



京都御苑閑院宮邸跡収納展示館レクチャーホールで  
「みんなの地球温暖化教室」を開催しました

## 2018年3月号 [Vol.28 No.12] 通巻第327号

国連気候変動枠組条約第23回締約国会議（COP23）報告 政府代表団メンバーからの報告：パリ協定詳細ルール、あと一年でどこまでできるか

地球環境研究センター 地球環境データ統合解析推進室 主任研究員 **畠中エルザ**  
(地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス)  
地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス 高度技能専門員 **小坂尚史**

環境研究総合推進費の研究紹介 [21] 東アジア地域はどのくらいメタンを放出しているか？ 環境研究総合推進費2-1710 「メタンの合理的排出削減に資する東アジアの起源別収支監視と評価システムの構築」

地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 主任研究員 **伊藤昭彦**

北海道の陸別中学校で出前授業を行いました

地球環境研究センター 衛星観測研究室 主任研究員 **森野勇**  
地球環境研究センター 衛星観測研究室 主任研究員 **野田響**

京都御苑エコ教室・国立環境研究所出前授業 「みんなの地球温暖化教室－京都議定書、パリ協定、そしてこれから－」 報告

地球環境研究センター 交流推進係

平成29年度スーパーコンピュータ利用研究報告会を開催しました

地球環境研究センター 研究支援係

## 国連気候変動枠組条約第23回締約国会議（COP23）報告

### 政府代表団メンバーからの報告：パリ協定詳細ルール、あと一年でどこまでできるか

地球環境研究センター 地球環境データ統合解析推進室 主任研究員 畠中エルザ  
(地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス)  
地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス 高度技能専門員 小坂尚史

## 国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）報告

一覧ページへ▶

2017年11月6～17日、ドイツ・ボンにおいて国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第23回締約国会議（COP23）、京都議定書第13回締約国会合（CMP13）およびパリ協定第1回締約国会合（CMA1）第2部が開催された。また、これと並行して、パリ協定特別作業部会（APA）第1回会合（第4部）および第47回補助機関会合（科学上および技術上の助言に関する補助機関会合：SBSTA47、実施に関する補助機関会合：SBI47）が開催された。国立環境研究所からは、日本政府代表団（交渉）、サイドイベント（発表）、ブース（展示）という三つの立場で参加した。本稿では交渉内容について紹介する。なお、サイドイベントと展示ブースについては、国立環境研究所ニュース36巻6号（3月上旬公開予定、<http://www.nies.go.jp/kanko/news/index.html>）で報告する。



議長が採択に用いる槌の引き継ぎを受けるフィジーのバイニマラマ首相（COP23議長）（中央左）、および前議長国モロッコのメズアール外務大臣（COP22議長）（中央右）

COP23は、パリ協定の詳細ルールの採択を予定している次回のCOP24に比べれば、成果としてはやや地味な会合となったかもしれない。具体的にはパリ協定の詳細ルール、2020年以前を含む排出削減目標の強化、資金問題など、様々なトピックが議論された。以下、政府代表団による温室効果ガスインベントリ関連の交渉について概要を報告する。その他の事項に関する交渉概要は、環境省の報道発表（<http://www.env.go.jp/press/104820.html>）等に紹介されているので参照されたい。

### 1. パリ協定特別作業部会（APA）

2016年のパリ協定の発効から一年を経て開催されたCOP23は、先に述べたとおり、成果としては大きな目玉のない、やや地味なCOPとなった。議長国はフィジーがモロッコから引き継いだ。フィジーではこの規模のイベントをホストすることが困難なことから、開催地は通例と異なり議長国内ではなくUNFCCCが事務局をおくドイツ・ボンであったため、そのような意味でも目新しさが無い印象を与えたのかも知れない。

そのような中、細かな内容の成果物を求められているAPAでは作業が着実に進められた。APAでは、議論の時間を確保するために、COP開会直前のラウンドテーブルという非公式会合から始まり、緩和や透明性、市場メカニズムなどの議題に分かれてパリ協定の詳細ルールについて議論が行われた。透明性については、時間をサブテーマごとに区切り、共同ファシリテーター（米、中）が作成した非公式ノートが各国意見を的確に捉えているかなどの観点での各国のコメントが求められ、少しずつ論点が整理され始めている。非公式ノートには、適用されるルールの内容案が項目ごとに羅列され、想定対象国も記載されている。その中には、国家インベントリ報告書（national inventory report）、（削減目標に関する）進捗状況確認に必要な情報（information necessary to track progress）や、技術専門家審査（technical expert review）、多国間検討（facilitative, multilateral consideration of progress）などの文言がみられ、パリ協定下の透明性フレームワークの骨格が徐々にうかがい知れる形になってきている。これまでのインベントリや隔年報告書・隔年更新報告書、多国間評価や促進的意見の共有での経験が議論の基礎となっているので、当然似ているものが課されることは想定できるが、その実施頻度や、どこまで先進国・途上国間で義務を共通化できるか、また、議題間のルール案の熟度のバランスをどうとるかなどが今後の注目点となる。

各国は、APAの開会最終日に、当該非公式ノートを次のセッションに向けた検討の基礎として、受け入れる意思を示した。あくまでも共同ファシリテーターが自らの責任で取りまとめたものという位置づけであり、まだ各国意見を総覧的に網羅した、重複や矛盾を含むものであるが、透明性に関しては46ページ、他議題を含めた文書としては266ページもの文書ができたのは歓迎すべきことである。今年の4月初めには、この成果を踏まえ、APAの共同議長（ニュージーランド、サウジアラビア）より今後のAPAにおける議論の進め方の案が提示されることになった。

なお、年末のCOP24で詳細ルールの採択を目指しているため、議論の進捗によっては、今年のSB48会合とCOP24会合との間に追加会合が実施される可能性がある。

## 2. 促進的意見の共有（FSV）と多国間評価（MA）

今次SBI47会合では、11月10日に、途上国の隔年更新報告書に対する4回目の促進的意見の共有（FSV）のためのワークショップが行われた。促進的意見の共有は、国際的協議・分析という、途上国の緩和行動及びその効果の透明性向上を目的に実施されているプロセスの一環で行われており、促進的意見の共有の前段階で実施される技術的分析の結果などを踏まえたものとなっている。国際交渉での文言調整の結果、理解しにくい表現になっているが、各国が報告書の提出国に対し、報告書に関する疑問点について質問をしたり、コメントをする場となったりしている。「促進的」という文言は、厳しく評価する場ではない、という点を強調したものである。

当該ワークショップでは、2017年9月8日までに技術的分析の完了したアルメニア、エクアドル、ジョージア、ジャマイカ、セルビアの5カ国が対象とされた。質疑応答では、各国の国内体制の詳細、国際的協議・分析の経験から得られた教訓、また、インベントリに関する細かな質問も多く出された。

