

I P C C 第三次評価報告書

気候変化 2 0 0 1 : 統合報告書

政策決定者向け要約

**翻訳：(財)地球産業文化研究所
監修：気象庁、環境省、経済産業省
協力：中央法規出版(株)**

序論

IPCC はその第 13 回総会（1997 年 9 月 22 日，25～28 日，モルディブ）で得られた結論とそれに続くほかの結論に基づき，次のことを決定した。

- ・第三次評価報告書の一部に，統合報告書を含める。
- ・統合報告書は，政策関連(policy-relevant)の，しかし政策規定的(policy-prescriptive)ではない情報の統合とまとめを，第三次評価報告書のなかに含めて提供するとともに，これまでに承認・採択された IPCC 報告書を引用して，重要な政策関連の，しかし政策規定的でない広範囲な質問に答える。
- ・質問は，気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）の締約国会議（COP）と協議のうえ，作成する。

以下の 9 項目の質問は，各国政府により提出されたものに基づいており，IPCC 第 15 回総会（1999 年 4 月 15～18 日，コスタリカ，サンホセ）において承認されたものである。

QUESTION 1

気候変動枠組条約第 2 条にある「気候システム（気候系）に対する危険な人為的干渉」を構成するものが何かを定めるうえで，科学的，技術的，社会経済的分析はどういった貢献ができるのか？

自然科学，科学技術，社会科学は，「気候システム（気候系）に対する危険な人為的干渉」を構成するものが何かを定めるうえで不可欠な情報および証拠を提供することができる。同時に，その決定は，開発，公平性，持続可能性とともに不確実性やリスクへの考慮を入れた，社会政治的プロセスを通して決定される価値判断である。[Q1.1]（訳注：パラグラフの最後のカギカッコ書きは統合報告書，Synthesis Report の関連する項を示す）

何が「危険な人為的干渉」を構成するかを決定する根拠は地域により異なり，各地の特性や気候変化による影響の結果の両方に依存し，また気候変化に対応するため利用できる適応能力に依存し，さらに変化の規模と速度が両方とも重要なことから緩和能力に依存する。あらゆる場合に適用できる最善の政策の組み合わせは存在しない。むしろ，一定の範囲の起こりうる将来に対してとるあらゆる確固たる政策措置と，そのような気候特有の政策をより広範囲な持続可能な開発政策とどれだけ統合できるかの程度との両方を検討することが重要である。[Q1.2]

第三次評価報告書（TAR）は，何が「気候システム（気候系）に対する危険な人為的干渉」を構成するかの決定において，政策決定者へのインプットとして新たな科学上の情報と証拠の評価を提供するものである。本報告書は，第一に，将来の大気中温室効果ガス濃度，気温，降水量，海面水位の地球規模および地域規模での変化のパターンと速度，極端な気

候現象¹の変化について新しい予測を提供している。また、海洋循環や主要な氷床における急激で不可逆的な変化の可能性を検討している。第二に、この報告書は、気候変化のもつ生物物理上の、そして社会経済上の影響の評価を提供しており、特異で、脅威に曝されているシステムに対するリスク、極端な気象現象にかかわるリスク、影響の分布、集計された総影響、そして大規模で強い影響を起こす現象のリスクに関するものである。第三に、緩和により、大気中の温室効果ガス濃度の広範囲なレベルを達成する可能性の評価と、適応がどのようにして脆弱性を低減できるかについての情報を提供している。[Q1.3~1.6]

気候変化の統合的な見解は、関係するすべての部門にわたり相互に結びついた因果関係全体の完全なサイクルの動きを考慮している（211 頁，図 1-1）。TAR は、図 1-1 のすべての四分要素に関し、新たな政策に関連する情報および証拠を提供している。「排出シナリオに関する特別報告書」(SRES) の主要な新しい寄与は、異なる開発経路と関係するすべての温室効果ガスの排出との関係を探求していることであり、TAR は、適応、緩和、開発経路のつながりについての予備的な研究の評価を行った。しかしながら、知識が不完全な状態にあることから、TAR では、気候変化の完全に統合された評価を達成してはいない。[Q1.7]

気候変化に関する政策決定は、本質的に一般的な不確実性の下での連続した一つのプロセスである。政策決定は、不連続の、そして/または不可逆的な変化のリスクを含めた不確実性を扱い、また、不十分な、または過剰な行動というリスクのバランスをとらなければならない、さらに（環境面および経済面の）結果について、その可能性、そしてリスクに対する社会の姿勢に関する慎重な検討が含まれる。[Q1.8]

気候変化の問題は、持続可能な開発という、より大きな挑戦事項の一部である。この結果、気候政策は、各国家および各地域の開発経路をより持続可能なものにするように設計された広範囲な戦略のなかに一貫して組み込まれるならば、より効果的なものとなりうる。これは、気候の変動性や気候変化の影響、気候政策対応、および関連する社会経済開発が、各国の持続可能な開発目標を達成する能力に影響するため起こる。逆に、こういった持続可能な開発目標を追求することは、気候政策の機会とその成功に影響を与える。特に、さまざまな開発経路の社会経済的そして技術的な特徴は、排出量や、気候変化の速度と規模、気候変化の影響、適応する能力、そして緩和する能力に強い影響を及ぼす。[Q1.9~1.10]

TAR は、さまざまな緩和・適応オプションのタイミング、機会、コスト、便益、影響について利用可能な情報を評価している。TAR は、個々に、あるいはほかと協力して行動する国にとって、緩和や適応のコストを削減し、持続可能な開発の達成に伴う便益を実現する機会が存在することを示している。[Q1.11]

QUESTION 2

¹ 訳注：「異常気象」と訳したほうが一般にはわかりやすいが、気象庁では「30年に1回程度の出現で起こる現象」に限り「異常気象」という用語を用いていることから、それと区別するために「極端な（気象/気候）現象」と訳した。

地球の気候が工業化時代前から変化している証拠，その原因，結果は何か？

地球の気候は，工業化時代前以来，地域規模で，そして／または地球規模で変化しているか？ 変化したのであれば，観測された変化のうち人間の影響に起因する部分があるとすればどの部分か，また自然現象に起因する部分があるとすればどの部分か？ 起因しているとする根拠は何か？

工業化時代前以来，特に最近 50 年間に重点を置いた場合，気候変化の環境面，社会面，経済面の影響についてはどのようなことが知られているか？

地球の気候システムは，工業化時代前以来，地球規模と地域規模の両方で明確に変化しており，これらの変化の一部は人間活動に起因する。[Q2.2]

人間活動により，工業化時代前以来，温室効果ガスやエアロゾルの大気中濃度が上昇している。主要な人為起源の温室効果ガス（すなわち二酸化炭素(CO₂)，メタン(CH₄)，一酸化二窒素(N₂O)，対流圏オゾン(O₃)）の大気中濃度は，1990年代で観測史上最高レベルに達しており，これは主に化石燃料の燃焼，農業，土地利用の変化によるものである（表 SPM 1）。人為起源の温室効果ガスによる放射強制力は正であり，その不確実性の範囲は小さい。エアロゾルの直接的な効果による放射強制力は負であり，より小さい。それに対し，雲を通じたエアロゾルによる間接的な影響から生じる負の強制力は大きなものとなる可能性があるが，十分な定量化はなされていない。[Q2.4~2.5]

観測結果が増えたことによって，温暖化しつつある世界および気候システムにおけるその他の変化についての全体像が明らかになっている（表 SPM 1）。[Q2.6]

表SPM-1 を挿入

地球全体でみた場合では，1990年代が観測機器による観測記録期間（1861~2000年）において最も温暖な10年であり，また1998年が最も温暖な年であった可能性がかなり高い（BOX SPM 1参照）。北半球における20世紀の地上気温²の上昇量は，過去1000年のどの世紀よりも大きかった可能性が高い（表 SPM 1）。南半球では，過去1000年間の変化に対して最近の温暖化を比較するのに必要な1860年以前のデータが十分にそろっていない。気温の変化は地球全体で均一ではなく，地域や下層大気のさまざまな場所で異なっている。

² 訳注：ここでは，surface temperatureを「地上気温」と訳したが，実際は陸域における地表付近の気温，すなわち「陸上気温（land surface (air) temperature）」と「海面水温（sea surface temperature）」を組み合わせたものである。本報告書では「陸上気温」と「海面水温」を併せてこのように表現していることがあるため，明らかに「海面水温」だけを指している場合を除き，「地上気温」という訳語を用いた。単独でtemperatureが用いられている場合は，状況に応じて「温度」「気温」「水温」を使い分けている。

[Q2.7]

BOX SPM-1 確信度(confidence)と可能性(likelihood)の表現

第三次評価報告書の執筆者は、その検討した観測により得られた証拠、モデル研究結果、理論に基づいて、結論の妥当性に関する集合的な判断を表すため、適当と思われる場所で確信度を提供している。TAR に対する統合報告書の文章全体において、第一作業部会の見解に関連して次の用語が用いられている：ほぼ確実（結果が真である可能性は 99%以上）、可能性は（が）かなり高い（可能性は 90～99%）、可能性は（が）高い（可能性は 66～90%）、どちらともいえない（33～66%）、可能性は（が）低い（10～33%）、可能性は（が）かなり低い（1～10%）、可能性は（が）極めて低い（1%以下）。不確実性の範囲の明示（±）は、可能性が高い範囲である。第二作業部会の見解に関連する確信度の評価は、非常に高い（95%以上）、高い（67～95%）、中程度（33～67%）、低い（5～33%）、そして非常に低い（5%以下）である。第三作業部会については確信度が割り当てられていない。[TAR WGI SPM, TAR WGI SPM]

