

国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.39

No.3

令和2年(2020)8月



大気採取口(インレット)と眼下に広がるボゴール市街地(インドネシア)

特集 | マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

パリ協定の進捗確認: 温室効果ガス観測の新しい役割 | 2

ジャカルタ大都市圏から排出される温室効果ガス・大気汚染物質の定量的理解に向けて | 3

民間旅客機から見た大気中CO₂の変動 | 6

北極のブラックカーボンはどこからくるのか? | 9

パリ協定の進捗確認：温室効果ガス観測の新しい役割

三 枝 信 子

地球温暖化対策の新しい国際枠組みであるパリ協定が2020年に実施段階に入りました。パリ協定の目標は、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出量と人為的な除去量（吸収量）とを均衡させることにより（ネットゼロエミッション）、世界の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分に低く抑えることです。パリ協定のもとで、世界各国は協力して温室効果ガスの排出削減を進める必要があります。

このうち、各国が実施する気候変動対策の効果を確認する上で、精度の高い温室効果ガス排出量・吸収量のデータが必要です。同時に、地球全体でネットゼロエミッションにどれだけ近づいているか、大気中の温室効果ガスの濃度は気候を安定化させるために必要と予測されている経路（経年変化）をたどっているか、もし予測される経路から外れているならその原因は何か、という視点でパリ協定の目標達成度を確認することが必要です。

こうした中で、国立環境研究所の低炭素研究プログラム・プロジェクト1「マルチスケール温室効果ガス変動評価システム構築と緩和策評価に関する研究」では、大気中の温室効果ガス（二酸化炭素、メタン等）の濃度やそれらの地表での収支の長期観測に加え、大気中での寿命が数日から数十年と比較的短く温暖化に大きな影響を及ぼすブラックカーボンをはじめとする短寿命気候汚染物質（SLCP）の動態を解明するための研究に取り組んできました。また、それらの大気中の濃度データと大気輸送モデルを組み合わせた解析手法の研究開発を進め、地球全体、あるいは地域別の人為起源・自然起源の各種物質の排出量・吸収量の推定手法を向上してきました。

温室効果ガスやSLCPの人為起源の排出量においては、国や地域によっては、未推計の排出源や不確実性の高い項目があるのが現状です。自然起源の吸収量・排出量においては、さらに大きな不確実性が

あります。例えば、温暖化に伴って融解の進む高緯度地域の凍土からの温室効果ガスの排出や、異常高温や干ばつに伴う森林火災の増加、特にエルニーニョなどの気候変動の影響により多量の炭素を蓄積する熱帯泥炭地で発生する火災による大規模排出などです。

温室効果ガスやSLCPの地球全体での動態を明らかにし、地表における人為起源・自然起源の排出量・吸収量を高精度で推定することは、国民生活全般に影響を及ぼす気候変化予測ならびにその影響予測の向上に不可欠です。本特集では、低炭素研究プログラム・プロジェクト1でこれまでに取り組んできた研究の中から、熱帯域の大都市圏からの温室効果ガスの排出量推定の研究や、民間航空機を使った大気中温室効果ガスの地球規模観測に基づく研究を紹介するとともに、北極圏の温暖化に強い影響を及ぼすブラックカーボンの発生と輸送に関して得られた最新の知見について紹介します。いずれも、大気中の微量物質の濃度の観測やモデルを組み合わせた解析に基づき、地球全体、あるいは地域別の人為起源・自然起源の排出量・吸収量の推定をめざす研究です。今後も、こうした手法の開発と推定精度向上により、パリ協定の目標達成度の確認や、各種の温暖化対策の効果を確認するための研究を進めていく予定です。（さいぐさ のぶこ、地球環境研究センター

センター長）

執筆者プロフィール：

外出自粛の間、妙な既視感を覚えました。子供の頃、家に車も自分の自転車もなく、街に出るのは月1回程度。当時、野生っぽい額アジサイがお気に入りだったのが思い出され、今は団地暮らしなのについ買ってしまいました。また鉢が増えた。。。



【研究プログラムの紹介：「低炭素研究プログラム」から】

ジャカルタ大都市圏から排出される 温室効果ガス・大気汚染物質の定量的理解に向けて

西橋 政秀、寺尾 有希夫、向井 人史

はじめに

低炭素研究プログラムのプロジェクト1(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」では、全球スケールから地域や国、都市スケールまでをカバーするマルチスケールでの温室効果ガス濃度モニタリングシステムを国際的に展開するとともに、気候変動を考慮した温室効果ガスの収支変化に関する観測やモデル評価に取り組んでいます。PJ1は3つのサブテーマで構成されていますが、サブテーマ1ではアジア-太平洋地域において温室効果ガス観測のネットワーク構築を進めています。本稿では、2016年からインドネシアのジャカルタ大都市圏において開始した温室効果ガスおよび大気汚染物質の総合観測について紹介します。

ジャカルタ大都市圏

インドネシアの首都ジャカルタとその周辺に位置するボゴールやタンゲランなどの都市群で形成されるジャカルタ大都市圏(Jabodetabek)は、2019年現在、約3,400万人の人口を擁しており、東京大都市圏に次ぐ世界第2位、東南アジア最大のメガシティ

です。近年の急速な経済成長に伴い、温室効果ガスや大気汚染物質の排出が増加していますが、先進国に比べて排出削減対策が進んでいないため、今後のさらなる排出増加や大気質の悪化が懸念されています。また気候変動により、極端気象現象による都市域での洪水等の自然災害の頻発化や甚大化のほか、オゾンやPM_{2.5}などの大気汚染物質濃度の増加と気温の上昇による複合的な健康影響や植物生態系への影響が深刻化すると予測されています。しかし、インドネシアでは環境対策に必要な予算や専門家が不足しており、温室効果ガスや大気汚染物質の精度の高い連続観測がほとんど行われておらず、その実態は十分に把握されていませんでした。

観測開始までの道のり

そこで、ジャカルタ大都市圏から排出される温室効果ガスおよび大気汚染物質の定量的理解ならびに社会経済活動との比較を目的として、インドネシアの3つの研究機関・政府機関(ボゴール農科大学(IPB)東南アジア太平洋気候変動リスク管理センター(CCROM-SEAP)、インドネシア技術評価応用庁

