

国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.40

No.5

令和3年(2021)12月



プラネタリーヘルスに
物質ライフサイクルから迫る

特集 | 物質フロー革新研究プログラムPJ1 「物質フローの重要転換経路の探究と社会的順応策の設計」から

物質フロー革新研究プログラム始動 | 2

脱炭素社会における物質フロー(モノの流れ)を考える | 3

カーボンフットプリントから考える地域に合った脱炭素型ライフスタイル | 6

水銀に関する水俣条約と有効性評価 | 9

日韓中三カ国の環境研究の協力:
「第18回日韓中三カ国環境研究機関長会合(TPM18)」の開催報告 | 12

物質フロー革新研究プログラム始動

南 齋 規 介

国立環境研究所は2021年4月から第5期中長期計画（5年間）に入り、その中で8つの戦略的研究プログラムを開始しました。本特集では、その一つである「物質フロー革新研究プログラム」をご紹介します。このプログラムの他のプログラムにはない特徴は、その名前から何を研究するのか分からないことです！ 自慢げに言うことではありませんが、気候変動や脱炭素、環境リスクなどを冠するプログラムの方が断然明確かと思えます。そのため、この巻頭記事ではまず、研究背景と共にプログラム名の意図するところを説明します。

2019年に発表されたUNEP-International Resource Panel（国連環境計画・国際資源パネル）の報告書では、天然資源の採掘と加工は世界の温室効果ガスの5割を排出し、生物多様性損失の9割と大気汚染による健康被害の3割を生み出すとされています。経済成長と天然資源の採掘と加工をいかにデカップリング（経済活動に必要な資源消費量の削減）するかが、社会の持続性を高めるための鍵となります。例えば、2050年カーボンニュートラル社会の構築を見据えるだけでも、急速かつ飛躍的な分離が必要となることが想像できます。本プログラムでは、天然資源とそれに端を発する素材や製品、廃棄物を総じて「モノ（物質）」として注目し、その使用量や再生量、使用年数などの使われる様を経済・社会における物質の「流動（フロー）」と理解することで、社会の持続性の基盤となる物質フローの状態を同定します。現在、世界は年間920億トン（2017年値）の資源を採掘していますが、持続性の基盤となる物質フローは現在の形から飛躍的に変わる必要があることは容易に推測されます。そこで、革新的な物質フローの転換を創造する必然性を強調するため「革新」をプログラム名に添えています。

本プログラムの目標は、資源の持続的利用に向けた物質フローのライフサイクル全体を捉えた評価と改善に係る研究を通じて、物質フローに求められる将来変化を質的量的に示すための科学的知見を集積することです。その知見を社会に還元し、物質のラ

イフサイクルに関わる様々な生産者と消費者が「物質フローの長期的な革新戦略を持つ」という潮流を社会に築くことを促進します。プログラムは、3つのプロジェクト（PJ1、PJ2、PJ3）から構成され、システム系、リスク系、技術開発系の研究者と技術者が参画しています。「物質フローの重要転換経路の探究と社会的順応策の設計」と題するPJ1は、物質フローとそれに伴う環境影響をモデル化し、環境許容量を超えない物質フローの変革の方向性と数値目標の導出を行います。同時に、変革する物質フローに対して、消費やライフスタイルはどのような順応が求められるかを検討します。PJ2は「物質フローの転換と調和する化学物質・環境汚染物管理手法の開発」と題し、物質フローの革新的転換を見据えたときに、とりわけ物質の高度な再生利用を阻害する要因となりうる化学物質や制度を同定し、それを除去する社会的方策を提示します。

技術開発を軸とするPJ3「物質フローの転換に順応可能な循環・隔離技術システムの開発」は、物質循環のプロセスを炭素の吸収源とする技術の開発とシステム設計を行います。さらに、循環すべき物質だけでなく、社会から隔離が必要な物質についても焦点を当て、長期安定保管技術の開発にも取り組みます。

本特集は、PJ1に焦点を当て、取り組む研究の一端を紹介します。「研究プログラム紹介」のページでは、物質フローのモデル化と数値目標開発に関して報告し、「研究ノート」では、脱炭素型のライフスタイルを日本の都市に着目して解説を行います。どちらの記事からも物質の再利用の有用性を再確認することができますが、PJ1では社会から隔離すべき物質のフローも分析します。水銀を対象として「環境問題基礎知識」の中で研究の概要を紹介します。

(なんさい けいすけ、物質フロー革新研究
プログラム総括／資源循環領域
国際資源持続性研究室 室長)

執筆者プロフィール：

初代（循環型社会研究 PG）と先代（資源循環研究 PG）から 10 年間受け継いだ伝統ある“循環”の文字をプログラム名から廃棄し、カタカナキラキラネームで新装開店です。三代目が店を潰す典型との噂もチラホラ。



【研究プログラムの紹介：「物質フロー革新研究プログラム」から】

脱炭素社会における物質フロー（モノの流れ）を考える

渡 卓 磨

はじめに

物質フロー革新研究プログラムのプロジェクト 1 では「物質フローの重要転換経路の探求と社会的順応策の設計」と題し、持続可能な物質フロー（モノの流れ）を明らかにするための研究に取り組んでいます。この記事では脱炭素社会と金属資源の関係に着目した研究の一例を簡単にご紹介します。

金属資源と脱炭素社会

金属は現代社会に必要な不可欠な資源です。私たちの日常生活は、車や電子機器、産業機械、ビル、インフラ等の様々な形態で社会に蓄積した金属資源によって支えられています。一方、金属の生産活動は大量のエネルギーを消費し、世界の温室効果ガス（GHG）排出量の約 10% を占めていることが UNEP 国際資源パネルによって指摘されています。そのため、世界の気温上昇を産業革命以前と比較して 1.5℃ 以下に抑えるという気候目標の達成に向けて、金属生産活動においても早急かつ大幅な GHG 排出削減が強く求められています。しかし、金属生産工程（特に種々の化学反応や高温熱供給工程等）の脱炭素化は技術的に困難であるため、社会全体で金属の使い方そのものを考えていくことが重要になります。