近年得られた より確かな事実によると、最近 50 年間に観測された温暖化のほとんどは、人間活動に起因するものである。 検出および原因特定に関する研究によると、過去 35～50 年間の気候の記録から人為起源のシグナルを示す証拠が一貫して見いだされている。これらの研究では、人為起源の硫酸エアロゾルと自然起源の要因（火山および太陽放射）による強制力についての不確実性を含んでいるが、ほかの種類の人為起源のエアロゾルや、土地利用の変化の影響は考慮されていない。硫酸エアロゾルと自然起源の強制力は、この期間中を通して負であり、温暖化を説明することはできない。その一方で、これら研究のほとんどは、温室効果ガスの増加だけを原因とする気温の上昇量と上昇の割合は観測された昇温に匹敵するか、より大きいものであることを見いだしている。モデルのシミュレーションと過去 140 年間の観測との間で最も一致するのは、17 頁の図 SPM 4 に示すように、上記の人為起源および自然起源の強制力の要因を組み合わせた場合である。[Q2.9～2.11]

海面水位、雪氷面積、および降水量の変化は、地表付近における気候の温暖化と合致する。 これらの例には、より多くの大雨の増加や降水域のシフトを伴う水循環の活発化、極地以外の氷河の広範囲な後退、海面水位の上昇と海洋貯熱量の増加、および積雪面積や海氷の面積と厚さの減少などがある（表 SPM 1）。例えば、20 世紀の温暖化が、海水の熱膨張と陸上の氷の広範囲な消失を通して、観測された海面水位の上昇に大きく寄与した可能性はかなり高い。現在、さまざまな不確実性の範囲内で、観測データとモデルによる予測とは、20 世紀の海面水位の上昇に顕著な加速がみられないことで一致している。1978 年から 2000 年にかけての南極の海氷面積全体での明確な変化は観測されていない。これに加えて、熱帯低気圧や温帯低気圧の強度や、中緯度における局地的な暴風雨の活動に関しては、解析結果に一貫性がなくデータも不十分である。観測された変化の一部は地域的なもので

あり、また一部は、地球規模の人間の影響だけに起因するというよりもむしろ気候システム自身もつ変動性や、自然起源の強制力、あるいは地域的な人間活動に起因することもありうる。[Q2.12~2.19]

地域的な気候で観測された変化は、多くの物理・生物システムに影響を与えており、社会・経済システムも影響を受けていることを示す予兆がある。[Q2.20 ,2.25]

近年の地域気候変化、特に気温の上昇により、既に世界の多くの地域における水文システムや陸上・海洋生態系に影響が出ている（表 SPM 1）。これらのシステム³において観測された変化が、多様な場所、そして/または地域を通して一貫しており、また、気温の地域的な変化で予想される影響とも方向性が一致している。予想される方向で（規模には関係なく）観測された変化が偶然だけで起きる確率は無視できるほど低い。[Q2.21~2.24]

気候による損害や気候の地域変化に関する社会経済コストの上昇は、気候変化に対する脆弱性が増していることを示唆している。一部の社会・経済システムは、近年の洪水や干ばつの増加で影響を受けており、大災害を引き起こす気象現象による経済損失上昇の予兆を示している。しかしながら、これらのシステムは、人口の移動や土地利用の変化といった社会経済的な要素の変化によっても影響されるため、（人為起源または自然起源の）気候変化と社会経済要素の相対的な影響を定量化するのは困難である。[Q2.25~2.26]

³ 400 以上の動植物に関して 44 件の地域研究があり、その期間は 20~50 年と多様であって、主に北アメリカ、ヨーロッパ、南極地域についての研究である。世界の大半の地域に対して 16 件の地域研究があり約 100 ほどの物理的プロセスを網羅しているが、期間は 20~150 年と多様である。

QUESTION 3

TAR で用いたシナリオ（気候政策による関与を含まない予測）による温室効果ガスの排出の範囲に伴う今後 25 年，50 年，100 年間の地域規模・地球規模の気候，環境，社会経済への影響結果について何がわかっているのか？可能な範囲で次の点につき評価する。

- ・温室効果ガスの大気中濃度，気候，海面水位の予測される変化
- ・気候および大気組成の変化が人間の健康，生態系の多様性と生産性，社会経済部門（特に農業と水資源）に及ぼす影響と経済コストおよび便益
- ・コスト，便益，挑戦事項を含めた適応オプションの範囲
- ・地域規模・地球規模レベルの影響や適応に関連する開発，持続可能性，公平性の問題

すべての IPCC 排出シナリオにおいて，21 世紀中に CO₂ の大気中濃度，地球の平均地上気温，海面水位が上昇すると予測されている⁴。[Q3.2]

六つの例示的な SRES シナリオでは，大気中の CO₂ 濃度は，工業化時代前の 280ppm および 2000 年の 368ppm と比較し，2100 年には 540～970ppm の範囲をとることが予測されている。さまざまな社会経済的な仮定（人口，社会，経済，技術）により，将来の予測される温室効果ガスおよびエアロゾルの大気中濃度がさまざまな値になるという結果をもたらす。さらに，特に現在の吸収プロセス（炭素吸収源）の持続性および陸域生物圏についての気候フィードバックの規模に関する不確実性は，各シナリオにおいて 2100 年の CO₂ 濃度で約 -10～+30% の誤差をもたらす原因となる。このため，全体の範囲は，490～1260ppm（1750 年（工業化時代前）の濃度に対し 75～350% の増加）となる。CO₂ 以外の主要な温室効果ガスの 2100 年までの大気中濃度は，6 通りある例示的な SRES シナリオの間で大きく異なると予測されている（222 頁，図 3-1）。[Q3.3～3.5]

さまざまな気候モデルによる SRES 排出シナリオを用いた場合の予測では，地球の平均地上気温は 1990 年から 2100 年の間に 1.4～5.8 上昇するという結果となる。これは 20 世紀中に観測された昇温の中央値の約 2～10 倍の上昇であり，この予測された昇温の割合は古気候のデータからすると少なくとも過去 1 万年間で例をみないものである可能性がかなり高い。気温の上昇量は，六つの IS92 シナリオに基づいて約 1.0～3.5 と予測した第二次評価報告書（SAR）での気温上昇予測よりも大きなものになると予測されている。予測された気温がより高いこと，および気温の予測幅がより広範囲となったことは，主に SRES シナリオの予測する二酸化硫黄(SO₂)の排出量が，IS92 シナリオと比較して低くなっているためである。1990～2025 年の期間，そして 1990～2050 年の期間で予測される上昇量は，それぞれ 0.4～1.1 ，そして 0.8～2.6 となっている。同一の排出シナリオに対するさまざま

⁴ 気候の変動性，極端な現象，急激 / 不連続な変化は，QUESTION 4 で扱われる。

な気候モデルの地上気温の応答範囲は、2100年までは単一の気候モデルに対する多様なSRESシナリオの応答の範囲に匹敵する。図3-1は、最も排出の大きいSRESシナリオが最大の気温の上昇についての予測をもたらすことを示している。ほとんどすべての陸域、特に冬季の北半球高緯度で地球平均以上に温暖化する可能性がかなり高い。[Q3.6~3.7, 3.11]

地球の年平均降水量は、21世紀中では増加が予測されているが、地域規模では5~20%の増加と減少の両方が予測されている。降水量は、高緯度地域で夏季と冬季の両方で増加する可能性が高い。冬季には北半球中緯度、熱帯アフリカ、および南極で、夏季には南アジアおよび東アジアでの増加が予測されている。オーストラリア、中央アメリカ、およびアフリカ南部では冬季の降水量の一貫した減少が予測されている。平均降水量の増加が予測されている地域の大半では、降水量の年々変動がより大きくなる可能性がかなり高い。[Q3.8, 3.12]

氷河は、21世紀の間、広範囲にわたる後退が続くと予測される。北半球の積雪面積、永久凍土、海氷面積はさらに減少することが予測されている。南極の氷床は質量を増す可能性が高いが、グリーンランドの氷床は質量を失う可能性が高い(QUESTION 4を参照)[Q3.14]

地球の平均海面水位は、SRESシナリオの全範囲を通して、1990~2100年の間に0.09~0.88m上昇すると予測されているが、地域によってかなり異なる。地球の平均海面水位の上昇は、主に海洋の熱膨張と氷河や氷帽の融解によるものである。1990~2025年、および1990~2050年の期間で予測される上昇は、それぞれ0.03~0.14m、0.05~0.32mである。[Q3.9, 3.13]

予測される気候変化は環境・社会経済システム双方に好影響・悪影響を与えるが、気候変化の強度およびその速さがより大きくなるほど悪影響の割合が大きくなる。[Q3.15]

悪影響の深刻度は、温室効果ガスの累積排出量とそれに伴う気候の変化が大きくなればなるほどより大きくなる(中程度の確信度)。好影響は気候変化の規模が小さい場合には一部地域や部門において識別できるが、気候変化の規模が大きくなるにつれて減少するとみられる。これと対照的に、明らかになっている悪影響の多くは、気候変化の度合に伴い、その規模と深刻度が増すとみられている。地域別に考えた場合、世界の大半の地域、特に熱帯や亜熱帯で悪影響が支配的になると予測されている。[Q3.16]