このほか、報告書の提出が任意となっている小島嶼国で初めてジャマイカが隔年更新報告書を提出して、今回のFSVの対象となっていたため、報告書を提出できたことを祝福する発言もみられた。

さらに、同日、ベラルーシに対する多国間評価（MA）も実施された。多国間評価は、先進国の排出削減目標の達成状況の進捗の審査、及び途上国支援の状況・削減目標に関係する排出・吸収量の評価を行うこと等を目的とする国際的評価・審査プロセスの一環で行われており、多国間評価の前段階で実施される技術的審査の結果などを踏まえたものとなっている。各国が報告書の提出国に対し、報告書内容について質問・コメントをする場となっている。なお、ベラルーシは、前回SBI会合で多国間評価が実施される予定だったところ、国内事情により延期となり、今次SBI会合での唯一の対象国となったものである。オーストリア、EU、インド、アメリカより低炭素技術・再生可能エネルギーの導入に関する施策や、運輸・廃棄物セクターにおける緩和策、途上国に対して実施している支援等に関して質問があった。

これをもって第二回隔年報告書に対する多国間評価が終了した。

### 3. 最後に

COP24は今年の12月3～14日にポーランドのカトヴィツェで開催される。今年一年、作業山積のAPAでは最後まで駆け足が続くことになるだろう。ただ、会議開催のための資金は限られているため、どこまで詳細にルールを作り込むことができるかは分からない。同期間は、また、タラノアというフィジーの対話手法を指す言葉（「包摂的・参加型・透明な」の意を含む）が冠されたタラノア対話というNDC強化を促すための各国間の対話の期間に位置付けられている。この対話を経て2030年目標の提出・更新が期待される。また、先進国の2020年以前の取り組みの強化を求める声も今回再度高まり、京都議定書第二約束期間の批准や気候資金拠出を呼び掛けるような流れもある。

2020年までには、まだいろいろなことが起こりうる。今回は、アメリカのパリ協定離脱宣言後の初のCOPではあったが、前回同様、アメリカ政府代表は、少なくとも筆者らの担当していたインベントリ等の議題においては従来と交渉の立場も温度感も変えている印象はなかった。APAの透明性の議論など、今のアメリカの立場でも関わり続け得ると思われるトピックにおいては、引き続き議論に貢献してもらいたい。

余談になるが、今次COPでは各国パビリオンのあるサイドイベント会場は、議題を議論する会議場から徒歩30分程度の場所に配置されていた。ところが、アメリカの経済界・自治体の長・NGOらが手を組んでWe Are Still In（連邦政府は離脱しても非政府アクターはまだパリ協定に賛同している、の意）というキャンペーンを打ち立て、その一環で今次COP用に出資した非公式なアメリカパビリオンは、サイドイベント会場内ではなく、なぜか会議場に一番近くて行きやすい場所に配され、UNFCCC事務局の何らかの意図を感じとれる興味深い状況となっていた。

#### 略語一覧

- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) : 国連気候変動枠組条約
- COP (Conference of the Parties) : 締約国会議
- CMP (Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol) : 京都議定書締約国会合
- CMA (Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement) : パリ協定締約国会合
- APA (Ad Hoc Working Group on the Paris Agreement) : パリ協定特別作業部会
- SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) : 科学上および技術上の助言に関する補助機関会合
- SBI (Subsidiary Body for Implementation) : 実施に関する補助機関会合
- SB (Subsidiary Bodies) : 補助機関
- FSV (Facilitative Sharing of Views) : 促進的意見の共有
- MA (Multilateral Assessment) : 多国間評価
- NDC (Nationally determined contribution) : 自国で決定した貢献（国ごとの排出抑制目標のこと）

## 環境研究総合推進費の研究紹介

### 21 東アジア地域はどのくらいメタンを放出しているか？

環境研究総合推進費2-1710「メタンの合理的排出削減に資する東アジアの起源別収支監視と評価システムの構築」

地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 主任研究員 伊藤昭彦



## 環境研究総合推進費の研究紹介

[一覧ページへ▶](#)

### 1. 研究の背景

2015年12月に採択されたパリ協定により、将来の平均気温上昇を産業革命前に比べて2°C未満に抑制し、さらに1.5°C未満に抑えるため最大限の努力をするという国際合意が成立しました。その実現には人為的に排出される温室効果ガスを大幅に削減する必要があるのは明白で、温暖化への寄与が最も大きい二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）だけでなく、メタン（CH<sub>4</sub>）や一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）など微量ガスの削減も必須と考えられています。しかし、温室効果ガスは人為起源だけでなく自然起源のソース（発生源）・シンク（吸収源）が地表に不均質に分布しており、時間的にも変動が大きいためその収支を正確に把握することは非常に困難でした。現在ではGOSAT（温室効果ガス観測技術衛星、いぶき）など人工衛星による大気中濃度の広域観測も可能となっていますが、ソース・シンクの分布を高い精度で推定するには地表での観測やモデル・統計のデータも用いる必要があります。温室効果ガス収支の不確実性は、気候の将来予測だけでなく、パリ協定をはじめとする気候変動対策による緩和・適応に重大な影響を及ぼすため、科学的手法を高度化して信頼性の高い収支の監視を実現することが求められています。

### 2. メタンの重要性、東アジアの特殊性

温室効果ガスの中でもCH<sub>4</sub>は興味深い性質と挙動を示し、世界の研究者の注目を集めています。CH<sub>4</sub>は天然ガスなどの化石燃料や陸域における微生物の活動が主な放出源となっていますが（図1）、同じ重量ならCO<sub>2</sub>と比べて約28倍（100年間で比較）も温暖化に寄与する重要な温室効果ガスです。近年の大気観測だけでなく、氷床コアなどから得られた過去のデータから、大気中のCH<sub>4</sub>濃度は産業革命以降に150%以上も増加したことが分かっています。原因はいろいろ考えられますが、化石燃料消費などの人間活動に由来する放出増加がその主因であることは確かでしょう。加えて、CH<sub>4</sub>は大気中での寿命（平均滞留時間）が10年程度と短いこともポイントです。なぜなら、排出量を減らせば大気中での消滅が進み、大気中の濃度をかなり速やかに低下させられる可能性があるからです。



図1 陸域におけるメタンの主要な排出源のイメージ

その一方で、地球規模でのソース・シンクの変動を反映する大気中CH<sub>4</sub>の挙動には未解明の部分があります。大気観測のデータは、1990年代前半から2006年まで大気中のCH<sub>4</sub>濃度の上昇が予想外に停滞したことを示していますが、その原因に関する議論に決着はついていません。2007年以降、再度増加に転じたことも大きな謎となっています。このような十年規模でのCH<sub>4</sub>収支の変動は、排出削減による温暖化の抑制効果を考える上で是非とも解決すべき問題です。

