

環境研資料

No. 127

ISSN 0918-5720

# 横浜市環境科学研究所報

第 21 号

ANNUAL REPORT OF  
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL  
RESEARCH INSTITUTE  
No.21

1997年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE

はしがき

環境行政の主要な課題は、これまでの公害問題への対応から公害の未然防止、自然破壊の防止、さらにはより高い快適環境の創造へと幅広いものとなってきています。従来の典型7公害に代表される産業公害については、積極的な環境対策により、一定の改善がなされているものの依然重要な課題であり、加えて、自動車公害、近隣騒音などの都市・生活型公害は抜本的な解決がみられないまま残されているほか、化学物質等による環境汚染についても継続して発生することが予想されるなど、引き続き積極的な取組が求められています。

横浜市では、環境管理計画を策定しこれら課題に積極的に取り組んでいるところです。当研究所としても、地方自治体の環境分野における総合的な調査研究機関としての役割を十分認識し、今後取り組むべき調査研究の方向として、公害対策の推進研究や自然との共生・快適環境に関する研究、少負荷・循環型都市形成に関する研究、地域密着型の調査研究を軸に、科学的な知見の収集、蓄積、発信をとおして、この環境管理計画の円滑かつ効果的な推進を支えていきたいと考えています。

今回発行する所報第21号は、平成7年度の調査研究を中心にまとめたものです。今後もより一層充実したものにしたいと考えておりますので、皆様方の高評とご叱正を賜りたいと存じます。

平成9年3月

横浜市環境保全局  
環境科学研究所長  
吉田作治

# 目 次

## I 業務報告編

大 気 部 門	1
騒音・振動部門	1
水 質 部 門	2
地盤沈下部門	2
社会科学部門	2
環境セミナー	3

## II 調査研究編

### 大 気 部 門

・横浜市内での年末年始時における浮遊粒子状物質調査	5
・横浜地域における地表温度予測モデル	13
・酸性雨等によるブロンズ像の影響調査	19
・酸性降下物による銅板等のリーチング試験－都市部と清浄地域の比較－	31
・横浜市における湿性、乾性降下物の $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比の経年変化(1984-1995)	39
・ホルムアルデヒド測定方法の比較検討－PID-GCとホルムアルデヒド標準ガス連続発生法を用いた測定法の検討－	47

### 騒音・振動部門

・視覚障害者の音環境	51
・地域住民の音環境意識調査(その1 住居系)	59

### 水 質 部 門

・キショウブによる窒素・リンの除去速度と原水濃度(第2報)	67
・有機塩素化合物で汚染された井戸水の吸着浄化実験	75
・都市河川における河床汚濁物質の動態調査(第5報)	81
・横浜市内河川水中の糞便性大腸菌群について	87

### ノ ー ト

### 大 気 部 門

・横浜市における酸性雨調査－1995年の調査結果－	93
・人工酸性雨による銅板および青銅板のリーチング試験	97
・横浜市内の大気中有害物質調査	103
・サーマル・デソープション法を用いた大気中炭化水素類のモニタリング	111

### 水 質 部 門

・横浜市事業所のセレン排水処理実態調査	119
・横浜市内の河川水中の農薬調査	123

## III 資料編

1. 人員及び組織	129
2. 主要機器一覧表	129
3. 予算額	131
4. 学会等研究発表	133
5. 雑誌等投稿	135
6. 環境科学研究所発行資料(調査研究等報告書)	136
7. 環境科学研究所発行資料目録	137

環境科学研究所では、環境・公害行政を科学的に推進するために、大気・騒音・水質・地盤沈下・社会科学の各部門において主に

- (1) 行政検体の分析・検査業務
- (2) 自動測定機の性能検査業務
- (3) 公害・環境問題の調査研究業務
- (4) 環境セミナー等の市民啓発業務

等を行っています。

## I 大気環境に関する試験検査及び調査研究

大気部門では、大気汚染の実態・原因解明などの各種調査研究をすすめています。また、公害対策部による工場・事業場への立入検査や苦情処理に伴う検体について、試験検査を行うほか、大気汚染物質の常時監視測定への高い信頼性を確保するための各種自動測定機の性能検査を実施しています。

### 1. 試験検査業務

平成7年度に実施した各項目毎の検体数及び延べ項目数は表1のとおりです。また、窒素酸化物自動測定機やオゾン自動測定機など39台の検査を実施しました(表2)。

検体項目	検体数	項目数
(1) 重油中の硫黄分	152	152
(2) 重金属類	15	15
(3) 有害物質	62	77
(4) 悪臭	98	98
(5) 炭化水素類	25	55
(6) アスベスト等その他	183	527
合計	535	874

#### (1) 重油中の硫黄分

市内の工場立入検査時に採取した燃料重油中の硫黄分を分析しました。重油中の硫黄分の分析は、JIS-K-2541に基づく蛍光X線法で行いました。

#### (2) 重金属類

一般環境及び道路沿道で浮遊粉じんを採取し、水銀の測定を行いました。

#### (3) 有害物質

神奈川県公害防止条例に規定される有害物質や未規制有害物質について分析を実施しているほか、工場から排出されるアルデヒド類や多環芳香族炭化水素類等の調査を行いました。

#### (4) 悪臭

廃棄物処理場、製造工場、食品工場等から排出される悪臭を測定しました。

#### (5) 炭化水素類

各種化学工場、塗装工場から排出される炭化水素類の測定を行いました。

#### (6) アスベスト等その他

環境中のアスベスト濃度測定や水道原水等に含まれるアスベストの同等等を行いました。さらに、規定の項目に分類できないもの、例えば、ばいじん、硫酸イオンの分析、苦情による試料をその他としてまとめました。

自動測定機	検査台数
窒素酸化物計	15台
一酸化炭素計	1台
オゾン計	17台
炭化水素計	1台
オキシダント計	2台
オゾン発生器	2台
硫酸酸化物計	1台
合計	39台

### 2. 大気に関する公害・環境問題の調査研究業務

#### (1) 地球規模の大気汚染に関する研究

フロン等によるオゾン層の破壊、炭酸ガス濃度の増加等による地球温暖化、酸性雨による森林の破壊等地球規模での環境問題について、調査研究を進めています。

- ① 酸性雨調査
- ② フロンの環境濃度調査
- ③ 温室効果ガス(メタン、二酸化炭素等)の実態調査
- ④ ヒートアイランド現象に関する研究

#### (2) 大気中の化学物質に関する研究

発癌性をはじめ人の健康に影響を及ぼす恐れのある物質、ならびに除草剤等の散布による大気中の残存農薬などの、環境濃度の実態把握や分析法の検討を進めています。

#### (3) 粒子状物質に係わる環境モデルに関する研究

浮遊粒子状物質に係る環境濃度は、固定発生源、移動発生源から排出されるばいじんのほか、土壌粒子・海塩粒子・二次生成粒子等多岐にわたる発生源により構成されます。そこで、これらの発生源が環境濃度に与える影響を推定し、環境濃度改善の手法を検討する基礎的研究をしています。

#### (4) 測定・分析に関する研究

環境汚染の状況を適切に把握するために、現在、自動測定機や簡易測定法により環境濃度等の把握をしています。これら測定方法にはいくつかの課題が残されています。このような測定法上の問題点の解決を図りかつ新たな測定法の開発を目指して研究をしています。

## II 騒音・振動に関する調査研究

騒音・振動に関する実態を調査し、評価方法・対策等の研究をしています。

### (1) 騒音の能動制御に関する基礎的研究

騒音の能動制御技術の実用化の可能性や適用範囲についての研究を進めています。

### (2) 都市空間における音環境に関する研究

本市域の地域特性を考慮し、地域ごとに持っている音環境の特色や住民の受け方について、商業地域として特色を持つ地区でアンケートなどにより調査し、研究を行いました。

### (3) 自然環境音に関する研究

都市部の緑地で聞こえる自然音について、自然音が人間に与える心理的効果を把握するため、心理実験手法の検討をしています。

## Ⅲ 水環境における試験検査及び調査研究

水質部門では、公害対策部が行う工場・事業場に対する立入検査の際に採取した工場排水等の行政検体、市内公共用水域の環境調査に伴う検体、及び苦情に基づく検体などの分析のほか、水質汚濁の実態、原因解明などのさまざまな調査研究を行っています。

### 1. 検査業務

平成7年度に実施した検体項目の検体数及び項目数は次のとおりです。

検体項目	検体数	平成7年度 項目数
(1)工場立入り調査	1,551	3,881
(2)環境調査	738	1,208
(3)除害施設の管理	108	504
(4)苦情など	44	66
合計	2,441	5,659

#### (1)工場立入り調査

平成7年度には、市内の事業場を対象に定期立入調査が行われ、これらの工場・事業場の排水などについて、懸濁物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、シアン、カドミウムや水銀などの有害金属イオン、フェノールなどの30項目について検体の分析を行いました。

#### (2)環境調査

平成7年度の環境調査としては、公共用水域測定計画による水質調査のクロスチェック、中小河川水質調査、二河川協議会の調査、地下水汚染調査、土壌汚染要綱に基づく調査などの検体について分析を行いました。

#### (3)除害施設の管理

法令に基づき除害施設の排水管理のため、処理水等を毎月採取し、COD、重金属イオンなど31項目について分析を行いました。

#### (4)苦情など

河川における魚の浮上事故の原因調査等に必要の水質分析、魚の検査等を行いました。

## 2. 水質汚濁に関する調査研究業務

### (1)富栄養化に関する研究

東京湾の富栄養化の状況を把握するため、人工衛星データによる水質解析手法の検討等を行っています。

### (2)排水の処理技術の研究

用排水の有効利用を図るため、その改善方法について調査しています。

### (3)河川等の水質浄化に関する研究

水生植物を用いた河川・池沼等の水質浄化の成果をもとに中高濃度窒素含有排水の浄化実験を行いました。また、河川における汚濁物質の変動特性を検討するために大岡川上流において水質、沈降物、堆積物付着藻類等を調査しています。

### (4)水域の未規制化学物質に関する調査研究

農薬、陰イオン界面活性剤などの未規制化学物質による汚染実態調査をしています。

### (5)横浜港の自浄機能に関する研究

横浜港港奥部における生物生産量の調査及び底質直上部の現況調査を行っています。

### (6)地下水汚染物質に関する研究

トリクロロエチレンなどの地下水汚染物質の土壤中での消長、分解生成物などの調査及び有機塩素化合物による地下水汚染のモニタリング調査等を行っています。

## Ⅳ 地盤環境に関する調査研究

地盤沈下部門では、横浜市の地盤構造、帯水層の分布及び地下水の涵養状況を調査し、地盤沈下防止対策のための資料を得るとともに、地盤に関する諸情報を取りまとめた「地盤環境図」を作成するための資料の収集を行いました。

### (1)地盤環境に関する調査研究

層別沈下特性調査や地質・土質調査等の地盤環境調査及び、地下水帯水層構造調査等の地下水環境調査を行いました。

## Ⅴ エコアップ推進に関する調査研究

自然と共生した街づくりを実現するために政策科学という視点から計画論、環境デザイン等についての基礎研究をしています。

### (1)エコシティーに関する研究

自然共生型エコライフ・エコシティー実現のための政策について、学識経験者による研究（「エコライフ・エコシティー研究会」）を組織して学際的な討議を行うとともに、エコシティー形成のための新しい環境デザイン（ネイチャーデザイン）手法についての研究をしています。

### (2)エコアップ技術指導及び環境調査

緑政局，市内小中学校等の環境整備事業においてトンボ，メダカ等を指標としたエコアップ（環境のエコロジカルな改善）の技術指導をしています。（こども自然公園他）

また，トンボ環境，トンボ相の現地調査を週1回～月1回本牧市民公園トンボ池，および他の池について実施しています。「横浜にとんぼを育てる会」の協力を得て，本牧市民公園トンボ池の自然環境管理を実施しています。

### (3)自然環境の回復と生態系に関する研究

水辺環境の主体である生態系を保全創造するため，市内の池の分布状況，ため池や公園池等における水生生物の生息状況を調査しています。

## VI 環境セミナー

昭和52年度から「明日の都市環境を考える」を統一テーマに，環境・公害問題を市民とともに考えていく場として，環境セミナー（平成元年度までは公害セミナー）を開催しています。

これまで，一般市民を対象とした講演や研究発表を行ってきました。昭和61年度からは，「調べてみよう身近な環境－水，みどり，まち……」というテーマで，小・中学生，高校生から作品を募集し，平成元年度からは更に一般市民の作品も募集して，選定した応募作品の発表を中心に開催しています。

平成7年度は12月9日（土）に横浜市開港記念会館で開催し，参加者は335名でした。

# 横浜市内での年末年始時における浮遊粒子状物質調査

新井久雄\*, 白砂裕一郎\*

## 要 旨

浮遊粒子状物質の削減対策の基礎資料を得るため、人為起源の影響が軽減する年末年始時に着目して、横浜市内の一般環境と道路近傍において、1985～1994年度の10年間にわたって調査を実施した。

その結果、一般環境と道路近傍における人為起源粒子（微小粒子：2 μm以下）濃度は、年始時には12月通常時のそれぞれ41%、54%と低下した。濃度低下に最も寄与した成分はディーゼル排出粒子の指標成分となっている元素状炭素であった。そこで、ディーゼル排出粒子濃度を推計すると、年始時にはディーゼル排出粒子濃度は一般環境、道路近傍ともに12月通常時の1/5程度に低下した。しかし、浮遊粒子状物質中の主要構成成分である二次粒子成分の濃度低下は、顕著に認められず、とりわけ、NO<sub>3</sub>は年始時と12月通常時とで濃度レベルが同程度であった。また、過去10年間の年始時における微小粒子濃度および主要構成成分濃度は、燃焼起源からの大気汚染物質排出量が最も軽減するにもかかわらず、年度ごと大きく変動し、年度によっては12月通常時並の濃度を示すことがあった。

## 1. はじめに

浮遊粒子状物質汚染の主要な発生源は、最近の各研究機関、当所の調査研究によりディーゼル排出粒子と二次粒子であることが既に明らかにされており<sup>1)・2)・3)</sup>、これらの削減対策が緊急課題となっている。これまで浮遊粒子状物質の削減対策については、固定発生源では燃料の良質化、集じん機の設置等の対策により一定の進展がみられているが、移動発生源では抜本的な対策が打ち出されていない。

そこで、環境庁は1989年度の中央公害対策審議会の答申を受けてディーゼル排出粒子の排出規制強化策と軽油中の硫黄分の低減化の対策を図り、1993年度よりそれぞれの対策を強化しながら順次すすめている。削減対策については、今後、ディーゼル自動車だけでな

く、固定発生源についても、さまざまな対策が検討されると考えられるが、それぞれの対策に対してその効果を評価、判定、確認できなければ、環境基準達成に向けてのさらなる具体的な対策を進めることはできない。

これまで当所では、環境基準達成に向けての浮遊粒子状物質削減対策が図られた場合を想定し、その効果をみるための基礎調査の一つとして、人為起源の影響が軽減する年末年始時と休日に着目し、調査を実施した。それによると、①最も濃度低下に寄与する発生源はディーゼル自動車であること<sup>3)</sup>、②本市の一般環境中の浮遊粒子状物質濃度を年平均値で10 μg/m<sup>3</sup>程度の低減を図るには休日並の発生源排出量にしなければならないこと<sup>3)</sup>、また③人為発生源負荷の少ない年始時においても環境基準値を超過する事例があること<sup>4)</sup>を



図-1 調査地域および測定地点

述べた。

本報では、横浜市内において、1985～1994年度に実施した年末年始時における浮遊粒子状物質調査の10年間の結果から、冬期高濃度時期に最も人為起源の排出量が軽減した場合、浮遊粒子状物質濃度が、どの程度低下し、その濃度低下に最も寄与する要因はなにか報告する。

## 2. 調査期間

1985年～1994年度の年末年始時および12月通常時に調査を実施した。なお、年末とは12月27日10時または12月28日10時から12月31日10時まで、年始とは12月31日10時から1月4日10時または1月5日10時までとした。

## 3. 調査地域および測定地点

図-1に示すように、横浜市内において、浮遊粒子状物質の濃度レベルが平均的な一般環境測定地点（横浜市環境科学研究所5階屋上）とこの地点から最短約600mの距離を走る国道16号（横浜市磯子区内）の道路近傍A（道路端から8.5m：1985～1992年度の測定地点）および道路近傍B（道路端から5m：1993～1994年度の測定地点）において調査した。なお、道路近傍の測定地点は、測定局舎移転のため、1993年度から道路近傍Aを道路近傍Bに変更した。

## 4. 調査内容

アンダーセローボリウムエアサンプラを用いて、人為的影響の大きい微小粒子（2μm以下）を3日から5日間単位で石英ろ紙およびふっ素系ろ紙に捕集し、炭素成分（元素状炭素、有機炭素）、水溶性成分（Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>）を表-1に示す方法で分析した。なお、ろ紙交換は原則として午前10時に行った。

## 5. 調査対象道路の測定地点付近における交通量

都市域における浮遊粒子状物質濃度に最も影響を与えている発生源は自動車排出粒子であり、とりわけ大型車から排出されるディーゼル排出粒子の関与が大きいことは、周知の事実となっている。そこで、浮遊粒子状物質の測定結果を述べる前に、調査対象道路（国道16号横浜市磯子区）の年始時における大型車の交通量を推計した。推計にあたり、横浜市交通量調査（昼12時間交通量：7時～19時）と測定地点近傍の路線バス時刻表を用いた。すなわち、年始時に測定地点を通過する大型車の交通量は路線バスのみとし、またその総交通量は、1986年度の年始時の交通量<sup>2)</sup>を基に、平日の平均値（1985～1994年度）の7割とした。なお、以下に記述する交通量はすべて

表-1 各成分の分析方法

有機炭素 元素状炭素	熱分離法（分離条件：He雰囲気下600℃）
Cl <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	純水-超音波抽出（石英ろ紙） または純水・エタノール-超音波抽出 （ふっ素系樹脂ろ紙）後、 イオンクロマトグラフ法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	前処理（同上）後、インドフェノール法
K <sup>+</sup>	前処理（同上）後、原子吸光光度法

昼12時間交通量（7時～19時）である。

表-2に横浜市交通量調査（1985～1994年度版）による道路近傍A付近での平日および休日（日曜日）の大型交通量と総交通量、また年始時の大型車交通量と総交通量の推計値を示した。

道路近傍A付近での平日における総交通量および大型車交通量はそれぞれ約40,000台/12時間、約10,000/12時間で、大型車交通量を混入率に直すと約25%となっている。また、休日における総交通量は約35,000台/12時間で、平日の1/5に激減し、混入率に直すと約6%となっている。

一方、道路近傍A付近での年始時における総交通量は、1986年度の交通量から平日の3割程度（約28,000台/12時間）の減少と予測される<sup>2)</sup>が、大型車交通量は休日よりさらに減少するものと考えられる。そこで、年始時の路線バス通過台数を基に大型車の通過台数を推計すると、測定地点付近での路線バス通過台数が433台/12時間であることから、この時期の大型車交通量は平日に比較して1/25程度に激減し、その混入率も2%程度になるものと予測される。

主要幹線道路および自動車専用道路では、年始時に大型車交通量が激減することは各機関の調査により明らかにされている<sup>5)、6)</sup>。それによると、市内においては、主要幹線道路および自動車専用道路の大型車混入率が、平日では10～40%（昼12時間）であるのに対し、年始時には自動車専用道路の大型車交通量が平日の1/10～1/100となっている。また、千葉県内の調査でも主要幹線道路および自動車専用道路では、平日の大型車混入率が15～23%（昼12時間）であるのに対し、年始時には大型車混入率が1～2%（昼12時間）になると報告されている。

表-2 対象道路（国道16号横浜市磯子区）の昼12時間交通量（横浜市交通量調査：1985～1994年度版）

	バス (台数)	大型車 (台数)	混入率(%)	総台数 (台数)
平日 1985	784	9,029	23.2	38,891
86	648	9,014	24.3	37,170
87	674	10,124	26.0	39,005
88	738	10,864	26.9	40,445
89	642	9,402	25.4	37,074
90	838	10,193	25.5	39,932
91	684	10,960	26.7	40,984
92	716	10,050	24.1	41,693
93	718	10,323	24.2	42,643
94	704	11,205	26.6	42,126
平均	715	10,116	25.3	39,996
休日 1990	612	2,248	6.3	35,933
94	574	1,979	5.7	35,015
平均	593	2,114	6.0	35,474
年始時 (推定値)	433	433	1.5	27,997

注1) 昼12時間交通量とは7:00～19:00の時間帯

注2) 大型車とはバス、普通貨物車、特殊車の合計



## 6. 結果および考察

### 6-1 微小粒子濃度の年末年始時と12月通常時の比較

一般環境および道路近傍（道路近傍AとBの平均値）での年末年始時と12月通常時における $2\mu\text{m}$ 以下の微小粒子（以下微小粒子）、含有成分およびガス状物質の濃度の平均値を、清浄地域の平均値（一都三県公害防止協議会：南関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書参照）とともに表-3に示した。なお、道路近傍の値は道路近傍Aと道路近傍Bの平均値である。

一般環境および道路近傍での年始時における微小粒子濃度（平均値）は、表-3に示すように、12月通常時の濃度（平均値）に比べて顕著に低下し、その濃度差は一般環境が $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路近傍が $51\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、また[年始時/12月通常時]の濃度比は、一般環境が0.59、道路近傍が0.46となった。しかし、年末時における微小粒子の濃度低下は年始時ほど顕著に認められず、一般環境では12月通常時と同程度、道路近傍では12月通常時の0.80となった。この理由

としては、年末時における粒子状物質の捕集期間が12月27日または28日10時～31日10時であるのに対して、移動発生源（大型車）および固定発生源の汚染物質排出量の減少が29日頃から始まるため、時間的なずれがあること、加えて粒子状物質の長期滞留や、年末時の工場・事業所および一般家庭等の大掃除に伴うごみ等の焼却などの影響があったためと考えられる。

次に、一般環境と道路近傍での微小粒子濃度を比較すると、12月通常時には道路近傍と一般環境で濃度差が $32\mu\text{g}/\text{m}^3$ と顕著に現れているが、年末時と年始時の濃度差は、それぞれ $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ と小さくなり、道路近傍での微小粒子濃度が一般環境のその濃度に近づき、年末年始時に自動車排出粒子の影響が小さくなった。

### 6-2 主要構成成分濃度の年末年始時と12月通常時の比較

年始時における微小粒子の濃度低下に最も寄与した成分は、表-3に示すように、ディーゼル排出粒子の指標成分である元素状炭素

表-3 年末年始時と12月通常時における微小粒子、成分、ガス状物質の平均値と

その濃度比較（1985～1994年度） [単位：ガス状物質(ppb)を除いて $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