とりわけ気候変化により、特に主として熱帯や亜熱帯諸国に居住する低収入の人々の健康に対する悪影響が増大することが予測される。気候変化は、人の健康に直接的(例、温帯諸国での寒さによるストレスの減少と熱によるストレスの増大、洪水や暴風雨による人命の喪失)にも、また感染症媒介生物(例、蚊)⁵の範囲や、水媒介性病原菌、水質、大気質、

⁵ これらの感染症に対する気候変化の影響では8件の研究がモデル化を行っており、5件はマラリアに関するもの、3件はデング熱に関するものである。7件は生物学的またはプロセスベースのアプローチを用

食糧の利用可能性およびその品質の変化を通して間接的にも影響を及ぼす（中～高い確信度）。実際の健康への影響は、各地の環境条件や社会経済的な状況、そして健康への脅威全般を低減するための、社会的、制度的、技術的、行動上の適応の範囲により、強く影響されるであろう。[Q3.17]

気候変化と海面水位の上昇により生態学的生産性と生物多様性が変化し、一部の脆弱な種の絶滅のリスクが増大することが予測される（中～高い確信度）。火災や干ばつ、有害動植物の増殖、外来種の進入、暴風雨、珊瑚の白化現象などの攪乱により、生態系の顕著な崩壊は増加すると予想される。気候変化を原因とするストレスが生態系へのほかのストレスに加わることは、一部の特異な生態系に対して、大きな損害やその完全な喪失という脅威を与え、また一部の絶滅の恐れがある種や絶滅危惧種を絶滅させるおそれがある。大気中の CO₂ 濃度の上昇は、植物の正味の一次生産性を向上させるが、気候変化およびそれに伴う極端な現象の変化は、生態系の正味の生産性を増大、または減少させることにつながる可能性がある（中程度の確信度）。一部の地球規模モデルは、陸上生態系による炭素の吸収は 21 世紀前半には増加するが、その後停滞するか減少すると予測している。[Q3.18 ~ 3.20]

穀物モデルによれば、温帯の一部地域では小幅な気温上昇で収穫可能量が上昇するが、それ以上の気温変化では減少することが示されている（中～低い確信度）。大半の熱帯や亜熱帯地域では、予測されるほとんどの気温上昇で、収穫可能量が減少すると予測されている（中程度の確信度）。亜熱帯および熱帯の乾燥地 / 降雨依存型システムで、降水量の大幅な減少がある場合には、農作物の生産量はさらに悪い影響を受けるであろう。これらの推測には、農民による一定の適応対応、そして CO₂ の施肥効果による有益な効果が含まれているが、予測される有害動植物の侵入の増加や極端な気候現象の変化による影響は含まれていない。家畜生産者が、気候変化に伴う生理的なストレスに家畜を適応させる能力については、あまりわかっていない。数 以上の昇温により、地球規模で食糧価格が上昇すると予測されており、脆弱な人々の飢餓のリスクが増加する可能性がある。[Q3.21]

気候変化は、世界の多くの水資源不足地域で水不足を悪化させる。水の需要は、通常、人口の増加や経済発展により増大するが、利用効率の向上により一部の国では需要が減少している。気候変化は、世界の多くの水資源不足地域で（流量予測に反映されている通り）利用可能な水を大きく低減させると予測されているが、ほかの一部の地域では増加させると予測されている（中程度の確信度）(73 頁, 図 SPM 3)。淡水の質は、一般に水温の上昇とともに劣化する（高い確信度）が、これは一部地域では流量増加により相殺される可能性がある。[Q3.22]

市場部門に対する総影響は、国内総生産（GDP）の変化でみると、多くの開発途上国では研究が行われているすべての大きさの地球の平均気温の上昇に対して負と予測されており、先進国では、数 の昇温までは正負双方が予測され（低い確信度）、それ以上の昇温では負

いており、1 件は実験統計学のアプローチを用いている。

となると予測されている（中～低い確信度） この推定では、一般に、気候の変動性や極端な現象の変化の影響は除かれているほか、気候変化の速度の違いの影響も考慮に入られていない。市場で取引されていない製品やサービスに対する影響は部分的に組み入れられており、また、一部のものにとっての利益は他のものの損失を相殺するものとして扱われている。[Q3.25]

小島嶼および/または低地沿岸域に居住する人々は、海面水位の上昇や高潮により特に深刻な社会的経済的影響を受けるリスクがある。 多くの人々の居住地が、沿岸での洪水や浸食のリスク増大に直面するほか、デルタや低地沿岸域、小島嶼に居住する何千万の人々が移住のリスクに直面することになる。海岸や淡水、漁業、珊瑚礁や環礁、野生生物の生息域といった島嶼部や沿岸域の住民にとって重要な資源も危険に曝されるであろう。[Q3.23]

気候変化の影響は、開発途上国およびすべての国々の貧困層で最も深刻なものとなり、このため、健康状況や適切な食糧、清浄な水、その他の資源へのアクセスに関する不公平が増大する。 開発途上国の人々は一般に、相対的に気候変化から悪影響を受ける大きなリスクに曝されている。さらに、大部分の開発途上国では、貧困やほかの要素が、低い適応力という状況をつくり出している。[Q3.33]

適応は気候変化の悪影響を低減する可能性をもち、しばしば当面の副次便益をつくり出すが、すべての被害を防止するわけではない。 [Q3.26]

気候変化に対応する数多くの可能な適応オプションが明らかにされており、気候変化による悪影響を低減できるほか、好影響を強化できるが、コストがかかる。 これらオプションの便益やコスト、および地域や主体によりどれだけ異なるかについての定量的な評価は不完全である。[3.27]

より大規模でより急速に起きる気候変化は、より小規模で緩やかな気候変化の場合に比べて、適応に対しより大きな困難をもたらし、また被害のリスクも大きくなる。 自然・人間システムは、一定範囲の気候変動性に対応する能力を進化させてきており、その範囲内においては損害のリスクが比較的 low、また回復能力も高い。しかしながら、システムが対応してきた歴史的な範囲を超えて発生する現象の頻度増大をもたらす気候変化は、深刻な被害、不完全な回復あるいはシステムの崩壊となるリスクを増加させる。[3.28]

QUESTION 4

温室効果ガスおよびエアロゾルの大気中濃度の増加の影響と、地域および地球規模の気候に関する人為起源の変化の予測では、何がわかっているか？

エルニーニョ・南方振動サイクルなど、一日、季節、年、そして10年単位までを含めた、気候の変動性の頻度と規模

熱波、干ばつ、洪水、大雨、雪崩、暴風雨、竜巻、熱帯低気圧など、極端な現象の期間、場所、頻度、強度

特に、温室効果ガスの排出源や吸収源、海洋循環、極地の雪氷面積、永久凍土面積において生じる急激／不連続な変化のリスク。リスクがある場合、そのリスクを定量化できるかどうか？

生態系における急激な、または不連続な変化の起きるリスク

気候の変動性の増大や一部の極端な現象の増加が予測されている。[Q4.3～4.4]

モデルでは、大気中の温室効果ガス濃度の上昇により、日、季節、年、10年単位の気候の変動性の変調が生じると予測している。多くの地域で気温の日較差の縮小、冬季の地上気温の日較差の縮小、北半球の陸域での夏季の地上気温の日較差の増大が予測されている。多くのモデルでは、エルニーニョに似た平均状態が太平洋熱帯域でより多くなると予測している。北大西洋振動（NAO）のような自然に起きる大気・海洋循環パターンの頻度や構造の変化については、明確な意見の一致がない。[Q4.2]

モデルでは、大気中の温室効果ガス濃度の上昇により、暑い日や熱波、大雨の増加と、寒い日の減少といった極端な現象の頻度、強度、期間に変化が生じると予測している。予測されるこれらの変化の多くは、多くの地域で洪水や干ばつのリスクを増加させ、主に生態系や、社会経済部門、人間の健康に対して悪影響を与える（詳細は表 SPM 2 参照）。高分解能モデル研究では、熱帯低気圧の最大風速および降水強度が、一部の地域で大きくなる可能性が高いことが示唆されている。非常に小規模で極端な気象現象（例、雷雨、竜巻、ひょう、落雷）が、どのように変化するかについては情報が不十分である。[Q4.2～4.7]

表SPM-2 を挿入

21世紀における温室効果ガスの強制力は、今後数十年から数千年にわたり、物理・生物システムに対して、大規模で影響が大きく、不連続で、急激な変化をもたらすことが、広範な可能性をもって予測されている。[Q4.9]

物理システムや、温室効果ガスの自然の発生源・吸収源で予測される急激／不連続な変化の一部は不可逆的である可能性があるが、その基となっているプロセスの一部については

理解が不完全である。 予測される変化は、気候変化の速度、規模、継続期間の増加とともに実現性を増すとみられる。こういった変化には次のものが含まれる。[Q4.10 ~ 4.16]

