

SOUSEI

気候変動リスク情報 創生プログラム



文部科学省



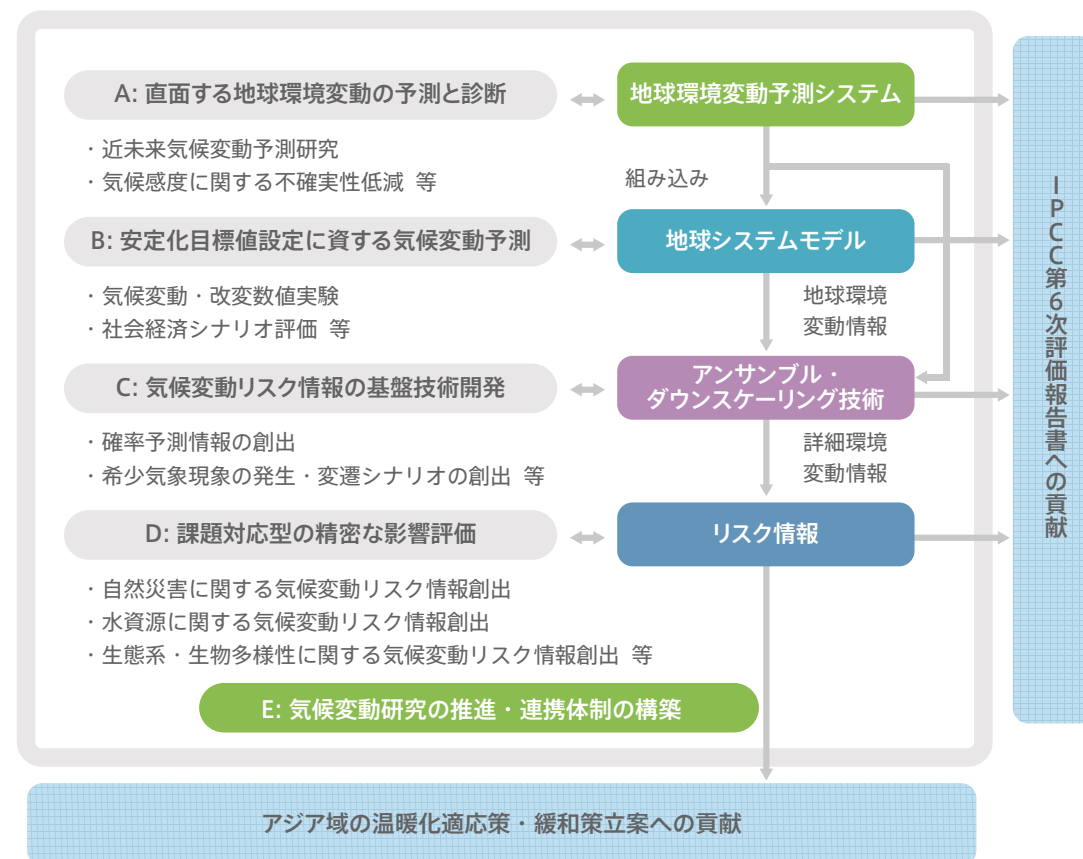
気候変動リスク情報創生プログラムについて

Overview

考えうるシナリオを用意し、世界最高水準のリスク評価を可能にするためのプログラムが進行中

南北に長く、山地が多い日本列島では、地域によって気温、降水量、風雲などに大きな違いがみられます。また、大洋に囲まれていることから、夏から秋にかけては、たびたび台風に見舞われます。さらに近年は、局地的ともいえる集中豪雨、40℃に近い異常高温、民家をなぎ倒すほどの竜巻といった極端な気象現象が頻発しています。こうした異常な気象現象は、わたしたちの日常生活を脅かし、社会や経済に甚大な被害をもたらしています。

「気候変動リスク情報創生プログラム」は、「21世紀気候変動予測革新プログラム」(2007～2011年度)の成果を継承し、あるシナリオを想定したときに、前述のような極端な気候変動により起きるであろう災害や被害などをリスクとして評価し、リスクマネジメントに役立つ情報を創出することを目的としたプログラムです。本プログラムは、2012年度に始まり、5年間の折り返し点を過ぎたところです。世界最高水準の研究開発を展開することで、日本国内においてだけでなく、東南アジアをはじめとする各国の気候変動リスクの予測にも役立つ情報を創出しています。



プログラムディレクターからのメッセージ

Message from Program Director

気候変動予測の不確実性を軽減し、「リスク情報」を実社会に生かす

2015年3月、仙台において第3回国連防災世界会議が行われている中、バヌアツでのサイクロンによる今までにないような被害が報道されました。このことが象徴するように、最近では、極端な気象現象が目立つようになりました。そして、この会議では、「温暖化対策と防災対策を統合すべき」という意見が強調されました。二酸化炭素などの温室効果ガスの排出規制や削減に関する国際的な取り決めが遅々として進

まない中、今や現実の影響や被害に対して具体策を講じておくべき時期を迎えています。

「気候変動リスク情報創生プログラム」は、気候変動予測の基盤技術をさらに向上させ、集中豪雨などの極端な気象現象が発生する確率の予測、それによりもたらされる被害のリスク評価などを行うことを最大のミッションにしています。

入れ子のようなテーマ構成

本プログラムにおける研究は、重層的な構造になっています。一番下側の器に相当するのはテーマAです。その上側にテーマB。さらにテーマC、テーマDが入ります。

テーマAは、本プログラムの根幹となる基盤モデルの開発です。前身の「21世紀気候変動予測革新プログラム」においても、基盤モデルが全体の研究を牽引してきましたが、基盤モデルそのものを更新し、より高性能なものにするのがねらいです。

テーマBは、テーマAと兄弟関係にあります。基盤モデルに物質循環や生物活動などの要素を加え、より詳細な気候シス

テムモデルの構築、気候を安定化するための目標値の検討などを行います。

テーマCは、影響評価研究に資する、より詳細な気候情報を創出したり、伊勢湾台風に匹敵する大型台風など、ごく稀にしかおきない気象現象の「想定しうる最悪のシナリオ」を描き出し影響研究に使ってもらうことが目的です。それを受け、テーマDでは、自然災害に対する適応策や影響を最小限に抑える施策を提案するためのリスク予測や評価を実現することを目指します。

求められるのは、科学的根拠と確実性

温暖化はもはや避けようのないところまで来ていますが、一口に温暖化に伴うリスクといっても、その意味や深刻度は世代や立場によって大きく異なります。一方で、東日本大震災による巨大津波と原発事故を経験した私たちは、「1000年に一度」とされるきわめて小さな確率でも、甚大な被害をもたらす災害が実際に起こりうると気付いてしまいました。このことは、従来以上に「想定外の現象」を想定して対処しなければならないことを意味しています。先にも述べましたが、温暖化対策と防災対策とは統合的に行われる必要があります。同様に、喫緊の課題とされる地方再生も、温暖化対策と整合的に行われる必要があります。温暖化対策は単独の対策ではなく、今の社会が抱える様々な課題に対する対策と統合して行う必要があります。

少子高齢化が進み、資金も潤沢ではない状況のなかで、効率的で具体的な行動をおこすには、科学的根拠と確実性のあるリスク評価が欠かせません。本プログラムでは、確からしいことと、いまだに良くわからないことを科学的に見極め、国民一人一人が考えて判断するための根拠を提供できるように参加者一同研究に邁進していく所存です。今後とも、ご支援ご鞭撻をお願いいたします。



プログラムディレクター (PD) 住 明正 (文部科学省技術参与)

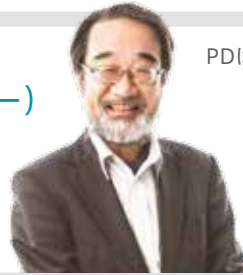
国立環境研究所 理事長



全体概要 Outline

PD(プログラム・ディレクター) 住 明正

文部科学省技術参与
国立環境研究所 理事長



PDは、事業統括としてプログラムを効率的・効果的に運営し、全体調整を図ります。

PO 植松 光夫

文部科学省技術参与
東京大学大気海洋研究所
国際連携研究センター センター長・教授



PO 木村 富士男

文部科学省技術参与
筑波大学計算科学研究センター
特任研究員



PO 原澤 英夫

文部科学省技術参与
国立環境研究所
理事



領域テーマ毎にPO(プログラム・オフィサー)が配置され、研究課題の進捗管理、研究計画の調整等、PDの役割を補佐します。

領域テーマA: 東京大学大気海洋研究所

直面する地球環境変動の 予測と診断

領域代表者 木本昌秀
東京大学大気海洋研究所 副所長・教授



この先避けられない温暖化への適応が社会各方面で求められています。本研究テーマでは、様々な時間スケールにおいて観測データを用いて検証可能な気候変動予測システムを構築し、信頼性の高い気候変動予測情報を提供することを通して、気候変動リスク情報の創生、さらに気候変動への適応力の高い社会構築に貢献することを目的とします。過去に起こった異常天候や極端現象等、様々な気候変動の要因分析や事後予測とその検証を行い、またそれらに対する人為要因の影響評価を行うことによって、気候変動の将来変化に対する予測の信頼性を向上させることを目指します。また、二酸化炭素増加等の外力変化に対する気候系の応答の目安である気候感度についても、観測データによる検証を通して、関わるプロセスの不確実性低減を目指します。

