



未来を拓く環境研究

—持続可能な社会をつくる—



NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES
SYMPOSIUM 2007

独立行政法人

国立環境研究所

公開シンポジウム2007

京都会場 2007年6月16日(土) 12:00~17:00

京都シルクホール

東京会場 2007年6月24日(日) 12:00~17:00

東京メルパルクホール

ごあいさつ

独立行政法人国立環境研究所
理事長 **大塚柳太郎**



国立環境研究所は、1974年に前身の国立公害研究所として誕生して以来、環境にかかわるさまざまな問題に対し科学的な原因解明と解決策を追求しつづけています。この間、環境問題は大きく変貌をとげてきました。特定の地域に深甚な被害をもたらした公害問題から、地球全域に影響をおよぼす地球環境問題へと移ってきたのです。

地球温暖化や生態系の劣化にみられるように、地球環境問題は長年にわたる人間活動に起因し、自然のシステムの根幹にかかわっています。閉鎖系として物質が循環することを基本とする自然のシステムを、大幅に変えてきたのが私たち人類です。その最初の契機は1万年ほど前の農耕と家畜飼育の開始にもとめられるかもしれませんが、大規模な変化の引き金になったのは、250年ほど前にヨーロッパで始まった産業革命でしょう。特に、近年の工業化、都市化、交通・運輸システムの拡大、人びとのライフスタイルの変化は、自然のシステムから大きく逸脱した大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会をつくりだしました。

この状況を食い止めるスローガンは、サステイナブルすなわち持続可能な社会をつくることです。その実現は容易ではありません。しかし、今を生きる私たちがその努力を始めなければ、状況はさらに悪化し取り返しがつかなくなります。持続可能な社会の実現には、技術、制度、価値観などにかかわる多くの方法があります。私たちに求められているのは、さまざまな方法を効果的に活用することです。国立環境研究所で行っている研究には、環境的に持続可能で住みよい社会づくりを目指すものが数多くあります。「未来を拓く環境研究」と題する本年の公開シンポジウムでは、その成果のいくつかを紹介しながら、持続可能な社会をどのようにつくっていくかを皆様とともに考えたいと思います。

私たちは、皆様に講演を聴いていただくこと、そしてポスターを前に皆様とお話することを楽しみにしています。私たちの環境研究の成果は、多くの皆様に理解され共有していただいているからこそ価値が高まるからです。幅広いご意見をいただきたく、本シンポジウムへのご参加を心よりお待ちしております。

プログラム

12:00~13:00 ポスターセッション

13:00~13:20 基調講演……………理事長 **大塚 柳太郎**

13:20~14:00 講演1……………**亀山 康子**

地球温暖化を巡る国際交渉
—その現状と課題—

14:00~14:40 講演2……………**珠坪 一晃**

微生物を利用したバイオマスの資源化技術
—廃棄物・排水の利用を考える—

14:40~14:55 休憩

14:55~15:35 講演3……………**松橋 啓介**

脱温暖化社会に向けた交通とまちづくり
—2050年の持続可能な交通の姿を今から考えましょう—

15:35~16:15 講演4……………**一ノ瀬 俊明**

都市の温暖化と自然を活かした暑さ対策

16:15~16:20 閉会挨拶

16:20~17:00 ポスターセッション

地球温暖化を巡る国際交渉 —その現状と課題—

地球環境研究センター
亀山康子

地球温暖化問題は大きな問題、という認識は、いまや世界中の人々に共有されているといっても過言ではありません。暖冬や寒波といった個々の異常気象が地球温暖化によるものかと言いきれませんが、「地球温暖化では？」という意見が日常的に聞かれるようになっていくことは確かです。

地球温暖化の原因とされる二酸化炭素などの温室効果ガス排出量を減らしていくことが、地球温暖化対策として急務とされます。このような対策を目的とした国際条約として、1992年に採択され1994年に発効した気候変動枠組条約と、1997年に採択され2005年に発効した京都議定書があります。しかし、これだけでは地球温暖化対策として十分ではなく、今後、さらなる排出削減が必要です。その将来の削減に関する国際交渉も順調に進んでいるとは言いがたい状況にあります。

地球温暖化は「大きな問題」であり温室効果ガス削減には「費用」がかかるという点で、各国が直面する基本的状況は概ね共通しているといえます。しかしながら、過去20数年にわたる国際交渉において、各国の態度は実に多様です。なぜ、このような態度の違いが生じるのでしょうか。地球温暖化対策に消極的な国の態度はどのような理由によって形成されるのでしょうか。消極的な態度の原因に働きかけてその国の態度を積極化させることは可能なのでしょうか。国立環境研究所では、地球温暖化が生じるメカニズムなどに関する研究も実施されていますが、ここでは、そのような科学的知見を受けて私たちがどのようにして国際協調



京都議定書が採択された第3回締約国会議（1997年）

を築いていけるのか、という観点から取り組んでいる研究をご紹介します。

そもそも、国の態度はどのようにして決まるのでしょうか。複数の先進国のキーパーソンにインタビュー調査を実施した結果、国ごとに異なる要因が国の態度の決定に影響を及ぼしていることが分かりました。例えば、米国では「対策しない場合に生じる温暖化による被害の大きさ」と「対策費用の大きさ」を比較して態度を決定している傾向があるのに対して、日本では「国内関係者の利害調整」や「他国の動向などの国際要因」が国の態度を決定している傾向にあることが明らかになりました。この結果から、米国では地球温暖化対策がビジネスチャンスとなるような制度を構築することが効果的であり、日本では国内利害関係者が積極化するか欧米諸国が積極化することが効果的であるといえます。

このような成果をふまえて、近年では、将来のさらなる対策に関して最も効果的な国際制度に関する研究を実施しています。この研究によれば、ここ数年、各国で国内事情をふまえた対策が独自に進展したことにより、各国とも温暖化対策に前向きになりつつある反面、国際制度に求める機能が異なるという状況が、国際制度の構造にも影響を及ぼすこととなります。京都議定書しかなかった10年前と比較すると国際制度そのものも多層化しており（図）、今後は、さまざまな国際・国内制度を関連づけて対策を総合的に推進させていく仕組みが重要と考えられます。

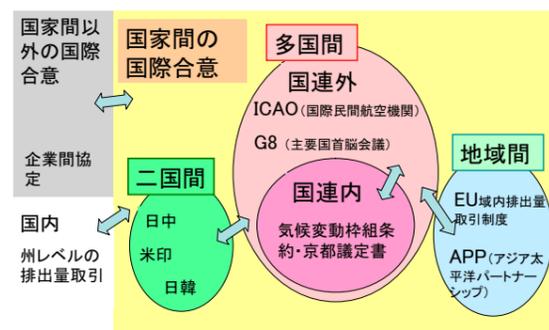


図 今後の地球温暖化対策に向けた国際制度のイメージ

微生物を利用したバイオマスの資源化技術 —廃棄物・排水の利用を考える—

水圏環境研究領域
珠坪一晃

「バイオマス(biomass)」は、「バイオ(bio=生物、生物資源)」と「マス(mass=量)」からなる言葉で、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」とされています。バイオマスといいますが、稲わらや廃木材などの未利用のバイオマスや飼料作物（トウモロコシ、イモ類）を想像するかと思います。一方、我々の生活に伴い排出される有機性廃棄物の内訳を見てみると、生ごみ等の食品廃棄物、し尿汚泥や下水汚泥等水分を多く含む廃棄物が大半を占めています。この水分を多く含む有機性廃棄物をウエットバイオマスと定義したいと思います。ウエットバイオマスは、腐敗性で放置すると悪臭の原因となり、安定化処理せずに埋め立ててしまうと衛生上の問題があります。ここでは、このようなウエットバイオマスを再生可能な有機性資源としてとらえ、循環利用を目指した開発や実用化を行っている例を紹介したいと思います。

水分を多く含むウエットバイオマスは、焼却や物理化学処理に不向きです。そのため、微生物を利用した再資源化技術が有効です。近年では、微生物の発酵作用を利用してウエットバイオマスから有価物を回収する技術開発が進められており、生ごみや汚泥、家畜糞尿から可燃性ガス（メタン）の回収を行いつつ、廃棄物の減量化を図るメタン発酵が実用化されています。

また、生ごみからの乳酸生産（生分解性プラスチックの原料）や、砂糖製造廃液（廃糖蜜）からのエタノール（代替燃料）生産など、有機性廃棄物からの有

価物の生産も試みられています。今後、資源回収型のウエットバイオマス処理技術の開発が進むことで、廃棄物の適切処理と有効利用が促進されるでしょう。しかし、これら有価物の生産過程では新たに排水や廃棄物が発生する場合もあり、技術の適正な評価と対策技術の開発が必要だと考えます。

