

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

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
(S-10-1)

平成24年度～平成28年度

Synthesis of Global Climate Risk Management Strategies

国立研究開発法人国立環境研究所
東京大学
株式会社野村総合研究所

〈研究協力機関〉
京都大学
東京理科大学
同志社大学

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

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

(S-10-1)

I. 成果の概要	.....	i
1. はじめに (研究背景等)	.....	i
2. 研究開発目的	.....	i
3. 研究開発の方法	.....	ii
4. 結果及び考察	.....	vi
5. 本研究により得られた主な成果	.....	ix
6. 研究成果の主な発表状況	.....	x
7. 研究者略歴	.....	x
II. 成果の詳細		
(1) 統合評価ツールによる気候変動リスク管理戦略の定量的解析 (国立研究開発法人国立環境研究所)	.....	1
要旨	.....	2
1. はじめに	.....	2
2. 研究開発目的	.....	2
3. 研究開発方法	.....	3
4. 結果及び考察	.....	8
5. 本研究により得られた成果	.....	20
6. 国際共同研究等の状況	.....	21
7. 研究成果の発表状況	.....	21
8. 引用文献	.....	35
(2) 気候変動リスク管理戦略に係る知見集約と戦略検討 (株式会社野村総合研究所)	.....	37
要旨	.....	37
1. はじめに	.....	37
2. 研究開発目的	.....	38
3. 研究開発方法	.....	38
4. 結果及び考察	.....	40
5. 本研究により得られた成果	.....	51
6. 国際共同研究等の状況	.....	51
7. 研究成果の発表状況	.....	51
8. 引用文献	.....	52
(3) 不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用 (東京大学)	.....	53
要旨	.....	53
1. はじめに	.....	53
2. 研究開発目的	.....	54
3. 研究開発方法	.....	56
4. 結果及び考察	.....	59
5. 本研究により得られた成果	.....	64
6. 国際共同研究等の状況	.....	65
7. 研究成果の発表状況	.....	65
8. 引用文献	.....	68
(4) 対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様な ステークホルダーへの伝達に関する研究 (東京大学)	.....	69
要旨	.....	69

1.	はじめに	.....	70
2.	研究開発目的	.....	70
3.	研究開発方法	.....	71
4.	結果及び考察	.....	75
5.	本研究により得られた成果	.....	87
6.	国際共同研究等の状況	.....	88
7.	研究成果の発表状況	.....	88
8.	引用文献	.....	89
III. 英文Abstract			..... 90

課題名 S-10-1 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

課題代表者名 高橋 潔（国立研究開発法人国立環境研究所社会環境システム研究センター
広域影響・対策モデル研究室主任研究員）

研究実施期間 平成24～28年度

累計予算額 264,623千円（うち平成28年度：46,636千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 気候変動、リスク管理、意思決定、対話型会合、ステークホルダー、地球規模、総合解析、割引率、確率制御

研究体制

- (1) 統合評価ツールによる気候変動リスク管理戦略の定量的解析（国立研究開発法人国立環境研究所）
- (2) 気候変動リスク管理戦略に係る知見集約と戦略検討（株式会社野村総合研究所）
- (3) 不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用（国立大学法人東京大学）
- (4) 対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様なステークホルダーへの伝達に関する研究（国立大学法人東京大学）

研究協力機関

同志社大学、東京理科大学、京都大学、昭和女子大学

研究概要

1. はじめに（研究背景等）

本研究課題の構想時期（2011～2012年）直前、気候変動枠組条約COP16カンクン合意において、全球平均気温上昇を工業化前比2℃以内に抑えるとの目標が示された。また、同目標が枠組条約第2条との関係から十分であるかについて、ならびに、目標達成に向けた国際的な緩和行動の進め方の枠組みについて、2013～2015年の間にレビューを行うとされた。一方で、2℃目標達成に向け、国際的に大幅なGHG削減が必要となるが、大幅削減に向けた国際的な合意は停滞しつつあった。そうした状況をふまえ、S-10では、「クリティカルな気候変動リスクの分析」、「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の分析」、「幅広い気候変動リスク管理オプションの評価」、「気候変動リスク管理問題への科学技術社会論の適用」により、制約条件、不確実性、リスク管理オプション、社会の価値判断を網羅的に考慮した、地球規模での気候変動リスク管理戦略を構築・提示し、国際的合意形成への寄与、日本の交渉ポジション・国内政策立案の支援、国民の気候変動問題への理解の深化に貢献することを目指した。

S-10が以上の目標を達成するためには、課題全体の司令塔として、テーマ間の研究調整・連携促進ならびに課題全体の進行管理の役割を担いつつ、各テーマが生み出す研究知見を総合化し、地球規模の気候変動リスク管理戦略の解析を実施する研究課題が必要であり、S-10ではS-10-1がその役を担った。典型的な研究知見の総合化の方法としては、(1) 専門家やステークホルダーの集団的検討に基づく科学的知見の評価（例：IPCC評価報告書）や、(2) 計算機モデル・ツールを用いた定量的分析が挙げられる。前者の方法の長所には、定性的知見まで検討に含めうる柔軟性がある。一方で後者の方法には、分析の前提条件の整合性の確保、不確実性の定量的取扱いといった点で、リスク管理戦略の客観的な比較考量に際して優位性がある。S-10-1では、S-10-1(2)が運営する定期会合を用いて前者の方法で柔軟かつ包括的な戦略検討を実施するとともに、S-10-1(1)では統合評価ツールの開発に取り組み、またそれを用いたリスク管理戦略の定量的解析を実施し、S-10全体での研究目標達成への貢献を目指した。

2. 研究開発目的

S-10は、(1) 気候安定化目標を含む地球規模での総合的な温暖化対策の道筋を合理的に決定するリスク管理戦略の提案、(2) いくつかの地球規模での具体的な目標についての考え方の提示、をプロジェクト全体の最終目標とした。それらのプロジェクト全体の成果目標の達成を目指し、テーマ1では、戦略課題全体の司令塔（総括班）として、テーマ間の研究調整・連携促進ならびに課題全体の進行管理の役割を担いつつ、各テーマが生み出す研究知見を総合化し、リスク管理戦略の解析の枠組みを定め、地球規模の気候変動リスク管理戦略の解析を実施することとした。このため、各テーマが提供する気候変動リスクおよび対策に関する知見を、統合評

価ツールへの組み込みを通じて定量的に(S-10-1(1))、知見集約と議論を通じて定性的に(S-10-1(2))総合化し、リスク管理戦略について解析を実施した。また、意思決定理論の数理的応用(S-10-1(3))、実践を通じたリスク伝達(S-10-1(4))ならびにリスク認知・判断に関するS-10-5の研究成果をふまえ、リスク管理戦略解析の枠組みを研究実施期間内に定期的に見直した。図1にS-10-1におけるサブテーマ間の関係を示す。

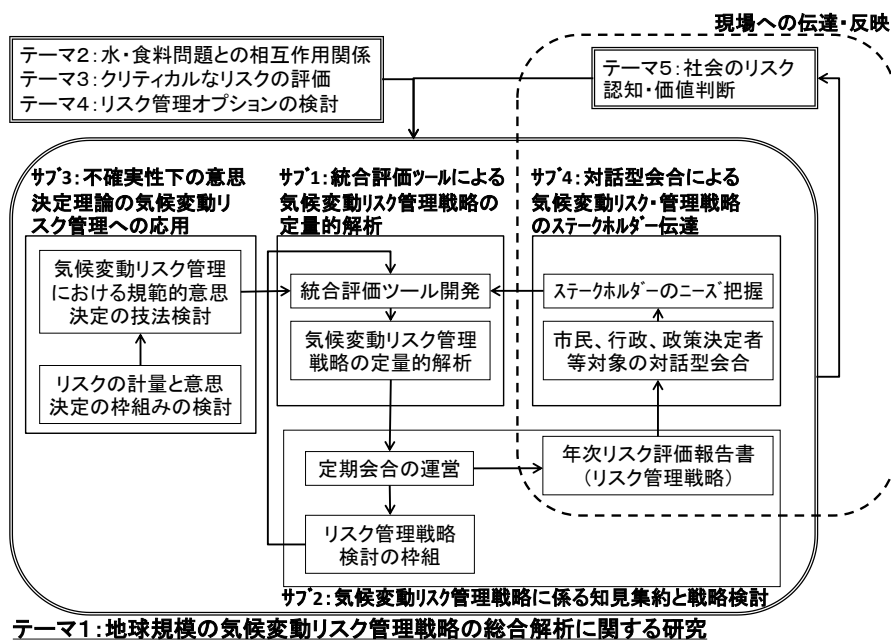


図1 S-10-1のサブテーマ間の関係

3. 研究開発の方法

(1) 統合評価ツールによる気候変動リスク管理戦略の定量的解析

S-10-1(1)では、以下の3区分・8項目の研究・研究関連業務を実施した。

- (a) S-10全体の総括班としての研究調整業務
- (b) 気候変動リスク管理戦略の定量的解析に関連した評価手法の高度化
 - (b1) 逐次意思決定に注目した気候予測不確実性の低減時期の推定
 - (b2) 全球大循環モデルの挙動を模倣する簡易気候モデルの開発・改良
 - (b3) 気候シナリオ開発におけるパターンスケーリング手法の適用可能性の検討
 - (b4) 気候変動影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性について評価
 - (b5) 統合評価ツールへの影響関数の実装（全球作物収量影響関数の開発）
- (c) 気候変動リスク管理戦略の定量的解析
 - (c1) 動学的最適化型統合評価モデルの開発と最適排出経路の分析
 - (c2) S-10-2・S-10-3の分析ケース出力を応用した戦略選択肢別の影響リスク分析

(a)の研究調整業務については、リスク管理戦略解析の実施計画の検討に関して、テーマ横断の「概念検討ワーキンググループ」・「シナリオワーキンググループ」・「適応評価ワーキンググループ」を組織・運営し、既存のリスク管理枠組の全球規模気候リスクへの適用可能性の検討、S-10が示すリスク管理戦略の具体的オーディエンス（想定するリスク管理主体）の検討、リスク管理戦略の構築を目指し各テーマが共通に取り組む分析ケース（共通シナリオ）の検討、S-10における適応評価のアプローチの検討などを行った。また、研究者向けあるいは一般市民向けのワークショップ・シンポジウムの企画・主催を担当した。

(b)の「リスク管理戦略の定量的解析の評価手法の高度化」に向けた個別研究に関して、(b1)については、将来に気候変化の観測データの蓄積があった場合に気候予測の不確実性がいつ頃までにどの程度減少するか推定するための手法の提案と分析を行った。具体的手順としては、複数気候予測(CMIP5データ)を活用し、そのうちの一つの気候予測を将来のある時点までの仮の観測値(仮の真値)として扱い、当該時点以降の気候予測の不確実性幅を、その他気候予測を用いて推定した。同様の操作を、各気候予測を仮の観測値として順に気候予測の数だけ行い、その平均として不確実性幅を算定し、それが将来にどのように減少していくか調べた。(b2)については、観測情報(20世紀の全球気温上昇、2005年の大気上端の放射強制力、海洋の表層貯熱量の変化)とMIR0C5の予測情報(全球平均気温上昇)を制約条件として簡易気候モデルMAGICC6の主要パラメータをマルコフ連鎖モンテカルロ法で推定し、

推定されたモデルパラメータでの大気大循環モデルの模倣精度について確認した。(b3)については、地表気温スケーリングパターンの排出・濃度シナリオ(RCP)依存性は調べられているが降水スケーリングパターンについてはこれまで調べられていないことをふまえ、MIROC5のRCP別気候予測を用いて、RCP間のエアロゾルの排出量の違いが降水量スケーリングパターンに与える影響を調べた。(b4)については、S-10-2・S-10-3が提供する影響分析出力を活用した影響の簡易分析手法開発の一環として、各種影響の全球平均気温上昇(Δ GMT)に対する線形近似性について評価した。陸域生態系および水資源関連指標について、影響の変化が Δ GMTに対して線形なのか非線形なのかを統計的手法を用いて分析した。陸域生態系指標は、植生純一次生産(NPP)、野外火災によるCO₂放出(Fire)、土壌流出(Erosion)の3指標で、VISITモデルの出力を用いた。水資源指標は、表面流出量(Runoff)の1指標とし、H08モデルの出力を使用した。(b5)について「影響関数」を本研究では「詳細モデルの主要気候因子を感度解析的に変化させて多数回シミュレーションを行い、出力された影響要素を地域別に平均し、収録したルックアップテーブル」と定義した。詳細モデル(M-GAEZモデル)を用いて、気温と降水を変化させて感度解析を行い、その国別平均値をとって全球作物収量影響関数を作成した。開発した影響関数による影響予測と詳細モデルを用いた影響予測の比較によって再現性を確認し、その差異の主因子について検討した。

(c)の「気候変動リスク管理戦略の定量的解析」に関して、(c1)については、動学的最適化型統合評価モデルSCM40PTの開発・改良を実施し、リスク管理戦略選択肢に対応した経済最適な温室効果ガス排出経路の解析を実施した。SCM40PTの開発にあたっては、既存の統合評価モデル(DICE)をベースに、S-10-4(4)のAIM/CGEモデルによる3つのSSPシナリオ(将来の社会経済発展想定; SSP1/SSP2/SSP3)別の炭素価格-緩和量関係を、限界削減費用曲線(MAC)の形式で実装するとともに、複数の温室効果ガスならびにその他排出物質の削減努力についてより現実的に扱えるように簡易気候予測モジュールの高度化を実施した。同モデル開発を行ったうえで、「S-10戦略選択肢」(全球平均気温上昇の上限とその達成確率で定義された長期気候目標)別の必要排出経路の解析を実施した。(c2)については、S-10-2、S-10-3が実施した分析ケース(5GCM×4RCPシナリオ×3SSPシナリオ)別の影響リスク分析結果を受け取り、その分析結果を内挿補間して、複数の「S-10戦略選択肢」に対応したセクタ別各影響指標の予測計算を、全球気候モデル(GCM)の不確実性幅を考慮したうえで、世界5地域・26地域別に実施した。なお、一連の予測計算の手順については、S-10-1(2)がとりまとめ担当した「ICA-RUSリスク管理戦略(第1版・最終版)」の詳細版で詳説している。

(2) 気候変動リスク管理戦略に係る知見集約と戦略検討

S-10-1(2)では、大きくは以下の4つの研究関連業務を行った。(a)総合化会議の運営、(b)リスク管理戦略選択肢第1版・最終版のとりまとめ、(c)年次リスク評価報告書(ICA-RUSレポート)の作成、(d)成果アウトリーチの検討等である。

(a)については、定期的に総合化会議を開催し、平成28年度末までに計38回開催した。同会議はテーマリーダーの参加を基本的に必須としたが、その他、参加希望のS-10研究参画者・協力者も含め、各回とも10~20名程度が参加した。各テーマ研究成果の集約とそれをふまえたリスク管理戦略検討を実施した。(b)については、総合化会議の議論をふまえ、章構成の検討、各章担当者との調整、原稿取りまとめなどを担当した。(c)については、各テーマの参画者・協力者の協力を得て、ICA-RUSレポート2013(和・英)、同2014(和・英)、同2015(和・英)、同2017(和)をS-10全体のアウトプットとして作成し、ICA-RUSのWEBページにて公表を行った。(d)については、ICA-RUSレポートへの意見収集(アンケート調査・ヒアリング)、その調査結果のS-10各テーマへのフィードバックを実施した。また、気候変動の国際交渉に係る有識者へのヒアリングなどを通じて、S-10の研究成果の政策的意義について考察する研究を行った。

(3) 不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用

S-10-1(3)では、不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用の体系化を目指し、以下の(a)~(c)の3項目に整理して研究を進めた。(a)確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組みおよび規範的意思決定について概念整理、(b)内生的な時間選好率・割引率の経済理論分析、(c)不可逆的な投資意思決定と選択権(オプション)の価値評価。

そのうち、研究項目(a)については、(a1)動的計画による多段意思決定の考え方、最適制御・確率制御理論の応用、(a2)時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方、(a3)リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析、の3点に区分して概念整理に取り組んだ。このうち(a1)については、歴史的に複雑に入り組んだ理論を整理し、定式化を統一し、理論の体系化とそれに対応する応用の範囲についての考察を行った。続いて(a2)については、理論と研究動向を整理・評価し、気候変動経済政策モ

デリングの脈絡で整合性や問題点を考察し、効用、リスク、割引、さらには衡平性の考え方について最近の研究動向を調査分析した。また(a3)については、ラムゼーモデルに出現する「消費の限界効用弾力性」、「社会的時間選好率」といったパラメータに着目し、モデルの構造とその社会厚生的な意味について理論分析を行った。

研究項目(b)については、統合評価モデルで使われる評価関数が、時点毎の経済活動を瞬時効用なるものに直し、かつ、時間に応じた重み付け(割引)をして足し合わせた形をしていることについて考察した。この形は割引効用モデルと呼ばれるもので、時間整合性を持ったものということができる。これに対し時間整合性の無い評価関数の場合、モデルの解の導出とその経済的解釈という点で多くの問題が発生することが知られている。本研究では、時間整合性を保持したままで、割引効用モデルをどこまで拡張することができるか考察すべく、時間に応じた重み付けについては習慣形成、瞬時効用については消費水準の下限を導入したモデルを考え、その振る舞いを分析することとした。

研究項目(c)については、第一に、(c1)企業の投資時期の意思決定において2者が相互に影響を及ぼしあうゲーム理論の構造として解釈できる最適投資時点選択ゲームのモデルを設定し、その均衡解の考察を行った。第二に、(c2)方向性を持った物流取引の例として、経済主体Aから経済主体Bに送電した電力をそのままBからAに同じ価格で戻せない電力取引を取り上げてその性質を分析した。

(4)対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様なステークホルダーへの伝達に関する研究

S-10-1(4)では、S-10が対象とする「地球規模の気候変動に関するリスク管理戦略」を扱う各種のステークホルダー(SH)間の意見の相違点および類似点を確認しながら、これらの専門家に対する適切かつ効果的な気候変動の科学的研究成果の伝達について明らかにするために、(a)対象とするステークホルダーの特定、(b)対話や会合を通じたステークホルダーへの聞き取り調査、(c)対象SH特定と調査のための方法論の確立と補足的調査、の3点に取り組んだ。

(a)について、インタビュー対象のSHの人選に当たり、UNFCCCから公開されているCOP15からCOP18の全参加者から日本人名および日本の団体を抜き出し、それぞれの団体および分野ごとに参加者を分類し、傾向を分析した。参加者の中でも特にリスク管理戦略に関わる担当者に意見聴取するため、分類の結果から温暖化交渉で継続的な活動が見られる団体・分野を選定した上で、該当分野に詳しく信頼できる専門家にインタビュー対象候補の人選を依頼した。

(b)について、平成26~27年度にかけて、(i)ハイレベル官僚等、(ii)産業界・NGO、(iii)エネルギー関連、(iv)政治家、(v)ユースを対象SHとした一連の対話会合を実施し、地球規模の気候変動リスクに関する認識や研究ニーズの把握に取り組んだ。各会合では、半構造的にトピックを決め、事前に参加者へ知らせており、それらにそって回答者は各自の意見を述べつつも、必ずしも全問に一問一答するわけではなく、当日のグループ内での相互作用により、様々な対話が繰り広げられた。なお、最終年度の平成28年度には、複数分野のステークホルダーを一堂に集め、気候変動リスクへの対応を主題として対話型会合を実施した。ICA-RUSレポート等の気候変動リスクに関する研究成果を材料に、企業、自治体、NGO、研究者、中央政府等の複数のステークホルダーを集め、気候変動リスク情報をどのように各ステークホルダーがとらえ、さらに、所属団体内で対応するかを論議した。

(c)については、インタビュー内容および手法の検討のため、気候変動のステークホルダーによる会合を中心に既存文献および事例を収集し、気候変動のリスク管理戦略で考慮されるべき事柄について、文献収集等を通じて把握に努めた。

4. 結果及び考察

(1)統合評価ツールによる気候変動リスク管理戦略の定量的解析

研究開発の方法で示した項目に沿って記す。まず(a)の「総括班としての研究調整業務」に関しては、例えば「概念検討ワーキンググループ」での既存リスク管理枠組の地球規模気候リスクへの適用可能性の検討の結果、異なる価値観を持つ複数意思決定主体の想定が必要であることから、それに適した国際リスクガバナンス協議会(IRGC)の枠組みを採用することとした。検討経緯についてはICA-RUSレポート2013(<https://www.nies.go.jp/ica-rus/materials.html>)に詳述した。また、企画・主催した一連のワークショップ・シンポジウムについてはその資料をS-10ウェブページで公開するとともに、ニュースレターなどを活用して概要・結果の広報に努めた。

(b)の「リスク管理戦略の定量的解析の評価手法の高度化」に向けた個別研究に関して、(b1)については、今後6年間観測情報の蓄積が進んだ場合には、どのRCPシナリオにおいても不確実性幅が現状の50%以上減少するとの見通しが示された。ただし不確実性幅の減少速度はその後小さくなり、現状の不確実性幅の25%以下までその幅が制約されるには2049~2069年頃まで待たねばならないことも同時

に示された。(b2)については、簡易気候モデルの開発とMIR0C5の挙動を模倣するためのモデルパラメータの推定に関しては、RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5におけるMIR0C5の全球平均気温の上昇量を良い精度で模倣することができた。また、推定されたパラメータの感度実験を通じて、大気大循環モデルの全球平均気温上昇量を模倣する際には、平衡気候感度の推定が最も重要であることが示された。加えて、海洋の熱拡散係数やフィードバックファクターの感度因子の重要性も指摘された。(b3)については、RCP8.5とRCP2.6の間で、降水量変化率のスケーリングパターン(大気大循環モデルが予測降水量変化率を全球上昇気温で規格化した空間パターン)を描いたうえで、RCP間の差の大きな地域について、全球平均気温1°C当たりのエアロゾル排出量との関わりを地域別に論じた。(b4)については、世界陸域平均では、Erosionを除く各指標の変化は $\Delta \text{GMT8100}$ (1981~2000年比での全球平均気温上昇) = 1.5°Cの影響に対しほぼ線形となった。Erosionは $\Delta \text{GMT8100} \geq 1.7^\circ\text{C}$ で非線形となり、GMT上昇により増加傾向が鈍化する傾向がみられた。地域別で見ても、Erosionは概ね $\Delta \text{GMT8100} \geq 2.0^\circ\text{C}$ 前後で非線形となり、1.5°C影響の線形変化よりもグラフが下にずれていた。その他の指標には地域差がみられ、例えばFireは、北半球高緯度のロシアでは $\Delta \text{GMT8100} \geq 2.5^\circ\text{C}$ で1.5°C影響の線形変化よりも上にずれ、増加傾向が加速した。(b5)については、作物や国により気温と降水に対する収量の感度が異なり、収量の減少が現れる気温変化や降水変化率が異なることが示された。影響関数の利点は、事前にルックアップテーブルとして整備しておくことで任意の気候変化(気温・降水の変化)による各国の作物収量への影響量を迅速に導出し、気温や降水の変化に対する各国の収量変化の傾向を容易に把握できることである。この点において、影響関数の政策支援の場での有効活用が期待できる。

(c)の「気候変動リスク管理戦略の定量的解析」のうち(c1)について、図2ならびに図3は、SCM40PTを用いて推計された、SSP別の、3つの戦略選択肢(T15S36/T20S36/T25S36:表1)に対応した最適排出経路(工業部門CO₂排出)ならびに全球平均気温上昇(工業化前比)である。これらの分析結果は、S-10-4のモデルチームに返されて詳細な緩和対策分析の前提として用いられるとともに、後述(c2)の戦略選択肢別影響計算の入力条件として用いられた。

表1 ICA-RUSリスク管理戦略最終版が評価対象とした3つの戦略選択肢

戦略選択肢名	目標温度水準(工業化前比)	SCM40PTの排出経路分析での気候感度想定(°C) [リスク回避性向]	SCM40PTでの気温変化推計時の簡易気候モデルの気候感度の設定(°C)
T15S36	1.5°C	3.65°C	3.0°C
T20S36	2.0°C	3.65°C	3.0°C
T25S36	2.5°C	3.65°C	3.0°C

※BaU (reference) ケースとしてはSSP1/SSP2/SSP3を想定

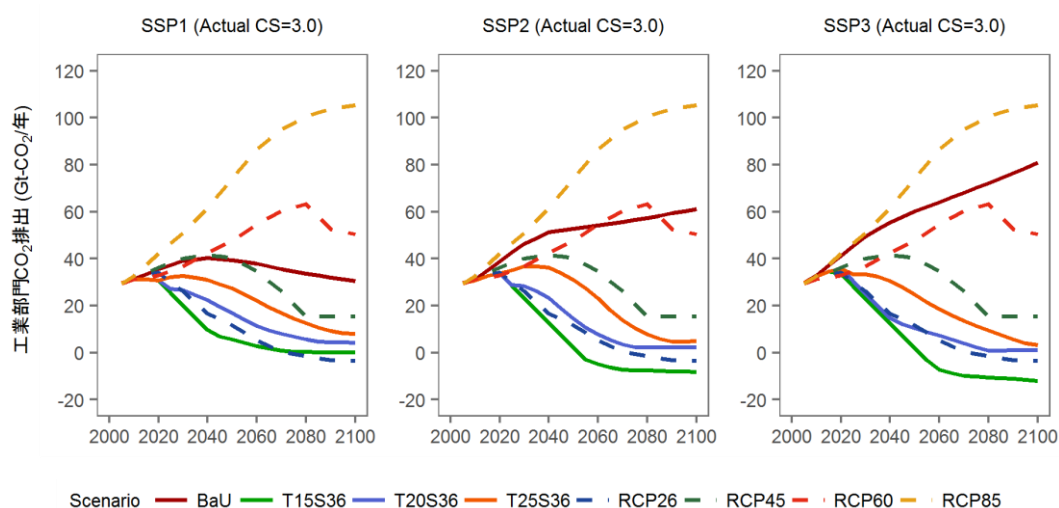


図2 3つの戦略選択肢(T15S36/T20S36/T25S36)に対応した最適排出経路(工業部門CO₂排出)

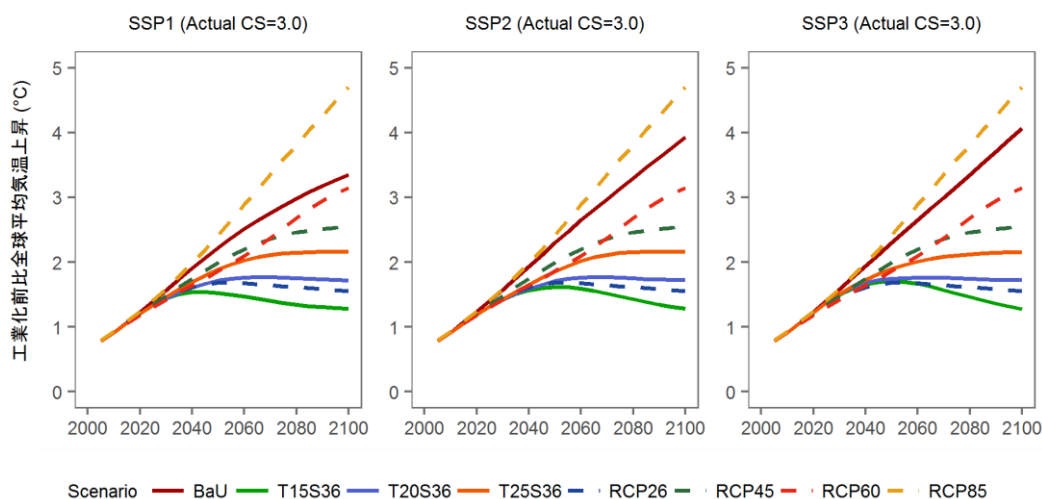


図3 3つの戦略選択肢（T15S36/T20S36/T25S36）に対応した全球平均気温上昇（工業化前比）

また、(c2)で「リスク管理戦略最終版のための解析」については、図4～図6が、表1の3つの戦略選択肢の帰結として予測される部門別の気候変動影響量を例示したものである。例えば図4では、横軸に全球平均気温上昇を、縦軸に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（%）をSSP別に示している。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。

多くの影響変数について、気候モデルの選択に由来する不確実性幅に比して、戦略選択肢間での影響の差は小さいことが見て取れた。ただし、地域別に見た場合には、戦略間差が比較的大きめに表れる場合もある。これらの戦略選択肢別の影響予測結果については、S-10-4による緩和分析と組み合わせて示すことで、S-10全体で提示する「リスク管理戦略」を構成している。

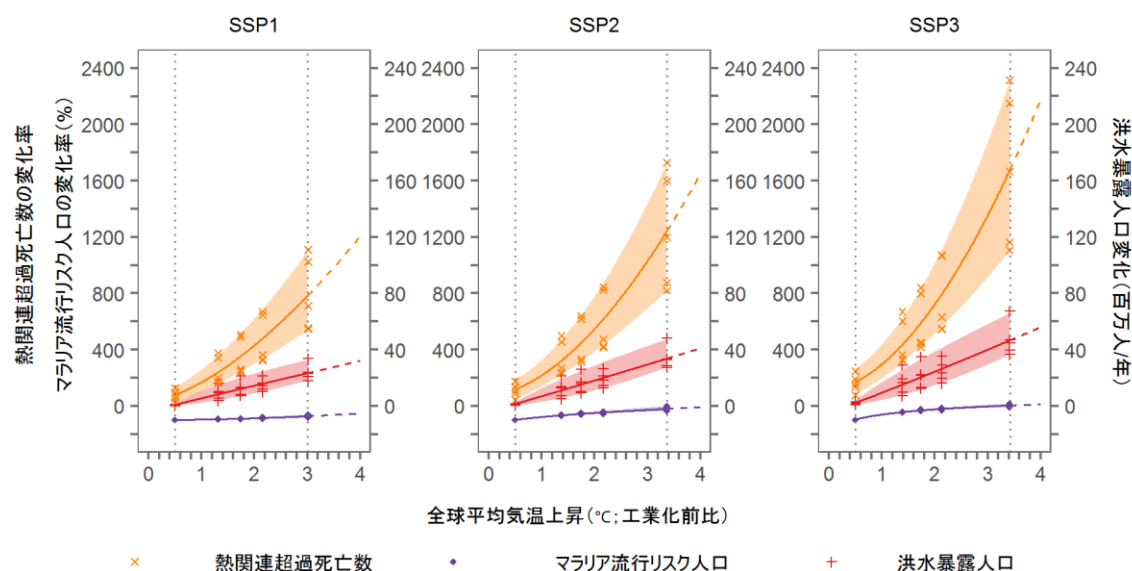


図4 2080年代における現在期間（1981-2000年）比での、洪水暴露人口の変化（百万人/年）、および熱関連超過死亡数・マラリア流行リスク人口の変化率（%）。いずれの指標でも気温上昇に伴うリスク人口の増加が予想されるが、気温上昇への感度は異なる。なお、マラリア流行リスク人口については、将来の社会経済条件の改善に伴い、SSP3・BaUケースを除けば現在期間よりも小さな流行リスク人口（グラフでは負値）となる。

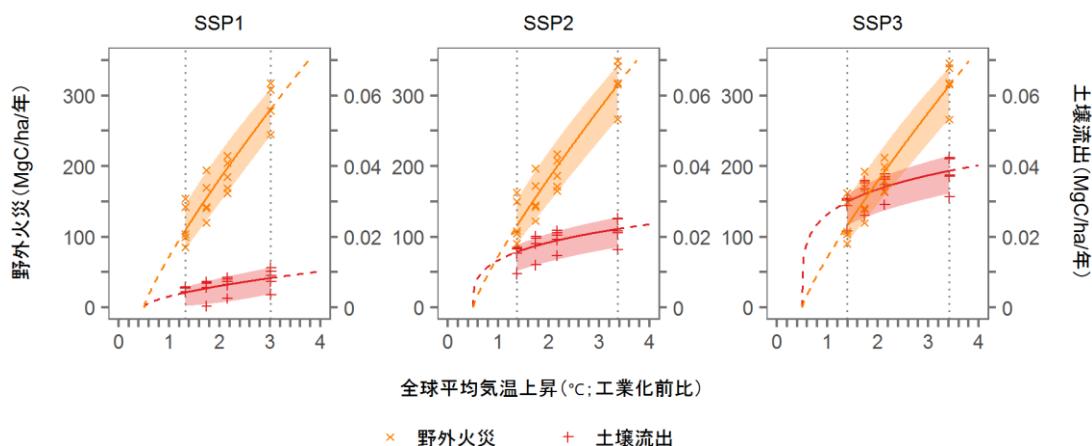


図5 2080年代におけるSSP別・現在期間（1981-2000年）比での、土壌流出及び野外火災による炭素放出量（MgC/ha/年）。いずれも全球気温上昇に応じて増加するが、土壌侵食にはSSP間の土地利用差の影響、ならびに高温域での流出増加の飽和傾向がみられる。

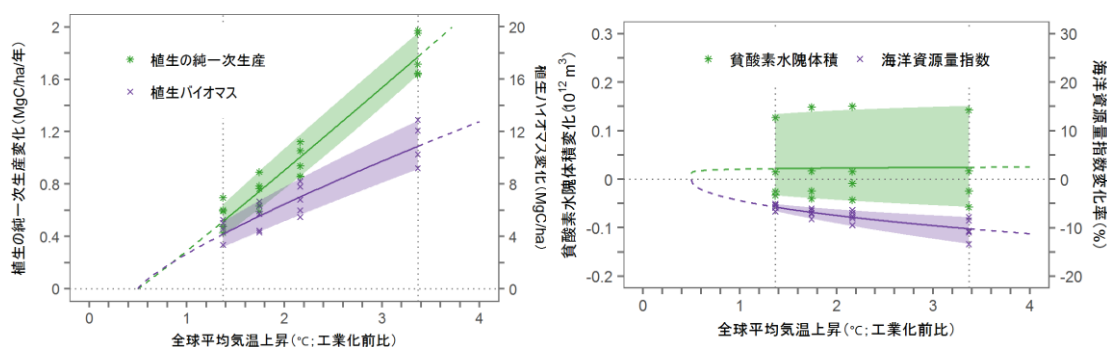


図6 2080年代・SSP2における現在期間（1981-2000年）比での、「植生純一次生産（NPP）変化（MgC/ha/年）・植生バイオマス変化（MgC/ha）」（左図）および「貧酸素水塊体積変化率・海洋資源量指数変化率（%）」（右図）。NPPや植生バイオマスはCO₂施肥効果により、気温上昇と正の相関。貧酸素水塊体積は気候モデル間の平均値でみると気温上昇に従い増えるが、気候モデル間の不確実性幅が大きい。一方、海洋資源量指数は気温上昇に従い漸減する。

(2) 気候変動リスク管理戦略に係る知見集約と戦略検討

(a)の総合化会議に関して、前期（平成24～25年度）にはテーマ間連携ならびにS-10でのリスク管理戦略の枠組・概念等の議論を中心に、後期（平成26～28年度）はリスク管理戦略第1版・最終版の作成に係る技術的議論を中心に、執り行われた。(b)のリスク管理戦略選択肢第1版・最終版のとりまとめに関して、S-10全テーマ参加者による分析・執筆などの協力を得て、S-10-1(1)と共同で報告書を作成し、それぞれ平成26年3月・平成28年3月にS-10ウェブサイト公表した。この選択肢第1版・最終版はS-10全体の主成果の位置づけを持つ。(c)のICA-RUSレポートに関しては、各年次でのS-10最新知見のハイライトを適時に整理し、和英資料として国内外の研究者・政策決定者にそれを伝える役割を果たした。(d)については、ICA-RUSレポートへの意見収集の結果を総合化会議等で適時に伝達し、S-10リスク管理戦略の議論への反映に努めた。また、S-10研究成果の政策的意義の考察については、企業誌向けに論文化してそれを提示した。同論文では、S-10研究成果等を活用し、①国際的な枠組みに対して、地球規模かつ長期的視点に鑑みた日本の立場を提案し、日本として納得感があり、かつモラルに反しない範囲で日本の政策や産業等に有利となるよう国際交渉の場でルールメイクを仕掛けていくこと、ならびに、②国際的な枠組みにおける検討結果と、国内の政策検討に整合性・一貫性を持たせて、国民や国内産業の合意形成に資すること、の重要性を指摘した。

(3) 不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用

研究開発の方法で示した項目に沿って記す。まず、(a1)の「動的計画による多段意思決定の考え方と最適制御・確率制御理論の応用」に関しては、連続時間での確率制御問題について考察し、それを構成する状態変数、制御変数、評価関数の設定によってさまざまなバリエーションができることをふまえて、連続時間系の確率制御問題を、絶対連続制御問題、最適停止問題、特異制御問題、インパルス

制御問題の4つに分類し、それらの定式化の形から応用できる現実の問題について整理を行った。例えば、枯渇性資源の最適消費、環境負荷物質排出の最適制御、再生可能資源の最適利用など、フローの制御を実施する制御問題は、典型的な絶対連続制御問題となっており、その解の導出はハミルトン＝ジャコビ＝ベルマン（HJB）方程式を解くことに帰着されること、また、HJB方程式自体は、価値関数について関数形を設定し、そのパラメータを求めることによって解かれることなどを論じた。なお、理論の体系化の結果については、書籍（辻村・前田, 2016）として公表した。

(a2)の「時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方」については、標準的な経済理論で異時点間の選択の考慮に際して採用される「割引効用モデル」についてその特徴（例：社会厚生関数への集約の容易さや動的最適化問題としての定式化の容易さ、多くの仮定や公理系に基づくことに由来する現実性に係る批判等）を整理し、S-10でリスク分析・対策分析を担当する他テーマの参画者に対して、文書・セミナーを通じて解説した。また、地球環境問題の脈絡での割引論の課題についても批判的に論じた。

(a3)の「リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析」については、「消費の限界効用弾力性」 η 、「社会的時間選好率」 ρ がそれぞれモデルの中で世代内、世代間の衡平性を表すパラメータとなっていることを論じ、モデルが導く経済の動的性質に関連して次の命題を導いた。(1)一人当たり消費が上昇（下降）している経済局面において、後世の効用に対する割引を大きくすることは、各時点における不衡平の上昇を許容する（しない）ことを意味する。(2)定常状態において一人当たり消費が時間的に不変となると、両者は交換可能ではない。

(b)の「内生的な時間選好率・割引率の経済理論分析」については、時間選好率・割引率の役割を考察するため、内生的時間選好率を導入し理論モデルを構築した。その構造の概略は次のようなものである。閉鎖経済を考え、人口は一定と仮定する。この経済では、生産部門は存在せず、枯渇性資源とバックストップ技術（＝枯渇性資源に代替しえる高価かつ高度なエネルギー生産技術）のみが利用可能な社会とする。代表的経済主体を想定し、その時間選好率が、Uzawa-Epstein型時間選好率となっている。考察の結果は3つの命題としてまとめられる。まず、枯渇性資源の初期ストック量の増加は代替財であるバックストップ技術への切替え時期を遅くする（命題1）。次に、バックストップ技術の価格が上昇すると、その技術への乗り換えハードルが高くなり、切替え時期が遅くなる（命題2）。最後に、消費の習慣形成に影響を与える時間選好率係数 β と最適切替え時期の関係について分析し、この関係が η に依存することが分かった（命題3）。

(c1)の「最適投資時点選択ゲーム」については、2つの経済主体についてのサブゲーム完全ナッシュ均衡を定式化し、均衡解が存在しない（投資が起こらない）条件、社会的非効率性が発生する条件（投資コストが極端に低い場合）、その他のあり得る均衡解（経済主体が互いに一期ずらした投資時期を選択）などを論じ、市場競争のみで社会的効率性が達成されうる可能性を示した。また、この検討の気候変動国際交渉における含意として、各国の自主的な削減努力を尊重することでも社会的効率性が達成しうることも論じた。

(c2)の「方向性を持った物流経済取引」については、一人の需要家とそれに電力を供給する一人の電力供給者が存在する状況を考え、電力需要家は何らかの自家発電設備を保有していること、ならびにこの需要家と電力供給者の二者は単一の送電線で結ばれていることを想定し、モデルの定式化を行った。このような、方向性のある価格付けに直面している需要家の需要行動は混合整数計画問題（MIP）によって表現される。いくつかの仮定のもとで、需要家による電力供給者からの電力買受価格が、需要家による発電電力の電力供給者への販売価格よりも小さい設定が存在することが示された。このことは、従来の経済理論モデルでは、FIT制度や将来的なスマートグリッドのような先進的な電力システムを分析することはできないことを示唆している。

(4)対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様なステークホルダーへの伝達に関する研究

(a)について、SH人選の結果、省庁の国際交渉担当者（4省）、環境NGOの気候変動担当者、経済団体および業界団体関係者（鉄鋼、電力、化学、セメント、保険、商社等）を選定し、インタビューを行った。このほか、国際交渉を外の立場から観察するメディア関係者として、COP取材経験のある記者（新聞社、通信社）に対しても、リスク認識や研究ニーズに関する同様のインタビューを実施した。またその結果については、S-10-1(2)が運営する総合化会議などを活用し、S-10でのリスク管理戦略検討の有り方の検討に対してインプットされた。

