

報 告

地球温暖化問題解決のために
—知見と施策の分析、
我々の取るべき行動の選択肢—



平成21年（2009年）3月10日

日本学術会議
地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会

この報告は、日本学術会議「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」の審議結果を受けて、「地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会」が取りまとめ公表するものである。

地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会
(平成 20 年 10 月 23 日～平成 21 年 3 月 31 日)

委員長	中島 映至 (第三部会員)	東京大学気候システム研究センター長・教授
副委員長	入倉孝次郎 (連携会員)	京都大学名誉教授、愛知工業大学客員教授
幹事	西條 辰義 (連携会員)	大阪大学社会経済研究所教授
幹事	本田 靖 (特任連携会員)	筑波大学大学院人間総合科学研究科教授
	淡路 剛久 (第一部会員)	早稲田大学法務研究科客員教授
	唐木 英明 (第二部会員)	東京大学名誉教授
	鷺谷いづみ (第二部会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	村上 周三 (第三部会員)	独立行政法人建築研究所理事長
	山地 憲治 (第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	江守 正多 (特任連携会員)	国立環境研究所地球環境研究センター温暖化リスク評価研究室長
	亀山 康子 (連携会員)	国立環境研究所地球環境研究センター主任研究員
	高島 郁夫 (連携会員)	北海道大学大学院獣医学研究科教授
	陽 捷行 (連携会員)	北里大学教授
	三村 信男 (特任連携会員)	茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター教授

地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会
(平成 19 年 7 月 26 日～平成 20 年 9 月 30 日)

委員長	入倉孝次郎 (第三部会員)	京都大学名誉教授、愛知工業大学客員教授
副委員長	中島 映至 (連携会員)	東京大学気候システム研究センター長・教授
幹事	西條 辰義 (連携会員)	大阪大学社会経済研究所教授
幹事	本田 靖 (特任連携会員)	筑波大学大学院人間総合科学研究科教授
	淡路 剛久 (第一部会員)	早稲田大学法務研究科客員教授

唐木 英明 (第二部会員)	東京大学名誉教授
鷺谷いづみ (第二部会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
村上 周三 (第三部会員)	独立行政法人建築研究所理事長
山地 憲治 (第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
秋元 圭吾 (特任連携会員)	財団法人地球環境産業技術研究機構システム研究グループグループリーダー
江守 正多 (特任連携会員)	国立環境研究所地球環境研究センター温暖化リスク評価研究室長
亀山 康子 (連携会員)	国立環境研究所地球環境研究センター主任研究員
北山 兼弘 (特任連携会員)	京大学生態学研究センター教授
木本 昌秀 (特任連携会員)	東京大学気候システム研究センター副センター長・教授
住 明正 (連携会員)	東京大学サステイナビリティ学連携研究機構教授
高島 郁夫 (連携会員)	北海道大学大学院獣医学研究科教授
蓼沼 宏一 (連携会員)	一橋大学大学院経済学研究科教授
西岡 秀三 (特任連携会員)	国立環境研究所特別客員研究員
原沢 英夫 (連携会員)	内閣府政策統括官 (科学技術政策・イノベーション担当) 付参事官 (環境・エネルギー担当)
陽 捷行 (連携会員)	北里大学教授
三村 信男 (特任連携会員)	茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター教授
山口 光恒 (特任連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター特任教授

要 旨

1 作成の背景

平成 19 年に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 4 次評価報告書は、地球温暖化現象が人間活動による温室効果ガスの排出によって引き起こされている可能性が非常に高いと結論した。その影響と思われる様々な現象が現在、顕在化し始めており、社会の大きな関心事となっている。この温暖化問題に関する対策は、G8 洞爺湖サミット（平成 20 年 7 月）の主要課題として取り上げられており、我が国および世界の重要な政治課題となっている。このような状況のもとで日本学術会議は、本問題に関して現在得られている科学的知見を精査し社会へ正確に伝達すること、そして、それに基づいて我々の採るべき行動の選択肢を分析することが重要であると考えた。このために、平成 19 年 7 月に「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」を設置し、検討を重ねてきた。この審議結果を受けて、平成 20 年 10 月には「地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会」が設置され、本報告書が取りまとめられた。

2 現状及び問題点

温暖化問題の解決のためには、温暖化の進行の緩和および温暖化に対する影響回避と適応が必要である。これらについて適切な対策を講ずるためには、将来の気候変化に関するできる限り正確な予測を行い、それに基づいて影響評価と、費用も考慮した適切な適応策と緩和策を実施する必要がある。グレンイーグルズサミット（平成 17 年 7 月）以降、洞爺湖サミットに至るまでの G8 サミットでも、このような地球温暖化対策が主要課題として取り上げられてきた。しかし、現状の科学研究は、温暖化がほぼ確実に起こることを予測しているものの、その詳細には不確実性が大きいことを示しており、それを考慮して対策の検討を進めなければならない。さらに、将来の気候をどのレベルで安定化させるかに関し世界的な合意が成立したとしても、そこに到る道筋には多様な選択がある。したがって、問題解決のための道筋の選択には、自然科学、社会科学の知見を動員した総合的な検討が必要である。本委員会では、このような現状分析のもとに、気候変化、影響評価、適応策、緩和策に関する専門家が分野横断的に総合的な検討を行ってきた。このような試みは、世界的に見てもようやく緒についたばかりであり、本委員会の検討結果は、我々が検討しなければならない課題が多くあり、現時点では気候変化、適応策、緩和策を貫いた一枚の理路整然とした科学的地図を描き出すことは難しいことを示している。したがって、本問題に関して様々な議論が百出している現状において、我々の知見とその限界を整理し、蓋然性の高い科学的知見に基づいた合意点の確認と、それに基づいた現実的な行動の選択肢を示すことが重要であると考えた。

3 報告の内容

以下に検討の結果をまとめる。

- ・ 人為的な気候変化は既に起こり始めており、世界の生態系・人間社会にさまざまな影響を与えていることはほぼ確実である。しかし、政策決定に必要な変化と影響の詳細及び長期の気候変化予測に関しては大きな不確実性がある。この場合、起こると予測される事態の深刻さに鑑み、また予測範囲の上限に迫るような不測の事態による被害の増大を未然に防ぐためにも、経済と環境のバランスを考慮しつつ、予防的措置を含めて被害軽減のための対策を取るべきである。
- ・ 不確実性の低減のためには、気候モデルの改良と先端計算技術基盤の整備が必要である。同時に、進行する温暖化を多面的に目撃・監視する総合観測システムの構築が必要である。これらを推進するために、各国政府・国際機関と学术界の連携による国際的・総合的研究プロジェクトを形成すべきである。
- ・ 進行しつつある気候影響に対応して社会の安全性を確保し、持続可能な社会を構築するためには、適応策の計画と実行が緊急の課題である。そのため、脆弱な生態系・地域・社会システムの同定を急ぎ、脆弱な途上国では、自助努力を前提とした適応技術の移転、適応策立案、気候リスクと適応策に関する社会的認識の向上プログラムなどによって、社会の気候変動対応能力の向上を図る必要がある。同時に、我が国を始め、先進国でも適応策の体系的政策化が必要である。
- ・ 地球温暖化対策が持つべき要件は、世界の温室効果ガス排出量を削減できる環境保全性、対策が効率的になされる費用効果性、対策費用の負担の衡平性、及び現実に対策が実施できる制度的実現性の四つである。また、地球温暖化対策は、数十年以上にわたる時間を要するために、世代間の負担配分についても配慮する必要がある。
- ・ 影響被害及び適応と緩和のための対策費用の評価を引き続き行い、目標とすべき気候安定化レベルを検討する必要がある。IPCC シナリオのうち、最良推定で産業革命以降 4℃を超えるような気温上昇で安定化するシナリオは、温暖化の被害の大きさや不可逆な温暖化影響の可能性の増大から見て、対策検討の目標としては不適切と考えられる。
- ・ G8 サミット等でも議論されている 2050 年に世界の温室効果ガス排出を半減するという目標の実現には、国際社会の全面的な協力と多くの困難の解決が必要であるが、この目標の実現に向けた政策は、環境負荷の低減の観点からも望ましく、低環境負荷型の持続的社会と経済システムを作り出すための大きな駆動力になり得る。また、気候安定化のためには、温室効果ガスの排出量を長期的にはさらに減らしていかなければならないことも認識する必要がある。

- 気候変動枠組み条約にある温暖化の危険なレベルの検討、影響への適応及び影響回避のための緩和費用とのバランスが取れた長期的安定化目標の早期検討と共有化が必要である。主要排出国すべてが参加する京都議定書第一約束期間後の国際枠組みの確立、衡平性に配慮しながら現実に機能する、国別数値目標、セクター別アプローチ、および炭素税、排出権取引などのインセンティブを生むような経済的施策等の設計を行う必要がある。
- 低炭素社会を構築するためには、低炭素社会イメージの創造が必要である。また、それを支える柱になる革新的技術の開発と普及、及び社会システムやライフスタイルの変革が必要である。このように長期で大規模な温暖化対策は、様々な影響と波及効果を伴うので、人類が解決すべきミレニアム開発目標など高次の世界目標の中に位置づけて、特定の国や地域、特定の世代に偏った負担を強いることなく、持続可能な福祉の向上に最大に寄与する仕組みを作り出す必要がある。
- 世界規模で温暖化を克服する政策を確立し、人々の行動を変えるためには、より確かな予測と知識の体系化が必要である。また、正確な科学的知識の普及を推進しなければならない。そのためには、あらゆる世代にわたる教育の増進が必要であり、学术界のリーダーシップが必要である。

目 次

1	はじめに.....	1
2	気候変化に関する科学的知見と課題.....	3
	(1) 定説化している科学的知見.....	3
	(2) 不確実性.....	5
3	影響と適応策.....	8
	(1) 既に現れている影響.....	8
	(2) 影響の将来予測と適応策.....	9
	(3) 不確実性.....	11
	(4) 課題.....	11
4	緩和策.....	14
	(1) 緩和策の要件.....	14
	(2) 気候安定化シナリオ.....	14
	(3) 短中期的な取組み（京都議定書第一約束期間後の国際枠組み）.....	16
	(4) 低炭素社会の実現に向けて.....	17
5	結論と我々の取るべき行動の選択肢.....	21
	(1) 気候変化現象の理解.....	21
	(2) 持続可能な社会構築のための適応策.....	21
	(3) 気候安定化実現への施策.....	22
	(4) 低炭素社会の実現のための革新的技術の開発と社会システムの確立.....	23
	参考資料.....	26
	参考資料 1 審議経過.....	26
	参考資料 2 公開講演会プログラム.....	28
	参考資料 3 気候変化に関する科学的知見.....	29
	参考資料 4 影響と適応策.....	41
	参考資料 5 気候安定化目標と緩和策.....	50
	参考資料 6 国際環境専門者会議.....	70

1 はじめに

資源枯渇、水資源問題、環境汚染、そして地球温暖化など、人間活動が引き起こす気候と環境への影響は地球規模においても無視できないものとなっている。平成 19 年に発表された気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）の第 4 次評価報告書においても、人為起源の温室効果ガスの排出が温暖化現象を引き起こしている可能性が非常に高いと結論付けている。このような気候変動現象に関する認識の深まりを受けて、その社会的被害の軽減に向けて、温室効果ガスの削減と温暖化への適応のための官民を挙げた取り組みが進み始めた。このような人類の英知を結集した果敢な対応の成功例としては、オゾン層破壊問題に対するモントリオール議定書体制がある。しかしながら、地球温暖化は、人口増加、使用エネルギーの増加、経済活動の進展と密接に結びついているために、その解決には、科学的なアプローチと同時に強い政治的イニシアチブを必要としており、解決への道は非常に複雑である。さらに、研究の推進と政策決定についても、気候変動現象の予測精度の向上、影響評価と適応策の策定、緩和策の策定を横断する総合的な検討に基づく必要がある。それぞれの課題の検討には膨大な努力が必要であり、このような横断的な協働作業はようやく始まったばかりである。G8 洞爺湖サミット（平成 20 年 7 月）でも全球的環境問題への抜本的対策が重要課題の一つとなった。

日本学術会議においても地球温暖化については、G8 サミット各国及び関係国の学術会議と共同で、平成 17 年 6 月に「気候変動に対する世界的対応に関する各国学術会議の共同声明」、平成 19 年 5 月に「成長と責務—持続可能性、エネルギー効率及び気候保全」、平成 20 年 6 月に「気候変化：適応策と低炭素社会への転換」の声明を発表して、21 世紀に人類が直面する課題の一つとして、学術の観点からの積極的な取り組みの必要性を訴えてきた（以下では、「G8+5 学術会議共同声明」という名称で言及する）。また、平成 19 年度のノーベル賞委員会は、「人間活動と地球温暖化の関連に関して科学的なデータの収集・分析により国際的な世論づくり」の努力を行ってきた IPCC と、「世界が気候変動の危機に直面していることに早い段階で気づき、政治活動、映画や著作を通じてのこの問題の解決のための取組み」を行ってきたアル・ゴア氏にノーベル平和賞を授与した。これらの受賞は地球温暖化問題に対する国際的な理解を促進するものではあるが、問題の解決に必要な気候安定化レベルの目標設定や京都議定書以後の国際枠組みの構築など、いまだ多くの課題が山積している。

このような背景の下に、人類が直面している諸問題のうち、特に地球温暖化とそれにかかわる問題を学術界のイニシアチブにより重点的に検討するために、平成 19 年に日本学術会議に「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」を、引き続き平成 20 年には「地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会」を設置し検討を重ねてきた。本問題の困難な点は、上にも述べたように、将来引き起こされる環境変化とその影響が人類の行動自体に依存している点であり、その意味で研究者自身も、無限に多くの可能性の中から、被害と適応・緩和に関わるコスト評価や合意の得られた価値判断も考慮しな

がら、実行可能な解を絞り込む困難な作業を行わなければならない。そのために本委員会では、気候変動、影響評価と適応策及び緩和策の研究に関わる専門家が同じテーブルに付き、分野横断的な議論を行った。本報告書は、このような幅広い研究者による検討と議論の結果として、IPCC などから得られた知見を精査し、明らかな点と不確実な点を整理するとともに、意思決定に重要な意味を持ち学術的に蓋然性の高い科学的知見を示す。また、IPCC では適応策や緩和策に対する政治的判断は行わないとの方針で報告書が作られているが、本報告書では施策について、我が国の気候変化や必要な施策を日本独自の観点で検討した。なお、議論の根拠となった資料を参考資料3から5によって示す。本報告書で示された知見と結論は、G8+5 学術会議共同声明に沿うものであるが、このようなサミット参加国政府に呼びかける提言と同時に、我が国の政治リーダー、政策決定者、学术界及び広く社会に対し、科学的知見とその限界を示し、我が国の立場を考慮した施策の選択肢を提示することが学术界の重要な役割であると本委員会は考える。

2 気候変化に関する科学的知見と課題

(参考資料3を参照)

人為活動に起因して地球環境が悪化しており、その抑止は人類全体の喫緊の課題となっている。とりわけ、化石燃料の燃焼等に基づく大気中温室効果ガスの増加は顕著であり、それによる地球の温暖化が既に始まっている可能性が非常に高い。地球温暖化の影響は今後ますます顕在化し、単に気温の上昇にとどまらず、海水位上昇、洪水、干ばつや異常気象の増加等、我々の社会基盤を脅かす悪影響を及ぼすと考えられる。

(1) 定説化している科学的知見

人間活動に起因する地球温暖化問題については、1990年以降5～6年ごとに科学的な研究成果に基づいたレビューがIPCCによって行われ、これまでに第1～4次の評価報告書が発表された。これらの報告書は数千人の専門家による査読を経たもので、最新の科学的知見の集約として、本委員会もその価値をきわめて重要であると尊重している。

2007年に発表された最新の第4次評価報告書においては、種々の不確実性が検討された上で、人間活動による地球温暖化は既に起こっており、今後本格化することが実質上断定されている。熱波や豪雨といった極端現象の変化については、自然変動の影響が大きいいため断定が難しい部分があるが、過去に変化が起こっているかどうか、それが人為的な温暖化によると考えられるか、および将来さらに変化が進むかどうかが、確からしさの情報を付与して示されている(表2-1)。

表2-1. 極端な気象現象のうち20世紀後半の観測から変化傾向が見られたものの最近の傾向、その傾向に対する人間活動の影響評価、及び予測

(IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約の気象庁による日本語訳より)

現象及び傾向	20世紀後半(主に1960年以降)に起こった可能性	観測された傾向に対する人間活動の寄与の可能性	SRES シナリオを用いた21世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性
ほとんどの陸域で寒い日や夜の減少と昇温	可能性がかなり高い	可能性が高い	ほぼ確実
ほとんどの陸域で暑い日や夜の頻度の増加と昇温	可能性がかなり高い	可能性が高い(夜)	ほぼ確実
ほとんどの陸域で継続的な高温/熱波の頻度の増加	可能性が高い	どちらかといえば	可能性がかなり高い
ほとんどの地域で大雨の頻度(もしくは総降水量に占める大雨による降水量の割合)の増加	可能性が高い	どちらかといえば	可能性がかなり高い
干ばつの影響を受ける地域の増加	多くの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の活動度の増加	いくつかの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
高潮の発生の増加(津波を含まない)	可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い

全球平均気温の変化予測のうち 2030 年頃までの近未来については、社会経済構造の将来の変化や気候システムに対する科学的知識の不足に起因する予測誤差は小さく、地球平均気温で 0.2℃/10 年程度の温暖化は避けられないと結論している。これは、温室効果ガスの大気滞留時間が長いこと、海洋の大きな熱容量により温暖化に時間的遅れがあることなどの理由による。このような避けられない温暖化による悪影響を最小化するため、適応策を策定、実行する必要がある。

温暖化を止めるためには、温室効果ガス濃度の上昇を止める、いわゆる「安定化」を達成する緩和策が必要である。濃度安定化の条件は、人為的な温室効果ガス排出量が自然による吸収量を超えないことである。最も主要な温室効果ガスである二酸化炭素について考えると、人類の化石燃料燃焼による二酸化炭素排出量は、現状で海洋および陸域生態系による自然の吸収量の二倍を超えるため、二酸化炭素濃度の安定化を達成するには、人為起源の排出量を将来のある時点で少なくとも現状から半減させる必要がある。ただし、大気中濃度増加の減速と気温上昇により、将来は自然の吸収量が現状よりも減少すると考えられるため、人為起源の排出量は半減よりもさらに減少させる必要がある。また、安定化の達成時期が遅ればそれだけ大きな温度上昇を許すことになる。さらに、人為起源の二酸化炭素の放射強制力¹は、他の人為起源長寿命温室効果ガスの効果を加えた全放射強制力の 64%程度であり、他のガスの削減も重要であることも知っておかなければならない。

日本については、過去 100 年間で 1.1℃の気温上昇が気象庁により報告されている。これに伴い異常高温の出現数は有意に増加しており、異常低温の出現数は有意に減少している（図 2-1）。一般に地域規模の将来予測は不確実性が大きいですが、日本については平均気温は全球平均と同程度に上昇すると考えられ、それに伴う異常高温の増加や異常低温の減少もさらに進むことが予測される。

¹ 放射強制力:ある気候変化要因を大気中に加えたとき、それが対流圏界面で作りに出す放射エネルギー収支の変化分をいう。この変化分が気候変化を引き起こすために、気候変化の駆動力の目安として使用されている。

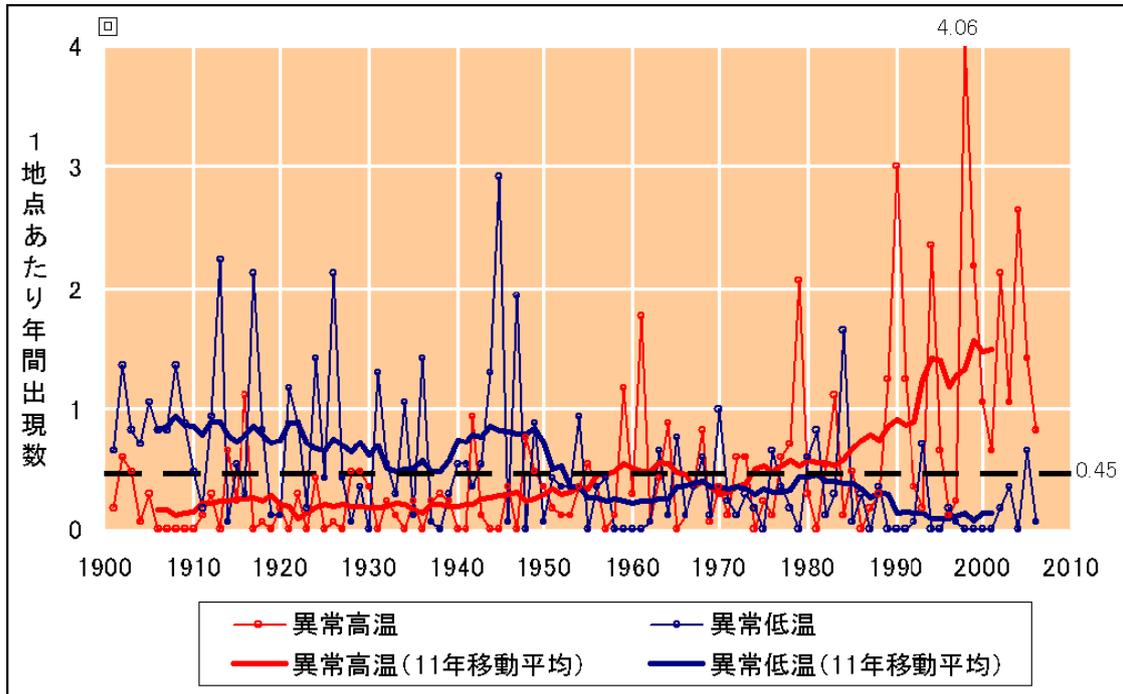


図2-1. 月平均気温の高いほうから1~4位（異常高温）と低いほうから1~4位（異常低温）の年間出現数の経年変化
 （気象庁 気候変動監視レポート2006 図1.2-5より）

(2) 不確実性

温暖化に対する適応策や緩和策の策定には、将来の気候変化の定量的な予測が必要である。このような予測は気候システムのコンピュータモデルを用いた計算によって与えられるが、その際に、将来の社会経済構造の変化については客観的な予測が困難であるため、あり得る将来の社会像を幅広くカバーするいくつかのシナリオを前提として用いる。「人間による温暖化は既に起こっておりこれからますます顕在化する」という IPCC 第4次評価報告書の結論を導くにあたって、最新のコンピュータによる将来予測および20世紀気候の再現実験の結果は、地球上の様々な観測データとともに主要な役割を果たした。しかし、温暖化に伴って生じる気候に関わる各種過程の変化には科学的に未解明の部分も多く、このことが、予測誤差が小さい2030年頃までの近未来に比して、2030年以降の平均気温上昇量の予測や、降雨量変化や地域気候などの詳細な気候予測に無視できぬ定量的、定性的な不確実性をもたらしている。したがって、国際的な適応策及び緩和策の策定には、予測の不確実性を低減する科学的努力が不可欠である。

気候システムに関する予測の不確実性については、特に以下の点が重要である。

- ・ 気候変化に応答して炭素循環が変化し、自然の二酸化炭素吸収量が将来減少すると考えられるが、その減少量の予測に不確実性がある。この不確実性により、与えられた二酸化炭素排出シナリオに対する 2030 年以降の二酸化炭素濃度変化の予測誤差が大きい。
- ・ 雲、エアロゾル、海洋熱吸収等に関する過程の理解や過去のデータに不確実性があるため、モデルや観測から推定される「気候感度」(温室効果ガス増加に対する地球の気温の上がりやすさ)の大きさに不確実性がある。この不確実性により、与えられた温室効果ガス濃度シナリオに対する気温変化の予測誤差が大きい(図 2-2)。

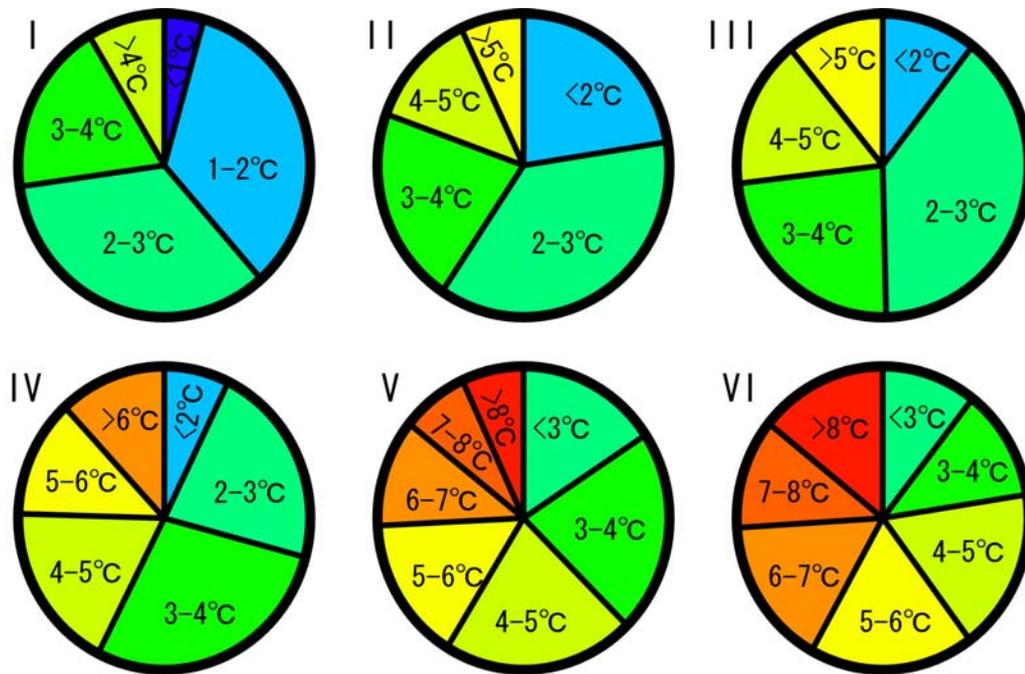


図 2-2. IPCC AR4 で議論された 6 つの気候安定化カテゴリに対応する産業革命前からの平衡気温上昇量の確率分布を表す「ルーレット」の例

カテゴリ I ~ VI は、それぞれ 445 ~ 490, 490 ~ 535, 535 ~ 590, 590 ~ 710, 710 ~ 855, 855 ~ 1130 ppmCO₂-eq 安定化に対応する。気候感度 3°C が最尤、2°C ~ 4.5°C が 66% の確率になるような確率分布関数の例を作成し、それに基づいて作図したもの。

