

# 国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.41

No.2

令和4年(2022)6月



大規模な地球システム変化の一つとして全球規模での永久凍土の融解についても研究対象としている。  
写真は大雪山の景色。北海道中央部に位置し、年間を通して気温が低いため、永久凍土が存在する。(撮影:横島徳太)

## 特集 | 脱炭素社会に向けて大きく舵を切った世界

脱炭素・持続社会研究プログラム、始動 | 2

地球規模の脱炭素と持続可能性の同時達成に向けて(脱炭素・持続社会プロジェクト1の取り組み) | 3

気候変動対策による共便益効果 一水銀排出削減と水俣条約への貢献一 | 6

地球規模の気候影響予測 | 9

国立環境研究所「夏の大公開」 | 11

## 脱炭素・持続社会研究プログラム、始動

増井利彦

2021年4月から、脱炭素・持続可能社会研究プログラムが始まり、早くも1年が経過しました。

2020年10月に菅義偉首相（当時）が「2050年までに日本は脱炭素社会を実現する」と宣言してから、日本においても脱炭素社会の実現に向けた機運が大きく高まりました。2021年10月には新しい地球温暖化対策計画やエネルギー基本計画が閣議決定され、NDC（国が決定する貢献）と呼ばれる2030年の排出削減目標や2050年を対象とした長期戦略も脱炭素社会の実現に向けたものに更新され、国連に提出されました。これまでもより高い排出削減目標が議論されたことはあるのですが、今回は、企業や自治体などの動きが、これまでと大きく異なり、より積極的なのが特徴です。また、国内だけでなく、アジア各国をはじめとした発展途上国の多くも温室効果ガス排出量の実質ゼロを宣言するようになっていきました。パリ協定と同じ2015年に示されたSDGs（持続可能な開発目標）も大きく影響していると思いますが、今年4月に報告されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第3作業部会の第6次評価報告書でも、脱炭素社会と持続可能な社会が関連付けて示されています。

このように、ゴールは広く共有されているのですが、どのように実現するかという道筋は残念ながらまだ明確ではありません。上記のような脱炭素社会の実現という新しい動きに対して、科学的な知見を示すことを目的として、この脱炭素・持続社会研究プログラムは活動しています。また、本プログラムとともに、気候変動・大気質研究プログラム、持続可能地域共創研究プログラム、気候変動適応研究プログラムという4つの気候問題に関するプログラムが気候危機対応研究イニシアティブという枠組みのもとで、相互に連携して脱炭素社会の実現に向けて研究を進めています。

本プログラムは、地球全体の観点から脱炭素社会の実現やプラネタリー・バウンダリーを明らかにするプロジェクト1、日本やアジアの国を対象に脱炭素社会の実現に向けたロードマップを明らかにするプロジェクト2、世代間衡平性に着目したプロジェクト3、の3つのプロジェクトで構成されています。

プロジェクト1と2は、これまで国立環境研究所が中心となって開発してきた統合評価モデルであるAIM（アジア太平洋統合評価モデル）をはじめとしたモデルを活用して定量的な分析を行うのに対して、プロジェクト3では制度構築など定性的な分析を行います。今回の国環研ニュースでは、これらの3つのプロジェクトのうち、地球規模の課題を対象としたプロジェクト1での取り組みや成果を紹介しています。

従来の「低」炭素社会の実現では、省エネや再エネなど既の実現されている技術や取り組みをいかに普及させるかが鍵でした。これに対して、新たな「脱」炭素社会の実現にはそうした従来の取り組みに加えて、バイオマスと炭素隔離貯留を組み合わせることで大気中の炭素の除去を実現するような新しい技術の実現と普及が追加が必要となり、さらにはライフスタイルを含めて我々の社会そのものを脱炭素型に移行させる必要があるなど、大胆な転換が必要です。世界が協調して取り組むべき課題ではありますが、貧富の格差の拡大に代表される社会の分断やロシアによるウクライナへの侵攻、更には新型コロナウイルス感染症の問題など、気候変動以外にも解決すべき問題が数多くあります。日本については、こうした課題に加えて人口減少や少子高齢化などの課題も加わってきます。一人一人ができることは限られていますが、全員が継続して取り組まないと解決できず、そのためには、すべての主体が常に持続可能性や脱炭素を意識して行動することが重要になります。単なる理想論ではなく、具体的にどのように取り組めばいいのかという「自分ごと」として実感できるように、研究成果を皆様に提供していきたいと思っています。

（ますい としひこ、社会システム領域 領域長）

執筆者プロフィール：

研究室の引っ越し作業で、大学時代のゼミでの発表資料が出てきました。現在指導している学生に偉そうなことは言えないと痛感するとともに、30年前の初々しい気持ちを思い出しました。



## 【研究プログラムの紹介】

地球規模の脱炭素と持続可能性の同時達成に向けて  
(脱炭素・持続社会プロジェクト1の取り組み)

