



世界遺産白神山地の森林内に設置した放射計を取り外し、
高さ34mのタワー頂上でデータを回収

2016年12月号 [Vol.27 No.9] 通巻第312号

2013年夏に日本上空でメタン濃度が急上昇 温室効果ガス観測技術衛星GOSAT「いぶき」が高濃度メタンを検出

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 石澤みさ

インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと [18] 水資源・水利用研究の最前線—モデル・適応・観測—

地球環境研究センターニュース編集部

長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介— [14] キャビティリングダウン分光法で測る温室効果ガス—落語風説明—

地球環境研究センター長 向井人史

観測現場発季節のたより [10] 世界遺産白神山地での温室効果ガス観測の冬支度

地球環境研究センター 交流推進係 広兼克憲

2013年夏に日本上空でメタン濃度が急上昇

温室効果ガス観測技術衛星GOSAT「いぶき」が高濃度メタンを検出

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 石澤みさ

温室効果ガス観測技術衛星GOSAT「いぶき」は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの吸収・排出量の推定精度を高めることを目的に、地球大気中の温室効果ガス濃度（カラム平均濃度^[注]）を宇宙から観測しています。このGOSATが、2013年夏の日本上空で、例年より高い濃度のメタンを観測しました。私たちは、このGOSATの観測を地上観測によって検証し、モデル解析から変動要因を解明しました。これにより、GOSATがメタン濃度の総観規模（数千km、気団の変化等による）の変動を観測する能力を有することが実証されました。

1. はじめに

一般に大気中のメタンの濃度は、冬高く夏低いという季節変化を示します。GOSATによる日本上空の観測でも、メタンは夏に低濃度になります。この夏の低濃度は、大気中のOHラジカルとの化学反応で分解されるメタンが増加するためです。さらに、日本周辺では、太平洋高気圧によって、太平洋からメタンの少ない空気が運ばれてくることも大きな要因です。ところが、2013年夏（8-9月）には、日本上空で、例年とは異なる高濃度のメタンをGOSATが観測しました。

2. GOSAT観測を地上観測データから検証

解析に用いた日本上空の範囲を図1に示します。地上観測値には2種類あり、1つはGOSATと同じ原理で測るカラム平均濃度で、もう1つは地表面濃度です。図1では、カラム平均濃度の観測地点を赤丸（●）で、地表面濃度の観測地点を青丸（○）で表しています。

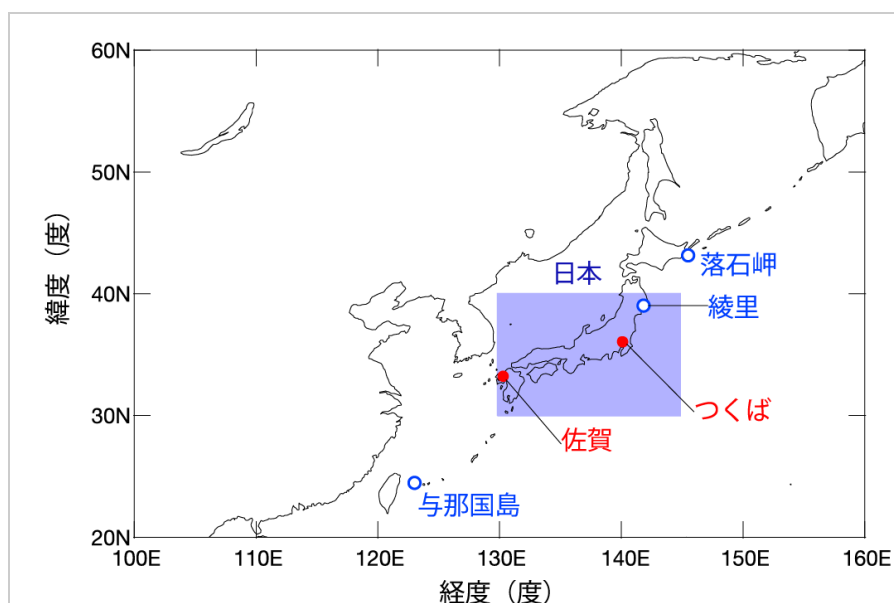
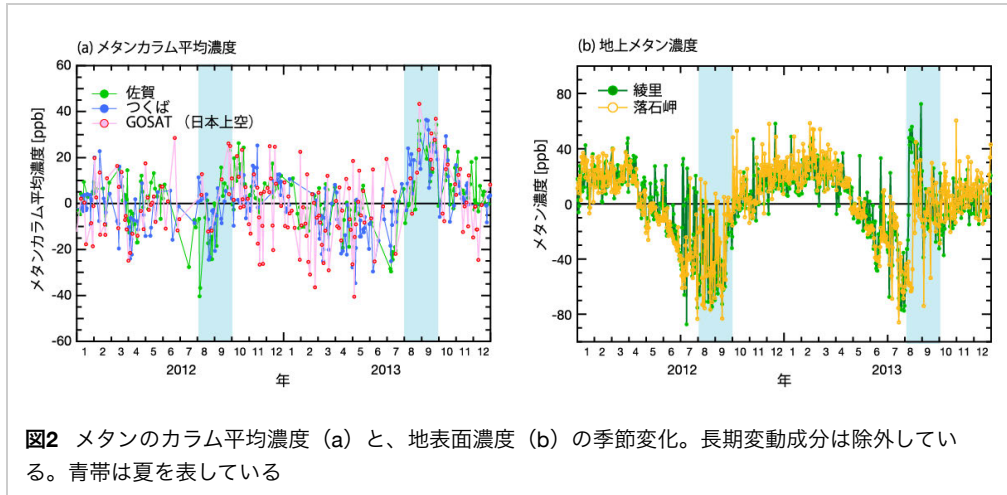


