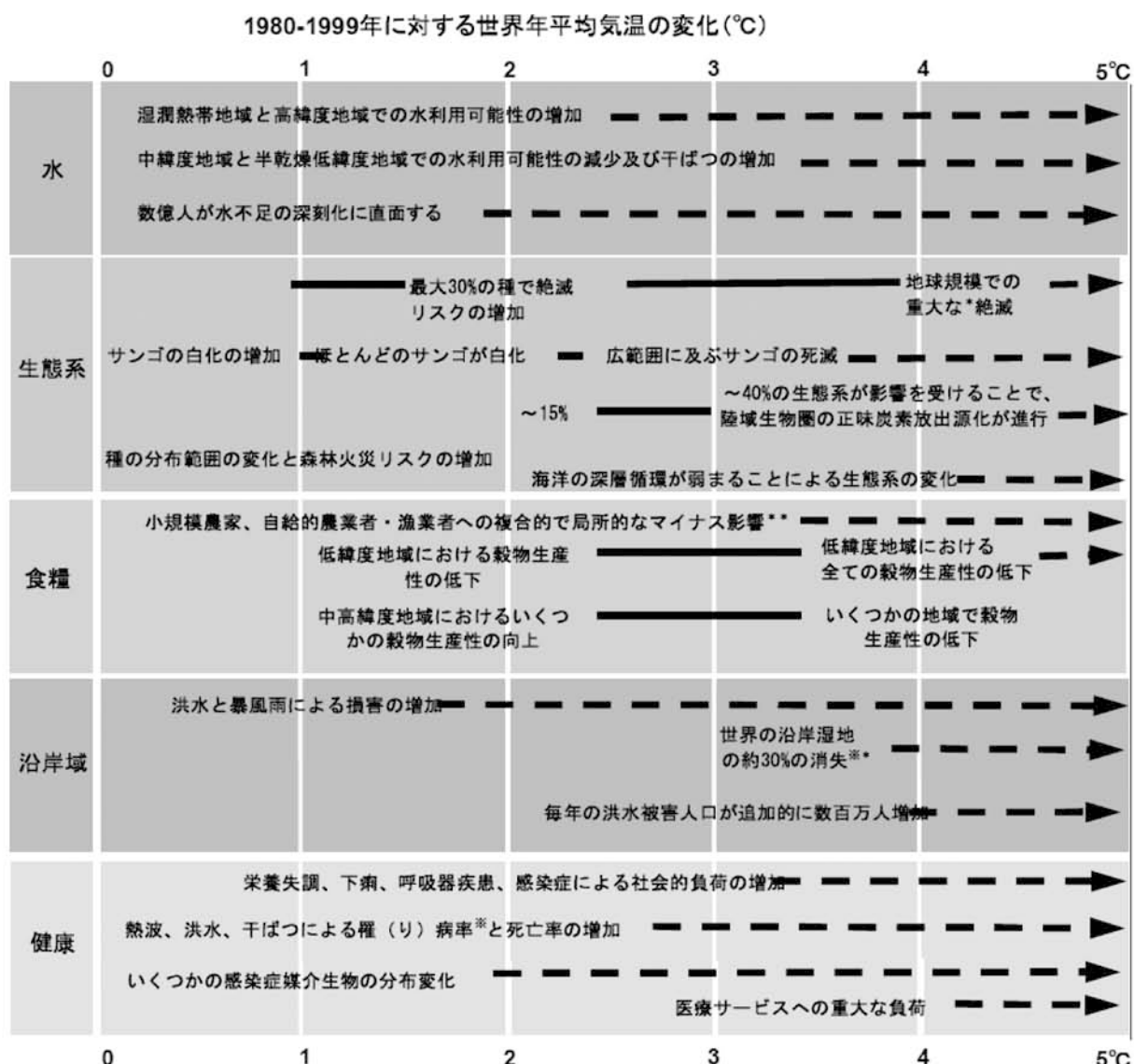
### c. 気候変化への対応に関する現在の知見

- ・観測または予測された将来の気候変化に対する適応が現在行われているが、それらはごく限定的である。
  - ＜気候変化を考慮した例＞
    - ・モルディブやオランダでの沿岸護岸の設計
    - ・ネパールでの氷河湖の突発洪水の防止
    - ・オーストラリアの水管理にみられる政策と戦略
    - ・ヨーロッパ諸国における政府の熱波への対応 など
- ・過去の排出による不可避の温暖化によって生じる影響に対して、適応が必要である。
- ・将来の気候変化への脆弱性を低減するためには、現在行われているよりも、より広範な適応が必要である。
  - ＜潜在的な適応策の範囲＞
    - ・技術的なもの（たとえば海の護岸）
    - ・行動に関するもの（例えば、食物や娯楽の選択の変更）
    - ・管理的なもの（例えば、農業慣行の変更）
    - ・政策的なもの（例えば、規制の立案）
- ・適応策と緩和策のポートフォリオにより、気候変化に伴うリスクを低減することができる。
  - ＜適応能力を高める方法の具体例＞
    - ・ 適応のための手段を土地利用計画及び社会資本の設計に含める
    - ・ 脆弱性を減少させる対策を既存の災害リスク削減戦略に含める

### d. 系統的観測及び研究ニーズ

- ・第3次評価報告書以降、気候変化の影響及び適応ポテンシャルに係る情報を政策決定者に提供する科学は進歩してきたが、今なお多くの重要な問題が未回答である。第2作業部会の各章は、将来の観測及び調査のための優先事項に関する多くの判断を含んでいる。

表 1.1 気候変化に対して予測される世界的な影響の例示



表SPM-1: 気候変化(海面水位及び大気中二酸化炭素濃度の変化を含む)に対して予測される、世界的な影響(21世紀における世界平均地上気温の上昇量に対して示す)の例示 [T20.7]。黒い線は影響間の関連を表し、破線の矢印は気温上昇に伴って影響が継続することを示す。記述の左端は、影響が出始めるおおよその位置を示す。水不足と洪水に関する量的な記述は、SRES A1FI、A2、B1及びB2シナリオの範囲で予測される条件に対する相対的な変化に対して追加的に起きる影響である。気候変化に対する適応の効果はこれらの推定には含まれていない。すべての記述は、本評価報告書の各章に記録されている、刊行された論文からの引用である。すべての記述の信頼度は高い。