高 橋 潔

2015年12月の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)において「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑える努力を追求する。」との長期の気候目標を含むパリ協定が採択されてから6年半が経過しました。その間に「気候影響の回避の観点から見て2°C以下抑制が良いのか、それともやはり1.5°C以下抑制が必要なのか?」「1.5°C以下抑制を目指すとして、そこに至る具体的な削減経路、またその費用はどのようなものになるのか?」といった政策決定者側からの追加的な問いかけに対して、研究者側からの応答として気候変動に関する政府間パネル1.5°C特別報告書(IPCC-SR15)が2018年に承認・公表され、「1.5°Cの地球温暖化における自然及び人間システムに対する気候に関連するリスクは、現在よりも高く、2°Cの地球温暖化におけるものよりも低い(確信度が高い)。これらのリスクは、昇温の程度及び速度、地理的な位置、開発及び脆弱性のレベル、並びに適応及び緩和の選択肢の選定と実施に依拠する(確信度が高い)」との結論が示されました。2021年11月のCOP26でのグラスゴー合意の1.5°C目標の追求の確認、あるいは日本を含む世界の多くの国々における脱炭素社会実現に向けた目標の表明は、IPCC-SR15の結論を反映したものとと言えます。また、2023年にはパリ協定で定められた第1回グローバルストックテイク(パリ協定の目的や長期目標と比較した国際社会全体の温暖化対策の進捗について、各国での温暖化対策や支援の状況、IPCC報告書等の情報を基に5年ごとに評価する制度)が予定されており、そこでは短期の取り組み状況と長期目標との整合性の確認が行われることになっています。

このように、「1.5°C目標の追求」「2050年近辺の脱炭素社会構築(温室効果ガスの正味排出をゼロにして温暖化傾向を停止)」について、世界も、また日本も、ここ数年の間に大きく舵を切り一步を踏み出しました。すなわち、1.5°C目標・脱炭素は本当に必要

か、それに向けて何をしないとならないかと検討・議論するフェイズから、計画の実践とその検証のフェイズに国内外の状況が移行してきたといえます。一方で、当初の検討・計画内容の実現への困難性(例:バイオエネルギー生産と食料生産の間の土地競合)が様々に指摘され、あるいは挑戦的な目標の実現に向けた追加的工夫(例:生活様式の転換によるエネルギー需要の軽減)への注目が高まる中で、脱炭素に向けた大規模な緩和策と自然・人間システムの持続可能性との相互関係への注目が高まっています。当初の議論の枠組みでは、「化石燃料依存が続き温室効果ガスを排出し続けると気候が変化しその自然システムや人間システムへの影響が甚大になる。適応により影響を軽減できる余地を見込みつつ、どの程度までGHG排出を続けると許容できない水準の気候変化が生じるのか。その状況を回避するためにはいつ頃までにどの程度のGHG排出が可能なのか?」ということが国際交渉や政策決定者側から科学への主たる問いでした。それに加えて「脱炭素社会実現に向けて検討・計画された排出削減の取り組みは大きな社会転換を要するものになることが分かってきたが、その社会転換自体が自然・人間システムに及ぼす好影響・悪影響にはどのようなものがあるのか。それらの影響に対する追加的な対策・対応として何が必要か。」といった形で問いが高度化してきた、とも言えます。

以上のような背景を踏まえ、脱炭素・持続社会研究プログラム(2021~2025年)では、プロジェクト1「地球規模の脱炭素と持続可能性の同時達成に関する研究」として、サブ課題1「短中期の気候緩和策と持続可能性」、サブ課題2「長期の気候緩和策と持続可能性」、サブ課題3「長期の地球—人間システムの持続可能性」の陣容で本課題に取り組むこととなりました(図1)。

