

国立環境研究所
20周年記念特別研究発表会

平成6年5月27日

於：国立環境研究所大山記念ホール

目次

20周年記念講演 “今後の環境行政”

近藤 次郎

中央環境審議会会長
日本学術会議会長

1. 研究発表講演

地球温暖化とシベリア	1
井上 元 (地球環境研究グループ)	
絶滅に瀕した野生生物に何が起きるのか	4
椿 宜高 (地球環境研究グループ)	
大気化学研究におけるフリーラジカルの計測と反応	7
鷲田 伸明 (大気圏環境部)	
環境中の元素の動きーヒ素の化学形態と分析	10
柴田 康行 (化学圏環境部)	
自由記述法による環境意識の調査と分析	13
大井 紘 (社会環境システム部)	
水界生態系に及ぼす化学物質の影響評価	16
畠山 成久 (地域環境研究グループ)	
都市大気汚染と光化学反応	19
若松 伸司 (地域環境研究グループ)	
湿原の環境と生物群集の成り立ちー高層・低層湿原を例として	21
岩熊 敏夫 (生物圏環境部)	
霞ヶ浦の研究20年	24
相崎 守弘 (水圏環境部)	
スギ花粉症増加と大気環境	27
小林 隆弘 (環境健康部)	

2. ポスターセッション

アルデヒドの光分解によって生成するHCOラジカルの絶対収率決定	33
今村 隆史 (大気圏環境部)	
インド北西部のタール砂漠における砂漠化と人間活動	34
恒川 篤史 (水圏環境部)	
I G A C / A P A R E プログラムに基づく航空機・地上観測	35
畠山 史郎 (地球環境研究グループ)	
衛星画像でみる釧路湿原の植生	36
山形与志樹 (社会環境システム部)	
国保レセプト統計を用いたアレルギー性鼻炎受療率の変動分析	37
田村 憲治 (環境健康部)	

サンゴ礁のモニタリング	38
原島 省・功力正行・宮崎忠国 (地球環境研究グループ)	
紫外線の増加が植物に及ぼす影響	39
中島信美・佐治 光・近藤矩朗 (地域環境研究グループ)	
生態系と水質	40
福島武彦・松重一夫 (地域環境研究グループ)	
大気循環の数値シミュレーション	41
鶴野伊津志 (大気圏環境部)	
地球環境問題に科学技術は何をなしうるか	42
内藤正明 (地域環境研究グループ)	
筑波研究学園都市における植生を中心とした景観変化	43
青木 陽二 (社会環境システム部)	
北極域における地表オゾン減少とガス状有機化合物	44
横内 陽子 (化学環境部)	

研 究 発 表 講 演

地球温暖化とシベリア

井上 元 (地球環境研究グループ温暖化現象解明研究チーム)

1. シベリアは二酸化炭素の吸収源か？

大気中の二酸化炭素やメタン・フロンが増加により地球温暖化が起こることは疑いの余地はない。問題はその時期と規模であり、それを明かにするための研究が世界中で進められている。課題の一つはあるシナリオ、例えば二酸化炭素(正確には温室効果ガスの全量を二酸化炭素に換算した量)がある時期までに二倍になったとき、世界の気候がどのように変わるかである。この課題は大気圏環境部で研究を行なっている。

もう一つの課題はいつ現在の二倍になるか、それを延ばすにはどうすればよいかを明かにすることである。二酸化炭素の増加は言うまでもなく人間が石炭、石油などの化石燃料を消費していることに主要な原因があり、さらに森林を伐採している等の原因が加わる。化石燃料の消費が現在のペースで増加していくとすれば、数十年もしないで大気中の二酸化炭素の濃度は倍増する。しかし、省エネルギー対策等でこの時期を延ばすことが出来ると予想される。この分野では環境研の「温暖化影響対策チーム」が精力的に研究を行なっている。

他方、人間が放出した二酸化炭素の全てが大気中に蓄積されている訳ではなく、50%が残っているに過ぎない。残りのうち、30%が海洋に吸収されていると言われている。海洋に吸収されるプロセスは、物理的な吸収とそれに続くプランクトンによる光合成とからなる。プランクトンは死ぬと海水中を降下し殆どが分解され再び二酸化炭素になる。従って、海洋の生物活動は二酸化炭素を生物活動の活発な海洋表面から、深い海に輸送する役割を果たしていると考えられる。珊瑚の成長は海水中のカルシウムイオンを消費し、海水に溶ける二酸化炭素の量を減少させるので、トータルでは二酸化炭素の吸収源にはならないと言われている。このようなプロセスをいろいろ評価しても、海洋が30%以上の吸収源になっているとは考えにくい。残りの20%はどこに消えているのか解っておらず、ミッシングシンクと呼ばれている。将来二酸化炭素が増えたとき、同じ割合でこのシンクが働くのか、あるいはその絶対量が限られているのかなど、将来予測のためにはミッシングシンクを解明することがどうしても必要である。私たちは亜寒帯林が二酸化炭素の吸収源ではないかと言う点で膨大な天然林を擁しているタイガ

とよばれるシベリアの森林に注目している。

2. シベリアの大湿原はメタンの発生源？

温室効果の最大の原因は二酸化炭素(55%)であるが、メタン(15%)やフロン(17%)の増加も無視できない。フロンの生産は成層圏オゾンの破壊を防ぐ目的で生産が規制され、大気中の濃度は既に減少に転じているが、その替りに使用され始めた代替フロンの影響には注意を払わねばならない。

メタンの発生源は多岐にわたるが、最大のものが自然湿地からの発生と見られている。人為的な発生源は近年精度良く把握されてきたが、自然の発生源はその定量的な把握が容易ではない。一般的に言って自然発生源では単位面積あたりの発生量が少ないが、広い面積から発生しているため、全体としては大きな発生源になっているのが特徴である。更に、場所による単位面積当りの発生量のバラツキが大きい。

自然湿地としてはアマゾン流域のような熱帯域の河川氾濫による季節的な湿地と、シベリア、北欧、カナダ、アラスカに分布する亜寒帯の湿地が主たるものである。亜寒帯ではアラスカでの測定が最も早く行なわれ、そのデータに世界の面積を掛け(気温や湿地のタイプなどを勘案している)全体量を推定していたが、最近のカナダでの測定値はそれよりかなり小さい結果となった。世界最大の湿地である西シベリア大低地については、私達がこの研究で開始するまで全く手が付けられないままであった。

3. 航空機と地上での立体的・総合的な観測

西シベリアの大低地はその直径が3,000kmにも及ぶ規模であり、これをシラミ潰しに調べるわけには行かない。南部の湿原と森林のモザイクとなっている地域、中部の湖沼の割合の多い地域、北部のツンドラ地域の3つに分け、その発生量を様々な方法で測定している。

最も一般的に行なわれている測定は、地面に箱を覆せて、その中のメタン濃度が増加する速度を測定する方法である。測定のため湿地に入ること自体が発生量に影響を与えたりするので注意を払わなくてはならないが、基本的には正確で容易な方法である。しかしながら、数メ

ートルも離れていない場所でメタンの発生量が数倍も異なることも珍しくない。つまり気温や地質などが同一でも、窪地で表面近くまで水に濡れ嫌氣的になっており、メタンの生成が地表付近で成されているので、発生量が多い。少し盛り上がり乾燥した好氣的土壤層があると、そこでメタンを酸化する細菌に消費され、大気中へのメタンの放出量が小さくなるのである。さらに、下からのメタンの供給が多ければ、メタン酸化細菌はその数が増えて来るので、現在の状況だけでなく過去の影響もある。これではどこを代表点として選べばよいか分からない。そもそも、ある地域を代表する点が無いのである。

ある地域でのメタン発生量を推定するには、航空機による大気からの測定が有力ではないかと私達は考えている。92年夏の観測では(多分世界で初めて)航空機にガスクロを搭載して機上での測定を行なった。この装置には炭化水素の検出に有効な火炎イオン化検出器がついている。水素を航空機内で燃焼させることは、水素が漏れた場合を考えると極めて危険なので、水の電気分解で発生する水素を使い大量に貯蔵しない様にして許可を得た。容器に大気を採取して後で分析する方法に比べ、測定頻度を高める事が出来るので、空間的な揺らぎを把握することや平均値を求めることができ、高い信頼性のある測定が出来た。93年の観測では、ガスクロでメタンを分離する代わりに、メタン以外の炭化水素を触媒で燃焼させ、残ったメタンを火炎イオン化検出器で測定する方法を併用することにした。これで連続的な測定が可能になり、測定のレベルが飛躍的に向上した。

大陸であることや高緯度であることが、われわれの日本の気象での常識が通じないという経験をするようになった。先ず、海陸風がないため、低気圧が通過する場合以外は全く風は無いという感じである。数百kmという規模で地表面が均一であるという条件と併せて、水平方向の大気の運動を1日のスケールでは無視できることを示している。

日没は現地時間で10時、日の出は4時という白夜に近い地域なので、夜間の放射冷却による冷え込みは弱いかと予想していたが、実際はそうではなかった。日中は35℃近くにまでなるが、日が傾き直達光が弱くなると冷え初め、10℃までになる。風が弱いためもあり、強い逆転層が発達する。夜間に湿地で発生したメタンは、このため地表面近くに閉じ込められ、大気中のメタン濃度はバックグラウンドの1.7ppmの1.5倍、2.6ppmにもなる。航空機でその濃度を測定し(図1)、逆転層の高度を測定すれば、そこに溜ったメタンの量を計算できる。さらに、

逆転層が出来始めてから測定までの時間を知れば、単位時間あたりに発生したメタンの量を計算できる。私達はこれをInversion Trap Methodとよぶことにした。メタンの発生量は夜間と日中でそれほど大きな差が無いので、これからメタン発生量の空間的な平均値を見積もることが出来ると考えている。

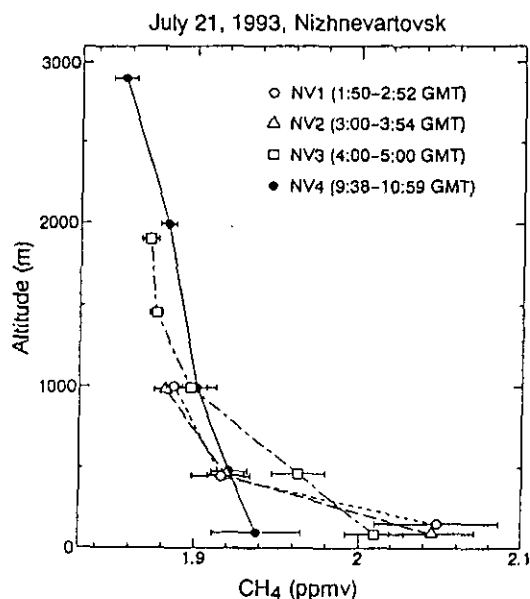


図1 西シベリアでのメタン濃度の高度分布の時間変化をしめす。早朝、逆転層にトラップされたメタンが、日射により引き起こされる対流で上下混合が起き、高高度に輸送される状況を示している。

データを詳しく見ると地表面の状況と大気の運動を反映して、水平飛行で測定していても濃度は均一ではないことが分かった。このデータから地表面の状況(比較的乾燥した森林の多い湿原と湖沼の割合の卓越した水位の高い湿原等)とメタンの発生量の関係が抽出できないかと、画像データと結び付けた検討を進めている。

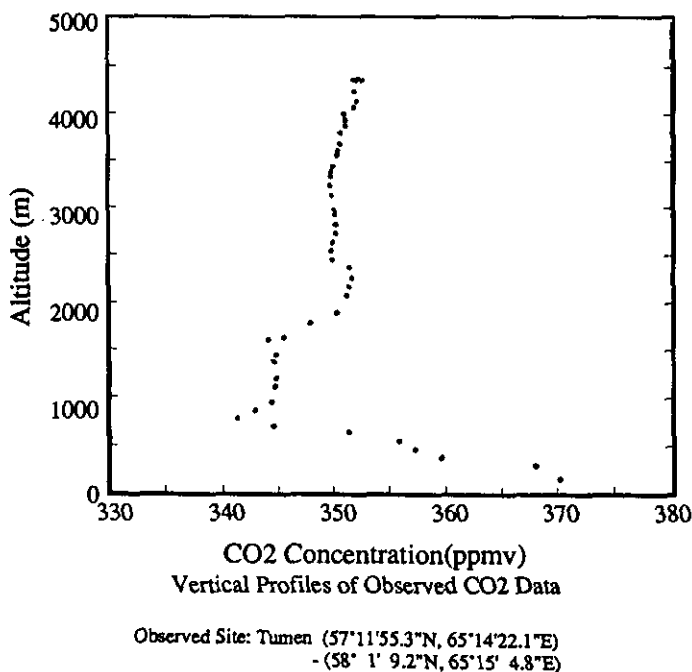
4. 二酸化炭素の収支

メタンと同様に二酸化炭素の収支も測定できるかというところではない。湿原でも草や灌木、水苔さえ日中は光合成で二酸化炭素を吸収し、夜間には呼吸で二酸化炭素を放出する。逆転層が一日中存在すれば一日の収支が明らかになるのだが、日中は地表面が温められ強い対流が起り逆転層は消えて無くなるので、そのような測定は出来ない。

日中の上下混合はかなり強く起り、その間光合成も

盛んであるので、かなり高い範囲（2,000m）まで二酸化炭素の濃度が低い混合層とよばれる層が広がる。ここではその上の自由大気とよばれる対流圏バックグラウンドに比べ10ppm以上低い。太陽が傾くと地表面の温度が下がり初め、光合成が止まり、逆転層には二酸化炭素が蓄積され始める。その上の混合層はもはや上下の混合は無くなり安定または中立の状態になるが、濃度のギャップはそのまま保存される(図2)。夜明けと共に光合成が盛んになり二酸化炭素が消費されると共に、逆転層が解消し混合が再び盛んになる。これが繰り返され混合層内部の二酸化炭素濃度は下がって行くようである。時には水平方向の運動や、積乱雲などの発生で自由大気と強い混合が起こり、対流圏全体に低濃度二酸化炭素の大気が広がっていく。

この2年間の観測でこのような全体像が分かってきたが、これから二酸化炭素の収支に関する知識が得られるものかどうか、更に研究を進めていく必要がある。



Observed Day : 1992-7-20 Time: 3:44 - 4:01

図2 西シベリアでの二酸化炭素濃度の高度分布。

早朝、地表面近くには植物や土壌の呼吸により放出された二酸化炭素がトラップされている。

上空では昨日の混合層の上昇した高度まで低濃度領域が広がっている。

5. 永久凍土

シベリアのもう一つの特徴は、最も大陸的な陸気候であり、冬は-45℃、夏は35℃という、寒暖の差が大きい地域であり、年平均気温は0℃以下である。特に東シベリアは永久凍土に覆われている点で特徴的である。永久凍土は土壌中の水分が一年中凍っている地域で、その厚さは北極海に近い高緯度では800mにも及ぶ。これは氷河時代の終りに氷河で覆われていなかった地域が、氷河で冷やされた空気で冷却されて生成したものである。永久凍土層の上に夏期には溶ける活動層があり、北のツンドラ地帯では苔や草、灌木が育ち、南のタイガでは森林が形成されている。この樹木は横に広く根を張って幹を支えており、地上部に比べ地下部の割合が多いことが森林総研の調査で分かった。この森林が火災で焼失した場合、地表面が太陽光に対し剥き出しになり、凍土が融ける。地下の深い所は凍ったままなので、凍土が融けて出てきた水はアラスとよばれる湖を作る。このような変化は温暖化が進行した場合も起こる可能性が高く、メタンの発生源が広がる可能性がある。メタンの発生が増えると温暖化がますます進行することになり、いわゆる正のフィードバックが働く。その可能性を検討する研究も進んでいる。

逆に、負のフィードバックの可能性もある。気温の上昇はタイガの生産性を高めるし、ツンドラ地帯に向けて森林が広がり、二酸化炭素の吸収が増えると予想されるからである。しかし、平均気温の上昇が樹木の成長にプラスに働くとは限らない。特に春先に寒暖の変動が大きくなると、新しい芽が遅霜で被害を受けたりするためである。樹木の成長と環境との係わりも研究課題の一つである。

6. おわりに

ソ連時代には外国に対し閉じられていたため、わが国にとっては馴染みの浅い地域であり、研究の初期にはとまどうことも多かった。しかし、環境研、森林総研、北海道大学などを中心に、多くの研究機関、大学の研究室の参加を得て、徐々に理解が深まってきている。ロシア側の研究機関も9機関が参加しており、その研究蓄積もこの研究の進展に大いに役立っている。大気化学、気象、リモートセンシング、土壌、森林、植生、雪氷、陸水、地球化学など、多くの分野の協力で初めて成り立つものであり、それが実現出来ている事も心強い。こうしてシベリアでの研究は、まさに、学際的、国際的共同研究プログラムとして発展している。

絶滅に瀕した野生生物に何が起きるのか

椿 宜高 (地球環境研究グループ野生生物保全研究チーム)

1. はじめに

生息地の破壊によって、野生生物の絶滅はかつてない速度で進行しており、毎日100種以上が絶滅していると推定されている。意気消沈させるような絶滅種数ではあるが、絶望的な話ばかりというわけではない。世界の多くの国が次第に生物的資源を保つことに留意するようになり、これを達成するために重要な策を施すことを考えはじめているからである。ただし、現実には人口増加の問題と経済成長によって、これらの生物資源は不可避免的に、比較的狭い地域に集中した形でしか残らないだろうと思われる。このようなシナリオのもとでは、絶滅は最後の生息地の破壊によって起こるのではなく、個体群が小さすぎることの悪影響が蓄積されることによって生じると考えられるのである。

小さい個体群には潜在的な絶滅の原因が数多く存在する。確率論的な要因として、環境の変動、自然的大災害、個体数の変動、遺伝子の浮動などがあげられるし、決定論的な要因としては人為的な環境の変化、他所から

の新しい種の導入、餌種や天敵の変化による間接的な影響、などがある(図1)。個体群が小さければ小さいほど、これらの要因が強く働くというわけである。後者の決定論的な要因に対する方策はすぐに見つかる場合が多いので、保全生物学の重要な課題のひとつは、確率論的な絶滅要因に負けないために、個体群はどのくらい大きくなければならないかを推定することだと言える。

これまで、特定の大きさの個体群がどの程度の絶滅確率を持つかについての議論には基本的に2つの流れがあった。ひとつは、環境や出生率、死亡率の偶然変動によってその個体群が絶滅する確率を推定しようという考え方である。もうひとつは、遺伝的多様性が減少してゆくような個体群サイズではその個体群は絶滅に向かっているとみなし、遺伝的多様性が維持されるために必要な個体群サイズを推定しようという考え方である。将来、この2つの流れは合流すると考えられるが、重要な研究目標のひとつは両者の接点を見いだすことであろうと考える。

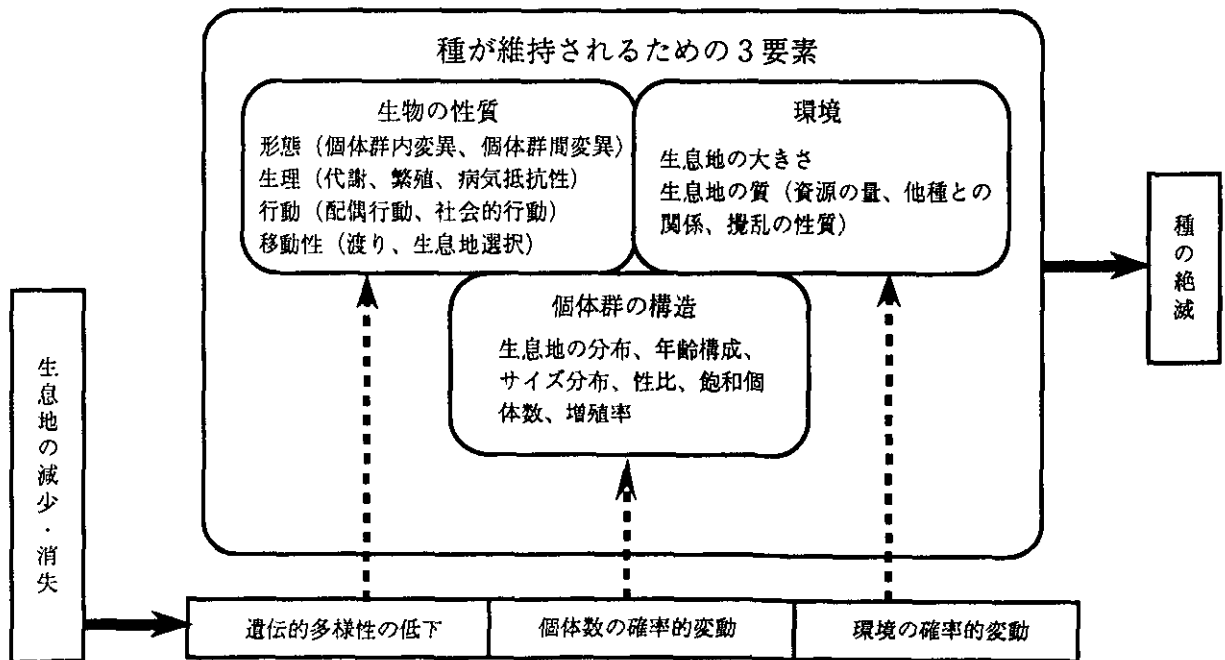


図1. 野生生物が絶滅に至るプロセスの概念図

2. 遺伝的多様性の減少は何をもたらすか

野生動物の個体数の減少によって、遺伝的多様性が全体として少なくなることは当然であるが、それが種の絶滅にどう結び付くのかピンと来ない方が多いかも知れない。実は、全体の遺伝的多様性が減少した結果として、次世代以降の個体が持つ遺伝的多様性が減少することが問題なのである。個体の遺伝的多様性が減少する理由は簡単で、交配する相手の選択の幅が小さくなるからである。極端な例として、雌雄1ペアだけが生き残ったと考えるとわかりやすい。その子供は両親から伝わった遺伝子だけしか持っていないことになる。子供のうち雌雄1ペアだけが出産可能齢まで生き残り、近親交配を経て、また次の世代を出産するという具合に次々に世代が繰り返されると、遺伝的多様性はますます少なくなってくる。これはまさに、家畜動物の純系を作る作業と同じプロセスである。長い歴史を持つ家畜動物の育種経験から、我々は近親交配を続けた動物の遺伝的多様性と生存力は次第に低下することを学んできた。これは近交弱勢と呼ばれている現象である。家畜育種の歴史は近交弱勢との戦いの歴史であったと言っても過言ではなく、純系が固定されるまでに極めて多くの系統が消滅していったのである。個体数が少なくなった野生動物の絶滅の多くはこれとよく似たプロセスで起きると考えられている。

3. 近交弱勢の正体は何か

遺伝的多様性を調べるにはいろいろな方法があるが、代表的なものはタンパク質を発現する遺伝子のヘテロ接合対率の測定である。ちょっと、中学の理科で習うメンデル遺伝の法則を思い出していただきたい。エンドウ豆の色を決める遺伝子に A, a の2種類があって、相同染色体上に AA または Aa の遺伝子がのっていると黄色、aa の遺伝子の場合には緑色の豆になると習ったはずである。AA や aa のような同じ遺伝子の組み合わせをホモ接合対、Aa のように異なる遺伝子の組み合わせをヘテロ接合対という。