そこで私たちの研究グループでは、6 種の主要金属（鉄鋼、アルミニウム、銅、亜鉛、鉛、ニッケル）を対象とした世界規模でのシミュレーションモデルを構築し、気候目標達成のための GHG 排出削減要

求（GHG 排出制約）が 21 世紀にわたる金属生産・利用・循環にもたらす影響を評価しました。

金属利用の現状

そもそも現在、金属はどこで、どのくらい使われているのでしょうか？ 将来のことを分析するためには、まずは現状をよく知る必要があります。本研究ではまず、世界各国・地域における過去 110 年間（1900～2010 年）の金属利用の実態を解析しました。その結果、現在、日本を含む高所得国の経済活動は一人当たり約 12 トンの主要金属の社会蓄積に支えられていることが示されました。金属の社会蓄積とは、製品・インフラとして社会に蓄積している金属のことを指します。つまり、世の中に走っている車や、使われている建設物などを金属の重さに換算すると一人当たり約 12 トンになるという意味です。例えば日本には現在、約 15 億トンの金属が蓄積しており、人口は 1 億 2,600 万人程度なので、一人当たり約 12 トンの金属の社会蓄積に支えられているという計算になります。これに対して世界平均の社会蓄積量は約 4 トン、低所得国は 1 トンにも満たないことが示されました。つまり、高所得国の人々は低所得国の人々よりも 10 倍以上多くの金属を利用して日常生活を営んでいるということです。

脱炭素社会における金属生産・利用・循環

では GHG 排出制約下において、現在の高所得国

特集 物質フロー革新研究プログラムPJ1「物質フローの重要転換経路の探究と社会的順応策の設計」から

と同量の金属を世界全体で生産・利用することはできるのでしょうか？本研究では、世界における金属の採掘から加工、利用、循環に至る一連の流れを表現するシミュレーションモデルを開発し、GHG 排出制約の影響を解析しました（より詳細なモデル・前提条件の説明は Watari, T. et al. 2021, *Global Environmental Change*, 69, 102284 をご覧ください）。

その結果、GHG 排出制約下では、2030 年までに全ての対象金属の天然鉱石からの生産量がピークに達し、2100 年までの累積での鉱石需要量は現在確認されている資源量の概ね 50%以下に留まると推計されました（図 1 および図 2）。これは、物理的枯渇に直面するよりも前に、GHG 排出制約によって将来の天然鉱石からの金属供給が制限されうること示唆し

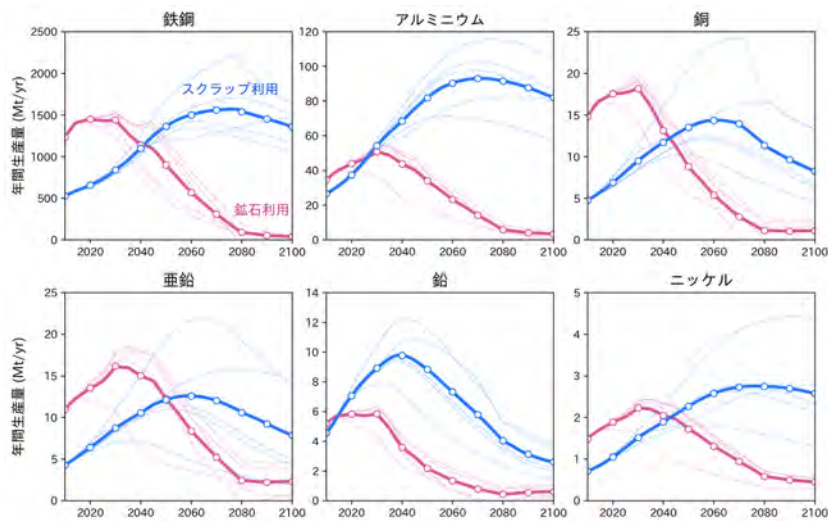


図 1 GHG 排出制約下における主要金属の世界的な生産量の推移

細線は様々な対策（例：脱炭素電力の利用）を想定した各シナリオを、太線はシナリオの平均を示しています。（Watari, T. et al. 2021, *Global Environmental Change*, 69, 102284 を基に作成）

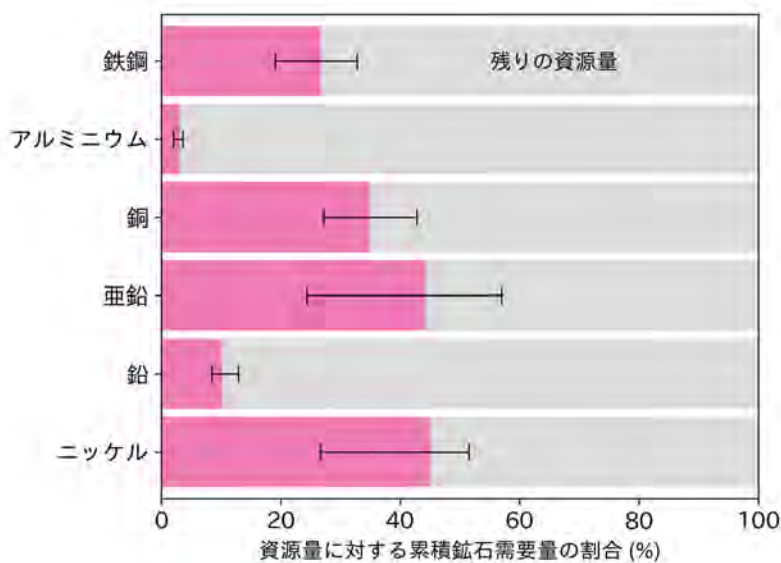


図 2 2020 年から 2100 年までの累積での鉱石需要量と資源量の比較

資源量は現在確認されている資源の総量を示し、現状では経済的に採取不可能な量も含まれます。エラーバーはシナリオの最小値と最大値を示しています。（Watari, T. et al. 2021, *Global Environmental Change*, 69, 102284 を基に作成）