また、我々の生活や産業活動の結果、有機物を含む排水が多量に排出されます。排水処理に要するエネルギーは非常に大きく（国内総電力消費の0.6%以上）、また排水処理の結果生成する余剰汚泥（=増殖菌体：有機性産業廃棄物の40%）の減量化が求められています。また排水は有機物濃度が低いので、再資源化技術の適用が難しいという特徴もあります。我々は、有機物を含む排水も資源としてとらえ、排水処理エネルギーの削減、余剰汚泥量の削減、エネルギーの回収を目指した炭素循環型のメタン発酵排水処理水システムの開発を行っています。排水処理に多くのエネルギーを使用することが困難な開発途上国も多く、消費エネルギーが少なく、資源が回収出来る排水処理法の実用化は、これらの国における水環境保全と資源循環にも寄与出来ると期待されます。

生ごみや排水などの水分を多く含む有機性廃棄物=ウエットバイオマスは、日常生活や産業活動の結果、必ず排出されます。これらを如何にして資源として再利用していくかが、今後の循環型社会形成のために必要ではないかと考えています。



図1 ウエットバイオマスの資源循環利用（多量に排出される廃棄物や排水の省・創エネルギー型処理技術の開発と実用化により、資源循環のサイクルが構築される）



図2 砂糖製造廃液（廃糖蜜）からの燃料エタノールの製造（蒸留廃液の資源循環型処理の可否がエタノール生産技術普及の鍵となる、タイ、コンケン）

脱温暖化社会に向けた交通とまちづくり —2050年の持続可能な交通の姿を今から考えましょう—

社会環境システム研究領域
松橋啓介

人間活動が原因の地球温暖化が起きていることがほぼ確実に、その影響が明らかになりつつあります。私たちは、どのように対応したら良いのでしょうか。この発表では、温暖化から脱した社会をつくる方法について、特に交通の観点から考えます。温暖化を止めるには、「マイナス6%」(温室効果ガス排出量6%の削減(1990年比))の京都議定書の目標を達成するだけでは不十分です。その次のステップとして、2050年頃に世界の二酸化炭素の排出量を半分に減らさなければなりません。先進国である日本では、「マイナス60~80%」が目標になります。

現在、運輸部門は日本の二酸化炭素排出量の約20%を占めていて、既に1990年から約20%増加しています。運輸部門からの排出量の約9割が自動車からです。大幅に二酸化炭素を削減するためには、さまざまな対策を組み合わせることが重要です。たとえば、(1)バイオマス燃料などのエネルギーの中に炭素が少ないものを選ぶ (2)車両の燃費を良くする (3)たくさんの人や物を無駄なく載せる (4)使用する交通手段を自動車から鉄道などの二酸化炭素排出量の少ない乗り物に転換する (5)1つの目的地に到達するための距離を短くする (6)交通手段を使って遠くに行かなくても簡単に手に入るサービスの量を増やすといった対策で、各々10~20%ずつ減らすことで、全体で47~74%を削減できる計算になります。

自動車車両の燃費を良くする技術として、ハイブリッド車(エンジンとモーターの2つの動力源をもつ車両)が注目されます。燃料電池自動車も期待されて研究されていますが、その燃料となる水素の作り方や運び方に

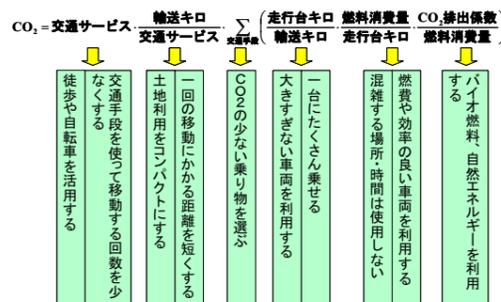
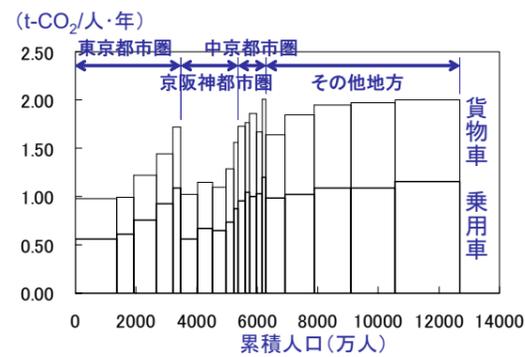


図1 交通に起因する二酸化炭素(CO₂)排出の構成要素

課題があるため、バッテリーを積んだ電気自動車の方にやや分がありそうです。ただし、一つの技術で全ての自動車の燃費を良くすることは困難です。ハイブリッド車は主に乗用車に適しています。電気自動車は、都市内のやや小型の車両に向いています。トラックのような重量物を運ぶ車両では、バイオマス燃料を混合した軽油を用いるディーゼル車が適当と考えられます。

これに加えて、十分な削減を達成するためには、鉄道などの交通手段を利用することや、都市や地区をコンパクトにまとめて便利な地域をつくることが重要になります。地域類型別の状況を踏まえて、特性に応じた対策の組み合わせを考えました。たとえば、地方都市では、LRT(新型路面電車)等を軸として、停留所徒歩圏に住宅や施設を集積させること等が挙げられます。地方の郊外部や郡部では、集落の再構築と乗り合いタクシーの導入等が挙げられます。

今後、人口減少が各地で深刻になると予想されます。地域の存続という観点からも、大量の燃料消費を前提としない地域、自動車に過度に依存しない地域をつくっておくことが役に立つと考えられています。コンパクトなまちづくりやLRT整備には時間やお金がかかります。しかし、今から取りかかれば、2050年までにはまだ時間があります。持続可能な交通の姿を考えて、その実現に向けて投資配分を見直すことが重要なのではないのでしょうか。



各都市圏内は左から順に、政令指定都市(区部)、30~100万人の市、10~30万人の市、10万人未満の市、郡部の5分類
図2 1999年の地域類型別一人当たり自動車CO₂排出量の推計結果

都市の温暖化と自然を活かした暑さ対策

社会環境システム研究領域
一ノ瀬俊明

わが国でも東京をはじめとして、都市の温暖化が進行してきています。近年、単に気温上昇の影響だけではありませんが、熱中症で病院に運ばれる患者数も増えてきています。一方、エネルギー消費の増加も問題となっています。この四半世紀に一日当たりの電力消費量が年間最大となる日の電力消費量は3倍以上に増えています。

現在、都市の暑熱対策は、1)排熱利用、建物・交通による人工排熱の削減と、2)緑地・水面を利用した人工的地表面被覆の改善、そして、3)都市インフラの配置を大規模につくり替える、あるいは開発を誘導するなどにより、都市の風通しをよくするといったような都市形状の改善、の3つに分類されます。しかし現在までに、それぞれの対策の有効性の体系的な評価が十分にはなされておらず、各自治体においてもどれから着手すべきなのかを判断する材料を欠いている状況です。そうした対策のうち、新素材や機械を導入するのではなく、その土地特有の自然の持っている環境調節機能を生かすような対策を中心に研究しています。

そのひとつに、都市の河川空間復元による暑熱の緩和があります。かつてソウルの中心市街地には、清溪川(チョンゲチョン)という中規模の河川が流れていましたが、1970年代には高架道路に置き換わってしまいました。しかしソウル市政府は、2003年夏~2005年秋の期間で清溪川の大規模な復元工事を推進しました。ソウル市は黄海(ファンヘ)から40kmほど内陸に位置し、夏季の日中海風(西風)が吹いてきます。復元された河道(走向は東西方向)上を吹走してきた気塊の動きを数値シミュレーションで表現してみると、渦を巻きながら復元河道に直交する南北道路へと進入していく様子が示されました。また、私たちの観測により、復元河道上の西風と同期し、河道と直交する南北道路において河道から吹き出す微風の存在と、その影響範囲を確認することができました。