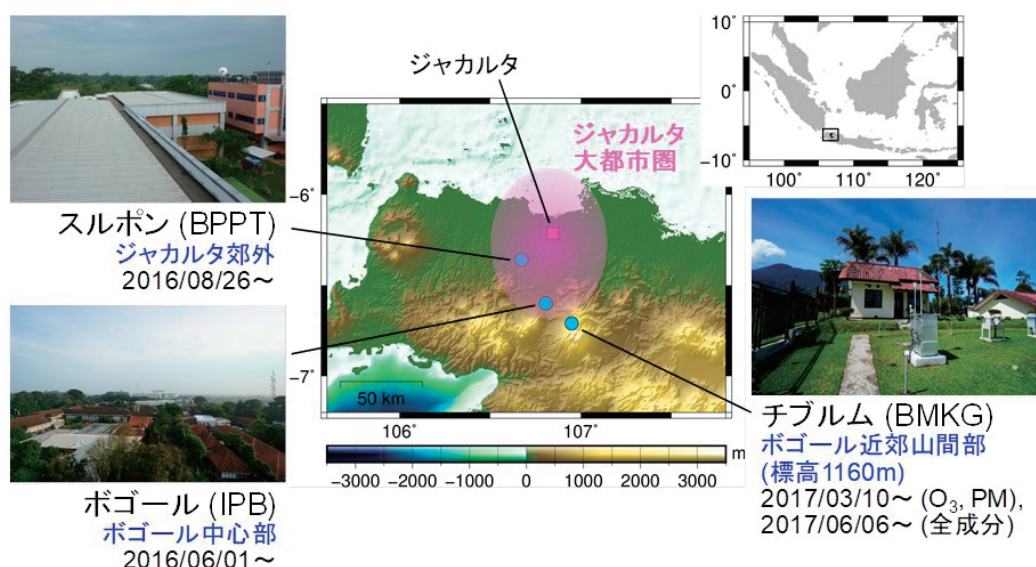


図1 観測サイト3ヶ所の位置、外観および観測開始日

特集 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

(BPPT)環境技術センター(PTL)、インドネシア気象気候地球物理庁(BMKG)と共同で、温室効果ガス・大気汚染物質の総合観測を2016~2017年からボゴール、スルボン、チブルムの3ヶ所において順次開始しました(図1)。一般的に、このような海外での観測を実施する上では、国内とは異なる乗り越えるべき様々なハードルが付きものですが、インドネシア特有のエピソードを2点紹介します。一つは、事務手続きに予想以上に時間がかかり(気長に待つ忍耐力が必要です)、共同研究協定(MoU)の締結までに1年以上を費やした相手先もあります。もう一つは、インドネシアは外国からのあらゆる物品に対する輸入規制が世界一と言われるほど非常に厳しいことで有名であり、そのため観測機器や標準ガス等の観測に必要な物品もその例外ではなく(国際宅配便で普通に観測機器を発送しても現地税関で止められてしまいます)、研究開始当初は信頼できる安全な輸送ルートの開拓が最も重要なミッションでした。インドネシアの輸出入関係の法令は頻繁に変更されるため、それに適応すべく、現在でも最適な輸送ルートの模索や消耗品の現地調達について検討を続けています。

観測システム

インドネシアに設置した温室効果ガス・大気汚染物質の総合観測システム(図2)は、複数成分の濃度を高精度で長期的に連続観測するため、個々の観測機器だけでなく、ポンプやバルブ等の周辺機器を含めて統一的に国環研からリモート制御、監視、データ取得できるようにデザインされています。特に、

落雷等による停電が多いインドネシアの不安定な電源事情に柔軟に対応するため、バックアップ電源の強化や長期停電時における観測システムの自動停止・復旧機能の実装、また長期リモート観測のための大気サンプリングラインやポンプ等の多重化も行っています。連続観測の対象は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化炭素(CO)、窒素酸化物(NO_x)、二酸化硫黄(SO₂)、オゾン(O₃)、エアロゾル(PM_{2.5}、PM₁₀、光学的黒色炭素(OBC)、硝酸・硫酸イオン等の化学成分)、気象要素です。また一酸化二窒素(N₂O)、六フッ化硫黄(SF₆)、CO₂の炭素同位体(¹³C、¹⁴C)等の分析および上記の連続観測データのうちいくつかの精度評価のため、大気のプロキシサンプリングをほぼ週1回自動で実施し、国環研へ輸送して分析しています。

観測の継続とキャパシティビルディング

観測システムを安定的に運用し、良好なデータを取得するため、定期的に現地に赴き保守点検作業を実施しています。具体的には、大気サンプリングラインの洗浄やポンプ、フィルター、継手等の観測システムを構成する消耗部品、観測機器校正用の標準ガスの交換等です。1ヶ所目のボゴール(IPB)で観測を開始してから4年が経過しようとしています、特にCO₂などの長寿命成分の変動把握には、長期的に観測を継続することが極めて重要であり、現地の研究者・観測担当者が観測システムを主体的に維持できるようになることが必要不可欠です。そのため、保守作業の手順を写真付きで説明した英文マニュアルを作成し(公用語はインドネシア語ですが、研究



