

国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.38

No.3

令和元年(2019)8月



北京市内で同じ場所から撮影した様子(花岡達也撮影)
関連する研究内容については、本号の研究ノートを参照して下さい。

特集 | 世界を対象とした低炭素社会実現に向けた ロードマップ開発手法とその実証的研究

パリ協定の下での脱炭素社会研究とは? | 2

2℃目標、1.5℃目標の実現のために | 3

「気候変動」と「大気汚染」の問題を同時解決!! | 5

CO₂の社会的費用はおいくら? | 9

第23期マンスフィールド研修での経験 | 12

国立研究開発法人国立環境研究所公開シンポジウム2019
「変わりゆく環境と私たちの健康」開催報告 | 14

パリ協定の下での脱炭素社会研究とは？

亀山 康子

2015年末にパリ協定が採択されて3年が経過しました。この間、世の中は急速に変わりつつあります。世界的な潮流の変化は、今から振り返るとすでに2000年過ぎから始まっていたのですが、パリ協定の数年前から顕著に目に見えるようになりました。変化の中核にあるのは、温室効果ガス排出削減を「負担」としてとらえる見方から「機会」としてとらえる見方への転換です。排出量削減に資するさまざまな産業（ビジネス）が台頭してきました。再生可能エネルギーはその最たるものですが、情報関連産業、電気自動車等のモビリティ関連産業、軽量素材の開発等、排出量削減が経済的な利潤を生む業種が飛躍的に伸びました。これが後押しになってパリ協定が採択されたのです。

パリ協定では、人間の生活や生態系全般に甚大な影響を及ぼさないような範囲内に気候変動影響をとどめるには、産業革命前以降の気温上昇幅を1.5℃ないしは2℃以内に抑える必要があるとしています。この気温上昇幅内に収めるためには、今世紀末までに世界の温室効果ガス総排出量を実質ゼロとすべきこともパリ協定に明記されています。この目標を国際社会へのメッセージとして受け止め、世界の変革はさらに進展し続けます。日本国内では、2015年夏の時点ではまだ排出削減が「負担」と受け止められ、排出削減目標水準を他の主要排出国の水準と比べた相対的な負担の大きさばかりが強調されていましたが、最近ようやく、排出量削減が企業にとってコストではなく競争力の源泉、という理解が深まってきました。

我々の研究プログラムのタイトルにも、その影響が見受けられます。気候変動に関する研究は、本中長期計画策定時には「低炭素研究プログラム」と命名されましたが、ここ数年では「脱炭素」という言葉がより多く用いられています。排出量を何パーセント減らせるのかといった数パーセントを巡る攻防が問題なのではなく、最終的にはゼロを目指し、そのためには2050年頃に今までの約8割を減らせている必要があります、そうすると2030年、2040年でそれぞれどれくらいの排出削減が見込まれていないのか、という観点で研究を進められるようになりました。

本特集では、低炭素社会研究プログラムの中でも特に、排出削減（緩和）策に関する研究を推進するためにプロジェクト(PJ)3として位置付けられた「世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究」について紹介します。「研究プログラム紹介」では、パリ協定で示されている大幅な排出削減を実現するためのシナリオに関する研究を、脱炭素社会に向けた実際の動きとともに紹介します。また、特にアジア諸国における温室効果ガスと大気汚染物質の削減を同時に解決できるような、効果的な対策・施策の組み合わせや、その効果を分析した将来シナリオに関する研究を「研究ノート」で紹介します。さらに、気候変動は長期にわたる問題で、排出削減を今日行ってもその影響が出るのは何十年後となることから、将来影響を現在価値に割り戻す手法とそれを使ったCO₂の社会的費用に関して、「環境問題基礎知識」にて紹介します。

排出削減関連の産業が新たなビジネスとして成長している背景としては、当然のことながら、気候変動に対する世論の強い不安があることを指摘しておきたいと思います。近年、世界中で異常気象が増え、気温上昇が実感できるまでに気候変動が進行してしまっているからこそ、これらの産業を選択すべきと考える人が世界中で増えているということです。国立環境研究所では、本特集で紹介する緩和策研究にて、今後のさらなる気候変動の進行をできるだけ遅らせるための方策を検討しつつ、今までに排出されてしまった温室効果ガスによって生じる気候変動影響への対応（適応策）研究とも十分な意思疎通を行うことで、社会全体として最もリスクの少ない対応方法を検討していきます。

(かめやま やすこ、社会環境システム研究センター
副センター長)

執筆者プロフィール：

小学生時代以来聴き続けたバンドの40周年記念ライブ、もちろん行きましたよ。感動冷めやらぬまま、今でも通勤途中はロザさみながらペダルを踏んでいます。



【研究プログラムの紹介：「低炭素研究プログラム」から】

2°C目標、1.5°C目標の実現のために

増井利彦

1. はじめに

低炭素研究プログラム・プロジェクト3(PJ3)「世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究」は、これまでに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 (Asia-Pacific Integrated Model) の主に世界版を用いて低炭素社会の姿そのものや低炭素社会を実現する将来の温室効果ガス排出量を時系列で示した排出経路を定量的に評価するサブテーマ1「世界を対象とした低炭素社会評価のための統合評価モデル開発とその適用」と、低炭素社会の実現に向けた国際制度のデザインを行うサブテーマ2「低炭素社会実現に向けた国際制度のあり方に関する研究」で構成されています。

2015年12月にCOP21(国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)で合意されたパリ協定では、気候変動緩和策(地球温暖化の原因である温室効果ガスを削減する取り組み)について、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(2°C目標)とともに、1.5°Cに抑える努力を追求すること(1.5°C目標)が示され、温室効果ガス排出量についてはできるだけ早く頭打ちさせ、21世紀後半に人為起源の温室効果ガス排出量を正味ゼロにすることが明記されています。また、2018年10月に採択されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の1.5°C特別報告書(正式名称は、『気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な発展及び貧困撲滅の文脈において工業化以前の水準から1.5°Cの気温上昇にかかる影響や関連する地球全体での温室効果ガス(GHG)排出経路に関する特別報告書』)では、1.5°C目標を実現するためには人為起源のCO₂排出量を2050年前後に正味ゼロにする必要があると、2°C目標よりもさらなる削減の前倒しが必要なることを示しています。しかしながら、これまでに各国が提出した2020年以降の排出削減目標をすべて積み上げても、1.5°C目標はおろか2°C目標を実現できる温室効果ガスの削減量に遠く及ばないことが明

らかになっており、排出削減目標の深掘り(更に強化すること)が必要となっています。この低炭素研究プログラムPJ3においても、2°C目標をはじめとした温室効果ガス排出量の大幅削減に向けた研究に取り組んでいます。大気中で気候に影響を及ぼす物質のうち、寿命が比較的短いことから短寿命気候汚染物質に分類されるブラックカーボン(黒色炭素)やオゾンも含めた排出シナリオは、研究ノートで詳しく説明していますので、そちらをご覧ください。