ています。一方、スクラップを原料とした生産量は徐々に増加し、2050年までには天然鉱石からの生産量を上回ることが示されました。しかし利用可能なスクラップには量的限界があるため、21世紀後半にかけて生産量の増加は徐々に緩やかになります。

その結果、GHG排出制約下での一人当たりの社会蓄積量はシナリオ平均で約7トンに収束すると推計されました(図3)。本値は様々な対策を考慮したシナリオの平均値であり、脱炭素電力の利用やエネルギー効率の改善、水素還元技術の普及、リサイクル率の向上等、様々な対策を野心的に実装した場合の利用可能量は一人当たり約10トンまで上昇します。これらの結果は、上記のような様々な生産技術開発や循環利用の重要性と共に、需要側での対策の必要性を示唆しています。つまり、日本を含む高所得国では、現在よりも少ない金属生産・利用量で私たちの居住や移動、通信といったニーズを充足するための物質利用効率の向上が求められるということです。

物質利用効率改善のための効果的な戦略

本研究では、物質利用効率を高めるための効果的な戦略は国によって異なることも示唆されました。今後、金属蓄積量を拡大させる段階にある低所得国とは異なり、日本を含む高所得国は既に一人当たり約12トンもの金属を社会に蓄積しています。そして

今後発生する需要の大半は、この金属蓄積量の減耗を補うための需要、つまり、老朽化によって破棄される車や建設物等を取り換えるための需要になります。そのため、高所得国では既に社会に蓄積している製品・インフラを長く、かつ高い強度で利用することが重要になります。例えば、車やオフィスビル、電気・電子機器のシェアリングや長期間利用がこれに該当します。一方の低所得国は、計画的な都市開発によって物質利用効率の高い都市インフラを今から開発する機会を有していると言えます。

このような研究の一連の成果は、物質生産・利用・循環に関する科学的目標の設定に向けた国際的議論を喚起すると共に、日本の脱炭素社会と物質利用に関する長期展望の構築にも貢献することが期待されます。

(わたり たくま、資源循環領域)

国際資源持続性研究室 研究員)

執筆者プロフィール：

メジャーリーガー大谷翔平選手の活躍を見るのが毎日の楽しみです。大谷選手とは同年齢であり、異国の地で挑戦し続ける彼の姿を見るたびに、体の底からやる気が満ち溢れてきます。私も新しいことに積極的に挑戦し続けられる研究者でありたいと思います。

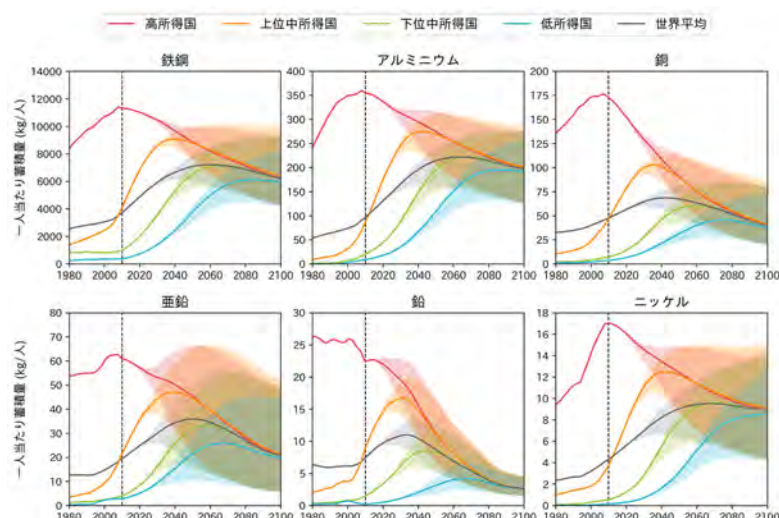


図3 GHG排出制約下における所得レベル国別の一人当たり金属蓄積量の推移

実線はシナリオの平均値を、塗りつぶし範囲はシナリオの最小値と最大値の幅を示しています。黒の破線は将来推計の開始年を示しています。(Watari, T. et al. 2021, *Global Environmental Change*, 69, 102284 を基に作成)

【研究ノート】

カーボンフットプリントから考える地域に合った脱炭素型ライフスタイル

小 出 瑠

1. カーボンフットプリントから考える脱炭素化

温室効果ガス排出量の推計には、自らが所有・管理する発生源におけるガソリンや都市ガスなどの燃焼による直接排出（スコープ1）と、これに電力などのエネルギーの使用を通じた間接排出を加えたスコープ2、さらに自らが消費する製品やサービスの製造や輸送までさかのぼって排出量を算定するカーボンフットプリント（スコープ3）の考え方があります。カーボンフットプリントは消費ベース排出量とも呼ばれ、私たちの生活や企業などの活動に伴ってサプライチェーン全体で誘発される温室効果ガスを把握する手法として近年注目を集めています。

日本における家庭部門からの温室効果ガス排出量は、スコープ2では全体の約2割にとどまりますが、国立環境研究所の3EID（産業連関表による環境負荷原単位データブック）に基づく推計では、スコープ3にまで範囲を広げると、全体の約6割にも達します（2015年）。その内訳は、私たちの生活と密接に関わる移動、住居、食、消費財、レジャー、サービスといった分野です。スコープ1（直接排出）やスコープ2（直接排出+エネルギーを通じた間接排出）の考え方では、家庭部門の対策は再生可能エネルギーの導入や省エネルギー、移動手段などに限られますが、スコープ3のカーボンフットプリントの考え方をとることによって、食生活や消費財を含めた市民の生活を支える様々な製品やサービスの消費と生産のあり方が対策の鍵となることがわかります。