図2 ボゴール(IPB)に設置した温室効果ガス・大気汚染物質の総合観測システム

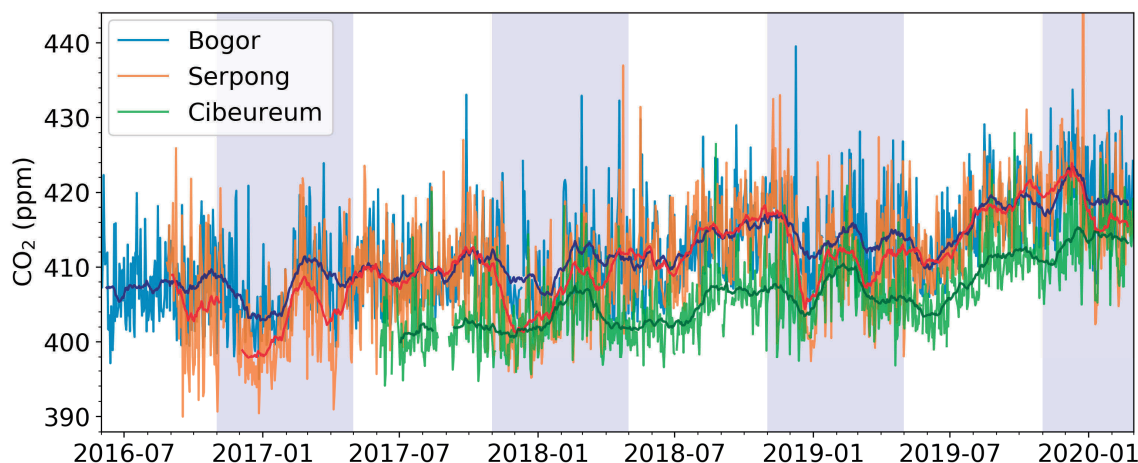


図3 3ヶ所のサイトで観測されたCO₂濃度の日中値(現地時刻で毎日正午から15時までの3時間に観測された値の平均)の時系列変化。水色の網掛けはジャカルタ周辺における雨季を示す。(Nishihashi et al. (2019) の図をアップデートして掲載)

者に限らずほぼすべての関係者は英語で意思疎通できます)、それをもとに現場でレクチャーした後、実際に作業に加わってもらい、徐々に保守のスキル向上を企図しています。さらに、年1回程度3機関から数名ずつ関係者を国環研や国内の関係機関に招へいし、観測システムの保守や観測データ解析等に関する技術研修を実施して関係者の能力向上・構築(キャパシティビルディング)を図っています。2019年度は11月に9名招へいし、国環研での研修のほか、気象庁や新潟のアジア大気汚染研究センター(ACAP)、新潟県保健環境科学研究所を訪問し、施設見学やディスカッションを行いました(写真1)。また定期的に連絡会議を開催して関係者間の情報共有と共同研究の促進に努めています。

観測の成果

観測機器に突発的な不具合が発生することもあります。現地関係者の献身的なサポートもあり、現

在のところ比較的順調に観測を継続できています。これまでに観測されたデータから雨季と乾季におけるCO₂濃度レベルの差異(図3)や観測サイト間の濃度勾配の季節変化、人為起源排出の指標であるNO_xやCOなどの大気汚染物質とCO₂との関係性、サンプリングされたCO₂に占める人為起源と自然起源の比率、スルポンで夜間に観測されるCH₄が異常な高濃度であること、PM重量濃度とその化学成分の季節変化および地域差など、興味深い知見が得られつつあります。また領域化学輸送モデルWRF-Chemを用いた高解像度CO₂シミュレーションも平行して進めており、観測データとの比較を通じて、ジャカルタ大都市圏から排出される人為起源だけではなく自然起源も含めたCO₂濃度の変動メカニズムの解明を目指しています。さらに、本地上観測で得られたデータは、温室効果ガス観測技術衛星GOSATシリーズによる衛星観測プロダクトの検証等にも有効活用されています。



写真1 2019年11月にアジア大気汚染研究センターで実施した技術研修の様子

おわりに

ジャカルタ大都市圏の排出源近傍においてその実態を詳細に把握することは、排出量が増加の一途をたどり不確実性が大きい東南アジア地域における適応・緩和策の効果を検証しようという点で重要です。インドネシアとの良好な国際共同研究の枠組みを維持し、長期的に観測を継続することにより、将来の低炭素社会実現に向けた気候変動に関する政策決定に貢献していきたいと考えています。

特集 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

出典

Nishihashi M., Mukai H., Terao Y., Hashimoto S., Osonoi Y., Boer R., Ardiansyah M., Budianto B., Immanuel G.S., Rakhman A., Nugroho R., Suwedi N., Rifai A., Ihsan I.M., Sulaiman A., Gunawan D., Suharguniyawan E., Nugraha M.S., Wattimena R.C., Ilahi A.F. (2019) Greenhouse gases and air pollutants monitoring project around Jakarta megacity. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 303, 012038, doi: 10.1088/1755-1315/303/1/012038.

(にしはし まさひで、地球環境研究センター
炭素循環研究室 高度技能専門員)

(てらお ゆきお、地球環境研究センター
炭素循環研究室 主任研究員)

(むかい ひとし、気候変動適応センター
センター長)

執筆者プロフィール：

東京近辺で美味しいスイーツやカフェを発掘するのが最近の週末の楽しみだったのですが、本原稿を執筆している4月末現在、新型コロナウイルスの影響でしばらくお預けです。都市を自由気ままに探索できるのがいかに素晴らしいことか、改めて思い知らされる日々です。
(西橋)



【研究ノート】

民間旅客機から見た大気中 CO₂ の変動

梅 澤 拓

炭素循環と旅客機観測

気候変動の正確な予測のためには大気中のCO₂濃度の変動を理解する必要があります。CO₂は人間活動で大気中に放出される一方で、陸上植物や海洋による吸収・放出が起こっており、これらを含めた「炭素循環」の理解が不可欠です。大気中のCO₂濃度は、風上の吸収・放出源に影響を受けますので、大気の流れ（輸送）が変わることによっても変動します。逆に言えば、CO₂濃度の気象観測からCO₂の吸収・放出源や大気の輸送に関する情報が引き出せると考えられます。

国立環境研究所は、気象庁気象研究所、日本航空、株式会社ジャムコ、JAL財団と共同で、日本航空の旅客機を利用した大気観測プロジェクト CONTRAIL (<https://www.cger.nies.go.jp/contrail/>) を実施しています。CONTRAILで運用するCO₂濃度連続測定装置は、現在では日本航空の旅客機のうちのボーイング777-200ERと777-300ER型機に搭載が可能となっており、一度搭載された装置は約2ヶ月後に取り降ろされるまで自動で観測を続けます。この間、旅客機は空港を離陸して上昇、しばらくして高度約10 km

