



気候の未来  
予測への挑戦

2014.Jan

S O U S E I N E W S L E T T E R



創刊号発刊にあたって ①

気候変動リスク情報創生プログラムについて ②

FEATURE01

可能性を秘めた“地球工学”を駆使して、  
地球温暖化に立ち向かう ③

FEATURE02

気候変動に伴う災害を精密に予測し、  
100年先の防災を見通す！ ⑤

SOUSEI NEWS ⑦

SOUSEI  
NEWS  
LETTER

No.1



文部科学省

## 創刊号発刊にあたって

産業活動による地球の温暖化が指摘されてから、すでに四半世紀が過ぎようとしています。これまでの対策というと、二酸化炭素などの温室効果ガスの排出規制や省エネルギーのための議論が中心でした。しかし、削減は遅々として進まず、今や集中豪雨や大型台風、それに伴う洪水などがたびたび起きるようになり、「堤防はどこまで高くすればよいのか」、「家屋や高層ビルはどのくらいの強さの風に耐えるようにすればよいか」といった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、極端な集中豪雨などが起きる確率の予測、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。

折しも、平成25年9月末にはIPCC第5次評価報告書のうち、自然科学的根拠を示した第1作業部会の報告書が公開されました。世界中の科学者の最新の知見を集約したこの報告書には、この創生プログラムに携わる多くの研究者の成果が盛り込まれています。

このニュースレターでは、これから本プログラムを構成する4つのテーマの様々な研究内容、研究チーム等についてご紹介していきます。



プログラムディレクター  
文部科学省技術参与  
国立環境研究所 理事長  
住 明正

## CONTENTS

- 01 創刊号発刊にあたって  
住 明正  
プログラムディレクター
- 02 気候変動リスク情報創生プログラムについて
- 03 可能性を秘めた“地球工学”を駆使して、  
地球温暖化に立ち向かう  
テーマB【取材協力】渡邊真吾、伊藤彰記【海洋研究開発機構】
- 05 気候変動に伴う災害を精密に予測し、  
100年先の防災を見通す！  
テーマD【取材協力】竹見哲也、立川康人、森信人【京都大学】
- 07 SOUSEI NEWS



## 気候変動リスク情報創生プログラムについて

本プログラムは2012年度に始まり、5年間続けられます。具体的な研究は「A.直面する地球環境変動の予測と診断」、「B.安定化目標値設定に資する気候変動予測」、「C.気候変動リスク情報の基盤技術開発」、「D.課題対応型の精密な影響評価」、「E.気候変動研究の推進・連携体制の構築」の5つの研究領域テーマに分かれており、互いが連携するかたちで進められています。

### 入れ子のようなテーマ構成

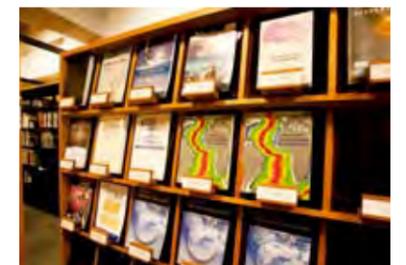
本プログラムにおける研究は、重層的な構造になっています。テーマAは本プログラムの根幹となる基盤モデルそのものの強化・高性能化、テーマBは基盤モデルに物質循環や生物活動などの要素を加えたより詳細な地球システムモデルの開発と気候安定化の目標値の検討、テーマCはより詳細な予測情報の抽出・極端な気象現象について「想定しうるシナリオ」の作成、テーマDは気候変動に伴って変化する自然災害、水資源、生態系・生物多様性に対する影響への適応策に向けたリスク予測や評価の実現を目指します。

### 求められるのは、科学的根拠と確実性

本プログラムに参画する私たちは、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、国民一人ひとりが考えて判断するための根拠となる成果を上げるべく、研究に邁進していきます。

