

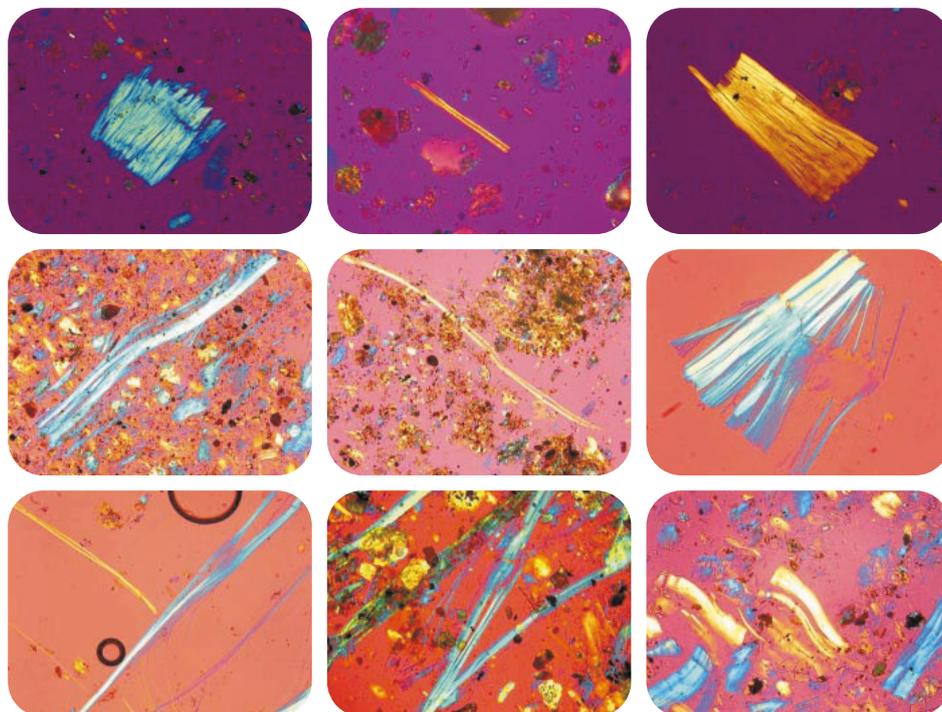


国立環境研究所

ニエス

Vol. 30 No. 4

平成 23 年 (2011) 10 月



偏光顕微鏡で撮影した土壤中アスベスト。いずれも北海道の蛇紋岩地域で採取した土壤中のクリソタイル繊維の画像です。(関連記事は7ページから)

[目次]

国立環境研究所発のフロン対策を！	2
国際的な流れを意識して、製品中の資源性・有害性物質の適正な管理をめざす	3
環境と経済の両立する都市の実現をめざして	5
アスベスト含有廃棄物の無害化処理の評価について	7
福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の 대기シミュレーション	10
「サマー・サイエンスキャンプ2011」開催報告	12

【巻頭言】

国立環境研究所発のフロン対策を！

笠井俊彦

国立環境研究所に勤務するようになって一年が経ちました。働き始めてから27年間、6ヶ月ドイツの環境省に行っていたことを除けば、ずっと霞ヶ関でした。自宅から通うと片道2時間半なのでつくば市の单身住宅に入りましたが、一人暮らしも20数年ぶりです。今年の暑さには本当に参りましたが、今年は都内と較べて夜間良い風が吹くので、つくばのありがたさを感じています。クーラーも今年は住宅ではほとんどつけなくて過ごしています。

クーラーと言えば冷媒に使われているフロンガスは強力な温室効果ガスです。2000～2002年にかけて環境省でフロン対策を担当していました。モントリオール議定書で生産が規制されているが京都議定書の対象ではないHCFC22などは1gでCO₂に換算すると1800gの温室効果があります。オゾン層を破壊しないが京都議定書対応のHFC134aだと1gでCO₂に換算すると1430gの温室効果がありますが、正々堂々とノンフロン製品として売られています。

2000年当時、廃棄されるカーエアコンから放出されるCFC12は京都議定書の対象ではありませんが、温室効果を見ると京都議定書の基準年総排出量の2%強に当たることから、議員立法で2001年6月にフロン回収破壊法が制定されました。ルームクーラー、家庭用冷蔵庫は家電リサイクル法でフロン回収破壊をすることになっていたのも、業務用冷凍空調機器とカーエアコンを対象とした法律です。法施行後、業務用冷凍空調機器の廃棄時のフロン回収率が3割程度しかないことが分かり2006年に改正されています。

今年2月、「日経エコロジー」に冷媒がHFCに代替していくと、2020年には我が国においてCO₂換算で約4000万トンに相当する排出があるので、機器廃棄時の回収破壊、運転時の漏洩防止、さらに、より温室効果の少ない冷媒への転換が必要であるとの記事が出ていました。この記事は間違いではありませんが、現在でも、我が国では、京都議定書の対象ではないCFC、HCFCの排出がCO₂換算で約3000万トンを超えている事実を見落としています。さらに、2005年にIPCCとモントリオール議定書の科学当局であるTEAPが共同で作成したSpecial Reportによると、全世界では、機器中（冷凍空調機、断熱材等）に存在するフロン類（バンク）はCO₂換算で約200億t CO₂。そのうち、冷媒フロンは約90億t CO₂（冷媒バンク）。バンク全体からの毎年の排出量は約25億t CO₂、その

うち、冷媒バンク、すなわち、冷凍空調機器からの排出が約20億t CO₂と推計され、中国、アメリカ、アジア諸国からの排出が多いとみられています。

最近の国際的な評価では、モントリオール議定書の規制により、1980年代後半には、毎年100億tCO₂程度あったフロン類の排出を、毎年20億tCO₂程度まで削減したと推計されています。京都議定書による削減目標は年20億tCO₂程度（先進国全体で1990年比5%削減）なので、遥かにモントリオール議定書による削減効果の方が大きいのです。さらにCFCやHCFCの代替物質として利用されているHFCの使用量は急速に増加しており、2050年の年間排出量は約55億～88億tCO₂となると推計されています。

機器が廃棄される時にフロン類をコンプレッサーのような回収機でボンベに回収し、そのボンベを破壊施設に運んで温室効果のない物質に変えることは難しいことではなく、途上国でも実施できます。回収機もそう高価なものではなく、タイ、インドネシア等には日本のメーカーが作った破壊施設もあります。途上国で回収破壊を行えば、1トンのCO₂相当の削減が500～1000円で実施できると言われています。

