

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
課題代表者名	住 明正(東京大学サステナビリティ学連携研究機構)
研究実施期間	平成19～23年度
累計予算額	2,097,032千円(うち23年度 432,938千円) 予算額は、間接経費を含む。

研究体制

(1)総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

((独)国立環境研究所、(独)海洋研究開発機構、東京大学生産技術研究所、北海道大学、東京大学大気海洋研究所、(独)農業環境技術研究所、東京大学サステナビリティ学連携研究機構、(株)野村総合研究所、神奈川大学、東邦大学)

(2)マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

(東京大学大気海洋研究所、東京大学、国土交通省気象庁気象研究所、北海道大学、筑波大学、(独)海洋研究開発機構、名古屋大学、国土交通省気象庁、京都大学防災研究所)

(3)温暖化影響評価のためのマルチモデルアンサンブルとダウンスケーリングの研究

(国土交通省気象庁気象研究所、(独)防災科学技術研究所、筑波大学、京都大学防災研究所、(独)農業環境技術研究所、東京工業大学、北海道大学)

(4)統合システム解析による空間詳細な排出・土地利用変化シナリオの開発

((独)国立環境研究所、(独)海洋研究開発機構)

I. 戦略課題S-5の全体構成

本研究は、気候変動予測の信頼性(テーマ2)および予測の意味する社会への影響(テーマ1)を明らかにするとともに、予測の空間的な詳細性の改善(テーマ3)や社会経済情報との統合(テーマ4)をすすめ、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(テーマ1)を目的とする。図1に、本プロジェクトのテーマ間およびプロジェクト外部との関係を示す。

テーマ1は、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、人文社会科学的手法も活用して、気候変動シナリオの社会への伝達方法を確立する。

テーマ2は、複数の気候モデルによる地球温暖化予測実験データから、日本社会に重要な大気海洋現象の将来変化予測について、より信頼度の高い情報を取り出すことを目的として、第3期結合モデル相互比較マルチ気候モデル実験(CMIP3)の出力データを比較評価するとともに、将来予測と関係付けられたモデルの性能評価指標(メトリック)を構築する。

テーマ3は、全球気候モデルから出力される気候予測結果と具体的な影響評価に求められる入力情報としての予測値の空間解像度および精度のギャップを埋めるため、複数の地域気候モデルによるマルチモデル手法や都市モデル、統計的手法を重層的に用いて全球気候モデルの情報をダウンスケールするとともに、予測結果の不確実性の定量化および低減を図る。

テーマ4は、自然システムと社会システムを統合した解析により、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が主導する代表的濃度経路(RCP)で必要とされる空間詳細排出シナリオおよび土地利用変化シナリオを作成する。また、地域版の土地利用シナリオの作成、シナリオのテストサイトにおける検証、土地利用シナリオの温暖化影響との整合性評価を行う。

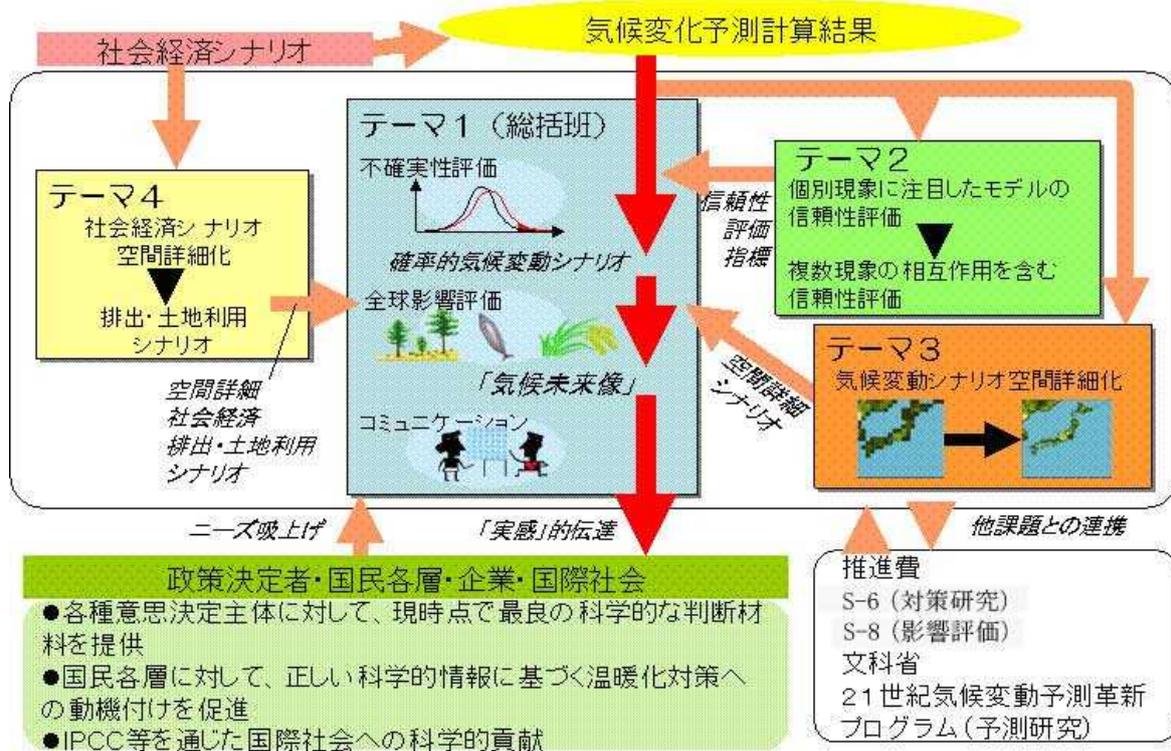


図1 本プロジェクトのテーマ間およびプロジェクト外部との関係

II. 本研究により得られた科学的成果

テーマ1では、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、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。

テーマ2では、様々な現象に関して気候モデルの再現性を評価する指標(メトリック)を分担して作成し、20を超えるCMIP3の気候モデルを総合的に比較解析したことにより、気候モデルの再現性メカニズムに関して新しい知見が多く得られた。台風、温帯低気圧、降水分布、季節風などに関し、気候モデルの相互比較によって、現象自体の発現メカニズムが明らかになる成果も得られた。また、チームとして分担して様々な現象を比較しながら解析できたことにより、アジア域の気候に関連する台風、降水分布、太平洋・日本(PJ)パターン、亜熱帯ジェット、エルニーニョ等の相互の関係についても理解を進めることができた。これらの知見は5年間で786本の査読付き国際学術論文として発表され、科学的成果は大きい。

テーマ3では、地域気候シナリオにおける課題解決の観点でのマルチモデルアンサンブル手法の適用や様々なダウンスケーリング技術の総合的手法開発を行った。マルチモデルシステムによるダウンスケーリングシステムの開発と国内適用、また都市モデル、統計的ダウンスケーリングといった様々なダウンスケーリング手法の統合化と国内への適用は初の試みであり、その科学的意義は大きい。

テーマ4では、全球を対象とした人口・国内総生産(GDP)、エアロゾル排出、土地利用変化、温室効果ガス(GHG)排出量の 0.5° メッシュのシナリオであるRCPシナリオについて、修正と検討を実施し、次期のIPCCで検討されているシナリオに対応する地理的な分布を持ったシナリオを構築した。この成果は、現在、世界中の研究グループが標準的に用いる4つのシナリオのうちの1つ(RCP6.0)として、新しい気候変動予測計算の前提条件に用いられており、温暖化予測の空間詳細化等の精度向上に貢献することができた。

また、土地利用変化起源の CO_2 排出量の見積もりについて、統合評価モデルで計算された値と、テーマ4の空間的に詳細な生態系モデルで計算された値の間で大きな差(21世紀中の積算値で60PgC程度)があることが示された。たとえば、大気中温室効果ガス濃度安定化に必要な排出削減量は主に統合評価モデルにより見積もられてきているため、政策的に重要なこのような見積もりに、これまで十分に注意されてこなかった不確実性があることが示唆された。

Ⅲ. 成果の環境政策への貢献

テーマ1では、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。

テーマ2では、CMIP3(及びCMIP5の一部)のマルチ気候モデル比較によって得られた成果論文は、IPCC第5次評価報告書(AR5)作業部会(WG1)の引用論文となる予定であり、国際的な環境政策に貢献している。また、本研究により得られた気候モデルの性能に関する情報および気候の将来予測が気候モデル間でばらつく要因に関する情報は、今後の気候モデルの改良・開発および気候の将来予測における不確実性の低減に役立つものである。また、一般向けパンフレット「暑いだけじゃない地球温暖化—世界の気候モデルに読む日本の将来—」は、既に1300部程度が一般に配布されており、一部大学の講義でも利用された。地球温暖化問題とそれへの取り組みを一般市民に知ってもらうために貢献している。以上のように、本研究結果は、環境政策決定判断に貢献できると考えられる。

テーマ3では、ダウンスケーリング技術の統合的手法開発により、不確実性の情報も含んだ詳細かつ信頼性の高い地域気候シナリオ提供のシステム構築が進んだ。将来予測実験のダウンスケーリングも始まり、地球温暖化の確度の高い地域ごとの影響評価や適応策検討に利用可能なデータの提供が可能となった。データは文部科学省のデータ結合・解析システム(DIASシステム)への登録が進んでおり、S-8あるいは文部科学省気候変動イニシアチブ(RECCA)等を通じて政策決定への利用がなされると期待される。