- ・ 氷床流動、氷河融解過程等に未解明な部分があるため、南極大陸とグリーンランド大陸における将来の氷床質量収支の予測に不確実性がある。この不確実性により、与えられた気温変化シナリオに対する海面上昇量の予測誤差が大きい。
- ・ 熱帯低気圧の発生頻度、強度、経路の予測や降水量の強度、頻度変化の地理分布の予測など、特に降水に関する極端現象の予測誤差が大きい。

- ・ 2030年頃までの近未来予測においては、社会経済シナリオや気候過程の不確実性は比較的小さく（参考資料3図5）、気候の自然変動がもたらす予測誤差が相対的に重要となる。

さらに、予測計算の前提となるシナリオにも不確実性がある。将来の社会経済シナリオに当然ながら大きな不確実性があるほか、将来の大規模火山の噴火や太陽活動の変動といった自然起源の変動要因も不確実である。これらの要因については、予測モデルを作ることが困難なので、モニタリングによる迅速な対応システムの確立が必要である。

また、気候システムに関する不確実性のうち、各種フィードバックが予測の範囲を超えた場合や未知のプロセスが働いた場合、「サプライズ」（想定外の事態）が起こる可能性もある。現在想像できる範囲では、凍土のメタン放出等による温暖化の加速、南極氷床の流出や氷河融解の加速による想定以上の海面上昇、海洋の熱塩循環²の停止による北大西洋の寒冷化などが考えられる。逆に、未知のプロセスなどによって気温変化が予測された上昇の下限を下回る可能性も同様に否定できない。これら未知のプロセスの科学的解明は急務である。同時に、サプライズが生じたり不確実性の範囲のうち高めの気温上昇が実現した場合にも手遅れにならないためには、発生確率を勘案の上、適切な予防的取り組みを講じる必要がある。

なお、以上で述べた不確実性はどれも IPCC の結論と矛盾するものではないが、過去の気候変動の原因ならびに将来の予測について、IPCC の結論と全く相容れない説も一部に存在する。代表的なものに、近年の気温上昇の主因は太陽活動の変動であり、将来の気温変化も温室効果ガス濃度とは無関係に太陽活動でほぼ決まるとする主張がある。このような主張では銀河宇宙線の効果など未解明のプロセスが介在するとしており、主張の真偽を明らかにするためには、それらのプロセスの科学的解明が必要である。ただし、20世紀の気温変化の原因は不確実性を伴いながらも既知のプロセスにより定量的に説明できていることなどを考えると、それらのプロセスの解明により IPCC の結論が大きく覆されることは考えにくい。また、二酸化炭素の増加が原因で気温が上昇するのではなく、気温上昇が原因で二酸化炭素が増加しているとする主張もあるが、挙げられている多くの事例は気温上昇に伴う副次的な二酸化炭素の放出であり、現在の温暖化モデルでは既に考慮されている。確かに、気温上昇により大気中の二酸化炭素濃度が増加する機構は存在するが、近年の二酸化炭素濃度上昇の主要部分が人為的なものであることは、排出量と大気蓄積量の評価から明らかである。しかしながら、地球システムは複雑であり、現在のモデルには勘案されていない予期せぬメカニズムが存在する可能性もあるので、気候システムのより正確なモニタリングによって、モデル予測のトレンドを常に監視する必要がある。

² 熱塩循環：海洋の中深層で起こる地球規模の循環で、海水の温度、塩分濃度によって決まる密度の相違で生じる。

3 影響と適応策

(参考資料 4 を参照)

温暖化は、人類の生存基盤である生態系の大規模な変化を引き起こし、社会システムに複雑で厳しい影響をもたらす。影響研究の進展によって、気候変動が人類社会の持続性に対して大きなリスクになることが認識されるようになった。

(1) 既に現れている影響

過去 100 年間に地球の年平均気温は 0.74°C 上昇し、温暖化・気候変動の影響が世界各地で顕在化している。日本においても、20 世紀の 100 年間で年平均気温が 1.1°C 上昇し、東京、大阪などの大都市域では、ヒートアイランド現象の影響も加わって $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ の気温上昇が観測されている。IPCC 第 4 次評価報告書は、すべての大陸とほとんどの海洋において雪氷圏や生態系、さらに沿岸域などの社会経済システムに影響が現れていると判定した。さらに、21 世紀に入って熱波、干ばつ、豪雨・洪水、高潮などの極端な気象現象（異常気象）が多発し、世界各地で被害が増加している。

図 3-1 はそのような自然災害の増加を被害額で示している。この増加には、社会経済的な要因も寄与しているものと考えられる。しかし、適応策の優先

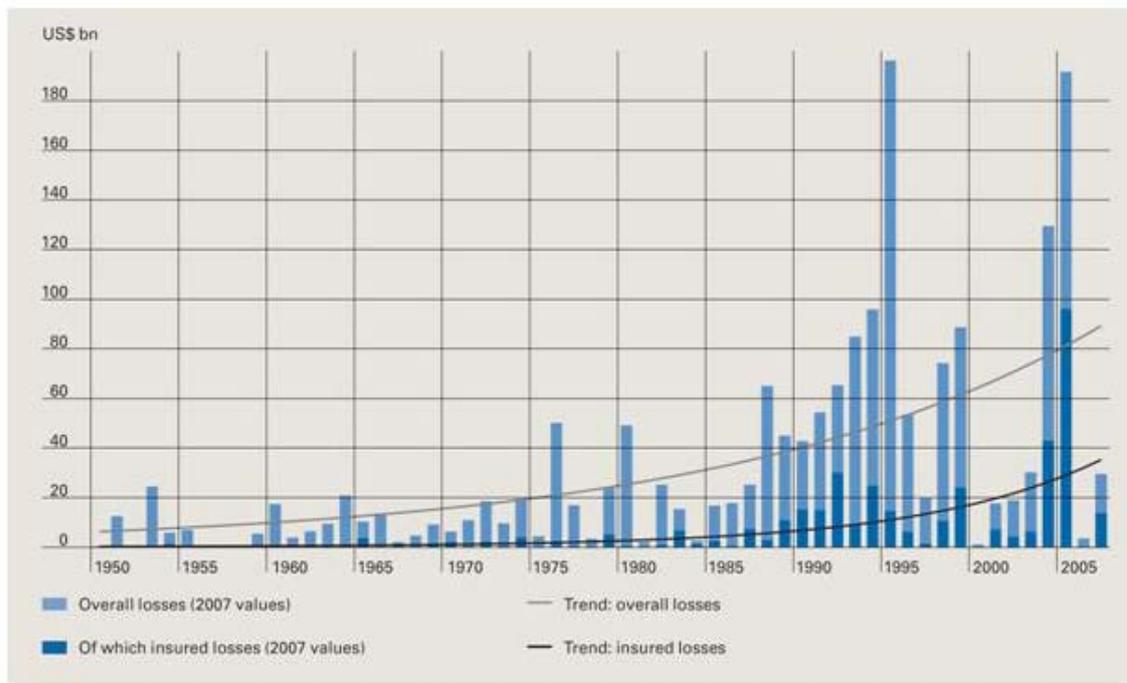


図 3-1. 自然大災害：総損失額及び保険でカバーされた損失額

棒グラフは 2007 年の価値に換算された額を示す。推移を示す曲線で 1950 年からの増加が確認できる (Munich Re 2007)。Overall losses (2007 values)：全損失額 (2007 年の価値に換算)、Of which insured losses (2007 values)：そのうち保険でカバーされた損失額 (2007 年の価値に換算)、Trend: overall losses：傾向線 (全損失額)、Trend: insured losses：傾向線 (保険でカバーされた損失額)

順位は、その地域の気候変動の程度ではなく、その影響の大きさによって決まることを考えれば、社会的要因による影響も含んだ総合的な指標の持つ意味も大きい。とはいえ、このような人間社会に対する影響の同定は、特に統計の貧弱な発展途上国で非常に困難である。その困難を克服した一例として、世界保健機関（World Health Organization: WHO）が、温暖化によって2000年の死亡が15万人増加（1961-1990年比）したと見積もっている報告を挙げる事ができる。

(2) 影響の将来予測と適応策

21世紀中には、温暖化・気候変動の進展によって一層大きな影響が現れると予想されている。影響は、陸上と海洋の生態系、水循環・水資源、農業・食料生産、沿岸域の社会経済システム、健康といった広い範囲に及ぶ。世界的には適応力の低い途上国への影響が大きく、また、北極圏、アフリカのサブサハラ地域、小島嶼、アジアのメガデルタ（巨大三角州）などがとりわけ脆弱である。さらに、世界平均気温の上昇が小さい範囲では経済的に好影響と悪影響が混在するが、1990年レベルから2～3℃を越えると、適応策を採らない場合、すべての地域で負の影響が現れる可能性が高い。例えば IPCC 第4次報告書では、沿岸域湿地の30%以上が消失すると予測されている。また、我が国で年平均気温が1990年レベルから2.6℃上昇すればコメの収量がマイナスに転じると予測されている。これを含め、我が国において既に起きている影響と将来起きると考えられる影響を表3-1にまとめる。

表 3-1. 温暖化の日本への影響（現状と予測）（IPCC, 2007b ほかから作成）

	現状	予測
雪氷	<ul style="list-style-type: none"> ・流水の減少 ・降雪量の減少（都市部） ・富士山の永久凍土の融解 	<ul style="list-style-type: none"> ・豪雪地域の減少 ・積雪減少による水資源、生態系、人間活動への影響
生態系	<ul style="list-style-type: none"> ・桜の開花、紅葉日の変化 ・昆虫（蝶、セミ）や害虫の北上 	<ul style="list-style-type: none"> ・3℃気温上昇するとブナ林が約90%減少 ・魚類やクラゲの北上 ・暖水性魚類の北上
農業	<ul style="list-style-type: none"> ・一部の地域で高温障害による米収量減少、食味の変化 ・果樹への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ・北日本で米収量が30%、南日本では15～30%減少 ・みかんやリンゴの産地が北に移動
水環境	<ul style="list-style-type: none"> ・琵琶湖の水質悪化 	<ul style="list-style-type: none"> ・水温上昇などによる湖沼や河川の水質悪化 ・霞ヶ浦では1℃水温が上昇するとCOD1ppm増加
海面上昇		<ul style="list-style-type: none"> ・1m海面上昇すると砂浜が90%減少 ・台風の強度が6%増加すると被害額は現在の2倍に増大する
市民生活・産業		<ul style="list-style-type: none"> ・3℃気温上昇すると全国のスキー場の客が平均30%減少 ・降水パターン・量が変化すると水量発電量、ダム施設の管理、運用、冷却水の確保に影響する ・冷却水温が1℃上昇すると、火力で0.2～0.4%、原子力で1～2%、発電出力が低下する
人の健康	<ul style="list-style-type: none"> ・都市部における熱中症患者や死者などの被害発生 ・ヒトスジシマカ（デング熱媒介蚊）の北上 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常熱波による熱中症患者の増加 ・花粉アレルギー患者の増加

表 3-1 に見られるような気候変動に伴う果樹やイネ品種などの栽培適地の緯度や高度に沿った移動に対処するには、地域農業の大幅な再編が必要となる。農業者の高齢化や農業地域における過疎化が進んでいる現状では、このことは離農をいっそう加速し、自給率の低さという問題を抱えている日本の食料の安全保障にさらに負の要因を課す可能性が大きい。影響から見た温暖化の危険な水準は、影響を受ける対象によって異なる。自然生態系は、1～2.5℃の気温（水温）上昇で大規模な生物種の絶滅やサンゴ礁の白化の危険にさらされるなど、温暖化に対して極めて敏感である。人間社会では、社会基盤が未整備で適応力の低い熱帯・亜熱帯、乾燥地域の途上国が脆弱であり、気候変動の低い段階から大きな被害を受ける。一方、我が国でも、従来水準を超える猛暑や集中豪雨、台風に見舞われた場合、現在の気候条件を前提にした防災施設や安全網が破綻し、多くの分野で影響が顕在化すると予想される。影響の程度は分野ごとに異なるが、とくに、幼児や高齢者、病気療養中の人たちへの影響が大きいと懸念される。

さらに長期的に見ると、必ず回避しなければならない影響がある。例えば、安定化後の気温が高ければ、グリーンランド氷床の融解が数世紀にわたって継続し、数メートルもの海面上昇を引き起こす。こうした大規模な海面上昇や海洋の熱塩循環の変化、急激なメタンの放出を引き起こす永久凍土の融解などの現象は、地球全体に破局的な影響をもたらす。そのため、これらに関する不確実性を減らす観測・研究の強化とともに、長期的リスクに対して予防的な立場で温暖化対策を検討すべきである。

今後数十年は温暖化の進行が避けられないことから、対応としては、悪影響に備えるための適応策が不可欠である。特に途上国では、社会の適応力の向上を含む適応策が不可欠である。温暖化の影響は、途上国における貧困の克服や持続可能な開発を阻害する要因となり、さらに、水や食料の不足、難民の発生等による社会の不安定化によって国際的な安全保障上の問題となる可能性もある。気候変動への適応力には、人的資源や資金、技術力、情報アクセス能力、科学的知識レベル、社会制度・基盤施設などが含まれるが、その総合力によって、一国あるいは地域の適応力が決まる。このため、適応力の向上は容易な事業ではなく、適応策の立案・実施には、途上国自身の努力とともに国際的支援が必要とされる。社会基盤整備として成功した適応策の一つが、バングラデシュにおけるサイクロンシェルターの建設である。2007年のサイクロン「シドル」による死者は、なお多数とはいえ4,300人足らずにとどまった。それよりも小さな規模のサイクロンでも1970年には30万人の死者を出した歴史を見ると、その効果は歴然としている。

一方、米国におけるハリケーン「カトリーナ」の被害などを見れば、先進国においても適応策は必要である。先進国においては、蓄積された社会資産や、高度に集約化・高効率化された社会システム、社会基盤に脆弱性があり、気候予測シナリオに基づいた周到かつ早急な適応策の策定が必要である。

このような対応策は「後悔のない戦略」と呼ばれ、温暖化の不確実性を考慮しても、なお有用である。しかし、適応策のみでは温暖化のすべての悪影

響を抑え込むことはできない。温暖化の悪影響を一定レベル以下に抑えるためには、温室効果ガスの排出を削減する緩和策との適切な組み合わせが必要である。

(3) 不確実性

温暖化・気候変動の影響について多くのことが明らかになり始めたが、現象が複雑なために、生態系や社会への影響に関しては、気候変化の影響と同等するためには、いまだに不確実性が大きい。影響の全体像を把握し、最適な対応策を検討する上で、以下のような不確実性と問題点がある。

- ・ 豪雨や渇水、台風の変化といった異常気象現象に起因する影響予測が不確実である。
- ・ 人口、経済活動、土地利用など社会経済的な変化の予測が難しいため、社会への影響予測が不確実である。
- ・ 影響・脆弱性には地域による相違が大きいため、国・地域レベルで評価を行う必要があるが、詳細な気候予測やデータが不足している。
- ・ 種の構成や優占種が急激かつ不連続に変化する生態系レジームシフト³、西南極氷床及びグリーンランド氷床の融解、海洋の熱塩循環の変化、永久凍土の融解など、大規模現象を予測するための情報及び方法の開発が不足している。
- ・ 後世に負担を残さない柔軟な適応策立案の方法論や各国の適応能力を評価する方法が未開発である。また影響と適応策の経済評価も不十分である。

(4) 課題

温暖化の影響は既に現れつつあるが、それは今後出現する一層深刻な影響の端緒に過ぎない。したがって、将来のリスクにどう対処するかが最大の課題である。気候変動リスクの対処には、高精度の気候モデルによって信頼性の高い将来予測を示し、その条件下で生じる影響を総合的に予測することが必要である。こうして描かれた将来リスク像に対して、適応策と緩和策のメニューを示し、その効果を評価出来るようにしなければならない。このように、気候変動リスクへの予防的対策の基礎となる情報を提供することが、科学者コミュニティの役割である。これらの課題の中で特に、生態系サービス⁴と社会の適応可能性への影響が挙げられる。

温暖化への中長期的な懸念の一つとして、人類の生存基盤である生態系に対しての、種の構成や存在量に変化するレジームシフトなどの不可逆で大規模な変化が考えられる。環境変化に対する生物の応答に関する生態・進化の

³ 生態系レジームシフト：生態系の構造がある安定した状態から他の安定した状態に急激に変化することを表す（Schefferら, 2003）。

⁴ 生態系サービス：生態系がその機能を通じて人間社会に提供するサービスを幅広く指す。「人々が生態系から得る利益」は、財および狭義のサービスのすべてを含む。

知見をもとに予想すると、温暖化を含む現在の急激な環境変化に対する生物種の応答は、グループごとに大きく異なる。世代時間が短く、人間活動にすでに適応して現状の個体数が多い害虫、雑草、微生物などは、今後予想される急速な環境変化にも適応進化してその勢いを増すと予測される。これに対して、哺乳類などの世代時間が長い生物や、個体密度がすでに低下し遺伝的変異を失っている絶滅危惧種などは、適応進化は望めず、不適な環境のもとで絶滅リスクをいっそう高めることになる。このような生物グループの応答の違いのために、今後予測される生物の絶滅率の大幅な上昇は、その数字以上に大きな影響を生態系に与え、その結果、多様な生態系サービスの持続可能な利用を難しくするものと予想される。既に、ここ 50 年間の人間活動を通じた富栄養化や土地利用の変化、侵略的外来種の問題によって、多様な生態系サービスの持続的な提供が危ぶまれている。生物多様性に視点をおいた適応策を計画・実施していくことが必要である。その際、温暖化を含む多様な要因の複合影響が、単なる相加効果ではなく、多少とも相乗的な性格をもつことに注目しなければならない。温暖化とこれらの問題の相互作用を考慮した総合的な対策を進めることが必要である。

またこの場合、輻輳して絶滅リスクを高める要因のうち、地域で対処・操作ができる要因を除去・低減させる方策が「適応策」として最も有効と思われる。すなわち、保護区など、生物多様性の保全・再生を目的として管理する土地の拡張、生態系ネットワーク（生態系の連結性）の保全・回復、外来生物の影響排除などを、温暖化の直接的効果にも配慮しながら計画・実施することが必要であろう。

一方、人間社会の脆弱性も気候変動だけでなく将来の発展経路に強く依存する。穀物をバイオ燃料とすることは緩和策とも考えられるものの、途上国における食料価格の暴騰と食料不足を引き起こしたことは記憶に新しい。そのため、社会的影響の面でも、温暖化と高齢化・人口問題、経済のグローバル化、エネルギー・資源問題、食料安全保障、他の環境問題などとの複合的な影響予測が必要である。

生態系や社会の適応可能性は気候変動の大きさだけでなく変化のスピードにも大きく左右されるなど、すべての影響が予測可能ではない以上、適応策の計画では、影響の出現状況や予測の精度向上に合わせて、計画自体を柔軟に変更できるようにすることが必要である（順応的適応策）。その基礎として、影響に関する観測・モニタリングシステムや影響・脆弱性の評価、適応策の妥当性の評価方法に関する研究を早急に立ち上げる必要がある。また、適応策の立案・実施にあたっては、他の問題との関係への十分な配慮がなされるべきである。温暖化の影響は分野や地域ごとに異なることから、危険な水準の判定は、誰がどのように判断するのかといった価値判断に関係する。そのため、影響予測の結果が行政や企業、民間団体、市民などに十分に理解され、政策や行動の選択に寄与するように、双方向のコミュニケーションを強めることが必要である。

さらに、気候変動およびその影響と適応に関する研究には国際協力が欠かせない。特に、温暖化の影響に脆弱な途上国では、自助努力を前提とした適応技術の移転、適応策立案、気候リスクと適応策に関する社会的認識の向上プログラムなどの国際的援助によって、社会の気候変動対応能力の向上を図る必要がある。そのためにも、各国の研究者が自ら、自国の影響予測を行い、脆弱性を把握できるように、影響予測、適応策研究の国際ネットワークを構築・強化し、国際的な連携・協力を進めるべきである。健康分野では、WHOの主導のもと、東アジア・東南アジア諸国における調査ネットワーク構築のための会議がすでに始まっている。

異常気象現象を含む予測の不確実性をできるだけ小さくするためには、気候予測、影響予測、対応策の各研究グループの連携を密にすることが必要である。また、気候変動の影響は、地域の地理的、社会的、文化的条件によってその様相が大きく異なるため、国や地域レベルの詳細な影響予測を進め、地域に適した適応策を立案することが必要である。

4 緩和策

(参考資料5を参照)

(1) 緩和策の要件

地球温暖化問題においては、将来世代の地球環境を今の世代が変えうるといふ時空を超えた公共性の問題、さらには現世代内においてその費用を誰が負担するのかという国際政治問題などが複雑に絡み合っている。気候安定化に向けて今後大幅な排出削減を実現するためには、低炭素社会の構築に向けて、今から効果的な対策を拡大していく必要がある。そこでは、革新的な技術開発と共に、既存技術の普及を促進する制度の構築が不可欠である。さらには、森林・湿地の保全および再生、一般消費者のライフスタイルの変革やそれらをサポートする社会制度のデザインが求められる。

それではどのような目標を設定すればよいのだろうか。望ましい気候安定化レベルは科学だけで決めることはできず、規範的な判断も伴わざるを得ない。また、たとえ目標レベルを決めることができたとしても、そこに至る温室効果ガスの排出経路には多くの可能性がある。さらにその一つを選ぶとしても、それを実現するための国際枠組みや経済手法にもまた様々な可能性がある。

本章では、まず、気候安定化シナリオの知見を整理した上で、現在国際的に合意が図られつつある2050年目標の位置づけを行い、短中期的な取組みと長期的な取組みに分けて、今後の温暖化緩和策を整理する。IPCC報告でも指摘されているように、地球温暖化対策が持つべき要件は、世界の温室効果ガス排出量を削減できる環境保全性、対策が効率的になされる費用効果性、対策の負担の衡平性、及び現実に対策が実施できる制度的実現性の四つである。また、地球温暖化対策は、数十年以上にわたる時間を要するために、世代間の負担配分についても配慮する必要がある。

(2) 気候安定化シナリオ

気候安定化シナリオは、地球温暖化の影響とともに温暖化対策がもたらす持続可能な経済開発への影響も考慮して構築されなければならない。これまでに提出された気候安定化シナリオのほとんどはIPCC第4次評価報告書に整理されている。IPCC報告の整理では、445ppmから1130ppmまでの温室効果ガスの安定化レベルを六段階に分類し、産業革命以降の気温上昇が最良推定でそれぞれ、2℃から6.1℃の幅で安定化するシナリオを、六つのカテゴリとして定義している(表4-1参照)。

この中で2℃から2.8℃での安定化を示す二つのカテゴリⅠ、Ⅱでは、2050年の温室効果ガス排出量は2000年比で-85%から-30%となっており、これは概ね産業革命前比2℃を最終目標として提示したEU提案(欧州理事会決議、平成8年)および、我が国が提案した「クールアース50構想」(内閣総理大臣演説、平成19年)など、G8サミットで議論してきた「2050年に世界総排出量を現行より半減」とほぼ整合する。このグループの安定化シナリオでは、

表 4-1 IPCC カテゴリ毎の整理 (IPCC AR4 WG3 Tb. SPM5)

カテゴリー	放射強制力 (W/m ²)	CO ₂ 濃度 (ppm)	等価 CO ₂ 濃度 (ppm CO ₂ eq.)	産業革命以降の気温上昇幅 (°C)	CO ₂ 総排出量ピーク年	2050 年の CO ₂ 削減率 (2000 年比%)
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85~-50
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60~-30
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30~+5
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10~+60
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25~+85
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90~+140

ほぼ現在の排出量を上限として世界の温室効果ガスを2020年頃から大幅に削減すると想定している。発展途上国の温室効果ガス排出が既に世界の50%を超えていること及び今後の人口増を考慮すると、このシナリオの実現のためには、たとえ先進国の排出量をゼロにした場合でも、途上国の一人当たり排出量を現在の水準から減少させる必要がある。つまり、このシナリオの実現には、大きな費用と世界各国の全面的な協力が必要である。一方、このシナリオの実現に向けた政策は環境負荷の低減の観点からは望ましく、また低環境負荷型の持続的社會と経済システムを作り出すための大きな駆動力になり得る。

IPCC 評価報告書に集められた安定化シナリオの中間の二つのカテゴリⅢ、Ⅳは、気温上昇幅2.8°Cから4°Cでの安定化に対応し、この場合には2050年の世界の排出量は2000年比-30%から+60%になっている。この中で、発展途上国の排出量は増大が見込まれるので、この二つのカテゴリにおいても先進国の排出量は現状から大幅な削減が想定されている。なお、4°C以上の気温上昇で安定化する最後の二つのカテゴリⅤ、Ⅵについては、不可逆な温暖化影響をもたらす恐れも高まり、予防的取り組みの考え方から見て、対策検討の目標としては適切でないと考えられる。

気候安定化シナリオに対応する大気中温室効果ガス濃度は、濃度と気温上昇の関係に科学的不確実性があり、緩和策の実行においてもこの不確実性を考慮した対応が必要である。IPCC 評価報告書の最良推定によれば、2°Cの場合にはほぼ現在の濃度と同じ、4°Cの場合にはCO₂濃度で570ppm、その他温室効果ガスを考慮した場合で710ppm (CO₂ 等価) であるが、それぞれ不確実性がある。科学的な不確実性を考慮したうえで、これらの水準での濃度安定化を目指すとするれば、すべての温室効果ガスの削減を対象とすることで緩和策の選択枝を増やして不確実性に対処するとともに、一定限度の温暖化影響に対する適応策を組み合わせ、更にそれに要するコストを総合勘案して対応することが重要である。

