

課題名	S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究 1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究
課題代表者名	江守 正多（独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室）
研究実施期間	平成19～23年度
累計予算額	669,240千円（うち23年度 135,308千円） 予算額は、間接経費を含む。

研究体制

- (1) 総合的な確率的気候変動シナリオおよび影響シナリオの構築（（独）国立環境研究所）
- (2) マルチ気候モデル解析による近未来気候変動の確率的予測（（独）海洋研究開発機構）
- (3) 気候変動シナリオに基づく水文・水資源の未来像の描出（東京大学生産技術研究所）
- (4) 気候変動シナリオに基づく海洋環境・水産業の未来像の描出（北海道大学大学院地球環境科学研究院）
- (5) 気候変動シナリオに基づく雪氷圏・海面水準の未来像の描出（東京大学大気海洋研究所）
- (6) 気候変動シナリオに基づく農業・食料の未来像の描出（（独）農業環境技術研究所）
- (7) 気候変動シナリオの一般社会への情報伝達に関する研究（東京大学サステナビリティ学連携研究機構）
- (8) 気候変動シナリオの企業ニーズおよび民間市場へのインパクトに関する研究（株式会社野村総合研究所）
- (9) 温暖化理解における「実感」に関する概念整理と評価手法の開発に関する研究（神奈川大学）
* 中間評価を踏まえ本課題は平成21年度にて廃止となった。
- (10) 意欲を高めることを重視した参加・体験型コミュニケーションに関する実証的研究（神奈川大学）
- (11) 共感を得ることを重視したロールプレイング型コミュニケーションに関する実証的研究（東邦大学）
- (12) 分かりやすさを重視したマスメディア利用型コミュニケーションに関する実証的研究
（（独）国立環境研究所）

1. 戦略課題S-5テーマ1の全体構成

本テーマは、戦略研究プロジェクトS-5全体の中で、各種情報を統合して最終出力を構築するための中核的な働きを担う。テーマ2の信頼性評価およびテーマ3の地域詳細化の結果を受けて確率的気候変動シナリオを構築するとともに、その結果およびテーマ4の地域詳細化された社会経済シナリオならびに既存の研究知見を総合して各種影響分野における気候変動シナリオの意味する帰結（気候未来像）を描出し、気候変動シナリオの社会への伝達方法を確立する。

本テーマでは、サブテーマ(1)および(2)で構築された確率的気候変動シナリオに基づき、サブテーマ(1)および(3)～(6)で確率的影響評価シナリオを構築し、その結果を伝達する方法をサブテーマ(7)～(12)で確立する。テーマの構成を図1に示す。

・サブテーマ(1)では、気候変動シナリオの不確実性を定量化する手法を検討し、確率的気候変動シナリオを構築するとともに、陸域生態系等の影響評価変数について確率的影響シナリオを構築する。また、これらに基づき一般向けに分かりやすい科学的メッセージ(気候未来像)を描出する。

・サブテーマ(2)では、気候変動シナリオの不確実性や信頼性を検討するために主として統計学的な解析を行う。

・サブテーマ(3)、(4)、(5)、(6)では、それぞれ水文・水資源分野、海洋環境・水産業分野、雪氷圏・海面水準分野、農業・食料分野における全球規模・長期の確率的影響シナリオを構築するとともに、他課題や既存の知見も併せて用いて、当該分野の影響における気候未来像を描出する。

・サブテーマ(7)、(8)、(9)、(10)、(11)、(12)では、一般向けシンポジウムやインターネットによる情報発信、民間企業へのインタビュー調査、コミュニケーションの概念整理と評価手法の開発、参加・体験型コミュニケーション、ロールプレイング型コミュニケーション、マスメディア利用型コミュニケーションの実態把握等を通じて、効率的でかつ誤解の無い情報伝達の手法を確立する。

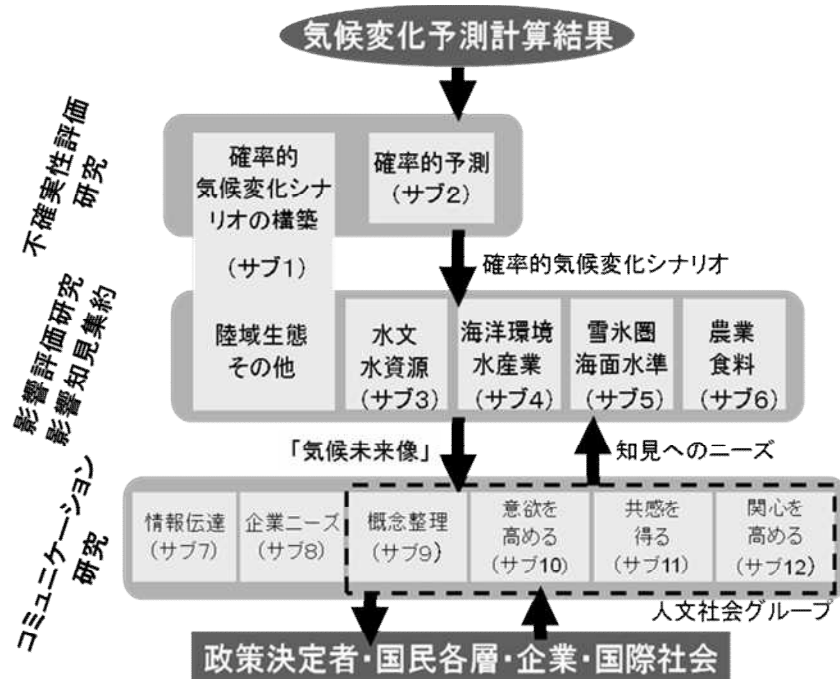


図1 テーマ1の構成

II. 本研究により得られた科学的成果

予測の不確実性を定量化する手法の開発、気候シナリオの不確実性を考慮した温暖化影響評価研究に取り組み、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書で焦点になるこれらのテーマにおける成果が得られたことに意義がある。特に、新たに利用可能になり始めた第5期結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP5)気候モデルデータを用いた影響評価を国際的に見ても早いタイミングで行うことができた。また、コミュニケーションに関して、一般市民、メディア関係者、企業担当者の温暖化問題に対する関心や認識についての知見を得るとともに、不確実性を含む気候シナリオを一般市民に伝達する社会実験とその検証を行った点に社会科学的な意義がある。

III. 成果の環境政策への貢献

各分野の温暖化影響評価の不確実性を定量化することにより、政府、自治体、企業等による温暖化への適応策の策定の上で基礎となる情報を提示することができた。また、各分野の温暖化影響評価の包括的なまとめを一般向け書籍として出版することにより、社会が温暖化の深刻度と緩和策の必要性について検討する材料を提示することができた。また、メディア関係者と研究者の間の相互対話による信頼関係醸成を図ることにより、一般市民による対策の動機付けや温暖化政策への世論形成において重要な、より適切で効果的なメディア報道の増加へとつながっていくことが期待される。特に平成23年度は、タイの洪水等で話題となった温暖化と異常気象および災害の問題を取り上げた。さらに、コミュニケーションに関しては、温暖化についての今後の普及啓発活動を行う上で有用な知見を提示したほか、横浜市地球温暖化対策事業本部と共同で実際にモデル地域における普及啓発手法の社会実験を実施した。

IV. 研究概要

1. はじめに(研究背景等)

国内外において、地球平均気温の上昇や雪氷の減少といった観測事実に基づき、地球温暖化問題が現実のものであるという認識が広がってきている。また、地球温暖化が原因で異常気象の増加が始まっているという懸念が強まってきている。ここで、将来の気候変動を予測することは、3つの点で重要である。第一に、気候安定

化ないしは気候変動緩和の目標設定の際の判断材料となること、第二に、気候変動緩和に向けて社会が取り組むための動機付けとなること、第三に、気候変動に対して社会が適応策を講じる際の判断材料となることである。気候変動の予測は各国の研究機関で行われており、国内でも「地球シミュレータ」の利用を契機に過去5年間で著しい進展があった。しかし、現時点では、国内外の各種意思決定主体や国民各層に対して、最大限利用可能な予測情報が十分に届いているとは言い難い状況にある。

この状況を改善するため、IPCCなどにおける国際的な議論によれば、不確実性の定量化等を通じて予測の信頼性を明らかにすること、および気候変動予測と影響評価の連携を密にすることが重要な課題となりつつあるが、国内の研究においてはこれらの点で未だ十分な取り組みがなされていない。また、気候変動予測情報を各種意思決定主体や国民各層に効率的に伝達することは、政府が気候変動の緩和および適応施策を推進する上で極めて重要である。以上の理由から、気候変動予測の信頼性および予測の意味する社会への影響を明らかにするとともに、そうして得られた総合的な「気候変動シナリオ」を社会に効率的に伝達する方法を確立するための研究を行う必要がある。

2. 研究開発目的

・不確実性表現・影響表現を導入した気候変動シナリオの構築

既存のもしくは他課題により得られる気候変動予測計算の結果を用いて、確率的気候変動シナリオを構築するとともに、それを用いた水文・水資源、海洋環境・水産業、雪氷圏・海面水準、農業・食料および生態系等各分野の影響評価を行うことにより、気候変動予測の信頼性および予測の意味する社会への影響（気候未来像）を明らかにする。また、そうして得られた総合的な「気候変動シナリオ」を社会に効率的に伝達する方法を確立するための研究を行う。さらに、本テーマは、戦略研究プロジェクトの総括班として、他のテーマより得られる各種情報を統合して最終出力を構築するための中枢的な働きを担う。

・気候変動シナリオの実感的コミュニケーション

気候モデルの将来予測から抽出される気候の未来像を、一般市民が実感を持って理解することを支援するコミュニケーションの方法論を開発する。このためにまず、実感に関するこれまでの知見をもとにした仮説モデルの構築と、コミュニケーションの効果を実感という観点から測定するための評価尺度の開発を行う。また、環境コミュニケーションにおいて必要とされる、分かりやすさ(知)、相手への共感(情)、行動に対する意欲(意)の3つの要素のいずれの側面を重視するかによってコミュニケーション手法の分類を行い、これらの手法の開発及びそれらを組み合わせた統合的な手法の開発を行い、社会実験を通じた評価を行う。以上の成果を、気候未来像を抽出するための知見としてフィードバックすると同時にガイドブックとして取りまとめることを目標とする。

3. 研究開発の方法

(1) 総合的な確率的気候変動シナリオおよび影響シナリオの構築

パターンスケーリング手法を適用し近似作成した気候シナリオと、気候モデルを直接駆動し作成した気候シナリオとの比較により、パターンスケーリング手法の排出シナリオ依存性を検討した。また、IPCCのSRESシナリオの1つであるA2シナリオにおける14の気候モデルの降水量変化、気温変化予測データ(気候変化予測)と、それらを入力データとする流出量変化予測データ(影響評価)を用いた特異値分解により、気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析を行った。さらに、CMIP3(一部CMIP5)が提供する複数気候モデルの予測情報を活用し、気候予測の不確実性を考慮した農業(作物収量変化)、人間健康(熱ストレス死亡)、陸域生態系への影響評価を実施した。

(2) マルチ気候モデル解析による近未来気候変動の確率的予測

研究の第一の目的は、気候モデルの信頼性を理解するための手法を開発し、この手法をIPCCによる第4次評価報告書で用いられた、CMIP3 で作成された最新世代の気候モデルに適應することである。本研究では全球規模の空間スケールだけでなく、より小さな領域スケールでのモデルの性能評価を行った。さらに、全世紀の気温観測において都市化が及ぼす影響についても調べた。

(3) 気候変動シナリオに基づく水文・水資源の未来像の描出

第一に日本における気温と電力需要および死亡率の関係を求め、温暖化・寒冷化シミュレーションの結果を用いて、温暖化・寒冷化の両側面から電力需要および健康に対する影響評価を実施した。第二に低水流量の変動を解析し、水力発電ポテンシャルの推定を全球において実施し、また流域面積の大きさや気候区ごとの評価を行った。第三に、CMIP3のモデル出力を用いて水資源量と水需要量の将来推計を実施し、水ストレスを算出した。さらに気候変動、人口増加、水需要の変動のうちどれが水ストレス人口に効いているか、寄与率を算出

した。

(4) 気候変動シナリオに基づく海洋環境・水産業の未来像の描出

第3期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3)マルチ気候モデルの結果と、過去のモニタリング観測によって得られたサンゴや沿岸性魚種の分布や健康度に関する評価指標を組み合わせて、サンゴの白化、及びサンゴや沿岸性魚種の北上、地球温暖化と海洋酸性化の複合影響、そしてこれらの結果に内在する不確実性の定量的な評価を行なった。また、サンゴに関するシミュレーション結果の検証に必要な統合データベースの構築、外洋の海洋環境の影響評価、及び海洋生態系モデル相互比較研究計画の立案・遂行も行なった。

(5) 気候変動シナリオに基づく雪氷圏・海面水準の未来像の描出

雪氷圏・海面水準の未来像の抽出に関係する予測、その結果の不確実性評価と不確実性低減への努力、背後にある物理プロセスの特定と理解などを中心に研究を行った。特に、海面上昇についてはIPCCの第4次・第5次評価報告書のもとになる、各国の気候モデリングセンターが提出した20世紀再現実験と23世紀末までのシナリオ実験の結果(CMIP3・CMIP5データ)を利用して、氷床の流動や全体の質量変化を左右する氷床表面質量収支の将来予測を数kmという高解像度で行い、またその不確実性の評価を行った。

(6) 気候変動シナリオに基づく農業・食料の未来像の描出

気候変動および農業への需要の変化が東アジアの農業生産と農業の環境負荷に及ぼす影響を明らかにするために、東アジアに適用可能なコメ収量予測モデルを構築するとともに、水収支、窒素収支モデルなどと連携させて、2050年頃を対象とした影響評価を実施した。

(7) 気候変動シナリオの一般社会への情報伝達に関する研究

温暖化の科学情報の効果的な伝達のための知見を得ることを目的として、市民もしくはメディア関係者を対象とした研究者との対話型会合を通じた調査、インターネットによる一般市民へのアンケート調査、学生による温暖化に関する記事への講評を通じて、記者および研究者の温暖化報道の認識の違いを把握する調査を実施した。

(8) 気候変動シナリオの企業ニーズおよび民間市場へのインパクトに関する研究

気候変動予測情報をもとにした企業の適応策の検討・実践における課題を明確にするため、企業へのヒアリング調査および全4回にわたる企業6社と気候変動に係る研究者6名の対話型研究会の開催等を実施した。また、気候変動予測情報の利活用を積極的に検討していると考えられる損害保険業界に着目し、気候変動予測研究の実施状況および利活用状況を把握した。さらに先進的な企業の協力を得て、2030年頃の日本における気候変動による損害保険への影響を、気候変動影響評価テーブルCIAT(Climate-change Impact Assessment Table)を用いて評価した。さらにCIATの評価を利用して他業界の企業とのリスク・コミュニケーションを実施した。

(9) 温暖化理解における「実感」に関する概念整理と評価手法の開発に関する研究

日本の一般市民における温暖化のリスク認知と、それに関連する要因を明らかにするため、温暖化リスク・コミュニケーションにおける知見などに基づいた仮説モデルを構築し、一般市民、一般市民の中でも意識が高いと考えられる地球温暖化防止活動推進員、温暖化研究の専門家の3つのグループを対象としたアンケート調査を行った。また、一般市民のアンケート調査結果から、一般市民が温暖化対策行動の効果をどのように理解し、その理解が何によって規定されているのかを検証した。

(10) 意欲を高めることを重視した参加・体験型コミュニケーションに関する実証的研究

地球温暖化問題に対する適切なリスク認知を促し、家庭での地球温暖化対策に対する取り組み意欲を高めることを目的として構築された既存の普及啓発手法による効果を把握するため、参加者へのアンケート調査を行った。また、地球温暖化対策に対する取り組み意欲として、CO₂排出量の長期的な削減目標を題材に、地球温暖化の影響、費用負担、科学的な不確実性を伝達するコミュニケーション実験を、大学生を対象としたレクチャー形式および一般市民を対象としたWEB形式によって行った。

(11) 共感を得ることを重視したロールプレイング型コミュニケーションに関する実証的研究

本サブテーマでは、ロールプレイング型ワークショップにより、地球温暖化に関する情報を編集・加工・発信するプロセスにおける学習効果を把握することを目的とした。そのため、地球温暖化をテーマとした「演劇づくり」シ

ョートフィルムづくり」「教材づくり」などのロールプレイング型ワークショップを様々な主体に対して実施し、その後におけるアンケート調査などにより、ロールプレイング型ワークショップの学習効果を把握した。

(12) 分かりやすさを重視したマスメディア利用型コミュニケーションに関する実証的研究

1) まず、フォーカス・グループ・インタビューを用いて、気候変動問題についての理解と発信について、合計4グループを対象に調査分析を実施した。2) 次に、全国4000人の無作為抽出された成人男女を対象とした、「日本の成人男女の関心度調査」を実施して「世界で最も重要な問題」の時系列の変化を把握した。さらに、新聞とテレビについて、毎月の報道件数を把握した。上記2つの時系列のデータについての関連を、交差相関係数を用いて分析した。3) 第4年度の終わりにおきた東日本大震災に関連して気候変動リスクに関する世論調査を実施した。

4. 結果及び考察

(1) 総合的な確率的気候変動シナリオおよび影響シナリオの構築

パターンスケリング手法の排出シナリオ依存性に関しては、大気中の水蒸気が降水に変換される時間が排出シナリオに依存すること、エアロゾル排出量の違いがこのような降水量変化効率の排出シナリオ依存性をもたらすことなどから、パターンスケリング手法の適用の際に無視できない誤差が生じうることを定量的に示した。また、気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の客観的・定量的分析手法を開発・適用した。水資源量変化予測の信頼性に関する気候モデルの現在気候再現性を考慮し重みづけした場合、モデル間平均が尤もらしいと考えた場合に比べて、アマゾン川流域は乾燥化する可能性が高いことを示した。さらに、複数気候モデルの出力を用いた影響評価の実施により、評価対象としたどの分野についても気候予測の不確実性に由来する影響予測の不確実性は大きく、想定される排出シナリオの幅に由来する影響予測の幅に匹敵することが示された。

(2) マルチ気候モデル解析による近未来気候変動の確率的予測

本研究では気候モデルの性能を評価するための新たな手法を開発し、全球スケールで評価を行った場合、モデルの性能は十分高いことを示した。地域スケールでは、モデルの性能が十分でない領域が存在し、例えば北極海では近年の観測された海氷の減少はモデルの予測よりも非常に早く、モデルがこのような現象を再現できないことが分かった。これは、気候モデルにはまだ改善の余地が残されているということを意味する。

(3) 気候変動シナリオに基づく水文・水資源の未来像の描出

1) 日頃問題視されている温暖化が起こった場合でも好影響を与える項目があることや、寒冷化の影響が地域によって異なることが分かり、地球温暖化は気温上昇が問題なのではなく、急激な変動への適応力が問題といえる。2) 低水流量が将来小さくなる地域では、年間流量が増加しても低水流量の減少により水力発電ポテンシャルは小さくなることが分かった。3) 水利用と人口増加が新たに高い水ストレスに曝される人口の増加に寄与しており、気候変動による寄与は小さいことが分かった。供給量の増加分を有効利用して需要の増大に応えられるかどうかは、その国や地域の水の有効利用技術や水資源の最適な分配手法の開発、あるいは国や地域間の協力といった、我々人類の適応能力にかかっていることが示唆された。

(4) 気候変動シナリオに基づく海洋環境・水産業の未来像の描出

日本近海では地球温暖化に伴う水温上昇の影響により、サンゴの大量死につながる深刻な白化の発生頻度が高まることや、植物プランクトンの春季ブルームの時期が早まるなどが示された。また、水温上昇はサンゴや沿岸性魚種の生息域の北上を促すが、炭酸カルシウムの殻を持つ生物では海洋酸性化の影響により北上が大きく阻害されることが、その結果の不確実性と共に示された。また、国際海洋生態系モデル相互比較研究計画(MAREMIP)の枠組みで、海洋生態系モデルの相互比較、及び衛星データとの比較を通じて海洋生態系モデルの不確実性を多面的に解析した。

(5) 気候変動シナリオに基づく雪氷圏・海面水準の未来像の描出

CMIP3データ利用からは、グリーンランド氷床では融解量が増加して海面上昇に寄与し、南極氷床では降雪量が増加して海面を低下させる方向に働くことが示された。しかし、氷床力学過程に関連する急激な質量変動については依然不確実性が大きいと、将来の南極氷床の海面高度変化への寄与はその符号も含めて断定できない。また、グリーンランド氷床の融解量増加の大きさは、気候モデルの全球平均地上気温変化量の大小、現在と将来の海氷分布、海洋循環の変化などに依存することが示唆された。さらに、気候モデルによるグリーン

ランドの現在気候再現性の善し悪しが将来予測に影響を与えることがわかった。現在更新中のCMIP5データを利用した同様の解析でも、少なくとも一部についてCMIP3の結果が再確認された。今後は氷床モデルの改良・開発、さらには本研究の予測結果をふまえた氷床流動変化予測が喫緊の課題である。

(6) 気候変動シナリオに基づく農業・食料の未来像の描出

東アジア23地点(北緯22~47°)における1990年代から2040年代にかけてのコメ収量変化は、-9~+8%と予測されたが、気候シナリオ間で顕著な違いが認められ、昇温程度が大きい気候シナリオにおいて減収の程度が大きい傾向にあった。農耕地から流出する窒素と河川水の窒素濃度を推定したところ、予測される作物需要の増加に対して、窒素投入量を継続的に増加させて対応した場合、気候シナリオに関わらず河川水窒素濃度は2030年頃まで大きく増加するものと予測された。施肥管理方法を大きく改変した場合、作物の収量を増加させて、かつ耕地からの窒素損失を大幅に軽減できる可能性が示唆された。

(7) 気候変動シナリオの一般社会への情報伝達に関する研究

メディア関係者と研究者の会合および学生による記事の講評を通じた調査では、限られた参加者での結果ではあるが、研究者が手法の詳細や前提条件等の記述を重要と考える傾向にある一方、メディア関係者は、より読者の興味を引く主題や読者に注意喚起すべき話題を選択する傾向があるなど、それぞれの職業の特性に起因する主題選定や表現方法の違いが見られた。

(8) 気候変動シナリオの企業ニーズおよび民間市場へのインパクトに関する研究

気候変動予測情報をもとにした企業の適応策の検討・実践が進まない理由として、研究者の発する研究情報のほとんどが企業の目に留まる機会が少ないこと、および研究が対象とする数10年あるいは100年単位の時間スケールが、企業経営のスパンに比べて非常に長くマッチしていないこと等の要因があることが明確となった。さらに研究を通して企業からは、気候変動予測情報をもとに行動を起こすためには、その情報が行政によりオーソライズされた信頼性のある情報である必要があるという点が指摘され、行政の関与や行動の必要性が明らかとなった。また、損害保険業界研究においては、損害保険会社の協力を得て、CIATによる評価により、損害保険商品に影響を与える気候変動影響と影響を受ける損害保険商品を把握した。さらにそれをもとに企業との対話を行い、CIATは気候変動リスクに関する「気づき」を企業に提供でき、リスク・コミュニケーションツールとして利用出来ることが把握できた。

(9) 温暖化理解における「実感」に関する概念整理と評価手法の開発に関する研究

温暖化のリスク認知が、温暖化に関する知識(気温変化、原因、影響分野)や温暖化の実感と関連しているかを検証した結果、温暖化に関する知識の適切さとリスク認知との間には関連があることが確認された。また、温暖化による実感とリスク認知との間にもやや強い正の相関があることが確認された。また、一般市民では、温暖化対策行動に対する金銭的負担感と手間的負担感はいずれも主観的効果に負の影響、つまり、負担感の高い行動はその効果が低く評価されやすい傾向が確認された。

(10) 意欲を高めることを重視した参加・体験型コミュニケーションに関する実証的研究

既存の普及啓発手法を通じて、参加者の平均気温の予測上昇幅は科学的な知見により近いかたちに修正され、地球温暖化により予測される影響が実際に生じる可能性や被害の大きさなどのリスクをより高く認識するようになった。また、気温上昇の影響に加えて費用負担や科学的な不確実性を提示することにより、被験者は長期的な削減目標に対する選択を変化させることが確認された。地球温暖化のリスク認知が低く、因果関係に関する認識が曖昧な人に対して、科学的な不確実性の認識は強く影響したと考えられる。

(11) 共感を得ることを重視したロールプレイング型コミュニケーションに関する実証的研究

地球温暖化に関する情報は、いわば「常識化」しているため、自分の持っている情報を再度吟味する機会がない場合が多い。ロールプレイング型ワークショップを通じ、多様な立場や価値観から、改めて地球温暖化に関する情報に触れ、その情報のバックグラウンドを「実感」することが重要であることを明らかにした。また、このようなプロセスにおいて、専門家が主体的に関与することが重要であることを併せて確認した。

(12) 分かりやすさを重視したマスメディア利用型コミュニケーションに関する実証的研究

1)では、理系・文系別、男女別でそれぞれの違いが認められた。気候変動問題の理解においては、理系出身者ほど理解をし、対策について前向きな態度を示した。文系出身者は、なかなかそのような態度を醸成できな

った。2)時系列調査の調査結果についてみると、洞爺湖サミットをピークに、「世界で最も重要な問題」として「環境(気候変動を含む)」が継続してあがっていたが、2008年のリーマンショック以降、「経済」「雇用」が最も重要な問題に取って代わっていた。メディア報道件数と交差相関係数をもちいて分析を行うと、新聞報道が人々の関心の立ち上がりには先行し、テレビ報道と人々の関心度はほぼズレのない動きとなった。3)気候変動リスクについての認知度は高く、日本においては9割程度の成人がそのリスクを感じている。予想される気候変動の影響については、かなり認知が進んでおり、台風、干ばつ、洪水など気候の様々な事象が今よりも極端な幅で起こることにに関して、特に高く認知されていることがわかる。

5. 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) Aoyagi-Usui, M (2008): A comparison of public attitudes and actions toward environmental issues in China and Japan. Asian, Asian Rural Sociology Volume 3 (CD), Beijing, China, pp92-105.
- 2) 朝倉暁生, 高野誠二, 平松あい(2008): 地球温暖化問題への関心・行動とイメージに関する研究. 環境情報科学論文集, 22, 333-338.
- 3) Hashioka, T., T. Sakamoto and Y. Yamanaka (2009): Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. Geophysical Research Letter, 36, L20604, doi: 10.1029/2009GL038912.
- 4) Kundzewicz, Z. W., L. J. Mata, N. W. Arnell, P. Döll, B. Jimenez, K. Miller, T. Oki, and Z. Şen (2009): REPLY to "Climate, hydrology and freshwater: towards an interactive incorporation of hydrological experience into climate research" Water and climate projections, Hydrological Sciences Journal, 54(2), 406-415.
- 5) Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Harasawa and Y. Matsuoka (2009): Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. Agriculture, Ecosystems and Environment, 131, 281-291.
- 6) Sampei, Y. and M. Aoyagi-Usui (2009): Mass-media coverage, its influence on public awareness of climate-change issues, and implications for Japan's national campaign to reduce greenhouse gas emissions. vol. 19 (2), 203-212.
- 7) Shindo, J., K. Okamoto, H. Kawashima, E. Konohira (2009): Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. Soil Science and Plant Nutrition, 55, 532-545.
- 8) Yoshimori, M., T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2009): A comparison of climate feedback strength between CO2 doubling and LGM experiments. J. Climate, 22(12), 3374-3395.
- 9) 朝倉暁生, 平松あい, 高野誠二(2009): 地球温暖化に対するイメージと性格特性に関する研究. 環境情報科学論文集, 23, 77-82.
- 10) 中尾 有伸, 山野 博哉, 藤井 賢彦, 山中 康裕 (2009): 日本のサンゴ礁データベースの作成と分析. 日本サンゴ礁学会誌, 11, 109-129.
- 11) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕 (2009): 地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海の造礁サンゴの分布と健全度に及ぼす影響評価. 日本サンゴ礁学会誌, 11, 131-140.
- 12) Annan J. D. and J. C. Hargreaves (2010): Reliability of the CMIP3 ensemble. Geophys. Res. Lett, vol. 37 (2) pp. L02703.
- 13) Hargreaves, J. C. (2010): Skill and uncertainty in climate models. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, vol. 1 (4), 556-564.
- 14) Ishigooka, Y., T. Kuwagata, S. Goto, H. Toritani, T. Hasegawa, S. Sawano, H. Ohno (2010): Estimation of water saturated areas in Northeast Thailand using a Large-scale water balance model. Journal of Agricultural Meteorology, 66(2), 91-101.
- 15) Pokhrel, Y., N. Hanasahi, S. Koirala, S. Kanae, and T. Oki (2010): Extreme river discharge under present and future climate conditions using high-resolution climate model data, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 54, 97-102.
- 16) Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Takemura, T. Nozawa, S. Emori (2010): Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. Clim.Change, 99 (1-2), 321-329.

- 17) Sugiyama, M., H. Shiogama, S. Emori (2010): Precipitation extreme changes exceeding moisture content increases in MIROC and IPCC climate models. *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*, 107 (2), 571-575.
- 18) 木口雅司, 沖大幹 (2010): 世界・日本における雨量極値記録. *水文・水資源学会誌*, 23, 231-247.
- 19) 高野誠二, 朝倉暁生, 平松あい(2010): 地球温暖化教育におけるロールプレイング型学習の効果に関する研究. *教育メディア研究*, 17(2), 1-12.
- 20) Annan J. D., J. C. Hargreaves and K. Tachiiri (2011): On the observational assessment of climate model performance. *Geophys. Res. Lett.* vol. 38 (24) pp. L24702.
- 21) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves and S. Emori (2011): Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural? *Atmosph. Sci. Lett.*, vol. 12 (4), 362-367.
- 22) Masaki, Y., Y. Ishigooka, T. Kuwagata, S. Goto, S. Sawano, T.Hasegawa (2011): Expected changes in future agro-climatological conditions in Northeast Thailand and their differences between general circulation models. *Theor. Appl. Climatol.*, 106, 383-401.
- 23) Shiogama, H., S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa (2011): Observational constraints indicate risk of drying in the Amazon basin. *Nature communications*, 2, 253.
- 24) Yara, Y., K. Oshima, M. Fujii, H. Yamano, Y. Yamanaka, and N. Okada (2011): Projection and uncertainty of the poleward range expansion of coral habitats in response to sea surface temperature warming: A multiple climate model study. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 13, 11-20.
- 25) Yokohata, T., J. D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, M. Tobis, M. J. Webb and J. C. Hargreaves (2011): Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles. *Clim Dyn.* pp. 1-18.
- 26) Yoshimori, M., J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2011): Dependency of feedbacks on forcing and climate state in perturbed parameter ensembles. *J. Climate*, 24(24), 6440-6455.
- 27) 青柳みどり(2011): 気候変動と市民理解. *科学技術社会論研究*, 9, 24-39.
- 28) 高橋潔, 杉山昌広, 江守正多, 沖大幹, 長谷川利拡, 住明正, 福士謙介, 青柳みどり, 朝倉暁生, 松本安生 (2011): 地球温暖化リスクの伝達の実践の試み: メディア関係者との意見交換と市民対象の双方向型シンポジウム. *科学技術社会論研究*, 9, 40-53.
- 29) 松本安生(2011): 科学的な不確実性が市民の意思決定に及ぼす影響—地球温暖化の緩和策を事例として. *神奈川大学人間科学研究年報*, 5, 55-65.
- 30) 松本安生(2011): 科学的な不確実性の認識が地球温暖化対策に対する大学生の意思決定に及ぼす影響. *科学技術社会論研究*, 9, 84-97.
- 31) Yoshimori, M. and A. Abe-Ouchi (2012): Sources of spread in multi-model projections of the Greenland ice-sheet surface mass balance. *J. Climate*, 25(4), 1157-1175.
- 32) 渡部哲史, 鼎信次郎, 沖大幹 (2012): GCM出力値補正手法により生じる月平均気温および月降水量の予測差. *水工学論文集*, 56, I439-I444.
- 33) Pokhrel, Y., N. Hanasaki, S. Koirala, J. Cho, P. J.-F. Yeh, H. Kim, S. Kanae, and T. Oki (2012): Incorporating anthropogenic water regulation modules into a land surface model. *J. of Hydrometeorology*, doi:10.1175/JHM-D-11-013.1, 13 (1), 239-254.

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可)

特に記載すべき事項はない。

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 吉森正和, 阿部彩子: 氷期と現在気候での淡水流入に対する熱輸送応答の比較. 日本気象学会2007年度秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 2) 松本安生, 三星宗雄, 坪井雅史, 杉本崇, 大高瑞郁: 温暖化コミュニケーションにおける課題と展望. 第20回日本リスク研究学会年次大会, 徳島, 2007年11月.
- 3) 朝倉暁生: 地球温暖化のリスク理解におけるロールプレイング型ワークショップの効果に関する研究. 日本リスク研究学会第20回研究発表会, 徳島大学, 徳島, 2007年11月.
- 4) Hasegawa, T : Predicting climate change impacts on rice agriculture. The 5th International Crop Science Congress (5ICSC), Jeju, Korea, April 2008.
- 5) 吉森正和, 阿部彩子, 横島徳太: 二酸化炭素倍増実験と最終氷期極大期における気候フィードバック解析. 日本気象学会2008年度春季大会, 東京, 2008年5月.

- 6) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae and T. Oki: Water-stressed population over Asian monsoon region estimated by world water resources under SRES scenarios. 4th Conference of the Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resoueces (APHW), Beijing, China, November 2008.
- 7) 朝倉暁生: 地球温暖化問題のイメージとリスク認識に関する研究～多様な価値観理解によるイメージの変化～. 日本リスク研究学会第21回年次大会, 関西大学, 大阪, 2008年11月.
- 8) 高橋直, 松本安生: プログラム参加者に対する『地球温暖化に関する意識と行動』についてのアンケート調査の質的分析. 日本質的心理学会第5回大会, つくば, 2008年11月.
- 9) 松本安生, 三星宗雄, 坪井雅史, 杉本崇, 大高瑞郁: 温暖化対策行動の主観的効果の規定因. 第21回日本リスク研究学会年次大会, 大阪, 2008年11月.
- 10) 松本安生, 坪井雅史, 三星宗雄, 杉本崇: 温暖化コミュニケーターとしての推進員制度の活用に関する研究. 第7回科学技術社会論学会, 大阪, 2008年11月
- 11) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae and T. Oki: High water-stressed population estimated by world water resources assessment including human activities under SRES scenarios. EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria, April 2009.
- 12) 吉森正和, 阿部彩子: 放射カーネルを用いた気候フィードバック解析について. 日本気象学会2009年度春季大会, つくば, 2009年5月.
- 13) Yamanaka, Y: Forecasting and predicting marine ecosystem responses to climate change. 3rd GLOBEC Open Science Meeting, Victoria, Canada, June 2009.
- 14) 澤野真治, 長谷川利拡, 石郷岡康史, 桑形恒男, 新藤純子: 気候変化と栽培技術要因を考慮したイネの地域収量予測モデルの開発と20世紀後半の収量趨勢に関するモデル解析. 日本作物学会紀事, 第228回日本作物学会講演会, 静岡県コンベンションアーツセンター, 2009年9月.
- 15) Sawano, S., T. Hasegawa, T. Kuwagata, Y. Ishigooka, J. Shindo: Evaluating the effect of uncertainty in the climate scenario on future prediction of rice production in Asia, In Hasegawa T & Sakai H eds. "Crop Production under Heat Stress: Monitoring, Impact Assessment and Adaptation. Proceedings of the MARCO 2009 Symposium, NIAES, Japan, October 2009.
- 16) 朝倉暁生, 平松あい, 高野誠二: 地球温暖化に対するイメージと性格特性に関する研究. 環境情報科学センター第23回環境研究発表会, 日本大学, 東京, 2009年11月.
- 17) 三瓶由紀, 青柳みどり: 温暖化に関するテレビ報道の特性と変化. 科学技術論社会学会第8回年次研究大会, 東京, 2009年11月.
- 18) 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: 気候変化予測から影響評価への不確実性伝播～南米の水資源影響評価を例として. 日本気象学会 2009年度秋季大会, 同講演予稿集, 125, 2009年11月.
- 19) Aoyagi-Usui, M., Y. Sampei: Development of training program for better understanding climate change risk: Applying focus group interview method. 2009 Society for Risk Analysis Annual Meeting, Baltimore, USA. December 2009.
- 20) Hashioka, T., M. N. Aita, Y. Yamanaka, M. Vogt, C. Le Quéré, S. Alvain, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. Doney, I. Lima: Spatio-temporal differences in plankton compositions among models from the first results of MARine Ecosystem Model Inter-comparison Project (MAREMIP). Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon, Feburary 2010.
- 21) 中尾有伸, 山野博哉, 藤井賢彦, 山中康裕: 日本のサンゴ被度データベースの作成と分析. 日本海洋学会春季大会, 東京, 2010年3月.
- 22) 朝倉暁生: 主体的な情報生産プロセスにおける温暖化コミュニケーション. 日本気象学会気象教育懇談会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京, 2010年5月.
- 23) Kiguchi, M., and T. Oki: Point precipitation observation extremes in the world and Japan. EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria, May 2010.
- 24) Aoyagi-Usui, M., Y. Sampei: Japanese mid-term greenhouse gas emission reduction target: How people see governmental decision?. Research Committee Environment and Society, the XVII World Congress of Sociology, Gothenburg, Sweden, July 2010.
- 25) Hasegawa, T: Adaptation in agriculture and water sectors in Japan and its relevance for developing countries in the Asia Pacific. International Forum for Sustainable Asia and the Pacific (ISAP 2010), Yokohama, Japan, July 2010.
- 26) 青柳みどり: マスメディア報道と市民のリスク認知、意思決定への参加の可能性. 日本社会学会2010年大

会，名古屋，2010年11月。

- 27) Annan, J. D and J. C. Hargreaves: Understanding and Interpreting Climate Model Ensembles. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2010.
- 28) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae, and T. Oki: High water-stressed population estimated by global water resource assessment including the human activities under SRES scenarios. IGU Commission Seminar on Land use, Biodiversity and Climate Change, Cotton College, Guwahati, India, December 2010.
- 29) Yokohata, T., Annan, J. D., Hargreaves, J. C., Jackson C. J., Tobis, M., Collins, M., Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles, American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December, 2010.
- 30) Ishizaki, Y., H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata: Dependencies of pattern scaling on emission scenarios. IDAG meeting, Boulder, USA, January 2011.
- 31) Yara, Y., M. Fujii, Y. Yamanaka, N. Okada, H. Yamano, K. Oshima: Projected effects of global warming on corals in seas close to Japan. Pre-Workshop Event of IPCC WS on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems, Okinawa, January 2011.
- 32) 伊藤昭彦: 台風が森林の炭素収支に与える影響に関するモデル解析. 日本生態学会第 58回大会, 札幌, 2011年3月.
- 33) Annan J. D. and J. C. Hargreaves: Understanding and Interpreting Climate Model Ensembles. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, April. 2011.
- 34) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, and S. Emori: Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural?. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, April 2011.
- 35) Hitara, T : Dynamics of phytoplankton community structure derived from a 3D ecosystem model and satellite ocean colour algorithm. International Symposium on Climate Change and Ocean Carbon - Field Observation, Remote Sensing and Modeling, Xiamen, China, April 2011.
- 36) 吉森正和, 阿部彩子: CMIP3気候モデル出力を用いたグリーンランド氷床表面質量収支の予測幅について. 日本気象学会春季大会, 東京, 2011年5月.
- 37) Aoyagi, M: Impacts on public opinion by mass media coverage of climate change issues: Comparison of print media and television. International Association for Media and Communication Research, Istanbul, Turkey, July 2011.
- 38) Emori, S: Options for exploring the range of climatic change. Workshop to Explore the New SMA/SSP Approach, Changwon, July 2011.
- 39) 渡部哲史, 鼎信次郎, 沖大幹: 水資源管理分野における気候変動影響評価研究のためバイアス補正手法の開発. 第2回極端気象現象とその影響評価に関する研究集会, 京都, 2011年9月.
- 40) Abe-Ouchi, A., M. Yoshimori, F. Saito, K. Takahashi and R. O'ishi : Ice Sheet - Climate Interaction Learned from Modeling the Past for the Future. WCRP Open Science Conference, Denver, CO, October 2011.
- 41) Day, J., J. C. Hargreaves, J. D. Annan: Climate variability and Arctic sea ice extent in coupled climate models. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2011.
- 42) Shin, Y., K. Takahashi, Y. Hijioka, N. Hanasaki : Assessing climate change impacts on global crop yield considering climate projections uncertainty. AGU fall meeting 2011, San Francisco, December 2011.
- 43) Hasegawa, T: Adaptation and mitigation study in the agriculture sector in Japan and its contribution to the Asia Pacific APEC Workshop on Food Security. Tokyo International Forum, January 2012.
- 44) Shiogama, H : On the linear additivity of forcing-response relationships for global and continental scales. International ad hoc Detection and Attribution Group (IDAG) Spring Meeting 2012, Boulder, USA, February 2012.

6. 研究者略歴

課題代表者: 江守 正多

1970年生まれ、東京大学教養学部卒業、博士(学術)、現在、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 室長

研究参画者

- (1) 江守 正多 (同上)
- (2) James D. Annan
1968年生まれ、オックスフォード大学卒業、Ph.D、
現在、独立行政法人海洋研究開発機構 特任主任研究員
- (3) 沖 大幹
1964年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)、
現在、東京大学生産技術研究所 教授
- (4) 山中 康裕
1964年生まれ、東京大学理学部卒業、博士(理学)、
現在、北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授
- (5) 阿部 彩子
1963年生まれ、東京大学理学部卒業、博士(理学)、
現在、東京大学大気海洋研究所 准教授
- (6) 長谷川 利拡
1962年生まれ、京都大学農学部卒業、博士(農学)、
現在、独立行政法人農業環境技術研究所 主任研究員
- (7) 福士 謙介
1966年生まれ、東北大学工学部卒業、Ph.D、
現在、東京大学サステナビリティ学連携研究機構 准教授
- (8) 佐藤 将史 (平成19年度～平成22年度)
1977生まれ、東京大学理学部卒業、修士(理学)、
現在、株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 主任コンサルタント
岩瀬 健太 (平成23年度)
1983生まれ、東京大学大学院薬学系研究科卒業、修士(薬学)、
現在、株式会社野村総合研究所 社会システムコンサルティング部 副主任コンサルタント
- (9) 三星宗雄
1950年生まれ、千葉大学人文学部卒業、博士(心理学)、
現在、神奈川大学人間科学部人間科学科 教授
- (10) 松本安生
1967年生まれ、東京工業大学工学部卒業、博士(工学)、
現在、神奈川大学人間科学部人間科学科 教授
- (11) 朝倉暁生
1965年生まれ、電気通信大学電気通信学部卒業、博士(工学)、
現在、東邦大学理学部生命圏環境科学科 准教授
- (12) 青柳みどり
1963年生まれ、京都大学農学部卒業、農学博士、
現在、独立行政法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境計画研究室 室長

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(1) 総合的な確率的気候変動シナリオおよび影響シナリオの構築

(独) 国立環境研究所

地球環境研究センター

江守正多・小倉知夫・伊藤昭彦

社会環境システム研究センター

高橋潔・肱岡靖明

<研究協力者>

(独) 国立環境研究所地球環境研究センター

塩竈秀夫・花崎直太・阿部学・三瓶由紀

(独) 土木研究所

長谷川聡

埼玉県環境科学国際センター

増富祐司

韓国環境政策評価研究院

Hui-Cheul Jung

平成19～23年度累計予算額：102,904千円

(うち、平成23年度予算額：24,296千円)

予算額は、間接経費を含む

[要旨] 本研究は、気候変動予測の信頼性および予測の意味する社会への影響を明らかにするとともに、そうして得られた総合的な「気候変動シナリオ」を社会に効率的に伝達する方法を確立することを目標としている。大別して6つの研究課題に取り組んだ。第一の課題は気候モデルを用いた将来気候予測の排出シナリオ依存性の検討に係る研究、第二の課題は気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法の開発と適用であり、ともに気象学・気候学的観点からの研究である。さらに第三の課題は気候予測の不確実性を考慮した農業（作物収量変化）への影響評価、第四の課題は気候予測の不確実性を考慮した人間健康（熱ストレス死亡）への影響評価である。さらに第五の課題として、陸域生態系モデルの高度化と、同モデルを応用した気候予測の不確実性を考慮した陸域生態系への影響評価を実施した。また、それら5つの課題と並行し、他サブテーマとの連携を通じ、第六の課題として温暖化リスク情報の伝達に関する研究を実施した。将来気候予測の排出シナリオ依存性の検討に関しては、パターンスケーリング手法を用いて気候シナリオを作成した場合、同手法を用いない場合と比べ、無視できない誤差が生じうることを定量的に示した。気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法の開発と適用に関しては、客観的・定量的な分析手法を開発して水資源影響評価の事例に適用し、南米における水資源予測の不確実性の原因を明らかにした。気候予測の不確実性を考慮した農業、人間健康、陸域生態系への影響評価に関しては、各々の分野について、複数の気候予測情報を用いた影響評価を実施し、その不確実性幅を定量的に示した。

[キーワード] 気候シナリオ、不確実性評価、リスク情報伝達、温暖化影響、気候未来像

1. はじめに

将来の気候変動及びその影響を予測することは、3つの点で重要である。第一に、気候安定化ないしは気候変動緩和の目標設定の際の判断材料となること、第二に、気候変動緩和に向けて社会が取り組むための動機付けとなること、第三に、気候変動に対して社会が適応策を講じる際の判断材料となることである。しかし、現時点では、国内外の各種意思決定主体や国民各層に対して、最大限利用可能な予測情報が十分に届いているとは言い難い状況にある。この状況を改善するため、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)などにおける国際的な議論によれば、不確実性の定量化等を通じて予測の信頼性を明らかにすること、および気候変動予測と影響評価の連携を密にすることが重要な課題となりつつあるが、国内の研究においてはこれらの点で未だ十分な取り組みがなされていない。また、気候変動予測情報を各種意思決定主体や国民各層に効率的に伝達することは、政府が気候変動の緩和および適応施策を推進する上で極めて重要である。

以上の問題意識から、本研究では、気候変動予測の信頼性および予測の意味する社会への影響を明らかにするとともに、そうして得られた総合的な「気候変動シナリオ」を社会に効率的に伝達する方法を確立するための研究を行うことを目指している。本サブテーマでは、大別して6つの研究課題に取り組んだ。第一の課題は気候モデルを用いた将来気候予測の排出シナリオ依存性の検討に係る研究、第二の課題は気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法の開発と適用であり、ともに気象学・気候学的観点からの研究である。さらに第三の課題は気候予測の不確実性を考慮した農業（作物収量変化）への影響評価、第四の課題は気候予測の不確実性を考慮した人間健康（熱ストレス死亡）への影響評価である。さらに第五の課題として、陸域生態系モデルの高度化と、同モデルを応用した気候予測の不確実性を考慮した陸域生態系への影響評価を実施した。また、それら5つの課題と並行し、他サブテーマとの連携を通じ、第六の課題として温暖化リスク情報の伝達に関する研究を実施した。以下では、第一の課題に関わる主要成果として「第5次評価報告書(AR5)に向けて実施された最新の気候予測情報を用いたパターンスケーリングの排出シナリオ依存性の検討」を報告する。また、第二の課題については「気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法開発」を報告する。第三の課題については、H23年度に実施した「CMIP5データに基づく作物収量変化予測」を報告し、第四の課題については紙面の都合、報告を割愛する。第五の課題については、モデル高度化の報告は割愛し、「CMIP3データ利用による不確実性を考慮した陸域生態系影響評価」について報告する。第六の課題については、サブテーマ(7)との共同で取り組んだものであるため、本サブテーマでの報告は割愛する。

2. 研究開発目的

(1) パターンスケーリングの排出シナリオ依存性

AR5における排出シナリオの開発から影響評価研究の流れは、第4次評価報告書(AR4)で採用された逐次方式(sequential approach)と異なる並列方式(parallel approach)が採用される。これは、逐次方式においては、排出シナリオの開発から影響・適応研究を行う場合、非常に時間がかかるためである。このため並列方式においては、代表的濃度経路(RCP)と呼ばれる代表的な排出シナリオが選択され、気候モデルを用いた気候変化予測と社会経済排出シナリオの開発が同時に行われる。それから、この気候変化予測と社会経済排出シナリオがパターンスケーリングなどの手法で結合され、それらの結果が影響評価研究に提供される。このように、パターンスケーリングは第5

次評価報告書（AR5）の並列方式において、気候変化予測と社会経済排出シナリオを結合するという重要な役割を担っている。

パターンスケーリングの基本的な仮定は、スケーリングパターン（全球平均気温変化1℃あたりの対象とする気候変数の変化）が排出シナリオ間で共通であるということである（Shiogama et al., 2010）¹⁾。しかし、Shiogamaら（2010）に指摘されているように、第3期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP3）モデルの降水には明らかにシナリオ依存性が見られる。従って、AR5の結果から得られたスケーリングパターンにシナリオ依存性があるのかを調べることは、AR5において並列方式を実行する際に重要である。そこで、本研究においては、MIROC5を用いてRCP2.6とRCP8.5の間で地上気温のスケーリングパターンがどの程度異なるのかを調べ、その原因について考察した。

（2）気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法開発

気候変化予測に不確実性がある場合、その気候変化予測データを入力データとする影響評価にも不確実性が伝播すると考えられる。しかし、実際にどのような気候変化予測不確実性が影響評価の不確実性に伝播しやすいかに関して、これまで十分な研究は行われてこなかった。そこで、気候変化予測から影響評価へどのように不確実性が伝播するかを客観的かつ定量的に解析する手法を開発した。

（3）CMIP5データに基づく作物収量変化予測

IPCC第5次評価報告書に向けた全球気候モデルによる将来予測実験出力（CMIP5データ）について、平成23年度初期よりその多くが将来気候シナリオ・将来影響シナリオの開発のために利用可能になるとの見通しであったが、予測実験の前提となる温室効果ガス排出・濃度のシナリオの作成・提供に関する国際コーディネーションに生じた遅れの影響を受け、現時点までに利用可能なCMIP5データの全球モデル種は限定的である。そのデータ配信状況の制約をふまえ、本研究では、研究実施期間中に取得できた将来予測実験出力の範囲で、気候モデルの違いによる不確実性を考慮した全球規模の農業影響評価（具体的にはトウモロコシの収量変化の予測）を実施し、IPCC第4次評価報告書に向けて行われた全球気候モデルによる将来予測実験の出力（CMIP3データ）に基づく影響評価結果との暫定的な比較を行った。

（4）マルチ気候モデルデータ利用による不確実性を考慮した陸域生態系影響評価

地球温暖化は陸域生態系の成育環境を変化させ、それが構造・多様性や機能を改変させることにより、人間社会に対する生態系サービス（産物供給、水源涵養、レクリエーションなど）に影響が及ぶと考えられている。一方、陸域生態系は温室効果ガス（CO₂、CH₄、N₂O）をはじめとする大気中の微量ガス濃度の調節に非常に重要な役割を果たしており、生態系変化はガス交換を介して気候システムに大きなフィードバック効果を与える可能性がある。そのような視点から大気-陸域間相互作用に関する観測およびモデル研究が盛んに実施されているが、なおも大きな不確実性が残されているのが現状である。そこで、本年度は陸域生態系モデルを用いて、CMIP3のマルチ気候モデルシナリオに基づいて生態系影響を推定し、予測の不確実性に関する検討を実施した。

3. 研究開発方法

(1) パターンスケーリングの排出シナリオ依存性

使用した気候モデルはMIROC5である。大気モデル、海洋モデルの水平解像度は、それぞれT85、おおよそ 1° である。また、モデルの鉛直総数は、それぞれ、40層、49層である。また、大気モデルには、エアロゾルの直接効果・間接効果の両方が組み込まれている。全球平均気温上昇量を求める際には、20世紀再現実験の1980～1999年における20年平均の全球平均気温を基準とした。使用したアンサンブルメンバー数は、20世紀再現実験、将来実験ともに1メンバーである。

本研究では、スケーリングパターンを求める際、Mitchellら(1999)²⁾が提案した手法を用いた。この手法においては、気候モデルから求められた位置 x 、時間 i における変数 $T(x, i)$ は

$$T^*(x, i) = \bar{T}(i) * p(x) \quad (1)$$

と近似される。ここで、 $T^*(x, i)$ は、パターンスケーリングにより近似的に求められる空間分布である。 $\bar{T}(i)$ はスケーリングファクターであり、本研究においては、2010年代から2090年代における全球平均気温の上昇量の10年平均値である。また、 $p(x)$ はスケーリングパターンで、例えば気温の場合、全球平均気温が 1°C 上昇した際に位置 x で何度上昇するかを示している。この $p(x)$ は実際のパターン $T(x, i)$ とパターンスケーリングにより近似的に求められるパターン $T^*(x, i)$ の二乗平均平方根誤差(RMSE)を最小化するように求めるため、原点を通る回帰線の回帰係数として求められ、下記の式から求められる。

$$p(x) = \frac{\sum_i \bar{T}(i) T(x, i)}{\sum_i \bar{T}(i)^2} \quad (2)$$

(2) 気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法開発

SRES-A2シナリオにおける14の気候モデルの降水量変化、気温変化予測データ（気候変化予測）と、それを入力データとする流出量変化予測データ（影響評価）の間での不確実性伝播を解析した。ここで \mathbf{x} （空間、気候モデル）を流出量変化予測のベクトルであるとし、 \mathbf{y} （空間、気候モデル）を降水量変化・気温変化予測のベクトルであるとする（添え字は、空間分布およびマルチ気候モデルの自由度を持つベクトルであることを表す）。ただし \mathbf{x} 、 \mathbf{y} とも各空間グリッドでモデル平均を引いて、さらに各気候モデルの全球平均気温変化で正規化している。 \mathbf{x} と \mathbf{y} の共分散行列を \mathbf{C}_{xy} とする。 \mathbf{C}_{xy} を $\mathbf{C}_{xy} = \mathbf{p}_x^T \Sigma \mathbf{p}_y$ と特異値分解する。ここで Σ は特異値で、 \mathbf{p}_x と \mathbf{p}_y は左右の特異ベクトルである。最も大きな特異値に対する特異ベクトル \mathbf{p}_x^1 、 \mathbf{p}_y^1 は、最も大きな共分散を持つ流出量変化予測と降水量変化・気温変化予測の空間パターン（すなわち、流出量変化予測に最も大きな不確実性を与える、気候モデル間の不一致の大きい気候変化予測の空間パターン）を表す。

(3) CMIP5データに基づく作物収量変化予測

IPCC第5次評価報告書に向けた全球気候モデルによる将来予測実験出力（CMIP5データ）について、平成23年度初期よりその多くが将来気候シナリオ・将来影響シナリオの開発のために利用可能になるとの見通しであったが、予測実験の前提となる温室効果ガス排出・濃度のシナリオの作成・提供に関する国際コーディネーションに生じた遅れの影響を受け、平成23年度末時点で利用可能なCMIP5データの全球モデル種は限定的である。そのデータ配信状況の制約をふまえ、本研究では、研究実施期間中に取得できた将来予測実験出力の範囲で、気候モデルの違いによる不確実

性を考慮した全球規模の農業影響評価（具体的にはトウモロコシの収量変化の予測）を実施し、IPCC第4次評価報告書に向けて行われた全球気候モデルによる将来予測実験の出力（CMIP3データ）に基づく影響評価結果との暫定的な比較を行った。

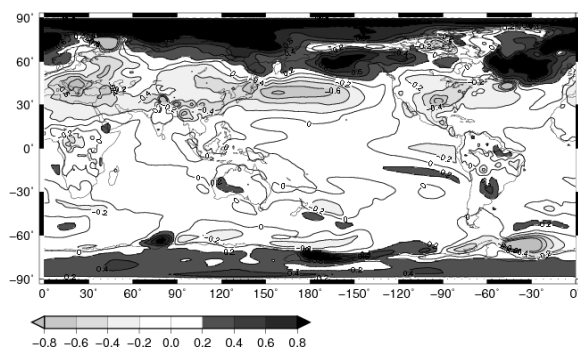
（４）マルチ気候モデルデータ利用による不確実性を考慮した陸域生態系影響評価

陸域生態系モデル（VISIT）の全球版は、空間分解能緯度経度 0.5° 、時間分解能1ヶ月で1901年～2100年の陸域変動をシミュレート可能である。VISITは、Ito and Oikawa (2002)³⁾で開発された炭素循環モデルに窒素循環、バイオマス燃焼、エロージョン、土地利用変化、生物起源揮発性有機物質の放出といった、微量ガス交換に参与するプロセスを組み込んで拡張を図ったものである。地点レベルではフラックス観測に基づくボトムアップ的手法、全球レベルでは大気観測に基づくトップダウン的手法による検証を行っている。2000年以前は観測ベースのメッシュデータであるCRU TS2.1による過去の気象時系列と観測ベースの大気 CO_2 濃度を入力し、21世紀中についてはIPCCの排出に関する特別報告書(SRES)に基づく大気 CO_2 濃度とそれに対応した気候モデルによる気候予測シナリオを入力した。ここではCMIP3に参加した気候モデルの22モデル、3種類のIPCC SRESシナリオに対する結果を得た（合計101シナリオ）。VISIT出力のうち、大気にフィードバックを与える温室効果ガス収支や森林火災や土壌流出などリスクに関係する要素に焦点を当てて解析した。予測における短期（2020年代）、中期（2050年代）、長期（2080年代）における現在からの変化分および、気候モデル・排出シナリオ間の不確実性について検討した。

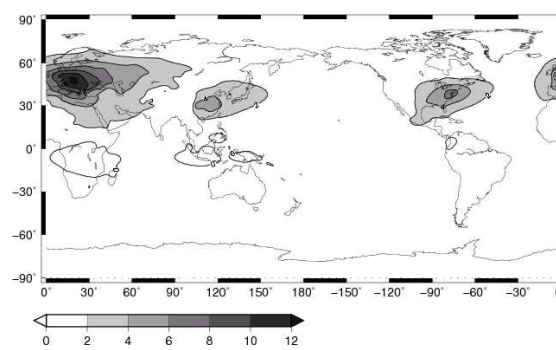
4. 結果及び考察

（１）パターンスケーリングの排出シナリオ依存性

図(1)-1にRCP8.5とRCP2.6の全球平均気温 1°C あたりの各地点における地表気温の変化の違いを示す。図(1)-1からわかるように、特に北半球中緯度と高緯度に大きな違いがみられ、これらの違いは統計的にも有意な値である。これらの違いの原因はシナリオ間の短波放射収支の違いと大きく関係していると考えられるため、次に短波放射収支と関係すると考えられる硫酸エアロゾル、海氷の全球平均気温 1°C あたりの違いを調べた。図(1)-2は、RCP8.5とRCP2.6の硫酸エアロゾルの全球平均気温 1°C あたりの変化の差である。RCP2.6とRCP8.5では、RCP8.5の方が硫酸エアロゾルの



図(1)-1 RCP8.5とRCP2.6の全球平均気温一度あたりの各地点の地表気温の変化の違い（単位：K/K）



図(1)-2 RCP8.5とRCP2.6の全球平均気温 1°C あたりの各地点の硫酸エアロゾルの変化の違い（単位： $10^{-6}\text{kg/m}^2/\text{K}$ ）

排出量が大きい、全球平均気温の上昇量もRCP8.5の方が大きい。このため、図(1)-2のように、全球平均気温1℃あたりの変化では、ヨーロッパや中国東部、北アメリカ東部などに大きな違いがみられる。従って、これらの地域で見られたRCP2.6とRCP8.5の地表気温の全球平均気温1℃あたりの変化の違いは、硫酸エアロゾルの直接効果と間接効果のいずれかもしくは両方の効果によって引き起こされていると推測される。

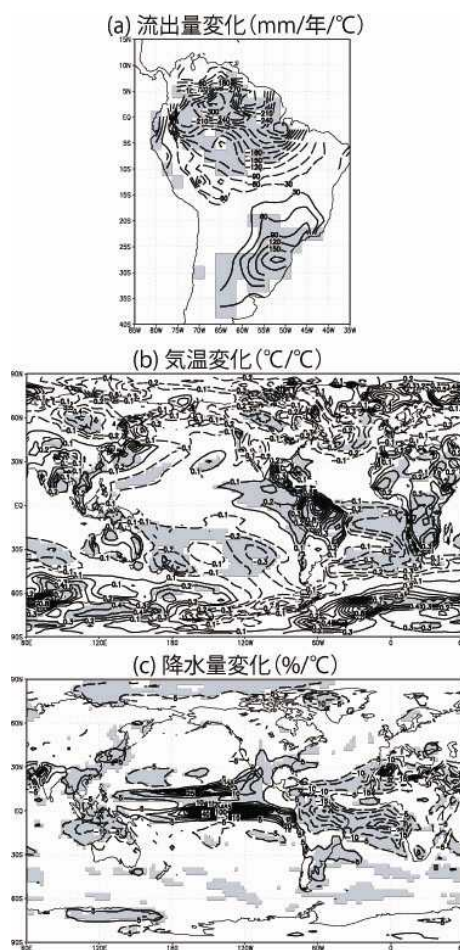
硫酸エアロゾルに加えて、RCP2.6とRCP8.5では、北極域では、海氷にも大きな違いがみられる(図は省略)。北極域では、RCP2.6と比べRCP8.5では、全球平均気温が1℃上昇した場合では海氷の減少の割合が大きい。従って、北極域では、シナリオ間の海氷の減少率の違いが、全球平均気温1℃あたりの気温の変化におけるシナリオ依存性の原因と考えられる。

グリーンランドの南部や東部の海洋でも、全球平均気温1℃あたりの地表気温の変化に強いシナリオ依存性がみられる。RCP8.5では、1℃上昇する際の北大西洋の熱塩循環(AMOC)の減少率が、RCP2.6と比べ小さい(図は省略)。一般に、温室効果ガスの増加に伴い海洋の子午面循環の強さが減少することで、低緯度から高緯度へ熱の輸送が減少し、グリーンランド周辺の海面温度(SST)が減少することが知られている。従って、RCP8.5のように全球気温上昇量でスケールされたAMOCの減少率が小さいと、RCP2.6と比べてグリーンランド南部や東部のSSTは高くなる。このように、グリーンランド南部や東部の海洋の気温のシナリオ依存性は、このAMOCのシナリオ依存性に起因すると推測される。

本研究では、パターンスケールリングを行う際に重要な仮定となるスケールリングパターンがシナリオ間で共通であるという仮定を地表気温について検証し、その原因について考察した。RCP2.6とRCP8.5の間では、地表気温のスケールリングパターンに北半球中緯度と高緯度に強い依存性がみられた。これらの地域では、硫酸エアロゾルや海氷のスケールリングパターンにも違いがみられた。グリーンランド南部や東部の海洋におけるシナリオ依存性は、シナリオ間のAMOCの弱まり方の違いに起因すると推測される。

(2) 気候変化予測から影響評価への不確実性伝播の解析手法開発

図(1)-3は、南米大陸の流出量変化予測と全球の降水量変化・気温変化予測に対する共分散行列の第1特異ベクトルの空間パターンを表している。図(1)-3(a)は、モデル平均に対して北側で流出量が少ないモデルは、南側で流出量が多くなることを示すパターンであ