		F-SPM	OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	総炭素	NOx	SO <sub>2</sub>
年 末	一般環境	62	7.9	13.7	7.5	5.8	3.6	0.43	6.0	21.6	87	10
	道路近傍	76	9.9	20.8	7.9	6.1	4.6	0.43	6.7	30.7	186	—
年 始	一般環境	37	4.5	6.9	3.6	5.5	2.6	0.21	3.4	11.4	62	6
	道路近傍	44	5.6	10.1	3.8	5.8	2.9	0.23	3.8	15.7	110	—
12月通常時	一般環境	63	8.0	16.1	5.2	5.5	4.1	0.45	4.8	24.1	112	12
	道路近傍	95	15.1	33.3	6.5	5.7	5.6	0.41	5.5	48.4	255	—
	松田	22	3.2	4.7	0.2	1.3	2.1	0.17	1.1	7.9	12	3
	小河内	20	3.4	4.7	0.1	1.5	2.1	0.17	1.2	8.1	—	—
清浄地域 (松田と小河内の平均値)		21	3.3	4.7	0.2	1.4	2.1	0.17	1.2	8.0	12	3
年 末 年 始 時 と 12 月 通 常 時 と の 濃 度 比 [年 末 年 始 時 / 12 月 通 常 時]												
		F-SPM	OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	総炭素	NOx	SO <sub>2</sub>
年 末	一般環境	0.98	0.99	0.85	1.44	1.05	0.88	0.96	1.25	0.90	0.78	0.83
	道路近傍	0.80	0.66	0.62	1.22	1.07	0.82	1.05	1.22	0.63	0.73	—
年 始	一般環境	0.59	0.56	0.43	0.69	1.00	0.63	0.47	0.71	0.47	0.55	0.50
	道路近傍	0.46	0.37	0.30	0.58	1.02	0.52	0.56	0.69	0.32	0.43	—
年 末 年 始 時 と 12 月 通 常 時 と の 濃 度 差 [単 位 : ガ ス 状 物 質 (ppb) を 除 い て $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]												
		F-SPM	OC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	総炭素	NOx	SO <sub>2</sub>
年 末	一般環境	1	0.1	2.4	-2.3	-0.3	0.5	0.02	-1.2	2.5	25	2
	道路近傍	19	5.2	12.5	-1.4	-0.4	1.0	-0.02	-1.2	17.7	69	—
年 始	一般環境	26	3.5	9.2	1.6	0.0	1.5	0.24	1.4	12.7	50	6
	道路近傍	51	9.5	23.2	2.7	-0.1	2.7	0.18	1.7	32.7	145	—

注1) 松田と小河内の値は1990～1993年度の平均値（一都三県公害防止協議会：南関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書）

注2) F-SPMは $2\mu\text{m}$ 以下の微小粒子、OCは有機炭素、ECは元素状炭素

(EC)と有機炭素(OC)で、とりわけ元素炭素の濃度低下は顕著であった。12月通常時と年始時を総炭素(元素炭素と有機炭素)で見ると、平均値でその濃度差は一般環境が $12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路近傍が $32.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、この濃度差を微小粒子の濃度低下(12月通常時と年始時の濃度差)に対する寄与率として求める(表-3から)と、一般環境で48%、道路近傍で64%となった。また、道路近傍での年末時における微小粒子の濃度低下にも、元素炭素と有機炭素の寄与率は $17.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と最も大きく、微小粒子の濃度低下に対する総炭素の寄与率は93%となった。このことは、微小粒子濃度にディーゼル排出粒子が大きく関与していることを裏付けている。

一方、二次粒子成分のうち、 $\text{NO}_3^-$ は年末年始時に濃度低下が認められず、かつ一般環境と道路近傍の濃度レベルが同程度であった。そこで、 $\text{NO}_3^-$ の前駆物質である $\text{NO}_x$ の濃度をみると、 $\text{NO}_x$ は年末年始時に顕著な濃度低下が認められるが、 $\text{NO}_3^-$ の濃度低下に結び付いていない。 $\text{NO}_3^-$ が年末年始時に濃度低下が認められなかった理由として、 $\text{NO}_3^-$ に参与する $\text{NO}_x$ の初期濃度がまだ大過剰にあり、加えて $\text{NO}_x$ から $\text{NO}_3^-$ への酸化能力(反応に係わる $\text{NO}_x$ 量)が年末年始時と12月通常時と大きな差がないことを示唆している。したがって、仮に $\text{NO}_2$ の環境基準が達成されたとしても、冬期では $\text{NO}_3^-$ の大幅な低減効果は期待できないと考えられる。

これに対して、 $\text{SO}_4^{2-}$ は年末年始時に濃度低下が認められた。前駆物質である $\text{SO}_2$ 濃度をみると、年末年始時には $\text{SO}_2$ 濃度は低下していることから、これが $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度低下のひとつの要因として考えられる。

また、 $\text{Cl}^-$ は、年始時には濃度の低下が認められるが、年末時には12月通常時より濃度が高かった。微小粒子中の $\text{Cl}^-$ の主要発生源としては、ごみの焼却に伴って発生する $\text{HCl}$ と考えられることから、6-1項で述べたように、年末時の工場・事業所および一般家庭等の大掃除に伴うごみ等の焼却などの影響と考えられる。その確認として、都市ごみ焼却の指標成分<sup>1),2)</sup>である $\text{K}^+$ 濃度をみると、年末時には $\text{Cl}^-$ と同様に濃度低下が認められず、ごみ焼却の影響を裏付けている。

次に、二次粒子中の中和因子である $\text{NH}_4^+$ をみると、年始時には濃度低下は認められるが、年末時には12月通常時より濃度が高かった。これは、微小粒子中の二次粒子のほとんどが $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等の $\text{NH}_4$ 塩として存在し、かつ $\text{NH}_4^+$ の前駆物質である $\text{NH}_3$ が自然界等を発生源とし、環境中には $\text{NH}_3$ が中和因子として過剰に存在しているため、酸性成分濃度の低下がなければ、 $\text{NH}_4^+$ 濃度の低下に結び付かない。したがって、年末時に $\text{NH}_4^+$ 濃度が高かった要因は $\text{Cl}^-$ および $\text{NO}_3^-$ 濃度が低下しなかったためである。

### 6-3 微小粒子および主要構成成分濃度の年始時と清浄地域の比較

微小粒子とその主要構成成分が、都市域の年始時においてどの程度の濃度低下が認められるかをみるため、都市域の影響をほとんど受けないと考えられる南関東地域の清浄地域の濃度(一都三県公害防止協議会:南関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書参照)を対照にし、それぞれを比較した。清浄地域の地点として選択した神奈川県山間部西丹沢の松田町寄(標高約400m)と、東京都山間部の小河内(標高約500m)は、首都圏の西部に位置するため、北寄りの風が卓越する冬期にはほとんど都市域の影響を受けない<sup>1)</sup>。

清浄地域の2地点の平均値と年始時の平均値を濃度比[年始時/清浄地域]で見ると、表-4に示すように、一般環境および道路近傍における年始時の微小粒子濃度は清浄地域のそれの約2倍となった。主要構成成分のうち年始時において最も汚染度が高かった成分は $\text{Cl}^-$ で、一般環境および道路近傍とも清浄地域の約20倍であった。次いで濃度比の高かった成分は $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ で、それぞれ一般環境および道路近傍とも清浄地域の約4倍、約3倍であった。また、元素炭素および有機炭素の濃度比は約1.5~2倍であった。一方、濃度比が最も1に近かった成分は $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{K}^+$ であった。

以上のように、横浜市内における微小粒子濃度は、人為起源の影響が最も軽減する年始時においても南関東の清浄地域と比較して2倍程度の存在量を示した。また、主要構成成分については、清浄地域と比較して汚染度の高い成分があった。

### 6-4 年始時における微小粒子および主要構成成分の濃度変動

過去10年間の一般環境と道路近傍における年始時の測定値を、12月通常時の平均値とともに図-2に示した。

過去10年間の年始時における微小粒子濃度および主要構成成分濃度は、燃焼起源からの大気汚染物質排出量が最も軽減するにもかかわらず、年度ごとに大きく変動した。とりわけ、1990年度には微小粒子濃度は、一般環境が $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路近傍が $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示し、それぞれ12月通常時(平均値)の濃度レベルと同程度となった。この年度の主要構成成分をみると、二次粒子成分濃度は12月通常時より高く、またディーゼル排出粒子の指標成分となる元素炭素も一般環境では12月通常時の濃度レベルと同程度となっていた。

そこで、高濃度を示した1990年度の年始時を詳細にみるため、同時期に一般環境(横浜市環境科学研究所)でハイボリウムエアサンブラにより調査した主要構成成分の濃度変動を表-5に示した。最

表-4 年末年始時および12月通常時と清浄地域との濃度比較(1985~1994年度)

濃度比: [年末年始時/清浄地域], [12月通常時/清浄地域]		F-SPM	OC	EC	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	総炭素	$\text{NO}_x$	$\text{SO}_2$
年 末	一般環境	3.0	2.4	2.9	37.5	4.1	1.7	2.5	5.0	2.7	7.3	3.3
	道路近傍	3.6	3.0	4.4	39.5	4.4	2.2	2.5	5.6	3.8	15.5	-
年 始	一般環境	1.8	1.4	1.5	18.0	3.9	1.2	1.2	2.8	1.4	5.2	2.0
	道路近傍	2.1	1.7	2.1	19.0	4.1	1.4	1.4	3.2	2.0	9.2	-
12 月	一般環境	3.0	2.4	3.4	26.0	3.9	2.0	2.6	4.0	3.0	9.3	4.0
	道路近傍	4.5	4.6	7.1	32.5	4.1	2.7	2.4	4.6	6.1	21.3	-

注1) 清浄地域の値は松田と小河内の1990~1993年度の平均値  
 注2) F-SPMは $2 \mu\text{m}$ 以下の微小粒子、OCは有機炭素、ECは元素炭素

も高濃度を示した測定日は12月31日10時～1月1日10時で、 $SO_4^{2-}$ を除いた二次粒子成分( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ )と炭素成分が高濃度となり、これが年始時全体(12月31日10時～1月4日10時)の濃度を押し上げたことが理解できる。また、12月31日から1月1日には、横浜はもとより南関東地域の各地でも浮遊粒子状物質濃度が環境基準値

(長期評価：1時間の日平均値が $100 \mu g/m^3$ )を越す異常現象がみられた。この高濃度は一次粒子である元素状炭素などが大気安定度の極めて強い気象条件下において拡散が妨げられ、加えて二次粒子の生成が進みやすい諸条件が揃ったためと推測された。詳細は既報<sup>4)</sup>を参照されたい。

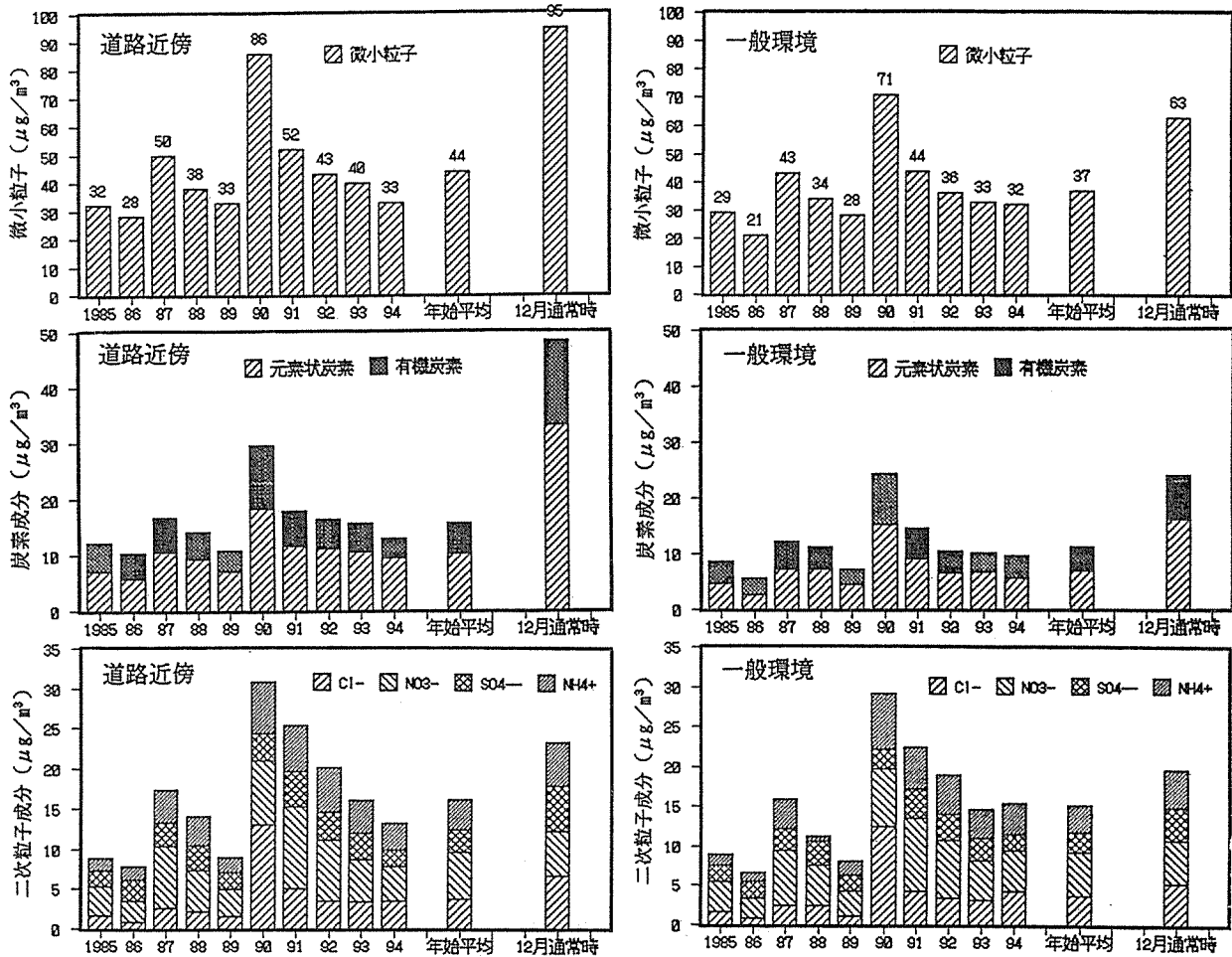


図-2 年始時と12月通常時における微小粒子および主要構成成分濃度

表-5 1990年度の年末年始時における各成分濃度(一般環境) 単位:  $\mu g/m^3$

測定日	EC	OC	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$NH_4^+$	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	nss $Cl^-$	総炭素	二次粒子
25 ~ 26	39.2	29.1	13.7	11.3	6.5	9.3	1.37	0.88	1.91	0.26	11.2	68.3	38.3
26 ~ 27	3.5	6.0	4.2	2.4	3.9	1.5	2.93	0.28	0.64	0.36	-1.1	9.5	6.7
27 ~ 28	14.1	10.9	5.7	2.0	3.2	3.7	0.61	0.44	1.19	0.13	4.6	25.0	13.5
28 ~ 29	17.7	15.1	12.1	5.3	3.2	6.2	0.98	0.68	1.67	0.17	10.3	32.8	25.0
29 ~ 30	11.3	11.0	7.1	4.2	1.9	4.3	0.44	0.42	1.09	0.08	6.3	22.3	16.7
30 ~ 31	13.8	15.9	10.1	5.3	2.4	6.0	0.69	0.52	1.30	0.13	8.9	29.7	22.6
31 ~ 1	67.6	63.8	68.6	26.7	8.8	36.5	3.08	2.41	5.78	0.63	63.0	131.4	135.0
1 ~ 2	17.3	17.6	12.0	10.9	3.2	9.2	0.59	0.73	1.58	0.17	10.9	34.9	34.2
2 ~ 3	12.9	11.1	10.8	6.9	3.2	7.1	0.76	0.38	1.12	0.14	9.4	24.0	26.6
3 ~ 4	8.6	10.1	6.3	4.4	2.2	3.8	1.60	0.26	0.94	0.24	3.4	18.7	13.8
4 ~ 5	5.6	6.1	4.2	2.6	3.1	2.7	1.52	0.26	0.62	0.21	1.5	11.7	9.8

注1) 測定時間は午前10～翌午前10時

注2) ECは元素状炭素, OCは有機炭素, nss $Cl^-$ 濃度は $Cl^-$ 濃度から海塩粒子の影響を補正した値

注3) 二次粒子はnss $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ の合計

次に、一般環境と道路近傍における微小粒子および主要構成成分濃度を比較すると、図-2に示すように、12月通常時では微小粒子および炭素成分は明確に濃度差が認められるが、年始時では各年度とも微小粒子および炭素成分の濃度差は小さくなり、ディーゼル排出粒子の影響は小さくなった。また、二次粒子成分は年始時はもとより12月通常時においても一般環境と道路近傍との濃度差が小さく、加えて年始時のその濃度は過去10年間の測定のうち12月通常時に匹敵する濃度がたびたび観測された。

以上のように、年始時にはディーゼル排出粒子の影響は小さくなるが、気象条件や二次粒子の生成が進みやすい諸条件が揃うと、年始時であっても微小粒子および主要構成成分濃度は12月通常時並になることが明らかとなった。

#### 6-5 ディーゼル排出粒子および二次粒子の予測濃度と寄与率の推計

ディーゼル排出粒子が環境中の微小粒子濃度レベルに大きく関与し、12月通常時と年始時とでは、その影響がディーゼル排出粒子の指標成分である元素状炭素から大きく異なることが明らかとなった。そこで、12月通常時および年始時におけるディーゼル排出粒子の影響を、二次粒子とともに推計した。ここで、南関東の清浄地域における元素状炭素濃度が都市域からのディーゼル排出粒子の影響を最も受けていないときの値とすれば、この値と横浜市内の元素状炭素濃度の差が冬期におけるディーゼル排出粒子の影響とみなせる。そして、ディーゼル排出粒子中に占める元素状炭素の割合が解れば、次式によりディーゼル排出粒子の影響が推計できる。なお、推計に用いた清浄地域は、6-3項で述べたように、北寄りの風が卓越する冬期にはほとんど都市域の影響を受けない。

$$X = [EC(A) - EC(B)] \times 100/57$$

X: ディーゼル排出粒子が関与する微小粒子濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

EC(A): 道路近傍および一般環境における元素状炭素濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

EC(B): 清浄地域における元素状炭素濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

57: ディーゼル排出粒子中に占める元素状炭素の割合 (%)

ディーゼル排出粒子および二次粒子の予測濃度の平均値と微小粒子中のそれぞれの寄与率の平均値を表-6に示した。

ディーゼル排出粒子の予測濃度を12月通常時と年始時と比較すると、12月通常時は道路近傍が  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となっているが、年始時は道路近傍が  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  とそれぞれ12月通常時の1/5程度に激減した。また、微小粒子中のディーゼル排出粒子の寄与率をみると、12月通常時は道路近傍が53%、一般環境が32%となっているが、年始時は道路近傍が20%、一般環境が11%となり、寄与率についても20~30%値が低くなった。

調査対象道路とした幹線道路の大型車交通量は、5項で述べたように、年始時には通常時の1/25程度(昼12時間:約400台/10,000台)になると推定される。そこで、大型車の走行台数の減少とディーゼル排出粒子濃度の減少を比較するため、道路近傍と一般環境のディーゼル排出粒子の濃度差、すなわち対象道路直接の影響をみると、表-6に示すように、12月通常時では  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年始時では  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となり1/5に激減した。このことは、今回の調査事例では、大型車交通量が1/25程度になると、道路近傍でのディーゼル排出粒子の直接の影響は1/5程度になると推定される。

次に、二次粒子の予測濃度 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  の合計) をみると、12月通常時は道路近傍が  $23.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $19.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$

表-6 ディーゼル排出粒子 (DEP) および二次粒子の予測濃度と寄与率の推計

	12月通常時		年末時		年始時		清浄地域
	道路	環境	道路	環境	道路	環境	
F-SPM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	95	63	76	62	44	37	21
EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	33.3	16.1	20.8	13.7	10.1	6.9	4.7
DEP由来のEC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	28.6	11.4	16.1	9.0	5.4	2.2	0
DEP由来のF-SPM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	50	20	28	16	9	4	0
F-SPM中の寄与率 (%)	(53)	(32)	(37)	(26)	(20)	(11)	(0)
対象道路由来のDEP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	30	0	12	0	6	0	0
F-SPM中の寄与率 (%)	(32)	(0)	(16)	(0)	(14)	(0)	(0)
二次粒子 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	23.3	19.6	25.3	22.9	16.3	15.1	4.8
F-SPM中の寄与率 (%)	(25)	(31)	(33)	(37)	(37)	(41)	(23)

注1) F-SPMは微小粒子, ECは元素状炭素, DEPはディーゼル排出粒子

注2) 二次粒子は $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  の合計

注3) 対象道路由来のDEPとは、道路近傍と一般環境のDEPの濃度差

となり、一方、年始時は道路近傍が  $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、6-4項で述べたように、二次粒子はディーゼル排出粒子ほど年始時に濃度低下が認められなかった。また、その寄与率をみると、12月通常時は道路近傍が25%、一般環境が31%となり、一方、年始時は道路近傍が37%、一般環境が41%で、年始時における寄与率が大きくなった。

## 7. まとめ

浮遊粒子状物質の削減対策の基礎資料を得るため、人為起源の影響が軽減する年末年始時に着目して、横浜市内の一般環境と道路近傍において、1985~1994年度の10年間にわたって調査を実施し、次の知見が得られた。

1) 一般環境および道路近傍での年始時における微小粒子濃度(平均値)は、12月通常時の濃度に比べて顕著に低下し、その濃度は一般環境が  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路近傍が  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となり、また[年始時/12月通常時]の濃度比は、一般環境が0.59、道路近傍が0.46となった。しかし、年末時における微小粒子の濃度低下は年始時ほど顕著に認められなかった。また、12月通常時では道路近傍と一般環境で濃度差が顕著に現れているが、年末時と年始時ではその濃度差は小さくなり、年末年始時に自動車排出粒子の影響が小さくなった。

2) 年始時における微小粒子の濃度低下に最も寄与した成分は、ディーゼル排出粒子の指標成分である元素状炭素と有機炭素で、とりわけ元素状炭素の濃度低下は顕著であった。微小粒子の濃度低下(12月通常時と年始時の濃度差)に対する総炭素(元素状炭素と有機炭素)の寄与率(平均値)は一般環境で48%、道路近傍で64%となった。

3) 主要構成成分のうち、 $\text{NO}_3^-$  は、その前駆物質である $\text{NO}_x$ 濃度と異なり、年末年始時ともに濃度低下が認められず、かつ一般環境と道路近傍の濃度レベルが同程度であった。 $\text{NO}_3^-$ が年末年始時に濃度低下が認められなかった理由として、 $\text{NO}_3^-$ に関与する $\text{NO}_x$ 初期濃度がまだ大過剰にあり、加えて $\text{NO}_x$ から $\text{NO}_3^-$ への酸化能力(反応に係わる $\text{NO}_x$ 量)が年末年始時と12月通常時と大きな差がないことを示唆している。

4) 横浜市内における微小粒子濃度は、年始時においても南関東の清浄地域と比較して2倍程度の存在量を示した。また、主要構成成分については、年始時においても清浄地域と比較して汚染度の高い成分( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )があった。

5) 過去10年間(1985~1994年度)の年始時における微小粒子濃度および主要構成成分濃度は、燃焼起源からの大気汚染物質排出量が最も軽減するにもかかわらず、年度ごと大きく変動した。また、気象条件や二次粒子の生成が進みやすい諸条件が揃うと年始時であっても微小粒子および主要構成成分濃度は12月通常時並になることが明らかとなった。

6) ディーゼル排出粒子の予測濃度を12月通常時と年始時と比較すると、12月通常時は道路近傍が  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となったが、年始時は道路近傍が  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境が  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  とそれぞれ12月通常時の1/5程度に激減した。また、微小粒子濃度に占めるその寄与率をみると、年始時は道路近傍が20%、一般環境が11%となり、12月通常時に比較して20~30%低くなった。

## 文 献

- 1) 一都三県公害防止協議会：平成6年度南関東浮遊粒子物質合同調査結果報告書(1996)。
- 2) 新井久雄、佐俣満夫、白砂裕一郎：浮遊粉じんの発生源推定に関する調査研究報告書(1989)。
- 3) 新井久雄、白砂裕一郎：横浜市内における浮遊粒子状物質の平日および休日の挙動、横浜市環境科学研究所報、17、9(1993)。
- 4) 新井久雄、太田正雄、白砂裕一郎、一都三県二市南関東SPM検討会：南関東地域での年末年始時における浮遊粒子状物質の高濃度出現事例、横浜市環境科学研究所報、18、15(1994)。
- 5) 鶴東正博：都市空間における汚染物質濃度の評価例、国立公害研究所環境情報部資料第11号 第8回大気環境データ処理システム研究会報告書、83(1985)。
- 6) 岡崎 淳、井上智博、宇野博美：窒素酸化物濃度に与える自動車排ガスの影響 正月三日と12、1月平日の比較、千葉県環境研究所研究報告、24、1(1992)。