【研究課題】

直面する気候変動に関する要因の特定とメカニズムの解明

- 年々変動～30年程度を対象とした近未来気候変動予測研究(東京大学大気海洋研究所)
- 気候感度に関する不確実性の低減化(国立環境研究所)
- 気候感度に関する不確実性の低減化に向けた「雲」の予測精度の向上(海洋研究開発機構)

地球環境変動研究を支える統合的予測システムの開発

- 様々な時空間スケールに対応するシームレス予測の基盤技術開発(気象庁気象研究所)
- 初期値・境界値の最適化技術、データ同化技術の開発(海洋研究開発機構)

領域テーマB: 海洋研究開発機構

安定化目標値設定に 資する気候変動予測

領域代表者 河宮未知生 海洋研究開発機構
気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム プロジェクト長



二酸化炭素濃度の予測不確実性は、気候感度の不確実性と並んで将来の気候予測を行う上で大きな障害となります。本研究テーマでは、二酸化炭素の収支、生態系、農業等の変動をより正確に予測する上で重要となる、炭素循環や窒素循環を含めた物質循環や、土地利用変化等を取り扱う地球システムモデルを開発します。研究開発の実施にあたっては、予測実験の前提となる社会経済シナリオについて科学的視点から検討します。また、目標の検討にあたっては、将来起きる可能性があるが避けなければならない事象や、回避する手段が与える影響について、把握することが重要であるため、人為起源の環境変化の度合いが一定の閾値を越えることで起こるかもしれない激変(ティッピング・エレメント)や温暖化による被害を抑制するために人為的に地球の平均気温を低下させる手法(ジオエンジニアリング)について、その影響や効果に関する新たな科学的知見を創出します。

【研究課題】

多様なシナリオを踏まえた長期的な地球環境変動の予測

- 温室効果気体濃度変動や土地利用変化等を取り扱う地球システムモデルの開発(海洋研究開発機構)
- 安定化目標値設定に向けた社会経済シナリオに関する検討・情報収集(海洋研究開発機構)
- 社会経済シナリオを含めた気候予測実験の統合的評価(電力中央研究所)

大規模な気候変動・変化に関する科学的知見の創出

- ティッピング・エレメントや環境変化の不可逆性(極域氷床の崩壊等)に関する数値実験技術の開発(海洋研究開発機構)
- ジオエンジニアリング(成層圏エアロゾル注入等)に関する数値実験技術の開発(海洋研究開発機構)

領域テーマE: 海洋研究開発機構

気候変動研究の推進・連携体制の構築

気候変動にかかわる研究を効果的に推進するための支援の実施

- 本プログラムの実施・アウトリーチ等にかかわる業務の支援

領域代表者 河宮未知生 海洋研究開発機構
気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム プロジェクト長

- 気候変動リスク情報の関係者間における共通認識の醸成に向けた取組の実施
- 気候変動リスクに関する情報の提供・助言の実施に必要な体制の整備

気候変動リスク情報の 基盤技術開発

領域代表者 高数出
気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 部長



近年、世界各国で気候変動の影響評価・対策策定が計画・実施されるようになってきていますが、様々な要望(平均場の変化からハザード評価まで)に同時に応えられる標準的ダウンスケーリング情報ができていないのが現状です。本研究テーマでは、日本域についての高頻度事象・低頻度事象(台風・大雨等)の双方に関し、ハザード評価までが可能な確率情報の創出を目標とします。そのために従前の超高解像度大気モデルのさらなる高度化を行うとともに、それを統計的手法と組み合わせることにより、日本を含むアジアモンスーン域における気候変動予測確率分布情報を創出します。また、予測情報の利活用を進展させるため、気候予測における基本的な変数について、不確実性に関する情報を合わせた標準的データセット(気候シナリオ)の整備を目指します。

【研究課題】

気候変動リスクの評価の基盤となる確率予測情報の創出

- アンサンブル予測技術と予測実験の最適化手法の開発(防災科学技術研究所)
- 気候変動予測データの統計学的手法の開発(統計数理研究所)
- アンサンブルデータの効率的なダウンスケーリング手法の開発(東京大学大気海洋研究所)

高度利活用(影響評価研究等)を支える標準的気候シナリオの整備

- 予測情報の信頼性・不確実性の定量化手法の開発(筑波大学)
- 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出(気象庁気象研究所)
- 雲解像大気・海洋・波浪結合モデルによる台風強度推定(名古屋大学)

領域テーマD: 京都大学防災研究所

課題対応型の精密 な影響評価

領域代表者 中北英一
京都大学防災研究所 副所長・教授



気候変動リスク管理に資する情報の創出のためには、リスクの特定、確率の把握と共に、その影響をより精密に評価することが重要です。本研究テーマでは、これまでの気候変動予測情報や、本プログラムで創出される気候変動予測情報を用いて、自然災害、水資源、生態系・生物多様性の様々な視点による定量的な影響評価を実施します。また、リスク期待値の変化量推定ならびにその推定の不確実性の推定、自然災害に関する最悪シナリオの影響評価も実施します。さらに、それらを利用して社会経済的リスクの変化推定を実施し、適応策に関する基本的な知見の創出を目指します。加えて、自然災害に関しては、適応策に関する様々な基本的な考え方を提案するとともに、最悪シナリオに基づき既存の施設計画を上回る外力発生時においても一定の被害軽減機能を発揮しうる総合的な減災施策の評価方法を検討し、その経済評価の方法論の構築を目指します。

【研究課題】

自然災害に関する気候変動リスク情報の創出

- 気候変動に伴う気象災害リスクの評価(京都大学防災研究所)
- 気候変動に伴う河川流域災害リスクの評価(京都大学大学院工学研究科)
- 気候変動に伴う沿岸災害リスクの評価(京都大学防災研究所)
- 気候変動リスクの社会・経済影響と適応策の評価手法の構築(京都大学防災研究所)

アジアにおける水災害リスク評価と適応策情報の創出(土木研究所)

水資源に関する気候変動リスク情報の創出

- 気候変動に伴う水資源に関する社会・経済的影響及びその不確実性の評価研究(京都大学防災研究所)
- 水資源・水循環の人為的変化を含めた評価研究(東京大学生産技術研究所)

生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出

- 気候変動予測情報を活用した、将来の生態系・生物多様性に関する影響及びその不確実性評価研究(東北大学)
- 生態系サービス等を通じた社会・経済的影響の評価研究(東北大学)
- 北東ユーラシア・東南アジア熱帯における気候・生態系相互作用の解明と気候変動に対する生態系影響評価研究(名古屋大学)
- 沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究(北海道大学)



いま起きている気候変動を解明し、将来を予測するー気候変動対策の基本情報を提供

領域代表者 木本 昌秀 東京大学大気海洋研究所 副所長・教授

人類の不注意によって進行しつつある地球温暖化への対策を講じるためには、将来どのようなことがどの程度起きるのか、信頼できる予測情報が必要です。本テーマでは、そのためのツールである気候モデルを高度化し、また大気や海洋の観測データをモデルに取り込んで、半年後のエルニーニョから、10年後、あるいは100年後の温暖化まで、様々な時間スケールの気候の変動を予測できるシステムを開発しています。さらにこのシステムを用いた数値実験を行うことによって、現在進行形の気候変動の解明に挑んでいます。

