



国立環境研究所

二一入

Vol. 28 No. 5

平成 21 年 (2009) 12 月



東南アジア（マレーシアやタイ）の埋立地にて。（詳しくは10ページからの記事参照）

[目次]

温室効果ガス排出削減目標	2
全地球規模での炭素循環研究—温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の役割—	3
安定同位体比によりはじめて分かる湖沼や河川の姿	5
人工衛星のデータから世界各地での二酸化炭素の吸収・排出量をどのように推定するか？ —インバースモデル解析について—	7
熱帯の埋立地の上で	10
第6回韓中日三カ国環境研究機関長会合 (TPM6) の開催について	12

【巻頭言】

温室効果ガス排出削減目標

笹野 泰弘

本稿が読者の皆様の目に触れるころには、コペンハーゲンで開催されたCOP15（国連気候変動枠組み条約第15回締約国会議）は閉幕したあとになりますが、はたして京都議定書第一約束期間（2008～2012年）後の温暖化対策にかかる国際的な取り組みの方向性が見えはじめているのでしょうか。

この1～2年、地球温暖化防止に向けた議論が国内外で非常に活発に展開されました。その背景には、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が2007年に公表した、第4次評価報告書の存在があります。IPCCは同報告書において「温室効果ガスの排出が現在以上の速度で増加し続けた場合、21世紀にはさらなる温暖化がもたらされる」ことを示し、さらに、「過去の排出は、仮に大気中の温室効果ガス濃度が2000年レベルに留まったとしても、いくらかの不可避的な温暖化をもたらす」と述べています。このことから、温室効果ガスの大気中への蓄積を抑え、将来の地球温暖化の影響を許容できる範囲で抑えるための「緩和策」と、避けることの出来ない影響に適切に対応するための「適応策」の両方を同時に推進していく必要があるということが多くの人のコンセンサスとなっています。ここでは、温室効果ガス排出削減に関わる最近の動きを概観します。

国際的には、2008年7月の洞爺湖サミットに引き続き、地球温暖化問題が主要な議題のひとつであった2009年7月のG8ラウライサミットにおいて、世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに少なくとも50%削減するとの目標を再確認するとともに、この一部として、先進国全体として、50年までに80%またはそれ以上削減するとの目標が支持されました。この間、2009年の1月には米国に、温暖化対策について積極的とされるオバマ新政権が発足しています。

一方、我が国においては2008年7月に「低炭素社会づくり行動計画」が閣議決定され、2050年までに世界全体における温室効果ガス排出量の大幅な削減を実現するため、日本の2050年までの長期目標として、現状から60～80%の削減を行うことが決定されました。また、世界全体の排出量を今後10年から20年程度の間ピークアウト（注：頂点に達した後、減少の方向にもっていくこと）させること、京都議定書後の次期枠組みについて国際社会の合意形成を目指すことなども同時に決定されています。さらに、

2009年6月には、地球温暖化問題に関する懇談会の下に設置された中期目標検討委員会での検討結果を踏まえ、「2020年に温室効果ガスを2005年比で15%（1990年比で8%）削減する（ただし、海外クレジット（注：排出量の購入など）等を含まない）」という我が国の中期目標が、麻生前総理から示されました。ちなみに、上記の中期目標検討委員会での議論に必要な検討材料とするため、当研究所で推進している地球温暖化研究プログラムを担当している研究者たちが、これまでに開発を進めてきた各種のモデルツールを駆使して科学的な知見を提供し、目標選択枝の策定において大いに貢献したことを紹介しておきます。

さらに、2009年9月に民主党を中心として発足した鳩山新政権は、2020年までに1990年比で25%削減という、さらに踏み込んだ野心的な中期目標を発表しています。これにより、温暖化対策に関する国際的な議論をリードできる立ち位置への足がかりを得たといえるでしょう。また、国内的にも対策技術や社会システムの革新を通して、国民の意識改革をも迫るものになると予感されます。25%削減目標に向けて組織されたタスクフォースでは、当研究所で試算した新たな結果も含めた中間取りまとめを2009年11月に公表しましたが、様々な革新的な施策を盛り込んだ本格的な分析はこれからとなります。

強力な温暖化対策を進めるにあたっては、循環型社会に向けた取り組みや少子高齢化社会への対応など、さらに広い視点で将来のあるべき社会像を描きだし、そのビジョンのもとに調和の取れた施策へと具現化していくことが必須です。私どもが研究を進めるに当たっても、こうした社会とのつながりを強く意識した、総合的な問題設定が重要であると考えています。

（ささの やすひろ、地球環境研究センター長）

執筆者プロフィール：

写真サークルで10年余り、風景や自然の写真を撮っています。まわりの多くが、デジタル一眼カメラに乗り換えていく中で、いまだに買い換えられないでいます。コンパクトデジタルカメラの経験から言うと、デジタルではむやみにシャッターを切ってしまうがちなことに抵抗感があります。



【シリーズ重点研究プログラム：「地球温暖化研究プログラム」から】

全地球規模での炭素循環研究 — 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT) の役割 — シャミル・マクシュートフ

米国スクリップス海洋研究所のC.D.キーリング博士は、化石燃料の使用により大気中に放出される炭素のおよそ半分が陸上の植生や海洋によって吸収されることを大気中の二酸化炭素の観測とその同位体比の測定結果から明らかにしました。1年間におよそ1ギガ(10の9乗)トンの炭素が陸上の植生により吸収されることが分かっていますが、さらに長い期間における吸収・排出量の変動やその地理的な分布はいまだ謎のままとなっています。

大気中の二酸化炭素濃度と地球の平均気温の上昇は、水不足などによる影響を受けない限り植物の光合成活動を促進し、森林による炭素吸収量を増加させると考えられています。このため、北半球北部の亜寒帯に広がる針葉樹林や赤道付近の熱帯雨林などの生態系が、平均気温や二酸化炭素濃度の変化に伴い、大気中の炭素の主要な吸収源としてどの程度機能しているのか注目されています。生態系別の炭素収支を知るために、森林内に設置された鉄塔やチャンバーを用いた観測から得られた二酸化炭素の吸収・排出量データが用いられていますが、長期的な変動は観測値の短期変化の中に埋もれてしまうため、数十年といったスケールの気候や環境の変化による炭素収支の変動をこれらのデータから明らかにするのは大変困難な作業となります。また、実観測データは観測地の生態系をおおよそ代表していると言えますが、生態系は地域により特徴が大きく異なるので、その結果をさらに広い領域へ適用するには注意が必要となります。

森林での吸収・排出量の直接観測に平行して、1980年代には大気観測ネットワークが設立され、世界各地における二酸化炭素濃度の観測データが収集・蓄積されました。このデータからは二酸化炭素の時空間分布に関する多くの知見が得られ、これをきっかけに大気輸送モデル(コンピューターによる大気シミュレーション)を駆使した全地球規模での炭素収支研究が行われるようになりました。大気輸送モデルが緯度別の炭素収支解析に使われるようになると、北半球の中緯度帯が主要な炭素の吸収源であ