国立環境研究所に来て驚いたのは、花岡達也主任研究員が学生だった2002年に地球規模で費用対効果良く温室効果ガスを減らすためには中国でのフロン削減を支援すべきであるとの論文を書かれていたことと、昨年、横内陽子室長が大気中のフロン類濃度から排出源の場所と排出量を特定する研究成果を公表されていたことでした。このような素晴らしい成果が何故行政に活かされていないのか、自分が担当だった時に気づかなかった点は恥じるばかりですが、行政に問われて答えているところ以外での、このような貢献をどう活かしていくかはよく考えなければいけないと思います。とりあえず、総務部で出来ることとして、施設課管理の冷凍空調機器のフロンの充填状況、漏洩防止に何をしているか等を調べ始めています。

(かさい としひこ、総務部長)

執筆プロフィール：

飛騨高山祭りのからくり人形のある屋台組の家に生まれる。早稲田大学、東海大学での法学講師の経験あり。趣味はハンドボール。



【シリーズ重点研究プログラムの紹介：「循環型社会研究プログラム」から】

国際的な流れを意識して、 製品中の資源性・有害性物質の適正な管理をめざす

寺園 淳

製品に含まれる資源性・有害性物質

電気電子機器などには、貴金属・レアメタル（金・銀・白金などの貴金属と、コバルト・ネオジムなどのように小型家電や自動車などの生産に必要な不可欠な希少金属）のように資源としての価値が高い物質、すなわち資源性を有する物質や、重金属・難燃剤のように有害性を有する物質が、一つの製品や材料に含まれています。たとえば、ノートパソコンを分解すると、液晶パネル、ハードディスク、基板、コンデンサ、電池、モーター、そしてプラスチックカバーなど数十の部品に分かれます。さらに手作業で分解を繰り返せば1万を超える小部品や材料に分かれていき、これらひとつひとつも様々な物質から構成されます。

こうした物質の多くは、国内外を問わず広く流通しています。日本で使われる製品であっても、資源の採掘、材料の生産、製品の組立が国外で多く行われ、国内で出荷、消費された後に廃棄されます。このうち、まだ使える製品はリユースされ、また部品

や材料がリサイクルされるものもあります。このようなリユース・リサイクルも国内だけでなく、アジア地域を主とした国外で行われる場合が多くあります。

国内においてはこのような国際流通を勘案したベースメタル（鉄や銅などの使用量の多い基盤的な金属）・貴金属・レアメタルを含む資源を適正に管理しながら利用する方策が、また、国際社会（主にアジア）においては環境汚染防止に貢献する回収・リサイクルが求められています。

国際資源循環に対応した資源性・有害性物質の適正管理

第3期中期計画期間（2011～2015年度）の循環型社会研究プログラムでは、研究プロジェクトの一つとして「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」を立ち上げました（図参照）。

このプロジェクトでは、次から紹介するように、日本を中心に国際的に流通する物質（資源・材料・製

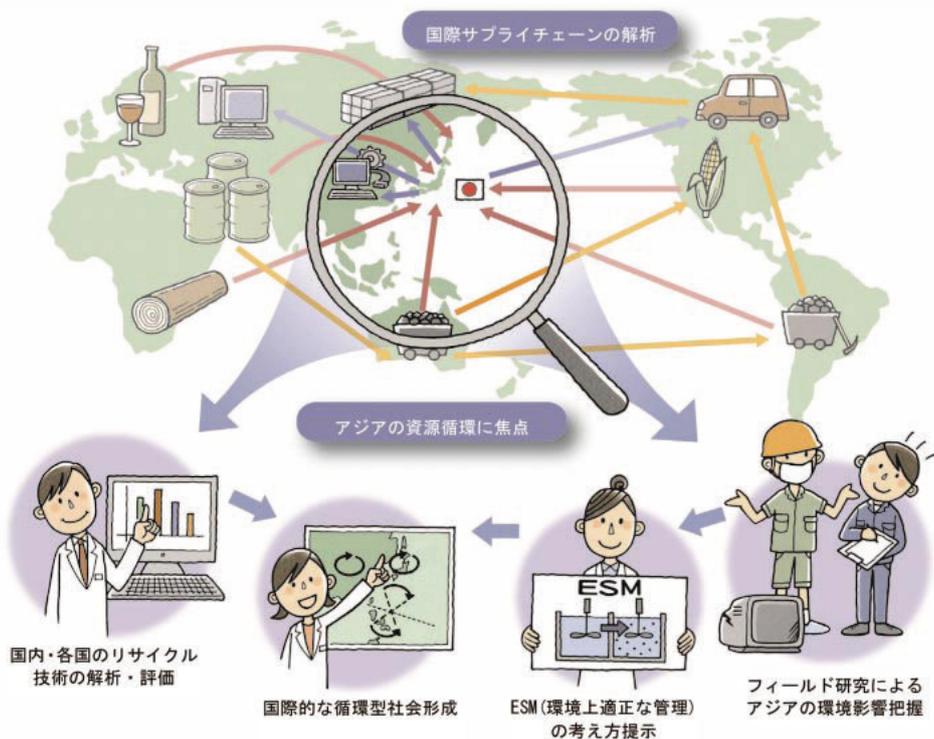


図 循環型社会研究プログラム・プロジェクト1 「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」

品を含む)を対象として、システム分析とフィールド調査を統合した体系的な調査と研究を行います。このとき、資源性の観点からリサイクルが期待される要素と、有害性の観点から規制や対策が必要な要素について、国内外のスケールで分析を行います。

1. 国際フローの把握、技術・システムの分析

まず、国際的に製品や廃棄物として流通する物質のフローを把握することをめざします。一つめとして、貿易統計や産業連関分析などによって、国際的なサプライチェーンを把握します。主に日本で使われている物質のうち、どのような物質がどの国で資源として採掘され、どこで生産・加工されて日本国内で出荷されているかなどのマクロなフローを明らかにします。二つめとして、既存文献の調査や熱力学解析によって、製錬などのプロセスにおいて元素レベルで物質のミクロな動きを細かく調べることで、どのような物質が既存の技術・システムで回収可能か、どのようなリサイクル技術のニーズがあるかを明らかにします。

このようなサプライチェーンと技術情報に加えて、資源供給の安定性、物質の稀少性、経済性などを考慮することにより、貴金属・レアメタルなどの資源性の高い物質を適切に国内に確保するために、どのような製品や部品の回収・リサイクルを強化していくべきかといった検討を行います。

2. 物質の循環管理のためのフィールド研究

また、私たちは積極的に現場に足を運ぶことも意識しています。前述のような分析に加えて、実際に国内の廃棄物処理・リサイクル施設において、資源性物質がどこまで回収できているか、有害性物質が環境に排出されているか、などの状況を調査します。

アジア地域にも目を向け、国外で行われるリサイクル・廃棄過程についても、フィールド研究を進めています。アジアの途上国では、労働者が安全衛生対策が不十分なまま、手作業によって解体し、電気電子機器から貴金属や銅などを回収していることがあります。このとき、基板の加熱やケーブルの野焼

