



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

成果報告書 平成 19 ～ 23 年度



気候シナリオ
「実感」プロジェクト

Strategic Project

S-5

2012年3月

環境省環境研究総合推進費
戦略的研究プロジェクト S-5

Strategic Project S-5

環境省環境研究総合推進費
戦略的研究プロジェクト S-5

はじめに



東京大学サステナビリティ学
連携研究機構

教授 住 明 正

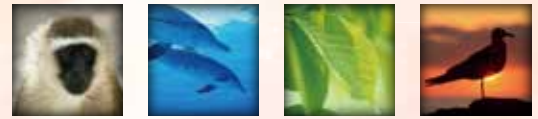
平成19年度から始まった、環境省の環境研究総合推進費、戦略的研究開発領域(S-5)「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」は、早いもので、今年度で終了を迎えることになった。このプロジェクトは、地球温暖化現象に関する科学的知見を、より多くの国民が実感する、あるいは、納得してもらうために、科学的知見を、より具体的に、身近な情報として提供する手法を開発することが目的であった。特に、将来に関する知見は、不確定さを含むので、その不確定さを如何に扱い、行動に至る道筋に生かすのか、という点に努力が払われた。それ故に、このプロジェクトを「気候シナリオ実感プロジェクト」と呼んでいたのである。

幸いにして、本プロジェクトは大きな成果を上げたように思う。とりわけ、21世紀後半の温暖化した時期の日本付近の天気について、より具体的な情報を提供できるようになったこと、また、そのような情報提供の基礎となるダウンスケーリングの手法についても、大きな進展があったと考えている。また、社会への情報発信の方法についても、経験を積むことができた。しかしながら、科学技術と社会との対話は、簡単に、解決策が見つかるわけではない。現実に対応しながら、地道な、継続的な努力が必要とされるのであろう。

しかしながら、現実には、我々の予想を超えて大きく動いてしまった。2011年3月11日の東日本大震災は、地震予知・津波予知と原発事故の2つの点で、科学技術と社会のあり方について大きな問題を投げかけた。特に、大規模な津波の可能性は、地質学的な証拠から示唆されていたにもかかわらず、想定外として、考慮されなかった。やはり、科学的な知見から示唆されることは、時期は別として、起きるということを認識すべきである。

同じことは、地球温暖化についてもあてはまる。多くの科学的な知見が、将来の気候変化とその影響を示唆している。しかしながら、我々の多くは、目先の利害にとらわれて、根本的な決断を下せないでいる。今、まさに行わなければならないことは、温暖化した気候の下でも、豊かな国民生活が送れるように、準備することであろう。そのためには、本プロジェクトで開発した手法を、さらに、発展させ、具体的な政策決定の場に生かすことが重要であろう。

将来に備えなければならないのは、単に地球温暖化問題だけではない。少子高齢化、資源の枯渇、生物多様性の喪失など、様々な問題が存在する。これらの諸問題に同時に対応してゆくためにも、地球温暖化に伴うリスクを定量的に把握し、他のリスクと合わせて総合的に評価し、施策を決断しなければならない。本研究が、その方向を支援する研究の先駆けとなれば、望外の幸せである。



CONTENTS

02	はじめに ・プロジェクトリーダー：東京大学 住 明正
04	研究プロジェクトと成果の概要
08	用語解説
09	研究参画機関
10	テーマ1 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究 ・テーマリーダー：(独)国立環境研究所 江守 正多
14	コミュニケーショングループ ・テーマサブリーダー：神奈川大学 松本 安生
18	テーマ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 ・テーマリーダー：東京大学大気海洋研究所 高荻 縁
22	テーマ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 ・テーマリーダー：気象庁気象研究所 高荻 出
26	テーマ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に関する研究 ・テーマリーダー：(独)国立環境研究所 山形 与志樹
28	サブテーマ毎の主な成果
28	テーマ1 ……サブテーマ1～6
34	テーマ1 コミュニケーショングループ…サブテーマ7～12
40	テーマ2 ……サブテーマ1～10
50	テーマ3 ……サブテーマ1～7
57	テーマ4 ……サブテーマ1～4
61	研究成果論文リスト
69	研究参画者および研究協力者

研究の背景

2007年に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書が発表され、世界の平均気温は今後100年間で1.1~6.4℃上昇するという予測が示されました。日本の研究グループも、2002~2004年に世界最高速を記録したスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて気候変動の予測計算を行い、IPCCの報告書に貢献しました。

このような気候変動(地球温暖化)の将来予測は、社会が温暖化への対応を考える上で重要な情報になるはずですが、社会がこのような情報を適切に利用することは実際には簡単ではありません。

例として、IPCCのまとめた世界平均気温上昇量の予測を図1に示します。いくつかの異なる色の線は異なる「社会経済シナリオ」に基づく予測を表します。つまり、予測の前提となる将来の社会経済発展の仮定が異なれば、予測結果は当然異なります。同じ社会経済シナリオに基づいた場合でも、気温上昇量の予測結果には幅があります。このような予測計算は、物理法則に基づいて気候の変化を計算する「気候モデル」によって行われます。世界各国の20程度の研究機関がそれぞれに気候モデルを開発していますが、予測結果の幅は、異なる気候モデルを用いると異なる結果が得られることを表しています。このような予測の幅を「不確実性」とよびます。

社会が気候変動の予測情報をうまく利用するためには、研究者が不確実性を適切に見積もり、解釈することが必要になります。気候の予測に基づいて将来

の水、食料問題などへの影響を見積もる際にも、不確実性が付いてまわります。また、日本の気候がどうなるかといった地域的に詳細な予測においては、不確実性はより大きな問題となります。さらに、社会経済シナリオが気候予測、影響評価やその不確実性に及ぼす効果も理解する必要があります。

研究プロジェクトの構成

われわれは、社会が気候変動予測を適切に利用するためのこのような課題に取り組むため、2007年に本研究プロジェクトを開始しました。同時に、IPCCが2013~2014年に発表する第5次評価報告書に向けて世界中の研究者が新しい気候予測研究を開始していましたので、その動きに対応することも視野に入れました。

なお、ここでは、気候変動予測計算に基づき「温暖化すると何が起こるか」を示す情報を「気候変動シナリオ」とよびます。

本研究プロジェクトは4つのテーマで構成されます。

テーマ1「総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究」では、世界各国で開発された複数の気候モデル(「マルチ気候モデル」や「マルチモデルアンサンブル」とよびます)の結果を用いて、不確実性の評価を行いつつ、水、食料、生態系、雪氷、健康など、いくつかの分野への温暖化の影響を地球規模で評価する研究を行いました。また、気候変動シナリオに関する研究者と社会の各層とのコミュニケーションについての研究も行いました。

テーマ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」では、複数の気候モデルの結果を用いて、台風やモンスーンといった日本の気候に関連する様々な気象・海洋現象が温暖化によりどう変化するかを調べました。特に、個々の気候モデルによるこれらの現象の再現性に注目して、個々のモデルの性能の評価と予測の不確実性の評価を行いました。

テーマ3「温暖化予測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」では、計算領域を日本周辺に限定した「地域気候モデル」や統計的手法を用いて日本の詳細な予測情報を得る「ダウンス

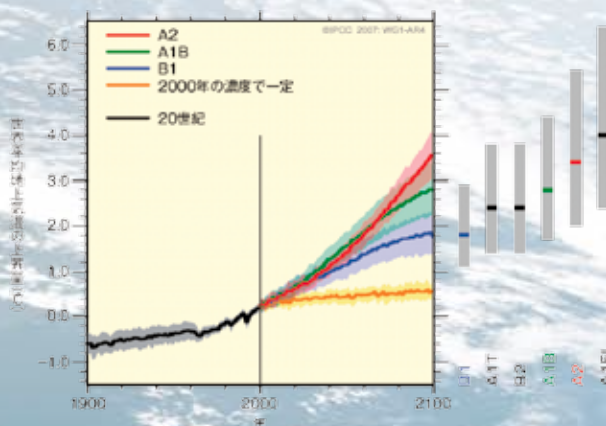


図1: IPCC(2007)のまとめた世界平均気温上昇量の予測

ケーリング」の研究を行いました。複数の地域気候モデルを用いることにより不確実性を評価し、誤差の補正といった実利用に向けた課題にも取り組みました。

テーマ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」では、主にIPCC第5次評価報告書に向けた新しい気候変動予測研究に対応して、新しい予測計算で用いられる社会経済シナリオの人口、経済活動、各種ガス等の排出量、土地利用の空間的に詳細な分布を推定する、社会経済シナリオの「ダウンスケーリング」の研究を行いました。

なお、本研究プロジェクトはいくつかの他のプロジェクトと役割分担の関係にあります。特に、最新の気候変動予測の研究は文部科学省の「21世紀気候変動予測革新プログラム」により、日本国内の詳細な影響評価と適応の研究は環境省環境研究総合推進費S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」等により実施されています。

成果の概要と意義

- テーマ1で行った概念整理⁴⁹⁾によれば、社会が気候変動シナリオを活用する目的は2つに分類できます。
- ①温暖化の緩和策について、行政が、国際交渉でとるポジションや導入する国内政策について判断するため。また、産業や市民が、それらを支持するかどうかを判断したり、自発的に対策をすべきかどうかを判断したりするため。
 - ②温暖化の適応策について、行政や産業が、具体的にどのような影響を避けるためにどのような適応策を行うかを判断するため。

テーマ1

テーマ1では、①の目的のため、水、食料、生態系、健康、沿岸域、その他の分野への温暖化の影響について、できる限り包括的で偏りのないように配慮して解説を試みました。この成果は『地球温暖化はどれくらい「怖い」か？—温暖化リスクの全体像を探る』(技術評論社)として出版されます。温暖化の総合的な深尺度の評価には価値判断を伴うため、この中で具体的に提示することは避け、その考え方についてのみ論じました。

また、水文・水資源、海洋・水産、極域・氷床、農業・食

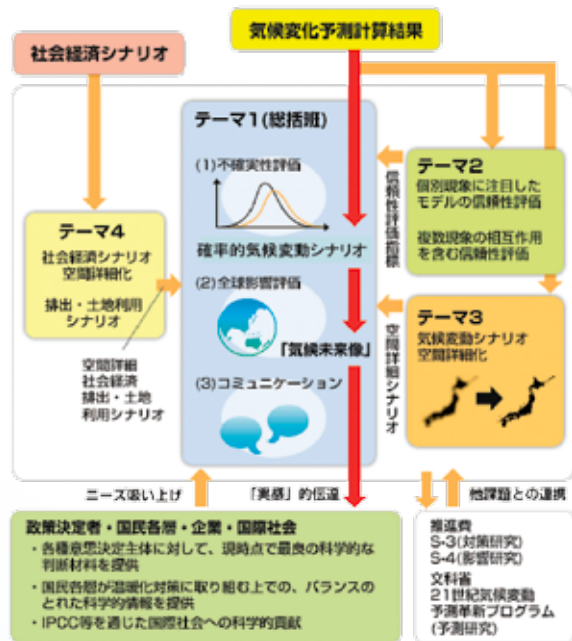


図2:本研究プロジェクトの構成

料、陸域生態系、人間健康の分野への温暖化の影響を評価した結果、不確実性に関する知見や不確実性を考慮しても妥当と考えられる影響の知見が得られました。たとえば、東アジア・東南アジアでのコメ収量に対する温暖化の影響は増収から減収まで幅があることがわかりました。一方、水資源に関して、河川流量の季節的な偏りが温暖化により大きくなり、利用可能な水資源が減少する地域が生じるという傾向は不確実性を考慮しても妥当と結論されました²⁵⁾。これらの知見は①の目的のための温暖化影響の包括的な知見の一部となると同時に、不確実性を考慮したことにより②の目的の適応策の検討にも役立ちます。ただし、ここでの影響評価は地球規模であり、日本国内の詳細な影響評価は前述のように他課題(S-8)に譲っています。

このほか、テーマ1では、気候モデルの集合や個々の気候モデルの性能を評価する新しい手法の開発についても成果が得られました。テーマ1のコミュニケーションに関する成果については後述します。

テーマ2

テーマ2では、日本の気候に影響を与える気象・海洋現象として、春一番、アジアモンスーン、夏の偏西風

気候変動予測(地球温暖化予測)

将来の気候を予測するためには、まず将来の世界の社会経済状態がどう変化していくかを仮定します(社会経済シナリオ)。それに基づいて、将来の社会から排出される温室効果ガスやその他の物質の排出量の将来の変化を見積もり、さらに、それらの物質の大気中濃度の将来の変化を見積もります。その結果に基づき、気候モデルを用いて将来の気候の変化を予測します。

社会経済シナリオ(SRESシナリオ)

将来の社会の発展についての仮定を置き、世界各地の人口、経済活動、技術、土地利用などの将来の変化を描いたものです。

本プロジェクトで主に用いられている社会経済シナリオは、IPCCが2000年に発表した「排出シナリオに関する特別報告書」(SRES)のシナリオです。将来の世界が経済を重視するか(A)環境との調和を重視するか(B)、グローバル化が進むか(1)地域主義が進むか(2)といった軸によって異なる将来が描き分けられています。経済重視でグローバル化が進む場合のみ、将来の主要なエネルギー技術が化石燃料か(A1FI)、新技術か(A1T)、両者のバランスか(A1B)によってさらに3つに分かれます。

気候モデル

気候モデルは、地球の気候を決めている物理法則を表す数式の集まりです。大気、海洋、氷や陸面のそれぞれの状態を予測する数式の集まり(モデル)からなり、コンピュータを使ってこれを計算します。たとえば大気モデルは地球全体の大気を水平方向に約100km×100km、高さ方向に約1kmのサイコロ状の格子に分け(図1)、それぞれの格子での風、気温、気圧、湿度などのある時点の状態から約10分後の状態を計算するという作業を繰り返して将来を予測します。

ひとつの例として、風の変化を表す数式は、よく知られた「ニュートンの運動の法則」に基づきます。しかし、地球の気候においては、雲や雨など、100km毎の格子の値では正確に表わせないミクロな現象が存在し、その集合的な効果が大規模な気候を変化させま

す。そのような効果は半理論的・半経験的な数式で表現されてモデルに組み込まれています。それらの表現の仕方がモデルにより様々に異なるため、モデルが現在の気候を再現する性能や、モデルによって予測される将来の気候は、少しずつ異なります。

マルチモデルアンサンブル(CMIP3アンサンブル)

世界各国の研究機関がそれぞれに開発した気候モデルの計算結果を集めたものです。個々のモデルには誤差があるので、それらを相互比較したり平均などの統計的な分析をしたりできることに意義があります。

本プロジェクトで用いられているマルチモデルアンサンブルは、「第3次結合モデル相互比較プロジェクト」(CMIP3)により集められたもので、20以上の気候モデルの結果からなります。2007年のIPCC第4次評価報告書に用いられました。

ダウンスケーリング

粗い空間分布で表されたデータを基に、地形などの地域特性を考慮して細かい空間分布のデータを作成することです。

本プロジェクトでは、100kmの格子で地球全体を計算する気候モデルの結果を基に、日本周辺域のみを計算する20km格子の「地域気候モデル」、大都市圏を表現可能な数km格子の「都市気候モデル」による「力学的ダウンスケーリング」のほか、統計的な関係式を用いた「統計的ダウンスケーリング」も用いています。

社会経済シナリオの人口や土地利用についても、地理情報等を用いてダウンスケーリングしています。

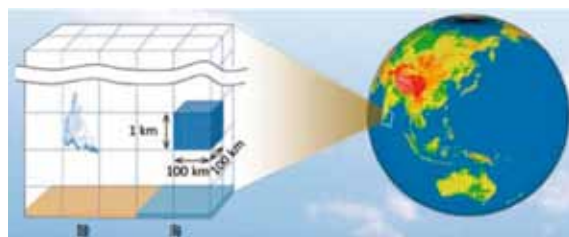


図1:気候モデルの概念図

研究参画機関

■ **研究課題名:**環境研究総合推進費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

■ **研究代表者:**住 明正(東京大学サステナビリティ学連携研究機構)

1 総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

No.	サブテーマ名	参画機関名
01	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
02	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
03	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
04	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
05	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
06	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
07	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
08	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
09	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
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

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

01	熱帯垂熱帯域における雲降水現象の再現性とその将来変化に関する研究	東京大学大気海洋研究所
02	中緯度・垂熱帯循環系の季節・経年変動の再現性とその将来変化に関する研究	東京大学先端科学技術センター
03	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	気象庁気象研究所
04	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	北海道大学
05	アジアモンスーンモデル再現性と温暖化時の変化予測に関する研究	筑波大学
06	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	(独)海洋研究開発機構
07	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	(独)海洋研究開発機構
08	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	名古屋大学
09	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	気象庁
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	京都大学防災研究所

3 温暖化予測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

01	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	気象庁気象研究所
02	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	(独)防災科学技術研究所
03	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	筑波大学
04	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	京都大学防災研究所
05	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	(独)農業環境技術研究所
06	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	東京工業大学
07	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	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

01	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	(独)国立環境研究所
02	温室効果ガスとエアロゾル等の排出の空間分布の推定	(独)国立環境研究所
03	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	(独)国立環境研究所
04	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	(独)海洋研究開発機構

総合的気候変動シナリオの構築と伝達に関する研究

テーマリーダー：(独)国立環境研究所 江守 正多

はじめに

本テーマでは、社会が地球温暖化に対処するために科学的な予測情報を有効に活用すべきという立場に立ち、以下のような問題意識から出発しました。

- ▶ 地球温暖化とは実際のところどの程度深刻な問題で、どの種類の影響が特に深刻なのか
- ▶ コンピュータシミュレーションによる気候、影響の予測をどの程度信じてよいのか

この問に答えるため、将来予測に用いられる気候モデルの信頼性を評価し、それを踏まえた温暖化影響の予測研究を実施するとともに、概念的な検討を行いました。

地球温暖化予測の目的

社会が温暖化予測を活用する目的は大きく2つに分けて考えることができます⁴⁹⁾(図1)。

1. 温暖化の緩和策について、行政が、国際交渉でとるポジションや導入する国内政策について判断するため。また、産業や市民が、それらを支持するかどうかを判断したり、自発的に対策をすべきかどうかを判断したりするため。
2. 温暖化の適応策について、行政や産業が、具体的にどのような影響を避けるためにどのような適応策を行うかを判断するため。



図1: 地球温暖化予測の目的

1の目的のためには、できる限り包括的で偏りのない温暖化影響の「全体像」が提示される必要があります。仮に一部の影響にのみ注目すると、温暖化の深刻度の判断が偏り、緩和策の目標設定を誤る恐れがあるためです。一方、2の目的のためには、地域毎、分野毎の影響ができる限り個別具体的に、かつ定量的に提示される必要があります。

地球温暖化影響の「全体像」

1の目的のためには、独自の影響予測研究のみでは包括性が不十分であるため、むしろレビュー的な解説を行うべきと判断しました。その上で、温暖化影響の全体像を偏らずに描出するために注意すべき観点として以下の項目を選定しました。

1. 影響予測の定量的な不確実性
2. 気候変化以外の要因の寄与
3. 好影響と悪影響
4. 直接影響と間接影響
5. 適応の効果、適応導入の難易度
6. フィードバック、高次影響
7. サプライズの可能性とインパクト
8. 価値判断に依存する部分

これらの観点を踏まえ、水、食料、生態系、健康、沿岸域、その他の分野の影響について解説を試みたものが「地球温暖化はどれくらい「怖い」か? —温暖化リスクの全体像を探る—」(技術評論社)として出版されます。そこでの検討の結果、地球温暖化が全体としてどの程度深刻であり、どの種類の影響が特に深刻であるかについての解答を出すことは見送りました。深刻な影響が予測されているとしても、不確実性が大きいこと、深刻化するのが遠い将来であるかもしれないことなどから、そのような解答は社会の価値判断に大きく依存するためです。代わりに、社会がその判断を行うための考え方について、同書で論じました。



図2：本テーマで予測された分野別の地球温暖化影響

不確実性を考慮した個別分野の影響評価

2の目的のためには、地域毎・分野毎の影響の定量的予測が必要ですが、適応策検討を支援する科学的根拠たりうするためには、その予測の不確実性についても同時に定量的に示し伝達することが求められます。温暖化影響予測の不確実性の原因としては、社会・経済状況や温室効果ガス排出の将来見通し、気候変化予測手法に関わる不確実性（気候モデルの定式化やパラメータ、自然の内部変動性）、気候シナリオ作成手法（気候変化予測を影響予測に用いるための予備処理）に関わる不確実性、影響評価手法に関わる不確実性（影響モデルの定式化やパラメータ）などがあげられます。それらすべてを考慮して不確実性を評価することが理想的ですが、計算機資源やデータの入手性などの制約を考慮し、本テーマでは温室効果ガス排出の将来見通しと気候モデルの不確実性に特に注目して、6分野（水文・水資源、海洋・水産、極域・氷床、農業・食料、陸域生態系、人間健康）の影響評価を行いました。

具体的には、IPCC第4次評価報告書において評価対象となった約20の全球気候モデルによる気候予測情報を網羅的に用いて、その各々を前提として個別分野の影響評価を行い、不確実性の幅を把握しました。どの分野でも、気候モデルの違いによる影響予測の差異を無視できないことが示されました（サブテーマ成果ページ28, 30～33参照）が、その不確実性幅を考慮しても概ねいえる定性的傾向・政策的含意を図2・表1にまとめました。

本研究では各分野とも社会的な重要性の高い影響評価項目を選び定量的評価を行いました。その包括性は依然不足しています。特に、海洋大循環停止や永久凍土融解によるメタン放出といった地球システムの大規模変化とその影響については扱っておらず、今後の課題といえます。また不確実性の要素のうち、気候以外の因子の将来変化や影響評価手法自体の不確実性の定量的評価にも今後取り組む必要があります。

表1：本テーマで予測された分野別の気候変化影響

	予想される影響
水文・水資源	気候変動の影響で世界平均では利用可能な水資源である年流量が増加する。しかし、地域的には、現在水資源が比較的多い地域で増加し、少ない地域で減少する傾向が懸念される。さらに、日流量に基づいて分析すると、流量の多い時期に増加し、流量の少ない時期には減少する傾向が見られ、実質的に利用可能な水資源量は減少すると見込まれる ²⁵⁾ 。その結果、例えば水力発電では従来通りの運用では発電量を維持することが困難となる可能性がある。一方で、世界各地における平均的な年水需給バランスの悪化に対しては、気候変動に加えて人口増加や経済発展に伴う水利用量の増大といった社会変動の影響が大きい。
海洋・水産	複数の将来予測モデルで得られた今世紀の海水温の予測結果と、海洋生物の分布や健康度を表す簡易指標を使った分析の結果、日本近海の温帯域ではサンゴや藻場、漁業対象種の生息域が高緯度側に移行（北上）する可能性が示された ^{39)、64)} 。一方、南西諸島など亜熱帯域では高水温の出現が生物へのストレスとなり、サンゴの白化に代表されるように、生物の健康度が損なわれることが懸念される。このような生態系の変化により、水産業や観光業をはじめとする沿岸域の地場産業の適応が余儀なくされる可能性があり、対策が求められる。
極域・氷床	複数の気候シナリオを利用した、氷床力学を考慮しない場合の氷床の表面質量収支の予測およびその評価によると、グリーンランド氷床は融解量の増加により海面上昇に寄与し、南極氷床は降雪量の増加により海面低下に寄与する。そして、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の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 ⁴⁰⁾ 。
農業・食料	複数の気候シナリオを用いた東アジア、東南アジアのコメの予測収量は、気候モデル間で異なり、CO ₂ 濃度の上昇による光合成促進効果を考慮しても、減収が予測される地域・気候モデルがあった。温度上昇が大きい気候モデルでは、減収も大きいものと予測されたが、これには高温の影響だけでなく日射条件の変化も複合的に関与することがわかった。今後も世界の穀物需要は大きく増加することから、CO ₂ 濃度上昇・温度上昇・水資源変動下での生産性の向上を継続的に行う必要がある。
陸域生態系	気候変動に伴う温度上昇や乾燥化は、陸域生態系における火災の頻度や強度（リスク）を増加させる可能性が高い ²¹⁵⁾ 。特に、気候の変動性の拡大によって深刻な干ばつが頻発するようになれば、大規模な火災とともに植物が広域的に枯死し、生態系の構造に大きな変化が生じる。一方、モンスーンアジアでは降水増加による土壌流出のおそれがあるなど、地域的に変化の方向や規模は大きく異なる。
人間健康	日最高気温が至適気温を超える日数が増加することを受け、全球のどの地域においても熱ストレス死亡リスクの増大が見込まれる。このリスク増加は、新たな環境に適応することで概ね抑制できると予想されるが、そのためには早期警報やエアコンの適切な使用といった具体的な適応策について検討・実施が必要になることを意味する。

予測の信頼性の評価

本テーマの影響予測研究においては、不確実性の幅を評価するために複数の気候モデルの結果を並列に用いましたが、この方法論はさらに発展させる必要があります。気候モデル全体としてどの程度の信頼性があるか、結果がばらついた際にどの結果がより信頼性が高いか、といった問いに答える必要があるためです。そこで、前述の影響予測研究と並行して、気候モデルによる気候予測の信頼性を評価する研究を行いました。

温暖化予測の信頼性を評価する際の最大のポイントは、予測結果を繰り返し検証することが不可能であることです（これに対して、例えば日々の天気予報は予測結果を毎日検証することができます）。信頼性評価にあたっては、この点をどう克服するかが鍵となります。

気候モデル全体の信頼性

IPCC第4次評価報告書などで論じられているように、気候モデルが基本的な物理法則に基づいていること、現在や過去の気候の分布や様々な変動の様子を概ねよく再現できることなどから、気候モデルの基本的な信頼性が担保されています。本研究では、1988年にNASAのJames Hansenにより行われた将来予測を現在までに観測された気温データを用いて統計学的に再評価することにより、気候モデルの将来予測能力に関する信頼性を補強する知見を得ました¹²⁾。

より信頼性の高い予測をどう選ぶか

複数の気候モデルの集合の中で予測結果がばらついた際に、より信頼性の高い予測を選ぶという問題についても、新しい手法を開発しました。一般に、過去や現在のシミュレーションのみが観測データにより検証可能であり、将来のシミュレーションは直接的に検証することができません。そこで、気候モデルの集合を用いて、過去や現在のシミュレーション結果と将来のシミュレーション結果の間に統計的な相関関係（現在の気候を再現した際に〇〇の誤差を持つモデルは、将来予測をした際に××の結果になりやすい、など）を見出すことを考えます。これが見出されれば、

将来のシミュレーションの注目する側面と最も相関の高い側面において過去・現在のシミュレーションを観測データで検証することにより、将来予測を間接的に検証することができ、より信頼性の高い予測を選ぶことができます。

我々は、このような相関関係を統計学的に抽出する手法を考案し、南米の水資源の将来予測の問題に適用しました³⁴⁾。その結果、複数のモデルによる予測を単純平均すると南米全体で水資源の増加が予測されるのに対して、我々の手法が示唆する信頼性の高い予測では南米の北東部で水資源が顕著に減少するという結果になりました(図3)。

この手法は今回の影響予測研究に部分的にしか反映させることができませんでしたが、今後の研究に役立つものと考えます。また、この手法をさらに発展させて予測の不確実性を確率分布で表現することは今後の課題です。

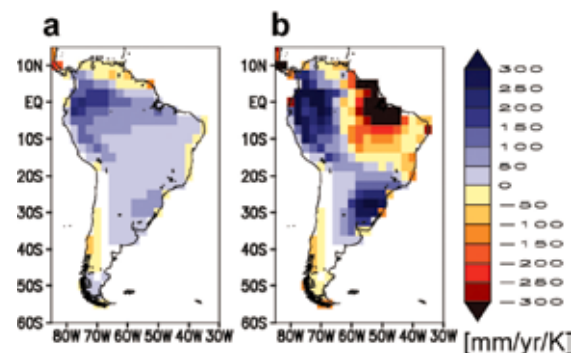


図3：不確実性を考慮した影響評価の例（南米の年平均流出量変化予測；21世紀末－現在）a. 複数モデルの単純平均 b. 観測による制約を考慮した最良予測

本プロジェクト全体での不確実性の扱いについて

本プロジェクトのテーマ2では、ある現象がうまく再現できるモデルはその現象についての将来予測がより信頼できると仮定しています。これは妥当性が高い仮定と考えられますが、十分に検証できていない部分もあります。また、テーマ3では計算機資源の制約によりモデルの不確実性を部分的にしか評価できていません。このような不確実性の扱いを高度なものに統一していくことは対策・政策の検討を支援する科学的知見として機能するための今後の課題です。

総合的気候変動シナリオの構築と 伝達に関する研究 コミュニケーショングループ

テーマサブリーダー：神奈川県 松本 安生

はじめに

テーマ1のコミュニケーション研究グループにおける問題意識は、「どのようにしたら気候変動の科学的知見を分かりやすくかつ正確に市民に伝えられるのか」ということです。このための第一歩として、市民は気候変動の科学的知見をどのように理解し、そのリスクをどのように認識しているのかを知ることが重要です。

気候変動の科学的知見が専門家から市民や企業に伝達されるルートとしては主として、①新聞やテレビなどのマスメディアを通じたルート、②行政やNPO、学校などのパブリックメディアを通じたルート、③講演会などの直接的なルートがあります。これらのうち①と②はメディアを通じた間接的な手法であり、③はメディアを介さない直接的な手法です。これらの手法は、正確に伝えるという点においては後者のルートほど有効だと考えられる一方で、分かりやすさという点においては、前者のルートほど効果的であると考えられます。さらに、一般的に前者のルートほどより広範囲で多数の市民や企業に対してコミュニケーションを行うことが可能です。

このように、気候変動問題の伝達ルートの間には、科学的知見の伝達において重要な分かりやすさと正確さという点において重大なトレードオフの関係があると考えられます。そこで、研究グループではこれら3つのルートのそれぞれにおいて、気候変動の科学的知見をはじめとする情報が一般の市民や企業にどのように理解され、そのリスクがどの程度のものとして認識されているのかを調べてみました。



図1：気候変動の科学的知見に関する伝達ルート

マスメディアを通じた伝達ルート

(1) マスメディアから市民への伝達

テレビや新聞、ラジオ、雑誌など、マスメディアからの情報は、地球温暖化について人々に広くコミュニケーションする上でも重要な手段です。

本研究グループが2011年7月に全国の20才以上の男女を（成人全国民の代表性を確保した形で抽出して）調査した結果^{44), 45)}、やはりテレビと新聞が環境問題についての主な情報源であることがわかりました。その環境問題についての情報の中に地球温暖化も含まれています。ただし、若い世代では新聞は他の年代に比べて情報源とする人の割合が低く、逆にインターネット（SNSやニュースサイト）が好まれています。この調査ではインターネットが新聞を逆転する結果になっています。

世界各国でも同様にテレビ・新聞などのいわゆる「マスメディア」は、温暖化についての情報源という意味で、とても重要な役割を果たしています。

この役割は簡単にいうと、メディアが伝えないことは、「なかったことと同じ」になり、メディアがどう伝えるか（肯定的、否定的、好意的、懐疑的など）により人々の認識や態度が異なってくるということです。図2は、世論調査での「世界で最も重要な問題」で環境問題に関する回答率とメディアの報道量をくらべたものですが、ピークが重なっていることがわかります。