### 1. 2. 3 第3作業部会（気候変動の緩和策）

#### a. 短中期的な緩和（～2030）各個別部門

- ・2030年を見通した削減可能量は、現在の排出量以下にできる可能性がある。
- ・温室効果ガス削減による大気汚染緩和の短期的な健康上の利益は、緩和のコストを相当程度相殺する。
- ・エネルギー供給：途上国へのエネルギー供給に関する新規投資、先進国におけるエネルギーインフラの改修、エネルギー安全保障関連政策によって、温室効果ガス排出削減の機会がある。エネルギー需要に対しては、供給量増加よりも、エネルギー利用効率の向上に投資する方が、費用対効果大きい。
- ・運輸：自動車の燃費向上は、小型自動車では対策を講じたほうがコスト面で有利になることもある。
- ・建築：ビルの省エネ対策は、大幅に温室効果ガス排出量を削減できる可能性があり、コストをかけずに2030年までに予測される温室効果ガス排出量の約30%を削減可能と試算される。
- ・産業：削減ポテンシャルはエネルギー集約型産業に集中している。
- ・農業：土壌内炭素吸収量の増加や、バイオエネルギーとして排出削減に貢献できる。
- ・林業：低コストで、排出量の削減及び吸収源の増加の両方に大きく貢献できる。
- ・廃棄物：低コストでの排出削減が可能であり、持続可能な開発も促進する。

#### b. 長期的な緩和（2031～）

- ・大気中の温室効果ガス濃度を安定化させるためには、排出量を減少させなければならない。今後20～30年間の緩和努力によって、回避することのできる長期的な地球の平均気温の上昇と、それに対応する気候変動の影響の大きさがほぼ決定される。

表 1.2 二酸化炭素排出量と気温上昇の関係

カテゴリー	放射強制力	二酸化炭素濃度	温室効果ガス濃度 (二酸化炭素換算)	産業革命からの 気温上昇	二酸化炭素排出 がピークを迎える年	2050年における二酸化炭素 排出量 (2000年比)	研究されたシナリオ の数
	W/m <sup>2</sup>	ppm	ppm	°C	Year	percent	
I	2.5-3.0	350-400	445- 490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490- 535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535- 590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590- 710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710- 855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140	5

#### c. 政策、措置、手法

- ・温室効果ガスの排出緩和を促すインセンティブを策定するため、各国政府がとりうる国内政策及び手法は多種多様であり、利点と欠点が存在する。  
規制措置、税金・課徴金、排出権取引制度、自主協定、情動的措置、技術研究開発など。
- ・実際の或いは隠れた炭素価格を設定する政策は、生産者及び消費者における、温室効果ガスの排出が低い製品に対する投資への顕著なインセンティブとなる。こうした政策は、経済的措置、政府の財政支援、規制措置などを含む。

## 2. 気候変動による日本の降水への影響

本章では気候変動による日本の降水への影響について述べる。まず IPCC 第 4 次評価報告書で使用された気候モデルによる結果を用いて、全球と日本周辺の領域平均から両者における気候変動の影響について比較する。本節で述べる将来気候は、SRES-A1B シナリオに基づきシミュレーションされた結果を用いており、表-2.1 に示す IPCC 第 4 次評価報告書で使用された 24 の気候モデルのうちデータが入手可能であった 19 の気候モデル（現在気候 19、将来気候 17）を用いている。

ここで、IPCC で使用された気候モデルの解像度は約 100~500km であり、日本の地域毎との影響を見積もるには不十分である。そこで地域毎の気候変動による降水への影響について、気象庁・気象研究所により開発された高解像度（20km）全球気候モデル GCM20 の計算結果を用いて検討を行う。検討は現在継続中であり、これまで得られた結果について簡単に取りまとめる。

表-2.1 IPCC 第 4 次評価報告書で使用された気候モデル

センター名	国	モデル名	解像度	使用モデル	
				現在気候	将来気候(A1B)
Beijing Climate Center	China	CM1	2.5°		
Bjerknes Centre for Climate Research	Norway	BCM2.0	2.8°		
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Canada	CGCM3T47	3.75°	○	○
		CGCM3T63	2.8°		
Centre National de Recherches Meteorologiques	France	CM3	2.8°	○	○
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Org	Australia	Mk3.0	1.875°	○	
Max-Planck-Institut for Meteorology	Germany	ECHAM5-OM	1.875°	○	○
Meteorological Institute, University of Bonn	Germany	ECHO-G	3.75°	○	○
	Korea				
Meteorological Research Institute of KMA	Germany				
Model and Data Groupe at MPI-M					
Institute of Atmospheric Physics	China	FOALS-g1.0			
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	CM2.0	2.5°	○	○
		CM2.1	2.5°	○	○
Goddard Institute for Space Studies	USA	AOM	4°	○	○
		E-H	5°	○	○
		E-R	5°	○	○
Institute for Numerical Mathematics	Russia	CM3.0	5°	○	○
Institut Pierre Simon Laplace	France	CM4	3.75°	○	○
National Institute for Environmental Studies	Japan	MIROC3.2-H	1.125°	○	○
		MIROC3.2-M	2.8°	○	○
Meteorological Research Institute	Japan	CGCM2.3.2	2.8°	○	○
National Centre for Atmospheric Research	USA	PCM	1.4°	○	○
		CCSM3	2.8°	○	○
UK Met. Office	UK	HadCM3	3.75°	○	○
		HadGEM1	1.875°	○	○
National Institute of Geophysics and Volcanology	Italy	SXG 2005			

1° =赤道付近約110km,日本付近約90km

### 2. 1. IPCC 採用モデルによる日本周辺の降水量変化

ここでは、気候変動の影響について世界と日本周辺領域の比較を行う。日本周辺として設定した領域について気象研究所（CGCM2.3.2）の気候モデルの場合を 1 例として図-2.1 に示す。他の気候モデルについてもこの領域とほぼ一致するように設定している。

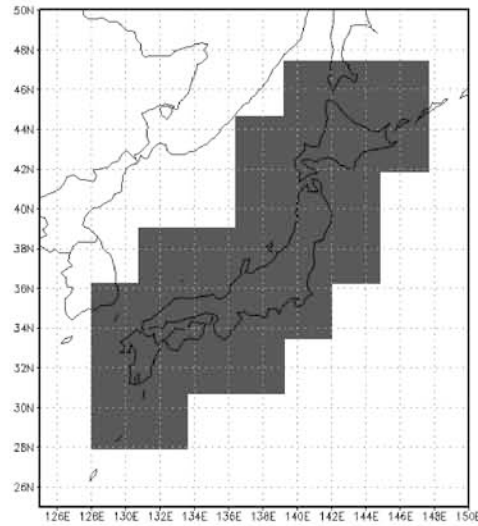


図-2.1 日本周辺として設定した領域

年降水量の全球平均の時系列を図-2.2に現在気候(1900~1999)、図-2.3に将来気候(2000~2099年)として示す。また、日本周辺領域について図-2.4、図-2.5にそれぞれ現在、将来気候として示す。いずれも各気候モデルの1990~1999年の平均年降水量を基準として、増加率として表している。また、日本周辺領域については、領域平均をする際のデータ数が少なく変動が大きいため10年移動平均を行い、データを平滑化している。図中の各線は、現在気候、将来気候のそれぞれの期間でMann-Kendallのトレンド検定を行いその結果、上昇傾向を示す気候モデルを太線、減少傾向を示す気候モデルを細線で示している。実線は、95%の有意な傾向、破線は有意な傾向を示さない傾向を示している。これによると全球平均の現在気候では、増加傾向を示すのは14モデル、減少傾向は5モデルであり両者が混在するが増加傾向を示すものが多くなっている。将来気候については全ての気候モデルで95%有意な増加傾向を示して、将来の全球スケールの降水量の増加が判断される。日本周辺の領域平均については、現在気候で増加傾向を示すのは8モデル、減少傾向は11モデルで両者は同程度のモデル数である。一方、将来気候については、18モデルで増加傾向を示しており、そのうち95%有意な増加傾向を示すのは11モデルであった。以上より、少なくとも将来気候については、全球及び日本周辺領域において増加傾向を示すといつてよいであろう。

