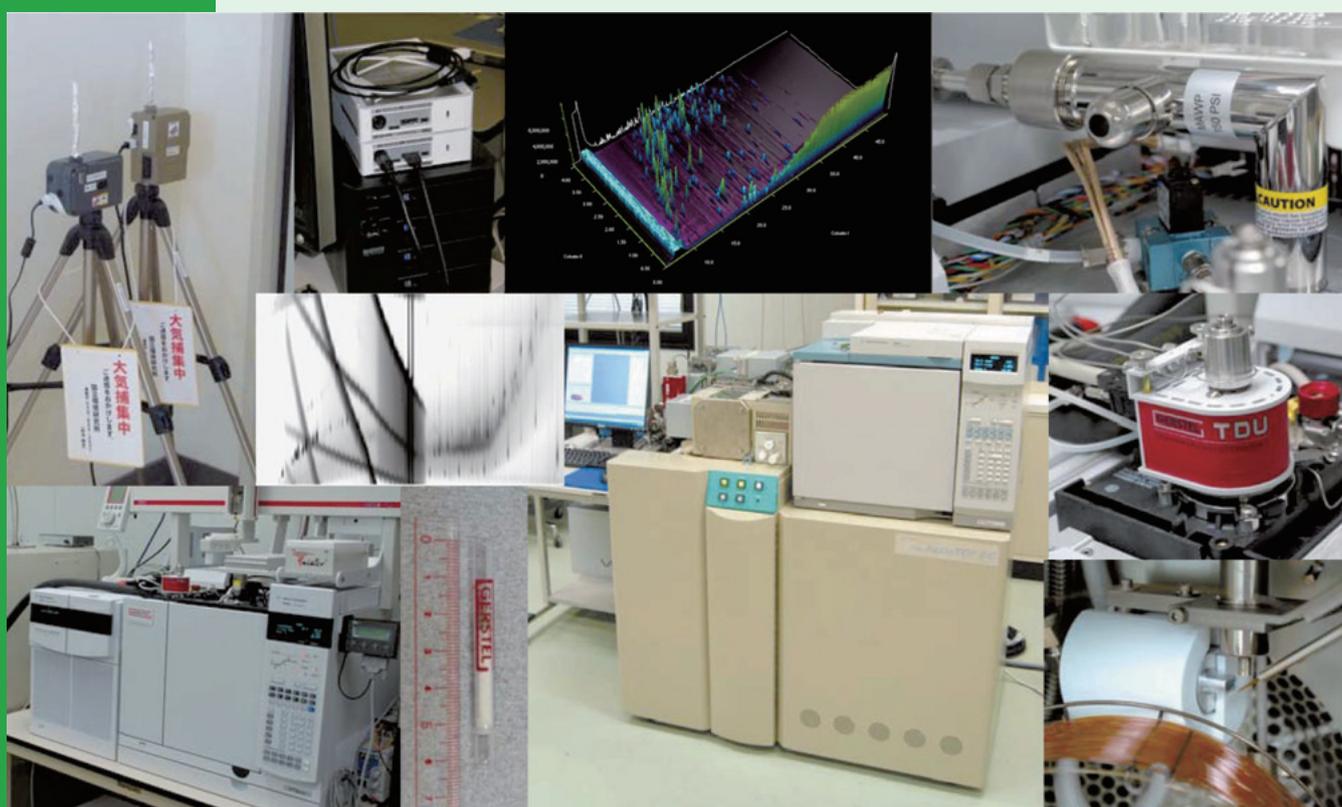


特集 環境汚染物質と先端化学計測



多次元ガスクロマトグラフ-高分解能飛行時間型質量分析計ほか

Contents

- 2 環境を測る
- 4 有機分析の新展開—網羅分析法開発
- 7 POPsモニタリングの分析法
- 10 化学物質の登録と管理:特定化学物質の環境への排出量の把握等及び
管理の改善の促進に関する法律 (PRTR法)
- 12 低炭素社会の実現に向けた実践的な研究を目指して
- 15 枠にハマった調査
- 18 科学技術週間に伴う一般公開「春の環境講座」開催報告
- 19 「夏の大公開」のお知らせ



環境を測る

柴田 康行

かつて、航海に欠かせない道具の一つに測鉛がありました。綱の先に鉛の重りをつけ、海に投げ入れて海底の深さを測る道具です。先端のくぼみに油脂をぬって投げ込み、くっついてきた砂や貝殻などから海の底の状態を知って、周辺の海の成り立ちや付近の海岸の様子を推測することもできました。一本の綱の先にぶらさげた重りの上げ下げだけで、昔の舟人は見えない海の中の様子について必要な情報を探りながら、港を目指して航海を続けました。今でも測るという言葉を知ると、少年時代に親しんだ海洋冒険小説に登場する、測鉛を投げるシーンが思い浮かびます。

今日では、様々な気象データを受け取り、レーダーやソナーの信号で周辺海域の状態を探りながら、衛星からの電波を受けて位置を絶えず確認しつつ、精密な海図に従って昔よりはるかに安全に航海を行うことができます。それでも、ほかの船舶や不意の漂流物、時々刻々と変わる海況等に的確に対処するために、五感を常に最大限働かせながら周囲から様々な情報を受け取って、安全な航海を心がけなければなりません。

私たちの住む環境をどう維持していくかについても、同じことが言えます。一人の人間にとっては無限の大きさを持つように思えるこの地球も、ロケットで打ち上げた探査機から眺めれば、広大な宇宙に浮かぶ青くはかない一つの球体にすぎません。その表面のごく薄い大気の層に覆われた地表に、70億人の人間が、多様な生態系とともに広がって生活しています。科学技術の進展に伴い快適で安全な社会生活を営めるようになってきた一方で、人類の生活の場を提供する地球表層の生物圏の存続が危ぶまれるほどに、人間活動が大きな力を持ち影響を与えるようになってしまいました。そのことが意識され、人間の営みが自分たちを含む生態系に深刻な影響を与えることのないよう、人間活動の影響や環境の変化の様子を監視しながら、様々な取り組みが行われています。

取り組みを進める上で、まずは現実の環境がどうなっているか、何が問題か、何が原因か等を明らかにすることが必要です。さらに取り組みの結果環境の状態がどう変わったかを調べ、さらなる取り組みが必要かどうかを判断することも重要です。そのためには、環境の状態や人間活動の影響を「測る」ための様々な環境計測手法が必要となります。温暖化などの地球規模の環境問題から工場周辺の汚染問題まで、様々な規模、種類の環境問題に対処するための環境計測手法の柱作りを目指して、環境計測研究センターでは先端環境計測研究プログラムを推進しており、その中で、(1) 人為起源、自然起源を問わず様々な化学物質を網羅的に分析する新たな手法の開発、(2) 物質の動きや環境・生態系の状態を追跡/評価できる、よい目印となる指標(トレーサー)の開発、(3) 広い範囲の環境や生態系の状態を把握できる、衛星等を使った新しい遠隔観測手法の開発、の3つの研究を進めています。