ることが徐々に分かってきました。それに続いた研究では、インバースモデル解析(詳しくは環境問題基礎知識を参照)とよばれる手法を用い、世界を数十(亜大陸レベル)の地域に区切りその各区画での炭素の平均的な吸収・排出量が算出されるようになりました。しかし、各研究から得られた計算結果にはばらつきがあり、ヨーロッパ、アメリカ、中国といった地域の推定吸収量に大きな違いが見られました。これはそれぞれの研究に使用された大気輸送モデルの違いにもよりますが、多くは計算に使用した観測データを提供している地上観測ネットワークの地理的な偏りと、測定頻度の低さ(およそ2週間に一度)に由来していると考えられます。この地上観測の空白域を埋めるために、北米、ヨーロッパ、日本、中国などでは国内観測ネットワークの拡張を行っています。

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」からのデータ

インバースモデル解析が地域別炭素収支の研究に使われ始めると、人工衛星からの観測データは地上観測点が乏しい地域での炭素収支の推定精度向上に大きく貢献するという研究報告がされました。衛星観測データは地上観測データに比べ精度では劣りますが、多くの地域を網羅することができ、観測数さえ十分に得ることができれば貴重な情報となります。

これに伴い、二酸化炭素やメタンを宇宙から測定する技術の開発が始まり、欧州宇宙機構ESAではENVISAT衛星搭載のSCIAMACHYセンサー(2002年より運用)、米国NASAではOCO衛星(2009年2月打ち上げ失敗)、日本では衛星「いぶき」(GOSAT)の開発・打ち上げ(同年1月)へと繋がりました。

GOSATは約666kmの高度から二酸化炭素とメタンの測定を全地球規模で行っています。すでに運用中のSCIAMACHYに比べ、GOSATのセンサーはより高いスペクトル分解能と空間分解能を持っています。また衛星の軌道投入や、軌道上でのセンサー初期検査における問題も少なかったことから、より精度の高い二酸化炭素とメタンのデータが得られるものと期

待されています。GOSATプロジェクトでは、二酸化炭素・メタンの濃度データの提供のみならず、将来は全球64地域で月ごとの二酸化炭素吸収・排出量の推定を行い、一般に公開します。

期待される成果

衛星打ち上げ前には、インバースモデル解析から炭素収支を推定する際に、GOSATの観測データが吸収・排出量の不確かさの低減にどの程度貢献し得るのかの推定研究が行われました。フランスの研究グループは、全球を3度×3度（緯度×経度）の格子に細分した領域の多くで不確かさがおよそ3分の1になると報告しました（図1）。

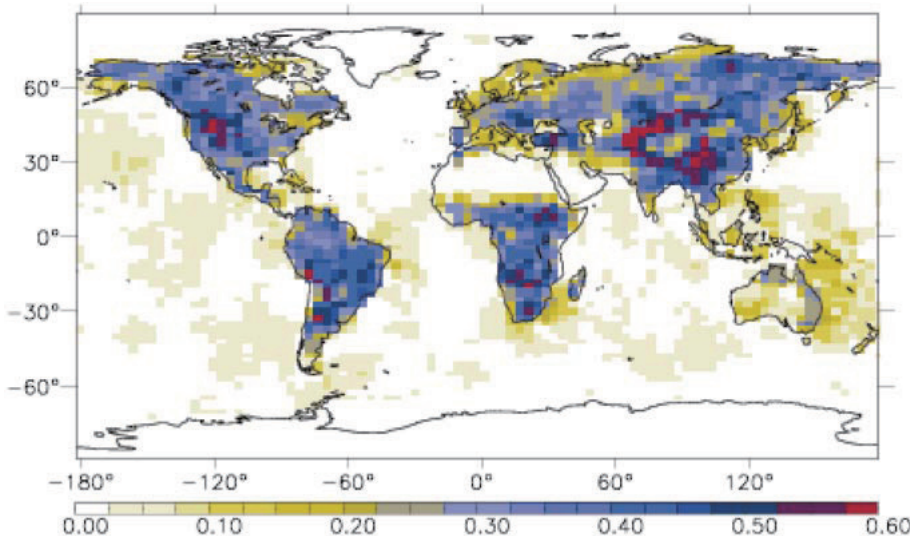


図1 GOSAT観測データの利用により予想される吸収・排出量の不確かさの低減率
シェバリエら（2009）より引用。濃い色になるほど（黄→青→赤）不確かさが低減される。不確かさの初期値を5 g/m²/dayとして計算。格子サイズ：3度×3度（緯度×経度）。

GOSATプロジェクトで使われるインバースモデル解析のシステムについて

GOSATプロジェクトで利用する大気輸送モデルとインバースモデルは、以前より地上観測データを用いた炭素収支の年々変動の研究に使用されていたモデルをもとに、GOSAT観測データを用いて計算を行うために改良を施したモデルです。

大気輸送モデルのシミュレーション能力は、使用する気象解析データの時間と空間の解像度に大きく左右されるため、高解像度の気象解析データの利用を現在検討しています。また、より精度の高い輸送計算を行うための大気輸送モデルも開発しています。

従来のインバースモデル解析では、地上に百数十ある観測点での、およそ2週間に一回の測定データ

を使用していましたが、GOSATは3日で全球を網羅しデータを取得するため、このインバースモデル解析のシステムでは大量のデータを扱う能力が求められます。そのため、従来の手法に代わる手法を適用し、コンピューターにかかる計算負荷を低減する計画です。

インバースモデル解析を行う際には、世界の各地域における二酸化炭素吸収・排出量のおおよその値（先験データとよばれています）が必要です。そのためGOSATプロジェクトでは、インバースモデル解析のシステムの開発とともに、観測結果や統計に基づいた吸収・排出量の実験データを作成しています。陸域炭素収支の実験データには生態系モデルの

計算結果が、また海洋-大気間の収支先験データには、海洋輸送モデルを用いた計算結果がそれぞれ用いられます。化石燃料の燃焼による人為的排出量の実験データは、人工衛星によって夜間に観測される地表面の光の強さと、発電所などの大規模施設の排出量統計をもとに作成された高解像度のデータで、これに年々の変動を考慮したデータの準備を進めています。

インバースモデル解析システムの性能のテストや調整には、過去25年分の地上観測データを使用する予定です。GOSAT観測データを用いた二酸化炭素吸収・排出量の推定値の公開は、衛星打ち上げより2年後の2011年以降を予定しています。

（しゃみる・まくしゅーとふ、地球環境研究センター
主席研究員）

〔翻訳：高木宏志、監修：横田達也〕

執筆者プロフィール：

1990年にロシアより来日、科学技術庁フェローとして国立環境研究所に入所。2000年まで日本・シベリアでの温室効果ガス観測業務に携わる。その後海洋科学技術センターにて温室効果ガスモデル解析業務に従事。2005年に国立環境研究所の職員として戻り、現在GOSATプロジェクトで大気輸送モデルの研究を担当している。日本語の読み書きはやや苦手だが、聞くのと話すのは大丈夫！



【研究ノート】

安定同位体比によりはじめて分かる湖沼や河川の姿

高津 文人

湖沼や河川に代表される淡水資源は飲料水や灌漑用水として利用する上で必要不可欠なものです。その淡水資源の量と質は、我々の水利用のやり方ひとつで大きく変わってしまいます。しかしながら、流域には多くの方が暮らし、小さな河川や用排水路、はたまた地下水といった多様な水脈をつたって、各種排水が湖沼やより大きな河川へと流れ込みます。また、灌漑用水のシステムは高度化し複雑になり、ダム湖や天然湖沼の水を上流にポンプアップし、再利用するといった人為的な水の流れの操作が行われています。こうした複雑な水系の水質がこれ以上悪くならないようにすることが求められています。