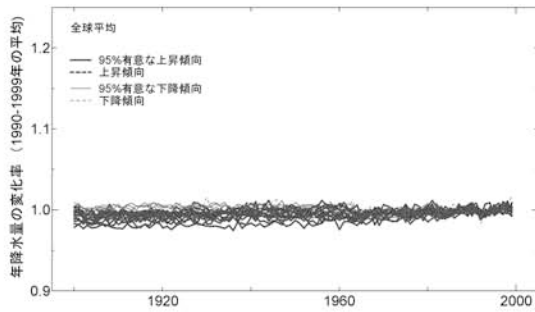


図-2.2 全球平均の年降水量の時系列 (現在気候)

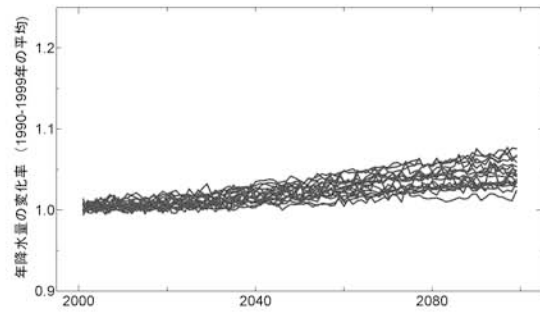


図-2.3 全球平均の年降水量の時系列 (将来気候)

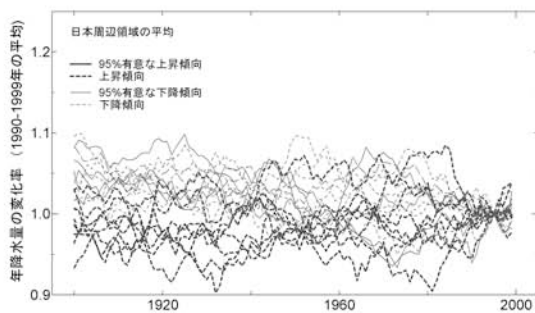


図-2.4 日本周辺領域の年降水量の時系列(現在気候)

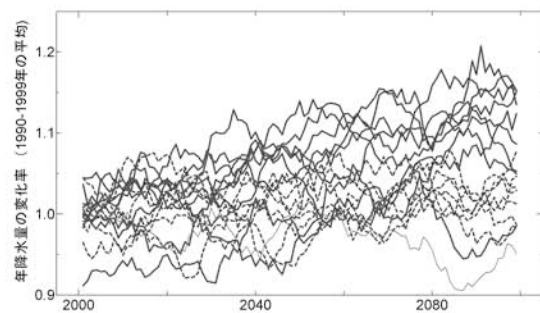


図-2.5 日本周辺領域の年降水量の時系列(将来気候)

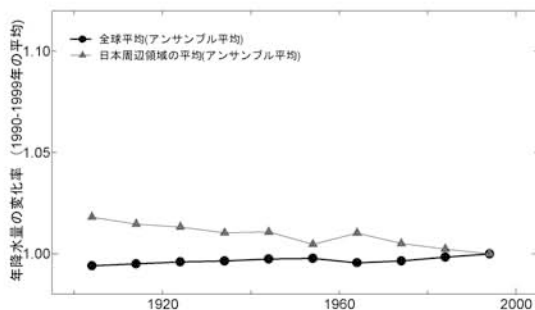


図-2.6 全球平均及び日本周辺の領域平均した年降水量のアンサンブル平均 (現在気候)

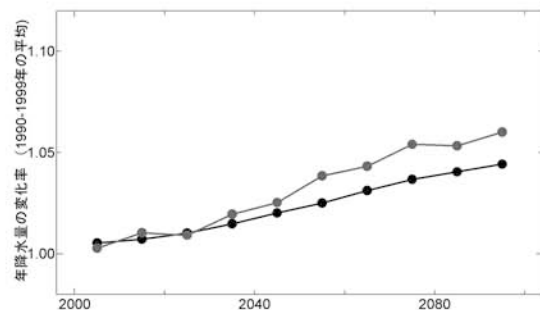


図-2.7 全球平均及び日本周辺の領域平均した年降水量のアンサンブル平均 (将来気候)

次に各気候モデルをアンサンブルメンバーとして 10 年間毎に全球平均及び日本周辺の領域平均の年降水量をアンサンブル平均した結果を図-2.6 (現在気候)、図-2.7 (将来気候) に示す。図中の黒色で示す線は全球平均、赤色は日本周辺領域の平均を示し、破線は各モデルが示す年降水量の時系列、実線はアンサンブル平均となっている。これによると、現在気候について全球平均では、年降水量の変化はほとんどなく、日本周辺領域については 100 年間で約 2%の減少が見られる。将来気候については、全球平均では 100 年間で約 4%の増加、日本周辺領域では 6%の増加が見られ、全球平均に対して日本周辺領域では年降水量の増加率が大きくなっている。

## 2. 2. GCM20(気象庁・気象研究所)モデルによる日本の降水量変化

### 2. 2. 1. IPCC の気候モデルと GCM20 の降水量の比較

ここではGCM20を用いて日本の各地域の降水量変化を検討するに先立ちIPCC第4次評価報告で使用された気候モデル群とGCM20の比較を行い、GCM20の出力の特徴を確認する。年降水量の全球平均の時系列を、**図-2.8**に現在気候(1979~1998)、**図-2.9**に将来気候(2080~2099年)として示す。また、年降水量の日本周辺の領域平均の時系列を**図-2.10**に現在気候(1979~1998)、**図-2.11**に将来気候(2080~2099年)として示す。図中において示す線は**図-2.2**と同様である。

現在気候の全球平均の年降水量について気候モデル群のトレンドは、19モデル中14モデルで増加傾向を示し、その内、有意な増加傾向を示すのは7モデルであった。GCM20は有意な増加傾向を示しており、多くの気候モデルのトレンドと一致している。将来気候について、ほぼすべての18モデルが増加傾向を示し、有意な傾向を示すのは13モデルあった。GCM20のトレンドは有意ではないが増加傾向を示し気候モデル群と一致したトレンドとなっている。ここではGCM20のシミュレーション期間である20年間に対応させて各気候モデルのトレンド検定を行っている。100年後の20年間でも降水量は増加傾向を示していることから、降水量の増加は頭打ちをする事なく増加していくことが考えられる。GCM20の年降水量の変化率は気候モデル群のばらつきの範囲にあることがわかる。