2019年に閣議決定された日本の『パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略』では「ライフスタイルのイノベーション」が提唱され、2020年の国連環境計画（UNEP）の『排出ギャップ報告書』では移動、住居、食などに関する需要側対策が1つの章として取り上げられるなど、気候変動対策において脱炭素型ライフスタイルへの転換は対策の1つの柱として認識が高まりつつあります。日本でも数多くの自治体が「ゼロカーボンシティ」宣言を行っているように、それぞれの地域で脱炭素を目指す取り組みの重

要性が増していますが、その多くはスコープ2の考え方に基づいています。したがって、その地域の需要を満たすために他の地域で行われた生産活動から生じた排出量は考慮されない一方で、地域に立地する工業団地などにおいて他の地域向けに生産した分の排出量が含まれています。一般的に日本を含む先進国や大都市は多くの製品を輸入（移入）に頼っていることが多いため、輸出（移出）分を差し引いても、カーボンフットプリントは従来の考え方（スコープ2）に基づく排出量を上回っています。そのため、ある国や地域における生産活動を通じた排出量をゼロにしても、その国や地域の消費を支えるために他の国や地域での排出が生じてしまう「リーケージ」と呼ばれる問題があります。したがって、スコープ2に基づく「ゼロエミッション」だけでなく、将来的には消費ベースのカーボンフットプリントをゼロに近づけていくことが重要になります。

このように、脱炭素化に向けた取り組みの重要性への認識は高まっていますが、私たち市民や都市にとって、どのような取り組みをすれば良いのか？という疑問の声をよく耳にします。私たちの研究では、そのような疑問に答えるべく、市民が取り入れることができる移動、住居、食、消費財などに関する脱炭素型ライフスタイルの選択肢について、都市別にその効果を推計しました。

2. 移動・住居・食・消費財・レジャーから考える脱炭素化

私たちの研究チームが行った国内52都市（県庁所在地、政令指定都市）のライフスタイルに関する家計消費カーボンフットプリントの推計によれば、52都市の平均は1人1年あたり7.3 t-CO₂e（二酸化炭素換算の温室効果ガス排出量、2015年）ですが、最大の都市（8.4 t-CO₂e、水戸市）と最小の都市（5.8 t-CO₂e、那覇市）の間には2.7 t-CO₂eもの差があることがわかりました。カーボンフットプリントが大きい分野としては、住居における電力・ガスの消費や

建物の建設・維持管理のほかに、自動車・飛行機による移動、肉類・乳製品などの食生活、衣類・電化製品・趣味用品などの消費財、旅行・レストラン・娯楽施設利用などのレジャーが含まれますが、どの分野が大きいかはそれぞれの都市により異なります。例えば、北陸などの暖房需要の大きい地域では住居、公共交通の利用が進んでいない地方都市では移動、赤身肉の消費が多い西日本では食、大量消費型の生活が顕著な大都市部では消費財とレジャーによるフットプリントが大きくなっています。したがって、ゼロカーボンという同じ目標に向かうことを想定した場合であっても、地域によって対策が必要となる重点分野が異なることがわかります。まずは、市民ひとりひとりや自治体が自らの地域においてカーボンフットプリントが大きな分野を把握し、将来へ向けたビジョンを描くことが必要です。

3. 地域に合った脱炭素型ライフスタイルの選択肢

私たちの研究では、図1に示すような多岐にわたる脱炭素型ライフスタイルの選択肢を国際的な文献レビューにより特定し、これらの選択肢を取り入れ

ることによるカーボンフットプリントの最大削減効果（その都市の平均的な市民が、ある選択肢を完全に実施した場合の効果）を都市別に推計しました。温室効果ガス削減効果の大きい選択肢として、住居・移動関連では、電気自動車の再生可能エネルギー充電（52都市平均の削減効果：470 kg-CO₂e/人/年）、ゼロエネルギー住宅への住み替え（1910 kg-CO₂e）、再生可能エネルギー由来の電力プランへの切り替え（1300 kg-CO₂e）などの設備投資とエネルギー源の転換が挙げられますが、これらの選択肢については市民への費用負担が想定されることから、政策的な優遇措置を国や自治体が拡充することが必要と考えられます。加えて、ライドシェアリング（相乗り）（530 kg-CO₂e）、公共交通・自転車移動への転換（430 kg-CO₂e、都市内の私用目的での移動）、テレワーク（290 kg-CO₂e）、職住近接（280 kg-CO₂e）などの移動システムの転換による効果も大きく、これらの選択肢に対しては、公共交通や自転車利用がしやすい都市計画、シェアリングやテレワークなどのソフト面の制度やシステムを整えることにも意義があります。食の分野では、近年着目されているプラントベースの



図1 脱炭素型ライフスタイルの選択肢

本研究では電気自動車や太陽光パネルをはじめとする脱炭素型の製品利用などを「効率性」(赤色)、テレワークや食生活の転換、消費財の長期使用をはじめとする行動変容などを「充足性」選択肢(緑色)として区別した。括弧内は分析対象とした選択肢の数。

特集 物質フロー革新研究プログラムPJ1「物質フローの重要転換経路の探究と社会的順応策の設計」から

食生活、例えば菜食 (220 kg-CO₂e) や代替肉製品 (190 kg-CO₂e) に加え、バランスのとれた食生活 (120 kg-CO₂e、バランスフードガイドに沿った食事) に転換することにも温室効果ガスの削減効果が見込まれます。また、消費財やレジャーの分野では、衣類 (200 kg-CO₂e) や趣味用品の長期使用 (110 kg-CO₂e)、地域でのレクリエーション (250 kg-CO₂e) にも効果が見込まれます。野菜中心の食生活や自転車の利用など、健康面のメリットが想定される選択肢も多く、脱炭素で生活の質が向上するような選択肢を市民が取りやすくなるような地域での取り組みが求められていると言えます。