グローバルなCH<sub>4</sub>収支を考える上で、アジア地域、なかでも東アジアは注目すべき特徴があります。第一に、東アジアには広大な水田が分布しており、それが大きなCH<sub>4</sub>放出源となっています。その放出量は人間による水管理や肥料投入などの影響を受けるため、排出削減の対象としても重要です。第二に、この地域は人口増加と経済成長が著しく、石炭や天然ガスなど化石燃料の採掘と消費の規模も増加しているため、そこから漏出するCH<sub>4</sub>も増えてきたと考えられます。都市の拡大は廃棄物や埋立地からのCH<sub>4</sub>発生量も増加させているでしょう。第三に、上記の2要因と関係しますが、食習慣の変化も相まって家畜の飼育が増加しており、牛や山羊のような反芻動物（胃の中で微生物がCH<sub>4</sub>を発生させる）からの放出量も増加していると考えられています。

### 3. 研究課題2-1710の概要

前項のような東アジア地域の特性を踏まえてCH<sub>4</sub>の収支を把握するため、環境研究総合推進費2-1710を提案し、2017年度から3年間の計画で実施しています。ここでは課題の概要、事業を構成するサブテーマの実施内容、期待される成果についてご説明します（図2参照）。なお、本課題の参加機関は国立環境研究所（伊藤昭彦、遠嶋康徳、平田竜一、齊藤誠、齊藤拓也、寺尾有希夫、梅澤拓）と海洋研究開発機構（羽島知洋）です。



図2 推進費課題2-1710の構成 (サブテーマ1~3) と研究フロー

本課題の対象とする地域は、主として日本、中国、韓国、モンゴルからなる東アジア地域です。これは面積で1100万km<sup>2</sup>を超える広大な地域ですが、さらに16億人以上の人口（世界全体の21%以上）、GDPについては、日中韓がそれぞれ世界3位、1位、11位の経済規模です。そしてCH<sub>4</sub>など温室効果ガスの排出削減の点でも注目すべき地域となっているのは前項に述べたとおりです。本課題では、複数の手法を用いて相互に検証しつつ東アジア地域のCH<sub>4</sub>収支を把握・監視する手法を確立することを目指し、以下の3サブテーマを設定しました。

### (1) 陸域メタン放出量とその緩和効果の推定モデルに関する研究

東アジア地域からの自然起源と人為起源のそれぞれのCH<sub>4</sub>放出量を数値モデルと排出インベントリの解析によって把握します。全地域を0.25度メッシュ（約25km間隔、将来的に分解能を高める可能性もある）でカバーし、各格子におけるCH<sub>4</sub>のシンク・ソースを推定して正味収支を求めます。国立環境研究所で開発を行ってきた陸域モデルVISIT（Vegetation Integrative Simulator for Trace gases）を適用し、湿原や水田からの放出量や乾燥土壌での吸収量を推定しています。人為起源排出に関しては、統計ベースの排出インベントリ・マップ（例えばEDGAR）や、家畜の飼育頭数や土地利用の分布に基づく推定を行います。温暖化研究で用いられているグローバルな社会経済シナリオ（SSP）や排出シナリオ（RCP）に準拠した、東アジア地域のCH<sub>4</sub>排出削減シナリオを開発するための研究を行います。

### (2) 地域スケールのメタン放出量推定精度向上のための観測研究

地上観測によって東アジア地域（特に上海から北京など大都市を含む中国沿岸部）におけるCH<sub>4</sub>排出量を自然・人為起源別に把握するための研究を行います。国立環境研究所が長年にわたり大気観測を行ってきた沖縄県・波照間ステーションにおいて、大気中のCH<sub>4</sub>濃度や関連する成分を観測します。さらに、近年注目されているCH<sub>4</sub>の炭素の安定同位体比（<sup>13</sup>Cと<sup>12</sup>Cの存在比）を新しく精密に測定し、濃度変動をもたらした排出源を推定します。これには代表的な人為起源排出である化石燃料と、湿原や家畜などの生物起源排出では安定同位体比に明らかな差があることを利用しています。また、人為的な排出源からは、CH<sub>4</sub>だけでなく多数の炭化水素類も同時に放出されるため、それらを補助データ（トレーサー）として組み合わせることで、さらに排出源に関する情報を得ることができます。

### (3) メタンの気候変動フィードバック効果に関する研究

大気海洋の物理過程だけでなく生物地球化学的過程や人間活動を導入して気候変動を再現する地球システムモデルを用いて、CH<sub>4</sub>の気候的なフィードバック効果に関する研究を行います。温度や降水の変化は湿原のCH<sub>4</sub>生成に影響を強く与えるため、気候変動とCH<sub>4</sub>放出の間には特有のフィードバック関係があると考えられます。海洋研究開発機構が中心となって2002年から開発を行ってきた地球システムモデルMIROC-ESM（Watanabe et al. 2011）に、新たに陸域のCH<sub>4</sub>放出に関する推定式を導入し、過去から将来のCH<sub>4</sub>放出量の変化とその気候変動に与える影響を調べます。また、将来の人為起源排出シナリオに基づいたシミュレーションを行うことで、CH<sub>4</sub>排出削減による温度上昇抑制の効果を評価します。

#### 4. 研究課題2-1710のねらい

本課題の目標は、東アジア地域においてCH<sub>4</sub>を排出起源別に把握する監視システムを構築し、そこから得られるデータを参照して有効な排出削減のシナリオを提示することです（図2参照）。このシナリオは、パリ協定で掲げられた気候変動に関する目標や、持続可能な開発目標（SDGs）を達成する上で有用な科学的根拠となります。また、過去から現在の収支を評価することで、GOSAT観測を含む、グローバルなCH<sub>4</sub>収支の解明に寄与することができます。さらに、東アジア地域のCH<sub>4</sub>収支に関して独自のデータと分析結果を提供し、温暖化現象の全体像解明にも貢献します。

#### 引用文献

- Ito A, Inatomi M (2012) Use and uncertainty evaluation of a process-based model for assessing the methane budget of global terrestrial ecosystems. *Biogeosciences* 9: 759-773. DOI: 10.5194/bg-9-759-2012
- Tohjima Y, Kubo M, Minejima C, Mukai H, Tanimoto H, Ganshin A, Maksyutov S, Matsumata K, Machida T, Kita K (2014) Temporal changes in the emissions of CH<sub>4</sub> and CO from China estimated from CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> and CO / CO<sub>2</sub> correlations observed at Hateruma Island. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 1663-1677. DOI: 10.5194/acp-14-1663-2014
- Watanabe S, Hajima T, Sudo K, Nagashima T, Takemura T, Okajima H, Nozawa T, Kawase H, Abe M, Yokohata T, Ise T, Sato H, Kato E, Takata K, Emori S, Kawamiya M (2011) MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development* 4: 845-872. DOI: 10.5194/gmd-4-845-2011

