

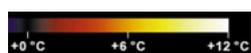
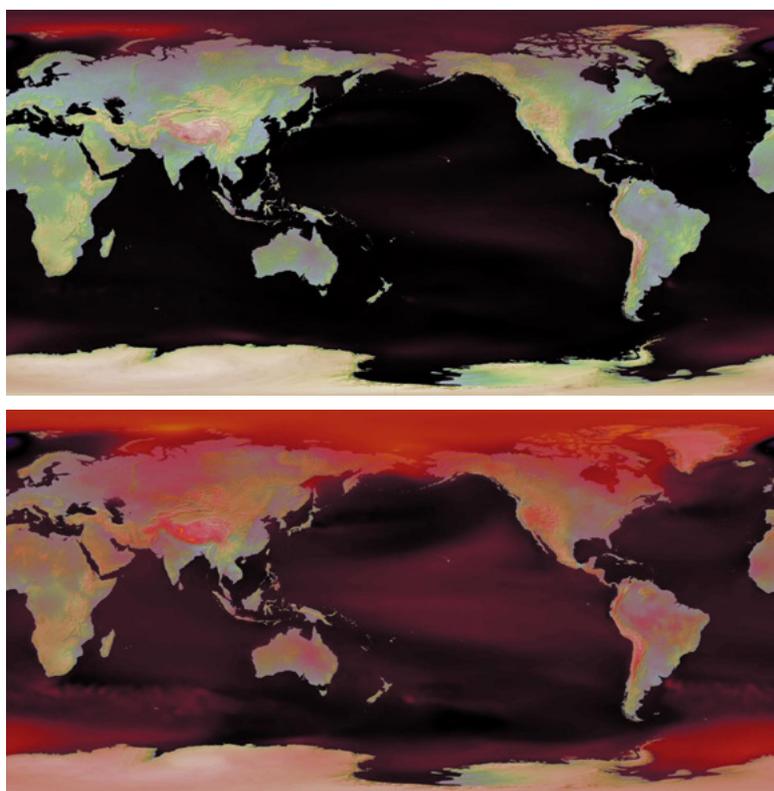


国立環境研究所

ニユース

Vol. 26 No. 5

平成19年(2007)12月



スーパーコンピューターで計算された地球の気温の変化。上：1991～2000の平均，下：2021～2030の平均。あらかじめ陸地は緑色，山脈は白色で区別しています。（詳しくは，3ページからの記事を参照）

[目次]

3年半ぶりの国立環境研究所とつくば	2
近未来の地球温暖化の確率的予測にむけて	3
微生物を利用して汚染土壌からヒ素を除去する	6
地球温暖化の原因を探る - “最適指紋法”による気候変化シグナルの検出と要因評価 - ...	8
南極レポート(第4回:「オゾンホール観測」)	10
『ダイオキシン2007国際会議』開催報告	13

【巻頭言】

3年半ぶりの国立環境研究所とつくば

松井佳巳

3年半ぶりの国立環境研究所勤務となりました。前回と同じく金帰月来という中途半端な形ではありますが、またつくばに暮らすことになりました。この3年半で、研究所が、そしてつくばがどのように変わったか、または変わっていないか、気づいたことを書きとめてみたいと思います。

1. まず、研究所について

(1) 外観

研究所の構内を巡ると、当時完成間近だった環境試料タイムカプセル棟が供用されていることを除いて、大きな変化はありません。平成10年代前半、規模の大きい補正予算が何年か続いて生まれ、環境リスク研究棟(旧環境ホルモン総合研究棟)、地球温暖化研究棟などが建設されました。その後は補正予算による新棟建設が行われていないので、外観上の大きな変化が生じていないのだらうと思います。しかし、昨年度から耐震補強工事が順次行われているほか、アスベストの除去工事も行われており、安心・安全の面からの繕いがなされています。また、私が気づいていない変化もかなりあるのではないかと考えています。なお、研究所の入り口周辺の景色もほとんど変わっていません。回転寿司もファミリーレストランも既にありました。隣組の二つの研究所(気象研、産総研)も外からみたかぎりでは変化なしです。

(2) 第2期中期計画が始まって

平成18年4月に当研究所の第2期中期計画がスタートしました。第2期になって大きく変化したのは、「非公務員型」になったことです。これまでは研究所には「官」の肩書きを持つ人がたくさんいました。私も以前であれば「主任研究企画官」でしたが、「企画部長」になりました。また、前は研究所への「出向」でしたが、今回は退職金の支給なしに環境省を「辞職」した上での研究所による「採用」です。このような形式的な変更に加えて、「官」の外に出たことに伴う法制度上の対応などが必要となりました。そして、第2期中期計画では、研究分野の選択と資源の集中を図るため、4つの重点研究プロ

グラムを構築するなどの工夫がこらされています。さらに、理事長の提案で「環境憲章」を作りました。しかし、全般的な印象としては、特に大きな相違はないような気がします。これは見るセンスが不足しているのかもしれませんが、研究所の使命や対応すべき課題が特に変わったわけではありませんので、当然のことなのだろうと思います。

2. そして、つくばについて

(1) つくばエクスプレス開業

平成17年8月に開業したつくばエクスプレス(TX)の影響は絶大です。何しろ都心とつくばとが一本の鉄道で直結されたのです。これまでの常磐線ルート、東京駅とつくばとを結ぶ高速バスルートを合わせると、三系統の大量輸送機関が整備されたこととなります。しかし、TXの便利さは圧倒的です。私はこれまでの慣れもあって、月、金の我が家(神奈川県茅ヶ崎市)と研究所との往復にはこのルートをもっぱら利用しています。上野から千葉県、茨城県に向かう常磐線快速の乗客数自体は増えているようです。しかし、ひたち野うしく駅からのバスの乗客は激減し、以前は大変混み合うことがしばしばでしたが、今ではまず全員が楽に座われます。また、クラブ活動を終えて、ひたち野うしく駅から帰りの電車に乗り込む高校生もかなり減ったような気がします。そしてTXができるまで、は関東鉄道とJRバス関東のドル箱でしたが、TX開業により受けた痛手は相当のようです。私は前回と同じく、研究所から直線で北北西約2キロの松代という地区の単身赴任用宿舎に住んでいます。以前は、本数こそ少ないものの、近くの停留所に止まる東京発筑波山行き的高速バスがあり、利用客が結構ありました。しかし、残念なことに廃止されてしまいました。また、宿舎の近くと研究所を通過して荒川沖駅まで行くバスもなくなっていました。TXは便利さだけでなく、一面では不便さをもたらしました。