2. 2°C目標に向けた国際的な動きと日本の動き

2018年4月には、タラノア対話(タラノアとは、フィジーの言葉で「包摂的、参加型、透明な対話プロセス」を意味するもので、タラノア対話とは、2°C目標を達成するために、世界全体の温室効果ガス排出削減の取り組みに関する情報を共有し、取組意欲の向上を目指すことを目的としています)が求めている「我々は今どこにいるのか」「我々はどこに行きたいのか」「我々はいかにしてそこにたどり着くのか」という問いに対して、低炭素研究プログラムPJ3の2つのサブテーマが連携して、これまでの研究成果をもとにした情報提供を行いました。その内容は、現状の排出経路を、2°Cを実現する排出経路に軌道修正することは今ならまだ可能であること、そのためには現在提出されている2020年以降の排出削減目標を超えた更なる削減が各国が必要となりますが、未導入の政策を各国が早期に導入することで、そのような目標の深掘りが可能になること、などです。

また、2020年までに提出が求められている2050年を対象とした長期低炭素発展戦略について、先進国の多くは2°C目標に対応する温室効果ガス排出量の80%削減を目標として掲げていますが、EUでは2018年に提示した長期シナリオにおいて、80%削減とともに1.5°C目標に対応する2050年の排出量を正味ゼロにするシナリオも提示しています。日本も長期低炭素発展戦略の案が2019年4月によりやく明らかになり、パブリックコメントを経て正式決定され、

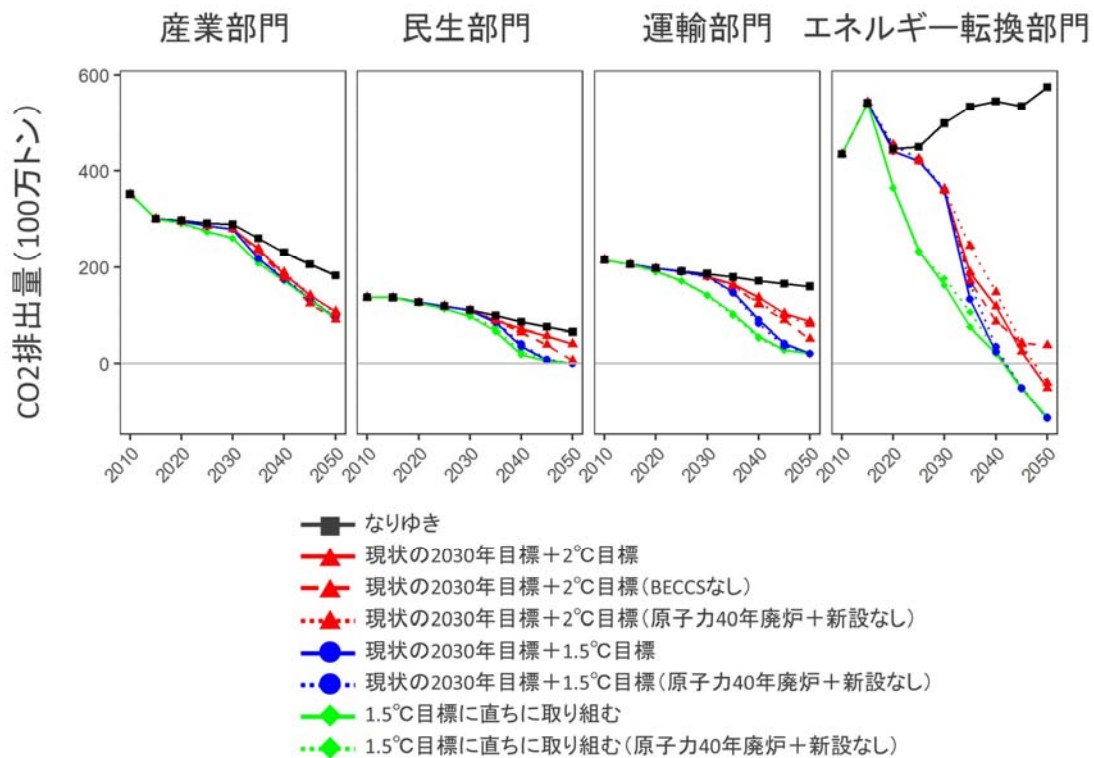
特集 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

6月のG20において紹介されました。しかし、21世紀後半のできるだけ早期に脱炭素社会を実現していくことを目指すという文言は含まれていますが、2050年の目標については2017年3月に環境省中央環境審議会が提示した長期低炭素ビジョンと同様に80%削減が明記されているだけで、具体的な手順に欠ける内容となっています。つまり、「イノベーション」という言葉に依存して、我々がどのような手順で取り組みを進めていけばいいのかという具体的なロードマップが明確ではありません。明るい未来像（ビジョン）を描くことは大切ですが、温室効果ガスの一刻でも早い削減が必要な現状では、ビジョンだけでは不十分で、具体的に何をしないといけないのかを明確にする必要があります。

3. どうすれば2°C目標、1.5°C目標は達成できるのか？

低炭素研究プログラムPJ3では、AIMによる定量的な分析や国際制度デザイン等を通じて、ロードマップを描いてきました。日本を対象としたAIMを用

いた試算でも、省エネの促進、低炭素電源の拡大、電化の促進の実現により、2°C目標に相当する2050年の温室効果ガス排出量を現状から80%削減するシナリオは描けることを示してきました。これより更に厳しい目標である1.5°C目標（2050年の排出量を正味ゼロにする）の分析も行っています（図を参照）。取り組みによる結果は部門によって異なります。エネルギー転換部門では、BECCS（バイオマス発電にCCSというCO₂の隔離、固定化を組み合わせた技術）を含む対策によって、排出量を正味でマイナスにする必要があります。需要側では、運輸部門において大幅な追加削減が必要で、電気自動車によって排出量をほぼ0にすることが必要となり、民生部門（家庭やオフィスなど）では電化や省エネを通じて80%減ケースでもほぼゼロ排出を達成することが求められます。一方で、産業部門からの排出量はいくらか残ります。また、温室効果ガス排出削減のすべては革新的な技術によるものではなく、既に実用化されている技術や実用化の見通しが立っている技術によって多くの削減が実現されます（最終的に80%



出典: Oshiro, Masui, Kainuma (2018) DOI: 10.1080/17583004.2017.1396842

図 日本を対象とした部門別のCO₂排出経路

削減するには革新的な技術は必要となりますが)。つまり、大幅な温室効果ガス排出削減に取り組む覚悟があるかが問われているといえます。また、技術だけでなく、どのような社会を実現するかという将来像や、生活様式をどのように変えるかという行動変容も重要となります。