エンドウ豆の色を決める遺伝子の場合にはその役割がはっきりしているが、生物が持っているすべての遺伝子に機能があるわけではない。というより、生物はほとんど何の役にも立っていない遺伝子ばかりを持っていて、ほんの一部の遺伝子だけが機能のあるタンパク質を合成しているのである。詳しい方法は省くが、生物が持っている(ほとんどは機能のわからない)タンパク質を特定の

酵素で分解した後、電気泳動法を使って分類すると、特定の遺伝子座に酵素・タンパクのレベルで多型があるかどうかがわかる。10種類ぐらいの遺伝子座について同じように調べて行くと、多型を示す遺伝子座の割合と対立遺伝子の集団内変異からヘテロ接合対の割合(ヘテロ接合対率)が推定できる。個体群の遺伝的多様性の低下や近親交配によってヘテロ接合対率が低下することは容易に理解できると思う。

それでは、ホモ接合対の増加がなぜ生存力の低下をもたらすのだろうか。近年の最も有力な仮説は、近交弱勢の大部分は弱有害遺伝子によるというものである。有害遺伝子には致死遺伝子と致死的でない弱有害遺伝子が存在する。致死遺伝子は完全劣性で、ヘテロの状態では存在し得ないが、弱有害遺伝子は不完全劣性でヘテロでもホモの状態でも存在するという性質を持つ。ヘテロの状態でも存在しても生存力は(わずかにではあるが)低下し、ホモの状態になるとその効果はより強くなる。ほとんどの動物はたくさんの弱有害遺伝子をかかえており、キイロショウジョウバエでは1個体に5000もの弱有害遺伝子の遺伝子座が存在すると推定されている。また、人間では保有する遺伝子の70%以上は弱有害遺伝子ではないかと考える遺伝学者もいるほどである。先に述べたほとんど機能のない遺伝子というのは、将来、弱有害遺伝子と判定されるべき遺伝子なのかも知れない。個々の弱有害遺伝子の効果は僅かであっても、それを積み重ねれば大きなものになるし、ホモの数が多くなればその影響はさらに増大するに違いない。

4. 野生動物の生存力低下をどう調べるか

絶滅に瀕した野生動物の遺伝的多様性(ヘテロ接合対率)が低下し、それに伴って生存力が落ちていることはいくつかの種で知られている。しかしながら、数多くの野生動物についてどの程度生存力があるかを調べることは、大変な労力と費用を必要とする。もっと簡便な方法はないだろうか。野生動物の外部形態を見て、生存力を推定できるような方法があると、これは便利である。実はそういう便利な尺度がありそうなのである。

動物は親から子へとほぼ同じ形態が伝わってゆく。しかし、卵から成体へと発生が進むときに、何かのストレスによって発生過程に狂いが生じる場合がある。というより、ほとんど全ての個体は多少なりとも狂いを持っていると考えてよい。たとえば人間では右腕と左腕の長さ

がほぼ等しいように、ほとんどの動物の体は右と左が対称的である(もちろん心臓や肝臓など例外的な部分も多く、図2に示したように非対称には3種類あることが知られている)。しかし、精確に測定してみると少しだけ右側が長いとか左側が太いというようなことはよくある(図3)。本来、左右対称だと考えられる形質の左右対称からの狂いをFluctuating asymmetry (左右対称性のゆらぎ)と呼ぶ。

最近、この左右対称性のゆらぎは遺伝的な現象で(大きさは遺伝するが、方向性は遺伝しない)、ゆらぎの大きさはヘテロ接合対率と関係があることがショウジョウバエの実験などによって少しずつわかってきた。もしこ

の事がどんな動物にでもあてはまるのであれば、野生動物の特定の形質について左右の対称性を測定することによって、比較的簡単に、「この個体群では遺伝的多様性の低下が進んで危険である」とか、「この個体群は大丈夫だ」といった診断が下せる事になる。しかし現実には、遺伝的多様性(ヘテロ接合対率)とFAとの間に関連が見られない場合も多いし、どのような形質を測定すべきかもはっきりしていない。ただ、FAはヘテロ接合対率よりも優れた性質も持っているので、その代用としてだけ有効なのではない。左右対称性のゆらぎがどのような性質を持っているか紹介し、野生動物の絶滅を予知する尺度となり得るかなどについて考えてみたい。

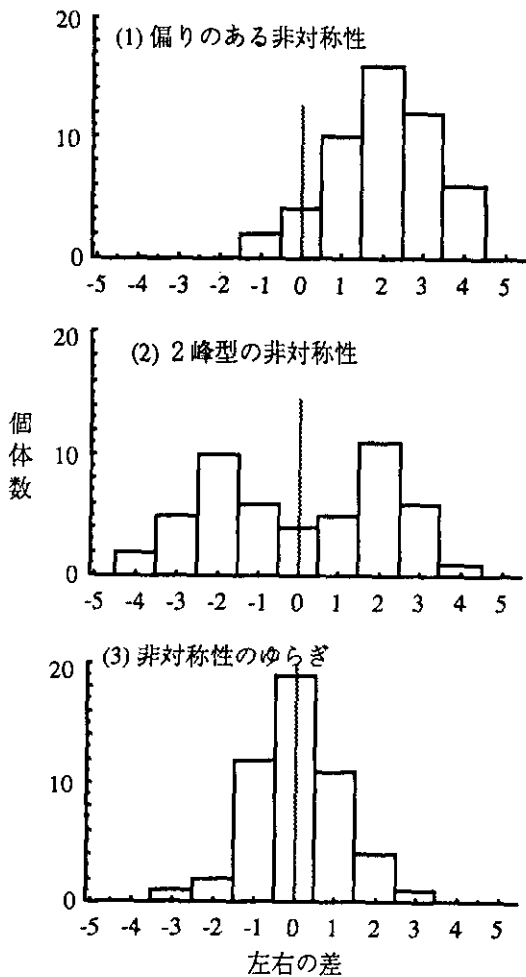


図2. 3種類の非対称性を説明するための仮想データによる図

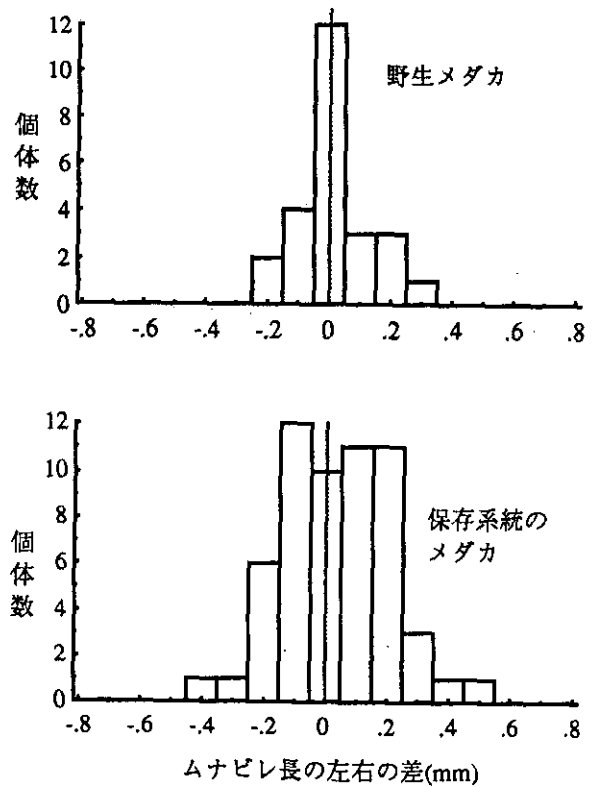


図3. 野生メダカと室内保存系統メダカ(ヒメダカ)の左右対称性の比較。対称性のゆらぎは野生メダカの方が小さい。実験用に選抜された保存系統では近親交配が進み、ヘテロ接合対頻度が低くなっている。

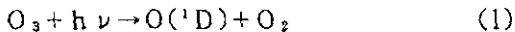
大気化学研究におけるフリーラジカルの計測と反応

鷺田 伸明 (大気圏環境部)

1. 大気化学におけるフリーラジカルの役割

大気化学とは、大気分子の起源、化学変化(大気中の反応)、大気中での分布(高度分布、緯度分布、季節変動)、大気中からの消滅(乾性・湿性沈着、海洋への溶け込み、大気圏間での拡散など)をとりあつかう化学である。大気分子といっても、その名の単一の分子があるのではなく、大気はいろいろな分子から成り立っている。大気の主成分は窒素(78.1%)と酸素(21.0%)で次に多いのは量は不定であるが水蒸気で、それ以下は極端に量が少なく微量ガスと呼ばれる。二酸化炭素、メタン、 NO_x 、オゾン、フロンなどはみな微量ガスに入る。これらの微量ガスは大気中に一様に分布しているのではなく、高度、緯度、季節などに依存して濃度分布が異なる。また大都市内などでは全く異った濃度を示す。これらの濃度分布を決めているのが微量気体の発生源の分布とその大気中での寿命、すなわち大気中での反応である。大気中での反応は、太陽光による光化学(光解離過程)とそれによって生じるフリーラジカル反応から成る。一般に溶液中の反応が主にイオン反応であるのに対し、大気中の反応はフリーラジカル反応、とりわけ、フリーラジカル連鎖反応が重要となる。

大気中の反応で最も重要なラジカルはOHラジカルである。その理由は多くの微量気体はOHラジカルとの反応が速く、かつOHラジカルはラジカル連鎖反応の担い手となるからである。バックグラウンド大気中(都市大気は別であるが)のOHラジカルは大気中のオゾンの光分解で生じる励起酸素原子 $\text{O}(^1\text{D})$ と水蒸気との反応で主に生成する。



生じたOHラジカルは大気中の O_3 、 NO 、 CO などの微量気体や O_2 との反応を介して HO_2 ラジカルとの間で図1に示すようにバランスしている。このバランスにおいて大気中のOHラジカル濃度は $10^5 - 10^6 \text{ molecule cm}^{-3}$ (およそ0.1pppt)、 HO_2 はその1000倍程度(0.1ppb)の濃度であると見積られている。

ラジカルの連鎖反応においてもOHラジカルは重要な役割を演じている。例えば光化学スモッグ反応の基本型

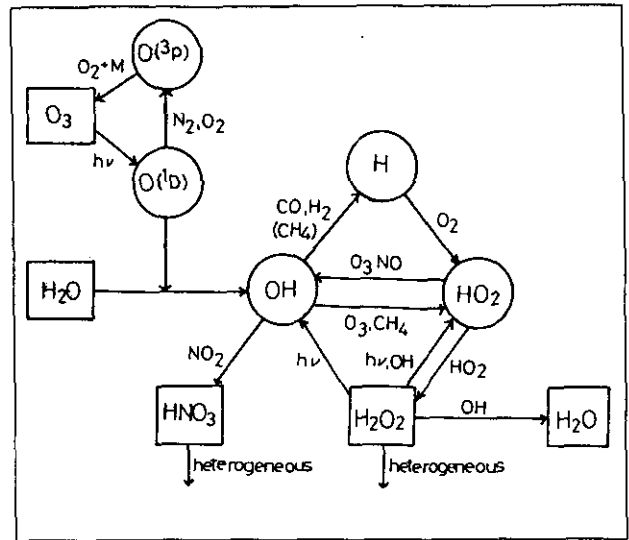


図1 大気中でのOH、 HO_2 ラジカルをめぐる反応

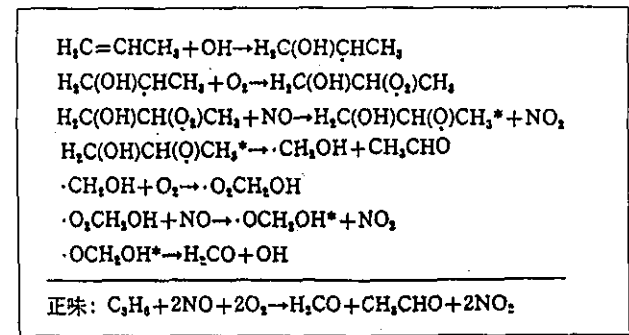


図2 大気中でのプロピレンの光酸化反応

である NO を NO_2 に変換する連鎖反応(プロピレンの NO 存在下での光酸化反応)を図2に示す。ここでは最初にプロピレンと反応するOHラジカルが反応の最後に再生されている。このような連鎖反応によって、大気中で極めて低濃度のOHラジカルが大気中の反応において重要な役割を担うことになるのである。また HO_2 ラジカルはOHラジカルのリザーバーとしてやはり大気化学において重要になる。

以上の理由から、大気化学研究においてはフリーラジカルの計測と反応研究が必要となる。

2. フリーラジカルの計測

大気中のフリーラジカルを直接検出するための基礎技術としては、紫外吸収法、赤外吸収法、レーザー誘起ケイ光法、質量分析法など種々の物理化学的手法がある。この中で大気中のOHラジカルの検出に適した方法としては紫外吸収法とレーザー誘起ケイ光法である。ここではOHラジカル計測において最も安定した方法である高分解能レーザーを用いた紫外吸収法に検出の高感度化のための周波数変調法を組合せたOH計測法について以下に記す。

OHラジカルの紫外吸収による測定は $A^2\Sigma^+ \leftarrow X^2\Pi$ の電子遷移(O-O帯は308nm)に基く吸収帯の回転線を用いて測定する。基本となるレーザーはアルゴンイオンレーザー(20W)によってポンプされたリング色素レーザー(連続レーザー)で、その第二高調波を用い、OHラジカルの $Q_1(2)$ と $Q_{21}(2)$ 回転線に相当する 32457.643 と 32458.999cm^{-1} の波長によってOHラジカルの吸収を測定する。しかしこのままでは低濃度OHによる微小な吸収を測定することはできないので、これに周波数変調法(FM変調法)を組合せて、微小吸収を精度よく測定する方法を開発する。FM変調法の有効性を手短かに述べれば、1.バックグラウンドシグナルが非常に少ない(ゼロである)こと、2.非常に高い変調周波数(数百~数千MHz)で

用いるため、レーザー光のゆらぎの最大周波数をはるかに越えており、レーザーによるノイズの影響を防ぐことができることである。一般にシグナルとノイズの比(S/N)は(3)式で与えられる。

$$S/N = \frac{k I}{[N_e^2 + (\beta \sqrt{I})^2 + (N_e I)^2]^{1/2}} \quad (3)$$

ここで $k I$ はシグナル、 N_e は電子的ノイズ、 $\beta \sqrt{I}$ は検出器のショットノイズ、 $N_e I$ はレーザー光強度のゆらぎによるノイズである。従ってFM変調の場合 S/N は検出器のショットノイズに限定されており、このことからFM変調法は”量子限界”の S/N が得られるといわれる所以である。この場合検出できる最少の吸収は(4)式となる。

$$\Delta \delta_{\min} = \frac{2}{M} \left[\frac{\Delta f}{\epsilon (I_0/h\nu)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

ここで Δf は検出バンド巾、 ϵ は検出器の量子効率、 M は変調指数である。もし $\epsilon = 1$ 、 $\Delta f = 1\text{ Hz}$ 、 $I_0 = 5\text{ mW}$ 、 $\nu = 5 \times 10^{14}\text{ Hz}$ (600nm)、 $M = 0.1$ とすると $\Delta \delta_{\min} = 1.5 \times 10^{-7}$ となる。但し、 10^{-7} はこの方法の限界値であり、実際にこの値が得られることはない。

紫外レーザーとFM変調法の組合せによる検出装置のブロック図を図3に示す。まず単一モードリング色素レーザー(スペクトラフィジックス社SP model 380)をア

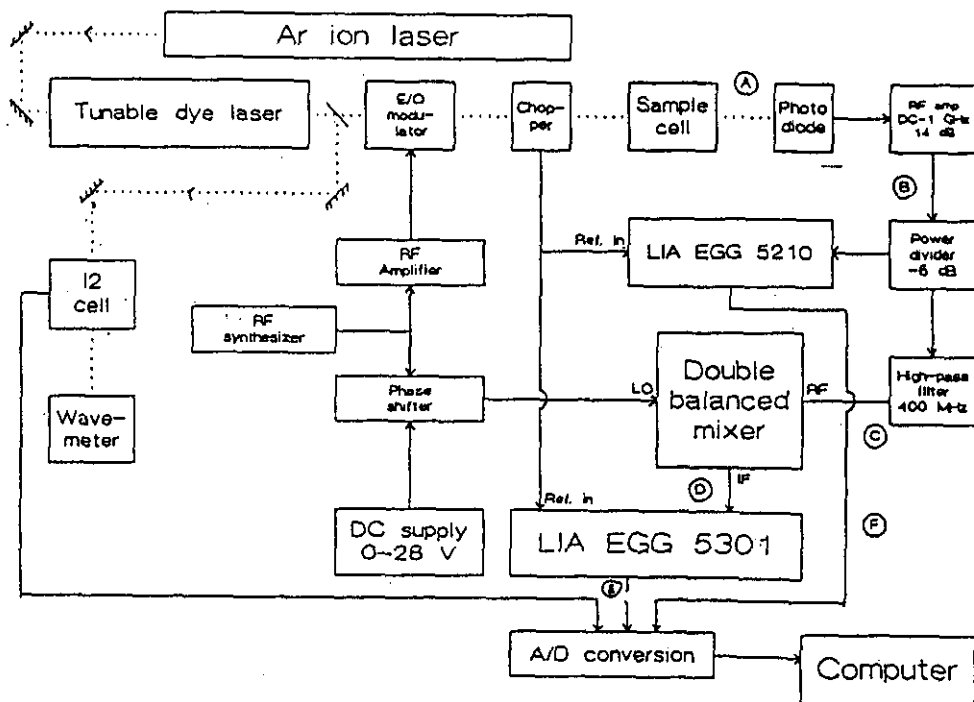


図3 紫外レーザーとFM変調法の組合せによる紫外吸収測定法のブロック図

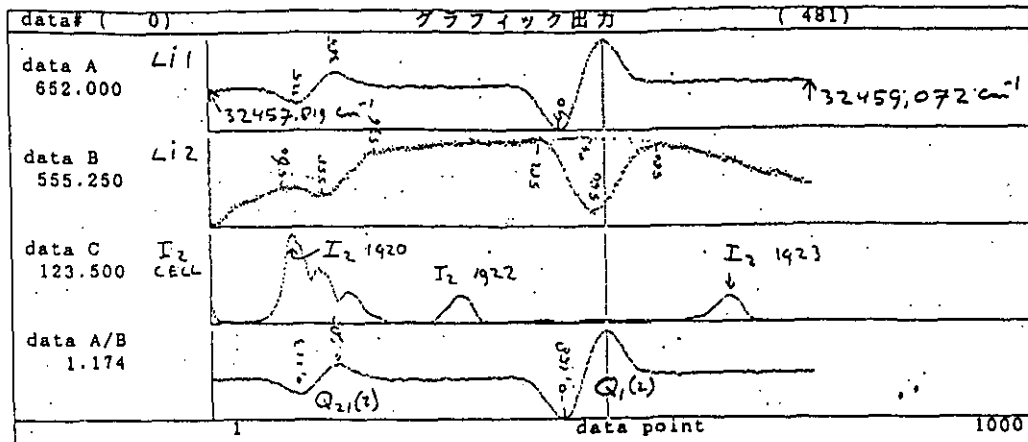


図4 32457.819-32459.072 cm^{-1} の間で測定されたOHラジカルの吸収スペクトル $Q_{21}(2)$ と $Q_1(2)$ の回転線が測定されている

ルゴンイオンレーザー (SP model 2040、最大出力20 W) でポンプする。実際にはレーザー出力が強すぎて光学系がダメージを受けるのを防ぐためにアルゴンイオンレーザーは6-7W程度で稼働させる。色素レーザー光の第二高調波を得る場合はリング内にSHGクリスタルを設置する。SHGクリスタルとしてAD*Aを用いた場合308nmで、約10mWの出力が得られ、KDPを用いた場合約1.6mWの出力が得られた。このようにして得られた色素レーザービームはE/Oモジュレータに入る。E/Oモジュレータ (Quantum Technology model TWAP-12-2.5-200-500 308nm) は13WのRF出力で500MHzで稼働する。その後レーザービームは7kHzのチョッパーとサンプルセルを通して高速 (8GHz) 光検出量 (PINダイオードPD-15) に入る。色素レーザービームの一部 (約50%) は波長校正のためのヨウ素セルに入る。波長はフィエゾ波長メーターで単一モードビームの場合0.01Åの精度 (600nmで 0.03cm^{-1}) で決定される。PD-15に入ってきたシグナルはDC-1GHz RFアンプによって14dBに増巾される。さらに反射を防ぐためのpower dividerに入り、シグナルの半分はレーザー出力を決めるため用いられ、EGGロックインアンプ (model 5210) にはいる (Li2)。シグナルの残りの半分はまず系から生じる低い周波数ノイズ (400MHz以下) を除くためのcut offフィルタを通り、二重バランスミキサー (Anzac MDC-149) でミックスされ、ロックインアンプ (EGG 5031) に入り (Li1)、コンピュータ処理される。

紫外レーザー吸収法によるOHラジカルの測定データ

の一例を図4に示す。図4は32457.819-32459.072 cm^{-1} の間で観測されたOHラジカルの紫外吸収スペクトルである。図中のdata Aは2.3.1で説明したロックインアンプmodel 5031の出力 (Li1)、data Bはmodel 5210の出力 (Li2)、data Cは校正用ヨウ素セルの吸収スペクトル、data A/Bが純OHの吸収スペクトルである。図から分かるように、OHの回転線 $Q_{21}(2)$ と $Q_1(2)$ が現れていることが分る。

このようにして観測されたOHラジカルの濃度は $\text{H} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{NO}$ の反応を利用して検量し、見積もることが出来る。また図4のスペクトルと(4)式から $\Delta\delta_{\min}$ の値も見積られる。いくつかの観測を繰り返した結果、 $\Delta\delta_{\min}$ の値は I_2 のような可視の吸収の場合 1.6×10^{-6} 、OHや SO_2 のような紫外吸収の場合 9×10^{-6} 程度と見積ることが出来た。この $\Delta\delta_{\min}$ の値とOHの測定感度から、野外大気中のOHラジカル濃度をモニターするには4-5kmの光路が必要であることが判明した。この値は高い建物の上にコーナークューブを設置すれば、OHラジカルの野外での濃度モニターが十分に実行可能であることを示したものである。

3. フリーラジカルの反応

フリーラジカルの反応の研究では反応の速度と機構を決定する研究が行われている。方法は光イオン化質量分析法やレーザー誘起ケイ光法などを用いたラジカルの直接検出によるものであるが、詳細はここでは割愛する。

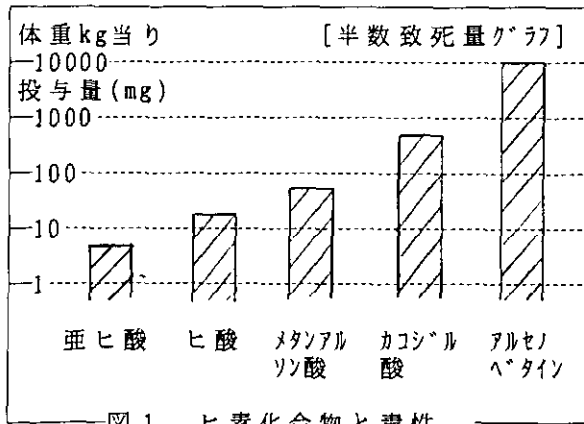
環境中の元素の動き —ヒ素の化学形態と分析—

柴田 康行 (化学環境部動態化学研究室)

