

地球環境研究センターニュース

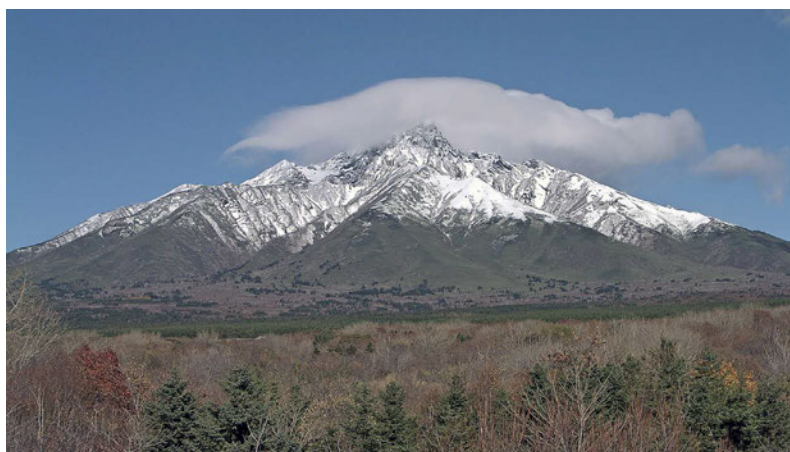
独立行政法人 国立環境研究所

Center for Global Environmental Research

Vol. 24 No.

8

2013年(平成25年)11月号(通巻第276号)



【日本最北端の温暖化影響モニタリングサイト 利尻岳の雪化粧 10月28日撮影】

Contents

- 成層圏からの気候・環境研究
ーオゾン層変動研究プロジェクトの紹介ー 2
- 陸域生態系の CH₄ 収支の解明に向けて
ーアラスカ CH₄ ワークショップに参加してー 5
- 長期観測を支える主人公ー測器と観測法の紹介ー No.7
○なぜ鏡は動くのか？フーリエ変換赤外分光計 (FTIR) - 測定原理 8
- 「自転車 de 発電」、つくばのショッピングモールで大活躍！
(進化を遂げた CGER 発自転車発電システム) 12
- 観測現場発、季節のたより(1)
○カメラがとらえた北アルプスの初冠雪 14
- 最近の研究成果 15
- アクセスランキング 17



成層圏からの気候・環境研究 ーオゾン層変動研究プロジェクトの紹介ー

地球環境研究センター気候モデリング・解析研究室 主任研究員 秋吉 英治

地球環境研究センターでは、平成23年度より、「オゾン層変動研究プロジェクト」というセンター内プロジェクトを立ち上げ、オゾン層の変動とその気候への影響について研究を行っています。メンバーは職員3人と契約職員（特別研究員、高度技能専門員など）数名という小さなグループではありますが、対象としている研究は広範囲にわたっています。ここではまず、オゾン層についての基本的な性質を述べた上で、本プロジェクトの目的や研究内容などについてご紹介します。

1. オゾン層と成層圏の気温

ご存知のように、オゾン層と呼ばれる大気中のオゾン濃度の高い部分は高度10kmから上の成層圏にあり、全大気中のオゾン量の約90%がここに存在します（残りは10km以下の対流圏に存在します）。オゾン層の重要な役割として、地表に到達する有害紫外線を吸収することが挙げられます。オゾン層で吸収された紫外線のエネルギーは大気を暖めることに使われます。成層圏では、大気が非常に薄いので（地表の1/10～1/1000の密度）、成層圏の気温は、オゾンによる太陽紫外線・可視光の吸収による加熱効果と、主に二酸化炭素からの赤外線放出による冷却効果との間でのその場の釣り合いでほぼ決まります（対流圏とは異なり、上層からやってくる赤外線は非常に小さい）。従って、オゾンがなくなると成層圏の気温は低下します。オゾン層が成層圏の気温を決めています。

2. オゾン層変動と気候

私たちが活動している地表近くの環境の変化はオゾン層に影響を及ぼします。例えば、地表からのフロン放出によってオゾン層は影響を受けます。成層圏のオゾンの量が変化することによって成層圏の気温が変化することは上に述べたとおり

ですが、それでは、成層圏から地表へはどのような影響をもつのでしょうか？ 地球物理学で最も厳密な理論の一つとして、大気潮汐理論というのがあります。これは、オゾン層や水蒸気による大気加熱の昼・夜の変化によって、地表気圧が1日あるいは半日周期で変化することを解き明かした理論です。この理論のオゾン層変動と気候に係る重要な部分は、はるか雲の上のオゾン層の変動が地表まで伝わるしくみを示したところです。従って成層圏のオゾン量の変化はなんらかの形で地表に影響を及ぼしています。ただ、地表近くへの影響は量的に大きなものではなく、普段はあまり目立たないもの、しかしながら、何かの折にはその影響がかなりはっきり現れる可能性のある類いのもの、そのような感触をこれまでの研究から私はもっています。

3. オゾン層破壊問題と本プロジェクトの目的

このようなオゾン層の性質を理解した上で、オゾン層変動研究プロジェクトの目的について述べたいと思います。1990年代後半のフロンやハロンの大気中への大量放出によってオゾンホールや中緯度でのオゾン破壊が起こってしまっていることは周知の事実です。そして、それが地表に到達する紫外線を増加させていることも場所によっては明らかにされています。今年も南極のオゾンホールは、最大規模ではありませんがこれまでと同じくらいの規模で発生しています。この先フロンやハロンの放出を規制していけばこのオゾン層破壊の状況を脱することは推測できるのですが、今後どのように規制していけばオゾンホールは消滅し、地球全域のオゾン層は近い将来回復するのかどうか、それはいつ頃になるのか、回復はどの場所で早くどの場所で遅いのか、などを知る必要があります。さらに、オゾン層の将来への長期変化には、

フロン・ハロンだけでなく、温室効果ガスの量にも影響することがわかってきました。将来確実に進む温室効果ガス濃度の増加の中でどのような道筋でオゾン層を回復させるかが問われています。その難しさを表す例として、2011年に起こった北極の大規模なオゾン層破壊があります。大気中のフロン・ハロン濃度はそのピークを脱したにもかかわらず、北極でも大規模なオゾン破壊が起こったのです。北極のオゾン破壊のプロセスには気象要素が複雑に関係しており、その予測は困難だとされています。大気中のフロン・ハロン量は最も重要なファクターではありますが、それがすべてではありません。大気中でのオゾンの輸送状態や温室効果ガスの濃度などが複雑に絡んできます。さらに、南極や北極のオゾン層破壊に重要な役割を担っている極成層圏雲についての広範囲かつ長期間にわたるデータも不足しています。このような問題に対処するためには、前節で述べたようなオゾン層の基本的な性質を知った上で、予測モデルを開発し将来の予測を行う一方で、観測データを蓄積し、オゾン層破壊と回復のプロセスの理解を深め、それをオゾン層破壊物質対策に反映させなければなりません。