(2) 町並み

研究所の入り口周辺はほとんど変わっていないと

申しましたが、私の宿舎近くの通りには随分新しい店ができました。飲酒運転の取り締まりや違反に対する社会的制裁が厳しくなっているにも拘わらず、居酒屋風の店が何軒か増えました。「経営は大丈夫なのだろうか」とつい心配してしまいますが、それだけ人が増えているのでしょう。人口増といえば、つくば駅周辺エリアでのマンション新築が目立ちます。また、大型のショッピングモールもできています。都心まで1時間を切るのですから、ベッドタウン化が進むことは避けて通れませんが、これにより「個性ある研究学園都市」に「どこにでもあるようなベッドタウン」の要素が色濃く加味されていくと思います。ところで、研究所のホームページには、「筑波研究学園都市の景観変化」というサイト (<http://www.nies.go.jp/social/keikan/index.html>) があります。残念ながら1991年以降の情報更新がありませんので、新たな取り組みを期待しているところ

です。

最後になりますが、つくば市のホームページ (<http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/index/>) を覗いてみると、平成19年10月1日現在の人口は206,661人です。平成15年10月1日現在の人口が187,686人ですから、4年間で約19,000人も増えています(この間の合併はありません)。今後さらに増加することは明らかで、いつの日か県庁所在地の水戸市(平成19年10月1日現在、263,661人)を追い抜き、茨城県第一の都市になるのではないかと思います。

(まつい よしみ、企画部長)

執筆者プロフィール:

1978年環境庁採用。2002年1月から2004年3月まで国立環境研究所環境情報センターに勤務。去る7月から再び研究所に。基本的に休日はつくばにいないので、筑波山にまだ登っていないなど、つくば及びその周辺のことを実はよくわかっていません。

【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】

近未来の地球温暖化の確率的予測にむけて

江 守 正 多

なぜ近未来の温暖化を調べるのか

人類が二酸化炭素などの温室効果ガスをこのまま大気中に大量に放出し続けると、地球の気候はどのようなのでしょうか。これを科学的に予測し、対応策を検討する際の基礎とするために、コンピュータシミュレーションによる地球温暖化の予測研究が行われてきました。このような予測の結果については、これまでは2100年までの変化が語られることが主でした。例えば、2007年度のノーベル平和賞を受賞した、国連の「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)では、2007年の2月に発表した第4次評価報告書の中で、もし対策を取らなければ2100年ごろまでの地球の平均気温は1 から6 程度の範囲で上昇するとの予測をまとめています。しかし、最近、より近未来の予測を詳しく教えてほしいという要望をよく聞きます。つまり、2100年には現在の世代はもう生きていないので、温暖化は遠い未来のこのように、予測の数字に実感が湧かないということです。

特に、近年、世界の各地で熱波や豪雨などの異常気象の頻発が話題になっています。地球温暖化によって、自分が生きている間にこういった異常気象がどれくらい増えるのか、教えてほしいといわれます。

これまでの予測のターゲットが2100年までであった理由の一つには、2100年に生きている世代は2100年の気候を決めることはできず、現在生きている世代がどれくらい温室効果ガスを出したかによって、2100年ごろの気候が大きく影響を受けるのだ、ということが挙げられます。もう一つの理由は、気候は常に偶然な自然の変動を繰り返しているため、温暖化の程度がまだ小さい近未来では、温暖化と偶然の変動の区別がつきにくいということです。特に、異常気象の発生はもともと偶然な現象であるため、それが近未来に増加するかどうかは、確率的にしか予測することができません。一方、近未来の予測には、やりやすい部分もあります。それは、地球の気温上昇が「慣性」を持つことなどが理由で、気温上昇量

が将来の温室効果ガス排出量にあまり依存しないと考えられることです。IPCCでは、今後20年間に、地球の平均気温は10年間で0.2 程度の速さで上昇すると予測しています。すなわち、今後20年間程度はいくら排出削減の対策をしても温暖化はある程度進んでしまい、人類はそれに対して社会的に適応して、悪影響を最小限に留めるための対策を行う必要があるのです。この観点からも、具体的な適応策を検討するために、できる限り詳細な近未来の予測情報が望まれます。

近未来の温暖化をどうやって予測するか

地球温暖化研究プログラムの中核プロジェクト3「気候・影響・土地利用モデルの統合利用による地球温暖化リスクの評価」では、コンピュータシミュレーションによって、2030年までの近未来の温暖化により発生する異常気象を確率的に予測する研究を始めました。コンピュータによる温暖化予測では、将来の温室効果ガスの増加などを条件として与えながら地球の大気・海洋の変化をつかさどる物理法則の方程式を解くことにより、将来の気候変化を予測します。こうしてコンピュータの中に地球の気候の

姿を再現する仕組みを「気候モデル」と呼びます。気候モデルでは、大気・海洋を3次元の格子に分割して表現し、この格子の細かさを解像度と呼びます。今回の実験は手始めなので、比較的粗い水平解像度で、大気が300km、海洋が100km程度のものを用いました。鉛直方向には大気は高度およそ30kmまでを20層に、海洋は海底までを44層に分割しています。計算は過去の1850年から将来の2030年まで、181年間に対して行いました。2000年までについては、太陽活動の変化、大規模火山噴火の影響、温室効果ガス濃度などを過去の実際のデータに基づいて与えました。2001年以降については、温室効果ガスなどはIPCCのA1Bと呼ばれるシナリオ（将来の世界が経済重視で国際化が進むと仮定したシナリオ、2030年の二酸化炭素濃度は現在より18%高い447ppm）に従いました。ただし、前述したように、2030年ごろまでの温暖化の大きさはシナリオの違いにあまり依存しないことが知られています。2001年以降の大規模火山噴火や太陽活動の変化の影響は、今回は考慮していません。