つまり、気候変動問題についてのメディアの報道が増えると、人々の関心も高まるのです（環境問題という



図2：環境問題に対する関心とメディア報道量の推移

回答の半分程度は「温暖化」「気候変動」という回答です。これは統計的にも有意な関連であることが本研究プロジェクトで確かめられています²⁸⁾。

(2) 研究者からマスメディアへの伝達

① 温暖化リスクメディアフォーラム

市民の重要な情報ソースであるメディア関係者との4回の対話会合(温暖化リスクメディアフォーラム)を行い、メディア関係者と研究者との認識の違いについて把握を行いました⁵¹⁾。このフォーラムは毎回、温暖化に関する特定のテーマについての講演とディスカッションで構成されており、メディア関係者と研究者双方を交えて、双方が納得する報道について意見交換を行いました。実施した4回のフォーラムでは、温暖化リスクの全体像、気温上昇ターゲット「+2℃」、温暖化予測計算、温暖化影響予測をテーマに選び、活発な議論が展開されました。

この結果、研究者が不確実性の情報を伝達に重要な要素と考える一方で、メディアは起こり得る危険を注意喚起する報道を重要と考えることなど、メディアと研究者の報道に対する基準の違いが見られました。



図3: 温暖化リスクメディアフォーラムの様子

② 模擬記者会見

次に、ジャーナリズム専攻の学生が温暖化研究の記者会見を元に執筆した記事への評価を通じ、記者と研究者の温暖化研究報道への認識がどのように違うのかを探りました。

会員の題材となった研究は、温暖化影響の解析と解析手法の開発の2つの側面を持っていましたが、科学研究としては後者が重要なものの、記者には前者だけが注目されるなど、研究者と記者の視点に違いが見られました。これらの事例は、科学研究の記者発表では、研究としての意義だけでなく、一般読者への意義の考慮も必要であることを示していると考えられます。

学校・NPO等の普及啓発による伝達

本研究グループでは、気候変動問題の普及啓発手法として一般的な環境教育型のコミュニケーションと、新たに試みられているロールプレイング型のコミュニケーションを事例に、その効果と課題を検証しました。ここで、ロールプレイングとは、自分とは異なる立場の他者を「演じる」ことで、自らの価値観、責任などを客観的に考える手法のことであり、近年、心理療法などにも広く用いられるようになってきた手法です。

(1) 環境教育型コミュニケーションの効果

環境教育型コミュニケーションの事例として都内の「ストップおんだん館」における一般市民向けのプログラムを対象に、プログラムの参加前、参加後の2つの時点において参加者へのアンケート調査を行い、参加者の認識が実際にどのように変化するかを調べました⁶⁰⁾。

このプログラムが主として想定する家庭での温暖化対策において取り組みの中心となる30~40代の既婚者女性120名(有効回答111名)を被験者として調査を行った結果、まず、地球温暖化の将来予測として参加者が回答した2050年の世界平均気温の予想上昇幅(平均値)は、参加前の4.55℃が、参加後に2.94℃と統計的に有意に低くなっています。また、回答分布も参加前は予測上昇幅が4~5℃の回答が比較的多かったのに対して、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ます。つまり、参加者の認識は、IPCCなどで予測されている1~3℃程度という科学的知見により近いかたちに修正されています。

一方、家庭における温暖化対策への取り組みでは、参加前よりも参加直後の取り組み意欲が統計的に有意に高くなっていますが、「商品購入時の環境配慮」などでは、直後の取り組み意欲よりも参加後の実際の取り組み状況が統計的に有意に低くなっています(図4)。

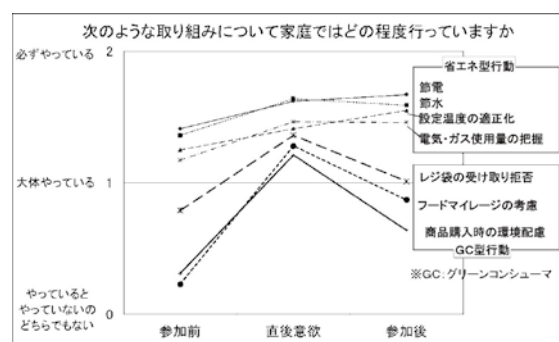


図4: 一般市民向けプログラムにおける参加者の行動

このように今回の事例では参加者の省エネ型の取り組みを高める効果がある一方で、手間や費用がかかるグリーンコンシューマ型の取り組みについては、取り組み意欲が高まったものの、その高い意欲を維持して実践していくことまでは難しいと考えられます。

次に、本研究プロジェクトの直接的な研究成果を一般市民に普及啓発する社会実験を行い、コミュニケーターとなる講師（気象キャスター）と研究者との間の伝達における課題について検証を行いました（図5）。

この社会実験で題材としたのは、梅雨や台風などの極端現象に関する気候モデルによる予測結果です。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をもとに講師が講義内容を作成し、実際の環境イベントでの温暖化出前講義のなかでその成果を伝えることを試みました。これらの社会実験の終了後に、講師および研究者の両者に対して、研究成果を伝える際の重点や難しさについてアンケートを行いました。



図5：環境イベントにおける温暖化出前講義の様子

この結果、講師からは梅雨や水資源などではその影響が理解しやすい一方で、台風の場合には研究成果である発生域の変化だけでは、身近な暮らしへの影響が見えにくいなどの意見が出されましたが、研究者からは今回の研究成果からは身近な暮らしへの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ました。

(2) ロールプレイング型コミュニケーションの効果

中学・高校の演劇部生徒に「地球温暖化」を題材とした演劇を演じてもらい、そのプロセスにおいてどのような効果があるのかを調べました^{47), 48)}。

演劇づくりのプロセスにおいては、本研究グループの気候変動研究の専門家と演劇部顧問教諭の協力を得て、テーマ設定や台本の大きな流れを決定しました。演劇部生徒は、これらを踏まえ、地球温暖化に関する学習を個々に行い、場面設定やセリフづくりなどを行ないました。そして、公演の準備開始時と公演直後、さらに公演終了一ヶ月後に「コンセプトマップ」を用いて、地球温暖化と関わりのあるキーワードを挙げてもらい、その分析を行ないました⁵³⁾。

これらの実験と調査分析から、生徒の挙げるキーワードの質・量ともに、演劇づくりのプロセスだけでなく、終了後も増加していったことわかります。特に、公演直後から公演終了後一ヶ月の間に、温暖化対策に関する興味が沸き、独自に情報収集をしたことが伺える結果となりました（図6）。

しかし一方で、元々持っていた気候変動に関する誤った認識については、修正は困難であり、結局最後まで修正されなかった生徒も多くみられました。

これらのことから、ロールプレイングを用いた多様な立場や価値観理解を進めることは、気候変動問題の有効な伝達手段と成り得ますが、そのためには、専門家によるサポートが重要であるといえます。

次に専門家に対する取材を基調とした「温暖化情報提供のためのショートフィルム制作」を、映像制作者に依頼し、その制作プロセスにおける映像制作者の気づきの効果と、完成したショートフィルムに対する視聴者評価を行ないました。

この結果、映像制作者は制作のプロセスを通じ、地球温暖化に関する情報伝達において、1) わかりやすく伝えることと正確に伝えることの両立の難しさ、2) 発信者のメッセージを受け取ってもらうだけでなく、受信者が自ら考えるきっかけをあたえることの重要性、などの点を自らの気づきとして挙げていました。

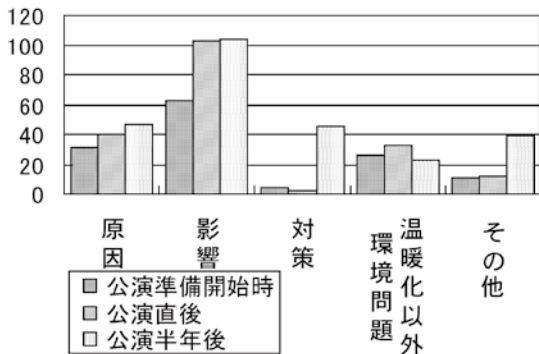


図6: ワークショップ前後でのキーワードの変化

研究者からの直接的な伝達

気候変動に関する科学的知見をマスメディアなどを通じてではなく、講演会や研究会などの場を通じて、市民や企業に直接的に伝達することは、より正確な伝達が求められる場面では有効だと考えられます。

そこで、本研究グループでは企業に焦点を当て、気候変動の予測シナリオをはじめとする将来予測情報に対する企業ニーズや企業が適応策を検討・実践する上での課題について研究を行いました。

まず、企業にとっての環境活動とは主に温室効果ガスの排出量削減のための取り組みである削減策を意味し、地球温暖化の進行に起因する気候変動に対応していくための取り組みである適応策を実施している企業はほとんどないことが分かりました。この主な理由としては、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ます。さらに、気候変動の将来予測情報等に触れる機会があり、地球温暖化に対する一定の危機感を有する企業であっても、予測情報をもとにした適応策の検討・実践に際しては、下表に示す主に4つの課題(障壁)があり、企業において十分に情報が利用されていないことが分かりました。

これらの問題を解決していくためには、企業と研究者による一層のコミュニケーションの促進とともに研究成果に対する行政等の積極的な関与が望まれます。

また扱う製品やサービスの特性から、現状においても適応策の検討・実践に強い関心を有する業界・企業もあることがこの研究を通して分かりました。今後、

企業による気候変動予測情報の利用を広め、適応策の検討・実践を促進していくためには、その第一歩として、そのような関心の高い企業と研究者が協力し、予測情報の利用による適応策の実施という成功事例を構築していくことも有効だと考えられます。

表1: 企業が気候変動の科学的知見を利用する際の課題

課題の種類	概要
予測研究の対象時期	企業は長くても5~10年先の予測情報を求めている、気候変動研究が対象とする数十年先は企業のニーズに合わない。
予測研究の不確実性	不確実性に対する企業の許容度は企業規模や体制等により様々であり、各企業にあった情報の加工が必要である。
予測研究の表示方法	影響の程度を金額等の身近で企業も参考にしやすい社会的な情報に変換することが十分に行われていない。
予測研究のオンライン化	情報が行政等にオンライン化された公平かつ信頼性のあるものであることが望ましい。

※企業と研究者の対話型研究会の議論等をもとに作成

まとめ

マスメディアがどう伝えるかにより、人々の地球環境問題に対する認識が変化していることが確認されました。しかし、不確実性の情報などで研究者とメディア関係者の間では伝達において重視する点が必要しも一致していないため、科学研究の発表では一般読者への意義を考慮する必要があることが示されました。

一方、環境教育やロールプレイングなどの普及啓発手法は、気候変動問題の有効な伝達手段と成り得ると考えられそうですが、そのためには適切な題材の選択や一般市民に対する継続的な啓発、誤認を修正するための専門家によるサポートなどが求められます。

最後に、研究者からの直接的な成果の伝達に対しては強い関心を有する企業がある一方で、それらの情報を企業の戦略に利用していくためには、研究の対象期間や不確実性などにおいていくつかの課題(障壁)があり、企業と研究者による一層のコミュニケーションの促進や研究成果に対する行政等の積極的な関与などが望まれることが分かりました。

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

テーマリーダー：東京大学大気海洋研究所 高 藪 縁

はじめに

私たちの生活は、温帯低気圧の通過や台風の襲来、熱波や寒波、豪雨や干ばつの発生をはじめとした大気や海の現象に大きく影響されています。地球温暖化が進むと、平均気温が高くなるというだけでなく、身近な気象現象の現れ方も変化すると考えられます。それはどのように変化するのでしょうか？

気候の将来を予測するためには、「気候モデル」を使ってコンピューターシミュレーションを行います。世界中の様々な機関がそれぞれの「気候モデル」を開発し、将来予測を行っていますが、その結果にはややばらつきがあります。

本テーマでは、「温暖化した世界では、身近な現象はどのように変わるだろうか？」という問いに答えるため、様々なモデルによる様々な予測データから、私たちの生活に身近な現象についてより確からしい将来像を描くための方法を調べてきました。

マルチ気候モデルを利用した将来予測

「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第4次評価報告書は、地球温暖化が私たちの生活に直接影響することを示し身近な話題となりました。この報告書の将来気候予測のための科学的バックグラウンドとして、「第3次結合モデル相互間比較計画 (CMIP3)」という国際的な研究計画の下に、世界中の様々な機関から24個の気候モデルによる20世紀の気候の再

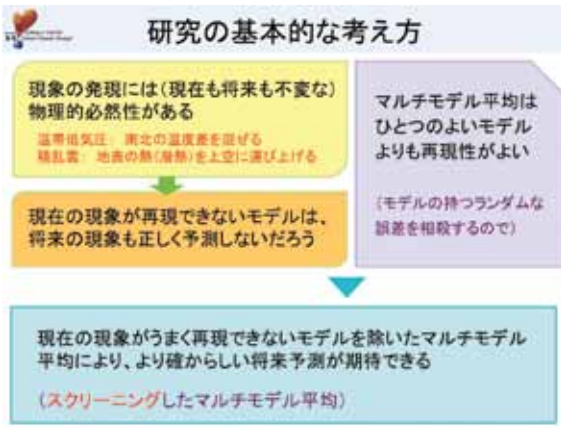
現実験および21世紀の気候の予測実験が行われ、その実験結果が集められました(図1)。

気候モデルの特性上、複数の気候モデルの将来予測にはばらつきができます。身近な気象、例えば将来の低気圧の通り道とか、将来の日本の雨の降り方とか、様々な視点から見た将来変化について、CMIP3の24個のモデル予測は様々な答えを示します。まず、そこからより確からしい答えを読み取るにはどうしたらよいかを考えます。本研究の基本的な考え方を図2に示します。ひとつには、現象の発現には普遍的な物理的必然性があるはずですから、現実の観測データと20世紀実験結果とを詳しく比較し、現実起こっている現象を最も上手く再現する気候モデルを選ぶ方法が考えられます。しかし一方で、優秀な一つのモデルよりも多くのモデル結果を平均した結果の方が将来気候をうまく予測することも示されています。それは、ひとつひとつのモデルのもつ誤差が、平均することで相殺されるからと考えられます。

そこで、上の二つの方法を組み合わせ、現在起こっている現象を気象学的に正しく再現できていないモデルを除外(スクリーニング)し、残りのモデルの結果を平均(マルチモデル平均)することにします。この方法により、より確からしい将来予測が期待できます。本テーマの10のサブグループでは、このようにして個々の現象の再現性の評価とそれぞれの将来予測を分担して研究しました。これまでに取り組んだ

	BCCR-BCM2.0		CSIRO-Mk3.5		GISS-AOM		MIROC3.2(hires)
	CCSM3		ECHAM5/MPI-OM		GISS-EH		MIROC3.2(medres)
	CGCM3.1(T47)		ECHO-G		GISS-ER		MRI-CGCM2.3.2
	CGCM3.1(T63)		FGOALS-g1.0		INGV-SXG		PCM
	CNRM-CM3		GFDL-CM2.0		INM-CM3.0		UKMO-HadCM3
	CSIRO-Mk3.0		GFDL-CM2.1		IPSL-CM4		UKMO-HadGEM1

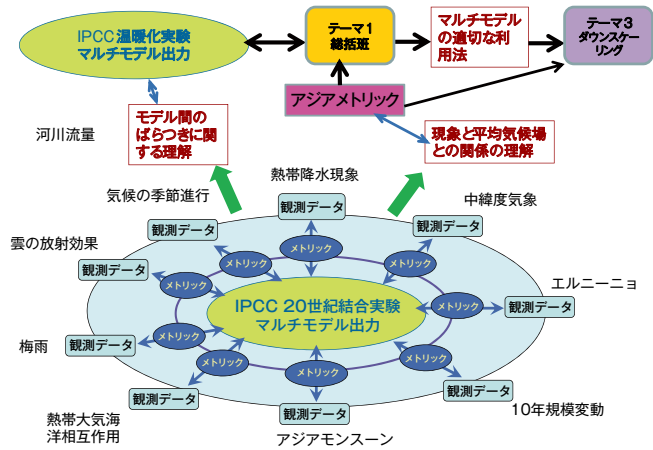
図1：CMIP3に参加した24の気候モデルと国。実験結果は、気候モデル診断・相互比較プログラム(PCMDI)のデータベースに集約されています。大量データの利用にあたり、文部科学省プロジェクトDIASの協力をいただきました。



42の現象のリストを表1に示します。後述の各サブテーマの頁では、それぞれのグループの成果からわかりやすい例をとりだして紹介します。

研究の手順

上の考え方にに基づき、本テーマでは、次の手順で研究を進めました(図3)。ここではモデルの性質を評価する指標のことを「メトリック」と呼びます。特に、それぞれの現象の特徴を表す指標を定義して現象の再現性を評価するものを「現象メトリック」、風や気温など、気候の基本場の要素で気候モデルを総じて評価するものを「気候場メトリック」と呼びます。後述の東アジアメトリックは、気候場メトリックのひとつです。今後、各モデルについてこれらのメトリックを評



価した値は「メトリック値」という言葉で呼びます。

1. 様々な個別の現象について、その特徴を代表する「現象メトリック」を定義し、現在気候での再現性を評価する。(観測との比較による現象の再現性評価)
2. 現在気候での各モデルの現象メトリック値を計算し、それを利用して将来気候での現象の現れ方をよりよく読み取る。(スクリーニングしたマルチモデル平均などによる個々の現象の将来予測)
3. 東アジア域の現象の再現性をまとめて表す「気候場メトリック(東アジアメトリック)」を考える(現象メトリックを利用した総合的気候場メトリックの作成)

表1: これまでに扱った現象

1	全球平均および帯状平均気温	22	PJパターン ⁸⁸⁾
2	地上気温の年々変動と日々変動 ⁸⁴⁾	23	夏の北極域ストームトラック
3	熱帯の雲降水特性 ^{73), 74)}	24	盛夏期太平洋高気圧 ⁸⁰⁾
4	熱帯降水分布 ^{70), 71)}	25	台風発生 ^{136), 138)}
5	熱帯西太平洋の降水応答 ¹¹¹⁾	26	台風経路
6	降水量変化予測の不確定性と海面水温変化分布 ¹¹²⁾	27	アリューシャン低気圧
7	熱帯太平洋表層貯熱量	28	北半球環状モード(NAM)
8	東アジアの降水強度 ¹⁰⁰⁾	29	季節内変動, マデン・ジュリアン振動(MJO) ¹¹⁷⁾
9	海洋Rossby波位相速度 ¹²²⁾	30	MJO-東アジアテレコネクション ^{126), 127)}
10	北極点付近の海水厚	31	赤道準2年振動(QBO) ^{82), 83)}
11	春一番 ¹⁰²⁾	32	熱帯太平洋における海洋平均構造とENSO特性
12	夏季アジアモンスーン ⁷⁵⁾	33	成層圏ENSOシグナル
13	モンスーンオンセットの将来気候 ⁷⁶⁾	34	ENSO非対称性 ¹¹⁰⁾
14	梅雨前線 ^{97), 98), 99)}	35	西風バーストとENSO ¹²¹⁾
15	梅雨期の降水強度 ⁹²⁾	36	北太平洋10年規模変動(PDO) ¹¹³⁾
16	ジェット気流の南北移動	37	関東の温暖化と都市化
17	小笠原高気圧の軸の移動	38	日本沿岸平均水位変動と上昇トレンド
18	北半球夏のジェット気流と成層圏オゾン	39	北太平洋海面気圧トレンド ¹¹⁴⁾
19	シルクロードパターン ⁸⁹⁾	40	北太平洋亜熱帯循環系トレンド
20	ヤマセとオホーツク海高気圧 ⁶⁹⁾	41	水文循環過程 ¹⁴²⁾
21	梅雨明けと西部北太平洋モンスーン ⁷⁶⁾	42	河川流出

気候モデル性能評価指標(東アジアメトリック)

サブグループ間で協力した結果、様々な現象に対して、各モデルの「現象メトリック値」の比較結果の大きな表ができました。次に、これを利用して東アジア域の気候変化の総合評価指標「東アジアメトリック」の開発に取り組みました。

本テーマのサブグループでは、ひとつひとつの現象について、モデル再現性評価に基づいた将来変化予測を行いました。しかし一方で、実際に気候モデル結果を利用する場合には、梅雨ならこのモデル、台風ならこのモデルと、いちいちモデルを選ぶのではなく、例えばどの気候モデルが「概して」よく気候の再現をするのかを知りたいこともあります。

従来型の全球気候の評価指標(全球気候メトリック、今後「全球メトリック」と呼ぶ)は、各データ格子での風、気温、湿度などの誤差の2乗を全球で足し合わせた値などで、おおまかに気候モデルを評価します。日本を含む東アジア域の現象で、もともとこのような全球メトリックとの対応が良い現象メトリックもあります(後述図6のジェット気流《偏西風の軸》や「PJパターン」など)が、例えば梅雨のように私たちの

生活に大きく影響する現象でも、全球メトリックの成績とはあまり対応しないものもあります(後述図6の梅雨)。

例えば図4は、梅雨を含む降雨帯の季節的な南北移動の様子を比べて梅雨の再現性を評価し、それを全球メトリックと比較した結果です。図は、横軸が時間(5月1日から7月30日までの日数)、縦軸が緯度のグラフに東経115度~145度を平均した降水量を色でプロットしたものです。上図が観測値です。中段には、梅雨再現性の良い3つのモデルの降雨帯の季節変化が示されていますが、これらのモデルの全球メトリックは、20モデル中7位、11位、15位と必ずしもよくありません。逆に、全球メトリックの上位3モデルの梅雨再現性は、各々12位、15位、5位とやはり必ずしも上位にはありません。

東アジアに住む私たちにとっては、東アジア域において重要な現象との対応の良い、東アジア域の気候場メトリック(以下「東アジアメトリック」)があると便利です。そこで、各サブグループが求めた個々の現象メトリックの値を利用して、日本を含む東アジア域の気候再現性を評価する東アジアメトリックのひとつを次のステップで開発しました。

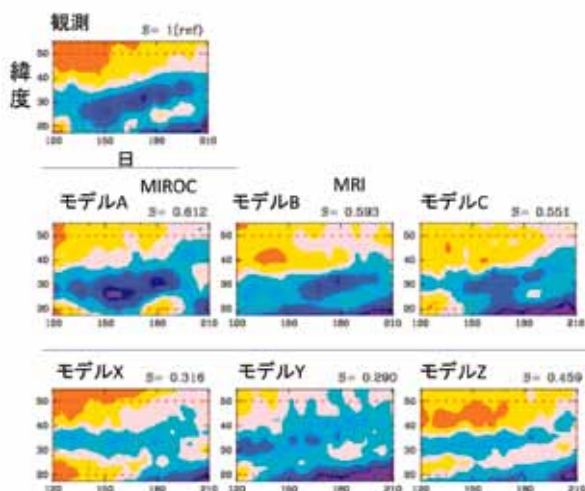


図4：降水帯の北進による梅雨の再現性の比較。上図は観測。中段は、梅雨の再現性の上位3つのモデル。それぞれ全球気候メトリックは7位、11位、15位。下段は、全球気候メトリックの上位3モデル。梅雨の再現性は各々12位、15位、5位。

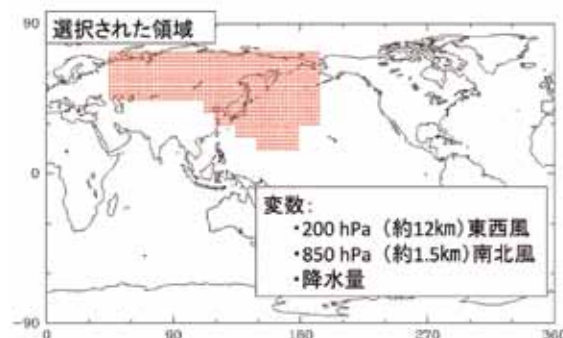


図5：東アジアの夏の気候を評価するメトリックの変数と領域。図の中で赤色の影をつけた領域で右下の3つの変数、すなわち、上空12kmの東西風、高度1.5kmの南北風、及び降水量の3変数がよく再現されるモデルは、ジェット気流、PJパターン、梅雨をよく再現する。

- ▶ **ステップ1**：東アジアの夏の気候の決め手となる現象を選択。ここでは、ジェット気流の位置、PJパターン（フィリピン域と日本域の夏の雨がシーソーする現象）、梅雨の3つの現象を選択。
- ▶ **ステップ2**：選択した3つの現象の現象メトリック値を各モデルについて計算。それと相関のよい気候場メトリックを作り出す基本場の変数と領域を選択。
- ▶ **ステップ3**：東アジアメトリックと現象メトリックとの相関で両者の親和性を評価（下記参照）。

ステップ1, 2で作成した東アジアメトリックと現象メトリックとの相関を、全球メトリックと現象メトリックとの相関と比較した結果を図6に示します。まず、全球メトリックとの相関（黄）を見ると、ジェット気流とPJパターンについては、全球気候の再現性の良いモデルはこれらの現象もよく再現しています。しかし、梅雨の再現性は全球メトリックと相関がないことがわかります。一方、東アジアメトリックとの関係（青）を見ると、梅雨との相関、および3現象の総合評価が目覚ましく改善しています。「ジェット気流」の再現性も大きく改善しています。東アジアの夏の気候の代表性が高い指標ができたことが確認されました。

東アジアメトリックは、例えばアジア域気候を領域気候モデルでダウンスケーリングし、より詳細な気候予測結果が知りたい場合、どの気候モデルを親モデルとして使うべきか等の情報を与えてくれます。

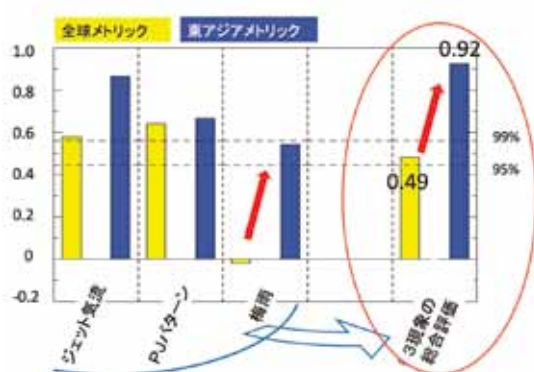


図6：全球メトリックおよび東アジアメトリックの夏の現象との相関。

今後の取り組み

2007年に発行されたIPCCの第4次評価報告書のために、世界のたくさんの機関で気候モデルが開発され、現在や将来の気候の計算が行われました。ここでは、そのたくさんの計算結果を集約したデータ（CMIP3）を利用した研究の成果を紹介しました。現在気候や温暖化が進んだ世界における身近な現象を、世界の気候モデルがどのように再現もしくは予測しているかという計算結果には、いろいろな点で違いがあります。しかし、それらを様々な視点で比べ、再現性のメカニズムを詳細に調べることにより、将来に起こる変化をより正確に知ることができるのではないかと考えています。

ここで使われたCMIP3の気候モデル計算は、2005～2006年に行われたものです。それから約6年が過ぎ、コンピューターの能力も格段に向上すると共に、様々な現象の理解や物理法則の数式化の方法も進歩してきました。2012年の現在、世界の各機関では、2013年に発行予定のIPCC第5次評価報告書に向けて、その研究基礎を作るため、最新の気候モデルの計算結果をまさに集約し分析し始めているところです（CMIP5）。最新のコンピューターの性能では、気候モデルの一つの格子をCMIP3時代よりも小さくできるため、より詳細な現象を表現できます。また、100年後の予測だけでなく、30年後のより近い将来をより正確に予測するための実験も行われています。

私たちの研究では、複数の気候モデルの比較解析が、現象のメカニズムの理解を深めるひとつの有力な方法となることがわかりました。また、各地域で重要な現象を選択し、それらを代表することのできる地域的なメトリック（東アジアメトリック）を開発する手段を構築しました。今後は、この経験を生かして最新の気候モデル結果を比較解析していく予定です。それにより気候や気象の仕組みをより深く理解できるようになれば、気候モデルの精度を一層向上させることができるでしょう。そして、身近な現象についても、より正確な将来予測ができるようになることを期待されます。

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

テーマリーダー：気象庁気象研究所 高 藪 出

はじめに

本課題名にあります「ダウンスケーリング」とは、将来予測結果を詳細化する技術です。私たちは、本プロジェクト(テーマ3)をスタートさせるにあたって、以下の課題を設定しました。

- ▶ グローバルな地球温暖化の進行に伴って、日本における局地的な気候がどのように変わっていくのでしょうか。また、この問いに答えるためにはどのような技術開発が必要なのでしょう。
- ▶ IPCC第4次報告書においてはグローバルな地球温暖化は既定の事実となりました。そのため今後は国や地方自治体による局地的な対策策定が必要な段階にきています。このようなステージで、具体的にどのような種類・解像度・精度の気候予測データが求められているのでしょうか。

これらの課題に答えるために、本プロジェクトでは以下の3つのテーマに沿った研究計画を立てました。

1. 気候予測データを詳細化する(ダウンスケーリングの実施)。
2. 詳細化した気候予測データの信頼性を確かめる。
3. 詳細化した気候予測データをユーザーが使える形に加工する。

そのための本プロジェクトの大きなデザインは、図1に示すようなものとなりました。

まず、地球温暖化の主要な予測データである全球大気・海洋結合モデル(本プロジェクトでは文科省共生プログラムで開発・計算が実施されましたAORI/NIES/JAMSTEC開発のMIROC3-hiモデルを用いました)の結果を、3機関の地域気候モデル(防災科研のRAMS、筑波大のWRF、それに気象研のNHRCM)を用いて格子間隔20kmにダウンスケーリングしました(これを力学的ダウンスケーリングと呼びます¹⁸⁰⁾)。この際、京大防災研によって開発されたバイアス検知システムによりモデル誤差の評価と低減の研究がす



図1：テーマ3のデザイン

すめられました。また、北大が開発しました、全球モデルと地域気候モデルを一体化し地域気候モデルでダウンスケーリングした結果を全球モデルに返して計算しなおすという方法との比較から力学的ダウンスケーリングの妥当性も検討されました。さらに代表的なダウンスケールユーザーとして、ここでは農業分野、水利分野、そして都市気候分野を選び、それぞれに最適な加工技術の提示を試みました。農業分野については日本の主要作物である米の収量モデルを例に入力データの精度検証を行いました。また水利分野では日本域において洪水・渇水の再現に必要な降水データの算定を行いました。これらから、現在の技術水準では力学的ダウンスケーリングの結果に対しては誤差補正を行う必要性が示されました。都市域に関しては3機関の都市気候モデル(筑波大のWRF-UC、京大防災研のCReSiBUC、気象研のNHUCM)による2段階力学的ダウンスケーリングを行い、都市の効果、特に地表面温度特性の変動を調査しました。その結果、都市特有の現象であるヒートアイランド効果を加味した将来の都市気候のアセスメントが可能になりました。

気候予測データを詳細にする

局地的な気候を表現するのに、現状の全球大気・海洋結合モデルでは解像度が不足しています。そのため20km格子の地域気候モデルを埋め込んで走らせることにより、詳細な情報を得ることができます(これを力学的ダウンスケーリングといいます)。図2はその一例を示します。