での水平飛行、目的地で下降して着陸、という運航を繰り返しますので、CO₂濃度連続測定装置は様々な離着陸空港での高度方向のCO₂濃度の変動や上部対流圏や下部成層圏でのCO₂濃度の変動を捉えることとなります。2005年に観測を開始したCONTRAILは、その後の10年余りで13,000を超える観測フライトを実施し、その観測データには非常に興味深いCO₂濃度の変動を多数見出すことができます。

インドで見つけた農業の影響

インドを含む南アジアはCO₂濃度の気象観測が非常に限られている地域のひとつであり、このことが南アジア地域の炭素循環研究の進展の妨げとなっています。CONTRAILはインドの首都、デリーの上空でCO₂濃度の高度分布を800回近く観測しました。その結果、非常に興味深いことに、1月から3月にかけての地表付近でのCO₂濃度の季節変動が北半球の他の地域と大きく異なっていることがわかりました。北半球の多くの地域では、陸上植物の呼吸が光合成を上回るため、冬から春にかけてCO₂濃度の持続的な増加が観測されますが、デリーの上空ではそ

のような濃度増加が観測されないばかりか、地表付近で CO₂ 濃度が減少する現象さえ観測されました。これらの CO₂ 濃度の高度分布や CO₂ 濃度減少の出現時期を詳細に調べると、デリー地域周辺の広大な農地に原因があることが見えてきました。インド北部のヒンドゥスターン平野は肥沃な穀倉地帯であり、デリー周辺では降水量の多い夏（モンスーン期）に稲作を、その後に小麦を育てる輪作が行われています。CONTRAIL が観測した1月から3月の CO₂ 濃度の減少は、広大な周辺農地で生育期を迎えている小麦が盛んに光合成を行っていることの現れだったのです。この研究により、人為排出や自然植生による呼吸・光合成に匹敵するほどに、農地における CO₂ 交換が南アジア地域の炭素循環にとって重要な役割を果たしていることがわかりました。

アジアモンスーンと CO₂ の変動

CONTRAIL 観測は日本を拠点としており、また、CO₂ 濃度連続測定装置を搭載できる機体がアジアの都市へ就航することが多かったことから、CO₂ 濃度の観測データは日本を含むアジア地域上空で最も充実しています。そこで、アジア太平洋地域の CO₂ 濃度の分布について、上部対流圏（高度 10 km 付近）での水平飛行と各空港上空での高度分布のデータを

合わせて解析し、三次元的な CO₂ 濃度の分布とその季節変動を明らかにしました。描き出されたのが図 1 です。継続的な CO₂ 濃度の増加傾向を除去し、2005 年から 2015 年の平均的な季節変動を 8 月と 9 月について図示しています。上面のパネルは高度 10 km 付近の CO₂ 濃度の分布を、そのパネルを垂直に地表まで繋ぐ柱が各空港上の CO₂ 濃度の高度分布を表しています。興味深いのは、インド上空の濃い青の柱です。下面パネルでインド亜大陸が濃い青になっているのは、アジアモンスーンの影響で雨季にあるこの地域の陸上植物が強い CO₂ 吸収源となっていることを示しています。その上空の濃い青の柱で示されたように、この時期の活発な鉛直混合の効果によって、地表の CO₂ 吸収による濃度減少の影響は高度 10 km 付近の上部対流圏にまで及んでいます。上面パネルの上部対流圏では、楕円の矢印のように、夏季のアジアモンスーンで生じる持続性の高気圧が南アジアから東南アジアに及ぶ循環を形成しており、その内側に直下の南アジアから上昇してきた低い CO₂ 濃度の空気が閉じ込められています。この高気圧循環は 9 月になると弱まり、上部対流圏を通してその外側へと CO₂ 濃度の低濃度領域が広がってゆきます。また、8 月には陸上植物の光合成の活発化によって高緯度地域（シベリア）の上空で低い CO₂ 濃度が見ら

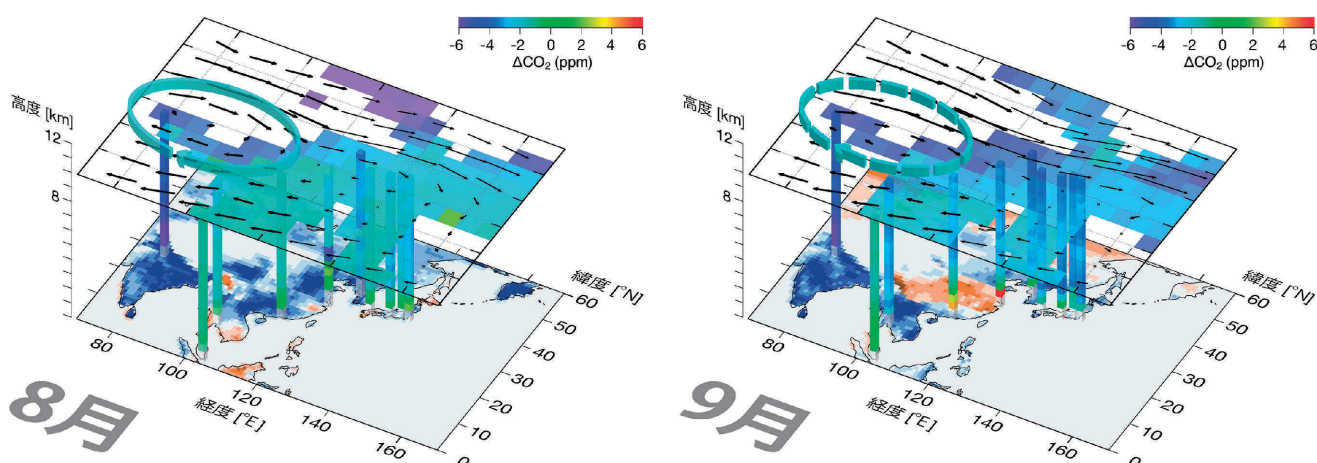


図 1 CONTRAIL 機で観測された 8 月(左)と 9 月(右)のアジア太平洋域の CO₂ 濃度の平均的な分布(2005 年から 2015 年) 上面のパネルは高度 10 km 付近の CO₂ 濃度の分布を表し、上面と下面のパネルをつなぐカラーの柱が空港上空での高度分布を表している。ここでは CO₂ 濃度の長期的な増加傾向からの差 ΔCO_2 として示しており、右下のカラーバーで示されているように青い部分ほど CO₂ 濃度が低い。上面パネルには相当高度での風の分布を矢印で示した。下面パネルの色は、CONTRAIL データも利用して推定された陸上植物による CO₂ の吸収(青)と放出(赤)の分布を表している。(Umezawa et al. 2018 の図を改変)

