



スカイツリーで行っている観測について説明しました。塔体外の4つの大気採集口（地上高250m）から外気を取り込み、室内に設置した観測装置に導入します

2017年12月号 [Vol.28 No.9] 通巻第324号

第10回二酸化炭素国際会議報告 都市大気観測研究の最新動向

地球環境研究センター 炭素循環研究室 特別研究員 西橋政秀

第10回二酸化炭素国際会議報告 海洋CO₂研究の最前線

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室 主任研究員 中岡慎一郎

東京スカイツリー®で行われている研究を記者の皆様にご紹介しました

地球環境研究センター 炭素循環研究室 主任研究員 寺尾有希夫

世界規模の変化に向けて生態系フラックス観測と炭素管理を繋ぐー第14回AsiaFlux Workshop 2017会議参加報告ー

地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室 高度技能専門員 中田幸美

長期観測を支える主人公ー測器と観測法の紹介ー [15] CONTRAILプロジェクトにおける手動大気採取装置（MSE）ー0泊2日のパリ往復での観測についてー

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室長 町田敏暢

フィリピンTCCONプロジェクトの紹介ー観測サイト決定から観測の立ち上げまでー

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

2017年度の衛星観測センターの活動ー衛星データの長期運用に向けてー

衛星観測センター 高度技能専門員 亀井秋秀

【最近の研究成果】 シベリアのカラマツ林で、トップダウン法とボトムアップ法による正味の二酸化炭素交換量が一致—CO₂収支解明の研究指針となることを目指した多手法比較の試み—

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 特別研究員 高田久美子

第10回二酸化炭素国際会議報告 都市大気観測研究の最新動向

地球環境研究センター 炭素循環研究室 特別研究員 西橋政秀

2017年8月21～25日にスイス・インターラーケンのCongress Centre Kursaal Interlakenにおいて、第10回二酸化炭素国際会議（The 10th International Carbon Dioxide Conference: ICDC10）が開催された。この会議に参加した地球環境研究センターの西橋政秀と中岡慎一郎が、それぞれの研究分野に関する動向を紹介する。

1. はじめに

二酸化炭素国際会議の目的は、地球温暖化の主要原因物質である二酸化炭素（CO₂）の地球表層での循環について、学際的視点で解明を進めることである。近年はCO₂以外のメタン（CH₄）などの温室効果ガスの報告も散見されている。1981年のスイス・ベルン大学での第1回会議開催以降、4年ごとに世界各地で開催されてきた。今回は第10回の記念大会ということで、スイスの地に原点回帰した形となった。参加者は500名を超え、81件の口頭発表と370件のポスター発表が行われ、活発な議論が交わされた。

本稿では筆者が取り組んでいる都市域での温室効果ガスの大気観測に関する研究を中心に、興味を惹かれた発表とともに、会議の特徴を紹介する。



写真1 会場となったCongress Centre Kursaal Interlaken

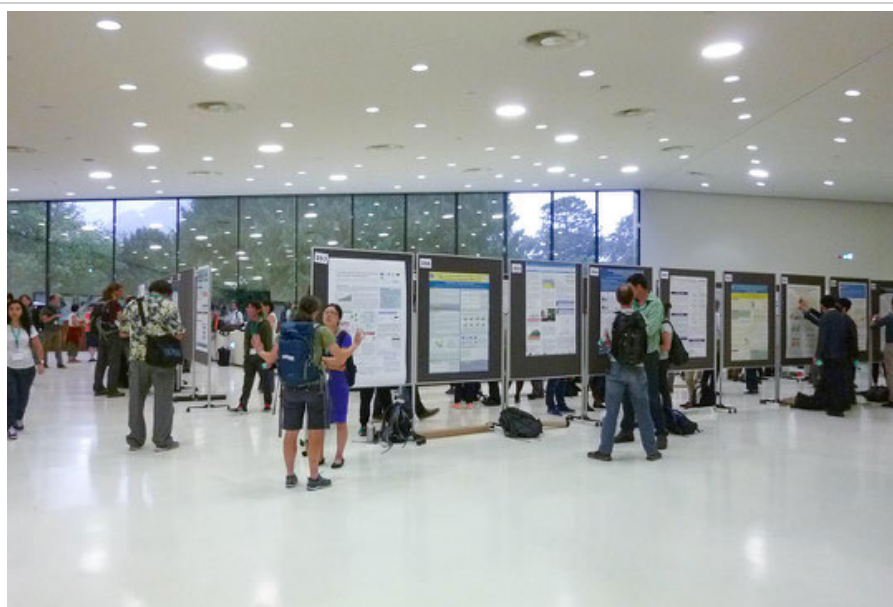


写真2 ICDC10では370件のポスター発表が行われ、関心のある研究内容について参加者が議論していた

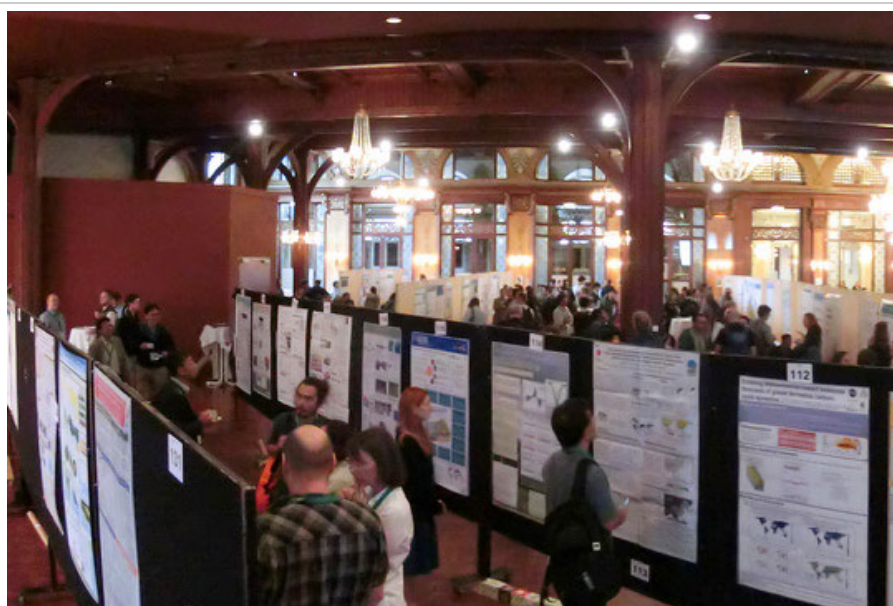


写真3 ポスター発表の会場は2ヶ所設けられた

2. 世界の都市域での温室効果ガス観測

都市域はCO₂の主要排出源の一つとなっているが、これまでその排出実態を高精度で捉えるための都市域での観測は、米国のインディアナポリスやロサンゼルス、フランスのパリなどに限られてきた。しかし、今回の会議において複数の研究グループから、上記以外のさまざまな都市域でも大気中のCO₂やCH₄などの温室効果ガス観測を開始したとする報告がなされた（国立環境研究所の研究グループも都市域での温室効果ガスの観測を、東京およびインドネシア・ジャカルタにおいて2016年から開始したが、それらについてはこの会議の翌週にスイスのデューベンドルフで開催された第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）において、東京については寺尾主任研究員が、インドネシアについては筆者がそれぞれ発表した。会議の詳細については、野村渉平「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ニュース2017年11月号 参照）。さらに観測だけではなく、モデルとの比較による排出量推定も試みられている。

インディアナポリス大都市圏ではINFLUX（The Indianapolis Flux Experiment）と呼ばれる大規模な観測プロジェクトが行われており、Turnbullら（GNS Science/コロラド大学）によってその概要が報告された。このプロジェクトの

目的は、温室効果ガス排出量を都市スケールで定量化するための観測およびモデリングの手法を開発・評価するとともに、それらの起源（人為起源または生物起源）を判別する手法も併せて確立することである。大気観測はCO₂の連続観測をメインに、CH₄や一酸化炭素（CO）の連続観測、放射性同位体¹⁴CO₂などの分析を目的としたフラスコサンプリングなどが計12ヶ所のタワーで実施されている。また、近年航空機によるキャンペーン観測も行われている。一方、インディアナポリスでは、道路や建物単位での高空間分解能の人為起源CO₂排出量データ（インベントリ）が利用できる。このインベントリはHestiaと呼ばれているが、インディアナポリス全体における冬季の人為起源CO₂のフラックスについて、Hestiaから算出した値と大気CO₂観測から逆推定した値、さらに航空機観測から求めた値を比較した結果、各手法での値のばらつきは±6%の範囲に収まることが示された。またBalashovら（ペンシルベニア州立大学）により、インディアナポリスにおけるCH₄排出量を求める際のバックグラウンド推定誤差の影響について、領域化学輸送モデル（WRF-Chem）によるシミュレーションや風向別での感度テストの結果をもとに報告された。CH₄排出量推定のばらつきを10%以下にするには風向別に50～60日間の観測データが必要である一方、南西風のときのデータはバックグラウンド推定誤差が大きいことが示された。

米国ではインディアナポリス以外に、ロサンゼルスとワシントンD.C.・ボルチモア大都市圏においてINFLUXとほぼ同様の観測プロジェクトが実施されており、それらの特徴について米国国立標準技術研究所のWhetstoneらが概説した。彼らは各地域でのプロジェクトを通じて、温室効果ガス排出量の高精度な推定だけでなく、将来的な排出量削減の定量的評価に資する観測システムおよびモデリング手法の開発、標準化を目指している。また同研究所のMuellerらにより、ワシントンD.C.・ボルチモア大都市圏を対象に複数の手法を用いてCO₂のバックグラウンドを推定する試みが行われていることが報告された。

ユタ大学のLinらはユタ州ソルトレイクシティ都市圏で行われているCO₂観測について報告した。彼らはソルトレイクシティ周辺7ヶ所に配置された地上観測サイトに加えて、市内を走る路面電車（トラム）の屋根にCO₂センサーを取り付け、トラム沿線のCO₂濃度の時空間変動の観測を2014年から始めた。また、トラムやバス等の公共交通機関の利用者数の変動を便ごとに詳細に調査し、それらの利用促進によるCO₂排出量の削減量に関して推定を試みた。一方、ソルトレイクシティの都市域の拡大に伴い、2040年時点で想定されるCO₂排出量の増大について、ビル単位という高空間分解能でマッピング可能なことが示された。

Gravenら（インペリアル・カレッジ・ロンドン）はカリフォルニア州の都市部を中心とした9ヶ所で2014～2015年に実施した大気フラスコサンプリングのキャンペーン観測の結果を報告した。サンプリングされた大気に含まれる¹⁴CO₂を分析し、化石燃料起源のCO₂濃度を求めたところ、Vulcanなどのインベントリを用いてモデル計算された値とほぼ一致する（両者の差は約95%の確率で±3.0ppmの範囲に収まる）ことが示された。

