国立環境研究所　地球環境研究センター

地球環境研究センターニュース

議長が採択に用いる木槌の引き継ぎを受けるモロッコのメズアールCOP22議長（中央）、前議長国フランスのロワイヤル環境大臣（右）、およびエスピノサUNFCCC事務局長（左）

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315001

魅惑と混迷の国インド

―CONTRAILが捉えた冬小麦のCO_2吸収―

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室 特別研究員 **梅澤拓**

1. はじめに

溢れんばかりのバイク、リキシャ、車そして人々の秩序なき往来。舞い上がる土埃。押しの強い路上の物売り。連綿たる歴史が息づく遺跡の数々。発展目覚ましい情報産業。数々の強烈な特徴が渾然一体となって旅行者を魅了し続ける国インド、そしてその首都デリー。今回は観光ガイドには現れないデリー地域の特徴を炭素循環の視点から紹介したい。なお、本稿に係わる研究成果の詳細は発表論文[1]や記者発表文[2]をご参照いただき、ここでは研究背景を中心に私見を述べたい。

2. インドへ飛ぶCONTRAIL

CONTRAILプロジェクト[3]は2005年の観測開始から10年を数え、その間、世界各国の上空で大量の温室効果気体の観測データを取得してきた。大気中の二酸化炭素（CO_2）分布は地表排出源・吸収源の地理的分布・強度、そして大気輸送の結果であり、大気観測は排出量インベントリのトップダウン検証に欠かせない正確な情報を提供する。各国の人為排出量の検証のためには、その他の変動要因である自然排出源・吸収源、大気輸送の理解が不可欠である。インドを含む南アジアの炭素収支はこれらのあらゆる面で理解が乏しく、そのひとつの阻害要因は大気観測の不足である。半世紀を越えた世界のCO_2観測の歴史を経ても、インド国内での系統だったCO_2観測は片手で数えるほどしか存在せず、これでは広大なインド亜大陸の炭素循環の解明には程遠い。民間旅客機を利用したCONTRAILプロジェクトは、各国の空港直上に観測基地を整備したのと同等の成果をもたらす。そして過去10年で充実したCO_2データが得られた場所のひとつがデリーである。

3. デリーの気候と農業

デリーは、インド北部、ヒマラヤ山脈に沿って広がるヒンドゥスターン平野の北西部に位置する。インドを代表する大河ガンジスとその支流が、北西から南東へ肥沃な平野を形成し、地域一帯は集約的農業が広く行われるインドの穀倉地帯となっている。その結果、世界有数の人口密集地域でもある。ヒンドゥスターン平野の土地利用を眺めてみれば、いずれの主要都市もその周りを広大な農地に囲まれていることがわかる（図1）。農業には適切な気候が不可欠であり、インド亜大陸特有のモンスーン（季節風）が果たす役割は大きい。南西モンスーンの到来とともに、6–9月は雨期となる。年間でもっとも気温が低いのは1月だが、それでも最高気温は20°C弱を保ち、南西モンスーン直前の4–5月のデリーの日最高気温は40°Cにも達する（図2）。このように変化の激しい気候のもと、ヒンドゥスターン平野では広く輪作が行われる。大量の水を要する稲作をモンスーン期に行い、その後に小麦を育てる。カレーの付け合わせ、ライスとナンの原料は同じ農地で違う季節に栽培されるのである。

さて、インド北部が炭素循環にとって激動の地域であろうことが想像していただけるだろうか。都市の発展に伴う急速な人為排出の増大、広大な農業活動による炭素循環への影響、そしてモンスーンによる地域特有の季節性は、温帯・寒帯地域で積み上げられてきた炭素循環の「常識」が通用しないことを匂わせる。この地域の炭素循環の一端を表す大気中のCO_2変動はどのようなものなのだろうか。

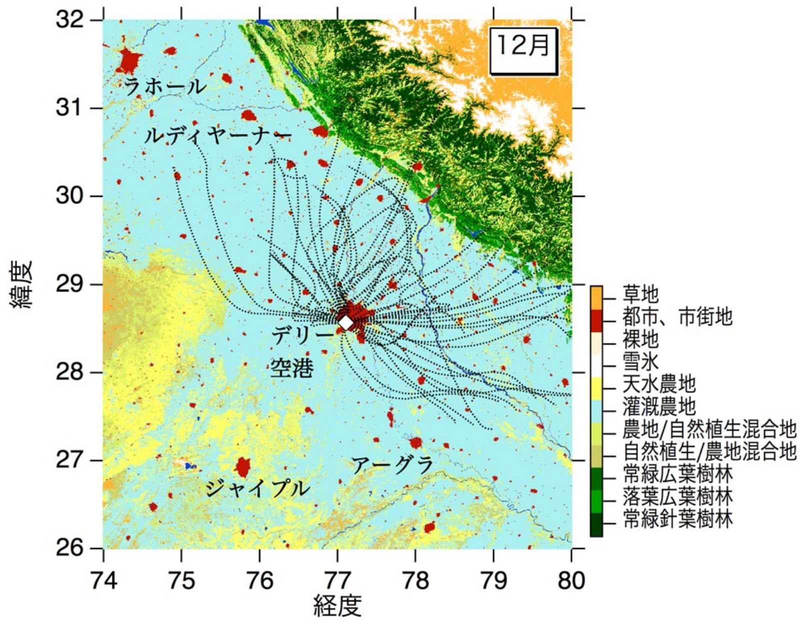

図1　デリー空港周辺の土地利用の様子。土地被覆データはGlobCover 2009（http://www.esa-landcover-cci.org）から取得した。点線は12月のCONTRAIL観測日について、METEX（http://db.cger.nies.go.jp/metex）で計算したデリー上空高度1kmの空気塊の過去24時間の後方流跡線解析

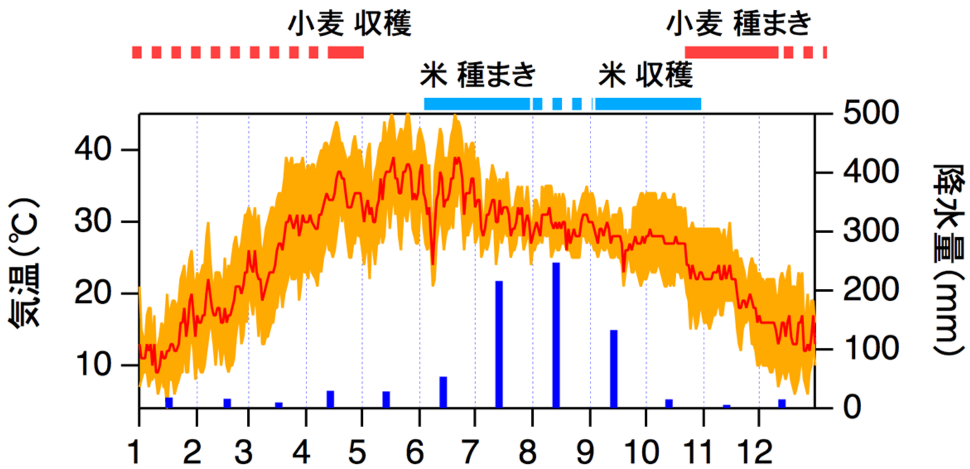

図2　デリー空港における2010年の気温（左軸）と降水量（右軸）の変動。オレンジの帯の上端（下端）が日最高（最低）気温、赤線が日平均気温。青棒線が降水量。データはWeather Underground（https://www.wunderground.com）から取得した。また、上部にはデリー近郊の農作物カレンダー（インド経済統計局のデータに基づく）を示した