#### 参考URL

- 国環研ニュース：グローバルなメタン収支に関する記事 <http://www.nies.go.jp/kanko/news/36/36-3/36-3-04.html>
- 波照間ステーションの紹介 <http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/ground/hateruma-st.html>
- 地球システムモデル開発を行う文科省統合プログラム <http://www.jamstec.go.jp/tougou/index.html>

## 北海道の陸別中学校で出前授業を行いました

地球環境研究センター 衛星観測研究室 主任研究員 森野勇

地球環境研究センター 衛星観測研究室 主任研究員 野田響

2017年11月25日に北海道足寄郡陸別町の陸別中学校で出前授業を行いました。この出前授業は、陸別町に観測装置を設置し研究を行っている国立環境研究所、名古屋大学等の研究・教育機関と陸別町が情報交換や地域振興などを目的として設立した陸別町社会連携連絡協議会の活動の一環として毎年開催しているものです。GOSAT（温室効果ガス観測技術衛星、Greenhouse gases Observing SATellite、愛称「いぶぎ」）に関する授業は2016年に引き続き2回目です。GOSATに関する出前授業が最近始まったのは、GOSATとこの陸別町との関係が非常に深くなったためです。以下にその経緯を説明致します。

GOSATは、2009年に打ち上げられた宇宙から温室効果ガスを観測する衛星で、これまで8年以上の観測データが蓄積されています。このGOSATによるプロジェクト（以下、GOSATプロジェクト）は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、環境省、および国立環境研究所が共同で実施しているものです。GOSATから観測した温室効果ガスである二酸化炭素やメタンの濃度データを研究に利用するためには、その不確かさ（GOSATデータの基準となるデータのズレとGOSATデータのバラツキの程度）を明らかにする必要があります。その作業を「検証」と言います。GOSATデータの検証を行うときには、GOSATとは別の独立した観測（たとえば航空機による観測や地上で行われている観測）によって取得されたより不確かさが小さい観測データを用いることが必要で、主にフリーエ変換分光計（FTS）を用いた全球地上温室効果ガス観測網（TCCON、Total Carbon Column Observing Network、森野勇「長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介― [9] 空を見上げて温室効果ガス濃度を測る組織―TCCON―」地球環境研究センターニュース2015年3月号）によるデータとCONTRAILプロジェクト（町田敏暢「CONTRAIL観測が10周年を迎えました」地球環境研究センターニュース2016年4月号）等の航空機観測データが用いられています。

TCCONは、2004年に始まった全球規模の観測網で、観測地点は、現在世界に25カ所あります。日本には観測地点が3カ所あり、列島のほぼ中央に位置する茨城県つくば市の国立環境研究所で最初の観測を始め、次いで南の佐賀市の佐賀大学、さらに北の陸別町で観測を開始しました。陸別に関しては、2011年12月に陸別町にTCCON観測地点設置の承諾を得てから、関係者の多大なご理解とご協力により、観測機器設置と調整が進められ、2013年11月から定常的な観測運用が始まりました。GOSATデータの検証などの具体的研究成果が出始めた2016年から、地元に対するご報告を兼ねて、国立環境研究所GOSATプロジェクトで出前授業を引き受けました。

陸別におけるTCCON観測地点としての観測機器や2016年度の出前授業の様子は、2016年の出前授業の記事（石澤かおり「宙（そら）、生徒、研究者。それぞれの純粋さ。星空が美しい町、陸別での出前授業。」地球環境研究センターニュース2017年2月号）をご参照ください。

2017年は、「日本の温室効果ガス観測技術衛星いぶぎ（GOSAT）の観測でわかったこと」と題し、前半は森野がGOSATで得た温室効果ガスの観測成果を平面モニターで説明し、後半は野田がGOSATで初めて観測に成功した植物の光合成活動の指標となるクロロフィル蛍光観測に関する紹介を実演実験と共に行いました。

森野は、地球温暖化の仕組みと温室効果ガスの観測について説明し、次にGOSATによる成果、陸別町での「温室効果ガス」観測とGOSATへの貢献について以下のように説明しました。

地球温暖化はすべて悪いことなのではなく、適度な温室効果ガスが存在したおかげで、生命が発生・進化する事ができ、今人類が存在できていることを説明しました。しかし、産業革命以後、人間は化石燃料を大量に使用し、二酸化炭素などの温室効果ガスを大気中にそのまま放出しました。地球が吸収しきれない人為起源温室効果ガスは大気中に残ってしまい、温室効果ガス濃度が増加しました。その結果、地球温暖化が進み、最近様々な異常気象が起きています。

次に、温室効果ガス濃度の分布と変化を全球規模でくまなく観測するには、衛星に搭載した観測装置を用いる方法が最も有効であることを示し、日本のGOSATが2009年1月23日に世界初の温室効果ガス専用の衛星として打ち上げに

成功したことを紹介しました。そして観測の原理・方法とこれまでの観測成果を示しました。

最後に、陸別町で温室効果ガスの観測に用いている観測装置と観測結果、さらにGOSATの比較結果を紹介しました。陸別町でのデータレコードは4年を超えようとしており、今後も観測を継続することを伝えました。



写真1 森野が授業の導入として地球の温暖化とその原因となる温室効果ガスの衛星による観測について説明しているところ

一方、野田は『陸上生態系での光合成の重要性と「いぶき」のクロロフィル蛍光観測』というタイトルで説明と実演を行いました。植物は光合成の際、葉緑体中のクロロフィルが吸収した光エネルギーのうち、光合成系で使われなかったエネルギーを「クロロフィル蛍光」と呼ばれる可視光の赤から近赤外域の微弱な光として放出します。GOSATの観測装置は、陸域植生が光合成の際に発するクロロフィル蛍光を検出することができ、これを利用して光合成活性の推定を行う研究が進められています。中学生にとって、「光合成」という言葉は小学校理科で習っても、光合成が地球環境の安定に果たす役割や光合成の機構についてまで学習はしません。そこで、まず光合成が地球環境の中で果たす役割として、人間活動により出された二酸化炭素のかなりの量を吸収すること、さらに光合成により固定された炭素が、食物や木材などとして人間社会を支えることに加えて、生物多様性の基盤となることを説明し、生態系の光合成機能研究の重要性を強調しました。そして、光合成の生理的な過程を模式的に示し、光合成過程でクロロフィル蛍光が出されることを説明しました。しかしこれだけでは、まだ「植物が光を出す」ということを納得してもらいにくいので、実際に生徒の目の前で実験をして、蛍光が出る様子を実演して紹介しました。