気候の偶然な自然変動の影響を定量的に調査する

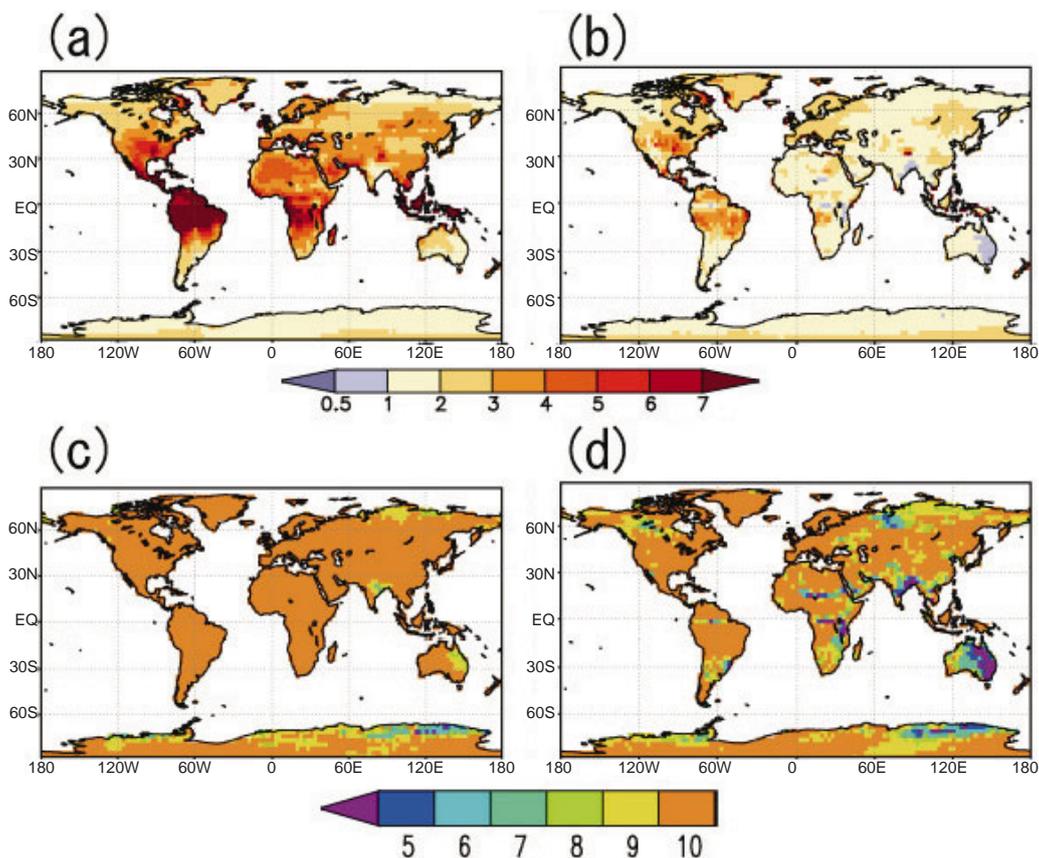


図 上段は、2011～2030年の統計で見た場合、暑い夜・昼の頻度が1951～1970年の何倍になるかの予測で、10サンプルの平均値。下段は10サンプルのうち何サンプルで暑い夜・昼の発生頻度が増えると予測したかを示す。左(a, c)は暑い夜、右(b, d)は暑い昼の変化。

ために、計算の初期条件である1850年の気候状態がそれぞれ異なる実験を10サンプル計算しました。気候の自然変動はいわゆる「カオス」という性質を持ち、初期条件が少しでも違えば、しばらく時間が経ったときの変動の様子は偶然性に大きく支配されてばらばらになります。これら10サンプルの予測結果には、同じ大きさの温暖化の影響と、それぞれ異なる自然変動の影響を含んでいます。10サンプルの平均をとると、自然変動の影響が互いに打ち消されるため、温暖化の影響を取り出して見ることができません。一方、10サンプルのばらつきは自然変動による偶然な変化のばらつき具合を表します。

極端な高温の増加はほぼ確実

今回は極端な高温・低温に注目して解析を行いました。ここで取り扱う現象は、以下に定義する2種類です。

「暑い夜」：夏の期間の日最低気温が、1951年から1970年の夏における日々の日最低気温の上位5%よりも高くなる日

「暑い昼」：夏の期間の日最高気温が、1951年から1970年の夏における日々の日最高気温の上位5%よりも高くなる日

ここで、夏の期間は北半球の6月から8月、南半球の12月から2月をさします。これらを実際の気温に当てはめると、例えば東京では「暑い夜」は日最低気温25以上の熱帯夜、「暑い昼」は日最高気温35以上の猛暑日にほぼ対応します。

図の上段は、2011～2030年の期間におけるこれらの現象の発生頻度が、1951～1971年の期間における頻度と比べて何倍になるかの予測結果を表しています。10サンプルの実験結果を平均することで、自然変動の影響を取り除いています。自然変動の影響を除くと、地球温暖化によって暑い昼・夜の頻度が増加することがわかります。日本付近では暑い夜の頻度は3倍程度に、暑い昼の頻度は1.5倍程度に増加します。つまり、過去には年間5日くらいだった熱帯夜が15日くらいに、同じく年間5日くらいだった猛

暑日が7日くらいになるということです。これは平均的な予測ですので、実際には自然の変動がこれに重なり、運が悪ければ暑い日はもっと増える、運がよければ暑い日はこれほど増えない、ということに注意が必要です。では、運がよければ暑い日が減ることもあり得るのでしょうか。図の下段は、10サンプルの実験結果のうちいくつかのサンプルで暑い昼・夜の頻度が増加すると予測されたかを示しています。陸上のほとんどの地域で、全10サンプルが暑い昼・夜の頻度が増加するという予測で一致したことがわかります。つまり、20年間の統計で見た場合、これらの現象の発生頻度に対する地球温暖化の影響が、数十年規模の自然変動によって偶然に逆向きになってしまうようなことは、まずあり得ないということです。

このように調べていくことによって、地球温暖化は、決して遠い未来の話ではなく、現世代の人たちがその人生の中で、地球温暖化による異常気象の発生頻度の変化をほぼ確実に経験するということがわかります。今後は、気温だけでなく豪雨の発生頻度なども調べていくとともに、予測方法を高度化し、より現実的で、実際の適応策検討に利用できるような情報を発信していきたいと思えます。同時に、この近未来の話だけではなく、長期の温暖化予測も依然として重要です。こちらは人類の問題として、2100年あるいはそれ以降に温暖化をどの程度で抑制すべきかを議論するために、引き続き研究を進めていきます。

(えもり せいた、地球環境研究センター
温暖化リスク評価研究室長)

執筆者プロフィール：

二人の娘に嫌われないように、ここ一年で少し減量しました。また、講演や取材で温暖化防止について話す機会が増え、自分の生活の中でも気をつけるようになりました。ダイエットもCO₂ダイエットも、慣れると結構楽しいものですね。



微生物を利用して汚染土壌からヒ素を除去する

山村茂樹

ヒ素と土壌汚染

多くの方が、「ヒ素」と聞くと「毒物」を連想されると思います。事実、ヒ素は、その化学的形態によって毒性も異なりますが、高い急性毒性及び慢性毒性、さらに発がん性を有していることが知られています。古来、支配層や富裕層の人々が銀食器を使ってきた理由の一つには、銀とヒ素が化学反応を起こして変色することを利用して、毒殺されることを防いでいたという説もあるくらいです。しかしその一方で、自然環境中はもとより生物の体内にもごく微量ながら存在しており、その生存に必須の元素であることも明らかとなってきました。また、生物への毒性の高さから農薬や木材防腐剤として利用されてきた歴史があり、最近では、発光ダイオードや半導体レーザー、半導体ガラスといった各種工業製品の原材料としても利用されています。

さて、そんな「毒物」以外の側面では私たちの生活に大きな恩恵を与えているヒ素ですが、管理・利用が適正に行われなかった場合には、やはり、その毒性の高さから汚染物質として問題となります。最近では、土壌汚染対策法の施行を契機として、工場跡地の再開発などに伴う土壌汚染の顕在化が重要な社会問題となっていますが、なかでもヒ素は検出頻度の高い汚染物質の一つとして知られています。現在その処理には、多くの場合、汚染された土壌の封じ込めや掘削除去が適用されていますが、一般的に極めて高コストであるうえ、処理によって土壌自体を失う、もしくは処理後の土地利用が大きく制限されてしまうという制約があります。そのため、日本国内には、コストの高さから処理を行う事ができない、あるいは処理後の土地利用の制限から低・未利用地となる可能性の高い土地が、約2.8万ヘクタール（東京23区の面積の約半分に相当）も存在しているといわれています。そこで、私たちの研究グループでは、環境中でのヒ素の循環・挙動に大きく関わっている微生物の活動に注目して、土壌浄化へと応用可能な微生物反応を見いだしました。さらに、それ

