



独立行政法人 国立環境研究所 (国環研)
GOSAT プロジェクトオフィスがお届けする、
温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT) プロジェクトのニュースレターです。

<http://www.gosat.nies.go.jp/>

ISSUE # 28 2013 年7月号

CONTENTS

NEWS

- 第5回 GOSAT RA PI 会議 開催報告 01
IWGGMS-9 参加報告 03

GOSAT PEOPLE

- 連載：GOSAT プロジェクトを支える (4) 04
ー 高次処理の舞台裏を支える人々

- PUBLISHED PAPERS 論文等発表情報 05

INTERVIEW

- 連載：「いぶき」の PI インタビュー、クロード・カミペレ博士 06

DATA PRODUCT UPDATE

- プロジェクトオフィスからのデータ処理状況アップデート 09



参加者集合写真。「横浜シンポジウム」会議場にて。

NEWS

第5回 GOSAT RA PI 会議 開催報告

GOSAT 研究公募選定・評価委員会 (RA 委員会) 委員長 東海大学 総合科学技術研究所 教授 下田 陽久

2013 年 5 月 27 日から 29 日にかけて開催された第 5 回 GOSAT RA PI (Research Announcement Principal Investigator 研究公募 研究代表者) 会議の概要を報告します。本会議に続く 5 月 29 日午後から 31 日にかけては、第 9 回 IWGGMS (International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space、宇宙からの温室効果ガス観測に関する国際ワークショップ) が開催されました。従来、PI 会議と IWGGMS が続けて開催される場合、IWGGMS の方が先になることが多かったのですが、今回は逆になりました。会場は「横浜シンポジウム」という会議場で、山下公園に面したビルの 9 階にあり、中々景色の良いところでした。参加者は研究代表者 (PI)、研究分担者 (Co-I) を含めて 56 名、その他、国立環境研究所 (国環研)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、米航空宇宙局 (NASA) 等の関係者を含め総勢 96 名でした。

会議は初日の 9 時半から 1 時間ほどがプレナリーセッション、そ

の後、校正セッション、検証セッション、アルゴリズムセッション、モデルセッション、応用セッション、閉会セッションの順で行われました。また応用セッションの後、1 時間半ほどかけて、ワーキンググループの討議が行われました。

プレナリーでは環境省の地球環境局研究調査室長補佐・野本氏の挨拶の後、私が開会の辞を述べ、その後 GOSAT サイエンスチーム・チーフサイエンティスト・井上教授による「GOSAT サイエンスチームの活動」、JAXA・塩見氏による「GOSAT の最近の運用結果」、国環研・網代氏による「データ処理の現状と RA ユーザの特権」と 3 件の報告が続きました。最後に「過去のアクションアイテム処置結果の報告」(国環研・網代氏) でプレナリーが終了しました。

校正セッションでは「衛星搭載 FTS に対する微小振動の特性評価」(JAXA・須藤氏) と「衛星搭載赤外センサと GOSAT 熱赤外バンドとの相互校正」(ウィスコンシン大学・Gero 博士) の 2 件の発表が行



なわれました。

続く検証セッションでは 15 件の発表が行われました。地上設置の高分解能 FTS を用いたもの (主に TCCON データ) が 5 件、観測装置関連 (ライダーを含む) が 4 件、他の衛星データとの比較が 3 件、in-situ データとの比較が 1 件、水の同位体が 1 件、残り 1 件は検証というよりはリトリバーアルゴリズムに関する発表でした。

アルゴリズムセッションでは 11 件の発表が行われました。CO₂ リトリバーの最新結果の報告が 3 件、水の同位体が 1 件、TIR からの CO₂、CH₄、オゾンなど微量成分のリトリバーが 3 件、CAI からのエアロゾルリトリバーが 1 件、O₂A バンドからのエアロゾルが 2 件、もう 1 件は中国の TanSat*1 用のアルゴリズム開発状況でした。

次のモデルセッションでは、13 件の発表が行われました。5 件が CO₂ のフラックス、CH₄ が 2 件、CO₂ と CH₄ の両者のインバージョンが 2 件、インバースモデル間の比較が 1 件でした。インバースモデルのほとんどが、同化を用いていました。このほかでは大気汚染物質との相関を扱ったものが 1 件、地上植生モデルとの比較が 1 件、タワーを用いたフラックス測定との比較が 1 件でした。昨年 L4 が RA 研究者へ提供されてから約 1 年が経ちましたが、いまだにモデル間の差は大きいようです。精度の良い検証手段がないことがこれらの違いの原因の一つになっています。

最後の応用セッションでは 9 件の発表が行われました。これらのうち 3 件は地域的な温室効果ガスの動向等 (CO₂ および CH₄) がターゲットでした。バイオマスバーニング*2、火山、大都市、発電所等の高濃度 CO₂ 排出源の関係が 3 件、それ以外はエアロゾルの排出源が 1 件、放射強制力が 1 件、CAI からフェノロジー*3 を推定したものが 1 件でした。

その後 SWIR、TIR、モデルの 3 グループに分かれ、グループ討議が行われました。これらの結果は、最後の閉会セッションで発表されました。SWIR では最近バージョンアップされた FTS L1B V160.160

を用いた場合、FTS のスキャン方向に応じて SWIR リトリバー結果のバイアスが若干変わる可能性や、リトリバーアルゴリズムの比較のため、フィルタリングやスクリーニング結果の比較を行うべき、多方向観測の実現性の検討などが話題にあがりました。

TIR のグループは、主に現在の L1B の校正精度について議論を行いました。最新の V160.160 の方が一部の波長では V150.151 より誤差が大きいのに見える、現在他の衛星との相互校正は緯度 40° 付近と高緯度でしか行われていないが、他の緯度、特に熱帯域での相互校正が必要、SHIS (航空機用 FTS) の利用などです。このほかにも、SWIR と TIR の同時解析、HDO と CH₄ の同時解析などが話題になりました。GOSAT-2 に向けては TIR の搭載は大歓迎だが、高い校正精度が必要との意見が出されました。