一方、山風を利用した暑熱緩和も有効な対策です。ドイツ・シュツットガルトな

どの事例でわが国でも知られつつある「風の道」とは、都市の大気汚染と暑熱を緩和する自然の機能を損なわないような土地利用と建築物の配置計画、と表現することができます。私たちは、ドイツの内陸都市で培われたこのような知見を適用する場合、東京などの沿岸大都市ではなく、市街地がおよそ4km四方の中にコンパクトにまとまっている長野市のような内陸盆地都市がふさわしいと考えています。長野盆地の北西部には戸隠高原があり、ここから裾花川が流下しています。私たちの数値シミュレーションによれば、裾花川上流の山岳地帯で放射冷却により形成された冷気が裾花川の谷に集積し、これが山風として長野市街地へ流出してきます。私たちの数年にわたる現地観測により、この山風が市街地の気温分布に影響を与えていることを確認することができました。また、ヘリコプターやバルーンを用いた鉛直観測により、山風吹走域である中心市街地のほうが郊外よりも気温が低いという、一般に教科書に載っている記述とは逆の現象が発現していることを確認しています。

私たちは、このような手法が暑熱対策として有効であると考えています。



図1 清溪川復元前後における城東(ソンドン)区庁屋上からの景観

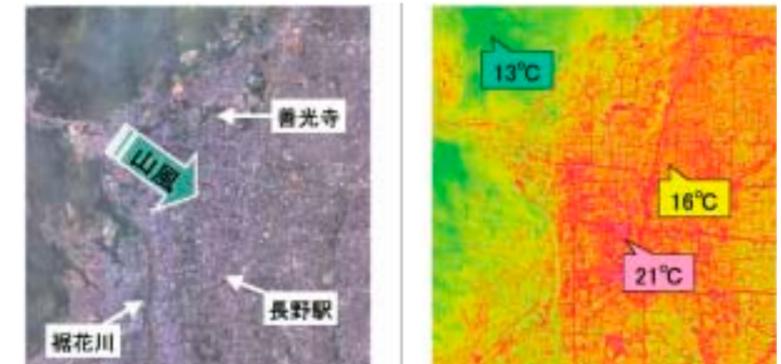
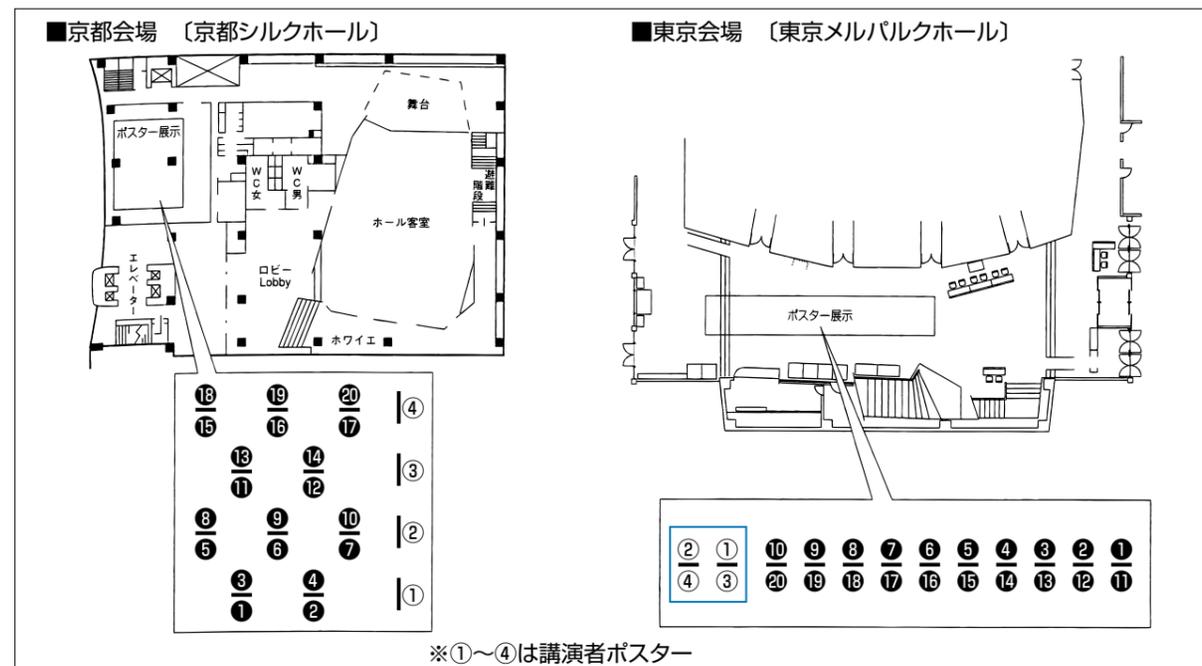


図2 長野市における夏季早朝の地表面熱画像

- 1 環境GIS –日本の環境を地図上で見る–
- 2 ハロカーボン類のモニタリング –高頻度観測によって東アジアにおける排出量を推定する–
- 3 温室効果ガスのデータベースとその解析支援システム
- 4 気象データを利用した大気の大気の動きの総合解析・表示システム
- 5 地球の気候はどう変わる？ –将来気候予測研究の最前線–
- 6 低炭素社会のエネルギー供給システムとは？ –再生可能エネルギーの有効性を考える–
- 7 日本で低炭素社会はつくれるのか？ –2050年CO₂排出量70%削減シナリオ–
- 8 自動車から排出されるCO₂の低減を考える
- 9 より良いリサイクルシステムを作る –10~20年後のビジョン–
- 10 揮発性有機化合物の多成分リアルタイムモニタリングの新手法
- 11 大気汚染の健康への影響を調べるために –疫学調査オフィスの仕事–
- 12 ナノ粒子の多いディーゼル排気ガスの循環機能への影響
- 13 植物のストレスを診断する –アサガオで知る大気汚染–
- 14 鳥で環境変化がわかる –環境指標動物としてのウズラの有用性–
- 15 有機フッ素系界面活性剤による水と二枚貝の汚染実態
- 16 湖に溜まる有機物の起源を探る –同位体を用いた新たなアプローチ–
- 17 自然のシステムに逆らわない流域の水環境管理とは？
- 18 水辺に生きる植物たちのはたらき –植物による土壌への酸素輸送システム–
- 19 外来ザリガニは湖沼生態系を攪乱するか？
- 20 化学物質の生態影響を取り上げた文学 –『沈黙の春』からの変遷–



1 環境GIS –日本の環境を地図上で見る–

環境情報センター

環境GISは、全国の環境の状況等を示す基本的なデータ（大気環境、水環境、化学物質の環境汚染の状況等）を地理情報システム（Geographic Information System : GIS）を用いて理解しやすい視覚的な形に加工してホームページから広く一般に提供するものです。これまで大気汚染、水質汚濁や自動車交通騒音など11種の方野におけるデータを加工し、全国各地の環境の状況を地図上の図やグラフで視覚的に捉えることができるようにしており、国立環境研究所のホームページから提供しています。

特に、大気汚染や水質汚濁の状況については、過去30年間のデータを整備しており、その経年変化をグラフで一目で見ることができるようになっています。これにより、環境汚染が改善されている地域と改善されていない地域が一目瞭然となり、環境対策に必要な情報を提供することができます。GISという手法は、様々な情報が整理され、視覚的にわかりやすい形で表現できるため、環境研究の方野のみならず、行政、民間等様々な方野での活用が期待されています。

環境GIS (<http://www-gis.nies.go.jp/>)



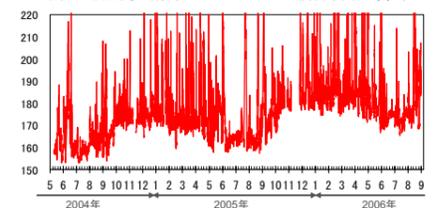
図 水質環境基準の達成状況

2 ハロカーボン類のモニタリング –高頻度観測によって東アジアにおける排出量を推定する–

化学環境研究領域/地球環境研究センター

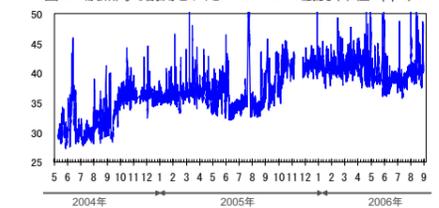
「気候変動2007」(IPCC報告書)は、人間が作り出した「ハロカーボン類」による温室効果が「二酸化炭素」の20%に達すると報告しています。このハロカーボン類には、成層圏オゾン破壊物質であるCFC類（クロロフルオロカーボン）、HCFC類（ハイドロクロロフルオロカーボン）やその代替物質として利用されるHFC（ハイドロフルオロカーボン）類、PFC（パーフルオロカーボン）類などが含まれています。これらの用途は幅広く、溶剤やエアコンの冷媒など、また、身近な例ではパソコンの埃飛ばしなどとして使われています。ハロカーボン類は、二酸化炭素とは異なり、森林や海洋にほとんど吸収されず、大気中の寿命が長いものが多いため（例えば、CFC-12：100年、HFC-23：230年、HCFC-22：12年）、排出された量の大部分が大気中に蓄積され続けます。温暖化防止を目指す京都議定書では二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などと共に、ハロカーボン類の排出も規制していますが、対象は先進国に限られており、工業発展の続く東アジアの多くの国々は対象外になっています。しかし、今後の対策を考える上では、それらの国々も含めた排出状況を知ることが必要です。国立環境研究所では、日本、中国、韓国、台湾などからの影響を受ける沖縄県の波照間島で大気中ハロカーボン類を高頻度で観測し、それらの地域別排出量を推定しようとしています。