現在気候の日本周辺の領域平均については、いずれの気候モデルも有意な傾向を示すものはないが、14モデルが減少傾向を示し、GCM20についても減少傾向を示している。将来気候についても、有意な傾向を示すものはなく11モデルが増加傾向で僅かに多く、GCM20についても減少傾向を示している。日本周辺の領域平均におけるGCM20の年降水量の変化率は気候モデル群のばらつきの範囲にあることがわかる。

気候モデルをアンサンブルメンバーとして5年間隔で平均したアンサンブル平均とGCM20の現在気候及び将来気候の年降水量の比較を**図-2.12**、**図-2.13**に示す。現在気候のGCM20の全球平均は気候モデル群のアンサンブル平均とほぼ一致している。日本周辺の領域平均では、シミュレーションの前半は少なく、後半は多めとなっている。将来気候の全球平均については、GCM20は2~3%程度アンサンブル平均より年降水量が多くなっている。日本周辺の領域平均ではシミュレーション前半は多めに、後半は少なくなっている。

GCM20は気候モデルに対して以上のような特性があることを踏まえて、次節でGCM20を用い、日本の各地域における気候変動の降水への影響について述べる。

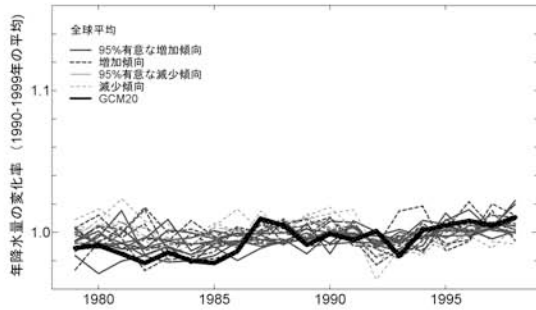


図-2.8 全球平均の年降水量の時系列  
(現在気候 1979～1998年)

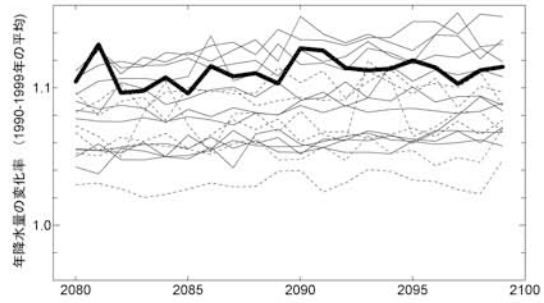


図-2.9 全球平均の年降水量の時系列  
(将来気候 2080～2099年)

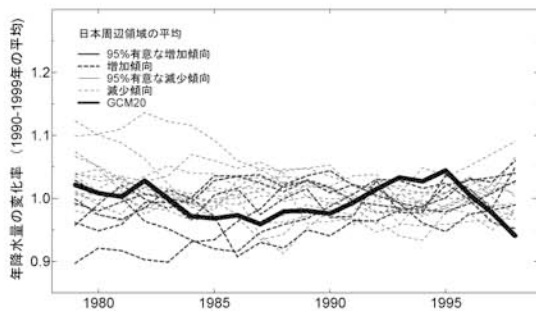


図-2.10 日本周辺領域の年降水量の  
時系列(現在気候 1979～1998年)

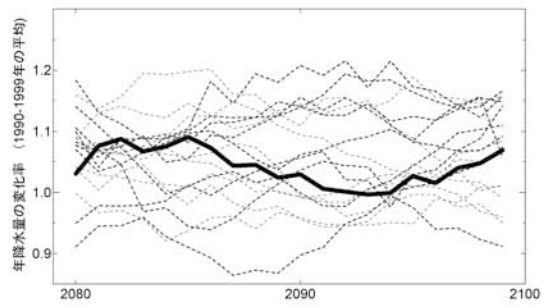


図-2.11 日本周辺領域の年降水量の  
時系列(将来気候 2080～2099年)

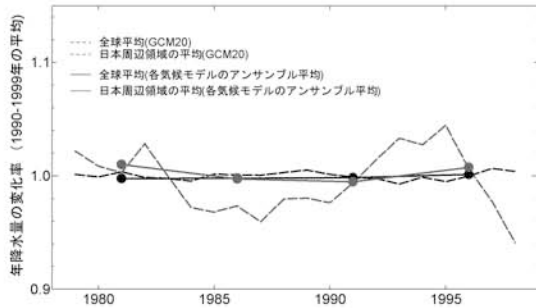


図-2.12 全球平均及び日本周辺の  
領域平均した年降水量のアンサンブル  
平均と GCM20 の比較(現在気候)

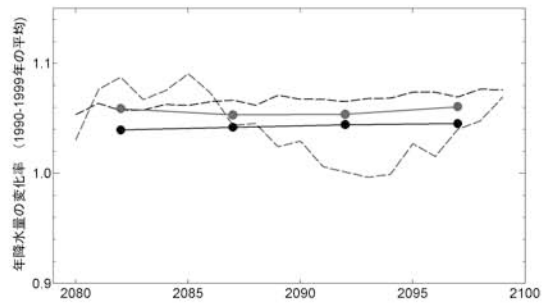


図-2.13 全球平均及び日本周辺の  
領域平均した年降水量のアンサンブル  
平均と GCM20 の比較(将来気候)

## 2. 2. 2. 日本における地域毎の気候変動による降水への影響

気象庁・気象研究所が開発した GCM20 による結果より日本の地域毎の気候変動による降水への影響について述べる。地域区分は異常洪水検討時の参考資料として用いられている地域別比流量図の区分としている。GCM20 の現在気候(1979～1998年)の平均日降水量及び標準偏差について、同じ期間の地上アメダスの観測値と比較したものを図-2.14 に示す。平均降水量については、アメダス観測値の+30～-10%の範囲にあり、全体としてやや大きい値を与えている。一方、標準偏差は-10～-30%と全体に小さくなっている。このことは、GCM20 によるモデルの結果は、降水量の変動



が小さく、平均化される傾向になっていることを表している。このため、平均年最大日、2日、3日降水量について地域毎に地上アメダスとの比を図-2.15に示す。GCM20の結果はどの地域においても観測値より小さく、治水計画で問題となる、例えば年最大日降水量では地域平均で観測値の85%程度以下の値となっている。特に極端現象となる降水については過小評価の結果となっている。

現況の再現性には問題を残しているが、降水の季節的変化状況や地域的分布状況の再現など、ある程度の再現性は有している。そこで、GCM20の現在気候と将来気候(2080~2099年)の平均日降水量と標準偏差の比較を図-2.16に示す。平均日降水量は北海道、東北、九州でやや大きい、全体には現状と大きな差は見られず、比は1.0周辺となっている。一方、標準偏差は、全体に1.0より大きく全国的に変動が大きくなる傾向がみられており、北海道、東北では1.1以上の値となっている。