を有効に活用することで、汚染土壌から低コストでのヒ素除去を可能とし、かつ処理後の土壌の再利用が可能な浄化技術の開発を行っています。

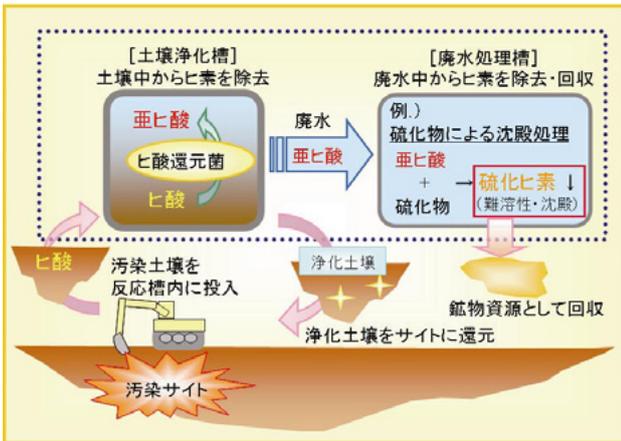
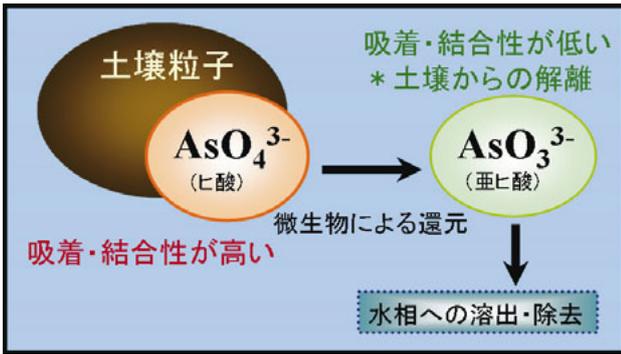
ヒ素で呼吸する微生物

通常、ヒトを含めた高等生物の呼吸では、有機物を酸化分解してエネルギーを取り出す過程で、化学反応を効率よく完結させるために分子状酸素 (O_2) を利用しています。しかし、ある種の微生物は、この呼吸に酸素以外の物質を用いることがあります。これを嫌気呼吸と呼びます。嫌気呼吸に用いられた物質は、還元されて酸化数の異なる化合物へと変化します（通常の呼吸では酸素 (O_2) が水 (H_2O) へと変化します）。例えば、窒素の無機化合物である硝酸 (NO_3^-) が嫌気呼吸に用いられて還元されると亜硝酸 (NO_2^-) が生成し、さらに亜硝酸が還元を受けると窒素ガス (N_2) となります。この一連の反応を行う微生物は脱窒菌と呼ばれ、富栄養化の原因となる窒素成分を除去するために排水処理の過程で利用されることもあります。この他にも、環境中には実に様々な物質を嫌気呼吸に利用する微生物がいます。ヒ素も例外ではありません。

一概にヒ素といっても無機態から有機態まで様々な化学的形態がありますが、土壌中では大半が無機態であるヒ酸 (AsO_4^{3-}) と亜ヒ酸 (AsO_3^{3-}) の形で存在します。ヒ素を呼吸に使う微生物は、このうちヒ酸を酸素の代わりに利用するわけですが、その過程でヒ酸は亜ヒ酸へと還元されます。ここで、ヒ酸は吸着性が強いいため、土壌中では鉄やアルミニウム酸化物などの粒子に吸着・固定化されていますが、亜ヒ酸になると吸着性が大幅に低くなり、水へ溶け出しやすくなります。

汚染土壌浄化への利用

汚染土壌中でのヒ素は、多くの場合がヒ酸の形態で存在するため、上述の微生物作用をうまく利用すれば土壌からヒ素を取り除くことができます。つまり、汚染土壌とヒ酸で呼吸をする微生物（ヒ酸還元菌）を含む培養液を混合し、土壌粒子中のヒ酸を還



元してヒ素を液中へと移動させれば、土壌を浄化する事ができるわけです(図1)。反応が終了した後、土壌と培養液を重力で分離すれば、得られた浄化土壌をその場の土地に戻して再利用することができます。また、浄化の過程でヒ素を含む廃液が生成してしましますが、既存の凝集沈殿などの技術を使えば適正に処理することは難しくありませんし、方法によってはヒ素を資源として回収できる可能性もあります(図2)。

実際に、国内某所の工場跡地から採取した汚染土壌を使って、実験室でヒ酸還元菌による浄化実験を

行った結果を図3に示します。左側のグラフは、土壌と混合した培養液中のヒ素濃度の変化を表したものです。ヒ酸還元菌を加えた添加系では、開始直後から液中のヒ素濃度が徐々に増加していく様子わかります。これは、汚染土壌に含まれていたヒ素が、液中へ移動していることを示しています。一方で、ヒ酸還元菌を加えていない非添加系でも多少の濃度の増加が見られますが、菌を加えた添加系と比べるとかなり低い値となっています。この両者の顕著な差が、ヒ酸還元菌の働きによって汚染土壌からヒ素が除去されていることを示しています。また、右側のグラフは、実験終了後(7日後)に土壌と培養液を分離して、実際に土壌に残っているヒ素の濃度を分析した結果です。やはり、ヒ酸還元菌を加えたことで土壌中のヒ素を大幅に除去できていることが確認でき、実験開始前には220mg/kgあったヒ素を約100mg/kgにまで減少させることができました。これは、土壌汚染対策法に定められる含有量基準値(150mg/kg)を十分にクリアする値です。また、土壌成分の分析を行ったところ、ヒ素以外の成分(ミネラル成分など)の濃度は実験前後でほとんど変わっていませんでした。つまり、これら一連の実験・分析から、ヒ酸還元菌を用いることによって、土壌自体にはダメージを与えずに浄化を達成できることが明らかとなりました。

おわりに—今後の展望—

一般的に、生物を利用した浄化技術はエネルギーやコストがあまりかからないというメリットがあるので、ヒ酸還元菌を利用したこの方法は、現状の汚染土壌処理法の課題点を解決できる新たな浄化技術になり得ると考えられます。実用化に向けてはまだクリアすべき課題も多いですが、現在では、様々な濃度のヒ素を含む汚染土壌に利用できるように、