サブ課題1では、世界技術選択モデルを核とした緩和策評価モデルを改良・応用してパリ協定実現に

特集 脱炭素社会に向けて大きく舵を切った世界

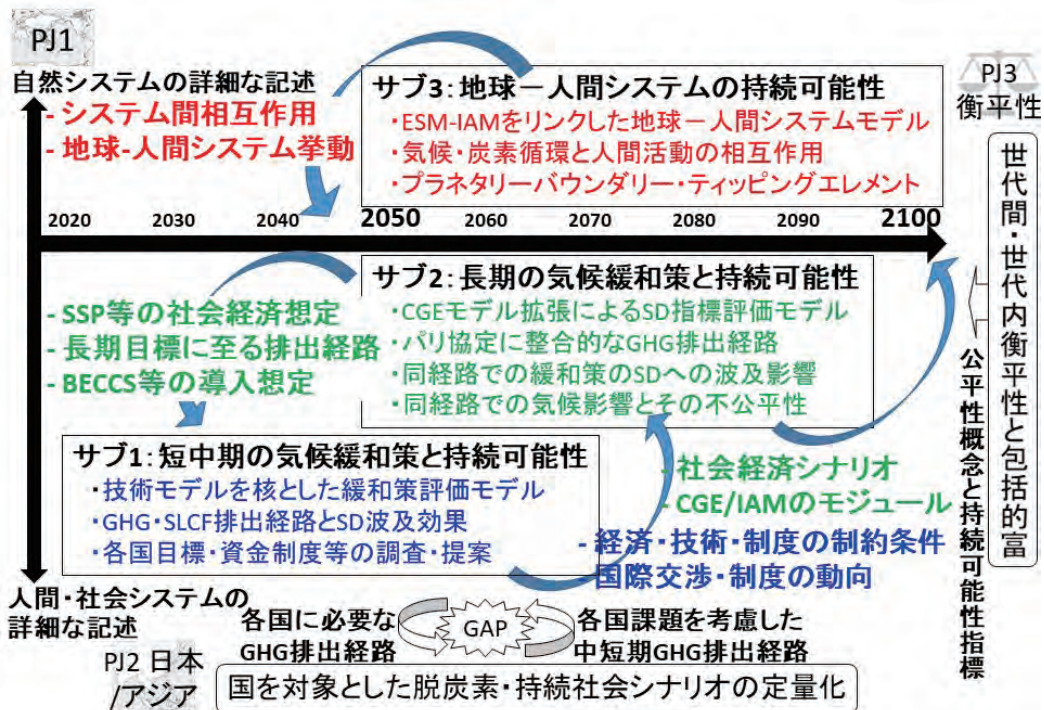


図1 脱炭素・持続社プロジェクト1「地球規模の脱炭素と持続可能性の同時達成に関する研究」

向けた温室効果ガス・短寿命気候強制因子（SLCFs）排出経路（排出量の経時的推移）と持続可能性への波及効果を示すとともに、パリ協定下の各国目標進捗・国際制度・資金供給等の調査・提案を行い、短中期（～2050年）の気候緩和策と持続可能性について検討しています。具体的には、SLCFsの削減対策を網羅的に評価し、早期大幅削減シナリオ評価を検討するための世界モデル群（世界技術選択モデル、世界再生可能エネルギーモデル、世界運輸モデル等）の拡充・拡張、SLCFsの主要排出源である農業部門や産業プロセス部門の非エネルギー消費由来のSLCFs排出削減対策技術の拡充などに取り組んでいます。2021年度には、世界技術選択モデルを用いて2013年に合意された「水銀に関する水俣条約」の有効性評価に資する定量的な知見を得るために、水銀排出削減シナリオ分析を実施しました。その結果、2℃目標相当の気候変動対策を取ったときに、共便益効果として水銀も大きく排出削減されることが分かりました。（研究ノート「気候変動対策による共便益効果」）

サブ課題2では、世界応用一般均衡モデルを核とした持続可能性指標評価モデルを改良・応用して、パリ協定に整合的で多様なGHG排出経路、持続可

能性への波及効果、気候影響と不公平性を描出し、長期（～2100年）の気候緩和策と持続可能性について検討しています。このうち気候影響と不公平性の描出に関しては、気候影響予測の手法を高度化したうえで、多様な将来の排出経路下での気候影響の包括的評価に取り組んでいます。（関連：環境問題基礎知識「地球規模の気候影響予測」）例えば2021年度には、世代間衡平性と地域間公平性の観点からの新たな評価の視座ならびに気候リスクの伝達方法を提案するため、最新の気候予測情報を取得・解析し、祖父母世代が遭遇しない暑い日および強い雨（1960～2040年で最大の日最高気温および日降水量を超えるもの）をその孫世代が生涯（2020～2100年）で遭遇する回数について推計し、排出シナリオ別・地域別にその比較を行うとともに、さらに、現状の1人当たりGDPや1人当たりCO<sub>2</sub>排出量と異常気象遭遇回数の対比を行いました。緩和がうまく進まない排出経路（SSP5-8.5: 図2では赤色で表記）で予測される気候変化条件下において、熱帯の一部地域では、祖父母世代が生涯に遭遇しないような暑い日を1000回以上、強い雨の日を5回以上、それぞれ遭遇することが示されました。また、SSP5-8.5下で高温・大雨をより多く遭遇する傾向は、特に現状の一人当

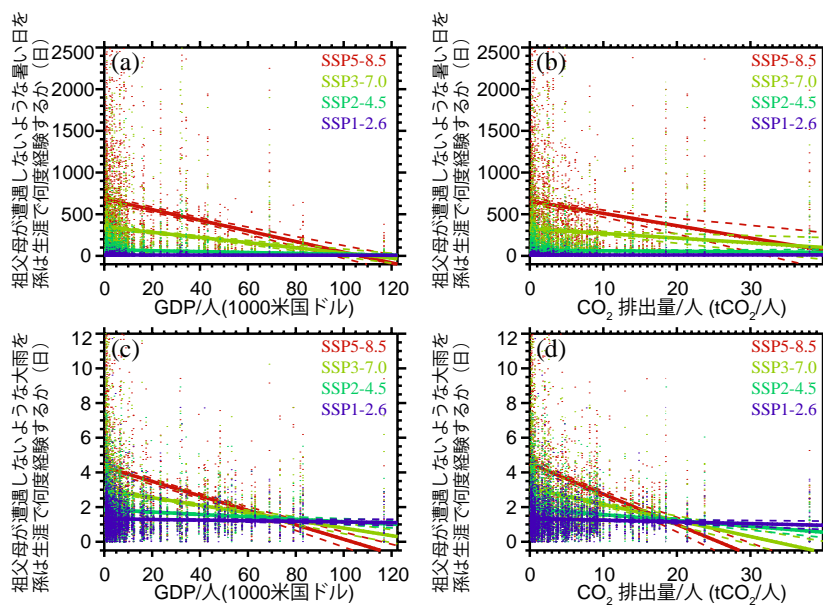


図2 祖父母が遭遇しない暑い日と大雨を孫が生涯で遭遇する日数

縦軸は祖父母が遭遇しない暑い日（上図）と大雨（下図）を孫が生涯で遭遇する日数を各国で平均したもの。左図横軸は一人当たり GDP（2010-2018: 世銀推計）、右図横軸は一人当たり CO<sub>2</sub> 排出（2018年:GCP）。点は各国の平均値で、実線は回帰直線、破線は回帰直線の95%信頼区間。