- ・土壌や植生では気候による大きな変化が起きる可能性があり、植物や土壌からの温室効果ガスの排出増加や地表面特性（例、アルベド）の変化により、さらなる気候変化を引き起こす可能性がある。
- ・大半のモデルが、海洋の熱塩循環（THC）が弱まり、ヨーロッパ高緯度への熱の輸送が減少すると予測しているが、どのモデルも 21 世紀末までに急激に停止するという予測結果を示してはいない。しかしながら、2100 年以降は、放射強制力の変化がかなり大きく長期にわたり作用する場合、北半球でも南半球でも熱塩循環が完全に、そして場合によっては不可逆的に停止する可能性が一部のモデルにより示唆されている。
- ・南極の氷床は 21 世紀には質量が増加する可能性が高いが、温暖化が続くと、質量が大きく減少し、今後 1000 年間で予測される海面水位の上昇量に数 m ほど寄与する可能性がある。
- ・南極の氷床とは対照的に、グリーンランドの氷床は 21 世紀中にも質量が減少し、数 cm の海面水位の上昇に寄与する可能性がある。氷床は気候の温暖化に反応しつづけ、気候が安定化したのちも数千年間にわたり、海面水位の上昇に寄与すると見込まれる。気候モデルは、グリーンランドにおける局地的な昇温が地球平均の 1 ~ 3 倍になる可能性が高いことを示している。氷床モデルは、3 以上の局地的な昇温がもし数千年にわたり持続されるなら、グリーンランドの氷床のほぼ完全な融解を招き、海面水位が約 7 m 上昇すると予測している。5.5 の局地的な昇温がもし 1000 年にわたり持続するなら、グリーンランドの氷床融解が約 3 m 分の海面水位の上昇につながる可能性が高い。
- ・温暖化の継続により、極域、亜寒帯域、山岳地帯における永久凍土の融解が加速し、このような地域の多くがインフラ、水流、湿地生態系に影響を及ぼす地盤沈下や地滑りに対して脆弱となる。

気候の変化は多くの生態系に急激で不連続な変化を引き起こすリスクを増加させる可能性があり、その機能や生物多様性、生産性に影響を与えることが予測される。 変化の規模と速度が大きければ大きいほど、悪影響のリスクも大きくなる。その例としては次のものがある。[Q4.17 ~ 4.19]

- ・気候変化に伴う攪乱要因の変化や、気候により規定されている適した生息地の移動は、陸上および海洋の生態系の急激な破壊に結びつく可能性があり、その構成や機能の大きな変化、そして絶滅のリスクの増加を伴う。
- ・1.0 という小さな水温上昇の持続のみにより、あるいはこれといくつかのストレス（例、過剰な汚染や沈泥固定化）との組み合わせにより、珊瑚の体内からの藻類の吐出し（珊瑚の白化）、そしてやがては一部の珊瑚の死滅につながる可能性がある。
- ・農作物や品種により異なるが、閾値を超える気温の上昇は一部の農作物の重要な生育段階に影響を及ぼす可能性があり（例、稲穂の不稔、トウモロコシの花粉生育力喪失、ジャガ

イモの塊茎発達), またこれにより生産量に影響を与える可能性がある。これらの農作物生産量の減少は, たとえ短期間でも気温が閾値を超えるなら, 深刻なものとなる可能性がある。

QUESTION 5

気候システムや生態系，社会経済部門，およびこれらの相互作用が変化することに伴う慣性や時間規模については何がわかっているか？

慣性は，相互に作用しあう気候システム，生態系，社会経済システムにおいて広くみられる本来備わっている特性である。このため，人為起源の気候変化の影響は一部はその出現に時間がかかる可能性があり，また一部は気候変化の速度と規模を閾値（それがどの程度かあまり知られていないが）にとどめることができない場合に不可逆的になる可能性がある。[Q5.2～5.4，5.14～5.17]

気候システムにおける慣性

CO₂ 排出が現在のレベル近くで安定化しても，CO₂ の大気中濃度の安定化にはつながらない。一方，CH₄のようなより短命な温室効果ガスの排出安定化は，数十年以内でその大気濃度の安定化につながる。CO₂ 濃度の安定化には，どのレベルであれ地球規模の CO₂ の正味排出量をいずれは現在の排出レベルに比べて小さな割合にまで削減する必要がある。選択した安定化レベルが低ければ低いほど，地球規模の CO₂ の正味排出量をより早期に低下させ始める必要がある（242 頁，図5 2）。[Q5.3，5.5]

大気中の CO₂ およびその他の温室効果ガスの濃度が安定した後でも，地上気温は1世紀またはそれ以上にわたり，1世紀当たり0.2～0.3 程度上昇しつづけると予測されており，海面水位は何世紀にもわたり上昇しつづけると予測されている（図5 2）。緩慢な海洋への熱輸送や氷床の融解は，新しい気候システムが平衡状態に達するのに長い期間が必要であることを意味する。[Q5.4]

21世紀以降起こりうる気候システムにおける一部の变化は，事実上不可逆的である。例えば，氷床の大規模な融解（QUESTION 4 参照）や海洋循環パターンの根本的な変化（QUESTION 4 参照）は，人間の何世代にも及ぶ期間にわたり逆転させることができない。もし温暖化が徐々にではなく急激に起きるならば，より小さな温暖化で海洋循環の根本的な変化を引き起こす閾値に達してしまう可能性がある。[Q5.4，5.14～5.17]

生態系における慣性

一部の生態系では気候変化の影響が急激に現れるが，一方ではより緩やかに影響が現れるものもある。例えば珊瑚の白化は，1回の例外的に温暖な季節で発生する可能性がある。一方，樹木のような長寿命の生命体は，変化した気候の下でも数十年にわたり生き残れるかもしれないが，再生することはできない。極端な現象の頻度変化を含む気候変化に曝された場合，各生物種の反応時間が異なる結果として，生態系が乱される可能性がある。[Q5.8，表3 2（229 頁）]

一部の炭素循環モデルは、地球の陸域正味炭素吸収が 21 世紀中に最大となり、その後一定のレベルのまま減衰していくと予測している。近年の陸上生態系による地球規模の正味の CO₂ 吸収量は、一部には植物の成長促進と、枯死、腐敗との間に時間的なずれがある結果によるものである。現在の植物成長の促進は、一部には CO₂ と窒素沈着の増加による施肥効果と気候変化および土地利用方法の変化が理由となっている。吸収は、森林が成熟に達し、施肥効果が飽和に達し、また分解が成長に追いついてくるにつれて低下する。気候変化は、正味の陸上炭素の吸収を地球規模でさらに低減させる可能性が高い。温暖化は海洋による CO₂ の吸収を低減するが、海洋の炭素吸収は大気中の CO₂ の増加の下で少なくとも 21 世紀中は持続すると予想されている。海面から深海への炭素の移動は何世紀もかかる、海洋堆積物と平衡関係に達するのは一千年もかかる。[Q5.6~5.7]

社会経済システムにおける慣性

気候システムや生態系とは違い、人間システムにおける慣性は固定されたものではなく、政策や個人の選択により変化させることが可能である。気候変化政策を実施する能力は、社会や経済の構造と、価値観、制度、技術および構築されたインフラとの相互作用に依存する。これらが結合したシステムは、比較的ゆっくり進化するのが普通である。そのようなシステムは圧力をかけられれば速やかに反応できるが、時には高いコストがかかることがある（例、資本設備が前倒しで不用化された場合）。もし変化がより緩慢であれば、技術の進展によって、あるいは資本設備の価値がすべて償却されることから、コストを低下させる可能性がある。大きな課題への対応の必要性を感知し、計画を立て、解決法の研究と開発を行ってから、それを実施するまでには、概して数年から数十年の遅れがある。情報を得たうえで判断に基づき予測的行動をとるなら、必要なときに適切な技術が利用可能となる機会を増やすことができる。[Q5.10~5.13]

新技術の開発と適用は、技術移転や、財政および研究支援政策により加速化することが可能である。「固定（ロックイン）」されたシステムは、既存の制度やサービス、インフラおよび利用可能な資源から生じる市場における有利さをもつため、技術の転換が遅れる可能性がある。急速に発展している技術の早期普及は、学習曲線に従うコスト削減を可能とする。[Q5.10, 5.22]

政策実施における慣性

気候システム、生態系、社会経済システムにおける慣性と不確実性のため、気候システムへの危険な干渉のレベルを回避するための戦略、目標、タイムテーブルを設定するには、安全のための余裕を考慮すべきである。大気中 CO₂ 濃度、気温、海面水位の安定化目標レベルは、次のものにより影響される可能性がある。

- ・緩和行動が実施された後でも一定期間、気候変化を継続させる原因となる、気候システムの慣性

- ・不可逆的な変化の閾値がどこにあるかについての不確実性と、閾値周辺でのシステムの挙動

- ・緩和目標の採用とその達成の間の時間差

同様に、適応は気候変化の影響を明確にし、効果的な適応戦略を開発し、適応措置を実施することにおける時間のずれによる影響を受ける。[Q5.18～5.20, 5.23]

気候システム、生態系、社会経済システムでの慣性のため、適応は避けられないものであり、既に一部の 경우에는 必要なものとなってきた。また、この慣性は、適応と緩和戦略の最適な組み合わせに影響を与えている。慣性は、適応の場合と緩和の場合でもたらず結果が異なっている。適応は気候変化の局地的な影響の解決を志向しているのに対し、緩和は気候システムへの影響への対応を目指している。これらの結果は、最も費用効率性が高く公平性のある政策オプションの組み合わせに関係してくる。ヘッジ戦略と連続した政策決定（反復行動、評価、修正行動）は、慣性と不確実性の組み合わせに対して適切な対応策である可能性がある。慣性の存在下では、気候変化に適応または緩和する十分確立された行動がより効果的であり、遅れて行動するよりも早期に行動する場合に安価となる可能性がある。[Q5.20, 5.23]