モデルグループでは、L4 プロダクトの検証のためにいろいろな意見が出されました。この中には、L4B データを他のプロファイルデータと比較する (CONTRAIL*4、HIPPO*5、NOAA*6 航空機等)、フラックス推定のアベレージングカーネルを公表する、他の独立なフラックス推定値との比較などが含まれていました。また、国環研の CH₄ の L4 データを近々 RA ユーザに公開する予定も伝えられました。

今回の PI 会議全体を通して、ほとんど去年と同じですが、以下のことが言えると思います。

- 1) NIES、ACOS を始めとするレベル 2 プロダクトの品質向上により、インバースモデルを含めた本格的な科学的応用が可能になってきた。
- 2) とはいものの、TCCON サイトの立地が偏っており、高反射率地域、高緯度地域での精度は未だ十分に検証されていない。
- 3) TIR に関しては、最新のレベル 1 データを用いたリトリバーが不十分であり、早急にリトリバーと検証を進める必要がある。
- 4) インバースモデルに関しては、モデル間の違いが大きく、何らかの要因推定や実証を行う必要がある。



民間航空機を用いて地球の上空における CO₂ のデータを飛行中に観測するプロジェクトです。日本航空の飛行機の貨物室の中に、CO₂ 濃度を連続測定できる装置と大気を採取する装置を設置し観測を行っています。

*5 HIAPER Pole-to-Pole Observations とは、米国 NCAR (National Center of Atmospheric Research、国立大気研究センター) の研究航空機 HIAPER を用いて、南極・北極間の赤道をまたぐ各緯度の大气中の様々な高度で CO₂ を含む温室効果ガスの観測およびサンプル採取を目的としたプロジェクトです。

*6 National Oceanic and Atmospheric Administration は、米国商務省の機関の一つで、海洋と大気に関する調査および研究を専門としています。

*1 TanSat は中国の二酸化炭素観測衛星で、2015 年に打上げが予定されています。

*2 バイオマスバーニング (biomass burning) とは、農業廃棄物の焼却や森林火災などの植物の燃焼を言います。観測上は、温室効果ガスの成分比 (CO の濃度など) により、化石燃料の燃焼と区別できます。

*3 フェノロジー (phenology) は「季節生物学」と訳され、季節的に起る動植物が示す諸現象の時間的変化、及びその気候或は気象との関連を研究する学問。例えば植物の発芽、開花、紅葉、落葉等の時期の調査から、それぞれの地方の気候の比較ができます (岩波生物学辞典より部分引用)。

*4 Comprehensive Observation Network for TRace gases by AirLiner とは、

ANNOUNCEMENT

第 6 回研究公募 (RA)、随時受付中

只今応募受付中

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)

随時受付研究公募 (RA)

(第 6 回 RA 締切: 2013 年 9 月 30 日)

※ 応募する場合は研究所のサイトを御覧ください。

NEWS

IWGGMS-9 参加報告

国環研 地球環境研究センター
物質循環モデリング・解析研究室 特別研究員
ラジェシュ・ジャーナルダナン

2013年5月29～31日、第9回「宇宙からの温室効果ガス観測に関する国際ワークショップ」(IWGGMS-9)が、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、国立環境研究所(NIES)、および環境省(MOE)の共催により、横浜にて開催されました。本ワークショップは、衛星搭載機器および関連機器による温室効果ガス観測に関する技術や手法について、その現状と進捗を報告し議論する場です。繁華な横浜市中にありながらクラシックな雰囲気が快い「横浜シンポジア」が今回の会場となり、2日半にわたる熱心な意見交換が展開されました。

初日はNIESの住明正理事長、MOE地球環境局の辻原浩研究調査室長による歓迎の辞で幕を開け、NIESの横田達也GOSATプロジェクトリーダーがIWGGMSの来歴を紹介した後、基調講演においてGOSAT、SCIAMACHY^{*1}、CarbonSat^{*2}、OCO-2^{*3}、TanSat^{*4}などの温室効果ガス観測衛星に関する報告があり、衛星間の観測の比較、後継機やそれに向けた新技術等が紹介されました。

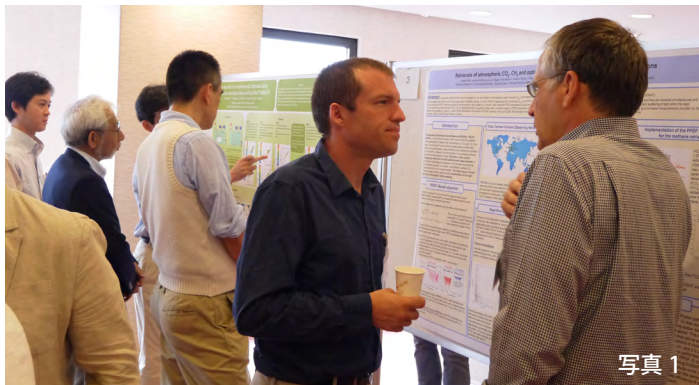


写真1

2日目は将来の衛星ミッションにおいて温室効果ガスの推定精度がどの程度向上しうるかにつき議論がなされました。2時間程のポスター・セッション(35点の展示:写真1、2)を挟み、「校正/現地測定/データ利用研究」、「アルゴリズム」、「観測結果とその比較」のセッションが続きました。導出アルゴリズム、様々な衛星搭載機器とその比較等を通して、参加者はその可能性の全貌に接することができました。

「インバースモデル」セッションは2日目夕方から最終日まで続き、特に二酸化炭素、メタン、大規模点排出源、地域別排出に焦点が当てられました。逆推定は今回最大のテーマで、その様々な側面が取り上げられました。GOSATが観測した二酸化炭素カラム平均濃度による

^{*1} Scanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CartographyはESAのEnvisat衛星に搭載されているセンサで、2002年3月～2012年4月の間、観測運用されました。

^{*2} Carbon Monitoring Satelliteは、ESAの地球探査プロジェクトの一つとして採択されたドイツ・ブレーメン大学を中心に計画されている地球規模での