## 横浜市域における地表温度予測モデル

佐俣 満夫\*

## 要 旨

横浜市域でのヒートアイランド現象を解明するに当り、対象エリアの地表温度の解明は気温の解明と共に重要である。そこで1995年2月～1996年1月までの1年間について実測データとランドサット衛星データを基にして、現状の地表温度を推定する地表温度推定モデル、植生の減少に伴う地表温度の上昇を予測する地表温度上昇予測モデル、上昇地表温度のマップを作成する地表温度マッピングモデルをそれぞれ開発した。これより地表温度の年平均値は17.0℃であり、横浜市域の全域が市街化された場合、地表温度は年平均0.235℃上昇することが予測された。また植生減少に伴う地表温度の変化は日中で上昇傾向（ヒートアイランド化）を示し、逆に夜間では低下傾向（クールアイランド化）を示すことがわかった。

## 1. はじめに

本市におけるヒートアイランド解析のための一次モデルとしてランドサットデータより得られる植生指標（以下NVI）を用いた植生減少に伴う温度上昇予測モデルを既に開発した<sup>1, 2)</sup>。このモデルは人工衛星観測日のみに着目しているため、一般的とはいえず年間での解析の必要性があった。そこで、植生の有無による地表温度や気温の相違、さらに地表温度分布や気温分布の特性について解析してきた<sup>3, 4)</sup>。地表温度のデータは、地表大気熱収支に直接関係するためヒートアイランドの解析にとって重要なデータである。そのため、ここではこれまでの解析結果を基にして新たに地表温度上昇予測モデルを開発した。このモデルにより従来人工衛星観測日のみの予測が、年間を通しての市内全域での地表温度上昇予測に拡張された。本モデルは地表温度推定モデル、地表温度上昇予測モデル、地表温度マッピングモデルより構成されている。なお、これらのモデルの解析期間は解析手順の必要性より1995年2月～1996年1月までの1年間（以下これを解析期間という）をベースとした。

## 2. 解析モデルの概要

本モデルは表-1のフローに示すように地表温度推定モデルを基本とし、そのステップ中に地表温度上昇予測モデルとマッピングモデルが付加された形で構成されている。表-1中の点線で囲まれたデータが本解析に必要なデータ項であり、いずれも解析期間に取得したデータを用いている。

ここでは地表温度推定モデルを中心にその概要を述べる。ステップ1では当研究所周辺の宅地と林について月一回の晴天日での24時間の表面温度の実測データから、正規分布を用いて年間時間（365日×24時間）での毎時の宅地と林の表面温度を計算する。さらに表面温度STとNVIの間には次のような関係が得られているため<sup>1, 2)</sup>、ステップ2では

$$ST=A[NVI]+B \quad (1)$$

実測したNVIを用いて、宅地と林の年間時間での(1)式のA, Bを算出する。ステップ3ではA, Bより得られた(1)式にランドサットデータ

からの面積率分布と年間の雲量を対応させることにより、市内全域の平均地表温度を毎時について算出する。これより年平均地表温度が得られる。この結果は解析期間における横浜市内全域の地表温度の平均値を示していることになる。

地表温度上昇予測モデルでは植生率の減少に伴いステップ3でのNVIの面積率分布を変換した上で計算した結果から既に実態として推定された地表温度を差し引くことにより地表温度の上昇分を求める。さらにマッピングモデルはステップ3のNVIの面積率分布の計算を各画素ごとに置き換えて計算することにより求める。

## 3. 地表温度推定モデル

## 3.1 地表温度推定モデルの解析方法

## 3.1.1 ステップ1

本ステップでは月1回の24時間の宅地と林の表面温度を年間時間の表面温度に補間する。1～24時のそれぞれについて横軸に2月～翌年1月までの月をとり、縦軸に表面温度をとると1山型のグラフが得られる。このことより解析期間は1995年2月～1996年1月とした。図-1に正午（12時）でのグラフを示すが、これに正規分布を当てはめると宅地、林共に全ての時間について実測データは正規分布でよく近似される。そこで24時間のそれぞれの横軸の月を累積日数に置き換えれば、正規分布による補間により年間の各日での毎時の宅地と林の表面温度が計算できる。

## 3.1.2 ステップ2

ここでは、年間時間での(1)式における係数A, Bの算出方法を述べる。当研究所では月1回フォトメータ（阿部計測製）を用いて研究所周辺の宅地、林、草地、ケヤキ（落葉樹）、ツバキ（常葉樹）のそれぞれのNVIを測定している。この実測NVI値をランドサットデータから得られるNVI値に変換するためには、大気吸収等による輝度減衰の補正を必要とする。解析期間中に得られたランドサットデータでのNVI<sub>(L)</sub>と実測NVI<sub>(G)</sub>の宅地と林の値の相関を図-2に示す。これより相関式は次のようになる。

$$NVI_{(L)}=0.62[NVI_{(G)}] \quad (2)$$

表-1 地表温度推定モデルの解析フロー

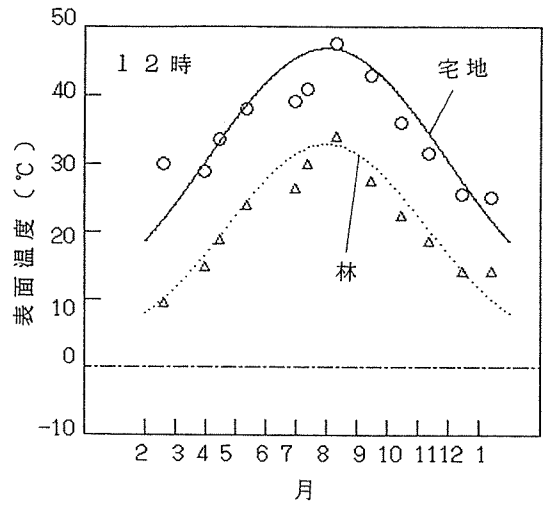
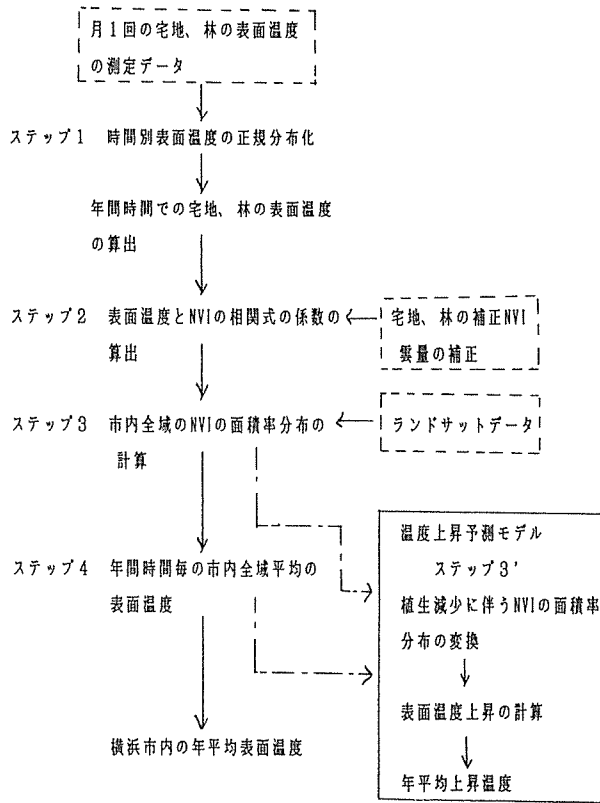


図-1 研究所周辺の宅地と林の年間表面温度の正規分布近似(12時)

ものとして、ステップ1で得られた表面温度と補正NVIを(1)式に当てはめることにより年間時間での宅地と林の係数A, Bが得られる。

さて、これまで解析してきた表面温度はすべて晴天日の結果であるが、雨天もしくは完全な曇天での宅地の表面温度は、林の表面温度にほぼ等しくなることがわかっている<sup>3)</sup>。これは宅地等の人工建造物の表面温度は雲量の影響を大きく受けることを示している。そこで解析期間の毎日の横浜での雲量<sup>5)</sup>を用い、これを快晴を1.0完全な曇天もしくは雨天を0とした雲量係数 $CL_t$ に変換する。ここで、(1)式のA, Bを計算するに当り、宅地、林の表面温度をそれぞれ $ST_t$ 、 $ST_f$ とし、宅地、林の補正NVI値を $NVI_t$ 、 $NVI_f$ とすると雲量を考慮した宅地の表面温度 $HST_t$ は次のようになる。

$$HST_t = (ST_t - ST_f)CL_t + ST_f \quad (3)$$

係数A, Bはそれぞれ

$$A = \frac{HST_t - ST_f}{NVI_t - NVI_f} \quad (4)$$

$$B = HST_t - A \cdot NVI_t \quad (5)$$

(2)式により補正した実測NVIの値を図-3に示す。そこで、(1)式は従来の解析では人工衛星観測時のみ成り立つものとして扱ってきたが<sup>1, 2)</sup>、宅地、林、草地の補正NVIと同じ月に実測されたそれぞれの表面温度を1~24時について相関をとるといずれもほぼ直線で近似できた。これより(1)式が年間時間にわたって成り立つ

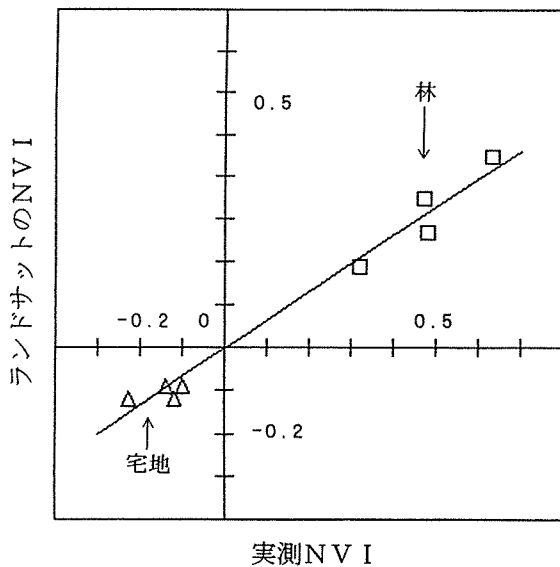


図-2 研究所周辺の宅地と林のランドサットによるNVIと実測NVIとの相関

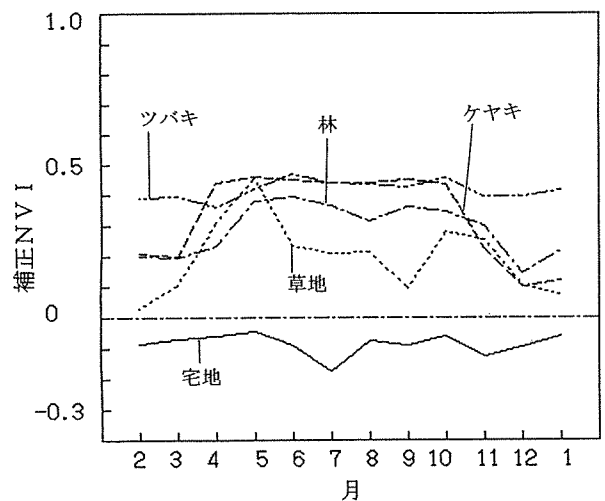


図-3 研究所周辺の宅地、林、草地、ケヤキ、ツバキの年間の補正NVI値

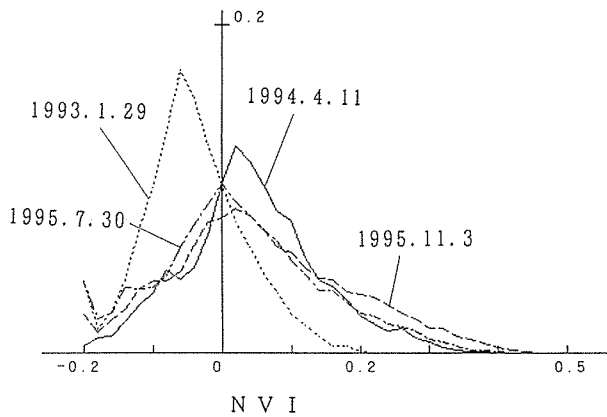


図-4 ランドサット衛星データより得られたNVI (4シーン) による横浜市内の面積率分布

で与えられる。したがって年間時間について(3)~(5)式を計算することにより雲量を考慮した年間時間での(1)式が得られる。

### 3. 1. 3 ステップ3及び4

ステップ3ではステップ2で得られた(1)式についてランドサットデータから得られるNVIの面積率分布を用いて、横浜市全域での年間時間ごとの面平均地表温度の算出方法を述べる。ランドサットデータは解析期間を中心に季節別に4シーン用いたが、解析期間に得られなかったデータは、最も近い期日のものとした。各シーンは1995年7月30日(夏期)、1995年11月3日(秋期)、1993年1

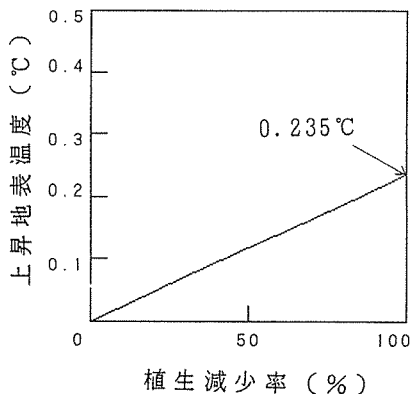


図-6 植生減少に伴う横浜市内の平均地表温度の上昇予測

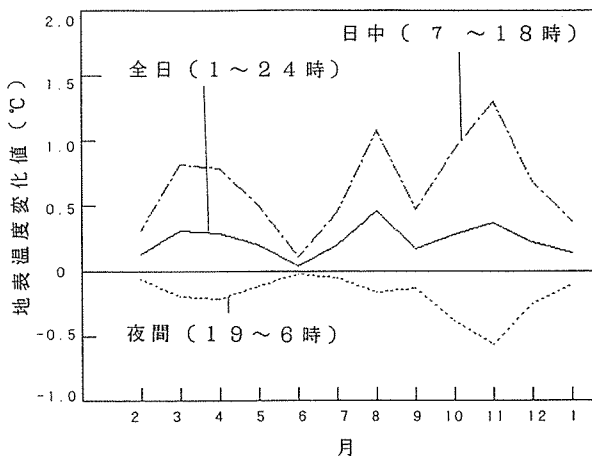


図-7 植生減少率100%での全日、日中及び夜間における地表温度変化の年間予測

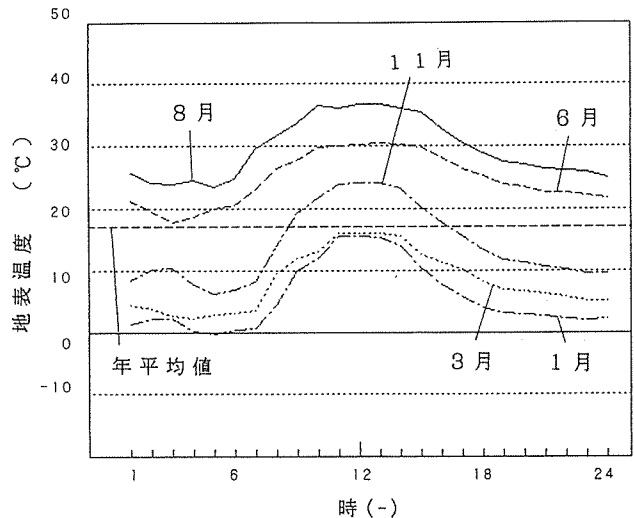


図-5 季節別代表月での横浜市内の地表温度 (月平均) の日変化

月29日(冬期)、1994年4月11日(春期)である。なお、これらのデータの一部は宇宙開発事業団の研究用の提供を受けた。ランドサットデータより得られた横浜市域のNVIの面積率分布を図-4に示す。NVIが-0.2~0は市街地、0~0.2が田畑等の緑地、0.2~0.5が概ね森林である。春、夏及び秋期では市街地はほぼ30~40%であるが、冬期には70%にも達するのは落葉等により外見上緑色が減少するためである。

ここで図-4においてNVIの微小区間 $\Delta NVI$ に占める画素の面積率を $\Delta RN$ とし、毎時の面平均地表温度 $ST_h$ とすれば、 $ST_h$ はNVIの-0.2~0.5の区間を積分することによって得られ、次のようになる。

$$ST_h = \int_{-0.2}^{0.5} \Delta RN (A \cdot [NVI] + B) d(NVI) \quad (6)$$

さらに、ステップ4では得られた $ST_h$ と入力データを用いて、月別及び年間の地表温度の算出あるいは雲量別、昼夜別等の解析を行う。

したがってこの解析法は横浜市域の240mX240mメッシュ(1画素)について、それぞれ365日X24時間(年間時間)の地表温度を計算することと同じである。

### 3. 2 地表温度の推定結果

本モデルを用いて推定した1995年2月~1996年1月までの1年間の横浜市内の年平均地表温度は17.0°Cである。季節別の月の月平均地表温度の日変化を図-5に示す。地表温度の日変化はいずれも日中に高くなり、一日の地表温度差は春、夏期で10°C前後、冬期で15°C、

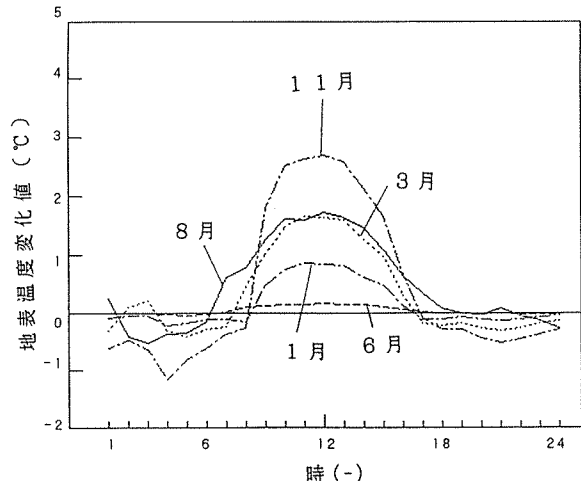


図-8 季節別代表月における地表温度変化の日変化予測(植生減少率100%)



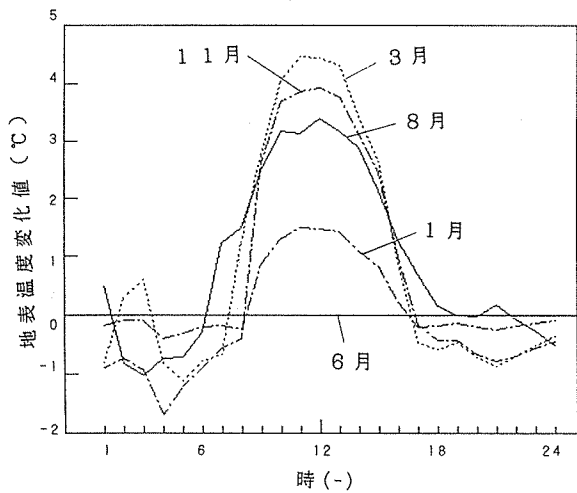


図-9 季節別代表月における晴天日(雲量=0~3)での地表温度変化の日変化予測(植生減少率100%)

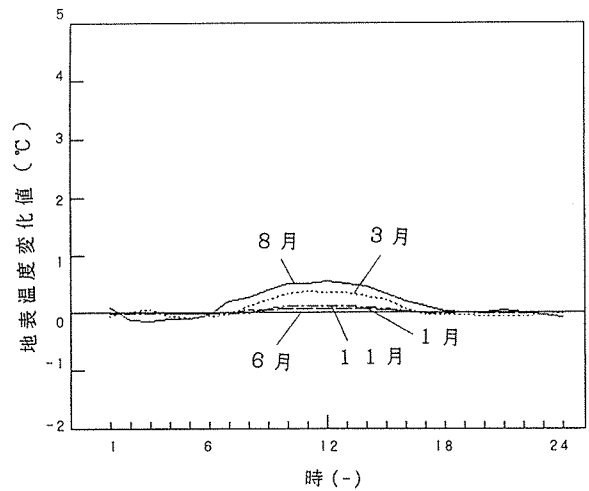


図-10 季節別代表月における雲天または雨天(雲量=7~10)での地表温度変化の日変化予測(植生減少率100%)

秋期で最も大きく20°C前後(11月)となった。これは冬、秋期は比較的晴天日が多いことと、後述するように大気透明度が増すためと考えられる。また夜間での地表温度の最低値は8月で22°C程度であるが、1月では0°C以下となる。

#### 4. 地表温度上昇予測モデル

##### 4.1 地表温度上昇予測モデルの解析方法

本モデルは開発等により植生が減少した場合、現状の地表温度推定モデルから得られた結果よりどの程度地表温度が上昇するかを予測するものである。そこで前述のステップ3以降を次のように変換する。まず開発が行われた場合種々のケースが考えられるため、ここでは現状のNVI>0の地域(田畑、森林等)が一定の比率でしかも均一に減少した分が、NVI<0の地域(工場、商業、住宅等)に同じく均一に移行するものと仮定する。この仮定のもとに植生減少率に伴い図-4のNVIの面積率分布を変換させて、ステップ1~4を計算する。そこで植生減少による地表温度をWST、現状の地表温度をSTとすると、植生減少に伴う地表温度の変化量USTは次のようになる。

$$UST = WST - ST \quad (7)$$

したがって(7)式を年間時間について計算することにより、植生減少

による地表温度上昇分が得られる。

##### 4.2 地表温度上昇予測結果

植生減少に伴う地表温度変化の解析結果を図-6に示す。植生が減少すると平均地表温度は明らかに上昇し、横浜市内の緑地がすべて市街地として開発された場合(植生減少率=100%)平均地表温度は0.235°C上昇することが予測された。また地表温度の上昇傾向は解析上直線的に変化する。これより植生減少率100%の傾向がつかめれば他の植生減少率の傾向は容易に推定できるので、これ以降の解析はすべて植生減少率100%の場合について検討した。

図-7に全日(1~24h)、日中(7~18h)、夜間(19~6h)のそれぞれの各月別の地表温度上昇予測を示す。全日で温度上昇の最も高い月は8月であり、11月、3、4月も高い傾向がみられる。逆に6、9月は低い傾向となるが、これらの月は雨天及び曇天が多いためと考えられる。また日中のみをみると11月が最も高く地表温度上昇は1.5°Cに達する。逆に夜間ではいずれの月も0°C以下と地表温度は減少傾向となる。これは夜間の放射冷却によりクールアイランド現象が生じるためと考えられる。特に11月は日中の温度上昇も夜間の温度減少も共に大きい。これは秋期には大気透明度が増大し、太陽熱あるいは地表熱の放射がさかんに行われるためと考えられる。また8

