

日本大気化学会ニュースレター

Newsletter of the Japan Society of Atmospheric Chemistry

No.31 SUMMER 2014

Contents

日本大気化学会からのお知らせ

- ・第20回大気化学討論会のお知らせ
- ・2014年度日本大気化学会奨励賞の候補者募集
- ・第32回日本大気化学会運営委員会報告
- ・日本大気化学会会員集会プログラム
- ・日本地球惑星科学連合2014年大会大気化学セッションの開催報告

会員からのお知らせ・報告

- ・SPARC General assembly 学会参加報告
- ・化学気候モデルイニシヤティブワークショップ参加報告

最新研究ショートレビュー

- ・大気微量成分濃度から見る対流圏・成層圏物質輸送過程(稲飯洋一)

- ・インバージョン解析によるCO₂フラックス推定(丹羽洋介)

海外研究通信

- ・ローマでの火星大気研究(青木翔平)



日本地球惑星科学連合2014年大会「大気化学」セッション会場の様子。

日本大気化学会からのお知らせ

第20回大気化学討論会のお知らせ

畠山 史郎 (東京農工大学)

第20回大気化学討論会を東京都府中市にて開催いたします。今年で20回の節目を迎え、また『日本大気化学会』が発足して最初の討論会となります。本討論会は下部対流圏から成層圏にかけての大気化学関連分野の研究者が一堂に会し最新の研究成果の発表と意見交換、今後の研究計画、海外の研究動向に関する情報交換などを目的としております。発表形式はショート口頭(発表時間15分)・ロング口頭(発表時間25分)・ポスター発表とします。討論会に関する詳細については、随時ホームページ(<http://www.tuat.ac.jp/~atmchem/>)に掲載するとともに、大気化学研究会のメーリングリストにてご連絡いたします。

主催: 日本大気化学会、東京農工大学、名古屋大学太陽地球環境研究所

日程: 2014年10月27日(月)~29日(水)

場所: 府中グリーンプラザ (<http://www.fuchu-cpf.or.jp/green/>)

懇親会: 2014年10月28日(火)

ホテルコンチネンタル (<http://www.hotel-continental.co.jp/>)

宿泊: 各自ご予約ください(幹旋はいたしません)

申し込みなどの締め切り日

発表申込: 2014年9月13日(土)

発表予稿投稿: 2014年9月20日(土)

事前参加登録: 2014年10月18日(土)

※発表申込および発表予稿締め切り期日を過ぎた申込みに関しては、迅速かつ円滑なプログラム作成のため一切受け付けません。皆様のご協力をお願い申し上げます。

※参加登録は当日も受け付けますが、円滑な討論会準備のため皆様の事前登録へのご協力をお願い申し上げます。

発表申込: (1)講演題目、(2)申込者氏名と連絡先(TEL、FAX、E-mail)、(3)発表形式の希望(口頭ロング、口頭ショート、ポスター、いずれも可から選択)、(4)懇親会参加希望の有無、を記載の上、参加登録専用メールアドレス(atmchem2014@gmail.com)にお申し込みください。要旨の体裁等に関する詳しい情報は、ホームページ(<http://www.tuat.ac.jp/~atmchem/>)をご覧ください。

問合せ先: 〒183-8538 東京都府中市晴見町3-8-1

東京農工大学大学院農学研究院物質循環環境科学専攻 無機地球化学研究室

第20回大気化学討論会事務局

E-mail: atmchem2014@gmail.com

実行委員会:

畠山史郎(委員長)、中嶋吉弘(事務局長)、加藤 俊吾(首都大学)、竹川暢之(首都大学)、笠井康子(NICT)

プログラム委員:

金谷有剛(JAMSTEC)、高橋けんし(京大生存圏研)、谷本浩志(国立環境研)、澤庸介(気象研)、竹川暢之(首都大学)

2014 年度日本大気化学会奨励賞の候補者募集

日本大気化学会では下記の通り2014年度奨励賞(大気化学研究会から通算して第10回)の募集を行います。皆様からの推薦(自薦、他薦を問いません)をお願い致します。日本大気化学会事務局までメール(taikiken@stelab.nagoya-u.ac.jp)または郵便でお送り願います。

募集要項

1. 選考対象は大気化学の分野で優れた研究を行った本会会員(学生会員を含む)で、2014年4月1日現在で37歳以下の者。
2. 推薦資料は日本大気化学会事務局宛に提出。
3. 推薦資料は次の3つの項目を含んだもので、A4で1ページ程度。

- (1) 略歴(年齢や推薦対象研究の実施との対応が分かる程度の学歴・職歴など)
- (2) 推薦対象とする研究課題名(推薦対象に特に関連する成果(論文、発表等)の情報を含む)
- (3) 推薦理由を記した推薦書

4. 推薦資料提出の締め切りは 2014年7月31日。

注)・選考の段階で、選考委員会から追加資料の提出を求められた場合には、その指示に従って下さい。

・なお提出された資料は返却致しません。

・資料は奨励賞の選考以外には使用致しません。

受賞者は2014年10月の大気化学討論会での総会において表彰する予定です。

第32回日本大気化学会運営委員会報告

日時: 2014年4月30日(水)18:30-20:30

場所: 貸し会議室「AP 横浜駅西口」(横浜市西区北幸2丁目6番1号 横浜 APビル 4F) 部屋番号F室

出席者: 今村隆史、笠井康子、金谷有剛、澤 庸介、須藤健悟、高橋けんし、村山昌平、竹川暢之、松見豊、事務局(松見豊)、中山智喜

欠席者: 梶井克純、河村公隆、谷本浩志、齊藤拓也

須藤委員より報告があった。

・「若手研究レビュー」を「最新研究レビュー」に衣替えする予定。

・海外研究通信も続ける。情報があれば寄せてほしい。

5) 大気環境衛星検討委員会より

笠井委員より、uvSCOPE 中型ミッションおよび APOLLO について報告があった。

議事内容

1) 会計・会員報告

松見委員より経理について報告がなされた。平成25年度はニュースレター、運営委員会・会員総会の会場費などの支出があった。収入については、会員の会費である。会員数については、正会員が170-180名程度でこの数年ほとんど一定であることが報告された。