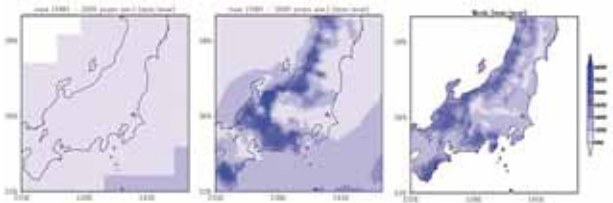


図2：日本域の降水量の再現性。左から全球モデル、20km格子NHRCMによるダウンスケーリングの20年平均値、気象庁のメッシュ気候値(観測値)。ダウンスケールによって降雨域のコントラストが再現されてくることがわかる。

詳細化した気候予測データの信頼性を確かめる

本プロジェクトでは、ダウンスケーリングデータの信頼性を確保するために複数の地域気候モデルにより同時にダウンスケーリングする手法をとりました。こうすることにより、単一モデルによる癖を取り除く

ことが可能になります。図3は3つのモデルの温暖化による変化を気温(横軸)と降水量(縦軸)に関して示したものです。これをみると、将来に向けての気温上昇は確度が高いものの降水量変化はそれに比べると地域差が大きいことが見て取れます。

そこで日本域での分布を気温と降水量について地図に載せました。気温(図4)に関しては、最下段を見るとわかりますようにモデル毎に特徴的な誤差がありますがどのモデルも高緯度ほど顕著な昇温を示しています。降水量(図5)に関しては、どのモデルも日本海側の減少と太平洋側の増加を示しています。これは将来温暖化により冬のモンスーンによる降水が弱まり、夏のモンスーンに伴う降水が強まることと対応しています。

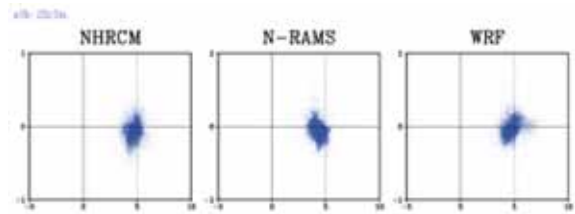


図3：左からNHRCM、N-RAMS、WRFの3地域気候モデルによる都府県別・支庁別の月平均気温偏差(横軸)、月降水量比の偏差(縦軸。対数をとっているため0より上が増加、下が減少)。図はモデルにより計算された将来値と現在値の差である。

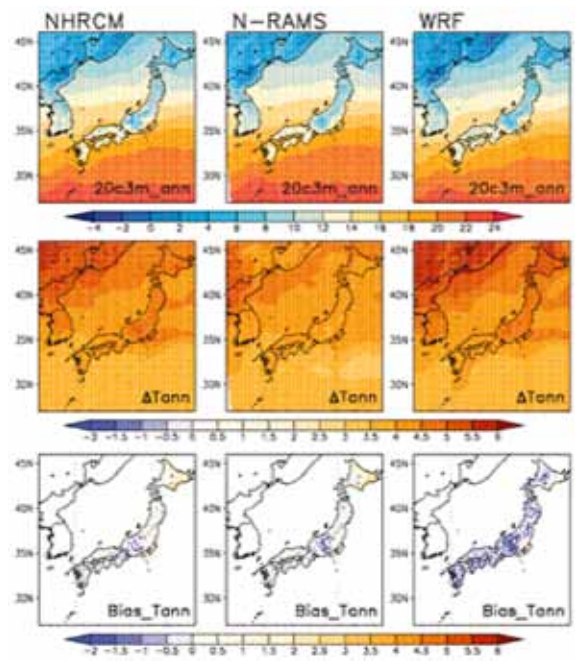


図4：3地域気候モデルによる地上気温の現在再現(上図)、A1Bシナリオによる将来変化(中図)、現在再現の誤差(下図「単位はすべて℃」)。左から気象研NHRCM、防災科研RAMS、筑波大WRFモデル。

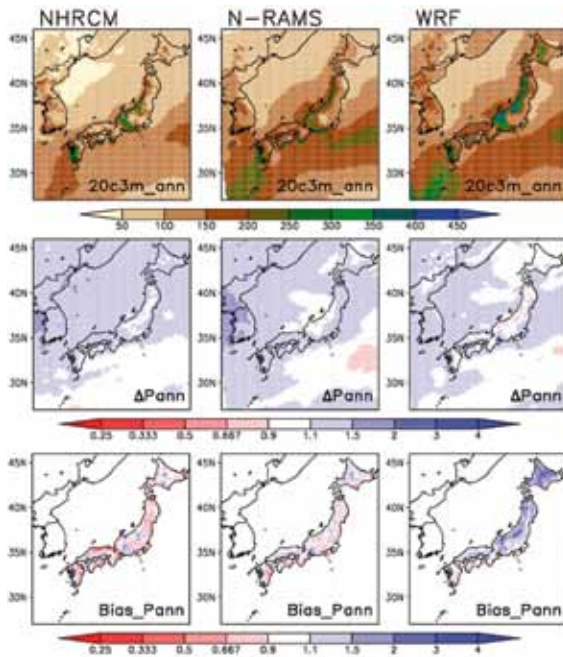


図5：3地域気候モデルによる年降水量の現在再現（上図：単位はmm/月単位）、A1Bシナリオによる将来変化（中図：現在再現に対する比）、現在再現実験の誤差（下図：観測地に対する比）。左から気象研NHRCM、防災科研RAMS、筑波大WRFモデル。

詳細化した気候予測データをユーザーが使える形に加工する

20km格子モデルによるダウンスケーリングでは、まだまだ局地気候の再現には不足しています。そこで、ユーザーが使える形にするには、さらなる工程が必要になります。

(1)農業分野・水利分野

農業分野・水利分野に関しては本プロジェクトではさらなる力学的ダウンスケーリングは行いません。しかし、農業・水利両分野とも影響評価モデルへの入力値にはその絶対値に高い精度が要求されることがわかりました。ここまでで見てきたように、力学的ダウンスケーリングはモデルごとに特徴的な誤差があるためそれを取り除く必要があることが明らかになりました。

農業の場合、生産量予測に大事なものは主に気温・降水量・日射量です。世界的に見てこれらのうち特に制

約条件になるのは降水量ですが、日本域は例外的に降水が多く、また用水が整備されているのでこれが制約条件になることはほとんどありません。むしろ、重要なのはダウンスケールされた日射量の精度です。農環研で精査したところ、現行の地域気候モデルでは日射量が観測値に比べ30-40%過大であり、±3%の精度を要求する米の収量予測モデルへそのまま適用するには無理があることがわかりました。そのため、この目的には日照量の誤差補正を行ったデータを用意することで十分な精度の収量予測を実現できることを示しました。

水利面では、日本の河川は大陸河川に比べて流域が狭くまた急流であるため、大陸河川を扱う場合に比べてより詳細な時間・空間スケールにおいて高精度なダウンスケーリングが欠かせません。流域別・月別降水量で精度の高いダウンスケーリング結果であってもこのような高い時間・空間分解能でのダウンスケーリングの精度は不十分であるため、これも補正が必要になります。東工大・京大防災研ではそのような手法を開発して、精度の高いダウンスケーリングデータを提供することに成功しました。

(2)都市気候分野

都市は図6に模式的に示すように建物等の人工物が覆っておりちょうど森林のようになっています（これを都市キャノピーと呼びます）。そのため、特に人間が住む地表面付近では独特の局地的な気候を形成しています。これを表現するためには都市キャノピーをモデルの中に入れて、都市スケール（2km~4km格子）で計算してやる必要があります。



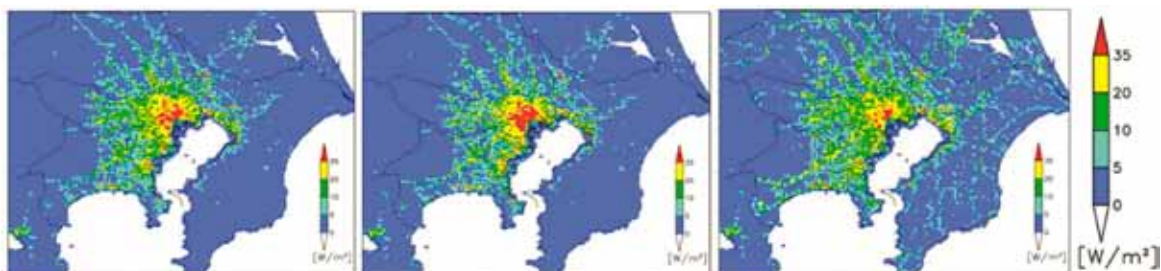
図6：都市キャノピーにより都市街区内の風が弱まる様子の模式図。

近年、都市域では、地球温暖化とヒートアイランド現象によって、熱中症患者数・睡眠障害発生数・電力消費量が增大しており、社会的な問題となっています。地球温暖化による気温上昇が継続することにより、これらの問題がより大きくなると懸念されています。将来の都市気候を予測するためには、建物・道路の存在による効果や人間活動による排熱効果を数値モデルの中で考慮する必要があります。また、将来の都市気候は、全球的な気候変動だけではなく、将来の都市のあり方にもよりますので、将来の都市シナリオも設定しなくてはなりません。筑波大・京大防災研・気象研3機関の都市モデルチームは、独自に開発した都市モデルと本プロジェクトテーマ4の土地利用予測チームが作成した将来の都市シナリオを用いることによって、これまでにない新たな予測に取り組みました。

図7は、テーマ4作成の3つの都市シナリオに基づき計算された将来の8月の人工排熱分布図です。人々が都心に住むコンパクトシティー型の集約シナリオ

の場合、人工排熱は都心で増加しその周辺でやや減少し、人々が郊外に住む自動車依存型社会の分散シナリオの場合、人工排熱は都心で減少し郊外で増加すると予測されています。

下段の図から、将来、コンパクトシティー化が進むと、都心に近い住宅地の気温上昇量がわずかに緩和されること、人々が郊外に住む自動車依存型社会になると都心を除く南関東全域で気温がより上昇することがわかります。シナリオの違いによるインパクトは全体的にはそれほど大きくありませんが、0.5℃を超える地域があることを示しているこの結果は、都市スケールでの将来予測に対しては、都市シナリオの違いを無視できないこと、都市計画によって地域の温暖化を局所的に緩和できる可能性があることを物語っています。



将来の8月の人工排熱。左図は現状維持、中央図は集約、右図は分散シナリオの場合。



図7：都市気候の将来予測の結果。左図は2050年代のある年の8月の地上高さ20mの気温分布。中央図と右図はそれぞれ、都市が集約型になること、分散型になることよって起こる気温上昇量(気象研究所モデルの結果)。

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に関する研究

テーマリーダー：(独)国立環境研究所 山形 与志樹

はじめに

気候変動の予測シナリオは、温暖化対策を検討するための科学基盤です。これまでのIPCC第4次評価報告書では、気候変動予測と社会経済変化の相互作用を分析しておらず、世界を十数地域に分割した社会経済シナリオ（本研究とは別の統合評価モデルを用いて作成）が予測に用いられてきました。しかし、気候モデルの空間解像度の向上に伴い、より地理的な分布を考えた、温暖化問題に対する適応と緩和を検討することの重要性が指摘されており、次世代の気候変動予測では、特に自然システムと社会システムを統合して解析するアプローチが重要になっています。本研究では、次期IPCC報告書に対応し、地理的な分布を考慮する空間詳細な排出・土地利用変化シナリオの開発を目標として研究に取り組んできました。図1は、テーマ4全体の構成とサブテーマ間の連携について示しています。

ダウンスケール手法と土地利用変化シナリオの開発

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につ

いて、0.5度メッシュ（50km程度の空間格子情報）へとダウンスケールする手法を新たに開発しました²¹⁸⁾。図2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ました。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ます。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た空間詳細な土地利用変化のシナリオの開発にも取り組みました。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きました²²³⁾。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、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ました。

温室効果ガスとエアロゾル等の排出の空間分布の推定

国や地域ごとの積算値で推計された温室効果ガス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が開発されました。次期のIPCCのシナリオに対応して、二酸化硫黄（SO₂：硫酸

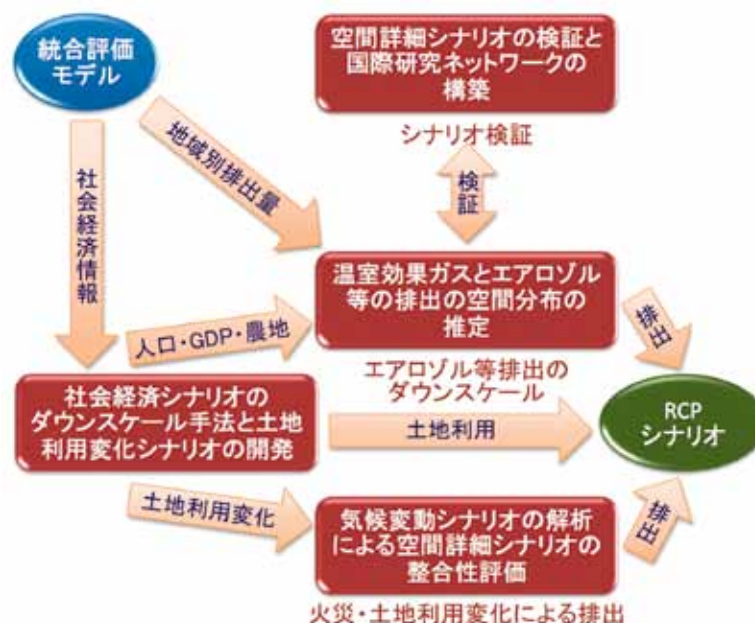


図1：テーマ4の全体構成

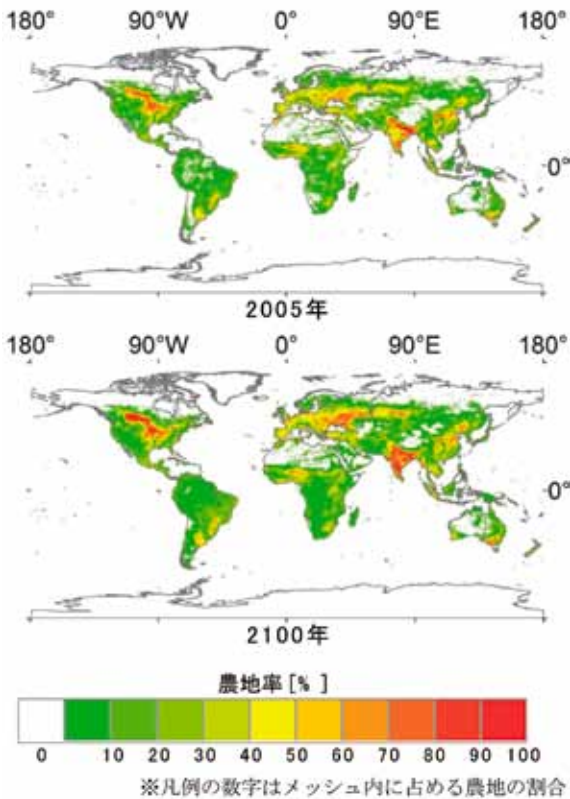


図2：地球全体の空間詳細土地利用変化シナリオの開発結果の一部(農地分布)

エアロゾルの前駆物質)等の年間積算排出量の21世紀中の空間分布の変動を予測しました。空間詳細化に際しては、本テーマで構築した人口、GDP、農地面積などの0.5度メッシュの空間詳細シナリオを採用しています。空間詳細な排出量分布の推計にこのような社会経済情報の空間詳細シナリオを採用したのは、世界で初めてのことで²²⁰⁾。

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

主にアジアにおけるメガシティを対象として、温室効果ガス(GHG)排出量のボトムアップ分析(地域別の推計結果の積み上げ)を行いました。具体的には、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の収集や、大都市におけるCO₂排出量の分析、リモートセンシング画像を利用した都市の人口密度の推定方法の開発、さらに、都市形態とCO₂排出量の分析を行いました。これにより、リモートセンシング画像が大きな役割を果たし得ることが示され、都市形態とCO₂排出量に相関関係があることが再確認されました。また、この分野における都市・地域の研究者間の国際連携を強化するために国際研究ネットワークを構築し拡充してきました。収集された情報は、都市炭素管理政策を策定するために用いられており、IPCC第5次評価報告書などの主要な国際評価にも貢献しています。

空間詳細シナリオの整合性評価

土地利用変化シナリオを用い、将来の土地利用変化によるCO₂排出がどのように変化するかを分析しました。生態系モデルを用いて、伐採によるCO₂排出および耕作放棄地における植生再成長によるCO₂吸収を考慮してシナリオの評価を行いました。その結果、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と、陸域生態系モデルを利用した本研究による見積りと統合モデルによるシナリオとの差が大きくなる場合があることがわかりました。また、過去の土地利用変化空間データを利用し、排出推定方法の検証も行いました。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うことができました(図3)。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ました。

まとめと今後の課題

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もったシナリオを構築し、世界中の気候変動予測研究者に提供し、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ました。今後は、気候変動影響の解析を行い、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ます。

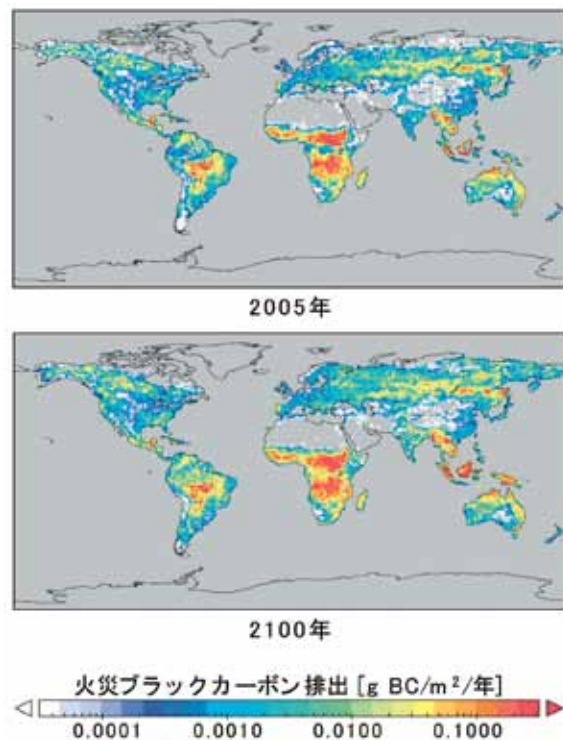


図3：RCP6.0シナリオの森林火災ブラックカーボン排出

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

サブテーマリーダー：(独)国立環境研究所 江守 正多

地球温暖化による陸域生態系への影響

地球温暖化は生育環境変化を通じ陸域生態系の構造・多様性・機能を改変させ、人間社会への生態系サービスに影響を及ぼすと考えられています。一方、陸域生態系は温室効果ガスを含む大気中の微量ガス濃度の調節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逆に気候システムを大きく改変する可能性もあります。本研究では、排出シナリオ・気候モデルの異なる101通りの気候シナリオに基づき陸域生態系モデルVISIT^{17), 18)}を用いた影響予測を実施し、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²¹⁵⁾、浸食による土壌流出(生態系劣化の指標)について解析しました。その結果、どの気候シナリオでも、大気CO₂濃度上昇による光合成の加速と温度上昇に伴う成育期間の延長により、植生の純一次生産力の大幅な増加が推定されました。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、火災増加が推定されました。複数気候シナリオを用いた数値実験は、全球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ました(図1)。しかし、これらの影響は空間的に不均質に生じるため、その地域差に着目した更なる理解が求められます(図2)。

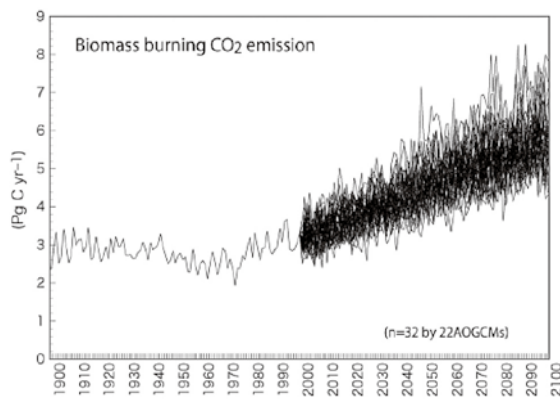


図1：バイオマス燃焼起源のCO₂放出量に関する推定結果。SRES A1Bシナリオに基づく22気候モデルの温暖化予測シナリオを使用。

地球温暖化による人間健康への影響

気温と死亡率の統計的関係を各地で見た研究からは、多くの地点で気温が低すぎても高すぎても死亡率が高まる傾向が見られ、また統計的に死亡率が最小となる気温(至適気温)は地域により異なり、暖かい地域ほど至適気温が高い傾向が示されています。以上の至適気温の地域差を過去の気候への適応の結果と捉え、将来の気候変化に応じた至適気温変化を仮定することで熱ストレス死亡への適応の効果を仮想的に考慮したリスク評価を実施しました。適応(気温変化に伴う至適気温の変化)が無いとした場合、気候変化量が比較的小さなSRESB1排出シナリオでは今世紀中の熱ストレス死亡は全球で150%(14気候モデルの平均・5~95%不確実性幅は86%~205%)増加、気候変化量が最大となるA2シナリオでは327%(14気候モデルの平均・5~95%不確実性幅は207%~412%)増加と予測されました。一方で、気温上昇に応じた完全な適応を仮定した場合、熱ストレス死亡の増加は概ね抑えられることが示されました。ただし、このためには、A2・A1B・B1シナリオで、それぞれ100年間に4.1±0.8℃、3.4±0.8℃、2.3±0.6℃の至適気温のシフトが求められます。限られた期間でどの程度の適応が実現可能であるかは不明であり、緩和・適応を合わせたリスク管理が求められます。

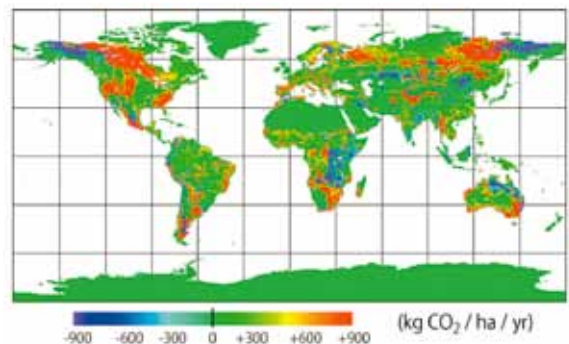


図2：VISITで推定された火災起源CO₂放出の2080年代までの変化分布。MIROC中解像度版+SRES A1Bを入力した場合。

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

サブテーマリーダー：(独)海洋研究開発機構 ジェームス・アナン

過去の気候変動を利用した気候モデル信頼性評価

本研究の目的は、将来予測に用いられるモデル、特に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告書で利用されたCMIP3気候モデルアンサンブル(以下CMIP3モデル)を評価すること、これをもとに、将来気候変動の確率的な予測を行うことです²⁾。将来予測を直接評価することはできませんが、モデルによる過去の気候の再現性を評価することはできます。気候変動研究の初期に行われた研究として1988年のJames Hansenの予測があります。我々は観測とこの予測とを比較することで、予測に十分な精度があったことを明らかにしました(図1)¹²⁾。Hansenモデルは最近のモデルに比べると簡単なものであるため、より現実的な今日のモデルは、さらに信頼性があると考えられます。さらに我々はモデルによる現在気候の再現性に関する評価を行い、CMIP3モデルは全体として特定の誤差を持つものではなく、信頼性があることを示しました³⁾。

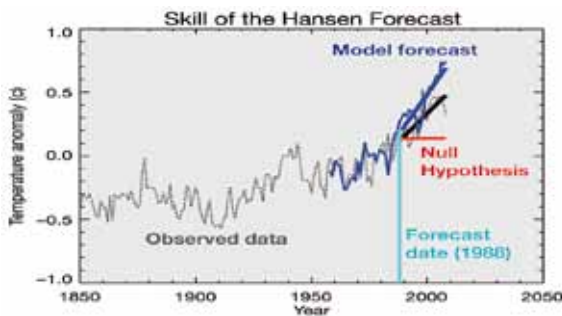


図1：観測データ(黒線)、James Hansenによるモデル予測(青線)、気温変化がないとした帰無仮説(赤線)、モデル予測を行った時期(水色)。

上記の結果は現在に近い気候を利用した評価であるため、将来の大きな気候変動とは関係ないかもしれませんが。このため21,000年前(最終氷期)の気候変動についてモデルの再現性評価を行いました¹³⁾。最終氷期では現在より温室効果ガス濃度が低く、大きな氷床があり、特に高緯度域で気温が低かったのです。CMIP3モデルによる最終氷期実験と観測を比較することで、モデルがこの寒冷化を精度良く再現することを示しました。

日本域の気候に関するモデル信頼性評価

さらに日本域における気候モデルの再現性評価を行いました¹⁰⁾。日本域の観測データでは前世紀に地表気温が大きく上昇していますが、データ精度や、温度上昇における都市化の影響が問題です。我々は日本の陸域と周囲の海洋上の気温変化を比較することで、この問題に取り組みました。この結果、CMIP3モデルでは陸域と海洋上の気温変化は密接に関係していること(図2、陸域と海洋での温度上昇の比率はほぼ一定)、本研究で「田舎域」と識別した陸域地点と、周囲の海洋上での気温上昇の関係は、CMIP3モデルと整合的であることがわかりました。CMIP3モデルでは都市化を考慮していないことを考えると、この結果モデルが観測を再現していることを意味します。さらに本研究で「都市域」と識別した地点では「田舎域」に比べて大きな温度上昇があることがわかりました。このことから、陸域観測データには都市化の影響がある地点とない地点が混在しており、これらを分離することが重要であることが確認できました。

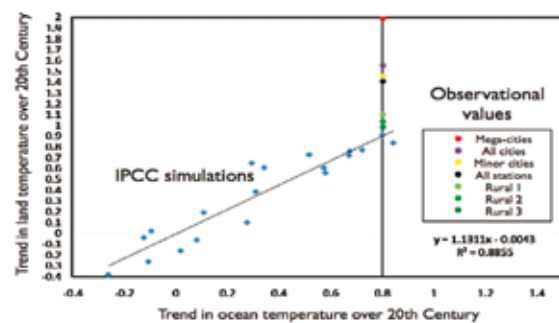


図2：日本周辺の海洋(横軸)と陸域(縦軸)における20世紀気温上昇。CMIP3モデルの結果(青)、本研究で識別した「田舎域」(緑)、「都市域」(赤：巨大都市、青：すべての年、黄色：中規模都市、黒：全て)。「田舎域」と「都市域」の差が都市化の影響に相当する。

気候変動シナリオに基づく 水文・水資源の未来像の描出

サブテームリーダー：東京大学生産技術研究所 沖 大 幹

はじめに

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、他の課題やこれまでに得られている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しました。

利用可能な水資源における気候変動の影響評価

これまでの年単位での気候変動の影響評価では、年流量が増加し、利用可能な水資源は増大するとされてきました。しかし、日流量の計算に基づいて調べた結果、流量の多い時期に増加し、流量の少ない時期にはより減少する傾向が見られ、実質的に有効利用が可能な水資源量は減少することが分かりました²⁵⁾。その結果、例えば水力発電では年平均としては増加する地域でも、月によっては発電ポテンシャルが減少してしまう地域もあり、従来通りの運用では安定した発電量を維持することが困難となる可能性が示されました(図1)。

水需給バランスにおける社会変動の影響

世界各地における年単位の水需給バランスの悪化に対しては、気候変動よりも人口増加や経済発展に伴う水利用量の増大といった社会変動の影響の方が大きいことも明らかとなりました。21世紀終わり(SRES A1Bシナリオ)には、人が住む多くの地域で水需要は10%以上増えますが、温暖化に伴って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%以上増えます。一方で需要の増大に対して供給量の増加分が少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といえます。

低水流量と干ばつの将来変化

低水流量(1年で日流量の少ない方から10%に当たる値)と年最大無降雨期間の将来変化は、地理的にほぼ一致することが見いだされました。特に北米大陸西部、南米大陸北東部、地中海沿岸、アフリカ西部・南部において、極めて顕著に悪化し、低水流量の低下による水資源の安定供給が困難となる可能性が示されました。

今後の課題

これまで、水不足が悪化するか改善するかを需要と供給の比がある値より大きい小さいかで示してきましたが、今後は、今と比べてどれくらい変化し、その変化に対応するためにどれくらいコストが必要かを提示することが求められています。また、水循環における極端現象が水資源や洪水の分野においてどのような影響を社会に及ぼしたかについて、全球平均気温を指標として表現されるようないわゆる気候変動レベルごとの影響関数を用いて、排出シナリオごとに求められる気候モデルの将来推計値と将来の社会の脆弱性に基づいた気候変動リスクを推計することも必要です。

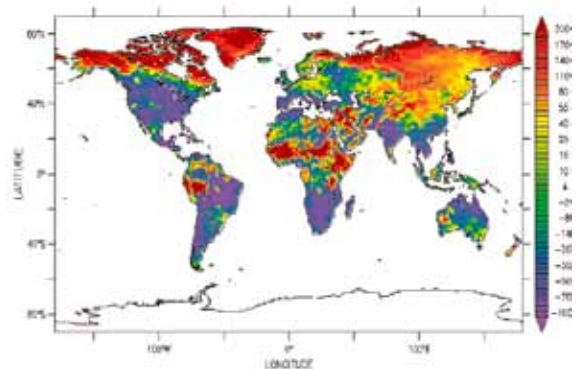


図1：21世紀終わり(2071~2100年)における現在からの年最低月発電ポテンシャル変化率。(MIROC-highモデル、SRES A1Bシナリオ)

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

サブテーマリーダー：北海道大学 山中 康裕

はじめに

地球温暖化によって海水温が上がると、海洋生物の分布域が高緯度側に移動（北上）したり、健康度が損なわれたりすることが予想されます。このような生態系の変化は、漁業や観光業などを通じて人間社会に大きな影響を及ぼすと考えられるので、将来の温暖化に対して生態系がどのように応答するかを予測することはとても重要です。本研究では、気候モデルで得られた今世紀の海水温の予測結果と、海洋生物の分布や健康度を表す簡易指標を使って、将来の海洋生物が温暖化によってどのような影響を受けるかを調べました^{39), 64)}。

サンゴの分布予測

サンゴは熱帯から温帯にかけて存在する、石灰質の骨格を形成する動物で、体内に共生藻と呼ばれる植物プランクトンを持っています。本研究では、年間最低水温が18℃以上、13～18℃、10～13℃の海域をそれぞれ「サンゴ礁形成域」、「温帯サンゴ群集成立域」、「温帯サンゴ分布域」と仮定し、それぞれの分布北限を予測しました。その結果、例えば、現在は新潟県佐渡島付近にある温帯サンゴ分布北限は、今世紀末には津軽海峡付近まで北上する可能性が高まることが分かりました(図1)。

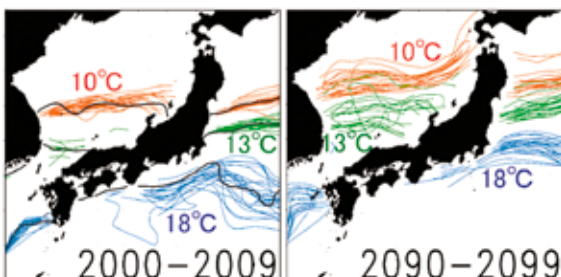


図1：2000年代(左)と2090年代(右)のサンゴ礁形成北限(18℃線)、温帯サンゴ群集成立北限(13℃線)、温帯サンゴ分布北限(10℃線)の位置の予測結果。18℃線、13℃線、10℃線の観測値を左図中の黒線で表す。