図1 解析に用いた日本上空の範囲。青帯が日本上空、赤丸は地上観測点（カラム平均濃度）、青丸は地上観測点（地表面濃度）

GOSAT観測を検証するために、地上観測の結果と比較しました。図2 (a) に、GOSAT観測値（赤）と、つくば

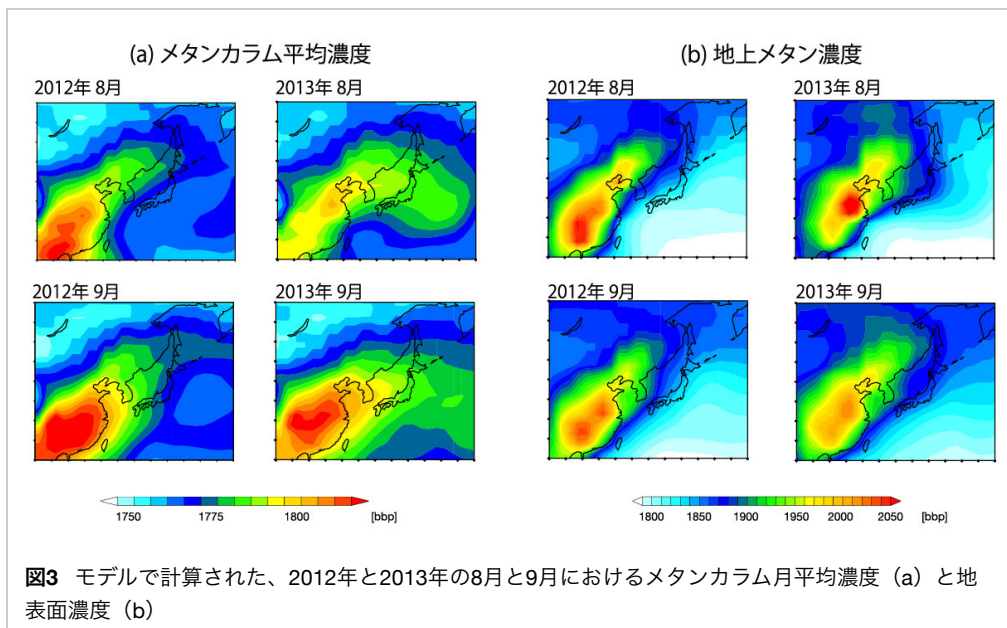
(青)と佐賀(緑)での地上観測によるメタンカラム平均濃度を示します。これを見ると、3つの観測値の濃度変化のタイミングがよく一致していることが分かります。つまり、GOSATで宇宙から測った濃度でも、地上観測と同じ様に濃度変化をとらえることができたのです。2012年夏では、メタン濃度が低下しているのに対し、2013年夏では、3つの観測値ともに20-40ppb程度上昇し、さらに、これほどの高濃度が2ヶ月も持続するというのは特異な現象です。

一方、地表面濃度でも、2013年8月に例年とは異なる急激な濃度上昇が観測されました。図2 (b) に、綾里(緑)と落石岬(黄)における地表面濃度の時間変動を示します。2012年夏は平均的な季節変化で低濃度でしたが、2013年8月に綾里で突然、約100ppbの濃度上昇が起き、約1週間後に落石岬でも同様の濃度上昇が起きていました。与那国島ではこのようなメタン増加は観測されませんでした(図には、与那国島データは示していません)。このことから、地表面濃度の急激な上昇は、本州・北海道周辺に限られていることが分かりました。



3. 原因は例年と異なる大気輸送

このメタン濃度の急上昇の原因を調べるため、全球大気輸送モデルによる解析を行いました。シミュレーション計算の結果を図3に示します。年々変動する大気輸送の影響に注目するために、排出量は毎年同じ季節変化をすると仮定しました。

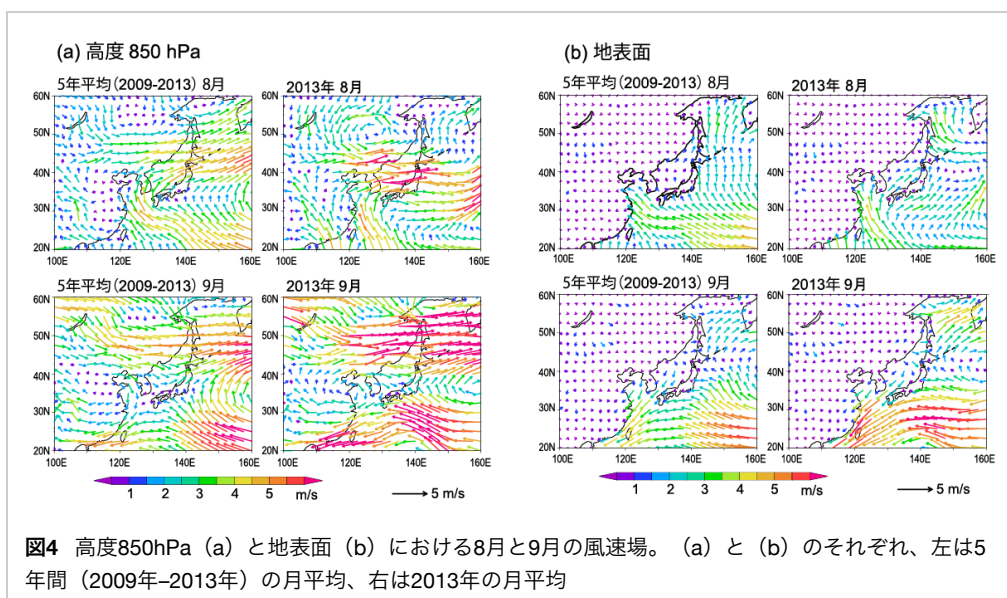


全体的な特徴として、日本上空や太平洋上空に比べ、中国東部上空でメタン濃度が高いことが分かります。これは、北京や上海周辺の石炭・天然ガスやごみ埋立て等の人為起源のメタン排出と、東南アジア全域において盛んな稲作からのメタン発生を反映しています。

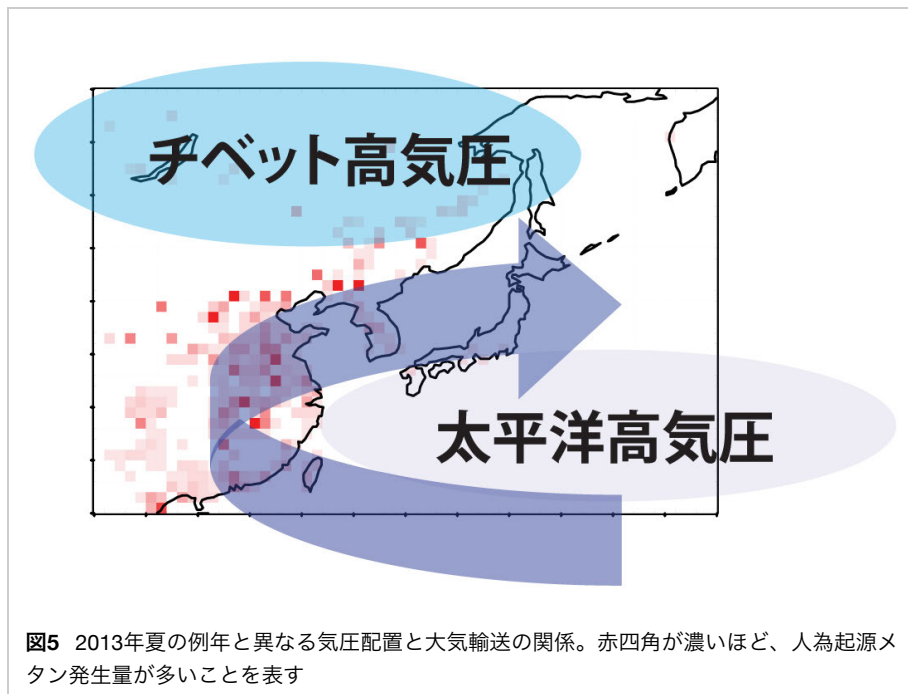
中国東部の8月のカラム月平均濃度（図3（a））に注目すると、2013年は2012年より低濃度ながら、日本全体を広く覆うように高濃度メタンが輸送されていることが分かります。9月にも同様の傾向が続きました。

