



大気観測で名高いスイスのユングフラウヨッホ高地研究所からの景色。  
左上に見えるのは施設の観測ドーム

## 2017年11月号 [Vol.28 No.8] 通巻第323号

「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢最終版」の公表

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多  
社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室長 高橋潔

大気中の温室効果ガス濃度の値を世に出している人たちの集まり

地球環境研究センター 炭素循環研究室 高度技能専門員 野村渉平

環境研究総合推進費の研究紹介 [20] 北極のブラックカーボンはどこからどのくらいやってくる？ 環境研究総合推進費2-1505 「アジア起源の短寿命気候汚染物質が北極域の環境・気候に及ぼす影響に関する研究」

地球環境研究センター 地球大気化学研究室長 谷本浩志

【オピニオン】 「分煙」を手がかりに考える「脱炭素」の大転換

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多

米国・中国・日本の高校生が参加した四日市市「高校生地球環境塾」発表会について

地球環境研究センター 交流推進係

未来について、親子で考えた一日。 広告代理店アサツー・ディー・ケー（ADK）主催ワークショップへの協力

衛星観測センター 高度技能専門員 石澤かおり

【最近の研究成果】 植物個体群モデルを現実に近づける：平均場を仮定したモデルの有効な補正について

地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 特別研究員 中河嘉明

## 「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢最終版」の公表

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多  
社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室長 高橋潔

### 1. はじめに

ICA-RUS (Integrated Climate Assessment – Risks, Uncertainties and Society–) は、環境省環境研究総合推進費S-10「地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究」として2012～16年度に実施された。ICA-RUSは、制約条件、不確実性、リスク管理オプション、社会の価値判断を網羅的に考慮した、地球規模での気候変動リスク管理戦略の構築・提示を目的とした研究課題であり、本稿報告者の江守が課題代表を、高橋がテーマ1（総括班・リスク管理戦略の構築）リーダーを担当した。また、テーマ2（土地・水・食料の最適利用戦略）、テーマ3（気候変動リスクの分析）、テーマ4（気候変動リスク管理オプションの評価）、テーマ5（気候変動リスク管理における科学的合理性と社会的合理性の相互作用）については、それぞれ山形与志樹国立環境研究所主席研究員、鼎信次郎東京工業大学教授、森俊介東京理科大学教授、藤垣裕子東京大学教授がテーマリーダーを担当した。2015年3月に、中間報告（地球規模のリスクに対する人類の選択肢第1版：<http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version1/index.html>）を公表し、その概要については国環研ニュース2015年10月号（<https://www.nies.go.jp/kanko/news/34/34-4/34-4-02.htm>）に掲載した。研究プロジェクトの構成や目的についても同記事で紹介をしている。その後、ICA-RUSでは、2017年6月にその報告書の最終版（地球規模のリスクに対する人類の選択肢最終版；以下「報告書最終版」と呼ぶ：<http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version2/index.html>）を公表した。本稿では報告書最終版の概要について紹介する。

ICA-RUS REPORT 2017		
地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究		
Integrated Climate Assessment-Risks, Uncertainties and Society		
CONTENTS	目次	
■ エグゼクティブ・サマリー .....	1	
■ 1 ICA-RUS の検討体制 .....	3	
1.1 ICA-RUS の検討枠組 .....	3	
1.2 ステークホルダーとの対話 .....	3	
■ 2 「戦略」評価方法 .....	4	
2.1 「戦略」の考え方 .....	4	
2.2 「戦略」検討にあたっての留意事項 .....	5	
2.3 「戦略」の評価手順と構成要素 .....	6	
2.4 分析ケース .....	7	
■ 3 「戦略」評価結果 .....	8	
3.1 影響評価結果 .....	8	
3.2 対策評価結果 .....	16	
■ 4 気候変動問題に係る意思決定における社会的合理性 .....	22	
4.1 気候変動リスク管理をめぐる社会的合理性の理論 .....	22	
4.2 気候変動リスク管理をめぐる人々の意思決定 .....	23	
4.3 気候変動リスク管理をめぐるリスク認知構造 .....	24	
■ 5 今後の課題 .....	25	

図1 報告書最終版の構成内容

### 2. パリ協定とICA-RUSプロジェクト

ICA-RUSの5年の研究実施期間のうちに、気候変動問題をめぐる状況は大きく進展した。2015年末に、国連気候変動枠組条約の第21回締約国会議がパリで開催され、2020年以降の気候変動対策の新しい国際枠組である「パリ協定」

が採択された。パリ協定には「世界的な平均気温上昇を工業化以前に比べて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」こと、そのために「今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成する」ことが長期目標として盛り込まれた。パリ協定は2016年11月に国際条約としては異例の速さで発効し、国際社会がこの長期目標を目指す体制が整った。

パリ協定採択前まで、ICA-RUSでは、世界が1.5°C、2°C、2.5°Cといった異なる長期目標を目指したそれぞれの場合の、避けられるリスクや残留するリスクは何か、対策に伴うコストや副作用のリスクは何か等を整理し、人類が気候リスクに対処する方針の「選択肢」を示すことに努めてきた（第1版）。しかし、パリ協定で長期目標が合意されたことにより、人類の「選択」はすでに成されたとみることができる。そこで、パリ協定採択以降は、長期目標別のリスク分析・対策分析を拡充するとともに、プロジェクトの研究成果に基づき、パリ協定の長期目標の含意をリスクの観点から解釈し、残された課題について議論した。

### 3. 報告書最終版での分析の概要

報告書最終版では、工業化以前からの世界平均気温の上昇を66%程度の確率で1.5°C、2.0°C、2.5°C以下に抑えるための排出経路を緩和目標として掲げることを、それぞれT15、T20、T25という3つの「戦略」として設定した。その上で、影響評価と対策評価の両面から、不確実性を考慮しつつ、地球規模における各「戦略」の帰結を比較することを試みた（図2）。

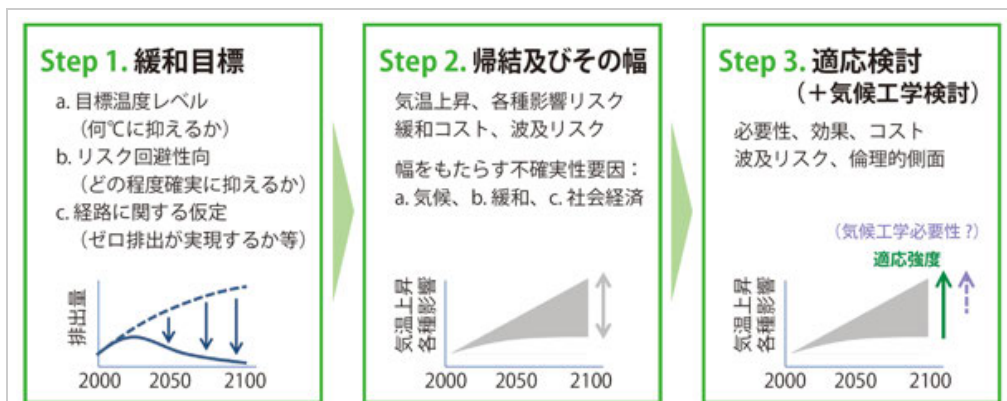


図2 全球規模での気候変動リスクの管理戦略の検討手順

Step1で気候目標を設定し、Step2で目標実現に必要な排出削減努力と、目標達成にも関わらず残る気候変動リスクを論じ、さらにStep3ではその残された気候変動リスクへの対処について検討した。

農業、生態系、水資源、洪水、健康、ティッピングエレメント<sup>[注]</sup>の各項目について影響評価を行った結果、一般的傾向として、「戦略」間の差は、各「戦略」とBaU (business as usualの略：気候変動対策無しの場合と同義)との差に比べて小さく、かつ気候不確実性の幅と比べても小さいことが示された。このことから、地球規模リスクの観点からは、1.5°C、2.0°C、2.5°Cのいずれを目指すかという選択よりもむしろ、大きな方向性としてそのいずれかに確実に向かっていくこと、および気候不確実性への対処を考えることが重要であるという示唆が得られた。ただし、本研究では影響評価項目の包括性に限界がある上に、市場価値のような統合指標への換算ができておらず、項目間の比較や対策評価との比較にも限界があることに注意を要する。また、特定地域における特定項目の影響では「戦略」間の差が小さいとはいえない可能性がある。さらに、ティッピングエレメントに注目すると、「戦略」間の差が重要な意味を持つ可能性がある。ICA-RUSでは、既存知見を基に簡便な仮定を置いて、グリーンランド氷床融解の不安定化と北極海の夏季海氷の消滅について、閾値 (ティッピングポイント) を超える確率を「戦略」ごとに試算した。T15では、2100年までに閾値を超える確率がT20に比較して半分前後に抑えられる結果となり、閾値現象を考慮することにより「戦略」間に顕著な帰結の違いが認識される可能性が例示された。

各「戦略」の緩和目標を達成するために必要な緩和策および経済損失等を複数の統合評価モデルを用いて見積もった結果、「戦略」間の差は顕著であった。特にT15は、本研究で用いた対策評価モデルの範囲では、よほど楽観的な条件の下でないと実現しないか、モデルによっては実行可能解が得られなかった。これらの「戦略」の緩和目標を達成するための技術オプションの選択は、モデルによって大きく異なり、原子力の大規模な導入により達成する方法も、再生可能エネルギーの大規模な導入により達成する方法もあることが示された。一方で、CO<sub>2</sub>隔離貯留 (CCS) はど