(b)について、各対話会合の結果については、S-10ウェブページにおいて座談会報告として整理・公表した。また、会合で得られた逐語記録から、発言内容をカテゴリー化し、KJ法を参考にしたグループ化による整理も実施した。例えばハイレベル会合からは、国際的なガバナンスの不在、特に気候工学など何か新たな行動を意図的

に実施する場合の国際的な約束事の重要性が指摘されたまた、日本での政治的な意思決定について、環境、そして人命への意識は高まりつつあるが、依然として事件化してからでない政策には影響を及ぼさないとの認識が示された。また、将来的なビジョンがないこと、今後どのような社会にしていけるのかという議論がみられない事が本質的な問題として提起された。NGO、産業界については、同じ業界内での横の繋がりが強く、情報共有も活発に行われているものの、国際的なガバナンスが不在であることが明らかとなった。また産業界やNGOは、「不平等」「被害の激化」「自主的取り組み」「企業のビジネス」「グローバルビジネス」「市民への普及」を、エネルギー関連事業者は、「既存技術の活用と社会イノベーションへの期待」「技術開発のための国の支援の必要性」「政治主導による社会の方向性の提示の必要性といった制度設計について」の、政治家は、「問題の歴史的な経緯」「地球規模での利益と責任負担」「環境にも経済にもプラスになるインセンティブ・税等の社会制度設計、有権者とのコミュニケーションの必要性といった主に問題の背景構造ならびに社会の受容性」、についての視点を、それぞれ重視していることが明らかとなった。地方自治体、企業にとっては、気候変動の不確実性の多寡、適応策や緩和策の効果の実証に関して理解しにくく、大規模な投資が困難な状況にあるという認識がなされている。さらに、地方自治体にとっては、科学的・政策的に提示している目標値を達成するための社会像が明確でなく、また、そのためのアプローチも明確でないことから、政策としての決定に困難が伴うという意見が出された。結論として、異なるセクターや団体が情報を共有し、社会全体として気候変動リスクに対応しないと、パリ合意で示された目標は達成できず、ひいては持続可能な社会の構築も困難であることが明らかとなった。

(c)について、文献調査により、KJ法、グラウンデッド・セオリー・アプローチ（GTA）、フォーカスグループインタビュー（FGI）、内容分析などの手法整理を行ったうえで、対話会合調査のデザインやその結果分析に反映させた。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

S-10-1(1)の研究により、排出・濃度シナリオ(RCP)間でのエアロゾル排出量の違いが、降水量スケールリングパターンにシナリオ依存性をもたらし、その結果、開発された降水量シナリオに無視できない誤差を生じうることを定量的に示した。誤差の存在の指摘、ならびに誤差発生の原因に関する考察には、科学的な意義がある。

関連して、各種の温暖化影響指標の全球平均気温上昇(Δ GMT)との線形近似性についての評価も実施した。本研究で得られた知見(線形近似が成り立つセクタと成り立たないセクタの峻別)は、多様な排出経路の下での簡易手法による影響分析の妥当性を科学的に裏付けるとともに、各セクタの影響の生起のメカニズム・因子の理解にも資するものである。

また、複数の社会経済シナリオ(SSP1~SSP3)を前提条件とした排出経路分析を、複数温室効果ガスを区別して行えるように既存モデルの改良を行い、新たな動学的最適化モデルSCM4OPTを開発した。パリ協定の1.5°C目標に代表される負の排出を含むGHG削減経路分析を、従来に比べてより細やかに実施できるようになった。

S-10-1(3)の研究により、多段意思決定と動的計画の枠組み、規範的な意思決定の枠組み、時間選好率・割引率の役割、リアルオプション評価についての理論分析を通して、環境政策問題のモデル化・定式化に対してより明確な科学的基礎を与え、政策モデリングの帰結と意味合いについて理解を深めることが可能になった。

S-10-1(4)の研究により、対話型会合実施に関わる基礎的事項の整理、ならびに気候変動に関わる科学的アウトプットの対話型会合での効果的利用への認識の把握、を行うことが出来た。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

H26年度に作成したリスク管理戦略第一版(詳細版)に基づき、政策決定者・一般市民を対象に、高度な研究成果を簡潔に示すことを目標として、その概要版をICA-RUSレポート2015として作成・公表した。同レポートの内容については、環境省省内幹部向けS10勉強会(平成28年6月27日)、中央環境審議会長期低炭素ビジョン小委員会有識者ヒアリング(平成28年9月15日)において、江守正多S-10プロジェクトリーダーにより紹介された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

S-10-1(1)・S-10-1(2)は、S-10全体の研究知見をふまえ、S-10全テーマと共同でリスク管理戦略最終版(詳細版・概要版)を作成・公表した。パリ協定で言及のあるいわゆる「1.5°C目標」下での影響リスク評価ならびにその目標達成のための緩和策評価が戦略選択肢の一つとして含まれていることから、パリ協定への合意をふまえた今後の国際環境政策への貢献が期待できる。

S-10-1(2)は、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の内容を一般向け媒体(企業誌)向けに要約し、S-10研究の政策決定上の意義について論じた。これは、市民・民間企業に限らず、政策決定者に対しても、超長期の科学情報の政策意思決定上の取り扱いに関する意義と課題を伝える効果が期待される。

S-10-1(4)は、対話型会合の対象に行政を含めることで気候変動リスク管理戦略に対する行政ニーズを細やかに把握し、間接的ではあるものの、環境政策への貢献を研究期間にわたり行った。また、科学的研究成果の

利用について、気候変動の国際交渉で影響力を持つ関係者から意見を聴取することで、本研究からの発信のみならず、今後の地球温暖化関連研究を環境政策に生かしやすい情報とすることに貢献する。

なお、本テーマ参画者のうち、高橋、脇岡の2名は、代表執筆者として、IPCC第5次評価報告書(第2作業部会)の作成に参加し、S-10他の国内研究知見もふまえた原稿執筆を通じて、国際的な環境政策検討に貢献した。塩竈は、執筆協力者として、IPCC第5次評価報告書(第1作業部会)の作成に参加し、S-10研究成果についても国際的にアピールを行った。また、高橋は、S-10プロジェクトでの研究活動等をふまえ専門性を評価され、IPCC1.5°C特別報告書スコーピング会合(2016年8月・ジュネーブ)に招聘され、同報告書の骨子検討に貢献した。同じく本テーマ参画者のうち、脇岡は、同IPCC特別報告書に代表執筆者として選出され、第1回執筆者会合(2017年3月)出席他、同報告書作成作業に貢献している。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

1) A. Tanaka, K. Takahashi, Y. Masutomi, N. Hanasaki, Y. Hijioka, H. Shiogama, Y. Yamanaka: Scientific Reports, 5 (14312) (2015)

“Adaptation pathways of global wheat production: Importance of strategic adaptation to climate change.”

2) P. Good, J.A. Lowe, T. Andrews, A. Wiltshire, R. Chadwick, J.K. Ridley, M.B. Menary, N. Bouttes, J.L. Dufresne, J.M. Gregory, N. Schaller, H. Shiogama: Nature Climate Change, 5, 138-142 (2015)

“Nonlinear regional warming with increasing CO2 concentration.”

3) H. Shiogama, D. Stone, S. Emori, K. Takahashi, S. Mori, A. Maeda, Y. Ishizaki, M.R. Allen: Scientific Reports, 6 (2016)

“Predicting future uncertainty constraints on global warming projections.”

4) B.C. O’Neill, M. Oppenheimer, R. Warren, S. Hallegatte, R.E. Kopp, H.O. Poertner, R. Scholes, J. Birkmann, W. Foden, R. Licker, K.J. Mach, P. Marbaix, M.D. Mastrandrea, J. Price, K. Takahashi, J.P. van Ypersele, G. Yohe: Nature Climate Change, 7, 28-37 (2017)

“IPCC reasons for concern regarding climate change risks.”

5) 前田章, 長屋真季子: 経済政策ジャーナル10(2): 40-43 (2013)

「気候変動政策モデルにおける世代内と世代間の衡平性」

他22編 ・ 計27編

(2) 主な口頭発表(学会等)

1) Y. Goto-Maeda, S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, Y. Tanaka, H. Fukuda, K. Fukushi, M. Kawamiya: AGU Chapman Conference, Colorado, USA, 2013

“Enhancing Communication between Journalists and Scientists on Climate Change in Japan.”

2) K. Takahashi, S. Emori, Y. Yamagata, S. Kanae, S. Mori, Y. Fujigaki: 1.5 Degrees: Meeting the challenges of the Paris Agreement, Abstracts, 77-78, 2016

“Comparing risks for aiming at 1.5°C, 2.0°C and 2.5°C degree targets with climate uncertainties”

他143題 ・ 計145題

7. 研究者略歴

課題代表者: 高橋 潔

京都大学工学部衛生工学科卒業、工学博士(京都大学)、現在、国立環境研究所社会環境システム研究センター広域影響・対策モデル研究室室長

研究分担者

1) 佐藤 将史

米国UCLA Luskin School of Public Affairs, Master of Public Policy修了、公共政策学修士、理学修士(東京大学)、現在、野村総合研究所ICT・メディア産業コンサルティング部上級コンサルタント

2) 前田 章

米国スタンフォード大学大学院Engineering-Economic Systems and Operations Research専攻博士課程修了、工学修士(東京大学)、M.S.(スタンフォード大学)、Ph.D.(スタンフォード大学)、現在、東京大学大学院総合文化研究科教授

3) 福士 謙介

米国ユタ大学大学院工学研究科土木環境工学専攻博士課程修了、工学修士(東北大学)、Ph.D(ユタ大学)、現在、東京大学サステイナビリティ学連携研究機構教授

S-10-1 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

(1) 統合評価ツールによる気候変動リスク管理戦略の定量的解析

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター	広域影響・対策モデル研究室	高橋潔・亀山康子
社会環境システム研究センター	地域環境影響評価研究室	脇岡靖明
地球環境研究センター	気候モデリング・解析研究室	塩竈秀夫

<研究協力者> 田中克政（平成26～28年度）、田中朱美（平成25～27年度）、申龍熙、蘇宣銘（平成25～28年度）、佐尾博志（平成28年度）

平成24～28年度累計予算額：118,768千円（うち平成28年度：20,305千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

S-10は、気候安定化目標を含む全球規模での総合的な温暖化対策の道筋を合理的に決定するリスク管理戦略の提案をプロジェクトの最終目標として掲げた。同目標の達成を目指し、S-10-1では、戦略課題全体の司令塔（総括班）として、テーマ間の研究調整・連携促進ならびに課題全体の進行管理の役割を担いつつ、各テーマが生み出す研究知見を総合化し、リスク管理戦略の解析の枠組みを定め、地球規模の気候変動リスク管理戦略の解析を実施した。そのうち、S-10-1(1)では、以下の8項目の研究あるいは研究関連業務を実施した。(1)S-10全体の総括班としての研究調整業務、(2)逐次意思決定に注目した気候予測不確実性の低減時期の推定、(3)全球大循環モデルの挙動を模倣する簡易気候モデルの開発・改良、(4)気候シナリオ開発におけるパターンスケールリング手法の適用可能性の検討、(5)気候変動影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性について評価、(6)統合評価ツールへの影響関数の実装（全球作物収量影響関数の開発）、(7)動学的最適化型統合評価モデルの開発と最適排出経路の分析、(8)S-10-2・S-10-3の分析ケース出力を応用した戦略選択肢別の影響リスク分析。

例えば研究(7)では、複数の社会経済シナリオ(SSP1～SSP3)を前提条件とした排出経路分析を、複数温室効果ガスを区別して行えるように既存モデル(DICEモデル)の改良を行い、新たな動学的最適化モデルSCM40PTを開発した。パリ協定の1.5℃目標に代表されるネガティブエミッションを含む温室効果ガスの削減経路の分析を、従来に比べてより細やかに実施できるようになった。その削減経路の分析結果は、S-10-4の統合評価モデルチームに渡され、詳細な緩和対策分析の共通前提条件として用いられるとともに、研究(8)の戦略選択肢別の影響リスク分析の入力条件として用いられた。(それらの詳細な緩和対策分析結果ならびに影響リスク分析結果が、S-10全体で提示するリスク管理戦略を構成した。)

[キーワード]

リスク管理、気候変動リスク、地球規模、総合解析

1. はじめに

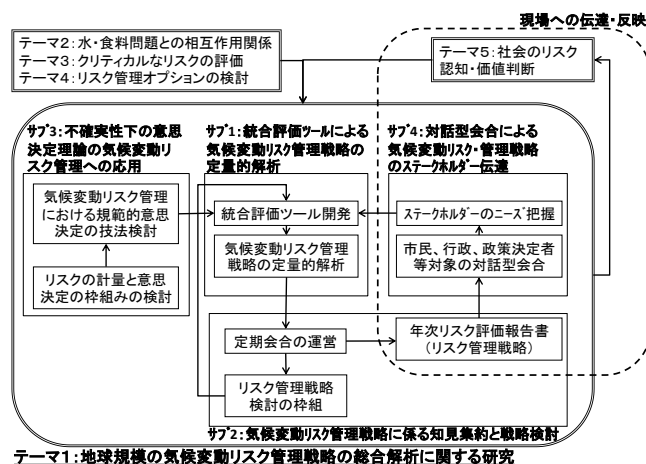
本研究課題の構想時期（2011～2012年）直前、気候変動枠組条約COP16カンクン合意において、全球平均気温上昇を工業化前比2℃以内に抑えるとの目標が示された。また、同目標が枠組条約第2条との関係から十分であるかについて、ならびに、目標達成に向けた国際的な緩和行動の進め方の枠組みについて、2013～2015年の間にレビューを行うとされた。一方で、2℃目標達成に向け、国際的に大幅なGHG削減が必要となるが、大幅削減に向けた国際的な合意は停滞しつつあった。そうした状況をふまえ、S-10では、「クリティカルな気候変動リスクの分析」、「気候変動リスク管理に向けた土地・水・生態系の最適利用戦略の分析」、「幅広い気候変動リスク管理オプションの評価」、「気候変動リスク管理問題への科学技術社会論の適用」により、制約条件、不確実性、リスク管理オプション、社会の価値判断を網羅的に考慮した、地球規模での気候変動リスク管理戦略を構築・提示し、国際的合意形成への寄与、日本の交渉ポジション・国内政策立案の支援、国民の気候変動問題への理解の深化に貢献することを目指した。

S-10が以上の目標を達成するためには、課題全体の司令塔として、テーマ間の研究調整・連携促進ならびに課題全体の進行管理の役割を担いつつ、各テーマが生み出す研究知見を総合化し、地球規模の気候変動リスク管理戦略の解析を実施する研究課題が必要であり、S-10ではS-10-1がその役を担った。典型的な研究知見の総合化の方法としては、(1)専門家やステークホルダーの集団的検討に基づく科学的知見の評価（例：IPCC評価報告書）や、(2)計算機モデル・ツールを用いた定量的分析が挙げられる。前者の方法の長所には、定性的知見まで検討に含めうる柔軟性がある。一方で後者の方法には、分析の前提条件の整合性の確保、不確実性の定量的取扱いといった点で、リスク管理戦略の客観的な比較考量に際して優位性がある。S-10-1では、S-10-1(2)が運営する定期会合を用いて前者の方法で柔軟かつ包括的な戦略検討を実施するとともに、S-10-1(1)では統合評価ツールの開発に取り組み、またそれを用いたリスク管理戦略の定量的解析を実施し、S-10全体での研究目標達成への貢献を目指した。

2. 研究開発目的

S-10は、(1)気候安定化目標を含む地球規模での総合的な温暖化対策の道筋を合理的に決定するリスク管理戦略の提案、(2)いくつかの地球規模での具体的な目標についての考え方の提示、をプロジェクト全体の最終目標とした。それらのプロジェクト全体の成果目標の達成を目指し、テーマ1では、戦略課題全体の司令塔（総括班）として、テーマ間の研究調整・連携促進ならびに課題全体の進行管理の役割を担いつつ、各テーマが生み出す研究知見を総合化し、リスク管理戦略の解析の枠組みを定め、地球規模の気候変動リスク管理戦略の解析を実施することとした。このため、各テーマが提供する気候変動リスクおよび対策に関する知見を、統合評価ツールへの組み込みを通じて定量的に（S-10-1(1)）、知見集約と議論を通じて定性的に（S-10-1(2)）総合化し、リスク管理戦略について解析を実施した。また、意思決定理論の数理的応用（S-10-1(3)）、実践を通じたリスク伝達（S-10-1(4)）ならびにリスク認知・判断に関するS-10-5の研究成果をふまえ、

リスク管理戦略解析の枠組みを研究実施期間内に定期的に見直した。図(1)-1にS-10-1におけるサブテーマ間の関係を示す。



図(1)-1 S-10-1 のサブテーマ間の関係

これらの目的の達成のために、S-10-1(1)では、以下の3区分・8項目の研究あるいは研究関連業務を実施した。「3. 研究開発方法」ならびに「4. 結果及び考察」については、項目別にその実施内容を説明する。

- ・ (1)S-10全体の総括班としての研究調整業務
- ・ 気候変動リスク管理戦略の定量的解析に関連した評価手法の高度化
 - (2)逐次意思決定に注目した気候予測不確実性の低減時期の推定
 - (3)全球大循環モデルの挙動を模倣する簡易気候モデルの開発・改良
 - (4)気候シナリオ開発におけるパターンスケリング手法の適用可能性の検討
 - (5)気候変動影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性について評価
 - (6)統合評価ツールへの影響関数の実装（全球作物収量影響関数の開発）
- ・ 気候変動リスク管理戦略の定量的解析
 - (7)動学的最適化型統合評価モデルの開発と最適排出経路の分析
 - (8) S-10-2・S-10-3の分析ケース出力を応用した戦略選択肢別の影響リスク分析

3. 研究開発方法

(1) S-10全体の総括班としての研究調整業務

総括班としてS-10全体の研究調整業務を実施した。いわゆる「研究」の範疇には入らないが、総括班の任務としてエフォートを割き実施した事項であるため、ここでその概要を記す。

例えば、リスク管理戦略解析の実施計画の検討に関して、他テーマからも参加を得て、テーマ横断の「概念検討ワーキンググループ」・「シナリオワーキンググループ」・「適応評価ワーキンググループ」を組織・運営し、既存のリスク管理枠組の全球規模気候リスクへの適用可能性の検討、S-10が示すリスク管理戦略の具体的オーディエンス（想定するリスク管理主体）の検討、リスク管理戦略の構築を目指し各テーマが共通に取り組む分析ケース（共通シナリオ）の検討、S-10における適応評価のアプローチの検討などを行った。

また、研究者向けあるいは一般市民向けのワークショップ・シンポジウムの企画・主催を担当した。例えば平成25年度には、国立環境研究所温暖化研究プログラムと共同で国際ワークショップを実施し、海外の関連研究者も交えた研究交流、リスク管理戦略の構築に向けた意見交換を実施した。平成27年度には「温暖化リスクメディアフォーラム：各国約束草案（INDC）をどう捉えるか？ーリスクの観点からー」と銘した研究者とメディア関係者（新聞記者、テレビ番組制作者、気象予報士等）の交流集会を、これも国立環境研究所温暖化研究プログラムと共同で実施し、S-10の解析結果をふまえ、COP21（パリ）直前のタイミングで各国約束草案の全球規模での気候変動リスク管理への含意についての議論を行った。さらに平成28年度には、パリ協定の中で「1.5℃に抑える努力の追求」が言及されたことを受けて、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムとの共催で、「1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）研究者集会」を緊急開催し、関連の研究知見についての情報交換・意見交換を実施した。また、平成26年度・28年度には、それぞれ「地球規模の気候リスクにどう対処するか ～人類の選択肢を考える」・「地球温暖化対策の長期目標を考えるーパリ協定の「1.5° C」、「2° C」目標にどう向き合うか？」と銘した市民公開シンポジウム（いずれも講演とパネル討論でプログラムを構成）を開催し、両時点までのS-10研究成果の伝達と国民対話に取り組んだ。いずれの会合についても、講演スライド等を整理し、S-10ウェブページ (<https://www.nies.go.jp/ica-rus/report.html>) で配信している。

（2）逐次意思決定に注目した気候予測不確実性の低減時期の推定

リスク管理戦略の定量的解析手法の高度化に向けた取り組みの一つとして、特に情報の増加・蓄積を活かした繰り返しの意思決定（逐次意思決定）に注目し、将来に気候変化の観測データの蓄積があった場合に気候予測の不確実性がいつ頃までにどの程度減少しうるか推定するための手法の提案と分析を行った。これまでも、将来の気候変化予測の不確実性幅の制約のために、気候モデル（GCM）による過去の気候の再現実験出力と同時期の気候の観測情報を比較し、その一致度を用いる方法が提案・活用されてきた。今後も観測が継続されれば、より長期の観測情報が利用可能になり、また気候変化のシグナルも増大するため、予測不確実性をより良く制約しうるものと予想できる。本研究では、各国気候モデル研究チームが実施した複数の気候予測（CMIP5データ）を活用し、そのうち一つの気候予測を将来のある時点までの仮の観測値（仮の真値）として扱い、当該時点以降の気候予測の不確実性幅を、その他気候予測を用いて推定する。同様の操作を、各気候予測を仮の観測値として順に気候予測の数だけ行い、その平均として不確実性幅を算定し、それが将来にどのように減少していくか調べた。

X年まで全球平均気温の観測情報が蓄積された場合に、（X年よりも後の）20Y0年代までの全球気温上昇量をどの程度の精度で予測できるようになるかの見通しを、4つの異なるGHG濃度経路（RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5）別にCMIP5データを用いて推定した。

（3）全球大循環モデルの挙動を模倣する簡易気候モデルの開発・改良

既存の簡易気候モデル（MAGICC6）に基づき簡易気候モデルを開発した。大気大循環モデルの全球平均気温上昇量を模倣する際に重要となる平衡気候感度、海洋の熱拡散係数、エアロゾルの放射強制力、全球平均フィードバックファクターの感度因子を、20世紀については観測の全球平均気温の上昇量、2005年における大気上端の放射強制力、700m深まで積算した海洋の表層貯熱量の

変化、21世紀についてはMIR0C5の全球平均気温の上昇量を制約に与えてマルコフ連鎖モンテカルロ法で推定した。また推定されたモデルパラメータでの大気大循環モデルの模倣の精度について確認した。

(4) 気候シナリオ開発におけるパターンスケーリング手法の適用可能性の検討

パターンスケーリング手法の適用可能性の検討を実施した。温暖化の影響評価や適応策を考える際には幅広い範囲の排出シナリオの結果が必要となるが、大気大循環モデルを用いて様々な排出シナリオで予測を行うには膨大な計算機資源が必要となる。パターンスケーリングは、簡易気候モデルとともに、このような幅広い排出シナリオに基づいた将来予測を行うために非常に有益なツールである。パターンスケーリングにおける重要な仮定は、大気大循環モデルの結果から全球上昇気温で規格化された空間パターン（スケーリングパターン）が排出シナリオ間で共通であるということである。これまで、地表気温スケーリングパターンの排出・濃度シナリオ（RCP）依存性は調べられているが、降水スケーリングパターンについてはまだ調べられていない。また、降水量の変化にはエアロゾルも重要であることが指摘されている。そこで、本研究ではRCP間のエアロゾルの排出量の違いが降水量スケーリングパターンに与える影響を調べた。

(5) 気候変動影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性について評価

S10-2・S10-3が提供する影響分析出力を活用した影響の簡易分析手法開発の一環として、各種影響の全球平均気温上昇（ Δ GMT）に対する線形近似性について評価した。仮に温暖化影響の変化が全球平均気温上昇（ Δ GMT）に対し線形と近似できるなら、ある Δ GMTレベルの線形的な延長として単純に各レベルの影響を推計できる。一方非線形であれば、 Δ GMTレベルが近くても影響には大きな差が生じる場合が考えられ、注意が必要である。本研究では、陸域生態系および水資源関連指標について、影響の変化が Δ GMTに対して線形なのか非線形なのかを統計的手法を用いて分析した。陸域生態系指標は、植生純一次生産（NPP）、野外火災によるCO₂放出（Fire）、土壌流出（Erosion）の3指標で、VISITモデルの出力を用いた。水資源指標は、表面流出量（Runoff）の1指標とし、H08モデルの出力を使用した。現在（1981-2000年）と将来（2010-2099年）について1年間隔、全球0.5°格子のデータを、各10年代平均（現在データは20年平均）し、全球（WLD）および7地域（EUR：ヨーロッパ、ASA：アジア、RUS：ロシア、LAM：中南米、MAF：中東アフリカ、NAM：北米、OCN：オセアニア）に領域集計して、現在の値に対する比を解析対象とした。影響評価の入力となる気候シナリオは、5つのGCM×4つのRCPシナリオの計20シナリオである。解析対象データを1981-2000年平均からの全球平均気温上昇（ Δ GMT8100）の0.1°C刻みのビン（0.3～3.5°C）に、各々±0.25°Cから重複を許して分類した。そして、 Δ GMT8100 = 1.5°C（ Δ GMT = 2.0°C；工業化前比）のビンのデータを線形的に延長したものと各ビンのデータの間、母平均の有意差があるか統計的検定を実施した。有意水準は10%とし、検定により有意差があった場合に非線形とみなした。

(6) 統合評価ツールへの影響関数の実装（全球作物収量影響関数の開発）

統合評価ツールへの気候変動リスクおよび対策に関する知見の組み込みに関しては、統合評価ツールAIM/Impact[Policy]への実装を想定し、全球作物収量影響関数の開発を行った。影響関数

は詳細モデルの主要気候因子を感度解析的に変化させて多数回シミュレーションを行い、出力された影響要素を地域別に平均し、収録したルックアップテーブルである。本研究では、詳細モデル（M-GAEZモデル）を用いて、気温と降水を変化させて感度解析を行い、その国別平均値をとって全球作物収量影響関数を作成した。影響関数の利点は、様々な気候変化の想定における地域別影響を迅速に導出できることである。一方、影響関数の注意点として、詳細モデルと異なり感度解析で変化させた因子のみ考慮可能であること、地域別集計してあるため地域内の因子変化の空間的差異が平均化されてしまうことが挙げられる。このため、影響関数の開発・利用に際しては、影響関数が詳細モデルをどの程度近似できているのか（詳細モデルに対する再現性）や、詳細モデルとの乖離の要因が何であるのかについて把握しておくことが重要である。本研究では、開発した影響関数による影響予測と詳細モデルを用いた影響予測の比較によって再現性を確認し、その差異の主因子について検討するとともに、開発した影響関数に基づき世界各国の主要作物の収量の気温ならびに降水量の変化に対する挙動を調べた。

（7）動学的最適化型統合評価モデルの開発と最適排出経路の分析

気候変動リスク管理戦略の定量的解析に関して、動学的最適化型統合評価モデルSCM40PTの開発・改良を実施し、リスク管理戦略選択肢に対応した経済最適な温室効果ガス排出経路の解析を実施した。SCM40PTの開発にあたっては、既存の統合評価モデル（DICE）をベースに、S-10-4(4)のAIM/CGEモデルによる3つのSSPシナリオ（将来の社会経済発展想定；SSP1/SSP2/SSP3）別の炭素価格－緩和量関係を、限界削減費用曲線（MAC）の形式で実装するとともに、複数の温室効果ガスならびにその他排出物質の削減努力についてより現実的に扱えるように簡易気候予測モジュールの高度化を実施した。

上記のモデル開発を行ったうえで、S-10戦略選択肢（全球平均気温上昇の上限とその達成確率で定義された長期気候目標；表(1)-2と表(1)-4に後掲）別の必要排出経路の分析を実施した。

（8）S-10-2・S-10-3の分析ケース出力を応用した戦略選択肢別の影響リスク分析

リスク管理戦略の解析に関しては、S-10-2、S-10-3が実施した分析ケース（5GCM×4RCPシナリオ×3SSPシナリオ；表(1)-1）別の影響リスク分析結果を受け取り、その分析結果を内挿補間（図(1)-2）して、平成26年度には(i)リスク管理戦略第1版で扱った表(1)-2に示す6つの戦略選択肢について、平成27年度には(ii)パリ協定に向け各国が示したINDC達成とその延長を想定した表(1)-3に示す3つの戦略選択肢について、それぞれに対応したセクタ別各影響指標の予測計算を、全球気候モデル（GCM）の不確実性幅を考慮したうえで、世界5地域別に実施した。一連の予測計算の手順については「リスク管理戦略第1版（詳細版；<http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version1/index.html>）」で詳しく説明している。

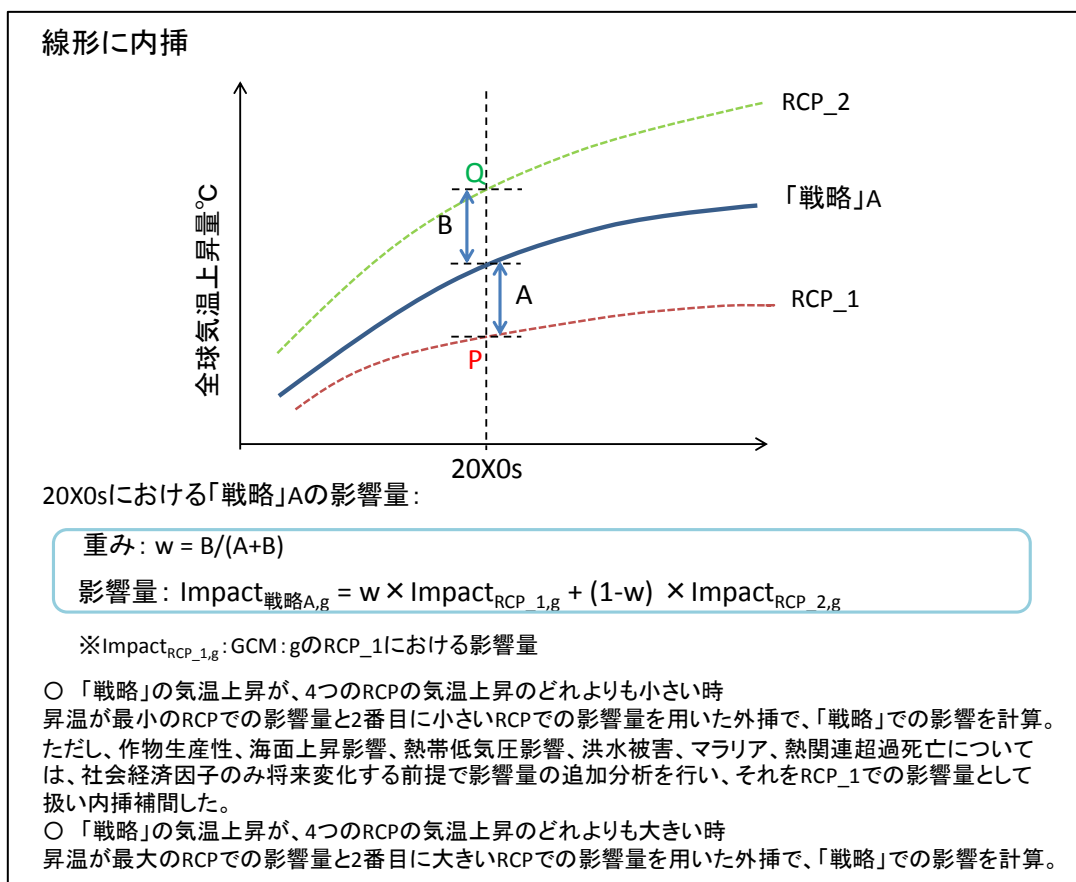
さらに、平成28年度には(iii)リスク管理戦略最終版で扱った表(1)-4に示す3つの戦略選択肢について、セクタ別各影響指標の予測計算を、全球気候モデル（GCM）の不確実性幅を考慮したうえで、世界26地域別に実施した。一連の計算手順については「リスク管理戦略最終版（詳細版；<http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version2/index.html>）」で詳しく説明している。

なお、表(1)-2・表(1)-4の各戦略選択肢に対応した全球一地域での排出経路ならびにその排出経路の下での全球平均気温上昇経路の推定については、前項（7）で説明したように、複数の社

会経済シナリオ（SSP1～SSP3）を前提条件とした排出経路分析を行えるように開発・改良した動学的最適化型統合評価モデル（SCM4OPTモデル）を用いて実施した。

表(1)-1 S-10-2・S-10-3による影響評価ならびにS-10-4による対策評価の分析ケース

	分析ケース	備考
影響評価	計120種：以下の気候シナリオと社会経済シナリオの組合せを扱う。 ・気候シナリオ：20種 （＝排出シナリオRCP:4種×気候モデルCMIP5:5種） ・社会経済シナリオSSP：3種 ・適応の強さの想定：数種（影響指標による）	・各RCPシナリオについて、5つの共通の気候モデル出力で評価を実施する。 ・評価時期については、現在（1981～2000年）、近未来（2020年代）、中期（2050年代）、長期（2080年代）を基本とする。
対策評価	計10種：ベースライン（後述）の社会経済シナリオとしてSSP1・SSP2・SSP3を全モデルで共通想定。各SSPから以下の排出シナリオが想定する緩和目標（放射強制力水準）に至るケースを扱う。 → 対策無し（BAU）・RCP8.5・RCP6.0・RCP4.5・RCP2.6（ただし組合せの一部はベースラインの放射強制力水準の方がRCP水準に比べて小さいことから評価から除外した。）	・どのベースライン社会経済シナリオと緩和目標の組合せにも、それを実現しうる緩和策の組合せは多数存在する。そこで、特定の緩和策（バイオマスCCS等）の導入量に上限制約を加えたケースの分析も加える。



図(1)-2 「戦略」に対応した影響分析の簡易手法

表(1)-2 ICA-RUSリスク管理戦略第1版が評価対象とした6つの戦略選択肢

戦略選択肢名	目標温度水準 (工業化前比)	SCM4OPTの排出経路分析 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の気 候感度の設定
T15S30	1.5℃	3.0℃	3.0℃
T15S45	1.5℃	4.5℃	3.0℃
T20S30	2.0℃	3.0℃	3.0℃
T20S45	2.0℃	4.5℃	3.0℃
T25S30	2.5℃	3.0℃	3.0℃
T25S45	2.5℃	4.5℃	3.0℃

※BaU (reference) ケースとしてはSSP2に対応したシナリオを想定

表(1)-3 INDC達成を前提とした3つの戦略選択肢

戦略選択肢名	戦略選択肢の説明
Ref	気候政策無し (INDCも未達成)
INDCcont	2020年にコペンハーゲン合意を達成、2030年にINDC目標を達成。 その後21世紀にわたり2030年時点と同じ炭素価格を維持。
INDC2deg	2020年にコペンハーゲン合意を達成、2030年にINDC目標を達成。 その後に50%の確率で2℃目標を達成する排出政策を実施。

表(1)-4 ICA-RUSリスク管理戦略最終版が評価対象とした3つの戦略選択肢

戦略選択肢名	目標温度水準 (工業化前比)	SCM4OPTの排出経路分析で の気候感度想定 (°C) [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の気 候感度の設定 (°C)
T15S36	1.5℃	3.65℃	3.0℃
T20S36	2.0℃	3.65℃	3.0℃
T25S36	2.5℃	3.65℃	3.0℃

※BaU (reference) ケースとしてはSSP1/SSP2/SSP3を想定

4. 結果及び考察

(1) S-10全体の総括班としての研究調整業務

リスク管理戦略解析の実施計画の検討に関しては、例えば「概念検討ワーキンググループ」での既存リスク管理枠組の全球規模気候リスクへの適用可能性の検討の結果、異なる価値観を持つ複数意思決定主体の想定が必要であることから、それに適した国際リスクガバナンス協議会 (IRGC) の枠組みを採用することとした。検討経緯についてはICA-RUSレポート2013

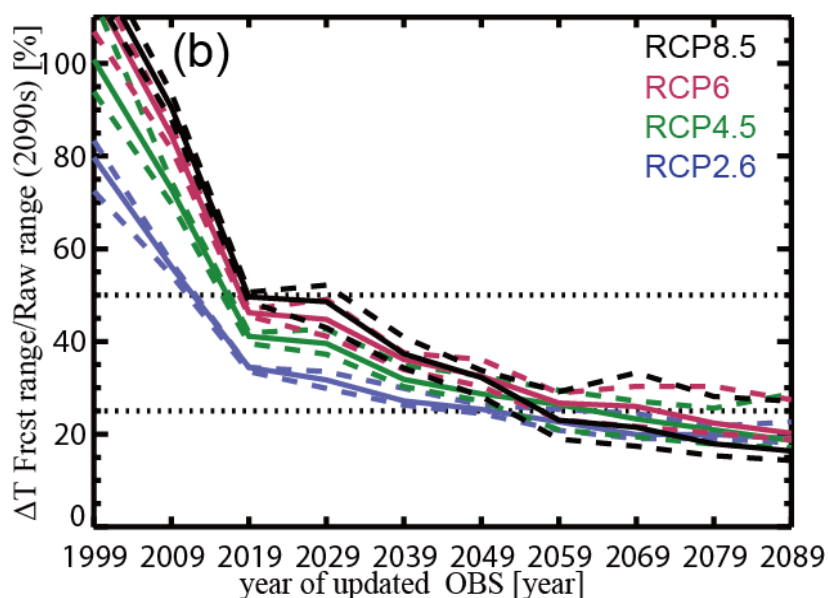
(<https://www.nies.go.jp/ica-rus/materials.html>) に詳述した。

また、リスク管理戦略解析の実施計画の検討に関連して開催した2013年度の国際ワークショップにおいては、例えばその総合討論において、(1)S-10の成果が現場の意思決定に真に役立つためには、不確実性を定量的に評価して示すだけでなく、各対策を選択・実施することのリスク管理の観点からの含意を伝える努力を含め、意思決定者による不確実性下での意思決定のサポートまで踏み込む必要があること、(2)日本で長期的視野にたった実効性ある温暖化リスク管理を進めるためには保守層やシニア層 (例えば企業経営者、政治家、行政幹部など) による理解・支持を得

ることが重要だが、（必ずしも気候変動問題に対して日頃から興味を持たない）それらの層に真剣に気候変動問題を考えてもらうためには、視点を変え、安全保障の観点から問題や対策について説明していくことが有効かもしれないこと、などが指摘された。

（2）逐次意思決定に注目した気候予測不確実性の低減時期の推定

気候変化の観測データの蓄積にともなう気候予測の不確実性の制約に関しては、異なるRCPの間で不確実性の減少速度について比較したところ、放射強制力水準の低いものほど減少速度が大きいたことが示された（図(1)-3）。また、今後6年間観測情報の蓄積が進んだ場合には、どのRCPシナリオにおいても不確実性幅が現状の50%以上減少するとの見通しが示された。ただし不確実性幅の減少速度はその後小さくなり、現状の不確実性幅の25%以下までその幅が制約されるには2049～2069年頃まで待たねばならないことも同時に示された。この不確実性幅制約の見通しを緩和策・適応策の検討・実施にどのように活かしていくことが出来るか、さらに検討・提示していくことが必要である。



図(1)-3 全球平均気温観測の蓄積に伴い期待される全球平均気温予測の不確実性の減少率

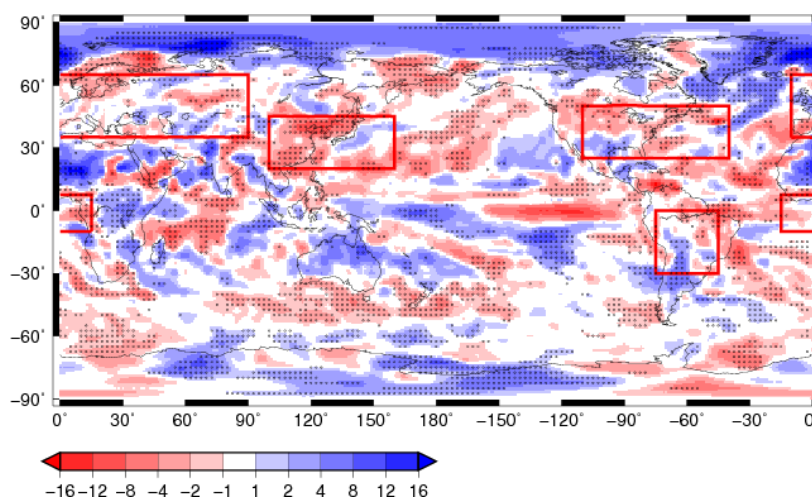
（3）全球大循環モデルの挙動を模倣する簡易気候モデルの開発・改良

簡易気候モデルの開発とMIROC5の挙動を模倣するためのモデルパラメータの推定に関しては、RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5におけるMIROC5の全球平均気温の上昇量を良い精度で模倣することができた。また、推定されたパラメータの値を一つずつ変える感度実験の結果から、大気大循環モデルの全球平均気温上昇量を模倣する際には、平衡気候感度の推定が最も重要であることが示された。加えて、海洋の熱拡散係数やフィードバックファクターの感度因子についても重要であることが示された。