一方、地表面濃度（図3（b））を見ると、2013年8月は2012年に比べて、中国東部の高濃度域が全体的に北東へ移動し、日本列島上空（沖縄地方を除く）まで広がっていることが分かります。ところがカラム月平均濃度とは異なり、2013年9月には2012年と同様の濃度分布に戻っています。このことから、中国東部を排出源とするメタンで高濃度となった空気が、あまり拡散されずにメタン高濃度のまま日本上空へと輸送されたと考えられます。そのような大気輸送場は、地表面付近では9月にほぼ例年並みに戻ったのに対し、上層では9月も継続され、その結果としてカラム月平均濃度が高いまま維持されたと考えられます。このように、モデル解析により、メタンの急激な濃度上昇は、例年と異なる大気輸送が原因であることが分かりました。

さらに解析を進め、この大気輸送を引き起こす風速場（風の方向と強さ）の変動を調べました。地表面（大気下層）と850hPa気圧面高度（大気上層）の風速場を解析した結果を図4に示します。日本の夏季の風速場は、大気下層では太平洋高気圧の、上層ではチベット高気圧の張り出しにそれぞれ強く影響されます。大気下層（b）では、2013年8月は太平洋高気圧が例年よりも西に張り出し、沖縄を含む中国東部沿岸域まで大きく発達していたため、強い風が大陸沿岸域を北上して、日本列島へ向かっていました。また大気上層（a）では、2013年8月はチベット高気圧が日本列島本州近くまで南下して、偏西風を強めていました。大気下層（b）の風速場は9月には平年並みの状態に近づきましたが、それに対し、上層（a）では、8月より一層、西風が強まっていたことが分かります。



このように、2013年夏には、2つの高気圧が例年と異なる配置をしていたことにより、中国東部で発生した高濃度メタンが日本へ効率的に輸送されたため、日本上空のメタン濃度の異例な上昇を引き起こしたと考えられます（図5）。



4. 最後に

今回の研究によって、GOSATが総観規模のメタン濃度の変化を観測する能力を持つことが示されました。今後、GOSATによる観測データが、温室効果ガスの吸収・排出量推定精度の向上およびその発生源変動の要因解明へと応用されることが期待されます。

脚注

- 地表面から大気上端までの空気の柱（カラム）の中にある乾燥空気量に対する対象気体量の割合。GOSATは、地球表面（陸と海）で反射した太陽光を観測しています。その観測データから、二酸化炭素とメタンのカラム量を得ることができます。二酸化炭素・メタンの主な放出源は地球表面に存在することと、空気量の大半は地球表面付近にあることから、カラム平均濃度は、地表面付近の濃度の変動を反映しています。

この内容はAtmospheric Chemistry and Physics誌に掲載されるとともに、2016年9月23日、国立環境研究所から記者発表されました。

発表論文

Ishizawa M., Uchino O., Morino I., Inoue M., Yoshida Y., Mabuchi K., Shirai T., Tohjima Y., Maksyutov S., Ohyama H., Kawakami S., Takizawa A., Belikov D. (2016) Large XCH₄ anomaly in summer 2013 over Northeast Asia observed by GOSAT. Atmos. Chem. Phys., 16, 9149–9161, doi:10.5194/acp-16-9149-2016.

記者発表

2013年夏季の東北アジア上空の大幅なメタン高濃度の原因を解明 —温室効果ガス観測技術衛星GOSAT（「いぶき」）の観測能力の高さを実証—<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20160923/20160923.html>

インタビュー「地球温暖化の事典」に書けなかったこと

18 水資源・水利用研究の最前線－モデル・適応・観測－

花崎直太さん

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

インタビュー：伊藤昭彦さん（地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室 主任研究員）

地球環境研究センターニュース編集局

インタビュー

「地球温暖化の事典」に書けなかったこと

[一覧ページへ ▶](#)

国立環境研究所地球環境研究センター編著の「地球温暖化の事典」が平成26年3月に丸善出版から発行されました。その執筆者に、発行後新たに加わった知見や今後の展望について、さらに、自らの取り組んでいる、あるいは取り組もうとしている研究が今後どう活かされるのかなどを、地球環境研究センターニュース編集局または低炭素研究プログラム・地球環境研究センターなどの研究者がインタビューします。

第18回は、花崎直太さんに、水資源・水利用に関する研究の現状と今後の展開についてお聞きしました。



「地球温暖化の事典」担当した章

7.1 水資源・水利用

次回「地球温暖化の事典」に書きたいこと

水問題の温暖化への適応

目次

1. 地球水循環の講義がきっかけで水文モデルへ
2. 新しいモデルを開発し、多くの人に使ってもらいたい
3. 日本の将来の水資源量は...
4. 影響評価から適応を重視した研究へ

5. 2000年以降増えた水資源の指標
6. シナリオに基づくシミュレーション結果
7. 観測との協働によるモデル検証に期待
8. 社会的データの収集の難しさ
9. 水問題は社会情勢との連動が強い
10. 水問題の温暖化への適応を書くべき

地球水循環の講義がきっかけで水文モデルへ

伊藤 『地球温暖化の事典』のなかで、花崎さんは“水資源・水利用”の章を担当されました。花崎さんは東京大学生産技術研究所の沖大幹先生の研究室の学生のころから水文モデルを開発してきました。この分野を選択する原点や契機は何だったのでしょうか。

花崎 私は大学で土木工学を専攻していました。土木工学科では自然のことから社会のことまで幅広い授業を受けたのですが、その中に衝撃的な授業がありました。アメリカ航空宇宙局（NASA）での研究を終えて帰国したばかりの沖先生の地球水循環の授業でした。そこでは、地球上のさまざまな気候がいくつかの基本的な物理法則で決まっていることを教わりました。特に時間的にも空間的にも壮大なスケールの熱塩循環^[1]にはとても感動しました。それが地球の研究をしたいと思った出発点になります。