4. オゾン層将来予測モデルの開発

本プロジェクトでは、オゾン層の破壊やその将来を予測できる化学気候モデルの開発を行っています。これまで世界気象機関／国連環境計画（World Meteorological Organization/United Nations Environmental Programme: WMO/UNEP）オゾンアセスメントレポート 2006, 2010 に貢献してきた東京大学／国立環境研究所（CCSR/NIES）化学気候モデルは、熱帯上部対流圏で6～8度ほど気温が低く、そのため成層圏の水蒸気が実際の量よりも少なくなり、オゾン量が過大になって、成層圏気温が実際よりも少し高くなるという不具合がありました。また、南極のオゾンホールが発達が不十分でした（図1）。このような問題は、成層圏の化学反応を介したオゾン層と気候との関係を研究する上で障害となります。そこで、化学気候モデルのベースとなっている大気の力学や、大気放射・降水などの大気物理過程を計算する部分（大気大循環モデル）

を、旧モデルから気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）の地球温暖化予測にも使われているMIROCモデルに取り替えて、化学気候モデルを再構築しました。このモデルによって、CCSR/NIESモデルで生じていた不具合はほぼ解消されました。また、試行的な長期計算の結果、南極のオゾンホールの発達も観測されたものに近くなりました（図1）。さらにこのモデルでフロン・ハロン等のオゾン層破壊物質と温室効果ガス濃度の最新シナリオを使ったオゾン層の将来予測実験を行い、結果をWMO/UNEPオゾンアセスメントレポート 2014 に提出する予定です。また、その結果を解析し、成層圏や対流圏への気候との関連を解析していく予定です。最近、CFC-11 や CFC-113 の大気中での寿命がこれまで考えられていたよりも長い可能性が指摘されていますが、このような新しい知見に基づいた将来予測実験も行う予定です。

5. 研究内容

本プロジェクトでは、このような化学気候モデルによる数値計算と、地上からの大気微量成分観測、衛星データなどのグローバル観測データの解析等とを組み合わせながら、オゾン層変動の成層

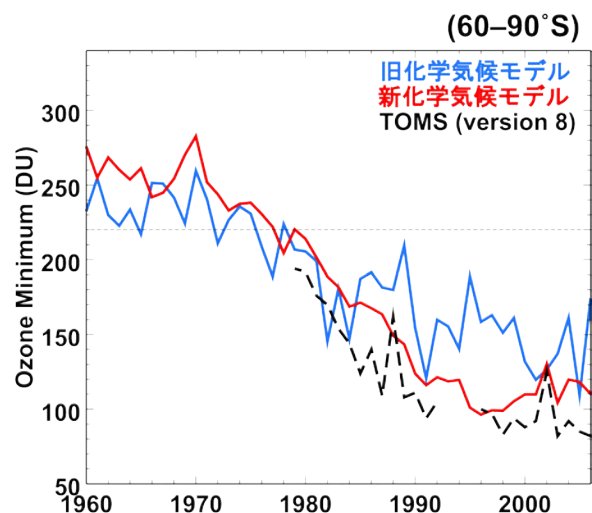


図1 新旧化学気候モデルによって計算された南極域（南緯60～90度）におけるオゾン気柱量の年最低値の経年変化。水色実線：旧モデル（CCSR/NIES化学気候モデル）による計算結果、赤実線：新モデル（MIROC化学気候モデル）、黒破線：Total Ozone Mapping Spectrometer（TOMS）による観測値。横軸は年を表す。



圏および成層圏の上の中間圏やその下の対流圏領域への影響、成層圏～中間圏における高精度オゾン濃度分布データの解析と化学輸送モデルによるその再現、再現された現象に関わる素過程の解明、極成層圏雲の観測・解析とその極域および中緯度域におけるオゾン層変動との関係、紫外線の影響解析などを行っています。高精度オゾン濃度分布データの解析からは、南極の下部成層圏の極渦内の塩化水素 (HCl) 濃度が異常に高くなっていることを確認しました。また、以下の競争的研究資金による研究とも連携しています。

1. 「将来の温暖化条件下でのフロン対策強化によるオゾン層の脆弱性回避に関する研究」環境研究総合推進費・問題対応型研究 (代表)、平成 25 年度～ 27 年度
2. 「南米における大気環境リスク管理システムの開発」(名古屋大学)、国際科学技術共同研究推進事業・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (平成 24 年度～ 29 年度)
3. 「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ衛星観測データの精緻化による中層大気科学の推進」科研費・基盤研究 B (京都大学)、平成 25 年度～ 27 年度
4. 「北極気候再現性検証および北極気候変動・変化メカニズム解析に基づく全球気候モデルの高度化・精緻化」、文部科学省・GRENE 事業 (岡山大学)、平成 23 年度～ 27 年度
5. 「大気環境に関する次世代実況監視及び排出量推定システムの開発」、環境研究総合推進費・問題対応型研究 (東北大学)、平成 21 年度～ 23 年度

その他、理化学研究所と共同で、太陽プロトンイベント等の宇宙空間で起こる現象の成層圏・対流圏大気微量成分濃度への影響を、化学ボックスモデル (0 次元モデル) と化学気候モデルを併用して調べています。太陽プロトンイベントとは、太陽表面でしばしば起こる爆発現象 (太陽フレア) によって、高いエネルギーをもった陽子が地球大気にやって来る現象です。オゾン層変動の地球環境への影響、あるいは地球環境変化のオゾン層変動への影響の研究を幅広く展開していく所存です。

また、2011 年に観測されたような北極域での大規模オゾン破壊が今後頻繁に起こることのないように、フロン・ハロン対策、あるいは温暖化対策立案に対して科学的な根拠を示して貢献できるように研究を進めていきたいと思っています。

【これまでの研究成果】

論文

- Bais A. et al. (2011) Projections of UV radiation in the 21st century: impact of ozone recovery and cloud effects. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7533-7545, doi:10.5194/acp-11-7533-2011.
- Manney G. L. et al. (2011) Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature*, 478(7370), 469-475.
- Yamashita Y. et al. (2011) Dynamical response in the Northern Hemisphere midlatitude and high-latitude winter to the QBO simulated by CCSR/NIES CCM. *J. Geophys. Res.*, 116, D06118, doi:10.1029/2010JD015016.
- Scaife A. A. et al. (2012) Climate change projections and stratosphere-troposphere interaction. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1080-7, 38, 2089-2097.
- Terao Y. et al. (2012) Ozone loss rates in the Arctic winter stratosphere during 1994–2000 derived from POAM II/III and ILAS observations: Implications for relationships among ozone loss, PSC occurrence, and temperature. *J. Geophys. Res.*, 117, D05311, doi:10.1029/2011JD016789.
- Kasai Y. et al. (2013) Validation of stratospheric and mesospheric ozone observed by SMILES from International Space Station. *Atmos. Meas. Tech.*, 6(9), 2311-2338.
- Nakamura T. et al. (2013) A multi-model comparison of stratospheric ozone data assimilation based on an ensemble Kalman filter approach. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 3848–3868, doi:10.1002/jgrd.50338.
- Sakazaki T. et al. (2013) Diurnal ozone variations in the stratosphere revealed in observations from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) onboard the International Space Station (ISS). *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2991-3006, doi:10.1002/jgrd.50220.