● 今年の猛暑は地球温暖化のせいですか？

災害は忘れたころにやってくる、とよく言われます。頻度は低くとも、猛暑の夏や大雪の冬は地球の気候の自然なゆらぎの表れとして必ずやってくるものであり、個々の気象イベントを地球温暖化だけのせいにすることはできません。しかしながら、ゆっくりと進行する地球温暖化は、いくつかの異常天候や極端気象の発生頻度を微妙にですが変えつつあります。そこで、精巧かつ多量のシミュレーションを行うことによって、気象イベントのメカニズムを解明し、温暖化の寄与も算

定することができます。テーマAではこのような研究を「イベントアトリビュション」と呼んでいます。この研究を進めることにより、「もし地球温暖化がなかったとしたら、2013年のような猛暑の起こる確率はもっと低かったろう。言い換えれば、温暖化によって猛暑のリスクが〇%増大している」というメッセージを広く社会に伝えることができるのです。同時に、自然のゆらぎと温暖化リスクとの関係についてもよりよく理解してもらうことができます。

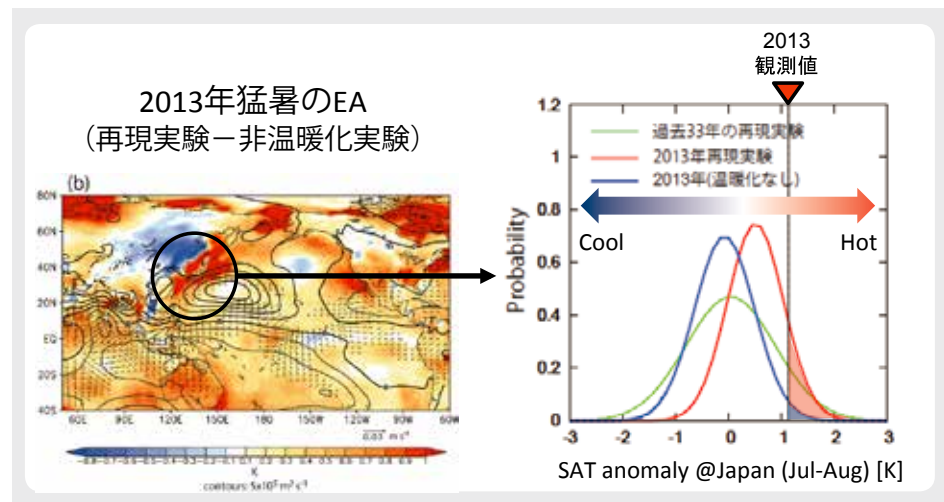


図1. イベントアトリビュション
全球大気モデルに観測された境界値(海面水温・海水)を与えて、初期値を変えた100メンバの再現実験と、境界値から温暖化成分を除いた実験を行い、これらから得られる気象要素の確率密度分布(PDF)を比較することで、頻度の低い異常天候などの発現確率に対する温暖化の寄与を評価しました。左図は2013年日本の猛暑に対する再現実験と非温暖化実験で得られた地表気温(色)、850hPa流線関数(等値線)と200hPa発散流(矢印)の差。右図は、再現実験(赤)と非温暖化実験(青)による日本付近の地表気温PDFの比較。緑は、より長期の再現実験による同変数の気候学的PDF。2013年の観測値(図上部に示す)より暑い夏になる確率は、温暖化が起こっていないとした場合全体の1.7%に過ぎませんが、実際の(温暖化している)場合は12.4%と見積もられ、温暖化により猛暑のリスクが増大していることがわかります。(Imada et al. 2014, Bulletin of the American Meteorological Society)

● 温暖化が止まった？

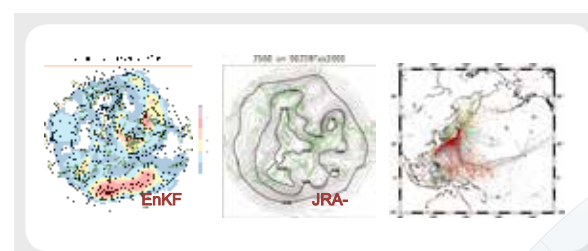
個々の気象イベントだけでなく、観測データに表れる近年の気候の傾向が温暖化とどう関係しているのかも、よく社会の関心事となります。1998年の記録的なエルニーニョの後の15年以上にわたる世界平均気温の停滞傾向は、英語で「停滞」を意味する「ハイエイトス現象」とも呼ばれ、社会的にも科学的にも大きな話題になっています。また、温暖化の割には最近寒い冬が多いこともよくメディアに取り上げら

れます。地球温暖化は本当に進行しているのでしょうか？
テーマAでは、このような疑問にきちんと科学的に答えるための研究も行っています。ハイエイトスについては、地球の表面では気温の停滞傾向はあるものの、海洋内部は着実に暖まっており、海洋内部の熱輸送の自然変動の結果、主として海面で一時的に温度上昇が停滞していると考えられること、さらに最近数十年を分析すると地球温暖化の影響はむしろ増大しつつあることなどがわかりました。また寒冬については、温暖化で減りつつある北極海の海水がシベリア高気圧の勢力を強めるような気圧配置の変化をもたらしていることを明らかにすると同時に、温暖化の進行後は、これとは別の自然変動である北極振動の寄与の方が卓越するので、温暖化が進めば北半球は寒冬が多くなる、とは言えないことも示しました。

● 新しい予測システムは将来だけでなく、過去の情報も拡張する

気候モデルについては、次期の国際比較実験で用いる新しいモデルの準備も着々と進めています。観測データの取り込みを行う「データ同化」にはアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)という新しい方法を導入することにしました。この方法は、従来よりも計算量は増えますが、大気と海洋のデータを同時に取り込めるほか、海水のように取り込むのが技術的に難しい変数の扱いを可能にします。取り込んだ変数とは別の変数の精度も上げる効果も持っています。この性質を利用すると、大気の高層観測データや海洋内部の観測データが著しく乏しかった1950年代以前の気候状況も、比較的豊富にある地表の観測データから復元できると期待されます。「150年気候再解析」が実現できれば、異常天候や極端気象のサンプルも増え、数十年規模の気候変動に対する理解も向上します。さらにダウンスケール手法などを併用すれば、室戸台風(1934年)級の気象イベントのアトリビュションやリスク評価も不可能ではなくなります。過去の、より広い現象範囲をカバーできるということは、将来予測の信頼性向上にも直接つながります。

図4. 150年気候再解析に向けて
新しいデータ同化手法(EnKF)によって地表気圧データのみから再現された上空500 hPa(約5km)の高度場(左)、気象庁の解析値(中央)との比較。左図の陰影は、アンサンブル手法に基づく誤差の目安を示します。(右)戦前の表層水温データの分布。色つきが日本の機関により。旧帝国海軍海上気象観測データのデジタル化も作業中です。



●研究参画機関 東京大学大気海洋研究所
海洋研究開発機構、国立環境研究所 等

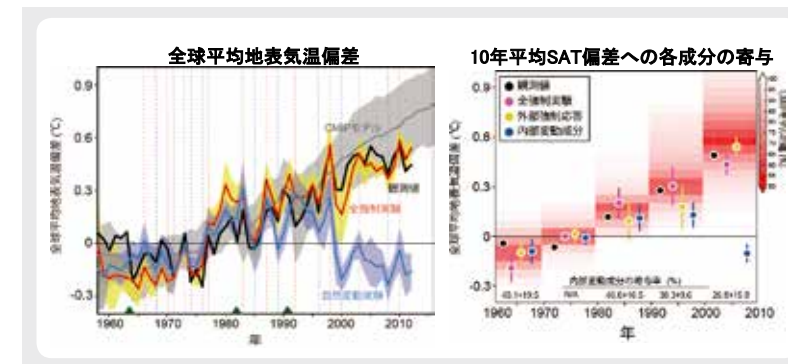


図2. ハイエイトスの再現と要因分析
全球気候モデルによるシミュレーションにより、2000年以降の地球全体の気温上昇の停滞状態(ハイエイトス)の再現に成功しました(左)。さらに、気候の自然変動の地球全体の気温変化に対する寄与(右)は、1980～2010年までの各年代で47%、38%、27%と無視できない大きさであることが分かりました。地球全体の気温変化における自然変動の寄与は、人為起源の温暖化が顕著になるにつれて減少しており、今後温暖化が進めば、この割合はさらに小さくなると示唆されます。(Watanabe et al. 2014, Nature Climate Change; 2014年9月1日記者発表)