テーマ4では、RCPはIPCC第5次評価報告書に向けたベンチマークシナリオであり、その空間詳細化と温暖化影響の評価を行う研究は、IPCCへの国際貢献として重要な意味を持つ。また、土地利用について空間詳細化をさらに進めた都市シナリオは新シナリオと連携を行うことで、テーマ3の都市気候モデルとの結果と併せて世界各地の都市における温暖化影響を評価する際に有用な情報となることが期待される。これらの研究により、将来の気候変動による影響を予測するために必要となる、空間詳細な土地利用シナリオに関する知見が得られ、より詳細な気候変動影響評価や適応策の検討に資することができた。

また、国際研究ネットワークを通じて収集したデータや情報は、グローバルな都市炭素収支計画を策定するという長期的な目標に役立つものであり、IPCC第5次評価報告書や全球エネルギー評価などの国際的な科学的知見の評価作業に貢献している。

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、気候モデルの性能評価や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、気候変動予測の空間的な詳細さが不十分であることや、人口、GDPなどの社会経済情報との統合が不十分であることも、社会が予測情報を十分に活用できない理由と考えられる。さらに、気候変動予測情報を各種意思決定主体や国民各層に、効率的にかつ誤解なく伝達することは、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。

2. 研究開発目的

テーマ1は、気候予測情報の信頼性を評価するとともに、各分野の温暖化影響について、不確実性の情報を

含んだ包括的な影響未来像を描出する。また、これらにより得られた気候シナリオ、影響シナリオをリスク情報として社会とコミュニケーションするために、一般市民、企業、メディア等を対象としたコミュニケーション手法を確立する。

テーマ2は、複数の気候モデルによる地球温暖化予測実験データから、日本社会に重要な大気海洋現象の将来変化予測について、より信頼度の高い情報を取り出すことを目的として、第3期結合モデル相互比較マルチ気候モデル実験(CMIP3)の出力データを比較評価する。その評価結果を用いてCMIPの21世紀予測実験から推定される現象の将来像をより信頼性の高いものにする。加えて、アジア地域を対象とした総合的な評価指標(アジアメトリック)の改良を行う。

テーマ3は、全球気候モデルから出力される気候予測結果と具体的な影響評価に求められる入力情報としての予測値の空間精度のギャップを埋めるため、複数の地域気候モデルによるマルチモデル手法や都市モデル・統計的手法を重層的に用いて全球気候モデルの情報をダウンスケールすると共に、予測結果の不確実性の定量化及び低減をはかる。

テーマ4は、自然システムと社会システムを統合した解析により、IPCCが主導する代表的濃度経路(RCP)で必要とされる空間詳細排出シナリオおよび土地利用変化シナリオの作成を担当する。さらに空間詳細な地域版の社会経済・土地利用シナリオの作成を実施するとともに、土地利用シナリオの温暖化影響との整合性評価を行う。

3. 研究開発の方法

(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のサブテーマのうち、サブテーマ2)が気候予測情報の信頼性評価に、サブテーマ3)～6)が分野別の影響未来像描出に取り組む一方で、サブテーマ7)～12)がリスク情報伝達に関する研究に取り組んだ。サブテーマ1)では、サブテーマ3)～6)が対象としない分野についての影響未来像描出に取り組むつつ、全サブテーマの間の研究調整と知見取りまとめを実施した。

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

パターンスケール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、パターンスケール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4四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用することである。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)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3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、その前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

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。

(2) マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

日本～アジア・太平洋地域で発生する各種現象について、10のサブテーマで分担し、気候モデルの再現性評価を実施した。

1) 熱帯亜熱帯域における雲降水現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

CMIP3の20世紀再現実験データと観測データを用いて比較解析し、台風の発生と経路、および熱帯域の降水分布のモデル再現性を調べる指標を検討した。世界の各機関の気候モデルにおける再現性を比較評価し、再現性の良し悪しを決定づけるメカニズムについて調べた。その結果を利用して、台風および熱帯降水表現のそれぞれにつき、より信頼性の高いモデルの21世紀シナリオ実験結果を用いて将来変化を議論した。また、サブグループが担当する様々な大気海洋現象についての再現性評価を関連づけて、アジア域の気候をまとめて評価する指標「アジアメトリック」を作成した。さらに、テーマ全体の成果を一般市民にわかりやすく伝えるためのパンフレットをまとめた。

2) 中緯度・亜熱帯循環系の季節・経年変動の再現性とその将来変化に関する研究

上記20世紀再現実験及び21世紀期気候予測実験データ（A1Bシナリオ）を解析に用いた。検証用の観測データは、気象庁全球大気再解析データ（JRA-25）や衛星観測を含む降水量データである。持続的な夏季の循環偏差パターンは月平均循環偏差場に経験直交関数（EOF）展開を施してその卓越シグナルを抽出した。一方、大気循環に与える中緯度海洋の影響評価には、地球シミュレータの大気大循環モデル（AFES）による「水惑星」実験を用いた。移動性高低気圧（ストームトラック）活動のメトリックとしては、対流圏下層での擾乱による極向き熱輸送量を採用した。さらに、海洋前線帯近傍の水溫長期変化の評価には8つの水溫・海上気溫データセットを利用した。

3) 季節予測に係わる短期気候変動の再現性とその将来変化

世界気候研究計画（WCRP）_CMIP3モデルの20世紀再現実験（20C3M）における地上気溫変動および季節予測に係わる夏冬モンスーンやエルニーニョ南方振動（ENSO）の再現性について、観測データ・再解析データを用いて比較・解析し、さらに将来予測実験（SRES A1B）をもとに将来変化について調査した。

4) 中緯度大気海洋系10年スケール変動の再現性とその将来変化に関する研究

北太平洋における中緯度大気海洋系10年スケール変動の再現性とその将来変化を明らかにするため、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20世紀再現実験と中程度の温室効果ガス排出シナリオ（A1B）に基づく温暖化実験を用いて解析を行った。北太平洋において主要な海面水溫（SST）の長期自然変動である太平洋10年スケール変動（PDO）について、PDOの空間構造に基づくメトリックを算出して再現性を評価した。

5) アジாமンスーンのモデル再現性と温暖化時の変化予測に関する研究

CMIP3マルチ気候モデルにおける、夏季アジア・西部北太平洋モンスーンやENSOの気候平均場や季節進行の再現性について、観測データと照合することにより検証を行った。また、これらの諸現象の再現性に関する定量的指標（メトリック）を作成し、加重マルチモデル平均の結果により、モンスーン季節進行に関する将来的な変化を調べ、変化をもたらす物理的メカニズムについて考察を行った。

6) 熱帯大気海洋相互作用現象の再現性とその将来変化に関する研究

気候モデルにおける、熱帯域の大気海洋相互作用現象の再現性を評価し、将来変化予測の信頼性を向上させることを目的とし、熱帯域の大気海洋結合系の現象として特徴的な、エルニーニョに密接な関係がある西風バーストや季節内振動に着目し、観測データとの比較、及び現在気候モデル間、温暖化シナリオ実験間の比較を行った。

7) 季節性気象現象とその放射フィードバックの再現性とその将来変化に関する研究

CMIP3のマルチモデル出力データと観測値との比較により、季節性気象現象とその放射フィードバックに関するモデル再現能力の評価をおこない、それに基づいて将来予測実験の予測精度の検討を行った。梅雨前線・太平洋高気圧、雲・放射フィードバック、対流圏-成層圏大規模循環場を主な研究ターゲットとし、CMIP3データを利用した追加実験も行った。

8) 衛星等による全球雲放射と降水観測に基づく気候モデル再現性とその将来変化

本研究の目的は、主として衛星観測をもとにした観測データセットを用い、雲・降水・放射フラックスに関する気候モデルの再現性評価を行い、またその将来変化を議論することである。本研究では、モデルにより予測される雲・降水・放射フラックスに関する将来変化の不確実性が大きいと思われる熱帯・亜熱帯域を対象として解析を行った。

9) CMIP3マルチモデルを用いた将来気候における季節進行の変化予測

夏の季節進行の将来変化を調査するにあたり、CMIP3モデルにおける、ジェット気流の季節変化の再現性能を評価するための指標(メトリック)を考案した。これにより、再現性能の高いモデルの客観的な選別を行い、将来変化を調査した。続いて、冬の日本付近の気温の将来変化について、線形大気モデル(LBM)を利用し、熱帯の成層安定化による寄与を調査した。

10) 河川流域の水文循環の再現性とその将来変化に関する研究

CMIP3マルチ気候モデルの実験結果を日本国内の地域1次メッシュ(緯度差40分、経度差1度、約80km四方)ごとに整理し、観測値や再解析値などの情報も統合した汎用的な気候変動情報データベースを構築した。このデータベースを用いて複数の気候モデルおよび温室効果ガス排出シナリオにおける将来の気温および降水量を推定し、分布型流出モデルや地表面熱収支モデルを用いて我が国の代表的な9流域における河川流出量の将来変化について解析を行った。