このような対策の構築のためには、時間変化も重要な要素になる。近年の研究においては、一時的に目標濃度をオーバーシュート⁵する可能性を考慮した気候安定化シナリオに関するモデル研究も行われている。このようなシナリオは、オーバーシュートの後で軌道修正のために、より厳しい削減対策が求められるため、世代間の衡平性の点で問題があるが、以上のようなケースも含めて、シナリオごとの気候変動影響に関する研究、シナリオの具現化に向けた各種施策検討のための研究、施策を国際的に促進させるための国際制度研究など総合的な研究体制の構築が必要である。

(3) 短中期的な取組み（京都議定書第一約束期間後の国際枠組み）

京都議定書第一約束期間後の国際枠組みについては、気候変動枠組条約の下で2009年末の合意を目指した政府間協議が進んでおり、具体的な制度についての多様な提案が、例えば Bodansky (2004) 等で整理されている。前述したように、地球温暖化対策は、環境保全効果を持ち、効率的で、衡平性が担保され、制度的に実現可能なものでなければならない。環境保全効果の実現のためには、主要な排出国すべてが参加して十分な削減を実現することが必要であり、対策の効率性を確保するためには、適応策を含めて世界的に見て費用の低い対策が選ばれる仕組みが必要である。負担の衡平性の観点からは、「共通だが差異のある責任」の原則に基づき、一人当たり排出量などの指標によって結果の衡平性をチェックするとともに、負担配分の決定手続きにおける透明性を明確にする必要がある。また、制度的実現性のためには、省エネ技術移転や森林保全のように多様なメリットがあり合意しやすい対策を重視するとともに、ミレニアム開発目標など、高次の世界目標の中に温暖化対策を位置づけて、現実に機能する仕組みを追求する必要がある。

京都議定書では先進国に対して温室効果ガス排出の数値目標が設定された。しかし、京都議定書は米国等が批准せず、数値目標を受け入れた先進国の温室効果ガスの現在の排出量は合計しても世界全体の約3分の1であり、世界の排出量削減から見た効果は限定されたものになっている。このように、数値目標は各国に求められる政策目標が明瞭に示されるメリットがあるが、それぞれの国の立場が異なるため、世界の排出量の多くをカバーする合意には困難な交渉が予想される。

これに対し、国家の排出量を全体として扱うのではなく、部門毎に対策を検討するセクター別アプローチが提案され、バリ会議でも取り上げられた。セクター別アプローチには多様な使い方があるが、その中には、鉄鋼やセメントなど温室効果ガスを大量に発生する業界を対象として、主要排出部門ごとに排出総量や排出原単位、あるいは技術性能などの目標を設定して温室効果ガスの排出削減を図る方法もある。セクター別アプローチはその実施方法に柔軟性があり、温暖化対策への参加のハードルを低くする点で国別数値目標と両立する関係にある。排出削減の対象範囲の包括性という点でセクター

⁵ オーバーシュート：目指すべきとされる濃度での安定化が困難な時に、一時的にその目標濃度を超えた後で戻し、最終的には目標濃度での安定化を達成する方法。

別アプローチは国別数値目標に劣るが、世界の主要な排出部門を効率的にカバーできる長所がある。なお、国内の部門毎の削減目標を積み上げて国別数値目標を設定して、その実現性を高めるというアプローチもある。

炭素税や排出権取引は、経済メカニズムによって効率的に排出削減を実現できる制度として理論的研究・提案が数多く報告され、国ごとの炭素税や欧州連合排出権取引制度 (European Unions Emission Trading Scheme: EUETS) のように様々な実施例もある。このような経済的制度は、温室効果ガス排出に価格を付けることによって、市場を通じて政策目標を実現するという基本的役割を持つ。これらは効率性という点では優れているが、炭素税の場合は国境を越える共通炭素税の実現可能性、またキャップ・アンド・トレード型の排出権取引の場合は衡平な排出上限の割当など、克服すべき問題があり、世界全体をカバーするシステムとして稼働させるためには、先進国および大量排出国は国別目標を掲げ、同時にその実現可能性を高めるために、それ以外の世界の国々の参加も求めて、セクター別アプローチを導入するなどの方法も検討する必要がある。地球温暖化対策のように長期を扱う対策においては、世代間の衡平性や技術開発の推進など長期的な配慮を経済的的制度の中に組み込む手法を早急に検討するべきである。

(4) 低炭素社会の実現に向けて

温暖化問題は短中期的な緩和策のみでは解決せず、低炭素社会にむけた長期的な展望のもと、技術と社会の両面にわたるイノベーションが必要である。

IPCC が整理したカテゴリ I - IV の気候安定化シナリオを実現するとすれば、安定化すべき濃度目標に幅はあるものの、いずれの場合にも温室効果ガス排出量半減は通過点であり、最終的にはより大幅な排出削減の必要がある。このような長期目標の達成可能性を理解するためには、将来の世界人口と世界総生産 (Gross World Product: GWP) 及び温室効果ガス排出量のトレンドを見る必要がある。2050 年には世界人口は 2000 年比の 1.5 倍の 92 億人程度に、GWP は 2000 年比の 4 倍から 6 倍程度になると予想されている。このような人口と経済の長期動向を基礎にして、世界が特段の温暖化対策を採らずに現状の政策を続けた場合の温室効果ガス排出量が、削減政策を検討するときのベースラインになる、と国際エネルギー機関 (International Energy Agency: IEA) が 2008 年 6 月に公表した。2050 年までにエネルギー部門からの CO₂ 排出量を半減する技術シナリオの検討では、ベースライン (現在の対策を延長した場合) の CO₂ 排出量は 2050 年には 620 億トンと、2005 年の約 2.3 倍になると想定されている。このベースラインにおいても相当程度の低炭素化が盛り込まれているが、これを 2005 年水準の半分である 140 億トンにするということは、ベースラインからさらに約 80%削減することを意味する (図 4-1 参照)。

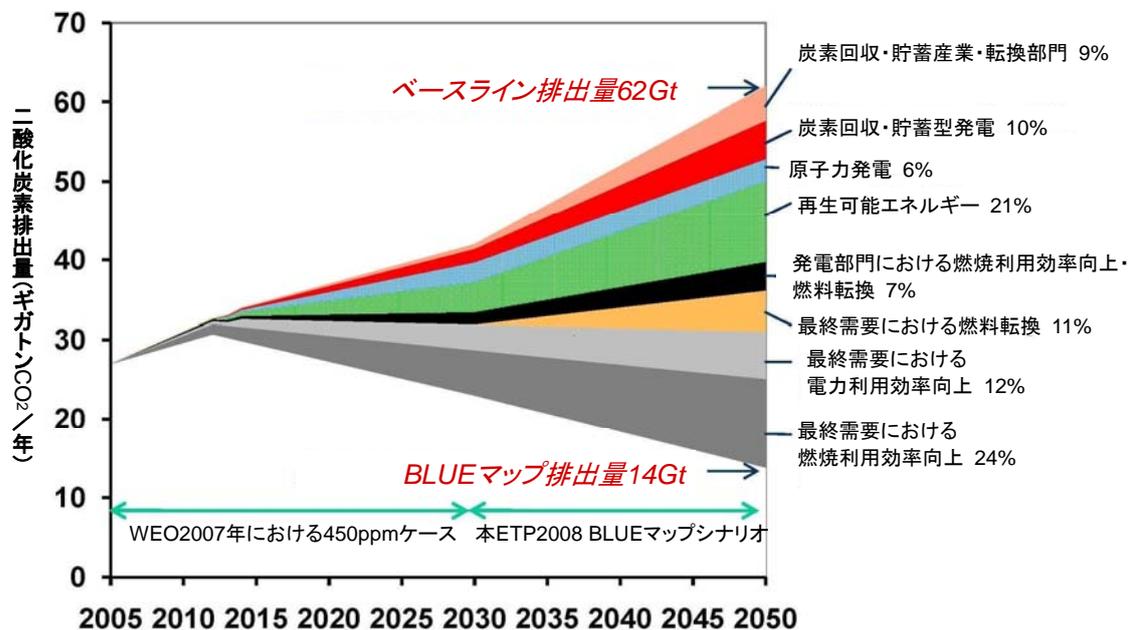


図 4-1 2050 年半減目標シナリオにおけるエネルギー関連 CO₂ の削減内訳
 (IEA(2008) Energy Technology Perspectives 2008)
 注 CCS: CO₂ 回収・貯留 (Carbon Capture and Storage)

このような大幅な削減を実現するためには、革新的な温室効果ガスの削減技術が不可欠である。低炭素社会実現に向けた技術課題は広範にわたるが、最も大きい温室効果ガス排出源であるエネルギー分野の CO₂ 対策が重要である。このエネルギー分野の CO₂ 排出削減技術は、大きく分類すれば、省エネルギー技術と低炭素エネルギー技術に分けられる。

省エネルギー技術は、エネルギー利用効率を高めて国内総生産 (Gross Domestic Product: GDP) や部門別の生産量などで表現される活動量当たりのエネルギー消費を減少させるもので、各種家電製品の効率向上や交通システムの効率化など、多種多様な技術的可能性がある。省エネルギー技術は地球温暖化対策だけでなく、他の環境影響の軽減や資源節約にも役立つため、優先して取上げるべき対策である。ただし、多くの省エネルギー技術は生活スタイルと密接に結びついており、経済的に合理的であっても現実に採用されていない場合も多い。また、省エネルギー技術は初期投資が大きい一方で、そのメリットは使用に伴って長期的に回収される場合が多いので、割引率が大きいと採用されない。技術開発とともに、省エネルギー技術の場合は特に、情報や資金の提供を工夫して普及促進を図る制度の拡大を進めなければならない。このような制度設計には省エネルギービジネスの振興策も含まなければならない。

一方、低炭素エネルギー技術とはエネルギー生産量当たりのCO₂排出量が少ないエネルギー変換技術のことである。これには、非化石エネルギーである原子力や各種再生可能エネルギーとともにCO₂回収・貯留（Carbon Capture and Storage: CCS）技術が含まれる。広く定義すれば、火力発電の効率向上や将来的には効率的な水素生産技術も含まれることになるが、これらは省エネルギー技術に分類されることが多い。非化石エネルギー利用の拡大は地球温暖化対策の基本であるが、原子力には社会的受容や核不拡散の問題があり、太陽光や風力には経済性や出力不安定性の問題がある。バイオマスの場合、大量に利用する場合には土地利用において食料生産と競合することも懸念されている。CCSについては、地球温暖化対策には役立つがエネルギー変換効率の低下を招くので、資源節約の点では問題がある。また、いずれの技術もライフサイクル評価によって正味の温室効果ガス削減量を確認する必要がある。

前述したIEAによる2050年までにエネルギー部門からのCO₂排出半減の検討では、620億トンから140億トンまでのCO₂削減は、省エネルギー技術と低炭素エネルギー技術がほぼ均等に負担して実現されている。部門別には発電分野の役割が顕著で、再生可能エネルギーと原子力およびCCSの大規模導入によって、発電部門からのCO₂排出がほぼゼロとなる技術シナリオを描いている。削減に伴うコストは、大まかに言えば、省エネルギーがもっとも安価であり、発電部門の低炭素化がそれに続き、自動車燃料の脱炭素化が最も高価と評価されている。このような個々の技術の優位性と問題点を考慮しながら、安定的なシステムを構築するためには、その適切な組み合わせと、導入を促す経済的なインセンティブを確保するための効力のある制度構築を行わなければならない。

IEAの検討のように、技術的には2050年にCO₂が半減するシナリオを描くことが可能である。しかし、現実のエネルギー技術の展開を歴史的に見ると楽観はできない。省エネルギーをGDP当たりのエネルギー消費として定義すると、CO₂排出の変化率は、経済成長率から省エネルギー率とエネルギーの脱炭素化率を差引いたものとして捉えることができる。この要因分解式（茅恒等式）を主要国の実績データに当てはめてみると、特殊な例外を除いて、省エネルギー率は経済成長率を下回っている（参考資料5-9参照）。つまり、省エネルギーに期待できるのは、楽観的に見ても経済成長の増分を相殺する程度であり、CO₂排出量を減らすためには、脱炭素率を大きくしなければならない。例えば50年間で半減するためには、年率1.4%のCO₂削減率が必要だが、世界の歴史的なトレンドとしての脱炭素化率は約0.3%であり、今後、脱炭素率の大幅な向上を実現しなければならない。

今後、長期にわたってこのような大幅な削減を実現するためには、技術開発・普及が必須な要素となる。しかし、上に見たように過去の省エネルギー率及び脱炭素化率の傾向を維持するだけでは全く不十分であるので、低炭素社会に至るためには、現状努力を維持するのではなく、今までの社会のあり方を根本的に変革する覚悟が必要である。その中では、社会インフラや都市構造などのあり方、人々の生活スタイルや価値観なども重要な要因となる。

特に、経済成長が必要な途上国において新技術を新しい社会システムに根付かせるためには、温暖化対策以外のメリットーコベネフィット⁶ーも期待できる技術の導入を早急に進める必要がある。また、森林保全や土壌保全といった炭素固定機能の維持あるいは回復も重要である。しかし、いずれの対応もその効果の実現には時間がかかるため、長期的な目標を見据えて現在から行動を開始することが重要である。その場合、現世代までの温室効果ガスの排出が将来世代の地球環境の変化を通じて将来世代の存在自体や特性をも変えてしまう点を明確に認識しなければならない。

つまり、温暖化問題においては、各時点に生存する世代がその先の幾世代ものありようを一方向的にコントロールするという立場にあり、したがって衡平性を基本的規範とする行動を選択する責任を負うのである。ひとは生まれた時点によって差別されるべきではないという世代間衡平性から導かれる概念は持続可能性である。「将来世代のニーズを満足させる可能性を損なうことなく、現世代のニーズを満足させる」という基本的要件を維持する資源配分を長期的に実現しなければならない。同様の観点から、様々な見解がある将来世代の厚生割引率についても、その倫理的根拠を明確にすることが必要である。このような規範に基づいて温暖化に対する諸対策を社会的に評価し、さらには税制をも含めた社会経済システム全般の変革に向けた長期戦略を検討すべきである。

⁶ コベネフィット：温室効果ガス排出削減を行う際に副次的に付帯する、エネルギー効率改善、大気汚染改善などの他分野での好ましい効果

5 結論と我々の取るべき行動の選択肢

この章では、これまでの議論を踏まえて、明らかになってきた科学的知見をまとめ、考えうる行動について考察する。

(1) 気候変化現象の理解

地球温暖化等、人間活動による環境問題に関して、高い確信をもって以下の点が主張できる。すなわち、人間活動による地球温暖化は既に起こっており、今後 2030 年頃まで、地球平均気温で $0.2^{\circ}\text{C}/10$ 年程度の温暖化は避けられない。温暖化の影響が世界各地で顕在化しており、極端な気象現象（異常気象）に増加の兆しがあり多くの犠牲者が出ている。その影響は生態系にもすでに現れており、さらに一部の社会経済システムにも影響が現れている。

もちろん、第 2 章で見たように気候予測には未だに大きな不確実性があるが、これらを考慮しても現在の知見は、温暖化が人為起源の温室効果ガスの排出に原因があることを示している。したがって、気候研究における我々の緊要の課題は、温暖化対策のアセスメントに必要な気候予測精度の向上を図ることである。まさに、温暖化研究は証明の時代からアセスメントの時代に入ったと言える。アセスメントには、地域気候や社会に大きな影響を与える極端現象の詳細なシミュレーションの改善が極めて重要であり、それらを地域ごとの影響評価に結びつけなければならない。現在の気候予測研究の最先端の動向を見ると、このような予測の改善は、気候モデルのさらなる精緻化と先端的な計算技術基盤の活用によって十分に可能であると考えられる。したがって、その努力と、さらに IPCC 等の地球温暖化に関わる評価活動への継続的な支援を行うことが肝要である。同時に予測改善を推進するためのもうひとつの車輪として、気候変化兆候の早期発見と、気候モデルから得られる結果の長期にわたる診断が必要である。このような温暖化現象の検証のためには、進行する気候と環境の変化を地上および宇宙から監視する持続的な地球観測システムの構築と、データ解析とモデリングの融合技術の進化が必要である。

(2) 持続可能な社会構築のための適応策

地球温暖化の影響を受けつつある生態系と我々の社会は、それ自身が非常に複雑なシステムである。そのため第 3 章で見たように、気候変動の影響は、地理的、社会的、文化的条件によって様相が大きく異なる。世界平均気温の上昇が 1990 年レベルから $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 未満である場合、影響が及ぼす便益とコストが地域・分野で混在する。しかし、気温の上昇が約 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 以上である場合には、適応策を採らないと、すべての地域が正味の便益の減少か正味のコスト増加のいずれかを被る可能性が非常に高い。 4°C 以上の気温上昇で安定化するシナリオは、不可逆な温暖化影響をもたらす恐れも高まり、予防的取り組みの考え方から見て対策検討の目標としては適切でないと考えられる。現在の気候予測に含まれる大きな不確実性のために「サプライズ」が起こる

可能性もあり、この点もシナリオ選択には考慮しなければならない。

このような地域的に大きな不均質性のある影響の対策のためには、まず、国や地域レベルの詳細な影響予測を進める必要がある。生態系への影響には、種の多様性の低下と生態系サービスの持続的提供の阻害の間に強い正のフィードバックがあり得るので、この観点から生態系の総合的モニタリングと予測研究を進める必要がある。その場合、富栄養化や土地利用変化等、人為起源の他の圧力との相互作用も考慮しなければならない。社会影響に関しても、温暖化と人口問題やエネルギー・資源問題などの他の環境問題などを考慮する必要がある。

温暖化影響の中で最も深刻な問題となり得るのは、我々の生存基盤である生態系の急激かつ大規模な変化であるが、その予見は難しく、我々の想像を超えた影響が起り得る。したがって、起こると予測される事態の深刻さに鑑み、また予測範囲の上限に迫るような不測の事態による被害を未然に防ぐためにも、予防的措置を含めて被害軽減のための対策を取るべきである。

このように、適応対策は個々の地域に強く依存するので、各国の研究者が自国の影響予測を行い、それを通して脆弱性を把握し、影響予測と適応策を連携研究するような国際ネットワークを構築・強化すべきである。とりわけ影響の厳しい途上国については、自助努力を前提とした適応技術の移転、適応策立案、気候リスクと適応策に関する社会的認識の向上プログラムなどによって、社会の気候変動への対応能力の向上を図る必要がある。同時に、我が国を始め先進国でも適応策の体系的な政策化が必要である。実態把握のためにはさらに、研究者のみならず、行政や市民によるデータ収集や、市民に分かりやすいデータ表示システムの作成など、社会全体が進行する温暖化を多面的に目撃・監視できる総合的な観測・モニタリングシステム（ウィットネスシステムと総称する）の構築が有効である。

影響評価と適応策の策定は、ここで見てきたように、気候予測、影響予測、対応策に関わるグループが国際的に連携を密にして総合的に行う必要がある。現在、国際的にも地球システムの様々な圏に関わる研究プログラムで構成される地球システム科学パートナーシップ (Earth System Science Partnership: ESSP) や、様々な対策利用を目指した包括的な全球地球観測システム (Global Earth Observation System of Systems: GEOS) など、全圏にわたる総合プログラムが形成され始めている。このような知識の総合化の中にも問題を位置づける必要がある。

(3) 気候安定化実現への施策

被害を減らすためには、気温上昇を止める気候安定化シナリオを、全世界の長期的な努力によって実現する必要がある。しかし、被害軽減の費用と便益にはまだ多くの不確実性があるとともに、そのプロセスには、様々な利害関係の対立を克服するための合意手続きを含んでいるために、単一基準による施策の選択がなじまない部分を抱えている。そのために、第4章で見たような様々な緩和策を、短中期、長期のそれぞれの段階において適切に実施す

る必要がある。同時に、客観的な判断を可能にするような影響、適応と緩和のための対策の費用評価を引き続き進めるべきである。

短中期的には、京都議定書第一約束期間後の国際枠組みとして、主要な排出国すべてが参加して十分な削減を実現することが必要であり、対策の効率性を確保するために、適応策を含めて世界的に見て費用の低い対策が選ばれる仕組みが必要である。負担の衡平性の観点からは、一人当たり排出量などの指標によって結果の衡平性をチェックするとともに、負担配分の決定手続きにおける衡平性を明確にする必要がある。これらの実現のために、国別目標の設定とともに、セクター別アプローチや、世代間の衡平性や技術開発の推進などに関するインセンティブを生む経済的制度を検討する必要がある。

長期的にはすべての温室効果ガスの大幅な削減が必要である。その第一歩として G8 洞爺湖サミットでは、世界の温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減するというビジョンを気候変動枠組条約の下での交渉において検討・採択することを求めるとした。このシナリオの実現に向けた政策は環境負荷の低減の観点からは望ましく、また低環境負荷型の持続的社會と經濟システムを作り出すための大きな駆動力になり得る。現在、実現のための技術対策シナリオの検討が始まっており、技術的に実現可能であると考えられている。しかし同時に、それを実現するためには、大きなコストの投入が必要なことも示されている。また、たとえ先進国の排出量をゼロにした場合でも、途上国の一人当たり排出量を現在の水準から減少させる必要がある。したがって、その取り組みには国内的にも国際的にも社會の全面的な協力が必要である。

(4) 低炭素社會の実現のための革新的技術の開発と社會システムの確立

以上すべて来たように、人為起源の温室効果ガスの排出が温暖化現象を引き起こしている問題は、このまま放置すれば、生態系や社會に極めて深刻な問題を引き起こす可能性がある。したがって、長期的には地球規模で大幅な温室効果ガスの排出削減を行い、危険でないレベルで温室効果ガス濃度を安定化させなければならない。そのためには、非化石エネルギーの利用拡大、エネルギー効率の改善、温室効果ガスの除去などに関する革新的技術の開発を行わなければならない。技術開発とともに、削減技術産業の振興と普及促進を図る制度設計が必要である。發展途上国の温室効果ガス排出が既に世界の 50%を超えている現状と、これらの地域が温暖化に対する脆弱性を持つことを勘案すれば、このような温暖化対策は、人類が解決すべき人口問題やミレニアム開発目標など、高次の世界目標の中に位置づけて、地球上の特定の国や地域、あるいは時間軸上の特定の世代に偏った負担を強いることなく、持続可能な福祉の向上に最大に寄与するよう多面的に追求することが重要である。

それと並行して、とりわけ先進国において過度に依存していると思われる大量消費社會から脱却し、持続可能な社會へと変革していくことが重要である。しかし、食料、水、交通、通信、生活用品、医療等の生活必需サービスを受ける対価が温室効果ガスの排出である現実を見れば、社會システムのす

みずみまで変革をする必要があるが、このような低炭素社会の共通イメージを我々が共有するには至っていない。したがって、このようなイメージを学術の英知を集めて可視化し、社会に提示してゆくことが重要である。同時に、人間が豊かに生きてゆくための新しいライフスタイルの確立と、それを価値としてすべての世代に根付かせるための教育の増進も重要である。

社会に低炭素社会のイメージが根付いて、温室効果ガス削減のための駆動力になるためには長い時間がかかるため、今すぐ行動を取る必要がある。時代はまさにそのような転換期にあり、我が国のクールアース 50 構想や欧米のグリーンニューディール政策などの新たな政治イニシアチブが生まれつつある。この時代にあって、社会と政治リーダーの判断に役立つ適切な情報を供給するために、本問題に関する研究の推進が以前にも増して必要になっている。気候変動や温暖化に伴う問題の克服に向けて人々の行動が変わるためには、このようにして得られた温暖化現象に関わる最新の科学的知識を正確に社会に普及することが極めて重要である。そのために、学术界の果たす役割と責務は大きい。

本委員会における検討の結果はこの報告書に取りまとめられたとおりであるが、地球温暖化等の人為起源の環境問題を短期的な政策課題やトピックとして捉えるのではなく、息の長い検討を行うべき課題として、学术界のイニシアチブにより引き続き検討を進めることが必要であると考えます。

参考資料

参考資料 1 審議経過

審議経過（開催日と主な議題）

「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」〔20期〕及び「地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会」〔21期〕において、以下のとおり審議を行った。

〔20期〕

平成19年7月26日 日本学術会議幹事会（第40回）

- ・ 「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」設置

平成19年9月26日 委員会（第1回）

- ・ 委員長、副委員長、幹事の選出
- ・ 委員会趣旨説明
- ・ 今後の進め方等について

平成19年11月5日 委員会（第2回）

- ・ シンポジウムについて
- ・ 報告書について

平成19年12月28日 委員会（第3回）

- ・ シンポジウムについて
- ・ 報告書について

平成20年2月19日 委員会（第4回）

- ・ シンポジウムについて
- ・ 報告書について

平成20年4月30日 委員会（第5回）

- ・ シンポジウムについて
- ・ 報告書について

平成20年5月14日 委員会（第6回）

- ・ シンポジウムについて
- ・ 報告書について

平成 20 年 6 月 12 日 委員会（第 7 回）

- ・ シンポジウム等について
- ・ 報告書について

平成 20 年 6 月 23、24 日 委員会（第 8 回）

- ・ 国際環境専門者会議

平成 20 年 6 月 25 日 日本学術会議主催公開講演会

- ・ 市民公開シンポジウム「地球温暖化－科学者からのメッセージ」

平成 20 年 8 月 21 日 委員会（第 9 回）

- ・ 報告書について

平成 20 年 9 月 23 日 日本学術会議幹事会（第 64 回）

- ・ 審議内容については、新たな委員会に引継ぐこととなった。

〔21 期〕

平成 20 年 10 月 23 日 日本学術会議幹事会（第 67 回）

- ・ 「地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会」設置

平成 20 年 11 月 14 日 拡大役員会（第 1 回）

- ・ 今後の進め方等について
- ・ 報告書について

平成 20 年 12 月 10 日 委員会（第 1 回）

- ・ 委員長、副委員長、幹事の選出
- ・ 報告書について

平成 21 年 1 月 9 日 委員会（第 2 回）

- ・ 報告書について

日本学術会議 科学と社会委員会を経て、日本学術会議幹事会（第 72 回）（平成 21 年 2 月 26 日）において、報告「地球温暖化問題解決のために－知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢－」を承認。