2) 連合大会での大気化学セッションについて

竹川委員より報告があった。

・会場の部屋、前年度の動員実績にもとづいて決める。たまたま前年少ないと部屋が小さくなってしまふ。最初の案は狭い部屋になっていて申し入れた。

・SPARC は最初日程が離れていたが調整した。関連セッションと一緒にセッションにして大きな部屋を確保して、その中で分ける方が部屋は確保しやすい。大気科学セッションとしてレギュラーセッションにするなどを考える。

・今回 ProgEarthPlanetSci に数件推薦することになっている。無料で投稿可能。

3) 2014年第30回大気化学討論会について

担当である東京農工大の中嶋吉弘会員より予定の概要が報告された。

日程:2014年10月27日(月)-29日(水) 府中グリーンプラザにて開催。

4) ニュースレター発行について

審議事項:

1) 研究会を学会にしたことに関する事項について

・会計監事に大阪府大の坂東博会員が選ばれたことの報告があった。

・規約については、総則の第3条(1)に「大気化学討論会をはじめとする」を入れる

・英語略称 検討中 JACS や JSAC は避ける。秋の運営委員会までに決める。

2) 学会の会費について

国際会議への対応などで、値上げを時間を掛けて検討する。学生会員の会費については当面無料を維持する。

3) 日本大気化学会 奨励賞について

大気化学研究会からの通算の第10回奨励賞募集とする。奨励賞の募集要項が決められた。副賞のメダルについては大気化学研究会の時の残りをそのまま使うことにする。

4) 大気化学討論会での学生賞について

ポスター・講演を含めて、「学生発表賞(仮)」とすることにする。

5) 次回の役員選挙について

立候補制はとらずに前回と同様に単純な投票制とする。

6) 国際会議の誘致や IGAC への支援

引き続き検討事項とする。

日本大気化学会会員集会プログラム

日時：2014年5月1日(木) 12:45-13:30 会場：大気化学セッションの部屋 511号室

- 1) 2013年度奨励賞受賞者記念講演会 梅沢拓会員(マックスプランク化学研究所)
- 2) 今村会長より挨拶

- 3) 会員報告、会計報告(事務局)、会計幹事の選出について
- 4) 連合大会の大気化学セッションについて
- 5) 大気化学討論会について
- 6) 大気環境衛星検討委員会より
- 7) 「日本大気化学会」英語略称について

日本地球惑星科学連合 2014年大会 大気化学セッションの開催報告



大気化学セッションコンピナー:

竹川 暢之(代表)、澤 庸介、金谷 有剛、高橋 けんし、谷本 浩志

日本地球惑星科学連合 2014年大会が横浜市パシフィコ横浜において4月28日(月)から5月2日(金)にかけて行われました。大気化学セッションは、「大気水圏科学」セクションの1セッションとして、4月30日(水)と5月1日(木)の2日間にわたり開催されました。本大会は、日本大気化学会として初めて参加する記念すべき大会となりました。

2014年大会は、開催時期が例年より一ヶ月程度早まり、会場も幕張メッセからパシフィコ横浜に変更になりました。また、欧州地球科学連合大会の日程とも重なったため、発表数の減少が懸念されましたが、大気化学セッションには例年と同程度の発表申し込みがありました。口頭発表は初日の夕方と2日目の午前・午後にはわたり実施され、その後ポスターの3分概要紹介、コアタイム発表が実施されました。発表数は計60件(口頭発表29件、ポスター発表31件)で、研究対象もエアロゾル、反応性気体、温室効果気体など多岐にわたり、フィールド観測、リモートセンシング、室内実験などの

種々の研究方法を用いた最新の研究成果が発表されました。口頭発表には多くの方々にご参加いただき、活発な質疑応答が展開されました。ポスター会場においてもアイスブレイカー会場から持ち込まれたドリンクを片手に活発な議論・交流が行われました。なお、ポスター概要発表では急遽事務局PCを用いた発表としたため発表者の方々にはご不便をおかけしましたこととお詫び申し上げます。

大気化学研究会/日本大気化学会が連合大会に参加して今回で8回目になりますが、大気化学セッションは他と比較しても規模が大きめのセッションであり、当該分野が連合大会の中で定着してきたことの現れであると実感しております。最後になりますが、大気化学セッションにご参加頂いた多くの皆様、特に座長をお引き受け頂いた方には、この場をお借りして改めてお礼申し上げます。来年は再び幕張メッセに会場を戻しての開催となりますが、多数の皆様のご参加をお待ち申し上げております。

会員からのお知らせ・報告

SPARC General assembly 学会参加報告

門脇 正尚(国立環境研究所 地球環境研究センター)

