



地球規模の気候変動リスク管理戦略の
構築に関する総合的研究



環境省環境研究総合推進費 戦略的研究プロジェクトS-10
地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究

2017年3月

はじめに

我々の研究プロジェクト ICA-RUS (Integrated Climate Assessment – Risks, Uncertainties and Society) は、環境省環境研究総合推進費 S-10「地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究」として 2012 年度から開始された。本レポートは、全プロジェクト期間 5 年間の研究成果を統合して発表するものである。

この 5 年間の間に、気候変動問題をめぐる状況は大きく進展した。2015 年末に、国連気候変動枠組条約の第 21 回締約国会議がパリで開催され、2020 年以降の気候変動対策の新しい国際枠組である「パリ協定」が採択された。パリ協定には「世界的な平均気温上昇を工業化以前に比べて 2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」こと、そのために「今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成する」ことが長期目標として盛り込まれた。パリ協定は 2016 年 11 月に国際条約としては異例の早さで発効し、国際社会がこの長期目標を目指す体制が整った。

パリ協定採択前まで、ICA-RUS では、世界が 1.5℃、2℃、2.5℃といった異なる長期目標を目指したそれぞれの場合、避けられるリスク、残留するリスクは何か、対策に伴うコストや副作用のリスクは何か等を整理し、人類が気候リスクに対処する方針の「選択肢」を示すことに努めてきた。しかし、パリ協定で長期目標が合意されたことにより、人類の「選択」はすでに成されたとみることができる。そこで、パリ協定採択以降は、プロジェクトの研究成果に基づき、パリ協定の長期目標の含意をリスクの観点から解釈するとともに、残された課題を議論した。

しかし、パリ協定の採択、発効により、気候長期目標の議論が終わりになるわけではないだろう。各国の対策目標を合計しても世界全体で目指すべき削減ペースが実現する目途は立っておらず、今後は各国の目標の深掘りが求められる。また、いくつかの国で自国優先主義の台頭が目立ち始め、国際協調に基づく気候変動対策枠組が脅かされる気配がある。こうした中で、長期目標が問い直される機会はおそらく繰り返し訪れる。その際に、本プロジェクトならびにその後の同様な研究の成果が、議論の指針を与えることを祈っている。

ICA-RUS プロジェクトリーダー 江守 正多

ICA-RUS REPORT 2017

地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究

Integrated Climate Assessment-Risks, Uncertainties and Society



CONTENTS

目次

■ エグゼクティブ・サマリー	1
■ 1 ICA-RUS の検討体制	3
1.1 ICA-RUS の検討枠組	3
1.2 ステークホルダーとの対話	3
■ 2 「戦略」評価方法	4
2.1 「戦略」の考え方	4
2.2 「戦略」検討にあたっての留意事項	5
2.3 「戦略」の評価手順と構成要素	6
2.4 分析ケース	7
■ 3 「戦略」評価結果	8
3.1 影響評価結果	8
3.2 対策評価結果	16
■ 4 気候変動問題に係る意思決定における社会的合理性	22
4.1 気候変動リスク管理をめぐる社会的合理性の理論	22
4.2 気候変動リスク管理をめぐる人々の意思決定	23
4.3 気候変動リスク管理をめぐるリスク認知構造	24
■ 5 今後の課題	25

エグゼクティブ・サマリー

—本レポートの結論とメッセージ—

本レポートでは、工業化以前からの世界平均気温の上昇を66%程度の確率¹で1.5℃、2.0℃、2.5℃以下に抑えるための排出経路を緩和目標として掲げること、それぞれT15、T20、T25という3つの「戦略」として設定した。その上で、影響評価と対策評価の両面から、不確実性を考慮しつつ、地球規模における各「戦略」の帰結を比較することを試みた。

■ 影響評価

農業、生態系、水資源、洪水、健康、ティッピングエレメントの各項目について影響評価を行った結果、一般的傾向として、「戦略」間の差は、各「戦略」とBaU（気候変動対策無しの場合）との差に比べて小さく、かつ気候不確実性の幅と比べても小さいことが示された。一部の項目（農業、健康）については適応策の効果を評価したが、同等なレベルの適応策実施を想定した「戦略」間を比較した場合も上記の傾向は変わらなかった。

このことから、地球規模リスクの観点からは、1.5℃、2.0℃、2.5℃のいずれを目指すかという選択よりもむしろ、大きな方向性としてそのいずれかに確実に向かっていくこと、および気候不確実性への対処を考えることが重要であるという示唆が得られた。

ただし、本研究では影響評価項目の包括性に限界がある上に、市場価値のような統合指標への換算ができておらず、項目間の比較や対策評価との比較にも限界があることに注意を要する。また、特定地域における特定項目の影響では「戦略」間の差が小さいとはいえない可能性がある。

さらに、ティッピングエレメントに注目すると、「戦略」間の差が重要な意味を持つ可能性がある。本研究では、既存の知見を基に簡便な仮定を置いて、グリーンランド氷床融解の不安定化と北極海の夏季海水の消滅について、閾値（ティッピングポイント）を超える確率を「戦略」毎に試算した。T15では、2100年までに閾値を超える確率がT20に比較して半分前後に抑えられる結果となり、閾値現象を考慮することにより「戦略」間に顕著な帰結の違いが認識

される可能性が例示された。

■ 対策評価

各「戦略」の緩和目標を達成するために必要な緩和策および経済損失等を、複数の統合評価モデルを用いて見積もった結果、「戦略」間の差は顕著であった。特にT15は、本研究で用いた対策評価モデルの範囲では、よほど楽観的な条件の下でないと実現しないか、モデルによっては実行可能解が得られなかった。

また、社会経済発展経路としてSSP1（持続可能社会）、SSP2（中庸）、SSP3（分断社会）のそれぞれを用いた場合の結果を比較すると、SSP2、SSP3と社会経済発展経路が持続可能性から遠ざかるにつれ、「戦略」が必要とする排出削減によって生ずる経済損失は明瞭に拡大した。T15については、SSP1ではどのモデルでも実行可能解を描きうるが、SSP3では実行可能解を示せないモデルが増えた。

これらの「戦略」の緩和目標を達成するための技術オプションの選択は、モデルによって大きく異なり、原子力の大規模な導入により達成する方法も、再生可能エネルギーの大規模な導入により達成する方法もあることが示された。一方で、CO₂ 隔離貯留（CCS）はどのモデルに従ってもある程度大規模な導入が必須である。尚、バイオマスエネルギーに大きく依存する対策を想定した場合、大規模バイオマス生産のための農地需要により、食料生産との競合、水資源の逼迫、生態系サービスの損失といった波及的な影響も懸念されることが、食料・水資源・生態系モデルを用いた追加分析により示唆された²。

一般に、統合評価モデル分析では、世界全体での経済合理的な最適行動を前提としているため、コスト等を見積りが楽観的になる傾向がある。しかし一方で、技術体系や社会経済体系を大きく変えるような未知のイノベーションを表現することはできないため、現実より悲観的な面があるとも見ることできる点に注意を要する。

¹ T20がIPCC等で標準的に参照されるRCP2.6シナリオと概ね同等となるように、報告書第1版から確率を変更した。ただし、これはリスク回避性向として標準的に66%を用いることを推奨するものではなく、あくまで例示である。リスク回避性向はリスク判断の重要な一部であり、温度目標とそれを超えない確率を合わせて考えることで目標とする排出経路が決定する。例えば、80%程度の確率で2.0℃を超えない経路は50%程度の確率で1.5℃を超えない経路と概ね同等である。

² 本レポートでは説明を省略した。次の論文に関連の説明がある。Kato, E.E. and Yamagata, Y. (2014) BECCS capability of dedicated bioenergy crops under a future land-use scenario targeting net negative carbon emissions. *Earth's Future*, 2, 421-439.

■ パリ協定の長期目標の含意と残された課題

パリ協定の長期目標として「世界的な平均気温上昇を工業化以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」こと（温度目標）、そのために「今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成する」こと（排出経路目標）が国際的に合意された。

1) 大きな方向性としての排出経路目標

このうち排出経路目標は、上述した「大きな方向性として1.5℃、2.0℃、2.5℃のいずれかに確実に向かっていくこと」の指針となる行動目標として評価できる。

一方、排出経路目標が実現した際に温度目標が実現するかどうかは現実の気候感度等に依存し、不確実性がある。例えば、T20の排出経路（RCP2.6相当）が実現した場合に、約33%の確率で現実の気候感度が低く1.5℃未満の目標が達成できるが、同じく約33%の確率で現実の気候感度が高く2℃未満の目標も達成できない。

2) 不確実性への対処

この不確実性に対処するために、第一に、「学習」による不確実性の低減に期待することができる。本研究では、今後の気温上昇の推移を監視することによって、今世紀末の気温上昇予測の不確実性を今世紀半ばまでに半分程度まで減らせる可能性を示した³。

第二に、この「学習」の結果、将来の気温上昇が高い（～気候感度が高い）ことが判明した場合に取りうるオプションとして以下の3つが考えられる。

- A. 温度目標を超える気候状態の受入れ（適応を含む）
- B. 緩和の強化による温度目標達成の追及
- C. 気候工学（特に太陽放射管理）による気温制御

Bについて、本研究の分析では、例えば気候感度3.65℃を仮定して気温上昇2℃未満を目指す緩和経路に沿った後、今世紀半ばに気候感度が4.5℃と判明して2℃未満を目指す為に緩和経路を強化した場合、T15を超える大きな経済損失が生じるという結果を得た。

Cについて、本研究では、太陽放射管理の代表的アイデアである成層圏エアロゾル注入の実施コストが従来の想定よりも数倍以上大きいことを示すとともに⁴、気候工学をめぐる倫理的な課題の検討を行った。

A, B, Cのいずれを（あるいはそのどのような組み合わせを）選択したとしても、パリ協定の排出経路目標の実現により温度目標を達成できた場合に比べて、追加的なリスクを引き受ける必要があることに注意を要する。

パリ協定における温度目標の合意は、BまたはCのリスクを引き受けてまで温度目標を追及するという判断を意味しているわけではないであろう。従って、もしも気候感度が高く、パリ協定の排出削減目標が実現したとしても温度目標が実現しない見通しとなった場合には、気温上昇が2℃または1.5℃を超えてはいけない理由を国際社会が深く再検討し、A, B, Cの選択に伴うリスクを比較した上での再判断が必要になると考えられる。

3) 排出経路目標達成の考え方

ここまでは排出削減目標達成を前提に議論したが、実際にはその達成自体が人類にとって壮大な挑戦である。

これについて本研究からいえることは、第一に、社会経済発展経路（SSP）が持続可能なものから遠いほど、緩和目標の達成が困難になる傾向が明瞭であった。このことから、緩和目標達成のための政策は、社会経済発展経路を所与として低炭素化の技術や制度を導入する狭い意味での気候政策に限定されず、社会経済発展経路をより持続可能な方向にシフトさせるための幅広い「持続可能性政策」を含むべきである。

第二に、モデルは現時点で予見できない社会経済や技術のイノベーションを表現できないのであるから、数十年より先を考える上では、モデルにより導かれる制約（膨大な対策コスト等）を必ずしも絶対的なものとみなさず、むしろモデルの前提を変化させるにはどうしたらよいかを柔軟かつ創造的に発想する必要がある。

■ 民主的な意思決定

最後に、一国における気候問題の対処方針を民主的に意思決定するにはどうすべきか。気候リスクの問題は、複雑、長期的、効力感が持ちにくいなどの特徴があり、市民の多くは自分の意見を述べるのが難しいと感じる傾向がある。しかし、専門家に判断を完全に委任したいわけでもない。社会の判断を代行するのではなく、多様な観点から課題の整理等を行い社会の議論を手助けする媒介専門家を組織することが有効と考えられる。

³ 本レポートでは説明を省略した。詳細版コラム2および次の論文に詳しい説明がある。Shiogama, H. et al. (2016) Predicting future uncertainty constraints on global warming projections. Scientific Reports, 6, 18903.