### 創生プログラムの先にあるもの

本プログラムでは、自然災害、水資源、生物多様性、防災、経済などの専門家（テーマD）が、気候モデルの専門家（テーマA-C）と協力して気候変動の影響評価に取り組んでいます。また、国土開発や産業振興の計画立案に対して、気候変動予測が持つ意味がより明確に示されることが期待されます。実際、こうした影響評価を含めた本プログラムの気候変動予測結果は、平成27年度を目途にした政府による適応政策のとりまとめにも活用されることとなるでしょう。さらに、「シナリオイニシアティブ」会合（テーマB担当）では、将来的な社会経済シナリオを検討するにあたって、気候変動予測の有効活用を目指した議論が展開されています。研究者の間ではIPCC第5次評価報告書以後の気候変動予測の国際的枠組みに関する検討についても始まっており、日本からの貢献の多くの部分を創生プログラムの活動が支えることになると考えられます。



# 可能性を秘めた“地球工学”を 駆使して、地球温暖化に立ち向かう

FEATURE 01

地球工学とは、地球温暖化対策として人工的に地球を冷却したり、CO2を大気から除去したりする技術のことで、geoengineering(ジオエンジニアリング)ともいいます。温室効果ガスの排出削減が進まず、気候変動が急激に起きる可能性もある昨今、欧米の研究者の間で注目を浴びており、政策的な関心も高まっています。

地球工学は、太陽放射管理(SRM)と二酸化炭素除去(CDR)の二つに分けられます。SRMは太陽からの入射光を減らすことで地球の温度を下げる手法で、CDRは地球温暖化の原因となるCO2を除去する手法です。今回は、費用対効果の面で最も優れているとされる「成層圏へのエアロゾル※散布」(SRM)と、古くから提案されており、現場での実験データもある「海洋鉄散布」(CDR)の2つの手法に対して、数値シミュレーションを用いてこれらの効果について研究を行っているプロジェクトをそれぞれ紹介します。

※エアロゾル…気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子

## 成層圏へのエアロゾル散布

本プロジェクトでは、上空20~25kmの成層圏に硫酸エアロゾルなどを散布することで、太陽光を反射させて入射エネルギーを減らすタイプのSRMを研究しています。

成層圏へのエアロゾル散布を行うことにより、地球全域で太陽光反射率(アルベド)が上がり、地球の温度が下がることはシミュレーションで既に明らかにされています。大規模な火山噴火があると亜硫酸ガスが成層圏に噴き上げられてエアロゾル層を形成し、日射が反射されて気温が低下するように、物理的な裏づけもあります。しかしSRMによって降水の地理的パターンを変えてしまう、一度始めた後に急に停止すると温度が急激に上昇するリスクがある、などの副作用も懸念されているため、慎重な調査が求められています。

そこで現在進めているのが、全球の気候をシミュレート可能な気候モデルや地球システムモデルを複数使い、まずは数値シミュレーションによってSRMの効果を探る国際的な取り組み「GeoMIP」です。CO2濃度を産業革命前のレベルから瞬時に2100年に相当するレベルまで引き上げたときに起きる温度上昇をSRMによって相殺した場合、どのような反応が現れるかなどをシミュレートしています。

例えば上記の場合、CO2濃度の増加によって生じる温暖化は全地

球的に生じるのに対して、SRMで全地球の日射を一定割合で減らすと、絶対値で見ると元々日射量の多い低緯度地域の日射量は大きく減り、高緯度地域ではあまり減らないことから、全地球平均の地上気温は産業革命前のレベルにキープできるものの、緯度によってSRMの効果の強弱の違いが表れる結果になります。そうして低緯度地域では弱い寒冷化が、高緯度地域には弱い温暖化が起きることが予測されました。

また温暖化が抑えられた世界では、CO2濃度の増加が陸上植物の気孔を閉じさせ蒸発散を抑制することで、大気への水蒸気供給量が減り、全地球レベルで水の循環が弱くなる可能性が高いこともわかりました。さらに、CO2の濃度が上がることで陸上植物の光合成生産が増える効果と、SRMによって土壌の温度上昇が抑えられ有機物の分解が抑制される効果が相まって、陸上生態系(植生+土壌)によるCO2の吸収が増えることが示されています。