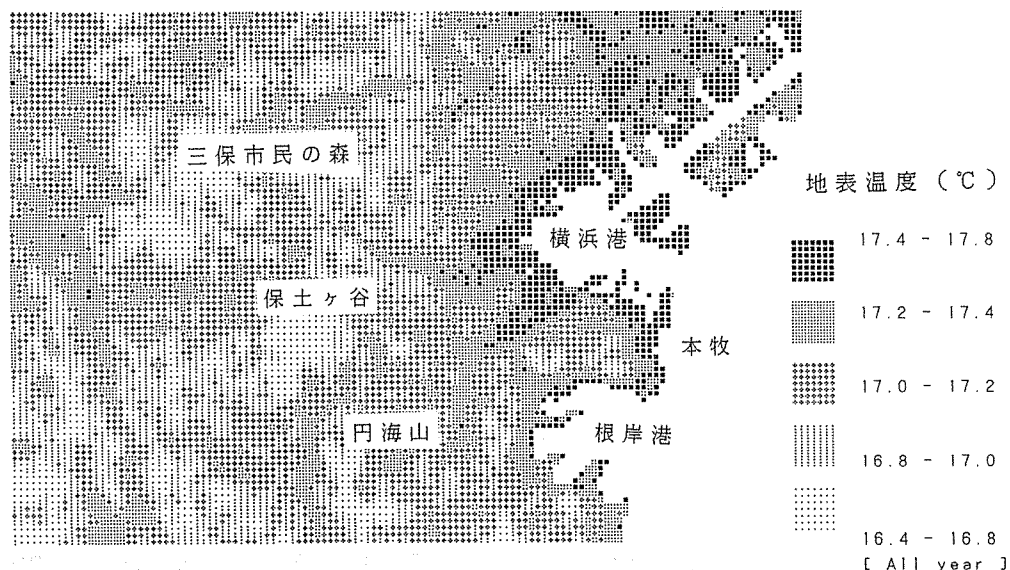


図-11 横浜地域における年平均地表温度分布

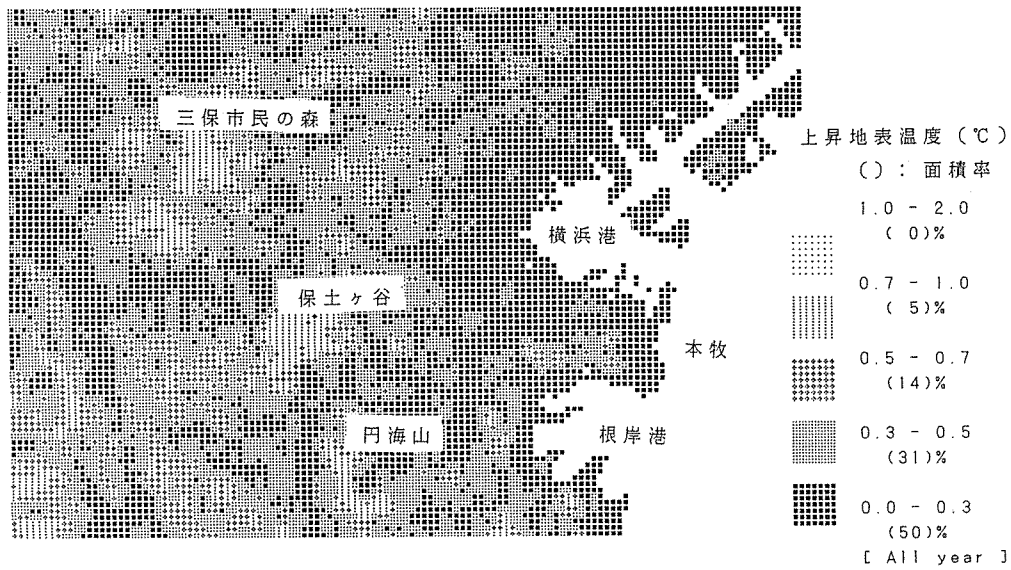


図-12 横浜地域における年平均上昇地表温度の分布予測 (植生減少率100%)

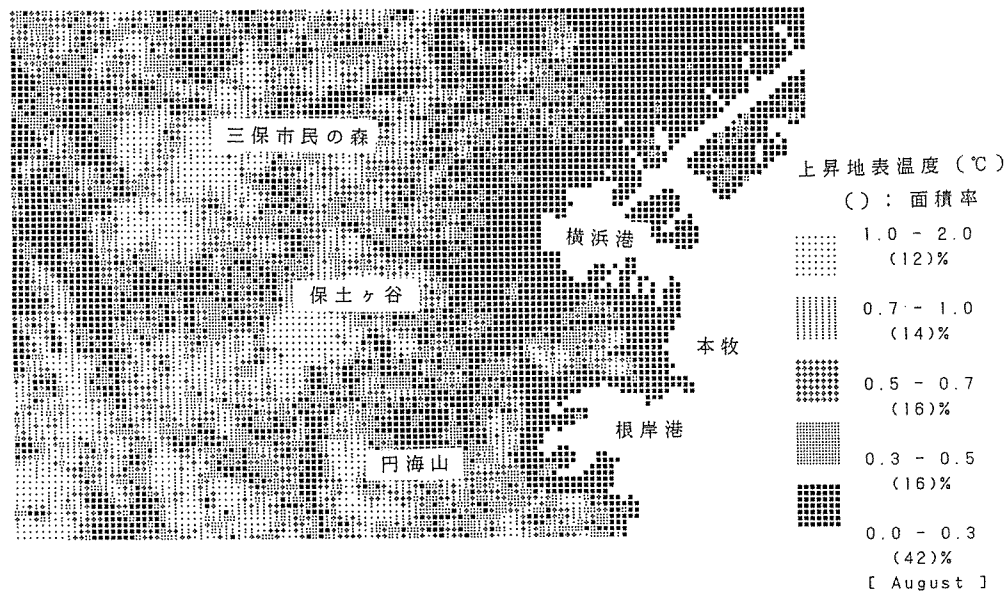


図-13 横浜地域における夏期での上昇地表温度の分布予測 (8月) (植生減少率100%)

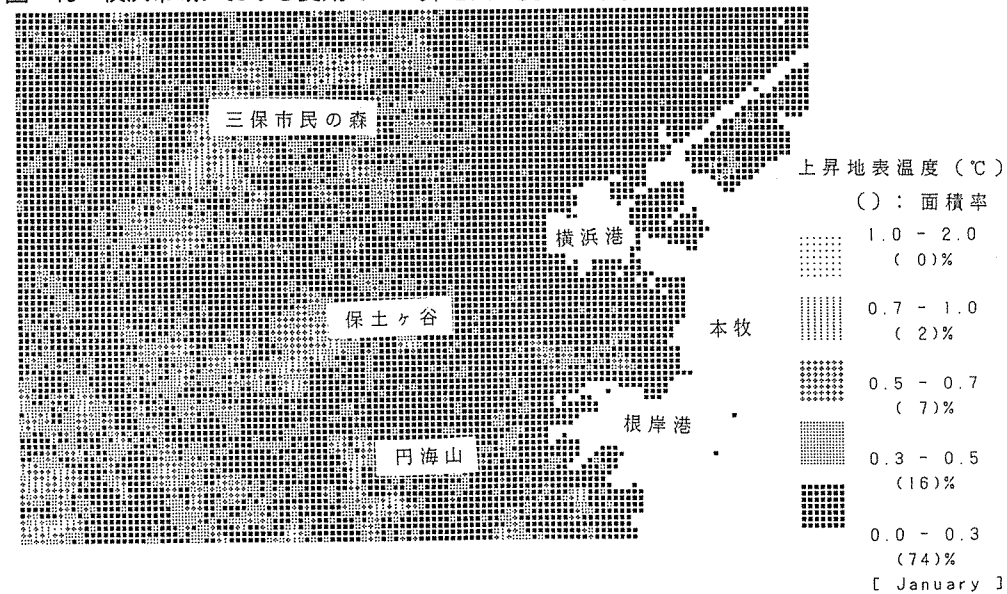


図-14 横浜地域における冬期での上昇地表温度の分布予測 (1月) (植生減少率100%)

月で比較的夜間の冷却が小さいのは大気温度が高い状態で安定しているためと考えられる。総じて日中の地表温度によるヒートアイランド現象が大きいほど夜間の地表温度によるクールアイランド傾向も大きくなる結果が得られた。さらに夜間では大気が安定し、大気の接地混合層高さが低くなる傾向があるため、夏期などでは地表からの放射熱を接地大気層が受けて、気温のヒートアイランド化が夜間に顕著になる可能性がある<sup>6)</sup>。

次に季節別の植生減少に伴う地表温度差の日変化を図-8に示す。いずれの月も日中は地表温度が上昇し、夜間は減少する。特に11月は前述した傾向が顕著に現れ、温度差の最高は12h付近で3°Cに達し、最低も-1°Cと最も低い。6月は梅雨期であり雨が多いためほとんど日変化はみられず、温度差は0°C前後である。

次に雲量の相違による日変化の傾向について検討する。図-9に晴天日(雲量0~3)のみについて解析した地表温度差の日変化を示す。冬期(1月)を除く期間の日中の最高温度差は3~5°Cとなり、特に3月では5°Cにも達する。またこれらの季節では夜間の温度減少も大きい。さらに完全な曇天もしくは雨天(雲量7~10)の場合を図-10に示すが、この場合ほとんど年間にわたり地表温度差の日変化はみられない。これより植生減少による地表温度の上昇傾向は雲量に著しく影響されることがわかった。

## 5. 地表温度マッピングモデル

### 5.1 マッピングモデルの解析方法

本モデルは横浜市全域の地表温度の面分布を得るものであり、この場合も前述したステップ3以降を変更することで得られる。即ちステップ3でのNVIの面積率分布による計算を、ここではランドサットデータの1つ1つの画素(240mメッシュ)のNVIについて各々年間時間について計算する。この場合ランドサットデータの4シーンは各々切り取り位置が若干異なるため各シーンのうち完全に重ね合わせの可能な画素のみを抽出した。

### 5.2 マッピングモデルの解析結果

解析期間での横浜市域の地表温度の推定面分布を図-11に示す。市全域の平均地表温度は17.0°Cであるが、面分布は16.4~17.8°Cに分布している。17.4~17.8°Cの高温域は工場、住宅などの市街域に対応し、16.4~17.0°Cの低温域は森林や緑生の多い地域にほぼ対応している。これより従来のモデル<sup>1, 2)</sup>に示された地表温度が森林<草地(田畑)<市街地の順に高くなる傾向は、本モデルでも明確に明らかになった。さらに森林域と市街域との年平均地表温度差は1.0°C程度と考えられた。

次に植生減少率が100%となった場合の上昇地表温度の予測面分布を図-12に示す。このマップはある微小地域が開発等により市街地と同様なまでに植生が減少した場合、その地域の地表温度が年平均何°C上昇するかを示している。上昇地表温度が0~0.3°Cの地域はすでに開発された市街地であり全体の50%を占めている。上昇地表温度が0.5~1.0°Cの地域は森林もしくは緑生の多い地域であり全体の

19%である。夏期(8月)での上昇地表温度の予測面分布を図-13に示す。夏期では植生が多く繁茂しているため、地表温度の上昇する地域も多くなり、かつ上昇温度自身も高くなり、上昇地表温度が0.7~2.0°Cに達する地域は26%となる。即ち森林域を開発した場合、夏期では1.0~2.0°C程度の地表温度の上昇が予測され、4.2での解析結果から推定すると晴天日であれば5°C以上の上昇が懸念される。次に冬期(1月)での上昇地表温度の予測面分布を図-14に示す。冬期では落葉等により植生が見かけ上減少するため、温度上昇のみられない地域(0~0.3°C)が74%を占める。また温度上昇の高い地域(0.5~1.0°C)は9%にすぎない。

## 6. おわりに

1995年2月~1996年1月(解析期間)の1年間の実測データ及びランドサットデータを用いて地表温度推定モデル、地表温度上昇予測モデル、地表温度マッピングモデルの開発を行い植生減少に伴う横浜市域での地表温度の上昇予測を解析した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 解析期間での横浜市全域の平均地表温度は17.0°Cとなり、日中で高く、夜間で低くなる傾向がつかめた。さらに日中の地表温度は夏期で35°C前後、冬期で15°C程度となった。また地表温度の日変化は秋期で最も大きく20°C程度であった。
- 2) 植生減少に伴う地表温度の上昇は植生減少率100%のときで0.235°C、50%で0.117°Cと予測された。また植生減少に伴う地表温度の日変化をみると日中で上昇傾向(ヒートアイランド化)、夜間で減少傾向(クールアイランド化)が顕著に認められ、日中の地表温度でのヒートアイランド化が大きいほど夜間の地表温度でのクールアイランド化も大きくなることがわかった。
- 3) 地表温度の横浜市域での面分布より、年平均地表温度は市街域より森林域の方が約1°C低くなることが推測された。また植生減少率100%での地表温度の上昇傾向は森林域が最も高く、年平均で0.7~1.0°C、夏期では1.0~2.0°C程度と予測された。

## 文 献

- 1) 佐俣：都市での植生指標を用いたヒートアイランド現象解析のためのNVIモデル、横浜市環境科学研究所報、18, 21-26(1994)
- 2) 佐俣：都市での植生指標を用いたヒートアイランド現象解析のためのNVIモデル(その2)、横浜市環境科学研究所報、19, 27-30(1995)
- 3) 佐俣：都市における地表温度の特性、横浜市環境科学研究所報、19, 31-35(1995)
- 4) 佐俣：横浜市域における地表温度と気温の分布特性、横浜市環境科学研究所報、20, 9-12, (1996)
- 5) 神奈川県気象月報、(1995年2月~1996年1月)
- 6) 近藤：水環境の気象学、299-303、朝倉書店、(1994)

# 酸性雨等によるブロンズ像の影響調査

— 白色生成物の被覆率による評価 —

矢本てるみ\*, 加藤善徳\*

## 要 旨

酸性雨等によるブロンズ像の被害の状況を把握するため、1994年11月～1996年8月の2年間、横浜市内に設置された63体のブロンズ像について、目視による観察及び腐食生成物の蛍光X線分析を行った。その結果、次のことがわかった。

- (1) 白色の条痕がみられるものや、全体が白色に変色しているブロンズ像が多数観察されたが、これらは雨の当たる面にだけみられる特徴があった。
- (2) 蛍光X線分析の結果、ブロンズ像の表面に見られた白色生成物は、主にSn及びPbの化合物であることがわかった。これは、酸性雨等により像からCu, Zn等の成分が溶解し、Sn, Pb等が表面に析出したものと考えられた。
- (3) ブロンズ像の表面積に占める白色生成物の面積の割合が25%以下を被害度1、25～50%を被害度2、50～75%を被害度3、75%以上を被害度4として、ブロンズ像の劣化状況を大きく4段階に評価した結果、被害度1が16体(36%)、被害度2が6体(13%)、被害度3が7体(15%)、被害度4が16体(36%)となった。
- (4) ブロンズ像の設置年と被害度の関係を調べたところ、概ね、設置年の古いものほど被害度が大きい傾向がみられた。
- (5) 被害度の地域分布を調べたところ、SO<sub>2</sub>の濃度が高く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の降下量が多い臨海部で被害度が大きい傾向がみられた。
- (6) 以上のことから、ブロンズ像にみられる白色生成物が酸性降下物や大気汚染のよい指標となることが窺われた。

## 1. はじめに

古い社寺などによく見られる緑青の付いた銅葺きの屋根は、銅の素地の上に暗赤色の酸化第一銅の層があり、その上に緑青色の塩基性硫酸銅の層が覆っている。塩基性硫酸銅は安定な化合物で、緻密な錆層を形成していれば、防食性の被膜として効果を示すと言われている<sup>1)</sup>。

しかし、最近、銅や青銅製の建造物にこのような健全な緑青が形成されない現象がしばしば見られる。ブロンズ像の表面が雨垂れに沿って白っぽくスジ状に変色する、いわゆる『涙現象』(『汗かき現象』とも言う)がその一つで、国内の各地で、その見苦しい様相が観察され、酸性雨による影響ではないかと話題になっている<sup>1), 2)</sup>。

横浜市内にも公園や広場を中心に多くのブロンズ像が設置され、地域の住民や観光客の目を楽しませている。しかし、これらの多くは、屋外に設置されており、一部、涙現象がみられるという指摘がある。

そこで、市内のブロンズ像がどのような状況になっているのか、その実態を地域的、年代的に把握するため、市内63体のブロンズ像について目視による観察を行った。また、一部のブロンズ像について腐食生成物の蛍光X線分析を行ったので報告する。

## 2. 調査内容

### 2-1. ブロンズ像の観察

1994年11月～1996年8月の2年間、横浜市内の図-1に示す地点において、ブロンズ像63体の観察及び写真撮影を行った。表-1に、調査したブロンズ像のタイトル、設置年、所在地を示した。なお、調査対象としたブロンズ像の選定は、主に、写真集『都市環境と彫刻』<sup>3)</sup>を参考に行った。

調査は、図-1に示すように、なるべく市内全域で行うようにし

たが、ブロンズ像は中区及び西区の公園や広場に特に多く、63体中43体(68%)がこの2区に集中していた。この他は、青葉区6体、神奈川区4体、旭区・港南区が各3体、磯子区・金沢区・港北区・緑区が各1体であった。

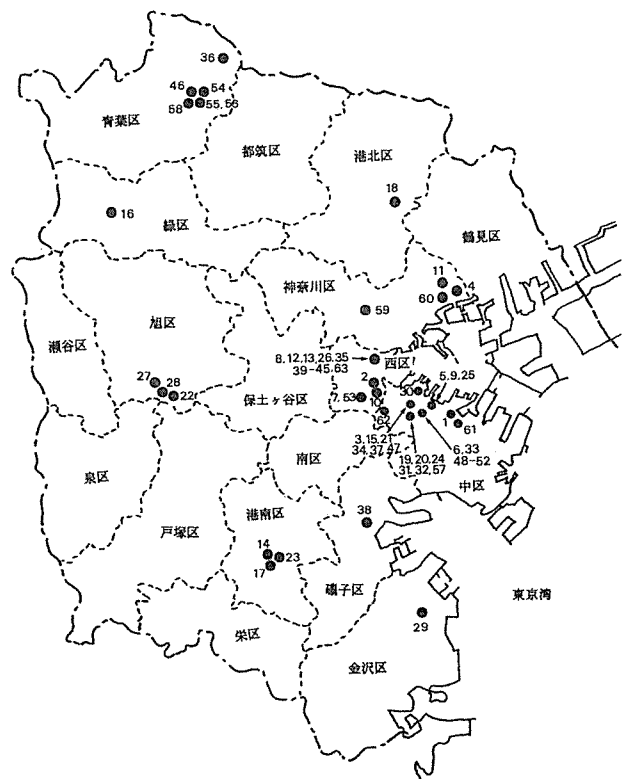


図-1 調査地点(番号は表-1に対応)

表-1 ブロンズ像調査結果

No.	タイトル	設置年	所在区	所在地	設置場所	特記事項	被害度
1	ヘボン博士記念碑	1949	中区	横浜地方合同庁舎	石の中		-
2	井伊掃部頭の銅像	1954	西区	掃部山公園	屋外		4
3	郵便は世界を結ぶ	1955	中区	横浜港郵便局	屋外		4
4	浅野綜一郎翁	1958	神奈川区	浅野学園	屋外		4
5	やくそく	1962	中区	山下公園	屋外		4
6	青春	1965	中区	横浜公園	樹木下		4
7	オリンピック記念碑	1966	西区	野毛山公園	屋外	面毎に相違	-
8	マドロス少年	1968	西区	岡田屋モアーズ前	屋外		1
9	絹と女	1969	中区	シルクセンター	屋外		4
10	友情	1971	西区	県立青少年センター	樹木下		3
11	友情	1974	神奈川区	県立神之木台青少年会館	屋外		4
12	青少年に愛と希望を	1974	西区	横浜駅西口駅前広場	樹木下		1
13	水浴の女	1974	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		1
14	母子像	1975	港南区	野庭団地センター広場	屋外		4
15	太陽の母子	1976	中区	馬車道モール	屋外		4
16	すこやか	1976	緑区	稲毛屋十日市場店	屋外		4
17	笛吹少年像	1977	港南区	野庭団地サブセンター広場	屋外		4
18	やすらぎ	1978	港北区	港北区総合庁舎	屋内	黄色錆	-
19	三つの部分からなるオブジェ	1978	中区	大通り公園	屋外		4
20	瞑想	1978	中区	大通り公園	屋外		4
21	若い女	1978	中区	イセザキモール	屋外		2
22	池畔の乙女	1979	旭区	こども自然公園	樹木下		2
23	母子像	1979	港南区	野庭中央公園	樹木下		2
24	笹と少年	1979	中区	大通り公園	樹木下	全体黒	-
25	赤い靴はいた女の子	1979	中区	山下公園	屋外		1
26	茉莉花	1979	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		2
27	躍動	1980	旭区	相鉄クラブさちが丘	屋外	着色	-
28	ながれ	1980	旭区	南横ヶ原駅前広場	樹木下		1
29	並二の少女	1980	金沢区	並木第二小学校	樹木下		3
30	馬	1980	中区	同和火災保険横浜ビル	吹抜け	着色	-
31	長谷川潔画伯之碑	1981	中区	大通り公園	樹木下		1
32	働く女	1981	中区	大通り公園	屋外		3
33	心の像	1981	中区	横浜公園	樹木下		4
34	海辺の少女	1981	中区	丸井横浜店馬車道館	屋外	着色	-
35	少女	1981	西区	横浜駅東口駅前ポルタ	吹抜け		-
36	浴みする女	1982	青葉区	たまプラザ東急ショッピングセンター	屋上		2
37	メディチ家のピーナス	1982	中区	横浜関内ビル	屋内	黄色錆	-
38	夢	1983	磯子区	磯子区総合庁舎前	屋外	着色	-
39	ニケ '83	1983	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		3
40	果実	1983	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		3
41	踊り子	1983	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		3
42	構成	1983	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		3
43	道標・鳩	1983	西区	ジョイナスの森彫刻公園	屋上		4
44	魁の舞	1984	西区	横浜駅西口	吹抜け		-
45	あら『今日は』	1985	西区	高島屋前	屋外		1
46	緑の朝	1986	青葉区	青葉区役所	屋外	着色	-
47	ニケとニコラ	1986	中区	馬車道関内ホール横	屋外		1
48	水の広場(水瓶)	1987	中区	横浜公園	樹木下		1
49	水の広場(獅子)	1987	中区	横浜公園	屋外		1
50	水の広場(イルカ)	1987	中区	横浜公園	屋外		1
51	水の広場(龍)	1987	中区	横浜公園	屋外		1
52	水の広場(馬)	1987	中区	横浜公園	屋外		1
53	アンリ・スパンサー・パーマー	1987	西区	野毛山公園	樹木下	着色	-
54	伸びゆく	1989	青葉区	市ヶ尾駅前	屋外	着色	-
55	きら星からにばる	1991	青葉区	市ヶ尾第三公園	樹木下		1
56	ブリーズ・リクエスト	1991	青葉区	市ヶ尾第三公園	屋外	着色	-
57	平和記念碑	1992	中区	大通り公園	屋外	着色	-
58	アリア	1992	青葉区	市ヶ尾町1052	屋外		1
59	女の像	不明	神奈川区	神奈川大学	屋上		2
60	二宮金次郎	不明	神奈川区	子安小学校	樹木下		4
61	猫の像	不明	中区	大佛次郎記念館	屋外		1
62	美空ひばり像	不明	中区	日の出町松葉寿司前	屋外	着色	-
63	川又只次郎翁像	不明	西区	横浜ジョイナス4F	屋内		-

注1)被害度は像全体面積に対する白色部分の占有率により評価した(被害度1:<25%, 2:25-50%, 3:50-75%, 4:75%>とした)。  
注2)表面着色のもの、室内・吹抜け等雨の当たらない場所に設置のものは評価対象から除外した。

また、観察は、表-2に示す調査票に基づき、目視により行った。特に、設置場所の状況（屋内外、道路端、樹木下等）、ブロンズ像の色調、光沢の有無、涙現象や変色の様子、台座への溶出物の状況などを中心に観察するようにした。

## 2-2. 腐食生成物の分析

試料採取が可能なブロンズ像から、表面の腐食生成物を採取し、蛍光X線法により含有元素の半定量分析を行った。採取した少量の試料は、ろ紙上の上せてポリプロピレン箔をかぶせ、中空アルミホルダー（30mmφ）を用いて測定した。蛍光X線分析条件は表-3の通りである。