⁴ 本レポートでは説明を省略した。詳細版コラム3および次の論文に詳しい説明がある。Moriyama, R. et al. (2016) The cost of stratospheric climate engineering revisited. Mitig Adapt Strateg Glob Change, doi:10.1007/s11027-016-9723-y

1.1 ICA-RUS の検討枠組

2012 年から開始された研究プロジェクト「ICA-RUS」の検討枠組は以下の 3 点の特徴を有している。

1 つ目は、大気中温室効果ガスの増加による地球規模の気候変動への人類の対処を「リスク管理」と捉える点である。「リスク管理」という言葉には、1) 不確実性下の意思決定である、2) 科学的情報に基づく意思決定である、3) あらゆる状況や選択肢をできる限り考慮に入れる、4) 状況の変化に応じて柔軟に見直す、5) 社会的な価値判断を伴う、といった意味を込めている。

2 つ目は、地球規模かつ長期（100 年スケール）の視点でこの問題を扱うという点である。現実には、気候変動問題に対する意思決定は、個々の主体により、様々な時点で作られるものである。しかし、そのような意思決定も多くの場合「世界全体としてはどうするのが望ましいか」という前提を基礎とするであろうし、実際に国連の気候変動枠組条約においては世界全体の目標等の議論が行われている。そこで、ICA-RUS では地球規模かつ長期の視点で、この問題に対する人類レベルの選択肢を検討した。

3 つ目は、選択肢としていくつかの「戦略」を設定するという点である。気候変動問題への対応オプションは主に緩和策と適応策であるが、加えて気候工学も可能性として存在するとともに一定のリスクを受容することもオプションの一つと考えられる。ICA-RUS ではこれらのオプションを様々な組み合わせた気候変動リスクへの対処をリスク管理の「戦略」と呼び、様々な「戦略」が人類の選択肢となると位置づけ検討を行った（詳細は後述）。

このような 3 つの特徴を有する枠組みでの検討を実現するため、ICA-RUS は 5 つのテーマにより構成され、それぞれのテーマに国内の複数の大学、研究機関から専門家が参加した（表 1）。

1.2 ステークホルダーとの対話

ICA-RUS では、ステークホルダーとして、政府組織、産業 / ビジネス、NGO、メディア、研究者といったグループとのコミュニケーション・対話・協働にも重点を置いて検討を進めた。これは、ICA-RUS における検討のどの手順においてもステークホルダーとのコミュニケーションを行うことで、

ステークホルダーのリスク認知や価値をリスク管理とリスク評価に反映させることができ、また、その手順を経て示されるリスク管理の「戦略」すなわち選択肢は、結果的にリスク管理の現場での活用に耐えうるものになると考えたためである。

表 1 各研究テーマの概要

テーマ 1 地球規模の気候変動リスク管理戦略の総合解析に関する研究	●気候安定化目標を含む総合的な気候変動対策の道筋を合理的に決定するリスク管理戦略を提案する。
テーマ 2 気候変動リスク管理に向けた土地・水・生態系の最適利用戦略	●気候変動の影響および対策と水、エネルギー、食料、生態系などの相互作用を、不確実性を含めて定量的に評価したシミュレーション結果を提示し、その結果に基づいて、コベネフィットやトレードオフ等を分析する。
テーマ 3 クリティカルな気候変動リスクの分析に関する研究	●人類が回避すべきと考えられる気候変動影響の候補について、それが発現する気温上昇レベル、悪影響の規模や性質などを不確実性を含めて網羅的に評価し、気候変動レベル毎のリスクを分析する。
テーマ 4 技術・社会・経済の不確実性の下での気候変動リスク管理オプションの評価	●緩和、適応、気候工学を含む広範囲の気候変動対策オプションについて、そのポテンシャルやコストなどを不確実性を念頭に置いて総合的に評価し、その達成難易度や対策オプションの合理的な組合せ方を分析する。
テーマ 5 気候変動リスク管理における科学的合理性と社会的合理性の相互作用に関する研究	●気候安定化目標等の決定に影響を及ぼす種々の価値判断に関する、国民の意見分布を分析する。 ●国民の気候変動リスク認知における社会的要素及び科学・リスクコミュニケーション上の重要特性を分析する。

2.1 「戦略」の考え方

ICA-RUS では、緩和目標ごとに以下の **Step 1 ～ 3** までの検討を行った結果導かれる、緩和目標とその帰結の幅、適応（＋気候工学）の検討までのセットの一つ一つを「戦略」とよび、社会が採りうるリスク管理の選択肢として扱う（図 1）。

ただし、**Step 3** での適応ならびに気候工学の検討については、包括的な定量評価を行うには至らなかったため、本レポートでも **Step 1・Step 2** の検討を中心にその評価結果を報告している。

Step 1: 緩和目標の設定

緩和目標として、長期（2100 年まで）の世界の温室効果ガス排出量の経路（時系列）を設定し、現実の排出量がこれに沿うことを目指すものとする。緩和目標は a. 「目標温度レベル」、b. 「リスク回避性向」、c. 「経路に関する仮定」の 3 つの選択によって特徴づけられる。

「目標温度レベル」は、工業化以前からの世界平均気温上昇量のピークを何℃以内に抑えるべきかについての選択である。

「リスク回避性向」は、科学的な不確実性の下で、どの程度高い可能性で目標温度レベルを超えないようにしたいかという選択である。

「経路に関する仮定」では、将来に世界全体でゼロ排出もしくはマイナス排出が実現して、大気中温室効果ガス濃度を減少（濃度が一度増加した後に減少する「オーバーシュート」）させることができるという見通しを採用するか否かの選択が重要となる。

Step 2: 不確実性の下での緩和目標ごとの帰結の幅の導出

気候（＋影響）不確実性、緩和行動の不確実性、社会経済不確実性などさまざまな不確実性があることを考慮して、緩和目標の帰結に幅を持たせる。気候不確実性は、地球の気温の上がりやすさに関係する「気候感度」や「気候－炭素循環フィードバック」などの科学的な見積りに不確実性があるために生じる。

緩和行動の不確実性は、目標達成に必要と認識された緩和行動が実際には部分的にしか実行されない可能性や、実行したが想定していたほど効果が無い可能性などにより生じ、気温上昇が当初見込みよりも大きくなるリスクをもたらすと考えられる。

社会経済不確実性（気候政策を除いた部分）は、世界の人口、経済発展、社会格差などの将来の見通しに不確実性があるために生じる。

Step 3: 必要な適応強度の検討（＋気候工学の必要性の検討）

緩和目標ごとに必要となる適応策の強度を検討し、可能であればそのコストを見積もる。

この際、各種の不確実性により緩和目標ごとの帰結には幅があり、特に気温上昇が目標を超えてしまうリスクがあるため、それを考慮に入れながら適応策の検討を行うことが重要となる。さらに、大きな気温上昇の可能性が排除できない場合には、気候工学、特に太陽放射管理の発動、あるいはその準備の必要性について検討する。

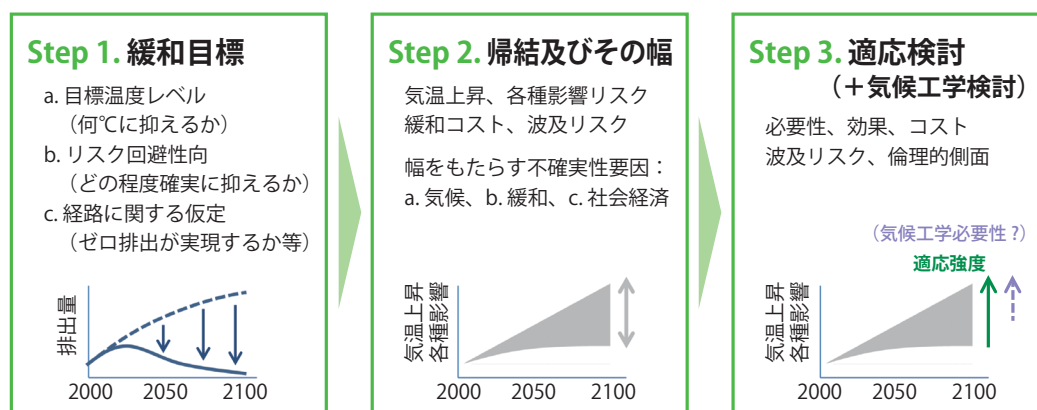


図 1 「戦略」の考え方

2.2 「戦略」検討にあたっての留意事項

包括性

気候変動のリスク、対策オプション、および対策に伴う波及リスクは様々な分野に及ぶため、その包括的な把握は容易でない。しかし、検討範囲が包括性を欠くことは検討結果に偏りを生じさせ、検討の中立性を脅かす原因となるため、注意が必要である。このため、ICA-RUS では、限られたリスク項目における独自の分析と並行して、既存知見のサーベイに注力することで包括性の向上に努めた。

また、ICA-RUS では、その評価の包括性を明示すべく、気候変動のリスク、対策オプション、および対策に伴う波及リスクを一覧表（リスクインベントリ・対策インベントリ）の形で整理した。ただし、本レポートで記載するリスク項目は、把握されているすべてのリスクのうちの一部に限られていることに注意が必要である。

不確実性

不確実性にいかに対処するかはリスク管理の根幹である。ICA-RUS が扱う地球規模の気候リスク管理に関連した不確実性は多様であり、あらゆる不確実性を十分に考慮することは容易でない。本レポートでは、不確実性をできる限り明示的に扱っているが、その扱いの方法、および考慮できていない不確実性について留意する必要がある。

例えば、本レポートでは異なる5つの気候モデルを用いることによって気候の不確実性を表現している。5つのモデルはCMIP5 気候モデルアンサンブルの世界平均気温、降水量予測の幅の上限、下限を概ねカバーするものの、予測の地理的な分布などについては様々であるため、あくまで例示と見るべきであろう。

緩和行動の不確実性についていえば、たとえ緩和目標を国際的に掲げたとしても、各国の政治経済的判断等、なんらかの理由によってその削減経路が実現できないことも起こりうる。そのような緩和策の不履行等が「戦略」選択の帰結に及ぼす効果については、モデル実験で対応する非最適な条件を想定することで分析対象として扱い得る。

他に、ICA-RUS で明示的に扱うことができていない主要な不確実性として、影響評価手法自体の不確実性を挙げる必要がある。例えば「コメの生産性」への気候変化の影響を推定する場合、そのために用いる作物モデルの種類が違

うと推定結果に大きな差が生ずる。ICA-RUS では各影響評価指標について一つずつの影響評価手法でしか推定を行っておらず、影響評価手法の選択に伴う不確実性幅については扱っていない。

一方で、対策分析については、構成の異なる複数の統合評価モデル（MARIA、EMEDA、GRAPE、AIM）を用いて同じ想定条件で対策分析を実施することで、例示的ではあるが、対策分析に用いる評価手法の不確実性を明示的に示す努力をしている。一方で、技術体系や社会経済体系を大きく変えるような未知のイノベーションをモデルで表現することはできず、取り扱われるのは現在知られている技術の改良と普及に限定される。

価値判断

戦略の各ステップにおいては価値判断が暗に陽に関係する。ICA-RUS の基本スタンスとしては、どこに価値判断が関係するのかを自覚したうえで、研究者の価値判断は極力含めずに「戦略」を偏りのない選択肢として作成・提示し、その「戦略」をなんらかの価値判断に照らして選択することについては社会的な議論に委ねることを意図している。すなわち、緩和のためにどの程度まで経済損失・消費損失が生じて良いと考えるか、どの程度までの影響リスクは残ることを受け入れるか、といった判断については社会に委ねるというスタンスである。しかし、定量的な分析を実施するうえで、モデル選択やパラメータの仮定などの中に、除去できず暗に含まれてしまう価値判断に相当する要素もある。

ICA-RUS が示す「戦略」の検討にあたっては、上記の包括性、不確実性、価値判断について留意すべきである。

2.3 「戦略」の評価手順と構成要素

本レポートでは、3つの異なる選択（緩和目標）について、対策分析・影響分析を実施し、表2に示すセクター・観点について分析結果をとりまとめ、「戦略」として示した（表3）。

表2 評価対象の影響部門や指標

影響評価	対策評価
a. 農業被害	a. GHG 排出・削減経路
b. 陸域生態系被害	b. GDP および消費の損失
c. 水文水資源被害	c. エネルギー需給
d. 洪水被害	d. 技術オプション
e. 健康被害	e. 土地利用と食料需給
f. 海洋・海洋生態系	f. 産業部門・地域別影響
g. ティッピングエレメント	

表3 評価対象とした3つの「戦略」

「戦略」名	目標温度水準 (工業化前比)	SCM4OPT 排出 経路分析での 気候感度想定 [リスク回避性向]	SCM4OPT での 気温変化推計時 の簡易気候モデル 気候感度設定
T15	1.5℃	3.65℃	3.0℃
T20	2.0℃	3.65℃	3.0℃
T25	2.5℃	3.65℃	3.0℃

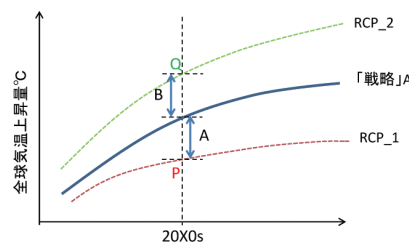
なお、各影響モデルを用いた分析は「分析ケース」（2.4で説明）についてのみ影響分析を実施し、その結果と、SCM4OPT⁵により評価した「戦略」ごとの世界平均気温上昇を統合的に用いることで、簡略に「戦略」に対応した影響評価を実施することとした。具体的な手順は以下の通りである（図2）。

- 1 SCM4OPT 内の簡易気候モデル式を用いて、4つの RCP シナリオ⁶（RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5）での世界平均気温経路を計算する。

- 2 4つの RCP シナリオでの世界平均気温上昇のうち、「戦略」に対応して SCM4OPT が示した世界平均気温上昇に最も近いもの2つを選び、「戦略」に対応した気温上昇量との距離に応じて両 RCP の重みづけ係数を計算する。（4つの幅の外側の気温上昇の扱いについては図2中の説明を参照。）

- 3 分析ケースごとに推計された影響量のうち、手順2で選ばれた2つの RCP シナリオを前提としたものを用いて、同じく手順2で計算された重みづけ係数を用いた内挿補間により「戦略」に対応した影響量を算定する。

線形に内挿



20X0sにおける「戦略」Aの影響量:

$$\text{重み: } w = B/(A+B)$$

$$\text{影響量: } \text{Impact}_{\text{戦略}A} = w \times \text{Impact}_{\text{RCP}_1} + (1-w) \times \text{Impact}_{\text{RCP}_2}$$

※Impact_{RCP_1}: GCM: gのRCP_1における影響量

○「戦略」の気温上昇が、4つのRCPの気温上昇のどれよりも小さい時
昇温が最小のRCPでの影響量と2番目に小さいRCPでの影響量を用いた外挿で、「戦略」での影響を計算。
ただし、作物生産性、海面上昇影響、熱帯低気圧影響、洪水被害、マラリア、熱関連超過死亡については、社会経済因子のみ将来変化する前提で影響量の追加分析を行い、それをRCP_1での影響量として扱い内挿補間した。
○「戦略」の気温上昇が、4つのRCPの気温上昇のどれよりも大きい時
昇温が最大のRCPでの影響量と2番目に大きいRCPでの影響量を用いた外挿で、「戦略」での影響を計算。

図2 「戦略」に対応した影響分析の簡易手法

一方、対策分析については、分析ケース別の評価を実施するとともに、「戦略」別にも同様に統合評価モデルを用いた評価を実施した。

本レポートでは、考察の煩雑さを抑えること、政策関連性の高い戦略ケースを選ぶことを優先し、3ケースに絞り分析した。（表3）この3つの「戦略」では、「目標温度レベル」と「リスク回避性向」のみを扱い、「経路に関する仮定」の考慮については今後の検討課題とする。