## 海洋鉄散布

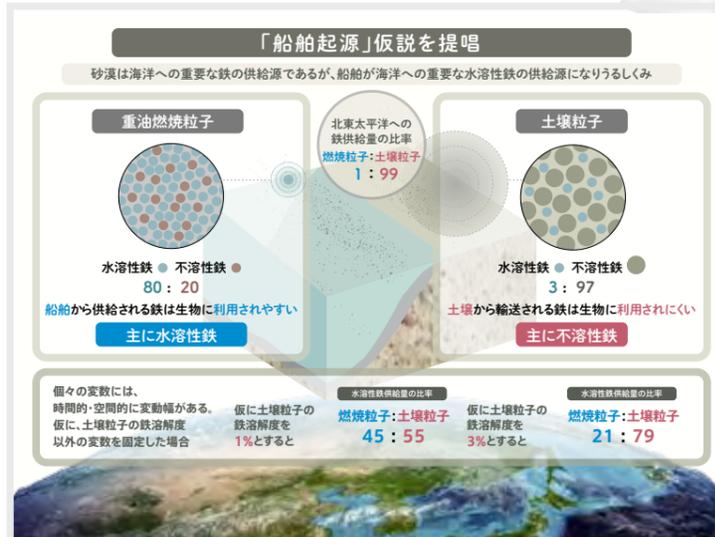
海洋鉄散布は、海に水溶性の鉄をまいて植物プランクトンの光合成を促進させ大気からCO2を取り除く、CDRの一手法です。



テーマB【取材協力】  
渡邊真吾・伊藤彰記【海洋研究開発機構】

FEATURE

01



海水中に溶存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。鉄はエアロゾルによって海洋に供給されていますが、エアロゾル内の鉄がどのくらい生物にとって利用可能な形態に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おり、海洋生態系によるCO2の吸収量を不確かにしてしています。海洋鉄散布による地球環境への影響をより良く理解するには、まず大気を通して海へ供給される水溶性鉄の時間的・空間的な分布をより正確に知る必要があります。

そこで本プロジェクトでは、海洋を航行する船舶が重油を燃焼させる際に発生するエアロゾルに混じって水溶性鉄がどれくらい海洋へ供給されているのかを、世界で初めて算出しました。従来、水溶性鉄はおもに土壌から海洋へ供給されていると考えられており、本プロジェクトはそこに新たな知見を加えるものです。同時に、乾燥地の土壌中にある鉄が強風で巻き上げられ、鉱物エアロゾルとなって大気中を循環する期間に、水溶性鉄へ変性する過程を数値モデル化して、エアロゾル中の鉄の溶解度を予測しました。

その結果、船舶から供給される鉄の量は極めて少ないのですが、エアロゾル中の鉄溶解度は高く、海洋への重要な水溶性鉄供給源になりうるということがわかりました。さらに、陸上で化石燃料が使用され、燃焼してできる粒子はその大部分がエアロゾルの発生源付近で大気中から除去されてしまうので、遠洋への水溶性鉄供給量に対する寄与は小さくなるのが判明しました。また、乾燥した土壌から大気中へ巻き上げられる鉄は、海洋への沈着時に溶解度が低く保たれていることが示唆されました。今後、船舶から排出される物質が海洋生態系へどんな影響をもたらすかを調べる際には、鉄も含めた様々な物質の好影響・悪影響を考える必要があります。

また、今後地球温暖化が進むと、深海から表層への栄養塩の供給量が減ると予測されます。大気を通して海へ供給される物質の影響を理解することは、海洋生態系を守るために必要な栄養塩の量を知ることにもつながるのです。

## 正負両面の可能性の追究が、世界の明日を切り拓く!

地球工学は大きな可能性を秘めている一方、効果や副作用に大きな不確実性があります。また、地球工学を一国が行うと地球全体の気候に影響がでるため、研究を進める上では国際的な枠組みを欧米だけでなく日本も積極的に参加して整備する必要があります。人工的に気温を下げることで環境が改善される地域もあれば、不利益を被る地域が出てくる可能性もあるのです。しかし研究を続けることで、より多くの地域や人々を幸せにする技術革新が生まれる可能性があります。地球工学は難しい課題も孕んでいますが、将来の危機に対して、人類がとれる選択の幅を拡げ、よりよい暮らしの可能性を追究するためにも、取り組んでいかなければならない学問なのです。

参考文献 1. Ito, A. (2013) Global modeling study of potentially bioavailable iron input from shipboard aerosol sources to the ocean, Global Biogeochemical Cycles, 27, 1-10, doi:10.1029/2012GB004378.