伊藤 水循環は、地球のシステムにおける自然科学的な側面と人間が水をどう使うかという社会科学的な側面があります。最初は何から入っていかれたのですか。

花崎 大学院に進学して沖研究室に入り、念願の地球水循環の研究を始めました。最初は何をしていいのかわからずいたところ、沖先生がちょうど世界の川の流れのシミュレーションをされていて、そこにダム操作を入れることを任されました。ダムは世界に40000基以上造られていますが、ダムが地球水循環をどう変えているのか、当時はほとんど知られていませんでした。ダム操作を考えるにはどうしても下流の水の利用を連動させなければならず、そこから水利用の研究にとりかかりました。



新しいモデルを開発し、多くの人に使ってもらいたい

伊藤 水は気候、農業、健康問題などに深くかかわっています。このような多くの人がかかわる学際的な分野で研究をうまく進めるコツのようなものはあるのでしょうか。

花崎 自分が学際的な研究をうまく進められているのかわからないのですが、そもそも水単独の問題はないのです。たとえば、水不足はそれ自身が問題なのではなく、水が不足することで、農作物の成長が悪くなったり、工場を止めなければならず生産が減ったりすることが問題です。私自身、水問題の専門家だと感じたことはありません。

伊藤 しかし、花崎さんはご自身で全球水資源モデルH08 (http://h08.nies.go.jp/h08/index_j.html) を開発して、いろいろな研究をされています [2]。私が感心するのは、花崎さんは自分の研究を進めるだけでなく、きちんとマニュアルを作り、アジアの人たちにトレーニングコースを行っていることです。ああいうモチベーションはどこからくるのでしょうか。

花崎 大学院で水循環の研究を始めたときに、大気大循環モデル (General Circulation Model: GCM) との出会いがありました。当時、真鍋淑郎先生が地球フロンティア研究システムに在籍されていて、1960年代、世界で最初のGCMを一人で開発された話を聞き、自分で新しいモデルを作ることにとってもあこがれました。また、沼口敦先生 (故人) が開発した日本のGCM (現在のMIROCという気候モデルの原型) は沖研究室でも何人かの先輩や後輩が利用していましたが、彼らの机の上には先生が作成された200ページものマニュアルがいつもありました。読みやすく使いやすいソースコードとマニュアルがあるから多くの人が使え、GCM研究が大きな広がりになったと教えられて、自分もいつかそうなりたいと強く思いました。私がH08モデルを開発したのは博士課程のときでしたが、その時はとても公開できるものではありませんでした。ソースコードの書き直しとマニュアルの作成を終えて公開したのは2013年です。

トレーニングコースについては、基本的に教えることが好きなのだと思います。2015年にソウル大学 (韓国) などの学生さんを国立環境研究所に招き、トレーニングを行ったのは良い思い出です。タイのモンクット王トンプリー工科大学、王立灌漑局、気象局の研究者や技術者とも7年以上共同研究を行っていて、タイで3~4回集中講義をしたこともあります。



H08モデルのウェブサイト、マニュアル (一部)、入力データサーバ



2015年5月、タイの研究者・技術者たちとの会合が国立環境研究所で行われた

日本の将来の水資源量は...

伊藤 “水資源・水利用”では主に世界の水利用のことを書かれていて、日本国内の水資源問題には特に触れておられませんが、日本では将来的に十分に水が利用できると考えてよいでしょうか。

花崎 執筆のときからその指摘はありましたが、当時は自分が進めている研究しか見えてなかったもので、世界のことだけ書きました。

世界全体での水資源問題を考えるときに真っ先に見なければいけないのは、水資源量（川の流れ）と水使用量のバランスです。その点からいうと、日本は狭い国土に人口が多いのでかなりの水使用量がありますが、水資源量もそれなりに豊富で、水を効率よく管理する技術も発達しているので、あまり逼迫はしていません。ただし、局地的には問題を抱えています。たとえば、福岡市は流域面積が小さいところにたくさんの方が住んでいて、水不足が潜在的に起こりやすい地域です。

伊藤 私の出身の愛媛県は瀬戸内式気候で割合雨が少ない地域です。将来、もっと雨が少なくなってしまうたら大変だなということが実感としてあります。しかし、温暖化が進むと日本全体としては降水量が増えるともていいのでしょうか。

花崎 温暖化すると日本の年降水量は増えるという予測が多いのですが、やはり局地的にみると、今年の春先起きた関東の渇水のように、その年の気象条件で（たとえば、台風がひとつ来るか来ないかで）大きく状況が変わってきます。

影響評価から適応を重視した研究へ

伊藤 干ばつやゲリラ豪雨など、ここ数年は極端現象が目立っているような気がします。最近の極端現象についても花崎さんは取り上げていきたいと思っていますか。

花崎 私自身が研究するのは難しそうですが、研究コミュニティ全体では、活発に研究が行われています。たとえばゲリラ豪雨については、新しい気象レーダーを使って、豪雨の「タマゴ」を早期に見つける研究などが行われていますよ。

伊藤 将来温暖化が進んでゲリラ豪雨の頻度や強度が増すなら、それをいち早く察知できるようなシステムを構築

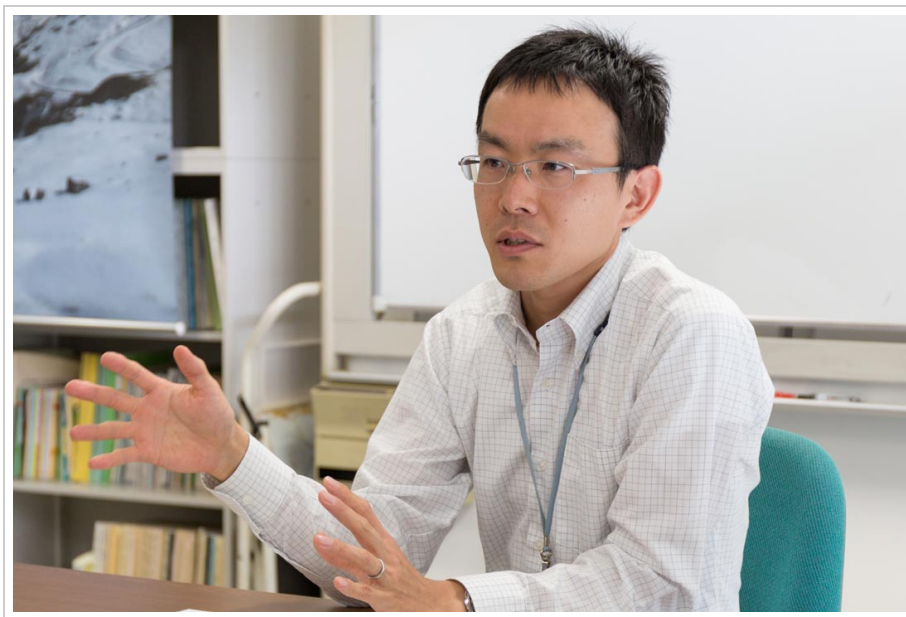
するのも適応だそうですね。生態系では、適応というと生物が標高の高い方に移動できるよう回廊（コリドール）を造ることなどが挙げられますが、水資源や気象という適応は違うということに最近気づいて、面白いと思いました。