参考資料2 公開講演会プログラム

市民公開シンポジウム「地球温暖化 ―科学者からのメッセージ」

- 1 主催 日本学術会議、北海道大学
- 2 後援 文部科学省、環境省、日本地球惑星科学連合、日本気象学会
- 3 特別協力 朝日新聞社
- 4 日時 平成20年6月25日(水) 13:30~16:30
- 5 会場 北海道大学学術交流会館(札幌市)
- 6 次第
開会
総合司会 中島 映至(東京大学気候システム研究センター、センター長・教授、日本学術会議連携会員)
主催挨拶 佐伯 浩(北海道大学総長)
入倉 孝次郎(日本学術会議第三部会員、地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会委員長)
「日本の科学コミュニティーから最前線報告」
 1. 気候変化の科学-現状と将来予測(15分)
江守 正多(国立環境研究所地球環境研究センター温暖化リスク評価研究室長、日本学術会議特任連携会員)
 2. 温暖化のリスク対策-影響評価と適応策(15分)
本田 靖(筑波大学大学院人間総合科学研究科教授、日本学術会議特任連携会員)
 3. 地球温暖化対策——基本的考え方(15分)
西條 辰義(大阪大学社会経済研究所教授、日本学術会議連携会員)
 4. 適応と緩和——社会科学の立場から(15分)
吉田 文和(北海道大学公共政策学連携研究部教授)パネルディスカッション「地球温暖化 今何をすべきか」
モデレーター：竹内敬二(朝日新聞編集委員)
パネリスト：
 - ・ Susan Solomon (IPCC 報告書 WG1 共同代表、米国海洋大気庁)
 - ・ Zou Ji (中国人民大学環境学院副院長)
 - ・ 山地憲治(東京大学大学院工学系研究科教授、日本学術会議第三部会員)
 - ・ 池田元美(北海道大学地球環境科学研究院教授)
 - ・ 中島映至閉会挨拶 本堂武夫(北海道大学副学長)

参考資料3 気候変化に関する科学的知見

1. 観測事実

2007年に刊行されたIPCC第1作業部会の第4次評価報告書（以下IPCC AR4）にまとめられた観測データによれば、地球平均の地表気温は過去100年で 0.74°C （ $\pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ）上昇し、地球平均の海面水位は17cm（ $\pm 5\text{cm}$ ）上昇した。広範囲にわたる雪氷の減少も見られた（図1）。

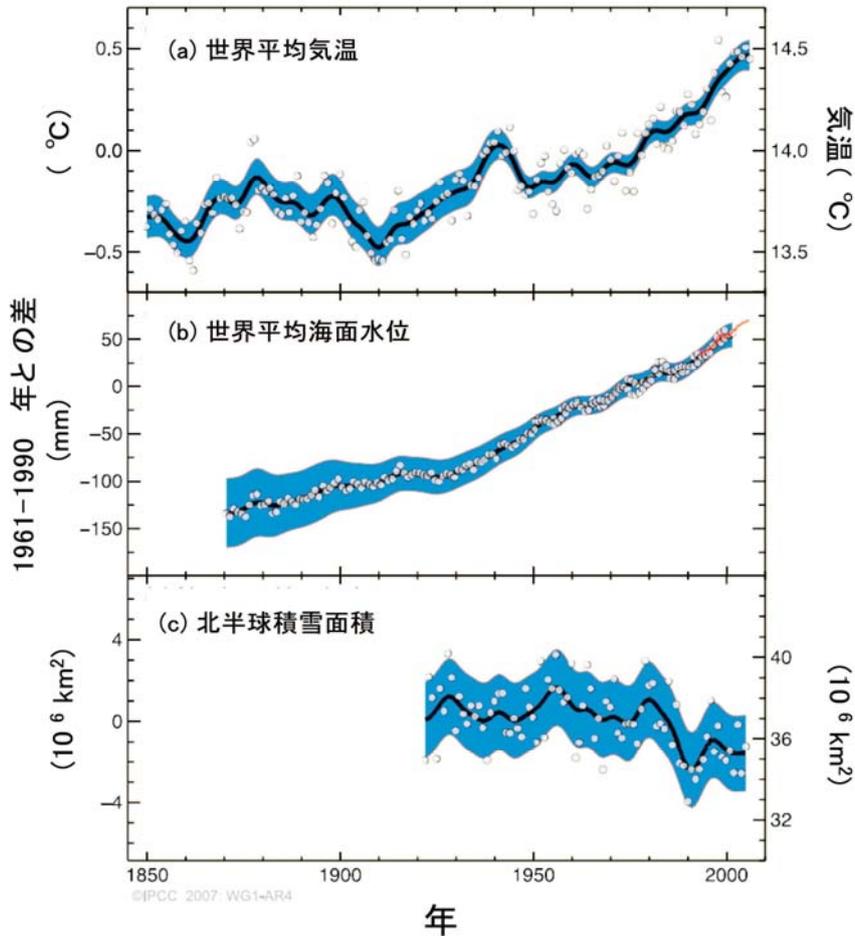


図1. (a) 世界平均地上気温； (b) 潮位計（青）と衛星（赤）データによる世界平均海面水位； (c) 3～4月における北半球の積雪面積、それぞれの観測値の変化

すべての変化は、1961年～1990年の平均からの差である。滑らかな曲線は10年平均値、丸印は各年の値をそれぞれ示す。陰影部は（a、b）既知の不確実性の包括的な分析から推定された不確実性の幅、（c）時系列から得られた不確実性の幅。（IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約の気象庁による日本語訳より）

復元された過去の気温データによれば、北半球の平均気温は過去 1300 年の間にも大きく変動した可能性があるが、20 世紀後半の平均気温は少なくとも過去 1300 年間で最も高かった可能性が高い（図 2）。

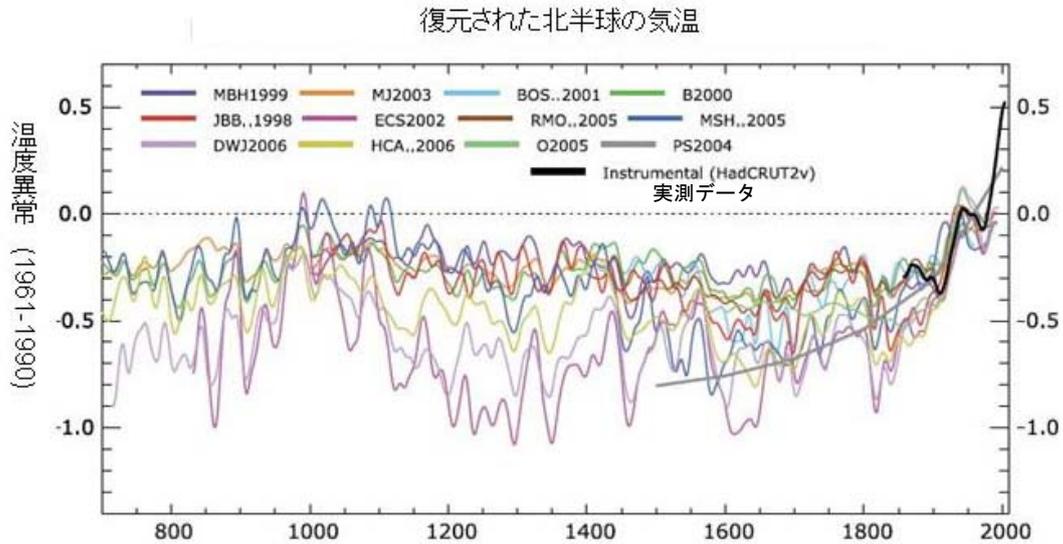


図 2. 様々な手法により代替データから推定された過去 1300 年の北半球の平均気温の変化

細線は 12 の異なる研究で推定された気温変化（MBH1999 などは論文の著者名と出版年を示す略号、個々の文献情報は省略）、太い黒線は実測による気温変化。（IPCC AR4 WG1 Figure TS.20 より）

これらを総合して考えると、気候システムが自然の変動の範囲を超えて温暖化している可能性が極めて高い。

IPCC AR4 によると、二酸化炭素の大気中濃度は、人為活動により、工業化以前の約 280ppm から 2005 年には 379ppm に増加した。これは、氷床コアから決定された、過去約 65 万年間の自然変動の範囲（180～300ppm）をはるかに上回っている。メタン、一酸化二窒素などの他の温室効果ガスも同様に人為活動により増加している。

図3に、種々の気候変動要因による地表面および対流圏界面における放射強制力を示した。大気の本味の加熱量を知るため、大気上端（対流圏界面）のみでなく下端（地表面）の放射強制力を整理することが重要である。エアロゾルの直接効果と第一間接効果（アルベド効果）の見積もりは不確実性が大きい。地表面ではエアロゾル以外の効果は非常に小さく、逆にエアロゾルの直接効果が対流圏界面よりも絶対値で大きくなるので、将来シナリオの違いを地上観測でモニタリングする必要がある。

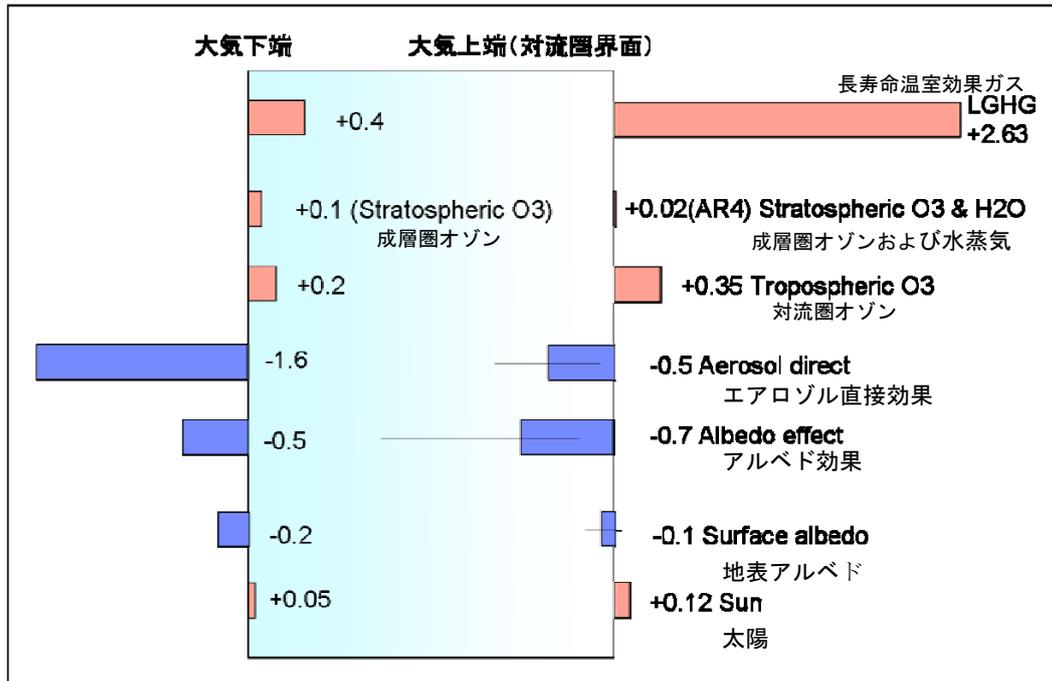


図3. 種々の気候変動要因による対流圏界面（右、IPCC-AR4による）と地表面（左）における放射強制力

LGHGは長寿命温室効果ガス。地表面の値は、IPCC-AR4およびTakemura et al. (2006)によって算定し、誤差幅は付けていない。

平均気温の上昇に伴い、「異常気象」の発生頻度の変化も観測されている。日本国内においても、1901～2006年における異常高温の出現数は有意に増加しており、異常低温の出現数は有意に減少している（図4）。

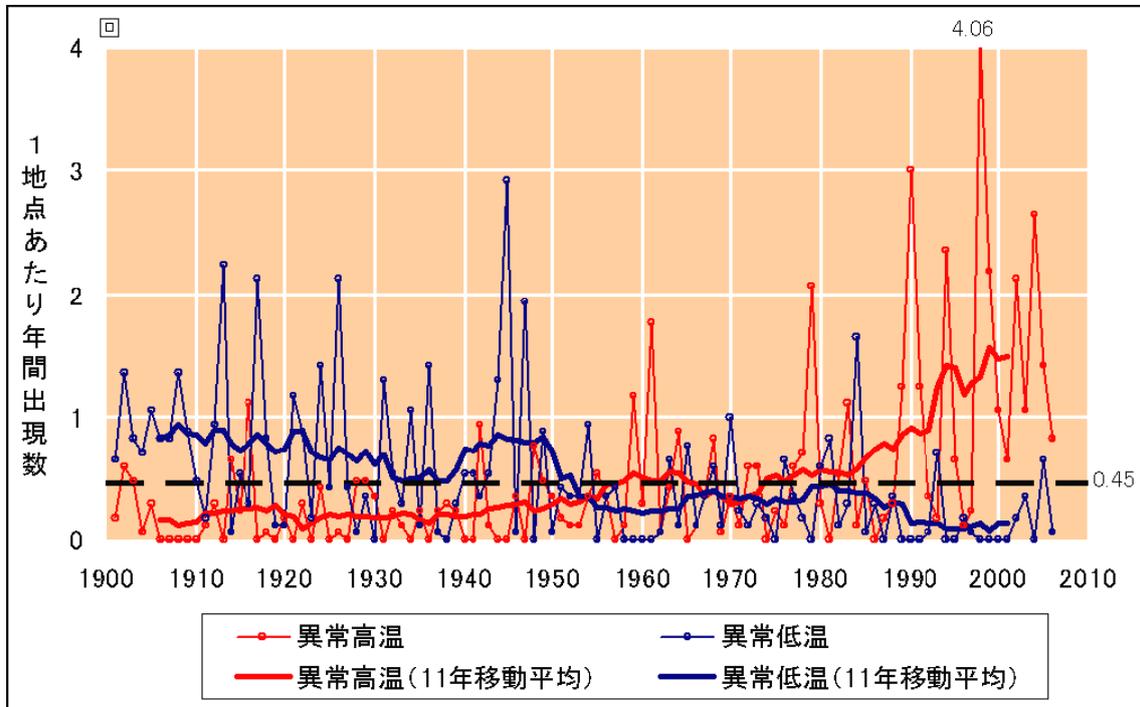


図4. 月平均気温の高いほうから1～4位（異常高温）と低いほうから1～4位（異常低温）の年間出現数の経年変化（気象庁 気候変動監視レポート2006 図1.2-5より）

観測システムについては、UNFCCを支援するためのGEO (The Group on Earth Observations) が形成され、災害、健康、エネルギー、気候、気象、生態系、農業、生物多様性に係るSocial Benefit Areas (SBA)に役立つための横断的データ利用を目指したデータ統合システムが実施されつつある(表1、表中文献1、2)。このGEOはGCOS、CEOS、GTOS、GOOSや他の観測システムに関する様々な実施グループが参加しており、観測システムは、ケーススタディーからネットワーク観測への発展、所掌官署による観測から連携観測・国際協力への発展、研究コミュニティの参加などの方向性が生まれつつある。地球温暖化現象の解明にとって重要な地球観測システムについては、「H20年度の我が国における地球観測の在り方」(表1文献3)では二酸化炭素等の温室効果ガスの観測、放射収支・降雨・雲・エアロゾル、気象・海象、影響評価に関する観測が重点項目としてあがっている。表に関連する観測システムを示す。

表1. 地球温暖化現象解明に関連する地球観測システム

温室効果ガス、二酸化炭素観測	放射収支、雲、エアロゾル観測	気象・海象観測	地球表層観測
地上観測網による連続観測 (FLUXNET, AsianFLUX, GAW)	地上観測網による連続観測 (BSRN, SKYNET, AERONET, ライダー)	地上観測網による連続観測 (気象観測網、ウィンドプロファイラー、GLOSS-潮位)	植生、森林、生態系に関する組織的観測
観測船、定期航路、定期航空機を利用した移動体観測	イメージャーによる衛星観測 (GCOM)	海洋鉛直観測 (観測船、トライトンブイ、ARGO)	高分解能衛星搭載イメージャー観測 (ALOS, LDCM, Sentinel-2)
分光放射計による衛星観測 (GOSAT, OCO)	衛星アクティブセンシングによる鉛直観測 (CLOUDSAT, CALIPSO, EarthCARE)	イメージャーによる衛星観測 (静止および極軌道気象衛星, GCOM, NPP, NPOESS)	SAR による地表面衛星観測 (Sentinel-1)
	放射収支の衛星観測 (EarthCARE, NPP, NPOESS, Glory, CLARREO)	降雨レーダーによる降雨衛星観測 (TRMM, GPM)	高度計による植生、雪氷圏衛星観測 (ICESat, ICESat-II, Cruosat-2, DESDynI)
		ドップラーライダーによる風衛星観測 (ADM)	レバンド波放射計による土壌水分、海水塩分衛星観測 (SMOS, Aquarius, SMAP)
		海面高度計による海面高度衛星観測 (OSTM, Sentinel-3)	重力場衛星測定 (GOCE)、地磁気観測 (Swarm)

略語の意味と2013年までの将来衛星については宇宙機関と打ち上げ時期を示す。ADM (Atmospheric Dynamic Mission, ESA 2009)⁵、AERONET (AErosol RObotic NETwork)³、AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)³、BSRN (Baseline Surface Radiation Network)³、Aquarius (海面塩分観測, NASA 2010)⁴、CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite)³、CLARREO (Climate Absolute Radiance and Refractivity Observatory, NASA 2010-2013)⁴、Cryosat-2 (雪氷圏観測, ESA 2009)⁵、CLOUDSAT (ESSP satellite with a cloud radar)³、DESDynI (Surface and ice sheet deformation, NASA 2010-2013)⁴、EarthCARE (Earth Cloud Aerosol and Radiation Explore, ESA 2013)³、GAW (Global Atmospheric Watch)³、GCOM (地球環境変動観測ミッション, JAXA 2010, 2011)³、GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Explorer, ESA 2008)⁵、GOSAT (二酸化炭素観測技術衛星, JAXA 2008)⁴、GLOSS (JCOMM全球海面水位観測システム)³、Glory (放射収支観測に係る衛星, NASA 2008)⁴、GPM (全球降水観測計画)³、NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System, NOAA)⁴、LDCM (Landsat Data Continuity Mission, NASA 2011)⁴、NPP (NPOESS Preparatory Project, NASA 2010)⁴、OCO (Orbiting Carbon Observatory, NASA, 2008)⁴、OSTM (Ocean Surface Topography Mission, NASA)⁴、Sentinels (GMES Preparatory Activities satellite family, GMES 2010)⁵、SKYNET (Sky radiometer network)³、SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity, ESA 2009)⁵、SMAP (Soil Moisture Active-Passive satellite, NASA 2010-2013)⁴、TRMM (熱帯降雨観測衛星, JAXA)³、Swarm (Geomagnetic field mission, ESA 2010)⁵。

参考文献:

1. GEO 10-year implementation plan
2. GEO.information.kit
3. H20年度の我が国における地球観測の在り方
4. NASA Earth Science Decadal Survey Implementation
5. ESA home page: <http://earth.esa.int/missions/>

2. 将来予測

気候の将来予測についても、IPCC AR4 に最新の情報が取りまとめられている。図5は、世界の研究機関による気候のコンピュータモデル実験の結果等をもとに、全球平均地表気温の20世紀の再現性と21世紀の予測を示したものである。この図にも見られるとおり、今後20年間に、10年あたり約0.2℃の割合で気温が上昇すると予測される。その後の昇温の予測は、モデルによる違いや、モデルに与える将来の社会経済発展のシナリオ（積極的な緩和策を含まない）によってばらつきが大きくなる。

このような予測に用いられる気候モデルは、20世紀に観測された気温変動を大陸規模の分布も含めてよく再現することができる。一方、同じモデルで人為起源の放射強制力を除いてシミュレーションを行うと、20世紀後半の昇温を全く再現することができない。この差は、気候の自然変動による不確実性を考慮しても、90%以上の信頼度で統計的に有意であることが確かめられており、20世紀後半の昇温が人間活動によるものであることを示している。

IPCC AR4によれば、気温上昇に伴う海水膨張や大陸氷床の融解による水位の上昇については、21世紀末までの100年間で、全シナリオの90%信頼幅の下限～上限は、18～59cmとされている。ただし、グリーンランドや南極氷床からの流出の増加率の将来予測にまだ不明な点があり、上限が表の値より10～20cm増加する可能性も残されている。

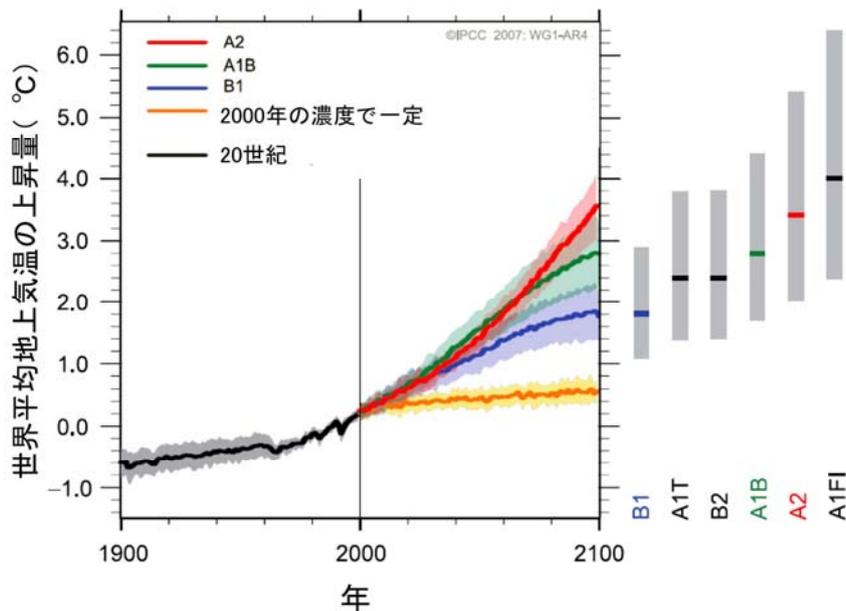


図5. 気候モデルにより計算された20世紀から21世紀の世界平均地上気温の変化

実線は、3つの異なる社会経済シナリオ（A2等はシナリオ名）、及び20世紀の状態を継続した場合における複数のモデルによる（1980～1999年と比較した）地球平均地上気温の昇温を示す。陰影部は、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つの異なる社会経済シナリオにおける最良の見積り（各帯の横線）および可能性が高い予測幅。（IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約の気象庁による日本語訳より）

注：シナリオ名のAは経済優先/Bは環境配慮、1は国際化/2は地域分散の社会傾向を表す。

A1の後のTは主に新技術を、/FIは主に化石燃料を、/Bは両者をバランスよく、エネルギー技術として使用する社会を表す。

図5の予測結果では、気候の変化に伴って、海洋や陸面生態系が炭素を吸収、排出する能力が変化する効果は考慮されていないが、これを考慮した場合21世紀末の昇温はさらに増加する可能性がある。

予測される21世紀の昇温の分布の概略は、陸域とほとんどの北半球高緯度で最大となり、南極海と北大西洋の一部で最小となっている。このような地理分布はほとんどシナリオには依存せず、過去数十年に観測された分布と類似している。また、温暖化に伴い、積雪の面積が縮小し、永久凍土帯で融解深度が深くなる。北極域及び南極域の海氷は縮小し、北極海の晩夏における海氷は、21世紀後半までにほぼ完全に消滅するとの予測もある。

平均的な昇温に伴い、極端な高温や熱波の頻度の増加が予測される(表2)。降水量は、高緯度地域では増加する可能性がかなり高く、一方、ほとんどの亜熱帯陸域においては減少する可能性が高い(図6)。これは、観測された分布の最近の変化傾向を継続するものである。また、温暖化に伴い大気中の水蒸気も増加するため、ほとんどの地域で大雨の頻度が増加するかなり可能性が高く、高潮の発生の増加の可能性も高い。また、全球的には強い台風の頻度が増加すると考えられる。その一方で、干ばつの影響を受ける地域が増加する可能性も高い。降水や干ばつの頻度増加の地域的な分布予想には不確実性も大きい。日本付近では、梅雨前線の活動の活発化、長期化、強雨の頻度の増加が予測されている。

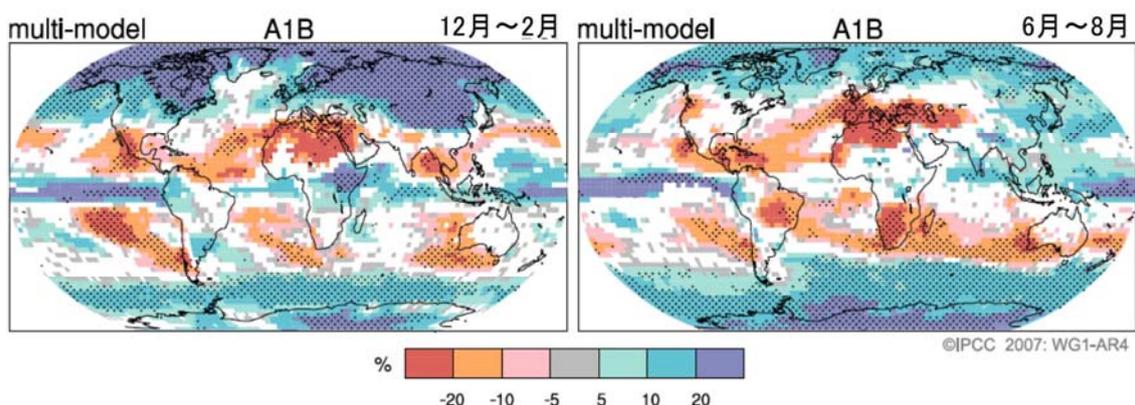


図6. 2090～2099年を対象とする降水量変化予測(単位%; 1980～1999年が基準)

値は、SRES A1B シナリオによる複数モデルの平均で、左図は12～2月、右図は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、点描している地域は、90%以上のモデルで変化の符号が一致した地域。(IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約の気象庁による日本語訳より)