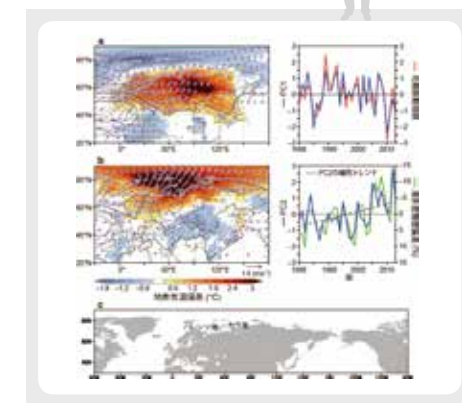
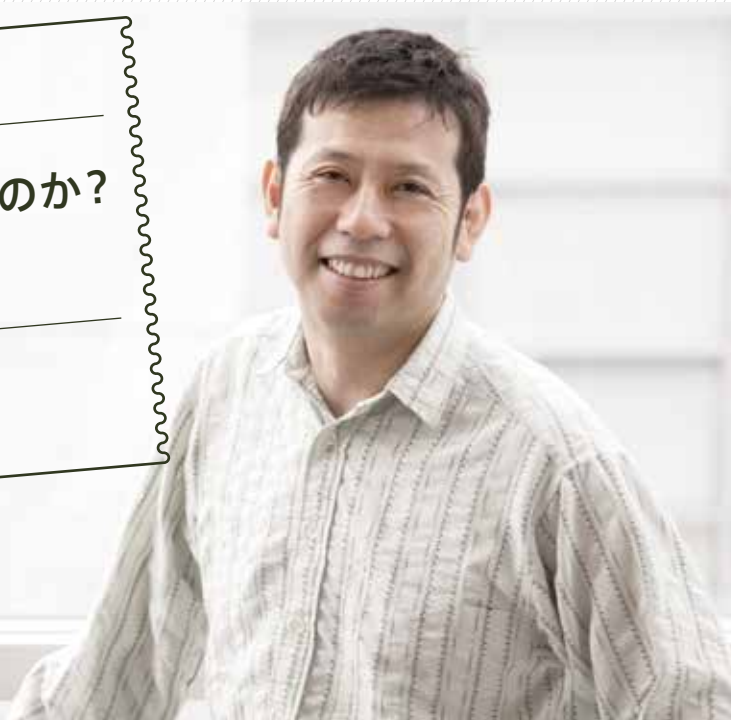


図3. ユーラシア大陸中緯度域で頻発している寒冬の要因分析
大気モデルを用いた大規模アンサンブルシミュレーションにより、北極海における近年の急速な海水の減少によってユーラシア大陸の中央部で寒冬になる確率が2倍以上高くなっていることが明らかになりました。世界中の気候モデルによる将来予測シミュレーションを解析した結果を踏まえると、近年の寒冬の増加は温暖化の過程で一時的に生じる過渡現象だと示唆されます。図は、観測された冬の地表気温偏差の主成分分析より得られた、空間パターン(左);地表気温偏差(色)と、それに伴う地表気圧(等値線、1hPa間隔)ならびに地表風(矢印)偏差)とその係数(右)。(a)の第1主成分は北極振動を表し、(b)の第2主成分はバレンツ・カラ海(図(c))で平均した海水偏差の年々変動(緑の時系列)と連動するパターンを表します。(Mori et al. 2014, Nature Geoscience; 2014年10月27日記者発表)

CO₂排出を減らすと、地球環境はどう変わるのか？ 温暖化抑制への道筋を探る

領域代表者 河宮 未知生 海洋研究開発機構
気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム プロジェクト長



人間活動起源のCO₂排出を減らした時、地球環境にはどれほどの影響があるのか — こうした問題を考えるときには、植物の光合成などの生物・化学的過程も考慮する必要があります。本テーマでは、生物・化学過程もとりにいた気候モデル「地球システムモデル」を用いて、地球規模の環境問題研究に取り組みます。

地球システムモデルの不確実性が社会経済にもたらすインパクト

地球温暖化をどの程度抑制するかという目標を設定しても、人類が排出できる炭素量が自動的に決まるわけではありません。陸域の生態系や海洋がどの程度炭素を吸収してくれるかにより、排出可能な炭素量は変わってきます。こうした地球システムの応答の違いによる不確実性がどのように社会経済システムに影響を及ぼすかは、将来の温暖化抑制シナリオを策定する際に重要になります。この点を考えるため、本研究では気候モデルと経済モデルの連携に力を入れています。具体的な事例として、以下の研究を行いました。

まずは研究の前提として、IPCC第五次評価報告書で使われている4つの代表的濃度経路*のうち、下から2番目の気温上昇度合いとなる中位安定化シナリオ(RCP4.5)を採用しました。その中で、年ごとの目標濃度を実現するための排出可能な炭素量に注目し、温室効果ガスの吸収を考慮できる気候モデルである「地球システムモデル」がもつ不確実性による社会経済への影響を、経済モデルの一種である「応用一般均衡モデル」を用いて解析し、以下の結果を得ました。

(1) 温暖化対策を講じない場合の世界総GDPを100とした場合、排出可能な炭素量が多い場合と少ない場合(この差は地球システムの応答の不確実性による)の2100年における世界総GDPは、それぞれ95.8および91.9となる。排出可能な炭素量が少ない場合は、多い場合よりもGDPの値が

4.1%少なくなる(図1)。

(2) 目標とするCO₂濃度が同じでも、地球システムの応答の違いにより、排出削減量が少なくすむ場合とそうでない場合とでは、(炭素税額に相当する)炭素価格に3倍の違いが生じる(図2)など、排出削減シナリオに有意な影響を与える。

(3) 一次エネルギーは、排出量が最も小さい場合と大きい場合とで2100年時点の総需要量にはそれほど大きな違いは見られないが、その構成が異なる。最も大きい場合では、化石燃料の利用が相対的に大きく、特に天然ガスの割合が最も大きくなる。一方、最も小さい場合では、化石燃料の利用が相対的に抑制され、代わりに再生可能エネルギーが増加し、特にバイオマスの割合が最も大きくなる。

一方、排出量が最も小さい場合では、化石燃料の利用が相対的に抑制され、代わりに再生可能エネルギーが増加し、特にバイオマスの割合が最も大きくなる。

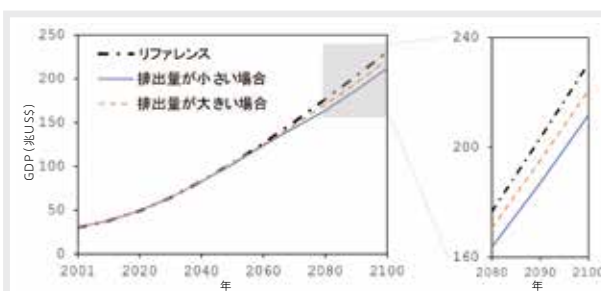


図1: GDP(世界合計)。右は2080~2100年を拡大したもの(Matsumoto et al., 2015, Computers & Operations Research)

これらが示すこととしては、排出可能な炭素量の多寡は経済に少なからず影響を与えるが、世界全体で排出権取引を行うなどして単一の炭素価格が適用され、効率的に排出削減が実現される場合には、排出可能な炭素量の違いが顕著な経済成長の差を生むものではない、というものです。

* 地球温暖化を引き起こす、大気中の温室効果ガスなどの濃度がどのように変化するかを予測したシナリオ。RCP、濃度シナリオともいう。

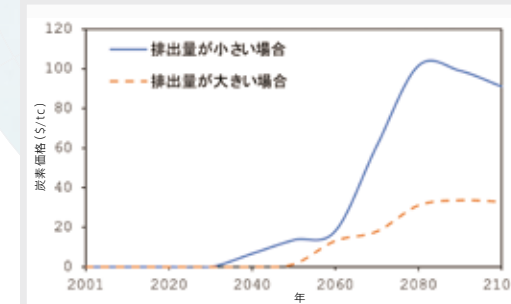


図2: 炭素価格 (Matsumoto et al., 2015, Computers & Operations Research)

地球から学び、ジオエンジニアリングの在り方について考える

海水中に溶けて存在する鉄は、植物プランクトンの貴重な必須元素(栄養塩)であり、光合成に欠かせないものです。つまり海洋生態系がどれくらいCO₂を吸収し、温暖化を抑制してくれているかを考えるとき、鉄は重要な要素となります。鉄はエアロゾル*によって大気から海洋に供給されますが、エアロゾル中の鉄がどのくらい生物にとって利用可能な形であるかを示す鉄溶解度は、0.01%から80%までと幅広い範囲で観測されています。海洋の鉄循環を含む数値モデルでは、土壌が起源のエアロゾル粒子中に一定の割合で水溶性の鉄が存在すると仮定されており、海洋生態系によるCO₂の吸収量の算出を不確かなものにしてしています。