花崎 防災に関する適応は、究極的には人命が失われることを防ぐのが最も重要です。洪水をどれだけ早く知ることができるかによって、被害の程度がまったく変わってきます。それがまさに適応ですね。

伊藤 水利用に関する適応については、花崎さんは、「水利用を柔軟に変化させていくこと、つまり温暖化への適応が重要である」と書かれています。

花崎 水資源の適応には、供給を増やすか需要を減らすかという二つと、技術的な解決か制度的な解決かという二つがあります。具体的には、ダムを造ったり地下水を開発したりするのは供給量を増やすことで、灌漑の効率をよくしたり、節水型の機器を導入したりするのは需要量を減らすことです。制度的なものとしては、水に適正な価格をつけて節水意欲を高めることなどがあります。実施にあたってはどれか一つというわけにいかないのです、これらを組み合わせることになるでしょう。

『地球温暖化の事典』を書いた頃の研究は影響評価が中心でした。適応の重要性は当時から指摘されていましたが、具体的な研究が少なかったのです。しかし最近、温暖化影響の研究者も具体的な適応策を提案するような論文を発表するようになりました。たとえば、灌漑には、川から直接田畑に水を投入する湛水方式、スプリンクラー方式、チューブを使って作物の根元だけに水をたらす点滴灌漑方式などの方法がありますが、方式を変えることでどれだけ節水できそうか（つまり、温暖化による水資源量の減少に対して適応できそうか）を見積もる研究などが行われています。ただし、節水をすると、塩類を灌漑水で土壌の深くに押しとどめる効果も減るので、乾燥地では塩害が起きるリスクを高めてしまいます。節水できても代わりに塩害が起きるのでは適応にはならないので、慎重な検討が必要です。適応の研究はまだ始まったばかりです。



2000年以降増えた水資源の指標

伊藤 水資源で使われる指標は『地球温暖化の事典』で書かれている水ストレス指標（年間流出量に対して年間取水量の割合が0.4を超えた場合）以外にもあると思います。そういったものを使って研究することはありますか。また、自分で新しい指標を作りたいですか。

花崎 地球規模の水資源の評価では指標がよく使われますが、それには理由があります。地球の水循環や水利用がコンピュータで計算できるようになったのは2000年以降のことです。それまでは基本的に統計書に示されたわずかな種類の情報しかなく、それらを組み合わせた概念的な指標が利用されました。ご質問にある指標もそうしたものの一つです。2000年以降はコンピュータシミュレーションが進み、世界各地の雨、蒸発、

川の流れなどが計算できるようになりました。最初はシミュレーション結果を使って従来からある概念的な指標を計算していましたが、その後すぐに、使える情報を駆使したたくさんの新しい指標が提案されるようになりました。最近では指標だけをレビューした論文がいくつも出るというような状況です。ただ、案外すばっと抜けている要素もあります。たとえば、乾季の水不足と雨季の水余りのコントラストがアジアの特徴ですが、ヨーロッパの研究者はともかくそこに目がいきません。そういう要素をよく表現できる指標ができるといいのではないかと思います。

シナリオに基づくシミュレーション結果

伊藤 最近の花崎さんの研究では、シナリオに基づいて、ご自分のモデルを使った将来のシミュレーションをされていますね。シナリオベースの研究の面白さと難しさは何でしょうか。

花崎 シナリオを利用した将来予測の研究はしますが、正直言って楽しいと思ったことはなく、いつも苦しいと感じています。将来の社会について客観的に予測できる要素はほとんどないので、シナリオは文字通り、主観的な「台本」や「お話」になってしまいます。論文を書くときなどは、本当にこれでいいのかなと考えこんでしまいます。ただ、多くの方が心配していることを定量化するのはとても重要なことで、実際、数字にしてみればじめて、問題の深刻さがわかります。また、シナリオを大きく変えても結果が全然変わらないとき、根源的な問題の存在に気づくこともあります。

伊藤 自分のモデルで行った将来のシミュレーションを人が信じて何かに使われると、適用可能な範囲で正しく使われているかなどとても不安になることがあるのですが、ちょっとやさそとでは変わらないような頑健な結果が出てくれば、自信をもって出していきたいということですね。

花崎 個人や企業の具体的な行動や投資の判断に使えるほど詳細で頑健な将来社会のシミュレーションというのは、この先どんなに研究が進んでも難しいのではないのでしょうか。しかし情報が普及し地球温暖化問題が世間でよく知られるようになりました。全体像が伝わっているので、一つのシミュレーション結果が独り歩きしたり、曲解されたりすることも以前に比べるとかなり少なくなっていると思います。

観測との協働によるモデル検証に期待

伊藤 地球環境研究センターでは観測とモデル研究者が協働しています。残念ながら水に関する観測はあまり行われていませんが、観測との連携によってモデルを高度化したり、精度を上げていったりすることは考えていますか。

花崎 観測こそすべての科学の基礎であり、個人的には観測に携わる研究者や技術者をとても尊敬していますので、協働の機会があればと思っています。ただ、世界中の川の流れを扱う私のH08モデルは地上観測との連携が特に難しいのです。たとえば、数地点の川の流れの観測データがあったとしても、世界のごくわずかな地域の検証にしか使えません。たくさんの地点を長期間精度よく観測するとなると個々の研究者の力では無理で、どうしても国や地方自治体による現業観測データに頼らざるを得なくなります。

伊藤 地下水に関する観測が少ないと聞いています。GRACE（Gravity Recovery and Climate Experiment）など最新の観測を使えば、モデルが飛躍的によくなりますか。

花崎 衛星重力ミッション（GRACE衛星）の観測データにより、実際、水循環モデルの検証に革命が起きました。従来、モデルの検証は川の流れのシミュレーションと観測と比較することだけで行っていました。GRACEは陸域貯水量とって、陸上の水分全体の変化を観測することができます。H08モデルで計算した土壌中の水や地下水と雪の量、ダム貯水量などの変動と、GRACEでの観測による変動を比べることでモデルの検証ができます。ちょうど今、その結果を論文にまとめているところです。