サンゴの健康度予測

一方、夏の水温が高くなりすぎると、サンゴはストレスを感じて共生藻を放出するかその活性を失わせます。このときサンゴの白色の骨格が透けて見えるようになります。この現象を「白化」と呼びますが、この状態が長期間続くとサンゴは死んでしまいます。これまでの観測結果に基づき、本研究では、夏の水温が平年よりも2℃高い状態が1ヶ月、または1℃高い状態が2ヶ月続くとサンゴの深刻な白化(大量死)が起こると仮定し、サンゴの健康度を予測しました。その結果、サンゴの大量死の発生頻度は、温暖化による海水温の上昇と共に徐々に高まり、今世紀末には毎年のように発生する可能性が高まることが分かりました(図2)。

今後の課題

温暖化の度合いは将来の温室効果ガスの排出量によっても変わりますし、生物が環境の変化に対して適応していくことも考えられます。今後はこのような要因によって生じるモデル結果の不確実性を減らしつつ、海洋酸性化など他の要因との複合影響も考慮して、より精度の高い将来予測を行なっていく予定です。

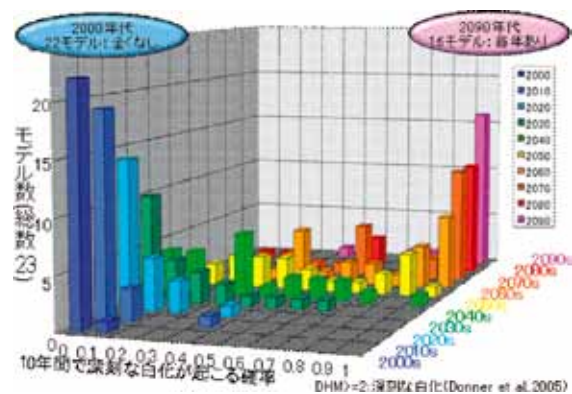


図2：2000年代～2090年代の沖縄・石西礁湖におけるサンゴの大量死の出現頻度の予測結果。10年間に何回の出現を予測するモデルが、全23のうち幾つあるかを確率で表す。

気候変動シナリオに基づく 極域・海面上昇の未来像の抽出

サブテームリーダー：東京大学大気海洋研究所 阿部 彩子

はじめに

地球の南北両極域には、それぞれ大陸規模の氷河である南極氷床とグリーンランド氷床が存在します。氷床は日射に対する高い反射率を通して地球のエネルギー収支に、その表面地形を通して大気循環に、融解水を通して海洋循環に影響を与えます。そして、その質量変化は海面水位を変化させるため、地球環境に大きな影響を与えます。南極氷床とグリーンランド氷床の完全な融解は、それぞれ約57mと約7.3mの平均海面上昇をもたらす一方、社会的には1mの上昇でも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、災害リスク、水資源などに多大な影響を与えることが懸念されています。本研究では、主にこれら2つの氷床の将来変化について、予測とその不確実性の評価に取り組みました。

マルチ気候モデル出力を用いた将来の氷床表面質量収支予測とその不確実性評価

本研究では、IPCCの第4次評価報告書で用いられた、CMIP3気候モデルアンサンブルを利用して、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キロメートルという高解像度で行いました。その結果、グリーンランド氷床では融解量が増加して海面上昇に(図1)、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ました。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ました⁴⁰⁾。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りました。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ました。

最近の観測データとの関係

氷床の質量収支は上記の表面質量収支だけでなく、力学的流動の変化にも影響を受けます。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、両氷床の質量の急激な減少を示しており、海面上昇へ寄与する割合も増加しています。こうした急激な変化に関係する過程は現在のモデルでは十分に表現されていません。一方で、これらの観測データはその期間が短いため、地球温暖化に伴う変化と外的要因によらない気候システムに内在する変動(内部変動)の両方の影響を受けている可能性があります。実際、本研究でも内部変動の影響が無視できない量である可能性が示唆されました。こうした結果は観測結果自体に疑問を呈するものではありませんが、要因の特定については注意する必要があります。将来の南極氷床の海面水位変化への寄与はその符号も含めて断定できないのが現状です。また、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いため、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す。

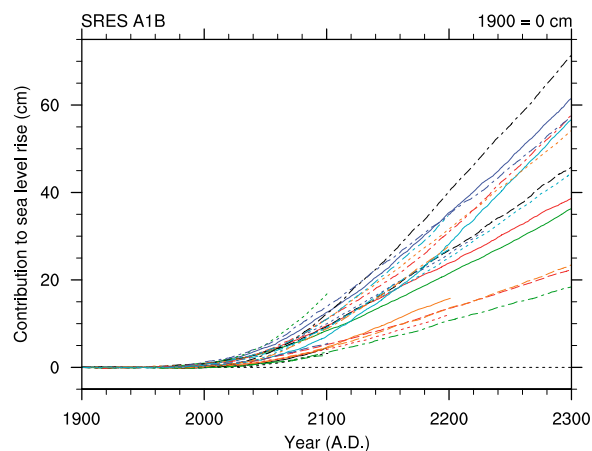


図1：SRES A1Bシナリオにおけるグリーンランド氷床表面質量収支の平均海面水位変化への西暦1900年からの寄与(cm)。線は各気候モデルに対応。Yoshimori and Abe-Ouchi (2012, J. Climate)のFig. 2aを改変。

気候変動シナリオに基づく 農業・食料の未来像の描出

サブテームリーダー：(独)農業環境技術研究所 長谷川 利 拡

はじめに

東アジアおよび東南アジア地域を対象に、気象要因と生産技術要因から作物収量を予測するモデルを構築し、CMIP3マルチ気候モデルアンサンブルを用いて2050年頃までを対象としたコメ生産への影響評価を行いました。

灌漑地域における影響評価

灌漑栽培を主体とする東アジアのコメ生産地域(図1)では、同じ排出シナリオでも、地域および気候モデルによって予測収量は異なり、気候モデルによる予測収量の違いは、地域による違いよりも大きいことがわかりました(図2)。温度上昇が大きい気候モデルでは、減収も大きいものと予測されましたが、これには高温の影響だけでなく、日射条件の変化も関与していました。このことは、気候モデルを用いた影響評価において、気温以外の要素の変動幅や変化傾向を十分に吟味する必要があることを示しています。

天水田地域における影響評価

天水田が広く分布する東北タイについて、降水量に依存する作付面積の変動と収量予測とを組み合わせることでコメ生産量を推定しました。その結果、栽培が行わ

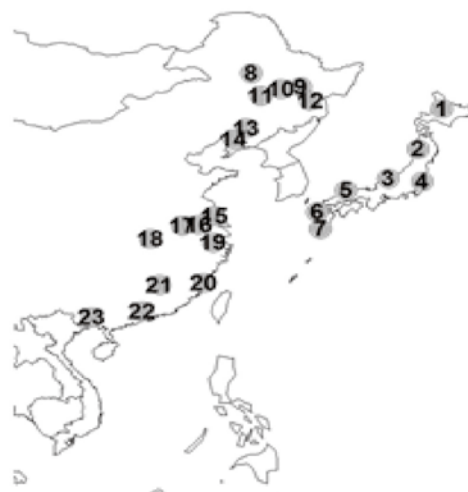


図1：解析対象地点

れる雨季の予測降水量は、多くの気候モデルで微増傾向にあり²²⁾、コメ生産量において大きな減産は予測されませんでした。

まとめ

コメの予測収量国際連合食糧農業機関によると、主要穀類の需要は2050年までに約70%増加するものと予測されています。このような需要の見直しに対して、気候変動の影響の予測幅を考慮しながら、生産技術の開発目標を設定する必要があります。

コメ予測収量の相対値(%)

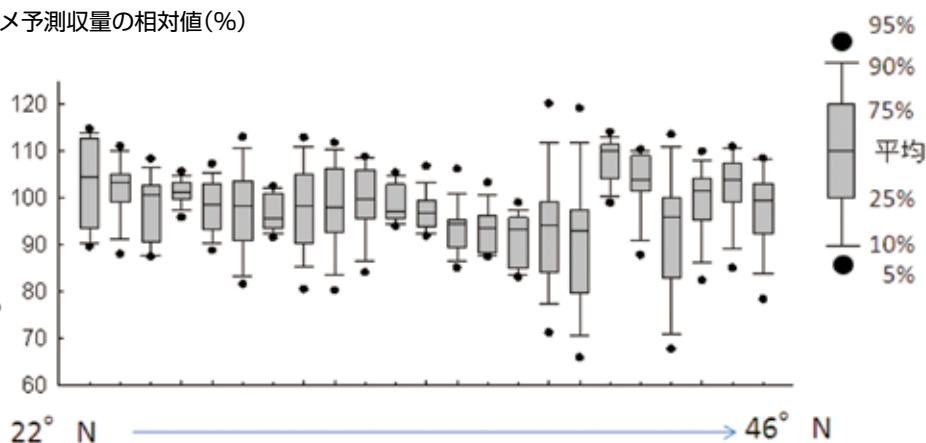


図2：緯度帯の異なる地点における2040年代のコメの予測収量(1991~2000年の平均に対する2041~2050年の相対値)。SRES A1Bシナリオの結果を提示。各地点の予測幅は気候モデルの違いによる。

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

サブテーマリーダー：東京大学サステナビリティ学連携研究機構 福士 謙介

地球温暖化リスクの理解に関する対話会合

研究者以外の市民・専門家等による地球温暖化リスクの認識や利用を把握するため、これらの対象者と温暖化の研究者との対話会合⁵¹⁾を行いました。初年度は、市民の温暖化リスク認知を探るために、研究者と市民による対話集会を実施し、2年目からは対象を市民の重要な情報ソースであるメディア関係者に移して、対話会合を4回実施しました。

市民との対話会合では、研究者による温暖化リスクの講演を受けた後の、市民の温暖化リスクの認識の変化を尋ねるリアルタイムの会場アンケートを行ったところ、限られた人数の結果ではあるものの、研究者の講演の直後には、温暖化に対する理解や不安感等に変化を与える傾向が見られました。

メディア関係者との4回の対話会合(温暖化リスクメディアフォーラム)は、各回とも温暖化に関する特定のテーマについての講演とディスカッションで構成されており、メディア関係者と研究者双方を交えて、双方が納得する報道について意見交換を行いました。これまで実施した4回の会合では、温暖化リスクの全体像、気温上昇ターゲット「+2℃」、温暖化予測計算、温暖化影響予測をテーマに選び、活発な議論が展開されました。

これまでの会合を通じて、研究者が不確実性の伝達を重要な要素と考える一方で、メディアは起こり得る

危険を注意喚起する報道を重要と考えることなど、メディアと研究者の報道に対する基準の違いが見られています。

インターネットおよび携帯電話を利用したアンケート調査

対話会合による一般市民の温暖化リスク調査は、直接市民の意識を把握できるものの、温暖化に関心がある限られた数の市民との限定的な意見交換となることから、より多くの市民の意識を調査するため、インターネットおよび携帯電話ユーザーを対象としたアンケートも実施しました。

これらの市民アンケートを通して、温暖化情報の信頼性が伝達者によって変化が見られることや、日本の温度上昇を実感している市民の方が将来の温暖化に対してより悲観的であることなど、一般市民の温暖化情報に対する認識が明らかになりました。

模擬記者会見による記者と研究者の認識の把握

このプロジェクトでは、ジャーナリズム専攻の学生が温暖化研究の記者会見を元に執筆した記事への評価を通じ、記者と研究者の温暖化研究報道への認識がどのように違うのかを探りました。

会見の題材となった研究は、温暖化影響の解析と解析手法の開発の2つの側面を持っていましたが、科学研究としては後者が重要なものの、記者には前者だけが注目されるなど、研究者と記者の視点に違いが見られました。これらの事例は、科学研究の記者発表では、研究としての意義だけでなく、一般読者への意義の考慮も必要であることを示していると考えられます。

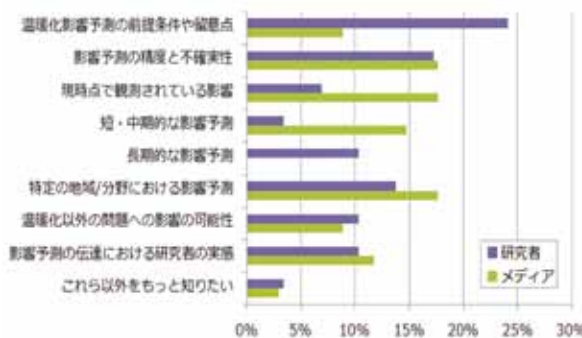


図1：第1回温暖化リスクメディアフォーラムでの温暖化の影響予測についての質問の抜粋

- (1)研究者向け：メディアの方々に伝えたいことは？
(2)メディア向け：研究者に聞きたいことは？

(回答数：研究者29人 メディア34人、三瓶ら(2011)⁵¹⁾を改変。)



図2：温暖化リスクメディアフォーラムの様子

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

サブテーマリーダー：(株)野村総合研究所 岩瀬 健太

企業による気候変動予測情報の利用における現状

本サブテーマでは、企業に焦点を当て、気候変動の予測シナリオをはじめとする将来予測情報に対する企業ニーズや企業が適応策の検討・実践を行う上での課題について研究を実施しました。具体的には企業へのヒアリング調査や企業6社と気候変動予測研究に係る研究者6名による対話型研究会を開催し、気候変動予測情報の提供側（研究者）および受け手側（企業）各々の問題意識や課題について議論・研究を実施しました。

研究の結果、まず、企業にとっての環境活動とは主に削減策を意味し、適応策を実施している企業はほとんどないことが分かりました。この主な理由としては、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ます。さらに、気候変動の将来予測情報等に触れる機会があり、地球温暖化に対する一定の危機感を有する企業であっても、予測情報をもとにした適応策の検討・実践に際しては、下表に示す主に4つの課題（障壁）があり、企業において十分に情報が利用されていないことが分かりました。

表1：企業が気候変動予測情報を利用するにあたっての課題（障壁）

課題の種類	概要
予測研究の対象時期	企業は長くても5～10年先の予測情報を求める一方、気候変動研究は短くても数十年先を対象としており、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様々であるため、それぞれの企業にあった情報の加工が必要である。
予測研究の表示方法	影響の程度を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、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	企業が予測情報をもとに行動を起こすためには、その情報が行政等にオーソライズされた公平かつ信頼性のあるものであることが望ましい。

企業による気候変動予測情報の利用促進に向けて

今回の研究により、企業による将来予測情報の利用促進のためには、数年～10年程度先という近い将来の予測情報の提供や現在の気候と過去の気候との比較分析の実施、あるいは企業と研究者とのコミュニケーションの一層の促進が必要なることはもちろんですが、それだけではなく、研究成果に対する行政等の積極的な関与も重要であることが示されました。具体的な関与の方法としては、研究成果の評価や研究成果をもとにした指針等の作成などが考えられるでしょう。

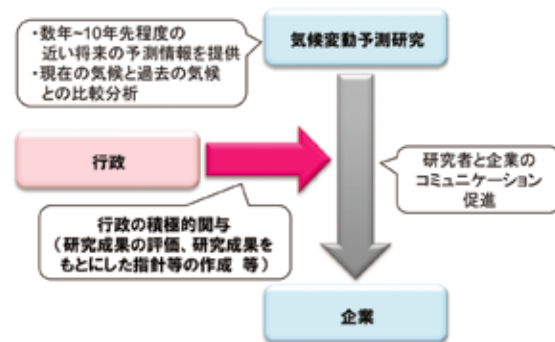


図1：企業の予測情報利用の促進のために必要な要素

現状では企業による気候変動の将来予測情報の利用やそれをもとにした適応策の実践が十分に実施されているとは言い難い状況です。しかし一方で、例えばリスクに直結する製品・サービスを扱う業界や耐用年数が数十年と長い製品・サービスを扱う業界等の中には、現状においても適応策の検討・実践に強い関心を有する企業もあることがこの研究を通して分かりました。今後、企業による気候変動予測情報の利用を広め、適応策の検討・実践を促進していくためには、その第一歩として、そのような関心の高い企業と研究者が協力し、予測情報等の利用による適応策の実施という成功事例を構築していくことが必要でしょう。また、そのような成功事例を生み出し、増やしていくためには、行政の関与の方法についても併せて検討していく必要があるでしょう。

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

サブテーマリーダー：神奈川大学 三星 宗雄

はじめに

本サブテーマでは、地球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から合理的なリスク認知に影響を及ぼす要因について整理を行ったうえで、アンケート調査から日本人の温暖化リスクに対する認知の実態とこれに関連する要因を明らかにしました。

地球温暖化問題のリスク認知

最初に、地球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レビューを行いました。

その結果、地球温暖化のリスク認知のバイアスとなる要因のなかでも科学的な手法による検証がなされている要因として、(1)感情や心象に基づく判断による影響、(2)利用可能な情報に基づく判断による影響、(3)過去の情報と照らし合わせた判断による影響、(4)個人属性による影響、などが挙げられます。

例えば、A. Leiserowitz(2006)は、米国でのアンケート調査から「地球温暖化」という言葉に対する感情が、他の要因(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一方で、温暖化政策への支持は、地球温暖化に対する感情や心象よりも、平和主義や個人主義などの人々の文化的な価値観が強く影響していることを明らかにしています。

また、W.K.Viscusi and R.J.Zeckhauser(2006)は、米国の大学生を対象に調査を行い、地球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を提供されたグループの方が気温上昇のリスクを高く見積もる傾向、つまり利用可能性ヒューリスティックがあることを明らかにしています。

さらに、J.D.Sterman and L.B.Sweeney(2007)は、米国の大学院生が二酸化炭素濃度の将来シナリオに影響され、必要な二酸化炭素排出量の削減量を実際よりも低く見積もる傾向があることから、これまでのデータの照合から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があることを検証しています。

一般市民の地球温暖化に対するリスク認知

地球温暖化に対するリスク認知とこれに影響を与える要因を明らかにするため、一般市民および地球温暖化防止活動推進員(以下、推進員)の2つのグループに対するアンケート調査を行いました⁶¹⁾。推進員については神奈川県・千葉県・埼玉県的全推進員を対象に郵送によるアンケート調査を、一般市民については調査会社のモニター1,200名を対象に、インターネットを介したアンケート調査を行いました。

その結果、地球温暖化のリスク認知として、一般市民と推進員のグループともに地球温暖化による影響が生じる可能性は高く、またそれらが世界に与える影響は深刻であるとする認知が多くなっていました。

一方で、地球温暖化による深刻な影響については、一般市民と推進員のグループでその認識は大きく異なり(図1)、温暖化問題への関心や個人属性の違いが影響していると考えられます。また、地球温暖化による影響についての認識の違いが一般市民の地球温暖化に対するリスク認知と関連があることが明らかになりました。とりわけ、地球温暖化による影響が「洪水や水不足の増加」にまで及ぶと認識している人ほど、リスク認知が高いという関連があることが分かりました。

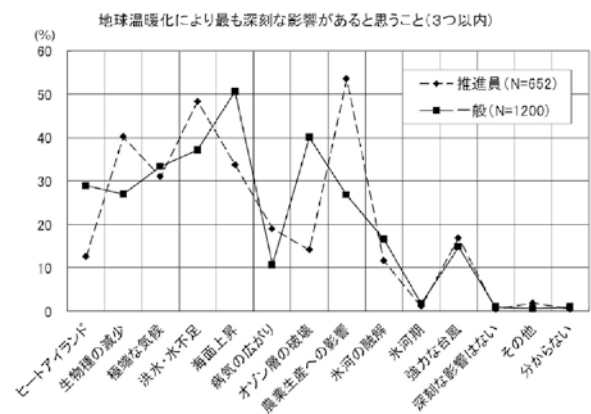


図1：地球温暖化による深刻な影響についての認識

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

サブテーマリーダー：神奈川大学 松本 安生

はじめに

本サブテーマでは、地球温暖化問題の普及啓発手法として実践的に試みられている参加・体験型コミュニケーションを事例に、その効果と課題を検証しました。

対象としたのは、①東京都港区の「ストップおんだん館」における一般市民向けのプログラム、②NPO気象キャスターネットワークによる小学生向けのプログラムの2つです。これら2つの事例で、プログラムの参加前と参加後の2つの時点において参加者へのアンケート調査を行い、地球温暖化問題に対する認識や温暖化対策への取り組みがどのように変容したのかを分析しました。

一般市民向けプログラムの検証

本プログラムが主に想定する家庭での温暖化対策への取り組みで中心となる30～40代の既婚者女性120名(有効回答111名)を被験者として調査を行いました⁶⁰⁾。この結果、まず、地球温暖化の将来予測として参加者が回答した2050年の世界平均気温の予想上昇幅(平均値)は、参加前の4.55℃が、参加後に2.94℃と統計的に有意に低くなっています。また、回答分布も参加前は予測上昇幅が4～5℃の回答が比較的多いですが、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ます。これらのことから、参加者の認識は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ます。

一方、家庭における温暖化対策への取り組みでは、参加前よりも参加直後の取り組み意欲が統計的に有意に高くなっている一方で、「商品購入時の環境配慮」などのグリーンコンシューマ型行動では、直後の取り組み意欲よりも参加後の実際の取り組み状況は統計的に有意に低くなっています(図1)。

このように、今回のプログラムは参加者に対して、家庭での温暖化対策への取り組みを高める効果がある一方で、手間や費用がかかる取り組みについては、取り組み意欲を高めるものの、取り組み自体を大きく改善するまでには至らなかったものと考えられます。

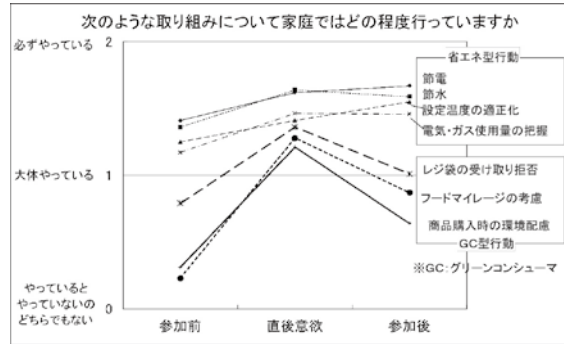


図1：一般市民向けプログラムにおける参加者の行動変容

小学生向けプログラムの検証

横浜市内の小学校10校において、4年生を中心にして766名(有効回答510名)を対象にした出前授業を行い、出前授業への満足度や理解度が家庭で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ました。この結果、「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」という傾向が確認されました(図2)。特に、家の中にある無駄な生活や省エネでできることなど温暖化対策に対する理解は、「シャワーを流しっぱなしにしない」などの家庭での温暖化対策への取り組み改善と関連があることが確認されました。

一方、「暑い日や大雨の増加」「大型哺乳類への影響」などの温暖化による影響についての認識は、家庭における温暖化対策への取り組みへの改善との間には関連が見いだせませんでした。このように、今回のプログラムは温暖化による影響やその対策への子どもたちの理解を深めています。家庭における取り組みを改善する効果をもたらすものは主に対策への理解であったと考えられます。

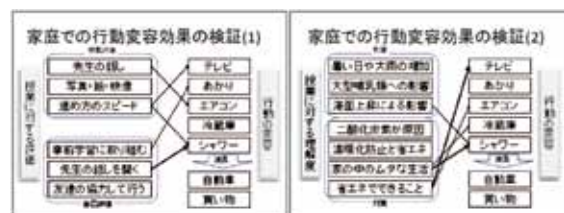


図2：小学生向けプログラムへの評価と行動変容との関連

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

サブテーマリーダー：東邦大学 朝倉 暁生

はじめに

ロールプレイングとは、自分とは異なる立場や価値観の他者を「演じる」ことで、様々な気づきを促しながら、自らの立場や価値観、責任などを客観的に考える手法のことで、心理療法やカウンセリング、教育分野などに広く用いられています。本研究では、様々な形でのロールプレイング型コミュニケーションを実施し、それらの効果を把握することを目的としました。

演劇づくりを通じたロールプレイング型コミュニケーションの効果

中学・高校の演劇部生徒に「地球温暖化」を題材とした演劇を演じてもらい、そのプロセスにおいてどのような学習効果があるのかを検証しました^{47), 48)}。

この演劇づくりのプロセスにおいては、S5の専門家と演劇部顧問教諭の協力を得て、テーマ設定や台本の大きな流れについて決定しました。演劇部生徒は、これらを踏まえ、地球温暖化に関する調べ学習を個々に行い、場面設定やセリフづくりなどを行ないました。そして、公演準備開始時と公演直後、また公演終了一ヶ月後に「コンセプトマップ」を用いて、地球温暖化と関わりのあるキーワードを挙げてもらい、その分析を行ないました⁵³⁾。

これらの実験と調査分析から、生徒の挙げるキーワードの質・量ともに、演劇づくりのプロセスだけでなく、終了後も増加していったことわかります。特に、演劇終了後から演劇終了後一ヶ月の間に、温暖化対策に関する興味が沸き、独自に情報収集をしたことが伺える結果となりました(図1)。一方で、元々持っていた誤認識については、修正は困難であり、結局最後まで修正されなかった生徒も多くみられました。

これらのことから、ロールプレイングを用いた多様な立場や価値観理解を進めることは、温暖化教育の有効な手段と成り得ますが、そのためには、専門家による学校教育現場へのサポートがとても重要であるということがわかります。

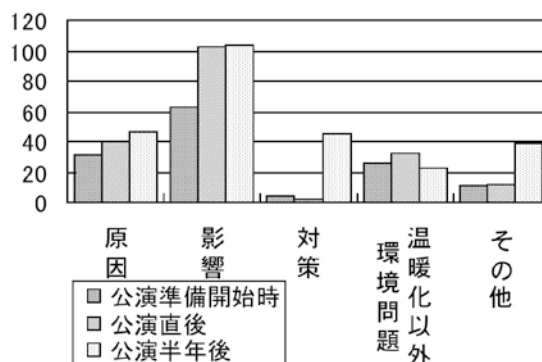


図1：演劇ワークショップ前後でのキーワードの変化

ショートフィルムづくりを通じたロールプレイング型コミュニケーションの効果

専門家に対する取材を基調とした「温暖化情報提供のためのショートフィルム制作」を、温暖化の専門家でない映像制作者に依頼し、その制作プロセスにおける映像制作者の気づきの効果と、完成したショートフィルムの視聴者評価とこれもちいた講義の効果測定を行ないました。

その結果、映像制作者は制作のプロセスを通じ、地球温暖化に関する情報伝達において、1)わかりやすく伝えることと正確に伝えることの両立の難しさ、2)発信者のメッセージを受け取ってもらうだけでなく、受信者が自ら考えるきっかけをあたえることの重要性、などの点を自らの気づきとして挙げました。また、視聴者からは、「このフィルムから多くのメッセージを読み取ることが出来た」などの評価が多く寄せられており、普及啓発効果も高いことが確認されました。



図2：ショートフィルムの一場面

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

サブテマリーダー：(独)国立環境研究所 青柳 みどり

コミュニケーション手段としてのメディア

テレビや新聞、ラジオ、雑誌など、マスメディアからの情報は、温暖化について人々に広くコミュニケーションする上でも重要な手段です。図1の棒グラフは、2011年7月に我々が全国の20才以上の男女を(成人全国民の代表性を確保した形で抽出して^{44),45)}調査した結果ですが、やはりテレビと新聞が環境問題についての主な情報源であることがわかりました。その環境問題についての情報の中に温暖化も含まれています。このデータをもう少し細かく見ると、若い年代では、新聞(電子版を除いたもの)が他の年代に比べて割合が低く、逆にインターネット(SNSなどと新聞などのニュースサイトの合計)が好まれています。2008年の調査時点ではまた逆転するほどではありませんでしたが、2011年には、特に若い年代では逆転する結果になっています。

メディアの役割

世界各国でも同様に「マスメディア」は、温暖化についての情報源という意味で、とても重要な役割を果たしています。簡単にいうと、温暖化問題にかざったことではありませんがメディアが伝えないことは、「なかったことと同じ」になり、メディアがどう伝えるか

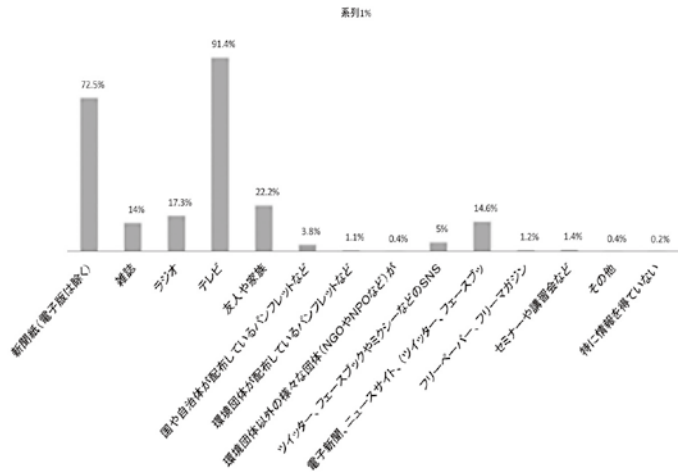


図1: 環境問題を含む社会での出来事についての情報源 (複数回答, 2011年7月調査)

(肯定的、否定的、好意的、懐疑的などさまざまな論調があります)により人々の認識や態度が変化することがよくあります。

図2には3つのグラフが並んでいますが、一番上のグラフは、世論調査で「世界で最も重要な問題」を2005年から継続的に聞いているものです。回答の中から特に環境問題と経済問題について抜き出しています。2008年夏以降、経済問題が深刻になるとともに環境問題の重要度が低下しています。また、2段目はテレビ、3段目は新聞での報道状況をグラフにしています。第一段目の回答率とメディアの報道量をくらべると、ピークが重なっていることがわかります。つまり、気候変動問題についてのメディアの報道が増えると、人の関心も高まるのです(回答の半分程度は「温暖化」「気候変動」という回答です)。これは統計的にも有意な関連であることが本研究プロジェクトで確かめられています²⁸⁾。

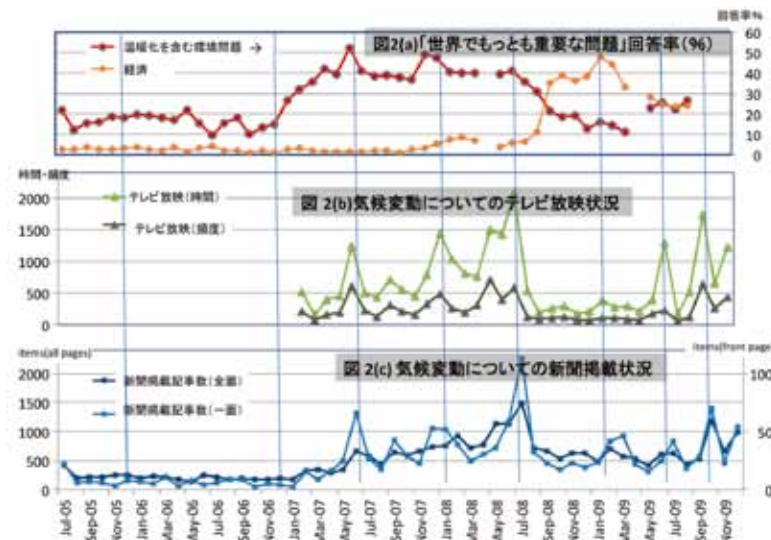


図2: 2005年から2009年までの新聞・テレビにおける温暖化報道状況と世論

熱帯亜熱帯域における雲降水現象の再現性とその将来変化に関する研究

サブリーダー：東京大学大気海洋研究所 高 数 縁

台風の発生地点と経路

台風は、暖かい海上で発生し、風速17m/s以上の反時計回りの強い風と共に大量の雨を降らせる低気圧です。また、中心部の気温が周辺に比べて高いという特徴があります。初夏から初秋にかけて日本に近づき、大きな被害を及ぼすと共に、貴重な水資源でもあります。ですから、地球温暖化の影響で台風の経路や強さが将来どのように変化するかは社会にとって重要な問題です。