本研究で開発を行った「全球エアロゾル化学輸送モデル」は、エアロゾルがどこから供給され、どのように地球を循環し

ているのかをシミュレートしたものです。土壌起源のエアロゾルに加えて、森林火災や化石燃料の燃焼に由来する微粒子中の比較的不溶性鉄が無機・有機の酸性物質と化学反応し、溶出する過程を動的に表現しています。このような計算ができる数値モデルは世界で一つだけです。そして実験の結果から、エアロゾル中で観測された高い鉄溶解度は、主に燃焼が起源となるエアロゾルと関連付けられることが明らかになり、燃焼起源エアロゾルが水溶性鉄の供給源として重要になることを示唆しました。

海洋鉄散布は、海に水溶性の鉄をまいて植物プランクトンの光合成を促進させ大気からCO₂を取り除く、地球工学(ジオエンジニアリング)の一手法として提案されています。本研究成果によって、故意ではありませんが、人間活動は既に水溶性の鉄を海に散布していたことが示唆されました。

* 気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子。

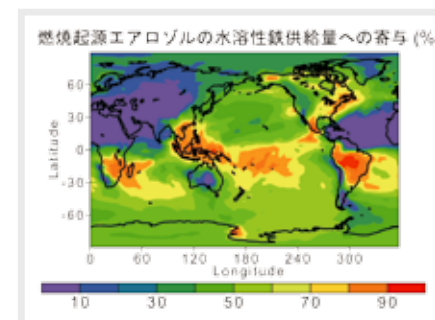
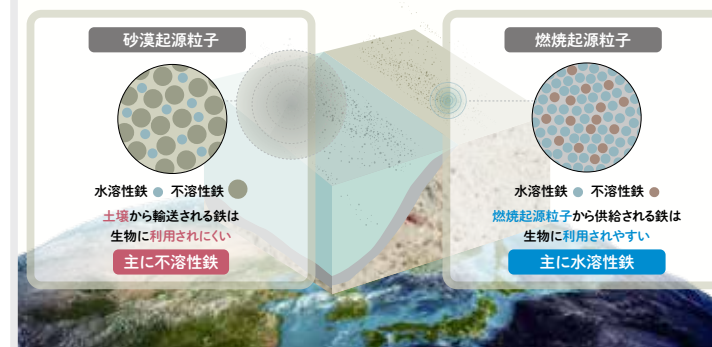


図3: 全球エアロゾル化学輸送モデル, IMPACT, による水溶性鉄の沈着実験結果(Ito, 2015, Environmental Science & Technology Letters)

大気中での化学反応過程を考慮に入れた数値モデルの開発

砂漠は海洋への重要な鉄の供給源であるが、燃焼起源粒子が海洋への重要な水溶性鉄の供給源になりうるしくみ



テーマB「安定化目標値設定に資する気候変動予測」が目指すもの

地球温暖化を抑制し、環境の激変を避けるためには、CO₂など温室効果気体の排出削減について、社会経済的な側面も考慮してしっかりしたシナリオを描いておくことが必要です。そのためには、CO₂が地球環境の中でどのように循環しているかを把握することはもちろん、CO₂を野放図に排出していったとき、氷床の崩壊のような何か取り返しのつかない

急激な変化が起きないか、といった点にも注意を払わねばなりません。また急激な変化を避けるために、海洋への鉄散布を含む気候の人工制御が有効かどうかや、その副作用についても理解しておくべきでしょう。本テーマでは、こうした複合的な問題への取り組みから、温暖化抑制のための道筋づくりに貢献していきます。

●研究参画機関 海洋研究開発機構
電力中央研究所、滋賀県立大学 等



100年先の温暖化から50年前の台風まで分析し、「想定しうるシナリオ」を描き出せ

領域代表者 高萩 出
気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 部長



本研究テーマでは、日本とその周辺域で起きる気候変動や気象現象について、統計を用いた解析や評価の手法を開発し、それがどの程度の確率で生じるのかを含む「想定しうるシナリオ」を描き出すことが目的です。地球温暖化に伴うリスクを考える上で基盤となる情報には、次の2つがあります。1つは確率的な情報、もう1つは起こり得る最大クラスの気象現象のシナリオです。前者は防災、後者は減災のために必要です。

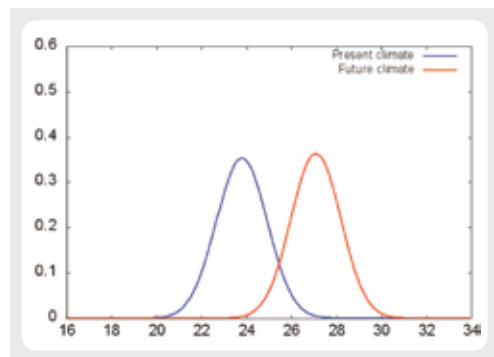
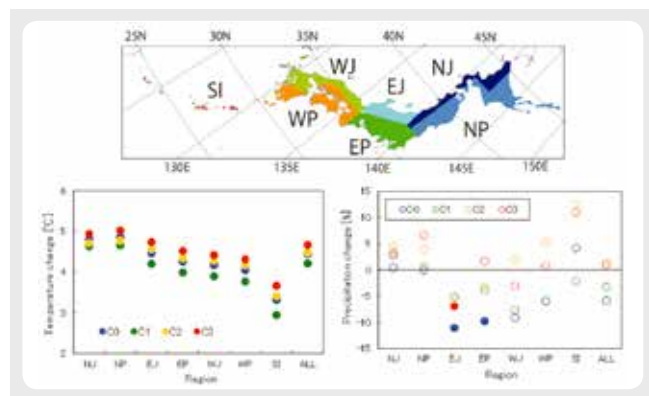


図1：東京の7月の平均気温の確率分布現在気候(青)：1969-1998年、と将来気候(赤)：2069-2098年

● 21世紀末の東京はどれくらい温暖化する？

本研究では、気候変動の確率的な情報を算出する手法を開発しました。図1は、この手法を東京の月平均温に適用し、今世紀末にどれだけ温暖化するかを示したものです。これはSRES A1B*という温室効果ガスの排出シナリオをもとに、21のモデルをつくらせて計算した結果から算出したものであり、昇温傾向とその不確実性が表されています。

図2は、本プログラムで整備したより解像度の高いモデルによる結果です。これはRCP8.5シナリオ**で計算された28の全球モデルの予測する海面水温上昇パターンから代表的な4つのパターンを選び、それぞれを



20km四方を1マスとした全球大気モデル、5kmを1マスとした地域気候モデルでダウンスケーリングしたものです。各地域で気温や降水量の変化量が求められており、気温上昇は北日本の方が大きいことがわかります。これは境界条件として与えられたオホーツク海の流氷域の後退などを反映し、気温が上昇したものと考えられます。同じく降水量を見ると、変化の不確実性が大きく、傾向は判断できないことが示唆されています。

*石油や天然ガス、新エネルギーについて大幅な技術革新があると想定して、将来どの程度温室効果ガスが排出されるかをシミュレーションしたシナリオ。
**温室効果ガス濃度の推移を予想した気候変動予測シナリオのひとつ。RCP8.5、6.0、4.5、2.6の4パターンがあり、8.5は温暖化の進行度合いが最も高いもの。

図2：上の図は将来変化を調べた地域区分。左下の図は年平均気温の地域別の変化量(将来ー現在)。C0～C3はアンサンブルメンバーを表す。将来変化については、すべての地域・メンバーでその変化は統計的に有意(危険率5%)。右下の図は年降水量の将来変化(変化率)。塗りつぶされた点は増減が統計的に有意なもの(危険率5%)

● 温暖化が異常気象をも引き起こす？

温暖化に伴い、異常気象が増えることも指摘されています。図3は、水資源管理モデルに対してRCP8.5シナリオで予測される2100年までの大気状態(世界5機関の気候モデルによる)を与えた結果を解析したものです。モデルで評価される干ばつ日数が、現在までに経験したことのない日数にまで増加したのちに元に戻る年を表しており、チリ、北米西部ではそのような年が目前に迫っていることが示され