年最大日降水量については、地点毎に、現在及び将来それぞれの20年間の平均値を求め、両者の比を地域内の発生割合として比率区間毎に整理した結果を表-2.2に示す。最下段には中央値となる比率を示している。これによると、将来地域平均的にどの地域においても現在より増加し、10~20%程度の降水量の増加が生じる結果となっている。

治水を論じる上では、確率年の違いによる将来/現在の傾向は重要である。このため、①地域内の降水規模が類似している、②各地点の年最大降水量が時間、空間的に独立しているとの仮定もと、地域内の全年最大日降水量データを用いて累積分布関数を求めた。求めた地域毎の累積分布関数を平均し、現在と将来の比較を図-2.17に示す。横軸は地域毎の平均値で無次元化している。また、検討は非超過確率0.01~0.99に対し実施した。

これから、無次元化した累積分布関数は現在と将来でほぼ完全に一致している。このことは、平均的には、将来と現在の比は確率年によらず両者の平均値の比で表されることを意味している。一方、地域毎の分布を詳細にみると、両者にずれが見られる場合がある。ずれの内容は、確率年の大きい部分で将来が大きくなる、小さくなる、の両者があるなど様々である。こうした地域的なばらつきは、対象期間が短いことや地点数の少ないことにより説明される可能性もあり、先に述べた仮定の妥当性の検討と併せ、更に検討が必要である。

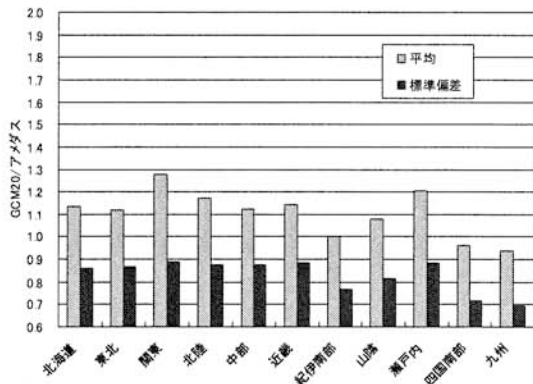


図-2.14 GCM20と地上アメダスデータの平均日降水量と標準偏差の比(地域内全データ)

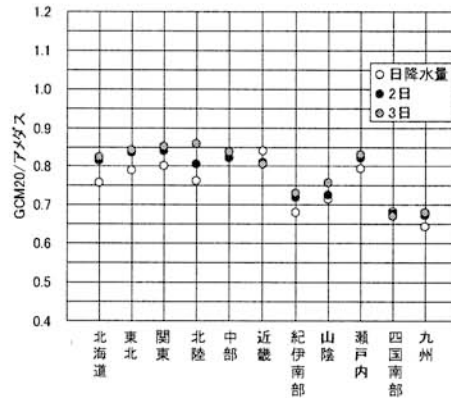


図-2.15 平均年最大降水量のGCM20とアメダスの比(地域内全データ)

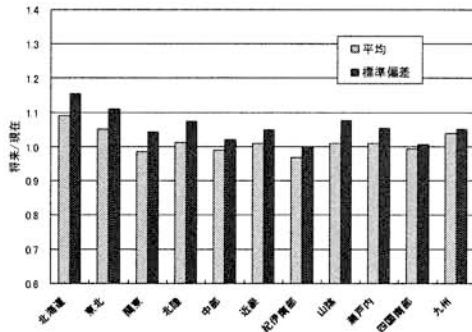


図-2.16 将来と現在の平均日降水量と標準偏差の比(地域内全データ)

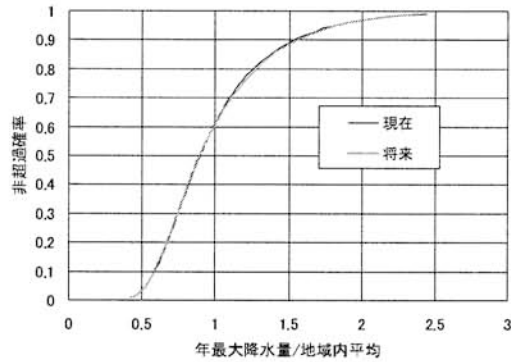


図-2.17 地域内平均値で無次元化した年最大日降水量と非超過確率の関係(全地域平均)

表-2.2 年最大日降水量の(将来の平均値)/(現在の平均値)と地域内の地点割合の関係

将来/現在	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	紀伊南部	山陰	瀬戸内	四国南部	九州
~0.9	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0.06	0.15
~1	0	0.03	0.01	0.02	0.21	0.19	0.14	0.04	0.11	0.29	0.18
~1.1	0.11	0.16	0.42	0.25	0.44	0.44	0.32	0.39	0.33	0.10	0.24
~1.2	0.25	0.25	0.43	0.49	0.22	0.26	0.39	0.37	0.35	0.32	0.26
~1.3	0.34	0.26	0.13	0.18	0.10	0.07	0.11	0.15	0.15	0.23	0.16
~1.4	0.22	0.17	0.02	0.05	0	0.04	0.04	0.04	0.05	0	0.01
~1.5	0.08	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
~1.6	0.01	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
~1.7	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
将来/現在の中央値	1.24	1.22	1.11	1.14	1.06	1.07	1.13	1.11	1.10	1.11	1.07



### 3. 洪水、渇水、高潮に対する適応策に関する研究の概要

洪水・渇水・高潮等に対する適応策に関する研究については、気候変動による日本への影響がまだ十分に評価できていないところであり、影響評価と合わせて国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究として「気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究」を平成18年度より開始しているところである。以下では、プロジェクト研究の概要及びその他気候変動に関連する研究の概要について紹介する。

#### 3. 1 プロジェクト研究「気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究」における適応策に関する研究

このプロジェクト研究は、「降水量予測情報を活用した次世代型水管理」と、「温暖化による河川・海岸への影響と対応策」の2つの主要テーマをもつ。前者は、近年急速に高密度・高精度化が進む気象庁の降雨予測情報を利用して、豪雨時の迅速かつ的確な警戒・避難活動に役立てるほか、洪水・渇水時のダム貯水池を有効活用することにより、近年頻発している豪雨や渇水の被害を最小限に止めるため、①降水量予測情報を活用した洪水・氾濫予測、②予測された洪水・氾濫に対する被害軽減方策、③降水量予測情報を活用したダムの効率的運用についての研究を実施するもので、主として現状での洪水・渇水・高潮への対応を対象としている。

後者は将来の気候変動への対応として、気象庁等による最新の気候予測計算結果を用いて、将来の社会変動も考慮した上で、氾濫被害や渇水等を想定した河川・海岸管理の政策シナリオを提案しようというものである。このため、①地球温暖化に対応する河川管理方策、②温暖化による海面上昇、豪雨増加の治水安全度への影響と対応策、③水資源管理への影響と対応策、④地域特性に応じた海岸保全方策を検討するものである。前半2年では、外力による影響評価を行い、後半2年で、社会的影響評価と適応策の検討を行うこととしている。