環境問題の中でも、化学物質の適正管理は重要な課題の一つです。新しい化学物質を開発したり、重金属の特徴的な性質を利用することで、私たちの生活はより安全に豊かになってきました。その一方で、水俣病やイタイイタイ病など、時に重篤な公害問題も引き起こされてきています。農薬や、プラスチックなどを燃えにくくする難燃剤をはじめ、人間が目的をもって製造、使用している化学物質の数は数万種類にも上るとされます。それらの中には便利な性質を利用するため使われているうちに、毒性が見つかって製造禁止に至ったり、悪影響が懸念されるようになった化学物質もけっして少なくありません。拡大する一方の化学物質利用の陰で、監視すべき化学物質の数も増え続けており、これらを迅速、的確に監視して、影響が出る前に警鐘を鳴らすことが求められます。これまでも毒性等が懸念される化学物質が出るたびに、新たな環境分析手法が開発されてきました。しかしながら、従来の考え方に基づく手法では、あらかじめ測定対象に想定したものしか

測ることができません。監視物質の増加にともない、分析法も屋上屋を重ねたような状態になってきています。今後も増え続けるであろう監視対象物質によりの確、迅速に対処するため、プログラムの課題の一つとして環境中あるいは生体中に存在する化学物質を一斉に網羅的に測定できる、新しい分析体系の確立を目指して研究を進めており、本号ではその概要をご紹介します。

本プログラムの成果が、惑星「地球号」の進路を決める上で、必要な情報を的確に提供できる21世紀の測鉛となることを願っています。

(しばた やすゆき、環境計測研究センター
上級主席研究員)

執筆者プロフィール：

研究所に入って30年余りの研究生活を送る間、セレンやヒ素などの無機元素から始まって、放射性炭素の環境研究への応用、残留性有機汚染物質、特にフッ素系界面活性剤に関する研究等、様々な研究で計測手法の開発と応用を行ってきました。出身学科(生物化学科)を反映してか、対象は生物試料が大半です。とはいっても対象は広く、海藻、植物・動物プランクトン、魚類、軟体動物、甲殻類、サンゴ、鳥類及びその卵、実験動物、さらには人の血液や尿、へその緒なども分析してきました。最近ではトンボを使った環境モニタリング手法の開発にのめり込んでいます。

【シリーズ先導研究プログラムの紹介：『先端環境計測研究プログラム』から】

有機分析の新展開－網羅分析法開発

橋 本 俊 次

「多次元分離技術による環境および生体中有機化学物質の網羅分析法の開発」は、平成23～27年にかけて環境計測研究センターが推進している先端環境計測研究プログラムの中のプロジェクト研究のひとつで、化学物質による環境汚染の多様化に対応するために、網羅的・一斉・高感度・高精度・迅速をキーワードとした次世代の分析法を開拓しようという研究です。

化学物質の種類は近年急増しており、米国化学会のデータベース(CAS)への物質登録数が5年以内に1億件を突破する見込みです。我が国では、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)」や「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(PRTR法)」などの法律によって化学物質の製造や使用が管理されていますが、生産量の少ない物質や副産物、不純物、非意図的生成物、環境や生体中での代謝物や分解物、天然由来の物質などは法律の対象ではありません。

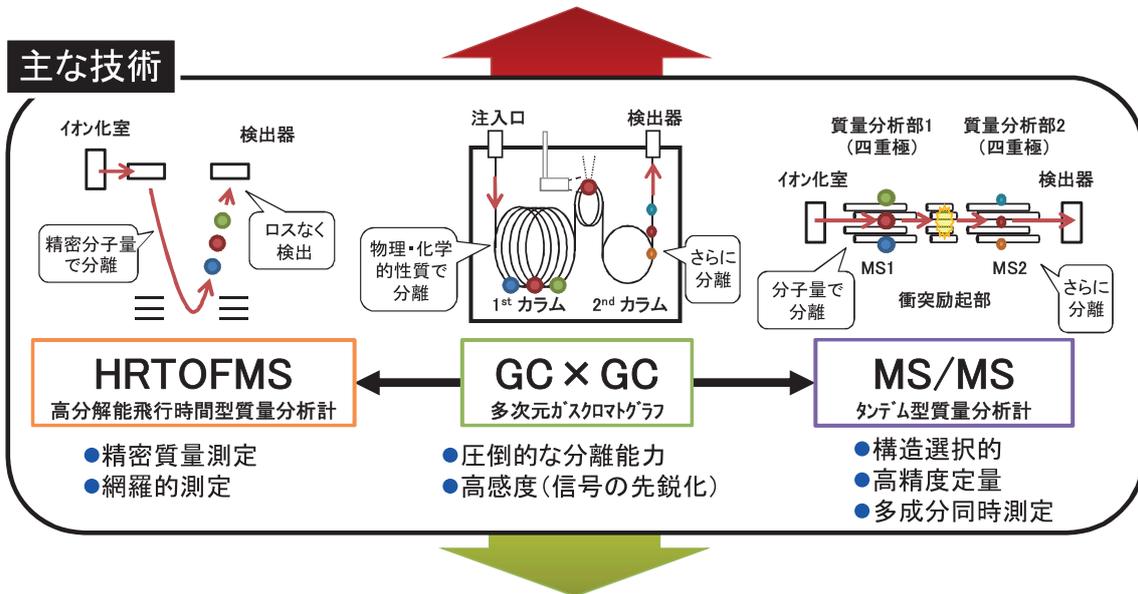
そのような化学物質の中には、人や生物に悪影響を及ぼすものもあります。研究や調査が進むにつれ、問題となる物質も年々増加していくと予想されます。

しかし、化学物質を測る技術の進歩は、このような現状に追いついていません。現行の分析法で環境や生体試料中の極微量の汚染物質を正確に測定するためには、分析装置に導入する前に有機溶媒による試料の抽出と測定を妨げる物質を除くための精製が必要になります。さらに、対象物質毎に分析法が異なるため、対象物質が増えれば、分析に時間と資源、費用が掛かることとなります。また、当然のことながら、測定対象外の物質については知ることができません。このような現状では、知らない間に有害物質に曝露されているかもしれないという人々の漠然とした不安は、いつになっても解消されません。こうした不安を解消し、環境および生体中の化学物質に関する様々な研究や監視・対策に貢献するために、分析法上の問題を解決することがこのプロジェ

●特集 環境汚染物質と先端化学計測●

精製などの前処理工程を省略しつつ、従来法と同等以上の感度と精度をもつ、環境基準や公定法対象物質の多成分一斉定量を実現する。

(サブテーマ1) 多次元分離技術による迅速・正確分析法の開発



(サブテーマ2) 多次元分離技術による網羅分析法の開発

未知物質の検索や構造推定も可能な網羅分析法を開発する。

図1 プロジェクト研究の概要と主な技術(装置)の模式図

クトの目標といえます。

このプロジェクトでは、課題を「多次元分離技術による迅速・正確分析法の開発(サブテーマ1)」と「多次元分離技術による網羅分析法の開発(サブテーマ2)」の二つに分けて新しい分析法の開発を行っています。サブテーマ1では、加熱することで気化させた化学物質を化学的な性質の違いなどによって分離する従来のガスクロマトグラフィ法(GC)よりもさらに精密な分離が可能な多次元ガスクロマトグラフィ法(GC×GC)と、化学物質の分子量を精密かつ高速に測定可能な高分解能飛行時間型質量分析法(HRTOFMS)や化学物質の構造推定に役立つタンデム型質量分析法(MS/MS)を組み合わせた手法の開発により、ダイオキシンやPCBをはじめとする残留性有機汚染物質(POPs)、残留性農薬、難燃剤やそれらの代謝物など様々な化学物質を対象とした迅速で正確な一斉定量分析法の開発を行っています。サブテーマ2では、GC×GC-HRTOFMSによる膨大な測定データ(通常の方法の100~1,000倍ほどのデータ量があります)から任意の化学物質情報を抽出・検索するためのソフトウェアの開発などを通して、