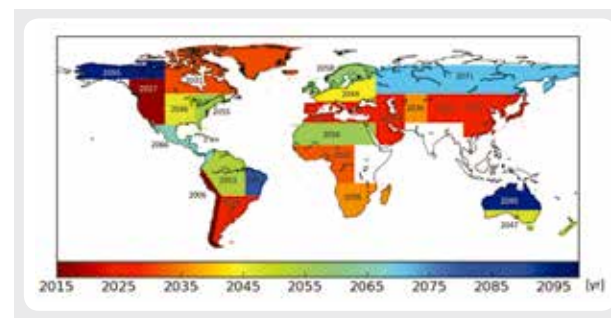


図3：干ばつ日数について、これまでの最大を超えた状態が「普通の状態」になり始める年

ています。これはテーマDとの連携により得られた成果です。

次に、雨の多いモンスーン地域の降水量は温暖化によってどう変化するのでしょうか。図4は、世界の各モンスーン地域での降水量が将来どうなるのかを、60kmを1マスとした全球大気モデルによる24のアンサンブル実験(SRES A1Bシナリオ)で評価したものです。降水量は全体として増える傾向

にあり、特に日本を含む東アジア域では雨季の降水量の増加が高い確率で示されています。

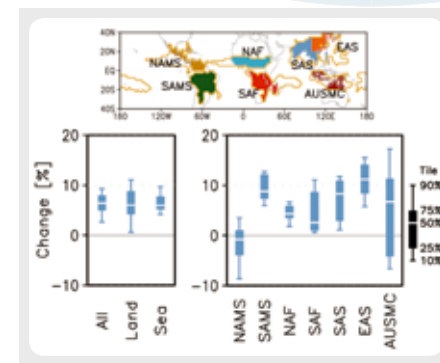


図4：全球モンスーン領域および地域陸上モンスーン領域における雨季降水量の将来変化率

● 大型台風を予測し、防災・減災につなげる

台風は年に2～3個しか日本に上陸しないため、防災を意識した確率的な評価のためには、確率台風というアプローチが必要となります。図5は台風のモデル構築の一環として、観測データから疑似的に計算された台風推定経路図です。これにより、解析に足るだけの数の疑似台風をシミュレーションすることが可能になります。

他方、減災を意図した最大クラスシナリオ構築のためには、精度の高いモデルによる計算が必要となります。図6は、2kmを1マスとした台風モデルCReSSによって再現され

た、日本を襲った過去最大クラスである伊勢湾台風の雲と降水の分布図です。

スーパー台風の構造と広がり再現し解析するには、このような高解像度モデルによる高精度の計算が必要になります。

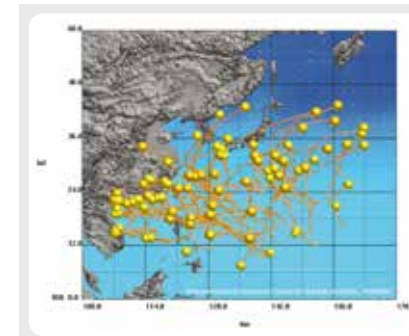


図5：気象庁発行の1951年以降のベストトラックデータから計算された疑似台風の推定経路

● 不確実な未来に見通しを立てるために

極端な気象現象は「20～50年に一度」という、ごく稀にしか起きないものです。しかしひとたび起きると、多くの生命が脅かされ、社会や経済に大きな損害や混乱をもたらします。また、温暖化などの気候変動も「それがどのくらいの確率でどの程度起こりうるのか」がわからないと、対策の立てようがありません。本研究の成果は国や地方自治体において、温暖化・災害などへの将来に向けた対策を講じる際に生かすことができます。

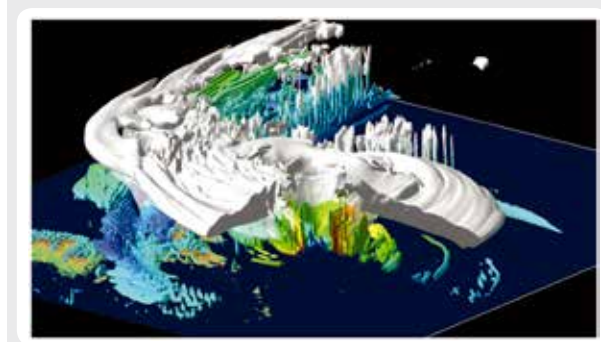


図6：雲解像モデルが再現した伊勢湾台風の立体的表示。雲(グレー色)と降水を立体的に表示し、眼の壁雲周辺の風速分布が分かるように降水には赤色系(強風)から青色系(弱風)にグラデーションする色を付けた。また眼の構造が分かるように台風の南西部分を切り取ってある。

● 研究参画機関 筑波大学

防災科学技術研究所、名古屋大学地球水循環研究センター、気象庁気象研究所、東京大学大気海洋研究所、統計数理研究所 等

台風や生態系は、温暖化でどう変わる？ 私たちの身近に迫る問題に取り組む

領域代表者 中北 英一
京都大学防災研究所 副所長・教授

地球温暖化によって、台風、洪水、土砂災害、川の流れ、森林や海洋などは、どう変化するのでしょうか？本研究テーマの「課題対応型の精密な影響評価」は、温暖化と自然災害との関連を科学的に示し、今後どこまで深刻化するのかについて、100年先まで見通すことを目的としています。そのために、2つの解析手法を取り上げています。

ひとつは、気候変動が台風や洪水などの自然災害をはじめ、川の流れや生態系などにどの程度の影響を及ぼすかを、確率に基づいて定量的に把握する手法です。様々な気候変動シナリオを土台に、さらに様々な気候予測モデルでシミュレーションした複数の予測結果を利用して、各分野でどの程度影響があるかをより明確に答えるために努力しています。もうひとつはスーパー台風など、最大クラスの外力を考慮した最悪シナリオに対する気候変動の影響を評価する手法です。近年、日本のみならず世界の各国で“今まで経験したことのない災害”が頻繁に発生しています。気候変動により、記録にもない最大級の災害がどの程度の被害をもたらすのかを科学的・工学的な面から分析するとともに、経済的な被害まで具体的な数字で把握して、これから必要とされる適切な対応策への基礎情報として提供します。

本研究テーマでは、上記の“将来影響の確率的評価”と“将来の最悪シナリオによる影響評価”の2つの解析手法を用いて、「自然災害に関する気候変動リスク」「水資源に関する気候変動リスク」「生態系・生物多様性に関する気候変動リスク」の3つの研究テーマで活発な意見交換を行いながら研究を進めています。

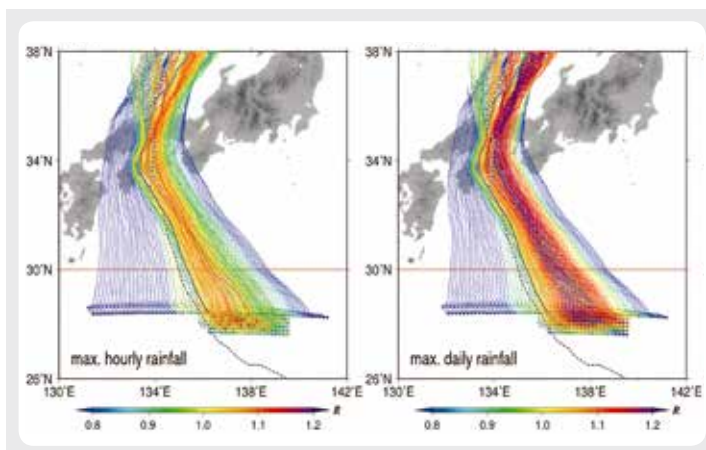


図1：最大クラス台風の経路アンサンブルシミュレーションによる気象外力の最悪シナリオの設定：2011年台風12号を対象とした解析：経路の違いによる紀伊半島での時間雨量(左)・日雨量(右)の違いをコントロール実験との比率で示す

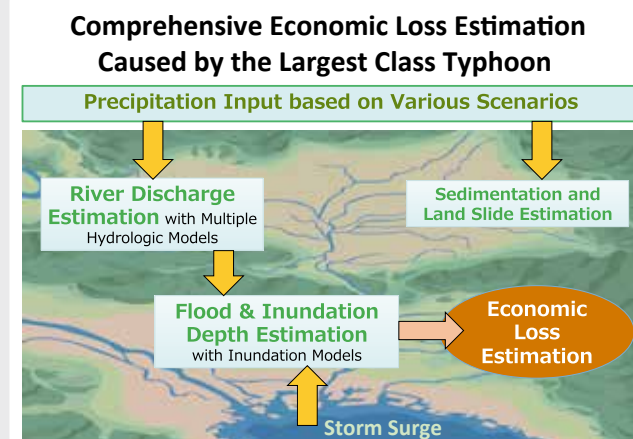


図2：最大クラス台風による河川洪水と高潮氾濫を考慮した複合災害に関する影響評価

● 自然災害に関する気候変動リスク

「自然災害に関する気候変動リスク」は、土木研究所、京都大学防災研究所が担当しています。日本の気象災害の中で最も深刻な被害をもたらす台風を柱に、梅雨なども含め、その頻度、規模、それに伴う雨量、暴風、高潮、高波、土砂崩れなどの事象について、最悪の場合も含めて予測値を出すことがねらいです。