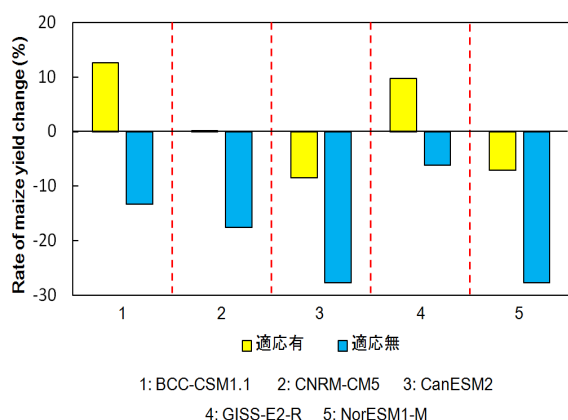


図(1)-3 南米大陸の流量変化予測と全球の降水量変化・気温変化予測の共分散行列に対する第1特異ベクトルの空間パターン。実線は正、破線は負、網掛けはシグナルが統計的に有意な領域を表す。

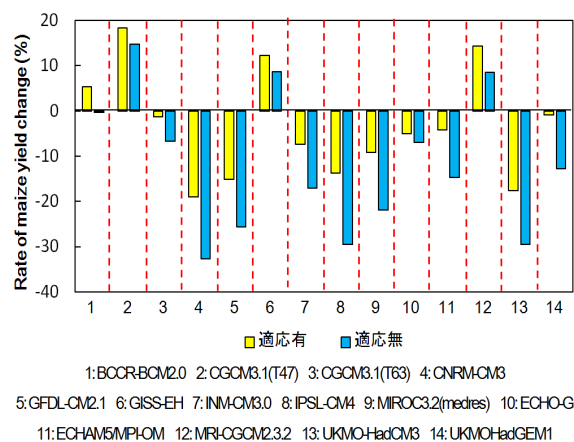
る。この流出量のパターンと共分散が大きいのが、図(1)-3(b), (c)の気温変化・降水量変化のパターンである。赤道東太平洋での気温上昇が強い（エル・ニーニョ型の気温上昇パターンが強く現れる）モデルほど、南米北部では降水量が減少し、南米南部では降水量が増加している。このため、そのようなモデルでは、図(1)-3(a)のような流出量の変化パターンが現れることがわかった。

(3) CMIP5データに基づく作物収量変化予測

気候モデルの違いによる不確実性を考慮した全球規模の農業影響評価（トウモロコシ収量変化予測）を実施した結果、2008年時点での生産量上位13か国（上から米国、中国、ブラジル、メキシコ、アルゼンチン、インド、インドネシア、フランス、南アフリカ、ウクライナ、カナダ、イタリア、ハンガリー）平均のトウモロコシ収量は、現状（1990年代）から21世紀中期（2050年代）にかけて、RCP8.5放射強制力シナリオに基づく5個の異なる気候モデル（CanESM2、BCC-CSM1.1、CNRM-CM5、GISS-E2-R、NorESM1-M）による気候予測を前提とし、作物の品種変更や作付日移動による適応が無いと仮定した場合、 $-27.74\% \sim +0.12\%$ の変化が、適応があると仮定した場合、 $-8.44\% \sim +12.63\%$ の変化が予測された（図(1)-4）。IPCC第4次評価報告書に向けた全球気候モデルによる将来予測実験出力（CMIP3データ）のうち、RCP8.5シナリオと放射強制力経路が最も近いSRES-A2排出シナリオに基づく14個の異なる気候モデルによる気候予測を前提とした場合のトウモロコシ収量予測の変化幅（図(1)-5；適応無し： $-32.63\% \sim +14.77\%$ 、適応有り： $-19.01\% \sim +18.34\%$ ）に収まり、従来の見通しを大きく覆すものではない。ただし、以上は、現時点で利用可能な5個の気候モデルのCMIP5データに基づく分析であることには注意が必要で、結論を得るには今後利用可能になるその他モデルのCMIP5データに基づく追加解析を待つ必要がある。加えて、上述の主要13か国の国別の収量変化予測についても、同様に平成23年度末時点で利用可能なCMIP5データに基づく収量予測幅とCMIP3データに基づく収量予測幅の比較を行ったところ、いくつかの国（例えばカナダ・ハンガリー）では、CMIP3での予測幅に収まらない収量の増加あるいは減少が予測された（図省略）。この結果は、全球的な影響見通しから地域的な影響見通しを類推すべきでないことを示すとともに、地域的な影響予測の不確実性の大きさを改めて強調するものである。



図(1)-4 RCP8.5シナリオを想定したCMIP5モデル別の主要13カ国平均の2050年代収量変化。（黄/左：適応有、青/右：適応無）

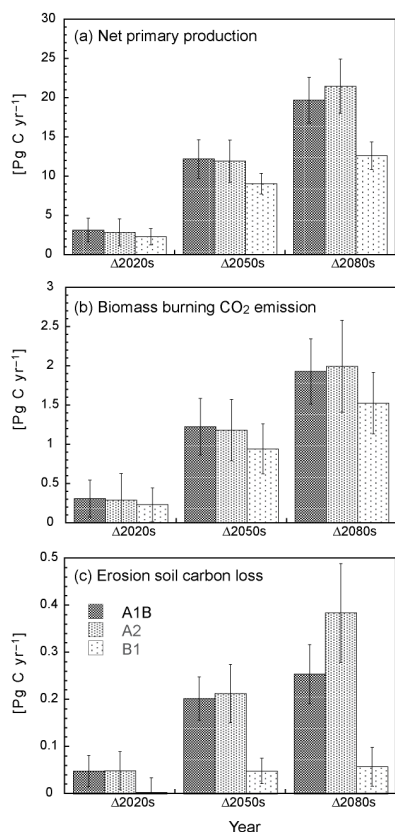


図(1)-5 SRES A2シナリオを想定したCMIP3モデル別の主要13カ国平均の2050年代収量変化。（黄/左：適応有、青/右：適応無）

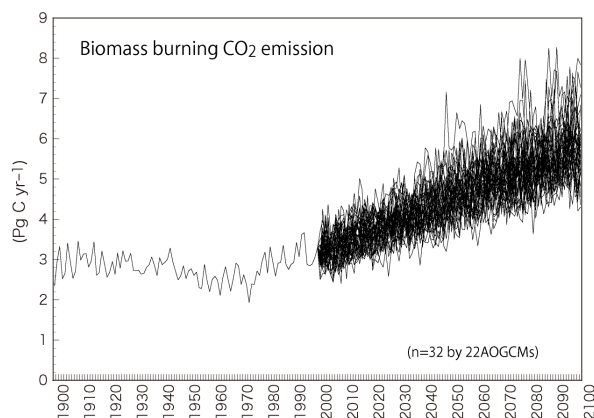
(4) マルチ気候モデルデータ利用による不確実性を考慮した陸域生態系影響評価

101通りの気候予測シナリオに基づいてVISITモデルによる陸域生態系に発生し得る温暖化影響をシミュレートした。特に植生の純一次生産力（炭素固定能力の指標）、バイオマス燃焼によるCO₂放出（火災リスク・炭素放出の指標）、エロージョンによる土壌流出（生態系劣化の指標）について、SRESシナリオごとに解析を行った（図(1)-6）。いずれの気候シナリオを用いた場合でも、大気CO₂濃度上昇による施肥効果と温度上昇に伴う成育期間の延長効果により、植生の純一次生産力には大幅な増加（2080年代までに+10~20 Pg C yr⁻¹）が推定された。バイオマス燃焼による放出は温度上昇や降水量変化に伴う乾燥化に敏感に反応し、加えて植生のバイオマス生産増加による可燃物供給のため、時間経過に伴う火災増加が推定された（図(1)-7）。地理的には、ユーラシア・北アメリカの亜寒帯林、南アメリカ・アフリカ・オーストラリアの半乾燥地帯で森林火災が増加していた（図省略）。一方、降水量増加による湿潤化の影響が勝る地域では森林火災の減少する可能性も示された。異なる気候モデルから得られた気候シナリオ間では±30%程度の不確実性が生じており、SRES-A2ベースの結果とSRES-B1ベースの結果にも同程度の差が生じていた。土

壌流亡は降水量変化の影響だけでなく、土地利用変化による植被の喪失により現在の1.5 Pg C yr⁻¹から2080年代の1.8 Pg C yr⁻¹まで増加していた。森林などの植被喪失が最も少ないB1ベースの場合は、土壌流亡の増加が明らかにA1BベースやA2ベースのものより少なく、SRES排出シナリオ間の差が顕著であった。相対的には、異なる気候モデルシナリオ間の不確実性は土壌流出について最も大きいと、これは降水量変化の予測の困難さと強く関係していると考えられる。



図(1)-6 VISITで推定された (a) 植生の一次生産力、(b) 火災起源CO₂放出、(c) 土壌流出、に関する短・中・長期的な変化。CMIP3データに基づく結果を集計した。



図(1)-7 陸域モデルVISITで推定されたバイオマス燃焼起源のCO₂放出量に関する推定結果。SRES A1Bシナリオに基づく22気候モデルの温暖化予測シナリオを使用。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

次期IPCC報告書では、気候変動予測、影響評価、適応策、緩和策の統合的分析を推進するためにパターンスケーリング手法が重要な役割を果たす予定である。大気中の水蒸気が降水に変換される時間が排出シナリオに依存すること、エアロゾル排出量の違いがこのような降水量変化効率の排出シナリオ依存性をもたらすことを明らかにした。その結果、シナリオ不確実性を考慮するために用いられるパターンスケーリング手法では、無視できない誤差が生じうることを定量的に示した。また、RCPシナリオのうち最も放射強制力の異なるシナリオでは、一部の地域で誤差が生じ得ることがわかった。その誤差が生じる原因について行った考察は、パターンスケーリング手法の適用に関する今後の研究で焦点を当てるべき点を示唆している点で科学的意義がある。

気候変化予測から影響評価へと、どのように不確実性が伝播するかを客観的・定量的に分析する手法を開発した。さらに気候変化予測から水資源影響評価への不確実性伝播に関して、この手法を適用し、南米における水資源予測の不確実性の原因を明らかにした。

農業影響評価に関しては、複数気候モデルの出力を用いた影響評価の実施により、気候モデルの不確実性を考慮した影響予測の不確実性幅を示すとともに、収量減少のリスクを定量的に示すことが出来た。また、各種適応策の実施の効果を、収量減少リスクの軽減の度合いにより示すことが出来た。また、CMIP3データに基づく収量予測幅とCMIP5データに基づく収量予測幅を比較から、平成23年度末時点までに利用可能なCMIP5データに基づく収量予測幅は、全球平均で見た場合、概ね従来からの収量予測幅に収まることを確認できた。

生態系影響評価に関しては、マルチ気候モデルシナリオを用いた数値実験により、全球的な総計としては定性的に同様な生態系影響が生じる可能性が高いことを示した。すなわち、植生生産力の増加、森林火災の増加、土壌流出の増加は、気候・土地利用変化予測の不確実性を考慮しても確度の高い影響となりうることが予想される。空間明示的なシミュレーションは、これらの影響が地理的に不均質に生じることを示しており、より地域性に即した理解が今後求められる。ここで示したのは排出・気候モデル予測における複数シナリオに基づく不確実性であるが、実際には生態系モデル自体にも推定不確実性が残されており、今後はパラメータ変化が推定結果に与える影響や、他生態系モデルを用いた比較実験などを行い、より詳細に不確実性を解析する必要がある。また、ここで示さなかった CH_4 ・ N_2O 亜酸化窒素交換による温暖化へのフィードバック効果などのプロセスについても解析を進める指針が得られた。

(2) 環境政策への貢献

気候変化した場合に生ずる影響の理解及びその伝達は、着実かつ効果的な温暖化政策の検討・実施の大前提となるものである。本研究で行っている不確実性を考慮した温暖化リスクの総合的評価は、まさにその理解と伝達の進展を目的としており、全国温暖化活動推進センター等の行政主導の国民啓発の仕組み、政府や地方自治体の各種検討会、マスメディアや環境NGOなどを通じて、研究成果の広報・普及に努めた。

なお、いわゆる「温暖化懐疑論」について、直接の研究対象とはしていないが、本サブテーマのメンバーが執筆や取材を通じて懐疑論に反論する立場から関わり、温暖化政策に対する世論形成において重要な一般市民による温暖化の科学的理解度の改善に貢献した。懐疑論の問題は温暖

化リスクのコミュニケーションの観点からも潜在的な重要性を持っていると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

- ・ 本サブテーマのメンバー（江守）は、IPCC第5次評価報告書（第2作業部会）の執筆に、主執筆者として参加している。また、IPCC-TGICA（影響および気候解析のためのデータおよびシナリオ支援に関するタスクグループ）の委員となり、影響研究のための国際的な気候データ配信等の議論に参加している。さらに、IPCCの複数モデルによる気候予測の評価と結合に関する専門家会合等に参加した。
- ・ 本サブテーマのメンバー（高橋）は、IPCCの気候変動への適応推進へ向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書、ならびにIPCC第5次評価報告書（第2作業部会）の執筆に、主執筆者として参加している。また、IPCCの人為的気候変化の検出と原因特定に関する専門家会合等に参加した。さらに、英国East Anglia大学のTyndall Centreに平成21年度の一年間滞在し、地球温暖化影響・適応の分野で共同研究を進めた。
- ・ 本サブテーマのメンバー（塩竈）は、英国Oxford大学のDáithí Stoneと共同で、様々な外部要因に対する気温応答に加法性が成り立つかを調査している。また、英国Hadley CentreのPeter Stott, Nikolaos Christidisと共同で、大陸スケールの極端な高温の発生確率における人為起源影響の問題について調査している。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 増富祐司, 高橋潔, 原沢英夫, 松岡譲 (2008): 気候予測の不確実性を考慮した近未来の気候変化がアジア域の水稻生産量に及ぼす影響及びその適応策の評価. *Global Environ. Eng. Res.*, 16, 121-130.
- 2) Shiogama, H., A. Hasegawa, T. Nozawa, and S. Emori (2008): Changes in mean and extreme precipitation in near-term predictions up to the year 2030. *SOLA*, 4, 017-020, doi:10.2151/sola.2008-005.
- 3) Abe, M., H. Shiogama, J.C. Hargreaves, J.D. Annan, T. Nozawa, S. Emori (2009): Correlation between inter-model similarities in spatial pattern for present and projected future mean climate. *SOLA*, 5, 133-136.
- 4) Christidis, N., Stott P.A., Zwiers F.W., H. Shiogama, T. Nozawa (2009): Probabilistic estimates of recent changes in temperature: a multi-scale attribution analysis. *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-009-0615-7.
- 5) Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Harasawa and Y. Matsuoka (2009): Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131, 281-291.
- 6) Ito, A (2010): Changing ecophysiological processes and carbon budget in East Asian

- ecosystems under near-future changes in climate: Implications for long-term monitoring from a process-based model. *Journal of Plant Research*, doi:10.1007/s10265-009-0305-x.
- 7) Ito, A. (2010): Evaluation of defoliation impacts of tropical cyclones on the forest carbon budget using flux data and a process-based model. *J. Geophys. Res*, 115, G04013, doi:10.1029/2010JG001314
 - 8) Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioaka, T. Takemura, T. Nozawa, S. Emori (2010): Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. *Clim. Change*, 99 (1-2), 321-329.
 - 9) Shiogama, H., S. Emori, K. Takahashi, T. Nagashima, T. Ogura, T. Nozawa, T. Takemura (2010): Emission scenario dependency of precipitation on global warming in the MIROC3.2 model. *J. Climate*, 23, 2404-2417.
 - 10) Shiogama, H., S. Emori, T. Mochizuki, S. Yasunaka, T. Yokohata, M. Ishii, T. Nozawa, M. Kimoto (2010): Possible influence of volcanic activity on the decadal potential predictability of the natural variability in near-term climate predictions. *Advances in Meteorology*, 2010, Article ID 657318, 7.
 - 11) Sugiyama, M., H. Shiogama, S. Emori (2010): Precipitation extreme changes exceeding moisture content increases in MIROC and IPCC climate models. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107 (2), 571-575.
 - 12) Toda, M., M. Yokozawa, S. Emori, T. Hara (2010): More asymmetric tree competition brings about more evapotranspiration and less runoff from the forest ecosystems: A simulation study. *Ecol. Modelling*, 221 (24), 2887-2898.
 - 13) Abe, M., H. Shiogama, T. Nozawa, S. Emori (2011): Estimation of future surface temperature changes constrained using the future - present correlated modes in inter-model variability of CMIP3 multimodel simulations. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 116:D18104.
 - 14) Shiogama, H., S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa (2011): Observational constraints indicate risk of drying in the Amazon basin. *Nature communications*, 2, 253.
 - 15) 三瓶由紀, 江守正多, 青柳みどり, 松本安生, 朝倉暁生, 高橋潔, 福士謙介, 住明正 (2011) : 地球温暖化リスクの伝達の実践の試み: メディア関係者との意見交換と市民対象の双方向型シンポジウム. *科学技術社会論研究*, 9, 54-69.
 - 16) 申龍熙, 高橋潔, 肱岡靖明, 花崎直太, 山本隆弘, 増富祐司 (2011) : 気候予測の不確実性を考慮した世界のトウモロコシ生産性の温暖化影響評価. *土木学会論文集G(環境)*, 67(5):I_61-I_70.
 - 17) 高橋潔, 杉山昌広, 江守正多, 沖大幹, 長谷川利拡, 住明正, 福士謙介, 青柳みどり, 朝倉暁生, 松本安生 (2011) : 地球温暖化リスクの伝達の実践の試み: メディア関係者との意見交換と市民対象の双方向型シンポジウム. *科学技術社会論研究*, 9, 40-53.
- <査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可)

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 江守正多 (2007): 大気と海洋はどのように変化したか. 科学, 77, 702-708.
- 2) 高橋潔 (2007): 温暖化影響はどのようなものが懸念されているか. ESTRELA, 164, 2-10.
- 3) 赤祖父俊一, 伊藤公紀, 江守正多, 草野完也, 丸山茂徳, 吉田英生 (2008): e-mail討論 地球温暖化: その科学的真実を問う. エネルギー・資源, 30(1), 3-22
- 4) 赤祖父俊一, 伊藤公紀, 江守正多, 草野完也, 丸山茂徳, 吉田英生 (2008): e-mail討論 地球温暖化: その科学的真実を問う (2). エネルギー・資源, 30(2), 1-19
- 5) 江守正多 (2008): 地球温暖化予測の「翻訳」に向けて. 日本地球惑星科学連合ニュースレター, 4(2):1-3
- 6) 江守正多 (2008): 地球温暖化が進むとどうなるか～社会問題化する地球温暖化問題～. 道路建設, 708, 9-12
- 7) 江守正多 (2008): 温暖化の予測は正しいか? 不確かな未来に科学が挑む DOJIN選書20. 化学同人社, p240
- 8) 塩竈秀夫, 高橋潔, 永島達也, 野沢徹, 江守正多(2008): 地球温暖化による降水量変化予測の排出シナリオ依存性. H19年度「異常気象と長期変動」研究集会報告書, 46-52.
- 9) 高橋潔 (2008): 「温暖化影響・適応研究」の張り目. 水文・水資源学会誌, 21 (6), 480
- 10) 伊藤昭彦 (2009): 森林の二酸化炭素吸収量の測定方法. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 14-19.
- 11) 江守正多 (2009): 二酸化炭素の増加が温暖化をまねく証拠. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 25-29.
- 12) 江守正多 (2009): コンピュータを使った100年後の地球温暖化予測. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 50-53.
- 13) 小倉知夫 (2009): 海面上昇とゼロメートル地帯. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 81-85.
- 14) 塩竈秀夫 (2009): 気候変動予測に幅があるのは?. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 54-59.
- 15) 高橋潔 (2009): 温暖化影響・適応評価研究における気候予測情報の利用ー現状と今後の課題ー. 水循環 貯留と浸透, 71, 17-23
- 16) 高橋潔 (2009): IPCC報告書とは? (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 60-66.
- 17) 高橋潔 (2009): 海面上昇で消える島国. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 86-90.
- 18) 高橋潔 (2009): 気温上昇抑制の目標. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 110-115.
- 19) 高橋潔 (2009): 気候変動により引き起こされる影響の予測と評価に関する研究. 環境科学会誌, 22 (1), 53-56
- 20) 高橋潔 (2009): 温暖化影響予測研究の新展開. River Front, 66, 21-24

- 21) 高橋潔, 肱岡靖明 (2009): 地球温暖化影響研究の現状. 全国環境研会誌, 34 (2), 9-15
- 22) 長谷川聡 (2009): 台風やハリケーンによる被害の増加は温暖化の影響?. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 75-80.
- 23) 肱岡靖明 (2009): 2050年までに排出量半減とは?. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 119-125.
- 24) 増富祐司 (2009): 温暖化で収穫量は減る? 増える?. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 91-96.
- 25) 横島徳太 (2009): 水蒸気の温室効果. (独)国立環境研究所 地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 30-35.
- 26) 江守正多 (2010): 気候モデルの「社会的透明性」. 科学, 80 (12), 1200.
- 27) 小倉知夫 (2010): 独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター (2010, 分担執筆) 気象ブックス032 ココが知りたい地球温暖化2, 成山堂書店, 2010年3月出版.
- 28) 前田芳恵, 三瓶由紀, 江守正多, 福士謙介, 青柳みどり, 高橋潔, 福田寛之, 田中泰義, 松本安生, 朝倉暁生 他 (2010): 温暖化リスクメディアフォーラム. 天気, 57 (12), 45-51.
- 29) 宮崎真, 高橋潔, 沖大幹 (2010): IPCC第4次評価報告書第2作業部会による気候変動影響・適応・脆弱性に関する最新の科学的知見と今後の課題. 水文・水資源学会誌, 23 (2), 157-170
- 30) 江守正多 (2011): 地球温暖化論争を経験して, 科学リテラシーについて思うこと. 日本の科学者, 46 (2), 19-21.
- 31) 江守正多 (2011) : 温暖化リスクコミュニケーション. 科学技術社会論研究 第9号, 13-23.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 伊藤昭彦: エロージョンによる土壌炭素の流出が生態系炭素循環に与える影響に関するモデル研究. 日本地球惑星科学連合2007年大会. 幕張メッセ, 2007年5月.
- 2) Emori, S. and TGICA members: Call for Input on the “Standard Output Variables” to be used in Coordinated Climate Model Experiments. An Expert Meeting on Regional Impacts, Adaptation, Vulnerability, and Mitigation, Nadi(Fiji), June 2007.
- 3) Shiogama, H., T. Nozawa, and S. Emori: Robustness of climate change signals in near term predictions up to the year 2030. 10th International Meetings on Statistical Climatology, Beijing, China, August 2007.
- 4) 阿部学, 塩竈秀夫, 野沢徹, 江守正多: パーフェクトモデルテストによる気候変化予測と現在気候再現性の関係の評価. 日本気象学会2007年秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 5) 江守正多, 塩竈秀夫, 野沢徹: 2030年までの確率的気候変化予測に向けて 第2報—降水量変化. 日本気象学会2007年秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 6) 塩竈秀夫・高橋潔・永島達也・野沢徹・江守正多: 地球温暖化による降水量変化予測の排出シナリオ依存性, 日本気象学会2007年秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 7) 野沢徹, 塩竈秀夫, 永島達也, 竹村俊彦: 人為起源の温室効果ガス増加による20世紀の昇温量推定に及ぼす炭素性エアロゾル増加の影響. 日本気象学会2007年秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 8) 長谷川聡, 江守正多, 塩竈秀夫, 三浦裕亮: 水惑星実験におけるSSTとCO2濃度の変化による

- 降水の力学・熱力学的変化. 日本気象学会2007年秋季大会, 札幌, 2007年10月.
- 9) 江守正多: 温暖化リスクコミュニケーションに向けて. 第47回気候影響利用研究会, つくば, 2007年11月.
 - 10) 塩竈秀夫, 高橋潔, 永島達也, 野沢徹, 江守正多: 地球温暖化による降水量変化予測の排出シナリオ依存性. 「異常気象と長期変動」研究集会, 宇治, 2007年11月.
 - 11) Emori, S. : Climate change projection and its reliability. IR3S New Delhi Research Unit Kick off meeting, New Delhi(India), December 2007.
 - 12) Emori, S. and Takahashi, K. : Climate Change Risk Communication. 2nd Workshop on Climate Risk Assessment, Yokohama, Japan, February 2008.
 - 13) Ito, A. : Modeling of atmosphere-land exchange of trace gases and ecosystem risks. 2nd Workshop on Climate Risk Assessment, Yokohama, Japan, 2008年2月.
 - 14) Shiogama, H., T. Nagashima, K. Takahashi, T. Nozawa and S. Emori: Emission scenario uncertainty of precipitation changes. 2nd Workshop on Climate Risk Assessment, Yokohama, Japan, 2008年2月.
 - 15) Masutomi, Y., Takahashi, K., Harasawa, H. and Matsuoka, Y. : Impact assessment of climate change for crop productivity considering uncertainties in climate modeling and emission scenarios, International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2008), Shimonoseki, Japan, 2008年3月.
 - 16) 高橋潔: AR5へ向けた動向. 気候変動将来推計情報の水文分野での利用促進シンポジウム, 東京, 2008年4月.
 - 17) Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Harasawa and Y. Matsuoka: Impact assessment of climate change for rice in Asia under uncertainties in general circulation models. Food Security and Environmental Change, Oxford, U.K., April 2008.
 - 18) Emori, S. : Future projection of extreme events. International Symposium on Effects of Climate Change on the World's Oceans. Gijon, Spain, May 2008.
 - 19) 江守正多: 地球温暖化の予測は「正しい」か?. 日本地球惑星科学連合2008年大会, 幕張, 2008年5月.
 - 20) 江守正多: IPCC第4次報告書への日本の気候モデル研究の貢献. 日本地球惑星科学連合2008年大会, 幕張, 2008年5月.
 - 21) 江守正多: 地球温暖化現象の理解とIPCC第4次報告書. 日本地球惑星科学連合2008年大会, 幕張, 2008年5月.
 - 22) 高橋潔: 地球温暖化の影響リスクとその適応策(IPCC第4次評価報告書をふまえた今後の研究課題). 日本地球惑星科学連合 2008年大会, 幕張, 2008年5月.
 - 23) Ito, A. : Model analysis of terrestrial response and feedback to global warming. Symposium: Drastic change in earth system during global warming, Sapporo, Japan, June 2008.
 - 24) 江守正多: 温暖化のリスク評価とリスクコミュニケーションに向けて. 科学技術社会論学会シンポジウム, 東京, 2008年6月.
 - 25) 増富祐司, 高橋潔, 原沢英夫, 松岡譲: 気候予測の不確実性を考慮した近未来の気候変化が

- アジア域の水稻生産量に及ぼす影響及びその適応策の評価. 第16回地球環境シンポジウム, 岡山, 2008年8月.
- 26) 江守正多: 地球温暖化と将来予測. 日本機会学会2008年次大会 先端技術フォーラム, 横浜, 2008年8月.
- 27) Takahashi, K.: Introduction to studies on climate change impacts in Japan. Int. Workshop Integrated Responses Clim.Change, Seoul, South Korea, October 2008.
- 28) 阿部学, 塩竈秀夫, Annan J.D., Hargreaves J.C., 野沢徹, 江守正多: パーフェクトモデルテストによる気候変化予測と現在気候再現性の関係の評価とその応用. 日本気象学会 2008年度秋季大会, 仙台, 2008年11月.
- 29) 長谷川聡, 江守正多: 解像度の異なるMIROC3.2大気モデルにおける熱帯低気圧の発生ポテンシャル. 2008年度秋季大会, 仙台, 2008年11月 (ポスター).
- 30) 伊藤昭彦: 陸域の温室効果ガス交換モデルと観測連携. 地球観測連携拠点 (温暖化分野) 平成20年度ワークショップ 統合された地球温暖化観測を目指して -温暖化影響観測の最前線-, 東京, 2008年12月.
- 31) Emori, S.: Climate change projection and its reliability. International conference on sustainability science 2009, Tokyo, Japan, February 2009.
- 32) Abe, M., H. Shiogama, J.C.Hargreaves, J.D. Annan, T. Nozawa, S. Emori: Investigation of relations between inter-model similarities for present and projected future mean climate, European Geosciences Union (EGU) General Assembly, Vienna, Austria, April 2009.
- 33) Emori, S.: Developing climate models for global change prediction. IGBP Symposium Frontier of integrated research activities on east Asian and global environment, Otaru, 2009年4月.
- 34) Ito, A. and D.G. Dye: Impact of the future radiation change on terrestrial carbon budget: A model simulation analysis. Parallel iLEAPS-GEWEX Science Conferences. Melbourne, Australia, August 2009.
- 35) Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Takemura, T. Nozawa, S. Emori: Emission scenario dependences in climate change assessments on hydrological cycle. MOCA09, Jt.Assem.IAMAS-IAPSO-IACS, Montréal, Canada, July 2009.
- 36) 塩竈秀夫, 花崎直太, 増富祐司, 永島達也, 小倉知夫, 高橋潔, 肱岡靖明, 竹村俊彦, 野沢徹, 江守正多: 降水量変化予測と水資源影響評価の排出シナリオ依存性. 日本気象学会 2009年度春季大会, つくば, 2009年5月.
- 37) 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: 気候変化予測から南米水資源影響評価への不確実性伝播. 第7回 "異常気象と長期変動"研究集会, 京都, 2009年10月.
- 38) 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: 気候変化予測から影響評価への不確実性伝播~南米の水資源影響評価を例として. 日本気象学会 2009年度秋季大会, 同講演予稿集, 125, 2009年11月.

- 39) 長谷川聡, 塩竈秀夫, 江守正多: CMIP3気候モデルによるSRES実験を用いたパターンスケーリング. 日本気象学会 2009年度秋季大会, 同講演予稿集, 96, 424, 2009年11月.
- 40) Emori, S.: Global climate projections with relevance to regional climate and impact analysis. Hokkaido University Global COE Program International symposium on Impact of Climate Change on Region Specific Systems, Sapporo, November 2009.
- 41) 塩竈秀夫: 気候変化予測から影響評価への不確実性伝播～南米の水資源影響評価を例として. S-4,5・革新プロ合同ワークショップ「影響評価研究での気候モデル出力の活かし方を考える」, 東京, 2010年1月.
- 42) Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Takemura, T. Nozawa and S. Emori: Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. International ad hoc Detection and Attribution Group, Boulder, Colorado, USA, January 2010.
- 43) Shiogama, H., S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa: Uncertainty propagation from climate change projections to impacts assessments: water resource assessments in South America. IPCC WGI/WGII Expert Meet. Assess. Comb. Multi Model Clim. Proj., Boulder, USA, January 2010.
- 44) 江守正多: 気候変動予測の不確実性と意思決定. 平成21年度IIASA-RITE国際シンポジウム 地球温暖化防止と持続可能な社会に向けて, 同要旨集, 31, 東京, 2010年2月.
- 45) Ito, A. : Consistent inventory of global terrestrial carbon budget: a model study for the 20th century. 2nd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment” jointly with “3rd International Workshop on KAKUSHIN Program. Tsukuba, February 2010.
- 46) Shiogama, H., S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa: Uncertainty propagation from climate change projections to impacts assessments: water resource assessments in South America. 2nd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment jointly with 3rd International Workshop on KAKUSHIN Program, Tsukuba, February 2010.
- 47) 伊藤昭彦: 陸域生態系の水-物質循環モデリング. JAXA/EORC水循環ワークショップ, 東京大学生産技術研究所, 2010年3月.
- 48) 増富祐司, 飯泉仁之直, 高橋潔: 台風による水稻被害量予測モデルの開発. 農業気象学会, 名古屋, 2010年3月.
- 49) Emori, S. : Climate Change Projections toward IPCC AR5. Workshop on Climate Change Projection, Impact Assessment and Adaptation Planning in the Asia-Pacific Water Sector, Manila, Philippines, March 2010.
- 50) 阿部学, 塩竈秀夫, 野沢徹, 江守正多: マルチモデルの将来気候変化場と現在気候場の関連モードを用いた将来気温変化場の推定. 日本気象学会 2010年度春季大会, 2010年5月.
- 51) 横島徳太, J. D. Annan, J. C. Hargreaves, C. Jackson, M. Tobis, M. Collins: 気候モデルアンサンブルの評価. 日本気象学会 2010年度春季大会, 2010年5月.
- 52) 江守正多: 地球温暖化の現状と将来予測. なごや科学リテラシーフォーラム第5回シンポジ

- ウム 地球温暖化問題を考える, 名古屋, 2010年6月.
- 53) 江守正多: IPCC第5次レポートの準備状況と地球気候変化予測. 平成22年度SPEED箱根研究会「低炭素革命と地球温暖化適応策」, 箱根, 2010年7月.
 - 54) 高橋潔: 適応費用評価に関する最近の動向について. 平成22年度SPEED箱根研究会「低炭素革命と地球温暖化適応策」, 箱根, 2010年7月.
 - 55) Shiogama, H., S. Emori, N. Hanasaki, M. Abe, Y. Masutomi, K. Takahashi, T. Nozawa : Uncertainty propagation from climate change projections to impacts assessments: water resource assessments in South America. Edinburgh, Scotland, July 2010.
 - 56) Yasunaka, S., M. Ishii, M. Kimoto, T. Mochizuki, H. Shiogama : Impact of XBT depth bias correction on decadal climate prediction. Edinburgh, Scotland, July 2010.
 - 57) Emori, S : Investigating mechanisms of future changes in precipitation extremes simulated in GCMs. WCRP-UNESCO Workshop on metrics and methodologies of estimation of extreme climate events, Paris, France, September 2010.
 - 58) 小倉知夫, 横島徳太, 小玉知央, 伊賀晋一, 渡部雅浩: 雲フィードバックの不確実性の評価と低減に向けて. 第2回気候感度研究会, 東京大学柏キャンパス, 2010年10月.
 - 59) 江守正多: 温暖化で地球はどうなる. 上智大学・国立環境研究所連携講座「環境科学特別講座-研究最前線からの報告-」, 東京, 2010年10月.
 - 60) 江守正多: 地球温暖化の現状と未来への提言. 神奈川大学市民公開講座「環境社会論」, 神奈川, 2010年10月.
 - 61) 江守正多: 地球温暖化の現状と将来予測. 東京都市大学第12回市民講座「世界金融危機後の環境と経済 いま新たにサステナブル社会の実現を問う」, 横浜, 2010年10月.
 - 62) 横島徳太: 気候フィードバック概説およびシミュレーションの実際. 第2回気候感度研究会, 東京大学柏キャンパス, 2010年10月.
 - 63) 脇岡靖明: 温暖化が日本に及ぼす影響. 平成22年度農研機構九州沖縄農業研究センターシンポジウム, 熊本, 2010年10月.
 - 64) 脇岡靖明: 地球温暖化による日本・長野への影響と適応策に向けて. 信州・長野県は地球温暖化にどう対応していくのか?. 長野, 2010年10月.
 - 65) 塩竈秀夫, 吉森正和, 渡部雅浩, 横島徳太, 小倉知夫, 阿部学, 江守正多, 野沢徹: 異なる気候感度を持つ大気海洋結合モデルにおける対流圏調節とフィードバック. 日本気象学会2010年度秋季大会, 京都, 2010年10月.
 - 66) 増富祐司, 飯泉仁之直, 高橋潔, 横沢正幸: 台風による水稻の被害面積推計モデルの開発. 日本気象学会2010年度秋季大会, 京都, 2010年10月.
 - 67) Abe, M., H. Shiogama, T. Nozawa, S. Emori : Future surface temperature change estimation constrained by using the future-present correlated modes in variability of CMIP3 multi-model simulations. AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2010.
 - 68) Ito. A : Evaluation of defoliation impacts of tropical cyclones on the forest carbon budget using flux data and a process-based model. AsiaFlux 2010 Workshop, Guangzhou, China, December 2010.
 - 69) Masutomi, Y., T. Iizumi, K. Takahashi, M. Yokozawa : Area estimation of crop damage

- due to tropical cyclones using crop fragility curves for paddy rice in Japan. AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2010.
- 70) Yokohata. T., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, C. S. Jackson, M. Tobis, M. Collins : Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles. AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2010.
- 71) 江守正多：「複数モデルによる気候予測の評価と結合に関する IPCC 専門家会合」の紹介. H 22年度 文科省革新プロ-環境省推進費戦略課題S-5/S-8合同シンポジウム 「IPCC-AR5 の影響研究はこれで勝負」, 東京, 2011年1月.
- 72) Ishizaki.Y., H. Shiogama, S. Emori, T.Yokohata: Dependencies of pattern scaling on emission scenarios. IDAG meeting, Boulder, USA, January 2011.
- 73) 伊藤昭彦：台風が森林の炭素収支に与える影響に関するモデル解析. 日本生態学会第58回大会, 札幌, 2011年3月.
- 74) 伊藤昭彦：台風が森林の炭素収支に与える影響に関するモデル解析. 日本農業気象学会2011年大会, 鹿児島, 2011年3月.
- 75) 阿部学, 塩竈秀夫, 横島徳太, 野沢徹, 江守正多：CO₂の瞬時強制による降水量変化に対する気孔コンダクタンス変化の効果. 日本気象学会2011年度秋季大会, 名古屋, 2011年11月.
- 76) Emori. S : Options for exploring the range of climatic change. Workshop to Explore the New SMA/SSP Approach, Changwon, July 2011.
- 77) Shin Y., K.. Takahashi, Y. Hijioka, N. Hanasaki, Y.Masutomi : Uncertainty Assessment in Maize Productivity Using Multiple GCM Climate Projections. 1st International Conference on Green Environmental Technology 2011, Busan, August 2011.
- 78) 申龍熙, 高橋潔, 脇岡靖明, 花崎直太, 山本隆弘, 増富祐司：気候予測の不確実性を考慮した世界のトウモロコシ生産性の温暖化影響評価. 第19回地球環境シンポジウム, 水戸, 2011年9月.
- 79) Takahashi K. : Introduction to research projects on impact and adaptation analysis conducted in Japan. Korea-Japan Joint Workshop for Climate Change Impact and Adaptation, Seoul, September 2011.
- 80) Shin Y. : Assessment of uncertainty in maize yield change using multiple GCMs and multiple emission scenarios. Korea-Japan Joint Workshop on Climate Change Impact and Adaptation, Seoul, September 2011.
- 81) Shiogama H., M.Watanabe , T.Ogura, M. Yoshimori, T. Yokohata, J.D.Annan, J.C. Hargreaves, M. Abe, S. Emori, T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, M. Kimoto : Physics Parameter Ensemble of MIROC5 AOGCM. 11th European Meteorological Society/10th European Conference on Applications of Meteorology, Berlin, September 2011.
- 82) Sakamoto T., Y.Komuro, T. Nishimura, M. Ishii, H. Tatebe, H. Shiogama, A.Hasegawa, T.Toyoda, T.Nozawa, S. Emori et al. : Team MIROC:MIROC4h-a new high-resolution atmosphere-ocean coupled general circulation model. World Climate Research Programme Open Science Conference, Denver, October 2011.
- 83) Sakamoto T., M. Arai, Y. Komuro, H. Tatebe, M. Ishii, T. Mochizuki, M. Mori, Y. Chikamoto,

- Y. Imada, H. Shiogama, T. Suzuki, T. Nozawa, M. Kimoto : Team MIROC: Reproducibility and predictability of decadal climate variations in MIROC. World Climate Research Programme Open Conference, Climate Research in Service to Society, Denver, October 2011.
- 84) Shiogama H. : Can detuning ensembles provide insights into the projection uncertainty and performance of RCM?. Third International Workshop on Down-scaling, Tsukuba, October 2011.
- 85) Shiogama. H., S.Emori, T.Mochizuki, S. Yasunaka, T. Yokohata, M. Ishii, T. Nozawa, M. Kimoto : Team MIROC: Possible influence of volcanic activity on the decadal potential predictability of the natural variability in near-term climate predictions. World Climate Research Programme Open Science Conference, Denver, October 2011.
- 86) Shiogama H., M. Watanabe, T. Ogura, M. Yoshimori, T. Yokohata, J.D. Annan, J.C. Hargreaves, M. Abe, S. Emori, T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, M. Kimoto : Physics Parameter Ensemble of MIROC5 AOGCM. World Climate Research Programme Open Science Conference, Climate Research in Service to Society, Denver, October 2011.
- 87) Takahashi. K., I. Takayabu, N. Ishizaki, H. Shiogama, S. Emori, N. Tanaka : Projection of potential habitat for beech (*Fagus crenata*) forests in Japan considering three different dynamic downscaling scenarios from S-5-3 project. Third International workshop on downscaling, Tsukuba, October 2011.
- 88) Abe M., H. Shiogama, T. Yokohata, T. Nozawa, S. Emori : Effect of change in stomatal conductance on precipitation response to CO2 instantaneous forcing. AGU fall meeting 2011, San Francisco, December 2011.
- 89) Shin. Y., K. Takahashi, Y. Hijioka, N. Hanasaki : Assessing climate change impacts on global crop yield considering climate projections uncertainty. AGU fall meeting 2011, San Francisco, December 2011.
- 90) 江守正多 : 新シナリオ開発・統合フェイズとは. 革新プロ、S-5、S-8合同シンポジウム, 東京, 2012年1月.
- 91) 高橋潔 : 推進費S5と統合シナリオ開発. 革新プロ、S-5、S-8合同シンポジウム, 東京, 2012年1月.
- 92) 高橋潔 : 気候変動・極端現象・災害リスク管理－IPCC極端現象特別報告書が示す最新の科学的知見－. 第4回温暖化リスクメディアフォーラム, 東京, 2012年1月.
- 93) Shiogama. H : On the linear additivity of forcing-response relationships for global and continental scales. International ad hoc Detection and Attribution Group (IDAG) Spring Meeting 2012, Boulder, USA, February 2012.
- 94) Sakamoto T.T., H. Shiogama : AMO variation during the 20th century in MIROC3m. International Workshop on Climate Change Projection and High Performance Computing, Maui. March 2012.
- 95) Shiogama H., M. Watanabe, T. Yokohata, M. Yoshimori, T. Ogura, Y. Kamae, R. Nobui, J.D. Annan, J.C. Hargreaves, M. Abe, S. Emori, M. Kimoto : On the structural and parametric

uncertainties of climate sensitivity based on CMIP3/5 and MIROC ensembles. WCRP Workshop on Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Model Analysis, Honolulu, March 2012.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する意見交換会（2007年11月6日、環境研究所東京事務所、参加者約40名）
- 2) 一般公開シンポジウム「実感！地球温暖化 ～地球温暖化予測をあなたはどの役立てますか～」（2009年10月15日、東京大学 安田講堂、観客500名）
- 3) H21年度 文科省革新プロ－環境省推進費戦略課題S-5/S-8合同シンポジウム「影響評価研究での気候モデル出力の活かし方を考える」（2010年1月18日、航空会館、観客100名程度）
- 4) H22年度 文科省革新プロ－環境省推進費戦略課題S-5/S-8合同シンポジウム「IPCC-AR5の影響研究はこれで勝負」（2011年1月25日、オフィス東京 T 3 会議室、観客100名程度）
- 5) 一般公開シンポジウム「実感！地球温暖化～温暖化予測の「翻訳」研究は何を明らかにしたか～」（2011年10月14日、東京大学 安田講堂、観客400名）
- 6) H23年度 文科省革新プロ－環境省推進費戦略課題S-5/S-8合同シンポジウム「統合シナリオの開発に向けて ー国内研究課題の連携を考えるー」（2012年1月27日、TKP東京駅日本橋ビジネスセンター、観客100名程度）

(5) マスコミ等への公表・報道等

[記者発表]

- 1) 記者発表（2009年6月5日）「気候変化がアジアの水稻生産量に及ぼす影響の予測-1990年代に比べ、2020年代に高い確率で生産量が減少。一方、2080年代は、二酸化炭素を多く排出するシナリオにおいて、生産量が大幅減少-」
- 2) 記者発表（2011年3月30日）「南米大陸における水資源将来予測の信頼性を評価する方法を開発-地球温暖化に伴うアマゾン川流域の乾燥化を示唆-」
- 3) 記者発表（2011年9月20日）「複数の大気海洋結合モデルを利用し将来気温変化を推定 ー北半球高緯度地域で、従来予測より大きな気温上昇の可能性を示唆ー」
- 4) 記者発表（2012年4月16日）「環境研究総合推進費戦略的研究プロジェクト『気候シナリオ「実感」プロジェクト』成果発表について ～地球温暖化予測の解釈に関する総合的な研究成果を報告～」

[新聞]

- 1) 江守正多：専門家に熱心に質問。サミット1年前イベント。小学生、「温暖化」身近に、（写真掲載）日本経済新聞，2007年7月8日，日本経済新聞社。
- 2) 江守正多：スパコンで高精度予想，（インタビュー）毎日新聞，2007年7月23日朝刊13面，毎日

新聞社.

- 3) 江守正多: 地球温暖化がわが国の気候に及ぼす影響, (講演内容掲載) 土地改良新聞, 2007年10月15日, 土地改良新報社.
- 4) 江守正多: 種が家が次いつ流されるか 予想外 今年2度の洪水, (インタビュー) 朝日新聞, 2007年12月17日, 朝日新聞社.
- 5) 江守正多: 温暖化に挑む日本の科学, (インタビュー) 日刊工業新聞 31面, 2008年1月1日, 日刊工業新聞社.
- 6) 江守正多: 温暖化すると損失, (シンポジウム内容掲載) 日本農業新聞, 2面, 2008年2月2日, 日本農業新聞.
- 7) 増富祐司: 温暖化の影響予測研究進む. 米生産や感染症対策. 被害抑制に重点, (図掲載) 日経産業新聞, 2008年8月14日.
- 8) 江守正多: 雲の挙動を詳しく再現へ, 環境新聞, 1面, 2008年9月3日.
- 9) 江守正多: 雲のモデルを詳しく改良, 地球温暖化を見つめ直す15, 環境新聞, 2008年9月10日.
- 10) 江守正多: 古気候を予測に役立て, 地球温暖化を見つめ直す17, 環境新聞, 2008年9月24日.
- 11) 江守正多: 地球の気候当面「寒冷化」自然変動が温暖化抑制? 専門家の見方 いずれ温暖化に反転, (インタビュー) 日本経済新聞12面, 2009年2月2日, 日本経済新聞社.
- 12) 江守正多: 温暖化異聞 上 懐疑派と議論本格化, (インタビュー) 読売新聞15面, 2009年2月23日, 読売新聞社.
- 13) 江守正多: 温暖化異聞 中 未知の領域 異なる評価, (インタビュー) 読売新聞13面, 2009年3月2日, 読売新聞社.
- 14) 江守正多: 温暖化異聞 下 「不確か」認め懐疑論に対抗, (インタビュー) 読売新聞13面, 2009年3月9日, 読売新聞社.
- 15) 江守正多: シリーズ現代の視点 国立環境研究所江守正多さんに聞く 上, (インタビュー) しんぶん赤旗9面, 2009年3月2日, 日本共産党.
- 16) 江守正多: シリーズ現代の視点 国立環境研究所江守正多さんに聞く 下, (インタビュー) しんぶん赤旗9面, 2009年3月3日, 日本共産党.
- 17) 毎日新聞 (2011年12月5日、全国版) 「地球温暖化: アマゾン流域干上がる? 今世紀末にも」

[雑誌]

- 1) 江守正多: 地球温暖化をシミュレーションする. (インタビュー) 広告批評, 2007年3-4月合併号, 114-117, マドラ出版.
- 2) 江守正多: 温暖化の脅威と地球の未来. (インタビュー) 月刊公明, 2007年4月号, 22-29, 公明党機関紙委員会.
- 3) 江守正多: シリーズ地球破滅あと5分. (インタビュー) 週刊金曜日, 2007年5月25日号, 26-26, 株式会社週刊金曜日.
- 4) 江守正多: 気候モデルをもとに温暖化を予測する. 先を見通す「未来予想」. (インタビュー) ザ・ネイバー 2007年 7月号, 16-17, (株)千広企画
- 5) 江守正多: 研究者と一緒に市民が地球温暖化を考え実感する参加型シンポジウムを開催. (シンポジウム内容掲載) 月刊PORTAL, 2008年3月号, 72, 14-15, 財団法人河川情報センター.

- 6) 江守正多: 「生き物絶滅」最悪シナリオ回避できるか. (インタビュー) AERA, 2008年3月31日号, 48, 朝日新聞社.

[テレビ]

- 1) 江守正多: NHK BS1 きょうの世界 (スタジオ生出演), 2007年11月12日放送.
- 2) 江守正多: NHK教育 サイエンスZERO (録画放送), 2007年12月22日放送.
- 3) 塩竈秀夫: テレビ東京 ケンちゃんの晩めし前, 2008年2月28日放送.

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Takemura, T. Nozawa, S. Emori (2010): Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. *Clim.Change*, 99 (1-2), 321-329.
- 2) Mitchell, J.F.B., Johns, T.C., Eagles, M., Ingram, W.J., Davis, R.A. (1999): Towards the construction of climate change scenarios. *Clim Change* 41:547-581.
- 3) Ito A., Oikawa T. (2002): A simulation model of the carbon cycle in land ecosystems (Sim-CYCLE): A description based on dry-matter production theory and plot-scale validation. *Ecological Modelling*, 151, 147-179.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(2) マルチ気候モデル解析による近未来気候変動の確率的予測

(独) 海洋研究開発機構 地球環境変動領域 James D. Annan・Julia C. Hargreaves

<研究協力者>

(独) 海洋研究開発機構 地球環境変動領域 Das Lalu・Jonathan D. Day

(独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 阿部学・塩竈秀夫・横島徳太

平成19～23年度累計予算額：63,583千円

(うち、平成23年度予算額：12,203千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 本研究では様々な方法で気候モデルの性能評価を行った。最新のモデルの将来予測性能を直接評価することは難しいが、1987年に用いられた古い世代のモデルが有意な予測性能を持つことを明らかにした。このため、より先進的な最新のモデルは、より高い性能を持つことが期待できる。また、我々は順位頻度分布法を利用することにより、気候モデルアンサンブルの信頼性を評価するための手法を開発した。この手法を利用することにより、1つのモデルから作られたアンサンブルは比較的信頼性が低い一方で、世界の気候研究機関によって開発された複数のモデルから作られたアンサンブルはより信頼性があることが分かった。これらは全球的な気候場の評価の結果だが、さらに一歩進み、より小さな空間スケールにおける気候モデルの性能を評価したところ、ここでは特に北極域での現象に注目したが、すべてのモデルが、これまでに観測されている海氷の急激な現象を再現することができなかつた。これにより、気候モデルは細かい現象をすべて再現するには限界があることが分かった。

【キーワード】 気候モデル、信頼性評価、将来気候予測

1. はじめに

気候変化予測を妥当なものにするための重要な問題は、予測に用いる気候モデルの信頼性である。これまでの研究では、気候モデルを評価する手法に関する明確な合意は得られておらず、最新世代の気候モデルは現実的な不確実性の幅をカバーしていないかもしれないことが、議論されている。このため、気候モデルを評価する手法を確立することは非常に優先度の高い課題である。同時に、過去の温度に関する観測データの精度、特に都市化の影響が含まれているデータに関しては、様々な検討がなされてきた。将来気候に関する科学的な知見の信頼性が確かでない場合、気候変化に関わる政策について社会が合意をすることは、非常に難しい。このため、気候モデルの性能評価を行うことは、非常に重要な課題である。

2. 研究開発目的

研究の第一の目的は、気候モデルの信頼性を理解するための手法を開発し、この手法を気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による第4次評価報告書で用いられた、第3期結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP3)で作成された最新世代の気候モデルに適応することである。本研究では全球規模の空間スケールだけでなく、より小さな領域スケールでのモデルの性能評価を行った。さらに、前世紀の気温観測において都市化が及ぼす影響についても調べた。

3. 研究開発方法

我々は気候モデルを評価するための様々な種類の手法を開発した。ここでは主要な成果として得られた5つの研究(引用文献1)-5))における開発手法について説明する。

(1) 過去に行われた将来気候予測の検証

モデル予測の性能評価に関する解析は、気象予報については数多くなされている。この一方で、検証のためのデータが十分でないために、気候モデルによる数10年先の将来予測の評価はこれまでほとんど行われていない。しかしながら、初期の気候モデルによってなされた将来予測は、実際に観測された観測データと比較することにより、評価を行うことができる。Hargreavesらは、1980年代に行われた将来気候予測が、実際に起こった気候変化をよく予測していたことを示した¹⁾。IPCCは第4次評価報告書において、不確実性の推定と確率的な記述に関してベイズ理論を利用することを推奨しているが、この論文ではまさにこの方法によって不確実性の解析がなされた。

(2) 日本域の地表気温変化における都市化の影響

IPCC第4次評価報告では、気候システムにおいて温暖化が進行することは避けられないことであり、全球平均気温の上昇は1906年から2005年までの100年間で0.74℃であると記述している。これは都市化の影響を考慮しない場合の推定値である。一方、気温上昇の大きさは地域によって異なり、都市域では周囲の田舎域に比べて温暖化を過大評価しており、これが都市のヒートアイランド効果と呼ばれるものである。このため、気象観測ステーションから計算されるトレンドは、都市化の影響が増えることによって、気温上昇トレンドを過大評価する可能性がある。気温上昇の長期トレンドに対する都市化の影響を正確に推定することは非常に難しい問題であり、特に日本のように、人口が密集した、高度に発展した国においては、都市化に影響されていない気象ステーションを見つけることは非常に困難である。国スケールでの都市化バイアスは通常、都市として識別されたサイトと田舎として識別されたサイトの領域平均の差を用いて推定される。このため、都市サイトと田舎サイトを適切に区別することは非常に重要である。しかしながら、都市化の影響が完全に排除された「田舎域」を識別する確かな方法は、これまでの研究で提案されていない。

我々は、Dasら²⁾の研究において、この問題に取り組んだ。まず、「田舎域」ステーションを選ぶための様々な基準を試した。次に、日本周辺の海面水温(sea surface temperature, SST)と陸上の地表気温の関係について、前述のCMIP3に提出された気候モデルアンサンブルと観測データについて調べた。これにより、我々が「田舎域」と識別した地点における、都市化による気温上昇トレンドの影響について調べた。

(3) 気候モデルの信頼性評価

Annan and Hargreaves¹⁾では、CMIP3で集められた、世界の気候研究機関によって開発された気候モデルのアンサンブルの信頼性を解釈するための枠組みを提案した。これまで気候科学分野において支配的であった枠組みは、理想的なアンサンブルとは観測（真実）が中心にあるべきだという考えであった。この論文では、観測とは「統計的に識別不能」であるアンサンブルが理想的なアンサンブルであるという、他の様々な科学分野において一般的な枠組みを導入した。後者の枠組みは、気候モデルアンサンブルの評価を行う上で新たな知見を与えるものであり、アンサンブルによって得られた結果の確率的な解釈をより容易に行うことができる。よく知られた順位頻度分布による解析を行うことによって、観測と統計的に識別不能かという観点から、CMIP3アンサンブルを評価した。上記の引用文献1)の研究に引き続き、Yokohataらの研究⁴⁾では、CMIP3のように複数のモデルからなるマルチモデルアンサンブル (multi-model ensembles, MMEs)に加えて、一つのモデルにおいて不確実パラメータを変化させることによって作成した単一モデルアンサンブル (single-model ensembles, SMEs)も含めた解析を行った。ここでは引用文献1)の研究と同様に、観測がモデルアンサンブルの一つのメンバーとしてみなすことができるかという観点から、順位頻度分布による解析を行った。

(4) 北極域の海氷減少に関する気候モデル評価

近年の夏季（9月）における北極海氷域の急激な減少は、科学的にも社会的にも非常に重要な研究課題である。CMIP3のそれぞれのモデルは、この海氷減少を定性的には表現しているが、急激な減少トレンドを定量的に表現しているモデルはない。この原因として考えられる要素としては、観測されたデータに問題があるか、気候モデルが大きな年々変動をとらえられないことが考えられる。後者の問題は、海氷の観測データが十分でないことなどから、これまで十分研究されてこなかった。

CMIP3で用いられた5つのモデルによる、数100年のコントロール実験を用いる。コントロール実験とは気候モデルに与える外部境界条件を産業革命前に固定した実験である。この実験データを利用して、大西洋深層循環（AMOC）、大西洋数10年振動（AMO）および北極振動（AO）が海氷の年々変動に及ぼす影響について調べることにより、北極海氷の減少トレンドにおける年々変動が及ぼす役割について検討する。コントロール実験を利用することにより、温室効果ガスの増加などの外部境界条件の変化が及ぼす影響を取り除くことができる。

様々な変数と海氷域との相関係数を計算することにより、どのような内部変動が海氷域の変動に影響を与えるかを調べる。英国気象局（HadCM3）と日本（MIROC3.2）のモデルを用いた予備的な調査により、すくなくとも500年程度のコントロール実験データが必要であることが分かった。このことは、期間の短い現実のデータを解析する際には大きな問題があることを意味する。3月と9月の海氷域と気候モデルにおけるAMO/AOの最小二乗相関解析を行うことにより、1953-2010年と1979-2010年における、海氷域とAMO/AOの関係について調べた。

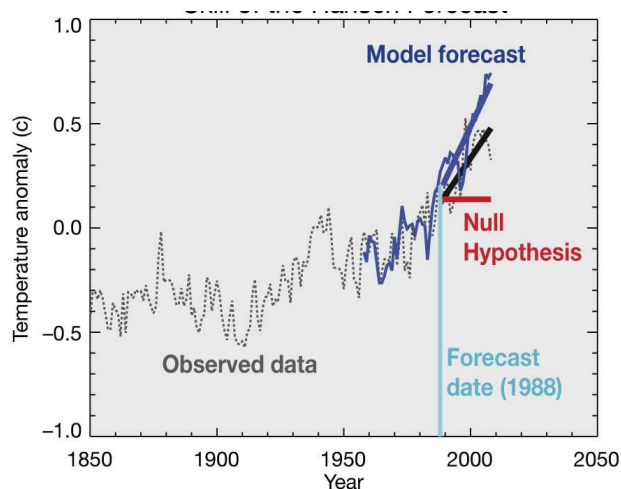
4. 結果及び考察

本研究では気候モデルの性能を評価するための新たな手法を開発し、全球スケールで評価を行

った場合、モデルの性能は十分高いことを示した。地域スケールでは、モデルの性能が十分でない領域が存在し、例えば北極海では近年の観測された海氷の減少はモデルの予測よりも非常に早く、モデルがこのような現象を再現できないことが分かった。つまり、気候モデルにはまだ改善の余地が残されているということである。上記 3 節にあわせ、得られた研究成果を以下にまとめる。

(1) 過去に行われた将来気候予測の検証

Hargreaves らは、前述の 3. (3) の方法を用いて、図(2)-1 に示すように、1980年代に行われた予測を観測⁶⁾と比較することにより、この予測が十分な精度を持っていることを示した。IPCC 第4次評価報告書でなされた全球大循環モデル (General Circulation Model, GCM) の解析では、一般に「複数モデルからなるアンサンブルの分散が十分でない、すなわち不確実性を評価する上でアンサンブルのばらつきの大きさは十分でない」と考えられてきた。しかしながらこの見解は必ずしも自明ではなく、これを支持するに足る十分な根拠があるわけではない。これに関する解析は、以下の (3) 節において議論される。大切なことは、将来の気候を予測する際に現在の科学的知見を最大限利用することで、不確実性の予測を行うことである。同時に、気候システムに関する様々な素過程を理解し、これをモデルに取り込むことにより、将来気候の予測は真実に近づくはずだろう。

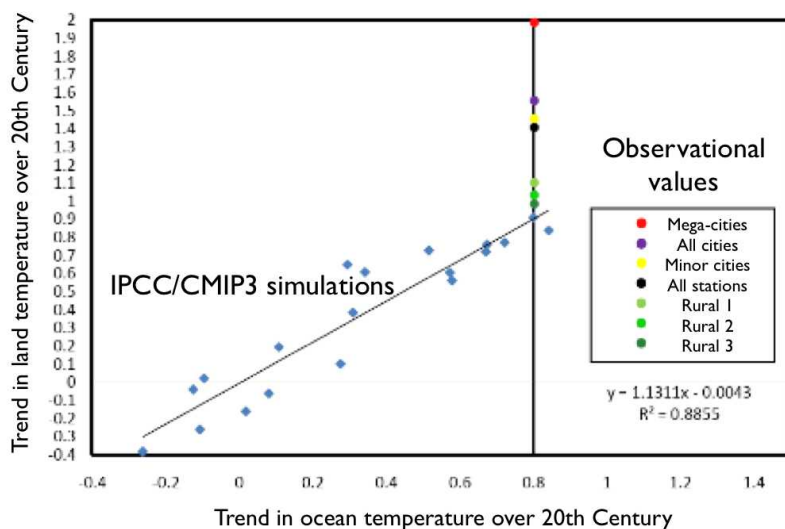


図(2)-1 1988年に行われた Hansen らによる将来の気候予測(青)と、観測データ(黒)。予測と観測の20年のトレンドはそれぞれ太線で表現。トレンドなしの帰無仮説を赤で表現した。

(2) 日本域の地表気温変化における都市化の影響

Das らの研究において、前世紀の日本における気温変化から都市化の影響を推定する非常に新しい2つの方法を用いることに成功した²⁾。まず、我々は「田舎域」ステーションを選ぶための様々な基準を試し、地域人口の減少トレンドを1つの指標とすれば、方法によって結果が大きく変わらないことが分かった。次に、日本周辺の SST と陸上の地表気温の関係を調べることにより、前述の CMIP3 に提出された気候モデルアンサンブルでは、これらの中に非常に強い相関があることが分かった。図(2)-2に示すように、この関係を観測された SST データに適応することにより、

我々が「田舎域」と識別した地点においては、都市化による気温上昇トレンドの影響がほとんど含まれないことが分かった。



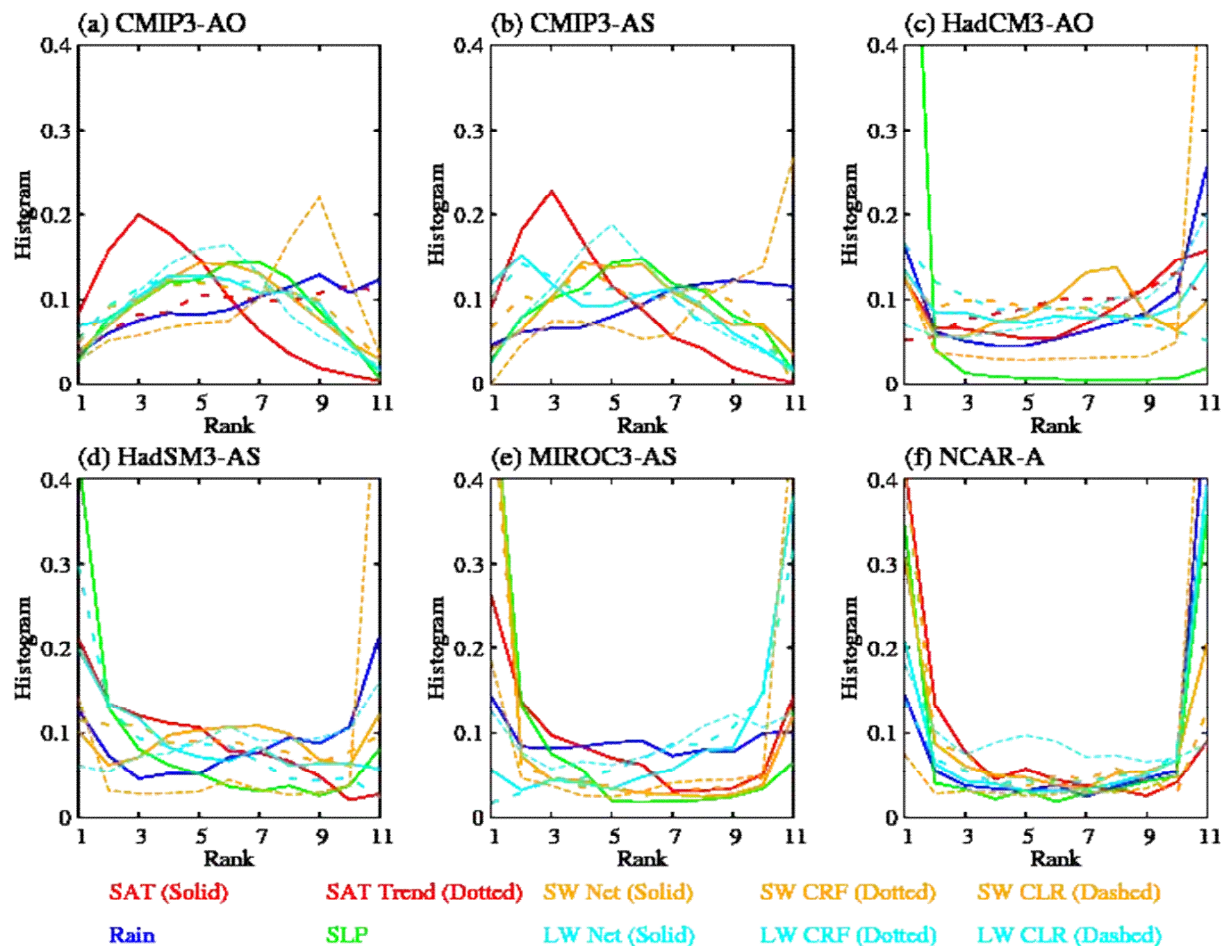
図(2)-2 世界の気候研究機関によって開発された 19 モデル (CMIP3) の日本の陸域と海洋域における 20 世紀温度上昇の線形トレンド (青) と、観測されたデータによって得られた 20 世紀の海面水温上昇トレンド (黒線、 $x=0.8^{\circ}\text{C}/100$ 年)。黒線上には、日本の陸域での気象ステーションで得られたデータをプロットし、それぞれ 9 の「メガシティ」の平均値 (赤)、全ての「都市」の平均値 (紫)、37「小都市」の平均値 (黄色)、3つの異なる指標によって得られた「田舎域」の平均値 (緑)、60 ある全ての気象ステーションの平均値 (黒) がプロットされている。