相互に作用しあう気候システム、生態系、社会経済システムにおける慣性の普遍性と不可逆性の可能性があるため、予防的な適応および緩和行動が有益である。行動をとるのが遅れるなら、適応や緩和のオプションを実行するいくつかの機会が失われることになりかねない。[Q5.24]

QUESTION 6

過去および現在の排出量を考えた場合、一連の排出削減行動を導入する規模やタイミングは、気候変化の速度や規模、そして影響をどう決定し、どう影響するのか、地球規模の経済や地域経済にどう影響するのか？

エーロゾルの影響をできる限り考慮したうえで、大気中の温室効果ガス濃度を、(CO₂ 換算で)現在のレベルからその2倍かそれ以上のレベルまでの範囲で安定化する場合の地域的な、そして地球規模の気候、環境、社会経済上の結果に関する感度研究では何がわかっているか？安定化へのさまざまな経路を含めた安定化シナリオのそれぞれにおいて、コストと便益の範囲を QUESTION 3 で考察したシナリオの範囲と比較して、次の点につき、評価する。

- ・大気中濃度、気候、海面水位で予測される変化、これには100年を超える変化も含める
- ・人間の健康、生態系の多様性と生産性、社会経済部門（特に農業と水資源）において、気候や大気組成の変化が与える影響や経済コストおよび便益
- ・適応オプションの範囲、これにはコスト、便益、および挑戦事項を含める
- ・各安定化レベル達成に用いることのできる技術や政策、実施方法の範囲。これには、国別のそして地球全体でのコストおよび便益の評価、並びにこういったコストや便益が排出削減により達成される環境上の被害の回避分と定量的または定性的にどう比較されるかの評価を含める
- ・地域および地球規模のレベルでの影響、適応、緩和に関する開発、持続可能性、公平性の問題

予測される気温および海面水位の上昇の速度および規模は、温室効果ガスの排出を削減することにより減少させることができる。[Q6.2]

排出削減量が大きければ大きいほど、また削減の開始が早ければ早いほど、予測される気温および海面水位の上昇はより小さくまた遅くなる。将来の気候変化は、過去・現在・将来の排出量によって決まる。温室効果ガスの排出削減を盛り込んだシナリオと、盛り込まないシナリオの間での予測気温変化の差は、最初の数十年間は小さい傾向があるが、削減が持続されるなら時間が経つにつれ差が大きくなる。[Q6.3]

温室効果ガスの排出量とその濃度を支配するガスを削減することが、放射強制力の安定

に必要であろう。例えば、最も重要な人為起源の温室効果ガスに関しては、450、650、1000ppmで大気中のCO₂濃度を安定化させるには、それぞれ数十年、約100年、約200年以内に世界の人為起源のCO₂排出量を1990年レベル以下に削減し、その後も着実に低下させつづける必要があると炭素循環モデルが示している（249頁、図6-1）。これらのモデルは、排出量が、現在から約10~20年（450ppm）および約100年（1000ppm）のうちにピークを迎えることを示している。最終的にCO₂の排出量は、現在の排出量に比べ非常に少なくなることが必要とされるであろう。さまざまな安定化レベルの便益については、QUESTION 6で後述し、これら安定化レベルのコストについてはQUESTION 7で議論する。[Q6.4]

いかなる安定化された温室効果ガス濃度でも、それから生じる昇温の程度には広範囲な不確実性がある。このことは、温室効果ガスの増加と比べて、気候感度⁶に関して3倍の不確実性があることから生じている⁷。図6-2（250頁）は、考えられるCO₂濃度の安定化レベルと、これに対応する2100年および平衡状態における気温の変化を示している。[Q6.5]

図6-1（249頁）に示したプロフィールに基づき、またCO₂以外の温室効果ガスの排出量が2100年までSRES A1Bシナリオをたどり、その後一定となると仮定すれば、1000ppm未満のレベルで大気中CO₂濃度を最終的に安定化させる排出削減により、地球の平均地上気温の上昇が2100年まで3.5以下に抑えられると推計されている。CO₂濃度を450~1000ppmのレベルで最終的に安定化させるというプロフィールでは、地球の平均地上気温は2100年までに1.2~3.5上昇すると推計されている。したがって、分析されたすべてのCO₂濃度の安定化プロフィールでは、21世紀の間、SRESの昇温予測の上限（2100年までに1.4~5.8）の多くが回避されるものの、大部分のプロフィールではCO₂濃度が2100年以降も増加しつづけるということは特筆に価する。気温の上昇が平衡状態に達するまでには何百年もかかり、450ppmでの安定化では1990年のレベルと比べて1.5~3.9上昇、1000ppmでの安定化では1990年比で3.5~8.7上昇範囲に及ぶ⁸。また、特定の気温安定化目標が選択されても、必要とされる温室効果ガス濃度の安定化レベルには非常に広範囲な不確実性が伴う（図6-2）。特定の気温安定化のために求められるCO₂濃度レベルは、CO₂以外の温室効果ガスの濃度の安定化レベルにも依存する。[Q6.6]

海面水位と氷床は、大気中の温室効果ガス濃度が安定化した後でも多くの世紀にわたり温暖化への応答を続けるであろう。海洋の熱膨張による海面水位の上昇の予想範囲は、平衡状態において、CO₂濃度が工業化時代前の280ppmから560ppmへ増加する場合には0.5~2m、1120ppmまで増加する場合には1~4mである。20世紀中に観測された上昇量は0.1

⁶ 気候モデル内の温室効果ガス濃度を上昇させたときの、モデル内の気温の上昇の割合。

⁷ 大気中のCO₂が2倍になる場合の平衡状態時の地球平均気温の応答は、しばしば気候感度の尺度として用いられる。図6-1および図6-2に示される気温は、1.7~4.2に及ぶ気候感度を有する数々の複雑なモデル等と同じ応答を示すよう調整された簡便なモデルから導き出されたものである。この範囲は、一般に受け入れられている1.5~4.5の範囲に匹敵する。

⁸ これらすべてのプロフィールについて、温室効果ガスとエアロゾルによる温暖化平衡への寄与は、低い気候感度で0.6、高い気候感度で1.4である。これに伴う放射強制力の上昇は、最終CO₂濃度がさらに28%増加したときに起こるものに相当する。

~0.2m である。ほかの温室効果ガスの大気中濃度の増加による影響を考慮に入れば、予測される上昇量はより大きくなる。数百~数千年という時間規模における海面水位の上昇には、その他にも要因がある。TAR で評価されたモデルでは、CO₂ 換算で 550ppm の安定化レベルでも、極域の氷床と陸氷により海面水位が数 m 上昇すると予測している。[Q6.8]

温室効果ガスをその大気中濃度が安定化するように削減することにより、気候変化によって引き起こされる被害を遅らせ、また低減することができる。[Q6.9]

温室効果ガスの排出を削減（緩和）する行動により、気候変化によって引き起こされる自然システムや人間システムへの圧力を低減することができる。地球の平均気温と海面水位の上昇の速度低下は、適応により多くの時間の余裕を与える。したがって、緩和行動は気候変化を原因とする被害を遅らせ、また低減することが期待されており、これによって環境上、社会経済上の便益を生み出す。緩和行動とこれに伴うコストについては、QUESTION 7 への回答で評価されている。[Q6.10]

温室効果ガスの大気中濃度をより低いレベルで安定化する緩和行動によって被害をより低減し、より大きな便益を生み出すことができる。より低いレベルで安定化させることにより、気温の閾値がある生物物理システムにおいて、その閾値を超えるリスクを低減する。例えば、CO₂ 濃度を 450ppm で安定化することで、2100 年の地球平均気温における上昇が 1000ppm での安定化で予測されるものよりも約 0.75~1.25 低くなると予測される（図 6 2）。平衡状態の場合、差は約 2~5 である。自然システムへの被害や喪失の地理的な広がり、および影響を受けるシステムの数は、気候変化の規模と速度により増大するが、これらはより低い安定化レベルでより小さな数字となる。同様に、より低い安定化レベルでは気候の極端な現象による影響の深刻さが低減され、市場部門への実質的な悪影響を受ける地域の数も少なくなり、世界全体の総影響も小さく、さらに大規模で影響の大きい現象のリスクも低減される。[Q6.11]

温室効果ガスの大気中濃度をさまざまなレベルで安定化することの便益については、包括的で定量的な評価がまだ存在していない。気候変化の影響に関する定性的な特徴の理解では前進がみられた。気候感度の不確実性と、また、気温や降水量その他の気候の変動要素と現象について予測される変化の地理的なパターン、そして季節パターンについての不確実性があるため、個々の排出シナリオについて、その気候変化の影響を唯一のものとして決定することはできない。また、気候の変化に対するシステムの感度や適応力、そして重要なプロセスについても不確実性が存在する。これに加えて、生態系の構成や機能における変化、種の絶滅、人間の健康面での変化、そして異なる個体群を通じた影響の配分における不平等などの影響は、金銭的に、またはほかの共通の単位では容易に説明できない。このような限界があるため、選択したレベルでの温室効果ガス濃度安定化へ向けた行動も含めた、さまざまな温室効果ガス排出削減行動による便益は十分に特徴づけられておらず、緩和の正味の経済効果を推計することを目的として、緩和コストと直接比較できるもので