個別の選択肢を取り入れることによる1人1年あたり温室効果ガスの最大削減効果には都市間で大きな違いがあり、同じ選択肢であっても2倍から5倍もの差があります。そのため、都市によってはその

削減効果の大きさからみた優先順位が逆転する場合があります。例えば、ライドシェアリング (相乗り) やテレワークによる効果と、衣類の長期使用や代替肉製品への転換の効果のどちらが大きいかは、地域のライフスタイルに依存し、都市によって異なります。したがって、それぞれの地域においてどのような選択肢に効果があるかを把握した上で、地域にあった選択肢を市民参加で特定し、政策的に推進していくことが重要です。

パリ協定の脱炭素目標へ向けた取り組みでは、排出量を将来的にゼロに近づけていくことが求められるため、京都議定書の時代のような数パーセントの改善とは異なるアプローチが求められます。市民のライフスタイルは地域のインフラ、製品の入手可能性や価格などに依存しているため、脱炭素型ライフスタイルの主流化は、ひとりひとりの市民の工夫や

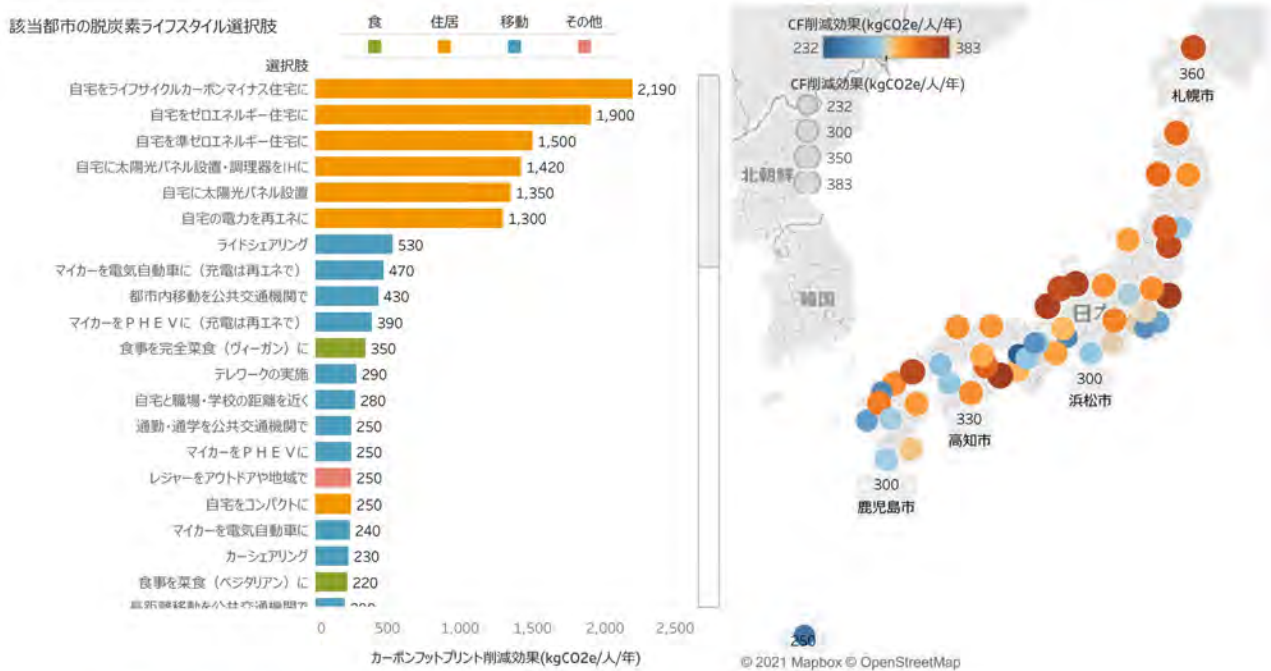


図2 都市別の脱炭素型ライフスタイルによる削減効果の公開データ (例)

努力だけで達成できるものではありません。むしろ、消費と生産は車の両輪であり、市民が需要側から脱炭素型の製品やサービスを求めていくと同時に、企業や自治体が脱炭素型の選択肢を市民にとって手に取りやすいように充実していくことが求められます。今回、分析対象としたのは現在日本において入手可能な製品・サービスを基に市民がとりうる選択肢に限られます。脱炭素型社会の実現に向けて技術開発が必要なことは言うまでもありませんが、新たな技術に頼らなくとも、社会的なシステムを整え、ライフスタイルと消費のあり方を見直すことで脱炭素化につながる事がこの研究により示唆されます。

今回の研究成果に基づく都市別データは、国立環境研究所のウェブサイトにおいて公開しています(図2)。都市名を地図上で選択いただくことで、その都市のカーボンフットプリントと効果的な脱炭素型ライフスタイルの選択肢による削減効果をご覧いただけるほか、地域別(52都市・10地方・4大都市圏)のデータをまとめたPDF冊子も公開しております。

このようなデータを活用して、市民や自治体関係者の皆様、環境啓発を担うNPOやメディア関係者の皆様、脱炭素型の選択肢を供給する役割を担う企業の皆様が、当該地域にとって優先度の高い選択肢を認識して、取り組みを進めていくことが望まれます。

公開データとPDF冊子には以下のURLからアクセスできます。

<https://lifestyle.nies.go.jp/>

(こいでりゅう、資源循環領域)

国際資源持続性研究室 研究員)

執筆者プロフィール:

ゼロカーボン・サーキュラーエコノミーへ向けてどのような消費と生産のあり方が望ましいか? どういった仕組みがあれば行動変容を後押しできるか? といった問いに答えるべく、産業エコロジーと行動科学を横断する研究に取り組んでいます。



【環境問題基礎知識】

水銀に関する水俣条約と有効性評価

中島 謙一・Yingchao CHENG

1. 水銀に関する水俣条約

私たちの身の回りには、たくさんの金属が使われていますが、常温で液体である金属は水銀(融点: -38.9°C)だけです。独特の色と光沢から一見して金属であるとわかる物質でありながら、常温で液体という珍しい性質を持つ水銀は、世界中の人々の暮らしのなかで様々な用途(例えば、蛍光灯、水銀体温計、水銀血圧計、水銀電池、水銀朱などの顔料、他)に使われてきました。元素である水銀は、地球誕生の時から存在していた物質であり、大気中や食品中にも微量ですが存在します。この食品などを人が食べると、水銀が人の健康に悪い影響を与えることもあります。また、いったん環境中に排出されると、それ以上、分解されず、長期的に残留するという性質があります。

昨今、地球規模の水銀循環において、海洋・土壌への水銀蓄積の増大が指摘されると共に、その最大の原因としての人為的活動に伴う水銀の排出・放出の影響が懸念されています。これらの背景を受けて、発効されたのが「水銀に関する水俣条約(Minamata Convention on Mercury)」(以下、水俣条約)です。水俣条約とは、水銀およびその化合物の人為的な排出および放出から人の健康および環境を保護することを目的とし、採掘から貿易、使用、排出、放出、廃棄等に至る水銀のライフサイクル全体を包括的に規制する国際条約です。2013年1月にジュネーブで開催された政府間交渉委員会にて、国際的な水銀条約に関する条約案が合意され、条約の名称が「水銀に関する水俣条約」に決定し、同年10月に熊本県にて開催された外交会議で、採択・署名が行われました。

特集 物質フロー革新研究プログラムPJ1「物質フローの重要転換経路の探究と社会的順応策の設計」から

その後、2017年5月には、締約国数が50か国に達し、規定の発効要件が満たされ、同年8月に発効に至りました。なお、2021年10月3日時点の締約国数は135か国です。

水俣条約においては、水銀鉱山からの一次産出の廃止（既に稼働中の鉱山については時限を切って廃止）、および、条約上許可された目的以外の用途のための水銀の輸出入の禁止（第三条）、水銀添加製品の製造・輸出入、水銀を使用する工業工程について年限を定めて廃止等の措置（第四条）等が定められており、同条約が適切に履行されることで、グローバルな水銀の需要および供給の削減が期待されます。加えて同条約では、大気・水・土壌への排出・放出について、利用可能で最良な技術や、環境のための最良な慣行を基に排出・放出削減対策の実施（第八条・第九条）が定められており、適切な履行による排出の削減が期待できます。

また、水俣条約では、第二十二条にて『有効性の評価』（Effectiveness evaluation）の実施が規定されており、評価は第二十一条『報告』の規定に基づき締約国から提供される報告や第十五条『実施及び遵守に関する委員会』（締約国会議の補助機関としての委員会）の規定に従って提供される情報及び勧告等を含む利用可能な科学、環境、技術、資金及び経済に関する情報に基づいて実施することが定められています。

加えて、締約国会議は、この条約の効力発生の日から6年以内に、および、その後は、締約国会議が決定する間隔で定期的に、この条約の有効性を評価することが定められています。有効性評価の在り方については、2019年11月に開催された水銀に関する第3回締約国会議（COP3）にて、専門家会合からの報告に基づき、条約の有効性評価を実施するため枠組みや組織、指標等について議論が行われ、COP4に向けて評価指標に必要な項目に関する情報交換をすることとなりましたが、有効性評価を実施する為の枠組み・指標等の国際的合意には至りませんでした。

2. 有効性評価の開発に資するグローバル・シナリオモデルの開発を目指して

地球規模の水銀循環への影響が懸念される人為的

活動に伴う水銀の排出量（あるいは放出量）は、産業構造や経済活動の変化と密接に関わります。国連環境計画1によると、2015年における水銀の需要量は4,715トンであり、その需要内訳は、金の抽出に水銀を用いる人力小規模金採掘（Artisanal Small-Scale Gold Mining: ASGM）が約37%、水銀を使用する塩素アルカリ製造や塩化ビニルモノマー製造等の工業プロセスが約32%、水銀添加製品製造が約31%を占めることが示されました。また、供給内訳は、鉱山からの一次水銀が約40%、工業プロセスから回収される副生水銀が13%、在庫利用が12%であるのに対して、リサイクル・回収は35%に留まることが示されました。一方、人為的活動による水銀の大気への年間排出量は約2,500トンであり、総排出量に対して、ASGMやセメント製造を含む鉱工業部門からの排出量および燃焼部門からの排出量が高い割合（鉱工業：65%、燃焼：21%）を占めることが示されました。また、過去に実施された排出量の将来推計3-5においては、ベースラインシナリオにおいて排出量が大幅に増大する可能性が指摘されると共に、気候変動対策あるいは水銀対策を講じることで、排出量の抑制や削減が期待できることが示されています。一方で、社会経済の状況と対策の履行状況によっては、主要排出源である石炭等の燃焼部門、ASGMやセメント製造を含む鉱工業部門などにおいて、大幅な水銀排出量の増大が懸念されることも示されました。また、近年では、気候変動対策が急速に進展しており、脱炭素を支える技術や社会の転換による水銀排出量への正負の影響を未然に把握することも水銀循環の管理の観点からは不可欠であると言えるでしょう。このような状況を鑑みると、水銀循環を管理していく上では、将来の社会変化による影響と対策効果をあらかじめ把握することができる将来推計モデルの役割は、決して小さくないと思われます。