4. デリー上空の謎のCO_2変動

図3がCONTRAILの捉えた東京（成田空港）上空とデリー上空のCO_2濃度の季節変化である。北半球における大気中CO_2濃度の季節変動は、陸上植物と大気のCO_2交換（呼吸と光合成）が支配すると広く理解されている。東京上空のCO_2濃度は、概して北半球中高緯度の植物圏の季節変動をよく捉えており、秋から春の間、地表付近から上空へと高濃度が広がってゆくのは主に植物の呼吸の卓越を反映するものである。一方、デリー上空のCO_2濃度の季節変動には二つの特徴が顕著である。一つ目は、8–9月の低濃度が上空まで深く貫いていることである。二つ目は、東京上空の地表付近で見られる冬期の持続的なCO_2濃度の上昇がデリー上空では1–3月に全く見られないことであり、これが今回の研究の主題である。デリーは北緯28.6度に位置し、成田空港の北緯35.8度と緯度が大きく異なるわけではない。しかし両地点上空のCO_2濃度の季節変動や鉛直分布の著しい違いは、両地点でのCO_2変動の支配メカニズムが大きく異なることを示している。

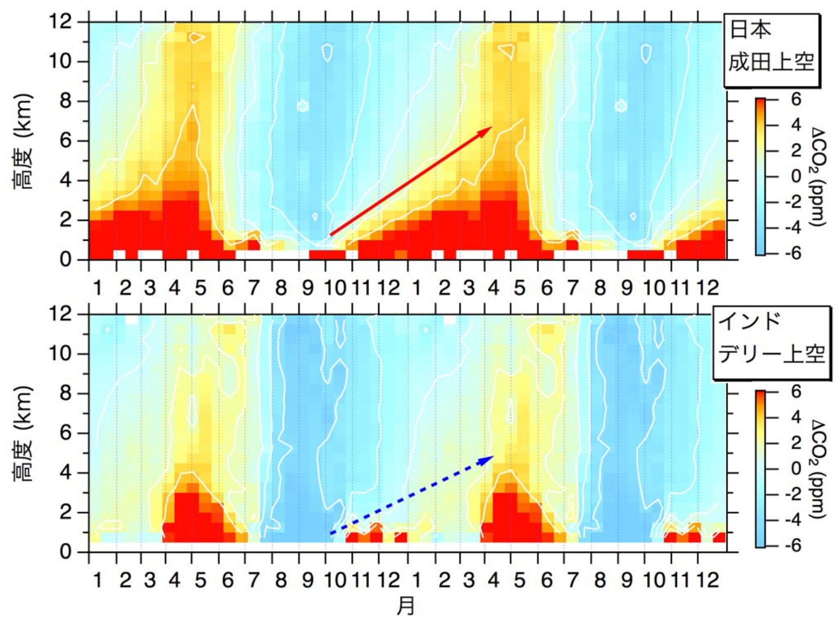

図3　東京（成田空港）上空とデリー上空でのCO_2濃度の鉛直分布の季節変動。経年増加を補正し、年を跨いだ変動を見やすくするため、2年分の変動を示した。東京上空で見られる赤実線の濃度上昇と類似の変動がデリー上空では見られないこと（青点線）が今回の研究で注目した部分である

さて、図3のCO_2の季節変動は、CONTRAIL機が離着陸する際に観測した何百本もの鉛直分布を平均して得られた結果である。1–3月に何が起こっているのかの手がかりは、個々の鉛直分布データの中にある。CONTRAILチームでは、長年のデリー上空データの品質検査の中で、冬のデリーは何かがおかしいことに気付いていた。地表付近で急激な濃度低下が出現するのである（図4a）。しかし陸上植物圏がCO_2排出源として働くはずのこの時期に、地表で濃度を下げる要因が見当たらない。植物の呼吸による排出や人為排出のため、下層では濃度上昇が予想され、実際このような鉛直分布は季節によらず頻繁に観測される（図4b）。一方で、上述の濃度低下を伴う鉛直分布も1–3月にほぼ毎年出現し、この現象がこの地域にとって一般的であることを物語っている。現在の炭素循環の知見の集約である大気輸送モデルはこの鉛直分布を再現できるだろうか。否であった。大気輸送モデルは下層の濃度上昇（図4b）は概ね再現可能だが、濃度低下（図4a）は全く捉えられない。私たちはインド北西部に未知のCO_2吸収源が存在するとの結論に至った。

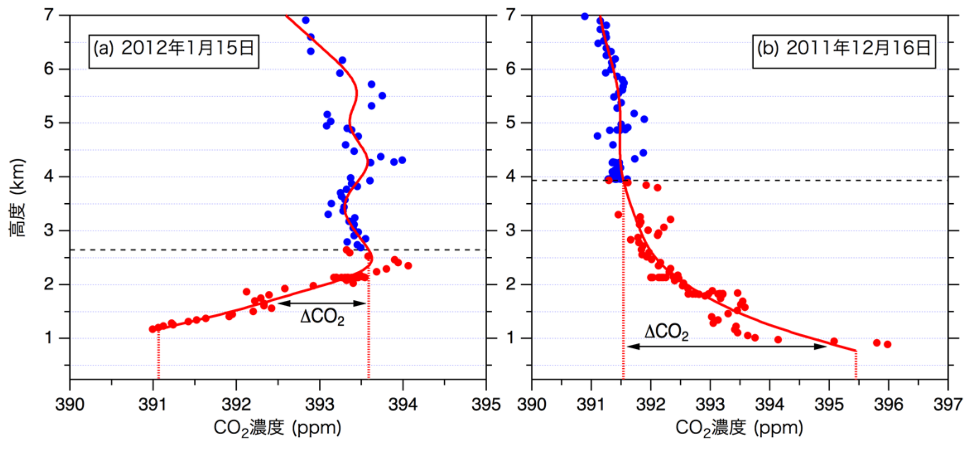

図4　デリー上空で観測されたCO_2濃度の鉛直分布の例。黒点線は気象データから推定した大気混合層の上端

鉛直分布を見ると、濃度低下は大気混合層[4]内で起こっている（図4）。デリー上空の観測データのほとんどが現地時間の夕方に取得されており（定期旅客便のスケジュールによる）、これは大気混合層が十分に発達した時間帯である。大気混合層が日変化を繰り返すことを考えれば、大気混合層内に保持された観測情報は過去24時間のうちに大気に伝搬・蓄積したシグナルの可能性が高い。すなわち、局所的あるいは広くても数100km以内に強い吸収源が存

