

AR-4-'91

国立環境研究所 特別研究年報

平成 2 年 度

環境庁 国立環境研究所

平成2年度国立環境研究所特別研究年報 の発刊に当たって

本研究所は、我が国の環境研究の中心的な役割を果たすために、昭和49年に環境庁の附属機関「国立公害研究所」として設置されました。その目的に合わせて本研究所は、理工学、医学、生物学等の自然科学分野はもとより、人文・社会科学に至る広範囲にわたっての多様な研究者集団によって構成され、さらに国公私立大学、地方自治体の環境研究所等の所外の専門科学者の参加のもとに、多くの学際的な研究を展開してまいりました。

特別研究は、本研究所の学際性に見られる特徴を十分に活かすよう、総合的なプロジェクト研究として、昭和51年度の「陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎研究」を第1号としてスタートさせ、すでに46課題を数えます。このうち32課題が平成元年度までに終了し、平成2年度時点で12課題の特別研究を実施いたしました。平成2年7月には研究所の組織を全面的に改編し、プロジェクト研究をさらに充実させる目的で総合研究部門を発足させ、所名も「国立環境研究所」と改称いたしました。

特別研究の成果につきましては、当初より「国立公害研究所研究報告」として公表し、また「国立公害研究所年報」にも収録してまいりました。しかし、特別研究が現実の社会的関心の高い課題を扱うことを考え、昭和62年度より新たに「国立公害研究所特別研究年報」を刊行いたしました。これは、一般の方々にも分かりやすい表現につとめ、図表を多くして、それぞれの特別研究の概況を簡潔に述べる目的で作成したものであります。

幸いこれまでの「国立公害研究所特別研究年報」につきましては、分かりやすいとの評価をいただきました。しかし、文章の平易さ、図表による表現の適切さ等で至らない面はなお多いと思われまます。関係者の方々のご叱正を仰ぎ、これらの点についてさらに改善を加え、新生の国立環境研究所の特別研究年報の一層の充実在今后とも努力してまいりたいと思ひます。

平成3年8月

国立環境研究所

所長 小 泉 明

目 次

1. 概 況	1
2. 特別研究	
2.1 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（最終年度）	3
2.2 富栄養化による内湾生態系への影響評価に関する研究（最終年度）	9
2.3 先端技術における化学環境の解明に関する研究	17
2.4 環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究	25
2.5 粒子状物質を主体とした大気汚染物質の生体影響評価に関する 実験的研究	35
2.6 広域都市圏における交通公害防止計画策定のための環境総合評価手法に 関する研究	43
2.7 大都市圏における環境ストレスと健康に係る環境保健モニタリング 手法の開発に関する研究	49
2.8 水環境における化学物質の長期暴露による相乗的生態系影響に 関する研究	59
2.9 トリクロロエチレン等の地下水汚染の防止に関する研究（初年度）	69
2.10 有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に 関する研究（初年度）	75
2.11 有害廃棄物のモニタリングに関する研究（初年度）	81
2.12 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の予測と制御に 関する研究（初年度）	87

1. 概 況

国立公害研究所は、昭和49年3月、我が国の環境研究の中心的な役割を果たすために、環境庁の附属機関として筑波研究学園都市に設立された。本研究所は、理工学、医学、生物学等の自然科学分野から人文・社会科学に至るまで広範囲にわたる多様な研究者集団で構成されており、大学の研究者や地方環境研究所の専門家の参加を得て、研究を学際的に実施することを大きな特色としている。こういった学際性の上になつて、大型実験施設を駆使した研究と野外の実地調査研究を併せ、社会的ニーズに対応した目的指向型の研究プロジェクトとしての特別研究を活動の中心に据えている。

特別研究は、昭和51年度から「陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎研究」を第1号としてスタートさせたが、それ以来、実施課題は延べ46課題に達し、このうち32課題が平成元年度までに終了している。特別研究のスタート当初においては、有機汚染物質による水質汚濁、大気汚染に伴う光化学スモッグ、重金属による土壌汚染や生態系の汚染といった特定の汚染源による典型的な公害問題の解決が主要な課題であった。しかし、最近においては、科学技術の進歩、産業構造、生活様式の変化等を背景として、先端産業の発展等に伴う有害化学物質による環境汚染、低濃度かつ複合的な汚染の人や生態系に及ぼす影響、地球的な規模での環境問題等が主要な課題として関心をもちてきており、これに伴って当研究所の特別研究の内容も変化してきている。

平成2年度においては、次の12課題の特別研究を実施した。このうち、☆印を付した4課題は平成2年度からの新規課題、★印を付した2課題は平成2年度をもって最終年度とする終了課題である。平成2年度の特別研究には、当研究所の全研究職員並びに関係行政職員のほか、所外から108名の客員研究員及び22名の共同研究員が参画した。

- ★ 1. 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
- ★ 2. 富栄養化による内湾生態系への影響評価に関する研究
- 3. 先端技術における化学環境の解明に関する研究
- 4. 環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究
- 5. 粒子状物質を主体とした大気汚染物質の生体影響評価に関する実験的研究
- 6. 広域都市圏における交通公害防止計画策定のための環境総合評価手法に関する研究
- 7. 大都市圏における環境ストレスと健康に係る環境保健モニタリング手法の開発に関する研究
- 8. 水環境における化学物質の長期暴露による相乗的生態系影響に関する研究
- ☆ 9. トリクロロエチレン等の地下水汚染の防止に関する研究
- ☆ 10. 有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に関する研究
- ☆ 11. 有害廃棄物のモニタリングに関する研究
- ☆ 12. 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の予測と制御に関する研究

2. 特別研究

2.1 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（最終年度）

昭和 61 年度～平成 2 年度（1986～1990 年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

新生物評価研究チーム ○近藤矩朗・佐治 光・中嶋信美

生物圏環境部

分子生物学研究室 久保明弘・青野光子

環境植物研究室 大政謙次・名取俊樹・藤沼康実・清水英幸

客員研究員 30 名、共同研究員 2 名

〔研究概要〕

近年、自動車交通の拡大に伴い窒素酸化物(NO_x)汚染はますます深刻になってきており、各地でオゾン(O_3)やパーオキシアセチルナイトレート(PAN)を主成分とした光化学オキシダントによると思われる傷害が植物に発現している。しかし、現在、PAN 等についての常時監視体制に相当するものはなく、植物を用いた大気環境評価手法の確立が急務である。そこで、光化学二次汚染物質の可視的植物影響やタンパク質、遺伝子等の分子レベルでの影響の解明を行うとともに、植物組織培養や遺伝子組換え技術等のバイオテクノロジーを利用して、野外における光化学二次汚染物質による大気環境の汚染状況を評価するために有効な指標植物の開発・探索手法を確立し、指標植物による野外の大気環境評価法の開発を行うことを目的として研究を進めてきた。

光化学二次汚染物質に対する植物反応の特徴を明らかにするため、光化学オキシダントが植物に及ぼす影響の作用機構を明らかにし、光化学オキシダント処理によって特異的に変化する植物反応を見いだすことを目的とした研究を行ってきた。その結果、 O_3 による傷害発現には、植物体で生成する毒物である活性酸素が関与し、これを解毒する酵素が O_3 に対する植物の耐性に寄与していることが示唆された。また、 O_3 による傷害が顕在化する前に、植物葉内で葉緑体の脂質の代謝が変化することが分かり、その調節に関与している酵素系を明らかにすることができた。一方、タバコを用いた PAN 暴露実験により、PAN による傷害の発現様式や発現部位等が、他の大気汚染物質とは異なっていることが明らかとなった。

これまでに得られた知見に基づき大気環境指標植物を開発するために、組換え DNA 技術や組織培養技術等のバイオテクノロジーの技術を導入するとともに、この技術を用いて光化学オキシダントを構成する種々の汚染物質に特異的に反応する指標植物の作成を試みた。活性酸素の解毒系の主要な酵素の単離・精製に成功し、これを用いて抗体を作成した。さらに遺伝子の単離を行い、植物への遺伝子導入により、遺伝子組換え(形質転換)植物を得た。組換え植物を育成し、自家受粉により子孫の種子を得、これを発芽・育成して、生化学的な調査及び大気汚染物質に対する耐性の検討を行った。

一方、野外における大気汚染状況を指標植物を用いて評価するために、光化学オキシダント濃度の高い地域に PAN に感受性の高いペチュニアの一品種タイタンホワイトを配置し、植物の個

体差，令による感受性の変化について調査した結果，植物の令が進んだ個体ほど感受性が低下することが明らかとなっているので，この結果を考慮して，関東の各地区にペチュニアのホワイトチャンピオンを配置して PAN の評価を試みた。

また，現状では，遺伝子組換え植物を直接野外に持ち出して使用することができないので，外界とはフィルターにより隔離されたフィールド・チャンバーを作製し，組換え指標植物を用いた野外での試験に備えた。

〔研究成果〕

植物の毒物である活性酸素を解毒する活性酸素代謝系酵素のうちで，この代謝系の律速になっていると考えられるグルタチオンレダクターゼ(GR)と活性酸素解毒の最終段階の酵素であるアスコルビン酸ペルオキシダーゼ(AP)が，大気汚染物質に対する植物の耐性を支配していることを示唆する結果が得られているので，これらの遺伝子を単離・入手してタバコに導入して遺伝子組換え体を作製した。本年度は，GR や AP の遺伝子を導入した遺伝子組換え植物の基本的な生理機能，生化学的特徴などを調査するとともに，大気汚染物質に対する耐性の調査を行った。また，これを用いて野外の大気環境をモニターするためのフィールド・チャンバーの開発を行った。以下にその内容を報告する。

(1)大腸菌グルタチオンレダクターゼ遺伝子を用いたタバコの形質転換

1) 遺伝子組換えタバコの作製

タバコの品種 SR1 と Bel W3 の各々の葉片に，土壤細菌のアグロバクテリウムの植物への感染能を利用して大腸菌 GR 遺伝子を導入し，遺伝子組換えタバコを作製した。大腸菌 GR に対する抗体を作製し，これを用いて組換え体内で実際に大腸菌 GR が合成されていることを確認した。また，これらの植物から自家受粉により子孫の種子を得，さらに，種子より育成した組換え植物に対して，二酸化硫黄やオゾンのガス暴露を行い，大気汚染ガスに対する感受性が変化したかどうかを調べた(図1)。また，組換えタバコより葉片を打ち抜き，これにパラコート処理を行い，パラコートに対する感受性が変化したかどうかを調べた。

植物の GR は核の遺伝子によって生成されるが，緑化した植物葉に含まれる GR は生成されたのちに葉緑体に輸送され葉緑体内で働いていると考えられる。このようなタンパク質は合成直後にはトランジットペプチドと呼ばれるペプチドを持っており，このペプチドは葉緑体内に移動する際に切断される。したがって，大腸菌 GR を葉緑体内に運ぶためには，GR 遺伝子にトランジットペプチド遺伝子を連結しなければならない。そこで，ナデシコ科のマンテマのトランジットペプチド遺伝子を合成して GR 遺伝子に連結し，タバコに導入した(図2)。結果を要約すると次のようになる。

①遺伝子組換えタバコにおいて，導入した大腸菌 GR 遺伝子が発現していることが確認された。また，その子孫への伝達と発現を調べたところ，この遺伝子は子孫にも受け継がれ，子孫において親植物とほぼ同程度に発現していることが分かった。

②自家受粉により得た種子から発芽・育成した子孫の形質転換体と非転換体の比は約 3 : 1 で，メンデルの遺伝の法則に従っていた。

③形質転換体の葉の GR 活性を測定した結果，測定した 26 個体の中から GR 遺伝子を持たない対照植物体よりも顕著に活性が高い個体 5 つ(組換え植物番号 1405, 1407, 1412, 1415, 1426)を得た(図3)。さらに，これらの個体の自家受粉により第 2 世代を得て，GR 活性を比較したところ，

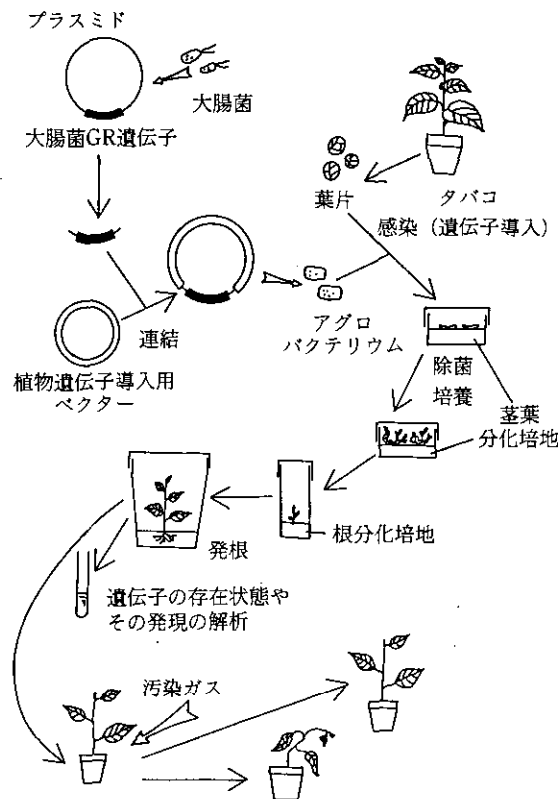


図1 大腸菌グルタチオンレダクターゼ遺伝子のタバコへの導入

GR 活性の高かった親から得た子においても、活性が高いという傾向が認められた。

④トランジットペプチド遺伝子を保有する GR 遺伝子を導入したタバコとトランジットペプチドを持たない遺伝子を導入したタバコの葉から無傷葉緑体を単離し、大腸菌 GR に対する抗体を用いて葉緑体に GR タンパク質があるかどうかを調べたところ、予想どおり、トランジットペプチドを保有している遺伝子を組み込んだものでは GR は葉緑体に存在し、トランジットペプチドを持たない遺伝子を導入したものでは葉緑体に大腸菌 GR は検出されなかった。

2) 遺伝子組換えタバコの性質

遺伝子組換えタバコの第1世代及び第2世代の子孫について、その性質を調べたところ、以下のような結果が得られた。

①タバコの成長速度やその外見については大腸菌 GR 遺伝子を保有するかどうかによる差は見られなかった。

②大気汚染ガスを暴露して障害の程度を観察したところ、オゾンに対する耐性については差は認められなかったが、二酸化硫黄に対しては、大腸菌 GR タンパク質が細胞質にある組換え体において耐性の増加が認められた。

③除草剤パラコートに対しては、大腸菌 GR タンパク質の存在場所が細胞質、葉緑体いずれの場合にも耐性の増加が認められた。

これらの結果についてはさらに詳細な検討が必要であるが、二酸化硫黄、パラコートの毒性に

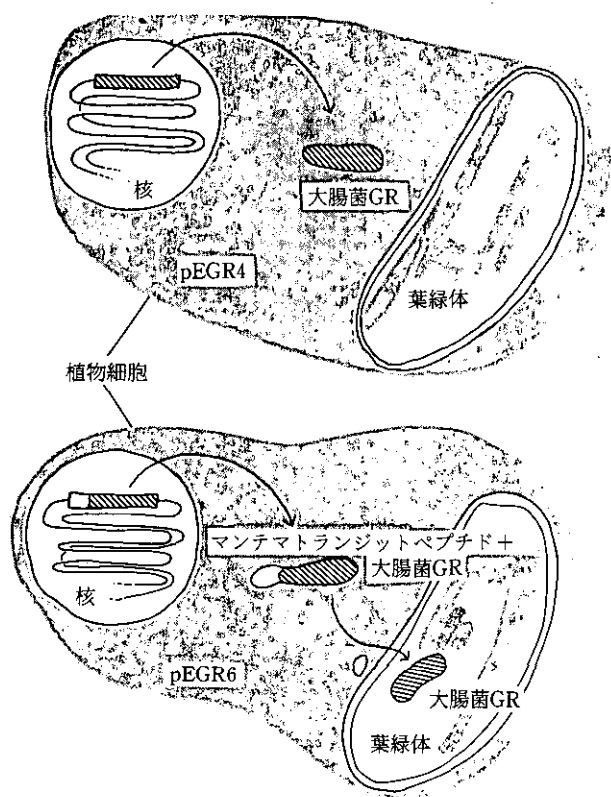


図2 大腸菌グルタチオンレダクターゼのタバコ葉肉細胞における存在場所

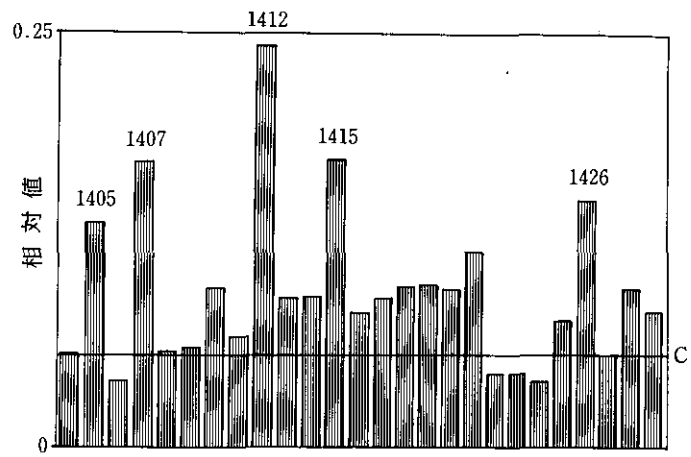


図3 遺伝子組換えタバコ26個体のグルタチオンレダクターゼ活性
 図中のCは大腸菌グルタチオンレダクターゼ遺伝子を持たない対照のタバコの活性を示す。

活性酸素が関与しているという従来の考えを支持している。しかし、オゾンによる障害については、活性酸素が直接関与しているかどうか疑問を投げかける結果になった。しかしながら、二酸化硫黄、パラコートによる活性酸素の生成は葉緑体内で起こると考えられており、細胞質に GR タンパク質がある場合に耐性を示したことは、これらの物質による毒性発現についても今後さらに検討する必要があることを示唆している。いずれにせよ、これらの遺伝子組換えタバコは、二酸化硫黄に対する指標植物として使用可能と思われる。

(2) アスコルビン酸ペルオキシダーゼ遺伝子のタバコへの導入

ホウレンソウの AP に対するモノクロナル抗体を作製し、これを用いてシロイヌナズナの cDNA ライブラリーより抗体に反応するクローンを得た。このクローンより単離した cDNA の塩基配列を決定し、その塩基配列から想定されるアミノ酸配列の中に、ホウレンソウの AP で決定されたアミノ酸配列とよく似た領域があることが分かり、この cDNA が AP のものであることが確かめられた。

次に、得られた cDNA を、植物への遺伝子導入用ベクターに組み込みタバコに導入した。その際、導入した遺伝子がタバコの細胞内で正しい方向(センス方向)または逆方向(アンチセンス方向)に転写されるように操作し、細胞内の AP を増加または減少させるよう試みた。その結果、遺伝子組換え体の中からセンス方向に遺伝子を導入したタバコで AP 活性が高いものと、アンチセンス方向に遺伝子を導入したタバコで AP 活性が低いものが、各々 1 個体ずつ得られた。これらの植物から自家受粉により種子を得て、発芽させたところ、形質転換体と非転換体の比は 3:1 とはならず、ほとんどが形質転換体であった。これらの組換え体の染色体には AP 遺伝子が複数個挿入されたものと思われる。これらの組換えタバコの 대기汚染ガスやパラコートに対する耐性の変化は今後の課題である。

(3) 指標植物による野外大気環境評価法の検討

光化学オキシダントの一つである PAN に敏感な指標植物ペチュニアを関東地方の各地に配置し、広域での PAN 汚染の実態を把握するとともに、指標植物を野外で使用する際の有効な方法について検討することを目的として、最も敏感な品種であるホワイトチャンピオン(旧名: ホワイトエンサイン)を材料に選んで、植物棟の温室で播種後 6 週間育成した植物を、1990 年 6 月 22 日、6 月 29 日、7 月 6 日の 3 回各地に送付し、各々 4 週間ずつ野外に配置して、1 週間ごとに可視傷害・生長量等を記録した。

今回、配置した場所は、前橋市(県農総試)、浦和市(県公害セ)、つくば市(国環研)、府中市(東京農工大)、江東区(都環研)、千葉市(県農試)、市原市(県公害研)、平塚市(研公害セ)の 8 か所である。得られた結果は次のとおりである。

①地域的に見ると、光化学オキシダント汚染が著しいとされる府中市、浦和市、前橋市で、ペチュニア葉面に典型的な PAN による可視傷害が認められたほか、光化学オキシダント濃度が極めて高かった 6 月後半あるいは 7 月後半には、つくば市や平塚市でも葉面に可視傷害が認められた。江東区、千葉市、市原市では調査期間中には被害が認められなかった。

②環境制御室を用いた実験結果と同様に、かなり上位の成熟葉に PAN によると思われる可視傷害が認められ、また、葉の裏面の被害が大きいことなどを確認した。なお、野外で指標植物の配置実験をする際には、灌水や液肥の与え方、暴風雨や虫害などにより気を配る必要があった。

(4) 組換え指標植物を用いた野外大気環境評価のための実験装置の開発

開発中の組換え指標植物を野外において利用するために、この植物が野外の生態系に影響を与えないような(例えば花粉を飛散させないような)工夫をした、大気環境評価装置の開発を行った。この目的で作製されたフィールド・チャンパーを図4に示す。これは基本的にはアクリル製の植物栽培室とヘパフィルター及びエアープンプからなる、花粉等に対して閉鎖系のシステムである。大気取入口には粒子状物質のみを除去するフィルターあるいはオゾン等ガス状物質も除去するフィルターを取り付けることにより、大気非浄化室あるいは大気浄化室として用いることができる。今回作製したタイプは縦横、各50cmであり、高さは可変のものである。

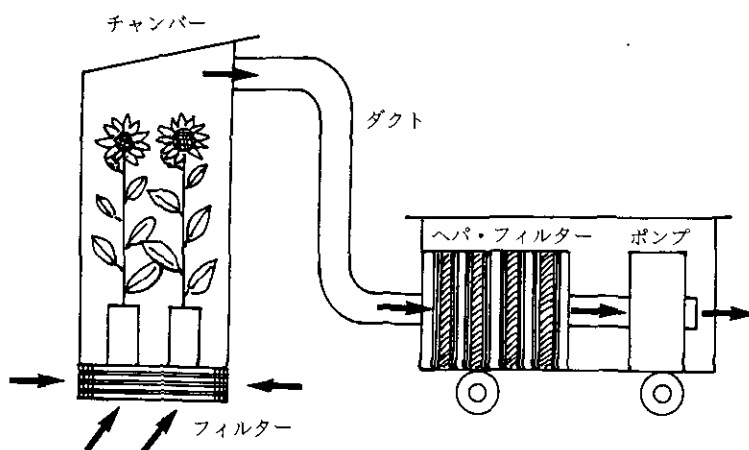


図4 遺伝子組換え植物を用いた環境評価のための装置
矢印は空気の流れを示す。

2.2 富栄養化による内湾生態系への影響評価 に関する研究（最終年度）

昭和61年度～平成2年度（1986～1990年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
海域保全研究チーム	○竹下俊二・木幡邦男・中村泰男
湖沼保全研究チーム	相崎守弘
水改善手法研究チーム	稲森悠平

地球環境研究グループ

海洋研究チーム	渡辺正孝・原島 省
水圏環境部	
土壤環境研究室	高松武次郎
地下環境研究室	大坪国順
社会環境システム部	
資源管理研究室	原沢英夫
客員研究員	8名

〔研究概要〕

内湾では背後に存在する大都市圏が大きな汚濁源ともなり、流入する汚濁負荷が大きいというに汚濁物質が蓄積しやすいため、他の水域に比較して環境基準の達成率は依然として低い状況にある。内湾は、構造的に外海水との交換・混合の物理的作用が抑制されるという、いわゆる閉鎖性の特徴を持つ。このため流入した有機物や窒素、リン等が累積し、富栄養化状態を呈している所が多い。富栄養化が進行し、藻類など水生生物が大量に増殖すると赤潮発生など漁業への被害が問題となってくる。一方、内湾海域は生物生産の最も高い水域でもあり、各種の漁業に活発に利用されている。富栄養化が生物生産の増大に寄与していることを評価すると、豊富な栄養塩の存在は魚類の生育にとって不可欠な要素でもある。このため、生物生産の増大と海洋環境の保全が調和して確保されるには、内湾海域はいかにあるべきかを明らかにすることが強く求められている。

本特別研究においては、(1)閉鎖性海域における富栄養化がもたらす環境特性の把握に関する研究、(2)制御実験系を用いた富栄養化の影響評価に関する研究、(3)現場メゾコズムを用いた内湾生態系の物質循環・動態に関する研究を行い、内湾の環境管理のための基礎となる科学的知見の蓄積を行う。

各研究課題は年次計画どおり進行し、富栄養化と赤潮発生との関連や大規模赤潮に至る海況等につき知見を得た。課題(3)では現場海域での内湾生態系の変動を研究するために、現場メゾコズムを設置し、現場での実験研究を行ってきた。最終年度に当たる本年度は、この現場メゾコズムでの成果、課題(1)で得られた詳細な現場調査結果、及び課題(2)で得られた実験系での成果を総合的に活用して現場海域での現象解明、特に赤潮発生機構解明において大きな進展を得た。また、前年度まで行っていた播磨灘における調査、実験に加え、富栄養化が非常に進行した東京

湾にて調査を行い、生物量と栄養塩レベルについて検討した。

〔研究成果〕

(1)閉鎖性海域における富栄養化がもたらす環境特性の把握に関する研究

1990年7月20日～8月13日まで、メソコズム設置場所である播磨灘家島における化学環境(窒素, リン, ケイ素, ビタミン B₁₂, 炭素, 色素, 金属類, pH, DO 等), 物理環境(水温, 塩分, 光強度, 透明度), 微生物を中心とした生物相(植物プランクトン, 動物プランクトン, バクテリアの現存量と種組成)の現場把握を行った。現場の物理・化学・生物的鉛直構造を調査するために、表層から底層まで鉛直方向に5mごとに5点でサンプリングした。

本年度は、調査期間中0～15mの水深で栄養塩がほぼ枯渇しており、(NO₃⁻<1μM, PO₄³⁻<0.1μM)赤潮は発生しなかった。また、調査開始時卓越していたケイ藻類は、安定な成層条件のもとで下層に沈降し、これに従って、0～15m層でのクロロフィル a 量は7月中～下旬における値約3μg/lから8月初旬には1μg/l以下に減少した。

東京湾の St. A, B 及び C (図1)において、1990年5月～1991年2月の期間、定期調査を行った。St. A, B 及び C の最大水深は各々12, 17及び12mである。溶存全無機態窒素 (NO₃⁻+NO₂⁻+NH₄⁺) 濃度は St. A で12.6～62μM, St. B で9.9～52μM, また St. C では14.8～43μMの間を変動した。溶存無機態リン酸(PO₄³⁻)濃度は St. A で0.19～4.1μM, St. B で0.13～2.7μM, また St. C では0.14～3.0μMの間を変動した。各測定地点で PO₄³⁻濃度の最小値は5月に観測されたが、これは、この月のクロロフィル a 濃度が非常に高い(図2)ことから植物プランクトンによって摂取されたためと推察される。

(2)制御実験系を用いた富栄養化の影響評価に関する研究

1) 指標藻類の環境変動に対する応答特性の解析

赤潮生物の多くは冬期底泥中に休眠孢子(シスト)として存在している。そして赤潮の発生はシストからの発芽によって開始されると考えられている。したがってシストがどのような条件下、

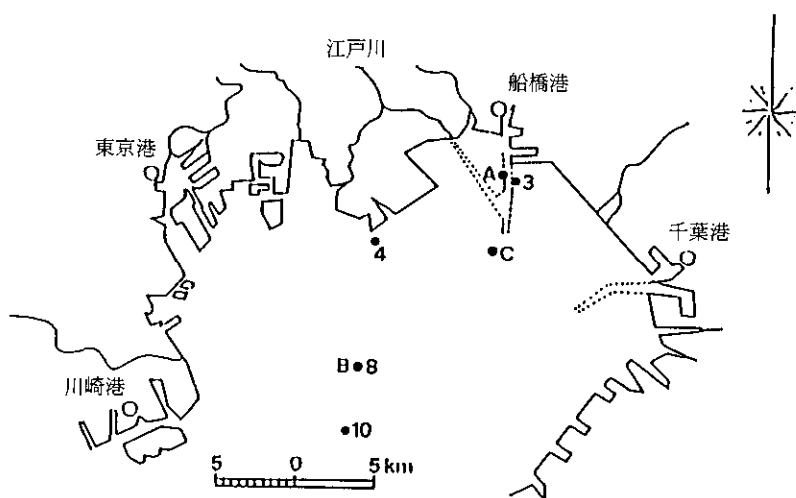


図1 東京湾定期調査における調査位置

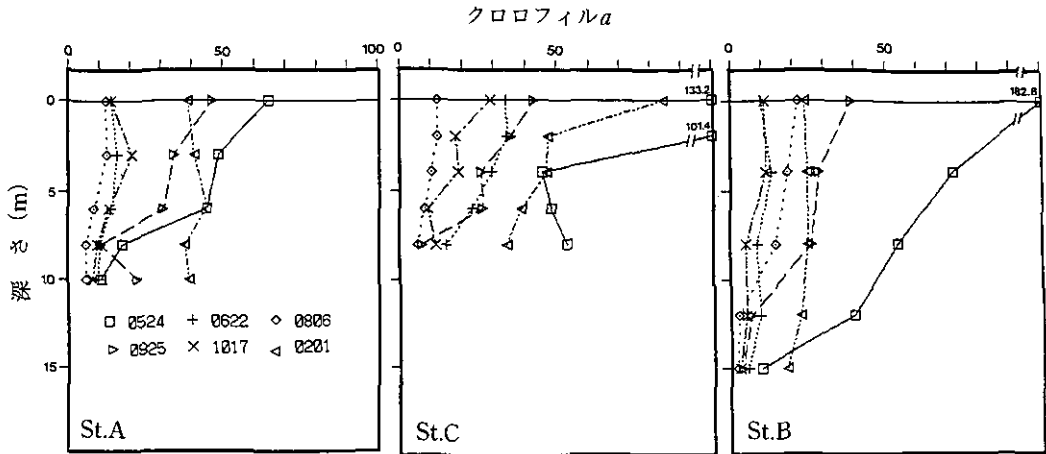


図2 定期調査でのクロロフィル *a* 濃度の鉛直変化 (1990年5月～1991年2月)

いかにして形成—休眠—発芽を行っているのかを明らかにすることは赤潮の発生機構を解明する上で極めて重要であると思われる。先に *Chattonella antiqua* のシストを実験室培養系で形成させることに初めて成功したが、本年度はこれに基づき以下の点を明らかにした。

①顕微測光により、シストと栄養細胞の核中の DNA を定量・比較した。シストの DNA は栄養細胞 (G₁期) の約 2 倍であり、シストは有性生殖の結果形成される。

②窒素 (N) ないしリン (P) 枯渇条件下の栄養細胞 (~100 μm) から微小な配偶子 (~30 μm) が形成され、これが融合することでシストは形成される。配偶子は一度形成されてしまうと、以後は N, P を再添加しても栄養細胞には戻らず、N, P 無添加の場合と同様の効率でシストが形成される。このことは、現場でのシスト形成には必ずしも水柱全体での栄養塩の枯渇が必要ではないことを示している。

③シスト形成の至適照度・水温はそれぞれ $5 \mu E/m^2 \cdot s$, 22~26°C であり、これらの結果は 1989 年に行った現場でのセディメントトラップ実験の結果をよく説明している。

