

国立公害研究所
研究発表会 予稿集

昭和63年6月9日

於：国立公害研究所大山記念ホール

目 次

10:00~12:05

- (1)湖沼水質の簡易な予測手法 1
水質土壌環境部 福島武彦
- (2)有機塩素化合物による地下水汚染について 7
水質土壌環境部 平田健正
- (3)重金属汚染と生物 13
生物環境部 安野正之
- (4)公害・環境情報の入手と提供
—インフォテラ・データベースを例として— 19
環境情報部 後藤典弘
- (5)環境長期予測のための支援システムの開発
—専門家の知恵の集め方・使い方— 25
総合解析部 森田恒幸

13:05~14:30

- (6)離島及び山岳地における大気汚染成分濃度とその変動
—長期モニタリングのベースラインとして— 31
計測技術部 安部喜也
- (7)地球温暖化に係わる対流圏大気化学反応 37
大気環境部 鷲田伸明
- (8)リモートセンシング技術を用いた大気環境動態の把握
—レーザーレーダー観測で何が分るのか— 43
大気環境部 笹野泰弘

14:45~16:20

- (9)植物指標による大気環境評価
—ハツカダイコンは大気汚染のモニターになりうるか— 49
技術部 藤沼康実

(10) 免疫反応を亢進させる大気汚染物質について	
— その影響機構をさぐって —	55
	環境生理部 藤 卷 秀 和
(11) 浮遊粒子状農薬の吸入によるリスク評価	
— 一人の暴露実態と粒子暴露チャンバー実験より —	61
	環境保健部 安 藤 満
(12) 沿道汚染と健康影響	67
	環境保健部 村 上 正 孝

湖沼水質の簡易な予測方法

福島 武彦 (水質土壌環境部)

概要 全国90湖沼を対象に、各種人口、土地利用、気象条件といった流域特性から湖水中の栄養塩、内部生産 COD、クロロフィル a 濃度を予測する方法を紹介する。簡単なモデルであるものの予測の精度はよいので、湖沼の水質汚濁、富栄養化の防止のための各種対策案の評価に有効と考えられる。

1. はじめに

湖沼は河川、海域と比べ生活項目の環境基準達成率も低く(昭和60年度41.2%)、アオコ、淡水赤潮に代表される富栄養化もはなはだしい。こうした湖沼の水質汚濁の防止のために各種の対策案が検討されているが、それらの効果予測、整合性の評価には湖沼水質の予測モデルが必要となる。湖沼水質モデルには従来から、(1)植物、動物プランクトン、魚など多くの生態系要素を取り入れてできる限り正確に湖沼の生態系の動態変化を表現するモデル、(2)栄養塩とクロロフィルとの関係のように、最も本質的かつ実験でも検証されるような一般的関係を利用したモデル、(3)物理的根拠は考えずに流域特性と湖沼水質を直接関係づけた統計モデル等がある。ここでは、(2)のような概念モデルを組み合わせることから、湖沼水質を簡単に、かつ精度よく予測する方法を提案する。

2. 湖沼環境に関わるデータベース¹⁾

湖沼環境を適切かつ定量的に評価するためには、流域の人口、土地利用、負荷発生特性や湖沼水質などの諸量が同じような精度で測られ、集計されているデータベースを整備しなくてはならない。表1にはこのような観点から収集、整理したデータの一覧を示す。収集機関が国土地理院のものは国土数値情報と呼ばれ、約1km 方形の三次メッシュ単位でデータが整理されている。また、環境庁ファイルは各湖沼を直接管轄する自治体へのアンケート結果をまとめたものであり、水質ファイルとは公共用水域水質測定計画に基づいての水質測定結果である。昭和60年度では環境基準の類型あてはめが行われている湖沼が全国に114あるが、この内図1に示す90湖沼を選び、それらに対して流域特性、水質データを再整理して以降のモデル作成のための解析に利用した。

3. 湖沼への栄養塩の流入負荷量と湖水濃度²⁾

4で示すように、湖内で生産されるクロロフィル、CODは藻類の一次生産を制限するリン、窒素といった栄養塩と深く関係している。このため、リン、窒素の湖内への流入負荷量及び湖水中での濃度を予測することが重要となる。流入負荷量の推定には、特定事業場等の排出負荷量が実測されている場合(点源)にはそれと、実測されていない場合(面源)には各種人口、土地利用面積等に一人当たり、単位面積当りの排出負荷量等(原単位)を掛けて両者の和とした。排出負荷がそのまま湖内に流達すると

表1 湖沼環境に関わるデータベース

分類	ファイル名	年度	集計単位	収集機関	主な内容
発生源	気象データファイル	53-57年度	AMeDAS地点毎	気象庁	降水量、気温、...(月平均、年平均)
	土地利用面積ファイル		三次メッシュ	国土地理院	田、畑、森林等15分類
	し尿処理状況ファイル	55年度	市町村	厚生省	公共下水道、し尿浄化槽人口、...
	工業統計ファイル	55年度	市町村	通産省	事業所数、従業員数、...
	商業統計ファイル	55年度	市町村	通産省	商店数、年間販売額、...
	農業地域構造分析ファイル	58年度	市町村	農水省	耕地面積、家畜頭数、...
物理的諸元	標高・起伏量ファイル		三次メッシュ	国土地理院	平均標高、起伏量、...
	表層地質・地形分類・土壌ファイル		三次メッシュ	国土地理院	岩石41、地形主分類24、土壌統群54区分
	環境庁ファイル	54年度	湖沼毎	環境庁	成因、諸元、観光客数、...
	環境庁ファイル	58年度	湖沼毎	環境庁	湖諸元と発生負荷フレーム値
	環境庁ファイル	59年度	湖沼毎	環境庁	湖諸元と水収支に関わる諸量、水質
水質	公共用水域測定データファイル	55-57年度	測定地点毎	環境庁	BOD、COD、TN、TP、...(年平均)

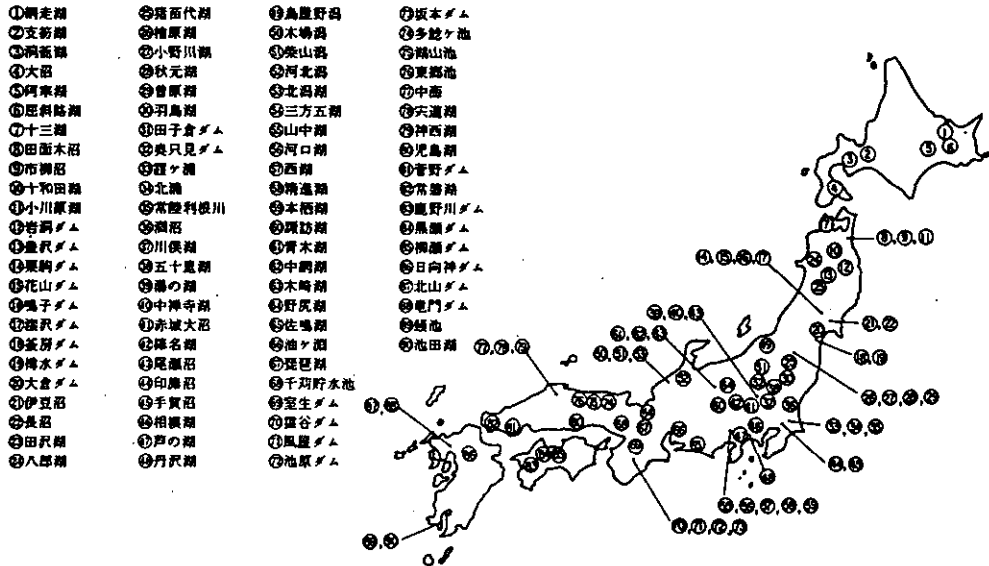


図1 解析の対象とした全国90湖沼

考えているので流達率は1である。負荷発生源として生活系、産業系、畜産系、農地、山林、市街地、湖面降雨、養殖、上流湖沼、導水域の10分類に分けてみると、リン、窒素とも生活系、山林、農地の負荷割合が高い湖沼が多い。また、各湖沼での点源割合は平均で15%程度と面源に比べ寄与が少ない。流入河川において負荷量の実測値のある18湖沼を対象に、以上の方法で得られた一年当りの負荷量と実測値との比較を窒素を例として図2に示す。18湖沼中、実測値が予測値の1/2~2倍の範囲に入る湖沼数は窒素で17、リンで14であった。実測流入負荷量といっても、流入河川のみを対象としたり、測定回数が少なく降雨時の負荷を正確に捉えていないものも含まれているが、図2の結果はよく一致し

ている。

流入負荷量を流入水量で割れば流入平均濃度 C_i が求まる。流入水量は実測値か、流域における降水量から蒸発量を差し引いて推定した。Vollenweider は湖沼を完全混合槽と考え、定常状態を想定し、湖内での栄養塩の収支残量を沈降現象の結果と見なすことから次式を導いた³⁾。

$$C_j = C_i (1 - R) = C_i / (1 + vT/h) \quad (1)$$

ここに、 C_j は湖水中の栄養塩濃度、 R は湖内で蓄積される割合、 T は滞留時間、 v はみかけの沈降速度、 h は平均水深である。 v を 15m/y として実測の湖水平均濃度との比較を行ったのが図 3 である(リンは省略)。特に、窒素では v を 10m/y 程度にすると 9 割近くの湖沼で式(1)による予測値が実測値の 1/2~2 倍の範囲に入る。リンでは v を 20m/y 前後と消失割合を大きくした方が適合度がよくなり、およそ 2/3 の湖沼でこの範囲に入る。

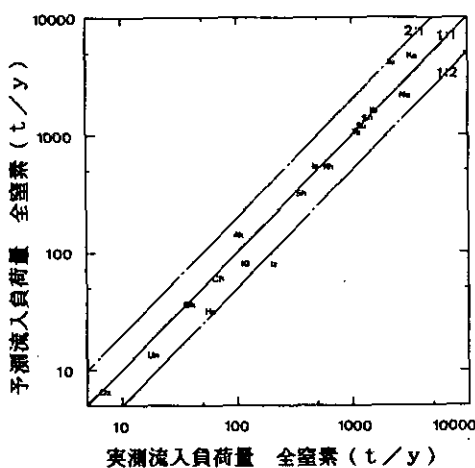


図 2 18湖沼での流入負荷量の実測値と予測値との比較(窒素)

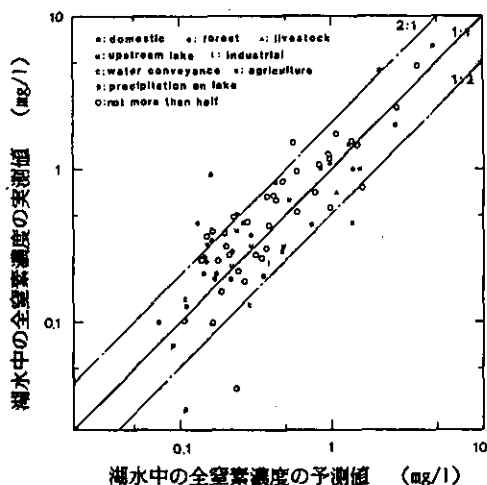


図 3 湖水中の窒素濃度の実測値と予測値との比較。図中の記号は卓越する発生源の種類で分けている。

4. 湖水中の栄養塩濃度と内部生産 COD、クロロフィル濃度との関係⁴⁾

湖水中で藻類の光合成が行われると COD、クロロフィルが生産される。図 4 には霞ヶ浦湖心におけるクロロフィル a と COD との関係を示すが、両者には正の相関がある。COD を懸濁態、溶存態に分けても共にクロロフィル a と正の相関を有する。湖外から直接流入する(外来性の)クロロフィル a は無視し得ることから、図 4 のような回帰式でクロロフィル a の濃度がゼロとなる所の COD は外来性の成分を表すことになる。この外来性の COD は年間の COD 最小値 (COD_{min}) とよく一致することから、湖内で生産された COD (Δ COD) は次式から推定できる。

$$\Delta \text{COD} = \overline{\text{COD}} - \text{COD}_{\text{min}} \quad (2)$$

ここで $\overline{\text{COD}}$ は年平均 COD 濃度である。図 5 には各湖沼ごとの年平均クロロフィル a と Δ COD との

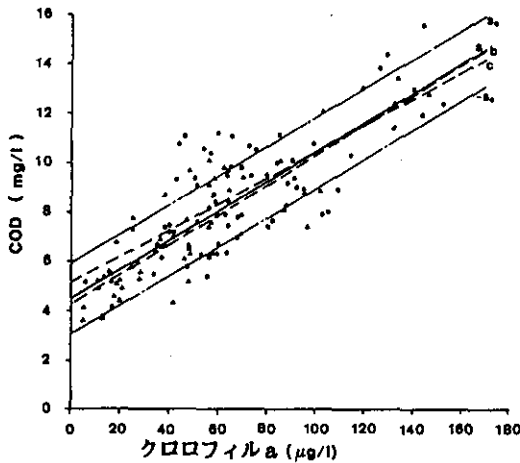


図4 霞ヶ浦(湖心)でのクロロフィルaとCOD濃度との関係。●:夏, 秋期, △:冬, 春期。

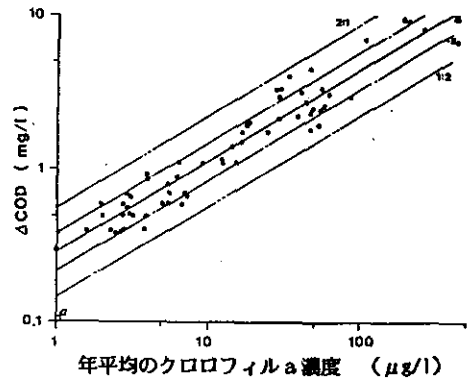


図5 年平均クロロフィルaと内部生産COD (ΔCOD)との関係

関係を示す。高い相関を示すが回帰式の傾きは1に比べかなり低い。この原因としては、主に藻類種、栄養状態の違い等からクロロフィルaの平均濃度が高い湖沼ほど内部生産COD/クロロフィルa比が小さくなることに関係していると考えている。

次に、リン、窒素という栄養塩の内どちらが内部生産を制限しているか決める必要がある。5湖沼でのクロロフィルaと懸濁態リン、懸濁態窒素との相関関係から藻類中の窒素とリンの比は11程度となったので、制限栄養塩濃度 \overline{Nu} をリン濃度換算として次の式で与えることにする。

$$\begin{aligned} \overline{Nu} &= C_{TP}, & C_{TN}/C_{TP} &\geq 11 \\ \overline{Nu} &= C_{TN}/11, & C_{TN}/C_{TP} &< 11 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで C_{TP} 、 C_{TN} はそれぞれ湖水中のリン、窒素濃度である。窒素制限となる湖沼は約1/4で富栄養化した湖沼、汽水湖に多い。

最後に、 \overline{Nu} と ΔCOD との関係を調べた。図6には滞留時間と $\Delta COD/\overline{Nu}$ 比との関係を示す。汽水湖、酸性湖では低め、上流に別の湖沼がある湖では高めとなるが、全体として滞留時間の増加と共に $\Delta COD/\overline{Nu}$ 比は増大する傾向にある。滞留時間が短いと内部生産が十分に起こらないうちに流出してしまうためと考えられる。図7は汽水湖等の特殊な湖を除き、滞留時間で3分類して \overline{Nu} と ΔCOD との関係を示す。図中の3分類した回帰式(b, c, d)はそれぞれ次のようである。

$$\begin{aligned} \Delta COD &= 27.5 \overline{Nu}^{0.789}, & T &> 1 \text{ y} \\ \Delta COD &= 21.3 \overline{Nu}^{0.789}, & 0.1 \text{ y} &< T \leq 1 \text{ y} \\ \Delta COD &= 14.0 \overline{Nu}^{0.789}, & 0.1 \text{ y} &\leq T \end{aligned} \quad (4)$$

この式を用いれば(ΔCOD 、 \overline{Nu} とも単位はmg/l)、湖水中のリン、窒素濃度から内部生産されたCOD濃度が予測できる。特殊な湖沼を除く61湖沼に適用してみると57湖沼で予測値が実測値の1/1.5~1.5倍の範囲に入った。クロロフィルaも同様に予測できる。

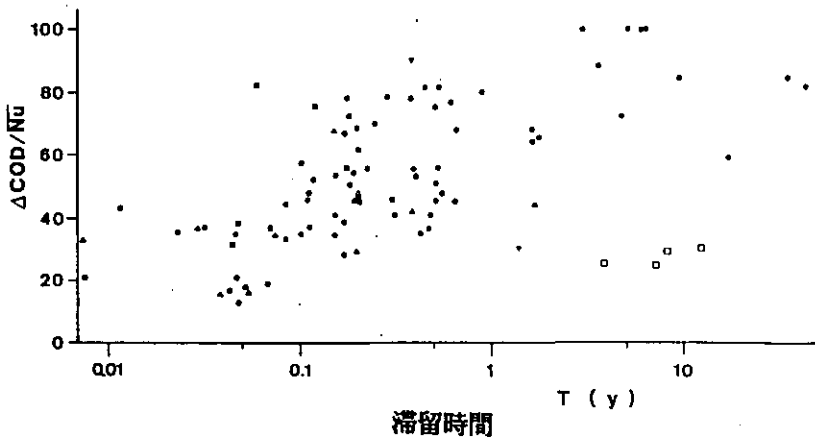


図6 滞留時間 T と $\Delta \text{COD} / \bar{N}_u$ 比との関係. \triangle : 汽水湖, \square : 酸性湖, \blacksquare : 下流湖沼, \blacktriangledown : 腐植栄養湖, \bullet : その他.

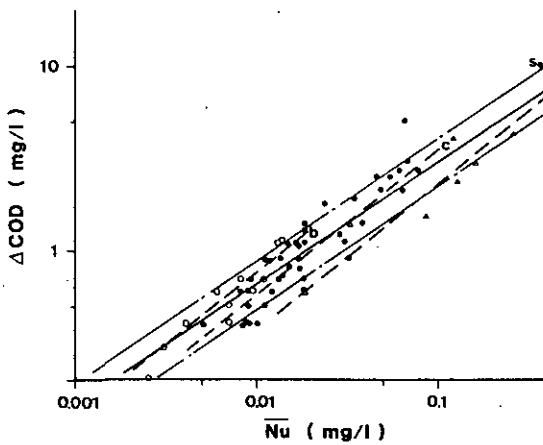


図7 制限栄養塩濃度 \bar{N}_u と ΔCOD との関係. \circ : $T > 1$, \bullet : $0.1 < T \leq 1$, \triangle : $T \leq 0.1 \text{ y}$, 回帰式 b,c,d は式(4)にそれぞれ対応.

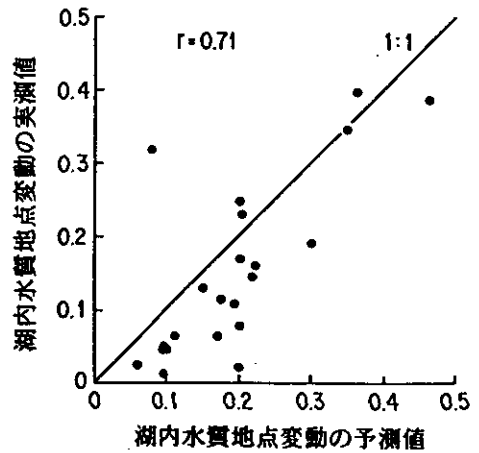


図8 22湖沼における湖沼内水質地点変動の大きさの実測値と予測値との比較 (COD, 横軸, 縦軸とも平均値で除してある).

5. 湖沼水質の変動特性⁵⁾

湖沼水質は地点、季節、経年などの要因により変動する。各変動の大きさを比較してみると、季節、残差、経年、地点変動の順になる。残差変動とは地点、季節等の要因で説明できないもので、主に降雨等の影響による短期の変動と考えられ滞留時間の短い湖沼ほどその寄与が大きい。地点変動の大きさは湖沼の混合度と湖内での水質変化率によりその大きさが推定できる(図8)。季節変動の大きさはCODの場合、4に述べたように栄養塩濃度が関係している。図9には富栄養化している12湖沼でのCODの年変化パターンを示す。5ヶ年の各月平均値を全平均値で割ってある。一般に8、9月にピークを迎える湖沼が多いが、手賀沼、油ヶ淵、印旛沼、児島湖といった平均COD濃度が高い湖沼では春先のピークが高い。滞留時間、藻類種の季節変化が関係しているものと考えている。

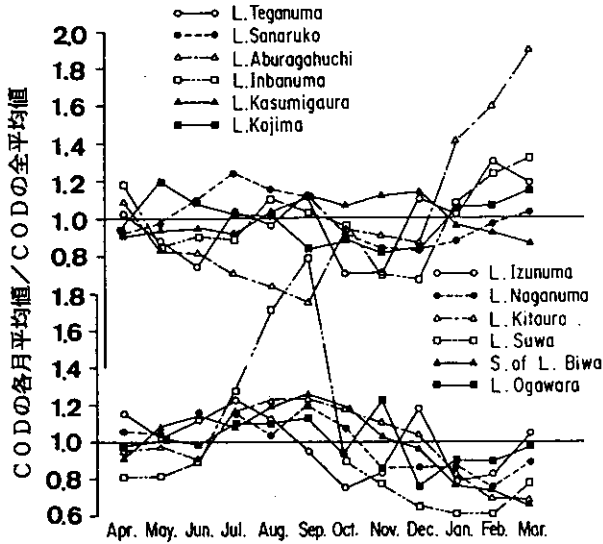


図9 12湖沼でのCODの季節変化パターン

6. おわりに

湖沼水質の簡単な予測方法を示し、全国90湖沼に適用して十分な成果を得た。湖沼水質保全計画では様々な対策案が提案されているが、それらの効果予測、整合性の評価に有効に活かされるものと考えられる。今後の課題としては、データベースの更新、藻類の異常発生の予測、流域における栄養塩排出対策の余裕度の評価等が挙げられる。

参考文献

- 1) 天野耕二・福島武彦・中杉修身・内藤正明(1986)：水環境管理を支援するデータベースについて，国立公害研究所研究報告，第98号，119-132.
- 2) 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾(1986)：湖沼水質の簡易な予測モデル1，水質汚濁研究，**9**，586-595.
- 3) Vollenweider, R. A. (1976)：Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Memorie, dell Istituto Italiano di Idrobiologia, **33**, 53-83.
- 4) 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾(1986)：湖沼水質の簡易な予測モデル2，水質汚濁研究，**9**，775-785.
- 5) 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾(1986)：日本全国90湖沼の水質変動特性の統計解析，衛生工学研究論文集，**22**，75-85.

有機塩素化合物による地下水汚染について

平 田 健 正 (水質土壤環境部)

概 要 トリクロロエチレン等の有機塩素化合物による地下水汚染について、全国的な規模で汚染を引き起こした要因や汚染機構をまとめ、有機塩素化合物の土壤生物に及ぼす影響や有機塩素化合物を分解する微生物について述べる。

1. はじめに

環境庁地下水汚染実態調査(昭和57年度)でトリクロロエチレン等の有機塩素化合物による地下水汚染が見つかったから、5年が経過した。国や地方自治体で実施されたその後の調査でも新たな汚染が見い出されるなど、全国的な規模で汚染されている状況にある。その間、国においても汚染防止対策などの施策を構じてきた。トリクロロエチレン等の有機塩素化合物はごく微量でも発ガンの疑いのある物質とされているため、厚生省(昭和59年2月)は長期に摂取しても健康影響の生じないよう、飲料水の水質基準値として暫定的に、トリクロロエチレン：0.03mg/l以下、テトラクロロエチレン：0.01mg/l以下、及び1,1,1-トリクロロエタン：0.3mg/l以下を定めた。環境庁(昭和59年8月)では汚染防止対策として、トリクロロエチレン等を含む排水を地下浸透する場合の管理目標と公共用水域へ排出する場合の管理目標を、通商産業省は関連する工場・事業所からの排出基準を、建設省は下水道への排出基準を、それぞれ暫定的に定めたが、汚染状況の改善ははかばかしくない。

それではどうすれば今汚染されている地下水がきれいになり、また未然に汚染を防止できるのか。これらの問題解決を目標に国立公害研究所では昭和59年度に、特別経常研究「合成有機化合物による地下水汚染の研究」を起こし、この研究は昭和60年度から5ヶ年の計画で組織された特別研究「土壌及び地下水圏における有害化学物質の挙動に関する研究」に発展する。本特別研究は水質土壤環境部、総合解析部、計測技術部、生物環境部、環境情報部、技術部の6部、24名の研究者で構成され、有機塩素化合物による地下水汚染と重金属による土壤汚染の2つのテーマからできている。ここでは有機塩素化合物関係についての研究成果を発表するが、内容は特別研究を構成する個々の研究者の得た成果をまとめたものであることとお断りしておく。最初に、汚染を引き起こした要因やどのような経路で汚染物質が地下水へ侵入したのか、汚染機構について述べる。続いて有機塩素化合物の土壤生物への影響やこの特別研究で見つけた難分解性物質の分解菌について述べる。

2. 広域的な汚染を引き起こした要因

過去にも化学物質による地下水汚染はあった。4エチル鉛、6価クロム、シアンなどであるが、これらの汚染物質は使用範囲も限られていたことから、汚染はスポット的、一過性のものが多い。これと比べて、有機塩素化合物による地下水汚染は、汚染範囲が十数kmに及ぶものもあり、浅い地下水も深い地下水も汚染されている、などの特徴を持つ。何よりも全国的な規模で汚染が進むには、汚染

された地域で何か特別なことが起こっていたのではなく、この汚染に共通した要因があるからである。主要なものを挙げると次のようである。

1) 理化学特性が特徴あること

トリクロロエチレンなどは塩素を含む化合物であり、水より重い。また粘性や表面張力は水より小さく、一口に言えばサラサラした液体であり、土には水よりむしろ浸透し易い性質を持つ(村岡・平田、1986)¹⁾。水への溶解度はトリクロロエチレンで1100ppm、テトラクロロエチレンで150ppmであり、この値から見れば水には溶けにくい物質である。しかしながら、水質の暫定基準値は極めて低いところにあるから、飲料水の暫定基準値をベースにすればトリクロロエチレンで36700倍、テトラクロロエチレンで15000倍も水に溶け得る。土には吸着しにくい物質であり、化学的に安定であるため環境中に出てもなかなか分解されないことも知られている。

2) 社会的に有用な物質であること

有機塩素化合物は不燃性で爆発の危険がないこと、脱脂洗浄力が強く、しかも水より低沸点のため気化エネルギーが安価なこと、汚れば蒸留回収によって再利用できること等、溶剤としての要件を備えている。用途は金属部品、IC、電子部品等の洗浄、ドライクリーニング、塗料の溶剤など、広く使用されており、昭和61年にはトリクロロエチレン7.1万トン、テトラクロロエチレン7.0万トン、1,1,1-トリクロロエタン12.8万トンが生産されている。(中杉、1986)²⁾

3) 微量汚染物質であること

トリクロロエチレンなどはごく微量でも長期的に摂取すれば健康を損うおそれがあるとされており、飲料水の暫定基準値も非常に低いところに設定されている。2)で述べたように、年間数万トンに上る膨大な量が製造・使用されており、製造→使用→処理・処分の過程で、物質収支的には拮落ちした無視し得る程度の量であっても、地下水汚染と結びつくことがある。

4) 未規制の物質であること

有機塩素化合物はBODやCODの有機汚濁の測定にはひっかからず、暫定基準が決められるまでは「水質汚濁防止法」や「水道法」の対象外であった。

ところが有機塩素化合物が深刻な地下水汚染を引き起こしていることから、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」が昭和61年に改正され、新たに指定化学物質の項目が設けられた。これにより、昭和62年10月現在でトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルムや四塩化炭素等の8物質が指定化学物質に指定され、こうした物質については今後、製造・輸入量や用途の実績を報告する必要が生じることとなった。

3. 有機塩素化合物の地下水への侵入経路

有機塩素化合物は製造→使用→処理・処分の過程で排ガス・排水・廃棄物などによって環境中へ侵入していく(中杉、1986)²⁾。必ずしも全ての侵入経路が今問題となっている濃度レベルの汚染を引き起こしているとは考えにくいだが、ここでは地下水への侵入経路についてまとめる。