水は流域の上流からさまざまな物質を取り込みながら、大きな河川へと流れ込むことから人間の血流にもたとえられ、河川や湖沼の水質の変化をモニターすることで水系の健康診断ができないかという考えがあります。しかしながら、現在モニターされている水質項目の多くは有機物の総量と関連するものが多く、重金属や毒性の強い物質を除いては、全体の汚濁量をモニターする意味合いが強いと考えられます。人間の健康診断でも体重、身長といった指標以外に、コレステロール値や肝機能の指標などそれぞれが独立した意味をもった診断項目があります。水系の健康診断を考える場合、例えば、同位体比からは物質の起源や生成・消費プロセスを知ることができ、生態系内の重要な物質の同位体比は流域の優れた個別指標になると考えられます。

同位体とは質量数以外の物理化学的特性が同じ核種（質量数の異なる同じ元素）のことを指しますが、この質量の違いは元素の反応や移動速度の違いを引き起こし、結果として地球上のさまざまな物質ごとに同位体組成の異なる現象をもたらしています。同位体組成は物質のつくられた経緯（反応経路や起源となる物質）やその物質が別の物質へと変えられるプロセスをあらわすことから、同じ種類の物質の同位体比が大きく変化した場合には、その物質をとりまく物質代謝の仕組みが変化していることを示しています。

従来の全窒素や全有機物といった総量に変化しない場合でも、その同位体比が変化した場合には、中身が入れ替わっていることを意味します。また、ある物質の濃度が下がった場合には、単純にきれいな水で薄まった場合と、分解もしくは生物などによって吸収された場合があります。後者の場合には同位体分別とよばれる重い同位体と軽い同位体とで反応速度が異なることによる同位体効果が生まれることから両者を区別することができます（図1）。

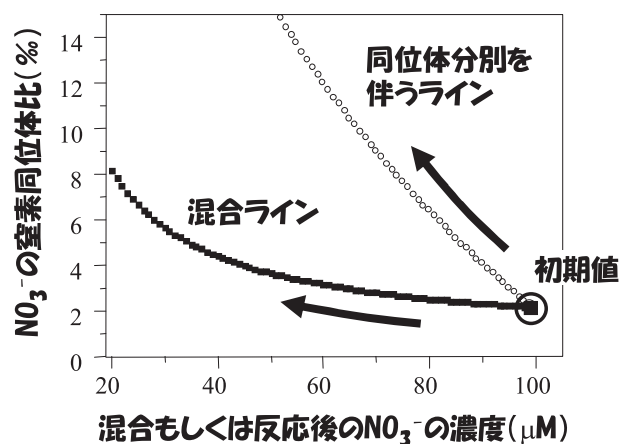


図1 硝酸イオン (NO_3^-) 濃度と窒素同位体比の関係
濃度の同位体比の変動をもたらした原因が同位体分別を伴う反応であったのか、異なる同位体比をもった水との混合によるのかを判別することができます。図中では、初期値の濃度 $100\mu\text{M}$ 、同位体比 2‰ とし、混合の場合は濃度 $20\mu\text{M}$ 、同位体比 8‰ の別の水との混合を想定し、同位体分別を伴う反応の場合は、同位体分別係数を 1.02 とした。

生物の生命維持のために必要な元素のうち、安定同位体をもつものには水素 (^2H , ^1H)、炭素 (^{13}C , ^{12}C)、窒素 (^{15}N , ^{14}N)、酸素 (^{18}O , ^{16}O)、硫黄 (^{34}S , ^{32}S) などがあります。それぞれの元素の同位体組成はその元素を含む物質の地球上での循環の結果を反映しており、水素や酸素の同位体比は主として水循環の研究に用いられています。また、炭素は二酸化炭素や有機物など生物の代謝や餌資源の解析に、硫黄の同位体比は大気降下物の由来や酸化還元環境の解析に使われてきました。窒素の同位体比は食物網の解析の他に、後述するように、流域への窒素負荷源や脱窒（硝酸イオン (NO_3^-) が亜酸化窒素を経て窒素ガ

スへと還元される反応)など環境浄化機能の解析に使われています。

わたしが解析している同位体組成は、炭素の安定同位体比 (^{13}C と ^{12}C の存在比)と窒素の安定同位体比 (^{15}N と ^{14}N の存在比)と酸素の安定同位体比 (^{18}O と ^{16}O の存在比)になります。生活排水や畜産排水が流入するようになると、水系の窒素同位体比が上昇することが経験的に知られています。一方、雨水

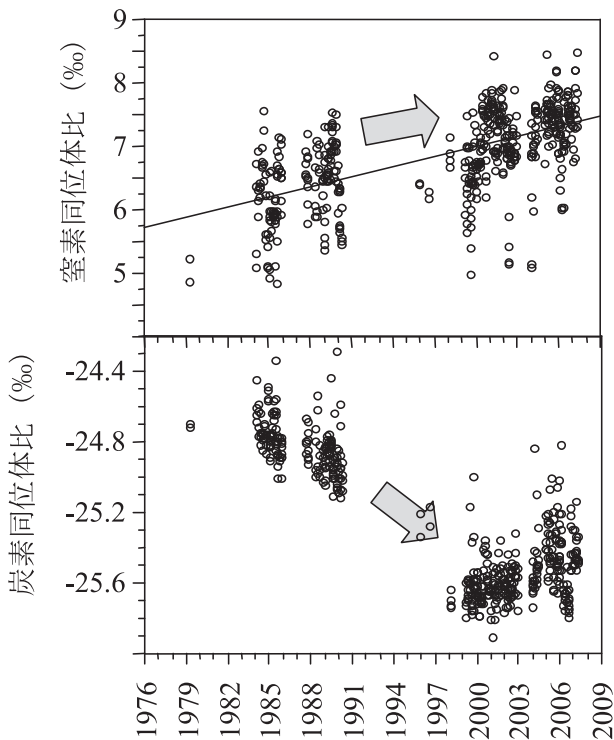


図2 霞ヶ浦湖心の底泥の表層0～2cmの窒素同位体比と炭素同位体比の過去30年間の歴史的変遷
窒素同位体比は30年間で1.5‰程度上昇し、炭素同位体比は0.8‰程度低下しました。

