

## 2100年以降ゼロエミッションによるRCP2.6/4.5の延長：MIROC-ESMについての2℃/3℃安定化シナリオとして Extensions of RCP2.6/4.5 with zero emission after 2100: as 2K/3K stabilization scenarios for MIROC-ESM

立入 郁<sup>1\*</sup>; 羽島 知洋<sup>1</sup>; 河宮 未知生<sup>1</sup>  
TACHIIRI, Kaoru<sup>1\*</sup>; HAJIMA, Tomohiro<sup>1</sup>; KAWAMIYA, Michio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

MIROC-ESM（大気化学なし）について、RCP（Representative Concentration Pathways、代表的濃度経路）2.6/4.5濃度シナリオを入力した場合に2100年時点での産業革命以前からの気温上昇がそれぞれ約2℃、3℃になることに着目し、それ以降をゼロエミッションとした場合の気候変化を調べた。MIROC-ESMは、相対的に悲観的な（気候感度が高く、生態系の炭素吸収量も小さい）モデルであり、このモデルで気候が安定化することは他のESM（地球システムモデル）でも気候が安定化する可能性が高い。以下、RCP2.6を延長したものを2℃安定化シナリオ、RCP4.5を延長したものを3℃安定化シナリオと呼ぶ。なお、土地利用やCO<sub>2</sub>以外のフォーシングについては2100年以降固定している。

実験は2300年までを予定しており、現在2200年を超えたところである。まず、2℃安定化シナリオは、2100年時点で産業革命以前からの全球平均気温上昇が2℃を少し超えているが、その後ゼロエミッションとすることで徐々に下がり、2200年時点では20年平均で2℃を少し下回っている。CO<sub>2</sub>濃度については、2100年時点で421 ppmだったのが徐々に下がり、2200年時点では約400 ppmであった。一方、3℃安定化シナリオは、2100年時点で3℃を少し上回っているが（20年平均）、徐々に下がって2200年時点では約2.8℃となっている。CO<sub>2</sub>濃度は、2100年時点で約540 ppmであり、2200年時点では500 ppmをわずかに下回っている。

ゼロエミッション化後の気温・降水量変化（2200年と2100年の20年平均の差）の空間分布をみると、2℃安定化シナリオでは気温が南極とその周辺やシベリア、グリーンランドで上昇し、アマゾンや北半球の陸地で下降している一方、3℃安定化シナリオでも傾向は似ていたが、南極・南極海の上昇度合いはやや小さく、グリーンランドでは上昇していなかった。シベリアではやや上昇する一方、北極海で顕著な温度低下がみられた。降水量については、2℃安定化シナリオでは西太平洋で減少しており、東太平洋の一部やインド洋周辺で増加していた。3℃安定化シナリオでは、太平洋南部にやや増加している地域が見られた。

キーワード: 代表的濃度経路, ゼロエミッション, 安定化, 地球システムモデル

Keywords: Representative Concentration Pathways, zero emission, stabilization, Earth system model

## 気候変動研究における気候・影響・社会経済の並行プロセスと統合プロセス Parallel and integrated processes of climate-impact-socioeconomics for climate research

江守 正多<sup>1\*</sup>  
EMORI, Seita<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所  
<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies

国連気候変動枠組条約における国際交渉では、温暖化対策の長期目標として「産業化前を基準に世界の平均気温上昇を2℃以内に抑える観点から対策を行う必要がある」という認識が合意されている。昨年9月に発表されたIPCC第1作業部会の第5次評価報告書によれば、この目標を50%の可能性で達成するためには、人類が今から将来にわたって排出する二酸化炭素の総量を300 GtC程度に抑える必要がある。現在の世界の排出量は年間10 GtC程度であるので、仮に現在の排出量が毎年続くとした場合で、わずか30年でこの制限に達してしまう。「2℃以内」の目標を本気で目指すのであれば、世界の二酸化炭素排出量をできるだけ速やかに減少に転じさせ、今世紀末を目途にゼロに近づけていかねばならない。

温暖化の影響についても対策についても多くの研究があるが、それらの全体像には大きな不確実性がある。世界平均気温で「2℃」を超える温暖化が人間社会や生態系にどんなリスクをもたらすかも、徹底的な排出削減対策が社会経済にどんなリスクをもたらすのかも、現時点で正確に把握できる人はいない。また、そのようなリスクの発現の仕方は国、地域、世代や様々な社会属性によって異なり、温暖化を放置したとしても、徹底的に対策をしたとしても、それぞれの場合で「得をする」人と「損をする」人が生じるだろう。さらに、温暖化の影響をどう捉えるかは単なる損得の問題ではなく、生態系や途上国や将来世代に押し付けられたリスクにどの程度心を痛めるかといった、人によって異なる価値判断が関わってくる。

気候変動の科学は、このような不確実で、複雑で、曖昧なリスク問題についての社会の意思決定に必要な科学的情報を提供する役目がある。これに向けて、気候、影響、社会経済の3つの研究コミュニティ（IPCCの第一、第二、第三作業部会にそれぞれ対応）で相互連携を図ろうとする流れが、数年前より国際的に本格化してきている。2010年ごろにRCP（代表的濃度経路）の議論を通して企図された3つのコミュニティの並行プロセスと統合プロセスというアイデアを、IPCC第5次評価報告書が発表された現時点から振り返り、プロセスの達成度と今後の展望を議論する。

## 次期 IPCC 報告書に向けた気候モデル MIROC 及びその初期値化システムの開発 Development of the climate model MIROC and initialization system using LETKF for the next IPCC report

建部 洋晶<sup>1\*</sup>; 小倉 知夫<sup>2</sup>; 渡辺 真吾<sup>1</sup>; 渡部 雅浩<sup>3</sup>; 鈴木 立郎<sup>1</sup>; 小室 芳樹<sup>1</sup>; 新田 友子<sup>3</sup>; 大石 龍太<sup>3</sup>; 高田 久美子<sup>5</sup>; 小山 博司<sup>1</sup>; 石井 正好<sup>4</sup>; 木本 昌秀<sup>3</sup>  
TATEBE, Hiroaki<sup>1\*</sup>; OGURA, Tomoo<sup>2</sup>; WATANABE, Shingo<sup>1</sup>; WATANABE, Masahiro<sup>3</sup>; SUZUKI, Tatsuo<sup>1</sup>; KOMURO, Yoshiki<sup>1</sup>; NITTA, Tomoko<sup>3</sup>; O'ISHI, Ryouta<sup>3</sup>; TAKATA, Kumiko<sup>5</sup>; KOYAMA, Hiroshi<sup>1</sup>; ISHII, Masayoshi<sup>4</sup>; KIMOTO, Masahide<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 国立環境研究所, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>4</sup> 気象研究所, <sup>5</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>RIGC, JAMSTEC, <sup>2</sup>NIES, <sup>3</sup>AORI, Univ. of Tokyo, <sup>4</sup>MRI, JMA, <sup>5</sup>NIPR