こうした温室効果ガス排出量の大幅削減にむけた取り組みを強化していくためには、国民全体の議論が必要となりますが、日本における関心は決して高くはありません。筆者が連携教員を務める大学で学部生を相手に説明しても、こうした長期目標をきちんと把握している学生は少数派です。一方で、欧州各国では、目標設定の議論において、一般国民の代表も参加したステークホルダー会合が開催されています。一般国民も議論に参加できるように、低炭素研究プログラム PJ3 は具体的にわかりやすい低炭素社会、脱炭素社会への道筋を示すことが義務である

と考えています。世界では、スウェーデンの15歳の少女がはじめた「Fridays For Future (未来のための金曜日)」という運動がきっかけとなって、2019年3月15日には125カ国で160万人の子供や若者たちが学校に行かずに街頭で、政府の温暖化問題に対する無策に抗議しました。2050年の社会の主役であるこうした若い世代の問題提起に対して、きちんと答えられるような研究をしていきたいと考えています。

(ますい としひこ、社会環境システムセンター
統合環境経済研究室 室長)

執筆者プロフィール：

最近、保護犬を引き取りました。私にとっては、学生時代以来の犬の世話です。散歩のおかげで、歩く距離と時間が長くなり、暮らしている地域の様子がよくわかるようになりました。



【研究ノート】

「気候変動」と「大気汚染」の問題を同時解決！！

花岡達也

はじめに

気候変動は、集中豪雨、干ばつ、熱波、強い台風などの異常気象が世界各地で観測され、地球規模で影響が現れている問題です。一方で、大気汚染は、健康に影響を与えるだけでなく、生態系や建造物などにも被害を及ぼし、地域規模で影響が現れる問題です。世界気象機関(WMO)の報告によると、2015年の地球全体の平均気温は産業革命前と比べてすでに約1°C上昇していると報告され、さらに、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第五次評価報告書によると、気候変動の原因となる温室効果ガスの排出削減対策を取らなければ「産業革命前と比べて2100年には地球全体の平均気温が2.6°C~4.8°Cほど高くなる」と報告しています。また、世界保健機関(WHO)によると、経済発展が著しい発展途上国における大気汚染が特にひどく、2016年に大気汚染の原因とする病気で亡くなった15歳未満の子供の数が

世界で60万人を超えたと報告しています。すなわち、世界中の人々が現在の先進国の大量消費・大量生産型の生活スタイルを追従して消費水準をあげていくと、気候変動も大気汚染も悪化の一途をたどることになります。気候変動と大気汚染の問題を同時に解決できれば、地球規模でも地域規模でも、より良い環境を維持することができます。はたして、これらを同時に解決することはできるのでしょうか？我々の研究チームは、この課題の解決に向けて、現状および長期的な経済変動、人口動態、技術変遷、社会システムなどを考慮して、様々な対策とそれらの効果を分析する研究を進めています。

気候変動対策と大気汚染対策の組み合わせ方が鍵

では、どのような対策が有効なのでしょうか？それを理解するためには、まず、気候変動と大気汚染の原因物質とそれらの発生源、および環境影響への

特集 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

特徴を把握する必要があります。気候変動に影響を及ぼす温室効果ガスには、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、フロン類(CFCs, HCFCs, HFCs, PFCs, SF₆, NF₃)などがあります。また、大気汚染物質も、健康や生態系などへの影響だけでなく、気候変動にも影響を与えています。大気汚染物質は、ブラックカーボン(BC)、対流圏オゾン(O₃)など温室効果を持つものと、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)などが粒子状物質(PM)となり冷却効果を持つものに分類されます。これらの中でも、大気中での寿命(大気中に残存する年数)が数日から十数年と比較的短く、かつ温室効果を持つ物質であるBC、対流圏O₃、CH₄およびHFCsは「短寿命気候汚染物質(SLCPs: Short-Lived Climate Pollutants)」と呼ばれています。SLCPは大気寿命が短いため、削減対策による温暖化抑制効果も短期間に表れるだけでなく、大気汚染物質でもあるSLCPを削減すれば、大気汚染による健康や生態系などへの影響に対しても効果的です。一方で、CO₂、PFCs、SF₆、NF₃などの温室効果ガスは数百年と大気中に留まるため長寿命温室効果ガスと呼ばれ、一度大気中に放出してしまうと長い間温暖化に寄与するため、短期的だけでなく長期的にも削減対策が必要とされます。

ガスの種類によって主な発生源が異なりますが、特にCO₂、大気汚染物質(SO_x、NO_x、PMなど)、SLCPであるBCに注目すると、それらの発生源は共通して化石燃料燃焼に由来する排出量の割合が大きいですことが知られています。そのため、化石燃料消費に対する対策を取れば、気候変動対策にも大気汚染対策にもなる、といった共便益が得られる場合があります。しかし、対策の組み合わせ次第で、ある対策による削減効果を別の対策によって相殺してしまう場合もあります。例えば、世界で近年普及し始めている電気自動車を考えてみます。ガソリンやディーゼル(軽油)を消費する自動車・二輪車から電気自動車・二輪車に乗り換えた場合、CO₂、NO_x、BC、PMなどの直接的排出が削減され、沿道大気汚染は大幅に軽減される効果が得られます。しかし、アジア途上国の場合、発電部門において石炭火力発電の割合が大きいため、電気自動車・二輪車の利用増加に伴う電気消費量による間接的排出量(つまり、石炭火力発電所からのCO₂、SO₂、BC、PMなどの排出量)

が増えてしまいます。よって、地域全体でみたときに、電気自動車・二輪車の普及による直接的排出の削減効果が、電気消費による間接的排出の増加効果によって相殺されます。特にSO₂の場合、ガソリン・ディーゼルに由来するSO₂排出量よりも石炭火力発電に由来するSO₂排出量の方が大きいため、電気自動車・二輪車が普及しながら石炭火力発電の利用を継続すると、SO₂排出量は増加します。一方で、電気自動車・二輪車の普及と同時に、発電部門における再生可能エネルギーの普及を組み合わせると、CO₂、SO₂、NO_x、BC、PMなどを同時に大幅に削減することができます。他にも、大気汚染物質の排出源において特定の気候汚染物質を集中的に回収・除去する脱硫装置、脱硝装置、集塵装置など設置する対策を組み合わせることもできます。このように、ガスの種類別に主な発生源やその発生量が異なり、また対策の種類によってガス種別の削減効果が異なるため、発生源の特徴に応じた適切な対策の組み合わせが重要になります。