## 社会に役立つ成果や今後の展開

- GeoMIPでは、成層圏へのエアロゾル散布シミュレーションに引き続いて、海水を海面から数十~数百m程度の上空に噴き上げて下層雲の形成を促し、アルベドを上げる試みについてもシミュレーション研究を進めています。これは内陸地域の気温を下げる効果は低いものの、成層圏へのエアロゾル散布等、他の手法と組み合わせることによって、地球温暖化を緩和できることが期待されています。
- 「船舶起源」仮説は、海洋鉄散布に新たな視点を提供するものとして注目を集めています。今後はさらに研究を進め、鉄を撒くという手法自体の是非も含めて可能性を探っていきます。
- 現在提案されている地球工学の手法では、各地域の気温や降水量をそれぞれピンポイントで調節することは難しいとされています。ですがシミュレーション研究を進める一方で、新しい発想に基づく手法や技術が開発されれば、温暖化によって恩恵を受けた地域の気温は保ちつつ、北極・南極圏の気温は下げて海水や氷床が融けるのを防ぐ、というような対応も実現できる可能性があります。

## RESEARCHER RESEARCHER 研究者紹介

河宮 未知生 Michio Kawamiya

テーマB 領域代表  
海洋研究開発機構 地球環境変動領域 プロジェクトマネージャー

「将来の不確定な気候」を想定して気候工学を追う

将来の不確定な気候に対して多くの選択肢を用意するために、現在、気候工学について色々な研究が行われています。テーマBではジオエンジニアリングの実現性検証などこれまであまり研究されてこなかった課題にも挑戦します。



伊藤 彰記

参考文献



# 気候変動に伴う災害を 精密に予測し、100年先 の防災を見通す!

## FEATURE 02



近年、大型台風やゲリラ豪雨、それに伴う河川の氾濫などの極端な気象現象が増えつつあり、深刻な問題となっています。2013年9月に発生した台風18号や、10月に伊豆大島を襲った26号、フィリピンの超大型台風などは記憶に新しいところです。これらの災害は地球温暖化によってさらに激化する可能性があり、適応策の立案が急がれています。

私たちテーマDでは、気候変動に伴って変化する自然災害、水資源、生態系・生物多様性への影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測・影響評価の実現をめざしています。前身の「21世紀気候変動予測革新プログラム」の成果をベースに、自然災害の増加と温暖化の関係を科学的に示し、どこまで深刻化するかを100年先まで見通すことを目標としています。

今回はテーマD内の課題のひとつ「自然災害に関する気候変動リスク情報の創出」の中から、3つのサブ課題にかかわる研究チームを紹介します。こちらでは、予想される中で最も災害が大きくなる“最大クラスシナリオ”の想定にも挑んでいます。

### 気候変動に伴う気象災害リスクの評価

本研究チームでは、台風の経路が変わったときに、風水害の程度がどう変わるかをシミュレーションしています。併せて風雨を定量的に調査し、その影響を評価するためのツールを開発しました。

具体的には、1979年に淀川流域圏を襲った台風16号や、伊勢湾台風\*の経路がもし違ったら被害はどうなっていたか、などを研究しています。台風16号では、上陸せずにもう少し南よりを通っていた場合、雨量が1.5倍にまで拡大することがわかりました。2013年9月に起きた台風18号はそれに近い経路を通っており、まさに“最大クラスシナリオ”を彷彿させる台風でした。この台風18号についても、前述の2つの台風とともにさらなる調査を進めているところです。

今後、台風は温暖化の影響でさらに強くなる可能性があることもわかっています。本研究の成果発信を通して、今後最大クラスの台風が起こりうるというイメージを一般の方にも持っていただくと、防災や個人々の危機意識の向上に役立つのではと考えています。

※伊勢湾台風…1959年9月26日に上陸した、戦後最大の被害をもたらした台風。  
上陸時の最低気圧は929.5hPa、最大瞬間風速は各地で40m/秒、犠牲者は約5000人、負傷者は4万人近くにもなった。