(3) 温暖化影響評価のためのマルチモデルアンサンブルとダウンスケーリングの研究

7つのサブテーマで分担して、複数手法による全球気候モデルの情報のダウンスケールを実施し、その相互比較を通じて予測結果の不確実性の定量的把握に取り組んだ。

1) 複数の20kmモデルからのマルチモデルアンサンブル手法による20kmスケール気候シナリオの作成

本サブ課題ではマルチモデルアンサンブル作成用のデータの作成を行った。また、都市気候のダウンスケーリングを実施した。更に、本テーマで計算された3機関の地域気候モデルの結果からシナリオを作るためにベイズ統計、パターンスケーリングのアプローチを行った。国際ワークショップを毎年実施し、これらの成果の世界の研究者へ向けての発信と情報交換を行った。

2) 複数の20km地域気候モデルの実行による力学的ダウンスケーリングの研究

本サブ課題では、日本域を対象としたダウンスケーリング実験を行い、東京大学などが共同開発した全球気候モデルと気象研究所の全球気候モデルによるIPCCの新シナリオ実験を行った。力学的ダウンスケーリング手法がもたらす付加価値やモデルの違いによって生じる結果の不確実性について、河川流域平均の気温・降水量や、海上風、台風の上陸数・強度・経路、積雪等を評価した。アジアを対象とした地域気候モデル相互比較国際ワークショップ(CORDEX-East Asia, RMIP)に参加し、成果の発信とアジアへの展開に向け情報交換を行った。

3) 空間詳細な地域気候変動シナリオ作成のための都市効果の評価

S5-3の上位研究計画のマルチモデル・ダウンスケーリングでは、複数の領域気候モデルによるダウンスケールを実施し、領域気候モデルが持つバイアスによって生じる不確実性の評価を行う。また、都市キャンपीモデルを組み込んだ高解像度領域気候モデルを用いて、2070年代の首都圏の将来気候予測を実施する。さらには、温室効果ガスによる気候変化と都市化の影響を評価する。さらには、第5期結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP5)に参加した大気海洋結合全球大気モデル(AO-GCM)による全球気候予測結果とテーマ4によって作成された現在の都市データと将来の都市データを高解像度領域気候モデルの入力データに用いて、都市シナリオを考慮した首都圏の将来気候予測を実施する。

4) 20km地域気候モデルのバイアス特定と水資源評価のための統計的ダウンスケーリング

アメダスデータを用いた都府県・北海道14支庁別にモデルの月別バイアス検出システムを構築し、地域気候モデルによるダウンスケールを実施した防災科研・筑波大・気象研に配布、モデルのチューニングに活用した。本システムを利用してバイアス補正システムを開発した。また、雲解像非静力学モデルに都市キャンピーの影響を考慮できる詳細な陸面過程モデルを導入した雲解像大気陸面結合モデル(CReSiBUC)を開発・改良した、気候変動の影響を調べることが可能なモデルを用いて、地域気候モデルの結果から解像度2kmへのダウンスケールを行った。

5) 力学的手法と統計的手法を併用した農作物影響評価のためのダウンスケーリングの研究

まず、現在気候要素の累積分布関数を将来に適用し温暖化実験の出力値を補正する累積分布関数法(CDF)法、現在気候システムにおける大循環要素と気候要素との統計的関係を将来に拡張する多変量線形重回帰(MMLR)法等、様々な統計的ダウンスケーリング手法を開発・発展させる。次に本テーマで出力された地域気候モデル(RCM)実験結果を用い、CDF法とMMLR法により、同じ境界条件である長期再解析データ(JRA-25)を用いた、複数の力学的ダウンスケーリング結果との相互比較を行う。また主にウェザージェネレーター(Weather Generator: WG)法を用いて、日本における地点・日別の気候シナリオを作成する。

6) 水災害影響評価モデルのための統計的ダウンスケーリング手法の開発

本研究では、離散ウェーブレット解析を用いたバイアス補正手法を提案し、提案手法を含む種々のバイアス補正手法を、本テーマの3つの地域気候モデル(気象研究所NHRM、防災科学技術研究所RAMS、筑波大学WRF)にそれぞれ適用し、得られた降水量データの性質を比較した。また、得られた複数の日降水量データに対して自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Maps)というパターン認識手法を適用し空間的なバイアス補正をおこなった。これらの補正手法が、日降水量の空間分布の再現性に与える影響を現在期間(1981-2000)を対象として評価した。

7) 双方向ネストモデルを用いた力学的ダウンスケーリングの研究

本課題では、双方向ネストモデルのセットアップを行い、寒冷域と熱帯域の気象現象のシミュレーションを行った。両地域で一方向ネスト実験(通常のダウンスケーリング実験)との比較などを行い、双方向化の影響を調べた。

(4) 統合システム解析による空間詳細な排出・土地利用変化シナリオの開発

RCPシナリオの空間詳細化をテーマ全体で達成すべく、空間詳細な社会経済・土地利用変化シナリオの開発(サブテーマ1)、空間詳細な温室効果ガス・エアロゾルシナリオの作成(サブテーマ2))を実施するとともに、都市スケールでの空間詳細シナリオの検証(サブテーマ3))、気候変動シナリオの解析を通じた上記空間将来シナリオの整合性評価(サブテーマ4))を進めている。

1) 社会経済シナリオのダウンスケール手法と土地利用変化シナリオの開発に関する研究

本サブテーマでは、自然・社会システムを統合した解析により、IPCC第5次評価報告書に向けて作成されている、将来の大気中の温室効果ガスGHG濃度を安定化させる代表的濃度シナリオ(RCP)の空間詳細排出シナリオと土地利用変化シナリオを作成した。具体的には、国別の社会経済モデルから出力される人口、GDP等の情報や、牧草地、農地、都市などの土地利用変化を空間詳細化(ダウンスケール)する手法を新たに開発した。まず、地域ごとのRCPシナリオ作成を担当するアジア太平洋統合評価モデル(AIM)と協力し、AIMのモデルから出力される社会経済情報を0.5度°メッシュ(50-100km程度の空間格子情報)へとダウンスケールした。次に、牧草地、農地、都市などの土地利用変化予測のダウンスケールにも取り組んだ。

このように、地球規模でシナリオをダウンスケールする一方で、地域を限定した空間詳細な土地利用変化のシナリオの開発も行った。東京都市圏を対象に、新たに開発した都市経済モデルを用いて土地・建物市場を考慮したシナリオを構築した。

2) 温室効果ガスとエアロゾル等の排出の空間分布の推定に関する研究

気候モデルを用いて将来の気候変化を定量的に推定するためには、温室効果ガス(GHG)やエアロゾル等の格子点化された排出量データが必要となる。このようなデータはこれまでも存在していたが、排出量の空間分布の経年変化が考慮されていないなど、様々な問題点のあることが知られていた。

一方で、IPCC第5次評価報告書に向けた次世代の気候変動予測シナリオの構築に関して、将来の放射強制力(GHG濃度等の変化により対流圏界面を通過する放射強度の変化量)を数種類に設定した代表的濃度シナリオ(RCP)が国際的な研究枠組みの中で統合評価モデル(GHG削減と気候変動影響の回避を目指した地球温暖化対策評価のためのモデル)によって作成され、国際的な気候モデルコミュニティにおいては、複数のRCPシナリオに基づいた気候変動予測が実施されている。

本サブテーマでは、国や地域ごとの積算値で推計されたGHGやエアロゾル等の排出量データから空間詳細な排出量データを作成する手法を開発し、AIMが担当したRCP6.0シナリオ(産業革命以降の放射強制力が6W/m²で安定化するシナリオ)に対応する格子点化された排出量データを作成した。格子点化に際しては、サブテーマ(1)で構築した人口、GDP、農地面積などの空間分布の経年変化データの中から、排出源ごとに適切な指標を

採用している。

3) 空間詳細シナリオの検証と国際研究ネットワークの構築に関する研究

地球規模および地域規模の空間詳細シナリオの検証や、温室効果ガスGHG排出量と気候変動リスクに関するボトムアップ分析(地域別の推計結果の積み上げ)においては、都市や地域レベルでの調査や分析が重要である。このため、都市や地域に数多くのテストサイトを設けることが必要となる。

本サブテーマでは、特定の大都市を対象としたボトムアップ分析を実施し、また、科学者の連携を目的とする国際フォーラムの設置や、都市・地域の視点からの研究を促進するための国際研究ネットワークを構築した。

大都市の分析では、エネルギー需給、人口、経済および公共インフラに関する社会経済および社会活動のデータを収集した。そして、シナリオ検証の基礎とするために、例えば中国とタイの大都市におけるCO₂排出量の分析など、アジアの一部のメガシティについてボトムアップ分析の手法を用いた量的な推計・分析を行った。また、リモートセンシング画像を利用して都市域の中に存在する建物等の特徴を明らかにし、人口密度を推定する方法を開発した。さらに、都市発展パターンとCO₂排出量の相関関係を分析するために、空間メトリック法を使用して都市形態とCO₂排出量を調べる手法を開発した。