図1 波照間島で観測されたHCFC-22濃度(単位:ppt)



成層圏オゾン破壊物質であり、温室効果ガスであるHCFC-22のベースライン濃度は2005年も年間約4%増加しました。ノイズのようなピークは周辺各国から排出されたHCFC-22の影響を受けたものです。

図2 波照間島で観測されたHFC-134a濃度(単位:ppt)



カーエアコンの冷媒として使用量が急増しているHFC-134aの大気中濃度は毎年10%以上の増加を続けています。

3 温室効果ガスのデータベースとその解析支援システム

地球環境研究センター

二酸化炭素などの温室効果ガスについては、世界のデータベース（例えば、温室効果ガス世界データセンター（WDCGG）気象庁/WMO）や各研究機関の異なるデータベースがあります。近年、航空機観測など温室効果ガス観測の増大を受け、データベースの形やその利用方法の改善が望まれています。ここでは、このように形の異なるデータ形式を統一して扱えるデータ収録の仕方を検討し、これを用いた編集および加工、表示総合的システムの開発を行っています。

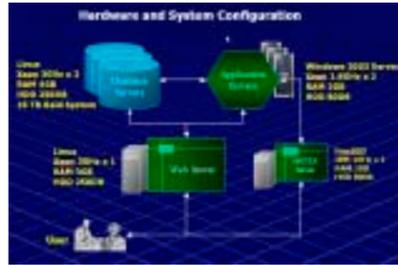
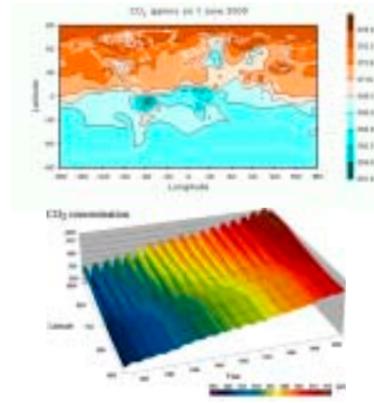


図1 G3DBデータベース構造とデータ検索ページ



(WDCGGより)
図2 G3DBホームページ利用による二酸化炭素のグローバルな分布と時系列変化

4 気象データを利用した大気の流れの総合解析・表示システム

地球環境研究センター

METEX (METeological Data Explorer) は、大気の流れの総合解析・表示システムです。国立環境研究所のホームページ (<http://db.cger.nies.go.jp/metex/>) 上で、どなたでも簡単に風ベクトルや温度分布を地図上に表示させたり、緯度・経度・日時などを指定して、そこに到達した空気塊が数日前にはどの辺にあったか(後方流跡線)を計算で求めることができます。また流跡線計算結果は、さまざまな温室効果ガスの観測結果の解析にも利用できます。

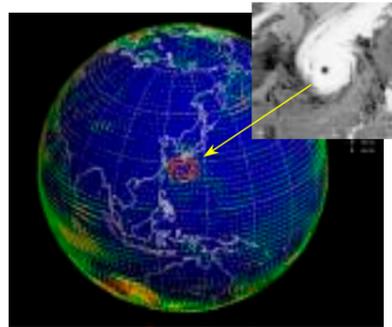


図1 NCEP風ベクトルデータと衛星画像(気象衛星MTSAT-1R (Multi-functional Transport Satellite)) 2005年9月5日3時の比較。

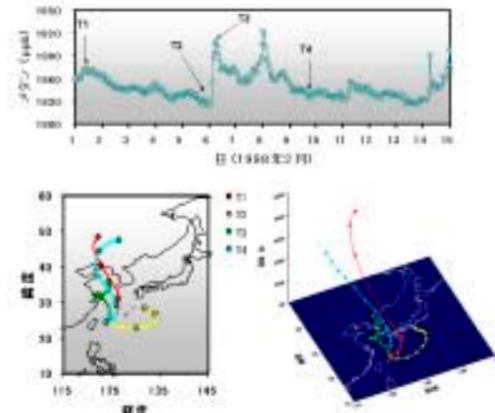


図2 大気流跡線と波照間島で観測されたメタンの比較。メタンの濃度は発生源(T2-海上、T3-中国沿岸)や経路の高度(T1,T4-発生源がほぼ同じで高度の差が大きい)によって変化します。

5 地球の気候はどう変わる？ — 将来気候予測研究の最前線 —

地球環境研究センター

人間が現在のペースで二酸化炭素を排出し続けると、大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、大気の温室効果が強まることによって地表気温が上昇すると考えられています。このように温暖化が進行すると、地球上の人々や生態系に様々な問題が生じる危険性があります。今後我々が温暖化を防ぐ、あるいは温暖化に適応していくためには、将来地球の気候がどう変わるのかについて是非とも知っておく必要があります。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が今年発刊した第4次報告書は、世界の気象研究機関が最新の気候モデルを用いて予測した結果をもとに「温室効果ガスの排出が現在の割合で増加し続けた場合、21世紀にはさらなる温暖化をもたらされ、世界の気候システムに多くの変化が引き起こされるだろう」と結論づけています。この発表では、研究の最先端ではどのような方法によって将来気候予測がなされ、どのような結果が得られているのかについて紹介します。

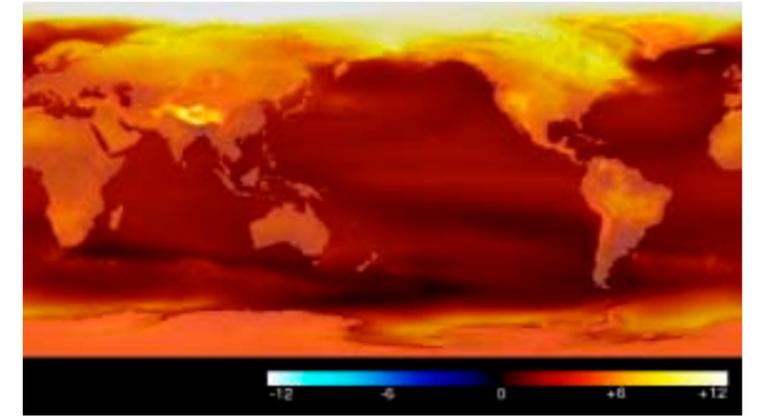


図 東京大気候システム研究センター・国立環境研究所・地球環境フロンティア研究センターが地球シミュレータを用いて計算した、2071-2100年の地表気温変化(1971-2000年の平均値が基準)。

6 低炭素社会のエネルギー供給システムとは？ — 再生可能エネルギーの有効性を考える —

地球環境研究センター/社会環境システム研究領域

日本の現在のエネルギーシステムは、石炭・石油・ガスという化石燃料に支えられていますが、将来低炭素社会に向かうためには、化石燃料中心の姿から風力・太陽光・バイオマスなどのCO₂排出量がきわめて少ない再生可能エネルギーを中心に据えたエネルギーシステムへと変えていくことが必要です。また、化石燃料の採掘可能年数は残り数十年と限界がありますが、再生可能エネルギーはそれらと比較して長期間利用可能であり、エネルギー安定供給の観点でも優れたエネルギー源であるといえます。ところが、再生可能エネルギーの出力は一定ではなく、利用に際しては化石燃料によるバックアップや電池などの貯蔵システムとの併用が不可欠になります。しかし、あまりにも化石燃料によるバックアップに依存したシステムでは現在のエネルギーシステムと変わりませんし、再生可能エネルギーのみでは、無風・曇天時にエネルギー供給ができなくなります。そこで、私たちはできる限り化石燃料を必要とせず、しかもエネルギーを安定供給できるエネルギーシステムの組み合わせを、コンピューターによるシミュレーションモデルを用いて検討しています。