2) 指標動・植物プランクトン及びバクテリアの相互作用に関する研究

前年度の *Chattonella* 赤潮の減衰期に無色の渦鞭毛藻 *Gyrodinium fissum* が卓越し、*Chattonella* を活発に捕食していることが観察された。そこで *G. fissum* による赤潮防除の可能性を検討するために、本種の培養法を確立した。

実験系で *G. fissum* と *Chattonella antiqua* との混合培養を行った結果、*G. fissum* は 1 日に *C. antiqua* の 3~5 細胞を捕食しつつ速やかに増殖し、*C. antiqua* の細胞濃度は 3,000 cells/ml から 6 日後には約 20 cells/ml に減少した。

1 つの生物が、離れて生育している他の生物に影響を与える作用、他感作用 (allelopathy) は、陸上の植物生態学の分野で広く研究され、多くの化学的相互作用に関与する物質、他感作用物質 (allelochemicals) の構造が明らかにされている。海洋生態系での他感作用物質はあまり研究例が多くなかったが、最近オキナワモズクが産する脂肪酸の一種がこの他感作用を示し、植物プランクトンの増殖を制限することが報告されている。本研究では赤潮藻類 *Chattonella antiqua* と播磨灘で採集した数種のケイ藻 (*Chaetoceros* sp., *Amphiprora* sp. 他) との混合培養を行い、種間競合

を解析した結果、これらケイ藻に *C. antiqua* の増殖を阻害する他感作用を見いだした(図3)。特に *Amphiprora* で他感作用の強い種を *Amphiprora hyalina* と同定し、この作用について詳細に検討した。*A. hyalina* の培養液を熱処理、ろ過後、C-18カートリッジを用いて濃縮した。この濃縮液には明らかに他感作用があり、高速液体クロマトグラフィーで分析した結果多数の高度不飽和脂肪酸が検出され、これらが他感作用物質であろうと推察された。さらに濃縮液からC-18逆相カラムクロマトグラフィーで5つの分画を得、このうち他感作用が見られた2つの分画について解析を進めた結果、他感作用物質は高度不飽和脂肪酸である hexadecatrienoic acid ($C_{16:3}$) と eicosapentaenoic acid ($C_{20:5}$) と判明した(表1)。これらは 1 ppm 程度の濃度で *C. antiqua* の増殖を阻害した。

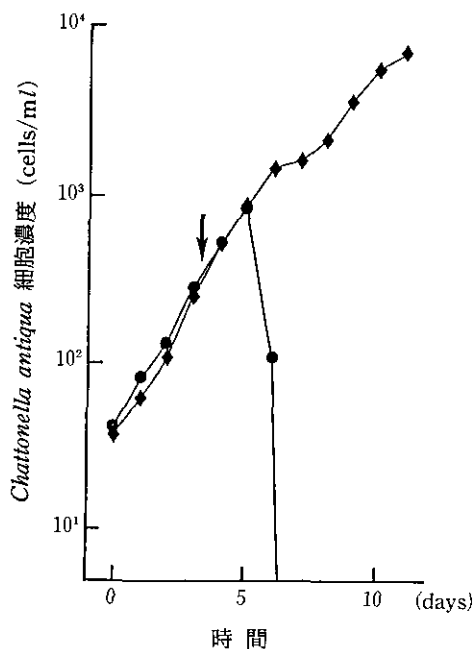


図3 *Chattonella antiqua*の細胞濃度変化
 ◆：対照区，●： *Amphiprora hyalina*との混合培養。
 矢印は混合培養開始を示す。

表1 他感作用物質同定結果

画分	物質名	構成比(乾重量)* (%)	
		A	B
画分4	hexadecatrienoic acid ($C_{16:3}$)	0.99	14.8
画分5	eicosapentaenoic acid ($C_{20:5}$)	0.34	4.9
	tetradecanoic acid ($C_{14:0}$)	0.11	1.6
	hexadecaenoic acid ($C_{16:1}$)	0.06	0.9
	hexadecadienoic acid ($C_{16:2}$)	0.17	2.5

*構成比A：抽出(全)脂質中における構成比

〃 B：遊離脂肪酸における構成比

赤潮の発生・消滅に関連の深い細菌 *Vibrio alginifestus* が各種赤潮藻類の生存・増殖・抑制に対していかなる効果を有するか、また、赤潮藻類を捕食する微小動物として、沿岸海域で普通に見られる原生動物絨毛虫有鐘類 *Favella taraiakensis*、魚類の養殖用餌料として重要な袋形動物輪虫類 *Brachionus plicatilis* が赤潮藻類の生存・増殖にいかなる効果を有するかについて前年に引き続き詳細な検討を行った。特に広い温度・塩分濃度範囲での実験を繰り返した結果、細菌及び微小動物の活用で、赤潮藻類の数種類については生物的な働きで消滅させ得る可能性のあることが明らかとなった。

3) 富栄養化の赤潮発生に及ぼす影響評価

1986～1989年と同様、本年度も夏季、瀬戸内海家島諸島において環境調査を実施した(7月20日～8月13日)。本年度は例年と同様の現場観測に加え、底泥中の *Chattonella* シスト濃度の経日変化を、直接計数法(全シスト計数)とMPN法(発芽可能なシスト数)を用いてモニターした。底泥中の全シスト及び発芽可能なシストの濃度は極めて低く(<10 cysts/cm²)、期間中の有意な濃度変化が認められなかった。このことは、調査開始の時点で水温が例年に比べ高く(22°C)、シストがすでに発芽を行ってしまっていたためであろうと推察された。

4) 内湾密度流装置を用いた富栄養化の影響評価

内湾密度流装置を用いて、流れの可視化による密度循環流の実験的検討を行った。温度場一定(室温)において、陸棚斜度約30度の場合の上げ潮流及び下げ潮流の大小に対する湧昇流・下降流のパターン化を試みた。

(3)現場メゾコズムを用いた内湾生態系の物質循環・動態に関する研究

海域の富栄養化が内湾生態系にどのような影響を及ぼし赤潮発生へつながるかを明らかにするため隔離生態系(メゾコズム、直径5m、高さ18m)を播磨灘家島に開発した。海洋メゾコズムは自然の海洋生態系をそのまま捕獲し、潮流の影響を受けず系内の物質保存が保証されている。したがって系内での変化はすべて生物・化学過程及び沈降過程により説明することができる系となっている。

海域を隔離することにより乱流が抑止され、遊泳能力を持たないケイ藻類の沈降が著しく、隔離生態系を維持することが困難であった。この点を改良するため鉛直循環流発生装置(表層0mで揚水した海水を長さ3m、直径0.2mの円筒内でノズルより上方に向けジェット噴流を行い、発生する連行流により湧昇を行う)を開発した。これにより貧栄養海域で一部大型ケイ藻を除いた大部分のケイ藻を中心とした藻類を浮上・維持することが可能となり、人為的富栄養化実験が初めて可能となった。

人為的に海洋生態系を環境制御し、*Chattonella* 赤潮発生へと導くことに1989年7月20日～8月13日の実験で成功した。実験期間中において用いた環境制御は①実験初期に全層にわたって人為的富栄養化を行い、 $PO_4\text{-P}$ で約 $0.6\ \mu\text{M}$ 、 $NO_3\text{-N}$ で約 $10\ \mu\text{M}$ とした(図4)。②続いて実験期間中栄養塩安定成層を水深約6mに形成するため、水深6m以深に人為的に栄養塩添加を2度行った。③実験後期には底層から表層への栄養塩巻き上げを防止するため鉛直循環装置を停止した。この環境制御によりメゾコズム内での生態系は以下のような遷移を行うことが判明した。初期栄養塩添加によりケイ藻と渦ペン毛藻が増殖する(図5)。この結果、表層での窒素・リン・ケイ素は摂取され、これらの安定成層が形成される。このためケイ藻はケイ素制限により減少する。

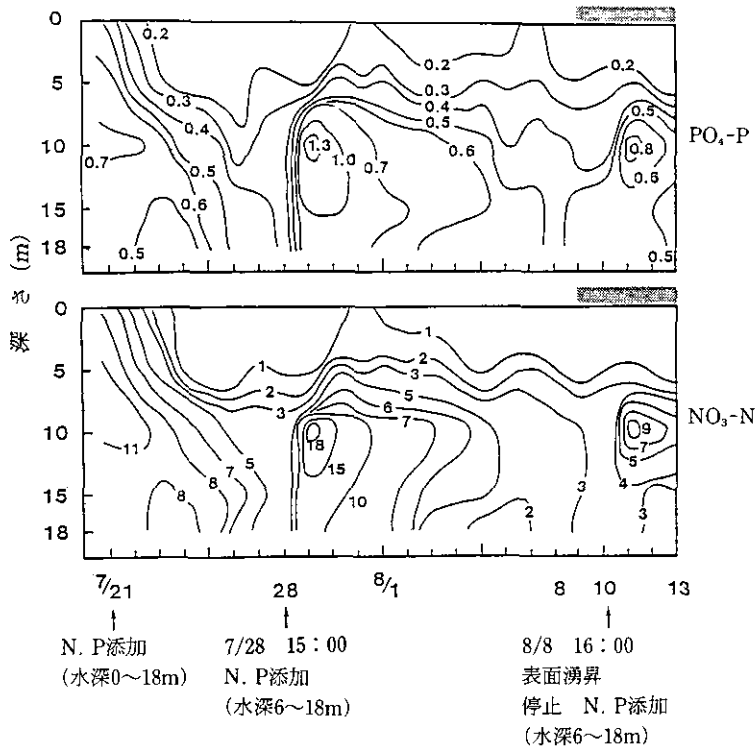


図4 メゾコズム内の窒素、リン濃度鉛直分布の経時変化

藻類種は渦ベン毛藻へと移行するが、鉛直循環流の停止に伴う渦ベン毛藻の表面集積は動物プランクトン *Microsetella* による集中的な捕食を受け急激に減少する。*Chattonella* は日周鉛直移動を行い水深7.5 mまで遊泳することが初めて判明した。この日周鉛直移動は夜間底層での栄養塩採取を可能にし、かつ動物プランクトンの捕食からのがれることを可能にするため、生態的優位性を *Chattonella* に与える。

各種栄養塩成層は瀬戸内海を初めとする内湾において夏季に顕著に見られる。この成層位置は毎年変化しており水深5~15 mの間に存在することが多い。本研究において *Chattonella* 赤潮発生において水温、照度、栄養塩がその増殖にとって好適範囲にあることに加えて栄養塩成層に存在することが必要条件であること、さらにこの条件を人為的に与えることにより赤潮発生へと導いたことにより十分条件となっている可能性が示唆された。このような環境制御による海洋生態系の変遷機構解明は、一方で富栄養化による生物生産の増大と他方、海洋環境保全との調和を図るための望ましい内湾域の環境管理を行うための基礎的知見を与えることを可能ならしめたといえる。

メゾコズム内での物質循環を研究するため、メゾコズム内水深5, 10, 15 mにセディメントトラップを設け沈降粒子を捕集した。セディメントトラップは毎日引き上げ、沈降粒子をろ過して採集した。これらは分析時まで冷凍保存した。沈降粒子の炭素・窒素量をCHNアナライザーで、クロロフィル *a* 等色素量を高速液体クロマトグラフィーで分析した(図6)。

5 m層を通過する沈降粒子中のクロロフィル *a* /炭素比は0.29%であり、表層(0~5 m)での懸濁粒子の値0.86%と比べて小さかった。これは、懸濁粒子が植物プランクトンの生細胞を多く含

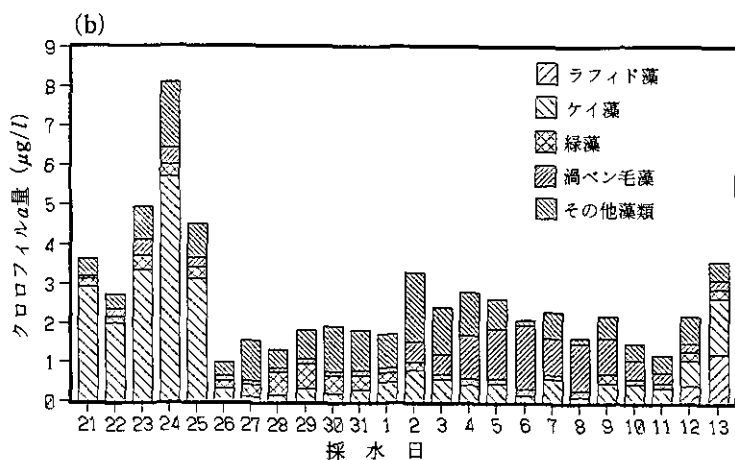
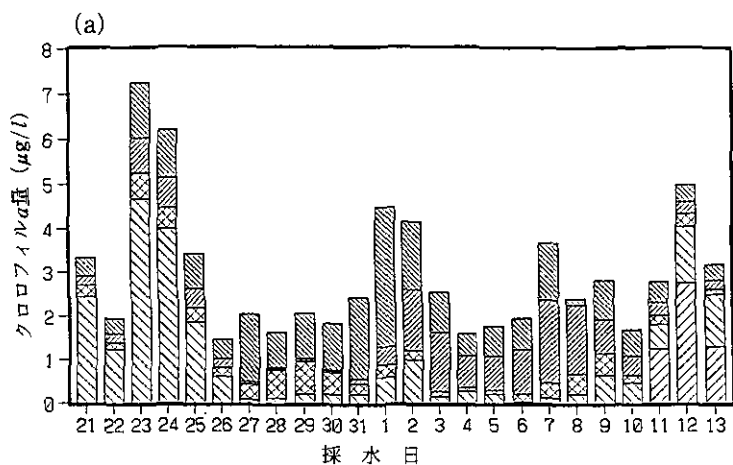


図5 メゾゾム内表層でのクロロフィルaと植物プランクトン組成の遷移
(7月21日～8月13日)
(a): 0m, (b): 5m

むのに反し、沈降粒子は植物プランクトンの遺骸、動物プランクトン自身及びその排せつ物を多く含むためと思われる。また、沈降粒子中の(フェオ色素+クロロフィルa)/炭素比は0.53%であり、このことから動物プランクトンに摂食された植物プランクトン中のクロロフィルaは、一部はフェオ色素に分解されるものの、通常の吸光分析法では検出されない形にまで分解される物も相当量存在することが示された。実験期間で平均してみたメゾゾム内懸濁粒子中の炭素量はメゾゾムの断面積(19.6 m²)当たり、表層で31.9 gであり、また5m層での炭素沈降量は14.8 g/dであった。これは、1日当たり懸濁粒子の約46%が沈降し、また同時に表層では同量の炭素が生産されていたことを示す。

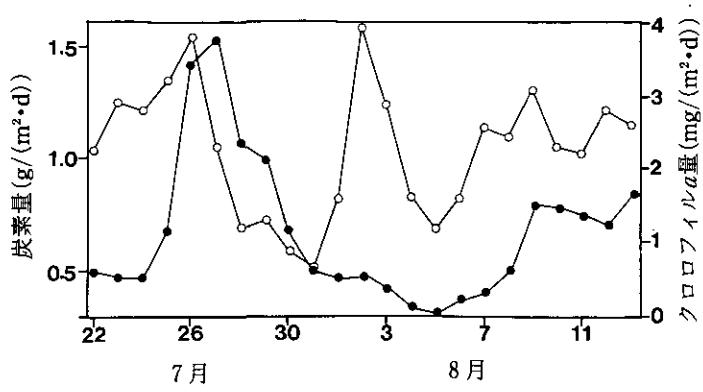


図6 メゾコズム内沈降粒子中の炭素・クロロフィルa量の日変化
5, 10, 15mでの値の平均値。

2.3 先端技術における化学環境の解明に関する研究

昭和 62 年度～平成 3 年度 (1987～1991 年度)

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

上席研究官 三浦 卓
化学物質健康リスク評価研究チーム ○相馬悠子・米元純三・白石寛明・稲葉一穂・梅津豊司

都市環境影響評価研究チーム 高橋慎司

化学環境部

部長 森田昌敏
計測技術研究室 藤井敏博・古田直紀
計測管理研究室 伊藤裕康・西川雅高
動態化学研究室 相馬光之・瀬山春彦
化学毒性研究室 彼谷邦光・白石不二雄・宇野由利子

環境健康部

生体機能研究室 鈴木 明・持立克身
病態機構研究室 鈴木和夫・青木康展・平野靖史郎
保健指標研究室 国本 学

客員研究員 12 名, 共同研究員 4 名

〔研究概要〕

化学物質は、その有益性の反面、人の健康や生態系に悪影響を及ぼす可能性を持つものがある。化学物質の使用あるいは使用後の廃棄を通じて直接的に、あるいは廃棄の過程や環境において変化して間接的に、環境を汚染し、結果として人に影響を与えるという問題についてはまだ解明されるに至っていない。化学技術の進歩とともに、化学物質による汚染は将来ますます重要な課題となり、生産から廃棄に至るまで化学物質の管理と汚染の未然防止のための研究が必要と考えられる。

本特別研究では(1)環境中の化学物質の物性評価と分離、分析手法に関する研究、(2)環境中の化学物質の毒性スクリーニング法の開発、応用に関する研究、(3)化学物質の環境中における変化と移行過程に関する研究、(4)化学物質のリスク評価のための方法論に関する研究の研究課題について研究を行っている。

本年度は前年度に引き続き各課題とも、トリブチルスズ等の有機スズ化合物、トリクレン等揮発性有機塩素化合物、希土類等重金属、ダイオキシン類に関しての研究がなされた。

〔研究成果〕

(1)揮発性有機塩素化合物に関する研究

前年度の土壤中の揮発性有機塩素化合物の濃度測定の結果、バックグラウンド地域では大気から土壤への移入が大きな役割を占めることが分かり、本年度はモデル系の実験で土壤への吸着及

び反応を調べ、土壌への有機塩素化合物の吸着係数を算出した。その結果、含水率の少ない表面土壌では土壌中の有機成分より鉱物等の無機成分への吸着を考える必要があることが示された。また土壌中でこれら化合物の反応速度は図1に示すように1,1,1-トリクロロエタンから1,1-ジクロロエチレンへの反応がとびぬけて大きく、この結果は使用量が少ないにもかかわらず地下水汚染調査で近年1,1-ジクロロエチレンが検出されることとの関連が考えられる。

トリクロロエチレンの地下水汚染のメカニズムを知る目的で土壌への浸透速度が界面活性剤との共存でどのように変化するかを調べた。界面活性剤の共存で浸透速度は速くなり、これは界面活性剤によるミセル可溶化、界面張力の減少、土壌の保持量変化等の複合した効果と説明された。

揮発性有機塩素化合物の大気からの暴露量調査を筑波地区を中心に始めた。戸外に比べて室内の方が濃度は高めであるが、アメリカ(TEAM study)の値、日本都市域の値に比べて筑波地区は低い値であった。四塩化炭素は時間変動が少なく戸外と室内差も少なく、多地域と同じ0.1~0.2 ppbの値である。

トリクロロエチレンをラットの腹腔内に投与し、行動毒性を調べた。正向反射の消失、協調的運動能力に及ぼす影響、ペントバルビタール誘発麻酔等の結果からトリクレンは500 mg/kg ip以上でマウスの行動に影響を及ぼすのが見られた。これは中枢神経系に影響を及ぼすことによると考えられる。

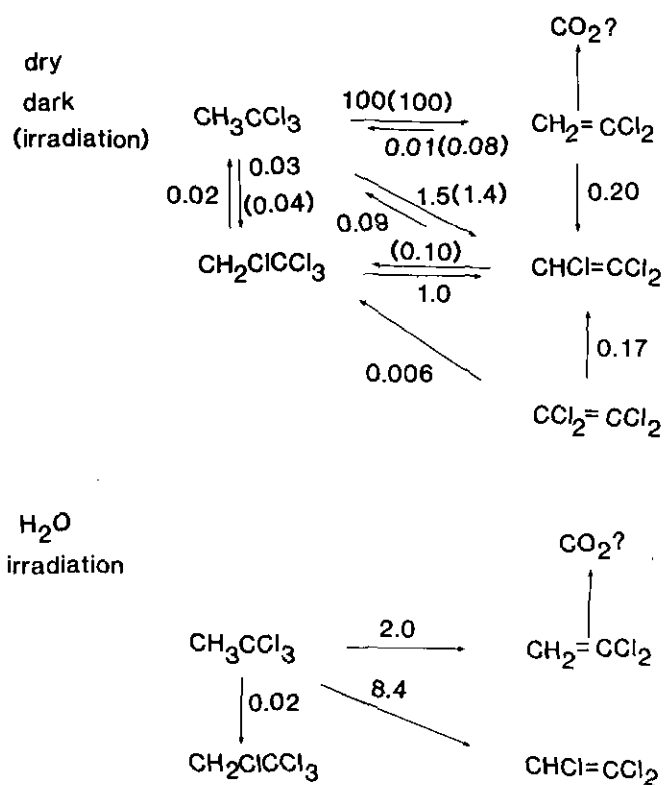


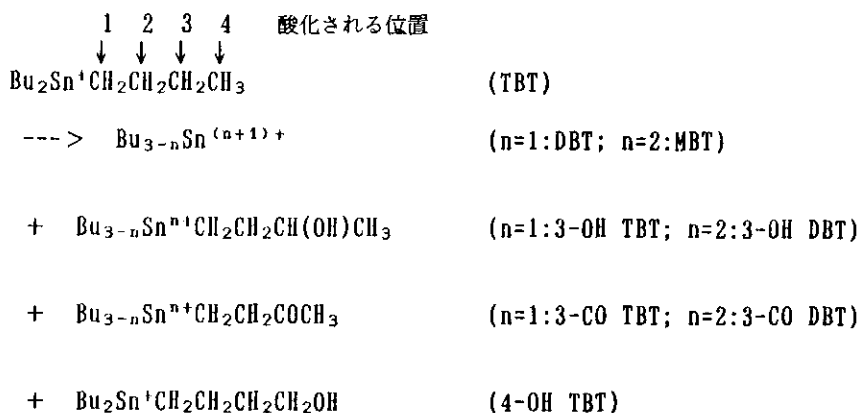
図1 乾燥鹿沼土表面での有機塩素化合物の反応速度(10⁻⁶/h)

(2) 有機スズに関する研究

東京湾を中心にムラサキイガイ中の有機スズのモニタリングを続けているが、ムラサキイガイに蓄積されているスズ化合物の中に未知のものがいくつかあり、その中にはトリブチルスズより濃度が高いと思われるものもあるため、それらの構造を決定した。この化合物は図2に示すように、トリブチルスズのプロチル基の一部が酸化された化合物群であり、ラットの肝細胞による代謝物と同じ化合物であった。これらの物質のうち、ムラサキイガイで最も高濃度であった3-オキソ体は、海水、底質、あるいはアサリなどからほとんど検出されないため、この化合物はトリブチルスズがイガイ中で代謝され生じたものと結論した。

図3にもその一例が示してあるが、ムラサキイガイ中のプロチルスズ化合物の濃度は、夏に低く、冬に高いという季節変化をすることが明らかになった。これは海水中への船底塗料等からのトリブチルスズの溶出が水温の高い夏に大きい事実と一致せず、ムラサキイガイ生体内での代謝能力が冬場に低下しているためと考えられる。また、同じ地点で採取されたアサリとシオフキの間で、イガイではその大きさによっても、トリブチルスズの濃度は異なり、生物種あるいは成長段階によって代謝能力が異なると考えられた。プロチルスズ化合物は生物による代謝を受けやすく、生物を用いて環境中のプロチルスズの汚染を監視するためには、代謝に関する補正をしなければならぬことが明らかになった。フェニルスズに関しては季節変化は見いだせず、濃度は1989年夏以降減少傾向にある。

有機スズの生体影響に関する基礎的知見を得るため、*in vitro*系を用いて検討を行った。メチル水銀は神経系障害を起こすことが知られているが、有機スズの生体影響でも中枢神経への影響



イガイ中では3位の酸化反応が重要になる。

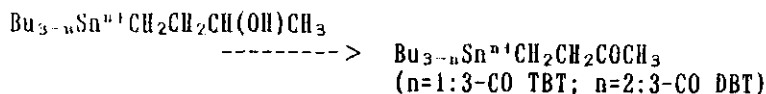
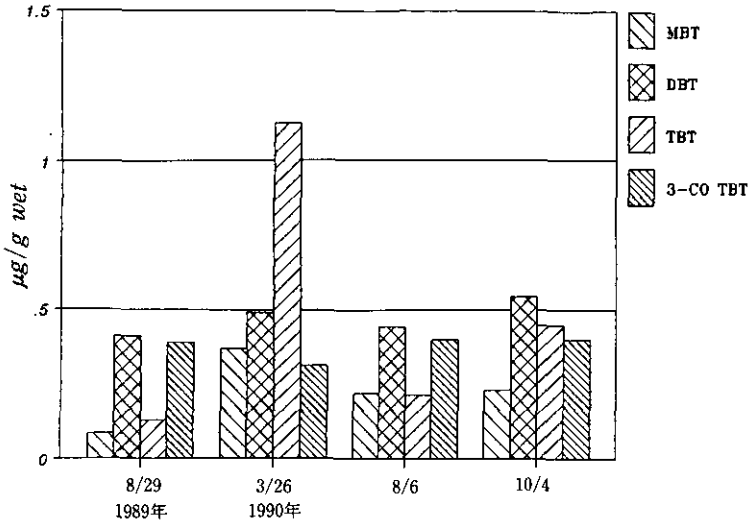


図2 ムラサキイガイより見いだされた代謝物

イガイ中のブチルスズ濃度変化
YOKOHAMA



イガイ中のフェニルスズ濃度変化
YOKOHAMA

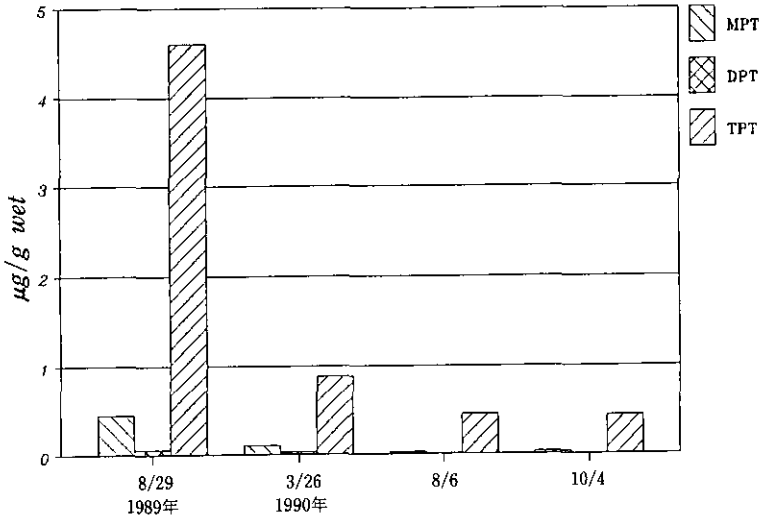


図3 ムラサキイガイ中のブチルスズ、フェニルスズ濃度の季節変化

が指摘されている。そこでラット由来の神経細胞と、ヒトおよびラット由来の非神経細胞を用いてトリフェニルスズ、トリブチルスズの影響を検討した。図4に示すように神経細胞に対する LC_{50} (半数致死濃度)はそれぞれ $0.1\mu\text{M}$ (42 ppb 相当), $0.47\mu\text{M}$ であった。非神経細胞の LC_{50} 値も神経細胞に対するものと大きな差は見られず、メチル水銀のような神経細胞に対する特異性は示さなかった。

次に発生過程への影響を調べる方法として“ラット胎仔肢芽培養法”を使用してスズ化合物の影響を検討した。この方法はラット胎仔の将来軟骨になる細胞を使って、分化への影響と細胞増殖への影響を同時に調べる方法である。TPT (塩化トリフェニルスズ), TBT (塩化トリブチルスズ), DBT (二塩化ジブチルスズ), TMT (塩化トリメチルスズ)の IP_{50} (細胞増殖を50%阻害する濃度), ID_{50} (軟骨細胞への分化を50%阻害する濃度)は、図5に示すようにTPTの毒性が一番強

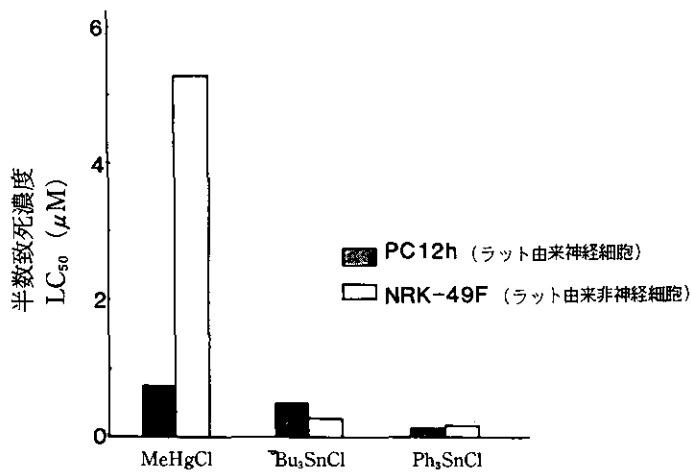


図4 ラットの神経細胞, 非神経細胞へのスズ化合物, メチル水銀の影響

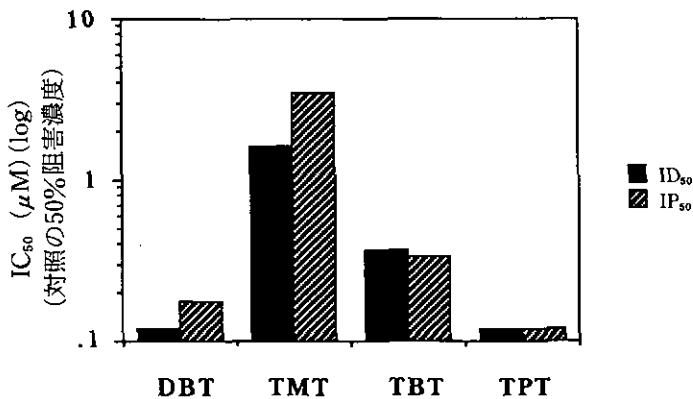


図5 有機スズの分化への影響 (ID_{50})と細胞への影響 (IP_{50})

いことが分かった。そして ID_{50} が低いことから胎仔への毒性の可能性が示唆された。

(3)ダイオキシン関連物質に関する研究

前年度PCB(ポリ塩化ビフェニル)の発ガン性の機構を明らかにするために、ラット肝臓細胞を使い、PCBによる特異的タンパク合成の有無を検討した結果、3,4,5,3',4'-, 3,4,5,3',4',5'-PCBに特異的に誘導される分子量 25,000のタンパク質があるのが分かった。そこでこのタンパク質を二次元電気泳動を使って分離を試みたところ、2つのタンパク質に分離され、このうちの1つは肝ガンのマーカーである胎盤型 glutathione-S-transferase であることが明らかになった。

高分解能 GC/MS (ガスクロ/質量分析計) を使って、紙製品中のダイオキシンの分析を行った。その結果、塩素漂白過程で生成したと考えられる紙製品中のダイオキシンの異性体分布は、焼却炉のような高温で生成したダイオキシンの異性体分布と異なることが分かった。フライアッシュと紙の中の四塩化ダイオキシン異性体のマスキロマトグラフの比較を図6に示してある。