きによって重金属・ダイオキシン類などの有害物質が環境に拡散し、作業者の健康が脅かされる可能性があります。また、鉛を含むブラウン管が埋立処分場や居住地近傍に投棄されていることもあります。私たちはこうした実態を把握して、環境への影響を抑えながら、資源回収の効果を上げる方策を検討します。

3. 国際的な循環型社会形成に向けた提案

以上のように行った物質の国際フロー把握・分析とフィールド研究などの成果に基づいて、製品中の資源性・有害性物質について、国内と国際社会において3R(リユース、リデュース、リサイクル)を促進する適正管理方策のあり方を提案します。

たとえば、「有害廃棄物等の越境移動の規制に関するバーゼル条約」の枠組みでは、電気電子機器について、どのような技術と方法を用いれば「環境上適正な管理(Environmental Sound Management; ESM)」が行えるのかを判断する根拠となる国際共通基準・ガイドライン策定の議論が始められています。

輸出入を規制・管理する場合も、輸出先でESMが保証されるかどうかは大きな要素になります。また、こうした国際共通基準が普及すれば、各国における電気電子廃棄物の処理のレベル向上も期待できます。どのようなESM基準であれば国際的にも国内でも受け入れられ、資源性・有害性物質を適正に管理できるのか、具体的な検討を進めていきます。

(てらぞの あつし、資源循環・廃棄物研究センター
国際資源循環研究室長)

執筆者プロフィール：

東日本大震災で被災された皆様には、謹んでお見舞い申し上げます。災害廃棄物調査に際しても東北の被災地では自然の脅威を目の当たりにし、人々や行政の落ち着いた対応には心を打たれました。私たちも研究者として、「今」を大事にしながら必要な研究と適切な情報発信をするべく努める所存です。



【シリーズ先導研究プログラムの紹介：「環境都市システム研究プログラム」から】

環境と経済の両立する都市の実現をめざして

藤田 壮

1. 新しい「環境都市研究」をめざして

産業化と都市化が世界中に広がる中で、産業や暮らし、交通等のさまざまな人間活動の中心である都市の環境問題の解決が緊急の課題となります。環境都市システム研究プログラムでは、公害対策や快適環境の実現に貢献してきた国立環境研究所および関連する研究機関での成果と経験を活かして、環境と経済の両立する都市の仕組みを研究します。都市生活や産業活動の環境性能を高める技術と制度を見出す科学的手法を構築する研究を進めています。日本とアジアの具体的な都市や地区をとりあげて、環境と経済が両立する「環境都市」の将来の姿を具体的に設計し、その将来像に到達する具体的な対策とその実現の道筋を構築する研究を進めています。研究の初期の段階から川崎市や名古屋市、水俣市などの現実の都市行政や企業、市民グループ等と連携を志向することで、研究結果を都市や地区に、「実装」するアプローチで研究を進めています。実験室やシミュレーション研究から飛び出して、地域や地球の環境問題の改善と経済の活力や暮らしの豊かさをもたらす「環境都市」の実現に貢献することをめざしています。

たとえば、環境改善と地域活性化を同時に実現する都市のシステムとして、「低炭素な都市集約」を考えています。今後の全国的な人口の減少を見すえて、社会サービスを効率的に提供できるような都市や地区の構造を考えて、新世代の公共交通の再整備や、産業と住宅・商業施設の一体的な開発、エネルギーの需要供給制御システム、環境技術を中核とする都市システムを計画する方法論を開発します。技術の体系的情報構築（定量的インベントリ）と、都市と地域の特性を反映

して技術の効果を高める社会システム、およびその組み合わせで得られる将来の「環境都市」の未来像に到達する対策シナリオについて、その環境効果と経済効果を定量的に評価する方法論を開発しています。都市の一体的な環境技術群として、それを都市に実装する社会施策システムに描くことのできる将来の環境都市の姿、そこへ到達する実効的な「都市・地区のロードマップ」の計画と評価体系の研究開発を進めています。

これらの一連のプロセス開発を、国内およびアジアで環境モデル都市、地区において産官学連携による実証研究を進めることによって、技術の社会実装プロセスの開発、地区マネジメントシステムとしての機能高度化の研究、およびモデル地区を中核とする「環境都市」と地域の計画への適用を含むマルチ・ステージの社会展開のガイドラインを構築します。図に示すように、第1ステージとして、国土や地域スケールのマクロ分析から、対象都市の条件に応じた適切な環境技術と社会システムの候補群を選定します。第2ステージでは、地理情報システム（GIS）などを活用した都市スケールの空間分析で具体的な適地を選定して、そのための環境都市計画を構築します。そのうえで、第3ステージで具体的な



図 環境都市システム研究のプロセス

地区のデザインと実装、地域条件に応じた詳細な環境技術開発を進めるという階層的なフレームを示しています。

2. 環境都市システム研究プログラムの内容

研究プログラムでは社会環境システム研究センターのメンバーが地域環境研究センターおよび資源循環・廃棄物研究センターなどと連携して以下の研究を進めています。

①環境と経済を両立するコベネフィット型の環境都市づくりの方策設計とその社会実装

低炭素都市や資源循環拠点都市など環境都市にかかわる様々な政策を組み合わせて、地球環境への負担を減らして、地域の環境を改善する技術・政策システムを計画して、その効果を定量的に算定するシミュレーション・システムを開発しています。シミュレーションを可能にするために、地域の経済や活力を高める都市や地域の建設物の再配置や、エネルギーや資源循環の環境インフラの整備と更新のシナリオを描く「環境都市計画モデル」と、都市のもたらす経済効果と環境効果を定量的に算定できる「環境都市評価モデル」から構成します。このシステムを実装することによって、都市活動が地球環境へ与える負担の減少、地域環境の改善、地域の経済や活力を高めることが期待されます。国内での川崎市やつくば市、中国遼寧省瀋陽市等との連携体制の下でこれらのシミュレーション・システムの開発を進めて、環境都市で有効な技術や施策の提案とその実現の支援を進めていきます。

たとえば、瀋陽市では、個別の資源循環や低炭素技術システムを地域条件に合わせて再構築する「リエンジニアリング」プロセスや、技術の運用効率を高める資源循環のための回収・分別を含む社会制度パッケージの定量的設計プロセスを開発しています。中国科学院及び瀋陽大学、瀋陽市政府関連部局との連携で都市環境情報データベースと技術・制度のシミュレーションプロセスを構築することによって、都市の特性に応じたガイドラインとしてアジア都市へ汎用化し、その成果の国内還元を図ります。

②都市や地域の特性に応じた環境技術の選定と評価モデルと環境技術開発システム

アジア都市の環境特性や経済特性に応じた定量的な環境・社会評価に基づいて適切な環境技術を選定

するモデルを構築して、都市にとっての重点的かつ緊急性の高い環境技術を開発します。市場経済では推進が難しいものの、環境価値、社会価値を考慮することによって重要性の高まる技術を選定して、そのための技術開発を進める「環境イノベーション」プロセスの都市での実証が研究の主眼となります。