発表会場の様子

二酸化炭素収支の逆推定結果、および各種GOSATプロダクトを用いた推定値の相互比較に関する報告や、草原などの一様な領域や、熱帯地方・ユーラシア・南アジア等の地理的な領域に着目した収支推定も報告されました。また大規模点排出源や巨大都市からの排出量の推定結果が報告され、興味深い議論として会場の熱い関心を集めていました。

5月31日、本ワークショップは2日半にわたる実り多い日程を終えました。閉会にあたり、GOSATサイエンスチームのチーフサイエンティスト・井上教授は、逆推定モデルに関して顕著な進捗があり報告数も増加したことを指摘し、ここ数年の内に衛星数も増え、地域スケールの炭素循環の理解も深まるだろうとの期待を述べました。横田リーダーの閉会の辞により本会の全日程が終了しました。



写真2

IWGGMS-9は、若い研究者たちが本分野の多様な側面の理解を進め、今後の課題に取り組む意欲を高める恰好の場となりました。永年にわたって研究を続け、過去8回の会合に参加してきた研究者たちとの交流は、彼等にとり掛けがえのないものとなったと思われます。

次回(2014年)のIWGGMSの開催日時・場所は、決まり次第、本ニュースレターでもお知らせします。



CO₂とCH₄濃度の測定を目的とした衛星で、2018年に打上げ予定です。

^{*3} Orbiting Carbon Observatory 2は2014年打上げ予定の米国のCO₂観測衛星です。

^{*4} 前頁の^{*1}を参照ください。



IWGGMS-9参加者集合写真

GOSAT PEOPLE 連載：GOSAT プロジェクトを支える (4)

高次処理の舞台裏を支える人々

国環研 地球環境研究センター GOSAT プロジェクトオフィスマネージャ 網代正孝

国立環境研究所 (NIES) は、「いぶき」観測データと補助データによる温室効果ガス濃度の導出手法 (アルゴリズム) の開発・改良、データの高度処理、プロダクトの検証、外部へのデータ提供、大気モデルを用いた吸収・排出量の推定などの役割を担っています。今回は、「いぶき」データの高度処理およびその関連処理システムを開発・維持している人々とその活動の一端をご紹介します。

●「いぶき」データの高度処理●

高度処理、特にレベル 2 処理をひとことで説明するなら、『「いぶき」が観測したデータから二酸化炭素 (CO₂)・メタン (CH₄) 濃度などの意味ある情報を取り出すこと』と言えると思います。「いぶき」に搭載されたセンサのうち、温室効果ガス観測センサ TANSO-FTS は、地表面や大気で反射された太陽光と、それらから放射される熱放射を観測します。その観測データを宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、波長毎の光の強度を表したスペクトル (レベル 1B データ) へ変換します。スペクトルには温室効果ガスの濃度などのさまざまな情報とノイズが入り混じっており、そこから意味のある情報を取り出す必要があります。また個々の観測データには、観測時の雲の有無などの条件により、情報の取り出しに適さないものがあります。こうした玉石混交の全体から質の良いデータを見極め、精度よく情報を取り出すこと、それが観測成果をあげるカギです。

観測データから情報を取り出すには、さまざまな道具を駆使します。観測データ以外に高度処理に必要な補助データ、それらのデータを処理するためのプログラム (アルゴリズム)、それを動かす計算機や処理結果を保存するストレージ^{*1} などです。それらの道具を効率よく組み合わせて、温室効果ガスの濃度など (レベル 2 データ) を導き出し、温室効果ガスの地球全体の分布や吸収・排出量 (レベル 3 / 4 データ) を推定して、さらに得られた結果をユーザに使いやすく (プロダクト化)、また分かりやすく (データの可視化) 提供するシステムが GOSAT データ処理運用システムです。このシステム開発を担うのが、富士通エフ・アイ・ピーをはじめとする各企業の技術者たちです。

●システムの開発開始から打ち上げまで●

NIES における高度処理およびデータ提供のためのシステム開発は 2007 年 1 月に開始しました。打ち上げが 2009 年 1 月でしたので、開発期間は約 2 年、それまでの NIES による衛星地上データ処理システムの開発には 5、6 年かかっていたので、極めて短期間で行なわれたことになります。まず取り組んだのは、観測データ以外の処理に必要な補助データである気象データや他の衛星観測データを定常的に取得する機能です。しかしそれら補助データが取得できない場合でも定常処理を止めないために、さまざまケースを想定して代替となるデータも事前に用意しました。データ処理プログラム (アルゴリズム) の開発は、NIES、JAXA や GOSAT サイエンスチームの研究者と、システム開発担当の技術者が分担・共同して行ないます。しかしそれだけでは処理システムとしては成り立ちません。システム上で動作するプログラムの数は 100 本以上に及ぶ

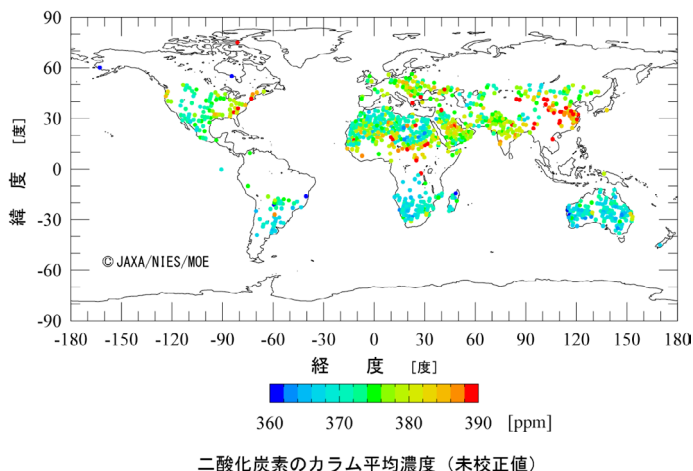
ので、それら個々のプログラムをつなぎ、全体として動くようにする必要がありました。またそれらを動かす計算機は、GOSAT データ処理運用施設 (DHF) にある計算機の他に、NIES のスーパーコンピュータや東京大学のスーパーコンピュータがあり、それらを連携させて処理を進める必要がありました。