次に米国以外における観測に関する発表について記す。Vogelら（パリ・サクレー大学）はパリに構築されている温室効果ガス観測網と、それをベースにブラジルの港湾都市レシフェに構築された観測網および各モデリングシステムについて報告した。また都市域で高密度観測を行うために開発された低価格CO₂センサーや地上付近のCO₂濃度の2次元マッピングが可能なレーザー方式の観測装置などの評価も進められていることが示された。そのほかフランスでは、パリとは別に、南東部のプロヴァンス=アルプ=コート・ダジュール地域圏において、CO₂観測プロジェクトが2016年から行われていることがXuerf-Remyら（フランス気候環境科学研究所）により報告された。これらの都市から排出されるCO₂濃度の変動がパリと同様の都市域の特徴を有していること、また、現在WRF-Chemを用いた大気モデリングシステムを構築中であることが示された。

Pissoら（ノルウェー大気研究所）は、ノルウェーの首都オスロでの温室効果ガス排出量削減および評価のために2017年から開始された観測およびモデリングプロジェクトの概要について報告した。1kmの空間解像度でCO₂インベントリのアップデートを行うとともに、観測サイトの設置場所について検討中であることが示された。

Kellerら（GNS Science）は、ニュージーランド最大の都市オークランドにおける炭素収支を明らかにすることを目的としたプロジェクトについて発表した。オークランド都市域内外における複数地点でのフラスコサンプリングを中心としたCO₂および¹⁴CO₂のデータと、Hestiaにより推定された化石燃料起源のCO₂フラックス、さらに生物起源のCO₂フラックスのデータを比較することで、都市からのCO₂排出量を評価するとともに、インベントリの精度向上を目指していることが報告された。

3. おわりに

会議の最後に次回2021年の開催地についてアナウンスされた。現在、南アフリカのケープタウンまたはブラジルのアマゾン地域（マナウスなど）の2ヶ所が候補に挙がっており、後日決定されるとのことである。先進国に限らず新興国においても温室効果ガスに関する研究が重要性を増しているということではないだろうか。

＊ICDCに関するこれまでの記事は以下からご覧いただけます。

- 中澤高清「第6回二酸化炭素国際会議報告」2001年11月号
- 遠嶋康徳「第7回二酸化炭素国際会議報告」2005年11月号
- 伊藤昭彦「第8回国際CO₂会議報告 [1] 陸域の視点から」2009年10月号
- 中岡慎一郎「第8回国際CO₂会議報告 [2] 海洋の視点から」2009年11月号
- 江口菜穂「第8回国際CO₂会議報告 [2] 温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）・リモートセンシング分野関連」2009年11月号
- 寺尾有希夫「第8回国際CO₂会議報告 [3] 大気観測の視点から」2009年12月号
- 安中さやか「第9回二酸化炭素国際会議参加報告 [1] 二酸化炭素の最前線」2013年7月号
- 吉田幸生「第9回二酸化炭素国際会議参加報告 [2] 衛星による二酸化炭素観測の最前線」2013年8月号

会議のポリシー

西橋政秀

CO₂を中心とした温室効果ガスが本会議のテーマであることから、会議を開催することにより排出される温室効果ガスをできる限り抑制しようという意向が随所に感じられた会議であった。その一つは、会議中に参加者に提供される昼食がすべてベジタリアン食であったことである。これは化石燃料を大量に消費することによって生産される肉類の使用を回避したいからだと考えられるが、8月22日の夜に開催された晩餐会においてもそのポリシーは貫かれており（つまり肉は一切提供されなかった）、周りの参加者からは翌日以降、レストランでの夕食時に肉を食したいというつぶやきをよく耳にするようになった。また会期中会議場において提供される飲料水はペットボトルではなく、会議受付時に各自に渡された会議ロゴ入りのプラスチック製のボトル（ジャバラ方式で伸縮可能）にウォーターサーバーから適宜注水するという形式であり、環境への配慮が感じられた。さらに、会議主催のエクスカージョン（例えばユングフラウヨッホ高地研究所の見学など、遅野井祐美「Air Mail：トップ・オブ・ヨーロッパ」地球環境研究センターニュース2017年11月号 参照）の際の移動手段もすべて公共交通機関のみとした徹底ぶりであった。





会議4日目に提供されたベジタリアンランチ

第10回二酸化炭素国際会議報告 海洋CO₂研究の最前線

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室 主任研究員 中岡慎一郎

2017年8月21～25日にスイス・インターラーケンのCongress Centre Kursaal Interlakenにおいて、第10回二酸化炭素国際会議（The 10th International Carbon Dioxide Conference: ICDC10）が開催された。この会議に参加した地球環境研究センターの西橋政秀と中岡慎一郎が、それぞれの研究分野に関する動向を紹介する。

1. はじめに

今回ICDC10が開かれたスイス・ベルン州の都市インターラーケンは人口6千人弱の小さな街だが、世界遺産であるスイスアルプスの玄関口として登山客に親しまれ、会議が開催された8月末には多くの来訪者で街全体に活気が感じられた。そのような街の中心部に位置するCasino KussalでICDC10は500名を超える参加者を迎えて開催された。

本稿では筆者らのポスター発表内容の紹介を交えつつ、海洋分野の研究内容と会議中に行われた海洋関連のサイドイベントについて報告する。



写真1 会場入口に配されたICDC10のウェルカムボード

2. 海洋CO₂研究

地球表層の約7割を占める海洋はCO₂の大きな貯蔵庫であるだけでなく、人間活動によって大気中に放出されたCO₂

の吸収源でもある。大気CO₂濃度に関しては近年そのカラム濃度（地表面から大気上端までの大気の平均濃度）が人工衛星『いぶき』などを用いて観測できるようになったが、海洋表層CO₂分圧（pCO₂）に関しては現在も船舶やブイによる直接観測でしか測定できない。しかし、広大な領域を網羅的に観測することは不可能であるため、観測結果に基づいてpCO₂分布を再現して海洋全体のCO₂収支が見積もられている。近年は、観測データの充実とともに、ニューラルネットワークと呼ばれる人工知能技術などの推定手法が発達し、水温や塩分、海洋生物活動の指標であるクロロフィル濃度とpCO₂を関連付けてpCO₂分布を推定することでCO₂フラックスの年々変動を理解することが可能になり、その成果の一部はGlobal Carbon Projectの年次レポートであるGlobal Carbon Budgetにも反映されている。そのため、海洋CO₂に関する研究発表は海洋全体のCO₂収支がどの程度なのかという議論よりもCO₂収支やpCO₂の年々変動についてその要因を調べた例が多く報告され、口頭発表では特に、太平洋域と南極海（南大洋）域についての発表が目立っていた。例えば、McKinleyら（米国ウィスコンシン州立大学）はpCO₂観測データやモデル計算結果を用いてCO₂吸収量の長期傾向について解析を行い、北太平洋では長期的にCO₂吸収量が増加傾向にある一方、南大洋では10年程度のスケールでCO₂吸収量が低下したり増加したりすることを示唆した。石井ら（気象研究所）は気象庁の東経137度測線上（北緯7度～33度）長期各層観測データを解析し、pCO₂トレンドが黒潮海域では大気CO₂濃度の増加傾向に追随しているのに対して赤道域ではそれよりも低いことを示し、亜熱帯域に表層で取り込まれたCO₂が鉛直的に輸送されるメカニズムがあることを示唆した。村田ら（海洋研究開発機構）は、1994–95年と2012–13年に観測された南大洋の南緯62度測線（東経30度～160度）上での全炭酸濃度の鉛直経度断面分布から南大洋の底層水中に含まれる人間活動由来のCO₂量が東側（ニュージーランド沖側）で高く、西側（南アフリカ沖側）で低いことを示した。

また海洋CO₂の“双子の問題”として注目を集めている海洋酸性化についてもポスター発表を中心に活発な議論がなされ、例えば窪田ら（海洋研究開発機構）は特に環境ストレスに強いと考えられてきた日本近海のハマサンゴの骨格形成にも海水酸性化による悪影響が現れていることを指摘した（詳しくはICDC10期間中に発表された東京大学大気海洋研究所のプレスリリースを参照のこと <http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2017/20170821.html>）。

ここでポスター発表を行った筆者らの研究について説明する。化石燃料の消費により大気CO₂濃度はほぼ全球様に増加（約2ppm yr⁻¹）しているが、海洋では水温や塩分変化による炭酸平衡の遷移や海洋生物活動の変化によって、その傾向が時空間的に大きく変化しており、見かけのpCO₂トレンドのうちどの程度がCO₂吸収の影響で、どの程度が生物物理的な変動の影響によるものか把握することは困難であった。筆者らは、ニューラルネットワーク手法を用いて観測データに基づく太平洋のpCO₂分布推定を行い、これまで誤差として扱っていたデータの中に海洋が大気からCO₂を吸収することによる増加トレンドの情報が含まれることを見出し、さらに水温や塩分、植物プランクトン濃度の経年変化によるpCO₂トレンドについても分離できることを明らかにした。本成果についてはICDC10の特集号に投稿する準備を進めるとともに、本手法を全球にも拡大して適用し、海域の違いによるpCO₂トレンド変化要因の違いについて詳細に検討したいと考えている。

3. サイドイベント

ICDC10開催期間の中日にはスイスの自然を満喫できる半日のツアー（いわゆるエクスカージョン）が複数企画されており、出席者の多くが興味のあるエクスカージョンに参加していたが、筆者も含めた海洋観測の関係者たちにはInternational Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP) が主催する“Marine Carbon and Biogeochemistry Data Management and Synthesis”という会議が用意されていたため、エクスカージョンの報告は他に譲って本サイドイベントの概要を報告する。