その他の衛星観測にも期待しています。たとえば、多くの途上国では主要ダムの操作データを公開していま

せん。エジプト南部からスーダン北部にはナイル川をせき止めて造ったナセル湖という世界最大級のダム湖があるのですが、研究者はダム湖に今どれだけ水があり、いつどれだけ放流しているか、知ることができません。ところが、高精度な高度計を搭載している人工衛星が飛んでいて、地表の水面の標高を定期的に観測しています。同時に衛星写真を撮るとダムの湖面積も出ます。湖面積と水面標高の変化を掛けることでダム湖の水の容量の変動を出せるようになります。いろいろな課題があり、現在はこの技術を適用できるダム湖が少なく、精度も低いのですが、2020年頃打ち上げが予定されている地球観測衛星（NASAによるSWOT）を利用すると、飛躍的に精度が上がるといわれています。こうした技術には期待しています。



社会的データの収集の難しさ

伊藤 H08には自然科学だけではなく、社会的な要素が入っています。社会的なデータはどうやって集めているのでしょうか。

花崎 直接的なデータ収集はとても困難で、国連機関や各国の発行する公的なデータを使います。食糧農業機関（FAO）のAQUASTATは世界の水資源と水利用に関するデータベースですが、欠損が多くデータが足りないのも、現在、協力者と各国のデータを集めているところです。

水問題は社会情勢との連動が強い

伊藤 『地球温暖化の事典』を書かれてから国際的な研究プログラムのFuture Earthが始まったり、2015年には温暖化対策の国際的な枠組みであるパリ協定が採択されたりして、社会情勢が変わっています。水の問題はそういった社会情勢に応じて変化してきているのでしょうか。昔から主要なテーマは一貫していて、それに微修正があるくらいなのでしょうか。あるいはダイナミックなものなのでしょうか。

花崎 2015年に持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs^[3]）が策定され、国際的な研究プログラムがSDGs達成と低炭素社会の実現を組み合わせしていく方向に変わりつつあります。

SDGsのような全球規模のテーマと私の地球水資源の研究は一見近いように見えますが、実は遠いのです。SDGsは、すべての人が安全で安価な飲料水にアクセスできるかなど、個々の人間にとっての水問題を扱いますが、私たちのグローバルなモデルでは、50km四方の水資源量がどれくらいかということを見るので、かなりのギャップがあります。こうしたモデル計算をどうやって個々の水問題と結びつけるのかというのが、次の大きな課題です。

伊藤 『地球温暖化の事典』の改訂版が出るとすれば、書きたいことは何ですか。

花崎 やはり、適応について書くべきでしょうね。どこまで研究が進んで、何が足りないのか、整理する必要があると思います。SDGsについては、世界が水問題に関して求めていることを整理して、多くの人に知ってもらおうのがいいでしょう。また、私が執筆者になるかどうかわかりませんが、日本の温暖化の影響・適応について新しくわかってきたこともどんどん紹介できればいいかと思います。



脚注

1. 海水の温度と塩分による密度の差によって生じる地球規模の海洋の大循環
2. 花崎直太「世界の水資源のコンピュータシミュレーション」国立環境研究所ニュース 29(3), 2010年8月, 5-8. <http://www.nies.go.jp/kanko/news/29/29-3/29-3-03.html>
花崎直太「続・世界の水資源のコンピュータシミュレーション」国立環境研究所ニュース 34(4), 2015年10月, 6-9. <http://www.nies.go.jp/kanko/news/34/34-4/34-4-03.html>
3. 2015年9月の国連サミットで採択された持続可能な開発のための2030アジェンダのなかに盛り込まれている。貧困を撲滅し、持続可能な世界を実現するための17のゴール、169のターゲットからなり、発展途上国のみならず、先進国自身が取り組む。

*このインタビューは2016年10月4日に行われました。

*次回は岩淵裕子さん（地球温暖化防止全国ネット地域活動支援グループ 嘱託職員）に金森有子さん（社会環境システム研究センター 環境政策研究室 主任研究員）がインタビューします。

長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介—

14 キャビティリングダウン分光法で測る温室効果ガス

—落語風説明—

地球環境研究センター長 向井人史



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▶](#)

二酸化炭素など温室効果ガスの濃度測定といえば、赤外線吸収法でしょうというのが相場です。通常この吸収量を測るには、ある程度長い測定セルを使います。その際、セルが長ければ長いほど感度が上がるということになります。運動場のトラックみたいに100mも測定装置があったら輸送するのに不便です。運ぶことを考えると、物干し用の竹竿だってまだ長すぎるでしょう。小さな装置なのに、測定のために長い距離を稼いでくれるということと、赤外線の光源の強さが一定ではなくても感度が一定で正確に測れるという性質を両方兼ね備えた分析方法が、近年爆発的に拡大してきています。今回は、そのお話ですが、難しい話なので、その概略をわかりやすく落語風に説明してみましょう。

はち： ていへんだーていへんだーご隠居ー。

隠居： どうしたんですか、八つつあん。朝からそんなに慌てて。

はち： ご隠居、これが慌てないでいられるんですか。いってなもんですよ。本当に大変なんですよ。

隠居： まあまあ落ち着いて、なんでそんなに慌ててるんですか、まあ、お茶でも一杯飲みなさいな。

はち： あーありがとうございますー。あーおいしいですねー。やっぱりー秋はお茶に限りますね。いやーおいしかった、じゃーご隠居これで、失礼いたします。

隠居： おいおい、おまえさん、慌て者だな。なんか大変なんじゃなかったんですか？

はち： ご隠居！なんで、それをご存知なんですか？

隠居： ご存知も何も、おまえが大変だっ！て家に飛び込んで来たんじゃないか。

はち： あれ！いけね。そうでしたそうでした。すみません。いやねご隠居聞いてくださいよ。最近街で話題になっている観測装置でね、なんか20kmぐらい赤外線を飛ばして、赤外吸収が測れる装置があるって聞いたんですよ。たしか、“キャベツとりんごのなんとか”とかいう、なんだかうまそうなものを使って測ってるような名前らしいんですけどね。いいですか、20kmですぜ。それが、なんと机の上に載せられたり、車に積んだりできるらしいじゃないですか。20kmの長さのものを、どうやって机の上に置くんですかい？そりゃもう事件ですよ。