1) 排ガス由来の汚染

排ガスの濃度として、作業環境下での管理目標値50ppm(体積濃度、労働省・1984)を考える。村

岡(1988)³⁾の試算によれば、トリクロロエチレン 50ppm は重量濃度 273mg/m³、空気の温度差に換算すると0.13℃となるが、この程度の重さでは排ガスが垂れ下がり、直接地面と接触するとは考え難い。また大気経由のものとして雨がある。雨に 1 ppb 程度のトリクロロエチレンが含まれていることもあるが(森田ら, 1974)⁴⁾、この値では今問題となっている地下水汚染とは結びつかない。

2) 排水由来の汚染

有機塩素化合物が使用過程で水と直接触れる機会がなくとも、蒸気洗浄やドライクリーニングなどで溶剤を回収する時に、高濃度な排水が生じる(中杉, 1986)²⁾。現在では活性炭で吸着処理されるが、その場合も回収処理すれば有機塩素化合物を含有した水が残る。こうした水は地下水汚染が広く認識されるまでは、何ら処理されることなく排出されていたとも考えられる。この排水が素掘りの水路や、コンクリート水路でもその継手から土壤中に長期にわたって浸透すれば、地下水汚染と結びつく。

3) 事故や廃棄物に由来する汚染(図1)

地下に埋設されたタンクのき裂や配管継手に不備があると、有機塩素化合物の原液が漏れる危険性がある。また溶剤の回収に用いたろ過フィルターや蒸留残渣には原液に近い物質が含まれており、これらの廃棄物が埋め立てられるとどのようなようになるのか。土壤のモデルとしてガラスビーズ・川砂・鹿沼土を用いて行った、トリクロロエチレン原液の浸透実験を紹介する。⁵⁾これによると

- a) トリクロロエチレンなどは粘性や表面張力が小さいため、不飽和状態の土壤にはよく浸透する。
- b) 飽和状態(水に満たされた地下水帯)でも土粒子が 3 mm 程度と大きく、間隙が広い場合には、飽和帯に侵入し、粒子と粒子の間にひっかかる。粒径が小さいと飽和水面上に溜るが、それでも飽和水面(地下水面)が上下に振動するとトリクロロエチレンは飽和帯に侵入する。

このように地下水中に侵入した原液は、その後、徐々に溶け出し地下水を汚染する。

また、土壤からのトリクロロエチレンの溶出実験も行っている。

³⁾ 図2にある円筒カラムに鹿沼土を詰め、トリクロロエチレン原液を浸透させておいて、上から蒸留水の雨を降らせる。底からの浸出水に含まれるトリクロロエチレン濃度を調べたのが図2であるが、浸出直後から 1000ppm と極めて高濃度で溶出することが判る。このように原液が漏れたり、汚染物質を含む廃棄物が埋め立てられると、簡単に地下水汚染と結びつく。

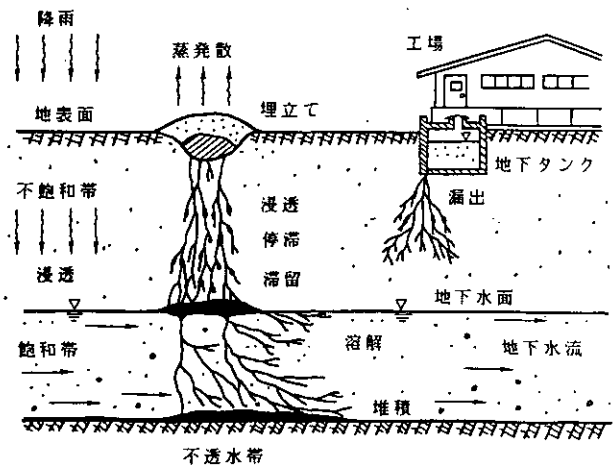


図1 地下タンクや埋立地からの漏出の例(村岡, 1988)³⁾

4) 井戸への投棄

あつてはならないことであるが、廃溶剤の井戸への投棄も考えておく必要がある。村岡・平田(1986)¹⁾は深さ3m、内径10.5、2.5cmの3本の模型井でトリクロロエチレン原液の投下・溶解実験を行っているが、図3にある通り、ただ投棄するだけで120ppmも溶ける。これは飲料水の暫定水質基準値の4000倍に相当する。

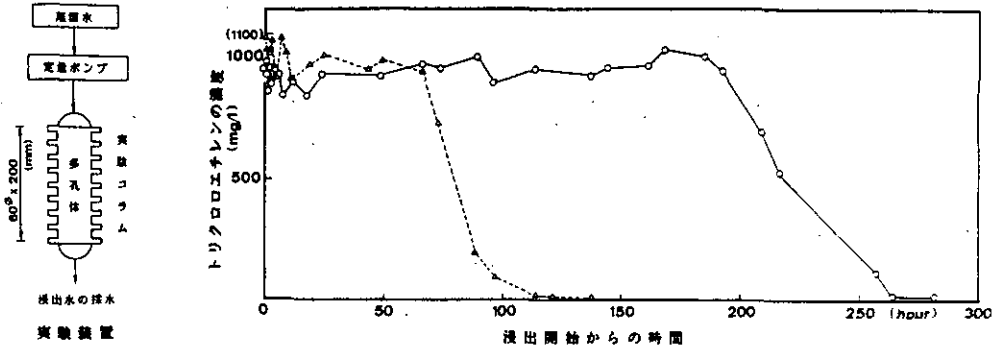


図2 土壌からのトリクロロエチレンの溶出 ○：トリクロロエチレン6g、
△：同2g注入。降雨強度は共に10mm/hr(村岡, 1988)³⁾

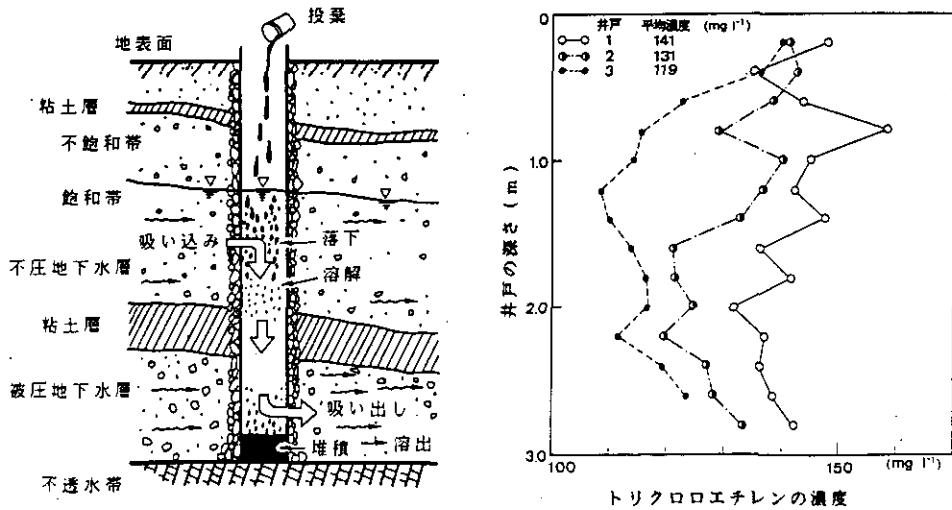


図3 井戸へ投棄された時の想定図と実験井1, 2, 3, (径10.5, 2.5cm, 深さ3m)にトリクロロエチレンを投下した時の井戸水中の濃度(村岡・平田, 1986)¹⁾

4. 土壌生物への影響

土壌1g中には約1億にも上る土壌生物が生息している。トリクロロエチレンなどを含む水が土壌に浸透すると、まず最初にこれらの生物に影響を与える。さらに重金属による影響などの試験結果と比較することによって有機塩素化合物の相対的な毒性を知ることができる。

稲森ら(1988)⁶⁾はヒルガタワムシ (*Philodina roseola*) やベニアブラミミズ (*Aerosoma hemprichi*) などに対する有機塩素化合物の短期暴露実験を行っている。表1はトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンと1,1,1-トリクロロエタンについて、これらの土壤動物の半数が死に致る半数致死量を示したものであり、比較のために重金属の値もまとめている。これによると、土壤動物に対する毒性はテトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタンの順に強いが、これらの3物質の半数致死量は銅、亜鉛、クロムの値よりかなり高く、相対的な毒性は弱いと言える。またテトラクロロエチレンの半数致死量は10ppm以上となっており、かなり高濃度でないとも土壤生物には影響を及ぼさないことも判る。

表1 土壤微小動物の半数致死量(稲森ら, 1988)⁶⁾

微小動物	有機塩素化合物			金属元素		
	トリクロロエチレン	テトラクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエタン	銅	亜鉛	クロム
ヒルガタワムシ	92	33	162	5.4	9.2	1.4
ベニアブラミミズ	47	13	92	0.9	3.4	0.04

5. 有機塩素化合物を分解する微生物

トリクロロエチレンなどは環境中では生分解を受けにくい難分解性物質と言われているが、もし分解する微生物が見つければ、汚染された地下水の浄化や排水・廃棄物の処理に役立つ。こうした視点から、各地の土壤から有機塩素化合物の分解菌を検索してきた。

その結果、内山・矢木(1988)⁷⁾は極めて効率よくトリクロロエチレンを生分解する微生物を見つけることができた。この微生物はメタンを栄養源にして生長するが、メタンと酸素を混合した培養系でトリクロロエチレンの分解性能を調べたのが図4である。トリクロ

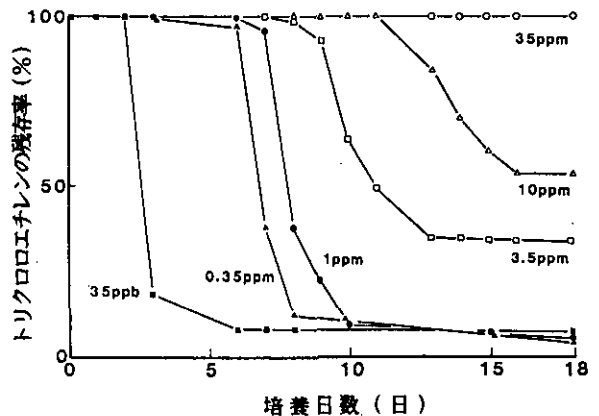


図4 各種トリクロロエチレン濃度における生分解(内山・矢木, 1988)⁷⁾

ロエチレン濃度がほぼ暫定水道水水質基準値に相当する35ppbでは3日間で90%以上が分解され、最高10ppmという暫定水道水水質基準値の300倍の濃度まで分解していることが判る。これまでにトリクロロエチレンを分解する微生物の報告はあるが、10ppmという高濃度まで分解する微生物の発見は世界で初めてである。また10ppmや3.5ppmでは途中で分解が終っているように見えるが、これはメタンや酸素がなくなったため、十分なメタンや酸素を供給すればさらに分解が進むと思われる。

今後、この微生物の性質が明らかになり、バイオリクターの開発が進み、無害な物質にまで分解できることが確認できれば、汚染の浄化に役立てることができる。中でも人為的な制御の可能な排水・排ガス・廃棄物に微生物分解を応用して処理できる可能性がある。

6. 今後の課題

地下水の水温や水質は一年を通して安定していることから、古くから水資源として利用されてきた。実際にわが国の生活用水の約30%は地下水で賄われている。その反面、地下水の流れは非常にゆっくりとしており、一度汚れると元の状態に戻すことが困難であるばかりか、汚染は数年、数十年にわたって長期化すると見られている。そのかけがえのない地下水がトリクロロエチレンなどの有機塩素化合物によって、ほぼ全国的な規模で汚染されているのである。

この有機塩素化合物による地下水汚染は、汚染物質が社会的に有用であり、多量に生産・消費されていること、しかも長期に摂取するとごく微量で人の健康を損なうおそれのある物質とされていること、に特徴がある。地域地下水で汚染が見つかったと、なぜ汚染されたのか、汚染機構の解明に始まり、浄化対策などが検討されていく。もちろん汚染された地下水はばっ気や活性炭処理、あるいは水源転換など応急措置は取られるが、最も積極的な浄化対策は汚染源を取り除くことである。実際に汚染土壌を撤去すると、地下水中の汚染物質濃度が下がった報告もある。

ところが、有機塩素化合物は広く使用されており、地下水の流れがよく判らないことから、汚染の拡がりを捉えることは難しく、大抵の場合汚染源が特定できない。こうした状況から、汚染機構の解明はもちろんであるが、汚染の拡がりを正しく把握するためのモニタリング手法の開発や、数値シミュレーションを活用した汚染物質の拡散予測などが必要となる。さらに浄化対策として土壌の撤去など物理手法以外にも微生物分解の応用などを検討する必要がある。

参考文献

- 1) 村岡浩爾・平田健正(1986)：水中における有機塩素化合物の挙動について。文部省科研環境科学特別，**B293 - R12 - 14**，57-63.
- 2) 中杉修身(1986)：有機塩素化合物の環境への侵入形態。文部省科研環境科学特別，**B293 - R12 - 14**，19-27.
- 3) 村岡浩爾(1988)：地下水汚染機構の解明。第12回日本水質汚濁研究協会セミナー，68-78.
- 4) 森田昌敏・中村 弘・三村秀一(1974)：河川水および井戸水中の有機物の分析法ならびにその含有量に関する研究「第Ⅲ報」。東京衛研年報，**25**，399-403.
- 5) 平田健正・村岡浩爾(1987)：多孔体における合成有機化合物の浸透と溶出。国公研第2回土壌・地下水汚染シンポジウム，100-104.
- 6) 稲森悠平・松重一夫・須藤隆一・菊池寿一(1988)：有機塩素化合物の土壌生物の生存，増殖，浄化に及ぼす影響。国公研第3回土壌・地下水汚染シンポジウム。(印刷中)
- 7) 内山祐夫・矢木修身(1988)：揮発性有機ハロゲン化合物の好氣的生分解。国公研第3回土壌・地下水汚染シンポジウム。(印刷中)

重金属汚染と生物

安野正之 (生物環境部)

概要 日本の各地の重金属汚染河川の生物相を調査し、そこに特徴的な藻類と底生動物を明らかにした。これらは重金属に耐性があるが、その機構は必ずしも同じでない。特にケイ藻の一種、カゲロウの一種について、その耐性機構が解明されつつある。

1. はじめに

重金属汚染は主として鉱山事業と密接な関係がある。わが国においては鉱山事業は一部の金鉱山を除いて縮小の一途をたどり、大規模の汚染源は見られなくなった。足尾、安中、神岡なども環境汚染の歴史にのみ名をとどめるかにおもわれる。農用地土壌の重金属汚染にたいする対策はとられてきたことから、もはや汚染されているところはなくなったのかということ、決してそうではなく、小規模の汚染が全国各地に存在しているのである。それらの多くは山中にあり、他の河川と合流すると希釈され環境基準値以下になる。その殆どが銅の廃休止鉱山を汚染源にしている。住民への直接の被害はあまり起きていないとしても、いまだに一見すると生物の棲めない川があり、少なくとも住民はその近くでは魚が取れないことを知っている。このような河川にも少数ではあるが生物が見つけれられる。これらがどのような生物で、どのような性質を持っているかを明らかにすることは、極限の環境にたいする生物の適応能力を知るうえにたいへん重要なことである。

2. 汚染の状況

これまで私たちが調査した河川は約20で、全国にまたがっており、大なり小なり汚染されていた。これらはかなり農用地土壌汚染の対策地域と重なっているが、後者の多くはカドミウムの汚染を対象にするのに対し私たちが調査した地域は銅、亜鉛の汚染の高いところが対象になっている。鉱山廃水の多くが銅、亜鉛、カドミウム、鉛、鉄を含んでいるが、鉱山によってその組成に違いがある。それらの毒性は対象となる生物でかなり異なる。例えば、亜鉛は人を含めてほ乳動物への毒性は低いが、藻類や水生昆虫にたいしては高いので、健康影響のみを考慮するならば殆ど問題にならないが、生態系影響を考慮するならばその汚染は無視できない。銅についても人への影響の観点は生態系影響の観点よりもはるかに高いところに設定されている。したがって、私たちが調査した地点はすでに問題が解決されたとするところかもしれないが、生物の側からみるとまだ汚染されているわけである。

3. 汚染河川に特徴的な底生動物

重金属汚染河川においては汚染の程度にしたがって底生動物の種類が次第に少なくなることはよく知られている。耐性の高い種類として、ユスリカ、コカゲロウ、などがみつかつているが、これらが年間に世代をくりかえすことから、季節を問わず見つけることができることも一因になっている。春

にだけ出現するヤマナカナガレトビケラ、ヌカカ的一种、フタタマダラカゲロウなど耐性があるのではないと思われる種類が記録されている。

一般に汚染されていない河川では一地点で一回に30種程の底生動物をみることができる。ただしこれにはユスリカはふくまれていない。ユスリカはほぼ同じ数かそれ以上見いだされる。コカゲロウも一種ではなく複数の種からなっているが、そのどれもが同じような重金属耐性を示すわけでない。しかし耐性のある種は汚染されていない河川にも多数出現する。一方ユスリカはきわめて特異的に汚染地域のみ出現する耐性種が見つげられた。

4. 汚染河川に特徴的な藻類

藻類についても汚染の程度が高くなるにしたがい種類数は減少することがみとめられる(図1)。汚染河川に特徴的な種類は表1に示すようにわりと限られている。いずれの場合でも、*Achnanthes minutissima* がみられた。またラン藻の *Phormidium luridum* が出現することに注意してほしい。もう一種のラン藻の *Chamaesiphon minutus* は一般の河川にごく普通に出てくる種類で、重金属汚染河川では常に低い密度である。図2に示すように季節の変動も無視できない。*Phormidium luridum* は初夏に多く、*Hydrurus foetidus* は冬に多い。これら重金属汚染河川に特徴的な藻類組成は現場での藻類の入れ替え実験で証明することができた。表2に示すように汚染されている河川とそれに隣接する汚染されていない河川の石を相互に入れ換えたとき、その付着藻類の種類組成はそれぞれ移された河川の組成に近づく事がわかる。

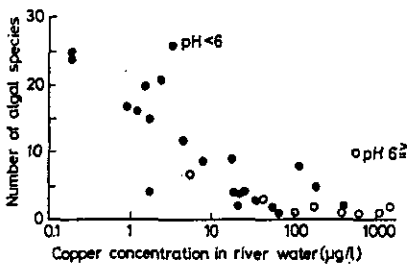


図1 河川中の銅濃度と藻類種数の関係

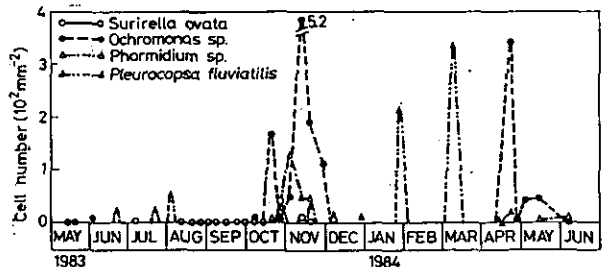
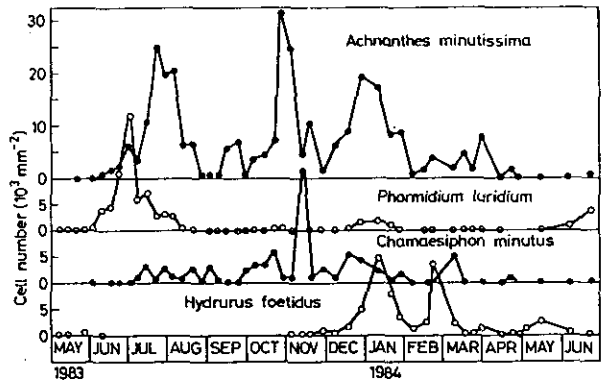


図2 重金属汚染河川における特徴的な藻類の生物量の季節変化

表1 日本における銅汚染河川に出現する特徴的な藻類

河川	銅濃度	pH	代表種
Kosaka R.	under 80 ppb	above 6.0	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Hydrurus foetidus</i> , <i>Chamaesiphon minutus</i>
Kakehashi R.	under 5300 ppb	above 6.2	<i>Phormidium luridum</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>
Jinryuu R.	under 180 ppb	above 7.0	<i>Achnanthes minutissima</i>
Mazawa R.	under 190 ppb	above 6.4	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Phormidium luridum</i> , <i>Chamaesiphon minutus</i> , <i>Hydrurus foetidus</i>
Senasaka R.	under 620 ppb	above 6.1	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Ochromonas</i> sp.
Yoshino R.	under 640 ppb	above 6.0	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Ochromonas</i> sp., <i>Chamaesiphon minutus</i> , <i>Hydrurus foetidus</i>
Yoshino R.	270 ppb	4.7	No algae
Yoshino R*	6200 ppb	2.6	<i>Euglena mutabilis</i> , <i>Pinnularia braunii</i> , <i>Cyanidium caldadium</i> .
Kakehashi R.	360 ppb	under 3.5	<i>Hormidium</i> sp.
Senasaka R.	1070 ppb	6.0	No algae

*貯水池

それではこれらの藻類はどのぐらいの重金属濃度に耐えられるのか？ 野外から取ってきた藻類は系統微生物棟で単離培養し、いろいろな濃度の銅、カドミウム、亜鉛を含む試験培地に暗黒で24時間置いたあと光合成活性を測定した。

その結果は光合成速度の半阻害濃度(μM)として表3にしめされている。*Achnanthes minutissima*は予想通り大変高い耐性があることがわかる。ちなみに汚染河川の銅の濃度の10倍、カドミウムの3000倍、亜鉛の50倍程度の濃度で阻害がみとめられたわけである。同じように高い重金属濃度でも光合成が阻害されない藻類として緑藻の仲間がある。これらも実際に重金属の極めて高い所に見つけることができる。ラン藻類はどうかというと、汚染地域で採取した種類でも銅にかんしては河川で測定できる濃度以下で阻害されることが示された。この結果はさきに述べた汚染河川でのラン藻の出現(事実この試験にも用いた)と矛盾するところである。カドミウムや亜鉛についてもケイ藻や緑藻よりは低い値であったが、汚染河川の濃度より高かった。一般に藻類に対しては銅の毒性がカドミウムや亜鉛よりも高いことを示唆している。しかしここで用いた試験方法が24時間の暴露であることと光合成速度に関するものであるので生育できるかどうかは別の試験も必要かも知れない。

表3にも示されているように、同じ水系でも汚染されていない地点で採取した藻類は銅に関しは耐性をもたない。それは耐性種として述べてきた *Achnanthes minutissima* についても耐性の程度の違いを見いだすことができた。ケイ藻類はその生息水域の銅濃度と光合成阻害濃度の間に相関が認められた。緑藻では *Chlorococcales* の仲間では生息環境の銅濃度に関係なく高い耐性を示した。ラン藻類の場合はあまり明瞭な関係が認められない。

表2 藻類の入換え実験結果
汚染河川 Ma ⇄ 非汚染河川 Mi

藻類種	川週	Ma → Mi			Mi → Ma		
		0	1	2	0	1	2
		<i>Chamaesiphon minutus</i>	**	*	***	***	**
<i>Homoeothrix janthina</i>				****			
<i>Phormidium luridum</i>	****	****	**		***	****	
<i>Hydrurus foetidus</i>			*	***		**	
<i>Ochromonas</i> sp.			*	****	****	***	
<i>Achnanthes lanceolata</i>				**	*		
<i>Achnanthes minutissima</i>	***	***	**		**	***	
<i>Ceratoneis arcus</i>		**	*	**		*	
<i>Cymbella sinuata</i>		*			*		
<i>Cymbella turgidula</i> v. <i>nipponica</i>		*	*	**		**	
<i>Cymbella ventricosa</i>			*	**	*	**	
<i>Diatoma hemale</i> v. <i>mesodon</i>				**	*		
<i>Gomphonema devei</i> v. <i>javanica</i>		**	*	***	**	*	
<i>Gomphonema separatipunctatum</i>				**	*		
<i>Navicula cryptocephala</i>		*	*	**	*		
<i>Navicula</i> sp.			*				
<i>Nitzschia dissipata</i>			*				
<i>Nitzschia frustulum</i> v. <i>perpusilla</i>				**	**		
<i>Rhoicosphenia curvata</i>				**	*		
<i>Suriella linearis</i>			*				
<i>Geminella</i> sp.				***			
<i>Ulothrix</i> sp.				**			

細胞数 / mm²: * < 100, ** 100~1000, *** 1000~10000,
**** 10000<

5. 重金属耐性の機構

このように汚染された河川に生育できる藻類はどういう機構をもっているのでしょうか？

Achnanthes minutissima について研究した例を紹介したい。*Achnanthes minutissima* は小坂から採取したものを系統微生物棟で分離し、無菌化した系統をつかい銅の濃度 (CuSO₄ で調整) を 7 μM と 22 μM で培養した。前者の濃度では 3 週間後においても、全銅の 96.7% が培養液中に残り、細胞の中にはほとんど入っていないかった (表 4)。銅の濃度が高い場合には多少細胞内にはいることが示されている。それでも 97.6% は藻体の外にあり細胞内にはいらないための機構を持っていることを示している。細胞内に入った銅は後に述べる動物の場合と違って、メタロチオネンを誘導しない。有機酸と結びついて細胞外に排出されると考えられる。細胞壁における防御にも同じような機構が働いていると考えられる。これらを図 3 に示す。

藻類は全てこのような耐性機構を持っているかというところではなさそうである。緑藻のばあいにはむしろ体内に蓄積するが、その解毒機構についてはこれから解明されねばならない。

表3 単離した藻類種と採取地点及び銅、カドミウム、亜鉛に対する光合成速度の半阻害濃度 (μM)

	Cu	Cd	Zn
Cyanophyceae			
1. <i>Chamaesiphon subglobosus</i> Lemmermann (Miyata R. St.2)	0.75	76.7	85.0
2. <i>Phormidium ramosum</i> Boye-Pet (Takatori R.)	1.57	7.5	55.6
3. <i>P. foveolarum</i> Gom. (Miyata R. St.2)	0.46	32.2	85.3
Bacillariophyceae			
4. <i>Achnanthes minutissima</i> Kutz. (Kosaka R.)	>20	201.3	401.7
5. <i>A. minutissima</i> Kutz. (Miyata R. St.1)	15.7	311.0	504.1
6. <i>A. minutissima</i> Kutz. (Miyata R. St.2)	>20	274.4	1145.8
7. <i>A. minutissima</i> Kutz. (Miyata R. St.3)	>20	141.9	513.2
8. <i>Surirella angustata</i> Kutz. (Miyata R. St.3)	6.0	55.1	212.5
9. <i>A. lanceolata</i> var. <i>lanceolata</i> Breb. ex Kutz. (Miyata R. St.0)	0.27	38.1	40.0
10. <i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>obtusatum</i> (Kutz.) Grun. (Mt. Tsukuba)	0.31	12.7	50.9
11. <i>Neidium bisulcatum</i> var. <i>baicalense</i> (Skv. & Meyer) Reim. (Miyata R. St.0)	0.06	58.9	35.0
12. <i>Pinnularia substomatophora</i> Hust.(Oze)	0.17	>2000	65.4
13. <i>P. brevicostata</i> Cl.(Miyata R. St.0)	0.15	>2000	144.1
14. <i>S. ovata</i> var. <i>pinnata</i> W. Smith (Miyata R. St.0)	0.31	290.9	49.9
15. <i>Synedra</i> sp. (Miyata R. St.0)	0.58	28.3	203.4
Chlorophyceae			
16. <i>Chlorella vulgaris</i> Beij. (Miyata R. St.2)	>20	222.4	510.5
17. <i>C. vulgaris</i> Beij.(Miyata R. St.3)	>20	339.2	513.5
18. <i>Chlamydomonas pulvinata</i> Vischer (Miyata R. St.3)	>20	>2000	>1500
19. <i>Franceia amphitricha</i> (?) (Lagerh.) Hegew. (Miyata R. St.3)	>20	>2000	>1500
20. <i>Scenedesmus acutus</i> Meyen (Miyata R. St.3)	>20	331.5	>1500
21. <i>S. acutus</i> Meyen (Miyata R. St.1)	8.17	358.0	>1500
22. <i>Oocystis lacustris</i> Chod. (Miyata R. St.2)	>20	973.9	>1500
23. <i>Chlorolobion braunii</i> (Nag.) Kom. (Miyata R. St.0)	15.2	>2000	331.9
24. <i>Klebsormidium subtile</i> (Kutz.) Heering (Miyata R. St.1)	>20	1474.6	>1500
25. <i>Ulothrix variabilis</i> (Kutz.) Kutz. (Takatori R.)	>20	593.7	>1500
26. <i>Uronema confervicolum</i> Lagerheim (Miyata R. St.2)	>20	148.0	>1500
27. <i>Stigeoclonium aestivale</i> (Hazen) Collins (Miyata R. St.3)	19.51	66.7	207.6
28. <i>Chaetophoraceae</i> (Gongrosira?) (Miyata R. St.1)	>20	1322.3	511.7
29. <i>Spirogyra</i> sp. (Mt. Tsukuba)	0.20	86.6	>1500
30. <i>Klebsormidium klebsii</i> G.M. Smith (Mt. Tsukuba)	0.84	368.8	181.2