のモデルに従ってもある程度大規模な導入が必須である。なお、バイオマスエネルギーに大きく依存する対策を想定した場合、大規模バイオマス生産のための農地需要により、食料生産との競合、水資源の逼迫、生態系サービスの損失といった波及的な影響も懸念されることが、食料・水資源・生態系モデルを用いた追加分析により示唆された。一般に、統合評価モデル分析では、世界全体での経済合理的な最適行動を前提としているため、コスト等の見積りが楽観的になる傾向がある。しかし一方で、技術体系や社会経済体系を大きく変えるような未知のイノベーションを表現することはできないため、現実より悲観的な面があると見ることもできる点に注意を要する。

#### 4. パリ協定の長期目標の含意と課題

パリ協定の排出経路目標は、上述した「大きな方向性として1.5°C、2.0°C、2.5°Cのいずれかに確実に向かっていくこと」の指針となる行動目標として評価できる。一方、排出経路目標が実現した際に温度目標が実現するかどうかは現実の気候感度等に依存し、不確実性がある。この不確実性に対処するために、第一に、「学習」による不確実性の低減に期待することができる。ICA-RUSでは、今後の気温上昇の推移を監視することによって、今世紀末の気温上昇予測の不確実性を今世紀半ばまでに半分程度まで減らせる可能性を示した。

また、将来の気温上昇が高い（～気候感度が高い）ことが判明した場合に採りうるオプションとして、「A. 温度目標を超える気候状態の受入れ（適応を含む）」、「B. 緩和の強化による温度目標達成の追及」、「C. 気候工学（特に太陽放射管理）による気温制御」を提示し、追加分析を行った。Bについて、本研究の分析では、例えば気候感度を3.65°Cと仮定して気温上昇2°C未滿を目指す緩和経路に沿った後、今世紀半ばに気候感度が4.5°Cと判明して2°C未滿を目指すために緩和経路を強化した場合、T15を超える大きな経済損失が生じるという結果を得た。また、Cについて、本研究では、太陽放射管理の代表的アイデアである成層圏エアロゾル注入の実施コストが従来の想定よりも数倍以上大きいことを示すとともに、気候工学をめぐる倫理的な課題の検討を行った。なお、A、B、Cのいずれを選択したとしても、パリ協定の排出経路目標の実現により温度目標を達成できた場合に比べて、追加的なリスクを引き受ける必要があることに注意を要する。

#### 5. おわりに

パリ協定での（世界的な平均気温上昇を工業化以前に比べて）1.5°Cに抑える努力への言及を受け、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は1.5°C特別報告書を2018年までに作成・公表することになった。また、パリ協定の目的および長期目標に向けた世界全体の進捗状況を定期的に確認し、取り組みを強化していく仕組みとして「グローバルストックテイク」が規定され、その第1回は2023年に予定されている。一方、現状では、各国の対策目標を合計しても世界全体で目指すべき削減ペースが実現する目途は立っておらず、今後は各国の目標の強化が求められる。パリ協定の採択・発効により、気候長期目標の議論が終わりになるわけではなく、問い直される機会はおそらく繰り返し訪れる。ICA-RUSの成果、あるいはそれを礎とした今後の研究成果が、議論の指針を与えるものであることを祈っている。

#### 脚注

- 海洋深層大循環の停止やグリーンランド及び南極における氷床の不安定化などの、しばしば不可逆性を伴う地球システムの大規模な変化

## 大気中の温室効果ガス濃度の値を世に出している人たちの集まり

地球環境研究センター 炭素循環研究室 高度技能専門員 野村渉平

第19回二酸化炭素・温室効果ガス等の計測技術に関する国際会議（19th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Greenhouse Gases & Related Measurement Techniques, GGMT-2017）が2017年8月27日から31日までスイスのデューベンドルフ（Dübendorf）にあるEMPA（Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology）で行なわれました。

この会議は、大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度をハワイのマウナロア山と南極で精緻に連続観測したC. D. Keeling博士が、1975年にアメリカのスクリプス海洋研究所で開催したCO<sub>2</sub>の測定技術についての会議が発端となり、その後2年に一度開催され、現在に至っています。

今回の会議では東南アジアやオセアニア諸国からも新たに参加者が加わり、多くの国で温室効果ガスの観測が実施されていることを実感しました。

ここで行われた47件の口頭発表と70件に及ぶポスター発表では、温室効果ガスの観測に関連する最新の報告がなされ、様々な議論が行われました（写真1）。例えば、温室効果ガス観測の根幹を支える測定精度や標準ガスについては、アメリカ海洋大気庁（National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA）が1960年代から全球規模で実施しているフラスコサンプリング（調査サイトの大気を専用のボトルに毎週採取して、アメリカのコロラド州にあるNOAAの分析室に搬送し、ボトル内の温室効果ガス濃度を測定）において、大気が採取される瞬間の風向や風速の違いにより生じる採取された大気の質のばらつきや測定誤差などが整理され、目指す測定精度に到達するための課題が示されました。またそのプログラムで測定されたCO<sub>2</sub>濃度について、濃度を求める際に使用していた式の係数のわずかな変更およびCO<sub>2</sub>濃度測定時に生じるCO<sub>2</sub>の損失量の改訂を行い、1996–2015年のCO<sub>2</sub>濃度の値を修正したことが報告されました（例えば400.00ppmは400.17ppmに修正）。さらに観測された大気中ガス成分の濃度を決定する際に用いる標準ガスの濃度がボンベ内で経年変化している実態が報告され（主に一酸化炭素（CO））、その変化を小さくするための標準ガスの作成方法等が紹介されました。続いて、CO<sub>2</sub>の $\delta^{13}\text{C}$ を測定している複数の機関が精度良くCO<sub>2</sub>の $\delta^{13}\text{C}$ を測定できていること、そして各機関のCO<sub>2</sub>の $\delta^{13}\text{C}$ の値の差が示され、CO<sub>2</sub>やメタン（CH<sub>4</sub>）濃度と同様に、CO<sub>2</sub>の $\delta^{13}\text{C}$ も精度管理が整っていることが報告されました。またAirCore（上空数kmの地点から下降する過程で大気をコイル状に巻かれたチューブ内に採取する装置）で採取された微量の大気を用いて<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>を測定した試験等も報告され、温室効果ガスのモニタリングが多角的に行われている現状を知りました。

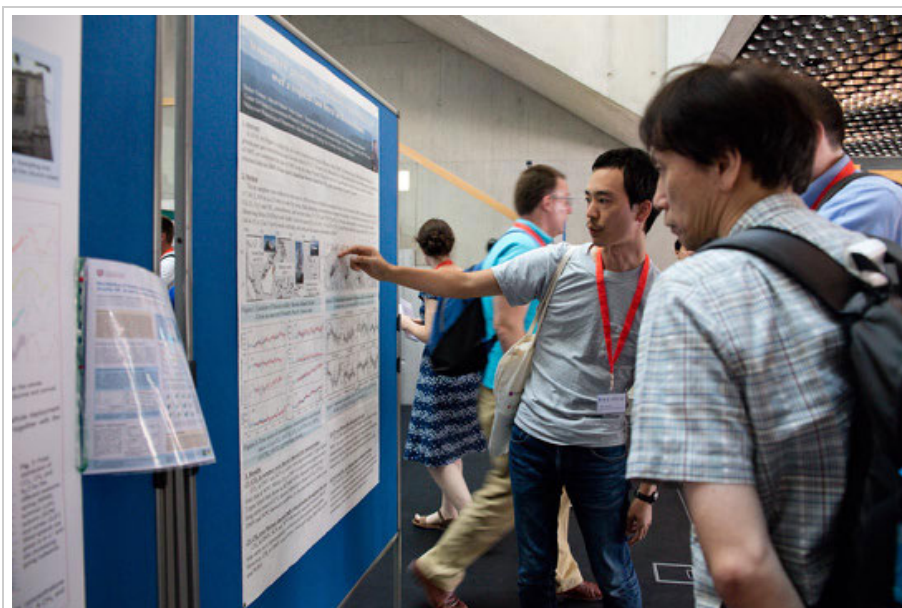


写真1 ボルネオ島で観測された温室効果ガスの結果を報告する筆者

次に各機関が行っている温室効果ガス観測の現状が紹介されました。先ずヨーロッパの各機関が集合して作られた組織により行われている温室効果ガスの観測事業（地上での温室効果ガスの観測（ICOS-RI）と、民間航空機に観測機器を搭載して実施されている上空の温室効果ガス観測（IAGOS））について紹介され、ヨーロッパにおいて着実に温室効果ガス観測の整備が進んでいることが報告されました。その他にアメリカのスクリプス研究所（写真2）などが行っている温室効果ガスの観測が報告されました。また新たに観測が開始された地点（ブラジル、フィジー、インド、香港、インドネシア、マレーシア、キルギス）も多数報告されました。ブラジルの観測では、乾季における降水量の低下に伴いアマゾンの森林において2014年以降、一年を通じてCO<sub>2</sub>吸収から放出になっていることが報告され、参加者の注目を集めました。さらに都市内の複数地点で大気中の温室効果ガス濃度の観測を行い、得られた観測値とモデルを組み合わせて都市から排出される温室効果ガスを推定する「Mega-city部門」では、前回の会議より多数の観測事例（アメリカのインディアナポリス、ワシントン、ロサンゼルス、日本の東京（スカイツリー）、インドネシアのジャカルタ）が報告されました。