写真2 サイドイベントの終了後撮影した参加者の集合写真（写真提供：Telszewski氏（IOCCP））

この会議ではまずSurface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT) データベースの現状と今後の展望についての発表と議論がなされた。SOCATは表層海洋pCO₂データを収集し、統一基準で品質管理を行うことを目的に2007年に発足し、今年で10年となった。データベースは2011年に第1版が公開され、2015年からは毎年更新する体制を構築して今年7月には第5版が公開された。そこでSOCATの統括責任者であるBakker（英国イーストアングリア大学）からは今後の計画としてSOCATが海洋表層CO₂データのみならず、航走観測で得られる栄養塩類や大気CO₂データについても積極的に収集し、大気CO₂については大気コミュニティと協力して統一基準を策定して品質を管理するという説明があった。また、O'Brien（米国海洋大気局, National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA）からはデータの提出作業と品質管理作業をより簡便にするためのSOCATシステムの改良について説明がなされた。次に、全球海洋の表層から深層までカバーする化学データベースであるGlobal Ocean Data Analysis Project (GLODAP) の現状について、Olsen（ノルウェーベルゲン大学）から説明があった。GLODAPはデータ収集と品質管理に時間を要したため、第1版が公開された2004年から改訂版である第2版が公開された2015年まで、公開間隔が10年以上空いてしまったことが課題であるとの説明がなされた。そこで第3版の迅速な公開のために、データマネジメント体制の構築についての議論がなされた。Kozyr（NOAA）からは、今年9月に活動を停止したCarbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) に代わる海洋CO₂データポータルとしてOcean Carbon Data System (OCADS) が発足し、メタデータ作成支援ツールを提供するなどしてSOCATやGLODAPの活動をNOAAとして支援することが説明された。

4. おわりに

4年に一度開催されるICDCはいわば温室効果ガス研究のオリンピックであり、それぞれの成果やアイデアを発表しあい、刺激を受けて各々の研究を発展させることのできる良い機会であった。またサイドイベントでは研究のベースとなる観測データの管理や公開の在り方などについて各機関の責任者がリードして礎となる議論を行うことができた。前述したSOCATの中で国立環境研究所はメジャーなデータ提供機関というだけでなく北太平洋のデータ品質管理を担う責任機関として位置付けられており、記念すべきICDCの10回大会でSOCAT発足10周年を関係者と迎えて今後の方針を議論できたことは有意義であった。

*ICDCに関するこれまでの記事は以下からご覧いただけます。

- 中澤高清「第6回二酸化炭素国際会議報告」2001年11月号
- 遠嶋康徳「第7回二酸化炭素国際会議報告」2005年11月号
- 伊藤昭彦「第8回国際CO₂会議報告 [1] 陸域の視点から」2009年10月号
- 中岡慎一郎「第8回国際CO₂会議報告 [2] 海洋の視点から」2009年11月号
- 江口菜穂「第8回国際CO₂会議報告 [2] 温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）・リモートセンシング分野関連」2009年11月号
- 寺尾有希夫「第8回国際CO₂会議報告 [3] 大気観測の視点から」2009年12月号
- 安中さやか「第9回二酸化炭素国際会議参加報告 [1] 二酸化炭素の最前線」2013年7月号
- 吉田幸生「第9回二酸化炭素国際会議参加報告 [2] 衛星による二酸化炭素観測の最前線」2013年8月号

東京スカイツリー®で行われている研究を記者の皆様にご紹介しました

地球環境研究センター 炭素循環研究室 主任研究員 寺尾有希夫

私たちは、世界最大級の都市である東京圏からの二酸化炭素（CO₂）排出量をモニタリングするために、東京スカイツリーにおいて、大気中の温室効果ガス（CO₂、メタン等）と関連物質（放射性炭素同位体、酸素、一酸化炭素等）の観測を、CO₂は平成28年3月末から、それ以外の成分は平成29年1～2月に開始しました。CO₂濃度だけでなく、CO₂中の放射性炭素同位体比と大気中酸素濃度を高精度で分析することで、CO₂排出量を排出源別（植物の呼吸から出たものか、化石燃料を燃焼して出たものか）および燃料別（天然ガスか、石油か）に推定することが可能になると期待できます。研究の目的や初期観測結果等については、平成29年7月27日に行った報道発表（<http://www.nies.go.jp/whatsnew/20170727/20170727.html>）をご覧ください。また、報道発表の文章は正確を期すためにちょっと堅苦しいのですが、社会対話・協働推進オフィスがやわらかくまとめた記事（<http://www.nies.go.jp/taiwa/jqjm1000000bvr27.html>）が公開されていますので、あわせてご覧ください。

観測の内容については上の2つの記事にまかせて、ここでは、平成29年7月31日に開催された「研究拠点としての東京スカイツリー®」と題した取材会の様子を紹介します。東京スカイツリーでは、開業当初から、一般財団法人電力中央研究所が雷観測と大気質観測を実施しています。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と国立極地研究所、東京理科大学が雲粒観測とエアロゾル観測を行っています。今回、東武タワースカイツリー株式会社のお声かけで、各研究所の研究者がそろって、メディアに研究内容と研究現場の紹介をする機会を得ました。当日は、国立環境研究所からは町田敏暢大気・海洋モニタリング推進室長、遠嶋康徳動態化学研究室長と、筆者が参加し、新聞を中心とした11社20数名の記者の方々に直接ご説明しました。

最初に、スカイツリー1階にある会議室で研究内容のブリーフィングを行いました（写真1）。この会議室にはブースが設けられ、国立環境研究所と地球環境研究センターのパンフレットを配布し、温室効果ガスモニタリング関連のポスターなどを展示しました。今回は塔体外部（屋外）での取材も行われましたが、塔体外に出るには、長袖長ズボンを着用、ヘルメット・安全帯・反射ベストを装備、カメラ、筆記用具、眼鏡などの身の回りのものにはすべて二重の落下防止対策など、安全に関する厳しい対策が求められました。記者の方々も安全器具を着用し、2班に分かれて、各研究所の観測設備の取材に臨みました。観測現場の取材では、筆者が屋内の観測機器の説明を行い（写真2）、町田室長が塔体外の大気採集口の説明を行いました（写真3）。そして最後に会議室に戻り、終了時間ぎりぎりまで個別取材を受けました。



写真1 「研究拠点としての東京スカイツリー®」と題した取材会でブリーフィングを行う筆者



写真2 観測現場の説明。この観測スペース内に、二酸化炭素、メタン、一酸化炭素、酸素の大気中濃度を現場で分析する装置と、大気を実験室に持ち帰って炭素同位体比などを分析するためのフラスコサンプリング装置があります

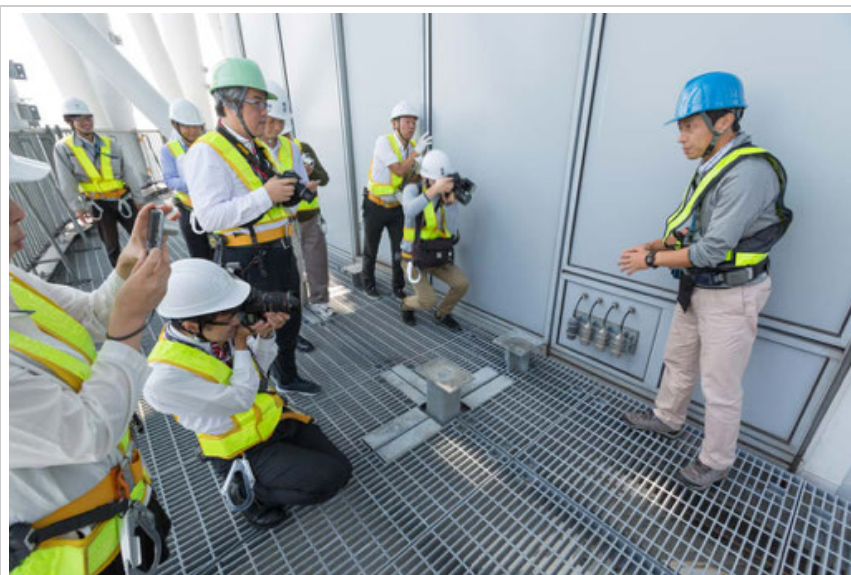


写真3 塔体外の大気採集口（写真中央よりやや右下）の説明をする町田室長。この4つの口（地上高250m）から外気を取り込み、室内に設置した観測装置（写真2）に導入します

多くの新聞記者の方々に問われたのは、速報性と新規性でした。今回の報道発表では、CO₂観測を開始したのは1年以上前であるため、速報性はあまりありません。なぜ1年遅れでの発表なのか、と聞かれましたが、我々としては、CO₂観測を開始してすぐに発表するのではなく、最低1年は観測を行い、観測データを確認し、日変動や季節変動が捉えられているか、正しい意味のある観測が行われているか、などをチェックするために必要な時間だったと言えます。また、都内でのCO₂濃度観測は今回が初めてではないこと（過去に東京都環境科学研究所が実施していました）、CO₂濃度と同時に酸素濃度や炭素同位体といった関連物質を測定して排出源を推定することは新しいが、他の研究グループと共同で渋谷区代々木でも同様の観測を行っていること（スカイツリーのみではない）、など正確な情報をお伝えすると、新しい事実を掲載したい新聞記者の皆さんにとっては、なかなか掲載記事にしにくかったようです（「日本経済新聞」には記事が掲載されました）。しかし、多数のウェブ記事で取り上げていただいたこともあり、広く国民のみなさまには我々の活動をお伝えすることができたと感じています。

世界規模の変化に向けて生態系フラックス観測と炭素管理を繋ぐ

—第14回AsiaFlux Workshop 2017会議参加報告—

地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室 高度技能専門員 中田幸美

地球環境研究センター 副センター長 三枝信子

2017年8月14日から19日にかけて、Joint Conference of AsiaFlux Workshop 2017 and the 15th Anniversary Celebration of ChinaFLUX（AsiaFluxワークショップ2017及びChinaFLUX 15周年記念式典）が中国科学院地理科学資源研究所（Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research: IGSNRR）と北京国際会議センターの2箇所で開催された。今回のワークショップは“Linking ecosystem flux measurements and carbon management to global change”がサブタイトルとして掲げられ、観測によるデータ集積のみならず、一歩踏み込んで将来的な炭素管理に向けた取り組みまでを議論する機会となった。

AsiaFluxは、アジア地域における陸域生態系と大気の間で交換される物質（主に二酸化炭素、水蒸気）および熱エネルギー等の観測や評価を行う分野の研究者を中心とするコミュニティである。国立環境研究所地球環境研究センターは、1999年の活動開始当初から事務局としての機能を担っており、若手育成を目的としたトレーニングコースや、定期的なワークショップ・研究集会等の開催支援、ウェブサイト・データベースの管理などを行っている。

今年は、中国国内のネットワークであるChinaFLUXを主体とした現地運営委員会と共同でワークショップの企画・運営を行った。参加者はアジア諸国を中心に計11カ国、約200名が集まった。国立環境研究所からは4名が参加した。

会議開催前の3日間は、若手研究者や学生を対象に、観測技術の向上を目的としたトレーニングコースが実施され、約90名が参加した。トレーニングコースは、フラックス観測の分野における代表的な観測機器メーカーの一つであるCampbell Scientific社の支援により開催された。引き続き8月17日からワークショップ及びChinaFLUX 15周年記念式典が行われた。