2014年1月12日から17日にかけて SPARC (Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate) General assembly がニュージーランド南島のクイーンズタウンで開催された。会場はクイーンズタウン市内のホテル会議室である。SPARC 総会は1996年のメルボルン(オーストラリア)にはじまり、以降はマル・デル・プラタ(アルゼンチン、2000年)、ビクトリア(カナダ、2004年)、ボローニャ(イタリア、2008年)と4年おきに開催されて

いる。前回のボローニャから6年ぶりの開催となった今回の SPARC 総会には招待講演者を含む口頭54件とポスター316件の合計370件の発表があった。『成層圏と対流圏の諸過程と気候に対するその役割』について観測、数値シミュレーション、理論の各立場から侃々諤々と議論をかわす SPARC 総会ではあるが、今回の会議は成層圏や対流圏の現象だけでなく成層圏より高高度の大気や惑星大気といった大気全般を広く扱っていた。セッションは1日目

『Emerging and outstanding research of relevance to SPARC』、2 日目が『Atmospheric chemistry, aerosols and climate』、3 日目が『Stratosphere-troposphere-ocean dynamics and predictability of regional climate』、4 日目が『Coupling to the mesosphere and upper atmosphere』、5 日目が『Observational datasets, reanalysis, and attribution studies』、そして最終日が『Tropical processes』という構成であった。旅程の都合で筆者は 2 日目からの参加となった。

筆者の興味は成層圏オゾンとそれに関連した力学や気候への応答である。2 日目の口頭発表セッション(Atmospheric chemistry, aerosols and climate)では北極オゾンホールについて将来的な増加の傾向はみられないが個々のオゾンホールのイベントが発生する可能性はあるとした Langematz(ベルリン自由大学)による発表があった。彼らグループは CCMVal(Chemistry Climate Model Validation Activity)が公開する気候実験シナリオをもとに各年代の温室効果ガス濃度とオゾン破壊物質濃度を数値モデルにそれぞれ境界条件として与えた定常実験を行った。注視すべきはその積分時間である。冒頭に書いたように 6 年ぶりの開催となった第 5 回 SPARC 総会。前回大会からの計算機資源の進捗は著しく、短期間のうちに化学気候モデルを延べ 1000 年以上計算出来るまでになった。こうした圧倒的なマシンパワーを利用することで得られる大気化学のさらなる理解を助けるであろう。一方で、そうして得られた膨大な計算結果を泥臭く処理するのは最終的には人である。これは

以前から言われていたことではあるが、計算機の進捗に対して人的資源の拡充が追いついていないとポスターセッション中に話題とする機会を得た。未だ見ぬ宝の山が各国研究機関のデータストレージに眠っているかもしれない。

ポスター発表は口頭発表が行われた大会議室の隣で開催された。その日のテーマに沿って午前と午後とを合わせて 3 時間ほどのポスターセッションが 2 日目から最終日まで設けられていた。一日あたり 60 件以上のポスター発表があったがそれら全てのポスターを見て回る時間は十分にあったと思われる。口頭発表とは異なり学生の発表も多くみられた。

ところで 3 日目に興味深いランチタイムセッションが設けられた。このセッションでは学生や若手研究者向けに論文の執筆やプレゼンテーション、時間の使い方から果てにはメールや電話の応対などこれら『諸過程』について効率的に行うためのレクチャーがなされた。論文投稿の際の査読者からの質疑の返答の仕方など実に印象深いセッションであった。日本国内にいてこうした技術を体系的に学ぶ機会はそう多くないと思われる。筆者が以前に所属していた海外の研究所では科学者として必要な技術を学ぶためのセミナーが頻繁に行われていた。こうした技術を見様見真似で学んでいくことは非常に大切であろう。一方で大学院教育の一環として科学者に必要なリテラシー(科学者倫理、成果・情報の受信発信手段など)を体系的に学ぶ機会が増えるべきだと強く感じた。

化学気候モデルイニシャティブ(CCMi)ワークショップ参加報告

永島 達也 (国立環境研究所)

IGAC/SPARC 化学気候モデルイニシャティブ(Chemistry Climate Model Initiative: CCMi)の第 2 回ワークショップ(WS)が、2014 年 5 月 20 日-22 日に英国・ランカスター大学にて開催された。CCMi は、CCMVal の流れをくみ、成層圏・対流圏の化学気候モデルに関するプロセス毎の検証を進め、関連するモデル研究の調整を図るべく、IGAC と SPARC の合同プロジェクトとして 2012 年にスタートした。CCMi における主要な活動として、多数のモデル(現状 23 モデル)による共通設定の下での相互比較実験が進められており、今回の WS ではその進捗が報告された。相互比較実験は過去再現(1960-2010)と将来見通し(1960-2100)で構成されており、既に完了した実験を用いた過去再現結果と長期観測データとの比較検証、化学と気候の相互作用が相互に与える影響の評価などの解析結果が紹介された。また、モデルの検証に有用な観測(人工衛星、主に熱帯での航空機観測)の紹介や、個別プロセス(植物起源エアロゾル放出、オゾン乾性沈着等)に着目したモデル検証の結果なども発表された。WS の最終日には、5 つのグループに分かれて CCMi の今後の進め方に関する議論が行われ、CCMi として検証を行う物理・化学プロセスのアイデアが多数出された。各グループ共通して取り上げられたものとして、対流圏 OH 濃度の支配要因やメタンの寿命に対する影響、雷 NOx に関するモデル間比較および航空機・衛星観測との比較、STE(stratosphere-troposphere exchange)に関連して VLSL(very short-lived substances)のモデル値と観測との比較や理想的トレーサーを用いた STE の評価、などが提起された。また、今後は対流圏エアロゾルモデルのコミュニティー(AeroCom)との協働を深めつつ、IPCC の次期報告書に向けた取り組み(CMIP6)に対応して行く方針が提案された。