写真2 スクリプス研究所の観測を報告するRalph Keeling博士

本会議には国立環境研究所から9名が参加しました。そこで我々が行っている日本北アメリカ間、日本オーストラリアニュージーランド間、日本東南アジア間を航行する貨物船を用いた航路上の温室効果ガス濃度の観測で得られた値の精度確認、および酸素濃度の観測結果を報告しました。他に2010年から開始したボルネオ島での温室効果ガス観測の結果、2015年から開始したインドネシア・ジャカルタ近郊での温室効果ガスおよび<sup>14</sup>C<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の観測結果、2016年から開始した東京スカイツリーでの温室効果ガス観測の結果、さらに我々がCO<sub>2</sub>濃度観測に用いている標準ガスの同位体効果について報告しました。

今回の会議からEmerging Techniques（新たな技術）部門が新設され、Cavity Ring-Down Laser Spectrometer（CRDS<sup>[注]</sup>）などの新たな機器を用いた温室効果ガス測定値が、従来の測定法より精度が良いことや、安価なCO<sub>2</sub>濃度測定機器を開発して都市内に複数設置し都市のCO<sub>2</sub>排出源の詳細を明らかにする研究が紹介されました。会議の最後に2年後のGGMT-2019の開催地が韓国の済州島に決定したことが発表されました。

## 脚注

- CRDSについては、向井人史「長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介— [14] キャビティリングダウン分光法で測る温室効果ガス—落語風説明—」地球環境研究センターニュース2016年12月号を参照

\*GGMTに関するこれまでの記事は以下からご覧いただけます。

- 寺尾有希夫「温室効果ガスを測るひとびとの集い：GGMT-2013参加報告」2013年7月号
- 勝又啓一「40周年を迎えた温室効果ガス観測国際会議」2015年11月号

## トップ・オブ・ヨーロッパ

地球環境研究センター 炭素循環研究室 高度技能専門員 遅野井祐美

GGMT-2017が開かれたスイスには大気観測で名高いユングフラウヨッホ高地研究所があります。標高3580m、ヨーロッパで最も高い場所にある研究施設です。私たちが大気観測を行っている富士山特別地域気象観測所（標高3776m）とほぼ同じ高さですが、富士山とは違って施設まで鉄道で行くことができます。

今回のGGMT-2017に合わせてこの研究所の見学ツアーが開かれたので、私たちも列車に乗って山を登り、施設を見せてもらいました。施設内の研究機器の中には1931年の創設当初から使われているものもあり、長い歴史とたくさんの研究者の足跡を見ることができました。さらに、研究者用の宿泊設備はまるでホテルのように素晴らしく整備されていて、ここでならさぞ良い研究ができるだろう、と羨望のため息をもらしてしまいました。

この日は9月だというのに雪が降っていて外は何も見えませんでした。晴れていれば観光用の展望台から美しいアルプスの山々を望むことができるそうです。スイスへご旅行の際にはぜひ足を運んでみてください。



晴れた日にはこのような絶景がひろがります。左上に見えるのが施設の観測ドーム



氷点下、吹雪の中で集合写真撮影。一年中最寒いですが晴天が多いのは5月と9月だそうです





## 環境研究総合推進費の研究紹介

### 20 北極のブラックカーボンはどこからどのくらいやってくる？

環境研究総合推進費2-1505 「アジア起源の短寿命気候汚染物質が北極域の環境・気候に及ぼす影響に関する研究」

地球環境研究センター 地球大気化学研究室長 谷本浩志

#### 1. はじめに

近年、北極圏における急激な環境や気候の変化が世界的な関心事になっています。一方、温暖化が進むと北極海航路が開けたり、海底資源が探査できるといった社会経済的な利便性も指摘されています。こうした状況で、平成25年にわが国は北極評議会へのオブザーバー資格を獲得しました。現在、北極圏における国際的枠組み作りに環境分野で貢献していくための戦略と科学的知見による裏付けが早急に必要とされています。具体的には、北極評議会の中に欧米を中心としたブラックカーボン（BC）とメタンのタスクフォースが立ち上がり、ブラックカーボンの巨大発生源であるアジアに注目した研究を早急に行う必要がありました。本研究では、人間活動や森林火災など人為および自然起源発生源から放出されるブラックカーボンに注目し、北極圏へ長距離輸送される経路や頻度、北極圏での沈着量など、環境や気候に関する重要な情報を提供することで、国際貢献に資することを目的としています。

#### 2. ブラックカーボンとは？ その働きは？

BC粒子は、大気中を浮遊する微小粒子（エアロゾル）の成分の一つで、すす粒子や元素状炭素とも呼ばれています。ディーゼルエンジンの排気ガス、石炭の燃焼、森林火災、薪などバイオマス燃料の燃焼など、炭素を主成分とする燃料が燃焼した際に主に発生します。これらはメタンなどの温室効果ガスと異なり大気中での存在時間が短い大気汚染物質であると同時に気候に影響する物質であることから、短寿命気候汚染物質（Short-Lived Climate Pollutant: SLCP）と呼ばれるものの一つです（図1）。

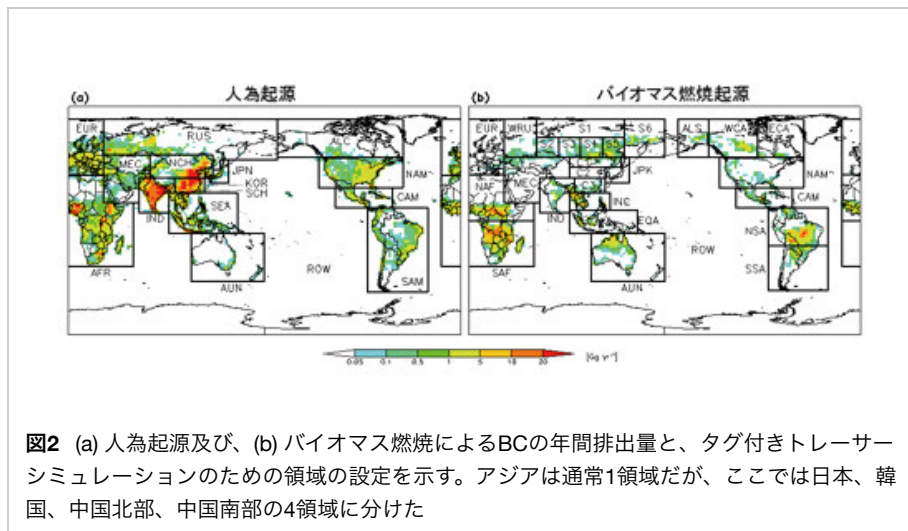


図1 様々な発生源から排出されたブラックカーボン粒子が北極圏へ輸送され、沈着する様子の模式図

BCは太陽光を吸収する性質があり、大気を加熱したり、積雪や海氷面に沈着して太陽光の反射率を下げ、氷の融解を促進することで、気候変動を加速する可能性が指摘されています。北極圏は地球上で最も速く温暖化が進行している地域であり、北極圏におけるBCの発生源を理解することは重要かつ緊急の課題となっています。

そこで、世界中の研究者がグローバル大気化学輸送モデルを用いて観測データを再現し、BCの影響を正確に評価しようと試みていますが、濃度レベルやその季節的な変化といった基本的なことさえうまく再現できない状況です。世界中の科学者が行った化学輸送モデルの国際相互比較実験では、北極圏でBC濃度の季節変化が再現できていないモデルが多く、モデル間のばらつきも非常に大きいことが報告されました。これは、主に発展途上国からの排出が大きいBCの発生源について分布や強度情報（インベントリ）が圧倒的に不足していること、微粒子として大気中を輸送される際の変質過程（疎水性BCが親水性BCへと変質する過程）や除去過程（降水等による湿性除去過程）がよくわかっていないこと、が原因です。

我々は世界各地の発生源から排出されたBC粒子の排出、輸送、変質、沈着を計算できるモデルを用いて、北極圏のBCがどこからどのくらい運ばれてきて、どこへいくのか、といった発生源別の寄与や収支の評価を行いました。具体的には、発生源の種類（人為起源及びバイオマス燃焼起源）と様々な地域ごとに排出されるBCの濃度をそれぞれ区別して計算する「タグ付きトレーサー法」を全球化学輸送モデル（GEOS-Chem）に導入しました（図2）。



### 3. 北極のブラックカーボンはどこからどのくらいやってくる？

モデルを用いて、世界各地のBC発生源が北極圏のBC濃度や沈着量に及ぼす寄与を評価しました。図3に北極圏（北緯66-90度）で平均した地表面付近及び中部対流圏にあたる高度5kmでのBC濃度に対する発生源別の寄与の季節変化を示します。地表面のBC濃度に対しては、ロシア及びヨーロッパの人為起源BCによる寄与が重要であり、特に冬季と春季にかけて増加します。夏季は人為起源BCの寄与は減少する一方、シベリアやアラスカ・カナダにおける北方森林火災起源のBCの寄与が増加します。年平均濃度では、ロシアの人為起源BCの寄与が62%と最大の寄与を占め、ヨーロッパが13%で続きます。