## 3. 結果および考察

### 3-1. ブロンズ像の観察結果

観察したブロンズ像は全部で63体であった。このうち、設置年の最も古いものは1949年、最も新しいものは1992年だった。年代別にみると（表-4）、1980年代に設置されたものが28体（44%）と最も多く、次いで、1970年代の17体（27%）だった。なお、設置年の判定は像の表示及び写真集<sup>3)</sup>を参考に行ったが、設置年の不明なものが5体あった。

写真1~63にブロンズ像の外観を設置年の古いものから順に示した。以下に、63体の特徴を設置年代毎に述べる。

#### (1) 1940年~1960年代の像（写真1~9）

1940年~1960年代に設置された像は全部で9体あった。最も古い①『へボン博士記念碑』は、石枠の中にブロンズ彫刻が組み込まれた像で、石枠の奥行きが深く、ブロンズ部分にはほとんど雨が当たらない。黒味がかかった緑青に覆われており、古いにも係わらず、劣化している様子は見受けられなかった。

この他の8体は、いずれも雨の当たる屋外に設置されている。③『郵便は世界を結ぶ』は全体が緑青で覆われているが、腰掛けているボ

ールの上面や大腿などが青白く変色し、また、涙現象の青白い条痕が多数みられた。⑥『青春』にも涙現象が観察されたが、腋下や膝下にわずかな条痕が残っているだけで、ほぼ全体が、条痕が判別できないほど青白く変色していた。これは、②『井伊掃部頭の銅像』、④『浅野総一郎翁』、⑤『やくそく』、⑨『絹と女』も同様であった。

⑦『オリンピック記念碑』は、コンクリート土台の東西南北面に各々1体ずつブロンズ彫刻がはめ込まれた像である。面によって、青白い変色が激しいものとそうでないものと違いがみられた。これについては後で詳しく述べる。

⑧『マドロス少年』は光沢のある緑褐色を呈し、健全な様子であった。

#### (2) 1970年代の像（写真10~26）

1970年代に設置された像は17体であった。このうち屋内に設置されているものは⑩『やすらぎ』の1体で、他はすべて屋外設置である。

⑩、⑪『友情』は同じ作者の同一の像である。3年違いで西区と神奈川区に設置された。いずれも全体が緑青で覆われているが、顔から胸にかけて青白い涙現象が激しく、不気味な様相をしている。これは、⑫『すこやか』も同様だった。

⑬『母子像』、⑭『太陽の母子』、⑮『笛吹少年像』は涙現象がほとんど判別できないほど像全体が青白く変色している。⑯『三つの部分からなるオブジェ』は、青白い変色が激しい面と緑青色が保たれている面があった。

一方、⑫、⑬、⑭及び⑰~⑳の像（㉑を除く）は、緑青に覆われることなく光沢の感じられる茶褐色ないし緑褐色を呈していた。このうち㉑『冥想』、㉒『池畔の乙女』、㉓『母子像』、㉔『茉莉花』には涙現象がみられた。また、㉕『若い女』は頭頂、肩が青白く変色していた。屋内に設置された⑯『やすらぎ』は、一部に黄色錆が付着していたが、涙現象や青白い変色はみられなかった。

表-2 ブロンズ像等調査票

調査年月日：平成 年 月 日 ( ) 調査者氏名： \_\_\_\_\_

タイトル :	
作者名 :	材質 :
製造年 :	設置年 :
大きさ : 横 cm, 奥 cm, 高 cm, (台座高 cm)	
所在地名称 :	
所在地住所 :	
管理者 :	

#### 1. 調査地点の状況

- (1) 地域区分 ①工場地帯 ②商業地帯 ③住宅地 ④田園地域 ⑤その他 ( )
- (2) 設置場所 ①屋内 ②樹木の干 ③吹抜け ④壁土(地上 階) ⑤道端 ⑥その他 ( )
- (3) 設置方向 ①東向き ②西向き ③南向き ④北向き ⑤その他 ( )
- (4) 日 当 り ①隅 ②中 ③陰 (5) 風当り ①強 ②中 ③弱

#### 2. ブロンズ像の状況

- (1) 色 調 ①黒系 ②茶系 ③緑系 ④白系 ⑤その他 ( )
- (2) 光 沢 ①全体が輝いている ②一部くすんでいる ③光沢が全く無い
- (3) 涙 現 象 ①無し ②一部に見られる(表面積の %) ③スジ状が判別できないほど侵食している ④雨の当たらない部分は健全 ⑤その他 ( )
- (4) 台の様子 ①健全 ②像からの溶出がやや見られる ③像からの溶出が激しい
- (5) 総合評価 ①被害度1 ②被害度2 ③被害度3 ④被害度4 ⑤判定不可

#### 3. 特記事項

表-3 蛍光X線分析条件

機 種	リガク RIX2000
管 球	Rh エンドウィンド型
電圧電流	50KV - 40mA
分析項目	F ~ U

表-4 設置年代の頻度分布

設置年代	n ( % )
1940~	1 ( 2 )
1950~	3 ( 5 )
1960~	5 ( 8 )
1970~	17 ( 27 )
1980~	28 ( 44 )
1990~	4 ( 6 )
不 明	5 ( 8 )
合 計	63 ( 100 )

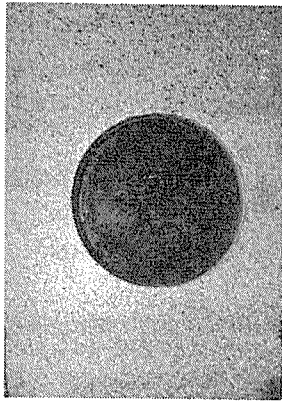


写真1 ヘボン博士記念碑

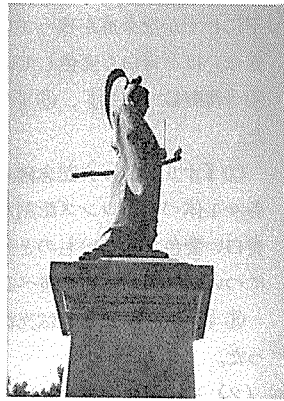


写真2 井伊掃部頭の銅像

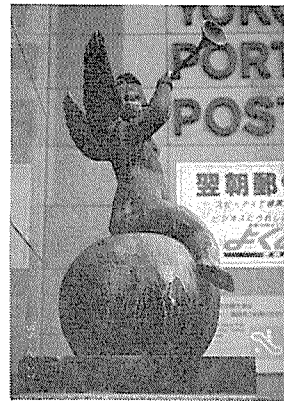


写真3 郵便は世界を結ぶ



写真4 浅野綜一郎翁



写真5 やくそく

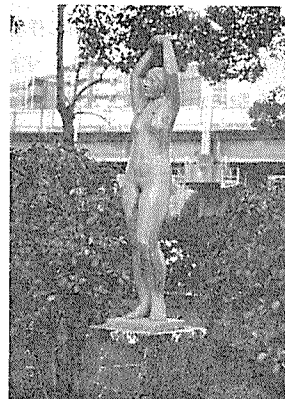


写真6 青春



写真7 オリンピック記念碑



写真8 マドロス少年



写真9 絹と女

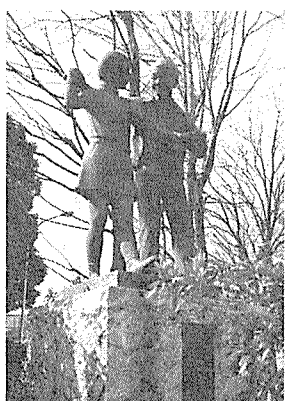


写真10 友情

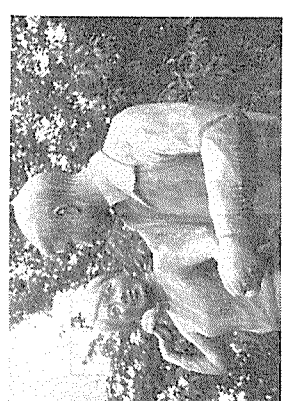


写真11 友情

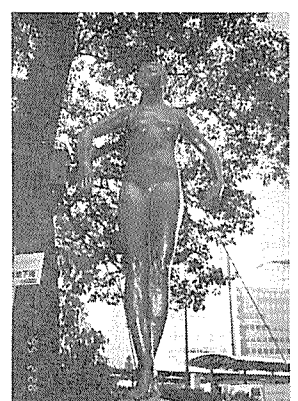


写真12 青少年に愛と希望を

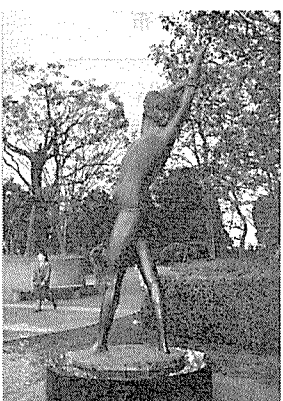


写真13 水浴の女

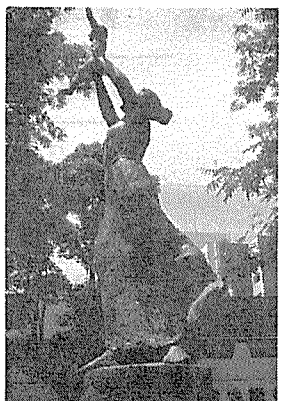


写真14 母子像



写真15 太陽の母子



写真16 すこやけく



写真17 笛吹少年像



写真18 やすらぎ

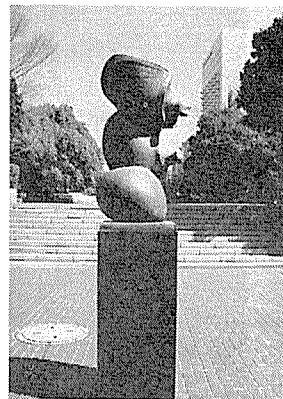


写真19 三つの部分からなるダイジェ

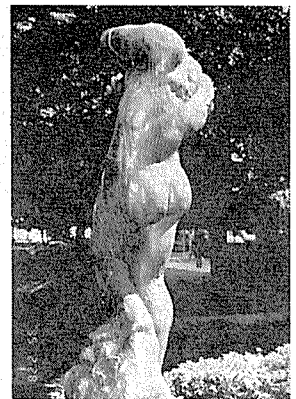


写真20 瞑想



写真21 若い女



写真22 池畔の乙女



写真23 母子像

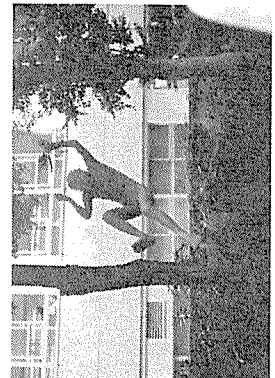


写真24 笹と少年



写真25 赤い靴はいた女の子

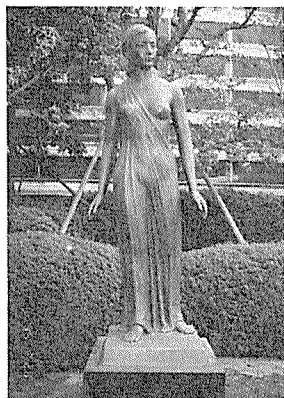


写真26 茉莉花

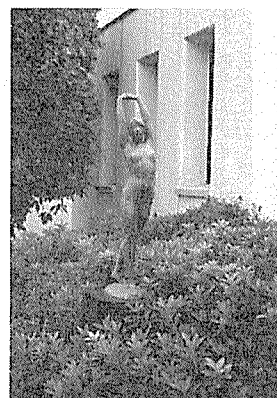


写真27 躍動

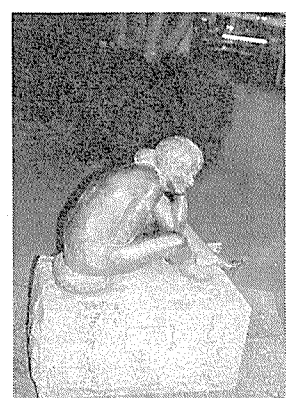


写真28 ながれ



写真29 並二の少女



写真30 馬



写真31 長谷川潔画伯之碑

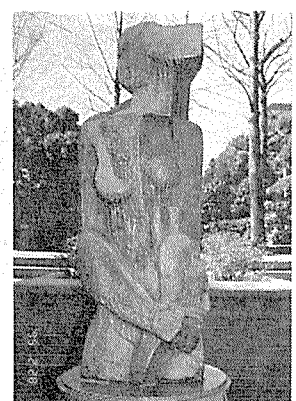


写真32 働く女





写真33 心の像

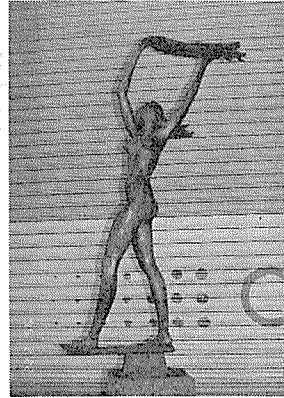


写真34 海辺の少女



写真35 少女

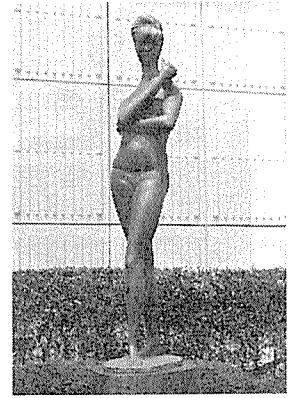


写真36 浴みする女



写真37 メディチ家のピーナス

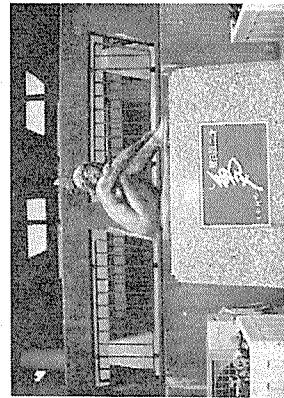


写真38 夢

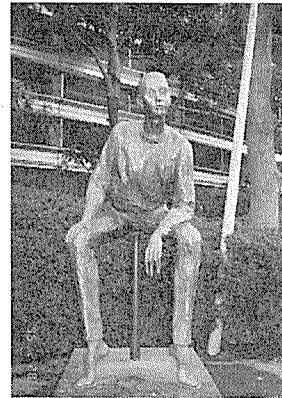


写真39 ニケ '83

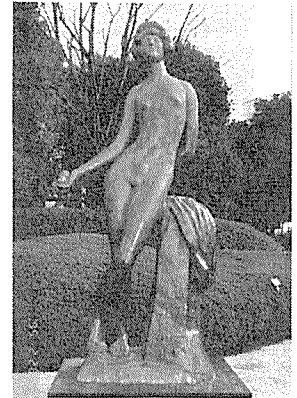


写真40 果実



写真41 踊り子

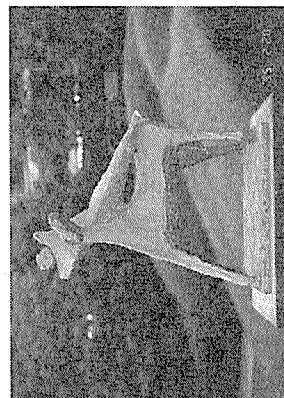


写真42 構成



写真43 道標・鳩

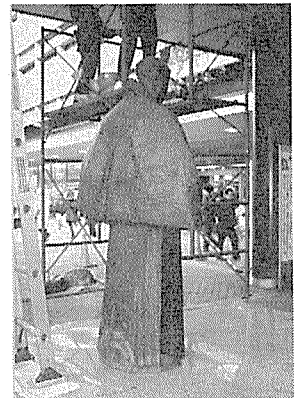


写真44 魁の舞

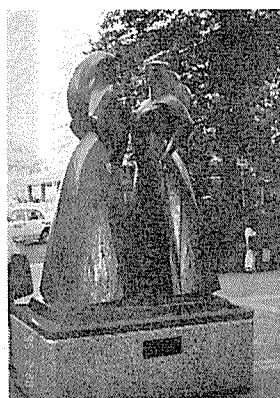


写真45 あら『今日は』



写真46 緑の朝

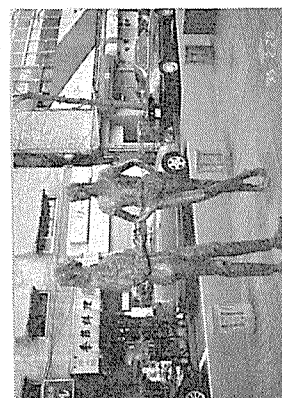


写真47 ニケとニコラ



写真48 水の広場（水瓶）

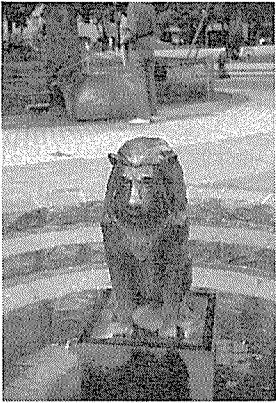


写真49 水の広場（獅子）

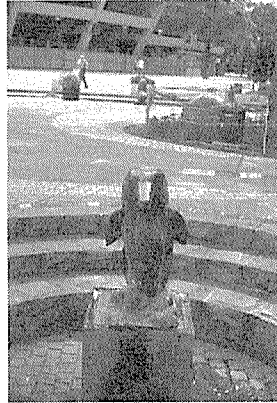


写真50 水の広場（イルカ）

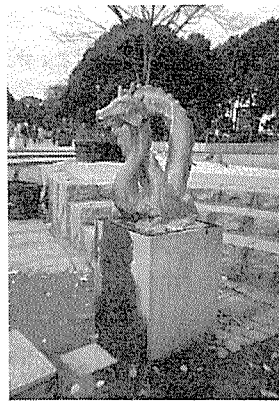


写真51 水の広場（龍）

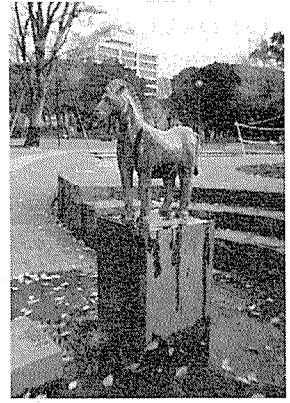


写真52 水の広場（馬）



写真53 ハリー・スパー・パーマ

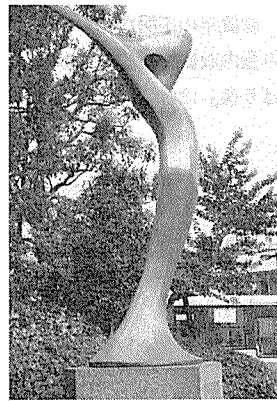


写真54 伸びゆく



写真55 きら星からにぼる

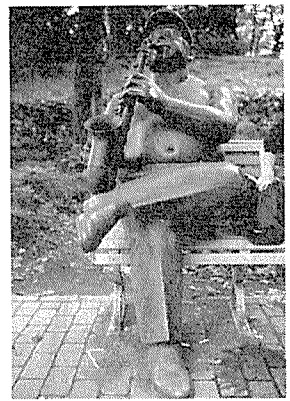


写真56 プリーズ・リクエスト



写真57 平和記念碑

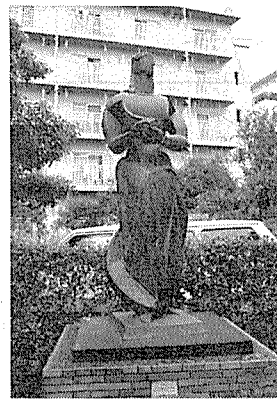


写真58 アリア

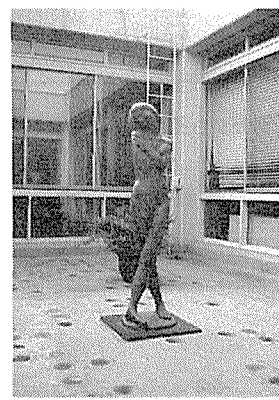


写真59 女の像

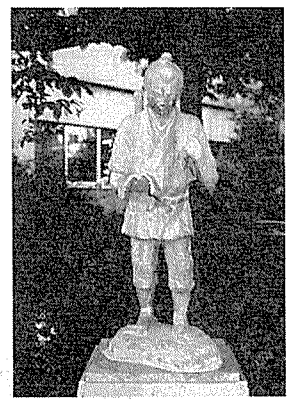


写真60 二宮金次郎

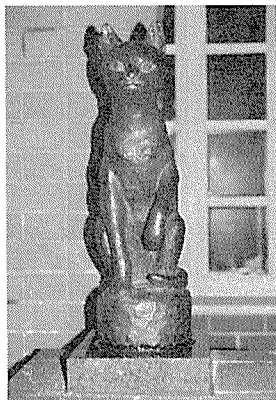


写真61 猫の像

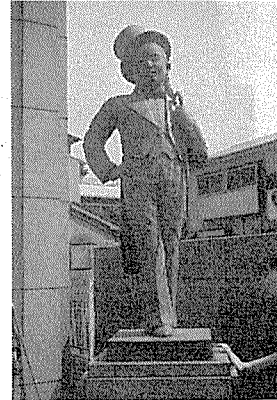


写真62 美空ひばり像



写真63 川又只次郎翁像

なお、㉔『笹と少年』は、ススのようなもので覆われ、全体が黒色となっていた。

(3) 1980年代の像 (写真27~54)

1980年代に設置された像は28体であった。このうち、㉑『メディチ家のビーナス』は屋内、㉒『馬』、㉓『少女』、㉔『魁の舞』は吹抜けに設置されており、雨が当たらない。この他の24体は、すべて屋外設置である。

㉕『ながれ』は、旭区の郊外に設置されている。一部、緑青の付着がみられるものの、光沢のある茶褐色を呈しており、健全な様子であった。この他、㉖『長谷川潔画伯之碑』、㉗『あら今日は』、㉘『ニケとニコラ』、㉙~㉚『水の広場』及び屋内・吹抜けに設置された㉛『少女』、㉜『メディチ家のビーナス』、㉝『魁の舞』も光沢の感じられる茶褐色ないし緑褐色で、涙現象なども見られず健全な様子だった。

一方、中区の繁華街に設置された㉞『心の像』は、顔や帯の辺りに涙現象の青白い条痕が多数形成され、異様な様相をしている。また、頭頂や肩などは条痕が判別できないほど青白色の変色が激しい。このような青白い変色や条痕は、㉟『並二の少女』、㊱『働く女』、

㊲『浴みする女』、㊳『ニケ83』、㊴『果実』、㊵『踊り子』、㊶『構成』、㊷『道標・鳩』にも見られた。

なお、上記以外の7体(㉑、㉒、㉓、㉔、㉕、㉖、㉗)は、茶、金、緑青色等に着色されているため、青白い変色等は判別できなかったが、㉘『躍動』、㉙『海辺の少女』、㉚『夢』では、表面の塗装がスジ状に落ち、黄色や黒色の条痕が形成されていた。

(4) 1990年代の像 (写真55~58)

1990年代に設置された像は4体だけであった。いずれも屋外設置である。㉛『ブリーズ・リクエスト』、㉜『平和記念碑』は、茶色、緑青色に各々着色されている。

㉝『きら星からにばる』、㉞『アリア』は、光沢のある茶褐色ないし黒褐色を呈し、涙現象等はいずれも見られなかった。また、着色された2体についても(3)で述べたようなスジ状に塗装が落ちる現象などは見られず、健全な様子であった。

(5) 設置年不明の像 (写真59~63)