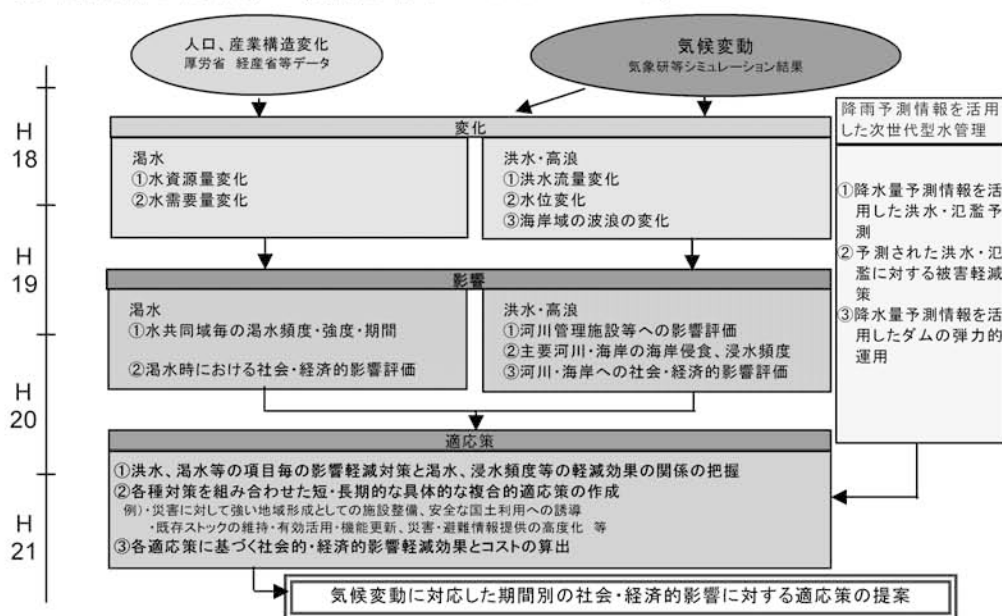


図 3.1 プロジェクト研究の流れ

### 3. 2 地球温暖化による気候変動の影響に適応した国土保全方策検討

プロジェクト研究を構成する一連の研究の一つで、国土交通省河川局と連携して平成 20 年度より実施することを予定している。気候変動による外力の変化や海面上昇、渇水、洪水、高波等による影響について把握し、河川・海岸の施設機能の低下や海岸侵食やゼロメートル地帯の浸水区域の増大等の直接的な被害や社会経済活動への影響など間接的な被害がどの程度及ぶのか評価した上で、外力等の変化に対応した施設形態や整備計画のあり方やリスク回避のための適応策について短期・長期的な適応戦略の提案を行うことを目的としており、国土技術政策総合研究所においては、「想定外力に基づくリスクの大きい地域でのケーススタディ」、「気候変動への河川・海岸の適応戦略の検討」を中心に検討を行うこととしている。

#### 3. 2. 1 想定外力に基づくリスクの大きい地域でのケーススタディ

海面上昇による海岸侵食への影響や渇水・洪水・高潮・高波等の災害事象における河川流域、沿岸域等での具体的な海面の上昇量、降水量、高潮、高波等の外力の想定から、被災想定区域における人口・産業構造等の将来変化、地盤高等の地域特性等も考慮し災害リスクの大きい地域（モデル地域）を抽出し、災害発生時における一般資産被害や交通途絶による流通阻害などの直接・間接的経済的影響、地域コミュニティの分断、避難生活の長期化等の社会的影響評価手法の開発を行う。

#### 3. 2. 2 気候変動への河川・海岸の適応戦略の検討

海面上昇・渇水・洪水・高潮・高波等の個別事象に対する堤防・護岸の強化や嵩上げ、施設の新設、調節容量の確保等の施設整備を中心とした対策、施設の操作ルールや施設の設計基準など見直し、土地利用の誘導、節水型社会の構築等の社会的対策、予測情報の活用や水防シナリオの見直し等の防災体制の充実等を複合的に組み合わせた具体的な適応策の検討を行う。各種適応策実施に伴うコスト、前述の社会・経済的な影響評価手法に基づく影響軽減効果を算出し、適応策の経済性評価及び短期・長期の最適な適応戦略の検討を行うとともに、適応策の必要性について国民の認知と合意をえるような、広報戦略について検討する。