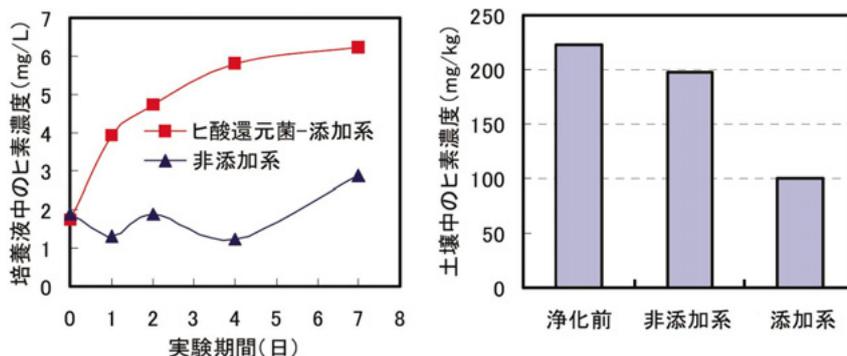


図3 汚染土壌を用いた浄化実験の結果
左：培養液中のヒ素濃度の経時変化，右：実験前後の土壌中のヒ素濃度

さらに浄化効率を上げる工夫を試みています。また、ここでは土壌の浄化に主眼を置きましたが、土壌から取り去ってもヒ素自体は消えて無くなるわけではありません。つまり、その後の処理を適切に行わなければ、再び汚染物質となってしまうことを忘れてはなりません。既に述べたように、ヒ素は貴重な資源でもあることから、浄化の過程で工業利用できる形で回収することが理想であるといえます。実は、ここでもヒ酸還元菌を使っているメリットが生きてくると考えています。なぜなら、この菌は汚染土壌中のヒ素だけを反応させて溶かし出すため、酸などの薬剤を使って溶かし出すよりも夾雑物が少なく、純度の高い状態でヒ素を回収できる可能性が高いか

らです。そのため、最終的には浄化を達成した後の毒性物質の適正な管理・再利用を考慮に入れ、汚染環境の修復と資源再生を同時に達成できる総合プロセスに発展させていきたいと考えています。

(やまむら しげき, 水圏環境研究領域
水環境質研究室)

執筆者プロフィール:

幼い頃、下水処理の制御に携っていた父の仕事について、「微生物で水をきれいにしている」と聞かされたことを何故か鮮明に覚えています。その頃は将来自分が、「微生物で土をきれいにする」研究を仕事にすることになるとは夢にも思いませんでしたが、今では微生物が作る伝統的飲み物(酒類)をしこたま飲むことも、すっかり生活の一部になっています。三つ子の魂百まで。

【環境問題基礎知識】

地球温暖化の原因を探る

— “最適指紋法” による気候変化シグナルの検出と要因評価 —

野 沢 徹

はじめに

今年初めに公表された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 4 次評価報告書によれば、過去 100 年間 (1906 ~ 2005 年) に観測された地球の平均気温は約 0.74 上昇しており、人間活動に伴う温室効果ガス (GHG) の増加がその主たる原因とされています。ここでは、このように過去の気候変化シグナルを検出しその要因を評価する方法について解説します。

“最適指紋法” とは?

気温や降水量などの観測データから気候変化シグナルを検出し、その要因を評価する主要な方法の一つとして、“最適指紋法 (optimal fingerprinting method)” と呼ばれる手法が用いられています。一般に、観測データには、GHG の増加や太陽からの放射エネルギーの変化など、さまざまな要因によりもたらされた変化だけでなく、自然界の長い時間の中で変動する “気候の揺らぎ^{*1}” も含まれていますが、このような揺らぎを考慮しても、ある特定の要因によりもたらされた変化の痕跡 (= 指紋) が、観測デ

ータの中から有意に検出できるかどうかを、統計的に調べようというわけです。数学的には、多変量の線形重回帰分析と見なすことができ、観測された気候変化 Y を、何かしらの変動要因 i に対する気候応

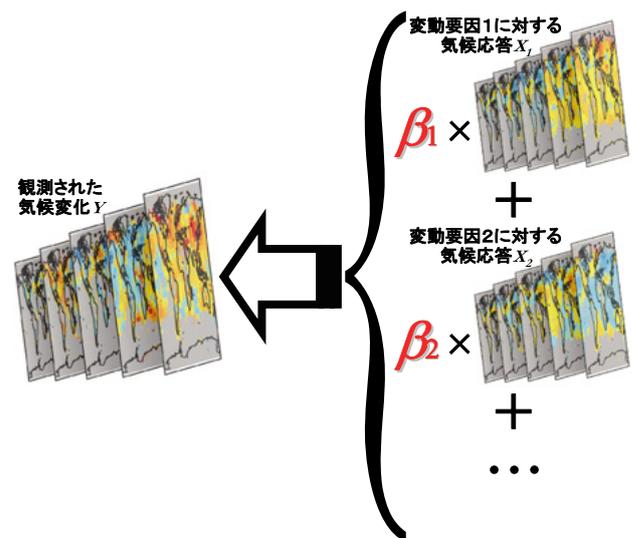


図 1 最適指紋法 の概念図。観測された気候変化 Y を、何らかの変動要因 i に対する気候応答 X_i の足し合わせで説明できると仮定し、観測された気候変化 Y を説明するのに最適な係数 (回帰係数) β_i を推定する。

* 1...気候システムの外部からの強制が一切なくとも、大気や海洋、雪氷などが相互作用することにより生じる変動を指します。エルニーニョだけでなく、冷夏や暖冬などの年々変動も気候の揺らぎの一部と考えられます。

答 X_i の足し合わせで説明できると仮定し、観測された気候変化 Y を説明するのに最適な係数 β_i (数学的には回帰係数と呼びます)を推定します(図1参照)。個別の要因 i に対する応答 X_i は観測などから求めることができません(地球を使って仮想実験を行うことはできません)ので、気候モデル²を用いた仮想実験(GHGの増加のみ考慮した実験、太陽からの放射エネルギーの変化のみ考慮した実験、など)から求めます。推定された係数 β_i がゼロよりも大きければ、観測された気候変化 Y には、変動要因 i に対する気候応答 X_i が有意に検出され、観測された気候変化 Y を説明するためには、ある要因 i に対する応答 X_i が不可欠であると言えます。また、ある要因 i に対する応答 X_i と推定された係数 β_i から、観測された気候変化 Y に対して要因 i がどの程度の割合で影響を及ぼしていたか、を推定することができます。

20世紀の温暖化は人間活動によりもたらされた

具体例を示しましょう。図2は、20世紀に観測された地上気温の時空間変化を、GHG濃度の増加に対する応答、GHGを除く人為的な変動要因(主に人間活動に伴うエアロゾル³の増加)に対する応答、自然的な変動要因(太陽からの放射エネルギーの変化および大規模火山噴火)に対する応答、の3要素の足し合わせで説明できると仮定した場合の回帰係数

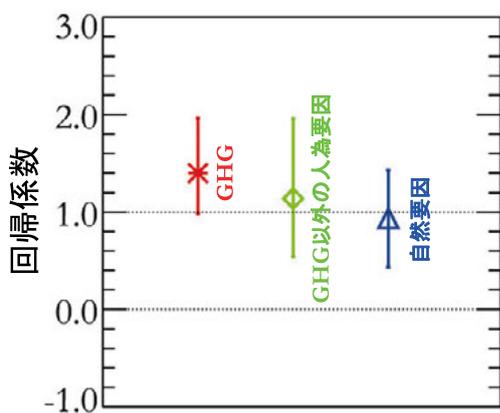


図2 20世紀に観測された地上気温の時空間変化を、GHG濃度の増加に対する応答(*), GHGを除く人為的な変動要因に対する応答(◇), 自然的な変動要因に対する応答(△)の3要素の足し合わせで説明できると仮定した場合の回帰係数。縦線は推定された回帰係数の5~95%の信頼区間を示す。