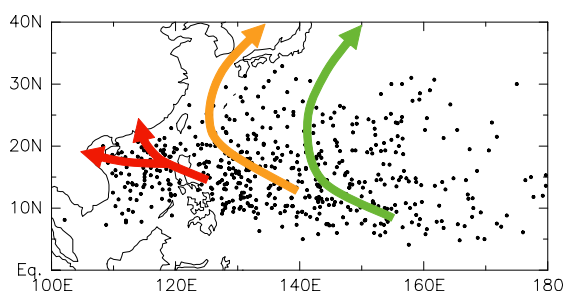


図1：1979-2000年の台風の発生地点(黒点)と発生場所ごとの台風のとりやすい経路(矢印)

西太平洋での年間の台風発生数は約26個ですが、年々の違いは大きく、少ない年は20個に満たず、多い年は30個以上も発生します。個数だけでなく、発生しやすい場所も年によって変わります。発生場所が変わるとその後の進路や影響を受ける地域が異なってきます。例えば、フィリピン近海で発生した台風の多くは東南アジアや中国に上陸します(図1の赤色矢印)。その東方で発生すると日本に接近しやすい傾向があります(橙色矢印)。さらに東側で発生した場合、多くは日本の東海上を北上し、日本への直接の影響は小さくなります(緑色矢印)。

温暖化したらどこで発生しやすくなるのか？

そこで、地球温暖化の影響で台風の発生域がどのように変わるのかを、CMIP3の気候モデルアンサンブル実験結果を使って調べました。気候モデルのデータから台風を探すためには、強い渦で中心域が高温であるという台風の特性を使いました。

気候モデルはそれぞれ性能や予測結果が少しずつ

違います。より信頼できる予測結果を得るため、現在の台風発生数の平均的な分布を最も現実的に再現する5モデルを選び¹³⁸⁾、100年後の予測結果(全シナリオ)を比べました。

その結果(図2)、5つのモデルが共通して、東経150度から日付変更線にかけての地域で発生数が増え、逆に東経110度から130度の南シナ海、フィリピン近海、台湾近海で減ると予測していました¹³⁶⁾。つまり、現在はフィリピンの東方海上がもっとも発生しやすい海域ですが、これが将来はやや東に移ると予測されます。これは、多くの気候モデルが予測するエルニーニョ型の海面水温の変化に伴うものと解釈できます。

日本への影響は？

これに伴って日本への台風上陸数は変わるでしょうか。観測データによると、東経150度よりも東で発生した台風の多くは日本の東海上を北上するため、もし発生後の経路が将来も変わらないならば、上陸数は減ると考えられます。しかし、台風の進む方向や速さに影響を与える大規模な風の流れも温暖化に伴って変わるかもしれません。現在私たちは、経路の変化や上陸数への影響について、さらに研究を進めています。

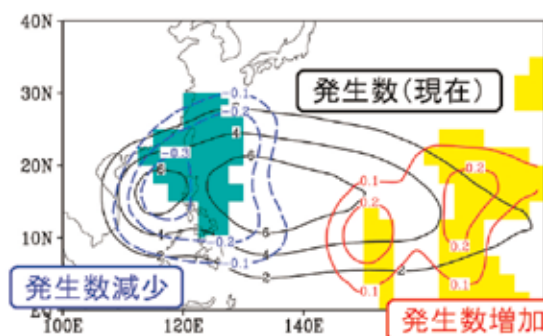


図2：5つの気候モデルが再現した台風発生数の分布(黒等値線)と将来変化予測(増加は赤等値線, 減少は青等値線)。5つのモデルの予測傾向が一致する地域を黄色(水色)で示してある。

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

サブテーマリーダー：東京大学先端科学技術研究センター 中村 尚

「春一番」の将来変化

「春一番」とは立春(2月4日)以降に初めて吹く強い南風で、春の気配を感じさせてくれます。真冬の間は、大陸上に冷たい「シベリア高気圧」、東海上に「アリューシャン低気圧」が停滞し、北西季節風が日本列島に寒気を南下させます。立春を過ぎると、時おり低気圧が日本海を東進しつつ発達するようになり、このとき「春一番」が吹きます。低気圧が発達するには、その「卵」となる渦を運ぶ上空のジェット気流が、地表の南北気温差の大きな地域の上空を吹く必要があります。地表で気温差が大きいのは、大陸南岸や暖流と寒流とが接する「海洋前線帯」(日本海では対馬暖流とリマン海流との境界)です。ジェット気流は、真冬には季節風に伴う強い寒気により北緯30度まで押し下げられ、海洋前線帯から離れてしまうため、低気圧は発達しにくくなります。立春を過ぎて寒気南下が弱まるとジェット気流が北上し、日本海の海洋前線帯に沿って低気圧が発達できる状況になります。

本研究では、世界中の気候モデルのうち、真冬の低気圧活動の弱まりを現実的に再現できるモデルを選び、将来予測を調べました。それらは、地球温暖化が今後さらに進むと季節風による寒気南下が弱まり、真冬でも日本海で低気圧が頻繁に発達する傾向を示しました(図1)。そうすると、現在より早く立春直後に「春一番」が吹く確率が高まるでしょう¹⁰²⁾。実際、1980年代末以降シベリア高気圧が弱まって、真冬でも低気圧が頻繁に発達し、「春一番」の時期が早まってきています。

夏の「小笠原高気圧」の将来変化

「小笠原高気圧」は本州の南で発達する背の高い亜熱帯高気圧です。これが6月に発達を始めると日本列島は梅雨に入ります。7月後半に高気圧がさらに発達すると梅雨が明け、日本列島は盛夏期に入ります。2010年のように小笠原高気圧が異常発達すると猛暑になる一方、1993年のように高気圧が弱いと冷夏となって、稲作などに深刻な被害をもたらします。

小笠原高気圧の変動に関わるのは、上空の西風ジェット気流の動向です。この「アジアジェット」は熱帯と中緯度の空気の境を吹き、地上に梅雨前線を伴います。このジェットは梅雨明け後に北海道上空にまで北上しますが、さらに北上すると小笠原高気圧が異常に強まります。この一因は台風活動です。南方で台風が多く発生・発達すると、海水が蒸発する際に海から奪った熱が、多量の降雨に伴って大気中に解放されます(凝結熱)。その影響で、日本上空でアジアジェットが北上し、小笠原高気圧も強まります。逆に、台風活動が弱いときは小笠原高気圧も弱い傾向にあります^{85), 86), 87), 90)}。

地球温暖化がさらに進むと、小笠原高気圧の北上が抑えられて梅雨明けが遅れ、盛夏期でも雨が多く蒸し暑い天候になる傾向を予測する気候モデルが多いようです。こうしたモデルは、温暖化しても台風活動が必ずしも活発化せず、南海上の降水量も他の熱帯海域ほどは増加しない傾向を示します⁸⁸⁾。ただし、この予測は気候モデルごとにばらついていて、それは、アジアジェットや小笠原高気圧が日本周辺で大きく変動しやすく、これらを気候モデルで現実的に再現するのが決して容易ではないからです。

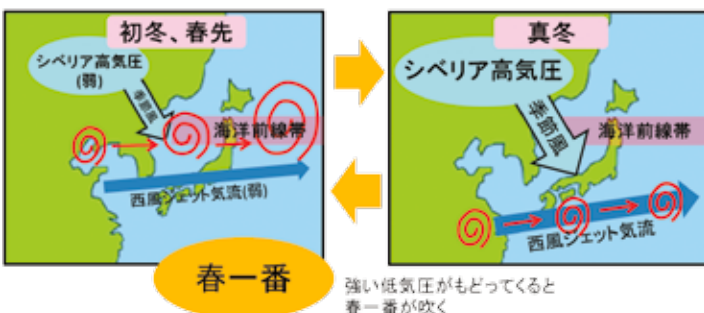


図1：日本周辺における低気圧発達の仕組みの概念図。現在では、真冬に右側のような状態となり、低気圧の発達が抑制されているが、温暖化がさらに進行すると、真冬でも左側のような低気圧が発達しやすい状態となりやすく、「春一番」が立春直後に吹く確率が高まると予想される。

季節予測に係わる短期気候変動の再現性とその将来予測

サブテーマリーダー：気象庁気象研究所 尾瀬 智昭

はじめに

初夏を中心にオホーツク海方面の冷たい海洋上から吹く北東よりの風は、一般にヤマセとよばれており、北日本の太平洋側地域に日照の減少などぐずついた天気をもたらします。地球温暖化によってヤマセがどのように将来変化するのか、CMIP3の18個の気候モデルによる現在再現実験(1981-2000年)とSRES A1Bシナリオに基づく将来予測実験(2081-2100年)データを解析した研究成果⁶⁹⁾を紹介します。

気候モデルによるヤマセの再現性評価

ヤマセは、梅雨期の6月から7月中頃にかけて多く観測されています(図1青線)。18個の気候モデルが再現するヤマセの平均発生回数は、現実比べてやや少ないものの、6月下旬にピークをもつという季節変化を概ね再現しています(図1細い線)。ヤマセの平均発生回数に加えて、この付近の天気図(地上気圧分布)の再現性が良い上位半分の気候モデルに限ると、現実に近い発生回数を再現しています(図1太い赤線)。

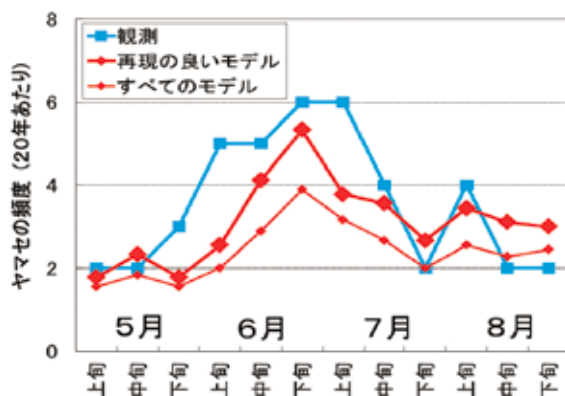


図1：現在気候20年間(1981～2000年)におけるヤマセの発生回数。毎年10日(10日)平均値をもとに、北日本の東の海上(北緯40度～45度、東経142.5度～155度)で北風～北東風～東風が吹いた回数を数えた結果。

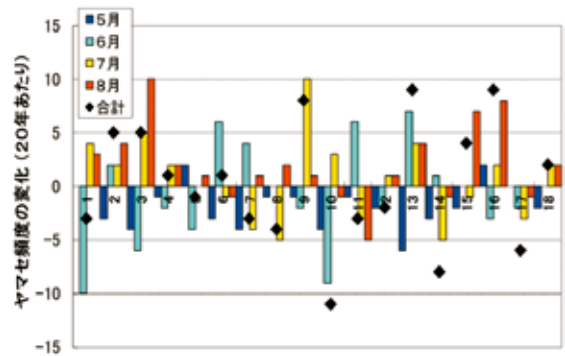


図2：18個の気候モデル(横軸の番号で区別)が予測する、ヤマセ発生回数の将来変化(将来20年間の回数－現在20年間の回数)。棒グラフは毎月(色で区別)の回数変化。◆は5月～8月合計回数の変化。

気候モデルによるヤマセの将来変化予測

図2は、18個の気候モデルが予測したヤマセ発生回数の将来変化を示す棒グラフです。5月に減少し8月に増加する変化を、多くの気候モデルが予測しています。1から9番の気候モデルは、現在の6-7月のヤマセ発生回数と月平均した天気図(地上気圧分布)を、より現実的に再現する上位半分9個の気候モデルです。これらの気候モデルは、8月のヤマセ回数の増加を一つのモデルを除いて一致して予測しています。

8月にヤマセの発生回数が増える原因は、太平洋高気圧が日本の東の海上で弱くなり、相対的にオホーツク海の気圧が高くなるためです。その理由をさらに探ると、赤道付近のインド洋から太平洋にかけての海面水温や大気の流れの中に、現在のエルニーニョ発生時に似た変化が将来生じることと関連しているようです。

以上の解析から、21世紀末の北日本太平洋側の夏は、地球温暖化の進行により現在に比べて気温は高くなる一方、8月を中心に曇りがちのぐずついた天気の日が増加すると予測できます。

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

サブテームリーダー：北海道大学 谷本 陽一

太平洋10年スケール変動(PDO)の特性

海水温の長期的な変動は地球全体の気候変動にとって重要な役割をもっています。北太平洋では、長期的な水温の変動として太平洋10年スケール変動(通称PDO)が卓越しています。このPDOは、図1に示すように、北緯40度付近の北太平洋を東西に広がる海域において、暖水期と冷水期が10~20年程度の間隔で入れ替わる現象で、日本を含む環太平洋域の気候変動や太平洋域の水産資源に大きな影響を与えていると考えられています。

PDOは熱帯太平洋域の水温変動とも関連していて、北太平洋中緯度が冷水期(暖水期)のとき、東部熱帯太平洋は逆に暖水期(冷水期)となっています。このように遠く離れた海域での水温変動は、大気大循環の変化、すなわち「大気の架け橋」によって結び付けられています。「大気の架け橋」は、熱帯太平洋域の積乱雲や北太平洋上のアリューシャン低気圧の変動と密接に関連しています。

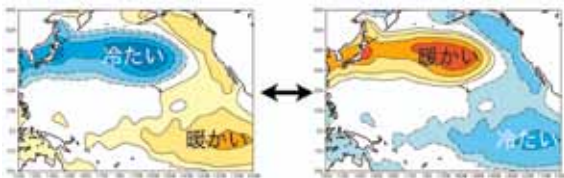


図1：左図(右図)は中部北太平洋で観測された海面水温が平年よりも低い(高い)期間の空間パターンを示しています。PDOは、これら2つの空間パターンが10-20年程度の間隔で入れ替わる現象です。

PDOの将来予測

PDOのような長期の気候変動は大気と海洋の相互作用により起こる自然の現象ですが、地球温暖化のような人為起源の気候変化を考える上でも重要な意味を持ちます。例えば、PDOに伴って北太平洋中緯度の水温が冷たい期間が続くと、見かけ上は温暖化が減速されているように捉えられてしまいがちですが、それは50年先や100年先の地球温暖化に伴う長期的な気候変化を考える上では一時的なことに過ぎません。

このように、地球温暖化を正しく捉えるためには、

現在から将来に向けて自然に起こる長期変動がどのような状態にあるかを精度良く知る必要があります。そのためには、気候モデルが温暖化の変化だけでなく、自然の長期変動を正しく再現できることが必要です。

本研究では、CMIP3の24個の気候モデルによる20世紀再現実験の結果を用いて、それぞれの気候モデルがPDOをどの程度現実的に再現できているかを調べました¹¹³⁾。PDOは現実の北太平洋大気海洋系で卓越した変動ですが、一部の気候モデルは図1に示したようなPDOに伴う海面水温の空間パターンをあまり正確には再現できていません。PDOの再現性が低いモデルでは、図1のような海面水温の変動が再現されないだけでなく、「大気の架け橋」と関連する熱帯太平洋域の積乱雲やアリューシャン低気圧の再現性もよくありません。これらの結果から、気候モデルがPDOを現実と同じように再現するためには、「大気の架け橋」をより正確に再現することが重要であると結論づけました。また、PDOの再現性が高いモデルによる将来予測では、温暖化により海面水温の平均場は北太平洋全体で上昇しますが、長期的な大気海洋変動であるPDOは20世紀とほぼ同じ時空間特性を示しました。

気候予測の不確実性は主に次の2つに起因すると考えられます：(1)気候モデルによって温室効果ガス増加に対する応答が異なることと(2)PDOを例に説明したように、モデルの中の長期的な大気海洋変動のために見かけ上の気候変化が生じることです。本研究では、北太平洋における21世紀の気候変化の不確実性に(1)と(2)がほぼ同程度寄与していることを示しました¹¹⁴⁾。

すべての気候モデルに共通する気候変化を捉えれば、モデルごとに応答が異なることによる不確実性は小さいと考えることができます。また、個々のモデルで何通りものシミュレーションを行うことにより、長期的な大気海洋変動による見かけ上の気候変化を減じることができます。これらのアプローチに加え、将来的に気候モデルをより適切なものに改良する努力によって、より確からしい気候変化予測を得ることができるかと期待されます。

アジアモ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

サブテーマリーダー：筑波大学 植田 宏昭

夏のアジアモンスーン

インドやインドシナ半島の地上付近では、夏になると暖かく湿った西風(図1上の水色矢印)が吹くようになります。この風はアジアモンスーン西風と呼ばれ、アジアの熱帯域に大量の雨をもたらし、農業など地域の生活にとって重要な水資源となっています。また、上空約5~12kmの気温は、夏になるとインド洋の赤道付近に比べてアジア大陸上で、より高くなります(図1上のオレンジ)。この海陸の気温差ができることにより、アジアモンスーン西風が生じます。

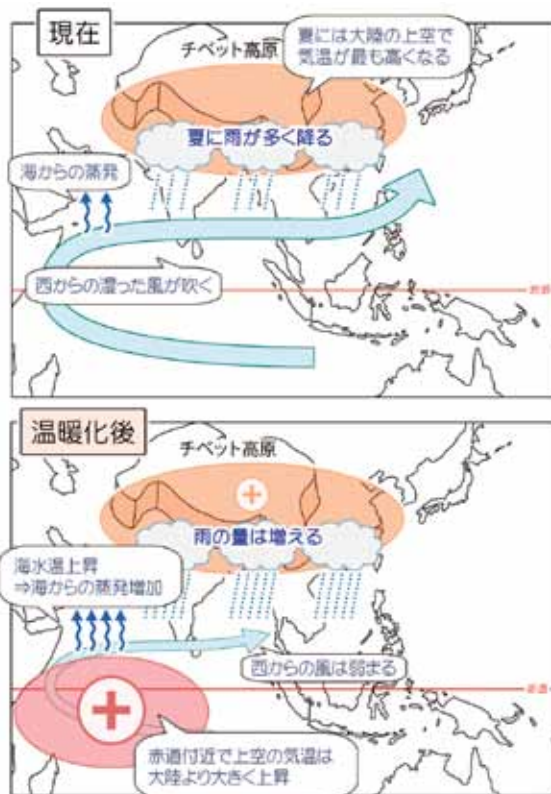


図1：(上)現在の夏のアジアモンスーンの模式図。北半球の夏にアジア大陸の高層で気温が高くなると、インド周辺では地上付近に西風が吹くようになる。(下)温暖化した21世紀末での模式図。温暖化時の上空の気温上昇は、赤道付近(大きい+マーク)の方がアジア大陸より大きく、夏のアジアモンスーン循環は弱くなると予測している。

温暖化した時のアジアモンスーンの変化

このモンスーン西風は、温暖化に伴ってどう変化すると予測されているのでしょうか？ その変化を知るためには、このインド洋とアジア大陸の気温差がどう変わるのか、調べる必要があります。世界各国で開発された気候モデルの中から、アジアモンスーンが始まる5月において、上空の気温の季節変化がよく再現されているモデルを選んで調べました。温暖化すると、インド洋でもアジア大陸でも、上空の気温は上昇しますが、その気温上昇の幅はアジア大陸よりインド洋で大きいので、インド洋とアジア大陸上の気温差は現在に比べて小さくなります(図1下の大きな+の地域は上空の気温の上がり方が大きい)。したがって、アジアモンスーンの西風は弱まると予測されています(図1下の水色矢印)。また、モンスーン西風が吹き始める時期を予測した結果、図1と同じような理由で、東南アジア周辺の西風が吹き始める時期や、雨季の開始時期が、遅くなると予測されています(図2)⁷⁶⁾。

一方で雨の量は、温暖化すると増えるかと予測されています。この結果はモンスーン西風が弱くなることと一見矛盾しているようにみえます。実は、インド洋の海上では海面温度の上昇に伴って蒸発が盛んになり、空気中に含まれる水蒸気量も増えるため、風が弱くなっていても、インド洋からアジア大陸に向かう水蒸気は現在よりも多く運ばれ、結果として雨の量が増加すると予測されています(図1下)。

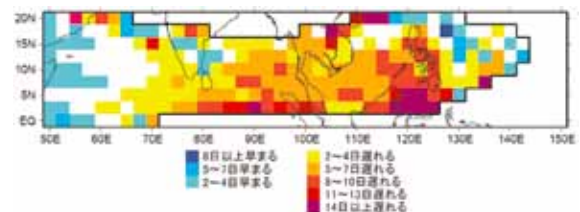


図2：地上付近のモンスーン西風の拡大時期が、20世紀末に比べ、SRES-A1Bシナリオの21世紀末においてどのように変化するかを示した図。インドシナ半島や南シナ海付近では、温暖化すると西風の開始が遅くなると予測している。

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

サブリーダー：(独)海洋研究開発機構 城岡 竜一

マッデン・ジュリアン振動(MJO)と東アジアの天候

熱帯にはインド洋から中部太平洋へと巨大な雲群がゆっくりと東進する「マッデン・ジュリアン振動(MJO)」と呼ばれる現象があります。MJOは熱帯における顕著な大気海洋相互作用現象であり、熱帯域の降水活動のみならず、遠く離れた中緯度にも影響を及ぼしますが、気候モデルでの再現が難しい現象としても知られています。

現在気候

北半球の冬季には、MJOが西部～中部インド洋で発達すると、日本を含む東アジアで、降水活動が活発になる傾向(MJOによる遠隔影響)があります。私たちはこの遠隔影響の仕組みについて詳細な調査を行いました。MJOがインド洋で発達すると、その雲群が放出する潜熱によって大気の流れが変わります。上空では、偏西風ジェットに沿い、インド付近から日本へ向かって大気波動が伝播し、日本上空の大気循環が変動します。さらに、海面～高度3km位では、北西太平洋に高気圧性の気圧循環が作られるため、熱帯域から日本の南へ高温かつ湿潤な空気が流れ込みます。これらによる低気圧活動(南岸低気圧)の活発化が、日本付近の大気の状態を不安定化し、東アジア域の降水活動へ大きな影響を及ぼしていると考えられます。

また、CMIP3気候モデルでは、MJOが比較的良く再現される幾つかのモデルでのみ、MJOによる東アジアへの遠隔操作が良く再現される事がわかりました¹²⁷⁾。



図1：MJOと日本の冬季降水との関係に対する地球温暖化の影響。

温暖化気候

CMIP3の気候モデルのうち、MJOの強さや東進の様子が比較的良く再現されるモデルを用いて将来変化を調べました。温暖化時に西部～中部インド洋で冬の平均水温が上昇するモデルでは、MJOがより活発になり、日本の降水も増加する傾向が見られました。MJOの強まりにより、東アジア上空での波活動が活発になり、低気圧活動が強まること、その要因と考えられます¹²⁶⁾。

東アジア域の将来気候変化を理解するためには、熱帯域の変動も精度良く予測する必要があると考えられます。

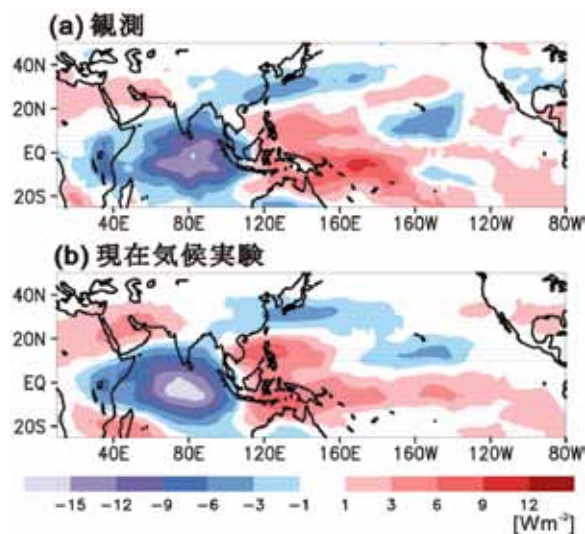


図2：インド洋域のMJOと東アジアの降水活動の関係。観測及び、MJOを比較的良く再現する5つのCMIP3モデルによる現在気候実験合成図(1981-2000年)。青色(赤色)は降水活発域(不活発)。

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

サブテマリーダー：(独)海洋研究開発機構 河谷 芳雄

赤道準2年振動(QBO)とは

赤道域の対流圏(地表～高度約17km)では、活発な積雲対流活動により多くの雨が降っています。対流圏の上は成層圏(高度約17kmから50km)と呼ばれています。赤道域の成層圏には東風と西風が約2年周期で交代している、赤道準2年振動(QBO)と呼ばれる現象があります。QBOは赤道域の成層圏で見られる現象ですが、その影響は熱帯成層圏だけでなく、例えば中高緯度の気圧配置、オゾン等の化学物質の分布やハリケーンの活動に影響を与えるなど、地球大気全体に及んでいる事が知られています。

図1に経度方向に地球1周平均した温度の緯度－高度分布を示します。これはCMIP3の気候モデル結果を平均したもので、黒線が20世紀後半、赤線が21世紀後半の温度で、21世紀から20世紀を引いたものを色で描いています。温暖化に伴って、対流圏では暖かく(赤色)、成層圏では冷たく(青色)なっている事が分かります。

QBOは気候モデルで再現する事が最も難しい現象の一つであり、IPCC第4次評価報告書には、温暖化に伴うQBOの変化を示した研究はありませんでした。そこで本研究ではQBOを再現可能な気候モデルを用いて、SRES A1Bシナリオ(温室効果ガス濃度が21世紀末頃に20世紀末の約2倍)に基づいた実験を行い、地球温暖化時のQBOの変化を研究しました^{B2)}。

地球温暖化時のQBO変化

赤道上の東西風の時間－高度断面図を図2に示します。(a)が現在気候実験、(b)が将来気候実験です。西風(赤色)と東風(青色)が、ほぼ2年周期で交互に入れ替わりながら、上から下へ降りていく様子が分かります。これがQBOと呼ばれるものです。現在気候に比べ将来気候では、西風と東風が交互に入れ替わる周期が長くなっています。また西風・東風の強度も弱くなっています。更にQBOの高度が、下まで伸びにくくなっている様子も分かります。このように、地球温暖化に伴ってQBOが顕著に変化することが明らかになりました。

図1に示した温度場の変化と対応して、赤道域の上昇流が増加していました。つまり温暖化によってQBOが下に降りようとするのを、上昇流が妨げようとする効果が強くなります。その為、QBOが下に降りにくくなり、周期が長くなる傾向にある事が分かりました。

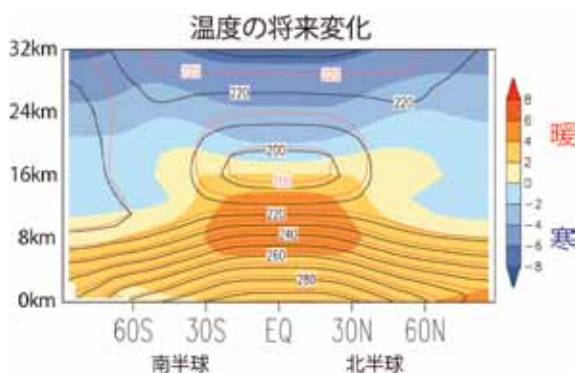


図1：CMIP3の気候モデルによって予測された20世紀後半と21世紀後半の温度変化の緯度－高度断面図。コンターの黒が20世紀、赤が21世紀。赤色は暖かく、青色は寒くなる領域を示します。

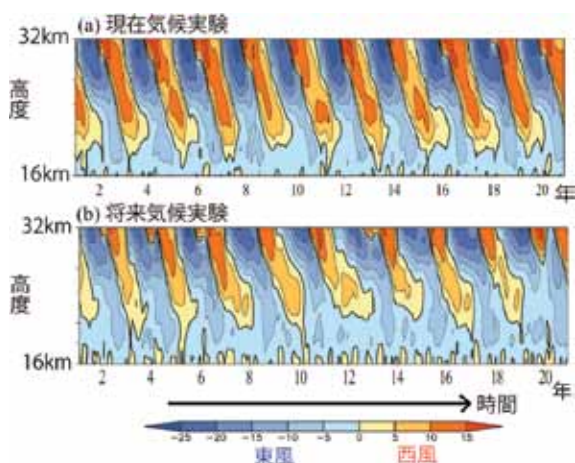


図2：赤道上的における帯状平均した東西風の時間－高度断面図。赤色が西風、青色が東風に相当(a)現在気候実験、(b)将来気候実験。

サブテーマリーダー：名古屋大学 神 沢 博

雲の放射効果：日傘効果と温室効果

雲には、地表を冷やす日傘効果と、地表を温める温室効果があります。例えば、夏の暑い日中でも、太陽が雲に隠れると、涼しく感じます(図1a)。これが雲の日傘効果です。一方、冬の朝でも、空が雲に覆われていると、地表からの熱放射が妨げられ暖かく感じます(図1b)。これが雲の温室効果です。なお、「温室効果」は、本来は、大気中の物質が日射をあまり妨げず、地表からの熱放射をよく妨げる効果を指しますが、ここでは後者のみの意味でこの言葉を使います。

雲の変化・性質と気候モデル

雲が持つ日傘効果と温室効果の大きさは、雲の形態(高さや厚さなど)により異なります。しかし、雲が将来気候においてどのように変化するかは、未だはっきりとはわかっていません。雲は、大気の流れや大気中の温度・水蒸気量など様々な要因が折り重なって発生・消滅しており、その変化を気候モデルで予測することが非常に難しいためです。将来起こりうる雲の変化を把握するためには、まず、現在気候における雲の性質を、モデルがどの程度再現しているかをきちんと把握しておく必要があります。

雲の放射効果の気候モデルにおける再現性

地球上の各地域で発生する雲の形態は、その地域の大気の状態に応じて大きく異なります。モデルが各地域の雲をどの程度上手く再現しているかを調べるために、大気中層の上昇流の強さを大気の状態を表す指標として用いて、各上昇流の強度ごとに雲の日傘効果の指標に対する温室効果の指標の比をプロットすると、図2のようになります。ここでは、熱帯(上昇流がより強い領域にほぼ対応)・亜熱帯(下降流がより強い領域にほぼ対応)の海面水温が比較的高い海域を対象としています。モデルの計算結果は、観測データと比べると、熱帯域では比較的よく一致し、亜熱帯域では異なっています。亜熱帯域におけるモデルと観測の差異は、モデルが観測よりも、雲の日傘効果を大きく、温室効果を小さく見積もっていることに起因し