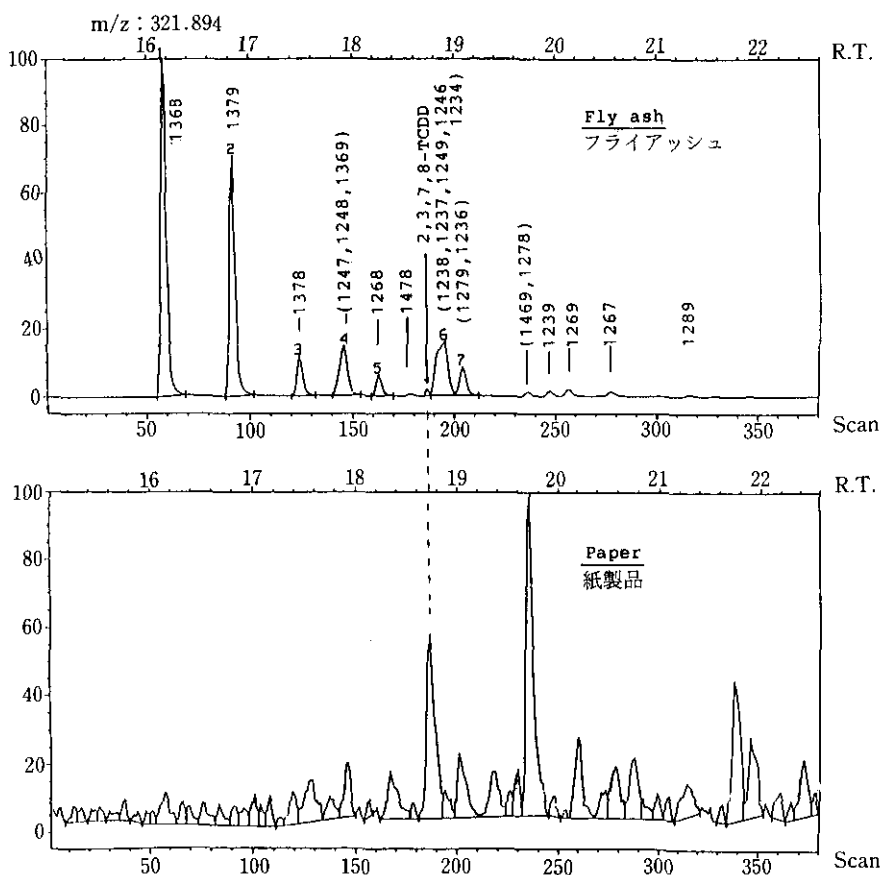


図6 フライアッシュ及び紙製品中の四塩化ダイオキシンのマスキロマトグラム

(4)大気粉じん中の重金属に関する研究

大気粉じん等の固体試料を直接に、かつ多元素同時に分析する試みとして、レーザーアブレーション ICP-MS, SIMS(二次イオン質量分析計)での測定がなされた。大気粉じん試料として、路傍の葉上に沈着した粉じんの測定がなされ、重金属に関しては葉上の粉じんが大気粉じん試料として使用できることが分かった。

各種重金属(Cd, Zn, Cu, It)の経気道投与による生体影響を検討した。生体影響の指標として、生化学的な炎症指標と考えられている肺胞洗浄液中の乳酸脱水素酵素(LDH)と β -グロコリニターゼの活性、タンパク質量及び硫黄などの元素量の変化を調べた。銅では炎症指標が投与12時間から3日目に最大値に達し、ラット1匹当たり $5\mu\text{g}$ の銅投与で炎症が観察された。また生物学的指標から推定したイットリウムの生体影響は、カドミウムの1/3, 亜鉛の3倍の用量で観察されるものと同じレベルであることが明らかになった。

2.4 環境容量から見た水域の機能評価と新管理手法に関する研究

昭和 62 年度～平成 3 年度 (1987～1991 年度)

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
湖沼保全研究チーム	○相崎守弘・春日清一・福島武彦
環境統計手法研究官	松本幸雄
水改善手法研究チーム	今井章雄
有害廃棄物対策研究チーム	平田健正
化学物質生態影響評価研究チーム	花里孝幸
化学物質健康リスク評価研究チーム	相馬悠子

地球環境研究グループ

酸性雨研究チーム 河合崇欣

水土壌圏環境部

水環境工学研究室 海老瀬潜一・井上隆信

水環境質研究室 矢木修身

土壌環境研究室 細見正明

生物圏環境部

環境微生物研究室 高村典子

社会環境システム部

資源管理研究室 原沢英夫・天野耕二

客員研究員 16 名, 共同研究員 2 名

〔研究概要〕

日本には 1 ha 以上の面積を持つ自然湖沼が 483 湖沼, 人造ダム湖が 2,730 湖沼あり, 118 湖沼に環境基準が設定してある。生活環境項目にかかわる環境基準の達成率は 1989 年度で 46.3%と低く, 湖沼水質環境はあまり改善が見られていない。本特別研究は, このような湖沼環境の改善及び保全を目的にしたものである。

本特別研究では, 上記目的を達成するため全体を以下の 4 課題に分けて研究を行っている。

(1) 環境容量の概念を導入した水域環境管理の研究

湖沼や湖沼流域は, それぞれの湖沼に固有な一定の環境容量を持っている。そのため, それぞれ湖沼に環境基準が設定されると, それぞれの湖沼に対する許容負荷量が算定される。湖沼流域においては許容負荷量に合わせるため, 発生負荷の削減対策を行う必要がある。本研究では, 環境容量の概念の整理を行うとともに, 環境基準の設定してある各湖沼の許容負荷量を算定し, 発生負荷量との比較検討を行うことによって, 湖沼環境基準の達成率が低い原因を究明する。

(2) 湖沼の物質循環速度と生態系管理に関する研究

従来から行われている炭素, 窒素及びリンの流域及び湖内での物質循環経路及び速度を引き続

き研究するとともに、アオコ等有害藻類の増殖を制限している微量有機及び無機物質の検索を行い、水中での挙動を解明する。またこれらの物質と有害藻類の異常増殖との関係を明らかにする。

湖沼において、大型動物プランクトンは藻類を捕食し比重の重い粒子状物質として排せつするところから、リンの沈降速度を速め、湖水の水質改善に重要な働きをしている。このような湖内における水質改善メカニズムを利用するため、湖沼において大型動物プランクトンの現存量を高い状態で長期間維持する方法を検討する。そのために湖内における食物連鎖網の解明を行う。

(3)汚濁負荷流出管理に関する研究

流域における地形、土地利用、人口、工業出荷額、農業収穫量、家畜数、負荷発生量などをメッシュデータとしてデータベース化し、それを用いた流域指標の開発、流域環境変化と湖沼水質変化の関係の解析等を行う。また、データベースを利用した負荷流出モデルを構築し、湖沼水質予測モデルを作る。

流域における水質保全対策を評価するために、汚濁負荷流出特性を現地調査から明らかにし、過去における現地調査結果との比較を行う。

(4)複合利用湖沼の環境保全システムに関する研究

平地型湖沼の代表として現時点で多面的な水利用が図られている霞ヶ浦を対象に、水利用の歴史的变化、総合開発事業の評価等を行い総合的な環境保全システムのあり方について検討する。

〔研究成果〕

(1)湖沼環境基準の達成状況の解析

公共水域における水質環境基準については、健康項目についてはほぼ完全に基準が達成されるようになってきた一方で、生活環境項目の達成状況に目立った改善が見られないことが問題となっている。河川の環境基準はBOD、湖沼・海域の環境基準はCODで評価されているが、ここ10数年で河川における達成率がやや向上の兆しを見せていることに対して、湖沼における達成率は5割以下のままで横ばい状態である。1988年度までに全国の113湖沼、197地点が環境基準点として指定されているが、類型(AA, A, B, C)別の達成率のほかには具体的な達成状況の評価はほとんどなされていなかった。本研究では、過去10年程度(1978~1988年)の湖沼別のCOD環境基準の達成状況の変化を明らかにし、基準値との開き、経年変化の傾向、基準値を達成できそうにない湖沼や完全達成まで後一息の湖沼の特性把握等について詳細に検討した。

表1に環境基準点における環境基準達成状況の総括を示す。AA:類型では、基準を達成している地点が全体の33%、基準値の2倍以内の地点が25%、基準値の2倍を超えるCOD濃度の地点が42%あり、その全部が水質変化の余り見られない横ばいの状況である。A類型では、基準値以下が43%、基準値の2倍以内が38%、基準値の2倍を超える地点が19%あり、横ばいの湖沼がほとんどあるが、改善傾向の見られる地点及び悪化傾向の見られる地点がそれぞれ、13%及び10%あった。B類型では基準値以下が23%、2倍以内が52%、2倍以上が26%あり、大半が横ばい状態で推移しているが24%の湖沼では改善傾向が見られている。

基準値の2倍を超える湖沼は当分の間環境基準の達成は困難であると考えられるが、AA類型の約4割がこのような状況であることは大きな問題である。AA類型は、自然環境保全、水道1級及び水産1級の利用目的で指定されたものであるが、CODの年間最小値が基準値をはるかに超過している地点が多く、琵琶湖、木崎湖、釜房ダムなどでは、流域からの生活系の負荷が高く

表1 環境基準地点(113湖沼197地点)における基準達成状況の総括

類型	湖沼数	地点数	基準値以下	1~2倍	2倍以上	改善傾向	横ばい	悪化傾向
			netCOD<1.0(%)	(%)	(%)	TR<0.1(%)	-0.1<TR<0.1(%)	TR>0.1(%)
AA	29	48	16(33)	12(25)	20(42)	0(0)	41(100)	0(0)
A	68	116	50(43)	44(38)	22(19)	14(13)	80(77)	10(10)
B	15	31	7(23)	16(52)	8(26)	7(24)	20(69)	2(7)
C	1	2	0(0)	2(100)	0(0)	2(100)	0(0)	0(0)
	113	197	73(37)	74(38)	50(25)	23(13)	141(80)	12(7)

なっている。また、漆沢ダム、萩形ダム、森吉ダムなどでは特に大きな個別発生源はないにもかかわらず、基準値を大きく超えている。AA 類型の場合自然負荷の寄与率が対策立案に当たって重要になることから、人為活動を含まない自然環境特性の把握が今後の重要な課題である。基準値の2倍を超えるA 類型の湖沼では負荷に占める生活系・家畜系からの排水の割合が高い湖沼が多く、B 類型の湖沼では、生活系の負荷の割合が高いことが特徴であった。

(2)アオコの計測方法に関する研究

富栄養化した湖沼に発生するアオコは、湖水の表面に浮き、集積しやすい性質を持ったラン藻類の総称であり、湖の汚濁化の象徴として社会的にも強い関心もたれている。アオコは視覚的には容易に判別できるが、定量的計測は、従来は顕微鏡により識別した個体数を数えることで行っており、高度な専門的知識と多大な時間を必要としていた。本研究では、より簡易な方法で、多くの試料を短時間で識別するための方法の開発を行った。2つの方法を開発したが、いずれも高速液体クロマトグラフィーを用い、藻類に含まれている光合成色素を分析する方法である。1つはカロチノイドの分析から、もう1つはフィコシアニンの分析からアオコの現存量を推定した。

1) カロチノイド組成から計測する方法

高等植物や緑藻の光合成色素の主成分は似ているが、他の光合成生物の群はそれぞれ特徴的なカロチノイド組成を持っており、単一種でのカロチノイド組成が決められれば藻類の識別が可能となる。それぞれの属に特有なカロチノイド組成を明らかにするため、微生物系統保存施設の保存株の内、霞ヶ浦に多く出現する緑藻4種、ラン藻4種、ケイ藻2種、黄色ベン毛藻及び褐色ベン毛藻1種ずつのカロチノイド組成を調べた。その結果、それぞれの属に特異的で、かつ培養条件下でクロロフィル色素に対する比が余り変化しないカロチノイドとして以下のカロチノイドを選定し、それぞれのカロチノイドの濃度比を組み合わせることで藻類種の現存量を推定できることが分かった。アナベナ(ラン藻), canthaxanthin; 緑藻, クロロフィル*b*と lutein; クリプトモナス(褐色ベン毛藻), crocoxanthin; ミクロキスティス(ラン藻, アオコの主成分), echinenoneからアナベナ分を差し引く; 黄色ベン毛藻, antheraxanthinから緑藻分を差し引く; ケイ藻, fucoxanthinから黄色ベン毛藻を差し引く、ことにより定量できることが明らかになった(図1)。

霞ヶ浦の高浜入り中央部(St. 3), 湖心(St. 9)及び高浜入り出口(St. 4)における1989年度のアオコの主成分であるミクロキスティスとアナベナの現存量の変化を図2に示す。アナベナは6月

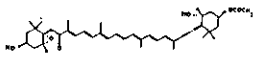
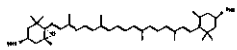
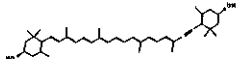
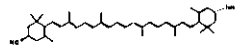
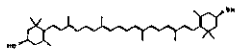
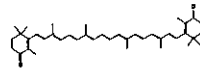
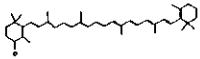
名称	構造式	対象藻類
フコキサンチン (Fucoxanthin)		ケイ藻, 黄色ベン毛藻
アンサラキサンチン (Antheraxanthin)		緑藻, 黄色ベン毛藻
ディアトキサンチン (Diatoxanthin)		ケイ藻, ミクロキスティス
ルテイン (Lutein)		緑藻
ツェアキサンチン (Zeaxanthin)		ミクロキスティス, 緑藻, 黄色ベン毛藻
キャンサキサンチン (Canthaxanthin)		アナベナ
エチネノン (Echinenone)		アナベナ, ミクロキスティス
クロロフィル <i>b</i>		緑藻
クロロフィル <i>a</i>		全部

図1 植物プランクトンの定量に使用したカロチノイドとクロロフィル

初旬から増えはじめ, 7月にピークになり, 8月初旬にはほとんど見られなくなった。ミクロキスティスはアナベナと入れ替わるように7月中旬から急速に増加し, 9月末まで優占した。8月初めと, 9月初めにピークが観測され2山型になった。10~12月にかけてはケイ藻類が優占した。図から明らかなように, カロチノイド組成を定量することによって, 霞ヶ浦に出現する藻類種の変化が明瞭に追跡できた。

2) フィコシアニン濃度から定量する方法

フィコシアニンはフィコピリンタンパク色素の1つであり, 紅藻類, ラン藻類及びある種のクリプト藻にのみ存在し, 細胞中の可溶性タンパクの60%以上を占めるといわれている。フィコシアニンをゲルろ過高速液体クロマトグラフィーを用いて分離し, 高感度な蛍光検出によって定量する方法を開発した。なお, 淡水湖においては紅藻の存在及び夏期におけるクリプト藻のブルームは報告されていないところから, フィコシアニンの量はラン藻類の現存量を表す指標として取り扱うことができる。

フィコピリンタンパク色素の抽出には10 mM リン酸緩衝液(pH 7.0)を用い, 冷暗所において一晩静置抽出した。用いたカラムはTSK SW 3000, 移動相は10 mM リン酸緩衝液, 流速は1 ml/min, 励起波長は605 nm, 蛍光検出波長は638 nmを用いた。

図3にミクロキスティスの培養時におけるフィコシアニンとクロロフィル*a*濃度の関係を示す。フィコシアニンが約2 mg/l, クロロフィル濃度が300 µg/l程度までよい相関関係が見られた。液体クロマトグラフィーで分離すると, 分子量の異なる少なくとも2つのフィコシアニン色

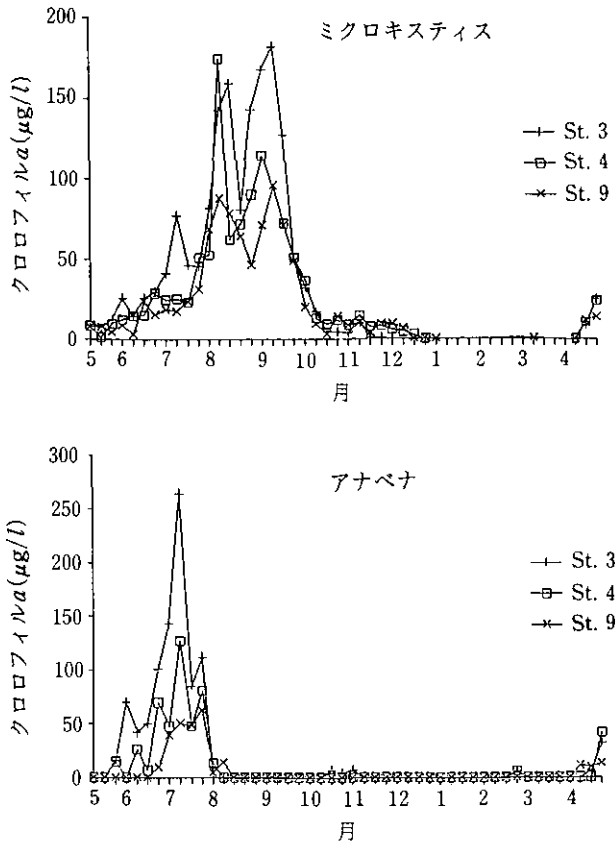


図2 霞ヶ浦高浜入湾央(St. 3), 湖心(St. 9)及びその中間(St. 4)におけるカロチノイドとクロロフィル濃度から求めたマイクロキスティスとアナベナ現存量の季節変化(1989年度)

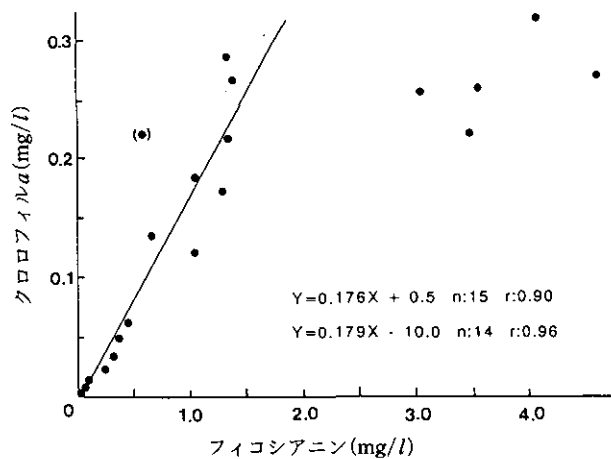


図3 培養したマイクロキスティス中のフィコシアニン濃度とクロロフィルa濃度との関係

素の存在が確認されたが、相関関係が見られなくなったフィコシアニン濃度の高い状態のときには2番目に現れるピークのみが増加した。フィコシアニンが2 mg/l以上の濃度で存在しているときは完全にラン藻のみが優占している状態と考えられた。

図4に屋外実験池における40 μm以上の分画のクロロフィルa濃度の変化と、フィコシアニン濃度の変化を比較して示す。実験開始時には霞ヶ浦より集積アオコを採取し各池へ添加したことから各池ともフィコシアニン濃度が高くなったが、その後P4とP6を除いては顕著な増加は見られず、特にP3では速やかに消滅してしまっ。P3は米ぬかの抽出液を添加しなかった池であり、アオコの増殖に、ある種の有機物の存在が重要であることを示している。40 μm以上の分画

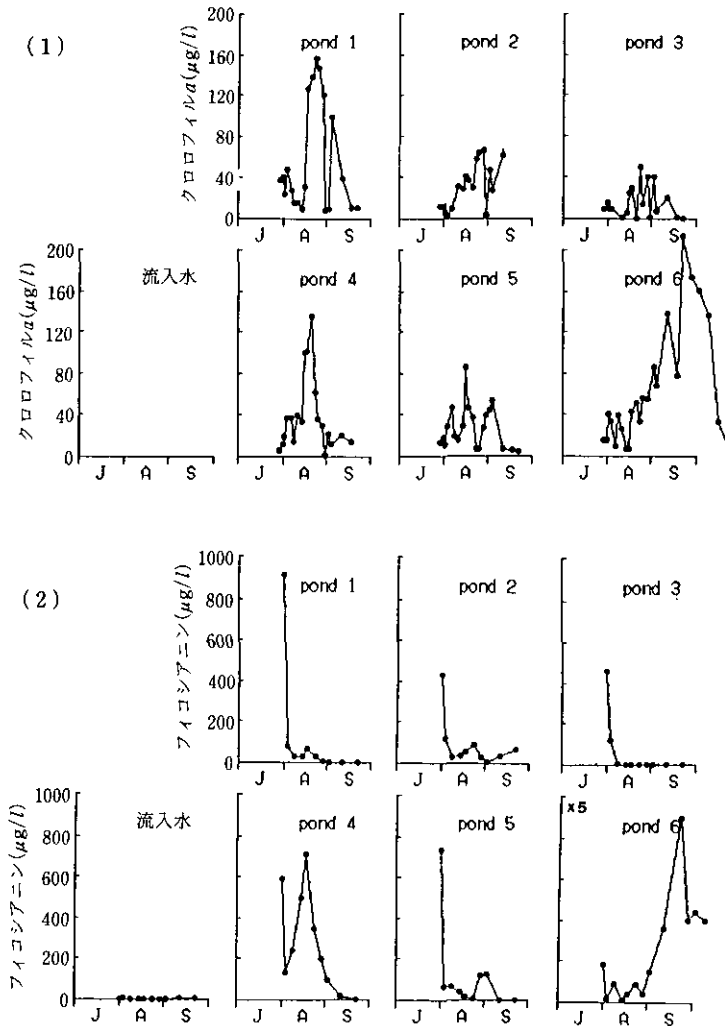


図4 屋外実験池における40 μm以上の分画中のクロロフィルa濃度の経日変化(1)とフィコシアニン濃度の経日変化(2)の比較 (1990年7~10月)

40 μm以上の藻類でもフィコシアニンを持たないアオコ以外の藻類が多いことが分かる。

のクロロフィル *a* は各池とも増殖が見られており、P4とP6ではアオコが主成分であることが分かるが、ほかの池は別の種類の藻類の増殖が起きたことを示している。このように、フィコシアニンの濃度を測定することにより、アオコの挙動を容易に測定できることが明らかとなった。

(3) 水中分光機による藻類現存量の測定

水中における光の減衰は、水自身による吸収、溶存物質による吸収及び懸濁物による吸収や散乱によって生じる。したがって、溶存物質を含めた水による光の吸収を補正することができれば、水中の光の減衰量から、懸濁物質量を推定することが可能である。湖沼における水中懸濁物の多くは植物プランクトンであり、これらは光合成のために各種の色素を持ち、特定の波長の光を吸収する。したがって、水中における光の減衰を波長別に測定できれば、植物プランクトンの現存量の推定が可能であり、また、緑藻、ラン藻、ケイ藻等で特有の吸収波長が存在すれば、これらの藻類の現存量を分別して測定可能となる。本研究では、屋外において藻類現存量を直接的に計測することを目的に、持ち運び可能な水中分光機を開発し、その可能性を検討した。

実験は霞ヶ浦臨湖実験施設の屋外実験池を用い、井水を対照として測定した。図5に藻類現存量変化に伴う吸光曲線の変化を示す。藻類の増殖に伴い430及び678 nm付近に強い吸収が見られた。550 nm付近は比較的吸収が少ないようであった。430 nm付近はポルフィリン環の、678 nm付近はクロロフィル *a* による吸収と考えられた。そこで、678 nmの吸収に着目して水中のクロロフィル *a* 現存量との関係を調べた。その結果相関係数 $r=0.93$ のよい関係が得られた。今後実際の湖沼における解析を積み重ねることによって、現場での藻類現存量の測定が容易に行えるようになると考えられた。

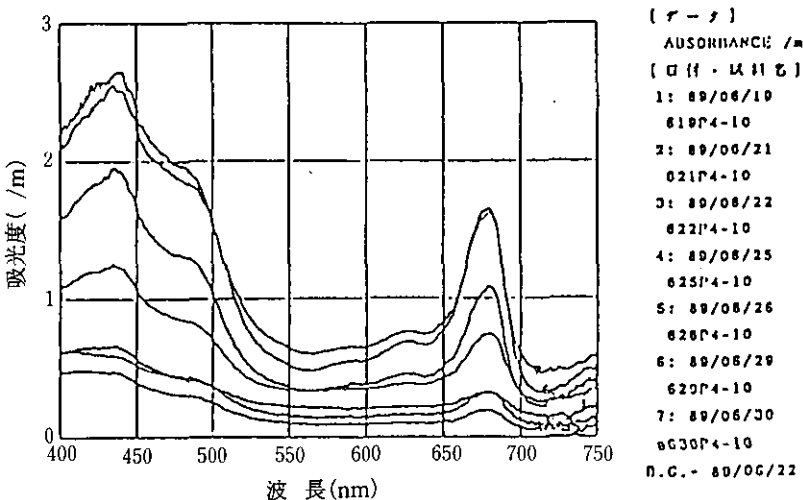


図5 屋外実験池における藻類現存量の変化に伴う水中分光機で測定した吸光度の変化

(4) 流域モデルに関する研究

流域モデルとは、流域からどのように水、物質が発生し、対象水域にどのように流達し、そこでどのような挙動をするかを数学モデルで表現したものである。また、流域の改変や対策によりその流出現象がどのように変わることが評価できるものである。本研究では、米国環境保護庁よりプログラムの提供を受け、HSPF(Hydrological Simulation Program Fortran)モデルの霞ヶ浦流域への適用を試みた。HSPFモデルでは、対象流域の諸特性から推定される約20前後の各種パラメータ、気温・降水量等の気象量の時系列データなどを入力しなければならない。今回は、霞ヶ浦全域に適用する準備段階として、小流域(小桜川の約9 km²流域)における解析を行った。結果の一例を図6に示す。水の流出では、対象領域が急勾配の小流域であることから、表面流出の寄与が大きい結果が得られた。すなわちこのモデルでは、1986年の年間降水量1,400 mmに対し、表面流出152 mm、中間流出5 mm、地下水流出606 mm、遮断による蒸発散170 mm、表層土壌からの蒸発散169 mm、下層土壌からの蒸発散170 mm、地下水層からの蒸発散23 mmとなった。また、SS濃度に関しては、降雨による可搬態の土砂生産速度と表面流出流による移送能力によって決まる方式になっているため、暗天時にはSS濃度がゼロになるなど現状と異なるが、降雨時に

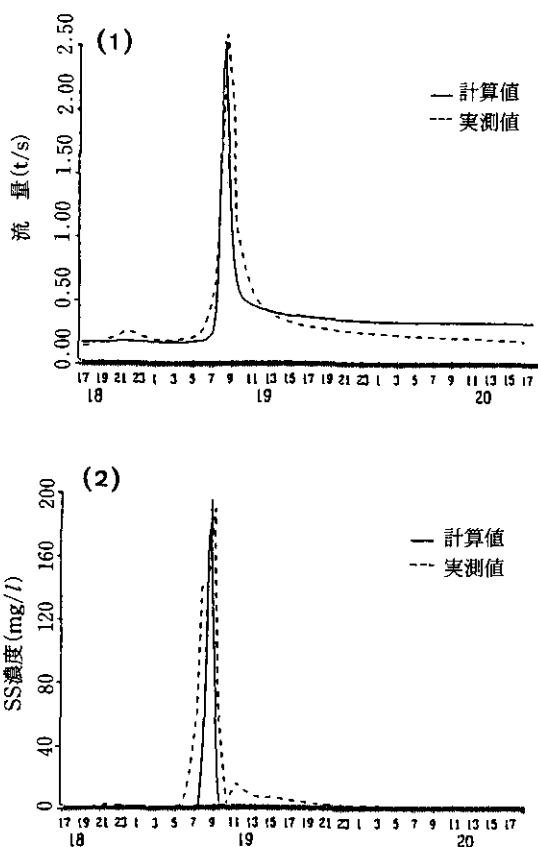


図6 HSPFモデルで解析した恋瀬川の支流の小桜川の流量(1)とSS濃度(2)の計算値と実測値の比較(1986年12月18~20日)

はいくつかのパラメータを調節することによってピーク濃度を合わせることが可能であった。このモデルの日本の風土と合わない点として、水田の表現方法、降水中に含まれる栄養塩の入力方法などいくつかがあり、今後これらの点を改善して、各種対策案の評価に結び付けたい。

(5) 近年の霞ヶ浦の生態系構造変化と水質

霞ヶ浦のここ数年の透明度は冬季に著しく高くなる傾向にあり、1989年1月には湖心で5.3 mを記録した。このような記録は過去には見られない。この原因は動物プランクトン、特にミジンコの著しい繁殖によりその捕食を受けた植物プランクトンの減少によっている。ミジンコの繁殖は、その捕食者である魚類やイサザアミの減少によるもので、特にイサザアミが減少している。これは夏季から秋季にかけて霞ヶ浦の塩分濃度が低下することにより、汽水性のイサザアミ密度が低下したことによっている。しかし、しばしば湖の塩分濃度が増加することがあり、このような年には、イサザアミは冬季に現存量を増加させ、動物プランクトンの密度は低く透明度の上昇する現象は見られない。食物連鎖を考慮に入れた生態系構造の概念図を図7に示した。

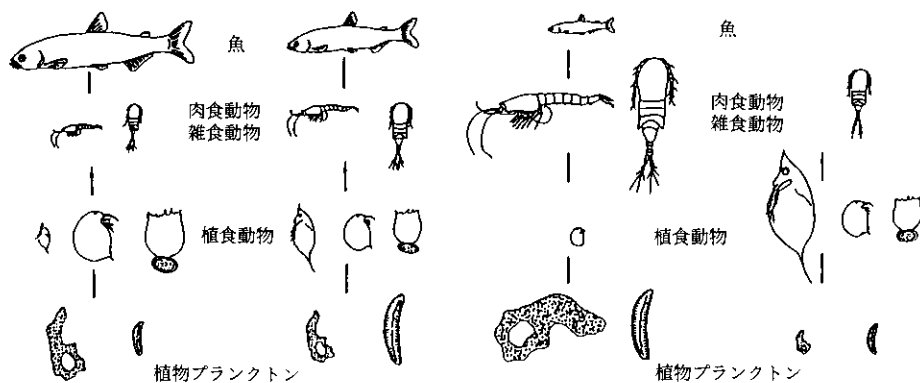


図7 霞ヶ浦で見られる生物相の食物連鎖の概念図
それぞれの生物の大きさは生物量の大小を示している。

2.5 粒子状物質を主体とした大気汚染物質の生体影響評価 に関する実験的研究

昭和 63 年度～平成 4 年度 (1988～1992 年度)

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
上席研究官	三浦 卓
大気影響評価研究チーム	○嵯峨井勝・小林隆弘・安藤 満・市瀬孝道
実験動物開発研究官	高橋 弘
都市環境影響評価研究チーム	高橋慎司

環境健康部

生体機能研究室	高橋勇二・山根一祐
病態機構研究室	藤巻秀和・河越昭子
保健指標研究室	松本 理・山元昭二
環境疫学研究室	田村憲治

化学環境部

化学毒性研究室	白石不二雄
---------	-------

〔研究概要〕

近年の大気汚染の特徴は、従来の硫黄酸化物(SO_x)や降下ばいじんを主体とした汚染と異なり、主に幹線道路沿道を中心とした窒素酸化物(NO_x)及び粒子状物質を主体とする複合汚染であり、特に都市部においては粒子状物質と二酸化窒素(NO₂)の環境基準値達成率が低く、ヒトの健康に及ぼす影響も危ぐされている。