Miyauchi M. et al. (2013) The solar exposure time required for vitamin D3 synthesis in the human body estimated by numerical simulation and observation in Japan. J. Nutr. Sci. Vitaminol., 59, 257-263.

Sugita T. et al. (2013) HCl and ClO profiles inside the Antarctic vortex as observed by SMILES in November 2009: comparisons with MLS and ACE-FTS instruments. Atmos. Meas. Tech, in press

報道発表

北極圏上空で史上最大のオゾン破壊が進行中 — ヨーロッパやロシアの一部が影響下に — (平成23年4月6日)

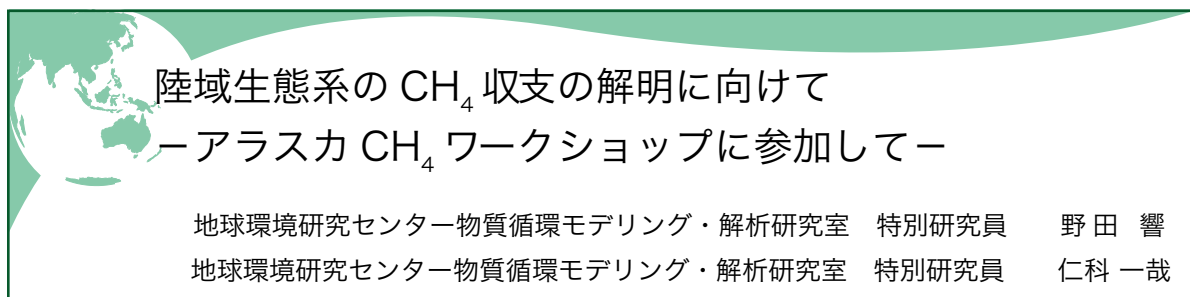
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20110406/20110406.html>

2011年春季北極上空で観測史上最大のオゾンが破壊 — 北極上空のオゾン破壊が観測史上初めて南極オゾンホールに匹敵する規模に — (平成23年10月3日)

<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20111003/20111003.html>

体内で必要とするビタミンD生成に要する日照時間の推定 — 札幌の冬季にはつくばの3倍以上の日光浴が必要 — (平成25年8月29日)

<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2013/20130830/20130830.html>



陸域生態系の CH₄ 収支の解明に向けて
— アラスカ CH₄ ワークショップに参加して —

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 野田 響
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 仁科 一哉

1. ワークショップの概要

2013年9月6日にアラスカ大学フェアバンクス校・国際北極圏研究センター (International Arctic Research Center: IARC) で“CH₄ Workshop”が開催された。このワークショップは、長年にわたりアラスカにおいて生態系研究をすすめてきた原菌芳信博士 (IARC / 大阪府立大学) により、メタン (CH₄) フラックス研究を中心とした生態系研究に関するアラスカ・日本の研究交流を目的として企画されたものである。今回、IARCを含むアメリカから12名、日本から9名の研究者が参加し、国立環境研究所からは野田響と仁科一哉が参加した。

(野田)

2. なぜ CH₄ が重要なのか?

CH₄ ガスは、現在の大气濃度がおおよそ 1.8ppmv と低濃度ではあるが、二酸化炭素 (CO₂) と同様に産業革命以後、急速に大气濃度が増加している温室効果ガスの一つである。強い放射強制力をもつ

ため、産業革命から現在までの温室効果の増加に対して2番目に重要度が高いガスとして知られている。また CH₄ ガスの主な発生源は自然湿地や人間活動 (主として水田などの人工湿地や家畜からの排出、化石燃料採掘からの漏出) が挙げられる。大部分の CH₄ は、CH₄ 生成菌と呼ばれる微生物によって、嫌氣的有機物分解の最終過程で生成され



写真1 CH₄ Workshop が行われた IARC が入っている Syun-ichi Akasofu Building の様子

る。また近年では植生からの CH_4 放出が発見され、その大気濃度への影響が注目されているが、依然としてその量的貢献度は議論の余地が大きい。一方で多くの好気的な生態系（還元的でない生態系、すなわち湿地などの湛水条件が見られない）では、 CH_4 を酸化し、吸収源として働いている。この過程は CH_4 酸化菌と呼ばれる微生物によって行われ、 CH_4 は微生物の炭素源として資化されるか、あるいは CO_2 まで酸化され大気へ放出される。このように生態系に内在する様々なプロセスによって大気-陸域の CH_4 の収支が成り立っている。大気中の CH_4 濃度上昇速度は近年緩やかになっているものの、現在でも増加傾向にあり、将来の温暖化によって生態系からの CH_4 放出は加速すると考えられている。特に永久凍土層をもつ北方生態系は、永久凍土層の融解に伴う生態系の還元化によって、温暖化によって CH_4 の大きな放出源になる可能性が示唆されている。将来の気候変動を高精度で予想するためには、この地域の CH_4 動態の定量的な把握とプロセスの理解は必要不可欠であると考えられている。(仁科)

3. 本ワークショップでの研究発表概要

ワークショップは IARC の所長である Larry Hinzman 氏の挨拶から始まり、続いて本ワークショップの主催者である大阪府立大学の原園芳信氏、アラスカ大学の Katey Walter 氏（彼女の研究成果はアル・ゴアの TED における講演でも紹介されている）のオープニングトークがあった。引き続き Walter 氏の講演があり、気候変動に伴う永久凍土融解は CH_4 放出によって従来考えられてきたよりも強い正のフィードバックを引き起こすことが示唆された。

野田からは “Estimation of canopy photosynthetic productivity by remote sensing (リモートセンシングによる群落光合成の推定) ”、私（仁科）からは “Statistical evaluation of uncertainties in trace gas flux measured by chamber method (チャンバー法によるフラックス観測データの統計的不確実性評価)” という題目で発表を行った。また同じく地球環境研究センター統合利用計画連携研究グループ長の市井和仁からも話題提供があった。