写真1 トレーニングコースの様子。実際に観測に用いられる3次元超音波風速計や赤外吸収型ガス分析計を用いた正しい観測方法の紹介や、渦相関法によるフラックス計算の理論的な解説とデータ処理のトレーニングなどが行われた

1. AsiaFlux Workshop 1日目（8月17日）

はじめにAsiaFlux委員長の宮田明氏（農業環境技術研究所、日本）と、ワークショップ実行委員長のYu Guirui氏（中国科学院地理科学資源研究所、中国）から開会挨拶と趣旨説明があり、AsiaFluxと中国（ChinaFLUX）とのこれまでのつながりや、今後の各国ネットワークの強化と観測データの共有化の重要性が強調された。

続いて基調講演が4件行われた。この中でLee Xuhui氏（イエール大学、アメリカ）は、渦相関法による観測の理論的背景を詳細に解説したのち、気候モデリングへの適用を念頭においた土地利用変化の影響把握について講演を行った。

本ワークショップでは内容ごとにセッションが6つに分かれており、午後からはセッション1～3の発表がそれぞれ行われた。地域別炭素フラックス評価をテーマとしたセッションでは、三枝信子（国立環境研究所、日本）がフラックス観測データを用いたボトムアップの手法と、インバージョン解析に基づくトップダウン的手法の相互比較に基づく炭素循環変化の検出とその高精度化について紹介した。



写真2 ワークショップ会場の様子。広い発表会場が多くの聴衆で埋まった。AsiaFluxが立ち上がった頃と比較すると、参加者の国も大きく広がった



写真3 セッションごとの発表の様子。参加者も多く、扱われるテーマも広いため、テーマごとに3つの会場で平行して発表が行われていた。

2日目午前の部はChinaFLUXの15周年記念式典が中国語で開催された。関連機関からの祝辞があり、その中の一つとしてJapanFlux（委員長 平野高司氏、北海道大学）からも祝辞が述べられた（宮田委員長代読）。歴代のChinaFLUX委員長や多くの有識者が列席され、ChinaFLUXの歴史と今後の展望を描いた映像が放映された。また、ChinaFLUXへ多大な貢献をされた方々へ記念の楯が贈られた。さらにChinaFLUXの優秀研究者に対して中国企業であるGENE社後援のもと、副賞が授与された。

午後の部はセッション4～6が行われた。フラックス観測における新しい技術に関するセッションでは、梁乃申（国立環境研究所、日本）が、温暖化に伴う土壌有機炭素分解速度の変化を究明するための強力な手段として、放射性炭素（ ^{14}C ）を用いた分析手法を紹介した。また土壌による温室効果ガスのフラックスとその根底にあるメカニズムに関するセッションでは、まだ分からないことの多い土壌による温室効果ガスのフラックスがどのような環境因子にตอบสนองして変動しているかということを中心に発表が行われた。寺本宗正（国立環境研究所、日本）が、冷温帯落葉広葉樹林における土壌有機物分解への、温暖化の長期的影響について発表した。

本年はChinaFLUXの15周年記念を兼ねたが、韓国のネットワークであるKoFluxの15周年記念でもあった。セッションの一つに韓国からの発表者の枠を設け、次なる15年に向けてネットワークの強化や観測地のインフラ整備などの新たな方向性が発表された。

最後に、各セッションでの成果発表や議論の内容を代表者が総括し、ワークショップは閉会した。

開催期間中、各セッションに付随したポスターセッションも行われた。計38件のポスターが展示され、発表者と参加者による積極的な意見交換がなされた。発表者には東南アジアの若手研究者や学生が多く、これまでAsiaFluxが取り組んできたトレーニングコースによる人材育成の成果を感じることが出来た。このネットワークで育った若手研究者が国際的なワークショップにおいて新たなつながりを構築し、自立した研究者として活躍していくことはAsiaFluxの望みであり、アジアの観測研究強化に対する大きな貢献である。また、企業展示には13社が参加し、各社の最新製品の特徴をアピールした。

最終日は中国科学院北京森林生態系研究所の現場を見学した。気象観測地は標高約1200mの山の中腹に位置し、参加者は現地研究所スタッフの説明を受けながら山林を登った。地表傾斜地の流水観測装置や樹木の蒸発散観測の現場などを視察することが出来た。





写真4 総合気象観測地帯

写真5 気象観測装置の見学

写真6 樹木の蒸発散観測の現場

写真7 地表傾斜地の流水観測装置

3. おわりに

今回のワークショップは記念式典による時間の制約もあったため、ワークショップそのものの時間は実質1.5日間であり、今までの会期（2-2.5日間）に比べて短かった。そういった状況でも従来以上の多数の研究発表と積極的な意見交換がなされたことは、各国において活発な研究・観測が進められている証であり、大変充実した時間であった。

中国の現地運営委員会が細部にわたりしっかりと準備を進めていたため、会議は滞りなく実施できた。また中国では海外で行われる会議に参加する際に、年間の参加回数に上限が設定されている場合があるそうで、中国国内で興味ある分野の国際会議が開催されることを大変喜んでいた。特に多くの学生や若手研究者が成果を発表できる大会となったことは意義深い。

今後、アジア諸国における観測ネットワークが更に発展し、観測の精度が上がり、地球温暖化をはじめとする気候変動の問題と地球規模炭素管理への取り組みに対し、世界第一線の研究者らとアジア諸国の研究者が対等に協力して取り組めるようになっていくことを望む。



* AsiaFlux Workshopに関する記事は以下からご覧いただけます。

- 山本晋「FLUXNETとAsiaFlux国際ワークショップ」2001年1月号
- 鳥山敦「The 2nd International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation報告」2002年3月号
- 平田竜一「—AsiaFluxワークショップ2006:アジアの多様な陸域生態系におけるフラックス評価—の報告」2007年2月号
- 高橋善幸「AsiaFlux Workshop 2007参加報告」2008年2月号
- 三枝信子・小川安紀子「AsiaFlux—10年の軌跡とこれからの道筋—」2009年2月号
- 小川安紀子「AsiaFlux Workshop2009報告 フラックス研究を通じて多様なスケールにおける生態系の知識の統合を」2010年1月号
- 田中佐和子・高橋善幸「AsiaFlux Workshop2011報告」2012年1月号
- 田中佐和子・高橋善幸・三枝信子「科学を社会へ伝える—第11回AsiaFlux、第3回HESSS、第14回KSAFM合同会議参加報告—」2013年10月号
- 田中佐和子・高橋善幸・三枝信子「温室効果ガスの観測を気候変動対策につなぐアジアの取り組み—国際稲研究所での第12回AsiaFluxワークショップ参加報告—」2014年10月号
- 田中佐和子・高橋善幸・三枝信子「気候変動の理解にむけて、アジアでの研究活動の一コマ—AsiaFluxワークショップ2015、国際写真測量リモートセンシング学会ワーキンググループVIII/3：気象・大気・気候分野合同会議参加報告—」2016年1月号

北京の日常風景



中田幸美

今回のワークショップの会場となった北京国際会議センターは、中国の象徴の一つとされる天安門から10km程北に位置し、2008年に開催された北京オリンピックの名残がそこかしこに見られた（写真9）。交通量は大変多く、日中は大気が霞んでおり、一週間の滞在のうち青空を拝めたのは、雨が降った翌日の一日だけであった。これがPM_{2.5}の影響なのではないかと想像できた。近年の北京は地下鉄が整備され、近郊であれば公共バス・地下鉄・タクシーを使ってスムーズに移動することができる。また、看板等の表示が漢字であるため、おおよその意味を想像することができ、親しみを感じる事ができた中国滞在であった（写真10）。

ワークショップ初日の夜、全員が参加したレセプションでは文化交流の一つとして、筆者は日本舞踊を披露。参加者だけでなく、レストランに居合わせた一般のお客さんも興味を示し、喜んでいただくことができた（写真11）。



写真9 北京オリンピックのメインスタジアム 通称“鳥の巣”



写真10 日本でもおなじみのコーヒー店。中国語だと、このような表現に。なるほどね！



写真11 参加者の弥栄（いやさか）を祈念して祝舞を披露



長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介—

15 CONTRAILプロジェクトにおける手動大気採取装置 (MSE)

—0泊2日のパリ往復での観測について—

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室長 町田敏暢



長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介—

[一覧ページへ▶](#)

ここではフランス・パリを0泊2日の強行日程で往復して上空大気の採取をする航空機観測の紹介をします。

1. MSE観測とは

日本航空 (JAL) の航空機を利用した温室効果ガスの観測プロジェクト (CONTRAILプロジェクト) では、航空機搭載型の連続二酸化炭素測定装置 (CME) と自動大気採取装置 (ASE) の2つを用い、航空機外から大気を取り入れて観測を実施しています。2つの装置は民間航空機に搭載するための厳しい安全試験を経て搭載許可を得ており、搭載できる航空機の型もボーイング777型機の一部と決まっています。JALは世界に広く運航網を広げていますが、これらの機材を使っていない路線ではCMEやASEを搭載した観測はできません。そこでASEの観測を補うために、電気を一切使わない手動ポンプで空気を採取する「手動大気採取装置 (MSE)」を用意して観測を行うことにしました。MSEは通常の空気採取ポンプのモーター部分を取り外してギヤとハンドルを付けた手動ポンプと12本の金属容器 (フラスコ) からなるシンプルな機器で構成されています。採取した大気試料は実験室に持ち帰って二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの濃度や炭素や酸素の同位体比を測定します。

MSEは「手動」なので人の力が必要です。すなわちこの観測には観測者の帯同が必須になります。試料となる空気は操縦室 (コックピット) のエアコン吹き出し口からのものを使います。客室のエアコンは機外の新鮮な空気と客室空気の一部を混合して再循環させたものを使っていますが、操縦室のエアコンは一般に再循環なしの「機外の空気のみ」が供給されるので観測に使うことが可能です。よって観測者は飛行中ずっと操縦室に滞在して大気採取を行うこととなります。これまでCONTRAILでは、シドニー路線、ホノルル路線、パリ路線においてMSE観測を行った経験があります。その中でも飛行時間が最も長いパリ路線での観測の様子を以下に紹介します。