地球の気候システムに内在する経年から数十年スケールの気候変動及び人為起源温室効果ガス排出による地球温暖化のメカニズム解明を目的とする 19 世紀半ばからの気候再解析データセットの作成を目指し、我々のグループではこれまで開発してきた気候モデル MIROC の改善及び局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF) によるモデル初期値化システムの開発に取り組んでいる。IPCC 第 5 次報告書に向けて行われた十年規模気候変動予測実験は、気候内部変動及び温暖化シグナルを同時に予測する試みである。MIROC を用いた一連の実験では、太平洋十年規模気候変動パターンに付随する北太平洋海面水温変動、1990 年代後半に北太平洋全域で観測された気候ジャンプ、東部北太平洋亜熱帯海域での熱帯低気圧の強度及び発生頻度、等に数年先までの予測可能性の存在する事が示されており、IPCC 報告書へ一定の貢献をすることが出来た。また、これらの実験に続いて実施された季節から数年スケールでの気候変動予測実験では、特に ENSO に伴う熱帯海域海面水温変動に世界各地の現業機関と同等以上の予測精度を見いだすことに成功している。しかしながら、現行 MIROC の気候学的な場は観測からの顕著なバイアス (例えば、観測と比べて強い赤道貿易とこれに伴う深い水温躍層、亜熱帯海域での過剰雲量と低海面水温、弱い中緯度偏西風など) を持つため、予測に際してのモデル初期値化にはいわゆるアノマリー同化という手法が用いられている。アノマリー同化では、観測気候値とモデル気候値が既知である必要があり、したがって、近年ひとつのトピックとして挙げられるシームレス気候変動予測に現行システムを使用することは不可能である。本講演では、シームレス気候予測システム構築へ向けた気候モデル改善への取り組み及び大気海洋結合系での LETKF を用いたデータ同化による初期値化システムの開発状況を紹介する。

キーワード: 気候モデル, 初期値化, シームレス予測

Keywords: climate model, initialization, seamless climate prediction

## 気象研究所高解像度大気モデルによる気候変化予測 Climate projections using high-resolution MRI-AGCM

水田 亮<sup>1\*</sup>; 尾瀬 智昭<sup>1</sup>; 村上 裕之<sup>2</sup>; 荒川 理<sup>3</sup>; 吉田 康平<sup>1</sup>; 仲江川 敏之<sup>1</sup>  
MIZUTA, Ryo<sup>1\*</sup>; OSE, Tomoaki<sup>1</sup>; MURAKAMI, Hiroyuki<sup>2</sup>; ARAKAWA, Osamu<sup>3</sup>; YOSHIDA, Kohei<sup>1</sup>; NAKAEGAWA, Toshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 国際太平洋研究センター, <sup>3</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>International Pacific Research Center, <sup>3</sup>University of Tsukuba

気象研究所では、水平解像度 20km の高解像度全球大気気候モデル (MRI-AGCM) を開発し、熱帯低気圧や豪雨などの極端現象についての将来変化予測研究を行っている。このモデルでは、観測された海面水温を下端境界条件に与えることにより、全球スケールの平均的な気温や降水分布に加え、熱帯低気圧の地域分布や強度、東アジアモンスーンの季節進行といったスケールの現象の気候的な特徴も精度よく再現することができる。

文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム (H19-H24) においては、大気海洋結合モデル計算結果における 21 世紀末の海面水温変化をこのモデルの境界条件に与えて、地球温暖化に伴って地域スケールの気候にどのような変化が見られるかを調べた。また 60km の解像度で多数のアンサンブル実験を行って変化の不確実性についても調べた。計算結果は台風の発生数減少と強い台風の増加といった気象学的な解析に加え、災害・水資源・農業における影響評価研究など、各方面に利用されている。また世界各国の研究者にも提供され、各地域の地域気候の変化を調べる研究に利用されている。日本域についてはさらに水平解像度 5km や 2km の地域気候モデルにダウンスケーリングする実験も行っている。

さらに現在進められている文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム (H24-H29) においては、将来変化予測の不確実性を評価し、その低減を目指すため、CMIP5 実験の結果における海面水温変化パターンの違いによる影響を調べるアンサンブル実験を 20km の解像度でも実施している。

キーワード: 地球温暖化, 大気大循環モデル

Keywords: global warming, atmospheric general circulation model

MIS31-05

会場:511

時間:5月2日 10:00-10:15

## 地球システムモデルーこれまでとこれから Earth system modeling - a brief history and future direction

渡邊 真吾<sup>1\*</sup>  
WATANABE, Shingo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構  
<sup>1</sup> JAMSTEC

地球システムモデルのいままでを簡単に振り返り、今後の進むべき方向を議論します。

キーワード: 地球システムモデル  
Keywords: Earth system model

## モデル間相互比較からみえてきた気候変動と炭素循環の関わり Findings in climate change and global carbon cycle from model inter-comparison analyses

羽島 知洋<sup>1\*</sup>

HAJIMA, Tomohiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>(独) 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

長期的な気候変動を考える際、炭素循環と気候との相互作用を考慮に入れることは不可欠である。これは、陸域生態系や海洋における炭素循環が、環境変化に対して数百年スケール以上での応答を示しながら、大気とのCO<sub>2</sub>交換速度および大気CO<sub>2</sub>濃度を定めるからである。このため、温暖化を始めとする長期気候変動の予測では、気候-炭素循環モデル(地球システムモデル、ESM)が利用されてきた。近年ではモデル間相互比較プロジェクトCMIP5が実施され、気候と炭素循環に関する理解の深化、モデルが抱える問題や新たな課題の発見が進んできた。また、IPCC第5次報告書では、気候と炭素循環の両者の応答を包括する“TCRE”という新しい概念も盛り込まれている。本発表ではTCREを始めとする気候と炭素循環の関わりや、近年の気候-炭素循環モデルの相互比較から見えてきた課題や問題などを紹介する予定である。



MIS31-07

会場:511

時間:5月2日 10:30-10:45

## Cyber Earth: 分野横断的地球科学に向けた技術的アプローチ Cyber Earth: A new technical approach for global studies of Earth

村田 健史<sup>1\*</sup>

MURATA, Ken T.<sup>1\*</sup>

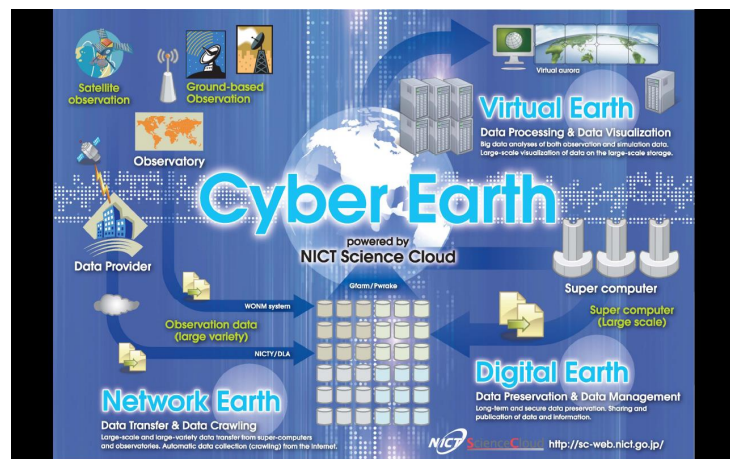
<sup>1</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup> NICT