表 3.1 には、想定される適応策を例示する。

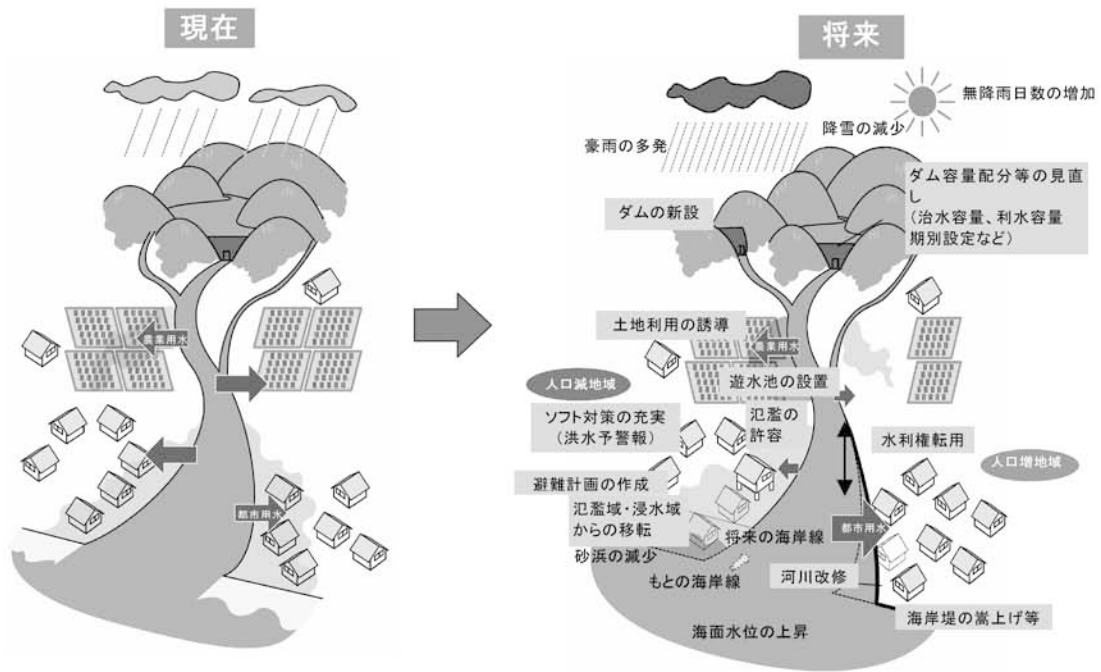


図 3.2 気候変動に伴う主な影響と適応策

表 3.1 渇水・洪水・高波等に対する対応策の例

	ハード対策	ソフト対策
渇水対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水施設の改造によるきめ細かな圧力調整</li> <li>建築物における再利用・貯水施設の設置</li> <li>企業による渇水時の資産・製品の提供</li> <li>ダムの新設、再開発、調整池の設置</li> <li>海水淡水化</li> <li>予備水源の確保</li> <li>人工降雨・降雪</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>渇水脆弱区域マップ</li> <li>ダムの弾力的管理</li> <li>高精度化された渇水予測情報の提供</li> <li>河川管理者・関係省庁等・利水者の連携</li> <li>水利権転用</li> <li>自主節水</li> <li>水銀行制度などの水融通方策</li> <li>学校での節水教育</li> <li>渇水脆弱地域の土地利用転換</li> <li>個人向け保険(渇水)の導入</li> </ul>
洪水対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>河川改修(堤防強化、堤防嵩上げ、河道拡幅、放水路、二線堤・輪中堤等)</li> <li>排水システムの強化(排水ポンプ等)</li> <li>ダムの新設、遊水池の設置</li> <li>高床式住居等による氾濫の許容</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水予警報の高度化</li> <li>ハザードマップの作成、避難計画の作成</li> <li>水防活動(水防団等)</li> <li>防災訓練・教育の実施、自主防災組織の設置</li> <li>水害保険の導入</li> <li>ダム容量配分の見直し(治水容量期別設定など)</li> <li>土地利用の誘導</li> <li>浸水域からの移転</li> </ul>
高波(海岸)対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>海岸保全施設等の整備・改良</li> <li>二線堤・輪中の整備</li> <li>排水システムの強化</li> <li>緩衝帯・遊水池等の整備</li> <li>建築物の強化・嵩上げ等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難路・避難地の整備</li> <li>ハザードマップの作成・配布、情報提供</li> <li>防災訓練・教育の実施、自主防災組織の設置</li> <li>浸水保険の導入</li> <li>土地利用の誘導(住居等の移転)</li> </ul>

### 3. 3 河川の信頼性評価及び維持管理に関する検討

本研究では、河川堤防の浸透、侵食等に対する耐力について、目視点検や計測機器モニタリング等の結果を活用した、現況の河川堤防の信頼性を評価する手法について検討を行っている。また、現況の治水安全度を長期的にも維持管理していくため、堤防高さの維持、堆積土砂の掘削等の河道流下能力を確保するための水準や、洗掘対策、堤防・護岸機能の維持等の施設の機能を維持すべき水準等について検討を行っている。本研究は、4章に示す、国土交通省の社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適応した治水対策検討小委員会で審議されている適応策の基本的方向のうち、「外力の変化に対する施設の信頼性の確保」及び「既存施設の徹底活用・延命化」に関連するものである。

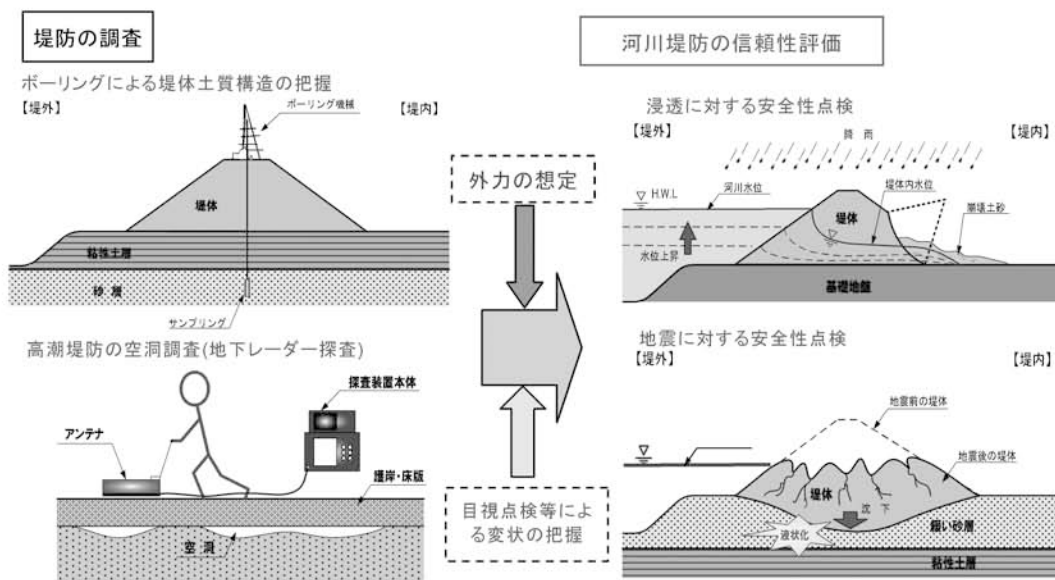


図 3.3 河川堤防の信頼性評価イメージ

### 3. 4 水循環シミュレータを用いた水資源管理の高度化の検討

主に水供給の立場から、地域的な事情により様々な形態で行われている渇水対策を評価し、各地域の最適な対策メニューを提案し、それを実現する上で調整が必要となる制度の枠組みの見直しを含めた水資源管理の高度化を検討するものである。具体的には、自然及び水利用過程を含む水循環シミュレーションシステムを構築するとともに、シミュレーション結果に基づく実態ベースの渇水対策の評価手法を提案する。また、将来の水需給バランスについても把握して、将来の気候変動に伴う渇水対応策を評価し、その対策を検討するものである。

本研究の目標点

- ・各流域の事情に応じた最適な渇水対策メニュー（渇水予防となる水運用、海水淡水化、地下ダム、底水の利用、雑用水の利用、工業用水の回収利用、下水処理水の再利用、都市の雨水貯留、海上水輸送、給配融通等）の提案
- ・渇水対策メニューの評価
- ・最適な渇水対策を実現させる上で調整が必要となる制度上の枠組みの抽出
- ・水資源管理高度化のために必要な低水流量観測地点の評価、提案
- ・将来の水需給変化時の渇水対策の評価、提案