2. パリまでのフライト

羽田空港からパリのシャルルドゴール空港までは片道で約12時間を要します。JALではパリ行きは昼間、日本行きは夜間の運航になりますが、MSE観測は作業性を考慮して明るいパリ行きで実施することとしています。羽田発10:30の便に搭乗するために8時には空港に入り、運航乗務員 (パイロット) の方々に同行して乗客よりも先に搭乗し、装置を所定の場所に収納して出発を待ちます。我々観測者は副操縦士席の後方のセカンドオブザーバーシートという席に座ります。MSEには12本の金属フラスコを用意していますので、パリまでの航路のうちの12カ所で大気を採取します。採取位置は経度を基準として設定しており、東経135度のロシアのハバロフスク付近が1本目となり、以下経度10度間隔で採取を行い、東経55度からは15度間隔に変更して東経10度のデンマーク付近で最後の12本目を採取します。この間の航空機の飛行ルートは真東に進むわけではなく、最短距離である地球の大円に近い航路をたどるので中間点付近では北極海近くまで北上します。地球儀を見てわかる通り、経度の間隔は北極に近づくほど狭くなります。従って空気採取の時間間隔は、開始直後は2時間から1時間半であるものが、5本目以降は約30分の間隔になり、10本目以降は再び1時間から1時間半ほどの間が開くといった不均一なものになります。パリ到着は現地時間の16時頃ですので、ずっと明るい昼間の時間帯を飛行しているはずですが、冬になると北極海付近では太陽は南の地平線か

ら下に隠れてしまい、極夜の領域を飛行することもあります。



写真1 MSE観測の様子（ポンプを回して空気を採取しています）

【安全を確認したうえで、機長の許可を得て撮影しています】

3. 空気採取の方法

空気採取で最も注意しなければならないことは大気試料の汚染です。特に、CO₂は人間が吐く息に高い濃度で含まれていますので、操縦室内の空気が少しでも混合してしまうと正しい観測値が得られなくなります。空気取り入れ口からポンプへ、ポンプから金属フラスコへの配管の接続を慎重に行うことはもちろん、配管内や金属フラスコ内をきれいな外気で完全に置き換えることが重要になります。そのためには十分な量の空気を流す必要があり、1本のフラスコに空気を採取するにあたりポンプを合計300回以上回すことにしています。狭い操縦室内で前かがみの姿勢でこの作業を行うと背中あたりが汗ばんでくるのがわかります。

空気採取のタイミングは運航乗務員の方をお願いして、決められた経度に達するおよそ5分前に知らせていただいています。また、観測にとって空気採取を実施した緯度、経度、高度等の位置情報は極めて重要ですが、これらの情報は帰国後にJAL社内の飛行記録から抜粋して提供いただいています。従って観測者は空気採取を行った時刻さえ記録すれば位置情報を確保できることとなります。空気採取後には時刻の他に窓から見える地表の状態、例えば雲の量、森林の様子や積雪の様子、森林火災の有無なども記録します。それらは、その時期その場所で森林が光合成を活発に行える状態か、そしてその日の天気は地表の空気を上空まで運びやすい状態か、などの参考情報にします。



写真2 MSEポンプ（右側に見えるのがポンプを回すためのハンドル）



写真3 MSE用金属フラスコ（12本のフラスコで12カ所の大気を採取します）

4. 観測時以外の過ごし方

パリまでの12時間は基本的に操縦室内に留まりますが、運航乗務員と同様な条件（ルール）でトイレに行くことはできます。とは言え、何度も行くと乗務員さんに負担がかかりますので、搭乗前にトイレには必ず行くようにし、飛行中は必要以上に飲み物を飲まないように心がけています。食事は一般の乗客と同様に食べられます。観測のための搭乗ですがきちんとエコノミークラスのチケットを買っていますので、エコノミー用の食事を客室乗務員（キャビンアテンダント）さんに持ってきてもらいます。ただし、観測者の食事は一般の乗客へのサービスが全て終わった後と決めていますので、食べられるのは日本時間で14時半ころになってしまいます。セカンドオブザーバーシートには映画鑑賞などの娯楽設備はもちろんありません。その他、大気採取の合間は窓から外の景色を見たり、運航乗務員さんとお話をしたりして過ごしています。

5. 窓から見えるもの

操縦室の特権で客席とは違う広い窓から外が眺められるのはありがたいです。地表は雲に隠されていることが多いの

ですが、晴れていれば雪に覆われたシベリアの大地やエニセイ川、オビ川といった大河が見えることもあります。ロシアとヨーロッパの境界であるウラル山脈は古期造山帯の低い山脈ですが、ずっと続いたシベリアの平地の中に急に南北に続く白い雪の帯が見えるのでそれに気付くことができます。ウラル山脈を越えると観測も終盤に入り、「やっとヨーロッパにきた」と感じられ、ほっとした気持ちになります。ロシアのサンクトペテルブルグ付近を過ぎると地表は森林より田園地帯が多くなり、いよいよ観測も終わりに近づきます。

目をやや上方に向けると、追い越していく航空機やすれ違う航空機、それらの航空機が残した飛行機雲を見ることができます。ロシアの上空ではどの航空機も自分たちと平行に飛びますが、ヨーロッパに近づくと横切る航空機や飛行機雲を見ることが多くなります。追い越す航空機はゆっくりと眺めることができますが、すれ違う航空機や横切る航空機（これらは違う高度を飛ぶよう決められています）はあっという間に見えなくなってしまいます。航空機がとても速い交通手段であることを実感できます。

6. 乗務員さんとのコミュニケーション

長いフライトですので運航乗務員さんとはいろいろなお話をします。一番多い質問は観測装置や観測結果、それにプロジェクトについてです。このような質問であればいくらでも話せますし、プロジェクトの意義を説明できるので、研究者としてはありがたいです。乗務員の方々には環境問題に関心の高い方も多く、「CO₂は本当に増加しているのですか」「今の生活のままCO₂は減らせるのでしょうか」などと聞かれることもあります。コラムも参照してください。

7. パリ到着後

パリ到着後はMSEの機材をしっかりと梱包・固定して機内に残し、一旦降機します。観測者は同じ機材ですぐに羽田に戻りますが、これまでお世話になった往路便の運航乗務員さん、客室乗務員さんは2日後の復路便に乗務するので、降機直後にお別れです。観測者はシャルルドゴール空港の到着階から1つ上の出発階に移動して手荷物検査だけ受けて搭乗ロビーに入ります。この間、パスポートチェックは受けませんのでフランスに入国したことにはならず、パスポートにスタンプは押されないで帰ってくることになります。ラウンジでシャワーを浴びて汗ばんだシャツを交換したら、出発の2時間前には搭乗口に行って復路便の乗務員さんの到着を待ちます。すでに日本時間では午前1時を回っていますが、まだ緊張を緩めることはできません。乗務員さんと一緒に先ほどまで乗っていた航空機に搭乗して、MSE機材の確認、機材搭載場所の調整や、羽田到着後の確認などを行います。帰り便では客席に座れますので、あとは自分の席で乗客の搭乗を待ち、日本時間の午前3時半頃に出発時刻となり、やっと緊張から解放されます。その後の過ごし方は観測担当者によって様々ですが、私の場合はマスク、耳栓、アイマスクの完全防備の上で「爆睡」状態になってしまいます。

8. 最後に

以上のように、MSE観測はJALの全面的なサポートの下で実施されています。運航乗務員や客室乗務員をはじめ、JAL社内の多くの部門の特別な理解と協力の上に成り立っている奇跡のプロジェクトだと思っています。ご負担をかけているにもかかわらず乗務員の皆さんは前向きで協力的であり、毎回頭が下がる思いです。搭乗中は常に乗務員の皆さんに負担をかけないようにと緊張の連続で、体力的にも厳しい観測ですが、この空域の大気を定期的に採取するという世界でも極めて希で貴重な観測をさせていただいていることを考えれば苦ではありません。今後も関係者の期待に沿える価値ある観測を続けて行きたいと思っています。

コラム 「エコ操縦」を体感

2017年7月22日（土）の国立環境研究所の夏の大公開にJALの加藤義己機長が来所し、筆者を相手にトークショーをしていただきました（地球環境研究センターニュース2017年10月号）。その際に「次のMSE観測ではご一

緒したいですね」との話が出ましたが、この約束が同年9月26日のパリ便のフライトで実現しました。加藤機長とは以前から報告会等で何度もお話をさせていただいた仲でしたが、操縦士としての加藤さんにお会いするのは初めてで、いつもの和やかな表情の奥で緊張した引き締まった気持ちでフライトに向かわれていることが感じられました。会話が弾んだのはもちろんですが、加藤機長とそのグループが取り組んでいる「エコ操縦」の一環として、エンジン始動をできるだけ遅くしたり、着陸後の移動で片方のエンジンを停止したり、駐機後にできるだけ早く補助エンジンを停止したりする操作を目の前で見ることができました。



フィリピンTCCONプロジェクトの紹介

—観測サイト決定から観測の立ち上げまで—

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

*2017年10月5日に開催された第110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 [1]より

温室効果ガス観測技術衛星GOSATデータの検証には、地上に設置されたフーリエ変換分光計（FTS）のネットワークである全量炭素カラム観測ネットワークとCONTRAIL [2]を含む航空機観測のデータを使っています。これらは、2018年度に打ち上げが予定されているGOSAT-2の検証の手法の中心にもなります（TCCONについては、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月号を参照）。

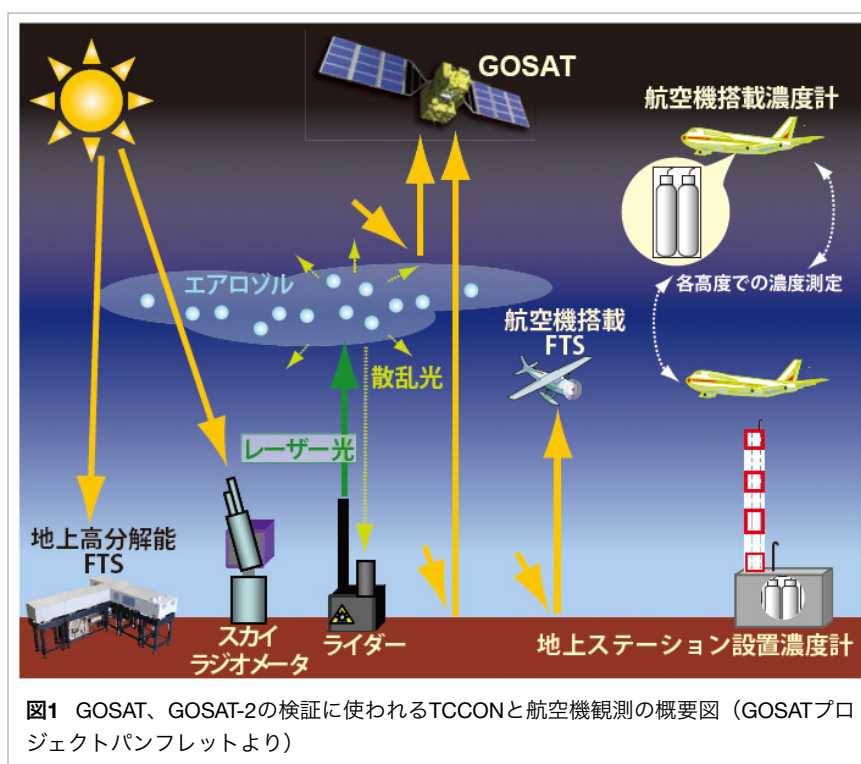


図1 GOSAT、GOSAT-2の検証に使われるTCCONと航空機観測の概要図（GOSATプロジェクトパンフレットより）

TCCONは現在25サイトになりました。日本でのTCCONのサイトは、つくば、佐賀、陸別の3カ所です。GOSAT-2の検証にはTCCONのデータも使いますが、現在のTCCONのサイトは北半球の先進国に偏っているため、日本にはすでに3カ所も運用されていますので、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ました。