を示します。回帰係数はいずれも5~95%の信頼区間で正の値を示しており、20世紀に観測された地上気温の時空間変化には、これら3種類すべての応答のシグナルが有意に検出されることが分かります。この回帰係数 β_i と解析に用いた気候応答 X_i から求めた、それぞれの変動要因によりもたらされた地上気温の経年変化を図3に示します。この図から、例えば、20世紀後半では、GHG濃度の増加による気温上昇(およそ1.2 / 50年)が人為起源エアロゾルの増加による気温低下(およそ-0.55 / 50年)および自然的な変動要因による気温変化(およそ-0.20 / 50年)を大きく上回っているため、著しい温暖化が観測されたことが分かります。

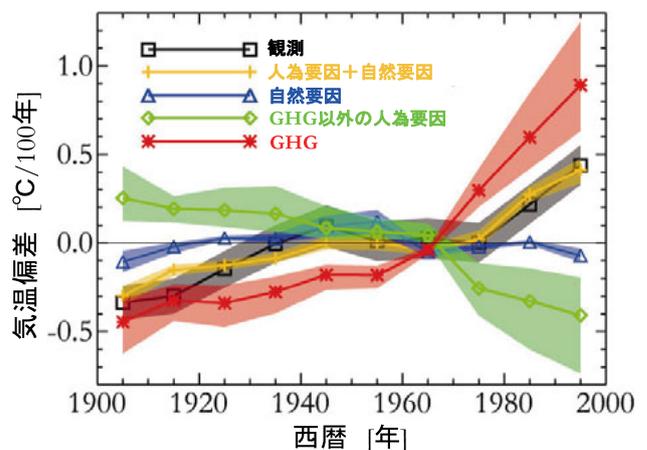


図3 推定された回帰係数とさまざまな変動要因に対する応答(時空間変動パターン)から求めた気温変化。陰影部分は5~95%の信頼区間を示す。

おわりに

過去の気候変化シグナルを検出し、その要因を評価する主要な方法の一つである“最適指紋法”について、簡単に解説しました。気候モデルによる数値実験データと観測データとを統計的に比較・検討することにより、20世紀に観測された地上気温の変化が“気候の揺らぎ”だけでは説明できず、特に20世紀後半では、GHGの増加による温暖化が人為起源エアロゾルの増加による冷却効果を大きく上回っているため、著しい昇温傾向が観測されていることが示唆されます。ここで示した結果は、国立環境研究所

* 2...地球の気候の仕組みをコンピュータ上に再現するシミュレーションプログラムで、大気や海洋を水平、鉛直の格子に分割して表現します。基本的には流体力学などの物理法則に基づいていますが、雲や雨、放射など格子サイズよりも小さい気象現象は、観測結果から得た半経験的な方程式を当てはめて計算するしかなく、これがシミュレーション結果の不確実性を生む要因の一つとなります。

* 3...大気中に浮かんでいる微粒子のことを指し、西日本を中心として春先に観測される黄砂なども含まれます。主要な人為起源エアロゾルやそれらの前駆物質は、化石燃料の燃焼に伴い大気中に放出されます。

が東京大学気候システム研究センターおよび海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センターと共同で開発した気候モデルを用いていますが、世界の他の気候モデルによるシミュレーション結果を用いてもほぼ同等の結果が得られており、人間活動に伴うGHGの増加により引き起こされる地球温暖化が、20世紀後半以降すでに始まっていることは、ほぼ間違いのないと言えるでしょう。

ここでは地上気温の解析結果を紹介しましたが、人間活動の影響は、海洋の温暖化や降水分布の変化、極端な高温・低温の発生頻度の変化、風の分布の変化など、気候のさまざまな側面に及んでいることが

明らかになってきています。もちろん、これらの研究結果にも少なからぬ不確実性が残されていますが、近い将来、不確実性の幅が確実に低減され、より信頼度の高い情報が提供されることは間違いのないでしょう。

(のざわ とおる, 大気圏環境研究領域
大気物理研究室長)

執筆者プロフィール:

早いもので環境研に来て10年が経とうとしています。まったく無知であった地球温暖化についても少しは知識が増えた気がしますが、まだまだ氷山の一角に過ぎないことを痛感する日々です。

【海外調査研究日誌】

南極レポート (第4回: 「オゾンホール観測」)

中 島 英 彰

前回の南極レポートでは、昭和基地でのミッドウインターについて紹介しました。今回は、現在南極域において最盛期を迎えつつあるオゾンホールの観測概要について紹介したいと思います。

南極昭和基地では、オゾンホールの観測のために、これまで主に気象庁によって、「ドブソン分光計」、「ブリューワ分光計」、「オゾンゾンデ」などによる観測が行われてきていました。その中でも、1982年・第23次南極地域観測隊によってオゾンの大幅な減少が世界ではじめて確認され、国際会議等で発表されたことは、日本の南極観測史上においても、大きな成果のひとつと位置づけられています。その後英国の研究者らによる1985年のNatureの論文によって、オゾンホールは世界的に脚光を浴びるようになったのです。

オゾンホールは、1980年代の日・英の研究者による独立発見後、次第に規模を拡大して来ています。1987年の「モントリオール議定書」に始まる、オゾン破壊物質である特定フロン世界的な生産制限にもかかわらず、いまだオゾンホールが回復に転じたという確たる証拠はありません。地球史的に見ても、現在は人類が地球上に現れて以来、もっともオゾン層が脆弱な時期に当たると言えます。

そこで、今回我々第48次南極地域観測隊では、以下の3つの手段でオゾンホールの詳細なメカニズム解明を目指すことといたしました。まず、太陽からの赤外線を光源とした、オゾン破壊物質を含む大気微量成分を高度別に測定することができる高分解能FTIR(フーリエ変換赤外分光計)による観測。次に、前回の南極レポートで紹介した、オゾン破壊と密接なかわりがあるPSC(極成層圏雲)の、低分解能FTIRによる観測。さらに、オゾン破壊量の定量化を行う、オゾンゾンデを用いた「オゾンマッチ観測」の3つです。今回は、これらの観測の概要について紹介したいと思います。

高分解能FTIRを用いると、その場所の上空のオゾン(O₃)や硝酸(HNO₃)、塩酸(HCl)、硝酸塩素(ClONO₂)、亜酸化窒素(N₂O)、メタン(CH₄)などの微量気体成分の量を、高度別に定量的に測定することができます。これは、オゾンホールのメカニズムを定量的に調べるには大変有効な手段です。しかし、FTIRは大変精密な光学機器であり、その取り扱いにもある程度の熟練が必要なことから、これまで南極地域ではニュージーランドのスコット基地において運用が行われているのみでした。