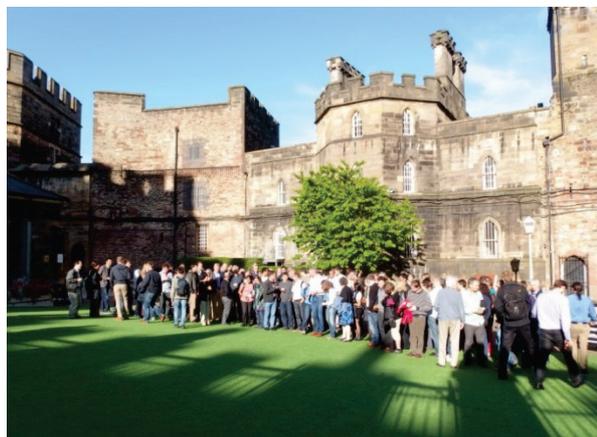


写真:ランカスター城内での集合写真(に向けた移動の途中)

ランカスターは有名な湖水地方にほど近く、小ぢんまりとはしているが歴史を感じさせる街である。WS ディナーの前には、つい最近まで監獄として使われていたというランカスター城でウェルカムドリンクが振る舞われ、参加者同士の交流も活発に行われた。また、会場のランカスター大学には本 NL の編集委員である斎藤拓也さんが丁度海外研修(トマト栽培)に来ており、河畔のバブでぬるいエールを飲みつつ日英の研究環境の違いを聞いたことも大きな収穫であった。

大気微量成分濃度から見る対流圏・成層圏物質輸送過程

稲飯 洋一（京都大学 生存圏研究所）

1. 成層圏の水蒸気変動

対流圏において大気は水蒸気を豊富に含有し地理的な差異はあるものの飽和、凝結（雲形成）、降水を頻繁に繰り返す。しかしその上空の成層圏では（極夜ジェット内部を除けば）飽和に達する事なく恒常的に極度な乾燥状態にある。これは成層圏がオゾンにより昇温していることと、成層圏の子午面循環すなわち Brewer-Dobson (B-D) 循環の最上流部で生じる大気脱水により成層圏への水蒸気流入量が制限されていることによる。この脱水過程については後述する。

成層圏における水蒸気の変動は鏡面冷却式水蒸気ゾンデや衛星観測により監視されてきた。北米における 1980 年から継続する観測によると、成層圏水蒸気は不規則な増減を繰り返しつつも増加トレンドを示している [Hurst et al., 2011]。水蒸気は強力な温室効果気体であり、また OH ラジカルの源、極成層圏雲の素となるため、観測されているような成層圏水蒸気変動は地球温暖化の進行 [Solomon et al., 2010] や成層圏大気化学過程に影響を与える。しかしその変動要因は完全には理解されていない [Fueglistaler et al., 2013]。

2. TTL における脱水過程

このような成層圏水蒸気変動を理解する上で重要となるのが、熱帯対流圏境界層 (Tropical Tropopause Layer: TTL) という概念 (概説などについては稲飯ら [2013] 参照) と TTL における脱水過程である。簡単に説明すれば、TTL は対流圏-成層圏間 (平均的には高度 14 km から 18 km 付近) の遷移域あるいは緩衝域であり、TTL 内高度 17 km 付近に存在する気温極小により大気は脱水された後成層圏に流入していく。

TTL における脱水過程について多くの研究がなされてきたが、ここでは我々の研究を紹介する。Inai et al. [2013] では、鏡面冷却式水蒸気ゾンデ観測による match (同一大気塊を時間をおき複数回観測する手法) を用いた解析を行い TTL 内を準水平的に輸送されていく大気塊の脱水量を定量化した。残念ながら TTL 上部においては脱水事例を見出す事ができなかった (つまり成層圏への水蒸気流入量を最終決定している領域での定量化は今後の課題として残された) が、TTL の下部で大気の水平移流に伴って効率的な脱水が生じている事が示された。

また TTL 脱水は氷晶の形成、成長、重力落下を本質とするため、TTL に形成される巻雲の雲物理的特徴の調査も脱水の評価に重要となる。一般に Madden-Julian Oscillation (MJO) などの熱帯大規模擾乱に伴う組織化された深い対流は TTL に氷晶を供給すると考えられるが、Inai et al. [2012] では対流由来の巻雲とは雲物理的特徴が異なる光学的に薄い巻雲 (Subvisible Cirrus: SVC) が大規模擾乱の力学的応答として TTL 領域に現れる温度偏差場に伴って形成されていることを見出した。このことは大規模擾乱の持つ氷晶供給とその昇華による TTL 加水効果に加えて、同じ擾乱が力学場を通して TTL 脱水にも寄与している可能性を示唆している。