（4）気候シナリオ開発におけるパターンスケーリング手法の適用可能性の検討

RCP間のエアロゾルの排出量の違いが降水量スケールパターンに与える影響については、以

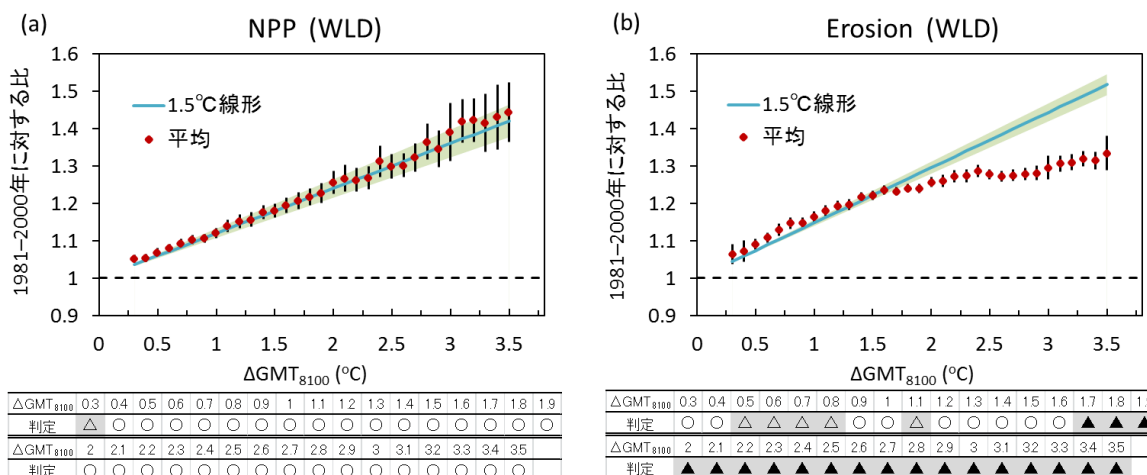
下のことが示された。全球平均気温1℃あたりの硫酸塩エアロゾルと炭素性エアロゾル排出量の減少率は、北米東部やヨーロッパ、東アジア、南米、ギニア湾周辺で有意に異なる(図(1)-4の赤枠内の領域)。これらの地域では、全球平均気温1℃あたりの地表に到達する日射量の変化も大きく異なる。一方、全球平均気温1℃あたりの降水量の変化は北米東部、東アジア、ギニア湾周辺でRCP間に有意な違いがみられるが、ヨーロッパや南米の中央部では見られない(図(1)-4)。熱収支を調べたところ、海上では主に、全球平均気温1℃あたりの地表に到達する日射量の変化の違いと全球平均気温1℃あたりの潜熱の変化の違いが付きあっている。一方、陸上では、潜熱だけでなく顕熱と長波放射の変化の違いも大きかった。このため、大部分が陸上であるヨーロッパ、南米中央部では、地表に到達する日射量の変化の違いほど、潜熱の変化の違いは大きくない。ヨーロッパや南米中央部で、全球平均気温1℃あたりのエアロゾル排出量の減少率にRCP間で有意な違いがあるにもかかわらず、降水量の変化に違いが表れなかったのは、全球平均気温1℃あたりのエアロゾル排出量の減少率が大きかった地域の大部分が陸上であったためである。



図(1)-4 RCP8.5とRCP2.6のスケーリングパターンの違い(降水量変化率(%/K))
赤枠内の領域は全球平均気温1℃あたりのエアロゾル排出量が大きく異なる地域

(5) 気候変動影響の全球平均気温上昇に対する線形近似性について評価

各種影響の Δ GMTとの線形近似性の評価に関して、WLDでは、Erosionを除く各指標の変化は Δ GMT₈₁₀₀ = 1.5℃の影響に対しほぼ線形となった。Erosionは Δ GMT₈₁₀₀ \geq 1.7℃で非線形となり、GMT上昇により増加傾向が鈍化する傾向がみられた(図(1)-5)。地域別で見ても、Erosionは概ね Δ GMT₈₁₀₀ \geq 2.0℃前後で非線形となり、1.5℃影響の線形変化よりもグラフが下にずれていた(つまり、増加傾向は鈍化し、減少傾向は加速する)。その他の指標には地域差がみられ、例えばFireは、北半球高緯度のRUSでは Δ GMT₈₁₀₀ \geq 2.5℃で1.5℃影響の線形変化よりも上にずれ、増加傾向が加速した。全球で見ると線形となるが、地域により非線形性がみられることは、地域別変化が平均化されると影響変化が概ね線形となり、ある Δ GMTレベルでの影響を線形的に延長して比較的簡易に各 Δ GMTレベルの影響を推計できる一方で、各地域の挙動はそれと異なり軽視できないことを示唆する。また、基準気温(Δ GMT₈₁₀₀ = 1.5℃)に近い Δ GMTでも非線形性がみられることから、 Δ GMTレベルが近くても影響には非線形的な差が生じうることに留意する必要がある。



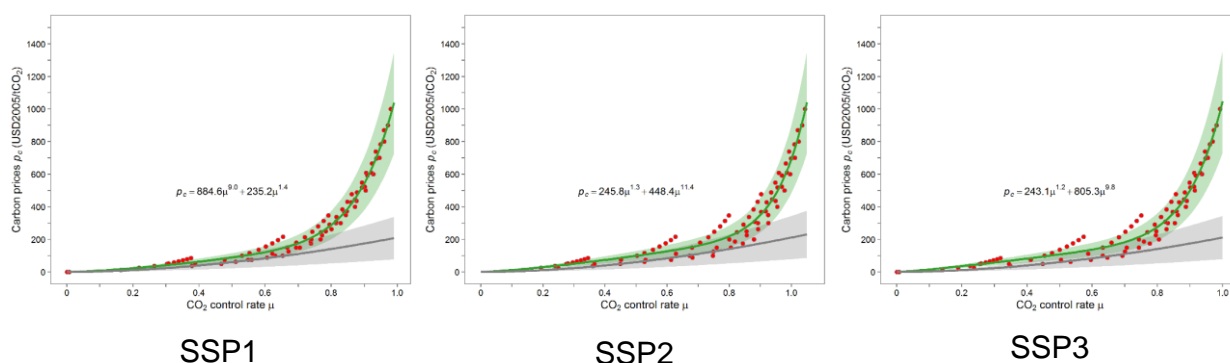
図(1)-5 全球 (WLD) における、(a) NPP、(b) Erosion の Δ GMT8100に対する変化 (1981-2000年に対する比で示す) と、各 Δ GMT8100レベルの線形性の判定結果 (グラフのマークとエラーバーは各ビンの平均および信頼区間。実線と陰影は1.5°C影響を線形的に延長した値の平均と信頼区間を示す。表の○は線形、△は非線形 (上にずれる)、▲は非線形 (下にずれる) を示す。)

(6) 統合評価ツールへの影響関数の実装 (全球作物収量影響関数の開発)

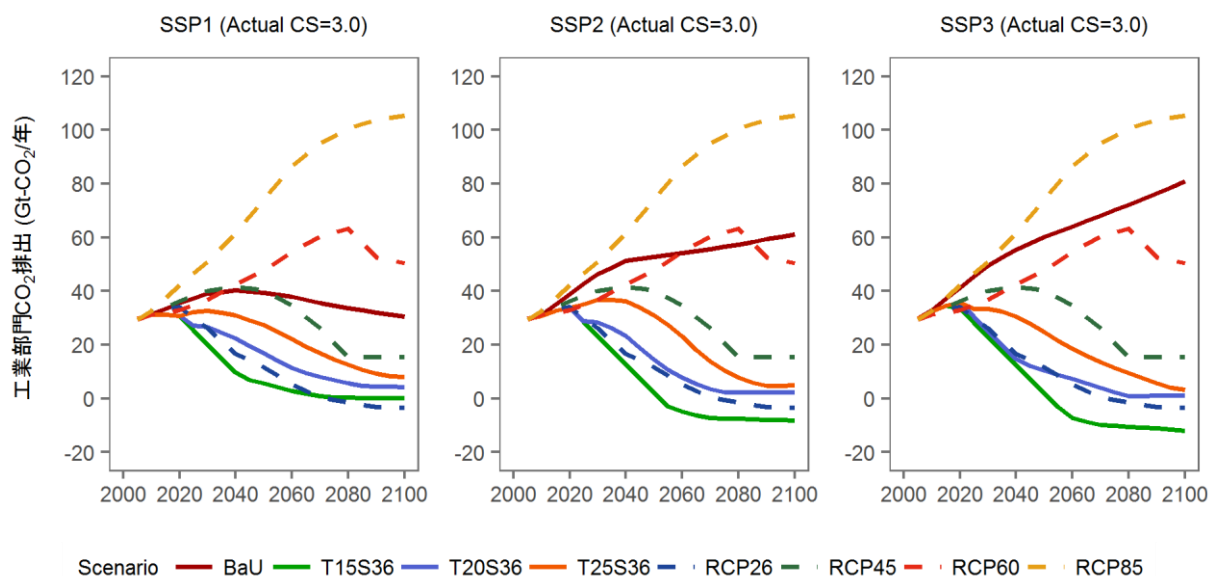
作物収量影響関数の開発とそれを用いた分析に関しては、作物や国により気温と降水に対する収量の感度が異なり、収量の減少が現れる気温変化や降水変化率が異なることが示された。生産量上位国について、アメリカや中国のトウモロコシおよびコムギは降水量の増加に伴い収量の増加が見込まれたが、ブラジルのトウモロコシやインドネシアのコメについてはほとんどの感度解析ケースで収量が減少した。特に、前者は降水が現在の50%未満、後者は降水が現在の75%未満になると収量の減少率が大きかった。また、インドでは4°Cの気温上昇でコムギがほとんど収穫できなくなることが示唆された。通常、このように幅広いレンジの気候変化に対する応答を解析するには、詳細モデルを用いて多数回シミュレーションを行うことが必要となる。影響関数の利点は、事前にルックアップテーブルとして整備しておくことで任意の気候変化 (気温・降水の変化) による各国の作物収量への影響量を迅速に導出し、気温や降水の変化に対する各国の収量変化の傾向を容易に把握できることである。この点において、影響関数の政策支援の場での有効活用が期待できる。影響関数の詳細モデルに対する再現性はトウモロコシとコメがおおむね±20%、コムギがおおむね±30%であった。詳細モデルに対する再現性が±30%以上となる統計生産量上位国はトウモロコシで5か国、コムギで7か国あり、これらの国を扱う際には注意が必要である。影響関数の詳細モデルとの差異の主な要因は気候因子の年平均値を用いたことで、トウモロコシとコメは特に降水変化率、コムギは気温変化の年平均値を用いたことの影響が大きかった。年平均値を数か月平均値に詳細化することで詳細モデルに対する再現性を向上させることができるが、平均すべき月の選択や月数については作物・地域毎に検討することが望ましく、計算負荷の増加も見込まれることから慎重な検討が必要である。現段階では、開発した影響関数の現状の詳細モデルに対する再現性を把握した上で利用することが肝要である。

(7) 動学的最適化型統合評価モデルの開発と最適排出経路の分析

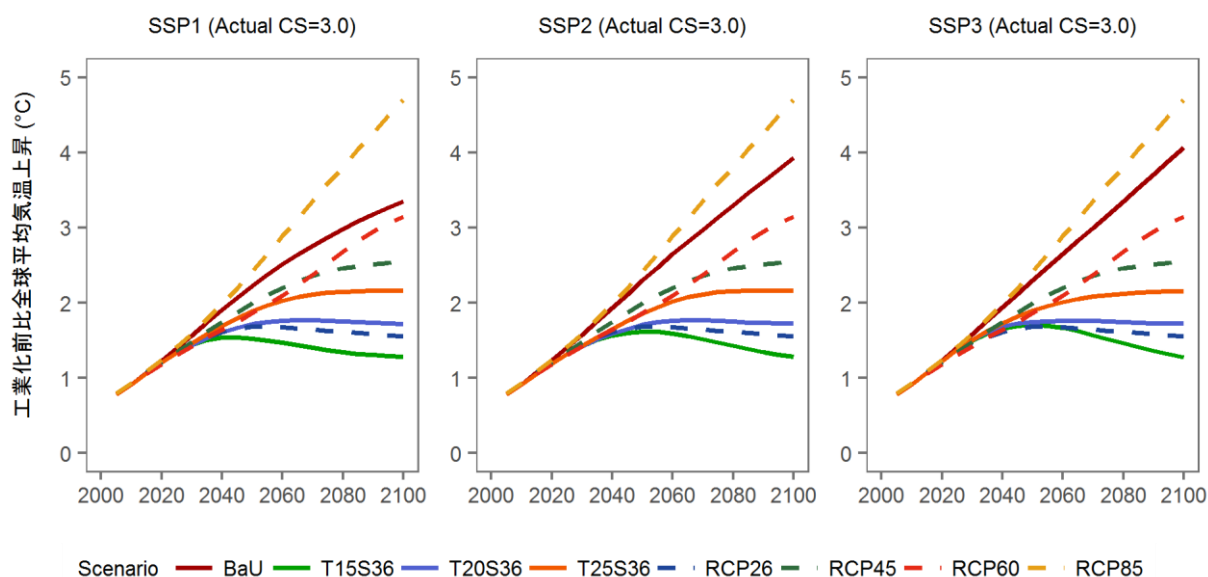
図(1)-6はSCM40PTに実装されたSSP別の工業部門CO2排出の限界削減費用曲線（MACカーブ）を示している。緩和の困難さの大小関係（SSP1<SSP2<SSP3）を反映し、SSP3（分断化社会）における緩和費用の相対的高さが見て取れる。同様のMACカーブが、CO2以外の温室効果ガスやその他物質についても推定・実装された。また、図(1)-7ならびに図(1)-8は、SCM40PTを用いて推計された、SSP別の、3つの戦略選択肢（T15S36/T20S36/T25S36）に対応した最適排出経路（工業部門CO2排出）ならびに全球平均気温上昇（工業化前比）である。これらの分析結果は、S-10-4のモデルチームに返されて詳細な緩和対策分析の前提として用いられるとともに、後述の戦略選択肢別影響計算の入力条件として用いられた。



図(1)-6 SCM40PTに実装されたSSP別の工業部門CO2排出の限界削減費用曲線（MACカーブ）



図(1)-7 3つの戦略選択肢（T15S36/T20S36/T25S36）に対応した最適排出経路（工業部門CO2排出）



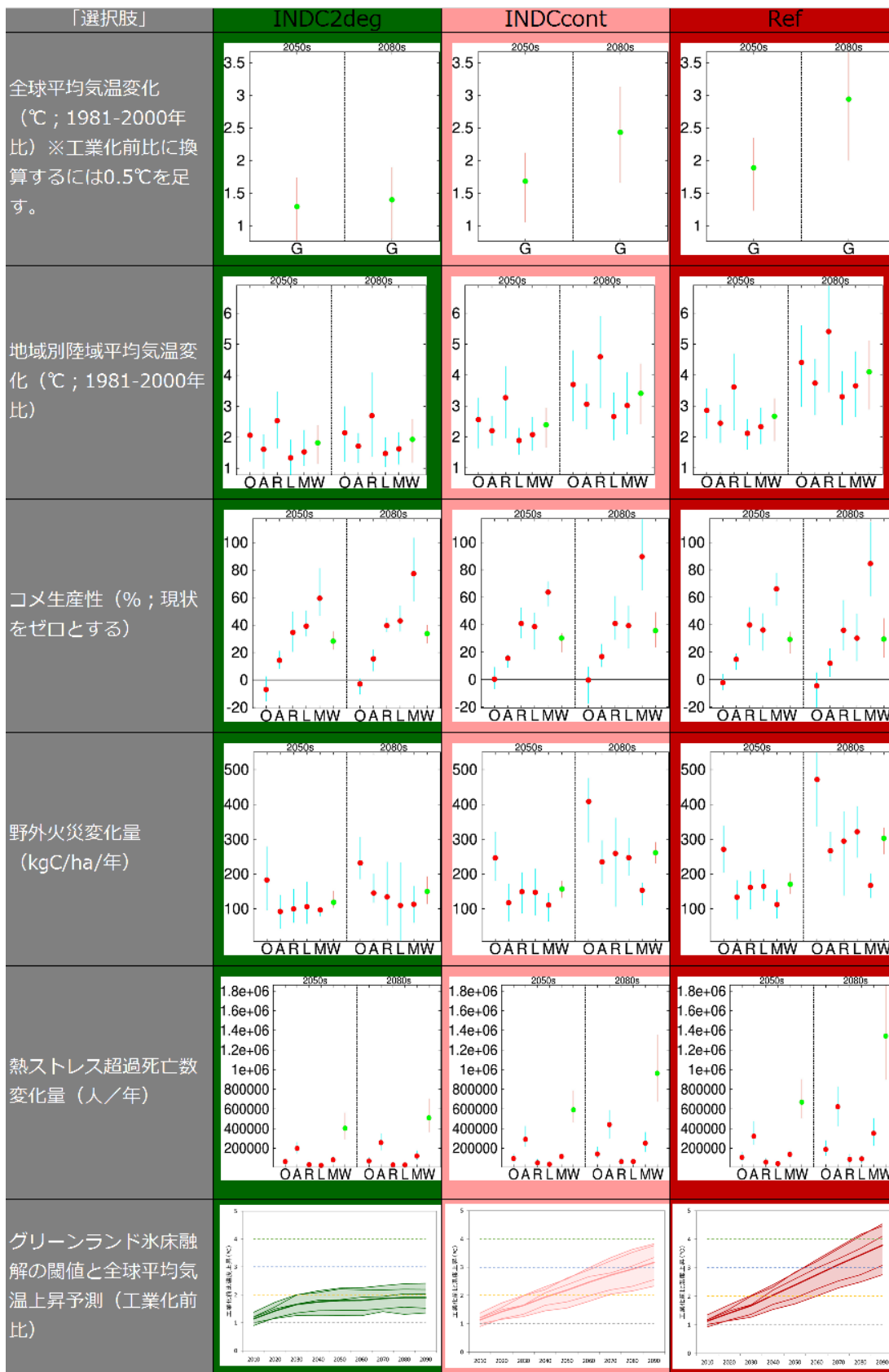
図(1)-8 3つの戦略選択肢(T15S36/T20S36/T25S36)に対応した全球平均気温上昇(工業化前比)

(8) S-10-2・S-10-3の分析ケース出力を応用した戦略選択肢別の影響リスク分析

リスク管理戦略最終版がリスク管理戦略第1版の追加改訂の位置づけであることから、(i)リスク管理戦略第1版が扱った表(1)-2が示す6つの戦略選択肢でのセクタ別影響リスクの評価結果については、本報告書での結果・考察の掲載を省略する。

各国INDC達成を前提としたセクタ別影響リスクの評価に関して、図(1)-9は、各「選択肢」(Ref、INDCcont、INDC2deg)での気候ならびに各セクタ影響指標の、現状(1981~2000年)から2050年代(左)・2080年代(右)への変化量または変化率を示している。社会経済想定(人口・GDPの変化)にはSSP2(中庸)シナリオを用いた。0:OECD、A:アジア、R:旧ソ連・東欧、L:ラテンアメリカ、M:中東・アフリカ、並びにW:世界平均を示す。図中の縦棒(5地域:水色;世界:肌色)はGCMの不確実性幅を、中央の点(5地域:赤;世界:緑)は推計値の平均を示している。(評価されたセクタ別影響指標の一部を掲載。)

全球平均気温で見た場合、Refに比べINDCcontでは2080年代までの昇温を約0.5°C小さく抑えることが期待できる。これはRefからINDC2degの間の気温差1.5°Cの約1/3に相当する。地域別陸域平均気温変化についても同様の昇温抑制効果が見て取れる。GCMの違いによる不確実性の幅は、Ref~INDC2degの気温差に比べ無視できない大きさを持つ。しかし、たとえ不確実性幅の下限値(縦棒の底値)を取ったとしても、INDCcontで工業化前比の全球平均気温変化が2°C以下になることは無さそうである。一方、INDC2degの場合、不確実性幅の上限値の場合でも、2°Cは超えてしまうが2.5°C弱の昇温に抑制することはできる。



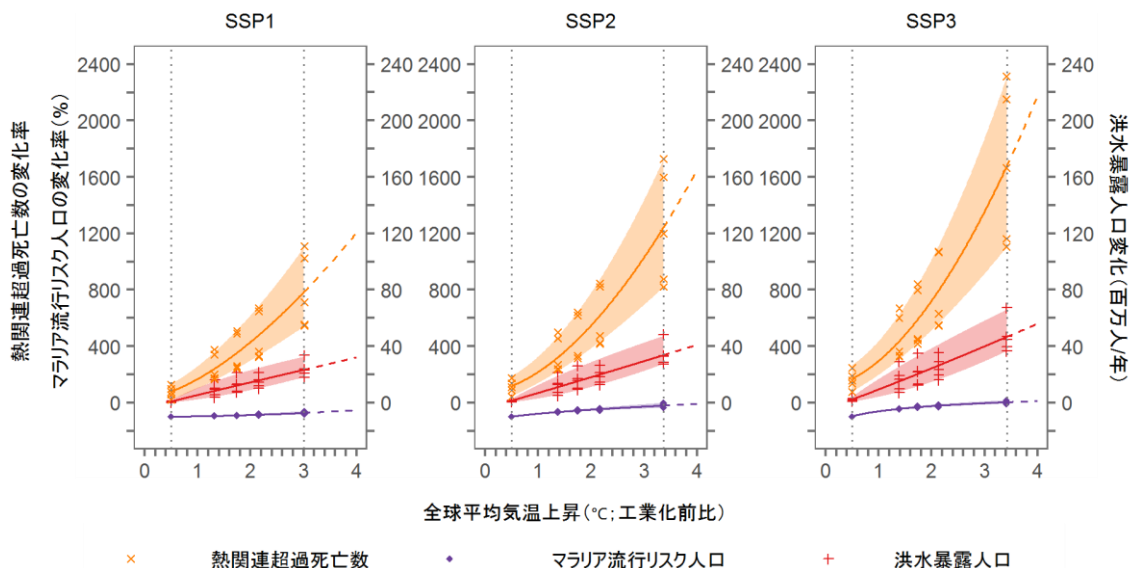
図(1)-9 各「選択肢」(Ref、INDCcont、INDC2deg)での気候ならびにセクタ別影響指標

セクタ別影響指標の評価結果を以下に記す。

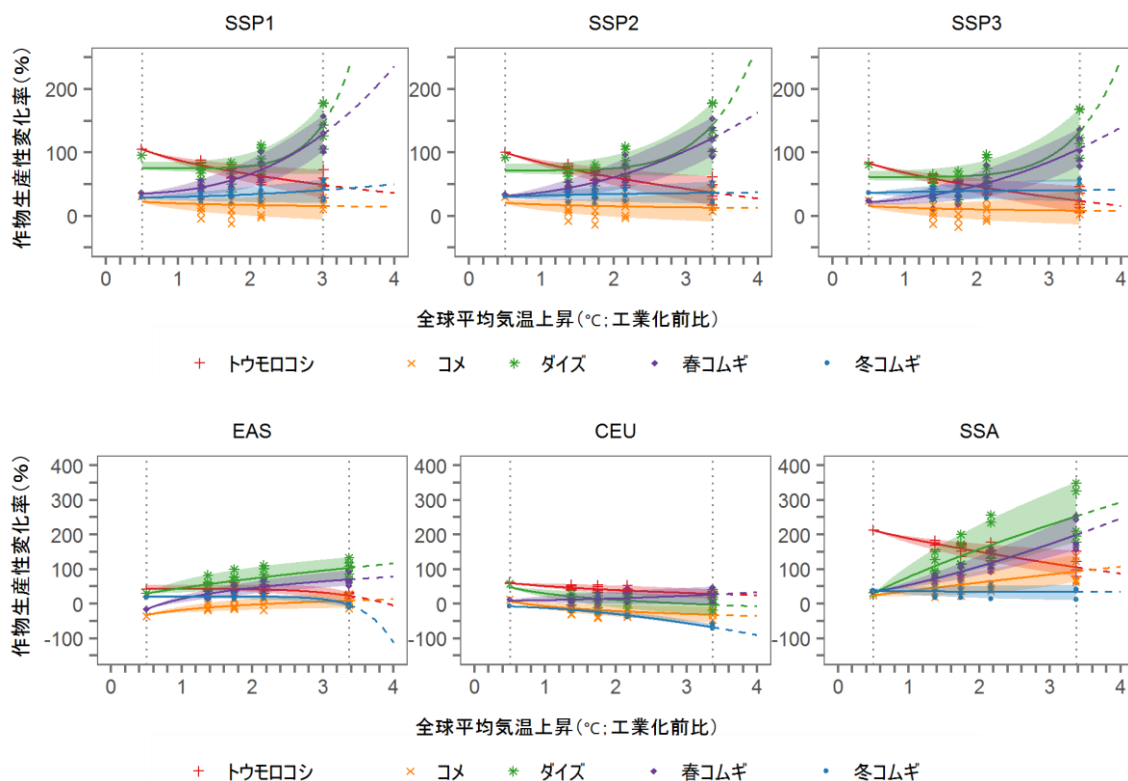
- 1) コメ生産性：現状比でみると生産性は、OECD を除く全地域において、基本的に増加する。これは（「選択肢」間で共通の）21 世紀中の技術進歩の想定に由来するものである。この基調的な生産性増加傾向に対して気候変化は追加的に影響を及ぼす。現在の気候条件、将来の気候変化ともに地域差があるため、地域別に見た場合の「選択肢」間での生産性の違いは一貫していない。例えばラテンアメリカ（L）では Ref に比べて INDCcont・INDC2deg で高めの生産性が見積もられたが、中東・アフリカ（M）では Ref より INDC2deg の生産性増加がやや小さい。世界平均（W）を見た場合には、INDC2deg・INDCcont に比べて Ref でやや小さな生産性増加となっている。なお、GCM の違いによる不確実性幅が、INDCcont に比べて INDC2deg で小さい。
- 2) 野外火災による炭素放出：野外火災による炭素放出は、気温・降水に影響を受ける発火確率の変化と、可燃物の蓄積量に左右される。地域別に見ても世界平均（W）で見ても、Ref で野外火災による炭素放出量の増加が最も大きく、INDC2deg で小さい。気温変化と同様に、INDCcont での Ref からのリスク軽減は、INDC2deg での Ref からのリスク軽減の 1/3 程度である。
- 3) 熱ストレス超過死亡数：社会経済想定（人口変化）と気温上昇に伴う熱ストレス超過死亡確率の増加により、世界的に増加する。気温上昇が最大となる Ref で超過死亡増加が最大で、INDC2deg で最小となる。INDCcont では Ref と INDC2deg の中間程度の死亡数増加が見積もられた。
- 4) グリーンランド氷床融解のティッピングポイントの超過：IPCC AR5 によれば、グリーンランド氷床が不安定化する閾値（ティッピングポイント）は、全球平均気温上昇が工業化以前から 1°C～ 4°Cの間とされており、しかも氷床形状変化の効果を考慮した最新の研究は低めの値を支持している。例えば、仮にこれが 1.0°Cであるとすると、どの「選択肢」をとっても閾値を超えることを避けられないが、仮に 2.0°Cあるいは 3.0°Cであるとすると、閾値を超える可能性に「選択肢」間で違いが生じる。この問題は、閾値の不確実性や閾値を超えることの意味（たとえば氷床の完全な融解までに数千年かかることの対策の観点からの含意）をどう捉えるかを含めて、さらに深い議論を必要とする。

「リスク管理戦略第2版のための解析」に関して、図(1)-10～図(1)-15は、表(1)-4の3つの戦略選択肢の帰結として予測される部門別の気候変動影響量を例示したものである。例えば図(1)-10では、横軸に全球平均気温上昇を、縦軸に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（%）をSSP別に示している。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。

多くの影響変数について、気候モデルの選択に由来する不確実性幅に比して、戦略選択肢間での影響の差は小さいことが見て取れた。ただし、地域別に見た場合には、戦略間差が比較的大きめに表れる場合もある。これらの戦略選択肢別の影響予測結果については、S-10-4による緩和分析と組み合わせて示すことで、S-10全体で提示する「リスク管理戦略」を構成する。

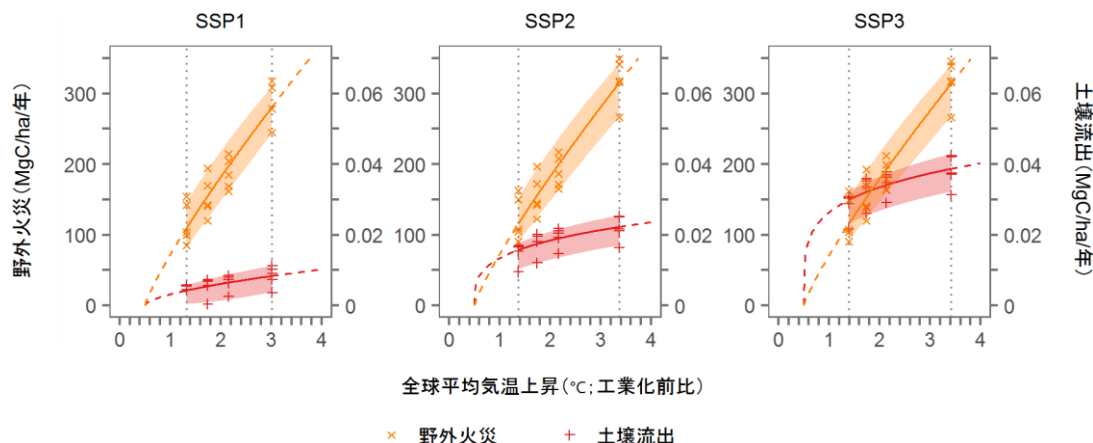


図(1)-10 2080年代における現在期間(1981-2000年)比での、洪水暴露人口の変化(百万人/年)、および熱関連超過死亡数・マラリア流行リスク人口の変化率(%)。いずれの指標でも気温上昇に伴うリスク人口の増加が予想されるが、気温上昇への感度は異なる。なお、マラリア流行リスク人口については、将来の社会経済条件の改善に伴い、SSP3・BaUケースを除けば現在期間よりも小さな流行リスク人口(グラフでは負値)となる。

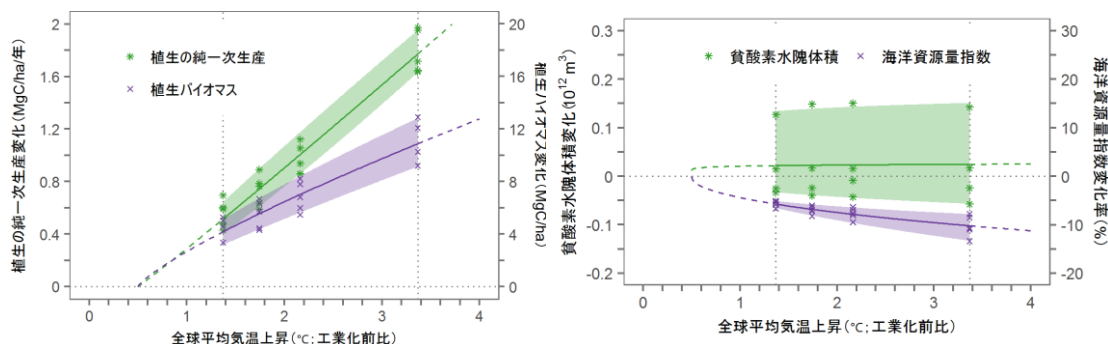


図(1)-11 2080年代における現在期間(1981-2000年)比での、トウモロコシ・イネ・ダイズ・春コムギ・冬コムギ生産性の変化率(%)。上3つはSSP別・世界。下3つはSSP2・3地域(EAS; 東

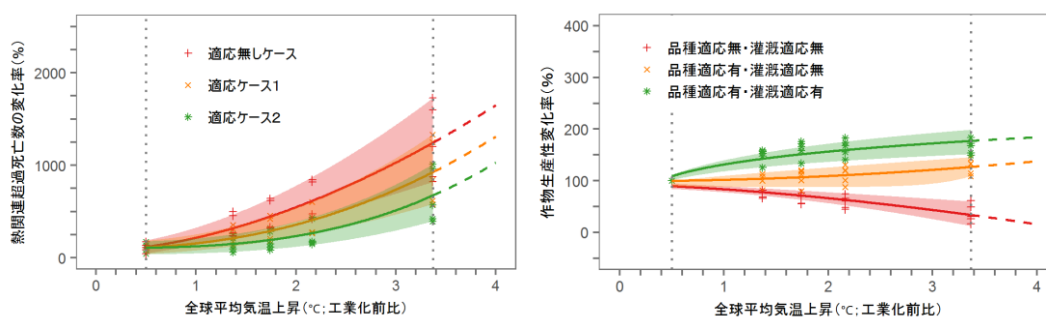
アジア、CEU；欧州中央部、SSA；南米南東部）別。全球でみた場合、技術進歩、窒素入力増加および冷害減少の効果により、現在期間比での生産性変化は世界平均ではどの作物・気候変化量でも概ね正の傾向にあるが、トウモロコシ・イネについては気温上昇に伴いその生産性増加が縮小する。また、地域集計の例からは、影響の現れ方に大きな地域差があり、地域・作物によっては現在期間比で生産性減となる場合もあることがわかる。



図(1)-13 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、土壌侵食には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(1)-14 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(1)-15 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°C/10年、適応ケース2は最大0.2°C/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。

リスク管理戦略最終版（<https://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version2/index.html>）の第4章では、T15S36、T20S36、T25S36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」（T15S36、T20S36、T25S36）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、重要度が大き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、T15S36やT20S36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、T25S36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残ることから、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氷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、北極海夏季海氷のティッピングポイントとは、北極海で夏季に海氷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、T15S36、T20S36の場合、それぞれ21%と35%であった。T15S36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氷消失について、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90%だが、T15S36、T20S36の場合、それぞれ13%と28%であった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

気候問題の研究コミュニティでは、気候変動予測、影響評価、適応策、緩和策の統合的分析の推進に関連し、排出シナリオの不確実性幅を考慮した気候シナリオ開発のために、パターンスケールリング手法の活用が提案されている。本研究では、排出・濃度シナリオ（RCP）間での全球平均気温上昇1℃あたりのエアロゾル排出量の違いが、降水量スケールリングパターンにシナリオ依存性をもたらし、その結果、開発された降水量シナリオに無視できない誤差を生じうることを定量的に示した。誤差の存在の指摘、ならびに誤差発生の原因に関する考察には、科学的な意義がある。

関連して、各種の温暖化影響指標の全球平均気温上昇（ Δ GMT）との線形近似性についての評価も実施した。本研究で得られた知見（線形近似が成り立つセクタと成り立たないセクタの峻別）は、多様な排出経路の下での簡易手法による影響分析の妥当性を科学的に裏付けるとともに、各セクタの影響の生起のメカニズム・因子の理解にも資するものである。

また、戦略選択肢に対応した全球一地域での排出経路の推定を目的として、複数の社会経済シナリオ（SSP1～SSP3）を前提条件とした排出経路分析を、複数温室効果ガスを区別して行えるように既存モデル（DICEモデル）の改良を行い、新たな動学的最適化型統合評価モデルSCM40PTを開発した。社会経済シナリオの開発に用いられる世界多地域・多部門モデルの挙動をエミュレートしつつ、任意に設定する戦略選択肢に整合的な排出経路の推定を可能にするものである。特に、複数の温室効果ガスの削減努力ならびに大気中での挙動について区別して扱えるようにしたこと、パリ協定の1.5℃目標に代表されるネガティブエミッションを含む温室効果ガスの削減経路の分析を、従来に比べてより細やかに実施できるようになった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

H26年度に作成したリスク管理戦略第一版（詳細版）に基づき、政策決定者・一般市民を対象に、高度な研究成果を簡潔に示すことを目標として、その概要版をICA-RUSレポート2015として作成・公表した。同レポートの内容については、環境省省内幹部向けS10勉強会（平成28年6月27日）、中央環境審議会長期低炭素ビジョン小委員会有識者ヒアリング（平成28年9月15日）において、江守正多S-10プロジェクトリーダーにより紹介された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

S-10全体の研究知見をふまえ、S-10-1(2)と共同でリスク管理戦略最終版（詳細版・概要版）を作成・公表した。パリ協定で言及のあるいわゆる「1.5℃目標」下での影響リスク評価ならびにその目標達成のための緩和策評価が戦略選択肢の一つとして含まれていることから、パリ協定への合意をふまえた今後の国際環境政策への貢献が期待できる。

なお、本テーマ参画者のうち、高橋、肱岡の2名は、代表執筆者として、IPCC第5次評価報告書（第2作業部会）の作成に参加し、S-10他の国内研究知見もふまえた原稿執筆を通じて、国際的な環境政策検討に貢献した。塩竈は、執筆協力者として、IPCC第5次評価報告書（第1作業部会）の作成に参加し、S-10研究成果についても国際的にアピールを行った。また、高橋は、S-10プロジェクトでの研究活動等をふまえ専門性を評価され、IPCC1.5℃特別報告書スコーピング会合（2016年8

月・ジュネーブ)に招聘され、同報告書の骨子検討に貢献した。同じく本テーマ参画者のうち、脇岡は、同IPCC特別報告書に代表執筆者として選出され、第一回執筆者会合(2017年3月)出席他、同報告書作成作業に貢献している。

6. 国際共同研究等の状況

課題代表者の高橋は、EU-FP7(欧州連合第7期研究枠組プログラム)の研究課題であるEU-IMPRESSIONS(Impacts and Risks from High-End Scenarios: Strategies for Innovative Solutions; 代表オックスフォード大Paula Parison博士; 2013年~2018年)に外部協力専門家として参加し、4℃を超えるような大きな気候変化が生じた場合の気候変化リスクとその管理に関して、S-10プロジェクトの研究成果の紹介・提供を通じて、同プロジェクトに外部協力を実施している。同時に新シナリオ(SSP・RCP・SPA)の気候変化リスク分析における活用方法についての相互の情報共有や、モデル結合の模索も進めている。

課題代表者の高橋は、自然システム・人間システムの統合的なモデル構築についての国際研究調整組織であるAIMES-IGBPのScience Steering Committee(科学運営委員会)委員を担当しており(2013年1月~)、S-10研究成果についても同運営委員会を通じた国際アピールを行った。

研究参画者の塩竈は、EU-FP7(欧州連合第7期研究枠組プログラム)の研究課題であるEUCLEIA(European, CLimate and weather Events: Interpretation and Attribution; 代表 英国気象局 Peter Stott博士; 2014年~2016年)に外部協力専門家として参加し、近年の異常気象に対する人間活動の寄与に関して、S-10の研究成果の紹介・提供を通して、同プロジェクトに外部協力した。

研究参画者の塩竈は、「気候変動の検出と要因分析」についての国際研究組織であるInternational Detection and Attribution GroupのSteering Committee(運営委員会)委員を担当しており(2013年7月~)、S-10研究成果についても同運営委員会を通じた国際アピールを行っている。

研究参画者の塩竈は、「気候変動の検出と要因分析」に関する次期全球気候モデル比較プロジェクトDetection and Attribution Model Intercomparison Project(DAMIP)の共同代表を務め、S-10成果も活用しながら、IPCC-AR6への貢献に向けた実験計画の検討を行った。

研究参画者の塩竈は、「気候変動の検出と要因分析」に関する国際研究プロジェクトDetection and Attribution Project, The World Climate Research Programme's(WCRP)Climate Variability Programme's(CLIVAR)Climate of the 20th Century Project(C20C)(代表:米国Lawrence Berkeley National LaboratoryのDaithi Stone博士)に参画し、S-10成果も活用しながら、極端な気候イベントに関する人間活動の寄与を推定する研究を行っている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Y. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata, T. Nozawa, K. Takahashi, T. Ogura, M. Yoshimori, T. Nagashima: Journal of Climate, 26 (22), 8868-8879 (2013)

“Dependence of precipitation scaling patterns on emission scenarios for representative concentration pathways.”