分野横断的地球科学のためには、様々な観測データやシミュレーションデータを融合して解析・分析する環境が必要である。このことは誰もが理解していることであるが、一方で、その環境はもちろん、技術的方法論も明確ではない。

本発表では、今後のグローバルな地球理解へのアプローチの一つとして、Cyber Earth という考え方を提案したい。Cyber Earth は、実体としての地球とは別に、デジタルデータをクラウドコンピュータ上に集約し、そこにデジタルでバーチャルな地球を実現（再現）するイメージである。デジタル地球（Cyber Earth）にはあらゆるデータが定常的に流れ込み、管理・保存される。保存されたデータは1次処理、2次処理がなされると同時に、ユーザの要望に応じた形で抽出できる。また、過去、現在、未来の地球を大型ディスプレイ上に再現するために、Cyber Earth 内においてあらゆるデータ（ビッグデータ）の大規模処理と可視化が進められる。研究者は、3次元時系列空間（またはその一部を切り出した空間）においてそれらの情報を総合的に理解することができる。すなわち、Cyber Earth は、ネットワークを介してデータ収集する機能（Network Earth）、デジタル化されたデータを保存・管理する機能（Digital Earth）、およびデータを大規模処理・可視化する機能（Virtual Earth）の3つの機能から構成される。

Cyber Earth の考え方は特段珍しいものではなく、一方で現実離れしているという考え方もあろう。しかし、現在のICT（情報通信技術）をマッシュアップすることで、NICTサイエンスクラウドではCyber Earthのプロトタイプを作成してきた。講演では、Cyber Earth の考え方について議論すると同時に、Cyber Earth の基盤技術とマッシュアップ例を紹介する。



## 温室効果ガス排出削減シナリオの国際的分析の最近の動向 Current trends of international assessments of greenhouse gas emission mitigation scenarios

秋元 圭吾<sup>1\*</sup>

AKIMOTO, Keigo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 公益財団法人地球環境産業技術研究機構

<sup>1</sup> Research Institute of Innovative Technology for the Earth

The IPCC 5th Assessment Report (AR5) are scheduled to be completed in 2014. The Working Group III assesses mitigation options and the report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", will be released in April 2014 after the approval in the 39th Session of IPCC. Scenario analysis and modeling exercise by the integrated assessment model (IAM) provide a key element in the AR5 report. A number of international inter-model comparison projects are formulated mainly in the United States and EU countries in an effort to make contribution to the IPCC AR5 report.

This paper introduces that the current trends of international assessments of greenhouse gas (GHG) emission mitigation scenarios with the key points which have been described in the AR5 and the key outcomes of the international IAM comparison projects. In addition, international research cooperation activities for harmonizing socioeconomic scenarios for the future IAM assessments, which is named SSPs (Shared Socioeconomic Pathways), will be introduced.

The Fourth Assessment Report (AR4) of IPCC WGIII which was published in 2007 provided six categories for broad ranges of several emission pathways provided by IAM estimations. The lowest level of GHG concentration stabilization is 445-490 ppm CO<sub>2</sub>eq and the emission pathways correspond to 85-50% reductions of global emission by 2050 relative to the 2000 level. The report summarized that the emission pathways will be expected to the equilibrium global mean surface temperature of 2.0-2.4°C increase relative to pre-industrial level. The assessment had a strong impact on the international climate change negotiations and domestic measures of climate change response. Long-term target of 2°C and halving global emissions by 2050 have been widely discussed in international negotiations such as UNCCC/COP and G8 after the release of AR4, while IPCC never recommends a specific target and policy.

A lot of assessments for emission reduction scenarios by IAMs particularly for deep emission reduction scenarios such as 450 ppm CO<sub>2</sub>eq, have been conducted after the AR4. The assessments also include many overshoot scenarios which are temporally over 450 ppm CO<sub>2</sub>eq and then achieve 450 ppm CO<sub>2</sub>eq in 2100 as well as 450 ppm stabilization scenarios, because current global emission increases are large due to the increases in developing countries, and it is difficult to develop emission reduction pathways with reality in near-term emissions for 450 ppm CO<sub>2</sub>eq stabilization without overshoot.

One of the inter-model comparison projects, AMPERE (Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates) project which was funded by the European Commission provided the feasibility of significant emissions reduction for a variety of mitigation technology portfolios. The project assessed that the feasibility for deep emission reductions such as 450 ppm CO<sub>2</sub>eq and the emission reduction costs under several conditions of technology unavailability and the near-term emissions locked into by the Cancun pledges. With significant emission reduction until 2030, the required annual emission reduction to meet 450 CO<sub>2</sub>eq target diverges from the historical rates of change. If the emissions pathways are locked into the low ambitious Cancun pledges to 2030, further improvement is required after 2030. There are many infeasible results to meet the stringent target in model calculation, if there are technological constraints in the availability of CCS, nuclear and renewable energy particularly under the near-term emissions locked in. The emission reduction costs are also very high and almost double or more compared with the idealistic conditions. These assessments which consider realistic conditions in IAMs are one of the progresses after the AR4.

The AR5 of IPCC will include such new assessments will make impacts on international climate policies after the release.

キーワード: 気候変動, 温暖化緩和策, 排出シナリオ, IPCC, 統合評価モデル

Keywords: climate change, global warming mitigation, emissions scenarios, IPCC, integrated assessment model



## 統合評価モデルの構造と気候モデルとの連携 Integrated assessment model structure and linkage with climate model

黒沢 厚志<sup>1\*</sup>  
KUROSAWA, Atsushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 一般財団法人エネルギー総合工学研究所

<sup>1</sup>The Institute of Applied Energy

統合評価モデル (Integrated Assessment Model, 以下 IAM) は、気候変動対策を分析するツールとして開発されてきた。1980 年代における Edmonds-Reilly モデルは、温暖化とエネルギー起源 CO<sub>2</sub> の関係を明示的に分析し、気候変動とエネルギー問題の関連の重要性を指摘した先駆例として知られている。1990 年代以降は、気候変動に伴う地球環境問題に対する対策を検討するため、気候変動、エネルギーシステム、土地利用等の学際的な知見を評価するためのモデル開発が積極的に進められた。それらのモデルのキーワードは、「学際性」、「大規模化」、「超長期化」、「スケール統合」にある。このような時間、空間および学際領域に対して広範な評価を必要とするモデルは、その扱う分野も幅広いことから、「統合評価モデル」と呼ばれるようになった。過去の気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第 3 作業部会評価報告書でも、京都議定書の経済影響、CO<sub>2</sub> 以外の温室効果ガス削減を含めたマルチガス削減の効果など、モデルの相互比較による評価結果の紹介が行われている。一例を挙げれば、筆者らが開発を進めている GRAPE モデルは、エネルギー、気候、農業・土地利用、マクロ経済および環境影響の 5 つのモジュールから構成される統合評価モデルであり、各モジュール間では、温室効果ガス排出量、各種のコストおよび貿易量などを共有している。世界を 15 地域に区分するとともに、超長期にわたる気候変動のダイナミクスを考慮し、モデル終端年は 2100 年に設定している。モデルは一人あたり消費の関数である効用に対して、地域総和、および割引率を考慮した時点総和をとった値を目的関数とし、その最大化を行う非線形最適化モデルである。