設置年の不明な像が5体あった。このうち㉟『川又只次郎翁像』のみ屋内設置で、他の4体は屋外に設置されている。また、㊱『美空ひばり像』は緑青色に着色されている。

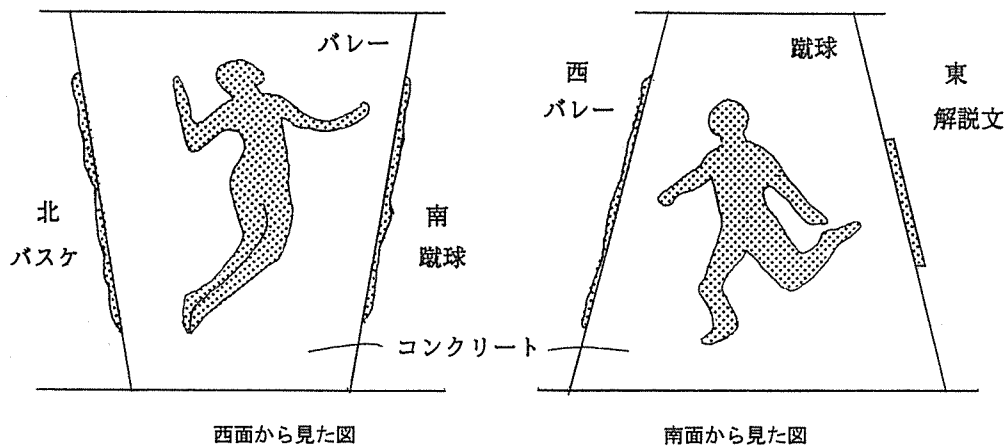


図-2 『オリンピック記念碑』の模式図

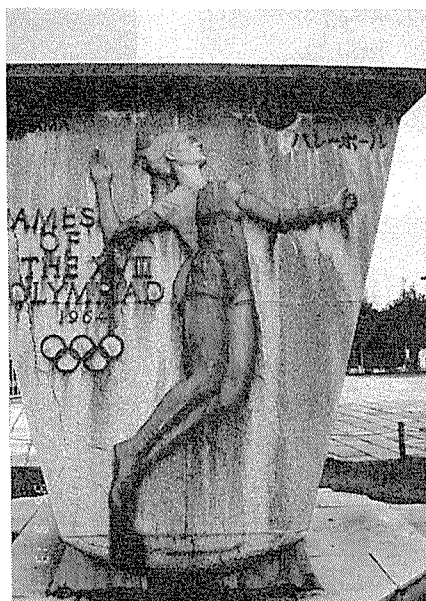


写真64 『オリンピック記念碑』西面



写真65 『オリンピック記念碑』南面

④『二宮金次郎』は、股下に緑褐色部分がやや残っている他は、ほぼ全体が青白く変色している。また、⑨『女の像』も頭頂、肩、足の甲などに青白い変色がみられた。⑥『猫の像』及び屋内設置の⑮『川又只次郎翁像』には変色や条痕は観察されなかった。

以上、①～⑮の外観をまとめると、概して緑青色系の色調を示す像が20体、褐色系の色調を示すものが32体、着色が施されているもの等が11体となった。着色されたもの等11体を除く52体のうち、青白い条痕や変色が見られたものは全部で30体であった。なかでも、これらが特に著しいものは②『井伊掃部頭の銅像』、③『郵便は世界を結ぶ』、④『浅野綜一郎翁』、⑥『青春』、⑦『オリンピック記念碑』、⑨『絹と女』、⑮『太陽の母子』、⑯『三つの部分からなるオブジェ』、⑳『心の像』などであった。

### 3-2. 屋内外のブロンズ像の比較

観察した63体の中には、屋内に設置されたものが3体、吹抜けに設置されたものが3体、石枠の中に組み込まれ雨の当たらないものが1体あった。これら7体を除く56体はいずれも雨の当たる屋外に設置されている。ここでは、屋外に設置されたものと屋内等に設置されたものに違いがあるかどうか比較した。

3-1で述べたように、屋外に設置されたものの中には、青白い条痕や変色が見られるものが多数存在した。

一方、屋内や吹抜けに設置された⑰『やすらぎ』、⑱『少女』、⑳『メディチ家のビーナス』、㉑『魁の舞』などの像については、一部に黄色錆などが見られるものもあったが、白色の変色や条痕はいずれも観察されなかった。また、石枠の中にブロンズ彫刻が組み込まれた①『ヘボン博士記念碑』は、1949年の設置で、63体中最も古い像であるが、これについても、白色の変色や条痕はほとんど見られなかった。

図-2に、⑦『オリンピック記念碑』の模式図を示した。この像は、コンクリート土台の東西南北面にそれぞれ1体ずつブロンズ彫刻がはめ込まれたモニュメントである。各面は、地面に対し垂直ではなく斜面になっていて、東面と西面は雨に当たりやすく、南面と北面は雨に当たりにくい構造になっている。写真64, 65に西面と南面の状況を示した。雨の当たりやすい西面のブロンズ彫刻は、顔や肩を中心に白っぽく変色している。また、コンクリート土台はブロンズからの溶出物が染み込んで緑青色に変色している。一方、雨の当たりにくい南面のブロンズ彫刻には、白色の変色や条痕はほとんどみられなかった。これは東面、北面についても同様であった。

以上のように、白色の変色や条痕は雨の当たる部分にだけ見られる特徴があった。

### 3-3. 白色生成物の分析結果

屋外設置のブロンズ像にみられた白色の変色が何に起因しているのか検討するため、その成分について蛍光X線分析を行った。ここでは、白色の変色が激しい像の一つである、⑥『青春』を調査の対象とした。試料は、青白色に変色している部分（雨に当たりやすい部分）から採取し、また、対照として緑青色が保たれている部分（雨の当たりにくい部分）についても採取した。この結果を図-3、4に示す。

緑青色部分からは、ブロンズ地金の成分であるCu, Sn, Pb, Znに加え、Sが検出され、緑青の硫酸銅が形成されていることがわかる。また、わずかにみられるNi, Fe, P, Si, Al等のピークは、表面に付着した土壌粒子や粉じんなどによるものと思われる。

これらの各元素のX線強度からFP法<sup>4), 5)</sup>により簡易定量を行うと、緑青色部分の組成はCu:81%, Pb:10%, Sn:3%, Zn:2%, S:2%,

その他:2%となった。

一方、白色部分からも同様の成分が検出されたが、その組成はCu:64%, Pb:19%, Sn:6%, Zn:2%, S:5%, その他:4%となり、緑青色部分に比べ、特にPb, Snの含有率が高い特徴が見られた。

筆者らは、人工酸性雨 (pH2, 3, 4, 5) を用いて、ブロンズ板のリーチング試験を行っている<sup>6)</sup>が、その結果、ブロンズの含有成分のうち、Cu, Zn, Pbは溶出するが、Snはほとんど溶出せず、ブロンズ板の表面に白色生成物として析出することがわかっている。また、Pbについては、溶出するもの他、白色生成物として析出するものもあることがわかっている。更に、この白色析出物は、暴露液のpHが低いほど、またSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の暴露量が増すほど多くなることがわかっている。また、鎌滝らも、ブロンズの白色生成物は、Snの酸化化合物が主成分であったと報告している<sup>7)</sup>。

これらのことから、ブロンズ像の表面に見られた白色の生成物は、主にSn及びPbの化合物であると考えられる。横浜市内では平均pH4.6程度の酸性雨が降っており<sup>8)</sup>、これによって、像からCu, Zn等の成分が溶解し、Sn, Pbが表面に析出したものと考えられる。

## 4. 白色生成物による評価

以上のことから、酸性雨等により、ブロンズ像からSnやPbを主成分とする白色物質が析出し、これが酸性降下物量と対応していることが窺われた。そこで、この白色生成物の面積を調べることにより、酸性降下物によるブロンズ像の被害の状況を評価してみた。

### 4-1. 被害度の評価

#### (1) 評価の方法

ここでは、ブロンズ像の表面積に占める白色生成物の面積の割合から、被害度を求めた。白色生成物の割合が25%以下を被害度1、25~50%を被害度2、50~75%を被害度3、75%以上を被害度4とし、被害の状況を大きく4段階に評価した。なお、屋内設置のものや着色されたブロンズ像など、白色の変色が判定できないもの(18体)については評価の対象から除外した。

#### (2) 評価結果

45体について被害度を評価した結果を表-5に示した。被害度1が16体(36%)、被害度2が6体(13%)、被害度3が7体(15%)、被害度4が16体(36%)となった。

表-5 被害度の頻度分布

被害度	n	(%)
1	16	(36)
2	6	(13)
3	7	(15)
4	16	(36)
合計	45	(100)

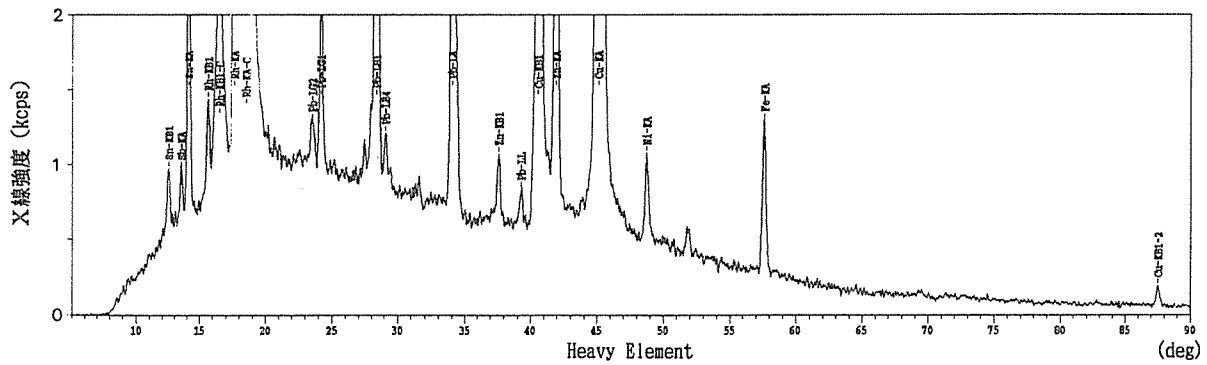
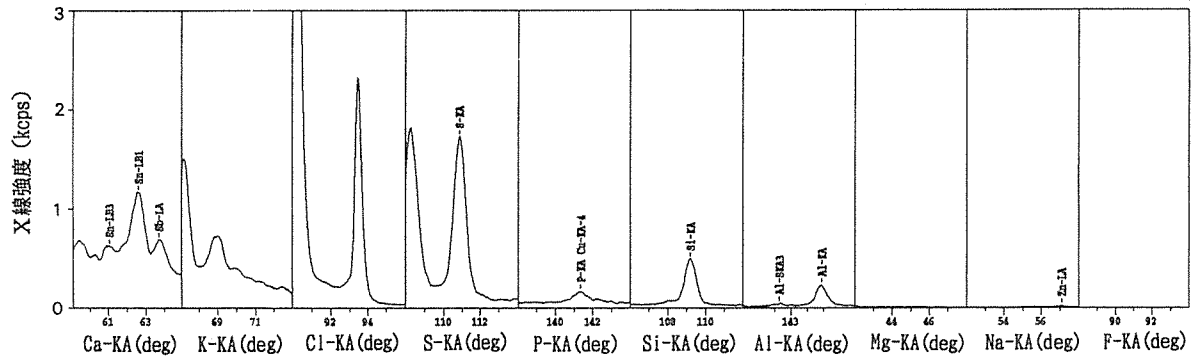


図-3 蛍光X線分析結果 (緑青色の部分)

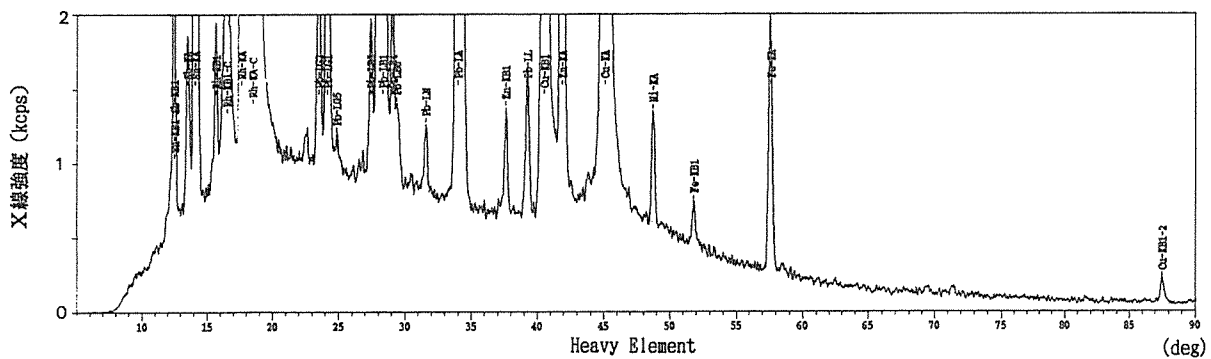
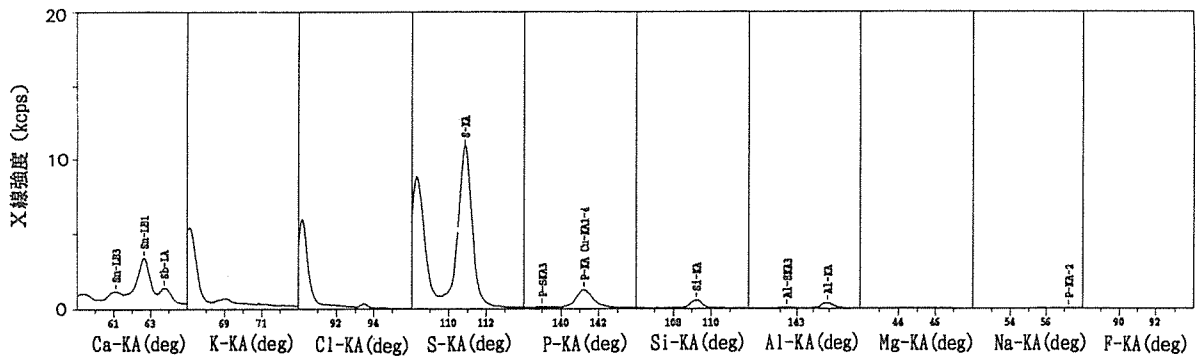


図-4 蛍光X線分析結果 (白色の部分)

#### 4-2. 設置年と被害度の関係

次に、設置年と被害度の関係を検討した。表-6に、設置年代別の被害度頻度分布を示した。なお、前項で被害度を求めた45体のうち3体は設置年が不明のため、ここでの試料数は42である。

1950年代に設置された比較的古い像3体の被害度は、いずれも4と大きかった。また、1960年代も4体中3体が被害度4となり、被害度が大きいものが多かった。一方、1970年代のものは、被害度1が3体、被害度2が4体、被害度3が1体、被害度4が7体とばらついていた。また、1980年代も被害度1が9体、被害度2が1体、被害度3が6体、被害度4が2体とばらついていたが、1970年代に比べ、被害度の小さいものが多くなった。1990年代の2体は、いずれも被害度1であった。

以上、全体的には、図-5に示すように、ややばらつきがみられるものの、概ね、設置年が古いものほど被害度が大きく、新しいものほど被害度が小さい傾向がみられた。

#### 4-3. 被害度の地域分布

次に、被害度の地域的特徴について検討した。

図-6、7に、設置年が1960年代以前の古いもの及び1985年以降の新しいものについて、被害度の地域分布を示した。1960年代以前のもの(図-6)は、全部で7体で、中区、西区、神奈川区に集中している。このため、地域的な分布は見ることができないが、これらの被害度は、1体を除き、いずれも4となっていた。一方、1985年以降のもの(図-7)は、すべて被害度1となり、中区、西区の同じ地域に設置されたものでも、設置年の新しいものは被害度が小さい特徴があった。

次に、ほぼ同じ年に設置されたものについて、被害度の地域分布を調べた。ここでは、設置年の範囲が概ね5年以内で、かつ、多数の地域に分布している1978~1983年のものについて検討した。これを図-8に示す。

表-6 設置年代別の被害度頻度分布

設置年代	被害度				合計
	1	2	3	4	
1950~	0	0	0	3	3
1960~	1	0	0	3	4
1970~	3	4	1	7	15
1980~	9	1	6	2	18
1990~	2	0	0	0	2
合計	15	5	7	15	42

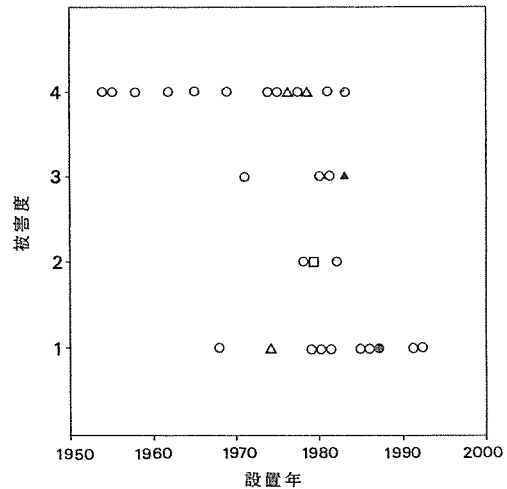


図-5 設置年と被害度の関係

(○ : n=1, △ : n=2, □ : n=3, ▲ : n=4, ● : n=5)

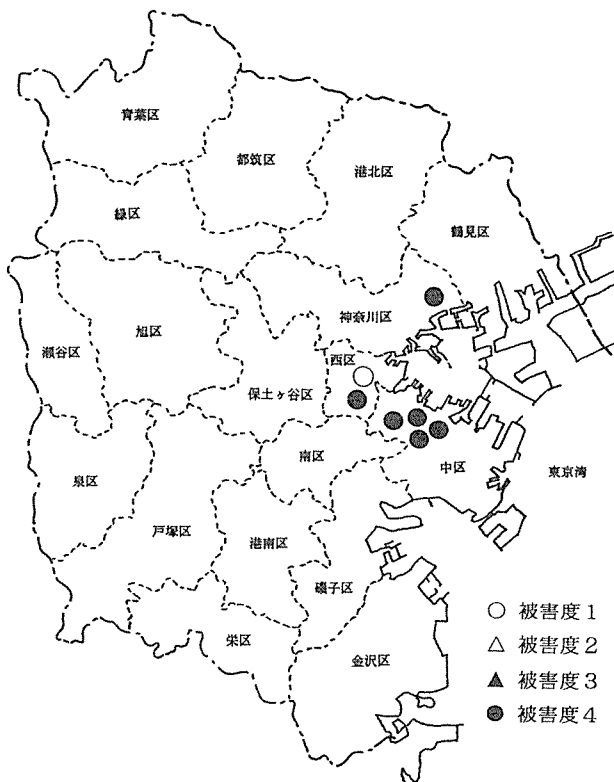


図-6 1960年代以前に設置されたブロンズ像の被害度

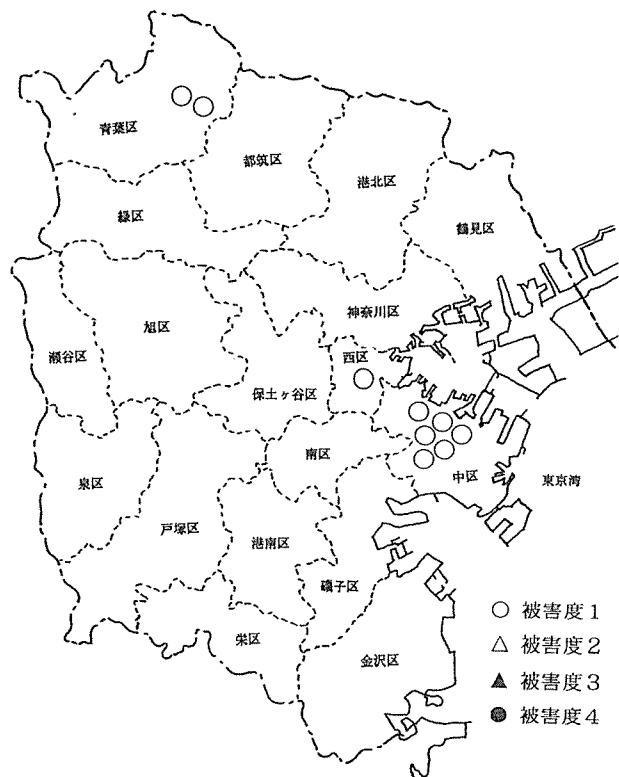


図-7 1985年以降に設置されたブロンズ像の被害度

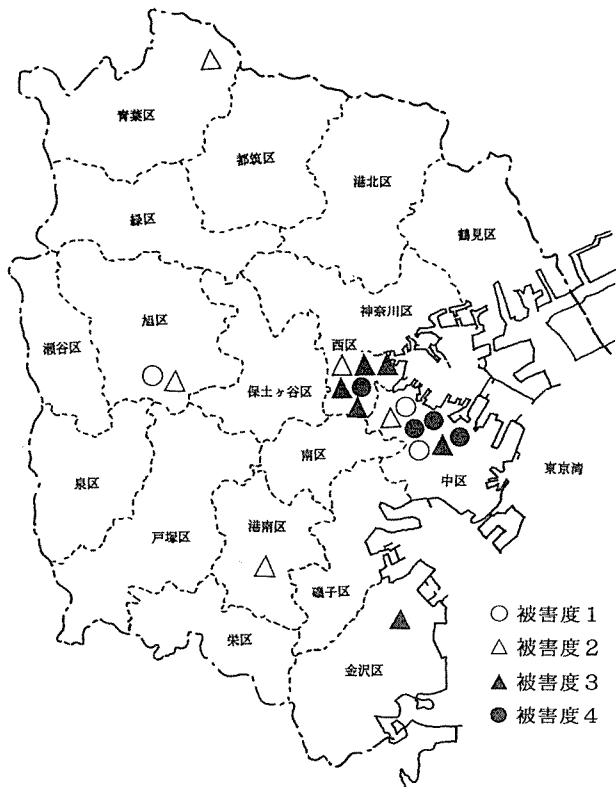


図-8 1978年～1983年に設置されたブロンズ像の被害度

臨海部の西区では6体中5体が、中区では7体中4体が被害度3以上となった。また、金沢区の1体も被害度3となった。一方、青葉区の1体、旭区の2体、港南区の1体はいずれも被害度2以下となった。試料数が少ないためはっきりとしたことは言えないが、このように、被害度は、概ね、臨海部で大きく内陸部で小さい傾向がみられた。

当研究所が行った酸性降下物調査<sup>9)</sup>(1984～88年)によると、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は明確な地域分布が見られないが、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、臨海部:4.3～5.3g/m<sup>2</sup>/年、内陸部:3.1～3.6g/m<sup>2</sup>/年となり、内陸部に比べ臨海部で降下量が多くなっている。また、大気汚染物質の年平均濃度<sup>10)</sup>(1981年)も、NO<sub>x</sub>は明確な地域分布が見られないが、SO<sub>2</sub>は臨海部の中区で16ppb、内陸部の旭区で8ppbとなっており、内陸部に比べ臨海部で濃度が高い傾向がみられる。

このことから、被害度が臨海部で大きい傾向となっているのは、酸性降下物量や大気汚染物質濃度を反映した結果である可能性がある。このように、この評価法は、地域的な影響評価にも利用できる可能性があるため、今後、清浄地域や汚染地域など市内外の広い範囲で調査を行い、データを蓄積していくことにより、この評価法の妥当性について更に検討を加えてゆきたい。

また、この白色生成物による評価法は、ごく初期の段階の被害状況を評価している可能性があるため、今後は、ブロンズ像に生成した緑青や錆などをX線回折法やX線マイクロアナライザー法等により分析し、腐食のメカニズムについても検討してゆく予定である。また、これらを更に発展させ、市民に対する啓発や環境教育等への