一方、前述のCOP3では、下記の4つの政策質問（Policy question）を柱とする有効性評価のフレームワークと共に、計測のためのプロセス指標やアウトカム指標を含む指標群案が提示されました。しかし、水俣条約による環境中の水銀レベルの変化への寄与、更には、同条約に基づく措置による地球環境や人健康の保護への貢献を定量的に議論するためには、提案されている指標群だけでは不十分であり、人為的

活動と水銀排出、環境動態、人健康影響を包括的に記述するモデルの開発と貢献が求められます。

これらを背景に、現在、国立環境研究所では、京都大学らと共同で、環境研究総合推進費令和2年度戦略研究開発課題『水俣条約の有効性評価に資するグローバル水銀挙動のモデル化及び介入シナリオ策定』（SII-6, JPMEERF20S20600）において、水俣条約の有効性評価に資するためベースラインシナリオと介入シナリオにおける対策を評価可能な一連のモデル群の作成を目指し、研究に取り組んでいます。具体的には、今後の気候変動の影響などを考慮して水銀制御・管理技術を整理・評価すること、人為的活動下でのグローバル・シナリオモデルを構築して、介入シナリオを策定すること、さらに、全球における水銀動態モデルを用いて海産物中のメチル水銀濃度を計算し、ヒトへの曝露量及びその推移の予測に取り組んでいます。また、同課題のテーマ2『有効性評価に資するシナリオ分析モデルの開発』（SII-6-2, JPMEERF20S20620）では、AIM/End use[Global]モデルを核として、地球規模での部門別・地域別の大気への水銀排出量の将来推計を可能とするグローバル・シナリオモデルの開発に取り組んでおり、水銀の排出削減に寄与する対策を取らない場合、経済成長に伴って、水銀排出量は強い増大傾向（4,200トン、2050年）を示すという結果が得られています。国・地域別では、インド・アフリカ諸国を中心とする低所得国、そして、部門別では、金の抽出に水銀を用いるASGM、石炭や石油等の燃焼を電力・熱供給、原燃料の一部（石灰石、銅・鉛・亜鉛・金などの鉱石）に水銀が含まれるセメント製造や非鉄金属製錬などに起因する水銀の排出量の増大が示唆されました。加えて、各種のパラメータ（活動量、排出係数、技術の導入率など）を変化させることで、気候変動枠組み条約及び水俣条約の履行の為の対策等の導入を想定した将来の水銀排出削減シナリオ（対策シナリオ）の定量化に取り組んでおり、一連の解析により、将来の水銀排出量および排出源については、国・地域ごとに異なる傾向（地域偏在性）を有する事が明らかになりつつあります。今後の学術的知見の蓄積と発信にぜひとも期待していただければ幸いです。

文献

1. UN Environment, 2017, United Nations Environmental Programme, Global mercury supply, trade and demand, 2018, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21725/global_mercury.pdf
2. UN Environment, 2019, United Nations Environmental Programme, Global mercury assessment 2018, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27579/GMA2018.pdf>
3. Streets D.G., Zhang Q., Wu Y. 2009, Projections of global mercury emissions in 2050, Environ. Sci. Technol., 43, 2983-2988.
4. Rafaj P., Bertok I., Cofala J. Schöpp W. 2013, Scenarios of global mercury emissions from anthropogenic sources. Atmospheric Environment, 79, 472-479.
5. Pacyna E.G., Pacyna J.M., Sundseth K., Munthe J., Kindbom K., Wilson S. Steenhuisen F. Maxson P. 2010, Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020, Atmospheric Environment, 44, 2487-2499.

(なかじま けんいち、資源循環領域)

国際資源持続性研究室 主幹研究員

(ちえん いんちょう、資源循環領域)

国際資源持続性研究室 特別研究員

執筆者プロフィール：

中島 謙一

親になり約10年となりますが、将来の地球環境や社会の持続可能性を、より意識するようになったように思います。繋がる世代の人々に、豊かな感性を育み安心して暮らせる地球環境と社会を残していきたいと強く願っています。



Yingchao CHENG

子供の頃、本で水俣病のことを読んで、水銀の研究に興味を持ち、日本に来ました。環境問題は、国や地域だけの問題ではなく、地球規模での協力が必要です。経済発展と環境保護のバランスをとることは、将来の世代に対する私たちの責任でもあります。



【行事報告】

日韓中三カ国の環境研究の協力： 「第18回日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM18）」の開催報告

企画部国際室

国立環境研究所（NIES）は、韓国の国立環境科学院（NIER）および中国環境科学研究院（CRAES）と協力して「日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM）」を毎年開催しており、北東アジア地域をはじめとした様々な環境問題の解決に向けた研究協力の推進と、新たな協力の姿の議論を行っています。2004年に中国CRAESの呼びかけにより始まった本会合は本年度で18回目を迎えましたが、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により昨年に引き続きオンライン会合の形で11月4日（木）に開催されました。

今回の会議は、NIER（韓国）と当研究所がともに新機関長を迎えての会合となりました。まず本年度TPMの主催を務めるNIERのKim Dong Jin 院長が開会のスピーチを行い、CRAES（中国）の李海生院長、当研究所の木本昌秀理事長が続きました。スピーチの中では、Kim 院長はNIERが取り組む大気汚染、環境保健研究、および廃棄物処理について述べ、李院長は中国で開催された生物多様性条約COP15、第14期5カ年計画、廃棄物問題、自然保護、大気汚染対策などの成果について言及し、今後の協力についての提案を行いました。木本理事長は新たな5カ年計画の開始とその目標のひとつである「国内外機関との連携および政策貢献を含む社会実装の推進」を紹介し、TPMはもっとも重要な活動の一つであると