⁵ SCM4OPT は、地球規模での温暖化影響と対策（緩和）費用を統合的に評価する代表的な経済モデル DICE（Dynamic Integrated model of Climate and Economy）を基礎として、マルチガス・SSP シナリオ対応、簡易炭素循環・気候モデル改良を施し、ICA-RUS 独自に開発を行った、動学的最適化モデルである。

⁶ RCP（Representative Concentration Pathways: 代表的濃度経路）とは、気候モデルを用いた将来予測シミュレーションに活用する、温室効果ガスの排出量・濃度シナリオである。

2.4 分析ケース

ICA-RUS では「戦略」を評価するための材料として、複数の「分析ケース」を設定し、影響評価（個々の影響の発生時期、範囲および被害規模の評価）と対策評価（緩和目標の達成に必要な対策の内容とそのコストの評価）を行った。

各分析ケースは、温室効果ガス排出シナリオ（排出量の時系列データ、加えて温室効果ガス濃度や放射強制力を含む場合もある）、気候モデル（気温や降水等の将来予測シミュレーションに用いられる）、社会経済シナリオ（人口・経済・土地利用等の時系列データ）の組み合わせによって定義され、影響評価・対策評価の共通の前提条件として用いられる。

気候変動に係るシナリオ開発に関しては、「新シナリオプロセス」と呼ばれる国際協調プロセスが実施されている。ICA-RUS では、この国際協調プロセスに整合的な形で、分析ケースを設定する。

ここで新シナリオプロセスへの整合とは、1) 影響評価のための気候シナリオとして RCP シナリオ前提の CMIP5 気候モデル出力を活用、2) 影響評価のための社会経済シナリオとして SSP シナリオを活用、3) 対策評価（緩和政策評価）のベースライン（対策無し想定）の社会経済シナリオとして SSP シナリオを活用、4) 対策評価での緩和政策目標（緩和の水準）として RCP シナリオが想定する放射強制力水準への安定化について分析することを指す⁷。

影響評価での気候シナリオ選択については、気候シナリオに大きな差が表れるため、複数気候モデルによる気候シナリオを活用した予測幅の把握が重要になる。ICA-RUS では、研究資源の制約を考慮して、影響評価を担当する全研究チームが実施する分析ケースとしては、国際的な活用実績をふまえて選定した 5 気候モデル（GFDL-ESM2M・HadGEM2-ES・IPSL-CM5A-LR・MIROC-ESM-CHEM・NorESM1-M）による排出シナリオ（RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5）想定での気候シナリオを利用することとした。（ただし、海洋関連の影響指標である貧酸素水塊、輸出生産、資源量指数に

については、海洋関連の気候シナリオの入手性をふまえ、異なる気候モデルのセットで分析ケース別の影響評価を実施した。）

また、社会経済シナリオについても、その不確実性幅をおさえるために 3 種の社会経済シナリオ（SSP1・SSP2・SSP3）を利用した。

一方、対策評価においても、ベースラインの社会経済シナリオとして同じく SSP1・SSP2・SSP3 の 3 つを、緩和水準として 4 排出シナリオ（RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5）が想定する放射強制力水準への安定化を、分析ケースとして扱った。

なお、本レポートでは「戦略」別の影響評価・対策評価結果のみを報告し、分析ケース別の影響評価・対策評価の結果については報告書詳細版 第 3 章で図表を用いて詳しく報告している。

⁷ RCP シナリオ、SSP シナリオの詳細については報告書詳細版第 2 章を参照

3.1 影響評価結果

本報告詳細版第4章では、T15、T20、T25の3つの「戦略」と、参考値としての緩和策の無いBaUケースの計4条件について、世界全域ならびに世界を26地域に区分し、各地域での現状（1981-2000年）からの変化量（差）あるいは変化率（比）として、影響量を示し、一部の影響指標に関しては、想定された社会経済条件（SSP1/SSP2/SSP3）間の影響量の違いについても示した。各「戦略」での影響評価結果を総合し、以下の7つの考察を得た。

1. 概ね全ての影響指標について、3つの「戦略」（T15、T20、T25）の間の差異に比べ、それらと無緩和ケース（BaU）との差異の方が大きい。これは、RCP2.6～RCP8.5の気候変化幅に比べて3「戦略」の間の気候変化幅が小さいことによる。なお、水ストレス人口については、無緩和ケースと3つの「戦略」の間の差が明確にみられないが、これは、水ストレス人口が社会経済因子（人口）の変化に対して感度が高く、気候変化への感度が相対的に小さいことによる。
2. 農作物の生産性、純一次生産、植生バイオマス量などのように、気候変化が大きくなるにつれ、無緩和ケースも含めた今回の分析の範囲内では、食料安全保障や炭素管理の観点からの好影響が単調増加する指標があることを指摘しておきたい。ただし、世界・広域集計された指標で好影響が示される場合でも、その地域間・地域内の差まで見てみると、一概に単調な好影響の増加とみなせない場合もある。また、気候変化に対して単調増加する指標に共通の特徴として、大気中CO₂濃度による二酸化炭素施肥効果が作用する指標であることも指摘しておく。
3. 「戦略」間で比較した場合に、気候変化の大きさに従い、悪影響が非線形に増加する影響指標の存在も指摘できる。野外火災、洪水暴露人口、洪水暴露GDP、熱関連超過死亡数は典型的な例である。このうち洪水暴露人口と洪水暴露GDPは、気候変化に応じて強い雨の頻度が増し、結果的に洪水の発生確率が高まること、その増加傾向の主たる因子である。極端現象な

らびにその影響については、緩和策の強度に対する非線形な応答に注意が必要であることを示唆している。一方、バイオマス火災、熱ストレス超過死亡数については、他の影響指標に比べ、気候関連因子のうち気温上昇が直接に寄与しやすい影響指標であることが、その単調増加傾向の背景にある。これらの影響指標で示されるリスクは、緩和策の効果が直接に表れるリスクといえる。

4. これは気候変化に応じて好影響が生ずる影響指標にも悪影響が生ずる影響指標にも当てはまるが、気候変化が大きい「戦略」であるほど気候モデルの違いによる不確実性幅が大きくなる傾向があることも詳細版4章の一連のグラフから読み取れる。この不確実性幅の違いの対策検討への含意は影響の性質によってもあるいは影響を受ける側のリスク認知・価値観によっても異なるが、不確実な事象への対処であるリスク管理の観点からは注視が必要である。
5. 同じく不確実性幅に関する考察となるが、「戦略」間の影響量の差に比べて、同一「戦略」の中での気候予測の違いによる不確実性幅の方が大きい場合が多い。また、次項のように、一部の項目（農業、健康）については適応策の効果を評価したが、同等なレベルの適応策実施を想定した「戦略」間を比較した場合も上記の傾向は変わらなかった。このことは、気候変化とその影響に備えた適応策を検討するうえで、長期目標として1.5°C、2.0°C、2.5°Cのどれを目指すかということよりも、どの目標を定めたとしても依然として残る気候予測の不確実性に対してどう対峙するのかの方が、重要度が高い可能性を示している。
6. 農業部門（作物生産性）・人間健康（熱関連超過死亡）については、複数の適応強度を仮定した分析を行った。いずれの場合でも、適応の有無による影響量の違いは、「戦略」間の影響量の違いよりも大きい。影響量を極力小さく抑制することを目指すならば、T15やT20のような強い緩和政策を選択したうえで、適応策を実施することが求められる。一方、影響量の最小化を絶対的な目標とせず、適応無しでGCM幅の悲観側が現実

化した場合に生じてしまう大きな影響の回避を重視するならば、T25のような比較的緩やかな緩和政策を選択したうえで適応策を確実に実施することも選択肢たりうる。ただし、熱関連超過死亡に関しては、BaUの場合には適応実施によっても影響が表れる可能性があることから、適応のみに依存した対策には限界があることが示された。

7. ティッピングポイントを持つ大規模事象の生起についての「戦略」の比較評価について、グリーンランド氷床融解と北極海夏季海水消失の閾値温度の超過について確率的評価を示した。なお、グリーンランド氷床のティッピングポイントとはグリーンランド氷床の表面質量収支が負に転じる昇温量を指し、北極海夏季海水のティッピングポイントとは、北極海で夏季に海水が消失する閾値となる昇温量を指す。グリーンランド氷床融解について、BaU (SSP2) の場合、2100年までにティッピングポイントを超過する確率は84%だが、T15、T20の場合、それぞれ21%と35%であった。T15を取ることで閾値超過の時期を遅らせることが出来るが、閾値を超えた場合でも実際の問題（大きな海面上昇とその被害）が生ずるのは数百年～数千年先になるため、この超過年を遅らせる効果の意義をどう解釈するかは議論が残る。同様に北極海夏季海水消失について、BaU (SSP2) の場合は、2100年までにティッピングポイントを超過する確率は90%だが、T15、T20の場合、それぞれ13%と28%であった。

以上の考察は、本研究が評価対象とした3つの「戦略」について、（個別影響指標ごとではなく）総体的にリスク量の大小を論ずることの困難さを、あらためて浮き彫りにするものである。

以下、10頁～11頁の図3～図7では、本研究で評価を行ったいくつかの影響指標を例として取り上げ、T15/T20/T25の3戦略ならびにBaUでの影響評価結果（いずれも5GCMを前提としたことによる不確実性幅を伴っている）を、それぞれの「戦略」に相当する排出経路をたどった場合の2080年代までの全球気温上昇予測値（工業化前比；気候感度3.0℃を仮定）である1.4℃（T15）/1.8℃（T20）/2.2℃（T25）ならびに3.4℃（BaU）のライン上にプロットし、その予測幅ならびに回帰曲線を示したものである。なお、0.5℃（現在期間1981-2000年までの工業化前比気温上昇量）のラインには、社会経済条件のみ想定するSSPに沿って将来変化し、気候条件は将来変化しない仮想ケース（ベースライン）での影響評価を追加実施し、その評価結果をプロットしている。いずれの影響指標についても、現状（1981-2000年）からの変化量（差）あるいは変化率（比）として、影響量を示している。これらのグラフ（図3～図7）はいずれも、前述の「戦略」別影響評価結果に基づく7つの考察のうち、一つあるいは複数に関連しているが、本プロジェクトで実施された多数の影響指標に関する分析結果の一部抜粋であることから、包括的な予測結果については報告書詳細版第4章を参照されたい。

さらに、12頁～15頁では、評価対象とした影響指標別に、「戦略」別の評価結果の要点を整理した。こちらについても、各指標の正確な定義や、評価結果の詳しい説明については、報告書詳細版4章の該当各節を参照されたい。



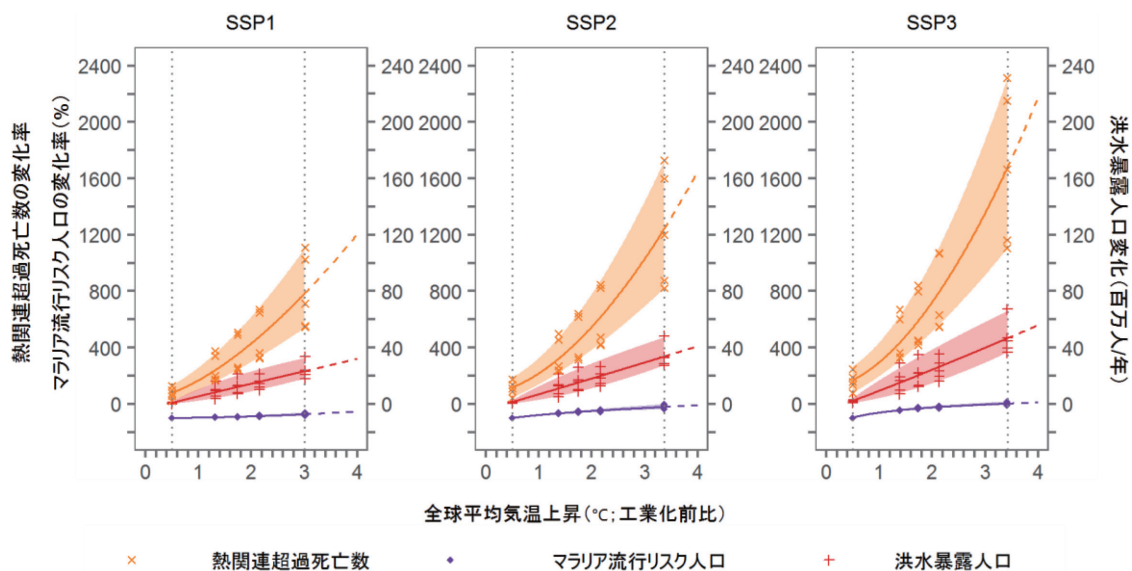


図3 2080年代における現在期間（1981-2000年）比での、洪水暴露人口の変化（百万人/年）、および熱関連超過死亡数・マラリア流行リスク人口の変化率（%）。いずれの指標でも気温上昇に伴うリスク人口の増加が予想されるが、気温上昇への感度は異なる。なお、マラリア流行リスク人口については、将来の社会経済条件の改善に伴い、SSP3・BaU ケースを除けば現在期間よりも小さな流行リスク人口（グラフでは負値）となる。