たとえば、アジア地域の多くの都市の中心地域では、大規模な下水道整備が進みつつありますが、郊外地域では都市化の進行に伴い各種産業や日常生活から排出される排水の処理が追いついていません。また、省エネルギーで建設及び運転管理コストの安い処理技術が求められています。このような「適地処理技術」について、タイでパイロット実証試験を現地の行政機関（バンコク都）および大学（キングモンクット工科大）と共同で行っています。現地においては、この技術の将来的な普及を目指して関連するデータベース等の構築も開始します。また、環境省の日中水環境パートナーシップ事業の一環として、急激に都市化が進む中国農村地域への小規模生活排水処理技術の普及に関する協力事業において、このような日本の環境対策の歴史を伝えると共に、蓄積してきた技術により現地で処理施設をモデル的に設置して、その適用性を調査しています。

3. 具体的な環境都市の社会実証研究の紹介 -産業と共生するコベネフィット都市の実現への研究-

これまで国内とアジアの都市で進めてきた社会実証研究の一部を紹介します。産業施設からの環境汚染を制御する公害研究の知見を踏まえて、都市と近接に立地する生産施設やエネルギー施設と都市の活動を積極的につなぎ合わせる「産業共生（Industrial Symbiosis）都市」の実現に向けて資源やエネルギーの循環特性をその空間情報を用いて解析するシミュレーション・システムを開発しています。温暖化対策や資源循環という地球・広域への環境貢献を地域の環境改善につなげるコベネフィット型の都市の姿を動的に描くモデルと手法の開発を進めて、資源循環や交通システム、地域エネルギーシステムなどの個別の都市システムの最適な構造の同定とともにそこに向けて現在の都市を誘導するための道筋とシナリオ設計研究を個別の都市との連携で進めています。都市の人口変動やコンパクト化などの長期の社会的傾向の下での、低炭素や資源循環と地域の活性化を実現する空間構造を見定めてそこへ導く技術と

政策手段を明らかにしています。都市のデータベースとともに、施策のインベントリおよび技術の定量的情報を産官学連携で構築する研究スタイルを、名古屋大学、国際連合大学、また、環境省や川崎市や水俣市等との連携の機会の中で実現しています。研究からの発見は環境省のガイドラインとしての出力や、内閣府の進める環境モデル都市、環境未来都市、総合特区の実現に向けての研究情報として提供されています。

また、東日本大震災の復興研究として、都市や地域の緊急の復旧活動と連動しつつ、超高齢化や地域産業の転換等の重要課題について、復興を通じて地

域の中長期的活性化を実現する計画を支援する仕組みの開発にも取り組んでいます。

(ふじた つよし、社会環境システム研究センター
環境都市システム研究室長)

執筆者プロフィール：

国立環境研究所 環境都市システム研究
プログラム総括 兼 室長。都市計画修
士、博士(工学)。建設会社勤務、大阪大
助教授・東洋大教授等を経て、2005年よ
り国立環境研究所室長。2011年より現職。
専門；環境システム学、都市環境計画、エ
コタウン、都市産業共生システムなど。



【研究ノート】

アスベスト含有廃棄物の無害化処理の評価について

山本 貴士

はじめに

アスベスト(石綿)は天然の繊維状鉱物であり、蛇紋石属の鉱物であるクリソタイル、角閃石属の鉱物であるアモサイト、クロシドライト、アクチノライト、トレモライト、アンソフィライトの鉱物が含まれます。アスベストには、張力に対して強い、耐熱性や保温性に優れる、摩耗や薬品に強い、布などに織ることができるなどの優れた性質があり、吹付石綿や石綿スレート板などの建築材料(建材)やパッキン、プレーキライニングなどとして使用されてきました。その一方、アスベスト繊維の吸入による石綿肺や肺がん、中皮腫などの健康被害がアスベスト製品製造工場の従業員などに発生したことから、今日ではアスベスト製品の製造や使用は原則禁止されています。しかし、現在でもアスベストを含む建材を用いた建築物が多く残されており、今後建築物の改築や解体により大量のアスベスト含有建材が廃棄物として排出されることが予測されています。こうしたアスベスト含有廃棄物のほとんどは埋立処分されますが、埋立処分場の残余容量が不足しているなどの理由により、今後は環境大臣が認定した無害化処理の方法による処理が推進されます。

ここで、アスベスト含有廃棄物が「無害化した」

ということはどのようなことを言うのでしょうか？環境省の定める無害化の基準には、無害化処理物中に石綿が「検出されないこと」とあり、無害化処理物を「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」(JIS A 1481、以下JIS法と略記)に準拠する方法により試験したときに、アスベストが検出されなければ「無害化した」とする考えです。無害化処理の評価としてアスベストが検出されないことは確かに妥当なのですが、建材よりも低濃度である無害化処理物にJIS法を適用することが適当なのかといった問題があります。

このような背景から、私たちはアスベスト含有廃棄物の無害化処理の評価に関して、(1)無害化処理物中のアスベストの試験法の検討、(2)一般環境試料中のアスベスト濃度の把握、(3)熱処理によるアスベストの鉱物組成及び繊維数の変化、の3つのテーマで研究を行いました。

無害化処理物中のアスベストの試験法の検討

前述した通り、アスベスト含有廃棄物の無害化処理物の試験法としては、JIS法が準用されています。JIS法はX線回折法と分散染色法の2つの方法から構成されますが、X線回折法には繊維の観察ができず