たり収入や一人当たり CO<sub>2</sub> 排出量が小さな国々でよく見られ、気候影響への適応力の不足の点からも、あるいはこれまでの気候変化への寄与・責任の小ささの点からも、高温・大雨に曝される気候影響が不公平性をより強化するものであることが示されました。一方で、仮にパリ協定の2℃目標に整合的な排出経路（SSP1-2.6: 図2では紫色で表記）を実現できた場合、この地域間不公平性の強化についても軽減可能であることが示されました（図2）。

サブ課題3では、地球システムモデルと統合評価モデルをリンクした地球-人間システムモデルを開発し、気候・炭素循環と人間活動の相互作用、ならびにプラネタリーバウンダリー（人間が安全に活動できる地球システムの限界）やティッピングエレメント（気候変動の進行がある臨界点を過ぎた場合に生じる不連続なシステム変化の要素）などに関連する事象について将来予測を実施し、今世紀末以降も視野に入れた超長期の地球-人間システムの持続可能性について検討しています。同課題では、将来の気温上昇がいったん気温目標を超えてから気候安定化を達成する「オーバーシュートシナリオ」における炭素循環の分析も併せて実施しています。

2022年2月と4月にはIPCC第6次評価報告書の

うち、気候影響と適応を扱う第2作業部会報告書、緩和策を扱う第3作業部会報告書の公表がありました。いずれの作業部会報告書でも、気候影響と持続可能な開発、緩和策と持続可能な開発について、その相互関係を論ずる研究知見が評価されるとともに、気候問題とそれ以外の自然・社会の問題を小分けにせず整合性をとった包括的な対策を検討・実施することの重要性、その際の大規模な社会転換の必要性が強調されています。広範な学術領域の融合が前提の挑戦的な課題ですが、そこを突破できなければ世界的な目標の実現は望めないことから、本研究課題を土台に複数課題の同時解決策の提案に取り組みます。

（たかはし きよし、社会システム領域 副領域長）

執筆者プロフィール：

これまで執筆担当するたび、「新たに始めたこと」を報告してきました（クロール、サッカー審判、落語の勉強、肌のお手入れ…。ネタ切れ気味ですが、今回は「KLASK（ゲーム）」をあげてみます。ここ2年、息子相手にほぼ毎晩戦いを挑み、ほぼ毎回負けています。



【研究ノート】

## 気候変動対策による共便益効果 —水銀排出削減と水俣条約への貢献—

花岡達也

### はじめに

私たちが経済活動する上で、鉱物資源や化石燃料資源などの様々な資源の利用は欠かせません。しかし、十分に環境保全への対処をしないまま経済活動を続けると、資源利用に伴って大気汚染、水質汚濁、土壌汚染などの様々な環境問題が生じます。例えば、化石燃料の燃焼に伴って大気汚染物質である硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、ブラックカーボン(BC)や、温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などが排出されますが、これらの課題は長距離越境大気汚染条約や気候変動枠組条約などで国際的に議論されてきました。このほか、国際的に近年注目されている環境問題として水銀汚染があり、国際条約として「水銀に関する水俣条約」が新たに発効されました。この水銀汚染問題は、気候変動や大気汚染の問題と一見関連がないように思えますが、実は排出削減対策の観点でつながりがあります。そこで、我々の研究チームでは、気候変動対策に伴って水銀排出へどのような影響があるのか、水銀排出量はどの程度削減可能なのか、といった気候変動対策の共便益効果を分析する研究を進めています。

### 水銀排出・放出の発生源と気候変動対策との関係

大気汚染、水質汚濁、土壌汚染などの環境問題が世界各国で生じていますが、国際的な環境問題の一つとして水銀による汚染があります。資源利用の過程で、水銀の大気排出、川や海への放出、およびそれらの自然環境中の蓄積が、自然環境および人間の健康へ様々な被害をもたらしてきました。例えば1950年代の日本における水俣病、1970年代のイラクでの水銀中毒禍、また近年では小規模な金の採掘・製錬(ASGM: Artisanal Small-Scale Gold Mining)に伴う南米・アフリカ諸国等における水銀汚染が深刻化しています。このような世界各国における水銀汚染の顕在化を背景に、人為起源の水銀の排出・放出および海洋や土壌への水銀蓄積に関する問題に対して

国際的な関心が集まり、2017年に水銀に関する水俣条約が発効されました。水銀に関する代表的な報告書として、国連環境計画による水銀に関する評価報告書(2019)があります。この報告書では、2015年における世界221カ国の発電部門、産業部門、家庭部門、運輸部門など複数部門からの水銀排出量がまとめられています。また、地域別・部門別・エネルギー種別に異なる水銀排出係数(補足: エネルギーを1単位消費する際に、どれだけ水銀を排出するかを示す数値)や、国別・部門別に異なる水銀除去対策の普及状況など、排出および対策に関する情報がまとめられています。この報告書によると、水銀排出・放出の主要な人為起源の発生源は、金採掘、化石燃料の燃焼および産業プロセスであることが示されています。そこで対策としては、製品の脱水銀化、製造プロセスの転換による水銀削減、および水銀の大気排出や川や水への放出時における水銀除去技術の適用などを促進していく必要があります。