表4 *Achnanthes minutissima* 及び培養中の銅の分布

	7 μ M-Cu	22 μ M-Cu
培養液中	96.7 %	61.2%
EDTA洗浄液内	2.6 %	36.4%
細胞壁	0.18%	1.0%
細胞膜	0.45%	1.1%
細胞内	0.07%	0.3%

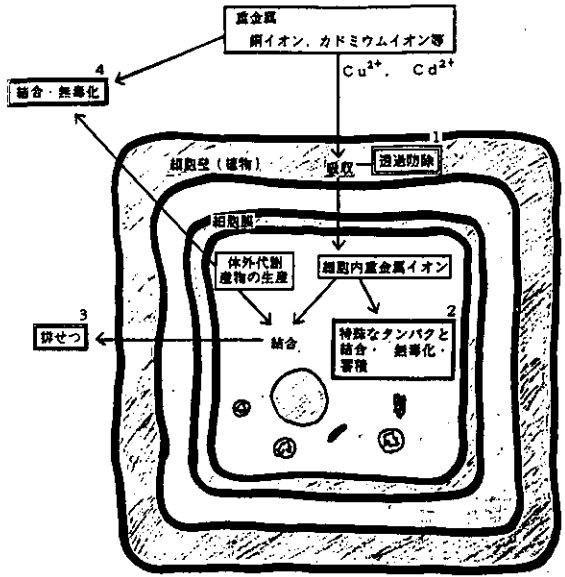


図3 植物の重金属耐性の機構
動物：2が主。
植物：1, 2, 3, 4の機構が考えられる。

動物の場合には細胞壁が無い点で植物とちがうが、重金属はどちらかという細胞内に蓄積する傾向が強い。魚や虫の場合もほ乳動物と同じようにタンパク質に結合して無毒化していることがわかってきた。これまで比較的耐性のあることが分かっているシロハラコカゲロウは銅とカドミウムについては結合タンパク質を誘導するが、亜鉛は誘導しないことがわかった。これに近縁で重金属に汚染されていない河川に生息するのヨシノコカゲロウとサホコカゲロウを実験室で銅、カドミウム、亜鉛に暴露したところどの種もおなじようにカドミウムを蓄積したが、結合タンパク質を誘導したのはシロハラコカゲロウだけで他の2種はこれを作らなかった。この低分子のカドミウム結合タンパク質を誘導する仕組みをもって汚染河川に生息できる耐性を持っていると考えられる。

6. おわりに

・重金属汚染の生態系にたいする影響はまだ十分に解明されていないが、汚染も世界各地にまだかなり深刻な状況で残されている。ここでの研究成果はかなり普遍性のあるものと考えられるが、外国の汚染地域におけるその検証も将来の重要な課題である。また一方異なった耐性機構をもつまったく違う重金属耐性種が生息している可能性もある。それらは重要な遺伝子資源と考えられる。

公害・環境情報の入手と提供

— インフォテラ・データベースを例として —

後 藤 典 弘 (環境情報部)

概 要 大気や水質のデータ、環境問題に関する新聞記事、各種専門学術雑誌等にのった公害や環境問題に関する論文等の専門情報は、どのようにしたら効率よく入手できるのか。又、そうした情報の提供体制はどうなっているのか。ここでは、最近、多くの情報の入手や提供が主にデータベースで行われるようになってきていることから、その具体的方法について、当研究所でデータベース化した情報源“インフォテラ”(INFOTERRA)データベースを例にとり、現状と将来を展望する。

1. はじめに

国立公害研究所の環境情報部の業務は、公害など環境に関する国内外の資料等の情報を広く収集、整理し、提供することである。

こうした公害・環境問題に関する一般情報あるいはそのデータ・資料といった専門情報は、実際には、既存の各種の専門分野や領域に幅広くまたがっている。このため、これらの情報を体系的に情報源から収集し、加工・処理・評価を行って、必要とする行政や研究者のユーザーに的確にしかも効率よく提供することは、想像するほど容易なことではない。

今日、情報の取り扱いや処理はコンピューター(電子計算機)の助けなくして考えられない。国立公害研究所の環境情報部でも、早くから大型コンピューターを整備し、研究上必要となる通常の科学技術計算業務に資するとともに、収集した情報の処理・提供の面ではコンピューターを活用する努力を続けてきている。特に、得られたデータや資料をコンピューターに整理した形で記憶させ、これを必要とする時に自由にオンラインで検索して見たり、あるいは引き出したりすることができるシステムの開発に取り組んできた。このように、コンピューター上で検索できるように体系的に集められたデータのファイルシステムを、一般に「データベース」といっている。

国立公害研究所が、公害・環境情報について体系的に考えた「環境データベース」のシステム構成では、環境情報を形や内容から、数値、文献、社会、情報源情報の4種類に区別した。数値情報とは、その名の示す通り、ある所の大気汚染状況を測定した結果が二酸化硫黄(SO₂)の濃度が0.024ppmだったといった数値で表される膨大なデータ等のことである。文献情報とは、研究論文等がのっている学術雑誌、調査レポート、資料類に関する専門情報で、著者、題名、所在、抄録などを記録したファイルの集まりである。社会情報というのは、公害・環境問題に関する新聞記事、専門家のリスト等をファイル化したものである。同様に、情報源情報とは、環境情報をつくりだしたり加工したりしている機関等に関するデータファイルの集まりである。後述する“インフォテラ”データベースもこの中の一

つである。

情報には、必ず出し手〔供給者＝Supplier〕と受け手〔利用者＝User〕がいる。勿論、この間の関係はいつも一定しているわけではなく、ある時は出し手が受け手になることもある。従って、こうした情報の相互のやりとりは、通信 (Communication) ともいわれ、概ね一つのネットワークをつくることになる。

2. 情報の入手—先ず情報源を知る

2.1 公害・環境情報は幅広い

公害・環境問題に関する一般情報も、研究や行政施策に必要な専門情報も、国内・国外のいろいろな分野の何万という報告書や科学技術の各分野の専門雑誌などに発表されていて、必要な時いつでもどこにどんな論文がのっているのかを探すのは、通常的手段ではきわめて難しい。例えば、現在国立公害研究所で予約講読している国内外の専門雑誌の総数は、1206にものぼっている。従って、ある研究者が自分の研究テーマに関連する研究論文で、他の研究者によって今まで発表されているものを一応目を通そうとすると、先ず、それらの全部の検索を行わなければならない。このためには、研究所でも講読していない雑誌について、またそのバックナンバーについても全部調べなければならない。現在、世界中には恐らく何万種類の環境関連の専門雑誌がでており、これを通常的手段で調べようと思ったら、それだけで一生が終わってしまうかも知れない。たとえ調べられたとしても、その頃には、もう別の新しい研究成果がまた論文として発表されているかも知れない。

このように、広い範囲から、必要な最新の情報を迅速に又的確に入手するにはどうしたらよいか。

2.2 まず情報源をつかむ

どんな情報でも、必ずそれをつくりだしてたり発表している所がある。これを「情報源」といっている。情報源は、具体的には、ある特定分野の専門の研究機関や行政機関であったり、専門家であったり、あるいは専門雑誌であったりする。従って、通常ここでは、必要があって、その専門情報を継続的につくりだしたり加工したり発表したりしている。また、当然ながら、一般に情報源の数は、論文といった情報そのものの数よりも、はるかに少ない。

公害・環境情報のように各領域の広い分野にわたり、何千、何万という専門雑誌等に発表されている何十万、何百万という科学技術文献の中から、特定なものを取り出そうとすると、一工夫が要る。つまり、直接求める文献を入手しようと思わないで、まず情報源を予めつかんでおいて、そこを経て、資料や文献といった実質的な情報を最終的に得るという、二段構えの方法が効果的である。“いそがばまわれ”というわけである。

このような必要性から、環境の分野でも、情報源に関する情報を台帳や年鑑のようなものにし、先ずこれを見て必要な情報源を探し、次いでそこに照会して具体的な情報である資料や文献を最終的に入手しようという試みがなされてきた。そして、情報源情報書である台帳や年鑑を手で引くのではなくて、これらをコンピューターにいられて、キーワード(引用語)で自由に検索できるようにしたのが情報源情報のデータベースである。

3. インフォテラ (INFOTERRA) データベース

3.1 インフォテラ (INFOTERRA) の成立経緯と仕組み

1972年のストックホルム国連人間環境会議の開催を契機に創設された「国連環境計画 (UNEP)」では、環境情報の世界ネットワーク構築のため、1975年から国際環境情報源照会システム (International Referral System for Sources of Environmental Information; 略称、INFOTERRA) を開発、運用している。

インフォテラの基本的考え方は、情報源照会である。つまり、世界各国に NFP(National Focal Point) と称する代表機関(わが国の場合は、国立公害研究所)を指定し、そこが中心となって、自国内の環境情報源(公害・環境問題を扱っている研究機関や行政機関等)を一定の書式に則って登録する。この登録された情報源情報を台帳にまとめ、ユーザーは、先ず直接又は NFP に依頼して、その台帳を検索し、必要な情報源を特定する。そして、次にその情報源に手紙やその他の方法で資料等の実質情報を請求して入手するというシステムである。従って、そのしくみは、わが国を例にとると、図1に示すようになり、利用者(ユーザー)から始まって利用者で終わる4つのステップをとることになる。

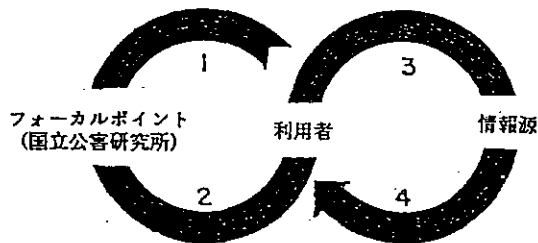


図1 情報源照会のしくみ

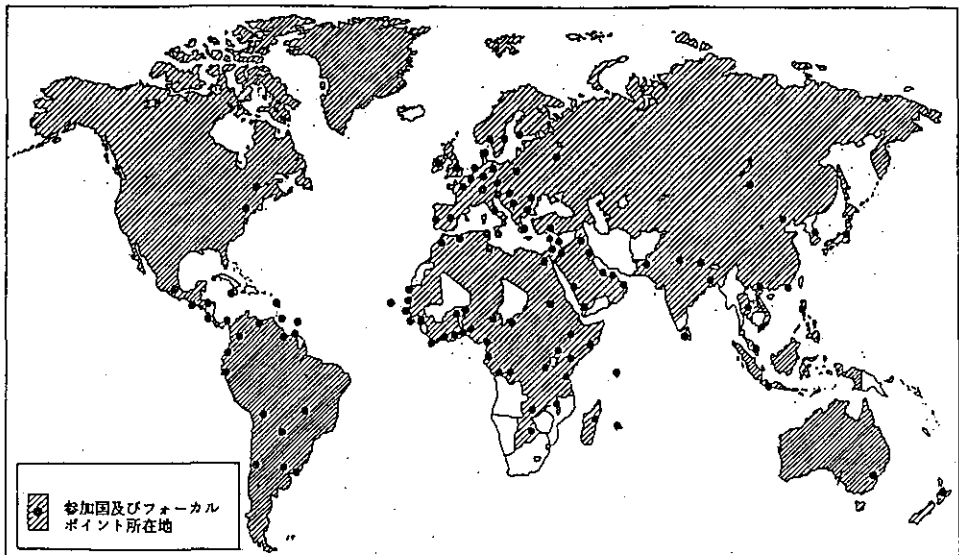


図2 インフォテラ参加国の地理的分布

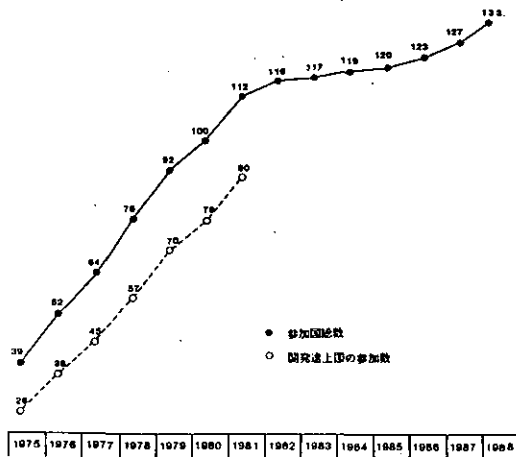


図3 参加国数の増加

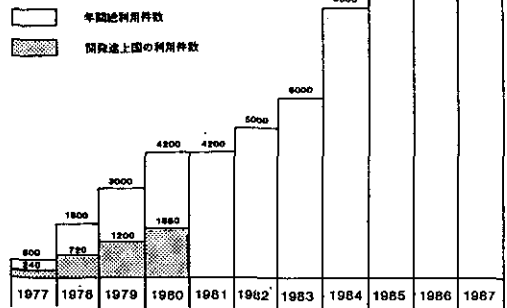


図4 年間利用件数の増加

インフォテラのシステムは、その後次第に参加国も増大し、現在133ヶに及んでいる(図3)。又、世界中の殆どの国をカバーしており、これは世界人口の98%にあたる(図2)。実際に、利用者のこのシステムの照会利用件数も年々増加をしており、記録されているものだけでも1987年には12,700件にものぼっている(図4)。

国立公害研究所は、日本のNFPとして、昭和62年末時点で国内の361の機関を情報源として登録している。インフォテラの台帳には、わが国のものも含め総数約5600の情報源が収録されている。台帳に収録されている情報源データは、わが国にある情報源の例をとると、登録機関番号から始まって、情報源である機関の名称、所在地や連絡先、どういう分野を扱っているかといったデータが一定の書式にしたがって並んでいる。また、検索(索引から手で引く場合も、キーワードによってコンピューターで引く場合も)に必要な用語が、別途定められているインフォテラ・シソーラス(系統的な用語集)に基づいて使われ、これにより、情報源データが検索し易いやように記述されている。

3.2 インフォテラ・データベース

インフォテラでは、当初こうした環境情報源データのリストである台帳を、参加各国のNFPに配布し、情報源の照会業務に資していたが、数千件の情報源リストである台帳を検索することは、手作業では効率が悪く、また困難である。そこで、これをコンピューターにかかる磁気テープにデータファイルとして収録し、コンピューターによる検索ができるようになった。国立公害研究所では、当初は、このデータファイルを用いてバッチ(回分式)で検索を実行していたが、昭和55年から大型コンピューターのシステム更新に伴い、対話型のオンライン検索できるデータベースの開発を行った。従って、現在では専ら、このデータベースの利用によってインフォテラ照会業務を効率よく簡便に行っている。また、インフォテラ・データベースは、対話型のオンラインシステム(ORION)にのっているもので、一般のコンピューターユーザーも、自ら簡単に利用することができる。

ここでは、実際にインフォテラ・データベースの検索を行ってみた事例を、スライドで説明する。

4. データベースによる情報の入手と提供

4.1 データベースのいろいろ

既に述べたインフォテラ・データベースは、数あるデータベースのうちの一つである。専門分野のデータベースを提供する立場からすると、その維持管理は大変な労力と費用を要する。通常、情報源は必要があって情報やデータを収集したり生産したりしているので、つねに最新のデータが蓄積されている可能性が高い。一般にデータベースは、情報源が作成し提供するのが望ましいといえる。

公害・環境の分野に限らなければ、現在では、世界中に何万というデータベースがあり、その多くがオンラインで検索できるようになってきている。従って、科学技術等の専門情報を収録したデータベースは、日本や欧米では、商用データベースとして成立している。つまり、ユーザーは料金を払ってシステムと契約すれば、各種のデータや資料といった情報を、オンラインで検索し入手することができるようになった。

表1は、各種のデータベースを類型ごとに分けて、その具体例をいくつか示したものである。事例には、公害・環境分野のものを中心に、関連するものも示した。多くのものは、既にオンライン化されている。

表1 データベースの種類と例

データベースの種類	具体的なデータベース例(注)
情報誌	<ul style="list-style-type: none"> - 科学技術分野の人名録 - 環境問題専門家台帳 - 団体・機関・協会等総覧 - インフォテラ(国内・国際)台帳 ・ ・
文献(抄録型)	<ul style="list-style-type: none"> - 専門学術雑誌論文(所在, 抄録) - 政府刊行物・資料(所在, 抄録) - 判例記録(所在, 抄録) - 法令集(条項) - 特許出願記録(抄録) - 環境影響評価書(抄録) ・ ・
文献(全文型)	<ul style="list-style-type: none"> - 専門学術雑誌論文(所在, 全文) - 政府刊行物・資料(所在, 全文) - 判例記録(所在, 全文) - 法令集(全文) - 特許出願記録(全文) - 環境影響評価書(全文) ・ ・
統計及び数値	<ul style="list-style-type: none"> - 経済・市場指標値(例: 株価, 物価指数等) - 工業・経済統計値 - 国際調査統計値 - 国際環境データ集(例: OECD及びUNEP) - 環境白書等(国内外) - 大気質, 水質等の常時監視データファイル ・ ・
辞書・事典	<ul style="list-style-type: none"> - 技術・専門用語集等 - シソーラス類 - 科学技術百科事典等 ・ ・

(注) 既にオンライン化されているデータベースのほか、将来的にオンライン化されるものも含む。

初期の段階から最近までは、コンピューターに収録できるデータ容量や検索ソフトウェア等の制約から、情報源や抄録型文献データベースが多かった。実際、科学技術の分野で最も多いのが後者のものである。しかし最近では、膨大な容量の記憶装置の開発やコンピューター技術の進歩とあいまって、全文型の文献データベースも出現しつつあり、たんに情報源にアクセスし、文献の抄録だけが得られるものから、文献や資料そのものの全文が、居ながらにして、入手できるようになりつつある。

このような状況から、情報をつくり供給するサイドも電子出版のようにコンピューターにのるような形で、情報を提供するようになってきており、情報のデータベース化がますます進んできている。

4.2 通信技術の進歩とデータベースの利用

データベースによる情報の入手と提供に関して、もう一つ見逃せないことは、コンピューターと組み合わさった通信技術の進歩である。特に、電話やファックスによる通信に加え、衛星を介した通信技術が進歩し、また急速に安価になりつつあるため、世界中どのコンピューターにのっているデータベースにも簡単にアクセスすることができ、そこから情報をオンラインで瞬時に入手することができる時代が到来しつつある。

とくに、最近では、先進国を中心として、パソコンやワープロが発達・普及し、また廉価にこれらを通信用端末化することができるようになってきたため、全体として情報のネットワークが形成されつつある。このため、情報のユーザーと提供先であるコンピューターにのっているデータベースとの距離が、次第に意識されない位に、小さなものとなりつつある。

5. おわりに

国立公害研究所は、世界の公害・環境研究のメッカとして、また環境に関する専門情報のわが国のフォーカルポイント(代表機関)として、研究の推進とその成果等の情報の提供につとめてきている。

ここでは、国立公害研究所で、どのようにして公害・環境情報を入手し又提供しているかについて述べた。特に、データベースによる情報のやりとりが、世界的に急速に進展しつつあることにかんがみ、国立公害研究所が国連環境計画(UNEP)と協力して開発してきたインフォテラ・データベースを中心に、情報源情報の入手と提供について述べた。

こうした分野においても、今後、さらに多くの方々のご理解とご協力が得られれば幸いである。

参考文献

- 1) 春山暁美(1982): 環境の情報源情報, 環境情報科学, 11(2), 10-17.
- 2) GOTOH, S. (1987): A GLOBAL ENVIRONMENTAL INFORMATION NETWORK "INFOTERRA". UNCRD KIS 2 Proceedings #13, pp. 1-15.
- 3) GOTOH, S. (1987): EXPERIENCES IN ON-LINE SEARCHING OF INFOTERRA INTERNATIONAL DIRECTORY AT NFP/JAPAN, A Resource Paper with Annex (14p. +) at the UNEP Second INFOTERRA NFP Management Meeting for Europe and Others, Athens, Greece.

環境長期予測のための支援システムの開発

— 専門家の知恵の集め方・使い方 —

森田 恒幸 (総合解析部)

概要 成熟化, ソフト化, 都市化, 高齢化, 国際化というわが国の社会経済の基本潮流は, 環境問題の構造を大きく変えようとしている。この種の変化は非常に多様かつ複雑であり, 通常の方法で予測することは難しい。このため, 専門家の優れた直感と客観的データとを体系的に組み合わせた予測が必要であり, これを支援する一連のシステムを開発した。このシステムにより, 専門家の判断が体系的に収集でき, モデル作りや予測計算に有効に活用できるようになった。

1. 21世紀に向けて環境問題の行方を探る

まず最初に表1をご覧ください。戦後の日本社会の概括的なトレンドを、各年代の代表的なキーワードの移り変わりで表現してみた。戦後四十数年の間にわが国の経済社会はドラスティックに変化し、それに伴って生活・環境分野の問題や国民意識、それに各種の政策が変わってきていることが読

表1 戦後日本社会の概括的トレンド

	1950	1960	1970	1980	1990	2000
社会構造 開発計画	経済・産業復興社会 北海道総合 開発計画	高度成長社会 首都圏 基本計画	新全国総合 開発計画	多角的発展型社会 第三次全国 総合開発計画	成熟社会 第四次全国 総合開発計画	(新日本列島改造)
開発方式	官主導	重点開発 地方公共団体主導	大規模project 定住構想	地域主体 民間活力	交流ネットワーク構想	
開発法制	国土総合 開発法	ブロック別 開発促進法 促進法	新産業・工種 促進法	大規模社会資本 公社公団等高層 住居特別法工業 再配置促進法	電業 三法	
経済計画	経済自立 五ヶ年計画	国民所得 増進計画	経済社会 発展計画	新経済社会 発展計画	新経済社会 七ヶ年計画	80年代経済社会 の展望と指針
発展型 地方行政	資金制約 地方自治制度の確立	労働力制約 行政の開始 起立地中心政策	環境意識 シビルミニマム	買収制約 専任事業の拠点核	国際関係協約 地方の活性化	文化重視の行政
都市化現象	地方行政の改革	広域計画 都市化 過密化	郊外化 ドーナツ現象	空河化・逆都市化 リターン現象	再都市化・インナーシティ	多心都市
都市政策		大都市化政策	都市化調整政策	都市活性化政策		
技術開発		パワーの時代 パワフル	スピードの時代 機織	エコノミーの時代 エコノミー・クリーン 電子	情報の時代 エレガンス・オペレーション 光 高分子	文化の時代 生体システム (バイオメーション) 新エネルギーの開発
エネルギー	石炭 水資源	石油	(工業化) 原子力	LNG 石炭見直し	省エネ・エネルギー源の多様化	
交通・通信 政策	移動流動の骨格整備 (鉄道、道路、産地)	人的流動の骨格整備 (新幹線、高速道路、国際港湾、空港)		情報流動の骨格整備 (情報高速・INS)		知識流動の骨格整備 (VAN/CATV)
国民意識		消費者 モータリ時代 生活防衛 プロテクター	シラケ世代	生活者 ネクラ世代 生活改善 アドボケイター	ライフクリエーター パフォーマンス世代 環境意識 ロビイスト・コーディネーター	
住民運動	伝統的家族社会	都市・散居型 別荘型	核家族中心社会	多様な家族社会		
生活様式 価値観	住宅不足	飲食型 行楽型	保養型 参加型	創造型 表現型	生態型 自己主張型 多様な住宅——高級化	
住宅問題 環境問題	公害被害の 顕在化	公害被害の 顕在化	公害関係 府社の多発 公害の顕在化	公害の規制 自然環境の保護 生活	環境保全・創造	
環境政策	歴史的環境の破壊 自然環境の破壊 健康	公害の経済 被害の経済	公害の規制 環境基準	環境行政 環境行政 環境行政 環境行政		
環境政策	地方のイン シアティブ	国のセクト 立法開始	公害防止条例 協定 関係法体系化	国の公害 行政体系化	環境行政 環境行政 環境行政	付加価値創造の発想
	シビルミニマムの充足の発想	緊急公害対応 法制度		相互関係 社会経済の制度	相互関係 活力導入 規制	
	1950	1960	1970	1980	1990	2000

み取れよう。わが国の公害環境問題が激化した時期は1950年代の後半から1960年代にかけてであり、この時期に今の環境行政の基礎がつけられた。その後、深刻な環境問題が回避され社会経済的な背景や国民意識が変化するにつれて、環境問題の構造が大きく変化し、環境政策の質的転換が模索されてきたのである。

わが国の経済社会は21世紀に向けてさらに大きく変わろうとしている。成熟化、ソフト化、都市化、高齢化、国際化などで表現されているこれらの基本潮流は、国民の価値意識や生活様式の変化、産業構造の高度化、都市への人口集中と地方の過疎化、諸外国との貿易構造の変化などを通じて、環境問題に大きなインパクトを与えようとしている。果たしてその行方はどうなるか。

当研究所の特別研究「環境指標を用いた都市及び自然環境等の変動予測手法開発に関する総合解析研究」では、21世紀初頭のわが国の環境問題を予測することを目的にして、各種の手法開発とその応用研究に取り組んできた。この研究プロジェクトでは図1に示すように、まず、①21世紀に向けての社会経済的トレンドを同定し、次いで、②このトレンドが環境問題にどのようなインパクトを与えるかについて各種のシナリオを作成してその確からしさを吟味し、さらに、③シナリオを左右する重要な政策変数(ハードル)を明らかにすることを試みてきた。

そして、これらの作業を効率的に行うため、コンピュータ支援システムを開発してきた。このシステムは、専門家の優れた知識や判断と客観的な数値データを組み合わせ、現象説明から問題解決に至る一連の作業を体系的に支援する非常にユニークなものである。以下では、この支援システムについて報告する。

2. 三位一体で力を発揮する支援システム

環境問題の長期的な行方を探るためには、図1に示したように広い範囲の複雑な作業が必要となる。各種の知識データや数値データの収集と解析、シナリオ書き、モデル構築、予測シミュレーション、感度分析などである。このためこの研究プロジェクトでは、図2に示すように三種類の大規模な支援システムを

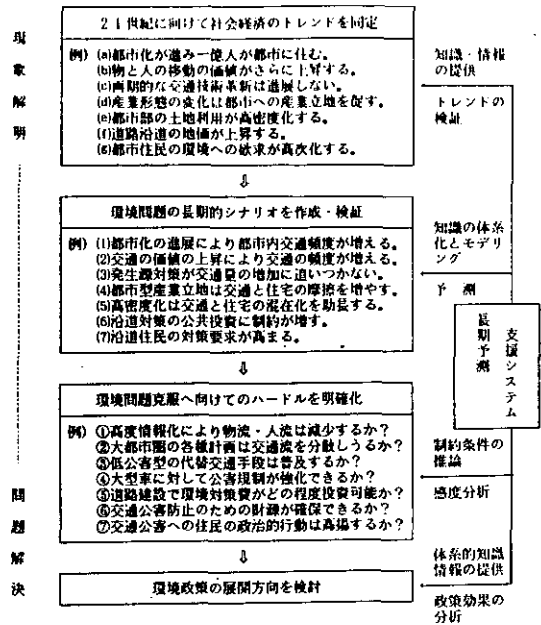


図1 長期予測研究の全体手順と支援システムの役割 (交通公害問題を例として)

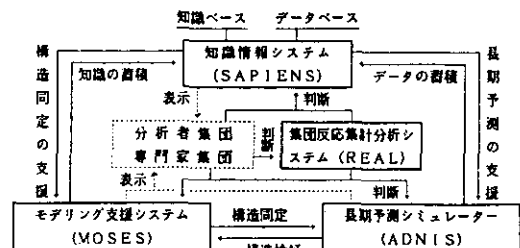


図2 支援システムの全体構成

開発してきた。これらは、

- ① 膨大な知識データ及び数値データを体系的に管理し、必要に応じて即座にデータの検索・処理・表示を行う知識情報システム (SAPIENS),
- ② 計算機との対話方式により人間の持つイメージを数式モデルに表現し、現実のデータとの整合性を評価しながら予測モデルの構造を決定するモデリング支援システム (MOSES),
- ③ こうして決定された予測モデルをもとに将来予測を行い、感度分析や政策評価を支援する長期予測シミュレーター (ADNIS), である。