これらさまざまなデータ提供機関、研究機関、計算機資源提供機関とのインターフェースの調整、確定にも膨大な時間を割いてきました。時にはレベル 2 処理のアルゴリズムを改良することで処理時間が大幅に短縮され、処理を行う東大情報基盤センターの計算機的能力割当に影響して、利用台数の交渉をやり直したこともありました。

短い開発期間の中で、さまざまな課題を乗り越え、2009 年 1 月の打ち上げ、4 月の初期チェックアウトを迎えることとなりました。

●初期チェックアウトとその後の改訂作業●

2009 年 4 月、JAXA から初めてレベル 1 データが GOSAT DHF へ送信されました。初めはひとつひとつの処理プログラムが仕様通り動くか確認し、動かない場合はその原因を分析し、JAXA との仕様調整や確認、プログラムの差し替えやパラメータ調整を繰り返しました。予めテストデータによる検査は行っていたものの、衛星、受信局、JAXA の下流となるシステムの為、上流のシステムの影響を受け、実データの処理は事前の想定とは異なることも多く、CO₂、CH₄ 濃度算出までたどり着くには 1 ヶ月以上を要しました。多くの調整を重ねた後、4 月下旬の 9 日分の処理結果を地図上にプロットしてみると、全体的に濃度は低いものの、その分布は北半球で濃度が高く南半球で低いという、従来の地上観測結果と概ね整合する傾向がみごとに表示されました。「いぶき」による全球観測の可能性を感じた瞬間でした (下図)。



初期チェックアウト時の 2009 年 4 月下旬の CO₂ カラム平均濃度分布

その後、打ち上げから約 1 年後の 2010 年 2 月にレベル 2 プロダクトを公表しました。その後レベル 2 プロダクトの改良を重ね、2012 年 12 月にはレベル 4 プロダクトの一般ユーザへの提供を開

始しました。観測開始から4年弱、GOSATの当初の目的である吸収・排出量の推定結果の公表に漸くたどり着くことができました。

この間にもアルゴリズムの改良、処理の高速化などさまざまな課題に対応し、システムの改善を図っています。2011年3月の東日本大震災発生時には、NIESへの電力供給が停止したため、本システムも全て停止しました。幸い計算機やストレージに物理的な障害は発生しませんでした。データの破損の有無や整合性の確認を行いながらのシステムの完全復旧には1か月の時間を要しました。その後の節電対策で、NIESのスーパーコンピュータが長期間停止することになり、そこで処理していたプログラムを急速 DHF に移植するなどの作業にも追われることとなりました。

●システムの改良は続く●

最近、世の中ではシェールガスが注目を浴びています。これまでもその存在自体は知られていたものの、採算面から採掘は見合されていましたが、近年の技術がビジネスへの道を拓きました。「いぶき」の観測データの高次処理でも、今後のアルゴリズム改修やシステム改訂等の技術改良によって、これまでは解析されず捨てていたデータの活用の道が開ける可能性があります。貴重な過去データの活用、今後の観測データの歩留まり向上、延いては GOSAT プロジェクトの成果の最大化に向けて、打ち上げから4年以上が経過した現在でも、システム開発チームは日々地道な努力を続けているのです。



NIES の GOSAT データ処理運用システムの開発・維持改訂に携わる技術者（前列左から、**信田浩司**さん、**川崎裕之**さん、**石原博成**さん、**中村東奈**さん；後列左から、**フォーサイス陽子**さん、**石濱茂**さん、**宮坂隆之**さん、**池上久通**さん、**笠井尚徳**さん、**小島伸一**さん）

*1 ストレージとは、計算機システムがデータやプログラムを記憶しておくための外部記憶装置の総称です。ハードディスク、磁気テープなど各種タイプがあります。

PUBLISHED PAPERS

論文等発表情報

- 分野：** 炭素収支推定・大気輸送モデル
掲載誌： Geophysical Research Letters
(Volume 40, pages 1252–1256, 2013)
題名： Error statistics of Bayesian CO₂ flux inversion schemes as seen from GOSAT
(和訳： ベイズ法による二酸化炭素収支逆推定手法の誤り統計—GOSAT データとの照合による)
著者： F. Chevallier, C. W. O'Dell
- 分野：** 炭素収支推定・大気輸送モデル
掲載誌： Atmospheric Chemistry and Physics
(Volume 13, pages 4349–4357, 2013)
題名： Towards constraints on fossil fuel emissions from total column carbon dioxide
(和訳： CO₂ 全カラム量を拘束条件とする化石燃料由来の CO₂ 排出検証の試み)
著者： G. Keppel-Aleks, P. O. Wennberg, C. W. O'Dell, D. Wunch
- 分野：** データ利用研究
掲載誌： Proceedings of the Royal Society B
(Volume 280, 20130171, 2013)
題名： Forest productivity and water stress in Amazonia: observations from GOSAT chlorophyll fluorescence
(和訳： アマゾン地域の森林の生産力と水ストレス：GOSAT によるクロロフィル蛍光の観測)
著者： J.-E. Lee, C. Frankenberg, C. van der Tol, J. A. Berry, L. Guanter, C. K. Boyce, J. B. Fisher, E. Morrow, J. R. Worden, S. Asefi, G. Badgley, S. Saatchi
- 分野：** データ利用研究
掲載誌： Geophysical Research Letters
(Volume 40, pages 2378–2383, 2013)
題名： Reduced carbon uptake during the 2010 Northern