これについては、例えば、中央公害対策審議会・環境保健部会の「大気汚染と健康被害との関係評価に関する専門委員会報告(昭和 61 年 4 月)」においても、「我が国の大気汚染は、鉄道からディーゼル自動車への転換という交通輸送機関の変化などにより、NO₂と大気中粒子状物質が特に注目される物質であり、現在の汚染のレベルでも総体として、気管支ぜん息等の慢性閉塞性肺疾患の発症から増悪に至る過程に影響を与える可能性を否定できない」とし、今後、「これらの点について疫学的調査とともに実験的研究が必要である」と指摘している。また、環境大気に由来する発がんについては、「現時点ではまだ確定的な報告がなされていないと考えられるが、今後予防的観点に立つての様々な留意が必要であろう」と述べ、実験的研究も必要であることを示唆している。

このような状況において、呼吸器疾患の有症率等の疫学的指標と大気汚染物質、特に粒子状物質や NO₂ 等との因果関係を明らかにし、大気汚染物質の健康への影響を総合的に評価し得る研究が必要となっている。このため、本特別研究においては大気汚染物質と健康障害との因果関係を実験的に明らかにすると同時に、両者間の量-反応関係ならびに複合影響等を解析し、健康に及ぼす影響の総合的評価を行い、ヒトの健康維持にかかわる科学的知見の蓄積に努め、併せて行政課題等に役立てることを目的としている。この目的のために以下の 5 つの課題についての研究を行う。

(1) 粒子状物質と二酸化窒素などの複合暴露装置の作製及び暴露条件の検討

1) 動物暴露チャンバーへのディーゼルエンジン排気導入系及び濃度制御系の作製

ディーゼルエンジン排気(以下、ディーゼル排気と略す)の動物暴露チャンバーへの導入に当たり、排気導入系(パイプライン等)の形状によって排気粒子の粒径や粒子濃度が著しく異なる。このため、現実の大気環境中の粒子特性を持った粒子を得るに必要な予備的検討を行い、排気導入系及び濃度制御系の建設に必要な基礎データを得る。

2) ディーゼルエンジンの運転条件の検討

ディーゼル排気の導入・濃度制御系の建設完了後、粒子状物質中の有機成分あるいは金属成分の比率や粒子成分とガス成分の比率等現実大気環境に最も近い排気条件を得るためのエンジンの運転特性(走行回転数、負荷量)の検討を行う。

(2) 粒子状物質と二酸化窒素などの呼吸器疾患との関連に関する研究

1) 気道過敏性及びアレルギー反応に関する研究

硫酸エアロゾルやディーゼル排気がぜん息の典型的症状の一つである気道過敏性を誘起するかどうかを生理、生化学的に検討する。また、抗原抗体反応によるアナフィラキシー反応の気道過敏性に及ぼす影響に関しても同様に検討する。さらに、粘液分泌過多、気道狭窄あるいは気道抵抗性変化等を生化学的及び形態学的に検討し、気道過敏性を亢進させる機構を解析するとともに、影響評価手法の開発に努める。

また、各組織中の肥満細胞や血液中の好塩基球からの脱顆粒反応や免疫反応はアレルギー反応の誘導過程に重要な反応であるので、モルモット、ラット及びマウス等に硫酸エアロゾルやディーゼル排気を暴露し、その後の 1gE 抗体産生能と肥満細胞への影響を検索し、アレルギー反応に及ぼす粒子状物質の影響を明らかにする。さらに、鼻アレルギー反応に及ぼす影響についても生理学的に検討する。

2) 呼吸器系腫瘍発生に関する研究

都市部と農村の肺がんによる死亡率の相違、及びディーゼル排気暴露による発がん実験等から、大気汚染と呼吸器腫瘍との関連が示唆されている。一方近年、肺がん死亡率が増加しており、そのうち腺がんによる死亡率が増加していることなどから、大気汚染だけでなく、食生活に伴う生体内的因子のかかわりも重視されている。

このようなことから、ディーゼル排気の発がんリスク評価を行うと同時に、日本人の食生活の変化の指標としての高脂肪食摂取を例として、呼吸器腫瘍の発生に及ぼす高脂肪食のリスクをも解析し、両者の影響を比較する。さらに、抗酸化性食品の摂取が、ディーゼル排気あるいはディーゼル排気と高脂肪食摂取とによる呼吸器腫瘍のリスクを軽減しうるかどうかを調べ、高脂肪食の呼吸器系腫瘍発生に関するリスク評価を行う。

(3) 粒子状物質と二酸化窒素などの生体影響評価手法に関する研究

1) 末梢リンパ球の DNA 傷害を指標とした影響評価手法の開発

ディーゼル排気粒子中には、*in vitro* で細胞内 DNA に傷害を起こす化合物が多数含まれている。しかしながら、それらがどの程度の暴露量で生体内 DNA に傷害を起こすかは不明である。

ディーゼル排気粒子中に含まれる化合物単体あるいは排気粒子そのものをウサギに短期あるいは長期間投与し、末梢リンパ球の姉妹染色分体交換(SCE)頻度を経時的に分析することにより、ディーゼル排気暴露による *in vivo* での細胞遺伝学的影響を評価する手法の開発を試みる。

2) 指標酵素(AHH)誘導による影響評価手法の開発

現在、ディーゼル排気粒子の影響を鋭敏かつ特異的に検出する指標は開発されていない。AHH 酵素(arylhydrocarbon hydroxylase)は、ディーゼル排気粒子に含まれている多環芳香族炭化水素等の毒性物質によって誘導される。

本研究では、AHH 酵素がディーゼル排気粒子の影響指標酵素として利用可能かどうかを、肺細胞あるいは白血球の培養系(*in vitro*)と実験動物そのもの(*in vivo*)の暴露条件下で検討する。このために、AHH 酵素の活性測定とタンパク質、遺伝子の発現量を免疫組織化学的及び *in situ* ハイブリダイゼーション法を用いて検討する。さらに、生体影響指標酵素として利用可能ならば、これを用いて毒性の影響評価システムを確立する。

3) フリーラジカル産生能による影響評価手法の開発

フリーラジカルは生体に極めて有害に作用し、がん化を始めとする様々な疾病を引き起こすことが知られている。一方、我々はディーゼル排気粒子それ自身が様々なフリーラジカルを生成することを思いだしている。

本研究では、ディーゼル排気粒子が産生するフリーラジカルが肺胞マクロファージやその他の培養細胞に対してどのようなメカニズムで細胞毒性や transformation (細胞レベルでのがん化) 能を示すのかを明らかにする。さらにこの細胞毒性の防止や transformation 阻害作用を有する物質を検索し、生体傷害作用を低減させる方法を考える。この研究を通じて、*in vitro* でディーゼル排気の生体傷害作用に及ぼすフリーラジカルの役割を明らかにする。これと同時に *in vitro* での生体影響の評価法として有効なシステムの開発に努める。

4) 肺傷害にかかわる感受性の動物種差の解析

大気汚染物質に対する感受性は動物の種によって著しく異なる。一方、ヒトの大気汚染物質に対する感受性も個人間で著しく異なることが知られている。しかし、その生理的な原因はほとんど不明のままである。

本研究では、大気汚染物質に対するヒトの感受性の違いにかかわる生理的因子を解析することを目的として、ウズラ、マウス、ハムスター、ラット、モルモットなどの大気汚染物質に対する感受性の相違を生理学的、病理学的及び生化学的に分析し、ヒトの感受性の違いの原因を明らかにする。

(4) 粒子状物質の個人暴露量の推定とリスク評価に関する研究

1) 都市大気 SPM 中有害成分(PAH 等)に占めるディーゼル排気の寄与率の推定

ディーゼル排気成分の中で、ヒトの健康被害へのリスクが高いと考えられる粒子状物質(SPM)とその中の発がん性を有する多環芳香族化合物(PAH)等の濃度を、大都市幹線道路周辺で継続的に調査するとともに、交通量、気象条件などによる濃度変動を把握する。

上記の粒子成分に対するディーゼル車の寄与に関しては、炭素成分や有機化合物や金属成分などの分析から、CMB 法などによりその寄与率を推定する。

2) 幹線道路周辺住民へのディーゼル排気粒子個人暴露量の推定

幹線道路周辺住民のSPM吸入個人暴露量を推定するため、小型サンプラーにより家屋内外の環境濃度を測定するとともに、個人サンプラーによる個人暴露濃度の測定を行う。特に、個人暴露量調査においては、継続的な測定により生活パターンごとの推定法、タバコ煙などのリスクの比較を行う。

(5) 大気汚染による生体影響の総合的評価に関する研究

課題(1)で作製した暴露装置で課題(2)～(3)の吸入実験を行い、得られた結果と、課題(4)で得られた地域住民の現実の暴露量及び文献的研究結果とを合わせて、粒子状物質の生体影響を総合的に評価する。

[研究成果]

(1) 粒子状物質と二酸化窒素などの複合暴露装置の作製と暴露条件の検討

本年度は、粒子状物質の中で組成比率が高く、肺がんやぜん息・気道過敏性などの生体影響が改めて問題となっているディーゼル排気発生装置を完成させた。さらに、粒子成分とガス成分の比率等現実大気環境に最も近い排気条件を得るためのエンジン特性の解析を行った。今後は、ディーゼル排気導入のためのパイプラインの建設(ダクト工事)のみが残されている。

(2) 粒子状物質と二酸化窒素などの呼吸器疾患との関連に関する研究

1) 気道過敏性及びアレルギー反応に関する研究

気道過敏性とは、刺激物質、冷氣などの種々の刺激に対して気道が過敏に反応し、気管支が収縮し、呼吸困難になることであり、この気道過敏性はぜん息の典型的症状の一つである。このようなことから、ぜん息に及ぼす大気汚染物質の作用を検討するうえで、大気汚染物質暴露により気道が過敏になるかどうかを検討することは重要なステップである。

従来、硫酸エアロゾル暴露と気道過敏性との関係を検討した例は非常に少ない。しかも、高濃度短時間暴露に限られているため、ぜん息発症に及ぼす硫酸エアロゾルの影響を評価するのは困難といわざるを得ないのが現状である。

そのため、前年度は、モルモットに 1 mg/m^3 と 3.2 mg/m^3 の硫酸エアロゾルを30日間暴露したところ、ヒスタミンに対する気道反応性は3日目に低下し、14日目には有意に上昇し、30日暴露では、暴露前と差がなくなることを見いだした。 1 mg/m^3 では有意な変化は観察されなかった。この結果は、これまでの報告よりもかなり低い濃度でも、長い期間(14日間)の暴露により気道が過敏になること、さらに長い期間(30日)の暴露により、過敏になった気道が元に戻ることを示した。

本年度は、 0.32 、 1.0 及び 3.2 mg/m^3 の硫酸エアロゾルをモルモットに4週間暴露し、その後抗原として卵白アルブミンを吸入させた場合の即時型アレルギー反応に及ぼす影響を調べた。この結果は、図1に示すように、 0.3 及び 1.0 mg/m^3 の硫酸エアロゾル暴露により、濃度依存的に即時型アレルギー反応は強められたことを示す。しかし、 3.2 mg/m^3 ではむしろ生体機能傷害のせい、アレルギー反応は低下した。

このアレルギー反応は、アレルゲンとしての抗原を吸収し、その抗原刺激により 1 gE 抗体産生系が活性化することにより起こる。前年度は、マウスを 3.2 mg/m^3 の硫酸エアロゾルと 4 ppm

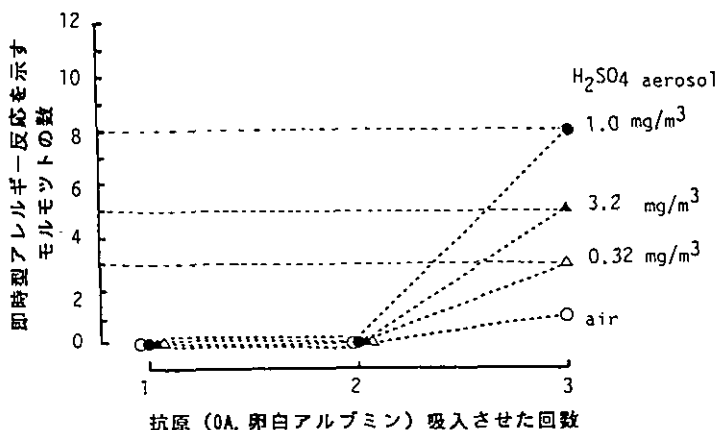


図1 抗原(OA)吸入による即時型アレルギー反応(IAR)に及ぼす硫酸エアロゾルの影響

NO₂に4週間暴露したが、IgE抗体産生に違いは見られなかった。本年度は、モルモットに硫酸エアロゾルを2週間暴露し、抗原(卵白アルブミン)のエアロゾル感作により特異的IgE、IgM抗体産生を誘導したが、有意な変化は認められなかった。

また、アレルギー反応の発現には、IgE抗体とともに肥満細胞²⁾が重要な役割を果たしている。異なる濃度の硫酸エアロゾルを暴露したモルモットの肺から肥満細胞を分離し、抗原刺激、カルシウムイオノフォア刺激により誘導されるヒスタミン遊離の変動を調べ、以下の結果を得た。

0.3 mg/m³の硫酸エアロゾルの2週間暴露では、両刺激により肥満細胞からのヒスタミン遊離の増加傾向が認められたが、有意差は認められなかった。1.0 mg/m³の4週間暴露では、抗原刺激に対しては2週間目に(図2)、イオノフォア刺激に対しては1、2週間目にそれぞれ有意な増加が認められたが、4週間暴露では対照群と差がなかった。3.2 mg/m³の4週間暴露においては、抗原刺激に対して2週間目に有意なヒスタミンの遊離増加が見られたが、4週間暴露では変化は認められなかった。イオノフォア刺激に対しては、1、2週間目では変化がなく、4週間暴露ではむしろ抑制が見られた。

4 ppmNO₂と1.0 mg/m³の硫酸エアロゾルの2週間複合暴露実験を行い、肥満細胞への影響を調べたところ、4 ppmNO₂単独暴露では抗原刺激に対してヒスタミン遊離は見られなかったが、イオノフォア刺激に対しては2週間暴露で有意なヒスタミン遊離の増加が見られた。複合暴露では、抗原刺激、イオノフォア刺激ともに有意な変動は見られなかった。

ディーゼル排気粒子(DEP)のアレルギー反応に及ぼす影響をマウスを用いて調べた。DEPのマウス気管内投与により、血清中の過酸化脂質の上昇に伴って2倍以上のヒスタミンが遊離されることを認めた。このことから、図3に示すように、免疫的刺激を伴わない、いわゆるIgE抗体産生を介さないメカニズムによる気管支収縮が起こる可能性があることが明らかになった。このことは、アレルギー素因がない(IgE抗体価が高くない)のに大気汚染によってぜん息を起こす場合の病態機構を説明し得る可能性を示唆する重要な知見である(平成3年度国立環境研究所研究発表会予稿集参照、平成3年6月5日実施)。

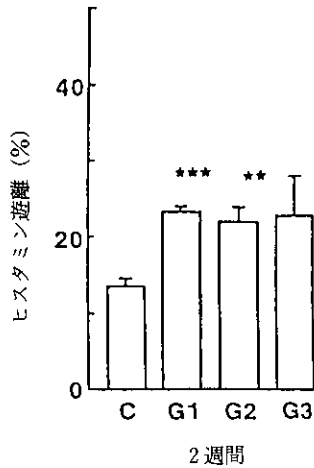


図2 モルモット肺のマスト細胞からの抗原刺激により誘導されたヒスタミン遊離

C: 対照群, G1: 1.0mgH₂SO₄/m³, G2: 3.2mgH₂SO₄/m³, G3: 4ppmNO₂

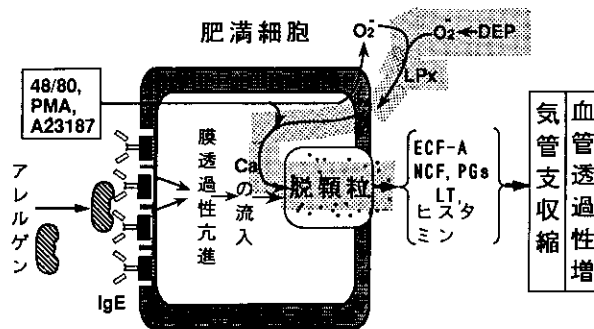


図3 免疫的刺激による気管支収縮のメカニズムと免疫的刺激によらない気管収縮のメカニズム

(2) 呼吸器系腫瘍発生に関する研究

発がん物質投与と大気汚染物質暴露との併用実験による肺腫瘍発生率と発がん物質単独投与による肺腫瘍発生率とを比較することは、大気汚染物質の作用を強調して見ることができるので、極めて重要である。

前年度は、あらかじめ発がん物質を投与したラットに NO₂ を 17 か月間単独暴露すると、4 ppm 群で肺に腫瘍が生じ、0.4 ppm 群では全くできなかったことを報告した。本年度は、昭和 63 年 7 月に、0.5 g/kg の DHPN (N-bis(2-hydroxypropyl)nitrosamine) を投与し、その翌日から 0.05 ppm O₃、0.05 ppm O₃ + 0.4 ppm NO₂ 及び 0.4 ppm NO₂ + 1 mg/m³ 硫酸エアロゾルを 13 か月間暴露し、その後 11 か月間清浄飼育室で飼育したラットの呼吸器系腫瘍促進効果の有無を病理学的に検討した。その結果、発がん物質 (0.5 g DHPN/kg B.W.) を 1 回投与しただけの群では腫瘍は全く認められなかったが、0.05 ppm O₃、0.05 ppm O₃ + 0.4 ppm NO₂ 及び 0.4 ppm NO₂ + 1 mg/m³ 硫

酸エアロゾル暴露群では各々36匹中に3, 5及び3匹の腫瘍動物が認められ, 悪性腫瘍動物も各々2, 1及び1匹ずつ認められた。これらの結果から, 0.05 ppmO₃あるいは1 mg/m³硫酸エアロゾルはNO₂との複合暴露により腫瘍促進効果を持つことが示唆された。

(3) 粒子状物質と二酸化窒素などの生体影響評価手法に関する研究

1) 抹消リンパ球のDNA傷害を指標とした影響評価手法の開発

ディーゼル排気中に含まれる1-nitropyrene(1-NP)をウサギの腹腔に毎週1回ずつ, 8回投与し, 14週目までの抹消血中リンパ球の姉妹染色分体(SCE)頻度を調べた。5 µg/kg.B.W.の1-NP投与でSCE頻度は1.3倍に有意に増加したが, 1.0 µgあるいは0.5 µg/kg.B.W.の1-NPでは有意な変化はなかった。

従来の報告では, マウスにベンズピレン(BaP)を100 mg/kg. B.W.投与でSCE頻度が上昇するとする報告があるが, 1-NPは比較的低い濃度でもDNA傷害を起こす。今後はディーゼル排気粒子の影響を検討する。

2) 指標酵素(AHH)誘導による影響評価手法の開発

担当者が留学中のため本年度は保留された。

3) フリーラジカル産生能による影響評価手法の開発

先に肺胞マクロファージがディーゼル排気粒子(DEP)を貪食して, 多量のスーパーオキシド(O₂⁻)を産生すること, またDEPからヒドロキシラジカル(•OH)が生じDNA傷害を起こすことを見だし報告した。

本年度は, DEPによる呼吸器の傷害メカニズムを解析する一環として, DEPが肺の中でフリーラジカルを発生させ, 肺傷害を起こすかどうかを調べた。0.9 mgのDEPを気管内投与すると, ICR系マウスは肺水腫を起こして, 100%死亡した。このとき, あらかじめ, 尾静脈からO₂⁻を代謝する酵素のSODを投与しておくと, 死亡率は著しく低下することを見いだした。このことから, DEPは肺に入ってから, O₂⁻を産生し, このO₂⁻が血管内皮細胞を傷害して, 血管から血液水分が肺に漏れでて, 肺水腫を起こしていることを示していることが示唆された。

4) 感受性の動物種差に関する研究

大気汚染物質に対する感受性の個人差の原因を探る研究の一環として, いろいろな系統のマウスにDEPを気管内投与し, 系統間に著しい感受性の差があることを見いだした。NO₂暴露のとき, NO₂に対する感受性はマウスの肺の抗酸化性防御機構の活性とよく相関していた。しかし, DEPに対する結果はNO₂の場合と全く逆になった。すなわち, 肺の抗酸化性防御活性の高いマウスほどDEPによる傷害に弱いという結果が得られた。このことはNO₂の肺傷害メカニズムのそれとは著しく異なることを示唆している。

また, NO₂に対して著しく感受性の高いウズラに体重当たりに換算してマウスの100%致死量と同じ量のDEPを投与しても1匹の死亡例も認められなかった。さらに, げっ歯類でNO₂に最も感受性の高いハムスターでも同じ現象が認められ, 各種の大気汚染物質に対する動物の感受性に大きな違いがあることが判明した。今後, この原因因子を解明することによりDEPの生体影響をより明らかにしたい。

(4) 粒子状物質の個人暴露量の推定とリスク評価に関する研究

幹線道路周辺住民の日常生活におけるSPMとNO₂の個人暴露量を推定する一環として、1990年8月に都内18世帯で連続6日間、家屋内外のSPM濃度、NO₂濃度と各個人暴露濃度を測定し、各濃度間の関連、道路と住宅の距離等について検討した。屋内(居間)と屋外のSPM濃度の相関は2μm以下の粒子で高く、2~10μmの粒子では低く、夏期においては室内SPMは屋外SPMに由来する傾向が強い。SPM、NO₂とも個人暴露濃度は、生活の場である屋内濃度との相関が高かったが、屋外濃度ともよく相関していた(図4)。また、同じ地区における冬期の調査(1990年2月)では、暖房によるNO₂の屋内発生のため、SPMとNO₂濃度の相関はなかったが、今回の調査では、SPMとNO₂濃度の相関が個人暴露、屋外、屋内とも高かった。これらのことから、SPMとNO₂は共通の発生源である自動車排気に由来することが示唆された。

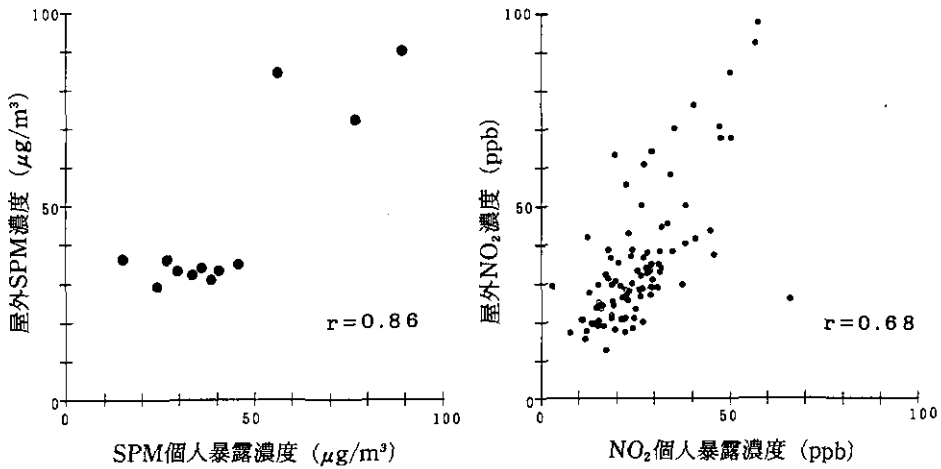


図4 SPM及びNO₂の個人暴露濃度と家屋外濃度(1990年8月)

2.6 広域都市圏における交通公害防止計画策定のための 環境総合評価手法に関する研究

平成元年～3年度（1989～1991年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
交通公害防止研究チーム	○清水 浩・田村正行・森口祐一
都市大気保全研究チーム	上原 清
環境統計手法研究官	松本幸雄
社会環境システム部	
情報解析研究室	安岡善文
客員研究員	7名

〔研究概要〕

大都市圏における自動車公害問題は旧来からの公害事象のうち、未解決でかつ最も深刻な課題として残されている。一方、生活環境の向上に対する要求はかつてない程に強まっており、都市環境においても、より潤いのある街づくりや道路づくりが要請されている。このように、環境や公害に対する要求度と満足度はいずれも向上する方向にある。また、湾岸を中心とした開発などによっても交通公害問題が一層深刻化することが懸念される。

これまでの自動車公害に関する研究やその対策を振り返ると、エンジン自動車を今後も使い続けることを前提とした自動車単体、あるいは道路ごとの局地的で個別の問題に目が向けられていた。しかし、今後より深刻化が予想される交通公害の解決を前進させるためには、領域的には局地と広域の関連を明らかにし、事象に関しても大気汚染、騒音及びアメニティを総合的な見地から、把握することが必要である。また、自動車公害問題の解決の観点からは、多様に存在する対応策とその数多い組み合わせの中から最適のものを選択し、環境と調和のとれた交通計画を策定して行くための手法を開発することが重要である。

本特別研究では、このように深刻な自動車公害問題に対応するために、広域都市圏における交通公害を総合的に評価するための手法を開発するものであり、以下に示す4つの研究課題に従って研究を進めている。

(1) 交通公害の個別事象の計測とモデル化に関する研究

本特別研究の最も基礎となる、交通公害の個別事象の計測とモデル化の研究を行う。ここでは、風洞実験、実測調査、数値シミュレーション等の手段を用いて、大気汚染、騒音、アメニティ要因の各サブモデルを開発する。

(2) 広域都市圏における自動車交通の環境影響の総合評価モデルの開発に関する研究

課題(1)により開発された各サブモデルを用いて、広域都市圏の交通公害の現状把握を行うとともに、各種対策の効果及び大規模開発等に伴う交通条件の変化の環境影響を総合的に評価するためのモデルを開発する。ここでは、大気汚染、騒音、アメニティ要因を総合化する指標と、局

所的な環境状況評価指標を広域的に集約して、都市全体あるいは都市圏全体としての環境状況評価を行うためのモデルを開発する。

(3)交通公害対策及び交通計画の広域的にみた環境調和性の評価に関する研究

さまざまな交通公害対策や交通計画について、課題(2)で開発した総合的評価手法を用いてその環境改善効果を算定するとともに、費用便益や利便性効果等の幅広い視点を含めた評価を行う手法を開発する。

(4)交通公害にかかわる環境総合評価手法開発支援のための情報システム構築に関する研究

課題(1)～(3)における各種のモデル、評価手法開発に必要なデータベース、解析のための共通のソフトウェア等を提供する情報システムを開発する。

これらのうち、初年度及び本年度においては課題(1)の自動車排気ガス拡散予測サブモデル及び騒音伝播予測サブモデルの開発に重点をおき、ほぼ所期の目標に沿って進ちょくしている。一方、本年度はこうした個別の予測手法開発の成果を、最終年度に重点的に行う予定の具体的な交通公害対策案の評価のケーススタディにつなげるための準備期間でもあり、最終成果を念頭におきながら課題(2)及び(3)に着手したところである。

[研究成果]

(1)交通公害の個別事象の計測とモデル化に関する研究

本研究は自動車交通公害の実態の調査及び予測のためのモデル開発を行うものであり、大気汚染、騒音及び景観などのアメニティ要因を対象としている。これらの事象のうちここでは、自動車排気ガスによる沿道の窒素酸化物汚染について、現地調査、数値シミュレーション、風洞模型実験、常時監視データの統計解析などの手法を用いて行った研究成果について報告する。なお、本課題の一環として、3つの府県の地方環境・公害研究所との間で、「沿道局地大気汚染の実態解明と予測手法の開発に関する研究」と題する共同研究を実施した。

数値シミュレーションと風洞実験については、従来行ってきた直交風条件に加え、前年度から着手した道路平行風条件下での予測手法の開発を進めた。直交風時には濃度予測対象地点近傍の限られた区間の道路からの寄与を考慮すればよいのに対し、平行風時には風上遠方の道路からの寄与を考慮する必要があることから、数値計算法及び風洞実験法の双方において所要の改良を行った上で研究を進めた。まず、予測対象地点に対する風上距離帯別の発生源寄与について調べ、どの程度の距離までさかのぼって計算、実験を行う必要があるかを検討し、併せて、各距離帯別の寄与濃度について、風洞実験と数値計算の結果の比較を行った。風洞模型実験で長さ1mのトレーサーガス発生源を評価点から風上方向に向かって8本設定し、評価点から0～1m、1～2m、2～4m、4～8mの4つの区間の発生源について、寄与濃度を道路に直交する鉛直断面の分布として求め、これを同じ条件に対する数値計算結果と比較した。図1は横軸に実験結果、縦軸に数値計算結果をとったもので、図中の1～4の数字で示された発生源の区間のすべてについて、両者の結果はよく一致している。さらに、平行風の条件で、道路構造及び沿道の建物の高さや密度を変化させた模型拡散実験を実施し、道路沿道の建物の密度が高いほど後背地への拡散が抑制され道路近傍に高濃度を生じること、平面と高架との二層構造では、高架構造物が平面道路からの排気ガス拡散に影響を与えていることなどを見いだした。

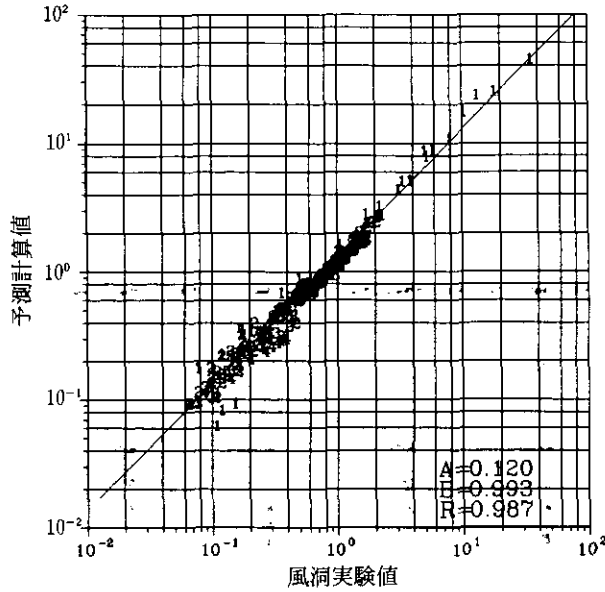


図1 道路平行風条件における風洞実験結果と数値計算結果の比較

また、これらと並行して地公研との共同研究制度を活用し、実フィールドでの高濃度汚染現象解明と予測手法の適用を行った。国立環境研究所側では大阪府内及び金沢市内の2か所について1/250の模型を作成して拡散実験を行い、併せて数値シミュレーションを実行した。大阪府内の対象地区は、両側を道路に沿って細長い高層住宅に挟まれた幹線道路沿道である。建物の道路側2~11階の壁面及び歩道上の街路灯の計5地点について濃度分布現地調査が大阪府により行われており、その結果をシミュレーションとの比較に利用した。1週間にわたる30分間1組のデータの中から、調査地点のある建物が風上側となる道路直交風時のデータ31組を選び出し、測定された濃度 C を車種別交通量及び排出係数から推定した NO_x の線源排出強度(Q)と現地で実測された風速(U)とで基準化した値 $C_s = CU/Q$ の平均を求めて、これを二次元数値計算モデルによるシミュレーション結果と比較した。図2に示すように、基準化濃度で見た5地点の濃度プロファイルはよく一致している。また、風洞実験及び数値シミュレーションの結果から、ビルの谷間の風上側に高濃度を生じるストリートキャニオン現象特有の濃度分布が再現された。写真に示した金沢市内中心部の交差点を対象に行った模型実験及び数値シミュレーションでは、交差点の風上側に立地する大型の商業ビルの背後への気流の回り込みが、この周辺の濃度分布に大きな影響を与えており、ここに位置する自動車排出ガス常時監視局で観測された高濃度汚染を定性的によく説明できる要因であることが明らかにされた。