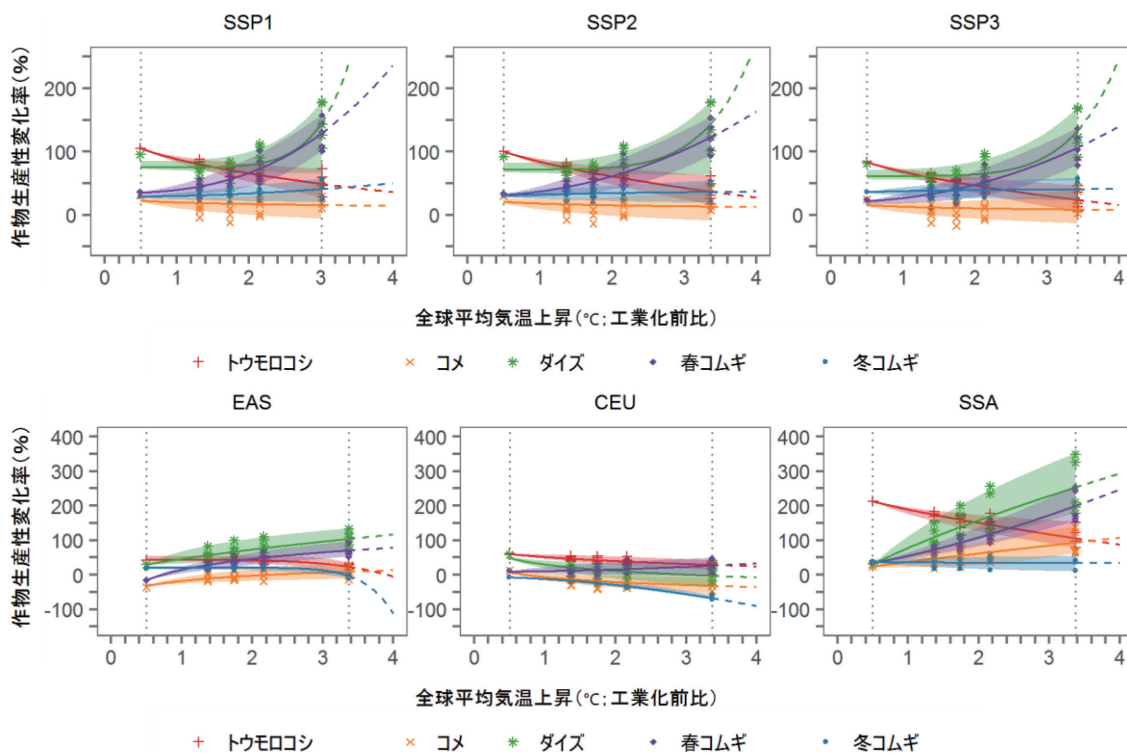


図4 2080年代における現在期間（1981-2000年）比での、トウモロコシ・コメ・ダイズ・春コムギ・冬コムギ生産性の変化率（%）。上3つはSSP別・世界。下3つはSSP2・3地域（EAS；東アジア、CEU；欧州中央部、SSA；南米南東部）別。世界平均でみた場合、技術進歩、窒素入力増加および冷害減少の効果により、現在期間比での生産性変化はどの作物・気候変化量でも概ね正の傾向にあるが、トウモロコシ・コメについては気温上昇に伴いその生産性増加が縮小する。また、地域集計の例からは、影響の現れ方に大きな地域差があり、地域・作物によっては現在期間比で生産性減となる場合もあることがわかる。

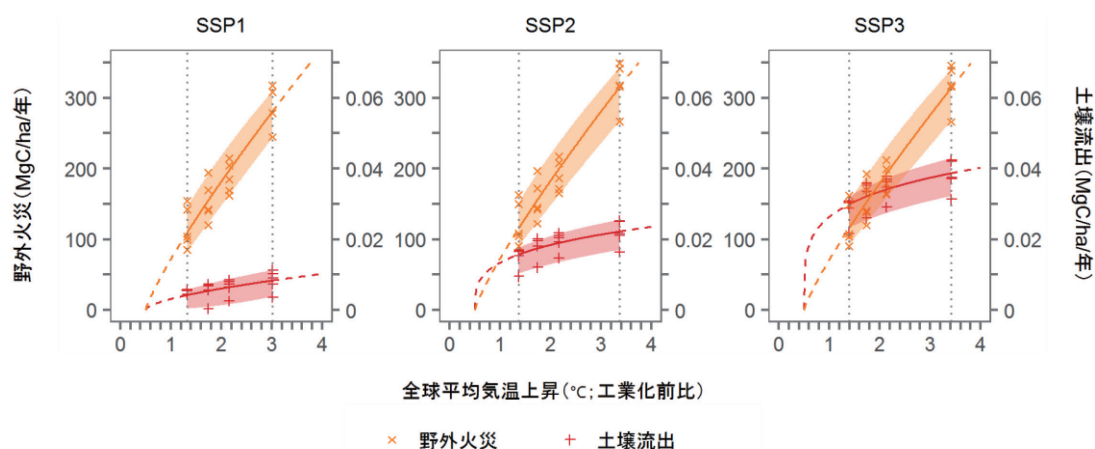


図5 2080年代におけるSSP別・現在期間（1981-2000年）比での、土壌流出及び野外火災による炭素放出量（MgC/ha/年）。いずれも全球気温上昇に応じて増加するが、土壌流出にはSSP間の土地利用差の影響、ならびに高温域での流出増加の飽和傾向がみられる。

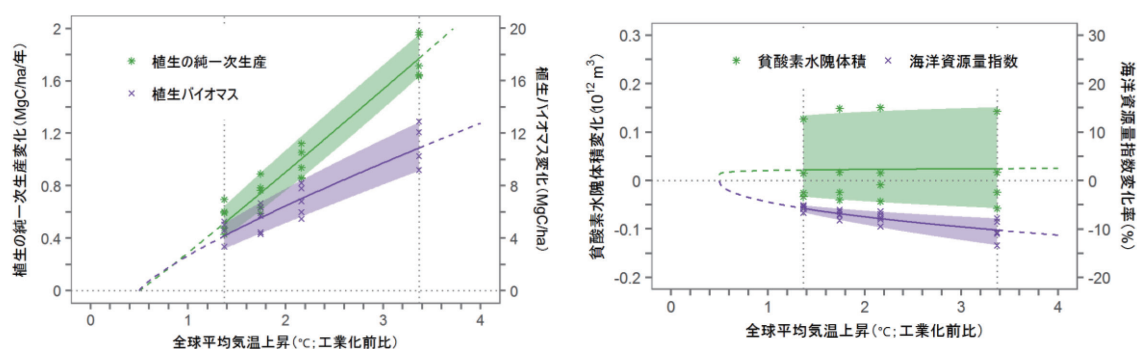


図6 2080年代・SSP2における現在期間（1981-2000年）比での、「植生純一次生産（NPP）変化（MgC/ha/年）・植生バイオマス変化（MgC/ha）」（左図）および「貧酸素水塊体積変化率・海洋資源量指数変化率（%）」（右図）。NPPや植生バイオマスはCO₂施肥効果により、気温上昇と正の相関。貧酸素水塊体積は気候モデル間の平均値でみると気温上昇に従い増えるが、気候モデル間の不確実性幅が大きい。一方、海洋資源量指数は気温上昇に従い漸減する。

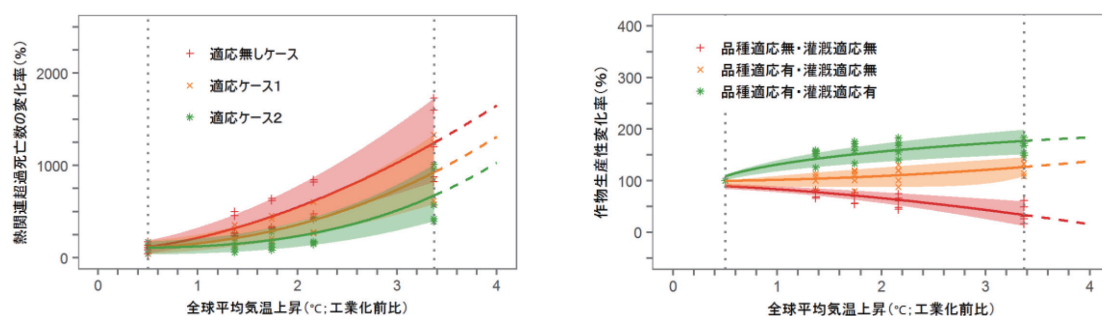


図7 2080年代・SSP2における現在期間（1981-2000年）比での、熱関連超過死亡数（左図）とトウモロコシ生産性（右図）の変化率（%）。左図で、適応ケース1は最大0.1℃/10年、適応ケース2は最大0.2℃/10年の至適気温の変化を想定。詳しくは詳細版3-1-1-②-dを参照。右図の品種適応（生育期間短縮の品種改良）と灌漑適応（作物生理的な上限までの灌漑）については、詳しくは詳細版3-1-1-②-aを参照。適応策を取らなかった場合、トウモロコシでは気候変化が大きいほど現在期間からの収量増の縮減が大きくなるが、品種適応、さらに灌漑適応により、気候変化による収量増縮減の解消が見込める。熱関連超過死亡については、適応を想定すると死亡数増の抑制はできるが、完全な解消はできない。

以下では、各セクターの指標別に影響の「戦略」間差を見る。ここで述べる定量的評価結果は、特段の注釈の無い場合、対現在期間（1981-2000）での変化量あるいは変化率で示されている。また、各影響指標の推計方法については報告書詳細版 3 章 1 節を、「戦略」別の評価結果の詳細については報告書詳細版 4 章 2 節を参照されたい。

● a-1. トウモロコシ生産性

世界平均で、2050 年代には +25 ~ +30% 程度、2080 年代には +35% 程度、それぞれ上昇する。積極的な緩和策をとらない場合（BaU）および T15、T20 および T25 の各「戦略」間では大きな違いは無いが、経済発展の将来見通し（SSP）では、緩和策適応策ともに難易度が高まる SSP3 において生産性の増加率が若干小さくなっている。

適応策として、気温上昇による生育期間の短縮という悪影響を回避するための品種改良が行われた場合、世界平均では 5GCM シナリオ平均で 2050 年代に +40 ~ +45% 程度、2080 年代で +60 ~ +65% 前後となる。

● a-2. コメ生産性

世界平均で、2050 年代には -8% 程度の減収となり、2080 年代に ± 2% 程度とほぼ現状水準に回復する。積極的な緩和策をとらない場合（BaU）および T15、T20 および T25 の各「戦略」間、ならびに各 SSP 間では、世界平均の、生産性変化に大きな違いはない。

適応策として、気温上昇による生育期間の短縮という悪影響を回避するための品種改良が行われた場合、世界平均では 5GCM シナリオ平均で 2050 年代に ± 0%、2080 年代で約 15% 前後の伸び率の上ぶれが期待できる。

● a-3. ダイズ生産性

世界平均で、2050 年代には +25% 程度、2080 年代には +40 ~ +50% 程度、それぞれ上昇する。T15、T20 および T25 の各「戦略」間では大きな違いは無いが、積極的な緩和策をとらない場合（BaU）には、CO₂ 施肥効果により増加率が、3つの「戦略」ケースよりもやや高い傾向にある。経済発展の将来見通し（SSP）の間では、生産性増加率に違いは見られない。

適応策として、気温上昇による生育期間の短縮という悪影響を回避するための品種改良が行われた場合、SSP2 に

おける世界平均では、品種適応がない場合の 5GCM シナリオ平均で 2050 年代に +20% から +35% に、2080 年代で +40% から +65% と、それぞれ大きく上昇する。

● a-4. 春コムギ生産性

世界平均で、2050 年代には +10% 程度、2080 年代には +25 ~ +35% 程度、それぞれ上昇する。T15、T20 および T25 の各「戦略」間では大きな違いは無いが、積極的な緩和策をとらない場合（BaU）には、CO₂ 施肥効果により増加率が、3つの「戦略」ケースよりもやや高い傾向にある。経済発展の将来見通し（SSP）の間では、生産性増加率に違いは見られないが、いずれの「戦略」でも、GCM に由来する生産性への影響の不確実性は「戦略」別や年代別の違いよりも大きい。

適応策として、気温上昇による生育期間の短縮という悪影響を回避するための品種改良が行われた場合、SSP2 における世界平均では品種適応がない場合に比べ、3「戦略」についての 5GCM シナリオ平均で 2050 年代に +10% から +25% に、2080 年代に +25% から +55% と、それぞれ大きく上昇する。積極的な緩和策をとらない場合（BaU）には施肥効果により、それぞれ +40%、+75% とさらに大きくなっている。

● a-5. 冬コムギ生産性

世界平均で、適応策をとらない場合には、2050 年代、2080 年代とも +50% 前後の増収となっており、2050 年代での頭打ち傾向が、他の作物に比べて顕著である。T15、T20 および T25 の各「戦略」間および積極的な緩和策をとらない場合（BaU）の増加率には大きな違いはなく、経済発展の将来見通し（SSP）間でも生産性増加率に違いは見られない。また GCM に由来する生産性への影響の不確実性も、戦略別や年代別の違いよりは大きい、他の作物に比べると小さくなっている。

適応策として、気温上昇による生育期間の短縮という悪影響を回避するための品種改良が行われた場合、SSP2 における世界平均では、品種適応がない場合の 5GCM シナリオ平均で 2050 年代に +50% から +70% に、2080 年代で +50% から +80% と、それぞれ大きく上昇する。

● b-1. 生産力（植生の純一次生産）

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では植生の生産力変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は、21 世紀中の昇温に伴い（大気 CO₂ 濃度の上昇による施肥効果も含む）植生の生産力は全体的に増加していく。全体的には BaU ケースの下端以下に抑えられるが、地域によっては GCM 幅の下端程度の影響が見られる場合もある。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。

● b-2. 植生バイオマス

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では植生バイオマス変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は 21 世紀中の昇温に伴い（大気 CO₂ 濃度の上昇による施肥効果も含む）植生のバイオマスは全体的に増加していく。全体的には BaU ケースの下端以下に抑えられるが地域的な差が見られた。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。

● b-3. 土壌炭素プール

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では土壌炭素変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は 21 世紀中の昇温に伴う植生からの枯死物供給で土壌炭素は全体的に増加していく。全体的には BaU ケースと同等程度の変化が生じている。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。

● b-4. 生態系純生産（正味 CO₂ 収支）

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では生態系純生産の変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は 21 世紀中の昇温に伴いまず正味吸収が増加し 2070 年代ころから低下する傾向が見られた。地域間で正味吸収に差が見られた。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。

● b-5. 土壌流出

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では土壌流出の変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は 21 世紀中の昇温（降水量変化の影響も含む）に伴い土壌流出は次第に増加していった。全体としては BaU ケースに近い規模の土壌流出が生じていた。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。SSP 間の土地利用変化の違いも影響していた。