隠居： “キャベツとリンごのなんとか”じゃなくて、それをいうなら「キャビティリングダウン (CRD)」でしょう。ガスの濃度を測る最近流行の機械ですよ。

はち： えー食べもんを使ってるんじゃないんですか？キャベツっていうからてっきり。キャベツを使った新型装置で、野菜が高騰だから、食べられたりしたら、いいなあと。

隠居： 食べもんじゃないよ。“キャベツ”じゃなく、「キャビティ」だな。キャビティっていうのは、まあ簡単にいえば鏡の箱だな。それに“リンごのなんとか”じゃなくて「リングダウン」っていうもので、リングダウンっていうのは、まあ減衰して終わるっていう意味合いらしいんだが、比較的新しい大気の観測方法なんだよ。

はち： なるほどなるほど、キャビティって鏡の部屋ですか。わかりました。わかりました。そのくらいは知ってますよ、ご隠居。合わせ鏡で赤外線を跳ね返すというわけですね。1mの長さで、20000組ぐらいの合わせ鏡があれば、ジグザグに光を跳ね返して20kmになりますね。

隠居： 実はそうではない。鏡は鏡だけけど、20000組の合わせ鏡を置くとまた体育館ぐらいの大きさになっちゃうだろう。そうじゃないんだな、これが。簡単には2枚から4枚ぐらいでいいんだよ。

はち： えー！ どういうこと？ 4枚の鏡？ それじゃ四六のガマみたいなもんですかね。鏡の中でどっちを向いてもガマがいて、そのうちに汗をたたりたりとかいてダウンしちゃうやつだ。キャビティガマ我慢ダウンだ。

隠居： おいおい、ちいと乱暴だな。でも、おまえさんがいうことも少しあっているかもしれない。ただ、ガマが入っているわけではないんだ。空気が入ってるんだな。

はち： 空気っていうと、あれですか？ 読み間違うとおこられちゃうやつですかい？

隠居： まあ、八つつあんの場合は正解だな。

はち： そうなんですか？ やっぱり。

隠居： まあ、ちゃんといえば、「測定される空気とぐるぐる回る赤外線」だな。

はち： 測定される空気といいますと？

隠居： そうだ。その空気の中には、地球温暖化とかで問題になっている二酸化炭素、メタンみたいなものがあるでしょ。それをこの機械で精度よく測るうってなものなんだよ。

はち： へー、すごいですね。ぐるぐる回るってのは？

隠居： 赤外線なんだが、近赤外線っていわれる領域だね。

はち： キン赤外線っていうからきっと金色に光ってるんですね。

隠居： いや、金色には見えないよ。

はち： じゃあ何色です？

隠居： いや色は見えないのさ。赤外線だからね。いいかい、最近赤外線通信というものが使われているだろう。テレビのリモコンとかだよ。あれは目に見えないだろう。

はち： 透明人間なんですね。

隠居： いや、まあ人間ではないんだけどね、目には見えない光だね。近赤外線は通信用のレーザーにたくさん使われているので、世の中の技術が進んでいるんだよ。

はち： ふむふむ。

隠居： 温室効果ガスというのは、赤外線を広く吸収しているのだけれど、ここでは、ガスがそれぞれ吸収する赤外線を測りたいわけだな。このレーザーは、調整すれば二酸化炭素が吸収する波長にぴったりあう赤外線を出すことができるんだ。

はち： ほうほうそうなんだ。

隠居： そこで、この鏡が重要なさね。鏡といっても、0.001%ぐらいは赤外光が後ろに抜ける仕組みになっていてね、残りの99.999%ぐらいが反射することになってるんだ。この鏡を2枚向かい合わせにするか、3-4枚でぐるっと反射するようにするか、ともかく、入った赤外線が鏡の間でキャッチボールみたいにぐるぐる回るように置いてあるんだな。

はち： やっぱり、それで四六のガマも汗がたらーりーってやつですね。

隠居： ここまでは、これまであった赤外線吸収装置とあまり変わらない。従来のものは、2枚の鏡の間で何回も行ったり来たりさせて、吸収する距離を稼ぐ「長光路セル」という方法で、キャッチボールの回数を決めて最終的に吸収された量を測るものなんだ。そんなに多く行ったり来たりできない。装置が大きくなっちゃうからね。

はち： 汗をかくほどでもない？

隠居： ところが、このキャビティリングダウン分光法というのは、キャッチボールの回数を決めずに、光が無限にぐるぐる回るように光の道筋を調整してあるというもの。光は高速で飛び粒子みたいなものなので、鏡が完全に跳ね返すと、3角形に鏡を置いたなら3角形においた鏡の間を無限にぐるぐる飛び続けるということになる。

はち： そら、やっぱり汗かいちゃいますね。

隠居： 実際は、鏡の反射は100%ではないので、少しずつ飛んで回っている光の量は少なくなっていくんですがね。

はち： 最後には、なくなっちゃうんですか？

隠居： そうさね。そこに、もしね、その光を吸収する二酸化炭素なんかがあると、鏡だけの反射でなくなるよりもっと早く光がなくなるんだね。これが、ポイントだ。この、なくなる速さを測ることで、二酸化炭素の濃度を計算するというのが、この方法なんだな。ちょうど、鏡は少しの割合だけ光が抜けてくるので、そこで光の検出器を置いておくとその鏡の中（キャビティ）でぐるぐる回っている光の減衰速度がわかるっていう仕組みなんだ。だいたい、このぐるぐる回りで、20kmぐらいを光が飛んでいることになるらしいので、吸収量が少ない微量の成分まで測れる高感度な測定装置として有望なものなんだよ。

はち： なるほど、ぐるぐる回りの20kmか。トラックの20km走みたいなやつですね。

隠居： しかも、もしそこに障害物があるとさらにランナーが脱落するってやつだ。

はち： 障害物レースなんですか？

隠居： そうそう。二酸化炭素にだんだん吸収されてトラックを回っている奴（ここでは二酸化炭素が吸収する赤外線）が少なくなっていく様子を調べるという方法だ。1000人で走っても、無限に回れという、何もなくてもだんだん少なくなるのに、もし障害物があると、どんどん走る人が減っていくでしょう。最初にいた人に対して、適当な%に人の減る時間（ここでは赤外線の減る時間）を測定するんです。

はち： 時間を測るんですね。それは、新しい。

隠居： ここで使っている通信用の赤外線レーザーは安定していて、結構長く使えるらしいということ、レーザーは赤外線の波長を正確に調整できるというのが特徴だ。メーカーによっても違うんだけど、例えば測りたいガスが吸収する波長の近くで、レーザーの赤外波長を正確に動かして、吸収する最大の波長と、吸収しない波長で両方の減衰時間を測ってそれを比べるというやり方で濃度をより安定して算出するという技術を使っているところもある。