これらのシステムはいずれも、当研究所総合解析部のコンピュータ・システム (VAX 8550, ワークステーション, グラフィック・コントローラ, などで構成) 上で管理され, 相互に有機的に連携している。そして, これらのシステムが三位一体となって効果を発揮するのである。

この支援システムの最大の特長は, 専門家の知識と判断を体系的に収集し, 最大限に活用する点にある。本研究のように予測対象が多領域にまたがり複雑なうえに, 予測期間が長期にわたる場合には, 広範な現象の中から重要なものを要領よく選び出し, 限られた情報のなかで説得力あるモデル構造を見出し, さらに, 不確定な条件のもとで整合性のある長期の見通しをつげなければならない。これらは個人の能力の範囲や伝統的な解析手法の範囲を越えており, これを可能にする唯一の方法は, 多様な領域の専門家の知識や判断を結集して活用すること以外にない。システム設計に当たってはこのことを第一に念頭に置いた。

このために開発された主な仕掛けは, 大きく次の二つにまとめることができる。

- ① いろいろな領域の専門家の知識データを体系的に蓄積・管理し, 知識データの結合や推論などの処理ができる知識ベース・システム (知識情報システム - SAPIENS - の一部)。
- ② 情報の選択や加工, モデリング, 予測シミュレーション等の過程で, 特定の専門家の判断をリアルタイムで反映させ, その結果や関連情報を即座にフィードバックするインタラクティブ・システム (三つの支援システムのいずれも装備)。

なお, これらの仕掛けは当研究所の会議室に設えてあり, スクリーンに写し出されるコンピュータの出力を見ながら複数の専門家が会議形式で参加できるようになっている。

次に, これらの仕掛けを使うと何ができるかについて, 具体的に説明しよう。

3. 専門家の知識を集積して見通しをつける

まず, 利用できる数値データがほとんど手に入らないときや, 詳細な分析に先立って見通しをつけるようなときに, 専門家の知識と判断だけから予測するケースがしばしば生じる。このような場合を想定して, 支援システムを使う一連の手順を図3に示した。この図に従って説明する。

最初に, 予測対象に関連するいろいろな知識データを集めて, 知識ベースに蓄える。これは文献調査や専門家へのインタビューなどによる。個々の知識データは, 図4に示すように特定の命題とその推論過程の構造からなっている。この種のデータを大量に収集し, 知識の背景情報や評価情報, 情報源などととも知識ベースのファイルに入力し, 管理させる。この知識ベースはワーク・ステーション上で処理でき, ファイルの登録・修正, 検索・表示, 結合処理・推論等が非常に効率的に行える。

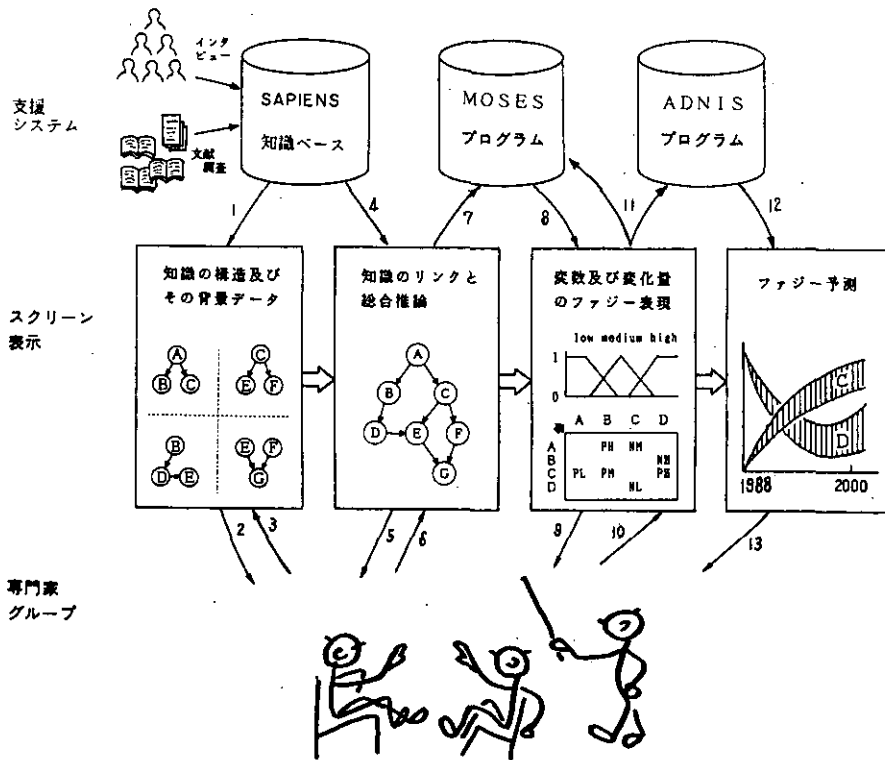


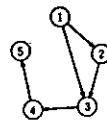
図3 専門家の知識を集積して見通しをつける。

今のところ、収録されている知識データの数はいくつか少ないが、この一年の間に計画的に集積できる予定である。

さて、こうして集積された知識データは、特定の専門家集団(しばしば分析者)によって検索され吟味される。そして、選択された複数の知識データは自動的に結合されて、より総合的な知識に高められる。図5は知識ベースのリンクの例を示している。このリンクの結果を用いれば、シナリオ・タイプの予測が可能となり、広範囲の影響や複雑な因果関係を定性的に推論できる。

さらに高度の予測を行う場合は、モデリング支援システムを使ってファジー・モデルなどを作ることができる。これは、専門家集団の判断を特定のルールで記述し、あいまい推論を用いて予測する方法で、人間の直感にもとづきなが

指定された条件
 都市圏への情報の集中化により、都市内及び都市周辺の
 環境問題はさらに顕化する



- 1 都市圏への情報の集中はさらに増大する
- 2 都市圏の人口増加はさらに顕著化する
- 3 大都市には小規模で小まわりのサービス業が立地する
- 4 サービス業は頻度の高い交通を生じさせる
- 5 都市圏における大気汚染は顕著化する

図4 知識データの一例

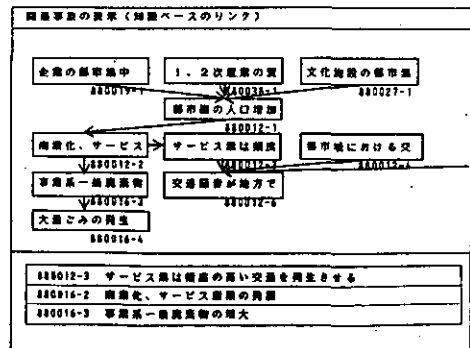


図5 知識データのリンクの例

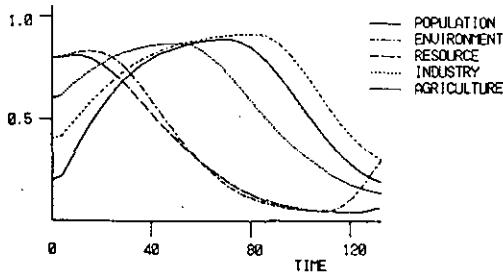


図6 ファジー予測の一例

らも可能な限り論理的かつ整合性を持った見通しを得ようとするものである。図6にはファジー予測の結果の一例を示した。

4. 専門家の判断を組み込んで予測する

次に、一定の数値データを入手することは可能でも、統計手法が十分な説得力をもつほどデータが豊富ではないケースが頻繁に見られる。この場合には、専門家の判断とデータ解析とを適時組み

合わせて予測を行うことが必要となる。われわれの支援システムはこのような一連の予測作業についても体系的にサポートできる。図7に示す手順に沿って、システムの使い方を説明しよう。

まず、知識情報システム(SAPIENS)のデータ・ベースに蓄積された膨大な数値データから、関係するものを選んで専門家集団に提供する。このデータ・ベースには、現在、社会経済領域及び環境領域の数値データが約20年分収録されており、約250系列の国際データと800系列以上の国内データ(都道府県データ：570系列、市町村データ：250系列)を検索・加工して、時系列図や色塗り地図、散布

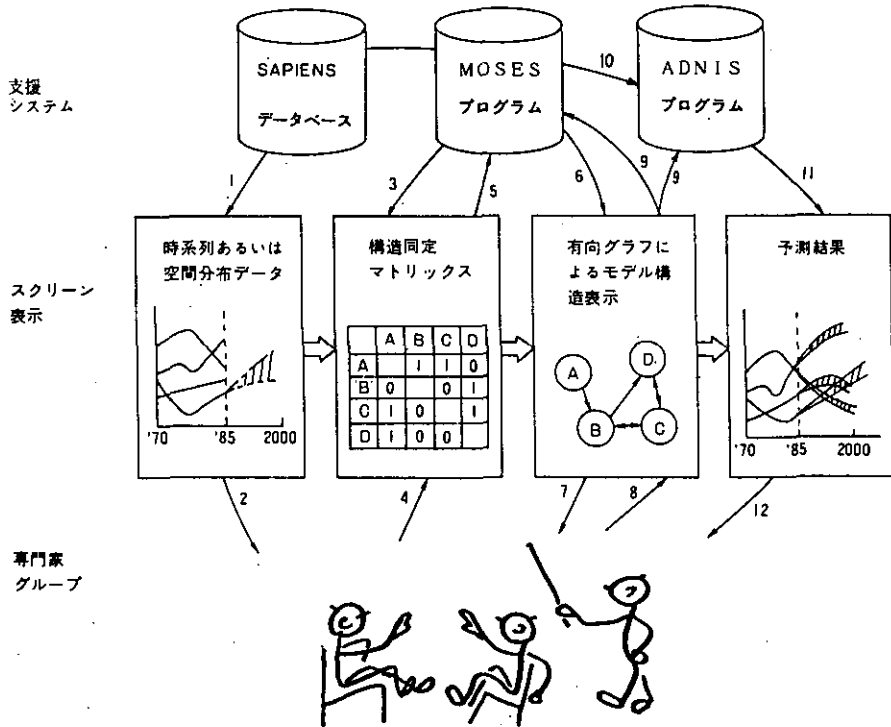


図7 専門家の判断を組み込んで予測する

図などの形で即座に表示できる。

これらのデータを参照しながら、専門家集団は計算機との対話方式によりモデル構造を決定していく。これには、対象とする事象への人間のイメージを、グラフ理論の助けを借りてマトリクス上に記述していく手法を用いる。図8には、大気中の窒素酸化物の将来変化を予測するため、専門家の判断をもとにモデル構造を決定した例を示している。左側には、検討された24個の変数が13の変数群に集約されたことを示し、右側には、その13の変数群の構造がグラフにより図示されている。こうして同定された構造は、実際の数値データを当てはめて妥当性が検証され、再度、専門家集団にフィードバックされて修正される。この作業も対話方式で行われる。

以上で決定されたモデル構造を使って、次に、数値データの統計解析などによりモデルのパラメータを決定し、数値シミュレーションによる予測を行う。図9には、予測シミュレーションの出力例を示す。図の右側にはモデルの構造を表示し、例えば①は窒素酸化物濃度、③は単位面積当たりの普通貨物交通量、⑪は非装置型工業出荷額といった変数を示す。矢印は因果の方向である。図の左側には、三つのシナリオを想定してそれぞれのケースについて、(1)窒素酸化物濃度、(2)バス交通量、(8)交通用地面積などを予測した結果を示している。これらの予測結果はさらに専門家集団にフィードバックされて、必要に応じてシナリオの変更やモデル構造の修正が検討される。

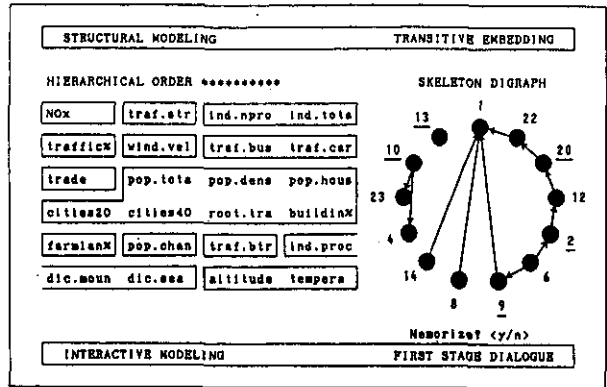


図8 専門家の判断に基づくモデリングの例

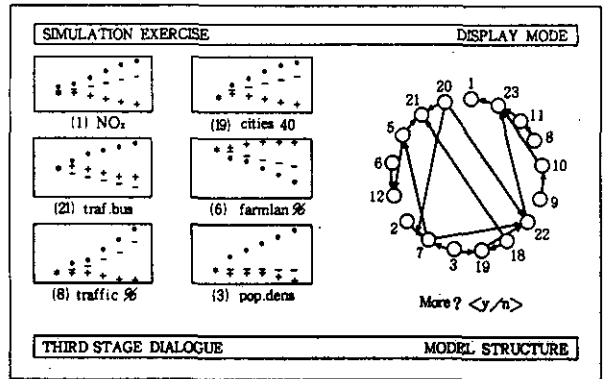


図9 専門家の判断に基づく予測の例

5. より体系的な知識の活用をめざして

以上で説明した支援システムは、現在、主要な部分がほぼ完成した状態にあり、今年度はこれを使っていろいろな長期的シナリオを検証し、今後の政策課題を抽出していく計画である。このため、広範囲の領域の専門家に対してインタビュー調査やアンケート調査を行い、知識データの蓄積量を増やすとともに、各分野の中心的専門家を招いてモデリングや予測作業に参加してもらうことを予定している。このような作業を通じて専門家の知恵を体系的に集積し、各種の政策研究に活用していくことをめざしている。

離島及び山岳地における大気汚染成分濃度とその変動

— 長期モニタリングのベースラインとして —

安部 喜也 (計測技術部)

概要 日本列島における大気汚染の長期的モニタリングを行うにあたって、変動を検出するベースライン値を把握することを目的として、隠岐島を選んで各月単位で大気粉塵中の無機主要成分及び微量成分について測定し、現時点における平均的濃度および変動特性を明らかにした。また我が国におけるオゾン濃度のバックグラウンドとして山岳地域における値を測定し、その変動要因を解析した。

1. まえがき

環境汚染が次第に拡大し、局地的なものから地域的、さらには地球規模のものにおよびつつある。こうした汚染は長期にわたってわずかずつであるが確実に進行し、しかも回復困難であるので、早期に検出し対応する長期的モニタリングシステムの確立が急務である。

環境汚染は、いずれかにある発生源から汚染物質が大気や水を媒体として輸送、拡散されることで拡大する。この拡散の状況は地点を固定してみれば汚染のない状態から時間軸にそって汚染物質濃度の増大ということで示される。この増加を検出するための基準となる汚染のない状態がベースラインに相当する(図1)。

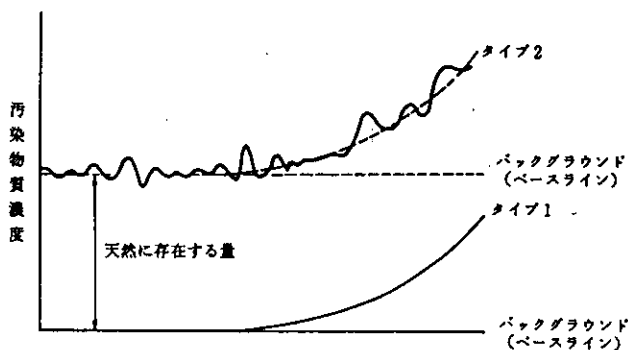


図1 汚染物質濃度の増大とベースライン

汚染源より遠いところでは汚染物質濃度が増加する速度は極めて小さく、その検出は困難であって、ベースラインを明確にすることが特に重要な問題となる。このさい、対象物質が人工的に合成したもので、もともとそこに存在しないものであれば、ベースライン値はゼロであって汚染の検出は比較的容易である。しかし、天然にもそこに存在するような物質の場合、変動があつてそれが重なるので人為と天然との区別は極めてむずかしく、相当の期間にわたる基礎的データの蓄積が必要である。

こうした意味で基準となる汚染のない状態を想定して、それを汚染に対するバックグラウンドと考える。汚染の拡がっている状況は物質によって違うので、物質ごとにバックグラウンドを考えてゆく必要がある。

我々は特別研究「バックグラウンド地域における環境汚染物質の長期的モニタリング手法の研究」(昭和58～62年度)において上記の観点にもとずいて、汚染のバックグラウンドと考えられる地域における汚染物質のベースラインを明らかにするための基礎的検討を進めてきた。

本報告会では西→東の風系を考慮して選定した隠岐島における大気浮遊粒子成分の連続測定、および山岳地オゾンの測定結果について紹介する。

2. 隠岐島における大気浮遊粒子中成分濃度とその変動

2.1 観測方法

日本列島をとりまく大気システムは全体としては、西から東に向かっている。特に冬季においては顕著である。我国から発生する汚染物質も主な方向としては太平洋方面に拡散する。日本海方面において大気汚染成分のバックグラウンド値を明らかにしておくことは日本列島による汚染を評価するさいの基本となる。これは同時に西方面から来る可能性が考えられる汚染をモニターするためのベースラインとしての意味をもつ。上記の観点にもとずき、いくつかの条件を考慮した結果、隠岐島を選んでそこにおける大気浮遊粒子中の各種成分に着目して、その実態を明らかにし、ベースラインとしての評価を行う研究を開始した。

1983年12月より、隠岐島西郷町のNTT中継所のある山上(200m)にサイクロン付ローボリュームエアサンプラー2台を設置し、それぞれ、メンブレンフィルター(金属測定用)及び石英フィルター(有機物測定用)を用いて、一ヶ月間毎のサンプリングを行った。サンプリングには島根県西郷保健所の協力を得た。試料は毎月研究所に郵送し、イオンクロマトグラフ、元素分析計、ICP発光分光法等の方法により、各種無機イオン、炭素、金属類を測定した。フィルターの一部は、将来において、問題が生じた時に分析するために、環境試料バンク試料として、凍結保存している。また年に一度一週間程度ではあるが、 O_3 、 SO_x 等のガス成分の測定および粒子成分のハイボリュームサンプラーによるサンプリングを行った。冬季の積雪についても若干の測定を行い大気成分との比較をした。

2.2 結果と考察

2.2.1 粒子態元素の平均濃度

1983年12月から1986年11月までの月毎の粒子態元素平均濃度の平均値とその間における最大値、最小値を表に示す。国設松江測定局の値と比較すると多くに成分について、松江の1/2～2/3の濃度で、離島としての特徴を示した。また、若干の元素を別にすると1983年末から1987年末までの間、特別顕著な経年変化の傾向は認められなかった。将来の変化を検出するベースラインとしてこうした測定値のいずれをとるか問題である。

代表的な値の一つとして平均値があるが、項目と問題によって変動の特性をどの様に考えるか、場合毎に考えてゆく必要があろう。

表1 隠岐島における粒子態元素濃度の4年間(1983年12月~1987年11月)の平均値と最小値, 最大値(カッコは1986年11月までの3年間)

	mean	max	min		mean	max	min
S.P.M. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11.4	18.2	4.7	Cr ng/m^3	2.4	5.9	0.1
SO_4^{2-}	3.4	5.3	1.7	Mn	5.7	13	1.9
NO_3^-	(0.10)	(0.40)	(0.001)	Fe	140	426	33
Cl^-	(0.092)	(0.49)	(0.002)	Co	0.16	0.45	0
NH_4^+	(0.58)	(1.2)	(0.19)	Ni	0.8	1.8	0.2
Na ng/m^3	426	714	103	Cu	1.4	5.2	0.1
Mg	106	234	24	Zn	14	23	5.6
Al	211	703	28	As	3.1	10.5	0.5
P	9	17	2	Sr	1.3	3.5	0.07
Ca	148	481	27	Cd	0.26	0.66	0.10
Sc	0.04	0.16	0	Sb	1.2	3.3	0.2
Ti	12	40	0.8	Pb	12	23	1.7
V	1.6	3.0	0.6	K	121	312	35

2. 2. 2 粒子態元素濃度の季節変動

アルミニウム, 鉄, チタン, スカンジウムなどの土壌成分と関連の深い元素は, いずれもはっきりした季節的な変動を示した。すなわちどの年においても春季に顕著な高濃度が発現し, 場合によっては秋にも若干高くなることもみられた。一方夏と冬には濃度は低かった。この様な変化について, 上記の元素は相互に高い相関関係を示した。これら元素の濃度は春季には他の季節と比べて2~4倍も高い値を示したが, この程度は日本で観測された黄砂現象の回数に対応して高くなっていた。

このことは黄砂の飛来がこの地方の大気浮遊粒子成分に大きな影響をもつことを示すと考えられ, 大陸方面からのいろいろな物質の大気による輸送の可能性を示唆する興味深い結果である。今後さらにこうした観点からの研究が必要であろう。

一方, 夏季に高濃度, 冬に低濃度を示す成分として過剰硫酸イオンとバナジウムがある。両者の相関が著しく高く, しかも, バナジウムは一般的に石油の燃焼にもなって大気中に放出するとされていることからここにおける過剰硫酸イオンも主として石油燃焼起源であって, 夏季に南より風系にもなって本土その他の発生源から輸送されてきたものと考えられる。粒子態炭素の濃度についてもほぼ両者と類似した季節変動のパターンを示し, 石油燃焼との関連が推定される。

大気浮遊粒子中の鉛は冬季に高濃度を示しその他は夏季における濃度の2~3倍に達した。鉛の濃度変化にはある程度ヒ素やカドミウムとの相関がみられるがそれほど明確ではない。また鉛濃度についてはわずかではあるが測定期間中に減少している傾向のあることが認められた。地表面の逆転層による濃縮作用の様な局地的な気象条件の影響を除去するために, 比較的一般性のある汚染物質の一つである亜鉛の濃度との比をとって考察したが, Pb/Zn比もまた冬季に高い値を示し, 鉛の挙動が亜鉛とは異った独特なものであると考えられた。我国においては, 鉛を含有するガソリンはここ数年極めてわずかしかが用いられていないので, この点はさらに検討すべき興味ある問題である。

2. 2. 3 気体成分その他

短期間ではあるが気体成分について測定した結果では, SO_2 は本土からの影響が直接ある場合をのぞくと極めて低い値を示した。オゾンは顕著な日変化を示さず20~40ppbのレベルであった。ま

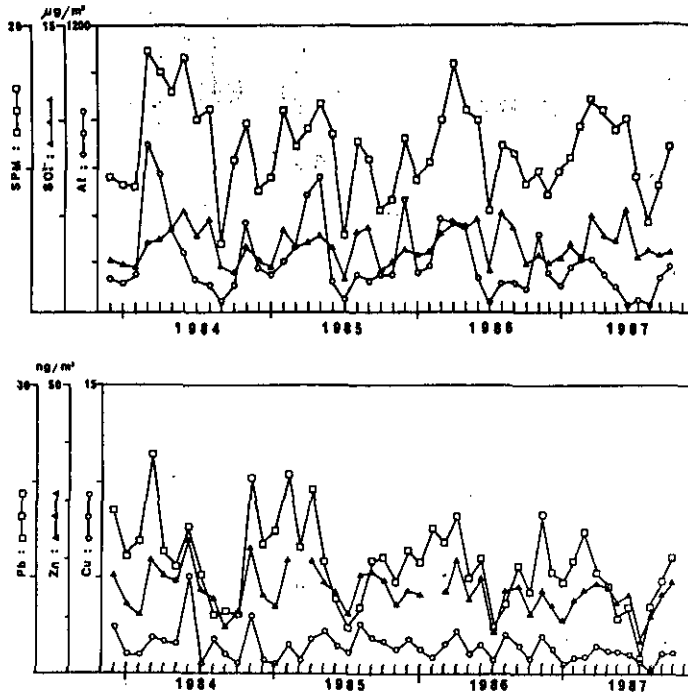


図2 隠岐島における粒子状物質の変動

た冬季の雪の pH は 4.6 付近と酸性を示したが、春先の黄砂現象の頃の降雪では $\text{pH} = 5.8$ となり、黄砂の影響が現れたものと考えられる興味深い結果を得た。

3. 山岳地におけるオゾン濃度とその変動

3.1 研究の目的

成層圏オゾンの減少が最近注目されている。特に南極におけるオゾンホールは話題を集めている。成層圏でのオゾン量の減少はフロンガスなど対流圏では安定な物質が成層圏に侵入した後、光化学反応によって、オゾン層を破壊させるものと推測されている。

一方、対流圏、地表付近のオゾンは光化学大気汚染の要因物質として、従来から夏季の大気汚染の重要な課題となっている。このように、オゾンは対流圏においてはその高濃度が、成層圏においてはその減少が重大な関心事となる。しかも場合により成層圏から対流圏へのオゾンの侵入も指摘されている。この様なオゾンの成層圏、対流圏をふくめたグローバルな挙動を解明するためには、汚染の無い、いわゆるバックグラウンド地域でのモニタリングを行い、汚染の影響をとりぞいた変動の実態を明らかにしておくことが基本的な課題となる。したがって、本研究では日本列島全土にわたって、バックグラウンド地域と考えられる地点を選び数年前から、オゾンの連続測定を行ってきた。こうしたバックグラウンド地域としては汚染源から遠い山岳地が主として選ばれた。

3. 2 観測地点と測定方法

図に示す様に、北海道から奄美までの10地点で表に示す期間に連続してオゾン測定を行った。測定時期は必ずしも一様でなく、乗鞍岳からは八方尾根に切りかわっている。

測定方法は紫外線吸収法によるオゾン計を各地点に配置し、定期的に記録紙の交換及び校正を行った。本法は維持管理が容易で長期間安定した測定が可能である。



図3 オゾン測定点

表2 オゾン測定点と測定期間

	地名	高度	測定期間
1	母子里	280m	1987,12 ~
2	八甲田山	1,324m	1983,4 ~
3	八溝山	900m	1984,10 ~ 1988,3
4	筑波山	869m	1986,4 ~
5	八方尾根	1,840m	1985,7 ~
6	乗鞍岳	2,876m	1983,8 ~ 1985,6
7	大台ヶ原	1,006m	1985,6 ~ 1987,12
8	十種ヶ峰	530m	1984,7 ~
9	三郡山	920m	1986,4 ~
10	奄美大島	298m	1985,6 ~

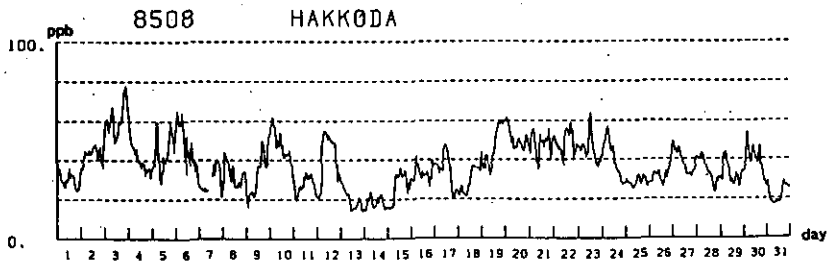


図4 オゾン測定値の変動の例(1985年8月, 八甲田山)

3. 3 結果と考察

3. 3. 1 季節変化及び経年変化

測定値のうち比較的早くからデータの得られているものの例を図5に示す。月平均および、日最高値、日最低値(1時間値)である。いずれにおいても春先に最大値を示し、秋から冬にかけて極小値を示している。この年変化のパターンは中緯度地域の特徴と考えられているが、これは気象庁がWMOネットワークによって実施している札幌、館野、鹿児島および那覇における過去20年以上にわたるドブソン分光々度計によるオゾン全量の測定結果とよく類似している。

年間の平均的な値はいずれも、20ppb ~ 50ppbの範囲にあり、所によって若干のトレンドを見せるところもあるが、これだけで全体的な傾向を検出するには至らない。