表 2. 極端な気象現象のうち20世紀後半の観測から変化傾向が見られたものの最近の傾向、その傾向に対する人間活動の影響評価、及び予測

(IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約の気象庁による日本語訳より)

現象及び傾向	20世紀後半(主に1960年以降)に起こった可能性	観測された傾向に対する人間活動の寄与の可能性	SRES シナリオを用いた21世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性
ほとんどの陸域で寒い日や夜の減少と昇温	可能性が非常に高い	可能性が高い	ほぼ確実
ほとんどの陸域で暑い日や夜の頻度の増加と昇温	可能性が非常に高い	可能性が高い(夜)	ほぼ確実
ほとんどの陸域で継続的な高温/熱波の頻度の増加	可能性が高い	どちらかといえば	可能性が非常に高い
ほとんどの地域で大雨の頻度(もしくは総降水量に占める大雨による降水量の割合)の増加	可能性が高い	どちらかといえば	可能性が非常に高い
干ばつの影響を受ける地域の増加	多くの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の活動度の増加	いくつかの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
高潮の発生の増加(津波を含まない)	可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い

温帯低気圧についてはその進路が極方向に移動し、それに伴い、風・降水量・気温の分布も移動すると予測されている。これも、過去半世紀の間に観測された傾向と合致している。

3. 不確実性

過去の気候変動の理解は進んだが、未だ小さくない不確実性が存在する点に注意が必要である。

図7は、工業化前を基準として現時点で人為起源の要因によりもたらされた正味の放射効果（放射強制力）の推定値の確率分布である。エアロゾルの間接効果などの不確実性が大きいことに起因して、正味の放射強制力の不確実性は大きい(90%信頼区間で 2W/m^2 弱)。

これによって、過去の気温上昇から推定される気候感度（後述）も不確実性が大きい。

また、気候変動要因の中には、現時点での科学的理解度が極めて不十分なものもある。表3は、様々な気候変動要因の証拠の強さ（Evidence: Aが強くCが弱い）、合意の強さ（Consensus: 1が強く3が弱い）、科学的理解度（LOSU）、確実性（Certainties）、不確実性（Uncertainties）をまとめた表の一部である。特に、最後の5項目（例えば宇宙線 Cosmic rays）は科学的理解度が非常に低いために、現時点では放射強制力の定量的な見積りが与えられておらず、気候モデルによる過去の気候再現のシミュレーションにおいても考慮されていない。これらの要因が潜在的に重要な効果をもたらす可能性も無視できないため、現象解明のさらなる努力が必要である。

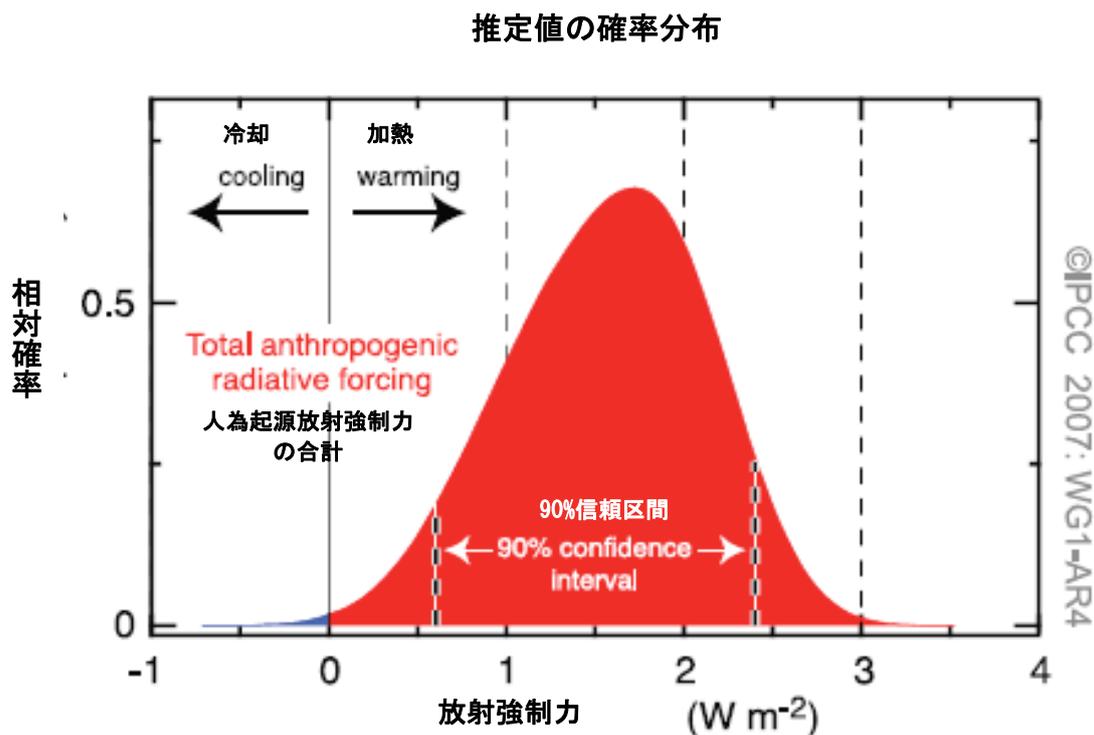


図7. 人為起源放射強制力の推定値の確率分布 (IPCC AR4 WG1 Figure TS.5b より引用)

表 3. 種々の気候変動要因 (IPCC AR4 WG1 Table 2.11 より引用)

	証拠	合意度	科学的理解度	確実性	不確実性
太陽放射照度	B	3	低い	過去 25 年間の計測; 太陽活動の代理的指標	代替データと総太陽放射照度の関連性; オゾンの間接効果
火山性エアロゾル	A	3	低い	ピナツボ山とエルチチョン火山で観測されたエアロゾルの変化; 過去の火山噴火の代替データ; 火山性エアロゾルの放射効果	1980 年以前の噴火による成層圏内のエアロゾル濃度; 大気へのフィードバック
CH ₄ 酸化以外の原因による成層圏内の水蒸気	C	3	非常に低い	実験的および簡易モデル研究画が関連性を示唆; 分光法	水蒸気変化傾向の他の原因がよく理解されていない
灌漑による対流圏内の水蒸気	C	3	非常に低い	プロセスは理解された; 分光法; いくつかの地域情報あり	全球的な放出は十分に定量化されていない
航空活動に誘発された巻雲	C	3	非常に低い	巻雲の放射と微物理特性; 航空機からの放出; 特定地域の飛行機雲の発生範囲	飛行機雲の巻雲への変質; 航空活動が巻雲に与える影響
宇宙線	C	3	非常に低い	いくつかの実験的証拠と観測および微物理モデルが雲への関連性を示唆	物理的なメカニズムに関する理解不足/疑念; 相関研究への依存
その他の地表効果	C	3	非常に低い	いくつかのモデル研究が関連性を示唆; 関連プロセスに関するいくつかの証拠あり	放射強制力の定量化とフィードバックの文脈における結果の解釈が困難

将来予測に関しては、報告書本文でも述べたように様々な不確実性が存在するが、とりわけ気候感度（大気中二酸化炭素濃度の倍増に相当する放射強制力を与えられて十分に時間が経った平衡状態での全球平均地表気温上昇量で表される）の不確実性は、その重要性の認識と研究の蓄積にもかかわらず、依然として大きい。図8は、複数の研究による気候感度の推定値の累積確率分布である。IPCC AR4 では、気候感度は2℃から4.5℃である可能性が高い（最尤推定値は3℃）としたが、これは66%信頼区間である点に注意が必要である。このことは、以下に見るように、気候安定化目標を議論する際に重要な意味を持つ。

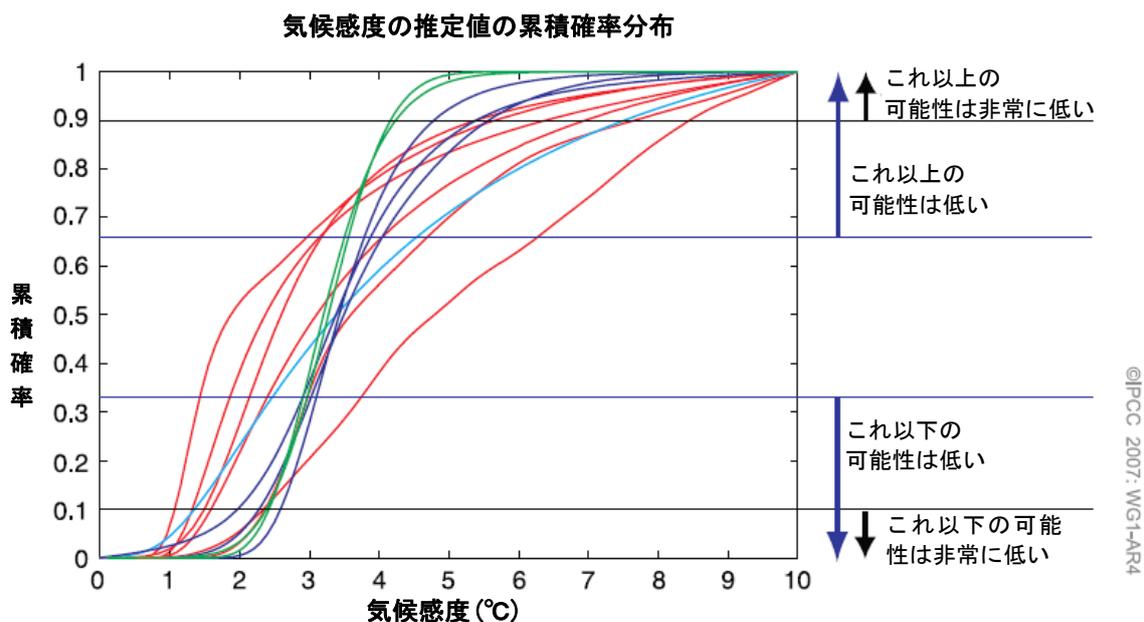


図8. 気候感度の推定値の累積確率分布（IPCC AR4 WG1 Figure TS.25 より引用）

図9は、IPCC AR4で議論された6つの気候安定化カテゴリについて、推定された気候感度の確率分布と整合的になるように作成した、産業革命前からの平衡気温上昇量の確率分布を表す「ルーレット」の例である。扇型の面積が、その温度範囲が実現する確率を表す。たとえば、カテゴリI～IIIでは、2～3℃の確率、3～4℃の確率はほとんど変わらないが、カテゴリが上がるにつれて2℃以下の確率が減少し、4℃以上の確率が増加することがわかる。

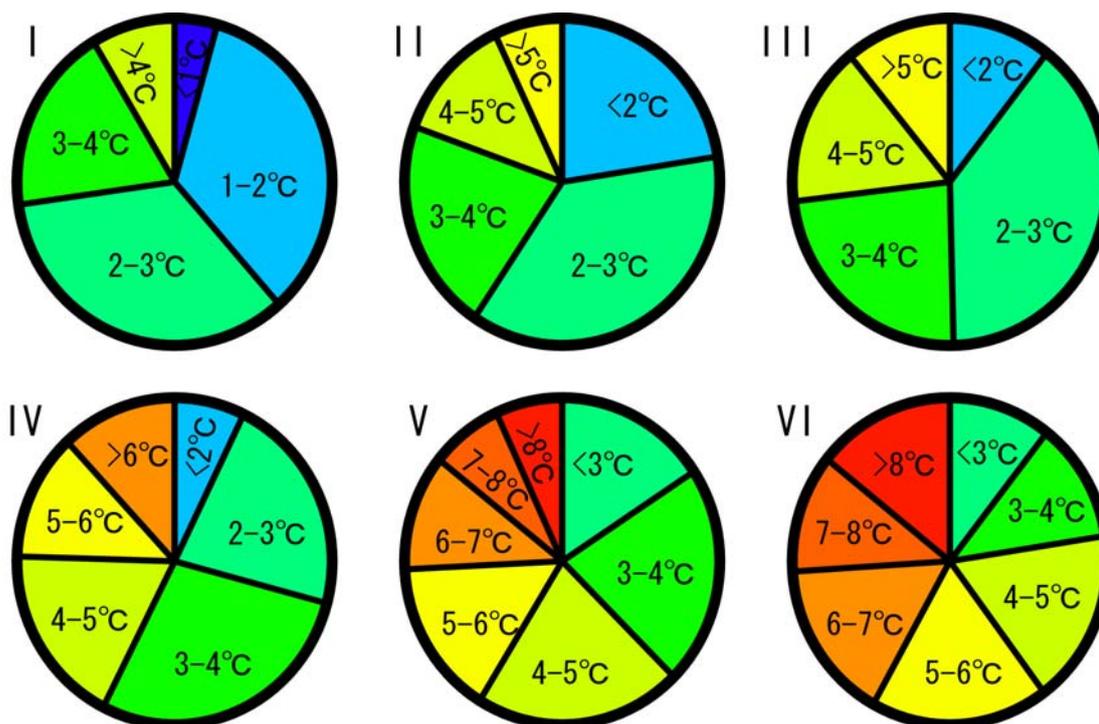


図9. IPCC AR4で議論された6つの気候安定化カテゴリに対応する産業革命前からの平衡気温上昇量の確率分布を表す「ルーレット」の例

カテゴリI～VIは、それぞれ445～490, 490～535, 535～590, 590～710, 710～855, 855～1130 ppmCO₂-eq安定化に対応する。気候感度3℃が最尤、2℃～4.5℃が66%の確率になるような確率分布関数の例を作成し、それに基づいて作図したもの。

参考文献

- IPCC, 2007: Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Cambridge University Press.
- 気象庁 気候変動監視レポート2006
- GEO 10-year implementation plan
- GEO. information. kit
- H20年度の我が国における地球観測の在り方
- NASA Earth Science Decadal Survey Implementation
- ESA home page: <http://earth.esa.int/missions/>
- 気象庁 IPCC第4次報告書第一作業部会政策決定者向け要約

参考資料4 影響と適応策

1. 顕在化した温暖化の影響

- IPCCWG2 第4次報告書 (IPCC, 2007a, b) : 温暖化の影響がすべての大陸とほとんどの海洋の雪氷や生態系に顕在化していることを指摘している。具体的な例は以下のとおりである。
 - 氷河湖 (氷河が縮小する時に溶け出した水が溜まった湖) の増加と拡大/永久凍土地域における地盤の不安定化/山岳における土砂崩れの増加
 - 春季現象 (発芽や開花、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
 - さらに人間社会への影響については、以下のような影響が顕在化している。ただし、雪氷圏や生態系への影響に比べると、温暖化以外の要因も関連するために、確信度は中程度である。
 - 北半球の高緯度地域の農業や林業： 耕作時期の早期化、火災や害虫による森林かく乱の変質
 - 健康被害：ヨーロッパでの熱波による死亡、媒介生による感染症リスク、北半球高・中緯度地域における、アレルギー源となる花粉など
 - 北極：北極圏の人間活動 (例えば、氷雪上での狩猟や移動)
 - 低標高山岳地帯：山岳スポーツなどの人間活動
- 日本においても種々の影響が顕在化している (表1を参照)。

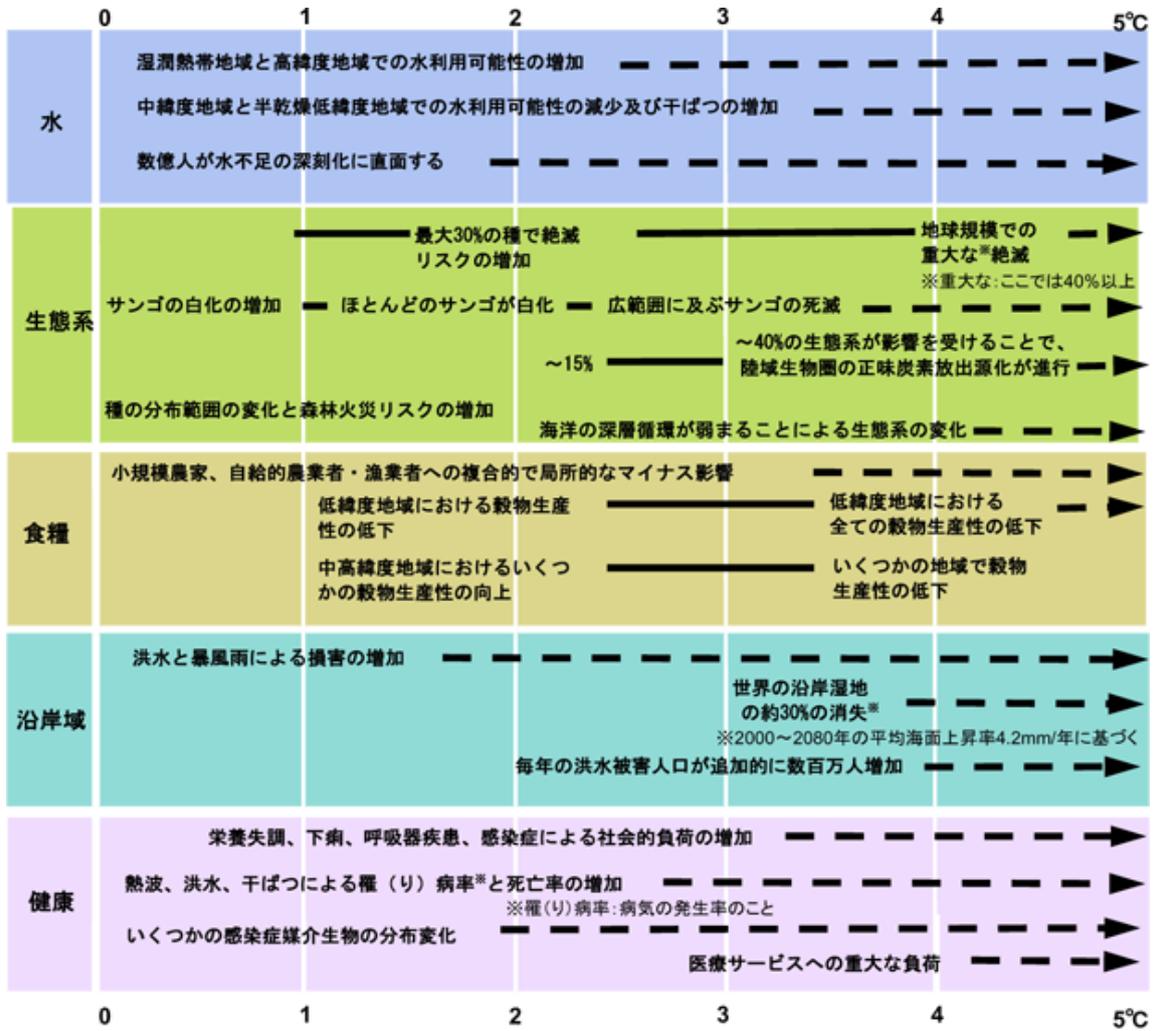
表1. 温暖化の日本への影響 (現状と予測) (IPCC, 2007b ほかから作成)

	現状	予測
雪氷	<ul style="list-style-type: none"> 流水の減少 降雪量の減少 (都市部) 富士山の永久凍土の融解 	<ul style="list-style-type: none"> 豪雪地域の減少 積雪減少による水資源、生態系、人間活動への影響
生態系	<ul style="list-style-type: none"> 桜の開花、紅葉日の変化 昆虫 (蝶、セミ) や害虫の北上 	<ul style="list-style-type: none"> 3℃気温上昇するとブナ林が約90%減少 魚類やクラゲの北上 暖水性魚類の北上
農業	<ul style="list-style-type: none"> 一部の地域で高温障害による米収量減少、食味の変化 果樹への影響 	<ul style="list-style-type: none"> 北日本で米収量が30%、南日本では15~30%減少 みかんやリンゴの産地が北に移動
水環境	<ul style="list-style-type: none"> 琵琶湖の水質悪化 	<ul style="list-style-type: none"> 水温上昇などによる湖沼や河川の水質悪化 霞ヶ浦では1℃水温が上昇するとCOD1ppm増加
海面上昇		<ul style="list-style-type: none"> 1m海面上昇すると砂浜が90%減少 台風の強度が6%増加すると被害額は現在の2倍に増大する
市民生活・産業		<ul style="list-style-type: none"> 3℃気温上昇すると全国のスキー場の客が平均30%減少 降水パターン・量が変化すると水量発電量、ダム施設の管理、運用、冷却水の確保に影響する 冷却水温が1℃上昇すると、火力で0.2~0.4%、原子力で1~2%、発電出力が低下する
人の健康	<ul style="list-style-type: none"> 都市部における熱中症患者や死者などの被害発生 ヒトスジシマカ (デング熱媒介蚊) の北上 	<ul style="list-style-type: none"> 異常熱波による熱中症患者の増加 花粉アレルギー患者の増加

2. 温暖化の影響予測

(1) 温暖化影響の全体像

図1は、温暖化の各分野への影響を気温上昇との関係を示したものである（IPCC, 2007b）。横軸の気温上昇量は、1980-1999年の平均値からの気温上昇量を表している。



1980-1999年に対する世界年平均気温の変化

図1. 世界平均気温の上昇による主要な影響

(2) 分野毎の影響

淡水資源への影響：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において10~40%増加し、多くの中緯度および乾燥熱帯地域において10~30%減少すると予測される。

生態系への影響：多くの生態系の回復力(resilience)が気候変化とそれに伴う攪乱及びその他の変動要因が同時に発生することにより世紀中に追いつかなくなる可能性が高い。

—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、絶滅のリスクが増加する可能性が高い。

—今世紀半ばまでに陸上生態系による正味の炭素吸収はピークに達し、その後、弱まる、あるいは、排出に転じる可能性が高く、これは、気候変化を増幅する。

サンゴ礁への影響：約1~3℃の海面温度の上昇により、サンゴの温度への適応や気候馴化がなければ、サンゴの白化や広範囲な死滅が頻発すると予測されている。

農業・食料への影響：世界的には、潜在的な食料生産量は、地域の平均気温の1~3℃までの上昇幅では増加すると予測されているが、それを超えて上昇すれば、減少に転じると予測される。

沿岸域への影響：2080年代までに、海面上昇により、毎年の洪水被害人口が追加的に数百万人増えると予測されている。洪水による影響を受ける人口はアジア・アフリカのメガデルタが最も多いが、一方で、小島嶼は特に脆弱である。温暖化の日本への影響については、表1に典型的な影響事例をまとめている。

3. 個別影響、温暖化の影響閾値に関する知見 (IPCC, 2007bから)

(1) 生態系

英国で開催された危険なレベルに関するシンポジウムでは、生態系への影響の閾値などについてまとめている。例えば、サンゴ礁では1℃の水温上昇で82%、2℃では97%が白化することから1℃の水温上昇でも被害が甚大である。動植物の分布範囲の減少については、1℃で～47%、2℃で5～66%、3℃で7～74%、動植物の分布範囲が消滅すると予測されている(Cramer et al., 2006)。IPCC 第4次報告書では90年頃にくらべて1.5～2.5℃以上の気温上昇で、種の30%以上で絶滅リスクが増加すると予測している。

(2) 食料生産

IPCC 第4次報告書では、中緯度から高緯度の地域では、地域平均気温が1～3℃まで上昇する間は、作物によっては生産性がわずかに増加し、それ以上の上昇では作物生産性が減少する地域があると予測される。一方、低緯度地域、特に乾季のある熱帯地域では、地域の気温がわずかに上昇(1～2℃)するだけでも、作物生産性が減少し、これにより、食料不足や飢饉のリスクが増加すると予測される。

2008年現在においても、食料輸出国であるオーストラリアの干ばつ、ベラルーシなどの輸出制限、米国、ブラジルなどでのバイオ燃料作物への転換などで、世界の食糧供給が不足し、アフリカなどでは食料の高騰に対して、暴動も起こっている。温暖化が進行して、途上国における農作物生産が減少すると、輸出できないばかりでなく、自国の食料確保が難しくなり、ひいては乏しい経済力によって海外から食料を買うことが困難になるなどして、同様の事態を招くものと考えられる。

(3) 水資源

水資源に関する影響の知見を全球の平均気温との関係で見ると、1～1.5℃で冬季の雪が雨になり、河川の流況が変化するなど、水資源への影響が起こり、2℃以上では、氷河が融解して下流で水不足が発生するなど、水供給・需要の問題が申告になり、水質への影響も拡大する。

(4) 健康影響

マラリア・デング熱などの影響については、温暖化によりマラリアの潜在的地域が拡大することにより影響人口が計算されているが、全球平均気温とほぼ比例して増加することから気温上昇が低ければ低いほど影響が低減するという特徴がある。熱波や熱ストレスなど直接的な影響については中緯度地方においては、気温と死亡率をとると、ある温度で死亡率が増加から、減少、さらに増加する点が存在するとされる。すなわち熱波の影響や気温と死亡率の関係からは、健康影響の閾値がある。例えば、熱波では、日最高気温が30℃を越すと熱中症患者が増加しはじめ、35℃を越えると65歳以上で急激に増加する(日本の場合)。

(5) 経済影響

第4次報告書では、経済影響については、4℃の温暖化が起こると、途上国はより多くのパーセントの損失を経験すると予想される一方、世界平均損失はGDPの1～5%となり得るであろうとの第3次報告書の結論を再確認しているが、世界で合算した数値は、多くの定量化できない影響を含めることができないため、過小評価である可能性が非常に高いことも指摘している。

(6) 気温変化の速度に関する知見

温暖化をもたらす絶対的な気温上昇レベルに加えて、気温の上昇速度をも考慮することの必要性が指摘されている。表2は、気温の絶対値と上昇速度も考慮した研究について一覧としたものである。気温上昇量1～2℃と上昇速度0.1～0.2℃/10年との組み合わせについて報告されているが、Leemansらのように、生態系の健全性をたもつには、0.05℃/10年の速度に抑える必要があるという指摘もある。1980年代以降は高い気温が続いており、表2に示した速度を大幅に越しているが、上昇速度に関する科学的知見が不足しているので、一層の研究が必要である。