### 気候変動に伴う河川流域の災害リスクの評価

温暖化によって、河川の水かさかどう増減していくのかの研究に取り組んでいます。上流から下流までの流量の変化の予測と、河川の流量が大きく変化したときに氾濫がどう変わるかという2つを主なテーマとしており、特に氾濫が都市域で起きた場合の被害予測に力を入れています。

この研究チームのポイントは、「気象災害リスクの評価」チームがシミュレーションした台風経路のデータを活用して、洪水量や水かさかどう変わるかを調べるところにあります。他チームとの連携により、創生プログラム独自の成果が生み出せると期待されています。



竹見 哲也

FEATURE

# 02

テーマD【取材協力】  
竹見哲也・立川康人・森信人  
【京都大学】



## RESEARCHER RESEARCHER 研究者紹介

中北 英一 Eiichi Nakakita

テーマD 領域代表  
京都大学防災研究所 教授

思いを共有し、社会に貢献する成果を創出する。

自然ハザード、水資源、生態系から社会適応策分析まで幅広いテーマに挑むテーマDは、チームごとに役割分担され、それぞれが多様な分野のデータを縦横に組み合わせます。多くの研究者が積極的に楽しく活動できる場をつくり、独自性のある発展的な研究に取り組みます。



立川 康人



森 信人

す。また、西日本など広い範囲での河川流出の予測や、東京湾・大阪湾・伊勢湾などの湾域での氾濫シミュレーションなど、今までにない取り組みも行う予定です。

河川の氾濫が予測できれば、堤防などのインフラを整備したり、インフラでは防ぎきれないことがわかれば事前に避難をしたり、また避難先の安全性を検討したりと、対応策を考えられるようになります。最終的には、研究成果をもとに台風および氾濫による被害額を算出できれば、わかりやすい形で社会に成果を発信することができます。

### 気候変動に伴う沿岸災害の災害リスクの評価

日本の海岸に押し寄せる高潮・高波\*のなかで一番大きな値が防災上のターゲットして扱われるため、これらに対する防波堤や砂浜などの影響評価の研究を行っています。100年先まで有効な防御ラインを構想する上で、温暖化の影響もふまえた海面状態の変化予測を行っています。

地球シミュレータ等によるシミュレーションの結果、今後、太平洋側では温暖化により嵐の数が減りますが、より大きな規模の嵐が発生する可能性があるという予測が得られました。さらに本領域では、世界で初めて波の高さが今後どう変わるかという予測にも取り組み、将来はシベリア寒気団の影響で日本海側の波が5% (15cm) 高くなり、太平洋側では台風が少なくなる影響で5%低くなるという説を発表しました。

今後は、高潮・高波の要因と結果の分析や、それらがどれくらいの頻度で起こるかをさらに研究していきます。また、大阪湾・伊勢湾・東京湾の大都市圏を中心に高潮の発生リスクを調べる準備もしているほか、波の増減により砂浜がどう増減するのかという関係についても調査中です。

※高潮・高波…高潮は台風や低気圧によって海面が異常に高まり、海水が陸上へ浸入する現象。津波に比べ侵入スピードは遅いが、水が引くのも遅い。高波は、海面上で強風が吹くことによって大きな波が発生する現象。

## 社会に役立つ成果や今後の展開

- 1 台風経路のシミュレーション技術をさらに高めることにより、将来的には“この地域ではこれだけの雨量が予想され、台風の経路が少しずれると雨量はこれだけ変わります”などの、より詳細な気象予報に役立つ可能性があります。
- 2 3.11以降、人々の危機意識が変わり、最大クラスシナリオも机上の予想ではなく“実際に起きる可能性がある”という考え方にシフトしてきています。これからは防災に関する新しい考え方の創出が必要とされており、最大クラスシナリオの設定は非常に重要になってきます。
- 3 今後は自然災害の予測だけでなく、生態系を調査するグループとも協力して、台風が生態系にどのような影響をもたらすのかを評価する計画にも着手していく予定です。



人×人の化学反応が、  
災害と温暖化への適応策を生む力となる！

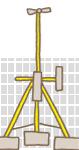
テーマDは“社会への出口”であり、さまざまな研究者が培ってきた観測データ・実験結果を受けて災害のリスク予測や評価を行い、国の防災策や国土計画に生かすことをめざしています。