フィリピンでのTCCONプロジェクトの経緯について説明します。

私たちGOSAT関係者が本格的に検討を始めたのは2013年ですが、2012年からすでにフィリピン出身のウーロンゴン大学の研究者と、フィリピンでのTCCONサイトの設置を議論し、GOSAT-2の検証で設置できないかと話題になりました。その後環境省の委託業務により、新しいTCCONサイトをフィリピンで進めることが相応しいということになり、2014年11月と2015年4月にレイテ島、ネグロス島、ルソン島のTCCONサイトの候補となるところをTCCONおよびJPL関係者とチームを組んで訪問しました。候補地の一つが今回設置することになったルソン島北部のBurgosです。Burgosは周辺に人為的な汚染源がないという好条件のうえ、近隣に風力発電所を建設中でした。このサイトの所有者はEDC（Energy Development Cooperation）というフィリピンのクリーンエネルギー電力会社で、社会貢献活動に非常に積極的な会社です。このサイトへの設置は、こういう背景があって実現しました。

GOSAT関連の事業ですから、観測の好条件（良好な晴天率）も備えた立地であるべきです。そこで、GOSATの雲・エアロゾルセンサ（Cloud and Aerosol Imager: CAI）のデータなどを使って0.1度×0.1度の範囲の晴天確率の確認もしました。今までTCCONサイトがなかった東南アジアへ設置できること、候補地のなかで晴天確率が一番高いこと、炭素循環の研究にも使用するデータを取得できるなどで、Burgosが最適と考えました。上記のような経緯を踏まえて、TCCONミーティングやGOSAT-2サイエンスチームミーティングで議論し、2015年9月に最終的にBurgosに設置することが決定されました。

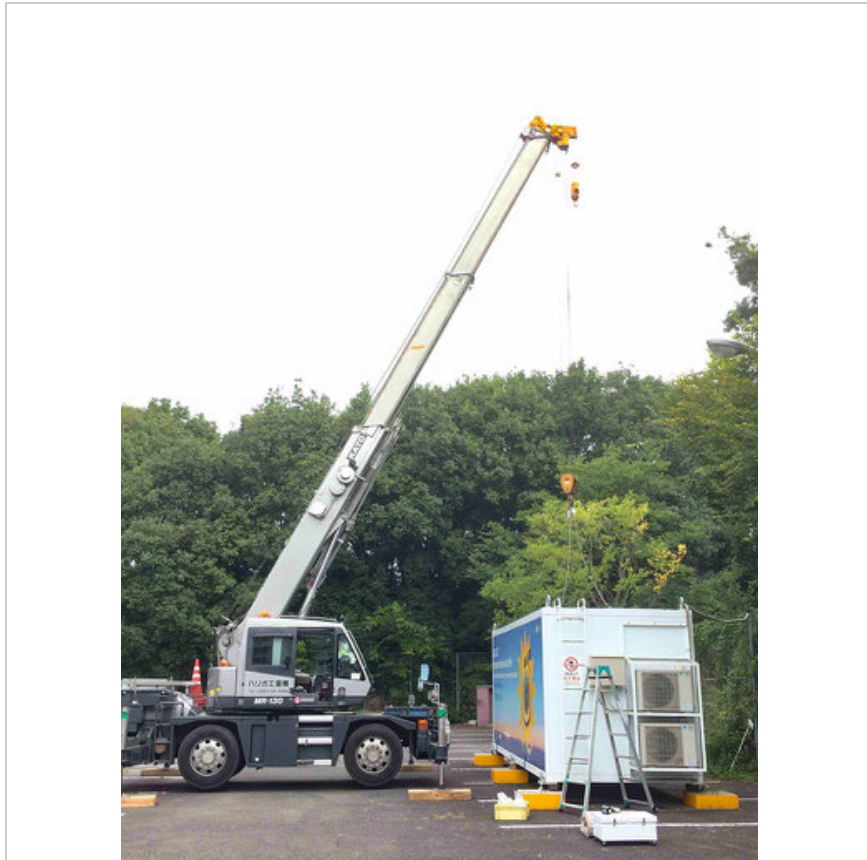
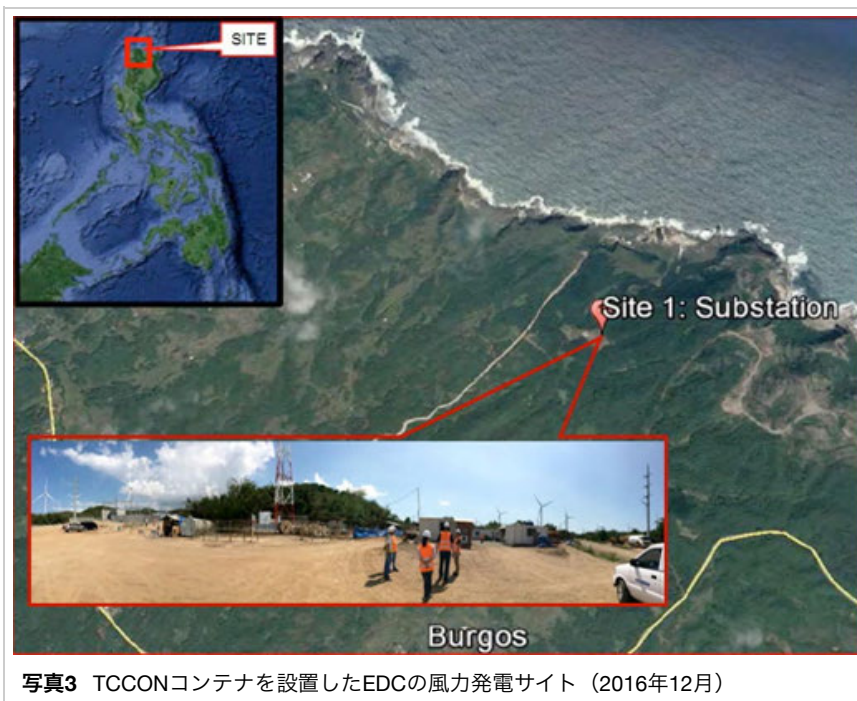


写真1,2 国立環境研究所で開発したTCCON FTSシステムを搭載したコンテナが、コンテナ製造会社を経由して、横浜港に向かいます（2016年10月）



サイトの選定と並行して、国立環境研究所で2年にわたりTCCON FTSシステムの立ち上げを進めていました。日本で立ち上げてFTSの試験観測を行った後、2016年10月に撤収し、必要な輸出等の手続きをして、このTCCON FTSシステムは同年11月末に横浜港を出港、12月7日にはマニラ港（フィリピン）に着きました。フィリピンでの手続き後Burgosサイトに装置が到着し、12月21日に設置しました。2017年1月と2月に観測装置を立ち上げ調整し、3月に観測を開始しました。同時にライダーの観測もできるようになっており、すべての観測がリモートコントロールで実施できるようになっています。TCCONミーティングは毎年世界各地で順繰りで開催されており、2017年6月にフランスのパリで行われました。そこで観測状況を報告し、BurgosサイトがTCCONサイトとして認められました。

※観測結果と今後の計画については次の機会に紹介致します。



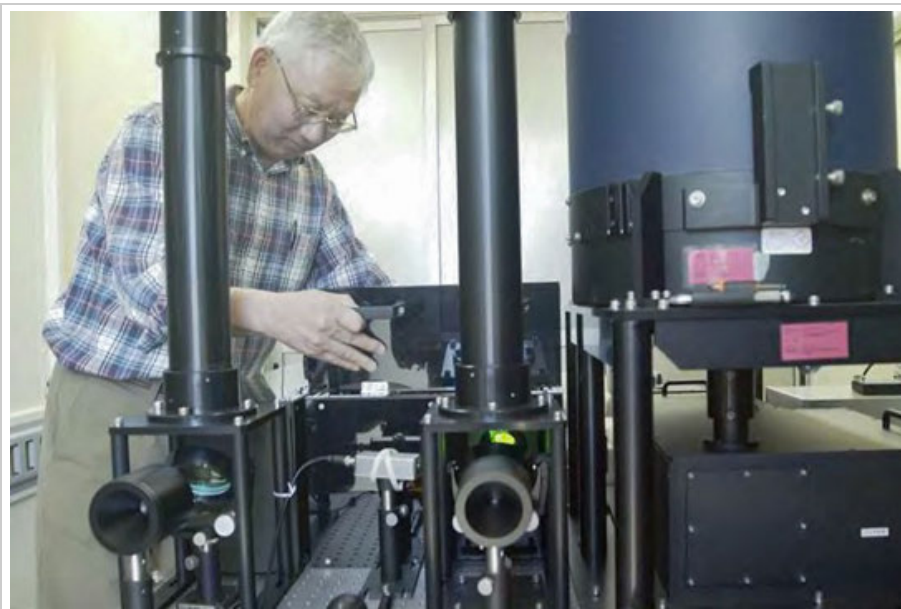


写真5 BurgosのサイトでGOSAT-2エアロゾルライダーの立ち上げを行っています（2017年1月）

略語一覧

- 温室効果ガス観測技術衛星（Greenhouse gases Observing SATellite: GOSAT）
- フーリエ変換分光計（Fourier Transform Spectrometer: FTS）
- 全量炭素カラム観測ネットワーク（Total Carbon Column Observing Network: TCCON）

脚注

1. 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は、地球温暖化、地球環境にかかわる幅広いテーマを横断した、研究活動の相互理解、知識や視点の共有、議論を行うため、原則として毎月一回開催されている。
2. CONTRAILは日本航空が運航する旅客機に二酸化炭素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。