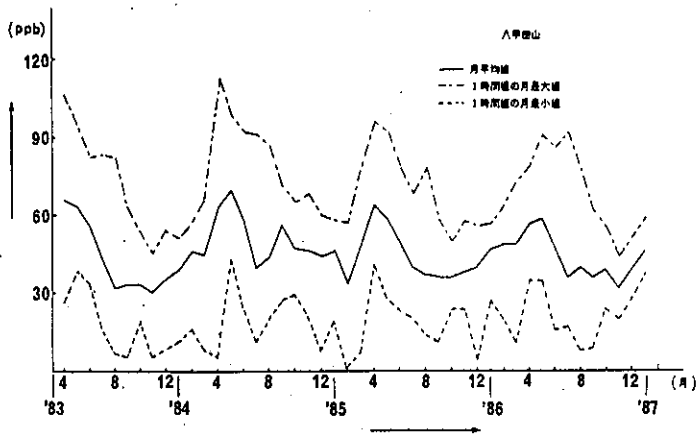


図5 八甲田山におけるオゾン濃度月平均値の変動

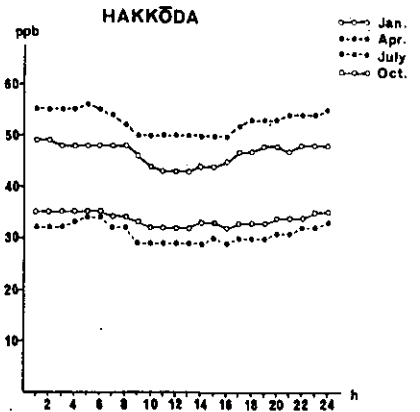


図6 オゾン濃度時間値の月平均値で示した日変化

3. 3. 2 日変化

バックグラウンド地域での地上オゾンは汚染地域における様な著しい日変化を示さない。山岳地では、昼間やや低く、夜間においても高い濃度を示すのが通常であり、汚染地域でみられる昼間高く、夜間に低いパターンと逆の形を示している。バックグラウンド地域に存在するオゾンの大部分は上空からの寄与であり、昼間は上昇気流による混合で薄められるため若干低下し、夜間は下降気流により増加する結果であろうと推察される。平坦地域では昼、夜の変動はほとんど見られない。

成層圏オゾンの降下については気象条件との関連の解析が問題となるが、例えばベリリウムとの相関による検証も行われている。

八溝山および筑波山での夏季における観測結果によると、南風の時に関東南部からの汚染気塊の移流にともなうオゾン濃度の変化が起っていることが認められ、山岳地においても地域によっては汚染の影響を受けており、自然的な原因による変動と人為による変動とが重なりあって複雑なパターンを生ずることが示された。このことはバックグラウンドということを考えるときに重要な問題となる。

4. むすび

日本列島における大気汚染の評価をし、あるいは変化を検出する基準値を得ることを目指して隠岐島および山岳地で数年間にわたり連続観測を実施し、基本的なデータを得るとともに、変動の特性を明かにした。特に変動の要因としてはグローバルな観点から考察すべきものがあることが確認された。ベースライン値をさらに明確にするためには変動の特性を明らかにして、項目毎に検討する必要がある。こうした現象の解明のためにもひきつづき観測研究を継続してデータの蓄積をはかることが重要である。

地球温暖化に係わる対流圏大気化学反応

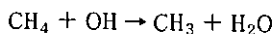
鷺田 伸明 (大気環境部)

概要 近年、人間活動による大量の化学物質の放出が、これまでの大気微量成分のバランスを変え、その濃度の増加を促し、地球環境へ影響を及ぼすことが懸念されている。とりわけ対流圏においては、炭酸ガス、メタン等の炭素系微量成分の増加が地球温暖化の問題と係わって重要視されている。ここでは、化学物質の放出→対流圏大気化学反応→微量成分の増加の関係を明らかにする目的で行われている特別研究の内容紹介と、光化学チャンバーやレーザー技術を用いて研究された対流圏大気中でのメタンの光酸化反応機構の解明の成果について報告する。

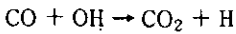
1. はじめに

大気中の微量成分は、自然的または人為的起源による放出と大気中における光化学反応や地表への沈着・海洋へのとけ込み、上層への拡散などによる生成と消滅過程のバランスでその平衡濃度が保たれている。近年、特に、人間活動による大量の化学物質の放出が、これまでの大気微量成分のバランスを変え、微量成分の濃度が増加し、地球環境へ影響を及ぼすことが懸念されている。このような長期的かつ地球的な規模の大気環境汚染問題のうち、近年、特に注目されているのが炭酸ガス、メタンその他の対流圏大気微量成分の増加に起因する地球温暖化とクロロフルオロカーボンの排出に起因する成層圏オゾン破壊の問題である。前者は気候変動をもたらす、後者は紫外線の増加をもたらすことにより、人間を含めた地球上の生体に重大な影響を及ぼすことが懸念されている。¹⁾

国立公害研究所においては、このような地球規模の大気環境汚染問題への取り組みとして、大気環境部を中心に、まず「地球温暖化に係わる炭素系大気微量成分のグローバル変動に関する先導的研究」が昨年4月からスタートした。地球温暖化はいわゆる地球の温室効果と呼ばれる現象に起因するもので、代表的な例としては化石燃料の使用によるとされている対流圏での炭酸ガスの増加が度々引用されている。これは炭酸ガスが地表から放射される赤外線を良く吸収し、保温の役目をするためである。現実に炭酸ガスは年に1.4ppm(約0.4%)程度増加している。さらに、メタン、一酸化炭素、非メタン炭化水素等の炭素系微量成分や、 N_2O 、クロロフルオロカーボン等の大気中の微量成分が、炭酸ガスと同程度かそれ以上に地球の温暖化に寄与する可能性があることが指摘されている。とりわけメタンは年1%の大きな増加率で増え続けており、しかもその増加の理由は明らかではない。大気中のメタンは、湿地、湖沼、水田や家畜など生物の作用により生成すると言われているが、その発生源はまだ十分解明されていない。大気中のメタンの増加と人間活動の関連については、化石燃料の使用により生ずる一酸化炭素が原因で増加することも考えられる。すなわち、大気中のメタンの主な消滅反応は CH_4 とOHラジカルの反応、



であり、また CO は、



という速い反応で OH を減少させるので、CO はメタンの消滅を抑え、結果的にはメタンの増加を招くことになる。OH ラジカルは CO だけでなく人間活動による他の微量成分によっても消滅するし、CO もまた炭素系微量成分の大気中での反応で生成する。メタンの増加はあくまで一つの例であって地球の温室効果のからくりは複雑であり、人為的・自然的発生源の変動による直接的寄与以外に、大気中における光化学反応等による間接的寄与が複雑に影響し合っていると考えられる(図1)。したがって、その解明にはバックグラウンド大気中のいろいろな微量成分の大気中での光化学反応の速度や機構の決定、さらにはそれらを基本とした対流圏での化学反応シミュレーションモデルの開発が必要となる。

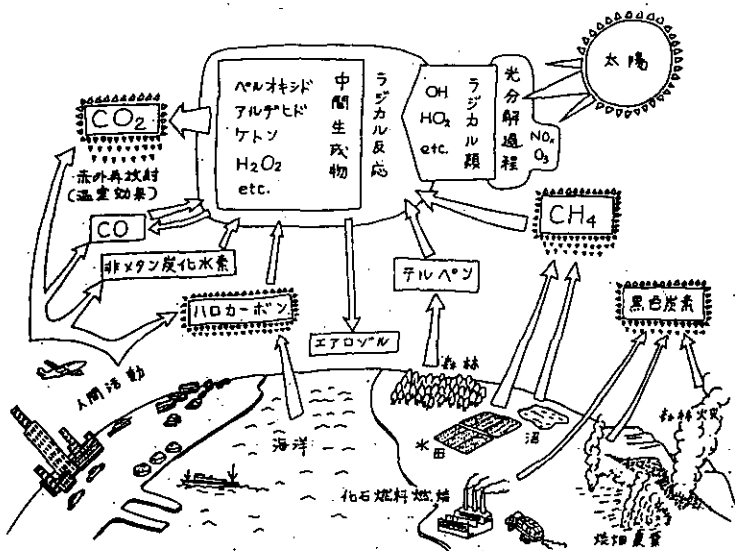


図1 炭素系微量成分の大気循環

2. 国立公害研究所における特別研究

以上のような背景をもとに昨年4月から始まった特別研究「地球温暖化に係わる炭素系大気微量成分のグローバル変動に関する先導的研究」では特に、対流圏における光化学的変質過程を通して大気質の長期的変動に大きな役割を果たしている炭素系大気微量成分に着目し、これまで原因のわかっていないそのグローバル変動メカニズムについて研究する。研究は以下の四つの課題から成る。

第一は、「炭素系微量成分の発生量の測定と見積り」である。この課題では、炭素系微量成分の発生・放出についての情報を得るため、テルペン類の森林内での測定、メタンの水田からの発生量の測定を行うとともに、既存のデータから自然起源炭化水素、人為起源炭化水素、CO等についてグローバル発生量の推定を行う。

第二は、「炭素系微量成分の光化学反応機構の研究」である。ここでは大気中に放出された炭素系

微量成分の変質過程を研究する。研究は、光化学チャンバー、エアロゾルチャンバーを用いた実験、その他の物理化学的測定手段(例えばレーザー誘起蛍光法、質量分析法、半導体レーザーによる吸収法等)を用いた室内実験によって、メタン、テルペンなどの対流圏バックグラウンド条件下での光化学反応機構の解明を行う。特にここではこれまで研究のすくなくかったヒドロペルオキシド(ROOH)やペルオキシラジカル(RO_2)の反応について詳細に研究を行う。これらの分子やラジカルは、 NO_x の少ないバックグラウンド大気中での反応において重要な役割を果たすと予想される。またアルデヒド等の光解離量子収率の波長依存性、圧力依存性を測定する。これらの結果は第四の課題であるシミュレーションモデルに用いられる。

第三は、「対流圏微量成分濃度の測定法の開発と長期変動の測定」である。ここではメタン、 C_2 ~ C_4 炭化水素、CO、ブラックカーボン等の対流圏でのバックグラウンド濃度の測定法を確立し、バックグラウンド大気の測定点の選定を行い、今後長期にわたる微量成分の変動の測定を開始する。現在は富士山頂や小笠原での測定を行っている。

第四は、「対流圏光化学反応モデルの開発」である。ここでは上記の光化学実験の結果を取り入れながら、対流圏光化学反応モデルを開発し、一酸化炭素、非メタン炭化水素などの人為的・自然的放出量の変動が地球温暖化をもたらす大気微量成分の濃度変動に与える影響を解析する。

これらの研究の中で昨年度特に重要な成果が得られた第二の課題の一部であるメタンの酸化反応とそれから生じるヒドロペルオキシド(ROOH)やペルオキシラジカル(RO_2)の反応について以下に述べる。

3. メタンの酸化反応

メタンは大気中の炭酸系微量成分としては炭酸ガスに次いで濃度が高く(1.6ppm)、炭酸ガスと異なって大気中で酸化反応をするため、前に述べた様にその消滅過程は大気化学においてとりわけ重要である。特に酸化反応の過程で生成するメチルペルオキシラジカル($CH_3OO\cdot$)やメチルヒドロペルオキシド(CH_3OOH)の反応は未だ不明な点が多く、それらの反応の解明は重要な課題であった。²⁾

大気中に放出されたメタンはOHラジカルによりその大気酸化が開始され、酸化が進行するとCOを経て最終的には CO_2 にまで酸化される。一方、その酸化過程を通じて、さらにOHを消費したり HO_2 を生成したりするために、 HO_x 等大気中の活性化学種の濃度を左右し、他の大気微量成分の濃度に変化をもたらす。これまで報告されている知見を基にメタンの大気酸化反応の様子を図2に模式的に示した。対流圏バックグラウンドで観測される NO_x 濃度100 ppt以下の条件では CH_3OO の消滅過程として、スモッグ反応で知られたNOとの反応(図中太線の経路、 NO_x 濃度数百 ppt以上で重要)よりむしろ HO_2 、 CH_3OO との反応が主経路となり、図2にみられるように酸化過程は複雑になる。これらの反応により生成する CH_3OH 、 CH_3OOH は、1)水への溶解度が高く雨水への取り込み等(図中の破線)により放出されたCを大気から取り除く過程に大きく寄与すること、2)その後続反応の違いにより大気中 HO_x 濃度バランスに影響するなどの点から、その生成・消滅過程の詳細を明らかにしなければ、メタンの増加の原因や、その増加が今後大気質の変動に与える影響を正確に評価・予測することができない。

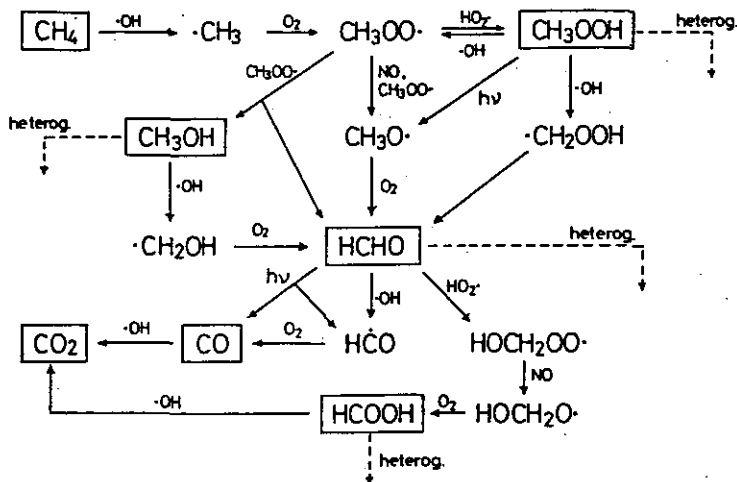


図2 メタンの大気酸化反応

光化学チャンバーを用いたメタン大気酸化反応機構の研究では、NO_x濃度の極めて低い条件下でのCH₃OOラジカルの反応生成物を分析し、またその生成収率の温度依存性を明らかにした。図3はFT-IRにより分析された反応生成物の時間変化の例を示している(ここでは、CH₄+OHの代わりにアゾメタンCH₃N₂CH₃の光分解によりCH₃ラジカルを発生させている)。図から明らかなように、CH₃OOH、CH₃OHも主成分として観測された。さらに反応温度を変化させ、表1に示したような各反応生成物の収率の温度依存性を求めた。³⁾

これらの結果で重要な点は、対流圏バックグラウンドにおけるメタン酸化反応過程では、直接HCHOを生成する他にCH₃OOH、CH₃OHも主要な中間生成物として存在していること、さらに他の中間生成物に比べてOHとの反応による消滅過程が遅いCH₃OHの生成収率が低温になるに従って高くなる(表1参照)ことである。対流圏の気温が高度の上昇と共に低下し成層圏との圏界面付近では約220Kにまで低下することから、後者の結果もメタンの形で放出されたCを大気から取り除く過程を助長する効果を持つ。従って、大気中に放出されたCH₄がCO、CO₂にまで交換される割合が従来推定されていた値よりも小さいことが示唆される。

上の研究結果でもわかるように、バックグラウンド条件下では、CH₃OO+HO₂反応により生成するCH₃OOHはメタン酸化過程の中の主中間生成物の一つである。報告されている大気モデル計算の結果においても、酸化反応の盛んな低緯度地域ではCH₃OOの消滅過程のうち60%以上がHO₂との反応であることがあることを示唆しておりバックグラウンド大気中ではCH₃OOHの生成量は多い。従って、メタンの酸化過程としてCH₃OOHの消滅過程が極めて重要であるにもかかわらず、実験的研究は1例報告されているのみであった。本研究ではパルスレーザー光分解-レーザー誘起蛍光法(LIF)を用いて、CH₃OOH+OH素過程を速度論的にしらべ、次の結果を得た。1)この反応の速度定数は298Kで(2.1±0.16)×10⁻¹² molecule⁻¹cm³s⁻¹であること、2)この反応では反応経路:→CH₃OO+H₂O(1a)、→CH₂OOH+H₂O(1b)の両方が存在すること、またその比率がa:b=2:1と推

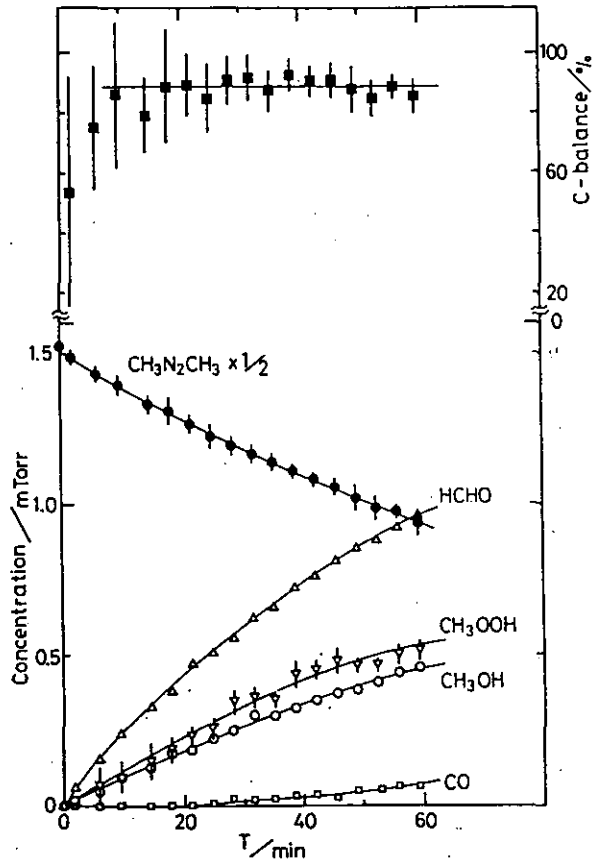


図3 光化学チャンバー実験による CH_3OO ラジカルの反応生成物 (FTIRによる分析)

表1 $\text{CH}_3\text{OO} + \text{CH}_3\text{OO} / \text{空気系}$ 反応における生成物の収率の温度依存

生成物	T/K	284	303	338
HCHO		0.85(2)	0.85(2)	0.85(2)
CH_3OH		0.41(3)	0.38(1)	0.36(1)
CH_3OOH		0.55(2)	0.48(4)	0.58(2)

定された。さらに (1b) で生成した CH_2OOH の単分子分解： $\text{CH}_2\text{OOH} \rightarrow \text{HCHO} + \text{OH}(2)$ により OH の再生過程が存在する (図4, 反応物として OH の代わりに OD を使用した場合に観測される OH の LIF 信号強度の時間変化。OH は (1b) + (2) で生成するため反応初期には増加する。しかし同時に起きている反応 (1a) のために OH + OD 全量は減少していくことから反応の後半では OH も減少していく。●は CH_3OOH 濃度が0の場合で、この場合の OH は OD 同位体中の不純物である。) ことを初めて直接的に証明した。

この結果は、メタン大気酸化反応の中で以下のような大気化学的意味を持つ重要な成果である。①

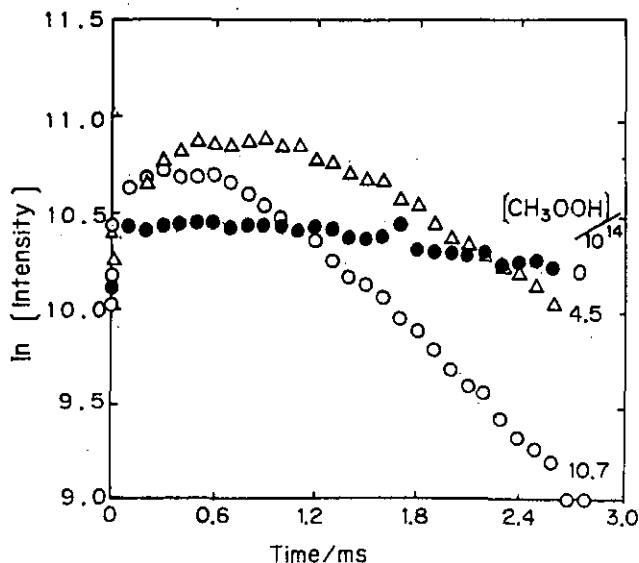


図4 $\text{CH}_3\text{OOH} + \text{OD}$ の反応で生成したOHラジカルのレーザー蛍光信号強度の時間変化

得られた速度定数は、従来報告されていた値(1例のみ、間接的な方法で求めた値)が約5倍過大評価されていたことを意味する。 CH_3OOH の消滅過程として図2に示したように a) OHとの反応, b) 光分解(図中 $h\nu$), c) 不均一除去過程(図中、点線)があり、今回求めた値を使うとこの3つの過程がほぼ同程度の寄与をしていることになり、従来の見積りに比べ相対的にc)の寄与が大きくなる。すなわち、大気から炭素の除去される割合が高くなる。② 反応 $\text{CH}_3\text{OO} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OOH} + \text{H}_2\text{O}$ と (1a) $\text{CH}_3\text{OOH} + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OO} + \text{H}_2\text{O}$ で HO_x の分解サイクルを形成することになる。⁴⁾ 実環境大気中のOH濃度は、他の中間生成物による HO_x 化学種の生成・消滅も含めてこのような反応のバランスで決まってくるので、ここで求めたような素反応過程の詳細は、将来モデル計算を行う際の基礎データとして重要である。

参考文献

- 1) WHO report No. 16 (1987): Atmospheric Ozone 1985: Assessment of our understanding of the processes controlling its present distribution and change. vol. I-III.
- 2) Logan, J.A., M.J.Prather, S.C.Wofsy and M.B.McElroy (1981): Tropospheric chemistry: A global perspective. J. Geophys. Res., **86**, 7210-7254.
- 3) 坂東博, 鷲田伸明, 秋元肇, (1987): 大気中におけるメタン酸化反応。I- NO_x 非存在下での CH_3O_2 反応の生成物とその収率の温度依存。第28回大気汚染学会講演要旨集, 245p.
- 4) 坂東博, 井上元, 鷲田伸明(1987): 対流圏におけるメタン酸化反応の機構。環境科学シンポジウム1987講演報告集, 4 p.

リモートセンシング技術を用いた大気環境動態の把握

—— レーザーレーダー観測で何が分かるのか ——

笹野 泰弘 (大気環境部)

要旨 レーザー光を用いたリモートセンシングであるレーザーレーダー技術とその応用手法の開発を行ってきた。エアロゾルの空間分布の計測、エアロゾル分布をトレーサーとした大気構造とその動的変化の把握、大気汚染気体成分である二酸化窒素鉛直分布の計測、コニカルスキャン方式による新しい風向・風速の測定など、具体的に研究成果の例を示し、レーザーレーダーで何が、どの様に観測され、何が分かるのかを紹介したい。

1. はじめに

昭和59年度より4ヶ年計画で始まった特別研究「遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究」は、アクティブセンサーであるレーザーレーダーを用いた大気環境動態の把握、パッシブリモートセンサーであるMSS(マルチスペクトルスキャナー)を用いた陸域、水域の環境動態の把握に関する手法の開発の二つを主要なテーマとして研究を進め、昭和62年度をもって終了した。本特別研究では、遠隔計測(リモートセンシング)技術の持つ広域性、同時性、普遍性、高分解性等の特徴を生かした、環境の動的な変化を抽出するための技術的あるいは測定法上、解析法上の手法の開発を中心課題とした。

このため、(1)大気環境計測のための新たなレーザーレーダー装置の開発、(2)遠隔計測に影響する大気の光学的な性質やその時空間的な変動特性に関する研究、(3)動態把握のためのパターン情報処理に関する研究、そして具体的事例に基づく(4)動態把握による環境の評価手法に関する研究の4つのサブテーマのもとに研究を進めてきた。

本報告では、このうち特にアクティブセンサーであるレーザーレーダーによる大気環境の計測に焦点を当てて、レーザーレーダーがどのように用いられ、それで何が分かるのかを具体的に例を挙げて紹介したい。まず最初に、簡単にレーザーレーダーの原理について触れた後、個々の事例について述べる。

本特別研究ではこの他に、パッシブリモートセンサーであるMSS関係の計測技術、データ解析技術、環境動態の把握手法の開発を行ってきた。また、MSS計測の上で問題となる大気による影響の除去に関しては、レーザーレーダー観測との組合せで補正手法の開発を行なった。

2. レーザーレーダーの原理とデータ処理の方法

レーザーレーダーは原理的には、気象や航空の分野で使われているマイクロ波レーダーと変わる所はない。唯一の大きな違いはレーザーレーダーが電磁波として光の領域のレーザー光を用いているこ

とである。このためにエアロゾル等のミクロン・サブミクロンオーダーの微粒子に対して散乱効率の高いミー散乱の領域に入り、これら微粒子の分布の計測ができるという利点を持っている。さらに、光と物質との相互作用(吸収、共鳴散乱、ラマン散乱)を利用することで、対象とする気体成分に応じた適当な波長のレーザー光を用いれば、個々の気体成分の濃度分布の測定が可能である。

通常のミー散乱現象を利用するレーザーレーダーでは、レーザー光が大気中を伝播するときに受ける消散の効果と、エアロゾル等による散乱の効果を受信信号から分離して取り出すことは容易ではなく、レーザーレーダー信号の逆解法問題として、古くから関心が持たれてきた。以下では主としてミー散乱レーザーレーダーによる計測の問題を議論するが、環境の動態把握、変化の抽出を図る上で信号の定量的な解析に基づく絶対的な物理量への変換が不可欠であり、本特別研究においてもこの逆解法問題に取り組んで来た。

既に述べたように、レーザーレーダー信号にはエアロゾルによる光の消散と散乱の両者の寄与があり、一つの測定からこの両者を同時に決定することは原理的に出来ない。そこで消散係数と後方散乱係数の間に何らかの関係を仮定して、いわば“未知数の数を一つ減らして、測定量の数と未知数の数を合致させる”ことでレーザーレーダー信号を解くことが試みられている。このとき、消散係数と後方散乱係数の比例関係を仮定すると、比例係数として「散乱パラメータ」と呼ばれる新たな未知量が導入される。これについては、経験的に知られた値を用いることができる。

さらに、こうしてレーザーレーダー信号を解く際に、境界条件としてある地点での消散係数あるいは後方散乱係数を与える必要がある。本研究では空間スキャン測定によるPPI画像データ、RHI画像データに対して、反復的な解法によって境界条件を自動的に設定する手法を開発した。

3. レーザーレーダーによる大気汚染構造の動的把握

3.1 海風前線の内陸への侵入

レーザーレーダーを空間的にスキャンする測定方法(PPI, RHI)をとれば、エアロゾルの空間分布(水平分布、鉛直分布)を知ることが出来る。こういったスキャン測定から大気構造を捉える試みは、先の特別研究において大気混合層を対象として実施した。当時はまだ、レーザーレーダー信号の定量的な解析手法はまだ確立していなかったこともあって、画像データの定性的な解析に留まっていた。その後、本研究において定量解析の手法が開発され、例えばヒートアイランドや海風前線構造の解析に適用された。

図1は海風前線の侵入状況を時間を追って示したもので、PPIスキャン測定を繰り返して得た画像データから海風前線の位置の時間変化を抽出した。海風は、沿岸地域に立地する排出源から出された汚染質を内陸へ運んだり、あるいは海上の清浄な空気を内陸へ運ぶという複雑な働きをしていることから、大気汚染現象を理解する上では重要な位置を占めている。

鉛直上方だけを対象としたミー散乱型レーザーレーダーは以前から開発を進め、多くのフィールド観測でその実用性を確かめてきた。鉛直上方に向けたレーザーレーダーによるエアロゾル鉛直分布の測定はTHI測定と呼ばれる。昭和61年度の夏には、東京(大手町)、浦和、熊谷の3点において、海風の侵入に伴うエアロゾル鉛直分布の時間変化の同時測定を実施した。地点の違いによるエアロゾル