1. はじめに

自然界には90種類余りの元素が存在し、化学的、生物的作用を受けながら、環境中を巡っている。これらの中には、ヒ素や水銀、カドミウムなど、強い毒性を持つものがある。又、銅やマンガン、セレンのように、生物にとって必須元素であるが、多すぎれば毒性を示すものもある。これらの有害元素による過去のいたましい環境汚染、中毒などの経験を踏まえ、現在では環境水中の濃度基準(環境水質基準)を設定して、人間が有害な量の元素にさらされないよう法律的に規制している。この環境水質基準、及び排水基準が昨年及び本年相次いで改定・強化されたことは、ご存じの方も多きことであろう。

しかしながら、ヒ素や水銀などの毒性は、一意的に決るものではない。これらを含む化合物としては無機物質ばかりでなく、炭素を含む有機化合物も知られている。毒性や生物への吸収のされやすさ、環境中での動きやすさ、揮発性の有無などの性質は、それらの元素を含む化合物の構造によって大きく異なってくる。環境中のこれら有害元素の動きを把握し、毒性評価をより的確に行なっていくためには、その濃度ばかりでなく、化学的構造(化学形態)も明らかにしていく必要がある。元素を化学形態別に分離・定量する方法を化学形態分析と呼ぶが、以後、ヒ素を例に、化学形態分析法の概要を説明し、環境中にヒ素がどの様な形で存在し動いているのかについて、現在の知見を紹介する。



2. ヒ素の主な化学形態と分析法

図1に、環境中に一般に見られるヒ素の化学形態と、

実験動物に投与した場合の急性毒性値(半数致死量)をまとめた。毒性面から最も注目されるのはガス状のアルシン、次いで無機の亜ヒ酸、ヒ酸である。水銀の場合とは異なり、ヒ素は有機化された方が一般に毒性が低いとされる。しかしながら、メチル化の進んだカコシル酸でも遺伝毒性を示すこと、また環境中で物理化学的、生物的作用によって化学形態の変化が容易に起きることから、毒性の強弱にかかわらず、量的に多い化学形態については監視が必要と考えられる。

ヒ素の化学形態分析法には様々な方法が知られているが、主だった方法として、①試料を強い還元剤で処理して存在するヒ素を気化させ、メチル基の数の違いで分離する還元気化法、②高速液体クロマトグラフ(HPLC)で分離する方法、のいずれかの分離手段と、元素分析装置との組み合わせがある(図2)。特に②の分離手段にICP質量分析法と呼ばれる超高感度元素分析装置を組合わせたHPLC-ICP-MS法は、以下に述べる様々な化学形態のヒ素を確実に分離、定量できる優れた手法である。一方、この方法では同定のための比較の対象として、あらかじめ構造のわかった純品を標品として用意する必要がある。私達の研究グループでは、様々な生物試料からヒ素化合物を精製・構造決定し、市販品や合成品と合わせて15種類のヒ素化合物をHPLCのための標品として用意して、HPLCの条件設定ならびに環境試料の分析に用いてきた。

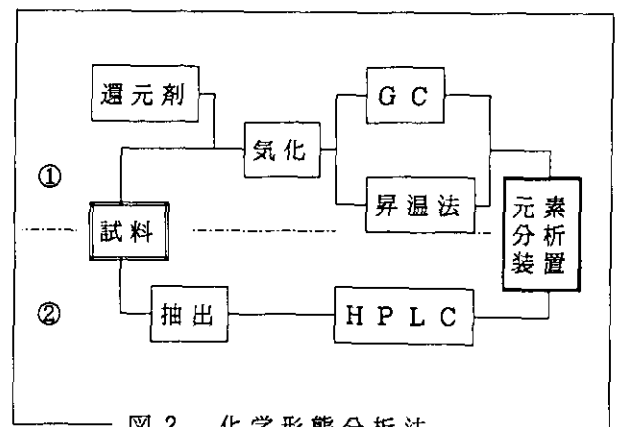


図2 化学形態分析法

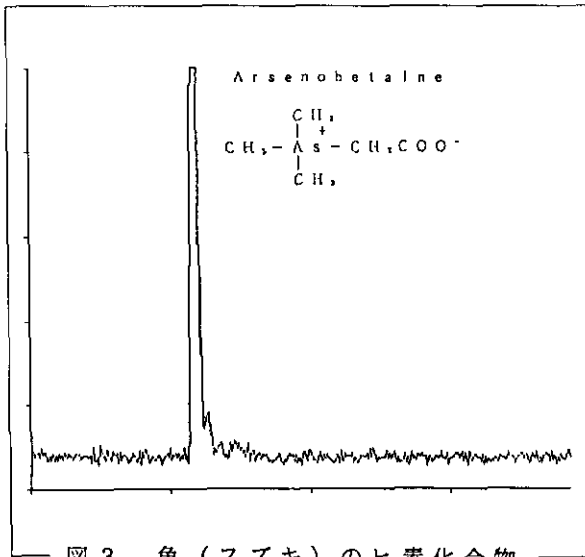
3. ヒ素は環境中でどのように分布しているか

ヒ素は、天然水中には無機のヒ酸、亜ヒ酸の状態で溶けていることが多い。河川、湖沼の水には一般に0.1～数 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度、海水中には2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度(いずれもヒ素として：以下同様)の低い濃度のヒ素が存在する。ヒ素は硫黄と親和性が強く、火山の近くや温泉水などに時たま高濃度のヒ素が存在することもある。

こうした特別の場所、あるいはヒ素の汚染地域を除いて、陸上生物の中には通常あまりヒ素は存在しない(100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 前後ないしこれ以下)。一方、海の魚貝類や海藻中には、1000～10000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上と、海水濃度の千倍から時には一万倍を超える濃度のヒ素が濃縮されている。なぜ、海の生物にはヒ素が多いのだろうか？毒は無いのだろうか、人間にとっても、海の生物自身にとっても？

4. 魚のヒ素、海藻のヒ素

こうした疑問に答えるため、海の魚貝類、海藻などのヒ素化合物の構造を、上記のHPLC-ICP-MS法で調べてみた。魚から水に溶けるヒ素を抽出し、HPLCで化学形態別に分離したあと、ICP-MSでヒ素が何分後に出てくるか調べてみると、3分50秒後に大きなピークが見えた(図3)。これはアルセノベタインとよばれるヒ素化合物で、図1に示したようにほとんど無毒の化合物である。ほかに大きなピークは無く、魚のヒ素の大部分はアルセノベタインであることがわかる。

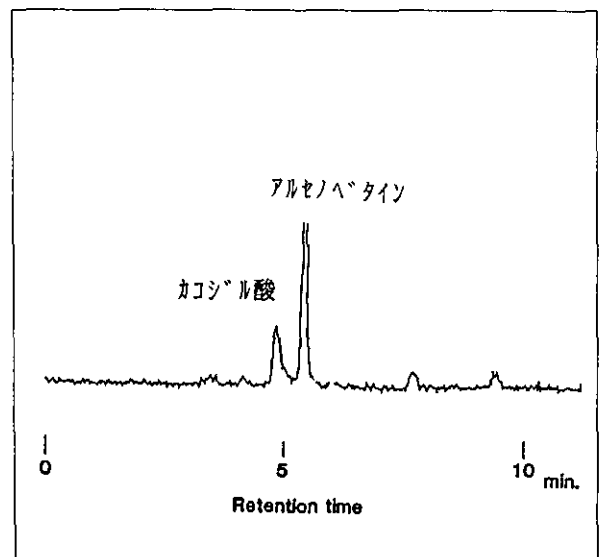


様々な海の生物について調べた結果を図4(次ページ)にまとめる。魚や海老、カニ、イカ、タコ、貝などの動物(図の左半分)のヒ素は、いずれもアルセノベタインが主成分であった。一方、海藻(右半分)にはヒ素糖と総称される複雑な有機ヒ素化合物が含まれていることがわかってきた。ハマグリなどの二枚貝及び一部の巻貝には、アルセノベタインとヒ素糖の両方が主成分として含まれていた。また、ホンダワラなどの様に、ヒ酸を比較的多く含む生物も見つかった。

海藻に多いヒ素糖については、大量に抽出精製することが難しいこと、また構造が複雑で合成も容易ではないことから、いまだに動物実験による毒性評価が行われていない。また、吸収されやすさや体内での代謝、調理の過程で変化するかどうかなども、今後の課題として残されている。

5. 人体を駆けめぐるヒ素

人間が有害元素を取込むと、髪の毛や尿中に積極的に排出して体から除こうとする。逆に髪の毛や尿を分析することで、有害元素を取込んだかどうかの推定に役立てられることが期待され、職業曝露などの研究にこれまで応用されてきた。その結果、ヒ素については、例えば魚を食べた次の日に特に尿中濃度が高くなることがわかってきた。即ち日本人の場合には食事に由来する影響が大きいと、職業曝露の把握には尿中ヒ素の総濃度は必ずしも良い指標にはならない。



人の尿をHPLC-ICP-MSで測定して見ると、図5のように複数のピークが見えてくる。一番大きいのはアルセノベタインのピークで、これは食事(魚、貝等)由来と思われる。アルセノベタインは魚を食べた後の血液にも検出された。無機ヒ素(ヒ酸、亜ヒ酸)が体内でメチル化されてできるカコジル酸は、尿中では2番目に大きなピークとして見つかった。装置の感度を上げると、他にも小さなピークがいくつも検出され、生体内でのヒ素の代謝系の複雑さを垣間見る思いがする。

明らかにされつつあり、物理化学的、生物的作用を受けてヒ素がどの様に環境を巡っているのか、少しずつその概要が明らかになりつつある。こうした詳細な環境動態の知見の集積は、毒性研究の今後の発展ともあいまって、人の健康確保に関するより確実な曝露・毒性評価、対策に寄与していくことが期待される。一方、ヒ素以外の有害元素についても、よりの確実な毒性評価、環境動態の解明のために化学形態の解明とその存在量の把握は不可欠のものであり、化学形態分析のさらなる充実・発展が求められている。

6. おわりに

環境中のヒ素の存在と動きに関する現在の知見の概略をまとめた。濃度ばかりを見ていたのではわからなかった多くのことが、化学形態分析法の発展と応用によって

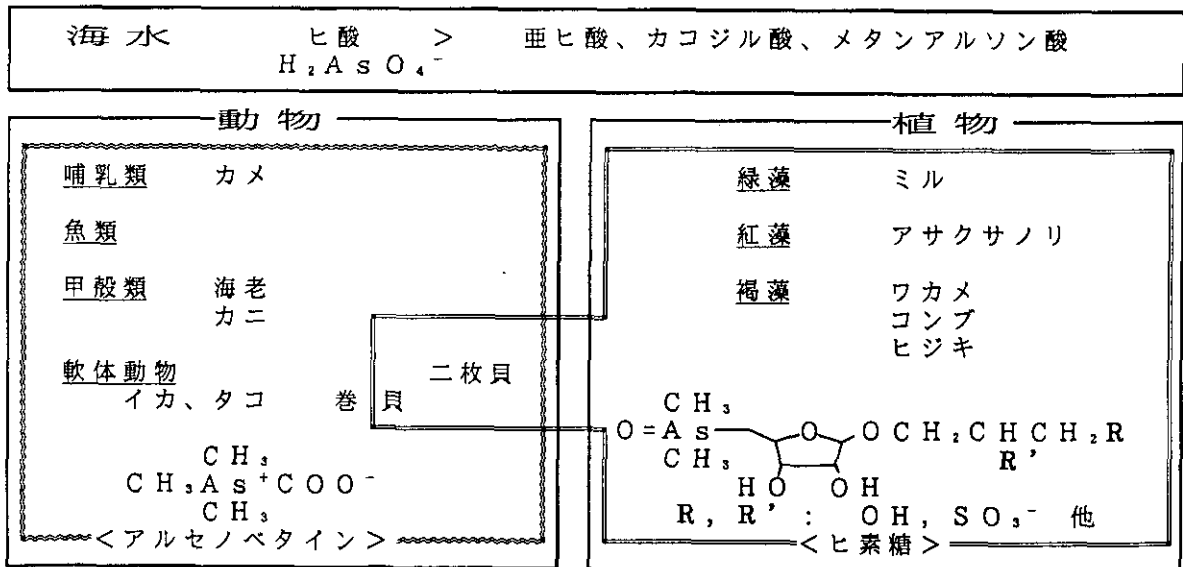


図4 海洋生態系における主なヒ素化合物の分布

自由記述法による環境意識の調査と分析

大井 絃 (社会環境システム部 環境計画研究室)

1. なにをしているのか?

要するにアンケート調査ですよ。ただし、あの○×をつける式ではなくて、答えを好きに文章などで書いてくださいという。そんなことをして、あとで困らないかですって?そこで仕掛をつけました。その話をします。

2. どうやって調査するか?

実際にやった例ですが、次のようにたずねます。

生活の場の中でお宅様が受けておられます、迷惑や被害などがありましたなら、その様子をなるべく詳しくお聞かせ下さい。

はじめに、迷惑や被害の内容、程度、時間や季節などについて、お書きください。

と、こう書いて、つぎのページに

つぎに、迷惑や被害の原因となってお考えのこと、解決方法、その他どんなことでも結構です、お書きください。

どんな風を書くかは、答える人の自由です。

あるいは、「みどり」という言葉から連想される言葉を、単語、句、文、いずれの形でも、ということに答えてもらう。これは、記録や意見でなく連想を書いてもらうことと、その連想が単語だったり「松の並木」なんていう句だったりすることもあって、自由記述法のなかでも区別して自由連想法ということもあります。

3. どうやって分析するのか?

3. 1. 単語の切り出しと整理

で、その文章で書いてもらった車の騒音・振動・排気ガスのめんめんたる訴えとか、「松の並木」とか「静か」「自然」などというのをどうするか。

まず読む。全部読む。「のどかな田園だった生まれ育ったこの土地で、一生を終えようと決め願っていたのだが、家の前に産業道路が通じ、… それでも、どこにも行くところはないから、…」などなど。

次に、句や文章は、単語に分解する。はじめから単語なのは、単語のまま。そうして、分解したあとは意味のない単語は除く。たとえば、「松の並木」のテニヲハの「の」は除く。上の文なら例えば、「田園」「生まれる」「育つ」「土地」「一生」「終える」「家」「前」「産業道路」などなど。このとき、「終える」と「終わる」を一緒にするなどの整理。

3. 2. どんな単語がよく出て来るか?

そうやって、単語の集まりにしてしまってもどんな単語がよく出て来るか、来ないかを比べてみるだけでもかなりのことが分かります。表1にあげたのは、幹線道路(環状7号線という東京都の産業道路の一つ)に直面して住んでいる人達と、その幹線道路や同格の幹線道路から少なくとも数百メートルは離れて住んでいる人達が、さっきの「生活の場の中で受けている迷惑や被害など」について書いたものです。場所は世田谷区内。世田谷区というのは、東京でも住宅地とされているところ。それぞれ直面して住んでいる人達(沿道といったりします)からの回答と、離れて住んでいる人達(非沿道とも呼びます)からの答えの単語です。それぞれ、使われた回数の多かった方から12位までです。

表1で見比べると、幹線道路沿道は「震動」「排気ガス」「環状7号線」「大型車」「トラック」そうして「ひどい」が目立ちます。環状7号線から離れて住んでいる人(非沿道)のほうでも、「道路」「車」「騒音」という語が上位にあります。「道路」「騒音」「車」というだけならば、幹線道路から離れていても迷惑・被害感のなかで大きな割合を占めているということが分かります。沿道で「ひどい」が10位に顔を出していますね。「うるさい」は何位くらいだと思いますか。それが、100位までに現われない。幹線道路からの騒音は「うるさい」などという、なまやさしい話ではないのです。騒音問題というと「うるささ」の問題と決めてかかった、「うるささの5段階○つけアンケート」では

表1 よく使われる単語の上位12位まで
(沿道と非沿道の迷惑・被害感について)

沿道		非沿道	
騒音	道	騒音	路
車	車	車	家
震動	騒音	多	い
環状7号線	多	駐	車
道路	多	人	夜
排気ガス	夜	自	通
大型車	通	工	行
多い	工	よ	事
トラック	よ		い
朝			

分かりっこないですね。ついでながら、「震動」は「振動」も合わせたのですが、たいていは始めから「震動」と書かれています。漢字で書くと感じが出ますね。

表1を見ると、幹線道路の沿道の人達にとっての迷惑・被害感とその道路からの騒音・震動・排気ガスのひどい状況によるものだということが、よく分かりますね。

3. 3. 単語の集まり—その語るもの

単語の出してきた回数だけで、いろいろなことが分かる。それはいいけれども芸がない。そこで仕掛。その話をしましょう。

いろんな人がいろんな風に書いているとして、そこから、人々の共通の話題というか主題を見つけられないか。

さきほどの答えの文章を、単語に分けたのを使います。幹線道路の沿道の人達にとっての共通の話題を調べたければ、その人達の一人一人の回答にあった単語を考える。同じ話題を持つ人は同じ単語をよく使うと考えて、

「共通した何人かの人によって使われる割合の大きい単語同士を集める」

ということにする。逆に、

「共通したいくつかの単語を使った割合の大きい人同士を集める」

もやる。これで、同じ話題をもつ人の集まりができます。この単語の集まり、人の集まりを業界用語ではクラスタといいます。誰がどの単語を使ったかの表を作っておいで、集めるという作業をコンピューターにやらせよう。

表2は簡単な場合の例です。「震動」と「騒音」が一つの集まり(クラスタ)、「道路」と「環境」がもう一つ。鈴木さん、石井さんが一つのグループ、武村さんと細川さんがもう一つ、ということになります。この表2みたいなことを大々的にやるわけです。

こんなやりかたで作った、さっきの幹線道路の沿道の人達の書いた単語の集まり(クラスタ)を表3に出しました。A、B、Cなどがついているごとに、単語の一つの集まりです。ここでは、たくさん使われたほうから54語を取り出しています。

まず、Eについて。Eに集まった単語を見ただけでも

表2 単語と答えた人のそれぞれの集まりの作り方(簡単な例)

	震 動	騒 音	道 路	環 境	
鈴木	1	2		1	数字は、鈴木さんが「騒音」を2度書いた、というように読む。
石井	1	1			
武村			1	1	ここでは、2語ずつ、二人ずつがひとつの集まりになる。
細川			1	1	

なにが言いたいイメージがわく(わくでしょう)。Eには、表1にあった12位までの単語のうち10箇が入っていて、そのほかのEの単語も実は16位までに入っているのです。そのせいもあって、ここの単語は回答をしたほとんどの人達によく使われている(そういう単語の集まりを、業界用語では主クラスタといっています)。そんなことから、まずEについて。もう一度表3のEのところの単語をながめてみてください。世田谷区の環状7号線なる幹線道路に面して住んでいる人に、生活の場の中の迷惑・被害はなんですかと聞いたら、こんな言葉がどつと出て来る。たいていの人がこういう言葉を書く。もし、あなたのお宅ならどう書きますか? 同じことを聞かれたとして。とにかく、これが地球環境時代とやりに置き忘れられた公害です。

つぎに表3のFの単語を見てみましょう。ここの単語を拾って文章を考えてみてください。「開け閉め」は「開ける」と「閉める」とをいっしょにしています。なんだか、生々しくなりますね。窓を開けたときの音。家が地震のように揺れる。ものが黒く汚れる。感覚的ですね。随分。幹線道路の公害という意味では同じでも、ここのやり方でやれば、E、Fという単語の集まりに見たような、単語の切り分けができるわけです。

この幹線道路からは離れた非沿道の人達では、街を歩いていて街路のものごとを見て感じる自動車の交通による迷惑・被害についての単語の集まりや、家の周囲を

表3 環状7号線の沿道の人達の回答の単語の集まり(クラスタ)(A、B、Cなどの下がひとつの集まりを示す)

1	2	3										4			
A	B	C	D	E				F			G			H	I
汚大ト規工 問困住深大必通空作安大一 道騒震環排 多交汚地黒よ考 使 開 揺ひ 走惱子小 自現 面静昼一歩	ラ 前	き		型日朝車	状7号ガ	気夜	ス	い通	れ震い	る	う め る	る むもい	分在	るか	間中道ク
染気ク制事 題るむ夜い要行気る眠車中															

見ているという感じで近所の人のゴミ出し公害のことをいっているものが目立ちます。そのほか、いろいろな迷惑・被害が話題になるのですが、幹線道路に直面している人達にとっては、幹線道路からくる公害で迷惑・被害感が覆いつくされてしまったのです。この「覆いつくす」なんてことが分かるのも、自由記述式の調査の御利益です。

3. 4. どんな人達がどんなことを

単語の集まりと答えた人の集まりとを組み合わせると、どんな人達がどんな主題について書いたかが分かります。図1みたいなものを作るのです。この図は環状7号線に面して住んでいる人達からの回答についてです。上のA、B、C、D … というのは、表3にあった単語の集まり(クラスター)と同じものを表わします。左の端に上から下にならんでいる、h1とかh3、h4、h5とかいうのは、答えた人達の集まりの記号です。左上の端のマス目が真っ黒なのは、h1の人達がAの単語を非常にたくさん(その単語の数と人数をかけた数の半分以上の回数)使ったということです。黒っぽいが、たくさん単語を使ったということです。数で確かめるためには、図の右下の凡例というのをご覧ください。

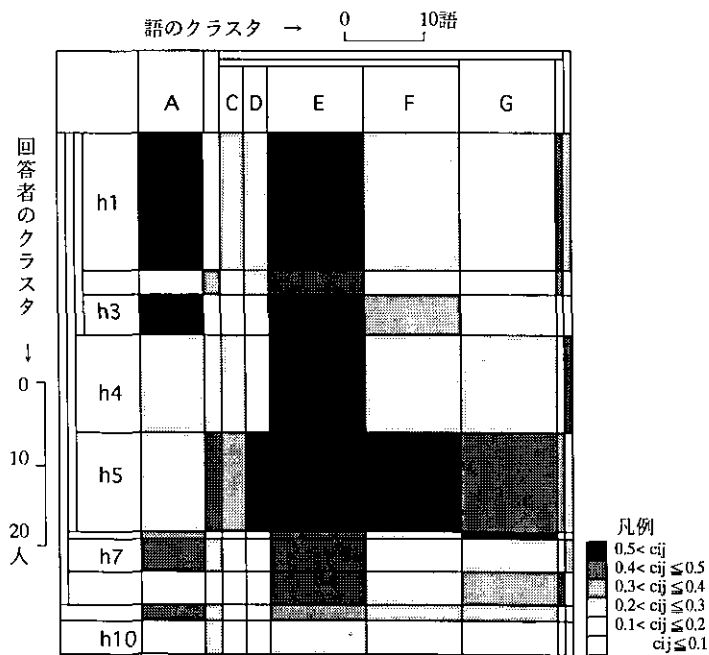


図1 単語の集まりと回答した人の集まりとの間の単語を使う割合からみた関係 (A、B、Cなどが単語の集まり、h1、h2、h3などが人の集まり、黒っぽい方がよく使う)