在すると考えるのが妥当である。そこで図1に立ち戻る。デリー近郊数100km以内に主に分布するのは農地であり、デリー上空の大気下層で観測する空気塊（図1の点線）は必然的に過去24時間のうちに農地と接触する。このようなことを念頭に私たちは個々の鉛直分布を解析し、CO_2吸収がどの時期に強まるかを調べた。その結果、著しい濃度低下をもたらすCO_2吸収は2–3月にその効果が大きいことがわかった（記者発表文 https://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20161201/20161201.htmlの図5を参照）。この時期、周辺農地においては冬小麦が着々と生育している（図2）。インドの冬小麦によるCO_2吸収は、少なくとも地域スケールで、自然植生や人為排出と競合するほどの重要性を持つのである。つまり、インドの炭素収支を理解するためには、人為排出と自然植生に加えて、農業活動を理解しなければならない。扉を一つ開けたらその向こうにより深い迷路、炭素循環の研究にとってもインドはまさに魅惑と混迷の国であった。

5. おわりに

最後に、炭素循環における農業の影響を強調したい。既に述べたように、北半球でのCO_2の季節変動は陸上植物圏によるCO_2交換が主に駆動する。農作物の栽培スケジュールが自然植生の季節変動とほぼ同期するならば、両者のCO_2交換を大気変動の中に区別することは困難である。インド北西部では輪作のため、農作物によるCO_2交換は明らかに自然植生とずれている。これがデリー上空の特異なCO_2の季節変動を形成している。グローバルには、北半球中高緯度におけるCO_2濃度の季節振幅が過去数10年にわたって大きくなっており、これが20世紀の農業の発展（生産高の増加）と関連しているという提言もある。農地におけるCO_2交換を適切にモデル研究に取り込んでゆくことは今後の重要課題だろう。特にインドではその重要性が高いといえる。地球環境研究センターの炭素循環研究室でもインドでの地上モニタリングを展開しており、農作物栽培の影響がどのように観測結果に現れてくるか、熱い視線が注がれている。

CONTRAILプロジェクトに関する過去の記事は以下からご覧いただけます。

- 町田敏暢「CONTRAILプロジェクトが始まって5年経ちました」2010年12月号
- 白井知子「成田上空の二酸化炭素濃度の短周期変動ー民間航空機を利用した大気観測結果の解析ー」2013年3月号
- 町田敏暢「長期観測を支える主人公ー測器と観測法の紹介ー [5] 旅客機でCO_2を測る：民間航空機搭載型の自動CO_2測定装置」2013年3月号
- 広兼克憲「『空飛ぶ実験室』コントレイルプロジェクト、環境大臣賞を受賞！」2013年9月号
- 地球環境研究センターニュース編集局「インタビュー『空飛ぶ実験室』が上空の二酸化炭素濃度観測を変えるーCONTRAILプロジェクトー」2013年12月号
- 広兼克憲・町田敏暢「CONTRAILプロジェクトがボーイング社のecoDemonstrator787フライトに参加！」2015年1月号
- 町田敏暢「秋篠宮ご夫妻からも激励 CONTRAILプロジェクトが地球環境大賞特別賞を受賞」2015年5月号
- 町田敏暢「CONTRAIL観測が10周年を迎えました」2016年4月号

脚注

1. Umezawa T., Niwa Y., Sawa Y., Machida T., Matsueda H. (2016), Winter crop CO_2 uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India, Geophys. Res. Lett., doi: 10.1002/2016GL070939.
2. インド・デリー周辺の冬小麦が都市排出を上回る二酸化炭素を吸収 〜民間航空機観測（CONTRAIL）から明らかになった新たな炭素吸収〜（お知らせ） https://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20161201/20161201.html
3. CONTRAILプロジェクト：日本航空が運航する旅客機にCO_2濃度連続測定装置と自動大気サンプリング装置を搭載して上空における温室効果ガスの分布や時間変動を高頻度・広範囲で観測するプロジェクト。完全自動化された連続測定装置を使ったCO_2濃度の観測は世界で初めての取り組み。このプロジェクトは国立環境研究所、気象研究所、日本航空株式会社、株式会社ジャムコ、JAL財団が共同で実施している。
   CONTRAILプロジェクトのウェブサイト（英語）： http://www.cger.nies.go.jp/contrail/
   日本航空によるCONTRAILプロジェクトの紹介（日本語）： http://www.jal.com/ja/csr/environment/social/detail01.html
4. 日中の地表面加熱により形成される地表面付近の大気層で、地表フラックスの伝搬が比較的速やかに起こる。

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315002

国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）報告

政府代表団メンバーからの報告：パリ協定発効、ルールづくりの加速が求められる

地球環境研究センター 地球環境データ統合解析推進室 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**

2016年11月7～19日に、モロッコ・マラケシュにおいて国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第22回締約国会議（COP22）、京都議定書第12回締約国会合（CMP12）およびパリ協定第1回締約国会合（CMA1）が開催された。これと並行して、パリ協定特別作業部会（APA）第1回会合（第2部）および第45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：SBSTA45、実施に関する補助機関会合：SBI45）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35巻6号（3月上旬公開、http://www.nies.go.jp/kanko/news/index.html）で報告する。

写真 議長が採択に用いる木槌の引き継ぎを受けるモロッコのメズアールCOP22議長（中央）、前議長国フランスのロワイヤル環境大臣（右）、およびエスピノサUNFCCC事務局長（左）

今次COP開幕を前に、2016年11月4日にパリ協定が発効した。協定が採択されたのがつい一年前であり、気候変動交渉の通常の進み具合に照らすと、そのスピード感は目を見張るものがある。日本も環太平洋経済連携協定（TPP）に関する国会での議論の隙間の11月8日に受諾して、パリ協定への正式参加を決定した。今後、自ら表明した目標の達成、今後求められる目標の強化に向けて本腰を入れて取り組むための体制づくりをしていく必要がある。

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。他事項に関する交渉の概要については、環境省の報道発表（http://www.env.go.jp/press/103279.html）等を参照されたい。