網羅的な化学物質分析法の開発を行っています。

図1に示したのは、このプロジェクト研究の概要と主要な装置の模式図です。これらの装置はそれぞれ単独でも化学物質の分離や正確な検出において極めて高い能力を持っていますが、このプロジェクト研究では世界で初めてそれらを組み合わせることにより、超高分離で超精密測定が可能な装置を開発しました。同時に、その装置から出てくるデータを読み取り、解析するためのソフトウェアも多数開発しています。この装置を用いた分析法で最も画期的なことは、多くの試料で精製作業が不要になることだといえます。精製とは、測定対象成分以外の妨害成分を除くことで、従来の分析法では正確な定量のために必須の工程です。例えば、ダイオキシンやPCBの分析では、精製作業に一日、長い場合には数日程度掛かっていましたが、この過程を全く省略することで、時間、資源、労力を一気に節約することができるようになりました。そればかりではなく、試料の利用効率が良くなったことで、高感度化も達成することができました。具体的には、それまでは1,000m³必要だった大気試料の量は数m³に、10L必要

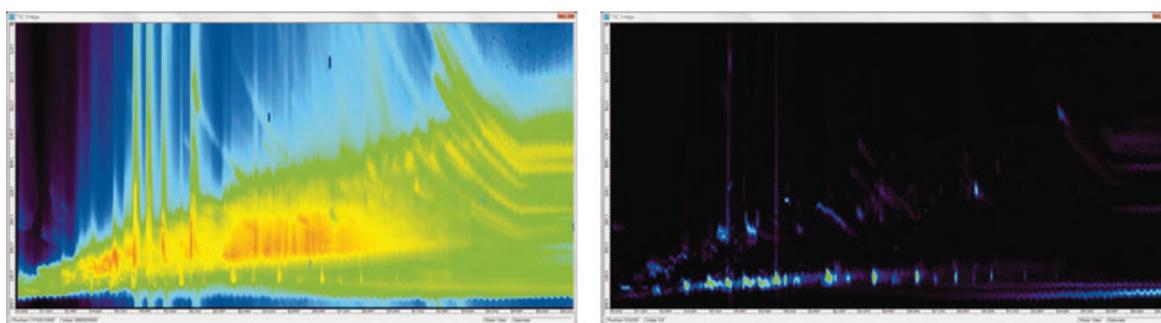


図2 GC×GC-HRTOFMSデータから有機塩素化合物のみを抽出した結果

左：室内大気のGC×GC-HRTOFMS測定オリジナルデータ

右：同データから自作ソフトウェアにより塩素の同位体組成を含む質量スペクトルを抽出したものの検出された物質が、濃度に応じて青（低）→黄（中）→橙（高）のように表示されている。左のオリジナルデータでは、非常に多くの物質が検出され、画面全体が黄～橙になっているが、右の画面では、有機塩素化合物（青～黄）だけが点状あるいは帯状に現れている。

だった環境水試料の量は50mlまで減らすことが可能になりました。これにより、試料採取の負担も劇的に軽減されることが期待されます。また、試料の精製を必要としない分析法は、網羅分析においては大変重要な意味を持っています。測定対象物質を絞り込まない網羅分析では、試料中の化学物質を取りこぼしなく測定することが求められるからです。

この方法は、関連分野にブレークスルーをもたらす可能性を秘めています。GC×GC-HRTOFMSでは、一般的なGC-四重極型質量分析法に比べ、データ採取の速さが10～20倍程度、物質の質量を細かく分けて測る能力が10～50倍程度もあるため、得られるデータ量も数十ギガバイトと1,000倍以上にもなります。さらに、精製されていない試料を測定するために、測定データの中身も非常に濃密になっています。この膨大なデータの中から必要な情報を抜き出すことも、この研究の大きな課題の一つです。対象物質を定めないデータ抽出法の検討では、分子内に塩素あるいは臭素原子を持つ有機化合物のみを選択的かつ網羅的に抽出するソフトウェアを開発しました。この方法で、土壌、底質、大気、排ガスなどの環境試料のGC×GC-HRTOFMS測定データから有機塩素化合物や有機臭素化合物のものと思われる質量スペクトル情報のみを抽出することに成功しています。(図2)。

GC×GCとHRTOFMSあるいはMS/MSを組み合わせた新しい方法により、従来にはない種類の分析が

可能になってきました。特にGC×GC-HRTOFMSによる精度と感度を犠牲にしない一斉定量法や対象物質を定めない分析法などは、次の公定分析法になり得ると考えられます。しかし、これらの新しい分析法の普及のためには、検出器感度の一層の向上や検出できる物質濃度範囲の拡大、装置の操作性やメンテナンス性の向上などのハードウェアの改良やGC×GC-HRTOFMS（あるいはMS/MS）に対応した使いやすいソフトウェアの開発、多種類の化学物質の精密質量情報データベースの整備などが課題として残されています。また、GCでは測定できない不揮発性の化学物質や水溶性の高い物質に対する同様の新しい分析法の開発はこれからです。現在は、このプロジェクト研究の終了までに可能な限りの成果をあげるべく努力をしています。この研究を通して、環境負荷の少ない分析の実現、関連する研究分野全体にわたるイノベーション、「安全・安心」な生活を守ることに貢献することが、私たちの目標です。

(はしもと しゅんじ、環境計測研究センター
有機計測研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

ちょっと前までは「若白髪」で同情をかっていましたが、今やすっかり普通のオジサンです。趣味は写真撮影、昼寝、散歩。放浪（徘徊？）癖がありますが今は封印中です。



【研究ノート】

POPsモニタリングの分析法

高 澤 嘉 一

残留性有機汚染物質 (Persistent Organic Pollutants: POPs) をご存知でしょうか。「長距離移動性」「難分解性」「生物蓄積性」といった有害性の判断基準をいづれも満たす化学物質がPOPsと指定され、現在、国際的に規制されています。この規制は、ヒトの健康と環境を保護する目的で2004年5月17日に発効したストックホルム条約に基づいて進められており、POPsの製造や使用、輸出入の禁止、POPsを含む廃棄物の適正管理を各国に求めています。ダイオキシン類やポリ塩化ビフェニル (PCB) による環境汚染はマスメディアで大きく取り上げられた経緯があるため聞き覚えのある方も多いと思われそうですが、まさにこれらがPOPsに該当します。ところでPOPsには非意図的生成物と意図的生成物が存在し、前述したダイオキシン類は前者に当てはまり、化学反応や燃焼過程で偶発的に生成した物質です。それに対して後者は私たちが目的を持って生産した物質です。DDTも意図的生成物ですが、それ以外にもポリ臭素化ジフェニルエーテルであれば火災を防ぐ難燃剤 (プラスチック樹脂や電子部品の基盤などに含有させる) として、ペルフルオロオクタンスルホン酸であれば撥水剤、泡消火剤、床用ワックス (製造過程において複数の化学物質を混合しやすくさせる分散剤や乳化剤としての役割) などいづれも私たちの身近な製品に使われていました。