近年まで生態系からのフラックスはチャンバー法と呼ばれる方法によって測定された時間的、空間的解像度の低い、限られた観測しか得られなかった。しかし近年では本研究所で推進されている GOSAT による衛星からの大気 CH_4 濃度観測や、レーザー分光測定の実用化による微気象法などの発展により、急速に高精度のデータの取得が容易になりつつある。また CH_4 の同位体測定によって、収支だけでなく生成・酸化メカニズムの情報を有した観測が可能になりつつある。本ワークショップでは、これらの新しい手法を利用した成果が多く報告された。アラスカ地域で典型的なタイガやツンドラにおける最新の微気象観測手法で得られた CH_4 フラックスデータや、凍土融解に伴って形成されたサーモカルスト湖（アラス）（永久凍土の融解によって形成される還元的な環境）からの CH_4 放出の詳細なメカニズムの知見について、本ワークショップならではの特色ある発表も多く勉強になった。我々のチームでは今後プロセスモデル (VISIT) を用いて、当該地域の CH_4 フラックスデータを利用した予測精度検証を行い、モデルの高精度化を行う予定である。本ワークショップで得られた知見は今後の研究遂行にとって有意義であった。(仁科)

4. 観測サイト視察の概要

本ワークショップのエクスカージョンとして、9月5日にフェアバンクスの南西 20km に位置する Bonanza Creek サイトを視察のため訪れた。サイト責任者である Roger Ruess 博士が案内と説明をくださった。Bonanza Creek 実験林は Tanana River 沿いの氾濫原を中心とした 5,053ha のサイトである。サイト内は河川の氾濫や森林火災といった攪乱が度々起こるほか、北向き斜面には永久凍土が存在する。そのため、地形や過去の経歴により Black spruce 林や White spruce 林、落葉広葉樹林（カンバ、ポプラが優占）の他、湿地や森林火災跡の草原など非常に多様な植生がモザイク状に分布している。特に spruce（トウヒ類）が優占する針葉樹林は樹木の密度が疎で、一般に「タイガ」と呼ばれる。このような景観はアラスカ内陸部を含め亜寒帯では代表的なものである。このサイト



では、植生遷移研究や、野生動物研究、フラックスの観測など多面的な長期にわたる研究により、温暖化や乾燥化がこの地域の生態系に及ぼす影響を明らかにする試みがなされている。1987年より、このサイトは全米で26ある LTER (Long Term Ecological Research Network; 長期生態系観測ネットワーク) サイトのひとつとなっている。エクスカーションでは、実験林全体の概要について説明を受けた後、落葉広葉樹林、White spruce 林を歩き、湿地での CH₄ フラックス観測を見学した。(野田)

謝辞

本ワークショップでは主催者である大阪府立大学 (IARC 兼務) の原藺氏、同じく大阪府大の植山氏、IARC の永野氏、伊川氏には現地での移動から

シンポまで様々な御配慮を頂き、大変お世話になった。この場をもって改めて御礼申し上げたい。



写真2 Bonanza Creek 実験林の全景。左から3人目が本ワークショップを企画した原藺芳信博士。

No.7 なぜ 鏡は動くのか？ フーリエ変換赤外分光計 (FTIR) ー測定原理ー

長期観測を支える主人公

ー測器と観測法の紹介ー

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

1. はじめに

フーリエ変換赤外分光計 (Fourier-Transform Infrared Spectrometer: FTIR) は、光の干渉波形を測定し、それをフーリエ変換 (計算処理の一つ) することにより波長ごとの光の強度分布 (スペクトル) を測定する分光装置のことを言います。フーリエとは、フーリエ変換を導き出したフランスの数学者ジョセフ・フーリエ (Jean Baptiste Joseph Fourier, Baron de, 1768 ~ 1830 年) のことです。FTIR は赤外分光で最も使用されている分光装置の一つです。1970 年代から実験室における化学物質の種類の確認 (物質の同定)、試料中の存在量の測定、物質の構造を明らかにするために、これらの吸収、反射、散乱のスペクトル等の測定に使用され始めました。ほぼ同時期に、大気測定への利用が始まり、現在では大いに活用されています。大気測定の方法としては、大気を採取しその気体を直接測定する方法 (直接測定)、FTIR を地上に設置し、又は衛星、航空機、気球等に搭載して、太陽光、大気や地表面の赤外発光、人工光源等を用いて光が通過する大気を測定する方法 (遠隔計測、リモートセンシング) に大別できます。次節では FTIR の原理について説明したいと思います。

2. フーリエ変換赤外分光計の原理

FTIR とは、光の干渉波形を測定し、計算処理 (フーリエ変換) を行うことにより、スペクトルを測定する装置です。分光装置の中心部分はこの干渉計です。FTIR で最も使用されているマイケルソン干渉計について説明します。マイケルソンとは、マイケルソン干渉計を発明したアメリカの物理学者アルバート・マイケルソン (Albert Abraham

Michelson, 1852 ~ 1931 年) のことです。マイケルソン干渉計のイメージを図 1 に示します。

光源からの光はレンズにより並行光になります。そして半透鏡により光は二つに分割されます。一方は固定鏡、もう一方は移動鏡に進み、それぞれ反射して再び半透鏡により合成され、レンズで集光され検出器で電気信号に変換し、更にデジタル信号に変換されます。このとき固定鏡と移動鏡で反射される光の経路の差を光路差と言います。移動鏡を一定の速度に動かすことにより光路差を変えることができ、光が干渉をおこします。半透鏡から移動鏡の距離は、固定鏡から半透鏡の距離より短いところから数十倍まで移動します。最長移動距離は波長分解能が高いほど長くなります。

図 2 に光源スペクトルと干渉計からの強度信号の関係 (干渉波形) を示します。

図 2(a) のように光源が単色光の場合は、干渉波形は光路差ゼロで最大強度となり、光の波長の半分のところで強度が最も弱くなり、さらに波長の整数倍で最大となります。つまり光路差に対して

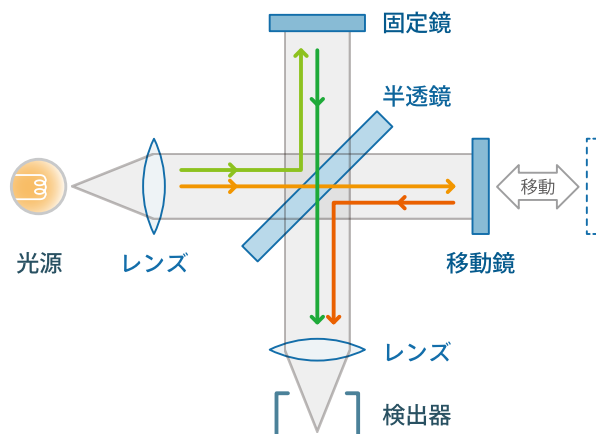


図 1 マイケルソン干渉計 (イメージ)