- Hemisphere summer from GOSAT
(和訳： GOSAT が観測した 2010 年北半球夏季における二酸化炭素吸収の低下)
著者： S. Guerlet, S. Basu, A. Butz, M. Krol, P. Hahne, S. Houweling, O. P. Hasekamp, I. Aben
- 分野：** アルゴリズム・検証
掲載誌： Atmospheric Measurement Techniques
(Volume 6, pages 1533–1547, 2013)
題名： Improvement of the retrieval algorithm for GOSAT SWIR XCO₂ and XCH₄ and their validation using TCCON data
(和訳： GOSAT 短波長赤外観測による二酸化炭素およびメタンのカラム平均濃度導出アルゴリズムの改善と TCCON データによる検証)
著者： Y. Yoshida, N. Kikuchi, I. Morino, O. Uchino, S. Oshchepkov, A. Bril, T. Saeki, N. Schutgens, G. C. Toon, D. Wunch, C. M. Roehl, P. O. Wennberg, D. W. T. Griffith, N. M. Deutscher, T. Warneke, J. Notholt, J. Robinson, V. Sherlock, B. Connor, M. Rettinger, R. Sussmann, P. Ahonen, P. Heikkinen, E. Kyrö, J. Mendonca, K. Strong, F. Hase, S. Dohe, T. Yokota
- 分野：** 炭素収支推定・大気輸送モデル
掲載誌： Atmospheric Chemistry and Physics
(Volume 13, pages 5697–5713, 2013)
題名： Estimating regional methane surface fluxes: the relative importance of surface and GOSAT mole fraction measurements
(和訳： メタンの領域別地表面フラックス推定：地上観測および GOSAT 観測の相対的重要性)
著者： A. Fraser, P. I. Palmer, L. Feng, H. Boesch, A. Cogan, R. Parker, E. J. Dlugokencky, P. J. Fraser, P. B. Krummel, R. L. Langenfelds, S. O'Doherty, R. G. Prinn, L. P. Steele, M. van der Schoot, R. F. Weiss



クロード・カミペレ博士

INTERVIEW

連載：「いぶき」のPIインタビュー

No.9

CNRS サイエнтиスト、IASI Science Team 共同議長

Dr.

Claude Camy-Peyret

クロード・カミペレ博士

博士は RA PI の一人として、5 月末に開催された第 5 回 GOSAT RA PI 会議、及び IWGMS-9 に参加するために来日されました。今回のインタビューはその折のもので、40 年以上にわたる長い研究生活を、青年時代からの経歴、日本との接点、GOSAT に対する評価、GOSAT の今後への期待などを交え、雄弁に語っていただきました。

(インタビュー：国環研 GOSAT プロジェクト 横田達也)

🍷🍷 横田 (以下 Y) : 今日はお忙しい中、有難うございます。博士は沢山の衛星プロジェクトに参加されていますが、先ずはご経歴につきお伺いいたします。

カミペレ博士 (以下 C) : 私は 1970 年 10 月に CNRS*1 にスカウトされ、若手研究者として実験・理論の両面から高分解能赤外分光法の研究を始めました。P. コンヌと彼の学生達が設計・製作した高分解能フーリエ変換分光計で得られたスペクトルの解析が最初の仕事でした。フーリエ変換分光計で 100 万点以上からなるインターフェログラム*2 が記録された初めてのケースで、FFT*3 アルゴリズムが丁度使えるようになった時期でした。記録には磁気テープが使用され、その 100 万

点のインターフェログラムを 1 つのスペクトルに変換するのに 6 時間かかりました。ヨウ化メチル (CH_3I) の解析から始め、その後すぐ水蒸気 (H_2O) の解析に転じ、研究人生の大半で遠赤外域から可視域に現れる H_2O とその同位体のスペクトル解析を手がけました。フーリエ変換分光計で高温の炎のスペクトルを観測し、 H_2O の高励起振動回転状態を調べていくうちに、非対称回転子の理論の専門家になりました。 H_2O は XY_2 非対称コマ分子*4 の代表例で、他にはオゾン (O_3)、二酸化窒素 (NO_2)、硫化水素 (H_2S)、二酸化硫黄 (SO_2) などがあります。これらの分子を対象とした赤外スペクトルの観測と同定、吸収線の位置や強度、線幅の広がりに関するパラメータのモデル化等の理論解析も相当やりました。

Y : それは HITRAN*5 や GEISA*6 に関与されていた頃のことでしょうか。

C : はい、70 年代初期のことで、HITRAN の赤外分光データベースの黎明期でした。1972 年に私はマサチューセッツ州ハンスコムフィールドの AFCRL*7 (当時：後の AFGL*7) を訪問しましたが、HITRAN の初版は国防上の理由で一般には公開されず、使えるようになったのは 74 年のことでした。私は H_2O 、 O_3 、 NO_2 、 H_2S 、 SO_2 の吸収線パラメータの改善や追加を行い、それがもつて HITRAN 関連の数本の論文で共著者にもなりました。GEISA データベースは後にフランスに構築され、大気や惑星に応用されました。

(次頁へ続く)

*1 CNRS (le Centre National de la Recherche Scientifique) 「フランス国立科学研究センター」は 1939 年設立のフランス最大の政府基礎研究機関です。

*2 インターフェログラムとはフーリエ干渉計などを利用して、装置に入射する光を 2 つに分離し、一方の光路の長さを徐々に変化させて、再び 2 つの光を結合させて干渉させることによって得られる光の強度パターンのことです。

*3 FFT (Fast Fourier Transformation) 高速フーリエ変換とは、計算機を用いてフーリエ変換を高速に計算するための手法で、インターフェログラムをスペクトルに変換するためにも使われています。

*4 XY_2 非対称コマ分子とは、原子 X の両端に原子 Y が「く」の字型に結合している分子のこと。3 つの回転の主軸に対して対称性がないことから、非対称コマと呼ばれています。

*5 HITRAN (High resolution TRANsmission) は、気体分子による吸収線の位置や強度などのデータベースで、米国空軍の研究所により 1973 年から開発されています。2012 年版には 47 種類の気体について、7,400,447 本の吸収線の情報が記載されています。吸収線の中心波数、吸収線強度、ローレンツ半値幅、基底状態エネルギーなどが個々のデータに含まれています。

*6 GEISA (Gestion et Etude des Informations Spectroscopiques Atmosphériques) は前記 HITRAN と同類のデータベースの 1 つでフランス CNRS が開発しています