POPsモニタリングにおいて留意すべきこととしては、「水質、底質、大気、生物等での平均濃度と今後の変化を明らかにすること」、「時間的・空間的変動を明らかにした上で、POPsの発生状況や環境中での挙動、バックグラウンドレベルの解析に役立てること」、「汚染状態に関して十分信用できるデータ提供を行うこと」などが挙げられます。実際、POPsモニタリングデータは、POPs削減のための対策立案の基礎となるほか、ストックホルム条約や関連施策の有効性評価のためにも用いられます。現在は、国連環境計画が中心となり、POPs対策が十分

に機能しているかを判断するための継続的なモニタリングが国際的な枠組みにより実施されている段階です。しかしながら、国内モニタリングでは従来法で検出下限以下に濃度が下がってきている物質も多いことから、分析法については精度管理に留意するとともに、長期的なモニタリングの間に予想されるさらなる濃度低下に対応した検出下限の確保も必要となります。

近年、POPsの分析法は進歩しており、新規の方法としては「有機分析の新展開—網羅分析法開発」の記事 (本号3~5ページ参照) にあるように多次元ガスクロマトグラフィ法 (GC×GC) にタンデム型質量分析法 (MS/MS) 等の検出法を組み合わせる試みも行われていますが、本稿では、国内の化学物質対策を担う環境省のPOPsモニタリング調査を取り上げその分析法を説明するとともに、大気中POPsについてGC×GC-MS/MSを利用した熱脱離分析法を紹介します。

環境省は化学物質環境実態調査のなかで平成14年度から国内におけるPOPs濃度レベルを明らかにするためのモニタリング調査を実施しています (化学物質環境実態調査年次報告書<http://www.env.go.jp/chemi/kurohon/index.html>)。測定媒体は、水質、底質、生物 (貝類、魚類および鳥類)、大気の4媒体であり、大気を除いて年1回の調査が行われています。なお、大気については季節変動の考慮に加えて国際的な取り組み優先度も他の媒体より高いため、夏冬の年2回の調査となっています。この調査における試料採取は地方公共団体が担当しており、その数は最新の調査 (平成24年度版) では延べ59団体に及びます。試料採取量は限られる一方で、測定対象POPsは19物質群と多種にわたることから、より多くのPOPsを低濃度まで正確に一斉分析することが重要となります。

一般的にPOPsのモニタリング手法は試料採取、前処理、測定に大別することができます。まずは試料を採取して研究所に持ち帰るわけですが、試料の

採取・運搬に際して留意すべきこととしては、試料および試料間での汚染を防ぐこと、移動中の試料の変性を防ぐこと、採取時における破過（水質や大気の現場ろ過吸着捕集において、**POPs**が捕集材に十分に吸着されずに通り抜けてしまう現象）をできる限り抑えることなどが挙げられます。前処理に関して、**POPs**を含む有機成分の抽出操作では、アセトン、ヘキサン、トルエン、ジクロロメタンなどの各種有機溶媒が用いられます。生物試料の場合には脂肪の分解のためアルカリ処理を抽出時に行う場合も見受けられます。環境中での**POPs**は微量であるため、抽出後の有機溶媒（粗抽出液）中では測定の際に妨害となる夾雑物（例えば、極性不純物、イオン含有化合物、酸性化合物、脂質など）が圧倒的に多く存在しています。そのため、得られた粗抽出液について、硫酸処理やジメチルスルホキシド分配処理、各種充填剤（シリカゲル、フロリジル、酸化アルミニウム、活性炭など）を用いた分離精製を繰り返し実施することで、**POPs**を0.1 ml程度の有機溶媒中に選択的に濃縮することが可能となります。このようにして前処理の実施された試料が測定に用いられます。環境省により定められた公定法における**POPs**の定量操作は、キャピラリーカラムを用いるガスクロマトグラフと二重収束質量分析計を用いるガスクロマトグラフィ質量分析法（**GC/HRMS**）によって行われています。具体的には、測定時に10,000以上の高分解能測定を維持するため、質量校正用標準物質を測定試料と同時にイオン源に導き、測定時の質量変動を補正しながら選択的にイオンを検出する方法（**SIM法**）となっています。**MS**で検出されたピークが妨害のない**POPs**由来のものであるかを判断する

ために、**GC**での保持時間とイオン強度比を確認し、最終的にはクロマトグラム上のピーク面積から内標準法にしたがって定量が行われます。

このように現状の**POPs**モニタリングは、試料採取から各**POPs**の定量に至るまで、試料採取以降で10日間程度の日数を要します。そのため、複数地点でモニタリングを高頻度に行うような場合には、人的資源に加えて前処理時間を考慮した計画が求められます。さらに、ガラス器具や各種充填剤の事前洗浄、**GC/HRMS**の事前調整など行うべきことも多々あるとともに、新たな**POPs**および候補物質の存在といった背景もあることから、これら煩雑な操作を伴わない、より簡易で正確な高感度分析のニーズは近年特に高まっているといえます。

最後に当研究室で行っている熱脱離**GC×GC**を用いた大気試料の**POPs**分析について紹介します。環境省の公定法において、大気中の**POPs**は石英繊維フィルタ、ポリウレタンフォームおよび活性炭素繊維フェルトを用いて捕集されますが、これら捕集材の事前洗浄と捕集後の抽出操作に数リットルの有機溶媒を要しています。また、これまで述べた前処理も必要なため、かなりの労力と時間を費やすことになります。図1に熱脱離**GC×GC**を用いた私たちの方法の概要を示します。この方法において**POPs**は内径5 mm、長さ50 mmの小型ガラス管に充填された**Tenax**樹脂に吸着捕集されます。捕集後のガラス管は熱脱離装置に導入され、**Tenax**樹脂の加温により捕捉された**POPs**の脱離を行い、捕捉した全量を**GC×GC**に注入します。この操作では一切の前処理が不要となるため、分析時間は大幅に短縮されます。**POPs**と夾雑物の分離はモジュレーターを介して接