「気候変動」と「大気汚染」を同時解決する将来シナリオは？

では、国際的に気候変動や大気汚染などの将来シナリオに対して、どのような議論が進んでいるのでしょうか？2015年の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)では「産業革命前と比べた地球全体の平均気温上昇を2℃未満に抑える」目標(2℃目標)が、国連気候変動枠組条約に加盟する国々によって合意されました。「2℃目標」を実現するには、世界各国が協力して技術の高効率化・省エネ化を推進していく必要がありますが、化石燃料から再生可能エネルギーへ転換も重要です。再生可能エネルギーへの転換は、化石燃料の燃焼によって排出されるSO₂、NO_xなどの大気汚染物質を減らし、健康や生態系などへの影響は軽減します。しかし、SO₂、NO_xなどの大気汚染物質には地域的な冷却効果があるため、同時に温暖化をある程度促進してしまう可能性もあります。したがって、「気候変動と大気汚染の同時解決」を検討する際には、大気汚染物質による気候変動への影響と健康や生態系などへの影響を総合的に考慮する必要があります。特に、大気寿命が短く温室効果のあるSLCPsを早期に大幅削減

することは、温暖化の抑制にも大気汚染の軽減にも効果的だと考えられています。そのため、「2°C目標シナリオの達成に向けた気候変動対策と健康影響や環境影響の軽減対策を同時に実現し、さらに 2°C目標の実現性を高めるための早期の SLCPs 削減」を実現するような将来シナリオを国際的に議論していくことが重要になります。

そこで、世界多地域多部門の技術積み上げ選択モデル (AIM/Enduse モデル) を用いて、そのような将来シナリオを「探索」しました。国別・部門別・ガス種別に排出増減の傾向が異なり、またガス種別に大幅削減にむけた有効な対策の組み合わせが異なるため、様々な対策の組み合わせを分析し、最終的に表 1 に示すような 9 つのシナリオについて、相乗効果・相殺効果の傾向を解析しました。その結果、世界全体およびアジア全体でみたとき、CO₂ 排出経路は類似していても、対策技術の組み合わせ次第で、大気汚染物質 (SO₂, NO_x, PM, オーガニックカーボン [OC], 一酸化炭素 [CO], 非メタン揮発性有機化合物 [NMVOC]) および SLCP (特に BC) の排出経路は大きく異なることが分かりました。特に、SLCPs の早期の削減シナリオとして、BC や CH₄ の排出源に対する「直接的な削減対策」と、NO_x, CO, NMVOC の排出源に対して対策を取ること対流圏 O₃ 生成を抑制する「間接的な削減対策」に注目すると、1) 発電部門における電源構成、2) 発電・産業部門における CO₂ 回収貯留、3) 家庭・業務・運輸部門における電化率の促進、4) 発電・産業・運輸部門における除去装置導入の促進、に関する将来シナリオ

の設定が、結果に大きな影響を与えることが分かりました。表 1 に基づいて対策の導入強度および組み合わせを考慮して試算したアジアにおける主要なガス種の排出経路の違いを図 1 に示します。その結果、1) BC を大幅削減しつつ、健康影響を考慮して SO₂ も十分に削減し、2) 対流圏 O₃ の抑制のために前駆物質である NO_x, CO, NMVOC を削減し、また大気中 CH₄ 増加の抑制のために NO_x と CO を同時に削減し、かつ 3) SO₂, NO_x, NMVOC 削減による地域的な冷却効果の低減 (= 温暖化影響の増加) による相殺効果、を考慮すると、「2°C 目標と実現する対策を取りつつ、特に再生可能エネルギー強化、民生・運輸での電化促進、汚染除去対策は強化継続を進める (2D-EoPmid-RESBLDTRT)」シナリオが、総合的に気候変動と大気汚染を同時解決するシナリオとして有効ではないかと考えられます。

この研究で開発したモデルの結果の解釈を簡略化させて、タブレット上でも挙動する簡易評価ツール AIM/SLCP (Scenario Lookup by Coalition for Protecting environment tool) を開発しました。このツールによって、政策決定者を含めた一般ユーザーが独自に将来シナリオを検討し、ガス種別の排出量、削減量だけでなく、環境影響や健康影響を簡易に評価できるようになります。

http://www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/にて公開しています。主要な対策の組み合わせ方によって、どのガス種が、どのように増減するのかを把握することができますので、独自に将来シナリオを検討してみてください。

表 1 複数の将来シナリオの概要

シナリオグループ	シナリオコード名	グラフ	主な低炭素対策・大気汚染対策・短寿命気候汚染物質対策の組合せ					
			除去対策強化	2°C目標低炭素対策	CO ₂ 回収貯留(CCS)強化	再生可能エネルギー強化	民生部門電化強化	運輸部門電化強化
なりゆき	Ref							
除去対策のみ	EoPmid		Mid					
	EoPmax		Max					
2°C目標 +除去対策	2D-EoPmid-CCSBLD		Mid	✓	✓		✓	
	2D-EoPmax-CCSBLD		Max	✓	✓		✓	
	2D-EoPmid-RESTRT		Mid	✓		✓		✓
	2D-EoPmax-RESTRT		Max	✓		✓		✓
	2D-EoPmid-RESBLDTRT		Mid	✓		✓	✓	✓
	2D-EoPmax-RESBLDTRT		Max	✓		✓	✓	✓