さらに、石川県及び兵庫県との共同研究として常時監視データの統計処理による沿道 NO_2 高濃度発生要因の解析を行い、春季に濃度が上昇するオキシダントにより沿道で NO が酸化されて生成される NO_2 が大きな要因であることを見いだした。このメカニズムは関東地方について報告されてきた初冬季の大気安定成層による高濃度汚染と全く異なるものであり、対策を講じる上でも新たな対応を迫られる問題である。

一方、道路沿道における窒素酸化物濃度の空間変動と日変動の実態を調査するため、汚染の進行した東京都内の幹線道路交差点周辺の歩車道境界の数10地点において、ディフュージョンサン

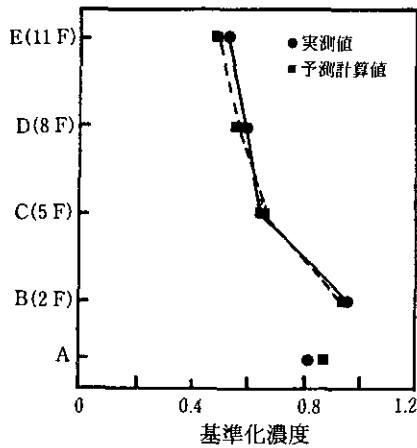


図2 基準化濃度の鉛直プロファイルの比較

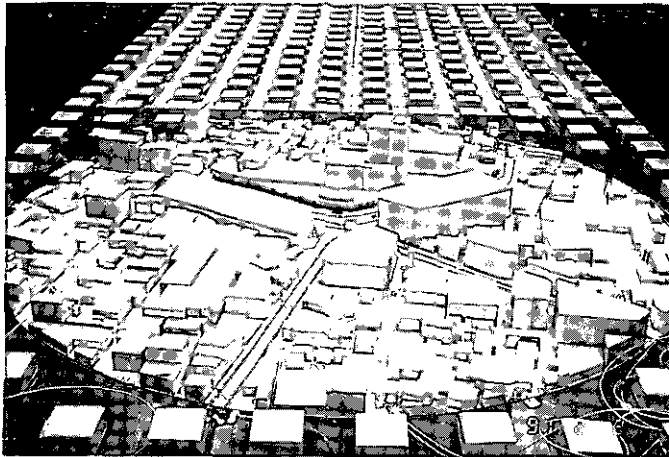


写真 金沢市内の交差点実験模型

ブローを利用した NO_x 測定法である PTIO 法を用いて 1 週間の濃度実測調査を行い、その結果を解析した。期間平均濃度で見た地点間の二酸化窒素濃度の変動は数 10% であったが、一酸化窒素を加えた窒素酸化物では 100% 以上に達しており、総体として見た自動車排ガスの寄与の地点間の差異は、二酸化窒素濃度の変動に比べてかなり大きいことが示唆された。また、日変動と空間変動についての分散分析から、窒素酸化物濃度については両者が同オーダーであること、二酸化窒素については日変動が空間変動に卓越することが明らかにされた。

こうした一連の研究により、沿道における自動車排ガス拡散が道路構造や沿道構造に大きく影響され、空間的な濃度の変動が大きいこと、数値シミュレーション及び風洞模型実験をその予測手法として適用できること、二酸化窒素の高濃度出現には、拡散以外にオキシダント等との化学反応が大きな影響を与えていることが裏付けられた。残された課題としては、常時監視データの解析によって化学反応の影響をより定量的に把握し、他方、沿道での拡散予測モデルに反応モデルを組み入れて、両者の成果をまとめた沿道 NO_2 予測モデルを構築することがある。

(2) 広域都市圏における自動車交通の環境影響の総合評価モデルの開発に関する研究

沿道の高濃度 NO_x 汚染対策を中心に具体的な対策メニューを取り上げ、目的とする対策自身としての効果、騒音や景観など他の環境要素に与える影響、対策を実施する地域以外に対する波及的な影響などを抽出・整理し、これらをどのように総合評価するかについての基礎的な検討を行った。地域間のトレードオフを生じる可能性のある事例としては、①局地汚染地域に対する時間帯別、車種別走行規制を行うとその地域の汚染は改善できても他の代替路線の汚染が進む、②バイパスや環状道路の整備による交通の円滑化は NO_x 排出係数を下げる一方、新たな交通を誘発し、汚染排出総量を増加させる、③緩衝建物の整備は建物背後の濃度を低下させる反面、道路に面した側では拡散が阻害されて濃度が高くなる、などがあげられた。また、事象間のトレードオフを生じる可能性がある事例としては、①高架構造の採用や換気・浄化施設の設置は汚染を低減させるが景観阻害、電波障害等を引き起こす、②環境施設帯の整備は大気汚染、騒音を低減させるが、道路幅が広がるため、地域分断を促進する、などがあげられた。一方、複数の事象に対して効果があるものとして、①防音壁の設置は遮音だけでなく、見掛けの発生源位置が高くなることにより沿道濃度を低下させる効果がある場合がある、②地下構造やシェルター構造など、道路を隔離する対策は大気汚染、騒音の両方に効果がある、といった事例があげられた。

こうした整理の結果、各種の対策が、複数の事象に対して効果をあげるか、事象間にトレードオフを生じるかは、その対策が自動車交通が生活環境に影響するまでのどの過程の制御を目的とするものであるかに大きく依存していることが明らかにされた。

一方、従来の沿道・広域大気汚染、騒音・振動、景観、地域分断といった面からの評価に加え、地球温暖化に代表される地球環境問題とのかかわりを視野に入れる必要が認識された。とりわけ、二酸化炭素排出量の評価が当面の課題であるが、環境影響の総合評価の中に取り入れるか、あるいは課題(3)の環境調和性評価の中で地域環境への影響とは独立して取り扱うべきかについてはさらに検討を進める必要がある。

(3) 交通公害対策及び交通計画の広域的に見た環境調和性の評価に関する研究

最終年度に実施する評価のケーススタディの対象とすべき代表的な対策メニューをリストアップした。これまでにあげられた候補としては、①地域を限定した自動車交通総量の削減、②環状道路の整備、③貨物輸送の軌道系交通への大量転換、④電気自動車など低公害車の大量導入、⑤局地大気汚染低減のための対策がある。

このうち、⑤局地大気汚染低減のための具体的対策手法として沿道排気装置について検討した。沿道排気装置は沿道の高濃度汚染気体を上空高く拡散させるために考案された装置である。この装置は図3のように、道路の上にシェルターのような覆いをかぶせ、かつ、その上に高い煙突を取り付けるものである。この煙突として、従来のように鉄製のものやコンクリート製のものとする、重量が極めて重くなるため実用的でない。この問題を解決するため、ここで提案した沿道排気装置では煙突の筒の材料として合成樹脂を用いる。合成樹脂でできた筒は一般には重力に対して形状を支えることができないが、なんらかの方法でこれを支持すれば非常に軽い材料で高い煙突を実現することができる。その具体的な方法として、係留気球を利用する方法(係留気球法)、煙突の先端を細く絞り、内部に高圧の排煙を通すことにより筒の内外に圧力差を作りその力で形状を保持する方法(絞り法)、合成樹脂で作った両端を閉じたパイプに気体を詰めることによりパイプの形を保った上で、このパイプを煙突の壁面の一部とする方法(内圧法)の3種類を考案した。これらの方法で直径2m、高さ100mの煙突を作るとき、煙突の筒の重さはそれぞれ66, 80, 100

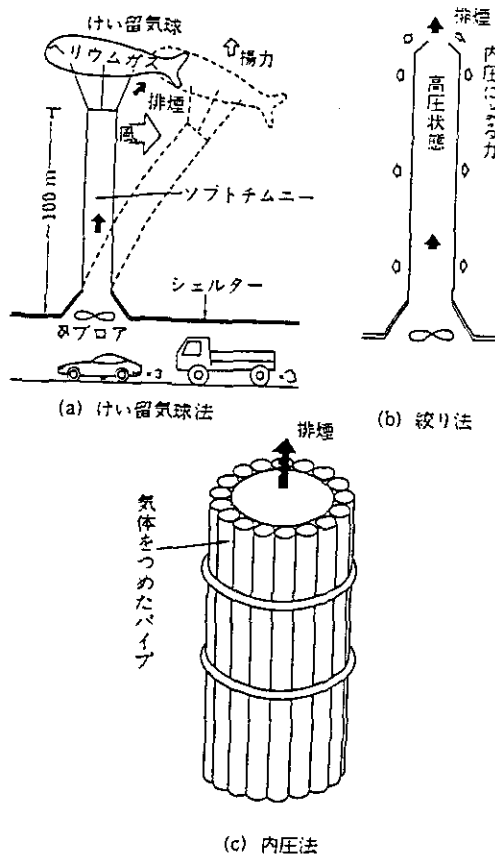


図3 沿道排気装置の概要

kgにすぎず、これを例え道路の交差点の上に立てたとしても問題はない。

一方、先にあげた対策メニューの環境改善効果の評価には、排気ガス拡散や騒音伝播など、環境に係る事象そのものに関する予測モデルに加え、交通量の配分モデルなど、事象の予測の前提となるモデルが必要である。この点に関しては、課題(4)の支援情報システムの開発と連携して、評価の基本フレームを設計し、ゾーン別発生集中交通需要を前提とした交通量配分モデルを予測の前提として採用することとした。

(4) 交通公害にかかわる環境総合評価手法開発支援のための情報システム構築に関する研究

最終年度に行う予定の具体的な対策評価のケーススタディの対象として、首都圏をとりあげることとし、道路データベース、交通流シミュレーションモデル、環境影響評価モデルなどを含む支援情報システムの全体設計を行った。また、都心から東京外郭環状道路予定路線までの範囲について、道路位置、道路属性、交通量のデータベースの整備及び交通流シミュレーションに用いる道路ネットワーク構造データの整備に着手した。また、こうしたデータの地理的取り扱いを効率化する地理情報システムについて、技術動向の調査を行った。

2.7 大都市圏における環境ストレスと健康に係る環境保健 モニタリング手法の開発に関する研究

昭和 63 年度～平成 3 年度 (1988～1991 年度)

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

都市環境影響評価研究チーム	○兜 真徳・新田裕史・影山隆之
交通公害防止研究チーム	田村正行
実験動物開発研究官	高橋 弘
環境統計手法研究官	松本幸雄
環境健康部	
部 長	村上正孝
環境疫学研究室	小野雅司
保健指標研究室	遠山千春・三森文行
社会環境システム部	
環境計画研究室	大井 紘・近藤美則
情報解析研究室	須賀伸介

〔研究概要〕

昨今の環境問題は、従来の急速な工業化に伴ういわゆる「産業型」から「都市生活型」になってきている。すなわち、産業側の主要な汚染発生源に対する対策が効を奏し、代わって自動車などの移動発生源による騒音・大気汚染、近隣騒音などが環境保健の主要な問題となってきている。このような環境汚染の低濃度化・多様化の方向の状況に対応して、住民の意識、苦情、健康影響も多様化している。すでに高密度に活発な経済活動が行われている東京圏等の大都市圏では、二酸化窒素 (NO₂)、浮遊粒子状物質 (SPM) による大気汚染、自動車騒音等に係る環境の改善が遅れており、依然として、居住者の健康影響に関する訴え、苦情が後を絶たない。今後の大都市圏の再開発の動向等を勘案すると、その居住環境をめぐる状況は一段と厳しくなることが予測される。このような複合的な環境汚染による健康影響の評価方法を確立し、また長期的な監視の方策を見いだすことが、今日的な環境保健管理上の課題でもある。

本特別研究では、東京大都市圏人口を対象として、環境汚染への複合的暴露の具体的実態の把握及び精神的ストレスを含む健康影響の評価法を確立し、さらに、これらの手法を用いた長期的監視システムの構築に関する基礎的検討を加えることを目的とする。

上記目的を達成するために、全体計画は以下の 4 種の研究課題から構成されている。

- (1) 大都市住民の環境汚染への複合的暴露状況と住民意識に関する研究
- (2) 大都市居住に伴う精神・心理的ストレスとその健康影響評価に関する研究
- (3) 大都市居住に伴う大気中汚染物質とその健康影響評価に関する研究
- (4) 大都市住民の環境汚染暴露と健康影響評価にかかわる環境保健モニタリング手法の開発に関する研究

以上において、課題(1)、(2)及び(3)では、代表的 4 地域(都心部、商業地域、工業地域及び住宅地域)を対象とした調査を実施し、騒音及び大気汚染物質等の地域及び個人レベルでの複合的

暴露実態の把握と、騒音・大気汚染への個人暴露レベルに対する住民の意識構造及び健康影響(苦情, 不眠症, ストレス, 呼吸器症状等)を検討する。さらに, 大気汚染暴露に関しては, 地域の汚染レベルのデータから個人暴露量を推定することの妥当性を検討する。課題(4)では, 課題(1)~(3)の調査地域を含む大都市圏について, 行政地域別の健康情報(疾病・死亡等), 環境汚染情報(騒音・大気汚染), さらにその他社会・経済等の地域特性情報をもとに地域類型化を行い, 調査対象とした4地域の代表性を検証する。その結果を踏まえ, 類型化された地域別に性, 年齢, 職業などの属性別人口ごとの暴露状況を推定し, 地域住民の環境汚染による健康影響を考慮して, 従来の科学的判断規準との比較検討を含めた健康影響評価を試みる。最後に, これら一連の調査・データ解析等を通じて, 環境汚染の状況及び地域人口集団の健康像の関連性を長期的に監視していくためのモニタリング手法を検討する。

〔研究成果〕

(1) 大都市住民の環境汚染への複合的暴露状況と住民意識に関する研究

1) 大気汚染の地域レベルと個人暴露レベルとの関連に関する研究

都市人口集団の大気汚染への暴露状況に関する基本的情報を得る目的で, 東京都内に3調査対象地区を設定し, NO₂ と SPM について個人暴露及び生活空間の濃度分布調査を実施してきたが, ここでは以下の1地域についてのみ示す。対象地域(I区: 商業地域)は, 都内有数の排出量を持つ環状7号線, 中山道(二層構造)を主たる排出源とし, 一般環境常時監視局を含む3×4 km 四方の領域で, (A): 沿道(0~30 m), 道路との間に障害物なし, (B): 沿道(0~30 m), 障害物あり, (C): 中間(50~100 m), (D): 後背(200~400 m), の4地区において地域(屋外)・家屋内・個人暴露濃度の測定を行った。同時に, これらの世帯を含む領域内の屋外で, (E): 「約1 km 間隔で幹線道路の影響を受けないメッシュ地点」で測定した。以下に示す SPM 濃度は小型サンブラーによる2日平均値, NO₂ 濃度はフィルターバッチによる日平均値である。

地域濃度に関しては, NO₂, SPM とも日間変動(日効果)が地点間変動(地点効果)に比べて大きいことが, 再確認された。日平均濃度は風速によく(逆)対応していた。これらの地点における NO₂ と SPM 濃度の相関は, 測定日より異なっていた(表1)。

また, 地点に固有の濃度の高低が1 km 間隔のスケールでも存在することが確認された。さらに, 1 km 以下のスケールの地点間変動が大きく, 幹線道路との距離と位置関係に強く依存していた。中山道からの距離で分類した上記(A)~(D)の各地区について, 中山道の西側と東側に分けて期間内平均値と標準偏差とを図1に示した。すなわち, 日効果除去による残差の減少は, NO₂ の方が SPM に比べて大きかった。また, 幹線道路に関する風上, 風下の違いが濃度の距離減衰に大きく影響していた(NO₂, SPM ともに西側の方が高かったのは期間中に卓越した風が中山道の東側から吹いたためと考えられる)。なお, 地区(E)の変動の大きさは, 地区(C), (D)とほぼ同程度であった。

表1 NO₂ と SPM の相関 (1990年2月, I区内, 42地点)

	NO ₂			SPM		
	1~2日	3~4日	5~6日	1~2日	3~4日	5~6日
SPM (~2μm)	0.82	0.54	0.85			
SPM (2~10μm)	0.59	0.38	0.12	0.30	0.19	0.26

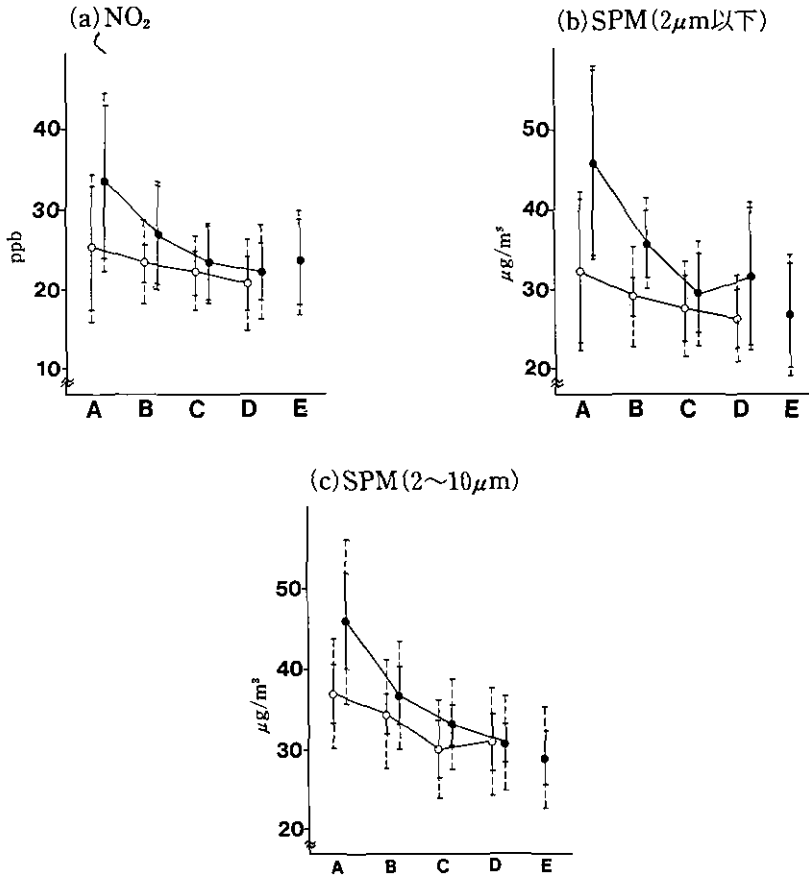


図1 中山道からの距離で分類した地区の期間の平均濃度，標準偏差及び日効果除去後の残差の標準偏差
 ○：期間平均濃度（中山道東側），●：期間平均濃度（中山道西側）
 実線区間：日効果除去後の標準偏差，破線区間：期間内平均の標準偏差

2) 騒音の個人暴露レベルとその規定要因に関する研究

① 個人騒音暴露の24時間連続測定

首都圏の4地区(住居・工業・商業系及び都心)に居住する主婦(計199名)の24時間騒音暴露量測定の結果と、久野ら(1976~1978)による仙台・東京・名古屋での同様の測定データとを、比較検討した。図2は、対象者の睡眠時及び覚醒時の騒音暴露レベル(L_{eq})を求め、地域別に比較したものである。住居地域では終日にわたり、交通騒音によるレベル上昇が認められる。また、商業地区では他地区に比べ、睡眠時のレベルが高い傾向にあった。さらに、睡眠時の騒音暴露レベルと属性・居住条件等との関連を検討したところ、いくつかの要因で有意の関連が認められた。

3) 環境汚染に対する住民の意識調査

大都市住民の近隣公害・都市公害への意識・評価を把握するため、本年度までに行った調査データを解析した。

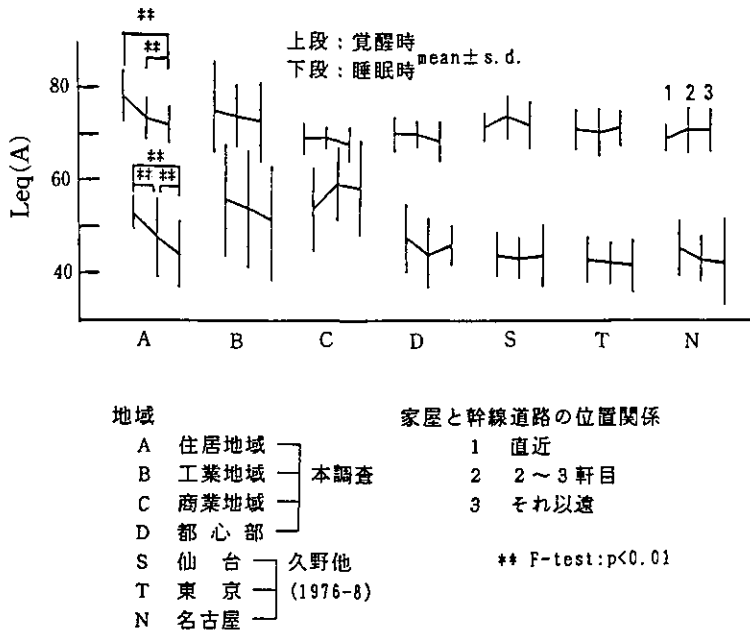


図2 幹線道路と家屋の位置関係別の等価騒音暴露レベル

①申し立て苦情調査

S区(住宅地域)への公害苦情申し立て者と、当該苦情の担当官を対象に、苦情内容の調査を行い、その発生と解決の過程を分析した。a)同一事例でも、迷惑・被害事由や対象者が複数あげられたり、経過が多段階にわたったり、解決手段も多様であったりする。b)住宅地という「場」にふさわしいかどうかで行為の不当性が判断されることがある。c)同じ物理的現象でも、事前挨拶、社会的意味、終了期限の予告などによって、迷惑・被害感は大きく減少する。d)物理的現象以外に、申し立て者と苦情対象者の間に事前に生じていた関係が、苦情発生につながっていると思われる事例が少なくない。e)かなり明瞭に迷惑・被害を及ぼしてきていながら、長い間苦情が発生せず、改善も図られない場合がある。

②都心商業地域の環境意識調査

住民基本台帳に基づいて都心部の住民に調査票を郵送し、身の回りでの迷惑・被害を自由記述してもらった。主な訴えは、夜間道路工事による不眠で、次いで夜間のビル工事、駐車問題、遊興街から出されるゴミ、浮浪者、イヌ、ネコ、カラス、酔漢の行為、悪臭などの訴えが述べられた。幹線道路から20m以内では、これに加えて車による騒音、排気ガス、大気汚染が訴えられるが、前年度報告した住宅地を貫通する幹線道路の沿道ほどには、道路交通公害の訴えが多くはない。得られた回答文を単語に分解してクラスター分析した結果は、表2、3のとおりである。

③住宅地域の幹線沿道住民の迷惑・被害意識の調査

住宅地域の幹線沿道と後背地の住民の意識をクラスター分析によって比較した。沿道では迷惑・被害として、道路、車、交通、騒音、震動、排気ガス及び目前の幹線道路の名称等が、一つのクラスターに集中した。他方、後背地では、近隣の交通問題、近所の人のゴミ出し、一戸建ての街に入り込んでくるマンションの問題、イヌ・ネコ・大きな樹木の問題等が、主要なクラスターとなった。

表2 銀座・日本橋界隈の住人が生活上の迷惑・被害感を表す語
(幹線道路沿道を除く地区の居住者の記述する語)

A	B	C	D	E
水ガ電電ビ騒工道 建震 夜 道ス気話ル音事路 設動	眠日 曜 る日	深仕 方な 音 夜い	駐作 駐排 車 車 場る 車ス	交渋銀 通滯座

F	G	H	I	J	K	L	M
ゴ出 朝店 ミス	考住現間多 え 人家前 るむ在題い 分	自地生 域活	住少 な 民い	町	近 所	悪 夏 い	臭使昼ひ ど中 うう間い

表3 銀座・日本橋界隈の住人が生活上の迷惑・被害感を表す語
(幹線道路沿道の居住者の記述する語)

A	B	C	D
ガ水悪道工 夜 ス道い路事	汚空 多騒排公住 車 気ガ 染気 い音ス害む	困 町 る	駐昭自現公 車通 場り分在共

E	F	G	H	I
駐歩 人 車行	ゴ間 捨 掘通歩地 前て中返 下 る す行道鉄	分使ビ考 か え家 るうる	近建高自 速転 い物路車	うる 音 さい

④高層住宅住民の音環境意識の分析

前年度に引き続き解析を進めた。高層住宅住民では、隣戸と間の音に関する被害感・加害感が主な問題であり、その周辺の一戸建ての住民とは大きく異なっていた。また、上層階では下層階よりも、近くを通る高速道路(上層階から見えやすい)への関心が強かった。

(2)大都市居住に伴う精神・心理的ストレスとその健康影響評価に関する研究

1) 騒音公害苦情の統計的研究

関東地方(1都6県)の176市区で昭和61年度に受け付けた騒音苦情(環境庁特殊公害課)の人口10万当たり発生率を、音源別・自治体別に求めた。人口特性によってこれらの市区を(A)都心部、(B)通勤都市、(C)周辺中小都市に大別すると、この順で苦情の粗発生率が高かった(表4)。他方、それぞれの音発生量にかかわる地域指標と、住民の暴露機会にかかわる人口学的指標の計35変数の情報を自治体別に収集した。ここで、それぞれの音発生量にかかわる指標によって調整した苦情発生率を、3地域間で再度比較すると、一般工場・建設・自動車騒音では、なお人口特性による差異が認められた。また、営業・家庭生活騒音では音発生量と人口特性が密接に重なっているため、統計的には後者の効果を前者から区別し得なかった。いずれにしても以上の音では、

表4 関東地方176市区の音源別の人口当たり年間騒音苦情発生率と地域特性

音源	地域別 ¹⁾ 粗騒音 苦情発生率/10万・年			地域の音発生量に関する指標 (重回帰分析で関連が強いもの)	音発生量 調整時の 地域比較 ¹⁾	説明率 (%)
	A	B	C			
特定工場	28.2	21.3	27.4	第二次産業人口比(%) 工場密度(/km ²) 工業区域人口比(%)	A = B = C	28.9
一般工場	91.4	75.1	28.6	第二次産業人口比(%) 工場密度(/km ²) 工業区域人口比(%)	A = B > C	36.7
特定建設	49.1	7.4	3.0	住宅着工数(km ²) 市建設予算(千/年人) 一戸建住宅数比(%)(-) ²⁾ 住居区域人口比(%)(-) ²⁾	A = B > C	39.8
一般建設	63.2	27.4	7.8	住宅着工数(/km ²) 1人当たり畳数(-) ²⁾ 住居区域人口比(%)(-) ²⁾	A = B > C	42.7
営業	95.6	60.2	27.8	課税対象額(百万/人) 商業区域人口比(%) 住居地域小売店数(/km ²) 小売店年間売上(百万円/店) 第三次産業人口比(%)(-) ²⁾	A = B = C	43.0
家庭生活	44.2	20.4	6.3	住宅着工数(/km ²) 1人当たり畳数(-) ²⁾	A = B = C	31.2
自動車	6.0	3.5	3.9	昼間70dB以上沿道人口(%) ³⁾	A > B > C	7.9

¹⁾ 人口密度と人口の安定性による分類；A：都心部，B：近郊通勤都市，C：周辺中小都市，

²⁾ 回帰係数は負 ³⁾ 環境庁交通公害対策室による推計値

地域の苦情発生率が、音発生量及び高密度居住という地域状況の指標となっていることが確かめられた。他方、特定工場騒音では、苦情発生率は人口特性には関連せず、もっぱら地域の音発生量とのみ相関していた。なお、自動車騒音ではこうした相関がごく弱いことから、住民のストレスの指標として十分なものではないことも指摘された。

2) 都市居住に伴う生活騒音による精神・心理的ストレスの測定のための調査

個人騒音暴露調査を行ったのと同じ4地区において、2,553名の主婦を対象に質問紙調査を実施し、1,154名(45.2%)から有効回答を得た。調査内容は、まず家屋内で「よくきこえる」音とそのうち「迷惑な音」(いずれも複数回答)、さらに後者のうち最も迷惑な音によって具体的にどのような迷惑を被っているか(複数回答)、その音に対してどのような対処行動をとったか、全般的な街の「うるささ」感、などである。

①家屋内で「よくきこえる音」と「迷惑な音」

図3のように、家屋内にいるとき「よくきこえる音」(複数回答)としては、道路交通・隣家のクーラー換気扇・商店飲食店・子どもの声、などが多くあげられた。因子分析によればこれらの音は、「屋外の多様な音」、「屋内の電気機器」、「自動車バイク」(これはほとんどの人に聞こえて

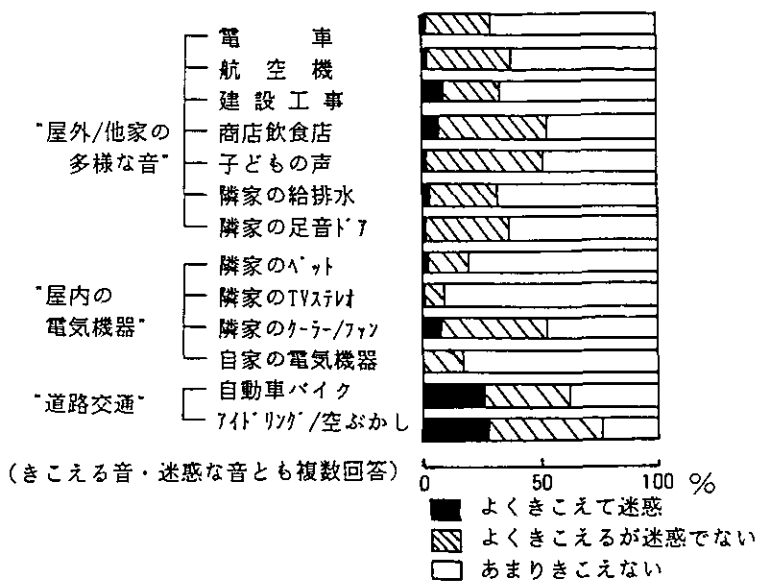


図3 家屋内で「よくきこえる」音

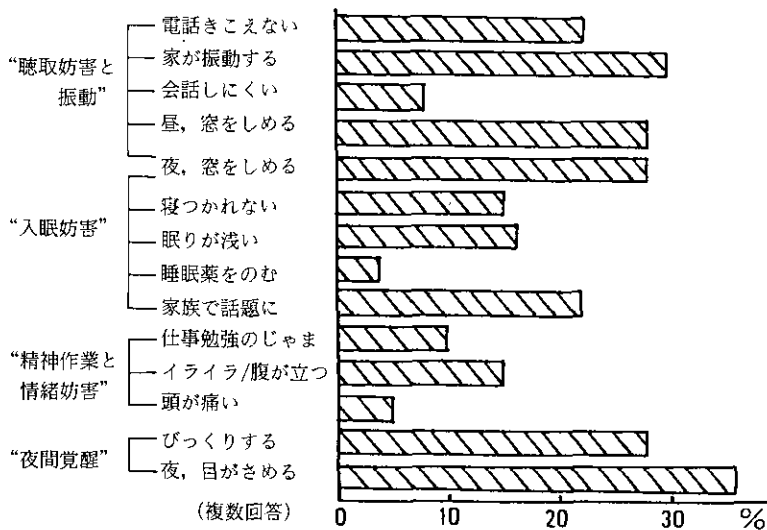


図4 「もっとも迷惑な音」による迷惑の種類別訴え率

いる)の3つの因子に分けられた。また、それぞれの音について「よくきこえる」と答えた人の中で「迷惑」と答えた人の割合を求めると、道路交通や建設工事の音でその割合が高かった。