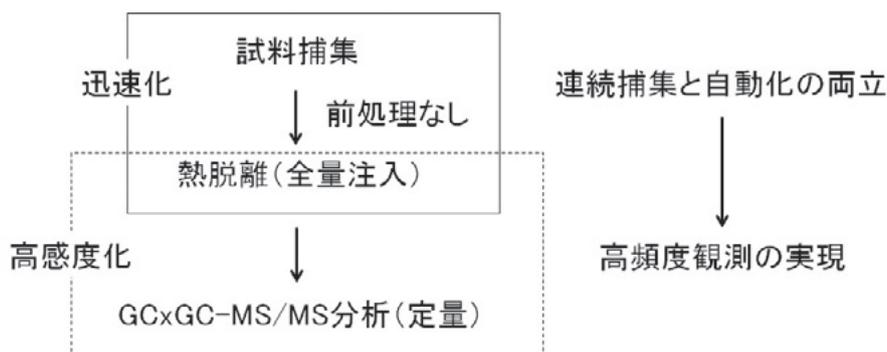


図1 熱脱離GCxGC-MS/MSによる大気中**POPs**分析の概略図

●特集 環境汚染物質と先端化学計測●

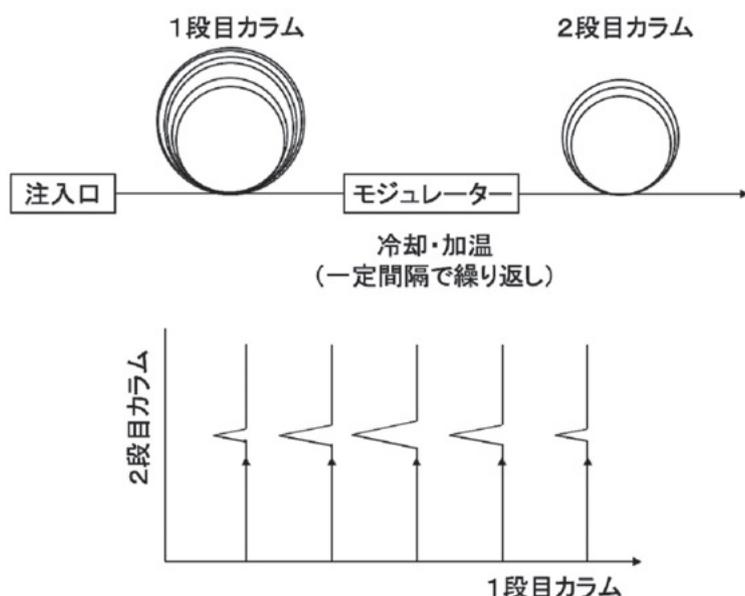


図2 GC×GCの概略図

続された極性の異なる2本のキャピラリーカラムで行われます(図2)。1本目のキャピラリーカラム(60 m程度)から溶出した成分に対して、捕捉と2本目のキャピラリーカラム(1.5 m程度)への脱離が数秒間隔で繰り返されます。そのため従来のGC 1台以上の高い分離をGC×GCでは達成することが可能となります。また、GC×GCを通過した成分について、

MS/MSを用いてより選択的な検出を行うことでGC/HRMSと同等の高感度な測定を維持することができます。従来のPOPs分析では溶媒抽出と前処理が必要なため、多試料の扱いは困難でありましたが、本法は前処理不要な小型ガラス管による吸着捕集に基づいていることから、捕集装置の自動化による高頻度観測も近い将来には実現できると考えています。

登録済みの化学物質の数はすでに5000万種を超えていることから、今後は1回の測定でPOPsをはじめより多くの物質を正確に定量する網羅的な多成分分析が求められるように思います。

(たかざわ よしかつ、環境計測研究センター 有機計測研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

最近の小さな楽しみは、休日のウォーキングです。運動不足を自覚していましたが、身体を動かすことで気分もリフレッシュできています。1時間程度歩くことがいまの自分にはあっているようなので、無理せず長く続けたいと思っています。



【環境問題基礎知識】

化学物質の登録と管理：特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律 (PRTR法)

木之下 彩子

豊かで便利な私たちの生活は、全て化学物質によって成り立っています。私たちの生活は物であふれ、お店に行けば便利なものが何でも手に入ります。お店で売られるこれらの商品は次から次へとメーカーで開発が進み、少しずつ改良されています。消費者の声を反映して改良される物もあれば、もしかしたら商品に使われていた物質に有害性が認められ、代替物質での商品変化になっているものもあるかもしれません。

化学物質の中には、私たちの健康や生態系に有害性のあるものがあります。それらの有害な化学物質

がどこで、どのくらい使用され排出されたのか、また廃棄物に含まれて事業所の外へどのくらい移動したのかなどのデータを集計し、公表する制度があります。それがPRTR (Pollutant Release and Transfer Register) 法に基づく化学物質排出移動量届出制度であり、PRTR法は日本では1999年に制定されました。

対象になる化学物質は、現在462物質が指定されています。さらにそのうち、発がん性などが認められる物質として15物質が指定されています。例えば、ガソリンやたばこの煙にも少量含まれるベンゼン、工業用洗剤などに含まれるノニルフェノール、クー



図 対象の事業者はPRTR対象化学物質の環境中への排出量、廃棄物に含まれての移動量を届出なければいけません。排出量は青字①～④に示したものに分けられ、移動量は橙色⑤～⑥に示したものに分けられます。(環境省発行ガイドブックより改編)

ラーの冷媒等に含まれるジクロロジフルオロメタンなどがあります。これらの化学物質を製造したり使用している事業者は年に1回、排出量や移動量を都道府県経由で国に届け出ます。届け出られた情報は、国でデータを集計し、それに併せて家庭や農地、自動車等からの排出量も推計して集計され、公表されます。集計結果の資料については、以下のホームページにて掲載されており、過去10年分が閲覧できます。

○経済産業省 (http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/index.html)

○環境省 (<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>)

このようにして、毎年どのような化学物質がどこで発生しどれだけ排出されているか、私たちが知ることができるようになってきました。また、対象製品の中には、例外的に届け出の対象外とされている製品もあります。金属くずや空き缶などの再生資源、一般消費者用に製造されている製品など、事業者による取扱いの過程で対象化学物質が環境中に排出される可能性が低いと考えられるものは、事業者の負担を考慮して、例外的に把握の対象外とされています。

日本では1999年に制度化されるまで個々の化学物質に対して規制がされてきましたが、行政や事業者、個人それぞれの立場で情報を共有し、協力して化学物質の排出削減に取り組むために、PRTR法が導入されました。PRTR法の先駆的なものが1970年代にオランダで導入され、1992年に開催された地球サミットで国際的に広く認められました。

PRTR法によって、化学物質別の移動量や排出量が分かるようになりましたが、それだけでは私たちの健康や生態系にどのような影響があるかまでは判断ができません。PRTRのデータだけでなく、環境中にどのくらい有害化学物質が存在しているのか、それらはどのように分解されてどこへ行くのかなど様々な観点から判断していくが必要になります。そのためにも、これらの化学物質を取り扱っている事業者は、化学物質の管理をきちんとした上で排出量や移動量について地域住民と情報を共有していく必要があるのです。

PRTR法については、環境省から「PRTRを読み解くための市民ガイドブック」という一般向けガイドブックが毎年発行されています。さらにこれらのことは、先に紹介した環境省や経済産業省のホームページの「PRTRインフォメーション広場」や「化学物質排出把握管理促進法」というページにおいて分かりやすく説明されています。また、ホームページ上に「PRTR目安箱」という窓口が設置され、相談や意見等を受け付けていますので、興味を持っていたら、まずはアクセスしてみたいはいかがでしょうか。

(きのした あやこ、環境計測研究センター)

執筆者プロフィール：

趣味はトレイルラン、縦走登山、山頂での昼寝。国内の山標高ベスト100踏破に向けて日々山遊びに出かけています(1位3776M～100位2667M)。写真はスイスのアイガー山麓で一服中の私。



【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】

低炭素社会の実現に向けた実践的な研究を目指して

増井利彦

2013年から京都議定書の第二約束期間が始まりました。日本は、第二約束期間への参加は見送ることになりましたが、地球温暖化対策が重要な課題であることには変わりはなく、低炭素社会の実現に向けて様々な取り組みが試みられています。地球温暖化研究プログラムPJ3「低炭素社会に向けたビジョン・シナリオ構築と対策評価に関する統合研究プロジェクト」は、2011年から開始した国立環境研究所第3期中期計画において、地球温暖化問題の緩和策（温室効果ガス排出量の削減策）を取り扱う研究プロジェクトです。PJ3を構成するメンバーは、2013年5月時点で20名で、低炭素社会の実現に向けて、日本・アジア・世界における中長期的なビジョン、シナリオを、必要となる政策オプションとともに提示することを目的として、3つのサブテーマに分かれて研究を行っています。