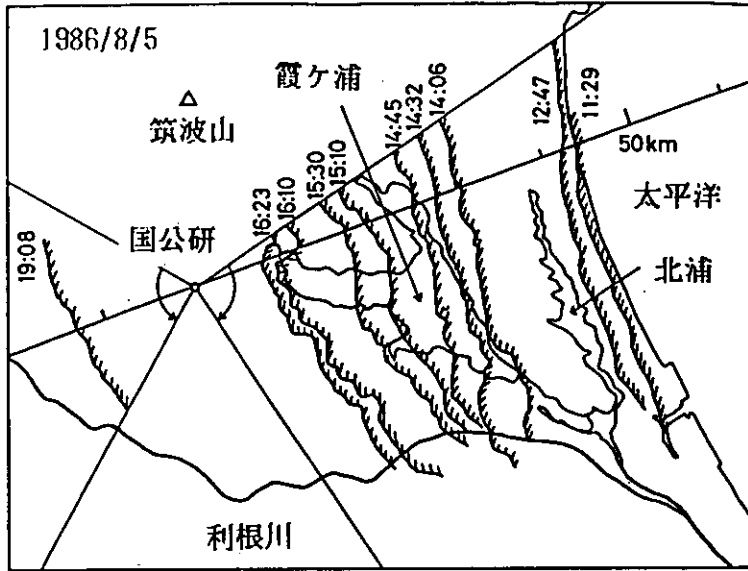


図1 大型レーザーレーダーのPPIスキャン測定から求められた海風前線の内陸への侵入状況

分布とその時間変化の相違が見いだされた。関東平野という比較的、水平方向に一樣と考えられる領域ではあるが、海風循環など水平方向の輸送現象の効果が現われ3地点間に大気構造の相違が見られた。

3.2 風向、風速鉛直分布の新しい計測法

大気汚染質の水平方向の輸送は、上空の風の情報を得て初めて正しく把握される。従来は、パイバルと呼ばれる一定速度で上昇する風船を追尾してその方位、高度角変化から風向、風速を求めていた。近年、音波レーダーなど新しいリモートセンシングの開発が盛んであるが、まだ、高度1km程度までの大気汚染にとって重要な高度領域の風の測定には不十分であった。

本研究の一環として、ミー散乱レーザーレーダーを基礎とした新しい風向、風速の計測手法を考案し、実験的にその有効性を明らかにした。風の測定原理は、レーザーレーダーによりエアロゾルの高度分布を複数の方向で測定し、時間相関法でエアロゾルの分布パターンの移動速度、すなわち風向・風速を求めるものである。製作した装置では図2に示すようなコンカルスキャン方式により、6方向のレーザーレーダー測定を行なった。図3には、この装置で得た風向・風速の鉛直分布の例を同時に実施したパイバル測定の結果と併せて示した。

3.3 二酸化窒素濃度の鉛直分布の計測

差分吸収方式と呼ばれる手法を用いると特定の気体成分の濃度分布を測定することが出来る。この方式では、気体による光の吸収を利用する。そのため吸収の大きな波長の光と、吸収の小さい波長の

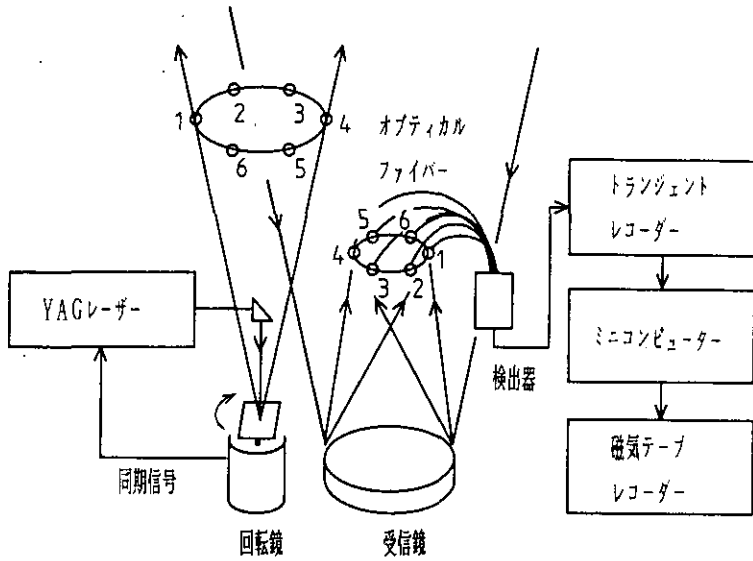


図2 風向・風速鉛直分布測定用コニカルスキャンレーザーレーダーの基本構成

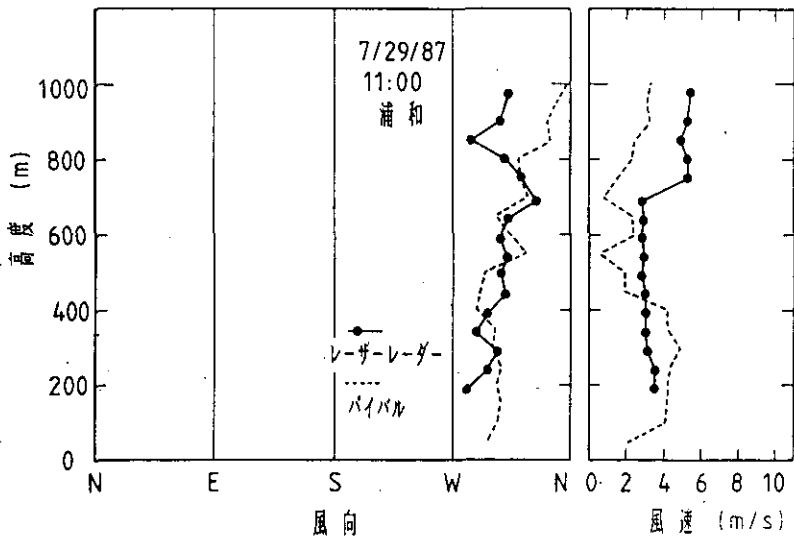


図3 コニカルスキャンレーザーレーダーで得られた風向・風速の鉛直分布

光の二つのレーザー光を用い、それぞれの波長については独立に通常のレーザーレーダーと同様の測定を行なう。すると、吸収の大きな波長のレーザーレーダー受信信号は吸収の小さな波長のそれに比べると、光の吸収を多く受けた分だけ受信信号が小さくなる。この差は、レーザーの発信点から対象とする地点までの吸収気体の量に関係する。したがって、両波長の信号の比からレーザー光路上の気体成分の濃度が求められる。本研究では二酸化窒素を対象とした差分吸収方式レーザーレーダーを開発し、フィールド測定により、その有効性を明らかにした。

図4に二酸化窒素濃度の鉛直分布の時間変化を示した。

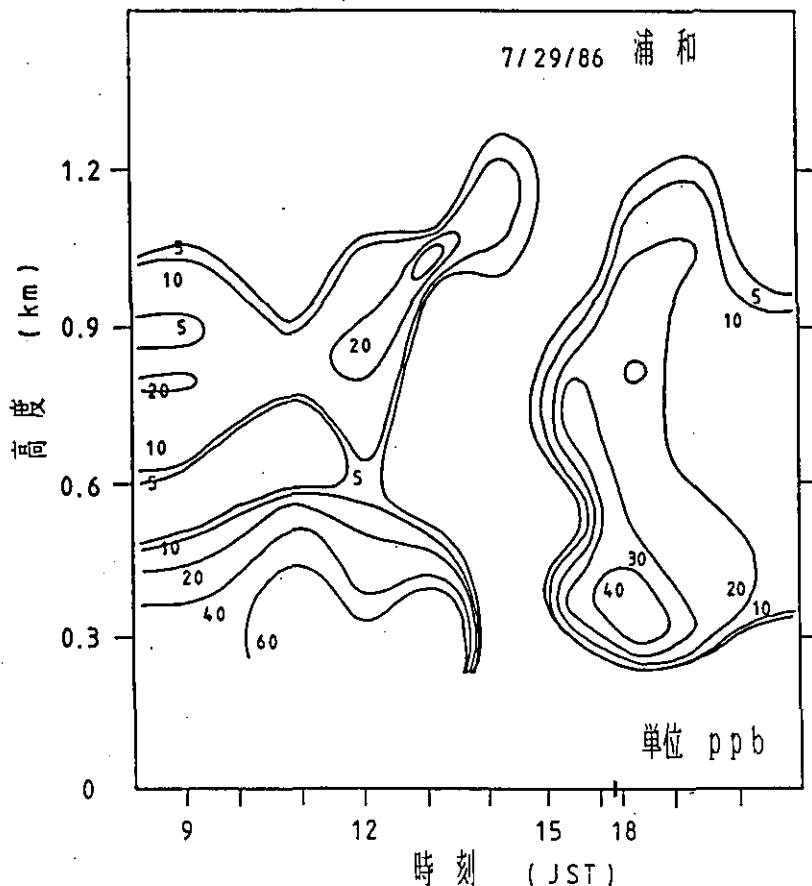


図4 差分吸収方式レーザーレーダーで得られた二酸化窒素濃度鉛直分布の時間変化

4. おわりに

本報告では大気環境の計測を中心として、レーザーレーダー技術に関する研究の進展状況を紹介し、大気環境動態の把握への応用について議論した。1960年代前半から活発に研究が進められてきたレーザーレーダー技術であるが、この数年の進展には著しいものがある。特に、ミー散乱レーザーレーダー

はエアロゾル等の分布測定を主目的とするものであるが、近年の信号解析手法の発展により対流圏エアロゾルの光学的諸量の定量的な導出が可能となってきた。これにより、時期の異なるデータ間の比較が可能となった。

また、地上設置のスキャン可能なレーザーレーダーによる大気構造の把握について、当研究所の大型レーザーレーダーの特長を生かした先駆的な研究を行い、境界層構造、海風前線構造などの解明を行ってきた。

一方、大気汚染気体の空間分布計測は大気汚染現象の実態解明、モデル化等の上で必要欠くべからざるものであるが、通常のサンプリング方式では測定高度、測定頻度の点で大きな制約を受けざるを得ない。これに対して本研究で開発してきたような差分吸収方式レーザーレーダーによる遠隔計測手法の有効性は言を待たない。技術的な問題点はほとんど解決されたといつて良いだろう。ここで蓄積された技術的知見が昭和62年度に導入された成層圏・対流圏オゾン計測用レーザーレーダー(差分吸収方式)の製作に当たって十分に生かされたことを強調しておきたい。

上空の風向、風速の計測は大気汚染問題のみならず、いろいろな分野で重要である。本研究では新しい手法として、時間相関法による計測法を提案し、実験的にその可能性を実証した。本手法は技術的にはまだ熟したものではないが、今後の発展性、実用化の可能性を大いに秘めたものと考えている。特に、差分吸収方式レーザーレーダーによる汚染気体成分濃度の測定、あるいはミー散乱レーザーレーダーによるエアロゾル濃度の測定との組合せにより、汚染気体やエアロゾルの流量を遠隔的に測定することが可能になり、地域的な汚染対策を考える上で貴重な情報を提供できるものと考えられる。

植物指標による大気環境評価

——ハツカダイコンは大気汚染のモニターになりうるか——

藤 沼 康 実 (技術部)

概 要 高等植物の大気汚染ガスに対する感受性は種間や同一種内でも大きな差異があり、高感受性植物のガス影響を指標として大気環境を評価することも可能である。ここでは光化学オキシダントの主成分であるオゾンに対し高い感受性を示すハツカダイコンを大気環境評価のための指標植物として選択し、その指標としての有用性・信頼性、及び実際の評価手法を検討した。

1. はじめに

最近、筑波地区でも光化学オキシダント濃度が高く、光化学スモッグ注意報が発令される濃度域に達することが年に数回ある。このような汚染状況下では、光化学オキシダントの影響によって植物にも可視害の発現や、生育の阻害、収量の減少などの事例が生じている。

これらの植物に対する大気汚染ガスの影響は、ガスが植物体中に取り込まれて、始めてその影響が発現するのであり、植物影響の強さはガスの取込量に依存している。しかし、植物の中にはその関係から逸脱する種・品種が少なからず存在する。例えば、ガスの植物体中への取込量が少なくてもガスの影響が大きい植物、あるいは、ガスの植物体中への取込量が大きいガスの影響が小さい植物などがある。前者は大気汚染環境指標性、後者は大気浄化能に優れている植物と言えよう。

我々は植物の大気汚染に対する反応を指標として、大気汚染環境を評価する手法を確立することを進めている。この手法では、野外条件下の複合環境から大気環境の影響だけを抽出しなければならない。従って、その結果を評価するためには、大気環境に対して特異的に反応し、かつ、その感受性が高い植物を検索し、大気汚染環境を初めとする生育環境それぞれの要因に対する植物の反応特性を解析することが必要になる。

ここではハツカダイコンの事例を中心にして大気汚染環境評価における高等植物の有用性とその限界、及び、野外での評価手法について報告する。

2. ハツカダイコンの大気汚染ガス感受性

我々が指標植物化を目指しているハツカダイコン (*Raphanus sativus* L.) は生育期間が短い、栽培が容易である、草姿もコンパクトであるなどの特徴を持った園芸作物である。その生育は光強度によって一義的に制御されるが、生育気温の許容範囲は15~30℃と比較的広い。また、栄養生長期には生長が速く、根器官が同化物の大きなシンク (Sink) になっている。

可視害：植物葉に発現する可視害は大気汚染ガスの種類によってその症徴が異なり、ハツカダイコ

ンでは表1に示すような症徴が観察される。

図1にO₃とSO₂に対して高感受性と分類される植物で葉面積の5%に可視害が発現する暴露濃度・時間を示した。ハツカダイコンは図中の範囲に該当し、O₃、SO₂の両ガス共に高感受性といえる。特に、O₃に対してはバックグラウンド濃度レベルの0.05 ppm暴露によっても顕著な可視害や生育阻害を発現し、極めて感受性が高い。しかし、光化学オキシダントの他方の主要物質であるPAN (Per-oxyacetyl nitrate) に対しては感受性が低い。

表1 大気汚染ガスによりハツカダイコン葉に生じる可視害の症徴

大気汚染ガス	可視害の症徴
SO ₂ ・NO ₂	葉脈間に輪郭が明瞭な褐白色斑が発現
O ₃	葉全体に灰白色の微小斑が発現
PAN	葉裏面の葉脈間に銀白色の陥没斑が発現

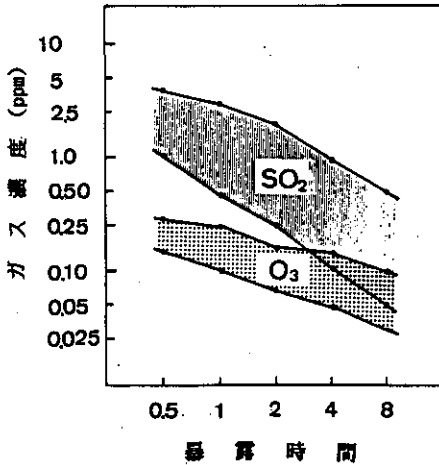


図1 O₃とSO₂に対して高感受性に分類される指標植物に可視害発現をもたらす限界濃度・時間

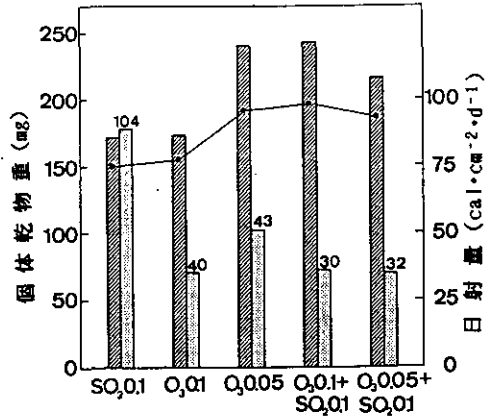


図2 ハツカダイコンの乾物生長に及ぼすO₃及びSO₂の単独、複合暴露の影響と生育期間中に受けた日射量

生長影響：可視害が発現するより低い濃度域でも生理活性の低下や生長阻害などの障害が発現している。それらの中で、生長阻害はガスのあらゆる害作用の積算結果である。

SO₂やNO₂は現状の大気濃度では、それぞれ単独状態で生長を阻害することはほとんどない。しかし、O₃は現在の大気濃度でも生長を阻害することがあり、更に、他の汚染質との複合状態ではO₃の生長阻害効果が増長する。従って、SO₂やNO₂はO₃の害作用を増長させる点からその存在が問題になる。例えば、図2に示すようにハツカダイコンにO₃とSO₂を単独及び複合状態で播種後3週間連続暴露した場合、SO₂は0.1 ppm単独では生長に全く影響を与えないが、O₃は0.05 ppm単独でも生長が著しく阻害される。更に、これらのガスを複合状態にすると生長阻害が著しくなり、複合効果が認められ、SO₂やNO₂との共存下でO₃はその害作用を増長する。

3. 大気汚染ガス感受性の変動

生物を供試材料とする実験では結果の信頼性・再現性が得られないことが多い。それは遺伝的な不均質さと共に、実験環境の変動、実験操作上の曖昧さなどに起因している。生物指標法では指標の環境反応性が供試植物の生理状態や管理方法、あるいは、環境要因の変化によってどの程度変動するのか把握し、その対策を構じる必要がある。

生理的要因：植物の O_3 感受性は植物体内の成分によって変動する。例えば、糖やアスコルビン酸の含有量の多い葉では O_3 暴露による可視害の発現が少ない。また、植物の生理齢によってガス感受性が異なり、ハツカダイコンでも若齢葉では可視害がほとんど発現しないが、成熟葉・老化葉では著しく発現する(図3)。生長影響の場合でも、栄養生長期と生殖生長期とでは影響の程度が異なる。ガスの乾物生長に対する阻害効果も栄養生長期に高く、特に、指数的に生長する生育初期で最も感受性が高くなる。

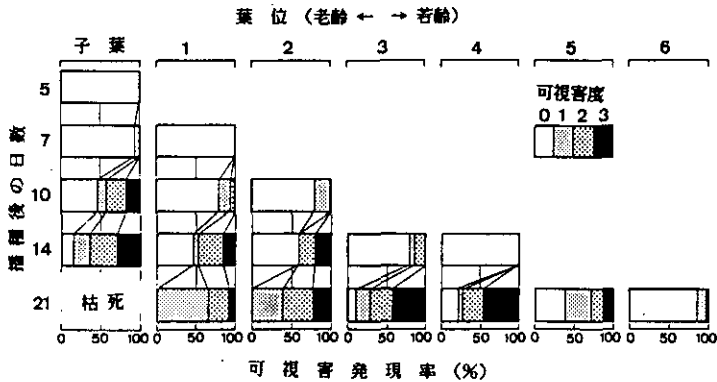


図3. ハツカダイコン葉に発現する可視障害に及ぼす生育段階の影響

環境変動と栽培管理：生育環境や栽培管理のわずかな違いも植物の生理活性に大きな影響を与える。特に、野外調査では管理が手薄になり、それが結果に反映し再現性が得られないことが多い。例えば、低光強度条件下で栽培してきた植物は強光強度条件のものより O_3 暴露による可視害発現が大きくなり、生長阻害効果も高くなる。あるいは、植物に水欠乏(ストレス)を与えると O_3 感受性が低くなるなど生育環境や栽培管理方法によってガス感受性が変化する。

表2に示すようにハツカダイコンでも水ストレスの経験の有無が気孔の開閉能力に影響し、その結果、ガス暴露による可視害発現程度に差が生じる。このことは大気汚染ガスの植物体内への取込み口である気孔の開閉機能が環境要因や栽培管理によって影響を受けていることを示しており、植物の生育環境の均一な管理がガス感受性の信頼性を高める要因の一つになる。

4. 植物指標の選択

環境評価の指標となる植物反応の必要条件として次の事項が挙げられる。① 特定の環境変動に対して特異的かつ敏感に反応すること。② その反応を数量的に把握できること。③ 長期間継続し積算

表2 ハツカダイコン葉の可視害に及ぼす水ストレス経験の影響
 播種3週間後の植物にO₃ 0.2ppm+SO₂ 0.2ppmを6時間暴露し、第3・4位葉で調査した。可視害度は暴露24時間後、その他は暴露中の測定値である。水ストレスの経験は中庸区、過激区それぞれ暴露24時間前に-1.0~-1.2MPaの水ストレスを1時間、12時間処理した。

水ストレス経験	可視害度	気孔コンダクタンス (cm ² ·s ⁻¹)	水ポテンシャル (MPa)
無し	104	1.56±0.36	-0.40±0.11
有り(中庸)	63	0.76±0.37	-0.41±0.13
有り(過激)	33	0.40±0.22	-0.36±0.15
ストレス中	0	0.12±0.06	-1.02±0.09

効果があること。④ 調査方法が容易であること。⑤ 再現性・信頼性が高いこと。

これらの条件を満たす指標の一つとして可視害がある。可視害は前述のとおりガスの種類によってその症徴も異なり、量的な把握も容易な指標である。ガスの中でもSO₂やNO₂は可視害発現濃度が高く、現状の大気汚染状況では指標性が低い。しかし、ハツカダイコンはO₃に対して特異的に高感受性であり、現状の大気汚染状況でもO₃様の可視害が観察でき、O₃に対する指標性が高い。

可視害が発現しない汚染程度でも植物の生理活性や生長の阻害などが発現することが多い。その中で、植物の生長量自体や生長解析法で用いられる生長のパラメータは調査に際して特別な機材や技術を要せず、計量が容易であり、配置期間中の影響を積算した結果を反映する指標である。特に、根器官への同化物の分配率の変化はハツカダイコンの生長を特徴づけるばかりでなく、O₃による生長阻害の特徴を表現している指標である。また、それらの指標は播種後3週間後までの栄養生長期に効果的に機能する。従って、光化学オキシダントが大気汚染の主体である現状では、オキシダントの主成分であるO₃に対して高感受性であるハツカダイコンは大気汚染環境評価のための有力な指標植物となる。表3に大気環境評価の指標として選択したハツカダイコンのパラメータをまとめた。

表3 大気汚染環境評価のためのハツカダイコンの指標

指 標	特 徴
①可視害	大気汚染ガスを識別可、定量可
②乾物生長量	積算効果大、定量可
③根器官の分配率	O ₃ に特異的に反応する

5. ハツカダイコンを用いた大気環境評価方法

高等植物を用いた大気汚染環境評価方法として、指標植物を調査地点に直接配置して、その植物影響程度から環境評価する植物計(Phytometer)や大気浄化処理の有無だけが異なる一対の野外配置型のチェンバーで植物を栽培し、チェンバー間の植物影響程度の違いから環境評価するオープントップチェンバー(Open-Top Chamber)法などがある。

植物計では植物が受ける大気環境要因の中から汚染ガスの影響だけを抽出しなければならない。ま

た、各地点の植物より得られた数値の地点間の比較により、大気汚染状況を評価しなければならず、信頼性の高い指標植物が必要になる。一方、OTC法では各調査地点に大気浄化区と非浄化区を設け、その区間差から大気汚染状況を評価するので、供試する指標植物の選択範囲が広い。ここでは大気 O_3 濃度を評価することを目的として開発された小型OTC法の概要と調査事例を紹介する。

小型OTC装置の概要：装置は100ℓの園芸用培養土が入った木箱(900w×450d×300h mm)の上面に1対の透明アクリル製のチェンバー(300w×300d×700h mm)を設置し、そのチェンバー内で植物を育成する(図4)。チェンバーの側面下部には送風機が設置されており、浄化区チェンバーには活性炭フィルターが装着されている。送風量は浄化区、非浄化区共に $500 \text{ ℓ} \cdot \text{min}^{-1}$ に調整されており、チェンバー内の換気率は7~8回 $\cdot \text{min}^{-1}$ である。浄化区の O_3 濃度は外気の約20~30%、非浄化区では90%以上である。浄化区と非浄化区間では O_3 濃度の違い以外はほぼ等しく、大気中のガスによる植物影響の比較が十分できる性能を有している。

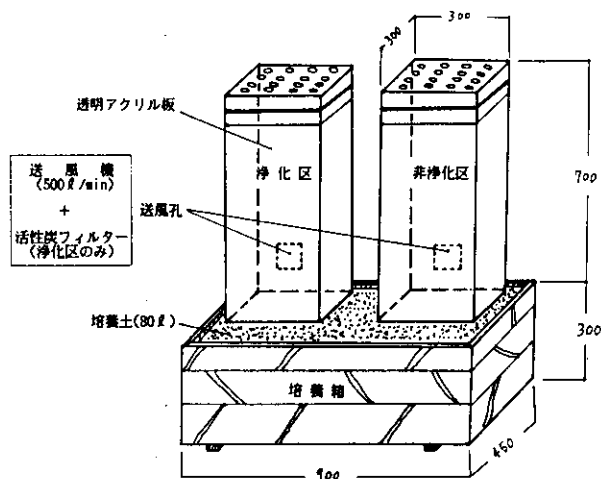


図4 小型OTC装置の概要

OTCを用いた O_3 暴露実験：2組のOTC装置を用いて、浄化区、非浄化区、及び O_3 添加区の2区、及び、屋外区の計5試験区を設定した。各試験区の平均 O_3 濃度はそれぞれ2, 10, 37, 70, 10 ppbであり、ハツカダイコンを播種3週後まで育成し、その影響程度を調査した(図5)。可視害は試験区の O_3 濃度に比例して発現程度が増加した。特に、子葉でその程度が著しくなった。生長量や生長のパラメータに及ぼす影響はそれぞれ O_3 濃度の間に相関係数が認められ、特に個体乾重と葉面積は共に $r = -0.99$ と高くなった。

これらのことから、ハツカダイコンを用いた小型OTC法による大気汚染環境の評価は可能であると判断するが、より信頼性の高い手法にするためには、次のような課題が残る。[装置関係] ① 送風量が少なく、チェンバー内が過度に昇温し、植物に温度ストレスが生じる。② チェンバーが小さく、育成できる植物種、量が限定される。③ 培養土の保水性が悪く、水管理が繁雑である。[指標植物] ① 植物の生育が不均一である。② 指標とする植物パラメータの再現性が劣る。③ 計測が困難な植

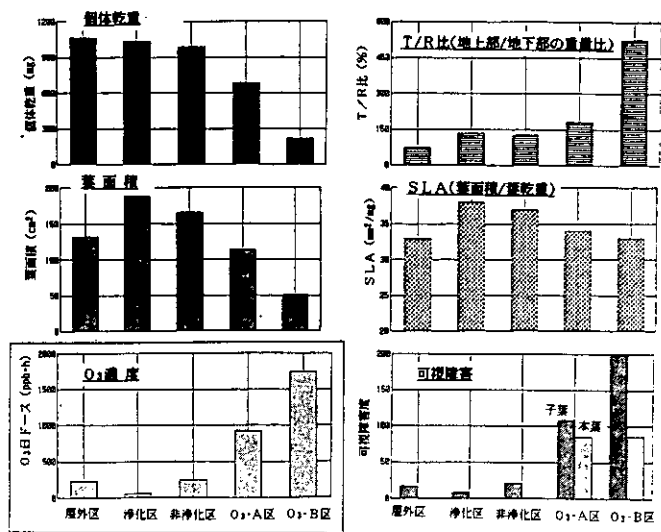


図5 ハツカダイコンの生長のパラメーターの大気汚染環境に対する指標性の比較。

物パラメータがある。他に、野外調査としての制約上、OTC装置の設置地点の地理的状況、あるいは、管理者による対処方法のわずかな違いが環境評価の信頼性に影響することが考えられ、調査・管理上の詳細なマニュアルが求められる。

6. おわりに

生活環境や自然環境を評価することは、その調査結果が持つ社会的影響の大きさから、客観的な視点に立ち、信頼性の高いものであることが要求される。我々は昭和61年度から特別研究「バイオテクノロジーによる大気環境指標植物の開発に関する研究」を開始しており、バイオテクノロジー操作により大気汚染ガスに対してより高感受性であり、かつ、遺伝的に均質な指標植物を作出すること、ならびに、大気汚染環境の評価がより確実に行なえる手法を開発することを進めている。ここに紹介したハツカダイコンを用いた小型OTC法も大気汚染環境評価手法として確立するまでには、まだ解決しなければならない課題が数多く残されている。

しかし、このような生物指標を用いた環境評価手法は機器計測とは異なり、誰でもが身近な生物に生じる現象を直接観察することができる。それ故に、環境汚染の現状を一般の人々に理解させるのに説得力のある手法であり、是非とも確立しなければならない手法である。

免疫反応を亢進させる大気汚染物質について

——その影響機構をさぐって——

藤 卷 秀 和 (環境生理部)

概 要 異物が生体内にはいると生体の防御機構が働いて生体の外に排除されるが、その時に重要な役割を果たしているのが免疫反応である。大気汚染物質の暴露による免疫反応の亢進や抑制は、生体の防御機構の一部の混乱を意味し健康な状態が保たれなくなる可能性を示唆する。本報告では、この免疫反応を亢進させる大気汚染物質の存在が確認されたのでその影響機構について研究成果を紹介する。