さて、この図を見ると、前の節で「回答をしたほとんどの人達に頻繁に使われている」といった単語の集まりEの下はたてにズット黒いので、なるほどその通りと分かります。表3にもどってEの単語を見てください。幹線道路の沿道の人達に迷惑・被害を聞くと、この図1に見るようにみんながEの単語のことを語るわけです。

つぎにh5の右を見ていくと、h5の人達はそのEはもちろん、Fをはじめいろいろな話題について書いていることがわかりますね。そんな風にこの図をみていくわけです。一段上のh4は、この調査としては女性が多くて5割あって、30年以上居住の人と木造木枠住宅の人の割合もほかの集まりより多い。

4. ほかの方法・ほかの調査

単語の集まりを作るのに、書いたときの単語のならばかたを考へなかつたわけですが、例えば「震動」と「地震」が文章の中でたがいに近いところで使われるかどうか、ということ考へに入れて単語の集まりを作る「近傍法」(純国産技術)というやりかたもあつてうまくいっています。それと、みなさんがこの文章を読むように文章の意味内容そのものを読み取るという、まとも過ぎるくらいな方法も使います。こういうやり方は、東京で区役所に公害苦情を申し立てた人に調査票を送つて内容を書いてもらった調査で使いました。回答の文章が長く、書いてあることも複雑なので、向いている方法なのです。

生活の場のなかの迷惑・被害については、東京は銀座、日本橋などで調べたものがあります。

霞ヶ浦の近くの市町村にお住まいの方々に、「水辺」「霞ヶ浦」「あおこ」から連想することを答えてもらった調査もあります。霞ヶ浦の研究の話もこの発表会に出てきますが、普通の人から見た霞ヶ浦はなにかが、この連想調査でよく分かります。

5. おわりに

ずいぶん風変わりな調査をしてきたものですが、生々しいことをいっぱい書いてくださるので調査が成功するのです。書くことがそんなにあるというのは、しばしば、幸せなことではないですね。でも、それが現状なんですね。この場で、今まで調査にご回答下さった方々に改めて、感謝の気持ちを表したく思います。

詳しく知りたい人のために：

大井 絃編、自由記述法による生活環境に関する地域住民の意識の調査と分析、国立環境研究所研究報告第132号(1994) (大井までご請求ください)

水界生態系に及ぼす化学物質の影響評価

島山 成久 (地域環境研究グループ化学物質生態影響評価研究チーム)

1. 緒言

国内の水環境は様々な化学物質によって汚染されているが、そのなかで生態系に最も広範囲に影響を及ぼしているのは農薬類であると考えられている。このような化学物質の複合的汚染状況とそれによる生態影響のメカニズムを明らかにすることは化学物質の影響から生態系を保護・保全するための施策に必要な不可欠な調査・研究である。そのためには、化学物質複合汚染のバイオモニタリングの手法による毒性評価とその原因物質の解明が必要である。次に生態系を構成する多種多様な生物の化学物質に対する感受性の種間差、及び生物間相互関係を介した化学物質の間接的な影響の評価なども重要である。本研究ではこれらの調査・研究に加え、農薬類の汚染負荷が高い河川の生物調査などを実施し、これらの総合的評価から化学物質による生態影響のメカニズムを明らかにしつつある。調査・研究はおおよそ下図のサブテーマに従って行われたが、今回はその中で主として河川生態系に及ぼす農薬類の影響評価に関して得られた結果について紹介する。

2. 調査・研究の概要

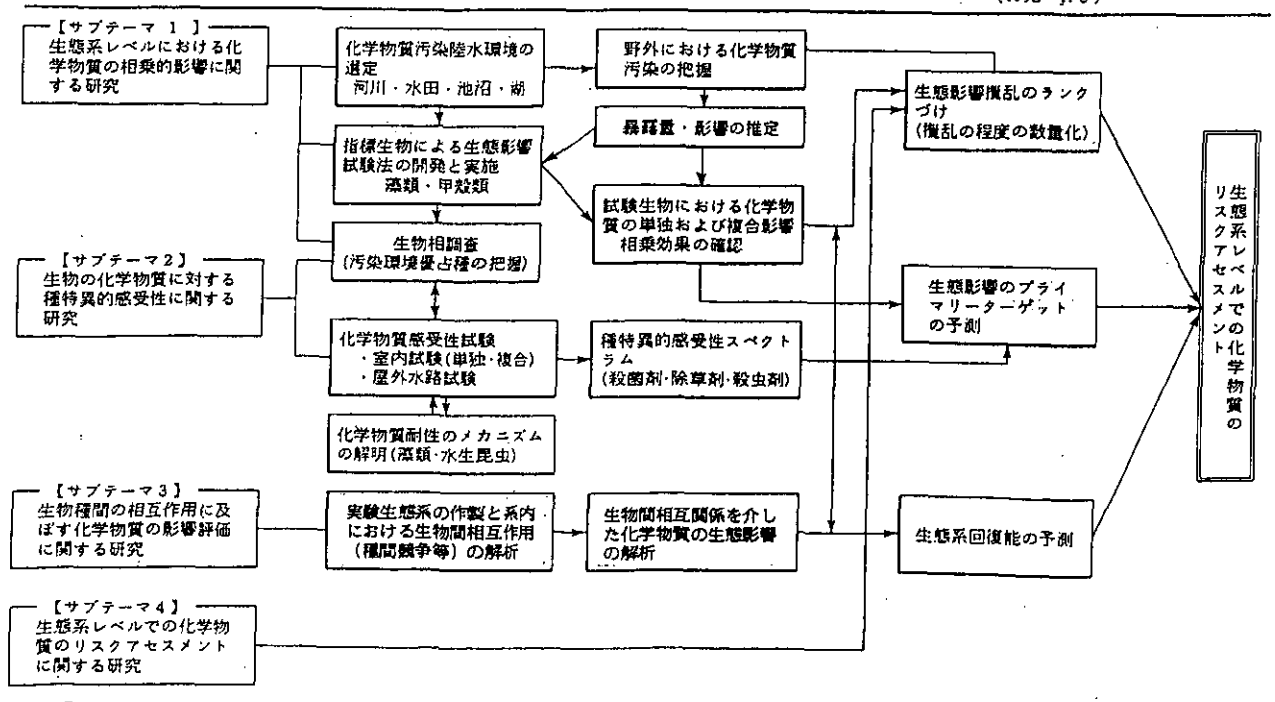
水界生態系を食物連鎖系の基本構造から見ると植物(付着藻類・植物プランクトン・水草)の光合成(1次生産)から始まり、それらの消費者(底生生物・甲殻類・動物プランクトンなど)、更に高次の消費者として魚類に連なり、魚類の一部は水鳥・人など地上の生物に消費される。除草剤は生態系の1次生産に影響する可能性がある。一方、殺虫剤に対する感受性は、水生昆虫、甲殻類、動物プランクトンなどが魚類よりも、1~3桁も高い(急性致死濃度として)。そのため現在では農薬類の汚染により、魚類が各地で死亡することは無くなったが、生態系の底辺から中間部を構成する様々な水生生物(魚類の餌となる)への影響を評価する必要がある。

2.1 河川の1次生産に及ぼす除草剤の影響評価

除草剤の複合汚染が河川の藻類生産に及ぼす影響を明らかにするため、数河川の河川水を定期的に採水し(4~8月、週3回)、除菌した後に規定の栄養塩類を添加し、その中で緑藻の1種セテナストルムを3日間培養し

水環境における化学物質の長期曝露による相乗的生態系影響に関する研究

(H元~H5)



た。セテナストルムの増殖は5月中旬をピークとして著しく(100%近く)阻害された。しかし、除草剤濃度が次第に減少する6月末にかけ、セテナストルムの増殖は徐々に回復する。各種除草剤の相加影響を算出するプログラムや拮抗的影響を評価する試験から、セテナストルムの増殖阻害は5月はブタクロールとプレチラクロールの相加的影響、6月はシメトリン単独の影響が主因で起こることが分かった。河川水中のセテナストルム増殖阻害率と各除草剤の増殖阻害率の積算値(SG-IP)の値は極めて類似のパターンで変動した。但し、セテナストルムの増殖阻害率には制限があり(-100%)、かつ除草剤間に拮抗的影響があるため、SG-IPの阻害率が常に大きく、5月中旬には-180%近い値を示した。藻類(多種類の分離株)のシメトリンに対する感受性の種間差を試験した結果、セテナストルムは感受性が高めであったが、同種よりも感受性が高い藻類株も見られた。そのため調査河川では河川の藻類生産も除草剤の影響を受ける事が予測された。河川水を水路に連続的に流し、藻類生産に係わる要因(光、流速・水深、藻類消費者としての水生生物の除去など)を一定にして、人工基物上(素焼タイル)に発生する付着藻類量を定期的に調べた。その結果、河川水中でセテナストルムの増殖がほぼ完全に阻害される時期には、基物上の藻類量に明らかな減少が認められ、河川の藻類生産も影響を受ける事が示された。春期は様々な水生生物の仔供が発生し生長するが、藻類はこれら生物の餌として重要である。農薬類による藻類(餌)の汚染の影響も評価する必要がある。

2. 2 底生生物に対する殺虫剤複合汚染の影響評価

淡水産ヌカエビを用い殺虫剤複合汚染の水生生物に対する影響評価を行った。河川水を定期的に採水し、生後4週間のヌカエビを河川水中に導入し、1~4, 7, 14日後に死亡率を記録する。一方、河川水中の各種殺虫剤濃度と各々の殺虫剤の用量(ppb)~反応(死亡率)の回帰式から、個々の殺虫剤による死亡率の積算値(相加的死亡率)を算出し、実際の死亡率と比較して、死亡の原因物質を推定した。相加的死亡率が実際の死亡率に不足の場合は、相乗的影響なども検討した。つくば市周辺の十数河川の河川水に付いて定期的に試験した結果、いずれの河川も農薬類の汚染によりヌカエビの死亡率が増大し、ヌカエビあるいはそれと同等の感受性を有する水生生物の安定した生息は不可能、あるいは極めて困難なレベル

の汚染であると考えられた(1989年調査)。その内、1河川(小貝川、全長110km)の下流部で1993年まで同様の試験を継続実施したが、ヌカエビ高死亡率の出現期間は減少の傾向を示している。しかし、いずれの年も6月初旬をピーク(4日後の死亡率、100%)として、その前後1週間程度の期間死亡率が顕著に増大する傾向を示した。その後8月にかけ殺虫剤・殺菌剤の空中散布に伴う河川への薬剤流入により、各年とも数回にわたりヌカエビの死亡率が増大したが、これらの多くはその直後の大雨などにより急速に減少した。ヌカエビ死亡率の原因物質は主として数種類の殺虫剤の単独、または相加的影響によるものであった。また、低濃度の有機燐系殺虫剤とカーバメイト系殺虫剤(BPMC; 数ppb)との相乗効果で河川水中の高死亡率が説明出来る場合も明らかにされた。ヌカエビは試験生物化され、バイオアッセイ試験生物としても優れた特性を有する。河川水サンプル中でのヌカエビ死亡率が農薬類複合汚染の水生生物または生態影響をどの程度反映するかについて以下に検討した。

2. 3 底生生物の殺虫剤感受性の種間差・系統間差

河川に生息する水生生物は、水の流れや物理的な環境(礫・砂等)に適応した体の構造を有している。従って、水生昆虫の多くは(カゲロウ、カワゲラ、トビケラなど)試験水を水路に流しながら毒性試験を行う必要がある。各種水生生物のスミチオン(有機燐系殺虫剤)に対する感受性の種間差を24時間半数致死濃度をして調べたがヌカエビの2ppb付近から、ヒラタカゲロウ類の数ppbをはじめとして、マダラカゲロウ類の50~100ppb、トビケラ類の数100ppb、と広範囲な種間差が示された。その中で農薬類に高度に汚染された河川に優占する数種類のユスリカの耐性系統は、上記の半数致死濃度が1000~5000ppbと著しい耐性を獲得し、それらの耐性機構に付いても2~3の異なった機構があることが明らかにされた。農薬汚染環境に優占するコガタシマトビケラもユスリカの耐性系統と同程度の薬剤耐性を示し、この種は体内に殺虫剤結合蛋白を有し、殺虫剤が標的部位に到達する前に捕捉して無毒化することが示された。農薬類汚染の顕著な河川の優占種は、ユスリカやトビケラなどの様に薬剤耐性種(または系統)か、薬剤耐性が低くともコカゲロウなどの様に成長速度や移動性(流下など)が大きいため回復能力が大きい種類で構成されている。したがって、このような生物で構成されている生態系(種類数

は少ない)は近年の農薬汚染レベルでは更に大きな生態影響を被る可能性は低いものと考えられる。

2. 4 農薬類複合汚染のカゲロウに及ぼす影響

水路に河川水を連続的に導入し、その中に設置したカゴにカゲロウの優占種(2種)を他の河川から採取して導入し、農薬類複合汚染の影響を調べた。これらの結果を河川水サンプル中でのヌカエビ死亡率の変動データと比較し、ヌカエビ試験の結果により、農薬類複合汚染が他の水生生物に対する影響を評価出来るかどうか(相関の有無)を検討した。エルモンヒラタカゲロウは国内の河川に広く優占し、この種が生息していれば河川環境はかなりまともであると見なされる。実験に用いたカゲロウは鬼怒川(宇都宮市郊外)から採取したが、その付近はシーズンになると鮎釣りで賑わう。石礫面の珪藻を昼間は鮎が、夜間(昼間は魚の捕食を避け、礫下に潜む)はカゲロウが食べ分ける。カゲロウを4月から8月にかけて、随時7回水路に導入したが、4月から6月にかけて農薬類の汚染状況と関連して、カゲロウの死亡率は20%から100%に増大し、その後8月にかけて30%台に減少した。特に6月上旬の顕著な死亡率増大はヌカエビの高死亡率時期と一致した。カゲロウの死亡率増大は河川水中の農薬類濃度の減少後も続き、農薬類で汚染された餌(付着藻類)を介した影響評価も必要であることを示唆した。一方、1月下旬に水路に導入したものは、水温が低く成長が遅いが着実に成長し春にそのほとんどが羽化した。この様に、春～夏期の農薬類汚染が顕著で、そこに生息出来るのはユスリカ、トビケラなど殺虫剤耐性が高い生物しか生息しない河川でも、農薬類の汚染時期から数カ月を経た冬季にはきれいな河川を指標するカゲロウでも水質的には生息可能な環境に戻っている。このことは、もし春～夏期の低濃度ながら様々な農薬類の汚染が今後繰り返されなかったら、様々な水生生物が徐々にではあるが進入し、生態系の回復も期待出来であろう。

2. 5 河川生物群集に及ぼす殺虫剤の影響評価

農薬類の負荷が高い数河川において様々な調査研究を行い、以下の事柄が分かった。空中散布などに伴って河川に流入する殺虫剤は短期間(半減期:数時間)で濃度は減少するが最高濃度はしばしば数十～数百ppbとなり底生生物群集を攪乱する(流下を受け、生息密度の低下など)。これらの農薬類のインパクトはヌカエビに対する

河川水の連続的バイオアッセイでもなり予期出来る可能性が高い。上流に生物群集(回復源)が存在すると、殺虫剤の負荷が減少～消失する秋から冬期にかけて流下(水生昆虫の多くは夜間に下流に移動)などにより下流域の生物群集にかなり不十分ながら回復の傾向が認められる。しかし、回復の傾向も翌年の農薬類の影響で再び妨げられる。過去の汚染により既に大きな生態影響を受けた河川では、春～夏期にかけての農薬類の汚染負荷は新たに生態系を更に破壊するというよりも、生態系の回復過程を妨げ続けている可能性が高い。空中散布される殺虫剤・殺菌剤は一時的にせよ急速・広範囲に水界を汚染し、生物群集を攪乱するため生態影響の観点からも好ましくない。また、水田からの農薬類流出も水の管理などにより、出来るだけ減少させる必要がある。

3. おわりに

環境中の化学物質の測定に関しては、昨年度大幅に追加された環境基準項目の測定義務や分析技術の進歩などに伴い、膨大なデータが集積されつつある。しかし、様々な化学物質の複合汚染によって環境生物、あるいは生態系が如何なる影響を被っているかの評価に関しては、分析化学者と生態毒性学者、生物学者などの密接な共同研究が必要であり、この面での調査・研究を今後強力に推進させる必要があるものと考えられる。化学物質複合汚染の生物・生態系に及ぼす影響評価にあたってはバイオモニタリングの手法により迅速・連続的にそれらの影響を評価し、その原因物質を数量的に明らかにする必要があるものと考えられる。

「生態影響を配慮した化学物質の環境基準策定」に関しては、生態系を構成する生物の感受性に著しい種間差があるため、個々の化学物質の濃度基準のみでは対応が不可能となる。化学物質複合汚染に対する指標生物のある反応レベルを基準とする事は、現実的な考えであるが、具体的な方法となると今後様々な試験法・評価法が検討されるであろう。当研究所でも今後数年間の研究課題として、化学物質の生態影響評価に有効で効率的なバイオモニタリング手法の開発に関し調査・研究を行うものとする。

都市大気汚染と光化学反応

若松 伸司 (地域環境研究グループ都市大気保全研究チーム)

1. はじめに

都市、及びその周辺地域におけるNO₂や光化学オキシダントは依然として大きな問題である。NO₂や光化学オキシダントはその大部分が二次生成大気汚染物質であるため、原因物質等の発生源の変化と環境濃度との関連性を正しく把握するためには炭化水素成分の発生量や気象条件等を含めた総合的な解析と評価が必要である。

フィールド観測データや、モデル計算結果を用いて都市域におけるNO₂及びオキシダントの動態と光化学反応との関連性を述べてみたい。

2. 春季におけるNO₂汚染と光化学反応

大都市地域におけるNO₂大気汚染の最近の特徴は、汚染地域の広域化である。例えば1985年度と1991年度を比較すると、東京湾岸地域においては埼玉県、千葉県の一部地域、大阪湾岸地域においては兵庫県の一部地域等に環境基準超過地域が拡大している。これら大都市地域におけるNO₂の主要な発生源は自動車であり、両地域における自動車数の増加が自動車単体規制の効果を打ち消しているものと考えられる。

季節的にはNO₂の高濃度は主に12月を中心とした冬季に発生するが、これとともに特に関西地域においては春季においても濃度が上昇する。冬季には夜間を中心に強い逆転層が形成されるため、一般風が弱い場合には長時間にわたり大気汚染物質が滞留、蓄積し高濃度となる。NO_xは発生源から排出されるときには約90%が一酸化窒素(NO)であり、環境大気中においてO₃やRO₂ラジカルにより酸化されNO₂へと変化するため、気象・拡散のメカニズムとともに光化学反応の寄与を評価することが重要である。昨年度の国立環境研究所研究発表会においては冬季のNO₂汚染における光化学反応の役割をフィールド観測結果の解析とモデルシミュレーションにより論じたが、1993年4月に関西地域において航空機等を用いた春季高濃度大気汚染の生成機構調査を実施したのでその結果の一部を述べる。

観測地域は大阪府、京都府、奈良県、兵庫県及び大阪湾。観測期間は1993年4月19日～4月26日で、この間、航空機観測2日間を含む集中観測を実施した。地上では、

大阪府公害監視センター(レーザーレーダー観測も実施)、大阪市扇町中学校(炭化水素成分の自動観測も実施)、生駒山、守口市役所(気象観測)、兵庫県西宮市役所(局所大気汚染分布観測を含む)においてSO₂、dust、NO/NO₂、O₃(O₃)、CH₄/NMHC、CO及び炭化水素成分、エアロゾル成分、降雨のサンプリングと測定、風向、風速、温度、湿度、日射量、UV量、放射収支、レーザーレーダーによる混合層、逆転層の観測等を実施した。上空観測は八尾空港を基地としてセスナ404を使用し、大阪府、兵庫県、京都府、奈良県及び大阪湾上空の東西約80km、南北約50kmの地域を4月20、21日に1日3回飛行した。観測項目はSO₂、NO/NO₂、O₃、CO、小粒子、粒径分布、CH₄/NMHC、炭化水素成分、エアロゾル成分、ガス状物質成分。気象要素としては気温、湿度、気圧、紫外線強度、放射温度の自動測定を行った。またパイロットバルーン(西宮市役所、大阪市此花区役所、守口市役所)、低層ゾンデ(守口市役所)による地上3000mまでの風向、風速、気温、湿度の観測も行った。

観測期間前半の19日から21日にかけては関西地域は移動性高気圧に覆われ最高気温は25℃以上となりガス状物質とエアロゾルがともに高濃度となった。22日には早朝から日中にかけて降雨が認められた。春季における大気汚染物質の立体分布観測は我国においてはあまり例が無いが、今回の観測においては春季においても気象条件によっては100ppbを越える高濃度の光化学O₃が出現しこれとともにNO₂濃度やエアロゾル濃度も上昇することがわかった。地域的には大阪平野の東部地域で高濃度のO₃が認められ、特に生駒山地と金剛山地の境界の谷沿地域の上空300～600mの間に120ppb以上のO₃が観測された。生駒山山頂(600m)においては午後から深夜にかけて80～100ppbのO₃が認められ、4月21日の午後には120ppbの最高値が出現した。また4月19日の午後6時頃には60ppb以上のNO₂濃度が山頂において認められた。航空機による垂直分布観測結果によれば、高濃度の光化学O₃層は2400mにまで達しており、(4/20, 12:00～14:00)この高度は夏季における関東地域の高濃度出現高度よりもかなり高いことが特徴的であった。レーザーレーダーによるエ

アロゾルの観測や低層ゾンデによる温度の観測結果からも、日中における混合層高度が2000m以上にまで発達することがわかった。

この様な結果から明らかな様にNO₂とO₃はそれぞれの季節における反応と拡散の程度に応じて濃度が規定されていることがわかる。春季においては冬季よりもO₃の濃度が增大するためにNO_xの中に占めるNO₂の割合は増加するが、NO₂の光分解は夏季より小さいために、NO₂濃度は夏季のように低下しない。

3. 光化学オキシダントの地域分布の特徴

光化学オキシダントの原因物質はNO_xと炭化水素(NMHC)であるが、NO_xは増加傾向、NMHCは横ばいないしは若干減少の傾向にある。国設大気測定網・環境大気測定所のデータによると、東京、川崎、大阪、尼崎における大気汚染の経年変化は、年度ごとのばらつきはあるものの、ほぼ同一の傾向を示している。特徴的なことは、1976年から1983年度頃まではNO_xとNMHCの濃度はほぼ同様に減少傾向であったのに対して、1983年頃からNO_x濃度が上昇傾向にあることである。これに伴ってNMHC/NO_xの比率が、最近の数年間にわたって減少しつつある。

このようなNO_x、NMHCの比率の変化、NO_xの増加、汚染地域の拡大等は、光化学O₃生成機構にも変化を及ぼすと考えられる。1992年度における光化学オキシダント注意報等の発令日数は全国で延べ164日あり、このうち128日が関東地域で、都県別に見ると茨城(14日)、栃木(19日)、群馬(9日)、埼玉(19日)、千葉(19日)、東京(14日)、神奈川(14日)、山梨(20日)となっていた。山梨、栃木などの首都圏周辺地域における光化学O₃の上昇が特徴的である。同様の傾向は大阪地域においても見られ、京都、滋賀での光化学オキシダント注意報等の発令が増加している。