4) 気候変動シナリオの解析による空間詳細シナリオの整合性評価に関する研究

IPCC第5次評価報告書に向けた気候モデル実験が現在行われている。このうち長期シナリオ実験に用いられる将来シナリオとして、代表的濃度シナリオ(RCP)が統合評価モデルグループによって作成された。統合評価モデルとは、社会経済モデルを用いてエネルギー需給、温室効果ガスの排出シナリオを作成し、簡易的な計算により大気中での蓄積、気候変化とその環境影響・社会経済へのフィードバックを統合化したものである。シナリオデータとして、人為的な温暖化効果ガスGHGおよびエアロゾル排出とともに、空間的にメッシュ化された土地利用変化シナリオが作成されている。土地利用変化によるCO₂排出量は、化石燃料の使用による排出に次ぐ人為的な排出源となっている。また、自然植生を農耕地や牧草地に転換することにより、地表面の物理的な環境が変化し、気候に影響を与えることもわかりつつある。

RCPシナリオのCO₂データには、排出量とともに、これら排出データを簡易気候・炭素循環結合モデルによって計算した濃度シナリオも用意されている。地球システムモデルを用いた実験では、このCO₂濃度を達成するために必要な、将来の許容可能な化石燃料起源CO₂排出量の逆推定を行うものがある。逆推定した許容排出量の評価には、土地利用変化CO₂排出シナリオの不確実性および空間詳細な土地利用変化データとの整合性を検討する必要がある。

本サブテーマでは、土地利用変化シナリオに従う場合、将来の土地利用変化起源のCO₂排出がどのように変化するのか、植生の光合成と呼吸、土壌微生物による分解といった過程を通じた炭素の動きをシミュレートする陸域生態系モデルを利用して評価を行った。この陸域モデルを用いて、IPCC第5次評価報告書に向けて作成されている、大気中GHG濃度を安定化させる新シナリオ(RCP6.0)での森林火災によるブラックカーボン(すす)の排出量のシナリオ作成も行った。

4. 結果及び考察

(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

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

a) 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。b) 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。c) 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ことなどが示された。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寄与することが示された。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がほとんど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十年数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

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。

(2) マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

1) 熱帯亜熱帯域における雲降水現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

1) モデル毎に適切に調節した低気圧性渦度や暖気核の閾値を用いて「台風型擾乱」を定義し、CMIP3モデルの台風発生分布を評価した。現在気候での再現性の良い5モデルにより将来変化を議論し、台風の最多発域が東方に移動することを示した。次に台風の通過経路の変化を発生分布変化と発生後の経路変化とに分けて評価する手法を作成し、将来変化を予測した。

2) 熱帯海上降水について衛星およびCMIP3データの解析、気候モデルによる理想化実験を行った。降水分布再現性が良いモデルは、積雲対流の対流圏中下層湿度への感度が高く、南半球東部熱帯太平洋等の乾燥域で深い対流が抑制され観測と一致した。再現性の低いモデルでは対流抑制効果が弱く、南半球の熱帯収束帯が現実より赤道寄りに分布してしまう「ダブルITCZ問題」が顕著であった。対流の湿度への感度が適切なモデルによる将来予測では、赤道域大規模東西循環(Walker循環)の弱化が示された。

3) 東アジアの夏の天候に影響の大きい梅雨前線、PJパターン、ジェット気流の3現象の再現性解析を統計的に利用し、気候場指標「東アジアメトリック」を作成した。全球指標に比べ現象再現性との調和が優れた地域指標ができた。

4) テーマ2の成果をパンフレット「暑いだけじゃない地球温暖化—世界の気候モデルから読む日本の将来—」にまとめて出版、配布した。

2) 中緯度・亜熱帯循環系の季節・経年変動の再現性とその将来変化に関する研究

夏季小笠原高気圧の変動に関わる「PJパターン」が、亜熱帯ジェット気流(STJ)から効率的にエネルギーを得て、かつ台風活動を変化させ自身維持できる「湿潤力学モード」であることを提唱した。この特性を反映し、同パターンのモデル再現性が気候平均場の再現性に依存し、夏季平均場のモデルバイアスにも同パターンが卓越す

ること、さらに同パターンが夏季平均場の将来変化にも明瞭で、予測のばらつきをもたらすことが分かった。小笠原高気圧の変動をもたらすもうひとつの要因である循環偏差「シルクロードパターン」も、亜熱帯ジェット気流から効率的にエネルギーを変換できる力学モードであることを提唱し、同パターンのモデル再現性のSTJ再現性への強い依存性を見出した。

北西太平洋域特有の移動性高低気圧活動の季節変化を再現できる気候モデルを特定し、それらの予測として将来は「春一番」の発現が現在より早まる確率が高いことを見出した。一方、数値実験から暖流と寒流が合流する中緯度海洋前線帯の存在が、ストームトラックや中緯度偏西風の形成・変動（環状モード）の現実的な再現に不可欠なことを見出した。さらに、世界の5大洋の海洋前線帯を伴う暖流域で、過去100年の海面水温上昇幅が全海洋平均の2～3倍も高かったことを見出した。

3) 季節予測に係わる短期気候変動の再現性とその将来変化

温暖化時の地上気温日々変動は、中緯度の夏季の陸上で増加、他の季節の陸上と1年を通しての海上では減少が見られた。夏季陸上での増加には陸面の乾燥化が影響している。ヤマセ発生頻度の将来変化については、温暖化に伴う熱帯大気循環の弱体化と関連して5月に減少8月に増加する傾向を多くのモデルが示した。ヤマセの再現性が高いモデルでは、将来変化傾向に関するモデル間一致率はさらに高かった。梅雨期の降水強度の将来変化をマルチモデル平均で見ると東アジア域では降水強度が将来増加すること、アリューシャン低気圧は北または北東方向にシフトし、これにตอบสนองして黒潮続流は北へシフトまたは強化されることがわかった。

現在気候におけるエルニーニョに対する降水量変動が、多くの熱帯地域で降水量将来変化のモデル間の不確定性として見られることがわかった。関連して、エルニーニョに伴う西太平洋降水変動の再現性を評価したところ、赤道中央太平洋における降水量気候値の再現性と関係していることがわかった。エルニーニョ海域の海面水温変動から1～2季節遅れて全球の地上気温が高くなる傾向は多くのモデルの現在気候実験で再現されているが、成層圏のエル・ニーニョ-南方振動(ENSO)シグナルは対流圏での微小な誤差が増幅され、その再現性は十分でない。

全球表層海洋メトリックから、熱帯太平洋海洋気候場の再現性が良いモデルはENSOの再現性が良いことがわかった。ENSO振幅の将来変化は熱帯太平洋における表層貯熱量の変化と関係が高かった。また、温暖化時には、低緯度においては昇温のため、緯度45°より高緯度では降水の増加のため、海洋ロスビー波の西進位相速度が増加し、長期海洋変動の時間スケールが短くなる傾向にある。

4) 中緯度大気海洋系10年スケール変動の再現性とその将来変化に関する研究

24のCMIP3モデルのうちPDOメトリックの高いモデルは、中部北太平洋域と中東部熱帯太平洋域でSSTの10年スケール変動が熱帯-中緯度結合の特徴をよく再現しており、熱帯太平洋域のSSTの10年スケール変動(decadal-ENSO)に伴う大気応答は熱帯太平洋域、北太平洋域共に観測される特徴と一致していた。北太平洋域の21世紀100年間の海面気圧(SLP)トレンドはモデル間で大きく異なるため、SLPトレンドの予測は北太平洋域で高い不確実性を持つ。この不確実性には、温室効果ガス増加に対する応答がモデル毎に異なることに起因するモデル不確実性と、モデル内部で自励的に生じる大気海洋系の内部変動の両者が寄与し、21世紀前半50年間のSLPトレンドの不確実性には内部変動が大きく寄与することがわかった。さらに、モデル毎のアリューシャン低気圧の応答の違いと関連した海面熱フラックスと北太平洋亜熱帯循環系の変化は、SSTトレンドの地域分布に影響を与えることが明らかになった。

5) アジアマンスーンのモデル再現性と温暖化時の変化予測に関する研究

CMIP3マルチ気候モデルにおける、夏季アジアマンスーンの広域的な特徴は、多くのモデルで概ね良く再現されているが、西部北太平洋における対流圏下層風などについては、モデル間で再現性の差異が確認された。アジアマンスーンの気候場や季節進行などについて、各モデルの再現性に関する指標(メトリック)を作成し、定量的に明らかにした。このメトリックに基づく加重マルチモデル平均より、アジアマンスーン地域における対流圏下層西風の開始時期の将来変化を調べた。SRES-A1Bシナリオでは21世紀末において、南シナ海周辺における西風の開始が20世紀末に比べ5～10日前後遅くなると予測された。温暖化時において、インド付近上空の対流圏上層における南北気温勾配の季節的反転の時期が遅れることが、南シナ海周辺における下層の西風開始の遅れと関係している。また、西部北太平洋における7月中・下旬の急激な対流活発化(対流ジャンプ)と、日本の梅雨明けとの関係に着目し、温暖化時の梅雨明けの遅れに関する物理過程を調べた。温暖化時の西部北太平洋における対流活発化域は現在より南東に位置し、対流ジャンプの発生が遅れることと関係している。大気大循環モデルを用いた感度実験より、温暖化時における海面水温の昇温パターンの特徴が、対流ジャンプの位置の変化や発生時期の遅れをもたらす、日本の梅雨明けの遅れにとって重要な要因である可能性を示した。この他、ENSOの気候場とその遷移過程との関係について、中西部赤道太平洋の降水量の空間分布やその季節変化