- 2) M. Ohba, H. Shiogama, T. Yokohata, M. Watanabe : J Climate, 26, 5169-5182 (2013)
 “Impact of Strong Tropical Volcanic Eruptions on ENSO Simulated in a Coupled GCM.”
- 3) H. Shiogama, D.A. Stone, T. Nagashima, T. Nozawa, S. Emori: International Journal of Climatology 33(11): 2542-2550 (2013)
 “A On the linear additivity of climate forcing-response relationships at global and continental scales.”
- 4) H. Shiogama, M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii, M. Kimoto: Atmospheric Science Letters 14: 170-175 (2013)
 “An event attribution of the 2010 drought in the South Amazon region using the MIROC5 model.”
- 5) T. Yokohata, J.D. Annan, M. Collins, C.S. Jackson, H. Shiogama, M. Watanabe, S. Emori, M. Yoshimori, M. Abe, M.J. Webb, J.C. Hargreaves : Climate Dynamics, 41, 2745-2763 (2013)
 “Reliability and importance of structural diversity of climate model ensembles.”
- 6) 石崎安洋, 江守正多, 沖大幹, 塩竈秀夫, 横畠徳太, 吉森正和, 鼎信次郎, 仲江川敏之, 中河嘉明 : 土木学会論文集 Vol.70 (水工学論文集 58) : No.4, I_307-312 (2014)
 「簡易気候モデルを用いた大気大循環モデルの模倣」
- 7) 田中朱美, 高橋潔, 増富祐司, 花崎直太, 肱岡靖明, SU Xuanming, 長谷川知子, 藤森真一郎, 増井利彦 : 生物と気象, 14, 41-56 (2014)
 「温暖化政策支援モデルのための全球作物収量影響関数の開発。」
- 8) Y. Ishizaki, T. Yokohata, S. Emori, H. Shiogama, K. Takahashi, N. Hanasaki, T. Nozawa, T. Ogura, T. Nakaegawa, M. Yoshimori, A. Yoshida, S. Watanabe : J. Hydrometeorology, 15 (1), 505-516 (2014)
 “Verification of a pattern scaling approach for determining the maximum available renewable freshwater resource.”
- 9) Z.W. Kundzewicz, S. Kanae, S.I. Seneviratne, J. Handmer, N. Nicholls, P. Peduzzi, R. Mechler, L.M. Bouwer, N. Arnell, K. Mach, R. Muir-Wood, G.R. Brakenridge, W. Kron, G. Benito, Y. Honda, K. Takahashi, B. Sherstyuko: Hydrological Sciences Journal 59(1) : 1-28 (2014)
 “Flood risk and climate change: global and regional perspectives.”
- 10) H. Shiogama, M. Watanabe, T. Ogura, T. Yokohata, M. Kimoto : Atmospheric Science Letters, 15 (2), 97-102 (2014)
 “Multi-parameter multi-physics ensemble (MPMPE): a new approach exploring the uncertainties of climate sensitivity.”
- 11) H. Shiogama, M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, Y. Kamae, M. Ishii, M. Kimoto : SOLA, 10, 122-126 (2014)
 “Attribution of the June-July 2013 heat wave in the southwestern United States.”
- 12) M. Yoshimori, M. Watanabe, A. Abe-Ouchi, H. Shiogama, T. Ogura : Climate Dynamics, 42 (5-6), 1613-1630 (2014)
 “Relative contribution of feedback processes to Arctic amplification of temperature

- change in MIROC GCM.”
- 13) 高橋潔, 三枝信子, 及川武久, 河宮未知生, 羽島知洋, 山中康裕, 平田貴文, 阿部彩子: 地球環境, 20 (2), 135-142 (2015)
「物理・生態システムさらには人間システムのつながりをモデルで描く」
- 14) M. Abe, H. Shiogama, T. Yokohata, S. Emori, T. Nozawa: Climate Dynamics (2015)
“Asymmetric impact of the physiological effect of carbon dioxide on hydrological responses to instantaneous negative and positive CO2 forcing.”
- 15) P. Good, J.A. Lowe, T. Andrews, A. Wiltshire, R. Chadwick, J.K. Ridley, M.B. Menary, N. Bouttes, J.L. Dufresne, J.M. Gregory, N. Schaller, H. Shiogama: Nature Climate Change, 5, 138-142 (2015)
“Nonlinear regional warming with increasing CO2 concentration.”
- 16) Y. Kamae, M. Watanabe, T. Ogura, M. Yoshimori, H. Shiogama: Current Climate Change Reports (2015)
“Rapid adjustments of cloud and hydrological cycle to increasing CO2: a review.”
- 17) X. Su, K. Takahashi, S. Fujimori, S. Hasegawa, S. Emori, Y. Hijioka, T. Masui: Journal of JSCE, 71 (5), 205-216 (2015)
“Assessment of greenhouse gas emission pathways by considering a possible climate sensitivity range under different socio-economic scenarios.”
- 18) A. Tanaka, K. Takahashi, Y. Masutomi, N. Hanasaki, Y. Hijioka, H. Shiogama, Y. Yamanaka: Scientific Reports, 5 (14312) (2015)
“Adaptation pathways of global wheat production: Importance of strategic adaptation to climate change.”
- 19) P. Good et al.: Geoscientific Model Development, 9, 4019-4028 (2016)
“nonlinMIP contribution to CMIP6: model intercomparison project for non-linear mechanisms: physical basis, experimental design and analysis principles (v1.0).”
- 20) H. Shiogama, D. Stone, S. Emori, K. Takahashi, S. Mori, A. Maeda, Y. Ishizaki, M.R. Allen: Scientific Reports, 6 (2016)
“Predicting future uncertainty constraints on global warming projections.”
- 21) A. Tanaka, K. Takahashi, H. Shiogama, N. Hanasaki, Y. Masaki, A. Ito, H. Noda, Y. Hijioka, S. Emori: Climatic Change Letters, 141(4), 775-782 (2017)
“On the scaling of climate impact indicators with global mean temperature increase: a case study of terrestrial ecosystems and water resources.”
- 22) B.C. O'Neill, M. Oppenheimer, R. Warren, S. Hallegatte, R.E. Kopp, H.O. Poertner, R. Scholes, J. Birkmann, W. Foden, R. Licker, K.J. Mach, P. Marbaix, M.D. Mastrandrea, J. Prce, K. Takahashi, J.P. van Ypersele, G. Yohe: Nature Climate Change, 7, 28-37 (2017)
“IPCC reasons for concern regarding climate change risks.”

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 亀山康子: 日中環境産業, 49 (2), 64-68 (2013)

- 「地球温暖化—COP18/CMP8の成果と今後の方向性」
- 2) 亀山康子：日中環境産業, 49 (2), 64-68 (2013)
「地球温暖化—COP18/CMP8の成果と今後の方向性」
 - 3) 塩竈秀夫：安全工学, 52 (6), 371-375 (2013)
「人間活動が世界の気候に与える影響—温室効果ガスとエアロゾルの変化の影響—」
 - 4) 高橋潔：大気環境学会誌, 48 (6), A19 (2013)
「地球温暖化 —第3講 地球温暖化による環境、社会への影響評価—」
 - 5) 高橋潔：公衆衛生, 78 (1), 51-55 (2014)
「地球温暖化の現状」
 - 6) 高橋潔：西岡秀三・植田和弘・森杉壽芳監修, 気候変動リスクとどう向き合うか, 一般財団法人金融財政事情研究会, 36-44 (2014)
「気候変動リスク管理・リスク分析」
 - 7) H. Shiogama, T. Ogura：Nature, 505, 34-35 (2014)
“Clouds of uncertainty.”
 - 8) 亀山康子：環境管理, 50 (4), 38-39 (2014)
「気候変動枠組条約第19回締約国会議 (COP19) の概要。」
 - 9) 亀山康子：環境管理, 50 (5), 40-41 (2014)
「地球温暖化問題はなぜ大変な問題なのか？」
 - 10) 亀山康子：環境管理, 50 (6), 64-65 (2014)
「地球温暖化対策はどれくらい必要なのか？」
 - 11) 亀山康子：環境管理, 50 (7), 68-69 (2014)
「欧州連合(EU)の気候変動問題への対応。」
 - 12) 亀山康子：環境管理, 50 (8), 64-65 (2014)
「中国の気候変動問題への対応。」
 - 13) 亀山康子：環境管理, 50 (9), 48-49 (2014)
「長期目標としての2℃の意味。」
 - 14) 亀山康子：環境管理, 50 (10), 50-51 (2014)
「米国の気候変動問題への対応。」
 - 15) 亀山康子：環境管理, 50 (11), 40-41 (2014)
「COP20で期待されること。」
 - 16) 亀山康子：環境管理, 50 (12), 52-53 (2014)
「クライメイト・ファイナンス—気候変動に係る資金の話。」
 - 17) 高橋潔：環境情報科学, 43 (3), 21-27 (2014)
「気候変動の影響と脆弱性に関する最新知見について。」
 - 18) 亀山康子：日立総研, 10 (3), 12-17 (2015)
「COP21までの地球温暖化問題に関する歴史と今後の行方—米中の動向を中心に—」
 - 19) 亀山康子：オルタナグリーン選書, 146-219 (2015)
「座談会：今後の国際枠組・制度のあり方—緩和を中心として。古沢広祐・足立治郎・小野田真二編, ギガトン・ギャップ 気候変動と国際交渉」

- 20) 塩竈秀夫：SMC 発サイエンス・アラート（2015）
「地球温暖化は頭打ち」ではないらしい」
- 21) 高橋潔：港湾，92，8-11（2015）
「気候変動影響に関する科学的知見－IPCC評価報告書の経緯を辿る－」
- 22) 本田靖，高橋潔：環境技術，44（12），642-647（2015）
「IPCC第5次評価報告書を読み解く－WG2「影響・適応・脆弱性」を中心に－」
- 23) 亀山康子：環境会議，2016年春，136-141（2016）
「十分な気候変動抑制の実現－エミッション・ギャップはなくなるか」
- 24) 亀山康子，田村堅太郎，高村ゆかり：環境経済・政策研究，9（1），62-65（2016）
「パリ協定はなぜ合意に至ったか？－シナリオ分析の検証－」
- 25) 亀山康子：サイエンスコミュニケーション，5（1），20-21（2016）
「なにがすごかった！？COP21 明日から活かせる総まとめ。」
- 26) 亀山康子：廃棄物資源循環学会誌，27（2），109-116（2016）
「パリ協定－2020年以降の国際制度の概要と残された課題。」
- 27) 亀山康子：環境経済・政策研究，9（1），108-110（2016）
「書評：明日香壽川著『クライメート・ジャスティス－温暖化対策と国際交渉の政治・経済・哲学－』。」
- 28) 渡部哲史，高橋潔，肱岡靖明，河宮未知生，沖大幹，鬼頭昭雄：水文・水資源学会誌，29（1），79-84（2016）
「IPCC地域気候予測とその影響評価・リスク解析への利用に関するワークショップ参加報告」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 石崎安洋，塩竈秀夫，江守正多，横島徳太，野沢徹，高橋潔，小倉知夫，吉森正和：水文水資源学会 2012年度総会・研究発表会（2012）
「降水スケーリングパターンのRCPs排出シナリオ依存性」
- 2) 今田由紀子，木本昌秀，石井正好，渡部雅浩，望月崇，建部洋晶，坂本天，小室芳樹，塩竈秀夫，近本善光，森正人，荒井美紀：研究集会「週間及び1か月予報における顕著現象の予測可能性」（2012）
「MIROC5を用いた季節予測システムによる2タイプのエルニーニョの予測可能性」
- 3) 大場雅道，塩竈秀夫，横島徳太，渡部雅浩：日本気象学会2012年度秋季大会（2012）
「火山噴火に伴う放射強制力がENS0に与える影響」
- 4) 久保田泉，高橋潔，江守正多：日本リスク研究学会第24回年次大会（2012）
「地球温暖化問題におけるリスクアプローチの概念整理とその適用に向けた課題抽出」
- 5) 塩竈秀夫，江守正多，花崎直太，阿部学，増富祐司，高橋潔，野沢徹：日本気象学会2012年度秋季大会（2012）
「モデル民主主義を超えて：観測による不確実性制約は、地球温暖化に伴うアマゾン川流域の乾燥化を示唆する」
- 6) 塩竈秀夫，渡部雅浩，吉森正和，小倉知夫，横島徳太，J. D. Annan, J. C. Hargreaves, 釜江陽一，木本昌秀：日本気象学会2012年度秋季大会（2012）

- 「フラックス調節無しでドリフトしない大気海洋結合モデル物理アンサンブル実験のデザイン」
- 7) 森正人, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 石井正好, 木本昌秀: 研究集会「週間及び1か月予報における顕著現象の予測可能性」 (2012)
「夏の循環場の季節予測可能性について」
- 8) 横島徳太, J.D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 江守正多, 吉森正和, 阿部学, M. J. Webb, J. C. Hargreaves: 研究集会「週間及び1か月予報における顕著現象の予測可能性」 (2012)
「マルチ気候モデルおよび物理パラメータアンサンブルの信頼性評価」
- 9) 横島徳太, J. D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 江守正多, 吉森正和, 阿部学, M. J. Webb, J. C. Hargreaves: 日本気象学会2012年秋季大会 (2012)
「気候モデルアンサンブルの自由度と信頼性評価」
- 10) 吉森正和, 渡部雅浩, 阿部彩子, 塩竈秀夫, 小倉知夫: 日本気象学会2012年度秋季大会 (2012)
「MIROC GCMにおける北極域温暖化増幅プロセスの診断について」
- 11) 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 今田由紀子, 森正人, 石井正好, 木本昌秀: 研究集会「週間及び1か月予報における顕著現象の予測可能性」 (2012)
「温暖化影響評価: Detection and Attribution (DA) からEvent Attribution (EA) へ」
- 12) S. Emori, T. Yokohata, A. Ito, N. Hanasaki, Y.N. Pokhrel, Y. Sato, K. Yoshimura, T. Oki, E. Kato, K. Takahashi, Y. Yamagata: AGU Fall Meeting 2012, San Francisco, USA, 2012
“Development of a terrestrial integrated model for the sustainable utilization strategy of land-water-ecosystems.”
- 13) Y. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata, T. Nozawa, K. Takahashi, T. Ogura, M. Yoshimori and T. Nagashima: AGU 2012 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2012
“Regional impacts of sulfur and carbonaceous aerosols on precipitation scaling pattern in Representative Concentration Pathways.”
- 14) H. Shiogama: Attribution of Climate and Weather Extremes: Assessing, Anticipating and Communicating Climate Risks, Oxford, UK, 2012
“Attribution of the 2010 Amazon drought using the MIROC5 ensembles.”
- 15) H. Shiogama, M. Watanabe, T. Yokohata, M. Yoshimori, T. Ogura, Y. Kamae, J. Annan, J. Hargreaves, M. Kimoto: EUCLIPSE-CFMIP Meeting, Paris, France, 2012
“On the structural and parametric uncertainties of feedback, adjustment and climate sensitivity.”
- 16) K. Takahashi: The Ninth Tripartite Presidents Meeting, Pyeongchang, Korea, 2012
“Introduction to Research Projects in Japan Relevant to Climate Change Impacts and Adaptation.”
- 17) 石崎安洋, 江守正多, 高橋潔, 横島徳太, 塩竈秀夫, 肱岡靖明, Kuno Strassmann, 野沢徹, 小倉知夫, 吉森正和: 日本気象学会2013年度春季大会, 同予稿集 (2013)

- 「簡易気候モデルを用いた将来予測における不確実性」
- 18) 石崎安洋, 江守正多, 横島徳太, 高橋潔, 塩竈秀夫, 脇岡靖明, Kuno Strassmann, 小倉知夫, 吉森正和: 水文・水資源学会2013年度研究発表会, 同要旨集, 50-51 (2013)
- 「簡易気候モデルを用いた大気大循環モデルの模倣」
- 19) 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 森正人, 石井正好, 木本 昌秀: 日本気象学会 2013年度秋季大会 (2013)
- 「平成24年7月九州北部豪雨に対する地球温暖化の寄与」
- 20) 釜江陽一, 渡部雅浩, 木本昌秀, 塩竈秀夫: 研究集会「異常気象と気候システム変動のメカニズムと予測可能性」 (2013)
- 「夏季東アジアにおける海陸熱的コントラストと大気循環の将来変化」
- 21) 高橋潔: 公開シンポジウム「気候変動がもたらす農林業への影響とその対策を考える」, 同予稿集 (2013)
- 「最近の世界の影響評価研究の動向と農林業研究への期待」
- 22) 高橋潔: 化学工学会第45回秋季大会, 同講演要旨集 (2013)
- 「地球温暖化が引き起こす影響について」
- 23) 高橋潔: 市民公開シンポジウム「病原体の運び屋、蚊」 (2013)
- 「地球温暖化: 現状とその将来予測」
- 24) 吉森正和, 渡部雅浩, 阿部彩子, 塩竈秀夫, 小倉知夫: 日本気象学会2013年度秋季大会 (2013)
- 「MIROC GCMにおける北極域温暖化増幅プロセス季節性について」
- 25) Y. Goto-Maeda, S. Emori, K. Takahashi and K. Fukushi: AGU Chapman Conference, Colorado, USA, 2013
- “Stakeholders’ Inputs through Dialogues to Summary Reports on Climate Change Risk Management Strategy.”
- 26) Y. Goto-Maeda, S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, Y. Tanaka, H. Fukuda, K. Fukushi, M. Kawamiya: AGU Chapman Conference, Colorado, USA, 2013
- “Enhancing Communication between Journalists and Scientists on Climate Change in Japan.”
- 27) Y. Goto-Maeda, Y. Matsumoto, S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, A. Asakura and K. Fukushi: Annual Meeting of American Meteorological Society, Austin, USA, 2013
- “Analysis of Perspectives of Journalists and Scientists on Climate Change Reports through Experimental Reviews of Student Articles.”
- 28) K. Hamaguchi, Y. Imada, H. Shiogama, S. Kanae: The 6th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, Seoul, Korea, 2013
- “Contribution of climate change to Pakistan’s heavy rainfalls in 2010.”
- 29) Y. Imada, H. Shiogama, M. Watanabe, M. Mori, M. Ishii, and M. Kimoto: International Detection and Attribution Group, Boulder, USA, 2013
- “Contribution of atmospheric circulation change to the 2012 heavy rainfall in southern Japan.”

- 30) Y. Ishizaki, S. Emori, T. Oki, H. Shiogama, T. Yokohata, M. Yoshimori: American Geophysical Union fall meeting, San Francisco, USA, 2013
“Emulation of a couple atmosphere-ocean general circulation model with a simple climate model.”
- 31) Y. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata, T. Nozawa, K. Takahashi, T. Ogura, M. Yoshimori, T. Nagashima. : European Geosciences Union General Assembly 2013, Abstracts, Vienna, Austria, 2013
“Dependence of precipitation scaling pattern on emission scenarios for Representative concentration pathways.”
- 32) Y. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata, T. Nozawa, T. Ogura, M. Yoshimori, K. Takahashi : The international ad hoc Detection and Attribution group (IDAG), Boulder, USA, 2013
“Dependence of precipitation scaling pattern on emission scenarios for Representative concentration pathways.”
- 33) Y. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata, T. Nozawa, K. Takahashi, T. Ogura, M. Yoshimori, T. Nagashima : IMPACT WORLD 2013 Abstracts, Potsdam, Germany, 2013
“Dependence of precipitation scaling pattern on emission scenarios for Representative concentration pathways.”
- 34) T. Matsui, K. Nakao, I. Tsuyama, M. Higa, Y. Kominami, E. Nakazono, Y. Hijioka, K. Takahashi, H. Harasawa, N. Tanaka : INTECOL 2013, London, UK, 2013
“Climate change impact assessment of habitat shifts for important forest trees and plants, and development of integrated model AIM/Adaptation[Policy] for conservation managers.”
- 35) Y. Ogawa-Onishi, Y. Hijioka, K. Takahashi, N. Hanasaki : International Geographical Union 2013, Kyoto, Japan, 2013
“Modelling the diversity hotspots of Japanese endemic plants and identifying the potential refugia from climate change.”
- 36) Y. Ogawa-Onishi, Y. Hijioka, K. Takahashi, N. Hanasaki : ISAM 2013 : International Symposium on Agricultural Meteorology, Kanazawa, Japan, 2013
“Spatial assessments of climate change impacts on phenology.”
- 37) T. Ogura, H. Shiogama, M. Watanabe, M. Yoshimori, T. Yokohata, J. D. Annan, J.C. Hargreaves: 4th WGNE workshop on systematic errors in weather and climate models, Exeter, UK, 2013
“On the parametric uncertainty of the MIROC5 radiation bias.”
- 38) H. Shiogama, S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa: European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, Austria, 2013
“Beyond the model democracy: Observational constraints indicate risk of drying in the Amazon basin.”
- 39) H. Shiogama, M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii, M. Kimoto: International Detection

- and Attribution Group, Boulder, USA, 2013
 “An event attribution of the 2010 drought in the South Amazon region using the MIROC5 model.”
- 40) D.A. Stone, O. Angelil, N. Christidis, C.J. Lennard, H. Shiogama, P. Stott, M. Tadross, M.F. Wehner, P. Wolski: AGU, San Francisco, USA, 2013
 “First results from the C20C Detection and Attribution Project.”
- 41) K. Takahashi: The Fifth International Forum for Sustainable Asia and the Pacific (ISAP2013), Yokohama, Japan, 2013
 “Projected Climate Change Impacts in Asia and Japan.”
- 42) K. Takahashi, S. Emori, Y. Yamagata, T. Oki, S. Mori, Y. Fujigaki, K. Iwase: Impacts World 2013, Abstracts, Potsdam, Germany, 2013
 “Integrated research on the development of global climate risk management strategies; framework and initial results of the research project ICA-RUS.”
- 43) K. Takahashi, S. Emori, Y. Yamagata, T. Oki, S. Mori, Y. Fujigaki: European Climate Change Adaptation Conference 2013, Abstracts, 96-97, Hamburg, Germany, 2013
 “Introduction to Integrated Research on the Development of Global Climate Risk Management Strategies.”
- 44) T. Yokohata, J.D. Annan, M. Collins, C.S. Jackson, H. Shiogama, M. Watanabe, S. Emori, M. Yoshimori, M. Abe, M.J. Webb, J.C. Hargreaves: International Meeting on Statistical Climatology, Jeju Island, South Korea, 2013
 “Uncertainty in single-model and multi-model ensembles.”
- 45) 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 森正人, 石井正好, 木本昌秀: 日本気象学会2014年度春季大会, 日本気象学会2014年度春季大会講演予稿集, (105), 170 (2014)
 「平成25年夏季の日本の猛暑に対する地球温暖化の寄与(Event Attribution)」
- 46) 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 森正人, 石井正好, 木本昌秀: 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年度秋季大会講演予稿集, 106, 121 (2014)
 「統計的ダウンスケーリングを用いた局所的な豪雨に対するイベント・アトリビューション(要因分析)の試み」
- 47) 小倉知夫, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 吉森正和, 横島徳太, J.D. Annan, J.C. Hargreaves: 日本気象学会2014年度春季大会, 日本気象学会2014年度春季大会講演予稿集, (105), 176 (2014)
 「MIROC5放射バイアスのパラメータ依存性」
- 48) 釜江陽一, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 木本昌秀: 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター共同利用研究集会「中緯度気象・気候研究の現状と展望」(2014)
 「中緯度陸上の猛暑頻度増加に対する人為的な寄与と海洋の影響」
- 49) 釜江陽一, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 石井正好, 植田宏昭, 木本昌秀: 2014年度長期予報と大気大循環研究会(2014)
 「Decadal ENSOに伴う陸上猛暑頻度と熱帯対流圏上層気温の近年の変動の特徴」
- 50) 塩竈秀夫: 日本地球惑星科学連合 連合大会 2014年大会(2014)
 「パターンスケーリングの排出シナリオ依存性と線形加法性」

- 51) 浜口耕平, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 鼎信次郎: 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4, I_565-I_570 (2014)
「Event Attribution実験を用いた2010年パキスタン豪雨の要因特定とプロセスの理解」
- 52) 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 小倉知夫, 横島徳太, 木本昌秀 : 日本気象学会2014年度春季大会, 日本気象学会2014年度春季大会講演予稿集, (105), 177 (2014)
- 53) 「マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル: 気候感度の不確実性を調べる新アプローチ」
- 54) 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 今田由紀子, 森正人, 釜江陽一, 石井正好, 木本昌秀: 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年度秋季大会講演予稿集, 106, 115 (2014)
「米国南西部における2013年6-7月熱波に関するイベント・アトリビューション」
- 55) 高橋潔: 応用物理学学会エネルギー・システム研究会(2014)
「地球温暖化の影響について -何が分かっているか-」
- 56) 高橋潔: 第14回日米先端科学シンポジウム日本側事前検討会(2014)
「Climate and Food Security」
- 57) 高橋潔: 土木学会第22回地球環境シンポジウム(2014)
「温暖化予測データ・IPCCとの関係」
- 58) 高橋潔 : 第27回日本リスク研究学会年次大会, 同予稿集, 27 (2014)
「温暖化リスクの管理戦略の検討」
- 59) 田中朱美, 高橋潔, 花崎直太, 肱岡靖明, 塩竈秀夫: 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年度秋季大会講演予稿集, 500 (2014)
「複数の農業適応策を考慮した適応パスに関する感度分析」
- 60) 肱岡靖明: 第12回環境研究シンポジウム予稿集, 4-5 (2014)
「気候変動の影響と適応策. 第12回環境研究シンポジウム」
- 61) 肱岡靖明: 第22回衛生工学シンポジウム(2014)
「温暖化による影響とその適応策」
- 62) 森正人, 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 猪上淳, 木本昌秀: 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年度秋季大会講演予稿集, 106, 114 (2014)
「近年頻発しているユーラシアの寒冬に対する北極海海氷の影響」
- 63) 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 建部洋晶, 林未知也, 石井正好, 木本昌秀: 日本気象学会2014年度秋季大会, 2014年度秋季大会講演予稿集, 106, 105 (2014)
「地球温暖化の加速と停滞 (ハイエイタス) に対する自然変動の寄与」
- 64) 森正人, 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 猪上淳, 木本昌秀: 急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会, 近年頻発しているユーラシアの寒冬に対する北極海海氷の影響. 急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会講演要旨集, 97-101 (2014)
「近年頻発しているユーラシアの寒冬に対する北極海の海氷減少の影響」
- 65) P. Good, J.A. Lowe, T. Andrews, A. Wiltshire, R. Chadwick, J.K. Ridley, M.B. Menary, N. Bouttes, N. Schaller, H. Shiogama, J.L. Dufresne: Pattern Scaling, Climate Model Emulators and their Application to the New Scenario Process. Boulder, USA, 2014
“Why patterns evolve and what we might do about it.”
- 66) K. Hamaguchi, Y. Imada, H. Shiogama, S. Kanae: Asia Oceania Geosciences Society 11th

- Annual Meeting (AOGS2014), 2014
 “Attribution Analysis of Pakistan Heavy Rainfall in 2010 Using Event Attribution Experiments.”
- 67) T. Hasegawa, S. Fujimori, Y. Shin, K. Takahashi, T. Masui, A. Tanaka: 14th Japanese-American Frontiers of Science (JAFoS) Symposium, 2014
 “Climate change impact and adaptation assessment on food consumption and risk of hunger.”
- 68) T. Hasegawa, S. Fujimori, A. Tanaka, Y. Shin, K. Takahashi, T. Masui: Climate Change Impacts and Integrated Assessment (CCI/IA) Workshop XX, 2014
 “Climate mitigation assessment on food security by AIM modeling team.”
- 69) Y. Kamae, M. Watanabe, M. Kimoto, H. Shiogama: AOGS 11th Annual Meeting, 2014
 “Summertime land-sea thermal contrast and associated atmospheric circulation over East Asia: past changes, future projections and their physical mechanisms.”
- 70) Y. Kamae, H. Shiogama, M. Watanabe, T. Ogura, T. Yokohata, M. Kimoto: Tropical Meteorology Workshop 2014
 “Lower tropospheric mixing intensity and climate sensitivity in Multi-Parameter Multi-Physics Ensemble (MPMPE).”
- 71) Y. Kamae, H. Shiogama, M. Watanabe, M. Kimoto: AGU Fall Meeting 2014, Abstracts, 2014
 “Attributing the Increase in Northern Hemisphere Hot Summers during the Last Half of the 20th Century and the Recent Climate Hiatus.”
- 72) R.K. Lestari, M. Watanabe, Y. Imada, H. Shiogama, T. Takemura, R. Field, M. Kimoto: Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting (AOGS2014), 2014
 “Increasing Potential of Forest Fire Over Sumatra, Indonesia Induced by Anthropogenic Tropical Warming.”
- 73) H. Shiogama: Pattern Scaling, Climate Model Emulators and their Application to the New Scenario Process. Boulder, USA, 2014
 “Emission scenario dependency of scaling patterns and linear additivity of climate forcing-response relationship.”
- 74) H. Shiogama, M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, R.K. Lestari, M. Kimoto, Y. Kamae, M. Ishii: 1st General Assembly of EU FP7, EUCLEIA (European, Climate and weather Events: Interpretation and Attribution), Zurich, Switzerland, 2014
 “Event attribution studies from Asia.”
- 75) H. Shiogama, M. Watanabe, T. Ogura, T. Yokohata, M. Kimoto: Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting (AOGS2014), 2014
 “Multi-parameter Multi-physics Ensemble (MPMPE): A New Approach Exploring the Uncertainties of Climate Sensitivity.”
- 76) H. Shiogama: Radiative forcing model intercomparison project (RFMIP) planning workshop, 2014
 “Detection and Attribution Model Intercomparison Project (DAMIP).”
- 77) K. Takahashi, K. Fukushi, Y. Maeda, K. Iwase, M. Sato, T. Yokohata, S. Emori : Adaptation

- Futures 2014, Abstracts, 233, 2014
 “Communication with stakeholders in ICA-RUS project.”
- 78) K. Takahashi: 14th Japanese-American Frontiers of Science (JAFoS) Symposium, Agenda Book, 10, 2014
 “Climate Change and Food Security.”
- 79) 亀山康子：気候ネットワーク全国シンポジウム 市民が進める温暖化防止，同資料集，14-15 (2015)
 「リマ会合の結果とパリ会合に向けた進展」
- 80) 亀山康子：COP21カウントダウンセミナー気候変動に対処する新枠組みと政府・民間の役割，同資料集，68-71 (2015)
 「COP21で想定される合意と残される課題」
- 81) 亀山康子：2015年度環境問題講演会(2015)
 「地球温暖化問題の最前線-国際社会の動向から身近なくらしまで-」
- 82) 岸本充生，岡田祥宏，高橋潔，林岳彦，平井祐介，瀬尾佳美：日本リスク研究学会第28回年次大会，同講演論文集，28(2015)
 「リスク用語ハンドブック作成に向けて」
- 83) 塩竈秀夫：日本気象学会2015年度春季大会(2015)
 「気候変化の検出と要因分析」
- 84) 塩竈秀夫：第27回環境研サイエンスカフェ，季刊 環境研究 January/2016 No.180, 158-187 (2015)
 「温暖化の過去と未来 -異常気象と不確実性-」
- 85) 高橋潔：化学工学会 第47回秋季大会，同予稿集 (2015)
 「全球規模の気候変動リスク ~IPCC第5次評価報告書とその後の研究~」
- 86) 高橋潔：日本学術会議公開シンポジウム「生命を育む地球環境の変動予測と適応」(2015)
 「物理・生態・人間システムのつながりのモデル化」
- 87) 高橋潔：第54回日本生気象学会大会(2015)
 「地球温暖化リスクに関する最新の科学的知見」
- 88) 高橋潔：第7回温暖化リスクメディアフォーラム (2015)
 「INDCを延長した場合の排出・気候シナリオの下での影響リスク」
- 89) 田中朱美，高橋潔，花崎直太，眞崎良光，肱岡靖明，塩竈秀夫，江守正多：日本気象学会2015年度秋季大会，同予稿集，473 (2015)
 「全球平均気温変化に対する気候変化影響量のスケーリング可能性の検討」
- 90) E. Aoki, S. Emori, K. Takahashi and K. Fukushi: International Scientific Conference: Our Common Future under Climate Change, Paris, France, 2015
 “Dialogue among stakeholders for climate risk management strategies”
- 91) Y. Kamae, H. Shiogama, M. Watanabe, M. Ishii, H. Ueda, M. Kimoto : IUGG 26th General Assembly 2015, Prague, the Czech Republic, 2015
 “Revisiting the recent slowdown of upper tropospheric warming over the tropics.”
- 92) K. Takahashi : Regional Action on Climate Change Conference, Kyoto, Japan, 2015

- “Needs for global and long-term perspective in regional climate risk management.”
- 93) K. Takahashi : The Twelfth Tripartite Presidents Meeting among NIER, CRAES and NIES (TPM12), Yeosu , Korea, 2015
 “Assessment of Global Climate Risk Management Strategies.”
- 94) K. Tanaka : 12th Annual Meeting at the Asia Oceania Geosciences Society, Singapore, 2015
 “Multi-basket approaches to climate and environmental policies.”
- 95) 亀山康子：エネルギー・資源学会平成28年度第1回エネルギー政策懇話会(2016)
 「COP21と今後の課題」
- 96) 亀山康子：早稲田大学大学院法務研究科主催三井物産環境基金研究会（2016）
 「気候変動対策の進捗を測る」
- 97) 高橋潔，増井利彦，河宮未知生：「1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）」研究者集会（2016）
 「IPCC1.5℃特別報告書（SR1.5）スコーピング会合の概要報告」
- 98) 高橋潔，江守正多：「1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）」研究者集会(2016)
 「S-10リスク評価研究からの話題提供」
- 99) 長谷川知子，藤森真一郎，高橋潔，増井利彦：第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，同予稿集，105（2016）
 「気候緩和策による食料安全保障への影響分析」
- 100) 藤森真一郎，増井利彦，高橋潔：「1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）」研究者集会(2016)
 「IAM 研究コミュニティでの1.5℃CSRに向けた動き」
- 101) T. Hasegawa, J. Takakura, S. Fujimori, K. Takahashi, T. Masui, Y. Hijioka, Y. Honda: Assessment of human health impacts from climate change & steps forward, 11 November 2016, JRC Seville, Spain, 2016
 “Economic impact assessment of climate change impacts on human health using AIM/CGE: undernourishment and labor productivity”
- 102) A. Imamovic, K. Tanaka, D. Folini, M. Wild: European Geosciences Union General Assembly 2016, 2016
 “Global dimming and urbanization: did negative SSR trends collocate with regions of population growth?”
- 103) Y. Kameyama: Joint adelphi-IGES Expert Workshop on Climate-fragility Risks in Japan: Implications from the Asia and Globe, 2016
 “Japan’ s decisions on its GHG emission reduction targets”
- 104) Y. Kameyama: Side Event at Japan Pavilion, The 22nd Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016
 “Climate change mitigation Policy Progression Indicator (C-PPI) ver.3: 37 Action indicators and 6 Outcome indicators to measure climate mitigation policies”
- 105) A. Maeda: 39th IAEE International Conference, Bergen, Norway, 2016
 “Energy infrastructure investment game with spillover effect”
- 106) A. Maeda and M. Nagaya: INFORMS Annual Meeting 2016, Nashville, USA , 2016
 “Endogenous time preference and exhaustible resource use”

- 107) K. Takahashi : The workshop for capacity building on climate change impact assessments and adaptation planning in the Asia-Pacific region, Bangkok, Thailand, 2016
 “Projection of potential habitat for beech (*Fagus crenata*) forests in Japan considering three different dynamic downscaling scenarios.
- 108) K. Takahashi, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Hijioka, T. Masui, C. Park, A. Tanaka, Q. Zhou: Snowmass Workshops: Climate Change Impacts and Integrated Assessment, 2016
 “IAM-IAV-ESM linkage in AIM project - Focusing spatial resolution issues -”
- 109) K. Takahashi, S. Emori, Y. Yamagata, S. Kanae, S. Mori, Y. Fujigaki: 1.5 Degrees: Meeting the challenges of the Paris Agreement, Abstracts, 77-78, 2016
 “Comparing risks for aiming at 1.5°C, 2.0°C and 2.5°C degree targets with climate uncertainties”
- 110) A. Tanaka, K. Takahashi, H. Shiogama, N. Hanasaki, Y. Masaki, A. Ito, H. Noda, Y. Hijioka, S. Emori: 2016 Fall Meeting, 2016
 “Climate-change impacts on terrestrial ecosystems and water resources at different global warming levels. American Geophysical Union”
- 111) K. Tanaka, A. Ohmura, D. Folini, M. Wild : International Radiation Symposium(IRS) 2016
 “Is the global dimming and brightening in Japan limited to urban areas?”
- 112) K. Tanaka, Y. Yamagata, T. Yokohata, S. Emori, T. Hanaoka: Japan Geoscience Union Meeting 2016
 “Can we bet on negative emissions to achieve the 2° C even under strong carbon cycle feedbacks? ”
- 113) K. Tanaka, B. C. O’Neill: Ninth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC), 2016
 “Is the zero emission requirement aligned with 2.0° C and 1.5° C stabilization targets?”
- 114) K. Tanaka, B.C. O’Neill: American Geophysical Union Fall Meeting 2016
 “Is the zero emission requirement aligned with 2.0° C and 1.5° C stabilization targets?”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国際ワークショップ「ICA-RUS/CCRP-PJ2 International Workshop 2013 - Now and Future of Global Climate Risk Management-」(2013年12月4日-6日、タイム24ビル(東京)参加者約85名、その内国外からの参加者12名)
- 2) 一般公開シンポジウム「地球規模の気候リスクにどう対処するか ～人類の選択肢を考える」(2014年12月1日、東京大学伊藤国際学術センター伊藤謝恩ホール、観客約230名)
- 3) 第7回温暖化リスクメディアフォーラム「各国約束草案(INDC)をどう捉えるか?ーリスクの観点からー」(2015年11月5日、フクラシア東京ステーション、観客約60名)

- 4) 「1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）」研究者集会。（2016年9月5日、航空会館、参加者90名；文部科学省創生プログラムとの共催）
- 5) 一般公開シンポジウム「パリ協定の「1.5℃」、「2℃」目標にどう向き合うか？」（2016年11月21日、東京大学伊藤国際学術研究センター伊藤謝恩ホール、観客130名）

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK総合「視点・論点」（2014年4月8日、温暖化リスクと適応について紹介）
- 2) 月刊農業経営者（2014年5月号）
- 3) 公明新聞（2014年4月27日）
- 4) 成果の記者発表「環境省環境研究総合推進費 戦略研究プロジェクトS-10「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢（第1版）概要版」の公表について（お知らせ）」（2015年9月25日、筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ同時配布）
- 5) 成果の記者発表「2090年代の世界平均気温変化予測の不確実性を、2050年までに大幅に低減できることを解明（お知らせ）」（2016年1月11日、筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ同時配布）

（6）その他

- 1) S-10 の研究活動・研究成果を広く情報提供するために、プロジェクト開始当初よりウェブページ (<https://www.nies.go.jp/ica-rus/>) を公開・更新している。
- 2) S-10 の研究成果をステークホルダーに広く情報提供するために、ICA-RUS レポート 2013（和文・英文）、ICA-RUS レポート 2014（和文・英文）、ICA-RUS レポート 2015（和文・英文）、ICA-RUS レポート 2017（和文）を作成・公表した。
- 3) S-10 の研究活動について広く国民に情報提供するため、国立環境研究所地球環境研究センターニュースに紹介記事「地球温暖化リスクと、私達はいかに付き合っていくのか？」を公表した。（2014年2月；<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201402/279005.html>）
- 4) 国際WS2013の概要と結果について広く国民に情報提供するため、国立環境研究所地球環境研究センターニュースに紹介記事「意思決定の現場で「使える」気候変動リスク管理戦略の構築に向けて-ICA-RUS 国際ワークショップ 2013 開催報告」を公表した。（2014年2月；<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201402/279004.html>）
- 5) 一般公開シンポジウム「地球規模の気候リスクにどう対処するか～人類の選択肢を考える」の概要と結果について広く国民に情報提供するため、国立環境研究所地球環境研究センターニュースに紹介記事を公表した。（2015年1月；<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201501/290002.html>）
- 6) 一般公開シンポジウム「地球温暖化対策の長期目標を考える パリ協定の「1.5℃」、「2℃」目標にどう向き合うか？」の概要と結果について広く国民に情報提供するため、国立環境研究所地球環境研究センターニュースに紹介記事を公表した。（2017年2月；<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201702/314001.html>）

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

S-10-1 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

(2) 気候変動リスク管理戦略に係る知見集約と戦略検討

株式会社野村総合研究所 岩瀬健太（平成 24-26 年度）・科野宏典（平成 24-25 年度）
・佐藤将史（平成 25-28 年度）・吉本翔生（平成 26-27 年度）
・妹尾昌俊（平成 27-28 年度）・布施卓馬（平成 28 年度）・神尾文彦
平成 24～28 年度累計予算額：75,888 千円（うち平成 28 年度：14,154 千円）

[要旨]

サブテーマ2では、総合化会議のICA-RUS全体の窓口機関として、「総合化会議の運営」、「ICA-RUS REPORTの作成」、「ICA-RUS REPORTに関する読者の意識調査・フィードバック」、「リスク管理戦略最終版の作成」、「アウトリーチ活動」の大きく5つの業務を行った。