や雪解け水が直接流入することで NO_3 の酸素同位体比が上昇することが分かっています。現在の解析対象としては霞ヶ浦の底泥有機物と霞ヶ浦流域の多様な水系の NO_3 です。霞ヶ浦は広い集水域(面積2,200 km^2)を有しており、そこに100万人以上が暮らしています。その霞ヶ浦の底泥表層の窒素安定同位体比がこの30年間で2‰(パーミル:千分の一を表す単位)程度上昇したことがわかりました(図2)。このことから、1)湖内での脱窒活性が上がったか、2)霞ヶ浦へ流入する窒素の内訳が変化し、畜産由来のし尿や下水処理水由来の窒素の流入が増えたか、3)底泥表層での有機物分解が促進されたか、のいずれかであると推察されました。従来指標の全窒素量(TN)は近年横ばいであることから、窒素流入量の増大を引き起こすケース2)が主たる原因とは考えにくく、底泥での脱窒活性もしくは有機物分解活性が近年増加しつつあると考えられます。一方、霞ヶ浦の底泥表層の炭素の安定同位体比は1990年代の10年間で1‰程度低下し、その後上昇しています(図2)。炭素の安定同位体比は湖内での生産と分解のバランスの指標となり、低下すると分解の卓越した状態となっていることを意味しています。このことから、霞ヶ浦は1990年代には植物プランクトンによる光合成生産が鈍り、分解の卓越した状況に陥ったがその後回復しつつあることがわかりました。こうした底泥の窒素と炭素の同位体比の結果から、1990年代に霞ヶ浦の湖内での有機物分解もしくは脱窒活性が上昇した可能性が高く、霞ヶ浦の浄化

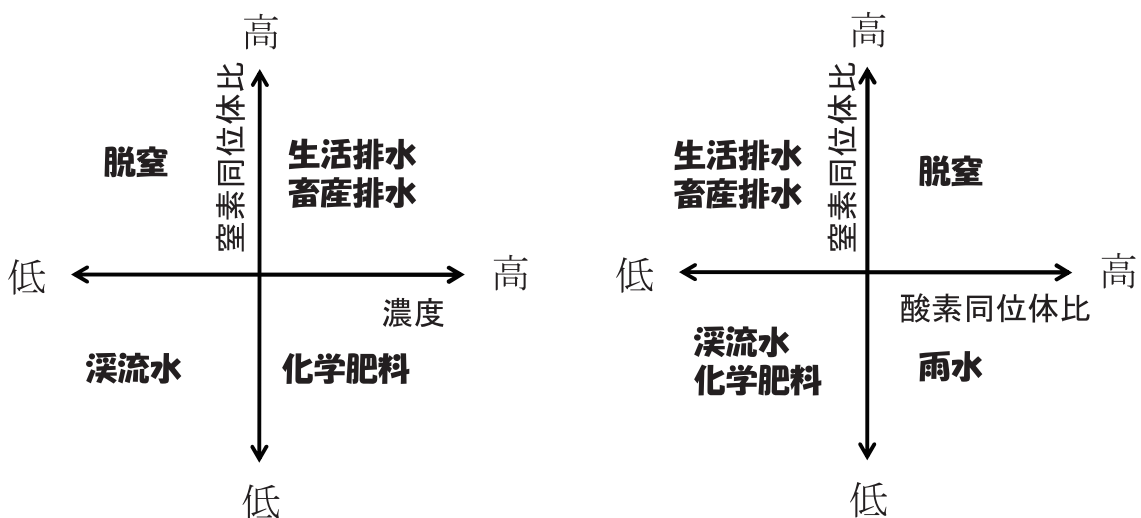


図3 主たる窒素負荷源から流出する NO_3 の濃度と同位体比の特性の概念図
農業排水は施与される肥料の種類が化学肥料か堆肥かでその特性は大きく異なると予想される。前者の場合は化学肥料の特徴に近く、後者の場合は畜産排水に近くなる。負荷されたのちに脱窒の起こる場合は硝酸イオンの濃度と同位体組成を大きく変化させる。

機能の柔軟性がうかがえます。

底泥の他にも流域からの物質流入を検出するすぐれた指標となりえるものとして NO_3^- の窒素と酸素の同位体比の変化をみる方法があります。有機物中の窒素は分解され、好気的な環境ではその多くは NO_3^- となって流下します。その NO_3^- の窒素同位体比は先ほど底泥でも述べた畜産由来のし尿や下水処理水が流入すると高くなる一方、酸素同位体比は雨水由来の NO_3^- の流入を検出することに利用できます。図3には主たる窒素負荷源から流出する NO_3^- の同位体特性を示しています。現在解析中の霞ヶ浦流域を含む多様な水系の NO_3^- の同位体分析の結果からは、窒素同位体比の高い NO_3^- の水として、堆肥を含む畜産由来や下水処理水由来と考えられるものと、農業用水として水田に汲みあげられる霞ヶ浦用水の二つの負荷源のあることが分かってきました。両者は NO_3^- の濃度が全く異なることから、 NO_3^- の濃度と窒素安定同位体比の組み合わせにより、流域の窒素循環の仕組みを解析する新しい手法を確立できると考えています。

しかしながら、この新しい同位体解析手法を多様

な環境、物質に応用する際には、まだまだ知られていない同位体比に影響する因子のあることが同時に分かってきました。たとえば、霞ヶ浦の底泥では、堆積過程での同位体比の変動はそれほど大きくないと考えられていましたが、実際は底泥の表層から深層への酸化・還元環境の大きな違いを反映して、窒素同位体比の変化することがごく最近明らかとなりました。底泥中の有機物は分解される一方ではなく、底泥中に生息し増殖している細菌によって再び有機物へと変えられるプロセスがありますが、そうしたプロセスが堆積後の窒素安定同位体比の変化として現われていることが分かってきました。

(こうず あやと、水圏環境研究領域
湖沼環境研究室)

執筆者プロフィール：

菌類の同位体組成からその生態を解析した研究で博士号を取得し、モンゴル草原や河川、湖沼での食物網構造の解析を行ってきました。現在は無機物、有機物、溶存態、懸濁態のあらゆる物質の同位体分析から流域の物質動態の解析を行いたいと考えています。



【環境問題基礎知識】

人工衛星のデータから世界各地域での二酸化炭素の吸収・排出量をどのように推定するか？—インバースモデル解析について—

高木宏志

はじめに

アメリカ西海岸や東アジア沿岸の大都市より遠く離れた太平洋上に位置するハワイには、現在米国海洋大気局NOAAが運用する大気観測所があります。ハワイ本島・マウナロア山の標高3397mにあるこの観測所は、大規模な人間活動や植物の呼吸の影響を直接受けないため、二酸化炭素の長期的な変動の観測に適しています。この場所で1958年よりチャールズ・キーリング博士により開始され、その後絶え間なく続けられた二酸化炭素観測の努力の結果は今日「キーリング曲線」とよばれていますが(図1)、観測開始より間もない1960年代、博士らの研究結果はそれまで単に理論としてしか認識されていなかった大気中の二酸化炭素濃度の上昇を揺るがない事実として世界に広く示すものとなり、その後の温室効果

ガス研究の礎となりました。

マウナロア山での観測が始まってから50年が経った現在、温室効果ガスの観測は2009年1月に打ち上げられた人工衛星「いぶき」(GOSAT)により、人間活動による土地利用の変化やエネルギー需要の増加などとともに刻々と変化する二酸化炭素の分布を地球規模で把握する、という新しい局面を迎えました。GOSATは現在、地球全体にわたり二酸化炭素の濃度を宇宙から観測しています。GOSATの観測から得られる二酸化炭素の分布データを詳しく分析すると、二酸化炭素が地球上のどの地域でどれくらい排出または吸収されているのかを知ることができます。ここで得られる情報は、陸上の植生、大気、海洋を巡る炭素の循環メカニズムの解明に役立つだけでなく、二酸化炭素排出削減に向け目標を適切に