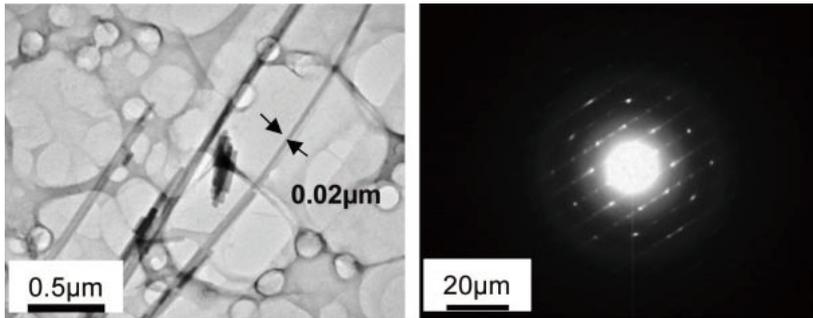


写真1 クリソタイル標準物質の透過型電子顕微鏡による観察
(左) 繊維画像、(右) 電子線回折像

定量下限値も0.1重量%と高い、分散染色法には微細な繊維を観察できず繊維同定も十分でない、といった問題があります。アスベストの毒性はその繊維形態に起因するところが大きいため、私たちは微細な繊維の観察が可能であり、繊維同定の確度が高い測定法を用いることが適当であると考え、このような条件を満たす透過型電子顕微鏡法（以下TEM法と略記）を測定法として採用しました。写真1にTEM法で観察したクリソタイル標準物質を示しますが、TEM法は幅が数十ナノメートルであるクリソタイル繊維の観察が可能で、電子線回折による結晶構造の確認とエネルギー分散X線分析による元素組成の把握により繊維同定の確度が高いのです。また、TEM法による測定のための観察試料の作製方法として、無害化処理物を破碎して水中に分散させ、これをフィルターにろ過することで内部の繊維を観察できる方法を開発しました。この試験法を無害化処理物（溶融スラグ）の評価に適用したところ、アスベストでない繊維の濃度範囲は47～170Mf/g（Mf/g：試料1g当たり繊維100万本）でしたが、アスベスト繊維はいずれも不検出でした（検出下限値：1.5～4.4Mf/g）。これらの試料は別途JIS法によっても分析しており、いずれも不検出でした。以上はアスベストの繊維数濃度の試験結果ですが、繊維サイズの計測から重量濃度を求めることも可能であり、その場合JIS法の定量下限値より数桁低いμg/gオーダーの濃度のアスベストの定量が可能です。本試験法の問題点としては、TEM法での観察面積が限られるため、試料の代表性の確保や適切な分析精度管理の実施が求められることがあり、この点から多量の試料の分析が可能で精度管理の点

で有利な試験法であるJIS法と相補的に用いることが望ましいと考えます。

一般環境試料中のアスベスト濃度の把握

アスベスト含有廃棄物の無害化処理を考える上で、一般環境土壌相当までアスベスト濃度が低減されていれば、処理物が環境中におかれても問題となるような汚染は発生しないと考えること

もできます。従って、私たちはクリソタイルなどのアスベストが存在する可能性の高い蛇紋岩地域6カ所（熊本県、長崎県、埼玉県、北海道3カ所）と非蛇紋岩地域1カ所（千葉県）において土壌試料を採取し、偏光顕微鏡法と上述のTEM法によりアスベスト濃度を測定しました。蛇紋岩地域土壌からは微量のクリソタイルが検出された他、一部試料からはトレモライトが検出されました（写真2）。トレモライトが検出された地点での濃度は、表層が0.042%であるのに対して、深層（90～150cm）が6.2%であり、土壌表面で風化がおきる過程で繊維形態が保てなくなり濃度が低下した可能性が考えられました。北海道の蛇紋岩地域においては、蛇紋岩露頭土壌や旧石綿鉱山から流出する沢の堆積物等、濃度がパーセントオーダーに達する試料もありました。また、これらの地域で大気中のアスベスト濃度も同時に測定しましたが、概ね環境省の大気濃度調査と同程度であり、顕著な飛散は認められませんでした。また、旧石綿製品工場跡地周辺においても土壌などの環境試料を採取し、TEM法によりアスベスト濃度を測定しました。繊維数濃度（重量濃度）の結果は、土壌2試料で44～62Mf/g（0.56～1.5μg/g）、河川底質4試料では17～25Mf/g（0.51～9.6μg/g）でした。これ

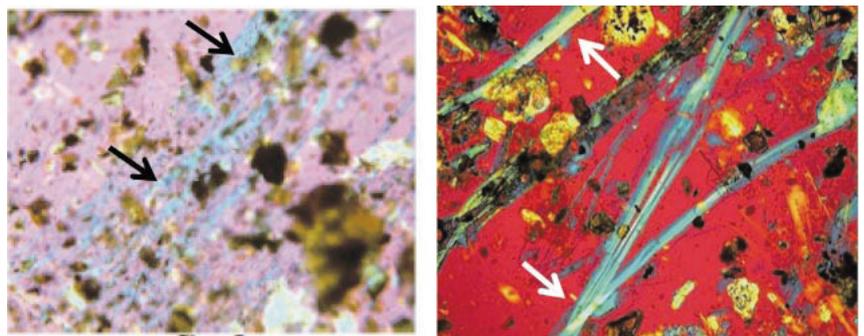


写真2 蛇紋岩土壌試料中のアスベスト繊維（矢印）の偏光顕微鏡による観察
(左) トレモライト、(右) クリソタイル

らの濃度の持つ意味については、重量当たりの繊維数がアスベストの毒性に直接関連するわけではないので評価が難しいのですが、米国で蛇紋岩地域の土壌や運河の底質試料中のアスベスト繊維数濃度として、54～770Mf/gという値が報告されています。

熱処理によるアスベストの鉱物組成及び繊維数の変化

アスベスト含有廃棄物の無害化処理の代表的な方法は溶融処理などの熱処理であるため、熱処理によるアスベストの鉱物組成や繊維数の変化を把握することは重要です。従って、クリソタイル、クロシドライト、アモサイト、トレモライト、アンソフィライトの各標準物質を400℃から1500℃の温度で熱処理し、X線回折法により鉱物組成変化を、TEM法により繊維数濃度を評価しました。X線回折法による評価では、クリソタイルは500℃、クロシドライトは800℃、アモサイト、トレモライト、アンソフィライトはいずれも900℃以上でこれらの結晶に由来する回折パターンが消失し、より高温で他の鉱物の結晶由来の回折ピークが出現することを確認しました。TEM法による評価では、クリソタイルとクロシドライトは低温で繊維数濃度の減少が始まるのに対して、アモサイトなど他のアスベストは高温まで繊維数濃度が減少しないことがわかりました(図1)。また、アスベスト単体の熱処理によって繊維数濃度を上述の旧石綿製品工場跡地周辺土壌・底質と同程

度まで低減するためには、クリソタイルやクロシドライトでは1000℃以上、アモサイトなど他のアスベストでは1400℃以上での処理が必要であることがわかりました。

おわりに

本研究で開発したTEM法による無害化処理物中のアスベストの試験法は、処理物中の微量のアスベストの定量が可能であり、環境省通知「石綿含有一般廃棄物等の無害化処理に係る石綿の検定方法について」に反映された他、無害化処理の環境大臣認定にも活用されています。また、TEM法を適用することで、一般環境中のアスベスト濃度の把握やアスベスト熱処理物の評価も行うことができました。TEM法には上述の長所がある反面、分析に要するコストや時間などの問題もありますが、環境省の「アスベストモニタリングマニュアル」に採用されたこともあり、今後普及することを期待しています。

(やまもと たかし、資源循環・廃棄物研究センター 循環資源基盤技術研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

入所後20年が経ちました。その間様々な有害物質の分析や環境動態に取組み、今はアスベスト研究に携わっています。アスベストが特定粉じんとして規制されたのも約20年前のことで、有害物質の問題は一朝一夕には終わらないものだなあと痛感しています。