気候変動も経済成長に伴って国際的に大きな注目を集めている環境問題です。気候変動および気候変動リスクに伴う経済影響を回避するために、2015年に気候変動枠組条約パリ協定において「産業革命前と比較して、世界の平均気温上昇を2℃未満に抑える(いわゆる“2℃目標”)とともに1.5℃に抑える(いわゆる“1.5℃目標”)努力を追求する」ことが合意されました。2℃目標の実現には、今世紀後半には温室効果ガス(GHGs: Greenhouse gases)の排出量を正味ゼロにする必要があります。特にCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減する必要があります。また2021年に開催された気候変動枠組条約第26回締約国会議では、1.5℃目標の実現に向かって努力を追求するために、気候変動枠組条約の締約国における排出削減目標を引き上げるためのメカニズムや石炭火力発電の段階的な削減などが議論され、グラスゴー気候合意が定められました。この1.5℃目標の実現には、2050年頃までに正味CO<sub>2</sub>排出量をゼロ(いわゆるカーボン・ニュー

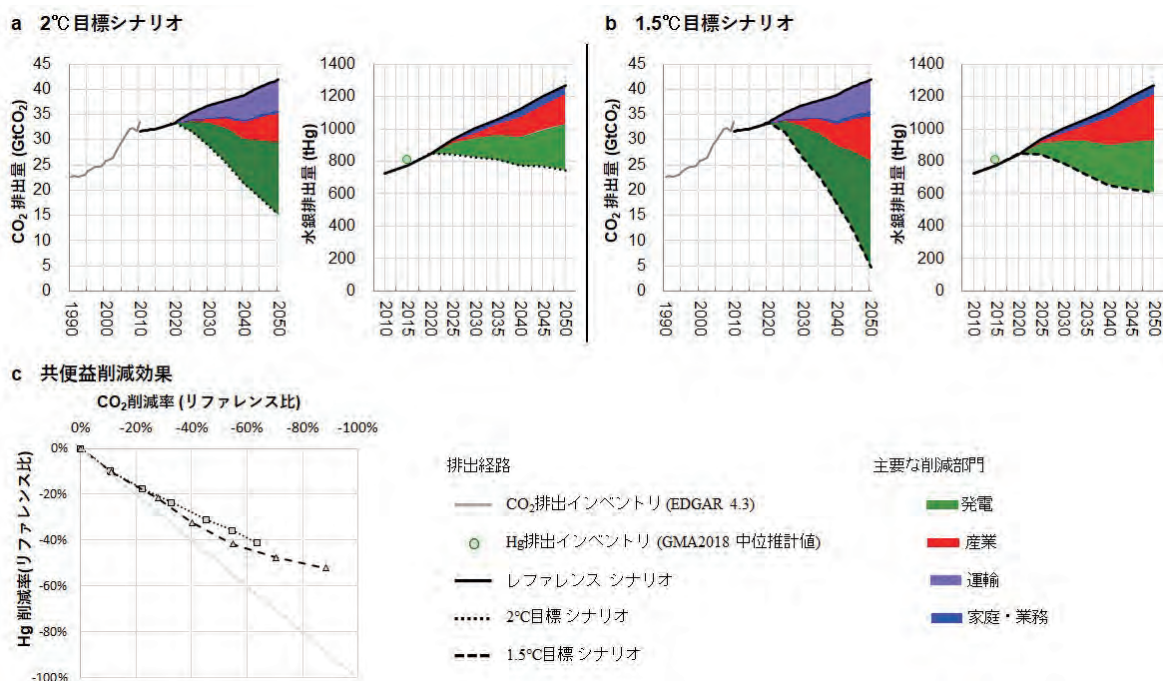


図1 世界のCO<sub>2</sub>および水銀の排出経路の分析例

トラル) にする必要があり、2°C目標よりもさらにCO<sub>2</sub>の大幅削減が急務となっています。

ここで注目すべき重要な点は、化石燃料の燃焼および産業プロセスは、人為起源CO<sub>2</sub>や大気汚染物質の主な排出源であるだけでなく、水銀の主な排出源でもある点です。特に、途上国では過去数十年の経済成長に伴い、CO<sub>2</sub>や大気汚染物質だけでなく、化石燃料の燃焼および産業プロセスに由来する水銀の排出量も大幅に増えてきました。途上国では、これらの深刻な環境問題に直面しているため、環境保全に向けた規制の強化や対策の普及が急務とされています。

#### 気候変動対策による水銀削減の共便益効果は？

上述の背景を踏まえて、化石燃料の燃焼および産業プロセスに由来する人為起源のCO<sub>2</sub>ならびに水銀の排出に注目し、世界多地域多部門の技術積み上げ型モデル(AIM/Enduse)を用いて排出削減対策とその効果について分析しました。このとき、水銀排出量推計の不確実性に影響を与える要因として、主要な排出源における水銀の排出係数の設定方法が重要なポイントになります。そこで、国連環境計画による水銀に関する評価報告書(2019)に記載されている水銀排出係数および水銀除去対策の普及レベルの

情報を元に、エネルギー・資源別、部門別、国別の排出係数を設定しました。将来シナリオについては、気候変動対策によるCO<sub>2</sub>排出削減と同時に期待される水銀排出削減効果を分析するために、3つのシナリオ分析を実施しました。まず、レファレンスシナリオでは、現状の気候変動対策の傾向がなりゆきで続いていくと想定しました。次に、2°C目標シナリオでは、パリ協定で合意した2°C目標の実現に向けて、世界のCO<sub>2</sub>排出量を2050年までに2010年比で半減するシナリオとしました。最後に、カーボン・ニュートラル目標シナリオでは、グラスゴー気候合意で注目された1.5°C目標に向けて脱炭素対策を強化し、先進国諸国では2050年頃、途上国では2060年頃までにカーボン・ニュートラル(すなわちCO<sub>2</sub>の正味排出量をゼロに近づける)を目指すシナリオとしました。