「総合化会議の運営」では、各テーマの研究成果や知見を統合・集約し、リスク管理戦略を検討する場となるICA-RUS気候リスク管理戦略のための総合化会議を月1～2回程度の頻度で定期的
に開催した。「ICA-RUS REPORTの作成」では、総合化会議での検討成果をもとにした年次報告書
として、ICA-RUS REPORTの取りまとめ・作成を実施した。「ICA-RUS REPORTに関する読者の意識
調査・フィードバック」では、研究期間の中間年（平成26年度）において、今後の改善点の抽出・
対応を行う為に、前年度に作成したICA-RUS REPORT（ICA-RUS REPORT2014）をもとに読者意識調
査を行った。これらの成果のとりまとめとして、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢」
をテーマとした報告書の作成を行うとともに、「アウトリーチ活動」として、関係者にメディア
フォーラムやセミナー等の場において配布することによる、ICA-RUSの研究成果の広報や意見収集
の実施や、S-10の研究成果の政策的意義について考察する研究を行った。

[キーワード]

気候変動リスク、リスクインベントリ、地球温暖化対策

1. はじめに

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（S-10）」では、多岐の分野に
わたる研究者・有識者が参画し、地球規模の総合的な気候変動リスク管理戦略の検討・構築を実
施する。この総合的なリスク管理戦略の検討・構築にあたっては、それぞれの参画者による新た
な研究成果・知見の創生はもちろんのこと、S-10全体としての研究成果および知見の統合・集約
が必要となる。

そこで、本業務では、平成24年度から平成28年度にかけて、S-10全体の各テーマの研究成果や
知見を統合・集約し、リスク管理戦略を検討する場となる総合化会議の運営を実施した。

サブテーマ2は、当研究課題の目的として「定期的な会合の開催による各テーマの知見の統合・
集約およびそれをもとにしたリスク管理戦略の検討」を掲げ、5ヵ年度全期間を通じて、総合化会
議の開催・運営及び総合化会議での検討成果をもとにした年次報告書であるICA-RUS REPORTの取

りまとめ・作成を実施した（平成27年度を除く）。

上記に加え、本サブテーマでは、年度によってそれぞれ異なる取り組みを行うことで、S-10全体の知見の統合・集約を図った。具体的には、平成24年度においては、各研究テーマ・サブテーマの連携促進のためサーベイ補助を実施した。また、平成25年度から平成27年度にかけては、前年度作成のICA-RUS REPORTの読者意識調査（アンケート、ヒアリング調査）を行った。同時に、平成26年度には、リスク管理評価報告書「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の作成を行った。平成27年度から平成28年度にかけては、アウトリーチ活動の一環として、政策決定者への情報発信として当該サブテーマによる論文執筆のための、過去の気候変動政策に関する政策関係者インタビュー及び過去事例の調査を行い、野村総合研究所機関誌「Public Management Review（2016年11月号）」に掲載した。

2. 研究開発目的

ICA-RUSでは、多岐の分野にわたる研究者・有識者が参画し、地球規模の総合的な気候変動リスク管理戦略の検討・構築を実施する必要があった。それぞれの参画者による新たな研究成果・知見の創生はもちろんのこと、ICA-RUS全体としての研究成果および知見の統合・集約およびそれをもとにした検討が必要であったため、本サブテーマでは、下記のことを実施することを目的に業務を実施した。

まず、各テーマの知見の統合・集約およびそれをもとにした知見の検討の場を運営した。また、その場での検討結果をもとにした報告書を年度毎に作成・公開するとともに、アンケートやヒアリング調査、アウトリーチ活動を通じて読者からのフィードバックを行うことで、各種ステークホルダーに対するICA-RUS研究成果の周知・浸透を行い、かつその手法、表現方法の改善を検討・実施した。これらを通じて、当研究課題の目的である「定期的な会合の開催による各テーマの知見の統合・集約およびそれをもとにしたリスク管理戦略の検討」は十分にその任を果たしたと考えている。

3. 研究開発方法

ICA-RUS全体の窓口機関として、大きく5つの業務を行った。（1）総合化会議ならびにテーマ横断会合の運営、（2）年次リスク評価報告書（ICA-RUS REPORT）のとりまとめ・作成、（3）ICA-RUS REPORTに関する読者の意識調査・フィードバック、（4）「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」・同「最終版」の作成、（5）成果のアウトリーチの検討等である。

（1）総合化会議ならびにテーマ横断会合の運営

本業務では、各テーマの研究成果や知見を統合・集約し、リスク管理戦略を検討する場となるICA-RUS気候リスク管理戦略のための総合化会議を月1～2回程度の頻度で定期的で開催した。総合化会議は、研究開始から終了までの5年間で合計38回開催した。

総合化会議の場では、上記の目的を踏まえた総合化会議の事務局運営に留まらず、特に「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の作成業務の主体でもあったために、事務局からの作業進捗報告や、各テーマ・サブテーマへの作業依頼のためのプレゼンテーションを総合化会議の中で実施した。

更に、総合化会議に加えて、複数のテーマが関係する課題について協議するテーマ横断会合を開催し、事務局としてこれらの会議の運営を支援・調整した。さらに、テーマリーダー等と調整・相談やディスカッションを行い、各テーマの進捗状況の確認や課題検討を進めた。

これらの会議やプロジェクトリーダー、テーマリーダー等との協議を経て、選択肢最終版に向けて加筆すべきポイント、分担案、スケジュールについても検討を進めた。

(2) 年次リスク評価報告書（ICA-RUS REPORT）のとりまとめ・作成

本業務では、総合化会議での検討成果をもとにした年次報告書として、ICA-RUS REPORTの取りまとめ・作成を実施した。

報告書の作成においては、各テーマ（サブテーマ）の研究成果および知見の効率的かつ効果的な集約とテーマ間連携の促進、あるいは各テーマの研究成果向上を支援するために各テーマ間調整等の支援を実施した。特に、リスクインベントリの作成においては、リスクインベントリ作成チームに参画しインベントリの改善・ネットワーク図の作成等の支援を実施した。

研究期間の最終段階においては、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢」の最終版の内容を踏まえて、その概要版という位置づけで作成を行った。上記「最終版」に記載された研究成果を全てサブテーマ2にて読み込み、「戦略」評価結果を中心に内容を要約し、主要結果について執筆し、また、一覧する図や一部グラフを分かりやすくなるよう更新するなどの新たな作業を行った。

(3) ICA-RUS REPORTに関する読者の意識調査・フィードバック

研究期間の中間年（平成26年度）において、今後の改善点の抽出・対応を行う為に、前年度に作成したICA-RUS REPORT（ICA-RUS REPORT2014）をもとに読者意識調査を行った。具体的には、COPに参加経験のある関係者・関係機関、各省庁の気候変動問題を担当する課室を中心に、約150名を対象とし、レポートの読みやすさや内容面の理解のし易さといった観点から、読者の意識を把握することを目的としたアンケート調査を行い、その分析結果を総合化会議の場でフィードバックを行った。

(4) 「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」・同「最終版」の作成

本業務では、成果のとりまとめとして、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢」をテーマとした報告書の作成を行った。具体的には、平成26年度に「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」を、最終年である平成28年度に「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢最終版」を作成した。

「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の作成業務においては、本サブテーマによる主導の元、当該報告書の構成検討、各パートの執筆作業の役割分担設計、執筆担当者への作業依頼及びそれに関わる諸調整、執筆原稿の回収・統合およびチェック作業・再執筆依頼といった業務を担当した。特に当該報告書の構成検討や、執筆原稿のチェック作業においては、ICA-RUSの研究の根幹にある分析テーマ・戦略のフレームワークを微調整しながら行う必要があり、単なる報告書編集の枠を大きく超えて、研究全体のフレームを検討する役割を担った。

「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢最終版」の作成業務においては、過去5か年の成

果及び総合化会議での検討・議論をもとにしたリスク管理戦略に関するレポートの作成支援を行った。レポートのフォーマット作成や各テーマの執筆担当者の進捗管理、様式や書きぶり、図表類の不整合の修正・追記作業や各研究者への追加提出に関する督促・調整等の作業を行った。

(5) 成果のアウトリーチの検討等

成果のアウトリーチについては、ICA-RUS REPORT2015の日本語版、英語版を中心に、関係者にメディアフォーラムやセミナー等の場において配布し、ICA-RUSの研究成果を広報するとともに、意見収集を行った。また、公に露出のある媒体への論文投稿を行うことを目標に、これまでの成果を、主に平成26年度作成の「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」を中心に整理するとともに、S-10の研究成果の政策的意義について考察する研究を行った。

具体的には、過去の気候変動政策に関わる数値目標事例を取り上げ、その意思決定プロセスを精査するとともに、その一環として、国立環境研究所亀山康子氏、新潟県立大学渡邊理絵氏、名古屋大学高村ゆかり氏に対して、長期的な気候変動予測研究の成果と、政策意思決定過程の関係性について、ヒアリング調査を実施した。

4. 結果及び考察

(1) 総合化会議ならびにテーマ横断会合の運営

総合化会議は、5年間で合計38回開催した。各年度の実施回数とアジェンダは、表(2)-1のとおりであるが、具体的には、平成24年度にはICA-RUSの前提条件となる考え方や各テーマ・サブテーマの意見のすり合わせを中心に行い、平成25年度には、翌年度の中間評価を意識した、研究成果の取りまとめ方針の議論に会議の中心が徐々に移り、平成26年度には、主として、成果のとりまとめや「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の執筆に関する役割分担や進捗確認、諸所の調整に関する確認、議論が中心となった。

平成27年度から28年度にかけては、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」を踏まえて、同「最終版」の作成にあたって改善、更新をすべき事項、ICA-RUSとしてとりまとめ発信すべきメッセージや、そのために必要な条件や研究の進め方の変更すべき点について、議論を行った。

これらを通じて、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」・同「最終版」、間毎年度のICA-RUS REPORT（日本語版・英語版（英語版は同レポート2013, 2014, 2015のみ））を作成、公表ができたことを踏まえ、結果としては当初の目標を達成することができた。

表(2)-1 過去5年間の総合化会議の一覧と概要

年度(回数)	主なアジェンダ
平成23年度 (全8回)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総合化会議の位置付けの確認 ・ 各テーマの文献サーベイの状況集約とそれに基づいた各テーマの論点(着眼点)の集約と議論 ・ インベントリの作成状況の共有 ・ S-10における検討の進め方の共有・議論 ・ ICA-RUS REPORTの内容に関する議論 ・ S-10の共通シナリオに関する意見交換 ・ ICA-RUSにおけるコミュニケーション課題の整理と社会調査の形式検討

平成24年度 (全8回)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際WSの内容検討 ・ 各テーマの昨年度成果と今年度目標に関する報告 ・ 地球温暖化に関する国際交渉の状況の共有 ・ 気候変動リスク管理の選択肢に関する議論 ・ S-10が実施する分析ケースの設定方針に関する議論 ・ リスクインベントリの改善方針・進捗状況に関する報告 ・ C019での議論の概要紹介 ・ 平成25年度のICA-RUS REPORTの内容に関する議論
平成25年度 (全11回)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICA-RUS REPORT2014フィードバック調査について ・ 中間成果報告書および中間評価について ・ 対策インベントリの改定方針 ・ SSPデータについて ・ 定量分析データ提供フォーマットおよびデータ授受の検討状況について ・ 一般向けシンポジウムについて ・ リスク管理戦略第一版の目次・分担・スケジュールについて ・ 「戦略」に関する情報共有・議論 ・ 第一版のタイトルとひな形について ・ 戦略ワークショップについて ・ 第一版執筆の進捗確認
平成26年度 (全5回)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今後2年間の計画について ・ ICA-RUS REPORT 2015作成について ・ メディアフォーラムならびにCOP21に向けた準備について ・ テーマ横断会合等を通じた重要課題の検討状況について ・ 研究成果の活用、アウトリーチについて ・ COP21に向けた準備について ・ 拡大アド会合を踏まえた今後の取り組みについて ・ 最終版に向けた準備について
平成27年度 (全6回)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICA-RUS全体及びリスク管理戦略最終版のまとめ・メッセージ ・ 分析ケース及び戦略の検討について ・ 複数テーマに関わるトピックスについて <ul style="list-style-type: none"> ・ リスクインベントリ・対策インベントリの検討状況 ・ ティッピングエレメントの検討状況 ・ 適応の扱い ・ リスク管理戦略最終版作成のタスク・スケジュール・進捗の確認 ・ ICA-RUS REPORT作成状況報告 ・ 国内外の各種イベント・セミナー等の報告

(2) 年次リスク評価報告書(ICA-RUS REPORT)のとりまとめ・作成

次に、上記総合化会議の議論を中心としてICA-RUS REPORTの取りまとめを実施した。このレポートは作成後にICA-RUSのWebページ (<http://www.nies.go.jp/ica-rus/index.html>) で公開された。

まず平成24年度はICA-RUS REPORT 2013として、リスクインベントリ・対策インベントリの内容や各テーマが研究を進めるにあたり注目しているポイント(論点)の内容および概念検討TGの検討をもとにしたICA-RUSでの検討フレームおよび用語の定義等の定性的な内容を中心に取りまとめを行った。

次に、平成25年度には、同年度に実施したアンケート調査の結果(後述)から、ICA-RUS REPORT 2013は、先述の通り難易度が高く、また、分量が多いという問題が示唆された。同時に、ICA-RUS

が提示する最終アウトプット像が不明確という指摘も複数なされた。そのため、今年度に作成したICA-RUS REPORT 2014はこれらの問題点を改善することを意識した内容・構成とした。

具体的には分量を半分程度にし、内容についてもより簡潔・明解な記載を心がけた。さらに、第Ⅰ部、第Ⅱ部という2部構成とし、第Ⅰ部ではICA-RUSの最終アウトプットを説明し、第Ⅱ部では代表的な研究成果を紹介し、レポート全体としての見やすさも意識した。加えて、レポートの内容を簡潔にしたため、レポートとは別により詳細な内容を記載したICA-RUS REPORT 2014詳細版としての位置づけである「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」も併せて作成し、気候変動に関する知識を有する読者にも配慮するという工夫も実施した。

続いて、平成27年度には、平成26年度に作成した上記選択肢第1版をもとに、ICA-RUSの検討体制や留意事項を説明した上で、「戦略」評価結果を中心に要約したICA-RUS REPORT2015を作成した。2015年9月25日に日本語版を、2015年11月8日に英語版を公表した。選択肢第1版は多岐にわたる研究成果を盛り込んでおり、分量が多いため、入念に読み込むことは難しい研究者、一般の方も多くいることが予想される。このため、ICA-RUS REPORT2015では、選択肢第1版を十分に読み込めていない読者にとっても、なるべく分かりやすくなるように記述内容の再検討や図表・グラフの追加などの工夫を図った。

ICA-RUS REPORTについては、ICA-RUS REPORT 2013, 2014, 2015において、英語版を作成した。作成した英語版は2013年に開催した国際WSにて配布するとともに、その後も、ICA-RUS参画者が海外の学会に参加する際に持参・配布する等の活用を行った。英語版の作成により、ICA-RUSの取組みの国際的な発信・周知に寄与できたものと考えている。

最終年度の平成28年度には、同年度に作成した選択肢最終版をもとに、ICA-RUSの検討体制や留意事項を説明した上で、「戦略」評価結果を中心に要約したICA-RUS REPORT2017を作成した。リスク管理戦略最終版は多岐にわたる研究成果を盛り込んでおり、分量が多いため、入念に読み込むことは難しい研究者、一般の方も多くいることが予想される。このため、ICA-RUS REPORT2017では、選択肢最終版を十分に読み込めていない読者にとっても、なるべく分かりやすくなるように記述内容の再検討や図表・グラフの追加などの工夫を図った。ICA-RUS REPORT2017において、構成される項目は、表(2)-2のとおりである。

表 (2)-2 ICARUS REPORT2017を構成する項目

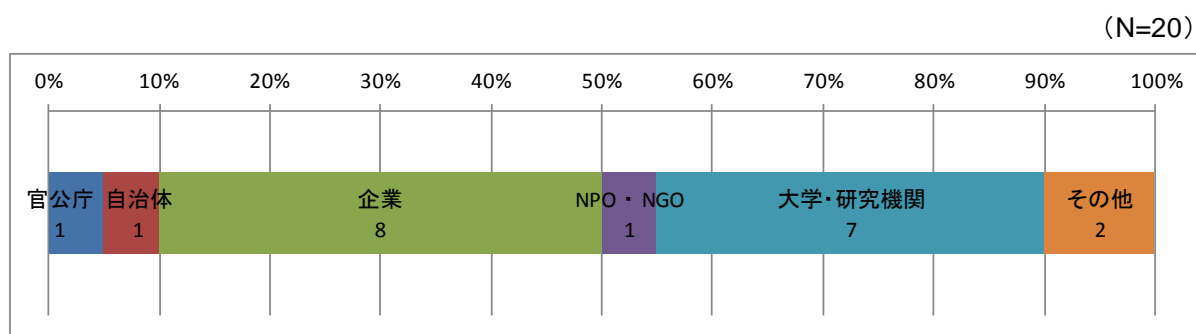
テーマ	項目
ICA-RUS の検討体制	ICA-RUS の検討枠組
	ステークホルダーとの対話
「戦略」評価方法	「戦略」の考え方
	「戦略」検討にあたっての留意事項
	「戦略」の評価手順と構成要素
	分析ケース
「戦略」評価結果	影響評価結果
	対策評価結果
気候変動問題に係る意思決定における社会的合理性	気候変動リスク管理をめぐる社会的合理性の理論
	気候変動リスク管理をめぐる人々の意思決定
	気候変動リスク管理をめぐるリスク認知構造
今後の課題	今後の課題

(3) ICA-RUS REPORTに関する読者の意識調査・フィードバック

まず平成26年度に、ICA-RUSの研究内容およびアウトプットを政策決定者等の気候変動政策関係者にとってより有益なものにするという目的意識のもと、ICA-RUS REPORTの内容や各テーマの研究内容ICA-RUS REPORT 2014の内容検討および各テーマの研究内容検討の参考にするため、昨年度成果物であるICA-RUS REPORT 2013に対する意見収集を実施した。

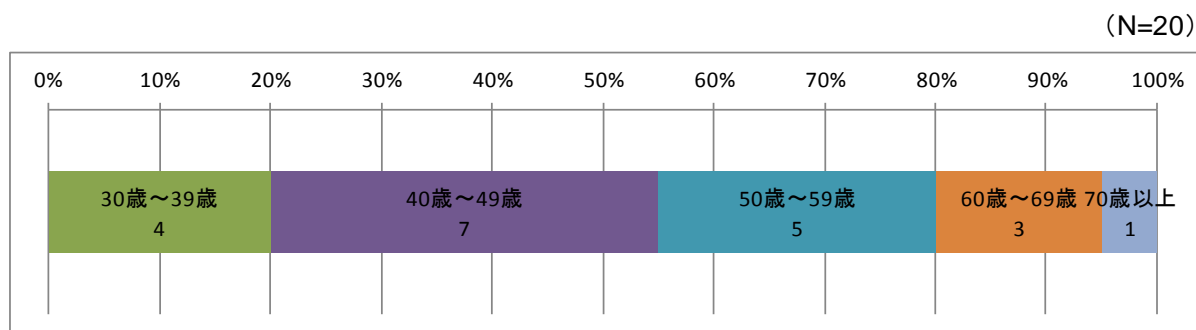
意見収集は主にアンケート調査により実施し、今年度は計20件の回答が得られた。

回答の内訳を図(2)-1に示す。回答者の所属で最も多かったのは企業の8人、次いで大学・研究機関の7人となった。



図(2)-1 回答者の所属

また、回答者の年齢は40歳代が最も多く7人、次いで50歳代が5人であった(図(2)-2)。



図(2)-2 回答者の年齢

ICA-RUS REPORT 2013の各項目の分かりやすさに関して、「分かりやすい」および「どちらかと言えば分かりやすい」という回答が多かった項目は「コラム5 バイオマスCCS」や「コラム4 気候工学とは」であり、逆に、「検討の枠組み・進め方」や「コラム6 割引の考え方」に対しては、「分かりにくい」および「どちらかと言えば分かりにくい」という回答が他の項目に比べて多いという結果となった(図(2)-3)。

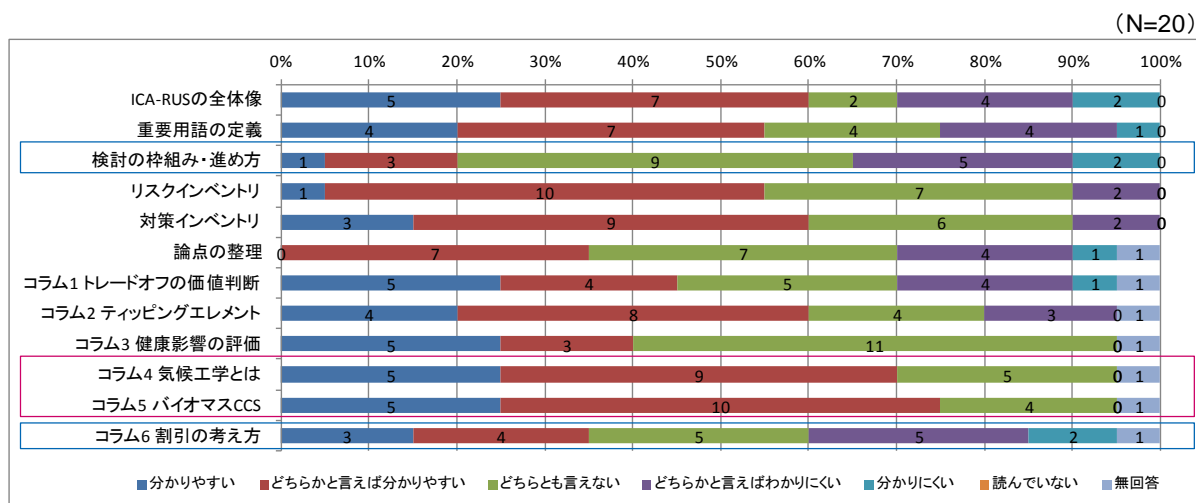


図 (2)-3 ICA-RUS REPORT 2013 の各項目の分かりやすさ

気候変動問題を考える上での重要性については、「リスク管理の視点を導入すること」に対して、「非常に重要である」あるいは「やや重要である」との回答が最も多くなり、逆に、「気候工学も視野に入れて検討すること」に対しては、他の項目に比べて「全く重要ではない」あるいは「あまり重要ではない」という回答が多くなった（図(2)-4）。

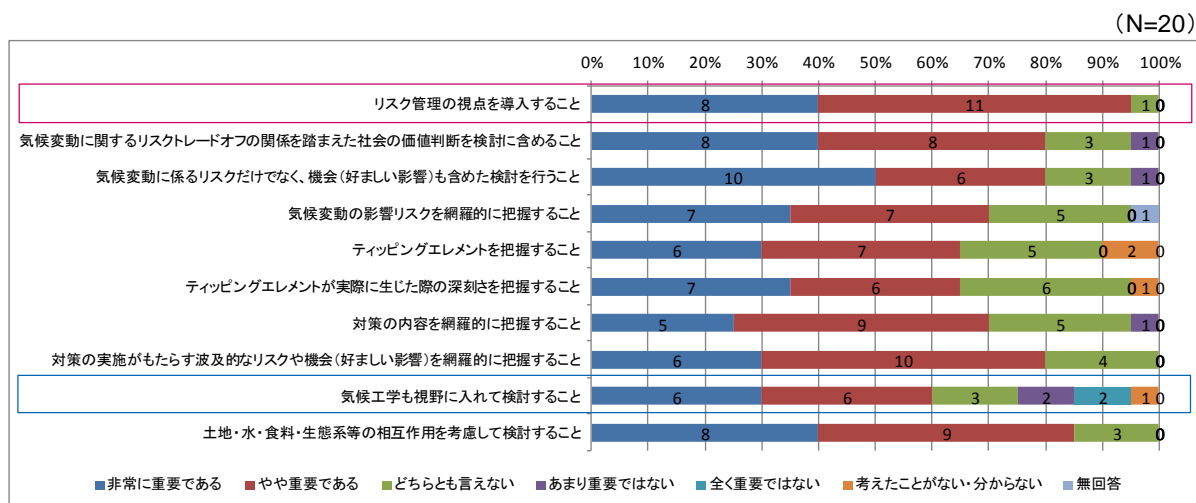


図 (2)-4 気候変動問題を考えるにあたっての重要性の認識

さらに、ICA-RUS REPORT 2013の読前と読後の認識の変化を図4の各項目について質問したところ、「以前よりも重要とを感じるようになった」あるいは「どちらかと言えば以前よりも重要とを感じるようになった」と回答した人が最も多かった項目は「リスク管理の視点を導入すること」であり、ICA-RUS REPORT 2013は気候変動問題におけるリスク管理の視点導入の重要性を認識するために、有効に機能していることが示唆された（図(2)-5）。

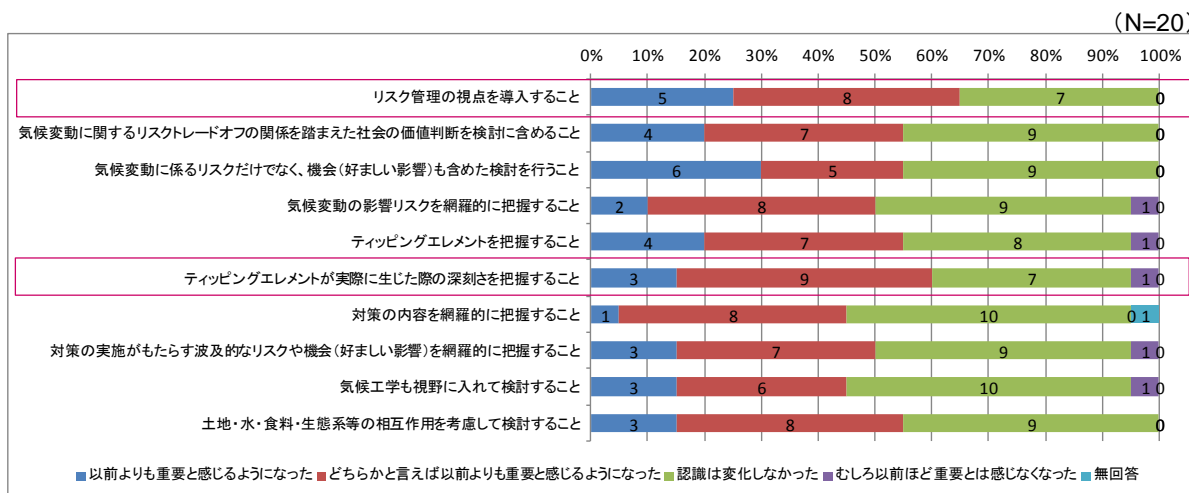


図 (2)-5 ICA-RUS REPORT 2013の読前と読後での重要性認識の変化

また、この調査では、レポートで参考になった点（問4）、レポートの要改善点（問5）、今後レポートへの掲載を希望する点（問6）および研究内容に対する意見・要望（問7）について、自由記述で回答を求めた。表2～5に得られた回答を列挙する（図(2)-6～図(2)-8）。

- レポートや研究に対する肯定的な意見
 - 1Page目で指摘されている通り、「気候変動のリスク管理」といった場合、地域規模の適応の議論を指すことが多いため、こうした地球規模のリスク管理に関する議論は勉強となりました。
 - 緩和策インベントリ、社会経済対策インベントリ、適応策インベントリについてリスクインベントリとの関連性で理解することが重要だと改めて認識した。
 - 国内でも温暖化対策と影響を総合的に評価しようとする動きがあることを歓迎したい。具体的な研究成果がどう反映されるのかが注目したい。
 - インベントリの内容が詳細で参考になる。一方、これらの重み付けをどの様に展開していくのかが期待。
 - 新しい試みとして評価できる。
 - コラムが良くまとまっていてわかり易かった。
 - 各種対策のインベントリやリスクの表については、網羅的に書かれていると感じた。今後参考にしたい。
 - 「機会」については、科学的レポートを是非期待したい。研究されること、引用されることが少ないテーマだと思うので。その他、コラム4(気候工学)は新知識だった。コラム6(割引)も興味深い。
- 追加の検討について
 - 気候変動発生の要因が人為的活動による部分と自然現象に由る部分の比率(良く判っていない)の大小をどう想定するかによって、リスク、対策コストベネフィットの評価が大きく左右されることについての分析、検討もされると良いと思います。
- 現在の研究について
 - 対策目標を、リスク管理の視点から考える材料を提供することは、意義あることと思う。地球規模の目標であるため、個別の国の目標設定には影響力が小さくなるかもしれないが、少なくとも国際交渉において、ミニマムな目標を主張する国に、真正面から「この目標が全体として帰結する気温上昇を許容する」という意思表明であると踏み込むことができるようになるかもしれない。現状ではフリーライダー問題もあるが、帰結する気温上昇(カンクン合意で3度程度?)について直視した交渉を展開できていない。特にインベントリの中で、緩和策、適応策などが出てくるのは参考になると思う。これは気温上昇の幅によって分けられて提示されてくると思うのだが、緩和・適応ともどの目標を選ぶかについて、よい指標となることを願う。→特に適応については、オプションを提示した研究はあまり見たことがないので、期待している。なお2013年5月に開催されたADP全会でアフリカ諸国が、2度、3度、4度と分けた形で適応オプションとコストについてテクニカルペーパーを要求していたが、そうした文書作成にも役立つといふことと思う。
 - 本研究は「地震・津波対策」、「原発安全対策」などと同じ規模で推進すべきである。したがって小規模な研究ではあるがそのアウトプットは地震・津波対策等と同じように社会に提示すべきである。リスク管理はどのようになれば成功で、どうなれば失敗なのか明確にするべき。
 - 全体のScopeとしてとくに目新しい点はなかったため、認識の変化は少なかった。交渉にふりまわされる必要はまったくないが、政策の組立てや科学からみたあるべき姿にふみこまないと新しい発見はないのではないか。「政策」研究に直しないのではないか。
 - コラム1で指摘された政治姿勢と気候変動問題への姿勢の相関は興味深い検討テーマと思われる。しかし、その相関は「社会観」の違いだけではないのではないか。
 - 「気候変動問題」が「問題」になってから既に長い年月が経過している(気候変動枠組条約からカウントすれば20年)。しかし、本レポートで指摘されているように、本問題は理解が難しく、費用対効果を判断することが極めて難しい事柄である。そのため、総合的な科学的知見に基づく合理性を根拠とするのではなく、「合意されている」「趨勢になっている」「既存の制度である」等を根拠に、気候変動問題への姿勢が規定される場合もあるのではないのか。例えば、排出権ビジネスの関係者は経済的利害によって「姿勢」が規定されるのではないのか。組織(官民ともに)においても、前例や外部状況によって仕事規定されることもあるのではないのか。
- レポート名称について
 - ICA-RUSと書かれると「RUS」が目についてロシアの活動かと思った。

図(2)-6 ICA-RUS REPORT 2013 において参考になった点、新たな気づきが得られた点

- 内容の難しさについて
 - この研究の対象は、政策決定者や有識者ということだと思うが、非常に理解が難しいと思う。政策決定者向けにわかりやすく見せる“要約”が必要ではないかと思う。
 - 全体に専門家向けであって難しかった。温暖化では市民を動かすことが重要なので、この報告書が市民向けにさらに発展することを期待したい。
 - 専門用語、数式が多用された部分は、理解が直感的にできない。簡けつさと内容がマッチしていない部分もある様に思える。
 - 図表や絵がもっとあれば、短時間で理解に役立つと思いました。
 - 全体に表現が慎重で、結論がわかりにくい。文章をもっと短く簡潔にした方が頭に入り易い。
 - また、用語の定義が示されていますが、具体的な例がないと、各用語の違いがイメージしづらいと感じました。
 - 報告書全体に言えることであるが、使われている言葉が非常に難しいと感じた。もう少し分かりやすい言葉に変えて欲しい。
 - 文章が長くなるかもしれないが、比喩を使う、事例を示すなどで、わかりやすくなる可能性もあるのではないか。
- 論点について
 - 今や「環境問題」は「文明と地球生命圏の永続の問題」としてとらえるべきである。“地球温暖化”も文明存続の観点から論じるべきではないか。
 - 研究の中立性をしきりに主張しているが、きわめてわかりにくい。むしろ人類文明を10万年間永続させることを根本的な価値観として、長期目標の設定を含めて論じるべきではないか。
 - ティッピングエレメントの評価は、時間軸のとり方によっていかにもとらえられると思います。むしろ、“非可逆性”のような尺度も必要に感じました。
 - 地球全体の問題として扱っているためもあり、現実の影響、リスクベネフィットが地域跋行性があることの視点が弱い点。
 - 現実社会には、将来のリスクを知っていても現実の行動が起こせないという社会的バリア、政治的バリアがあることの視点が欠けているのではないかとこの点。
 - 社会的合理性について詳細な紹介が欠けている。気候正義、環境正義の問題などのように取り入れるつもりか。
- 内容・説明の追加について
 - 安全保障リスクについて全く触れていないのは問題である。
 - コラム6は、実際にStemとNordhaus論争もふくめた解説もほしい。
 - これからの研究プロジェクトのため、今後に期待すべき事項とは思われますが、社会に提示する最終結果のイメージが掴みづらいといえます。どういったアウトプットを想定していて、どういった形で国際交渉等の議論に寄与するのか、その点を明確に示して頂けたらと感じました。
 - コラム1の解析の横軸と縦軸が安易にとられている。気候変動対応の難しさは、経済成長とリンクした所であり、この関連性についての解析が求められる。
- その他
 - 近ごろまた増えている懐疑論者たちにはあまり効果がないのではないかと少し残念。というのはリスク管理のために提示されるイベントリの内容そのものを疑うのが彼らだから。利用可能な最大限の科学的知見を利用したということを訴えるしかないでしょうか？
 - 気候工学について、よく読むと「実施を慎重に検討すべき研究領域」であることが書かれているが、一見すると緩和オプションとして十分考慮すべき重要なオプションであるがごとく読める。他の緩和策については、項目が並べられているだけであるのに対し、現在世界で実現可能な緩和策として検討されている内容に対し、バランスにかけられるのではと思う。

図(2)-7 ICA-RUS REPORT 2013 において理解が難しかった点・改善すべきと感じた点

- 今後レポートへの掲載を希望する内容
 - 最終的なアウトプットのイメージを明確化し、そこから逆算する形で各研究プロジェクトの位置づけを明らかにして欲しいと思います。「図1 テーマ間の情報連携」に各研究プロジェクトの関係性が示されていますが、各研究プロジェクトの内容が、具体的にこのように最終アウトプットに反映されるのか、理解しづらいと感じました。
 - ジオエンジニアリングに対するもっと突っ込んだ検討を望みます。中でも副作用の大きさに対する知見が必要と考えます。
 - 問4でも書いたが、目標設定に役立てる意図ということならば、ぜひ上昇温度ごとのトレードオフ(さらに適応策についても)を記してほしいです。
 - 扱う内容が幅広い一方、定点観測適なエレメントが不足しているように感じました。時間と場所を固定して影響を考え、それを世界各地で比較した場合に、どのような評価が生まれるのか気になりました。
 - 対策関係の政治動向がもっとも気になるし、重要。
 - 合意形成に関する事例を多く紹介してほしい。
 - 特段ございません。全体的によく整理されている。

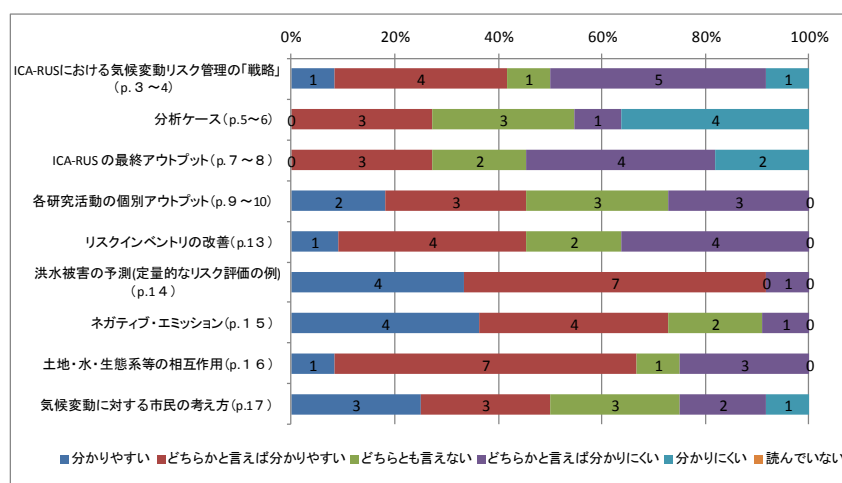
図(2)-8 今後の ICA-RUS REPORT に掲載を希望する内容

- 分かりやすいレポートの作成
 - 一般的な人にわかるような記述レポート(パンフ)も重要かとする(他の人に展開することが困難)。
 - 市民にとってわかりやすい、参考にし得るよう結果/成果を紹介して下さい。
 - この様な評価を試みるプロジェクトがなかったと思うのでこのICA-RUSプロジェクトの成果に期待する。なるべく多くの方に理解していただける様な報告書を作成して欲しい。
- 引き続きの情報発信
 - こうした地球規模のリスク管理は、今後重要となるテーマだと思います。そのため、是非とも研究成果を積極的に情報発信して頂き、気候変動リスクに対する社会全体の認識の深化に寄与して頂ければと思います。
 - 特にありません。今後も引き続き情報提供頂きますと幸いです。
 - 引き続きReportを発刊して下さい。
- 追加の研究
 - 超長期の気候変動(小氷河期、中世温暖期)等に人類が実際にどの様に対応、適応してきたか(民族大移動、生息圏拡大etc.)、またそれが歴史的・社会的にどのような影響をもたらしたかについての分析、検証の視点を加えると研究がより深まると思います。
 - 枠組みの提案をしないとする一方で、気候変動のリスクオプションの提案を行うという。よく考えれば、その意図は理解できるように感じるが、難しい。そこまで解析するならば、きちっと政策提言してくれることをむしろ期待したい。
 - 「価値観の違い」という一言で片付けるのではなく、具体的な違いや原因(文化、宗教、地域、年齢、ジェンダー)を、これまでの公平性などに関する哲学的、道徳論的な議論に基づいて、より深い議論をしてほしい。
- 英語版の作成
 - 英語でも発表されることを望みます！

図(2)-9 今後のICA-RUS REPORTに掲載を希望する内容

これらの意見から、インベントリ作成やICA-RUS REPORTの作成の取組みは総じて肯定的に受け取られている一方で、ICA-RUS REPORT 2013は難易度の高さおよび分量の多さという問題があることが示唆された。そのため、ICA-RUS REPORT 2014では、これらの点の改善を意識して内容検討を実施した。

この後、翌年度にICA-RUS REPORT 2014を作成後、当該レポート読者の意識調査を同様に実施した。そこにおいても、前年度同様、全体的に内容が難しい、分かり難いという意見が多く聞かれた。同時に、読者のターゲット層を絞るべきという意見もあった。本レポートについては、作成段階より読み手を広く想定し、分かりやすさを重視した構成を目標に作成したものであるが、結果的には、内容が高度で分かり難いという評価が多かった、前年度のICA-RUS REPORT 2013とほぼ同様の評価となった。分かり難さについては、個別トピックよりも、むしろ戦略や分析ケースといった、ICA-RUS全体の研究フレームに関する個所の難解さを指摘する意見が多かった(図(2)-10)。



図(2)-10 ICA-RUS REPORT2014の読者意識調査の結果

さらに平成27年度には、ICA-RUS REPORT 2015を中心に、関係者にメディアフォーラムやセミナ

一等の場において広報、意見収集を行った。例えば、ICA-RUSの成果として、「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いことなどが分かったが、これの解釈やティッピングエレメントとの関係などについての意見・コメントが寄せられた。また、今回工夫したとはいえ、一般の読者向けに研究成果をさらに分かりやすく伝える工夫が必要との意見もあった。これらの点は選択肢最終版に向けての検討に活用した。

（４）「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」・同「最終版」の作成

サブテーマ1と連携して、ICA-RUS全体のフレームワークの詳細検討を行った。それを踏まえて、当該報告書において核となる戦略の条件となる、SSPや気候感度の条件を絞り込んで設定し、それに適した内容の構成を作製し、さらには各パートの執筆担当の役割分担を、当サブテーマ主導で設定した（表(2)-3）。本業務前には、各テーマにおける研究の進捗動向がサブテーマレベルでは必ずしも追いつけない部分があり、詳細が不透明であったが、一定のフレームワークにあてはめる形で研究の進捗を見える形にし、そのための整理用の資料も作成・更新を続けたことで、各サブテーマの実施内容と進捗がより透明性を持って、全体に共有できるようになった。

選択肢第一版からの追加検討課題を含めて、分析ケース別の評価や「戦略」別の評価を中心に分析結果を総合的にとりまとめたレポートを作成した。各執筆担当者による多岐にわたる研究結果を一般の方にも理解しやすいように、表現の再検討や図表・グラフの追加・修正等を行った。