の再現性がENSOの遷移プロセスにおいて重要であることを示唆する結果を得た。

6) 熱帯大気海洋相互作用現象の再現性とその将来変化に関する研究

現在気候実験において、西太平洋の西風バーストがエルニーニョ前に適切に発生しているモデルでは、背景風の経年変動やエルニーニョの再現性が高いことがわかった。また、温暖化実験では、東太平洋での西風バーストが増えるモデルで温暖化の傾向が強いことが示された。インド洋での季節内変動(MJO)に関しては、気候平均での海面水温の再現性の良し悪しが、MJOの再現性に有意に相関することが示され、MJOの再現における基本場や大気海洋結合の重要性が示唆された。熱帯域と東アジア域の対流活動との関連は、MJOが比較的良く再現されているモデルで顕著であり、温暖化時にも遠隔効果がみられたが、MJOそのものの再現において、全体的に見れば十分な精度を持っているとは言えなかった。これらは、東アジア域の気候変動予測にとっては、MJO等、熱帯域現象の将来変化が適切に予測されていることの重要性を意味していた。

7) 季節性気象現象とその放射フィードバックの再現性とその将来変化に関する研究

CMIP3マルチモデルの20世紀再現実験では、6月のメイユ・梅雨前線降水帯の気候値分布はほぼ適切に再現されるが、多くのモデルでメイユ・梅雨降水帯の年々変動・強雨の空間的・時間的集中性の再現性が良くないことが分かった。8月の太平洋高気圧に関しては、太平洋高気圧が西へ張り出す西方伸張型と、東へ後退する東方後退型のモデルに分けられた。西方伸張型モデルは東方後退型モデルに比べ、インドモンスーンの弱い西風、フィリピン東方の少ない降水量、太平洋高気圧西部での小さい年々及び月内変動 という特徴が見られた。

CMIP3モデルデータを利用して赤道準2年振動(QBO)の将来変化に関するモデル実験を行った。海面水温の上昇とCO₂濃度の増加は、それぞれQBOの周期を1-3か月、1か月長くする効果があることが分かった。また、波動と平均場の相互作用のデータ解析で有用な3次元波フラックスを導いた。

季節変化における放射フィードバックについて、衛星データとCMIP3マルチモデルデータの比較解析を行った。モデルの放射フィードバックは全天放射、晴天放射、雲放射強制力において、概ね観測と一致しているが、日射の反射、地球放射に分けてみると、雲放射強制力フィードバックでモデルと観測のバイアス及びばらつきが顕著であった。地球放射ではほとんどのモデルで雲の温室効果の強まりが見られることが分かった。

8) 衛星等による全球雲放射と降水観測に基づく気候モデル再現性とその将来変化

a)力学場を介してのアンビル(鉄床雲)や巻雲を含めた上層雲の水平的広がりについて、複数の気候モデルの再現性を評価した結果、モデルは、全体として、対流圏上層の発散の中心位置付近での上層雲の分布の水平的広がりを、観測に比べて過小評価していることがわかった。b)大気の熱力学的指標により同定された、対流活動が著しく活発であり、強い下降流が生じづらいと考えられる海洋域を対象とし、雲の短波放射への影響(SWCRF)に対する長波放射への影響(LWCRF)の割合(R)と大規模大気循環場の指標としての大気中層の上昇流強度との関係について、複数の気候モデルの再現性を評価した結果、モデルは、全体として、上昇流が強い地域においてRを上手く再現する一方で、上昇流・下降流が弱い地域においてRを過小評価することがわかった。上昇流が強い地域における結果は、モデルが光学的に厚い上層雲の雲量を過大評価することに伴うLWCRFとSWCRFの誤差の相殺効果によりもたらされる。一方、上昇流・下降流が弱い地域における結果は、モデルが光学的に薄い上層雲の雲量を過小評価し、光学的に厚い下層雲の雲量を過大評価することに伴うLWCRFとSWCRFの誤差の相乗効果によりもたされることもわかった。c)RのCO₂増加時の変化を調べた結果、複数のモデルで予測されるRのCO₂増加時の変化は、上昇流が強い地域に比べ、上昇流・下降流が弱い地域において、ばらつきが大きく、それは、モデル間における中層雲量の変化の大小によりもたらされることが分かった。

9) CMIP3マルチモデルを用いた将来気候における季節進行の変化予測

CMIP3による夏の将来変化予測では、梅雨明けに対応する降水量の減少が弱く、現在より降水量の多い状態が続くことから、温暖化すると、日本付近では梅雨が長引き、梅雨明け後も不順な天候になりやすいと予想される。この要因として、先行研究では日本への水蒸気フラックス流入の増加が梅雨末期の雨量の増加に寄与していることが指摘されている。本調査では、こうした効果に加わるものとして、太平洋熱帯域西部の対流圏鉛直循環の弱化にともなって、チベット高気圧の縮小やアジアジェット南下が見られることを示した。また、日本付近では、ジェット気流が前線帯を日本付近で強める強制力として作用していることを示した。冬については、対流圏熱帯域の成層安定化とともに、対流圏上層の大規模発散が弱化する変化を示すモデルが多く、線形大気モデルを利用した追加実験の結果などから、こうした変化が、プラネタリ波の変化を通じて、CMIP3の冬季北半球の東西非対称な将来変化の形成に寄与していることを示した。日本の将来気候変化において、夏・冬ともに熱帯における変化の影響が及びうることから、熱帯域での予測の不確実性を減らすことも重要である。

10) 河川流域の水文循環の再現性とその将来変化に関する研究

日本国内で評価した場合、気候モデルの出力値から算出した将来変化は、モデル間のばらつきの方が排出シナリオによる違いよりも大きかった。総観規模の現象(アジアモンスーンや梅雨など)に応じて気候モデルを評価した現象メトリックと降水量の再現性との間には関連性が認められ、降水現象について気候場の精緻な予測が必要であることが示唆された。流域別にみると、気温の上昇幅は北に行くほど大きくなるため、蒸発散量の将来変化も北日本の流域で相対的に大きく増加する。量的に水収支に大きく影響するのは、将来の気温上昇により降雪から降雨に変化することと、融雪時期が早期化することであり、どの排出シナリオについても、積雪地域では春先の融雪量が大きく低下することが明らかとなった。河川流量については、北日本の流域で降雪量の減少に伴い融雪量が低下することから、河川流量の季節変化が現在よりも平滑化されることが示唆された。南西日本の流域については、流量変化の絶対値は小さいものの、夏季以外において流量が低下傾向にあり、渇水リスクが若干増加することがわかった。

(3) 温暖化影響評価のためのマルチモデルアンサンブルとダウンスケーリングの研究

1) 複数の20kmモデルからのマルチモデルアンサンブル手法による20kmスケール気候シナリオの作成

複数の地域気候モデルによるダウンスケーリングの特性について調査を行った。いずれのモデルでも月降水量の改善が顕著であった。また、モデル間で共通のバイアスがあり、これにはモデル解像度、物理プロセスのパラメタリゼーションの影響が大きいことが明らかになった。これら様々なモデルによるダウンスケーリングの結果はベイズ統計により1つのシナリオに、またパターンスケリングの手法により幅を持ったシナリオとしてまとめることが可能であることが示された。都市モデルによるダウンスケーリングでは都市成長シナリオの影響が今後数10年間、無視できないことを示した。

2) 複数の20km地域気候モデルの実行による力学的ダウンスケーリングの研究

全球大気・海洋結合モデル出力、全球大気モデル出力、再解析データの各々を境界条件とした力学的ダウンスケールを行い、大規模循環場の系統誤差が力学的ダウンスケーリングの付加価値に及ぼす影響について検討した。その結果、力学的ダウンスケーリング手法を適用した場合、水平格子間隔の粗い全球気候モデルなどの境界条件を単純に空間内挿した場合に比べ、ダウンスケールされたデータの現在気候の再現精度が大きく改善されることが分かった。また、極端現象と台風経路の誤差について、3つの異なる地域気候モデルの出力結果を平均する(マルチモデルアンサンブルを行う)ことで、再現性が改善することが示された。

3) 空間詳細な地域気候変動シナリオ作成のための都市効果の評価

第3期結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP3)参加の、東大大気海洋研・国立環境研・地球環境フロンティア研究センターが共同開発した大気・海洋・陸面結合モデルであるMIROCモデルのMIROC3-hiresと第5期結合モデル国際比較プロジェクト(CMIP5)参加のMIROC5からのダウンスケール実験を行った結果、MIROC5を用いた結果の方がより大きな昇温傾向が認められた。首都圏における2070年代の夏季気温は、記録的な猛暑年となった2010年よりも高くなり、ほぼ毎日睡眠障害が発生すると示唆された。また、今後70年間の温暖化と都市化による気温上昇を比較すると、首都圏では前者の方が十分大きなことがわかった。MIROC5からのダウンスケール実験から得られた2050年代8月の首都圏の地上気温は1990年代現在に比べ約2~3℃上昇すると予測された。ただし、コンパクトシティー化によって、都心では10%程度気温上昇を緩和できることがわかった。