(3) 気候モデルの信頼性評価

Annan and Hargreaves¹⁾ において、よく知られた順位頻度分布による解析を行い、CMIP3 アンサンブルは、観測と統計的に識別不能かという観点からはよいアンサンブルであることが分かった。この結果は、「観測を中心として考えた場合には、CMIP3 アンサンブルの性能が良くない」という従来の研究成果とは、整合的ではない。このため、この研究で得られた結果は、CMIP3 アンサンブルを用いて確率的な予測を行うことに対して、初めて理論的な基礎を与え、同時に経験的にも支持されるものであることを示すことができた。

上記引用文献 1) の研究に引き続き、Yokohata らの研究⁴⁾ では、CMIP3 のように複数のモデルからなる MMEs に加えて、一つのモデルにおいて不確実パラメータを変化させることによって作成した SMEs も含めた解析を行った。この解析によると、我々が解析した様々な気候変数に関して、MMEs は概して信頼性が高く、むしろ分散が大きすぎる傾向があることが分かった。一方、SMEs では、用いるモデルや変数によって信頼性が異なることが分かった。地表面気温やその歴史的なトレンド、あるいは降水量などは、SMEs においても信頼性が高い一方で、海面気圧や大気上端での晴天大気放射などは、信頼性が低く、モデルアンサンブルは十分な分散を持たなかった。この結果は SMEs において普遍的な結果なのか、あるいは我々が用いたアンサンブルでのパラメータの選び方に依存しているかは、現時点ではあきらかにすることができないが、このよ

うにアンサンブルの分散が非常に小さいということは、将来予測を行う上で大きな問題である。このため、気候モデルアンサンブルを構築する際には、文献^{3), 4)}で行ったような解析を行うことが重要である。

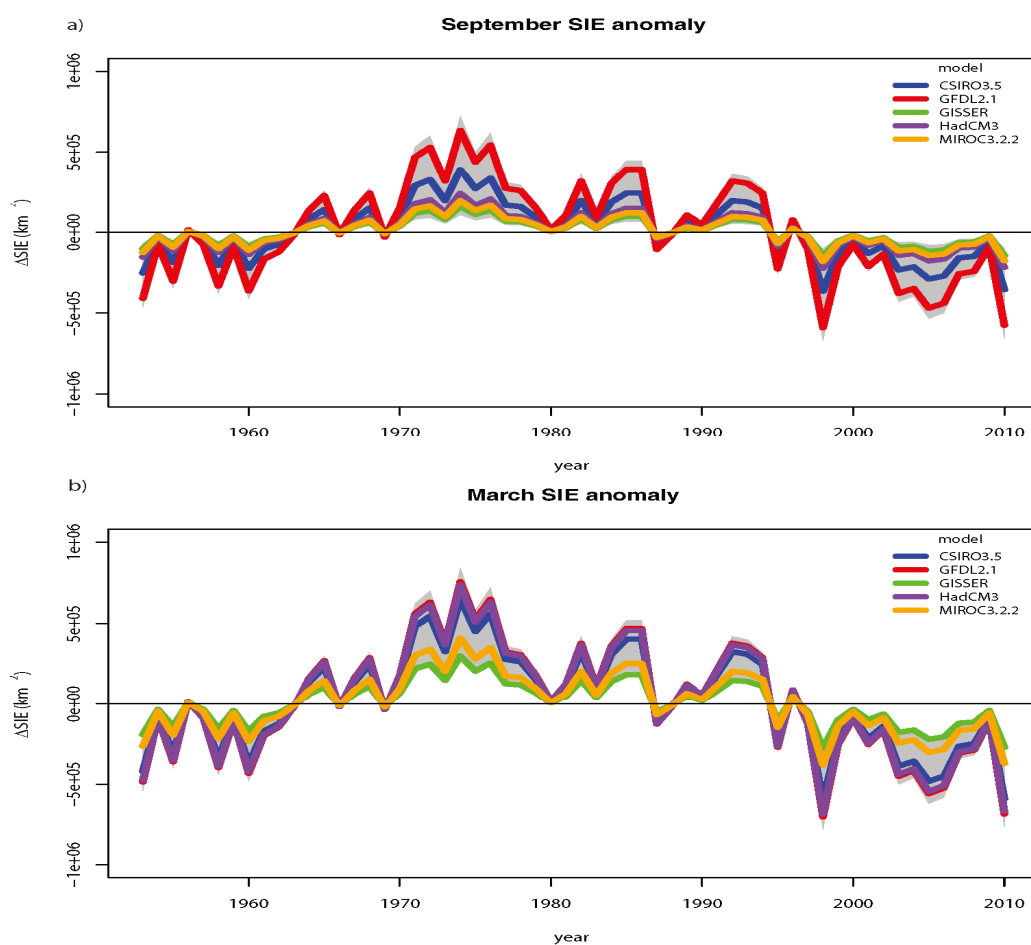


図(2)-3 様々な気候変数を用いた順位頻度分布の結果。大気海洋結合モデルによるCMIP3アンサンブル (CMIP3-AO)、大気混合層結合モデルによるアンサンブル (CMIP3-AS)、大気海洋結合モデルによるハドレーセンターのアンサンブル (HadCM3-AO)、大気海洋混合層結合モデルによるアンサンブル (HadSM3-AS)、日本グループのアンサンブル (MIROC-AS)、米国気象局によるアンサンブル (NCAR-A)。気候変数は、地表気温 (赤実線)、20世紀の地表気温線形トレンド (赤破線)、降水量 (青)、海面気圧 (緑)、大気上端短波放射、雲放射強制力、晴天大気 (黄色実線、点線、破線)、大気上端長波放射、雲放射強制力、晴天大気 (水色実線、点線、破線)。

(4) 北極域の海氷減少に関する気候モデル評価

AO指標と海氷域に関しては、観測および5つのうち3つのモデルで、有意な相関がみられなかった。さらに、仮に相関解析で有意な関係がみられるとしても、観測期間 (58年) は十分な長さでないことが分かった。しかしながら気候モデルにおける海氷域の表現が現実的でないために、海氷域が大気におよぼす応答が現れず、このような結果が得られている可能性もある。また、従

来の研究と整合的に、AMO 指標と海氷域は、5つのモデルで有意な相関がみられなかった。一方、1979-2010年において10.1%の海氷減少が観測されているが、このうち0.5-3.1%はAMOの自然変動によってもたらされていることが分かった(図(2)-4)。しかしながら、モデルにおける自然変動だけでは、観測された海氷の減少を説明できない。AMOCと海氷域の相関は一つのモデルの9月をのぞいて、5モデルで整合的な結果が得られた。しかしながら、AMOCと海氷域の相関を最大化する月はモデルによって異なっており、またAMOCは長期の観測データが存在しないことから、AMOCの自然変動が海氷域減少に対して果たす役割に関しては議論することができない。



図(2)-4 1953-2010年の9月(a)と3月(b)における海氷域変化(Δ SIE)のうち、AMO指標によるもの。CMIP3アンサンブルから選んだ5つのモデルにおける海氷域変化とAMOの関係を利用した。不確実性を考慮した場合の Δ SIEの幅を灰色で示した。図中のそれぞれの線は、異なる気候モデルの結果を示す。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究で得られた成果は国際的な研究の動向に大きな影響を与えた。下記7. (1) で示したように、国際的な査読誌に論文を掲載し、このうちいくつかの論文がIPCC第5次評価報告書において引用される予定である(第1次ドラフト)。主たる成果は、CMIP3アンサンブルを利用することに理論的な根拠を与えたことである。これまでの研究では、CMIP3アンサンブルは信頼性が低いという考えが理論的な根拠なく受け入れられてきたが、本研究の結果はこれを覆し、気候モデルの信頼性に根拠を与えるものである。

(2) 環境政策への貢献

我々の研究は、環境政策を発展させる際に、気候モデルを利用することを(少なくとも全球スケールの現象に関しては)支持するものである。しかしながら、本研究の結果は地域スケールの現象に関しては、気候モデルの性能が十分でないことを示した。例えば北極海の海氷減少のような現象に関しては、気候モデルの結果がすぐに役立つものではないことを明らかにした。このため、気候モデルにおいて性能を高める必要がある点を明らかにすることにより、今後の重要なモデル開発の研究課題を提示することができた。

6. 国際共同研究等の状況

Forster らの研究⁷⁾では、全球地表気温変化が及ぼす影響についての解析に関して、米国、英国、オーストラリアの研究者との国際共同研究を行った。また Yokohata らの研究⁴⁾では、英国、米国の研究グループの気候モデルアンサンブルの性能を、日本のグループの気候モデルアンサンブルの性能と比較することを通して、これらのグループとの共同研究を行った。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Abe, M., H. Shiogama, J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Nozawa and S. Emori (2009): Correlation between inter-model similarities in spatial pattern for present and projected future mean climate, SOLA, 5, 133-136, doi:10.2151/sola.2009-034.
- 2) Annan, J. D. (2010): Bayesian approaches to detection and attribution. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. vol. 1 (4) pp. 486-489.
- 3) Annan, J. D. and J. C. Hargreaves (2010): Reliability of the CMIP3 ensemble. Geophys. Res. Lett., vol. 37 (2) pp. L02703.
- 4) Annan, J. D. and J. C. Hargreaves (2011): On the generation and interpretation of probabilistic estimates of climate sensitivity. Climatic Change, vol. 104 (3-4) pp. 423-436.
- 5) Annan, J. D., J. C. Hargreaves and K. Tachiiri (2011): On the observational assessment of climate model performance. Geophys. Res. Lett. vol. 38 (24) pp. L24702.
- 6) Das L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, S. Emori (2011): Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural?. Atmosph. Sci. Lett. vol. 12(4), pp. 362- 367.

- 7) Das L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, S. Emori (2012): Improvements over three generations of climate model simulations foreastern India. *Clim. Res.* vol. 51 (3) , pp. 201-216.
- 8) Foster, G., J. D. Annan, P. D. Jones, M. E. Mann, B. Mullan, J. Renwick, J. Salinger, G. A. Schmidt, and K. E. Trenberth (2010): Comment on “Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature” by J. D. McLean, C. R. de Freitas, and R. M. Carter. *J. Geophys. Res.* vol. 115 (D9) pp. D09110.
- 9) Hargreaves, J. C. (2010): Skill and uncertainty in climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 1, Issue 4, pp. 556- 564.
- 10) Yokohata, T., J. D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, M. Tobis, M. J. Webb and J. C. Hargreaves (2011): Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles. *Clim Dyn*, DOI: 10.1007/s00382-011-1203-1.

<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）

- 1) 阿部学, 塩竈秀夫, J. D. Annan, J. C. Hargreaves, 野沢徹, 江守正多: パーフェクトモデルテストによる気候変化予測と現在気候再現性の関係の評価とその応用. 日本気象学会2008年秋季大会, 仙台, 2008年11月.
- 2) Abe, M., H. Shiogama, J.C. Hargreaves, J.D. Annan, T. Nozawa, S. Emori: Investigation of relations between inter-model similarities for present and projected future mean climate. *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, April 2009.
- 3) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, and S. Emori: AR4 Climate models evaluation: Effect of topography in a sub-regional/local scale. *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, April 2009.
- 4) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, S. Emori: Assessment of climate model performance from three generations IPCC assessment reports, on the sub-regional scale. *American Geophysical Union Fall meeting*, San Francisco, USA, December 2009.
- 5) 横島徳太, J. D. Annan, J. C. Hargreaves, M. Collins, C. Jackson: 気候モデルアンサンブルの評価. 日本気象学会2010年春季大会, 東京, 2010年5月.
- 6) Annan, J. D. and J. C. Hargreaves : Understanding and Interpreting Climate Model Ensembles. *American Geophysical Union Fall meeting*, San Francisco, USA, December 2010.
- 7) Yokohata, T., J. D. Annan, J. C. Hargreaves, C. J. Jackson, M. Tobis, M. Collins: Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles. *American Geophysical Union Fall meeting*, San Francisco, USA, December 2010.

- 8) Annan, J. D. and J. C. Hargreaves: Understanding and Interpreting Climate Model Ensembles. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, April 2011.
- 9) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves and S. Emori: Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural?. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, April 2011.
- 10) 横島徳太, J. D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, M. Tobis, M. Webb, J. C. Hargreaves: 気候モデルアンサンブルの多様性と信頼性. 日本気象学会2011年秋季大会, 名古屋, 2011年11月.
- 11) Day, J., J.C. Hargreaves, J. D Annan: Climate variability and Arctic sea ice extent in coupled climate models. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2011.
- 12) Annan, J.D., J.C. Hargreaves : Ensemble performance, model independence and observational constraints (Invited). American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2011.
- 13) Yokohata, T., J.D. Annan, M. Collins, C. Jackson, M. Tobis, M. Webb, J. C. Hargreaves: Importance of structural diversity of climate model ensembles. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2011.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) International Workshop on Climate Risk Assessment（2008年2月12日－13日、横浜シエラトン、観客50名程度）

(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

- 1) Annan J. D. and J. C. Hargreaves (2010): Reliability of the CMIP3 ensemble. Geophys. Res. Lett, vol. 37 (2) pp. L02703.
- 2) Das, L., J. D. Annan, J. C. Hargreaves and S. Emori (2011): Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural?. Atmosph. Sci. Lett. Vol 12(4), pp. 362- 367.
- 3) Hargreaves, J. C (2010) : Skill and uncertainty in climate models. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, Vol 1, Issue 4, pp. 556- 564.

- 4) Yokohata, T., J. D. Annan, M. Collins, C. S. Jackson, M. Tobis, M. J. Webb and J. C. Hargreaves (2011) : Reliability of multi-model and structurally different single-model ensembles. *Clim Dyn*, pp. 1-18.
- 5) Day, J., J. D. Annan, and J. C. Hargreaves (2012): Sources of multi-decadal variability in Arctic sea-ice extent, submitted to *GRL*.
- 6) Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, Lebedeff, R. Ruedy, G. Russell, and P. Stone (1988) : Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *J. Geophys. Res.*, 93, 9341-9364.
- 7) Foster, G., J. D. Annan, P. D. Jones, M. E. Mann, B. Mullan, J. Renwick, J. Salinger, G. A. Schmidt, and K. E. Trenberth (2010) : Comment on "Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature" by J. D. McLean, C. R. de Freitas, and R. M. Carter. *J. Geophys. Res.* vol. 115 (D9) pp. D09110.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(3) 気候変動シナリオに基づく水文・水資源の未来像の描出

東京大学生産技術研究所

沖 大幹

<研究協力者>

東京大学生産技術研究所

芳村 圭 (H19～20のみ)

瀬戸心太 (H20～21のみ)

木口雅司

平成19～23年度累計予算額：69,420千円

(うち、平成23年度予算額：14,820千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】本研究では、水文・水資源分野における全球規模・長期の確率的影響シナリオを構築するとともに、他課題や既存の知見も併せて用いて、当該分野の影響における気候未来像を描出することを目的とする。我々は、(1)温暖化・寒冷化の両側面からみた電力需要および健康に対する影響評価、(2)低水流量を用いた水力発電ポテンシャルの検討、(3)不確実性を考慮した水需要量の推定と水ストレスの表現手法の検討、について重点的に研究を実施した。(1)日本における電力需要と死亡率の推定を実施し、寒冷化と温暖化の両側面から見た影響評価を行い、日頃問題視されている温暖化が起こった場合でも好影響を与える項目があることや、寒冷化の影響が地域によって異なることが分かった。地球温暖化は気温上昇が問題なのではなく、急激な変動への適応力が問題となると考えられる。(2)水力発電に必要な流量の季節変動は温暖化に伴い大きくなり、低水流量が将来小さくなる地域では、年間流量が増加しても低水流量の減少により水力発電ポテンシャルは小さくなることが分かった。(3)水利用と人口増加が新たに高い水ストレスに曝される人口の増加に寄与しており、気候変動による寄与は小さく社会経済シナリオによる寄与が大きいといえることが分かった。水ストレスの表現手法の検討としては、21世紀終わり(SRESシナリオA1)には、人が住む多くの地域で水需要は10%以上増加するが、1年間に利用可能な水資源量も人が住む多くの地域で10%以上増加する。その一方で水需要の増大に対して水資源量が追い付かない地域に住む人口は4億人弱と推定され、供給量の増加分を有効利用して需要の増大に応えられるかどうかは、その国や地域の水の有効利用技術や水資源の最適な分配手法の開発、あるいは国や地域間の協力といった、我々人類の適応能力にかかっていることが示唆された。

【キーワード】気候変動シナリオ、水ストレス、水力発電ポテンシャル、低水流量、健康影響

1. はじめに

将来の気候変動及びその影響を予測することは、三つの点で重要である。第一に、気候安定化

ないしは気候変動緩和の目標設定における判断材料となること、第二に、気候変動緩和に向けて社会が取り組むための動機づけになること、第三に、気候変動に対して社会が適応策を講じる際の判断材料となることである。しかし、現時点では、国内外の各種意思決定主体や国民各層に対して、最大限利用可能な予測情報が十分に届いているとは言い難い状況にある。この状況を改善するため、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）などにおける国際的な議論によれば、不確実性の定量化等を通じて予測の信頼性を明らかにすること、および気候変動予測と影響評価の連携を密にすることが重要な課題となりつつあるが、国内の研究においてはこれらの点でいまだ十分な取り組みがなされていない。また、気候変動予測情報を各種意思決定主体や国民各層に効率的に伝達することは、政府が気候変動の緩和及び適応施策を推進する上で極めて重要である。

以上の問題意識から、本研究では、水文・水資源分野における全球規模・長期の確率的影響シナリオを構築するとともに、他課題や既存の知見を併せて用いて、当該分野の影響における気候未来像を描出することを目的とする。

2. 研究開発目的

(1) 温暖化・寒冷化の両側面からみた電力需要および健康に対する影響評価

温暖化影響評価の相対化のため、最終氷期（2.1万年前）シミュレーションを用いた影響評価を行う。寒冷化時に、健康影響の指標の一つとして、65歳以上の死亡率がどう変化するか、エネルギー需要の指標の一つとして、電力需要がどう変化するか、を日本の主要都市で調べ、水資源に関しては流出量が全球でどう変化し、各地の水ストレスがどのようになるかを検討した。

(2) 低水流量を用いた水力発電ポテンシャルの検討

電力は今後の経済発展を支えていく重要なファクターであり、電力供給の選択は社会経済的な影響を踏まえて行われるべきである。現在、世界における電力の供給は主に石炭が担っているが、68か国では総発電量の50%以上を水力に頼っており、そのうち22か国では総発電量の実に90%以上も依存している。さらに環境への配慮から再生可能エネルギーとして水力発電への期待は大きい。そこで水力発電ポテンシャルに対する気候変動影響評価を、気候モデルの不確実性を考慮して実施した。

(3) 不確実性を考慮した水需要量の推定と水ストレスの表現手法の検討

将来の地球温暖化による水文・水資源への影響を評価するために用いる降水量変化の予測は、気温変化の予測と並んで重要な要素であるにもかかわらず、その降水量がどれだけ変動するかについて大きな不確実性が存在する。また、一つの気候モデルを用いて気候変化を予測する際に用いる排出シナリオの不確実性や、そもそもモデルが持つ内部プロセスの不確実性も大きな要素である。そうした不確実性を考慮して、水資源アセスメントと気候変動による水資源への影響評価を行うことが目的である。

3. 研究開発方法

(1) 温暖化・寒冷化の両側面からみた電力需要および健康に対する影響評価

気候変動後の65歳以上の死亡率変化の推定のため、まず日最高気温と死亡率の相関の推定を実

施した。65歳以上の年齢階級は、外部環境に対する健康状態の感応度が高く、就労人口が少ないことによる暦や曜日による行動差の小さいことから、気温との関係を探るのに適している。自動車事故死亡数や経年変動を取り除いた補正死亡率を求め、さらに日最高気温を用いて回帰式を求めた。また既往研究より、外気温と死亡率との関係にタイムラグがあるとされており、東京のデータを用いて遅延相関解析を行った。温暖化・寒冷化時の日最高気温データは、排出に関する特別報告書(SRES)シナリオのA1BとB1におけるHadCM3モデルとECHAM5モデル、それと東大気候システム研究センター(CCSR)による寒冷化シミュレーションの結果に対して、現在気候データを用いてそれぞれバイアス補正を行って整備した。これらを用いて、温暖化時及び寒冷化時の死亡率を推定した。

気候変動時の電力需要変化の推定は、経年変化の補正を行った電灯合計、電力計、販売電力合計と、気温の相関を作成し、気候変動時の気温データから、実施した。

流出量と水ストレスの算出は、寒冷化シミュレーションから得られる流出と温暖化シミュレーションから得られる気温などの要素を用いて陸面過程モデルMATSIRO(Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff)を走らせて得られた流出を、河川モデルTRIPに入力し、流量を求めた。その流量と人口データを用いて、水ストレスを算出した。

(2) 低水流量を用いた水力発電ポテンシャルの検討

SRESシナリオ(A1B、A2、B1)に沿った複数の気候モデル(NCAR_CCSM3.0、CCSR_MIROC3.2、MRI_CGCM2.3.2、MPI_ECHAM5、UKMO_HadCM3)における流出の将来予測量をバイアス補正し、その流出から河川モデルTRIP2を用いて河川流量を算出する。一方、現在気候の河川流量は、全球土壌水分プロジェクト第二期(GSWP2)のマルチモデルアンサンブルによる流出とTRIP2を用いて算出する。算出された河川流量から理論的な水力発電ポテンシャルを求める。

さらに、低水流量の変化、特に減少は、水力発電の実施において大きな影響を与える。そこで、高水流量と低水流量の変化から、気候区ごとの影響を評価する。

(3) 不確実性を考慮した水需要量の推定と水ストレスの表現手法の検討

第三次結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP3)の気候モデル結果データベースから取得した6つの気候モデル出力結果から、SRESシナリオA1B、A2、B1に沿った流出とGSWP2の流出を準備し、河川モデルTRIPを用いて河川流量を算出した。主要な水需要量として農業用水、工業用水、生活用水を統計的手法に基づき算出した。これらを用いて水ストレス指標(水需要量(W(生活用水(D)+工業用水(I)+農業用水(A)))/総水資源量(Q))が求められた。本研究では、高い水ストレス状態とは、 $W/Q > 0.4$ をいい、高い水ストレスに曝される人口を推定した。

さらに、人口、水需要量、総水資源量の変化による影響を明らかにするために、各要素を現在と一定にした場合の高い水ストレスに曝される人口を求め、上記との差からそれぞれの寄与率を算出した。

水ストレスの表現手法は、未来像の描出に大きく影響するため、新たな表現手法を検討した。

4. 結果及び考察

(1) 温暖化・寒冷化の両側面からみた電力需要および健康に対する影響評価

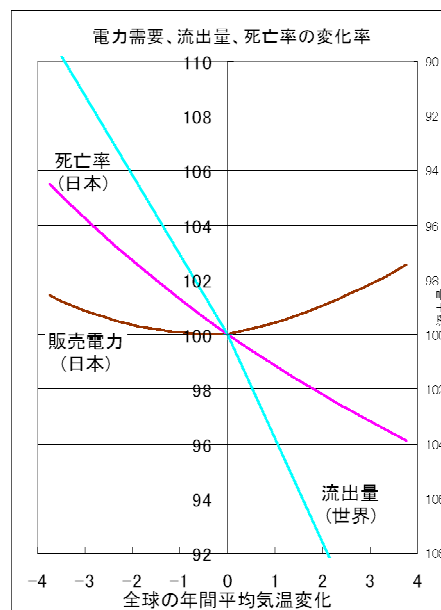
東京の65歳以上の男性データを用いた遅延相関解析の結果、最も決定係数の値が大きくなったのは、1～8日前までの7日間移動平均の日最高気温であった。65歳以上の死亡率と温度との相関はそれほど良くなかったが、遅延相関解析より、死亡率が気温以外の季節依存の要因ではなく気温の影響を受けていると考えられる。

推定された寒冷化時の死亡率については、解析を行った全都道府県で男女ともに死亡率が増加した。一方、温暖化時では男女ともに死亡率は減少した。現在の死亡率を基準に標準化すると、寒冷化時は男女とも2～10%増加し、温暖化時は男女とも2～6%減少した。北海道は暖房設備の充実のため寒冷化しても死亡率の変化は小さく、また温暖化しても年平均気温が至適温度に近づくため極小値に近づく。一方、沖縄は寒冷化によって死亡率の上昇が見られ、日本国内において地域差があることが明らかになった。

全球の年平均気温変化に対する全国の販売電力計の変化率は、日本全体では現在が最も少ないことが分かった。

さらに寒冷化時の水資源量の変化が水ストレスへ与える影響について述べる。現在水ストレスの高いアフリカ北部では、水ストレスを受ける範囲が広がっている一方、同じく現在水ストレスの高い中東のうち、イランやアフガニスタン周辺では水ストレスは減少している。これは流出量の変化が大きく影響している。

以上、電力需要、流出量、死亡率における寒冷化の影響評価をまとめたのが図(3)-1である。この図から、急激な変化への適応力が重要であり、温暖化における気温上昇ばかりが問題なのではないということが言える。



図(3)-1 全球年平均気温変化に多雨する死亡率、電力需要、流出量の変化率。

(2) 低水流量を用いた水力発電ポテンシャルの検討

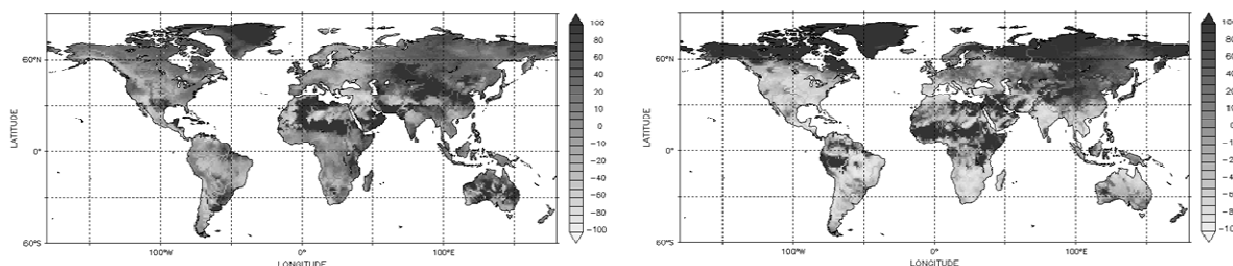
まず現在気候における水力発電ポテンシャルの分布を示し、現在の水力発電量との比から技術効率を求めた。その結果、欧州、北米大陸は55～70%と高い効率を示す一方、途上国を多く含むアジア、アフリカ、南米、オセアニアは5～25%にすぎない。これは、今後技術効率の向上を図ることで、水力発電量を大幅に増加させられることを示している。

将来気候における水力発電ポテンシャルは、世界全体で2050年には4%、2080年には10%の増加が示され、温暖化に伴う降水量の増加によるものと示唆される。一方、地域別では、水力発電ポテンシャルの変化は異なっている。増加するのは、北米のカナダ以北、アフリカ中部、南アジアから中国北部、シベリア、オーストラリア、減少するのは、北米大陸のアメリカ西岸、南米大陸の太平洋岸、ヨーロッパのスペイン周辺であった。すでに水力発電の効率化が進んでいる地域で水力発電ポテンシャルが減少した場合、強い影響を受けると考えられる。

水力発電の発電方法の特性から必要となる季節推移を考慮するため、月単位での評価を実施したところ、どの将来シナリオにおいても季節による河川流量の差が大きくなることが分かった。将来の極端に少ない河川流量（その流量を上回る日数が一年の95%である流量、以降Q95と呼ぶ）を調べた結果、多くの地域でQ95が小さくなることが分かった。このことは、年ベースでは流量が

足りていると判断されても低水流量が極端に小さくなるが増加することで、水力発電を行うことが可能な期間が減少することが示唆される。

そこで、SRESシナリオA1Bにおける日単位の大気海洋結合モデルMIROC(Model for Interdisciplinary Research on Climate)を用いた河川流量を求めた結果、多くの河川で乾季の流量の減少と雨季の流量の増加が見られた。現在気候と比較すると(図(3)-2)、北半球の雪が支配的な高緯度地域を除いて高水流量は増加し、低水流量は減少した。また異なる気候区分と流域面積における違いを解析した結果、流量の極端現象は小さい流域面積を持つ河川の方がよりシビアであることが示された。また高水流量も低水流量も冷帯や寒帯では両方とも増加するが、熱帯と温帯では低水流量が減少し、高水流量は増加あるいは変化しないことが明らかになった。



図(3)-2 将来(2071~2100年の平均)における極端な流量の現在(1971~2000年の平均)に対する変化量。単位は%。(左)高水流量(その流量を上回る日数が一年の5%である流量、Q05)、(右)低水流量(Q95)。

(3) 不確実性を考慮した水需要量の推定と水ストレスの表現手法の検討

既往研究より、社会に大きな影響を与える昇温量は2℃である、と言われていたが、実際には各社会経済シナリオの昇温量に大きく依存しており、社会経済的影響の差が最も大きく寄与していることが示された。また、新たに高い水ストレスに曝される人口の分布から、インドや中国といったアジア地域やサハラ周縁部において、水資源がひっ迫し変動成分が大きいことが示された。またシナリオ間の差も大きい。

次に全球スケールで人口、水需要量、総水資源量の寄与率を算出し、横軸を現在からの昇温量として示した。各シナリオとも気候変動による寄与は小さく、新たに高い水ストレスに曝される人口を抑制する。一方、水需要量と人口増加はこの新たに高い水ストレスに曝される人口を増加させることが明らかになった。

水ストレスの表現手法を検討した結果(表(3)-1)、21世紀終わり(SRESシナリオA1)には、人が住む多くの地域で水需要は10%以上増加するが、温暖化に伴って利用可能な水資源量も人が住む多くの地域で10%以上増加する。一方、需要の拡大に対して供給の増加が少ない地域に住む人口は4億人弱と推定され、このことから供給量の増加分を有効に利用して需要の増大に応えられるか

表(3)-1 21世紀終わり(2071~2100年平均)における水需要、供給の増減の影響を受ける人口(SRESシナリオA1)。

需要	供給(流量の変化) A1シナリオ, 2070s				
	-20%	-10%	10%	20%	
	0.43	5.13	347	1,360	6,470
20%	0	0	0.002	0.15	0.12
10%	0	0	0.03	1.45	0.64
-10%	0	0	0	0.04	0.24
-20%	0	0	0.21	20.8	6.73

(単位:百万人)

どうかは、その国や地域の水の有効利用技術（節水・貯留技術など）や水資源の最適な分配手法の開発、あるいは国や地域間の協力といった、我々の適応能力にかかっていることが示唆された。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

本研究によって得られた成果は、次のような科学的意義が挙げられる。（1）温暖化と寒冷化の両側面からみた電力需要および健康に対する影響評価による結果は、気候変動の大きな問題点は社会の適応が間に合わないことであることを示し、地球温暖化は気温上昇が問題の本質ではなく、急激な変化への人間を含むシステムの適応力の問題であることを示唆した。（2）低水流量を用いた水力発電ポテンシャルの検討による結果は、これまでの年流量ではなく日流量を用いる必要性を示唆した。年流量が増加しても低水流量の減少と高水流量の増加が見られ、水力発電の運用面に支障をきたす可能性を示すことができた。（3）不確実性を考慮した水需要量の推定と水ストレスの表現手法の検討による結果は、IPCCの第5次評価報告書(AR5)に向けた新しいシミュレーション結果を用いたマルチモデルによる水資源量の推定および複数の将来シナリオを用いた水利用セクターごとの水利用量が推定された。また、これらを用いた水ストレスの表現手法の検討結果から、高い水ストレスは偏在しており、供給量の増加分を有効に利用して需要の増大に応えられるかどうかは、その国や地域の水の有効利用技術（節水・貯留技術など）や水資源の最適な分配方法の開発、あるいは国や地域間の協力といった、我々人類の適応能力にかかっていることが示された。

（2）環境政策への貢献

「水に関する有識者・実務者検討会」において、水に関する各分野の専門有識者と水行政の各部門実務者により、今後の水と衛生分野における国際的な取り組みがいかにあるべきか、についてまとめられた報告書（2007年12月）作成に貢献した。

外務省の気候変動分野における開発協力を推進するにあたって先進国、開発途上国、国際機関等が共有すべき目標、理念およびそれぞれの立場において実施に移すべき行動について検討するための「環境・気候変動分野の開発協力をに係る有識者会議」において、「気候変動分野における開発協力の基本的考え方 — “Cool Earth” 実現に向けた有識者パネルの提言 —」（2008年3月）作成に貢献した。

さらに、100回以上の「気候変動と水」の普及講演を行い、我々の研究成果の広報と普及に努めた。

6. 国際共同研究等の状況

1980年代の終わりよりタイをはじめとする東南アジア諸国との間に研究活動を通じた連携した活動を行ってきた。2009年度よりカセサート大学を相手国研究代表者としタイ気象局と王立灌漑局を共同研究者とした、地球規模課題対応国際科学技術協力事業「気候変動に対する水分野の適応策立案・実施支援システムの構築」を、沖大幹教授が研究代表者として主導している。タイ国内でもすでに政府が気候変動に関する報告書を作成するなど関心が高まって来ているにもかかわらず、観測モニタリングや温暖化の影響評価などいまだ十分になされていない。そこで、気候変

動の影響を強く受けると指摘されている途上国の中でも、研究基盤もあり東南アジア域での影響力の大きいタイ国での共同研究は、日本のプレゼンスを科学技術によって示すよい機会となるだけでなく、熱帯化されると言われる日本における気候変動の影響を評価する上でも非常に重要な位置づけとなるだろう。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Yoshimura, K., T. Sakimura, T. Oki, S. Kanae, and S. Seto (2008): Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan. *Hydrological Research Letters*, 2, 22-26, doi:10.3178/HRL.2.22.
- 2) Kundzewicz, Z. W., L. J. Mata, N. W. Arnell, P. Döll, B. Jimenez, K. Miller, T. Oki, and Z. Şen (2009): REPLY to “Climate, hydrology and freshwater: towards an interactive incorporation of hydrological experience into climate research” *Water and climate projections*, *Hydrological Sciences Journal*, 54(2), 406-415.
- 3) Pokhrel, Y., N. Hanasahi, S. Koirala, S. Kanae, and T. Oki (2010): Extreme river discharge under present and future climate conditions using high-resolution climate model data, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, 54, 97-102.
- 4) 木口雅司, 沖大幹 (2010): 世界・日本における雨量極値記録, *水文・水資源学会誌*, 23, 231-247.
- 5) 渡部哲史, 鼎信次郎, 沖大幹 (2012): GCM出力値補正手法により生じる月平均気温および月降水量の予測差. *水工学論文集*, 56, I439-I444.
- 6) 鈴木聡, 瀬戸心太, 沖大幹 (2012): CloudSatデータにおける雲粒有効半径と雲頂高度の関係の検証. *水工学論文集*, 56, I379-I384.
- 7) Pokhrel, Y., N. Hanasaki, S. Koirala, J. Cho, P. J.-F. Yeh, H. Kim, S. Kanae, and T. Oki (2012): Incorporating anthropogenic water regulation modules into a land surface model. *J. of Hydrometeorology*, doi:10.1175/JHM-D-11-013.1 in press.

<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) 木口雅司, 沖大幹 (2008): 「気候変動将来推計情報の水文分野での利用促進シンポジウム」の報告, *水文・水資源学会誌*, 21, 325-326.
- 2) 渡部哲史, 瀧本浩史, 仲吉信人, 大泉伝, 小槻峻司, 峠嘉哉 (2011): 水文水資源学会 水文学若手会 活動報告書2011: 若手会参加者の災害対策に対する問題意識と提案. *水文水資源学会誌*, 24, 300-306.
- 3) 中村晋一郎, 内海信幸, 渡部哲史, 梯滋郎, 沖大幹 (2012): 平成23年7月新潟・福島豪雨に

よる信濃川下流域での出水と被害の特徴. 水文水資源学会誌, 25, 113-121.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Kiguchi, M., Y. Yamane, N. Eguchi, F. Murata, T. Terao, T. Hayashi and S. Karmakar: The rainfall phenomena during the pre-monsoon period over the northeastern part of Indian subcontinent in 2007. 2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., December 2007.
- 2) Eguchi, N., M. Kiguchi, F. Murata, Y. Yamane, T. Terao, T. Hayashi and S. Karmakar: Upper tropospheric water vapor variation over Asian monsoon during northern summer 2007. 2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., December 2007.
- 3) Watanabe, Y., H. Matsuoka, S. Sakai, J. Ueda, M. Yamada, S. Ohsawa, M. Kiguchi, T. Satomura, S. Nakai, B. Brahmantyo, K. A. Maryunani, T. Tagami, K. Takemura and S. Yoden: Comparison of meteorological data and stable isotope time series from an Indonesian stalagmite. 2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., December 2007.
- 4) 山根悠介, 林泰一, 木口雅司, 江口菜穂: バングラデシュにおけるプレモンスーン期シビアローカルストーム発生日の総観場について. 日本気象学会2008年度春季大会, 横浜, 2008年5月.
- 5) Watanabe, Y., H. Matsuoka, S. Sakai, J. Ueda, M. Yamada, S. Ohsawa, M. Kiguchi, T. Satomura, S. Nakai, B. Brahmantyo, K. A. Maryunani, T. Tagami, K. Takemura and S. Yoden: Rainfall fluctuation recorded in a stalagmite from West Java, Indonesia. 日本地球惑星科学連合2008年大会, 千葉, 2008年5月.
- 6) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae and T. Oki: Water-stressed population over Asian monsoon region estimated by world water resources under SRES scenarios. 4th Conference of the Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resoueces (APHW), Beijing, China, November 2008.
- 7) 山根悠介, 林泰一, 木口雅司, 江口菜穂: バングラデシュのプレモンスーン期シビアローカルストーム発生日における南アジア域での環境パラメータの空間分布について. 日本気象学会2008年度秋季大会, 仙台, 2008年11月.
- 8) 木口雅司, 山根悠介, 江口菜穂, 林泰一, 沖大幹: インド・アッサム域からバングラデシュにおけるプレモンスーン降水とSRES下における年流出量と水使用量から見積もられた将来水ストレス人口. 共同研究集会 京都大学防災研究所+生存圏研究所+東南アジア研究所+生存基盤科学研究ユニット「気象災害軽減など人間活動の持続可能性に関する研究集会-南アジア地域を中心として-」, 宇治, 2009年1月.
- 9) 村田文絵, 寺尾徹, 山根悠介, 木口雅司, 林泰一: メガラヤ高原の夜雨とシレットの風の関係. 共同研究集会 京都大学防災研究所+生存圏研究所+東南アジア研究所+生存基盤科学研究ユニット「気象災害軽減など人間活動の持続可能性に関する研究集会-南アジア地域を中心として-」, 宇治, 2009年1月.
- 10) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae and T. Oki: High water-stressed population estimated by world water resources assessment including human activities under SRES scenarios.

EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria, April 2009.

- 11) 木口雅司, 沖大幹: 世界・日本における雨量極値記録の再考・検証. 水文・水資源学会2009年度研究発表会, 金沢, 2009年8月.
- 12) Kiguchi, M., Y. Yamane, N. Eguchi, T. Hayashi, and T. Oki: The moisture variability during pre-monsoon over Bangladesh. 5th European Conference on Severe Storms, Landshut, Germany, October 2009.
- 13) 村田文絵, 寺尾徹, 山根悠介, 木口雅司, 林泰一, A. HABIB: ダッカにおける大気安定度の季節変化. 日本気象学会2009年度秋季大会, 福岡, 2009年11月.
- 14) 林泰一, 寺尾徹, 村田文絵, 木口雅司, 山根悠介, 橋爪真弘, Md. N. ISLAM, A. HABIB: インド亜大陸北東部, アッサム, メガラヤ, バングラデシュにおける気象・気候と人間活動に関する研究の進展. 日本気象学会2009年度秋季大会, 福岡, 2009年11月.
- 15) 木口雅司, 山根悠介, 村田文絵, 寺尾徹, 林泰一, 沖大幹: インド東北部・バングラデシュにおける2009年1~7月の降水現象. 日本気象学会2009年度秋季大会, 福岡, 2009年11月.
- 16) 津島俊介, 林泰一, 山根悠介, 寺尾徹, 村田文絵, 木口雅司: バングラデシュにおける夏季モンスーン期の雲システムの季節内変動. 第135回生存圏シンポジウム第5回国際研究集会「南アジアの気象環境と人間活動に関する研究集会」, 京都, 2010年1月.
- 17) 山根悠介, 林泰一, 木口雅司, A. M. DEWAN, Y. AREFIN, T. RAHMAN: バングラデシュにおける竜巻被害についての現地調査報告. 第135回生存圏シンポジウム第5回国際研究集会「南アジアの気象環境と人間活動に関する研究集会」, 京都, 2010年1月.
- 18) 木口雅司: バングラデシュからインド東北部におけるプレモンスーン降水の気候学的考察. 第135回生存圏シンポジウム第5回国際研究集会「南アジアの気象環境と人間活動に関する研究集会」, 京都, 2010年1月.
- 19) Kiguchi, M., and T. Oki: Point precipitation observation extremes in the world and Japan. EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria, May 2010.
- 20) 康アルム, 林泰一, 寺尾徹, 村田文絵, 木口雅司, 山根悠介: インド亜大陸北東部における2007年と2008年の降水の比較. 日本気象学会2010年度春季大会, 東京, 2010年5月.
- 21) Hayashi, T., T. Terao, F. Murata, M. Kiguchi, Y. Yamane, A. K. Bhagabati, P. Bhattacharya, S. Singh, L. Cajee, A. Habib, J. Matsumoto, and H. Syemlihe: Rainfall observation with highly temporal and spatial density in the northern region of Indian subcontinent. 7th Annual Meeting AOGS (Asia Oceania Geosciences Society), Hyderabad, India, July 2010.
- 22) Hayashi, T., Y. Yamane, M. Kiguchi, F. Murata, T. Terao, N. Islam, A. Dewan, and F. Aktar: Heavy rainfall and severe local storm in the northeastern Indian subcontinent. 7th Annual Meeting AOGS (Asia Oceania Geosciences Society), Hyderabad, India, July 2010.
- 23) 寺尾徹, 村田文絵, 高橋宏児, 一柳錦平, 木口雅司, 福島あずさ, 林泰一: バングラデシュ北東部メガラヤ山脈南縁豪雨地帯における高層気象観測. 日本気象学会2010年度秋季大会, 京都テルサ, 京都, 2010年10月.
- 24) 村田文絵, 寺尾徹, 木口雅司, 福島あずさ, 高橋宏児, 林泰一, A. Habib, Md. S. H. Bhuiyan, S. A. Choudhury: チェラプンジにおける降水過程に関する研究 (第5報). 日本気象学会2010年度秋季大会, 京都, 2010年10月.

- 25) Kiguchi, M., Y. Shen, S. Kanae, and T. Oki: High water-stressed population estimated by global water resource assessment including the human activities under SRES scenarios. IGU Commission Seminar on Land use, Biodiversity and Climate Change, Cotton College, Guwahati, India, December 2010.
- 26) Hayashi, T., A. Teshima, Y. Wagatsuma, M. Hashizume, T. Terao, F. Murata, Y. Yamane, M. Kiguchi, and A. S. G. Faruque: Impact of meteorological components on diarrhea diseases in Bangladesh. 91st AMS (American Meteorological Society) Annual Meeting, Seattle, WA, U.S.A., January 2011.
- 27) 寺尾徹, 村田文絵, 高橋宏児, 木口雅司, 福島あずさ, A. Habib, Md. S. H. Bhuiyan, S. A. Choudhury, S. DAS, 林泰一: 南アジアにおける高層気象観測プロジェクト. 第165回生存圏シンポジウム第6回国際研究集会「南アジアの自然環境と人間活動に関する研究集会 –インド亜大陸北東部, アッサム, メガラヤ, バングラデシュの自然災害と人間活動–」, 京都, 2011年2月.
- 28) 村田文絵, 林泰一, 寺尾徹, 木口雅司, 山根悠介: アッサム・メガラヤ, バングラデシュの雨量計ネットワークについて. 第165回生存圏シンポジウム第6回国際研究集会「南アジアの自然環境と人間活動に関する研究集会 –インド亜大陸北東部, アッサム, メガラヤ, バングラデシュの自然災害と人間活動–」, 京都, 2011年2月.
- 29) 松本淳, 久保田尚之, 赤坂郁美, 遠藤伸彦, 浜田純一, 増田耕一, 財城真寿美, 山中大学, 森修一, 上米良秀行, 林泰一, 寺尾徹, 村田文絵, 木口雅司, 山根悠介, 平野淳平: アジアモンスーン域における降水量の長期変動に関するデータとデータレスキュー. 日本地球惑星科学連合2011年大会, 千葉, 2011年5月.
- 30) 松本淳, 遠藤伸彦, 浜田純一, 久保田尚之, 赤坂郁美, 上米良秀行, 増田耕一, 山中大学, 森修一, 林泰一, 寺尾徹, 村田文絵, 木口雅司, 山根悠介, 財城真寿美, 平野淳平: アジアモンスーン域における降水量・降雨特性の長期変動. 日本地球惑星科学連合2011年大会, 千葉, 2011年5月.
- 31) Suzuki, S., S. Seto, and T. Oki: Relationship Between Cloud Droplet Effective Radius and Cloud Top Height for Deep Convective Clouds in CloudSat Data Product. 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, Canada, July 2011.
- 32) 渡部哲史, 鼎信次郎, 沖大幹: 水資源管理分野における気候変動影響評価研究のためバイアス補正手法の開発. 第2回極端気象現象とその影響評価に関する研究集会, 京都, 2011年9月.
- 33) 村田文絵, 寺尾徹, 林泰一, 山根悠介, 木口雅司, A. Habib, Md. S. H. Bhuiyan, and S. A. Choudhury: バングラデシュにおいて2011年5月11日に観測されたスコールライン. 日本気象学会2011年度秋季大会, 名古屋, 2011年11月.
- 34) 木口雅司, 中村晋一郎, 小森大輔, 沖一雄, 沖大幹: タイ洪水とモンスーンの環境場について. 「第7回南アジアにおける自然環境と人間活動に関する研究集会 –インド亜大陸東部・インドシナの自然災害と人間活動–」, 宇治, 2012年2月.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 東大水フォーラム（2007年6月22日、東京大学工学部14号館）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 沖大幹：「地球温暖化で何がおきるか？」，ニュートン，2007年8月，ニュートンプレス.
- 2) 沖大幹：「温暖化・考 水循環に変化が起こる」，日刊建設工業新聞18面，2007年7月30日，日刊建設工業新聞社.
- 3) 沖大幹：「「水危機」への挑戦」，朝日新聞8面，2007年9月4日，朝日新聞社.
- 4) 沖大幹：「「気候変動と水危機」～"千年持続学"から考える～」，建設通信新聞19面，2007年10月5日，日刊建設通信新聞社.
- 5) 沖大幹：「ノーベル賞受賞「平和に科学 不可欠」」，毎日新聞27面，2007年10月13日，毎日新聞社.
- 6) 沖大幹：「ノーベル賞の気候変動パネル」，東京新聞24面，2007年10月17日，中日新聞社東京本社.
- 7) 沖大幹：「降雨パターンの変化に伴う河川流量の変化」，共に生きる都市と農村 豊かな農村空間を未来に P.5，2007年10月，農林水産省.
- 8) 沖大幹：「世界の水問題と日本」，NHK視点・論点，2007年11月29日，日本放送協会.
- 9) 沖大幹：「深刻，水問題」，朝日新聞4面，2008年1月16日，朝日新聞社.
- 10) 沖大幹：「温暖化でコメ収穫量は？」，しんぶん赤旗，2008年2月24日，日本共産党中央委員会.
- 11) 沖大幹：「温暖化、水環境に影響」，岩手日日新聞19面，2008年5月30日，岩手日日新聞社.
- 12) 沖大幹：「テレビの電源切って省エネ」，岩手日報19面，2008年5月30日，岩手日報社.
- 13) 沖大幹：「温暖化が加速する世界の水問題「水資源国・日本の幻想」」，日経エコロジー P.89，2008年3月，日経BP社.
- 14) 沖大幹：「111兆円市場をつかめ，和製水メジャー」，日経ビジネス，2008年6月30日，日経BP社.
- 15) 沖大幹：「気候変動と水災害」，読売新聞，2008年6月30日，読売新聞東京本社.
- 16) 沖大幹：天声人語，朝日新聞1面，2008年7月29日，朝日新聞社.
- 17) 沖大幹：「暮しの「水」に思いをはせて」，朝日新聞32面，2008年10月30日，朝日新聞社.
- 18) 沖大幹：「「世界の水問題」をめぐる日本の動向」，河川，2008年11月，(社)日本河川協会.
- 19) 沖大幹：「「水問題」のブレイクを経て取り組みは実質的・本格的に」，週刊ダイヤモンド，2008年12月24日，ダイヤモンド社.
- 20) 沖大幹：「環境立国 日本の挑戦」，公明新聞6面，2009年1月1日，公明党機関紙局.
- 21) 沖大幹：「世界覆う水不足」，東京新聞9面，2009年1月1日，中日新聞社東京本社.
- 22) 沖大幹：「バーチャルウォーターと世界の水問題」，聖教新聞7面，2009年1月17日，聖教新聞社.
- 23) 沖大幹：「「水」の認識は世界的な視野で」，日本下水道新聞7面，2009年1月30日，日本水道

新聞社.

- 24) 沖大幹：「みんなで節水スタート」，読売新聞27面，2009年2月24日，読売新聞東京本社.
- 25) 沖大幹：「地球温暖化と水災害」，佐賀新聞，2009年5月31日，佐賀新聞社.
- 26) 沖大幹：「日本は水の輸入大国”バーチャルウォーター”という考え方」，朝日新聞18面，2009年6月29日，朝日新聞社.
- 27) 沖大幹：「脱資源浪費社会「途上国の水問題を懸念」」，中国新聞，2009年11月4日，中国新聞社.
- 28) 沖大幹：「地球環境2009「水資源問題に関心を」」，東京新聞，2010年1月30日，中日新聞社東京本社.
- 29) 沖大幹：「温暖化の「常識」に注文 原因不明は古い常識」，東京新聞，2010年3月31日，中日新聞社東京本社.
- 30) 沖大幹：「世界の水問題と解決への取り組み」，日本経済新聞24面，2010年3月31日，日経新聞社.
- 31) 沖大幹：「クールビズの季節に考える」，環境新聞1面，2010年6月9日，環境新聞社.
- 32) 沖大幹：「東山再生フォーラム ～COP10から東山へ～」，中日新聞6面，2010年9月30日，中日新聞社.
- 33) 沖大幹：「世界の水需要に日本も名乗り」，2011年5月9日，週報Weekly.

(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-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(4) 気候変動シナリオに基づく海洋環境・水産業の未来像の描出

北海道大学 大学院地球環境科学研究所

山中 康裕・藤井 賢彦

〈研究協力者〉

(独) 国立環境研究所

山野 博哉

北海道大学 大学院地球環境科学研究所

屋良 由美子・橋岡 豪人・

平田 貴文・中尾 有伸

平成19年度～23年度累計予算額：68,738千円

(うち、平成23年度予算額：12,578千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 本サブテーマでは、気候予測シミュレーションの結果を用いて、地球温暖化や海洋酸性化による沿岸域・外洋域の海洋環境への影響評価及び結果の不確実性の検討を行なった。日本近海(沿岸域)では、サンゴや沿岸性魚種の生息北限や健康度を表す指標を導入し、地球温暖化や海洋酸性化に伴う水温や炭酸イオン濃度の変動による沿岸生態系への潜在的な影響評価を行なった。全球(外洋域)では、海洋生態系モデルを用いて、地球温暖化による水温や海流の変動による海洋低次生態系への影響評価を行なった。地球温暖化に伴う日本近海におけるサンゴ分布北限の高緯度側への移動(以下、「北上」と呼ぶ)や白化に関する影響評価とその結果の不確実性の定量的な検討の精緻化及びモニタリング観測結果との比較を、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書(AR4)のために実施した第3期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3)マルチ気候モデルによる結果を用いて行ない、サンゴに代表される沿岸固着生態系の生息域やトラフグ等の重要漁業対象種の養殖域の将来予測とその不確実性を温暖化トレンドと10年規模の気候変動成分に分類した世界で初めての定量的な評価を得た。また、人為的な大気CO₂濃度の増加に伴う水温上昇と炭酸イオン濃度の低下がもたらす、地球温暖化と海洋酸性化の複合効果がサンゴの生息域に及ぼす影響評価を行ない、サンゴの生息域の将来予測を行なう上で、地球温暖化に伴う水温上昇と海洋酸性化によるサンゴの骨格形成や初期発生の障害の両方の効果を併せて考慮していく必要があることを明示した。さらに、本課題で開発した海洋生態系モデルを含む、国際海洋生態系モデル相互比較研究計画(MAREMIP)に参画しているいくつかのモデルの相互比較、及び衛星データとの相互比較を通じてプランクトングループを含めた解析等を行ない、主成分分析や2次元ウェーブレット画像解析を含めた異なる比較方法を用いて、海洋生態系モデルの不確実性を多面的に解析した。

【キーワード】 地球温暖化、海洋酸性化、海洋生態系、影響評価、不確実性

1. はじめに

本サブテーマでは、気候予測シミュレーションの結果を用いて、地球温暖化や海洋酸性化による沿岸域・外洋域の海洋環境への潜在的な影響評価を行なった。

沿岸域では、サンゴの分布北限や白化に関する指標を導入し、地球温暖化に伴う水温の変動による沿岸生態系への影響評価を行なった。加えて、本課題で構築した海洋生態系モデルを用いて、地球温暖化による全球的な海洋栄養塩濃度や海洋低次生態系(植物プランクトン・動物プランクトン)への影響評価を行なった。具体的には、

- IPCC第4次評価報告書(AR4)のために実施された第3次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3)マルチ気候モデルによって予測された結果を用いた、日本近海におけるサンゴの北上や白化に関する影響評価
- 以上のシミュレーション結果の再現性の検討に必要なモニタリング・データベースの作成
- 国際共同研究を通じた、複数の海洋生態系モデルの相互比較による全球的な海洋低次生態系の生物量や生産量に関する、不確実性の検討を含む影響評価
- 高解像度気候予測シミュレーションの結果を用いた詳細な影響評価、および経年変動、10年スケール変動、或いは温暖化トレンドといった気候予測モデルの時空間解像度の違いによる評価結果の相違の定量的検討
- CMIP3マルチ気候モデルの不確実性を考慮したサンゴの北上や白化に関する影響評価
- 日本近海の沿岸性魚種の資源量の影響評価を行なった。

2. 研究開発目的

日本近海(沿岸域)は世界の海の中でも極めて生物多様性が高い一方で、地球温暖化に伴う過去の水温上昇幅が大きく、よって温暖化に対する感受性が高いことがこれまでの観測結果により報告されている。特に、亜熱帯域に生息する造礁サンゴが、高水温環境下で共生藻を失うことによって起こる「白化」は近年、日本近海で度々観測されるようになった。将来の地球温暖化による水温上昇に伴って、サンゴの白化の頻度や範囲がさらに拡大するという、気候モデルによって予測された海面水温(SST)を用いたサンゴへの影響評価は、IPCC第4次評価報告書でも報告されている。しかし、気候モデルによって予測されたSSTには、自然変動(10年スケール変動や年々変動など)の不確実性、モデルや温室効果ガスの排出シナリオの違いに起因する不確実性が含まれており、過去の研究において、それらの不確実性を定量的に区別して行なった影響評価の例は存在しなかった。また、将来の水温上昇に伴うサンゴ生息域の北上を定量的に予測し、その対象海域の実際のモニタリングデータとの比較を詳細に行なった研究例は極めて少ない。このことに鑑み、本研究ではCMIP3マルチ気候モデルによって予測された結果を用いた沿岸海洋生態系の詳細な影響評価と、そのシミュレーション結果に内在する不確実性の検討を行なうこととした。

全球的には、地球温暖化による冬季混合層深度の浅化による下層からの栄養塩供給の減少に伴い、植物プランクトンによる一次生産量の減少や生物量などの減少が懸念されている。高解像度気候予測シミュレーションの結果を用いて、海洋低次生態系の生物量や生産量などの海洋環境の影響評価を行うとともに、それらを利用した日本近海の小型浮魚類などの水産資源量の影響評価

も行なうこととした。海洋生態系モデルは現在世界中で開発中であり、標準的なモデルとして確立されていないため、国際海洋生態系モデル相互比較研究計画（MARine Ecosystem Model Intercomparison Project, MAREMIP）として、いくつかのモデルを相互比較することによって、海洋生態系モデルの不確実性の検討を含んだ評価を行う。水産資源量に関しては、それぞれの沿岸性魚種の適水温に基づく影響予測を行った研究成果を利用して生息域の地理分布の将来変化を評価する。

3. 研究開発方法

高解像度気候モデルによって予測された結果を用いて行ったサンゴの北上と白化の影響評価を、過去のモニタリング観測によって得られたサンゴや沿岸性魚種の分布や健康度に関する評価指標とCMIP3マルチ気候モデルの結果を用いて、サンゴの白化、及びサンゴや沿岸性魚種の北上、地球温暖化と海洋酸性化の複合影響、そしてこれらの結果に内在する不確実性を定量的に評価した。また、サンゴに関するシミュレーション結果の検証に必要な統合データベースの構築、外洋の海洋環境の影響評価、及び海洋生態系モデル相互比較研究計画の立案・遂行も行なった。具体的には以下の通りである。

- (1) サンゴと沿岸性魚種の北上、及びサンゴの白化を定量的に評価するための指標の導入・改良を行なった。サンゴの白化の評価指標には、モニタリングの分野で広く用いられている Degree Heating Month (DHM)を用いた。DHMでは、気候値の最暖月の水温よりも1℃高い状態が1ヶ月続くと軽い白化($1 < \text{DHM} < 2$)、1℃高い状態が2ヶ月または2℃高い状態が1ヶ月続くと深刻な白化(大量死) ($\text{DHM} > 2$)と評価される。北上の評価指標には、最寒月の平均水温18℃線および13℃線をそれぞれ、亜熱帯サンゴと高緯度サンゴの北限として用いた^{1), 2)}。サンゴの北上の評価指標としては、3つの評価指標を導入した。すなわち、最寒月の平均水温18℃線、13℃線、10℃線をそれぞれサンゴ礁形成北限、高緯度サンゴ群集成立北限、高緯度サンゴ分布北限として用いた^{1), 2), 3)}。沿岸性魚種の北上を評価する指標は、桑原ら(2006)⁴⁾に拠った。以上で導入された評価指標と、CMIP3マルチ気候モデルによって予測された結果を用い、これらの指標の妥当性を検証した後に、それらに基づいたサンゴと沿岸性魚種の温暖化影響評価を行った。また、CMIP3マルチ気候モデルの不確実性という観点から、各モデルの結果を温暖化トレンド成分、10年スケールの自然変動成分、年々変動成分の3つに分類し、各モデルが有するそれぞれの時間スケールでの不確実性を定量的に議論した。
- (2) スイス連邦工科大学との共同研究として、上記のような温暖化に伴う水温上昇の影響だけでなく、海洋酸性化に伴う海水中の炭酸イオン濃度の低下に伴うサンゴ骨格形成や初期発生の障害が及ぼす影響についても併せて定量的に評価した。
- (3) 気候予測シミュレーション結果の再現性を検証するために必要な、日本近海のサンゴに関する統合データベースを構築した。これまで、日本近海において広範囲・長期間をカバーしている統合データベースは存在しなかった。そこで、環境省・日本サンゴ礁学会(2004)²⁾の区分に従ったフォーマットの作成と文献データの編纂に基づき、研究協力者をはじめとするモニタリング観測の専門家との数回にわたる討議を経て、日本近海の亜熱帯サンゴと温帯サンゴの被度とストレス要因の1970年代からの時間変動、そしてカリブ海での結果との比較を含む空間変動の解析を行なった。

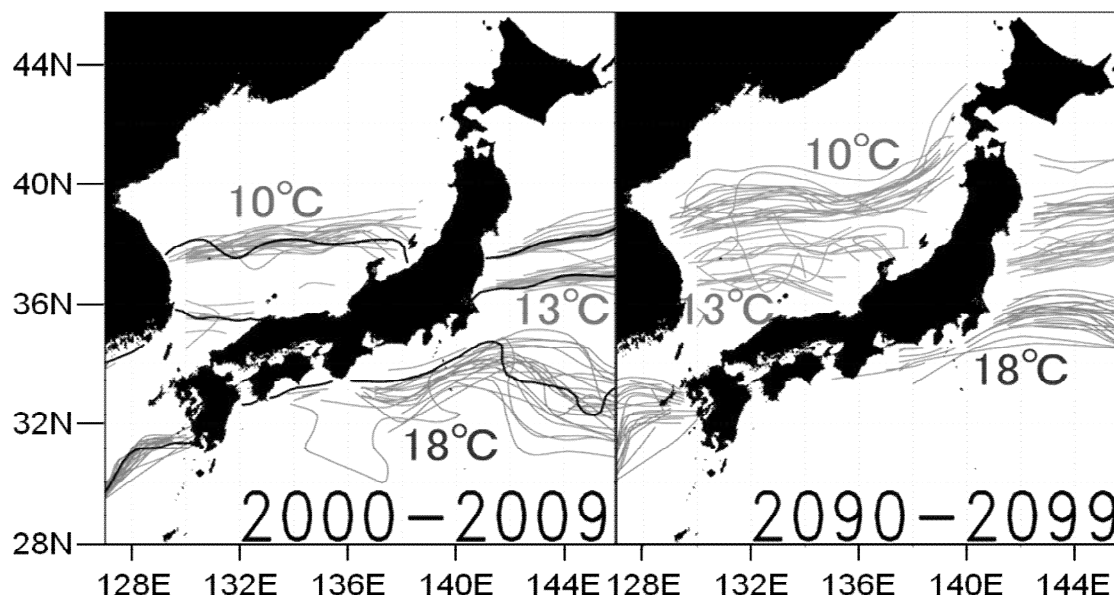
- (4) 日本付近の高解像度海洋生態系モデルによる気候シミュレーションのCO₂年1%漸増実験と標準実験の特定の期間10年間の結果を用いた高解像度海洋生態系モデル(COCO-NEMURO, CCSR Ocean Component Model - North Pacific Ecosystem Model Used for Regional Oceanography)で得られた日本付近の海洋栄養塩分布や植物プランクトンの生物量、特に春季ブルームの大きさと時期について、自然変動との関係に着目して明らかにした。
- (5) 海洋生態系モデルの国際共同研究計画を立案した。植物プランクトンを複数の機能別グループ(Plankton Functional groups, PFTs)を明示的に取り扱ったモデルを開発している日・英・仏・米の4つのグループの共同研究として、海洋生態系モデル相互比較研究プロジェクト(MARine Ecosystem Modelling Intercomparison Project, MAREMIP)を開始し、衛星観測期間(1996-2007年)をモデルで再現した実験結果に関する議論を行なった。
- (6) 北海道大学のグループで開発された海洋生態系モデル(Marine Ecosystem Model coupled with OU kinetics; MEM)を用いて1998年～2009年までの海洋生態系再現数値実験を行った。モデル計算により得られた結果は、衛星データから得られた植物プランクトングループの生物量の空間分布や季節変動と比較され、主成分分析や2次元ウェーブレット画像解析を含めた異なる比較方法を用いて多面的にモデルの不確実性の議論を行なった。