以上のような TTL 脱水やそれに伴い形成される SVC に関する知見は、高い精度と鉛直分解能を持つ Soundings of Ozone and

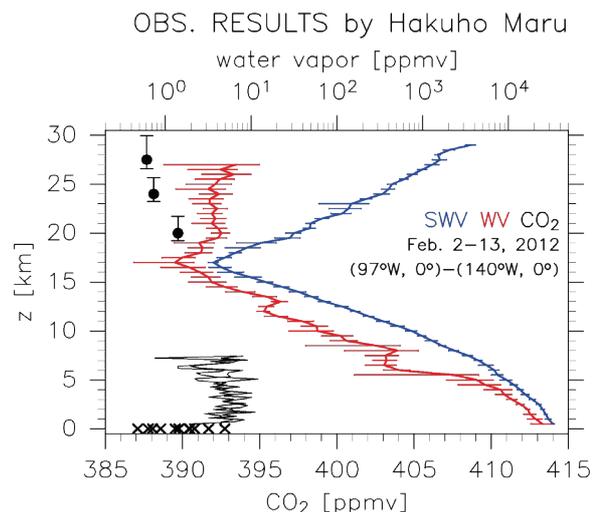


図: 2012 年 2 月に赤道東部太平洋で観測された飽和水蒸気混合比 (青)、水蒸気混合比 (赤)、二酸化炭素混合比 (黒) の鉛直プロファイル。水蒸気は鏡面冷却式水蒸気ゾンデにより、二酸化炭素は、船舶でのフラスコサンプリング (x)、CO₂ ゾンデ (実線)、大気球による成層圏大気採取 (●とバー) により、それぞれ観測された。

Water in the Equatorial Region (SOWER) プロジェクトによる観測から得られたものである。さらに高い分解能を誇る最近の航空機観測 (Airborne Tropical Tropopause Experiment: ATTREX) によると、TTL 内の過飽和層の中の水蒸気プロファイルに細かくシャープな構造が発見され [Jensen et al., 2013]、今後 TTL 雲物理過程の研究が急速に進展すると期待されている。

3. 対流圏-成層圏間物質輸送過程

以上のように水蒸気は TTL における脱水過程により成層圏への輸送が制限された物質である。しかしその制限により水蒸気は熱帯下部成層圏において追跡子としての役割を持つ。TTL で脱水された大気は B-D 循環に伴って赤道域でゆっくりと上昇していくが、その水蒸気濃度には脱水強度の季節変動の痕跡が残される [Mote et al., 1996]。言い換えれば、熱帯下部成層圏では「大気が成層圏に流入した時期」の情報が水蒸気濃度として記録されている。一方、二酸化炭素 (CO₂) や六フッ化硫黄 (SF₆) などは水蒸気と異なり成層圏への流入が制限されないが、地表に主要な排出源 (あるいは吸収源) を持ちながら化学的に安定かつ増加トレンドを持つため、それらの濃度は任意の成層圏大気塊が対流圏と関係を絶つてからの平均時間「成層圏大気の Age」の評価に利用できる [例えば、Engel et al., 2009, Stiller et al. 2012]。

この成層圏大気の Age は B-D 循環強度を反映し、モデルで予想される地球温暖化に伴う B-D 循環の強化 (ただし熱帯成層圏のオゾン減少によりある程度は緩和される) [Lin and Fu, 2013] は、成層圏の「若年化」として確認されるはずであるが、観測結果はそれを示していない [Engel et al., 2009]。私はこの矛盾を解く鍵が B-D

循環的成層圏最上流部 TTL 近傍の大気輸送過程にあると考え、2012年2月に東部太平洋赤道上で実施された「白鳳丸」観測(稲飯ら [2014]参照)データを用いた解析を進めている。この観測では船舶、ゴム気球ゾンデ、大気球による成層圏大気採取により、海上、自由対流圏、成層圏の CO₂ 濃度や、成層圏のオゾン、水蒸気濃度が測定された(図)。これに National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)による地上観測データや Comprehensive Observation Network for Trace Gases by Airliner (CONTRAIL) [Machida et al., 2008]による上部対流圏データを加え、対流圏-成層圏間物質輸送過程を大気微量成分濃度から評価しようと試みている。現在までの解析からは、「白鳳丸」で観測された下部対流圏の CO₂ の空間分布は大気の水平輸送過程で解釈できること、CONTRAIL で観測されている CO₂ 濃度は対流による下層からの鉛直輸送に季節変動の時間スケールに関連していること等が示唆されており、追加解析は現在進行中である。

TTL 近傍の物質輸送過程に関連する将来の観測計画としては、アジアモンスーンに伴う対流圏-成層圏間の混合過程を狙った ATTREX が2014年8月に、インドネシアからの大気球による赤道成層圏大気採取実験が2015年2月に、それぞれ計画されている。これらの革新的な観測や CONTRAIL のような広範囲高密度高精度かつ継続的なデータの蓄積で得られる対流圏-成層圏物質輸送過程の理解の深化は、成層圏水蒸気変動や Age の問題の解明に繋がると期待される。

4. おわりに

私は昨年度から前述のような動機で対流圏から成層圏への大気輸送についての研究を進めている。着想の発端は遡ること「白鳳丸」で観測された CO₂ 濃度(即ち成層圏 Age の情報)と成層圏水蒸気濃度(即ち成層圏流入時期の情報)を鉛直プロファイルとして並べて見た時である(図)。そして多くの方にご協力いただき意気揚々と様々なデータに手を広げたが、まだ消化不良気味であることは私

自身も否めない。アイデアは次々湧いてくるがそれらを形にする自身の能力と勉強の不足を痛感し、自ら始めた研究課題の難しさが着想から2年を経て身にしみてきたが、先の JpGU を機に落とし所が見えてきた気もしている。本稿はバックナンバーに比して異色な書き振りとなったかもしれないが、(研究結果の詳細については学会や論文で発信するので)この業界で奮闘している私自身のレビューとしてお許しいただきたい。