2017年度の衛星観測センターの活動

—衛星データの長期運用に向けて—

衛星観測センター 高度技能専門員 亀井秋秀
衛星観測センター 高度技能専門員 河添史絵

*2017年10月5日に開催された第110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[注]より

衛星観測センターは2016年4月に開始した国立環境研究所の第4期中長期計画において、研究事業連携部門の一つとして設置されました。地球環境研究センターと環境計測研究センターの54人のメンバー（2017年10月時点）で構成されています。衛星観測センターの業務には、環境省・宇宙航空研究開発機構（JAXA）と共同で推進している「温室効果ガス観測技術衛星（いぶき、GOSAT：現在運用中）」、「温室効果ガス観測技術衛星2号（いぶき2号、GOSAT-2：2018年度内打ち上げ予定）」の2つの地球観測衛星プロジェクトが含まれます（図1）。

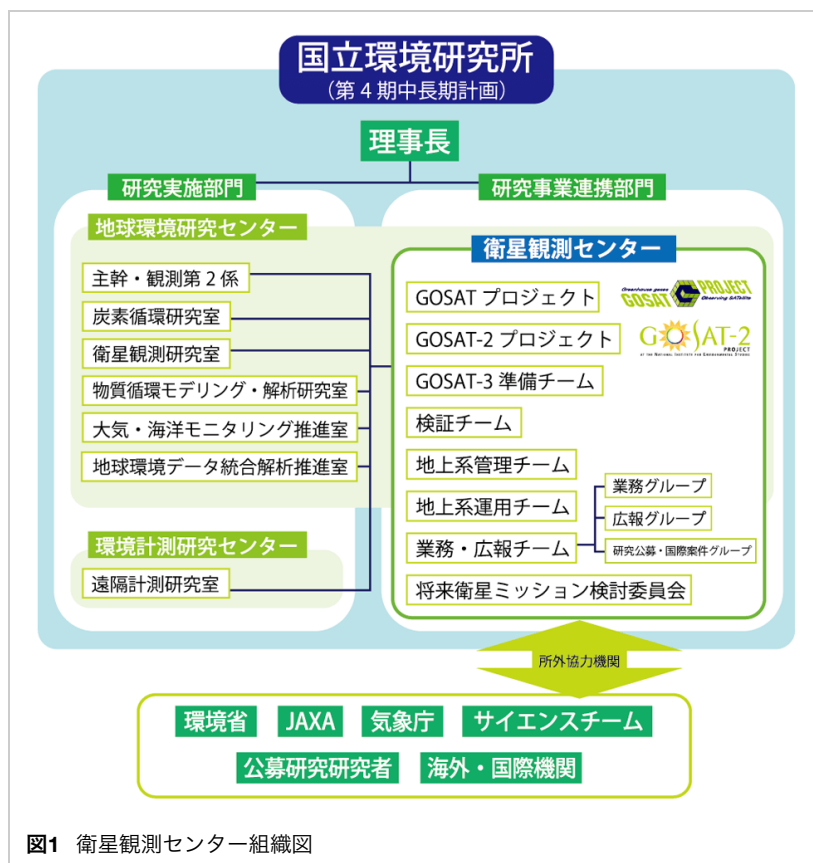


図1 衛星観測センター組織図

衛星観測に関する事業としては、以下の6つがあります。

- GOSATデータの定常処理を継続すること
- 全てのGOSATデータの確定再処理を行うこと
- GOSATプロダクト等の検証、アーカイブ、提供、広報活動を継続すること
- GOSAT-2用のデータ処理システムを構築すること
- GOSAT-2データの定常処理やプロダクト等の検証、アーカイブ、提供、広報活動を行うこと
- GOSAT-3の要求要件を取りまとめ、全体計画を作成すること

GOSATは2009年に打ち上げられ、すでに5年の定常運用を終え、現在は後期利用運用となっていますが、観測は継続しています。GOSAT-2はセンサの審査などを経て、2018年度に打ち上げられ、定常運用が始まる予定です。

JAXAから送られてくるGOSATデータはGOSATデータ処理運用施設（GOSAT DHF）で処理されています。GOSAT-2データの定常処理を行うシステムとしては、GOSAT-2データ処理運用システム（G2DPS）を導入しています。さらに研究開発用として、環境省と国立環境研究所が共同運営しているスーパーコンピュータ（RCF2、写真）で、GOSAT-2の観測データの解析処理アルゴリズムの研究・開発を行います。ちなみにRCF2は2017年6月、スパコン省エネ性能ランキング「Green500」で世界8位になりました。

データ処理運用システムの概要を説明します。ストレージ容量は10年間の定常運用を考慮し、1.6PB（ペタバイト、1PB = 1000兆バイト）あり、現在その75%を使用しています。計算能力としては1日に約10日分の観測データの処理が可能です。外部に接続しているサーバと計算処理しているサーバ等があり、仮想サーバを含めると約40台のサーバがあり、それらを5人のオペレーターが運用しています。機種は保守契約の都合で5年おきに更新されるので機器のリプレイスを行う必要がありますが、運用しながらの移行なので、いろいろと苦労があります。



写真 環境省と国立環境研究所が共同運営しているスーパーコンピュータ、RCF2

GOSATのデータはGUIで提供していましたが、2016年12月にGDASに代わりました。GUIは細かく領域等を指定してデータ取得できるシステムでしたが、GDASはアーカイブシステムで、データを観測日等の単位に纏めて圧縮して提供しています。また、WGETコマンド（URLを指定してファイルをダウンロードする）を使用して一括でデータ提供できるようになっています。

観測要求については、地図から指定するのではなく、CSVに情報入力しての申請に変更となりました。ギャラリーにおいては、GOSATの運用が9年目になり、これまでの観測マップも増えてきましたから、スライドできるボタンを追加するなど、長期運用に向けて徐々に変更を進めています。現在のGDASのユーザーは、一般ユーザーが649名、研究公募（RA）など特定ユーザーは163名です。内訳としては、4分の1が日本のユーザーで、次に中国、アメリカという順番になっています。

2017年度の主な活動を紹介します。GOSATプロダクトとして、2009年6月から2015年10月までのレベル4A、レベル4Bの二酸化炭素（CO₂）のフラックスと濃度分布データが2017年6月に公開されました。10月中に、検証チームが全量炭素カラム観測ネットワーク（TCCON）の結果を用いてバイアスの補正を行ったレベル2のCO₂とメタン（CH₄）のカラム量データが公開できると思います。11月には、新しいバージョンのレベル1を使って全期間統一したCO₂とCH₄、水蒸気（H₂O）のカラム量を公開できる計画です。レベル4A、レベル4Bのメタンのフラックスと濃度分布については、2017年度中にアップデートされることになっています。

GOSATデータの検証はTCCONからのデータなどを使って行っています。GOSAT-2プロジェクトでは、フィリピン北部にあるBurgosにTCCONの新しいサイトを設置しました。国立環境研究所内で調整した観測装置を2016年12月に現地に設置し、2017年3月から観測を始めました（詳細は森野勇「フィリピンTCCONプロジェクトの紹介ー観測サイト決定から観測の立ち上げまでー」を参照）。

2017年6月にGOSATによる全大気平均メタン濃度を報道発表しています (<http://www.nies.go.jp/whatsnew/20170602/20170602.html>)。メタン濃度は季節変動しながら年々上昇し、2017年1月には過去最高の約1815ppbを記録しました。さらに推定経年平均濃度（季節変動を取り除いた2年程度の平均濃度値）は2015年頃に増加率が上昇し、2017年2月には過去最高の約1809ppbに達したこともわかりました（図2）。データはGOSATプロジェクトのウェブサイト (<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-ch4.html>) からダウンロード可能です。

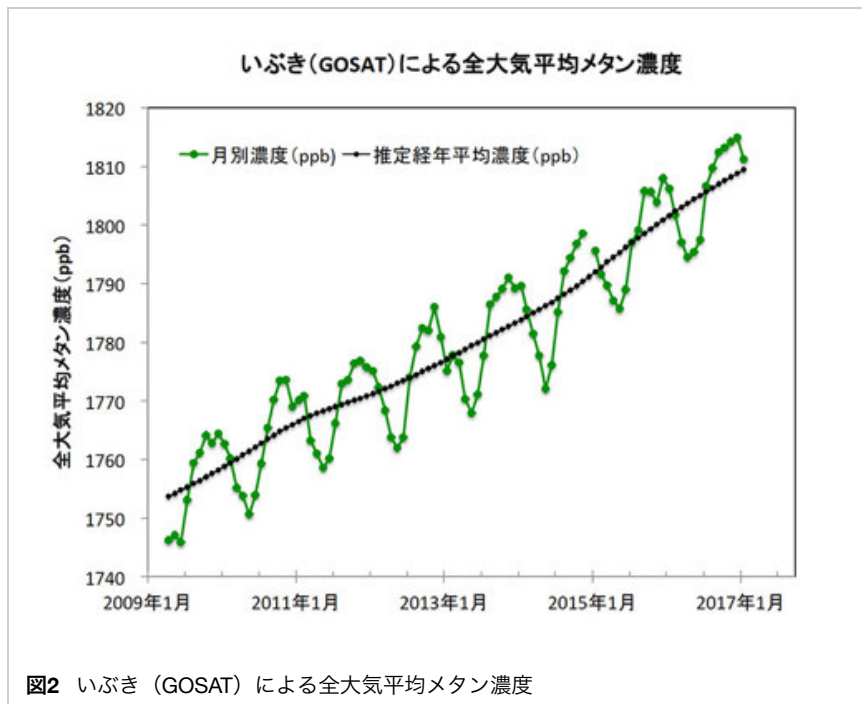


図2 いぶき（GOSAT）による全大気平均メタン濃度

GOSATでは打ち上げ前の2008年からRAを行っています。GOSATのRAは2017年9月で終了し、GOSAT-2のRAを2017年度中に出せるよう準備中です。

GOSATプロジェクト (<http://www.gosat.nies.go.jp/>)、GOSAT-2プロジェクト (<http://www.gosat-2.nies.go.jp/jp/>)、衛星観測センター (<http://www.nies.go.jp/soc/>) のウェブサイトからさまざまな情報を発信しています。また、GOSAT観測データを利用した成果につきましては、ウェブサイトに掲載されているニュースレターやリーフレットをご覧ください。

脚注

- 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は、地球温暖化、地球環境にかかわる幅広いテーマを横断した、研究活動の相互理解、知識や視点の共有、議論を行うため、原則として毎月一回開催されている。

略語一覧

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

*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 「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 「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
- 松永恒雄 「『衛星観測に関する研究事業』の最近の進捗状況」 2017年3月号