1. はじめに

人々の生活の向上や経済の発展にともなって我々をとりまく環境も大きく変化している。大気汚染の状況も一時のような高濃度の限定されたものから、低濃度ではあるが多種類の化学物質による複合化されたものになってきている。我々は、これまで二酸化窒素やオゾンの免疫反応系に及ぼす影響について報告をしてきた¹⁻³⁾。しかしながら、大気汚染物質と気管支喘息、鼻アレルギーなどのアレルギー性疾患との関連については、いまだに不明な点が多々残されている。今回は、化石燃料である石炭の燃焼産物として大気中に存在する粒子状物質としてのフライアッシュがアレルギー反応で重要なIgE抗体産生の誘導に關与する結果を得たので報告する。

2. 免疫反応について

生物の体を、まわりをとりまく微生物や花粉等の異物(抗原)の侵入から守る働き、つまり、ヒトが病気にならないように体のすみずみにまで目をひからせて防御しているのが免疫反応系である。この系は、いくつかの異なる細胞の集団よりなり、侵入してきた異物を食べて消化してしまう細胞や、抗体という蛋白質やリンフォカイン、酵素などの蛋白質をつくり分泌することにより外敵から身をまもる細胞などがふくまれている。ところで、抗体には、表1に示すように5種類のものがあり、IgEという抗体が最もアレルギー反応に關与している。では、一体、アレルギー反応とはどのようにしておこるのであろうか。ヒトの体に抗原がはいると、抗体を作る反応系が働いて一般にはIgMやIgGという抗体が作られるが、ときとしてIgEという抗体が作られることがある。一度IgEという抗体が作られると、この抗体は肥満細胞というアレルギーの症状をおこす物質を含んだ細胞に結合して、再び同じ抗原が生体内にはいりこむと、この抗原とIgEとが触れ合って、肥満細胞からヒスタミンのような物質を体の中で分泌していろいろなアレルギーの症状をひきおこすのである。したがって、IgEという抗体がたくさんつくられることは、生体にとってはあまり好ましくないことである。

表1 ヒト免疫グロブリンの特徴

Properties	Class of antibody				
	IgM	IgD	IgG	IgA	IgE
Heavy chains	μ	δ	γ	α	ϵ
Light chains	κ or λ	κ or λ	κ or λ	κ or λ	κ or λ
Number of 4-chain units	5	1	1	1 or 2	1
% of total Ig in blood	5	< 1	80	15	< 1
Activates complement	++++	-	++	-	-
Crosses placenta	-	-	+	-	-
Binds to professional phagocytes (macrophages and polymorphs)	-	-	+	-	-
Binds to mast cells and basophils	-	-	-	-	+

3. フライアッシュと IgE 抗体産生

フライアッシュは、図1のような球型をした粒子であり、このフライアッシュを抗原としての卵白アルブミンと共にマウスにいろいろな経路をもちいて投与してみた。表2に示すように、胃の中に入れたときには卵白アルブミンに対する IgE 抗体は投与して4週後でもつくられなかったが、気管内や

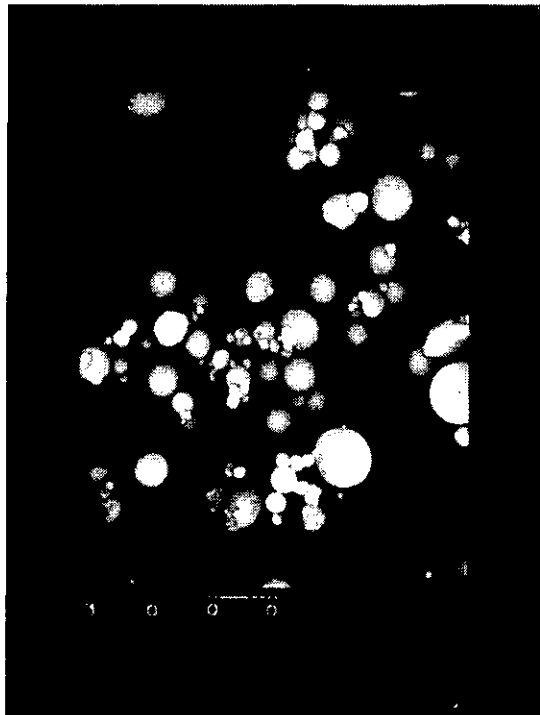


図1 フライアッシュの電子顕微鏡写真 (×3000)

表2 フライアッシュと抗原(卵白アルブミン)を種々の経路で投与した時のIgE抗体産生

Group	Immunization	Anti-OA IgE PCA titer			
		day 7	day14	day21	day28
I	10 μ g OA i.p.	0	5	10	10
II	10 μ g OA + 0.2mg fly ash i.p.	0	40	160	80
III	10 μ g OA i.t.	0	0	0	0
IV	10 μ g OA + 0.2mg fly ash i.t.	5	40	80	80
V	10 μ g OA i.g.	0	0	0	0
VI	10 μ g OA + 0.2mg fly ash i.g.	0	0	0	0

i.p. = 腹腔内、 i.t. = 気管内、 i.g. = 胃内

腹腔内に投与したときには卵白アルブミンに対するIgE抗体が2週後からつくられた。つぎに、気管内投与法を用いてフライアッシュの量をいろいろかえてみると、量の多いほどIgE抗体の産生量も多くなることが明らかとなった。ところで、フライアッシュの成分としては多くの元素があげられるが、AlやSiは特に多い元素である。このAlとSiの混合物であるケイ酸アルミニウムもフライアッシュと同様にIgE抗体産生を誘導する作用を持っていることを明らかにした⁴⁾が、卵白アルブミンとの吸着率の比較では大きな差がみられた(図2)。このことは、IgE抗体産生の誘導には必ずしも抗原との吸着が必要ではないことを示している。

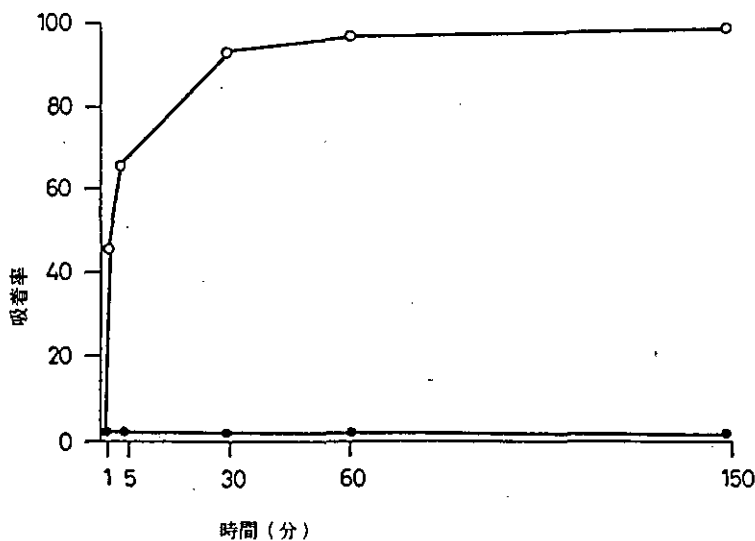


図2 フライアッシュ (●) とケイ酸アルミニウム (○) の卵白アルブミンに対する吸着のちがい

4. 抗原のエアロゾル投与とIgE抗体産生

次に、フライアッシュとケイ酸アルミニウムを卵白アルブミンとは別々に投与し、IgE抗体産生の誘導の違いを調べた。図3に示す順序で、まず、フライアッシュとケイ酸アルミニウムを異なるマウスに気管内投与しておき、続いて卵白アルブミンをネブライザーをもちいてエアロゾル投与した。また、3週後にも同様に卵白アルブミンのエアロゾル投与を行った。その結果、初めの卵白アルブミンのエアロゾル投与ではIgE抗体産生は誘導されなかったが、二回目のエアロゾル投与でIgE抗体産生の誘導が認められた(図4)。しかしながら、フライアッシュとケイ酸アルミニウムの投与群の間で大きな差はみられなかった。投与後56日目のマウスの肺をとりだして顕微鏡下で観察すると、フライアッシュの粒子はほとんどが食細胞に取込まれていたのに対して、ケイ酸アルミニウムの粒子は、一部は食細胞に取込まれていたが、まだ取込まれずにいるものもみられた。

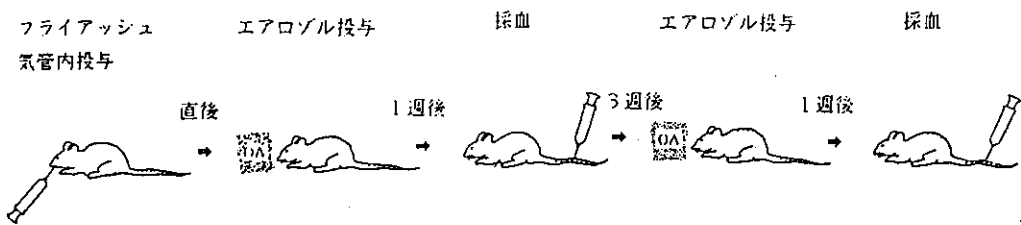


図3 フライアッシュの気管内投与によるIgE抗体産生の誘導

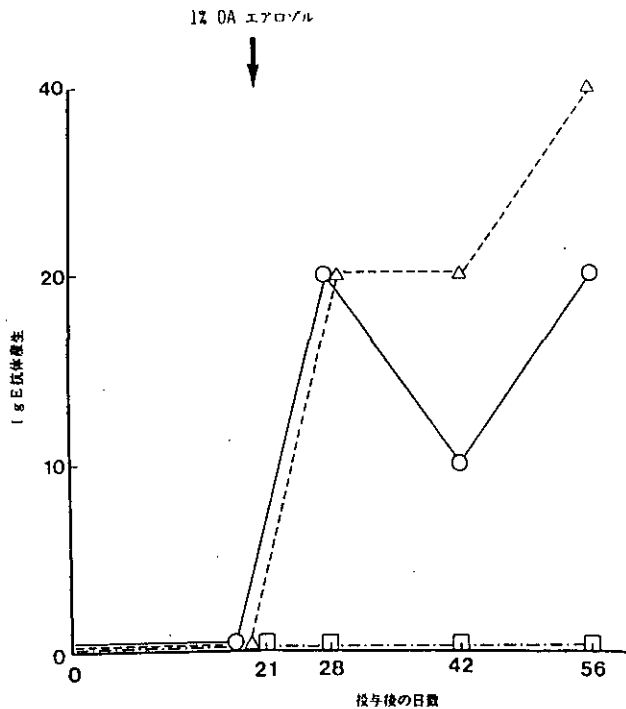


図4 マウスに0.2mgのフライアッシュ(○)、ケイ酸アルミニウム(△)そして生理食塩水(□)をそれぞれ気管内投与し、そのあと卵白アルブミンのエアロゾル投与したときのIgE抗体産生

5. IgE 抗体の産生されるどころ

フライアッシュを気管内投与することによって誘導される IgE 抗体の産生される部位について検討した。一般に、抗体は、脾臓や各所のリンパ節において産生されるので、マウスにフライアッシュと卵白アルブミンを気管内投与後、脾臓、腸間膜リンパ節、肺リンパ節における IgE 抗体産生をラットの背皮をもちいたアナフィラキシー反応で調べた。その結果、肺リンパ節では7日後から常に強い IgE 抗体産生の誘導がみられたが、腸間膜リンパ節ではほとんどみられなかった(表3)。脾臓では14日後に IgE 抗体産生が認められた。卵白アルブミンのみの投与ではほとんど IgE 抗体の産生はみられなかった。

表3 フライアッシュを抗原とともに気管内投与したときの IgE 抗体産生部位

Immunization ^a	HACA(mm) ^b			
	Day 0	Day 7	Day 14	Day 21
A: 脾臓				
OA		0	0	0
OA + fly ash		0	4.7 ± 0.3	2.0 ± 0.0
B: 腸間膜リンパ節				
OA		1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	2.7 ± 0.2
OA + fly ash		1.3 ± 0.3	1.5 ± 0.3	2.0 ± 0.0
C: 肺リンパ節				
OA		1.3 ± 0.3	0	1.7 ± 0.7
OA + fly ash		10.0 ± 0.6	10.0 ± 0.6	13.5 ± 0.5

a: 10 μg OA plus 0.2mg fly ash or 10 μg OA alone

b: mean ± SE n = 6-7

6. おわりに

大気中の汚染物質に含まれるフライアッシュをもちいて IgE 抗体産生機構への作用について検討した結果、マウスにおいて、アレルギー反応を引き起こす IgE 抗体を誘導する作用のあることを明らかにした。また、その IgE 抗体は抗原のとりこまれた肺のリンパ節でたくさん産生されることがわかった。粒子状汚染物質の中にはまだ数多くの有害化学物質が含まれており、フライアッシュよりもっと強い IgE 抗体の誘導能をもったものがあるかもしれない。今回の研究結果は、最近のアレルギー性疾患の増加に関与が疑われている環境因子、栄養、遺伝的素因などの中で、我々をとりまく大気環境中の環境因子についてももっと注目すべきことを示唆していると思われる。

参考文献

- 1) Fujimaki, H., F. Shimizu and K. Kubota (1982) : Effect of subacute exposure to NO_2 on lymphocytes required for antibody responses. *Environ. Res.* **29**, 280—286.
- 2) Fujimaki, H., M. Ozawa, T. Imai and F. Shimizu (1984) : Effect of short-term exposure to O_3 on antibody response in mice. *Environ. Res.* **35**, 490—496.
- 3) Ozawa, M., H. Fujimaki, T. Imai, Y. Honda and N. Watanabe (1985) : Suppression of IgE antibody production after exposure to ozone in mice. *Int. Archs. Allergy appl. Immun.* **76**, 16—19.
- 4) Fujimaki, H., M. Ozawa, T. Ashikawa, K. Kubota and N. Watanabe (1986) : Induction of IgE antibody production to aerosolized ovalbumin in mice treated intratracheally with aluminum silicate. *Int. Archs. Allergy appl. Immun.* **79**, 206—210.

浮遊粒子状農薬の吸入によるリスク評価

一人の暴露実態と粒子暴露チャンバー実験より

安藤 満 (環境保健部)

概要 都市のディーゼル車による排ガスや生産現場での微粒子発生等、現代生活において日常的に様々な微粒子へ暴露する状況が生じている。農薬についても農場から家庭菜園に至るまで、多数の農薬製剤が販売され、空中散布や大型散布車から家庭用のスプレー状農薬に至るまで、実に様々な農薬の使用方法が開発されてきた。

農薬のなかでも微粒子状の農薬は、人に対する吸入暴露とその影響が心配される。そのようなリスク評価は今後に残された大きな課題である。ここでは、農薬散布による暴露実態と粒子暴露チャンバーによる動物実験の両面から、農薬の吸入によるリスク評価を予測してみる。

1. はじめに

現在多数の化学物質の大規模な生産や人為的発生にともない、生物毒性のある各種の化学物質が環境中に常在する状況が生じている。このため各種化学物質への経気道、経口および経皮等を通じた人の慢性的暴露避けられない事態になりつつあり、この状況は今後ますます進行することが予想される。散布域から広範な環境中に飛散や拡散によって広がる農薬は、その一つの典型と考えられ、既に地球規模の汚染の進行が報告されている。

その一方、化学物質の呼吸器を通じた経気道暴露の実態とそのリスクの評価についての毒性学的解明は、大きな課題として今後に残されている。そのなかでも微粒子状物質は吸入暴露によるリスク評価を行う上で不明な点が多い。都市交通要所におけるディーゼル車排ガス、生産現場での微粒子発生、さらに家庭内環境における微粒子発生等に見られるように、現代の社会生活においては微粒子への暴露が日常化しているといえる。農薬についても、農場から家庭に到るまで多数の農薬製剤が販売され、空中散布や大型散布車から家庭用のスプレー状農薬まで実に様々な使用法が開発されてきている。

このようにして散布された農薬は剤型にもよるが、微粒子状やガス状物質として存在し、人の吸入暴露を引き起こす。近年の農薬散布は、野菜や果樹の大産地から輸入穀物の貯蔵倉庫等に到るまで使用頻度の増大と広域化が進行しており、周辺一般環境大気汚染を引き起こす恐れが強い。その一方、微粒子状の農薬に対する吸入毒性についての検討は少なく、研究の急速な進展が必要とされている。ここでは、農薬散布現場での人の暴露実態と粒子暴露チャンバーによるモデル実験の両面より、微粒子状農薬の吸入によるリスクについて検討したい。

2. 農薬散布周辺環境における気中農薬

耕作地での空中散布が200万 ha を越える現状では、農薬散布後の飛散等にとまなう一般環境大気

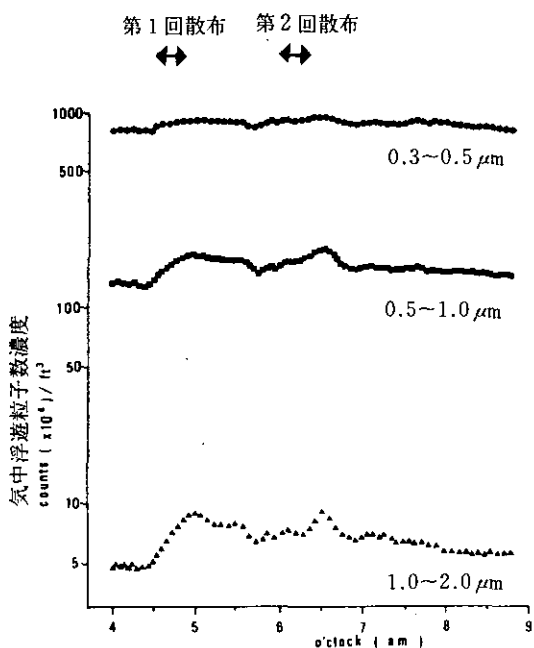


図1 空中散布による周辺住宅地の大気中粒子濃度推移

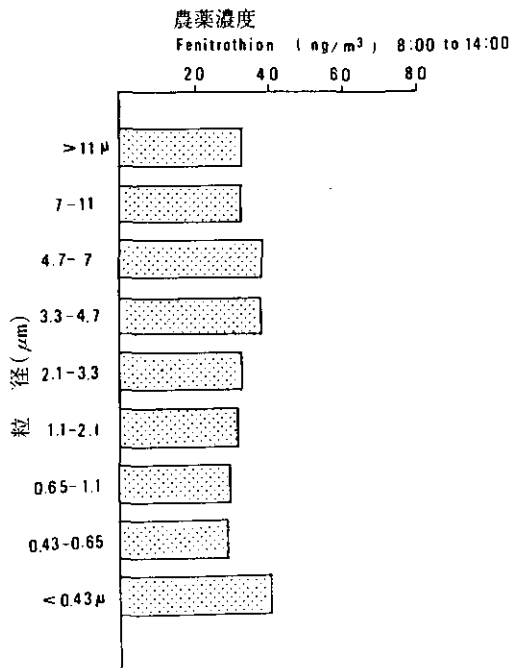


図2 空中散布(午前4時から6時)後、日中(午前8時から午後2時)の周辺住宅地の大気中農薬粒子の粒径分布

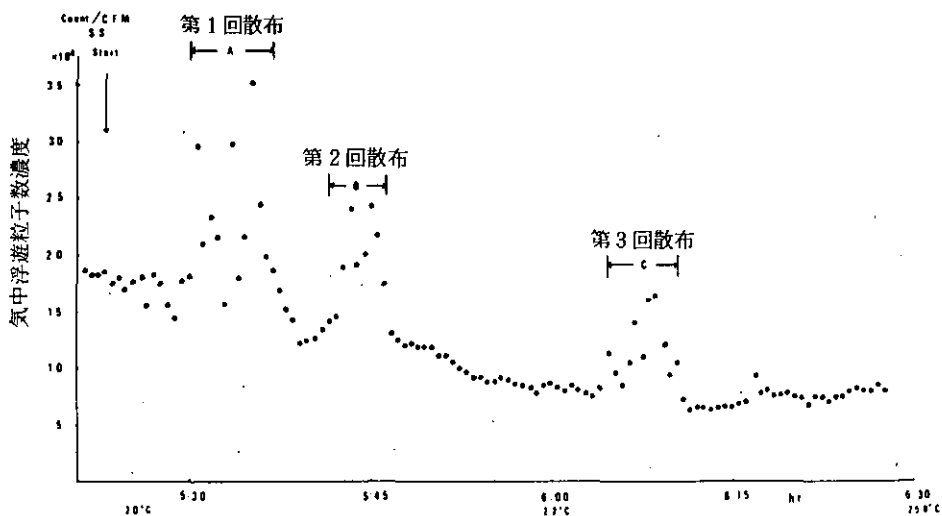


図3 農薬の地上散布時の隣接家屋内の気中粒子濃度推移

中の農薬汚染は、主に空中散布の際に問題とされてきた。空中散布時に農薬の飛散が懸念される散布周辺において、大気中の農薬の汚染状況を気中粒子数濃度の変化(図1)と気中農薬濃度(図2)の両面から調査した結果を図1と図2に示す。図2は早朝(午前4時から6時)のヘリコプターによる空中散布後、日中(午前8時から午後2時)の一般大気環境中農薬濃度を測定したものである。測定点は数百

メートル離れた住宅地域であるが、一般環境大気が散布後もかなりの時間農薬微粒子によって汚染されている現状が判る。このような現状を考慮して、現在空中散布時に使用する製剤と散布技術の改良が進められている。

大型散布車による大規模な地上散布の際も散布農薬は周辺大気中へ飛散していく。図3は農薬散布による周辺家屋内への農薬粒子の侵入を調査したものである。散布の際農薬の家屋内への侵入はこのように間欠的に何回にも渡って起こると予想される。

この事は農家にとっては作業中の防除努力と共に、家屋内環境の農薬による汚染防止の努力が必要な事を示している。現在農業の省力化と兼業化が進行するなかで、農薬散布作業に従事する人の多様化と広般化が認められるが、次にこのような作業環境における農薬暴露とその影響について検討した結果について述べる。

現在使用されている農薬のなかでも、散布時に著しい浮遊粉じんの発生を伴う農薬製剤の場合作業者が浮遊粒子状農薬の吸入を起こす危険性がある。このような農薬の一つとして平均粒径 $2\sim 3\mu\text{m}$ の微小粒子が主成分の微粒子剤がある。図4に示すように実際の微粒子剤の散布の際は、散布後長時間にわたり非常に高濃度の浮遊粉じんの発生が観測される。微粒子剤は拡散性と浮遊性に優れているため、散布時の省力化に優れた農薬製剤といえるが、大部分が $10\mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子状物質(SPM)であるため散布中・散布後の作業者の経気道暴露のリスクについての評価が必要とされる。図にみられるように、 $5\text{mg}/\text{m}^3$ を越える高い気中SPM濃度が相当な時間継続するため、粉じん暴露チャンバーを用いて微粒子剤の経気道暴露後の影響について研究した。

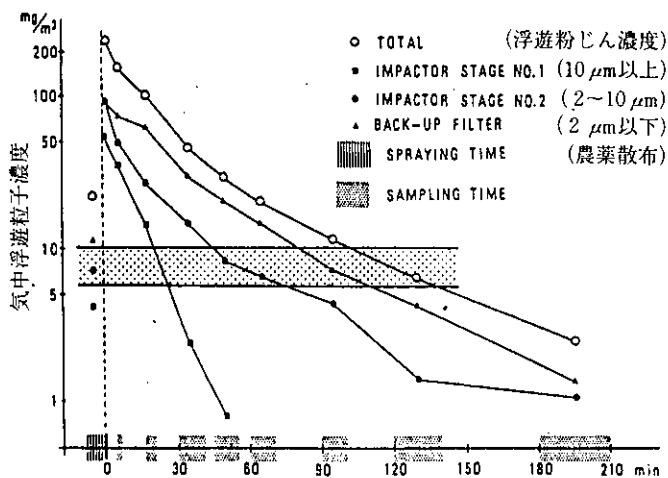


図4 ハウス内における微粒子剤散布時の気中粒子濃度推移

3. 浮遊粒子状農薬への暴露後の影響について

— 粒子暴露チャンバーによるモデル実験 —

発生させた微粒子剤は50%体積径 $2.14\mu\text{m}$ であり、暴露チャンバー内での実測でSPMが重量濃度で92%を占めていた。粒子暴露チャンバーは内容積 1.0m^3 であり、換気回数1時間6回、温度 21.5

±1.0℃, 湿度50±5%に制御し, 自動洗浄を行うよう設計してある。粉じん暴露濃度は図4に示すように, ダストモニターによってSPM濃度として平均5.7もしくは10.4mg/m³になるよう常時調整し, 一日8時間暴露を繰り返し行った。実験にはSPF仕様のモルモットを用い粉じん暴露は図5に示すように暴露直後解剖群と暴露24時間後解剖群に分け, 暴露後の回復についても検討を行った。

走査電子顕微鏡およびX線解析装置による微粒子剤中の粒子の存在状態を図6に示す。解析より写真上で白い粒子が農薬成分(methidathion)であり, その周りにAl, Si, K, Caを含む鉱物粒子が存在する。実測の粒径分布より推定すると肺胞部への沈着が吸入粒子濃度の30%を越え, 肺深部への沈着が著しく多いと予想される。実際に暴露された動物についての組織化学的検討によって, 肺部においては吸入された微粒子剤が気管支壁や肺胞内に散見される。図7に示すように, 微粒子剤は肺胞ではマクロファージや呼吸上皮細胞内に取り込まれており, 微粒子成分はX線解析によって確認できる。図8に示すように肺胞部では各所で上皮の脱落と出血が認められ, 細胞性障害が確認された。1日8時間暴露直後より, 暴露群のほぼ全例にかかる変化が出現した。図9に示すように肝においてもほぼ全暴露群において肝細胞に空胞変性がみられた。空胞変性は特に肝小葉の中心静脈周辺域に強い傾向があり, 肝細胞の腫脹が伴われた。

このような組織化学的变化と並行して, 血清生化学的にも顕著な変化が観察された。図10に示すように微粒子剤暴露によりモルモットの血清中の過酸化脂質濃度の上昇が観察された。暴露後の過酸化脂質の生成は肝において著しい。また24時間では回復は認められず, 過酸化的障害は暴露初期にピークを示した。微粒子剤吸入によって肝細胞に過酸化的障害が発現することは, 粒子暴露による影響は全身症状として捉える必要があることを示しており, リスク評価を行う上で, 重要な知見と考えられる。さらに図11, 12に示すように, 血清GOT活性とLDH活性が暴露により著しく上昇しており, このことも肝細胞の障害を裏づけている。図13に示すように, 血清リン脂質濃度の増加も暴露群において顕著であった。

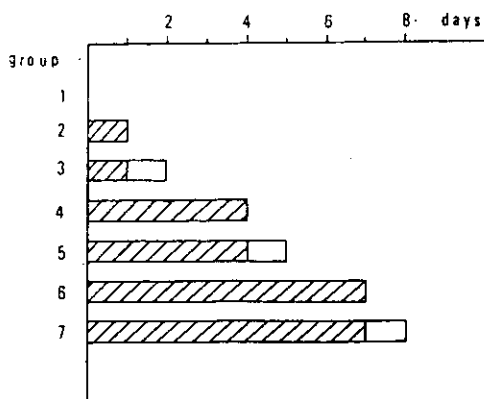


図5 微粒子剤暴露実験の経過: (斜線)暴露日数

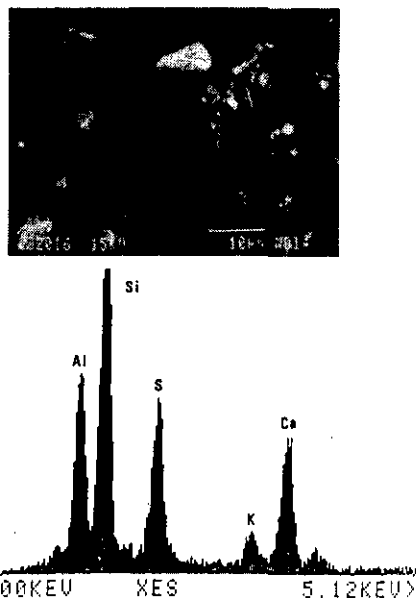


図6 微粒子剤の走査電顕像(上)とX線解析(下)