特集 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

れていますが、この影響も徐々に南へと伝搬します。この結果、9月の日本を含む東アジア上空の柱を見ると、地表よりも上空でCO₂濃度が低くなる高度分布が見られています。このように、アジア地域のCO₂濃度の三次元的な時空間変動は季節的なアジアモンスーン循環と強く関係しています。

世界の都市から排出されるCO₂を見る

人為的に放出されるCO₂を正確に把握することは炭素循環の研究にとって極めて重要ですが、現在ではパリ協定によって各国に課された責務でもあります。なかでも、世界の人為的なCO₂放出量の約70%は都市由来と考えられており、都市からの放出量の監視が非常に重要と認識されています。既に世界のいくつかの都市では、街の中にCO₂観測網が配備され、排出目録（インベントリ）と観測結果に矛盾がないかを調べる研究が始まっています。このように、都市からのCO₂放出を捉えられる大気観測が必要とされていますが、世界各地の都市に隔々まで観測網を展開することは難しいことです。そこで私たちはCONTRAILの空港直上のデータに着目しました。旅客機は世界各地の空港を訪れますし、空港は一般に大都市近郊にあるため、離着陸前後の低高度では近隣都市圏のCO₂放出を捉えているのではないかと考

えたのです。これまでにCONTRAIL観測機の就航が多かった世界の36空港を選び、近隣都市圏との位置関係や、どの風向・風速で高いCO₂濃度が出現したかを調べました。その結果、多くの空港上の観測データから、近隣都市圏の方角から風が吹いた時にCO₂濃度が高くなる傾向が明らかになりました。都市圏からのCO₂放出の影響を空港上の観測によってどの程度捉えられるかはフライト時の気象条件によって変動しますが、濃度増加が大きい時と小さい時の差すなわちCO₂濃度の変動幅は、風上あるいは風下に位置する近隣都市圏のCO₂放出量の大きさと関係していると考えられます。実際に、観測されたCO₂濃度の変動幅と各都市圏からのCO₂放出の推定量との関係を図示したのが図2です。CO₂放出が大きいと考えられる都市ほどCONTRAILで観測された空港直上のCO₂変動が大きい傾向があり、言い換えるとCONTRAILの観測が都市からのCO₂放出をしっかりと捉えていることを示しています。

観測基地としての民間旅客機

旅客機観測CONTRAILによるCO₂データは、都市や地域規模から大陸や全球規模まで炭素循環の重要な知見を与えてくれます。地上観測が高精度や時間連続性を、衛星観測が広範囲性を得意とする中、

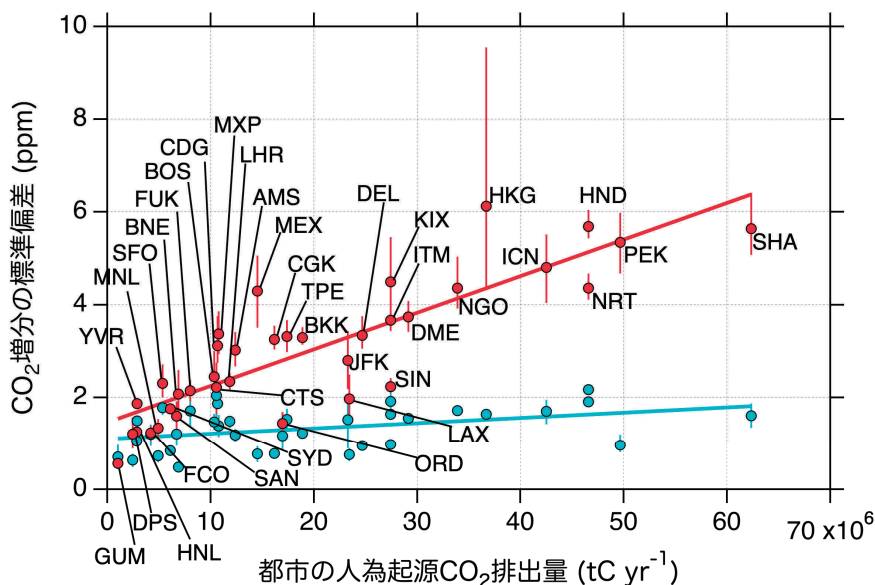


図2 世界各国の空港上空におけるCO₂濃度の変動幅（標準偏差）と各都市からの人為起源CO₂放出量との関係。赤色が高度約1 km、水色が高度約4 kmでの観測データを解析した結果。各空港名はアルファベット3文字の空港コードで示されている（例えば成田空港はNRT、羽田空港はHNDなど）。（Umezawa et al. 2020の図を改変）

旅客機観測は現地拠点を持たなくても空港さえあれば高精度観測を行えることや、高度分布を含めた高分解能のデータを広範囲に取得できること、旅客機運航の定常性により長期観測ができることなど、炭素循環の研究データに求められる複数の高度な要求水準に一度に応えることのできるユニークな観測基地と言えるでしょう。現在のところ、CONTRAILは旅客機による高頻度CO₂濃度データを継続して提供している世界で唯一のプロジェクトであり、幅広く活用できる貴重な観測を発展的に維持してゆくことが今後も大切です。

(うめざわ たく、環境計測研究センター

動態化学研究室 主任研究員)