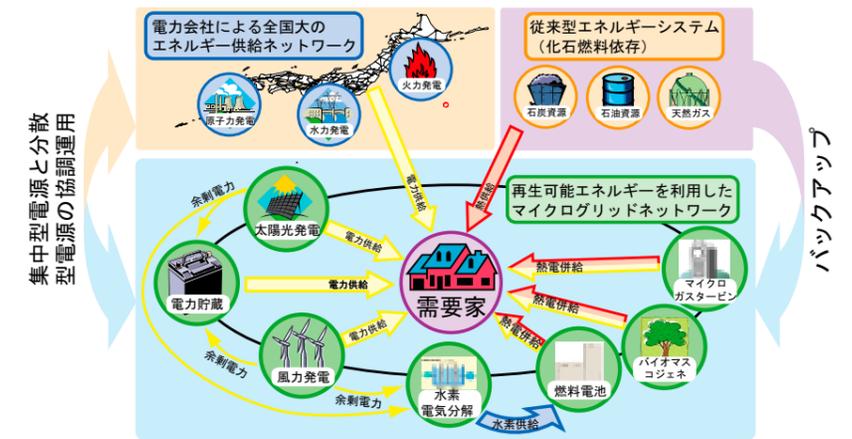


図 再生可能エネルギーを活用した低炭素エネルギーシステムの姿とはどのようなものなのでしょうか？

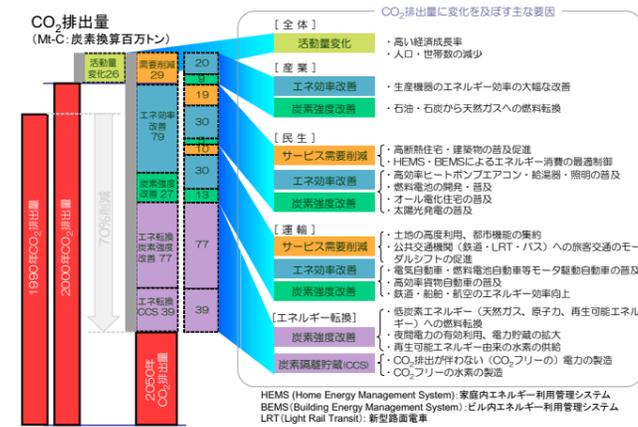
7 日本で低炭素社会はつくれるのか？ —2050年CO₂排出量70%削減シナリオ—

地球環境研究センター／社会環境システム研究領域

将来予想される温暖化による深刻な影響を避けるためには、2050年までに世界の温室効果ガス排出量を1990年に比べて約半減、日本は60-80%の削減が求められる可能性があります。そこで、私たちが進めている「脱温暖化2050研究プロジェクト」では、一人当たりのGDP（国内総生産）が年率2%で成長しても、様々な対策を組み合わせることで、日本のCO₂排出量を2050年までに70%削減できることを示しました（図）。しかし、たとえば太陽光発電を普及させるためには、より使いやすくする技術開発、普及を促進する制度設計、利用する消費者の行動が必要です。つまり、様々な対策が導入されやすくなるように、社会のしくみを変えていくことが必要でしょう。そうすれば、経済成長を続けながら大幅な温室効果ガス排出量を削減させることができます。

ところで、経済成長を表現するときの代表的な指標であるGDPは、生活の質を表現しているのでしょうか？たとえば、自宅で野菜を育て家でごはんを食べるより外食した方が、犯罪が増えて警察や家庭内セキュリティサービスにより多くのお金を使う方が、GDPは増加します。それは本当に幸せなことなのでしょうか？

将来、どんな社会に住みたいのか、そのときに低炭素社会にするために一人一人が何をすれば良いのか、一緒に考えませんか。



エネルギーを使う側と作る側の努力を結集すれば大幅削減は可能。
図 2050年日本CO₂排出量70%削減を可能にする対策群の例

8 自動車から排出されるCO₂の低減を考える

社会環境システム研究領域

温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）は、わたしたちが利用している自動車からも排出されています。日本における2004年度のCO₂排出量（1,286Mt）のうち、約20%が運輸部門から排出されており、そのうち自家用乗用車からの排出量は全体の約10%を占めています。しかも京都議定書の基準年である1990年度の排出量に比べて、自家用乗用車からの排出量は約50%も増加しているのです。また、家庭からのCO₂排出量の割合で考えると、自家用乗用車からの排出量は31%と最も大きな値を示しています。したがって、自動車から排出されるCO₂の低減が今後の大きな課題となっています。どうして自動車からのCO₂排出量が増えているのか？

自動車からのCO₂排出にはどのような特徴があるのか？などを考えてみると問題解決の糸口になるかもしれません。便利で環境負荷の小さい交通の実現を目指して、国立環境研究所では、これらの問題解決のために幅広い視点から研究に取り組んでいます。

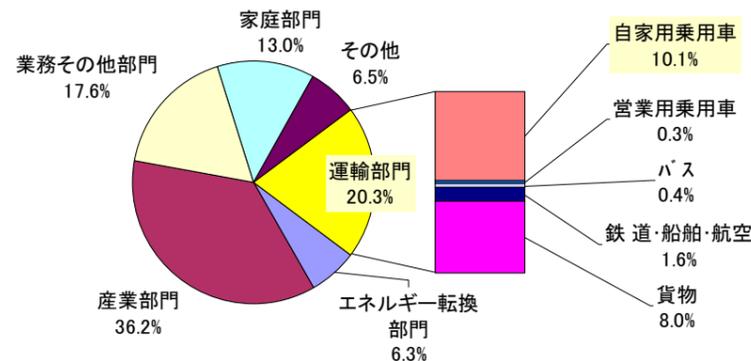


図 自家用乗用車からのCO₂排出量割合(2004年度)

9 より良いリサイクルシステムを作る —10~20年後のビジョン—

循環型社会・廃棄物研究センター

21世紀の現在、循環型社会という明確な目標に向け、将来の問題を的確に予測したシステムづくりが必要です。私たちは、「脱温暖化」と「資源・エネルギーセキュリティ」が重要となる10~20年後の近未来を想定し、資源循環技術システムの設計を行っています。具体的には、物質フロー分析によって現状把握と将来予測を行い、対策を施さない場合の将来における問題点を抽出します。また、エネルギーを出るだけ循環利用できる物質フローの状態も明らかにします。

続いて、前述の問題点を改善するための資源循環技術ビジョンを検討・設計します（図）。このビジョンに沿って、原料の採取から廃棄物の資源化・処理までを対象とした「ライフサイクル的思考」に基づいて資源循環システムの設計・評価・提案を行っています。設計に当たっては「モノと機能の組み合わせの最適化」の検討など、評価の方法論も開発しています。

また、机上の議論に留まらない現実的な課題について、関係者による具体的な議論にも参加しています。私たちは、これらの研究成果を政府や自治体の計画における目標設定に役立て、近未来の資源循環技術ビジョンの実現につなげたいと考えています。

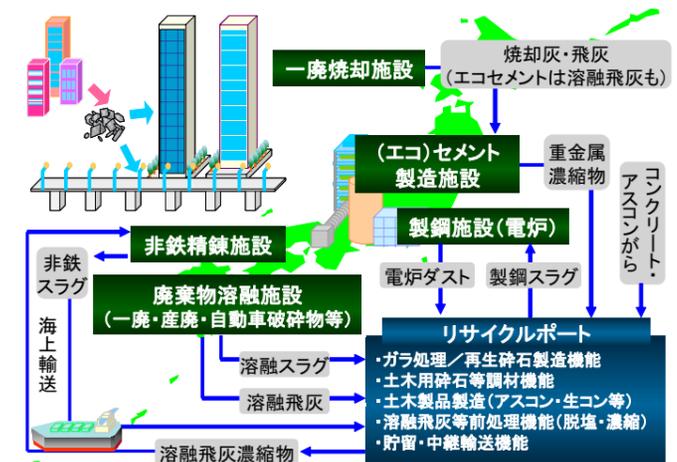


図 近未来の資源循環技術ビジョン(鉱物系)