1. CMA1会合

初のCMAが開かれ、パリ協定の詳細ルールを2018年までに策定すること等がCMA決定として決まった。詳細ルールの議論は、COP下の既存の枠組みに委ねることにして、CMA1そのものはこの意思決定をもって一旦中断とし、2017年末のCOP時に再開してAPAの進捗確認を行ったのち、再度中断させ、2018年末のCOPにおいて再開となる。詳細ルールの採択はCMA1で行うことになっているためである。なお、日本は、受諾が遅れたため、今次CMA1会合においては、オブザーバー参加となった。

2. APA1-2会合

今次会合では、緩和・市場メカニズム・適応・透明性・グローバルストックテイク（各国の排出削減目標が十分なのかを5年おきに確認する仕組み、詳細は地球環境研究センターニュース2016年2・3月合併号 参照）等のトピックごとに、各国が会合前に提出した意見などを踏まえて、作業工程が議論された。2018年末に向けて、最後は時間切れになっていくことが予想される。例えば、議論の優先順位を決めれば最後の最後で本当に時間がなくなれば先送りにできる性質のものを後回しにしたりできるので、手続き的ではあるが、何をどのように議論していくか自体を議論することは重要である。

行動・支援の透明性に関しては、他議題よりも早めの動きがみられ、2017年2月15日までにガイドライン等の具体的な構成要素に関する各国意見の提出を招請し、さらには、5月のSB会合を前に、3月にワークショップを開催し、詳細事項に関する議論に着手する見込みである。いくつかの国から発言があったように、まずどのような事項を各国に報告させるかの議論から開始するという流れになるだろう。

3. SB45会合

CMAなどが開催され新しい動きがまず目立つが、SB会合は、UNFCCCなどで過去に採択された決定事項を履行していく機能を果たしている。透明性については、今次会合では、前回に引き続き途上国の促進的意見の共有（FSV）が行われ、先進国の多国間評価（MA）が二巡目に突入した。また、専門家協議グループ（CGE）の今後の活動のあり方等について議論を行った。

4. 途上国の促進的意見の共有（FSV）

前回SB会合におけるFSVの様子と、隔年更新報告書（BUR）の概要については、地球環境研究センターニュース2016年9月号にて紹介しているが、今次SB会合では、会合中盤の11月10日に、アンドラ、コスタリカ、コロンビア、アルゼンチン、レバノン、メキシコ、パラグアイを対象にFSVが実施された。現段階で第一回BURが提出されていない国が多数を占めることから（本稿執筆時点で154カ国中35カ国しか提出していない）、BURの提出そのものや報告内容を称賛する発言が多くあった。また、各国への質問としては、BURの提出・技術的分析（TA）から得た教訓や、国内体制、BUR報告ガイドラインの要改善点に関するものが多数を占めた。

本FSVプロセスでは、事前に質問を提出することが可能となっており、対象国も、SB会合の前にこれに回答することができる（期間はそれぞれ10月の一カ月間、11月上旬の9日間）。FSV対象国に回答を強いることができる仕組みではないが、答える方が好印象であるため、自然にやり取りが生じており、好ましい状況である。

なお、このFSVでは、5カ国以下の複数の国でグループとして対応する選択肢もルール上設けられているが、今のところ活用されていない。小島嶼国など、この選択肢を活用し得る、類似的な国家状況を有する国が依然としてBURを提出していないからであろう。

5. 先進国の第二回多国間評価（MA）

今次SB会合では、会合の折り返し地点の11月12日と14日に、EU、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、クロアチア、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、ドイツ、ハンガリー、イタリア、ラトビア、リトアニア、マルタ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、スロバキア、スウェーデン、スイス、イギリスの24カ国を対象にMAが実施された。先に述べた途上国のFSVと同様、隔年報告書（BR）（概要は地球環境研究センターニュース2016年9月号 表参照）における報告内容を端緒に、SBIの公開の場で質問やコメントを受けることになっている。

各国への質問としては、再生可能エネルギー、主要排出源に関する政策・措置を含め、その国特有の政策・制度や、国内体制に関するものが多数を占めた。その一方で、韓国、ブラジル、インドなどから、過去のMAと同様に、BRにおいて緩和対策の効果の報告が限定的であるとの指摘も挙がった。

先進国に対するMAは今回から二回目の実施となり、ある程度安定的な運用となってきた印象である。ブラジルからは参加者が少ないことを嘆くような発言もあったが、ウェブ上を含め公開の場で質問を受けるということによるプレッシャー効果は変わらない。排出量の少ない国は排出量の多い国・中程度の国よりも質問数が少ない傾向もあり、自然に取扱いの差別化も起きているように思われる。

本MAプロセスでは、事前に質問を提出することが可能となっており、対象国も、SB会合の前にこれに書面で回答するよう努力することを求められる（期間はそれぞれ8月の一カ月間、9月～10月下旬のおおよそ2カ月間）。途上国に比して、少し厳しい仕組みとなっている。

6. CGEの活動

CGEとは、途上国が国別報告書・隔年更新報告書を作成する際に直面する問題点等に関連して技術支援を提供するUNFCCCの専門家グループであり、2010年より日本の専門家が参加している。透明性に関する現行制度が円滑に進むようにキャパシティビルディングを担っているグループである。

今次会合では、現在のCGEの活動期間（2014～2018年）におけるCGEの活動内容を振り返り、必要に応じて残りの期間についてSBIとして追加ガイダンスを行うことになっていた。これも過去に採択された決定事項を履行する議題だったが、パリ協定の詳細ルールを決めていく大きな流れの影響を受け、今次会合では、現在進行中のAPAの結論を予断しないように、現段階ではCGEの今の活動内容に濃淡をつけるような追加規定を作らないことになった。その一方で、APAでの議論がもう少し進捗している2018年春のSBI会合において議論の場を作り、将来的に変更する余地を残した。既存のUNFCCC等の下でのルールと、パリ協定下の新詳細ルールとの関係性がどうなるか分からないが、現行制度をいじるのは一旦保留にしたいという各国の気持ちがうかがえる。

7. 最後に

今次COPは、全体的に地味なCOPだったといえる。パリ協定採択という大きな成果のあった翌年であり、決定を実行に移すための準備をするタイミングであったからだろう。会合中、大きなショックとなったのは、一週目の水曜の朝の、アメリカ次期大統領へのトランプ氏選出の報だった。その後、米国環境保護庁長官に気候変動対策について後ろ向きと言われているプルーイット氏を指名しており、残念ながら気候変動交渉における米国のスタンスは今後変化する可能性が高い。しかし、トランプ氏に一貫した考え方があるのかは不明である。いずれにせよ、中国を筆頭に、米国以外でも、温室効果ガス排出量という意味において存在感のある国は、EU、インド、ロシア、日本と、いくつもあり、米国の動向の如何を問わず、とまではいかないかも知れないが、淡々と削減策を打っていく必要がある。