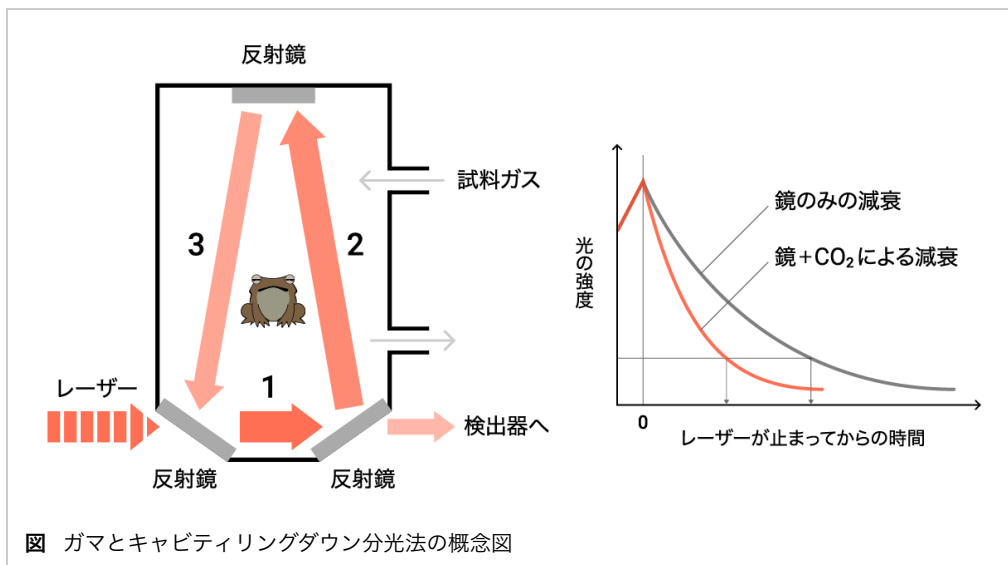
はち： ガスが吸収しない波長では、鏡の特性だけ測れて、ガスが吸収する波長ではその両方の効果が見えるってことですね。

隠居： しかも、レーザーの強さが変動しても、その減衰する時間は変わらないという原理を使っているので感度があまり変わらないんだよ。レーザーはね、キャビティに、ある短い時間打ち込むんだな。そしたらそこで止めてあげると、光はくるくる回りながら減衰していくのさ。その減衰速度はとても速く、ミリ秒以下、マイクロ秒という単位で測定しているってことだね。すごいだろ！？

はち： レーザーで打ち込むんですね。ミリ秒って1秒の千分の一ですよ。マイクロ秒は1秒の100万分の一ですね。そりゃーすごい、かみさんにも言っとかなきゃ。じゃ、さいならー。

隠居： おいおい、待ちなよー。ああー、行っちまいやがった。

こうして慌て者の八っつあんが家に帰ってしまいます。



トントン（戸をたたく音）

はち： 今帰ったよ。

かみさん： おまえさん、どこほつき歩いてんだよ。おまえさんの騒いでたキャベツリングなんかはわかったのかい？

はち： わかったよ。びっくりすんな。まずな、キャベツは、普通のキャベツじゃないんだよ。いいか？ キャベツにはなあ、光源がついてんだよ。

かみさん： そうだよ、高原キャベツだろう。よく売ってるよね。

はち： そう？ いや、そうじゃないんだよ、何とかザーってのをを使うんだよ。バザー、違う違う？ ギョーザ。違うな、えーと、ブルドーザー、違うな。そうだ、レーザーだよ。

かみさん： それでサラダ作るんだろう。ドレッシングは、やっぱりシーザーだろう。

はち： なんか違うな。それからな、えーと鏡が入ってんだよ。

かみさん： サラミが入っているとおいしいんだよ。

はち： そうじゃないんだよ。サラミじゃなく、カガミだよ。鏡が入ってるんだよ。温室効果ガスの最新式の分析装置なんだよ。

かみさん： へえー。じゃあ、その鏡でいったいどうするんだい。

はち： えーと、それは、えーとそれは、なんだったかな。えーとガマだよ。

かみさん： ガマってあれかい。筑波山にいるっていう？

はち： そうそう。ガマを1000匹ぐらいいっぺんに入れるんだよ。鏡があるだろう。ガマがなあ、びっくりして、鏡に向かって行くんだよ。でも鏡に跳ね返されて、永久にぐるぐる回っていくんだよ。20kmも回ってるんだよ。

かみさん： 20kmも回ってんのかい。ガマの運動場だね、まるで。1000匹もいるんだろう。さぞ大きなものだよ。で、まさか、おまえさん、そんな、大きなもの買って来たんじゃないだろうね。家に置くところないよ、ガマ1000匹なんて。

はち： えー？ そうじゃない、すごく小さいんだよ。机の上に置けるんだよ。ほんとに。

かみさん： そんなはずないでしょう。おまえさん。え！？ まさかもう買ったのかい？ だってガマだよ？

はち： いやいや、ガマだから、まだ“蛙（かわず）”です。

観測現場発季節のたより

10 世界遺産白神山地での温室効果ガス観測の冬支度

地球環境研究センター 交流推進係 広兼克憲



観測現場 発 季節のたより

[一覧ページへ▶](#)

国立環境研究所は弘前大学と共同で、世界遺産である青森県の白神山地内の森林において、土壌から排出されるCO₂などの温室効果ガスフラックス観測を行っています。

この観測サイトは豪雪地域にあり、積雪深が多いときで4m以上に及びます。観測機器の一部は雪の下敷きになると壊れてしまいますので、毎年雪のまだ降らない10月下旬に観測機器をいったん撤去し、厳しい冬に備えます。本年は10月31日に、地球環境研究センターの寺本宗正特別研究員や共同研究者である弘前大学大学院理工学研究科石田祐宣助教の調査チームが山中にある観測地に向かい、林床の放射計、日射計、樹幹温度計などを撤去しました。また、34mもあるタワーの頂上に登って、観測されたデータ（植生の季節変化記録写真など）を回収するなど、年内最後となるメンテナンス作業も行いました（写真1～3）。



写真1,2 森林内に設置した放射計を取り外し、高さ34mのタワー頂上でデータの回収を行う弘前大学石田祐宣助教の調査チーム



写真3 ブナの樹幹に設置された温度計を撤去する弘前大学伊藤大雄准教授

今回、地球環境研究センターの梁乃申主任研究員が開発した新型の可搬型土壌排出CO₂測定器をこの地に持ち込み、試運転を行いました（写真4）。以前は研究者が手動ポンプで行っていた試料気体の捕集も電動ポンプにより自動化されており、より効率的な観測が期待できます。来年度からはこの装置が、この地での貴重なデータ収集を担います。



写真4 研究所で開発された新型の可搬型土壌排出CO₂測定器により測定を行う地球環境研究センターの寺本宗正特別研究員