● b-6. 野外火災

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」間では野外火災の変化を最も小さく抑え込むことができる。T25 は 21 世紀中の昇温（降水量変化の影響も含む）に伴い野外火災は次第に増加していった。野外火災は可燃物の量と燃焼性に影響を受け、それは植生バイオマスの増加や気象条件の影響を受けるため、全体的な野外火災の増加が示された。全体では BaU ケースの 5 ～ 7 割程度の規模が見込まれた。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。

● c-1. 流出量

T15 では気温上昇が抑制される事で降水量変動等が小さくなるため、流出量（水資源量）の変化（平均値）は、3「戦略」の中で最も小さい（SSP1 の 2080 年代の全球で +1%）。一方、T25 は 3 つの「戦略」の中で流出量の変化が最も大きい（同 +3%）。T20 は両者の間位である。「戦略」間の差よりも、GCM による不確実性幅の方が大きい。

2050 年代と 2080 年代を比べると、T25、T15 のいずれも降水量変動等が増大するため、どの SSP でも 2050 年代に比べて 2080 年代の流出量の不確実性幅は増大する。

● c-2. Falkenmark 指標による水ストレス人口

Falkenmark 指標（一人当たり水資源量）は水資源量を人口で除して求める。SSP1, 2, 3 の順で人口増加率は増大するため、水ストレス人口もこの順に大きくなっていることが分かる。人口の影響が大きいため「戦略」間の指標の違いは極めて小さいが、T15 では気候変化が抑制される事で降水量変動等も小さくなるため、流出量（水資源量）の増加（平均値）は、3 つの「戦略」の中で最も小さく、水ストレス人口は最も大きくなる。

一方、T25 は 3 つの「戦略」の中で流出量の増加が最も大きい。よって、T25 の方が、T15 よりも水ストレス人口は小さくなっている。2050 年代と 2080 年代を比べると、SSP1 では 2050 年代よりも 2080 年代の人口が小さいため、水ストレス人口も減少する（一人当たり水資源量が増大し、水ストレス下にあるグリッドの人口も減るため）。SSP3 では逆になるため、2080 年代の方が水ストレス人口は大きい。

● d-1. 洪水曝露人口

T15 は、3「戦略」間では洪水曝露人口の増加幅が最も小さくなる。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。T25 は 3「戦略」間では洪水曝露人口の増加幅が最も大きく、2080 年代にはアジア地域において洪水曝露人口の増加が最も明瞭に見られる。また、GCM による不確実性幅は、「戦略」間の差より大きい。

21 世紀後半における世界集計した洪水曝露人口は、どの「戦略」も BaU と比べて小さい。具体的には、2080 年代における BaU の世界集計した洪水曝露人口の増加幅は、T15 の 2 倍以上となる。人口見通しの違いによる洪水曝露人口の不確実性幅は、「戦略」差と同程度またはやや大きい。

● d-2. 洪水曝露 GDP

T15 は、3「戦略」間では洪水曝露 GDP の増加幅が最も小さくなる。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。T25 は 3「戦略」間では洪水曝露 GDP の増加幅が最も大きく、2080 年代にはアジア地域において洪水曝露 GDP の増加が最も明瞭に見られる。また、GCM による不確実性幅は、「戦略」間の差より大きい。

21 世紀後半における世界集計した洪水曝露 GDP は、どの「戦略」も BaU と比べて小さい。具体的には、2080 年代における BaU の世界集計した洪水曝露 GDP の増加幅は T15 の約 2 倍程度ある。社会経済（人口及び GDP）の見通しの違いによる洪水曝露 GDP の不確実性幅は、「戦略」差と同程度またはやや大きい。

● d-3. 熱帯低気圧被害

T15 では気温上昇が抑制される事により、3 つの「戦略」の中で被害の増加率が最も小さい（2080 年代で約 100 ～ 150% 前後）。また、昇温量が大きいほど熱帯低気圧影響関数における熱帯低気圧強度の項が大きくなるため、T25 は、3 つの「戦略」の中では最も大きな被害の増加率を示している（2080 年代で約 200% 前後）。T20 における被害の増加率は両者の中間となる。また、「戦略」間の差よりも GCM による不確実性幅の方が大きい。

年代別の被害の変化を見ると、昇温量の小さい T15、T20 では、3 つのどの社会経済シナリオでも、世界集計した 2080 年代の被害は 2050 年代より小さくなる傾向がある。

● d-4. 海面上昇被害

T15 では気温上昇が抑制される事で海面上昇量が小さくなるため、被害の上昇幅は 3 つの「戦略」の中で最も小さい（2080 年代で -0.005% ～ +0.005%；なお本項では以降全て、「被害」は全球 GDP に対する被害額の百分率の現在期間推計値からの変化量を指す）。一方、T25 は 3 つの「戦略」の中で被害の上昇幅が最も大きい（-0.002% ～ +0.011% 強）。T20 の被害は両者の間位である。「戦略」間の被害の差よりも、GCM による被害の不確実性幅の方が大きい。

2050 年代と 2080 年代を比べると、最も海面上昇量が小さい T15 ではどの SSP でも 2080 年代は被害がやや減少する。一方、T25 では T15、T20 と比べて気温が高いため 2080 年代の海面上昇量も大きく、どの SSP でも 2050 年代と 2080 年代の被害はほぼ同程度または微増である。

● e-1. 熱関連超過死亡数

全球では、2050 年代では SSP 如何に関わらず、また緩和策にもそれほど大きな影響を受けずに、200 ～ 600% 程度の増加を示す。増加の程度が小さいので、自動的適応の影響もそれほど大きくない。2080 年代になると、SSP による相違、緩和策、適応ケースによる相違が大きくなる。自動的適応によって影響は小さくなる。たとえば 2080 年、BaU ならば適応ケース 2（最大 0.2℃ /10 年の至適気温の変化を想定）で影響の変化率は半分程度になる。SSP 別に見ると SSP1、SSP2、SSP3 の順に高くなっていく。適応ケース 2 の場合、SSP3 ならば BaU では 900%、緩和によって T15 なら 200% 程度、T25 でも 500% 未満であるのに対して、SSP1 ならば BaU でも 400%、緩和策によって 100 ～ 200% 程度までの増加にとどまる。

● e-2. マラリア流行リスク人口

マラリア流行の確率を求める際に用いた式には GDP も含まれているため、SSP による相違が大きいという特徴があり、緩和策の効果は SSP2、SSP3 で大きくなっている。たとえば、全球において SSP1 なら 2050 年代の BaU でも -40%、T15 の緩和策なら -90% にもなるのに対して、SSP3 の場合には BaU で逆に増加となっている。2080 年になると、SSP3 でも、T25 で -20% 未満、T15 なら -40% となっている。

● f-1. 貧酸素水塊体積

T15 は昇温の抑制により、3「戦略」の中で、貧酸素水塊体積の増加あるいは減少が最も小さく、GCM による不確実性幅も最小である。T20 は T15 と T25 の中間的な予測結果となる。T25 は、3「戦略」の中では、貧酸素水塊体積の増加あるいは減少が最も大きい。また、GCM による不確実性幅は、「戦略」間の差よりも大きい。

貧酸素水塊体積の変化を世界全域でみた場合、どの「戦略」でも 2080 年代までに、GCM の不確実性幅の増大を伴いながら増加する。

● f-2. 輸出生産

T15 は、昇温の抑制により、3「戦略」の中では輸出生産（海洋表層で生産され水深 100m を通過する有機炭素のフラックス）の減少が最も小さく、GCM の不確実性幅も最小である。T20 は、T15 と T25 の中間的な予測結果となる。T25 は、3「戦略」の中で輸出生産の減少が最も大きい。また、GCM による不確実性幅は、「戦略」間の差よりも大きくなる。

輸出生産の変化を世界全域でみた場合、どの「戦略」においても 2080 年代までに、GCM の不確実性幅の増大を伴いながら減少する。

● f-3. 資源量指数

水産資源量指数の変動を「戦略」別に比較すると、BaU ケースにおいて現在（1995-2005）の環境から 2080 年代までに GCMs 平均で約 10% 減少する。3 つの昇温抑制シナリオ、T25、T20、T15 ではそれぞれ約 8、7、6% まで資源量減少が抑制される。特に T15 では気温上昇が最も緩和されることに伴い、BaU シナリオと比較して被害を 0.6 倍程度まで抑制することにつながっている。また GCM 間の不確実性も最も小さくなる推定結果となった。

● g. ティッピングエレメントの発生する可能性

ティッピングエレメント（Tipping element）とは、いわゆる地球温暖化に伴う気候変動が進行して、あるティッピングポイント（臨界点）を過ぎた時点で、不連続といっても良いような急激な変化が生じて、結果として大惨事を引き起こすような気候変動の要素を指す。

本研究では、T15 と T20 の 2 つの「戦略」、ならびに BaU シナリオに対して、グリーンランド氷床と北極海夏季

海氷がそれぞれのティッピングポイントを 2100 年までに超過する確率を推定した。

グリーンランド氷床のティッピングポイントを超過する確率は、BaU と工業化前比の目標温度水準を低く設定した場合とで、大きく異なった。具体的には、BaU の場合は、2100 年までにティッピングポイントを超過する確率は 84% だが、T15 と T20 の場合、それぞれ 21% と 35% であった。

北極海夏季海氷がティッピングポイントを超過する確率も、BaU と工業化前比の目標温度水準を低く設定した場合とで大きく異なった。具体的には、BaU の場合、2100 年までにティッピングポイントを超過する確率は 90% だが、T15 と T20 の場合、それぞれ 13% と 28% であった。

なお、この超過確率の定量計算の解釈にあたっては、その推計結果が、全球平均気温上昇予測の不確実性に関する確率密度分布の想定、ならびに現時点で科学的理解が十分でない両ティッピングポイントの不確実性に関する確率密度分布の想定に、強く依存したものであることに注意が必要である。ここでは、グリーンランド氷床のティッピングポイントについては、IPCC 第 5 次評価報告書での評価に基づき 1.0 ～ 4.0℃の幅とし、単純化のためにその区間で一様分布を仮定した。また、北極海夏季氷床については同様に 2.2 ～ 2.7℃の幅の一様分布を仮定した。



3.2 対策評価結果

全体的傾向

対策評価関連指標について、詳細版第4章（「戦略」別評価結果）から読み取れる全体的傾向をここにまとめる。さらにその後、統合評価モデル出力の一部指標について評価結果の概要をまとめる。

1. どの評価指標についても、「戦略」T15/T20/T25の間で評価結果に明確な違いが見て取れた。T15では、2050年代にほぼゼロ排出とすること、21世紀末には負の排出とすることを含め、早い時期から世紀末まで通して他の「戦略」T20/T25に比して大きな排出削減が求められ、その結果、T20の倍近くのGDP損失・消費損失を覚悟しなければ達成がなしえないとの見通しが示された。あるいはモデルによっては、現実的な範囲を超えた排出削減であると見なされ、資源制約、対策技術の導入速度の仮定の差から解を示すことが出来なかった（表5）。
2. どの評価指標についても、3つの異なるベースラインの社会経済発展経路SSP1/SSP2/SSP3の間で評価結果に明確な違いが見て取れた。SSP1からSSP2/SSP3と社会経済発展経路が持続可能性から遠ざかるにつれ「戦略」が必要とする排出削減により生ずる損失は拡大する。T15については、SSP1ではどのモデルでも実行可能解を描きうるが、SSP3では1モデルのみ実行可能解を与えた。
3. 「戦略」の実現のために必要な排出削減量・GDP損失・消費損失について、世界を5地域に括った粗い地域区分で見た場合であっても、地域差があることが示された。例えばGDP/消費損失については、BaUで化石燃料依存度の低い地域（OECD）で損失が低く、化石燃料依存度の高い地域（LAM（ラテンアメリカ）/MAF（中東・アフリカ）/REF（旧ソ連・東欧））で損失が拡大する傾向が共通してみられた。
4. 最終消費エネルギーのBaUから各「戦略」への変化は、モデル間で差異が明確である。これは、エネルギー消費の柔軟性に関する仮定、すなわちエネルギー需要の他要素との代替可能性についての仮定の、モデル間差が影響している。この仮定の差は、T15やT20のよう

な強い緩和目標の評価に際して特に重要になる。

5. 一次エネルギー供給構成については、原子力依存度、再生可能エネルギー重視などモデル間差が大きいことが示された。単一の「戦略」についての一次エネルギー供給構成のモデル間差異は、単一モデルによる3つの「戦略」間の差異よりも大きい。この差はモデル不確実性と捉えることもできるが、見方を変えれば、厳しい緩和目標に向かうにあたって、我々人類が採用しうるエネルギー供給構成には選択の自由度があることを示していると捉えることもできる。BECCSの導入パターンもモデルによって異なり、導入可能性と導入タイミングは自由度がある。ただし大小の差はあるがどのモデルでも、どのSSP・戦略でもBECCSが必須な傾向を示す。CO₂制約を厳しくすると導入時期が前倒しになる。
6. 野心的な緩和目標達成のためにはバイオマスエネルギー利用と食料需給の間で土地利用の競合が生ずることが一般的に心配されているが、ICA-RUSでの複数の統合評価モデルを用いた分析によれば、モデルごとにみた場合には（エネルギー利用や経済活動に比べると）世界全体では耕地面積推移に「戦略」間で大きな差が生じておらず、BaUからの変化も限定的との見通しが示されている。ただし、地域ごとに見ると変化幅が極めて大きくなるケースもみられる。耕地面積の拡大可能性に関しては、不確実性が大きいことに注意が必要である。また、統合評価モデル分析では、水資源の物理的制約や生態系への影響等を考慮していないことにも注意が必要である。
7. 産業部門影響における付加価値損失についてみても、世界全体のGDP損失と同様、各産業部門についてT20とT25に差異がみられ、T20の場合は早い段階で付加価値損失がピークとなる一方で、T25では今世紀末まで徐々に損失が拡大する。
8. バイオマス、CCS導入制約、原子力の緩和策主要技術に制約がかかった場合、どのような変化が生じるかを評価した。SSP2・T20で見た場合、全体的に経済への影響は小さく、特に消費に関しては1%未満であった。ただし、CCS制約はASIA、REF、MAFで比較的大きな影響を持つ。またGDPに対してはREFに対して2%～3%程度の変化があった。再生可能エネルギーのコスト低下と導入可能性を緩和した場合、途上国に消費