北極圏の高度5kmでは、東アジア（日本と朝鮮半島、中国の合計）の人為起源BCの寄与が最大であり、年平均では41%を占めました。季節では、春季に最大となりました（図3）。

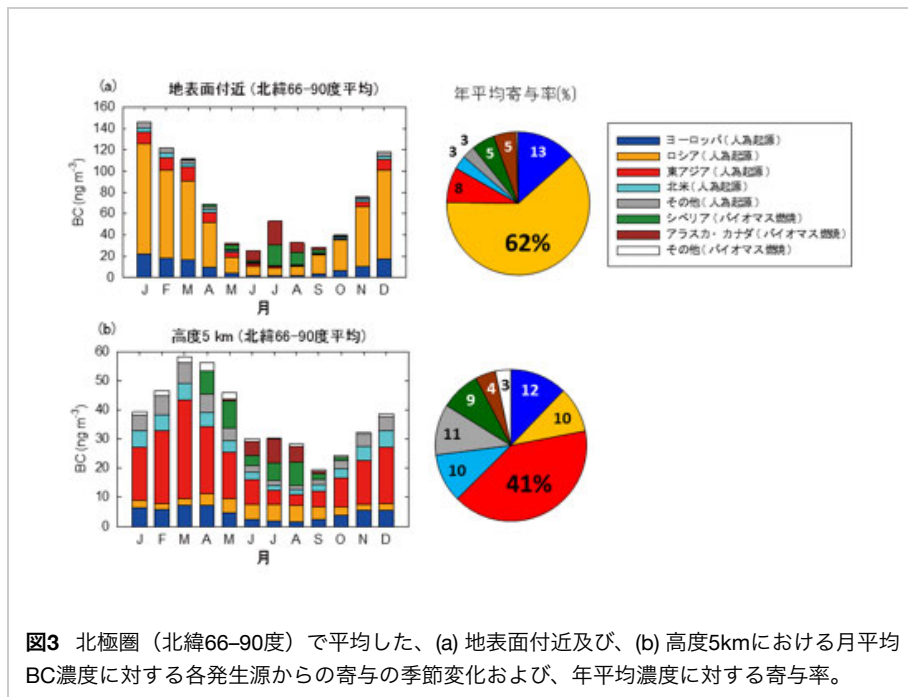


図3 北極圏（北緯66-90度）で平均した、(a) 地表面付近及び、(b) 高度5kmにおける月平均BC濃度に対する各発生源からの寄与の季節変化および、年平均濃度に対する寄与率。

北極圏で鉛直積算した量（カラム量）について見ると、東アジアの人為起源BCの寄与が最も大きく（27%）、ロシアの人為起源の寄与（21%）が続きます。東アジア起源のBCは、他の重要な発生源地域（ヨーロッパやロシア）からのBCと比べて、北極圏に到達するまでに降水によって除去される割合が大きいにもかかわらず、北極圏の大気中のBCに対して重要な寄与を持っています。これは、東アジアのBC排出量が非常に大きいことが原因です。

北極圏での沈着量に対しては、ロシアの人為起源BCが最も大きな寄与を占め（35%）、ヨーロッパ起源の寄与（19%）が続きます。沈着量については、人為起源のBCだけでなく、シベリアやアラスカ・カナダの森林火災起源のBCも重要な寄与（12-15%）を持つことがわかりました（図4）。

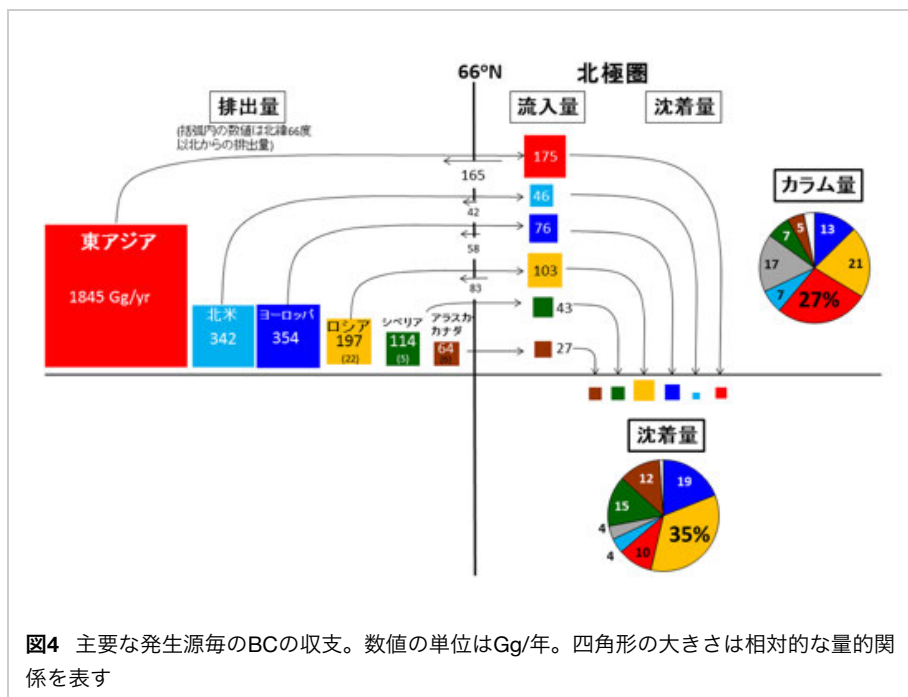


図4 主要な発生源毎のBCの收支。数値の単位はGg/年。四角形の大きさは相対的な量的関係を表す

#### 4. 異なる高度で異なる地域が重要となる、その意味は？

東アジア起源BCの寄与は北極圏の地表面付近では大きくありませんが、中部・上部対流圏で重要となりました。一方、地表面付近で主要なロシアからの寄与は高度5kmでは大きくありません。これらの結果は、同じ北極圏でも高度によって、主要な発生源が異なっていることを示唆しています。アジアから運ばれるBCは大気加熱に影響してい

ますが、積雪や海氷面に沈着して融解を促進することにはあまり影響していないことを意味します。

BC粒子はPM<sub>2.5</sub>の成分の一つであり、北極圏に住む人々への大気汚染という観点からは、ロシアやヨーロッパの人為起源BCが重要となる、とも言えます。

## 5. ブラックカーボンと北極外交

こうした知見が、直接または間接的にどのように国民や人類に役立つのでしょうか？

実は今、世界的に北極の環境や気候の研究が活発になっており、先述のように北極評議会の中のAMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme: 北極監視評価プログラム) では、「ブラックカーボンとメタンのタスクフォース」が立ち上がり、世界中の科学者による北極における気候および環境変化に関する学際的研究が活発になされています。しかし、欧米各国を中心とした研究プロジェクトが多く、アジアの科学者がイニシアチブをとって進めている研究は多くありません。また、ICSU (International Council for Science: 国際科学会議) のもと始まった新しいプログラムFuture EarthのプロジェクトであるIGAC (International Global Atmospheric Chemistry: 国際地球大気化学協同計画) とIASC (International Arctic Science Committee: 国際北極科学委員会) の合同による国際的な北極研究プロジェクトであるPACES (air Pollution in the Arctic: Climate, Environment and Societies, <http://pacesproject.org/>) (欧州、北米、アジアやロシアから北極への大気汚染の輸送と気候・環境・社会への影響を評価する) が開始され、国際的な科学者のチームが編成されました。アジアでも、「北極に関する日中韓ハイレベル対話」が始まり、日本のみならず、韓国や中国も大きな関心を寄せています。このような状況で、どうすれば日本の北極評議会への関与を強められるか、が鍵となっています。

本研究で得られた、北極圏におけるBCの濃度や沈着に世界各地の排出源がそれぞれどの程度の寄与率を占めているか、といった知見は、温暖化の緩和策として効果的な削減対策を打つ上で重要です。人為起源と自然起源の相対的な重要性や、アジアと北米、欧州の寄与率が定量的に明らかになり、北極評議会において日本の環境面での取り組み、国際社会における役割分担の一つとして、今後、強くアピールしていけるものと思われまます。

科学的成果、中でも環境分野は、もっとも平和的に国際貢献できるものの一つです。科学者と政府がうまく連携して、国際社会での日本の役割が見えるように取り組みたいと思います。

本研究は、環境省・環境研究総合推進費「アジア起源の短寿命気候汚染物質が北極域の環境・気候に及ぼす影響に関する研究」(2-1505) および、低炭素研究プログラムPJ1「マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究」の一環として実施されました。