はない。[Q6.12]

適応は、気候変化の緩和努力を補完するため、あらゆる規模において必要な戦略である。この二つはともに持続可能な開発という目標に貢献することができる。[Q6.13]

適応は、気候変化のリスクを低減する費用効果性のある戦略として緩和を補完することができる。温室効果ガスの排出の削減は、たとえその大気中濃度を低いレベルで安定化したとしても、気候変化や海面水位の上昇をすべて防げるものではなく、またその影響を防げるものではない。変化する気候や上昇する海面水位に対応して、多くの反動的な適応が起きることとなり、また一部はすでに起きている。さらに、リスクに対処し、機会を利用しようという計画的な適応戦略の開発は、気候変化の影響を低減するための緩和行動を補足できる。しかしながら、適応にはコストがかかり、すべての被害を防止できるわけではない。緩和行動はシステムが曝されていたであろう気候変化を低減し遅延させ、適応のコストを低減することができる。[Q6.14 ~ 6.15]

気候変化の影響は、国内・国家間で異なると予測されている。気候変化に対処するという挑戦は、公平性という重要な問題を引き起こす。緩和と適応の行動は、適切に策定されるなら、各国内や各国間そして各世代内や各世代間での持続可能な開発および公平性を前進させることができる。予測される極端な気候現象の増加を減らすことは、すべての国、特に、先進国よりも気候変化に対してより脆弱であると考えられている開発途上国に便益をもたらすことが期待される。気候変化を緩和することは、現在の世代の行動が将来の世代にもたらすリスクも低減するであろう。[Q6.16 ~ 6.18]

QUESTION 7

温室効果ガスの排出削減の可能性，コストと便益，時間フレームでは何がわかっているか？

- ・地域規模および地球規模で気候変化へ対処するものとして考えられる政策措置のオプション，そして京都議定書のメカニズムにおける，経済的，社会的なコストや便益および公平性との関係は何か？
- ・気候変化に対処する技術の開発や普及を強化するうえで，最も効果的な研究開発，投資，その他政策のオプションのポートフォリオで考えられるものは何か？
- ・各国間での民間部門および公共部門の技術移転と普及を刺激し，また現在ある障壁および可能性のある障壁を排除するために考えられる経済その他の政策オプションではこういった種類のものがあるか，またこれらのオプションは予測される排出にどういう効果があるか？
- ・上記に含まれるオプションのタイミングは，関連する経済的なコストや便益および次の世紀とそれ以後での温室効果ガスの大気中濃度にどう影響するか？

近未来での排出を削減するには技術オプションを含め数多くの機会があるが，その普及には障壁が存在する。[Q7.2~7.6]

温室効果ガスの排出削減に関して 1995 年の SAR 以来大きな技術的進展があり，それは予想よりも急速であった。正味の排出削減は，技術のポートフォリオ（例，エネルギーの生産および利用におけるより効率的な転換，温室効果ガスの排出が低いまたは伴わない技術への転換，炭素の除去や貯蔵，そして土地利用や土地利用変化，森林管理での改善など）を通して達成可能である。風力発電用タービンの市場導入や産業的副次生成ガスの迅速な除去から，燃料電池技術の革新や CO₂ 地下貯蔵の実証にいたる広範囲な技術のさまざまな開発段階で，進展がみられている。[Q7.3]

温室効果ガス緩和オプションの実施を成功させるには，これらの緩和オプションの技術的・経済的・社会的機会の最大限な利用を阻む，技術，経済，政治，文化，社会，行動上および/または制度上の障壁を克服する必要がある。潜在的緩和の機会や障壁のタイプは，地域や部門によって，また時代によっても異なる。このことは緩和力の大きな多様性によって起きる。大部分の国家は，革新的融資・社会的学習および改革・制度改正・貿易障壁撤廃・貧困撲滅によって便益を得ることが可能であろう。加えて，先進国では，主に社会的・行動上の障壁を排除するところに将来の機会があり，経済移行国では価格の合理化に，そして開発途上国では価格の合理化，データや情報へのアクセス向上，先進的技術・資金源・訓練およびキャパシティビルディングの利用可能性に将来の機会がある。しかしながら，どの

国も、こういった組み合わせでも障壁の排除に機会を見いだすことが可能かもしれない。
[Q7.6]

気候変化に対する国家の対策は、正味の温室効果ガスの排出量を制限または削減する政策手段のポートフォリオとして配備されれば、より効果的でありうる。このポートフォリオには 国家の状況により 排出 / 炭素 / エネルギー税、取引可能または取引不可能の許可証、土地利用政策、助成金の提供および / または撤廃、デポジット / リファンド・システム、技術または性能基準、エネルギー資源別比率の要請、生産禁止、自主協定、政府支出および投資、研究開発支援などが含まれるだろう。[Q7.7]

各種モデルおよび研究でのコスト予測は、多様な理由により異なる。

[Q7.15 ~ 7.19]

緩和コストに関する特定の定量的な推測値は、多様な理由から大きな差異や不確実性に取り巻かれている。コスト推測値が異なるのは、分析に用いられた手法⁹、そして分析に含まれる基本的な要素や仮定条件のためである。含める要素によって推測値は低下したり上昇したりする。複数の温室効果ガスや吸収源、誘発される技術変革、そして排出量取引¹⁰を組み入れることで推測されるコストを低減できる。さらに、市場の欠陥は正や副次便益の組込み、効率的な税込還元といったノーリグレットの機会を政策により探求できる限り、一部の温室効果ガスの排出源を正味の社会コストなしまたは負のコストで制限できることが、研究で示唆されている。費用効率性の高い排出削減を行いやすくするような国際協力は緩和コストを低減できる。その一方、経済に対する短期のマクロショックの可能性を考えると、国内および国際的な市場メカニズムの利用制約や、高い取引コスト、副次コストの組入れ、効果の薄い税込還元措置を含めることは、推定コストを高める可能性がある。緩和コストに影響する関連要素のすべてを組み込んでいる分析は存在しないことから、推定コストが緩和行動実施の実際コストを反映しているとは限らない。[Q7.14]

TAR で検討した研究では、緩和コストを低減する大きな機会が提案されている。

[Q7.20]

ボトムアップ研究によると、かなり低コストの緩和機会が存在する。ボトムアップの研究によると、世界全体で 2010 年そして 2020 年までにそれぞれ 1.9 ~ 2.6 GtC_{e,q}/年 (年間炭素換算ギガトン)、3.6 ~ 5.0 GtC_{e,q}/年¹¹の排出削減が達成可能である。その潜在的排出削減量の半分は、直接便益 (エネルギー節減分) が直接コスト (正味の資本投資、運営コスト

⁹ SAR では、コストを推測するのに 2 種類のアプローチが記載されている。特定の技術や部門の評価からつくり上げるボトムアップ・アプローチと、マクロ経済の関係から進めるトップダウン・モデリングアプローチである。統合報告書 BOX 7 1 (258 頁) 参照。

¹⁰ 温室効果ガスの排出量を求められる量より多く削減する者に、国内外の排出源における排出量を相殺するために超過削減量を使用しないし取引することを認める、環境目標達成のための市場ベース・アプローチ。ここではこの言葉は、排出枠取引やプロジェクトベースの協力などを含むべく広義に使用されている。

¹¹ 排出削減の推定値は SRES B2 シナリオの規模に相似したベースラインの傾向に対するものである。

および維持費)を上回った状態で 2020 年までに達成することができ、残りの半分は 100US ドル/tC_{eq} (1998 年の US ドル価格で)以下の正味の直接コストで達成できる。このような正味の直接コストの推定は、公共部門の割引率に見合った 5 ~ 12%という範囲の割引率を用いて得られる。民間の内部収益率には非常に格差があり、大幅にこれを上回ることも珍しくなく、民間企業によるこれら技術の採用率に影響を与えている。排出シナリオによっては、これにより、この正味の直接コスト推定値で 2010 ~ 2020 年に世界全体の排出量を 2000 年レベル以下に削減できる可能性がある。このような削減を実現するには、追加の実施コスト 相当多額となる場合もある、支援策が必要となる可能性があり、研究開発の増加、効果的な技術移転、その他の障壁の克服が必要である。TAR WGIII で評価された地球規模、地域的、国別、部門別、そしてプロジェクト別の研究は、さまざまな範囲と仮定条件をもっている。すべての部門および地域についての研究は存在しない。[Q7.15]