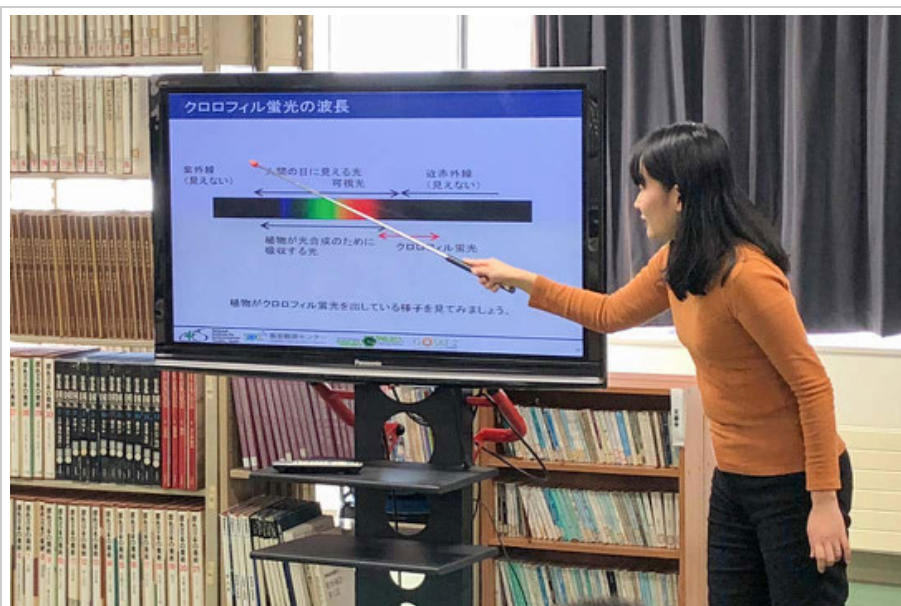


写真2 野田が実験に先立ち、クロロフィル蛍光の波長について解説している様子

実験自体はいたってシンプルなものです。まず、教室の卓上に2つの観葉植物の鉢を並べ、LEDライトを照射しました。生徒に黙っていましたが、一方の鉢は生きた本物の植物で、片方は精巧にできた造花です。これらを可視域から近赤外域を捉えることができるモノクロカメラ（一般的な防犯カメラ）で写し、それを大きな画面で生徒たちに見せました。このときには、生徒たちの目の前に並んだ2つの鉢の様子をそのまま白黒にしたような映像が映っていました（写真3左）。次にこのカメラのレンズに、クロロフィル蛍光の波長のピークがある750nmを中心とした10nmだけを通す光学フィルターをはめました。すると、画面の映像は、生きている植物の葉のみが白くなり、もう一方の造花が映っていたはずの場所は真っ暗になってしまいました（写真3右）。これは、生きている植物の葉はLEDの光を受けて光合成をし、同時に蛍光を発しているためです。光合成をしていない造花は蛍光のみを通す光学フィルター越しには何も見えなくなります。見えなくなったほうが造花であることを教えると、生徒たちは驚いていました。さらに、すべての光合成を行う植物が蛍光を発することを見せるため、サボテンで同様のことを行いました。光学フィルターを通す前は、棘のあるサボテンが写りますが、フィルターを通すと、棘が薄っすらと黒い陰になってサボテンの茎だけが白っぽく見えます。サボテンの棘は光合成しませんが、茎で光合成を行っているためです。



**写真3** 左は可視域から近赤外域を捉えるカメラで植物（ツタ）と造花、サボテンを写した様子。右はクロロフィル蛍光の波長（750nm付近）のみを透過する光学フィルターを通して見た様子。光学フィルター越しの写真（右）には造花とサボテンの棘は写りません

実演を終えた後、GOSATが観測した地球上の陸域植生が発するクロロフィル蛍光の世界分布から植物が活発に光合成を行う夏にはクロロフィル蛍光も強くなる様子を示して、クロロフィル蛍光研究が生態系の光合成機能の推定に役立つことを説明して話を締めくくりました。

最後に授業のまとめを行い、地球の温暖化と人間活動の関係、GOSAT等の衛星観測の重要性、GOSATによるクロロフィル蛍光観測の成功とその発展性、GOSAT後継機であるGOSAT-2の打ち上げが迫っていること、陸別町での温室効果ガスの観測に対する貢献、私たちが出来ることを考えて実践して欲しいことを訴えました。

2018年もこのような機会があれば、より工夫を行い、生徒に関心を持ってもらえる様な授業を行いたいと思いました。今回このような機会を頂きました陸別を始め関係機関の皆様に感謝致します。

\*これまでの陸別小学校・陸別中学校での出前授業に関する記事は以下からご覧いただけます。

- 田上厚子「日本一寒い町の陸別小学校・陸別中学校の出前授業に参加して」2014年1月号
- 町田敏暢「北海道の陸別小学校と陸別中学校で出前授業を行いました」2015年1月号
- 高橋里帆「それは一枚のカラー写真から始まったー北海道陸別町が地球環境に関する科学教育にとっても熱心なわけー日本が一番寒い町での出前授業レポート」2016年1月号
- 石澤かおり「宙（そら）、生徒、研究者。それぞれの純粋さ。星空が美しい町、陸別での出前授業。」2017年2月号

## 京都御苑エコ教室・国立環境研究所出前授業「みんなの地球温暖化教室－京都議定書、パリ協定、そしてこれから－」報告

地球環境研究センター 交流推進係

2017年12月9日（土）、環境省京都御苑閑院宮邸跡収納展示館内レクチャーホールにおいて、京都御苑と地球環境研究センターが標記のイベントを開催しました。昔懐かしい木造校舎を彷彿とさせる雰囲気の中で、三人の講師が、京都議定書からパリ協定までの気候変動問題に関する国際的な動きや、温室効果ガス排出のない社会への展望、豪雨や猛暑と地球温暖化の関係について講演しました。



最初に京都御苑管理事務所の田村省二所長から、京都議定書採択から20年という節目に、地球温暖化について三人の専門家からお話を聞くことができる非常に貴重な機会ですとのお挨拶がありました。

当日は大学生から年配の方まで約50人の参加があり、みなさん、主催者が準備したこのイベント用のノートにメモをとりながら聴講していました。以下、講演概要と質疑応答について報告します。

- 1.1時間目：社会「国際社会による地球温暖化対策の歴史」  
【講師】 亀山康子（社会環境システム研究センター 副センター長）

1997年、京都で開催された国連気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、交渉の一部を担当した亀山康子さんからは、この20年間の気候変動問題に関する世の中の動きについて説明がありました。



気候変動への対応には、緩和策、適応策、損失・損害の3つがあります。緩和策は今後のさらなる気候変動を予防し、温室効果ガス排出量を減らすために講じる手段です。すでに生じてしまった気候変動の被害を最小限に抑える手段（堤防のかさ上げ、作物の品種改良）が適応策です。さらに、適応策で防げない被害を補填するための手段（保険制度、途上国支援）が損失・損害です。1997年の京都議定書の時には緩和策だけを議論したのですが、2015年に合意されたパリ協定ではこの3つ全てがセットになっています。