4. 結果及び考察

(1) 研究前半では、高解像度気候予測シミュレーション(MIROC3.2hires)の出力結果とサンゴや沿岸性魚種の分布、及びサンゴの白化の頻度や強度に関する予測を行なった³⁾。サンゴの分布に関しては、現在の高緯度サンゴの分布北限は長崎県対馬と千葉県房総沖になっており、これはモニタリングで得られている結果とも一致した。シナリオ実験による将来予測の結果は、亜熱帯サンゴ、高緯度サンゴ共に、日本近海でその生息域がより高緯度側に拡大する傾向を示した。北上の度合いは高緯度サンゴにおいてより顕著で、100年後にはその北限が、IPCC第4次評価報告書のA1Bシナリオ実験では実に宮城沖や秋田沖に至る可能性を示した。また、同報告書のB1シナリオ実験でもその北限が福島沖や新潟県佐渡に達しており、佐渡では現在1種(キクメイシモドキ)のみが僅かに分布していることが知られているが、21世紀末には他のサンゴも分布するようになる可能性を示唆した。白化はいずれの予測シナリオ実験でも、地球温暖化の進行に伴ってその規模と強度が拡大することが示唆された。特に、現在では単発的に観測されている高緯度サンゴの白化が、将来はより通常現象として認識されるようになると思われる。沿岸性魚種としては、評価指標の存在する底魚や養殖魚の中から、ヒラメ、マダイ、ブリ、トラフグの4種を選び、それぞれについて、生息域の地理的分布を海水温から求めた。生息域の地理的分布は、水温で定義された南限と北限に挟まれた海域で定義される。何れの魚種も、その生息域は水温上昇により北上するが、生息域の南限の北上が著しい。トラフグなど現在西日本が主産地となっている暖海性の魚種は、その産地が東日本や北日本に移動する可能性があり、各地での漁業対象や養殖種の変更が、一つの温暖化適応策となる可能性がある。しかしながら、今回は適水温のみに依存させた簡易指標を用いた評価なので、今後は各魚種の専門家とのより詳細な議論が必要となる。

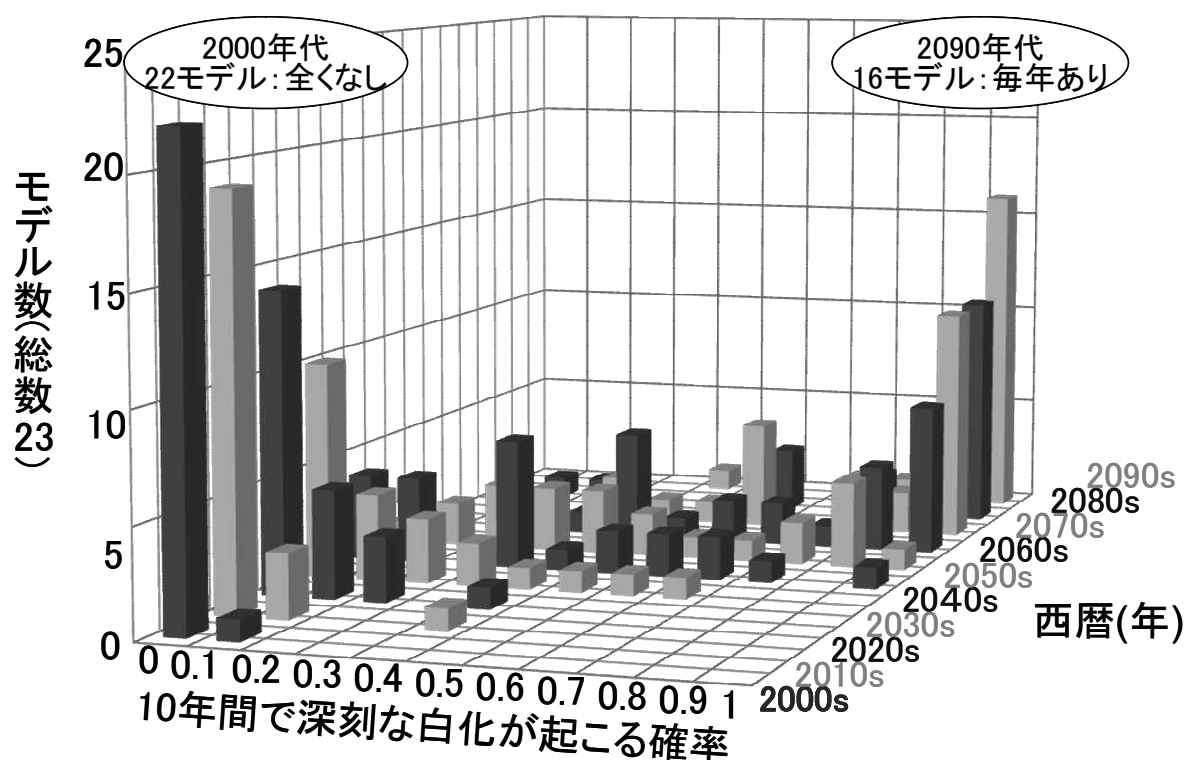
研究後半では、気候モデルアンサンブルCMIP3データの23の気候予測シミュレーション結果を用いて、日本近海のサンゴや沿岸性魚種の北上、及び全球的なサンゴの白化の予測結果とその機会の不確実性を検討した。

a) サンゴ分布限界の北上：CMIP3マルチ気候モデルによって予測された結果および評価指標を用いたサンゴ分布の将来予測を行なった⁷⁾。日本近海のサンゴ分布をカバーできる亜熱帯から温帯にかけての領域（北緯21～42°、東経119～143°）における23モデルによる潜在的なサンゴ礁形成北限（最寒月SSTの18℃線）、高緯度サンゴ群集成立北限（最寒月SSTの13℃線）、および高緯度サンゴ分布北限（最寒月SSTの10℃線）を定量的に求めた。例えば、現在は高緯度サンゴ群集が存在しない島根県・隠岐にも、2020年代～2040年代にかけてその群集が形成される確率が高いこと、但しその時期は10年規模の気候変動により10年程度前後する可能性がある。2000年代において観測とモデルを比較すると、いずれの等値線も両者の結果に大きなずれはなく、また、各等値線においてモデル間の比較を行なうと、いずれの等値線も黒潮の流軸付近を除けばモデル間のばらつきは小さい（図(4)-1）。多くのモデル結果において、2000年代には南九州沿岸に存在しているサンゴ礁形成北限（18℃線）、島根・茨城沿岸にある高緯度サンゴ群集成立北限（13℃線）と新潟・千葉沿岸にある高緯度サンゴの分布北限（10℃線）が、2090年代にはそれぞれ北部九州沿岸、石川・福島沿岸と青森・岩手沿岸まで北上する可能性が示されたが、2090年代には温暖化に伴うSST上昇に伴い、各等値線におけるモデル間のばらつきは大きくなっている。このばらつきはモデルの不確実性によって生じるものと考えられる。また、本研究で得られた温暖化によるサンゴ礁形成北限、高緯度サンゴ群集成立北限、及び高緯度サンゴ分布北限の北上速度はそれぞれ年1km、2km、4km程度であることが示された。これは過去80年間の日本近海におけるモニタリング観測によって求められたサンゴの北上速度（最大で年14km）と比べると遅い。これは、モニタリング観測ではサンゴの分布北限が捉えられるのに対して、本研究ではサンゴの群集が形成される時期を議論しており、サンゴが生息できる環境になってから群集を形成するまでに要する時間のずれが両者の時間的な違いの原因となっているためと考えられる。



図(4)-1 2000年代（左）と2090年代（右）のサンゴ礁形成北限（18℃線）、温帯サンゴ群集成立北限（13℃線）、温帯サンゴ分布北限（10℃線）の位置の予測結果。18℃線、13℃線、10℃線の観測値を左図中の黒線で表す。

b) サンゴの白化：サンゴ分布北限の北上と同様に、CMIP3マルチ気候モデルによるサンゴの白化予測の不確実性に対しても検討を行なった。日本最大のサンゴ礁である石西礁湖(石垣島・西表島間)において、CMIP3マルチ気候モデルの温暖化トレンドと年々変動に基づく不確実性を考慮した影響評価によって得られたサンゴの深刻な白化(大量死)に関する年代別出現頻度を図(4)-2に示す。サンゴの深刻な白化は、現在(2000年代)は、23モデル中21モデルでは全く発生しないが、海水温の上昇に伴い、その発生頻度が徐々に高まり、今世紀末には多くのモデルで毎年のように発生することを示している。この方法により、モデル毎に、10年間のうち深刻な白化が発生する年が何年あるか、或いは23のうち幾つのモデルで深刻な白化が発生するかといった確率的な表現をすることが可能となった。また、a)と同様に、10年スケール変動成分の位相変化から見積もられたモデルの内部変動による不確実性を考慮すると、10年スケール変動成分の振幅の位相が正と負の場合にはそれぞれ、温暖化トレンド成分と年々変動成分で求められた基準よりも10年程度前後してサンゴの深刻な白化(大量死)が出現することが予測された。但し、実際には白化が起こった後にサンゴが回復或いは新たに加入するまでに要する時間によっても結果が大きく異なると考えられ、今後はサンゴの生理などの専門家の協力を得て指標の高度化を行う必要がある。



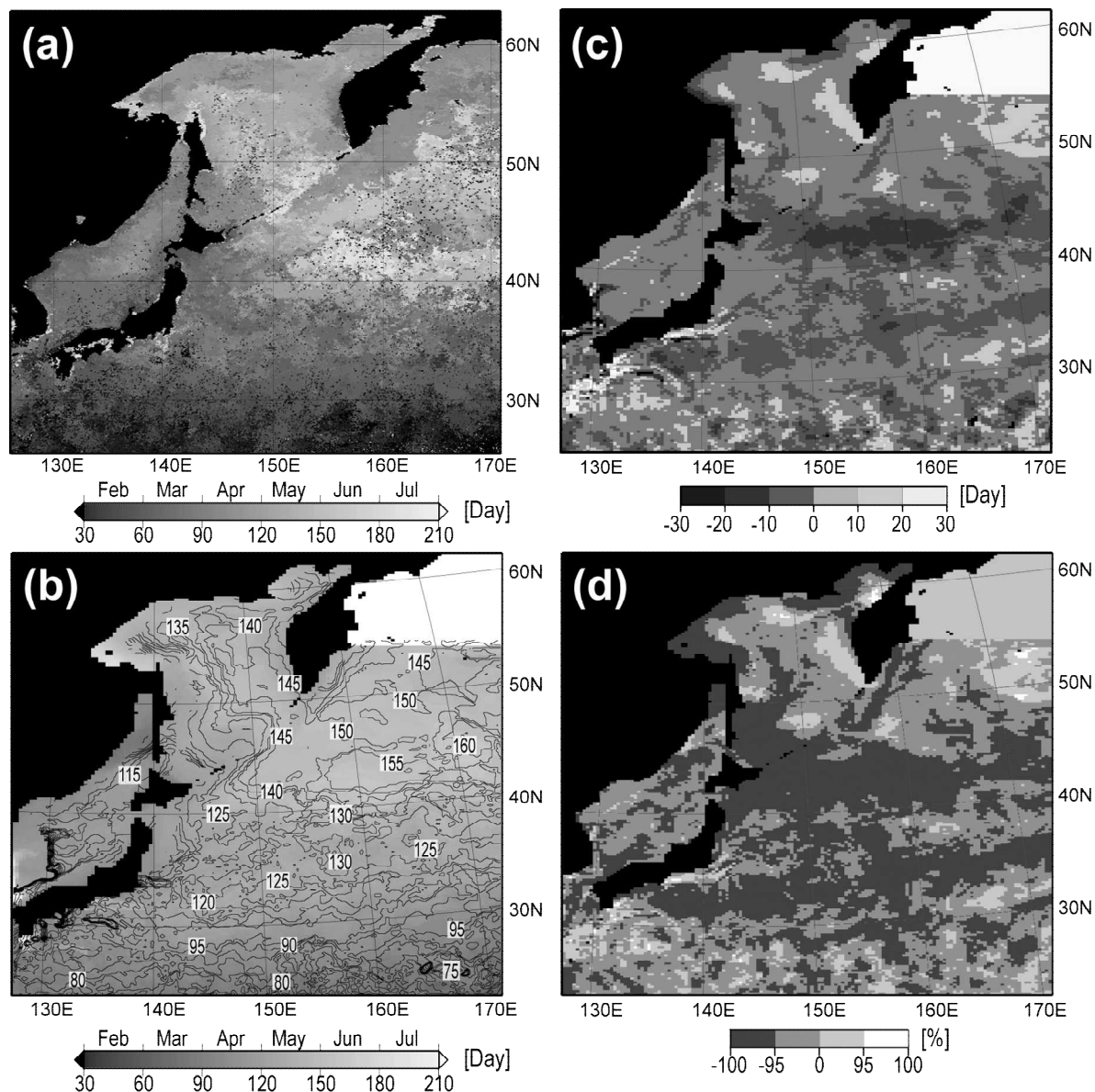
図(4)-2 2000年代～2090年代の10年ごとの沖縄・石西礁湖(石垣島-西表島間)におけるサンゴの深刻な白化(大量死)の出現頻度の予測結果。10年間に何回の出現を予測するモデルが、全23のうちいくつあるかを確率で表す。

(2) スイス連邦工科大学との共同研究の枠組みで、23のマルチ気候モデルのうち、海洋中の炭

酸系を陽に計算できる4つの将来予測モデルの結果を基に、地球温暖化と海洋酸性化の複合効果について考慮した。人為起源CO₂の増加に起因する海洋酸性化は、海水中のpHと炭酸カルシウム飽和度(Ω)を低下させる。前者はサンゴの初期発生段階に対して、後者はサンゴの骨格形成に対して阻害要因となる。海洋酸性化に伴うΩの低下は、低水温域でより顕著なため、海洋酸性化の影響はより低水温の高緯度域でより深刻に顕れることがこれまでに指摘されていたが、同じく人為起源CO₂の増加に起因する温暖化との複合効果についてはこれまで定量的な議論が殆ど展開されていなかった。本研究の結果、日本近海のサンゴは、熱帯・亜熱帯種、温帯種の別なく、地球温暖化に伴う水温上昇に伴いその生息域を高緯度側に拡大するものの、海洋酸性化によってその効果は相殺される可能性があることが指摘された。

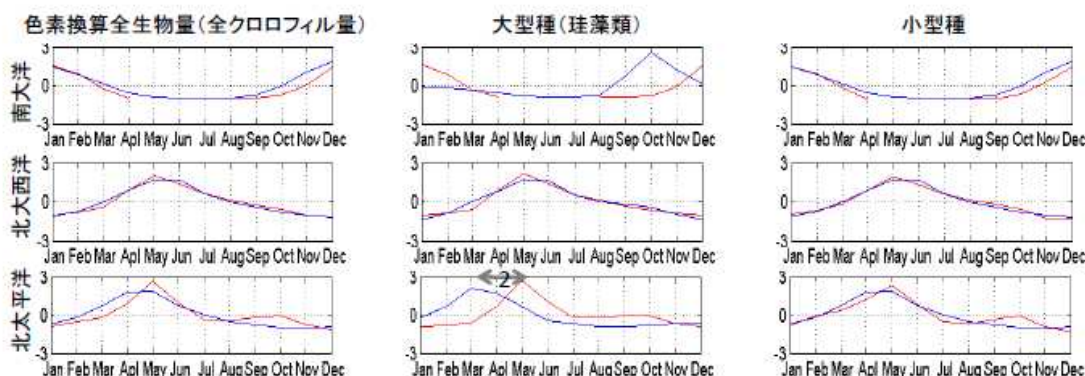
(3) 気候予測シミュレーションの再現性を評価するための日本近海のサンゴ礁モニタリング・データベースの作成を完成させた。そして、このデータベースを用いて、日本近海の亜熱帯サンゴと温帯サンゴの被度とストレス要因の1970年代からの時間変動に関する知見をまとめた⁸⁾。

(4) 高解像度気候シミュレーションの結果(Sakamoto et al., 2005)⁵⁾を用いて、海洋生態系モデルによるCO₂年1%漸増実験(81~90年目平均)と標準実験との差異を検討し、春季ブルームに注目し、植物プランクトンの生物量がピークを迎えたタイミングについて考察した(図(4)-3)。中解像度気候シミュレーションと比較すると、黒潮統流の再現性向上(日本沿岸からの離岸の緯度や流速が速い南北幅)に伴って、海面水温上昇や混合層深度の分布が細かな構造を持つようになるとともに、亜寒帯海域の混合層深度の再現が良くなり、温暖化に伴って浅くなる様子が見られる。それらに伴って、海洋表層水中の栄養塩濃度や生物量の減少にも空間構造が見られるようになった。中解像度海洋生態系モデルの結果⁹⁾に比べると、亜熱帯から亜寒帯への遷移海域(黒潮統流域や混乱水域)での傾向は同様だが、亜寒帯域では海洋混合層深度の再現性向上に伴い、異なった傾向が見られた。春季ブルームに注目し、植物プランクトンの生物量がピークを迎えたタイミングについて考察した結果、多くの海域で温暖化に伴って春季ブルームが10日~20日早期化することが示された¹⁰⁾。



図(4)-3 クロロフィルaが年間最大となる時期(1月1日から数えた日数)。(a) 衛星観測 (SeaWiFS), (b) 標準実験, (c) 温暖化実験から標準実験を引いた日数, (d) t検定による有意水準(%)。

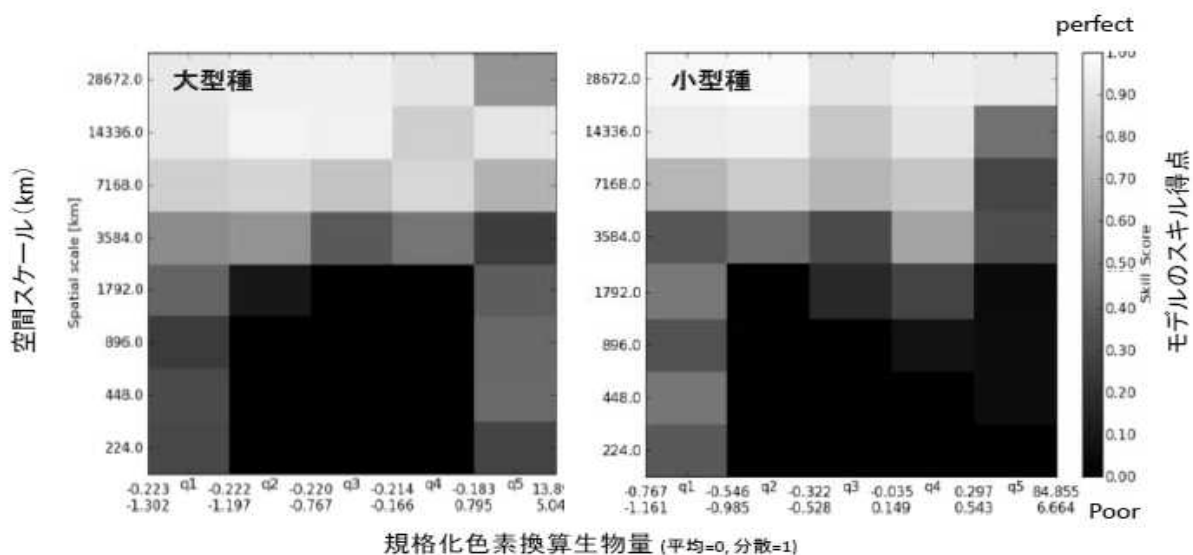
(5) 海洋生態系相互比較研究プロジェクト (MARine Ecosystem Modelling Intercomparison Project, MAREMIP) の日英仏米4ヶ国の共同研究として、複数のモデルの衛星観測データとの比較期間として1996-2007年の12年間のシミュレーションに基づき、季節変動に注目した解析を行なった(図(4)-4)。季節変化を見ると、相対的に栄養塩制限が行われている北太平洋亜熱帯海域では、振幅と位相ともに再現性がよいが、鉄制限海域である北太平洋亜寒帯海域、南太平洋では、再現性が低くなっている。南太平洋では、振幅が大きくモデル間でばらついているものの、一次生産が光量によって制限されるため、位相が揃っていない。逆に、北太平洋亜寒帯海域では、振幅が比較的揃っているものの位相がモデル間でばらついている。これには、鉄制限の与え方、ケイ藻類の成長速度の違いなどの要因が考えられる。



図(4)-4 モデル(赤線)と衛星(青線)によって得られた、植物プランクトンのブルームのタイミング。大型種(珪藻類)でブルームのタイミングに差が見られた。

(6) 北海道大学のグループで開発された海洋生態系モデルMEMは、衛星で観測された全球規模での空間分布や季節変動を概ね再現した。モデルによって得られる植物プランクトングループの空間分布は、海盆規模以上(約2700km以上)、場合によってはより小規模な200km以上で、衛星観測データとよく一致した(図(4)-5)。主成分分析することにより得られる主な変動成分(定常成分や季節変動成分)に対して、モデル結果と衛星データの間でよい一致が見られ、海洋生態系影響評価に本モデルの利用が有用であるという裏付けが客観的な解析により得られた。

特に季節変動成分に着目すると、モデルは、栄養塩制限・光制限の季節的なコントラストが大きい北大西洋や南大洋では植物プランクトンのブルームのタイミングを現実的に再現するのに対し、北太平洋では、全クロロフィル量は再現するものの、大型種(珪藻類)に関しては、モデルによる春季ブルームが2ヶ月ほど遅れている(図4-(4))。



図(4)-5 モデルと衛星によって得られた植物プランクトングループの分布パターンの比較。2次元ウェーブレット解析により、分布パターンの一致を空間スケール(y軸)と規格化色素換算生物量(規格化クロロフィル-a量;x軸)の関数として示した図。濃淡で示したスキル得点[0-1]が高いほど(淡いほど)、モデルと衛星で良い一致を示す。スキル得点0.5を一致・不一致の閾値と

すると、2688km以上（海盆規模）では、どの色素換算生物量でも良い一致を示すことがわかる。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

高解像度気候予測シミュレーションを用いた日本近海のサンゴや沿岸性魚種の将来評価は、IPCC第4次報告書等で使用されてきた従来の中解像度気候予測モデルでは不可能だった細かい空間分解能での議論、およびモニタリングデータとの詳細な比較を可能にした。本研究により、水温上昇によってもたらされるサンゴの生息限界の北上による生息域の拡大と、白化や大量死、海洋酸性化による活動域の減少が、日本近海ひいては全球のサンゴの被度や多様性に及ぼす影響を定量的に予測することが可能となった。

CMIP3マルチ気候モデルによって予測された結果を用いて温暖化に伴う将来の日本近海のサンゴ分布の北限の北上を定量的に評価したことにより、1モデルのみで行なった解析結果³⁾よりも、より確からしい結果を得た。また、気候モデルの不確実性という観点から、自然変動としての10年スケール変動と年々変動の不確実性、およびモデルの誤差としての温暖化トレンドに基づく不確実性を考慮して、サンゴ分布の北限の北上と白化に関する影響を定量的に評価した。地球温暖化と海洋酸性化の両現象が及ぼす相乗効果が日本近海のサンゴ分布に及ぼす影響評価を行なったのは、本研究が初の試みである。結果として、CMIP3データの利用により、気候モデルの不確実性を考慮したサンゴ分布に関する将来予測に関する信頼性の高い結果が得られた。

海洋生態系モデルを用いた温暖化による海洋環境の影響評価に関して、日・英・仏・米の4グループの生態系モデリングを同一プロトコルのもとで行うことで生態系モデルの違いによる不確実性を、高解像度海洋生態系モデルで得られた詳細な物理環境を用いることで今までの中解像度モデルを用いた際の問題点とその不確実性を、それぞれ明らかにした。

2000年代に入って急速に開発されてきたプランクトングループを明示的に表現する海洋生態系モデルの現時点における不確実性を、衛星観測データと比較することにより評価することが出来た。これにより、得られる科学的結果を客観的・定量的な情報として提供することができるようになった。また、プランクトングループを明示的に表現することで、物質循環モデルや高次生態系モデルの精度改善への糸口を示した。

（2）環境政策への貢献

今回、国際研究協力として整備した海洋生態系に関するモデル相互比較研究(MAREMIP)は、IPCC第5次評価報告書につながりやすい枠組みであり、地球環境政策にも関連する研究成果を提示するものである。また、気候モデルアンサンブルCMIPデータを利用して不確実性の検討を含めて評価することは、これらの政策の決定に必要な情報を供給することになる。

わが国の1970年代の海中公園の設立にあたっては、その立地の景観が重要視されてきた。しかし、生態系保全の観点からは、沿岸生態系の遷移域など、地球温暖化や気候変動・人間活動の変化に対して、より脆弱で影響を受けやすいと考えられる海域を優先的に保護することが望ましい。今後の海洋保護区は、Yamano et al. (2011)⁶⁾で示されたようなモニタリング観測の結果を踏まえて策定されることが望ましいが、加えて本研究で示されるような将来予測の結果も政策決定に寄

与すると考えられる。現に、環境省モニタリングサイトのサンゴ北上監視ステーションの選定にあたっては、Yara et al. (2011)⁶⁾の結果がフィードバックされている。また、本研究において作成した日本近海のサンゴ礁モニタリング・データベースのフォーマットは今後の国内外のデータベースの標準仕様とされることとなり、それは総合的なモニタリングを通じた合意形成や政策決定に必要な情報供給に寄与することになる。

漁業対象種の北上は、将来の各地域における漁業形態や養殖種の変更を余儀なくさせる可能性があるが、本研究の成果は、これらの課題を解決するための合意形成や政策決定に必要な情報を供給するものである。特に、地球温暖化や海洋酸性化など諸処の現象を長期的に監視するモニタリング観測サイトや、海洋生態系・生物多様性の保全と持続可能な水産業の両立を実現させるための海洋保護区の海域選定の際の一定の判断材料を本研究は提供する。

政策決定を行うために必要な科学的根拠は、1ヶ国・1モデルに基づいた結果より、多国・多モデルに基づいた世界の科学コミュニティによるコンセンサスによって提供されることで不確実性を軽減できる可能性が高い。本研究において得られた定量的なモデル性能の評価は、MAREMIPを通じて世界をリードする日英仏米の4つのモデルを利用した最先端科学コミュニティによるコンセンサス作りに貢献し、より確からしい科学的情報を政策決定に提供することになる。特に、本研究のモデルは植物プランクトンの群集構造を明示的に示していることから、生物量の変化の影響（例：高次生態系を通じた水産業への影響）のみならず生物群集構造の変化（例：生物多様性）に対する政策決定においても、より確からしい科学的情報を提供するための材料になる。

6. 国際共同研究等の状況

海洋生態系モデル相互比較研究プロジェクト(MARine Ecosystem Modelling Intercomparison Project, MAREMIP)は、山中康裕(北海道大学・日本)、Corinne Le Quéré(University of East Anglia・英国)、Laurant Bopp(Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement(LSCE)・仏国)、Scott Doney(National Center for Atmospheric Research(NCAR)・米国)によって、植物プランクトンを明示的に表現した生態系モデル(IPSL-PISCES, NEMO-PlankTOM5, COCO-NEMURO, CCSM-3BEC)を相互比較することにより、地球温暖化に対する影響評価を行い、IPCC第5次報告書に貢献することを目的とした。また、2011年1月、共同議長がCorinne Le Quéréから山中康裕に交代し、北海道大学に事務局を置き、事務局長に平田貴文が選ばれた。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Hashioka, T., T. Sakamoto and Y. Yamanaka (2009) : Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. *Geophysical Research Letter*, 36, L20604, doi:10.1029/2009GL038912.
- 2) 中尾 有伸, 山野 博哉, 藤井 賢彦, 山中 康裕: 日本のサンゴ礁データベースの作成と分析. *日本サンゴ礁学会誌*, 11, 109-129.
- 3) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕(2009):地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海の造礁サンゴの分布と健全度に及ぼす影響評価. *日本サンゴ礁学会誌*,

11, 131-140.

- 4) Yara, Y., K. Oshima, M. Fujii, H. Yamano, Y. Yamanaka, and N. Okada (2011): Projection and uncertainty of the poleward range expansion of coral habitats in response to sea surface temperature warming: A multiple climate model study. *Galaxea, Journal of coral reef studies*, 13, 11-20.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 中尾有伸 (2009): 日本のサンゴ礁データベースの作成と分析. 北海道大学大学院環境科学院平成20年度修士論文, 57pp.
- 2) Hashioka, T., T. Sakamoto, A. Ishida and Y. Yamanaka (2010): Future changes in seasonality of marine ecosystems projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. *IMBER Newsletter*, 16.

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) Yamanaka. Y: 3-D NEMURO & NEMURO.FISH linking climate and fish resources in the western North Pacific. Workshop "Forecasting Climate Impacts on Future Production of Commercially Exploited Fish and Shellfish", Seattle, USA, June 2007.
- 2) Yamanaka. Y., T. Hashioka, M. N. Aita, and F. Shido: Toward seamless simulations from climate changes to variations of fisheries resources: studies of marine ecosystem including pelagic fish dynamics. Second International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, Germany, August 2007.
- 3) Yamanaka. Y., and C. Yoshikawa: Nitrogen isotope coupled with an ecosystem model. GEOTRACES Data-Model Synergy Workshop, Delmenhorst, Germany, September 2007.
- 4) Yamanaka, Y., N. Yoshie, K. Sato, and J. Nishioka: An iron cycle model coupled with an ecosystem model, NEMURO. GEOTRACES Data-Model Synergy Workshop, Delmenhorst, Germany, September 2007.
- 5) 山中康裕: 地球温暖化のモデル研究について. 日本微生物生態学会松山大会シンポジウム「気候変動と微生物生態学」, 松山, 愛媛, 2007年9月.
- 6) Hashioka. T., Y. Yamanaka, and T. T. Sakamoto: Predicted impacts of global warming on marine ecosystem with a 3-D high-resolution ecosystem model. Ocean Science Meeting 2008, Orlando, USA, March 2008.
- 7) M. A. Noguchi, S. Lan Smith, A. Ishida, M. J. Kishi, and Y. Yamanaka: Effects of iron on spatial and temporal phytoplankton distribution using an ecosystem model (NEMURO) embedded in a 3-D global model. Ocean Science Meeting 2008, Orlando, USA, March 2008.
- 8) 山中康裕, 岡田直資, 橋岡豪人: 温暖化シナリオ下において予期される低次生態系変動と酸性化. 2008年水産海洋学会・日本海洋学会春季大会シンポジウム「地球温暖化とその沿岸・沖合海洋生態系への影響－検知と予測－」東京, 2008年3月.
- 9) 伊藤進一, 志藤文武, 山中康裕, 橋岡豪人, 高須賀明典, 奥西武: 沖合小型浮魚類への温暖化影響. 2008年水産海洋学会・日本海洋学会春季大会シンポジウム「地球温暖化とその沿岸・

沖合海洋生態系への影響－検知と予測－」, 2008年3月.

- 10) 橋岡豪人, 坂本天, 山中康裕: 地球温暖化に対する海洋生態系の応答 ~高解像度海洋生態系モデルによる予測~. 日本海洋学会2008年度春季大会, 東京, 2008年3月.
- 11) Fujii. M., M., F. Chai, L. Shi, H. Y. Inoue, and M. Ishii: Seasonal and interannual variation of ocean carbon cycling in the western and eastern tropical-subtropical Pacific: a physical-biogeochemical modeling study. Effects of climate changes on the world oceans, Gijon, Spain, May 2008.
- 12) Aita. M. N., S. L. Smith, A. Ishida, M. J. Kishi, and Y. Yamanaka: Effects of iron on spatial and temporal phytoplankton distribution using a global 3-D ecosystem model (NEMURO). Effects of climate changes on the world oceans, Gijon, Spain, May 2008.
- 13) 山中康裕: 地球温暖化や海洋酸性化の海洋生態系および海洋物質循環に対する影響. 日本地球惑星科学連合2008年大会, 千葉, 2008年5月.
- 14) Vogt. M., C. Le Quéré, E. Buitenhuis, S. Alvain, L. Bopp, Y. Yamanaka, and T. Hashioka: First results from a MARine Ecosystem Model Inter-comparison Project (MAREMIP). Advances in Marine Ecosystem Modelling Research Symposium 2008 Symposium, Plymouth, UK, June 2008.
- 15) Yamanaka. Y., T. Hashioka, T. Okunishi, H. Sumata, T. Sakamoto, M. N. Aita, Y. Naoki, N. Okada, and S. Ito: Recent results connecting climate change to fish resources using the high resolution model, COCO-NEMURO. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, October 24- November 2 2008.
- 16) Yamanaka. Y., Y. Naoki, M. N. Aita, T. Hashioka, H. Sumata, N. Okada, T. Okunishi, and S. Ito: Observational data for determining physiological parameters and validating model simulations: Suggestions by NEMURO developers. PICES 17th Annual Meeting, Dalian, China, October 24- November 2 2008.
- 17) 中尾有伸, 山野博哉, 藤井賢彦, 山中康裕: 日本のサンゴ礁被度の変遷~文献データの変遷と分析~. 日本サンゴ礁学会第11回大会, 静岡, 2008年11月.
- 18) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇が南西諸島近海のサンゴに及ぼす影響評価. 日本サンゴ礁学会第11回大会, 静岡, 2008年11月.
- 19) Yamanaka. Y: Modeling activities in Japan. Japan-France Workshop on Responses of Marine Ecosystems to Ocean Acidification and Changes in Environmental Conditions, Tokyo, Japan, December 2008.
- 20) Hashioka. T., T. Sakamoto, and Y. Yamanaka: Predicted Impacts of Global Warming on Marine Ecosystem with a 3-D High-Resolution Ecosystem Model. Japan-France Workshop on Responses of Marine Ecosystems to Ocean Acidification and Changes in Environmental Conditions, Tokyo, Japan, December 2008.
- 21) Yara. Y., M. Fujii, Y. Yamanaka, N. Okada, H. Yamano, and K. Oshima: Projected effects of global warming on coral reefs in seas close to Japan. Japan-France Workshop on Responses of Marine Ecosystems to Ocean Acidification and Changes in Environmental

- Conditions, Tokyo, Japan, December 2008.
- 22) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布に及ぼす影響評価. 日本海洋学会春季大会, 東京, 2009年4月.
 - 23) Yamanaka. Y : Predicting change in biogeochemical cycling and fish resources in the North Pacific. IGBP Symposium "Frontier of integrated research activities on east Asian and global environment", Otaru, Japan, April 2009.
 - 24) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布に及ぼす影響評価. 日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉, 2009年5月.
 - 25) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布に及ぼす影響評価. 第1回海洋酸性化勉強会, つくば, 2009年5月.
 - 26) 山中康裕: 気候変動から水産資源までを表現した統合海洋生態系モデルによる将来予測. 日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉, 2009年5月.
 - 27) Vogt. M., M. Racault, S. Vallina, C. Le Quere, E. Buitenhuis, S. Alvain, O. Aumont, L. Bopp, S. Doney, T. Hashioka, I. Lima, M. N. Aita, and Y. Yamanaka: Marine ecosystems and their role for biogeochemical cycling in a changing world. International Symposium on Simulation Science for Safety, Tokyo, Japan, June 2009.
 - 28) Yamanaka. Y : Forecasting and predicting marine ecosystem responses to climate change. 3rd GLOBEC Open Science Meeting, Victoria, Canada, June 2009.
 - 29) 橋岡豪人, 屋良由美子, 坂本天, 山中康裕: 地球温暖化が海洋の低次生態系へ与える影響 ~ 気候モデルと生態系モデルによる予測から~. 日本応用藻類学会シンポジウム, 東京, 2009年6月.
 - 30) 橋岡豪人, 相田真希, 山中康裕, M. Vogt, E. Buitenhuis, C. Le Quere, S. Alvain, O. Aumont, L. Bopp, S. Doney, and I. Lima: 海洋生態系モデルの国際的な相互比較研究. 日本海洋学会秋季大会, 京都, 2009年9月.
 - 31) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布の北限に及ぼす影響評価とその不確実性. 日本海洋学会秋季大会, 京都, 2009年9月.
 - 32) Yamanaka. Y : Model Benchmarking, MAREMIP. 5th AIMES Scientific Steering Committee Meeting, California, USA, October 2009.
 - 33) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布の北限に及ぼす影響評価とその不確実性. 第2回海洋酸性化勉強会, 支笏湖, 2009年10月.
 - 34) Yara. Y., M. Fujii, Y. Yamanaka, N. Okada, H. Yamano, K. Oshima: Projected effects of global warming on coral reefs in seas close to Japan. PICES 18th Annual Meeting, Jeju, Korea, October 23- November 1 2009.
 - 35) Yamanaka. Y: Introduction to NEMURO family. MARine Ecosystem Model Intercomparison Project Kickoff Workshop, Cambridge, UK, October 2009.
 - 36) Vogt. M., M., C. Le Quéré, S. Alvain, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. Doney, T. Hashioka, I. Lima, A. Maki, and Y. Yamanaka: PFT niches in the global ocean: First results from

- the MARine Ecosystem Model Inter-comparison Project (MAREMIP). MARine Ecosystem Model Intercomparison Project Kickoff Workshop, Cambridge, UK, October 2009.
- 37) Hashioka. T., M. Vogt, M.N. Aita, S. Alvain, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. Doney, I. Lima, C. Le Quéré, Y. Yamanaka: Preliminary results of MAREMIP: Seasonal Distribution of PFTs. MARine Ecosystem Model Intercomparison Project Kickoff Workshop, Cambridge, UK, October 2009.
- 38) 藤井賢彦: サンゴ白化のモデリング及びサンゴへの酸性化影響のモデリングの可能性. 日本サンゴ礁学会シンポジウム「二酸化炭素増加がサンゴ礁域の海洋生物に及ぼす影響- 分子から生理、生態まで-」, 沖縄, 2009年11月.
- 39) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕: 地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布の北限に及ぼす影響評価とその不確実性. 日本サンゴ礁学会第12回大会, 沖縄, 2009年11月.
- 40) Vogt. M., C. Le Quéré, S. Alvain, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. Doney, T. Hashioka, I. Lima, M. N. Aita, and Y. Yamanaka: First results from the MARine Ecosystem Model Inter-comparison Project (MAREMIP). Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon, February 2010.
- 41) Hashioka. T., M. N. Aita, Y. Yamanaka, M. Vogt, C. Le Quéré, S. Alvain, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. Doney, I. Lima: Spatio-temporal differences in plankton compositions among models from the first results of MARine Ecosystem Model Inter-comparison Project (MAREMIP). Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon, February 2010.
- 42) Yara. Y., M. Fujii, Y. Yamanaka, N. Okada, H. Yamano, K. Oshima: Projected effects of global warming on corals in seas close to Japan. Ocean Sciences Meeting, Portland, Oregon, February 2010.
- 43) 中尾有伸, 山野博哉, 藤井賢彦, 山中康裕: 日本のサンゴ被度データベースの作成と分析. 日本海洋学会春季大会, 東京, 2010年3月.
- 44) Hirata. T., N. Hardman-Mountford, B. Brewin, J. Aiken, T. Hashioka, Y. Yamanaka, A. Ishida, K. Suzuki, R. Barlow, E. Howell, and J. Polovina: Temporal and spatial variations of phytoplankton photosynthetic physiology during the spring diatom bloom. International Symposium "Climate Change Effects on Fish and Fisheries", Sendai, April 2010.
- 45) Yamanaka. Y : MAREMIP Update. 6th AIMES Scientific Steering Committee Meeting, Edinburgh, UK, May 2010.
- 46) 屋良由美子, 大島和裕, 藤井賢彦, 山野博哉, 岡田直資, 山中康裕: 地球温暖化に伴う海水温上昇がサンゴ分布の北限に及ぼす影響評価とその不確実性. 日本地球惑星科学連合2010年大会, 千葉, 2010年5月.
- 47) 山中康裕: 私たちと地球温暖化(影響と対策について). 日本交通学会総会特別講演, 札幌, 2010年6月.
- 48) Hirata. T., T. Hashioka, M. Noguchi-Aita, H. Sumata, A. Ishida, and Y. Yamanaka: A comparison between a 3D ecosystem model and satellite observations of phytoplankton

- community structure in the global oceans. IMBER/IGBP IMBIZO II “Integrating biogeochemistry and ecosystems in a changing ocean: Regional comparisons”, Crete, Greece, October 2010.
- 49) Yamanaka. Y., T. Okunishi, T. Hashioka, H. Sumata, and S. Ito: Predicting marine ecosystem responses to climate change by a 3-D high-resolution ecosystem model. PICES 18th Annual Meeting, Portland, US, October 2010.
- 50) Ito. S., T. Okunishi, A. Kawabata, H. Kubota, A. Takasuka, T. Hashioka, H. Sumata, and Y. Yamanaka: Multi-trophic level ecosystem modeling for understanding the mechanism of small pelagic fish species alternation associated with climate regime shifts. PICES 18th Annual Meeting, Portland, US, October 2010.
- 51) Hirata. T and H. Murakami: A possible global partnership between ESA Coast Colour project and JAXA Global Climate Observation Mission. ESA Coast Colour, Rome, Italy, November 2010.
- 52) 屋良由美子, M. Vogt, C. Hauri, M. Steinacher, 藤井賢彦, N. Gruber, 山中康裕, 山野博哉: 地球温暖化に伴う水温上昇および海洋酸性化がサンゴ分布に及ぼす影響. 日本サンゴ礁学会第13回大会, つくば, 2010年12月.
- 53) Hirata. T., Y. Yamanaka, A. Ishida, N. Hardman-Mountford, T. Smyth, S. Sathyendranath, and T. Platt: Development of GCOM-C ocean algorithms to derive Ecosystem Indicators for a satellite-model integrated analysis of marine ecosystem function and global biogeochemical cycles. JAXA GCOM/GPM/EarthCare Joint PI Workshop, Tokyo, December 2010.
- 54) Yara. Y., M. Fujii, Y. Yamanaka, N. Okada, H. Yamano, K. Oshima: Projected effects of global warming on corals in seas close to Japan. Pre-Workshop Event of IPCC WS on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems, Okinawa, January 2011.
- 55) Hitara. T : Dynamics of phytoplankton community structure derived from a 3D ecosystem model and satellite ocean colour algorithm. International Symposium on Climate Change and Ocean Carbon - Field Observation, Remote Sensing and Modeling, Xiamen, China, April 2011.
- 56) 屋良 由美子, M. Vogt, C. Hauri, M. Steinacher, 藤井 賢彦, N. Gruber, 山中 康裕, 山野 博哉: 地球温暖化に伴う水温上昇および海洋酸性化がサンゴ分布に及ぼす影響. 日本地球惑星科学連合2011年度連合大会, 千葉, 2011年5月.
- 57) Yara. Y., M. Vogt, C. Hauri, M. Steinacher, M. Fujii, N. Gruber, Y. Yamanaka, H. Yamano : Projected effects of global warming and ocean acidification on corals in seas close to Japan. The third Advances in Marine Ecosystem Modelling Research Symposium, Plymouth, UK, June 2011.
- 58) 屋良 由美子, M. Vogt, C. Hauri, M. Steinacher, 藤井 賢彦, N. Gruber, 山中 康裕, 山野 博哉: 地球温暖化に伴う水温上昇および海洋酸性化がサンゴ分布に及ぼす影響. 日本海洋学会秋季大会, 福岡, 2011年9月.
- 59) Yara. Y., M. Vogt, M. Fujii, H. Yamano, C. Hauri, N. Gruber, Y. Yamanaka, and M. Steinacher : Effects of Rising Sea Surface Temperature and Ocean Acidification on Corals.

Ocean Sciences Meeting, Salt Lake City, USA, February 2012.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 第2回海洋酸性化勉強会（2009年10月7日～9日、支笏湖、参加者40名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 2009年5月28日 毎日新聞
- 2) 2009年5月31日 しんぶん赤旗
- 3) 2009年6月 2日 中京テレビ

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) Yamano. H., K. Hori, M. Yamauchi, O. Yamagawa, and A. Ohmura (2001): Highest-latitude coral reef at Iki Island, Japan. *Coral Reefs*, 20, 9-12, doi:10.1007/s003380100137.
- 2) 環境省, 日本サンゴ礁学会(2004): 日本のサンゴ礁. 環境省, 375pp.
- 3) 屋良由美子, 藤井賢彦, 山中康裕, 岡田直資, 山野博哉, 大島和裕(2009): 地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海の造礁サンゴの分布と健全度に及ぼす影響評価. *日本サンゴ礁学会誌*, 11, 131-140.
- 4) 桑原久実, 明田定満, 小林聡, 竹下彰, 山下洋, 城戸勝利(2006): 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測. *地球環境*, 11, 49-57.
- 5) Sakamoto. T. T., H. Hasumi, M. Ishii, S. Emori, T. Suzuki, T. Nishimura, and A. Sumi (2005): Responses of the Kuroshio Extension to global warming in a high-resolution climate model. *Geophys Res Lett*, 32, L14617.
- 6) Yamano. H., K. Sugihara, and K. Nomura (2011): Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophys Res Lett* 38: L04601.
- 7) Yara, Y., K. Oshima, M. Fujii, H. Yamano, Y. Yamanaka, and N. Okada (2011): Projection and uncertainty of the poleward range expansion of coral habitats in response to sea surface temperature warming: A multiple climate model study. *Galaxea, Journal of coral reef studies*, 13, 11-20.
- 8) 中尾 有伸, 山野 博哉, 藤井 賢彦, 山中 康裕: 日本のサンゴ礁データベースの作成と分析. *日本サンゴ礁学会誌*, 11, 109-129.
- 9) Hashioka, T. and Y. Yamanaka (2007): Ecosystem change in the western North Pacific associated with global warming obtained by 3-D NEMURO. *Ecological Modelling*, 202, 95-104,

doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016.

- 10) Hashioka, T., T. Sakamoto and Y. Yamanaka (2009): Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. *Geophysical Research Letter*, 36, L20604, doi:10.1029/2009GL038912.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(5) 気候変動シナリオに基づく雪氷圏・海面水準の未来像の描出

東京大学 大気海洋研究所

阿部彩子

〈研究協力者〉

東京大学 大気海洋研究所

吉森正和・大石龍太

(独) 海洋研究開発機構 地球環境変動領域

齋藤冬樹

平成19～23年度累計予算額：67,275千円

(うち、平成23年度予算額：13,775千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】平成19年度から23年度にわたり、雪氷圏・海面水準の未来像の抽出、特に海面上昇に関連する氷床表面質量収支予測とその不確実性評価、背後にある物理プロセスの特定、氷床力学モデルのパラメータ依存性を含めた温暖化時の振る舞いやその不確実性評価を行った。海面上昇については多数の気候モデルによる20世紀再現実験と23世紀末までのシナリオ実験の結果（結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP3)データ）を利用して、将来の起こりうる氷床表面質量収支の変化とその平均海面水位への寄与について詳しく調べた。グリーンランド氷床では融解量が増加して海面上昇に、南極氷床では降雪量が増加して海面低下に寄与することが示された。また、グリーンランド氷床の融解量増加の大きさは、気候モデルの全球平均地上気温変化量の大小、現在と将来の海水分布、海洋循環の変化などに依存することが示唆された。さらに、気候モデルによるグリーンランドの現在気候再現性の善し悪しが将来予測に影響を与えることがわかった。こうした物理プロセスにまで踏み込んだ将来予測の解釈はこれまでほとんど行われておらず、新しい知見を提供することができた。さらに、最新かつ現在も増えつつあるCMIP5データを利用して同様の解析を行い、一部についてはCMIP3の結果が再確認された。このような氷床表面質量収支は、極域の気温変化の程度で大筋が決まるが、それを決める物理プロセスの特定や理解を深めるために気候フィードバック解析を繰り返し行い、アルベドフィードバックだけでなく、極域の大気成層のもともとの強さやその変化などが重要である可能性が示唆され、今後のモデル開発や改良にもつながる知見が得られた。氷床融解水により海洋循環が変化する物理プロセスやその気候影響についても調べ、理解が深まった。氷床力学過程は海面上昇だけでなく融解水やアルベド、その形状を通じて大気循環に与える影響なども含めて非常に重要な物理プロセスであり、様々な感度実験などを通じて氷床モデルの動的特性などを把握したが、今後も緊急に開発・改良が必要な点も多く、また不確実性も依然として大きい。

【キーワード】雪氷圏、海面水位、氷床、質量収支、気候フィードバック

1. はじめに

地球上南北両極にはそれぞれ南極とグリーンランドに大陸氷河（以下氷床とよぶ）が存在し、すべて融けると海水準を70～80m上昇させるほどの体積の淡水量を蓄えており、地球温暖化によってこの一部が融けることは避けられない一方、社会的には1m程度でも多くの人口や沿岸の産業に影響することが懸念されている。ところが、氷床のもつ性質や形状によって温暖化に伴った海面上昇への寄与が時間とともにどれほどなのかは、推定幅がかなりあり、21世紀末までに南極とグリーンランドの合計での寄与が、ゼロであるものから、6mに達するというものまでである(Hansen et al. 2007; IPCC 2007)^{4,5)}。そこで、その不確実性の要因を把握して推定幅を縮めることは気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書でも大きな残された課題の1つになっており、国際プロジェクトとしても緊急研究課題として要請が各方面に送られている現状である。

本課題ではこれらの要請を視野に入れた上で、雪氷圏・海面水準の未来像の描出に向けて大きく4つのテーマに分けて研究を行う。1つ目は気候変動シナリオに基づいた氷床表面質量収支の変化予測とその結果のモデル依存性、不確実性評価とその低減である。具体的には世界気候研究計画(WCRP)の多数の気候モデル出力であるCMIP3・CMIP5データセットを積極的に活用する。2つ目は、氷床モデルの力学過程の改良やパラメータ依存性などの不確実性評価とその低減である。3つ目は、極域の気温変化応答を決める気候感度や極域特有の物理プロセスなどを理解するための、気候フィードバック解析を中心とした研究である。これは、氷床表面質量収支や氷床モデル計算の入力となる部分の不確実性評価とその低減につながる。4つ目は、これまであまり研究されてこなかった、氷床からの融解水を経由した気候応答の調査である。これは、氷床表面質量収支や氷床モデル計算の出力となる部分が引き起こす気候影響の不確実性評価や低減と関係する。さらにその氷床へのフィードバックを視野に入れて検討を行う。

2. 研究開発目的

（1）CMIP3・CMIP5データ利用により気候モデル不確実性を考慮した氷床表面質量収支の変化予測

地球温暖化にともなう全球平均海面水位の上昇は、主に温度上昇による海水の膨張、南極とグリーンランドの大陸氷床の縮小、山岳氷河や氷帽の縮小によってもたらされる。人工衛星に搭載した重力計などによる最近10年程度の観測データは、グリーンランド氷床と南極氷床の質量の急激な減少を示しており、氷床が海面上昇へ寄与する割合の増加も指摘されている。したがって、「海面水準の未来像の描出」のためには、氷床質量収支変化予測に関する不確実性の評価と低減が重要である。氷床モデルを用いた質量収支予測の不確実性は、氷期からの長期変化、表面質量収支の変化とそれに対する氷床の力学応答に起因する項目などに大別される。ここでは、まず表面質量収支について調べる。特に、不確実性評価として、IPCC第4次評価報告書に向けて提出されたマルチ気候モデルデータセットCMIP3と第5次評価報告書に向けて提出されたデータセットCMIP5を利用して、最長23世紀末までの予測を行い、結果のモデル依存性などを把握し理解する。

（2）氷床力学過程も含めた将来の氷床質量収支の不確実性

前述のように、極域氷床による将来の海水準変化への寄与をより正確に予測するためには、氷床表面質量収支の正確な見積もりに加え、氷床力学過程を考慮する必要がある。より現実を再現

するためのモデリングの課題としては、(a)数値スキームを高度にすること、(b)流動に関してより高次の項をとりこみ近似を少なくする、(c)底面における水文学過程に関わる物理過程をはじめ不確定な物理過程の扱いをより高度化すること、(d)氷床と大気モデルの直接結合を行うこと、(e)以上の改良が完成しなくてもその結果に及ぼす影響をある幅をもって評価すること、などである。現実の氷床の再現、とくに氷床の形がまだ完全に再現できておらず縁辺付近の高度を過大評価していることが顕著であり、そのことは温暖化にたいする氷床のレスポンスを遅らせることにもつながっており、研究者の間では大きな課題である。なお、これまでに、氷床のほとんどの体積を占める「岩盤に着床する氷床部分 (grounded ice)」のモデルは準備されている一方、体積は小さいが、棚氷および氷流 (ice stream) 部分に関する部分がモデルに入っていないことが予測の不確実性の主な要因の1つであるので考察が今後必要である。一方、グリーンランドの Jakovshavn氷流では年間1km 以上の早さの流れと近年の大きな後退が観測されている。このような氷流の氷床質量収支への寄与を正確に見積もることは重要であるが、現在のモデル解像度では難しい。そこで、モデルの解像度を上げて計算するための準備も行う。

(3) 気候感度と気温上昇の極域増幅メカニズム

気候感度は大気中の二酸化炭素 (CO_2) 濃度を2倍にしたまま一定に保ち、気候システムが平衡状態になったときの全球・年平均した地表面温度の変化で定義される。この値は、他の様々な気候変化の大きさの目安になり、全球平均気温変化量が政策決定の場において気候安定化目標としてよく参照されることから、非常に重要な指標である。また、極域の気温変化の大きさは、第1次近似としては気候感度と強い関係があることが示されている。したがって、「雪氷圏・海面水準の未来像の描出」のためには、全球の平均的応答を決める気候感度と、極域の応答を決める物理過程に関する不確実性の評価と低減が重要である。また、気温応答を決める気候フィードバックを定量的に把握・理解するためには、気候システムへの入力である放射強制力を正しく見積もることも重要である。本課題では、主に日本の代表的気候モデルの1つであるMIROC (Model for Interdisciplinary Research on Climate) について放射強制力の計算方法の検討、気候フィードバック解析手法の確立と適用を通して、将来の気温変化を決める重要なフィードバック過程の特定と、過去の気候変動からの将来の気候変動予測幅の制約可能性を検証する。さらに、得られた結果の信頼性を確かめるために、モデルの物理パラメータの不確実性がそれらの結果にもたらす影響についても明らかにする。

(4) 氷床融解水が北大西洋子午面循環の変化を介して極域へ与える気候影響

北大西洋の子午面循環 (または熱塩循環) の弱화가、大西洋付近だけでなくアジアを含め世界規模の気候に影響を与えることが古気候指標から示唆されている。これまで、モデルを使用した子午面循環の将来予測はさかんに行われてきたが、温暖化に伴う氷床の融け水による効果は考慮されてこなかった (IPCC 2007)⁵⁾。本課題では、融け水が子午面循環に与える影響、そして子午面循環の変化による気候への影響をMIROCモデルを用いて調べる。そしてモデルシミュレーションの妥当性を古気候指標データと照らし合わせて検討する。融け水によってもたらされた子午面循環の変化は南極氷床にもグリーンランド氷床自体の変動にも大きな影響を与え得る。したがって、「雪氷圏の未来像の抽出」という点からも重要であり、また、現在の氷床モデルでは表現されて

いないが最近その影響が懸念されている、南極周辺における棚氷と深層水形成の相互作用を今後考える意味でも重要な知見を与えることが期待される。

3. 研究開発方法

(1) CMIP3・CMIP5データ利用により気候モデル不確実性を考慮した氷床表面質量収支の変化予測

IPCC第4次評価報告書に向けて提出された多数の全球気候モデル(GCM)出力(CMIP3データ)および第5次評価報告書に向けて提出されたGCM出力(CMIP5データ)を、氷床表面質量収支モデルに入力し、海水位変化に寄与する氷床表面質量収支の予測とそのモデル依存性を調査する。ここでは、氷床の力学的変化による効果は考えない。GCM出力を用いた計算ではいくつかの点に注意する必要があるが、特に、現在の氷床の融解はほとんどのGCMでは解像できない縁辺部の小さな領域で主に起きており、ずっと高解像度で表面質量収支を計算する必要がある。また、氷床における氷の融解は水の融点付近で起きるため、気候モデルの現在気候におけるバイアスが直接将来の質量収支予測に影響を与えてしまう。これらを考慮してSuzuki et al. (2005)¹³⁾の手法に従って行う。

グリーンランドにおいては、高解像度(緯度0.02° x 経度0.05°)の高度、氷床分布、気温、氷床表面涵養量の格子点気候値データが利用できる¹⁾。そこで、気候値に、観測データと同じ高解像度グリッドに空間補間されたGCM出力からの偏差を足し合わせることによって各時期の気温や涵養量の絶対量を求める。氷床表面消耗量の計算には夏の気温によって決まるとするOhmura and Wild (1996)⁸⁾とWild et al. (2003)²¹⁾の半経験式およびPDD (Positive Degree Day) 法を適用する。南極では高解像度の格子点データが利用できないため、通常より若干高い解像度のGCMを用いた(観測データによって制約された)再解析データを境界条件として走らせた解像度60kmの領域モデルの結果⁵⁾を参照気候値として使用する。その他の計算方法はグリーンランドの場合と同様である。

予測結果のモデル依存性については、相関解析、合成図解析、多変量解析等を利用して調べる。また、観測された雪氷データを活用してモデルの評価に役立てる。平成23年度は特にCMIP5データの活用部分を行い、また観測データトレンドを用いた将来予測の制約可能性について調べる。

(2) 氷床力学過程も含めた将来の氷床質量収支の不確実性

これまで開発してきた氷床モデルは独自に開発してきたもので、薄氷(Shallow ice)近似を用いて3次元の氷床の形状と流動と温度をもとめるものである¹⁾。入力として、月平均の気候モデル(東京大学気候システム研究センター(現、東京大学大気海洋研究所)・国立環境研究所・海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター(現、海洋研究開発機構地球環境変動領域)

(CCSR/NIES/FRCGC)で開発されたMIROC3.2)の大気海洋結合モデルの気温と降水量を用い、これを融解や流出量に変換し氷床流動計算部分に受け渡し、時間とともに、体積の変化をもとめる。今回は、簡単のため、一様の気候分布を与える。具体的には、グリーンランドにおいて、気温が3℃から7℃、21世紀末までに上昇することは、可能性の範囲であるので、これを与える。さらに、不確実性の高いパラメタや条件などを抽出し、その可能性の範囲で温暖化に対する応答実験を多く行った。数値スキームの改良前と改良後のほか、底面過程に含まれる底面滑り係数(sliding coefficient)、応力と変形速度の関係式に含まれる流動係数(enhancement factor)、底面において熱的境界条件となる地殻熱流量(geothermal heat flux)などが不確実性を大きくしていると考

えられる。それぞれに物理的にあり得る範囲でかつ全体の氷床観測の誤差の範囲でパラメータを変更し、それぞれに気温上昇に対する応答を計算する。

(3) 気候感度と気温上昇の極域増幅メカニズム

気候感度および気候フィードバックの定量的な解析には、正確な放射強制力の見積もりが不可欠である。これまで、CMIP3マルチGCMの1つMIROC3.2においては、Tett et al. (2002)¹⁵⁾の方法を用いてきたが、この方法は強制に対する成層圏の放射伝達による温度調節だけでなく、力学的要因による成層圏の温度変化や地表面温度変化の影響を含んでおり、氷床と温室効果ガスが共存するような強制の計算には不向きであると考えられる。そこで本研究では、Stuber et al. (2001)¹²⁾に従い、強制に対する成層圏の放射伝達による温度調節の影響のみを忠実に含んだ放射強制力の計算方法をモデルに導入し、様々な放射強制要素に対する強制力を計算する。

MIROC3.2 (medres)を用いて、産業革命前標準実験 (CTRL)、CO₂倍増実験 (2xCO₂)、最終氷期極大期実験 (LGM)、および標準実験において温室効果ガスの濃度のみを最終氷期最盛期のレベルにした実験 (LGMGHG)を行う。LGMと2xCO₂実験を比較することにより、最終氷期最盛期 (過去の気候)とCO₂倍増実験 (将来の気候)における気候フィードバック過程の類似点と相違点を調べる。また、LGMGHGと2xCO₂実験を比較することにより、温暖化と寒冷化における気候感度とフィードバック過程の対称性や非対称性を調べる。さらに、LGMGHGとLGM実験を比較することにより、LGM氷床 (と軌道要素)が気候感度に与える影響についても検討する。これらの実験のそれぞれについて、Partial Radiative Perturbation (PRP、Wetherald and Manabe 1988)²⁰⁾法を用いて様々な気候フィードバックの強さを定量的に評価する。気候フィードバックは、水蒸気、断熱減率、表面アルベド、雲の変化の効果に分けられ、さらに短波と長波に分けて評価される。

上記の最も精度の良いPRP法を参照して、これまで提唱されてきた簡便な気候フィードバック解析法、特に、Cloud Radiative Forcing (CRF、Cess et al. 1988³⁾)法、Approximate PRP (APRP、Taylor et al. 2007)¹⁴⁾法、Yokohata et al. (2005)¹⁶⁾の方法、放射カーネル法 (Soden et al. 2008)¹¹⁾の精度を検証する。その上で、最も適切な方法を用いて、多数の物理摂動アンサンブル実験結果の解析を行う。極域のフィードバック過程にも注目する。

(4) 氷床融解水が北大西洋子午面循環の変化を介して極域へ与える気候影響

MIROC3.2モデルを用いて、産業革命前とLGMの平衡気候状態のそれぞれにおいて、北大西洋北部 (北緯50-70°C)に淡水を流入する。淡水流入は、氷床の融け水を理想化したものであり、産業革命前状態への淡水流入は将来において懸念されている北大西洋熱塩循環の弱化的影響を、LGM状態への淡水流入は古気候指標との整合性の検証により、モデルシミュレーションの妥当性を評価することを目的としている。淡水は、0.1 Sv (=10⁶ m³/s)を500年間流入する。これは、約4 mの海面上昇に相当する量である。