表(2)-3 最終版の目次・執筆分担

テーマ	担当者
はじめに	執筆：江守
1. ICA-RUSの検討体制	とりまとめ・執筆：江守
2. 分析ケースおよび戦略の設定	とりまとめ・執筆：高橋・江守
3. 評価結果（分析ケース別・その他）	
1) 分析ケース別	とりまとめ：鼎・井芹・吉川、高橋、森
2) その他	とりまとめ：木口
4. 戦略別評価結果	
1) 戦略の全体像	とりまとめ・執筆：高橋
2) 戦略別の評価	とりまとめ：鼎・井芹・宮崎、森
5. 戦略の特徴比較	とりまとめ・執筆：高橋
6. ステークホルダー等との対話	とりまとめ・執筆：福士・青木
7. 気候変動問題に係る意思決定における社会的合理性	とりまとめ：藤垣
8. 最後に	執筆：江守

（５）成果のアウトリーチの検討等

主に気候変動に関わる政策関係者向けの情報発信を行うことを目的に、これまでのS-10の成果を、主に平成27年度の「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の中心に整理するとともに、S-10の研究成果の政策的意義について考察する研究を行った。その際、国立環境研究所 亀山康子氏、新潟県立大学渡邊理絵氏、名古屋大学高村ゆかり氏に対して、長期的な気候変動予測研究の成果と、政策意思決定過程の関係性について、ヒアリング調査を実施した。

まず本研究では、日本の温室効果ガスの削減目標設定にかかわる経緯を鑑み、そこから見えてくる地球温暖化対策方針の現状と、今後の政策検討の中で考慮すべき科学的知見の活用の重要性について、次の2点を整理した。

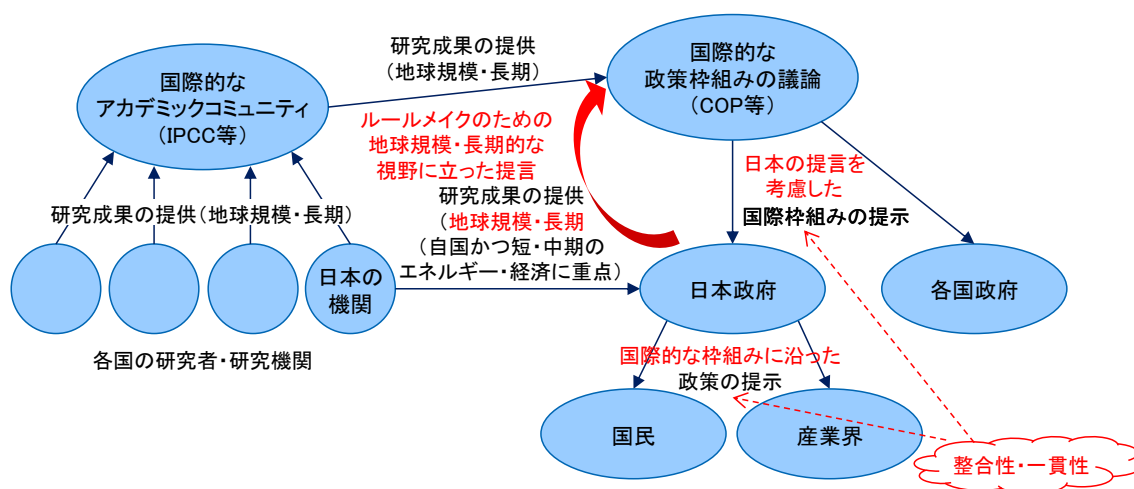
- 1) 日本における地球温暖化対策の目標設定過程の概略を振り返る。特に、目標の根拠付けやスコープがどのようなものであったかということに注目。
- 2) 「今後の日本の地球温暖化対策」の目標設定を行う上での検討課題と方向性について整理。

本研究を通して、ICA-RUSをはじめとした地球規模かつ長期的視点の予測研究は、1か国の政策目標の検討過程で活用することが容易ではないということが分かった。なぜならば、このような科学的な分析をしても遠い将来のことであるため、前提条件の設定や不確実性の考え次第で、地球温暖化の影響や今後の削減目標の選択肢は一意に決まらず、幅のある複数の選択肢とならざるを得ないからである。特に、わが国の政策検討過程では、不確実性のある情報をもとに、国民や産業界に影響するような個別施策の決定には大きなリスクを伴うため、その活用に消極的になることはやむを得ない。

一方で、COPを中心とした国際的な議論・交渉の場では、IPCC等が国際社会に提示する不確実性のある地球規模かつ長期的視点の地球温暖化予測研究の結果を踏まえた検討が行われている。日本のこれまでの温室効果ガス排出削減の方針は、国際社会において科学的知見に基づき定められた枠組みの中で、地球規模かつ長期的な情報を所与のものとしてきた。しかし、必ずしもそれらとの整合性に関する十分な説明のないまま、自国経済とエネルギー自給の視点に重きを置いて、排出削減目標が検討されてきたと解釈できる。

日本の排出削減目標については、現行のINDCに基づく目標から更なる変更が施される可能性は否定できず、その可能性も鑑みた継続的な数値目標のあり方の検討が必要である。

その際、(1) 国際的な枠組みに対して、地球規模かつ長期的視点を鑑みた日本として提案し、日本として納得感があり、かつモラルに反しない範囲で日本の政策や産業等に有利となるよう国際交渉の場でルールメイクを仕掛けていくこと、(2) 国際的な枠組みにおける検討結果と、国内の政策検討に整合性・一貫性を持たせて、国民や国内産業の合意形成に資することは重要である。(図(2)-11)



図(2)-11 今後、求められる政策検討における地球規模かつ長期的な研究成果の活用
今後の政策検討の場においては、地球規模かつ長期的視点を含む科学的な知見をより活用して

いくためには、研究成果と解釈方法について、政策担当者や関係者、国民にわかりやすく説明し、コミュニケーションをとる「翻訳」のプロセスが必要であり、下記二つの施策を参考事例として考察した。

1) 討論型世論調査の推進

「翻訳」のプロセスとして参考となる一つの実験的な取り組みは、日本における2012年の「革新的エネルギー・環境戦略」の策定過程にある。これは、地球温暖化についてはないが、2030年の原子力発電へのエネルギー依存の選択肢をテーマに、科学的知見を活用しながら検討したもので、「討論型世論調査」(deliberative poll: DP)という手法を用いた。

DPでは、無作為抽出した全国の成人に世論調査を実施した上で、その中から討論フォーラムへの参加を要請した。討論参加者には、事前に資料を配布し、285名の参加者を15名程度の小グループに分けたり、参加者全体で総合討論をしたりして、さまざまな手法で参加者同士の討論と専門家との対話が行われた。

2012年のDPには限界や批判もあるが、科学的な知見を専門家だけで閉ざさず、一般市民や政策担当者と対話するプロセスに則った試みを実施したという点で参考となった。

2) 産官学コミュニケーターの発掘・育成

政策に携わる機関が高い「翻訳」の能力を持つことも重要である。参考事例として、米国では、気候変動政策の行政担当者や研究者の人材要件が日本と大きく異なり、「翻訳」に大きく貢献している(表(2)-4)。

日本では、排出削減施策の関連機関において、行政側の人材は博士号を持つ専門的な人材が中心かつ継続的に登用されることは少ない。また、上記研究によって、主要研究機関は主に理工学系の研究者が中心的な役割を担っていることがわかった。これだけで、一概に日本における関係機関の「翻訳」能力が米国に比して低いとは断定できないものの、「翻訳」のあり方を考える上で、米国の実態は人材の登用に関する大きな示唆の一つといえる。

表(2)-4 排出削減目標に関する主要機関における人材の日米比較

	日本	米国
行政機関	・専門性・最終学歴は多様である (博士号取得者は主流ではない)	・博士号取得者が多く、 経済学出身者が中心となっている
研究機関	・博士号取得者は多い ・理工系出身者が中心となっている	・省庁と研究機関の間での 人材流動・交流が盛んである

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

リスク管理戦略第一版の作成過程において、特に影響分野の評価個所におけるテーマ間の連携が、テーマ2・3を中心に進み、総合的な分析を行うことができた。また分析テーマや戦略というフレームワークに基づいて研究成果を整理したことで、比較感を持って全体を俯瞰できるようになった。

また、下記の行政の活用が見込まれる成果と重複する部分があるが、S-10が取り扱うような、100年スパンの科学的長期予測情報の意義について、政策意思決定の観点から整理し、その重要性をとりまとめることができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

<行政が活用することが見込まれる成果>

アウトリーチ活動として、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版」の内容を雑誌（野村総合研究所の月刊誌）向けに要約し、S-10の研究の政策決定上の意義について論じたことで、一般向けの媒体を介したS-10の内容と意義の発信に繋がった。これは同時に、政策意思決定者に対して、超長期の科学情報の政策意思決定上の取り扱いに関する意義と課題を伝える効果が期待される。

総括班の取りまとめ担当として、「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢最終版」の詳細版及び概要版（ICA-RUS REPORT 2017）について、全体設計から一つの媒体としての全体調整・統合作業を行った。概要版については、詳細版に記載の研究成果に基づき、各研究成果の執筆をサブテーマ2にて、行った。これらの媒体により、本S-10の研究成果の全体像について、公に発信し、新たな知見を、読み手に配慮した形で発信することに繋がった。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

1) 佐藤将史：NRIパブリックマネジメントレビュー2016年11月号

「超長期の政策意思決定における科学的知見の活用に向けて－気候変動対策のケースからの示唆－」

(2) 口頭発表（学会等）

1) K. Takahashi, S. Emori, Y. Yamagata, T. Oki, S. Mori, Y. Fujigaki, K. Iwase : Impacts World 2013, Abstracts, Potsdam, Germany, 2013

“Integrated research on the development of global climate risk management strategies; framework and initial results of the research project ICA-RUS.”

2) K. Takahashi, K. Fukushi, Y. Maeda, K. Iwase, M. Sato, T. Yokohata, S. Emori : Adaptation Futures 2014, Abstracts, 233, 2014

“Communication with stakeholders in ICA-RUS project.”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

渡邊理絵（2015）『日本とドイツの気候エネルギー政策転換－パラダイム転換のメカニズム』有信堂高文社

政府発表資料『国連気候変動枠組条約第19回締約国会議（COP19）』2013年11月、『国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）』2015年12月

久保はるか（2011）「地球温暖化対策の中期目標決定過程における専門的知識の活用」『環境研究』2011年5月 No.161

環境省「地球温暖化対策計画」2016年5月13日

国立環境研究所の亀山康子氏の近著予定の原稿案

エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査第三者検証委員会（2012）「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査 報告書」2012年8月13日

馬場健司、小杉素子（2013）『熟議による社会的意思決定プロセスの課題－エネルギー・環境問題に関する2つの討論型世論調査からの示唆－』 「電力中央研究所報告」2013年4月

S-10-1 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**(3) 不確実性下の意思決定理論の気候変動リスク管理への応用**

国立大学法人東京大学
総合文化研究科

前田 章

<研究協力者> 辻村元男（平成25～28年度 同志社大学）
高嶋隆太（平成26～28年度 東京理科大学）
長屋真季子（平成24年度 京都大学，平成25年度 昭和女子大学）

平成24(開始年度)～28年度累計予算額：19,617千円（うち平成28年度：3,091千円）

[要旨]

気候変動問題は、科学的な不確実性、不完全予見性から、社会・政策問題としても不確実性とリスクを多く含んだ問題となっている。気候変動政策問題に関わる不確実性とリスクの概念を整理し、その計量化と評価の手法を確立すること、さらにそれらに立脚した規範的意思決定の枠組みを確立することは、「地球規模の気候変動リスク管理戦略の総合解析」にとって必要不可欠である。本研究は、割引効用、投資評価、リアルオプション、ゲーム理論などの考え方を総合し、リスク評価への経済学的基礎を総括する。これにより、数理モデルから政策的含意に渡って気候変動政策モデリングを俯瞰する評価の体系の確立を目指す。具体的には、まず、確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組みおよび規範的意思決定について概念整理を行う。これは、動的計画による多段意思決定の考え方と最適制御・確率制御理論の応用、時間軸上の経済価値評価およびリスクと割引の考え方、リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析について詳しく考察するものである。次に、概念整理により明確になった重要論点として、内生的な時間選好率・割引率の経済理論、不可逆的な投資意思決定と選択権（オプション）の価値評価について詳細な分析を進める。本研究を通して、環境政策問題のモデル化・定式化に対してより明確な科学的基礎を与え、政策モデリングの帰結と意味合いについて理解を深めることができると考えられる。これにより、より良い形で政策担当者へ情報提供できるようになるものと考えられる。

[キーワード]

時間選好率、割引率、確率制御、最適停止、オプション評価

1. はじめに

気候変動問題は、科学的に十分に解明されていない事象が数多く含まれていること（科学的な不確実性）、超長期の時間軸を持つため予測不可能な事象に本源的に影響されること（不完全予見性）の2点から「不確実性」を多く含んだ問題となっている。そうした不確実性のもとで、なんらかの価値判断／選好に関わる広範囲な概念となっているものが「リスク」である。気候変動政策問題

に関わる不確実性とリスクの概念を整理し、その計量化と評価の手法を確立すること、さらにそれらに立脚した規範的意思決定の枠組みを確立することは、「地球規模の気候変動リスク管理戦略の総合解析」にとって必要不可欠である。

そこで、本研究は、割引効用、投資評価、リアルオプション、ゲーム理論などの考え方を総合し、リスク評価への経済学的基礎を総括する。これにより、数理モデルから政策的含意に渡って気候変動政策モデリングを俯瞰する評価の体系の確立を目指す。

2. 研究開発目的

不確実性下の意思決定理論の確立とその気候変動リスク管理応用の体系化のため、本研究は、以下の項目に整理して研究を進めた。

- (1) 確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組みおよび規範的意思決定について概念整理
- (2) 内生的な時間選好率・割引率の経済理論分析
- (3) 不可逆的な投資意思決定と選択権（オプション）の価値評価

以下に詳しく述べる。

確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組み、および規範的意思決定については、最適制御を中心にして、時間軸上の経済評価の考え方について考察を深めつつ、リスク資産や不可逆的意思決定の価値評価について概念整理を行う必要がある。そこで次の3つに分けて議論を進めた。

- 1) 動的計画による多段意思決定の考え方、最適制御・確率制御理論の応用
- 2) 時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方
- 3) リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析

まず、1) について述べる。環境、資源・エネルギーの利用には、その時点にとどまらず、時点を越えた影響が伴う。したがって、それは必ず時間軸のなかでの計画、すなわち、動的な計画として位置付けられなくてはならない。応用数学では、これを「動的計画」あるいは「最適制御」と呼ぶ。確率的な要因が含まれる場合は、特に「確率制御」と呼ぶこともある。そうした計画ないしは制御の最適解を考察するとともに、その解析的・数値的解を探索する理論は、応用数学の一分野として発達し、その知見がファイナンスや金融工学分野などで適用されてきた。しかしながら、気候変動を中心とする環境経済問題の分野では、これまでのところあまり積極的な適用は見られない。本研究ではそうした傾向を改めるべく、問題の構図と定式化および解法について、整理類型化を行うことを目指した。確率制御の数学的意味合いと経済的意味合いを並行して扱いながら、考察を行い動的計画による多段意思決定の考え方と最適制御・確率制御理論の応用について総括し、学問的拡張・深化を図ると共にその総合的リスク評価への含意を検討する必要がある。

次に2) について述べる。エネルギー・気候変動政策モデルの多くはラムゼー＝キャス＝クープマンズ・モデル（単にラムゼーモデルとも呼ぶ）を基礎にしており、割引効用モデルとその最適制御問題として構築されている。その構造は経済学においても最もスタンダードなものであるが、そのシンプルな構造の中には、経済学の重要な考え方、特に、動的な経済価値評価、それに付随するリスクと時間割引・選好の考え方が凝縮されている。近年の気候変動経済モデルにまつわる各種の論争は、その根本的な部分で、割引効用モデルに対する賛否、さらにその背景にある考え方に対する賛否に、暗黙裡に関連していると言える。こうした割引効用モデルに対する賛否

を念頭に置いて、その背景にある効用、リスク、割引、さらには衡平性の考え方について整理を行う必要がある。

3) については、気候変動政策モデルにおける限界効用（期待効用論の中ではリスク選好に関連するもの）や時間選好率の位置付けと意義については、次の方法で進める。エネルギー・気候変動政策のための理論モデルやコンピュータシミュレーションモデルは、その多くがラムゼーモデルを基礎としている。そうしたモデルの中で重要な役割を果たす構成要素の一つに社会厚生関数がある。これを決定付けるのは η 「消費の限界効用弾力性」、 ρ 「社会的時間選好率」である。このように η と ρ というたった二つのパラメータによって社会厚生が特徴付けられ、モデルの振る舞いが決定付けられる構造とその意味について理論分析を行う必要がある。

以上の概念整理を通して明らかになったのは、内生的な時間選好率・割引率の重要性である。そこで、本研究ではこれの経済理論分析を詳しく行った。特に、資源経済学において、「枯渇性資源の希少性レントは、利子率と同じ率で上昇する」という理論は、ホテリング・ルールとして知られている。しかし、その際の利子率がどのような形で決定されるのかという点については、これまで議論されたことがない。一方、他の経済学分野では、利子率や時間選好率に対する議論は熱心に取り組まれている。特に、マクロ経済学においては、時間選好率を経済モデルの内生変数に依存させた形でモデル内に組み込んだ研究が数多く行われている。その中でも、消費習慣が効用に影響を及ぼすという「習慣形成モデル」はよく知られたものとなっている。本研究では習慣形成モデルのひとつである Uzawa-Epstein 型時間選好率の概念を用いて、枯渇性資源の最適利用について理論的な分析を行った。これを通して、資源の代替財であるバックストップ技術の導入時期や、資源利用と消費習慣の性質について考察を行う。

概念整理を通して明らかになったもう一つの重要な論点は、不可逆的な投資意思決定と選択権（オプション）の価値評価である。これについても次の2つに分けて議論を進める。

- 1) 最適投資時点選択ゲーム
- 2) 方向性を持った物流経済取引

1) については、複数の経済主体による投資時期選択の均衡をゲーム理論の枠組みで考察する。エネルギー・環境政策上の具体的な施策はしばしば社会的インフラへの投資という形で具体化することになるが、経済主体によるインフラへの投資は、多くの場合正の外部性あるいはスピルオーバー効果を伴うことになる。それはインフラが社会全体での共有財産を形成するという側面を持ち合わせているからである。ここで注意すべきことは、正の外部性は必ずしもそれ自体で社会全体を利するものになるとは限らないということである。正の外部性は、フリーランチの可能性を意味し、そのフリーランチを狙って、誰も投資をしないという事態が発生する可能もある。一方、そうしたフリーランチの故に誰も投資しないと予見されるなら、逆に個々の経済主体は自身の経済的利益の計算のみに専念し、結果として、すべての経済主体が同時に投資に乗り出す、すなわち、二重、三重の投資が社会的に行われることもあり得る。正の外部性あるいはスピルオーバー効果が社会にとって望ましいものであるか否かは、結局、フリーランチによる過小投資あるいは過剰投資いずれかが起きるか、あるいはどちらも起きないかといった事態に依存することになる。

そこで経済主体同士の投資時期決定ゲームにおいて、スピルオーバー効果がどのような影響を及ぼすか、理論モデルによって考察することが重要である。ここでは二つの同一の経済主体がい

るとして、その理論的帰結をゲーム理論の考え方をを用いて分析する。

2) については、エネルギー分野でしばしば見られる不可逆的な投資意思決定や方向性を持った物流経済取引として、これまでにない理論を構築する必要がある。すなわち、次のように考えられる。

通常の経済取引において、価格には方向性がない。たとえば、経済主体Aと経済主体Bの間での財Xの取引を考え、取引コストや輸送コストが一切ない場合を想定してみる。この財Xを経済主体Aから経済主体Bに売る（Bが買い取る）時の財価格は、その逆方向の取引、すなわち、BからAへの移転の場合の価格と同一でなければならない。ところが、ある特定の財の取引においては、必ずしも $P(A \Rightarrow B) = P(B \Rightarrow A)$ とはならない。典型的な例が、電力の取引である。電力は貯蔵できず、発電と同時に消費されなければならない。そこで、一つの送電線を介して、経済主体Aから経済主体Bに送電した電力を、そのままBからAに戻すことは物理的に不可能であり、それゆえ、価格差があったとしてもその間の利ザヤを取ることが不可能になっている。このような方向によって価格が異なる取引は、二者択一のオプション（デジタルオプション）の一種とみなすこともできる。本研究では、このような特殊な価格付けに直面する経済主体の価格に対する行動（需要関数、供給関数）を考察する。

3. 研究開発方法

研究開発目的で示した項目に沿って記す。

(1) 確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組みおよび規範的意思決定について概念整理

1) 動的計画による多段意思決定の考え方、最適制御・確率制御理論の応用

動的計画による多段意思決定の考え方と最適制御・確率制御理論の応用については、これまで多くの研究者がさまざまな背景をもって取り組んできたトピックであることから、論点の整理が必要である。まず、最適制御とは、機械的システムや物理的なシステムを操作して（これを制御という）、利用者にとって「最適」な形に導くことを指す。一定の制約条件のもとで、特定の目的関数あるいは評価基準を最大化あるいは最小化する問題として定式化されたものは、「最適化問題」と呼ばれ、その数学的な理論は「最適化理論」と呼ばれる。また、最適化理論をより実際的な応用問題として、解法を中心に扱った分野は、「数理計画法」と呼ばれる。さらにその中で、制御対象とするシステムが時間的（＝動的）に変化するケースは「動的計画法」と呼ばれる。

最適制御は考え方としては最適化理論や動的計画法の特殊なケースであると言える。しかし、歴史的には、これらとは若干異なった発達の経緯を持っている。もともと工業上、機械的、物理的システムの状態変化を扱う「制御理論」が独自に発達した。そこでは、状態を最適に導くための制御を「フィードバック」や「フィードフォワード」という形で行う考え方や手法が重要視された。これらを組み込んだ制御は「自動制御」とも呼ばれる。この制御理論が20世紀半ばに、飛行体の軌道制御や姿勢制御などに適用されるなかで最適化理論と融合し、最適という言葉が付いたのである。

以上のような最適制御の背景とは別に、確率を扱う数学も独自に発展してきている。もともとギャンブルを扱うために生まれた確率論は、20世紀半ばに微積分と融合し、確率微分・確率積分といった数学になっている。これが、最適制御に取り入れられて、確率制御となった。こうした発展の経緯から、確率制御は最適化理論の特殊なケースではあるが、歴史的には最も新しく、理

論として最も高度なものであると言ってよい。

確率制御の理論は、伝統的な工学的利用としては、機械的、物理的なシステムであったが、近年では、この理論は経済的な問題や経営的な問題でも多用されるようになってきている。特に 1970 年代から 80 年代にかけて急速に発展した金融工学あるいはフィナンシャルエンジニアリングでは確率制御の理論は不可欠なものとなっている。さらに金融に限らない財一般や経済活動について、その価値を算定し、分析することに、確率制御理論は利用されるようにもなり、1990 年代頃からは「リアルオプション」という考え方も確立されている。このように、もともと物理的なイメージしか念頭になかった確率制御理論は、いまや金融を中心に、先進的な経済・経営理論にとって不可欠なものとなっている。

以上のような歴史的に複雑に入り組んだなかで、確率制御問題は統一的な定式化が必要であり、理論の体系化とそれに対応する応用の範囲についての考察を行った。

2) 時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方

時間軸上の経済価値評価および関連するリスクと割引の考え方については、理論と研究動向を整理・評価し、気候変動経済政策モデリングの脈絡で整合性や問題点を考察した。

気候変動経済モデルの多くは、長期に渡る社会の厚生や福祉を、割引係数で重み付けされた瞬時効用の総和として定義している。これは割引効用モデルと呼ばれ、経済学の理論として極めてスタンダードなものとなっている。そのシンプルな構造の中には、経済学の重要な考え方、特に、動的な経済価値評価、それに付随するリスクと時間割引・選好の考え方が凝縮されている。一方でこの割引効用モデルの現実性に対する疑問や批判も長年提起されてきた。近年の気候変動経済モデルにまつわる各種の論争（たとえばスターン報告書を巡る賛否や割引方式を巡る論争など）は、その根本的な部分で、割引効用モデルに対する賛否に、暗黙裡に関連していることも多い。そこで本研究では、何故割引効用か、という点から議論をはじめ、関連する効用、リスク、割引、さらには衡平性の考え方について最近の研究動向を調査分析した。

3) リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析

エネルギー・気候変動政策のための理論モデルやコンピュータシミュレーションモデルは、その多くがラムゼーモデルを基礎としている。そうしたモデルの中で重要な役割を果たす構成要素の一つに社会厚生関数があり、それは次の形で書かれる。

$$W \equiv \int_0^{\infty} u(c_t) L_t e^{-\rho t} dt \quad \text{ただし } L_t = e^{m t} \text{ および } u(c) = c^{1-\eta} / (1-\eta)$$

ここで、 η は「消費の限界効用弾力性」 ρ は「社会的時間選好率」である。このように η と ρ というたった二つのパラメータによって社会厚生が特徴付けられ、モデルの振る舞いが決定付けられる構造とその意味について理論分析を行った。

(2) 内生的な時間選好率・割引率の経済理論分析

統合評価モデルで使われる評価関数は多くの場合、次のような形をしている。

$$D_0 \times u(C_0) + D_1 \times u(C_1) + \dots + D_t \times u(C_t) + \dots + D_T \times u(C_T) \quad \dots \textcircled{1}$$

ただし、 $D_t = (1+\rho)^{-t}$ 、 $u(z) = (z^{1-\eta} - 1) / (1-\eta)$

ここで、 t は時点を表す。また、 C_t は時点毎の消費（あるいは享受したフローの経済価値）を表す。 u は時点毎の消費から得られる満足度や便益を表し、瞬時効用と呼ばれる。 D_t は割引係数、さらに ρ は時間選好率（あるいは時間割引率）と呼ばれるものである。なお、理論上 T は無限と考えるが、数値計算上はそういうわけには行かないので、ある特定の値を仮定することになる。

この①の形は、時点毎の経済活動を効用なるものに直し、かつ、時間に応じた重み付け（割引）をして足し合わせたものとなっている。時点 t を連続的な変数として考える場合は、

$$\int u(C_t) \exp(-\rho t) dt \quad \dots \textcircled{2}$$

という積分の形と等価である。

このような評価関数を持ったモデルは、「時間整合性」を持っている。時間整合性とは、ある時間の断面（たとえば $t=0$ ）で見て、そこから将来を考えたときと、時間が経って実現したある時点（ $t > 0$ ）から将来を考えたときとが、互いに整合性を持っているという性質である。①あるいは②とは違う形の時間整合性の無い評価関数を採用することは、モデルの解の導出とその経済的解釈という点で多くの問題が発生することが知られている。

そこで、本研究では、時間整合性を保持したままで、①ないしは②をどこまで拡張することができるか考察すべく、 D_t については前年度に続き習慣形成、 $u(z)$ については消費水準の下限を導入したモデルを考え、その振る舞いを分析することとした。

（3）不可逆的な投資意思決定と選択権（オプション）の価値評価

1) 最適投資時点選択ゲーム

問題設定として、次のような状況を考える。ある企業が每期獲得している収益を X_t 円とする。ここで t は各期を表す。これを年と考えても良いし、四半期、あるいは毎月と考えてもよい。また、 $t=0$ によって現時点を表すとする。さらに問題を簡単にするため、この収益は每期 g の率で増加していくものとする。すなわち、 $X_t = X_0(1+g)^t$ である。さらに、毎期に適用される金利を r とする。ここで $r > g$ と仮定しておこう。次に、この企業に投資の機会があるとする。これは、ある時点 τ で I 円の投資をすると、その次の期からの収益は、従来のももの a 倍となる、という投資機会である（ただし、 $a > 1$ とする）。

このような状況下で、次の投資判断のルールが導かれる。

先送りが可能な場合の投資判断ルール：もし $X_0 \geq \frac{I}{(1+g)(a-1)}$ なら、直ちに投資するべきであり、そ

うでなければ、先送りするべきである。

以上の単一の投資問題を拡張して、次のようなモデルを考える。

- ・二つの同一の経済主体があり、それぞれは、生産活動の結果、各時点（ t とする）で X_t ドルの純利益を得ているものとする。
- ・その毎期の純利益は、成長率 g で増加していくものとする。

$$X_t = X(1+g)^t$$

- ・利子率を r とする。ただし $r > g$ である。
- ・各経済主体には、投資の機会が与えられている。すなわち、ある時点で投資を行うと、その時点以降の毎期純利益は a 倍になる。 aX_t $a > 1$ 。投資の費用は I である。

・投資には I だけのコストがかかるが、もし他者が自者よりも先にその投資に乗り出すなら、自者は事実上コストゼロで同様の投資とその効果を得ることができる。

このモデルは投資時期をいつにするかという意思決定において2者が相互に影響を及ぼしあうゲーム理論の構造として解釈される。均衡解を考察することにより、多くの洞察が得られる。

2) 方向性を持った物流経済取引

研究目的の項目でも記したように方向性を持った物流経済取引の典型的な例は電力の取引である。電力は貯蔵できず、発電と同時に消費されなければならない。そこで、一つの送電線を介して、経済主体Aから経済主体Bに送電した電力を、そのままBからAに戻すことは物理的に不可能であり、それゆえ、価格差があったとしてもその間の利ザヤを取ることが不可能になっている。このような方向によって価格が異なる取引は、二者択一のオプション（デジタルオプション）の一種とみなされる。一人の需要家とそれに電力を供給する一人の電力供給者が存在する状況を想定して、需要曲線を導出し、その性質を分析する。

4. 結果及び考察

研究開発目的で示した項目に沿って記す。

(1) 確率制御、多段意思決定と動的計画の枠組みおよび規範的意思決定について概念整理

1) 動的計画による多段意思決定の考え方、最適制御・確率制御理論の応用

動的計画による多段意思決定の考え方と最適制御・確率制御理論の応用については、連続時間での確率制御問題について考察し、それを構成する状態変数、制御変数、評価関数の設定によってさまざまなバリエーションができることから、次のように体系化された。

もっとも基本となる形式は、「絶対連続制御問題」であるが、そこでは状態変数の確率過程、制御変数の操作、経済主体の受ける便益など、すべてが連続関数となっている。最適性の必要十分条件は、「HJB方程式」によって記述される。

次に、制御が続行か停止かという二者択一であり、しかも一旦停止したらそれで状態変数が固定されるという一度限りの判断であるようなケースを考える。これは「最適停止問題」と呼ばれる。その二者択一の判断は、数学的には、続行領域の設定という問題に置き換えられ、さらにそれは「変分不等式」として表現された。

さらにHJB方程式が制御変数について一次関数となり、それゆえ絶対連続制御問題とは違った制御方式が必要となるようなケースがしばしば出現するが、これは「特異制御問題」と呼ばれるものである。この場合の制御の形式は、最適停止問題と同じく、続行か停止かという判断であり、同じく続行領域の設定という問題に帰着されるものであった。最適停止問題と異なる点は、続行・停止の判断が一度限りではないという点である。結果的に、状態変数が続行領域からはみ出ることがないように制御を繰り返すことになる。

最後に、特異制御問題の形式の延長で、さらに特殊な条件が付されたケースが考えられる。それは制御にかかる費用関数が原点において不連続かつ劣加法的な関数となるケースである。ほんのわずかな制御であって、その制御の規模には比例しない形で、ある一定の費用がかかる。こうした場合、特異制御の場合のように、制御を頻繁には繰り返すことはできなくなってしまう。なるべく制御の回数を減らすべく、続行領域の内側深くへと状態変数を押し戻すという制御が行わ

れることになる。こうした制御がなされる問題は「インパルス制御問題」と呼ばれる。このインパルスの必要な時期に加えて、その大きさ（幅あるいは規模）を決めることも、この問題においては重要な解になる。それらは、「準変分不等式」として記述されることになる。

インパルス制御問題を特異制御問題との対比で再考してみると、その違いは次のように考えられる。特異制御問題の場合は、続行領域からはみ出さないように制御を継続し得たが、インパルス制御問題の場合は、そうした制御の継続は最適ではない。なぜなら、制御を行う毎に非連続的に費用がかかるからである。そうした費用の典型例は「固定費用」である。特異制御問題は、そもそも制御変数に比例する形の費用、すなわち「比例費用」がかかり、それが要因となって、絶対連続制御問題とは異なった制御方式が必要とされることになった。こうしたことから、特異制御問題では、制御変数に要する費用が比例費用である一方で、インパルス制御問題では、固定費用が加算される、という問題設定になっていると言える。

以上のように、連続時間系の確率制御問題は、絶対連続制御問題、最適停止問題、特異制御問題、インパルス制御問題の4つに分類できることになるが、それらは定式化の形から、応用できる現実の問題が自然と決まってくる。

枯渇性資源の最適消費、環境負荷物質排出の最適制御、再生可能資源の最適利用など、フローの制御を実施する制御問題は、典型的な絶対連続制御問題となっている。その解の導出はハミルトン＝ジャコビ＝ベルマン（HJB）方程式を解くことに帰着される。HJB方程式自体は、価値関数について関数形を設定し、そのパラメータを求めることによって解かれる。

最適停止問題の応用として、オプション価値の評価問題であり、特に投資の価値評価に使われる。設備投資・拡充、政策の新規導入、代替案の選択などにおいて、多くの場合、意思決定は不可逆であり、そのような意思決定は最適停止問題として定式化される。現状維持を意味する続行領域は、状態変数が一次元の場合、閾値による判定に帰着される。そのため、そうした閾値を求めることが最適停止問題を解くことになる。また、「停止することができる」ことは、リアルオプション価値を持つ。

特異制御問題は、経済学的には制御に要する費用（あるいは便益）が比例費用（便益）となっている場合にあたる。そうした特異制御問題は、最適停止問題と同じく、変分不等式と続行領域の設定によって解かれる。特異制御問題の典型的な応用例は資源ストックの管理である。

インパルス制御問題の応用例としては、再生可能資源の管理問題が考えられる。インパルス制御は、特異制御のより特殊なケースとして捉えることができる。それは、制御にかかる費用関数が不連続かつ劣加法的な関数となるケースであり、典型的には固定費用が発生するようなケースである。こうしたインパルス制御問題は、準変分不等式と続行領域の設定によって解かれる。

2) 時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方

そもそも、経済主体の意思決定とは、財ベクトルの選択可能な範囲から、最適な財ベクトルを一つ選択することである。ここで、「最適」とは、選択可能集合上の他のあらゆるベクトルよりも好まれる（より高く選好される）ものであることを指す。その選好の基準は「効用関数」で表される。社会厚生関数とはこうした個々人の効用関数を集計したものである。

そこで、論点は、個々人の効用関数および社会厚生関数が具体的にどのような形状をしているかという点であると言える。標準的な経済理論では、異時点間の選択を考慮した効用関数を「割

割引効用モデル」で表す。このモデルは形式として、瞬時効用の相互非依存性および時不変性、割引係数の消費非依存性および時不変性などの特徴を持ち、そのため、社会厚生関数への集約が容易であること、動的最適化問題としての定式化が容易であることなど、多くの経済理論構築上の利点を持っている。

しかしながら、このモデルでは説明のつかない現象が多く観測されているとして、このモデルを批判する論者も多く見られる。また、これに代わるモデルとして、双曲割引モデル、習慣形成モデル、参照点モデルも提案されている。さらには、効用関数の概念そのものに対する否定もしばしば見受けられる。

確かに、「割引効用モデル」は多くの仮定や公理系に基づいており、「現実性」について批判を免れないことも事実である。しかしそこには、経済学の重要な考え方が凝縮されている。選好、時間、リスク、社会厚生、市場均衡といった概念が整合性を持つ形で、組み立てられている。また、効用論と時間割引は不可分であるといえる。しかしながらこれらは、多くの仮定や公理系に基づいており、「現実性」について批判を免れないことも事実である。これに対して、心理学から発生した新たな効用論と割引論は、「現実性」を追求する一方、論理的な構成には程遠いように思われる。また、地球環境問題の脈絡での割引論は、地球環境問題特有の論点を十分に特定化できていないように思われる。どちらも本質的に代替案を提示するには至っていないのが現状といえる。

3) リスク回避係数と時間割引率の関連性の経済分析

気候変動政策モデルにおける限界効用や時間選好率については、次のような結果が得られた。まず、上述の「消費の限界効用弾力性」 η 、「社会的時間選好率」 ρ がそれぞれモデルの中で世代内、世代間の衡平性を表すパラメータとなっていることを論じた。モデルが導く経済の動的性質に関連して、次の命題が導かれた。(a)一人当たり消費が上昇（下降）している経済局面において、後世の効用に対する割引を大きくすることは、各時点における不衡平の上昇を許容する（しない）ことを意味する。(b)定常状態において一人当たり消費が時間的に不変となると、両者は交換可能ではない。

こうしたことは、超長期的な地球環境問題の脈絡では次のように解釈できよう。「後世の効用に対する割引を大きくすること」とは、たとえば、現世代の経済活動が将来世代に対して環境問題という大きなツケを回すことになるとしても、それをあまり考慮に入れないというのである。一方、「各時点における不衡平の上昇を許容する」とは、先進国と発展途上国の格差、各国内の格差の拡大を容認する、ということである。考慮する／しない、容認する／しないの判断は、直接的には政治・交渉の問題であり、究極的には倫理・哲学の問題である。上記命題は、こうした事柄が経済モデルの中で互いに深い関連をもっていることを示唆している。

(2) 内生的な時間選好率・割引率の経済理論分析

時間選好率・割引率の役割を考察するため、内生的時間選好率を導入し理論モデルを構築した。その構造の概略は次のようなものである。閉鎖経済を考え、人口は一定と仮定する。この経済では、生産部門は存在せず、枯渇性資源とバックストップ技術（＝枯渇性資源に代替しえる高価かつ高度なエネルギー生産技術）のみが利用可能な社会とする（ケーキ・イーティング経済）。代表

的経済主体を想定し、その時間選好率が、Uzawa-Epstein型時間選好率となっている。すなわち、次のようなモデルを考える。

$$\max_{\{E(t)\}} \int_0^T u(E(t)) \cdot e^{-\Delta(t)} dt + e^{-\Delta(T)} V$$

$$\text{where } \Delta(t) = \int_0^t (r(E)) ds \quad r(E) > 0, \quad u'(E) > 0, \quad u''(E) < 0$$

$$dS(t)/dt = -E(t)$$

$E(t)$: Exhaustible resource use at t ; $S(t)$: Stock of exhaustible resources at t ;
 $\Delta(t)$: Cumulative discount rate at t ; $u(*)$: Representative agent's instantaneous utility;
 $r(*)$: Instantaneous discount rate; T : The time of switch to the backstop technology;
 V : Value of the backstop technology

上記のモデルから、枯渇性資源の最適消費経路には2つのパターンが存在することが分かる。その違いを決定付けるのは、異時点間の代替の弾力性の逆数 η である。すなわち、異時点間の消費の代替が非弾力的な場合 ($1 < \eta$)、資源の消費量は時間と共に減少する。一方、異時点間の代替が弾力的な場合 ($0 < \eta < 1$)、資源の消費量は時間と共に上昇していくことになる。

この消費経路に基づいて、枯渇性資源からバックストップ技術への最適切替え時期について分析を行った。その結果は3つの命題としてまとめられる。まず、枯渇性資源の初期ストック量の増加は代替財であるバックストップ技術への切替え時期を遅くする (命題1)。次に、バックストップ技術の価格が上昇すると、その技術への乗り換えハードルが高くなり、切替え時期が遅くなる (命題2)。最後に、消費の習慣形成に影響を与える時間選好率係数 β と最適切替え時期の関係について分析し、この関係が η に依存することが分かった (命題3)。すなわち、異時点間の消費の代替が非弾力的な場合 ($1 < \eta$)、 β の上昇は近視眼的な消費習慣の増大を招き、その結果、最適切替え時期の早期化につながる。一方、異時点間の代替が弾力的な場合 ($0 < \eta < 1$)、 β の上昇は最適切替え時期を遅らせることになる。

次に、「必要最低の消費水準」 m を導入し、次のような瞬時効用を考える。

$$u(E) = \frac{(E-m)^{1-\eta}}{1-\eta}, \quad \eta > 0, \quad \eta \neq 1, \quad m \geq 0$$

天然資源は本来経済活動にとって必要不可欠な要素である。そのため、いかなる状況においても必要最小限の利用量が求められる。「必要最低の消費水準」 m はこのような状況を表現している。最大原理を使って考えると、次のような定理が導かれる。

定理1: 必要最低の消費水準 m がゼロの近傍で増加するとき、代替技術への切替え時期 T は減少する。すなわち、次式が成立する。

$$\frac{dT}{dm} < 0 \quad \text{for } m \approx 0$$

定理1は一見すると当然のことであるように思える。確かに、必要最低の消費水準がゼロであったものが正の値に上がると、瞬時の資源消費必要量が増えることになるので、資源の枯渇は早まる、と解釈することができる。そして、その解釈は大変もつともらしい。