COP3の風景。京都国際会議場にて撮影

1992年に採択され、1994年に発効した気候変動枠組条約は気候変動問題の全体的な枠組みを示し、その下に京都議定書やパリ協定が定められました。

気候変動枠組条約4条の約束「附属書I国（先進国）は、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）その他の温室効果ガス排出量を2000年までに1990年の水準で安定化させる」は、先進国だけに課されていたことと、努力目標でした。その後排出量は上昇してしまい、途上国は先進国にとっても不満でした。その結果、1997年のCOP3で京都議定書が採択され、附属書I国（先進国）は2008年から2012年までの5年間で、決められた量まで排出量を削減することが法的拘束力をもつ義務となりました。しかし、京都議定書からアメリカが離脱し、2000年を過ぎた頃から、京都議定書で対象となっていない中国などの排出量が増えてきたため、アメリカや中国が入る枠組みを検討しました。2015年のCOP21で採択されたパリ協定は、2020年以降（具体的には2030年）の温室効果ガス排出削減目標を定めた国際条約です。こういう形で国際制度が進化してきました。

## パリ協定の意義

1. 長期目標の設定。産業革命後の気温上昇を2°C未満、さらには1.5°Cを目指す。この目標を達成するためには、今世紀末までに排出量を実質ゼロとする必要がある。
2. 途上国を含めた「全ての国が参加する枠組み」の実現。
3. 経済面での転換期。京都議定書の時には排出削減 = コスト。最近では、再生可能エネルギーへの投資や電気自動車などは新たなビジネスチャンスという考え方。
4. 適応策、及び「損失&損害」への重要性増大。
5. 意思決定に、国（政府）だけでなく、多様なステークホルダー（企業、自治体、市民、等）の関わり。

各国は2030年の温室効果ガス削減目標を作成しましたが、その全てを足し合わせてもパリ協定が目指す2°C目標を達成できません。さらに11~13.5GtC削減しなければなりません。どうやって排出量を減らすかというのが今後の課題です。

2017年11月のCOP23では興味深いことがありました。6月にトランプ大統領がパリ協定からの離脱を宣言したアメリカの政府代表団は、会議ではあまり目立たない存在でしたが、対照的に、アメリカの州、都市、企業が創った“*We are still in*”という団体が、会議場の外に大きなテントを建て、「私たちはまだパリ協定に入っています」とアピールしていたのです。企業、自治体がやろうという気になれば、国の決定とは別行動でどんどん削減していくことができます。そういう形で2030年目標と2°C目標との差を埋めていくことができるのではないかと思います。

パリ協定では今世紀末までには排出量を実質ゼロにする必要があるとしています。そこまで画期的な削減をしていくためには、高齢化問題など、日本が直面する他の社会的課題も同時解決できるような政策が求められます。たとえば、人が車に乗らなくても生活できるような街づくりは、排出削減しつつ高齢者に優しい政策といえるでしょう。

### 2. 2時間目：社会「温室効果ガス排出のない社会へ変えるのはあなた」

【講師】西岡秀三（地球環境戦略研究機関 参与（元国立環境研究所理事））

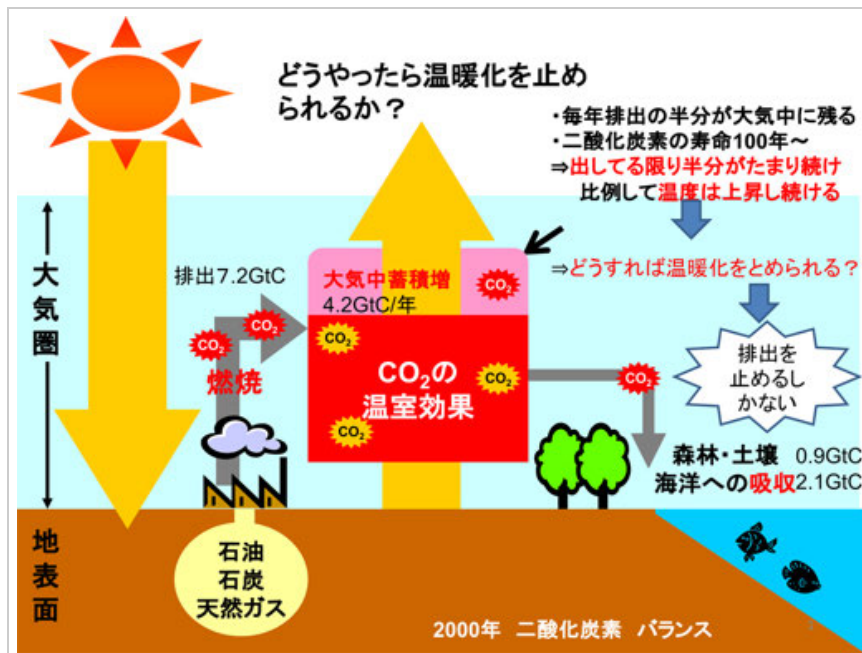
30年以上にわたり地球温暖化問題の第一線で研究を行ってきた西岡秀三さんは、パリ協定を踏まえたゼロ排出社会への転換について解説しました。



気候変動は人類の生存基盤に不可逆な影響をもたらし、健康・安全・経済的繁栄にも著しい影響を与えます。温室効果ガス的人為的な排出が続く限り、地上の温度は上昇します。パリ協定では、地球の平均温度の上昇を抑えるには、温室効果ガス排出を今世紀末までにゼロにしなければならないことを合意しました。しかし、化石燃料に依存して発展してきた人類社会の慣性は大きく、ゼロ排出社会へ大転換するためには、エネルギー・技術面だけでなく、社会イ

ンフラ・経済活動・個人行動全てにわたる対応が必要です。現在の「化石エネルギー文明」から「環境文明」に大きく「転換」する時です。

2000年のCO<sub>2</sub>収支を見ると、化石燃料の燃焼により7.2GtC大気中に排出され、そのうち海洋が2.1GtC、森林・土壌が0.9GtC吸収しています。残り4.2GtCは大気中に蓄積されます。毎年この量が蓄積され、100年たっても消えません。CO<sub>2</sub>が大気中に蓄積されると、それに応じて温度は上がっていきます。では、どうやったら温暖化をストップできるのでしょうか。たとえ少量でも出している限り温度が上がるのですから、それを止めるにはもうCO<sub>2</sub>排出を止めるしかないのです。