### 2. 気候モデルとの連携

統合評価モデルに用いられている気候モデルには、連携方法によって様々な形式があり、ハードリンク型とソフトリンク型に大別できる。統合評価モデルの嚆矢である W. Nordhaus の DICE モデルは、すべての変数や方程式をモデル内に含める前者のタイプであり、数層の海洋と大気 1 層を仮定した全球 1 次元鉛直モデルである。CO<sub>2</sub> 以外の放射強制力は外生的に与えられ、CO<sub>2</sub> 濃度や大気温度が求められ、温度上昇がマクロ経済に負の影響を与えるフィードバックが表現されている。詳細気候モデルを統合評価モデルそのものに取り込むことは、かなり難易度が高い。不等式を含む多数の制約式があり、気候システム自体の非線形性を有するなかで、システム全体の変数を同時決定する最適化モデルについては、モデル自体が大規模化しているためである。GRAPE モデルでは、全球の炭素循環とエネルギーバランスを超長期的に評価するため、大気・海洋 (40 層)・陸域 (6 ボックス) の間の炭素循環、および大気、海洋の間のエネルギー交換を物理的に解く 1 次元モデルを、IPCC 第 3 次報告書に掲載された簡易気候モデル ISAM を参考に整備し、エネルギー、土地利用、マクロ経済のモジュールとハードカップリングして、動的に諸変数を同時決定する拡張を加えている。さらに近年では、地球システムモデルそのものと統合評価モデルをリンクし、世界地域 (場合によってはメッシュレベル) での気候変動影響評価や、冷暖房エネルギー消費量などとの相互作用を分析する試みが活発になっており、気候に関する情報がますます活用されるようになっていくだろう。

### 3. 今後の課題とまとめ

温室効果ガスの排出削減が進まない中で、気候変動影響を低減する、適応策の重要性が高まっている。気候変動に対する脆弱性は世界各地域の経済発展段階によって大きく異なるので、先進地域は、既に気候変動にある程度適応しているとも考えられ、通常のインフラ投資と適応のための投資を厳密に区分することは難しい。また、気候変動影響の経済評価は、適応策のレベルを決定する上で重要な情報であるが、不確実性が大きく、評価例が不足している途上地域も多い。

さらに、IPCC 第 1 作業部会第 5 次報告書では、太陽放射管理 (SRM) と CO<sub>2</sub> 除去 (CDR) に関するジオエンジニアリングの記述が含まれた。「ネガティブ・エミッション」を実現して、低排出シナリオを可能とするためには、バイオマス CCS などの CO<sub>2</sub> 除去が必須の手段になる可能性もある。両者はいずれも気候に直接介入するものであり、効果や副作用を検討するためには、気候モデルの活用が不可欠となっている。

このように、当初からその連携が不可欠であった統合評価モデルと気候モデルは、お互いの不確実性を有しながらも、その関係がますます密接なものになっていくだろう。

キーワード: 統合評価モデル, 気候モデル  
Keywords: Integrated Assessment Model, Climate Model

## 気候モデル研究と経済モデル研究の連携 Integration of climate and economic modeling studies

松本 健一<sup>1\*</sup>; 立入 郁<sup>2</sup>

MATSUMOTO, Ken'ichi<sup>1\*</sup>; TACHIIRI, Kaoru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 滋賀県立大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>The University of Shiga Prefecture, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

So far, there have not been many studies which integrate climate modeling and economic modeling research. The purpose of this presentation is to show one way to integrate climate and economic studies with regard to climate change issues. Here, we present an example of the integration of these two areas, which analyzes socioeconomic impact of achieving a specific radiative forcing level considering the uncertainties of Earth system models using a computable general equilibrium (CGE) model.

Although much uncertainty exists in climate system and simulations of future climate profiles with Earth system models (ESMs), it has not been evaluated in relation to socioeconomic aspects. In this study, we analyze the socioeconomic impact (including that on energy) of three emission pathways, all of which possibly achieve 4.5 W/m<sup>2</sup> of radiative forcing in the year 2100 within uncertainties estimated by an ESM of intermediate complexity (EMIC) tuned for full ESMs using a CGE model, a type of economic models. The model used here is a multi-regional and multi-sectoral recursive dynamic CGE model on a global scale, with energy and environmental components. Thus, the model is also called an integrated assessment model or IAM.

The emission pathways considered in this study are allowable emission pathways obtained by using an EMIC with the Representative Concentration Pathway 4.5 scenario. Here, we analyze the emission pathways of the 5th (lower bound), 50th (mean), and 95th (upper bound) percentiles of the weighted ensemble members in the parameter perturbation experiment. Different pathways are derived from different physical and biogeochemical properties. The global CO<sub>2</sub> emissions in 2100 and the cumulative CO<sub>2</sub> emissions in this century in the upper bound case are 5.1 GtC/yr and 917.6 GtC, while those in the mean case are 3.0 GtC/yr and 764.9 GtC respectively, and those in the lower bound case are 0.91 GtC/yr and 619.7 GtC respectively.

The results indicate that the socioeconomic impacts are larger in the lower bound emission pathway to achieve 4.5 W/m<sup>2</sup> as expected, although the economy and energy demand (both primary and final energy demand) increase continuously in this century. For example, the global gross domestic product (GDP) in each emission pathway is \$212 trillion in the lower bound case, \$217 trillion in the mean case, and \$221 trillion in the upper bound case in 2100 (\$30 trillion in 2001), which are 4.2 – 8.1% smaller than that of the reference scenario (\$230 trillion in 2100). On the other hand, the global primary energy demand in 2100 in the lower bound case is slightly larger than in the mean case; this can be interpreted because biomass energy with carbon capture and storage technology is enhanced to achieve very low carbon dioxide emissions in the lower bound case. In a comparison between the upper bound and lower bound emission pathways, the carbon price of the latter is approximately three times higher in 2100. The GDP in the latter is 4.1% smaller than that in the former in 2100, which is equivalent to only a 0.042% decrease in the annual GDP growth rate. Thus, the socioeconomic impacts caused by ESM uncertainties, here evaluated by GDP and energy demand, are not insignificant but are smaller than the differences in the emission pathways to achieve 4.5 W/m<sup>2</sup>.