特集 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

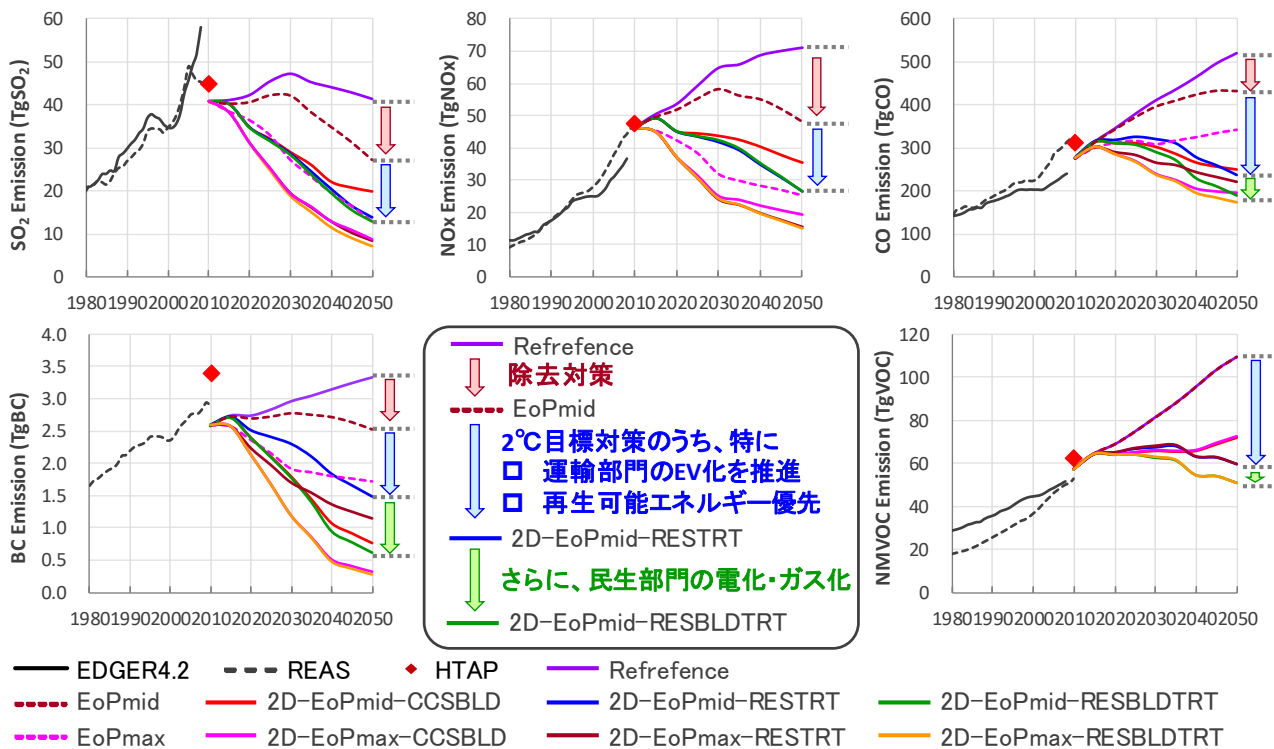


図1 複数の将来シナリオの検討：アジアのSLCP，大気汚染物質の排出経路の例

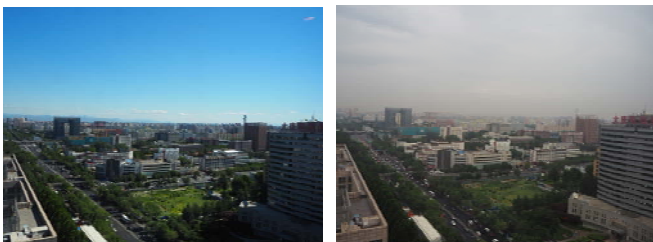
(はなおか たつや、社会環境システム研究センター
統合環境経済研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

幼稚園生の娘が私の似顔絵を描いて持ってきた。絵のタイトルを見ると「おひげのなかのおひげのとつと」と書いてある（とつと＝お父さん）。よく見ると顎のあたりに、点がたくさん書きなぐってあった。うん、髭が濃いのも悪くないなと思った瞬間です。



～表紙から～



北京市内で同じ場所から撮影した様子（花岡達也 撮影）
左：2019年6月30日、右：2019年7月5日

大気の状態がいい（快晴で風が強い日は大気汚染物質を吹き流す）と左の写真のように遠くの山まで見えますが、大気汚染の状況がひどいと右の写真のように遠くが霞んでしまいます。さらに大気汚染がひどいと、左側にある、門の様な形に見える二つの高層ビルあたりから先が見えなくなるそうです。

【環境問題基礎知識】

CO₂の社会的費用はおいくら？

山口 臨太郎

気候変動をもたらすCO₂の排出を削減するコストは、削減を行う時点で発生するのに対し、削減することの便益は、数百年、場合によっては数千年にわたって発生します。逆に言うと、追加的にCO₂が排出されると将来にわたって追加的に被害が生じることになります。ここで、1単位余計にCO₂を排出したときに人類(社会)が追加的に受ける被害を、CO₂の社会的費用(SCC; Social Cost of Carbon Dioxide)と呼びます。具体的には、2020年のSCCは、

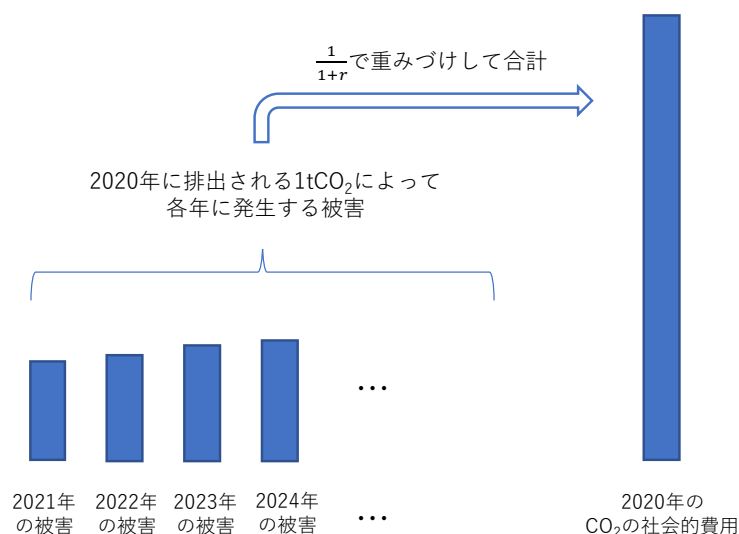
- ・ 2020年に追加的に排出された1tCO₂が2021年に人類にもたらす被害額 $\times \frac{1}{1+r}$
- ・ 2020年に追加的に排出された1tCO₂が2022年に人類にもたらす被害額 $\times \left(\frac{1}{1+r}\right)^2$
- ・ 2020年に追加的に排出された1tCO₂が2023年に人類にもたらす被害額 $\times \left(\frac{1}{1+r}\right)^3$
-

を将来まで足し合わせることで得られます(図1参照。排出から被害発生までの期間を1年間と単純化。CO₂濃度が高い状態にあるほど、追加的な1単位の

CO₂の被害がより大きいと想定)。ここで、 $r > 0$ を「消費割引率」と呼び(ここでは r は一定と仮定します)、被害の発生が未来であるほど大きく割り引かれることがわかります。なお、私たちが消費する財・サービスの単位(お金)で表した被害額を割り引くために「消費割引率」と呼びますが、以下では単に割引率と記すことにします。

割引率

ではなぜ将来の被害額を割り引くのでしょうか。主に二つの理由があります。第一に、私たちは同じ楽しみであれば、将来よりも現在その楽しみを味わうことを重視します。加えて、過去や現在と違って、将来が来るかどうかは厳密にはわからないという点も指摘できます。「明日の百より今日の五十」ということわざにもある通りです。第二に、人類が最近経験してきた経済成長が続くとしたら、将来世代ほど、より豊かな暮らしを送ることになると予想されるためです。現在世代にとっての1万円と、30年後のより豊かな世代にとっての1万円とでは、(インフレを無視したとしても)後者のありがたみが薄いと考

図1 CO₂の社会的費用の考え方

特集 世界を対象とした低炭素社会実現に向けたロードマップ開発手法とその実証的研究

られます。言い換えれば、現在世代が気候変動の対策にお金をかけることは、貧しい世代が豊かな世代のために投資することであるため、豊かな世代が受ける投資の便益は割り引くべき、という考え方です。