サブテーマ1「アジア低炭素社会シナリオ開発及び社会実装に関する研究」では、アジア地域の国・地域レベルにおいて、温室効果ガス排出量を大幅に削減した低炭素社会の実現に必要な社会経済の動向や対策、政策、制度などの要素について、さまざまな手法を用いて定量的・定性的に検討しています。特に、バックキャストと呼ばれる将来の目標を明確に設定し、その目標に向けてどのような対策を講じればよいかを検討する手法を用いて、アジアにおける低炭素社会実現に向けた取り組みを検討しています。これまでに、環境省環境研究総合推進費を通じて、所内外の様々な研究機関とともに、2050年に世界全体の温室効果ガス排出量を1990年比半減させるために、アジア全域において必要となる施策とその道筋をとりまとめた「10の方策」という叙述シナリオを提示してきました。2013年度中には、叙述シナリオに対応する定量化を、サブテーマ2を中心に開発しているモデルを用いて完了させる予定です。また、アジア各国の研究者が中心となって行っている各国における低炭素社会シナリオ作りも支

援しています。さらには、JST（独立行政法人科学技術振興機構）とJICA（独立行政法人国際協力機構）が共同で実施しているSATREPS（地球規模課題対応国際科学技術協力）の研究プログラムの1つとして、マレーシアの経済特区であるイスカンダル開発地域を対象とした低炭素社会実現に向けた分析を、マレーシア工科大学やイスカンダル開発庁など、現地の研究機関、行政機関などと共同で行っています。こうしたいわゆる従来型の「研究」ととどまらず、実際に低炭素社会の実現に向けて研究の成果を社会に適用すること（社会実装）が、このサブテーマの大きな特徴であるといえます。

サブテーマ2「日本及び世界の気候変動緩和策の定量的評価」では、日本や世界を対象とした技術選択モデルや応用一般均衡モデルについて、部門や地域の詳細化、将来のエネルギーサービス需要量の推計や技術普及過程の検討などを行い、日本および世界各地における温室効果ガスの削減ポテンシャルや対策に要する費用の推計を行っています。東日本大震災と福島第一原子力発電所事故以降、日本のエネルギー政策、温暖化政策は大きく変わりました。2013年4月時点で、その将来像はまだ明確ではありませんが、こうした将来像の構築を支援するためのモデル開発とその分析を、このサブテーマでは行っています。これまでに、環境省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」や「エネルギー・環境会議」に対して、日本を対象としたモデル分析の試算結果（2020年や2030年までに、様々な前提のもとで、どれだけ温室効果ガス排出量を削減することが可能であるか、また、その費用はいくらになるか）を提供してきました。このほか、世界を対象としたモデルについては、EMF（エネルギーモデリングフォーラム）やAMPERE（気候変動緩和策の道筋と費用の評価）等、様々な国際比較プロジェクトに参画し、結果を提供してきました。アジア各国を対象としたモデルにつ

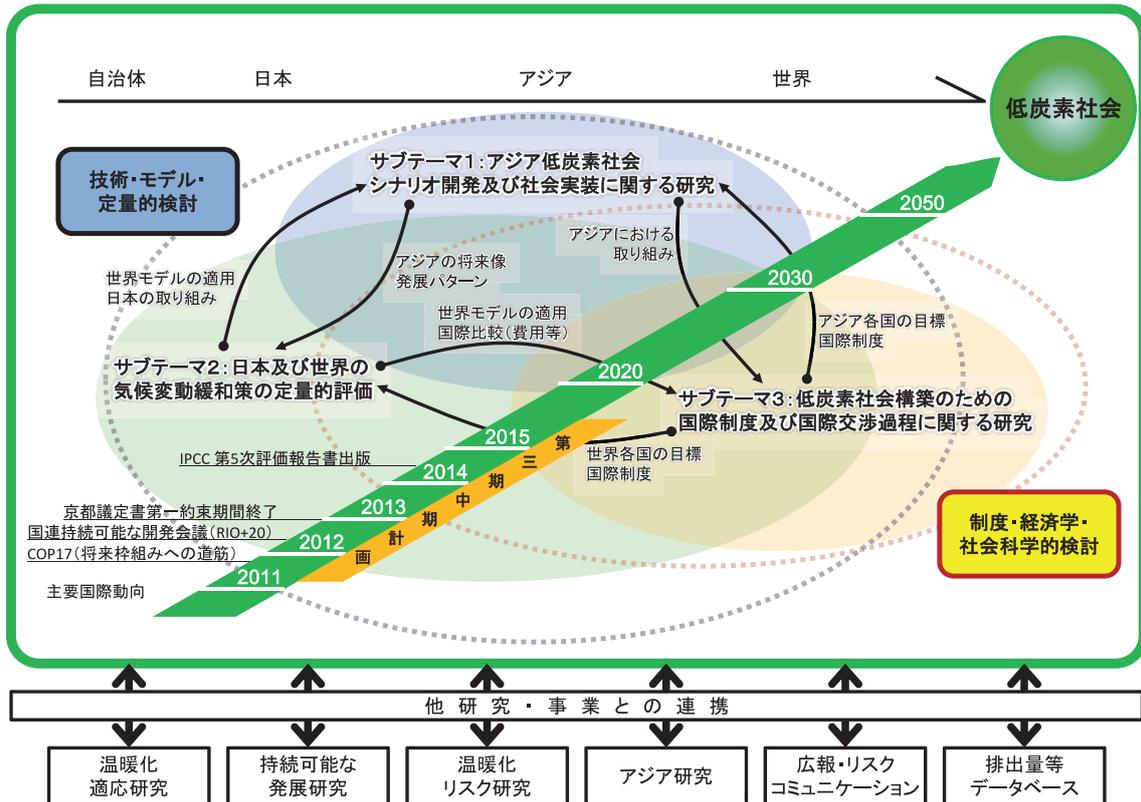


図 地球温暖化研究プログラムPJ3「低炭素社会に向けたビジョン・シナリオ構築と対策評価に関する統合研究プロジェクト」の全体像

いては、サブテーマ1と共同で、アジア各国から若手研究者を招へいし、人材育成のためのトレーニングワークショップを実施しています。

サブテーマ3「低炭素社会構築のための国際制度及び国際交渉過程に関する研究」では、気候変動枠組条約および京都議定書の下での国際交渉を調査・分析し、交渉を難航させる原因を指摘し、合意に至るための道筋を検討しています。これまでに、次期国際制度に関する国際交渉が難航する原因や、中長期的に目指すべき国際制度の構造を明らかにし、**2011年**にはその成果を「気候変動と国際協調—京都議定書と多国間協調の行方」（慈学社出版）として出版しました。気候変動枠組条約の下では、**2011年**のCOP17にてダーバン・プラットフォームの設置が合意され、すべての国が参加する国際枠組みを**2015年**までに採択し**2020年**までに発効することを目指して協議していくことが決まりました。気候変動問題に関する制度構築が近年ますます複雑化かつ多層化する中で、**2015年**に合意達成が目指されている国際制度に最低限盛り込まれてはならない制度構成要素について、**2012年度**に、アンケート調査を含めて検討しました。今後、各国にとって受け入れ