応用を目指してゆきたい。

## 5. まとめ

酸性雨等によるブロンズ像の被害の状況を把握するため、1994年11月～1996年8月の2年間、横浜市内に設置された63体のブロンズ像について、目視による観察及び腐食生成物の蛍光X線分析を行った。その結果、次のことがわかった。

(1) 白色の条痕がみられるものや、全体が白色に変色しているブロンズ像が多数観察されたが、これらは雨の当たる面にだけみられる特徴があった。

(2) 蛍光X線分析の結果、ブロンズ像の表面に見られた白色生成物は、主にSn及びPbの化合物であることがわかった。これは、酸性雨等により像からCu、Zn等の成分が溶解し、Sn、Pb等が表面に析出したものと考えられた。

(3) ブロンズ像の表面積に占める白色生成物の面積の割合が25%以下を被害度1、25～50%を被害度2、50～75%を被害度3、75%以上を被害度4として、ブロンズ像の劣化状況を大きく4段階に評価した結果、被害度1が16体(36%)、被害度2が6体(13%)、被害度3が7体(15%)、被害度4が16体(36%)となった。

(4) ブロンズ像の設置年と被害度の関係を調べたところ、概ね、設置年の古いものほど被害度が大きい傾向がみられた。

(5) 被害度の地域分布を調べたところ、SO<sub>2</sub>の濃度が高く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の降下量が多い臨海部で被害度が大きい傾向がみられた。

(6) 以上のことから、ブロンズ像にみられる白色生成物が酸性降下物や大気汚染のよい指標となることが窺われた。

## 文 献

- 1) 江本義理：文化財をまもる、p3-54、(株)アグネ技術センター(1993)。
- 2) 朝日新聞(1993年3月31日)、朝日新聞(1993年12月10日)他
- 3) 横浜市監修：YOKOHAMA 都市・風景・記憶 都市環境と彫刻、田村彰英撮影。
- 4) 理学電機工業株式会社編集：蛍光X線分析の手引、p72-81(1990)。
- 5) 理学電機工業株式会社応用技術センター編集：蛍光X線分析におけるFP法の理論と演習(1993)。
- 6) 矢本てるみ、加藤善徳：人工酸性雨による銅板及び青銅板のリーチング試験、横浜市環境科学研究所報第21号、97-102(1997)。
- 7) 鎌滝裕輝ら：青銅(ブロンズ)に対する人工酸性雨暴露実験-酸性雨影響調査(VI)-、東京都環境科学研究所年報1995、304-313(1995)。
- 8) 矢本てるみ、加藤善徳：横浜市における酸性雨調査-1995年の調査結果-、横浜市環境科学研究所報第21号、93-96(1997)。
- 9) 横浜市環境科学研究所：酸性雨に関する調査研究報告書、41-62(1993)。
- 10) 横浜市公害対策局：横浜市大気汚染調査報告書第21号(1981)。

# 酸性降下物による銅板等のリーチング試験

## —都市部と清浄地域の比較—

加藤 善徳\*, 矢本 てるみ\*

### 要 旨

酸性降下物による器物への影響を調べるため、1995年4月～1996年3月の1年間、横浜市磯子（都市部）と山梨県道志村（清浄地域）で銅板を用いたリーチング比較試験、1993年12月～1996年3月の約2年間、横浜市磯子で銅、炭素鋼、大理石、コンクリート、モルタル板を用いた各種リーチング試験を行った。

その結果、都市部は清浄地域に比べ銅板からの銅の溶出量が非常に多く、都市部/清浄地域の比は約2倍もあった。また、銅の溶出量は、 $SO_4^{2-}$ の降下量 ( $r=0.90$ )、 $NO_3^-$ の降下量 ( $r=0.92$ )、 $H^+$ の降下量 ( $r=0.82$ ) と非常に良い正の直線関係を示した。このことから、銅の溶出量は酸性降下物による器物への影響を示す良い指標になることがわかった。

また、大理石、コンクリート、モルタル板から  $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等、炭素鋼板から鉄が溶出されたが、このうち、 $Ca^{2+}$  は  $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $H^+$  降下量と、鉄は  $SO_4^{2-}$  降下量とかなり良い正の直線関係を示すことがわかった。

### 1. はじめに

近年、地球規模での環境悪化が問題となっており、大気汚染物質や酸性降下物などによる歴史的な建造物や文化財の腐食、劣化が懸念<sup>1)・2)</sup>されている。大気汚染と金属腐食の関係については、これまでに多くの調査がなされてきており<sup>3)・4)</sup>、昭和63年には環境庁から降水成分も含めた腐食測定法の指針<sup>5)</sup>が出されている。最近では、従来の大気汚染物質だけでなく、酸性降下物や酸性ガス等を加えた新たな影響評価<sup>6)・8)</sup>が検討されるようになってきた。

本報では、酸性降下物による金属材料、構造物への影響を調べるため、都市部及び清浄と考えられる地点を選び、これら地点で銅板を用いたリーチング比較調査を行った。これにより、都市部と清浄地域の酸性降下量の違い、銅板からの銅の溶出量の違いについて調べた。

また、都市部においては、銅板の他に鉄、大理石、コンクリート、モルタル等の各種試験板を用いたリーチング試験も行い、これらから溶出される成分と  $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $H^+$  降下量等の酸性降下物との関係を調べた。

### 2. 調査内容

#### 2-1 都市部と清浄地域における銅板のリーチング比較調査

##### (1) 調査期間及び調査地点

1995年4月～1996年3月の1年間、図-1に示す横浜市磯子の都市部と山梨県道志村で実施した。道志は横浜市の上水道の水源のひとつとなっている。

##### (2) 調査方法

図-2に示す雨水採取装置（口径225mm、ポリエチレン製）とこれに銅板3枚を取り付けたもの（リーチング試験装置）により、雨水のイオン成分の測定と銅板のリーチング試験を実施した。銅板は、

図-2に示すように、3枚を放射状に、仰角がほぼ45°になるようにリング状のシリコンゴムを用いて固定した。採取は磯子、道志で同日採取し、採取単位は1ヶ月毎とした。ろ過装置はろ紙が目づまりなどして水が溜り、銅板を浸す恐れがあったため、取り付けなかった。

写真1に道志におけるこれらの採取状況を示した。左から、雨水採取装置、銅板リーチング装置、大理石板リーチング装置である。なお、大理石板のリーチングの測定は1996年4月からであり、今回の測定結果には含まれていない。

##### (3) 試験板

使用した銅板は日本テストパネル工業社製の標準試験板で、規格はJIS H3100 C1100P、1.2（厚さ）×100（縦）×100（横）mm、表面研磨：鏡面羽布仕上げであり、これを磯子、道志で3枚ずつ使用した。

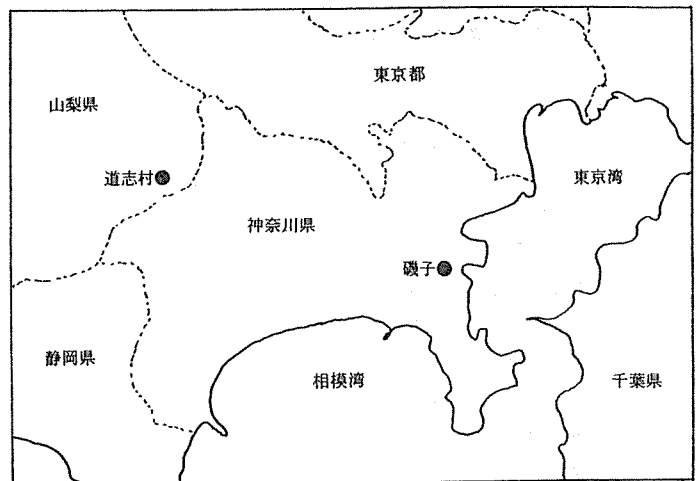


図-1 調査地点

Leaching Test of Copper Plate by Acid Deposition  
-Comparison between Unpolluted Area and Urban Area-

\*Yoshinori Katou, Terumi Yamoto, 横浜市環境科学研究所大気部門



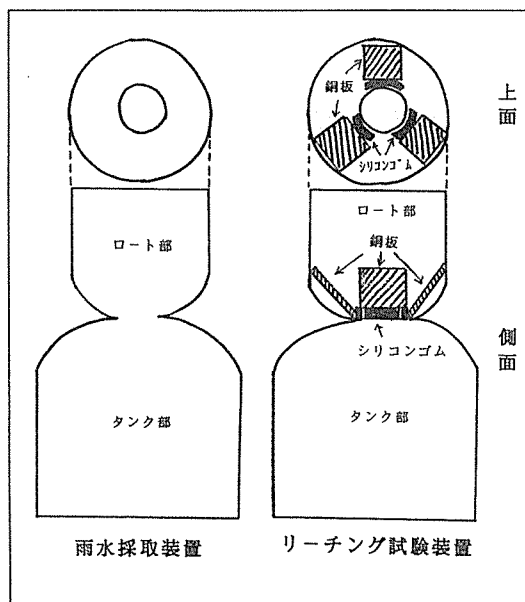


図-2 採取方法

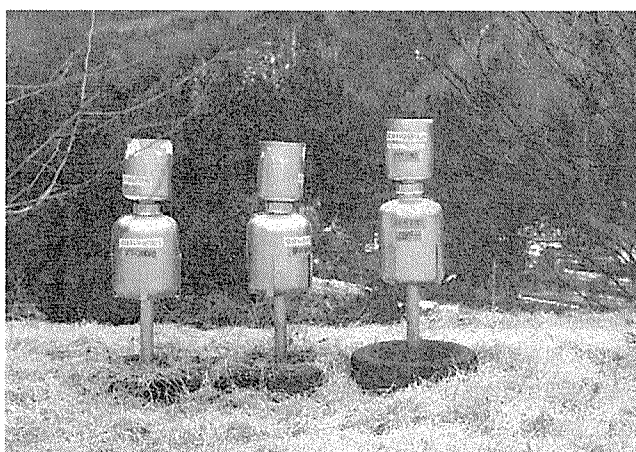


写真-1 道志村における採取状況  
(左から、雨水、銅板、大理石板試験)

## 2-2 都市部における各種リーチング調査

### (1) 調査期間及び調査地点

1993年12月～1996年3月の約2年間、横浜市磯子で実施した。

### (2) 調査方法

2-1と同様の方法により、雨水成分の測定及び銅板、炭素鋼(鉄)板、大理石板、コンクリート板、モルタル板の計5種類のリーチング試験を行った。

### (3) 試験板

使用した各種試験板はすべて日本テストパネル工業社製で、銅板は2-1の調査と同じ規格のもの、炭素鋼(鉄)板はJIS G3141 SPCC-B, 1.2(厚さ)×100(縦)×100(横)mm, 表面研磨: #400研磨仕上げ、大理石板、コンクリート板、モルタル板はともに7.0(厚さ)×100(縦)×100(横)mmである。使用枚数は、2-1の比較調査と同様、それぞれの試験板とも3枚ずつである。

## 2-3 分析方法

分析は酸性雨等調査マニュアル<sup>9)</sup>に従い、pH、ECの他、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Cl^-$ の陰イオン3成分、 $NH_4^+$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ の陽イオン5成分をイオンクロマトグラフで、Cu、Feを原子吸光度法で分析した。なお、Cu、Feは水溶性成分についてのみ分析した。

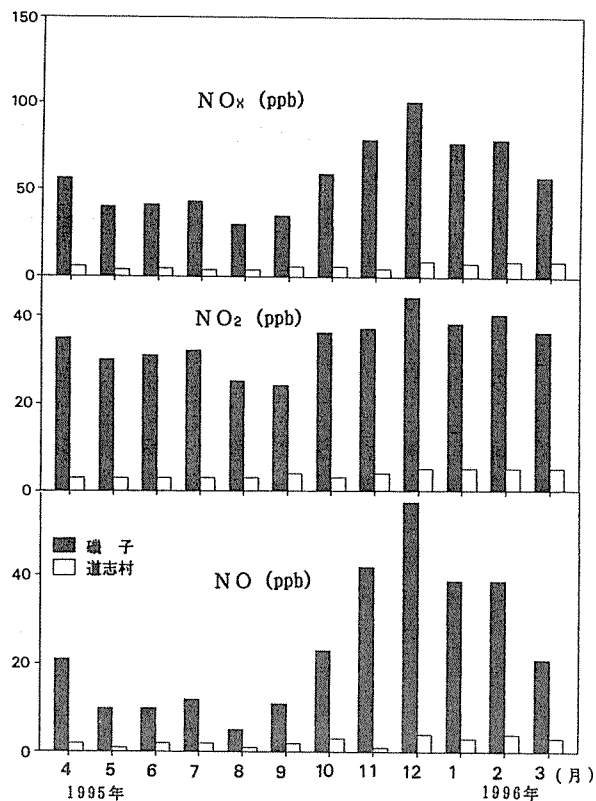


図-3 磯子と道志村におけるNO、NO<sub>2</sub>濃度

## 3. 都市部と清浄地域の大气汚染の状況

図-3にNOx簡易サンプラー(PTI0法)による調査期間中の磯子と道志におけるNO、NO<sub>2</sub>、NOxの経月変化を示した。道志は、NOは2ppb、NO<sub>2</sub>は4ppb、NOxとしては6ppbレベルで推移していたが、磯子はNO、NO<sub>2</sub>、NOxともこれらの10倍以上の濃度となっていた。特に冬は高く、NOは60ppb、NO<sub>2</sub>は40ppb、NOxとしては100ppb程度になった。SO<sub>2</sub>も図には示していないが、年平均で道志が1ppb以下(検出限界)に対し、磯子は約8ppbであった<sup>10)</sup>。このように、磯子は道志と比べるとかなり大気汚染物質濃度が高かった。

## 4. 結果および考察

### 4-1 都市部と清浄地域の比較

#### 4-1-1 年間値

表-1に磯子と道志における雨水成分、銅のリーチング試験の結果を示した。

#### (1) 雨水成分

年間降水量は道志が1570mm、磯子が1420mmであり、やや道志の方が多かった。しかし、それほど大きな差はなかった。年平均pHは道志が5.3に対し、磯子が4.9とやや磯子の方が低かった。

イオン成分の年間降水量はK+を除きいずれも道志に比べ磯子が多く、磯子/道志の比をとると、Na<sup>+</sup>は2.8倍、Cl<sup>-</sup>は2.7倍、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は2.4倍、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は1.9倍、Ca<sup>2+</sup>は1.8倍であった。

#### (2) 銅の溶出量

銅の年間溶出量はイオン成分の降水量と同様、道志に比べ磯子が多く、道志が39mg/年に対し、磯子が74mg/年と磯子が約2倍も多かった。なお、本報での銅のデータはすべて水溶性であり、剥離などによる不溶性のものは含まれていない。しかし、名古屋で北瀬ら<sup>6)</sup>が実施した銅のリーチング調査結果によれば、不溶性のものは非常に少なく、ほとんど(93%以上)が水溶性であり、また、大阪での

表-1 道志村と礪子の比較 (1995年4月~1996年3月)

		降水量 mm/年	pH									溶出量(mg/年/3枚) Cu
			降下量 (g/m <sup>2</sup> /年)									
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>		
道志	雨水	1570	5.3	0.7	0.3	0.4	0.6	0.1	1.4	1.5	0.9	-
	銅板	1490	5.9	0.4	0.2	0.4	0.4	0.1	1.2	1.4	0.8	39
礪子	雨水	1420	4.9	0.9	0.1	1.1	1.1	0.2	3.4	2.9	2.4	-
	銅板	1280	5.7	1.0	0.1	1.1	1.0	0.2	3.7	2.9	2.5	74

岡ら<sup>7)</sup>による結果、富山県での鳥山ら<sup>8)</sup>による結果でも同様であることから、銅の劣化の状況については水溶性のものだけで、十分その実態が把握できるものと考えられる。

(3) 雨水成分と銅のリーチング試験の比較

次に、同一地点における雨水成分と銅のリーチング試験による成分とを比較した。まずpHについてみると、pHは道志が雨水5.3に対し銅板が5.9、礪子が雨水4.9に対し銅板が5.7であり、両地点とも、雨水より銅板のpHの方が高くなっていた。これは銅板とH<sup>+</sup>とで何らかの反応が生じていることを示しているものと思われる。

イオン成分は、礪子の銅板のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が3.7g/m<sup>2</sup>/年と雨水(3.4g/m<sup>2</sup>/年)に比べやや多かったが、それ以外の成分は、道志、礪子とも、雨水、銅板とでほとんど差がなかった。

4-1-2 経月変化

図-4~図-7に礪子と道志における、雨水測定による降水量、pH、各イオン成分の降下量、及び銅リーチング試験による銅の溶出量の経月変化を示した。また、表-2に各成分の相関係数表を示した。

(1) 降水量、pH (図-4)

降水量は夏に多く冬に少ない傾向であった。地点別では、4月に道志が礪子に比べやや多くなっている以外は各月ともそれほど変わらなかった。なお、8月の礪子、12月の礪子、道志は無降水であった。

pHは礪子、道志ともに春、夏に低く、秋、冬に高い傾向であった。地点別では、1、2月を除きすべて道志に比べ礪子の方が低かった。

(2) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、銅 (図-5)

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>降下量は互いに非常に類似した変化を示し、夏に多く冬に少ない傾向であった。地点別では、これらはともに、1年を通じ道志に比べ礪子がほぼ2倍以上多くなっていた。

銅の溶出量もSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>降下量と非常に類似し、夏に多く冬に少ない傾向であり、地点別でも、1年を通じ道志に比べ礪子がほぼ2倍以上多くなっていた。

なお、前述した大気汚染物質濃度と銅の溶出量の挙動を比較してみると、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>濃度が高い冬に銅の溶出量が特に多くなっているということとはなかった。

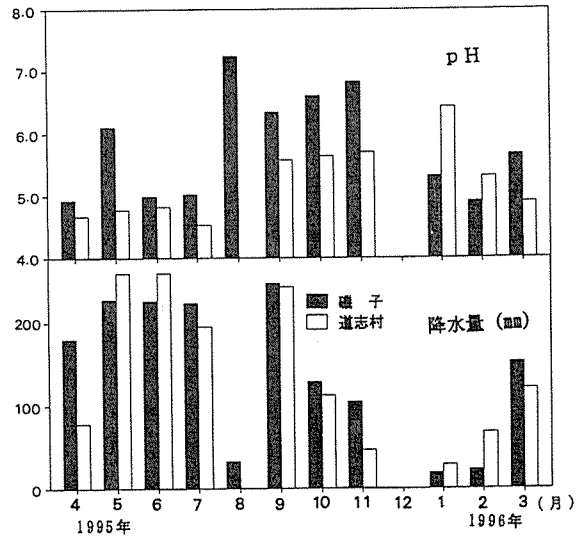


図-4 礪子と道志村における降水量及びpHの経月変化

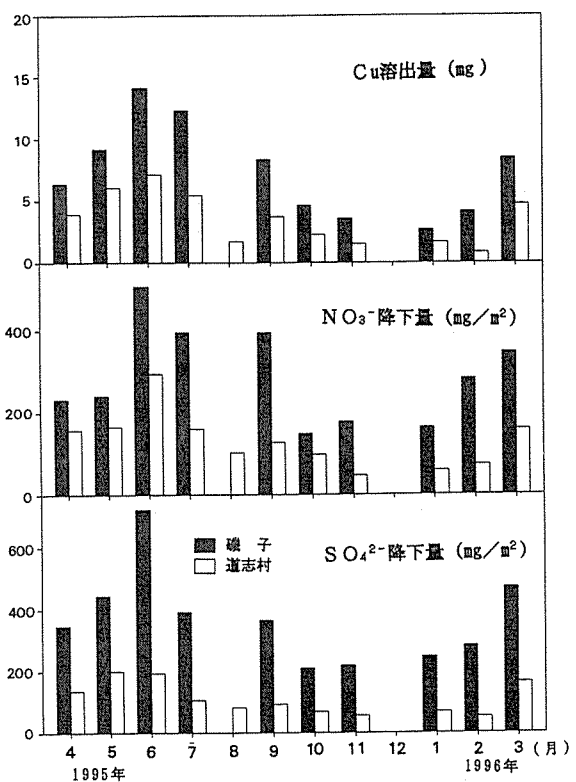


図-5 礪子と道志村におけるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>降下量と銅溶出量の経月変化

表-2 雨水中のイオン成分の降下量及び銅の溶出量の相関係数表（磯子、道志、N=21）

	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Cu
H <sup>+</sup>		0.65	0.02	0.02	0.06	0.06	0.64	0.66	0.16	0.82
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			0.02	0.28	0.42	0.29	0.93	0.84	0.49	0.84
K <sup>+</sup>				0.05	0.30	0.03	0.22	0.13	0.09	0.02
Na <sup>+</sup>					0.41	0.96	0.35	0.22	0.95	0.17
Ca <sup>2+</sup>						0.56	0.58	0.58	0.56	0.31
Mg <sup>2+</sup>							0.38	0.29	0.93	0.19
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>								0.90	0.59	0.90
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>									0.47	0.92
Cl <sup>-</sup>										0.42
Cu										

注) H<sup>+</sup>はpHから換算して求めた

(3) Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>(図-6)

Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>降下量はともに非常に類似した変化を示し、表-2に示すように、相互の相関係数が0.93以上と非常に強かった。また、その傾向は磯子は11月、4月、道志は5月が特に多い特徴があった。地点別では、5月を除きすべて道志に比べ、磯子が多かった。Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>はともに海塩成分の指標としてよく用いられており、図-8にNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の関係を示したが、その回帰直線は海塩組成に極めて近いことから、これらの主な起源は海塩粒子と考えられる。

銅の腐食については海塩粒子の影響も指摘されており<sup>8)</sup>、磯子は海岸に近いので、特にこの影響が強いものと考えられる。しかし、銅の溶出量と海塩粒子との挙動についてみると、Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>の降下量が特に多かった11月以降に、その溶出量が特に多くなるという傾向は認められなかった。

(4) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>(図-7)

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>は酸性雨の中和成分として知られているが、これについても、1年を通じ道志に比べ磯子が非常に多かった。また、その傾向は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>と類似し、夏に多く冬に少ない傾向、Ca<sup>2+</sup>は冬に多い傾向であった。

K<sup>+</sup>は他のイオン成分と異なり、磯子よりむしろ道志の方が多かった。この主な起源としては土壌等の自然起源の影響が大きいものと考えられる。

4-1-3 銅の溶出量と各成分の関係

以上、磯子と道志における銅の溶出量、各成分の降下量について述べてきたが、ここでは銅の溶出量と各成分の降下量との関係について検討した

表-2に示すように、銅の溶出量はNO<sub>3</sub><sup>-</sup>降下量(r=0.92)、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量(r=0.90)、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>降下量(r=0.84)、H<sup>+</sup>降下量(r=0.82)と非常に強い相関を示した。一方、Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>の海塩成分やK<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>との相関は弱かった。なお、相関が強かった成分のうち、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(r=0.93)、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(r=0.84)との相関も非常に強いことから、これらは大気中や雨水中では主にNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>や(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>等の形で存在しているものと考えられる。したがって、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>については、銅の溶出量との直接的な関係はないものと考えられる。

銅の溶出量とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sup>+</sup>降下量との関係についてさらに検討した。図-9~図-11にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及びH<sup>+</sup>の月間降下量と銅の月間溶出量との関係を示した。