最近の研究成果

シベリアのカラマツ林で、トップダウン法とボトムアップ法による正味の二酸化炭素交換量が一致

—CO₂収支解明の研究指針となることを目指した多手法比較の試み—

地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 特別研究員 高田久美子

二酸化炭素 (CO₂) の正味の交換量は、全球スケールから領域スケール (数100~数1000km)、局地スケール (数10kmまで) まで様々な手法で推定されているが、推定結果に大きなばらつきがある。ばらつきの原因の一つに、各手法が代表する水平スケール [1] が異なることが挙げられる。シベリアのヤクーツク周辺はカラマツ林が一様に広がる平坦な地域で、水平スケールの違いによる差が小さいと期待されることから、本論文ではヤクーツクのカラマツ林の観測サイトを中心とする領域で、3つのボトムアップ法 (タワー観測、データ駆動型モデル [2]、複数の陸域プロセスモデル [3]) とトップダウン法 (複数の大気逆解析モデル [4]) によるCO₂交換量の推定結果を比較した。その結果、ヤクーツク周辺ではいずれの手法でも年間交換量はCO₂吸収を示す結果となった (図1右端、タワー観測で10.9g-C m⁻² month⁻¹、陸域プロセスモデルで4.28g-C m⁻² month⁻¹、データ駆動モデルで5.62g-C m⁻² month⁻¹ (観測サイトスケール) または0.863g-C m⁻² month⁻¹ (広域スケール)、大気逆解析モデルで4.89g-C m⁻² month⁻¹)。

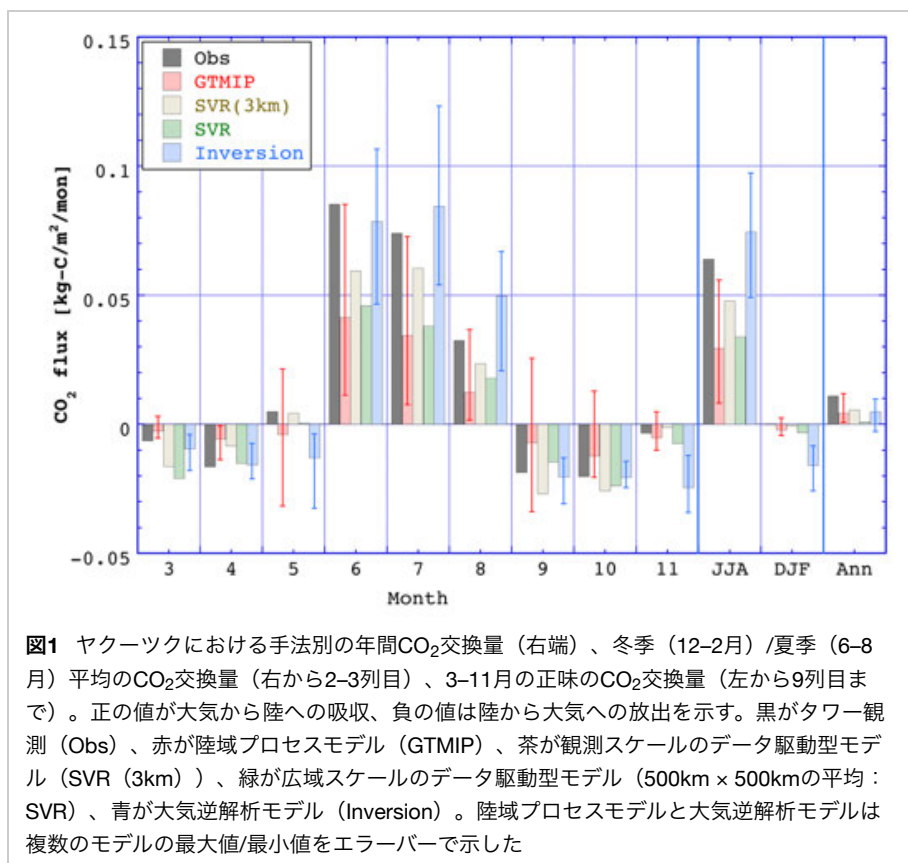
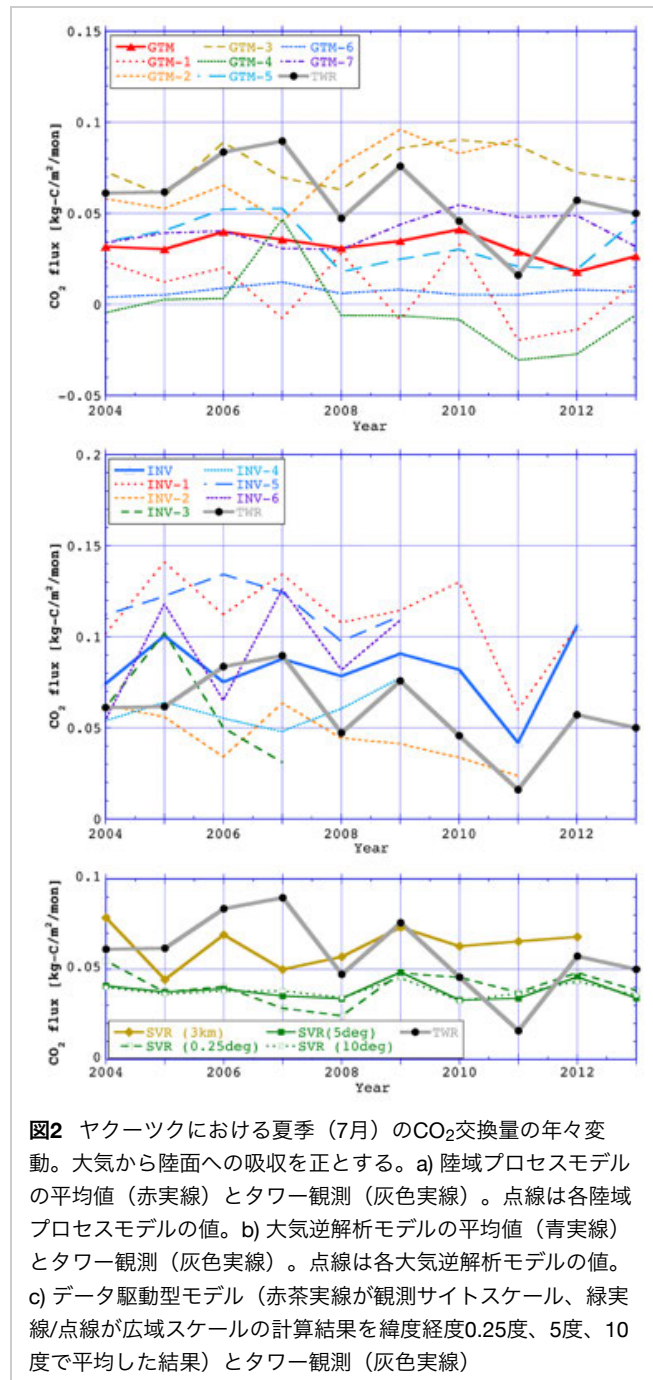


図1 ヤクーツクにおける手法別の年間CO₂交換量 (右端)、冬季 (12-2月) /夏季 (6-8月) 平均のCO₂交換量 (右から2-3列目)、3-11月の正味のCO₂交換量 (左から9列目まで)。正の値が大気から陸への吸収、負の値は陸から大気への放出を示す。黒がタワー観測 (Obs)、赤が陸域プロセスモデル (GTMIP)、茶が観測スケールのデータ駆動型モデル (SVR (3km))、緑が広域スケールのデータ駆動型モデル (500km × 500kmの平均: SVR)、青が大気逆解析モデル (Inversion)。陸域プロセスモデルと大気逆解析モデルは複数のモデルの最大値/最小値をエラーバーで示した

吸収が最も大きいのは夏季 (6-8月) で、トップダウン法 (223.6g-C m⁻² month⁻¹) のほうがボトムアップ法 (88.1~191.8g-C m⁻² month⁻¹) よりも大きく (図1右から3列目)、季節振幅が大きかった。季節変化パターンは4つの手法で概ね一致し (図1左側3月~11月)、陸域プロセスモデルや大気逆解析モデルのばらつきの範囲内だった。吸収の大きい夏季の年々変動を見ると、大気逆解析モデルと観測サイトスケールのデータ駆動型モデルはタワー観測と同程度の変動幅を示した (図2)。タワー観測では2008年以降、森林土壌の過剰な湿潤状態によってカラマツが衰弱し、CO₂吸収が減少したことが報告されている [5] が、大気逆解析モデルでも同様な傾向が見られた。一方、

陸域プロセスモデルと広域スケールのデータ駆動型モデルは変動幅がタワー観測よりも小さかった。陸域プロセスモデルは各モデルの年々変動の様相がばらばらで、モデル平均を取ることによって変動が打ち消し合っていた。今後、CO₂交換量の各成分（総一次生産量や呼吸量など）に分けた解析や、観測サイトスケールと広域スケールでCO₂交換量が推定できるデータ駆動型モデルを用いた空間スケールの違いに関する解析を進めることで、CO₂収支のメカニズム解明や高精度での推定が可能になると期待される。



脚注

1. 水平スケール：タワー観測とそのデータを用いた陸域プロセスモデルは通常は数100m（ヤクーツクの観測サイトでは1～数km程度）。データ駆動型モデルは2種類のスケールで算定を行っていて、観測サイトスケールでは約3km、解像度25kmの広域スケールでは数10km以上（解像度以上の任意のスケールでの評価が可能）。大気逆解析モデルは通常は1000～数1000km（本研究ではボトムアップと比較するために500km）。
2. データ駆動型モデル：タワー観測によるCO₂交換量をもとに、衛星データや気象データを用いて、統計的手法によりCO₂交換量を推定するモデル。
3. 陸域プロセスモデル：生態系のプロセス（光合成、呼吸、分解など）を組み合わせモデルを構築し、CO₂交換量を推定するモデル。
4. 大気逆解析モデル：大気輸送モデルと大気中CO₂濃度観測データを用いた逆解析により、大気と地表面のCO₂交換量を

推定する手法。

5. 参考文献 : Ohta, T., A. Kotani, Y. Iijima, T. C. Maximov, S. Ito, M. Hanamura, A. V. Kononov, and A. P. Maximov (2014), Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998–2011, *Agric. Forest Meteorol.*, 188, 64–75, doi:10.1016/j.agrformet.2013.12.012.

本研究の論文情報

Reconciliation of top-down and bottom-up CO₂ fluxes in Siberia larch forest

著者 : Takata K., Patra P. K., Kotani A., Mori J., Belikov D., Ichii K., Saeki T., Ohta T., Saito K., Ueyama M., Ito A., Maksyutov S., Miyazaki S., Burke E. J., Ganshin A., Iijima Y., Ise T., Machiya H., Maximov T. C., Niwa Y., O'ishi R., Park H., Sasai T., Sato H., Tei S., Zhuravlev R., Machida T., Sugimoto A., Aoki S.

掲載誌 : *Environ. Res. Lett.*, doi.org/10.1088/1748-9326/aa926d.