図1は、2°C目標および1.5°C目標に向けた世界のCO<sub>2</sub>および水銀の排出経路(補足：人間活動に伴う年間排出量の道筋)の結果を示しています。

まず、図1aは2°C目標シナリオの結果を表していますが、発電、産業および運輸部門におけるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルが大きいことが分かります(図1aの左図)。特に発電部門と産業部門は水銀の主要な排出源でもあるため、2°C目標の実現に向けて気候変動対

特集 脱炭素社会に向けて大きく舵を切った世界

策を導入することによって、その共便益効果として大幅な水銀排出量の削減も期待されます（図 1a の右図）。ただし、世界全体の水銀排出量はレファレンスシナリオにおいて 2050 年には 2010 年比で約 2 倍増加しています。そのため、気候変動対策によって大幅な水銀排出量の共便益削減効果が期待されたとしても、2050 年の水銀排出量は 2010 年と同等レベルにまで削減される程度にとどまります。図 1b は、グラスゴー気候合意で注目された 1.5°C 目標に向けたカーボン・ニュートラルの実現を目指した CO<sub>2</sub> 排出経路とそのときの水銀排出経路を示しています。先進国諸国は 2050 年頃、途上国が 2060 年頃にカーボン・ニュートラルの実現を目指した結果、世界の CO<sub>2</sub> 排出量は 2010 年比で約 85% 削減となっています（図 1b の左図）。しかし、2°C 目標シナリオと比較してさらに脱炭素対策を導入しても、追加的な CO<sub>2</sub> 排出削減量と比べて追加的な水銀排出削減量は小さく、2050 年に 2010 年比 15% 減程度までしか削減されません（図 1b の右図）。そこで、世界全体における共便益削減効果を図 1c に示しています。2025 年頃までは、2°C 目標シナリオとカーボン・ニュートラル目標シナリオで同程度の共便益削減効果が見られていますが（すなわち、図 1c の 45 度線上に近い）、その後、徐々に乖離していき、レファレンスシナリオに対して、2°C 目標シナリオにおける水銀削減率は 40% 程度、カーボン・ニュートラル目標における水銀削減率は 50% 程度までとなります。

水銀は自然環境および人間の健康へ甚大な被害を及ぼすため、理想は“人為起源の水銀ゼロ排出”です。しかし、気候変動対策の共便益として期待される水銀削減効果は、ある一定レベルで下げ止まりとなることが分かりました。そこで、水銀のさらなる大幅削減を目指すには、障壁となる国別・部門別に

残存する水銀排出量の特徴を理解する必要があります。人為起源の化石燃料の燃焼および産業プロセスに由来する 2015 年の水銀排出量は、アジア域が世界全体の約 60%、また南米とアフリカで約 20% を占めており、途上国が主要な排出源です。そして、これら途上国における 2050 年水銀排出量は、レファレンスシナリオにおいて例えば 2010 年比でインドは 3.1 倍、ASEAN 地域は 3.5 倍、アフリカは 3.0 倍、南米は 2.5 倍と急増します。また、カーボン・ニュートラル目標シナリオでも、セメントおよび鉄鋼の生産プロセスに由来する水銀排出量や化石燃料を用いた発電に由来する水銀排出量が残ってしまいます。そのため、水銀排出量をさらに大幅に削減するためには、気候変動対策と組み合わせて、水俣条約の下で水銀除去装置の普及を推進していく必要があります。気候変動対策と水銀除去対策を最適に組み合わせることで、いつ頃までにどの程度まで水銀排出削減が実現可能なかを示せるように、さらに研究に取り組んでいきたいと思ひます。

（はなおか たつや、社会システム領域  
地球持続性統合評価研究室 室長）

執筆者プロフィール：

在宅勤務と研究所勤務を組み合わせた新しいライフスタイルが世の中で定着し、私のワーク・ライフ・バランスも大きく変わりました。社会が大きく変化していく中で、数十年後の将来はどのような姿なのだろう、と想像が膨らみます。メンバーと共に、多様な将来シナリオ研究に挑戦していきたいと思ひます。





## 【環境問題基礎知識】

## 地球規模の気候影響予測

高倉潤也

気候変動というのは地球規模で起きる問題であるため、その影響の予測についても地球規模で行うことが必要です。また、気候変動による影響は既に起こっているものもありますが、今後数十年から数百年先に亘って影響を引き起こすため、長期的な予測を行うことも必要になります。このような地球規模の長期的な影響の予測はどのように実施するのでしょうか？