図3：確率台風モデルで計算された台風コース

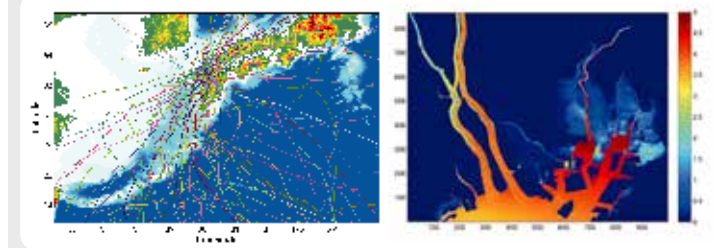
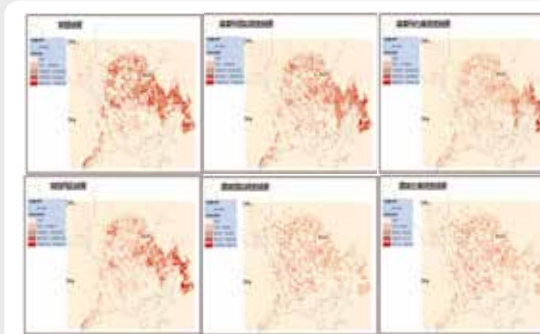


図4：伊勢湾を対象とした擬似温暖化+最悪コース条件下での高潮氾濫

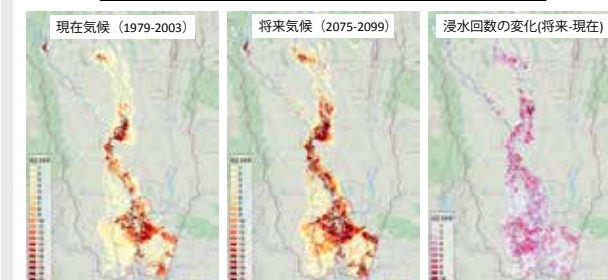
図5：資産被害額の推定結果(伊勢湾台風ケース)



台風は年間約25個発生し、10個前後が日本列島に接近または上陸しています。数としてはそれほど多くありませんが、ちょっとした進路のずれが、雨や風にきわめて大きな影響を与えること、さらにその結果、甚大な災害がもたらされることがわかってきています。具体的な研究としては、1959年に発生した伊勢湾台風の経路が異なった場合その被害はどの程度変化するか、もしくは、将来の気候変動の影響により海面水温が上昇した条件で伊勢湾台風がまた発生した場合、どの程度の威力や被害をもたらすのかを、降水量・暴風・河川流量・高潮氾濫などの複合災害の観点から影響評価しています(図1から5を参考)。また「100年に一度」程度や最悪のシナリオの被害度合いが、この先の100年でどう変化していくのかを予測・評価し、社会への影響や国土計画に生かせるようにします。図6へ示したように、自然災害に関する影響評価は対象地域を日本国内のみならず、特に洪水氾濫に着目して東南アジアの主要河川に対しても行っています。

図6：MRI-AGCM3.2S (RCP8.5)の出力を用いて降雨流出氾濫シミュレーションを実行し、各25年間の浸水回数を推定

タイ・チャオプラヤ川流域における浸水頻度の予測検例



● 水資源に関する気候変動リスク

「水資源に関する気候変動リスク」は、京都大学防災研究所と東京大学生産技術研究所が担当しています。温暖化によって気候が変わると、雨の量や降り方も大きく変化します。また、これまで雪だったものが雨に変わる可能性も出てきます。山地の多い日本において、こうした変化は「水が川に流れ出る様子」を大きく変えるかと予想されます。

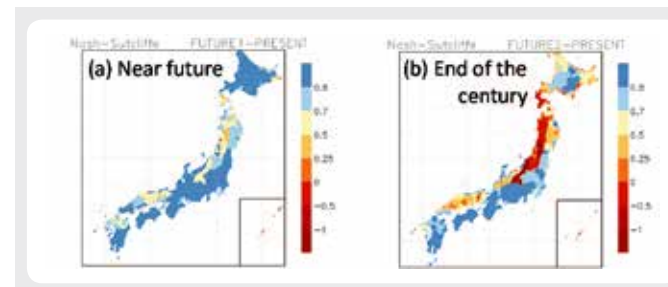


図7：日本の河川流況変化予測

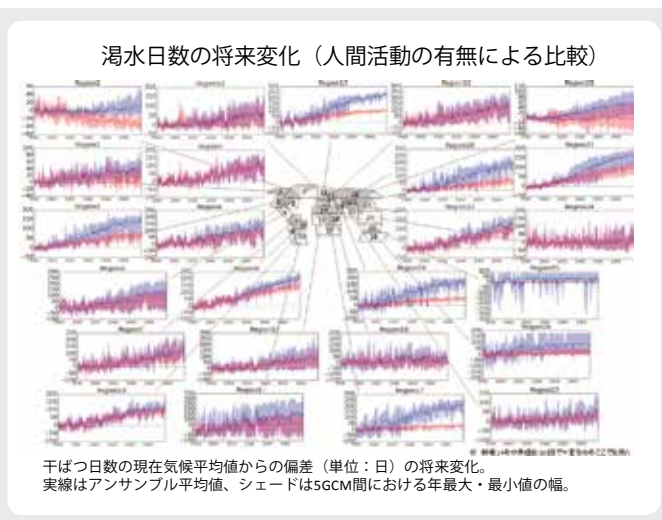
● 研究参画機関 京都大学防災研究所

国立環境研究所、北海道大学、名古屋大学、東北大学、東京大学 大学院工学系研究科 生産技術研究所、東京工業大学、土木研究所、農研機構 農村工学研究所 等

そこで、本グループの京都大学のチームでは、日本列島の主な河川における水の流れや供給の変化、稲作などへの影響、ダムなどの治水の必要性などを予測・評価しています(図7参考)。アジアをはじめ世界の主な河川についても、同様の予測・評価を進めています。また東京大学のチームは、人為的な改変が加わった現実の水循環が世界規模でどのように変化するかを予測・評価し、さらに適応策の効果についても検討しています(図8参考)。

赤色:人間活動あり 青色:人間活動なし

図8:人間活動(ダム操作・取水等)を考慮すると干ばつ日数の年々変動は小さく、長期変化も緩やか



生態系・生物多様性に関する気候変動リスク

「生態系・生物多様性に関する気候変動リスク」には、東北大学生命科学研究科を中心に、名古屋大学、北海道大学、国立環境研究所なども参画しています。東北地方の森林と、日本近海の海洋生物を対象に、地球温暖化によって生態系が急激に変わっていくかを予測・評価することがねらいです(図9参考)。東北大学チームでは、温暖化が高山植物を絶滅させるかどうか、強風が森林に与える影響、森林の浄化作用、観光資源の変化などについて予測・評価しています。名古屋大学チームは、アジアの熱帯雨林と東シベリア北方林を主要な研究対象地として、気候変化が森林植生をどう変えるか、変化した

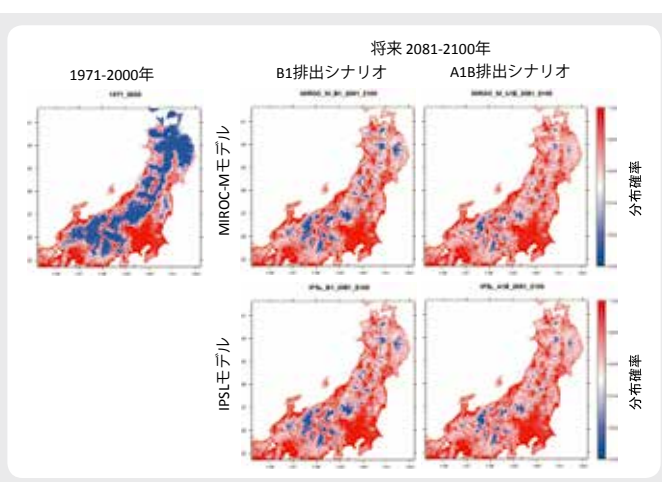


図9:種分布モデル(random forest)で推定された外来タケの生息適地(赤色部分)の拡大

森林植生は次に気候にどう影響を与えるかを予測・評価し、ツンドラの森林など、世界的に主要な森林の変化を扱います。北海道大学・国立環境研究所チームでは、二酸化炭素が海水に溶け込んで起きる海洋の酸性化にも着目し、温暖化と海洋酸性化によってサンゴ礁や藻場のような沿岸生態系がどのように変化するかを予測・評価しています(図10参考)。