なお、そんな中、次回COPはフィジーを議長国として、ドイツ・ボンで開催されることになった。気候変動の影響を大きく受ける国が主導するCOPでは気候変動への取り組みに対する米国のコミットをきちんと得られることを祈りたい。

略語一覧

- 国連気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC）
- 締約国会議（Conference of the Parties: COP）
- 京都議定書締約国会合（Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol: CMP）
- パリ協定締約国会合（Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement : CMA）
- パリ協定特別作業部会（Ad Hoc Working Group on the Paris Agreement: APA）
- 科学上および技術上の助言に関する補助機関会合（Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice: SBSTA）
- 実施に関する補助機関会合（Subsidiary Body for Implementation: SBI）
- 環太平洋経済連携協定（Trans-Pacific Partnership: TPP）
- 補助機関（Subsidiary Bodies: SB）
- 促進的意見の共有（Facilitative Sharing of Views: FSV）
- 多国間評価（Multilateral Assessment: MA）
- 専門家協議グループ（Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention: CGE）
- 隔年更新報告書（Biennial Update Report: BUR）
- 技術的分析（Technical Analysis: TA）
- 隔年報告書（Biennial Report: BR）

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315003

AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2016参加報告

1 Madden Julian Oscillationに関する研究の動向

地球環境研究センター 気候モデリング・解析研究室 特別研究員 **廣田渚郎**

アメリカ地球物理学連合（American Geophysical Union: AGU） Fall Meetingは毎年12月に開催され、地球・宇宙科学の広範な分野の研究者、教育者、学生など24,000人以上が参加し、1,700以上のセッションで、最新の研究成果に関する口頭発表とポスター発表（合計20,000件以上）が行われる。

会場のモスコーンコンベンションセンターの様子

2016年12月12日から16日まで、サンフランシスコ（アメリカ）のモスコーンコンベンションセンターにおいて、第49回AGU Fall Meetingが開催された。地球環境研究センターの参加者のなかから3名が、2回にわたり、それぞれの研究分野に関する動向を紹介する。

“The Madden-Julian Oscillation: Observations, Theory, Modeling, and Prediction” のセッションについて報告する。筆者はこのセッションでポスター発表を行った。

Madden-Julian Oscillation（MJO）とは、水平数1000kmスケールの対流活発域が5ms^{-1}程度の速度でインド洋から太平洋を東進する大気変動である。熱帯の季節内周期（20–90日）の変動の半分程度を説明する卓越振動モードで、エルニーニョや台風などと並ぶ大変重要な大気現象である。Madden and Julian (1972) によるMJOの発見から、理論、観測、モデルの様々な研究がなされているが、その発達メカニズム・東進メカニズムの理解は十分とは言えず、数値モデルによる現象再現もとても難しいことが知られている。このセッションでは、衛星や船舶による最新の観測データや最新の気候モデルを利用したMJO発達・東進メカニズムに関する研究発表が多数なされた。口頭発表が16件、ポスター発表が18件であった。

最初の口頭発表は、Geophysical Fluid Dynamics Laboratory（GFDL）のInoue氏による招待講演で、gross moist stability（GMS）を用いたMJOの解釈についての発表があった。GMSとは、鉛直積算したmoist static energy（MSE）の収支式から導出される大気循環と対流を結びつける湿潤の安定度指標で、これまでもMJOの理論的解釈でしばしば用いられてきた。発表では、観測された降水量、放射フラックス、顕熱・潜熱フラックスと大気循環の関係からGMSを計算し、それがMJOの発達および減衰のライフサイクルの特徴を良く表現することが示され

た。

その他に理論的な研究の口頭発表は3件あった。GFDLのAdames-Corraliza氏がMSEと降水量の収支式の比較から、それらは良く対応するが、降水量は南北方向への広がり小さいなど詳細部分が異なることを注意していた。また、GSMの議論は鉛直積算した収支式に基づくため、雲・対流の鉛直構造の役割を議論ができない問題を指摘していた。ニューメキシコ工科大学のFuchs氏は、従来のGMSではMJOの様な大規模スケールの擾乱発達は説明できず、風－蒸発フィードバックを考慮する必要があると述べていた。また、Naval Research Lab MontereyのPeng氏は、MJOと類似な振動は、Madden and Julian (1972) より前にXie et al. (1963) が示しており、台風との関連もこの論文で既に議論されていたと主張していた。

MJOのより詳細な構造や振る舞いに関する研究も多数発表された。コロラド大学のCiesielski氏は、Cooperative Indian Ocean Experiment on Intraseasonal Variability / Dynamics of the Madden-Julian Oscillation（CINDY/DYNAMO）プログラムの船舶観測による雲・降水の3次元的なデータから、MJO発達には比較的に浅い積雲加熱が駆動する循環による水蒸気収束が定量的に重要であること、MJOに伴う雲の長波放射フィードバックはMJO振幅を15–20%程度強化することを示した。CINDY/DYNAMOプログラムでは3事例のMJOの船舶観測に成功しており、その観測データからMJOの詳細な3次元構造についての理解が進んでいる。後述のモデル研究の発表でもしばしば検証用のデータとしてCINDY/DYNAMOデータが利用されていた。

ワシントン大学のKim氏は、MJOの東進が12月–2月の季節に海洋大陸付近で南方にずれることについて、オーストラリアモンスーンと関連してより南側が湿りやすいからだと説明していた。ハワイ大学のFu氏は、MJOの中にも、東方伝播が明瞭なもの、海洋大陸で減衰するもの、海洋大陸より東で強化されるものなど、様々なものがあり別々に議論する必要があると述べていた。ニューヨーク大学のRoundy氏は、MJOの位相速度によって、その中緯度循環への影響が異なり、その中緯度循環の影響は熱帯気象にフィードバックする可能性があることを指摘していた。

モデル研究の発表はGFDLのZhao氏の招待講演から始まった。GFDLの新しいモデルCM4は、MJOの振幅と振る舞いを非常に良く再現することが示された。モデル内でonlineにMSE収支を計算することから、MJO発達と東方伝播に対する循環場による水蒸気の水平、鉛直輸送の重要性をより定量的に示した。MJOの東方伝搬に対する対流の東側における水蒸気輸送の重要性は、ハワイ大学のLi氏や筆者の研究発表など、他の幾つかのモデル研究からも示されていた。その他には、対流の日変動や、大気海洋相互作用のMJOに対する役割についての研究、温暖化時のMJO将来変化についての研究発表があった。