森林、農耕地、ほかの陸上生態系は、多大な炭素緩和可能量を提供する。炭素の保全と隔離は、必ずしも永続的ではないが、ほかのオプションをさらに開発し実施するための時間を提供する可能性がある。生物学的緩和は、現在ある炭素プールの保全、炭素プール¹²の規模を拡大することによる隔離、および 持続可能な形で生産された生物学的生産品による代替、の三つの戦略によって起こる可能性がある。推測される世界全体での生物学的緩和オプションの緩和可能量は 2050 年までに約 100GtC (累積)であり、これは同時期の予測化石燃料排出量の約 10 ~ 20%に相当するが、この推計には大きな不確実性が伴う。この量の実現できるかどうかは、土地と水の利用可能性と、土地管理慣行の適用率にかかっている。大気中の炭素の緩和に関する生物学的可能性が最大であるのは、亜熱帯と熱帯地域においてである。生物学的な緩和について現在までに報告されたコスト推計は、熱帯の数か国においては 0.1US ドル/tC ~ 約 20US ドル/tC、熱帯地域以外の国での 20US ドル/tC ~ 100US ドル/tC と非常に幅広い。資金分析の手法や炭素計上の方法は、比較が可能ではなかった。さらに、このコスト計算では、除外されたり見過ごされたりしてしまうことの多い、インフラコスト、適切な割引、モニタリングコスト、データ収集コスト、実施コスト、土地および維持に関する機会コスト、その他繰り返し発生するコストといったものは含まれていない。この範囲の下限は低めに偏って推計されていると評価されるが、コストに対する理解と扱いについては時間が経つにつれて改善されてきている。生物学的緩和オプションによって、CO₂ 以外の温室効果ガスの排出量が減ったり増えたりする可能性がある。[Q7.4 , 7.16]

京都議定書を実施するうえでの附属書 B 国のコスト推定値は研究によりまた地域により異なっており、とりわけ京都メカニズムの利用と、それらメカニズムと国内施策との相互作用に関する想定条件に依存する (附属書 国の地域別緩和コストの比較については、図 7 1 (260 頁)参照)。これらのコストを報告し比較する地球規模の研究の大半では、国

¹² 土地利用の変化は、大気中 CO₂ 濃度に影響する可能性がある。仮説的には、歴史上の土地利用の変化から放出された炭素のすべてを 1 世紀ほどの間に陸上生物圏に戻せるなら (例、再植林などで)、CO₂ 濃度は 40 ~ 70ppm 削減される。

際的なエネルギー経済モデルが用いられている。これらの研究のうち9件は、次のようなGDPへの影響を示唆している。これらの研究では、附属書B国間の排出量取引がない場合、ほかの附属書地域における2010年でのGDP¹³推定値は0.2～2%減少することを示している。附属書B国間の全面的な排出量取引があるなら、2010年で予測される減少はGDP推定値の0.1～1%の間である。上記で報告された地球規模のモデル化研究では、京都目標達成のための各国の限界コストが取引なしの場合では20USドル/tCから600USドル/tCまで、附属書B国間での取引があれば15USドル/tCから150USドル/tCまでの範囲をとることが示されている。大半の経済移行国では、GDPへの影響が無視できる程度から数%の増加までの範囲をとる。しかしながら、一部の経済移行国は、京都議定書の実施により、附属書国と同様にGDPへの影響がある。本研究の時点では、ほとんどのモデルが吸収源や、CO₂以外の温室効果ガス、クリーン開発メカニズム(CDM)、負のコストのオプション、副次便益、的を絞った歳入りサイクリングを含めておらず、これらが含まれるなら、コスト推定値は削減されるであろう。その一方で、これらのモデルはコストを過小評価するような想定を行っており、これは附属書B国の国内とこれら諸国間の両方で取引コストを考慮しない排出量取引の全面的な利用を想定しているためである。また、これらモデルは、緩和への反応が完全に効率的なものであり、また経済は1990～2000年に京都目標達成のニーズに合わせる動きを始めると想定している。京都メカニズムによるコスト削減は、国内メカニズムと国際メカニズムの調和、制約条件、そして取引コストを含めた実施の細目に依存する。
[Q7.17～7.18]

附属書B国の排出抑制は、非附属書I国への「スピルオーバー」効果¹⁴をもつことが、程度は異なるものの確実である。分析では、非附属書I国の石油輸出国においてGDP推定値および予測される石油収入の両方について減少が報告されている。最も低いコストを報告している研究では、2010年に排出量取引なしで0.2%のGDP予測の低下、また附属書B国間での排出量取引がある場合で0.05%のGDP予測の低下を示している¹⁵。最も高いコストを報告している研究によれば、2010年に排出量取引なしで石油収益予測が25%低下、附属書B国間での排出量取引がある場合で石油収益予測が13%低下となっている。これらの研究では附属書B国間の排出量取引以外の政策措置を考えていないため、非附属書I国の石油輸出国への影響を小さく評価している可能性がある。これらの国への影響は、化石燃料への助成金撤廃、炭素含有量に合わせたエネルギー税再構築、天然ガス使用の増加、非附属

¹³ 計算されたGDP削減は各モデルの予測GDPベースラインとの比較である。モデルでは、CO₂の削減だけを評価している。これと対照的に、上記のボトムアップ分析から引用した推定値には、すべての温室効果ガスが含まれる。コストを示すには多くの尺度を用いることができる。例えば、全面的な附属書B国取引があって京都目標を達成する場合に伴う先進国での年間コストが、GDPの0.5%という単位であるなら、これは附属書I国での2010年までの年1250億USドル、または1人当たり年125USドルに相当する(SRESでの推定値)。これは、10年間の経済成長率にして0.1%以下の影響に相当する。

¹⁴ スピルオーバー効果は、経済効果のみを組み入れており、環境効果は組み入れていない。

¹⁵ これらの推定コストは、2000～2010年の期間におけるGDP成長率の差として表すことができる。排出量取引がない場合、GDP成長率は年間0.02%低下し、附属書B国間での排出量取引がある場合、成長率は年0.005%未満しか低下しない。

書 石油輸出国の経済多様化によって、さらに低減することが可能である。その他の非附属書 国は、経済開発協力機構（OECD）諸国への輸出需要の低下と、引き続き輸入する炭素集約度の高い製品およびその他の製品の価格上昇によって、悪影響を受ける可能性がある。これらほかの非附属書 国は、燃料価格の低下や、炭素集約度の高い製品の輸出増大、環境にやさしい技術やノウハウの移転によって便益を受ける可能性がある。一部の炭素集約度の高い産業の非附属書 国への移転の可能性や、価格変動による貿易フローへの広範な影響のために、5～20%規模の炭素リーケージ¹⁶が起こる可能性がある。[Q7.19]

技術開発や普及は、費用効率性のある安定化にとって重要な要素である。 [Q7.9 ~ 7.12, Q7.23]

環境上健全な技術の開発や移転は、温室効果ガス濃度安定化のコストを削減するうえで決定的な役割を果たすことができる。 各国や各地域間での技術移転は、地域レベルでのオプション選択の幅を広げることができる。規模の経済や学習は、これらオプションの採用コストを低減させる。各国政府は、健全な経済政策や規制枠組、透明性や政治的安定を通して、民間部門や公共部門での技術移転を可能にする環境を整えることができる。適切な人材や組織能力は技術移転の流れを増大させ、質を向上させるためのすべての段階において不可欠である。これに加えて、民間および公共部門の利害関係者間でのネットワーク化や、現地の開発ニーズや優先性に合致または適合した複数の副次便益をもつ製品や技法に焦点をあてるのが、最も効果的な技術移転には不可欠である。[Q7.9~7.12, 7.23]

低排出シナリオには、異なるエネルギー資源開発のパターン、そして高度で環境上健全なエネルギー技術の開発や普及の加速化を支援するエネルギー分野での研究開発の強化が必要とされる。 化石燃料の燃焼による CO₂ の排出が、21 世紀中の大気中の CO₂ 濃度の傾向に支配的な影響を与えることはほぼ間違いない。TAR で評価された資源データは、21 世紀中のエネルギー資源の構成率の変化と、新しいエネルギー源の導入を示唆する可能性がある。エネルギー資源の構成率の選択やこれに伴う技術および投資 非従来型石油および天然ガス資源を一層開発する方向性、または非化石エネルギー資源や炭素を隔離し貯蔵する化石エネルギー技術の方向性 により、温室効果ガスが安定化できるかどうか、もしできるならどのレベルで、そしてどのようなコストで安定化できるかが決まるであろう。[Q7.27]

安定化への経路と安定化レベル自体の両方が、緩和コストの重要な決定要素である¹⁷。 [Q7.24 ~ 7.25]

特定の安定化目標を達成するための経路は、緩和コストに影響を与える（264 頁、図 7 3）。世界の現在のエネルギーシステムからより炭素排出の少ない経済へと段階的に移行す

¹⁶ 炭素リーケージとは、ここでは附属書 B 国における削減実施により非附属書 B 国で排出量が増加することと定義されており、附属書 B 国における削減量に対する割合（%）で表示される。

¹⁷ 気候変化への影響の議論については QUESTION 6 を参照。

ることは、既存資本ストックの期限前回収に伴うコストを最小限にするとともに、技術開発のための時間を提供し、また急速に開発されつつある初期段階の低排出技術への時期尚早な固定（ロックイン）を避けることになる。これに対し、近未来により急激な行動をとることは、安定化への動きで柔軟性を増大させ、予測される気候変化に伴う環境上のリスクや人間に対するリスクおよびそれに伴うコストを低減し、既存の低排出技術のより急速な普及を促す可能性があり、さらに将来の技術変革に向けた近未来での強力なインセンティブを提供する。[Q7.24]