4) 20km地域気候モデルのバイアス特定と水資源評価のための統計的ダウンスケーリング

完成したモデルバイアス検出システムは汎用的なソフトであり、様々なモデルにより異なる地図投映法にも柔軟に対応するため課題参加の各地域気候モデルのチューニングに効率的に用いられた。その結果、マルチモデル実験のデータの品質をそろえることに成功し、高品質のシナリオ構築に貢献した。本システムを応用して水利データのバイアス補正を行い、強雨の再現性向上を果たした。また、都市モデル実験を行い、熱帯夜(日最低気温25℃以上)及び猛暑日(日最高気温35℃以上)の検証を行った。側面境界条件に比べて高い精度でそれぞれの日数の再現が来ていることが確かめられた。

5) 力学的手法と統計的手法を併用した農作物影響評価のためのダウンスケーリングの研究

開発・発展した主要な統計的ダウンスケーリング手法について同じ境界条件を用いた複数地域気候モデル(RCM)出力との比較検証を行った結果、統計的ダウンスケーリング手法の推定誤差は、MMLR法では月単位でおおむねRCMと同程度、CDF法では日単位でも要素によってはRCMよりも推定誤差が小さくなることがわかった。なお絶対値で見た場合、本テーマのRCMは日射量を過大評価しているが、気温は観測値に近く高温バイアスは起こっていない。これらの情報は、本テーマのRCM研究グループ等に提供するとともに、日射量出力値につ

いては当面バイアス補正を行って影響評価に利用することになる。日本の気象官署・アメダス約900地点について、将来気候変化シナリオ(地点・日別気候変化シナリオデータセットELPIS-JP)を作成した。特筆すべきは、従来の気候シナリオに含まれていなかった農業気象関連要素(湿度・地上風速)についても、検証の上でデータセットに加えたこと、および気候の年々・季節変動の持つ不確実性を表現する50の統計的なアンサンブルを持つことである。

6) 水災害影響評価モデルのための統計的ダウンスケーリング手法の開発

用いる地域気候モデルおよびバイアス補正手法の違いが降水量の将来変化の空間分布に与える影響は、平均値に比べて分散や降り続く大雨のような量では、より大きい傾向があった。本研究で提案した離散ウェーブレット解析を用いたバイアス補正手法は、平均値の補正精度は他の補正手法に比べて劣る地点がみられるものの、分散や5日合計降水量については比較的良好な補正精度を示していた。また、現在期間を対象として日降水量の空間分布の再現性を比較したところ、バイアス補正によって日降水量の空間分布の再現性は向上するものの、用いる地域気候モデルおよび補正手法によって、得られた降水プロダクトの日降水量空間分布の出現頻度に差異があることが示された。

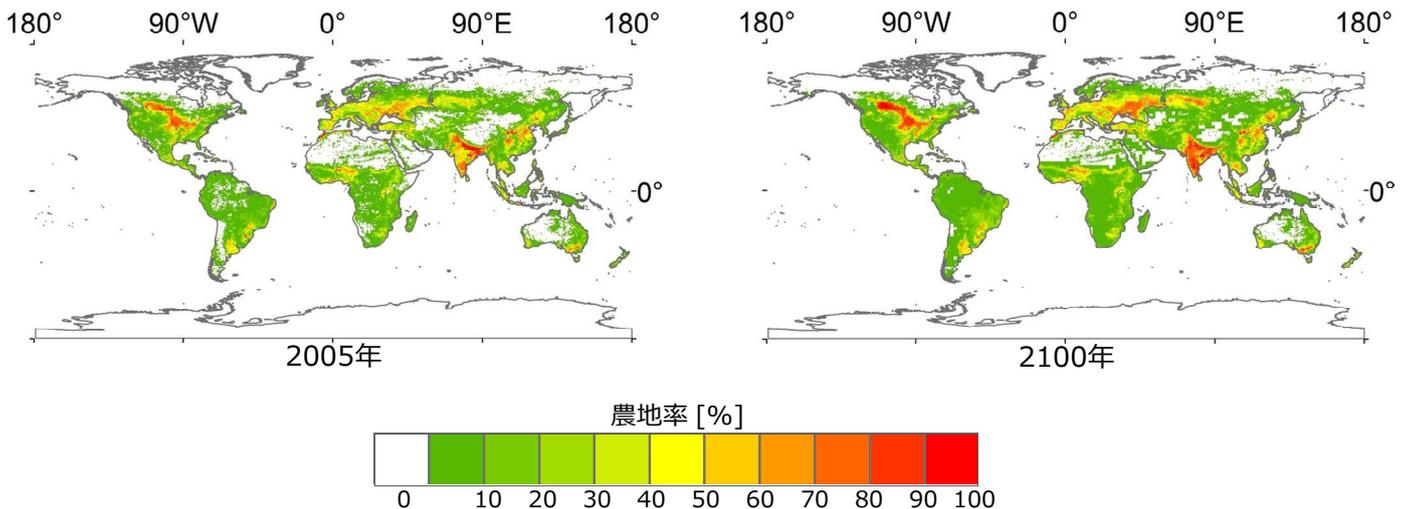
7) 双方向ネストモデルを用いた力学的ダウンスケーリングの研究

寒冷域実験の結果、北東アジアの亜総観規模の効果は太平洋上の総観規模の活動には影響を与えるが、より大きな惑星規模の循環場に変更をもたらすほどではないことが示された。熱帯域実験の結果では、太平洋上の亜熱帯高気圧の張り出しが、双方向ネストにより改善することが示された。これは日本の南での対流圏中上層の場が改善したためであることが確認された。双方向ネストモデルは地域気候の全世界の気候に対する影響や不確実性を評価するツールとしてのポテンシャルを有することが示された。

(4) 統合システム解析による空間詳細な排出・土地利用変化シナリオの開発

1) 社会経済シナリオのダウンスケール手法と土地利用変化シナリオの開発に関する研究

まず、地球全体での空間詳細化に関して、RCP6.0に対応して人口のダウンスケーリングを行った結果、都市部への人口集中が顕著にみられる。推計の参考にしたこれはU.N国連人口統計の都市化率が何れの国でも上昇することが原因のひとつとして挙げられる。また、空間詳細な土地利用変化シナリオの作成に関しては、図(1)-12のように、例えば農地の場合、空間分布が経済発展により変化することを示した。これらの結果は、次期のIPCCシナリオの一つとして、世界中の気候変動予測で利用されている。



※凡例の数字はメッシュ内に占める農地の割合
 図2 地球全体の空間詳細土地利用変化シナリオ開発結果の一部(農地分布)
 (2005年、2100年)

また、東京都市圏を対象に、より地域を限定し、新たに開発した都市経済モデルを用いて空間詳細な土地利用変化のシナリオの開発にも取り組んだ。ここでは、今後の社会経済変化を、人口の集約と分散の2つのタイプのシナリオとして描いた。この結果を用いて、住宅・オフィス・交通などの人間活動による排熱や、緑地率、建物密度を推定し、本課題テーマ3の都市気候モデル研究に提供し、将来の土地利用変化によるヒートアイランド効果が分析された。

2) 温室効果ガスとエアロゾル等の排出の空間分布の推定に関する研究

図3はRCP6.0シナリオの2000年および2100年における二酸化硫黄(SO₂:硫酸エアロゾルの前駆物質)の年間積算排出量の空間分布を示している。SO₂など短寿命物質の排出量を空間詳細化することにより、地域的な気候変化の予測精度向上が見込まれる。RCP6.0シナリオでは、SO₂排出量が東欧を含む欧米やロシアでは急速に減少する一方で、アジアなどでは2050年頃まで微増した後に減少に転じるため、2100年の排出量は2000年の3分の1程度に留まっている。なお、このような将来の排出量変化はあくまでも統合評価モデルの想定に依存することに注意が必要である。また、排出量推計には様々な不確実性が伴うことにも留意しなければならない。将来の排出量はもちろんのこと、現在の排出量であっても、エネルギー消費などの活動量データの不完全性や活動量を排出量に換算する排出係数の不確実性、空間配分に用いる社会経済情報の不完全性など、様々な問題点を抱えている。将来の気候変化予測における不確実性の低減に資するためにも、現行の排出量推計手法に存在するこれらの不確実性要因について理解を深めることが重要である。

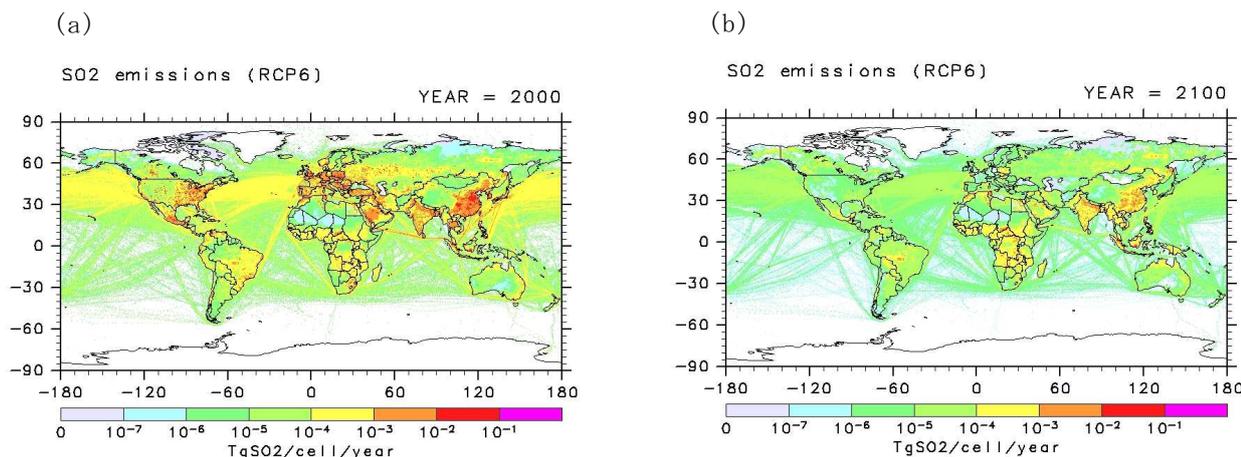


図3 RCP6シナリオの (a) 2000年、(b) 2100年におけるSO₂年間積算排出量の空間分布
単位はTgSO₂/mesh/year。(1Tg=100万トン)