このような考え方に沿った割引率の決め方を「ラムゼー公式」と呼びます。単純化すれば、 r が低いほど将来の被害額の現在価値を高めに見積もることになるので、より厳しい排出削減を正当化することになります。たとえばウィリアム・ノードハウス（気候変動のモデルをマクロ経済のモデルと統合した功績で 2018 年にノーベル記念経済学賞を受賞しました）の統合評価モデルにおいては、結果として r が比較的高めに設定されていたため、緩やかな排出削減を推奨する結果が出やすいものとなっていました。たとえば $r=5\%$ の割引率は、金融資産の私的な収益率としては異常に高いとは言えませんが、100 年後の 1 ドルはたった 1 セントの現在価値しかないことになってしまい、地球上の将来世代の全員に影響する話に適用することには、抵抗を感じる人がほとんどでしょう。こうした背景もあり、近年、結果としてより低い割引率を推奨する研究が増えています。

CO₂の社会的費用（SCC）

SCC に話を戻しましょう。冒頭の式にあるように、SCC が割引率 r と密接に関わることは明らかです。たとえば、思い切って単純化して、毎年の被害額 D も割引率 r も一定だとしましょう。すると SCC は、 D/r という形に近くなります（債券や株価など金融資産の価格の式に似ていると思われるかもしれませんが）。すると割引率 r を 4% から 3% に下げるだけで、SCC が 1.25 倍になることがわかります。もちろん、実際には分子の D は一定ではなく、気温上昇幅が大きくなるほど、また経済規模が大きくなるほど高くなると考えられます。さらに、たとえば CO₂ の濃度が増えたときにどのくらい気温が上昇するかという

気候感度や（なお、気候感度については、国立環境研究所ニュース 37 巻 3 号もご覧ください）、CO₂ が排出されるタイミングも重要です。たとえば 2020 年に排出される CO₂ と 2030 年に排出される CO₂ とでは、後者の被害がより大きいと考えられます（CO₂ 濃度が高い状態にあるほど、追加的な 1 単位の CO₂ の被害がより大きいと想定されることが多いためです）。

それでは実際に SCC はどれくらいの規模なのでしょう。アメリカでは、火力発電所からの CO₂ 排出削減を目指したクリーンパワー計画を施行した前オバマ政権下で、省庁間ワーキンググループ（IWG）は $r=2.5\%$ 、 3% 、 5% という割引率を使い、三つの代表的モデルから SCC の中央値を 45 ドルとしました。これに対して現トランプ政権の下では、 $r=3\%$ 、 7% という割引率が使われ、さらに米国内で発生する被害だけをカウントするといった手続きを通じて（すなわち SCC の分母を大きく、分子を小さく見積もって）、2020 年の SCC はたった 1~7 ドルとされました。SCC が安いと、既存の火力発電所からの CO₂ 排出による被害を低く見積もることになり、再生可能エネルギー等のプロジェクトの実施は正当化されにくくなります。

さらに最近の研究でも、先述したノードハウスは、2020 年の SCC を 37.3 ドルとしていますが、割引率を 2.5% とすると 140.0 ドル、5% とすると 22.6 ドルになることも示しています（表 1 参照、いずれも 2010 年国際ドル換算）。また、SCC は地域別内訳にも大きなばらつきがあり、たとえば最近のリックらによる研究では、地球全体の SCC の 2 割がインドに集中するのに対し、ロシアやカナダなど寒冷地域では温暖化による便益（すなわちマイナスの SCC）が発生するとされています。

このように、自然科学的な事実だけでなく、将来世代の受ける被害にどれだけ重きを置くかという私

表 1 CO₂の社会的費用の計算例

割引率\排出年	2020年	2025年	2030年	2050年
2.5%	140.0	152.0	164.6	235.7
ベースライン	37.3	44.0	51.6	102.5
5%	22.6	25.7	29.1	49.2

出所) Nordhaus (2017) PNAS. 単位は国際ドル/tCO₂

たちの価値観が（割引率を通じて）SCCに影響することがお分かりいただけたかと思います。それでは、そもそもSCCは具体的に何に使うのでしょうか。ここでは次の三点を挙げたいと思います。

第一に、一般に環境政策は、政策にかかる追加的コストが政策による追加的便益と等しいところまで行うことが望ましいとされています（限界削減費用＝限界便益）。そのため、SCCと同程度かそれ以下のコストがかかる緩和策や適応策であれば、講じることが正当化されるといえます。たとえば2020年の排出を100万t CO₂減らせる規制があるとしたら、この規制の便益は3,730万ドルと見積もられるので、実施するコストがこれ以下であればこの規制を実施してよいと考えられます。またSCCは、理論的には一定の条件の下で炭素税と等しくなるため、経済的手法による脱炭素政策（カーボンプライシング）を実施するのに必要な数値となります。

第二に、SCCの具体的な数値はさておき、SCCの考え方は、私たちの生活が気候変動に与えている影響（カーボン・フットプリント）を実感するツールとしても生かれます。たとえば、日本とヨーロッパとを結ぶフライトで排出されるCO₂は、乗客1人当たり往復で約1トンの規模であるため、数百ドルの被害を発生させているともいえるのです。近年、この被害を相殺するカーボン・オフセット（自分の活

動により生じたCO₂の社会的費用と同じ額を、再生可能エネルギーのプロジェクト等に投資して打ち消すこと）の手段が提供されることも多くなってきました。

第三に、SCCは、大気中のCO₂ストックがあと1単位増えたときの社会的費用ですが、裏を返せば、CO₂吸収源という「自然資本」の社会的価値でもあります。近年、人工資本、人的資本、自然資本の合計（包括的富と呼ばれています）が減っていないことが持続可能性の条件として注目されています。この包括的な富を算出する際に、CO₂吸収源という「自然資本」に重みづけを与える価格が、まさにSCCです。他の条件が変わらなければ、割引率を低く設定してSCCを高く見積もることは、人類にとっての財産がより減っているという評価につながるのです。（やまぐち りんたろう、社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室 主任研究員）

執筆者プロフィール：

街中だけでなく山や川を見ながらのサイクリングがリフレッシュになります。平地をサイクリングするだけではあまり運動になっていないという不都合な真実には、気づかないようにしています。

第 23 期 マンスフィールド研修での経験

Michele Tempel

2019年5月27日から6月21日まで、国立環境研究所(NIES)でマンスフィールド研修生のミシェル・テンペル氏を受け入れました。マンスフィールド研修は、米国の連邦法であるマイク・マンスフィールド・フェローシップ法(1994年4月に成立)に基づくもので、日米両国の協力関係の推進に資するよう、連邦政府の行政府、立法府、司法府の職員に対し日本政府内における研修の機会を与えることを目的とした研修です。今回、本研修についてテンペル氏よりご寄稿いただきました。

こんにちは、ミシェル・テンペルと申します。

私は、米空軍のエンジニア士官として、世界中での米軍基地で、施設・設備全般、滑走路などの営繕及び建設に携わっておりますが、2018年7月から2019年6月の1年間は、この仕事を休ませて頂き、マンスフィールドフェローとして、来日しました。