キーワード: 地球システムモデル, 応用一般均衡モデル, 気候変動

Keywords: earth system model, computable general equilibrium model, climate change

## 統合評価モデル比較研究の紹介及び統合評価モデルと影響評価との接合点 Model Inter-comparison projects of Integrated Assessment Models and the Collaboration with Impact Assessment

藤森 真一郎<sup>1\*</sup>; 花崎 直太<sup>1</sup>; 高橋 潔<sup>1</sup>; 増井 利彦<sup>1</sup>; 甲斐沼 美紀子<sup>1</sup>; 脇岡 靖明<sup>1</sup>; 長谷川 知子<sup>1</sup>  
FUJIMORI, Shinichiro<sup>1\*</sup>; HANASAKI, Naota<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Kiyoshi<sup>1</sup>; MASUI, Toshihiko<sup>1</sup>; KAINUMA, Mikiko<sup>1</sup>; HIJIOKA, Yasuaki<sup>1</sup>; HASEGAWA, Tomoko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所

<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies

本発表では、①近年の統合評価モデル (IAM) のモデル比較プロジェクトと、②影響評価研究との接点について議論する。IAM のモデル比較研究は、参加者共通の主題を立て、その主題に従ったモデルやシミュレーションの条件設定を行い、モデル間比較を行う。近年のモデル比較研究の主題の例を挙げると、技術的制約 (例えば原子力)、緩和策の開始年の違いが GHG 削減費用に与える影響を明らかにするというものがある。各プロジェクトは 3-4 年かけ、その間 2, 3 回のデータ提出と会合を行う。成果はジャーナルの特集号としてまとめる。モデル間での相互比較のために共通化する情報は、定性的なものにとどめ、社会経済条件、排出パスなどの主要な前提を各モデルに委ねる。IAM は様々なタイプが存在し、ある変数がモデルにより内生、外生変数であることがあり、できるだけ多くのモデルが参加できるように条件を緩くすることを意図している。一方、モデルの検証に関する活動が近年少しずつ注目され、比較研究プロジェクトの主題の一つになってきた。モデルに関する文書の公開、診断用のプロトコルの開発、過去の観測との比較などいくつかの取組が議論されている。

次に、影響研究と IAM との協力方法に関して、IAM の使い方に応じて大別して二種類に大別できる。第一は、影響評価コミュニティに対して排出量見通しや社会経済的な諸条件の提供者としての IAM である。代表的な濃度パス (RCP)、共通社会経済シナリオ (SSP) などがその代表的な例である。例えば、Hanasaki, et al. 1 は、AIM/CGE が水モデルである H08 に情報提供するという形で行われた。第二の IAM の使い方は、IAM 自身が影響評価モデルの要素を取り込んで、影響評価をするというものである。これは、影響評価モデルを独立に実行して、その結果を IAM の入力とし、IAM が影響評価を行う。Hasegawa, et al. 2 がその例であり、作物生産性モデル GAEZ による潜在作物生産性影響を AIM/CGE に入力し、飢餓リスク人口を評価した。上記の例からわかるように、水、農業というのは土地利用、エネルギー供給を介して IAM の境界条件と重なる部分があり、相互作用を考慮した研究は、今後の研究課題の一つとして考えられる。いずれの種類の研究も排出シナリオと気候モデルの実験の組み合わせがベースとなり、RCP、(CMIP5) の結果に加えて SSP が作られることによって、類似の研究がより促進されるであろう。しかし、SSP が仮に完成したとしても課題はいくつか残る。ここでは課題を 2 つ挙げる。第一に SSP は緩和策を含まない情報であり、緩和策を取った時には緩和策無しの SSP とは大きく異なる土地利用やエネルギー供給となる可能性がある。第二に、既存の 4 つの RCP 以外の気候緩和レベルを実験する必要が生じたときの対応方法である。鍵となるのはパターンスケーリングの精度であると考えられる。パターンスケーリングが影響評価研究に耐えうる精度を持っているのであれば、RCP、CMIP5 のパターンスケーリングで事足りるが、そうでなければ新たな気候実験が必要となる。CMIP に類するマルチモデルアンサンブル実験を SSP と気候緩和策を組み合わせた排出シナリオで行うと、さらに何年も要し、影響研究にとって実施は非現実的である。従って、日本内の研究チームで特定の IAM、気候モデルを組み合わせ、SSP と緩和策の組み合わせの排出シナリオに関する気候実験を行うといったことが求められる。こういった研究には、多大な労力が必要になる可能性があり、研究を実施する障壁となるが、コミュニティ間で議論を重ねることで、学術的な新規性、社会的意義などをより強く認識でき研究を促進する一つの要因になる可能性があり、本発表がその議論の一つのきっかけになることを期待する。

Hanasaki, N. et al. A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways ? Part 1: Water use. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 2375-2391, doi:10.5194/hess-17-2375-2013 (2013).

Hasegawa, T. et al. Climate Change Impact and Adaptation Assessment on Food Consumption Utilizing a New Scenario Framework. *Environmental science & technology* 48, 438-445, doi:10.1021/es4034149 (2014).

キーワード: 統合評価モデル, 影響評価, モデル比較研究, シナリオ

Keywords: Integrated Assessment Models, Impact, Adaptation and Vulnerability, Model inter-comparison projects, Scenarios



## 日本全域を対象地域とした温暖化影響の総合評価のための共通シナリオの開発について

### Climate and socioeconomic scenarios for climate change impact and adaptation assessments in Japan

高橋 潔<sup>1\*</sup>; 花崎 直太<sup>1</sup>; 脇岡 靖明<sup>1</sup>  
TAKAHASHI, Kiyoshi<sup>1\*</sup>; HANASAKI, Naota<sup>1</sup>; HIJIOKA, Yasuaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人国立環境研究所

<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies

地球温暖化の影響は多岐にわたるため、日本への影響の全体像を評価し、効果的な適応策を検討するためには、学問分野を横断して専門的知見を集めることが重要である。将来の温暖化の影響を評価する方法として、まず将来の気候と社会経済を定量的に想定し、それらを入力条件として統計モデルあるいはプロセスモデルを利用し、検討対象ごとにシミュレーションを行うのが一般的である。ここで多くの検討対象について入力条件を揃えることができれば、ある将来の気候と社会経済の想定下における日本の影響と適応策を、総合的に捉えることができる。

環境省環境研究総合推進費研究プロジェクト「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」(略称:S-8プロジェクト;研究期間:2010~2014年度;課題代表:三村信男茨城大教授)では、我が国における適応策策定の支援と、安全・安心な気候変動適応型社会の実現可能性の評価を目的として、水資源、沿岸、防災、自然植生、農業・食料生産、人間健康を対象分野として、日本全体への温暖化影響の定量評価に関する研究に取り組んでいる。S-8プロジェクトでは、先行研究事例や最新情報の精査を行い、温暖化影響・適応研究における日本の将来気候と社会経済の想定(S-8共通シナリオ)について議論した。またこの議論に基づき、プロジェクトの進行計画に合わせて、各時点において入手可能であった最新情報を利用し、日本全域を対象地域とする時系列・メッシュ型のシナリオを2期(第1版:2011年3月、第2版:2013年11月)に分けて開発した。