参考文献

Engel et al. (2009), Nat. Geosci., 2, 28-31, doi:10.1038/NGEO388.
 Fueglistaler et al. (2013), J. Geophys. Res., 118, 1052-1074, doi:10.1002/jgrd.50157.
 Hurst et al. (2011), J. Geophys. Res., 116, D02306, doi:10.1029/2010JD015065.
 Inai et al. (2012), Geophys. Res. Lett., 39, L20811, doi:10.1029/2012GL053638.
 Inai et al. (2013), Atmos. Chem. Phys., 13, 8623-8642.
 稲飯ら (2013), 日本気象学会誌『天気』, 60, 11.
 稲飯ら (2014), 宇宙航空研究開発機構研究開発報告、JAXA-RR-13-011.
 Jensen et al. (2013), Proc. Nat. Acad. Sci., 110, 2041-2046, doi: 10.1073/pnas.1217104110.
 Lin and Fu (2013), J. Geophys. Res., 118, 73-84, doi:10.1029/2012JD018813.
 Machida et al. (2008), J. Atmos. Ocean. Tech., 25, 1744-1754, 2008.
 Mote et al. (1996), J. Geophys. Res., 101, D2, 3989-4006.
 Solomon et al. (2010), Science, 327(5970), 1219-1223.
 Stiller et al. (2012), Atmos. Chem. Phys., 12, 3311-3331.

インバージョン解析による CO₂ フラックス推定

丹羽 洋介 (気象研究所 海洋・地球化学研究部)

人間活動(化石燃料消費や土地利用変化など)により大気へ放出される二酸化炭素(CO₂)の量は2002-2011年の間で平均して9.3 Pg C yr⁻¹と見積もられている。このうちおよそ4.3 Pg C yr⁻¹が大気中に蓄積し、残りの2.5 Pg C yr⁻¹、2.6 Pg C yr⁻¹がそれぞれ海洋、陸域へ正味で吸収されていると推定されている[Le Quére et al., 2013]。新興国の急激な経済発展もあり、人間活動による大気への CO₂ 放出量は着実に増加している一方、海洋、陸域-大気間の CO₂ フラックス(吸収または放出)量は年々顕著に変動しており、エルニーニョなどの気候変動と強い相関を持っていることが知られている。しかし、この CO₂ フラックスの変動メカニズムは未だ未解明な部分が多く残されている。

そこでインバージョン解析と呼ばれる大気輸送モデルと観測データを融合した解析手法を用いて、CO₂ フラックス量を推定する試みが行われている。インバージョン解析は、地域別・時間別にフラックス量を定量的に見積もることが出来るため、CO₂ フラックスのメカニズム解明に貢献できると期待されている。この手法は、天気予報で

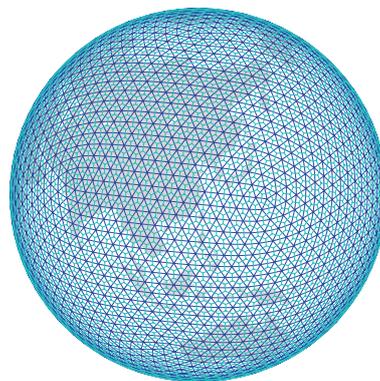


図1: NICAM の準一様格子の例

用いられるデータ同化や衛星観測のトリバーと同じ統計学にもとづいた概念をもっており、CO₂ だけでなく CH₄ や CO など様々な気体の地表面フラックス推定にも用いられている。インバージョン解析ではベイズ推定の理論にもとづいて、フラックス \mathbf{x} の初期推定値 \mathbf{x}^b 、観測値 \mathbf{y} 、 \mathbf{x} からモデルで計算される観測との対応値 \mathbf{Hx} を使って表される評価関数

$$J(\mathbf{x}) = 1/2(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + 1/2(\mathbf{y} - \mathbf{Hx})\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{Hx}) \quad (1)$$

を最小にする \mathbf{x} を求めることでフラックスの最適解を得る。ここで \mathbf{B} は \mathbf{x}^b の誤差共分散行列、 \mathbf{R} はモデル-観測間の誤差共分散行列を表す。また、モデル演算行列 \mathbf{H} は、実際には、大気輸送計算であり、 \mathbf{x} 、 \mathbf{y} は空間だけでなく時間方向にも成分をもつ。この \mathbf{x} の解析解 \mathbf{x}^a とその解析誤差共分散行列 \mathbf{A} はそれぞれ、

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{Hx}^b), \quad (2)$$

$$A = (B^{-1} + H^T R^{-1} H)^{-1} \quad (3)$$

で表される。CO₂ インバージョン解析では、上記(2)(3)の行列計算を直接行うためにフラックスや観測の次元を領域分割、時間平均などで落とした synthesis inversion 法[Enting, 2002]が良く使われている。

インバージョン解析では、モデルはバイアス(系統誤差)を持たないと仮定した上で計算が行われるが、実際にはモデルは様々な要因によりバイアスを持ちうる。しかし、TransCom(CO₂ インバージョンを主な目的とした国際コミュニティ)による輸送モデル比較実験[Gurney et al., 2002]から、フラックス解析値が、輸送モデルのバイアスのみで、顕著に異なることが明らかとなっており、インバージョン解析の精度は輸送モデルのバイアスに強く依存することがわかっていく。そこで筆者らは、出来るだけバイアスの小さい高精度の大気輸送計算を実現するべく、新たに NICAM と呼ばれる大気モデルを物質輸送モデルに応用した[NICAM-TM: Niwa et al., 2011a]。NICAM は雲解像シミュレーションを目的として開発された全球非静力学モデルで[Tomita and Satoh, 2004; Satoh et al., 2008]、正20面体を分割して作る準一様格子(図1)を用いている。NICAMの力学コアには、従来のスペクトル法ではなく有限体積法が用いられているため、数値補正などを用いずにトレーサーの質量を完全に保存することが出来る。そのため、CO₂ などの長寿命気体について、高精度の輸送計算が期待できる。筆者らはこの NICAM-TM を用いて、様々なモデル比較実験に参加し[e.g., Niwa et al., 2011b]、輸送モデルの検証やフラックス推定への影響評価を継続的に行っている。