3) 空間詳細シナリオの検証と国際研究ネットワークの構築に関する研究

国際研究ネットワークの構築に関しては、国際研究計画であるグローバルカーボンプロジェクト(GCP)との連携により、ウィーン、バンコク、名古屋、つくば、東京において国際ワークショップとシンポジウムを8回にわたり開催した。定期的にワークショップを開催し、各国の研究者を一堂に集めることは、都市と地域の研究のための研究結果やモデルの手法などを共有し、それらのモデルを今後どのように改善していくかを話し合うことに非常に役立つ。これらの会合は、国際応用システム分析研究所、ポツダム気候影響研究所、アジア工科大学院、名古屋大学、東京大学サステナビリティ学連携研究機構(IR3S)と共催したもので、このうち3つのシンポジウムには、都市の政策決定者や政策立案に関わるコミュニティを招き、研究と政策の連携を深める役割を果たした。また、ヨーロッパ、南北アメリカ、日本およびアジアの主要な研究者や研究機関で構成する「都市エネルギー・気候モデル化フォーラム」を設置し、国際連携を強化した。

また、世界の都市圏の環境と都市形態との分析を通じて、コンパクト性だけでなく、空間構造の多様なパターンを計測し、その特徴と気候変動対策(緩和・適応)との関係を、定量的な指標を用いて分析することが可能となった。特に、リモートセンシング画像による都市形態の計測結果から、CO₂排出量が都市形態と相関関係にあることも再確認された。収集したデータや情報はグローバルな都市炭素収支計画を策定するという長期的な目標に役立つものであり、IPCC第5次評価報告書や全球エネルギー評価などの主要な国際評価にも貢献している。

4) 気候変動シナリオの解析による空間詳細シナリオの整合性評価に関する研究

まず、将来シナリオとともに整備された過去の土地利用変化空間データを利用し、土地利用変化起源のCO₂排出量を推定する方法の妥当性を確認した(図4)。20世紀での土地利用変化による積算炭素排出量は126 Pg Cと計算され、これまでに推定された値と類似の値が得られた。

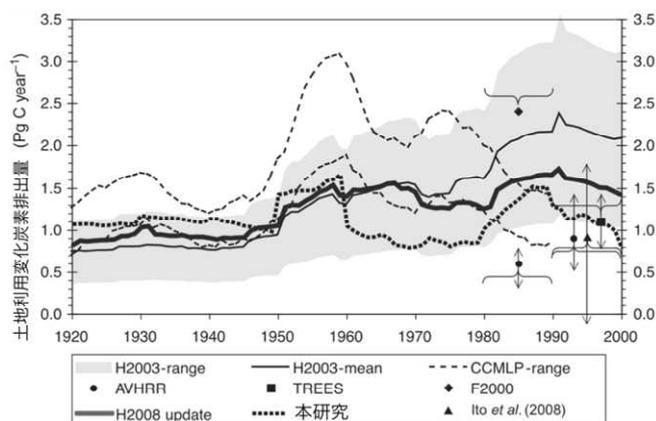


図4 過去における土地利用変化起源の炭素排出量
H2008 updateが標準的に用いられる推定値。

H2008 updateでは植物のCO₂施肥効果が評価されていないため、
20世紀末で過大排出になっているおそれがある。

このモデルを用い、RCPの4つの安定化シナリオそれぞれについて、2005年から2100年の土地利用変化による積算炭素排出量を計算すると、特にRCP2.6とRCP4.5において統合評価モデルによる排出シナリオと本研究との差が大きくみられた。RCP2.6では化石燃料からのCO₂排出量を大きく削減するため、バイオマスの燃焼によるエネルギーを利用しつつ、燃焼によって生じるCO₂を捕集し隔離することを仮定したシナリオとなっているため、農地が拡大していく。逆にRCP4.5では、森林に蓄積された炭素の価値を経済的に評価する政策シナリオにより、農地と牧草地を減らす土地利用シナリオになっている。これら森林植生の増減が炭素循環に与える影響に不確実性が大きいため、陸域生態系モデルを利用した本研究による見積とRCPの統合評価モデルによるものとの差が大きくなっている（RCP2.6では+53 Pg C、RCP4.5では-63 Pg Cの排出量差）。

また、RCP6.0での森林火災によるブラックカーボン（すす）の排出量のシナリオ作成を行った結果を図5に示す。この結果、火災排出において、大気CO₂濃度の上昇による陸域炭素蓄積量の変化を通じた影響が大きくみられた。

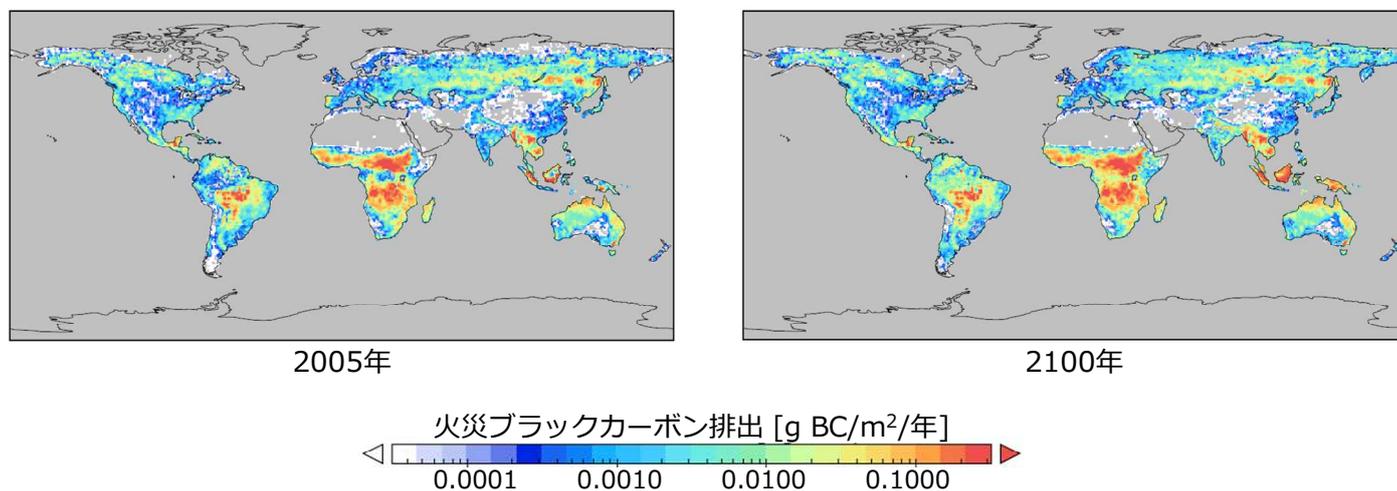


図5 RCP6.0シナリオの森林火災ブラックカーボン排出

土地利用変化起源の排出シナリオの不確実性を減らすため、今後詳細な気候と植生を結合したモデルによる解析を行い、シナリオ作成プロセスにフィードバックすることが重要であると考えられる。

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) Kinoshita, T., E. Kato, K. Iwao and Y. Yamagata (2008): Investigating the rank-size relationship of urban areas using land cover maps. *Geophysical Research Letters*, 35, L17405,

doi:10.1029/2008GL035163.