ところが、そもそも必要最低の消費水準がゼロであった場合の消費の動学がどのようなものであったかを思い起こすと、この解釈の信憑性が揺らぐことになる。必要最低の消費水準がゼロである場合の資源消費動学は長屋・前田（2013）で詳しく分析されているが、その要点は、資源枯渇以前の段階で瞬時の消費水準 $E(t)$ がゼロに落ち込むことはない、ということである。つまり、資源消費は、その下限（この場合、ゼロ）に接することはあり得ないのである。

しかし、そうであるならば、この下限が若干上がったところで、資源消費動学の形状は影響されないはずである。その形状が変わらなければ、資源枯渇の時期も不変であるはずである。 m の微小増加程度では $E(t)$ がその下限に接することもないので、下限としての意味がないのである。このことは、 $m=0$ の近傍では、

$$\frac{dT}{dm} = 0$$

となっているものと予想される、ということの意味する。定理1は、こうした予想を否定する、大変興味深い結果であると言える。

（3）不可逆的な投資意思決定と選択権（オプション）の価値評価

1) 最適投資時点選択ゲーム

各経済主体について、時点 τ で投資を行った場合の、時点0における正味現在価値 NPVは次のように計算される。

$$NPV(\tau) = \left\{ \frac{1+r}{r-g} + \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^\tau \frac{(1+g)(a-1)}{r-g} \right\} X_0 - \left(\frac{1}{1+r} \right)^\tau I$$

サブゲーム完全ナッシュ均衡を次のように書くことにする。

$$(\tau^N, \sigma^N)$$

理論分析の結果、次のような結論が得られた。

Iが次の条件を満たすとき、

$$\frac{(1+g)(a-1)}{r} X_0 < K \left\{ 1 - \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^\tau \right\} \frac{(1+g)(a-1)}{-r-g} \frac{1}{r^M} X$$

2者は一期ずれた投資、すなわち

$$(\tau^N, \sigma^N) = (\tau^M, \tau^M + 1) \text{ and } (\tau^M + 1, \tau^M)$$

となるが、

$$\left\{ 1 - \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^\tau \right\} \frac{(1+g)(a-1)}{r-g} X_{\tau^M} < I$$

の場合は、均衡解が存在しない（投資が起こらない）。

さらに、2者が同時に投資を行うのは、次の場合のみであって、それ以外に同時投資が起こることはない。

$$I \leq \left\{ 1 - \left(\frac{1+g}{1+r} \right) \right\} \frac{(1+g)(a-1)}{r-g} X_0$$

同時投資という社会的非効率性が発生するとしたら、それは投資コストが極端に低い場合に限られるということが示されたわけであるが、さらに均衡解の存在性にはより複雑な条件があることがわかり、均衡解不在という形での社会的非効率の可能性が強く認識された。

いずれの場合も、社会的非効率性が発生するとしたら、それは投資コストが極端に低い場合に限られるということが示される。それ以外の場合は、あり得る均衡解としては、経済主体が互いに一期ずらした投資時期を選択するというものになる。

こうした結果は、政府の介入を無用にし、市場競争のみで社会的効率性が達成されることを意味している。気候変動の国際交渉に当てはめれば、法的拘束力よりも、各国の自主的な削減努力を尊重してよいという示唆にもなり、極めて重要な結果である。

2) 方向性を持った物流経済取引

モデル構成として、一人の需要家とそれに電力を供給する一人の電力供給者が存在する状況を考える。電力需要家は、太陽光、風力、あるいはガスエンジンなど、何らかの自家発電設備を保有しているものとする。ただし、季節・時間は考慮しない。需要家は、①電力会社から電力を買い入れる（この価格を**b**とする）、②自ら発電した電力を消費する、③発電した電力（の全部または一部）を電力供給者に売り出す（この価格を**s**とする）ことができる。さらに、この需要家と電力供給者の二者は単一の送電線で結ばれている。このような方向性のある価格付けに直面している需要家の需要行動は混合整数計画問題（MIP）によって表現される。電力需要関数は、通常的需求関数（価格と需要量の対一関係）とは異なり、純需要量が売り価格と買い価格の二つの組合せによって決まる二変数関数として決定される。いくつかの仮定のもとで、次のような結論が導かれる。

上記のような方向によって別のものとみなし得る財の場合にのみ、 $b < s$ という設定が存在する。このことは、従来の経済理論モデルでは、FIT制度や将来的なスマートグリッドのような先進的な電力システムを分析することはできないことを示唆している。将来的に送電線の上を電力が自由に双方向に流れ得る状態が実現し、そのもとで価格設定が自由化されると、 $b < s$ という設定が一般的になってくると予想され、そのときここで導き出された需要関数が重要な役割を果たすものと思われる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究成果の科学的意義としては、多段意思決定と動的計画の枠組み、規範的な意思決定の枠組み、時間選好率・割引率の役割、リアルオプション評価についての理論分析を通して、環境政策問題のモデル化・定式化に対してより明確な科学的基礎を与え、政策モデリングの帰結と意味合いについて理解を深めることが可能になった。特に、多くの研究者が取り組むエネルギー・環

境政策分析モデルの骨格となっているものが動的最適化であることに鑑み、その根底にある理論を、環境政策問題の脈絡で体系化することができた。時間軸上の評価に関しては、多くの地球環境問題の脈絡での割引論が、地球環境問題特有の論点を十分に特定化できていないことを指摘し、気候変動モデリングには多くの不整合が内在されていることが明確になったといえる。また、時間軸上の経済価値評価を基礎にした不可逆的投資意思決定の理論分析および最適投資時点選択のゲーム理論分析を通して、気候変動の国際交渉における、法的拘束力や各国の自主的な削減努力の意義について、重要な示唆がなされたと考えられる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境政策への貢献としては、前項の科学的意義を通して間接的に環境政策へ貢献するものと言える。すなわち、環境政策問題のモデル化・定式化に対してより明確な科学的基礎を与えることで、環境政策モデルの組み立てと結果の解釈について研究者間で認識を共有し、より良い形で政策担当者へ情報提供できるようになるものと考えられる。

確率制御問題を中心としたリスクの取扱いの整理、モデル内のパラメータ（時間選好率など）の役割の分析、環境政策におけるオプションの性質と価値の分析などにより、環境政策問題のモデル化・定式化に対してより明確な数学的基礎を与え、政策モデリングの帰結と意味合いについて理解を深めることが可能になった。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 長屋真季子, 前田章: 経済政策ジャーナル10(1): 17-30 (2013)
「枯渇性資源消費と習慣形成の動学」
- 2) 前田章, 長屋真季子: 経済政策ジャーナル10(2): 40-43 (2013)
「気候変動政策モデルにおける世代内と世代間の衡平性」
- 3) A. Maeda and M. Nagaya: *International Journal of Economics and Business Research* 7(1): 1-16 (2014)
“A theory of directional pricing and its application to electricity policy”
- 4) 前田章, 長屋真季子: 経済政策ジャーナル11(2): 51-54 (2015)
「方向性のある価格付けの理論と電力取引への適用」
- 5) H. Shioyama, D. Stone, S. Emori, K. Takahashi, S. Mori, A. Maeda, Y. Ishizaki, M.R. Allen: *Scientific Reports*, 6 (2016)

“Predicting future uncertainty constraints on global warming projections.”

- 6) 前田章、長屋真季子：経済政策ジャーナル12(1)：40-43 (2016)
「必要最低消費と習慣形成を考慮した枯渇性資源の動学」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 7) 辻村元男・前田章：確率制御の基礎と応用．朝倉書店．145pp (2016)

<その他誌上発表（査読なし）>

- 8) 瀧澤弘和，小澤太郎，塚原康博，中川雅之，前田章，山下一仁：慶應義塾大学出版会（2016）
「経済政策論－日本と世界が直面する諸課題」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) A. Maeda and M. Tsujimura: 12th IAEE (International Association for Energy Economics) European Energy Conference, Venice, Italy, 2012. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement policies”
- 2) A. Maeda and M. Nagaya: 12th IAEE (International Association for Energy Economics) European Energy Conference, Venice, Italy, 2012. “A theory of directional pricing for the feed-in-tariff policy in electricity”
- 3) A. Maeda and M. Tsujimura: Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS) Annual Meeting 2012, Phoenix, AZ, 2012. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement policies”
- 4) A. Maeda and M. Nagaya: The 11th International Conference of the Japanese Economic Policy Association, Nagoya, Japan, 2012. “Discounting and equity considerations in energy-climate policy modeling”
- 5) 前田章：エネルギー・資源学会第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2013）
「方向性のある価格付けの理論と電力取引への適用」
- 6) 前田章：S10テーマ1セミナー（2013年5月10日）「時間軸上の経済価値評価－リスクと割引の考え方」
- 7) M. Tsujimura and A. Maeda: 51st Meeting of The Euro Working Group on Financial Modelling (EWGFM), ESCP Europe London Campus, London, May 16, 2013. “A combined model of classical and impulse controls for emission and stock abatement policies”
- 8) A. Maeda and M. Nagaya: 2013 Conference, Business & Economics Society International. Novotel Monte Carlo Hotel, Monte Carlo, Monaco. July 7, 2013. “Exhaustible resource use under endogenous time preference and habit formation”
- 9) 前田章，長屋真季子：日本経済政策学会第70回全国大会（東京大学，2013年5月26日）「方向性のある価格付けの理論と電力取引への適用」
- 10) A. Maeda and M. Nagaya: 32th USAEE/IAEE North American Conference, International Association for Energy Economics, Hotel Captain Cook, Anchorage, AK. July 29, 2013. “Directional pricing

theory in electricity”

- 11) A. Maeda and M. Nagaya: 13th IAEE European Energy Conference, International Association for Energy Economics, Hilton Dusseldorf Hotel, Dusseldorf, Germany. August 20, 2013. “Discounting and equity considerations in energy-climate policy modeling”
- 12) 前田章, 長屋真季子: 日本経済政策学会第71回全国大会 (神戸大学, 2014年5月25日) 「必要最低消費と習慣形成を考慮した枯渇性資源の動学」
- 13) A. Maeda: 24th Business & Economics Society International Conferences. Croce di Malta Hotel, Florence, Italy. July 8, 2014. “The puzzle of lottery games for public financing”
- 14) A. Maeda and M. Nagaya: 24th Business & Economics Society International Conferences. Croce di Malta Hotel, Florence, Italy. July 9, 2014. “Exhaustible resource use under endogenous time preference and minimum consumption requirement”
- 15) A. Maeda and M. Nagaya: 14th IAEE European Energy Conference. International Association for Energy Economics. LUISS University of Rome, Rome, Italy. October 30, 2014. “Modeling resource use with endogenous time preference and minimum consumption requirement”
- 16) H. Ishijima, T. Kazumi, and A. Maeda: The 13th International Conference of the Japanese Economic Policy Association. Meiji University. November 9, 2014. “Market sentiment indexes and the predictability of Japanese stock prices”
- 17) H. Ishijima, T. Kazumi, and A. Maeda: Quantitative Methods in Finance 2004. Hilton Hotel, Sydney, Australia. December 17, 2014. “Market sentiment indexes and the predictability of stock prices in Japanese markets”
- 18) 前田章: 第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (砂防会館, 2015年1月28日) 「環境・エネルギー対策における最適導入時期の選択」
- 19) 前田章: S10テーマ1セミナー (2015年8月25日) 「時間軸上の経済価値評価—リスクと割引の考え方・再考」
- 20) A. Maeda, R. Takashima, M. Tsujimura: Institute for Operations Research and Management Science Annual Meeting 2015, Philadelphia, USA (November 2, 2015) “Optimal Stopping Game with Investment Spillover Effect”
- 21) A. Maeda: Japan Economic Policy Association International Conference 2015, Toyo University (November 7, 2015) “Optimal Stopping Game with Investment Spillover Effect”
- 22) A. Maeda: 28th Business & Economics Society International Conferences, Queenstown, New Zealand (January 8, 2016) “Optimal Stopping Game with Investment Spillover Effect”
- 23) 前田章: 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (エネルギー・資源学会) (2016年2月3日) 「スピルオーバー効果を持つ環境エネルギー投資競争のゲーム理論分析」
- 24) A. Maeda: International Association for Energy Economics 5th Asian Conference, Perth, Australia (February 16, 2016) “Optimal Stopping Game with Investment Spillover Effect for Energy Infrastructure”
- 25) A. Maeda: 39th IAEE International Conference, Bergen, Norway, 2016. “Energy infrastructure investment game with spillover effect.”
- 26) M. Tsujimura and A. Maeda: 1st AIEE Energy Symposium, Milan, Italy, 2016. “Pollutant abatement

investment under technological uncertainty.”

- 27) A. Maeda and M. Nagaya: INFORMS Annual Meeting 2016, Nashville, USA, 2016. “Endogenous time preference and exhaustible resource use.”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない

S-10-1 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**(4) 対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様なステークホルダーへの伝達に関する研究**

国立大学法人東京大学

国際高等研究所サステナビリティ学連携研究機構

福士 謙介

<研究協力者> 栗栖聖、青木えり、前田芳恵

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：50,350千円（うち平成28年度：9,086千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本サブテーマは、地球温暖化に関するリスク管理戦略に関する科学的知見と実際のリスク管理戦略の間を繋ぐため、企業、行政、市民等の温暖化リスク戦略のステークホルダーから、戦略策定に必要な情報を収集・分析するとともに、実際のリスク管理戦略への反映方法を検討することを目的に、「地球温暖化の国際交渉関連ステークホルダー対話会合」、「ハイレベルおよびアジア対話会合」、「エネルギー関連ステークホルダー・政治家・ユース対話会合」、「マルチステークホルダー対話会合」、を実施した。NGO、産業界では、同じ業界内での横の繋がりが強く、情報共有も活発に行われているものの、国際的なガバナンスが不在であることが明らかとなった。また産業界やNGOは、「不平等」「被害の激化」「自主的取り組み」「企業のビジネス」「グローバルビジネス」「市民への普及」を、エネルギー関連事業者は、「既存技術の活用と社会イノベーションへの期待」「技術開発のための国の支援の必要性」「政治主導による社会の方向性の提示の必要性といった制度設計について」の、政治家は、「問題の歴史的な経緯」「地球規模での利益と責任負担」「環境にも経済にもプラスになるインセンティブ・税等の社会制度設計、有権者とのコミュニケーションの必要性といった主に問題の背景構造ならびに社会の受容性」、についての視点を、それぞれ重視していることが明らかとなった。地方自治体、企業にとっては、気候変動の不確実性の多寡、適応策や緩和策の効果の実証に関して理解しにくく、大規模な投資が困難な状況にあるという認識がなされている。さらに、地方自治体にとっては、科学的・政策的に提示している目標値を達成するための社会像が明確でなく、また、そのためのアプローチも明確でないことから、政策としての決定に困難が伴うという意見が出された。結論として、異なるセクターや団体が情報を共有し、社会全体として気候変動リスクに対応しないと、パリ合意で示された目標は達成できず、ひいては持続可能な社会の構築も困難であることが明らかとなった。

[キーワード]

リスク管理戦略、ステークホルダー、対話会合

1. はじめに

これまでも、地球温暖化に関するリスク管理戦略の検討材料となる調査研究は、様々なプロジェクトを通じて実施されているが、実際の戦略策定には研究成果のみならず、温暖化により影響を受ける様々なステークホルダーからの情報提供や価値判断等が不可欠である。本「サブテーマ（4）対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略の多様なステークホルダーへの伝達に関する研究」では、これらの科学的知見と実際のリスク管理戦略の策定の間を繋ぐことを目的とし、企業、行政、市民等の温暖化リスク戦略のステークホルダーから情報を収集、分析する。実施に際しては、関連するステークホルダーとの会合等を通じ、戦略策定に必要な情報を把握および分析し、得られた情報を実際の情報提供に反映する。また、本サブテーマで得られた結果は他テーマおよび他サブテーマに還元され、本研究全体の管理戦略作成およびインベントリ作成等に活用される。

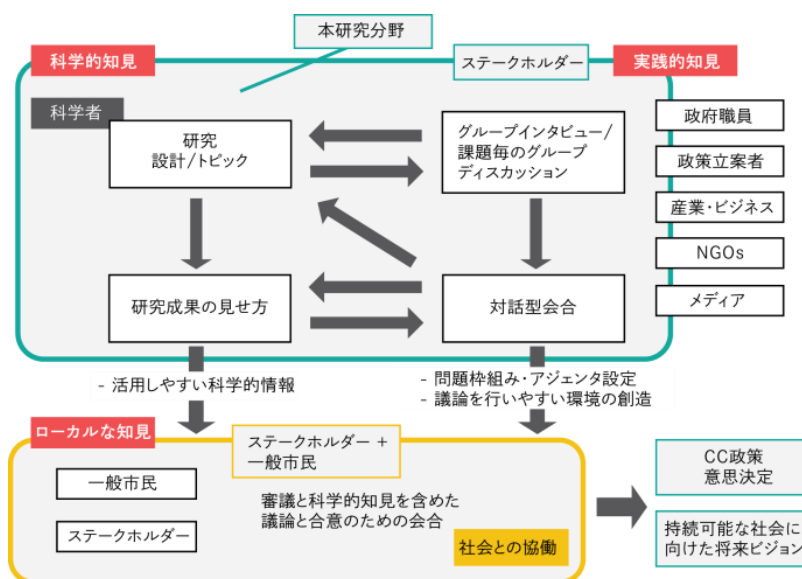
2. 研究開発目的

本研究は、（i）気候安定化目標を含む全球規模での総合的な温暖化対策の道筋を合理的に決定するリスク管理戦略の提案、（ii）いくつかの全球規模での具体的な目標についての考え方の提示、を研究全体の最終目標としている。本サブテーマは、それらの研究全体の成果目標の達成を目指し、実践を通じたリスク伝達を担当した。図（4）-1に研究の全体像を整理した。

図は上部から下部にむかって、多様な段階で、ステークホルダーが関わることを示している。第一段階は、研究のデザインや重要トピックの把握について、の科学的情報要求について、ステークホルダーからのインタビューやディスカッションから得た知見を参考とする。本研究参加者に対してインタビュー結果を共有し、リスクインベントリの開発等に活用をした初期の研究成果がこの部分にあたる。第二段階は、対話型であることを重視し、ステークホルダー間のディスカッションや、双方向的な対話の場としての会合を通じて、問題枠組みの再構築と課題の抽出や、それに応じて社会に提示すべき科学的知見の内容およびその提示方法について開発、共に生産する。本研究の主な対象であり、様々な対話会合とその成果として本報告成果の多くはこの部分にあたる。そして、最後の段階として、対話をはじめとした研究の成果を用いて、社会に提示していくことで、より多くのアクターが対話に参加できる社会を醸成することを目指している。限られたステークホルダーだけでなく、一般市民も含めた社会全体での科学的な知見を活用した熟議を引き起こすことを期待している。社会との協働環境を作り上げることで、気候変動政策への意思決定やサステイナブルな社会への将来像を描くことに貢献する科学的な成果とすることが可能となる。

同様に、段階的に学术界および社会と協働する研究デザインは、持続可能性に関わる国際研究プログラムであるFuture Earthにおいても、研究枠組みへのステークホルダーの参加と協働

(Co-Design, Co-production, Dissemination (Co-delivering)) として示されている (図 (4) -2)。このような動きとも呼応しつつ、国際的な研究開発議論にも積極的に参画してきた。



図(4)-1 研究の流れと位置づけ



図(4)-2 ステークホルダーと学界の協働による科学的知識のステップ

3. 研究開発方法

(1) ステークホルダーとのコミュニケーション

本サブテーマにおいて、ステークホルダーは、IRGCの定義を参考に「リスクの起源となる事象や活動、ならびに／あるいは、そのリスクに対処するために取られるリスク管理オプションにより、影響を受けているあるいは受けることが予想される社会的に組織化されたグループ」としてしている。しかしながら、ステークホルダーを明確に切り分ける条件は設定せず、地球規模かつ長期の気候変動リスクの問題に興味や意見を持つ主体を幅広くステークホルダーとして捉えている。なぜならば、対象とする気候変動問題は、既往のリスク問題以上に影響範囲が広く、その影響がおよぶ対象も不確実であるからである。そのため、同様に気候変動をはじめとした地球環境問題を扱うFuture Earthがステークホルダーとして示した「研究者、科学と政策のインターフェイス、資金提供者、政府、開発組織、ビジネス/産業界、市民社会（NGO等）、メディア」の例も参考にしながら、国際的な視点から気候変動リスク管理戦略に関わりをもちうる社会的な組織に属しており、興味や意見を持っている主体を対象とした。

(2) 分析の手法の確立-混合研究法

本サブテーマの分析手法は、質的・量的アプローチを組み合わせた混合研究法（mixed methods

research: MMR) を用いる。混合研究法は、哲学的仮定と探求の研究手法をもった調査研究デザインである研究方法論として、データ収集と分析の方向性、そして調査研究プロセスにおける多くのフェーズでの質的と量的アプローチの混合を導く哲学的仮定を前提とする。また、研究手法として1つの研究、または順次的研究群での量的かつ質的データを集め、分析し、混合することに焦点をあてた。さらに、その中心的前提は、量的・質的アプローチをともに用いるほうが、どちらか一方だけを用いるよりもさらなる研究課題の理解を生む」ということである。その中でも、調査研究課題を理解するために、同じトピックに関する異なるが補足的なデータを、量的手法と質的手法で得る手法として、トライアングレーション(triangulation)デザインという。これは、最終的な結果を比較することで、妥当性の担保や新たな発見につながるデザインとして、分野によって多元的、ハイブリッドなどの異なる呼称でよばれている。本サブテーマでは、質的アプローチによる主な分析手法としてKJ法、グラウンデッド・セオリー・アプローチ、内容分析を用いた。

(3) 対話会合実施のデザイン

調査の場であり、コミュニケーションの場でもある、本対話会合の設定にあたっては、対象の特性上、時間的空間的距離が大きく当事者性は乏しく、さらに不確実が大きい本問題を対象として扱うために、既存の参加型調査・コミュニケーションの手法をもとにしつつも、それらのいくつかを統合する形で設計することとした。また、複数手法の組み合わせに際して、日本という文化的な特性上、対話を促すことを重視した手法のチューニングにより調査デザインを行った。特に、段階的な調査の進行とデータ分析の多様性を重視している。対象によって対話会合の内容は柔軟に変更可能であるが、基本的な構成として3段階のプロセスを組み込むことで、参加者が徐々に能動的になれるような設計をした。

(4) 地球温暖化の国際交渉関連ステークホルダー対話会合

国内・地域の政策ではなく、地球規模の気候変動を扱うステークホルダーとして、気候変動枠組条約 (UNFCCC) の国際交渉の交渉官およびそれらに対して提言等を出す専門家を想定し、グループインタビューもしくは個人でのインタビューを行った。具体的には、政府交渉団の一員としてCOP参加経験のある行政担当者、政府および議員等に対して提言を行う環境NGOの担当者、各業界を代表して提言を作成する担当者に加え、それらを取材対象とするメディア関係者に対してインタビューを実施した。インタビュー対象となるステークホルダーの人選に当たり、UNFCCCから公開されているCOP15からCOP18の全参加者から日本人名および日本の団体を抜き出し、それぞれの団体および分野ごとに参加者を分類し、傾向を分析した。COP参加登録者には、政府交渉団や国際機関から派遣される交渉に直接関わる者のほか、環境NGO、業界団体、研究機関、教育機関等からのオブザーバーとしてのNGO枠の登録があり、企業等に所属する参加者は主にNGO枠として、何らかの経済団体、業界団体や研究機関等の一員として参加する。所属企業名の記入は任意だが、所属企業名が明示されている場合は、これらも分析の対象とした。

参加者の中でも特にリスク管理戦略に関わる担当者に意見聴取するため、分類の結果から温暖化交渉で継続的な活動が見られる団体・分野を選定した上で、該当分野に詳しく信頼できる専門家にインタビュー対象候補の人選を依頼した。この結果、省庁の国際交渉担当者(4省)、環境

NGOの気候変動担当者、経済団体および業界団体関係者（鉄鋼、電力、化学、セメント、保険、商社等）を選定し、インタビューを行った。このほか、国際交渉を外の立場から観察するメディア関係者として、COP取材経験のある記者（新聞社、通信社）に対しても、同様のインタビューを実施した。各ステークホルダーが利用する情報源や関心のある影響・対策項目に関すると共に、本プロジェクトへの要望等について自由に意見交換する時間を設けた。また、参加者は全て国際交渉に何らかの形で関わり、外部への公表に向かない情報の提供も考えられることから、インタビューの設計には以下の優先順位を設定し、より率直な意見が取得できるよう努めた。優先事項としては、参加者が（ア）地球規模のリスクを扱う方であること、（イ）気候変動に関する相当の知識があること、（ウ）COP等国際交渉の場への参加経験があること、の3点を挙げ、また同時に非優先事項として（エ）インタビュー内容公開への了承を得られること、（オ）構造化したインタビューを実施すること、（カ）一般化可能な情報が得られること、を設定した。これらの設定を行うことで、計画初期段階での科学的信頼度の高い情報としては課題が残るものの、関係者からより詳細かつ率直な意見収集が可能になり、プロジェクト全体の情報提供には効果的と仮定した。

また、インタビュー内容および手法の検討のため、気候変動のステークホルダーによる会合を中心に既存文献および事例を収集し、気候変動のリスク管理戦略で考慮されるべき事柄について、文献収集等を通じて把握に努めた。事例には、自治体等が実施した気候変動対策方針策定等の会合のほか、研究として行われた会合での知見も合わせて収集し、環境および気候変動におけるステークホルダーの捉え方、ステークホルダーを交えた意思決定等の知見についても継続して収集を行っている。さらに、インタビューは限られた人数の専門家に対して実施されることから、結果を補完する目的で、一般市民に対しインターネットを通じたアンケートを実施した。ここでは、専門家に対するインタビューでの質問および関連する質問に絞り、回答に業種が影響すると仮定し有職者のみに尋ねた。まず、一般市民が気候変動に関する情報を得る手段やそれらの情報源に対する信頼の置き方に関する調査を実施し、続いて地球温暖化の悪影響、好影響、対策における副作用、温暖化対策が持つコベネフィット等、地球温暖化のリスクのバランスとして考慮されるべき要素について調査した。

（5）ハイレベルおよびアジア対話会合

プロジェクトに参画する全ての研究者および関心のある多くのステークホルダーにとって有益となるように、調査対象者をCOP参加経験のある現場担当者に限らずに、問題の全体像や経緯を把握しているステークホルダーを対象に、問題の全体像を描き出すことを目的とした対話会合を設計した。特に本プロジェクトと社会とのコミュニケーションの場とするだけでなく、問題の全体像を把握するため、ハイレベル会合と産業界NGO会合の必ずしも同じ立場ではないステークホルダーの対話会合を実施した。また補足としてアジア会合を実施した。

調査の場であり、コミュニケーションの場でもある、本対話会合の設定にあたっては、対象の特性上、時間的空間的距離が大きく当事者性は乏しく、さらに不確実が大きい本問題を対象として扱うために、既存の参加型調査・コミュニケーションの手法をもとにしつつも、それらのいくつかを統合する形で設計することとした。また、複数手法の組み合わせに際して、日本という文化的な特性上、対話を促すことを重視した手法のチューニングにより調査デザインを行った。特

に、段階的な調査の進行とデータ分析の多様性を重視している。対象によって対話会合の内容は柔軟に変更可能であるが、(3) 同様、基本的な構成として3段階のプロセスを組み込むことで、参加者が徐々に能動的になれるような設計をした。これは、まず研究者から本研究プロジェクトやIPCCをはじめとする科学的知見の情報提供と共有の段階、参加者の既存の知識や経験を尋ねるグループインタビューの段階、最後に参加者同士でディスカッションをする参加者の相互対話の段階である。このような段階を踏み、場を作り上げていくことで、欧米とは異なり、人前での議論に慣れていない日本人でも話しやすい場を作ることを心がけた。さらに、グループ内での相互作用を重視しつつも、参加者を少人数とすることで、参加者選定の理由を明確にし、参加意義を得やすくするといったことも、参加者に自分が発言すべきであるという、積極的な発言の理由付けとなるよう配慮して設計した。

会合では専門の研究者がファシリテーターを務めるとともに、記録係として3名、補助として1名が同席した。3段階の会合設計の中では、半構造的にトピックを決め、事前に参加者へ知らせており、それらにそって回答者は各自の意見を述べつつも、必ずしも全問に一問一答するわけではなく、当日のグループ内での相互作用により、様々な対話が繰り広げられた。具体的な論点をあげて、活発な対話を引き起こすために、日本国内では立場によって異なる議論が繰り広げられている「2°C以内」目標を導入トピックとして取り上げた。会合の時間は、2時間半で、半構造化のグループインタビューを中心に、情報提供やグループディスカッションを実施した。

(6) エネルギー関連ステークホルダー・政治家・ユース対話会合

これまで同様「段階的会合のプロセス」を利用し、それぞれ、エネルギー問題に携わるステークホルダー、政治家、ユース（環境問題への関心が高い大学生）を対象に会合を実施した。エネルギー問題に携わるステークホルダーを対象にした対話会合については、知見共有、グループインタビュー、フォーカスグループの順序で対話会合を組み立て、気候変動リスク管理の問題の捉え方や科学的知見への要望についての把握を試みた。政治家を対象とした対話会合については、知見共有とインタビューを事前に個別に行ったうえで、その後にフォーカスグループと対話座談会を実施した。ユースを対象とした会合については、より詳しい知見共有が可能なワークショップを実施したうえで、フォーカスグループを行った。開催までの流れは、まず数ヶ月前に参加の依頼とともに、問題意識や会合の意義と、会合の概要を添えて知らせた。その後、承諾を得た参加予定者間での日程調整を行い、約1週間前に、詳しい会合議事内容についての連絡を再度実施した。

エネルギー関連事業者会合では、CCSの可能性と課題、既存技術の活用と社会イノベーションへの期待、技術開発のための国の支援の必要性、政治主導による社会の方向性の提示の必要性といった、主に実務の観点からの制度設計についての視点・枠組が提示された。政治家会合では、問題の歴史的な経緯、地球規模での益と責任負担、環境にも経済にもプラスになるインセンティブ・税等の社会制度設計、有権者とのコミュニケーションの必要性といった、主に問題の背景構造ならびに社会の受容性について視点・枠組が提示された。ユース会合では、問題を長期のトレードオフとして把握すること、ステークホルダー間の議論や交流・理解といったプロセスの重要性、ユースと気候変動問題の今後の関わりと個人の立場への展望、そのために必要な他世代からの支援といった、ユースの立場で環境活動に関わってきた観点からの、主に人々の価値観や相互理解

に言及する視点・枠組が提示された。

以上の結果を基に、ICA-RUSで開発された情報の活用方策について、プロジェクト内の各影響分野の専門家と協働で、リスク管理戦略の作成に盛り込むべき情報の簡易版を用い、その提示方法と活用へもステークホルダーの知見を取り入れるための研究として、対話ワークショップを通じた研究調査を実施した。地域ステークホルダー（山梨県の自治体やNGOから8名）とも連携し、気候変動リスクとバイオマス利活用について、気候変動に関わるユース11名を対象に実施した。本ワークショップにおいては、AHP（Analytic Hierarchy Process：階層分析法）による各人の意志決定に際しての各要素の重要度の評価を行った。AHPは、多基準の問題解決型意思決定手法の一つであり、問題を要素に分解して、階層構造を構築し、評価基準の重要度を計測から代替案の評価まで意思決定の議論を助ける。その重要度を適用し、最終的には統合化してシナリオ比較による一つの評価にまとめることができ、合理的な意思決定の代替案を示すことができる。ここでは一対評価による9段階スケールを用いた。参加者には簡単のため、一対比較とそのスケールのみを示すこととし、等間隔の差分でないことは説明したが具体的な数値は示していない。代替案の数が多いと一対比較が煩雑になるため、よいかどうかを順序尺度で絶対的に評価し重み付けをする、絶対評価法を適用した。基準のものと影響指標の重み付けはエキスパートジャッジにより事前に決定していた。

（7）マルチステークホルダー対話会合

気候変動リスクへの対応を主題として、多数のステークホルダーを一堂に集め対話型会合を実施した。ICA-RUSレポート等の気候変動リスクに関する研究成果を材料に、企業、自治体、NGO、研究者、中央政府等の複数のステークホルダーを集め、気候変動リスク情報をどのように各ステークホルダーがとらえ、さらに、所属団体内で対応するかを論議した。また、そのマルチステークホルダー会合を行う準備として、自治体職員、中央政府職員、研究者による小規模なグループインタビューを実施した。

4. 結果及び考察

（1）ステークホルダーとのコミュニケーション

ステークホルダーとは何を指すのかという明確な定義については、未だ多くの論が交わされているが、今年採択された国連のSDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）17の目標においても、多様なステークホルダーとのパートナーシップ（multi-stakeholder partnerships）の重要性が明確に述べられている。このような議論をふまえて、研究内容や状況に応じて、社会の多様なステークホルダーを対象に研究プロジェクトを進めていくものとした。

環境と持続可能な開発のためのリオ会議において、ステークホルダーの関与が主要な役割を果たすと明確に述べられて以来、ステークホルダーの役割は益々注目されるようになってきた。そこで、初期の限られたステークホルダーを対象としたポジショニング分析から、社会に存在する多様なステークホルダーを対象にしつつ、どのようにプロジェクトに関与させるのかという研究が増加した。なかでも、マルチステークホルダーとの協働を目指す対話会合という形式は、設計デザイン次第で多様な目的を持ち、社会的な問題について検討しうる手法であり、社会的問題についての対話の場として取り上げられてきた。人々とのコミュニケーションだけでなく、背景要

因や意思決定について深く調査をすることを旨とする本研究にも適した手法であると考えられている。

(2) 分析の手法の確立-混合研究法

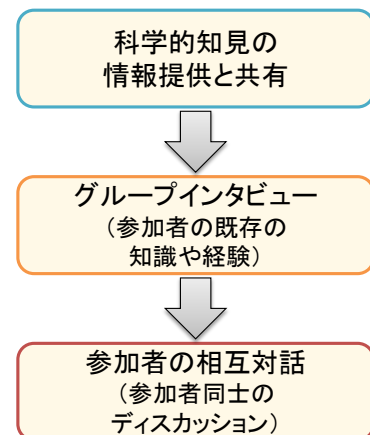
KJ法は、文化人類学者川喜田二郎が開発した野外科学における発想、問題解決のための技法である。国内においては、研究分野だけでなくビジネスや市民活動、学校などで問題解決型の整理手法として広く活用されている。基本的な流れとして、データの収集、データをカードサイズに細分化しラベルをつけるラベルづくり、ラベル集めと表札づくりによるグループ化によるカテゴリーの作成、最後に見取り図を作成し、叙述するという一連のステップで進められる。この手順や仮説推論については、既存のカテゴリーではなく、現場やデータ自身の語を用いることが重視されている。国内においては広く名前を知られている一方で、研究以外のフィールドでも多様に発展して使用されており、実際の手法があいまいになりがちである。

グラウンデッド・セオリー・アプローチ (GTA) は、1967年にグレイザーとストラウスによって提起され、質的研究方法の基礎とされてきた。オリジナル手法は、様々な立場から方法論の変更が提案されているが、基本的な流れとしては、データの収集、データを切片化しコード化する、コードにプロパティとディメンションといった修飾情報を付す。カテゴリー化して分析する。カテゴリーの展開に適したサンプリングを繰り返す理論的サンプリングを実施して、理論が飽和するまでデータを集める、といった循環的な手順となる。ここでもコードはデータから浮上することが重視されているが、提案者によっては手順の形式化のために事前のコード化も認めている。内容分析は、表明されたコミュニケーションの内容を客観的、体系的、かつ数量的に記述するための古典的な調査技法である。近年では、データマイニングやテキスト分析もその一形態として、コンピューターの発展にともない、質的データを量的に分析する研究が増加している。基本的な流れとしては、テキスト化されたデータの収集、記録単位の設定、類似性による分類や統計解析による分析が実施される。記録単位は単語単位であることが多く、他の分析手法よりも細かな分析となる。本研究でも、内容分析の一部を量的なアプローチとして、テキスト分析を実施した。会合におけるデータ取得方法としては、半構造化インタビューを基にしたグループインタビュー方法が最初の質的なデータとなる。グループインタビューでは、グループダイナミクス論に則り、インタビューの実践や分析について、日常的な相互行為に近い状況にインタビューをひろげる手法として提案されてきた。フォーカスグループインタビュー (FGI) ともいわれ、ある特定のテーマに関して少人数のグループを対象に行うインタビューである。典型的には6~8人がひとグループを構成し、1時間半から2時間のインタビューに参加する。グループディスカッションでは、参加者間の議論を重視し、そこで発展するダイナミクスをより重視して分析を行った。

(3) 対話会合実施のデザイン

まず研究者から本研究やIPCCをはじめとする科学的知見の情報提供と共有の段階、参加者の既存の知識や経験を尋ねるグループインタビューの段階、最後に参加者同士でディスカッションをする参加者の相互対話の段階として図(4)-3のように設計した。このような段階を踏み、場を作り上げていくことで、欧米とは異なり、人前での議論に慣れていない日本人でも話しやすい場を作ることを心がけた。さらに、グループ内での相互作用を重視しつつも、参加者を少人数とすることで、参加者選定の理由を明確にし、参加意義を得やすくするといったことも、参加者に自分が発言すべきであるという、積極的な発言の理由付けとなるよう配慮して設計した。

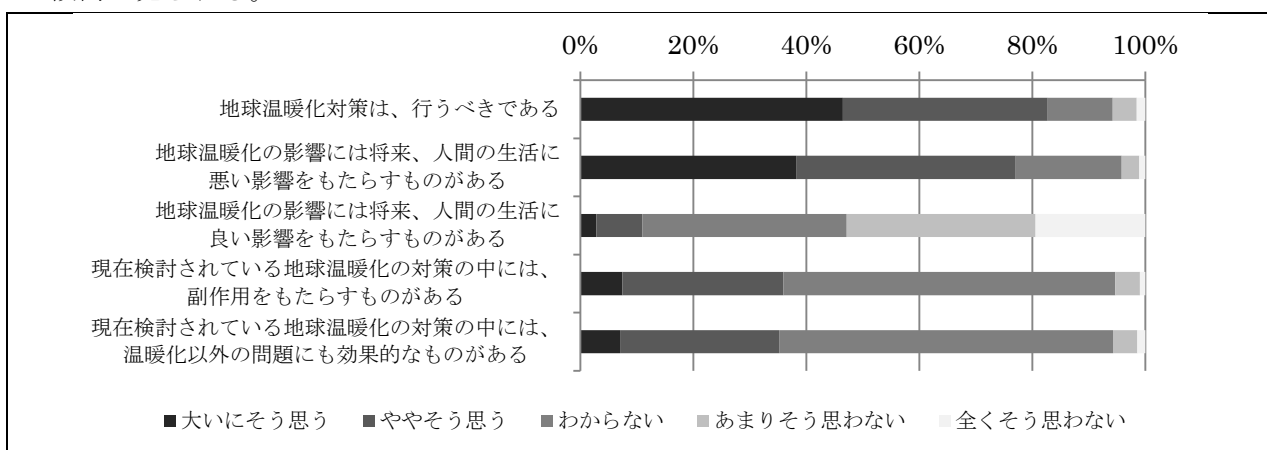
会合では専門の研究者がファシリテーターを務めるとともに、記録係、補助が同席する。3段階の会合設計の中では、半構造的にトピックを決め、事前に参加者へ知らせており、それらにそって回答者は各自の意見を述べつつも、必ずしも全問に一問一答するわけではなく、当日のグループ内での相互作用により、様々な対話が繰り広げられた。会合の時間は、2時間半で、半構造化のグループインタビューを中心に、情報提供やグループディスカッションを実施した。



図(4)-3 段階的な会合プロセス

(4) 地球温暖化の国際交渉関連ステークホルダー対話会合

図(4)-4は、日本で「地球規模の」気候変動のリスク管理戦略を扱う専門家を選定するため、UNFCCCのCOP15（2009年）からCOP18（2013年）までの日本からの出席者を省庁および分野ごとに分類したものである。当時の鳩山首相も参加したCOP15は400人を超える参加者があったが、翌年のCOP16からCOP18では全体的に参加者の減少が見られ、特に環境NGO等の参加者が顕著な減少を見せている。また、政府交渉団での内訳は、各国とも外務省、経済産業省、環境省からの参加が多い傾向が見られる。