マンスフィールドフェローシップは、1977年から1988年にかけて、日本で米国大使として勤務したマイク・マンスフィールドと言う方にちなんで名付けられました。米国と日本各国の政府職員間のネットワーク作り、政策課題の勉強、専門的な目的の研究、そして日本の理解を深めることを目的としています。

このフェローシップでは私の使命を果たすために、努力して参りました。まずは、エンジニアとして、日本における持続可能な開発とエネルギー効率の高い施設がどのように実現されているか探ることでした。二つ目は、軍人として、日米統合された地域安全保障努力及び防衛の施設や環境管理について学ぶことでした。そして最後に、日本語及び日本文化を勉強することでした。このフェローシップで得た学びは、期待した以上に素晴らしかったです。

この1年間、15の職場で様々な話題について勉強しました。都庁では、持続可能な開発の理解について、首都の環境及び交通管理に加えて、来年のオリンピックゲームのために持続可能な建設計画について学びました。また国土交通省の官庁営繕部では、政府施設管理、エネルギー消費管理、災害対策基準について勉強しました。さらに、環境省で福島第一原発の現状について学びました。持続可能な目標を達成するために原子力を使うのは温室効果ガス排出削減の方法の一つなので、日本の原子力計画や福島第一原発の回復について勉強するのは大切だと思いました。

民間部門でも二つの会社で研修する機会を頂きました。パナソニックとトヨタでの研修では、民間企業が持続可能な社会のために、何を、どのように行っているかを勉強しました。

持続可能性に関して、気候変動の分野も勉強しました。

このフェローシップが始まる前は、気候変動についてあまり知りませんでした。ところが、外務省の気候変動課、地球環境戦略研究機関、NIESの皆様のおかげで、温室効果ガスの排出削減のために実施されたパリ協定、国際努力、環境研究などについて知りました。さらに国会で、日本において、持続可能な開発の目標実現のために、どのように政策が作られているかを知りました。

持続可能性に加えて、米国軍人として、日米統合された地域安全保障努力活動について学びました。防衛省での研修では、太平洋地域の安全性と安定性のため、日米の作戦能力と相互運用性について学びました。それと、日米同盟の地位協定、基地での環境管理、施設建設、在日米軍の基地使用、施設の予算管理などを勉強しました。

一番最後の研修は、つくば市におけるNIESの本部で、素晴らしい経験をさせていただきました。この研修で、私は様々な環境専門家や研究者から詳しく教えていただきました。バイオトロンと言う植物研究施設で、イネに対するオゾンの影響やマングローブ研究を知ったり、光化学チャンバーでオゾンを作る実験を見学したり、環境試料タイムカプセルについて習ったりしました。

また資源循環・廃棄物研究センターで、NIESによる持続可能な循環社会への転換方策の研究と提案を知りました。この研究プロジェクトでは、色々な社会動向に対する他の政策と結合されて循環型社会の



写真1 Welcome Lunch Party でのひととき

実現方策を提示しています。例えば、高齢化や人口減少社会における循環経済の進展に向けた廃棄物処理政策を提案しています。

さらに琵琶湖及び霞ヶ浦における環境研究センターを見学させていただきました。このセンターで、全国の中で一番広い湖での生物学、水質、汚染対策の研究について知りました。具体的に二つの研究テーマについて聞きました。一つは、健全な水環境保全のための水質や底質環境に関する研究、もうひとつは、湖沼の生態系の評価と管理再生に関する研究でした。

水道水に関しては、PFOS という化学物質の研究について学びました。最近、米軍は基地周辺の水質にも配慮してきたので、この話題はとても大切だと思いました。1970 年から 2016 年にかけて、世界中の米軍基地の飛行場で、消火器に PFOS という化学物質が使われていました。軍の飛行場だけではなく、民間空港でも使われていました。しかし 2016 年に、環境研究によってこの化学物質は健康に良くないことが発表されました。このため、我々がその化学物質を調査して、対策を研究しています。NIES での研修の間に、国立保健医療科学院に行き、日本でこの問題について一番詳しい研究者に相談させていただきました。この方と、米軍によって引き起こされた日本の水質問題の現状について話させていただきました。

さらに、気候変動政策指標の研究も勉強しました。この研究で、G20 国で実施している政府政策とそれぞれの国での温室効果ガス濃度の関係について学び、どのように政策が排出量に直接影響しているかを知



写真2 研修成果報告会の様子

りました。この気候変動政策指標に関する研修で、国際社会がどんなことにチャレンジしているのかについて知りました。研究者によると、世界的な平均上昇気温を 2 度以下に保つには、世界中で決定した貢献目標が低すぎると習いました。現在自分の国はあまり貢献していないので、これを聞くと大変に遺憾で、アメリカで温暖化対策の意識を推進したいと感じました。

最後に、この研修で環境問題解決のための、日本における科学的なアプローチを知り、日本でも有数の環境専門家と話す機会も頂いたことを大変光栄に思っています。7 月からは米空軍に戻り、青森県にある三沢基地に赴任する予定です。三沢基地では、基地の環境管理の担当者になるので、NIES で学んだ色々な事を生かすのを楽しみにしております。このような一期一会の素晴らしい機会をくださった NIES の皆様に深く感謝しております。貴重なお時間を割いてご指導いただき、本当にありがとうございました。これから、日米関係の強化の為に、頑張り続けたいと思います。

今後とも、どうぞ宜しくお願い致します。

(ミシェル・テンペル、米国国防総省 空軍 大尉)

執筆者プロフィール：

空軍士官学校でのルームメイトが日系人だったことをきっかけに日本に興味を持ち、日本語の勉強を始めました。この一年間で、日本語の一番の上達方法は日本人の友達や同僚と話すことだと発見しました。



【行事報告】

国立研究開発法人国立環境研究所 公開シンポジウム 2019 「変わりゆく環境と私たちの健康」開催報告

セミナー分科会事務局

国立環境研究所では、毎年6月の環境月間に合わせて公開シンポジウムを開催しています。

本年は、6月14日（金）北九州市立男女共同参画センター ムーブ（福岡県北九州市）において、また6月21日（金）にはメルパルクホール（東京都港区）において、公開シンポジウム2019「変わりゆく環境と私たちの健康」を開催致しました。

北九州会場では210名、東京会場では640名の方々にお越し頂きました。スタッフ一同、心より御礼申し上げます。

今回のシンポジウムでは、人々の活動がどのような環境の変化を招くのか、環境の変化が私たちの健康にどんな影響を与えているのか、についての5件の講演、及び、「人への健康影響」を含む様々な環境分野のポスター発表を通して最新の研究の一端をご紹介しました。北九州会場では初の試みとしてパネルディスカッションを行い、様々な議論が交わされました。また質疑の時間には会場から活発な質問・意見を頂いたほか、終了後のアンケートでも、初の北九州会場やパネルディスカッションに関する事、講演内容に関する事、シンポジウムに関する事など様々なご意見をいただいております。