*7 AFCRL (Air Force Cambridge Research Laboratory)/AFGL (Air Force Geophysics Laboratory) 「空軍ケンブリッジ研究所」/「空軍地球物理学研究所」は、いずれも米国空軍に属する研究所です。

Y: パリのオフィスに伺った時、大きな実験室をお持ちでした。また LPMA^{*8} という装置があったことも憶えています。フーリエ変換分光計による研究について、もう少しお聞かせください。

C: 大気の遠隔観測には、最適な吸収線パラメータを使用することが重要であることに気づいていたので、分子分光の応用先として大気科学に興味を持ちました。



1980 年代にキットピーク^{*10} に行き、そのフーリエ変換分光計の初期ユーザの 1 人として、日中は太陽光、夜間は月光を光源として、地上から初の NO₂ 測定を実施しました。この時に決めた NO₂ の吸収帯波長範囲は、今でも NDACC^{*11} で使われています。何とか自分用のフーリエ変換分光計 (Bomen DA2) を手に入れ、大気への応用を始めました。当時私は、研究と現場測定、二足の草鞋を履いていましたが、その中で NO₂ から始めた大気測定に興味が増し、さらに FTS を気球に下げて飛ばす方向に関心が移りました。最初の気球装置を LPMA と名付けました。この太陽遮蔽フーリエ変換分光計は、方位角制御が可能なゴンドラと太陽追尾装置

を用いて赤外放射を観測するもので、成層圏の大気成分の高度分布を求めました。当時、私は並行して、気球測定とスペクトル解析のキャンペーンの準備もしていました。90 年代初頭は成層圏オゾンへの関心が極めて強かったこともあり、それからすぐ欧州の極地オゾンプロジェクトに関与しました。

Y: それが日本の研究者と関係を持つようになったきっかけですか。

C: 日本との協力が始まった頃、太陽吸収分光法だけでなく熱放射の天底観測も試みようとしていました。「CNES^{*12} 将来計画会議」(Colloque de prospective de CNES) で議論された IASI^{*13} の初期の提案に、89 年には関与していました。この会議は 4 年毎に開催され、フランス国立宇宙研究センタにより招待された科学者や技術者が、将来の宇宙ミッションの提案や検討を行っていました。中解像度フーリエ変換分光計の赤外観測から、温度や H₂O (またオゾンや他の微量ガス) の高度分布を測定するというアイデアが提案され、96 年に IASI プロジェクトが開始されました。私はそれ以来 ISSWG の議長として関わっています。IASI は 10 年後の 2006 年に MetOp 衛星に搭載され打ち上げられました。IASI に関与するようになってすぐに、同種の日本の観測装置である IMG^{*14} に携わっていた下田晴久教授に連絡を取り、IMG のスペクトルの 12μm 付近で強い H₂O の吸収線の他に弱い硝酸 (HNO₃) の吸収構造が検出できているか確認しました。

Y: 82 年開始の ADEOS^{*15} プロジェクトに関

してはどうでしたか。

C: IMG データは、当時私の学生だった S. パヤンと研究していました。日本の研究者、太陽遮蔽フーリエ変換分光計といった繋がりから、ILAS プロジェクトの PI であった笹野さんに連絡を取ることを決めました。そして神沢さんも交えて ILAS / ILAS-II^{*16} の検証キャンペーンを準備したのです。これら 2 つのミッション中に、気球キャンペーンを 2 度実施しましたが、残念なことに衛星は短命でした。しかし北部スウェーデンのエスランゲ／キルナで実施した気球測定は成功し、検証に関する良い論文が書けました。

Y: 名古屋大学の神沢教授によれば、お二人がキャンペーンの中心だったとか。

C: はい、二人でキャンペーン観測のリードを務めました。気球の運用計画を立て、ADEOS や ADEOS-II の通過に合わせて最適な計測ができるよう調整しました。こうして増々、熱赤外スペクトルの天底観測に深入りし、LPMA 装置を IASI 気球と呼べるようなものにまで改造しました。IASI が観測するのと同じ幾何学的条件、同程度の波長分解能スペクトルを入手することに成功しました。IASI 気球の初飛行は 2001 年、スウェーデンのキルナからで、当時私は H₂O、メタン (CH₄)、一酸化炭素 (CO)、亜酸化窒素 (N₂O) の導出に取り組んでいました。96 年から 2008 年までの 12 年間、LPMAA^{*17} の所長を務めましたが、所長であっても相変わらず気球キャンペーンを楽しみ、赤外半導体レーザを使用した吸収線形の研究など、研究所の実験への関与を続けていました。(次頁へ続く)

^{*8} LPMA (Limb Profile Monitor of the Atmosphere) は太陽遮蔽法^{*9} フーリエ変換型赤外分光計です。

^{*9} 太陽遮蔽法とは、衛星が地球を周回する度に地球大気を通してやってくる太陽光を直接、大気をスライスするように観測する方法です。一方「いぶき」のように地表面で反射された太陽光や地球から発せられる光を、地球に向かって“下向き”で観測する方法を天底観測方式といいます。

^{*10} キットピークは米国アリゾナ州クワンラン山 (2096m) 山頂にある天文台です。

^{*11} NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) は成層圏と対流圏上層の大気組成の観測を行っている観測網で、世界で 70 か所以上の地点で観測が行われています。

^{*12} CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) 「フランス国立宇宙研究センター」は 1961 年設立、フランスの宇宙開発・研究を行う政府機関です。

^{*13} IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) はヨーロッパの一連の気象衛星 MetOp に搭載されているセンサーの一つで、地球の表面から放射される赤外線測定し、対流圏と下部成層圏の湿度と温度分布、そして気候モニタリングや、地球変動、大気化学において重要な

役割を果たしている化学成分のデータを取得しています。初代モデルは MetOp-A 衛星に搭載され、2006 年 10 月に打ち上げられました。

^{*14} IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases) は赤外域のスペクトルを観測するフーリエ分光計で、温室効果ガス観測の目的で ADEOS 衛星に搭載されました。