10 揮発性有機化合物の多成分リアルタイムモニタリングの新技术

大気圏環境研究領域／アジア自然共生研究グループ

私たちが住む地球上には多種・多様な有機化合物が存在し、その起源も植物など生物が作り出すものや人工的に作られるものなど、様々です。大気中に揮発する有機化合物（揮発性有機化合物、以下VOC）は大気汚染の原因物質の一つであり、大気環境の悪化に伴う健康被害や食糧生産の低下といったリスクを減らすためにも、多成分のVOCを監視することの重要性が認識されてきています。その他、陸上・海洋の植物・微生物、細菌の生理・生態把握や、呼気の成分分析といった医療・健康分野、また食品の衛生管理・品質管理の部門でも、VOCの監視が近年注目されています。例えば、草を伐採すると特定のVOC（アルデヒド）を放出する、などのように、VOCは、マクロからミクロのスケールでの環境の変化のシグナルを私たち人間に与えていると考えられます。そこで我々は、低濃度の揮発性有機化合物の多成分を同時に測定することができる陽子移動反応-飛行時間型質量分析装置を開発に取り組んでいます。本装置は一般に検出が困難な含酸素有機化合物（アルコール・アルデヒド、ケトンなど）を検出できる長所を持っています。現在、1分間の積算時間で0.1~1ppbv（1ppbvは体積混合比10億分の1）の揮発性有機化合物の数十種類を同時に検出することができます。



図 陽子移動反応-飛行時間型質量分析装置の全体写真

11 大気汚染の健康への影響を調べるために —疫学調査オフィスの仕事—

環境健康研究領域

大気汚染が人々の健康にどのような影響を与えるかを調べるための研究方法は大きく分けて二つあります。ひとつは実験的な方法で、マウスやラットのような実験動物に大気汚染物質を吸わせた後で生体のさまざまな変化を調べます。また、実験動物以外にいろいろな細胞を使うこともあります。もう一つの方法は疫学調査と呼ばれるものです。疫学調査では大気汚染の程度が異なる地域で多数の人々を対象に大気汚染によって起こりうる様々な健康影響を調べて、大気汚染度との関係を検討します。対象者数が数万人規模になることも珍しくありません。疫学調査オフィスでは主として環境省が行っているいくつかの疫学調査について、計画の立案作業への参加、調査対象者からの問い合わせに対する電話での対応、対象者がどの程度の大気汚染物質にさらされているか(曝露されているか)の測定・推計、収集されたデータの管理を行っています。

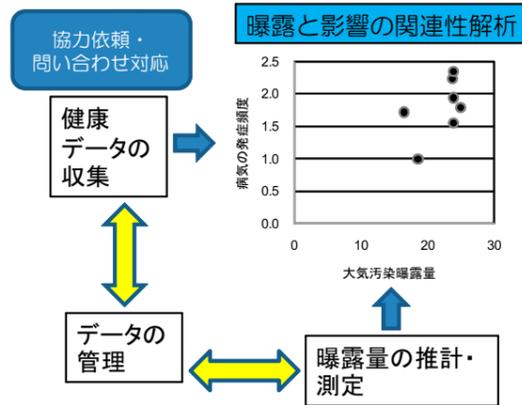


図 疫学調査オフィスの仕事の流れと解析のイメージ

12 ナノ粒子の多いディーゼル排気ガスの循環機能への影響

環境リスク研究センター

最近、大気環境中にナノ粒子と言う超微粒子が増えてきました。その主な発生源はディーゼル排気だと考えられています。最新のディーゼルエンジンは黒い煙を出しません。ディーゼルエンジンの改良によって黒煙は減りましたが、モヤとした油煙が増え、これがナノ粒子のもとと考えられています。1ナノメートルは1メートルの10億分の1ですので、ナノ粒子はとって小さな粒子です。そのため、呼吸によって肺を通して体内に入り込み、生きていくために必要な種々の働きに影響することが心配されています。そこで、研究所ではたくさんのナノ粒子を含んだディーゼル排気を動物に曝露し、健康への影響を研究する実験施設を開発し、曝露実験を始めました。1日当たり5時間、1週5日間で3ヶ月間、23-27nmのナノ粒子を多く含んだディーゼル排気を、環境基準値の約1.5倍高い濃度でラットに曝露すると、体重の減少(図-1)や異常心電図の増加(図-2)、心拍間隔の変動の減少が認められ、循環器の機能に影響することが明確になってきました。

チャンパー内のナノ粒子の個数と重量濃度。

- CH10: 対照 (清浄空気、ナノ粒子0個、重量$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- CH11: 低濃度 (粒径23nmのナノ粒子を 2.5×10^5 個含む $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- CH12: 中濃度 (粒径24nmのナノ粒子を 5.6×10^5 個含む $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- CH13: 高濃度 (粒径27nmのナノ粒子を 1.6×10^6 個含む $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

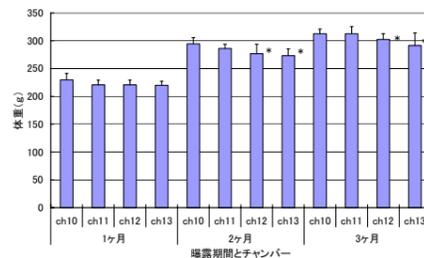


図1 体重の変化

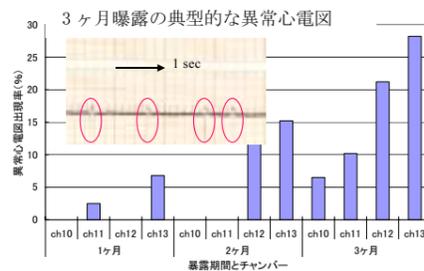


図2 異常心電図とその出現率

13 植物のストレスを診断する —アサガオで知る大気汚染—

生物圏環境研究領域

近年、全地球的なオゾン濃度の上昇が指摘されており、オゾンが植生や農作物に与える影響を植物のストレス診断によって評価することは、非常に重要であると考えられます。私たちは、身近な植物であるアサガオを用いてオゾンストレスの診断を行なおうとしています。アサガオは、我が国独自の園芸植物であり、古典遺伝学や生理学的研究において膨大な知見を集積している実験植物です。また、オゾンによって葉に可視障害が起こりやすく、以前から指標植物として用いられてきました。しかし、オゾンによる遺伝子の転写量の変化など、分子レベルでの反応のしくみは全く解明されていません。そこで、遺伝子や植物ホルモンなどに注目して、そのしくみを明らかにするための研究を行なっています。

これまでに、オゾンによる葉の可視障害の程度や障害時に発生する過酸化水素の量が品種によって異なること(図)や、ストレス防御に関わる酵素の遺伝子の転写がオゾンによって促進されていること、また、同じ酵素でも遺伝子のタイプによって転写促進のパターンが異なることなどが分かりました。これらの情報を利用してアサガオを用いた植物のストレス診断手法の開発を進めていく予定です。

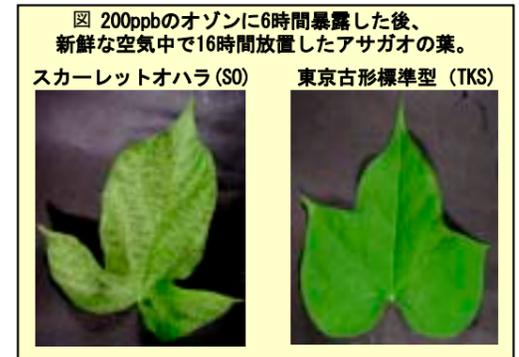


図 200ppbのオゾンに6時間暴露した後、新鮮な空气中で16時間放置したアサガオの葉。



*印は過酸化水素の発生量に統計学的差があることを表す。

14 鳥で環境変化がわかる —環境指標動物としてのウズラの有用性—

環境研究基盤技術ラボラトリー

鳥類は環境の変化に鋭敏であることが、レイチェル・カーソン女史の「沈黙の春」でも紹介されています。しかしながら、実験的に検証するためには野鳥では困難なため、実験鳥類が必要とされます。ウズラ (Japanese quail, *Coturnix japonica*) は日本産の鳥類であり、日本では1966年より「実験鳥類としてのウズラの開発」を推進しています。最近、OECDでは生態影響試験用としてのウズラの有用性を認め、化学物質の生態影響評価に推奨しています。すなわち、ウズラは性成熟に達するまで孵化後6週齢と短く、体質が強健であり密飼いにも耐えるなど、マウス・ラットに匹敵する実験動物としての特性が認められます。また、野生ウズラはアフリカから北欧まで広く生息することなどから、環境異変を察知する指標動物としての有用性が高いと考えられます。