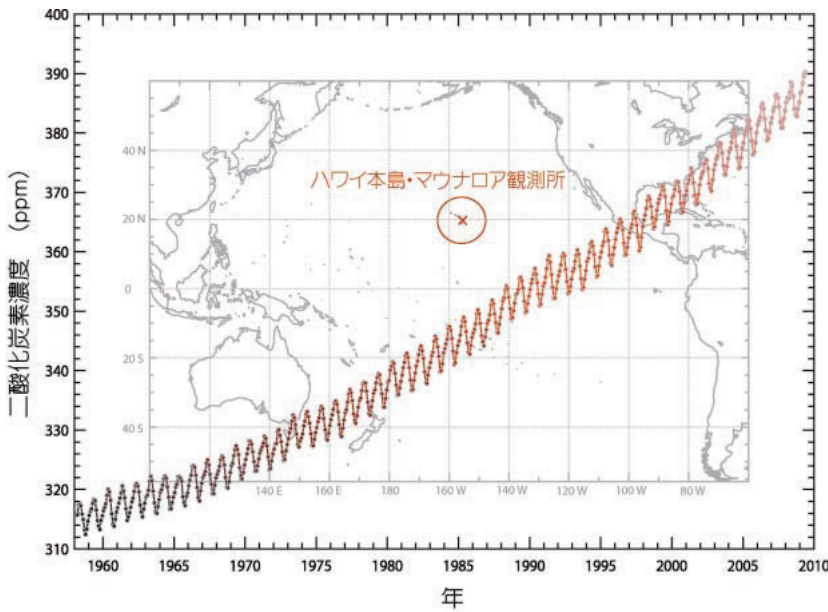


図1 「キーリング曲線」
 ハワイ・マウナロア観測所（北緯19.5度，西経155.6度）で測定された二酸化炭素濃度（1958～2009年）。米国スクリップス海洋研究所提供のデータより作図。

設定する上で重要な情報となります。この計算には「インバースモデル解析」とよばれる方法が使われますが、ここでは、二酸化炭素の地域ごとの吸収・排出量がこの解析手法によりどのように求められるのかを簡単に説明したいと思います。

インバースモデル解析とは

二酸化炭素の吸収・排出量の計算に限らず、インバースモデル解析は私たちの身近なところで使われています。例としては、自動車などに用いられているGPSナビゲーションシステムの現在位置計算に、医療現場ではCTスキャン画像の作成に、また地震の研究においては震源地の推定にと、様々な分野で応用されています。インバースモデル解析では、ある観測結果から逆にその原因を調べるため「インバースモデル」（逆推定）とよばれています。例に挙げた震源地の推定では、世界各地に設置されている地震計が記録した揺れのデータ（観測結果）から、震源の位置（原因）を逆推定します（図2左）。インバースモデル解析は、

震源の位置や強さなどの直接測ることができない値を調べる際に使われています。

GOSATの観測データから各地域の吸収・排出量がどの様にして分かるのか？

GOSATは3日をかけて地球をくまなく巡り、定められた地点で二酸化炭素の濃度を観測します。ある場所では高く、他では低いといった全地球規模の濃度分布を示す図が3日ごとに得られます。この濃度分布図を蓄積していくと、全世界で二酸化炭素の濃度が時間とともにどのくらい変化するのがわかります。各地での濃度の変化は、周辺での人間活動や、排出された二酸化炭素を運ぶ

風の動き、森林の呼吸、また海洋による吸収・排出によってもたらされます（図2右）。インバースモデル解析を使うと、各地の濃度に変化をおよぼすこれらの「原因」、つまり世界の各地域における二酸化炭素の吸収・排出の度合いを、GOSATの「観測結果」である全地球の濃度分布データから逆推定することができます。

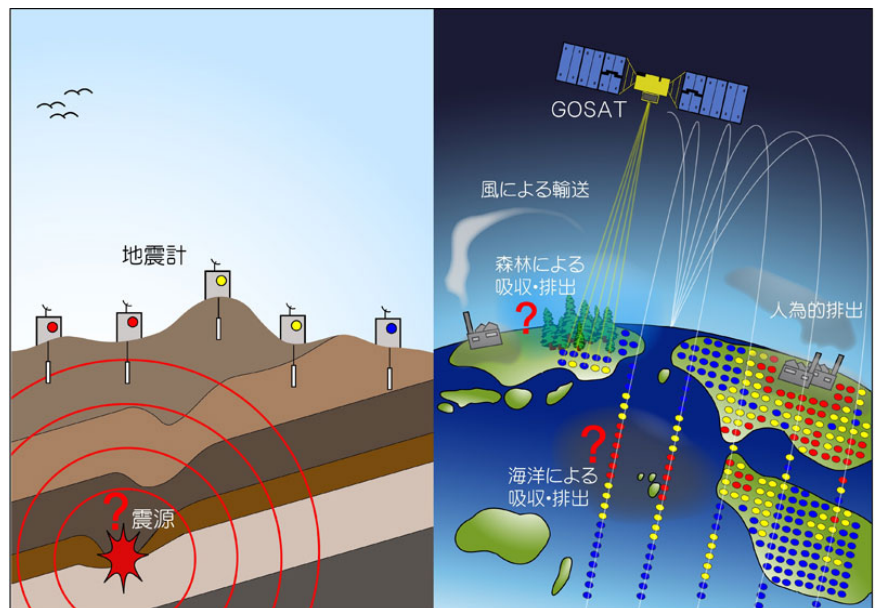


図2 震源地の推定とGOSATを用いた二酸化炭素の吸収・排出量の推定
 インバースモデル解析を使った震源の推定では、各地の地震計が観測した揺れのデータから震源の位置を逆推定します（左）。二酸化炭素の吸収・排出量の推定では、GOSATの観測から得られる全地球規模の二酸化炭素濃度分布データから世界各地域で排出または吸収される二酸化炭素の量を逆推定します（右）。

インバースモデル解析の流れ

地球の大気の動きを再現するコンピュータープログラム（大気輸送モデルとよばれています）に、二酸化炭素を運ぶ風のデータ（風向風速データ）と、統計資料などに基づいた世界各地でのおおよその吸収・排出量のデータ（図3-①）を入力し計算をさせると、GOSATの各観測地点での二酸化炭素濃度の予測値を得ることができます（図3-②）。このようにして求められた予測値とGOSATが実際に観測した値との間には当然ずれ（図3-③）があるわけですが、この「ずれ」は予測値を調節することで小さくすることができます。予測値が観測値より低いところでは、予測値の計算に使われたその地域の排出量を上げ（吸収量を下げ）、逆に予測値が観測値より高いところでは排出量を下げる（吸収量を上げる）、といった具合にバランスをとることで「ずれ」が小さくなります。この細かな調節をインバースモデル解析で数学的に行います（図3-④）。こうして各地域での「ずれ」が最も小さくなるように調節された吸収・排出量が、インバースモデル解析により逆推定される地域別の二酸化炭素吸収・排出量となります（図3-⑤）。ここでの推定誤差は、大気輸送モデルの大気を再現する能力などにより影響を受けるため、様々な改善が現在行われています。

GOSATプロジェクトでは、全球を64分割した亜大陸規模の地域(数千km四方)における二酸化炭素の月ごとの吸収・排出量を推定し、その結果を2011年より公開する予定です。