4. 結果及び考察

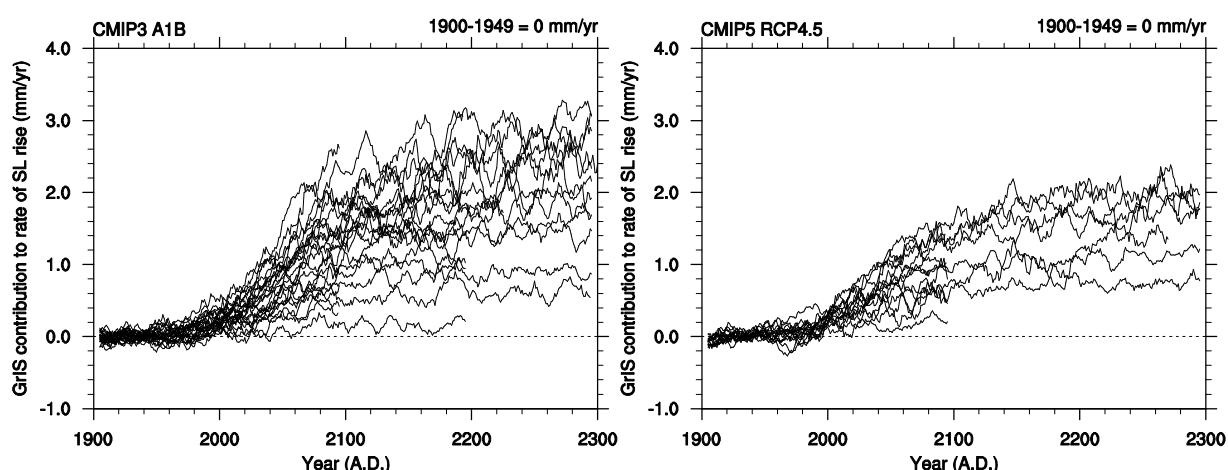
(1) CMIP3・CMIP5データ利用により気候モデル不確実性を考慮した氷床表面質量収支の変化予測

CMIP3データを活用した研究では、グリーンランド氷床では融解量が増加して海面上昇に、

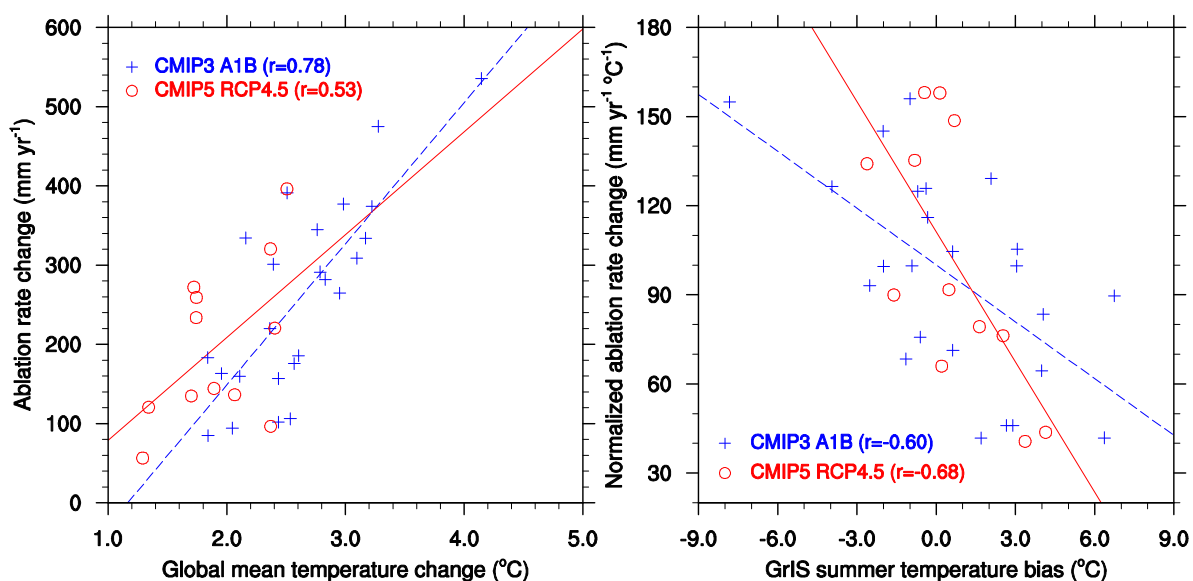
南極氷床では降雪量が増加して海面低下に寄与することが示された。また、グリーンランド氷床の融解量増加の大きさは、気候モデルの全球平均地上気温変化量の大小、現在と将来の海水分布、海洋循環の変化などに依存することが示唆された。さらに、気候モデルによるグリーンランドの現在気候再現性の善し悪しが将来予測に影響を与えることがわかった。こうした物理プロセスにまで踏み込んだ将来予測の解釈はこれまでほとんど行われておらず、新しい知見を提供することができた。これらの成果は、7. 研究成果の発表状況にあるようにYoshimori and Abe-Ouchi (2012)¹⁹⁾にて発表した。

平成23年度においては、CMIP5 代表的濃度経路(RCP)4.5シナリオに基づく将来予測シミュレーション結果を用いてグリーンランド氷床の表面質量収支予測計算を利用可能な15のモデルについて行った(図(5)-1)。24モデルあったCMIP3 A1Bシナリオに比べてモデル数が少ないこととシナリオ自体が異なるため、ばらつき大きさを直接比較することはできないが、21世紀における変化が前者について0.17 to 1.93 mm/yr (5-95%) だったのに対して、後者は0.09 to 1.51 mm/yrであった。21世紀における全球平均気温変化と融解量の関係についてもCMIP3 A1Bは0.78と比較的高い相関であったのに対して、CMIP5 RCP4.5は0.53であった。IPCC 第4次評価報告書では表面質量収支を各モデルの全球気温変化の大きさをスケールして推定したが、このことは、単に数字の違いだけでなく、こうしたアプローチの妥当性にも関係するため重要な結果である。また、夏のグリーンランドのモデルバイアスと計算された融解量については、CMIP3とCMIP5両者とも強い関係があり、バイアスの低減が急務であるというCMIP3の結論は依然として支持された。ただし、CMIP5のバイアスは調べたモデルについてはCMIP3よりも小さかった。

また、CMIP5の20世紀再現実験について最後の15年と25年の表面質量収支のトレンドをアンサンブルメンバーの多い3つのモデルについて調べた。その結果、15年のトレンドは正にも負にもなるが、1986-2010年の25年のトレンドはほぼすべてのメンバーで負になり(表(5)-1)、モデル評価には、20年以上の長さを持ち、ごく最近の観測データを含むデータセットが必要であることが示唆された。



図(5)-1 グリーンランド氷床表面質量収支の海面水位変化率への寄与。(左)CMIP3 A1Bシナリオ予測実験出力を用いた場合。(右)CMIP5 RCP4.5シナリオ予測実験出力を用いた場合。



図(5)-2 CMIP3とCMIP5モデル出力を用いたグリーンランド氷床表面消耗量に影響する要因。(左) 全球平均気温との関係。(右) グリーンランドの20世紀後期(1980-1999平均)の気温バイアスと21世紀の全球気温変化で規格化された氷床表面消耗量の変化。括弧内は相関係数を表す。

表(5)-1 2010年まで再現実験が行われ、10アンサンブルメンバーを持つ2つのモデルにおけるグリーンランド氷床表面質量収支の変化トレンド。海面水位の変化に換算(mm/yr/decade)。

	15-yr (1996-2010) trend (5-95%)	25-yr (1986-2010) trend (5-95%)
CSIRO-Mk3-6-0	-0.17 to 0.54	-0.00 to 0.24
HadCM3	-0.14 to 0.36	-0.01 to 0.14

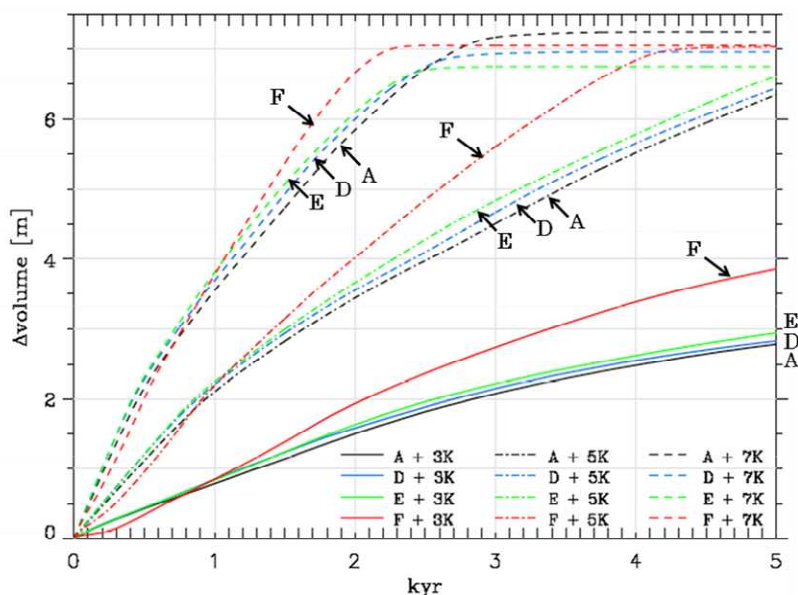
(2) 氷床力学過程も含めた将来の氷床質量収支の不確実性

グリーンランドにおいて、気温が3°Cから7°C、21世紀末までに上昇することは、可能性の範囲であるので、これを与えた結果を図(5)-3として、体積を海面水準に換算してその気温に対する応答の時間変化を示した。また、ありうるパラメタ範囲のモデル設定で実験した。どの設定でも、小さな気温変化に対して大きく体積が変わる閾値のような状態を経て、最終的には気温4°C以上でほぼ氷床は融け切って海面水準を6m以上上昇させるものだが、時間変化はほぼ与えた気温によって決まっていることがわかる。また最終状態に達する時間は数100年から数1000年かかり、その時間は、パラメタによって当然違い、不確実性がある。とくに、気温変化が小さいときには、モデルパラメタをどう選択するかが、結果に大きく影響するようになる。

このなかでも大きな不確実性のあるパラメタは、滑り速度の係数の扱いであり、さらに、形状の表現もふくめて今後検討していかなければいけない。

また、今後は、モデルパラメタの検討と選択のほか、大気モデル結果と組あわせた実験が必要である。さらにシナリオとして、気温上昇で氷床が後退した長期期間のあとに気候が安定化した場合の氷床および海面水準の復活があるのかどうかの研究も始まっており、今後、検討して行く必

要があると考える。



図(5)-3 気温上昇に対する氷床体積（海水準相当 m）の応答。気温が3℃、5℃、7℃21世紀末までに変化したときにその後上昇する海水準をしめす。異なる記号と色は、可能性のあるモデル物理パラメタ範囲内のいくつかのケースである。

大循環モデルの雪氷質量収支部分や氷床流動モデルの改良に関して、グリーンランド氷床のシミュレーションや多数の数値実験、さらにモデル間比較を行い、質量収支部分の扱いの微妙な違いによって、北グリーンランド氷床の予測がかなり変わることがわかり、解析後論文執筆および出版を行った(Greve, Saito and Abe-Ouchi, 2011)。またデータによる検証およびモデル評価のための過去の気候に関する数値実験については、南極氷床のとくに現在棚氷部分の評価を行った(Saito and Abe-Ouchi, 2010とさらなる解析)、氷期サイクルの気候変動や北半球氷床の変動性に関してさらに再現性の向上と多くの数値実験を行ない、出版やIPCC 第5次評価報告書執筆のための活動を行った。

(3) 気候感度と気温上昇の極域増幅メカニズム

MIROC3.2大気大循環・海洋混合層結合モデルを用いた実験では、2xCO2実験とLGM実験において気温応答を決める気候フィードバックパラメタの大きさに違いが見られた。両者の違いは主に短波領域における雲フィードバックを介して起こることも定量的に明らかにされた。関連する一連の実験について、精密な放射フィードバック解析を行い、モデルの特性を含め全体像を明らかにした。これらの成果は7. 研究成果の発表状況にあるように、Yoshimori et al. (2009)¹⁷⁾にて発表した。

また、上記の結果の信頼性を調べるために、パラメタを走査した物理摂動アンサンブル実験の結果を解析し、その信頼性を確認した。背景場の違いにより、極域のフィードバックの効き方に大きな違いが見られた。極端な背景場の違いを比較するために、氷期と現在の2つの背景場を考え、CO₂増加実験を解析した。現在気候では、北極海で海氷の融解が起こり、アルベドフィードバックと温度減率フィードバックにより極域の気温上昇が増幅されるのに対して、氷期気候では、

主に中緯度の陸上でアルベドフィードバックが起こり、温度減率フィードバックは比較的小さい。海水の融解は海から大気への熱フラックスを増加させ温度減率フィードバックを引き起こすためと考えられる。これらの成果は7. 研究成果の発表状況にあるように、Yoshimori et al. (2011)¹⁸⁾にて発表した。

さらに、第2次古気候モデリング相互比較プロジェクト (PMIP2) データおよび物理摂動アンサンブル実験結果の統合により、産業革命前を基準として、LGMの気候フィードバックは将来のCO₂増加時と強い正の相関関係がある可能性が示唆された。また、パラメータの不確実性だけでは説明されないモデルの構造的な不確実性の重要性などが認識された。さらに、従来からの放射フィードバック解析にモデル内の温度変化率の項 (tendency term) を用いた統合解析することにより地域スケールの気温変化応答に関する知見が得られる可能性が示された。

(4) 氷床融解水が北大西洋子午面循環の変化を介して極域へ与える気候影響

暖かい気候に融け水を流したときと、寒い気候に融け水を流したときとは、たとえば同じ量の融け水が同じ場所に流出したとしても、かなり応答が違うことがわかった。LGMの気候状態への淡水流入実験では、古気候指標に見られるように、グリーンランドにおける寒冷化と、淡水流入開始後約200年経ってから南極および南極周辺で温暖化が見られた。一方で、産業革命前の気候状態への淡水流入実験では、むしろ南極付近には寒冷化が見られた(図省略)。温暖化気候では、古気候で見られたほど、淡水流入による気候変化はないことになり、気候の基本場によって解釈が異なることがわかった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) CMIP3・CMIP5データ利用により気候モデル不確実性を考慮した氷床表面質量収支の変化予測

氷床表面質量収支の見積もりに関係する不確実性は、将来の気候変化(氷床の海面上昇への寄与、融解水の海洋循環への影響、アルベドを介した地球エネルギー収支への影響、地形を介した大気循環への影響)だけでなく、過去の気候・氷床変動を調べる際にも非常に重要である。これまで調べられてこなかった、マルチモデルのばらつきの原因を指摘することは、今後のモデル開発や高精度化に向けて道筋を提供するという点で意義深い。特にグリーンランド氷床上のバイアスの影響については、これまで、そして今後の多くの同様の研究に共通の課題であり、結果の影響範囲が非常に大きい。CMIP5データを用いた予測についてはIPCC第5次評価報告書への貢献となることが期待される。

2) 氷床力学過程も含めた将来の氷床質量収支の不確実性

極域氷床による将来の海水準変化への寄与をより正確に予測するためには、表面質量収支の正確な見積もりに加え、氷床力学過程も考慮する必要がある。本研究では、質量収支や氷床力学過程におけるパラメータの設定などに関する多くの感度実験だけでなく、データとの比較を通してその結果の検証が行われ、モデルの信頼性評価を与えた。特に、棚氷部分などは、最近氷床質量収支に与える重要性が特に注目されているところであり、非常に重要である。

3) 気候感度と気温上昇の極域増幅メカニズム

本課題において、極域の地域的な気温変化メカニズムの理解とその再現が重要であることが示

唆された。同時に最近の研究では、気候モデルが極域での温暖化を過小評価する傾向にあることが指摘されている。極域増幅メカニズムの理解を深めることで、プロセスレベルの情報を提供でき、モデルの改善や高精度化に役立つと考えられる。特に本研究ではこれまであまり注目されてこなかった大気温度の鉛直勾配の変化の重要性が指摘されたこと、背景場としての海氷分布の重要性が示唆されたことは新しい知見であり、今後の研究の方向性を決める上でもその意義は大きいと考えられる。

4) 氷床融解水が北大西洋子午面循環の変化を介して極域へ与える気候影響

氷床の融け水の影響が、その場所や量だけでなく、流れだすときの気候状態によってかなり応答がことなることが、将来予測全般に用いられる大気海洋大循環モデルから示された。融け水の影響評価については、これまで現在の気候状態での融け水実験がおこなわれ、その結果は氷期の融け水の影響と思われる古気候指標との比較により検討されたため、モデルのシミュレーション性能の確認に大きな問題があった。本課題により、少なくともそれがモデル表現の問題だけでなく、むしろ実験設定に原因があったことが可能性として強く示された。このことはこれまで示されておらず、将来の融け水の影響評価、モデルの評価、古気候を含めた気候システム全般の理解において、非常に重要である。また、これまでの解析により、今後より詳細な解析と結果のモデルパラメータ依存性の調査が必要であるとともに、海洋性層構造を決める混合のパラメータなどによる依存性についての調査が必要であることが認識されたことは有用である。

(2) 地球環境政策への貢献

海面上昇は、生活空間や産業地としての沿岸利用、生態系も含めた沿岸域の環境、災害対策、水資源など多くの問題に関係しており、その不確実性を評価し、低減していくことは、環境政策決定において非常に重要な基礎的知見を与える。

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) Yoshimori, M., T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2009): A comparison of climate feedback strength between CO2 doubling and LGM experiments. *J. Climate*, 22(12), 3374-3395.
- 2) 吉森 正和, 阿部 彩子 (2009): 気候感度の制約において第四紀研究の果たす役割と可能性について. *第四紀研究*, 48(3):143-162.
- 3) Yoshimori, M., J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2011): Dependency of feedbacks on forcing and climate state in perturbed parameter ensembles. *J. Climate*, 24(24), 6440-6455.
- 4) Yoshimori, M. and A. Abe-Ouchi (2012): Sources of spread in multi-model projections of the Greenland ice-sheet surface mass balance. *J. Climate*, 25(4), 1157-1175.

- 5) 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀 (2012): 気候感度 Part 1: 気候フィードバックの概念と理解の現状. 天気, 59(1), 5-22.
- 6) 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀 (2011): 気候感度 Part 2: 不確実性の低減への努力. 天気, 59(2), 91-109.
- 7) 吉森 正和, 横畠 徳太, 小倉 知夫, 大石 龍太, 河宮 未知生, 塩竈 秀夫, 對馬 洋子, 小玉 知央, 野田 暁, 千喜良 稔, 竹村 俊彦, 佐藤 正樹, 阿部 彩子, 渡部 雅浩, 木本 昌秀 (2011): 気候感度 Part3: 古環境からの検証. 天気, 59(3), 143-150.

〈査読付論文に準ずる成果発表〉 (社会科学系の課題のみ記載可)
特に記載すべき事項はない。

〈その他誌上発表 (査読なし)〉

- 1) 吉森 正和, 阿部 彩子 (2010): 気候システムの統一的理解と将来予測へ向けた古気候モデリング. 月刊海洋, 42(3), 142-151.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 吉森正和, 阿部彩子: 氷期と現在気候での淡水流入に対する熱輸送応答の比較, 日本気象学会 2007 年度秋季大会, 札幌, 2007 年 10 月.
- 2) 吉森正和, 阿部彩子, 横畠徳太: 二酸化炭素倍増実験と最終氷期極大期における気候フィードバック解析, 日本気象学会 2008 年度春季大会, 東京, 2008 年 5 月.
- 3) Yoshimori, M., T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi: A comparison of climate feedback strength between CO₂ Doubling and LGM Experiments. PMIP2 Workshop, Estes Park, CO, USA, September 2008.
- 4) 吉森正和, 阿部彩子, 横畠徳太: 二酸化炭素倍増実験と最終氷期極大期における気候フィードバック解析. 第四紀学会シンポジウム, 東京, 2008 年 8 月.
- 5) 吉森正和: フィードバックと気候感度, 熱帯, 極域の気温変化. 国立極地研究所先進プロジェクト研究集会, 東京, 2008 年 10 月.
- 6) 吉森正和, 阿部彩子: 様々な時間スケールの気候変動モデリング. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009 年 5 月.
- 7) 吉森正和, 阿部彩子: 放射カーネルを用いた気候フィードバック解析について. 日本気象学会 2009 年度春季大会, 筑波, 2009 年 5 月.
- 8) 吉森正和, 阿部彩子: 古環境情報を利用した気候感度の制約について. 古海洋シンポジウム, 東京大学海洋研究所, 2010 年 1 月.
- 9) Yoshimori, M., J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Yokohata and A. Abe-Ouchi: Identification of important feedback processes in perturbed parameter ensembles with paleoclimate applications. 2nd International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment jointly with 3rd

International Workshop on KAKUSHIN Program, Tsukuba, February 2010.

- 10) 吉森正和, 阿部彩子: 複数の気候モデル出力を用いたグリーンランド氷床表面質量収支の予測幅に関するプロセスについて. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2010年5月.
- 11) Yoshimori, M. and A. Abe-Ouchi: Processes relevant to a range of Greenland ice-sheet surface mass balance projections. International Glaciological Society 2010, Hokkaido Univ., June 2010.
- 12) Yoshimori, M., A. Abe-Ouchi and T. Sueyoshi: The last millennium PMIP3/CMIP5 and PCMP experiment for IPCC AR5 and the perspectives. PAGES-1st Asia 2k Workshop, Nagoya Univ., August 2010.
- 13) 吉森正和: CMIP3 気候モデル出力を用いたグリーンランド氷床表面質量収支の予測幅について, 文科省革新プロ- 環境省推進費戦略課題 S-5/S-8 合同シンポジウム, 東京, 2011年1月.
- 14) 吉森正和, 阿部彩子: CMIP3 気候モデル出力を用いたグリーンランド氷床表面質量収支の予測幅について. 日本気象学会春季大会, 代々木, 2011年5月.
- 15) Abe-Ouchi, A., M. Yoshimori, Saito, F., Takahashi, K. and R. O'ishi: Ice Sheet - Climate Interaction Learned from Modeling the Past for the Future. WCRP Open Science Conference, Denver, CO, October 2011.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

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

- 1) Abe-Ouchi, A., T. Segawa and F. Saito, 2007: Climatic conditions for modelling the Northern Hemisphere ice sheets throughout the ice age cycle. *Clim. Past*, 3, 423-438.
- 2) Calanca, P., H. Gilgen, S. Ekholm, and A. Ohmura (2000): Gridded temperature and accumulation distributions for Greenland for use in cryospheric models. *Annals of Glaciology*, 31, 118-120.
- 3) Cess, R. D. and G. L. Potter, 1988, A methodology for understanding and intercomparing atmospheric climate feedback processes in general circulation models. *J. Geophys. Res.*, 93(D7), 8305-8314.

- 4) Greve, R., F. Saito and A. Abe-Ouchi (2011): Initial results of the SeaRISE numerical experiments with the models SICOPOLIS and IceIES for the Greenland Ice Sheet. *Annals of Glaciology*, 52, 58.
- 5) Hansen, J., M. Sato, P. Kharecha, G. Russell, D. W. Lea and M. Siddall (2007): Climate change and trace gases. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 365, 1925-1954.
- 6) IPCC (2007) *Climate Change 2007: The physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA, 996pp.
- 7) Monaghan, A. J., D. H. Bromwich and S.-H. Wang (2006) Recent trends in Antarctic snow accumulation from Polar MM5 simulations. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 364, 1683-1708.
- 8) Ohmura, A. and M. Wild (1996) : A possible change in mass balance of Greenland and Antarctic ice sheets in the coming century. *J. Climate*, 9, 2124-2135.
- 9) Saito, F. and A. Abe-Ouchi (2004): Thermal structure of Dome Fuji and east Dronning Maud Land, Antarctica, simulated by a three-dimensional ice-sheet model. *Ann. Glaciol.* 39, 433-438.
- 10) Saito, F. and A. Abe-Ouchi (2010): Modelled response of the volume and thickness of the Antarctic ice sheet to the advance of the grounded area. *Annals of Glaciology*, 51(55), 41-48.
- 11) Soden, B. J., I. M. Held, R. Colman, K. M. Shell, J. T. Kiehl, and C. A. Shields (2008): Quantifying climate feedbacks using radiative kernels. *J. Climate*, 21, 3504-3520
- 12) Stuber, N., R. Sausen and M. Ponater (2001) Stratopsphere adjusted radiative forcing calculations in a comprehensive climate model. *Theor. Appl. Climatol.* 68, 125-135.
- 13) Suzuki, T, H. Hasumi, T.T. Sakamoto, T. Nishimura, A. Abe-Ouchi, T. Segawa, N. Okada, A. Oka and S. Emori (2005): Projection of future sea level and its variability in a high-resolution climate model: Ocean processes and Greenland and Antarctica ice-melt contributions. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L19706, doi:10.1029/2005GL023677.
- 14) Taylor, K. E., M. Crucifix, P. Braconnot, C. D. Hewitt, C. Doutriaux, A. J. Broccoli, J. F. B. Mitchell and M. J. Webb (2007) Estimating shortwave radiative forcing and response in climate models. *J. Climate*, 20(11), 2530-2543.
- 15) Tett, S.F.B., G.S. Jones, P.A. Stott, D.C. Hill, J.F.B. Mitchell, M.R. Allen, W.J. Ingram, T.C. Johns, C.E. Johnson, A. Jones, D.L. Roberts, D.M.H. Sexton and M.J. Woodage (2002) Estimation of natural and anthropogenic contributions to twentieth century temperature change. *J. Geophys. Res.* 107(D16), 4306, doi:10.1029/2000JD000028.
- 16) Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, Y. Tsushima, T. Ogura, and M. Kimoto (2005) Climate response to volcanic forcing: Validation of climate sensitivity of a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21710. DOI:10.1029/2005GL023542

- 17) Yoshimori, M., T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2009): A comparison of climate feedback strength between CO₂ doubling and LGM experiments. *J. Climate*, 22, 3374-3395.
- 18) Yoshimori, M., J. C. Hargreaves, J. D. Annan, T. Yokohata, and A. Abe-Ouchi (2011): Dependency of feedbacks on forcing and climate state in perturbed parameter ensembles. *J. Climate*, 24(24), 6440-6455.
- 19) Yoshimori, M. and A. Abe-Ouchi (2012): Sources of spread in multi-model projections of the Greenland ice-sheet surface mass balance. *J. Climate*, 25(4), 1157-1175.
- 20) Wetherald, R. T. and S. Manabe, 1988, Cloud feedback processes in a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 45(8), 1397-1415
- 21) Wild, M., P. Calanca, S. C. Scherrer and A. Ohmura (2003) : Effects of polar ice sheets on global sea level in high-resolution greenhouse scenarios. *J. Geophys. Res.*, 108(D5), 4165, doi:10.1029/2002JD002451.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(6) 気候変動シナリオに基づく農業・食料の未来像の描出

(独) 農業環境技術研究所

大気環境研究領域

長谷川 利拡・石郷岡 康史

物質循環研究領域

新藤 純子

<研究協力者>

(独) 農業環境技術研究所

大気環境研究領域

桑形 恒男・吉本 真由美・福岡 峰彦・臼井 靖浩

物質循環研究領域

林 健太郎

(独) 森林総合研究所

水土保持研究室

澤野真治

平成19～23年度累計予算額：64,350千円

(うち、平成23年度予算額：12,350千円)

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕 本研究は、気象要因と主要な技術要因が作物生産に及ぼす影響を合理的に説明する作物収量予測モデルを構築し、気候変動および農業への需要の変化が東アジアの農業生産と農業の環境負荷に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。そのために、東アジアに適用可能なコム収量予測モデルを構築し、第3期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3)のマルチ気候シナリオを用いて2050年頃を対象とした影響評価を実施した。使用した10気候シナリオの結果を平均すると、1990年代から2040年代の23地点(北緯22～47°)の収量変化は-9～+8%の範囲にあったが、気候シナリオ間で顕著な違いが認められた。昇温程度が大きい気候シナリオにおいて減収の程度が大きい傾向にあったが、気候シナリオによる違いは、気温だけでなく、日射量の予測値に関しても大きく、このことが作物収量予測にも大きく影響することがわかった。イネの高温障害の頻発が懸念される長江流域で、高温ストレス指標に湿度、風速、日射、気温などから推定される穂温を用いたところ、高温発生の地理的分布が気温によるものとは必ずしも一致しないことがわかった。これも、湿度、風速、日射などの気温以外の要素の重要性を示す例である。また、異常高温の発生については、気候シナリオ間での予測幅も大きく、短期的な変動に関する予測の不確実性は大きいことがわかった。気候シナリオと広域窒素フローモデルを組み合わせ、農耕地から流出する窒素と河川水の窒素濃度を推定した。予測される作物需要の増加に対して、窒素投入量を継続的に増加させて対応した場合、気候シナリオに関わらず河川水窒素濃度は2030年頃まで大きく増加するものと予測された。施肥管理方法を大きく改変した場合、作物の収量を増加させて、かつ耕地からの窒素損失を大幅に軽減できる可能性が示唆された。これらは、窒素施肥技術における「適応」が東アジアにおける将来の生産性向上と環境負荷の軽減に大きく貢献することを示唆するものである。

[キーワード] 作物モデル、地域収量、マルチ気候モデル、気象要素間相関、不確実性

1. はじめに

穀類の需要増加、国際的な食料逼迫や価格高騰、肥料価格の変動など、食料を取り巻く国際情勢は著しく変化している。さらに、気候変動やそれに伴う水資源の枯渇は、食料生産に大きな影響を及ぼし、安定的な食料の供給を脅かそうとしている。このような状況から、食料生産変動を定量的に評価した上で、生産・品質を向上させる技術開発が強く望まれている。また、今後の農業生産には、単に生産性だけでなく、投入資源を有効利用して環境への負荷を抑える省資源性・環境調和性も強く要求される。

気候の将来予測における不確実性は、農業生産量の予測にも大きな影響を与える。さらにその程度は、対象とする地域、作目、生産技術といった環境条件や農業形態によって大きく異なるものと考えられる。したがって、将来の農業生産像を描出するためには、気候シナリオの不確実性が農業生産に及ぼす影響を各地の環境条件や農業形態との関連から明らかにした上で、農業の環境負荷をも考慮した技術の方向性を提示することが極めて重要である。しかしながら、これまでに実施された作物収量の将来予測研究では、気候予測の不確実性や農業の環境負荷に及ぼす影響については考慮されておらず、農業分野の多面的な影響の評価は十分ではなかった。

2. 研究開発目的

本研究は、作物生産予測モデルを用いて、気候変化および農業への需要の変化が、主として東アジアの農業生産および農業の環境負荷に及ぼす影響を定量的に評価するとともに、国内外の研究知見の蓄積も援用しつつ、農業・食料の未来像を描出することを目的とする。

東アジアは、2010年現在の人口が15億7千万人で、アジア全体の38%、世界全体の23%を占め、食料生産、需要においても極めて重要な地域である。また、過去50年間に著しい経済発展を遂げるとともに、農業技術も大きく変貌した。その結果、食料生産は大きく増加した一方で、化学肥料の過剰投入による水質汚染など、農業由来による環境汚染も大きな問題として取りあげられるようになった。さらに、今後予想される気候変化は、東アジアにおける作物生産に大きな影響を与えることが懸念されている。その影響は、東アジア全体に均一に起こるのではなく、現在の気候条件、水利条件、農業形態によって大きく異なることが予想される。そこで、本研究では、気候変動が東アジアの作物生産に及ぼす影響が、確率的気候変動シナリオの予測幅や、緯度帯や灌漑・天水といった水利用条件の違いによってどのように変動するかを明らかにするとともに、作物による窒素利用に着目し、気候変動が農耕地からの窒素損失に及ぼす影響の解析を通じて、今後の農業・食料生産に重要な技術要素を明らかにすることを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) 気候変動シナリオを用いたコメ収量予測

1) 東アジア灌漑水田のコメ収量予測

簡易な構造で少ない入力変数とパラメータから作物の成長・収量を推定する既存の作物モデル(Hasegawa et al, 2008)⁴⁾に、窒素動態を表すモデルのアルゴリズム(Hasegawa and Horie, 1997)²⁾

を導入するとともに、過去の圃場条件における開放系大気CO₂増加実験結果 (Yoshimoto et al, 2005)¹⁴⁾から、CO₂濃度に対する水利用の応答関数を導入した。本モデルが広範な気候帯に適用可能かを、東アジアにおける緯度帯の異なる23地点 (図(6)-1、北緯22°～47°)の統計収量を用いて検証した。さらに、同地点を対象にCMIP3で整備された気候シナリオから、作物収量予測モデルの入力変数が得られる10の気候モデル (表(6)-1)の計算結果を用いて、2050年までの収量予測を行った。

2) 東南アジア天水田における コメ生産変動予測

東南アジア等に広く分布する天水田地帯においては、作付開始時期や栽培可能面積が気象条件に大きく依存するため、その生産量は年々の気候変動のみではなく、将来予測されている気候変化により大きく影響される。そこで、収量予測モデルと作付面積の変動を組み合わせた生産量予測手法を開発し、東北タイのコメ生産変動を推定した。

(2) 高温障害および耕地 水収支への影響評価

1) 長江流域における高 温障害発生頻度

これまで、作物の高温障害は、主として最高気温を基に評価されてきたが、高温障害発生には、気温よりも感受器官である穂の温度が強く影響することが明らかになってきた (Matsui et al, 2007; Tian et al, 2010; Hasegawa et al, 2011)^{7, 10, 3)}。そこで、Yoshimoto et al, (2011)¹³⁾

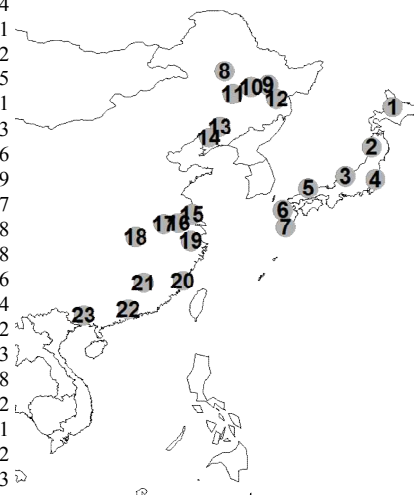
が開発したイネの穂温推定モデル (IM²PACT) を用いて、東アジアの中でコメの高温障害発生リスクが高いとされる中国長江流域 (Wassmann et al, 2009)¹¹⁾を対象に、穂温を指標とした高温発生を評価した。

2) 黄河流域における農耕地水収支

表(6)-1 作物収量の過去再現実験および将来予測
実験に用いたCMIP3の気候モデル一覧

No.	Model	Modeling group
1	BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research, Norway
2	CGCM3.1(T47)	Canadian Centre for Climate Modeling & Analysis, Canada
3	CGCM3.1(T63)	Canadian Centre for Climate Modeling & Analysis, Canada
4	FGOALS-g1.0	LASG / Institute of Atmospheric Physics, China
5	GISS-AOM	NASA / Goddard Institute for Space Studies, U.S.A
6	INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics, Russia Insitut Pierre Simon Laplace, France
7	APSL-CM4	Centre for Climate System Research (The University of Tokyo) National Institute for Environmental Studies and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan
8	MIROC3.2(hires)	National Institute for Environmental Studies and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan
9	MIROC3.2(medres)	National Institute for Environmental Studies and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan
10	MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japan

No.	Site	Country	Latitude (°N)	Longitude (°E)
1	Asahikawa	Japan	43.8	142.4
2	Akita	Japan	39.7	140.1
3	Toyama	Japan	36.7	137.2
4	Mito	Japan	36.4	140.5
5	Matsue	Japan	35.5	133.1
6	Saga	Japan	33.3	130.3
7	Kagoshima	Japan	31.6	130.6
8	Qiqihar	China	47.4	123.9
9	Tonghe	China	46.0	128.7
10	Harbin	China	45.8	126.8
11	Qian Golos	China	45.1	124.8
12	Mudanjiang	China	44.6	129.6
13	Shenyang	China	41.8	123.4
14	Yingkou	China	40.7	122.2
15	Dongtai	China	32.9	120.3
16	Nanjing	China	32.0	118.8
17	Hefei	China	31.9	117.2
18	Wuhan	China	30.6	114.1
19	Hangzhou	China	30.2	120.2
20	Fuzhou	China	26.1	119.3
21	Ganzhou	China	25.9	115.0
22	GunagnZhou	China	23.2	113.3
23	Nanning	China	22.6	108.4



図(6)-1 解析対象地点一覧

中国を代表する畑作地帯である黄河流域では、水需要の増大に伴い、水資源の逼迫が懸念されている。さらに、温暖化および降水の変化は、同地域における水需給にも大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで、広域の作物水需要と利用可能な水資源量を予測するモデル (Ishigooka et al, 2008)⁵⁾を用いて、中国黄河流域の農耕地の水需給バランスを評価した。入力地形データは、スペースシャトルに積み込んだレーダによる立体地形データ (Shuttle Radar Topography Mission、<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)、日別気象データはCMIP3の7つの全球気候モデル (GCM)、植被率は、地球観測衛星、Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT)-VEGETATION (1998-2000) による植生指数の累年平均から推定した。

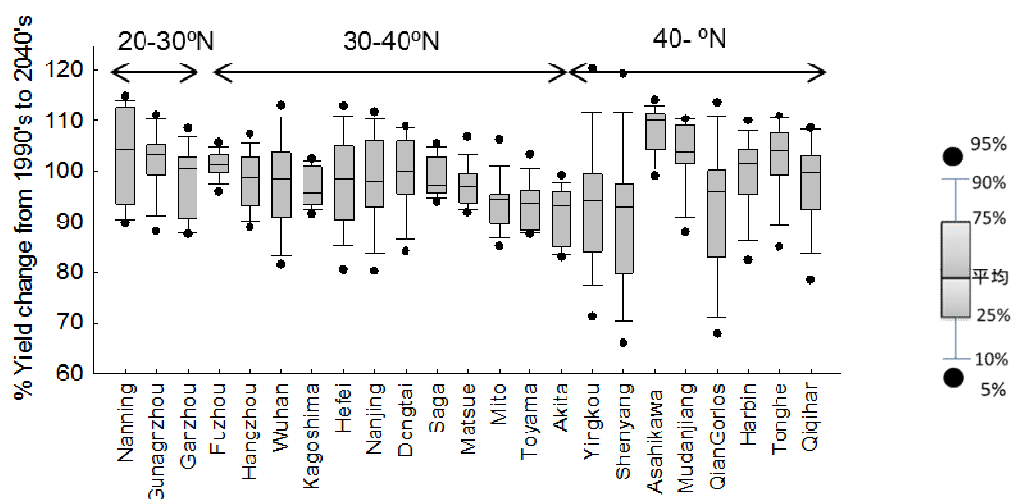
(3) 耕地窒素収支、河川水窒素濃度と作物窒素管理

1) 農耕地から河川への窒素流出への影響

1960年以降、中国における化学肥料使用量は急激に増加した。これに伴い、作物収量も著しく増加したが、化学肥料の農耕地からの流出も増大した。農耕地からの窒素の損失には、作物による吸収(収穫物の持ち出し)の他、脱窒、溶脱などの経路があるが、いずれも温度や降水量に依存する。今後、食料生産の需要の高まりと気候変化によって、窒素の系外流出は変化する可能性があるが、気候変動要因を取り入れた推定は行われていない。そこで、脱窒、溶脱などが、気温、降水、蒸発散などに依存する広域窒素フローモデル (Shindo et al, 2006)⁹⁾とマルチ気候シナリオを用いて、黄河および長江の2大河川流域の窒素収支を0.5° グリッドで推定した。ただし、作物需要およびそれを満たすための窒素施肥量は、人口および経済成長の中位予測を基に推定し、作物の窒素利用効率を一定として推定した。なお、窒素収支で産業からの排出は考慮しなかった。

2) 窒素施肥法の違いによる収量と窒素損失の変化

窒素管理方法の違いは、作物の生育・収量だけでなく、農耕地からの肥料成分の流出にも大きく影響する。そこで、窒素利用効率を高めるための施肥技術の導入が、将来気候における水田の



図(6)-2 緯度帯の異なる地点における2040年代のイネの予測収量(2001-2010年の平均収量に対する2041~2050年の平均の相対値)。図の予測幅は、表(6)-1の気候シナリオの違いによる。排出シナリオはA1Bを使用。

生産性と環境負荷に及ぼす影響を明らかにするために、極端に異なる2つの窒素管理条件でシミュレーションを行った。1つは施肥効率が低いとされる基肥のみを1回だけ施用する方法、もう1つは施肥効率を高めるために、作物の成長に伴う窒素需要の変化に対応して、生育期間中に継続的に窒素補給を行う方法である。いずれの施肥法も、総施用量は同量とし、2. (2)と同じ23地点を対象に、2050年頃までの収量および土壌-作物における窒素収支を推定した。

4. 結果及び考察

(1) 気候変動シナリオを用いたコメ収量予測

1) 東アジア灌漑水田のコメ収量予測

改良作物モデルと統計収量の地域分布を比較したところ、推定収量は、北緯22°～47°の広範な地点の収量の空間変動や年々の変動をよく反映することがわかった。CMIP3気候シナリオを用いた予測では、全シナリオを平均すると、1990年代(1991～2000年の10年平均)から2040年代(2041～2050年の10年平均)の23地点の収量変化は-9～+8%の範囲にあった(図2)が、気候シナリオによって有意に異なった。対象地点と気候シナリオの違いに起因する分散を比較したところ、地点間差よりも気候シナリオ間の方が顕著な違いがあり、気候シナリオの中では、BCCRが増収を予測したのに対し、IPSL、MIROC-M、MIROC-Hは8～10%の減収を予測する(図省略、各気候シナリオの出所については表(6)-1参照)など、予測の方向も異なることがわかった。その要因を解析したところ、昇温程度が大きい気候シナリオにおいて減収の程度が大きい傾向にあったが、昇温程度と日射量との間にも有意な正の相関が認められたなど、気温以外の要素の関連も極めて強かった。このことは、気候変動の影響とその不確実性に関する気候シナリオの特性評価において、複数の気象要素の影響を考慮することが重要であることを示す結果である。

2) 東南アジア天水田におけるコメ生産変動予測

天水田が多く分布する東北タイの稲作では、雨季の始期と終期のタイミングによって、植え付け時期や可能作付面積が変動する。こうした降雨条件に強く依存する作付面積の変動を推定するために、雨季開始から徐々に増加する作付水田割合を日々の降水パターンからモデル化した(Sawano et al 2008)⁸⁾。移植晩限である8月下旬までの積算作付面積割合を推計したところ、モデルによる推定値は農業統計から得られる作付面積の年々変動をよく反映した。ここで得られる推定作付面積と収量モデルによる推定収量を乗ずることで、コメ生産量の変動を推定することが可能である。これに基づき、コメ生産の将来予測を行ったところ、水田からの蒸発散量については、気温の上昇に伴ってわずかな増加傾向が認められたが、雨季の降水量は増加傾向が予測されたため、2040年代までの生産量の変化は-4～+8%程度で、大きな減産は予測されなかった。

(2) 高温障害および耕地水収支への影響評価

1) 長江流域における高温障害発生頻度

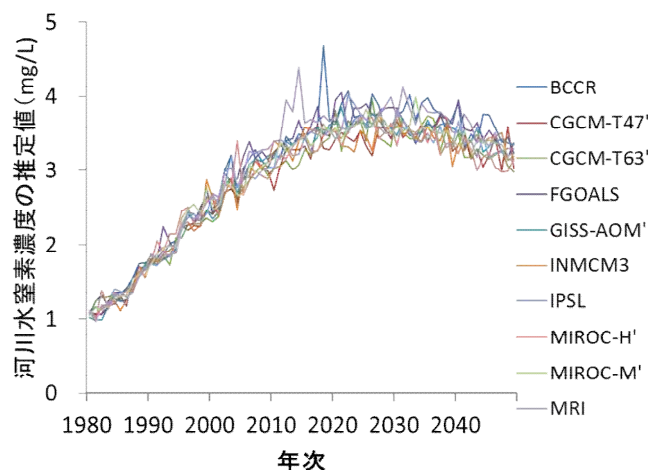
中国のコメ主産地である長江の上流から下流域を対象に、イネの高温感受性の高い開花期頃の穂温および気温について、閾値以上の温度の積算値(高温ストレス指標、Hasegawa et al, 2011)³⁾として評価したところ、気温を基にした高温ストレス指標は比較的広範囲で高い傾向にあったが、穂温についてはWuhanを中心とした中流域で高い傾向を示した。これは、主として中流域付近が他地域に比べて多湿かつ弱風条件にあることによる。これらの地域は、2000年以降、高温障害の発

生がしばしば報告されている地域である(松井 2009)⁶⁾。気候シナリオによるシミュレーションでも、気温については最高気温が上がりやすい内陸の広範な地域で高温ストレス指標が高かったが、穂温による指標では地域間差異が明瞭になり、中流域において高い値が示され、同地域が今後も高温障害の発生を受けやすい脆弱な地域であることが示された。このように、気温に加えて湿度、風速などの要素が、高温障害脆弱性の地理的分布にも影響することが示唆された。ただし、閾値以上の温度の積算で表す高温ストレス指標に関しては、気候シナリオ間で大きな違いがあり、極端現象による収量変動の予測には依然として大きな不確実性があることも示された。

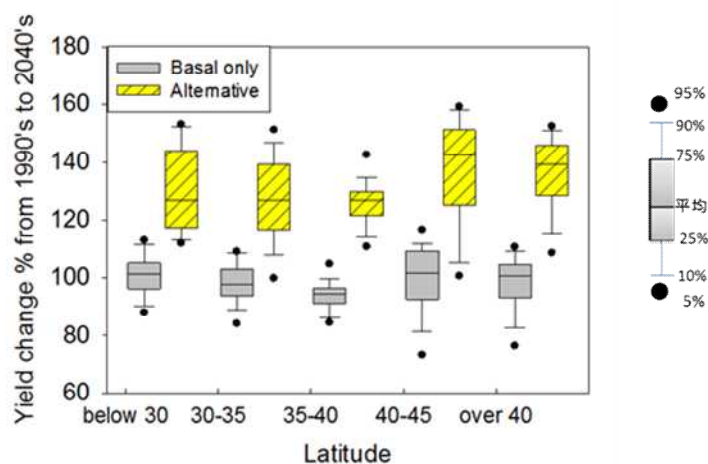
2) 黄河流域における農耕地水収支

水不足が懸念される黄河流域を対象に、1981～2100年までの降水量、蒸発散量およびその差引で表される耕地の水収支(降水-蒸発散)を 0.5° グリッドごとに推定し、1981～2000年との増減を集計値について比較した。降水量は、2040年以降気候モデル間の差が大きくなり、供試した7気候シナリオのうち、4シナリオは降水量の明らかな増加を、3シナリオは現在とほぼ同レベルの降水量を予測し、顕著な減少を予測するモデルはなかった。

一方、蒸発散量については、2040年以降すべてのシナリオが増加を予測した。その結果、2041～2060年代の耕地の水収支は、3モデルが減少(-16～-24%)、2シナリオが変化なし(-2～6%)、2モデルが増加(19～24%)を予測するなど、気候モデルによって大きな違いが認められた。降水量は増加するものの、耕地の水収支が悪化すると予測するモデルも認められたが、これは温度上昇に伴う蒸発散量が降水量の増加を上回る場合があるためである。Fu et al(2009)¹⁾は、中国北部平原において過去約50年に有意な降水



図(6)-3 マルチ気候シナリオと広域窒素フローモデルを用いた、中国黄河河口部の河川水全窒素濃度の将来予測。図中の凡例は、表(6)-1の気候シナリオを示す。排出シナリオはA1Bを使用。



図(6)-4 東アジア 23 地点における 2 種類の窒素施肥管理条件における 2040 年代の収量の将来予測。施肥は基肥のみの場合(Basal only)と作物の成長に応じて継続的に供給した場合(Alternative)で、いずれも 1990 年代の 10 年間の基肥のみの場合との差を 5 緯度帯にグループ化して%で表示。図の予測幅は、表(6)-1 の気候シナリオの違いによる。排出シナリオは A1B を使用。

の減少を報告している。将来の降水量に関して、CMIP3のデータは顕著な減少を予測していないが、耕地水収支においては逼迫も想定される。黄河の水需給に関しては、農業用水、都市用水需要、土地利用の変化の影響が極めて大きい、本解析結果は、予測される降水の増加が必ずしも需給の緩和につながらない可能性を示唆している。

（3）耕地窒素収支、河川水窒素濃度と作物窒素管理

1）農耕地から河川への窒素流出への影響

広域窒素フローモデルとマルチ気候シナリオを用いて、黄河、長江の2大河川流域の窒素動態をし、河口部における全窒素の濃度変化を推定した。両河川の河口部における河川水全窒素濃度は、2020年頃までほぼ直線的に増加し、2030年頃をピークに達した後に減少する傾向が認められた。なお、ピーク時の濃度は1980年に比べて黄河で約3.4倍、長江で2.4倍にも達した。こうした窒素濃度の趨勢は、同地域における人口増加や食料需要を強く反映したものである。一方、気候シナリオによる濃度の変動は、年次趨勢に比べて小さいものと見積もられた（図(6)-3）。

2）窒素施肥法の違いによる収量と窒素損失の変化

2041~2050年の10年間について、2種類の窒素管理条件で作物生育・収量および窒素収支のシミュレーションを緯度帯の異なる東アジア23地点を対象に行い、1990年代の10年間の基肥のみの場合との比較を行い、結果を5緯度帯にグループ化して表示した（図(6)-4）。基肥のみの場合、2040年代の予測収量は、ほぼ1990年代と同水準と予測されたが、施肥法を作物の成長に応じて与える継続供給型に変更した場合、1990年代と比較していずれの緯度帯でも20%以上の収量増加が見込めることが示唆された。さらに、これに伴う窒素損失は、大幅に軽減するものと予測された。ここで示した2つの施肥法は、効率面では両極端の方法であり、代替方法を実践するにはコストや技術的な改良が必要であるが、ここで得られた結果は、施肥法の改善でも生産性と環境調和性の大幅な改善ができる可能性を示唆するものである。シミュレーション上の代替方法を普及しうる技術とするとともに、生産を減らさずに施用量の減少を達成する方法の開発にもつなげる可能性も示唆している。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

気候変動が農業生産に及ぼす影響評価を、将来の農業生産技術の開発に結びつけるためには、気候変動と技術的要因の双方を考慮する必要がある。本サブテーマで開発した手法は、すべての要因を取り入れたものではないが、気象と窒素管理を地域スケールで取り入れたもので、収量だけでなく窒素施肥効率や耕地における簡単な窒素収支の評価が可能になり、これまで気候変動の農業分野の影響評価で検討されていなかった農業からの環境負荷への側面を取り入れて評価する手法の基盤を形成できた。

本手法とCMIP3マルチ気候シナリオを組み合わせることにより、東・東南アジアの灌漑水田、天水田など異なる水田生態系を対象として、地域収量や生産量変動を予測したところ、1991~2000年から2041~2050年までに予測される収量変化は10シナリオの平均で-9~+8%程度と推定された。また、気候シナリオ間の変動は、地域間差異よりも顕著で、昇温程度が大きいGCMで大きな減収を示す傾向を認めた。しかし、気候シナリオによる違いは、気温だけでなく、日射量の予測値

に関しても大きく、このことが作物収量予測にも大きく影響することがわかった。

また、これまで、気温のみで評価されていた作物に対する温暖化影響を、感受器官の温度（穂温）から評価したところ、気温と穂温による高温ストレス指標の地理的分布は必ずしも一致しないことがわかった。これも、湿度、風速、日射などの気温以外の要素の重要性を示す例である。これらの要素を取り入れた作物の温度環境の評価手法が、ホットスポットの特定に重要であることがわかった。このように、気候シナリオの特性評価においては、複数の気象要素の影響の組み合わせを考慮することが重要である。気候シナリオに関して気象要素ごとの不確実性を精査することは容易ではないが、気候シナリオを用いた影響評価では個々の気象要素の不確実性が増幅される場合があることに留意する必要がある。特に、異常高温の発生といった極端現象については、気候シナリオ間での予測幅も大きく、短期的な変動に関する予測の不確実性は依然として大きいことがわかった。

国際連合食糧農業機関によると、コメの需要は2050年までに対2000年比で約30%（主要穀類は70%）増加するものと予測されており、本研究で得られた収量予測の変動幅・不確実性を考慮すると、40%近い収量増加が求められる可能性がある。こうした作物需要の増加に対して、窒素投入量を継続的に増加させて対応した場合、河川に流出される窒素成分は増加し、河川水窒素濃度は大きく増加し、深刻な水質問題を引き起こす恐れがある。本研究で得られた気候シナリオと広域窒素フローモデルを組み合わせたモデルの結果は、気候予測値の幅を考慮しても、作物需要に伴う窒素負荷が起こる可能性が高いことを示した。ただし、施肥管理方法を大きく改変した場合、作物への気候変動の影響が大きく異なる可能性が示された。これは、影響評価において施肥技術を考慮する必要性を示唆するだけでなく、施肥技術における「適応」が東アジアにおける将来の生産性向上と環境負荷の軽減に大きく貢献することを示唆するものである。

（2）環境政策への貢献

1）農業環境技術研究所と農林水産省生産局農業環境対策課との連絡会（2010年7月7日、於農業環境技術研究所）において、本プロジェクト内容も含む国際的な気候温暖化影響の研究ネットワークの取り組みを紹介した。

2）持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム ISAP2010（2010年7月13日、於パシフィコ横浜）において、本研究を含む稲作関係の気候温暖化への適応研究の内容を各国の政策担当者に紹介した。

3）我が国コメ研究の国際貢献ワークショップ（2010年9月3日於つくば）において本研究を含む稲作関係の気候温暖化への適応研究の内容を紹介した。

4）農林水産省主催のAPEC食料安全保障に関するワークショップ（2012年1月17日於東京フォーラム）において、APEC諸国の農林水産行政担当者に対して、本プロジェクトの内容も含む国際的な気候変動適応・緩和研究のネットワークを紹介した。

6. 国際共同研究等の状況

国際イネ研究所（IRRI）が提案した“Climate Change and Rice Consortium”の枠組みで、IRRI、フランスのCentre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement CIRAD、オランダのWageningen大学、オーストラリアのCommonwealth Scientific and

Industrial Research Organisation (CSIROと農業環境技術研究所の研究グループが、イネの成長・収量モデルの改良を共同で進めるために、2007年10月（フィリピン）、2008年4月（中国）、2009年10月（つくば）、2010年9月（フランス）で会合を重ね、高温ストレス指標のモデル化を進めた。この活動は、2011年よりConsultative Group on International Agricultural Research (CGIAR)のGlobal Rice Science Partnershipの活動に位置付けられるとともに、2011年8月には、本枠組みを基盤にして、農業モデルの相互比較と改良（AgMIP）プロジェクトのイネチームを立ち上げ、長谷川が共同リーダーとしてデータ提供、解析などを担当している。

このほか、2009年11月には、英国大使館が主催した日英の作物モデルに関する国際ワークショップで、本プロジェクトの成果を発表し、そのフォローアップとして2011年1月には、在日英国大使館グローバルパートナー基金「作物モデリングに関する日英共同開発資金」に協力し、イギリスの研究者2名（Prof. Dr. Neil Crout、University of Nottingham、Dr Mikhail Semenov、Rothamsted Research）を受け入れた。Crout教授とは、作物モデルの冗長性軽減に関する共同解析を開始し、現在も継続している。また、Semenov博士からは作物モデルで利用するための日データ作出方法で協力いただき、環境ストレス要因を考慮した影響予測に利用した。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Shindo, J., K. Okamoto, H. Kawashima, E. Konohira (2009): Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55, 532-545.
- 2) Masaki, Y., T. Kuwagata, Y. Ishigooka (2009): Atmospheric turbidity estimation from hourly global solar radiation data under cloudless skies. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 87, 849-863.
- 3) Masaki, Y., T. Kuwagata, Y. Ishigooka (2009): Precise estimation of hourly global solar radiation for micrometeorological analysis by using data classification and hourly sunshine. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, 3-4, 283-297.
- 4) Ishigooka, Y., T. Kuwagata, S. Goto, H. Toritani, T. Hasegawa, S. Sawano, H. Ohno (2010): Estimation of water saturated areas in Northeast Thailand using a Large-scale water balance model. *Journal of Agricultural Meteorology*, 66(2), 91-101.
- 5) Masaki, Y., Y. Ishigooka, T. Kuwagata, S. Goto, S. Sawano, T. Hasegawa (2011): Expected changes in future agro-climatological conditions in Northeast Thailand and their differences between general circulation models. *Theor. Appl. Climatol.*, 106, 383-401.

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 長谷川利拓 (2007): 特集「しのびよる温暖化問題」－温暖化による影響と対応－ 水稻生産. 農業と経済, 18-22.
- 2) 長谷川利拓 (2007): 大気中CO₂の増加と温暖化が作物の生育・収量に及ぼす影響. 農家の友, 100-101.
- 3) 長谷川利拓 (2008): 大気CO₂増加、温暖化で水稻の生育・収量はどうか. 農業技術, 63:14-18
- 4) 長谷川利拓 (2008): 温暖化環境における作物生産のあり方と展望. 農林水産技術研究ジャーナル, (社) 農林水産技術情報協会, 5-8.
- 5) 長谷川利拓 (2008): 高CO₂濃度環境における水稻生産. 植調, (財) 日本植物調節剤研究協会, 42(7), 17-21.
- 6) 長谷川利拓 (2009): 第2章 気候変化がイネを中心とした作物栽培に及ぼす影響と適応策. シリーズ21世紀の農学 「地球温暖化問題への農学の挑戦」 日本農学会編, (株) 養賢堂, 27-47.
- 7) Hasegawa, T., t. Kuwagata, M. Nishimori, Y. Ishigooka, M. Murakami, M. Yoshimoto, M. Kondo, T. Ishimaru, S. Sawano, Y. Masaki (2009): Recent warming trends and rice growth and yield in Japan. In Hasegawa T & Sakai H eds. "Crop Production under Heat Stress: Monitoring, Impact Assessment and Adaptation. Proceedings of the MARCO 2009 Symposium, 5-9 October 2009, NIAES, Japan. 44-51.
- 8) 長谷川利拓 (2010): 温暖化環境における水稻生産. 米麦改良, (社) 全国米麦改良協会, 8-12
- 9) 長谷川利拓 (2010): 温暖化環境における水稻生産について. 月刊食料と安全, (財) 全国瑞穂食料検査協会, 8(4), 20-24.
- 10) 長谷川利拓 (2010): 温暖化が水稻に及ぼす影響とその対応. 農林水産技術研究ジャーナル, (社) 農林水産技術情報協会, 33(8), 5-9.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Sawano S, Hasegawa T, Ishigooka Y, Kuwagata T, and Shindo J. : A model for simulating the temporal and spatial variation in regional rice yield and nitrogen use in China. International Symposium of Agricultural Meteorology, Yamaguchi, March 2008.
- 2) Hasegawa, T. (2008): Predicting climate change impacts on rice agriculture. The 5th International Crop Science Congress (5ICSC), Jeju, Korea, April 2008.
- 3) Hasegawa, T. (2008): Rice modeling issues -from climate change perspectives-. International Symposium on Crop Modeling and Decision Support (ISCMDS-2008), Nanjing, China, April 2008.
- 4) 長谷川利拓 : 地球温暖化問題への農学の挑戦－水稻を中心とした作物栽培への影響と適応策－. 平成20年度日本農学会シンポジウム講演要旨, 7-10, 東京大学, 2008年10月.
- 5) 澤野真治, 長谷川利拓, 石郷岡康史, 桑形恒男, 新藤純子: 気候変化と栽培技術要因を考慮したイネの地域収量予測モデルの開発と20世紀後半の収量趨勢に関するモデル解析. 第228回日本作物学会講演会, 静岡県コンベンションアーツセンター, 2009年9月.
- 6) Sawano, S., T. Hasegawa, T. Kuwagata, Y. Ishigooka, J. Shindo : Evaluating the effect

- of uncertainty in the climate scenario on future prediction of rice production in Asia, In Hasegawa T & Sakai H eds. "Crop Production under Heat Stress: Monitoring, Impact Assessment and Adaptation. Proceedings of the MARCO 2009 Symposium, NIAES, Japan. 77. 5-9 October 2009.
- 7) Hasegawa, T. : Rice modeling issues-From climate change perspective. UK-JAPAN WORKSHOP Towards the next generation of crop models for projecting the impacts of climate change on food security, Science and Innovation Section British Embassy, Tokyo, p.21. 2009.
 - 8) Hasegawa, T. : Adaptation in agriculture and water sectors in Japan and its relevance for developing countries in the Asia Pacific. International Forum for Sustainable Asia and the Pacific (ISAP 2010) , Yokohama, Japan. July 2010.
 - 9) Hasegawa, T., H. Sakai, T. Tokida, H Nakamura, C. Zhu, Y. Usui: Rice genotypes responses to elevated CO₂ obtained from two free air CO₂ enrichment field trials. XVIII International botanical congress, Melbourne, Australia, July 2011.
 - 10) 臼井靖浩, 福岡峰彦, 吉本真由美, 酒井英光, 常田岳志, 若月ひとみ, 長谷川利拡 : 開放系水地温上昇処理が及ぼす水稲の生育・収量への影響とその年次および品種間差異. 日本作物学会紀事, 80(別2), 262-263, 第232回日本作物学会講演会, 山口, 2011年9月.
 - 11) Hasegawa, T. : Climate change impacts on rice agriculture and potentials for adaptation and mitigation, Proceedings: Workshop on Agricultural Production and Environmental Adaptations for Coping with Climate Change. Chinese Society of Agrometeorology, Taichung, Taiwan, October 2011.
 - 12) Hasegawa T. : JIRCAS International Symposium 2011 Trends of International Rice Research and Japanese Scientific Contribution - Support to GRiSP and CARD, Rice production technologies for climate change. JIRCAS, Tsukuba International Congress Center, November 2011.
 - 13) Hasegawa, T. : Adaptation and mitigation study in the agriculture sector in Japan and its contribution to the Asia Pacific. APEC Workshop on Food Security, Tokyo International Forum, January 2012.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

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

- 1) Fu, G., S. P. Charles, J. Yu, C. Liu. (2009) : Decadal climatic variability, trends, and future scenarios for the Northern China Plain. *Journal of Climate*, 2111-2123.
- 2) Hasegawa, T., and T. Horie T (1997): Modelling the effect of nitrogen on rice growth and development. In M.J. Kropff et al. eds., *Applications of Systems Approaches at the Field Level*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain. 243-257.
- 3) Hasegawa, T., T. Ishimaru, M. Kondo, T. Kuwagata, M. Yoshimoto, M. Fukuoka (2011): Spikelet sterility of rice observed in the record hot summer of 2007 and the factors associated with its variation. *Journal of Agricultural Meteorology*, 67(4), 225-232.
- 4) Hasegawa, T., S. Sawano, S. Goto, P. Konghakote, A. Polthanee, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, H. Toritani, J. Furuya. (2008): A model driven by crop water use and nitrogen supply for simulating changes in the regional yield of rain-fed lowland rice in Northeast Thailand. *Paddy and Water Environment*, 6, 73-82. 2008.
- 5) Ishigooka, Y., T. Kuwagata, S. Goto, H. Toritani, H. Ohno, S.-i. Urano. (2008): Modeling of continental-scale crop water requirement and available water resources. *Paddy and Water Environment*, 6, 55-71.
- 6) 松井勤. (2009 : 開花期の高温によるイネ (*Oryza sativa* L.) の不稔. *日本作物学会紀事* 78:303-101.
- 7) Matsui, T., K. Kobayasi, M. Yoshimoto, T. Hasegawa. (2007): Stability of Rice Pollination in the Field under Hot and Dry Conditions in the Riverina Region of New South Wales, Australia;. *Plant Production Science*, 10, 57-63.
- 8) Sawano, S., T. Hasegawa, S. Goto, P. Konghakote, A. Polthanee, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, H. Toritani. (2008): Modeling the dependence of the crop calendar for rain-fed rice on precipitation in North Thailand. *Paddy and Water Environment*, 6, 83-90.
- 9) Shindo, J., K. Okamoto, H. Kawashima. (2006): Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries, 1961-2020. *Ecological Modelling*, 193, 703-720.
- 10) Shuttle Radar Topography Mission
- 11) Tian, X., T. Matsui, S. Li, M. Yoshimoto, K. Kobayasi, T. Hasegawa. (2010): Heat-Induced Floret Sterility of Hybrid Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars under Humid and Low Wind Conditions in the Field of Jiangnan Basin, China. *Plant Production Science*, 13, 243-251.
- 12) Wassmann, R., S.V.K. Jagadish, K. Sumfleth, H. Pathak, G. Howell, A. Ismail, R. Serraj, E. Redona, R.K. Singh, S. Heuer. (2009): Chapter 3 Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. *Advances in Agronomy*, 102, 91-133.