ます。モデル全体が持つこのような「くせ」を明らかにすることは、さらなるモデルの改良と将来変化のモデル予測における不確実性の低減につながります。

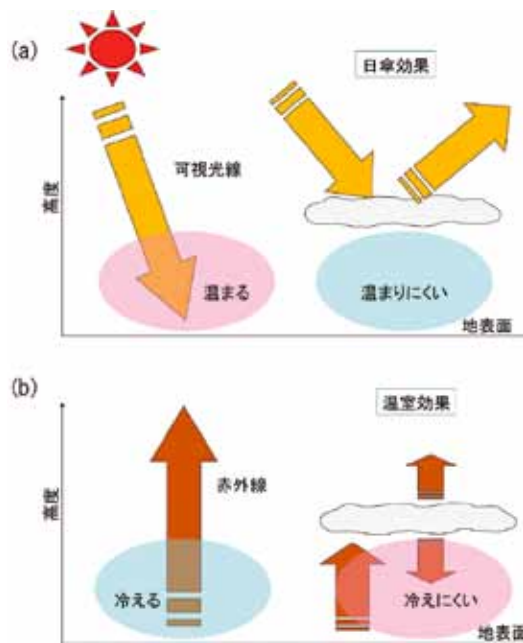


図1：雲による (a) 日傘効果および (b) 温室効果の概念図。

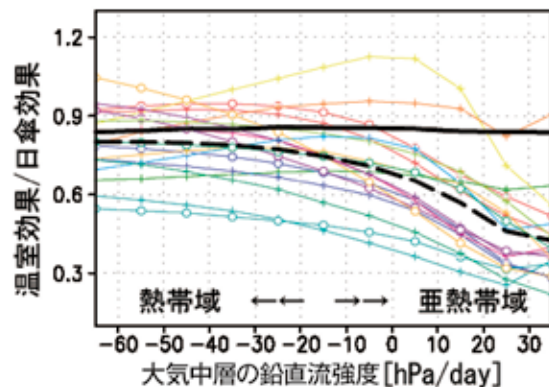


図2：雲の日傘効果の指標に対する温室効果の指標の比(縦軸)：熱帯・亜熱帯の海域のうち海面水温が27℃を越える領域について、大気中層の鉛直流強度(鉛直方向に特殊な座標を採用しているため、横軸で負が上昇流、正が下降流)を基準にプロット。色付きの各線はIPCC 第4次評価報告書に参加したモデルのうちこの研究に利用できるデータが揃っている18個の20世紀再現モデル実験の計算結果。黒い実線は観測データ、黒い破線は18個のモデル計算結果の平均値⁷⁴⁾。

マルチモデルによる将来気候における季節進行の変化予測

サブテームリーダー：気象庁 前田 修平

はじめに

本研究では、温暖化に伴う日本付近の季節進行の変化について、梅雨から夏への季節進行の変化を中心にCMIP3マルチモデルアンサンブル(SRES A1Bに基づく予測)を用いて調べました¹⁸⁰⁾。

偏西風の季節進行の変化

中緯度に位置する日本の気候の季節変化は、上空を流れる偏西風の季節変化に支配されます。このため、温暖化に伴う日本の季節進行の変化を調べる前に、まず、偏西風の季節進行の変化を確認します。

図1の実線は、日本付近の経度帯(東経120~150度)で平均した200hPaの東西風の時間緯度断面図です(CMIP3のうち偏西風の季節変化をよく再現する5つのモデルの平均)。亜熱帯ジェット気流と呼ばれる偏西風の強風軸は、冬から春にかけては北緯30度付近を流れますが、5月ごろから北上し、7月後半には一気に40度以北まで北上します。これが梅雨明けで、日本付近はジェット気流の南側の亜熱帯の空気に覆われた「盛夏期」となります。その後、9月から徐々に南下し、12月末には30度付近に達します。

この偏西風の季節変化が、温暖化によってどのように変わるのでしょうか？図1には、温暖化による200hPaの東西風の変化(色)も示してあります。東西風の将来変化は季節によって異なり、10~4月の「寒候期」には偏西風の軸の北側で強まり南側で弱まる一方、5~9月の「暖候期」には南側で強まり北側で弱まる傾向があります。すなわち、温暖化によって季節による偏西風の軸の南北変位が小さくなり、このことは日本付近の季節変化を弱める方向に働きます。実際に日本付近の気温の将来変化を確認すると、夏も冬も温暖化はしますが、冬の方がより温暖化が進み、季節変化としては小さくなると予測されています(図略)。

なぜ、温暖化により日本付近の偏西風の軸の南北変化が小さくなるのでしょうか？ その要因としては、温暖化により熱帯域の対流圏の安定度が増す割に降水量が増加せず、このため対流圏上層での発散風が弱まり、それによって励起される中緯度の惑星波(天候

の変動をもたらす地球規模の大気の波動)の振幅が弱まることが考えられます。

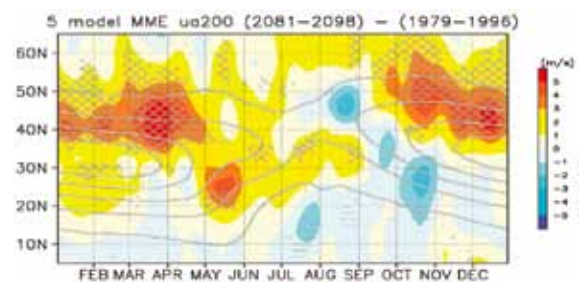


図1：日本付近(東経120~150度)で平均した200hPa東西風の時間緯度断面図。1~12月。実線(等値線間隔5m/s)が現在気候(1979~1996年の平均)、色が将来変化(2081~2098年の18年平均と現在気候との差)。5モデルの平均。

梅雨から盛夏期の変化

偏西風の将来変化は、偏西風の北上に伴う梅雨から盛夏期への季節の遷移にも影響を与えます。図2は、日本域で平均した降水量の季節変化です。梅雨明けに対応し7月の半ばに降水量が急減します(図中の太実線)。一方、将来気候では梅雨明け後の降水量減少が現在ほど明瞭ではありません(破線)。これは、盛夏期の偏西風の軸が、現在ほどは北を流れないことに対応しています。このことは、将来の日本の盛夏期は、今と比べて気温が高いのに雨は多い、いわば“じめじめした夏”になることを意味しています。ただし、モデル間のばらつきは大きく、今後、予測の不確実性の低減が課題です。

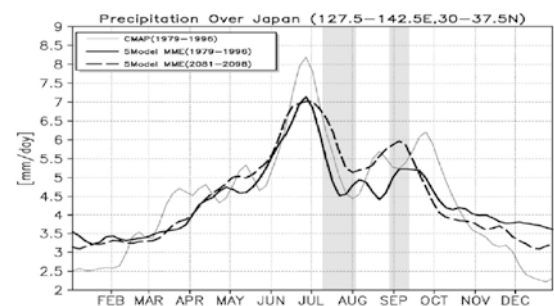


図2：日本付近(東経127.5~142.5度、北緯30~37.5度)で平均した降水量の季節変化。1~12月。太実線が現在気候、破線が将来気候。5モデルの平均。

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

サブテーマリーダー：京都大学防災研究所 鈴木 靖

地球温暖化と水文循環

地球温暖化は気温の上昇をもたらすだけではありません。気温の上昇は蒸発散量を増加させるため、河川流量を減らす効果があります。一方で、温暖化により大気中に含まれる水蒸気量が増えて降水量が増加すると考えられており、それが河川流量を増やす効果もあります。また、気温が上昇すると雪が雨となって降ることも予想され、春先の雪解け水が減ることが考えられます。

温暖化による河川流量の変化

本研究では、日本全国の主な河川の流域について、降水量・融雪量・蒸発散量などの将来変化を求め、河川流量への影響を調べました^{142), 143)}。河川の将来変化は、気候モデルの出力結果(降水量・風速など)を河川モデルに与えて計算することによって調べます。河川モデルは、河川流域の地形を1km四方のメッシュにわけて、森林・田・都市などの違いも考慮して水文循環を算出します。

木曾三川流域の計算例を図1に示します。21世紀末の将来には降水量は増加していますが、それ以上に蒸発散量も増加しています。その結果、木曾三川の年

間流量は全体としては減少していることがわかりました。

温暖化による雪解け水の変化

北日本では、気温の上昇により雪が雨に変わることや、雪解けの時期が早まることが予想されます。図2は山形県の最上川の月別流量の将来予測を示したものです。現在気候再現性の良いCMIP3の8つの気候モデルの結果を調べたところ、平均で春(3月~5月)の河川流量が30%以上も減少し、逆に冬(1月~2月)の河川流量が80%以上も増加していました。モデルごとのばらつきはあるものの、春の河川流量減少は明らかです。

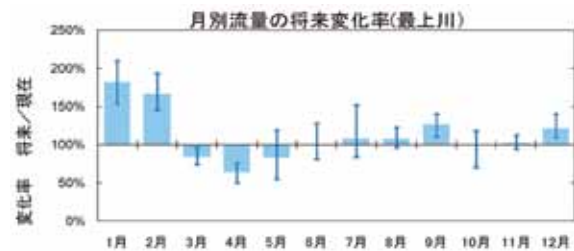


図2：最上川の月別流量の将来変化(CMIP3マルチモデルでA1Bシナリオの平均を棒グラフで示し、上下の線は予測結果のばらつきを表す)

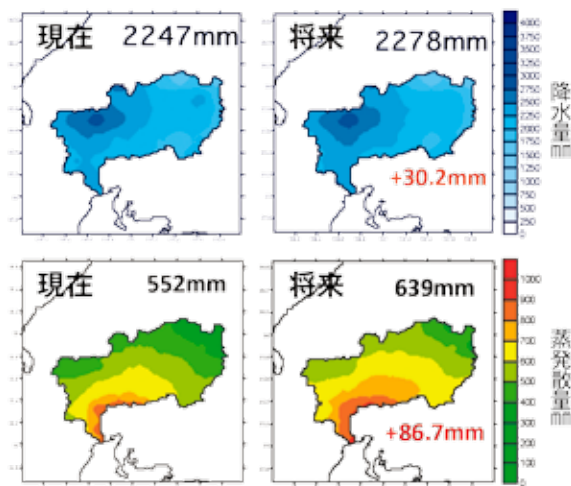


図1：木曾三川流域における現在(左：1979-2003)と将来(右：2075-2099)の年間降水量(上)と年間蒸発散量(下)の変化(A1Bシナリオによる)

北海道・東北・北陸の農業用水は232億トン利用されていて、全国合計546億トンの約42%にもなります(2007年)。積雪地域の河川流量の将来変化は農業へ大きな影響を及ぼします。将来は河川流量の変化に合わせて田植えの時期を変更しないとイケないかもしれません。

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

サブテームリーダー：気象庁気象研究所 高 敷 出

はじめに

作物収量管理やダム管理、健康影響評価など様々な分野において地域的な気候の変化が重要であり、そのために将来予測結果の地域詳細化を図るダウンスケーリングという手法が用いられています。対策を検討するためには将来予測の信頼できるダウンスケーリングデータが求められます。現実には様々な温室効果ガス排出シナリオに基づく様々なモデルによる将来予測が多数存在しますが、これらの結果をどのように利用すればよいのでしょうか？本研究では、ある地域の将来気候が現在気候のどの地域に類似するかという手法（気候アナログ）を駆使して将来の日本の様子に実感をもって迫ることを目指しました。

気候アナログとは

気候アナログ：ここでは、気候区分は温度に関するパラメータと降水量に関するパラメータの組み合わせによって決定されます。日本の気候を特徴づける冬季積雪量を考慮するため、(1)気温の季節変化の一致度と(2)降水量の季節変化パターン的一致度の2つの指標を満たす地域を現在地の気候アナログ地点と定義します。

適用結果

ここでは、MIROCモデル100km格子のSRES A1Bシナリオ実験を3機関の20km格子地域気候モ

デルを用いてダウンスケーリングした結果をもとに評価をおこないました。計算には取り込んでいないCMIP3参加のほかの21の全球気候モデルの3シナリオの結果を全球温度上昇量データから統計的に簡便な方法で取り込むことにより全国の気候データを推計しました。また、気候の年々変動の効果も、リサンプリングという手法で取り込みます。いずれも近似的な手法ではありますがダウンスケーリング結果の持つ様々な不確実性を評価するために入れました。この手法は、国内の任意の地点に適応できますが、ここでは札幌の例を紹介します。札幌は現在冬の月平均気温が-5度を下回り、8月の平均気温は約21度です。降水量は冬季に比べ晩夏に多いことがわかっています。A1Bシナリオのおよそ100年後には、冬季の月平均気温はおよそ0度で、晩夏の雨がさらに増えると予想されています。図1は、気候アナログの手法を用いて、将来の札幌が現在のどの地域の気候と類似になるのかを示したものです。将来の札幌は現在の青森⇒盛岡⇒仙台のような気候に変化していくことが示されています。また、アナログの空間的散らばりは温室効果ガス排出シナリオの違いと、用いたモデルの違いが気候アナログの分布に大きく影響を及ぼすことを示しています。ここで作成したデータは、政策決定者が温暖化の適応策や緩和策を検討する際に予測の範囲を含めた有用な情報として活かされることが期待出来ます。

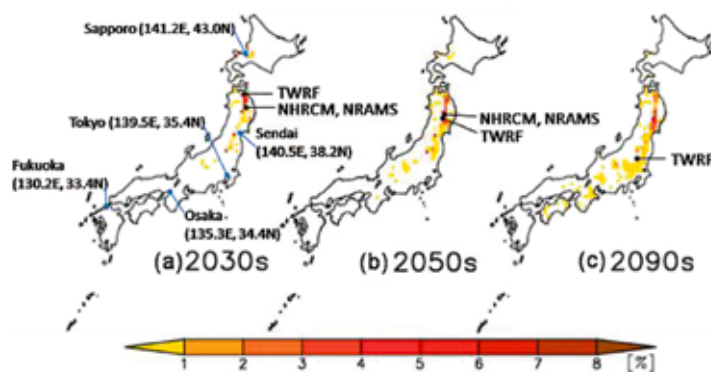


図1：札幌の将来気候のアナログ。赤が濃いほど確率が高い¹⁸⁰⁾

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

3
02

Strategic Project
S-5

サブリーダー：(独)防災科学技術研究所 大楽 浩 司

力学的ダウンスケーリングによる付加価値

全球気候モデルを用いて作成される気候シナリオと影響評価研究で必要とされる情報の時空間解像度には大きな違いがあります。また、モデルの違いに起因する不確実性も大きいです。地域気候モデルによる力学的ダウンスケーリング手法は、客観解析値または全球気候モデル出力を側方・下部境界条件として与えて時空間的に詳細なモデルを駆動するものです。

本研究では、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を評価しました。力学的ダウンスケーリング手法によって、水平格子間隔の粗い全球気候モデルなどの境界条件を空間内挿した結果に比べて、現在気候の再現精度を大きく改善できました(図1)。また、3つの異なる地域気候モデルで再現された極端現象、台風の経路の誤差がマルチモデルアンサンブルを行うことによって改善しました(図2)¹⁵⁸⁾。

この成果から、複数のモデルによる力学的ダウンスケーリングで気候シナリオの空間詳細化を行うことによって、都道府県レベルでの防災・環境対策にかかわる適応戦略の策定・検討に資するより精度の高い地域気候シナリオを提供できる一定の見通しが立ちました。

力学的ダウンスケーリングの不確実性

この手法には全球気候モデルによる大規模場の系統誤差の影響が残ること、地域気候モデルと全球気候モデルの間に双方向の相互作用がないという制約があります。この手法で全球気候モデルによる大規模場の変動を改善することはできません。力学的ダウンスケーリング手法で可能なのは、大規模場の予測精度を改善することではなく、下部境界の状態(地形、土壌、土地利用・土地被覆、土壌水分、植生、エアロゾルなど)に大きく依存するような小さなスケールの現象を解像し、付加価値を与えることです。地域気候モデルが下部境界の状態に強く影響を受ける場合でも、大規模場の系統誤差が大きいと予測精度を向上させることはできません。また、地域気候シナリオの不確実性

を減らすために、モデル内の物理過程の高度化、計算領域や空間解像度の最適化、大規模場を強制する手法の高度化、境界条件と関わりなく生じる非線形力学による内部変動の評価等、取り組むべき課題があります。

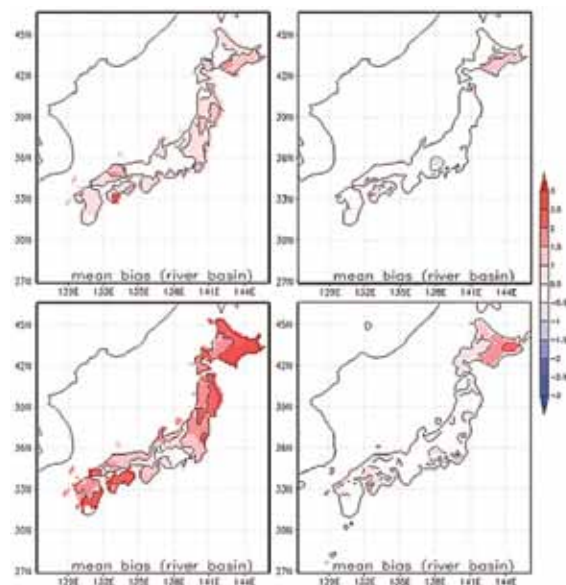


図1：地域気候モデルの境界条件である客観解析データ(左上)と全球気候モデル(左下)を、地域気候モデルと同じ水平格子間隔に内挿し、地上観測値と比較した2m気温の誤差。各誤差が力学的ダウンスケーリング手法によって大きく低減(右図)。

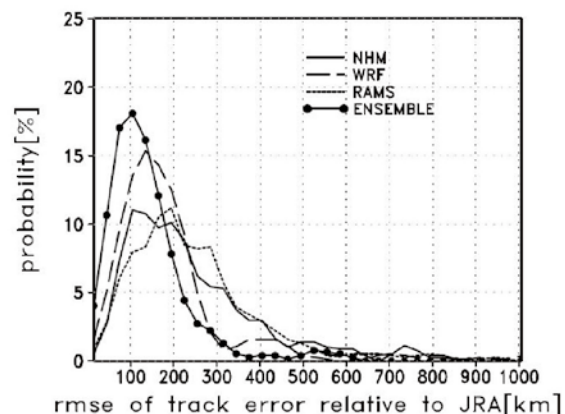


図2：3つの地域気候モデルで再現された台風経路の誤差の確率分布。マルチモデルアンサンブルによって誤差が改善。

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

サブテーマリーダー：筑波大学 日下 博 幸

はじめに

世界の人口の約半数は、都市に住んでいます。日本の場合、人口の約半数が東京・大阪・名古屋の三大都市圏で生活しています。

近年、都市域では、地球温暖化とヒートアイランド現象によって、熱中症患者数・睡眠障害発生数・電力消費量が増大しており、社会的な問題となっています。地球温暖化による気温上昇が継続する場合、これらの問題がより大きくなると懸念されています。

本研究では、詳細な土地利用はもちろんのこと、建物や人間活動によって排出される熱といった都市特有の効果を考慮した領域気候モデルを用いて、みなさんが実感できるような将来の都市気候シナリオを作成しています。

三大都市圏の夏季気候の将来予測

右上の図は、本研究で計算した2070年代8月の地上気温分布です（気象研究所の全球気候モデルからの力学的ダウンスケーリングの結果、将来排出シナリオにはSRES A1Bを利用）。地球温暖化により三大都市圏の8月の気温は平均でも29℃を越えると予測されています。この計算結果を右中段の図と比べてみると、2070年代の夏は日本の観測史上最も暑かった2010年の夏と同じくらい暑くなる可能性があることが分かります。ただし、ここで予測された将来の気温上昇量は入力データとしてどの全球気候モデルの予測結果を用いるかによって±0.5℃程度の不確実性を持っていることに注意して下さい（右下図）。

このプロジェクトでは、将来の気温上昇が私たちの健康におよぼす影響も評価しています。先ほど紹介した予測結果を用いて調べた結果、2070年代になると、2010年の夏と同様に、睡眠障害が発生し始める指標（深夜0時の気温が26℃以上）をほぼ毎日満たす可能性がある、人によっては8月の一ヶ月間ほぼ毎日寝苦しい夜がやってくる可能性があることが分かりました。

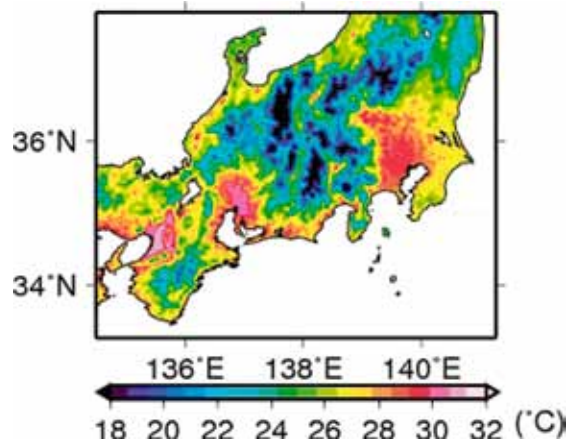


図1：予測された2070年代8月の地上気温分布

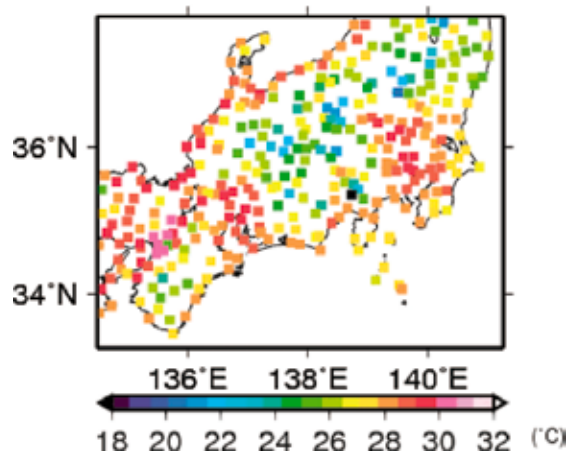


図2：気象庁で観測された2010年8月の地上気温分布¹⁹⁰⁾

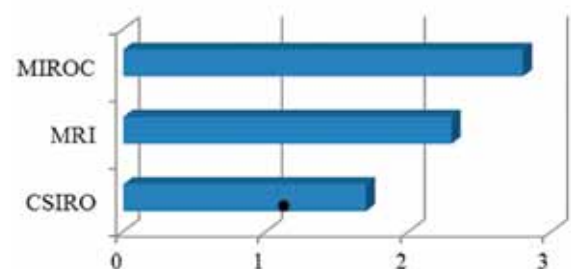


図3：東京の8月平均気温上昇量の予測計算結果の不確実性。縦軸は入力データ名、横軸は本研究で予測された気温上昇量(°C)¹⁹⁰⁾。

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

3
04

Strategic Project
S-5

サブテームリーダー：京都大学防災研究所 田中 賢治

はじめに

近年の気候モデルの発展は目覚ましいものがありますが、それにも増して、気候予測情報の利用者側の求める解像度や精度も高まり、モデルが実現できる精度と利用者側の求める精度の間には依然ギャップが存在しています。

モデルバイアス検出・補正システム

本プロジェクトに参画している各機関から提供を受けた20km地域気候モデルの長期計算結果を用いて、モデル開発者からの要望を取り入れながら、モデル出力値に含まれる系統的誤差(バイアス)情報を効率的に検出・補正するシステムを開発しました。日本全国のAMeDASデータ、地上気象官署のデータ約1700地点分を元に、降水量、気温、日射量(短波放射)、長波放射、風速、水蒸気圧、気圧の7つの地上気象要素について月別、都道府県別(あるいは水系別)にモデルバイアスを算定できるようになっています。

図1は月降水量のバイアスを横軸に月、縦軸に各地域の区分番号として描いたもので、モデル降水量が過大なエリアには濃い色が、過少なエリアには淡い色がつけられています。なお、白いエリアはモデル出力が観測値に対して±10%以内に収まっている場所です。図2は降水強度の99パーセンタイル値(上位1%)の月別の空間相関係数を示しています。月平均値による単純な補正(●)に比べて、頻度分布が改善するように階級別に補正係数を調整した本補正手法(▲)ではこのような極値の再現性が大幅に改善されています。

おわりに

様々な気候モデル出力値を扱えるように、開発当初よりできるだけ汎用的なシステムとなるように努めてきましたが、実際、本システムは本プロジェクト期間中にモデルのバージョンとともに変更された格子数や投影法の変化に簡単に対応できました。データコピーの時間を除き、実作業1時間以内で、モデルバイアスの検出が可能ですので、本システムはモデル出力値の利用者側のみならず、モデル開発者側にも有益

なツールとして活用されています¹⁷⁹⁾。都道府県別あるいは水系別にモデルバイアスを把握、補正するシステムを開発したことにより、今後各自治体や河川管理事務所毎に、将来の気候変化に対する適応策を多面的に検討するための基礎情報を提供することが可能になりました。

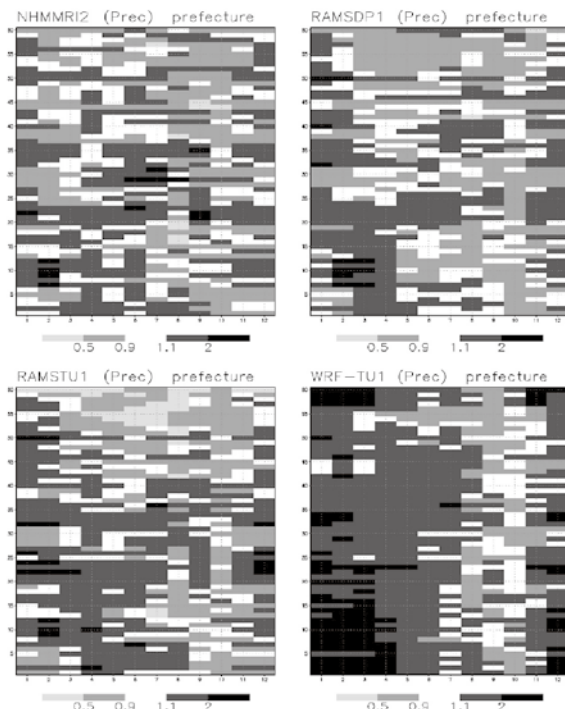


図1:各モデル出力の月降水量のバイアス

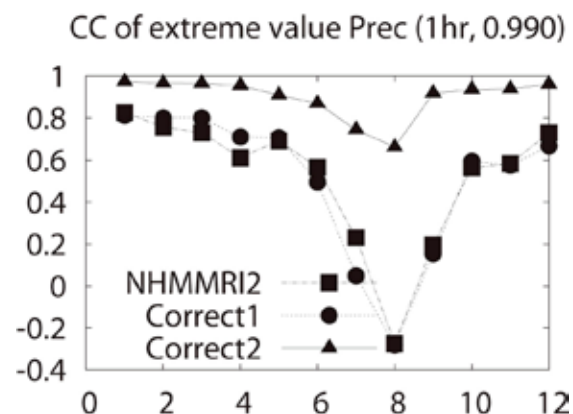


図2:強雨(上位1%)の空間相関係数の月別値

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 ● 成果ハイライト

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

サブテーマリーダー：(独)農業環境技術研究所 西森 基貴

はじめに

地球温暖化予測を行う気候モデルは、地域的な温暖化の影響評価のためには、空間の細かさや確からしさがまだ不十分です。そこで本サブテーマでは、主に統計手法を使って空間と時間をより細かくするダウンスケーリングを行い、主に農業分野で温暖化の影響を評価するための気候シナリオを作成しています。その際には、地域気候モデル(RCM)を用いた力学的な手法との結果比較を行うとともに、気候モデルのバイアス(誤差)がどの程度であれば影響評価に使うことが出来るのかを評価しました。そして温室効果ガス排出シナリオ、気候モデルの違い、および気候の年々変動という、気候予測に関する不確実性の幅を考えた気候変動予測情報を提出しました。

農業影響予測に必要な気候シナリオの精度

まず、コメ生産予測を行う収量予測モデルにバイアスを持つ気候シナリオを入力し、どの程度の誤差なら正しいコメの収量予測が可能なのか調べました。その結果、誤差が気温では $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 以内、日射量では $\pm 3\%$ 以内なら予測可能との結果を得ました¹⁶³⁾。ただし現在の気候モデルは、そこまでの正確さを持っていません。実際に、このプロジェクトのRCMで現在の気候を再現しようとする実験結果で

は、気温は良く合っていますが、日射量を3~4割も過大評価しています(図1)¹⁹⁷⁾。私たちは、気温と日射量のバランスが観測値と違う、という情報をRCMグループに伝えるほか、当面は気候モデルの誤差補正を行って農業影響を調べています。

不確実性を評価できる気候シナリオの作成

気候モデルでは、ある年代の月単位の平均的な気候の値はだいたい予測できても、その月の値を作る毎日の天気の変化までは順を追って正確には予測できません。そのためここでは、モデルから得られた月単位の平均的な値を、トータルでは観測データのばらつきに合うように、日単位に分解して確率的に多数の気候シナリオを作成しました¹⁶⁹⁾。またこの結果から、特にコメ生産に関係する気候のインデックス(指標)を作成し、その将来見直しを行いました。例えばこれからコメ生産が盛んになる北海道でも、イネ開花期で平均した日最高気温には 5°C 以上の予測幅がありますが、札幌で今世紀末に 33°C というイネの高温ストレス指標に達する可能性は、より気温が上がりやすい温室効果ガス排出シナリオのもとでさえ 0.5% という低い確率にとどまることがわかりました(図2)。いっぽう現在の米どころ新潟県や首都近郊の農業県茨城など東日本以西では、この高温ストレスに達する可能性はかなり高くなることが予想されます。

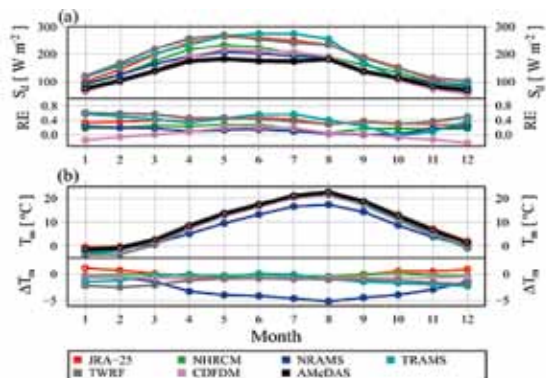


図1：全球データセットJRA-25、複数の地域気候モデル(NHRCM, NRAMS, TRAMS, TWRF)および統計モデルCDFDMから得られた現在気候の再現性評価図で、(a)日射量および(b)平均気温の季節変化(各上図)と、各々の観測値のAMeDAS値に対する気温差および日射量の比(各下図)をそれぞれ示す。

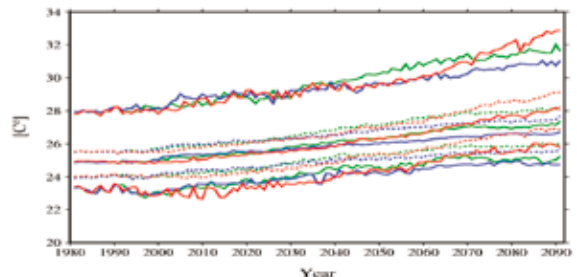


図2：札幌で多数の気候変化シナリオから得られた水稻開花期間平均の日最高気温の時系列。それぞれ温室効果ガス排出シナリオ別を表す3色(赤色がA2, 緑色がA1B, 青色がB1)からなる5組の線は、気温が低い方から見て、それぞれ0.5%、25%、50%、75%、99.5%の確率でそれ以下の気温が出現する可能性(パーセンタイル値)を示す。