パリ協定では、産業化以前からの気温の上昇を2°C未満に抑えることを決めました。1870年以降の人為起源のCO<sub>2</sub>累積排出量が775GtCになると2°Cになってしまいます。しかしもうすでに500GtC排出してしまいましたから、残された排出許容量は275GtCしかありません。現在年間排出量が10GtCですから、このままですと、あと28年で2°Cになってしまいます。ともかくゼロ排出社会に変えてゆかねばならない。これを覚悟してください。

ゼロ排出社会を目指して、一人ひとりができることは実はたくさんあります。(1) 消費者として：低炭素の商品・サービスをマーケットで支える。(2) 廃棄者として：不要なモノを見分け、効率的に消費する。(3) 生活者として：日常生活での低炭素に向けての行動・選択を行う。(4) 地域住民として：身の回りの地域社会での取り組みに参加する。(5) 投資家として：低炭素社会づくりへのビジネス等への投資を行う。(6) 有権者として：意思決定プロセスに参加し、民意を届ける政治家を選び、監視する。(7) 納税者として：税が低炭素社会づくりのために的確に使われるよう意思表示し、監視する。

日本は温室効果ガスの排出を2030年度に2013年度比26%削減、さらに2050年で80%削減という目標を出しています。80%削減するためには、個人レベルだけではなく、電気自動車（EV）などによる技術革新や自動車をやめ公共交通に乗る（モーダルシフト）ことに加え、京都市がすでに取り組んでいる「歩いて暮らせるまちづくり」のような街の構造や使い方自体を変えてしまうことが重要です。

世界でも、たとえば中国政府は、2019年から生産・輸入する一定割合をEVにすることを発表しました。EVになってエンジンが不要になれば自動車の部品数は2/3になりますから、関連する中小企業への影響が心配されます。一方で他分野からの参入が容易になったり、素材産業、電池産業への拡大が予想されます。また、これからは「自動車」を販売するのではなく、カーシェアリングなど「移動」システムを売ることになります。このように、ゼロ排出社会は産業や社会を大きく変えていきます。

ゼロ排出社会の実現には、社会を構成する全ての主体の積極的な参加が何よりも重要です。また、長期的な低炭素社会実現の道筋づくりにあたっては、将来、達成しようとする目標像を考え、その実現のために、これまでの趨勢をどのように変えたらよいかを考えるバックキャスト（目標達成型）による検討が必要です。

### 3. 3時間目：理科（実験）「海はCO<sub>2</sub>を吸収する？ 実験で確かめよう！」

【講師】 広兼克憲（地球環境研究センター 主幹）

CO<sub>2</sub>が大気中で増えすぎるとこれまで以上に海に溶け込み、サンゴなど海の生きものの生活を脅かすことになるかもしれません。本当に海がCO<sub>2</sub>を吸収するのか、参加者に実験していただきました。



実験は、液体の酸性・アルカリ性を調べる溶液（BTB溶液）を混ぜた海水入りの小瓶に呼気を入れて、振り混ぜた時の色の変化を観察するというものです。海水が呼気に含まれるCO<sub>2</sub>（外気より数十倍濃度が高い：2～3%の濃度）を吸収すると青色（アルカリ性）から黄色（酸性）に変わります。ここで今回は、呼気を追い出して部屋の空気と入れ替えて振り混ぜると、また元に近い青色に戻ります。参加者はこの実験により、CO<sub>2</sub>が増えると海が酸性に近づくことを理解できたと思います。

### 4. 4時間目：理科「異常気象と温暖化」

【講師】 塩竈秀夫（地球環境研究センター 主任研究員）

近年、これまで観測されたことのない熱波や豪雨などが発生し、人々の生活に影響を与えています。これは温暖化のせいなのでしょうか。塩竈秀夫さんは、過去の気候変動の要因分析と将来予測について講演しました。



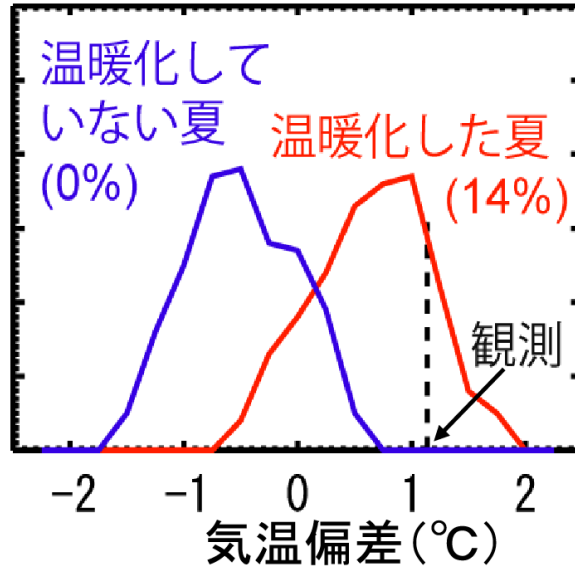
大気中のCO<sub>2</sub>濃度は増えています。それによって世界の平均気温が上昇しており、2016年は温度計で測った記録がある過去160年間で最高を記録しました。2017年は、観測史上3位に入る高い温度になるだろうとされています。

過去の気候変動への人間の影響については、観測データと気候モデルシミュレーションを比較することで調べることができます。気候モデルでは世界中の大気や海洋の物理に関する式をスーパーコンピュータを用いて解きます。気候モデルは、前提条件を変えることでさまざまなシミュレーションができます。たとえばCO<sub>2</sub>濃度と大気汚染物質の量など人間活動による気候変化因子を産業革命前（1850年頃）の条件に固定し、一方太陽や火山活動など自然起源の気候変化因子については観測データ通りに入れて自然起源外部因子実験を行うと、過去50年くらいの急激な温暖化を再現することができません。一方、人為起源の気候変化因子も観測されたものを使うと、過去の温暖化が再現できます。つまり、過去の温暖化を説明するには人間活動の影響が必須ということです。こういう研究を気候の長期変動に関する要因分析といいます。要因分析は温暖化の証拠を示すものなので大事な学問分野です。ただ気候変動の長期のゆっくりした変化は、個人の体験として実感しにくいものです。

大雨が降って洪水が起きたりすると、マスメディアの人から「これは温暖化のせいですか」と聞かれます。専門家は、数年前までいつも「異常気象は自然の揺らぎ（低気圧など）が引き起こすので、一つの異常気象が全て温暖化のせいと断定することは原理的にできません。ただし将来温暖化が進むと、こういう異常気象が起こりやすくなるかもしれない」と答えていました。現在ではイベント・アトリビューションという要因分析手法によって、「異常気象は自然の揺らぎが引き起こしますが、過去の温暖化によって異常気象の発生確率（強度）が何%増加しました」と答えることができるようになりました。私は、これを気候変動の見える化と呼んでいます。