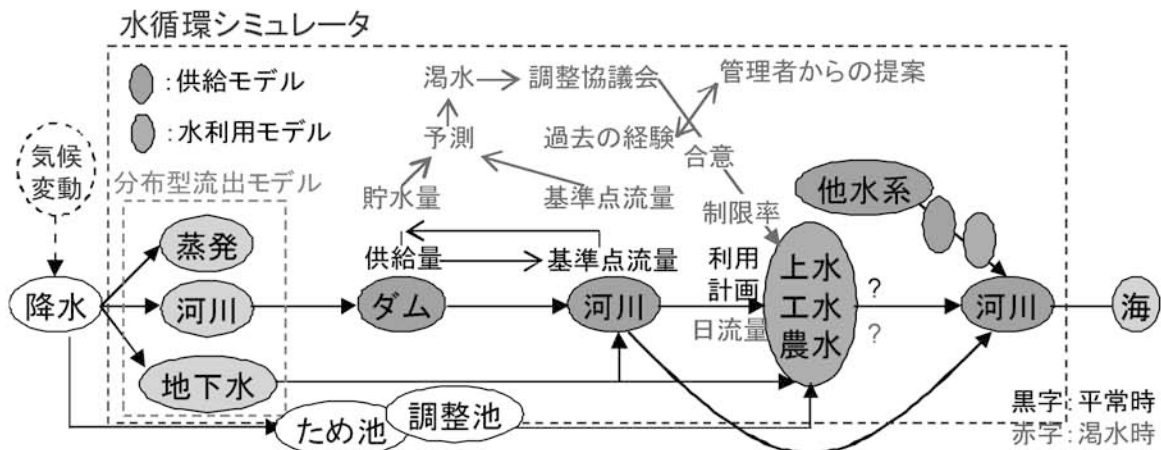


図 3.4 水循環シミュレータのイメージ

### 3. 5 海岸災害に対する気候変動適応の検討

本研究では、海岸域の環境を決定する海浜そのものの日々の変化である海岸侵食と、頻度は低いものの国の経済状態を揺るがしかねない高潮について、気候変動によって生じる対処すべき変化を明らかにすることを目的としている。研究のフローを図3.5に示す。

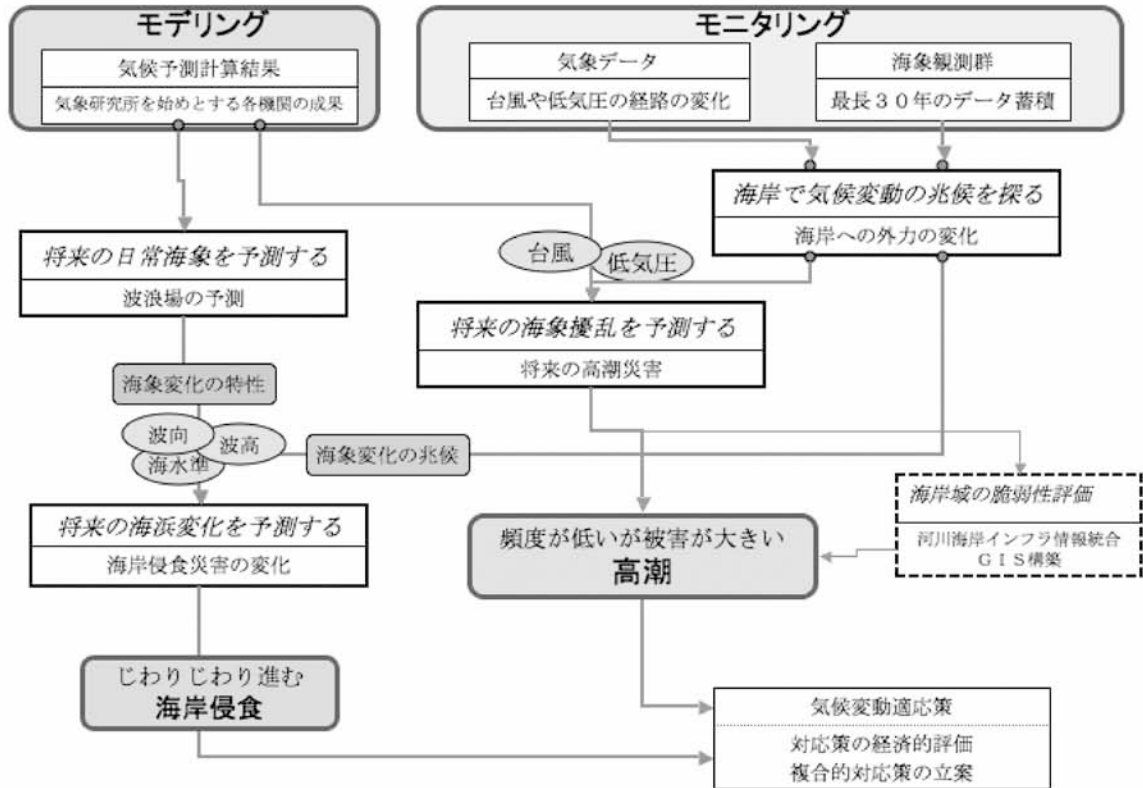


図 3.5 気候変動適応研究における高潮・海岸侵食分野の研究フロー

#### 4. 国土交通省における適応策の検討

気候変動に伴う降水量、海面上昇等に対する適応策についての基本的な考え方等について、現在、社会資本整備審議会河川分科会に「気候変動に適応した治水対策検討小委員会」が設置され検討が進められている。その中で審議（第2回開催時点）されている適応策の基本的方向を紹介する。

#### 適応策の基本的方向

適応策の基本的方向として、①施設を中心とした観点、②社会構造の見直しの観点、③防災対策を中心とした観定の3つの観点から適応策としての取り組みを考える。

##### ①施設を中心とした観点

- ・外力の変化に対する施設の信頼性の確保

想定される外力の変化に対し、施設の点検や評価を行い、施設の信頼性を確保するための方策を講じる。

- ・既存施設の徹底活用・延命化

これまでに蓄積された社会資本整備のストックを活かし、既存施設の有効利用や多目的利用、長寿命化、再編や運用の変更による効率化など効率的、効果的な観点やコスト削減の観点から既存施設の徹底活用を図る。

また、わが国の高潮対策の基礎となっている伊勢湾台風から約50年、高潮対策施設の老朽化により、修繕・更新の時期が来ている。また、流域の急激な都市化の進展とそれに伴う水害の頻発に対応し昭和40年～50年代にかけて建設された施設が一時期に集中して修繕・更新の時期を迎える。こうした中で、施設の延命に向けた予防保全的な管理手法と併せて気候変動による外力の変化に対応した対策を行う。なお、施設が被災した際の災害復旧と併せて対策を行うことも効果的である。

- ・新規施設の整備

想定される外力の変化に対して、社会面、環境面、経済面、技術面の観点から可能性のある既存施設の徹底活用等を行いながら、必要となる新規施設の整備を行う。

##### ②社会構造の見直しの観点

- ・社会構造の見直しの観点からの対応

急激な気候変動により、長年にわたって築かれてきた社会資本整備や社会システムが対応できなくなる可能性がある。防災施設の整備や危機管理対策だけでなく、変化する地域社会の状況と併せて土地利用や住まい方の変更など、社会構造の見直しの観点からも適応策を考える。

##### ③防災対策を中心とした観点

- ・大規模災害への対応、体制の整備

危機管理の強化として、国による広域的な災害支援体制や広域防災ネットワークの構築など大規模災害への備えを充実させる。国と地域が連携し、万一破堤・氾濫した場合の緊急対策、氾濫原における洪水流や排水の対策も考える。

- ・新たなシナリオによるソフト施策の推進

ハード整備と一体となったソフト施策を推進する。従来のシナリオから気候変動による外力の頻度や規模の増加した新たなシナリオで水防、避難、救助、復旧などの活動のみならず、安全なまちづくりに資する施策を検討する。