## 論文

- Ikeda, K., H. Tanimoto, T. Sugita, H. Akiyoshi, Y. Kanaya, C. Zhu, and F. Taketani, Tagged tracer simulations of black carbon in the Arctic: Transport, source contributions, and budget, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 10515-10533, <https://doi.org/10.5194/acp-17-10515-2017>, 2017.
- Tanimoto, H., K. Ikeda, K. F. Boersma, R. J. van de A, S. Garivait, Interannual variability of nitrogen oxides emissions from boreal fires in Siberia and Alaska during 1996–2011 as observed from space, *Environ. Res. Lett.*, 10, 065004, doi:10.1088/1748-9326/10/6/065004, 2015.
- Ikeda, K., and H. Tanimoto, Exceedances of air quality standard level of PM<sub>2.5</sub> in Japan caused by Siberian wildfires, *Environ. Res. Lett.*, 10, 105001, doi:10.1088/1748-9326/10/10/105001, 2015.
- Kanaya, Y., X. Pan, T. Miyakawa, Y. Komazaki, F. Taketani, I. Uno, and Y. Kondo, Long-term observations of black carbon mass concentrations at Fukue Island, western Japan, during 2009–2015: Constraining wet removal rates and emission strengths from East Asia, *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-2016-213, 2016.
- Arnold, S. R., K. S. Law, C. A. Brock, J. L. Thomas, S. M. Starkweather, K. von Salzen, A. Stohl, S. Sharma, M. T. Lund, M. G. Flanner, T. Petäjä, H. Tanimoto, J. Gamble, J. E. Dibb, M. Melamed, N. Johnson, M. Fidel, V.-P. Tynkkynen, A. Baklanov, S. Eckhardt, S.A. Monks, J. Browse, H. Bozem, Arctic air pollution: Challenges and opportunities for the next decade, *Elementa: Science of the Anthropocene*, 4, 000104, 2016.

## オピニオン

### 「分煙」を手がかりに考える「脱炭素」の大転換

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多

筆者は年間50回くらい、様々な場所で一般市民向けの講演をさせて頂いています。地球環境研究センターニュース2017年7月号では「四日市公害と環境未来館」の生川貴司館長に、8月号では環境省京都御苑管理事務所の田村省二所長に、筆者が講演にお邪魔した際のご報告を執筆して頂きました。感謝申し上げます。

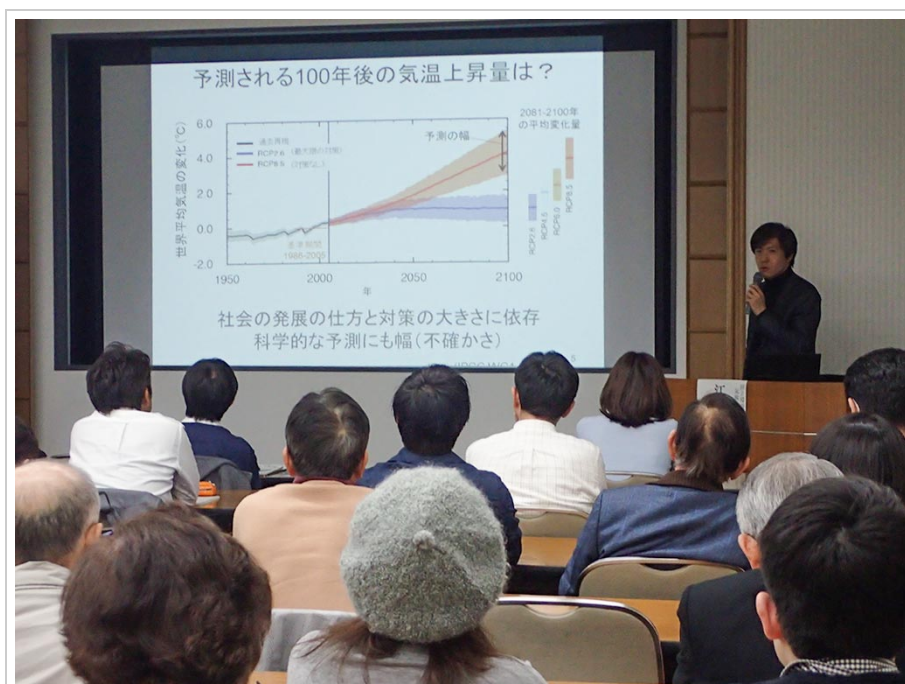


写真1 四日市公害と環境未来館での講演（地球温暖化の現状と将来予測、二酸化炭素排出削減の必要性とともに、分煙を例に社会の大転換について解説しました）

それらのご報告の中でも触れて頂いていますが、最近、筆者は気候変動問題の講演の最後に必ず「分煙」の話をしています。なぜ、気候変動と直接関係がなさそうな「分煙」の話をするのか。本稿ではそのことを説明させて頂きます。

このアイデアは2016年3月にYahoo!ニュース記事として発表したものです。 <https://news.yahoo.co.jp/byline/emoriseita/20160315-00055417/> また、「地球温暖化防止コミュニケーター」の解説ビデオとして、2017年6月よりYouTube映像も公開しています。 <https://www.youtube.com/embed/h27LacFNfT0>

#### 世界が目指す「脱炭素」は本気？

筆者の講演では、気候変動のメカニズム、現状、将来予測、リスクのことを順にお話しした後、パリ協定の長期目標を紹介します。長期目標とは、「世界平均気温上昇を産業化以前を基準に2°Cよりも十分低く、できれば1.5°C未満に抑える」ために、「今世紀後半には人間活動による世界の温室効果ガス排出量を正味ゼロにする」というもので、これに世界が合意したということです。そして、現状で世界のエネルギー供給の約8割を占める化石燃料を、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を出さないエネルギー源に100%転換(脱炭素)すれば、この目標の大部分は達成可能だということを述べます。

ここまで聞いてもらったところで、筆者は毎回、聴衆のみなさんに質問をしています。「脱炭素」なんていうことが今世紀中に「起きるかもしれない」と思うか、「無理じゃないか」と思うか、どちらかに手を挙げてもらうのです。結果は聴衆の層によって毎回ある程度違いますが、「起きるかもしれない」が2~3割、「無理じゃないか」が7~8割となることが多いようです。

筆者はこの部分が非常に重要であると思っています。つまり、世界でそんな目標が合意されたと聞いて、「そんなことは実際は不可能だけど、理想論として掲げているのではないか」と思うか、それとも「世界はその目標に向けて本気で大きく動き出すのではないか」と思うかで、この話の受け止め方がまったく違ってしまいますからです。そして、「普通人」の7~8割は、この話を本気だとは受け取らない傾向があるのです。

#### 常識が変化した例としての「分煙」

ここで「分煙」の話の出番がきます。その役目は、「社会の常識がいつの間にか大きく変わってしまうことがある」ことの身近な例です。このような、人々の常識の変化（難しくいえば「世界観」の変化）を伴う社会の変化は、「大転換（transformation）」とよばれて、近年の持続可能性問題等の専門家の議論に盛んに登場するようになってきている考え方です。専門家の議論でよく出てくる、歴史上に起こった「大転換」の実例は、産業革命や奴隷制廃止です。しかし、筆者はより身近で実感しやすい話として「分煙」を選びました。

ここで筆者が言いたいのは、パリ協定の目標は、今の常識を前提にした技術や制度の導入の問題として考えていたら、できそうな気がなくて当たり前だということです。特に、今の常識では、環境問題の対策には我慢、辛抱、コスト、不便といったイメージがつきまとう傾向があるようです。そんなイメージをもったままでは、排出量を世界でゼロにしようなんて、本気だと思えなくて当たり前です。そうではなくて、常識が変わる必要があるのだと思います。そしてそれは、起こり得ることです。

#### 常識が変化するステップ

ある程度以上長く生きてらっしゃる方は、思い出していただければわかると思いますが、30年くらい前は、公共交通機関でも、飲食店でも、職場でも、どこでもタバコを吸ってよいのが当たり前でした。今ではタバコは決まったところで吸うのが当たり前になりました。確かに常識が変わっています。



**写真2** 飛行機のトイレと（左）高速バスの座席背面（右）に現在みられる灰皿

飛行機では今でも万が一吸った人がゴミ箱やトイレに吸殻を捨てないように設置されているようですが、吸ったらもちろん厳罰の対象です。高速バスの方はフタが接着されていて開きませんでした。吸えたころの名残り？でしょうか

どうしてそういう変化が起きたか。これは筆者の仮説ですが、いくつかのステップがあったと思います（実際にはこれらのことはある程度並行して起きたでしょう）。

1. 科学：受動喫煙が非喫煙者の健康を害することが医学的に実証される。
2. 倫理：受動喫煙被害者への配慮が社会的に共有され始める。
3. 制度：「健康増進法」が制定され、受動喫煙の防止義務ができる。
4. 経済：分煙を導入した方が、飲食店が繁盛するようになる。

そうして気が付いてみると、分煙はいつのまにか常識になっていました。

ここに気候変動問題を重ねて考えてみます。

1. 科学：IPCCに代表されるように、気候変動の原因や影響の科学的な解明が進む。
2. 倫理：途上国や将来世代を含む、（自分達はCO<sub>2</sub>をほとんど出していないのに）深刻な気候変動の被害にあう人々への配慮の必要性が認識される。
3. 制度：国連気候変動枠組条約、パリ協定ができる。
4. 経済：再生可能エネルギー等の大規模導入、価格低下が起これ、有力なビジネスになり始める。投資家が持続可能性の観点を重視し始める。