気候モデルで沢山の実験を行うと、同じ海面水温やCO<sub>2</sub>濃度などの条件を与えても、たまたま暑くなるケースもあれば寒くなるケースもあります。一つひとつは偶然起きるのですが、それがたくさん集まると確率的な性質をもつことがわかります。2013年にアメリカ南西部で飛行機が離陸できなくなるほどのものすごい熱波が起きました（空気が高温になると飛行機の上昇性能が落ちる）。この熱波の起きる確率分布を、温暖化した条件と温暖化していない条件で計算して比較すると、温暖化している条件で14%程度観測された値を超えましたが、温暖化していない条件では0%でした。つまり、熱波が発生する可能性を人間が14%増加させていたということです。

## 2013年米国南西部熱波の発生確率



Shiogam et al. (2014, SOLA)

ここまでは過去の温暖化の話をしました。では、将来、気候はどのように変わるのでしょうか。将来の気候変化を予測するためには、まず、将来の世界の社会経済発展のシナリオをいくつも作ります。そういう社会経済状態での温室効果ガスの排出量から大気中の温室効果ガス濃度がわかり、それを気候モデルに入れると気候の変化を予測できます。そこから人間社会や生態系への影響を計算します。

社会経済発展の想定には、2013年に公表されたIPCC第5次評価報告書で使われた4つのシナリオ（代表的濃度経路（RCP）2.6、4.5、6.0、8.5）を用います。数字が大きくなるほどCO<sub>2</sub>排出量が多く気温が上がるシナリオです。最もCO<sub>2</sub>濃度が増えない世界を想定したRCP2.6で計算すると、産業革命前から1.7°Cくらいの気温上昇で、RCP8.5で計算すると、4°Cくらいの上昇です。

温暖化が進むと私たちが経験したことのない気候状態になってしまい、自然の揺らぎでたまたま寒い年が起きても、それは過去のもっとも暑い年を越しているということになってしまいます。

累積のCO<sub>2</sub>排出量と全世界平均地上気温上昇量は比例します。現在までのCO<sub>2</sub>排出量の濃度経路に一番近いのはRCP8.5です。私たちはすでに気候を変えてしまっています。このままでは過去160年間に経験したことのない異常気象が何度も発生することになります。気候変動をどの程度で抑えられるかは、私たちの選択や努力にかかっています。

### 5.5時間目：ホームルーム

最後に、参加者からのさまざまな質問に講演者が答えました。その一部を紹介します。

**Q**：各国の排出量削減目標は持続した経済を前提としているのでしょうか。パリ協定の目標実現には厳しい計画を設定する必要があるが、民主国家では多くの国民の支持を得なければなりません。日本では国民の関心がまだ低いと思いますが、どうしたらいいのでしょうか。

**亀山**：削減目標の設定は自分たちの国のやり方で決めています。非現実的な目標を設定しているというのは少なくとも先進国のなかではありません。途上国でも経済成長を犠牲にしてまで達成する目標にはなっていないと思います。そのためにパリ協定の2°C目標達成には至らないという現実があります。このままの状態だと自分たちの子どもや孫の世代に日本がどうなっているのかというのを理解した上で、どうしたらいいかというのを進めていくやり方が重要だと思います。



**Q：**適応策について、世界や日本はどう取り組んでいるのでしょうか。

**西岡：**適応策はまず途上国が対応しなければなりません、残念ながら資金面や人的問題があり、なかなか進んでいません。先進国では、イギリスが10年くらい前に地域ごとに適応計画を作成し、進めています。日本は2016年度に国立環境研究所内に気候変動適応情報プラットフォーム (<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/>) を立ち上げ、情報提供などを行っています。また、アジアの途上国を支援していくことになっています。国立環境研究所のAP-PLAT (<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/en/ap-plat/index.html>) で今後の取り組みについて紹介しています。

**Q：**世界の平均気温は、どこでどのようなデータで決めているのでしょうか。

**塩竈：**陸上については、世界中に観測所があり温度計で測っています。海洋は第二次世界大戦前から、船舶が海の水をバケツでとって温度を測っていましたが、その後、エンジンの冷却水の温度を測るようになりました。最近是世界中の海に浮かべたフローティングブイが自動観測したデータが電波で送られてくるシステムができています。このようにして、アフリカの一部の地域（砂漠など）、アマゾンの奥地、海氷が覆う北極海や南極周辺を除いて温度測定が可能です。その温度を平均して世界平均気温とっています。

## 平成29年度スーパーコンピュータ利用研究報告会を開催しました

地球環境研究センター 研究支援係

地球環境研究センター（以下、センター）は、12月25日（月）に国立環境研究所（以下、国環研）交流会議室で平成29年度スーパーコンピュータ利用研究報告会（以下、報告会）を開催した。国環研は、将来の気候変動予測や炭素循環モデル等の研究開発や膨大なデータを扱う衛星データ解析、その他の基礎研究などを支援する目的で、スーパーコンピュータ（以下、スパコン）を所内に整備・運用し、所内外の環境研究者に計算資源を提供し、スパコンがなければ実現できないような研究成果を生み出してきた。

国環研では、スパコンの利用・運用方針などを審議する「スーパーコンピュータ研究利用専門委員会」（以下、専門委員会）を設置し、所内外のスパコン利用希望ユーザーから申請された研究課題について、専門委員会の意見を踏まえ、スパコン研究利用の可否を判定している。利用が認められたユーザーには、年に一度の報告会（当報告会）で報告が求められる。

報告は、毎年、所内及び所外利用の課題代表者（またはその代理）によって行われる。今回は、所内7、所外4課題、合計11課題について、研究成果の報告が行われた。最新の研究成果の報告や今後の展望に関する議論が行われ、研究におけるスパコンの重要性が確認された。



スパコンによる研究成果発表を聞く参加者たち

報告された研究内容は、温暖化予測モデルの気候感度の時間変化、大気汚染物質（エアロゾル等）の放射強制力の将来予測、オゾン層将来予測モデルの開発とオゾン量の温室効果ガス濃度依存性の解析、全球スケールの陸域モデルの開発、沿岸海洋長期環境予測モデルの開発、温室効果ガス観測技術衛星GOSATおよびGOSAT-2による二酸化炭素やメタン濃度解析のためのシミュレーションや参照データの作成、NICAMモデルと衛星観測データによる雲降水システムの研究、等々多岐にわたった。研究成果報告後の討論では、専門委員会委員および参加者からの活発な質疑応答があり、さまざまな立場からの貴重な意見により、スパコン利用をさらに発展させ、環境研究を進める機会とすることができた。

当日報告された内容の詳細については、センターのウェブサイト（<http://www.cger.nies.go.jp/ja/activities/supporting/supercomputer/index.html>）を参照されたい。上記サイトには、過去の報告会における発表内容に関する情報が掲載されている（平成29年度分も近日中に掲載予定。ただし一部掲載されない情報もある）。