このことをより定量的に明らかにするために関東地域を対象としてモデルを用いた解析を行った。利用したモデルは米国EPAが開発したUAMモデルを基本としている。光化学大気汚染は気象条件と密接な関係があるため混合層高度や三次元気流場はラジオゾンデやパイロットバルーンによって観測された実測データを用いて設定した。計算領域は関東地方の南北約170km、東西約180kmの範囲でメッシュサイズは約6km、垂直方向は100mごとに20層に分割している。初期条件、境界条件等は実測データを

もとに設定し、2日間にわたり計算を行い、2日目の濃度分布を解析の対象とした。実発生源データを用いて計算された結果を大気汚染観測データと比較したところ良好な一致がみられた。

このモデルを用いて関東地方において高濃度の光化学大気汚染が出現する典型的な気象条件下でのO₃濃度の地域分布、時刻変化と大気汚染発生源との関連性を解析した。発生源データは1980年代初期のものをベースとし、各種のNO_xとNMHCの発生源強度の組み合わせに対してこの地域におけるO₃の出現の特徴を調べた。NO_xとNMHCの環境濃度レベルの変化をもとに、これと対応させて発生源強度を変化させ前述の1983年頃からの傾向を再現した計算結果によればこの地域におけるO₃濃度の日最高値には大きな変化が見られなかったが、最高O₃出現時刻が2時間程度遅れることがわかった。

NO_x、NMHCともに発生源は東京湾沿岸地域及び都心地域に集中しているため、海風によって大気汚染物質が内陸地域に移動しつつ光化学オゾンが出来ると考えれば、最高O₃出現時刻の遅れは、最高O₃発源地域が内陸に移動することに相当する。この計算結果は常時監視データにより示されたO₃高濃度出現地域の経年変化の特徴と一致する。このことは、常時監視データの解析で得られたNO_x濃度の増加とNMHC濃度の減少が発生源強度の変化を反映しているものと考えられることの妥当性を示している。以上の理由により大都市地域においては光化学大気汚染が広域化している。

4. おわりに

都市大気汚染の現れ方が変わりつつある。この変化が具体的にどのような発生源の変化に対応しているのかを明らかにすること、中でも自動車からの発生源の質的、量的変化、及び面的な広がり度を把握することが都市域における大気質の改善シナリオを考える上で極めて重要である。大気汚染物質では特にNMHCに関しては発生源や組成に関しての経年変化や地域分布を明らかにすることが必要である。また都市の構造変化や都市域における環境負荷の変化が都市の大気環境にどのような影響を及ぼしているのかを大気環境全般にわたり検討、評価して行くことが今後の課題である。

湿原の環境と生物群集の成り立ち—高層・低層湿原を例として

岩熊 敏夫(生物圏環境部)

1. はじめに

湿原・湿地は多様な環境を形成し、多様な生物の生息の場となっている。現在国際的には、湿原(mire)は日本でいう高層・低層湿原などの泥炭地と、スワンプ(swamp)という沼沢地までを含むものと考えられている。これに対し湿地(wetland)は湿原より広い意味を持つ。ラムサール条約では河川、干潟、湖沼、水田までが、水鳥の生息地として重要な「湿地」に含まれている。世界的に見ると泥炭地は、北緯50°から70°までの地域にほとんどが分布している。この泥炭地は主にミズゴケの堆積したものである。この分布域よりも南の日本では、泥炭地の面積は国土の0.5%以下と見積もられており、国土面積の10%以上を泥炭地が占める北欧やカナダに比べ、希少な景観を呈し、保全の対象になっている。現在、生物の生息場所としての湿原の重要性やそこでの生物多様性の保護は国際的な関心事となっているが、湿原の持つ環境保全機能についても注目を集めている。

このような背景から、特別研究「湿原の環境変化に伴う生物群集の変遷と生態系の安定化維持機構に関する研究」が平成3年度より開始された。この特別研究の目的は湿原生態系の特性と生物群集の変動特性を把握し、湿原の保全に資する知見を蓄積することにある。福島県の宮床(みやとこ)湿原、赤井谷地(あかいやち)湿原、北海道の釧路湿原などで調査を行っているが、ここでは宮床湿原における調査研究から、主に湿原生態系の構造について紹介する。

2. 宮床湿原の概要

尾瀬が原の北側の福島県南会津地方には、数haから数十haの小規模の湿原が点在している。このうち宮床湿原は、只見川水系の鹿水(かなみず)川支流の谷頭部、標高約850mに発達した湿原である。伝上山(標高999.5m)とその南側の山(標高904m)に挟まれた地域を集水域(湿原を含めて約54ha)としている。1975年にはこの集水域を含む地域が、福島県の自然環境保全地域に指定された。湿原中央には1976年に敷設された幅40cmの木道が縦貫し、外周にも遊歩道が整備されている。

この湿原は全面がミズゴケ類で覆われ、低湿部にはヨシが生育しているため、景観上は高層湿原と低層湿

原の複合したものと分類される。しかしながら本来湿原は、その涵養源が降水なのか河川なのかにより高層と低層に分類されるべきであり、それが植生に大きく影響を及ぼしている。その意味で水系の解明は湿原の特性把握に欠かすことができない。

私達はまず湿原周囲も含めた地形測量を行い地形図を作成した。宮床湿原は北西から南東に向かって長さ約400mで、北から南に傾斜して約2.5mの高度差がある。面積は約6haである。湿原周縁からは、湧水を起源とする水路が3本流入している。このうち小清水湧水を起源とする水路は、江戸時代に水田灌漑の目的で人為的に掘削されたもので、等高線にほぼ平行して湿原の北西側を横切っている。同じく小清水湧水を出発点とし、斜面を南に下りながら湿原を横断する水路があり、湿原の縁を回って最終的に鹿水川に流出する。かつてはこの水路が小清水からの本流であったと考えられる。大清水湧水を起源とする水路は、水量が多く、標高の低い湿原の南東部を灌養し、池を形成し、湿原南から流出し鹿水川に合流する。これとは別に、湿原東南部の斜面には大小の池があり、融雪時や降水時には連続したもう1本の水路となる(図1参照)。

3. 湿原の気象・水文

3.1 湿原の気象条件

湿原内の気象条件については、意外にその詳細が知られていない。宮床湿原中央部にロボット気象観測装置を設置して、気温・湿度・風向・風速・日射量・雨量・地温・積雪量の観測を行った。また連続写真装置で1日ごとの湿原の景観や積雪深標を写し込んだ。降雪は11月から4月の間みられ、1992年の最大積雪深は2月に164cmで、これは標高540mのアメダス観測点(南郷観測点)における同日の記録の70cmの2倍以上であった。地表のミズゴケ層内の日記温度計の記録では、積雪期間の4カ月間はずっと0°Cのまま、雪解け直後に温度は7°Cまで急激に上昇していた。その日の最高気温は20°Cであった。冬季間は積雪下では湿原の土壌、生物は凍結することはない。また雪に覆われる期間もアメダス観測点の記録よりもはるかに長い。

3.2 湿原の水

先端が地表面から0.5m、1.5m、2.5mの深さになるよ

うに観測井戸を5カ所に設置し、地下水位及び水質の測定を行った。一般に浅い地下水ほど地下水位は高く、水は鉛直下向きに動いていたが、高度の低い東南端の観測井戸では、浅い部分では鉛直上向き、すなわち湧き出しになることを示唆していた。異なる深さの井戸を設置することで地下水の流動に関する情報が付加される。

この湿原には山裾の湧水を起源とする水路が2本、湿原内に水源をもつ水路が1本、合計3本の水路が湿原を横断している。水質、特にアンモニア態窒素濃度とケイ酸塩濃度は地下水と水路・池とで大きく異なった。深層の地下水で最も高い値を示し、水路の流下方向に沿ってこれらの濃度が低下していたことから、湿原内の地下水が水路に流入している可能性が少ないことを示唆していた。湧水のアンモニア態窒素濃度は $40\mu\text{g l}^{-1}$ 以下と貧栄養ではある(図1)。

湧水部では水温の変動は小さく、年間で $7.5\sim 11.1^{\circ}\text{C}$ の間であった。一方湿原内では、地点間での水温の違いが大きかった。浅い水路では、夏季に 30°C を越え、冬季にはほぼ 0°C に下がった。pHは湧水部でも5.4から6.7の間の年変動がみられた。湿原の中で流量の少ない水路では冬季に4.1から4.5まで低下したが、これらの値を除外すると、湿原内の地点におけるpHは4.9から7.0の間を変動していた。これまでに報告されている降水涵養型の湿原池水のpHはおおむね3~5である。またpH4.8を境に泥炭地を降水涵養型(bog)と流水涵養型(fen)に分けることも提唱されている。宮床湿原の開水面は、いずれも湧水を起源とした水系に属しているという意味では、流水涵養型であり、pHも4.9より低い値を示すことは少なかった。しかし季節により低いpHを示し、泥炭からの浸出が考えられた。

湧水水質については、大清水と小清水ともによく似ており、同じ水塊からの流出と考えられる。また、地下水質と同様に硝酸態窒素がほとんど含まれていないことが大きな特徴である。小清水については流下方向に大きな変動はなく、湿原からの流出は認められない。一方、大清水についても大きな変化は認められなかったが、途中の池や流出地点で重炭酸濃度や(Na+K)濃度に減少が認められた。特に、重炭酸濃度の減少は滞留時間の短い降雨などの流出に影響されていることを示していた。

4. 湿原の生物

4.1 湿原の植生

宮床湿原集水域の植生はコナラ、ミズナラ、ホオノキ、ハンノキなどの二次林植生になっており、湿原周辺の林地は古くから人間により管理されていたと考えられた。湿原内はチャミズゴケ、ムラサキミズゴケ、オオミズゴケ、イボミズゴケなどのミズゴケ類が覆い、湿原の周縁部にはハイイヌツゲが密生している。湿原東南部斜面の池塘群にはミツガシワ、ヒツジグサ、ヨシなどの水生植物が生育している。湿原の泥炭はミズゴケ遺体起源でその厚さは5mである。ミズゴケ以外では、ハイイヌツゲ、タテヤマリンドウ、ワタスゲ等は全域に分布していた。ゼンテイカ、ヤマドリゼンマイは標高のより高い地域に、ヨシは傾斜地から標高の低い地域にかけて分布していた。

4.2 湿原の微地形と微環境の測定

高層湿原にはハンモックと呼ばれる小凸地とホローと呼ばれる小凹地とが数mのピッチで繰り返す特有の微地形を形成している。この微地形の環境測定と凹凸構造の解析を行った。宮床湿原の凹地、凸地の地温、土壌の乾燥状態(毛管ポテンシャル、負圧)と日射量を連続に測定した。凸地より凹地の方が地温は高く、ピークの時刻が遅くなった。夏季に毛管ポテンシャルは増加していき徐々に乾燥していくが、降雨後に低下していった。凹地の日変化は大きく日中にピークが見られたのに対して、凸地は日変化が小さく夜中にピークが見られた。凹地は湿潤・乾燥の変化が大きく、雨が少ない時には水が抜けやすい場所であることが分かった。このことは土壌硬度の測定からも示された。このことより、凹地のミズゴケが成長して新たな凸地を形成し凸地が交互に形成される、という一般に言われている湿原の微地形形成過程からは説明がつかない。むしろ凹地と凸地ではミズゴケの種に違いが見られており、ムラサキミズゴケ、イボミズゴケ、チャミズゴケは凸地形部に、ハリミズゴケは凹地形部に分布していた。ミズゴケの種の違いが微地形形成に関係しているかを今後調べる必要がある。一方、ヌマガヤ、ワタスゲ、コバギボウシ、ミカズキグサ、モウセンゴケであった。これらは凹凸の微地形に関係なく分布していた。

4.3 生物季節

連続撮影の簡易システムを用いて、植物の季節変化、水位、積雪等の記録を行った。この装置では最長80日分の定時撮影が可能である。池のミツガシワの花期は5月下旬から20日間と短く、結実期は6~7月の50日間で、

種子が成熟して散布されるまで約45日を要した。ヒツジグサの花期は2カ月を越え、1991年は6月中旬～7月始めであったが、1992年は6月末～8月で、花期が年によって異なっていた(図2)。ザゼンソウやミズバショウでは種子が成熟する前の6月に動物に食べられ消失することが分かった。

4.4 湿原生物の多様性

宮床湿原の高等植物はミズゴケ類7種、維管束植物が67種、計74種類が確認された。周辺の林内では180種以上の植物種が確認されていることから、種数だけで見れば、湿原内に樹木が侵入することは植物の種類数を増やすことに他ならない。湿原植物の多様性を考える上では、ミズゴケ類やワタスゲ、ミズギク等あくまで湿原特有の種類に着目していく必要がある。

宮床湿原の池2ヶ所における底生藻類は、珪藻類、鼓藻類を主要グループとして93種類及び67種類出現した。藻類の多様度は、池塘により、季節により変動した。池間における藻類の多様性の差異がいかなる環境因子と関連しているかは、現在解析中である。

水路、池、湧水等からユスリカ科昆虫の採集を行った結果、4亜科38種類が分類された。このうちカユスリカ亜科が13種類と多いことと、このグループに属する種類は地点間で共通種の少ないことが特色であった。宮床湿原に出現したユスリカ類は、貧栄養水域から富栄養湖水域に出現する種類が混在していた。

従来湿原の藻類やユスリカ類は報告が少なく、既知の種類も非常に少なかった。湿原がこれらの微小な生物にとって多様な環境を提供していることが明らかにされた。

5. おわりに

江戸時代には宮床湿原北東部の湧水が灌漑用に利用されていた。また周囲の森林は里山の樹種がほとんどを占め、この地域が昔から人々に利用されてきたことを物語っている。この20年余りの間には湿原内の木道敷設、伝上山北西斜面のスキー場開設、林道整備など湿原内外の環境は大きく変化した。しかしながら生物・環境の季節変動が注意深く把握されていない限り、異なる年の生態系の比較は難しい。湿原の研究では周年にわたる綿密な調査が必要とされる。

今後は開発等の影響のある他の湿原でも調査を行い、水系及び湿原生態系の変化を様々なレベルで比較する予定である。これらの環境変化に対する生物の適応性、

生物群集の変動要因及び生態系の安定化維持機構に関する基礎的なデータを蓄積していきたい。今回触れる時間の少なかった湿原生態系の機能については改めて報告するつもりである。

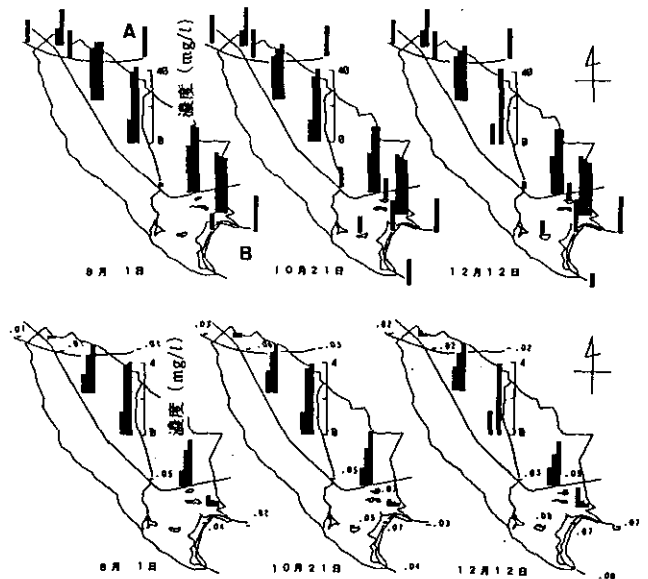


図1 宮床湿原の地下水、湧水、水路及び池の水質
上段：ケイ酸塩濃度、下段：アンモニア態窒素濃度。隣接する棒は、左から0.5m、1.5m、2.5mの深さの井戸の地下水質を表す。A：小清水湧水、B：大清水湧水。

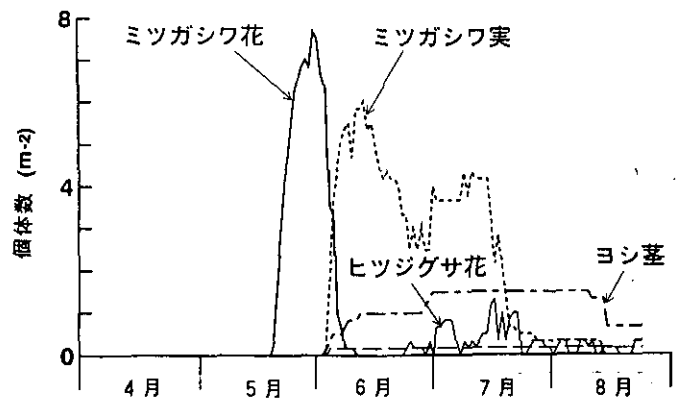


図2 宮床湿原の池の植物密度の季節変化
毎日連続して撮影された写真をもとに、6 m²の面積内の開花・結実個体数から計算したものの。

霞ヶ浦の研究 20年

相崎 守弘 (水圏環境部)

1. 霞ヶ浦の研究の歴史

霞ヶ浦に関連する文献目録を作成した(相崎、1993)。総数で1082編、一番古い文献は1894年の文献であった。図1に論文数の経年変化を示す。1950年以前には69編、1951年から1959年までの総数は84編であった。霞ヶ浦の水質環境変化は1963年の常陸川水門の完成以後約10年間で最も激しかったが、その時期に発表された論文は、図から明らかなごとく毎年10編程度で、1968年にはわずか4編しか見つからなかった。この時期の記録が残されなかったことは、霞ヶ浦の研究史にとって大きなマイナスである。

1973年を境に霞ヶ浦に関する論文数は増加し、1981年には119編の論文が報告されている。その後、1980年代は50から90編の論文が発表され霞ヶ浦に関して充実した研究が行われた年代であった。しかしながら、1990年代にはいと論文数は急激に減少し、1992年には未収録の論文がかなり残されていると思われるが、わずか30編にまでに減っている。

国立環境研究所(改組以前は国立公害研究所)の研究者による論文数の変化を図1に合わせて示した。国立公害研究所では霞ヶ浦に関する研究は1976年に所内プロジェクトとして開始され、その後1977年からは湖沼の富栄

養化に関する特別研究として6年間継続した。さらにこの特別研究は自然浄化に関する特別研究、環境容量に関する特別研究へと引き継がれ、現在は湖沼環境指標等に関する特別研究に引き継がれている。富栄養化に関するプロジェクトの時期が、国立公害研究所として霞ヶ浦の研究に最も力を入った時代である。湖内や流域の多方面にわたる研究が行われ、約40名の研究者がこのプロジェクトに関与した。このような研究の反映として特別研究が終了する直前の1981年には国立公害研究所関連の論文数だけでも79編が発表されており、充実した研究が行われたことを示している。その後、1980年代は30から50編程度の論文が発表されており、全体の論文数の半分以上を国立環境研究所が担っていたことが分かる。霞ヶ浦に関係する研究にとって1990年に行われた国立公害研究所から国立環境研究所への改組は大きな痛手であった。新たに地球環境分野への研究が広がり、研究が多様化したため湖沼研究に従事できる人員が減少し、総合的なプロジェクトが組めない状況になった。そのため、1992年には国立環境研究所からの発表論文数は15編にまで減少し、全体の論文数も大きく減少することとなった。

発表論文の傾向を見ると、1960年以前は漁業に関連した文献が多い。1960年代は霞ヶ浦の総合開発に関連した文献が多く見られた。1973年以後霞ヶ浦に関する研究が増加したが、これは茨城大学農学部による流域からの負荷流出に関する精力的な研究によるところが多い。国立公害研究所では、創立直後から研究所の最初の学際的な総合プロジェクト研究として霞ヶ浦を主たる対象とした研究を開始した。その背景としては湖沼の富栄養化の問題は単に自然科学的な対象だけでなく社会科学的対象も加味した総合的研究を行わない限り解決策が見いだされてこないとの判断があった。その反映として、1980年代には多くの論文が発表された。内容的には流域に関する文献や社会環境に関する文献も多く見られたが、湖内の物質や生物の動態に関する文献が最も多かった。1980年代の文部省科学研究費による霞ヶ浦の地域研究や、地域環境要因としての地下水の研究も文献数の増加に大きく寄与していた。

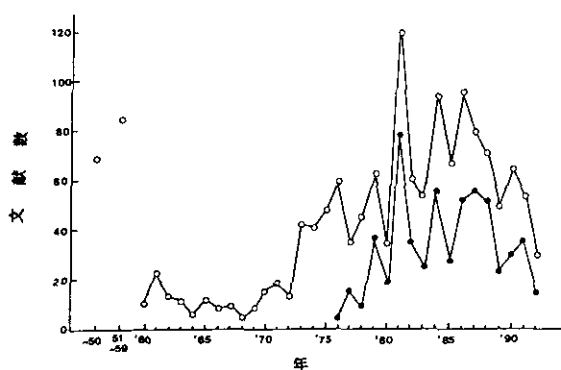


図1 霞ヶ浦に関する文献数の経年変化。
(○) 総数；(●) 国立環境研究所関連

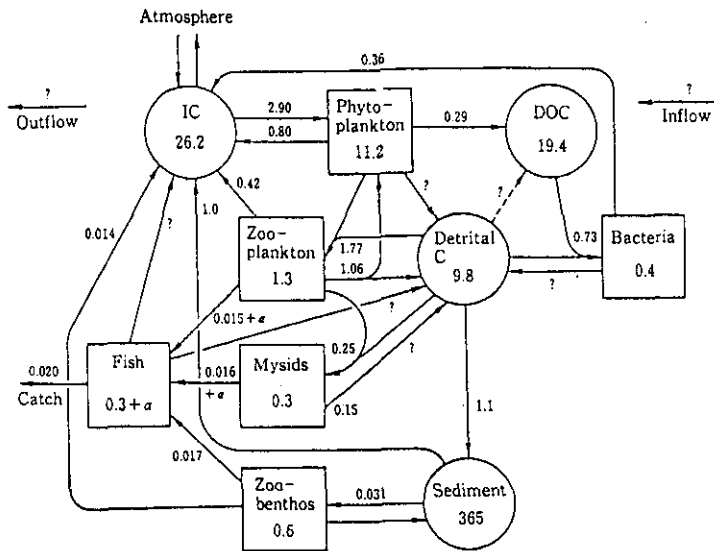


図2 霞ヶ浦高浜入中央部における1980年代始め頃の夏期の炭素の循環図。

単位：現存量（枠内）、 gC m^{-2} ； 移行速度（矢印）、 $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$