られやすい国際合意の内容をさらに具体的に研究していくことで、国際交渉に対する日本政府の交渉戦略の策定への貢献や、国内の気候変動政策の定性的評価につなげていきます。

低炭素社会の実現に向けた取り組みを支援し、さらに加速させるために、以上の3つのサブテーマが連携して取り組んでいます。このほか、地球温暖化研究プログラムPJ2「地球温暖化に関わる地球規模リスクに関する研究」とは温暖化影響や適応策を含めたモデル開発や分析を、持続可能社会転換方策研究プログラムとは低炭素社会を含めた持続可能な社会の実現に向けた取り組みの検討を、それぞれ連携して行っています。

（ますい としひこ、社会環境システム研究センター 統合評価モデリング研究室長）

執筆者プロフィール：

国環研に就職して**15年**が過ぎました。研究だけではダメと、家族を巻き込んで電力消費の見える化を開始し、省エネ生活を実践中。徹夜の仕事は省エネにもよくないことを改めて実感しました。成果は、夏の大公開で報告予定です。



【調査研究日誌】

枠にハマった調査

杉原 薫

私の調査道具は、塩ビ管とタコ糸で作った通称“コドラート(quadrat)”と呼ばれる1m四方の枠です(写真1)。国内はもちろんのこと、パラオやタヒチといった南洋の島々まで、この安価で原始的な道具を持ち歩いています。コドラートが入った袋や箱を見ると、田舎の空港の手荷物カウンターや宅配センターの人は決まって「釣りですか?いいですね~♪」と楽しげに話しかけてきます。しかし、私にとってコドラートは、決して釣竿のように男のロマンや狩猟本能をくすぐるものではなく、私の知的好奇心を刺激し、心身をストイックに鍛え続けてくれる優れものなのです。

さて、このコドラートですが、実は海底に生息するサンゴを定量的に記録するために使います。サンゴはイソギンチャクに似た動物です。サンゴの多くは、海底の岩盤上に固着して生活しており、最初に固着した場所から移動することはありません。また、出芽とよばれるサンゴ独自の無性生殖方法で、自分のクローン個体を増殖させながら群体を形成し、さらに大きく成長していきます。しかし、サンゴの成長に適した岩盤は限られますので、その岩盤をめぐる種間競争(写真2)や、同様の固着基盤を必要とする藻類との競争が、成長とともに激しくなっていきます。したがって、とある海底に置かれたコドラート内のサンゴの種類や種ごとの量比、そしてそれらの分布パターンは、こうした生物間競争の結果や、

これから起きるかもしれない大小様々な攪乱による生存競争の幕開けを示しているのです。何気なく水中に広がる海底を見てみると、普通はそこを行き交う魚たちにしか目が留まらないものです。しかし、コドラートを海底に置いてその中を覗き込むと、サンゴをはじめとする今まで目に留まらなかった様々な生き物たちの営みが鮮明に見えてきます。私はこの“枠にハマる”瞬間がたまらなく好きで、このたぐいの調査をかれこれ20年近く続けています。

私は現在、生物・生態系環境研究センターに所属していますが、実際は主に地球環境研究センターが行っている海洋生物の温暖化影響モニタリング調査に従事しています。この調査での私の役割は、高知県~千葉県にかけての4地点と熊本県~長崎県にかけての4地点の計8地点で、水深5m前後の海底32箇所に設置した3m×3mの方形区画内のサンゴの種構成、被度(サンゴが海底を覆っている割合)や群体数などを、年に一回コドラートを使って定量的に記録し、それらの経年変化や変化の要因を明らかにすることです。様々な地点の海底のサンゴをただ漠然と見回すのではなく、同じ地点で同じ区画内の同じサンゴを毎年記録し続けることで、単なる印象ではなく、定量的で説得力のあるデータを得ることができ、わずかな変化にも気づくことができます。

モニタリング調査は、海に潜って初年度に設置し



写真1 コドラートとその他の調査道具たち。この中のどれか一つが欠けただけで、私は途方に暮れます。

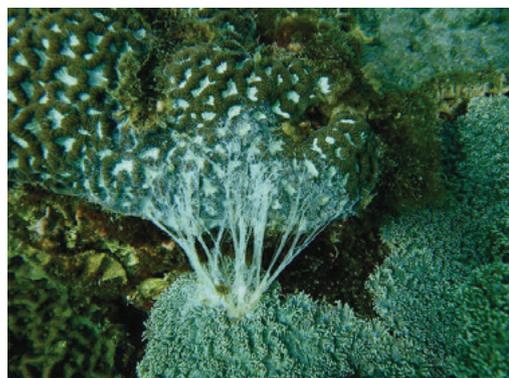


写真2 普段は岩の一部にしか見えないサンゴも、まめに潜ると時に動物らしい一面を見せてくれます。これは、トゲイボサンゴ(下)がミダレカメノコキクメイシ(上)を隔膜糸で攻撃しているところです。

た方形区画の場所を探すところから始まります。目印として区画の四隅に打ちつけている小さな丸カン（先が環状になった金属製のクイ）を見つけ出し、12mロープで3m×3mの方形区画を復元したら、区画内のサンゴの記録の開始、コドラートの出番です。まず、方形区画内を9分割し、コドラートをその各1m²の小区画に置いていきます。次に、コドラート内に50cm四方に張られたタコ糸を目安に小区画内を4分割し、水中カメラを使ってそれらを真上から撮影します。次に、コドラート内に25cm四方に張られたタコ糸を目安に、小区画内のサンゴ群体の輪郭と種名を耐水紙にスケッチしていきます（写真3）。こうして得られた写真とスケッチをもとに、全区画内のサンゴマップを作成し（図1）、サンゴの種数、種構成、群体系数や被度を求めていくのです。写真を見た限りでは、この作業は一見簡単そうに見えるかもしれませんが、しかし、体幹に10kg近いおもりを装着して、潮流がある中、コドラートの真上で中性浮力（浮かず沈まずの状態）を維持し、1時間以上写真撮影やスケッチを続ける作業には、非常に高いスキルと根気が必要です。また、金槌などの重い調査機材や水への抵抗が大きいコドラートを持っ

て、海岸や船上から調査区画まで泳いで移動するのも、かなりの体力を消耗します。さらに、私が楽しくスケッチしている間、寒さを我慢しながら海底でヒラメのようにじっとコドラートを持ち続ける私の所属研究室のボスには、並みはずれた忍耐力が要求されます（写真3の左方）。

これらのモニタリング調査は、夏季の高水温の影響を捉えるために、主に秋から冬にかけて行われます。よって毎年9月以降は、大量の潜水器材や水中撮影機材を持って全国8地点を飛び回らなければなりません。最近では、その旅芸人のような慌ただしい姿と所属研究室のボスの名前から、「山野一座」と呼ばれるようになってきました。「それなら私は一座の看板役者かな・・・」と誇らしげに思う反面、四十路に入って体力の急激な衰えを実感しはじめてからは「ミュージカルみたいにダブルキャストだったら、どんなに調査が楽だろう・・・」と思うことが増えました。でも、結局はこの調査をできる人が他にいないため、所内の美しい紅葉を眺める余裕もなく、体調や怪我に気をつけてひたすら出張する日々が12月上旬まで続きます。