の増大が見られた。

9. 当初気候感度 3.65℃を想定して緩和政策を進めたうえで、21 世紀半ばになり気候感度が 4.5℃であったことが判明し、そこから 2℃の気候目標達成に向けて急遽緩和を強める想定での排出経路・GDP 損失等を調べたところ、途中での政策変更は損失上昇を生むことが示された。その損失は T15 における損失を上回ることも注目されるべきである。これは、緩和策の遅延が、急激に大きな損失を後の世代に与えることを示唆する。

表 4 各モデルでの「戦略」の実行解の有無

	SSP1				SSP2				SSP3			
	M	E	G	A	M	E	G	A	M	E	G	A
T25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
T20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
T15	○	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	×

M:MARIA; E:EMEDA; G:GRAPE; A:AIM

×は実行可能解を得られないケース

評価指標別の戦略比較

以下では、複数の統合評価モデル (MARIA、EMEDA、GRAPE、AIM) のうち、出力提供した評価指標について、各「戦略」についてその概要を示す。ここではいくつかの評価指標について世界合計の他、世界 5 地域のうち OECD に次ぐ経済規模の ASIA と特徴的な REF 地域の結果についても併せ示す。なお OECD 地域の推移はほぼ世界合計と同じ形状を示す。

● GHG 排出・削減経路 (図 8)

GRAPE は 21 世紀末に近づくにつれ急激な削減経路を示すのに対し、EMEDA と MARIA は比較的早期の削減経路を示す。GRAPE で 21 世紀末に BECCS 大量導入による「負の排出」が顕著になる点は特徴的である。

● GDP および消費の損失 (図 9)

T15 は、SSP1 シナリオからは実現可能性が高く、SSP3 からは極めて困難となる。また温暖化制約を課す場合の影響の地域差は大きい。消費は、ほぼ GDP と同様の傾向だが地域差は大きい。SSP1 では GRAPE は 1～2% の損失と比較的軽微な範囲にとどまる。EMEDA は地域により消費が増大する場合があり地域差拡大が示唆される。MARIA は GDP の場合と同様、世界でほぼ 4～5% 程度の損失を示すが途上国地域では損失が大きくなる傾向を示した。

● 最終エネルギー消費 (図 10)

最終消費エネルギーについて、各「戦略」の BaU からの変化は、パターンとしてはモデル間で同一傾向を示す。ただし量的にはモデル間の差異が明確化する。これはエネルギー消費の柔軟性に関する仮定が悲観的か楽観的かの差と見られる。

● 一次エネルギー供給の推移 (図 11)

「戦略」ケースでも、再生可能エネルギー主導か、BECCS 主導か、原子力主導かモデルの解は広がりを見せている。言い換えれば、同じ気候目標の達成にも、社会にはなお選択の余地が大きいことを示す。同時に、これらの技術はいずれも一長一短があり、いずれかひとつが決定打になるのではないことも示唆している。

● エネルギー技術 (図 12)

T15 の場合には、各モデルとも 2030 年段階から厳しい対策、すなわち、電源の急激な非化石化 (原子力、再生可能)、各部門の電化による電力需要増が開始され、GRAPE ではさらに BECCS についても 2030 年から大規模導入される。これらは、数値解は示されたものの、現実的にはかなり厳しい条件といえる。2100 年の段階では、「戦略」による技術導入の違いはほぼ見られなくなることも、各モデルの結果において明らかになった。

● 土地利用と食料需給 (図 13)

世界全体での穀物生産の「戦略」間の差は小さいが、地域別に見ると大きな差が現れる。収率では、モデルによる穀物種の扱いの差があるものの、モデルごとに見れば穀物の平均的収率は戦略間であまり大きな差は生じていない。ただし温暖化対策時の地域差は大きい。耕地面積では、モデルによる穀物種の扱いの差があるものの、モデル毎に見れば、AIM を除き耕地面積の推移に世界全体では「戦略」間であまり大きな差は生じていない。

● 産業部門・地域別影響 (図 14)

「戦略」別付加価値・増加率について、T20 では SSP2/SSP3 で付加価値の大幅減少が見られ、旧ソ連やアフリカは特に高い減少率となった。T25 でも SSP3 ではやや高い減少率が見られた。地域別付加価値成長率では、アジアの高成長率の急激な低下、アフリカでの高成長の持続、先進国の低い成長率への収束が見られた。

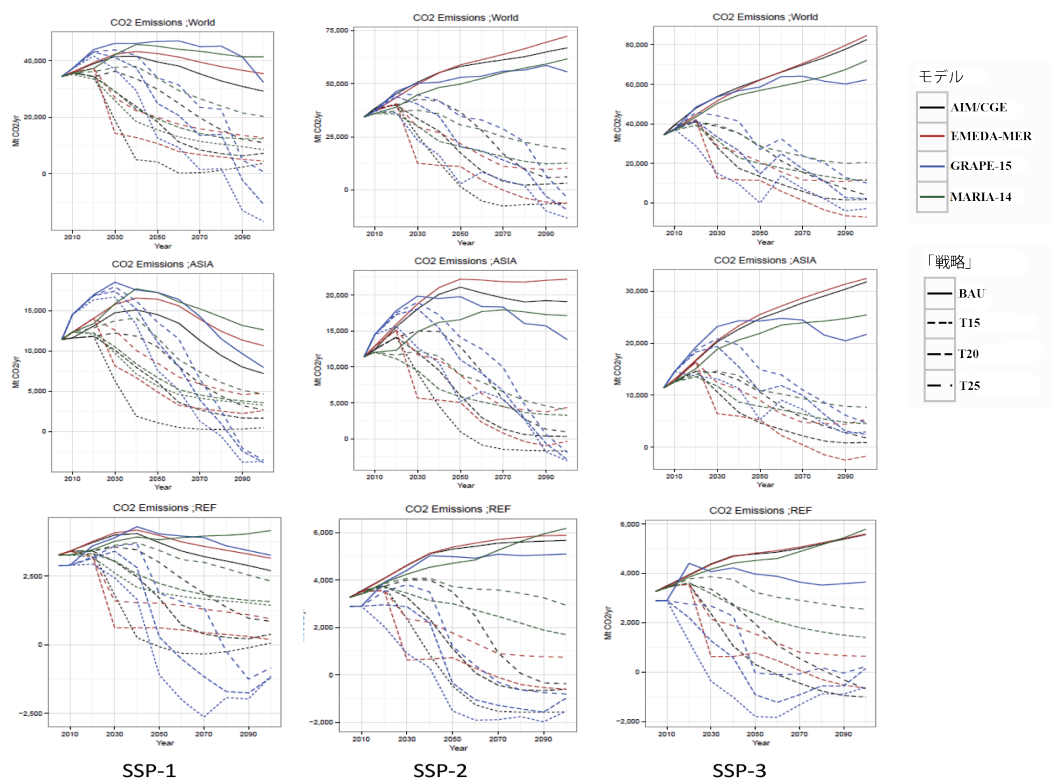


図8 世界及び ASIA,REF 地域の CO₂ 排出経路

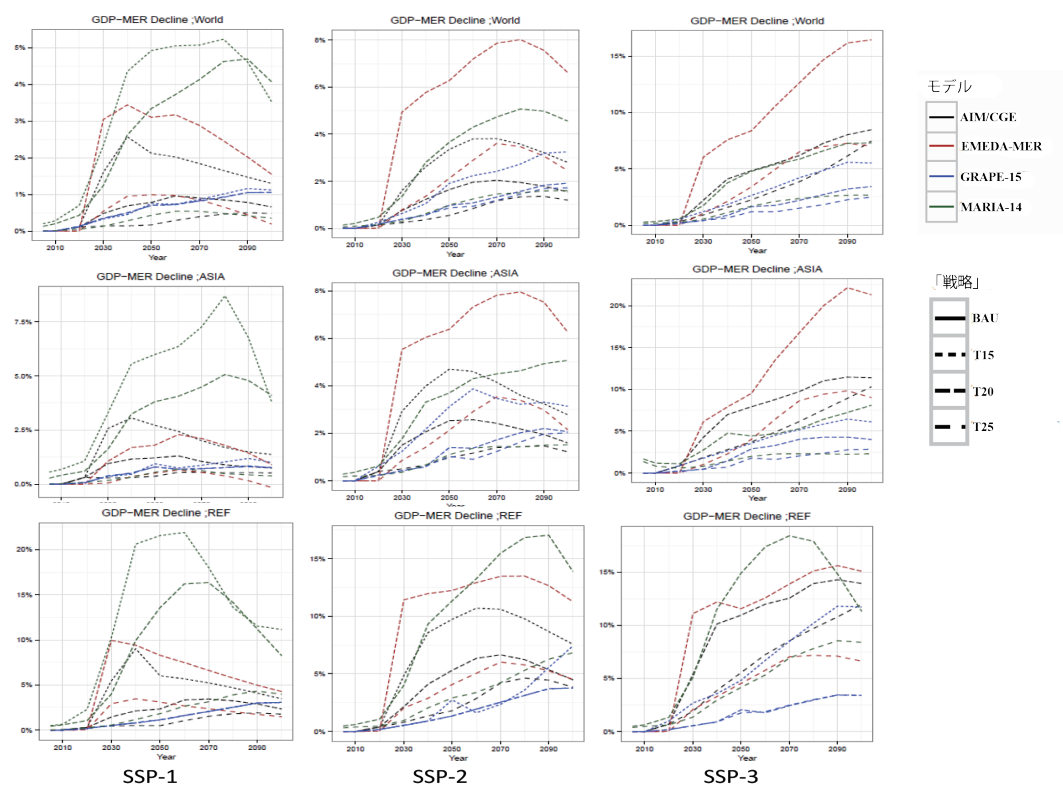


図9 世界及び ASIA,REF 地域の GDP 損失率 (%)

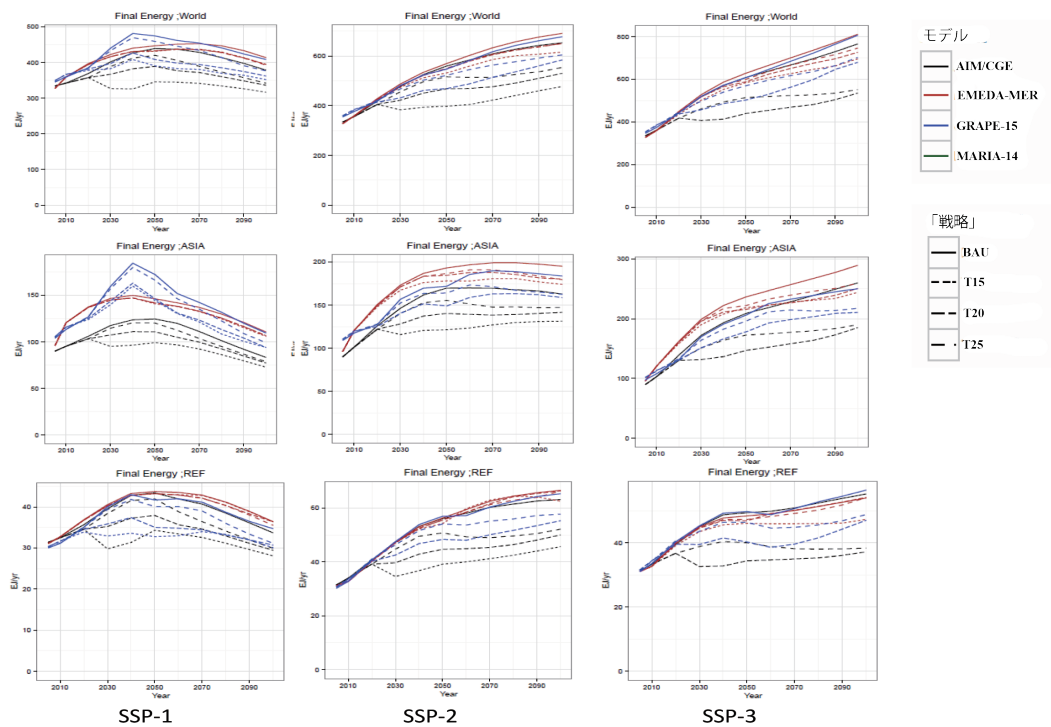


図 10 世界および ASIA, REF 地域の最終エネルギー消費 (EJ/年)