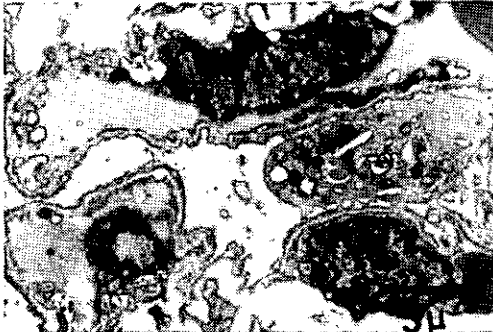


図7 微粒子剤暴露動物の肺胞部の電子顕微鏡像



図8 微粒子剤暴露による肺胞部の障害

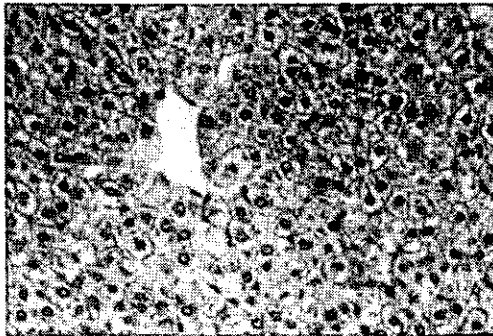


図9 微粒子剤暴露による肝細胞の障害

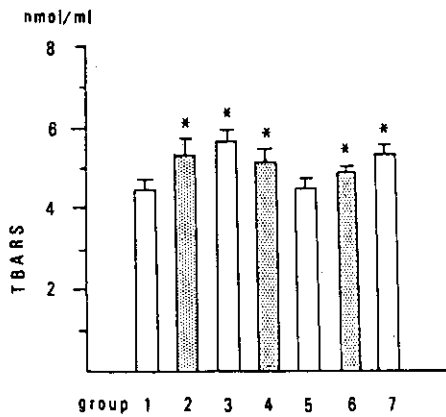


図10 血清中過酸化脂質 (TBARS) 濃度の変化

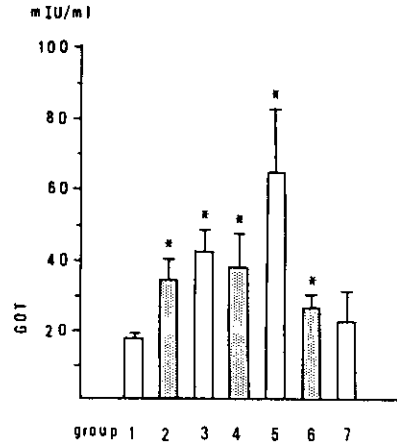


図11 血清中アミノ基転移酵素 (GOT) 活性の変化

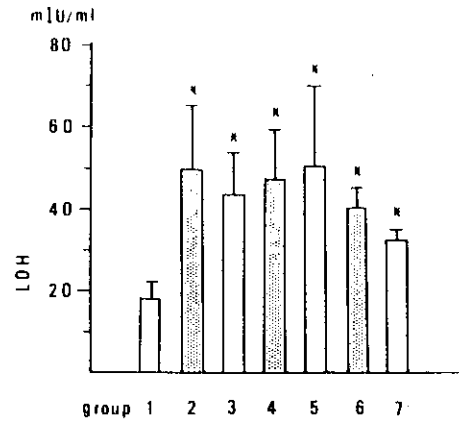


図12 血清中乳酸脱水素酵素 (LDH) 活性の変化

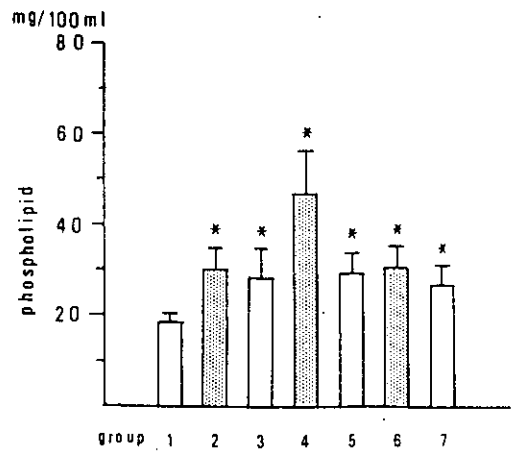


図13 血清中リン酸濃度の変化

4. おわりに

以上の結果は、微粒子剤への暴露は予想以上に広範な生体影響を引き起こすことを示している。このことから浮遊粒子状農薬等への暴露の際は、暴露により直接障害を受けると予想される肺部についてだけではなく、肝を含め全身に対するリスクを検討していくことが必要であることが判る。現実の農薬散布の際は、適切な防除策が指導されているが、兼業化の進行や出荷等のために防除対策が充分講じられない場合、ハウス内作業者等にとって大きなリスクとなり得ると予想される。このように現代の社会生活においては各種の浮遊粒子状物質への暴露が避けられず、その吸入によるリスク評価を正確に行うことが求められている。そのためには今後、現実の暴露集団に対する調査研究を行うと共に、暴露実態にあったモデル実験を並行して行い、リスク評価法を確立していく必要がある。

本研究は環境保健部 田村憲治・平野靖史朗・故安達史朗、計測技術部 柴田恵子、総合解析部 金谷 健の各氏の協力を得て行ったものである。

3. 参考文献

- 1) 安藤 満, 安達史朗, 田谷利光, 田村憲治(1980): 農園に散布された農薬の気中濃度推移と散布者の暴露, 日本農村医学会雑誌, 第29巻, 36-43.
- 2) 安藤 満, 田村憲治(1987): 交差点付近および家屋内外における浮遊粒子状物質(SPM)の研究, 日本衛生学会雑誌, 第42巻, 939-946.
- 3) Ando, M and Wakamatsu, K: Effects of the insecticide acephate on electron transfer in bovine heart mitochondria. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **14**, 535-540.
- 4) Chester, G. and Ward, R. J. (1984): Occupational Exposure and drift hazard during aerial Application of paraquat to cotton. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **13**, 551-563.
- 3) 福永一夫(1981): 農薬-安全性をめぐる技術と行政, 白亜書房.
- 4) 花井義道, 加藤龍夫, 槌田 博(1985): 農薬による大気汚染, 横浜国大環境研紀要12巻, p47-59.
- 5) Maybank, J., Yoshida, K., and Grover, R. (1978): Spray drift from agricultural pesticide applications. J. Air Pollut. Control Assoc., **28**, 1009-1014.

沿道汚染と健康影響

村上正孝 (環境保健部)

概要 交通量の多い沿道周辺に住む住民の健康への不安は、わが国の大気汚染の問題の一つである。われわれは、都市沿道周辺に位置する家屋内外の大気汚染(二酸化窒素と浮遊粒子状物質)の状況把握と、その家屋に居住する住民の呼吸器系症状および健康状態の調査を行った。国内外の最新の疫学研究成果をふまえて、現在の沿道汚染による健康影響を解明するための研究のあり方、また必要な方法論の開発について述べる。

1. はじめに

一昨年の中央公害対策審議会の答申は、沿道汚染による健康影響の研究の推進を強く求めた。その根拠として、①交通量の増大により自動車排ガス総量は、自動車エンジンの改良にも拘らず低減されず、都市域におけるNO₂とSPMの濃度は、環境基準レベルを超えることも多い。②NO₂の健康影響解明を目的とした50年代後半の環境庁の2つの大規模な疫学調査は、都市域において特に児童の気管支喘息様症状の有症率の高いことを示した。また別の調査・統計データは、鼻アレルギー等の易感作性に関連した疾患と呼吸器系の悪性腫瘍の増加を報告している。③このような都市大気環境が永く続くことは、都市住民特に交通量の多い沿道周辺住民の健康生活にとって、どのような意味をもつことになるのか、があげられる。

これまでに大気汚染レベルの高い地域において、慢性気管支炎等の気道粘膜の刺激症状、喘息、アレルギー性鼻炎、インフルエンザ等について、数多くの疫学研究が行われてきたが、沿道汚染に焦点をあてた調査としては、昭和52年に環境庁が兵庫県芦屋市及び西宮市と川崎市の主婦を対象に行った「自動車沿道住民健康影響調査」がある。兵庫では道路からの距離に従いSO₂、CO、NO、NO₂の平均濃度が減衰し、主婦の呼吸器症状有症率も距離による減少傾向が認められ、川崎市では、汚染の分布には道路との関連が認められなかったが、有症率は沿道に近い区域に有意に高い傾向が認められた。その後、昭和57年に東大疫学教室が東京都の環七沿線と20号線バイパス沿線において、沿道から20 m以内と20 m以遠に分けて、家屋内外のNO₂の地域分布に減衰傾向がみられること、また、主婦の呼吸器症状有症率についても有意差のあることを報告した。東海大公衆衛生学教室は、高速道路からの距離と児童のNO₂個人暴露量、尿中のHOP比との間に相関のあることを認めている。

動物を用いた自動車排ガスあるいは沿道大気の長期間吸入実験も行われてきた。一般大気の1000倍の濃度の排気ガスを直接吸入させた実験(Hyde, 1980)では、気管支上皮の細胞増殖等の病理所見が認められたが、慢性閉塞性肺疾患に連なる病変といえる明確な所見は得られていない。

このように一般大気レベルの健康影響については未解明な点が多く、これらの実態の把握、問題解決のための方法論の開発及び機序の解明等の研究が進められている。

ここでは昭和60～62年度にわたって実施された特別研究「複合大気汚染が及ぼす呼吸器系健康影響

に関する総合的研究」で得られた成果のうち、主として沿道汚染調査について述べる。

2. 本特別研究で実施した2つの沿道汚染と健康影響に関する調査

調査1 都内幹線道路沿道における一般家庭内SPM, NO₂濃度と沿道住民の健康影響

【方法】 東京都葛飾区内の水戸街道ならびに環七沿線(交通量約3万5千台)の150m以内の地域で、同地域内に3年以上居住し、幼児、児童のいる1,100世帯を対象とした。対象地域を道路端より20m以内、20m~50m、50m以遠の3区分とし、以下の調査を行った。(1)家屋内外のNO₂および屋内SPMの測定を、上記対象世帯のうちの200世帯について昭和61年3月、7月、10月、62年2月、5月の5回行った。なおNO₂はフィルターバッチ、SPMはBrightらのSPMサンプラーを改良した機器を用いた。SPMは生成過程や主要成分が異なる点を考慮して、粗粒子(粒径2.5 μ m以上10 μ m以下)と微粒子(粒径2.5 μ m以下)に分けた。測定はNO₂、SPMとも、平日の4日間に行った。調査世帯の家屋構造、測定期間中の家庭内喫煙の有無、暖房器具(排気型と開放型の別)使用の有無、調理用ガス器具使用も併せて調べた。(2)ATS-DLD標準質問票を使用して、昭和61年11月に同上の1,100世帯を対象に呼吸器症状調査を行った。(3)さらに、上記(1)の200世帯について、一年間隔週毎に電話により世帯員の呼吸器系を主とした健康調査を行い、現在その結果を解析中である。

【結果】 (1)家屋内外のNO₂、SPM濃度：昭和61年3月に行われた第1回目の調査結果を表1に示したが、屋内の粗粒子(17.6~28.1 μ g/m³)、微粒子(28.8~41.1 μ g/m³)、屋内NO₂(33.0~47.6ppb)、屋外NO₂(22.0~31.5ppb)と、すべての物質で測定日による著しい濃度差がみられ、日間変動が著しいことが判明した。各測定日に対応する一般測定局(葛飾区役所)のNO₂濃度と本調査の屋外NO₂濃度を比較すると、3月10~14日では測定局の35.1ppbに対し本調査が31.5ppb、同じく3月17~21日では21.4と22.0ppb、3月24~28日では32.4と30.6ppbというように、非常によく一致していた。SPM濃度についてもほぼ同様であった。

表1 粒子状物質、NO₂濃度

因子	粒子状物質 (μ g/m ³)			NO ₂ (ppb)			
	n	$\geq 2.5^a$	$\leq 2.5^a$	n	屋内	屋外	
実施日	3/10~3/14	37	25.7(11.7)	41.1(26.0)	43	37.7(20.7)	31.5(6.0)
	3/17~3/21	36	17.6(6.8)	28.8(14.8)	46	47.6(34.5)	22.0(4.9)
	3/24~3/28	32	28.1(16.5)	36.3(28.5)	36	45.8(18.4)	30.6(4.1)
	3/31~4/ 4	31	26.0(10.8)	31.4(25.0)	38	33.0(15.1)	24.3(3.6)
喫煙状況	非喫煙	59	24.4(12.4)	24.7(17.4)	66	37.6(24.3)	26.5(6.8)
	喫煙 1-19	30	25.8(13.9)	32.6(17.6) *	37	41.7(26.2)	27.9(5.5)
	20-39	19	20.6(6.1)	41.9(25.9) *	25	45.5(22.4)	26.6(6.3)
	40-	20	26.3(14.9)	59.3(30.9) *	24	46.2(27.3)	27.5(4.7)
暖房方法	非使用	11	17.8(4.9)	28.4(11.4)	12	26.3(11.1)	25.6(6.3)
	使用 排気型	39	24.1(11.2) *	33.9(21.2)	47	27.3(11.7)	27.1(6.3)
	開放型	78	25.0(14.0) *	36.2(27.7)	95	50.4(27.0) *	27.2(6.5)
合計		136	24.2(12.5)	34.5(24.5)	163	41.2(24.7)	27.0(6.3)

n, 平均 (標準偏差) * : (P<0.05) ^a: 粒径 (μ m)

調理用ガス器具(本調査では全世帯使用)、暖房、喫煙等の家屋内汚染質発生源と、家屋内外を遮断する気密性(家屋構造)が屋内の汚染濃度に寄与することが分かっている。第1回目の調査の結果によれば、開放型ストーブ使用世帯で屋内NO₂濃度の上昇(27.1→50.4 ppb)が認められたが、喫煙の影響は他の報告者と同様認められなかった。また、屋内の微粒子濃度は、喫煙者のいる世帯で上昇し(24.7→42.9 μg/m³)、喫煙本数との間に相関も認められた。一方、SPM濃度は粗粒子、微粒子ともに暖房器具使用世帯では非使用世帯に比べて高値を示した。さらに両汚染質に対する家屋構造の影響は、冬季においては、屋内に汚染質発生源が存在する場合は鉄筋鉄骨世帯の屋内濃度が高く、屋内に汚染質発生源が存在しない場合は逆に木造木枠世帯の屋内濃度が高いことが明らかになった。沿道からの距離と家屋内外の濃度との関係のみるために、5回の調査結果を喫煙と暖房の影響を除いて整理すると図1のごとくなる。非喫煙世帯のSPM濃度と開放型ストーブ非使用世帯のNO₂濃度をみると、SPM濃度は粗粒子、微粒子ともに、1、2回目では道路からの距離によって緩い減衰が認められたが、他の3回は認められなかった(いずれも有意差なし)。しかし、NO₂濃度は屋内外ともに道路端に近い地域ほど有意に高い濃度を示した。

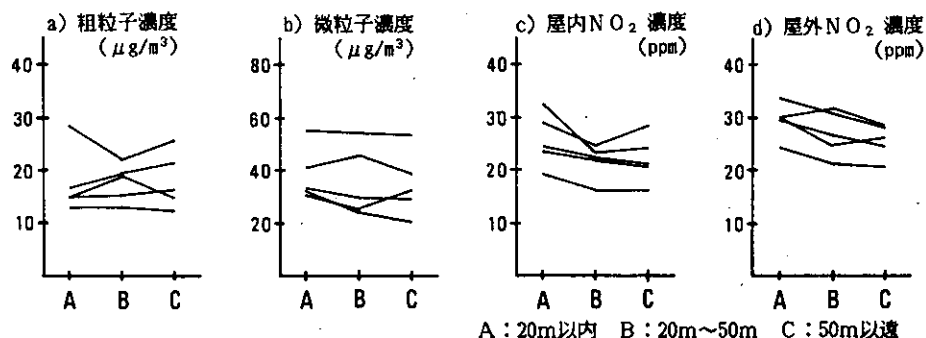


図1 道路からの距離別粒子状物質濃度、NO₂濃度

(2) 沿道周辺住民の健康影響：表2、3に児童と成人の呼吸器症状有症率を示した。各症状の有症率は、児童、成人とも道路端に近い地域ほど高率であった。特に児童においては、全ての症状が道路端に近い地域で最高であった。また、成人においては各症状とも喫煙者ほど有症率は高かった。なお児童における受動喫煙の影響、児童、成人における開放型ストーブ使用の影響は小さかった。そのほか既往歴では、児童の蓄膿症、喘息性気管支炎、成人の肺炎、アレルギー性鼻炎、肋膜炎(以上父親のみ)、慢性気管支炎が道路端に近い地域ほど高率であった。前述の環境庁の2つの疫学調査の結果と比較すると、児童の「喘息様症状・現在」は、本調査の結果が20 m 以内で高い割合を示し、成人の「持続性せき・たん2年以上」は、男女ともにやや高めであった。

調査2 幹線道路周辺の家屋内外におけるSPM及び多環芳香族化合物の濃度測定

[方法] 都内環七(交通量約7万1千台)に面し、喫煙者のいない木造の住宅6戸について、(1)昭和61年から62年の各季節(10月、1月、5月、9月)に、家屋外の道路側と、家屋内(居間)の道路側に

表2 児童の呼吸器症状有症率
(4~11歳、居住歴3年以上、%)

道路からの距離 対象数(人)	A B C		
	207	249	656
持続性せき	4.8	2.4	3.2
持続性たん・ゼロゼロ	3.9	1.6	1.8
ぜん息様症状現在	6.8	3.6	4.7
ぜん息様症状	11.4	3.8*	7.8
ひどいかぜ	30.4	22.5	26.6
たんを伴うひどいかぜ	16.4	8.4*	13.1

A: 20m以内 B: 20m~50m C: 50m以
遠

表3 道路からの距離別、成人の呼吸器症有症率
(30~49歳、居住歴3年以上、%)

道路からの距離 対象数(人)	父			親		
	A B C	A B C	A B C			
持続性のせき	3.8	3.6	4.0	2.3	1.3	1.2
持続性のたん	19.0	13.1	10.6*	9.3	3.2*	4.5*
持続性せきたん2年以上	2.9	2.2	2.6	2.3	0.0*	0.9
ぜん息様症状現在	1.0	0.7	0.0	0.8	2.6	0.9
ぜん息様症状	3.8	3.7	2.9	7.1	4.6	2.6*
息切れ	12.6	5.9*	9.9	15.0	7.6*	10.2

A: 20m以内 B: 20m~50m C: 50m以遠

サンプラーを設置し、3日間連続測定した。SPMの測定は今回開発した個人サンプラー(SPM Pサンプラー: 柴田科学製)を用いた。このサンプラーは、総浮遊粉塵濃度と、粒径2~10 μ mと2 μ m以下に分けたSPM濃度が測定できる。詳細な粒径別濃度測定には、ローボリューム・アンダーセン・サンプラーを用いた。(2) さらに、SPM中の多環芳香族化合物としてB(a)P、B(k)F及びB(ghi)P濃度を、高速液体クロマトグラムにより分析した。(3) SPM Pサンプラーにより分別捕集したSPMについて、エームス・テストにより突然変異活性の検討を行った。

【結果】 (1) われわれの開発した分粒機能を持つSPM Pサンプラーは、小型軽量で、個人サンプラーとしての使用に加え、家庭用電源による連続測定も可能である。また、分粒特性の信頼性も極めて高いことが、他のサンプラーとの並行測定で確認された。環七の一立体交差(交通量約23万台)の下で、アンダーセン・サンプラーを用いて測定したSPM濃度と対象家屋内外のSPM濃度を図2に示す。夏季と冬季のSPM濃度には、調査1同様顕著な差が見られた。屋内の大気環境は、夏季と冬季では換気や暖房器具の使用による屋内汚染の寄与により事情が異なる。沿道からの屋内大気汚染への寄与を見るために、窓を開放する機会の多い時期に限定してデータを検討すると、家屋内外のSPM濃度は、図3に示されるようにSPM全体でも粒径2 μ m以下の微粒子でも、屋外濃度の高い家屋は屋内も高いという関係が認められた。一方、粒径10 μ m以上の浮遊粉塵では相関は全く見られなかった。

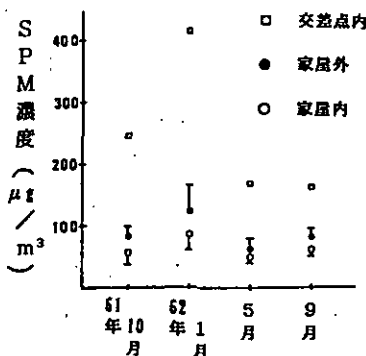


図2 調査時期別のSPM濃度

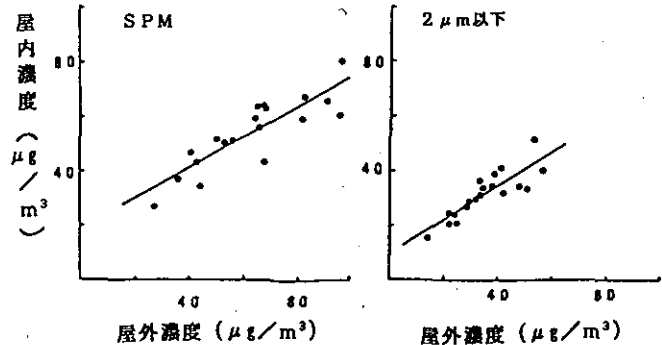


図3 SPM, 2 μ m以下の粒子の家屋内外濃度

(2) 発ガン性との関連で問題とされる多環芳香族化合物の濃度は、SPM のなかでも粒径 $2\ \mu\text{m}$ 以下の微粒子に含有量、率ともが高かった。そして、B(k)F、B(a)P、B(ghi)P はすべてのサンプル中から検出された。強い発ガン性の指摘されている B(a)P について、家屋毎に屋外、屋内の濃度を比較すると、図 4 に示すごとく正の相関が見られた。また、B(a)P 濃度は、SPM の重量濃度に比べ屋外濃度に対する屋内濃度の勾配が急であるが、この理由は、家屋内 SPM の方が含有率が高いためと考えられ、屋内発生源の寄与が示唆される。(3) なお、SPM の有機成分のエームス・テストの結果は整理中であるが、多環芳香族の測定結果とはほぼ並行した成績が得られている。

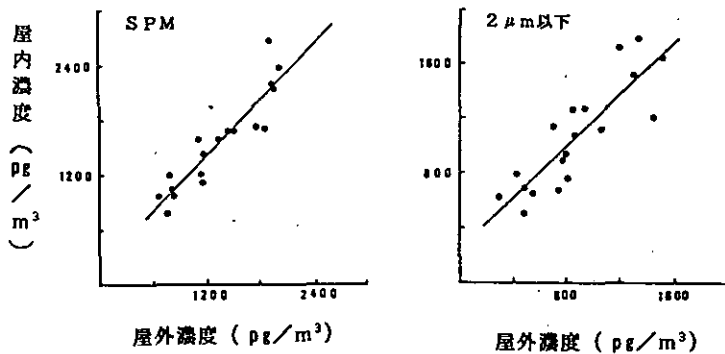


図 4 SPM、 $2\ \mu\text{m}$ 以下の粒子中 B(a)P の家屋内外濃度

3. 考察とまとめ

大気汚染は、広域的にみれば交通量の多い都心部で高く、交通量の少ない住宅地、郊外では低い傾向がある。沿道では、気象条件や交通量に対応して汚染濃度の日内及び、日間変動が大きい。NO、CO、浮遊粉塵濃度は道路端が最も高く、距離に比例して急激に、NO₂ は緩やかに減衰する。NO₂ は、動物実験によれば約 0.2 ppm から様々な影響を与え、ヒトでは、喘息患者の 0.1 ppm 短期吸入などで、前臨床的なレベルの影響を発現させる。現実の汚染はさらに SO₂、オキシダント、SPM 等の複合汚染であることを考慮すると、高濃度汚染レベル地域の継続的な環境測定が必要であろう。

調査 2 は、3 日間の平均濃度である。23 万台走る交差点の中央では $0.4\ \text{mg}/\text{m}^3$ を超える高濃度の日もあったが、沿道家屋の屋外 SPM 濃度は、 $0.06\sim 0.12\ \text{mg}/\text{m}^3$ で、ほぼ環境基準レベル ($0.10\ \text{mg}/\text{m}^3$) であり、屋内はその約半分の濃度レベルであった。今回の対象世帯は 6 世帯と限られており予備調査規模のものであるが、沿道周辺地域での SPM の地理的分布を把握した上で、調査 1 同様より多くの世帯について調査を行う必要性のあることが確認できた。また、屋内、屋外いずれの SPM 中からも発ガン性物質が検出された。SPM の変異原性評価については本調査は試行的な段階に過ぎないが、健康影響を防止するための指標開発の研究として今後の展開が期待される。

調査 1 においては、従来報告された所見を裏付けるような形で、沿道からの距離により、屋内外の大気において NO₂ の濃度が緩やかに減衰し、SPM の減衰勾配はより緩やかにみえた。しかし、粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下の微粒子については喫煙が、また NO₂ に対しては暖房の影響が大きく影響していた。この調査レベルの屋外大気環境下にある家屋の屋内汚染を考える時、その家屋の気密性を配慮した上

で、屋内での喫煙、暖房等汚染質発生源からの寄与をも十分考慮しなければならないことを示していた。また、本調査での呼吸器症状の訴え率は、従来報告された環境庁の疫学調査に比べて、児童、成人ともに高率の訴えであった。また、沿道からの距離によって訴え率は減衰するという傾向がみられ、これは50年に実施された環境庁の健康影響調査の結果と同様であった。一方、有病率も距離に比例して減少する傾向がみられたが、ここには真の呼吸器系の健康障害に加え、居住地域の生活環境に対する関心あるいは評価の反映が含まれていると考えられる。そのことを明らかにするには、国保レセプトなどを利用した小地域の受診状況調査と、環境に対する住民の意識調査が必要であろう。

自動車排ガスに起因する大気汚染のレベルを広域と沿道端とに分け、それぞれの生活環境においてどのレベルまで許されるか、ということが今後の沿道汚染の疫学研究の課題であろう。その為には、広域に対しては地域住民の発ガン性等の遅発性影響をも含む疾患の罹患、死亡や呼吸器系を主とした症状の有症率に関する情報、さらに生物学的指標としてヒト、動物肺の汚染質の蓄積状況などの情報をその地域の大気環境情報と併せて長期的に収集し、その関連について総合的に解析できるようなシステム(サーベイランスシステム)の構築が必要である。沿道周辺に関しては、汚染濃度の高い地域において家屋内内外の大気環境、個人暴露量を測定し、併せて呼吸器患者等の高リスク集団と健康人とに分けて健康状態の観察を行い、局所地域の大気汚染レベルの評価を行っていくことが必要とされよう。

4. おわりに

本報告は、本特別研究の小課題「人間集団における暴露過程とリスク評価に関する研究」において、環境保健研究室 安藤、松本、環境疫学研究室 小野、田村、金子、人類生態研究室 平野の各研究員が行ったものである。さらに本特別研究では、他の小課題として「人体肺蓄積によるリスク評価に関する研究」、「呼吸器内沈着と体内移行等に関する実験的研究」、「局地的汚染に係る複合影響に関する実験的基礎研究」が行われた。これらの研究成果は今年度中に報告書にまとめる予定である。

参考文献

- 1) 環境庁大気保全局(1986):大気汚染健康影響調査報告書.
- 2) 環境庁環境保健部(1986):質問表を用いた呼吸器疾患に関する調査.
- 3) 環境庁企画調整局(1987):首都周辺地域環境利用ガイド.
- 4) 環境庁大気保全局(1977):自動車沿道住民健康影響調査報告書.
- 5) 新田裕史ら(1983):日公衛誌, **30**, 381p.
- 6) 松木秀明ら(1985):日公衛誌, **32**, 549p.
- 7) Hyde, D. et al(1978): Lab. Invest., **38**, 455p.
- 8) 小野雅司ら(1986):第27回大気汚染学会総会, 283p.
- 9) 小野雅司ら(1988):第58回日本衛生学会総会, 449p.
- 10) 安藤 満ら(1987):日衛誌, **42**, 939p.

【昭和63年5月20日編集委員会受理】

[国立公害研究所資料 F-1-'88/NIES]

国立公害研究所研究発表会予稿集 第11号
(SS / OT - 11 - 88)

昭和63年5月26日発行

編集 国立公害研究所セミナー委員会

発行 環境庁 国立公害研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

印刷 株式会社 イセブ
茨城県つくば市天久保2-11-20