大気中のCO₂濃度を安定化するコストは、濃度安定化レベルが下がれば下がるほど増大することが研究により示されている。ベースラインの違いは、絶対コストに強い影響を及ぼしうる（264 頁，図7-3）。濃度安定化レベルが 750ppm から 550ppm に推移するとコストは穏やかに上昇するのに対し，550ppm から 450ppm に推移するとベースラインシナリオの排出量が非常に低いのでなければコストの伸びが大きくなる。モデル予測では，GDP の長期的な世界的成長経路は安定化に向けての緩和行動によって大きな影響は受けないこととなっており，これより短い期間や，部門，地域で生じる差異よりも大きくはない。この結果には炭素の隔離は含まれておらず，さらに目標を野心的にした場合に引き起こされる技術変化にはどのような影響がありうるかについては吟味されなかった。また，不確実性の問題は時間枠が拡大されるにつれ，重要性を増すようになる。[Q7.25]

QUESTION 8

予想される人為起源の気候変化と、ほかの環境問題（例、都市での大気汚染や地域的な酸性雨、生物多様性の喪失、成層圏オゾンの破壊、砂漠化、土地の劣化）との間の相互作用については何が知られているか？ 気候変化への対応戦略を地方、地域、地球規模レベルでの広範囲な持続可能な開発戦略のなかに公平に組み入れる場合、こういった相互作用の、環境や社会、経済的なコストや便益、そして影響ではどういったものが知られているか？

地方、地域、そして地球規模の環境問題は不可分のつながりがあり、また持続可能な開発に影響を与える。このため、これら環境問題に対するより効果的な対応オプションで便益を高め、コストを削減し、また人間のニーズをより持続可能な形で満たすものを開発する相乗的な機会が存在する。[Q8.1~8.2]

人間のニーズを満たすことは多くの場合、環境の劣化を招いており、その環境の劣化は逆に、人間の現在および将来的なニーズを充足する能力を脅かしている。例えば、農業生産の増大は、窒素肥料の利用増大や灌漑、あるいは自然の草原や森林を農作地に転換することで達成できる。しかしながら、こういった変化は、温室効果ガスの放出により地球の気候に影響を及ぼし、また侵食や土壌の塩化による土地の劣化を招き、自然の生態系の転換と細分化により生物多様性の喪失や炭素吸収量の減少に寄与する可能性がある。農業生産性は、さらに気候の変化による悪影響を受ける可能性があり、特に熱帯や亜熱帯では生物多様性の喪失や遺伝および種レベルでの変化、土壌の肥沃さが失われることによる土地の劣化などの可能性がある。こういった変化の多くは、食糧安全保障に悪影響を与え、また貧困層に不平等に影響を与える。[Q8.3, 8.15]

人為起源の気候変化の根底にある主な要素は、経済成長や、広範囲な技術変化、生活様式パターン、人口推移（人口規模、年齢構成、移民）および統治構造といった大半の環境問題や社会経済上の問題の要素と相似している。これらは次のものをもたらす。[Q8.4]

- ・自然資源やエネルギーの需要増大
- ・資源の非効率な利用につながるほか、環境上健全な技術の市場進出に対しても障壁となるような補助金といった市場の不備、自然資源の真の価値に対する認識不足、自然資源の世界的価値を地方レベルに適正配分されていないこと、資源の市場価格のなかに環境劣化のコストを内在化できないことなど
- ・技術の利用可能性と移転が限られていること、技術の非効率な利用、将来技術への研究開発投資が不適切なこと
- ・自然資源とエネルギーの利用を適切に管理できないこと

気候変化は、生物多様性の喪失、砂漠化、成層圏オゾンの破壊、淡水の利用可能性、大

気の質といった環境問題に影響を与え、またひいてはこれらの問題の多くにより気候変化が影響を受ける。例えば、気候変化は地方や地域の大気汚染を悪化させ、成層圏オゾン層の回復を遅らせると予測されている。加えて、気候変化は遺伝的な多様性や種の多様性の両方を喪失させる可能性も含め、陸上や水生の生態系の生産性や構成にも影響を与える可能性があり、土地の劣化を加速化し、さらに多くの地域での淡水の量や質に関する問題を悪化させる可能性がある。逆に、地方や地域の大気汚染、成層圏のオゾン層破壊、生態系の変化、そして土地の劣化は、温室効果ガスの排出源や吸収源、大気の放射バランス、そして地表面アルベドを変化させることで、地球の気候システムに影響を与える。[Q8.5 ~ 8.20]

地方規模、地域規模、地球規模の環境問題の相互のつながりと、これらの問題が人間のニーズの充足とどうかかわるかは、気候変化への対応オプションの開発と、気候変化に対する脆弱性の緩和との相乗性をとらえる機会を与えるが、問題間でのトレードオフも存在する可能性がある。環境問題と人間のニーズの間の複雑な関連を明確に認識する広範囲な技術や政策措置を採用することで、多角的な環境や開発の目標を達成できる。エネルギーのニーズを考慮し、その一方で地方、地域の大気汚染や地球規模の気候変化を費用効率性のある形で削減するためには、経済的、環境上、社会的に最も持続可能な形でエネルギー需要を満たすことの相乗効果やトレードオフの分野横断的な評価が必要である。温室効果ガスおよび地方や地域の汚染物質の排出は、より効率的なエネルギーの利用を通して、また低炭素排出化石燃料の割合増加、高度な化石燃料技術（例、高効率コンバインドサイクルガスタービン、燃料電池、熱・電力のコージェネ）、そして再生可能エネルギー技術（例、環境上健全なバイオ燃料、水力、太陽光、風力および波力の利用増大）によって削減可能である。さらに、大気中の温室効果ガス濃度の増加は炭素吸収の強化、例えば新規植林や再植林、森林減少の遅延化、森林、放牧地、湿地および農作地管理の改善により抑制することができ、これらは生物多様性や食糧生産、土地および水資源にも望ましい影響を及ぼす可能性がある。気候変化への脆弱性低減はほかの環境ストレスへの脆弱性も低減する可能性がある場合が多く、また逆も真である。場合によっては、便益を相殺するものもある。例えば、単一栽培は、その実施の仕方によっては、現地の生物多様性を減少させる可能性がある。[Q8.21 ~ 8.25]

各国の適応力および緩和力は、気候政策を経済、社会、その他の環境の側面を含めた国内の開発政策と統合するなら、強化することができる。気候緩和および適応のオプションは、人間のニーズを満たし、その福利を高め、その他の環境上の便益をもたらすといった副次便益を生むことができる。経済資源が限られており、技術レベルの低い国は気候変化やほかの環境問題に対し高い脆弱性を示す。[Q8.26 ~ 8.27]

多国間環境条約が扱う環境問題には相当な相互作用が存在し、それらの実施にあたって、相互協力を探ることができる。地球規模の環境問題は、多くの個別の条約や協定で扱われるとともに、多くの地域協定でも扱われる。これらの条約および協定は、特に、共通の関

心事項や、全般的な目的を設定するうえで相似する要求事項、例えば実施計画、データ収集と処理、人的および社会基盤の能力強化、報告の義務などが含まれる可能性がある。例えば、異なるものではあるが、オゾン層保護のためのウィーン条約と気候変動に関する国際連合枠組条約は、オゾン層破壊の原因となる物質の多くが、重要な温室効果ガスでもあることから、また新しく禁止されたオゾン層破壊物質を代替する物質の一部が温室効果ガスであることから、科学上相互に関連している。[Q8.11 , 8.28]

QUESTION 9

気候変化の特性において、そして下記に関するモデル予測において、最も強固な見解と主要な不確実性とは何か？

- ・温室効果ガスおよびエアロゾルの将来の排出量
- ・温室効果ガスおよびエアロゾルの将来の大気中濃度
- ・地域的および地球規模の気候の将来の変化
- ・地域的および地球規模の気候変化の影響
- ・緩和および適応オプションのコストと便益

この報告書において、気候変化についての強固な見解とは、さまざまなアプローチ、手法、モデル、そして想定の下で妥当性を有するものであり、比較的不確実性により影響されないと予想されるものとして定義される。この意味で主要な不確実性とは、もしその不確実性が低減されるなら、この報告書における質問に関する新しいそして強固な見解へとつながる可能性があるようなものである。表 SPM 3 のなかの例では、強固な見解の多くが、人間の活動に対する気候システムの応答の存在や応答の兆候に関係している。主要な不確実性の多くは、応答の規模および/またはタイミングの定量化に関するものである。この表は、気候変化での原因特定について示したうえで、図 1 1 (211 頁) に示した問題を整理して扱っている。図 9 1 (276, 277 頁) は気候変化に関する主な強固な見解の一部を紹介している。表 SPM 3 は例示に過ぎず、またこのリストだけで言い尽くされるものでもない。

TAR では、気候変化とそれに対する人間の反応を理解するために必要な知識について、多くの側面で顕著な進展がみられた。しかしながら、さらなる作業が求められる主要な分野が残されており、特に次の点に関して作業が必要である。

- ・気候変化の検出および原因特定
- ・地域気候変化および極端な気候現象についての理解と予測
- ・地球、地域、地方レベルでの気候変化の影響の定量化
- ・適応および緩和活動の分析

- ・持続可能な開発に向けた戦略のなかへの気候変化問題の全側面の統合
- ・何が「気候システムに対する危険な人為的干渉」を構成するかについての判断を支える包括的かつ統合的な調査研究

表SPM-3 を挿入