このモニタリング調査も今年で3年目に入り、各海域でのサンゴの分布パターンだけでなく、現地での水温データや過去の文献との比較から、各種の水温耐性や、近年の水温上昇に伴って分布域を広げている種の動向が少しずつ明らかになってきました。モニタリング調査というものは、それこそ粋にはまった地味で地道なものです。しかし、この調査を続けることで、サンゴをはじめとする生き物たちのまだ知られていない興味深い事象が見つかる可能性は大いにあります。私はそうした期待と、自分しかできない調査・研究を行っているというささやかな自負を胸に、今秋もまた太平洋と東シナ海の荒波に揉まれながら、小さな粋を通してサンゴとそれを取り巻く海の変化を見続けます。

（すぎはら かおる、生物・生態系環境研究センター 生物多様性保全計画研究室）

執筆者プロフィール：

国環研に来て3年が経ちました。九州で生まれ育った妻と私は、安くて美味しい茨城の野菜にすっかりハマっています。ただ、こちらで幼稚園～小学校に通い出した長男が身に付けた茨城弁のイントネーションにはいまだに馴染めません・・・。



写真3 中性浮力を保ちつつ、区画内のサンゴ群体の分布を耐水紙に記録します

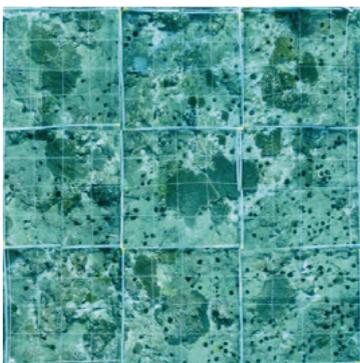


図1 36分割で撮影された3m×3m区画内の合成写真（左）と同区画内のサンゴマップ（右）です。写真では岩盤にしか見えないところにも、実は多くのサンゴがあることがマップからわかります。

【行事報告】

科学技術週間に伴う一般公開 「春の環境講座」開催報告

一般公開実行委員会事務局

4月20日（土）に科学技術週間に伴う一般公開「春の環境講座」を開催しました。当日は曇り空の寒い天候で、午後からは雨も降り出す悪条件にもかかわらず、多くの皆様に足をお運びいただきました。職員一同心より御礼申し上げます。

今回の「春の環境講座」では、研究所で取り組んでいるさまざまな研究分野の中から、「高齢化社会におけるごみ」、「大気汚染の健康影響」、「地球温暖化」など10のテーマについての講演会を開催しました。どの講座も多数の方々にご参加いただきました。

展示コーナーでは、研究者の説明に熱心に耳を傾けられている姿が多く見受けられ、環境問題に対する関心の高さを実感しました。

体験を通じて環境問題を楽しく理解いただく参加型イベントは、つくば市の協力を得て行ったセグウェイ試乗会、電動自転車の試乗会、自転車による発電体験を実施し、多くの皆様にご参加いただきました。また、所内ミニツアーでは、研究所内を散策しながら普段見ることができない研究施設をご紹介しました。

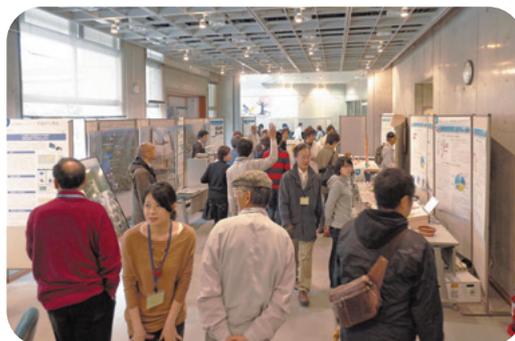
私たちの生活の中では、テレビや新聞、雑誌などから環境問題についてさまざまな情報が届けられ、環境について考える機会が多くなっているのではないのでしょうか。そのような中で、この一般公開において、国立環境研究所における研究活動を研究者から直接お伝えできたことは、有意義なことではなかったかと思っております。今後とも私たちの研究活動をよりわかりやすくお伝えするよう努力をしております。皆様のご支援、ご協力をよろしくお願い申し上げます。



「較べてみよう 身近な汚染と環境基準」の講習風景



セグウェイ試乗会



地球温暖化研究棟でのパネル・展示風景

国立環境研究所

夏の大大公開

なつのだいこうかい

—来て、見て、納得、あなたもエコ博士—

一般公開実行委員会事務局

国立環境研究所では、7月20日(土)に「夏の大大公開」を開催します。

地球温暖化やエネルギーなどについて解説する「ココが知りたい生パネル、どーなってるの地球温暖化!」や、身近な生き物に直接触れたり観察したりできる展示・体験イベント、普段は見ることのできない研究施設や実験設備の公開など、環境問題の最新研究内容について、楽しみながら知ることのできる70を超える展示・講演会・体験イベント等を実施します。

また、「第2回国立環境研究所 絵画コンテスト」の作品展示、表彰式を併せて行います。

「夏の大大公開」では、環境への負担の少ない交通手段でおいでいただけるように、つくばエクスプレスつくば駅、JRひたち野うしく駅から無料バスを運行します。なお、自転車、徒歩、無料バス等でおいでいただいた方にはLEDキーホルダーをプレゼントします。

皆様のご来所をころよりお待ちしております。

開催日時：平成25年7月20日(土)
9:30~16:00(受付終了15:00)

場 所：国立環境研究所
茨城県つくば市小野川16-2

入 場：無料、事前申込み不要
(15名を超える団体でお越しの際は、
事前にご連絡ください。)

問い合わせ先：TEL.029-850-2453



エコライフ・フェア2013 に出展しました

6月1日(土)・2日(日)に東京・渋谷の代々木公園ケヤキ並木・イベント広場で開催されたエコライフ・フェア2013に出展しました。

エコライフ・フェアは、毎年6月の環境月間に全国各地で開催されるイベントの一つです。環境省、企業・団体およびNPO/NGOが連携し実施されています。

国立環境研究所では、地球環境研究や循環型社会に関する研究成果の紹介や外来生物の展示、自転車発電体験などをつうじ、研究の取り組みを紹介しました。



編集後記

梅雨入り直後のカラッとした意外なさわやかさはつかの間、関東地方は、ジメジメとした蒸し暑い毎日となり、本格的な梅雨のシーズンとなりました。このような6月ですが、研究所では、エコライフフェアへの出展、公開シンポジウム（東京・京都）の開催、続く7月には夏の大公開の開催と、日頃の研究活動や成果に皆さんが直接触れることのできるイベントが続きます。これらのイベントは、皆さんに環境保全に対する関心を高めていただき、環境問題に関する科学的な理解と研究活動への

理解を深めていただけるよう、職員が様々な工夫を凝らして実施しています。

このニュースも、研究所と皆さんをつなぐコミュニケーションツールの一つとして、科学的で分かりやすい解説や充実した研究情報提供ができるよう知恵を絞っていますが、それらに加えて、研究現場の臨場感も一緒にお届けできていれば幸いです。

(T.S.)

国立環境研究所ニュース Vol.32 No.2 (平成25年 6月発行)

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

TEL : 029-850-2343 (環境情報部情報企画室)

E-mail : pub@nies.go.jp

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料【Aランク】のみを用いて作製しています。