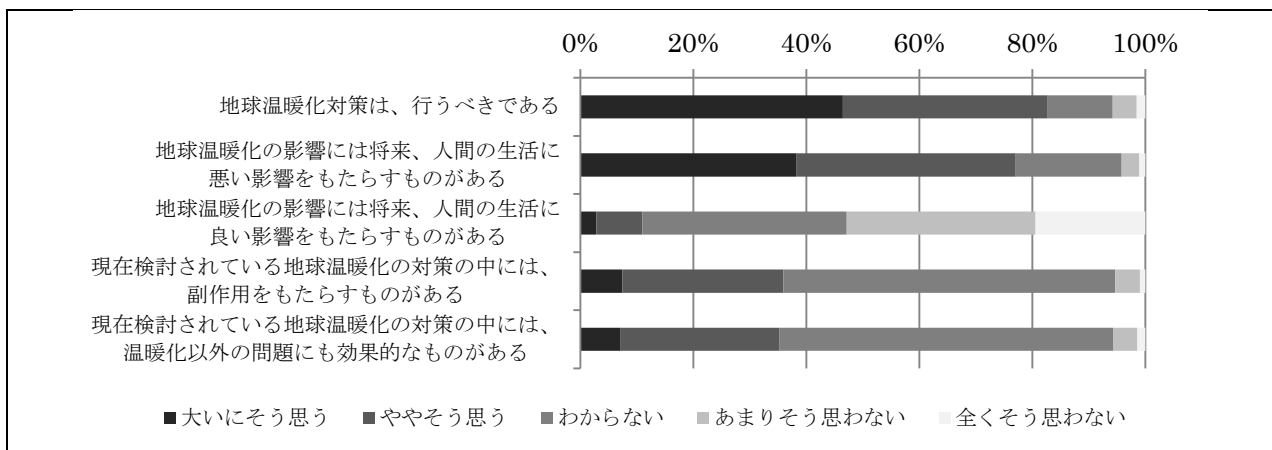


図(4)-4 省庁以外からのUNFCCCのCOP参加者（日本人および日本の団体）の内訳

これらの結果およびあらかじめ決められた選定基準から、省庁、NGOおよび産業界に所属する専門家を選定し、インタビューを実施した。人選にあたっては、関係者が信頼のおける専門家に候

補推薦を依頼し、候補の中から各カテゴリーにつき数名に実際のインタビューを依頼した。COP18までは日本の政府交渉団には、NGO・経済団体等の関係者が加わっており、インタビュー参加者も政府交渉団経験者の割合が高くなっている。さらに産業界（化学、セメント、商社、）および、地球温暖化の国際交渉全体を取材するメディア関係者に対してインタビューを実施した。

インタビュー結果からは、それぞれのステークホルダーが利用する情報源について、NGO、産業界では海外の団体も含めて同じ業界内での横の繋がりが強く、情報共有も活発に行われている傾向が見られた。数十か国に拠点を持つNGOは、国際組織内で意見の統合を図ると共に、NGO同士での協力によりNGO全体としての発信力を上げている。また、IPCCの報告書のように国際的なレビューを通じた文献は、海外の担当者と共有しやすく用いやすいという意見など、研究成果が実際の政策等に反映されるためのコメントも得られている。それぞれの立場から現在注目している影響、対策等についての質問への回答は、本研究全体の研究者を対象とした会合やリスクおよび対策イベントの項目として活用されている。また、それぞれの代表的な発言内容の相互関係を図化し、全体像と照らし合わせることでインタビュー対象者や質問内容の漏れを防ぐように努めた。インタビュー会合に加えて実施した、一般市民に対するインターネットアンケートでは、一般市民4700人を対象に地球温暖化の情報収集に利用する情報源や、気候変動による悪影響および好影響（北極海航路等）、対策および対策が引き起こす可能性のある副作用等の認識について尋ねた。これらの結果の例としては、温暖化による人間の生活への悪影響は80%弱の回答者が存在を確からしいと考えている一方で、良い影響については、存在すると考える回答者は11%程度と大きな差があった（図（4）-5）。温暖化対策で考慮すべき項目についての質問では、温暖化の悪影響を考慮すべきとの回答が最も多かったが、好影響についてはそもそも存在を認識していない回答者が多い結果となった。



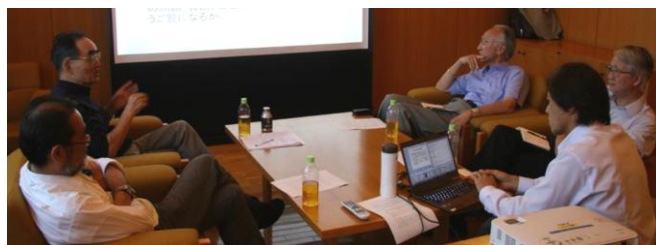
図（4）-5 省庁以外からのUNFCCCのCOP参加者（日本人および日本の団体）の内訳

（5）ハイレベルおよびアジア対話会合

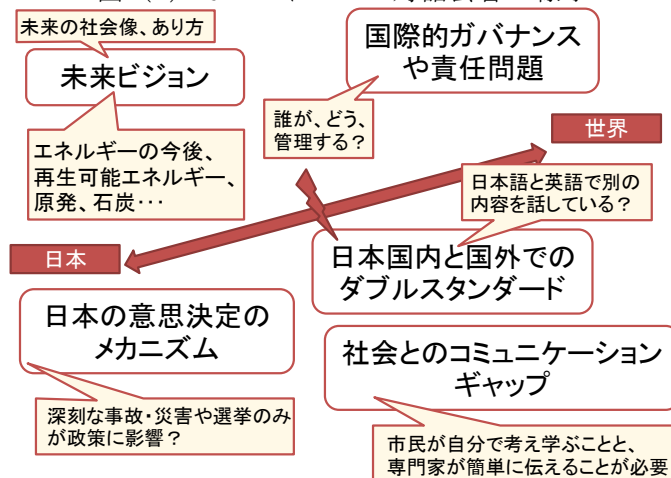
ハイレベル会合（図（4）-6）で得られた逐語記録から、発言内容をカテゴリー化し、KJ法を参考にしたグループ化によって整理を行い、重要アイテム、重要カテゴリーの抽出を行った（図（4）-7）。まず問題の大きな枠組みとして、国際的なガバナンスが不在であること、特に、気候工学など、何か新たな行動を意図的に実施する場合には、誰がどう管理していくのかという国際的な約束事が重要であるという知見が示された。そして、国際的な問題を日本という視点で見た際の

問題点として、国内と国外でのダブルスタンダードということが取り上げられた。英語と日本語という異なる言語のせいなのか、企業や政府関係者において、ただの翻訳ではなく、発言内容にまでずれが生じており、これが日本における気候変動問題の解決を阻む問題であるとされた。そして、日本での政治的な意思決定をみると、環境、そして人命への意識は高まりつつあるが、依然として事件化してからでない政策には影響を及ぼさないとの認識が示された。また、コミュニケーションのギャップについても言及があり、受け手である市民の自主的な学びがみられないこと、発信者となる科学者側が受け手にわかりやすく伝える事の必要性が指摘された。そして、最後に、将来的なビジョンがないこと、今後どのような社会にしていくのかという議論がみられない事が本質的な問題として提起された。産業界NGO会合については、「不平等」「被害の激化」「自主的取り組み」「企業のビジネス」「グローバルビジネス」「市民への普及」といったカテゴリーがあげられる。また、補足的に実施したアジア対話会合（図（4）-8）からは各国からのメンバーが参加し、様々な立場からの意見を聞くことができた。図（4）-9はアジア対話会合から得られたカテゴリー案である。また、図（4）-10にアジア対話会合参加者の話題一例を示した。

会合で得た発言については、質的な内容比較だけでなく、重要概念間の関連や議論の流れを量的に図示化する手法の検討をより精緻化し、立場の違いによる問題の捉え方や要望の類似・相違点の比較分析と結果を視覚化することが効果的である。図（4）-11～13は、ハイレベル対話会合のテキスト分析の一種として、頻出単語間のネットワークを示したものである。また、各図において、2から3の関連が深い箇所について、どのようなトピックについて議論していたのかを補足して図の下に述べた。



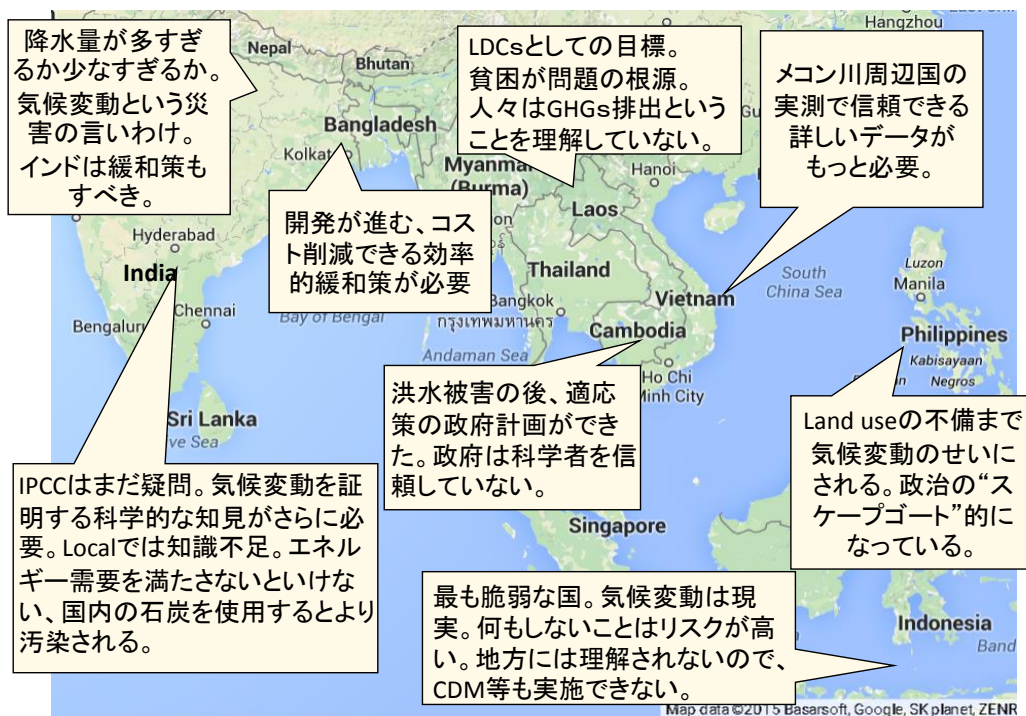
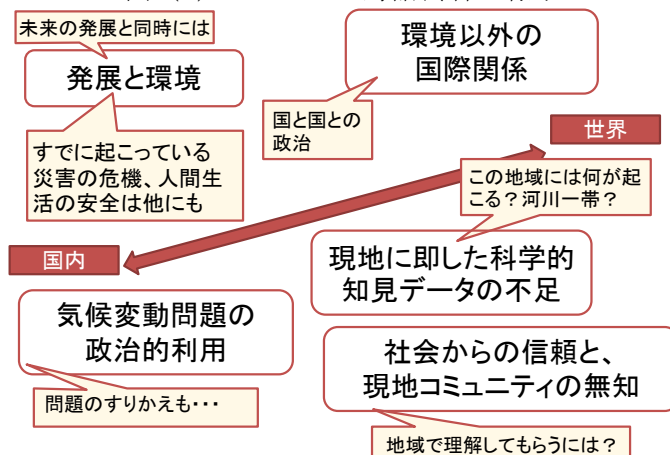
図（4）-6 ハイレベル対話会合の様子

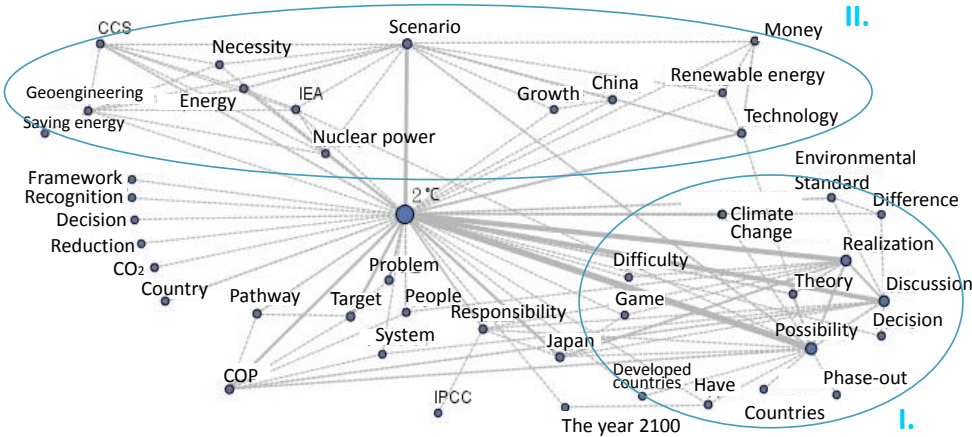


図（4）-7 ハイレベル対話会合から得たカテゴリー案



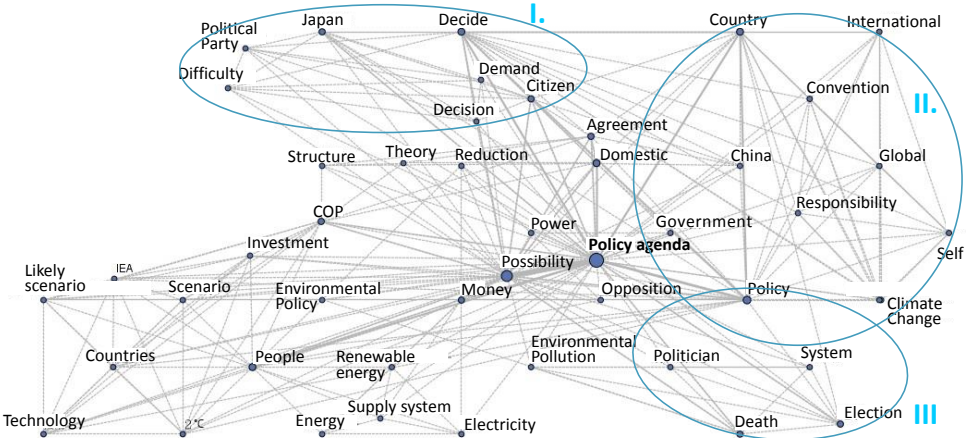
図(4)-8 アジア対話会合の様子





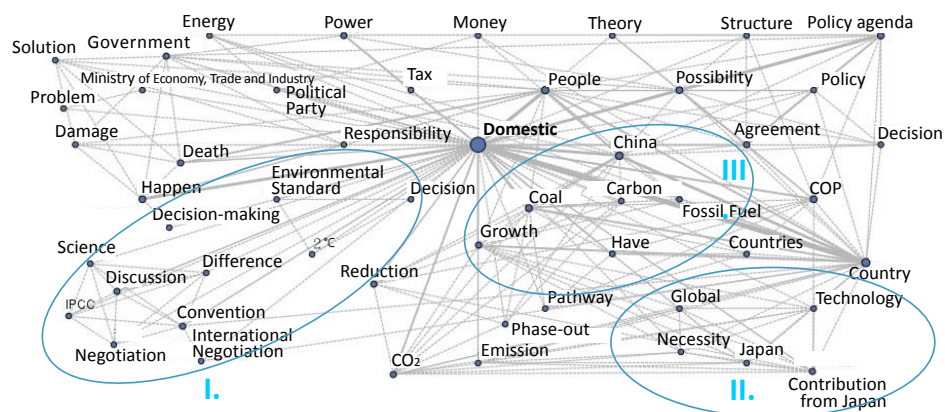
図(4) -11 キーワード (2°C) のネットワーク図

実現可能性や達成可能性について繰り返し述べられていた。異なる議論が必要であることも、目標達成のためにととして述べられていた (I.)。また、2度シナリオには、お金、技術、再生可能エネルギーと中国の成長も検討対象となっている。同時に、省エネ、原子力発電、CCSも必要なのか検討対象として述べられている (II.)。



図(4) -12 キーワード (政治) のネットワーク図

日本では、国民の要望によって政党が決定をくだすのは難しい (I.)。政治は、気候変動に関連しており、国際的な責任もあるが、また同時に、各国も地震で責任を持っている (II.)。選挙と人の死が政治家と政治に影響がある (III.)。



図(4)-13 キーワード(国内)のネットワーク図

国際的な交渉やIPCCの話と、国内の話で議論は難しいと感じている(I.)。日本から世界への貢献は、技術である(II.)。中国の成長と、彼らが持っている石炭といった化石燃料の使用について憂慮している(III.)。

(6) エネルギー関連ステークホルダー・政治家・ユース対話会合

評価対象であるシナリオ構築に関しては、主に土地利用の変化着目したシナリオを取り上げた。2℃目標達成にむけた対策としてのネガティブ・エミッション(特にBECCS(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage))大規模導入による土地利用シナリオ変化をシナリオ構築の主題とした。まだ不確実性が多いBECCSというトレードオフが存在する新技術に対する参加者の意思決定、主観的な価値判断に、科学的な知見や議論、評価の手法がどのように影響するかを調査するため、モデル計算の結果を各専門家から集めた。また、各シナリオで特に変化しうる指標の選定に関しても各専門家との会議を通してエキスパート判断により決定し、シナリオによる変化が起こった場合、より世界の持続可能性への影響が大きいと思われる影響指標だけをとりあげた。各シナリオの下での影響指標に関しては、各影響分野の専門家から、ワークショップ用に簡易化したモデル計算出力結果の提供を受けた。これらのシナリオ設定の前提と影響指標の変化をわかりやすく示すために、どのような影響分野にトレードオフが生じうるかという観点から5つのシナリオを構築した。シナリオ1が水への影響、シナリオ2が土地利用、特に農地面積により食料への影響、シナリオ3が森林への影響、シナリオ4は土地利用を変化しない代わりに大量のエネルギーやコストを消費し、シナリオ5はネガティブ・エミッション技術を採用しないことで、気候の長期安定化を放棄するというシナリオを設定した(図(4)-14)。さらに影響指標を土地利用モデルに従い、計算するために、土地利用の変化を、全世界で20億ヘクタールの農地のうち、5ヘクタール分の面積をバイオ燃料作物栽培に転用する必要があるという前提を置き、図(4)-15のように設定した。社会経済シナリオは、SSP2を前提とし、本調査内ではその違いを検討に含めなかった。

さらに、各シナリオの地球規模での持続可能性の観点からの評価を補助するために、SDGs

(Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)の紹介を行い、さらに、水と生態系を対象に、図(4)-16、図(4)-17のように、SDGsに関わる指標とモデル出力との関係について解説した。項目の中から特に、シナリオの比較に関係がありICA-RUS内でデータ整理をしている影響指標として、水と生態系をとりあげ、関係については、専門家への聞き取り調査によって、構築

した。また、シナリオの検討のためにはコストやその他のトレードオフが問題になるため、社会や経済状況についてもあわせて検討し、それらの過程をまとめた。その上で、当日は、SDGsとシナリオ別に示したモデル結果指標には関連があること、持続可能性については互いに関連する多様な基準を考慮した評価が必要であることを説明したうえで、多基準評価の手法として採用したAHPを紹介した。ワークショップに際しては、事前・事後に補足的なアンケート調査を実施した。

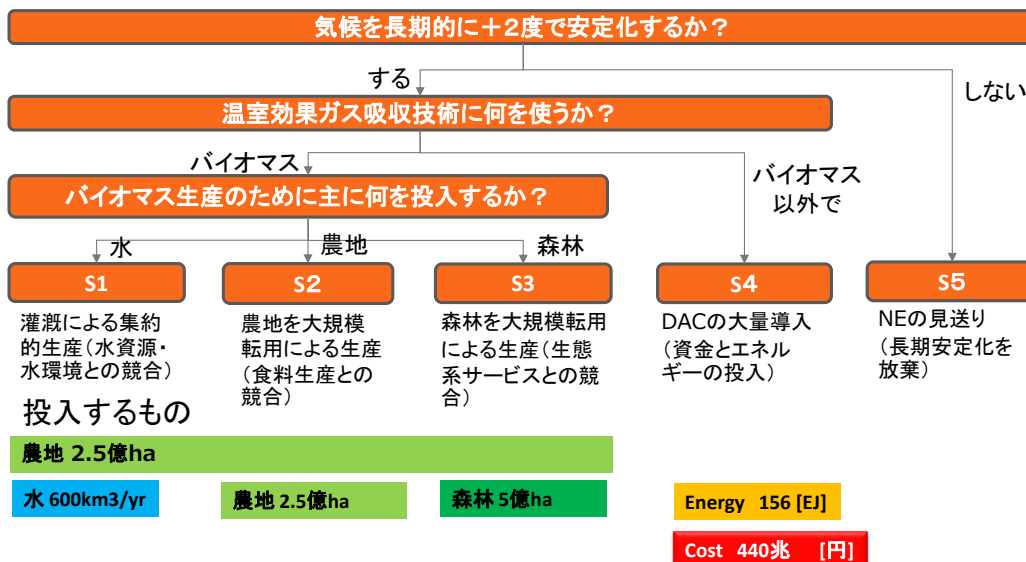


図 (4) -14 気候変動対策としての5つのシナリオ

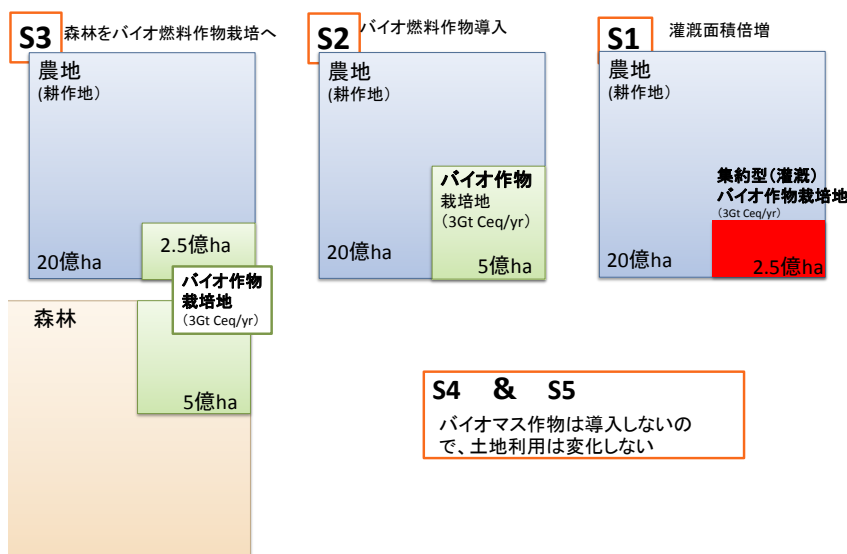


図 (4) -15 シナリオの違いによる土地利用の変化

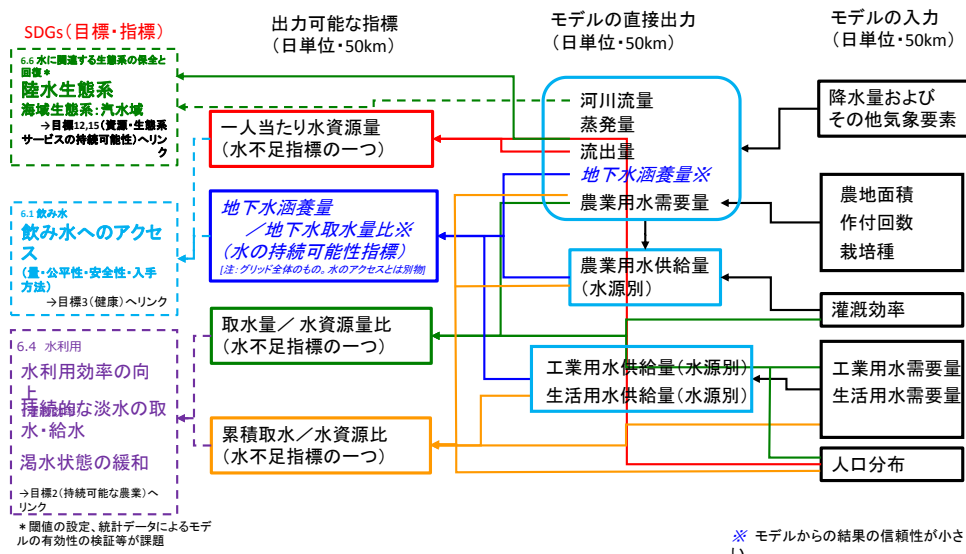


図 (4) -16 水のSDGsとモデルアウトプットの関係

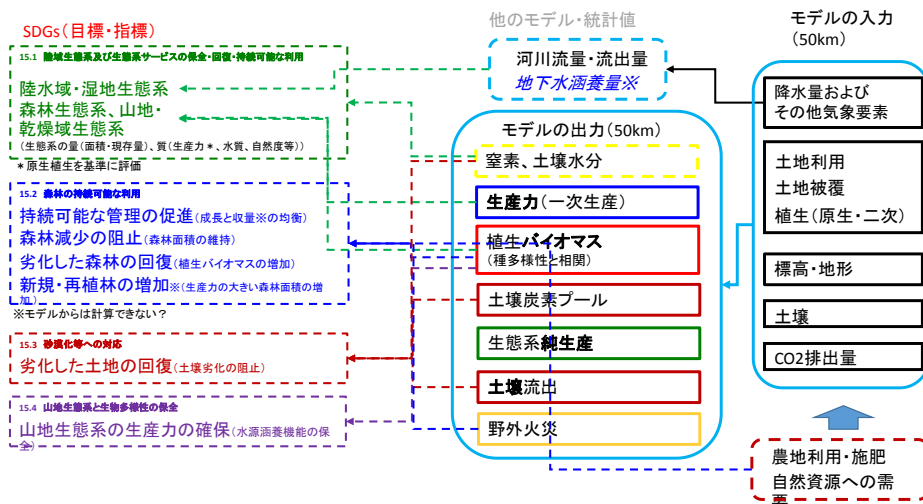


図 (4) -17 陸域生態系のSDGsとモデルアウトプットの関係

事前アンケートおよび、当日のグループワークで調査を実施したAHPからは、気候変動、水、生態系、社会・経済の4つの評価基準に対して、水の基準が大きく、ワークショップへの参加で、生態系への重要度も大きくなった(図(4)-18)。しかし、図(4)-19に示すようにグループによっても偏りがみられ、調査結果を絶対の理由とするのではなく、あくまで議論の助けとして用いることが望ましいと考えられた。一方で、あいまいな聞き方での比較がより答えにくいとの意見も寄せられたので、参加者の特性にあわせ、具体的な比較基準をもつような参加者には直接比較を、あいまいな主観もふくめたい場合にはAHPを用いるなど、対象によっても手法の使い分けをすることが示唆された。

シナリオ比較に関する議論の結果としては、図(4)-20にAHPで各グループの議論の結果を算出したものを示す。参加者が各シナリオ(S1-S5)について、それぞれの基準のもとで、よいと評価できると思うかを5段階で評価したものに、それぞれの重みを掛け合わせたものである。そのため、

各グループ内での相互比較の結果を合理的に示したものであり、グラフ上部に示した値には単位はなく、また直接グループ間で比較することは望ましくない。これをみると、A、Bグループの選好はシナリオ5がよいと考えている。特に、水という基準からみて、シナリオ5が優れて認識していたためである。一方、Cグループの選好はシナリオ4がよいと考えていた。これは、このグループが気候変動問題を重視していたためにシナリオ1-4が重視され、また生態系を重視していたためにシナリオ4が優れていると認識していたと考えられる。ただし、ここで影響指標のおこりうる変化を参加者に参考情報として提供しているものの、シナリオの評価はあくまで、参加者の主観である。そのため、提供した情報以外にも変化しうると考えられる基準化の影響があると認識していれば、それは評価に含まれる。これは、必ずしも全てが数値化できない影響を加味して、意思決定を合理的に行うのを助ける一方で、適切な情報の理解ができなければ、認知のゆがみがそのまま数値として表れてしまうことには注意が必要である。このようなAHPの議論を補完、また比較する意味でも各グループには、直接どのシナリオがよいかを議論してもらった。その結果として、Aグループは、気候変動の影響が不明なのでこの中ならシナリオ5、Bグループは一つにしぼれないが、水と生態系は重要なので、このままの条件でシナリオ1-4はできないので技術革新を検討、Cグループは、市場性の確立と技術革新のもとでシナリオ4を支持し、気候変動対策をとりあえず進めるためにシナリオ5以外が望ましいのではという趣旨の議論となった。このため、前述のAHPで示した比較結果と直接的な議論には大きな乖離はないことがわかった。このような評価にいたった背景として、グループ議論の結果には、水や生態系の影響指標の変化を不可逆な変化と捉えて問題視し、将来の技術革新やコスト削減を見越して、BECCS大量導入以外のシナリオへの選好が高いことが示された。参加者から得たフィードバックには、技術だけでなく、社会・経済的な実現可能性を重要視するコメントが多かった。長期かつ全球規模であるための不確実性等が、前日にうけた地域の専門家ともいえる当該地域のステークホルダーによって提供された現場知見や意見と異なっていることにも大きく影響を受けていた。また、シナリオの設定そのものについては、将来予測の不確実性や簡便化のための仮定の極端さが多く指摘されていた。

ワークショップによるシナリオ評価の試行を受けて、参加者から手法についてのフィードバックも実施した。そこでは、専門用語や影響指標の含意の理解が困難であることなどが多く指摘されていた。科学的知見を議論のために提供する際は、詳細情報の参照を可能とするだけでなく、議論の上では対象をより簡易化して、情報自体の社会的な意味や実現可能性に関する仮定等も一様に定め、同時に提示する必要性も示唆された。一方、評価手法に対しては、計算の前提や内容の詳細な手順を尋ねるコメントもよせられており、関心が高いステークホルダー層には、協働の一部として、一般市民には簡潔化して示さない手順までを、積極的に示していくといった工夫も示唆された。また、今回はシナリオとそれに関する評価基準をこちらで先に設定したが、そもそも評価基準を選び、シナリオを検討するデザインの段階から参加者を交えて協働することも提案された。そして、実現可能性については、専門家の中でも意見がわかれることも多く、参加者にとっては混乱の原因となったようである。専門家は、提示内容に対し、自らに近い分野の言葉と視点から細かな指摘が可能である理系的素養を備えた参加者からの意見に注目してしまう。ただ、そもそも専門用語で的確に説明する情報よりも、まずは専門家判断で最適なものに絞込み、その理由を簡単にそえて欲しいという回答はアンケートにおいても、一定数みられた。責任をもたなければいけないが、そもそも活用されなければ意味を成さない。そのため、より多くのステーク

ホルダーの参加を促進するには異なる情報提示のあり方を考慮すべきであろう。他方、提供する知見の情報だけではなく、参加者が既知の背景知識や専門家以外も含めて場に同席する他者からの影響も多く見受けられたため、科学的な知見と社会の価値判断の両者を考慮して、協働の議論を支援する手法の開発が必要であろう。

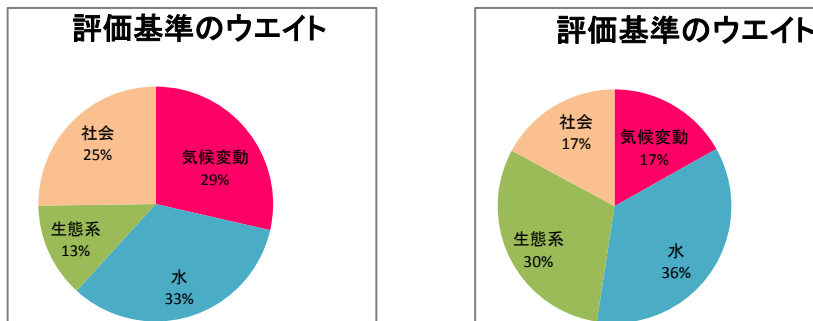


図 (4) -18 事前アンケートによる評価基準の重要度 (左) と当日の結果による重要度 (右)

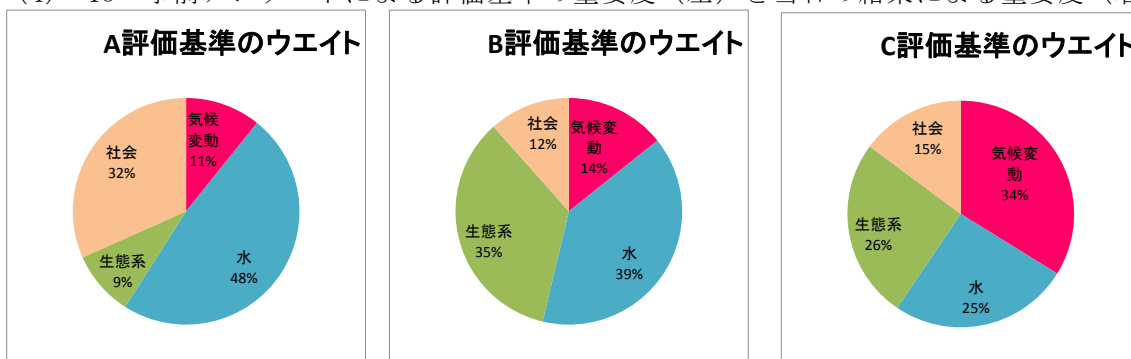


図 (4) -19 3グループの議論によりAHPから算出した重要度 (左からA、B、Cグループ)



図 (4) -20 3グループの議論によりAHPから算出したシナリオ比較 (左からA、B、Cグループ)

(7) マルチステークホルダー対話会合

まず、マルチステークホルダーによる対話型会合を設計するため、限定されたステークホルダーにより対話型会合で論議しやすい事項、本研究のICA-RUSレポート等で紹介された内容との整合性を相談した。参加者は渡辺竜五氏 (新潟県佐渡市総合政策課・課長)、金子祐介氏 (同・係長)、関荘一郎氏 (環境省顧問)、福士謙介 (ファシリテーター) の4名である。インタビューは本研究

の概要を福士から説明した上で、それに関する理解度、所属機関における業務内容との整合性等の観点から相談を行った。関氏には国と自治体、企業との連携（補助金等）に関する意見を伺った。結論として、(A) ICA-RUSをはじめとする気候変動リスクに関する理解度についての確認、(B) 業務との関連性、(C) 他のステークホルダーとの連携を中心として、マルチステークホルダーによる対話型会合では論議することとなった。また、政府、自治体、企業に加え、地域連携を推進する団体としてイクレイの参加が重要であるという指摘が佐渡市よりあった。

以上を基に、マルチステークホルダーによる対話型会合（座談会）を実施した。企業、自治体、政府、NGO、研究機関に所属する人間を集め、気候変動リスクに関する対話型会合（座談会と呼ぶ）を行った。企業としては日本工営株式会社、自治体としては佐渡市、中央政府としては環境省、NGOとしてはイクレイ日本、そして研究者としてはS-10代表者の江守、総括班代表の高橋が参加した。ファシリテーターとしては本サブテーマ代表の福士が担当した。

まず、江守氏から本研究の研究内容、気候変動リスクに関してICA-RUSの内容も含め、一般的な事項を紹介してもらい、次に、共通の質問事項として（座談会前に参加者に送付）、(a) 気候変動リスクが影響を受ける分野はどのような分野が考えられるか、(b) 所属機関の業務の中でどのような論議があるか、(c) 異なる機関同士の連携を必要とするか、(d) 現在足りない物はなにか、とし、さらに気候変動緩和への取り組みと併せて対策を行うことに関する意見交換を行った。

気候変動のリスクの理解、長期的には気候変動緩和の必要性も理解しつつもその不確実性の多寡、適応策や緩和策の効果の実証に関して企業、地方行政では理解しにくいこともあり、大規模な投資（ないしは形成方針の転換）がしにくい状況であるという認識が、地方自治体、企業で得られた。一方、中央地方と地方自治体からは科学的・政策的に提示している目標値（例えば、2℃目標）に関して、それを達成するための社会像が明確でなく、また、その目標を達成するためのアプローチも明確でないという指摘があり、政策としての決定に困難が伴うという意見が出された。イクレイは自治体の活動を連携させる国際NGOであるが、地域における成功例・失敗例を共有する仕組み、また、科学者と自治体を協働させる仕組みを考え、全世界的に運用している。気候変動リスクへの対応は企業活動や地方政府の施策があり、それに連動させる形として推進するのが今のところ現実的ではあるが、気候変動緩和・適応の主流化が実現した場合は、緩和・適応そのものが活動の中心となることも考えられる。結論として、異なるセクターや団体が情報を共有し、社会全体として気候変動リスクに対応しないと、パリ合意で示された目標は達成できず、ひいては持続可能な社会の構築も困難であるということとなった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略のステークホルダー伝達に関する研究からは、対話型会合実施に関わる基礎的事項の整理、ならびに気候変動に関わる科学的アウトプットの対話型会合での効果的利用への認識の把握、を行うことが出来た。Future Earthの研究手法にも見られるように、地球変動研究のアプローチが変化してきている中、本サブテーマのように科学的結果をステークホルダーと共に論議し、社会と科学との連携手法を研究することは意義がある。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

対話型会合の実施を通じた気候変動リスクとその管理戦略のステークホルダー伝達に関する研究については、対話型会合の対象に行政を含めることで気候変動リスク管理戦略に対する行政ニーズを細やかに把握し、間接的ではあるものの、環境政策への貢献を研究期間にわたり行うことができた。各ステークホルダーが認識している温暖化影響および、各分野で貢献できる対策を収集することで、より網羅的な地球温暖化影響の把握、および多面的な対策への知見が得られた。また、科学的研究成果の利用について、気候変動の国際交渉で影響力を持つ関係者から意見を聴取することで、本研究からの発信のみならず、今後の地球温暖化関連研究を環境政策に生かしやすい情報とすることに貢献できると考えられる。さらにSDGsの推進は我が国の政府の環境関連事項における基本的な方針であり、これを明確にシナリオ分析等で明確に考慮していることからわかるように、科学的知見と社会の受容性を研究する本サブテーマの貢献は大きい。

6. 国際共同研究等の状況

本テーマ代表者の福士は国際ネットワークであるAPN (Asia Pacific Network for Global Change Research)のScientific Planning Group (SPG)メンバーであり、同ネットワークの政府間会合等の重要会合においてICA-RUSの研究成果に関しての報告を行っている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表(学会等)

- 栗栖聖, 前田芳恵, 福士謙介: 第49回環境工学研究フォーラム(土木学会)(2012)
「リスクに関する情報提供源およびメディアに対する信頼性評価」

- 2) Y. Goto-Maeda, S. Emori, K. Takahashi and K. Fukushi : AGU Chapman Conference, Colorado, USA, 2013
"Stakeholders' Inputs through Dialogues to Summary Reports on Climate Change Risk Management Strategy."
- 3) Y. Goto-Maeda, S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, Y. Tanaka, H. Fukuda, K. Fukushi, M. Kawamiya : AGU Chapman Conference, Colorado, USA, 2013
"Enhancing Communication between Journalists and Scientists on Climate Change in Japan."
- 4) Y. Goto-Maeda, Y. Matsumoto, S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, A. Asakura and K. Fukushi : Annual Meeting of American Meteorological Society, Austin, USA, 2013
"Analysis of Perspectives of Journalists and Scientists on Climate Change Reports through Experimental Reviews of Student Articles."

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない

Synthesis of global climate risk management strategies

Principal Investigator: Kiyoshi TAKAHASHI

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Tel: +81-29-850-2543 / Fax: +81-29-850-2960
E-mail: ktakaha@nies.go.jp

Cooperated by: Nomura Research Institute, University of Tokyo

[Abstract]

Key Words: Climatic change, Risk management, Decision making, Dialogue meeting, Stakeholder, Global scale, Integrated analyses, Discount rate, Stochastic control

The primary objective of S-10 project is to develop long-term global climate change risk management strategies based on the collaboration among the research teams with a wide range of expertise such as climate risk analyses, climate mitigation policy analyses, and relationship between science and society. To achieve the ultimate objective of the project, the S-10-1 group has taken a role to coordinate the collaboration among the participating research teams, to lead the discussion of research framework and procedure, and to synthesize the quantitative and qualitative research results from each of the research teams.

The specific role of S-10-1(1) is to quantitatively synthesize the analyses results from the other research teams through development and utilization of integrated assessment tools. The role of S-10-1(2) is to qualitatively consolidate expert knowledge and research findings of the research teams by hosting regular representative meetings as well as by publishing ICA-RUS annual reports. The S-10-1(3) team is responsible for summarizing and testing mathematical methodologies for decision making analyses. The S-10-1(4) team has conducted communication of global climate risks based on the S-10 research results with stakeholders like NGOs, public officials, policymakers and business sectors.

Through the research project, the S-10-1(1) team achieved integrated multi-sector analyses of climate risks under alternative climate targets (below 1.5 / 2.0 / 2.5 degree celcius global temperature increase relative to the pre-industrial level with the probability around 66%) in cooperation with the members of S-10-2 and S-10-3. It also worked with the members of S-10-4 by providing GHG emission pathways consistent with the climate targets mentioned above. The S-10-1(2) team published four ICA-RUS annual reports in Japanese and translated into English three of them based on the qualitative synthesis of

the research results of all the research teams in the project. It also led the development of the two summary reports of ICA-RUS risk management strategies. The S-10-1(3) team discussed the concept of multistep dynamic decision making, surveyed the latest controversial points of discounting rate, and conducted theoretical consideration of real option analyses. Those studies provided theoretical basis to the quantitative analyses conducted by the other research teams. Based on the stakeholder meetings, The S-10-1(4) team suggested the importance of sharing knowledge on climate risks and management strategies among the relevant different stakeholders to realize the international agreements. It also helped the project team understand policy needs on global climate risk management strategies and effective risk communication between science and society.