写真1 議論する木本理事長



写真2 署名を終えた三機関長
（上段左：Kim 院長、上段右：木本理事長、下段：李院長）

強調しました。

続いて行われた各機関の研究活動の概況報告では、当研究所から森口理事が新たな研究体制や国内外との連携、最新の研究成果などを紹介しました。次に、三機関の連携の可能性を探ることを目的として昨年からの継続で行われている三機関の体制や制度の比較調査に関する発表が行われ、当研究所からは国際室より各機関の人員体制や人事評価、職員の採用や派遣にかかる制度の比較についての発表を行いました。

また、本年度の会合では気候変動適応をテーマとしたワークショップが行われ、当研究所からは気候変動適応センターとその活動について真砂佳史室長と岡和孝主任研究員が発表を行いました。各機関からの研究発表に対して、機関長らが興味深く聞き入る様子が画面を通して伝わりました。

機関長ディスカッションの中では、三機関の具体的な共同研究の可能性を有する分野として設定している潜在協力研究分野（Potential Research Area: PRA）の4分野（大気、水、気候変動、環境保健）の担当者が近況を発表する時間が設けられました。NIESからは大気分野より清水厚主幹研究員、水分野より高津文人室長、小野寺崇主任研究員、気候変動分野より増井利彦室長、環境保健分野より中山祥嗣次長が出席し、それぞれ短い報告を行いました。昨年度より、新型コロナウイルスの感染拡大によって国際交流が

難しい面がありましたが、今後の協力推進の見通しを共有することができました。

三機関長は、気候変動はますます重要な課題になることを確認し、今後の情報共有、相互交流を約束しました。韓国は適応センター開設の準備に入り、中国はカーボンニュートラルセンター開設を考えていると報告がありました。当研究所の気候変動適応センターは、先駆者として、より一層の協力を期待

されています。来年の TPM は CRAES が主催となり中国で開催される予定で、三機関長は互いに、次回は対面で議論できることに期待を述べ合いながら、会議が締めくくられました。

なお、本会合については、国立環境研究所ホームページのお知らせにも掲載予定です。



写真3 NIES 参加者集合写真

新刊紹介

NIES Annual Report 2021

「NIES Annual Report 2021」は、海外に向けて、国立環境研究所の最近の研究成果を紹介する英文の年次報告書です。今回の報告書は、第4期中長期計画（平成28～令和2年度）の最終年度にあたる令和2年度の活動状況を中心にとりまとめたものです。

○ <https://www.nies.go.jp/kanko/annual/ae27.pdf>



環境儀 No.83 草原との共生を目指して モンゴルにおける牧草地の脆弱性評価

国立環境研究所では、温暖化影響早期観測ネットワークを構築して、温暖化による永久凍土の融解や環境資源への影響を解析し、さらにモンゴルの草原域を対象にした CO₂ 吸収量の監視・評価を行い人為的攪乱が水資源や牧草地に与える影響や脆弱性を明らかにしました。

本号では、国立環境研究所が行っているこれら一連の研究から得られた成果の一部を紹介するほか、草原生態系の回復力強化のために実施している適応策の研究について紹介します。

○ <https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/83/02-03.html>



表彰

「受賞のひとつこと」など、詳しくはホームページもご覧ください。 <https://www.nies.go.jp/index.html#tab5>

一般社団法人 日本毒性学会 ファイザー賞（高頻度引用論文賞）

受賞者：TIN-TIN-WIN-SHWE、渡邊 英宏（環境リスク・健康領域）

受賞対象：Social Behavior, Neuroimmune Markers and Glutamic Acid Decarboxylase Levels in a Rat Model of Valproic Acid-induced Autism, *Journal of Toxicological Sciences*, 43 (11), 631-643, 2018

日本エアロゾル学会 日本エアロゾル学会論文賞

受賞者：佐藤 圭、森野 悠（地域環境保全領域）、猪俣 敏（地球システム領域）

受賞対象：加熱脱着 - 陽子移動反応 - 四重極インターフェース飛行時間質量分析計による有機エアロゾルのオンライン分析に向けて：単一組成粒子を用いた応答評価, *EAROZORU KENKYU*, 34 (2), 45-52, 2019

生態工学会 論文賞

受賞者：宮内 達也（地球システム領域）

受賞対象：Weather generator で生成した気象値が生態系プロセスモデルによるバイオマスおよび水収支推定に与える影響, *Eco-Engineering*, 32 (2), 23-31, 2020

公益社団法人 環境科学会 環境科学会学術賞

受賞者：田崎 智宏（資源循環領域兼社会システム領域）

受賞対象：循環型社会の制度設計・評価及び持続可能な社会形成に関する研究

公益社団法人 環境科学会 環境科学会学術賞

受賞者：亀山 康子（社会システム領域）

受賞対象：気候変動に関する国際関係論と持続可能社会形成に関する研究

※所属は受賞当時のものとなります。

編集後記

今号では、第5期中長期計画の戦略プログラムの1つとして新しく開始された「物質フロー革新研究プログラム」を特集しました。資源から製品へ、製品から廃棄物へ、廃棄物から循環資源へ、というモノの流れは、果たして持続可能なのでしょうか。このプログラムでは、10年後や30年後の未来を見据えて、モノの流れのあるべき姿を積極的に提示していくとするもので、その成果に大いに期待したいと思えます。そして物質フローに限らず、今の子供達が大人になって

豊かに暮らせるように、私たち現役世代の責任で、より良い仕組みを作っていかなければなりません。ところで、子供の頃は10年や30年という年月がピンときませんでした。年齢を重ねて、過去の記憶を遡るようになり、かなりリアルに思い描けるようになりました。歳月は待ってくれません。時間を大切に使いましょう！

(H.S.)

国立環境研究所ニュース Vol. 40 No. 5 (令和3年12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 国立環境研究所情報企画室 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。