表2. 危険なレベルに関する知見の例（気温上昇と上昇速度）

具体的値（気温上昇量と上昇速度）	文献
2℃、0.2℃/10年で社会の崩壊、地球システムの不安定化リスク大	Vellinga ら, 1991
1～2℃、0.1～0.2℃/10年	Matsuoka ら, 1996
2℃、0.2℃/10年	WBGU, 1995, 1997, 2005
1.5℃、0.05℃/10年	Leemans ら, 2004

4. 気候変動と持続可能な発展

(1) 温暖化の開発途上国への影響

温暖化は地球規模で進行しているが、その影響は地域や分野によって異なる様相を呈している。とくに熱帯・亜熱帯の開発途上国は、貧困、大気・水質汚染などの環境悪化、食料や水の不足、貧困、脆弱な公衆衛生基盤などの問題に直面しており、それらが環境と経済の調和した持続可能な発展を阻害する要因となっている。開発途上国の貧困撲滅等をめざした国連のミレニアム開発目標（2015年）も、とくに最貧国の開発が遅れている状況である。開発途上国におけるこうした社会、経済、環境問題に直面しているなかで、温暖化はさらなる脅威をあたえ、健全な発展を阻害する要因として認識されている。すなわち温暖化は中長期的な問題であるが、途上国の発展の視点からは、地域によって既に影響が現れ始めているなど、短期的な問題でもあることから、温暖化と持続可能な開発との関連性も深くなってきた。

気候変動と持続可能性の関係に関しては、以下の点が指摘されている。

①気候変動の及ぼす影響は、環境の変化のみならず、国連が進めている貧困撲滅や平和構築の妨げる大きな障害となる可能性がある。気候変動対策は貧困撲滅等の努力の成果を継続・発展させるための前提となる。

②気候変動の及ぼす影響は、特に脆弱な国にとって直接的な、また、世界規模での経済攪乱によって多くの国の、安全保障上の問題となる可能性がある。

③深刻な影響をもたらす気候変動問題は、それを緩和する対策についても、気候変動の影響に適応する対策についても、高い優先順位を持って取り組む必要がある。

(2) 重要性を増した適応策

温暖化の影響の現状、将来深刻化する影響に対処するために影響を低減するための適応策が重要視されるようになってきた。適応策と緩和策を組み合わせることにより、気候変化に伴うリスクをさらに低減することができると指摘されている。最も厳しい緩和努力でも、今後数十年間は、気候変化のさらなる影響を回避できないことから、適応は、特に短期的な影響への対処において不可欠となる。また、気候変化が緩和されない場合、長期的には、自然環境、人間社会の適応能力の限界を超える懸念もある。

適応策の事例を表3に示した。現状の温暖化の影響に対処療法的な対応する場合と、将来の気温上昇による影響を想定して予見的・計画的に対応する場合に分類している。また、温暖化の生態系への影響については、生態系自身が現在受けている影響に対しては自らの力では適応することができないことから事例は限られる。

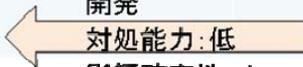
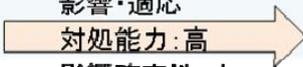
表3. 適応策の類型と事例 (IPCC, 2001 に加筆)

システム	予見的・計画的適応	事後的・対症療法的適応
自然システム	<ul style="list-style-type: none"> ・自然自体に予見的な適応はない ・人間社会の側は、保護区・保全区域の拡大、動植物の移動経路の確保、人工繁殖、土地利用・水管理といった適応的な統合的生態系管理手法を実施する 	<ul style="list-style-type: none"> ・成長期間の変化 ・生態系構成要素の変化 ・湿地の移動 ・動植物の移動 (高緯度・高高度)
人間システム： 民間、個人	<ul style="list-style-type: none"> ・保険の購入 ・高床式建物の建築 ・油井掘削装置の設計変更 	<ul style="list-style-type: none"> ・農耕法の変更 ・保険掛金の変更 ・空調設備の設置
人間システム： 公共	<ul style="list-style-type: none"> ・早期警戒システム (洪水、熱波) ・建築基準や設計基準の変更 ・再配置の促進策 	<ul style="list-style-type: none"> ・補償金、補助金 ・建築基準の施行 ・養浜

(3) 開発（援助）における適応策の主流化

途上国への開発援助に、現在および将来発生するであろう温暖化の影響を考慮する適応策の開発事業への主流化が検討されている。将来発生する影響に関しては、気候モデルの予測結果を用いた影響や適応の評価が実施されており、気候リスクアプローチと呼ばれる。IPCCの影響・適応評価ガイドラインやUNEPの温暖化影響評価方法論がガイドラインとして利用されてきた。一方、開発援助にあつては、対象地域の人々の貧困からの脱却や自然災害への脆弱性を改善する多様な事業が実施されてきたが、これらは脆弱性に基づくアプローチに基づいて援助事業が計画実施されてきた。表4は、従来の脆弱性に基づくアプローチから気候リスクに基づくアプローチの類型と事例を示したものである。今後は、両者を相互連携した方法論の開発やその適用などが重要になっている。

表4. 脆弱性に基づく評価と気候リスクに基づく評価 (McGray et al., 2007)

1. 脆弱性要因に対処する	2. 対応能力の構築	3. 気候リスクの管理	4. 気候変化へ立ち向かう
貧困を減少させ、特定の気候影響には、ほとんど留意しない	コミュニティの問題解決のための頑丈なシステムを構築する	資源や生計に与える気候の変動性・異常気象の悪影響を低減する	温暖化に関連する特定の影響に対処する
例: 貧困撲滅の努力、識字率の改善、女性の権利	例: 自然資源管理の改善、気象モニタリング	例: 災害対処計画、干ばつ抵抗性穀物	例: 海面上昇に対するコミュニティの再配置
バングラデッシュ: 洪水常襲地域の生計手段の多様化	モンゴル: 砂漠地域の適切な牧草地管理実務を促進するためのネットワーク	バングラデッシュ: 適応行動計画を策定するための国レベルで標準化されたリスク評価法の利用	ネパール: Tsho Rolpa Lakeの決壊リスクの低減 インドネシア: 広範なサンゴ白化防止のサンゴ礁管理
 開発 対応能力: 低 影響確実性: 小		 影響・適応 対応能力: 高 影響確実性: 大	

ここで、左に行くほど、従来の開発援助による脆弱性の改善を目的とした活動であること、右に行くほど、将来の気候変動の影響をリスクとしてとらえ、適応策が脆弱性を改善するうえで重要なことを示している。また、対応能力は、気候変化や異常気象に対する対応力を表しており、適応策を開発援助に主流化することにより対応能力を高めることが可能となることを示している。

参考文献

- 小池勲（編）、2006：地球温暖化はどこまで解明されたか—日本の科学者の貢献と今後の展望 2006、丸善。
- Cramer, W., N. Nakicenovic, T. Wigley, and G. Yohe, eds. , 2006: Avoiding Dangerous Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC, 2007a: Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Cambridge University Press.
- IPCC, 2007b: Climate Change 2007 Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press.
- Leemans, R. and A. van Vliet, 2004: Extreme Weather] does nature keep up? 56pp.
- Matsuoka, Y., Morita, T., and Y. Kawashima, 1996: Background paper prepared for the Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, Framework Convention on Climate Change, Geneva, 8-19 July, 1996. ,
- Scheffer, M. and S.R. Carpenter (2003): Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. Trends in Ecology and Evolution, 12: 648-656.
- Vellinga, P. and R.J. Swart, 1991: The Greenhouse marthon: A proposal for a global strategy, 18, vii-xii.
- WBGU(German Advisory Council on Global Change), 1995: Scenario for the derivation of global CO₂ reduction targets and implementation strategies, 40pp.
- WBGU(German Advisory Council on Global Change), 1997: Targets for Climate Protection, 1997.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change), 2003: Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001 Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press.
- McGray, H., A. Hammil, and R. Bradley, 2007: Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development, World Resource Institute, 57pp.

参考資料5 気候安定化目標と緩和策

1. 地球温暖化対策の究極目標

気候変動枠組条約では、地球温暖化対策の究極目標を「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化」することとし、それを「生態系が気候変動に自然に適応し食料の生産が脅かされず、かつ経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内」に達成すべきとしている。

これについて IPCC 第4次報告 (AR4WG3 第1章 p.99) では次のように記している：

The criterion that relates to enabling economic development to proceed in a sustainable manner is a double-edged sword. Projected anthropogenic climate change appears likely to adversely affect sustainable development, with adverse effects tending to increase with higher levels of climate change and GHG concentrations (IPCC, 2007b, SPM and Chapter 19). Conversely, costly mitigation measures could have adverse effects on economic development. This dilemma facing policymakers results in (a varying degree of) tension that is manifested in the debate over the scale of the interventions and the balance to be adopted between climate policy (mitigation and adaptation) and economic development.

また、これに関連して AR4WG3 第1章の要約 (p.97) では次のように表現されている：

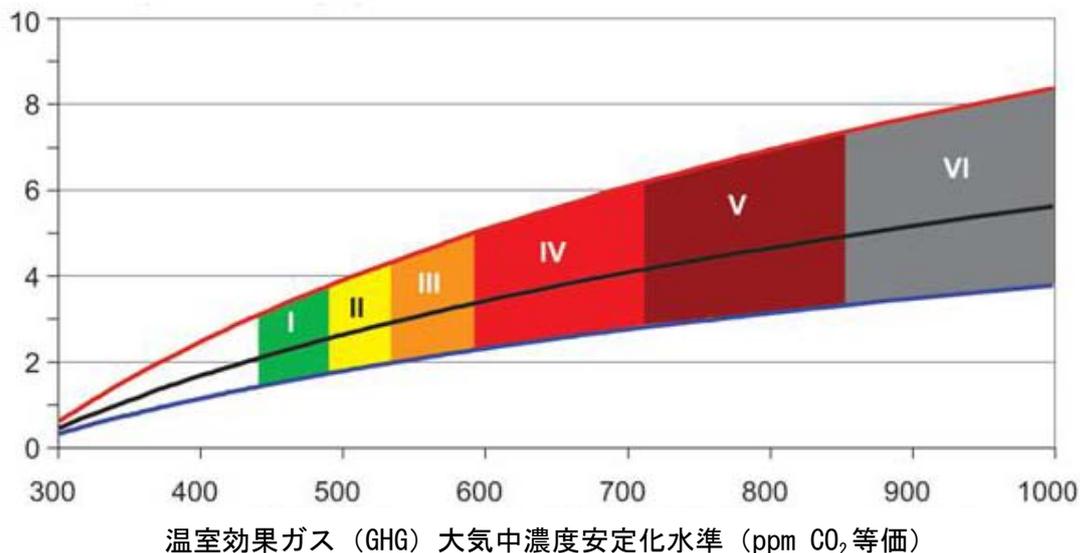
Defining what is dangerous anthropogenic interference with the climate system and, consequently, the limits to be set for policy purposes are complex tasks that can only be partially based on science, as such definitions inherently involve normative judgments. Decisions made in relation to Article 2 will determine the level of GHG concentrations in the atmosphere (or the corresponding climate change) that is set as the goal for policy and have fundamental implications for emission reduction pathways as well as the scale of adaptation required. The choice of a stabilization level implies the balancing of the risks of climate change (risks of gradual change and of extreme events, risk of irreversible change of the climate, including risks for food security, ecosystems and sustainable development) against the risk of response measures that may threaten economic sustainability. There is little consensus as to what constitutes anthropogenic interference with the climate system and, thereby, on how to operationalize Article 2 (*high agreement, much evidence*).

さらに、AR4WG3 のテクニカルサマリー (TS p.32) では下記のように表現されている：

Choosing a stabilization level implies balancing the risks of climate change (from gradual change and extreme events, and irreversible change of the climate, including those to food security, ecosystems and sustainable development) against the risks of response measures that may threaten economic sustainability.

2. 気候安定化シナリオの6カテゴリ

(1) 安定化濃度と気温上昇の関係(IPCC AR4 WG3 Fig. SPM8)



図は、温室効果ガス (GHG) 大気中濃度安定化水準 (ppm CO₂ 等価) と、気温安定化水準 (工業化前からの地球平均気温上昇幅) との関係。

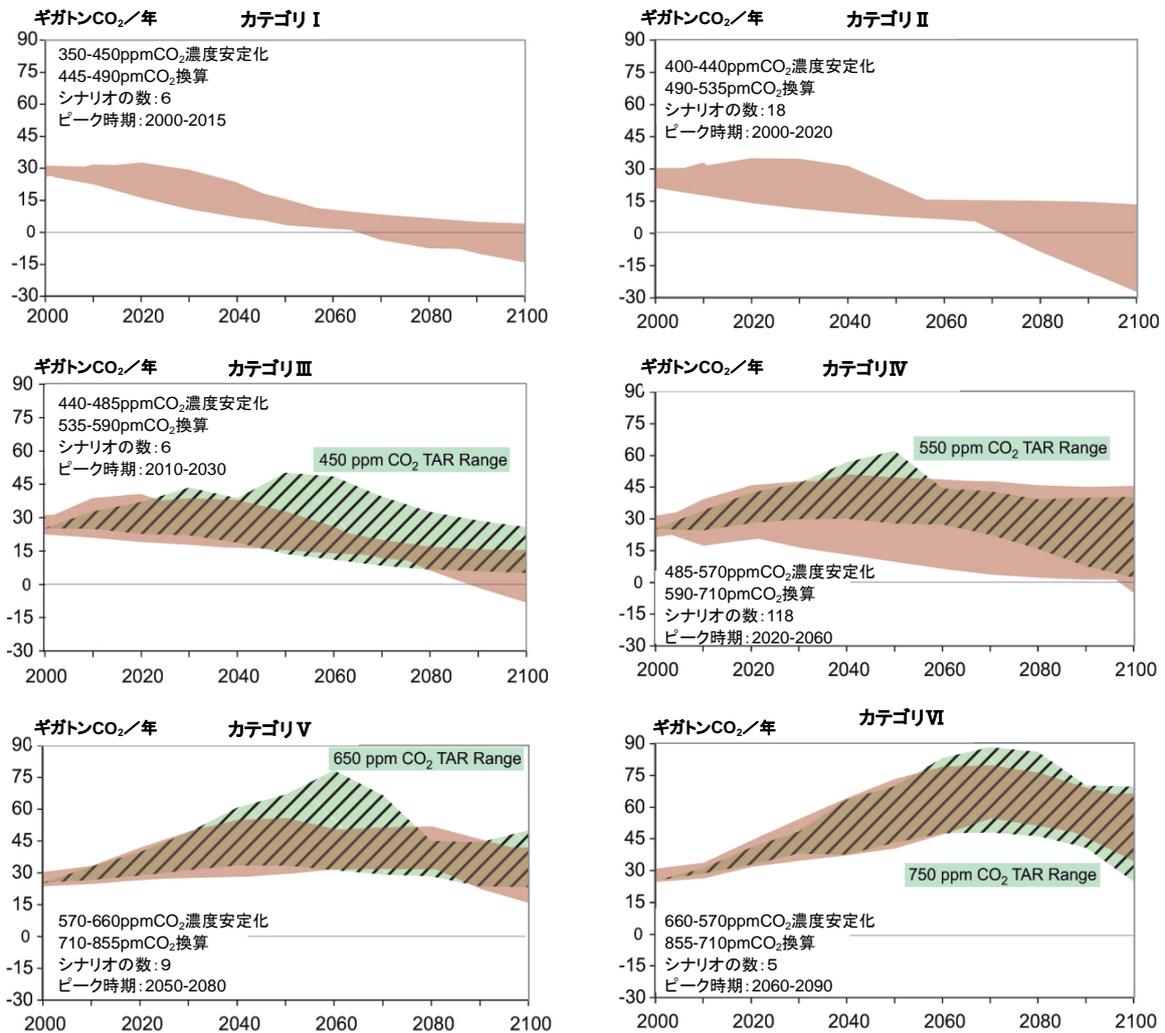
以下の (2) のカテゴリ I から VI までの安定化濃度と気温上昇の関係をまとめたもの。中央の黒線は「最も予想される」気候感度 (3°C) の場合。上限の赤線は「起こり得る」最高値の気候感度 (4.5°C)、下限の青線は「起こり得る」最低値の気候感度 (2°C) を示す。

(2) IPCC カテゴリ毎の整理(IPCC AR4 WG3 Tb. SPM5)

	放射強制力 (W/m ²)	CO ₂ 濃度 (ppm)	等価 CO ₂ 濃度 (ppm CO ₂ eq.)	産業革命以降の気温上昇幅 (°C)	CO ₂ 総排出量ピーク年	2050年のCO ₂ 削減率(2000年比%)
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85~-50
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60~-30
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30~+5
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10~+60
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25~+85
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90~+140

IPCC AR4 では、6 カテゴリに分けてシナリオを提示している。この表を踏まえて、国際社会が目指すべき目標とすべき長期目標に関して議論が進められている。

(3) カテゴリごとに長期安定化のために必要な排出経路(IPCC AR4 WG3 TSp. 39)

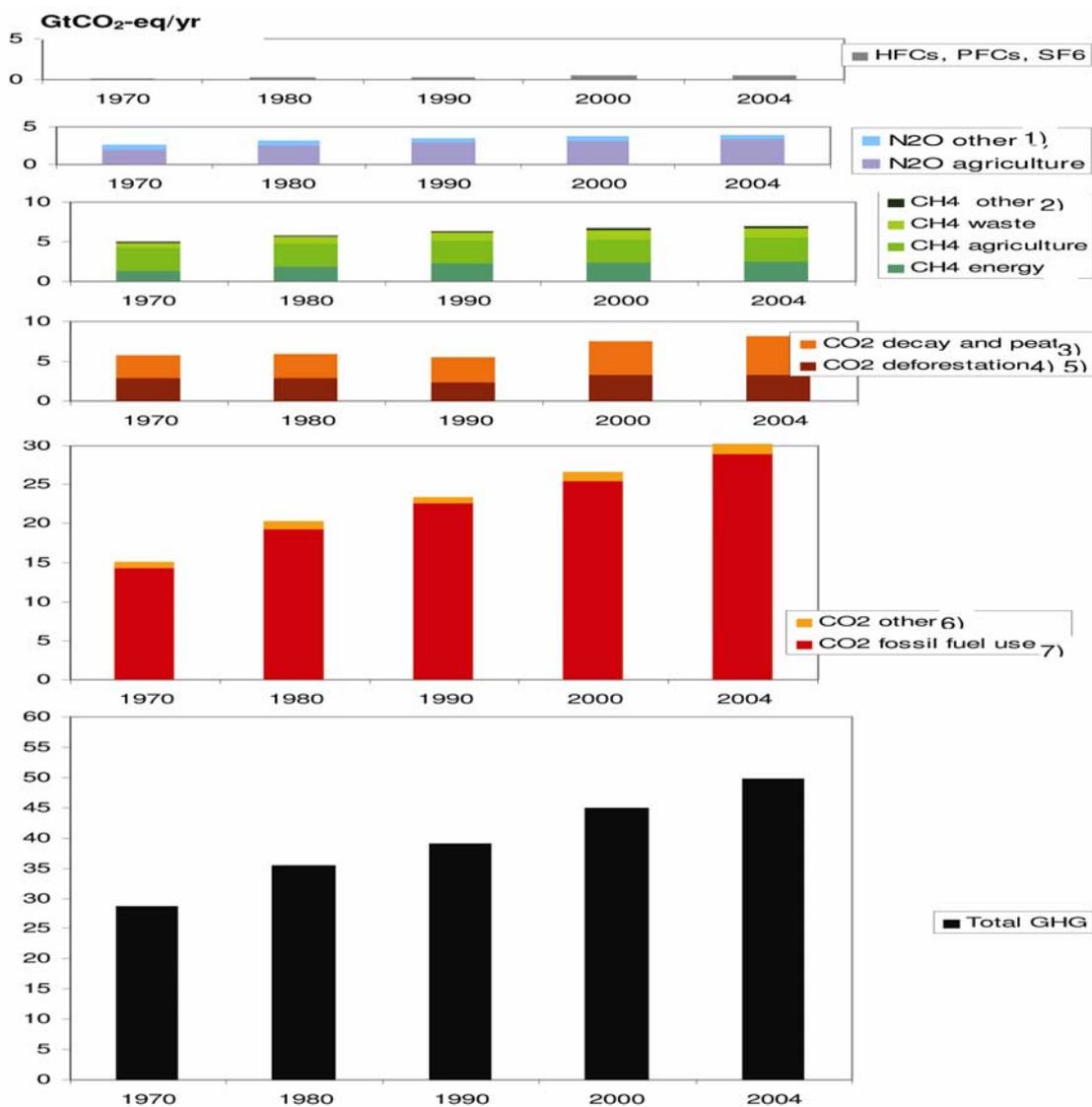


注：GtCO₂/year：ギガトン CO₂/年
 xx-yyppm CO₂換算：xx-yyppm CO₂換算でGHG濃度安定化
 ピーク時期：排出経路がピークを打つ時期
 x ppm CO₂ TAR Range：第3次評価報告書にて提示された x ppm CO₂の排出経路

上記(1)(2)で示した6つのカテゴリ別の安定化目標に達成するために許容される世界全体での排出経路の幅を示している。横軸には年、縦軸には温室効果ガス排出量が示されている。6つのすべてのカテゴリに示されている帯は第3次報告書以降の新シナリオにもとづくCO₂排出量を示している。カテゴリ III から VI までの4つの図に含まれている斜線入りの帯は、第3次報告書時点で80以上のシナリオが示した範囲を表している。

3. 温室効果ガス排出量

(1) 温室効果ガス排出量の内訳 (1970-2004年) (IPCC AR4 WG3 Fig. TS1&4)



注：Gt CO₂-eq/yr：ギガトンCO₂換算/年

HFSs：HFC類、PFCs：PFC類

N₂O other：N₂O農業以外、N₂O agriculture：N₂O農業

CH₄ other：CH₄下記以外、CH₄ waste：CH₄廃棄物、CH₄ agriculture：CH₄農業

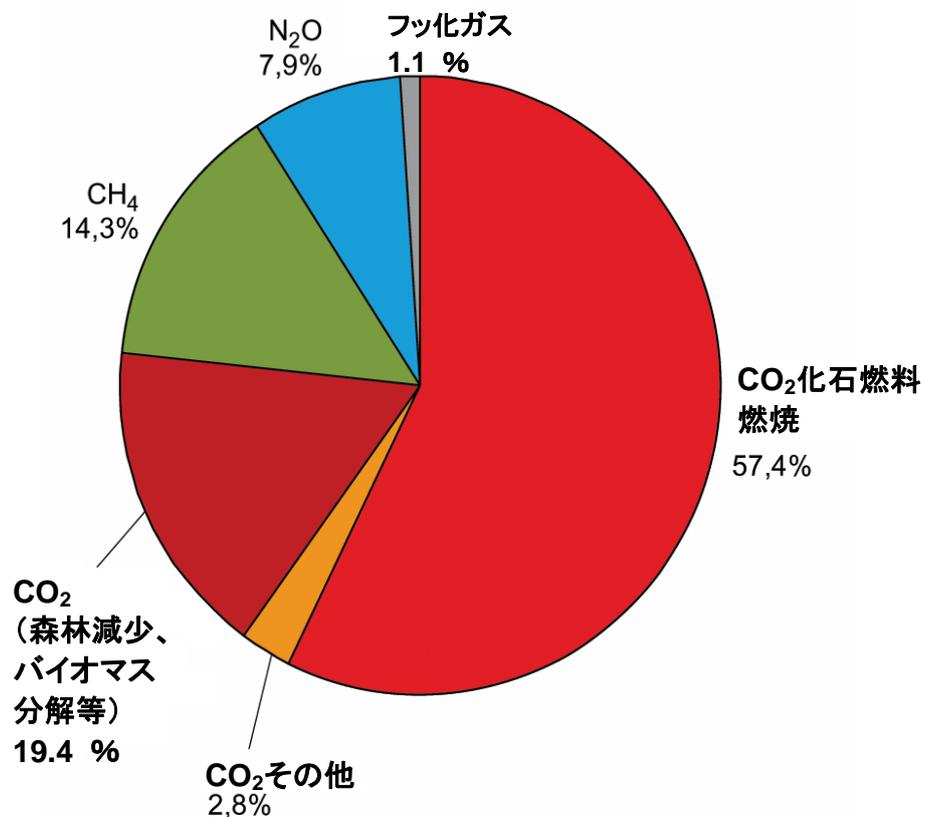
CH₄ energy：CH₄エネルギー

CO₂ decay and peat：CO₂ 枯死・PEAT、CO₂ deforestation：CO₂ 森林減少

CO₂ other：CO₂その他

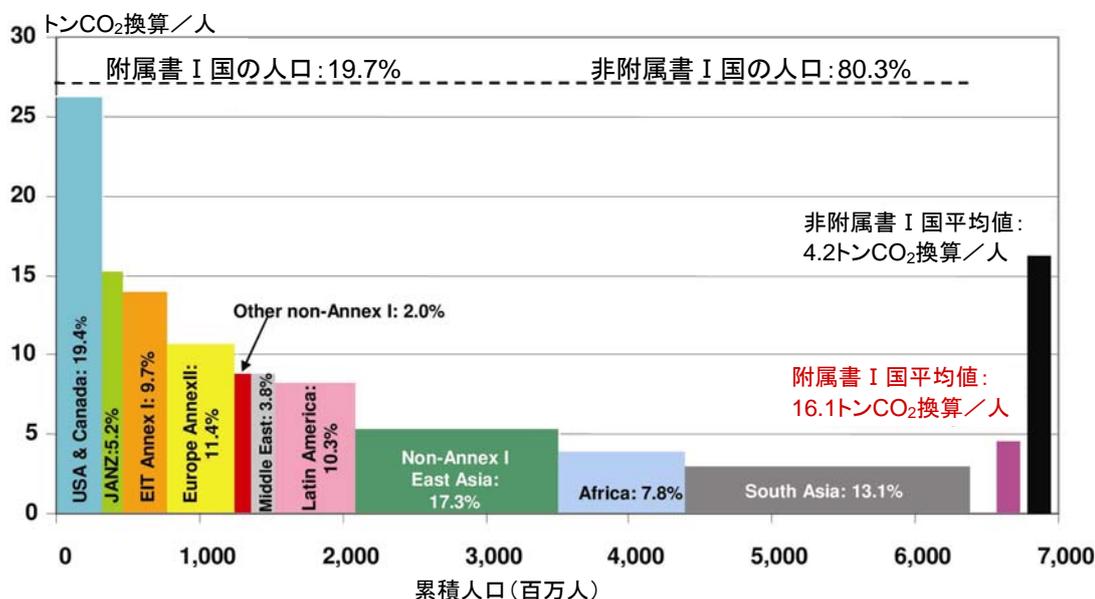
CO₂ fossil fuel use：CO₂ 化石燃料燃焼

TOTAL GHG：全温室効果ガス合計



温室効果ガスの世界総排出量は、1970から2004年の間に約70%増加している。その中でも、とりわけ化石燃料燃焼起源のCO₂の増加率が大きい。化石燃料燃焼起源のCO₂は、温室効果ガス排出量の中で占める割合も大きく、全体の約57%を占める。その次に多いのは、森林減少・バイオマス分解等に伴うCO₂排出で、全体の19%を占める。以下、CH₄、N₂O、その他CO₂、フロン類、と続く。