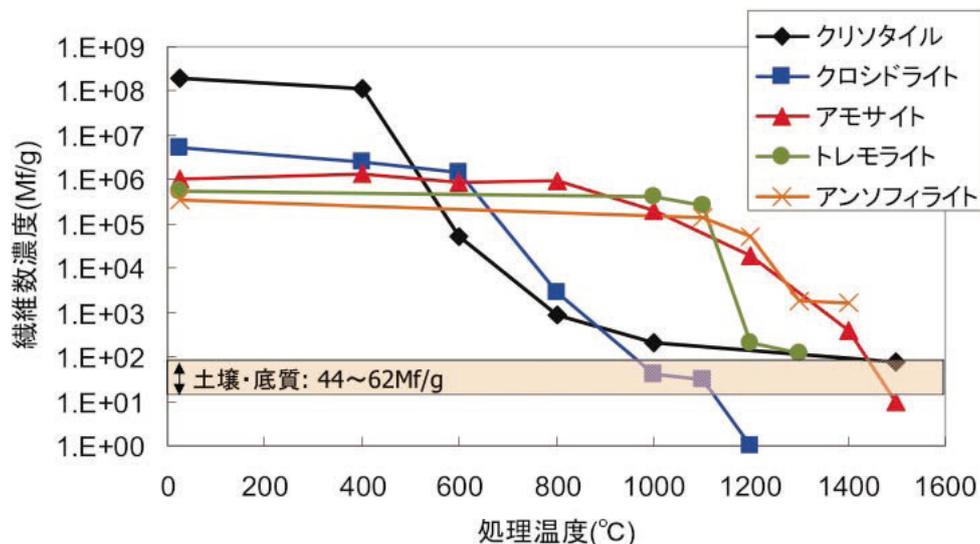


図1 アスベスト繊維数濃度と処理温度との関係

【東日本大震災復旧・復興への取り組み】

福島第一原子力発電所から放出された 放射性物質の大気シミュレーション

大原 利真、森野 悠

2011年3月11日の東日本大震災によって発生した、東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島原発）の事故によって、大量の放射性物質が大気中に放出されました。放出された放射性物質は、福島県だけでなく、宮城県、関東1都6県、静岡県などの広い範囲で、土壌、水道水、農産物、畜産物、上下水道汚泥など様々な環境汚染を引き起こしています。

大気中に放出された放射性物質は、風によって風下に運ばれながら（移流）、風の乱れによって水平・鉛直方向に広がります（拡散；以後、移流と拡散を合わせて輸送と呼びます）。大気中を輸送される過程において、放射性物質は放射性崩壊して徐々に減衰するとともに、大気中でガスと粒子の両方の状態で存在するヨウ素131のような物質の場合には、ガスになったり粒子になったりします。大気中の放射性物質は、最終的に大気中から除去されて地表面に負荷されますが、この除去（沈着）プロセスには2種類あります。一つは、風の乱れ等による乾性沈着、もう一つは、降水に取り込まれる湿性沈着です。このようにして大気から地上に落ちた放射性物質のうち、半減期が長い放射性セシウム（セシウム134とセシウム137）が私たちの生活と周りの環境に大きな影響を及ぼしているのです。

さて、放射性物質は大気中をどのように輸送・沈着したのでしょうか？風が一定方向に吹いている場合には、放射性物質はブルーム（羽毛）状に大気中を輸送されます。これが、いわゆる「放射性ブルーム」と呼ばれるものです。しかし、風が時空間的に一定・一様に吹くことは少なく、地形や地面の状態、海陸風や山谷風、高低気圧などの影響を受けて複雑に変化します。福島原発周辺でも、西側にある山岳の影響を受けて、放射性物質は複雑に輸送されたと考えられます。このようにして大気中を輸送された放射性物質は、乾性・湿性沈着によって大気中から除去されますが、一般的に、粒子はガスよりも乾性沈着しにくく、湿性沈着しやすいと考えられます。このため、大気中で粒子として存在する放射性セシウムは、乾性沈着よりも湿性沈着によって大気中から除去されやすく、その大気濃度が高い地域に雨が降り始めた場合に、沈着量が大きな地域（いわゆる

「ホットスポット」）が出現します。一方、ヨウ素131は乾性沈着しやすいため、その沈着量は放射性セシウムほど降水に依存しません。

このような放射性物質の複雑な挙動を把握するためには、大気シミュレーションが役に立ちます。以下では、大気汚染現象をシミュレーションするために開発されたコンピューターモデルを用いて、放射性物質の広域的な挙動を解析した結果について紹介します。使用したモデルは、米国・環境保護局（EPA）で開発された化学輸送モデル「CMAQ（Models-3 Community Multiscale Air Quality）」です。グリッドは6 km、計算対象領域は関東・南東北地方を含む東西700km×南北700km、計算対象物質はヨウ素131とセシウム137であり、ヨウ素131はガス80%と粒子20%、セシウム137は全て粒子として大気中に存在すると仮定しました。CMAQで使用する気象データは、気象庁の気象格子点データをもとに地域気象モデルを使用して計算しました。また、放出量データには、(独)日本原子力研究開発機構が2011年5月12日に発表したデータ*を使用しました。モデルの結果を検証するために、文部科学省が全国46都道府県で実施した定時降下物モニタリングデータなどと比較し、観測された降下量（沈着量）の時空間変化やレベルを、モデルがほぼ再現していることを確認しました。しかし、放出条件、気象（風と降水など）、沈着モデルなどの不確実性が大きいことに注意する必要があります。

モデルによって計算されたヨウ素131とセシウム137の、3月11日～3月29日における累積沈着量の地域分布を図1に示します。この図によると、放射性物質の影響は福島県以外に、宮城県や山形県、関東1都6県、静岡県、山梨県、長野県、新潟県など広域に及んでいることがわかります。前述したように、ヨウ素131は乾性沈着が多く、湿性沈着は少ないため、沈着量は大気濃度に強く依存し、福島原発からの放射性ブルームが何度となく通過した福島県東部や茨城県などの関東地方北東部で沈着量が多い結果となっています。一方、セシウム137は、乾性沈着が少なく、湿性沈着が多いため、沈着量は大気濃度と

* (Chino, M. et al., J Nucl Sci Technol, 48, 1129-1134, 2011)