- 2) 木下嗣基, 山形与志樹, 岩男弘毅 (2008): 炭素クレジットが土地利用に与える影響の予測. 環境科学会誌, 21(1), 37-52.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Hirota, N., Y. N. Takayabu, M. Watanabe, M. Kimoto (2011): Precipitation reproducibility over tropical oceans and its relationship to the double ITCZ problem in CMIP3 and MIROC5 climate models. *J. Climate*, 24, 4859-4873. doi:10.1175/2011JCLI4156.1.
- 7) Iizumi, T., M. A. Semenov, M. Nishimori, Y. Ishigooka and T. Kuwagata (2011): ELPIS-JP: A dataset of local-scale daily climate change scenarios for Japan. *Phil. Tran. Roy. Soc. Ser. A.*, 370, 1121-1139.
- 8) Kato, E., T. Kinoshita, A. Ito, M. Kawamiya and Y. Yamagata (2011): Evaluation of spatially explicit emission scenario of land-use change and biomass burning using a process-based biogeochemical model. *Journal of Land Use Science*, doi:10.1080/1747423X.2011.628705.
- 9) Kosaka, Y. and H. Nakamura (2011): Dominant mode of climate variability, inter-model diversity and projected future changes over the summertime Western North Pacific simulated in the CMIP3 Models. *J. Climate*, 24, 15, 3935-3955.
- 10) 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.
- 11) Masui, T., K. Matsumoto, Y. Hijioka, T. Kinoshita, T. Nozawa, S. Ishiwatari, E. Kato, P.R. Shukla, Y. Yamagata and M. Kainuma (2011): An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing. *Climatic Change*, 109, 59-76.
- 12) Seiki, A., Y. N. Takayabu, T. Yasuda, N. Sato, C. Takahashi, K. Yoneyama, and R. Shiroyaka (2011): Westerly wind bursts and their relationship with ENSO in CMIP3 models. *J. Geophys. Res.*, 116, D03303.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 山形与志樹, 瀬谷創, 中道久美子 (2011): 土地利用モデルを用いた東京都市圏の土地利用シナリオ分析. *環境科学会誌*, 24 (3), 169-179.
- 19) Endo, H (2012): Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over northeastern Japan in CMIP3 multi-models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 123-136.
- 20) Kusaka, H., M. Hara and Y. Takane (2012): Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: Dynamical downscaling and predicting heat stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolises. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90B, 47-64.
- 21) Ichikawa, H. H. Masunaga, Y. Tsushima, and H. Kanzawa (2012): Reproducibility by climate models of cloud radiative forcing associated with tropical convection. *J. Climate*, Vol. 25, N0.4, 1247-1262. doi: 10.1175/JCLL-D-11-00114.1.
- 22) Iizuka, S., K. Dairaku, W. Sasaki, S. Adachi, H. Kusaka, N. Ishizaki, and I. Takayabu (2012): Assessment of Ocean Surface Winds and Tropical Cyclones around Japan by RCMs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 91-102.

- 23) Inatsu, M., Y. Satake, M. Kimoto, and N. Yasutomi (2012): GCM bias of the Western Pacific summer monsoon and its correction by two-way nesting system. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90B, 1-10.
- 24) Ishizaki, N. N. , H. Shiogama, K. Takahashi, S. Emori, K. Dairaku, H. Kusaka, T. Nakaegawa, and I. Takayabu (2012): An attempt to estimate of probabilistic regional climate analogue in a warmer Japan. *J. Meteor..Soc. Japan*, 90B, 65-74.
- 25) 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.

他 194編

<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) 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, 2007年11月.
- 2) Yasuda, T. and T. Hasegawa: Interannual variability of upper ocean heat content in the tropical Pacific in 20th century simulations. 2008 Ocean sciences meeting, Orlando, USA, February 2008.
- 3) 木下嗣基, 石渡佐和子, 山形与志樹: IPCC新シナリオに向けたRepresentative Concentration Pathwaysの土地利用シナリオ. 環境科学会2008年会, 兵庫, 2008年9月.
- 4) 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.
- 5) 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, 大阪, 2008年11月.
- 6) Kato, E., A. Ito and M. Kawamiya: Modeling the global emissions from vegetation fire for the scenario data of integrated assessment model. American Geophysical Union (AGU) 2008 Fall Meeting, San Francisco, December 2008.
- 7) Yokoi, S. and Y. N. Takayabu: Multi-model comparison of global warming impacts on tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific. 2008 American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, December 2008.
- 8) Yamagata Y. and T. Kinoshita: Geographic assessment of potential woody biomass use in Japan. International Conference on Applied Energy, Hong Kong, January 2009.
- 9) Oshima, K. and Y. Tanimoto: An evaluation in reproducibility of pacific decadal oscillation on the simulations of CMIP3 Model. International Workshop on Global Change Projection: Modeling, Intercomparison, and Impact Assessment jointly with 2nd International Workshop on KAKUSHIN Program, Yokohama, February 2009.
- 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) 二宮洗三: 21世紀における5～7月のメイユ・梅雨前線降水帯に関するモデル相互比較. 日本気象学会2009年度秋季大会, 福岡, 2009年11月.
- 12) 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.
- 13) 瀬谷創, 堤盛人, 山形与志樹: 空間計量経済モデルを用いた地域所得収束仮説の検証. 第23回応用地域学会, 山形, 2009年12月.
- 14) 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.
- 15) 足立幸穂, 木村富士男, 日下博幸, 植田宏昭, 井上知栄: 2070年代における首都圏夏季の将来都市気候予測. 日本気象学会2010年度春季大会, 代々木, 2010年5月.

- 16) Inoue, T. and H. Ueda: Changes of the seasonal evolution of the Asian summer monsoon under global warming condition in the CMIP3 multi-model experiments. The 25th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne, Australia, June 2011.
- 17) K. Tanaka, J. Nakata, T. Kojiri: Development of bias detection/correction system for seven surface meteorological elements. 2nd International Interdisciplinary Conference on Predictions for Hydrology, Ecology, and Water Resources Management, Prague, Czech Republic, September 2010.
- 18) Annan, J. D and J. C. Hargreaves: Understanding and interpreting climate model ensembles. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, USA, December 2010
- 19) Yamagata, Y., H. Bagan, H. Seya and K. Namamichi: Geographically explicit urban land use change scenarios for Mega cities: a case study in Tokyo. American Geophysical Union (AGU) 2010 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2010.
- 20) Ishizaki, Y., H. Shiogama, S. Emori, T. Yokohata: Dependencies of pattern scaling on emission scenarios. IDAG meeting, Boulder, USA, January 2011.
- 21) 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.
- 22) Iseri, Y., and S. Kanae: Bias correction of daily precipitation output from regional climate model using discrete wavelet transform. Third International Workshop on Down Scaling, Tsukuba, Japan, October 2011.
- 23) 西森基貴, 飯泉仁之直, 吉田龍平: 日本域における同じ境界条件による統計的/力学的ダウンスケーリング結果の比較. 日本気象学会2011年度秋季大会, 名古屋, 2011年11月.
- 24) Dairaku, K., R.A. Pielke Sr., A. Beltran-Przekurat, S. Iizuka, W. Sasaki: Assessment of add-value of dynamical downscaling in Japan. 2011AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2011.
- 25) 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.

他 984件

6. 研究者略歴

課題代表者: 住 明正

1948年生まれ、東京大学大学院理学研究科物理学専攻卒業、理学博士、
現在、東京大学サステイナビリティ学連携研究機構 教授

研究参画者

(1) 1): 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長

2): 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

(2) 高薮 縁

1959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教授

(3) 高薮 出

1959年生まれ、東京大学理学部卒業、理学博士、
現在、国土交通省気象研究所 環境・応用気象研究部第4研究室長

(4) 山形 与志樹

1961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 主席研究員

Integrated Research on Climate Change Scenarios to Increase Public Awareness and Contribute to the Policy Process

Principal Investigator: Akimasa SUMI

Institution: Integrated Research System for Sustainability Science (IR3S),
The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, JAPAN
Tel: +81-3-5841-4834 / Fax: +81-3-5841-1545
E-mail: sumi@ir3s.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Hokkaido University, National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), Nomura Research Institute, Ltd., Kanagawa University, Toho University, Meteorological Research Institute, University of Tsukuba, Nagoya University, Japan Meteorological Agency, Kyoto University, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NIED), Tokyo Institute of Technology

[Abstract]

Key Words: Climate change scenarios, Impact assessment, Climate model intercomparison, Downscaling, Communication

To communicate the best available climate change projection science to the society, coordinated researches have been conducted in four themes.

Theme 1 consists of uncertainty assessment, impact assessment and communication researches. Statistical methods to analyze the uncertainty of climate projections have been developed and impact assessments with quantified uncertainty based on multi-climate model scenarios for various sectors, including water resources, marine and terrestrial ecosystems, cryosphere and agriculture, have been conducted. The communication studies have improved our understanding on people's perception of climate change risks and developed platforms of communication especially through mass media.

Theme 2 evaluates the climate model simulations in terms of various atmospheric and oceanic phenomena for reducing the uncertainty that resides in the released information on the future climate variability projection. The reproducibility of the phenomena in the 20C historical runs from the Coupled Model Intercomparison Project, phase 3 (CMIP3) multi-model data sets has been evaluated in comparison with the observations and 21C future projection runs have also been analyzed. Based on the analyses, metrics to evaluate the climate model skills have been developed. A synthetic metric for the Asian climate has also been designed.

Theme 3 downscales climate change projections produced by global climate models to a scale that is relevant to impact assessment by a combined use of multiple regional climate models and statistical techniques. Aiming at developing a multi-model ensemble system to evaluate uncertainty in the downscaled projection, the dynamical downscaling of the future projection by using multi regional climate models has been performed. A further downscaling to urban scales has also been performed using an urban canopy model and urban land-use scenarios developed by Theme 4.

Finally, Theme 4 developed spatially explicit emissions and land-use scenarios to be used as boundary conditions of climate models, as well as downscaled population and GDP scenarios to be analyzed in conjunction with climate scenarios in impact assessments. Having contributed to the development of the Representative Concentration Pathways (RCPs) in a new scenario development process catalyzed by IPCC, the land-use change and associated CO₂ emission in RCPs are analyzed. Land-use scenarios are further downscaled to urban scales for the metropolitan area.

Overall, the results on climate and impact analyses and downscaling are highly relevant to the issues to be included in the coming 5th assessment report of IPCC. The findings in communication research are expected to help communicate comprehensive climate change scenarios with general public.

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