しかし、スコット基地は南緯78度に位置し、オゾ

ンホールが発達する8月～9月にはまだ太陽が昇らず、太陽光赤外線を光源に用いた精度の良い観測ができません。それに比べ昭和基地は、南緯69度・東経39度という南極では比較的低緯度に位置しているため、8月以降は太陽光を観測に用いることができるというメリットがあります。また冬季には、ほぼ常時南極全体を覆う「極渦」の勢力圏内に位置します。(たまに、極渦の境界に位置したり、ごくまれに冬期間にも極渦の外に出ることもあります。) オゾンホールが極渦内に起こる現象であることを考えると、まさに昭和基地は、太陽光を用いてオゾンホールを観測するにはうってつけの場所に位置するわけです。我々はこの昭和基地のメリットを活用し、高分解能FTIRによる観測を今年3月から行ってきました。図1に、昭和基地における初観測によって今年3月25日に得られたFTIRのスペクトルデータを示します。詳細な解析はこれからですが、オゾン破壊に関連した O_3 、 N_2O 、 $ClONO_2$ 、 HCl 、 H_2O 、 NO_2 等微量気体成分の吸収スペクトルの観測に成功し、これまでに約40日間の良好なデータが得られております。

また、PSC観測用低分解能FTIRによっても、前回の「南極レポート」でお伝えしたとおり、各種PSCに相当すると思われる興味深いデータが得られております。

最後に、オゾンマッチ観測について紹介します。オゾンは、フロンから遊離される活性塩素などによる化学反応による破壊のほか、気圧・気温の変化など、気象学的要因によっても見かけの量が変わってきます。そのため、オゾン破壊物質による純粋な化学的オゾン破壊量を正確に見積もるためには、同

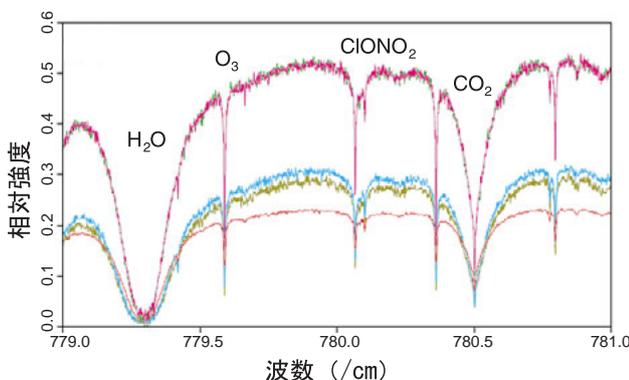


図1 今年3月25日に、昭和基地ではじめて取った高分解能FTIRによる大気赤外吸収スペクトル。色の違う何本かの線は、太陽高度が異なる何回かの観測結果を示す。本格的な解析はこれからだが、 O_3 や H_2O 、 $ClONO_2$ といった気体分子の吸収線が見取れる。

じ空気塊(くうきかい)を気象力学的な計算によって追いかける(流跡線(りゅうせきせん)解析と呼ぶ)、オゾンの変化量を調べるのが有力な手段となっています。このような解析手法のことを「マッチ解析」と呼び、オゾンゾンデによるオゾン観測に応用したのが「オゾンマッチ観測」です。この手法によって、1990年代から主に北極域を中心に、オゾン破壊量の定量化が行われてきました。具体的には、ある観測点におけるオゾンの鉛直分布を開始点にした流跡線解析を行い、その空気塊が別の観測点上空近傍半径300km以内を通過する予定時刻を計算し、その基地にあらかじめ通知してオゾンマッチ観測を行うことにより、前後2つのオゾン観測量の差から、オゾン破壊量を定量的に算出するというものです。図2に、



図2 昭和基地におけるオゾンマッチ観測用オゾンゾンデ放球の様子(2007年9月14日)。

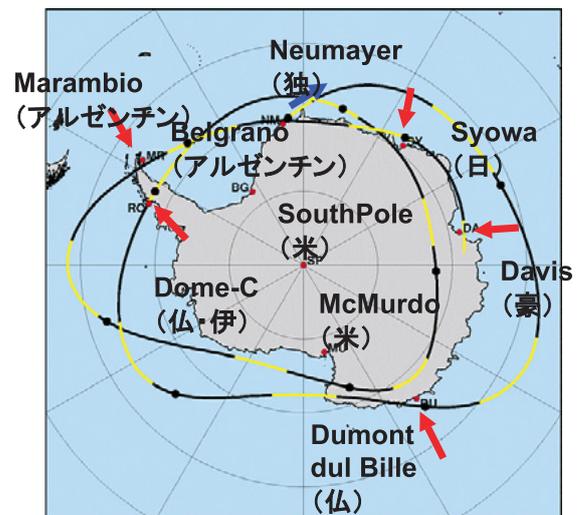
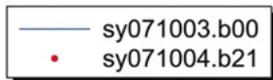


図3 国際極年2007-2008の南極オゾンマッチ観測キャンペーンに参加している、7カ国9つの南極越冬観測基地。黒・黄の曲線が、ノイマイヤー基地(独)を出発した(青矢印)空気塊の流跡線の一部(黄色は、そのうちの日照時間)。赤矢印で示した、他の基地から300km以内の場所で、オゾンゾンデによるオゾンマッチ観測を行う。

昭和基地でのオゾンゾンデ観測風景を示します。

オゾンゾンデ観測点の多い北極域では、このようなオゾンマッチ観測は1992年以降ほぼ毎年行われてきていますが、観測点の少ない南極域で行われるのは、今年が2003年について2回目です。しかも今年は、国際極年2007-2008のプロジェクトの一環として、国際的な協力の下に、7ヵ国、9つの南極基地が参加して行われています（図3参照）。昭和基地では、



昭和基地オゾンゾンデデータ

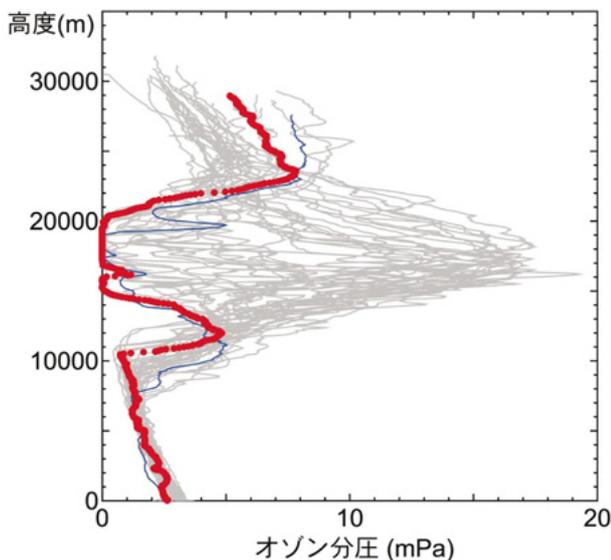


図4 今年6月以降10月4日までにやってきた32回のオゾンマッチ観測によって得られた、昭和最地上空のオゾン量の鉛直分布。赤色が最近10月4日、青色は前日（10月3日）の観測結果であり、この期間は高度15～20km付近のオゾンがほぼすべて破壊しつくされていることが分かる。グレーの線は、それ以前の観測データを示す。