- 13) Yan, X., Z. Cai, T. Ohara, H. Akimoto. (2003): Methane emission from rice fields in mainland China: Amount and seasonal and spatial distribution. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4505.
- 14) Yoshimoto, M., M. Fukuoka, T. Hasegawa, M. Utsumi, Y. Ishigooka, T. Kuwagata. (2011): Integrated micrometeorology model for panicle and canopy temperature (IM²PACT) for rice heat stress studies under climate change. *Journal of Agricultural Meteorology*, 67, 233-247.
- 15) Yoshimoto, M., H. Oue, and K. Kobayashi (2005): Energy balance and water use efficiency of rice canopies under free-air CO₂ enrichment. *Agricultural Forestry Meteorology*, 133, 226-246.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(7) 気候変動シナリオの一般社会への情報伝達に関する研究

東京大学 サステナビリティ学連携研究機構 福士謙介

〈研究協力者〉

東京大学 サステナビリティ学連携研究機構 住 明正（平成19～23年度）
杉山昌広（平成19～20年度）
前田芳恵（平成21～23年度）

平成19～23年度累計予算額：64,350千円

（うち、平成23年度予算額：12,350千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】気候変動シナリオ等の地球温暖化の科学情報の一般への伝達は、適切な温暖化対策の推進に不可欠であるものの、内容が多岐にわたり複雑であることや不確実性を伴う内容であることなどから、その方法には改善の余地があると考えられる。本研究では、よりの確な温暖化の科学研究の伝達に向け、以下の3種の調査を行った。

一つ目の対話型会合では、一般市民とメディア関係者を対象として、それぞれ研究者と双方向で情報交換できる会合を実施し、温暖化に対する認識や温暖化報道への考え方等をアンケートやディスカッションを通じて把握した。一般市民との会合では、温暖化に関する講演の前後での温暖化リスクへの認識の変化を調査し、メディア関係者と研究者との会合「温暖化リスクメディアフォーラム」では、双方が納得できる温暖化研究の報道を模索するための議論を4回にわたり実施した。会合でのアンケートおよび対話の中からは、メディアと研究者双方の報道への意識の違いが見られた。

対話型会合では、企画者が想定しないアイデアが得られるなど利点もあるものの、参加人数に限りがあることから、インターネットを利用した温暖化リスクの認識に関するアンケートを実施し、より多くの一般市民の温暖化への認識も同時に把握した。

また、ジャーナリズム専攻の学生の研究記者発表の記事への講評を通して、温暖化研究報道に対するメディアと研究者の違いを比較する試みも行った。研究者と記者による学生の記事への講評からは、記者による主題選定、記者発表以外の情報の記事への追加など記者と研究者の視点の違いが得られた。

【キーワード】地球温暖化、科学研究、報道、メディア、コミュニケーション

1. はじめに

地球温暖化の科学情報の的確な伝達は、温暖化対策等の政策の推進に重要であるものの、その適切な理解を促す伝達方法については、まだ手法が確立しているとはいえない。本研究では、伝

達の問題点の解決に向けて、一般市民および市民への伝達に重要な役割を持つマスメディアとの効果的なコミュニケーションを把握するための調査を行った。

2. 研究開発目的

(1) 対話型会合による温暖化科学研究の伝達

一般市民の温暖化科学研究の認識および科学的知見習得による認識の変化の傾向は、温暖化研究の伝達を考える上で必要であることから、初年度は一般市民と研究者との対話型会合を通じて、科学的知見の習得が市民の意識変化に与える影響を把握することを目的とした。

次年度以降は、一般市民の情報取得に重要な役割を担うマスメディアと温暖化を扱う研究者の温暖化報道への認識の違いを探ることを目的として、対話型会合を行った。対話型会合では、参加者の対話を発展させることで、双方が納得のいく形での情報伝達への鍵が得られることが期待される。

また、本研究は、温暖化科学研究の伝達の問題点の把握の側面のほかに、参加者に対する最新の温暖化研究のアウトリーチの場としての役割も意識して、計画を進めた。

(2) アンケートを用いた一般市民の温暖化の認知の把握

(1)の温暖化研究の対話型会合では、議論を通じてより適切な伝達について発展的に考えることができる一方で、限られた人数の参加者による意見であること、またイベントへの参加を自ら選択した被験者による回答であることから、内容を一般化することは非常に困難である。これらの対話型会合を補完することを目的として、インターネットおよび携帯電話を利用した一般市民に対するアンケート調査を行った。

(3) 学生による記事を通じた科学研究伝達の研究

温暖化の科学研究の報道は、研究者から、記事が断定的である、研究の一部を強調しすぎる、などの批判が聞かれることがある。本研究は、このような研究者と記者との間にある温暖化に関する記事執筆への意識の違いを把握することを目的とした。ここでは、研究者と記者が先入観や心理的な圧迫を感じずに具体的な記事の講評ができるよう、実際に報道された新聞記事ではなく、ジャーナリズム専攻の大学院生による温暖化研究記事を利用して、双方の意識の違いを探ることとした。

3. 研究開発方法

(1) 対話型会合による温暖化科学研究の伝達

初年度（平成 19 年度）は、一般市民を対象とした双方向型の会合を実施し、科学的知見の提供による市民の温暖化リスクの認識の変化を調査した。会合では、温暖化の科学研究の講演と、アナライザーと呼ばれるリアルタイムで集計が可能な機器を用いた会場アンケートとを組み合わせ、それぞれの講演を聞いた前後での参加者の温暖化に対する認識を探った。

次年度目（平成 20 年度）以降は、対象を一般市民からマスメディアに移し、研究者との対話型会合を通じて、よりよい報道のあり方を把握するイベントを年 1 回、計 4 回実施した。

第 1 回目（平成 20 年度）実施時は、温暖化報道に関わるテレビ、新聞、広告代理店等の温暖

化報道に関わるメディア関係者や、科学研究のアウトリーチに力を入れている研究機関等に対し、温暖化報道に対する問題意識等についての事前インタビューを行った。第1回では、温暖化の科学報道に関わるメディア関係者と温暖化に関わる研究者が向かい合う形で着席し、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次報告書に向けた温暖化研究の講演3件の後、初年度の一般市民向け会合と同様にリアルタイムのアンケート集計システムを用いて、アンケートと会場でのディスカッションを交互に行った。アンケート結果を参照しながらディスカッションをすることで、双方の立場やの違いを考慮した意見交換が期待される。

第2回(平成21年度)以降は、各回ともテーマを絞り、そのテーマに沿った講演とディスカッションで構成される会合とした。前半では、後半のディスカッションに必要な基本情報を提供する講演を行い、後半ではパネリストによるパネルディスカッションと、会場の参加者も含めたオープンディスカッションで研究者とメディアの間での各テーマに対する報道への問題意識およびその解決への考え方について、議論した。

コペンハーゲンでの締約国会議COP15の3カ月後に実施された第2回では、コペンハーゲン合意で明記された気温上昇目標値「+2℃」を取り上げ、この数値が指標として使われるようになった経緯や、「+2℃」の気温上昇により予測される影響についての講演の後、会場の参加者と登壇者によるディスカッションを行った。

第3回(平成22年度)では、温暖化予測計算結果のような不確実性を含んだ情報の的確な伝達について議論した。この会合では、同日に行われたIPCC第5次評価報告書に向けた温暖化予測計算の記者発表とも連携しながら企画内容を選定し、講演の中では第4次評価報告書に向けた予測計算の記者発表(平成19年)を元にした新聞記事に対する講評を行い、温暖化計算結果の報道に対する研究者およびメディアの考え方の違いを探った。

第4回(平成23年度)は、平成23年に夏の台風やタイの洪水など、異常気象を原因とした災害が多く報道されたことから、温暖化による異常気象への影響をテーマとした。個別の極端現象と長期的な時間スケールを持つ温暖化の直接的な因果関係を示唆する報道については問題があるものの、温暖化による将来的な異常気象への影響を考える際には、実際に起きた現象をイメージすることは避けられない。ここでは、科学的に無理のない温暖化影響の報道について議論した。

各会合の内容を表(7)-1にまとめる。

表(7)-1 各年度に実施した対話型会合

	タイトル	日時・場所	対象	参加人数
一般向けシンポジウム	怖い? 怖くない? 地球温暖化— 研究者と一緒に「実感」する50年後の地球	平成20年2月23日 東京大学武田ホール	一般市民	約300名
温暖化リスクメディアフォーラム	IPCC第5次評価報告書に向けた温暖化リスク研究	平成21年3月11日 学士会館	温暖化研究・報道に関わる ・メディア関係者 ・研究者	メディア 39名 研究者 31名
	気温上昇「+2℃」目標の意味を考える	平成22年3月6日 アキバホール		メディア 19名 研究者 23名
	地球温暖化予測の見方・伝え方 —最新の予測を的確に伝えるために—	平成23年2月23日 都市センターホテル		メディア 20名 研究者 25名
	異常気象・災害・地球温暖化	平成24年1月31日 大手町三菱総研ビル		メディア 26名 研究者 28名

(2) アンケートを用いた一般市民の温暖化の認知の把握

一般市民や伝達に関わる専門家を交えた会合では、企画側の事前の意図に縛られない発言を得られるという利点がある一方、自らの意思で参加した限られた数の参加者による意見であることから、回答を一般化することは困難である。インターネットおよび携帯電話サイトを利用したアンケート調査を行うことで、より偏りの少ない一般市民の回答の取得が期待される。

平成20年度には、携帯電話インターネットサイトを通じ、温暖化に関する情報を4パターンの伝達者と3パターンの異なる不確実表現を用いたメッセージとして提供し、これらのメッセージによる一般市民への温暖化認識への違いを調べた。伝達者としては、環境省、IPCCパチャウリ議長のほか、元スポーツ選手や有名俳優等を起用し、不確実性に関する設問7問を尋ねた。

平成21年度には、携帯電話のサイトおよびインターネットを利用したアンケートにより、温暖化、および温暖化により影響を受けると考えられる事象について、一般市民の認識を問うアンケートを行った。それぞれ選択式15問、自由回答2問の計17問で、現在の温暖化の状況に対する認識と、温暖化の将来リスクに対する考えを探った。

(3) 学生による記事を通じた科学研究伝達の研究

平成22年度と平成23年度には、メディアと研究者の科学研究報道への視点の違いを探るため、学生の温暖化科学研究の記事を通じた試み「温暖化研究模擬記者会見プロジェクト」を行った。

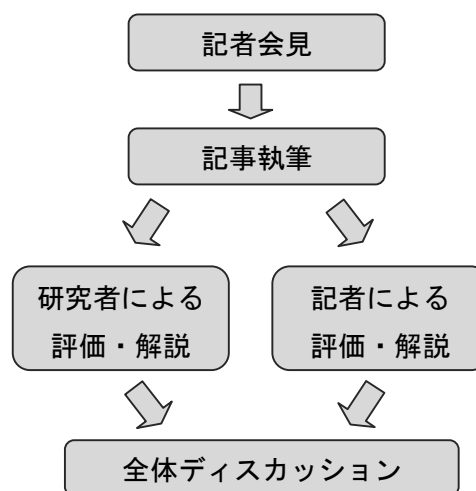
まず、早稲田大学大学院でジャーナリズムを学ぶ学生に、温暖化研究の模擬記者会見に出席を依頼し、会見を元に新聞記事を想定した記事を執筆してもらった。その後、それらの記事を会見を行った研究者と、記者、サイエンスライター等のプロの書き手が個別に記事の講評を行い、異なる立場の専門家の講評を比較した。また、研究者および記者がお互いの講評の視点の違いについての意見交換も行った(図(7)-1)。

それぞれ、平成22年度は「複数の気候モデルを用いて台風の発生域の将来変化を予測」、平成23年度は「南米大陸における水資源将来予測の信頼性を評価する方法を開発 -地球温暖化に伴うアマゾン川流域の乾燥化を示唆-」についての実際に行われた研究の模擬記者会見を実施し、記事の執筆等を行った。

4. 結果及び考察

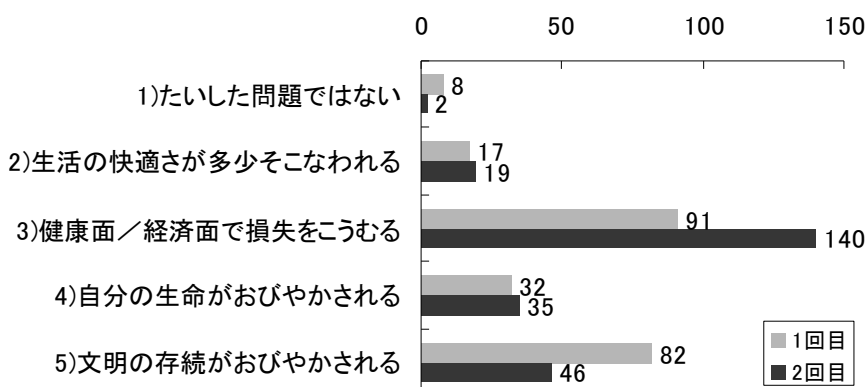
(1) 対話型会合による温暖化科学研究の伝達

平成19年度に行った一般市民を対象とした会合では、講演の前後での温暖化に対する意識の変化を会場アンケートで調査した(回答例、図(7)-2)。参加者の属性は、男性167名、女性54名、年代は、10代以下7名、20代30名、30代43名、40代41名、50代54名、60歳以上50名、温暖化の知



図(7)-1 温暖化研究模擬記者会見プロジェクトの概念図

「50年後に、温暖化はどれくらい深刻な問題だと思いますか？」



図(7)-2 平成20年実施の公開シンポジウム「怖い？怖くない？地球温暖化」での「50年後に、温暖化はどれくらい深刻な問題だと思いますか？」に対する温暖化の講演の前後での回答結果（単位：人数）

識については、専門家である12名、専門家ではないがよく知っている64名、ある程度知っている110名、あまり知らない31名、まったく知らない8名となった（それぞれ回答のあった件数のみ）。

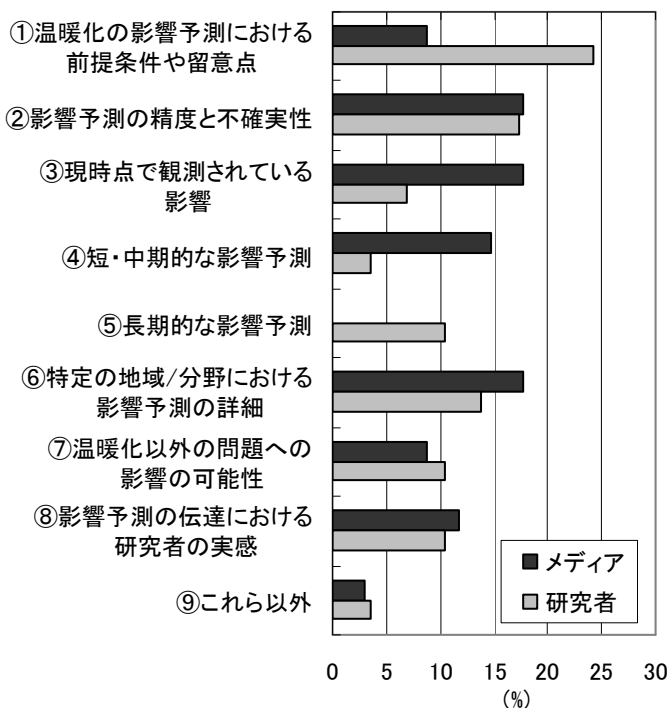
平成20年度以降に行った温暖化リスクメディアフォーラムでは、各回とも約40～70名程度の参加者があり（表(7)-1）、各回のトピックについて活発な議論が行われた。

平成20年度は、IPCCの報告書等で提供される温暖化リスク研究の報道について、会場でのリアルタイムのアンケートとディスカッションを通して議論した。参加者によるアンケート結果からは、温暖化の影響予測について、予測の前提条件や留意点等を伝えたいと思う研究者が多かったのに対し、メディアでは、

「温暖化の影響予測について

研究者向け：どれをメディアに伝えたいと思いますか？

メディア向け：研究者に聞きたいのはどれですか？」



図(7)-3 第1回温暖化リスクメディアフォーラム登録時アンケート結果の一例¹⁾

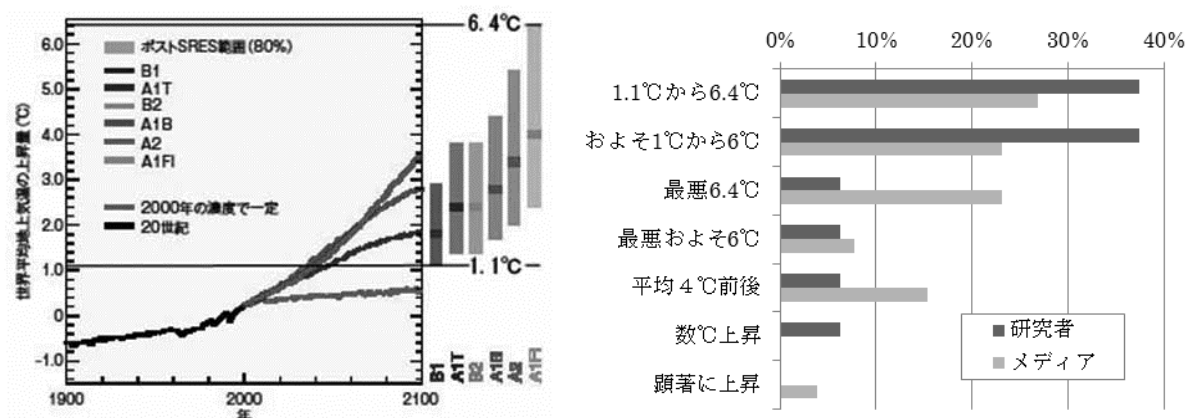
予測精度と不確実性、観測されている影響、特定の領域での影響予測の詳細等を伝えたい、との回答が多かった（図(7)-3）。

平成21年度の会合は気温上昇目標値「+2℃」をテーマとした。温室効果ガス削減には目標値選定が不可欠であるものの、気候予測モデルを用いる研究者は通常予測値を幅のある値として捉えることから、一つの値を目標値として選定することに違和感を感じる者もいる。不確実性を持つ予測から選択された目標について、メディアと研究者で適切な報道を考えるための議論を行った。この中で、メディアは目標値の内容を精査せずに所与のものとして扱っているとのメディアからの発言や、不確実性を含む予測ではあるが目標値にある程度の科学的根拠があれば、政治的リーダーシップで対策を進めていくことも必要との研究者の意見等があった。

平成22年度は、数値モデルを利用した温暖化予測結果の的確な報道について議論した。特に、数値モデルによる予測結果のように幅のある情報の伝え方については、参加した研究者の多くが予測幅の上下限値を伝える記述を好んだ一方、メディアの中からは、温暖化の危険性を伝えることがメディアの使命であるとし、最悪の場合の予測を伝えることも必要との意見が複数聞かれた（図(7)-4）。

平成23年度は、過去に起きた異常気象と温暖化との関連を考えることをテーマとした。参加したメディア関係者の約3人に1人は、過去に起きた異常気象を温暖化の例として取り上げたことがあるとした一方で、ディスカッションの中では、研究者とメディア双方から、最近はあまり特定の異常気象に温暖化を結び付ける報道はない、とのコメントがあった。ただ、熱波などの異常気象では、各現象への温暖化の寄与の説明があると報道に役立つとのメディアからの発言もあり、温暖化と適切に結び付ける情報へのニーズが示唆された。

以上の通り、4回の温暖化リスクメディアフォーラムを通じ、研究者とメディア関係者のそれぞれの報道等への認識の相違点、類似点を調査した。



図(7)-4 (左) 平成19年(2007年)発行のIPCC第4次評価報告書における気温上昇予測。(右)「左図の100年後の予測を一般に伝える際に、あなたが適切だと思う表現にもっとも近いものは、次のうちどれですか。(どの選択肢も誤った表現ではありません)」への回答

(2) アンケートを用いた一般市民の温暖化の認知の把握

平成 20 年度に行った携帯電話のインターネットを利用したアンケート調査からは、携帯電話利用者という一般化が難しい被験者による結果ではあるものの、温暖化影響の科学の伝達には、不確実性の記述だけでなく、伝達者にも影響されることが示唆される結果となった。

平成 21 年度に行った 8000 人を対象としたインターネットの調査では、一般市民が気候の変化をどのように実感しているかを調査した。結果の中では、以前より日本が暖かくなっていると感じる被験者の方が、暖かくなっていると感じていない被験者に比べて、50 年後の地球温暖化の状態を悲観的に捉えているとの結果が得られた。

(3) 学生による記事を通じた科学研究伝達の研究

計2回実施した温暖化研究模擬記者会見プロジェクトでは、記者と研究者による講評を通じて、主題の選定方法、不確実性の記述方法、会見で述べられていない情報の付加等が主な論点となった。主題の選定方法に関しては、研究者の視点では手法の確立が研究としての主目的であり、手法検証に用いられた対象の結果は二次的な成果と捉えられることが多いが、一般読者に対する記事としては、手法よりも二次的な結果が主題として適切な場合があることが指摘された。例えば、平成23年度に用いた事例では、温暖化予測結果の不確実性低減の手法が研究の主目的であるのに対し、新聞記事では、検証に用いたアマゾン川周辺の温暖化による将来の乾燥化の可能性の方が、よりふさわしい主題となる。また、不確実性のある予測結果を断定的に伝えることに対しては、記者・研究者双方とも否定的な発言が見られたが、不確実性を強調しすぎることによって結果の信頼性を低く捉えられることへの懸念も双方から得られた。さらに、読者の理解を助ける目的で記者が独自に会見にない情報を付加することについては、研究者からは元の研究発表と異なるニュアンスをもつ可能性もあることが指摘された一方、誤った情報でなければ記者の編集権の範囲内と考えられる、などの発言もあった。

また、学生への事後アンケートの結果からは、学生にとっては科学研究の記者会見を体験し、かつ研究者・記者双方からフィードバックが受けられる教育的な機会となったとの評価も得られた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究の対話型会合では、統計的に有意な結果は得にくいですが、回数を重ねたことで地球温暖化研究の伝達方法に関する知見を蓄積できたと考えられる。温暖化リスクメディアフォーラムおよび温暖化模擬記者会見プロジェクトにより、温暖化の科学報道に関するメディアと研究者の視点の違いについて、多面的に捉えることが可能となった。また、インターネットを利用した大規模アンケート調査では、一般市民による温暖化リスクの認識に影響のある事柄等の情報が取得でき、対話型会合の成果と補完的に合わせることで、温暖化の科学情報の効果的な伝達に役立つ知見が得られたと考えている。

(2) 環境政策への貢献

計4回実施した温暖化リスクメディアフォーラムは、研究者とメディア双方とも継続的な参加者があり、ディスカッションやアンケートからもよりよい温暖化報道に向けた意見交換の重要性を感じる参加者が多いことが伺える。さらに、これらの対話型会合自体が温暖化研究のアウトリーチの機会となっており、講演内容および温暖化報道に関するディスカッションで得られた知見の両方が、今後の温暖化報道に生かされることを期待している。

模擬記者会見プロジェクトでの研究者とメディアの視点の違いについても、研究者が温暖化報道において留意すべき情報として、今後成果の共有に努めることを予定している。また、本来の目的である温暖化研究伝達に対する研究者とメディアの視点の把握に加え、ジャーナリストをを目指す学生への実践教育としての効果も示唆された。当初の目的とは異なるものの、将来温暖化報道に携わることが期待されるジャーナリズムコースの学生に対し、研究者や記者の見方を伝える機会を持ったことも、よりの確な温暖化報道のための貢献となったと考えている。

6. 国際共同研究等の状況

本サブテーマはアジア太平洋・米国、欧州、アジアにおける温暖化シナリオの社会への伝達の調査研究の企画のため、以下の機関と連携を取って行われた。

- ・アジア：アジア工科大学（タイ）、マカオ大学（中国）、エネルギー資源研究所（The Energy and Resource Institute、インド）
- ・ヨーロッパ：スイス連邦工科大学（スイス）、チャルマース工科大学（スウェーデン）
- ・北米：アリゾナ州立大学（米国）、マサチューセッツ工科大学（米国）

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 高橋潔, 杉山昌広, 江守正多, 沖大幹, 長谷川利拡, 住明正, 福士謙介, 青柳みどり, 朝倉暁生, 松本安生(2011): 地球温暖化リスクの伝達の実践の試み メディア関係者との意見交換と市民対象の双方向型シンポジウム. 科学技術社会論研究, 9, 40-53.

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）
特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 前田芳恵, 三瓶由紀, 江守正多, 福士謙介, 青柳みどり, 高橋潔, 福田寛之, 田中泰義, 松本安生, 朝倉暁生, 住明正(2010): 温暖化リスクメディアフォーラム. 天気, 57(12), 919-925.

（2）口頭発表（学会等）

- 1) Maeda, Y., S. Emori, K. Takahashi, Y. Sampei, K. Fukushi, M. Aoyagi-Usui, H. Fukuda, Y. Tanaka, Y. Matsumoto, A. Asakura: Communication between media and researchers on climate change issues. Society for Social Studies of Science 2010 Annual Meeting, Tokyo,

August 2010.

- 2) 前田芳恵, 三瓶由紀, 江守正多, 青柳みどり, 高橋潔, 福士謙介, 福田寛之, 田中泰義, 松本安生, 朝倉暁生 平松あい: 温暖化リスクメディアフォーラム. 日本気象学会2011年度春季大会, 東京, 2011年5月.
- 3) Goto-Maeda, Y., S. Emori, K. Takahashi, M. Aoyagi-Usui, K. Fukushi, Y. Tanaka, H. Fukuda, Y. Matsumoto, A. Asakura, A. Hiramatsu, A. Sumi: Climate Change Media Forum – for Enhanced Communication between Journalists and Climate Scientists in Japan. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, December 2011.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 地球環境研究総合推進費S-5公開シンポジウム「怖い？怖くない？地球温暖化— 研究者と一緒に「実感」する50年後の地球」（2008年2月23日、東京大学武田先端知ビル武田ホール、観客約300名）
- 2) 第1回温暖化リスクメディアフォーラム「IPCC第5次評価報告書に向けた温暖化リスク研究」（2009年3月11日、学士会館、参加者79名（メディア関係者39名、研究者31名））
- 3) 第2回温暖化リスクメディアフォーラム「気温上昇「+2℃」目標の意味を考える」（2010年3月6日、アキバホール、参加者42名（メディア関係者19名、研究者23名））
- 4) サステナビリティ学連携研究機構公開シンポジウム「地球温暖化・少子高齢化社会に対応した新しい社会づくりを目指して」（2011年2月12日、東京大学安田講堂、参加者1000名）
- 5) 第3回温暖化リスクメディアフォーラム「地球温暖化予測の見方・伝え方 —最新の予測を的確に伝えるために—」（2011年2月23日、都市センターホテル、参加者45名（メディア関係者20名、研究者25名））
- 6) 東日本大震災のコミュニケーションに学ぶ意見交換会（2011年9月7日、東京大学山上会館、参加者19名）
- 7) 第4回温暖化リスクメディアフォーラム「異常気象・災害・地球温暖化」（2012年1月31日、大手町三菱総研ビル、参加者54名（メディア関係者26名、研究者28名））

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 毎日新聞（2008年2月23日、ウェブ版）
- 2) PORTAL（2008年3月 72号、河川情報センター、What's Newに2ページ紹介記事）
- 3) JanJanNews（2008年3月20～22日、シンポジウム紹介記事として掲載）

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 三瓶由紀, 江守正多, 青柳みどり, 松本安生, 朝倉暁生, 高橋潔, 福士謙介, 住明正(2011): 地球温暖化リスクの伝達の実践の試み: メディア関係者との意見交換と市民対象の双方向型シンポジウム. 科学技術社会論研究, 9, 54-69.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(8) 気候変動シナリオの企業ニーズおよび民間市場へのインパクトに関する研究

(株) 野村総合研究所

岩瀬健太・佐藤将史・野崎洋之・浅野憲周（平成19-21年度）・梅原郁恵（平成19年度）・
水石 仁（平成19年度）・野呂瀬和樹（平成20年度）・山田雄太（平成21年度）・
吉田早織（平成21年度）

平成19～23年度累計予算額：61,628千円

（うち、平成23年度予算額：11,828千円）

[要旨] 本サブテーマ（以下、本研究）では、気候変動予測情報を民間企業に対して伝え理解を促すためのリスク・コミュニケーション手法と内容の検討を行うとともに気候変動予測情報を企業活動に利用し得る一つの事例として、損害保険業界と気候変動予測研究の関係について研究を実施し、その成果を用いて企業とのリスク・コミュニケーションを試みた。前者のリスク・コミュニケーション手法と内容の検討は、ヒアリング調査の実施等により研究を行い、企業による気候変動予測情報の利用が進まない理由として、大きく2つの理由が存在することが把握された。一つは、研究者の発する研究情報のほとんどが企業の目に留まる機会が少ないこと、もう一つは、研究が対象とする数10年あるいは100年単位の時間スケールが企業経営のスパンに比べて非常に長く、マッチしていないことである。これらの成果を踏まえて平成21年度には企業6社と気候変動に関わる研究者6名の対話型研究会を開催した。この対話型研究会では、企業が気候変動予測情報をもとに行動を起こすためには、その情報が行政によりオーソライズされた信頼性のある情報である必要があるという点が指摘され、行政の関与や行動の必要性が明らかとなった。また、後者の損害保険業界研究では、損害保険業界の企業の中には気候変動研究者と連携して積極的に気候変動予測情報の利用を検討・実施している企業が存在することが把握できたとともに、それらの先進的な企業の協力を得て、日本の損害保険商品と気候変動影響の関係をまとめたCIAT（Climate-change Impact Assessment Table）を作成し、これを利用した企業とのリスク・コミュニケーションを実施し、CIATのコミュニケーションツールとしての有用性を把握した。

[キーワード] 適応策、リスク・コミュニケーション、企業活動、損害保険、研究マネジメント

1. はじめに

近年、温室効果ガスの削減に向けた様々な取組みが先進国の企業を中心に実施されているが、そのきっかけは気候変動の物理的なリスクに対する科学的な理解に基づくものではなく、政策的な枠組みに企業が自らを合わせているものと考えられる。これは我が国の企業についても同様と考えられる。本研究は、企業が気候変動リスクを理解、実感した上で経営判断を行うしくみを作ることを目的とした、気候変動研究と研究情報提供についてのあり方を検討する研究である。

企業が投資判断などの意思決定を行う際にリスクの正しい認識、特に定量評価を行うことは重

要な過程となる。しかしながら、特に不確実性の高い予測情報は、企業にとって結論を出すための材料とはなりえない。企業の理解を促すには、科学的かつ不確実性の高い情報を、正確性を保ちながらもいかに分かりやすく伝えるかが重要となる。

このような状況を踏まえ、本研究においては、大きく以下の2点に関する研究を実施した。

- (1) 企業による適応策の検討・実践における障壁の把握とその改善方策に係る研究
- (2) 2030年頃の日本の損害保険商品に気候変動が与える影響の検討と検討結果を用いた企業とのリスク・コミュニケーション

なお、(2)において、損害保険業界に着目した理由は、地球温暖化に起因する種々の気候変動は我々の生活の中でリスクとして顕在化することが多く、それらのリスクの引き受け手である損害保険業界にとって自然災害による被害の増加は業績への影響が必ずしも少なくなく、これらの問題への対応は重要な検討課題であると考えられるためである。一般に保険は多数の法則に基づいて過去のデータから統計的手法によって損害の確率等を計算することが基本となるが、この気候変動の問題については過去のデータだけでなく、今後を予測することが非常に重要であると考えられる。そのため、損害保険業界に着目し、損害保険業界の気候変動予測情報の活用状況を把握するとともに、保険業界の中でも精力的に気候変動予測情報の獲得・利用を進めている企業の協力を得て、気候変動が2030年頃の日本の損害保険業界に与える影響について検討を行うとともに、損害保険業界での検討成果をもとにした企業とのリスク・コミュニケーションを実施した。

2. 研究開発目的

(1) 企業による適応策の検討・実践における障壁の把握とその改善方策に係る研究

我が国において多くの企業は地球温暖化防止のために、CO₂の排出量削減に強い関心を有し、経営方針にもそれを反映している場合が多い。その一方で、気候変動リスク、特にその物理的なリスクに対する企業の問題意識はあまり明確になっていない。本研究においては、研究仮説として、現状の企業経営においては、政策的な規制等に従うための経営判断がなされており、気候変動予測情報の活用等を通して気候変動リスクを認識した上での経営判断がなされるケースは少ないと考えた。他方、地球温暖化が要因と考えられる気象現象による企業活動への影響は既に現在でも生じており、一部の業種や企業によっては高い関心を有する場合もあると考えられる。そのため、本研究では企業の気候変動予測情報の理解・利用状況や、それをもとした適応策の検討・実践等における課題を把握し、企業が利用しやすい気候変動予測情報において必要な点を整理することを目的とした。

(2) 2030年頃の日本の損害保険商品に気候変動が与える影響の検討と検討結果を用いた企業とのリスク・コミュニケーション

地球温暖化による気候変動は我々の生活においてリスクとして顕在化することが多く、我々の身周りのリスクの引き受け手である損害保険業界にとって地球温暖化に起因する自然災害による被害の増加は業績への影響が必ずしも少なくなく、これらの問題への対応は重要な検討課題であると考えられる。さらに、気候変動リスクの検討にあたっては気候変動予測情報の活用が重要であると考えられることから、損害保険業界は他の業界・企業に比べて気候変動予測情報の利活用において知見を有している可能性があると考えられる。そのため、損害保険業界の事例研究を实

施することで企業による気候変動予測情報の利活用の促進のための示唆を得ることを目的とする。

3. 研究開発方法

(1) 企業による適応策の検討・実践における障壁の把握とその改善方策に係る研究

現状において既に生じている気象現象と企業活動の関係を論文、新聞記事等の文献調査によって整理した上で、国内企業に対するヒアリング調査および企業と研究者との対話型研究会の開催等を実施した。

ヒアリング調査では、主に個々の業種において売上規模上位の企業の経営企画部門や環境部門等を対象とし、気候変動が進行した場合に想定される事態、その切迫性に対する感覚、適応策促進に必要とされること、企業とのコミュニケーションのために必要とされる気候変動予測情報の要件や研究者や研究に対する要望・ニーズ等について意見を伺った。

さらに、ヒアリング調査の結果から、企業が気候変動予測情報の利用を促進するためには、気候変動予測情報あるいはそれらの情報を創生する研究の概要を把握し、研究者と直に意見交換ができる場が有用であると考えられたため、これまでのヒアリング調査等において S-5 の取組みに関心を示した企業 6 社と研究者 6 名による対話型研究会を開催し、全 6 回にわたり議論を行った(表(8)-1 および表(8)-2)。この対話型研究会では主に前半 3 回において研究者から企業に対する研究情報の説明を行い、後半 3 回において企業による気候変動予測情報の利活用を促進するために必要な要件に関する議論を実施した。

表(8)-1 企業と研究者による研究会の委員一覧

企業	研究者
交通分野A社	江守正多 国立環境研究所
金融業B社	研究者b 独立行政法人
建設業C社	研究者c 大学院准教授
情報通信業D社	研究者d 大学院教授
小売業E社	研究者e 大学准教授
金融業F社	研究者f 独立行政法人

表(8)-2 企業と研究者による対話型研究会の議題一覧

	議題・ねらい	プレゼン 担当	プレゼンテーションの内容
第1回	参加者が研究会の意図するところと、お互いのこれまでの取り組みや考えをインプットし合う機会。	研究者	これまでの気候変動研究の利活用シーン
		野村総合研究所	企業における気候変動情報の必要性
第2回	わが国の気候変動研究の現状と課題について意見交換を行う。具体的には、研究者側からの発表に対して企業からの意見を聞く。	研究者	気候変動によって予想される将来像とコミュニケーションの課題
		野村総合研究所	これまでのS-5-1(8)レビュー
第3回	これまでのコミュニケーションを踏まえ、企業側から感想・意見を整理し、研究者との意見交換を行う。	企業 (全企業)	気候変動に対する問題意識と研究情報に対する疑問とニーズ
第4回	これまでの意見交換から見えてきた研究者－産業界間のコミュニケーションの課題と改善策について整理、議論を行う。	野村総合研究所	中間まとめ:コミュニケーションの課題と対策の方向性
第5回	組織として企業の理解が促進しない要因を明らかにするための議論を行う。	研究者・企業	これまでの議論の感想・研究者－企業の連携のために必要な取り組み
第6回	行政機関による科学研究成果の公表、伝達に関するケーススタディ。また、全体のとりまとめを行うと同時に、研究会の成果の取り扱いについて、今後の相談を行う。	野村総合研究所	全体のとりまとめと今後の活動内容案

(2) 2030年頃の日本の損害保険商品に気候変動が与える影響の検討と検討結果を用いた企業とのリスク・コミュニケーション

気候変動予測情報の利活用あるいは気候変動予測研究の実施を精力的に行っている再保険会社、再保険ブローカーのうち4社の協力を得て、CIAT (Climate-change Impact Assessment Table) というシートを利用してデルファイ法により評価を実施した。CIATとは、表頭に気候変動の影響を記載し、表側に損害保険の担保危険を記載したシートである。協力企業の各社は、このシートの

各項目に以下に示す基準に基づく数値を記載し、気候変動の各影響と、保険の各担保危険の関係を7階で評価した（図(8)-1）。

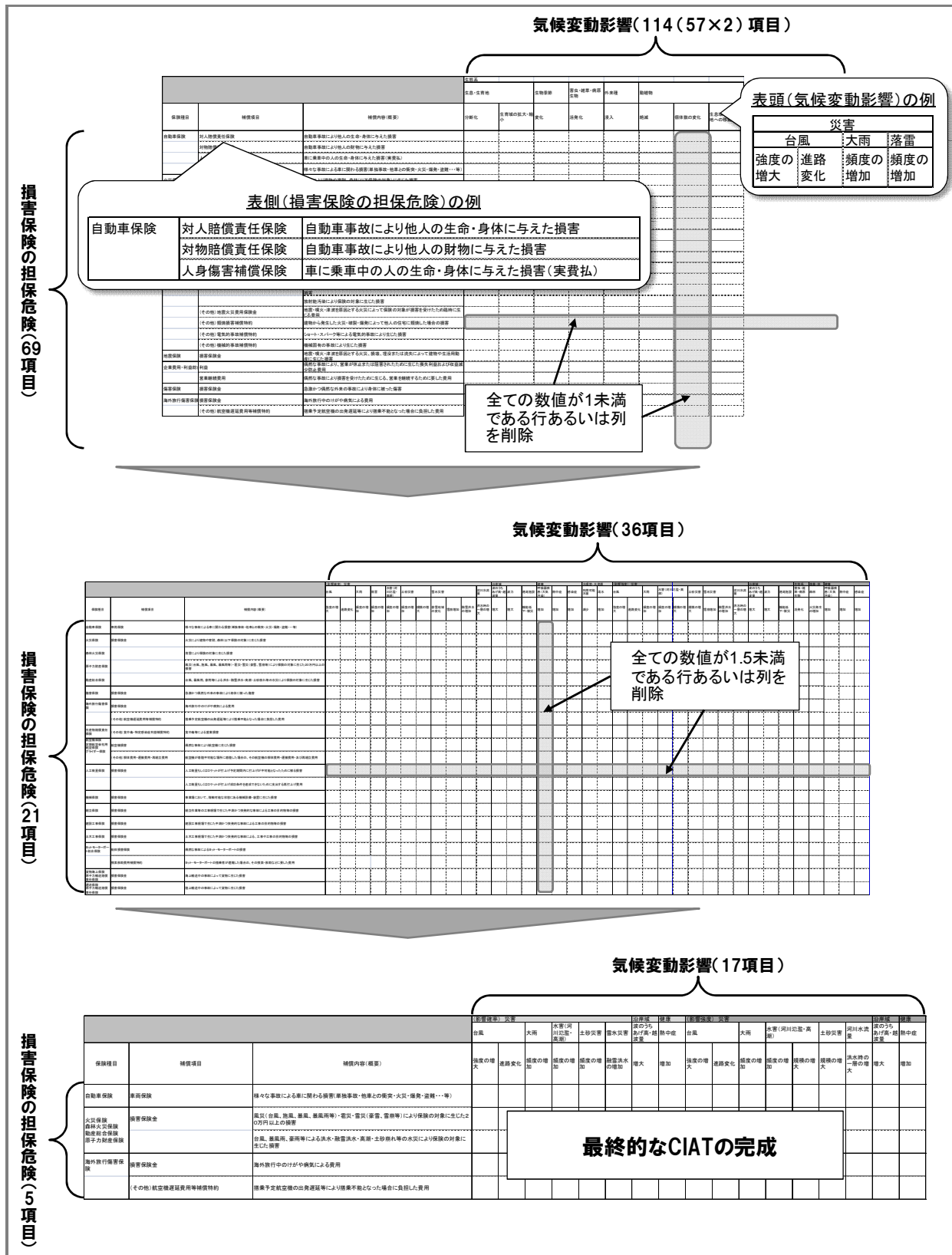
	基準(想定される変化)	気候変動影響	
		発生確率	影響強度
+ ↑ ↓ - 保険の補償内容のリスク	リスクの引き受け拒否が必要	3	3
	保険料率もしくは補償内容の改定が必要	2	2
	リスクは増加するが保険料率や補償内容の変更は必要ない	1	1
	リスクは変化しない	0	0
	リスクは減少するが保険料率や補償内容の変更は必要ない	-1	-1
	市場から商品ニーズが減少する	-2	-2
	社会からリスクが消滅する	-3	-3

図(8)-1 CIATの評価基準

なお、表頭の作成においては、「気候変動への賢い適応 -地球温暖化影響・適応研究委員会報告書-（環境省、2008年6月）¹⁾」を参考にし、まず、約100項目の気候変動影響を抽出した。抽出後、気候変動分野の研究者のアドバイスを踏まえ重複する項目を整理し、さらに保険商品との関連性が低い項目（農業分野への影響等）を削除して57項目から成る表頭を作成した。なお、表頭については、各項目について、発生確率・影響強度各々について数値を記入して頂くため、総項目数としては、114項目（57項目×2）となった。また表側の作成においては、大同火災海上保険株式会社（以下、「大同火災」という。）の協力のもと、まず約200約款からその保険が補償する担保危険を網羅的に抽出し、約400の担保危険を列挙した。続いて、同一保険種目において同一の担保危険が存在している場合には、その担保危険を一つにまとめるという作業を実施し、約130項目に整理した。その上で、大同火災との議論を通して、火災保険と物系新種等、類する担保危険の取りまとめ等を実施し、69項目から成る表側を作成した。

次に、上記手順で作成したCIATを先述の海外4社に送付し、各社は発生確率・影響強度各々について影響度を記入した。

数値が記入されたCIATに対して、まず各社によるCIATシートを集計し、各項目（セル）について各社の値の平均値を算出し、全ての項目で平均値が1未満であった行あるいは列を削除することで、表側の保険の担保危険を約20項目に、表頭の気候変動影響を約40項目まで削減し、コンパクト化したCIATを作成した。さらに、このコンパクト化したCIATを再度海外4社に送付し、各社において数値を確認・修正した。各社より返信されたCIATについて、項目（セル）ごとに平均値を再度計算し、全ての項目で平均値が1.5未満であった行あるいは列を削除し、最終的なCIATを作成した（図(8)-2）。この作業の結果、最終的なCIATは、表頭17項目・表側5項目の構成となった。なお、最終的なCIAT作成に至るまでに、各社の記入・修正した数値に対して疑問点等がある場合には、都度各社に確認を実施した。



図(8)-2 CIATの縮小手順(イメージ)

さらに平成23年度には、国内の損害保険会社に対するアンケート調査および海外の元受保険会社等に対してもヒアリング調査を実施し、再保険会社および再保険ブローカーと元受保険会社の気候変動に対するアプローチの違いをはじめとした損害保険業界における気候変動予測情報の活用状況を整理するとともに、CIATをもとに対話型研究会の参加企業へのヒアリング調査によりリスク・コミュニケーションを実施し、CIATのリスク・コミュニケーションツールとしての利用可能性を把握した。

4. 結果及び考察

(1) 企業による適応策の検討・実践における障壁の把握とその改善方策に係る研究

企業へのヒアリング調査および企業と研究者の対話型研究会での議論から、まず、企業にとっての環境活動とは行政や業界団体による規制や仕組みを背景とした削減策を主に意味し、業界大手企業であっても、温暖化の進行を意識した適応策の検討・実施を行っている企業は数少ないということが明らかとなり、さらに、適応策については、その概念すらも企業には十分に浸透しているとは言い難い状況であることが分かった。この理由としては、まず、そもそも企業は研究者が発する気候変動の将来予測情報に触れる機会が少なく、温暖化が進行しているという実感を十分に有していない場合が多いという点が考えられる。さらに、そのような情報に触れる機会があったとしても、表(8)-3に示す障壁により、現状の気候変動予測情報を企業の経営判断に用いることは難しいということが分かった。これらの結果の特徴としては、まず、従前研究者が懸念していた研究成果に含まれる不確実性の問題については、いくつかの企業から不確実性のある情報であっても問題ないという意見が述べられ、不確実性を含んだ情報であっても利用できるという企業もあるということが明らかになった。一方で、極力不確実性を含まない形での情報提供を求める企業もあり、企業の規模や体制により不確実性に対する許容度は様々であることが明確になった点が挙げられる。さらに、ほとんどの企業で共通して、企業の経営判断において行政や政策の動向の影響が大きいという意見が挙げられ、気候変動予測情報についても、それを行政機関がどのように解釈・判断するのかという点を重視しているということが明確となり、企業の気候変動の実感あるいは適応策の検討・実施においては行政機関の関与が極めて重要であることが示唆された。

表(8)-3 気候変動予測情報の利用における課題

課題の種類	内容
予測研究の対象時期	企業にとって利用可能な予測情報は長くても5～10年先の情報であるが、気候変動研究は短くても数10年あるいは100年以上先を対象としているため、企業のニーズに合わない。
予測研究の不確実性	予測情報が有する不確実性に対する企業の許容度が企業規模や体制等により異なるため、それぞれの企業にあった情報の加工が必要となる。
予測研究の表示方法	影響の程度が金額等の身近で社会的な情報に変換されていると企業は参考にしやすいが、現状の研究ではそのような変換が十分に行われていない。
予測研究のオーソライズ	気候変動予測情報が行政等によってオーソライズされた公平性かつ信頼性を有するものである必要がある。

(2) 2030年頃の日本の損害保険商品に気候変動が与える影響の検討と検討結果を用いた企業とのリスク・コミュニケーション

まず、平成23年度に実施した国内の損害保険会社18社に対して実施した気候変動予測研究の実施状況に関するアンケートは回収数が5社と少なく、傾向を把握することが困難な結果となった。なお、回収できた5社においては気候変動研究を実施しているという企業は無く、1社から気候変動に関する情報収集は実施しているという回答が得られた。

次に、平成22～23年度に実施した海外の元受保険会社、再保険会社および再保険会社を対象にしたヒアリング調査から、再保険会社や再保険ブローカーは、気候変動に関わる研究者の雇用あるいは、大学との共同研究等により気候変動予測研究を精力的に実施していることが把握できた。一方で、元受保険会社においては、自社で気候変動予測研究を実施している企業は少なく、第3者から提供されるモデルや再保険業界からの情報提供等により気候変動に関する情報を得ている場合が多いということが把握でき、損害保険業界の中でもプレーヤーにより気候変動予測情報の利活用状況には違いがあることが把握できた。

以下に、気候変動研究の利活用を積極的に実施している再保険会および再保険ブローカー4社の協力により作成したCIATの結果を以下に示す（表(8)-4および表(8)-5）。

表(8)-4 統合版CIAT（発生確率）

担保危険			災害						沿岸域	健康
			台風		大雨	水害(河川氾濫・高潮)	土砂災害	雪氷災害	波のうちあげ高・越波量	熱中症
保険種目	補償項目	補償内容(概要)	強度の増大	進路変化	頻度の増加	頻度の増加	頻度の増加	融雪洪水の増加	増大	増加
自動車保険	車両保険	様々な事故による車に関わる損害(単独事故・他車との衝突・火災・爆発・盗難・・・等)	1.5	1	1.5	1.75	0.5	0.5	1	0
火災保険 森林火災保険 動産総合保険 原子力財産保険	損害保険金	風災(台風、施風、暴風、暴風雨等)・雹災・雪災(豪雪、雪崩等)により保険の対象に生じた20万円以上の損害	2	1.5	1	1	0.5	1	0.5	0
		台風、暴風雨、豪雨等による洪水・融雪洪水・高潮・土砂崩れ等の水災により保険の対象に生じた損害	2	1.25	1.75	2	1.5	1.5	1.5	0
海外旅行傷害保険	損害保険金	海外旅行中のけがや病気による費用	0	0	0	0	0.25	0	0.25	2
	航空機遅延費用等補償特約	搭乗予定航空機の出発遅延等により搭乗不能となった場合に負担した費用	1.5	1	0.75	0.5	0	0.5	0	0

※各社の評価値の平均が1.5以上の項目を抽出

表(8)-5 統合版CIAT（影響強度）

担保危険			災害						沿岸域	健康	
			台風		大雨	水害(河川氾濫・高潮)		土砂災害	河川水流量	波のうちあげ高・越波量	熱中症
保険種目	補償項目	補償内容(概要)	強度の増大	進路変化	頻度の増加	頻度の増加	規模の増大	規模の増大	洪水時の一層の増大	増大	増加
自動車保険	車両保険	様々な事故による車に関わる損害(単独事故・他車との衝突・火災・爆発・盗難・・・等)	1	1	0.75	0.5	1	1	0.75	0.75	0
火災保険 森林火災保険 動産総合保険 原子力財産保険	損害保険金	風災(台風、施風、暴風、暴風雨等)・雹災・雪災(豪雪、雪崩等)により保険の対象に生じた20万円以上の損害	1.75	1.75	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0
		台風、暴風雨、豪雨等による洪水・融雪洪水・高潮・土砂崩れ等の水災により保険の対象に生じた損害	1.75	1.75	1.5	1.5	1.75	1.5	1.5	1.5	0
海外旅行傷害保険	損害保険金	海外旅行中のけがや病気による費用	0.5	0.5	0	0	0	0.25	0	0.25	1.75
	航空機遅延費用等補償特約	搭乗予定航空機の出発遅延等により搭乗不能となった場合に負担した費用	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0

※各社の評価値の平均が1.5以上の項目を抽出(表側は発生確率シートと項目を一致させているため、1.5以上の数値を含まない行が存在する)

各社とも共通して高い数値を記入していた項目としては、自動車保険や火災保険等に対する台風や大雨等の風水災の影響である。これについては、欧米を中心に世界的な水災の発生頻度が高まっており保険金の支払い事例も増加していることから水災に高い関心が寄せられているためと考えられる。また、建物構造物への影響が自動車と比べて比較的大きいのは、財物としての単価が大きいことに加え、浸水等が予想される区域に存在する数量も多いためである。複数の企業からは、東京をはじめとした海に面した都市の水災に対する脆弱性が指摘されており、大雨や洪水の被害を受ける可能性が高いと評価されていることも分かった。

また、物損以外の費目として各社が共通して高い数値を記入していたのが、海外旅行に関する2つの費目、病気と航空機遅延である。これらの保険については熱中症や台風が関わる項目に高い数値が付けられた。病気に関しては、各社が総じて熱中症に関わる支払いが増加すると指摘された。航空機遅延については、病気ほどは高い数値が付かなかったものの、台風の強大化や経路の変化の影響が大きいとされた。

CIATへの数値記入を依頼する際に仮説として高い数値を予想していた費目のうち、幾つかは予想よりも低い値が付き、特に問題となる影響は考えられないとの評価がなされた。船体損害保険については台風や大雨によって多くの船体が損傷するようになる、工事保険については台風や大雨、雷、熱波などによって工事の進行が遅れるようになる、といった影響を想定していたが、船体損害保険については、風水災の発生時には船体は通常避難させること、船体は車両と比べて契約数が少なく被害が発生してもインパクトが少ないこと等の理由により低い数値が記入され、また、工事保険については、特に影響がないとの理由や現時点では影響が少ないと考えられるとの理由により想定よりも低い数値が記入された。

なお、CIATにおいては各社により数値にばらつきが見られた項目もいくつかあり、落雷の影響について、ある企業は、落雷の発生頻度の増大によって、火災による火災保険と海外旅行傷害保険の航空機運航遅延の費目に大きな影響があり得るとし、これらの項目に対して「2(保険料率もしくは補償内容の改定が必要)」を記入した。一方、他社は総じてそれよりも低い数値を入れて

いた。別の再保険ブローカーは落雷について低い数値を記入しつつも、補足コメントとして、雷の影響については未解明な点が多いことに触れ、特に森林火災発生の増加に大きく関わる可能性があるとして述べており、落雷は、関心が高い一方で十分な知見が蓄積されていない分野であることが示唆された。また、生産物賠償責任保険の食中毒被害に関する費目について、全ての企業が0から1という数値を記入していた。しかし、ある企業から、気候変動に伴う感染症リスク増大によって食中毒発生の可能性が高くなる可能性があるというコメントがあったが、同時に、現在の気候変動に関する情報のみでは不確実性が高く厳密な評価が困難との指摘があった。気候変動による食中毒への波及連鎖もまた今後の研究の進展が望まれる分野であると考えられる。

このように作成したCIATはリスクを生業とする損害保険業界の知見があつてこそ作成し得たものであり、企業に気候変動リスクに関する気づきを与えるためのコミュニケーションツールとして活用し得るものであると考えられる。そこで、平成21年度に開催した対話型研究会の参加企業（表(8)-1参照）を対象に、CIATを用いたヒアリング調査を実施した。

その結果、表(8)-6に示すようにいずれの企業からも、何らかのリスクの気づき・参考になるという意見が得られ、CIATがコミュニケーションツールとして活用出来得るものであることが分かった。なお、その「気づき」の内容は企業により様々であり、中には想像していた程気候変動リスクは高くないのではないかという認識される場合もあった。

表(8)-6 CIATによるリスクの気づきについて

項目	内容
CIAT全体について	<ul style="list-style-type: none"> ■ 企業において保険はリスクマネジメントの手段として重要な要素であり、CIATは業種横断的にリスクの気づき与え得るものである。 ■ 定性的な評価ではなく、数値化(定量化)されているため分かりやすく、リスクの把握に役立つと思う。 ■ 企業としてリスクの気づきにはなる。ただ、これによって温暖化のイメージが変わるという強いものではない。 ■ 将来の建物のリスクを検討し、費用をどこにかけていくべきかを検討する上で参考になる。
新たなリスクの気づきについて	<ul style="list-style-type: none"> ■ 個人としてはあるが、海外旅行傷害保険における熱中症の影響等は気づきになった。個人レベルでも保険加入の参考になるだろう。
これまで懸念していたリスクの認識変化について	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1.5点に満たないまでも、工事保険等にやや高い数値が記入されている。現場では気温上昇を身にしみて感じており、現場感覚と合致する。 ■ 工事保険にはもう少し高い数値が記入されると想定していたが、思ったより数値が低い。 ■ 企業にとって重要な保険の一つである労災保険の数値が低いということは企業にとって気候変動の影響はそれほど大きくないということを示唆しているかもしれない。 ■ CIATで高い数値が記入されている項目は、現在既に変化が生じていると言われている項目が多い。CIATが2030年頃の気候変動影響を示しているのであれば、2030年においても今問題になっていることが問題であり続けるということを示唆しているとも考えることもできる。そう考えると将来に向けて、現在と大きく異なる対応は必要ないとも考えることも出来るかもしれない。

また、CIATを用いた企業とのコミュニケーションを通して、企業は「高い点数が記入された項目は何か」にも着目するものの、それ以上に「自社の事業と関係が深い項目にはどの程度の点数が記入されているか」という点に着目し、その項目の点数の理由に興味を持つ傾向が見られるが明らかとなった。そのため、CIATをより有用なコミュニケーションツールにするためには、本研究で実施したような一定点数以上の項目への絞り込みを実施せず、全ての項目を同様に分析することが理想である。しかしながら、そのような分析を実施するにはかなりの工数が必要となるため、例えば、初期段階のCIAT（表頭57項目、表側69項目）を企業に見せ、その企業が注目する項目を把握した上で、その項目に対して深い検討を行うという方法で検討を進めることでより企業ニーズを満たす情報提供が行えるようになると考えられる。さらに、本研究では表側に損害保険商品の担保危険を整理したが、これを企業のサプライチェーンや業務フロー等にすることで、より企業の特性を踏まえた評価・分析が可能になると期待できる。ただし、本研究においてCIATが作成できたのは損害保険商品と気候変動の影響をともに理解できる体制を有する企業があったからこそであり、業界の特性を踏まえたサプライチェーンと気候変動影響の双方を理解できる体制の構築は必ずしも容易でないかもしれない。この問題の解決策としては、今回作成したCIATの枠

組みを利用することを前提として、損害保険商品の担保危険と企業のサプライチェーンあるいは業務フロー等との関連性を検討・整理することにより、既存のCIATを利用して企業の特性を踏まえたリスク・コミュニケーションの促進が期待できると考えられる。

上記のような改善を要する点はあるものの、先述のとおり本研究で作成したCIATは、企業に気候変動リスクに関する気づきを提供するために有用なツールであることが示唆され、企業とのコミュニケーションの促進に寄与するものと考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究の意義として、まず、企業が求める利用しやすい気候変動予測情報のあり方を明確にした点が挙げられる。研究対象とする時期のフォーカスを5～10年後としたり、コスト等の金額としての情報提供をしたりすることにより企業の気候変動予測情報の利用を促進させられる可能性があり、これからの研究のあり方や企業とのコミュニケーションを検討する上で有用な情報である。

また、損害保険業界の研究においては、リスクを業とする業界の協力を得て、CIATを作成したという点に大きな意義がある。CIAT分析によって得られた結果自体は物系の商品を中心とした関係性が目立つため、さほど目新しさが無い結果と捉えられる可能性もあるが、CIATというコミュニケーションツールを開発し、そのツールとしての利用可能性を把握したという点において、過去に類を見ない新規性がある。

(2) 環境政策への貢献

企業が気候変動に係る政策の検討において重要なステークホルダーの一つであり、企業に対して効果的に気候変動予測情報を提供していくための要件を見出したことは環境政策に大いに寄与するものであると考えられる。また、企業の行動には政策動向が大きく関わっており、地球温暖化・気候変動の分野においても行政機関を巻き込んだ研究のあり方を検討する必要があることが把握でき、気候変動予測研究のあり方の見直しに係る提言とも言える。

損害保険業界の事例研究とそれを踏まえた企業とのコミュニケーションにおいては、損害保険業界の主要企業の協力を得て作成したCIATが、企業とのリスク・コミュニケーションのためのツールとして有用であることが示唆された。今後の環境政策の検討において企業とコミュニケーションを実施する場合もCIATは有用なツールの一つとなり得ると考えられる。

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

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表 (学会等)

特に記載すべき事項はない

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

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

- 1) 環境省 地球温暖化影響適応研究委員会 (2008) : 気候変動への賢い適応 -地球温暖化影響・適応研究委員会報告書-

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(9) 温暖化理解における「実感」に関する概念整理と評価手法の開発に関する研究

神奈川大学

人間科学部 人間科学科

三星宗雄

外国語学部 国際文化交流学科

坪井雅史

<研究協力者>

東京大学大学院

杉本 崇

平成19～21年度累計予算額：17,403千円

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 本サブテーマでは平成19年度に、温暖化問題とリスク・コミュニケーションに関する既存研究の整理とイギリスの事例調査から、地球温暖化に対する合理的なリスク認知に影響を及ぼす要因と、こうした合理的なリスク認知を促進するための実践的な取り組みについて整理を行った。この結果、1)地球温暖化に対する合理的なリスク認知に影響を及ぼす要因として、気温上昇の実感やメディアによるメッセージなどが影響していること、2)人々の認識にはオゾン層の破壊や大気汚染が温暖化の主な原因と考える誤解などが多く、直感的なバイアスなども影響していることを明らかにした。

そこで、平成20年度には日本の一般市民の温暖化に対する理解とりわけ温暖化リスクについての認知と、温暖化に関する知識や温暖化に対する実感などの認識との関連について、一般市民、地球温暖化防止活動推進員、専門家の3つのグループに対するアンケート調査により明らかにした。この結果、1)温暖化の原因について一般市民や推進員の認識は専門家とは異なり、一般市民では原因についての誤解や偏りがあること、2)温暖化による影響について、一般市民、推進員、専門家のそれぞれでその認識が異なること、3)これらの違いは温暖化のリスク認知との間に関連があることなどを明らかにした。

さらに、平成21年度には一般市民の温暖化対策行動に着目し、人々が温暖化対策行動の効果をどのように認知しているのか、また、どのような要因によってその認知が規定されているのか、さらには温暖化対策行動に関する認知はどのように温暖化対策行動の実行に影響しているのかを、一般市民へのアンケート調査をもとに検討した。この結果、温暖化対策行動に対する負担感は直接的だけでなく、対策行動の効果を低く見積もることを通じて間接的にも対策行動の実行に負の影響を与えていることが示された。

【キーワード】 リスク認知、バイアス、一般市民、アンケート調査、イギリス

1. はじめに

地球温暖化対策推進法改正案が2008年に閣議決定され、都道府県や政令市だけでなく中核市や

特例市においても事業者・住民による省エネなど温室効果ガスの排出抑制・削減を行うための施策を定めることが求められている。とりわけ当面の温暖化対策としては、大量の資源やエネルギーを消費している私たち市民一人ひとりの行動や生活様式を、環境に配慮したものへと変革していくことが重要であり、このためには、国や自治体のみならず市民・事業者を含めたすべての主体がその施策に対して積極的な参加や協力を行うことが必要とされている。こうしたことから、自治体などを中心として市民の環境配慮的な行動を促進するための普及啓発施策も各地で多様な取り組みが行われている。一方、イギリスでも温暖化対策における個人の役割に対して積極的な感情を持ってもらうことを目的として、地域や市民団体とのかかわりを重視したコミュニケーション手法である「気候変動コミュニケーション構想」が2005年から開始され、対話や交流により温暖化リスクの合理的な理解を阻害する要因を取り除く様々な工夫や、直感的なプロセスに働きかける手法などが実践的に試みられている。

しかし、これまでの日本の自治体環境行政における施策は温暖化防止計画の策定など施策の総合化や、庁舎内における省エネなど事業者としての温暖化防止活動に該当する取り組みにとどまっており、自治体は地域住民に最も身近な存在として普及啓発を行ってきたが、市民や事業者の温暖化防止活動に対する支援や啓発という点では大きな効果をあげてないことが指摘されている（中口、2002）¹⁾。このように、自治体などによる市民への普及啓発活動が大きな効果をあげていない一因には、人々の環境に対する認知あるいはその科学的な知見を十分に考慮した、総合的で戦略的な対話や交流がほとんどなされていないためと考えられる。