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

サブテーマリーダー：東京工業大学 梶 信次郎

気候モデル出力の統計的ダウンスケーリング

地球温暖化が引き起こしうる問題の一つとして、水循環の変化が指摘されています。水循環の変化は洪水や渇水の発生の変化といった形で社会に大きな影響を及ぼします。将来の陸上の水循環変化を予測するための有効な手段として、気候モデルが予測した将来の降水量や気温などを、河川の流量や土壌の水分などを計算できる影響評価モデル（陸面モデルや水文モデル）へ入力するという方法があります（図1）。しかし、国内の流域や自治体などを対象とするには、気候モデルの出力は時間・空間解像度が必ずしも十分とはいえません。全球気候モデルの出力のみならず、地域気候モデルの出力も時間・空間解像度が必ずしも十分とはいえないことがあります。そのため、気候モデル出力の時間・空間解像度を統計的手法によって細かくする技法（統計的ダウンスケーリング）が必要となることがあります。このとき、統計的ダウンスケーリングの一部として、バイアス補正とよばれる技法が使われることが多くあります。バイアス補正は、気候モデルから出力される将来変化の情報を影響評価モデルへと入力する際に、対象地域における気候モデルの出力と観測データとの間にある系統的な差を適切に埋める統計的技法です。本サブテーマでは、水災害の影響評価に強く関わる、気候モデルの降水量出力に特に着目し、各種バイアス補正手法の比較²⁰⁶⁾や新たな手法の提案などを行いました。

統計的ダウンスケーリングされた将来降雨の例

洪水や渇水といった水災害の発生を評価する際には、強い雨が何日間か降り続くといった、降水量の時間的な変動が再現されていることは重要です。そこで、降水量の変動を幾つかの時間スケール別に分解し、その変動の時間スケール毎に変動の強さのバイアスを補正する手法を提案し、地域気候モデル（NHRCM）の日降水量出力に適用しました。さらに、その適用結果から5日間合計降水量を求めました。このように、5日間程度にわたって降り続く大雨といった、土砂災害の発生などに関わる継続した大雨のバイアスを適

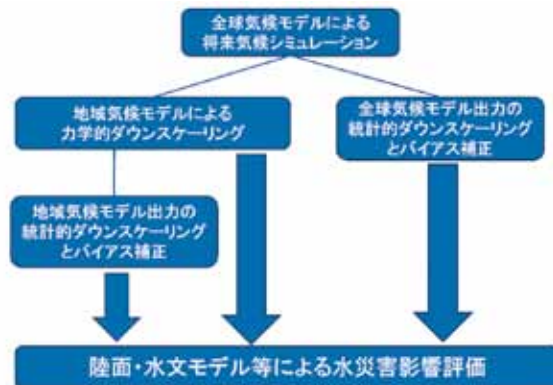


図1：気候変動に伴う水災害影響評価の例。

切に補正することによって、気候モデルの出力を水災害評価により使いやすくなります。

影響評価モデルへ入力するために気候モデル出力のバイアスを補正する手法は、これまで国内外で様々なものが開発されてきました。先に紹介した、洪水被害や土砂災害の規模に関わる数日程度の強い降水量の持続に着目してバイアス補正を行う手法を用いて、日本陸域の将来の大雨を推計した例が図2です。図2では、この手法を地域気候モデル出力の日降水量に適用し、2081-2100年における5日間合計降水量の上位1%に相当する値を求めた結果を表しています。この例のように統計的ダウンスケールやバイアス補正を適用された気候モデルの出力が、洪水や渇水、土砂災害などの影響評価分野において利用されることになります。

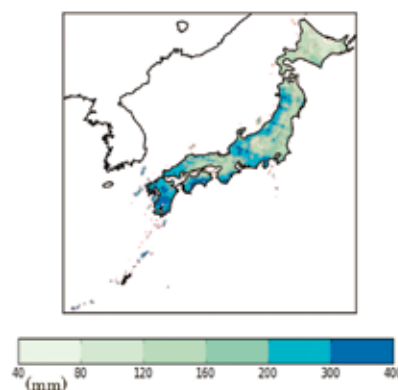


図2：2081-2100年の20年間における5日間合計降水量の上位1%値の推計例。

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

サブテーマリーダー：北海道大学 稲津 将

双方向ネストモデルとは

一方通行の道では、車はある方向にしか進むことができません。その道を使ってある地点から別の地点へ行ったり、同じ道を使って引き返すことはできません。一方、対面通行の道では、車はある方向とその逆の方向へ進むことができます。その道を使ってある地点から別の地点へ行ったり、同じ道を使って引き返すことができます。

地球温暖化など気候の予測を行うモデルには、全世界の大雑把な気候を計算するものと、地域の細かい気候を計算するものの二つがあります。これは全世界の気候を一気に細かく計算すると、計算量が膨大になるためです。本プロジェクトのテーマ3では、地球温暖化に関する全世界の粗い気候の計算結果を使って、日本の細かい気候変動を計算しています。このように全世界の気候計算モデルで作られた結果を、地域の気候計算モデルに入力して、気候情報の空間詳細化を行うことを、力学的ダウンスケーリングと呼びます。

したがって、力学的ダウンスケーリングは一方通行の道と同じです。全世界の大雑把な地球温暖化の情報から、地域の温暖化情報になってしまうと、逆戻りして全世界の大雑把な地球温暖化の情報を修正することはできません。これが対面通行の道になるとどうでしょう？ある地域の気候変化が原因で全世界の

気候変化を引き起こすことが可能です。そのような方法を双方向ネストと呼びます(図左)。この方法を使えば、地域的な規模の小さな山脈が、全世界の気候の変化に影響を及ぼすかを知ることができます。

研究の成果

双方向ネストの研究では、全世界の気候計算モデルと地域の気候計算モデルを連結し、一体化したモデルとして作り直す必要があります。本研究では、プロジェクトの前半で世界に先駆けて双方向ネストのモデル開発に成功し、プロジェクトの後半で地域の気候が全世界の気候にどのような影響を及ぼすのかについての本格的な研究を行うことができました。

本研究では、双方向ネストの手法がどのくらい効果的かを、東アジア域の山岳に対する冬季の実験¹⁷³⁾と、東南アジア域の熱帯海洋の夏季の実験¹⁷⁴⁾により確かめました。両実験ともに双方向ネストにより地域の気候計算が全世界の計算結果に影響を及ぼしうることを示しました。とくに、前者の実験では中国東北部から朝鮮半島にかけての地域規模の山脈が全球の気圧配置に影響を与えている可能性を示唆しました(図右)。双方向ネストは、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今後、利用されていくことが期待されています。

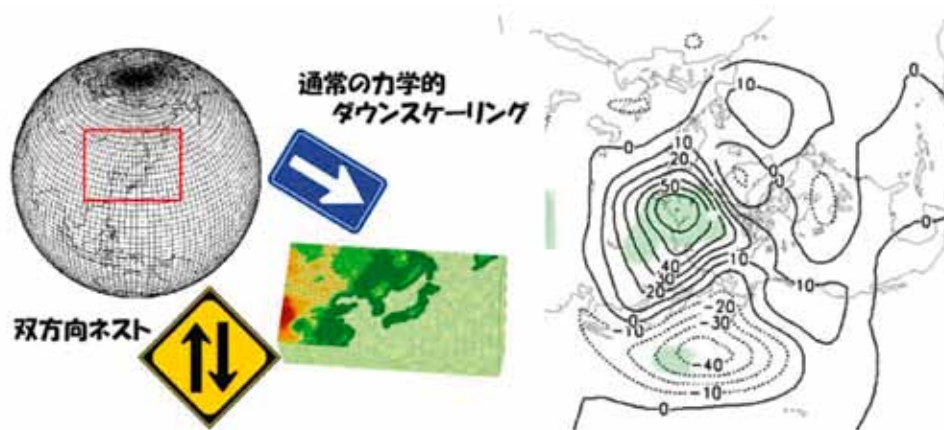


図1：(左)全世界の気候を大雑把に計算するモデルと地域の気候を細かく計算するモデルを組み合わせる方法。通常の力学的ダウンスケーリングは全世界の情報を元に地域の気候を計算する一方通行だが、双方向ネストでは両者の情報のやり取りを行うことができます。(右)双方向ネストモデル計算と通常の気候モデル計算との上空約5kmにおける「気圧配置」の違い。

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

4
01

Strategic Project
S-5

サブテーマリーダー：(独)国立環境研究所 山形 与志樹

はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書では、アメリカ、EU等、全世界を十数地域に分割して予測した将来の人口・GDP成長シナリオにもとづき、気候変動予測を行っていました。気候変動を正確に予測するためには、より詳細な地理的分布を考えた経済社会シナリオが必要とされます。そこで、本研究では、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ました²²⁰⁾。

地球全体での空間詳細土地利用シナリオの開発

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(50km程度の空間格子情報)へと空間詳細化(ダウンスケール)しました²¹⁸⁾。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み、そ

これらの結果をRCPシナリオの一つとして提出しました。その成果は、世界中の気候変動予測で利用されています。

日本への影響は？

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いました。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・建物市場を考慮するシナリオを構築しました。今後の社会経済変化を、人口の集約と分散の2つのタイプとして描き、住宅・オフィス・交通などの人間活動による排熱や、緑地率、建物密度といった土地利用の属性の変化を予測しました(図1)。これらのシナリオを用いて、テーマ3の都市気候モデル研究で、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ました²²³⁾。

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ました。

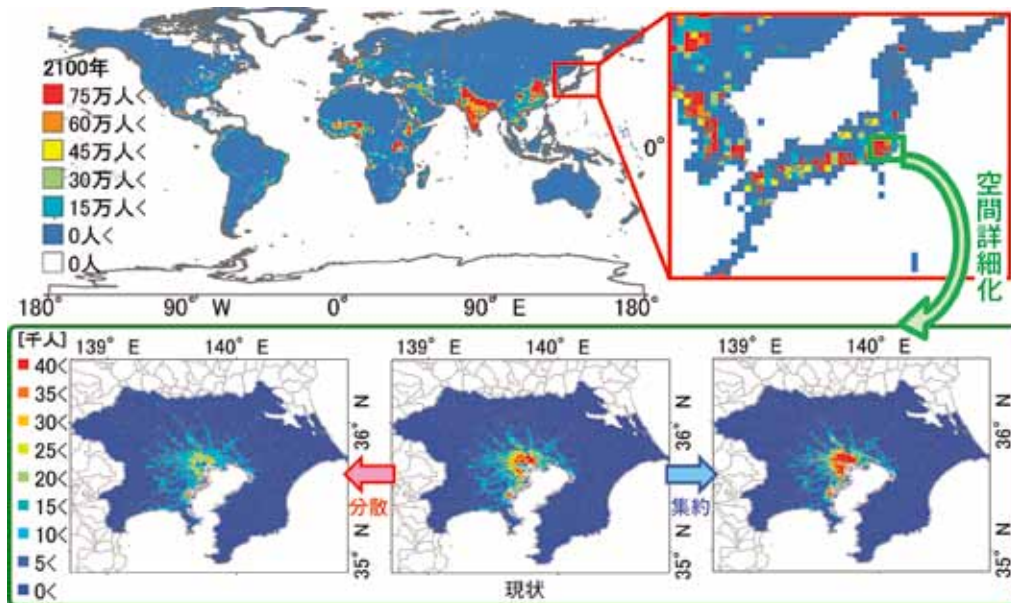


図1：全球を対象とした人口のダウンスケール結果(上段)、東京都市圏を対象とした土地利用変化シナリオによる人口変化(下段)

温室効果ガスとエアロゾル等の排出の空間分布の推定

サブテームリーダー：(独)国立環境研究所 野 沢 徹

はじめに

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ります。このようなデータはこれまでも存在していましたが、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ました。

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ます。

GHG・エアロゾル等の空間詳細シナリオの開発

本研究では、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、国立環境研究所の統合評価モデルグループが担当したRCP6.0シナリオ(産業革命以降の放射強制力が $6\text{W}/\text{m}^2$ 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ました²²⁰⁾。格子点化に際しては、サブテーム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ます。

図1はRCP6.0シナリオの2000年および2100年における二酸化硫黄(SO_2 ：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ます。 SO_2 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ます。RCP6.0シナリオでは、 SO_2 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

ています。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す。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りません。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ます。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す。

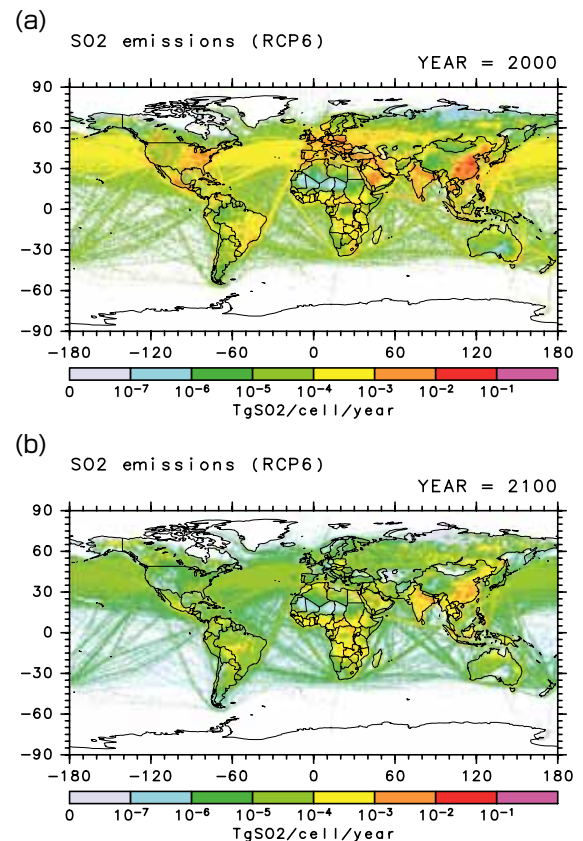


図1：RCP6.0シナリオの(a)2000年、(b)2100年における SO_2 年間積算排出量の空間分布。単位は $\text{TgSO}_2/\text{cell}/\text{year}$ 。(1Tg=100万トン)

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

サブテーマリーダー：(独)国立環境研究所 Shobhakar Dhakal

はじめに

地球規模および地域規模の空間詳細シナリオの検証や、温室効果ガス排出量と気候変動リスクに関するボトムアップ分析においては、都市や地域レベルでの調査や分析が重要です。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ります。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ました。

大都市の分析と分析手法の開発

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ました。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、アジアの一部の巨大都市圏についてボトムアップ分析の手法を用いた量的な推計・分析を行いました。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ました。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ました。

国際研究ネットワークの構築

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、都市と地域の研究のための国際ネットワークを構築しました。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、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ちます。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



図1：GCP、東京大学IR3Sと共催したシンポジウムの様子
8か国23名の研究者および政策決定者らが科学と政策の連携について討論した。一般参加者は150名。(2009年開催)

工科大学院、名古屋大学、東京大学サステイ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ました。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、国際連携を強化しました。

研究成果の活用

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はなく、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りました。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ました。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貢献しています。

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

サブテマリーダー：(独)海洋研究開発機構 河宮 未知生

シナリオ実験に用いられる将来シナリオ

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ます。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ました。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す。シナリオデータとして、人為的な温暖化効果ガス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ます。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ます。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ります。

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ます。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ります。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ります。

土地利用変化シナリオの整合性評価

本研究では、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いました。

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ました(図1)。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

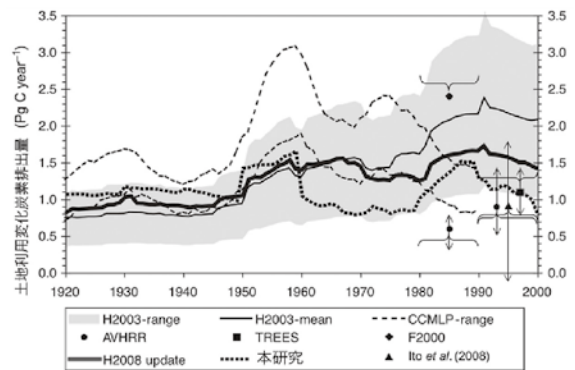


図1：過去における土地利用変化起源の炭素排出量。H2008 updateが標準的に用いられる推定値。H2008 updateでは植物のCO₂施肥効果が評価されていないため、20世紀末で過大排出になっている。

値と類似の値が得られました。

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ました。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、農地が拡大していきます。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ます。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ます(RCP2.6では+53 Pg C、RCP4.5では-63 Pg Cの排出量差)²¹⁵⁾。

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ます。

研究成果論文リスト

本研究の成果として出版された査読付き学術論文の一覧です。本報告書の本文中に番号で引用されています。

S-5-1

- 1) Abe, M. et al. (2009): Correlation between inter-model similarities in spatial pattern for present and projected future mean climate. *SOLA*, 5, 133-136.
- 2) Abe, M. et al. (2011): Estimation of future surface temperature changes constrained using the future-present correlated modes in inter-model variability of CMIP3 multi-model simulations. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2010JD015111.
- 3) Annan, J. D. and J. C. Hargreaves (2010): Reliability of the CMIP3 ensemble. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L02703.
- 4) Annan, J. D. et al. (2011): On the observational assessment of climate model performance. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24702. doi:10.1029/2011GL049812
- 5) Aoyagi-Usui M. (2009): From the experience of RISPO-LINK project. In: Kawamura Y. et al. eds., *Resources Under Stress: Sustainability of the Local Community in Asia and Africa (Afrasia Symposium Series 3)*, Ryukoku Univ., 309-310.
- 6) Aoyagi-Usui, M. et al. (2011): An analysis of Japanese results of the Global Survey for Sustainable Lifestyles. in United Nations Environmental Programme, *Visions for Change: Global Survey on Sustainable Lifestyles; Recommendations for Impacting Policies and Initiatives*.
- 7) Calov, R. et al. (2010): Results from the Ice-Sheet Model Intercomparison Project-Heinrich Event INtercOmparison (ISMIP HEINO). *Journal of Glaciology*, 56(197), 371-383.
- 8) Christidis, N. et al. (2009): Probabilistic estimates of recent changes in temperature: a multi-scale attribution analysis. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-009-0615-7.
- 9) Christidis, N. et al. (2011): The contribution of anthropogenic forcings to regional changes in temperature during the last decade. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1184-0.
- 10) Das, L. et al. (2011): Centennial scale warming over Japan: are the rural stations really rural? *Atmospheric Science Letters*, doi:10.1002/asl.350.
- 11) Greve, R. et al. (2011): Initial results of the SeaRISE numerical experiments with the models SICOPOLIS and ICIES for the Greenland Ice Sheet. *Annals of Glaciology*, 52, 58.
- 12) Hargreaves, J. C. (2010): Skill and uncertainty in climate models, *WIREs*, 1(4), 1757-7799.
- 13) Hargreaves, J. C. et al. (2011): Are paleoclimate model ensembles consistent with the MARGO data synthesis? *Climate of the Past* 7, 917-933, doi:10.5194/cp-7-917-2011.
- 14) Hashioka, T. et al. (2009): Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L20604, doi:10.1029/2009GL038912.
- 15) Hirata, T. et al. (2011): Synoptic relationships quantified between surface Chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. *Biogeosciences*, 8, 311-327.
- 16) Ishigooka, Y. et al. (2010): Estimation of water saturated areas in Northeast Thailand using a Large-scale water balance model. *Journal of Agricultural Meteorology*, 66(2), 91-101.
- 17) 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*, 123, 577-588.
- 18) 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.
- 19) Kundzewicz, Z. W. et al. (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.
- 20) Masaki, Y. et al. (2009): Atmospheric turbidity estimation from hourly global solar radiation data under cloudless skies. *J. Meteor. Soc. Japan. Ser. II*, 87, 849-863.
- 21) Masaki, Y. et al. (2010): 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, doi:10.1007/s00704-009-0191-0.
- 22) Masaki, Y. et al. (2011): Expected changes in future agroclimatological conditions in Northeast Thailand and their differences between general circulation models. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(3-4), 383-401, doi:10.1007/s00704-011-0439-3.
- 23) Masutomi, Y. H. et al. (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.
- 24) Okazaki, Y. et al. (2010): Deepwater formation in the North Pacific during the last glacial termination. *Science*, 329(5988), 200-204.
- 25) Pokhrel, Y. et al. (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.
- 26) Pokhrel, Y. et al. (2011): Incorporating anthropogenic water regulation modules into a land surface model. *J. of Hydrometeorology*, doi:10.1175/JHM-D-11-013.1, in press.
- 27) 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.
- 28) 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*, doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.10.005.
- 29) Shindo, J. et al. (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.
- 30) Shiogama, H. et al. (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.
 - 31) Shiogama, H. et al. (2010): Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. *Clim. Change*, 99(1-2), 321-329.
 - 32) Shiogama, H. et al. (2010): Emission scenario dependency of precipitation on global warming in the MIROC3.2 model. *J. Climate*, 23, 2404-2417.
 - 33) Shiogama, H. et al. (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 pages.
 - 34) Shiogama, H. et al. (2011): Observational constraints indicate risk of drying in the Amazon basin. *Nature communications*, 2, 253.
 - 35) Siddall, M. et al. (2010): The sea-level conundrum: case studies from palaeo-archives. *Journal of Quaternary Science*, 25(1), 19-25.
 - 36) Sugiyama, M. et al. (2010): Precipitation extreme changes exceeding moisture content increases in MIROC and IPCC climate models. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(2), 571-575.
 - 37) Timmerman, A. et al. (2010): Promotion of glacial ice sheet buildup 60-115 ka B.P by precessionally paced Northern Hemispheric meltwater pulses. *Paleoceanography*, 25, PA4208.
 - 38) Toda, M. et al. (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.
 - 39) Yara, Y. et al. (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*, in press.
 - 40) 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.
 - 41) Yoshimori, M. et al. (2009): A comparison of climate feedback strength between CO₂ doubling and LGM experiments. *J. Climate*, 22(12), 3374-3395.
 - 42) Yoshimori, M. et al. (2011): Dependency of feedbacks on forcing and climate state in physics parameter ensembles. *J. Climate*, 24(24), 6440-6455.
 - 43) Yoshimura, K. et al. (2008): Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan. *Hydro. Res. Lett.*, 2, 22-26, doi:10.3178/HRL.2.22.
 - 44) 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.
 - 45) 青柳みどり, 鄭躍軍 (2009): 日本および中国における統計的社会調査の方法について. *村研ジャーナル*, 31, 32-39.
 - 46) 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.
 - 47) 朝倉暁生ら (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.
 - 48) 朝倉暁生ら (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.
 - 49) 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*, 9, 13-23.
 - 50) 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(3), 231-247.
 - 51) 三瓶由紀ら (2011): 研究者・メディア間の温暖化リスクコミュニケーション促進に向けた対話型フォーラムの可能性. *科学技術社会論研究*, 9, 54-69.
 - 52) 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.
 - 53) 高野誠二ら (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), 1-120.
 - 54) 高野誠二ら (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.
 - 55) 高橋潔ら (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.
 - 56) 中尾有伸ら (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.
 - 57) 藤井賢彦, 山野博哉 (2010): 『大森 (2010)「中尾ら (2009) 日本のサンゴ被度データベースの作成と分析. 日本サンゴ礁学会誌 11: 109-129」に対するコメント』への回答. *日本サンゴ礁学会誌*, 12, 53-57.
 - 58) 増富祐司ら (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稲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.
 - 59) 松本安生 (2008): 自治体環境行政における市民参加. 自治体環境行政の最前線～持続可能な地域社会の実現 (宇都宮深志・田中充編著), 80-109.
 - 60) 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.
 - 61) 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.
 - 62) 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.
- 63) 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.
- 64) 屋良由美子ら (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.
- 65) 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.
- 66) 吉森正和ら (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.
- 67) 吉森正和ら (2012): 気候感度 Part 2: 不確実性の低減への努力. 天気, 印刷中.
- 68) 吉森正和ら (2012): 気候感度 Part 3: 古環境からの検証. 天気, 印刷中.
- S-5-2**
- 69) 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, doi: 10.2151/jmsj.2012-A06.
- 70) Hirota, N. et al. (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.
- 71) Hirota, N., and Y. N. Takayabu (2012): Inter-model differences of future precipitation changes in CMIP3 and MIROC5 climate models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 307-316, doi: 10.2151/jmsj.2012-A16.
- 72) Hotta, D. and H. Nakamura (2011): On the significance of sensible heat supply from the ocean in the maintenance of mean baroclinicity along storm tracks. *J. Climate*, 24, 3377-3401, doi:10.1175/2010JCLI3910.1.
- 73) Ichikawa, H. et al. (2009): Evaluation of precipitation and high-level cloud areas associated with large-scale circulation over the tropical Pacific in the CMIP3 models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 4, 771-789, doi:10.2151/jmsj.87.771.
- 74) Ichikawa, H. et al. (2012): Reproducibility by climate models of cloud radiative forcing associated with tropical convection. *J. Climate*, 25, 1247-1262, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00114.1.
- 75) Inoue, T. and H. Ueda (2009): Evaluation for the seasonal evolution of the summer monsoon over the Asian and western North Pacific sector in the WCRP CMIP3 multi-model experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 539-560, doi:10.2151/jmsj.87.539.
- 76) Inoue, T. and H. Ueda (2011): Delay of the first transition of Asian summer monsoon under global warming condition. *SOLA*, 7, 81-84, doi:10.2151/sola.2011-021.
- 77) Kamae, Y. and H. Ueda (2009): Suppressant effect of instantaneous CO₂ doubling on global precipitation. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, 5, 11-16.
- 78) Kamae, Y. et al. (2011): Hadley and Walker circulations in the mid-Pliocene warm period simulated by an atmospheric general circulation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 475-493, doi:10.2151/jmsj.2011-505.
- 79) Kawase, H. et al. (2009): Intermodel variability of future changes in the Baiu rainband estimated by the pseudo global warming downscaling method. *J. Geophys. Res.*, 114, D24110, doi:10.1029/2009JD01803.
- 80) Kawatani, Y. and K. Ninomiya (2011): The North Pacific Subtropical High in August in twentieth-century CMIP3 multimodel dataset. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 377-388, doi:10.2151/jmsj.2011-406.
- 81) Kawatani, Y. et al. (2008): The North Pacific subtropical high characterized separately for June, July, and August: zonal displacement associated with submonthly variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 505-530.
- 82) Kawatani, Y. et al. (2011): The quasi-biennial oscillation in a double CO₂ climate. *J. Atmos. Sci.*, 68, 265-283, doi:10.1175/2010JAS3623.1.
- 83) Kawatani, Y. et al. (2012): The effects of changes in sea surface temperature and CO₂ concentration on the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, in press.
- 84) Kitoh, A. and T. Mukano (2009): Changes in daily and monthly surface air temperature variability by multi-model global warming experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 513-524, doi:10.2151/jmsj.87.513.
- 85) Kosaka, Y. and H. Nakamura (2008): A comparative study of the Pacific-Japan (PJ) teleconnection pattern based on reanalysis datasets. *SOLA*, 4, 9-12, doi:10.2151/sola.2008-003.
- 86) Kosaka, Y. and H. Nakamura (2010a): Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part I: The Pacific-Japan pattern. *J. Climate*, 23, 5085-5108, doi:10.1175/2010JCLI3413.1
- 87) Kosaka, Y. and H. Nakamura (2010b): Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part II: A global survey. *J. Climate*, 23, 5109-5125, doi:10.1175/2010JCLI3414.1.
- 88) 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, 3935-3955, doi:10.1175/2011JCLI3907.1.
- 89) Kosaka, Y. et al. (2009): Analysis on the dynamics of a wave-like teleconnection pattern along the summertime Asian

- jet based on a reanalysis dataset and climate model simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 3, 561-580, doi:10.2151/jmsj.87.561.2010年度日本気象学会「山本・正野論文賞」受賞対象論文.
- 90) Kosaka, Y. et al. (2011): Dynamics of interannual variability in summer precipitation over East Asia. *J. Climate*, 24, 5435-5453, doi:10.1175/2011JCLI4099.1.
- 91) Kug, J.-S. et al. (2009): Simulation of state-dependent high-frequency atmospheric variability associated with ENSO. *Clim. Dyn.*, 32, 635-648, doi:10.1007/s00382-008-0434-2.
- 92) Kusunoki, S. and O. Arakawa (2011): Change in the precipitation intensity of the East Asian summer monsoon projected by CMIP3 models. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1234-7.
- 93) Kwon, Y.-O. et al. (2010): Role of Gulf Stream and Kuroshio-Oyashio systems in large-scale atmosphere-ocean interaction: A review. *J. Climate*, 23, 3249-3281, doi:10.1175/2010JCLI3343.1.
- 94) Miyasaka, T. and H. Nakamura (2010): Structure and mechanisms of the Southern Hemisphere summertime subtropical anticyclones. *J. Climate*, 23, 2115-2130, doi:10.1175/2009JCLI3008.1.
- 95) Nakamura, H. et al. (2010): Northern Hemisphere extratropical tropospheric planetary waves and their low-frequency variability: Their vertical structure and interaction with transient eddies and surface thermal contrasts. *Climate Dynamics: Why Does Climate Vary?* D. Sun, F. Bryan, Eds., *Geophys. Monogr.*, 189, AGU, 149-179.
- 96) Nakamura, H. et al. (2008): On the importance of midlatitude oceanic frontal zones for the mean state and dominant variability in the tropospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 35, 15, L15709, doi:10.1029/GL034010.
- 97) Ninomiya, K. (2009): Characteristics of precipitation in the Meiyu-Baiu season in the CMIP3 20th Century climate simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 4, 829-843, doi:10.2151/jmsj.87.829.
- 98) Ninomiya, K. (2011): Characteristics of the Meiyu and Baiu frontal precipitation zone in the CMIP3 20th century simulation and 21st century projection. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 151-159, doi:10.2151/jmsj.2011-204.
- 99) Ninomiya, K. (2012): Year-to-year variations in the Meiyu and Baiu frontal precipitation zone in the CMIP3 20th century simulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 317-325, doi: 10.2151/jmsj.2012-A17.
- 100) Ninomiya, K. (2012): Characteristics of intense rainfalls over southwestern Japan in the CMIP3 20th century simulation and 21st century projection. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 327-338, doi: 10.2151/jmsj.2012-A18.
- 101) Ninomiya, K. et al. (2008): Differences between the intense precipitation associated with subsynoptic-scale Baiu frontal depression simulated by an AGCM and described in observational studies. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 563-573.
- 102) Nishii, K. et al. (2009): Reproducibility and future projection of the midwinter storm-track activity over the Far East in the CMIP3 climate models in relation to "Haru-Ichiban" over Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 3, 581-588, doi:10.2151/jmsj.87.581.
- 103) Nishii, K. et al. (2010): Cooling of the wintertime Arctic stratosphere induced by the Western Pacific teleconnection pattern. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13805, doi:10.1029/2010 GL043551.
- 104) Nishii, K. et al. (2011): Geographical dependence observed in blocking high influence on the stratospheric variability through enhancement or suppression of upward planetary-wave propagation. *J. Climate*, 24, 6408-6423.
- 105) Nishii, K. et al. (2012): Relationship of the reproducibility of multiple variables among global climate models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 87-100, doi: 10.2151/jmsj.2012-A04.
- 106) Noda, A. (2010): A general three-dimensional transformed Eulerian mean formulation. *SOLA*, 6, 85-88, doi:10.2151/sola.2010-022.
- 107) Nonaka, M. et al. (2009): Air-sea heat exchanges characteristic to a prominent midlatitude oceanic front in the South Indian Ocean simulated in a high-resolution coupled GCM. *J. Climate*, 22, 24, 6515-6535, doi:10.1175/2009JCLI2960.1.
- 108) Ohba, M. and H. Ueda (2009): Seasonally different response of the Indian Ocean to the remote forcing of El Nino: Linking the dynamics and thermodynamics. *SOLA*, 5, 176-179, doi:10.2151/sola.2009-045.
- 109) Ohba, M. and H. Ueda (2010): A GCM study on effects of continental drift on tropical climate at the early and late Cretaceous. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 869-881, doi:10.2151/jmsj.2010-601.
- 110) Ohba, M. et al. (2010): Simulation of asymmetric ENSO transition in WCRP CMIP3 multimodel experiments. *J. Climate*, 23, 6051-6067, doi:10.1175/2010JCLI3608.1.
- 111) Ose, T. and O. Arakawa (2009): Characteristics of the CMIP3 models simulating realistic response of tropical western Pacific precipitation to Nino3 SST variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 807-819, doi:10.2151/jmsj.87.807.
- 112) Ose, T. and O. Arakawa (2011): Uncertainty of future precipitation change due to global warming associated with sea surface temperature change in the tropi-