^{*15} ADEOS/ADEOS-II (ADvanced Earth Observing Satellite) は、地球温暖化、オゾン層破壊、熱帯雨林減少、異常気象等の環境変化に対応した全球規模の観測を行うことなどを目的とした日本の地球観測プラットフォーム技術衛星で、1996/2002 年に打ち上げられました。愛称『みどり』/『みどりII』。

^{*16} ILAS/ILAS-II (Improved Limb Atmospheric Spectrometer) は、極域成層圏のオゾン層を監視・研究するため環境庁が開発した日本初の大気センサーで、上記 ADEOS/ADEOS-II に搭載されました。

^{*17} LPMAA (Laboratoire de Physique Moléculaire pour l'Atmosphère et l'Astrophysique) 「大気および天体物理に関する分子物理学研究所」はパリ第 6 大学と CNRS の合同研究ユニットです。

Y：それらの研究は全て IASI のためだったのですか。

C：IASI のためだけではなく。例えば ILAS は 765 nm の酸素の吸収帯 (O_2 A バンド) を測りますが、LPMA 装置を気球に搭載し、 O_2 A バンドを 1 度だけ観測したことがあります。酸素とその同位体 $^{18}O^{16}O$ の弱い吸収線の位置が HITRAN データベースとずれていることを見つけ、論文で発表しました。その後 GOSAT に関わることになりました。ILAS を通じて横田さんとは面識がありましたが、温室効果ガスに特化している GOSAT に興味がありました。二酸化炭素 (CO_2) の吸収線を利用した温度観測のための熱赤外観測だけでなく、短波長赤外を使用した大気中の CO_2 量の観測にも携わりたいと思いました。そこで CNES からの支援をもとに我々は、「SWIR 気球」と呼べるような構成で、2 度のキャンペーン観測を実施しました。

Y：博士は GOSAT RA PI のお一人でもあります。

C：GOSAT の最初の研究公募が行われた時、一緒に研究をしていた S. パヤンおよび NOVELTIS^{*18} の他のパートナーたちと一緒に手を挙げました。現在私は、MicroCarb^{*19} プロジェクトで、彼等および CNES と密に連携しています。宇宙からの CO_2 計測というミッションを負う新衛星の導出アルゴリズムに対し、科学者の立場から、助言・手助けをしています。GOSAT スペクトルを用いた CO_2 導出にもそのまま使えます。また、GOSAT データを利用して MicroCarb の運用環境を準備しようと考えています。

Y：GOSAT の現状については、どうお考えですか。

C：大成功のミッションだと思います。 CO_2

さらに CH_4 を本格的に観測した最初の衛星ですから。だから現状はと問われれば「極めて良好」と言えるでしょう。また O_2 A バンド高分解能観測がエアロゾルに対して有効であることが初めて示されました。実際、エアマスファクター^{*20}の推定に使われています。我々が導出した CO_2 カラム量が全カラム量である保証はなく、散乱によって大気中の有効光路長が変化する影響を受けます。エアロゾルの影響をモデル化すること、加えて解析に使用する波数範囲の最適な組み合わせの模索など、改良を重ねるべき点はまだあります。GOSAT は高品質データを提供し続けており、バンド 1 の非線型性などの問題点の解決にも成果を挙げています。その他の問題も解決できるでしょう。今後も私は GOSAT のスペクトルをチェックし、品質に時間変化がないかどうか確認したいと思っています。また TANSO-FTS が軌道上校正の際に観測している太陽光スペクトルにも興味があります。

Y：なるほど。では最後に GOSAT あるいは GOSAT-2 の今後に対する期待ないしご提言がありましたら、お聞かせください。

C：GOSAT が長命で、スペクトルとプロダクトの品質が更に改善されることを望みます。特にレベル 1B プロダクトの品質向上を望んでいます。GOSAT-2 で 2.3 μm の CO の吸収帯を併せて観測し、 CO と CO_2 の放出が自然起源か人為起源かの区別に役立てるのは良い考えだと思います。紫外域スペクトルの観測による NO_2 導出の検討については OMI^{*21} で実施されていますし、TOROPOMI^{*22}、Sentinel-5^{*23} などの将来センサが計画されています。それよりは熱赤外データの品質改善に力を注いだ方が、更に興味深い結果が得られるだろうと思います。GOSAT でノイズの大きかった波数 1400 cm^{-1} 以上の観測をやめ、バンドパスフィルターの幅を波数 700 cm^{-1} から 1400 cm^{-1} までの範囲に狭めたとしても、 CO_2 、 O_3 、 CH_4 、 N_2O といった温室効果ガスの測定には十分です。分光分解能は十分ですが、熱赤外スペクトル品質が改善されれば、熱赤外と短波長赤外の両スペクトルを同時に利用した解析が可能になります。

Y：今日は長時間、ありがとうございました。



^{*18} NOVELTIS は、衛星による地球観測などの分野で技術開発を手がけるフランスの個人会社です。

^{*19} MicroCarb はフランスが開発を進めている温室効果ガス観測衛星で、2018 年に打上げが予定されています。

^{*20} エアマスファクター (Air Mass Factor: AMF) とは、大気上端から地表面に垂直に光が到達する時の光路長を 1 として、観測光の光路長を規格化した時の値のことです。エアロゾルは光を散乱させるため、光路長が変化します。

^{*21} OMI (Ozone Monitoring Instrument) は NASA の Aura 衛星に搭載さ

れているオゾン観測センサです。

^{*22} TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) はオランダが開発を進めている画像分光計で、紫外から短波長赤外域のスペクトルから、大気中のオゾンやメタン、二酸化炭素などの量を観測する装置です。2014 年打上予定の Sentinel-5 Precursor に搭載予定です。

^{*23} Sentinel-5: Sentinel は欧州宇宙機関 (ESA) のプロジェクトで、陸・海・大気を複数の衛星で観測することを目的としています。Sentinel-5 は大気成分を観測する衛星で、2020 年に打上げ予定です。