最初にMJOの理解は不十分で、モデルによるMJO表現は難しいというMJO研究者の認識を記した。実際、多くの研究発表は、最近のモデル比較研究でMJO再現性がとても悪いという研究の紹介から始まっていた。しかし、この学会では幾つかのモデルが現実的なMJOの東方伝播を表現することが示され、そのメカニズムにはMJOの対流域の東側を湿らせることが大事であるという議論がなされた。その上で、MJOのより詳細な構造の議論や、雲放射フィードバック、日変動、大気海洋相互作用などの役割についての研究も増えてきた。筆者の研究発表も、最新のモデル開発における大気の湿らせ方の改良がMJOの東方伝播の表現を改善したという内容であった。議論させていただいた研究者から賛同を得られたが、同時にMJOの地域性や季節性などのより詳細な特徴についての質問を受けた。筆者の研究のMJO研究分野における位置づけを確認でき、他の研究者からの反応も得られ、とても有意義な学会参加であった。

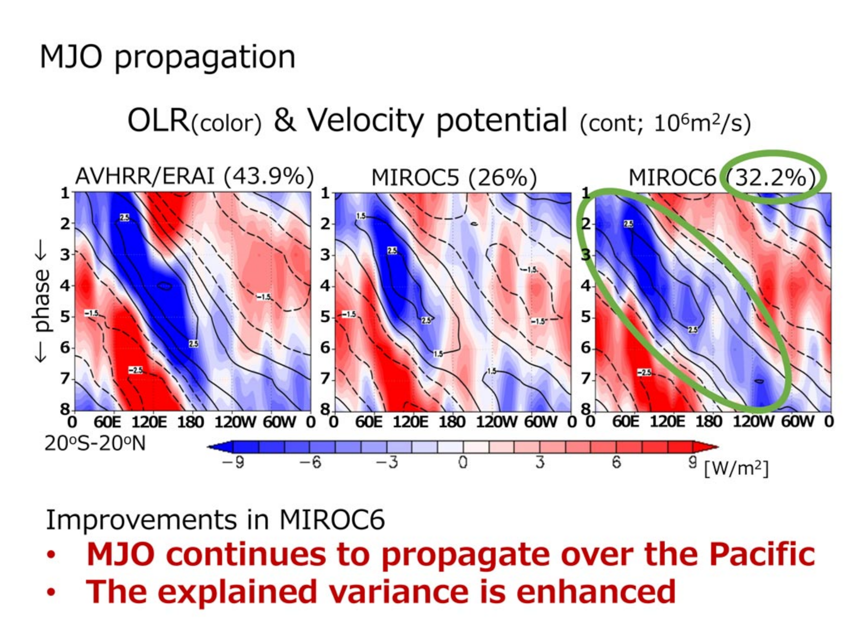

図 筆者が発表した新モデルMIROC6におけるMJOの東方伝播の改善

AGU Fall Meetingに関するこれまでの記事は以下からご覧いただけます。

- 平野高司「AGU2001年度秋季大会報告ー炭素循環と陸上生態系に関する研究の動向についてー」2002年2月号
- AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2005参加報告
    - 梁乃申「陸域炭素循環に関する発表と研究の動向」2006年2月号
    - 江口菜穂・吉田幸生「GOSATプロジェクト研究発表」2006年2月号
    - 勝本正之・森範勝「ブース展示報告」 2006年2月号
- 井上誠「AGU Fall Meeting 2011参加報告ー航空機と衛星リモートセンシングによる大気観測の動向ー」2012年2月号
- 大森裕子・工藤慎治「さまざまな分野の垣根を越えた研究者同士の交流を体験して」2013年2月号
- 野田響「陸域生態系リモートセンシングの動向ーAGU Fall Meeting参加報告」2015年3月号

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315004

AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2016参加報告

2 20年目を迎えたフラックスネットワークとビッグデータ時代

地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室 主任研究員 **平田竜一**

アメリカ地球物理学連合（American Geophysical Union: AGU） Fall Meetingは毎年12月に開催され、地球・宇宙科学の広範な分野の研究者、教育者、学生など24,000人以上が参加し、1,700以上のセッションで、最新の研究成果に関する口頭発表とポスター発表（合計20,000件以上）が行われる。

会場のモスコーンコンベンションセンターの様子

2016年12月12日から16日まで、サンフランシスコ（アメリカ）のモスコーンコンベンションセンターにおいて、第49回AGU Fall Meetingが開催された。地球環境研究センターの参加者のなかから3名が、2回にわたり、それぞれの研究分野に関する動向を紹介する。

陸域生態系の炭素収支に関わる発表についてレポートする。タワー上において渦相関法と呼ばれる方法で陸域生態系と大気間の物質交換量（フラックス）を観測する研究が世界中で行われている。このようなタワーをネットワーク化し、観測や解析に関する技術的知見の共有と発展、共同研究が行われてきた。1990年代の観測開始当初は二酸化炭素（CO_2）や熱･水収支が主な対象だったが、近年は分析計と観測技術の発達により、メタン（CH_4）や亜酸化窒素（N_2O）、植物起源揮発性有機化合物（BVOC）など対象とする物質も広がっている。このようなネットワークは世界各地で展開されており、アメリカではAmeriFlux、ヨーロッパではEuroFlux（現在はIntegrated Carbon Observation System: ICOSとして活動）が活動している。アジアや日本でもAsiaFlux、JapanFluxというローカルネットワークが組織され、国立環境研究所にはその事務局が置かれ、活動をリードしている。また、これらローカルネットワークを世界中でまとめているのがFLUXNETである。2016年はFLUXNETによりAmeriFlux・EuroFlux20周年記念のセッションが行われた。

世界で最初にフラックスの連続観測を開始したのはHarvard Forestのサイト（1992年）であり、発表では25年にわたる長期のデータが掲示された。Harvard Forestでは2004年から隣接したサイトでもフラックス観測を開始し、10年を超えるデータを蓄積している。片方の森林では間伐が行われ、林業活動が炭素収支に与える影響も評価してきた。また、フラックス観測のみならず、バイオマスや枯死量の調査も25年にわたって行っている。国立環境研究所でも富士北麓フラックス観測サイトにおいて、2006年からフラックス観測やバイオマス調査（間伐の影響も含め）を行って

おり、ちょうど10年になる。我々にとって先駆者であるHarvard Forestの長期観測は今後の活動の指針となるものだった。

FLUXNETでは最近世界各地のフラックスデータを包括したデータベース（FLUXNET2015）がオープンしており、そのビッグデータを用いた研究発表も目立った。2007年にFLUXNET La Thulie Datasetがリリースされているが、FLUXNET2015によって、それ以来の大幅なデータのアップデートが行われたことになる。FLUXNET2015には212サイト、のべ1529年分のデータが登録されている。このような大量データを元にマルコフ連鎖モンテカルロ法やベイズ推定を用いたモデルのパラメータの推定精度の向上、フラックスデータを用いたボトムアップによる広域のCO_2収支推定に関する研究などが行われた。本分野でもビッグデータの統計解析技術の適用が必須となりつつあると感じた。