大気 CO₂ 濃度観測は、高い精度が求められていることなどの理由により、観測地点数は基本的な気象パラメータの観測にくらべると非常に少なく、多くの観測空白域が存在する。これをうけて、国立環境研究所、気象研究所などが共同で民間航空機を使った温室効果ガス観測プロジェクト CONTRAIL[Machida et al., 2008; Matsueda et al., 2008; Sawa et al., 2008]を立ち上げ、2005年の観測開始時より広範囲にわたる上空の CO₂ 濃度の観測を行い、観測網の拡大に貢献している。実際 CONTRAIL は、今まで観測空白域であった東南アジアや南アジアといった地域をカバーしており、著者らは CONTRAIL データを従来の地上観測データに加えてインバージョン解析を行うことで、これらの地域のフラックス推定誤差(式(3)より導出)を 30-60% 減少させることに成功した。また、このインバージョン解析により、初期推定値よりも大きな季節振幅を持つフラックス変動パターンが推定されるなど、陸域 CO₂ フラックスの気候

変化に対する感度が従来の知見よりも高い可能性が見出された[Niwa et al., 2012](図2)。

CONTRAIL による観測は従来の航空機観測に比べて高頻度であり、得られる観測データ数は膨大である。先述の著者らのインバージョン解析では synthesis inversion 法を用いて、観測データを月毎に平均化し、フラックス領域数も 42 と次元を落として計算している。しかしこれでは、観測データのもつ情報が最大限に活かされておらず、改善の余地が残されている。CONTRAIL 以外にも、レーザー分光法を用いた連続観測装置の普及や日本の GOSAT に代表される衛星観測の登場により、近年、大気 CO₂ 濃度の観測データ数は加速度的に増えてきている。このため、著者らは 4 次元変分法を応用したインバージョン解析システムを新たに構築し、情報を最大限に抽出する試みも行っている[丹羽ら, 2014]。今後は、この 4 次元変分法やアンサンブル・カルマンフィルターといった気象予報の分野で最先端のデータ同化手法が CO₂ インバージョン解析においても主流となってくると見られており、これらの手法から得られる高時空間分解能の CO₂ フラックス解析値によって、よりプロセスに近いところで、フラックスメカニズムの解明に貢献出来るかと期待されている。

参考文献

Le Quéré et al. (2013), Earth Syst. Sci. Data, 5, 165-185.
 Enting (2002), Inverse Problems in Atmospheric Constituent Transport, 392 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
 Gurney et al. (2002), Nature, 415, 626-630.
 Niwa et al. (2011a), J. Meteorol. Soc. Japan, 89, 255-268.
 Niwa et al. (2011b), Atmos. Chem. Phys., 11, 13,359-13,375.
 Niwa et al. (2012), J. Geophys. Res., 117, D11303, doi:10.1029/2012JD017474.
 丹羽ら(2014), 2014 年気象学会春季大会予稿集, P205.
 Tomita and Satoh (2004), Fluid Dyn. Res., 34, 357-400.
 Satoh et al. (2008), J. Comput. Phys., 227, 3486-3514.
 Machida et al. (2008), J. Atmos. Oceanic Technol., 25, 1744-1754.
 Matsueda et al. (2008), Pap. Meteorol. Geophys., 59, 1-17.
 Sawa et al. (2008), J. Geophys. Res., 117, D05305, doi:10.1029/2011JD016933.

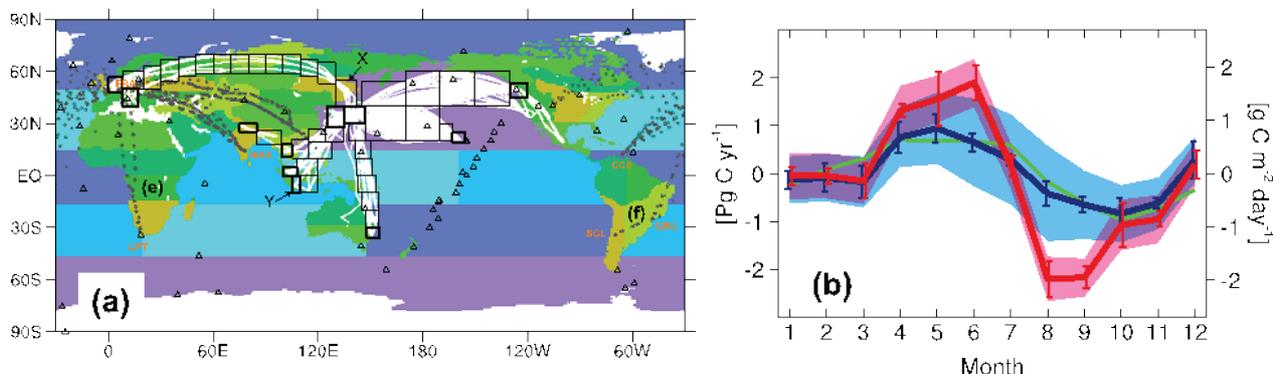


図2:(a)CONTRAIL を使ったインバージョン解析における推定フラックス領域と CONTRAIL 観測(白)、地上観測(△)の分布。(b)推定された南アジアの CO₂ フラックス変動。赤が CONTRAIL と地上データを用いた場合、青が地上データのみを用いた場合のインバージョン解析結果。それぞれの陰影は解析誤差の幅を示す。緑線は初期推定値。