周期的な三角関数（ \cos 関数）となります。つぎに、図 2(b) のように 2 色の単色光の場合は、干渉波形はそれぞれの周期的な三角関数の重ね合わせとなります。図 2(c) のように白色光の場合は、光路差ゼロで干渉波形が最も強くなり、光路差が大きくなるにつれて波打ちながら減少していきます。このようにして光源の種類によって特徴的な干渉波形が測定できることが分かります。実際の分光測定には図 2(c) のような光源を用いて、マイケルソン干渉計の干渉波形を測定することになります。このとき知りたい気体の吸収スペクトルは干渉計からの信号を計算して解釈しなければなりません。干渉波形を必要なスペクトルに戻す計算処理は、実はフーリエ変換というものになります。簡単に言うと、フーリエ変換とは、この干渉波形の様に複雑多種類の波が重ねられてできた波形から、個々の波の大きさと周期を計算してくれる数学的方法です。この場合、フーリエ変換は、鏡が動いた時間変化の現象を周波数変化の現象に変換してくれることとなります。いわば、魔法の鏡に光を送ると干渉波形を返してくれ、さらにそれに「フーリエ変換！」と呪文を唱えると私たちが理解できる

光の波形が得られる便利な分光技術です。このため、この装置を FTIR（フーリエ変換赤外分光計）と言います。

FTIR は、たくさんの光を分光に使用でき更に全スペクトル波長を同時に取得するためにノイズが小さい干渉波形を測定できます。また、高い波長分解能で広い波長範囲を一度に測定できる利点があります。

ここでは理由を述べませんが、FTIR の波長分解能は、最大光路差に逆比例しています。また、対称的なきれいなスペクトルを取得するためには、光路差に対して光の広がりや歪みが出るだけ起きないように工夫することが必要です。さらに、移動鏡の移動する速度が不規則である場合、干渉波形が乱れるためこれをフーリエ変換すればスペクトルに実際に無い「お化け」のようなスペクトル（ghost spectrum）が現れます。このため、移動鏡を一定の速度で動かすことと、移動鏡の位置を正確に測定することが重要になってきます。そこで FTIR の移動鏡の位置測定にはレーザー光を用いて干渉縞の数を数えています。

図 3 に、国立環境研究所の地球温暖化研究棟 3

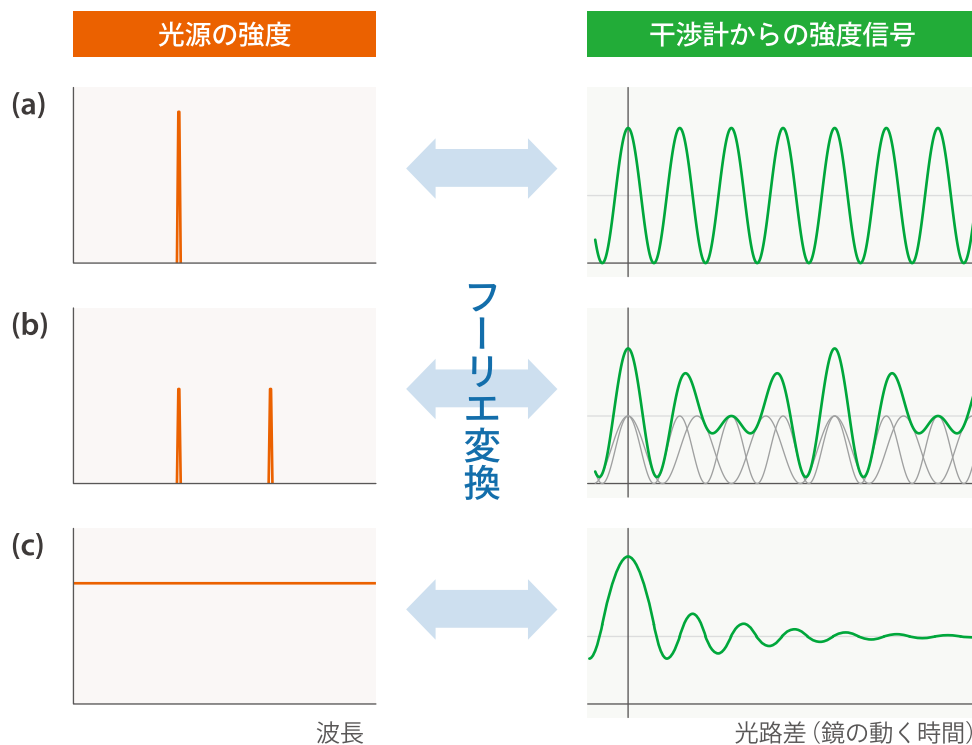


図 2 光源スペクトルと干渉計からの強度信号の関係。(a) 光源スペクトルが単色光の場合、(b) 光源スペクトルが 2 色の単色光の場合、(c) 光源スペクトルが白色光（連続波長光）の場合。

階に設置している大気観測用高波長分解能 FTIR (写真 1) を用いて臭化水素 (HBr) のスペクトルを測定した場合の例を示します。この場合は、干渉計で干渉波形を作った後、HBr の試料を通過させその光を検出器で検出しています。図 3(a) は FTIR の干渉計によって取得された干渉波形です。図 3(b) はこの干渉波形をフーリエ変換して得たスペクトルで、右側の周期的な吸収スペクトルは HBr によるものです。左側に見える小さな吸収スペクトルは、FTIR の光学系は真空にしているが僅かに存在している水蒸気による吸収スペクトルです。HBr は FTIR の性能を評価するために定期的に測定を行っています。

3. 大気測定への応用

FTIR は大気中に含まれる微量成分の存在量を明らかにするために、FTIR を用いた大気測定は多岐にわたって活躍しています。直接測定とリモートセンシングに大別することが出来ることは触れま

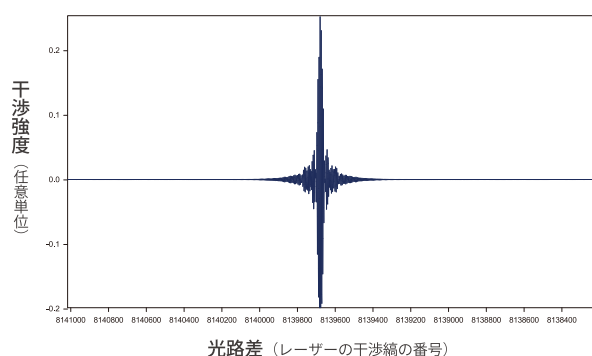


図 3(a) 国立環境研究所の地球温暖化研究棟 3 階に設置している大気観測用高波長分解能 FTIR (写真 1) を用いて測定した HBr の干渉波形

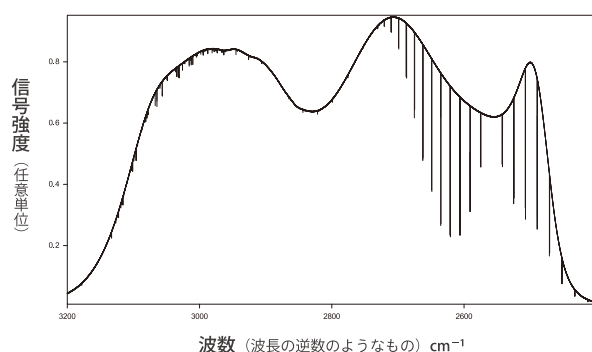


図 3(b) (a) の干渉波形をフーリエ変換することにより得た吸収スペクトル

した。前者の直接測定装置は、例えばこのようになっています。配管を用いて大気を、何回も光を往復させることが出来る鏡 (多重反射光学系) を設置した試料室に導きます。光源をこの試料室を通過させこの光を FTIR で測定します。装置の温度を一定にするなどの工夫を行い、濃度が分かっている参照気体と大気を交互に測定することにより、高精度の測定が実現できています。

