

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

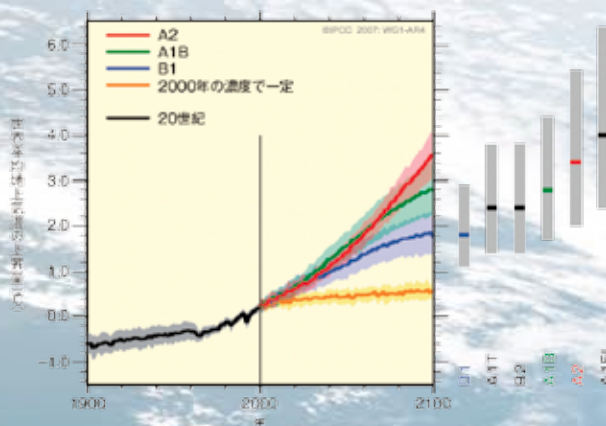


図1: IPCC(2007)のまとめた世界平均気温上昇量の予測

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

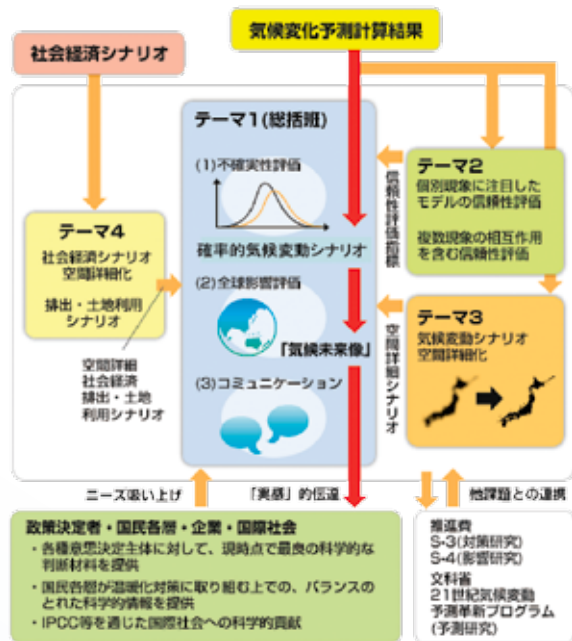


図2:本研究プロジェクトの構成

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

と小笠原高気圧、ヤマセ、台風、太平洋10年規模変動、河川流量、雲の効果、マッデン・ジュリアン振動、赤道準2年振動などに注目しました。これらの各現象について、複数の気候モデルのうち個々のモデルがどの程度よく再現できるかという性能評価を行いました。各現象をよく再現できるモデルの結果に基づき、温暖化の進行に伴う各現象の将来の変化に関する知見が得られました。たとえば、台風の再現性のよい気候モデルの結果によれば、温暖化が進行すると台風の発生域は東に移動すると予測されることがわかりました。また、東北地方に冷害をもたらすヤマセの再現性のよい気候モデルの結果によれば、温暖化が進行すると8月にヤマセの発生が増加すると予測されることがわかりました。これらの成果をリーフレットにまとめたものを、『暑いだけじゃない地球温暖化—世界の気候モデルから読む日本の将来』として発表しました。
(http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/jhtml/jbook/AORI_S52_web.pdfより取得できます)

テーマ2の成果は、上述の①の目的のための包括的な知見の一部となると同時に、②の目的の適応策検討の際に、日本域の気候変動シナリオの信頼性を気象学的メカニズムの面から検討するためにも役立ちます。テーマ2では、このほか、個々の気候モデルのアジア域での総合的な性能を評価する指標の開発についても成果が得られました。

テーマ3

テーマ3では、格子間隔100km程度の地球規模の気候モデルによる計算結果を基にして、3つの異なる地域気候モデルを用いてダウンスケーリングを行い、格子間隔20kmの日本周辺域の気候変動予測データセットを作成しました。複数の地域気候モデルを系統的に用いて地域的な気候変動シナリオの不確実性を評価することは日本では初めての試みであり、上述の②の目的の適応策検討のための基礎データとして役立つことが期待できます。ただし、今回の成果は地球規模の気候モデルについては単一の結果（日本で開発されたMIROCモデル）に基づいているため、地球規模の予測の不確実性を考慮できていない点に注意が必要です。そこで、このデータセットの応用にあつ

ては、用いた気候モデル(MIROC)の日本周辺域における性能や複数モデルの不確実性の中における位置をテーマ2の結果に基づいて把握しておくことが役立ちます。

また、地域気候モデルが現在の気候を再現した際の観測データに対する系統的な誤差を把握し、温暖化が進んだ将来の気候においても同様の傾向で誤差が生じると仮定することにより、誤差を補正する手法を開発しました。特に、農業影響評価については日射量の補正が、水資源影響評価については日降水強度の補正が有効であることが示されました。

さらに、日本の都市域について格子間隔2~4km程度の都市気候モデルを用いたダウンスケーリングを行いました。テーマ4で作成された都市への集中度が極端に異なる3つの土地利用変化シナリオを用いてその効果を調べたところ、都市化の違いによって8月の平均気温に0.5℃程度の違いが生じることが示されました。テーマ3では、このほか、地球規模と地域規模の気候モデルの結果を双方向に参照する手法の開発についても成果が得られました。

テーマ4

テーマ4では、IPCC第5次評価報告書に向けて国際的に進められている研究動向に対応する形で、日本の「アジア太平洋統合評価モデル」(AIM)により作成された社会経済シナリオのダウンスケーリングを行いました。統合評価モデルは世界を十数地域に分けてエネルギー利用や経済活動を計算するもので、簡易な気候モデルと炭素循環モデルを備えています。その結果に基づき、人口、経済活動、各種ガス等の排出量、土地利用を格子間隔0.5°(50km程度)の地理的な分布に割り付けたシナリオを作成しました。この成果は、現在、世界中の研究グループが標準的に用いる4つのシナリオのうちの1つ(RCP6.0とよばれます)として、新しい気候変動予測計算の前提条件に用いられています。

また、土地利用変化起源のCO₂排出量の見積もりについて、統合評価モデルで計算された値と、テーマ4の空間的に詳細な生態系モデルで計算された値の間で大きな差(21世紀中の積算値で60PgC程度)があ

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。

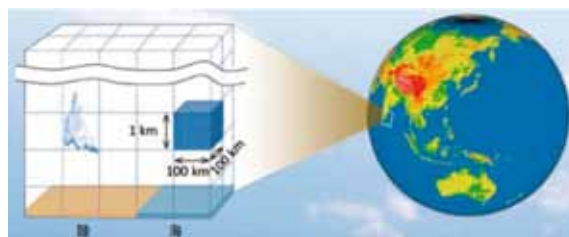


図1:気候モデルの概念図

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	東京大学大気海洋研究所
02	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	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