2. 霞ヶ浦の物質循環及び生態系構造に関する研究

国立公害研究所の精力的な研究によって得た大きな成果の1つとして、1980年代初期における霞ヶ浦の生態系の構造と物質循環機構の解明を挙げることが出来る。当時の霞ヶ浦はマイクロステイスを中心としたアオコが夏期には毎年発生しており、マイクロステイスを中心とした安定した生態系と物質循環系が存在していた。研究は高浜入りを中心に展開され、週に1度以上の頻度で調査が行われた。生態系で特徴的なことは夏期と冬期で生態系の構造がかなり異なっていたことである。夏期はマイクロステイスを中心とするらん藻類が植物プランクトンのほとんどを占め、動物プランクトンはゾウミジンコやオナガミジンコが存在していた。またそれらを食べるテナガエビやハゼも多く存在していた。冬期は水中にほとんど動物プランクトンが計測されず、かわりにイサザアミやユスリカの幼虫が多く存在した。すなわち、腐食食物連鎖網がきれいに出来上がっていた。アオコは夏期に増殖し秋期になると沈殿して泥の上に堆積する。ちょう

どそのころアカムシユスリカが羽化し、沢山の子供を生んで、堆積したアオコをエサとして消費してしまう。それらをエサとしてイサザアミが大量に存在していた。イサザアミは動物プランクトンも捕食してしまうことから冬期の水中には動物プランクトンはほとんど見られず、かなりの量の珪藻類や鞭毛藻類が優占していた。水温が上昇するとテナガエビやハゼが増えてイサザアミと入れ替わり、アカムシユスリカは泥深くで夏眠するというような生態系が形成されていた。その当時の夏期の高浜入りに関する炭素の循環図を図2に示す。物質循環での動物プランクトンやデトリタスと呼ばれる生き物以外の有機性の懸濁物の役割の大きさが明らかにされた。

3. 霞ヶ浦における最近の水質変化

図3に霞ヶ浦湖心での透明度の経年変化を示す。図から明らかのように、1984年を境として冬期に透明度が異常に高くなっていることが分かる。これは、冬期に大型の動物プランクトン（カブトミジンコ）が異常増殖するよ

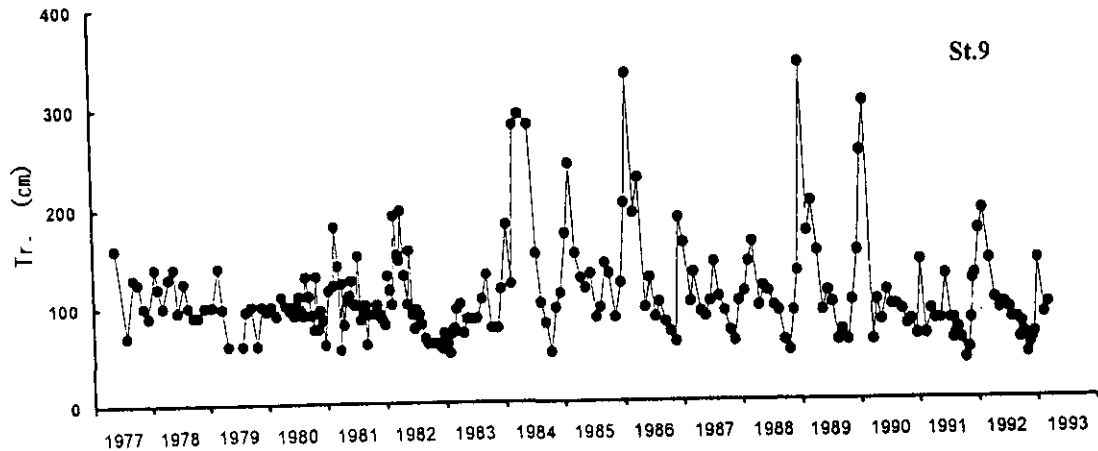


図3 霞ヶ浦湖心における透明度の経年変化

うになり、植物プランクトンを消費して透明度を高めていたためである。動物プランクトンが冬期に異常に増えだした理由は、捕食者であったイサザアミが減少したためと考えられている。イサザアミは汽水性の生物で、海水が多少混ざったような水域でないと生息できない。

1974年に常陸川水門を完全に締め切り、海水が遡上してこないようになってからは霞ヶ浦の塩分濃度は確実に低下してきており、大雨が降るとイサザアミが生息できないような環境にまで変化してきている。1984年以降はイサザアミの現存量が大きく変動しており、その影響で透明度が大きく変化するようになった。しかし、1990年代になるとイサザアミがあまり増えていないのに動物プランクトンも増えず、透明度が余り上昇しないという現象が続いている。その原因は明らかでないが、ブラックバス、ブルーギル、ペヘレイといった外来性の捕食者の影

響が1つの原因として考えられている。また、1986年以降、夏期のマイクロステイスのアオコが減少し、糸状のらん藻類であるオシラトリア、フォルミディウム、ラフィディオプシスなどが増えてきていることも要因の1つとして考えられる。1992年は秋期から冬期にかけてラフィディオプシスが異常増殖し透明度の上昇は全く見られなかった。なぜマイクロステイスが減少し、糸状のらん藻が増えてきたのかは未解明の状態である。

このように、最近の霞ヶ浦は激しい速度で変化しており、その変化を正確に追跡し、原因を解明してゆかなければならない時期であるといえる。しかしながら、文献数の変化からも分かるようにこのような調査を担える調査研究機関が存在しなくなってしまった。最後に、このような状況に対して多方面の方々の熟慮をお願いしたい。

スギ花粉症増加と大気環境

小林 隆弘 (環境健康部生体機能研究室)

1. はじめに

スギ花粉症は20年ほど前から増加し始め、その後急増したためスギ花粉の飛散時期には社会的に強い関心が寄せられるようになってきた。毎年、2月の中旬あたりから4月にかけてスギ花粉の飛散状況が花粉情報として報道される。大田区と秋川市などの多くの調査結果を概観すると、スギ花粉に対する抗体があるという反応が出る人は3~7人に1人の割合(感作率)、また、花粉症の症状が出る人は10~20人に1人の割合(有病率)に達すると推定されている。

そこで、このスギ花粉症の増加と大気環境との関係について、これまでの知見を概観し、実験動物を用いる研究の立場から、どのような考え方で検討を進めているか、これまでに明らかになってきたこと、およびこれからの研究として必要な点に関して述べる。

2. 大気環境とスギ花粉症増加の原因に関するこれまでの知見

2.1. 飛散花粉数の増加

スギ花粉症増加の原因として、スギ花粉が大量に飛散するようになった頃からスギ花粉症が増加したことや、スギ花粉症の初発症者数がスギ花粉数が多い年は多く、少ない年は少ないといったように連動していることから、スギ花粉の飛散数が増加したことが最大の要因として挙げられる。スギ花粉数の増加の要因としては、これまで森林資源確保のためスギやヒノキの人工林の造成を行ってきたこと、林業の収益性の低下、外材の輸入拡大などに伴いスギの伐採が行われなくなってきたことから、花粉の飛散を行う林齢(30年前後以上)のスギ林の面積が増加しているためと考えられる。

2.2. 大気汚染との関係

一方、人間の活動により放出される大気汚染物質がスギ花粉症を増加させる原因となる可能性が小泉ら(1986)の調査により示唆されている。日光地区で1974年より花粉症の調査を行い、いろは坂の車の通行台数の増加とスギ花粉症の頻度の増加との間に相関があることが示された。ついで、スギ花粉数がほぼ同じ日光杉並木沿いと小来川を比較した場合、交通量の多い日光杉並木沿いの方が交通量の少ない山間部の小来川よりもスギ花粉症の頻度が高い傾向が認められた。このことは花粉飛散数が高

じ場合、大気汚染がある地区の方が花粉症の発症率が高くなる可能性を示唆していると考えられる。

また、東京都花粉症対策検討委員会の調査では、花粉飛散数の多い多摩地区の秋川市と少ない大田区におけるスギ花粉症の有病率を比較すると、都市部の大田区の方が高く、また、秋川市に比べ若年層に有病率が高い傾向が見いだされた。これらの調査は、大気汚染物質はスギ花粉症の有病率を増加させる可能性を示唆している。今後、大気汚染物質の濃度、花粉数、抗体価の測定、症状調査、問診などを同時に行う詳細な疫学調査が必要と考えられる。

3. 実験動物を用いた大気汚染が花粉症様病態に及ぼす影響に関する研究

3.1. 検討すべき指標

疫学調査の結果を踏まえ、動物実験の立場からも、大気汚染物質により花粉症様病態が起きやすくなるか以下の点について検討する必要がある。1)花粉症様病態は抗原である花粉と花粉に対する抗体があるときに起きるものであるから大気汚染物質により抗体産生が亢進し抗体価が上昇するかどうか、2)大気汚染物質が鼻粘膜を過敏にし、抗原抗体反応でヒスタミン等のケミカルメディエーターが放出された場合症状が強くなるかどうか、の検討である。1)については、 NO_2 、 O_3 、 SO_2 といったガス状の大気汚染物質を動物に暴露した場合、いずれに関しても抗体産生能が増加するという報告がある。また、逆に減少するという報告もある。大気汚染物質の暴露濃度や暴露期間の違い、あるいは抗原量の違いが抗体産生に影響をおよぼし相反する結果につながったものと考えられるため今後系統だった検討が必要と考えられる。一方、粒子状物質のなかで割合の多いディーゼル排出粒子(DEP)が抗体産生におよぼす影響についても検討が行われている。Muranakaら(1986)およびTakafujiら(1987)は抗原をDEPとともにマウスに経鼻投与または腹腔内投与した場合、抗原のみを投与したときより花粉に対するIgE抗体価が増加することを報告した。このことは、DEPが花粉症のもとになる抗体の産生を増加させる作用(アジュバント作用)をもつことを示している。

2) に関しての実験的検討はこれまで全くなされていなかった。そこで、DEPを取り上げ、DEPの鼻腔内投与が鼻粘膜を過敏にするかどうかを以下の3点について検討

した。

- 1) DEP自身が花粉症様の症状を起こすかどうか
- 2) DEPがアレルギー反応時に放出されるヒスタミンにより誘発される花粉症様症状を亢進するかどうか
- 3) DEPが鼻粘膜におよぼす影響の機構

花粉症様の症状としては、鼻づまり(鼻閉)、鼻水(鼻汁の分泌)、くしゃみを取り上げた。また、影響機構の解析は鼻閉および鼻汁の分泌に関しては血管透過性、くしゃみに関しては知覚神経を介した誘発の観点から検討した。

高濃度の点鼻あるいは鼻腔内投与によって1)および2)の影響を持つ可能性があることを確認する必要があることから、まず高濃度の点鼻あるいは鼻腔内投与から検討した。

3.2. 花粉症様病態の測定

鼻閉、鼻汁の分泌およびくしゃみを鼻腔内圧(図1)、鼻孔外へ分泌された鼻汁量、呼吸パターンと音声を指標に測定する系を作成した。アレルギー反応のときに放出され、鼻閉、鼻汁の放出およびくしゃみを起こすことが知られているヒスタミンを吸入あるいは鼻腔内に投与すると濃度に依存した鼻閉、鼻汁の放出およびくしゃみの増加が捕らえられることが確認された。

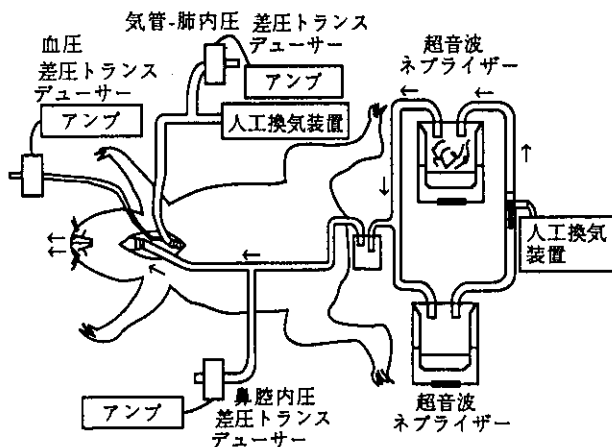


図1 鼻腔内圧の測定法

3.3. DEP自身が鼻閉およびくしゃみを起こす

DEP自身が花粉症の症状である鼻閉およびくしゃみをおこすかどうかについて検討した。DEPを鼻腔内に投与し30分間作用させた後の鼻腔内圧は10および20mg/kgのDEPの投与では投与量に依存して鼻腔内圧が増加し鼻閉

が起きていることが見いだされた。また、DEPの鼻腔内投与後20分間のくしゃみの回数はDEPの投与量に依存して増加することが見いだされた(図2)。

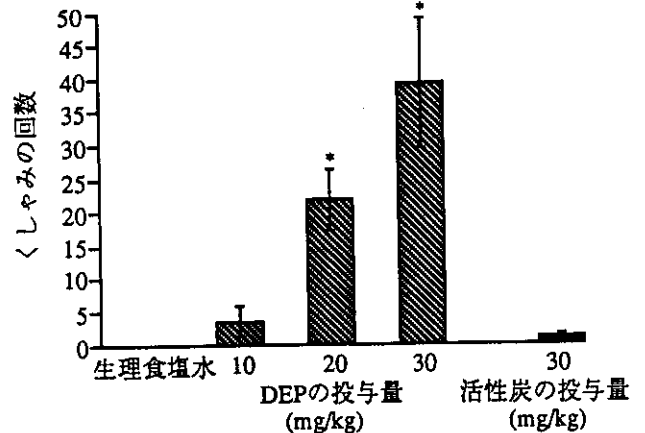


図2 ディーゼル排出粒子がくしゃみの誘発におよぼす影響 (n=4, 平均値±標準誤差, *:p<0.05)

3.4. DEPがヒスタミンの鼻閉、鼻汁の放出を起こす作用を亢進する

DEPが、アレルギー反応のときに放出され鼻閉、鼻汁の放出およびくしゃみを起こすことが知られているヒスタミンの作用を亢進するかどうか検討した。DEPを鼻腔内投与後、1.0mMヒスタミンを吸入した。DEPは投与量に依存してヒスタミンの鼻腔内圧を増加する作用を亢進した(図3)。また、DEP投与後ヒスタミンを吸入させ、ヒスタミンによる鼻汁の分泌作用への影響を検討した。

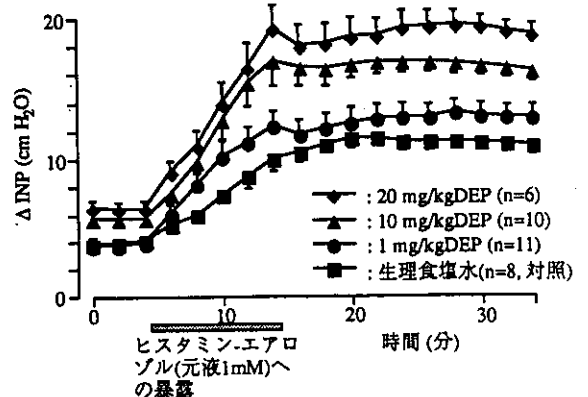


図3 ディーゼル排出粒子投与後の吸入ヒスタミン-エアロゾルが鼻腔内圧 (INP) におよぼす影響 (平均値±標準誤差)

DEPはヒスタミンによる鼻汁の分泌作用を亢進した(図4)。一方、DEPはヒスタミンの鼻腔内投与によるくしゃみの誘発を増加させる傾向は見られるが有意差はなかった。

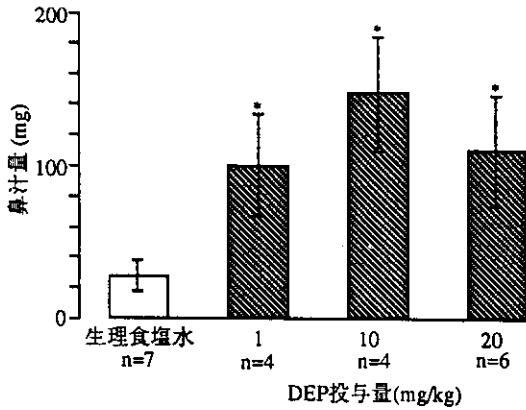


図4 ディーゼル排出粒子投与後の吸入ヒスタミン-エアロゾルが鼻汁量におよぼす影響 (平均値±標準誤差, *:p<0.05)

依存的に増加させることが見いだされた。また、ヒスタミンによる鼻粘膜および皮膚の血管透過性を増加させる作用をDEPは亢進させる作用があることが見いだされた(図6)。

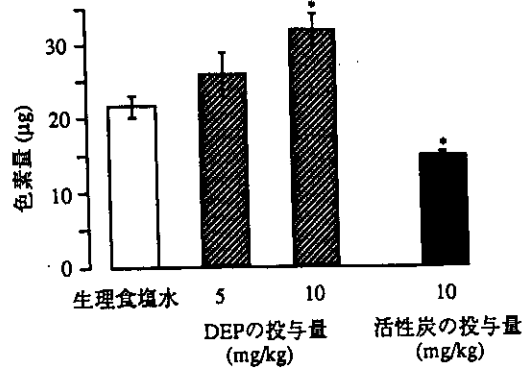


図6 ディーゼル排出粒子がヒスタミンによる鼻粘膜血管透過性増加作用におよぼす影響 (n = 4, 平均値±標準誤差, *:p<0.05)

3.5. DEPが鼻粘膜におよぼす影響の機構

DEPは鼻閉やくしゃみを誘発し、ヒスタミンによる鼻閉や鼻汁の分泌を起こす作用を亢進することが明らかになった。その機構について鼻閉や鼻汁の分泌に関する血管透過性、くしゃみの誘発に関する知覚神経刺激の観点から検討した。

DEP自身が鼻粘膜(図5)および皮膚の血管透過性を濃度

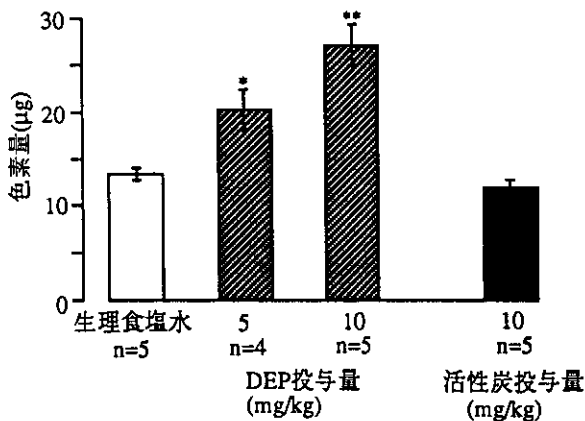


図5 ディーゼル排出粒子が鼻粘膜の血管透過性におよぼす影響 (平均値±標準誤差, *, **:p<0.05, p<0.01)

DEPによる血管透過性を増加させる作用はカプサイシン(唐がらしの成分で知覚神経に作用し神経ペプチドを放出させ枯渇させる)の前処理により抑制された。また、くしゃみの誘発がカプサイシンによる知覚神経刺激を抑制するルテニウムレッドにより抑制されることが見いだされた。

これらのことからDEPの作用が知覚神経を介して作用している可能性が示唆された。

4. おわりに

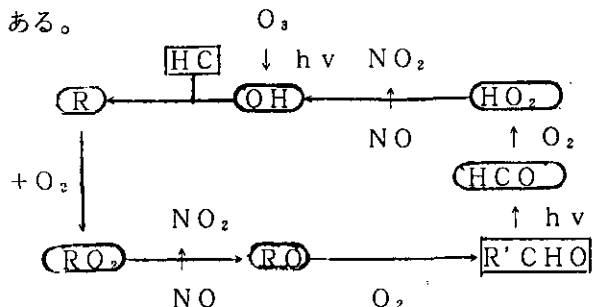
DEPはそれ自身でも、花粉症の症状である鼻閉やくしゃみを起こさせたり、症状を増悪させる可能性があることを高濃度点鼻投与という条件下で示した。今後、ディーゼル排気を現実に起こりうる低濃度において吸入暴露した場合、抗体産生の亢進、鼻粘膜の過敏が起きるか検討することが必要である。また、暴露における作用機構の解明、リスク評価など解決しなければならない問題が残っている。これらの基礎的な解明は、大気汚染を含めた環境因子と増加しているアレルギーが関与する疾患との関係を解く鍵になるものと考えられる。

ポスターセッション

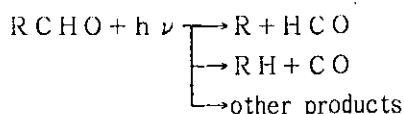
アルデヒドの光分解によって生成するHCOラジカルの絶対収率決定

今村 隆史(大気圏環境部大気反応研究室)

大気中に放出された炭化水素類はOHラジカルとの反応等によって大気光酸化サイクルに取り込まれる。大気光酸化サイクルの基本は下図で示される様な連鎖反応である。



図中で○で示されているのはラジカルである。これからもわかるようにアルデヒド類は炭化水素の大気光酸化過程における代表的な二次生成物である。アルデヒドは300nm付近の紫外光を吸収することにより光分解するが、その光分解過程としては

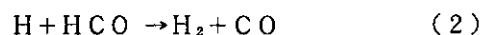
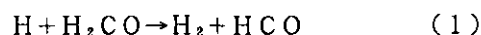


が考えられる。光分解生成物の中でもHCOラジカルは大気中での重要なHO₂ラジカル源である。それ故、アルデヒドの光分解によるHCOラジカルの生成収率は大気化学反応モデルにおける重要な基礎データである。光分解収率の決定には生成物の定量が必要であるが、ラジカルが生成する過程の場合、反応性の高い(すなわち短寿命種である)ラジカルを如何に定量するかがポイントとなる。一般には生成したラジカルの後続反応を仮定し、安定生成物を定量することにより、ラジカルの生成収率を決定する方法がとられている。これに対し、生成するラジカルを直接検出・定量することによりラジカルの生成収率を直接決定しよう、というのが本研究の狙いである。本研究では、光イオン化質量分析法によるHCOラジカルの検出感度を決定し、決定した検出感度をもとに、アセトアルデヒドの光分解によって生成するHCOラジカルの絶対収率の決定を行った。

HCOラジカルの定量のポイントとなるラジカルの検出感度は次の2つの方法によって決定した。

(i) 放電フロー法

ここではH₂のマイクロ波放電によって生成したH原子とH₂COとの反応を利用した。HCOラジカルは次の反応(1)、(2)によって生成・消滅する。



反応(2)は(1)に比べ充分速い反応であるため、HCOラジカル濃度は定常状態濃度 [HCO] ss に保たれる。その際 [HCO] ss は次式で与えられる。

$$[HCO]_{ss} = (k_1 / k_2) [H_2CO]$$

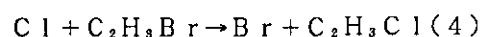
k₁, k₂ は反応(1)、(2)の速度定数であり、各々独立決定されている。この方法の特色はk₁, k₂の値から直接 [HCO] ss が定量出来る点にある。

(ii) レーザー光分解法

ここではCl₂のレーザー光分解によって生成するCl原子の反応を用いた。H₂CO大過剰の条件下ではCl原子とH₂COの反応で等量のHCOラジカルを生成する。



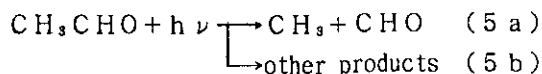
一方、Cl原子はC₂H₅Brとの反応によりC₂H₅Cl(安定分子)を生成することが知られている。



反応(3)、(4)の速度定数が同程度であること、熱力学的に見て他の反応チャンネルがないこと、C₂H₅Clは容易に定量出来ること等の理由から、HCOラジカルの検出感度はHCOラジカルとC₂H₅Clの信号強度比から直接求めることが出来る。