リモートセンシングは、地上や山頂に FTIR を設置し、あるいは、衛星、航空機、気球に搭載し、大気の吸収を受けた太陽直達光、太陽の地表面反射光、大気や地表面の赤外発光などのスペクトルを観測する方法です。また、人工光源と FTIR を離して設置し、光源と FTIR の間の大気を測定するオープンパス (open path) FTIR 分光法もあります。

二つの地上設置の高波長分解能 FTIR 観測網と衛星に搭載された FTIR 観測装置の例を表 1 にまとめました。なお NDACC IRWG と TCCON の簡単な説明は、地球環境研究センターニュース 2013 年 9 月号「大気環境の長期モニタリングと炭素循環メカニズムの理解に向けて—NDACC-IRWG/TCCON 合同国際会議報告—」を参照して頂きたいと思います。また、TANSO-FTS については、地球環境研究センターニュース 2012 年 12 月号「長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介—4 避けては通れない雲とエアロゾル：宇宙から温室効果ガス濃



写真 1 国立環境研究所の地球温暖化研究棟 3 階に設置している大気観測用高波長分解能 FTIR。大気の吸収を受けた太陽光を測定しているところです。屋上に設置された太陽追尾装置からの太陽光を、手前の大きな鏡と右に続く 2 枚の小さな鏡を用いて FTIR に取り込みます。FTIR の「T」の字の交わっている部分に、干渉計の半透鏡と固定鏡があり、奥の長い部分に移動鏡があります。更に、左側に検出器があります。



表1 二つの地上設置の高波長分解能 FTIR 観測網と衛星に搭載された FTIR 観測装置の例

地上設置の高波長分解能 FTIR 観測網		ウェブサイト		
NDACC IRWG (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change Infra-Red Working Group 大気組成変化モニタリングネットワーク赤外分光ワーキンググループ)		http://www.acd.ucar.edu/irwg/		
TCCON (Total Carbon Column Observing Network 全量炭素カラム観測ネットワーク)		https://tcon-wikicaltech.edu		

衛星搭載 FTIR 観測装置	衛星	開発国	打ち上げ年	ウェブサイト
IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases 温室効果気体センサ)	ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite 地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」)	日本	1996	http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/img_j.html
TANSO-FTS (Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer)	GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」)	日本	2009	http://www.gosat.nies.go.jp/index.html
IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer 赤外大気測定干渉計)	MetOp-A (Meteorological Operational satellite programme-A)	フランス	2006	http://smc.cnes.fr/IASI/
MIPAS (Michelson Interferometer or Passive Atmospheric Sounding 受動型大気測定マイケルソン干渉計)	Envisat (Environmental Satellite)	欧州宇宙機関	2002	https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/mipas

度を推定する TANSO-FTS」を参照して頂きたいと思えます。

4. まとめ

今回は、FTIR の仕組みと、それが様々な大気の測定に利用されていることについて触れました。

測定精度が著しく高く安定して濃度データを測定できる測定法及び測定網として最近注目しているのは、大気を採取して直接測定する FTIR 測定装置と TCCON です。これらについての説明は、別の機会にしたいと思います。

*長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介—はウェブサイト (<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/monitoring/>) にまとめて掲載しています。

「自転車de発電」、つくばのショッピングモールで大活躍！ (進化を遂げたCGER発自転車発電システム)

地球環境研究センター 主幹 広兼 克憲

2013年9月21日(土)～23日(月)の3連休に、地元つくばのショッピングモール・イーアスつくばで、「グリーンパワーフェスティバル2013」が開催されました。このイベントは、東日本大震災以降、一層注目が高まった再生可能エネルギーの普及を目的としたイベントです。国立環境研究所はイーアスつくばからの要請を受け、3日間にわたり、「自転車de発電」を出展しました。これは、自転車をこいで発電機を回し、その電力で家電製品を動かす体験型イベントです。発電がどれほど大変かを自ら実感し、同時に電気をはじめとするエネルギーのありがたさ・大切さを知ってもらうことが目的です。

3連休の間、子どもたちを中心として、多くの方々にこの体験イベントに参加いただき、エネルギーの大切さと地球温暖化防止についての理解を深め

ていただくことができました。

体験終了後にスタッフが「自転車で電気を起こすことは？」と質問すると「大変です。」という答えが、さらに「あなたは誰も見ていないテレビをどうしますか？」と聞くと「スイッチを消します！」と必ず返ってきました。作戦は大成功です。

この「自転車de発電」プロジェクトは、7年前、地球環境研究センターの研究者をはじめとする有志が「自転車発電研究会」を立ち上げ、インターネットなどから情報を集め、廃品を利用した初代システムを組み立てたところから始まりました。初代システムは、廃車になった軽自動車のダイナモ(発電機)、地球環境研究センター共用のいわゆるママチャリ自転車、ダイオード回路によるコンバータ、自転車ライト用のダイナモ、車のシガーライターソケット用インバータ、研究会会長が学生時代愛用していたというブラウン管型テレビ(43W)を組み合わせたもので、大人がかなり頑張れば、一瞬だけテレビが見られるというものでした。

その後、この自転車発電システムが研究所一般公開の定番人気体験イベントとなり、つくば内の小中学校への出前授業等で大活躍したのち、茨城県を飛び出して東京、名古屋、京都、北海道と全国イベント行脚をするようになりました。テレビ



写真1 イベントでの自転車発電の様子



ニュース、生放送テレビ番組、ラジオ番組に何回も出演し、新聞等でも紹介されました。

自転車発電体験は未就学の小さい子どもさんにも大人気なため、自転車のダイナモと子ども用自転車を用いたミニ自転車発電システムも開発されました。

そして、今では、小型風力発電用に開発された市販の高効率発電機と本格的変速機を搭載したクロスバイクを組み合わせて、小さい力で大きな電力が得られる新システムとなりました。

これら自転車発電システムは歴代の環境大臣も体験・視察されており、石原伸晃環境大臣も東京のイベントで子どもたちが体験しているのをご覧になり、「これはわかりやすいね」と感心されました。その他、お名前は書けませんが、多くの有名人にも体験いただいています。