おわりに

二酸化炭素の地域別吸収・排出量の推定は、これまではおよそ2週間に一度の間隔で測定される百数十の地上観測地点でのデータを主に用いて行われていましたが、3日で全地球を網羅するGOSATのデータを使うことにより、その推定精度が格段に向上することが期待されています。キーリング氏により開始され、その後幾度となく政治的・資金的問題などにより観測中断の危機に直面するなか、地道に続けられたマウナロア山での二酸化炭素観測の努力は、人類による化石燃料の大量消費と地球温暖化を結ぶ大きなきっかけとなりました。やがてこの努力は地上観測ネットワークの設立へ、そして半世紀後にはGOSATによる全球観測へとつながり、温室効果ガス研究に新たな時代が訪れています。マウナロア山での観測開始当初315ppm程度であった二酸化炭素濃度は今年390ppmに達し（図1）、その増加傾向を維持しています。GOSATによる全地球規模での継続的な観測の取り組みが、世界各地における二

酸化炭素の吸収・排出量のより正確な理解へとつながり、さらなる地球温暖化を回避するための布石となることを願ってやみません。
（たかぎ ひろし、地球環境研究センター）

執筆者プロフィール：

学生時代にヒマラヤ遠征をした際、山麓地域に点在する美しい氷河湖を見ましたが、近年では氷河の融解が加



速し、中には決壊する危険性のあるものもあるとか。遠征当時、飲料水は氷河の氷を溶かして得ていましたが、氷河の融解がさらに進むと山中での飲料水確保が難しくなるため、将来のヒマラヤ遠征はより難易度が増しそうです。

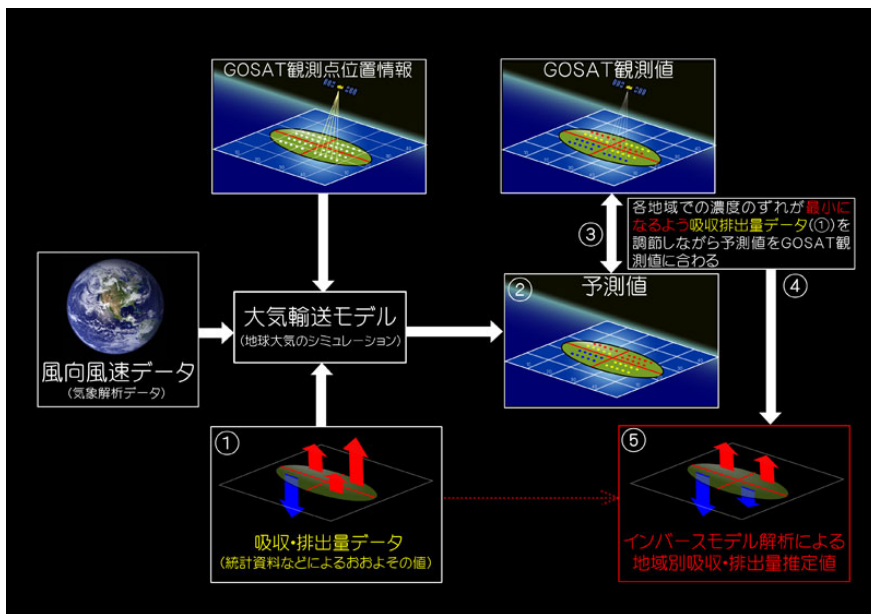


図3 GOSATによる濃度分布データを使った地域別吸収・排出量逆推定の流れ
ここでは図中の4つの地域（緑色の楕円内）を例にインバースモデル解析の流れを示します（説明は本文を参照）。楕円上の小さな点はGOSATの観測点を、赤・黄・青の各色は観測点での二酸化炭素濃度を表わします。吸収・排出量データの中の上方向の矢印は、各地域での吸収（青）・排出（赤）量を示します。

【調査研究日誌】

熱帯の埋立地の上で

山田 正人

飛行機の扉を出て、携帯電話にスイッチをいれながらロビーまで続くエプロンを歩いていると、次第にその国独特の匂いが漂ってきて異国に着いたことを感じます。ごみの埋立地もまた、足を踏み入ると、その国の臭いが歓迎してくれます。韓国の埋立地ではキムチの匂い、マレーシアの埋立地ではスパイスの匂い、タイやベトナムの埋立地では魚醤の匂い。機材を車から降ろしながら、そんな匂い（臭い）とハエにたかられて、ここは確かに異国の処分場なんだと実感するわけです。

私は、ここ十年来、ごみの埋立地から生ごみなどが腐敗して発生する埋立地ガスについて研究しています。発生したガスは地表面やガス抜き井戸から大気へと放出されますが、その成分や量は数十年にわたってごみが腐敗してゆく様子を表しており、埋まっているごみの変化を、掘り起こさないでうかがい知ることができて便利です。最近では、埋立地ガスには温室効果ガスであるメタンが含まれるため、いつまでどれくらい埋立地ガスが発生し続けるのか、どうすれば大気への放出が抑えられるのか、廃棄物処理と地球温暖化の双方の分野で日本以外ではホットな話題です。

日本では、家庭や街から発生する生ごみのほとんどは焼却されるようになり、燃え残った灰が埋立地に埋められているので、埋立地ガスは年を追う毎に

発生しなくなってきました。温室効果ガスの発生源としての問題は幸運にもほぼ解決しています。私にとっては不幸にも、国内でガスが発生している埋立地を探し出すのが年を追う毎に困難になっています。そこで、問題が片付いていない外国へと研究の足場を移しつつあるわけです。特に気候とガス発生の関係を調べるため、あまり研究されていない（というか自分自身がよく知らない）近場の熱帯、東南アジアの埋立地を目下の研究対象にしています。

埋立地はどここの国でも地元の役所が管理しているので、現場に立ち入って観測や実験をする許可を取り付けなければなりません。常套手段は、国際学会や会議などで現地の人と仲良くなってツテをつけてもらい、現地の担当者と何度かやりとりをして、最後は役所に直談判（ご挨拶）しにいきます。約束の時間に役所にたどり着いて、ここまで来て断られはしないか、そうしたらせっかくここまで来たのに無駄足だなあ、とドキドキしながら面会の部屋へと案内されると、むしろ大歓迎（写真1）で、多大な期待の責任の重さにドキドキしてしまいます。

そうこうして、ようやく現場に立ってまず気がつくのは、冒頭の臭いもそうですが、うごめく人と生き物の多さです。ごみの上で働く人々（写真2）はウェイトピッカーと呼ばれ、埋立地に運ばれたごみから金属やガラス、プラスチックといった有価物



写真1 大歓迎のラムチャバン市（タイ）
（パネルの大きさ：約120cm×250cm）



写真2 ウェイトピッカー
（バタヤ（タイ）の埋立地にて）



写真3 ハエ(ラムチャパン(タイ)の埋立地にて)



写真4 チャンバー(斜面で測っているのちょっとつらい)



写真5 地表面ガスフラックスの測定風景(手前の黒い筒はガス抜き井戸)

を回収しています。こんな劣悪な環境で気の毒に...
と思いがちですが、事情を聞いてみると、最近の資源価格の高騰のため収入が結構よいとのこと。良いのか悪いのか考えさせられます。生き物は鳥と犬と牛とハエです。私は行けなかったのですが、同僚によるとある埋立地では、千匹以上の犬が穴を掘って住んでいて、何かしようとして近くを動くと、一斉に穴から顔を出してこちらを...。行かなくてよかったです。ハエは写真3のような感じです。