写真　ポスター会場の様子（写真提供：廣田渚郎氏）

AGU Fall Meetingに関するこれまでの記事は以下からご覧いただけます。

- 平野高司「AGU2001年度秋季大会報告－炭素循環と陸上生態系に関する研究の動向について－」2002年2月号
- AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2005参加報告
    - 梁乃申「陸域炭素循環に関する発表と研究の動向」2006年2月号
    - 江口菜穂・吉田幸生「GOSATプロジェクト研究発表」2006年2月号
    - 勝本正之・森範勝「ブース展示報告」 2006年2月号
- 井上誠「AGU Fall Meeting 2011参加報告－航空機と衛星リモートセンシングによる大気観測の動向－」2012年2月号
- 大森裕子・工藤慎治「さまざまな分野の垣根を越えた研究者同士の交流を体験して」2013年2月号
- 野田響「陸域生態系リモートセンシングの動向－AGU Fall Meeting参加報告」2015年3月号

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315005

「衛星観測に関する研究事業」の最近の進捗状況

松永恒雄さん
衛星観測センター 観測センター長

地球環境研究センターニュース編集局

＊第102回低炭素研究プログラム・地球環境研究センター合同セミナー（2016年12月8日）より

GOSAT-2の進捗状況

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）は世界で最初の温室効果ガス観測に特化した衛星で、2009年1月の打ち上げからすでに7年以上を経過しました。その間、トラブルもありましたが、現在も観測とデータ提供を続けています。またその後継機であるGOSAT-2は、2018年度に打ち上げが予定されています。さらに、GOSAT-3の検討もすでに始まっています。

GOSATもGOSAT-2も環境省と宇宙航空研究開発機構（JAXA）、国立環境研究所（以下、国環研）の3者が役割分担をして進めているプロジェクトです。環境省はGOSATデータの行政利用を担当し、JAXAは衛星やセンサの設計、開発、試験、打ち上げ、運用、さらに、観測データのレベル1処理（生データをセンサが観測した光の強度に変換する処理）を行います。国環研はJAXAから提供されたレベル1データの高次処理（センサが観測した光の強度を二酸化炭素（CO_2）濃度等の地球に関する物理量に変換する処理等）、データ配布、検証を担当しています。行政官庁、宇宙機関、研究機関がそれぞれ独自の予算をもちよって一つの衛星事業を進めているというのは、世界的に見てもユニークな取り組みだと思います。この取り組み方の場合、衛星ミッションの設計、開発から運用、データ処理／配布、利用に至るまでその目的（GOSATの場合は炭素循環に関する科学や地球温暖化関連行政への貢献）に最適化することができます。

国環研GOSAT-2プロジェクトは2013年に予算化されました。計画段階では2017年度後半に打ち上げることになっていましたが、2018年度に延期されました。2015～2016年には衛星や地上系の設計が確定し、現在、製作段階に入っています。そして2017年には最終確認が行われる予定です。国環研最大のミッションは、GOSAT-2のデータ処理運用システム（G2DPS）を開発し、定常的に運用することです。2015年度にはG2DPSを設置するための建屋を新築しました。2016年度はG2DPSの定常運用を進めていくための計算機の調達を行っています。またGOSAT-2の検証には、主に全量炭素カラム観測ネットワーク（TCCON）のデータを使いますが、現在のTCCONのサイトは北半球の先進国に偏っているため、GOSAT-2プロジェクトではフィリピンに新しいサイトを設置することになり、2014年から3か年計画で準備を進めています。

第4期中長期計画期間での研究事業

2016年4月から第4期中長期計画期間が始まりましたが、本中長期計画に合わせて衛星観測に関する研究事業のロードマップを新たに作成しました。GOSATの設計寿命は5年であり、2014年1月に開始された後期運用もすでにほぼ3年行われています。第4期中長期計画期間では、引き続きGOSATデータの定常的な処理を継続し、得られたデータの配布や検証を行います。またGOSAT-2では、まずデータ処理をするシステムや検証サイトをつくり、2018年度の打ち上げ後にはその運用を開始します。数年後には、GOSATとGOSAT-2の同時運用に取り組んでいることでしょう。一方GOSAT-3については、今年度よりどんな衛星にするかという議論を行い、2017年度以降に全体計画をたてて、予算要求するという流れになります。さらに現在所内でGOSATにかかわっている人が誰もいなくなるような将来の計画もあります。また、2050年頃にゼロエミッション社会になっているならば、CO_2の濃度増加が止まっていることを衛星で確認できるのではないかと思います。さらにその手前の段階では、2050年に向けてCO_2濃度の増加ペー

スが落ちていることも衛星で観測できるでしょう。最もこの頃にはロードマップを書いた本人（松永）も引退していますから、実際に観測結果を見ることはできません。しかし、こういった事業を属人的ではなく、長期間にわたり継続的に実施する組織として、国環研内に衛星観測センターが新たに設置されました。メンバーは、地球環境研究センターと環境計測研究センターの職員が衛星観測センターに所内出向のような形をとり、業務を行っています。衛星観測センターには、GOSATプロジェクト、GOSAT-2プロジェクト、GOSAT-3の準備を行うチームがあります。検証など、どの衛星でも関係する業務を担当するチームもあります。メンバーは50人くらいですが、いろいろな人が衛星観測センター内の複数の業務を兼任しています。

2016年度の業務報告

2016年度の業務を紹介します。これまでGOSATのデータを提供していたGUIGというシステムを12月末には止める一方、先日GDASというウェブサイトを新たに立ち上げ、データ提供を開始しました。GDASは、システム的にはやや簡素化しており、GUIGでできたこと／ダウンロードできたデータがGDASではできないという面もあります。その点はご了承下さい。

2016年度には記者発表を数回行いました。そのうちの二つを紹介します。一つは9月23日に発表した石澤みさ特別研究員（物質循環モデリング・解析研究室）らの論文です（2013年夏季の東北アジア上空の大幅なメタン高濃度の原因を解明 ―温室効果ガス観測技術衛星GOSAT（「いぶき」）の観測能力の高さを実証― http://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20160923/20160923.html）。

もう一つは10月27日に発表した、GOSAT観測による地球全体の平均的なCO_2濃度の計算結果です（季節変動を取り除いた全大気平均二酸化炭素濃度が初めて400ppmを超えました！ ～ 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）による観測速報～ http://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20161027/20161027.html）。この1年間で月別でも長期トレンド（図中の推定経年平均濃度）でも、CO_2濃度の一つのマイルストーンである400ppmを超えてしまったことを紹介しました。