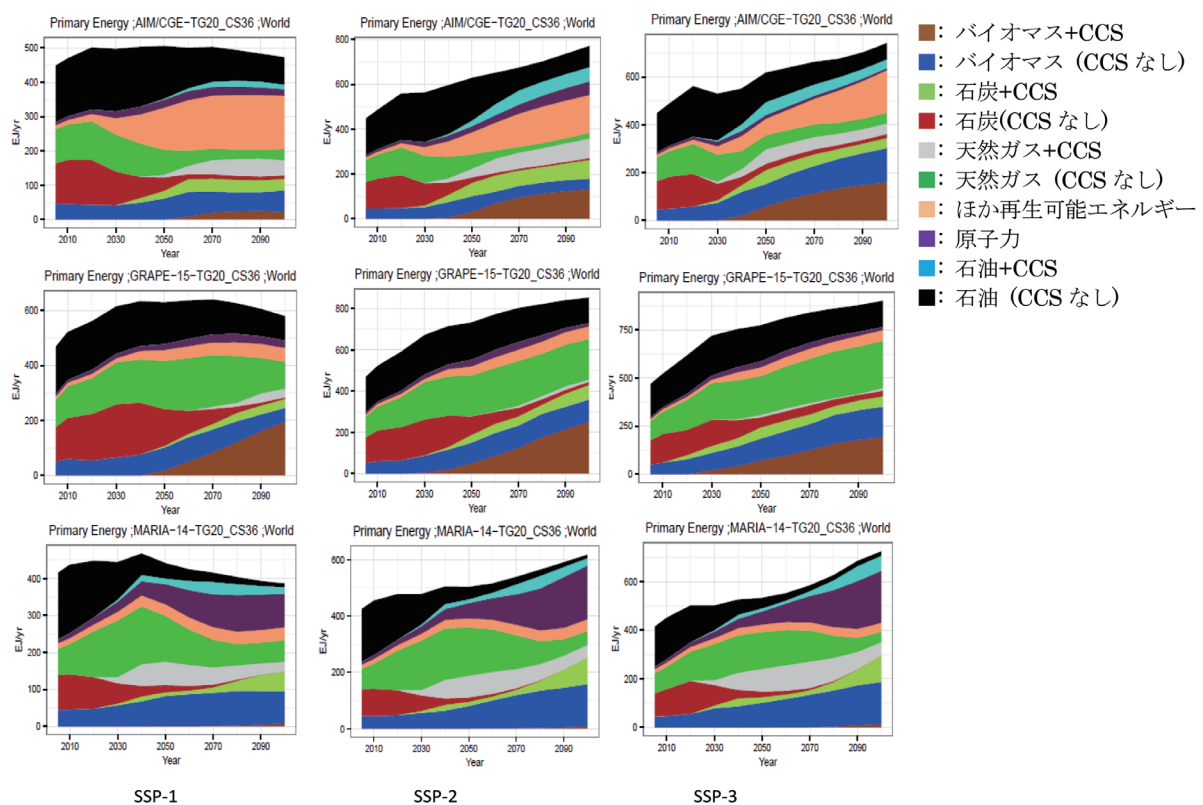


図 11 T20 におけるモデル別世界一次エネルギー供給 (EJ/年) 上段: AIM、中段: GRAPE、下段: MARIA

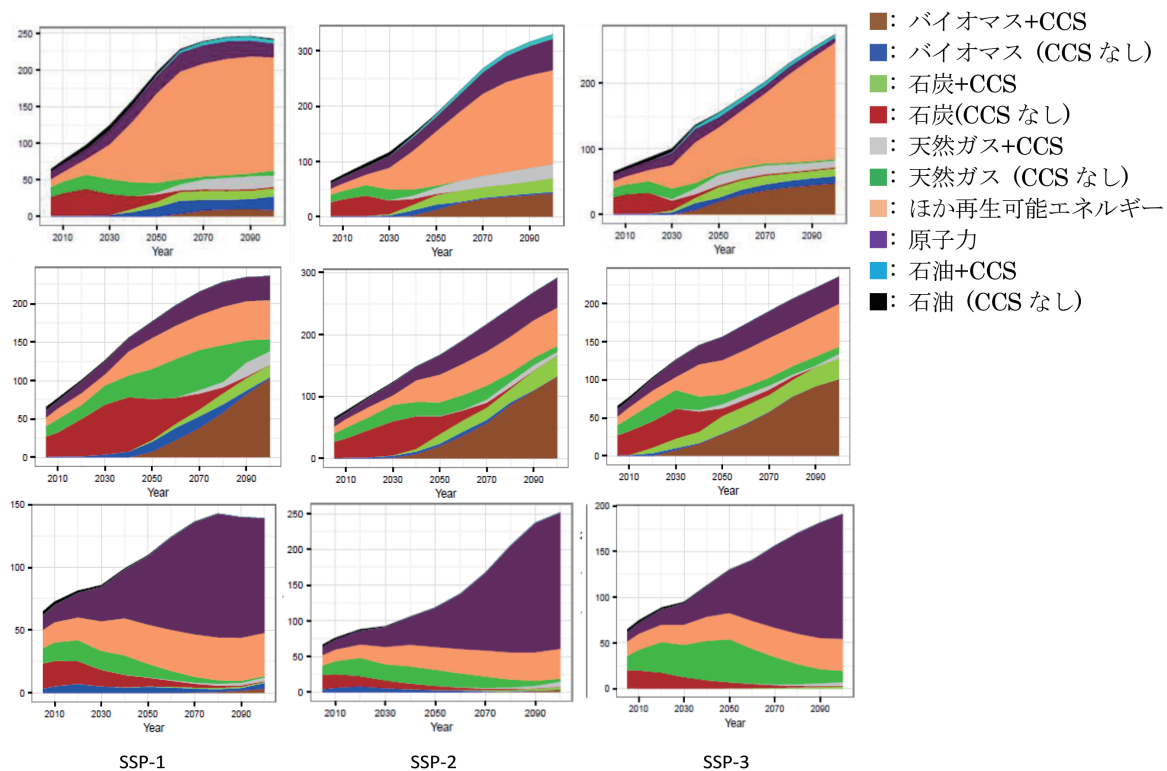


図 12 T20 におけるモデル別世界電源構成 (EJ/年) 上段: AIM、中段: GRAPE、下段: MARIA

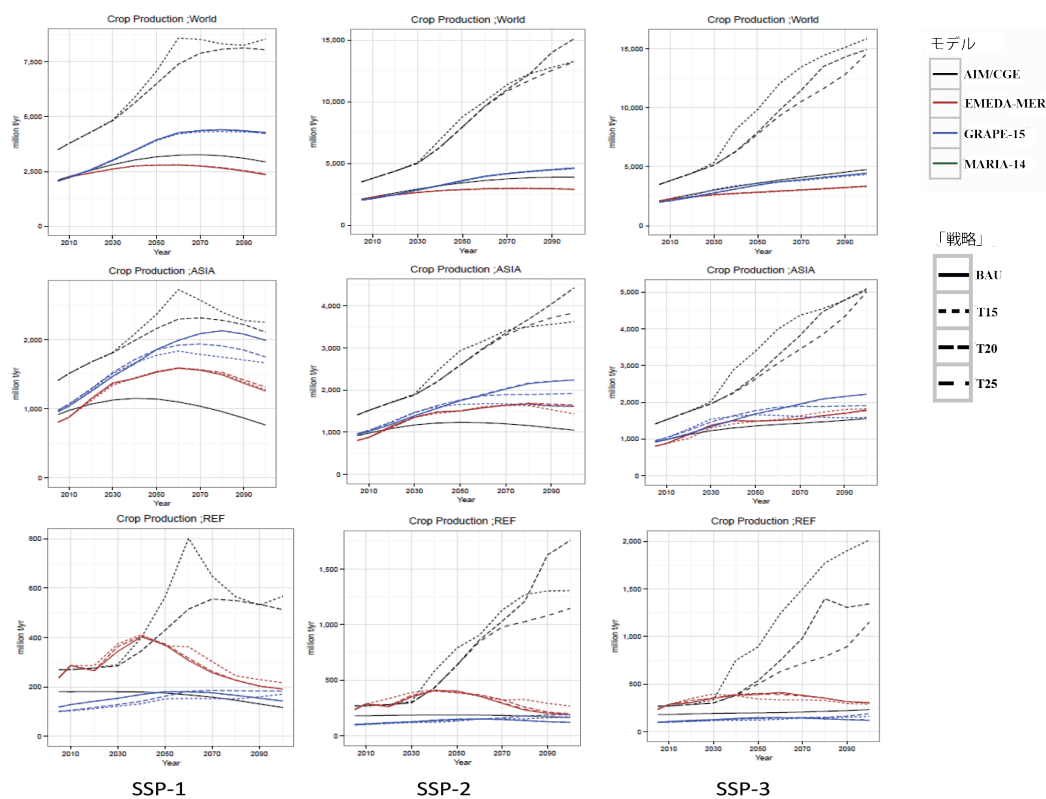


図 13 世界 (上) および ASIA (中)、REF (下) における穀物生産の推移 (百万 t/年)

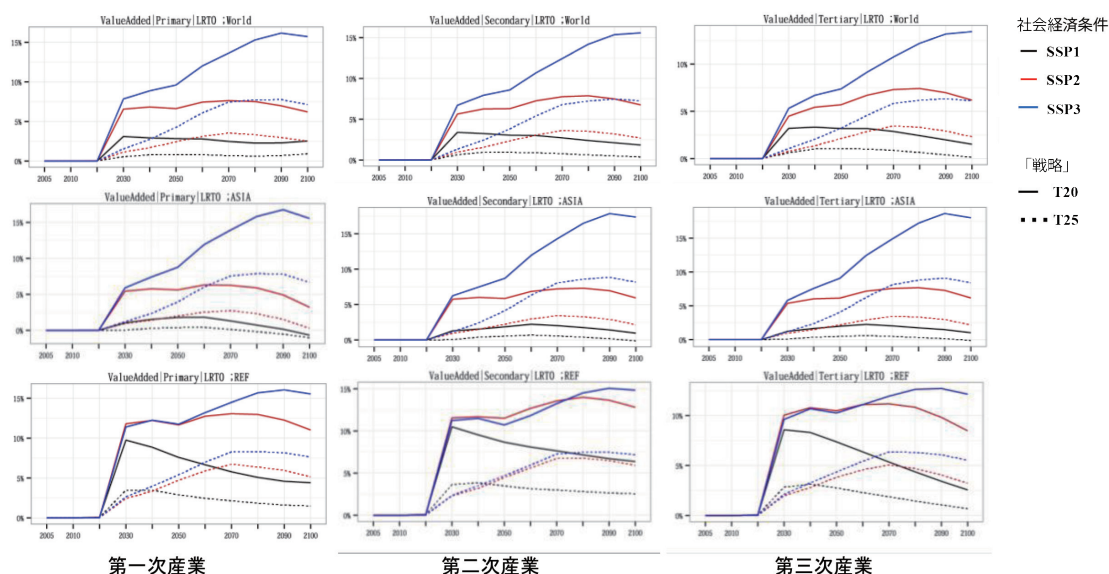


図 14 世界（上）および ASIA（中）、REF（下）における温暖化対策による産業種別付加価値減少率（%）

緩和策に制約がある場合の対策評価

緩和策の導入可能性に制約を想定した場合の対策評価を追加的に行った。具体的には、SSP2・T20（制約なし）への追加的な想定条件として、「バイオマスエネルギー制約」（バイオマス利用可能量への上限）、「CCS 制約」（CCS 導入の不拡大に関する想定）、「再生可能エネルギー促進」（再生可能エネルギーの低コスト化あるいは潜在的導入上限の拡大の想定）、「原子力制約」（原子力の不拡大に関する想定）の4つを想定し、T20 戦略の達成のための GDP 損失等を評価した（表 5）。全体的に経済への影響は小さく、特に消費に関しては 1% 未満であった。ただし、CCS 制約は ASIA、REF、MAF で比較的大きな影響を持つ。また GDP に対しては REF で 2% ～ 3% 程度の変化があった。

学習ケース（気候感度想定途中変更）の対策評価

当初気候感度 3℃を想定して気温上昇 2℃未満を目指す緩和政策を進めたうえで、今世紀半ばに気候感度が 4.5℃であることが判明し、2℃未満を目指すために緩和を強化した場合の GDP 損失等を評価した。その結果、途中での政策変更は損失上昇を生むことが示された。その損失は最初から T15 の戦略で緩和政策を進めた場合の GDP 損失を上回ることもわかった。（学習ケースについては、詳細版 4-2-2-③ -c を参照されたい。）

表 5 緩和策導入制約を想定した場合の世界 GDP 損失率（%）

地域	年	GRAPE					MARIA				
		制約なし	バイオマスエ	CCS制約	再生可能エ	原子力制約	制約なし	バイオマスエ	CCS制約	再生可能エ	原子力制約
		TG20_CS36	ネルギー制約 TG20_CS36_L bio	TG20_CS36_L CCS	ネルギー促進 TG20_CS36_L cost	TG20_CS36_L nuc	TG20_CS36	ネルギー制約 TG20_CS36_L bio	TG20_CS36_L CCS	ネルギー促進 TG20_CS36_L cost	TG20_CS36_L nuc
World	2030	0.38%	0.38%	0.88%	0.41%	0.38%	1.36%	1.92%	1.37%	1.14%	2.79%
World	2050	0.98%	1.14%	2.39%	0.88%	1.07%	3.66%	5.86%	3.74%	2.58%	7.99%
World	2100	1.92%	2.38%	4.64%	1.82%	2.09%	4.56%	8.71%	4.98%	3.27%	14.25%
ASIA	2030	0.42%	0.38%	1.80%	0.48%	0.42%	1.77%	2.43%	1.77%	1.48%	3.90%
ASIA	2050	1.40%	1.80%	3.53%	1.09%	1.61%	3.70%	5.62%	3.72%	2.47%	8.23%
ASIA	2100	2.07%	2.85%	5.63%	2.08%	2.14%	5.07%	12.36%	5.07%	3.86%	19.83%
LAM	2030	0.44%	0.41%	0.46%	0.49%	0.41%	0.85%	1.20%	0.87%	0.57%	2.87%
LAM	2050	1.04%	1.02%	2.43%	1.06%	1.04%	2.83%	4.51%	2.91%	2.42%	4.63%
LAM	2100	2.29%	2.23%	3.80%	2.26%	2.33%	4.26%	8.27%	4.40%	3.23%	11.21%
MAF	2030	0.75%	0.72%	1.01%	0.81%	0.74%	2.87%	4.13%	2.90%	2.39%	5.57%
MAF	2050	1.40%	1.37%	4.50%	1.41%	1.38%	6.32%	9.99%	6.78%	4.04%	15.63%
MAF	2100	2.91%	3.83%	7.19%	2.56%	3.50%	5.03%	7.50%	6.11%	3.92%	13.97%
OECD	2030	0.27%	0.31%	0.48%	0.29%	0.29%	0.73%	0.83%	0.73%	0.64%	1.13%
OECD	2050	0.56%	0.64%	1.00%	0.53%	0.61%	2.26%	3.01%	2.26%	1.73%	3.96%
OECD	2100	0.92%	1.00%	1.95%	0.89%	0.95%	2.58%	3.85%	2.64%	1.99%	5.71%
REF	2030	0.53%	0.52%	0.51%	0.56%	0.51%	4.01%	8.51%	4.03%	3.54%	10.40%
REF	2050	1.35%	1.49%	3.67%	1.37%	1.35%	11.34%	27.54%	11.69%	8.15%	30.88%
REF	2100	3.77%	3.74%	10.03%	3.76%	3.76%	13.88%	28.70%	16.46%	5.51%	47.63%