出典：Umezawa et al. (2018) doi:10.5194/acp-18-14851-2018

出典：Umezawa et al. (2020) doi: 10.1038/s41598-020-64769-9

執筆者プロフィール：

日本航空が提供する深夜の長寿ラジオ番組をご存知でしょうか。現在のパーソナリティはなんと福山雅治さん！この番組をふと思い出し、私が受験勉強の友にしていた当時の音源を探し当てて胸がいっぱいになりました。JALに関わる仕事をするとは思いませんでした。



【研究ノート】

北極のブラックカーボンはどこからくるのか？

池田恒平

はじめに

近年、北極圏における急激な気候や環境の変化に世界的な関心が集まっています。北極圏の気温は全球平均と比べておよそ2倍の速度で上昇しています。温暖化による海氷の減少、生態系への影響など環境への変化が懸念される一方、北極海航路の利用や海底資源の開発といった利便性も指摘されています。地球温暖化を引き起こす物質としてはCO₂をはじめとする「長寿命温室効果ガス」がよく知られていますが、大気汚染物質であり気候にも影響する「短寿命気候汚染物質 (SLCP: Short-Lived Climate Pollutants)」についても、気候影響を評価し、排出量を削減していくことが重要となっています。ブラックカーボン (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。BCの発生源には、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があります。

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、雪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。BCは代表的なSCLPとして、その削減が近未来の地球温暖化を抑制する可能性があることから注目されています。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の発生源や気候への影響を理解することは重要な課題となっています。

北極のブラックカーボンはどこからくるのか？

北極のBC濃度は冬季から早春にかけて増加し、夏季に減少する季節変化を示します。BCの気候影響を正確に評価する上では、大気化学輸送モデルを用いて観測値を再現することが欠かせません。しかし、大気化学輸送モデルの国際相互比較実験では、北極圏におけるBC濃度の季節変化がうまく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。大気中に放出されたBC粒子は主に降水によって大気中から除去され (湿性除去)、大気中の平均滞在時間は数日~1週間と推測されています。モデルによるBCの再現が困難な理由として、BC排出量の推計値の不確かさが大きいことや、微粒子として大気中を輸送される

特集 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

際に降水に除去されにくい粒子（疎水性粒子）から除去されやすい粒子（親水性粒子）へ変質する過程、降水による湿性除去過程がよくわかっていないことが挙げられます。

北極圏で観測される BC 濃度は、アジアや、ヨーロッパ、ロシア、北米など北半球中・高緯度の主要な人為起源の発生源に加え、シベリアや、アラスカ、カナダなどの北方森林火災から排出された BC が北極へ輸送されてきた寄与の合計として決まります（図 1）。したがって、北極 BC の季節変動を理解するためには、各発生源からの輸送過程や、輸送中の湿性除去過程を理解し、北極 BC に対する寄与を評価することが重要になります。モデル内で発生源毎の BC を区別して計算し、観測された BC 濃度を再

現することができれば、北極 BC の季節変動がどのように決まっているかを調べることができます。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、発生源の種別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)。発生源の種別は、人為起源 BC（工場や自動車など人間活動から排出される BC）と、バイオマス燃焼起源 BC（森林火災など野外火災から排出される BC）の 2 種類に分けました。



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。

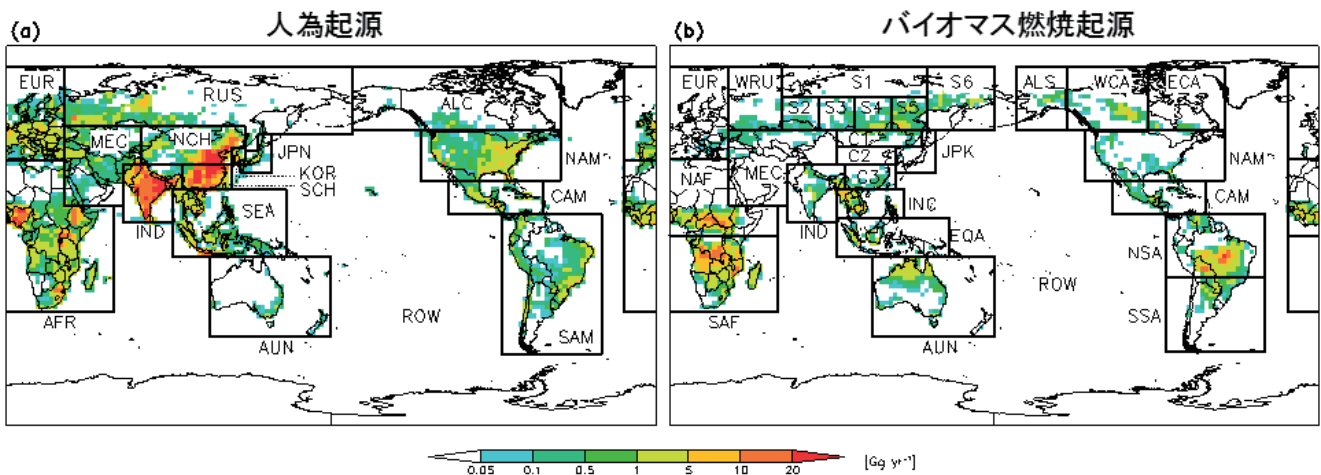


図 2 (a) 人為起源及び、(b) バイオマス燃焼による BC の年間排出量と、タグ付きトレーサーシミュレーションのための領域の設定を示す。東アジアは日本、韓国、中国北部、中国南部の 4 領域に分けた。

我々は上記のモデルを用いて、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。まず、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(12-3月)にかけて増加します。冬季のユーラシア大陸北部では降水量が少なく、BCが大気中から除去されにくいこと、また大気安定で上下方向に混ざりにくく大気下層での輸送が起りやすくなっていることがこれらの地域からの寄与が大きい原因です。夏季(6-8月)になると、降水量が増加するため人為起源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が活発になるため、これらの地域からのバイオマス燃焼起源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。次に、北極圏の高度5kmについて見ていきます。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)。東アジアから排出されたBCは北極への輸送中に上昇しながら到達するため、北極圏への流入は主に高度3-8kmの中部対流圏で起こります。このため、東アジア起源BCの寄与は地表面付近では大きくありませんが、高度5kmでは重要となっています。