図10:温帯性藻場種(カジメ)に対して、水温上昇に伴う直接的な影響(昇温ストレス)に加え、食害生物による間接的な影響を考慮した初めての将来予測研究

「社会への橋渡し」テーマDの目指すもの

これらの研究の結果は「具体的な数値」を出すと共に「適応に向けた土台となる基本的な考え方も創出する」ことを目標としています。具体的な予測値を出すことで、私たちの身近に迫る問題への適応に貢献することができます。また、都市や農村、沿岸域、河川域において人命を守るためにはどう

すべきなのかを考えるための情報として、政府や自治体によって活用されることも期待できます。不確実性が高い将来気候予測の中で、正しい適応策を見出すために必要な情報の創出を目指し、参加研究者は研究に邁進しています。



領域テーマE 気候変動研究の推進・連携体制の構築

創生プログラムの研究成果を、社会とつなぐ
テーマEはコーディネーター役を果たします

領域代表者 河宮 未知生 海洋研究開発機構
気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム プロジェクト長

創生プログラムの成果を最大限に生かし、防災や備えなどさまざまな場面での実践へとつなげるための調整、情報収集・発信などの支援が、テーマEの役割です。

具体的には、温暖化予測関連の国内外の動向を把握し、研究者間での情報共有を図るとともに、効率的に最大の成果を上げられるように、A～Dまでのテーマ間の連携体制をつくり連携を促進しています。また、リスク情報という研究成果をデータベースに一元管理し、各チームや関係機関の情報ネットワークにより、実社会で研究成果を活用する場を提供します。さらに、シンポジウムの開催やニュースレターの発行などにより、本プログラムに関する情報発信を行っています。



テーマEの役割概要

「気候変動リスク情報創生プログラム」の研究成果を、極端現象などの気象予測の高精度化や防災へ活用し、実践的に社会に役立てていくためのコーディネーターの役割を果たします。

- IPCC及び温暖化予測とかかわりの深い国内外のプロジェクトの動向について情報収集を図り、その情報の本プログラム内での共有を図るとともに、研究調整委員会などを開催して研究者間の連携促進を行っています。
- リスク情報という、ひとつの研究成果をデータベースに一元化し、データを効率的に活用するための分類・整理や技術的支援を行います。
- 公開シンポジウムの開催やニュースレターの発信など、本プログラムの成果を広く知らせるための広報活動を行います。

研究課題一覧

研究領域 テーマA 研究課題名: 「直面する地球環境変動の予測と診断」 領域代表: 木本 昌秀 東京大学大気海洋研究所 副所長・教授		
領域課題	サブ課題	サブ課題代表者
(i) 直面する気候変動に関する要因の特定とメカニズムの解明	a 年々変動～30年程度を対象とした近未来気候変動予測研究	東京大学大気海洋研究所 准教授 渡部 雅浩
	b-1 気候感度に関する不確実性の低減化	国立環境研究所 主任研究員 小倉 知夫
	b-2 気候感度に関する不確実性の低減化に向けた「雲」の予測精度の向上	海洋研究開発機構 主任研究員 佐藤 正樹
(ii) 地球環境変動研究を支える統合的予測システムの開発	a 様々な時空間スケールに対応するシームレス予測の基盤技術開発	気象庁気象研究所 気候研究部 主任研究官 石井 正好
	b 初期値・境界値の最適化技術、データ同化技術の開発	海洋研究開発機構 ユニットリーダー 田中 幸夫

研究領域 テーマB 研究課題名: 「安定化目標値設定に資する気候変動予測」 領域代表: 河宮 未知生 海洋研究開発機構 気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム プロジェクト長		
領域課題	サブ課題	サブ課題代表者
(i) 多様なシナリオを踏まえた長期的な地球環境変動の予測	a 温室効果気体濃度変動や土地利用変化等を取り扱う地球システムモデルの開発	海洋研究開発機構 ユニットリーダー 渡邊 真吾
	b-1 安定化目標値設定に向けた社会経済シナリオに関する検討・情報収集	海洋研究開発機構 ユニットリーダー代理 立入 郁
	b-2 社会経済シナリオを含めた気候予測実験の統合的評価	電力中央研究所 環境科学研究所 副研究参事 筒井 純一
(ii) 大規模な気候変動・変化に関する科学的知見の創出	a ティッピング・エレメントや環境変化の不可逆性(極域氷床の崩壊等)に関する数値実験技術の開発	海洋研究開発機構 プロジェクト長 河宮 未知生
	b ジオエンジニアリング(成層圏エアロゾル注入等)に関する数値実験技術の開発	海洋研究開発機構 プロジェクト長 河宮 未知生

研究領域 テーマC 研究課題名: 「気候変動リスク情報の基盤技術開発」 領域代表: 高藪 出 気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 部長		
領域課題	サブ課題	サブ課題代表者
(i) 気候変動リスクの評価の基盤となる確率予測情報の創出	a アンサンブル予測技術と予測実験の最適化手法の開発	防災科学技術研究所 主任研究員 大楽 浩司
	b 気候変動予測データの統計学的解析手法の開発	情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授 上野 玄太
	c アンサンブルデータの効率的なダウンスケーリング手法の開発	東京大学大気海洋研究所 准教授 芳村 圭
(ii) 高度利活用(影響評価研究等)を支える標準的気候シナリオの整備	a 予測情報の信頼性・不確実性の定量化手法の開発	筑波大学 生命環境系 教授 植田 宏昭
	b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出	気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 部長 高藪 出
	c 雲解像大気・海洋・波浪結合モデルによる台風強度推定	名古屋大学 地球水循環研究センター 教授 坪木 和久

研究領域 テーマD 研究課題名: 「課題対応型の精密な影響評価」 領域代表: 中北 英一 京都大学防災研究所 副所長・教授		
領域課題	サブ課題	サブ課題代表者
(i) 自然災害に関する気候変動リスク情報の創出	a 気候変動に伴う気象災害リスクの評価	京都大学防災研究所 准教授 竹見 哲也
	b 気候変動に伴う河川流域災害リスクの評価	京都大学大学院工学研究科 教授 立川 康人
	c 気候変動に伴う沿岸災害リスクの評価	京都大学防災研究所 准教授 森 信人
	d 気候変動リスクの社会・経済影響と適応策の評価手法の構築	京都大学防災研究所 教授 多々納 裕一
	e アジアにおける水災害リスク評価と適応策情報の創生	土木研究所 水災害・リスクマネジメント 国際センター 水災害研究 グループ長 鈴木 篤
(ii) 水資源に関する気候変動リスク情報の創出	a 気候変動に伴う水資源に関する社会・経済的影響及びその不確実性の評価研究	京都大学防災研究所 准教授 田中 賢治
	b 水資源・水循環の人為的変化を含めた評価研究	東京大学生産技術研究所 教授 沖 大幹
(iii) 生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出	a 気候変動予測情報を活用した、将来の生態系・生物多様性に関する影響及びその不確実性評価研究	東北大学大学院 生命科学研究所 教授 中静 透
	b 生態系サービス等を通じた社会・経済的影響の評価研究	東北大学大学院 生命科学研究所 教授 中静 透
	c 北東ユーラシア・東南アジア熱帯における気候・生態系相互作用の解明と気候変動に対する生態系影響評価研究	名古屋大学 地球水循環研究センター 准教授 熊谷 朝臣
	d 沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究	北海道大学大学院 地球環境科学研究所 教授 山中 康裕

文部科学省

研究開発局環境エネルギー課

〒100-8959

東京都千代田区霞が関 3-2-2

URL: <http://www.mext.go.jp>

お問い合わせ先

海洋研究開発機構

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25

URL : <http://www.jamstec.go.jp/sousei>

Email : sousei_info@jamstec.go.jp

2015.5