4.1 気候変動リスク管理をめぐる社会的合理性の理論

気候変動リスクの社会的合理性を担保する仕組み

これまでのリスク認知研究では、気候変動リスクは、大半の一般市民にとって、自らに関わる喫緊の課題として積極的に関与したいと考えることが困難な課題であることが報告されている。気候変動リスクの特性を、リスク認知を形成する要因から分析すると、原因が見えないこと（知覚不能性）、原因と影響が時間的にも空間的にも離れていること（原因の分散性と影響の集積性）、社会的にも対処する仕組みが整えられておらず、多くの社会勢力が現状維持を望んでいることから、喫緊に対処が必要であると認識しにくいことなどが指摘されている。

このような特性の課題における社会的合理性とは、どのように考えればよいのか。とくに気候変動という課題によって影響を受ける主体が、一つの国や地域、世代、生物種にとどまらないことに鑑み、倫理的な視座を、社会的合理性を担保する仕組みの中で、どのように位置づけるかを考えなくてはならない。気候変動リスク管理という課題は、あらゆる局面で価値判断を求める。たとえば、気候変動の影響下にあっても「普遍的に保障されるべき最低限の生活条件」をどのように定義するかというような価値判断である。また、「割引率」の考え方などに典型的であるが、科学的根拠が導出される際にも、倫理的な価値判断が含まれている。このような価値判断の部分でこそ、市民は自らの価値判断に照らしながら、主体的に議論し、選択することが求められる。民主主義的な意思決定を前提とするのであれば、少なくとも市民は、課題を科学的な用語だけではなく、倫理的な視座からも理解することが必要である。しかし、このような政策の背後にある価値を、市民が理解し、積極的に議論し、判断することは困難である。このため、倫理にかかわる専門家がこれらの価値判断を明示し、論点整理して、判断材料として、社会的な議論の場に提供する必要がある。

日本国内の気候政策において倫理的な視点が欠如してきたと指摘される状況にあることから、気候変動リスクに関わる規範的価値を明示する「媒介専門家」の役割は、早急に必要である。たとえば、気候変動リスク管理の倫理的側面を検討するための人文・社会科学系の研究チームを公的

な研究機関に組織し、そのような組織が研究成果を公共的議論の場に提供する役割を担うことが、社会的合理性や市民参加の質を担保する一つの方向性となる。また、気候変動リスク管理という課題の倫理的な視座や科学的知見に含まれる倫理的な含意を市民が理解した上での問題関心を、政策決定の場へと提供する役割を担う専門家も必要となる。言うなれば、IPCC が科学的知見を整理して、政策決定者に提供するように、倫理的な知見を整理する、倫理版の IPCC のような位置づけである。

気候工学をめぐる倫理と政治

気候工学では、気候のカオス化を回避するための手段として検討が進められているが、一般的に具体的な手法は大気から二酸化炭素を除去する方法と太陽入射光を抑制する太陽放射管理に大別される。なかでも実現可能性の観点から成層圏エアロゾル注入（SAI）が有力視されているが、倫理的な観点で同手法の研究開発及び実施が正当化されるには、「今後、科学的観点および気候の正義に照らして理に適った排出削減に十分成功してもなお、過去の累積的な排出から気候の非常事態の到来が避けえないという信頼に足る科学的証拠が存在すること」また、「継続的な緩和努力に国際社会が同意し、そのための十分なガバナンス体制が構築され現実に機能していること」が必要条件となる。

4.2 気候変動リスク管理をめぐる人々の意思決定

市民の意思決定は、科学の視点から非合理的とみなされがちである。しかしその実態は、社会の視点からより広義の合理性を持つものである。

本プロジェクトで実施した調査では、気候変動を巡るトレードオフに、市民がどう向き合い、社会的意思決定に臨むのかを明らかにするために、簡易政策シミュレータを構築し、日米独仏中の5か国で社会調査を実施した。この国際調査では、市民がトレードオフを考慮したうえで1.5℃～2.0℃という高い水準の目標を選択することが確認された。また許容される排出削減量については、年齢、職種、問題認識、気候変動レジーム観（目標の強制力のあり方、水準、費用負担ルール）といった要因の影響が確認された。

更に国際調査では、図15に示すGrid（個人の行動を規定する社会規範の強さ）及びGroup（個人の意思決定において、集団の構成員であることを意識させられる圧力の強さ）のスコアで示される、回答者の社会観の影響を調査した。この社会観は、各国で分布が大きく異なっていること、回答者の気候変動レジームに大きな影響を与えていること（表6,7）が確認された。

また本調査では、考量に基づく合理的判断以外に、命令的規範的判断、他者への同調そして他者への権限委譲を考慮する総合判断モデルの妥当性を検証するための国内調査を実施した。その結果、社会的意思決定に直接参加を望む市民の割合は1/4程度に留まり、5割から6割の市民は、地球温暖化対策に関する意思決定を科学者・専門家、行政または議員へ委譲することが妥当と判断していること、

対策の可否については各種規範も採用されていることが確認された。

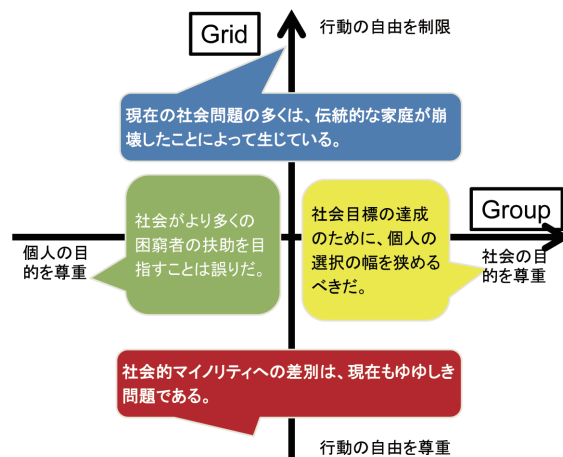


図15 Grid-group 理論

この調査で、規範に基づく回答は極端な意見に偏りがちであること、その回答者は直接参加を好み、組織・社会と自身の意見が相違した際には強い不満を持つことが明らかになった。また組織内で主導的・決定的立場にある回答者ほど、規範的判断の採用率は高まりを見せた。

多くの科学者から指摘される市民の非科学性は、非合理性と言うより社会的合理性の帰結と言える。市民は社会観の下で気候変動レジームの在り方を考え、規範の下で対策の是非を主張する。問題の複雑さを認識すると意思決定を専門家等に委譲する。社会観や義務に代表される適切性の論理と、考量に代表される合理的選択の論理は、社会的意思決定の両輪として気候変動政策を支えているのである。

表6 目標の位置づけと grid-group スコアの関連

	日本	アメリカ	ドイツ	フランス	中国
Grid スコア	+++	+++	+++	+++	+++
Group スコア	(-)	---	--	(-)	(+)

+記号は国際目標の否定度合の増大に寄与する説明変数で、+++はP値0.001未満、++はP値0.01未満、+はP値0.05未満で有意。(+)は有意性が確認できなかったケース。同様に-記号は国際目標の否定度合の減少に寄与する説明変数で、---はP値0.001未満、--はP値0.01未満、-はP値0.05未満で有意。(-)は有意性が確認できなかったケース。

表7 目標水準と grid-group スコアの関連

	日本	アメリカ	ドイツ	フランス	中国
Grid スコア	+++	+++	+++	+	(+)
Group スコア	(-)	---	(-)	--	(-)

+記号は目標水準の増大に寄与する説明変数で、+++はP値0.001未満、++はP値0.01未満、+はP値0.05未満で有意。(+)は有意性が確認できなかったケース。同様に-記号は目標水準の低下に寄与する説明変数で、---はP値0.001未満、--はP値0.01未満、-はP値0.05未満で有意。(-)は有意性が確認できなかったケース。

4.3 気候変動リスク管理をめぐるリスク認知構造

(1) 国民参加の必要性

気候変動問題に関する熟議やそれらを通じた社会的合意形成、すなわち、市民が気候変動問題を認知し、その複雑性を理解し、対処すべき方向性や具体的方策を判断するための専門家や多様なステークホルダーとの相互作用は、重要な課題である。このような市民による熟議を通じた世界規模の政策決定は、この地球に生きる私たちが、新しい技術に投資し、または新しい消費形態に移行し、生活の有り様そのものを変更することを含むという意味で、大きなインパクトをもつ。しかしそれらの認識は、本当の意味で市民のあいだにまで浸透しているとは言い切れない。加えて、異なる関心と利害をもつ世界の国々が共同で拘束力をもつ政策を決定することの困難さは、過去の COP 交渉を通じて示されており、そのことが、市民が気候変動の問題に主体的に係わることを妨げるひとつの要因になっている。

(2) 国民が気候変動問題を「十分に」理解するための要件とリスク認知構造

科学的情報提供のオンデマンド性を確保した上で、①基本的当事者性、②当事者性の空間的広がり、③当事者性の時間的広がり、の3つの「当事者性」を吟味する機会を与えることで、一般市民は、気候変動問題を「十分に」理解することが可能となる。一方で、「十分に」理解して、考えた場合であっても、市民の気候変動問題に関するリスク認知および、これらの意思決定についての関与の意向は、次のように整理することができる。

- ① 「十分に」気候変動問題に係る諸問題を理解し、自らの考えを吟味した上でも、市民が、実感をもってこの問題の空間的・時間的に広がり認識し、対策の是非を主体的に判断することは困難である。
- ② 総論としては、気候変動問題に関する対策の必要性やその優先度について肯定的な反応を示す。その一方で社会変革を伴う強い負担には警戒感を示す傾向がある。
- ③ 特に、他社会問題とのフレーミングとの比較となった場合、気候変動問題について議論する、もしくは何らかの負担をする優先度は極端に低下する。
- ④ 自分のできること（節電等）には関心を示すが、抜本

的かつインパクトの強い対策については判断を留保する、もしくは専門家集団に任せたいとする傾向がある。

(3) 国民参加の具体的方式

以上をふまえ、地球温暖化問題の社会的合理性担保のためには、「直接的」市民参加枠組みとは別に、地球温暖化問題に関する倫理的問題を扱う別のフレームを検討するべきであるという結論にいたった。2000年代以降、気候変動問題について中心的に行われてきた市民参加の取組（WWViews に代表される）は、市民参加を直接的に政策決定に反映させる方向を指向しており、政策決定のための重要なステークホルダーのひとつとして市民を位置づけてきた。しかし、本調査研究結果からは、市民は、気候変動問題についていえば、専門家（これは気候変動問題にかかる科学者のみならず、政策実務者や、倫理的課題を専門とする人文社会系科学者を含む）に委任し、一定の方向性を示すことを臨んでいることが確認されている。

もっともこれは、専門家の側に今後の進むべき方向性を全権委任したということではない。専門家（科学者や政策担当者）と市民の間での熟議ではなくむしろ、専門家間（自然科学者と、人文社会系研究者）での気候変動問題をめぐる倫理についての熟議が必要であるという結論であり、そこでの真摯な討議をより社会にむけて開いていくことこそが、その先の市民を含めた社会的合理性の担保につながる。加えて市民は、自らの理解や想像が及ばない範囲の人々（空間的には他国、時間的には将来世代）への影響を含む決定であるからこそ、「非倫理的」な意思決定を避けるべきであると強く主張している。この主張は、温暖化事象の認識や対策優先度の違いを超えて通底する主張でもある。その意味で、仮に市民を直接的に政策決定に関与するステークホルダーのひとつとして取り扱わないとしても、このような市民の意向に配慮した上で、気候変動政策が進められることが肝要である。また、政策決定のスピードに対する違和感もあせて示されていることから、本研究で提案するような社会的合理性担保のための枠組みが重要である一方で、丁寧なコミュニケーションと、意思決定のスピードというトレードオフの問題もまた存在することを付記する。

本研究終了後に今後の同様な取組みに残された研究課題として以下があげられる。

● リスク分析の拡張と高度化

分析の包括性を高めるためのリスク項目の拡充は引き続き重要である。また、同一セクターに対して複数の影響評価モデルを用いて影響の不確実性を評価すること、社会経済シナリオへの依存性を（暴露人口・GDP、土地利用の変化として用いるのみならず）より本格的に（例えば格差やガバナンスが及ぼす効果を含め）評価することを目指すべきである。

● ティッピングエレメントのさらなる解明

リスク分析の中でも特に、長期目標検討への影響が大きいと考えられる氷床融解の不安定化等のティッピングエレメントについて、さらなる科学的な解明を進めるとともに、ティッピングが生じた場合の社会的影響の理解を深めるべきである。

● 対策評価の拡張と解釈の深化

緩和、適応、気候工学を含む対策オプションおよびそのポートフォリオの評価は拡充が必要である。特に地域と分野による多様性が大きい適応策を地球規模でどう評価するかは大きな課題として残る。各オプションについては、効果、コスト、ポテンシャルのみならず、様々な波及効果を含めた検討を拡充すべきである。また、統合評価モデルで表現されない将来のイノベーションの可能性を考慮に入れた際に、モデルの結果をどう解釈し、活用するかについて、さらなる議論が必要である。

● グローバルとローカルの文脈の接続

本研究のように地球規模・長期の視点で考えた場合の分析・検討結果について、各国、自治体、企業、市民等の多様主体が、それぞれの文脈においてその意味の解釈を進める必要がある。逆に、それらの多様な文脈に基づいて表出される意見を、地球規模の検討過程に届ける必要がある。そのために、本研究では人文社会科学者を含む媒介専門家パネルを提案したが、これを社会に実装するための検討は今後の課題である。





<http://www.nies.go.jp/ica-rus/index.html>

本研究プロジェクトに関する問い合わせ先

独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室
Email : s10-info@nies.go.jp