まず、気候変動の影響を考える上で役に立つのが「災害外力 (Hazard)」、「曝露 (Exposure)」、「脆弱性 (Vulnerability)」という概念です。まず、「災害外力」というのは、「猛暑日になる」「大雨が降る」といった気候変動影響の原因となる気象条件や物理的現象そのものを意味します。気候変動による影響を考えるのであれば、この災害外力の情報が必要であるということは分かりやすいと思います。しかし、気候変動による影響は、この災害外力だけでは決まりません。たとえば、ある場所が猛暑日であったとしても、そこに人が住んでいなかったとしたら人に対する影響は生じません。影響を受ける対象（たとえば人）が災害外力に曝されることを「曝露」と言います（秘密を公にするという意味の暴露とは意味も漢字も違うので気をつけてください）。世界全体を見回すと、人が密集して住んでいる地域もあれば全く人が住んでいない地域もあり、このような違いも考慮することが必要になります。そして、暑い場所に人が住んでいたとしても、その人がお金持ちでエアコンを使える環境にある人（あるいは逆に貧しくてエアコンを使えない環境にある人）だったらどうでしょうか？ 同じ災害外力に曝露しても、影響の受けやすさは異なっています。このような、対象の影響の受けやすさのことを「脆弱性」と呼びます。そして、災害外力・曝露・脆弱性の3つの要因が重なったときに気候変動の影響が生じることになります。

さて、災害外力・曝露・脆弱性の3つの項目があれば気候変動の影響を予測できるとして、定量的な予測をするためには、これらの項目は具体的に数値として表すことが必要です。そのため、気候変動の影響予測では多くの場合、モデルと呼ばれる数式とシナリオと呼ばれる予

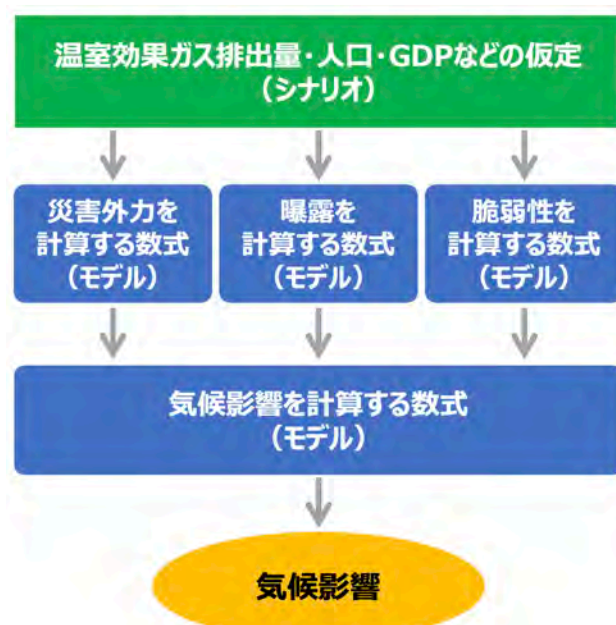


図1 モデルとシナリオを用いた  
一般的な気候影響予測の流れ

測の前提条件とを用いることで定量的な予測計算を行います（図1）。統合評価モデルであるAIMにも、このように複数の要因を考慮して影響予測を行うことができるモデルが含まれています。たとえば、災害外力を計算するために、大気中の温室効果ガスの濃度が2倍になったときに気候がどのように変化するかを知りたいとします。一番単純なのは、実際に試してみる（実際に地球の大気中に温室効果ガスをわざと充満させて気候がどう変化するかを観察する）というやり方ですが、これは現実的ではありません。その代わりに、このような問いに答えたい場合には、気候に関係する様々な現象を支配する物理法則を表す数式を解くことによって計算します。この「物理法則を表す数式」は、実際の現象そのものではありませんが、実際の現象を表したものであり、これを「モデル」と呼びます。一方で、現象を支配する物理法則が分かっていたり、数式で表すことが難しかったりする場合もあります。たとえば、気温が上がると生ビールの売上げも上がるという関係を支配する物理法則を数式で表す事は非常に困難です。しかし、過去の経験として気温

特集 脱炭素社会に向けて大きく舵を切った世界

がこのくらいの時には、生ビールの売上げがこのくらいだった、という統計的な関係性を表す数式については作ることができます。この「統計的な関係性を表す数式」も、実際の現象そのものではありませんが、実際の現象を表したものであり、これも「モデル」と呼びます（物理法則を表す数式をプロセスモデル、統計的な関係性を表す数式を統計的モデルと呼んで両者を区別するときもあります）。プロセスモデルにしる、統計的モデルにしる、現象そのものを表したのではなく、あくまで現象を模擬するものであるため、必ずしも現象を完璧な精度で予測することができるわけではありません。しかし、うまく使えば、十分に役に立つ精度で現象を予測することは可能です。一般にはこういったモデルを複数組み合わせ使います。

モデルができたら、次はそのモデルへ入力する数値を準備することが必要になります。ここで必要になるのがシナリオです。気候変動による影響の予測は数十年以上先（場合によっては数百年先）の将来を対象として行います。そのため、たとえば、災害外力を計算するモデルへの入力としては、2100年の大気中の温室効果ガスの濃度といった情報が必要です。しかし、この値は私たち人類がどのくらい温室効果ガスを排出するかという将来の決断や選択にも依存します。あるいは、現時点では影も形もない温室効果ガス排出削減のための新たな技術が2100年までには開発されるかもしれません。そのため、将来の温室効果ガスの濃度を正確に「予測」することはできません。また、曝露や脆弱性も考慮して影響を計算するモデルへの入力としては、世界のそれぞれの地域の人口がどの程度か？ 世界のそれぞれの地域に住んでいる人がどのくらいお金をもっているか？という項目の情報も必要ですが、これらの値も正確に「予測」することは出来ません。そこで、これらについては「将来こうなるだろう」という予測を行う代わりに「仮に将来こうなったとしたら」という仮定を置きます。この仮定のことをシナリオと呼びます。そして、仮にこのシナリオが成り立つとしたら、という条件の下でモデルを用いて影響予測を行います。