- cal Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 539-552, doi:10.2151/jmsj.2011-508.
- 113) Oshima, K. and Y. Tanimoto (2009): An evaluation of reproducibility of the Pacific Decadal Oscillation in the CMIP3 simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 4, 755-770, doi:10.2151/jmsj.87.775.
- 114) Oshima, K. et al. (2012): Regional patterns of wintertime SLP change over the North Pacific and their uncertainty in CMIP3 multi-model projections. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 385-396, doi: 10.2151/jmsj.2012-A23.
- 115) Sampe, T. et al. (2012): Potential influence of a midlatitude oceanic frontal zone on the annular variability in the extratropical atmosphere as revealed by aqua-planet experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90, Special issue on aqua-planet experiments, in press.
- 116) Sampe, T. et al. (2010) : Significance of a midlatitude oceanic frontal zone in the formation of a storm track and an eddy-driven westerly jet. *J. Climate*, 23, 1739-1814, doi:10.1175/2009JCLI3163.1.
- 117) Sato, N. et al. (2009): An evaluation of the reproducibility of the Madden-Julian Oscillation in the CMIP3 multi-models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 791-805, doi:10.2151/jmsj.87.791.
- 118) Sato, N. et al. (2010): Variability of oceanic surface and subsurface layers associated with the northward-propagating intraseasonal variability. *Deep-Sea Research II*, 57, 1201-1211, doi:10.1016/j.dsr2.2009.12.009.
- 119) Seiki, A. et al. (2009): The oceanic response to the Madden-Julian Oscillation and ENSO, *SOLA*, 5, 93-96, doi:10.2151/sola.2009-024.
- 120) Seiki, A. et al. (2010): The impact of trade surges on the Madden-Julian Oscillation under different ENSO conditions. *SOLA*, 6, 49-52, doi:10.2151/sola.2009-024.
- 121) Seiki, A. et al. (2011): Westerly wind bursts and their relationship with ENSO in CMIP3 models. *J. Geophys. Res.*, 116, D03303, doi:10.1029/2010JD015039.
- 122) Sueyoshi, M. and T. Yasuda (2009): Reproducibility and future projection of the ocean first baroclinic Rossby radius based on the CMIP3 multi-model dataset. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 821-827, doi:10.2151/jmsj.87.821.
- 123) Suzuki, T. et al. (2008): AGCM experiment of the effect of cumulus suppression on convection center formation over the Bay of Bengal. *J. Geophys. Res.*, 113, D16104, doi:10.1029/2007JD009686.
- 124) Taguchi, B. (2012): Seasonal evolution of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subtropical frontal zone: Observations and a coupled model simulation. *J. Climate*, 25, 111-139, doi:10.1175/JCLI-D-11-00046.1.
- 125) Taguchi, B. et al. (2009): Influences of the Kuroshio /Oyashio Extensions on air-sea heat exchanges and storm track activity as revealed in regional atmospheric model simulations for the 2003/4 cold season. *J. Climate*, 22, 24, 6536-6560, doi:10.1175/2009JCLI2910.1.
- 126) Takahashi, C. et al. (2011): Projected future change of MJO and its extratropical teleconnection in East Asia during the northern winter simulated in IPCC AR4 models. *SOLA*, 7, 201-204, doi:10.2151/sola.2011-051.
- 127) Takahashi, C. et al. (2012): The Madden-Julian Oscillation and extratropical teleconnection over East Asia during the northern winter in IPCC AR4 climate models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 361-371, doi: 10.2151/jmsj.2012-A21.
- 128) Takayabu, Y. et al. (2010): Shallow and deep latent heating modes over tropical oceans observed with TRMM PR Spectral Latent Heating data. *J. Climate*, 23, 2030-2046, doi:10.1175/2009JCLI3110.1.
- 129) Takayabu, Y. N. and K. Hikosaka (2009): Statistical analysis of oceanic rainfall characteristics in the Baiu season utilizing TRMM PR data. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 339-352, doi:10.2151/jmsj.87A.339.
- 130) Takayabu, Y. N., and M. Kimoto (2008): Diurnal variations in rainfall simulated using the CCSR/NIES/FRCGC AGCM and dependence on cumulus schemes. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86A, 163-173.
- 131) Tanimoto, Y. et al. (2010): Sea level pressure minimum along the Kuroshio and its extension. *J. Climate*, 24, 4419-4434, doi: 10.1175/2011JCLI4062.1
- 132) Tanimoto, Y. et al. (2011): A peculiar feature of the seasonal migration of the South American rain band. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79-90, doi:10.2151/jmsj.2010-106, JMSJ award 受賞対象論文.
- 133) Tsushima, Y. et al. (2008): Key parameters for the inconsistencies of the incoming solar radiation boundary condition in global modeling. *International Radiation Symposium*, 2008, 585-588.
- 134) Ueda, H. et al. (2011): Seasonally asymmetric transition of the Asian monsoon in response to ice age boundary conditions. *Clim. Dyn.*, 37, 2167-2179, doi:10.1007/s00382-010-0975-z.
- 135) Wu, L., W. Cai, et al. (2012): Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nature Climate Change*, 2, doi:10.1038/nclimate1353.
- 136) Yokoi, S. and Y. N. Takayabu (2009): Multi-model projection of global warming impact on tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 525-538, doi:10.2151/jmsj.87.525.
- 137) Yokoi, S. and Y. N. Takayabu (2010): Environmental and external factors in the genesis of tropical cyclone Nargis in April 2008 over the Bay of Bengal. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 425-435, doi:10.2151/jmsj.2010-310.
- 138) Yokoi, S. et al. (2009): Tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific simulated in medium-resolu-

- tion coupled general circulation models. *Clim. Dyn.*, 33, 665-683, doi:10.1007/s00382-009-0593-9.
- 139) Yokoi, S. et al. (2011): Application of cluster analysis to climate model performance metrics. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 1666-1675, doi:10.1175/2011JAMC2643.1.
- 140) Yokoyama, C. and Y. N. Takayabu (2008): A statistical study on rain characteristics of tropical cyclones using TRMM satellite data. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 3848-3862, doi:10.1175/2008MWR2408.1.
- 141) 植田宏昭 (2009): 気候研究におけるデータ解析の意義と今後の課題. *天気*, 56, 434-440.
- 142) 道広有理ら (2011): CMIP3マルチ気候モデルにおける日本陸域を対象とした地上気象要素の再現性・不確実性評価. *水文・水資源学会誌*, 24, 280-291.
- 143) 道広有理ら (2011): 気候変動情報データベースの開発とその利用. *土木学会論文集B2 (海岸工学)*, 67, I_1211-I_1215.
- 144) 屋良由美子ら (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. *日本サンゴ礁学誌*, 11, 131-140.
- S-5-3**
- 145) Aoyagi, T. and N. Seino (2011): A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area. *Japan. J. Appl. Meteor. Clim.*, 50, 1476-1496.
- 146) Aoyagi, T. and S. Takahashi (2012): Development of an urban multilayer radiation scheme and its application to the urban surface warming potential. *Bound.-Layer Meteor.*, doi:10.1007/s10546-011-9679-0.
- 147) Aoyagi, T. et al. (2012): Numerical Simulation of the Surface Air Temperature Change Caused by Increases of Urban Area, Anthropogenic heat, and Building Aspect Ratio in the Kanto-Koshin Area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 11-31.
- 148) Dairaku, K. et al. (2008): Impacts of Global Warming on Hydrological Cycles in the Asian Monsoon Region. *Adv. Atmos. Sci.*, 25, 6, 960-973.
- 149) Dairaku, K. et al. (2008): Potential changes in extreme events under global climate change. *J. Disas. Res.*, 3, 1, 39-50.
- 150) Fujita, M. et al. (2010): Morning precipitation peak over the Strait of Malacca under a calm condition. *Mon. Wea. Rev.*, doi:10.1175/2009MWR3068.1.
- 151) Hara, M. et al (2008): Estimation of the Impact of Global Warming on Snow Depth in Japan by the Pseudo-Global-Warming Method. *Hydro. Res. Lett.*, 2, 61-64.
- 152) Hirabayashi, Y. et al. (2008): A 59-year (1948-2006) global meteorological forcing data set for land surface models. Part II: Global snowfall estimation. *Hydro. Res. Lett.*, 2, 65-69.
- 153) Hirabayashi, Y. et al. (2008): A 59-year (1948-2006) global near-surface meteorological data set for land surface models. Part I: Development of daily forcing and assessment of precipitation intensity. *Hydro. Res. Lett.*, 2, 36-40.
- 154) Iizuka, S. (2010): Simulations of wintertime precipitation in the vicinity of Japan: Sensitivity to fine-scale distributions of sea surface temperature. *J. Geophys. Res.*, 115, D10107, doi:10.1029/2009JD012576.
- 155) Iizuka, S. and T. Matsuura (2008): ENSO and Western North Pacific Tropical Cyclone Activity simulated in a CGCM. *Clim. Dyn.*, 30, 815-830.
- 156) Iizuka, S. and T. Matsuura (2009): Relationship between ENSO and North Atlantic Tropical Cyclone frequency simulated in a CGCM. *Hurricanes and Climate Change*, Elsner, James B.; Jagger, Thomas H. (Eds.), Springer-Verlag, 323-338.
- 157) Iizuka, S. and T. Matsuura (2012): Analysis of tropical cyclone activity in the southern hemisphere using observation and CGCM simulation. "Cyclones: Formation, Triggers and Control" Kazuyoshi Oouchi, Hironori Fudetyasu (Eds.). Nova Science Publishers, Inc.
- 158) Iizuka, S. et al. (2012): Assessment of Ocean Surface Winds and Tropical Cyclones around Japan by RCMs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 91-102.
- 159) Iizumi, T. and M. Nishimori (2011): Improvements to statistical climate downscaling simulations by incorporating the APHRO_JP advanced gridded daily precipitation dataset. *Global Environment Research*, 15, 95-102.
- 160) Iizumi, T. et al (2008): Combined equations for estimating global Solar radiation: projection of radiation field over Japan under global warming condition by statistical downscaling. *J. Agric. Meteorol.*, 64, 9-23.
- 161) Iizumi, T. et al. (2009): Development of impact functions on regional paddy rice yield in Japan for integrated impact assessment models. *J. Agric. Meteorol.*, 65, 179-190.
- 162) Iizumi, T. et al. (2009): Parameter estimation and uncertainty analysis of a large-scale crop model for paddy rice: Application of a Bayesian approach. *Agriculture and Forest Meteorology*, 149, 333-348.
- 163) Iizumi, T. et al. (2010): Diagnostics of climate model biases in summer temperature and warm season insolation for the simulation of regional paddy rice yield in Japan. *J. App. Meteor. Clim.*, 49, 574-591.
- 164) Iizumi, T. et al. (2010): Potential predictability of local paddy rice yield variation using a crop model with local areal information. *Agricultural Information Research*,

- 19, 36-42.
- 165) Iizumi, T. et al. (2010): Probabilistic evaluation of climate change impacts on paddy rice productivity in Japan. *Climatic Change*, 107, 391-415.
- 166) Iizumi, T. et al. (2011): Evaluation and intercomparison of downscaled daily precipitation indices over Japan in present-day climate: Strengths and weaknesses of dynamical and bias-correction-type statistical downscaling methods. *J. Geophys. Res.*, 116, D01111, doi:10.1029/2010JD014513.
- 167) Iizumi, T. et al. (2011): Statistical downscaling with Bayesian inference: Estimating global solar radiation from reanalysis and limited observed data. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.2281
- 168) Iizumi, T. et al. (2012): Climate downscaling as a source of uncertainty in projecting local climate change impacts. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 83-90.
- 169) Iizumi, T. et al. (2012): ELPIS-JP: A dataset of local-scale daily climate change scenarios for Japan. *Philosophical Transactions of the Royal Society A (Influence of Nonlinearity and Randomness in Climate Prediction)*, 370, 1121-1139.
- 170) Ikeda, R. and H. Kusaka (2010): Proposing the simplification of the multi-layer urban canopy model. Inter-comparison study of four models. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 902-919. doi:10.1175/2009JAMC2336.1.
- 171) Inatsu, M. (2009): The neighbor enclosed area tracking algorithm for extratropical wintertime cyclones. *Atmos. Sci. Lett.*, 10, 267-272.
- 172) Inatsu, M. and K. Terakura (2012): Wintertime extratropical cyclone frequency around Japan. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1152-8, in press.
- 173) Inatsu, M. and M. Kimoto (2009): A scale interaction study on East Asian cyclogenesis using a general circulation model with an interactively nested regional model. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 2851-2868.
- 174) Inatsu, M. et al. (2012): GCM bias of the Western Pacific summer monsoon and its correction by two-way nesting system. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 1-10.
- 175) Inoue, T. and F. Kimura. (2007): Numerical Experiments on Fair-Weather Clouds Forming over the Urban Area in Northern Tokyo. *SOLA*, Vol. 3, 125-128, doi:10.2151/sola.2007-032.
- 176) Ishihara, K. (2010): Assessment for the 30-yr Daily Precipitation Change due to Global Warming using Regional Frequency Analysis. *Hydrological Research Letters*, 4, 30-34.
- 177) Ishizaki, N. and I. Takayabu (2009): On the warming events over Toyama Plain by using NHRCM. *SOLA*, 5, 129-132.
- 178) Ishizaki, N. (2010): Evaluation and intercomparison of the skill for regional climate models over Japan. PhD. Thesis, University of Tsukuba. 111pp.
- 179) Ishizaki, N. et al. (2012): Improved performance of simulated Japanese climate with a multi-model ensemble. *J. Meteor. Soc. Japan*, in press.
- 180) Ishizaki, N. et al. (2012): An attempt to estimate of probabilistic regional climate analogue in a warmer Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 65-74.
- 181) Ishizaki, Y. et al. (2010): Comparison of Three Bayesian Approaches to Project Surface Air Temperature Changes over Japan due to Global Warming. *SOLA*, 6, 21-24.
- 182) Ishizaki, Y. et al. (2012): Validation of the precipitation simulated by three regional climate models and two multi-model ensemble means over Japan for the period 1985 - 2004. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1304-5, in press.
- 183) Kanae, S. et al. (2010): A review of bias correction methods for the assessment of climate change impacts on water resources in Thailand. *Journal of research in engineering and technology*. Faculty of engineering, Kasetsart University, 7, 113-118.
- 184) Kawase, H. et al. (2009): Intermodel variability of future changes in the Baiu rainband estimated by the pseudo global warming downscaling method. *J. Geophys. Res.*, 114, D24110, doi:10.1029/2009JD011803.
- 185) Kawase, H. et al. (2008): Downscaling of the climatic change in the rainband in East Asia by a pseudo climate simulation method. *SOLA*, 4, 73-76.
- 186) Kojiri, T. (2010): Climate change impacts on water resources - studies in Japan, *CURRENT SCIENCE*, Vol.98(8), pp.1038-1046.
- 187) Kusaka, H. (2008): Recent study on urban climate in Japan. *Geographical Review of Japan*. 81, 361-374.
- 188) Kusaka, H. et al. (2010): Reproducibility of regional climate in central Japan using the 4-km resolution WRF model. *SOLA*, 6, 113-116.
- 189) Kusaka, H. et al. (2012): Numerical Simulation of Urban Heat Island Effect by the WRF Model with 4-km grid increment: An Inter-Comparison Study between the Urban Canopy Model and Slab Model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90B, 33-45.
- 190) Kusaka, H. et al. (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.
- 191) Mori, E. et al. (2009): Impact Assessment of Climate Change Considering Reservoir Operation and Water Resources Circumstances. *Proc. of 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment*, 757-764.
- 192) Okada, M. et al. (2009): Mesh climate change data of Japan Ver.2 for climate change impact assessments under IPCC SRES A1B and A2. *J. Agric. Meteorolo.*, 65, 97-109.
- 193) Sasaki, H. and K. Kurihara. (2008): Relationship between

- Precipitation and Elevation in the Present Climate Reproduced by the Non-hydrostatic Regional Climate Model. SOLA, Vol. 4, 109-112, doi:10.2151/sola.2008-028.
- 194) Takatama, K. et al. (2012): Diagnostics for near-surface wind convergence/divergence response to the Gulf Stream in a regional atmospheric model. *Atmos. Sci. Lett.*, in press.
- 195) Uno, F. et al. (2012): Time trend and variation in mean and accumulated solar radiations for the ripening period of paddy rice in Kyushu for 1979-2007. *J. Agric. Meteorol.*, in press.
- 196) Utsumi, N. et al. (2008): Importance of wind-induced undercatch adjustment in a gauge-based analysis of daily precipitation over Japan. *Hydro. Res. Lett.*, 2, 47-51.
- 197) Yoshida, R. et al. (2012): Intercomparison of downward shortwave radiation and surface air temperatures derived from dynamical and statistical downscaling models. the special issue of JMSJ-90B, 75-82.
- 198) 秋本裕子, 日下博幸 (2010): 入力データおよび地表面パラメータの変化に対する領域気象モデルWRFの感度実験 - 夏季晴天日の関東平野を対象として -. *地理学評論*, 83, 324-340.
- 199) 足立幸穂, 木村富士男 (2010): 近年の関東域における高温化傾向の要因分析. *気候影響・利用研究会会報*, 28, 5-13.
- 200) 飯泉仁之直ら (2010): 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門. *農業気象*, 66, 131-143.
- 201) 石崎安洋ら (2009): ベイズ的アプローチによる日本域における地球温暖化に伴う地表気温上昇量の予測. *水工学論文集*, 53, 229-234.
- 202) 石崎安洋ら (2011): 地域気候マルチモデルアンサンブルを用いた日本域における降水の再現性. *水工論文集*, 56.
- 203) 井原智彦ら (2011): 問題比較型影響評価手法を用い都市気温上昇に伴う軽度の健康影響の推定. *日本建築学会環境系論文集*, 76(662), 459-467.
- 204) 日下博幸ら (2010): GPS可降水量に着目した局地豪雨の事例解析-2000年7月4日に東京で観測された事例-. *地理学評論*, 83, 479-492.
- 205) 日下博幸ら (2010): 東京で観測された局地豪雨の実態調査. 2002年8月2日および2004年8月10日の事例の比較解析. *ヒートアイランド学会誌*, 5, 1-10.
- 206) 渋尾欣弘, 鼎信次郎 (2010): 大雨に着目した気候モデル日降水量出力のバイアス補正手法比較. *水工学論文集*, 54, 235-240.
- 207) 西森基貴 (2008): 地球温暖化の地域総合的な影響評価への取り組み - 高知県における豪雨災害と農業生産の視点から -, 四万十・流域圏学会誌, 8(1), 23-28.
- 208) 西森基貴ら (2009): 都市化の影響を考慮した近年の日本における気温変化傾向とその地域的・季節的な特性について. *農業気象*, 65, 221-227.
- 209) 新田友子ら (2010): 流量確率指数を用いた地球温暖化に伴う日本域洪水リスク変化の推定. *水工学論文集*, 54, 451-456.
- 210) 原政之ら (2010): 気候変動が首都圏の都市気候に及ぼす影響 - 冬季を対象として -. *ながれ*, 29, 353-361.
- 211) 藤井嵩大ら (2011): 都市気象を表現する力学的ダウンスケーリングに関する研究. *水工学論文集*, 55.
- 212) 村上雅則ら (2011): 農耕地モニタリング地点の選定とその気温変化傾向に関する地域的な特性. *生物と気象*, 11, 41-50.

S-5-4

- 213) Dhakal, S. (2009): Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy Policy*, 37(11), 4208-4219.
- 214) Hammer, S. et al. (2011): Climate change and urban energy systems. *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, 83-109.
- 215) Kato, E., et al. (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*, in press, doi:10.1080/1747423X.2011.628705
- 216) Kawase, H. et al. (2011), Future changes in tropospheric ozone under Representative Concentration Pathways (RCPs), *Geophys. Res. Lett.*, 38, L05801, doi:10.1029/2010GL046402.
- 217) Kinoshita, T. et al. (2008): A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS. *Applied Energy*, 86(1), 1-11, 1-8.
- 218) Kinoshita, T. et al. (2008): Investigating the rank-size relationship of urban areas using land cover maps. *Geophys. Res. Lett.*, 35.
- 219) Kinoshita, T. et al. (2009): Woody biomass supply potential for thermal power plants in Japan. *Applied Energy*, 87(9), 2923-2927, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.08.025.
- 220) Masui, T. et al. (2011): An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing. *Climatic Change*, 109, 59-76.
- 221) Ramaswami A. and S. Dhakal (2011): Low carbon policies in the USA and China: Why cities play a critical role. *Carbon Management*, 2(4), 359-352.
- 222) 木下嗣基ら (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.
- 223) 山形与志樹ら (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.

研究参画者および研究協力者

課題代表者：住 明 正 (東京大学)

テーマ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：江守正多 (国立環境研究所)

1	<研究参画者> (国) 国立環境研究所 江守正多・高橋潔・小倉知夫・伊藤昭彦・脇岡靖明 <研究協力者> (国) 国立環境研究所 塩尾秀夫・花崎直太・阿部学・三瓶由紀(H20)・Kuno Strassmann(H21-22)・石崎安洋(H22-23)・Shin Yonghee(H22-23)、 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
2	<研究参画者> (国) 海洋研究開発機構 James D. Annan・Julia C. Hargreaves <研究協力者> (国) 海洋研究開発機構 Lalu Das(H19-22)・Jonathan J. Day(H23)、(国) 国立環境研究所 塩尾秀夫・横島徳太・阿部学
3	<研究参画者> 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・瀬戸心太・木口雅司
4	<研究参画者> 北海道大学 山中康裕・藤井賢彦 <研究協力者> (国) 国立環境研究所 山野博哉、北海道大学 屋良由美子・橋岡豪人・平田貴文・中尾有伸(H19-20)
5	<研究参画者> 東京大学 阿部彩子 <研究協力者> 東京大学 吉森正和・大石龍太、(国) 海洋研究開発機構 齋藤冬樹
6	<研究参画者> (国) 農業環境技術研究所 長谷川利雄・石郷岡康史・新藤純子 <研究協力者> (国) 農業環境技術研究所 桑形恒男・吉本真由美・福岡峰彦・臼井靖浩・林健太郎、(国) 森林総合研究所 澤野真治(H19-22)
7	<研究参画者> 東京大学 福士謙介 <研究協力者> 東京大学 住明正・平松あい(H19-22)・杉山昌広(H19-20)・前田芳恵(H21-23)、(国) 国立環境研究所 三瓶由紀(H20)
8	<研究参画者> (国) 野村総合研究所 岩瀬健太・佐藤将史・野崎洋之・浅野憲周(H19-21)・水石 仁(H19)・梅原郁恵(H19)・野呂瀬和樹(H20)・山田雄太(H21)・吉田早織(H21)
9	<研究参画者> 神奈川大学 三星宗雄・坪井雅史 <研究協力者> 東京大学 杉本 崇
10	<研究参画者> 神奈川大学 松本安生
11	<研究参画者> 東邦大学 朝倉暁生 <研究協力者> 東京大学 平松あい(H19-20)・高野誠二、京華学園 伊藤弘成(H19-20)、(国) 大日 久島恒知・三ツ橋勇二(H21-22)
12	<研究参画者> (国) 国立環境研究所 青柳みどり <研究協力者> (国) ニッセイ基礎研究所 栗林敦子(H19)・立教大学 品田知美(H19)、(国) ニールセン・カンパニー 徳永静代(H19)・神田亜里砂(H19)・清水愛子(H19)、 (国) 国立環境研究所 三瓶由紀(H20)、(国) 電通総研 山崎聖子・古澤庸子(H21)

テーマ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 課題代表者：高数 縁 (東京大学)

1	<研究参画者> 東京大学 高数 縁・木本昌秀 <研究協力者> 東京大学 横井 寛・廣田渚郎(H21-23)・宮川知己(H22-23)、(国) 海洋研究開発機構 鈴木恒明(H19-20)、香港城市大学 Johnny C. L. Chan(H19)
2	<研究参画者> 東京大学 中村 尚 <研究協力者> 東京大学 西井和晃・宮坂貴文・小坂優(H19-21)・Alexandre Laine (H21-23)
3	<研究参画者> 気象研究所 尾瀬智昭・鬼頭昭雄・橋昌司・保坂征宏・安田珠幾・行本誠史・遠藤洋和(H23)・石原幸司(H19-22) <研究協力者> 気象研究所 柴田清孝・足立恭将・小林ちあき(H22-23)・遠藤洋和(H19-22)・末吉雅和
4	<研究参画者> 北海道大学 谷本陽一 <研究協力者> 北海道大学 大島和裕・岡田靖子(H23)
5	<研究参画者> 筑波大学 植田宏昭 <研究協力者> 筑波大学 井上知栄
6	<研究参画者> (国) 海洋研究開発機構 城岡竜一・米山邦夫・佐藤尚毅・清水亜矢子 <研究協力者> (国) 海洋研究開発機構 高橋千陽
7	<研究参画者> (国) 海洋研究開発機構 河谷芳雄・二宮洗三・對馬洋子(H19-20)・鈴木恒明(H19-20) <研究協力者> (国) 海洋研究開発機構 野田彰(H20-23)、Hadley Centre, Met Office 對馬洋子(H21-23)、(国) 国立環境研究所 横島徳太(H21-23)
8	<研究参画者> 名古屋大学 神沢博 <研究協力者> 名古屋大学 増永浩彦・市川裕樹
9	<研究参画者> 気象庁 前田修平・及川義教・村井博一(H23)・平原翔二・大野浩史(H22) <研究協力者> 荻谷聡(H23)
10	<研究参画者> 京都大学 鈴木靖・佐藤嘉展・道広有理

テーマ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 課題代表者：高数 出 (気象研究所)

1	<研究参画者> 気象研究所 高数出・清野直子・仲江川敏之(H21-23)・石原幸司(H19-22)・青柳暁典・栗原和夫・佐々木秀孝・花房瑞樹(H22-23)・村田昭彦(H22-23)・日谷道夫(H23)・大泉三津夫(H19-20)・村崎万代(H19-21)・内山真雄(H19-21) <研究協力者> (国) 海洋研究開発機構 石崎紀子、(国) 国立環境研究所 石崎安洋、気象研究所 大泉三津夫(H21-H23)・仲江川敏之(H20)
2	<研究参画者> (国) 防災科学技術研究所 大塚浩司・飯塚聡・佐々木亘(H19) <研究協力者> (国) 防災科学技術研究所 山口梧、(国) 海洋研究開発機構 佐々木亘(H20-22)、米国コロラド大学 Roger A. Pielke・Adriana Beltrán-Przekurat、損害保険料率算出機構 中村雅紀(H19-H21)・土井央(H21-23)、NTT環境エネルギー研究所 杉山聡(H22-23)
3	<研究参画者> 筑波大学 日下博幸、(国) 海洋研究開発機構 木村富士男(H19-21) <研究協力者> 筑波大学 足立幸穂・片岡久美(H19)・鈴木バーカ・明日香(H23)、(国) 海洋研究開発機構 木村富士男(H22-23)・吉兼隆生・原政之(H20-23)、(国) 国立環境研究所 川瀬宏明(H20-21)
4	<研究参画者> 京都大学 田中賢治・小尻利治 <研究協力者> 京都大学 小原佳洋子(H19-21)・中田淳子(H21-23)
5	<研究参画者> (国) 農業環境技術研究所 西森基貴 <研究協力者> (国) 農業環境技術研究所 飯泉仁之直・吉田龍平(H23)・横沢正幸(H20)、筑波大学 宇野史睦(H23)・村上雅則(H23)・岡田将誌(H20)
6	<研究参画者> 東京工業大学 鼎信次郎 (東京大学生産技術研究所・H19-20、東京工業大学・H21-23) <研究協力者> 東京大学生産技術研究所 Sun Fubao(H19-20)、東京工業大学 波尾欣弘(H21)・井原慶彦(H22-23)
7	<研究参画者> 北海道大学 稲津将

テーマ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に関する研究 課題代表者：山形与志樹 (国立環境研究所)

1	<研究参画者> (国) 国立環境研究所 山形与志樹 <研究協力者> (国) 国立環境研究所 横島徳太(H22-23)・中道久美子(H21-23)・瀬谷創(H22-23)・甲斐沼美紀子・増井利彦・石渡佐和子(H19-22)・松本健一(H20-22)、茨城大学 木下嗣基
2	<研究参画者> (国) 国立環境研究所 野沢 徹・大原利真 <研究協力者> (国) 国立環境研究所 甲斐沼美紀子・増井利彦・石渡佐和子(H19-22)・長友利晴(H19-22)・松本健一(H20-22)・川瀬宏明(H21-23)、茨城大学 木下嗣基
3	<研究参画者> (国) 国立環境研究所 Shobhakar Dhakal <研究協力者> (国) 国立環境研究所 Anil Raut(H19)・牧戸泰代(H19-22)・Lavinia Poruschi(H20-22)・Sudhakar Yedla(H22)、トゥラキット・バンディット大学 Aumnad Phungsilp(H20)
4	<研究参画者> (国) 海洋研究開発機構 河宮未知生 <研究協力者> (国) 海洋研究開発機構 加藤悦史・石原浩二(H21-23)



<http://www-iam.nies.go.jp/s5/>

本研究プロジェクトに関する問い合わせ先

独立行政法人 **国立環境研究所**
地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室
Phone : 029-850-2724 Fax : 029-850-2960 E-mail : s5-info@nies.go.jp

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可
本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料【Aランク】のみを用いて作製しています。