大人数で研究を進めるにあたって、お互いの認識の差を埋めたりする苦労もありますが、人と協力して物事を進めていく楽しさを味わえています。例えば気象データのみを扱っていると“それが社会にどのような影響を与えるのか”まで想像しにくいですが、本プロジェクトでは気象データが河川の氾濫や沿岸災害の被害予測に活かされており、気象の情報が防災や生活に関わる身近な情報に翻訳されていくのが面白いところです。研究はやり



がいがあり、使命感を持っていきいきと取り組んでいます。

2013年に起きたいくつかの大きな災害を受けて、気象予測や洪水予測など、普段の予測の精度を上げていくことが、温暖化自体への適応にもつながるのだと強く再認識しました。今後もこれらの研究を進めることで、防災と温暖化への対応、どちらにも貢献できると考えています。



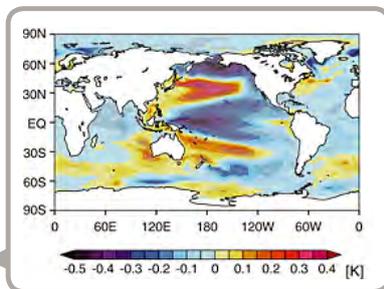
SOUSEI NEWS ニュース



□ テーマ A

近年の地球温暖化の停滞は海洋熱吸収の増大によるものか

21世紀にはいつ地球全体の地上平均気温の上昇傾向が鈍っており、地球温暖化のhiatus(停滞)と呼ばれています。観測データを簡単な理論モデルにあてはめることによって、2000年以降のhiatusにともない、約700mを超える深い層では熱の取り込み(熱吸収)が強まっていることを明らかにしました。さらに、最新の全球気候モデル群による気候変化シミュレーションの解析から、少なくとも部分的にはhiatusが気候システムの内部変動である可能性が高いことがわかりました。



□ テーマ C

ダウンスケーリングの国際ワークショップ

ダウンスケーリングの新しい技術、様々な気候区分への適用可能性とエンドユーザーによる利用可能性について議論する国際ワークショップを筑波国際会議場で10月に開催しました。アジア諸国、オセアニア各国、カナダ、ドイツ等からおよそ20名の研究者が来日、創生課題をはじめとした国内の研究者も含めて全体では80名程が参加しました。会合ではアジア・オセアニア諸国で行われている様々なダウンスケーリング研究の結果が紹介され、実験をいかに効率よく実施するか、エンドユーザーへの情報の橋渡しをどのように行っていけば良いか等について活発な議論を行いました。



□ テーマ B

会議報告：世界気候研究計画作業部会(WCRP-WGCM)

10月にカナダで開催されたWCRPの作業部会WGCMの会合に参加し、第6次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)の実験デザインについて議論を行いました(参加者20数名)。1日目は各モデル開発グループからの報告と討論、2日目は関連MIPのとりまとめ役やデータ配信システムESGからの報告と討論、3日目はIGBPのコアプロジェクト(AIMES)運営委員会との合同会合が行われました。関連MIPとの連携に関する提案と議論が行われ、CMIPのこれまでと今後に関するレビュー論文の特集を組むことなども検討されました。また、物質循環/古気候/陸面過程といったWGCMとAIMESが共通して取り組むべき課題や両者の連携強化が確認されました。

会場となったホテル近辺の風景  
撮影：高橋 潔



□ テーマ D

テーマDでは活発な研究会を行っています。

自然災害、水資源、生態系の分野で精密な影響評価を目標としているテーマDでは、様々な分野での影響評価を融合的に行うために活発な研究会を行っています。本プログラムのスタート直後の平成24年10月に2日間で開催されたテーマC&D共同キックオフ研究会を始めとして、テーマDでは毎年2回の全体研究会を行っています。平成25年の第一回研究会は7月17日に開催され、第2回目は12月26日に開催されました。また、各分野を横断する共通のテーマ(最大クラスシナリオ、複合氾濫、バイアス補正など)に関する勉強会を開いて議論を発展させることで、各分野での精密な影響評価を組織的に、かつ効率良く進めています。約150名の研究メンバーが生き生きしながら進めているテーマDからの精密な影響評価研究成果を期待してください。