地球環境研究センターでは、研究だけでなく、

環境保全の意義や地球温暖化防止の取り組みを様々な方法で理解するツール開発にも力を入れていきたいと思っています。

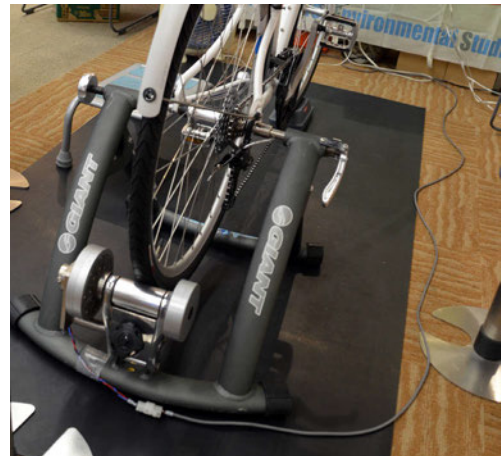


写真2 発電機・自転車の連結部分



観測現場発、季節のたより (1)

カメラがとらえた北アルプスの初冠雪

環境計測研究センター環境情報解析研究室 主任研究員 小熊 宏之

今年 2013 年の夏は西日本の記録的な猛暑や、一部地域における過去に前例がない豪雨、そして九州地方の干ばつなど、特異的な気象条件であったということは記憶に新しいと思います。それでは「日本の屋根」とも言われている中部山岳地域の、特に北アルプスでは例年とは異なる特徴があったのでしょうか？

地球環境研究センターが実施する温暖化影響モニタリングでは、山小屋に自動撮影カメラを設置して、山岳環境変化のモニタリングを行っています。撮影画像は無線で転送され、高山域の積雪の有無などをリアルタイムに把握することが可能となっております (注 1)。

それによると、2013 年 10 月 13 日に富山県の立山や、長野県と岐阜県の県境に位置する穂高連峰～槍ヶ岳一帯で今年の初冠雪が観測されました。立山の場合、本モニタリングを開始した 2009 年以降では、最も早い年が 2011 年の 10 月 3 日、一方で最も遅い年は 2010 年の 10 月 27 日と、気温や気圧配置の影響により年によって 3 週間程度の変動があります。今年の秋は気温が高めに推移したため、初冠雪が観測された日としては平年 (10 月 8 日) に比べてやや遅かったものの特異的な年ではなかったようです。

なお、報道によりますと、今年の日列島の初冠雪は北海道大雪山系で平年より 6 日早い 9 月 19 日に、富士山では平年より 19 日遅い 10 月 19 日に観測されたということです。

初雪は直ぐに消えてしまいましたが、台風 26 号通過後の 10 月 17 日に再び降雪が観測されました。このように消雪と降雪を繰り返しながら、やがて本格的な山の冬を迎えることとなります。

カメラを設置させていただいている北アルプスの山小屋は、11 月末の小屋締めに向けた下山準備を始めました。本モニタリングでは槍ヶ岳と蝶ヶ岳のカメラは冬季中も無人観測を続ける予定ですので、厳冬期の様子もお届けできると思います。

(注 1) 小熊宏之「観測現場からー北アルプス上高地周辺ーブロードバンド化が進む高山帯」地球環境研究センターニュース 2012 年 7 月号

井手玲子・小熊宏之「定点カメラの連続撮影による高山生態系の融雪および植生の季節変化を検出する観測方法の開発 (山小屋との連携による高山生態系長期連続観測の実現)」地球環境研究センターニュース 2013 年 9 月号

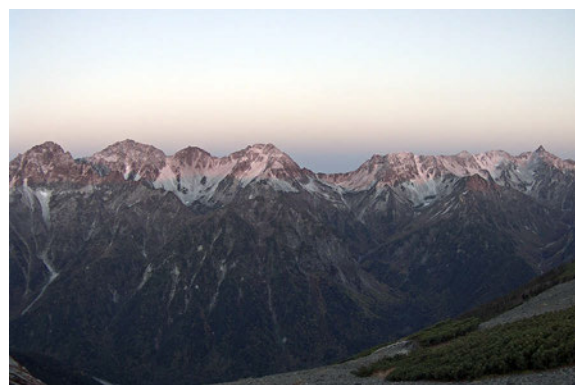
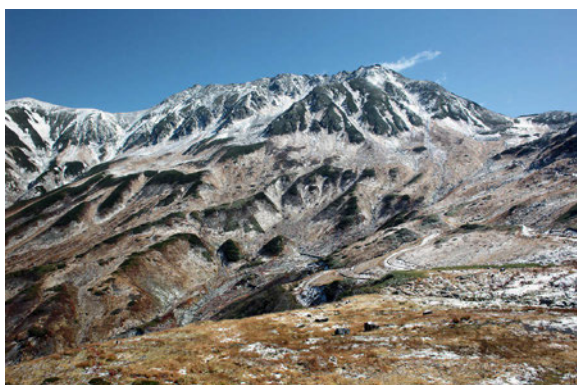


写真 初雪が観測された 2013 年 10 月 13 日の立山 (左、11 時撮影、カメラ Canon EOS5D Mark II) と槍～穂高岳付近 (右、5 時 51 分撮影、カメラ AXIS P 1357)



最近の研究成果

地球環境研究センター職員および地球温暖化研究プログラムメンバーによる最近の研究成果を紹介します



マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル： 気候感度の不確実性を調べる新アプローチ

地球環境研究センター気候変動リスク評価研究室 主任研究員 塩竈 秀夫

CO₂ 濃度が産業革命前の2倍になった場合の全球平均地上気温上昇量（気候感度）には、計算に用いる気候モデル(GCM)間で2倍以上の幅がある。気候感度が GCM 間で異なる要因は、大きく二つに分けられる。一つ目は、モデルの格子（50から300km）よりも小さいスケールの現象を近似する物理スキームの作り方が、GCM 間で異なることである（構造不確実性）。もう一つは、同じ GCM でも物理スキーム内のパラメータ値を変更すると、挙動が変わることである（パラメータ不確実性）。これまで、前者は複数 GCM を比較することで、後者

は単一 GCM のパラメータ値を走査することで調べられてきた。

我々は、構造不確実性とパラメータ不確実性を同時に調査するために、「マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル (MPMPE)」と呼ぶ新しい数値実験手法を開発した。MPMPE では、新旧二つの GCM で雲、積雲対流、境界層乱流スキームを取り替えて8バージョンの GCM を用意した。その上で、各 GCM でパラメータを走査して、気候感度を調べる実験を行った。MPMPE では、気候感度は約 2℃～10℃と非常に広い幅の分布をもち、そのばらつきは雲が日射を反射する効果（雲短波フィードバック）の違いに起因することがわかった。今後、この MPMPE の実験データを更に分析することで、気候感度の不確実性要因に関する理解を深めていく。