(2) 地域別の一人当たり温室効果ガス排出量 (2004年) (IPCC AR4 WG3 Fig. SPM3a)



附属書 I 国とは、気候変動枠組条約におけるアメリカ、EU、日本、市場経済移行国を含む 41 カ国・地域を指し、非附属書 I 国とは、それ以外の途上国を含む 151 カ国を指す。地域別の一人当たり排出量を示したものである。横軸は累積の人口 (百万人)、縦軸は地域ごとの一人当たり温室効果ガス排出量 (等価 CO₂ 量)。地域ごとの長方形の面積が、各地域の排出量の大きさを示すことになる。この図から、先進国地域と途上国地域の一人当たり排出量にはまだ大きな隔りがあることが分かる。衡平性の観点からはこの差を縮めながら地球全体の排出量を減らしていくことが望ましいと考えられている。

注：棒グラフ左から、米国・カナダ、日本・豪州・ニュージーランド、ロシア等旧ソ連・東欧、欧州、その他非附属書 I 国、中東、ラテンアメリカ、東アジア非附属書 I 国、アフリカ、南アジア。

(3) 2004 年における附属書 I、非附属書 I 国の温室効果ガス排出量等 (IPCC AR4 WG3 SPM より作成)

	附属書 I 国	非附属書 I 国
人口	20%	80%
GDP (購買力平価)	57%	43%
GHG 排出量	46%	54%
一人当たり排出量	16.1 tCO ₂ eq./cap	4.2 tCO ₂ eq./cap

4. 国際枠組みを評価するための指標（IPCCAR4WG3, 13章 p.751-752より抜粋）

(1) **環境保全性**：環境政策および国際合意の主要な目標は、環境に対する人的活動の負の影響を減少させることである。ある環境の質の水準を達成できる政策ほど「環境保全性が高い」と評価される。温暖化対策にとっては、気候の保全が最終的な目標となるが、多くの場合大気汚染防止といった他の付随的な環境保全効果もあり得ることも念頭においておくべきである。政策の環境保全性は、制度設計、実施、参加、目標の厳しさ、遵守の水準によって規定される。たとえば、一部の温室効果ガスあるいは一部のセクターだけを対象とする政策は、すべてのガスあるいはすべてのセクターを対象としたものと比較すると環境保全性が下がることになる。

(2) **費用対効果性**：ある一定の環境水準の目標に達成する際に、最も費用効果的な政策がすなわち望まれた目標を最も少ない費用で達成できる政策として評価されることになる。「費用」には多様な費用が含まれており、政策導入などに必要な直接費用や政策によって費用を削減する技術変化をもたらすかといった間接費用が挙げられる。費用効果性は、一般的な経済効率性とは異なる。経済効率性の場合には、経済的な指標に応じて目標自体を選択していく手続きが含まれるが、費用効果性では目標として掲げられる環境目標を外形的に（前提条件として）与える。したがって、たとえ「最も費用効果的である」と考えられる政策が導入されたとしても、目標とすべき環境目標の選択によっては、全般的費用の大きさが著しく違ってくることになる。

(3) **配分上の配慮**：政策が、環境上の便益や費用をすべての関係者に等分に配分することは稀である。たとえ政策がある環境目標を最少費用で達成したとしても、社会の中で、社会の間で、あるいは世代間で一部の特定グループだけを損させる（あるいは利する）場合には政治的な反対に直面することになることもある。経済的な観点からは、政策は、それが社会厚生を全体として利するのであれば便益があると判断される。しかし、この指標では、その政策がある一個人の状況を必ず改善するとは限らない。したがって、政策決定者が政策を評価する際には、全体での費用効果性よりは配分における配慮を重視して評価するかもしれない。

地球温暖化対策における配分上の配慮は、衡平性の議論に深く関連する。衡平性の定義はこの温暖化対策の議論に関連するものだけでも多数ある。中でも、責任、能力、経済水準、の3つは、温暖化政策を評価する際の一般的な指標として挙げられている。

(4) **制度的実現性**：制度的な現実性は、不可避免的に環境政策の構造の制約となる。既存の制度上の制約に適合できる政策ほど制度的実現性が高いといえる。また、実際に制度が実現されるためには、大多数の関係者によって受諾され、制度とりわけ法システムによって支持されるものでなくてはならない。その他の重要な配慮事項としては、人的資源、インフラ、社会の中核となる文化や伝統などが挙げられる。ある政策手法に対する人々の慣れも、その政策への支持度に影響を及ぼす。例えば、市場を用いた制度は近年広まりつつあるが、先進国内でも政治的反対に直面し続けている。

5. 緩和策の評価 (IPCCAR4 WG3 Tb. TS15&16)

(1) 2030年での地球全体での排出削減ポテンシャル

ボトムアップ型計算による排出削減ポテンシャル

炭素価格 (US\$/tCO ₂ eq.)	経済的 ポテンシャル (Gt CO ₂ eq.)	SRESA1B シナリオ (68Gt CO ₂ eq./年) からの削減割合 (%)	SRESB2 シナリオ (49Gt CO ₂ eq./年) からの削減割合 (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

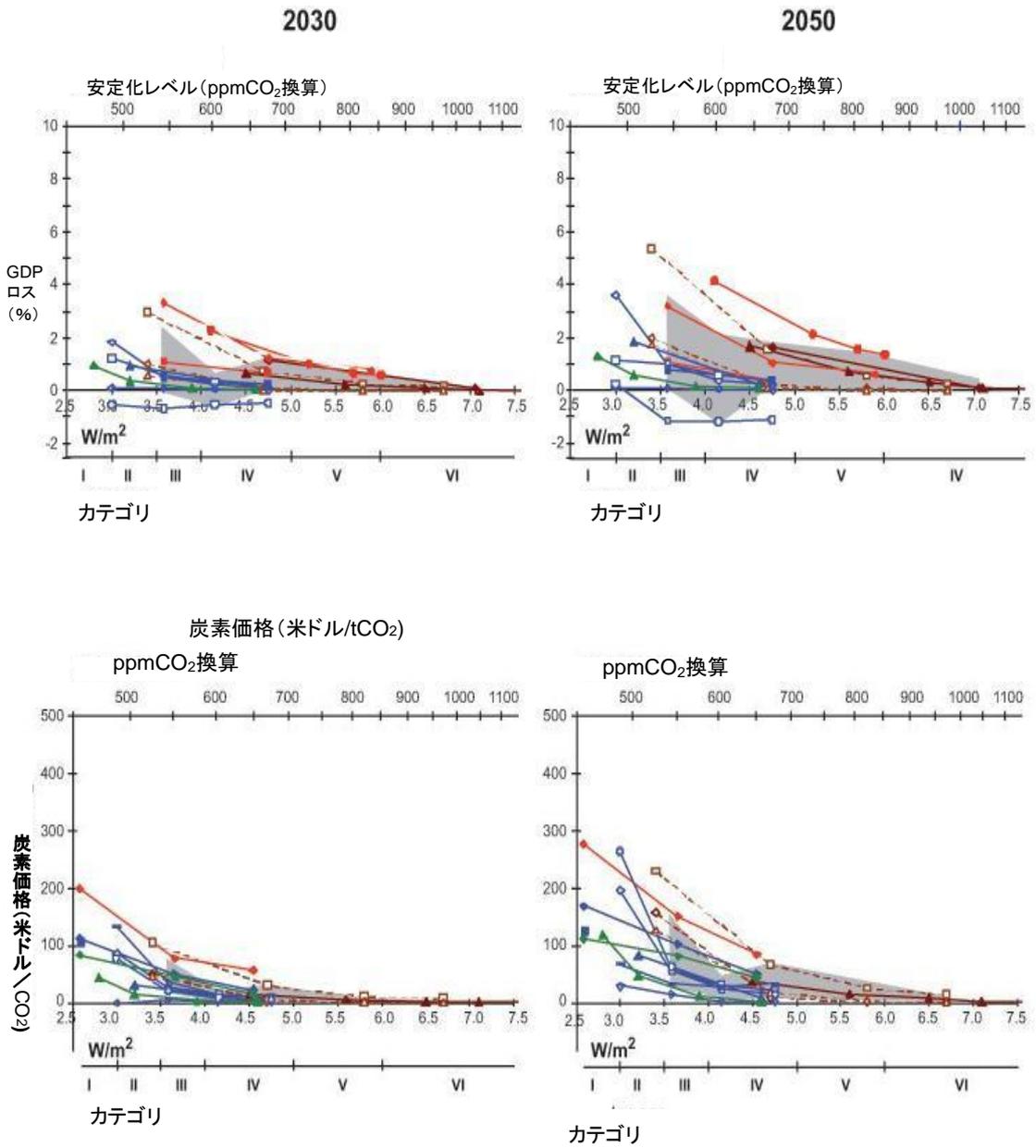
トップダウン型計算による排出削減ポテンシャル

炭素価格 (US\$/tCO ₂ eq.)	経済的 ポテンシャル (Gt CO ₂ eq.)	SRESA1B シナリオ (68Gt CO ₂ eq./年) からの削減割合 (%)	SRESB2 シナリオ (49Gt CO ₂ eq./年) からの削減割合 (%)
20	9-18	13-27	18-37
50	14-23	21-34	29-47
100	17-26	25-38	35-53

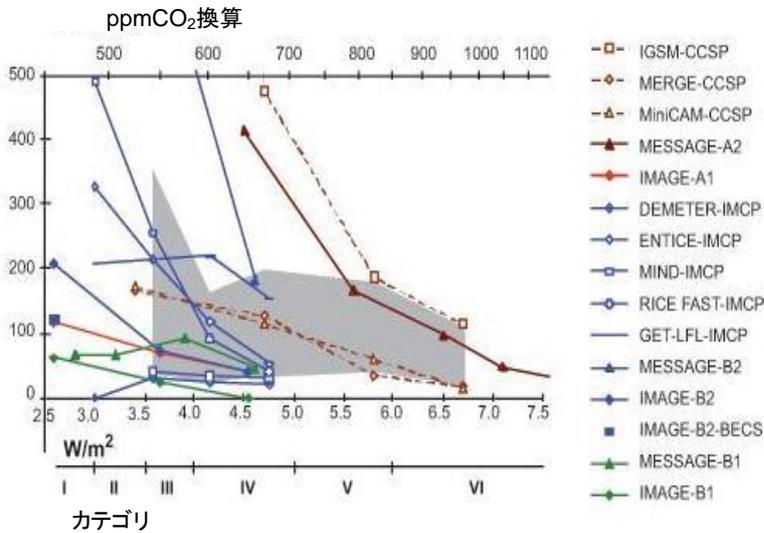
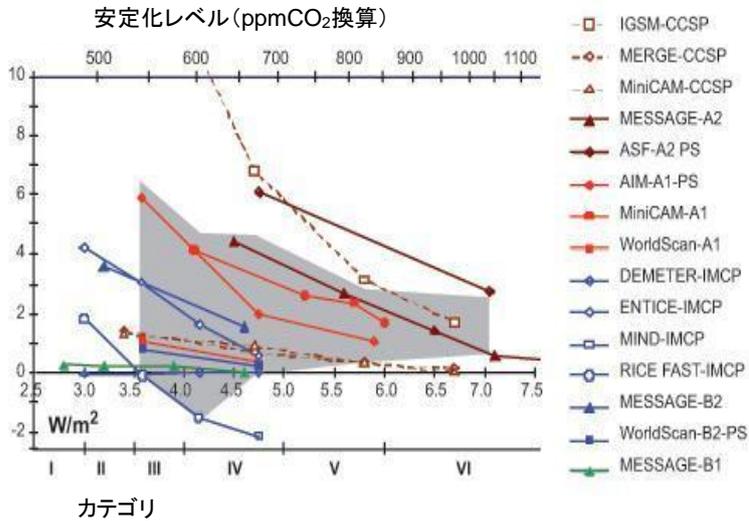
ボトムアップ型の試算では、炭素価格が0であっても多くの削減ポテンシャルがあることが示される。

tCO₂eq. : トンCO₂換算、Gt CO₂-eq. : ギガトンCO₂換算

(2) 安定化レベル別の GDP ロス (IPCC AR4 WG3 Fig. TS9)



2100



2030年、2050年、および2100年時点での気候安定化レベルと排出抑制費用との関係を示している。上段の図はGDPロス、下段の図は炭素価格で費用を表している。各図の中で、横軸下段はカテゴリ、横軸上段は温室効果ガスの濃度安定化レベル、縦軸は排出抑制費用を示している。折れ線はこの試算を行ったモデルごとの結果を示している。影部分は第3次評価報告書にて提示されたシナリオの80パーセンタイルが含まれる部分を示している。この結果から、2030年に関してはモデル間の結果に大きな乖離はないが、2050年、2100年と長期になるにしたがい結果が大きく違ってくるのが分かる。

注：W/m²：放射強制力の大きさ、凡例はモデルごとのシナリオ名

(3) バリ行動計画 (部分抽出、Bali Action Plan、COP13、2007 年 12 月)

2013年以降の国際的取り組みに関する総合的なプロセスを開始し、COP15(2009年、デンマーク)においてその成果について決定するために、特に下記の項目について実施する。

- (a) 条約の究極目標を実現するグローバルな排出削減の長期目標を含む、長期的協力活動に関するビジョンを共有する。
- (b) 気候変動緩和に関する国内、国際的行動の強化。
 - (i) すべての先進国による計測・報告・検証可能な緩和の約束または行動(排出数量目標含む)。各国の国情に配慮した約束であること。
 - (ii) 途上国：先進国による技術支援等を通して、持続可能な発展の中で緩和の行動。これは、計測・報告・検証可能な方法で実施される。
 - (iii) 途上国の森林減少・劣化防止のための方策。森林保全の役割。
 - (iv) 条約4条1(c)(技術開発&移転のための協力を定めた条項)の実施強化を目的とするセクターアプローチのための共同行動。
 - (v) 緩和策の費用効果を高める市場活用機会などの多様な方法。
 - (vi) 対応措置の経済的、社会的な影響結果、
 - (vii) 多国間組織、公共部門等、各種活動との連携構築。
- (c) 適応行動強化に向けた国際協力
- (d) 緩和と適応の行動支援を目的とする技術開発・移転の促進
- (e) 緩和と適応のための行動や技術協力を支援するための資金と投資

このプロセスは条約下部組織の補助機関「長期協力の行動に関するアドホック作業部会」として進められ、2009年までにその作業を終了すること。

(4) 2013年以降の国際枠組みの評価 (IPCCAR4WG3, 13章 p. 789, Tb. 13. 3)

アプローチ	環境保全効果	費用対効果	分配上の配慮	制度的実現性
国別削減目標および排出枠取引	参加と遵守次第。	参加が少ない、あるいは対象ガスやセクターが限定される場合は効果が減る。	初期割り当て次第。	排出目録作成および遵守にかかわる能力次第。約束不履行は制度の安定性を損なう。
セクター別合意	すべてのセクターがこのような合意を得られるわけではなく、効果には限界あり。効果は合意の法的拘束力の強さ次第。	個々のセクター内では効果的かもしれないが、セクターを超えた排出枠取引なければ全体の費用を押し上げる。個々のセクター内での国際競争力の懸念が減る。	参加の程度次第。地球全体で公平に議論されれば国際競争力の懸念は回避される。	多数の個別の決定や技術的な能力を必要とする。合意内容を管理するためにはセクターごとに国際的な機関が必要になるおそれあり。
政策措置の協調	個々の政策は効果的であり得るが、排出量には不確実性が残る。順守の水準次第。	政策設計次第。	協調が進むことは国の柔軟性を低減するかもしれないが、衡平性の水準は高まる。	国の数次第。地球全部で、というよりは少数の国での実施が安易。
技術開発&普及の協力	技術が開発され、普及される際の資金力次第。	研究開発に伴うリスク次第。個々の企業は国リスクを減らすことができる。	知的財産権の問題の取り扱い次第では企業の利益を損なうおそれがある。	多数の個別合意が必要となる。研究開発能力と継続的な投資が必要。
開発中心の行動	国家計画及び他の政策との協調次第。	開発目的との整合性次第。	開発関連政策による分配の効果次第。	持続可能な開発における優先順位次第。
資金的メカニズム	資金量次第。	国や事業タイプ次第。	事業や国の選択のクライテリア次第。	国内の制度次第。
能力増強	時間がかかる。国内のどのグループの能力を増強するか次第。	プログラム設計次第。	対象となるグループの選択方法次第。	国や制度の枠組み次第。

6. セクター別取組について

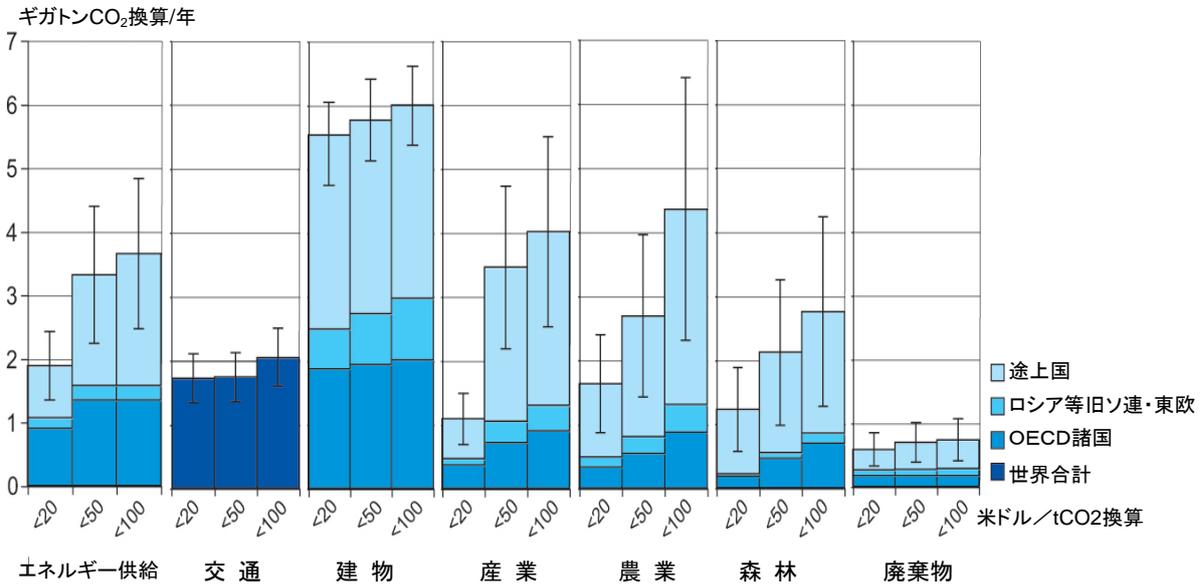
(1) セクター別アプローチに関する IEA 文献の概要

2007年11月、国際エネルギー機関（IEA）がセクター別アプローチに関する研究成果を公表した（“Sectoral Approaches to Greenhouse Gas Mitigation, Exploring Issues for Heavy Industry”）。セクター別アプローチの対象は電力、鉄鋼、製紙などエネルギー集約的な産業に焦点を当てているが、この他にも運輸や家電製品なども対象となり得る。こうした業種・分野に焦点を当てて GHG 排出削減を目指すのがセクター別アプローチである。上述 IEA の文書ではセクター別アプローチの例としてクリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ（APP）、国際アルミニウム協会（IAI）や国際鉄鋼協会（IISI）の業種イニシアティブ、持続可能な発展のための世界経済人会議（WBCSD）のセメントイニシアティブなどを挙げた上で、次の通り4種に分類している。すなわち国別セクター別アプローチ、持続可能な発展に向けての政策・措置の実施、国家横断的セクター別アプローチ、技術志向のアプローチ<注：技術普及を含んで分類されているため>である。このうち主要排出国全ての参加を前提とすること、途上国だけを対象にするものでないこと、という本文の記述との関連性から後ろの二つのみについて簡単に説明する。

まず、国家横断的セクター別アプローチであるが、ある業種が国際的（あるいは地域的）に連携しGHG削減に関する目標を共有するようなケースがこれにあたる。具体例としてはIAIによるアルミニウム1トン当たりのGHG排出（エネルギー使用量）に関する自主目標設定がある。このアプローチで注目されるのは、業界による国際的排出目標に参加している業種については、その達成を前提に国の排出目標から当該業種の排出量を除外し、国は残りの排出量を対象に削減政策をとるという考えもあるという点である。この種アプローチは往々にして排出基準や効率ベンチマークを用いて目標制定を行う。

次に技術志向のアプローチであるが、これは専ら業種ごとに技術開発や普及を通してGHG排出量の削減を目指すものである。このアプローチの特徴は必ずしも数値目標を持たないことである。知識の共有や共同研究開発が主たる目的である。IEAではこの例としてAPPの他に第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）、水素経済のための国際パートナーシップ（IPHE）、炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）などの各種国際パートナーシップを挙げている。以上は政府が関与しているが、この他純民間ではIISIによるCO₂ブレイクスループログラム等がある。

(2) セクターごとの排出削減ポテンシャル(IPCC AR4 WG3, SPM6)



ボトムアップ研究にて推計された 2030 年時点での地域別セクター別経済的削減ポテンシャル（炭素価格別）。それぞれのベースラインシナリオにおける排出量と比べた場合。横軸は、排出削減のために CO₂ 1 トン当たり 20 米ドル、50 米ドル、100 米ドルの炭素価格をかけた場合を示している。また、縦軸は、地域ごとの経済的削減ポテンシャルの幅を示し、上から途上国、ロシア等の経済移行中の国、OECD 諸国を示す。交通部門に関しては国際航空機起源の排出量が含まれているために地域別に示されていない。

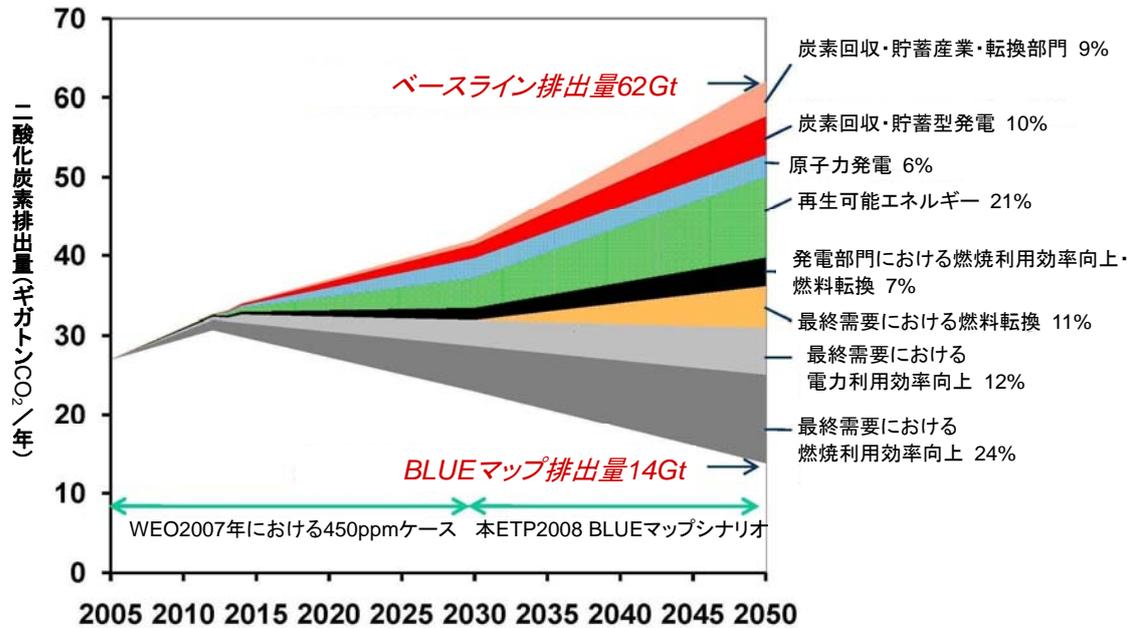
特に炭素価格が高い水準においては、研究成果が少ないことがポテンシャル量の制約となっている。また、セクターはそれぞれ異なるベースラインを用いていることに注意を要する。(SRES のシナリオの違い) さらに、一部の GHG 排出量は対象外となっている。(交通や建物部門における CO₂ 以外のガスなど)

7. 緩和策の評価：国内対策の分類と特徴(IPCC AR4 WG3 . Tb. TS20)