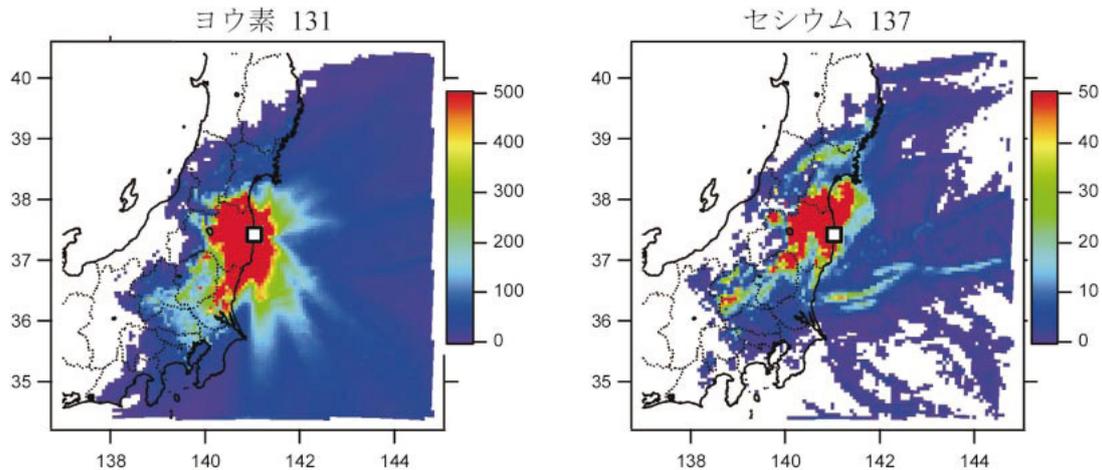


図1 2011年3月11日から29日における、モデルで計算されたヨウ素131（左図）とセシウム137（右図）の蓄積沈着量。単位はいずれもkBq m⁻²。

降水量の両方に依存し、大気濃度が高い降水域で沈着量が増大することになります。このことを反映して、原発周辺だけでなく、風によって放射性物質が輸送され、且つ、降水があった福島県東部、宮城県南部、関東北部・西部などの地域で沈着量が多く計算されています。これらの空間的な特徴は、観測された空間線量マップ（例えば、<http://www.nnistar.com/gmap/fukushima.html>）の特徴とほぼ一致します。しかし、空間線量マップで比較的高い線量になっている茨城県南西部から千葉県北西部では、モデル沈着量は目立った増加を示しておらず、この特徴を作りだした3月21日の事象をモデルは正確に再現できてないと考えられます。

それでは、放射性物質は、いつ東日本に沈着したのでしょうか？モデル結果によりますと、沈着したのは3月15日～16日と3月21日以降の数日の2期間で集中しています。即ち、福島原発周辺において、高濃度の放射性プルームが通過し、更に、その通過と降水帯のタイミングが合った2期間に、大量の放射性物質が沈着したと考えられます。また、大気中に放出された放射性物質のうち、ヨウ素131は13%（乾性沈着9%、湿性沈着4%）、セシウム137は22%（乾性沈着1%、湿性沈着21%）がモデル領域内の陸上に沈着し、それ以外は海上に沈着したかモデル領域外（ほとんどが太平洋上）に流出したことがわかりました。

本稿では、放射性物質のシミュレーション結果に基づき、福島原発から放出された放射性物質の大気中の挙動について紹介しました。このようなシミュレーションによって、放射性物質の大気中での挙動や地表面に沈着したメカニズムが明らかになってきました。また、文部科学省や様々な学術研究機関、

団体・個人によって放射性物質に対する多様な測定が進められ、放射能汚染の実態が明らかになりつつあります。しかし、様々なデータを統合して、広域的な汚染マップを作成すること、環境中での放射性物質のフローとストックを解明すること、その前提となる放出量データの不確かさを小さくすること、といった汚染の全容を把握するための取組みが進んでない状況にあります。放射能汚染が非常に重要な社会問題になっていることを踏まえると、測定とモデルによる調査・研究を更に強力に推進し、また、原子力分野、環境分野、影響分野などの研究者間の連携を強め、更には、関係する研究機関や行政機関、事業者、一般市民の協働によって、放射能汚染の全容解明と汚染低減に向けた取組みを加速する必要があります。

【参考資料】

- ・ 8月25日記者発表資料 [<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20110825/20110825.html>]
- ・ 国立環境研究所東日本大震災ホームページの該当部分 [<http://www.nies.go.jp/shinsai/index.html#title04>]

（おおはら としまさ、地域環境研究センター長、大気環境モデリング研究室 長〔兼務〕／
 もりの ゆう、地域環境研究センター 大気環境モデリング研究室 研究員）



執筆者プロフィール：

事故発生から5カ月が過ぎた（本稿執筆時点）にも関わらず、放射能汚染に係る新たな問題・課題が次々と起こっており問題の深刻さが浮き彫りになっています。この記事が掲載される10月末には解決の道筋が見えていれば良いのですが、引き続き微力をつくしたいと思います。

【研究所行事紹介】

「サマー・サイエンスキャンプ2011」開催報告

企画部広報室

国立環境研究所では、7月27日（水）～29日（金）の3日間と8月15日（月）～18日（木）の4日間、それぞれ高校生を対象とした科学技術体験合宿プログラム「サマー・サイエンスキャンプ2011」を開催いたしました。このキャンプは、文部科学省の後援のもと、（独）科学技術振興機構が実施しているもので、当研究所では1999年から毎年参加してきました。今年は2つのコースを設定し、多数の応募者の中から選ばれた22名が参加しました。

まず『環境と生物』コースでは、様々な環境から採取した土壌にどのような細菌がいるのかを調べ、環境の違いによる土壌細菌相の違いを比較しました。

実習では土壌中の微生物から抽出した特定の遺伝子を遺伝子増幅装置（PCR装置）、電気泳動装置（DGGE装置）を使って増幅・分離し、多様な微生物遺伝子を確認することを行いました。講義について



てもしっかりと聞き、作業を丁寧に行った結果、参加者全員が目標とする実験結果を得ることができました。



そして『東京湾の魚介類と環境を調べてみよう～東京湾の本当の姿を実体験！～』コースでは夏の強い日射しの中での船上作業となりましたが、漁業協同組合の皆さんの協力のもと、調査用の漁船に同乗

し、東京湾で進行している生態系の変化を調査しました。東京湾の北部および南部の2箇所において、水質観測装置CTD/DOロガー（右上の写真）を用いた水質観測および底曳き網による魚介類採集を実際に行い、採れた生き物の種類や量の違いに驚きの声をあげていました。また持ち帰った魚介類は、種類、種別の個体数および重量を計測し、観測された水深別の水温、塩分及び溶存酸素濃度の測定結果と併せて、東京湾の実態について学びました。



参加した高校生たちは全国各地から集まったにもかかわらず、同じ目的を持つ仲間同士うちとけるのも早く、かつ研究や将来の進路について熱心に質問する姿が印象的でした。研究者から直接指導を受けられることや、最先端の装置を使った実験を行うなど、学校では体験できない貴重な経験となったようです。また短い期間でしたが、講師やスタッフにとっても探究心溢れる高校生たちとふれあえる実り多き時間となりました。