北極圏で地表から大気上端まで鉛直積算した量(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(図4)。東アジア起源のBCは、他の重要な発源地域(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。北極圏で大気中から地表面に沈着した量(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BCだけでなく、シベリアやアラ

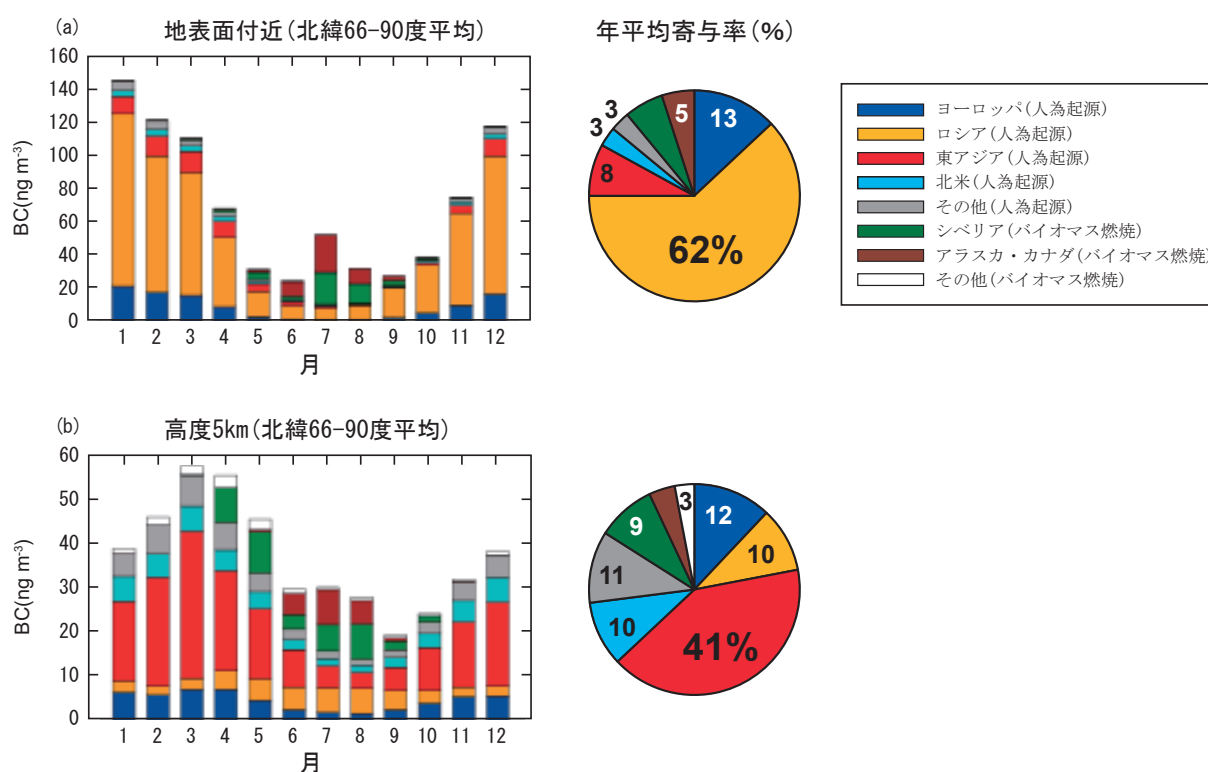


図3 北極圏(北緯66-90度)で平均した、(a)地表面付近及び、(b)高度5kmにおける月平均BC濃度に対する各発生源からの寄与の季節変化および、年平均濃度に対する寄与率。