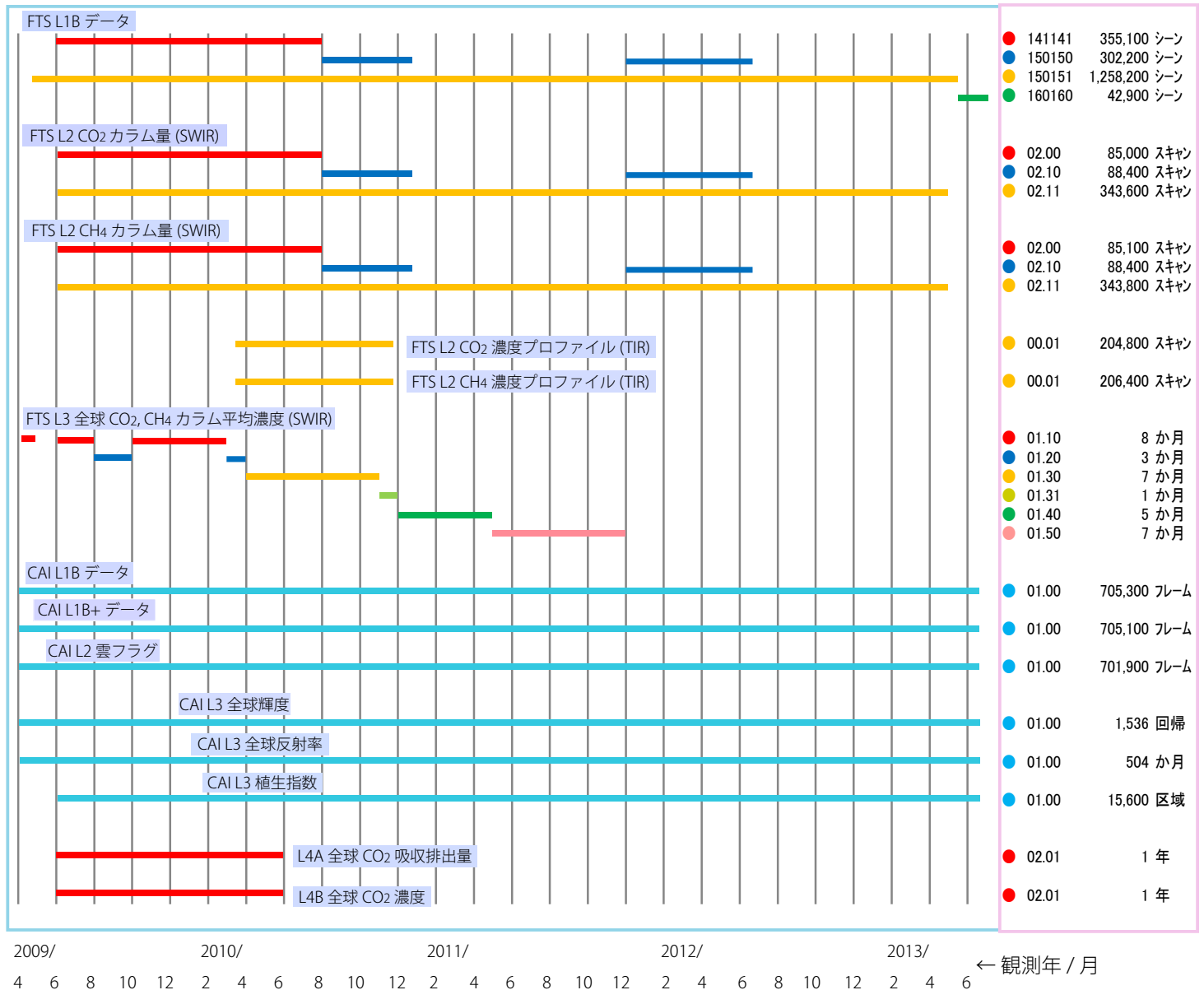
DATA PRODUCTS UPDATE

プロジェクトオフィスからのデータ処理状況アップデート

国環研 GOSAT プロジェクトオフィス 高度技能専門員 河添史絵

公開データの観測時期とバージョン

2013 年 7 月 4 日時点



2013 年 4 月後半から 7 月初旬のデータ処理状況をお知らせします。FTS L1B は、5 月 16 日より V160.160 にバージョンアップされました。詳細は GUIG に掲載されている『TANSO-FTS レベル 1B プロダクト V160.160 改訂について』をご覧ください。CAI L1B、L1B+、L2 雲フラグ、L3 全球反射率、全球輝度、植生指数は V01.00 で、引き続き処理し公開しています。FTS L1B のバージョンアップに伴い、FTS L2 CO₂/CH₄ カラム量 (SWIR) のバージョン名も V02.20 に変更する予定です。

また、FTS SWIR L2 V02.11、および CAI L3 全球輝度 V01.00、FTS 視野画像の全過去分再処理が完了しました。

旧バージョンのデータ FTS L1B：V050.050 ～ V130.130、CAI L3 全球輝度：V00.50 ～ V00.92、CAI L3 全球反射率：V00.91 ～ V00.92 の提供を終了いたしました。

2013 年 7 月 4 日時点での一般ユーザの登録数は、1494 名となっています。

国立環境研究所 GOSAT PROJECT NEWSLETTER ISSUE #28 JULY 2013

2013 年 7 月号 発行日：2013 年 7 月 16 日発行

編集発行：GOSAT プロジェクトオフィス



email: gosat_newsletter@nies.go.jp

website: <http://www.gosat.nies.go.jp/jp/newsletter/top.htm>

住所：〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

独立行政法人 国立環境研究所

地球環境研究センター

GOSAT プロジェクトオフィス

本ニュースレターは

<http://www.gosat.nies.go.jp/jp/newsletter/top.htm> からダウンロードできます。

発行案内メーリングリストへ登録を希望される方は、お名前、メールアドレス、ご希望の言語（日・英）を明記の上、gosat_newsletter@nies.go.jp までご連絡下さい。

発行者の許可なく本ニュースレターの内容等を転載する事を禁じます。