共通シナリオ第2版では、気候予測情報に関しては、年平均気温・年降水量変化の不確実性幅を捉えることに留意して、Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)に参加した4つの気候モデルによる3つの放射強制力シナリオを前提とした予測実験の出力を利用し、共通シナリオを用意した。さらに、これらと整合的な領域気候モデルを用いた力学的ダウンスケールの結果も、バイアス補正を施したうえで活用した。社会経済シナリオに関しては、人口の総数の予測幅に加えて、その空間分布の変化の不確実性も考慮した9つのシナリオを利用した。さらに、各人口シナリオに整合的な土地利用シナリオも開発した。

本セッションでは、分野間連携の実例として、上記のS-8プロジェクトにおける共通シナリオ開発の経緯・手順ならびに開発されたシナリオについて紹介する。また、共通シナリオの開発にあたって認識された今後の課題についても述べる。

キーワード: 気候変動, 温暖化影響, 適応, シナリオ

Keywords: climate change, climate change impact, adaptation, scenario

## 全球温暖化影響評価の紹介 Introduction to global climate change impact assessment

花崎 直太<sup>1\*</sup>  
HANASAKI, Naota<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所  
<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies

この発表では、現在の温暖化影響評価で利用される典型的な方法を紹介する。また、いくつかの重要な問題に取り組む最新の研究活動について議論する。発表は地球規模の水資源分野に焦点を当てるが、内容は他の規模や分野にも広く当てはまるだろう。

温暖化影響評価には将来の気候と社会経済の想定とそれらの変化に対して対象の系がどのように応答するのかを定量的に示すモデルが必要である。この発表はまず CMIP5、RCP、SSP という最新のシナリオを紹介する。また、地球の水循環と水利用を表現する全球水資源モデル H08 についても説明する。

温暖化影響評価は多くの場合3つの手順で行われる。まずモデルを準備し、現在の気候と社会経済を利用して、現在に関するシミュレーションを実施する。次に将来の様々な想定を利用して、将来に関するシミュレーションを実施する。最後に、気候と社会経済の変化による影響である、将来と現在の差を詳細に分析する。この発表では、10の異なる将来想定下において、水資源の逼迫する地域の地理的分布や影響を受ける人口の総数について議論する。

温暖化影響評価に関して多くの未解決の課題があるが、それらに取り組んでいる2つの国際的な研究活動2つを取り上げる。一つ目は、モデルの違いによる影響評価の不確実性の定量化である。影響評価に使われるモデルは現在の状況をよく再現できるものが用いられるが、モデルは完全ではなく、結果には誤差が含まれる。複数のモデルに同じ将来の想定を与えて温暖化影響評価を行い、結果のばらつきとその原因を調べる ISI-MIP という国際プロジェクトについて紹介する。二つ目は、適応策の導入である。温暖化の影響が耐え難くなれば人間は適応策を取ると考えられるが、適応策を考慮した温暖化影響評価の事例は非常に少ない。適応策を扱った先駆的な事例を紹介し、今後の研究の方向を論じる。

キーワード: 温暖化, 影響, 全球, 水資源  
Keywords: climate change, impact, global, water resources



## 地球温暖化に伴う自然災害影響評価の現状 Impact assessment of natural disaster due to global warming

森 信人<sup>1\*</sup>  
MORI, Nobuhito<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所  
<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Climate changes in give significant impacts on natural disasters such as typhoon, river flooding, storm surge, landside and etc. The different natural disasters require different forcing from GCMS. The spatial and temporal resolutions of forcing also give significant impact on the impact assessment of natural disasters. This study summarize current activity of impact assessment of natural disasters by SOUSEI program in Japan and discuss importance of cooperative research between GCM modelers and IAM group.

## 気候情報におけるダウンスケーリングと応用 Downscaling in Climate Information and applications

大楽 浩司<sup>1\*</sup>  
DAIRAKU, Koji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Climate effects caused by human activities will continue for centuries and natural climate influences have always been a risk. Mitigation is a complex, uncertain approach and will need at least several decades. It is necessary, therefore, to put adaptation together immediately. The impacts and potential applications of interest to the stakeholders are mostly at regional and local scales as the essential resources of water, food, energy, human health, and ecosystem function respond to regional and local climate. Climate information and services for Impacts, Adaptation and Vulnerability (IAV) Assessments are of great concern.

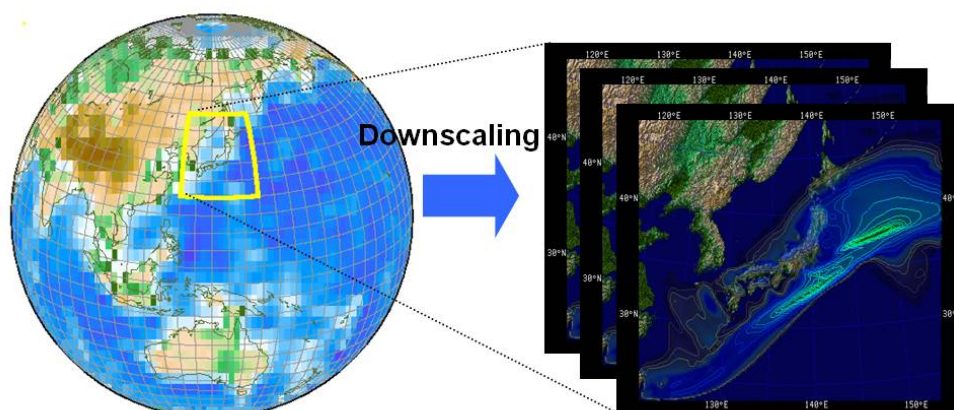
Users of climate scenarios produced by global climate models with coarse grid-spacing involve an inadequate mismatch of spatial scale. Downscaling technique is used to obtain the regional climate scenarios, especially in regions of complex topography, coastlines, and in regions with highly heterogeneous land surface covers where those results are highly sensitive to fine spatial scale climate processes. Dynamical and statistical downscaling techniques available for generating regional climate information have the respective strengths and weaknesses. To produce useful climate assessments for decision-making, interaction between the downscaling community and the IAV community are necessary.