このように、分煙と似た形のステップを考えることができます。ただし、分煙の場合と違って、気候の場合は最後にもうひとつ本質的なステップが必要で、それはまだ（十分には）実現していません。

5. 技術：安くして便利で安定したクリーンエネルギー技術が確立する。

たとえば、再生可能エネルギーもエコカーも、今は（特に日本では）従来の火力発電や普通のガソリン車と比べてコストが高いのが常識です。しかし、ビジネスや投資のトレンドの変化によりイノベーションが進めば、その常識は変わり得ます。それらのクリーンな技術が従来の技術より安くなったとき、世界中のエネルギーシステムが脱炭素の「大転換」を起こすことを想像するのは難しくないでしょう。

## 気が付いたこと

分煙のことを考えていて気が付いたことを4つ挙げます。

1つめは、分煙は喫煙者がタバコを吸う自由自体を奪ってはいないことです。吸う場所だけ気を付けてください、という、いわばマナーの問題です。同様に、「脱炭素」という話は人間がエネルギーを使う自由を奪いません。エネルギーの作り方や効率に気を付けてください、ということであって、エネルギーの使用に対して我慢や辛抱を強要するものではありません。

2つめは、分煙が常識になったのは、社会の大多数の人が受動喫煙の科学を理解してその被害者への倫理的な配慮を共有したからではないだろうということです。多くの人は受動喫煙問題に関心なかったでしょうが、制度ができて経済が動く、無関心だった人も知らないうちに新しい常識に従っていたのだと思います。環境問題も無関心な人が多いと嘆く声をよく聞きますが、制度、経済、技術が動けば、無関心な人が多くいても常識は変わり得るし、無関心だった人は知らないうちに新しい常識に従っているはずで

3つめは、罰則は必ずしも必要ないということです。現行の健康増進法には罰則がありません（最近議論されている改正案では罰則を付けようとしているようです。また、自治体の条例などでは罰則付きのものもあるようです）。しかし、分煙が常識になれば人々は分煙を守ります。同様に、パリ協定も各国の目標達成に対して罰則がありませんが、常識が変われば、罰則がなくても人々は脱炭素を目指すかもしれません。

最後に、分煙が常識になる前は、そんなことが起きることを想像することは難しかったでしょう。30年前の常識で、今の分煙社会を想像できた人がどれだけいたでしょうか。しかし、常識が変わった今となっては、当時を振り返ると、あんなにどこでもタバコを吸えたなんて逆に信じられません。同様に、今の常識で考えると脱炭素を想像することは難しいですが、数十年後に今の時代を振り返った人は、「当時は世界のほとんどのエネルギーをCO<sub>2</sub>を出しながら作っていたなんて信じられない」というかもしれません。

## わたしたちが考えるべきこと

国内外の報道を注意してみると、常識が変化する兆しを感じる機会は少なくありません。過去3年間、世界経済が成長しているにもかかわらず、CO<sub>2</sub>排出量の増加が止まっていること、多くの有名企業が再生可能エネルギー利用100%を目指すようになったこと、フランスやイギリスが2040年以降のガソリン、ディーゼル車の販売禁止を宣言したこと（中国も検討中とのこと）、太陽光発電や風力発電が火力発電より安くなった地域が出始めていること、などです。加えて、AI（人工知能）、IoT（モノのインターネット）、自動運転、ドローンなどの新しい技術が、社会のエネルギーとのかかわり方の常識を、人々の想像がつかないような形で変えてしまうという期待は、今や何ら突飛なものではなくなっています。一方で、常識が変わろうとするときには、それに抗う動きも出てきてせめぎ合いになることも、想像に難くありません。

気候変動問題に関心がある人が考えるべきことは、我慢や辛抱によりエネルギーの使用を少し減らすことよりも、この常識の変化をそれぞれの立場から推し進めることなのだと思います。また、企業が理解すべきことは、この常識の変化に関心を持たずに、変化が起きた後にそれに従う立場に身を置くとしたら、それは深刻なビジネスリスクを意味するだろうということです。

これこそが、筆者が分煙の例を通じて社会に伝えたいと思っていることです。

## 米国・中国・日本の高校生が参加した四日市市「高校生地球環境塾」発表会 について

地球環境研究センター 交流推進係

国立環境研究所地球環境研究センターは、本年に入ってから、地球温暖化問題をめぐる市民の意識を高めるイベント等において、三重県四日市市環境部と良好な協力関係を構築してきました。8月、四日市市は姉妹都市である米国ロングビーチ市、友好都市である中国天津市からそれぞれ高校生を招聘し、市内の高校生らと地球温暖化問題について約1週間にわたる合同研修「高校生地球環境塾」を行いました。研修の最後に当センターの江守正多室長をアドバイザーとした研修成果発表会が開催され、参加した高校生は研修成果についての講評・アドバイスを受けました。この発表会を傍聴する貴重な機会を得たので、その内容を報告します。

### 1. 開催概要

【日時】 2017年8月6日（日） 9:30-12:30

【場所】 三重県四日市市：四日市公舎と環境未来館

【参加者】 米国カリフォルニア州ロングビーチ市高校生4名、中国天津市高校生4名、四日市市高校生4名の計12名、川北高実四日市市環境部長、江守正多国立環境研究所室長ほか、マスメディア、一般の参加者約30名、さらに要約筆記者4名、手話通訳2名、日英通訳・日中通訳各1名

### 2. 高校生の発表内容

米・中・日の高校生12名が、A、B6人ずつの2班に別れ、それぞれ自国の環境状況、地球温暖化対策に関する取り組み、日本での研修内容等についてまとめたスライドを用いて発表を行いました。発表タイトルは「Stop! 地球温暖化～未来に向けて私たちができること～」、同じタイトルでもA班、B班の発表内容は違って、それぞれ興味深いものでした。



写真1 米国・中国・日本から高校生が2名ずつの6名でA、B2班（計12名）が発表しました

A班の報告で興味深かったのは、まず米国の環境の現状として

- 水道水が飲めない（ミシガン州フリント市）
- 国民はあまり環境を意識しない（無関心）
- カリフォルニア州は環境問題への意識が高い方

といったことがあることが述べられました。米国は州によって環境保全の制度が異なりますのでここに挙げられた内容が米国一般のこととは限りません。

続いて中国の環境の現状として

- 海面上昇による海岸線の変化
- 異常気象と自然災害の増加
- 人体健康への影響

などの報告が上がりました。

B班からは過去と現在の環境状況の比較や、環境汚染に対して政府などがとってきた対策や策定した改善計画について説明がありました。これ以外に日本の温暖化対策や環境保全対策について学んだことも紹介されています。

以下にB班によるスライドの一部を示します。



米中の高校生からこのように報告されると、インターネットやニュースなどで得る情報とは異なる臨場感があります。A、B両班の報告の中で共通していたのが、「日本では環境保全意識が（自国より）高く、感心した」ということでした。私たちもしばしばそういうことは聞きますが、一方で欧米は日本より環境先進国であるという話も耳にします。そこで高校生らに「日本人の環境保全意識が高いと報告されたが、具体的にどのような点についてそう思いましたか？」と質問してみました。両者が共通してあげたのが、「日本ではゴミの分別が徹底していてリサイクルに対する理解が深い」という点でした。また、「日本では、各自治体が地域の状況に応じて、環境保全に大きく貢献している」というコメントもありました。例えば米国では、ゴミの分別について、リサイクルできるものとそれ以外の2つしかなく、日本のようにビンや缶、ペットボトルを分別するような細かいことはされていないとのことでした（州政府の方針によっても異なると思います）。

### 3. 江守室長の講評・コメント・記念講演

A班、B班それぞれの発表内容について、江守室長から講評とコメントが行われました。まず江守室長はこの発表会が日英・日中の通訳だけでなく、手話通訳ならびに要約筆記によってもサポートされており、コミュニケーション促進に格段の配慮がなされていることに感謝の意を述べました。その上で、発表内容についての個別のコメントから始まり、異なる国の異なる考え方の人が対話をすることの重要性、若い人が大人には思いつかないような新しい発想をすることの重要性を高校生たちに語りました。



写真2 江守室長の講評は英語・中国語に翻訳され、手話通訳もされるとともに要約筆記で別のスライドに映されました

その後、江守室長から地球温暖化対策の国際的枠組みであるパリ協定の内容や最近の世界の気温など世界における温暖化を巡る状況、さらには気候正義（climate justice）と呼ばれる考え方により、世界各地で温暖化を防止すべきとのムーブメントが起きていることなどを内容とする講演が行われました。特に江守室長が強調したのは、世界の平均気温の上昇を、産業化以前と比べて2°Cよりも十分低く抑え、さらに1.5°C未満を目指して努力するというパリ協定の目標を実現するためには、従来の規制や個々の取り組みだけでは不十分で、トランスフォーメーションと呼ばれる「大転換」が必要になるという点でした。このことについて、30年前は想像もつかなかった社会の変化が起きうることを、「分煙」を参考事例として紹介しました（詳細は、オピニオン：「分煙」を手がかりに考える「脱炭素」の大転換を参照してください）。