ローマでの火星大気研究

青木 翔平 (イタリア国立宇宙物理学研究所 IAPS-INAF)

私は、2013 年度の一年間、ローマにあるイタリア国立宇宙物理学研究所(Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Istituto Nazionale di Astrofisica、通称 IAPS-INAF)に滞在して火星大気の研究を行い、博士論文をまとめました[青木、2014]。2014 年度も引き続き、同研究所でポスドクとして研究を行う予定です。

探査機を使った火星の研究に興味を持っていた私は、東北大学の理学研究科地球物理学専攻・惑星大気物理学研究室の門を叩きました。日本の惑星探査ミッションは、残念ながら、現在までのところ成功を収めておりませんので、日本独自の観測データというのは存在しません。そこで、指導教官である笠羽康正教授の助言の元、ESA のデータベース(Panetary Science Archive(PSA))で公開されていた、欧州火星探査機 Mars Express/Planetary Fourier Spectrometer(PFS)の観測データを使って研究を始める事になりました。研究を進めていくうちに、データ校正の詳細を知る必要があり、PI チームである IAPS-INAF にコンタクトをとり、会いに行く事になりました。イタリア人の気質なのか、当時修士課程一年生で右も左もわからなかった私を、非常に温かく迎えて頂きました。それ以来、共同研究をスタートし、現在に至ります。

火星大気は、約 96% が二酸化炭素であり非常に酸化された大気です。その酸化された大気の中で、PFS は $3\mu\text{m}$ 帯の Q-branch を使って、還元された大気成分である CH_4 のシグナルを検出しました[Formisano et al., 2004]。それは、火星での地殻活動や生命活動を示唆するものであり、大きな議論を引き起こしています。現在、PFS の現 PI である Marco Giuranna 博士と共に、 CH_4 の起源解明に向けて詳細な時間・空間変動の研究を進めています。また、これまでの観測から、 CH_4 の火星大気中での寿命は数ヶ月から数日であることが示唆されているのですが[Mumma et al., 2009]、大気化学モデルによる計算は、 CH_4 の寿命は数百年オーダーであると指摘しています[Lefèvre and Forget, 2009]。この齟齬の解明のため、私は火星大気中の酸化成分の指標となる H_2O_2 の量を PFS データから調べました。これは、衛星データを使った初めての試みです。衛星データから求めた平均的な H_2O_2 量を元に、 CH_4 の寿命を再評価したところ、少なくとも数十年という結果になり、 CH_4 の観測結果を説明するためには大気中の酸化消失以外の強力なプロセスが必要である事を裏付けました[Aoki et al., submitted]。今後、さらなる調査が必要です。2016 年には、 CH_4 をはじめとするトレースガスの詳細な観測を主目的とした火星探査機トレースガスオービター(欧州・ロシアの共同ミッション)が打ち上がる予定で、新しい知見が得られる事が期待されています。私の所属する IAPS-INAF も主要測器の Co-I になっており、観測データを心待ちにしております。

イタリアの首都ローマは、常に観光客で溢れていますが、散歩をすれば、世界遺産の遺跡が立ち並び、町並みを楽しむ事が出来ま

す。家賃は比較的高いため、学生はルームシェアすることが一般的です。私も研究所の近くのアパートを学生 3 人でシェアしています。昼には研究所の食堂で毎日、違った味の pasta を楽しむ事が出来ます(質は保証されていませんが)。通勤にはバスを使いますが、無断でバスが来ないことが度々あり、時刻通りの日本の公共サービスを恋しく思う事があります。

僕が働いている IAPS-INAF は、日本でいうところの宇宙科学研究所(JAXA-ISAS)にあたり、イタリアの天文/惑星科学研究の本丸です。惑星探査ミッションも多数抱え、惑星の研究には非常に良い環境です。イタリアでの研究生活を一言で表すのならば、「自由」、でしょうか。ラテン風土なのか、みんな他人の顔色を伺うことなく、ズバズバと意見を言います。かの有名な天文学者、ガリレオ・ガリレイを育んだ自由な風土で惑星の研究に没頭したいと思います。

参考文献

- 青木(2014)、東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻 博士論文。
Aoki, S., et al. (submitted), Icarus.
Formisano, V., et al. (2004), Science, 306,1758–1761.
Mumma, M., et al. (2009), Science, 323, 1041–1045.
Lefèvre, F., and Forget. F. (2009), Nature, 460, 720–723.



写真: 筆者。火星探査機 MarsExpress の到達 10 周年記念のサイエンスワーキンググループ会議にて(ESOC,ドイツ・ダムシュタット)。10 周年達成に貢献した賞状と共に。

発行: 日本大気化学会ニュースレター編集委員会 (須藤健悟、齊藤拓也、笠井康子)
連絡先: 〒464-8601 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学太陽地球環境研究所 松見研究室 青木 日本大気化学会事務局
電話: 052-747-6414, FAX: 052-789-5787, 電子メール: taikiken@stelab.nagoya-u.ac.jp
ホームページ: <http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/div1/taikiken/>

■ニュースレターへの記事掲載のご要望がございましたら、お近くの日本大気化学会運営委員または事務局へご連絡ください■