To facilitate its interaction, author will present,

- Overview of downscaling techniques in particular for regional climate modelling.
- current International activities (WCRP-CORDEX, etc.)
- Applications of downscaling in Japan from the "REsearch program on Climate Change Adaptation (RECCA)" and the "Program for Risk Information on Climate Change (SOUSEI)" sponsored by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology(MEXT)

キーワード: ダウンスケーリング, 地域気候モデル, 気候変動, CORDEX, 気候変動適応研究推進プログラム, 気候変動リスク情報創生プログラム

Keywords: Downscaling, Regional Climate Model, Climate Change, CORDEX, RECCA, SOUSEI



## 熱帯低気圧に伴う将来の極端現象を地域規模で予測するパターンスケーリング手法 Pattern scaling approach for generating regional projections of future extreme events associated with tropical cyclones

筒井 純一<sup>1\*</sup>

TSUTSUI, Junichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry

気候変化研究において様々な温室効果ガス排出シナリオを評価する際、少数の代表シナリオに対する複雑な気候モデルによるアンサンブル予測を基にした、簡易気候モデルとパターンスケーリングが用いられる。簡易気候モデルは全球平均地表温度を予測変数として扱い、パターンスケーリングは、シナリオや時点に依存しない形で与えられた空間パターンを使って、様々な気候変数の空間分布を表現する。通常、パターンスケーリングで扱われる変数は、平均的な気温や降水量であるが、本研究では、パターンスケーリングの考えを気候変化影響の評価で重要となる極端現象に適用する。その一例として、日本に上陸する最強規模の熱帯低気圧を対象に、最低海面気圧と降水極値の変化を多数のシナリオで評価するスキームを提示する。

本スキームは、熱帯低気圧の潜在強度の理論と一般的な降水極値の理論がベースとなる。現実の熱帯低気圧は、様々な環境制約のために、必ずしもその潜在強度に達するわけではないが、観測される最低海面気圧の下限値の年サイクルが、気候学的な潜在強度で良く表される。社会的インパクトの大きい極端に強い熱帯低気圧は、背景場の昇温によらず、自然の気候変動の大きな振れ幅の中で、ごく稀に出現する。そのような稀な事象の強度について、相対的に小さい背景的变化を評価するのは、一般に、観測統計や気候モデル実験では困難である。この問題を克服するために、本スキームは、熱帯低気圧の頻度を左右する力学的環境は考慮せず、大規模な熱力学的環境の背景的变化のみに注目する。この背景的变化は、アンサンブル気候モデル実験の結果（パターン）を参照して、全球平均気温でスケールリングし、対象とする熱帯低気圧の潜在強度の変化に反映する。さらに、降水極値の評価では、熱力学的な水蒸気量の変化に加え、基準上昇流の鉛直構造をその潜在強度の変化でスケールリングして、熱帯低気圧の強大化の効果を取り入れる。

図1に、3種類のシナリオに対する評価結果を示す。本スキームは、全球平均地表温度偏差の関数として、評価対象の気圧降下量と降水極値の変化を定式化している。温度偏差は、別途開発した簡易気候モデルを用いて、気候感度の不確実性を考慮してシナリオ別に3000ケースを計算している。計算負荷は僅かであり、異なる条件で多数のシナリオを短時間で評価できる。また、ここでは示さないが、最低海面気圧が対流圏上空の気温偏差に強く依存することから、その不確実性をアンサンブル気候実験から取り入れることもできる。簡易気候モデルとパターンスケーリングの組み合わせは、このように様々な不確実性を区別できる形で扱える利点もある。

図1: RCP2.6, RCP4.5, Z650 と表記された3種類のシナリオに対する熱帯低気圧の確率論的評価。(a), (b): 大気中の温室効果ガス濃度と参照ケースの全球平均地表温度偏差の経年変化、(c)-(e): 1981-2000年から2081-2100年にかけての温度偏差、気圧降下量の増加、降水極値の増加の確率密度関数。

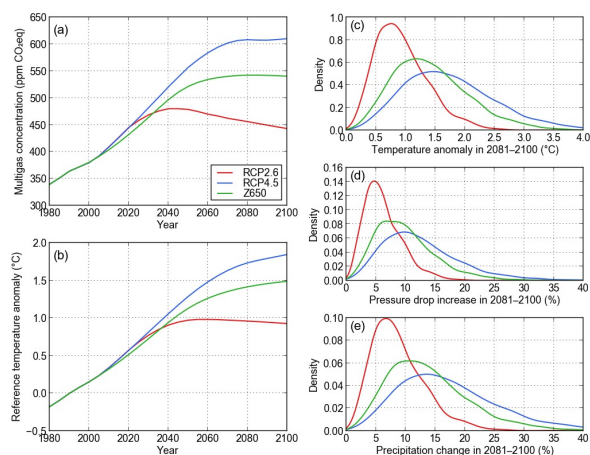
キーワード: 熱帯低気圧, 潜在強度, 降水極値, パターンスケーリング, 簡易気候モデル, 排出シナリオ

Keywords: tropical cyclone, potential intensity, precipitation extreme, pattern scaling, simple climate model, emission scenario

MIS31-16

会場:511

時間:5月2日 14:30-14:45



## パターンスケーリングの排出シナリオ依存性と線形加法性 Emission scenario dependency of pattern scaling and linear additivity of climate forcing-response relationship

塩竈 秀夫<sup>1\*</sup>

SHIOGAMA, Hideo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター

<sup>1</sup>Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

Human activities are changing the climate, and the consequent impacts on humans and ecosystems are becoming increasingly serious. It has been recognised that adapting to and mitigating anthropogenic climate change is a matter of immediate concern for the world. To inform adaptation and mitigation policies, it is essential to assess the impact of climatic changes under a wide range of scenarios for the stabilization of emissions of greenhouse gases (GHGs) and anthropogenic aerosols (sulfate, black carbon, and organic carbon aerosols). Impact assessments are based on climate change projections from coupled atmosphere-ocean general circulation models (GCMs). Therefore, uncertainties in climate projection propagate to impact assessments and affect subsequent policy decisions for adaptation and mitigation.

Due to the large computational costs of GCMs, only a limited number of emissions scenarios can be made for GCM simulations. To overcome this difficulty and obtain climate scenarios under a wide range of emissions scenarios, the so-called pattern scaling method is often used. By multiplying climate change patterns per 1K of global warming from an AOGCM (called a scaling pattern) by the global mean warming projections from a simple climate model, this method provides projections of precipitation, as well as other variables, at global and regional scales under many emission scenarios. Although the pattern scaling method is widely used, applicability of pattern scaling has been evaluated by only a few studies, and further investigations are clearly warranted.

The basic assumption of pattern scaling method is that scaling patterns are independent on the emission scenarios. Here I show a robust emission-scenario dependency (ESD) in scaling patterns of annual mean precipitation; smaller global precipitation sensitivities occur in higher GHG and aerosol emission scenarios in all the CMIP3 GCM. Different aerosol emissions lead to this ESD. The ESD of precipitation pattern potentially propagates into considerable biases in water resource assessments via pattern scaling.