写真3 江守室長は講演のなかで、パリ協定や最近の地球温暖化の状況、気候正義の考え方

発表者や観客からの江守室長への質問やコメントとして、3つ興味あるものがありましたので紹介します。

「温室効果ガスの排出をほぼゼロにまで抑えることを、罰則付きの規制に頼らず、倫理的な動機や自制のみで実現できるのでしょうか？」（中国高校生の質問）



写真4 中国の高校生から江守室長に質問

この質問は、江守室長が講演のなかで「物事が社会に広まり定着する時に、罰則などの強制力は必ずしも必要ない。例えば、日本で分煙が進んだのも制度に罰則があるからではなく、人々の常識が変わり、分煙しないとレストランにお客が集まらないというように経済が動いたからではないか」と説明したことに対する質問です。江守室長は、講演の趣旨を再度説明するとともに、フランスとイギリスで2040年以降ガソリンによる自動車の販売を行わないことが決められたことに触れ、そういう制度設計は必要だが、それは人々に我慢や辛抱を強制するものではなく、技術や社会の変化を促し、最終的には皆が喜んで新しい電気自動車社会に移行できるのではないかと補足しました。

「温暖化リスクのうち江守先生がもっとも怖いと思うものは何ですか？」（米国高校生の質問）

江守室長は、何が重大かは住んでいる場所などによるとした上で、潜在的に重大な問題の一つとして「食料不足」を挙げ、食料不足はさらに紛争や難民の要因にもなることを説明しました。シリアの内戦が始まった要因にも食料不足があったと考えられているとのことでした。

「自分はフィジー出身の学生です。フィジー諸国では温暖化による海面上昇によりすでにいくつかの島で海岸浸食や海水の流入によって低地が水没しており、今後も水没を起こす危険のある島が多数存在しています。自分たちはこれまで温室効果ガスをほとんど排出しておらず、地球温暖化に加担していないのに、自分の土地が温暖化により水没してしまうため、他の島や他国に土地を買ってまで移住せざるを得ない状況にあります。他方で、先進国では一家庭1台の車では飽き足らず、場合によっては複数台の車を所有するようなことが行われていますが、このようなことが起きて良いのでしょうか？せめて一家族には1台の車しか所有できないよう制限するようなことが必要ではないでしょうか？」（フィジー出身で三重大学で勉強されている学生）

これはまさに江守室長が説明した気候正義に関する現場の実感だと思います。勇気を持ってこのコメントをしてくれた学生さんに会場から拍手が起こりました。



#### 4. 最後に

過去に大気汚染で過酷な環境被害を被った三重県四日市市において、日米中の高校生が一堂に会し、地球温暖化について考え、それぞれの意見を述べて議論することはとても素晴らしいことでした。発表会は小さな会議室で行われましたが、今後はもっと多くの方々に若い方々の意見をお聞きいただき、パリ協定の実現、気候変動に適応しそれを凌ぎきる社会を構築するヒントにしていきたいと思いました。



## 未来について、親子で考えた一日。

広告代理店アサツー・ディー・ケー（ADK）主催ワークショップへの協力

衛星観測センター 高度技能専門員 石澤かおり

### 1. ワークショップ開催の経緯



写真1 ADK未来ワークショップの様子

「未来を創造する人材を育てる」そんな機会になるようなワークショップを開催したい。広告代理店であるアサツー・ディー・ケー（ADK<sup>[1]</sup>）からの相談が、GOSATプロジェクトに飛び込んだ。GOSAT（愛称「いぶぎ」）とは宇宙航空研究開発機構（JAXA）と環境省（MOE）、国立環境研究所（NIES）の3機関による共同プロジェクトで、2009年に打上げた温室効果ガス観測技術衛星であり、地球温暖化の原因となる二酸化炭素など温室効果ガスの大気中濃度を宇宙から観測している。GOSATプロジェクト推進機関であるJAXAとNIESが、このワークショップ（ADK未来ワークショップ）開催に向けてADK社に協力することとなった。

広告代理店、宇宙開発の先端にあるJAXA、そして環境を研究する我々NIESがそれぞれの知や経験を共有し活用することで今までにないワークショップの創発を試みる機会だ。

### 2. ワークショップ当日



写真2 ワークショップ会場の虎ノ門ヒルズ

2017年8月22日、ADK本社がある「虎ノ門ヒルズ」にてワークショップが開催された。ワークショップのタイトルは、「ADK未来ワークショップ2017 地球の息吹を見守る人工衛星いぶきを作って学ぼう」。午前と午後の2回開催。

会場には、小学3年生から6年生までの子どもたちが保護者とやってくる。このワークショップへの参加申込は虎ノ門ヒルズの母体である森ビル株式会社のWEBサイトから受付を開始したが、開始時刻直後にほぼ満席になるという注目ぶりであった。

ワークショップが始まる前に子どもたちの顔写真を撮影したら（これは後々のサプライズへとつながる仕掛け）、いよいよワークショップのスタートだ。



写真3 ワークショップ開始前に、まずは顔写真撮影

顔写真撮影が終り、親子たちが着席、会場が暗くなったかと思うと、「いぶぎ」が2009年に打上げられた時の迫力ある映像が音響とともに映し出される。その後、JAXAの稲岡和也開発員が今回の先生として登場した。稲岡先生はJAXA GOSAT-2プロジェクトチーム<sup>[2]</sup>の一員である。



写真4 稲岡先生。JAXA開発員

先生から、子どもたちに今日3つのミッションがあることが伝えられる。一つ目は、「『いぶぎ』を作ろう」。親子で牛乳パックを使った「いぶぎ」のクラフト制作だ。NIESから運んだ「いぶぎ」の16分の1サイズの模型を眺めたり、先生からの各パーツの詳しい説明を聞いたりしながら、子どもたちは自分だけのオリジナル「いぶぎ」制作に取り組む。



写真5 「いぶぎ」制作。親子での共同作業



写真6 自分だけのオリジナル「いぶき」完成に向け、みんな真剣



写真7 作業中、稲岡先生を始めとするJAXAやNIESのスタッフが、参加者の質問に丁寧に答える



写真8 「いぶき」が実際に取得したデータに基づく全球の二酸化炭素濃度画像を投影した

「いぶき」の大事なセンサは2つ。FTSとCAIと呼ばれている。FTSは、二酸化炭素やメタンの濃度を測るためのセンサで、入ってくる赤外光を調べて二酸化炭素やメタンの吸収線の強さを測ることで濃度を求めている。CAIは、大気と地表面の状態を昼間に画像として観測し、エアロゾルや雲の有無や特性を調べている。

実は、この重要なセンサ部分は、稲岡先生自らが子どもたちのために、3Dプリンタで特別なミニチュアを作ってきてくれた。子どもたちも、精巧に出来たセンサのミニチュアを見たり触ったりして、センサの重要性を確認するように大切に自分の「いぶき」クラフトに装着した。このセンサを装着したところで、一人ひとりのオリジナル「いぶき」が完成。一つ目のミッションをみんながクリアし、次のミッションへと期待が高まる。

二つ目のミッションは、「いぶきの観測データを分析しよう」。

親子3~4組を1グループとして、世界をおおよそ5大陸で分けた白地図を配布。そこに「いぶき」が測定した二酸化炭素濃度に応じた色のタックシールをみんなで貼っていく。（この「いぶき」が測定した二酸化炭素濃度のデータとは、NIESが公開しているデータである。元データはこちらを参照。[https://data2.gosat.nies.go.jp/index\\_ja.html](https://data2.gosat.nies.go.jp/index_ja.html)）二酸化炭素濃度の数値によって青色から赤色までの6種類のタックシールを用意し、子どもたちは地図に記載してある指示に合わせてタックシールを貼り分けていく作業だ。子どもたちは、作業をしながら、地図の中で濃度の高い場所、低い場所があることに気づいていく。どの国が、どの地域が濃度が高いのか低いのか、自分の作業によって明らかになっていく過程に子どもたちもワクワクしながら取り掛かっていた。



写真9, 10 「赤い部分がまだある」「黄色シールが足りない」など感想を言いつつ、自分たちの手で二酸化炭素濃度を次々と色分けしていく



写真11 各グループの地図を最後に合わせて完成！

そして、最後のミッション「地球のために自分にできることを考えてみよう」。

「いぶき」について、温暖化について、この日に稲岡先生から教わったことを受けて、子どもたちがそれぞれ自分で何を思うのか。これは、スタッフ側としてもとても興味があるところであり、単にハンズオン（参加型）のイベントとして終わるのではなく、子どもたち自身の意識にこのイベントがどう影響することができたのかが問われる瞬間でもあった。

子どもたちが書くことは2種類。「いまずぐできること」と未来のことである「10年先、20年先にやりたいこと」。

前者に関しては、「モノを簡単に捨てないで大事に使う」「3Rをちゃんと実行する」「電気をこまめに消すようにする」などさすがの答えが並ぶ。



写真12 「何を書いたかな」の司会の質問に答える

そして、後者の未来について。実は、子どもたちがこれを書いている時、稲岡先生が自分の10年前、20年前の話を語りだした。学生の時の様子、そしてなぜJAXAに入ることになったかなど。先生が静かに話し出すと、今まで作業をしていた子どもたちの表情が一変した。それまで何を書いたらいいだろうと迷っていた子どもも多かったのが、先生の話聞き始めた子どもたちの目には迷いがなく、まっすぐにきらきらとした瞳で稲岡先生を見つめている。