そこで、国立環境研究所 (NIES) ではウズラの実験鳥類及び環境指標動物としての有用性に注目し、1980年以来ウズラの系統造成を行ってきました。これらの遺伝的に改良されたウズラを用いて各種の環境汚染物質暴露実験を行い、再現性の高い実験結果が得られています。例えば、大気汚染ガスの二酸化窒素 (NO_2) に対しては、ウズラがマウス・ラット・ハムスターよりも著しく感受性が高いことがわかりました。すなわち、これまで鳥類はガス感受性が高いことが予測されていましたが、NIESのガス暴露チャンパー実験により、ウズラの NO_2 感受性は哺乳類実験動物より3倍以上も高いことが実証されました。また、環境ホルモン感受性も高く、例えば合成女性ホルモン (DES) をウズラ種卵に微量注入すると、孵化しても生殖器官に異常が起こり、次世代を残せないこともわかりました。このように、ウズラは環境汚染物質に対して著しく感受性の高い場合のあることがわかってきたため、今後は環境の変化を感知するための指標動物としてモニタリングしたいと考えています。



図1 実験鳥類(ウズラ)の化学物質暴露飼育状況

使用動物	ブラジル系♀ × 白脚系♀の交雑種
投与方法	飼育10日目にオリブオイルに溶解した被験物質を餌の中に混ぜる
検査項目	生化学的検査: 解剖時、血中ステロイド濃度 (ELISA) 生殖機能検査: 生殖腺の組織変化、精液量 次世代影響: 受精率、産卵率、孵化率、育成率、産卵回数 遺伝子検査: (産卵率 × 受精率 × 孵化率 × 育成率)

図2 環境汚染物質の定量的評価手法

15 有機フッ素系界面活性剤による水と二枚貝の汚染実態

化学環境研究領域

フッ素化アルキル化合物の一部は界面活性剤として消火剤や工業用途で用いられていますが、フルオロ残基の化学的性質を利用した撥水処理や防汚処理などにも広く用いられ私たちの身近な存在でもあります。ところが、炭素原子とフッ素原子の化学結合は最も強い結合のひとつであり、極めて分解し難いため環境中に残留しやすく幅広く検出されています。特にパーフルオロオクタン sulfonic acid (PFOS) やパーフルオロオクタン酸 (PFOA) は近年国際的に注目されている物質であり、ヒトへの曝露経路や環境汚染機構の研究が進められています。これらの物質は親水性も示すことから汚染経路を考える上で水環境は重要な媒体であるため、本研究では都内河川や全国の沿岸海水を研究対象としています。ここでは、水環境の汚染度を知る手段として直接的に水試料を測定する方法(前処理後に機器分析を行う)と化学物質を蓄積しやすく地域性を反映する傾向の強い二枚貝を利用する方法によってモニタリングを行いました。その結果、PFOSは都内の全調査地点において検出(0.5~58 ng/L)され、通常の下水処理法では除去されにくいことがわかりました。二枚貝の分析ではPFOA及び炭素鎖の長さが異なるPFOA類似化合物が検出されました。PFOSに関しては発生源に対する効果的な対策立案と継続的な監視が今後も必要と思われる。

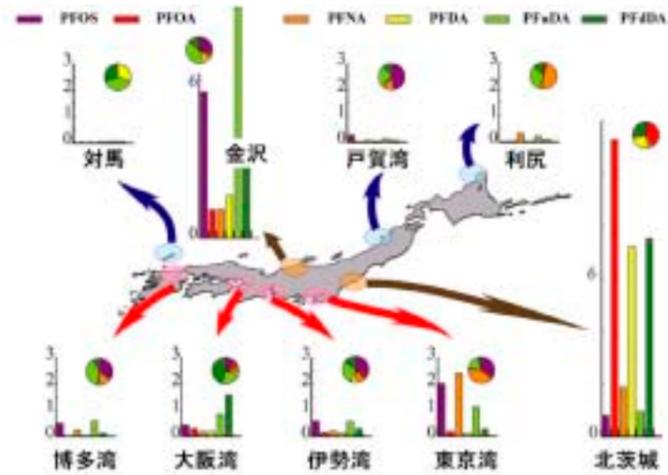


図 各地から採取した二枚貝中のパーフルオロカルボン酸の濃度

16 湖に溜まる有機物の起源を探る - 同位体を用いた新たなアプローチ -

水圏環境研究領域

現在、日本各地の湖において「湖水中の溶存有機物の増加」が指摘されています。溶存有機物の増加は、1980年代から見られ始め、日本各地の湖で観測されています。これまでの研究から、この溶存有機物が発がん性物質であるトリハロメタンの前駆物質であることや、湖水中の植物プランクトンの増殖に影響を与えることが明らかとなり、湖における溶存有機物の増加は、早急に解決が必要な環境問題であることがわかりました。しかしながら、溶存有機物は複雑な有機物の混合物であるため、その詳細は不明な部分が多く、環境中でどのように生成され湖へと運ばれてくるのか、あまり理解されていません。

そこで、湖に含まれる溶存有機物が何処から来たのかを推定するための新しい解析手法として、「同位体」を指標として用いる方法に注目しています。「同位体」とは、同じ原子番号を持つ元素において、その質量数が異なるものを指し、放射性同位体と安定同位体とが存在します。本領域の湖沼環境研究室では、霞ヶ浦を主たる研究フィールドとして研究を進めており、湖水に含まれる溶存有機物の同位体解析を行っています。目には見えない溶存有機物がどこから来たのかを探り、効果的な発生源対策を提案することを目標としています。



図 研究アプローチおよび霞ヶ浦試料採取風景

17 自然のシステムに逆らわない流域の水環境管理とは?

アジア自然共生研究グループ

人口減少、高齢化時代を迎え、持続可能な社会の構築に向けて、都市構造・国土構造を見直す必要性が高まっています。流域圏は森林・農村・河川・都市等の要素を含み、社会の持続性について議論していく上での環境管理を行うべき基本的な空間単位となり得ます。この時、最重要課題と考えられるのは、流域で人間活動の結果である環境負荷が河川網を通じて沿岸域へと供給されるシステムをどのように維持管理していくのかの設計です。従来は、経済活動に伴う環境負荷を処理し、良好な環境を維持するためには、エネルギー投入型の解決がとられ、経済が右肩上がりの時代においては、当然のように経済成長により解決可能と考えられました。今後は地球環境の持続性問題の観点からも、エネルギー・資源消費を低減する必要があり、社会の持続性の担保のためには、自然共生型社会への移行が必要と考えられます。このため、流域における水の動態に伴う物質(有機物、栄養塩類、土砂)移動経路の保全と人間による環境劣化の修復には、自然環境が提供してくれる物質循環機能を最大限活用することで、人間活動が周辺環境に与える影響を可能な限り軽減すると同時に生態系が維持される流域形成の技術体系を開発することが急務となっています。

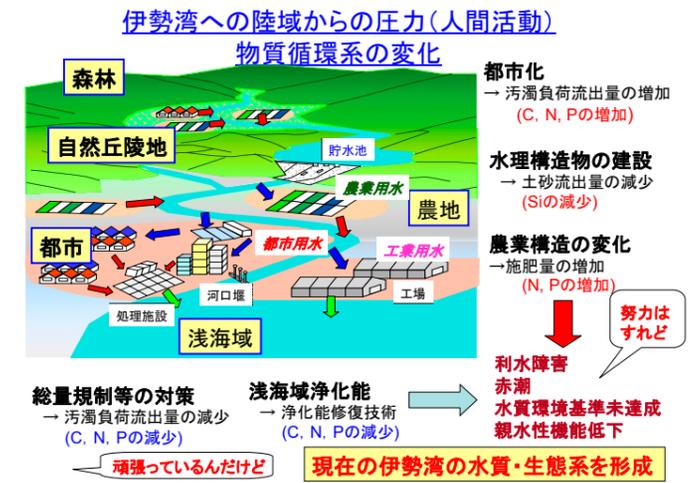


図 流域圏における物質循環とその対策の結果としての内湾水環境

18 水辺に生きる植物たちのはたらき - 植物による土壌への酸素輸送システム -

アジア自然共生研究グループ

湿地の土壌はとても嫌氣的で、土壌中の酸素濃度はほぼゼロです。水生植物の多くは地下部の酸素不足に対応するため、「拡散」や「換気」とよばれるメカニズムによって、地上部から地下部へ酸素を送っていることがわかっています。地下部へ送られた酸素は植物の根の呼吸によって消費されますが、その一部は根の表面を介して土壌へと漏出されています。根から漏出された酸素は、嫌氣的な土壌のなかでモザイク状に好氣的環境を形成し、微生物環境を大きく変える要因となります。