②騒音による「迷惑感」の内容

①のうち「最も迷惑な音」を1つだけ選んでもらい、それによる迷惑の種類を調べたところ、図4のように夜間覚醒・家屋振動や、窓を閉めねばならないなどの訴えが多かった。迷惑な音の種類別にみると、「自動車・バイクの空ぶかし」では「夜間覚醒」、「自動車の走行音」では「聴取

妨害と振動”，「建設作業音」では“精神作業と情緒妨害”に関連する迷惑の訴えが特に多かった。

③騒音による迷惑感や街の「うるささ」感に関連する要因

②の「最も迷惑な音」に関する上記迷惑の訴え数を点数化して迷惑度スコアとし、これと諸要因との関連を検討した。またこれと別に、住んでいる街の全般的な「うるささ」評価についても、同様に検討した。全般的な街の「うるささ」感は、幹線道路の沿道・窓が木造の家屋・集合住宅・寝室が道路に面する世帯などで強く、職業を持つ女性や不眠感のある人でも強い傾向にあった。また、これらの影響を考慮してもなお、都心部で「うるさい」と評価される傾向にあった。一方、②のような特定の音に対する迷惑感、寝室が道路に面する世帯・幹線道路の沿道・窓が木造の家屋で強いが、不眠感や心身の不定愁訴との関連も認められた。すなわち、騒音による「うるささ」が、個人の属性や生活史などによって修飾されている可能性が示唆された。

④騒音への対処行動

上記の音に関して、これまで何らかの社会的な対処行動(抗議・苦情行動など)をとった経験があるとの回答は、11.4%あった。②で調べた迷惑度が低い場合でも、不眠症状の強い人・職業のある人はこうした行動をとった経験が多く、年齢40歳代では逆の傾向にあった。また、このうち役所に苦情を訴えた経験がある者は、迷惑度の特に高い群を代表していることも示唆された。さらに迷惑な音の種類別に詳しくみると、営業・家庭生活騒音は自動車・工場騒音に比べて相対的に、迷惑度が低くても苦情化しやすい傾向にあった。すなわち、苦情数と住民の被害感との関係は騒音の種類によって異なることが示唆される。

一方、騒音のために“睡眠薬”をのむことがあるとの回答は3.8%あった。この割合は、窓が二重サッシの世帯(防音のため)や、寝室が幹線道路に面する世帯で有意に高く、特に前者では10.9%という高率であった。

3) 生活音の快・不快にかかわる心理・生理学的実験

快・不快音に対する生理反応の個人差について検討するため、以下の2種の実験を行った。

①音刺激に対する指尖容積脈波反応(AEPGR)

音感受性が高いと想定される神経症患者(未治療、未与薬)8名を対象として検討した。その結果、正常者(80名)での減少反応とは逆に、AEPGRはすべて末梢血流量増加反応を呈し、感受性による生理反応の変動が示唆された。

②快・不快音聴取時の脳波

50名の健常若年者を対象に、脳波パワースペクトル(新たに開発した手法)について、頭部の位置(前中後・左右)、疲労感、不眠状態、性格などによる変動の検討を行い、個人内・個人間変動要因の構造に関する基礎的情報を整理した。

4) 内分泌・免疫系機能の個人差に関する生態学的研究

その発生に環境汚染とともに内分泌・免疫系機能等の関与が示唆されている肺ガンについて、それらのリスクに関する基礎的情報を得るため、以下のような検討を行った。沖縄・岩手・秋田・長野の4地域において無作為抽出された40歳代の男子及びその配偶者から採取された血清について、ストレスホルモンであるデヒドロエピアンドロステロン-サルフェート(DHEA-s)及びコルチゾールを定量し、それらのレベルと過去半年以内のストレスフルライフイベント及びストレス関連性格との関連について、統計的に検討した。その結果、DHEA-sレベルのみが一定のストレス関連性格による有意な変動を示した。しかし、この種の横断的研究では、ライフイベントに

よるホルモンの変動は検出しえなかった。免疫機能や発ガン過程への有益な作用が示唆されている DHEA-s のレベルの差異が最も大きい性格構造等について、さらに検討中である。

(3) 大都市居住に伴う大気汚染物質暴露とその健康影響評価に関する研究

1) NO₂ の “population exposure” の予測・評価モデルの構築に関する研究

大気汚染物質のうち、暴露量の測定データが最も蓄積されている NO₂ に関して、population exposure の概念の整理と、それに引き続き予測・評価モデル構築のための各パラメータの検討を実施した。また、SPM については、レセプターモデルを適用するための理論的な問題点を検討し、室内空気汚染をも考慮した寄与率推定を試みている。

2) 沿道大気汚染、呼吸器症状の訴え、精神心理的ストレスの相互関連に関する調査研究

都市居住者の呼吸器症状の訴えと、環境騒音等による精神心理的ストレスとの相互関連を検討するために、東京都 I 区の幹線道路沿道において成人女性約 1,000 名を対象として、ATS-DLD 呼吸器症状標準質問票と、精神心理的ストレスの程度を評価するための質問を組み合わせ、調査を実施した。道路からの距離によって両質問票に対する反応に差が見られるか、またそれぞれの質問票で訴えの程度の高い人々に共通点が存在するか、両質問票の特定の項目で強く相関しているものがあるかなどの検討を加えることによって、沿道住民の健康影響を複合影響の視点から解析している。

(4) 大都市住民の環境汚染暴露と健康影響評価にかかわる環境保健モニタリング手法の開発に関する研究

本研究では、健康現象の地域的変動と環境汚染とのかかわりを長期的に監視するシステムとして、既存のデータを利用した大気汚染と肺ガン(死亡率)等の地域別動向の関連、あるいは騒音と地域別苦情発生状況との関連に特に着目し、課題(1)～(3)の個別の検討を踏まえ、種々の検討を行っている。

これら諸検討は、第 1 回及び第 2 回「環境ストレスシンポジウム」でも報告したように着実に進められてきたが、基本的に解決しきれない問題点も明らかとなった。それは、地域の環境汚染状況、個人の暴露状況、意識・精神心理的ストレス・健康現象の関連性において、①環境汚染状況自体の時間・空間的変動の大きさ、②屋外のみならず室内汚染レベルの高さと多様性、③それら生活空間内での個人の生活行動の多様性、④影響に対する感受性の大きな個人差、⑤肺ガンあるいは精神心理的ストレスとの関連の非特異性、などによって、特に個別事例での因果関係の特定が非常に困難だということである。たとえば、暴露から発症までに 10 年以上の経過が見込まれる肺ガンと大気汚染との関連性を検討する場合などに、それは典型的に示される。したがってこの種のシステムでは、個別事例の次元というより、必然的に地域集団のレベルを対象とせざるをえない。この場合、暴露状況も、影響の出方も、属性別人口の関数として表現されうるが、そうした人口の関数として表現する場合に必要な情報を新たに収集しなければならない場合も出てきた。

本年度は、こうした条件を踏まえつつ、以上のような総合的視点から環境保健モニタリング手法を検討し、また入手可能なデータを加えつつ、最終年度である来年度の計画内容との連携を図った。

2.8 水環境における化学物質の長期暴露による相乗的生態系影響に関する研究

平成元年～5年度（1989～1993年度）

〔研究組織〕 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 ○畠山成久・笠井文絵・花里孝幸

地球環境研究グループ

野生生物保全研究チーム 高村健二

生物圏環境部

生態機構研究室 岩熊敏夫・宮下 衛・野原精一・上野隆平・
多田 満

環境微生物研究室 高村典子

分子生物学研究室 田中 浄・榊 剛

客員研究員 8名，共同研究員 1名

〔研究概要〕

自然生態系は人間の生存や社会生活の快適性を支えるものであるが、環境汚染や開発の影響に常にさらされている。近年、ある面では環境汚染は改善されつつあるものの、社会経済活動の質的量的拡大により複雑多様化している。化学物質による河川や湖沼など水界の汚染も低濃度ながら多種にわたってきているが、それらの環境中での動態や生態影響に関する知見はごく限られた範囲にとどまっている。化学物質の安全性評価作業は経済開発協力機構(OECD)など国際的な課題でもあり、現在または将来使用が予想される化学物質の生態系リスクアセスメントのための研究が急務とされている。

本特別研究では、化学物質では水界生態系に最も広範囲に影響を及ぼしていると考えられる農薬類を主な対象として、その実際の生態影響の評価を行う。一方、各種の実験により、生物間の相互関係に基づく化学物質の生態影響評価に関する知見を集積する。それらのためには、当該化学物質の暴露量の推定と各種生物の化学物質感受性の種間差についてのデータが必須である。また生物種間の相互関係をかく乱する化学物質の影響とその波及効果(二次的影響)の解析も、生態系影響評価には不可欠のデータである。野外調査では河川の農薬汚染状況と水生生物相の相互関係を明らかにする。これらのデータや知見を総合して、化学物質の生態影響評価のクライテリアの確立を目指し、化学物質の影響から水界生態系を保全または回復させることを目的とする。

本特別研究は以下の4つの研究課題を以って行われる。それぞれは相互に関連しているので明確に区分できない面もあるが、各課題ごとに年次計画との関連での研究段階の概要を以下に記す。

(1) 生態系レベルにおける化学物質の相乗的影響に関する研究

農薬類の水生生物に対する暴露量を明らかにするため、各地の河川水について農薬類を高頻度で分析し、それら濃度の季節的変動パターンを明らかにした。これら農薬類の生態毒性を連続的に評価する手法として、農薬類に感受性の高いヌカエビを用いた生物試験を行ってきた。除草剤の生態毒性評価に関しては藻類(セテナストルムなど)の増殖を指標とする試験法を検討した。農

薬類の複合影響はヌカエビを用いた試験法を応用し、環境中の濃度でも致死性の複合影響が現れることを明らかにした。今後、さらに他の水生生物、実験生態系における複合影響試験を目指している。

(2) 生物の化学物質に対する種特異的感受性に関する研究

藻類に関しては、環境中に高濃度、高頻度で検出される除草剤として、シメトリンを選び、各地から単離培養された数多くの藻類株に対して影響試験を行い、藻類の感受性に広範囲な種間差があることを明らかにした。その中の多くの種類は環境中で検出されるシメトリン濃度でも増殖阻害を受けた。同じ種類の藻類でも、採取地点が異なるとシメトリン耐性が異なる系統が明らかにされ、それらの機構の検討が今後なされる。底生生物では農薬汚染河川に優占する水生昆虫について数種の農薬について生物試験を始めている。その中で農薬汚染河川に優占するトビケラなどの水生昆虫は試験した農薬に著しい耐性を有しており、それらの耐性獲得機構や生息条件との関連について今後調査・研究していく。ホタル、トンボ、タガメなど環境生物と呼ばれる水生生物に対しても農薬類の影響試験がなされ、現在使用されている物質のみならず有機塩素系農薬類に対してなど過去にさかのぼっての影響評価も行っている。

(3) 生物種間の相互作用に及ぼす化学物質の影響評価に関する研究

動物プランクトン群集からなる実験生態系(構成種は霞ヶ浦底泥由来)を屋外実験水槽に作製し、生物相互間の作用を介した化学物質の影響評価を行ってきた。動物プランクトンやその捕食者間の相互関係に基づく化学物質の二次的影響に関してはかなり予測できる段階に達した。

一方、一次生産者である藻類、あるいは藻類と動物プランクトン群集の両者が影響を受けた場合の影響評価に関しても一部検討を行い今後さらに明らかにしていく。

動物プランクトンの行動変化に関与した化学物質の影響評価に関しては、測定装置の作製を行い今後実験を行う。

(4) 生態系レベルでの化学物質のリスクアセスメントに関する研究

実際の河川において、水生生物が化学物質(農薬類を対象)によっていかなる影響を受けているかを実証するための調査を行ってきた。河川の生態系は農薬以外にも様々な要因で影響を受けるので評価が難しい。そのため、対照として低農薬または無農薬水田地帯を流れる河川の生物相を下流の農薬散布地帯のそれと綿密に比較し、農薬類の総合的影響評価を行ってきた。今後も別の調査地を選定しさらに検討を行っていく。

[研究成果]

(1) 生態系レベルにおける化学物質の相乗的影響に関する研究

1) 河川水中の農薬類の潜在的生態毒性を評価するため、淡水産ヌカエビを用いて農薬類の毒性の季節的変動をモニターしてきた。本年度は、河川水中に検出された農薬類のデータの整理を行い、それら農薬類の一部について複合影響試験を行った。有機リン系殺虫剤であるスミチオンやフェンチオンは $1\mu\text{g}/\text{l}$ 以下の濃度では高頻度で検出されるため、他の殺虫剤や除草剤との組み合わせでヌカエビに対する急性毒性試験を行った。カーバメイト系殺虫剤のBPMCや数種の除草剤の組み合わせは、それら単独では致死効果を現わさない濃度でも $1\mu\text{g}/\text{l}$ 以下のスミチオンまたはフェンチオンと組み合わせるとヌカエビの死亡率を著しく増大させることが分かった(図1)。

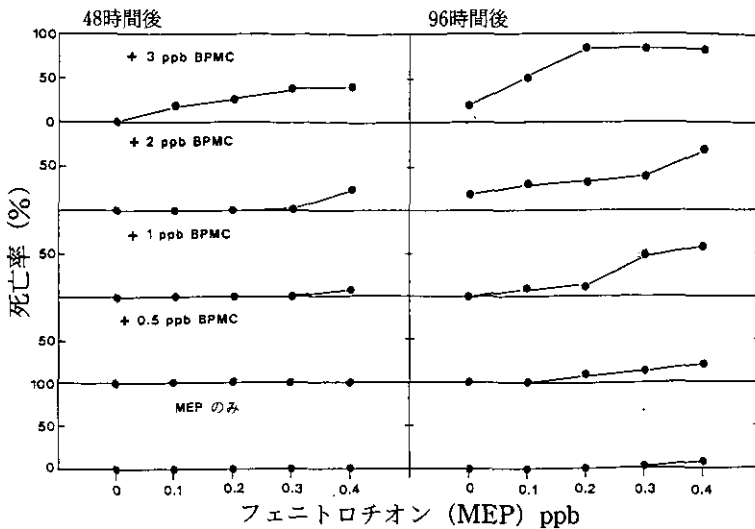


図1 低濃度のフェニトロチオン(0.1~0.4ppb)に複合してヌカエビの死亡率を増大する致死濃度以下のBPMC(カーバメイト系殺虫剤)の効果(48, 96時間後の死亡率)

調査したつくば市近辺の河川水では ppb レベルとはいえ、複数種の農薬類が長期間検出されたため農薬の複合的生態影響の評価がさらに必要とされる。前年度に引き続きヌカエビによる農薬類の潜在的生態毒性のモニターを小貝川の定点で行った。死亡率の季節的変動パターン(平成元年度年報)は同様であったが、河川水の毒性は前年度よりも低かった。これは本年度は降雨が少なく、農薬類の河川への流入量が少なかったためと考えられる。一方、除草剤の藻類への総合毒性を河川水中での藻類(セリナストルム)の増殖面から調査し、除草剤が河川へ流入する時期に増殖が阻害され、その時期に藻類の種組成が変化することが示された。

2) 霞ヶ浦高浜入りの湖水に対してもヌカエビを用いた生物試験と、農薬類の化学分析を行った(1987年, 1989年の湖水について)。湖水においてもヌカエビ死亡率の増減とほぼ一致して数種の殺虫剤(BPMC, ダイアジノン, フェンチオン), またはリンを含有する(ガスクロ FPD で検出)未同定の化学物質が検出されたことから、これらの物質がヌカエビ死亡の原因物質である可能性が高い。

3) 河川における農薬汚染と生物相との関係を明らかにするため数か所の河川で調査を行った。低農薬と農薬散布水田地帯が隣接する河川の調査では、前年度来の砂川水系(山形県高島町)と本年度からは福島県熱塩加納村に調査地区を増やした。低農薬水田地帯の河川生物相は農薬散布地帯のそれに比べ明らかに豊富であったが、その差異がどの程度農薬類によるのかを農薬散布前後の生物相、水生昆虫の農薬(空中散布)による流下、優占種の農薬感受性、ヌカエビを用いた農薬総合毒性の季節変動など(図2)から推定した。砂川では、他の要因(河川形態, 水温差など)も考えられるにせよ、農薬類、特に殺虫剤の空中散布(年4回)による水生生物相に及ぼす影響が極めて大きいことが明らかにされた。

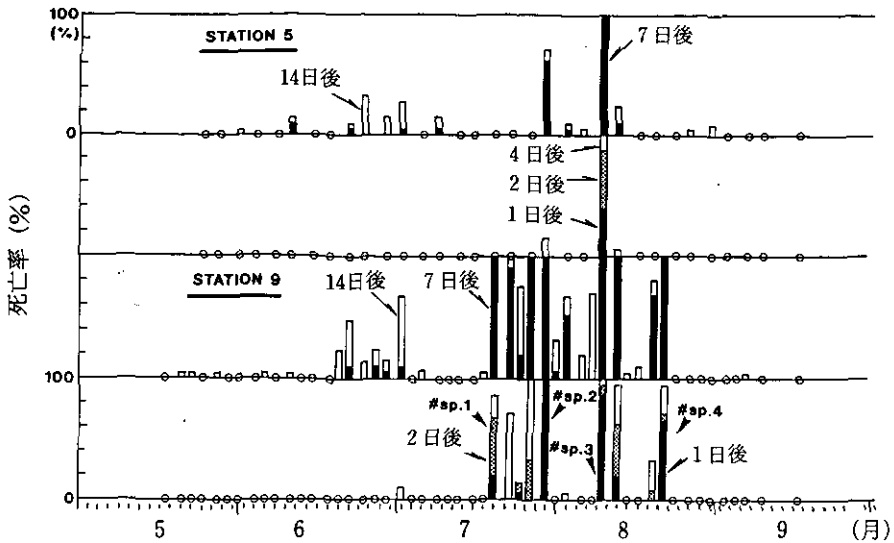


図2 砂川の低農薬地帯 (St. 5) 及び農薬散布地帯 (St. 9, 空中散布年4回) における河川水中でのヌカエビ死亡率の季節変動
 上段: 7, 14日後死亡率, 下段: 1, 2, 4日後死亡率。
 #sp.1: ピリダフェンチオン, #sp.2: フェンチオン, #sp.3: フェンチオン+BPMC, #sp.4: フェンチオンの空中散布 (殺菌剤は省略)

(2) 生物の化学物質に対する種特異的感受性に関する研究

1) 緑藻類, ケイ藻類, ラン藻類など各地から分離した多数の藻類株 (5網6分類群) について, 除草剤シメトリンに対する感受性を調べた。シメトリンを7日間暴露した場合の EC_{50} 値 (藻類の増殖を50%阻害する濃度) と NOEC 値 (増殖を阻害しない最高濃度) の関係を図3に示した。 EC_{50} 値は $6.0 \sim 1,500 \mu\text{g/l}$ と藻類のシメトリンに対する感受性に非常に広範囲な種間差があることが明らかになった。 EC_{50} 値と NOEC 値の相関は高く, 試験に用いた藻類のシメトリンに対する反応がいずれも同様であることが示された。NOEC 値は $0.4 \sim 500 \mu\text{g/l}$ の範囲にあったが, 半数の藻類の NOEC 値は $10 \mu\text{g/l}$ 以下であった。つくば市近辺で調査した河川水中のシメトリン濃度はピーク時には $10 \mu\text{g/l}$ 程度に及ぶことから, 野外でも多くの藻類が除草剤の影響を受けている可能性が高い。これまで試験した各種藻類では, 概して緑藻類ボルボックス目とラン藻類が感受性が高く, ケイ藻類と車軸藻の感受性は比較的lowかった。

ケイ藻類の1種 *Nitzschia palea* は異なる水田から4株分離したが, シメトリンに対する感受性はかなり異なり, このような系統による感受性差は他の分類群にも認められた。藻類の生態影響試験 (OECD など) にはセレナストルムやクロレラの1種が用いられるが, 今回の結果は藻類間の除草剤耐性に著しい差があり, 標準株以外に多くの種を用いた試験が必要であることを示唆する。

2) 農薬汚染河川では底生生物の種数が少なくなり優占種が極めて限られることが, 野外調査から明らかになりつつある。それらの内コガタシマトビケラ (1部は新記載種となる可能性が高い), ウスバヒメガガンボ, サホコカゲロウなどについて殺虫剤 (MEP, MPP, BPMC) 感受性試験を行ったが, 農薬汚染河川から採取された前2種の薬剤耐性は他種よりもかなり高かった。特

に、殺虫剤空散(年4回)地帯の河川(砂川)から採取したシマトビケラの MEP の 24 時間 LC_{50} 値は約 4.4 mg/l と水生昆虫の中では異常に高い耐性を示した。しかし農業非汚染河川から採取したコガタシマトビケラの値は 0.046 mg/l と他の多くの種類の水生昆虫と同レベルであり、害虫のみならず環境生物でも高い薬剤耐性を獲得し得ることが分かった。近辺の河川から採取した 2 種のトビケラの比較においてもコガタシマトビケラの農業耐性が顕著であった(表 1)。

3) 極端に有機汚染が進んだ小河川に優占するセスジユスリカに対する洗剤と殺虫剤の影響を生息密度と流下量の関係から検討した。普段は生息密度と流下量には高い相関が認められたが、特定の調査日に流下量はその相関を大きく上回って増加した。この時期に薬剤散布があったこと、生物試験でヌカエビが死亡したことなどから殺虫剤の影響による流下と考えられる。

4) 指標昆虫タガメに対する農業の影響を調べた結果、有機リン系農業フェニトロチオンやダイアジノン、カーバメイト系農業 BPMC の 96 時間 LC_{50} 値は約 $100 \text{ } \mu\text{g/l}$ 、有機塩素系農業 DDT や BHC では数 $\mu\text{g/l}$ 以下であった。したがって過去に散布された有機塩素系農業がタガメを絶滅の危機に追いやった要因の一つである可能性が高い。また最近水田で使われ始めたピレスロイド様の殺虫剤エトフェンプロックスのタガメに対する 96 時間 LC_{50} 値は約 $0.5 \text{ } \mu\text{g/l}$ と極めて低く、ホタルやアキアカネの幼虫に対する毒性も極めて高いことが分かった。

5) マギレミジンコを用いて殺虫剤(カルバリル, 以下 NAC)の長期及び短期暴露の影響を試験した。長期暴露実験では、NAC $1 \text{ } \mu\text{g/l}$ ではミジンコに対する影響は見られなかったが、 $2 \text{ } \mu\text{g/l}$ ではミジンコの成長や産仔が顕著に低下した。 $3 \text{ } \mu\text{g/l}$ 以上ではすべての個体が 5 齢になる前に死滅した。ミジンコをいろいろな成長段階で $5 \text{ } \mu\text{g/l}$ NAC に暴露(10 時間)した実験では、卵が最も耐性が高く、1 齢仔虫が最も感受性が高いなど成長段階が異なると殺虫剤に対するミジンコの耐性が大きく異なった。同様な結果は、ワムシに対する除草剤のクロルニトルフェン(CNP)の試験でも認められた。動物プランクトン間の薬剤感受性の種間差を比較する場合も成長段階を考慮する必要がある。

(3) 生物種間の相互作用に及ぼす化学物質の影響評価に関する研究

1) 動物プランクトン群集は主としてワムシ類とミジンコ類から成立する。本年度は実験生態系(屋外水槽に霞ヶ浦のプランクトンを基に作製)を用い動物プランクトン群集に対する化学物質(殺虫剤カルバリル)の生態影響に、ミジンコの捕食者(フサカ幼虫)がいかに関与するかを調べた。そのためフサカ幼虫が生息しない系と高い密度で生息する実験生態系を作り、そこにカルバリルを投入した。フサカ幼虫のいない水槽ではミジンコ類が優占していた。薬剤投入後は対照(薬剤を投与しない)の水槽では大型のカプトミジンコが優占し、 $10 \text{ } \mu\text{g/l}$ のカルバリルを連続投入した水槽では中型のオナガミジンコとスカシタマミジンコが増え、 $100 \text{ } \mu\text{g/l}$ のカルバリルを投与した水槽では小型のニセゾウミジンコが優占種となった(図 4)。ミジンコ類において生態系レベルでもカルバリル耐性に種間差が見られ、小型のミジンコがより高い耐性を示す傾向があった。一方、フサカ幼虫が多く生息する水槽ではワムシ類が優占した。これはフサカ幼虫がワムシの餌を介しての競争者であるミジンコ類を捕食し生息密度を低めた結果である。フサカ幼虫の多い水槽では、対照の水槽とカルバリルを $10 \text{ } \mu\text{g/l}$ で連続投入した場合で動物プランクトン群集に顕著な違いは見られなかった。これはカルバリルに感受性の高いミジンコ類が少なく、逆にカルバリル

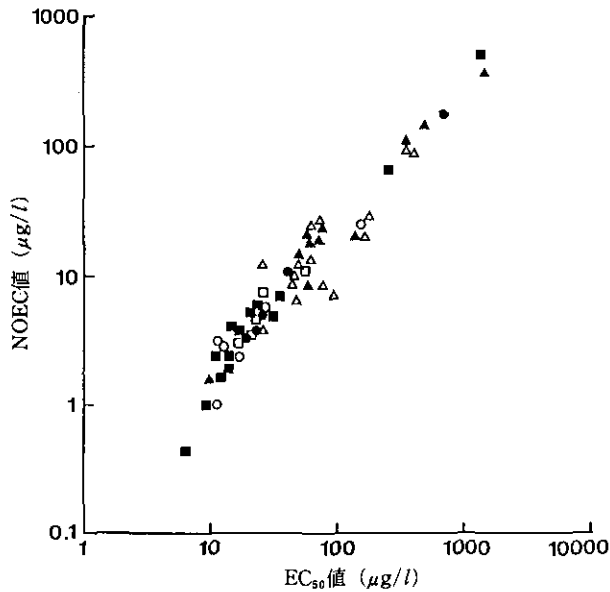


図3 除草剤シメトリンの各種藻類の増殖に対する EC_{50} 値とNOEC値との関係

○：緑藻類ボルボックス目，●：緑藻類クロロコックム目，
△：車軸藻綱接合藻目，▲：ケイ藻綱，□：クリプト藻綱，■：ラン藻綱

表1 殺虫剤・除草剤のトビケラ幼虫に対する48時間半数致死濃度(EC_{50} 値)

生物種	殺虫剤 (ppb)		除草剤 (ppm)	
	MPP	BPMC	CNP	オキサジアゾン
コガタシマトビケラ (梶無川)	540	250	4.74	6.02
コガタシマトビケラ (湊沼川)	330	350	5.20	3.23
コガタシマトビケラ (横浜市)	15.6			
ウルマーシマトビケラ (湊沼川)	8.4	3.3	0.04	0.11

横浜市：農業非汚染地区の河川

耐性の高いワムシ類が優占したことが原因である。結果的には、ミジンコの捕食者としてのフサカ幼虫が動物プランクトン群集構造を抑制し、化学物質に対する生態系の反応を大きく変化させたことが明らかにされた。

2) マギレミジンコは捕食者フサカ幼虫の放出する化学物質に反応して幼体時期に尖頭を形成する(頭の先端がとがる)ことが知られているが、尖頭形成が殺虫剤によっても引き起こされることを明らかにした(図5)。そこで尖頭形成を誘引する殺虫剤の暴露条件を調べた。最もよく尖頭形成が誘引されたのは、ミジンコの胚発生の最終ステージから1齢にかけての時期に殺虫剤を暴露した場合で、しかも殺虫剤暴露条件は比較的高い(有害な)濃度で短時間(10時間程度)であることが分かった。またこの形態変化の誘引に対しては多くの殺虫剤(カーバメイト系及び有機リン系殺

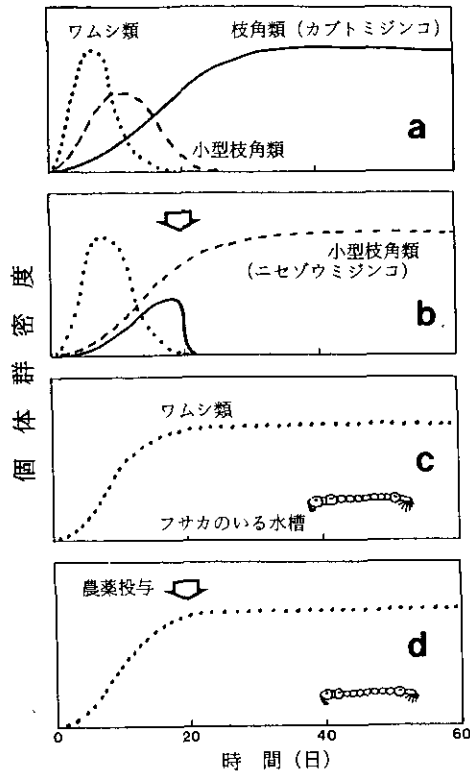


図4 カルバリルを投与した屋外コンクリート水槽での動物プランクトン群集の変動の模式図

a：フサカのいない対照(無処理)水槽，b：カルバリルを投与したフサカのいない水槽，c：フサカの多い対照(無処理)水槽，d：カルバリルを投与したフサカの多い水槽

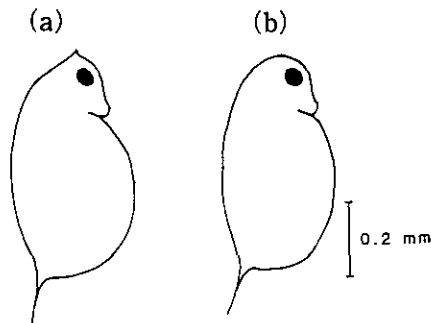


図5 尖頭を形成した2歳のマガレミジンコ(a)と尖頭のない2歳のマガレミジンコ(b)

虫剤)で有効で、除草剤や殺菌剤では効果がなかった。これら殺虫剤は神経伝達系の阻害剤なので、ミジンコの神経系への刺激が尖頭形成を誘引したものと推察された。ミジンコの尖頭形成は捕食者から逃れるのに有効であることが分かっている。殺虫剤がミジンコの形態変化を引き起こすことによって、ミジンコと捕食者の間の関係に影響を与えることが予想される。

3) 殺虫剤(フェンチオン, 以下 MPP)が空中散布(年4回の2回目)された河川(高島町砂川)に流下ネットを設置し、薬剤散布前後における優占種(コガタシマトビケラ(新記載種の可能性が高い)、サホコカゲロウ、ユスリカなど)が受ける影響を昼夜2時間ごとに3日間サンプルを回収して調査した。MPPは最大50 $\mu\text{g}/\text{l}$ まで増加したが、トビケラは全く流下せず(上記の耐性獲得種)、ユスリカは散布後の流下パターンから推測してやや薬剤の影響を受けた(図6)。サホコカゲロウは散布当日薬剤により大量に流下させられたはずであるが(流下パターンの激変から)、流下ネットにはわずかしかなかった(図6)。これは、昼間は礫の間隙に潜んで魚類の捕食から待避していたサホコカゲロウが薬剤の影響で、砂礫の間から泳ぎ出たところを魚類に捕食されたため