2. 研究開発目的

地球温暖化は一般の人々が、自らの直接的な経験よりも科学的な知見に基づき、そのリスクを判断したうえで行う個々の行動が地球全体に大きな影響を及ぼしている環境問題である。近年、このような環境問題に対する一般の人々のリスク認知や判断、そのうえでの意思決定には分析的・合理的なプロセスだけでなく、直感的・感情的なプロセスによる影響も大きいことが注目されている。このため、温暖化に関する科学的知見の伝達においては、分かりやすさや正確さだけでなく、直感的・感情的なプロセスに働きかけるような、共感や想像を伴うかたちでの情報提供が重要とされる。同時に、それらが分析的・合理的なプロセスを阻害することなく、適切な危機感を醸成し、人々の行動の変革を促すことにつながることも必要とされている。

そこで、本サブテーマでは温暖化理解における「実感」の概念整理として、リスク・コミュニケーション研究において分析的・合理的及び直感的・感情的なプロセスの両面から地球温暖化のリスク認知に関する知見の整理を行うと同時に、行動変容を促すために有効なコミュニケーション手法の要件を明らかにする。

次に、これらの知見と、日本の一般市民の温暖化に対する認知とりわけ温暖化リスクの認知や、これに関連すると考えられる温暖化についての知識や温暖化に対する実感などの実態について、一般市民と専門家を対象としたアンケート調査により明らかにする。

最後に、行動変容を促すために有効なコミュニケーション手法に関する知見を得るために、一般市民の温暖化対策行動に対する認知に着目し、人々が温暖化対策行動の効果をどのように認知しているのか、また、どのような要因によってその認知が規定されているのか、さらには温暖化対策行動の実行に影響しているのかを明らかにする。

3. 研究開発方法

(1) リスク・コミュニケーション研究における知見の整理

本サブテーマではまず、温暖化問題とリスク・コミュニケーションに関する 35 の英文による既存研究のレビューから、温暖化問題のリスク認知とリスク・コミュニケーションに関する知見の整理を行い、「実感」を伴う理解とそのために有効なコミュニケーション手法についての要件を明らかにする。また、イギリスにおける温暖化のリスク・コミュニケーション政策に関するヒアリング調査を行い、行動変容を促すために必要なコミュニケーション手法の特性を明らかにすることで、今後の温暖化コミュニケーションの方向性について考察を行う。なお、イギリスでのヒアリング調査は、英国環境・食糧・農村地域省（Defra）のほか地方自治体（ウォーキング・バラ）、民間団体などに対して行う。

(2) 日本の一般市民における温暖化リスクの認知に関するアンケート調査

1) 仮説モデルの構築

日本の一般市民の温暖化に対する認知とりわけ温暖化のリスクについての認知と、それに関連する要因を明らかにするために、上記の温暖化リスク・コミュニケーションの知見などに基づいた仮説モデルの構築を行った。環境リスクの認知は一般的に「問題がどれほど深刻であり、その発生がどれほど確からしいかについての認知」だとされ、本研究でも温暖化のリスク認知をこの考え方に基づいて把握することとする。一方、温暖化に関するリスク認知には温暖化の原因やその影響、将来の平均気温変化といった基本的な知識や、身近で生じている自然環境の変化などを通じて認識される温暖化の実感が関係しているものと考えられる。ただし、温暖化の基本的な知識については、様々な誤解や偏りがあると考えられる。

2) アンケート調査の概要

上記の仮説に基づき調査項目を設定し、調査票の作成を行った。まず、温暖化のリスク認知として、地球温暖化が 2050 年までに世界および日本に与える影響について聞いたほか、温暖化の影響が実際に世界で生じる可能性を、台風、干ばつ、豪雨、猛暑の 4 つの事象について聞いた。次に、温暖化に関する基本的な知識として、2050 年の平均気温の変化が世界及び身近な地域でそれぞれ何℃程度になるかを聞いた。また、温暖化の原因に対する認識として、誤解されやすい「オゾンの破壊」や「ヒートアイランド」も含めた 6 つの事象について聞いた。さらに、温暖化の影響に対する認識として、予測されている 11 の事象を取り上げ、それらの中で最も深刻だと思う事象を 3 つ以内で聞いた。最後に、温暖化の実感として身近な地域における温暖化の影響について、①平均気温の上昇、②異常気象の増加、③海面水位、④季節の変化、⑤生態系の変化、の 5 つの分野において聞いた。

この調査票をもとに 3 つのグループを対象としたアンケート調査を行った。対象としたのは、一般市民のグループ、一般市民の中でも意識が高いと考えられる地球温暖化防止活動推進員のグループ、温暖化研究の専門家のグループである。調査方法は、地球温暖化防止活動推進員については、神奈川県、埼玉県、千葉県的全推進員 1007 名を対象に、各県の地球温暖化防止活動推進センターを通じてアンケート票を郵送により配布し、郵送により回収を行った。この結果、588 人からの有効回答を得た(回収率 58%)。また、一般市民については調査会社に登録するモニターから

この3県に居住し、回答者の年齢構成及び男女比が実際の居住者の構成とほぼ等しくなるように抽出した被験者1200名に対してWeb調査により行った(回収率100%)。さらに、本研究課題に参画する温暖化研究の専門家130人に対しても同一内容のアンケートをメールにて依頼し、同様にインターネット上で38人に回答してもらった(回収率29%)。

(3) 行動変容を促すコミュニケーション手法に関する分析

温暖化対策の実行に影響を及ぼす要因を明らかにし、一般市民の温暖化対策行動を促すコミュニケーション手法に関する知見を得るため、一般市民が温暖化対策行動(ゴミの分別、レジ袋の削減、クールビズ、ウォームビズ等)の効果をどのように理解しているのか、その理解が何によって規定され、それが温暖化対策行動の実施にどれほど影響しているのかを一般市民のアンケート調査結果から検証する。本研究で対象とする温暖化対策行動は、個人の地球温暖化対策のうち生活習慣に関するもの12種類及び製品購入に関するもの6種類の合計18種類である。

これらのうち、生活習慣に関する個人の地球温暖化対策12種類については「必ず実行している(5点)」から「全く実行していない(1点)」までの5段階で回答させた。また、個人の地球温暖化対策(製品の購入)6種類については「実行している」「実行を検討している」「検討していない」及び「実行する機会がない」の4つの選択肢から回答させた。

次に、温暖化対策に対する金銭的負担感として、個人の地球温暖化対策全18種類それぞれの実行についてどれほど金銭的な負担がかかるかについて、「とても負担が軽くなる(-4点)」から「とても負担が重くなる(4点)」の9段階で回答させた。また、温暖化対策に対する手間的負担感として、同様にそれぞれの実行にどれほど手間や不便さなどの負担がかかるかについて、「とても負担が軽くなる(-4点)」から「とても負担が重くなる(4点)」の9段階で回答させた。さらに、個人の地球温暖化対策全18種類それぞれの実行について、地球温暖化を防ぐためにどれほど有効だと思うかを「非常に有効である(5点)」から「全く有効でない(1点)」の5段階で回答させた。

4. 結果及び考察

(1) リスク・コミュニケーション研究における知見の整理

1) 合理的な温暖化の認知に影響を与える要因

合理的な認知モデルを仮定したうえで、人々の温暖化に対する認知に影響を及ぼす要因を明らかにした研究はこれまでも国内外に数多くある。

例えば、J. A. Krosnick et al. (2006)²⁾は、人々の温暖化の深刻さに対する判断は、温暖化の認識(Existence)と温暖化への態度(Attitude)及びこうした認識や態度がどの程度確かだと思ふかの確信(Certainty)という3つの要因による複合的な影響によってなされていると考えるACEモデルを提唱し、1413人(回答率70%)のアメリカ人への電話による調査から、その検証を行っている。この結果、温暖化の認識や態度さらにはそれらの確信は、温暖化のリスク認知と関連があることが確かめられた。また、温暖化の認識が情報源に対する信頼や気温上昇の実感、さらにはメディアによるメッセージなどによって影響されていることや、温暖化への態度が温暖化による影響についての予測やその評価と関連があるなどを明らかにしている。

また、2001年に行われた環境問題に対する一般市民の意識や態度に関する国際比較調査の結果

からも、アメリカやEUの一般市民では、「将来世代の脅威が環境問題や天然資源の枯渇であると考えている人ほど、現在の気候変動対策を十分でなく、もっと積極的にと考える」ことが明らかになっている（青柳、2005）³⁾。

一方で、温暖化により予測される影響などの科学的知見を伝達することが簡単ではないことも多くの研究は明らかにしている。例えば、S. Seacrest et al. (2000)⁴⁾は、温暖化の認知に関する代表的な研究のレビューを行い、人々の認識には、オゾン層の破壊や大気汚染が温暖化の主な原因と考える誤解などが多くあることを指摘している。また、S. R. J. Sheppard (2005)⁵⁾は視覚的イメージによる情報伝達の試みに着目し、既存研究のレビューから温暖化による影響についてもその変化を視覚化することが、人々の理解を早め、行動を動機付ける可能性が高いことを明らかにしている。しかし、視覚化を用いることで偏った反応や過剰な反応、不信感や混乱を招くなどの倫理的・実地的な問題点があることも指摘している。

2) 合理的な温暖化のリスク認知を歪める要因

温暖化のリスク認知のバイアスとなる要因のなかでも、既存研究において科学的な手法により実証的な検証がなされている要因について、それらがもつバイアスの特徴とそこから示唆される温暖化コミュニケーションへの視点について考察する。

a. 感情ヒューリスティックによる影響

温暖化に対する感情や心象が温暖化のリスク認知や温暖化政策の支持に与える影響を実証した研究として、A. Leiserowitz (2006)⁶⁾がある。ここでは、郵送によるアンケート調査で回答があった米国人674人(回収率55.4%)の回答をもとに、「地球温暖化」という言葉に対する感情が、他の要因（温暖化に対する心象や人々の文化的な価値観、個人属性など）よりも強く人々のリスク認知に影響していることを明らかにした。

b. 利用可能性ヒューリスティックの影響

温暖化のリスク認知に対する利用可能性ヒューリスティックの影響についてW. K. Viscusi and R. J. Zeckhauser (2006)⁷⁾が行った実験は、ボストンの2つの大学の学生257人を対象に、2024年と2100年における気温上昇の予測を回答してもらうという方法で人々のリスク認知を把握したが、温暖化のリスクとは直接的に関係がない温暖化政策に関する情報（アメリカが京都議定書に賛成していないことなど）を提示したグループと、そうした情報を提示していないグループでは、温暖化のリスク認知には統計的に有意な差があることが確認され、リスクとは直接的に関係がない情報を提供されたグループの方が、気温上昇を高く見積もることを明らかにしている。

c. パターンマッチング・ヒューリスティックによる影響

J. D. Sterman and L. B. Sweeney (2007)⁸⁾は、一般の人々だけでなく政策立案者の間でも温暖化対策の必要性・緊急性が過小評価される原因の1つは、人々がこれまでのデータを照合して未来を見積もるパターン・マッチング・ヒューリスティック (Pattern matching heuristic) を用いて温暖化問題を理解しているためではないかと考え、高学歴の大人（マサチューセッツ工科大学大学院生212人、平均年齢30歳）を対象にその検証を行った。その結果、回答者は大気中のCO₂濃度の将来シナリオに影響され、本来はCO₂排出量を吸収量と同じかそれよりも少なくしなければならないところを、それらを上回った排出量までで安定化あるいは減少させるだけで、これらのシナリオが達成できると見積もっている。

3) その他のバイアスについて

例えば、J. Baron(2006)⁹⁾は22歳から76歳までの米国人男女76人に対するWeb調査を行い、「温暖化による10%の経済的損失を2%にまで減少させるための自国での対策」に対して許容する支払いは、「温暖化による10%の損失を1%にまで減少させるための他国への経済的支援」に対して許容する支払いよりも統計的に有意に大きいことを明らかにしたが、これは、より効果の大きい間接的な対策よりも、効果は小さくとも帳消しの対策を支持する傾向があることを示していると考えられる。

4) 個人属性との関連

年齢(世代)による違いを実証した研究として、J. Herch & W. K. Viscusi (2006)¹⁰⁾がある。ここでは、1999年のユーロバロメータ調査(EUの世論調査)による欧州15ヶ国の14000人以上の意識調査結果から、環境保護のためにガソリン代により多く支払ってもよいとする回答者の比率が、年齢層が高くなるほど減少する傾向にあることを明らかにしている。彼らはこのように若年層の方が環境政策をより支持する理由を、人々が気候変動に影響を与えるような環境政策に対する支持は基本的に自己利益に基づいて決定されるものであり、若年層は将来に残っている人生が長いために老年層よりも環境対策による自己利益をより大きく見積るためだとしている。

(2) 日本の一般市民における温暖化リスクの認知に関するアンケート調査

1) 温暖化リスクの認知について

温暖化のリスク認知としてまず、一般市民、推進員、専門家のいずれのグループでも日本さらには身近な地域における影響は、日本以外の世界への影響に比べると深刻さは小さいものと認識されているが、一般市民や推進員ではそうした認識は専門家のグループほど顕著ではなく、日本や身近な地域への影響についても深刻だと認識している。また、温暖化の影響が今世紀中に世界で実際に生じる可能性に対する認識について、いずれのグループでも可能性がかなり高いと認識されている。特に「猛暑の期間や熱波の発生頻度が増加する」ことについては、いずれのグループでも可能性が非常に高いと認識されている。

2) 温暖化に関する知識について

温暖化の基本的な知識として最初に、2050年までの平均気温変化についての認識を聞いた結果、一般市民、推進員、専門家のそれぞれのグループで回答の平均値に大きな違いが見られた。一般市民のグループが認識している平均気温の上昇幅が最も高く、回答の平均値は3.6℃と専門家グループの平均値の2倍近くになっている。また、一般市民のグループでは、世界の平均気温と居住地の平均気温とでは回答の平均値の差が0.7℃と大きいのが、推進員や専門家のグループではこの差が0.2~0.1℃とほとんどないことが分かる。これらは「自分の地域あるいは自分は何となく大丈夫」と思ってしまふ楽観的な偏り(楽観性バイアス)が考えられる。

次に、温暖化の原因と考えられる事象及びそれと誤解されやすい事象について聞いた結果、一般市民や推進員では温暖化の原因について専門家の認識とはかなり異なっていることが分かり、そのなかには誤解も多く含まれている。特に、オゾン層の破壊やヒートアイランドは直接的な温暖化の原因ではなく、これらについては誤った認識をしている人が多いものと考えられる。

3) 温暖化による影響分野について

温暖化による影響が予測されている11の事象を取り上げ、それらの中で最も深刻だと思う事象を3つ以内で聞いた。この結果、一般市民、推進員、専門家のそれぞれのグループの間で、その認

識に大きな違いが見られ、とりわけ一般市民の認識が大きく異なることが分かる。こうした原因の1つは、実際に目で見ることができない地球規模での環境問題で生じ易い誤った認識のためだと考えられる。例えば、一般市民のグループでは温暖化による深刻な影響としてオゾン層の破壊を回答した比率が40%と高くなっている。

4) 温暖化の実感について

身近な地域における温暖化の影響についての認識を温暖化の実感として把握した結果、推進員と専門家のグループでは回答の傾向が類似している一方で、一般市民のグループとは回答が大きく異なり、一般市民は身近な地域において温暖化の影響がかなり生じていると認識していることが明らかになった。

5) 温暖化のリスク認知と知識・実感との関連

最後に、温暖化のリスク認知が、温暖化に関する基本的な知識（平均気温変化、原因、影響分野）や温暖化の実感と関連しているかを検証した。この結果、温暖化の基本的な知識についての一致さとリスク認知との相関係数から、一般市民のグループでは温暖化の原因に関する知識についての一致とリスク認知との間には関連があることが確認された。とりわけ、CO₂の排出が原因であることの知識の一致さとリスク認知の間はやや強い相関を示している。ただし、温暖化の原因についての知識が専門家と一致していることが一概にはリスク認知を高めることにはなっていないようである。また、温暖化による影響分野についても一般市民のグループでは専門家の認識との一致とリスク認知の間では関連があることが確認された。とりわけ、影響分野として「洪水や水不足の増加」を挙げている人とそうでない人との間にはリスク認知に統計的に有意な差がみられた。さらに、温暖化による実感とリスク認知との相関は、一般市民グループ及び推進員グループともに、やや強い正の相関があることが確認された。つまり、身近な地域における温暖化の影響が様々な分野で実際に生じていると感じている人ほど、温暖化の影響は深刻であり、その発生する確率が高いと認知しているものと考えられる。

(3) 行動変容を促すコミュニケーション手法に関する分析

1) 温暖化対策行動の主観的効果についてのグループ間比較

一般市民、推進員、専門家の各グループにおけるそれぞれの温暖化対策行動についての主観的効果については、一般市民と推進員に共通する傾向として、「マイ箸」「ゴミの分別」「買い物袋の持参」が専門家の効果の認知との違いが大きくなっており、日々の生活習慣で注意すべき対策行動に対しては過大に評価される傾向があることが分かる。

2) 温暖化対策行動の負担感についてのグループ間比較

一般市民と推進員における金銭的及び手間的な負担感から、効果が大きいわりに負担感の小さいつまり「効率のよい」対策行動と、効果が小さいわりに負担感の大きいつまり「効率の悪い」対策行動を見出すことができる。例えば、専門家よりも効果が過大に評価されている「マイ箸」「ゴミの分別」「買い物袋の持参」などの対策行動に対する金銭的及び手間的負担感決して小さいものではなく、温暖化対策としては効率のよくない行動であるといえる。一方、「冷房を28℃程度にする」「暖房を20℃程度にする」といった対策行動については金銭的、手間的ともに負担感是非常に小さいわりに、効果が高い（専門家による効果の評価が高い）項目であり、これらが「効率のよい」温暖化対策行動であるといえるであろう。

3) 温暖化対策行動実施の規定因の検討

人々の温暖化対策行動はどのような認知に規定されるのかを検討するため、パス解析を行った。この結果、一般市民と推進員とともに、金銭的負担感と手間的負担感はいずれも主観的効果と対策行動の実行に負の影響を及ぼし（負担に感じる行動は実行しない）、主観的効果は対策行動の実行に正の影響を及ぼす（効果が高いと感じる行動は実行されやすい）という傾向がみられた。一方で、負担感の主観的効果に負の影響、つまり、負担感の高い行動はその効果が低く評価されやすい傾向も確認された。この理由のとしては認知的不協和による影響が考えられる。つまり、負担感が高いと実行するのは難しいが、「効果の高い行動を実行しない」ことによって認知的不協和が生じてしまう。それを解消するために「実行しづらい行動は効果が低い」というように認知するということである。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本における一般市民の地球温暖化問題に対する理解の特徴について以下の知見が得られ、これらは今後の普及啓発を考えるうえだけでなく、環境教育や環境情報科学の観点から、人々の環境配慮行動を促し、地球温暖化対策として有効な手法を構築するための知見となる。

1) 温暖化による将来の平均気温の推計値について、一般市民では世界と居住地とでは回答の平均値の差が大きいが、推進員や専門家のグループではこの差が小さい。

2) 温暖化の原因について、一般市民や推進員のグループの認識は専門家とは異なり、オゾン層の破壊やヒートアイランドが温暖化の原因として強く関連しているとする認識が多い。

3) 温暖化による影響分野について、一般市民、推進員、専門家のそれぞれでその認識が異なり、その理由として、一般市民はマスコミ報道から情報を得ることが多いためだと考えられる。

4) 一般市民のグループで温暖化の原因に関する認識が専門家のそれと一致していることとリスク認知との間には関連がある。また、温暖化による影響分野についての認識が専門家のそれと一致していることとリスク認知の間にも関連がある。

5) 温暖化対策行動を促進するためには、「ハイブリッドカーへの買い替え」や「マイカーの使用量を減らす」などでは、その効果の大きさをより明白に示すことや、「冷房を28℃程度にする」や「暖房を20℃程度にする」などの金銭的あるいは手間的にも負担感が非常に小さい一方で、その効果については専門家による評価が高い温暖化対策行動を積極的に推進することが有効である。

(2) 環境政策への貢献

本研究の成果であるイギリスにおける気候変動コミュニケーション構想の実態や自治体（ウォーキング・バラ）における取り組み事例などについて、相模原市新エネルギービジョン策定委員会において情報提供を行い、相模原市新エネルギービジョン報告書の作成に貢献した。

また、本研究の成果は今後の地球温暖化防止活動を展開していくうえでの重要な知見でもあるため、神奈川県地球温暖化防止活動推進員の研修事業を通じて情報提供を行った。

さらに、本研究の成果を分かりやすくまとめてリーフレット（「みんなは“温暖化”のことほんとうはどう思っているの？」）を作成し、神奈川、千葉、埼玉の地球温暖化防止活動推進員全員

に郵送にて配布したほか、各都道府県の地球温暖化防止活動推進センターにそれぞれ20部程度を郵送にて配布した。また、単純集計結果をまとめた報告書を作成し、神奈川、千葉、埼玉の各地球温暖化防止活動推進センターに配布したほか、推進員のなかでも希望者には郵送にて配布を行った。

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

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 松本安生(2009): 地球温暖化のリスク認知に関する研究. 神奈川大学人文研究, 167, 1-27.
- 2) 杉本崇, 松本安生(2010): 地球温暖化対策の行動規定要因に関する研究~効果と負担に対する主観的認知の影響. 神奈川大学人間科学研究年報, 4, 103-113.

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 松本安生, 三星宗雄, 坪井雅史, 杉本崇, 大高瑞郁: 温暖化コミュニケーションにおける課題と展望. 第20回日本リスク研究学会年次大会, 徳島, 2007年11月
- 2) 松本安生, 三星宗雄, 坪井雅史, 杉本崇, 大高瑞郁: 温暖化対策行動の主観的効果の規定因. 第21回日本リスク研究学会年次大会, 大阪, 2008年11月

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム, セミナーの開催(主催のもの)

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

- 1) 中口毅博(2002): 地球温暖化防止とフロン問題. 寄本勝美編著, 地球時代の自治体環境政

- 策,ぎょうせい, 141-154.
- 2) J.A.Krosnick, A.L. Holbrook, L.Lowe and P.S.Visser (2006): The Origins and Consequences of Democratic Citizens' Policy Agendas: A Study of Popular Concern about Global Warning. *Climate Change*, 77, 7-43.
 - 3) 青柳みどり (2005): 気候変動問題に対する一般国民の支持要因について. *環境科学誌*, 18(5), 493-506.
 - 4) S.Seacrest, R.Kuzelka and R. Leonard (2000): Global climate change and public perception: the challenge of translation. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), 253-260.
 - 5) S.R. J. Sheppard (2005): Landscape visualization and climate change: the potential for influencing perceptions and behavior. *Environmental Science & Policy*, 8, 637-654.
 - 6) Leiserowitz (2006): Climate Change Risk Perception and Policy Preferences: The Role of Affect, Imagery, and Values. *Climate Change*, 77, 45-72.
 - 7) W.K.Viscusi and R. J. Zeckhauser (2006): The Perception and Valuation of the Risk of Climate Change: A Rational and Behavioral Blend. *Climate Change*, 77, 151-177.
 - 8) J.D.Sterman and L.B.Sweeney (2007): Understanding public complacency about climate change: adults' mental models of climate change violate conservation of matter. *Climate Change*, 80, 213-238.
 - 9) J. Baron (2006): Thinking about Global Warning. *Climate Change*, 77, 137-150.
 - 10) J. Herch & W.K.Viscusi (2006): The Generational Divide in Support for Environmental Policies: European Evidence. *Climate Change*, 77, 121-136.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(10) 意欲を高めることを重視した参加・体験型コミュニケーションに関する実証的研究

神奈川大学

人間科学部

人間科学科

松本 安生

平成19～23年度累計予算額：25,839千円

(うち、平成23年度予算額：4,958千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本サブテーマでは最初に既存のコミュニケーション手法を対象に、その効果と課題を実証的に検証した。この結果、参加者は対策行動の有効性や重要性を認識して、具体的な取り組みへの意欲と実際の行動を高めることが明らかになった。また、このような意欲と行動の高まりは、地球温暖化の影響が生じる可能性や被害の大きさなどの温暖化リスクをより高く認識するようになったことと関連していることなどが明らかになった。

次に、長期的な地球温暖化対策による影響、費用負担、科学的な不確実性を伝達することを目的としたコミュニケーション実験を行い、これらに対する認識が長期的な地球温暖化対策への態度に与える影響について検証を行った。この結果、大学生においては不確実性の認識がより厳しい削減目標を支持する方向に態度が変容すること、この態度変容に温暖化リスクや因果関係に対する認識が関連することなどを明らかにした。また、一般市民においては影響や費用負担の認識が大学生と同様な態度変容をもたらす一方で、不確実性の認識は態度変容に大きく影響しないことを明らかにした。

さらに、これらの知見を踏まえて神奈川県横浜市との協力のもと、本研究課題の直接的な成果である気候モデルによる将来予測結果を含めた地球温暖化の現状、予測、対策に関する総合的なコミュニケーション手法の社会実験を、市内の小中学校および環境イベントでの出前授業として行い、参加者への効果について検証を行った。この結果、出前授業を通じて地球温暖化の影響や対策について理解することが家庭での取り組みを変容させるという効果が確認された一方で、コミュニケーションと専門家とで必要とされる情報と提供できる情報との間にギャップがあり、これが気候未来像に対する参加者の関心を相対的に低くする一因にもなっていると考えられる

[キーワード] コミュニケーション、温暖化リスク、科学的な不確実性、態度変容、社会実験

1. はじめに

地球温暖化に関わる普及啓発においては、その効果の定量化が困難であり、その効果を判断する方法論も確立されていないとされていることから、本サブテーマでは平成19年度に既存のコミュニケーション手法を対象として、それらが地球温暖化対策への意欲や行動に与える効果について実証的に検証した。

しかし、既存のコミュニケーション手法においては確定的に扱われることが多い地球温暖化に

よる平均気温の上昇やその影響などについては実際には様々な不確実性が存在する。こうした不確実性はしばしば確率的に表現されるが、不確実性の概念自体が一般市民には直感的に理解が難しく、これが人々の温暖化リスクを歪め、リスクコミュニケーションを難しくする1つの原因となっていると考えられる。そこで、平成20～21年度においては大学生および幅広い年齢層を対象に、地球温暖化における影響予測、費用負担、不確実性に対する認識が長期的な地球温暖化対策への態度に与える影響について把握を行うとともに、これらの態度変容に関連する要因について分析を行った。

これらの成果をもとに、第2期にあたる平成22～23年度においては地球温暖化問題に関する普及啓発事業を積極的に実施している地方自治体の1つである神奈川県横浜市の協力のもとで、地球温暖化の予測、影響、対策までを含めた総合的なコミュニケーション手法の社会実験を行い、その成果を検証することとし、平成22年度はまず市内の小学校を通じた家庭への普及啓発を目的とする社会実験を行った。また、平成23年度には市内で行われた2つの環境イベントにおいて出前授業を行い、一般市民への普及啓発を目的とする社会実験を行った。

2. 研究開発目的

(1) 既存のコミュニケーション手法による効果の検証

地球温暖化問題に関する普及啓発においては対話や交流による参加・体験型のコミュニケーションが有効とされ、実際に数多くの実践事例がありながらも、その効果について科学的に把握を行った学術論文は国内ではこれまでほとんど発表されていない。海外では地方自治体や市民団体などによる気候変動問題に関する普及啓発活動の効果を検証した既存文献に関する調査があるが、そこでは「個人の行動に影響を与え、変化させるために有効であったという仮説を証明する確固たる実証的な証拠はない」と結論付けられている。また、行動変容に対する効果の定量化が困難であり、その効果を判断する方法論は確立されていないとされている (Defra, 2007)¹⁾。

そこで、本研究では最初に地球温暖化問題について一般市民への普及啓発を目的として試みられている既存の参加・体験型コミュニケーション手法を事例として、その効果を科学的な手法によって構造的に把握するためのモニター調査を行った。ここで科学的な手法による構造的な把握とは、地球温暖化対策に対する取り組み意欲の変容だけでなく、それらがどのような意思決定要因、とりわけ気候変動の予測やその影響に関する知見(気候未来像)などの温暖化リスクの認識と関連しているのかを、社会心理学における知見を踏まえた仮説モデルをもとに検証を行った。

(2) 科学的な不確実性を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

次に、既存の普及啓発においてはほとんど扱われることがない地球温暖化対策の費用負担や、確定的に扱われることが多い地球温暖化の予測に存在する科学的な不確実性を認識することが地球温暖化対策への支持(意欲)にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、大学生及び一般市民を対象としたコミュニケーション実験を行った。とりわけ、科学的な不確実性はその概念自体が一般市民には直感的に理解が難しく、これが人々の温暖化リスクを歪め、リスクコミュニケーションを難しくする1つの原因になっているほか、「不確実性の存在は被害状況がある程度明らかになるまで、または不確実性が解消されるまで当面は積極的な削減を行わないという態度を形成し、地球温暖化対策の国際交渉がまとまらない一因にもなる」(藤田, 1999)²⁾とされている。

しかし、地球温暖化における科学的な不確実性の認識が人々の地球温暖化対策への態度に与える影響を定量的に扱った研究論文は数少なく、地球温暖化の科学に不確実性があることを考慮すれば温暖化対策はより消極的であるべきだとする考えが、地球温暖化対策に対する支払意思額に有意な負の影響を与えることを明らかにした既存研究 (Viscusi, Zeckhauser, 2006)³⁾ においても、地球温暖化対策による効果が明示されていないなどの課題があり、地球温暖化対策の費用と効果を十分に考慮できるような条件のもとで、地球温暖化の科学的な不確実性を認識することが人々の態度変容に与える影響を明らかにすることは今後の地球温暖化対策の合意形成において重要な知見となることが期待される。

(3) 気候未来像を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

最後に、本研究課題の成果である気候未来像（気候変動の将来予測の結果）を伝達し、その効果を検証するために、地球温暖化の予測や影響などについて学び、家庭での地球温暖化対策への取り組みを促進するための参加・体験型コミュニケーション手法を構築し、この手法を用いた社会実験を通じて参加者へのアンケート調査などからその効果の検証を行った。このための社会実験については、横浜市地球温暖化対策事業本部と共同で同市の地球温暖化防止普及啓発事業（ヨコハマ・エコ・スクール[YES]）の一環として、横浜市金沢区内の横浜市立小学校（主に5年生）を対象とした出前授業び横浜市内で行われた2つの環境イベントにおいて親子向けの出前授業を行った。ここで、親子を対象としたコミュニケーション実験を行ったのは、横浜市と行った住民アンケート調査の結果から、30～50代の2世代世帯（親と子）の家庭では、地球温暖化問題に対して意識や関心が高い一方で、具体的な温暖化対策への取り組みが比較的少ない家庭が多いことが明らかになったためである。

3. 研究開発方法

(1) 既存のコミュニケーション手法による効果の検証

1) 事例の概要と分析の枠組み

本研究では既存のコミュニケーション手法の事例として、東京都港区の「ストップおんだん館」が、参加者の地球温暖化問題に対する適切なリスク認知を促し、家庭での地球温暖化対策に対する取り組み意欲を高めることを目的として構築したプログラムを対象とした。なお、ここで地球温暖化問題に対する適切なリスク認知とは、「温暖化の原因、将来予測、影響に関する科学的な知見に即した認識に基づいて為される温暖化のリスク認知」のこととする。

このプログラムの参加者への効果を把握するために、事前、当日のプログラム参加直後、事後（1ヶ月後）の合計3回のアンケート調査を参加者に対して行った。このうち、事前及び事後アンケートでは地球温暖化問題に関する認識や温暖化対策への取り組みなどについて原則的に同じ質問を行いうことで態度変容の把握を行った。また、参加者のプログラムに対する評価とこれらの態度変容との関連についても分析を行い、コミュニケーション手法の効果について検証した。

2) 調査の概要

実際の調査はストップおんだん館の通常の業務に支障をきたさないことなどを考慮して、平日に6回の調査を行うこととし、参加者は1回あたり20名以内とした。参加者に対しては事前及び事後に詳細なアンケート調査を行う必要があることなどから、調査会社に登録するモニターから

平日日中の都内での調査に協力が可能な首都圏在住の専業主婦あるいはパート・アルバイト従事者（30～40代の既婚者女性）120名を抽出し郵送による事前アンケート調査を行った。また、このうちストップおんだん館でのプログラムに実際に参加した111名に対して、当日及び郵送による事後アンケート調査を行った。

（2）科学的な不確実性を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

1）コミュニケーション手法の概要

ここでは地球温暖化対策への意欲として、CO₂排出量の長期的な削減目標を取り上げ、3つの代替案の中から最も望ましいと思う案を選択してもらうこととした。3つの代替案のうちA案は世界の平均気温を産業革命前よりも約2.5℃の上昇を抑えることを目標に2050年には現在よりも40～50%を削減する、B案は世界の平均気温を産業革命前よりも約3℃の上昇を抑えることを目標に2050年には現在よりも10～20%を削減する、C案は世界の平均気温を産業革命前よりも約3.5℃の上昇を抑えることを目標に2050年には現在よりも30～40%の増加を抑えることとした。

a. 世界平均気温の上昇による影響

各代替案で目標とされる平均気温の上昇とそのときに予測される影響として、分かりやすさや各代替案での違いが明確になることなどを考慮し、「森林地域への影響」、「生態系への影響」、「沿岸域の影響」の3つの分野への影響のみを取り上げた。

b. 地球温暖化対策のための費用負担

各代替案におけるCO₂排出量削減のための費用として、世界で最も削減費用が安い場合の試算の一例（茅・秋元・永田，2008）⁴⁾を参考にした。なお、表示金額は2050年までに所得が2倍に増加すると仮定した場合の現在の金銭感覚における額、つまり2050年時点の費用負担額の2分の1とした。

c. 地球温暖化の科学的な不確実性

各代替案における気温上昇の不確実性を気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告書を参考に、A案では平均気温の上昇が2℃～4℃の範囲に、B案では平均気温の上昇が2℃～5℃の範囲に、C案では平均気温の上昇が2℃～6℃の範囲になる不確実性があるとした。つまり、CO₂排出量を大きく削減するA案は不確実性の範囲が狭く、削減量が小さいB案、C案となるほど不確実性の範囲が広がるとした。

2）コミュニケーション実験の概要

地球温暖化の影響、費用負担、科学的な不確実性を伝達するためのコミュニケーション実験を大学生及び一般市民を対象に以下の2つの方法で行った。いずれの方法においても、情報提供前に各被験者に対しては、地球温暖化のリスクに対する認識、地球温暖化の因果関係に対する認識、温暖化対策に対する認識、④地球温暖化に関する情報の情報源とその信頼性のあわせて41項目についてアンケート調査を行った。また、前述の長期的な削減目標の3つの代替案について、①各代替案における気温上昇とその影響、②各代替案で想定される費用負担、③各代替案における科学的な不確実性についての情報提供を行いながら、それぞれの段階で3つの代替案の中で最も望ましいと思う案を選択してもらった。

a. 大学生を対象にしたレクチャー形式によるコミュニケーション実験

大学生150人を対象としてレクチャー形式によるコミュニケーション実験を行った。また、

表現形式の違いが与える影響を明らかにするため、被験者を2つのグループに分け、一方には数量表現により、他方には言語表現により不確実性の伝達を行い、その反応の違いについても検証した。なお、被験者は研究分担者が所属する神奈川大学の学生を対象とした。

b. 一般市民を対象としたインターネットを介したコミュニケーション実験

一般市民を対象として、インターネットを介して Web によるコミュニケーション実験を行った。被験者として調査会社に登録するモニターから①20歳代大学生、②20歳代社会人、③30歳代社会人、④40歳代社会人、⑤50歳代社会人の5つの属性グループから無作為に抽出した各グループ1000名、合計で5000名のモニターに調査の依頼を行い、合計で1731名（回収率36.4%）からの回答を得た。また、それぞれのグループの約半数では段階的な情報提供を行い、残りの半数では一括的な情報提供を行い、その違いについても検証を行った。

（3）気候未来像を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

1) コミュニケーション手法の概要と分析枠組み

NPO 法人気象キャスターネットワークの協力のもと、小学校及び環境イベントにおける出前授業として、本研究課題の成果である気候未来像（気候変動の将来予測の結果）を含め地球温暖化の現状や影響、原因などについて知り、地球温暖化防止のための家庭における取り組みとそれらのつながりを学ぶことを目的としたプログラムの開発を行った。本研究課題の成果として取り上げたのは日本周辺における極端現象に関する気候モデルによる予測結果（梅雨、台風、水資源のそれぞれの変化）であり、具体的には研究者が作成した一般市民向けパンフレット案をもとに、気象キャスターネットワークの講師が講義内容を作成した。

このプログラムを用いた小学校における出前授業による効果を検証するため、参加児童全員に対して授業の満足度や理解度に関する授業評価アンケートを行ったほか、参加児童の家庭は原則として「子ども省エネ大作戦」に参加し、夏休み中に地球温暖化対策として省エネ行動に取り組むこととした。「子ども省エネ大作戦」とは、家庭における地球温暖化対策の中心である省エネへの取り組みを進めることを目的として、夏休み期間に小学校の児童を中心にして各家庭で省エネ活動に取り組んでもらい、その結果を記入したチェックシートを夏休み後に回収する仕組みである。このチェックシートに記入された夏休み前の取り組み状況と夏休みの取り組み結果をもとに、授業に対する満足度や理解度に関する授業評価アンケートの結果との関連などから、家庭への普及啓発の効果について検証を行った。

また、環境イベントにおける出前授業による効果と課題について検証するため、参加者への事後評価アンケートを行ったほか、コミュニケーターである3名の講師（メイン講師1名とサポート講師2名）と、本研究課題の成果として取り上げた気候モデルによる予測を担当した研究者に対して、研究成果を伝達する際に重視すべきことや難しいと思うことなどについてのアンケート調査を行い、最新の科学的知見を一般市民に伝える際の重点や困難さの認識が専門家とコミュニケーターとの間にどのように異なるのか（あるいは一致しているのか）を把握するとともに、それが参加者への伝達においてどのように影響しているのかを分析した。

2) 社会実験の概要

小学校における出前授業は夏休み前に8校、夏休み後に2校の合計10校の生徒808名を対象に行い、事前ワークシートを提出した生徒が766名、講義終了後の授業評価アンケートを提出した

生徒が 719 名であった。また、「子ども省エネ大作戦」に参加し、家庭での取り組み結果について記入したチェックシートを提出した生徒が 510 名であった。

一方、環境イベントにおける出前授業は、横浜市内で行われた 2 つの環境イベントにおいてそれぞれ 1 時間程度の講義を会場内に設けられたステージで行い、参加者に対してはアンケート票を配布した。この結果、1 回目は 51 名、2 回目は 89 名の参加者からアンケート票を回収した。

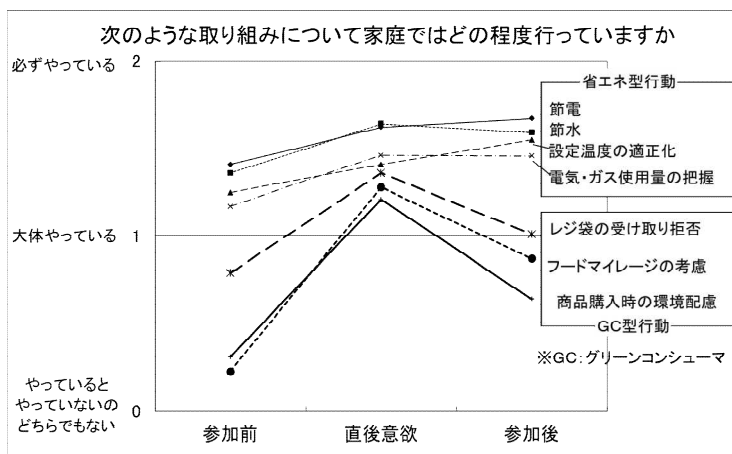
4. 結果及び考察

(1) 既存のコミュニケーション手法による効果の検証

まず、気候の未来像の1つとして参加者が回答した世界及び居住地域における2050年の平均気温の予想上昇幅の平均値は、プログラムの参加前には世界が4.55℃、居住地域が4.05℃であったが、参加後は世界が2.94℃、居住地域が3.14℃といずれも参加前よりも参加後の方が有意に低くなっている。また、回答分布を見ると、参加前は予測上昇幅が4～5℃の回答が比較的多くになっているが、参加後には予測上昇幅が0～3℃までの回答が多くなっている。これらのことから、参加者の平均気温の予測上昇幅はIPCCなどで予測されている1～3℃程度という科学的な知見により近いかたちに修正されたと考えられる。

次に、地球温暖化により予測される影響について、それらが実際に生じる可能性や被害の大きさなどのリスクをより高く認識するようになったことが明らかになった。特に、台風の活動が増加する可能性や豪雨の発生頻度が増加する可能性をより高く認識するようになったことと、プログラムの内容に対する評価とは強く関連しており、これらの認識の変容は今回のプログラムによる効果であることが示唆される。また、エネルギー消費に関するプログラムへの評価は、地球温暖化の原因に関する認識の変化や、地球温暖化を身近な問題としてとらえる方向への変化と関連があり、さらに、このプログラムへの評価が高い人では、今回のプログラムの内容を周りの人にも伝えたいと思う人が有意に多く、こうしたプログラムの内容が参加者の地球温暖化に対するイメージを変容させ、取り組みへの意欲を強めていると考えられる。

一方、地球温暖化の原因に対する認識では、「CO₂の排出」や「エネルギー消費の増加」について、参加後の方が「(とても)関連がある」とする回答が有意に多くなっているが、同時に「大気汚染」や「ヒートアイランド」についても同様に参加後の方が「(とても)関連がある」とする回答が有意に多くなっており、原因に関する正確な知見を伝達することが難しかったと考えられる。また、家庭で行う温暖化対策への取り組みが有効であるとの認識を高め、実際に節電や節水などの省エネ型の取り組みを高める効果が確認されたが、手間や費用がかかっても取り組みたいというまでの意欲の高まりは確認できず、実際に「レジ袋や過剰包装を断る」、「環境に配慮した商品選択」、「旬なものや地場の食品の購入」といった手間や費用がかかる取り組みについては、図(10)-1に示す通り、



図(10)-1 プログラム参加者の温暖化対策への取組の変容

プログラムの参加直後は意欲が高まったものの、その高い意欲ほどには事後の取り組みが高まらないなどの限界があることが明らかになった。

(2) 科学的な不確実性を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

大学生を対象としたコミュニケーション実験では、表(10)-1に示す通り、長期的な削減目標に関する各代替案で予測される平均気温の上昇とその影響を提示した段階では有効回答者141人のうち87人(62%)が最も厳しい削減

表(10)-1 情報提示段階別の長期的な削減目標に関する代替案の支持 (人)

情報提示	最も望ましいとされた代替案			合計
	A案 (2.5°C上昇)	B案 (3.0°C上昇)	C案 (3.5°C上昇)	
①気温上昇の影響 (%)	87 62%	49 35%	5 4%	141 100%
②費用負担 (%)	34 26%	78 59%	21 16%	133 100%
③科学的な不確実性 (%)	54 39%	75 54%	9 7%	138 100%

ウィルコクソンの符号付き順位検定 *: $P<0.0167$

目標(A案)を支持しているのに対し、各代替案における費用負担を提示した段階では、より緩やかな削減目標(B案)を選択した被験者が78人(59%)と半数以上に増加した。さらに、科学的な不確実性を提示した段階では、最も厳しい削減目標(A案)を選択した回答が54人(39%)に増加した一方で、より緩やかな削減目標(B・C案)を支持する回答は減少した。

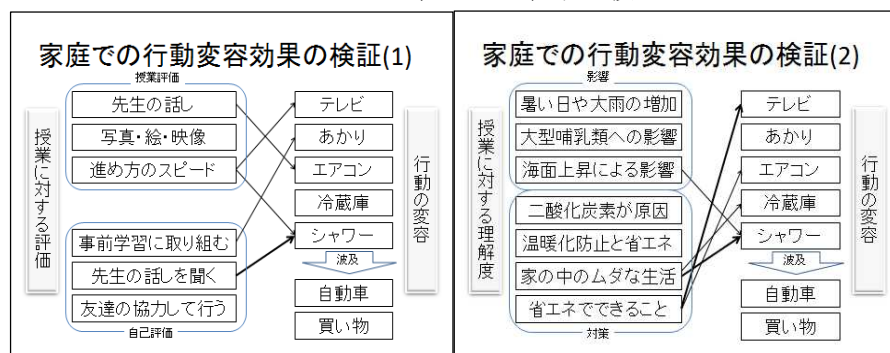
このように気温上昇の影響に加えて費用負担や科学的な不確実性を提示することにより、被験者は長期的な削減目標に対する選択を変化させることが確認されたが、温暖化対策への支払意思額が低い人のほうが費用負担を認識することでより費用負担が少ない代替案に選択を変化させる傾向があり、被験者は論理的な判断を行っていると考えられる。一方で、科学的な不確実性を認識することによる態度変容と関連する要因は、温暖化のリスク認識や温暖化とオゾン層破壊との因果関係についての認識であり、地球温暖化のリスクに関する認識が低く、因果関係に関する認識が曖昧な人に対して、科学的な不確実性の認識はより大きく影響したと考えられる。

これに対して、一般市民を対象としたコミュニケーション実験の結果からは、長期的な削減目標に関する各代替案で想定される費用負担に関する情報提供を行った段階では、大学生と同様により緩やか削減目標(B案)を選択した被験者が51%まで増加し、最も緩やかな削減目標(C案)を選択した被験者も14%に増加している。一方で、科学的な不確実性に関する情報を提供した段階では、その選択はほとんど変化がみられなかった。実際に、ウィルコクソンの符号付順位検定を用いてノンパラメトリック検定によっても、被験者が選択した代替案には統計的に有意な差はみられなかった($P=0.846>$ 有意水準5%以上)。

このように、一般市民を対象としたインターネットを介したコミュニケーション実験では、気温上昇による影響や費用負担について認識することで被験者は長期的な削減目標に対する選択を変化させる、つまり長期的な温暖化対策に対する態度変容が生じるが、科学的な不確実性の認識は各代替案の選択、つまり被験者の態度変容には有意な影響を与えていないことが明らかになった。このことは、一般市民においては、科学的な不確実性の存在はそれが解消されるまで積極的な削減を行わないという消極的な態度の強化あるいは態度変容を回避する方向への影響が強いことを示すと考えられる。

(3) 気候未来像を伝達するコミュニケーション手法の構築とその効果の検証

横浜市内の小学校10校で行った地球温暖化に関する出前授業を通じた地球温暖化問題への理解が家庭における温暖化対策への取り組みを改善させるために有効であったかを検証するため、出前授業への



図(10)-2 出前授業に対する評価・理解度と家庭での行動変容との関連

満足度や理解度の高さが夏休み前後の温暖化対策への取り組みの改善につながっているかを分析した。このため、夏休み前の取り組みに関する設問に対して「いつもやっている」と回答した児童を除外した上で、出前授業に対する満足度や理解度と家庭における取り組みの変化についてのクロス集計を行った。この結果、図(10)-2に示すように多くの項目で有意な関連がみられたが、その関連のいずれも「出前授業に高い満足度や理解度を示した児童ほど家庭での温暖化対策への取り組みが改善する」という傾向であった。特に、「シャワーの水を流しっぱなしにしない」の項目における行動変容に対しては、海面上昇による影響の理解や家の中にある無駄な生活に対する理解、さらには先生の進め方がちょうどよかった、先生の話しをきちんと聞くことができたといった出前授業に対する評価など多くの要因との間に関連がみられた。これらのことから、出前授業を通じて地球温暖化の影響や対策について理解することが家庭での取り組みを変容させるという効果については一定の支持が得られたと考えられる。

一方、横浜市内で実施された環境イベントにおいて地球温暖化に関する出前授業を行い、一般市民を対象に本研究課題の直接的な研究成果も含めた気候未来像の伝達を試みる社会実験を行った結果、参加者に対するアンケート調査から気候の未来像については地球温暖化の現状や原因と比べて、「分かりやすい」という意見が相対的に多い一方で、これらの説明に比べて「おもしろい」という意見が相対的に少なく、気候の変動に関心を持ってもらうための工夫が必要であることが明らかになった。この社会実験後にコミュニケーターである講師および今回の研究成果に関わった専門家(研究者)の両者に対して行ったアンケート調査の結果からは、コミュニケーターである講師からは台風の発生域の変化などは、一般市民への伝達において重要な身近な暮らしへの影響が見えにくいという意見が出された一方で、専門家(研究者)からは今回の研究成果からはそうした影響までを予測することが難しいといった課題が示された。こうしたコミュニケーターと専門家との間においてコミュニケーションのために必要とされる情報と提供できる情報との間にギャップがあることが、気候未来像に対する参加者の関心が相対的に低くなった一因と考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

まず、地球温暖化問題の普及啓発を目的とした既存の参加・体験型コミュニケーション手法を事例として、その効果を科学的な手法によって把握した。これは普及啓発による効果を検証

する方法論が十分に確立されていないなかで、1つの有効な手法を提示したことに大きな意義があり、その成果は後述するように全国地球温暖化防止活動推進センターを通じて、全国で実践的に試みられている普及啓発事業の効果把握のための手法として活用されている。

次に、大学生及び一般市民を対象とするコミュニケーション実験を行い、地球温暖化における科学的な不確実性の認識が地球温暖化対策に対する支持の変化（態度の変容）に与える影響を明らかにした。この成果は、科学的な不確実性も含めた地球温暖化に関する情報が一般市民の温暖化対策の意思決定にどのような影響を与えているのかを定量的に扱った研究論文が数少ないなかで、地球温暖化対策に対する一般市民の認識構造を明らかにしていくという認知科学的な視点からも、より合理的な意思決定を支援する有効な普及啓発手法を明らかにするという計画行政的な視点からも大きな意義がある。とりわけ、温暖化対策のための費用負担だけでなく、IPCC報告書に対する疑念やいわゆる懐疑論などの不確実性を巡る論争に対しても一般市民は関心を向けているなかで、今後の中長期的な温室効果ガス削減目標に関する国民的な議論を行っていくうえでは、これらの成果は重要な知見になるものと考えられる。

さらに、本研究課題の直接的な研究成果である日本周辺における極端現象に関する気候モデルの予測結果を含めて気候の未来像を一般市民に対して伝達する社会実験を行った結果、参加者からは「分かりやすい」という意見が相対的に多い一方で、これらの説明と比べて「おもしろい」という意見が相対的に少ないという結果であった。その一因としてコミュニケーター（講師）からは予測結果だけでは身近な暮らしへの影響が見えにくいことが指摘されたが、今回の研究成果からはそうした影響までを予測することが難しいといった課題が専門家（研究者）からは示された。このように地球温暖化問題の普及啓発に関して、コミュニケーターと一般市民との間だけでなく、専門家とコミュニケーターとの間の情報のギャップを明らかにした本研究の成果は、気候研究の専門家とコミュニケーション研究の専門家が共同で行った本研究課題の大きな意義の1つである。

（2）環境政策への貢献

本研究が平成19年度に行った既存の普及啓発手法における効果検証の結果については、当該施設である「ストップおんだん館」に対して今後の普及啓発活動における基礎的知見として情報提供を行った。また、平成22～23年度に行った横浜市内の小学校及び環境イベントにおける普及啓発手法の社会実験については、横浜市における地球温暖化普及啓発事業（ヨコハマエコスクール）の一環として実施し、地域における普及啓発事業に貢献した。

一方、本研究で構築した普及啓発事業の効果検証手法については、全国地球温暖化防止活動推進センター（2011）「温暖化防止活動推進事業における効果測定の手引き～行動変容による二酸化炭素削減効果～」において普及啓発事業の効果測定のための一般的な手法として取りまとめ、全国の地域地球温暖化防止活動推進センターに配布を行ったほか、地域センター職員に対して普及啓発事業の評価方法等に関する説明会を行った（平成23年2月7日、航空会館会議室）。また、平成23年度には地球温暖化防止全国ネットの「地域活動支援・連携促進事業（CO₂排出抑制対策事業）効果測定手法検討委員会」において、本研究の成果をもとに地球温暖化防止活動の効果測定手法に関する検討を行い、地球温暖化防止全国ネット（2012）「平成24年度 地域で活動するNPO支援・連携促進事業 事業実施のためのガイドライン」（案）の作成に貢献した。

さらに、地球温暖化防止全国ネットの「『効果の見える』CO₂排出削減に寄与する温暖化対策学習モデル事業（平成23年度地球環境基金助成事業）」において、普及啓発の効果測定の専門家委員として参画し、本研究における普及啓発事業の効果検証結果などをもとに、教材ツール・講座による効果検証を行い、報告書の作成に貢献した。

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) 松本安生(2011): 科学的な不確実性の認識が地球温暖化対策に対する大学生の意思決定に及ぼす影響. 科学技術社会論研究, 9, 84-97.
- 2) 松本安生(2011): 科学的な不確実性が市民の意思決定に及ぼす影響—地球温暖化の緩和策を事例として. 神奈川大学人間科学研究年報, 5, 55-65.

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 松本安生(2008): 温暖化コミュニケーションの効果に関する研究. 神奈川大学人文研究, 165, 1-29.

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 高橋直, 松本安生: プログラム参加者に対する『地球温暖化に関する意識と行動』についてのアンケート調査の質的分析. 日本質的心理学会第5回大会, つくば, 2008年11月.
- 2) 松本安生, 坪井雅史, 三星宗雄, 杉本崇: 温暖化コミュニケーターとしての推進員制度の活用に関する研究, 第7回科学技術社会論学会, 大阪, 2008年11月.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム, セミナーの開催（主催のもの）

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

- 1) 教育家庭新聞（平成22年8月7日, 10頁）

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) Defra (2007): Mobilising individual behavioural change through community initiatives: Lessons for Climate Change.
- 2) 藤田敏之(1999)：地球環境問題における不確実性と学習の影響. 日本経済研究, 38, 93-106.
- 3) Viscusi, W. And Zeckhauser, R. (2006): The Perception and Valuation of the Risk of Climate Change: A Rational and Behavioral Blend. Climate Change, 77, 151-177.
- 4) 茅陽一, 秋元圭吾, 永田豊 (2008) : 低炭素エコノミー. 日本経済新聞出版社, 137-141.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(11) 共感を得ることを重視したロールプレイング型コミュニケーションに関する実証的研究

東邦大学

理学部 生命圏環境科学科

朝倉暁生

平成19～23年度累計予算額： 27,300千円

(うち、平成23年度予算額： 5,700千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本サブテーマでは5年間の研究期間を一貫して「ロールプレイング型ワークショップ」をとりあげ、その情報生産プロセスに注目した学習効果に関する研究を行った。特に、1) 参加者が、情報の生産プロセスを通じ、不確実性を伴った科学的な情報を、多様な側面から評価・理解すること、2) ロールプレイによる対象への多面的な「共感」の獲得を通じ、効果的な学習展の可能性を示すことを目的とした。このため、1・2年目には地球温暖化を題材とした演劇を上演し、制作者や役者に対する学習効果を把握すると共に、観客に対し演劇の内容を題材としたワークショップを行い、その学習効果を把握した。また、3年目には、地球温暖化研究者への取材に基づく温暖化理解促進のためのショートフィルムを制作し、制作者に対する学習効果を把握すると共に、完成したショートフィルムを用いたワークショップを行い、その学習効果を把握した。4・5年目はこれらの成果を踏まえ、中学・高校・大学などの学校教育の現場でロールプレイングワークショップの効果を把握するとともに、広く一般に展開していくための方法論を明らかにした。

これらの研究調査を通じ、①温暖化問題への関心は高まっているが、その中身は多様であり、個人属性だけでなく「性格」や「温暖化へのイメージ」などが大きく関係している、②一方向の伝達手段では、元々持っている温暖化理解の構造を強化する方向に働くことが多いが、「情報生産プロセス」を他者と共有していくことで、温暖化に対する正しい理解を促すことが可能である、③科学的情報だけでなく、情報の生産プロセスなどの周辺情報を与えることで温暖化に対する認識を改善させる可能性がある、④一般市民の温暖化リスク認識が、まちづくり志向の強さや行政支持などに関連しており、社会コンテキストの中で温暖化問題を理解させることが重要である、⑤学校教育における温暖化教育において、これまで温暖化教育を担ってきた科目におけるワークショップ型教育の推進とともに、科目間連携による取り組みが求められる、などを明らかにした。

[キーワード] ロールプレイング型ワークショップ、情報生産プロセス、共感、学習効果

1. はじめに

S5-1のサブテーマ(9)～(12)は、気候モデルの将来予測から抽出される未来像を、一般市民が実感を持って理解することを支援するコミュニケーションの方法論を開発することを目標としている。

Schwartz (1977) ¹⁾ の提唱する規範活性化理論では、人間が問題を理解して、何らかの行動を起こすまでのプロセスは、「重要性認知」「責任感認知」「有効性認知」の3段階があることが指摘されている。本サブテーマでは、このうち「責任感認知(情)」に注目し、ロールプレイングを用いて「異なる立場や価値観の他者の立場に立つことで、実感を持って自らの責任や役割を理解する」(丸山ら、2006) ²⁾ ための方法論の開発を一貫して行なってきた。

本研究の遂行にあたり、特に留意した点は以下の3点である。

第一に、地球温暖化問題が「常識化」してしまったため、教科書や資料に書かれていることを、十分に検討することなく、「無批判に」「疑問なく」受け入れてしまい、一度受け入れたことを支持する情報のみをさらにとり入れたり、批判的な言動をしにくくなったりする状況が発生しているという点である(Isenberg, 1986) ³⁾。第二に、これまでの情報提供では、受け手の集団を性別や年齢層などといった個人属性により区分けすることが多かった。これに加え、地球温暖化に対するイメージや、そのイメージを決定する性格的な要素などによって受け手を分類した方が、受け手のニーズ特性に合致した効果的な情報発信を行える可能性があるという点である。さらに第三に、先の東日本大震災においても、チェーンメールなどによる「デマや誤情報の伝播」という現象で確認されたように、人は、喜怒哀楽の感情が高まれば、その感情を他人に伝えたいものである。そして、その際に、意図的・非意図的であるかを問わず、伝播される情報は、何らかの誇張を伴って伝播する、という点である。

このような状況を打開するためには、ロールプレイングの導入に加えて、受動的な情報の「受信」だけではなく、自らが主体的に情報を収集・加工・発信するようなプロセスを経験することが重要であることが指摘されており(朝倉、2007) ⁴⁾、メディアリテラシー教育の分野では、情報の受け手が送り手の立場を体験するなど、多様な立場や価値観から自らの立場や価値観を客観視し、情報伝達の難しさを理解し、情報を多角的に捉えることを目的とした取り組みがなされている(水越・山内、2003) ⁵⁾。

本サブテーマでは、不確実性を伴う温暖化情報を正しく理解するための「リスク・リテラシー」と、メディアからの情報のバックグラウンドを批判的に捉える「メディアリテラシー」の両面から、情報の受け手のリテラシーを育成するための方法論を明らかにするものである。

2. 研究開発目的

このような考察を踏まえ本サブテーマでは、地球温暖化に関する様々な立場や価値観を理解し、自分の責任や役割を認識し、温暖化リスクを多角的に理解することを目的とした様々なロールプレイング型ワークショップを企画・実施し、その効果を把握することを目的とする。

地球温暖化を題材とし、1・2年目には演劇づくりを、3年目にはショートフィルムづくりを、そして4・5年目には教材づくりを題材とし、それぞれの作り手に対する教育効果と、成果物である演劇・ショートフィルム・教材を用いたワークショップや講義の、受講者への教育効果を把握した。

最終年度では過去の成果を踏まえ、効果的なワークショップのあり方についてまとめた。

3. 研究開発方法

(1) <1・2年目>演劇づくりを通じたロールプレイング型ワークショップの効果について

中高生の演劇部に地球温暖化をテーマとした演劇を作成してもらい、制作者・役者である生徒たちに対して、温暖化に関するコンセプトマップ作りを実施した。このコンセプトマップに取り上げられたキーワードの量的・質的な変化を確認し、演劇部生の知識や意識の変化を把握した。なお、コンセプトマップ作りを実施したのは、演劇練習が始まる前、演劇終了後、演劇終了半年後の合計3回実施した。また、演劇を鑑賞した人を対象とした地球温暖化に関するワークショップを実施し、このワークショップ参加者への学習効果を把握した。1年目は学生を対象としたワークショップを行い、2年目には一般対象のワークショップに拡大して行なった。

(2) <3年目>ショートフィルム制作を通じたロールプレイング型ワークショップの効果について

温暖化の専門家ではない映像クリエイターに、複数のS5参画者への取材に基づき、4つのショートフィルム企画案を作成してもらい、これに対してさらに研究者側からのフィードバックを受ける形で、仮編集、本編作成を行なった。また、仮編集や本編作成時にも、研究者に成果物を提示して、意見をもらい、これを映像クリエイターにフィードバックした。このようなプロセスから得られた取材内容、取材メモ、絵コンテなどを用いて、このプロセスにおける映像クリエイターの学習効果を分析した。また、完成したショートフィルムを400人のインターネットモニターに鑑賞してもらい、絵コンテやショートフィルムに対する理解度や好感度を把握するとともに、その評価を試みた。

(3) <4・5年目>教材作りを通じた継続的なロールプレイングワークショップの効果について

過去3年間の研究で、数ヶ月単位の長期的かつ継続的なワークショップでは、学生や一般を対象とした単発～数回単位のワークショップに比較すると、学習者に対して様々な学習効果がもたらされたことを明らかにしている。これらの成果を踏まえ、ある程度長期的かつ継続的にワークショップを行うための場づくり・システムづくりが求められる。

このため、1) 過去に、演劇づくり・ショートフィルムづくりを通じて行なった、情報生産プロセスにおける温暖化リスクの学習プロセスが、大学生を含めた一般の参加者を対象とした場合にも同様の効果が得られるのかどうかを確認するため、松本(2009)⁶⁾を踏まえた要因モデルを構築し、大学生を対象として、個人属性と温暖化に関する情報源、またリスク認識に関する調査を行った。2) 「共感を得る」コミュニケーションを進めるためには、温暖化に関心が高くリスク認識が高い人々とそうでない人々の間に存在する「共感を得る対象」にどのような差異があるのかを検証する必要がある。このため、30名の市民モニターを募り、同一の対象に対して合計4回に亘る継続的な意識調査を行った。3) 大学生を対象とし、地球温暖化研究者への取材を踏まえた半年に亘る「教材制作」ワークショップを実施し、ワークショップ開始前と開始後でのアンケートを行い、その効果を把握した。4) 中高の理科教員を対象とし、地球温暖化理解のための「教材制作」を行なってもらい、このプロセスにおける教員の気づきと、教材を用いた講義を受講した生徒に対する教育効果を把握した。5) 上記1)から4)の成果をまとめ、ロールプレイングを用いた、温暖化理解促進のためのワークショップの方法論をまとめ、多様な主体がこれを活用できるよう情報発信を行なった。

なおこのうち、1) 2) と3) の一部については4年目に、3) の残り と4) 5) については5年目に行なった。

4. 結果及び考察

(1) <1・2年目>

1) 演劇作成者が作成したコンセプトマップの分析

キーワード総数の推移をみると、回を重ねるごとに連想できるものが増えて思考が豊かになっていったのがわかる。また、キーワード総数では「気候」「生態系」「社会・生活」などが多かったが、増加率では「社会・生活」「エネルギー」「政府・政策」などが急増していた。また、テレビなどのメディアを通じた知識を得ると、その後のコンセプトマップにそれらに関連するキーワードが増加する。一方で、オゾンホールが地球温暖化の原因であると間違えて考えている人は、62%にもものぼっていたことも判明した。このような誤認識は、残念ながら「自習」では容易に打ち消すことができず、この点では、ワークショップ実施者・参加者に対するフォローアップが必要であることが指摘できる。