特集 マルチスケールGHG変動評価システム構築と緩和策評価

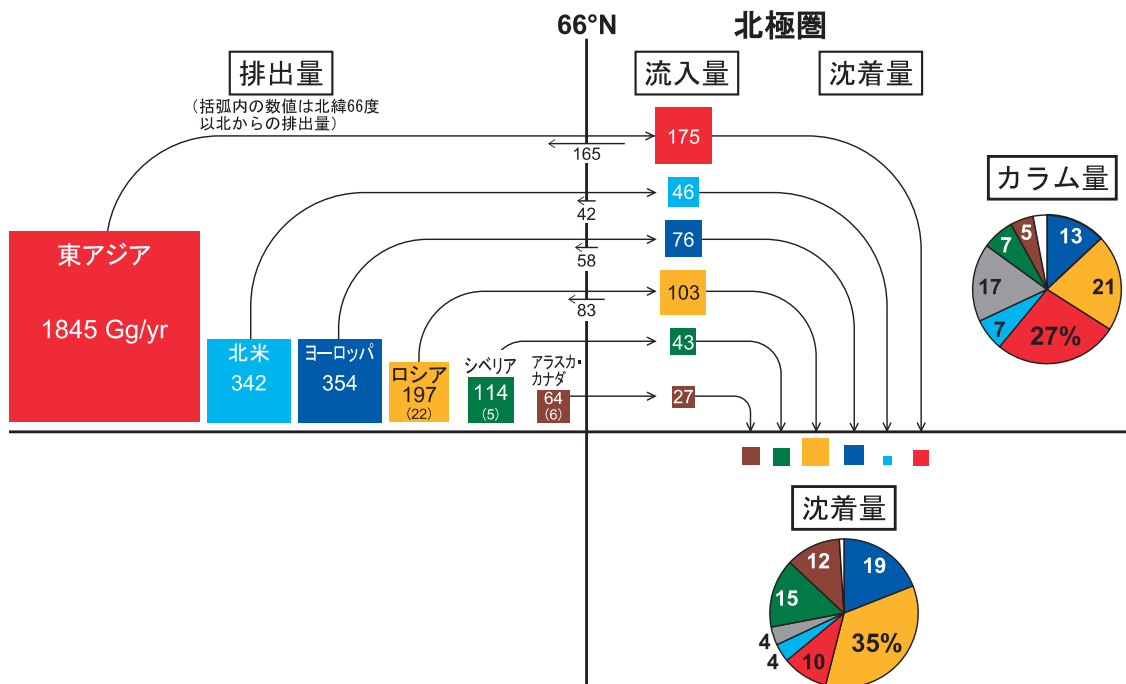


図4 主要な発生源毎のBCの収支。数値の単位はGg/年。四角形の大きさは相対的な量的関係を表す。

スカ・カナダのバイオマス燃焼起源BCも重要な寄与(12-15%)を持つことがわかりました(図4)。

BCによる気候への影響は、その高度分布に強く依存することが報告されています。具体的には、下部対流圏に存在するBCや雪氷面に沈着したBCは地表面の気温上昇に影響する一方、中部対流圏のBCはその場の大気加熱や大気上端の放射強制力には影響しますが、地上の温暖化にはあまり寄与しないと考えられています。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おり、したがって発生源毎のBCによって北極圏の気候に及ぼす影響も異なることを示唆しています。北極圏の雪氷の融解や地表面温度の上昇に対しては、ロシアの寄与が大きいことが示唆されます。一方、東アジアから運ばれるBCは大気加熱や放射強制力に対する影響は大きくなりますが、雪氷に沈着して融解を促進することにはあまり影響しないことが示唆されました。

今後の展望

東アジアは世界のBC排出量のおよそ30%を占め

る主要な発生源であり、北極圏のBCに対しても大きな寄与を持つことが示唆されました。一方で、BCの排出量推計には大きな不確実性があり、温暖化が顕著に進む北極圏への気候影響を評価する上でも、排出インベントリを検証し不確かさを減らすことが重要な課題になっています。人為起源の気候変動によって、豪雨や強力な台風、干ばつ、大規模森林火災など、極端な気象現象が顕在化しつつあります。SLCPの削減は今後数十年の温暖化のペースを遅らせる可能性があるため、SLCPの排出量や気候変動への影響を定量化し、削減していくことが重要となっています。今後、観測やモデルを用いた排出量の高精度化や、科学的理解の向上に基づくモデルの改良、SLCPによる気候影響の定量的評価に取り組むことが重要と考えています。

(いけだ こうへい、地球環境研究センター

地球大気化学研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール:

昼休みは野球部の練習に励んでいます。日々の練習の中で、猛暑日の増加や、暖冬の多さといった近年の気候の変化を肌で感じています。



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。 <https://www.nies.go.jp/index.html#tab5>

Korea Society of Waste Management Award for Excellent Poster Presentation

受賞者：北村洋樹（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：Effect of synthesized and neoformed ettringite on immobilization of toxic metals in municipal solid waste incineration fly ash, 2019 Spring Scientific Conference by Korea Society of Waste Management, Proceedings of the 2019 Spring Conferences of Symposium / Special Session / the 23rd Korea-Japan Joint International Session of Korea Society of Waste Management, 298-299, 2019

大気環境学会 論文賞（技術調査部門）

受賞者：菅田誠治（地域環境研究センター）

受賞対象：石英繊維ろ紙に捕集した PM2.5 中の有機トレーサー成分におけるガス吸着の影響, Journal of Japanese Society Atmospheric environment, 53 (2), 70-78, 2018

ICAFEE 2019 Best Poster Presentation 賞

受賞者：徐 開欽、小林拓朗、SHI Chen、Hu Yong（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：Biofilm formation enhancement in anaerobic treatment of high salinity wastewater: Effect of ferric polymer addition, The 4th International Conference on Alternative Fuels, Energy and Environment (ICAFEE): Future and Challenges, Abstracts, 166, 2019

日本大気化学会奨励賞

受賞者：池田恒平（地球環境研究センター）

受賞対象：大気化学輸送モデルを用いた PM2.5 およびブラックカーボンの発生源解析に関する研究

環境放射能とその除染・中間貯蔵及び環境再生のための学会 優秀口頭発表賞

受賞者：野田康一（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：蛍光 X 線（XRF）分析を用いた除染廃棄物等熱処理残さに対する迅速元素組成把握法の検討, 第 8 回環境放射能除染研究発表会, 同予稿集, 27, 2019

平成 30 年室内環境学会学術大会 大会長奨励賞

受賞者：高木 麻衣(福島支部), 磯部 友彦(環境リスク・健康研究センター), 岩井 美幸(環境リスク・健康研究センター), 中山 祥嗣(環境リスク・健康研究センター)

受賞対象：日本人小児のハウスダスト摂取量の推計, 平成 30 年室内環境学会学術大会, 同予稿集, 226-227, 2018

「野生生物と社会」学会 優秀ポスター賞

受賞者：豆野 皓太(生物・生態系環境研究センター), 久保 雄広(生物・生態系環境研究センター)

受賞対象：農業直接支払制度が農地生態系保全行動に与える影響, 第 25 回「野生生物と社会」学会, 同予稿集, 119, 2019

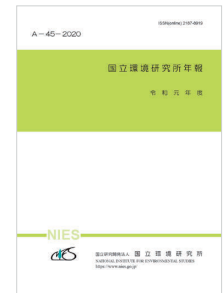
※所属は受賞当時のものとなります。

新刊紹介

国立環境研究所年報 令和元年度

「国立環境研究所年報 令和元年度」は、第4期中長期計画（平成28～令和2年度）の4年目にあたる令和元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/r01/r01all.pdf>



環境報告書 2020

本報告書は、2019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。

○<https://www.nies.go.jp/kankyokanri/ereport/2020.html>



編集後記

2016年度に始まった低炭素研究プログラム（5つの課題解決型プログラムのひとつ）も2020年度が最後の年になります。今号ではそのプログラム傘下の3つのプロジェクトの中から「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」を紹介して頂きました。精度の高い温室効果ガスの観測を続けることの難しさや、継続している中から当初は予想していなかった現象の発見など、地球観測モニ

タリングの違った一面を理解して頂けますとうれしく思います。今号では触れませんでした。こうした高精度モニタリングデータを利用した温室効果ガスの排出量・吸収量の逆推定も精力的に行われています。この5年間で継続・発展した取り組みは2021年度から始まる次期中長期計画の中のプログラムにも反映されていきます。 (T.S.)

国立環境研究所ニュース Vol. 39 No. 3 (令和2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。
<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。