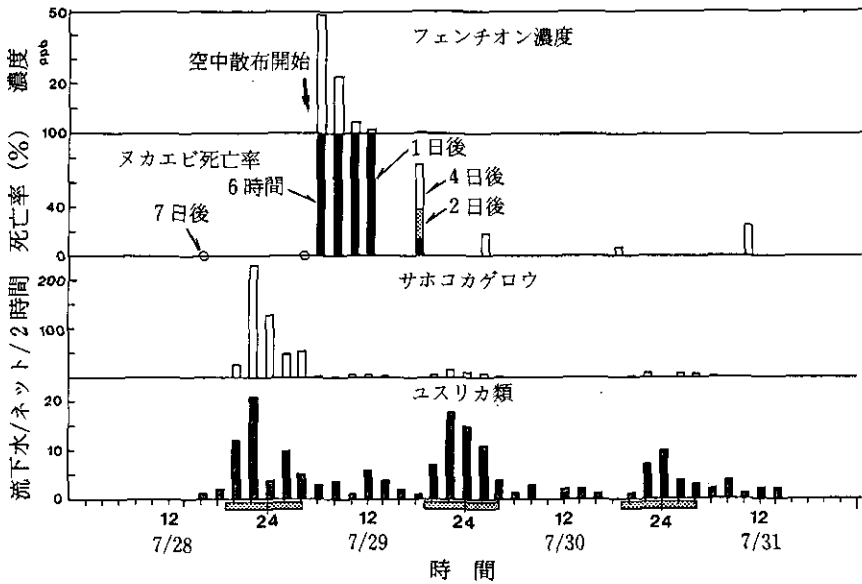


図6 殺虫剤空中散布後(第2回, フェンチオン)における河川水中のフェンチオン濃度, ヌカエビ死亡率(6時間, 1, 2, 4日後), 及び優占種サホコカゲロウ(*Baetis Sahoensis*)とユスリカ幼虫の流下量の変動

と推測される。

(4)生態系レベルでの化学物質のリスクアセスメントに関する研究

1) 砂川下流の調査では、夏期に底生生物の種類数が激減しそこに優占する種は上記のユスリカ、コガタシマトビケラ、サホコカゲロウ、水生ミミズなど単純な生物相に変化する。この変化の要因は、夏期の水温の上昇、増水による水生生物の流出、周りの環境の単純化など農業以外にも考察されるが、上記種々の調査結果から農業自体のインパクトも充分強いと考えられた。水中の農業がほとんど消失する9月以降は下流の地点の生物相もわずか(数と種類)ではあるが回復の傾向を示す。これは約4 km上流に生物相が豊富で安定した地区(低農業地帯)があり、そこから自然流下する個体によると考えられ、そのための調査資料を検討している。調査河川は農業や水温の上昇等により夏期に受けた生物相への影響が充分回復しきれないうちに、また翌年の農業等による生態影響が繰り返されている環境であると考察される。

2) 他の低農業地帯である濁川の水生昆虫生物相も下流の農業散布地帯のそれと比較し明らかに豊富であり下流では多くの生物種が消失していたが、夏期のみ調査結果であり今後通年の調査でその原因を解明していく。

2.9 トリクロロエチレン等の地下水汚染の防止に関する研究（初年度）

平成2～4年度（1990～1992年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官 内藤正明

有害廃棄物対策研究チーム ○中杉修身・安原昭夫・平田健正

水圏環境部

水環境質研究室 矢木修身

土壌環境研究室 細見正明

客員研究員 6名，共同研究員 3名

〔研究概要〕

トリクロロエチレン等の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染が全国的な広がりを持つことが、環境庁の調査によって明らかにされて以来、汚染原因や機構を解明するための調査が実施され、化審法、水質汚濁防止法や廃棄物処理法の改正によって汚染を未然に防止するための制度は一応整えられた。しかし、地下水は、その流れが遅く、汚染物質が水に溶けにくいいため、汚染物質の進入を防ぐだけではなかなかきれいにならない。地下水は有用な水資源であって、生活用水を地下水に依存している地域も多く、汚染地下水の浄化が緊急の課題となっている。しかし、一般に地下水の浄化は多額の経費を必要とするため、的確な対策を実施する必要がある。

本特別研究では、現地調査とその結果の解析を中心として、土壌・地下水圏での汚染物質の挙動を解明し、表層土壌ガス成分のモニタリングを中心とした汚染物質存在状況の把握手法を開発する。さらに、汚染土壌や地下水の浄化手法について、既存文献や実施事例からのデータの収集・解析や現場実験に基づいて、その評価を行う。そして、これらの成果を総合して、地下水汚染浄化対策を効率よく実施するための手順を明らかにする。

以上の研究目的を達成するために、以下の課題を設定して研究を実施する(図1)。

(1) 土壌・地下水圏における汚染物質の挙動解明

地下水浄化対策を実施するに当たって、まず土壌・地下水圏での汚染物質の挙動を解明し、汚染の将来動向を把握することが必要となる。本研究では、現地調査結果の解析を行い、地下水圏での汚染物質の挙動を解明する。また、地下水圏での汚染物質の挙動を表すモデルの開発を行う。

(2) 汚染物質の存在状況把握手法の確立

浄化対策を効果的に実施するためには、汚染物質の存在状況を的確に把握することが重要となる。本研究では、表層土壌ガス成分を指標としたモニタリング手法を確立するとともに、この手法を含めて土壌・地下水圏における汚染物質の存在状況を把握する手法を確立する。

(3) 地下水浄化対策技術の評価

すでに多くの地下水浄化が行われている海外から様々な浄化技術が導入されようとしており、また国内でも多くの技術が開発されているが、土壌・地下水の汚染状況や地域の社会的な状況に

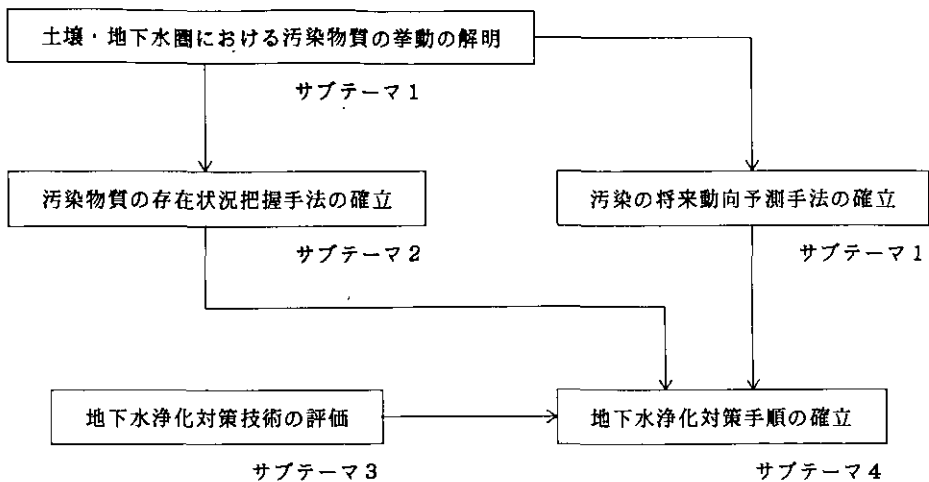


図1 本特別研究の構成

よって適切かつ実施可能な対策が異なる。本研究では、既存文献や浄化対策事例から入手したデータを解析し、また現場での実証実験を行って、各種浄化対策の特性を明らかにする。

(4) 地下水浄化対策手順の確立

以上の研究成果をまとめて、地下水浄化対策を実施する手順を明らかにする。

〔研究成果〕

(1) 土壌・地下水圏における汚染物質の挙動解明

土壌・地下水圏における汚染物質の挙動を解明するには、①土壌・地下水圏での存在状態、②地下水流れに沿った移動、及び③土壌・地下水圏での分解について知る必要がある。このために、各地の汚染事例で地下水質や流動に関する調査を実施するとともに、地方自治体が実施する調査に協力して調査データを収集し、それらの解析を行っている。

土壌・地下水圏での汚染物質の存在状況については、地下水がトリクロロエチレンで汚染された地域で土壌ガス調査を行い、トリクロロエチレンが進入したと考えられる場所でボーリング調査を実施した。その結果、地下40m付近の帯水層直上の土壌と帯水層の底の土壌でトリクロロエチレン濃度が高いことを見いだした(図2)。ガラスビーズを模擬土壌に見立てた浸透実験では、土壌中に浸透したトリクロロエチレンは粒径によって帯水層の上にたまったり、帯水層の底に落ち込むことが明らかにされており、こうした現象が実際の土壌中에서도生じていることが検証された。

地下水圏での汚染物質の挙動については、これまで長期間にわたって地下水汚染の監視が続けられている地区で、トリクロロエチレン濃度の季節変動やその分解生成物と考えられているcis-1,2-ジクロロエチレンの挙動を調べた。この地区では1984年以来26地点で観測が継続されており、この資料から、トリクロロエチレン濃度の季節変動には5~11月にピークを示すグループ1と1~3月にかけてピークを示すグループ2の2つのパターンがあり、しかも2つの井戸群は極めて近接して存在することが明らかとなった。グループ1はこの地域を流れる地下水の主流に沿った井戸群であり、トリクロロエチレン濃度はcis-1,2-ジクロロエチレン濃度より低い特徴を持つ。図3は2つのグループについてトリクロロエチレン濃度に対するcis-1,2-ジクロロエチレン濃度

の季節変化を描いているが、グループ1(W-3, 4, 7)ではトリクロロエチレン濃度に変化しても cis-1,2-ジクロロエチレン濃度はほとんど変わらず、一方グループ2(W-5, 6, 9)では、cis-1,2-ジクロロエチレン濃度はトリクロロエチレン濃度に比例して変動している。このように隣接した2つの井戸群でトリクロロエチレンや cis-1,2-ジクロロエチレンの挙動は際立った違いを見せる。これには土壌や地下水中での分解機構の違いに加えて、地下水の水理挙動が関係していると考えられる。そこで、観測井を建設し、地下水の流向と流速の調査も行っている。また、ジクロロエチレンの異性対比が汚染源と見られる事業所内と周辺地域では異なることも明らかにされており、こうした結果を総合して、土壌・地下水中でのトリクロロエチレンの挙動を表すモデルの開発を行う予定である。

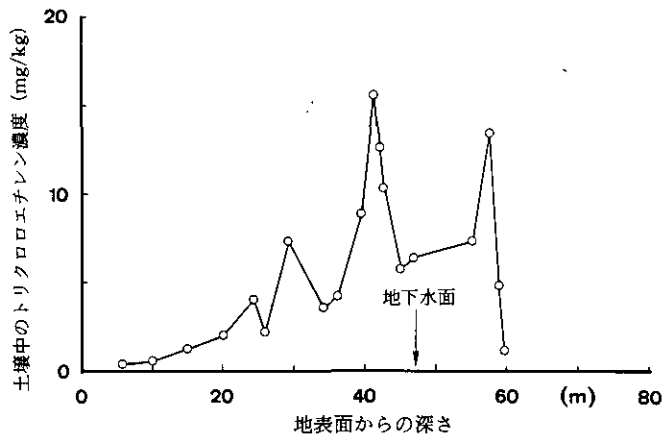


図2 土壌中のトリクロロエチレン濃度の鉛直分布

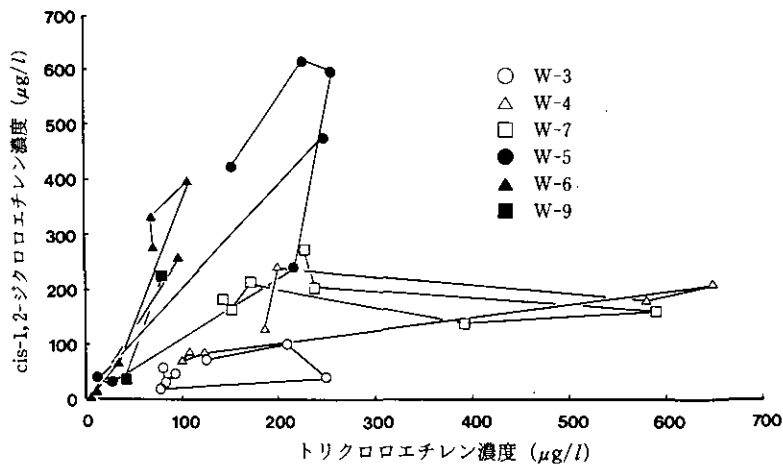


図3 トリクロロエチレン濃度に対する cis-1,2-ジクロロエチレン濃度の季節変化

(2) 汚染物質の存在状況把握手法の開発

汚染物質の存在状況を正確に把握することは、効率的に汚染物質を除去する上で欠かせない作業である。最終的にはボーリングを行って土壌試料を採取し、分析することが必要となるが、ボーリングには費用がかかるので、予め汚染源や汚染物質の侵入した場所を同定してからボーリングを行うのがよいと考えられる。

このため、土壌・地下水特研で得られた成果や他の調査研究成果を取りまとめて、①地下水汚染実態を把握し、②汚染物質の使用状況を調査し、③汚染源を解明するための手順を明らかにした。

汚染物質の侵入場所を細かく特定する手法としては、土壌ガスの調査が有効と考えられる。トリクロロエチレン等は高揮発性物質であり、これらの物質が土壌や地下水中に含まれていると土壌中の空気に揮散し、地表面にまで上昇してくる。この表層土壌ガスに含まれる揮発成分を分析すれば、地下にある汚染物質を探查することができる。土壌ガス調査方法にはフィンガープリント法、ガス採取・ガスクロ分析法(n-ヘキサン法)、現場ガスクロ分析法及び検知管法などがあり、それぞれに特徴があるので、適切に組み合わせて使う必要がある。いくつかの汚染地区で、これらの手法の比較実験を行った。

まずフィンガープリント法による土壌ガス調査を行うことによって、汚染物質使用事業所内にトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンによる土壌汚染を見いだした。しかし、同じ地域で検知管法を用いたところ、土壌汚染を見いだすことはできなかった。検知管法は感度が低く、汚染源周辺で比較的高濃度の揮発性有機塩素化合物を含む土壌ガス調査にしか適用できない。図4は汚染源周辺の表層土壌ガス調査で得られた検知管法とn-ヘキサン法によるテトラクロロエチレン濃度を比較した結果であるが、両者の相関は高い。図5は土壌ガスと土壌に含まれるテトラクロロエチレン濃度を描いている。土壌ガス濃度については検知管法とn-ヘキサンの2種類の分析値を示しているが、絶対値に違いはあっても、ガス濃度の鉛直分布は土壌の含有量によく対応していることが分かる。

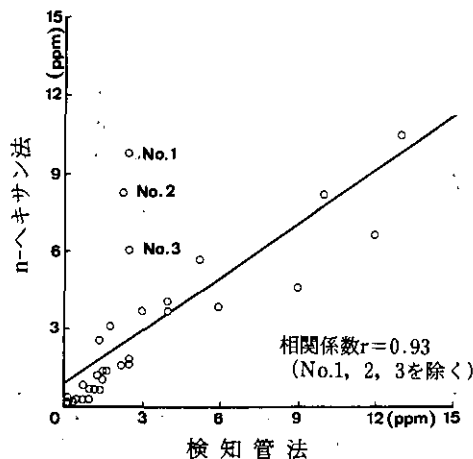


図4 検知管法とn-ヘキサン法による土壌ガス濃度の比較

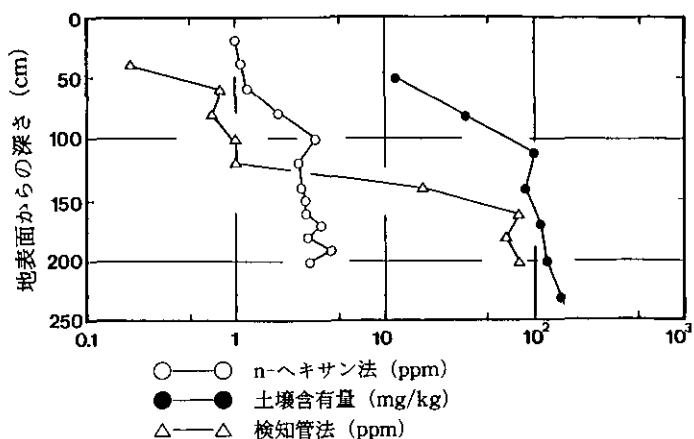


図5 土壌ガスと土壌中のテトラクロロエチレン濃度の鉛直分布

(3) 地下水浄化対策技術の評価

土壌・地下水の浄化には、多額の経費がかかるため、適切な技術を選定し、実施することが必要となる。そこで、これまでに開発され、実用化されているものを中心に、技術評価を行っている。本年度は海外で開発されている浄化対策技術評価のレポートを入手するとともに、国内で実施されている浄化対策の実施データを入手し、費用効果、適用条件、実施上の問題点などを中心に評価を行った。

(4) 地下水浄化対策手順の確立

揮発性有機塩素化合物による地下水汚染の発見された地域で、汚染源同定から始まる浄化対策に参画し、想定した浄化対策手順の問題点の抽出を行っている。ここでは、表層土壌ガス調査を用いた汚染源の絞り込みと高濃度ガス地点でのボーリング調査等、汚染源の同定から汚染物質存在状況の把握まで進んでいるが、これまでの段階でも、適切な土壌ガス調査方法の選択やボーリング調査実施手順などに有用な知見が得られている。

2.10 有用微生物を活用した小規模排水処理技術の開発と高度化に関する研究（初年度）

平成2～4年度（1990～1992年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
水改善手法研究チーム	○稲森悠平・松重一夫・今井章雄
湖沼保全研究チーム	相崎守弘
新生物評価研究チーム	近藤矩朗・岩崎一弘
水土壤環境部	
部長	須藤隆一
土壤環境研究室	細見正明
社会環境システム部	
資源管理研究室	原沢英夫
客員研究員	7名、共同研究員 8名

〔研究概要〕

我が国の中小都市河川、湖沼、内湾等の公共用水域においては、水質汚濁、富栄養化が依然として進行している。この大きな原因としてあげられるのが、水質汚濁防止法において有害物質を除いて未規制の日平均排水量 50 m³/d 未満の小規模事業場排水及び同じく未規制の個別家庭から排出される生活雑排水である。これらの排水は小規模排水と呼ばれており、公共用水域の汚濁負荷源の70%近くを占めるに至っている。それゆえ、公共用水域の水質改善を図る上で小規模排水対策は必須かつ緊急の課題である。

小規模排水のほとんどは有機物を含むため、処理対策の手法として微生物の浄化力の活用が期待される。本特別研究では、このような背景のもとで、小規模排水に対してバイオテクノロジー等を活用し、有用微生物を用いた排水の高度処理技術の開発を行い、水質改善に資することを目的とする。

本特別研究を達成するために、以下の課題について研究を実施する。

（1）小規模排水の特性及び生物処理の適用性に関する研究

食品製造業、水産加工施設、レストラン等の事業場及び個別家庭の浄化槽から排出される多量に有機物を含む排水の性状、負荷変動を調査し、それらの排水の生物学的分解性を調べ生物処理、物理化学的処理の適用の可能性について検討し、課題（2）及び（3）を遂行するのに必要な基礎知識を集積する。

（2）小規模排水中の窒素、リン除去システムの開発

小規模排水中に含まれる窒素、リン及び有機物等を分解除去し発生汚泥の減量化に貢献する水改善に有用な細菌、原生動物、微小後生動物などの微生物を組み込んだ小規模排水処理システムの開発を行う。同時に遺伝子操作技術等で得られた有用微生物の培養法、定着化法の開発を行う。

(3)小規模排水プロセスの技術及びシステム評価

課題(2)で得られた有用微生物の組み込まれた小規模排水処理プロセスの有効性及び効果についての地域性、費用負担、水質基準等を考慮に入れた評価を行うと同時に、組換え等有用微生物については、その活用の可能性を含め大型淡水マイクロコズム及びフラスコマイクロコズム試験等評価を行い、最適な水改善の高度化システムを提言する。

各研究課題の相互関係及び年次計画を図1に示す。

[研究成果]

(1)小規模排水の特性及び生物処理の適用性に関する研究

一般飲食店を対象としてその排水特性を調査した。飲食店では未処理で排出している店舗が半数以上を占め、店舗規模の小さいものほどその割合が高かった。有機汚濁を表すBOD及びCODに対して油分の寄与が非常に大きいことが示唆された(図2)。当該排水の場合、油分処理が同時に行える処理システムが必要と考えられた。

(2)小規模排水中の窒素、リン除去システムの開発

小規模合併浄化槽では流入水量の変動に起因する処理性能の低下が重要な問題であることが把握された。有機物除去の向上、安定化を図る上で流量調整機能が必要であり、有機物と窒素、リン等の栄養塩類を同時に安定して高度除去するためには、流量調整機能及び循環を組み入れることが不可欠であると示唆された(表1)。

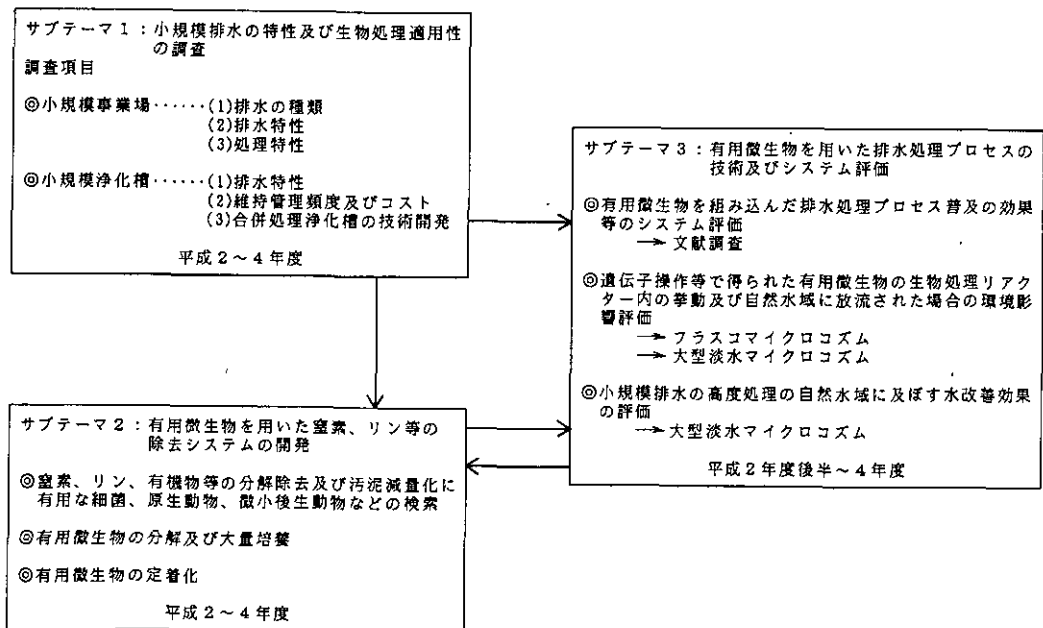


図1 本特別研究の全体構成

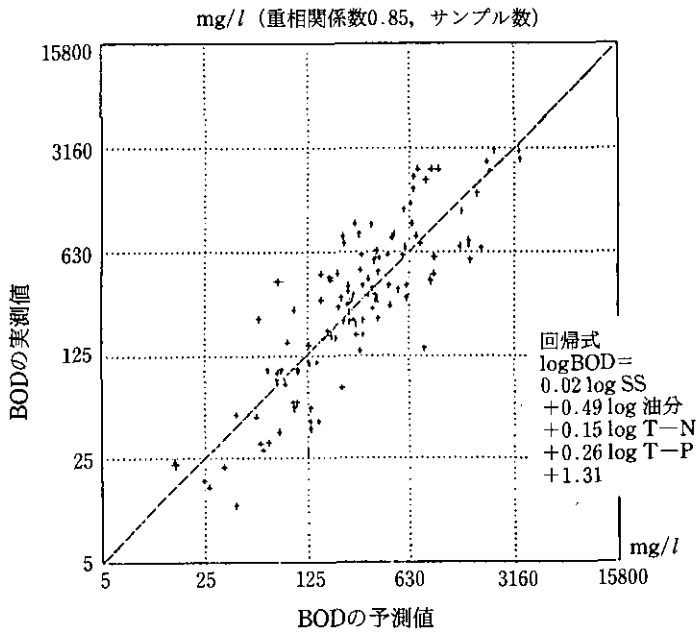


図2 飲食店排水におけるBODとSS、油分、T-N、T-Pとの関係

表1 循環式嫌気ろ床・接触ばっ気法における
総窒素除去能

処理方式 試料	対照槽	高度処理	
		I型	II型
処理水(mg/l)	29.5±5.4	15.0±4.3	17.2±7.0
流入水(mg/l)	36.6±5.4		

小規模事業場難分解性排水を微生物活性炭流動床プロセスにより高度処理を試みた。通常の生物処理プロセス、活性汚泥法での有機物除去が20%以下であるのに対して、微生物活性炭流動床プロセスは60%以上の有機物除去能を長期間にわたり達成した(図3)。嫌気-好気流動床の組み合わせで循環を行うことで、有機物除去と同時に窒素60~70%(理論値80%)を長期間にわたり安定して除去できることを確認した(図3)。

高濃度の有機物及び窒素を含む小規模排水に対して高濃度に微生物濃度を維持できる特徴を持つスラッジブランケット法を適用した。循環を組み入れることにより、常温で有機物、窒素を効率的に処理できることが明らかとなった(図4)。

排水の高度処理及び発生汚泥量の減量化に重要な役割を果たすと考えられる輪虫類の定着化、大量培養法について洗米排水を用いて実験を行い検討を加えた。通常の輪虫密度は約3,000個/mlであるが、洗米排水中では約12,000個/mlまで増加した。洗米排水中に輪虫類の増殖能を高める増殖因子が含まれていると推察された(図5)。

(3) 小規模排水プロセスの技術及びシステム評価

フラスコマイクロゾムを用いて有用組換え体に及ぼす環境因子の影響を検討した。藻類、原生動物、細菌、後生動物が共存するマイクロゾムにおいて、水温は有用組換え微生物の生存に大きく影響することが確認された(図6)。

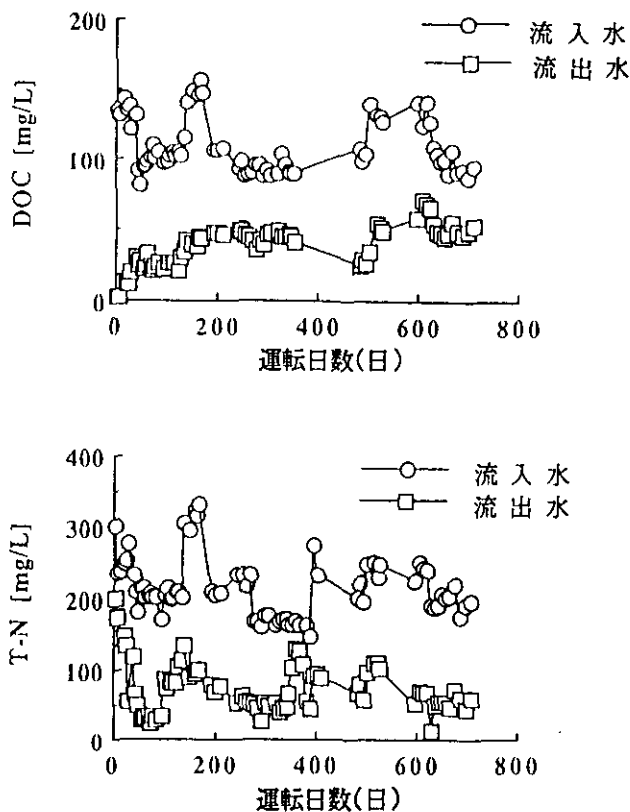


図3 微生物活性炭流動床方式における溶解性有機炭素 (DOC) 及び T-Nの経日変化

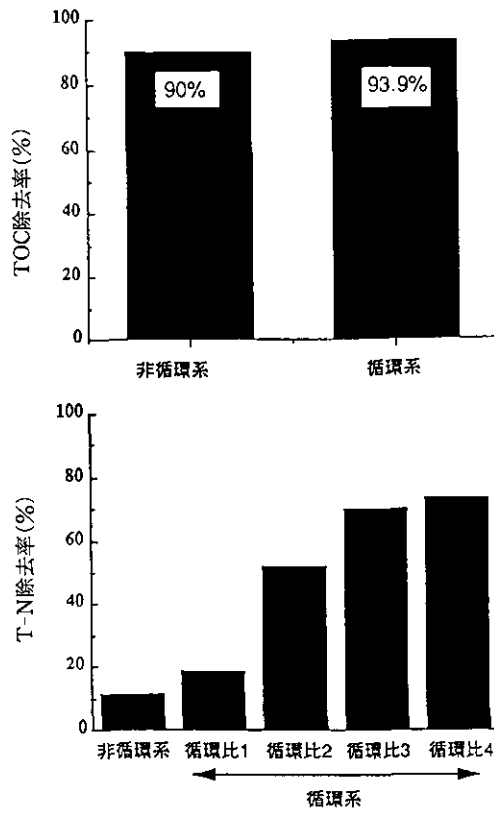


図4 循環を組み入れたスラッジブランケット方式による有機物、窒素除去

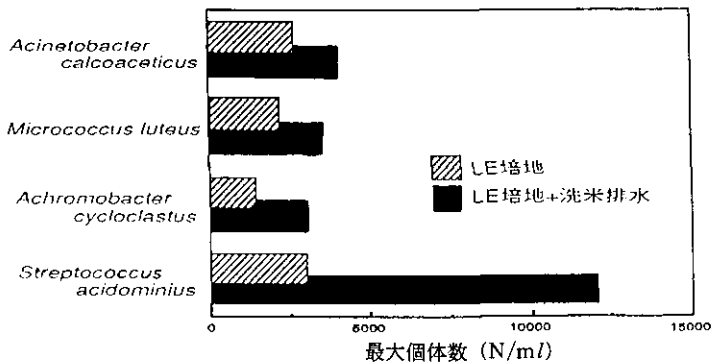


図5 有用微小動物輪虫類の高密度定着化に及ぼす洗米排水中の増殖促進因子の効果

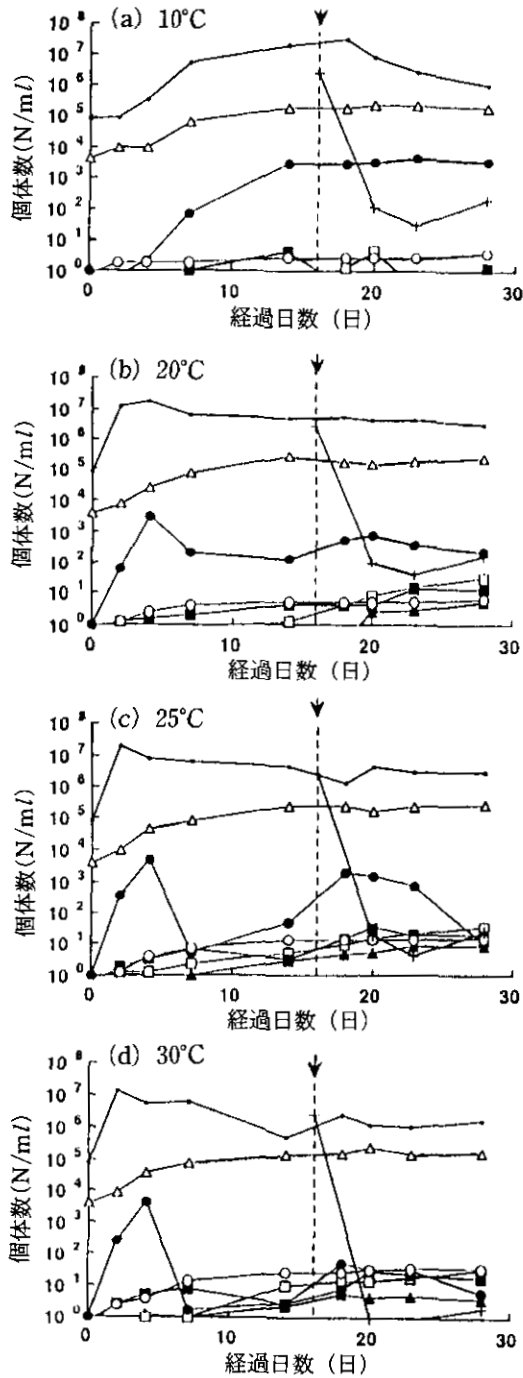


図6 *E. coli* HB101/pBR325を接種し温度を変化させた場合の消長及び構成微生物の挙動 (×10倍接種系)