(i)、(ii)の方法で得られたHCOラジカルの検出感度は良い一致がみられた。

本研究ではアセトアルデヒド(CH₃CHO)に対して280~340nmの波長領域でHCOの生成収率を決定した。アセトアルデヒドの光分解過程としては



が考えられる。測定した波長領域でラジカルの生成収率比 $\Phi(HCO) / \Phi(CH_3)$ は一定値を示しており二次的な反応の影響は見られない。 $\Phi(HCO)$ は320nmより長波長領域で急激に減少していることがわかった。また300nm付近での光分解ではHCOラジカル(+CH₃ラジカル)が効率良く生成していることがわかった。

インド北西部のタール砂漠における砂漠化と人間活動

恒川 篤史 (水圏環境部土壌環境研究室)

1993年12月、インド北西部ラジャスタン州にあるカブララン村において砂漠化と人間活動に関する社会調査を実施した。この村では天水農業を主体に、十数頭の家畜を飼うというインド北西部の典型的な農業形態がみられる。またこの一帯は、夏の強い風による風食の激しい地域としても知られている。

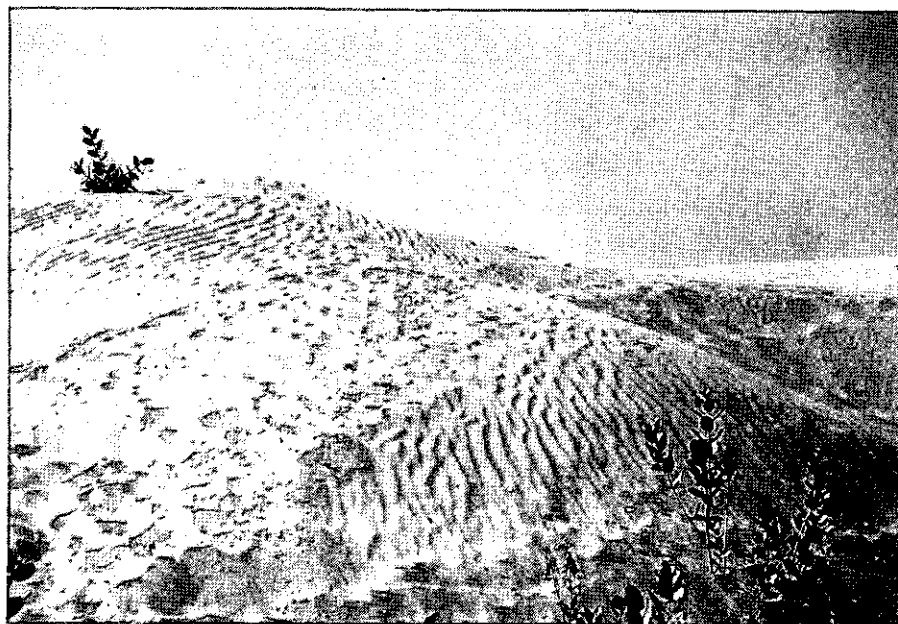
調査は、インド人研究者が村人と1対1で面接し、一人当たり約1時間ほどかけて聞き取りを行った。調査の内容は、被験者の属性、水や燃料の使用量、砂漠化の実態および影響、砂漠化の防止対策に関する住民の意見などである。

この調査結果をもとに砂漠化の人為的要因を以下の二つの側面から考えてみよう。

第1点は、土地に対して直接的に影響を及ぼす要因である。この地域の伝統的な天水農業は、①ラクダを用いた土地の丁寧な耕起、②十分な休耕期間（通常3年程度）、③いくつかの作物を混ぜて植える混合耕作、④収穫後の根株の保持（畑に根株を残す）を特徴としており、このことによって潜在的には強い風食の脅威にさらされながらも、長いこと持続的な土地利用を可能にしてきた。

しかし、この調査の結果によると、混合耕作および根株保持については、過半数の農家で実践されているものの、最近では畑を耕すのに、ほとんどの農家がラクダのかわりにトラクタを使い始めている。このため土壌が地中深くまで細かく砕かれ、風により吹き飛ばされやすくなっている。また休耕期間については、平均して1.8年に減少している。

第2点は、直接的要因をひきおこす背景として考えられる間接的な要因であり、なかでも人口の増大と集中化が問題である。この背景として、①多産・早婚を好む社会・文化、②均等相続による土地の細分化があげられる。この調査の結果からは、約27%の家庭で家族計画が実践されているに過ぎず、避妊は女性の側でおこなわれている。また1戸あたりの平均土地面積については、祖父の代が所有していた土地は44ha、父の代では18haであり、それが現在では10haとなっていることから、この40～50年間のあいだに、1戸あたりの土地面積は約4分の1に減少している。その分、単位面積当たりの人口圧は増加しているわけで、これが休耕期間の減少にもつながっていると推測される。



IGAC/APAREプログラムに基づく航空機・地上観測

畠山 史郎(地球環境研究グループ酸性雨研究チーム)

1. はじめに

東アジアの太平洋岸地域は工業の発展と人口の増加により、SO₂、NO_x、炭化水素等の大気汚染物質の排出量が急速に増加している地域である。これらが増加すれば、硫酸塩や硝酸塩の降下量も増加し、酸性雨の被害が我が国を含む東アジア諸国において拡大することが懸念される。東アジア地域からの大気汚染物質の排出量は今後さらに増大するものと考えられており、地球規模の環境変化に対する影響も大きい。それにもかかわらず、従来この地域における体系的な大気化学に関する研究は行われていない。そこで、本研究所においては、IGAC(地球大気化学国際協同研究)/APARE(北太平洋地域研究)プログラムに基づく国際協同研究として平成3年度よりPECAM POT(Perturbation by the East Asian Continental Air Mass to the Pacific Oceanic Troposphere)と名付けた航空機観測及び地上強化観測を、地球環境研究グループ酸性雨研究チームを中心に、所内・所外の研究者の協力を得て実施している。観測の対象は表1に掲げた種々の微量大気汚染物質で、アジア大陸から我が国に移流・輸送される大気汚染物質の空間分布を明らかにし、モデルと組み合わせて移流・拡散・変質・沈着の各プロセスを解明し、将来の予測を行うことを目的にしている。

2. 観測結果

これまでに平成3年10月、平成4年11月、平成6年3月の3回の観測を実施した。平成3年の観測では、隠岐および沖縄の地上観測に米国の観測者の協力を得、またNASAのDC-8飛行機と同期飛行を行った。さらに、韓国KIST (Korean Institute of Science and Technology)の研究者の協力を得て、韓国ソウルまでの黄海上空での観測飛行を行う等、大規模な国際協力研究が行われた。成果はすでに本研究所資料P-54-'93/NIESとして報告されている。平成4年の観測は国内のみの観測として行われた。飛行コースは図1に示されている。このうち、日本海上空において西ないし北西の風の時に非常に高濃度の二酸化硫黄や窒素酸化物が観測され、大陸の影響が明確に示された。(図2参照)平成6年の観測はまだ終わったばかりであり、サンプルの分析やデータの解析進んでいるところであるが、今回もNASAの観測とほぼ同時期に行われ、またKISTのグループの協力を得て、同グループが済州島に常設したステー

ョンで地上強化観測を行う一方、我々も済州島に着陸し、ここをベースに黄海上空で4高度の観測を行った。この観測の際には非常に天候にも恵まれ、貴重なデータが得られているものと期待される。

表1：主な測定項目及び測定手法

測定項目	測定手法
SO ₂	パルス蛍光法
オゾン	紫外線吸収法
NO _x	オゾン化学発光法
PAN	低温濃縮捕集法
炭化水素	真空容器捕集法
硝酸、HCl、NH ₃	拡散スクラバー法
無機エアロゾル	ハイパリアム・サンプラー
エアロゾルの形態	インパクター法

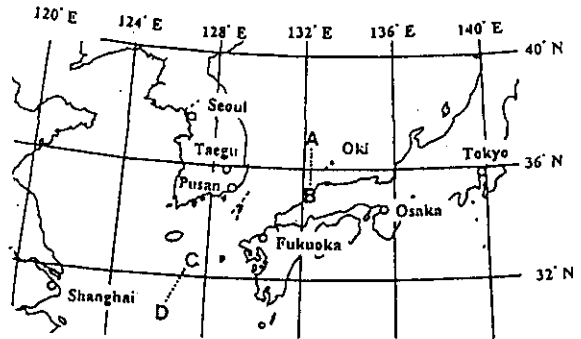


図1：平成4年度の観測コース

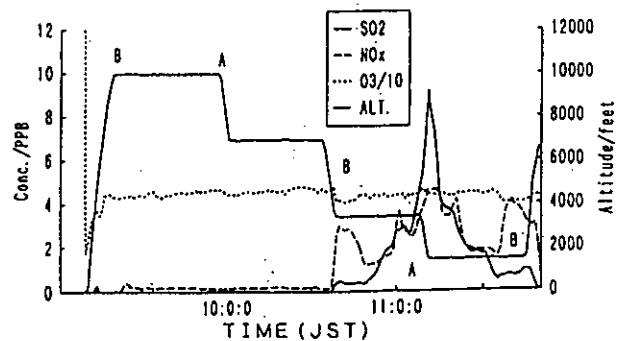


図2：日本海上空における汚染質の濃度分布
A、Bは図1のA点、B点を示している。

衛星画像でみる釧路湿原の植生

山形 与志樹 (社会環境システム情報解析研究室)

1. はじめに

我々の研究グループでは、リモートセンシング技術を用いて湿原の植生状態をモニタリングする手法を開発している。本発表会では、釧路湿原を撮影した各種衛星画像を展示し、複数の時期の衛星画像を重ね合わせて作成した湿原植生の分類について紹介する。

2. 釧路湿原の概要

釧路湿原は北海道東部の太平洋側に位置し、総面積が約18000 haの日本最大の湿原である。約4000年前頃からの泥炭堆積により形成され、泥炭層の厚さは1-4 mに及んでいる。春から夏には霧が多く発生し、気温は年平均5.6度と低く、降水量も年平均約1100mmと少ないのが特徴である。釧路湿原には、絶滅のおそれのあるタンチョウヅルをはじめとする多くの鳥類が生息しており、1987年には国立公園に指定され、特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約であるラムサール条約の登録湿地でもある。

3. 湿原植生の特徴

釧路湿原の大部分は、ヨシ、スゲ群落の分布する低層湿原で、高層湿原ではミズゴケを主体としてツルコケモモ、イソツツジ、ワタスゲなどが生育している。また湿原域の周辺部では、開発や河川堤防等の影響による湿原の乾燥化にともなって、ハンノキの大規模な侵入がみられる。ここで、高層湿原とは、地下水位が地表面よりも低くなり、雨水により水供給を受けて貧栄養状態にある泥炭地湿原であり、池塘と呼ばれる小さな池がミズゴケの中に繰り返し出現する領域が見られることが多い。また低層湿原とは、地下水位が地表面より高く、地下水の供給を受ける富栄養性の湿原である。

4. 衛星画像の特徴と植生観測

展示する衛星画像は、アメリカのLANDSATのTM画像、フランスのSPOTのXS画像、そして日本のJERS1のSAR画像である。

LANDSAT画像はすでに20年の歴史を持ち、可視、近赤外、中間赤外、熱赤外の幅広い波長帯を、比較的高い分解能(30m)でカバーしているために植生域の観測や

地表面被覆の分類に幅広く利用されてきた。一方、SPOT画像はLANDSATよりもさらに高い分解能10m(白黒モード)、20mを持っているので、都市域の解析などにしばしば用いられる。しかしながら可視、近赤外だけの波長しかないために分類精度はLANDSATに劣っている。

近赤外は特に植物の葉によって強く散乱するので、近赤外の反射を観測することによって植物の葉面積やバイオマスを推定することが可能である。近赤外の反射を利用した各種の植生指数が開発され、LANDSAT、SPOTを問わず、植生モニタリングに利用されてきた。

JERS1はLバンド(波長約20cm)のマイクロ波を地上に向けて発射し、その反射を観測することによって、地表面の画像を合成している。マイクロ波は波長よりも小さな粒子を透過する特性があるために、雲があっても地表面の観測が可能である。しかしながら、地表面のマイクロ波の反射特性は非常に複雑であり、植物の状態をマイクロ波の反射から近赤外の場合のように直接推定することは困難である。現在、このマイクロ波と植生におおわれた地表面の状態との関連については研究中である。

5. 湿原植生の分類

本解析では、6月、8月、11月に撮影されたLANDSAT画像を用いて湿原植生の分類を実施した。分類に際しては、3つの画像を幾何補正によって相互に重ね合わせて後、トレーニングエリアとして設定した湿原植生クラスの多時期のスペクトル特性を用いたパターン認識(教師付き最尤分類法)によって判定した。分類の教師として選定したトレーニングエリアは、ミズゴケ;ミズゴケの中に小さなチトウが一様に分布している領域;スゲ;スゲが優占的に分布している領域;ハンノキ;各種湿原植生の上にハンノキが侵入している領域;ヨシ;ヨシが優占的に分布している領域、の4つの植生区分である。

国保レセプト統計を用いたアレルギー性鼻炎受療率の変動分析

田村 憲治 (環境健康部環境疫学研究室)

1. はじめに

茨城県ではアレルギー性鼻炎(花粉症など)受療率が10年間に約5倍に増加したが、経年的増加は単調ではない。まず、その増減と花粉飛散数との関係を明らかにし、次にスギ林の分布と市町村別のアレルギー性鼻炎受療率の関係から都市化との関連を検討した。

2. 方法

アレルギー性鼻炎受療率は、1980年～92年の茨城県の国保レセプト傷病分類統計(毎年5月分)の99項目疾病分類「アレルギー性鼻炎(花粉症、枯草熱などを含む)」の年齢階級別・市町村別受療件数をもとに、国保加入者数10万人当たりの年齢調整受療率を求めた。花粉飛散数は茨城県南部の土浦市内のスギ・ヒノキ花粉の飛散数(1cm²当たりの花粉落下数)の年間累計数(国立霞ヶ浦病院・新井岐医師測定)を用いた。

3. 結果

アレルギー性鼻炎受療率と花粉飛散数を比較すると、特に受療率が増加する年と花粉数の多い年が一致していた(図1)。13年間の受療率と年度との相関も高いが(相関係数 $r=0.955$)、花粉飛散数の少なかった80, 81, 83, 87, 89, 92年の6年間では、受療率は殆ど直線的に増加していた($r=0.998$)。

そこで、受療率を年度と花粉飛散数を説明変数として重回帰分析を行った結果、花粉飛散数も受療率と有意な関係があり(重相関係数 0.984)、花粉数と「アレルギー性鼻炎」分類中の花粉症との関連が強く示唆された。

茨城県内の花粉飛散数の分布に関するデータがないので、次に花粉飛散数の代替としてスギ・ヒノキ林の分布(図2)と、市町村ごとの受療率との関連を検討した。

受療率の高い順に5段階の濃淡で示す(図3)。受療率は、郡部より市部が高く、12年間の平均受療率でも県南部に高い地区が多く、植生分布とは全く一致しない。

スギ・ヒノキ林の分布の多さによって、市町村を4つの群に分け、群ごとにアレルギー性鼻炎受療率の経年変化を求めると、市郡間の格差以上に大きな違いがみられた。スギ林が「無い・少ない」群(都市化地区に対応)は、毎年の増加傾向が続いているが、スギ林の「多い・中程度ある」群では84年以降、経年的な増加傾向はなくなり、花粉飛散数の多かった年に対応した受療率の増加だけが

みられた(図4)。

市部と郡部の基礎的な受療率の格差を調整し、花粉数との関連を反映する指標として、「受療率の高い6年(82, 84, 86, 88, 90, 91年=花粉飛散数の多い年と一致)と低い6年の受療率の比率」を求めたところ、県の西北部に増加率の高い地区が多く、植生分布とよく一致し、花粉飛散数と受療率との関連を示唆した。

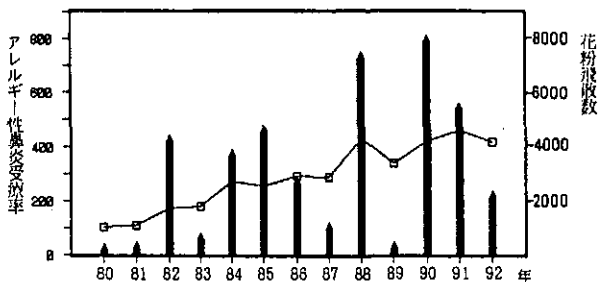


図1. アレルギー性鼻炎受療率と花粉飛散数 (□—□: 受療率、棒グラフ: 花粉数)

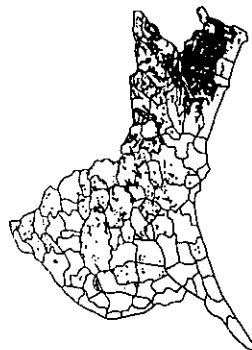


図2. スギ林の分布

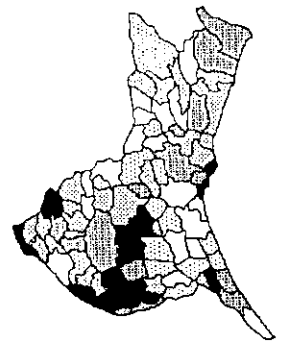


図3. 市町村別受療率

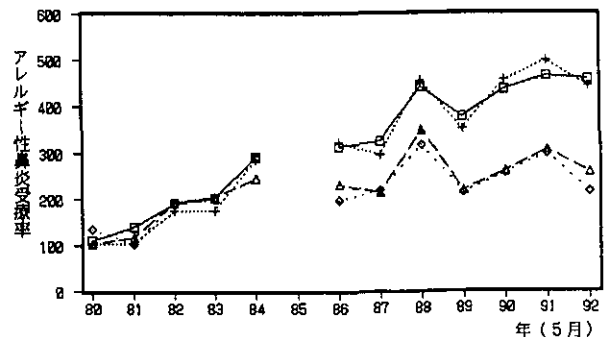


図4. スギ林の多寡別にみたアレルギー性鼻炎受療率 (□□: 無、++: 少、◇◇: 中、△△: 多)

サンゴ礁のモニタリング

原島省、功力正行(地球環境研究グループ海洋研究チーム)
宮崎忠国(地球環境研究グループ森林減少・砂漠化研究チーム)

1. サンゴと植物プランクトンのグローバルな棲み分けと共生

Nimbus7-CZCS画像による植物プランクトンバイオマス量のグローバルマップと、Stehli et al. (1971)によって提出されたサンゴの属多様度のマップを比較すると、亜寒帯域、陸水流入、赤道湧昇域、沿岸湧昇域では植物プランクトンが多く、これらの海域を除く低緯度海域ではサンゴの属の数が多い。このように、グローバルな棲み分けが行われている反面、サンゴの組織内には、褐虫藻とよばれる微細藻類が共生しており、サンゴと植物プランクトンの関係には極めて興味深いものがある。また、炭酸平衡に関しても、サンゴによる炭酸カルシウム析出と植物プランクトンによる光合成は、ともに地球環境に大きな役割をはたしている。

2. サンゴ礁のモニタリングの必要性

近年、オニヒトデの食害や、サンゴ礁海域の汚染に加えて、サンゴの漂白化という現象が顕著に見られるようになった。これは、サンゴに加わる何らかのストレスによって、前述の共生藻類がサンゴ内から抜け出してしまい、サンゴが弱ったり、弊死にいたりする現象である。アメリカなどでは、地球温暖化にともなう高温ストレスが原因であるとの説が出されたこともある。高温ストレスが一因であることはいえても、地球温暖化と結びつけるための確証はまだない。いずれにしても、サンゴ礁を系統的、組織的にモニターする手法を開発する必要がある。

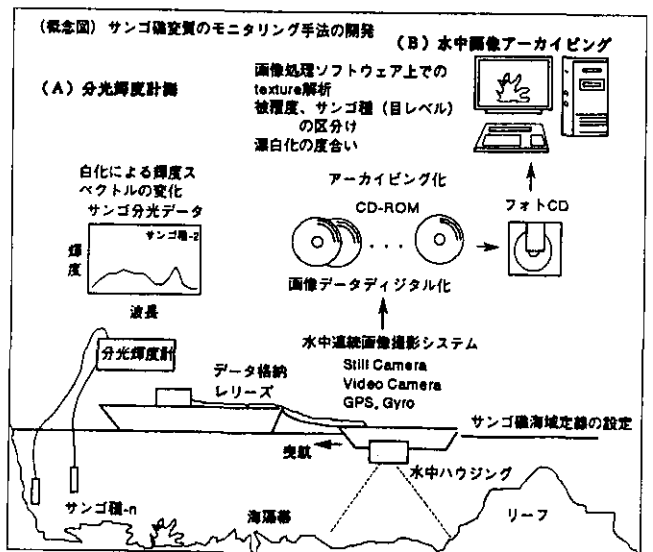
1.1 遠隔計測と水中分光輝度計測

Landsat-TMやSPOT-HRVの画像では、サンゴ礁海域は、海底砂の比較的輝度の高い礁池と、褐色のリーフで特徴づけられる。このような画像から、サンゴの分布をマッピングするためには、サンゴの個々の種類ごとの分光輝度を計測し、上向き光が持つスペクトル情報の由来を明

らかにする必要がある。このような考えから、和歌山県串本海岸と沖縄県八重山諸島黒島において、個々のサンゴについて分光輝度の計測を行った。この計測から、分光率を求め、670nm付近に吸収帯と思われる凹部を持ち700nm付近に凸のピークをもつことがわかった。また、一面が正常で他の面が漂白化しているサンゴの一群体を計測し、この輝度の差のスペクトルが植物プランクトン色素の輝度スペクトルに類似していることが確認できた。

1.2 水中画像アーカイビング

以上の計測のほか、より詳細にサンゴの分布状況の長期変動を詳細に解析するためには、やはり直接水中画像を系統的に撮影し、これを系統的に保存(アーカイビング)して、海底被覆状況の長期的な変質を解析することが必要になる。1枚の画像の持つ情報量は非常に大きい、最近のマルチメディアの発達により、デジタル化してPhoto-CDに格納することが可能になり、従来は不可能であった大量の画像データのアーカイビングが可能になりつつある。このような、ソフトウェア面での発展とともに、水中画像を効率よく収集するシステムのR&Dが必要である。この研究は、平成6~8年度に地球環境総合推進費で実行予定である。



紫外線の増加が植物に及ぼす影響

中嶋信美、佐治 光、近藤矩朗（地域環境研究グループ新生物評価研究チーム）

1. 序論

フロン等によるオゾン層の破壊は、1970年代から警告されており、近年極地域ではオゾンホールが確認されている。また、中緯度地域でも予想を上回るオゾン層の減少が観測されており、オゾン層の破壊によって地上部に到達する紫外線（UV-B）量は著しく増加すると推定され、その生物や生態系への影響が懸念されている。

UV-Bの増加により、植物ではその成長が抑制されたり、紫外線防御物質が増加することが知られている。また、遺伝子の損傷が起こると推定されるが、植物において観察される傷害と遺伝子損傷の定量的な関係についてはほとんど研究されていない。

本研究はUV-Bによる植物の成長抑制効果と遺伝子損傷との関係を明らかにすることを目的として、UV-B照射したキュウリからDNAを抽出し、その損傷量を測定するとともに植物の生育状態との関係を検討した。