「みんなは何を書いた？」

「将来、科学者になって、二酸化炭素を減らす研究をしたい！」

「JAXAに入って、地球を観測して、地球の未来に貢献したい！」

「待ってるよ」稲岡先生も思わず答えた。



写真13 稲岡先生と記念撮影。自分のオリジナル「いぶき」も一緒に

全てのミッションをクリアした子どもたちに最後にサプライズの贈り物。「いぶきプロジェクトメンバー証」の授与だ。ワークショップが始まる前に撮影した写真が使用された、本格的なメンバー証。実は、ワークショップの最初から、稲岡先生をはじめとするJAXAと国立環境研究所のスタッフも胸に付けていたものだ。このリアルなIDカードを見ただけでも子どもたちは喜んでいて、実はメンバーになることによって、今後、JAXAのGOSAT-2プロジェクトチームから打上げの時にお手紙が届くなど、特別なメンバー特典も付与されている。子どもたちと「いぶき」の関係は、イベントの一日だけの関係ではなく長期的に続くということで、子どもたちの「いぶき」や「温暖化」に対する気持ちが、さらに「自分ごと」になっていく。授与されてすぐに自分たちの胸に誇らしげにメンバー証を付ける子どもたちの姿が見られた。



写真14 メンバー証を付けて。誰もがちょっと誇らしげになりました

### 3. 最後に



写真15 ひとりひとりが稲岡先生とハイタッチ

研究所の広報活動は非常に重要で、この「いぶき」のように広く国民の理解を得なくてはならないような大型のプロジェクトも多く存在している。一方、PR活動、広く一般の方々の心を掴むという点において、広告代理店はその道のプロフェッショナルであり、多大なノウハウを蓄積し、多角的に要件を把握した上で、各種コミュニケーション手法を展開している。そのような組織と、JAXA、NIESのような機関の知見を組み合わせることで、短い時間のイベントの中でも、参加者の記憶に残るような工夫がなされたことは、今後の広報活動において参考になった。

研究所はもとより、衛星観測センターとしても、環境問題や環境研究への興味を深められるよう、若い年齢層に対し研究活動・研究成果をわかりやすく普及啓発することにより、次世代を担う人材の育成に貢献したいと考え、各種広報活動に取り組んでいる。今後も一人でも多くの子どもたちに「科学」ができることなどをより良く伝えることができるよう、広報活動のあり方について考えなければと思う一日であった。

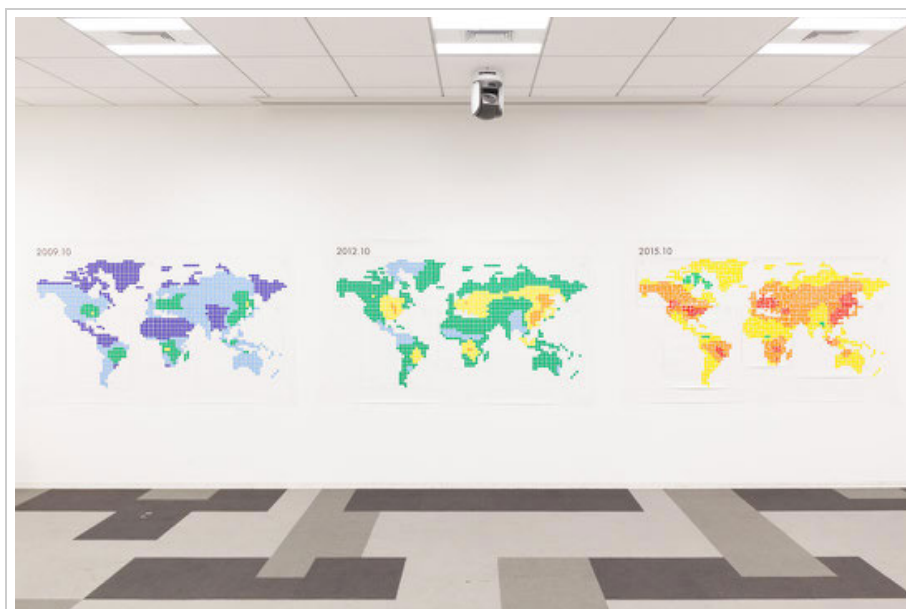


写真16 ミッション2で完成させた世界地図。全て「いぶき」が観測した二酸化炭素の大気中濃度データのシミュレーションを元に作成。左から2009年10月、2012年10月、2015年10月のデータ

#### 脚注

1. ADKはテレビアニメ制作等を多く手掛けている。詳しくはウェブサイト (<https://www.adk.jp/>) で。
2. GOSAT-2 (いぶき2号) は「いぶき」の後継機であり、同じくJAXAとMOE、NIESの3機関による共同プロジェクト。

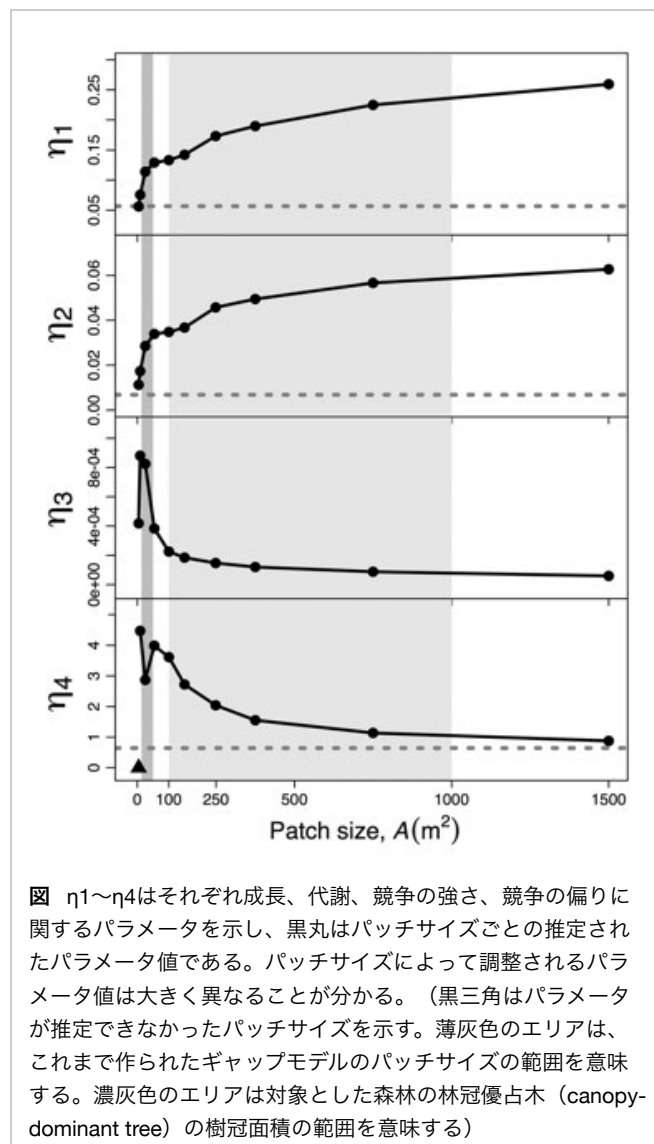
2018年度打上げ予定である。「いぶき」ミッションを引き継ぎ、より高性能な観測センサを搭載して、さらなる温室効果ガス観測精度の向上を目指している。

## 最近の研究成果

## 植物個体群モデルを現実近づける：平均場を仮定したモデルの有効な補正について

地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 特別研究員 中河嘉明

植物個体群モデル<sup>[注]</sup>は、従来、生態学や林学の問題を解くために設計されてきたが、近年、生物学的なフィードバックを気候モデルに取り入れる目的でも使用されはじめ、全球モデルでの計算に適した設計が求められるようになってきた。植生は複雑で多数の個体から構成され、単純な方法では計算量が膨大になるため、計算コストの削減は重要な課題である。そのため、シミュレーションを行う対象地の全体あるいは部分（パッチ）の環境が均質である、という仮定（平均場）を置くことで単純化が図られてきた。しかし、この仮定の下で計算を行うと現実の植生とズレが生じてしまうため、モデルに含まれるパラメータ値を適当に調整するなどの作業が必要であった。本研究では、パッチの大きさにより、どのような補正が植物個体群モデルに必要なかを調べた。パッチの大きさが異なる多数のシミュレーションを行った結果を統計的に調べ（図）、それぞれで有効なモデルの補正法を明らかにした。例えば、既にあるモデルのパラメータ値を調整するよりも、新たに補正項を導入した方が有効であることが分かった。このような結果は、気候変動の予測や影響評価に用いられるモデルの精度向上に寄与することが期待される。



---

## 脚注

- 多数の個体からなる植物群落の、生物量や密度の時空間変動を推定するモデル。植物間の競争や資源利用などに関する理論に基づいて構築され、変動環境下での植生の機能・構造の変化を評価することが可能である。炭素など物質循環を扱うモデルに比べ、生物多様性を考慮しやすいなどの利点がある。

## 本研究の論文情報

Effectively tuning plant growth models with different spatial complexity: A statistical perspective

著者： Nakagawa Y., Yokozawa M., Ito A., Hara T.

掲載誌： Ecological Modelling, 361: 95–112. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2017.07.018.