皆様からいただいた貴重なご意見は、今後の研究活動に大いに役立ててまいりたいと思っております。

【講演】

以下5件の講演を通して、当研究所の最新の研究動向や成果をご紹介致しました。

- 講演 1 子どもの環境保健－わたしたちの未来について－
環境リスク・健康研究センター 中山 祥嗣
- 講演 2 子どもの健康と環境に関する全国調査－エコチル調査から研究成果の紹介－
環境リスク・健康研究センター 山崎 新
- 講演 3 身の回りの製品に含まれる化学物質のちょっと気になる話
資源循環・廃棄物研究センター 梶原 夏子
- 講演 4 人の温度と地球の温度－私たちは地球温暖化の暑さに適応できるか？－
社会環境システム研究センター 高倉 潤也
- 講演 5 外来生物および人獣共通感染症がもたらす健康リスクとその管理－ヒアリとマダニを例に－
生物・生態系環境研究センター 五箇 公一

【ポスターセッション】

当研究所の若手研究者らを中心に22件のポスター発表を行いました。最新の研究動向や成果をご紹介するとともに、来場者の皆様と直接意見交換を行いました。

【パネルディスカッション（北九州会場のみ）】

当研究所理事長、講演者、外部有識者（北九州市立大学名誉教授、産業医科大学教授、北九州市立大学教授）が登壇し、来場者から事前に回収した質問票に沿って登壇者が質問に答えると共に、登壇者間の意見交換を行いました。

【資料等の公開】

講演及びポスターセッションの発表資料については、当研究所のホームページにおいて公開していますので是非ご活用ください。

<https://www.nies.go.jp/event/sympo/2019/>



写真1 北九州会場 ポスターセッションの様子



写真2 東京会場 講演会場の様子

表彰

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

日本水環境学会 平成 29 年度技術奨励賞

受賞者：今井章雄（企画部）

受賞対象：手法開発、報告、手引書および環境行政への貢献

日本微生物資源学会第 25 回大会機関ポスター賞

受賞者：佐藤真由美、山口晴代、河地正伸（生物・生態系環境研究センター）

受賞対象：NIES 藻類コレクションの 2017 年度活動報告，日本微生物資源学会第 25 回大会，日本微生物資源学会第 25 回大会要旨集，44-45，2018

IJHE John O M. Bockris Award for the most cited paper

受賞者：小林拓朗、徐開欽（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：A critical review on issues and overcoming strategies for the enhancement of dark fermentative hydrogen production in continuous systems, International Journal of Hydrogen Energy, 41 (6), 3820-3836, 2016

一般社団法人環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会 奨励賞

受賞者：倉持秀敏（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：事故由来の放射性廃棄物の熱処理に関する総説、放射性セシウムの揮発除去のメカニズム等の研究成果

第 45 回日本毒性学会学術年会優秀研究発表賞

受賞者：岡村和幸（環境リスク・健康研究センター）

受賞対象：妊娠期ヒ素曝露による孫世代肝腫瘍増加に関わる DNA メチル化で制御される遺伝子候補の肝細胞株における機能解析，第 45 回日本毒性学会学術年会，同予稿集，S226，2018

一般社団法人環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会 優秀口頭発表賞

受賞者：倉持秀敏（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：除染廃棄物等焼却飛灰に対する灰溶融の基礎的検討，第 7 回環境放射能除染研究発表会，予稿集，38，2018

新刊紹介

災害環境研究の今 第 2 号

本冊子は、国立環境研究所が福島支部を中心に進めている災害環境研究の最新の成果を、災害等で生じた様々な課題の解決に向けて社会の最前線で取り組んでいる方々へお届けするための冊子です。現場の課題を私たちがどの様に捉えているのかを概説し、関連する研究成果とともに分かりやすくお伝えします。

第 2 号では「地域資源を活用した環境創生型復興まちづくり」がテーマです。被災地の復興のためには、地域社会の課題を解決し、震災前よりも持続可能な社会をつくっていくことが重要です。本号では、そのアプローチとして取り組む、地域資源を活用し環境に配慮されたまちづくりに向けた研究を中心に取り上げています。

○<http://www.nies.go.jp/fukushima/saigai-update.html>



環境報告書 2019

本報告書は、2018 年度における国環研が取り組んだ環境配慮や環境負荷低減等の活動状況を取りまとめたものです。「地球温暖化の緩和」や「循環型社会形成」などの環境配慮の項目ごとに、図表や写真等を用いて取組結果や取組内容を紹介するとともに、今後に向けた取組の概要も記載しています。

また、“環境コミュニケーション”の重要な手段の一つである環境報告書をより多くの方に読んでいただけるよう、本報告書は環境配慮等の活動状況の紹介だけでなく、環境問題を研究している研究者等によるコラムや研究所構内の動植物の紹介など、国環研ならではの情報も広く紹介しており、読み物としても楽しんでいただけるような構成になっています。

ぜひご一読いただけますよう、お願い申し上げます。

○<http://www.nies.go.jp/kankyokanri/ereport/2019.html>



国立環境研究所構内自然探索 2019

本冊子は、2006 年から国環研が刊行している環境報告書に毎年掲載されてきた「国環研自然探索」のページを中心に、年 6 回発行の国立環境研究所ニュースに不定期に掲載されていた自然紹介コラム「木漏れ日便り」からの抜粋などを加えて編集したもので、2 年に一度刊行されています。今回の 2019 年版では、構内の緑地管理の歴史を紹介する記事が加わり、国環研の建設当時の様子から、近年、生き物に配慮した管理がされるようになってきた経緯までが説明されています。また、あらたに構内のハチと、樹木の紹介も加わりました。

ぜひご一読いただき、国環研構内に暮らす生き物の多様さをご覧ください。

○http://www.nies.go.jp/kanko/sonota/nies_shizentansaku2019.pdf



編 集 後 記

今年 2019 年 3 月の世界気象機関(WMO)の報告書によると、2018 年の世界の平均気温は産業革命以前の基準とされる 1850 年から 1900 年までの値 (13.7℃) より 1℃ほど高い。昨年 10 月の国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の報告書では、現状の温暖化ペースが続けば、2030 年から 2052 年と幅が

ありますが、この間に産業革命以前より 1.5℃の上昇 (年々変動が大きいため平均的な値として) に達する可能性が高いとしています。1.5℃ないしは 2℃以内の上昇に抑えるために人類はどうあるべきか、本特集号から学んで頂ければと思います。

(T.S.)

国立環境研究所ニュース Vol. 38 No. 3 (令和元年 8 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。
<http://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。