2) 温暖化に対する関心・知識、イメージについて

「大変関心がある」「関心ある」を加えると、実に95%の参加者が温暖化に対して関心を持っていることが分かった。一方で、「2050年に予想される気温上昇」については、半数以上の人が正しい知識を持っておらず、科学的予測結果とかけ離れた気温上昇を予想している人も2割以上いることが分かった。さらに、これらの「関心」と「知識」との関連性がほとんど見られなかった。また、地球温暖化に関するイメージについて確認したところ、「重大である(95%)」、「現実的である(87%)」、「怖い(87%)」などのイメージが強いことが分かった。一方、「解決可能である(44%)」、「面倒でない(54%)」、「科学的に解明されていない(54%)」、「世間の関心が高い(54%)」などのイメージを持つ人は少なかった。

3) 個人の性格的要素と温暖化に対するイメージの関係について

温暖化に対するイメージと個人の性格的要素の関係を把握するための因子分析を行ったところ、「道徳的行動型」因子、「自己主張型」因子、「関与嫌悪型」因子、「悲観的慎重型」因子の4つの因子が抽出された。これを元にして、先の温暖化に対するイメージと性格的要素との関係を確認したところ、温暖化に関するイメージの多くが「道徳的行動型」因子と相関関係があることが分かった。また、「自己主張型」因子は「良く知っている」というイメージと結びつき、意見表明やコミュニケーションを好むことが判明した。さらに、「悲観的慎重型」因子は「現実的でない」というイメージと弱いながらも関連が見られた。「悲観慎重型」の持つ「決心がつかない(優柔不断)」という要素は「面倒である」というイメージと関係していると考えられる。

4) ワークショップの効果

演劇のみの参加者、演劇とワークショップ両方の参加者ともに、参加前に比較すると、温暖化に対する関心や意識が高まったことが確認されたが、その傾向はワークショップ参加者の方が顕著であった。さらに、これによって温暖化に対する正しい知識が身についているかどうかを確認したところ、演劇のみの参加者の場合、3割程度の改善に留まったのに対して、ワークショップも併せて参加した場合は5割強の改善が見られた。また、ワークショップによる行動の変化を把握したところ、「メディア等で温暖化に関する情報を見る」など、受動的な行動については、演劇の

み参加者と演劇＋ワークショップ参加者でほとんど差が見られないものの、イベントやボランティア活動への参加については、演劇＋ワークショップ参加者の方がより積極的に取り組んでいることが分かる。

(2) <3年目>

1) ショートフィルムの制作過程における学習効果

映像制作者の取材メモで書かれた内容は、ほとんどが地球温暖化の講演などでも耳にするようなことであったが、一方で、映像クリエイターが取材を通じ、これらのことを「自らの言葉に翻訳していく」作業を通じ、多角的に理解を深めるプロセスになっていることが分かった。また、地球温暖化に関する情報が多様化する一方で、この問題が「常識化」している状況では、地球温暖化に対する自らの「問い」や「疑問」がないと、情報が素通りしてしまうことが考えられるが、今回のような情報収集・編集加工・発信のプロセスを経ることで、自らの問いを明確にし、温暖化問題を主体的に理解する態度を形成することができることを明らかにした。

2) 絵コンテとショートフィルムへの評価

まず、評価をお願いしたモニターへのアンケートから、総じて温暖化が進行している事実についてはほとんどの評価者が認めているが、この割合に比して、「温暖化予測への信頼」や「これまでの対策に対する支持」の割合がとても低いことが分かった。このことは、温暖化政策に対する支持率の低下や、懐疑論に対する支持率の向上を招く土壌となる可能性があるといえる。また、すでに指摘されていることではあるが、「ヒートアイランド現象」や「オゾン層破壊」と「地球温暖化」との関連性については、誤解があることが分かった。また、絵コンテ評価とショートフィルム評価を照らし合わせて考察すると、絵コンテ段階で「面白さ」についての評価が、6割弱が肯定的で2割程度が否定的であったのに対して、ショートフィルムに対しては肯定的な評価が大幅に減り、否定的な評価が増大していた。この理由として、1) 絵コンテ段階では評価者のイメージネーションが反映できる余地があったのに対して、ショートフィルムにしてしまうと、その余地がなくなってしまうため、2) ショートフィルムは1つの作品に対する評価だったのに対して、絵コンテ評価は「複数の」代替案を提示した上での評価だったこと、がその背景にあったと考えられる。つまり評価者は、完成品を与えられるよりも、自らも制作プロセスに関与することで温暖化問題に対する関心を喚起できる可能性がある、ということである。今後、様々な普及啓発や情報発信の場面において、この知見をうまく活用していく必要があると考えられる。

(3) <4年目>

1) 温暖化リスク認識に影響を与える要因抽出に関する調査研究

ここでは、1～3年目に「演劇制作者」や「映像制作者」が行なった情報編集・発信プロセスにおける学習を一般参加者（学生を含む）に体験してもらうワークショップづくりの検討材料として、大学生の温暖化リスク認識に関する調査を行なった。大学生を対象とした理由は、学科などを確認することでその人のバックグラウンドになる知識がわかりやすいためである。

主な結果として、1) そもそも、多くの学生が、インターネットやテレビなどを通じ、温暖化に関する情報を得ており、次いで新聞、授業などから情報を得ていることが分かった。2) 文系・理系と地球温暖化に関心の低い層・高い層とでは相関関係が見られなかった。3) 学生は総じて

大学の授業で得られる知識に対する信用度が高いが、新聞やテレビなどのメディアに対する信頼度は、関心が高い層では信用度が高いものの、関心が低い層では信用度が低いことが分かった。

これらの結果を踏まえ、一般を対象とした情報編集・発信に関するワークショップを行う際に留意すべき項目をまとめた。

2) 温暖化リスク認識と社会的関心事の関連に関する継続的意識調査

「温暖化理解」や「温暖化リスク認識」の高い人たちが共感を得やすい課題・問題・テーマを明らかにするために、固定モニターに対する継続的な意識調査を行ったところ、地域行政（特に基礎自治体行政）への関心やまちづくり意欲、などの項目に関心の中心がおかれた人は、そうでない人に比べると温暖化リスクを適切に評価している傾向があることを確認した。

他にも、地域活動を活発にしている、子どもがいる、定住意向が高いグループは、そうでないグループに比べ温暖化リスクの認知度が高い。この理由として、1) 地域活動を通じ社会を広く観察しており、温暖化問題などについても積極的に学習の場を活用し、様々な情報を収集する傾向があること、2) 子どもがいることで、温暖化問題やこれに伴う社会・経済構造の変化などについては、自分の世代の目線だけでなく、次世代の目線から問題を再構成できるようになったこと、さらに3) 定住意向の強さは、街や社会に対する「責任感」と関連があると考えられ、このような責任感や主体性が、温暖化情報に対する感度を高めるためであると考えられる。

(4) <5年目>

1) 高校教員による「温暖化教材づくり」実験について

表(11)-1 授業の流れ

高校の理科教員を対象とし、生徒に「温暖化を理解させる」ための講義づくりをしてもらった。これまでの温暖化に関する研究知見などに関する資料を提供し、内容を比較検討してもらったところ、今回研究協力をして頂いた先生が選んだのは「温暖化のメカニズムを理解するための教材づくり」であった。このような教材を用いた講義づくりから明らかになった知見を以下にまとめる。

- ① この実験器具は、安価かつ誰でも利用可能であることを目的として制作したため、実験器具としての再現性に問題があり、例えば空調や、人の出入りなどによる外気温の変化の影響を受けやすくなってしまい、必ずしも実験結果が思うようにならないことがあった。このため、50分という短い授業時間の中で、実験の失敗について十分に考察をする時間がなかったため、知識が定着できなかつた生徒も居た。

	内容	時間
導入	「地球温暖化と温室効果」に関する授業前アンケートについて5名の意見を発表	14:10～ 14:13
展開	①事実としての地球温暖化 ●地球の平均気温の上昇 ●地球のCO ₂ 濃度 地質学的には氷河期に向かっていていることにも触れた。	14:13～ 14:25
	②温室効果とは何か ●温室効果を作図により表現(写真3-1)。 図の中に実験ではどの部分を表現しているかについて触れた。 温室効果ガスが大気を温めることを実験で明らかにする。 ●【実験】温室効果ガス測定(以下の3つについて説明)(写真3-2) 1. シリカゲルを入れた理由 2. 太陽光ではなく、地表を跳ね返った赤外線であること 3. アルミホイルを巻き、熱伝導を避けていること。	14:25～ 14:42 実験説明 14:32～ 14:37
	③CO ₂ を減らす理由と方法 地球はCO ₂ の温室効果で温められているのか。 ●地球の平均気温 15°Cに保たれている理由(CO ₂ の温室効果であるのか) 温室効果の大部分が水蒸気であることについて触れた。 また、水蒸気に温室効果があることについて、「初めて知った人がいるのではないか」という声かけも行った。 ●なぜCO ₂ を減らすのか(写真3-3) CO ₂ 濃度について触れ、なぜ減らすのか理由を説明。 1. 水蒸気は循環する 2. CO ₂ 削減はなかなか取り除けない CO ₂ の増加は人為的→人間がコントロールするべき(授業者の考え) ●どのように減らすのか 1. 生物による吸収(光合成) 2. 海水に溶ける	14:42～ 15:00
まとめ	実験結果の確認(写真3-4) ●実験が失敗であったことについて触れた。 成功例のグラフを表示 温室効果と地球温暖化の理解の定着 ●COP13の話	15:00～ 15:10
アンケート記入	授業後アンケートを記入	15:10～
授業後	教師らによる反省会	約30分間

- ② 今回の実験授業では、時間の制約で5分間の演示実験に留まってしまった。そのため、例えば、「なぜシリカゲルを用いるか」等の実験器具や実験の意味についてきちんと理解できなかったのではないかと考える。ここでは、実験器具の詳しい説明を書いたプリントを配布するなどの工夫が必要であるのではないかと考える。
- ③ 知識変化・関心変化から生徒・教師の注目していた場所が異なることが判明した。特に、「温室効果が最も強いものはCO₂である」について最も差があった。また、関心の高まりの違いから、もし今回の授業を教師が「地球温暖化のメカニズム」について注目し授業を行った場合、生徒との関心が異なるため、生徒は、地球温暖化のメカニズムより、気温上昇に注目する可能性が考えられる。そのため、実験を行う際に、より地球温暖化のメカニズムと関連付けて説明する必要がある。
- ④ 今回作成した温暖化教材を用いた授業に好意的だった生徒と、そうでない生徒を比較すると、そもそも理科の実験選好度に差があることがわかった。このことから、実験を好む生徒は「なぜそうなったか」考えることが好きであるため、今回のようにあまり再現性の高くない教材であっても評価が高くなったと考えられる。また、地球温暖化について自発的な学習経験のある生徒は、「最も温室効果が強いものはCO₂である」という知識問題について間違える生徒が多く、さらに温暖化教材に対する選好度が低かった。これは、自発的に学習した生徒は元々ある知識により、「水蒸気の温室効果」に対し理解できなかった可能性がある。
- ⑤ 温暖化教材導入を希望する教師と希望しない教師では普段の実験において大切にしているポイントが異なっていた。温暖化教材導入を希望する教師は、普段の実験において「低コストでできること」に対し評価をしている。このことから比較的lowコストで導入することのできる温暖化教材を好んでいる可能性がある。また温暖化教材導入希望をしない教師は、普段の授業において「結果の再現性が高いこと」を大切にしており、あまり再現性の高くない、温暖化教材を避けたのではないかと考えられる。今後、温暖化教材について時間や再現性の高さ等の工夫が必要であると考えられる。

2) 大学生による「温暖化教材づくり」ワークショップの評価

大学生を対象とし、5~6人のグループで「地球温暖化理解促進のための教材」づくりワークショップを試みた。ワークショップの流れとしては、各種資料の収集→テーマ設定→そのテーマに関する専門家へのインタビュー→教材づくり→発表会（評価）という流れを踏み、約4ヶ月で教材作成をしてもらった。このワークショップから判明した知見を以下にまとめる。

- ① ワークショップ事前・事後のアンケート調査から、単発や短期のワークショップでは見られなかった、「温暖化に対するイメージ」や「その背景となる性格要因」に関する変化が見られた。ワークショップ期間のノート記述の分析より、1) 今回ワークショップを行なった層が大学1年生であり比較的イメージが固定化されていなかったこと、2) 4ヶ月という長期かつ継続的なワークショップにより、自ら主体的に考える機会が多くあったこと、などが考えられる。
- ② 各グループで取り扱ったテーマは多様であったが、扱ったテーマだけでなく、周辺領域も含めて、地球温暖化に関する知識量が増大していた。これは、ワークショップ導入時の「各種資料の収集」で、いくつかのテーマを挙げさせたあとに、「比較検討」に基づいてテ

マ設定を行なったため、比較検討のための材料となる情報収集を通じて、多様な知識が身についたものと考えられる。このため、同様の取り組みを行うのであれば、最初のテーマ設定段階における「比較検討」を行うかどうか重要なポイントになると考えられる。

- ③ 取材をお願いした研究者に対するヒアリングから、このような機会が、研究者にとっても自分の研究をわかりやすく伝えるという意味で大きな意義があったことが確認できた。一方で、学生が最終的に作成した成果物である「教材」については、作成した学生たちがこのような成果物の制作に慣れていなかったためか、「どのような場面で」「誰に対して」「どのような目的で」使われるのか、などについての詰めが甘いという評価が多かった。その点で、このようなワークショップの場は、参加者に対する学習効果はあるものの、教材としての完成度は必ずしも高くないが、かといって全く活用しなければ制作段階でのモチベーション維持が難しいため、完成した教材の活用方法を検討することが求められる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究より以下の成果が得られた。

- 1) 温暖化に関する多様な情報を批判的に捉えるための「メディアリテラシー」の涵養のためには、まず多様な情報にアクセスできるための環境を整えることと、固定メンバーである程度の期間に亘り継続的な情報生産を行うことが効果的であることを明らかにし、これらの知見に基づき、特に情報生産経験のない一般参加者が参加できるようにするための方法論を開発し、その評価を試みた結果、一定の効果があることを確認した。
- 2) 上記のようなワークショップを効果的に運営するためには、学習プログラムとともに、参加者のグループ分けが重要なポイントとなる。このグループ分けの1つの指針として、個人属性については、家族構成（特に子どもの有無）、行政（特に基礎自治体）への関心や、定住意向、などを踏まえ、多様な参加者により構成することで、「ロールプレイング」要素を一般のワークショップに取り入れられる可能性を示した。
- 3) ウェブの進化や、情報機器の価格の低下などにより、個人の情報発信環境が格段に向上している。このような状況で、情報発信プロセスを1つの学習プロセスと捉えた取り組みを行っていくためには、情報発信者のモチベーションを維持していくことが重要である。このようなモチベーション維持のためには、「受け手」のリテラシー向上がポイントになってくるが、本研究で提案する手法はこのような「受け手教育」の観点からも効果が期待できる。

(2) 環境政策への貢献

本サブテーマで実施してきた様々なワークショップは、延べ人数で担い手が100名程度、参加者が1000名程度となっており、ショートフィルム鑑賞者も含めて考えれば、これ自体が、温暖化問題を普及する機会の1つとしての役割を担ったと言える。特に、担い手として参加していただいた、京華学園演劇部、(株)大日らは今後も継続的に温暖化など地球環境をテーマにした演劇や映像制作を行っていく担い手としての役割を果たすと考えられる。

また、地球温暖化に関する今後の普及啓発や環境教育のあり方について以下の提言ができる。

すでに温暖化に対する情報が多様化しており、かつ多くの市民が温暖化に対して「関心がある」としている現状では、地球温暖化に関する情報発信量を増やしても、普及啓発・環境教育の効果が必ずしも高まるとはいえない。特に教師や地方行政担当者、温暖化防止活動推進員など、温暖化に関する情報の「中継者」となる人たちに対しては、今回実験的に行ったような情報発信プロセスへの関与という手段を補完的に用いることで、温暖化に対する「自らの問い」を持ち、様々な情報を「自分の言葉に翻訳する」プロセスを経ることで温暖化を多角的に理解できる可能性があることを示した。

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) 朝倉暁生, 高野誠二, 平松あい (2008) : 地球温暖化問題への関心・行動とイメージに関する研究. 環境情報科学論文集, 22, 333-338.
- 2) 朝倉暁生, 平松あい, 高野誠二 (2009) : 地球温暖化に対するイメージと性格特性に関する研究. 環境情報科学論文集, 23, 77-82.
- 3) 高野誠二, 朝倉暁生, 平松あい (2010) : 地球温暖化教育におけるロールプレイング型学習の効果に関する研究. 教育メディア研究, 17(2), 1-12.

<査読付論文に準ずる成果発表> (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。)

- 1) 高野誠二, 朝倉暁生, 松本安生, 平松あい (2010) : 地球温暖化問題にかかわる行政担当者の意識とその変革要因. 神奈川大学人間科学研究年報, 4, 115-124.

<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）

- 1) 朝倉暁生 : ロールプレイング手法を用いた他者理解と合意スキルの学習. 日本計画行政学会第30回全国大会, 九州産業大学, 福岡, 2007年9月.
- 2) 朝倉暁生 : 地球温暖化のリスク理解におけるロールプレイング型ワークショップの効果に関する研究. 日本リスク研究学会第20回研究発表会, 徳島大学, 徳島, 2007年11月.
- 3) 朝倉暁生 : 地球温暖化問題のイメージとリスク認識に関する研究～多様な価値観理解によるイメージの変化～. 日本リスク研究学会第21回年次大会, 関西大学, 大阪, 2008年11月.
- 4) 朝倉暁生 : 地球温暖化教育におけるロールプレイング型ワークショップの効果に関する研究. 第15回日本教育メディア学会年次大会, 愛知淑徳大学, 愛知, 2008年10月.
- 5) 朝倉暁生, 平松あい, 高野誠二 : 地球温暖化に対するイメージと性格特性に関する研究.

環境情報科学センター第23回環境研究発表会，日本大学，東京，2009年11月。

- 6) 朝倉暁生：主体的な情報生産プロセスにおける温暖化コミュニケーション．日本気象学会気象教育懇談会，国立オリンピック記念青少年総合センター，東京，2010年5月。

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

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

- 1) 朝倉暁生：「温暖化の予測、自分語に翻訳」東京新聞千葉版，2008年1月18日
- 2) 朝倉暁生：「温暖化をテーマにビジョン放映」総合報道，2010年2月5日
- 3) 朝倉暁生：「温暖化2分で実感、街頭ビジョン放映」毎日新聞(都内版)，2010年2月6日
- 4) 朝倉暁生：「渋谷と新橋の大型LEDビジョンで「温暖化って何だ？」放映」Signs & Displays，2010年3月号

(6) その他

- 1) 渋谷（「マイティビジョン渋谷」東京都渋谷区宇田川町22-1）、新橋（「新橋Sun-Moon」東京都港区新橋1）、二箇所の駅前大型ビジョンにおけるショートフィルムの放映
 放映期間：2010年2月5日～2月28日
 放映回数：渋谷・1時間に約2回（9時～24時），新橋・1時間に8回（19時～24時）
 街頭ビジョン放映協力：ヒビノ株式会社
- 2) ショートショートフィルムフェスティバル2010温暖化部門に参加し、最終選考作品に選出

8. 引用文献

- 1) Schwartz, S.H. (1977) 'Normative influences on altruism', L. Berkowitz 'Advances in experimental psychology, vol.10' Academic Press, 222-280.
- 2) 丸山隆，八島禎宏（2006）：演じることで気づきが生まれるロールプレイング，学事出版.
- 3) Isenberg, Daniel J. (1986): Group Polarization: A Critical Review and Meta-Analysis. Journal of Personality and Social Psychology, 50-6.
- 4) 朝倉暁生（2007）「環境意識と環境学習」、原科幸彦編『環境計画・政策研究の展開』、岩波書店、101-136.
- 5) 水越伸，山内祐平（2003）：メルプロジェクトのパーспекティブーメディア表現、学びとリテラシー『メディア・プラクティス』（水越伸・吉見俊哉編）、pp.170~184、せりか書房、東京.
- 6) 松本安生（2009）地球温暖化のリスク認知に関する研究、人文研究（神奈川大学人文学会誌）167.

S-5 地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究

1. 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

(12) 分かりやすさを重視したマスメディア利用型コミュニケーションに関する実証的研究

(独) 国立環境研究所

社会環境システム研究センター環境計画研究室 青柳 みどり

<研究協力者>

(独) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター 元特別研究員 三瓶 由紀

立教大学 品田 知美

(株) ニッセイ基礎研究所 保険研究部門 栗林 敦子

(株) ニールセン・カンパニー 徳永 静代

(株) 電通 山崎聖子、吉澤 庸子

平成19(開始年度)～23年度累計予算額：36,450千円

(うち、平成23年度予算額：10,450千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 一般市民が気候未来像を理解するポイントとしてメディア報道のあり方が重要である。そのため、一般市民の気候変動問題の関心と理解（世論形成）およびそれらとメディア報道（テレビ、新聞）との関連分析を行う。(a)まず、フォーカス・グループ・インタビューを用いて、気候変動問題についての理解と発信について、合計4グループを対象に調査分析を実施した。(b)次に、全国4000人の無作為抽出された成人男女を対象とした、「日本の成人男女の関心度調査」を毎月実施して「世界で最も重要な問題」の時系列の変化を把握した。さらに、新聞とテレビについて、毎月の報道件数を把握した。上記2つの時系列のデータについての関連を、交差相関係数を用いて分析した。(c)第4年度の終わりにおきた東日本大震災に関連して気候変動リスクに関する世論調査を実施した。(a)では、理系・文系別、男女別でそれぞれの違いが認められた。気候変動問題の理解においては、理系出身者ほど理解をし、対策について前向きな態度を示した。文系出身者は、なかなかそのような態度を醸成できなかった。(b)時系列調査の調査結果についてみると、洞爺湖サミットをピークに、「世界で最も重要な問題」として「環境（気候変動を含む）」が継続してあがっていたが、2008年のリーマンショック以降、「経済」「雇用」が最も重要な問題に取って代わっていた。メディア報道件数と交差相関係数をもちいて分析を行うと、新聞報道が人々の関心の立ち上がりに先行し、テレビ報道と人々の関心度はほぼズレのない動きとなった。(c)気候変動リスクについての認知度は高く、日本においては9割程度の成人がそのリスクを感じている。予想される気候変動の影響については、かなり認知が進んでおり、台風、干ばつ、洪水など気候の様々な事象が今よりも極端な幅で送ることに関して、特に高く認知されていることがわかる。

【キーワード】 リスク・コミュニケーション、マスメディア、フォーカス・グループ・インタビュー、世論調査

1. はじめに

本課題においては、一般の人々の気候変動問題に対する理解、関心とその変化を捉え、その変化の要因をあきらかにする。そのために、探索的な手法であるフォーカス・グループ・インタビュー、定量的な手法である世論調査を簡単な設問で毎月実施する時系列調査と、一時点で深く聞く調査の2種類、合計3つの調査手法をもちいて分析を行う。

2. 研究開発目的

本課題においては、先に述べたように一般の人々の気候変動問題に対する理解、関心とその変化を捉え、その変化の要因をあきらかにすることが目的である。本課題は特に、マスメディアに注目し、マスメディアの報道内容とその理解、マスメディアの報道量と人々の関心の移り変わりに着目した調査分析を行い、さらに第4年度の最後の時期に起きた東日本大震災に関連して最終年度には気候変動リスクに関する掘り下げた世論調査を実施した。

一般市民は、環境問題に関する知識、特に科学的知見を、マスメディアを通じて得ており¹⁾、環境問題に対する市民の関心は、マスメディアがどのように報道したかといった質だけでなく、どれだけ多く報道されたかかという量にも影響される傾向にあるとされる²⁾。マスメディアに取り上げられない話題は、大勢の人にとって存在しない話題といえる³⁾。しばしば、議論されるのが、マスメディアにとっての「ニュース価値」である。ニュース価値について Allanら⁴⁾は、“Nearly all introductory reporting textbooks contain lists of **news values** which include such things as consequence(結末、物事の重大さ), timeliness(適時性), proximity(近接性:聴衆にとって身近に感じられること), prominence(突出性) and human interest(人間的興味).” と述べており、これらの基準を満たさないものはニュースとしてマスメディアにとりあげられないことを指摘している。つまり、マスメディア側がどのような記事をどれだけの量(件数)で書いたかを分析することにより、ニュース価値の基準が結果的に判断され、そして、世論に影響を与えたかが判明することになる。

受取手に与える影響という視点からすると、マスメディアからの情報がどれだけ一般市民の環境配慮行動を促すかという視点も重要である。これまでの研究の成果をみると、価値観(物質主義・脱物質主義価値観⁵⁾、リスク文化論⁶⁾など)や社会規範、また、年代・教育レベル・性別・所得・職業・家族構成・配偶者の有無などの個人特性などの影響が有意である⁷⁾。また、最近、社会関係資本の重要性が指摘されており、コミュニティにおける共同を必要とするシステム構築のための基礎的指標となるものであり、これもまた重要な政策変数となる⁸⁾。さらに、知識(環境問題についての知識)や、情報獲得源(マスメディア、友人家族などのパーソナルメディア、インターネットなどの新しい情報ネットワーク)などの重要性も指摘されている⁷⁾⁸⁾。特に情報獲得などは、キャンペーンの効果などメディア戦略の重要な基礎的知見となるものとして政策変数として重要な位置づけになる。

3. 研究開発方法

(1) 気候変動問題理解に関するフォーカス・グループ・インタビュー

1) 方法

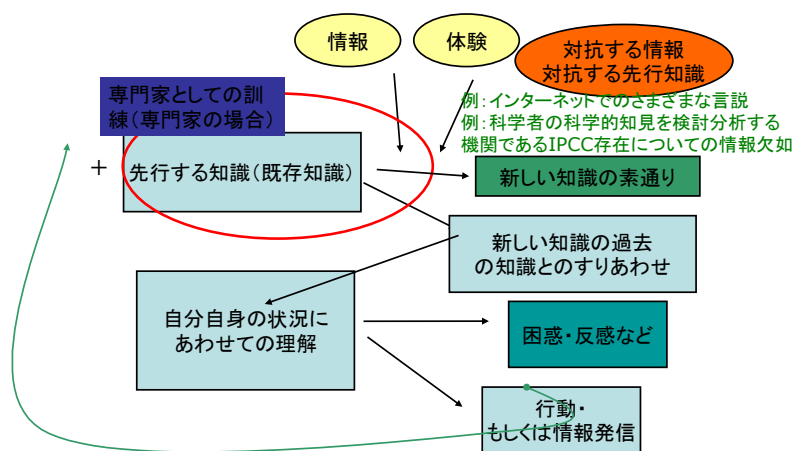
フォーカス・グループ・インタビューにおいては、ファシリテーターが司会者として、調査主体の意見を代弁し、調査対象者の発言を促す役割を果たす。インタビューにおける、ファシリテーターの発言とそれをもとにした本課題参加者の議論を記録し、会話の中からそれぞれの参加者の気候変動問題を巡る論理構成を再構成することにより、気候変動問題を巡るリテラシーを探索的に探る。調査対象グループは、年代や性別、職業などいくつかの属性ごとに複数のグループを一般の人々から集める。多くの場合、性別、年代別、職業などの属性を考慮する。

本調査は2007年11月に、(株) ニールセン・カンパニーに委託して実施した。調査対象は大卒後10年程度の男女(理系・文系別)として、合計4グループのリクルーティングを行った。

2) 結果とまとめ

主な結果について述べる。まず、温暖化問題に対して最も危機意識の高かったのが「理系女子」グループであった。特に、農学部等の実学系出身者が知識が高く、危機意識も高かった。そのため、2050年に向けての実現方策に関する映像については、「具体性がほしい」など対策の実効性を求める声が強くあがった。その次に危機意識の高いのが文系女子グループであるが、温暖化のメカニズムそのものについての理解が若干弱く、そのためか対策についても、人任せの発言が見られた。男性は理系、文系の順に危機意識が強かったが、全体に女性ほどではなく、「後、何年で影響が出ると思うか」という質問に対して、女性は「既に影響が出ている」という回答があったのに対して、男性は「生きているうちは大丈夫」などと時間軸のズレを見せた。また、文系男子においては、映像観賞後であっても、「信じられない」「身近に感じられない」という反応をする者も複数いた。また、影響が出ると考えるまでの年数も長い傾向が見られた。

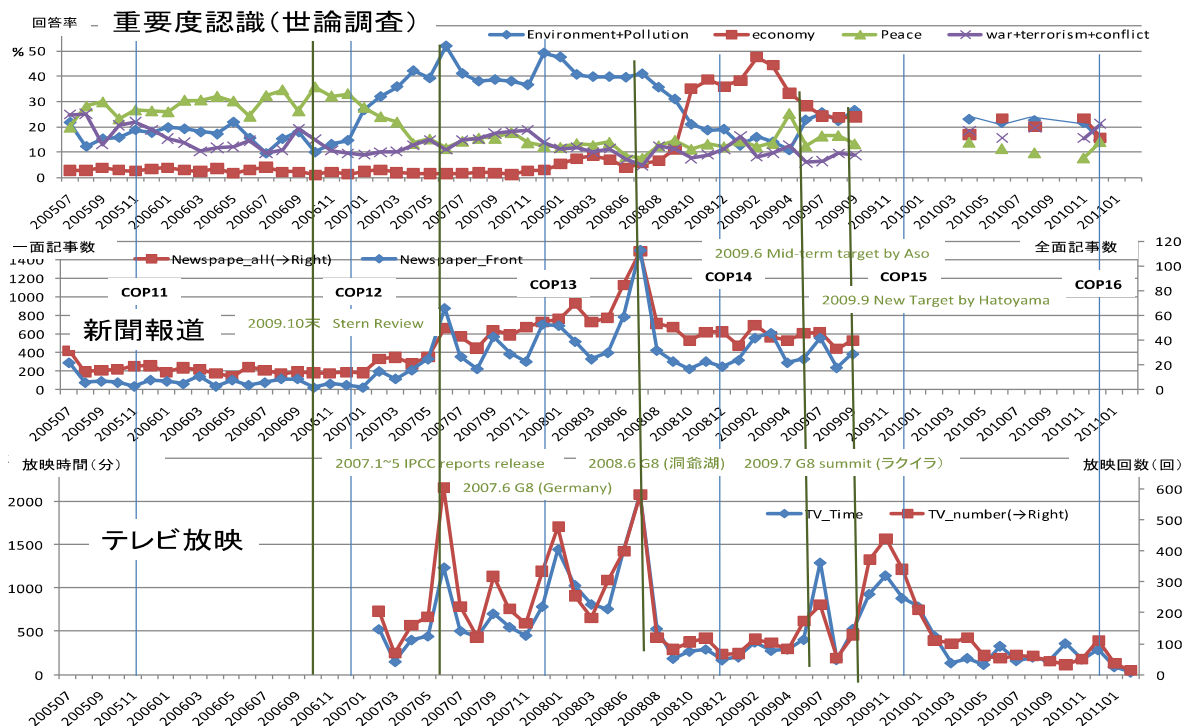
本調査に用いた映像は、実際にテレビなどで使われたものを編集している。従って、本調査における映像への反応は、マスメディアの提供する情報に対する反応とも解釈できるわけであるが、本調査によれば、女性は理系文系を問わず『共感』する反応が大きく、テレビ等の報道に大



図(12)-1 気候変動問題理解の構造モデル(仮説モデル)

きく影響をうけることが推測される。一方、男性は映像そのものに対する懐疑心などが観察され、メディアにあまり影響されない傾向が観測された。理系文系の差は、対応策への要望の差になって現れ、映像への共感が高く理解も早い理系女子においては、対策の早期着手への要望が強くなる結果となった。一方、対極にあったのが文系男子で、対策というよりもむしろ全体的に否定的な態度

が観察された。



図(12)・2 世論の変化と報道量の変化(上段:世論の変化、
中段:新聞報道件数の変化、下段:テレビ放映量の変化)

上段:青線は「環境問題」に対する回答率の推移(%),赤線は「経済」、緑線は「平和」、紫線は「戦争、紛争」である。

中段:青線は気候変動に関する記事の「新聞の一面」掲載件数、赤線は全面的掲載件数である。

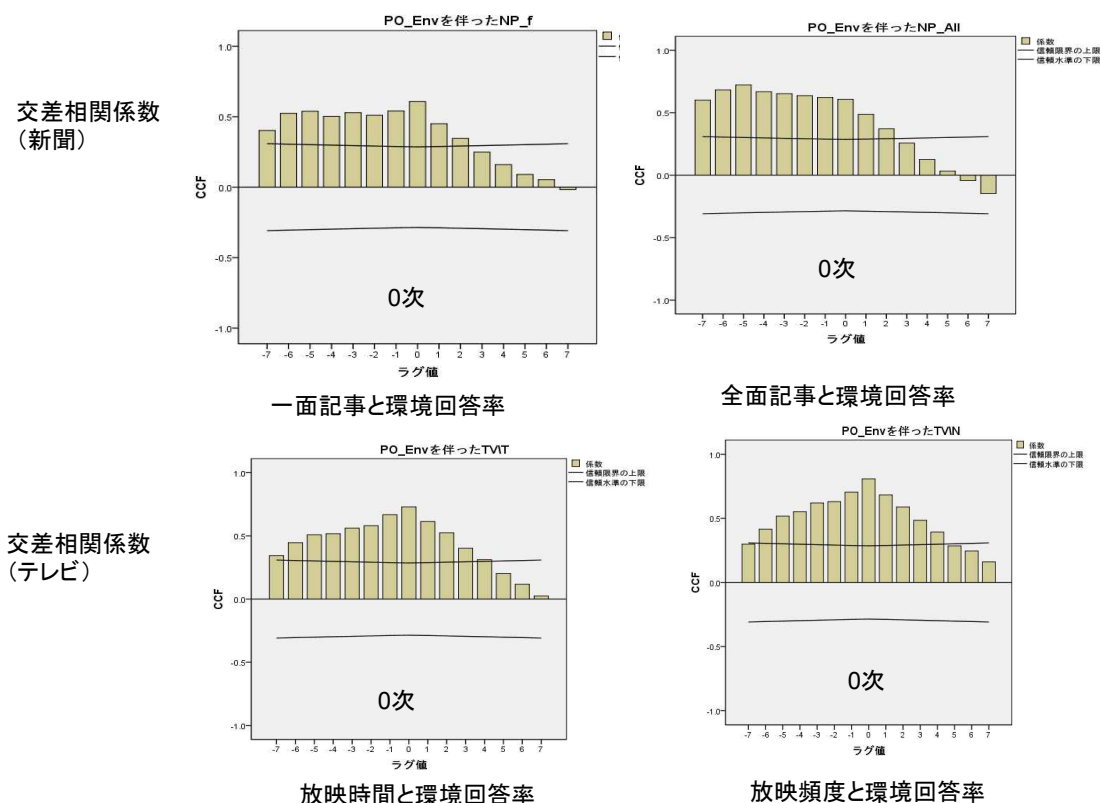
下段:青線は、気候変動に関する事項のテレビの総放映時間、赤線は総放映件数である。

(1)気候変動問題に関する関心の時系列分析 1) 方法

気候変動問題をはじめとして、多くの社会における問題についての関心は、マスメディアの報道によって多くの影響を受ける。ここでは、マスメディアの量の影響について、毎月実施した「世界で最も重要な問題」に関する世論調査と、新聞、テレビに関するデータベースを利用した量の変化に関する分析の2つの側面から検討を行った。

新聞における温暖化に関連する報道量については、nifty-serveを通じて提供されている、新聞データベースを利用し、月変動を把握した。2005年6月から2009年9月までに、主要全国紙3紙(読売、朝日、毎日)で掲載された「温暖化」を含む記事について、件数を集計した。テレビについては、(株)M-DATA社の提供する「テレビ番組放映検索システム」を用いて、この検索システムで取り扱っているチャンネル全部について取り上げた。また、一般の人々の環境に対する関心の変化との関連性については、国立環境研究所が2005年7月から毎月10日前後に実施している、全国2000人(2007年からは4000人)の成人男女を対象とした世論調査データを用いて分析した(平成20, 21, 22年度分を本課題の中で実施)。これは、専門の調査員による個人面接により聞き取りを行ったもので、「国内において最も重要な事柄」「世界において最も重要な事柄」のそれぞれについて、自由回答で得た回答をコーディングし、環境問題の重要度の位置づけをみたものである。

ここではそのうち、「世界」に関する調査結果を分析に使用した。



図(12)-3 世論の変化と報道量の変化についての交差相関関数による関連分析結果

2) 結果とまとめ

図(12)-2、前節で述べた回答率の変化のうち、全体的に回答率の高かった、環境、経済、平和、戦争についての折れ線グラフのみ抜き出したもの(上段)、新聞報道については、一面のみの件数、全面の件数(中段)、テレビについては件数および放映時間(下段)について示した。3段の折れ線の変化をみると、細かな動きには差がみられるが、大きなピークについてはほぼ一致していることがわかる。2007年はじめから、環境(気候変動を含む)に関する回答が急激に上昇し、2008年の夏のリーマンショック以降急激に下降した。代わって、『経済問題』が急激に増加し、2009年初頭にピークを示した。しかし、2010年4月以降は、2009年夏以降の経済と環境が拮抗して1、2位に位置する状況にある。

図(12)-3は、時系列調査の環境に関する回答率と、マスメディア報道(新聞の一面件数、全面件数、テレビの放映件数と放映時間)に関して交差相関係数によって検定を行ったものである。新聞報道が人々の関心の立ち上がり先行し、テレビ報道と人々の関心度はほぼズレのない動きとなった。つまり、マスメディア報道といっても、新聞とテレビでは役割が異なり、新聞が関心喚起をし、その後テレビ関心の増幅をする、という役割分担になっていることが推測された。

(3) 気候変動リスクに関する世論調査

1) 方法

気候変動影響とエネルギー選択にかかる世論調査を、イギリスの研究者の協力を得て、インターネット調査および個人面接調査方式で実施した。

インターネット調査は2012年2月下旬の週末（23～24日）に実施した。サンプル数520で（株）マクロミルのモニターを対象に年代、性別、居住地域、最終教育歴をそろえる方法で対象者を抽出した上で実施した。以下では、回答の主なものについて両者を比較しながら結果を述べる。

2) 結果とまとめ

a) 気候変動に関する現実感

表12-1は、気候変動についての認識である。「あなた個人の考えとして、最近、地球上の気候が変わってきていると思いますか。」に対して、日本では2006年には95%、2011年には約93%、2012年は、個人面接で90.8%、インターネットでは86.3%が「そう思う」と回答した。イギリスでは、2005年に91%であった「そう思う」の回答が、78%に減少している。担当の研究者等への聞き取りによると、2008年の経済危機、2009年のEast Anglia大学の事件などの影響と考えられる。

b) 気候変動の影響に関する認識

表12-2は、気候変動の影響について、当てはまるものを3つまで選択してもらった結果である。インターネット調査と個人面接調査で数字がやや離れるが、最も多いのが、「今までより極端な気候が起きる」でそれぞれ39%、49%であり、農業生産への影響、洪水や干ばつ、海面上昇、ヒートアイランド、今より頻繁な洪水など、農業生産への影響などがこれに続く。「このような変化は一時的なもので、長期的に見た場合、特別に深刻な影響はない」とする否定的な選択肢は0.1%にすぎず、日本においては、ほとんどの成人が何らかの温暖化影響を懸念している状況にあると推測できる。

表(12)-1 最近、地球上の気候が変わってきていると思いますか

		%	1.そう思う	2.そう思わない	3.わからない
日本	2006	個人面接	95.0	2.7	2.3
	2011	個人面接	92.5	4.6	2.8
	2012	個人面接	90.8	6.2	3.0
	2012	インターネット	86.3	9.0	4.6
UK	2005	個人面接	91.0	4.0	5.0
	2010	個人面接	78.0	15.0	6.0

化は一時的なもので、長期的に見た場合、特別に深刻な影響はない」とする否定的な選択肢は0.1%にすぎず、日本においては、ほとんどの成人が何らかの温暖化影響を懸念している状況にあると推測できる。

表12-2 それでは、このまま地球上の気候が変化していくことによる影響として深刻なことは何だと思いますか。この中から3つまであげてください。

	%	ヒートアイランドが起きやすくなる	生物多様性の減少・種の減少が加速する	今までより暑い夏などの極端な気候が起きやすくなる	熱帯地方の病気が日本でも発生するようになる	海面上昇	洪水や水不足、干ばつが今よりも多く発生するようになる
2006	個人面接	27.10	17.80	46.40	14.60	42.20	29.90
2011	個人面接	29.00	22.50	53.10	11.10	37.20	23.80
2012	個人面接	20.60	14.10	49.10	11.20	26.60	31.30
2012	インターネット	13.40	12.20	39.00	14.00	25.60	31.00
	%	オゾン層の破壊	氷河期(2006のみ)	農作物の収穫が不安定になるなど農業生産への影響	シベリアなどの凍土層の溶解・アルプスやヒマラヤの氷河が溶け出す	現在よりも強力な台風や竜巻などが起きやすくなる	南極やグリーンランドの氷が溶け出す
2006	個人面接	40.50	2.20	27.00	14.20	22.00	
2011	個人面接	29.00		29.30	8.60	16.10	
2012	個人面接	28.10		35.60	5.00	26.50	10.80
2012	インターネット	29.20		39.00	8.90	32.10	12.70
	%	熱射病など健康への影響が起きやすくなる	北極海は夏には氷が張らなくなる	このような変化は一時的なもので長期的に見た場合、深刻な影響はない	その他	わからない	合計
2006	個人面接					1.90	100
2011	個人面接	13.90		0.10	0.50	1.60	100
2012	個人面接	10.10	4.70	0.40	0.80	1.00	100
2012	インターネット	12.00	4.90	2.20	0.70	2.40	100

気候変動リスクについての認知度は高く、日本においては9割程度の成人がそのリスクを感じている。ただ、イギリスの状況を見るとわかるように、メディアの報道や関連事項の取り扱いによってはそのリスクの認知が低下することもあり得ることに注意する必要がある。

予想される気候変動の影響については、かなり認知が進んでおり、台風、干ばつ、洪水など気候の様々な事象が今よりも極端な幅で送ることに関して、特に高く認知されていることがわかる。

4. 結果及び考察

ここでは、上記の3種類の調査分析をまとめて得られた結果についてのべ、考察を行う。

温暖化を含む様々なリスクの認知に与えるマスメディアの役割については、比較的多くの研究がなされてきた⁹⁾。ピジョンは¹⁰⁾、人々の気候変動問題に対する態度変化について、特に2007年以降のイギリスにおけるマスメディア報道との関連について述べた。ピジョンはマスメディアのリスク認識増幅効果にも触れている。イギリスでは2009年11月下旬にイースト・アングリア大学において電子メールハッカー事件がおき、この事件が繰り返し報道されたことで、気候変動問題に懐疑的な人々が飛躍的に増加したという。

以上の結果から、この5年間の調査結果をまとめると、日本においてもイギリスほどドラスティックではないものの、「気候変化がおきているか」については「そう思う」が減少傾向にあり、特にインターネット調査においてその傾向が顕著である。日本においては新聞では、ほとんど懐疑論は報道されておらず、インターネットにおける情報の流布がおきている可能性が指摘できる。マスメディアの報道内容の分析とインターネットにおける気候変動問題の情報流通は今後の検討課題としてあげることができる。

マスメディア報道の量とその世論への影響は時系列の調査により統計的にも有意な関連にあることが確認できた。環境省においてもチームマイナス6%、とそれに続くチャレンジ25等、様々なキャンペーンを行っているが、マスメディアの報道に関しては、「目新しさ」などがないと、キャンペーンに関する報道も次第に減少していくことが指摘されている¹¹⁾。省庁独自のキャンペーンであっても、マスメディアに以下にうまくのせられるか、がキャンペーンの効果を上げるために重要であり、検討課題となろう。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究の成果としてあげられるのは、環境教育における「科学リテラシー」の重要性である。理科一般に関する基礎的な知識をきちんと備えていくような方策が今後必要となろう。また、マスメディア報道の重要性も指摘できる。如何にマスメディアにきちんと報道をしてもらうか、検討していく必要がある。

(2) 環境政策への貢献

本研究の成果が直接貢献した事例はない。しかし、今後、国民運動など国民的なキャンペーンに活用していくことが考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

1) Marrakesh Process: Task Force on Sustainable Lifestyles (スウェーデン政府および国連環境計画産業貿易環境局) およびPERL (Partnership for Environmental Responsible Lifestyle) に参加した。結果は、国連環境計画産業貿易環境局によってとりまとめられ、2010年春の国連持続可能な開発委員会 (Commission for Sustainable Development) おいて他の20カ国の参加国の成果とともに公表された。

2) イギリスのカーディフ大学 ピジョン教授との連携体制を構築し、一部比較調査を実施した。

3) 新聞の報道件数に関しては、コロラド大学のボイコフ准教授の気候変動にかかる報道調査に

協力して、日本の報道件数として報告し、世界全体の傾向と比較している。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Sampei, Y., and M. Aoyagi-Usui (2009): Mass-media coverage, its influence on public awareness of climate-change issues, and implications for Japan's national campaign to reduce greenhouse gas emissions. *Global Environmental Change*, Vol 19, Issue 2, 203- 212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.005>
- 2) Aoyagi-Usui, M. (2008): A comparison of public attitudes and actions toward environmental issues in China and Japan, *Asian, Asian Rural Sociology Volume 3 (CD)*, Beijing, China, pp92-105.
- 3) 青柳みどり (2011): 気候変動と市民理解. *科学技術社会論研究*, 9, 24-39.

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）
特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 青柳みどり (2010): 質問紙調査による消費者態度の計測. *日本LCA学会誌*, 6, 2, 141-148.
- 2) Aoyagi-Usui M., S. Yamazaki, Y. Yoshizawa (2011): An Analysis of Japanese results of the Global Survey for Sustainable Lifestyles - Japan: 189 Participants -, *Visions for Change - Country Papers - (UNEP)*, 36-42

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) Aoyagi-Usui, M., A. Kuribayashi, T. Shinada, M. Kondo: How do students understand Change issue: a result from Group Interview on Japanese undergraduate student in Tokyo Metropolitan Area, The 2007 Beijing International Conference of Environmental Sociology, Beijing, China, June 28-July 1, 2007.
- 2) Kuribayashi, A., M. Aoyagi-Usui, T. Shinada, M. Kondo: Background of understanding climate change issue: a result from group interview on Japanese Undergraduate student in Tokyo metropolitan area, The XVth International conference of the Sociology for Human Ecology, Rio de Janeiro, Brazil, October 2007.
- 3) 青柳みどり: 気候変動問題に関する危機意識とエネルギー選択. 環境経済政策学会 2007 年大会, 滋賀, 2007 年 9 月.
- 4) 三瓶由紀, 青柳みどり: 一般市民の世界・国内の環境に対する問題意識の現状. 環境経済政策学会 2007 年大会, 滋賀, 2007 年 9 月.
- 5) Aoyagi-Usui, M: Understanding climate change issue and nuclear power. 2007 annual meeting of Society for Social Studies of Science, Montreal, Canada, October 2007.
- 6) 青柳みどり: 気候変動についての人々の理解について. 科学技術社会論学会・年次研究大会,

- 東京, 2007年11月.
- 7) 青柳みどり: マスメディア接触と環境問題に関する意識の喚起- 時系列社会調査データを用いた分析結果から---. 第80回日本社会学会大会, 神奈川, 2007年11月.
 - 8) 栗林敦子, 青柳みどり, 品田知美: 「リスク・リテラシー」と「環境リテラシー」- 生活リスクとしての地球温暖化の理解-. 日本リスク研究学会 第20回研究発表会, 徳島, 2007年11月.
 - 9) Aoyagi-Usui, M: Risk Perception of Climate Change and the choice of energy sources, Society for Risk Analysis annual meeting, San Antonio, USA, December 2007.
 - 10) Sampei, Y., M. Aoyagi-Usui : Mass-media coverage and the public perception of climate change issues: an analysis of a Japan' s national campaign program. TIGS symposium 2008 "Adaptation Strategies for Climate Change" , Honolulu, USA, February 2008.
 - 11) Aoyagi-Usui, M : Risk perception on climate change: Japanese case. World Congress of on Risk, Guadalajara, Mexico, July 2008.
 - 12) Sampei, Y., M. Aoyagi-Usui : The roles of Japan' s mass-media in reporting climate change science. 4S/EASST 2008 (Soc. Soc. Stud. Sci. /Eur. Assoc. Study Sci. Technol.), Amsterdam, August 2008.
 - 13) Kuribayashi, A., M. Aoyagi-Usui : Information about Climate change that leads to Attitude changes. 2008 International conference of the Sociology for Human Ecology, Seattle, USA, September 2008.
 - 14) Aoyagi-Usui M., A. Kuribayashi, T. Shinada, Y. Sampei: Public understanding of climate change: their logic and motivation for supporting climate change prevention actions. 1st ISA Forum Sociol. Sociol. Res. Public Debate, Barcelona, September 2008.
 - 15) Aoyagi-Usui M., Y. Sampei, T. Shinoda, A. Kuribayashi : Longitudinal analysis of public awareness of climate change. 1st ISA Forum Sociol. Sociol. Res. Public Debate, Barcelona, September 2008.
 - 16) 青柳みどり, 三瓶由紀: 環境に関する情報獲得と環境行動の関連について 定量調査と定性調査を組み合わせた分析から. 環境経済・政策学会 2008年大会, 大阪, 2008年9月.
 - 17) 三瓶由紀, 青柳みどり: 一般の人々の地球環境問題に対する関心へのマスメディア報道量の影響. 環境経済・政策学会 2008年大会, 大阪, 2008年9月.
 - 18) 三瓶由紀, 青柳みどり: 温暖化に関する科学的知見に関する新聞報道特性. 第7回(2008年度)科学技術社会論学会年次研究大会, 大阪, 2008年11月.
 - 19) 青柳みどり: フォーカス・グループ・インタビューを応用したコミュニケーション・プログラムの試み. 第7回(2008年度)科学技術社会論学会年次研究大会, 大阪, 2008年11月.
 - 20) 青柳みどり: 気候変動問題に対する市民の態度形成要因の解明- 定性調査と定量調査を併用した分析-. 第81回日本社会学会大会, 仙台, 2008年11月.
 - 21) Aoyagi-Usui M., Y. Sampei, A. Kuribayashi, T. Shinada : Public understanding of climate change: their logic and motivation for supporting climate change prevention actions. SRA Int. 2008 Annu. Meet., Boston, December 2008.
 - 22) Aoyagi-Usui M., Y. Sampei : For better understanding people' s understandings of climate

- change issues and motivation for taking actions: Japanese case. : the IARU International Scientific Congress on Climate Change, Copenhagen, Denmark. March 2009.
- 23) Aoyagi-Usui M :People' s interest and understanding of Climate Change issues and influence of Mass Media. in IR3S - Tyndall Centre Joint Symposium (Draft Plan) - Pathway toward low carbon society and global sustainability -, Norwich, UK, May 2009.
- 24) Aoyagi-Usui M : Information source and environmentally friendly consumption in the East Asian perspectives. Annual conference of Industrial Ecology, Lisbon, Portugal June 2009.
- 25) 三瓶由紀, 青柳みどり: 一般の人々の環境問題に対する関心へのマスメディア報道量の影響. 環境経済政策学会 2009 年大会, 千葉, 2009 年 9 月.
- 26) Sampei, Y., M. Aoyagi-Usui: The influence of the mass media on public concern for climate change in Japan. 2009 annual meeting of Society for Social Studies of Science, Washington DC, USA. October 2009.
- 27) 三瓶由紀, 青柳みどり: 温暖化に関するテレビ報道の特性と変化. 科学技術論社会学会第 8 回年次研究大会, 東京, 2009 年 11 月.
- 28) Aoyagi-Usui, M., Y. Sampei : Development of training program for better understanding climate change risk: Applying focus group interview method. 2009 Society for Risk Analysis Annual Meeting, Baltimore, USA. December 2009.
- 29) Aoyagi-Usui, M., Y. Sampei : Japanese mid-term greenhouse gas emission reduction target: How people see governmental decision? Research Committee Environment and Society, the XVII World Congress of Sociology, Gothenburg, Sweden, July 2010.
- 30) Aoyagi-Usui, M: Mass media coverage and people' s concern for the Climate Change issue. International Association for Media and Communication Research, Braga, Portugal July 2010.
- 31) Aoyagi-Usui, M: Mass media coverage and changes of public opinion. Annual conference of Society for Social Studies of Science, Tokyo, August 2010.
- 32) 青柳みどり: マスメディア報道と市民のリスク認知、意思決定への参加の可能性. 日本社会学会 2010 年大会, 名古屋, 2010 年 11 月.
- 33) Aoyagi, M : Impacts on public opinion by mass media coverage of climate change issues: Comparison of print media and television” International Association for Media and Communication Research, Istanbul, Turkey, July 2011.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 国際ワークショップ「世界の温暖化報道の過去・現在・未来欧米の研究者と日本の記者が語る」（国立環境研究所、早稲田大学、環境ジャーナリストの会の共催）2010. 8. 24 早稲田大学

マイバッグ定番へ

環境エコロジー

2010年1月21日 11:46

CO2削減の道筋

環境省がまとめた「CO2削減の道筋」は、2020年までに削減率を25%にするという目標を掲げている。削減率を25%にするには、再生可能エネルギーの割合を現在の15%から35%に引き上げる必要がある。また、省エネ機器の普及率を現在の70%から90%に引き上げる必要がある。削減率を25%にするには、再生可能エネルギーの割合を現在の15%から35%に引き上げる必要がある。また、省エネ機器の普及率を現在の70%から90%に引き上げる必要がある。

再生可能エネルギーの割合

再生可能エネルギーの割合は、2005年の15%から2020年の35%に引き上げる必要がある。再生可能エネルギーの割合は、2005年の15%から2020年の35%に引き上げる必要がある。再生可能エネルギーの割合は、2005年の15%から2020年の35%に引き上げる必要がある。

省エネ機器の普及率

省エネ機器の普及率は、2005年の70%から2020年の90%に引き上げる必要がある。省エネ機器の普及率は、2005年の70%から2020年の90%に引き上げる必要がある。省エネ機器の普及率は、2005年の70%から2020年の90%に引き上げる必要がある。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞全国版, 2010年1月21日夕刊 (添付参照)
- 2) Japan Times, 2009年11月25日 (添付参照)
- 3) 茨城新聞, 2010年3月12日
- 4) 成果の記者発表 (2009年11月9日 温室効果ガス削減中期目標に関わる世論調査結果について)
- 5) 成果の記者発表 (2009年9月24日 国連環境計画 (UNEP) 「サステナブル・ライフスタイルに関するグローバル調査」 日本の調査結果 (速報) について一次世代の価値観と生活行動に、持続可能なライフスタイルの萌芽)

1) 朝日新聞全国版, 2010年1月21日夕刊 (添付参照)

CO2 cuts will require nation's transformation

Setsuko Kameya
Fossil fuels series
Anti-nuclear budget axed: Page 7
Imagine yourself in a Japanese city in 2020.

At you walk down the street, chances are that every other car you see is hybrid or powered by electricity. Solar panels on rooftops are common.

ATMOSPHERIC PRESSURE

Shimizu, and homes are equipped with cogeneration water heaters. They also have high-tech insulation, warm in winter and cool in summer without having to rely very much on air conditioning.

This is what life will be like a decade from now if the country wants to achieve a 25 percent reduction in greenhouse gas emissions compared with 1990 levels, according to a report issued in April by the National Institute for Environmental Studies.

Pretty much everything you encounter on a daily basis will have to be drastically changed to be environmentally friendly.

For example, only 6.3 percent of all cars on the road in 2005 were hybrids or electric, but this needs to be raised to 40 percent by 2020. Electricity generated by solar panels must also be drastically increased to 79 million kw from 1.42 million kw in 2005. This

number of cogeneration water heaters should reach 440 million from only 700 million four years ago, and newly built homes must feature insulation in 2020 compared with only 20 percent in 2005.

The NIES figures were based on the premise that the 25 percent cut is achieved entirely by domestic efforts. The reduction, however, more likely will have to be met by combining national efforts with international mechanisms such as emissions trading.

Still, Japan has a long way to go to reach an environmentally friendly future in past years.

The bold greenhouse gas reduction target announced by Prime Minister Yuko Hatoyama in September poses the country has stepped on the gas in the drive to become a low-carbon society, which will require a major transition in the structure of society, experts say.

To stop global warming, a transition in our energy framework is necessary, Yochi Kato, director general of the Research Institute of Innovative Technology for the Earth, said at a recent symposium in Tokyo.

To keep average global temperatures from rising more than 2 degrees, the Group of Eight most industrialized nations pledged at their summit in July to reduce 40 percent of their greenhouse gas emissions by 2020. This

goal was reaffirmed by Hatoyama and U.S. President Barack Obama in a joint message Nov. 13 on global climate change negotiations.

Although there is still 40 years to go, cutting emissions 25 percent is an extremely challenging goal, Kato said.

Analysts say the midterm goal set for 2020 is an indicator of what Japan is willing to achieve.

Before the Democratic Party's landslide win in the Aug. 30 general election, the nation's 2020 reduction target was 15 percent compared with the 2005 level. When converted to the 1990 level, the target was 10 percent.

When he set this goal last June, then Prime Minister Tarō Asō of the Liberal Democratic Party stressed that the reduction would be achieved through domestic efforts only. But non-governmental organizations working on climate change criticized the target as less than ambitious for the world's fifth-largest emitter of greenhouse gases.

CONTRIBUTED BY PAGE 5



Keeping up with the Joneses, solar panels have been installed on some 500 rooftops in the Fuji Town neighborhood in Ota, Gunma Prefecture, where a government-supported study on how to ensure a steady supply of electricity is under way.

2) Japan Times, 2009年11月25日 (添付参照)

CO2 policy

Scenario	Electricity generation	Transportation	Buildings	Industry
As of 2005	15%	12%	18%	15%
2020 target	35%	25%	25%	25%

How much needs to be achieved

Scenario	Electricity generation	Transportation	Buildings	Industry
As of 2005	15%	12%	18%	15%
2020 target	35%	25%	25%	25%

CO2 policy

The private sector claims energy reductions will be its own. It will improve efficiency and will improve energy efficiency. It will improve energy efficiency and will improve energy efficiency.

and other sectors make up the 25 percent. The private sector claims energy reductions will be its own. It will improve efficiency and will improve energy efficiency.

developing energy-saving technologies. It will improve energy efficiency and will improve energy efficiency.

the use of public transportation for moving goods and promoting a cycle-friendly environment are essential to meet the challenge. In fact, several opinion polls show that most Japanese citizens want to see a shift in the structure of their lives.

WPE survey between April and July found a large majority saying they consider global warming an important problem that must be addressed and that their actions must be taken.

Although the survey was conducted around the time Hatoyama's decision to make Japan a pro-nuclear state, who compiled the survey, predicted the public will likely support Hatoyama in October.

The poll showed people believe their own lifestyle could be changed and that their actions must be taken.

"There is an other market besides the market related to the environment that has potential for growth," he said, adding that Hatoyama's decision to make Japan a pro-nuclear state, who compiled the survey, predicted the public will likely support Hatoyama in October.

Japanese companies, despite their competition to meet the target, have said that many have failed to compete with foreign firms.

Domu blames the Ministry of Economy, Trade and Industry for the gap. The ministry's plan to make Japan a pro-nuclear state, who compiled the survey, predicted the public will likely support Hatoyama in October.

The manufacturing sector is expected to see a 20 percent increase in its emissions. The transportation industry aims to cut 10 percent, while the service

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) Slovic, P. (2000): Informing and educating the public about risk. In P. Slovic (Ed.), *The Perception of Risk*, 182- 198, Earthscan, London and Sterling, VA.
- 2) Mazur, A. and J. Lee (1993): Sounding the global alarm: environmental issues in the US national news, *Social Studies of Science* 23, 681- 720.
- 3) McCombs, M.E. and D.L. Shaw (1972) : The agenda setting function of mass media. *Public Opinion Quarterly*, 36, 176-187.
- 4) Allan, S., B. Adam, and C. Carter (2000) : *Environmental Risks and the Media*. Routledge London.
- 5) Inglehart, R., (1990) *Culture Shift in Advanced Industrial Society*, Princeton University Press, 1990.
- 6) Rayner, S. (1992). Cultural Theory and risk analysis. In S. Krimsky & D. Golding (Eds.), *Social Theories of Risk* (pp. pp. 83-115).
- 7) 青柳みどり (1997): 環境についての知識の格差に与えるメディアの効果について. *環境社会学研究*, 第3号, 1997, 196-212
- 8) 青柳みどり (2008): 「一社会資本は環境行動促進に有効か? -情報獲得と社会資本の二側面からの考察」, *環境経済・政策研究* 2, 37-50.
- 9) Krosnick, J., A.L. Holbrook, and P.S. Visser (2000): The impact of the fall 1997 debate about global warming on American public opinion. *Public Understanding of Science*, Vol. 9, No. 3, 239-260.
- 10) Pidgeon, P. (2010): Public understanding of and attitudes towards climate change. Report of the foresight international dimensions of climate change project
- 11) Sampei, Y. and M. Aoyagi-Usui (2009): Mass-media coverage, its influence on public awareness of climate change issues, and implications for Japan' s national campaign to reduce greenhouse gas emissions. *Global Environ. Change* 19, 203-212.

Developing and Communicating Comprehensive Climate Change Scenarios

Principal Investigator: Seita EMORI

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Tel: +81-29-850-2724 / Fax: +81-29-850-2960
E-mail: emori@nies.go.jp

Cooperated by: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), The University of Tokyo, Hokkaido University, National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), Nomura Research Institute, Ltd., Kanagawa University, Toho University

[Abstract]

Key Words: Climate Change, Scenario Development, Impact Assessment, Uncertainty, Communication

To communicate the best available climate change projection science to the society, this research aims at better clarifying the reliability of future climate change projections and their consequences to the society to create comprehensive ‘climate change scenarios’ and developing the methods to effectively communicate such scenarios to the society.

With regard to uncertainty assessment, a statistical method to constrain uncertainty in impact assessment based on multi-climate model ensembles and observational data has been established. A new theoretical understanding of the use of multi-model ensembles in making probabilistic predictions has been developed and the existing multi-model ensemble (CMIP3) was found to be reliable in a technical sense. A method of pattern scaling, which connects socioeconomic scenarios and climate scenarios, has also been studied.

With regard to impact assessment, assessments with quantified uncertainty based on multi-climate model scenarios for various sectors, including water resources, marine and terrestrial ecosystems, cryosphere, agriculture and human health, have been conducted and the causes of uncertainties have been investigated. For each sector, improvements of models and analysis methods have been achieved, which enable us to evaluate future impacts and their uncertainty with improved reality. Moreover, a comprehensive and unbiased ‘whole picture’ of climate change impacts is attempted to be drawn and published as a book for general readers.

In terms of communication studies, a forum for enhancing communication among media people and researchers has been established and dialogue meetings are held annually. As for communication with industry sector, a study group consisting of climate researchers and private companies is established and climate risks to corporate activities

and needs for adaptation planning have been discussed. As for communication with citizens, the effect of environmental education on behavioral change has been demonstrated through a delivery lecture project. Communication processes have also been investigated through a roll playing experiment and production of a short film. Moreover, through analyses of mass media, the agenda setting function of mass media and the social amplification of risk have been demonstrated.

Overall, the results on climate and impact analyses, especially those dealing with uncertainty, are highly relevant to the issues to be included in the coming 5th assessment report of IPCC. The findings in communication research and the platforms developed through it are expected to help communicate comprehensive climate change scenarios with general public, which will support development of public opinions on climate change policies.