オゾンホールが形成され始める前の2007年6月から、オゾンホールが最盛期を迎える9月～10月をはずさんで、オゾンホールが観測されなくなる11月はじめまでに、計40回のオゾンマッチ観測を行いました。図4に、今年10月4日に昭和基地から放球したオゾンゾンデによるオゾン鉛直分布の様子を示します。高度15～20kmのオゾンが、ほぼ完全に破壊されていることがわかります。帰国後、大気微量成分やPSCの観測結果とあわせ、結果を解析することにより、オゾンホールに関連した新たな知見を得ることを目標にしております。

オゾンホールは、今後11月ごろまでは継続することが予測されます。その間我々観測隊員は、強い紫外線を浴びることになり、外出時は日焼け止めクリームやサングラスの使用が隊の中で喚起されているところです。

次回の南極レポートでは、今回紹介できなかった、極夜明けの沿岸調査やペンギンセンサス、そして内陸トラバース旅行などについてお知らせする予定です。お楽しみに。

（なかじま ひであき、大気圏環境研究領域
主席研究員）

執筆者プロフィール：

国立環境研究所に来て丁度10年目の年に、つくばから南極に脱走計画を企て、現在南極昭和基地に雲隠れ中。昭和基地では、第48次観測隊の日刊新聞である「よんぱちにゅーす」を発行する、オングル新聞社社主に就任。社主とは言っても、他の記者と変わらず、月1～2回の新聞作成を行う身。改めて、出版物の編集作業の大変さが身にしみ、この「国環研ニュース」の編集者の皆さんの苦勞も、遠くから感じています。

木漏れ日倶り

左の写真はカマツカ、右はムラサキシキブといういずれも環境研構内の低木の実です。秋になると目立つのは紅葉ばかりではありません。このような木の実も目につきます。赤系統の色の実が多いのは、果実を食べて種子を散布してくれる鳥が見えやすい色だからだと言われています。

（竹中明夫）



カマツカ



ムラサキシキブ

『ダイオキシン2007国際会議』開催報告

柴田 康行

本年9月3日から7日にかけて、残留性有機汚染物質POPsによる環境汚染問題を討議する『ダイオキシン2007国際会議』が東京で開催されました。POPs (Persistent Organic Pollutants) は環境残留性、生物蓄積性が高く、毒性・有害性の高い化学物質の総称です。人間を含めた食物網上位の生物に特に濃縮され、悪影響を及ぼすことが懸念されることから、国際的な枠組み(ストックホルム条約)のもとで廃絶、削減を図るための努力が進められています。

このダイオキシン国際会議はPOPs、とりわけダイオキシン類の監視、毒性評価、人間への影響解明、発生源対策など様々な研究を進める研究者が一堂に会して研究発表、討議を行う場です。世界各地をまわりながら毎年開催され、今年で27回目となります。国立環境研究所では、平成13年度から17年度までの第1期中期計画における中核プロジェクトとして「環境ホルモン・ダイオキシンプロジェクト」が推進されました。国立環境研究所におけるダイオキシン研究を長く主導し、この中核プロジェクトをリーダーとして推進した森田昌敏元統括研究官が、退官後本国際会議の組織委員長を務めた経緯もあり、所として本会議を共催するとともに多くの研究発表を行い研究成果のアピールを行いました。また、サテライト会議やセミナーの開催などを通じて、研究交流の推進並びに国立環境研究所における関連研究のさらなる活性化を図りました。

会議では、ダイオキシン類に関する最先端の研究発表が行われ、油症事件や枯れ葉剤の散布など、過去におきたダイオキシン類の人間への曝露に関する追跡調査も報告されました。一方、環境レベルや毒性から注目を集め、ストックホルム条約の新規追加候補物質として審議が進められている臭素系難燃剤やフッ素系界面活性剤についても多く

の研究が報告されました。その他、途上国における取り組み、環境試料長期保存(スペシメンバンク)活動など、合計で750件を超える口頭発表並びにポスター発表が行われました。会議には43カ国からあわせて約1,000名の研究者が参加し、米国から100名以上、ヨーロッパも北欧、ドイツ、イギリスなどあわせて100名以上、さらにアジア地域では韓国、中国からそれぞれ50名を超える研究者が参加し、活発な討議が繰り広げられました。

日本を含む先進国ではダイオキシン対策も進み発生量も下がってきていますが、途上国においては現状把握もまだまだ遅れていて対策も今後の課題です。さらに、POPsの中にはフッ素系界面活性剤のように、長く使われたあげく最近になってリスクが認識され、製造禁止、規制にむけて議論の始まった物質もあります。現代社会を支える大きな役割を果たしている化学物質ですが、その中にはまだリスクが十分に認識されず適切な使用、管理が行われていないものもある可能性があります。化学物質の利便性を享受しつつその負の側面を抑え込み的確に管理を行うために、継続的かつ見逃しのない研究を進める重要性を、今回の会議は私たちにあらためて示してくれたように思います。

(しばた やすゆき、化学環境研究領域長)



インドネシア・バリからの報告－COP13・MOP3

第13回気候変動枠組条約締約国会議および第3回京都議定書締約国会合（COP13・MOP3）は、インドネシアのバリ島で、12月3日に開会されました。国立環境研究所は12月14日までの会期中、気候変動を中心とする国環研の研究活動を紹介する展示ブースを開設するとともに、12月6日（木）にGCP（グローバル・カーボン・プロジェクト：注）およびAIT（アジア工科大学）との共催で「都市における炭素管理：政策と科学理解におけるギャップ（Carbon Management in Cities: Gaps in Policy Discussions and Scientific Understanding）」、8日（土）には環境省との共催で「低炭素アジア - いかに気候変動対策と持続可能な発展を連携させるか - （Low Carbon Asia: To be or not to be）」と題するサイドイベントを開催しました。



国環研ブースを訪れる会議参加者たち

新刊紹介

NIES Annual Report 2007 AE-13-2007（平成19年11月発行）

本英文年報は海外の研究者や行政担当者など対象に（独）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回発行しています。2006年4月より開始された第2期中期計画において新たに構想された4つの重点研究プログラムを担当する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。海外からの見学者への当研究所の概要説明を含めて、本年度版をさらに積極的に活用頂くよう期待しています。

（編集委員会英文年報班主査 村上正吾）

編集後記

公害学者・宇井純さんが亡くなって1年が経つ。現場を歩き、被害者の声を聞き、事実を丹念に拾い上げて論理的につなぎ、公害を出す側やそれに加担する側を厳しく追及した。その宇井さんが亡くなられる前、環境科学を志す若い研究者が育っていること

自体は結構だが、抽象論であったり、きれいなモデルを作ってアレンジしてしまうことを危惧されていたという。それでは環境の研究は進むが、環境自体は減んでいくのではないかと。翻って、現在の国立環境研究所はどうであろうか。（T.H.）

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