今後とも、本プログラムへの参加を通して、より多くの高校生に科学や環境問題について興味や関心をもってもらう機会を提供していきたいと思えます。

表彰

受賞者氏名：本郷宙軌

受賞年月日：2011年9月11日

賞の名称：日本地質学会第118年学術大会優秀ポスター賞（一般社団法人日本地質学会）

受賞対象：Key speciesを用いたサンゴ礁生態系の復元（日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会、日本地質学会学術大会講演要旨集（セクションB）、226、2011）

受賞者からひとこと：日本地質学会学術大会におけるポスター講演の中から、優れた発表に授与される「優秀ポスター賞」を頂きました。現在、生物多様性の減少が地球環境問題としてクローズアップされる中で、確かな将来予測を行うことが必要となっています。そのためには、過去の生態系の記録を復元し、その知見をもとに取り組みることが必要不可欠だと思います。そこで、私たちは生物記録が保存されやすい炭酸塩から構成されるサンゴ礁生態系を対象とし、過去1万年間の地球環境変動とともに、生態系を復元する研究を進めてきました。今回、サンゴ礁生態系の基礎を支えるのに必要不可欠なサンゴ=Key speciesを発見することができました。これらのサンゴは生態系の衰退・回復の指標種となる可能性があり、これから注目していくことが必要と考えています。本研究のように長期間の生態系を復元する研究はまだ始まったばかりで課題は多いですが、この受賞を励みに、今後も地質学的研究と生態学的研究を進めていきたいと思っています。

受賞者氏名：横内陽子

受賞年月日：2011年9月15日

賞の名称：日本地球化学会賞（日本地球化学会）

受賞対象：大気中の揮発性有機化合物の動態に関する地球化学的研究

受賞者からひとこと：大気中の揮発性有機化合物（VOC）に関する地球化学的研究に対して、日本地球化学会学会賞をいただきました。VOC類は人為・自然の多くの発生源を持ち、多岐にわたる環境問題に関与しています。その中で、植物起源テルペン類の反応生成物を同定し、それらが森林エアロゾルとして存在することを見いだしたこと、自然のオゾン破壊物質である塩化メチルが熱帯植物から大量に放出されていることを発見したこと、大気中ハロカーボン類の高精度自動連続観測を波照間島（沖縄県）と落石岬（北海道）で立ち上げて東アジアにおけるハロカーボン排出分布の詳細な解析を可能にしたこと、北極における春の地表オゾン減少時の詳細なVOC変動を調べて臭素によるオゾン破壊機構の解明に寄与したことなどを評価していただきました。一連の研究は、所内外の多くの方々との協力と支援の賜物であり、それらの方々に深謝いたします。今後も環境中VOC研究の進展に向け、努力して参りたいと考えております。

受賞者氏名：笠井文絵、河地正伸

受賞年月日：2011年9月18日

賞の名称：日本植物学会賞特別賞（社団法人日本植物学会）

受賞対象：国立環境研究所微生物系統保存施設における藻類リソースの系統保存および提供

受賞者からひとこと：特別賞は技術・教育・その他の3分野で植物科学の発展に貢献した団体に贈られる賞で、個人ではなく「独立行政法人国立環境研究所微生物系統保存施設」として技術分野で受賞いたしました。受賞理由は、約3000株におよぶ藻類リソースの系統保存および国内外の研究者への分譲提供に大いなる貢献をしたというものです。1983年から約30年にわたる藻類の系統保存の地道な活動が認められた証として大変光栄に思います。今後も、時代の要求に答えながら、研究の基盤として藻類の系統保存事業を充実させていきたいと思っています。

受賞者氏名：金谷 弦

受賞年月日：2011年9月18日

賞の名称：2011年度日本ベントス学会奨励賞（日本ベントス学会）

受賞対象：これまで行ってきた干潟ベントス研究とその成果（原著論文）

受賞者からひとこと：日本ベントス学会では、若手研究者の研究を奨励し顕彰するために「日本ベントス学会奨励賞」を毎年募集しています。応募資格は、年齢が40歳未満の学会員で、最近5年間にベントス学会発行の英文誌・和文誌に1編以上の論文が掲載されたこととされています。本年度は私ともう一名の方が受賞しました。受賞理由として、仙台湾の干潟で行ってきた一連の研究とその成果をまとめた原著論文について、特に現場でベントス（ゴカイ類や二枚貝などの底生動物）と物質循環との関係を根気強く調べてきた点を、評価して頂きました。また、それらの成果が津波後の環境モニタリングの基礎データとなるであろう点についても、評価を頂きました。これからも、干潟の泥に（足・腰・胸まで）まみれながら、ベントスとその生息環境の研究に精進いたします。

新刊紹介

環境儀No.42「環境研究 for Asia/in Asia/with Asia－持続可能なアジアに向けて」（平成23年10月発行）

アジアの多くの国や地域では、急速な経済発展とともに、日本が高度成長期から今日に至るまでに経験してきた大気汚染、水質汚濁、廃棄物の問題、化学物質の問題、自然破壊などの問題が同時に深刻化しています。これらの問題を解決しつつ、持続可能な社会を実現することが、アジアと世界の環境にとって避けて通ることのできない課題となっています。

国立環境研究所では、以前からアジアを対象・フィールドとした研究、そしてアジアの研究機関等を共同研究のパートナーとした環境研究を進めてきました。それらは持続可能なアジアのための研究、すなわち「環境研究 for Asia」でもあります。今号では、これまでの国立環境研究所でのアジア関連研究の歴史を振り返ります。2006年度から2010年度までの5年間、当研究所のアジア自然共生研究プログラムのプログラムリーダーをつとめた中根英昭・審議役（アジア等国際連携担当）が、国立環境研究所でのこれまでのアジア研究の経緯を紹介するとともに、国境を越えた大気汚染に関する研究、アジアでの河川から海に至る水環境の研究、そしてメコン流域の生態系がもつ機能に関する研究など、アジア自然共生研究プログラムの成果を紹介します。

（環境儀No.42ワーキンググループリーダー 竹中明夫）

人事異動

（平成23年9月30日付）

木幡 邦男 辞 職 審議役



編集後記

宇宙に地球外生命は存在するか?!といった話題になると、とたんにワクワクする。

生物多様性に関する書に触れると、生命活動が個々の生物特有のものにとどまらず、生物とその生息環境が一体となった生態系ネットワークそのものだと思えてくる。

また、個々の生物は全体を構成する一部分でもあり、お互いに影響しあい、環境そのものと密接不可分な関係にあるという話にも引き込まれる。おそらくすべての生物は、地球、さらに

は宇宙という生態系ネットワークの一部なのだろう。

そう考えると、すべての生物にはその無意識の深い層に宇宙大の広がりがありそうな気がしてならない。時は秋。夜空を眺めながらそんな想像をするのもまた楽しい。

もし、宇宙自体が生態系ネットワークであるとするれば、地球のような星を誕生させることも、その星が生物を誕生させることも不思議ではない気がしてきた。

(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：環境情報部情報企画室

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