さて、埋立地にたどりついた私たちは、底の抜けた箱、チャンバー(写真4)を地面に置いて埋立地ガスの放出量(地表面ガスフラックス)を測定しています。ひとつの場所の測定時間は10分ほどですが、3歩離れただけでも数十倍から数百倍も量が変わる場合があり、広い埋立地で平均的な値を得るためには、たくさんの場所を測らなければなりません。写

真5のように、照りつける熱帯の太陽の下、地元の応援も借りた数名がチャンバー(現地購入の洗い桶であることが多い)を持って、移動しながら地面に置いて、じっと待って、また立ち上がる単調で地味な作業をしています。

そうこうするうちに日が暮れて、宿に帰ってシャワーを浴びて、真っ黒になった互いの顔を冷やかしながら、ぐぐいと飲み干す氷入りビールの冷たさが、なんともたまらないのも熱帯の埋立地の調査です。

(やまだまさと、循環型社会・廃棄物研究センター 資源化・処理処分技術研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール:

柏出身。サッカーとは苦痛と絶望をもたらすスポーツであることを改めて思い知らされたシーズンでした。



【研究所行事紹介】

第6回韓中日三カ国環境研究機関長会合（TPM6）の開催について

企画部 広報・国際室

平成21年11月25日から27日までの3日間に亘り、韓国・ソウル市において、国立環境研究所（日本）、国立環境研究院（韓国）、中国環境科学研究院（中国）の理事長・院長が出席して、第6回韓中日三カ国環境研究機関長会合（TPM6）が開催されました。

この会合は、平成16年2月に日本、韓国、中国における中核的な環境研究機関がより緊密に協力していくための枠組みとして設置され、以後、ほぼ毎年各研究機関が持ち回りで開催しており、今回で6回目となります。

TPM6は、26日に韓国国立環境研究院の尹（YOON）院長の開会挨拶でスタートし、国立環境研究所大垣理事長及び中国環境科学研究院の孟（MENG）院長による挨拶がありました。

引き続き、各研究機関の研究活動の概況が紹介された後、TPMの枠組みの下での研究協力についてのレビューが行われました。国立環境研究所からは、「水質汚染防止－中国農村地域における生活排水の分散型処理－」について発表しました。

また、韓国国立環境研究院から、新たな共同プロジェクトとして「リサイクル製品のリスクアセスメント及び安全性ガイドラインに関する研究」の提案があったほか、研究者の交流システム等々に関して意見交換を行いました。韓国の新たな提案については、三者において基本的に合意し、早期に細目について意見交換することにしました。翌27日には、これらの合意事項を内容とした共同コミュニケに、三機関の理事長・院長が署名しました。

なお、TPM2からその開催に併せ、特定テーマについてのワークショップを開催しており、今回のテーマは、「気候変動への適応を通じた低炭素社会の実現」でした。国立環境研究所からは、「気候変動シミュレーションのための大気・海洋結合循環モデル“MIROC”の新バージョンの紹介」、「GOSATによる地球規模の炭素分布の観測及び気候変動研究における役割」及び「気候変動政策の評価の概要及び2050年に向けての日本とアジアの低炭素社会の研究」について発表しました。

次回のTPMは、中国環境科学研究院の主催で、2010年の秋に中国・青島において開催される予定です。



共同コミュニケに署名

（左：中国環境科学研究院 孟院長，中：韓国国立環境研究院 尹院長，右：国立環境研究所 大垣理事長）



共同コミュニケの署名を終えて

新刊紹介

国立環境研究所特別研究報告 SR-86-2009 (平成21年9月発行)

「省エネルギー型水・炭素循環処理システムの開発(特別研究)」(平成18～20年度)

本報告書は、平成18～20年度の3年間にわたって実施した特別研究の研究成果を取りまとめたものです。有機性排水処理に関わるエネルギー消費量の大幅削減が可能な処理技術の確立を目指して、生物膜メタン発酵法による低濃度産業排水の無加温処理技術の開発を行い、今まで好気性微生物処理(活性汚泥法など)の範疇であった低有機物濃度(300～1,000 mgCOD_{Cr}/L)、低水温(10～20℃)の排水に対する嫌気性処理法(省・創エネルギー処理)の基礎を確立することができました。また、嫌気性処理(UASB)と省エネルギー型の好気性処理(DHS)との組み合わせによる都市下水の実証処理試験の結果、無加温運転で年間を通じて良好な処理水質を維持した上で、活性汚泥法と比較して消費エネルギーの7割削減を達成しました。本研究の成果を、有機性排水処理の省エネルギー化とそれに伴う温室効果ガスの削減、開発途上国における排水処理技術の普及などの施策に結びつけ、水環境および地球環境の保全に役立てていきたいと考えています。(水圏環境研究領域 珠坪一晃)

国立環境研究所特別研究報告 SR-87-2009 (平成21年9月発行)

「化学物質の動態解明のための同位体計測技術に関する研究(特別研究)」(平成18～20年度)

本報告書は、平成18～20年度の3年間にわたって実施した特別研究の成果を取りまとめたものです。この特別研究では、有機物の放射性炭素から、無機元素の安定同位体まで、いろいろな環境試料に応用できる、試料前処理法を含めた高精度な同位体計測システムの確立を目指して研究を進めました。残念ながら、環境中にある無機、有機有害化学物質は多種多様であり、その全てに対応できる普遍的な同位体分析手法を作り上げることは困難ですが、本研究で確立されたアルデヒドの放射性炭素や鉛の同位体分析技術は、今後、有害金属の同位体分析や有害有機物の放射性炭素測定に応用でき、有害化学物質の起源推定と環境中におけるその濃度低減対策に役立つことが期待されます。また、多くの環境試料についてこの同位体分析手法を応用して行く中で、さらに高度な同位体計測技術が蓄積され、将来問題となってくる有害物質の環境問題解決、リスク低減へも貢献できるものと考えています。(化学環境研究領域 瀬山春彦)

国立環境研究所特別研究報告 SR-88-2009 (平成21年9月発行)

「侵入生物・組換え生物による遺伝的多様性影響評価に関する研究(特別研究)」(平成18～20年度)

本報告書は、平成18～20年度の3年間にわたって実施した特別研究「侵入生物・組換え生物による遺伝的多様性影響評価に関する研究」の成果をまとめたものです。

この報告書で取り上げた侵入生物とは、人間の活動に付随して侵入する生物のことを指します。このような侵入生物の種数は1990年代以降の世界的な自由貿易のひろがりにより、日本においても加速度的に増加することが予想されています。このような背景をふまえて、本研究では、遺伝子の多様性(遺伝的多様性)を脅かす人為的要因として「遺伝子組み換え生物の拡散」と「人為的な生物の移送」に焦点をあて、こうした行為が、在来種の地域個体群にどのような影響を与えているかを解明しました。本報告書の中で示された知見が今後さらに充実し、侵入生物防除対策へ生かされることを期待しています。(生物圏環境研究領域 中嶋信美)

NIES Annual Report 2009 AE-15-2009 (平成21年10月発行)