政策手段	環境保全効果	費用対効果	分配上の配慮	制度的実現性
規制および基準	例外はあるものの排出量が直接決定される。順守される水準次第。	制度設計次第。一律に導入すると遵守に要する全般的費用が高くなる傾向あり。	競争状態の形成方法次第。新規参入者には不利な場合もあり。	技術的な能力次第。市場が十分機能していない国では、規制側には好まれる。
税および課徴金	行動に変化をもたらす水準の税率を導入できれば効果あり。	幅広い実施にて効果的。制度が弱い場合には行政的費用がかかる。	逆進性。税収の用途次第では緩和される。	政治的には好まれない場合が多い。未成熟の社会においては実施困難な場合も。
排出枠取引	排出上限、参加、順守次第。	参加者が少なくなると効果は提言する。	排出枠の初期割り当て次第。小規模排出者には不利な場合も。	十分に機能する市場が必要。市場を補完する制度も同時に必要。
自主的協定	明快な目標、ベースラインでのシナリオ、第三者の関与、監視などの観点から見たプログラムの設計次第。	政府のインセンティブづくり（報奨、罰金など）と柔軟性次第。	参加者のみに便益が発生。	政治的には受け入れられやすい。多数の行政官を必要とする。
補助金およびその他のインセンティブ	プログラム設計次第。「規制および基準」より効果は不確実。	水準と制度設計次第。市場を歪ませるおそれあり。	一部の参加者に便益が生じる。補助金を必要としていない一部にも生じる可能性あり。	受領側には好まれる。既得権者からは拒まれる。一旦導入すると止めにくい。
研究開発	技術開発時、および普及に要する継続的投資の見込み次第。長期的には高い便益が得られる可能性あり。	プログラム設計とリスクの大きさ次第。	当初には一部の参加者に便益が生じる。投資が不適切に配分されるおそれもあり。	多数の個別決定が必要。研究能力と長期にわたる継続的投資が必要。

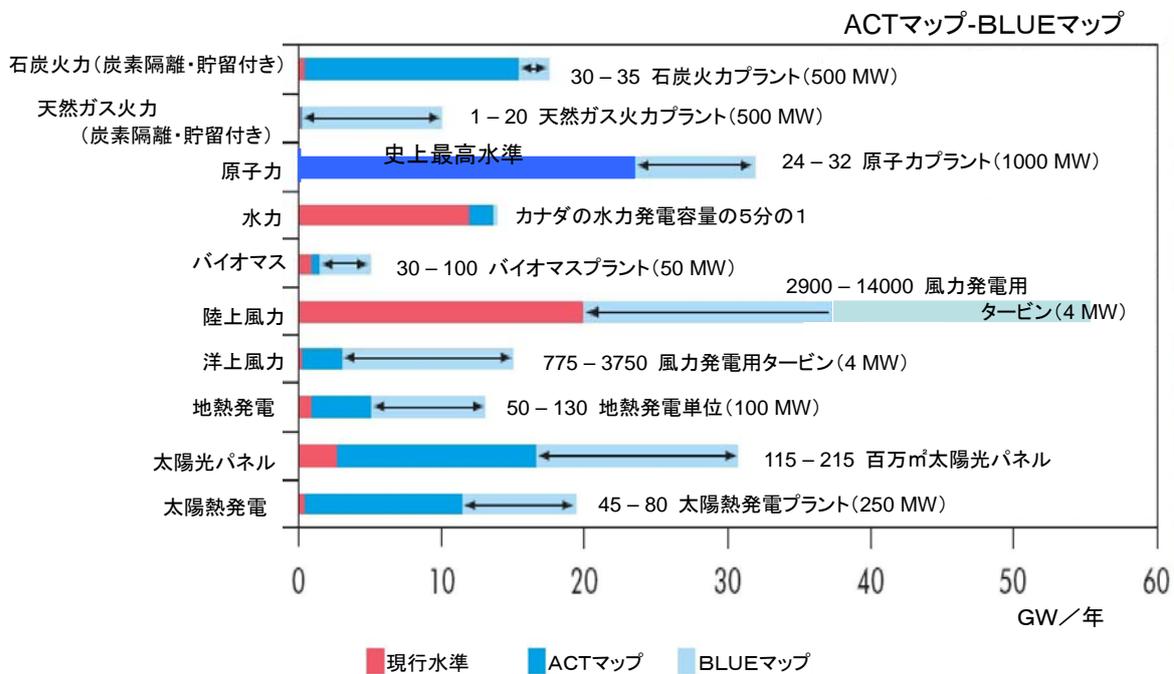
8. 国際エネルギー機関（IEA）による 2050 年半減目標シナリオの試算（IEA(2008) Energy Technology Perspectives 2008)

(1) エネルギー関連 CO₂ の削減内訳



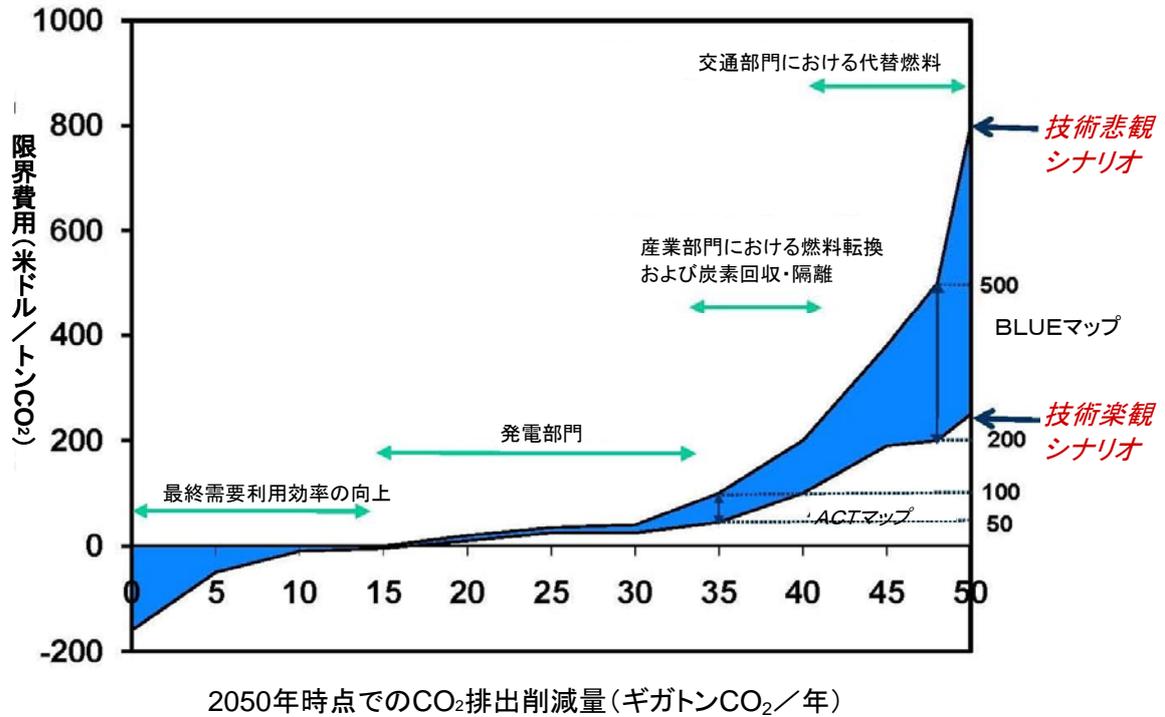
エネルギー関連 CO₂ から 2050 年にかけて大幅に削減していくために必要な技術の内訳を示したもの。最上の線は現在の対策を延長した場合の世界総排出量の増加を示したもので、2050 年時点で 62 ギガトンとなる。2050 年までに現行水準から半減を目指すということは、2050 年の世界総排出量を 14 ギガトンに抑えなければならないということの意味する。そのために必要な技術の内訳として、炭素隔離・貯留、炭素隔離技術を伴う発電、原子力、再生可能エネルギー、発電効率の向上、エネルギー最終消費時点における燃料転換・電力消費効率の向上・省エネ、が挙げられている。

(2) 2010-2050年における1年当たりの必要増加発電量



2010-2050年における1年当たりの必要増加発電量を示したもの。炭素隔離技術を伴う発電や原子力、水力、バイオマス燃料発電所、陸上・洋上風力、地熱、太陽光、に関して、近年までの世界中における増加速度を示したうえで、今後2050年半減目標を達成するために必要となる増加速度を示している。

(3) 排出削減コスト



2050年時点での排出削減費用を示すために、横軸に年当たりの排出削減量、縦軸に限界削減費用をとっている。最初の15G t CO₂/年までは、最終消費段階での利用効率の向上により削減されるため、費用はマイナスとなる。その次に比較的安価な発電部門における削減対策が導入された後、残りの対策は産業部門における燃料転換や炭素隔離や交通部門の燃料転換等であるが、これらの対策のための限界費用は格段に高くなると推測されている。ただし、今後の技術開発・普及に関して楽観的か悲観的かによって、費用に関する推測は大きく違っていることに注意が必要である。

2050年時点での排出量を現行水準まで戻すためには、CO₂1トン当たり50米ドル当たりの費用が必要と考えられる。現行水準からさらに半減するためには、CO₂1トン当たり200米ドル、もしくは500米ドル辺りまでの費用が必要と推計される。

9. 茅恒等式による、経済成長率、省エネルギー率、エネルギーの脱炭素化率の検討（茅陽一編著「低炭素エコノミー」、日本経済新聞出版社（2008）、pp. 70-71）

先進諸国の1980 - 2005の3要素特性

	年次	$\Delta C/E$	$\Delta E/G$	ΔG	ΔC	$\Delta E = \Delta E/G + \Delta G$
米国	'80- '90	-0.2	-2.8	+3.2	+0.2	+0.4
	'90- '95	-0.6	-0.8	+2.4	+1.0	+1.6
	'95- '05	+0.2	-2.2	+3.3	+1.3	+1.1
英国	'80- '90	-1.5	-2.1	+2.6	-1.0	+0.5
	'90- '95	-3.1	-0.7	+1.7	-2.1	+1.0
	'95- '05	-0.3	-2.2	+2.7	+0.2	+0.5
ドイツ	'80- '90	-0.9	-2.4	+2.3	-1.0	-0.1
	'90- '95	-1.3	-2.8	+2.0	-2.1	-0.8
	'95- '05	-0.7	-1.3	+1.4	-0.6	+0.1
フランス	'80- '90	-4.0	-0.8	+2.4	-2.4	+1.6
	'90- '95	-2.4	+0.2	+1.0	-1.2	+1.2
	'95- '05	-0.2	-0.7	+2.1	+1.2	+1.4
日本	'80- '90	-0.8	-1.5	+4.0	+1.7	+2.5
	'90- '95	-1.0	+0.8	+1.5	+1.3	+2.3
	'95- '05	+0.1	-0.6	+1.2	+0.7	+0.6

出典：エネルギー・経済統計要覧

単位：%/年、 $\Delta C/E$ ：脱炭素化率、 $\Delta E/G$ ：省エネルギー率、 ΔG ：経済成長率、 ΔC ：CO₂排出変化率

この表をみると、各要素の特性が非常によくわかる。 $\Delta C/E$ 、 $\Delta E/G$ とも諸国でいずれの期間でもほとんどマイナスで、エネルギーの脱炭素と省エネルギーが進んだことがわかる。ただ、ドイツを除くと1990—1995年の期間では省エネルギーの進展は少なく、フランスと日本に至っては $\Delta E/G$ はプラスでむしろ増エネルギーの傾向があらわれていたことは興味深い。また、エネルギーの脱炭素だが、 $\Delta C/E$ をみると各国とも1995年までは何とか進展している。しかし、1995年以降は状況がきびしく、わが国はわずかではあるがむしろプラスで、炭素依存度が増えている。

ここで注目してほしいのは、表の右端の列でここでは ΔE 、すなわち一次エネルギーの変化率が記してあるが、これは $\Delta G + \Delta E/G$ 、つまり経済成長率から省エネルギー率を差し引いた値と等しくなる。みるとわかるように、この値は、ほとんどの欄でプラスとなっている。つまりGDPの伸び率が省エネルギーの伸び率を上回っている。米国や英国は1980—1990年の期間中は省エネルギー率が2%/年を超し、省エネルギーが進んだ時代といえるのだが、この期間では経済成長率も高く、結果として一次エネルギーは増えてしまっている。唯一の例外は1990—1995年のドイツで、省エネルギー率が経済成長率を追い越しているが、この場合は東西ドイツの併合が起きた影響とみるのが妥当だろう。つまり、併合によって、東ドイツで発電の大部分を占めていた効率の低い石炭火力が相次いで閉鎖ないし運転合理化されたことが形式上の省エネルギー率のあがった原因とみられる。

これらの状況を総合すると、基本的には経済成長が進むと省エネルギーも進展し、経済成長が低下したときは省エネルギーも低下する、といった傾向がある。このことは発展途上国をみても成立する。たとえば、中国の1990—2005年の15年間の平均省エネルギー率は4.2%/年と非常に高いが、経済は何と9.6%/年というそれをはるかに上回る成長を達成している

参考文献

- IPCC, 2007: Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change: Summary for Policy Makers, Cambridge University Press.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change: Technical Summary, Cambridge University Press.
- Richard Baron, with Julia Reinaud, Matt Genasci and Cédric Philibert, 2007: "Sectoral Approaches to Greenhouse Gas Mitigation- Exploring Issues for Heavy Industry," IEA Information Paper.
http://www.iea.org/textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2000
- Daniel Bodansky, with contributions from Sophie Chou and Christie Jorge-Tresolini, 2004: "International Climate Efforts Beyond 2012: A Survey of Approaches," Pew Center for Global Climate Change Working Paper.
- IEA, 2008: Energy Technology Perspectives.
<http://www.iea.org/Textbase/techno/etp/index.asp>

参考資料 6 国際環境専門者会議

1. 国際環境専門者会議について

人口増加、エネルギー消費の拡大等に伴う地球温暖化等、人為起原の地球環境の問題は、21世紀の今、明らかに顕在化しており、生物圏と人間社会へ大きな影響を与え始めています。その解決には、未曾有の気候変化の監視、それを防ぐための対策と社会構造の変革、そして持続的社会的規範を支える教育等の分野の総合的な対策を推進しなければなりません。本年7月に開催されるG8サミット（北海道洞爺湖）でもこのような全球的環境問題への抜本的対策が重要課題のひとつになっており、大きな社会的な関心を呼んでいます。

日本学術会議では、平成19年7月に「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」を設置し、これまで計7回の委員会において地球環境問題に関する審議を行ってきましたが、この度、東京大学、北海道大学、海洋研究開発機構と合同(※)で、地球温暖化等の地球環境問題を議論する「国際環境専門者会議」を開催しました。この会議では、国内外の鍵となる専門家を招き、「自然現象の測定とモデリング」、「影響評価」、「被害軽減対策に関する取り組み」を、アカデミーの英知を結集して多角的・総合的に検討しました。

2. 会合の概要

- (1) 日時 平成20年6月23日(月)、24日(火)
- (2) 場所 ホテル シャトレーゼ・ガトーキングダム・サッポロ
(北海道札幌市北区東茨戸132番地)
- (3) 出席者 地球環境問題に関する内外の専門家 37名
日本学術会議 地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会委員 13名、海外からの招へい者 (Susan Solomon IPCC 報告 WG1 共同代表 他) 5名、国内研究者 19名
- (4) 結果 国際環境専門者会議 議長サマリー
〔議長：入倉 孝次郎 京都大学名誉教授〕

[※ 参考]

「国際環境専門者会議 (Professional Meeting for Global Warming Issues)」は、日本学術会議「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会 (第8回)」と

東京大学気候システム研究センター、
東京大学サステイナビリティ学連携研究機構、
北海道大学、
海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター 主催

「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関するワークショップ」の合同会議として開催されました。

国際環境専門者会議 参加者

		氏名	所属
日本学術会議 「地球温暖化等、人間活動 に起因する地球環境問題に 関する検討委員会(※)」 委員(13名)		入倉 孝次郎 (委員長)	京都大学名誉教授
		中島 映至 (副委員長)	東京大学 気候システム研究センター
		西條 辰義 (幹事)	大阪大学社会経済研究所
		本田 靖 (幹事)	筑波大学大学院人間総合科学研究科
		秋元 圭吾	地球環境産業技術研究機構システム研究グループ
		江守 正多	国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室
		唐木 英明	東京大学名誉教授
		住 明正	東京大学サステナビリティ学連携研究機構
		西岡 秀三	独立行政法人 国立環境研究所
		三村 信男	茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター
		山口 光恒	東京大学先端科学技術研究センター
		山地 憲治	東京大学大学院工学系研究科
		鷺谷 いづみ	東京大学大学院農学生命科学研究科
	海外からの招へい者 (5名)		Anthony McMichael
		Nebojsa Nakicenovic	Energy and Transitions to New Technologies Programs, International Institute for Applied Systems Analysis
		Guang-Yu Shi	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
		Susan Solomon	NOAA Aeronomy Laboratory
		Ji Zou	School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China
国内からの 招へい者 (19名)	WG1 (気候変化に 関する科学的知 見)関連 (7名)	阿部 彩子	東京大学 気候システム研究センター
		鬼頭 昭雄	気象庁 気象研究所 気候研究部
		近藤 洋輝	海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター
		野尻 幸宏	国立環境研究所 地球環境研究センター
		野田 彰	海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター
		松野 太郎	海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター
		山中 康裕	北海道大学 大学院環境科学院
	WG2 (気候変化の 社会へのイン パクト)関連 (7名)	池田 駿介	東京工業大学大学院工学研究科
		沖 大幹	東大生産技術研究所
		倉根 一郎	国立感染症研究所ウイルス第一部
		寶 馨	京都大学防災研究所
		西森 基貴	農業環境技術研究所大気環境研究領域
		森杉 壽芳	東北大学 名誉教授
		横沢 正幸	農業環境技術研究所大気環境研究領域
	WG3 (気候変化に対 する対策・軽減 策)関連 (5名)	杉山 大志	電力中央研究所
		高村 ゆかり	龍谷大学法学部
		十市 勉	日本エネルギー経済研究所
		新澤 秀則	兵庫県立大学経済学部
		濱崎 博	国際公共政策研究センター／富士通総研 経済研究所

※ 委員会の全委員22名のうち、13名が参加

Chairperson's Summary

The "International Professional Meeting on Global Warming Issues" was convened as a joint meeting of the "Committee on Global Warming and Environmental Problems" of the Science Council of Japan (referred to below as the Global Warming Committee) and "Global Warming Issues Workshop" of University of Tokyo, Hokkaido University, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, on June 23-24, 2008, at the Hotel Châteraisé Gateaux Kingdom Sapporo in Hokkaido. Thirty-four domestic and five international specialists participated in discussing the current recognition and extent of global warming, its environmental and social consequences, and the measures that human society will have to take to address these problems.

In a plenary session, the Science Council of Japan first reported the outline of the deliberations of its "Global Warming Committee", followed by presentations by overseas specialists on their assessments of global warming, its impacts and related issues. Following this, three working groups separately discussed: (1) Science; (2) Impacts and adaptation measures; and (3) Mitigation measures. From summaries of those discussions, presented in the final plenary session, the following conclusions were compiled by the chairperson:

- Anthropogenic climate change is affecting physical systems, ecosystems and human society and wellbeing. It is necessary to establish a framework within which to practically address global warming mitigation and adaptation measures, in ways that are compatible with achieving other high-level global targets such as the Millennium Development Goals .
- To achieve the ultimate objective of the UN Climate Convention, a large reduction in global emissions is needed. While the G8 Summit and other initiatives discuss a target of the order of a 50% reduction in global greenhouse gas emissions by 2050, recent scientific assessments indicate that a much greater reduction is eventually required, if concentrations are to be stabilized. However, many socio-economic and technological challenges need to be overcome in order to achieve such a large reduction by 2050. Science and society must therefore focus intellectual resources on addressing these issues, including achieving agreement on the long-range target.
- Both adaptation and mitigation strategies afford many opportunities for 'bonus' gains in environmental conditions and in human wellbeing and health. This prospect of co-benefits provides a positive incentive to our societies for prompt and substantial investment in both activities.

Based on these points, the chairperson compiled the following views and proposed strategies from this meeting:

- **Strengthening efforts to accelerate understanding of the climate change phenomena and their impacts, and to reduce and communicate uncertainty:** Use of next-generation supercomputers, promotion of international comprehensive modeling projects, establishment of a Witness System to monitor climate change and its consequences, and development of an international network for studying effects on ecosystem services, functionality and vulnerability. Improve the understanding and projections of a wider range of consequences, including ocean acidification and extreme events such as heavy rains, tropical cyclones, and heat waves. More thorough assessment of the current impacts and future risks from climate change is needed in all countries, including risks from extreme events. Through communication with the public, this will provide crucial information for well-informed decision-making about the schedule of climate change mitigation activity at international and national levels. It is also important for the research community to contribute broadly to the IPCC fifth assessment report.
- **Promoting adaptation measures for building sustainable societies:** The vulnerability of natural systems, physical infrastructure, social institutions and human communities must be assessed in order to guide priority setting. While low-income and poorly-resourced populations will generally be at relatively greater risk, and some geographic regions, ecosystems and economic activities will be particularly vulnerable, all regions, populations and countries face risks from climate change. There is therefore need for development of adaptive strategies, to lessen risks; and this will require improved climate projections with finer-resolution applicable to country and local-level assessment. This will necessitate international cooperation, with transfer of ideas and technologies, development of research networking, and capacity-building in developing countries at professional and community levels; adaptation in local communities using indigenous technologies and knowledge is also important.

- **International framework and climate stabilization targets:** The future international mitigation framework should be analyzed according to four principles, i.e., environmental effectiveness, cost-effectiveness, distributional considerations, and institutional feasibility. Environmental effectiveness implies participation by all major emitting countries. Policy instruments to promote technological progress are the key to environmental effectiveness and cost-effectiveness. Policy instruments to be analyzed include national emission targets, sectoral approaches, coordinated efforts to enhance direct regulations and information measures, international carbon taxes, and emission trading systems, to name a few. Long-term stabilization targets and/or additional pathways beyond the range of current studies should be further analyzed, taking the same principles into account.
- **Technological and social innovation for a Low-Carbon Society:** Technological research, development, and diffusion are necessary for non-fossil energy, energy-efficient technologies, and carbon dioxide capture and storage technologies (CCS). In addition to technological innovation, social innovation will be also instrumental for a low-carbon society. Environmental harmony must be taken into consideration in development of social infrastructures. Also, educational and publicity activities, via improved methods of communication with the public, should be used to increase awareness of climate change risks and to encourage lifestyle changes, including changes in aspects of the built environment and in the selection of products, services and social infrastructures.

国際環境専門者会議 議長サマリー（和訳）

「国際環境専門者会議」は、日本学術会議の「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関する検討委員会」（以下、地球温暖化等委員会）と東京大学、北海道大学、(独)海洋研究開発機構が主催する「地球温暖化等、人間活動に起因する地球環境問題に関するワークショップ」の合同会議として、平成20年6月23日、24日に北海道のホテル シャトレーゼ・ガトーキングダム・サッポロにおいて開催された。国内から32名、海外から5名の専門家が出席し、地球温暖化等の問題についての現状認識と、問題に対処するために必要な社会の取り組み等について議論した。

本会議では、地球温暖化等委員会でこれまで議論されてきた内容が報告され、続いて海外専門家からの地球温暖化等の問題についての意見が発表された。これを受けて、1. 科学、2. 影響および適応策、3. 緩和策の3つのワーキンググループで個別のテーマについて議論を行った。

その結果を踏まえ、現状の知見と問題点の認識を議長は以下のとおり取りまとめた。

- ・ 人為起源の気候変動は地球の自然環境、生態系、人間社会に影響を与えている。ミレニアム開発目標など高次の世界目標の枠組みの中で、現実に地球温暖化の緩和と適応の方策が機能するような構造を創出する必要がある。
- ・ 気候変動枠組条約に規定されている究極目標を達成するためには、長期的に大幅な排出削減を行わなくてはならず、最終的には50%を大幅に上回る削減が必要である。G8サミット等において2050年までに温室効果ガスを50%削減する目標が提起されているが、このような大幅な削減を実現するには、技術的にも社会経済的にも多くの難しい課題がある。長期的対策の適切な目標設定を含め、このような課題の解決のために世界の英知を結集する必要がある。

- ・ 適応及び緩和の戦略には、実行すると環境と人間の健康の双方に効果をもたらすものも多い。この「一石二鳥効果」によって、我々の社会は、直ちに実質的な対策に取り組みやすくなる。

その上で、人類が直面する気候変動問題への対処施策についての専門家としての意見を、議長は以下のとおり取りまとめた。

- ・ **気候変化現象とその影響への理解促進および不確実性の低減と伝達に向けた取り組みの強化**：国内外の温暖化対策に対して必須情報を提供するために、次世代スーパーコンピュータの活用、国際的・総合的研究プロジェクトの推進により、極端現象を含む気候変動とその影響についてより信頼性の高い評価を行い、その結果と含まれる不確実性を社会に伝達する必要がある。また、気候変化とその影響を多面的に監視するウィットネスシステムと、生態系サービスの持続的提供と脆弱性把握のための国際ネットワークの構築が必要である。さらに、研究コミュニティは、IPCC 第5次評価報告書に貢献することも重要である。
- ・ **持続可能な社会構築のための適応策の促進**：温暖化対策の優先度を定めるためには、自然システムやインフラ施設、地域コミュニティの脆弱性を把握する必要がある。全ての国が気候変動のリスクに直面するため、適応策の実施が不可欠であり、そのためには国や地域レベルの計画策定に利用しうるより高分解能の気候予測が必要とされる。さらに、途上国における適応策の策定には、政策や技術の移転、研究ネットワークの構築、能力開発などの国際協力が必要である。途上国の適応策には、近代的技術と共に、伝統的な技術及び知識も重要である。
- ・ **国際枠組みと気候安定化目標**：将来の国際枠組みは以下の4つの原理に基づいて考察されねばならない。環境保全性、費用対効果性、負担の衡平性、及び制度的実現性である。環境保全性は主要な排出国の参加で担保される。技術進歩を促進する政策手段は環境保全性と費用対効果の鍵となる。分析すべき政策手段とは、国別排出目標、セクター別アプローチ、直接規制とラベリングなどを含む商品知識の促進、国際炭素税、排出権取引制度などである。現行の研究を超える長期の安定化目標や新たな排出経路は上記の原則を踏まえて分析せねばならない。
- ・ **低炭素社会に向けた技術革新と社会革新**：非化石エネルギーや省エネルギー技術およびCO₂回収・貯留技術の研究開発と普及が必要である。このような技術革新に加えて、低炭素社会の展開には社会革新も重要である。社会インフラ整備において環境調和性に配慮しなければならない。また、社会との対話を通じ、気候変動のリスクの認知を高め、製品やサービス・社会インフラの選択を含めたライフスタイル変革を誘導するために、教育・広報を推進することが望まれる。