It is possible to scale climate response patterns to individual forcing agents to obtain climate scenarios. This 'separated pattern' approach is useful to overcome the influences of the ESD. However, this approach requires care in its use. An important assumption of the separated pattern is that individual climate responses to individual forcing agents can be linearly added to obtain the total climate response to the sum of the forcing agents. We explored whether linear additivity holds in 5-year mean temperature/precipitation responses to various combinations of forcing agents in the 20th century and in a future-emissions scenario at global and continental scales. We used MIROC3 GCM, which includes the first and second indirect effects of aerosols. The forcing factors considered were well-mixed greenhouse gases, the direct and indirect effects of sulphate and carbon aerosols, ozone, land-use changes, solar irradiance and volcanic aerosols (the latter three factors were specified only in the 20th-century runs). By performing and analysing an enormous matrix of forcing runs, we concluded that linear additivity holds in temperature responses for all of the combinations of forcing agents at the global and continental scales, but it breaks down for precipitation responses in certain cases of future projections.

キーワード: 気候シナリオ, パターンスケーリング, 影響評価

Keywords: Climate scenario, pattern scaling, impact assessment



## 気候変化によって生じるリスク連鎖の評価 Evaluation of the nexus of risks under global climate change

横畠 徳太<sup>1\*</sup>; 仁科 一哉<sup>1</sup>; 木口 雅司<sup>2</sup>; 井芹 慶彦<sup>3</sup>; 末吉 哲雄<sup>4</sup>; 吉森 正和<sup>2</sup>; 山本 彬友<sup>2</sup>; 本田 靖<sup>5</sup>; 花崎 直太<sup>1</sup>; 伊藤 昭彦<sup>1</sup>; 眞崎 良光<sup>1</sup>; 重光 雅仁<sup>6</sup>; 飯泉 仁之直<sup>7</sup>; 櫻井 玄<sup>7</sup>; 岩瀬 健太<sup>8</sup>; 高橋 潔<sup>1</sup>; 江守 正多<sup>1</sup>; 沖 大幹<sup>2</sup>  
YOKOHATA, Tokuta<sup>1\*</sup>; NISHINA, Kazuya<sup>1</sup>; KIGUCHI, Masashi<sup>2</sup>; ISERI, Yoshihiko<sup>3</sup>; SUEYOSHI, Tetsuo<sup>4</sup>; YOSHIMORI, Masakazu<sup>2</sup>; YAMAMOTO, Akitomo<sup>2</sup>; HONDA, Yasushi<sup>5</sup>; HANASAKI, Naota<sup>1</sup>; ITO, Akihiko<sup>1</sup>; MASAKI, Yoshimitsu<sup>1</sup>; SHIGEMITSU, Masahito<sup>6</sup>; IIZUMI, Toshichika<sup>7</sup>; SAKURAI, Gen<sup>7</sup>; IWASE, Kenta<sup>8</sup>; TAKAHASHI, Kiyoshi<sup>1</sup>; EMORI, Seita<sup>1</sup>; OKI, Taikan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> 東京工業大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 筑波大学, <sup>6</sup> 北海道大学, <sup>7</sup> 農業環境技術研究所, <sup>8</sup> 野村総合研究所

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>University of Tokyo, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>University of Tsukuba, <sup>6</sup>Hokkaido University, <sup>7</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences, <sup>8</sup>Nomura Research Institute

温室効果ガス濃度の増加によって生じる気候変化は、人間社会や生態系に様々な影響を及ぼす。影響の性質は様々であり、その多くは人間社会や生態系にとって好ましくない悪影響（被害）であるが、時期や場所によっては好影響（利益）をもたらすこともある。今後、社会が気候変化に対する対策を行うためには、将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益（＝リスク）について、信頼のおける予測を行う必要がある。

将来の気候変化によって生じる被害や利益は、非常に幅広い分野・部門にわたって生じる可能性がある。そして、将来の気候変化のために生じる様々な分野・部門における様々な問題は、互いに深く関連している。特に、水・食料・エネルギーの部門における影響の間には、密接なつながりがあることが指摘されている（Hoff 2011, Understanding the Nexus, Stockholm Environment Institute）。例えば、気候変化によって降水量が減少すると、乾燥化や河川流量の減少などによって、作物生産性が変化する。作物生産性の変化は、食料価格の変動などを通して、社会に大きなインパクトを与える可能性がある。気候変化対策のためのバイオ燃料増産などが、食料供給の安定性に影響を与えるかもしれない。また、河川流量の変化は水力発電などのエネルギー生成量にも影響を与える可能性がある。そして、乾燥化は森林火災の頻度を増加させ、生態系にも影響を与え得る。

この発表では、将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益の連鎖と全体像を理解するための私たちの取り組みを紹介する。一つは、気候変化のために生じる様々な分野・部門における様々なリスクのつながりを、定性的に理解するための取り組みである。ここではまず、気候変化によって人間社会や生態系において生じる被害や利益を、考えられる限り全ての分野・部門において記述した、網羅的なリストを作成する（「リスク項目」リストの作成）。このリストは、気候・水資源・エネルギー・食料・健康・安全・産業・社会・生態系の分野において将来起こりえる変化を、その分野の専門家が、将来人間社会と生態系に何らかの影響を及ぼしえると判断した項目を、網羅的に記述したものであり、現時点で200程度のリスク項目が挙げられた（例えば「河川流量の減少」「作物生産性の減少」「森林火災の増加」など）。さらに、このリスク項目の間の因果関係を網羅的に記述したリストを作成する（「リスク因果関係」リストの作成）。このリストも「リスク項目」リストと同様に、様々な分野の専門家が重要だと判断した因果関係を網羅的に記述したものであり、現時点で400程度の因果関係が挙げられた（例えば「河川流量の減少」→「作物生産性の減少」など）。最後に、「リスク因果関係」で作成した因果関係を、図として表現する。手法としては、複雑ネットワークを図化する Fruchtmann & Reingold 力指向アルゴリズムを用いた。得られたデータやネットワーク図をもとに、気候変化リスクの連鎖について議論を行う。

将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益の連鎖と全体像を理解するためのもう一つの取り組みは、「モデル統合」による定量的な研究である。現在我々のグループでは、気候モデル MIROC5 (Watanabe et al. 2010, J. Climate)、水資源モデル H08 (Hanasaki et al. 2008, HESS)、陸域生態系モデル VISIT (Ito and Inatomi 2012, Biogeosciences)、作物モデル PRYSBI2 (Iizumi et al. 2013, J. Agricultural Meteorology) のすべてを統合したモデル、すなわちそれぞれのモデルが予報する変数を時間発展しながら別のモデルに受け渡すシミュレーションシステムである「陸域統合モデル」の開発を進めている。陸域統合モデルの現状と、解析によって明らかになったリスク連鎖に関して報告する。

キーワード: 気候変化, リスク, 水資源, 生態系, 健康, 社会

Keywords: climate change, risk, water resources, ecosystem, health, society

## 総合的な地球温暖化研究に向けての総合討論 Discussion on the challenges for comprehensive global warming studies

立入 郁<sup>1\*</sup>  
TACHIIRI, Kaoru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

提起された課題について、総合討論を行う。

キーワード: 総合的な地球温暖化研究  
Keywords: Comprehensive Global Warming Studies