本英文年報は海外の研究者や行政担当者などを対象に、独立行政法人国立環境研究所の調査・研究の現状を紹介することを目的として年1回発行されています。第2期中期計画の調査・研究部門を担う、研究プログラム担当の3センターと1グループ、6つの基盤研究組織および環境研究基盤技術ラボラトリー、環境情報センターで実施された調査・研究、国際交流、広報活動等の概要が分かりやすく記述されています。また、研究所の組織、予算、研究施設・設備の状況、研究成果の一覧、その他研究所の活動の全体像を知る上で役に立つ様々な資料が掲載されています。(編集委員会英文年報班主査 村上正吾)

表彰

受賞者氏名：高橋 潔、脇岡靖明、原沢英夫

受賞年月日：2009年9月12日

賞の名称：平成21年度地球環境論文賞(社団法人土木学会地球環境委員会)

受賞対象：温暖化政策支援モデルのための県別ブナ林影響関数の開発(地球環境研究論文集, 16, 111-119, 2008)

受賞者からひとこと：和文論文誌「地球環境研究論文集」に掲載された論文の中で上記論文の成果が評価され表彰されたものです。

本研究は環境省地球環境研究総合推進費課題「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」の一環として行われました。温暖化政策支援モデルへの実装を想定し、地球温暖化によるブナ林の分布適域の変化を簡易に推計できるように、年平均気温変化及び年降水量変化率を説明変数とする県別ブナ林影響関数を開発し、その関数を用いて温暖化のブナ林影響の分析を実施しました。2013年以降の温暖化対策の国際枠組の議論が活発化する中で、その検討の支援材料の一つとして我が国での影響の見通しを示す必要がありますが、いかにすれば議論に資する形でその見通しを伝えられるか、森林総合研究所の共同研究者らと共に悩みながら手探りで実施した研究です。本研究が高く評価されたことは、著者らの励みになるとともに、国内の温暖化影響研究に弾みをつけるものと思います。なお、本論文に先駆けて同じく土木学会の発行する和文論文誌「環境システム研究論文集」に「温暖化政策支援モデルのための全球水資源影響関数の開発」(著者：花崎直太・増富祐司・高橋潔・脇岡靖明・原沢英夫・松岡謙)を発表しており、本論文はそこで提案した「影響関数」手法をブナ林影響に拡張したものです。この場を借りて紹介いたします。

受賞者氏名：長谷川就一

受賞年月日：2009年9月16日

賞の名称：大気環境学会平成21年度論文賞（大気環境学会）

受賞対象：PM_{2.5}中元素状炭素の自動車排出係数の推計と一般環境における大気中濃度の変動（大気環境学会誌, 43(5), 273-283, 2008）

受賞者からひとこと：受賞論文は、山神真紀子氏（名古屋市環境科学研究所）が主著者であり、鈴木秀男氏（システム設計環境解析研究所）、中島寛則氏・平生進吾氏（名古屋市環境科学研究所）、若松伸司氏（愛媛大学）との共著です。本論文は、名古屋市の道路沿道における大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）の観測データを基に、PM_{2.5}の主要成分である元素状炭素（EC）の自動車排出係数を推定・評価し、長期間の一般環境での観測データを基にPM_{2.5}中のEC濃度変動特性を解析し、得られた排出係数を用いて一般環境中のEC濃度への自動車の寄与を評価したものです。特に、報告例の少ない微小粒子中のEC濃度の実態を明らかにした点および環境データから信頼できる排出係数を求めた点で評価されました。折しも、PM_{2.5}が環境基準として設定されることが決定したばかりであり、今後もPM_{2.5}に関する観測と解析は重要性を増していくと思われまますので、今回の受賞を励みに、なお一層取り組んでいきたいと思ひます。

受賞者氏名：小林弥生

受賞年月日：2009年11月5日

賞の名称：日本薬学会環境・衛生部会賞（日本薬学会環境・衛生部会）

受賞対象：分析毒性学的手法を用いたセレンならびにヒ素の代謝機構の解明

受賞者からひとこと：この賞は「衛生薬学の基礎および応用（試験法開発を含む）」に関し、独創的な研究を実施中で、将来の発展または社会への貢献が期待される業績を挙げつつあり、かつ将来、衛生薬学領域において中心的役割を果たすことが期待される者に授与されるものです。これまで、分析毒性学的手法を用いてメタロイドであるセレンやヒ素の代謝物をできる限り生体内に近い状態で捉えることにより、これらメタロイドの代謝に関して基本的な概念を明らかにしようと研究してきました。受賞対象の研究は、高速液体クロマトグラフを用いて生体成分を「分離」し、質量分析器を「検出」機器として用いることにより、生体内における様々な生化学的反応を推定できるハイフォネーション技術と呼ばれている手法を用いて行いました。セレンに関しては哺乳類における主たる尿中代謝物がセレン糖であることを初めて明らかにし、ヒ素に関しては環境有害物質としてのヒ素の代謝、毒性発現機構に加えて、ヒ素の解毒に関する研究を進めています。

受賞者氏名：三枝信子

受賞年月日：2009年11月26日

賞の名称：日本気象学会堀内賞（社団法人日本気象学会）

受賞対象：森林生態系における炭素循環の観測的研究とそのアジアへの展開

受賞者からひとこと：気象学会堀内賞は、気象学の境界領域や未開拓な分野における研究で、気象学の発展に貢献したものに授与される賞です。このたびは、1996年以降（当時は産総研に在職）進めてきました、森林炭素循環の観測技術に関する研究と、東アジアにおけるCO₂収支広域解析の研究などが、新しい分野の開拓に寄与すると認められました。森林炭素循環の観測技術の研究では、微気象学的理論に基づいてCO₂収支を観測する手法の技術改良や精度検証を行いました。東アジアの広域解析とは、AsiaFlux（アジアにおけるCO₂収支等の観測網）に基づき、数多くの機関の共同研究者の皆さんと数多くの観測データを集めて統合的に解析したもので、CO₂収支の季節変化や年々変化のパターンが、亜寒帯から熱帯に至る緯度帯や生態系のタイプによって大きく異なる特徴を持つことを明らかにしました。今後も気候変化にアジアの生態系がどのように応答するかを明らかにするための研究を推進したいと考えています。

編集後記

国環研ニュース12月号をお届けします。今回は、12月号の編集作業と同時に、委員会内では国環研ニュースのあり方についても並行して議論が行われました。外部へのアウトリーチ活動が様々な場面で強調されますが、受け取る側はどう思っているのか。国環研ニュースを読んでいるのでしょうか。そもそも紙媒体とオンラインではどう受取り手は異なっているのでしょうか。

魅力的な誌面づくりとは、読む相手が何を魅力的と思うかを

知って初めて可能なのではないかしら、と思ひます。確かに、写真を多用し、ホットなトピックをインタビュー記事などホットな仕立てで掲載すれば魅力的に見えるかもしれません。しかし、そもそも国環研ニュースの役割は何なのでしょう？企業の広報誌とも違うはずですし、もちろん書店売りの雑誌でもありません。「国環研ニュース」としてのそのあり方から議論してはじめて結論のすることかもしれない、と思ひます。（M.A.）

編集 国立環境研究所 ニュース編集小委員会

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

連絡先：環境情報センター情報企画室

☎ 029 (850) 2343 e-mail pub@nies.go.jp