—●— Bacteria, —▲— Aeolosoma, —□— Philodina, —◆— Cyclidium,
 —■— Lepadella, —△— Chlorella, —○— Tolypothrix, —+— pBR325

2.11 有害廃棄物のモニタリングに関する研究（初年度）

平成2～4年度（1990～1992年度）

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
有害廃棄物対策研究チーム	○中杉修身・安原昭夫・平田健正
水改善手法研究チーム	今井章雄
社会環境システム部	
部長	後藤典弘
資源管理研究室	天野耕二
水土壤圏環境部	
土壤環境研究室	細見正明
客員研究員 2名, 共同研究員 2名	

〔研究概要〕

有害化学物質による環境汚染が社会的な関心を集めているが、その排出規制が強化され、排水や排水の処理が進められるに伴い、難分解性の有害化学物質は廃棄物中に集積されることになり、また、その処理・処分過程で新たに有害化学物質が生成することが考えられ、有害化学物質の環境汚染源として廃棄物の処理・処分が重要な位置を占めてくると考えられる。米国等では有害廃棄物の不適正な処分による環境汚染が数多く見いだされ、ばく大な費用をかけて修復作業が行われている。また、有害廃棄物の越境移動が国際的な問題となり、その規制に関して条約が採択されるなど、有害廃棄物の処理・処分が国際的にも国内的にも社会的な関心を集めるようになってきた。

我が国においては、これまで廃棄物の処理・処分に伴う大規模な環境汚染は顕在化していないが、焼却灰からのダイオキシン、廃乾電池中の水銀など、一般廃棄物の処理・処分に伴う汚染の可能性が論議されたり、廃油などの有害化学物質を含む可能性を有する産業廃棄物の不法投棄が数多く見られるなど、有害廃棄物による環境汚染が潜在化していることが予想される。一方、都市再開発が盛んになっているが、その対象である工場跡地の土壌が有害化学物質によって汚染され、有害廃棄物として排出されたり、過去の埋立処分地がそれと知らずに開発され、大量の廃棄物が掘り出されるなど、都市再開発が生み出す廃棄物を適切に処理しないと、有害化学物質による環境汚染を拡散させる恐れがある。また、国際条約の中では我が国での規制対象をはるかに上回る廃棄物が有害廃棄物とされており、国内的にも特別な管理が求められる有害廃棄物が増えていくものと予想される。

このように、有害廃棄物の処理・処分に伴う環境汚染のリスクを管理するためのシステムを確立していくことは、今後の環境行政の重要な課題の1つである。有害廃棄物のリスク管理を行っていくためには、まずその発生から処理・処分に至るまでのリスクを正確にモニタリングすることが不可欠であるが、そのための手法はほとんど確立されていない。そこで、本特別研究では、廃棄物の流れに沿って有害廃棄物のリスクを管理するためのモニタリング手法の開発を行う。

本特別研究では、①有害廃棄物の処理・処分に伴うリスク評価・管理の考え方を明らかにし、②焼却処理にかかわる環境汚染及び③埋立処分にかかわる環境汚染の可能性を検討し、これらの結果に合わせて、④そのリスク評価を実施するためのモニタリング手法を開発することを目的として、以下の研究課題を実施する。

(1)有害廃棄物のリスク評価に関する研究

有害廃棄物の処理・処分による環境汚染は、その発生が廃棄物の輸送・処理・処分の各過程で考えられること、汚染物質も排出時に廃棄物に含まれているものだけでなく、廃棄物の処理によって非意図的に発生する有害化学物質が考えられることなど、多種多様な形態の汚染が考えられる。それゆえ、有害廃棄物の環境汚染に伴うリスクを管理するためには、多様な形態の汚染リスクを総合的に評価する必要がある。本研究では、有害廃棄物の発生動向を把握するとともに、課題(2)及び(3)の結果を合わせて、有害廃棄物のリスク管理の考え方を明らかにし、そのリスクを評価するための指標を確立する。

(2)焼却処理による有害化学物質の挙動に関する研究

焼却処理では、廃棄物を高温で処理するため、有害化学物質の一部は分解されるが、一方で非意図的に有害化学物質が生成することが考えられる。有害廃棄物のリスクを評価する上で、焼却処理にかかわる有害化学物質の挙動を把握することが必要となる。そこで、本研究では、熱分解実験や燃焼・焼却実験によって、廃棄物中の有害化学物質の分解と非意図的な有害化学物質の生成を解明する。また、これらの実験と併せて、有害廃棄物処理施設周辺における大気や土壌などの汚染状況を調査・解析することにより、有害廃棄物の処理にかかわる有害化学物質の挙動を解明する。

(3)埋立処分に伴う有害化学物質汚染に関する研究

埋立処分地はその跡地を含めて、有害廃棄物による環境汚染源として重要な位置を占めており、その汚染可能性の把握は、有害廃棄物のリスク評価を行う上で不可欠であるが、我が国では有害化学物質による埋立処分地や跡地周辺環境の汚染状況はほとんど把握されていない。そこで、本研究では、有害廃棄物埋立処分地あるいは不法投棄場所の周辺における大気、浸出水や土壌などの汚染状況を調査することにより、有害廃棄物の処分にかわる環境汚染の可能性を解明する。

(4)有害廃棄物のモニタリング手法に関する研究

有害廃棄物の処理・処分に伴うリスクを管理していくために、有害廃棄物及びその処理・処分に伴う環境汚染を監視していくことが必要となる。廃棄物の有害性を判定するためには、有害廃棄物そのものの監視を行うことが必要であり、また、汚染可能性の動向を把握するためには、廃棄物処理・処分施設周辺の汚染状況を監視する必要がある。しかし、有害廃棄物の処理・処分に関しては多様な汚染物質が考えられ、それらのリスクを総合的に監視する必要がある。そこで、本研究では、廃棄物の有害性とその処理・処分にかわる環境汚染を総合的にモニタリングする手法の開発を行う。

各研究課題の相互の関係及び年次計画を図1に示す。

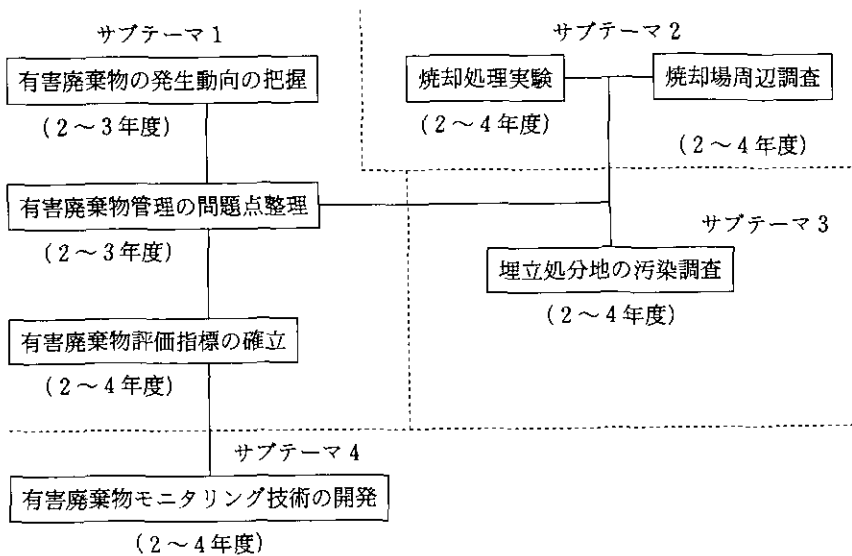


図1 本特別研究の全体構成

〔研究成果〕

(1) 有害廃棄物のリスク評価に関する研究

有害廃棄物の処理・処分にかかわるリスクを適正に管理するには、それに起因する多様な汚染の状況を把握する必要がある。海外で見られているような有害廃棄物処理に伴う環境汚染が我が国で潜在している可能性を探るため、有害廃棄物管理体制の問題点の検討を行った。その結果、①管理の対象とすべき有害化学物質の数や排出事業場が限定されていること、②非意図的に生成する有害化学物質に対する対応が遅れていること、③水系汚染のリスクへの対応が中心で、大気経由の暴露は全く考慮されていないこと、④溶出試験などのリスク評価のための試験法に問題があること、⑤埋立跡地の管理が十分でないこと、⑥処理サイドに十分な知識がないため、不法投棄や事故が発生する可能性が高いことなど、環境汚染につながる可能性のある問題点が数多くあることを明らかにした。また、特に環境汚染につながる可能性の高い不法投棄と事故について、新聞記事等に基づき、データベースの作成を行っている。

(2) 焼却処理による有害化学物質の挙動に関する研究

多様な成分を含む廃棄物を高温で処理する焼却では、複雑な反応が起こり、これまでもダイオキシンなどの有害化学物質が生成することが見いだされている。そこで、室内の燃焼実験及び実施設を用いた焼却実験で有害化学物質などの生成状況を調べた。

室内実験では、塩化ビニル樹脂の燃焼生成物を調べた。GC/MSで同定された物質は以下のとおりである。塩化ベンゾイル、クロロトルエン、ジクロロプロペニルシクロプロパン、クロロフェノール、クロロベンゼン、クロロシクロペンテン、クロロメチルブテン、トリクロロエチレン、塩化ベンジル、ベンゼン、トルエン、キシレン、アルキルベンゼン、シメン、スチレン、メチルスチレン、アリルベンゼン、フェニルアセチレン、メチルフェニルアセチレン、ビフェニル、メチルビフェニル、インデン、メチルインデン、ビニルインデン、ナフタレン、メチルナフタレン、

表1 焼却した塩化ビニル樹脂1g当たりのPCDD_sとPCDF_sの生成量 (ng)

温度 (°C)	HCDF				OCDF	HCDD		OCDD
	A	B	C	D		E	F	
	(塩化ビニル製手袋)							
300	0.260	0.171	0.155	0.214	0.82	0.226	0.123	0.206
400	0.264	0.218	0.232	0.269	1.01	0.281	0.148	0.404
500	0.448	0.375	0.383	0.416	0.864	0.328	0.334	1.08
600	1.68	0.463	0.503	0.908	1.07	1.83	2.40	1.58
700	0.472	0.093	0.093	0.206	1.19	0.543	0.701	1.09
800	0.485	0.106	0.106	0.164	0.427	0.613	0.826	1.72
	(塩化ビニル製食品用ラップ)							
500	0.162	0.037	0.037	0.081	1.03	0.145	0.226	0.50

HCDF:ヘブタクロロジベンゾフラン, OCDF:オクタクロロジベンゾフラン, HCDD:ヘブタクロロジベンゾジオキシン, OCDD:オクタクロロジベンゾジオキシン。

記号と塩素の置換位置の説明(置換位置の間のカンマは省略)

A:1234678-, B:1234679-, C:1234689-, D:1234789-, E:1234679-, F:1234678-。

アルキルナフタレン, アントラセン, メチルアントラセン, フェナントレン, メチルフェナントレン, フルオレン, メチルフルオレン, トリフェニレン, アセナフチレン, ベンゾフルオレン, ベンゾアントラセン, ベンゾフェナントレン, クリセン, ヘキサノン, メチルヘキサノン, メチルアセトフェノン, フェニルアセトフェノン, フェニルアセトアルデヒド, メチルフェニルアセトアルデヒド, ベンズアルデヒド, メチルベンズアルデヒド, フェノール, クレゾール, 安息香酸, 無水フタル酸, 9-フルオレノン, 1-インダノン。塩化ビニリデン樹脂の場合に比べて, 塩素系有機化合物が意外に少なかった。次に塩化ビニル樹脂の燃焼生成物中に PCDD と PCDF がどの程度存在するか調べた。全体として見ると, PCDF が PCDD よりも多いのが特徴であった。分析結果の一部を表1に示した。

産業廃棄物処理施設を用いた実験では, 塩化メチレンとトリクロロエチレンの1:1混合物の燃焼実験を行い, 煙突からの排出ガス及びガス洗浄装置にたまった塩酸中に含まれる有機塩素化合物を分析した。ただしこの焼却設備では, 固形プラスチックを連続燃焼させている炉からの排ガスが一緒になって処理, 排出されているために, これらのサンプルには塩化メチレンやトリクロロエチレンだけでなく, 廃プラスチックの燃焼生成物も含まれている。燃焼温度は850°Cと950°Cに設定した。煙道で採取したガス中からは, 1,1-ジクロロエチレン, 塩化メチル, cis-及びtrans-1,2-ジクロロエチレン, クロロホルム, 1,2-ジクロロエタン, 1,1,1-トリクロロエタン, 四塩化炭素, 1,2-ジクロロプロパン, トリクロロエチレン, テトラクロロエチレンが検出された(表2)。しかし, 廃溶剤を燃焼したときも, 燃焼しないときも, これらの物質の生成量に変わりはないので, これらの物質は廃溶剤の燃焼から生成したのではなく, 廃プラスチックの燃焼で生成したものであることが分かった。すなわち, 廃溶剤の燃焼では, 850°Cでも950°Cでも100%分解されているものと考えられる。しかし, 廃溶剤を含む廃水の焼却処理では燃焼温度によって燃焼生成物の濃度に差が見られ, 廃水に含まれている有機塩素化合物の分解率も80~90%程度であった。燃焼生成物の排出状況は, 焼却処理される廃プラスチックの種類によらずほぼ一定であった。一方, 洗浄水中からは有機塩素化合物などの様々な物質が検出された。クロロベンゼン類, クロ

表2 産業廃棄物焼却施設の煙道排ガス中に含まれる有機塩素化合物濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

焼却物	廃プラスチック		廃プラスチック, 廃溶剤	
	950	850	950	850
1,1-ジクロロエチレン	9.16	11.4	7.51	12.4
塩化メチル	91.8	107	85.2	132
cis-ジクロロエチレン	7.96	28.0	4.71	33.5
trans-ジクロロエチレン	9.73	33.7	5.54	38.8
クロロホルム	155	186	146	209
1,2-ジクロロエタン	4.09	7.46	3.61	4.91
1,1,1-トリクロロエタン	24.2	22.0	18.9	19.3
四塩化炭素	373	457	301	528
1,2-ジクロロプロパン	3.96	3.82	4.98	3.80
トリクロロエチレン	33.8	87.6	20.2	83.1
テトラクロロエチレン	75.4	137	49.7	104

* この燃焼温度は廃水と廃塩素系溶剤の焼却温度である。廃プラスチックは常に850°Cで焼却されている。

ロフェノール類, 1-ナフトニトリル, 2-ナフトニトリルなどが同定できた。

一方, 焼却処理の排ガスに含まれた有害化学物質は周辺の大気や土壌を汚染すると考えられる。そこで, 産業廃棄物焼却施設周辺で, 大気中のガス状金属水銀, ヘキサクロロベンゼン, ベンゼン, トルエンと土壌中の水銀を調べた。大気中の水銀濃度は焼却処理施設から風が吹いている方向で高くなり, 焼却施設による影響が示唆されたが, 土壌中の水銀濃度とは明確な関連は見いだせなかった。ヘキサクロロベンゼンも濃度は低いながらも検出され, 風向と濃度分布の関連から焼却処理施設が排出源と考えられる。最大濃度は $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ であった。ベンゼン, トルエンについてはポータブルガスクロによる自動分析を行った。ベンゼンの最大濃度は $1.67 \text{ mg}/\text{m}^3$ で同様に焼却処理施設の関与があると考えられる結果が得られた。

(3) 埋立処分に伴う有害化学物質汚染に関する研究

有害廃棄物が適切な管理がなされていない埋立処分地へ処分されたり, 不法投棄されると, 有害化学物質が大気や地下水に侵入していくことが考えられる。そこで, 産業廃棄物の埋立処分地の浸出液を入手し, GC/MS を使用して, その中に含まれる有機成分を同定した。そのうちの1つのサンプルからは, 塩素を含む物質は同定できなかったが, 図2に示すような50種類以上の多様な物質が検出された。

(4) 有害廃棄物モニタリング手法に関する研究

有害廃棄物の処理・処分による環境汚染の可能性を監視するには, 施設から排出される有害化学物質をモニタリングするとともに, 周辺環境の大気, 水や土壌をモニタリングする必要がある。

施設からの排出のモニタリングについては, 焼却施設の排ガスと埋立処分地の浸出液中の多様な有機成分を同定・定量する手順の検討を行っている。また, 生物活性に対する影響を測定し, 浸出液の毒性を把握することによって, 多様な汚染物質によるリスクを総合的にモニタリングする手法についても, 検討を開始している。

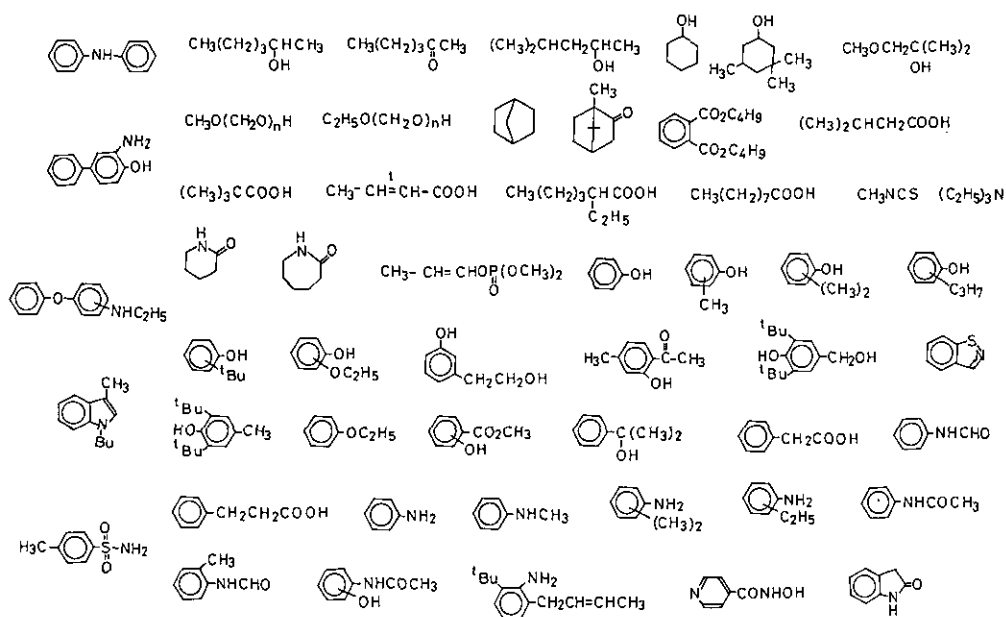


図2 埋立処分地浸出水中から検出された有機成分の一例

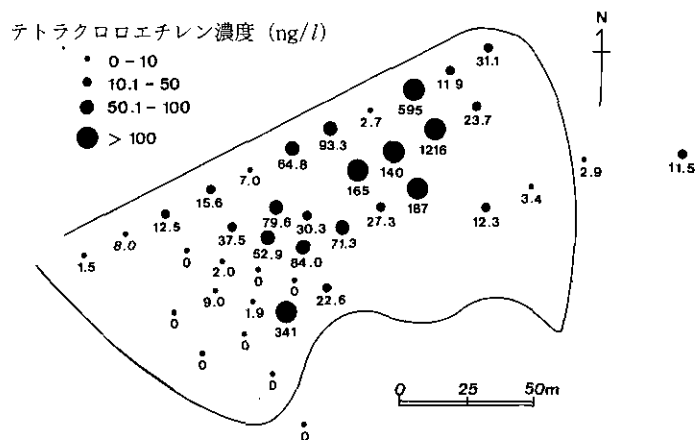


図3 一般廃棄物埋立地における表層土壌ガス中のテトラクロロエチレン濃度分布

さらに、埋立処分地における揮発性有害化学物質の存在状況を調べる方法として、土壌ガスを分析する手法を検討している。一般廃棄物の埋立処分地にこの手法を適用した結果、図3に示すように、テトラクロロエチレンの分布を確認することができた。

2.12 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の予測と 制御に関する研究 (初年度)

平成2～4年度 (1990～1992年度)

〔研究組織〕 地域環境研究グループ

統括研究官	内藤正明
都市大気保全研究チーム	○若松伸司・上原 清・鶴野伊津志
交通公害防止研究チーム	森口祐一

地球環境研究グループ

オゾン層研究チーム	笹野泰弘
温暖化現象解明研究チーム	横内陽子・酒巻史郎
酸性雨研究チーム	村野健太都

化学環境部

計測技術研究室	向井人史
---------	------

大気圏環境部

大気動態研究室	松井一郎
---------	------

客員研究員 12名

〔研究概要〕

都市域における窒素酸化物、光化学オキシダント、粒子状物質等による大気汚染は都市機能の高度化に伴いますます大きな問題として認識されている。例えば、光化学大気汚染の注意報発令日は昭和56年度(1981年度)を底に再び増加しているし、窒素酸化物に関しても昭和60年度(1985年度)から再び上昇の傾向が見られ、特に、1987年の冬期には大都市地域において極端な高濃度が出現した。これらの高濃度が出現する場合には、水平スケールとして数10～100km程度にわたる海陸風循環等の気象の時間・空間変化が重要な役割を果たしている。冬期の都市域における高濃度大気汚染のメカニズムに関しては気象及び大気反応の両面で不明な点が多く、適切な制御を行うためにはフィールド観測や成層風洞による実験が必要になってくる。

本特別研究の目的は、冬期を主体に都市スケールの窒素酸化物、炭化水素、硫黄酸化物、光化学オキシダント、粒子状物質等による大気汚染を、物質間の反応も含めた一連の現象として取り扱い、発生源と環境濃度との因果関係を明らかにし、もって、その制御・保全の方法の立案及び、望ましい大気環境の質の検討に資するものである。

本特別研究は都市域におけるフィールド観測、風洞を用いた室内実験、大型計算機による数値モデル等の基礎的な研究を総合的に解析し、都市域における大気汚染の具体的対策の立案に資することを目的として、以下に示す3つの研究課題を中心にとり行われる(図1及び図2参照)。

(1) 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の動態解明に関する研究

1) 都市域における冬期の高濃度大気汚染と気象のフィールド研究

特に環境基準の達成率の悪い二酸化窒素(NO_2)汚染と、浮遊粒子状物質(SPM)汚染の機構解明は緊急を要する。これらの汚染が最悪になるのは寒候期であり、これについては上空を含めた観

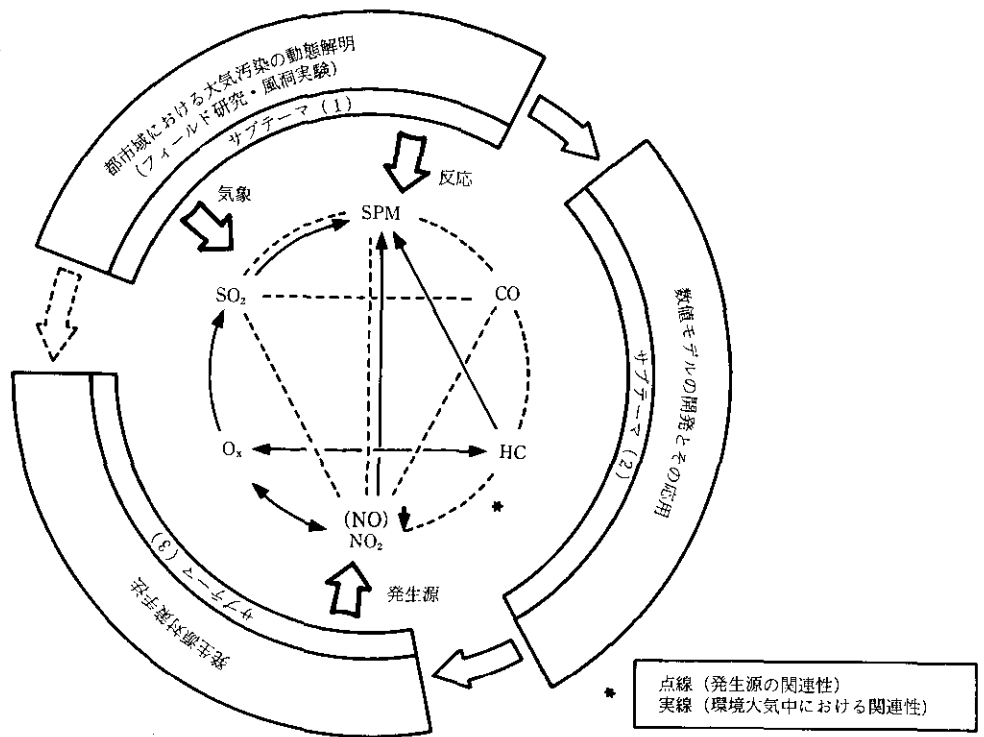


図1 本特別研究の全体構成

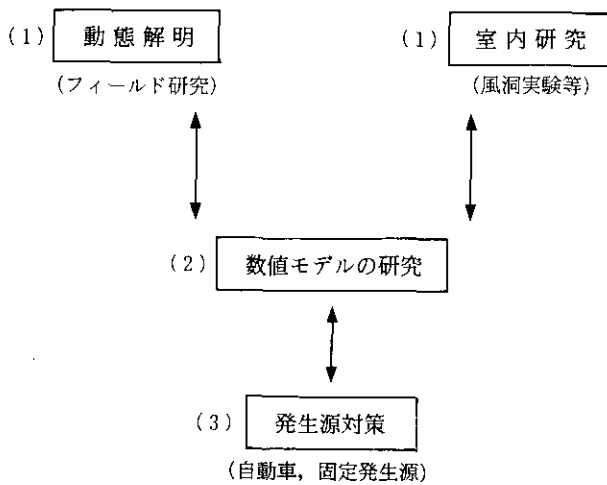


図2 本特別研究のサブテーマの関係

測は皆無に近い。したがって、冬期の大気汚染と気象の大規模観測を実施して、動態の把握を行う。

2) 風洞等を用いた室内実験、特に安定成層条件下での大気汚染物質の拡散現象の研究

冬期の高濃度大気汚染には安定成層内に形成される都市境界層の挙動が大きく影響する。都市境界層内部の構造とその中での拡散メカニズムを解明するために大型拡散風洞を用いた実験を行い、各種スケールでの拡散現象を研究する。

(2) 数値モデルの開発とその応用に関する研究

1) 都市域における大気汚染物質の移流・反応・沈着等を評価するための時空間数値モデルの確立に関する研究

窒素酸化物、光化学オキシダント、炭化水素成分、硫黄酸化物、一酸化炭素、SPMを相互に関連する大気汚染現象として解析、評価、予測できる数値モデルを開発する。これまでには夏期の光化学大気汚染に関しては数値モデルの妥当性が検証されてきたが、冬期に関しては全く検証がなされていないため本研究においては冬期に関する検討を重点的に行う。

2) 数値モデルの発生源対策への応用に関する研究

数値モデルを発生源コントロールの評価に利用するための基礎的な検討を行う。具体的には数値モデル使用に当たっての初期条件の設定方法、境界条件の設定方法、グリッドシステムによる誤差評価、点源のモデル内部での取り扱い方、気象パラメーターの感度解析等についての各種の検討を行い最適条件を求める。

(3) 発生源対策手法の確立に関する研究

1) 大気汚染物質の発生源推定手法の確立に関する研究

固定発生源、移動発生源からの大気汚染物質発生量と排出組成分布の推定手法の検討を行うとともに自然発生源からの揮発性炭化水素成分の発生量推定手法の検討を行う。

2) 汚染物質削減シナリオの策定手法に関する研究

大気汚染の予測モデルを用いて各種の気象条件や、発生源条件の組み合わせに対して予測計算を行い、その結果をもとにして大気汚染物質濃度の立体分布、時刻変化等を含めた大気汚染制御シナリオの検討を行う。

[研究成果]

(1) 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の動態解明に関する研究

1) 都市域における冬期の大気汚染の動態を解明するために1990年11～12月にかけて埼玉県及び東京都においてフィールド観測を実施した。この観測では地方自治体、大学等との共同研究も行っており、環境庁が実施したフィールド観測とも時期を合わせたため、これまでにない質の高い気象と大気汚染物質の立体分布観測結果を得ることができた。観測期間中のNO_xの最高値は12月22日の833ppb(東京、大手町)であった。また、日本と韓国の研究協力も平成2年度から始まりソウル市と日本の都市との同時観測も地方自治体の協力を得て開始された。

2) 風洞を用いた都市域における大気拡散の研究を開始した。本年度は都市の構造物が大気拡散に及ぼす影響の基礎的な検討、並びに風洞におけるトレーサーガス濃度測定システムの開発に関する基本検討を行った。

(2) 数値モデルの開発とその応用に関する研究

1) 都市域における冬期を中心とした高濃度大気汚染の出現機構を明らかにするために、日本の代表的な都市である札幌、東京、横浜、川崎、名古屋、京都、大阪、神戸、広島、北九州の大気汚染観測データを解析した。最も単純な仮定として、環境大気中におけるNO₂はバックグラウンドのオゾン(O₃)と一次排出からのNO₂のみで濃度が決まると考え、日周期成分をスペクトル解析により抽出しデータの評価を行った。その結果、冬期には一次排出の寄与、春期には自然起源のO₃の割合が相対的に大きいことが明らかとなった。

2) 都市域における大気汚染物質の挙動を評価するための時空間数値モデルを構築するために、都市境界層の形成メカニズムの基礎的な検討を行った。冬期の夜間に都市域において実施したフィールド観測データをもとに、垂直方向の風の変動とモーメントフラックス及びヒートフラックスの詳細な解析を行い、都市境界層内部における垂直方向の熱フラックスの高さ変化が、都市境界層の加熱にとって相対的に重要なパラメータであることを見いだした。

(3) 発生源対策手法の確立に関する研究

1) 大気汚染物質の発生源推定手法を確立するために特に自動車からの発生源推定手法の検討を行った。大阪市における自動車排出ガス調査により5種類の車種別の揮発性炭化水素排出特性を確定した。また、大阪市における道路近傍での炭化水素調査の結果、軽自動車及びLPG車の寄与率を正しく評価することが重要であるとの結果が得られた。

2) 数値モデルの発生源対策への応用に関する研究を行った。光化学大気汚染三次元モデルを用いて窒素酸化物や炭化水素成分の発生源強度の変化が環境濃度変化に及ぼす影響を、異なった境界条件に対して計算し発生源対策のシナリオを検討した。解析の結果、揮発性炭化水素の発生総量の把握をより精度よく行うことが緊急の課題であることが分かった。

平成2年度 編集小委員会

委員長 相馬光之

委員長代理 高松武次郎

委員	渡	邊	和	夫
〃	中	野	安	則
〃	中	根	英	昭
〃	高	村	健	二
〃	松	本	幸	雄
〃	兜		真	徳
〃	須	賀	伸	介
〃	岡	本	研	作
〃	鈴	木		明
〃	泉		克	幸
〃	高	村	典	子
〃	井	上		元
事務局	松	井	文	子

国立環境研究所特別研究年報

平成2年度

平成3年8月15日

編集 国立環境研究所 編集小委員会

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

印刷 アサヒビジネス株式会社

千葉県千葉市小仲台1-5-12

本年報は再生紙を使用しています。