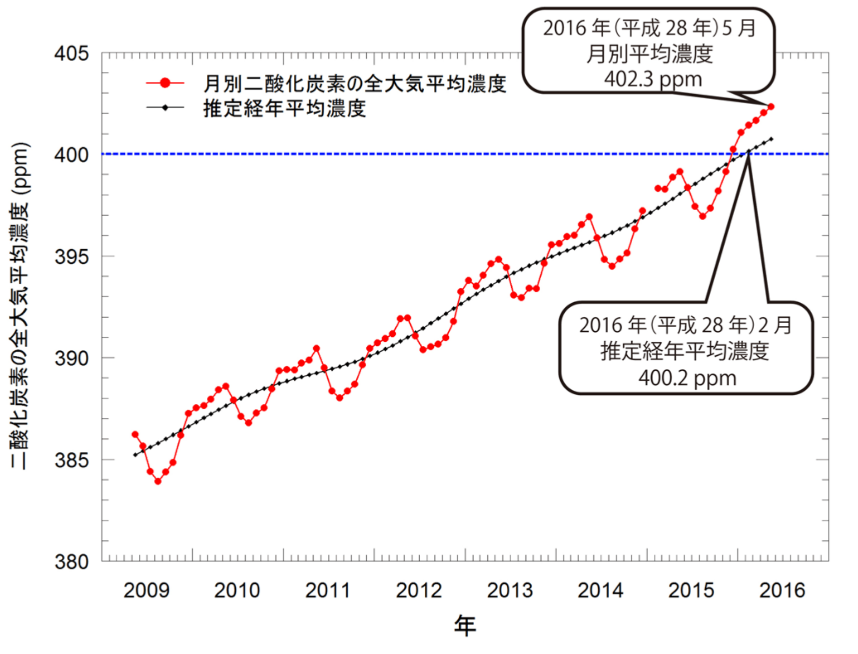

図　「いぶき」の観測データに基づく全大気中の二酸化炭素濃度の月別平均値（•）と推定経年平均濃度（•） http://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20161027/20161027.html

現在、GOSATデータ処理運用施設（GOSAT DHF）は定常的に運用されています。GOSAT-2の地上システムであるG2DPSは設計が終わり、製造段階に入っています。また、このシステムを動かす計算機の調達を進めており、これからどんどん建屋に導入されます。さらに環境省の計算設備RCF2も国環研に設置され、今後両者で運用していきます。すでに国環研内ではRCF2を使えるようになっており、現在所外の研究者に使っていただくための準備を進めています。

検証チームは、TCCONからのデータや航空機データを使い、GOSATデータの検証を行っていますが、先述の通りGOSAT-2プロジェクトでは、フィリピン北部にあるBurgosにTCCONの新しいサイトを造るために作業を進めています。国環研内で調整した観測装置は、本日（2016年12月8日)、フィリピンに到着しました。年内に装置を設置し、2017年早々には試験観測を始める予定です。

また関連したアウトリーチ活動も行っています。1年ほど前に東京周辺でキャンペーン観測を行いましたが、森野勇主任研究員（衛星観測研究室）による解説（英語）をYouTubeで見ることができます（The campaign to measure the emission of Greenhouse Gases from Mega Cities. https://www.youtube.com/watch?v=WZXvtyiYvGs）。2016年11月7日から18日にマラケシュ（モロッコ）で開催された国連気候変動枠組条約第22回締約国会議では、GOSATの観測結果やGOSAT-2の最新開発状況などを国環研の展示ブースで紹介するとともに、日本パビリオンにおいてGOSATレベル4Bプロダクトのアニメーションを上映しました。また、日本パビリオンのサイドイベント「IPCCインベントリガイドラインにおける人工衛星データ利用に向けた取り組み」で、松永が「温室効果ガス排出インベントリ検証のための衛星による温室効果ガス濃度データの利用法について」と題する講演を行いました。参加者から今後の日本との研究協力に高い関心が示されました。

略語一覧

- 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（Greenhouse gases Observing SATellite: GOSAT）
- 宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA）
- GOSAT-2データ処理運用システム（GOSAT-2 Data Processing System: G2DPS）
- 全量炭素カラム観測ネットワーク（Total Carbon Column Observing Network: TCCON）
- 「いぶき」データ提供サイト（GOSAT User Interface Gateway: GUIG）
- 「いぶき」データ提供サイト（GOSAT Data Archive System: GDAS）
- GOSATデータ処理運用施設（GOSAT Data Handling Facility：GOSAT DHF）
- GOSAT-2研究用計算設備（Research Computation Facility for GOSAT-2: RCF2）

GOSAT-2プロジェクトに関する記事は以下からご覧いただけます。

- 松永恒雄「『GOSAT-2プロジェクト準備チーム』の設置について」2012年6月号
- 松永恒雄さん「2018年1月の打ち上げを目指すGOSAT-2」地球環境研究センターニュース2015年3月号
- 松永恒雄さん「データ処理運用システム（G2DPS）の開発が進むGOSAT-2プロジェクト」2016年4月号

2017年3月号 ［Vol.27 No.12］ 通巻第315号 201703_315006

平成28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20日（火）に国立環境研究所（以下、研究所）交流会議室で平成28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。研究所では、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。

研究所では、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9、所外6課題（うち2課題は平成27年度で終了）、合計15の研究課題のうち14課題について、前回の平成27年度の利用研究報告会以降、現在までの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、温暖化予測モデルによる気候感度の時間変化の解析結果、オゾン層変動や広域的な大気汚染のメカニズム理解、雲降水システムの研究、温室効果ガス観測技術衛星GOSATおよびGOSAT-2衛星による二酸化炭素やメタン濃度の測定精度を上げるためのエアロゾルモデルのシミュレーション、福島県相馬市松川浦を対象にした粘土などの懸濁粒子の動態シミュレーション等々多岐にわたる。また、平成27年度で終了した課題の発表も行われ、東京大学・阿部教授の課題では、動態植生モデルを結合することによって、北極の大気と海洋の相互作用を介した北極海上の温暖化増幅のメカニズムについての解析結果が示された。また、研究所の山形主席研究員の課題では、国別の将来人口とGDPシナリオを、都市成長モデルを使って都市別にダウンスケールした結果が示された。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/supportin g/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（ただし一部掲載されない情報もある）。

当研究所のスパコンは昨年度（平成27年度）に新しいベクトルマシンが導入され、スペックアップされている。計算速度等のスペックは世界トップレベルではないが、環境研究に適した性能の下でさらなる研究成果の充実が期待される。今後も、手厚いサポートと安心して利用できる研究用スパコンシステムをめざし、ノウハウのより一層の蓄積を進める。