2. 材料と方法

播種後7日目のキュウリをグロースチャンバーに移し、12時間の明期、12時間の暗期で生育させ、明期に白色光と同時に紫外線を照射した。

また、単色光紫外線の照射実験は基礎生物学研究所の大型スペクトログラフ装置を用いておこなった。

試料は紫外線照射直後の第1葉を採取し-80℃で凍結保存した。単色光照射した試料は、液体窒素で凍結したのち凍結乾燥し低温暗所に保存した。

キュウリ第1葉からのDNAの抽出は本田らの方法に従って行なった。遺伝子損傷の検出は、金沢大学の二階堂教授より分与された、ピリミジン二量体を特異的に認識するモノクローナル抗体を用いたELISA法によって行った。

3. 結果

1日あたり1.5時間、4時間、12時間UV-B照射した葉の

成長量を調べた結果、いずれの照射時間でも成長阻害が起こり、4時間と12時間の照射では可視傷害も見られた。

それぞれの試料からDNAを抽出してピリミジン二量体の相対量を調べた結果、1.5時間及び4時間照射した試料では1日目が最も多く、日を追ってその量は減少した。12時間照射した試料では2日目に減少したが3日目には再び増加した。UV-Bを1.5時間照射後、さらに白色光を4時間照射した試料ではUV-B未照射の試料と同じ程度であった。

UV-Bの成長阻害効果と遺伝子損傷の作用スペクトルを調べるために、単色光を照射した場合、300nmを境として、それより短い波長域で強い成長抑制が見られ、さらに290nm以下の波長では顕著な可視傷害も見られた。ピリミジン二量体も300nm以下の波長の紫外線を照射したものは著しく増加していた。

4. 結論

UV-B照射実験の結果から、植物はUV-B照射によって成長阻害を受け、同時に遺伝子損傷を受けていることが明らかとなった。そして、遺伝子損傷は、修復反応によって速やかに修復されると推定される。また、その修復反応は白色光で強く誘導されると考えられる。

単色光照射実験の結果から、植物は300nmより短波長の紫外線で成長阻害と著しい遺伝子損傷を受けることが明らかとなった。

今後は遺伝子損傷の定量化をすすめ、成長阻害と遺伝子損傷の関係についてより詳しく検討するとともに、遺伝子損傷修復のメカニズムについても検討していく予定である。また、本研究で用いた遺伝子損傷検出法を、紫外線増加の植物影響のモニタリングに利用する方法についても検討している。

生態系と水質

福島武彦・松重一夫(地域環境研究グループ湖沼保全研究チーム)

1. はじめに

生態系が変わると水質、その変動はどのように変化するのだろうか。我々は6つの屋外実験池を使い、魚密度を変化させ、その時の1) 生物量と生態系構造、2) 栄養塩、有機物濃度、3) 光合成速度、分解速度、沈降フラックス、魚の排出速度等の物質循環速度を測定し、生態系構造と水質との関係をより解析的にとらえることを目標に実験を行った。

2. 実験のやり方

臨湖実験施設にある屋外実験池(6池、水深1.55m、容積約36m³)において、金魚の密度を3段階(ゼロ、約200匹、約2000匹、それぞれ2池)に変化させた。流入水は砂ろ過後の湖水に窒素2mg/l、リン0.2mg/lを添加したもので、滞留時間は20日とした。1993年の8月3日から9月10日の約40日間にわたり、栄養塩、植物色素、有機物、無機イオン、植物・動物プランクトンの種と量、等を毎日あるいは週3回測定した。また、pH、D0などの連続観測を行い、光合成、呼吸、大気との交換量などを算定した。さらに、沈殿びん、バケツを用いて沈降粒子を集め、そのフラックスを求めた。

3. 結果と考察

得られた結果をまとめると以下のものであった。

(1) 図1には魚を入れていない池、高密度(約2,000匹)に入れた池における炭素の物質循環の様子を示す。個々の測定値(図中の値)をもとに物質収支(図中の式)が満足されるか調べてみると、どちらの池でも、また炭素以外に窒素、リンでも整合性がよいことがわかった。

(2) 魚の多い池で植物プランクトン量、全リン、全窒素といった栄養塩濃度、有機物濃度が高かった。これは、魚が高密度の池ではない池と比べて、a) 動物プランクトンが10分の1程度と少ないため植物プランクトンが食べられない、b) 光合成量が約1.5倍、また沈降量は約3分の1であり(図1)、栄養塩の循環が早くなり、増殖速度が増す、等が生じたためである。

(3) 魚を入れなかった池ではMicrocystis spは増殖せず、緑藻が卓越した。魚を入れた池の多くではMicrocystis spが増殖した。しかし、その内一つの池ではけい藻、鞭毛藻が卓越した。防水シートから阻害物質の溶出があったものと考えている。

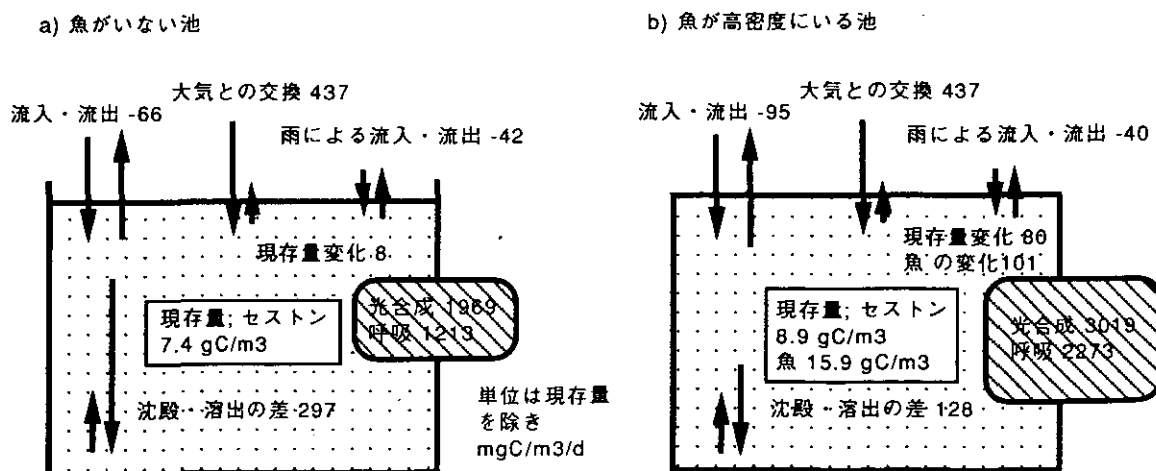
(4) 懸濁態の有機物に加えて溶解態の有機物も実験期間中増加したが、その程度は魚が多いほど高かった。その増加は植物プランクトンの減衰時に生じた。その内一部は生物的に分解しにくい成分であった。

(5) 亜硝酸性窒素、アンモニア態窒素は魚が多い池で高い傾向を明白に示した。また、湖水懸濁物中の植物色素の構成も異なった。こうした物質の自然水域での存在量は、生態系の特徴を表現している可能性がある。

(6) 魚が多い池ほど一般的にクロロフィルaの変動が少なかった。動物プランクトンの捕食による振動が魚の少ない池ほど大きいためと考えられる。

4. おわりに

生態系と水質、水質変動には密接な関係があることが実験的に示された。今後、さらに生態系の種類を変化させるとともに、以上のような変化を数値シミュレーションで再現したいと考えている。



$$(\text{現存量変化}) = (\text{流入} \cdot \text{流出}) + (\text{大気との交換}) + (\text{雨による流入} \cdot \text{流出}) - (\text{沈降} \cdot \text{溶出の差})$$

図1 生態系の違いによる炭素循環の変化 (観測期間中の平均)

大気循環の数値シミュレーション

鶴野 伊津志 (大気圏環境部大気物理研究室)

大気の3次元的な流れは、地域スケールの大気汚染物質の移流・拡散過程のみならず、多国間の越境大気汚染や全球スケールの物質輸送過程の解明にも重要な役割を占める。大気物理研究室では、このような3次元的な大気循環のメカニズムを大気大循環モデル(Global Circulation Model; GCM) やメソスケールの大気力学モデル(水平1000 km程度)を用いて解析し、その結果を用いた物質循環の評価を行っている。ここでGCMでは、対流圏～成層圏下部を水平スケール300 km程度の分解能で表現し、グローバルな大気の運動を比較的長い時間的スケールの平均値として表現する。これに対してメソスケール大気モデルは空間分解能を数 km程度まで表現できる。従って、特に陸地表面での様々な細かなプロセスが、熱・水蒸気輸送、大気汚染物質の輸送過程に及ぼす影響やその追跡に適しており、GCMのサブグリッドスケールの現象を扱っている。スケールの的にはこのように分けられるが、GCMの計算結果をメソスケールモデルの境界条件として取り込む研究も進められており、両者の利点を生かしたモデルの結合が今後の研究課題となっている。ここでは、メソスケールモデルによる大気の流れのシミュレーション結果を中心について示す。また、グラフィックス手法を用いた可視化の結果についても例示する。

メソスケール大気モデルとしては、大気力学にもとづく基礎方程式をコンピューター上で数値積分するものである。しかし、これによるモデル計算は気圧傾度の時間変化のない場合が主たるものであり、高・低気圧の通過等の外的条件はモデルには含まれていない。これらを取り込むための新しい手法が提案されている。ここでは、静力学平衡・ブシネスク近似の数値モデルに、動的初期化法と4次元データ同化手法を適用した。シミュレーションは大規模立体観測データベースの利用可能な関東甲信越地域を中心として行っている。計算領域は中部山岳地域の熱的効果を含めるために、東西南北方向にそれぞれ約400 kmの領域を用いている(図1)。モデルの初期化のために、広域気象観測(気象庁の全球データ等)と地上ベースのアメダスデータ等を同時に用いる客観解析モデルを作成した。その結果、中部山岳地帯のような

複雑な地形条件下でも2日程度の3次元気流場のシミュレートが可能となっている(図1)。

今後は、関東地域程度の大気循環現象のシミュレーションを拡充するとともに、空間スケールをアップし中国北東部-韓国-日本程のスケールの大気輸送過程への拡大とGCMや全球解析データとリンクを計り、物質輸送過程の追跡の観点から地球環境シミュレーションへの応用を目指したい。

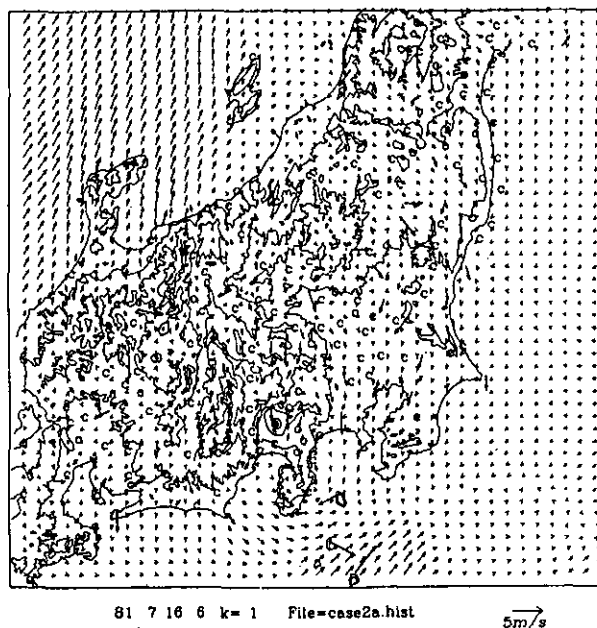


図1 モデルの計算領域と1981年7月16日6時の地上風系(アメダス:太い矢印とC=calm)と数値シミュレーションの結果(メッシュ上の矢印)。

地球環境問題に科学技術は何をなしうるか

内藤 正明 (地域環境研究グループ)

はじめに

地球環境問題は今日世界の関心事であり、科学技術がこれに何をなしうるかは誰にも興味深いテーマであろう。このことを論じるフォーラムが昨年末、科技厅主催で開催された。これを参考に標記のことを考察しよう。

1. 「問題の構造」と「議論の枠組み」

- 三つのP (pollution, population, poverty) の vicious cycleに南北問題がからんだ、極めて困難な問題複合体である(図-1)。
- これに対応するに、科学技術は“技術そのものの制約に加えて、“経済の制約”を強く受ける。
- さらに“経済”は“法制度”の、また“法制度”は社会の“倫理観や倫理規範”に支配される。
- 上記のような問題認識に立った時、議論の枠組みは— 社会科学と自然科学を総体とした幅広い領域を対象とせざるをえない。
- 時間スケールは“産業史”から“人類史”、“地球史”まで関連し、将来の考慮範囲は100年ぐらいを一応の目処とする。
- 事態の推移は今後の研究によるが、今後50~100年の間に危機的状況が起こりうるものと想定し、その深刻さの程度は“2000年安定化(レベルⅠ)”、

“IPCC予測の温暖化防止(レベルⅡ)”、“完全な持続社会(レベルⅢ)”を目処とする状況を設定する。

2. 想定される社会

科学技術は使われる社会によって強く規定される。そこで先ず、地球環境危機下で想定される社会像を描くことが必要であるとして、上述の3つの“目標レベル”それぞれに対する社会システムが論じられたが、その中でレベルⅢを目指した究極の持続社会として描かれたものを図-2に示す。この詳細は紙面の都合で割愛する。

3. 新たな技術と科学の課題

上に描いたような社会システムを支えるための技術は、その特性がこれまでと大きく変わるであろう。技術というのは制約が無い部分へツケを回す(外部化する)。いま初めて、地球閉鎖系の中で“外部”が無くなった状況下での技術開発が求められている。これは技術史の中でも全く新たなチャレンジの時代と言えよう。

社会と技術が上記のように変革するためには、これからの科学がどんな課題をもつかを表-1に要約する。ここでは「人文・社会科学」と「自然科学」及び、これに対応する「社会工学」と「自然工学」の課題と相互の関連を示している。

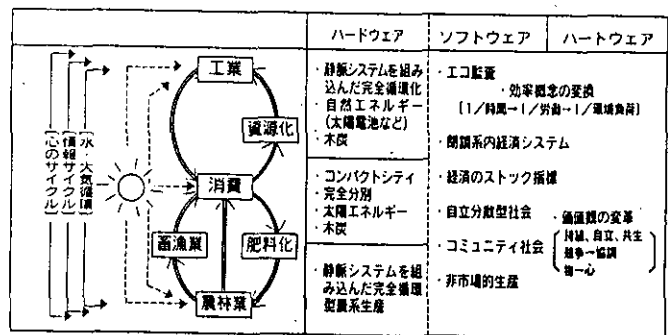
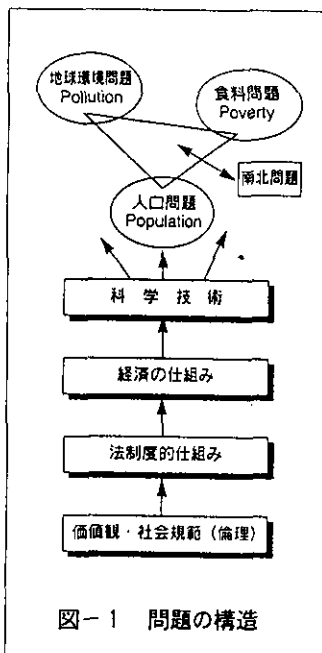


図2 完全循環型社会 (レベルⅢに対応)

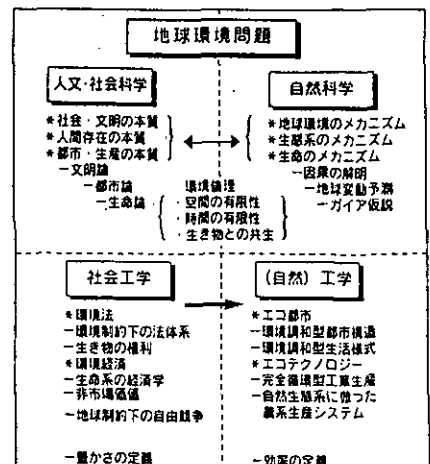


表-1 今後の科学技術の課題

筑波研究学園都市における植生を中心とした景観変化

青木陽二（社会環境システム部環境計画研究室）

1. はじめに

筑波研究学園都市の建設が1968年から始まり、初めての研究機関が1972年に移転してから22年となる。本研究所が当地で1974年に発足してから20年となり、筑波研究学園都市の景観も大きく変貌を遂げた。本研究は都市建設の初期である1978年からの研究学園都市の景観の変貌を紹介し、それがどのように感じられているかを示し、これからの景観整備の方向を探るものである。特に長い時間の変化を良く表す樹木を中心とした植生の影響について紹介する。

2. 写真の撮影

筑波研究学園都市の計画地域は現在のつくば市及び荊崎町の南北18km、東西8kmという広い範囲及び、この計画地域の最高標高は約30mという本邦ではめずらしい平坦な地域に広がっていた。筑波山を除くと、景観的によりどころとなる視対象がなく、1979年頃には、樹林に包まれた集落と農用林と畑がなす景観が広がっていた。その中に、大学といくつかの研究施設の概成が見られた。これからの変化が予測できなかった為、当時の時点で多様な景観を見られる場所を笹谷康之氏（立命館大学）の協力を得て撮影した。撮影に当たって、普通の人が将来にわたって景観を見るだろうと予想される場所を選んだ。すなわち、公共の道路、橋、歩行者専用道、公園などから眺めが得られる地点を選び、その地点から普通の人が見るであろう方向に向けて写真を撮影した。

3. 写真の再撮影

1985年の国際科学博覧会を境に、筑波研究学園都市の景観は大きく変わった。博覧会関連の施設とは別に中心市街地の整備され、民間の業務ビル、マンション、住宅団地など多くの建設が行われた。それに伴って、スーパーや商店、学校など多くの街路に面した建物が建設され、街路や橋から見られる町並みは変化した。そこで先に撮影した地点を、1991年に再度撮影した。比較の為の写真撮影であるので、前の写真が撮影された同じ季節に、同じ天候条件で、同じ太陽高度・方位となるように撮影を試みた。日本では湿度が視程や照度に大きく影響を与え、また風は水面に与える影響が大きく、交通量や騒音、暑さ寒さは人々がそこで景色を眺めるのに影響を与えるので、撮影条件として現場のデータを付記した。

4. 景観の変化

撮影された写真を比較すると、構造物の増加と植生の繁茂、交通量の増加が目だつ。特に植生の成長は著しく、また植生を失った場合の変化も劇的なものがある。ユリノキが幹回り30cm位から1mを越えるまでに成長し、豊かな木陰を作る一方で、視界を遮るようになった。公園では植物の成長により過密な植栽となり、見晴らしが失われてしまった（写真1,2）。このよう植物による計画を考えた場合には、成長による変化を考えて計画の指針をつくらなければならない、植物の成長が与えた影響を知ることには大変参考となるものである。



写真1；竹園3丁目花室6号近隣公園西1980頃
（同右；植物の成長で見晴らしを失った）



写真2；再撮影（1991年7月25日9:21）
明るさ(31401ux), 風(0.56m/s), 気温(29.7度),
湿度(70.8%), 音(53-60dB), 交通量(7台/3分)

北極域における地表オゾン減少とガス状有機化合物

横内 陽子 (化学環境部計測技術研究室)

極域は地球規模の環境影響がいち早く現れると考えられている地域である。特に、ユーラシア大陸と北アメリカの工業汚染の影響をまともに受ける北極域ではアークティックヘイズと呼ばれる汚染物質のもやが顕在化して集中的な研究が行われるようになった。このような流れの中で1985年にカナダのバリー博士らによって発見された春先の地表オゾンの劇的な減少(オゾンデブリーション)は成層圏オゾンホールと対比されるほど極域に特異的な現象である。

このオゾンデブリーションの原因解明を目指す国際観測プロジェクト「ポーラーサンライズ実験1992」に参加してオゾンが消失する春先のガス状有機化合物の測定を行った。観測点は図1に示すカナダ・エレスメア島の北端に位置するアラート(北緯82.5°、西経62.3°)、ここは現存の観測ステーションの中で最も北極点に近い。現地を持ち込んだガスクロマトグラフ/質量分析計による大気分析の結果、意外にも多くの有機化合物がオゾンデブリーション時に減ることが分かった。

中でも図2に示すトリクロロエチレンはオゾンと極めて類似した変動パターンを示した。このことは、オゾンを破壊するプロセスが同時にガス状有機化合物、特にトリクロロエチレンをも壊していることを示すもので、いくつか考えられるオゾン破壊プロセスを絞りこむことができた。そして、最も可能性が高いと考えられている臭素原子(Br)との反応について、トリクロロエチレンと臭素原子との反応速度を求めれば、決定的な結論の出せることが分かった。

ここで問題となる臭素原子は、おそらく極夜の間北極海上に蓄積した臭素含有化合物が何らかの光化学反応を受けて生成したものと思われる。北極海から供給される臭素含有化合物としては海塩中の無機臭素化合物と海洋生物由来の有機臭素化合物が考えられるが、その反応プロセスに人間活動の影響があるのかどうか興味深い。

本研究は、科学技術振興調整費「北極域における気圏・水圏・生物圏の変動及びそれらの相互作用に関する国際共同研究」の一部として実施した。

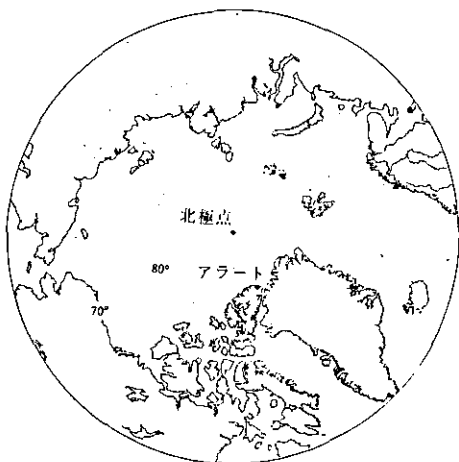


図1. アラート(北緯82.5°、西経62.3°)の位置

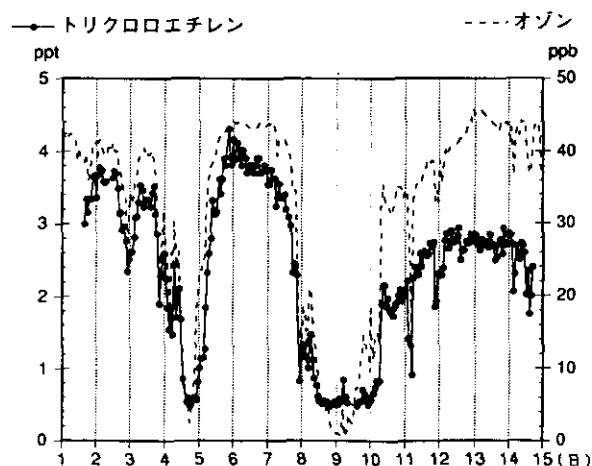


図2. 北極域大気中トリクロロエチレンとオゾンの変動(1992年4月、アラート)

{平成6年4月27日編集委員会受理}

{国立環境研究所資料 F-65-'94/NIES}

国立環境研究所研究発表会予稿集 第17号

平成6年5月25日発行

編集 国立環境研究所セミナー委員会

発行 環境庁 国立環境研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2
電話 0298-51-6111 (代表)

印刷 株式会社 イセブ
茨城県つくば市天久保2-11-20