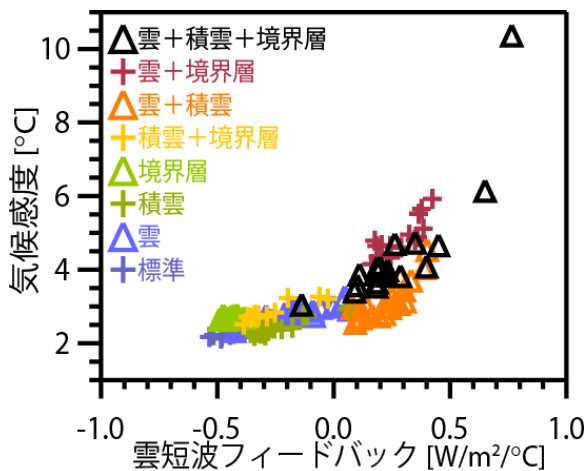


図1 MPMPEにおける気候感度（縦軸；℃）と雲短波フィードバック（横軸；W/m²/℃）の分布

【本研究の論文情報】

タイトル：Multi-Parameter Multi-Physics Ensemble (MPMPE): a new approach exploring the uncertainties of climate sensitivity

著者：Shiogama H., Watanabe M., Ogura T., Yokohata T., Kimoto M.

掲載誌：Atmos. Sci. Let. (2013) DOI: 10.1002/asl2.472



観測地点近傍における一次大気汚染物質発生量が降水及び大気中ガス・エアロゾル濃度に与える影響

地球環境研究センター炭素循環研究室 主任研究員 藍川 昌秀

国立環境研究所が共同研究を行っている全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会では、酸性雨（平成3年度～）や大気中ガス・エアロゾル（平成11年度～）の全国調査を実施している。今回、降水及び大気中ガス・エアロゾルの総合解析を行った。解析結果の概要は以下のとおり。

1. 調査地点近傍で排出された大気汚染物質は非海塩性硫酸イオン（ nss-SO_4^{2-} ）成分を除く大気中ガス・エアロゾル濃度に影響を与えていた。
2. 降水中の化学成分では、大気中 nss-SO_4^{2-} 成分と同様に、近傍から排出された汚染物質の影響は観測されなかった。
3. 降水に含まれる nss-SO_4^{2-} は硫酸アンモニウム（ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ）或いは硫酸水素アンモニウム（ NH_4HSO_4 ）の形態で、硝酸イオンは硝酸ガスの形態で、アンモニウムイオンは $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 或いは NH_4HSO_4 の形態に加えアンモニアガスの形態でも降水に取り込まれていると考えられた。



図1 調査地点（▲：降水のみ、●：降水＋大気中ガス・エアロゾル）

表1 調査地点近傍で排出された大気汚染物質の降水及び大気中ガス・エアロゾル濃度への影響

	Wet deposition		Concentration in ambient air	
	nss-SO_4^{2-}	$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$	$\text{SO}_2(\text{g})$	
SO_2 emission	-0.08	0.33	0.44*	
	NO_3^-	$\text{NO}_3^-(\text{p})$	$\text{HNO}_3(\text{g})$	
NO_x emission	-0.17	0.53**	0.60**	
	NH_4^+	$\text{NH}_4^+(\text{p})$	$\text{NH}_3(\text{g})$	
NH_3 emission	-0.08	0.69***	0.61**	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$, $N = 26$

【本研究の論文情報】

タイトル：Local emission of primary air pollutants and its contribution to wet deposition and concentrations of aerosols and gases in ambient air in Japan.

著者：Aikawa M., Hiraki T., Tomoyose N., Ohizumi T., Noguchi I., Murano K., Mukai H.

掲載誌：Atmospheric Environment, (2013) DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.06.052



アクセスランキング

2013年5月～2013年10月累計

順位	タイトル	執筆者等	掲載号
1	「地球温暖化は進行しているのか？」研究者とメディア関係者の対話	岡山大学大学院自然科学研究科 教授 野沢徹・地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 研究員 横島徳太	2013年4月号
2	長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介―(2)：透明人間！であるガスを測定する方法―NDIR：二酸化炭素の場合―その1	地球環境研究センター 副センター長 向井人史	2012年7月号
3	平成24年度国立環境研究所夏の大公開「ココが知りたい地球温暖化」講演会概要(1) 地球温暖化はどれくらい「怖い」か？(講師：江守正多)	文責：編集局	2012年9月号
4	Planet Under Pressure 会議報告―地球環境研究の新しい枠組み Future Earth に向けて―	地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室長 三枝信子・地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多	2012年6月号
5	気候変動枠組条約第18回締約国会議(COP18)および京都議定書第8回締約国会合(CMP8)報告 政府代表団メンバーからの報告(1)：第二約束期間スタート、将来枠組みに向けた作業の骨格も明らかに	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 畠中エルザ・ホワイト雅子	2013年2月号
6	長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介―(2)：透明人間！であるガスを測定する方法―NDIR：二酸化炭素の場合―その2	地球環境研究センター 副センター長 向井人史	2012年8月号
7	気候変動と食料生産の将来予測に向けて	地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 研究員 横島徳太	2012年4月号
8	全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会	北海道立総合研究機構 環境科学研究センター(酸性雨広域大気汚染調査研究部会委員) 野口泉	2012年6月号
9	富士山頂でこそ得られる研究成果を目指して	地球環境研究センター 炭素循環研究室 特別研究員 野村渉平	2013年4月号
10	2013年以降の対策・施策に関する報告書(1) エネルギーの選択肢づくりに関する私見―中央環境審議会地球環境部会2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会の議論に参加して―	社会環境システム研究センター 持続可能社会システム研究室 主任研究員 藤野純一	2012年7月号

地球環境研究センターニュースは、当センターウェブサイトからご覧いただけます。

<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/>

また、国立環境研究所の最新情報メール配信サービスにご登録いただきますと、国立環境研究所ウェブサイトの最新情報をお知らせすると同時に、「地球環境研究センターニュース」発行の際も随時ご連絡させていただきます。国立環境研究所ウェブサイト <http://www.nies.go.jp> のトップページ右下の登録用アイコンをご利用ください。

さらに、RSS をご利用いただくと、RSS フィードによって、「地球環境研究センターニュース」の記事タイトルや URL などの更新情報を自動的に受け取ることができます。当センターウェブサイトの「RSS について」<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/rss/> からフィードを購読し、ご利用ください。

2013 年（平成 25 年）11 月発行

編集・発行 独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター
ニュース編集局

〒 305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2
FAX：029-858-2645
E-mail： www-cger@nies.go.jp
<http://www.cger.nies.go.jp/>