嫌氣的な土壌の中ではメタン生成菌をはじめとする嫌氣的な微生物が代謝活動を担っています。メタンガスは温室効果ガスとして注目を集めており、湿地生態系はメタンガスの大量放出源とされています。土壌へ酸素を供給する働きを持つ水生植物が姿を消してしまった湿地では、特に沢山のメタンガスが放出されているのかもしれない。私たちは、水生植物の根から、いったいどれくらいの酸素が土壌中に漏れ出しているのか測定をしています。そして、多様な植物が生育することは、湿地生態系にとってどのような意味があるのか考えています。



図1 植生豊かな湿地生態系

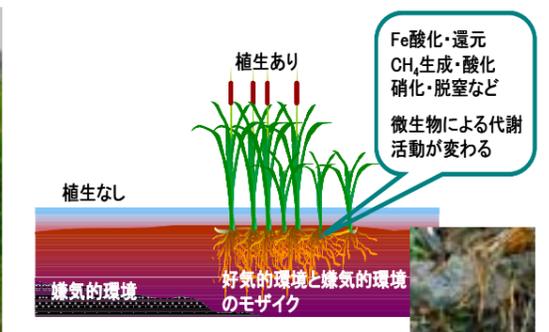


図2 水生植物の根からの酸素漏出

19 外来ザリガニは湖沼生態系を攪乱するか？

環境リスク研究センター

釧路湿原では、過去数十年の間に急速に水生植物が姿を消していますが、その一因として、外来種シグナルザリガニ（ウチダザリガニ）の侵入が挙げられます。この外来ザリガニは、ヨーロッパ各地で捕食や環境改変、病原菌の媒介を通じて多大な生態系被害をもたらしていますが、日本国内で在来生態系に与える影響は調べられていません。そこで、私たちは、野外実験を通じて、シグナルザリガニが湖沼生態系にどのような影響を与えるかを調査しました。

夏季、3m×2mの隔離水界を天然湖沼に設置し、シグナルザリガニの体サイズ組成および存在、不在を実験的に操作しました。60日間にわたって沈水植物や底生動物への影響を調べた結果、ザリガニの体サイズに関わりなく、ザリガニの存在下で沈水植物の現存量が大きく減少しました。また、シグナルザリガニは、底生動物を直接捕食したり、棲み場となる水草を切断したりすることで間接的に小動物を減らす一方で、直接ザリガニの捕食の影響を受けない小型の水生昆虫を間接的に増加させました。これらの結果から、シグナルザリガニは生態系の構成メンバーに様々な直接効果や間接効果を与えることにより、食物網の構造を大きく変化させることが明らかになりました。



写真1. シグナルザリガニ *Pacifastacus leniusculus*
北海道ではウチダザリガニ、滋賀県ではタンカイザリガニと呼ばれている北米原産の外来ザリガニです。これらの和名は在来種と紛らわしいので、英名にちなんでシグナルザリガニと呼ぶことを提唱します。2006年に環境省の「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）」で特定外来生物に指定されました。



写真2. 釧路湿原シラトロ湖での実験用隔離水界の設置—3m×2mの隔離水界を20基設置し、体サイズの異なるシグナルザリガニを投入して、60日間にわたって沈水植物や底生動物への影響を調査しました。



20 化学物質の生態影響を取り上げた文学 —『沈黙の春』からの変遷—

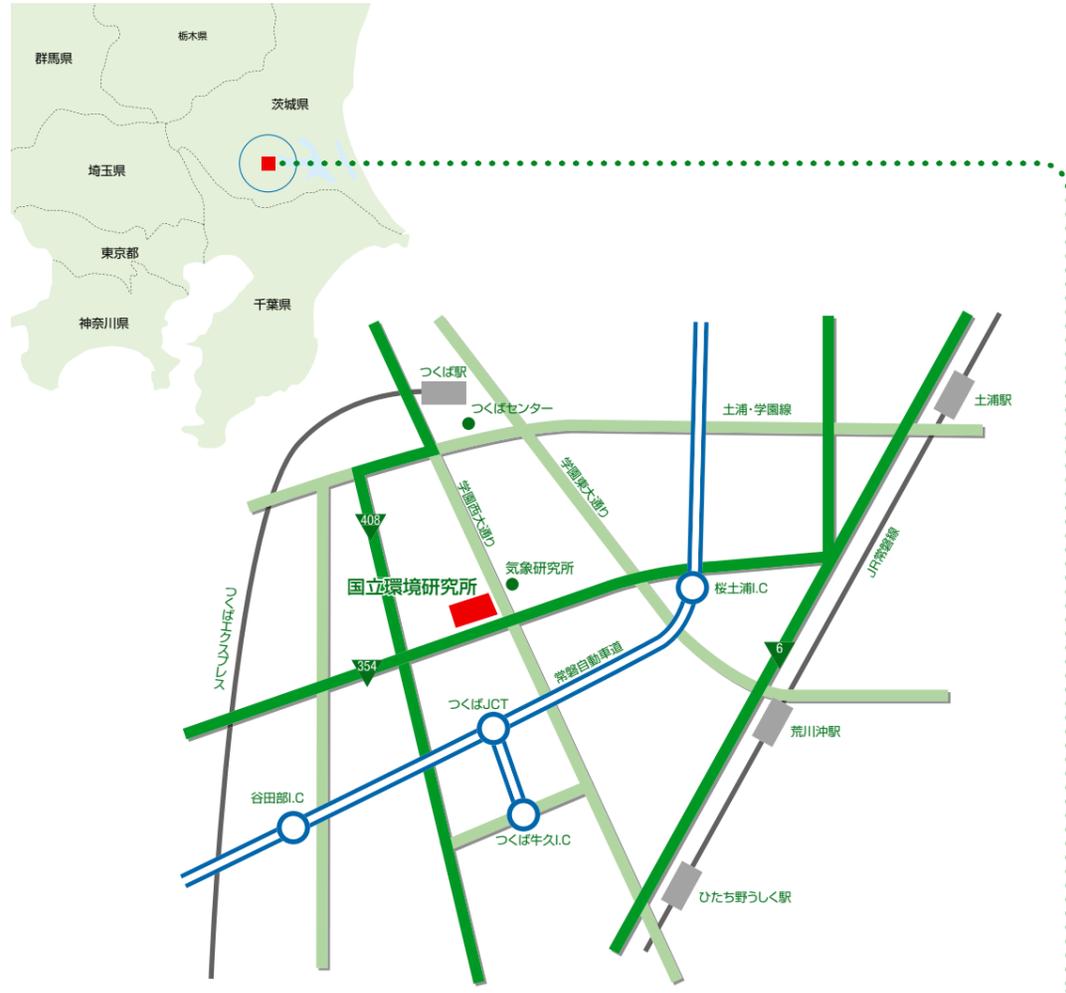
生物圏環境研究領域

レイチェル・カーソンの『*Silent Spring*（沈黙の春）』（1962）以来40年余り経った今日、化学物質をめぐる環境汚染は、ダイオキシン、環境ホルモン等々、ますます複雑で深刻化しており、地球規模での広がりから先進国や発展途上国でも人への健康影響だけでなく、動植物への生態影響についてもその研究や対策の重要性が増えています。環境問題の古典といわれる『沈黙の春』をはじめとするネイチャーライティングは、客観的・科学的な事実を哲学的・倫理的な思索を付与した文学であるため一般市民や社会への影響も大きいと考えられます。これまで化学物質の生態影響は環境科学の視点から研究がなされてきましたが、このきっかけとなった『沈黙の春』や有吉佐和子の『複合汚染』（1975）を始めとする文学を通して一般市民の知るところとなりました。

そこで、これらの文学にみられる科学的な記述から化学物質の生態影響はいかに取り上げられたかを比較検討しました（表）。さらに、『沈黙の春』から30余年後にアメリカで書かれた『奪われし未来』（C.コルボーンら、1996）を取り上げ、化学物質の生態影響に着目して考察をおこないました。

表 ネイチャーライティングにみられる化学物質の生態影響

著書	沈黙の春	複合汚染	奪われし未来
年代	1950	1970	1990
背景	農薬汚染	有害食品	野生生物異変
濃度	高濃度	高濃度	極低濃度
範囲	地域	地域	地球
問題	公害	公害	環境問題
影響	急性・慢性 生物蓄積	急性・慢性 複合	慢性 生殖異常



独立行政法人 **国立環境研究所**

所在地 ● 〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

交通 ● JR常磐線ひたち野うしく駅よりバス13分
 つくばエクスプレスつくば駅よりバス10分
 または、つくばセンター（東京駅より高速バスで65分）よりバス10分

HPアドレス ● <http://www.nies.go.jp/>

Eメール ● kouhou@nies.go.jp/

問合せ ● 企画部広報・国際室 tel.029-850-2308