もし、そうなのだとしたら、影響「予測」と言っておきながら、実は「予測」をしていないのではないか？と思った読者もいるかもしれませんが、実はその通りです。特に気候変動の影響のような長期的な現象について、研究者が「将来はこうなる」という形で予測をする

ことは滅多にありません。あくまで、「仮に将来についてこういう前提（シナリオ）が成り立つとしたら、将来はこうなる」という形で、予測（Prediction）ではなく投影（Projection）をしている、というのが厳密には正しい言い方になります。そして、多くの場合にはシナリオは1つだけでなく、複数の異なるシナリオが用いられるため、予測（投影）の結果は1つには定まりません。予測の結果が1つに絞られないのは不便だと思われるかもしれませんが、しかし、実は気候変動問題のような長期的な課題に対する対策を考える上では、むしろ予測結果は1つに絞らない方が役に立ちます。たとえば「100年後に熱中症で死亡する人の数は年間10万人である。」という予測結果が1つだけ示されたとしても、それでは対策に活かすことができません。一方で「仮に温室効果ガスの排出削減が行われなかったとしたら、100年後に熱中症で死亡する人の数は年間10万人である。仮に温室効果ガスの排出削減が行われれば、100年後に熱中症で死亡する人の数は年間3万人である。」という形で結果が示されれば、温室効果ガスの排出を減らすという対策が有効であることが分かります。影響予測を行う目的は、その値を正確に予測することだけではなく、実際に起きる（負の）影響をできるだけ小さくすることです。言い換えれば、モデルやシナリオという仮想世界で予測された影響が現実世界では起きないように、現実世界を改変するために有用な情報を提供することができるかどうかの影響予測にとっては重要なのです。

（たかくら じゅんや、社会システム領域  
地球持続性統合評価研究室 主任研究員）

執筆者プロフィール：

国立環境研究所に着任して以来、地球同好会の活動と地球規模での気候変動による影響評価研究に従事。本人はまだ若手研究者のつもりだったが、最近、老眼と思われる症状が始まったことにショックを受けている。





国立環境研究所  
夏の大公開

2022  
7月16日(土)  
9:30 → 16:00

ようこそ未来の環境博士!!

**!**  
**ONLINE**  
オンライン  
開催!

当日、YouTubeで生中継します。特別ゲストも参加予定!

<https://www.nies.go.jp/event/kokai/2022/index.html>

夏の大公開 国立環境研究所



## 新刊紹介

### 国立環境研究所年報 令和3年度

「国立環境研究所年報 令和3年度」は、第5期中長期計画（令和3～令和7年度）の初年度にあたる令和3年度の活動状況を取りまとめたものです。研究課題の目的、活動内容、研究成果を報告しています。また、環境情報の収集・提供業務活動の概要、研究施設・設備の状況、研究成果の発表状況、その他研究所の活動の全体像を知って頂く上で参考になる様々な資料が掲載されています。

○ <https://www.nies.go.jp/kanko/nenpo/r03/r03all.pdf>

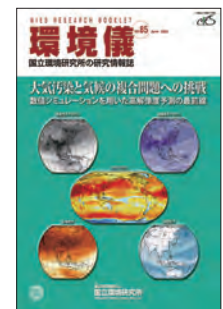


### 環境儀 No.85 「大気汚染と気候の複合問題への挑戦 数値シミュレーションを用いた高解像度予測の最前線」

国立環境研究所は、他の研究機関とともに開発から携わっている「大気汚染物質シミュレーションモデル」を用いて、大気中のエアロゾルの濃度や分布をより正確に再現することで、未来の地球の気候をシミュレーションする研究を行っています。

本号では、世界の他の研究グループが実現できない全球 14km という高解像度でのシミュレーションに成功したことで得られた、エアロゾルや雲に関する新しい知見などを紹介します。

○ <https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>



## 人事異動

(令和4年3月31日付)

岩崎 一弘 定年退職 連携推進部長

(令和4年4月1日付)

増井 利彦 配置換 社会システム領域長（社会システム領域脱炭素対策評価研究室長）

## 編集後記

この特集では「脱炭素・持続可能社会研究プログラム」の中でとくに地球規模の課題に取り組むプロジェクト1の研究を紹介しました。地球規模での持続可能社会の実現は、この分野の研究者にとって究極の目標とも言うべき壮大なテーマです。今回の特集はかなり幅広い内容になっていると思いますが、大きな目標に向けて多角的な視点で取り組まなければいけないことを実感して頂けると思います。近年は、この

分野の研究者に限らずSDGs（持続可能な開発目標）の認知度も上がり、脱炭素に関するニュース報道も毎日のように目にするようになってきました。確実に社会全体が変わってきていると実感しています。こうした中で、今回の特集号が多くの読者にヒントを与えるものになると嬉しく思います。

(Y.H.)

### 国立環境研究所ニュース Vol.41 No.2 (令和4年6月発行)

編集 国立環境研究所 編集分科会  
ニュース編集小委員会

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所  
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

問合せ先 国立環境研究所企画部広報室 pub@nies.go.jp

●バックナンバーは、ホームページからご覧になれます。

<https://www.nies.go.jp/kanko/news/>

無断転載を禁じます



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。