図-9に示すように、銅の溶出量はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の降下量が多くなると

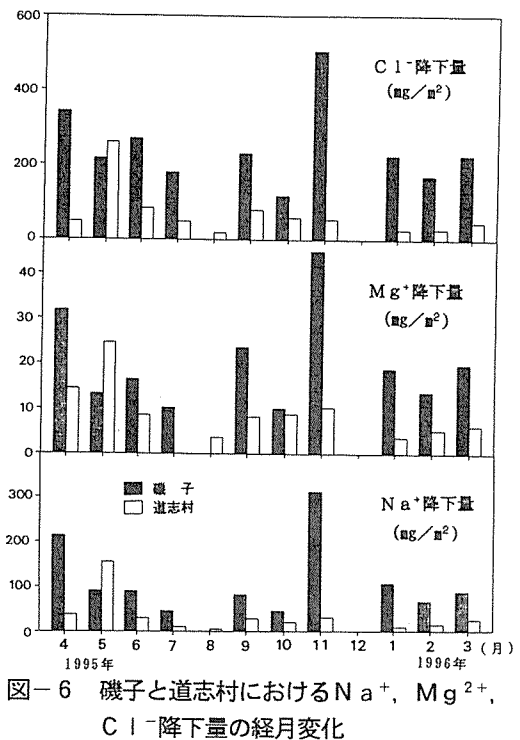


図-6 磯子と道志村におけるNa<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>降下量の経月変化

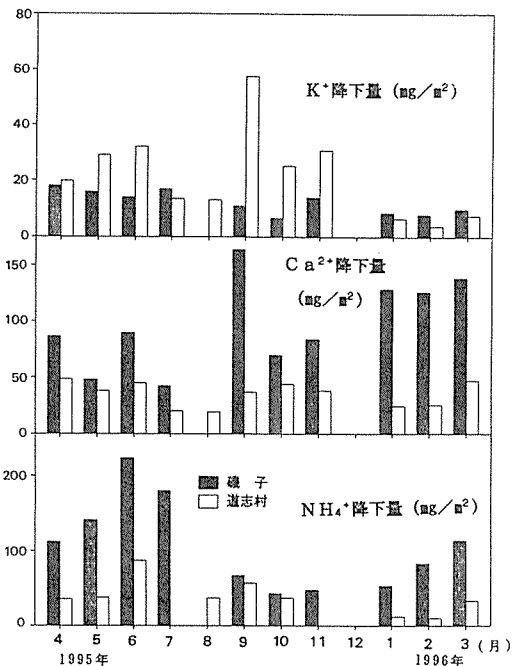


図-7 磯子と道志村におけるNH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>降下量の経月変化

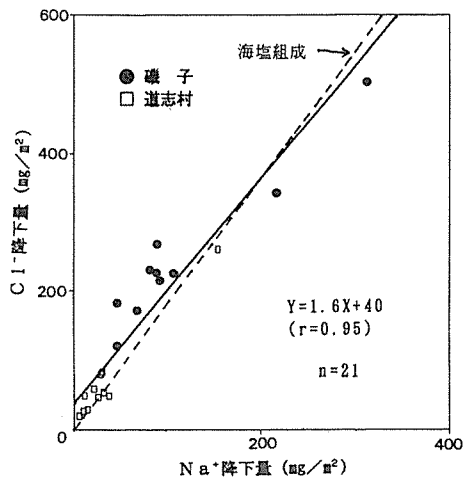


図-8  $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の関係

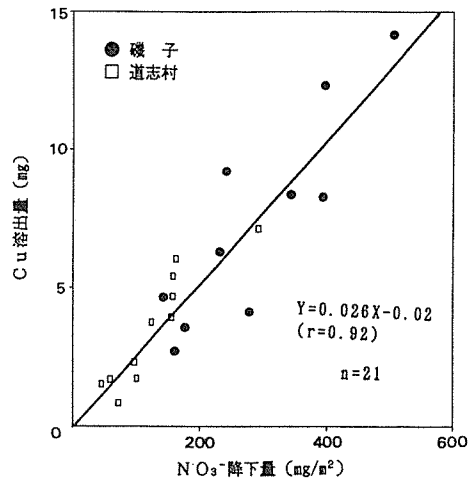


図-10  $\text{NO}_3^-$ 降水量と銅溶出量の関係

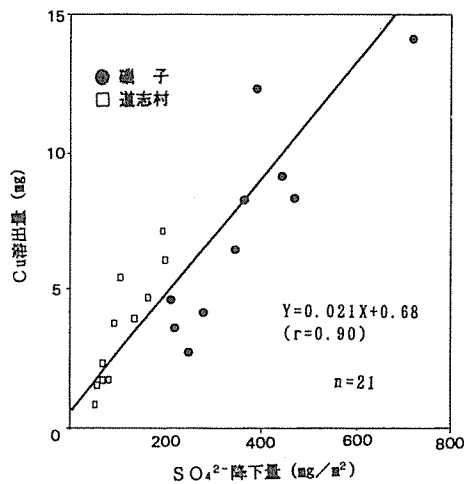


図-9  $\text{SO}_4^{2-}$ 降水量と銅溶出量の関係

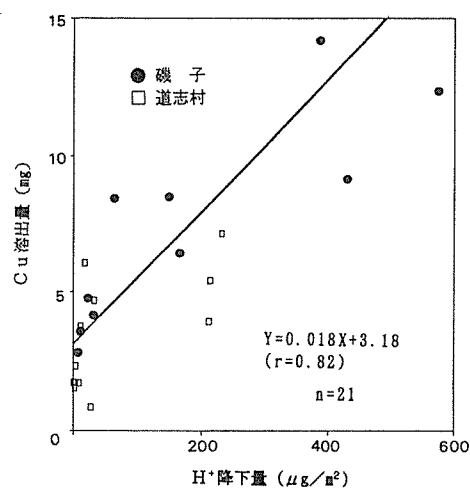


図-11  $\text{H}^+$ 降水量と銅溶出量の関係

その溶出量が増加するという、 $Y=0.021X+0.68$  ( $r=0.90$ ) なる非常に良い正の直線関係を示した。これは、 $\text{NO}_3^-$ 降水量 (図-10:  $Y=0.026X-0.02$ ,  $r=0.90$ )、 $\text{H}^+$ 降水量 (図-11:  $Y=0.018X+3.18$ ,  $r=0.82$ ) でも同様であった。

筆者らは pH 2, 3, 4, 5 の人工酸性雨を用いて銅板のリーチング試験を実施<sup>11)</sup>しているが、銅の溶出量は pH が低いほど多くなること、銅の溶出量と  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  の暴露液量とは非常に良い正の直線関係を示すこと等、上記のフィールド試験と同様な結果を得ている。

このことから、フィールド試験において、清浄地域に比べ都市部で銅の溶出量が多くなったのは  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}^+$  等のいわゆる酸性降水物の影響と考えられる。これより、銅のリーチング試験は酸性降水物の影響をみる良い指標になるものと考えられる。

#### 4-2 都市部における各種リーチング試験

##### 4-2-1 雨水と各種リーチング試験の比較

表-3に1994年4月～1996年3月の2年間の磯子における各種試験板を用いたリーチング試験結果を示した。以下、各成分について、雨水成分を対照として各種リーチング試験との結果を比較した。

##### (1) pH

pHは雨水が4.7に対し、炭素鋼は4.8とほとんど変わらなかったが、これ以外はすべて高く、銅板は5.5、大理石、コンクリート、モルタル板は特に7.2～7.4とかなり高かった。

##### (2) $\text{NH}_4^+$

$\text{NH}_4^+$ は、雨水が $1.0\text{g}/\text{m}^2$ /年に対し、銅、炭素鋼板は $1.1$ 、 $1.2\text{g}/\text{m}^2$ /年とほぼ同程度であったが、大理石、コンクリート、モルタル板は雨水に比べ $0.6\sim 0.7\text{g}/\text{m}^2$ /年とやや少なかった。

##### (3) $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$

$\text{K}^+$ は、雨水が $0.2\text{g}/\text{m}^2$ /年に対し、銅、炭素鋼、大理石板は $0.1\sim 0.2\text{g}/\text{m}^2$ /年とほとんど変わらなかったが、コンクリート、モルタル板は $1.9$ 、 $1.5\text{g}/\text{m}^2$ /年と雨水に比べ7～9倍も多く、これら試験板から $\text{K}^+$ が非常に多く溶出されていたことを示していた。しかし、現在の $\text{K}^+$ の溶出量はリーチング試験初期に比べると、かなり少なくなってきている。

$\text{Na}^+$ も $\text{K}^+$ と同様で銅、炭素鋼、大理石板は雨水とほとんど変わらなかったが、コンクリート、モルタル板はそれぞれ $3.0$ 、 $2.1\text{g}/\text{m}^2$ /年と雨水に比べ2.1、1.5倍多かった。また、現在の溶出量も $\text{K}^+$ と同様、リーチング試験初期に比べるとかなり少なくなっている。

##### (4) $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$

$\text{Ca}^{2+}$ は雨水が $1.4\text{g}/\text{m}^2$ /年に対し、大理石、コンクリート、モルタル板はそれぞれ $7.3$ 、 $6.5$ 、 $9.3\text{g}/\text{m}^2$ /年と雨水に比べ5～7倍も多かった。現在の $\text{Ca}^{2+}$ の溶出量は $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ とは異なり、リーチング試験初期当時と同様、変わらず多く溶出している。

$\text{Mg}^{2+}$ は各試験板とも雨水との違いはほとんどなかった。

(5)  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$

$\text{SO}_4^{2-}$ は雨水が4.3g/m<sup>2</sup>/年に対し、各試験板とも多くなっており、特に、コンクリート、モルタル板は6.7, 7.6g/m<sup>2</sup>/年と多かった。これは試験板への $\text{SO}_2$ ガスの吸着が主な原因と考えられる。

$\text{NO}_3^-$ は雨水に比べ銅板だけがやや多く、 $\text{Cl}^-$ は雨水に比べ炭素鋼板がやや多かった。

(6) 銅, 鉄

銅板からの銅の溶出量は80mg/m<sup>2</sup>/年であった。これは前述の別個の装置で実施した4-1の比較調査の結果(74mg/m<sup>2</sup>/年)とかなり近い値であった。調査期間は前者は後者の1年間を含む2年間であるが、前者を後者の期間だけで見ると、その溶出量は75mg/m<sup>2</sup>/年となり、両者ほとんど同じであった。このことから、このリーチング装置での銅の溶出量の測定は非常に再現性が良いといえる。鉄の溶出量は33mg/m<sup>2</sup>/年であった。ただし、この値は水溶性のものだけで、不溶性のものは含まれていない。

以上、雨水成分との比較から、4-1でも述べた銅板から銅を含め、炭素鋼板から鉄、大理石板から $\text{Ca}^{2+}$ 、コンクリート、モルタル板から $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ が溶出されていた。

#### 4-2-2 各種リーチング試験による溶出物と酸性降下量の関係

ここでは各試験板から溶出された成分と雨水中の $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$

等の降下量との関係を検討した。表-4にその結果を示した。

銅は4-1の比較調査の結果と同様で、 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ 降下量とは強い相関を示した。しかし、海塩成分が主である $\text{Na}^+$ との相関は弱かった。鉄も銅と同様、 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ 降下量との相関が認められ、特に $\text{SO}_4^{2-}$ とは非常に良い正の直線関係( $Y=0.010X-1.6$ ,  $r=0.86$ )を示した。しかし、鉄についても海塩成分が主である $\text{Na}^+$ との相関は弱かった。

大理石、コンクリート、モルタル板から溶出される $\text{Ca}^{2+}$ は、いずれも $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ 降下量とかなり強い相関がみられた。特に大理石の場合は $\text{SO}_4^{2-}$ ( $r=0.82$ )と $\text{H}^+$ ( $r=0.88$ )、コンクリートの場合は $\text{SO}_4^{2-}$ ( $r=0.81$ )との相関が強かった。図12~図14には雨水の $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量と大理石、コンクリート、モルタル板からの $\text{Ca}^{2+}$ 溶出量との関係を示した。

このように、 $\text{Ca}^{2+}$ の溶出量は銅と同様、酸性降下物の影響をみる良い指標になるものと考えられた。これについては、現在、磯子と道志において大理石板を用いたリーチング比較試験、人工酸性雨を用いた大理石板のリーチング試験を実施しており、さらに検討する予定である。

なお、コンクリート、モルタル板から溶出される $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ は $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ との相関はいずれも弱かった。

表-3 磯子における各種試験板(3枚)からの溶出結果(1994年4月~1996年3月)

	降水量 mm/年	pH	降下量 (g/m <sup>2</sup> /年)							溶出量 (mg/年)		
			$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	Cu	Fe
雨水	1440	4.7	1.0	0.2	1.4	1.4	0.3	4.3	3.3	2.9	-	-
銅	1410	5.5	1.1	0.2	1.4	1.2	0.2	5.1	3.7	3.4	80	-
炭素鋼	1470	4.8	1.2	0.2	1.5	1.2	0.3	5.0	3.1	3.7	-	33
大理石	1240	7.2	0.6	0.1	1.6	7.3	0.3	5.3	3.2	3.0	-	-
コンクリート	1410	7.3	0.7	1.9	3.0	6.5	0.3	6.7	3.1	3.0	-	-
モルタル	1360	7.4	0.7	1.5	2.1	9.3	0.3	7.6	3.3	3.2	-	-

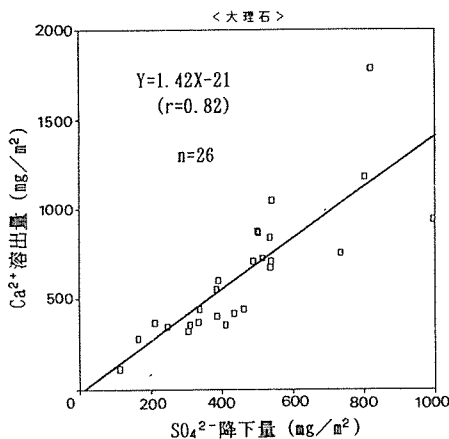


図-12  $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量と $\text{Ca}^{2+}$ 溶出量の関係(大理石板)

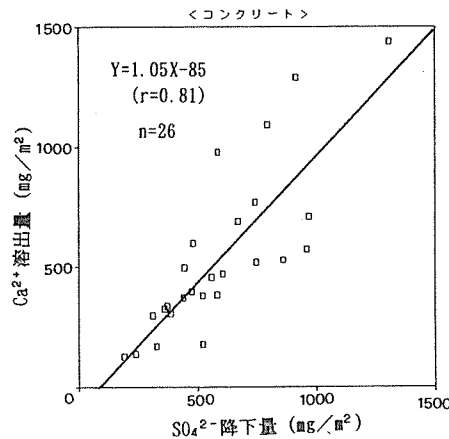


図-13  $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量と $\text{Ca}^{2+}$ 溶出量の関係(コンクリート板)

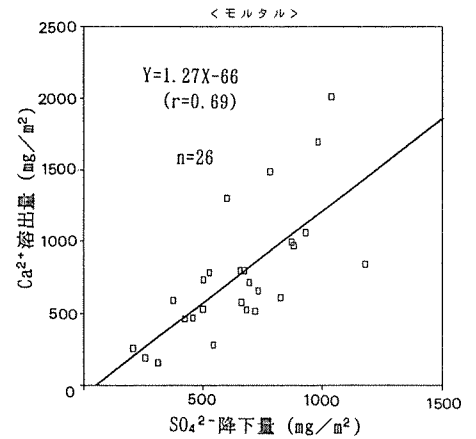


図-14  $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量と $\text{Ca}^{2+}$ 溶出量の関係(モルタル板)

表-4 各種試験板（3枚）からの溶出物と各降下物との関係(n=26)

	溶出量(Y)	降下量(X)	相関係数	回帰直線
銅板	Cu	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.83	Y=0.018X-1.2
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.86	Y=0.025X-0.93
		H <sup>+</sup>	0.88	Y=0.0016X+3.4
		Na <sup>+</sup>	0.06	-
炭素鋼	Fe	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.86	Y=0.010X-1.6
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.60	Y=0.011X-0.23
		H <sup>+</sup>	0.54	Y=0.00056X+1.6
		Na <sup>+</sup>	0.40	-
大理石板	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.82	Y=1.42X-21
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.64	Y=1.37X-260
		H <sup>+</sup>	0.88	Y=0.12X+386
コンクリート板	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.81	Y=1.1X-85
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.78	Y=1.6X+117
		H <sup>+</sup>	0.73	Y=0.099X+327
	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.41	-
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.14	-
		H <sup>+</sup>	0.41	-
	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.36	-
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.18	-
		H <sup>+</sup>	0.47	-
モルタル板	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.69	Y=1.27X-66
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.60	Y=1.59X+322
		H <sup>+</sup>	0.54	Y=1.30X+488
	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.11	-
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.28	-
		H <sup>+</sup>	0.02	-
	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.18	-
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.19	-
		H <sup>+</sup>	0.06	-

注) Cu, Feの溶出量はmg/月, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>の降下量はmg/m<sup>2</sup>/月, H<sup>+</sup>の降下量はμg/m<sup>2</sup>/月。

## 5. まとめ

1995年4月～1996年3月の1年間、横浜市磯子(都市部)と山梨県道志村(清浄地域)で雨水成分及び銅板を用いたリーチング比較試験を行った。また、1993年12月～1996年3月の約2年間、横浜市磯子で銅、炭素鋼、大理石、コンクリート、モルタル板を用いた各種リーチング試験を行った。その結果、次の事がわかった。

(1) 道志の雨水のpHは5.3、 $\text{NO}_3^-$ 降下量は $1.5\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量は $1.4\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ であった。これに対し、磯子の雨水のpHは4.9と低く、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量も $2.9\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ 、 $3.4\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ と道志に比べそれぞれ1.9、2.4倍も多かった。

(2) 銅の溶出量も道志が $39\text{mg}/\text{年}$ に対し、磯子は約2倍の $74\text{mg}/\text{年}$ と多かった。

(3)  $\text{SO}_4^{2-}$ の月間降下量( $\text{mg}/\text{m}^2$ )と銅の月間溶出量( $\text{mg}$ )の関係を求めたところ、 $Y=0.021X+0.68$ なる非常に良い正の直線関係( $r=0.90$ )を示した。これは $\text{NO}_3^-$ 降下量( $Y=0.026X-0.02$ ,  $r=0.90$ )、 $\text{H}^+$ 降下量( $Y=0.018X+3.18$ ,  $r=0.82$ )でも同様であった。しかし、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ の海塩成分と銅の溶出量との相関は認められなかった。

(4) 各種試験板を用いてリーチング試験を行った結果、炭素鋼板から鉄、大理石板から $\text{Ca}^{2+}$ 、コンクリート、モルタル板から $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ が溶出されていた。

(5) これら溶出成分と雨水中の $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}^+$ 等の降下量との関係を検討した結果、鉄の溶出物は $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}^+$ 降下量との相関が認められ、特に $\text{SO}_4^{2-}$ との相関は $r=0.86$ と強かった。

(6) また、大理石、コンクリート、モルタル板から溶出される $\text{Ca}^{2+}$ も、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}^+$ 降下量との相関が認められ、特に大理石の場合は $\text{SO}_4^{2-}$ ( $r=0.82$ )と $\text{H}^+$ ( $r=0.88$ )、コンクリートの場合は $\text{SO}_4^{2-}$ ( $r=0.81$ )との相関が強かった。しかし、コンクリート、モルタル板から溶出される $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ は $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}^+$ 等との相関はほとんど認められなかった。

## 6. 文 献

- 1) 芳住邦夫:文化財保存における大気環境の影響, PPM, 2-9, 1988年5月.
- 2) 江本義理:文化財をまもる, 14, アグネス技術センター(1993).
- 3) 古明地哲人, 門井守夫:大気汚染による金属腐食の研究(I) -炭素鋼1ヶ月暴露試験-, 大気汚染学会誌, 22(1), 44-51(1987).
- 4) 寺部本次, 原四朗, 大道貞男:金属および塗膜におよぼす大気汚染の影響についての実験的研究, 防錆管理, 5, 1-8(1961).
- 5) 環境庁大気保全局大気規制課:大気汚染による金属材料の腐食モニタリング指針, 昭和63年6月.
- 6) 北瀬 勝, 酒井哲夫, 大場和生, 古賀真紀子:銅腐食生成物の可溶性成分について, 名古屋市環境科学研究所報, 23, 9~15(1993).
- 7) 岡憲司, 辻野喜夫, 吉川秀治朗, 佐藤幸広, 袖岡孝好:大気汚染による金属腐食, 大阪府公害監視センター所報 調査研究編第13号(1992).
- 8) 鳥山成一, 坂森重治, 荒川久雄, 島田博之:富山県におけるエアロゾルに関する研究(第4報) -入善・宇奈月地域における大気汚染による金属腐食について-, 富山県公害センター年報第17号, 90-117(1989).
- 9) 環境庁大気保全局:酸性雨等調査マニュアル(改訂版)(平成2年3月).
- 10) 大気環境保全局資料
- 11) 矢本てるみ, 加藤善徳:人工酸性雨による銅板のリーチング試験, 横浜市環境科学研究所報第21号, 97-102(1996).

# 横浜市における湿性、乾性降下物の $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比の 経年変化(1984-1995)

加藤 善徳\*, 矢本 てるみ\*

## 要 旨

1984年～1995年の間、横浜市磯子において自動雨水採取装置等を用いて湿性及び乾性の $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等の年間降下量を測定した。その結果、最近、 $\text{NO}_3^-$ 降下量は、湿性は増加、乾性は横ばいの傾向、 $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量は、湿性は横ばい、乾性は減少の傾向、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比としては湿性、乾性とも増大傾向を示していることがわかった。

この原因について、常時監視データを用い検討したところ、その主因は、最近のこれら前駆物質である大気中 $\text{NO}_2$ 濃度の上昇、 $\text{SO}_2$ 濃度の低下にあると考えられた。

## 1. はじめに

工場、自動車等から排出される硫黄酸化物、窒素酸化物は降水に伴って地表面に沈着し(湿性沈着)、あるいは降水を伴わずガス状粒子状のまま沈着して(乾性沈着)、大気中から除去される。これらは地表面に沈着する際、環境に対して様々な影響を及ぼすが、特に沈着量の大きい場合は、欧米、中国<sup>1)～4)</sup>等に見られるように湖沼、森林、建造物、文化財等に重大な被害、影響をもたらす。したがって、影響をみていく上で、まず、これらの沈着量を測定することが重要となるが、その影響は蓄積量が問題となるので、これらを継続して測定していくことが特に重要である。

横浜市環境科学研究所は、自動雨水採取装置等を用い、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等の湿性、乾性降下物の測定を1984年より継続して実施してきた。最近になり、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ の沈着量、その組成比に変化がみられるようになってきたので、このことについて報告する。また、これらの組成比の変化の原因について、環境大気中の常時監視データを用いて検討した。

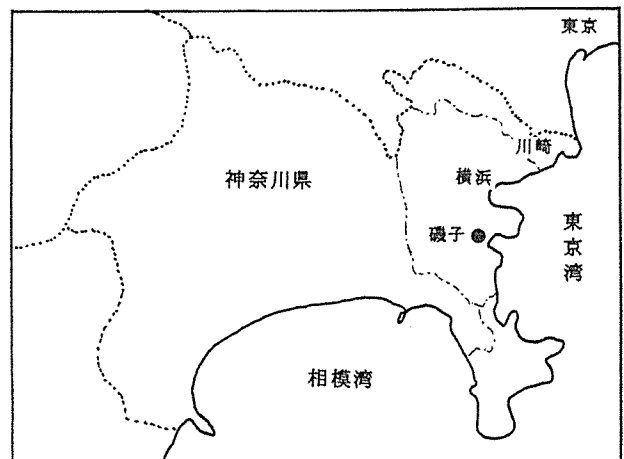


図-1 測定地点

## 2. 調査内容

### 2.1 調査地点

図-1に調査地点を示した。調査は横浜市磯子の横浜市環境科学研究所屋上で実施した。付近は小学校、公園等が近接する住宅地で、東側500mに幹線道路(国道16号)が走っており、南東側の海岸沿いは、火力発電所、製油工場、化学工場等の臨海工業地帯、北東部は川崎、東京等の都市・工業地帯となっている。

### 2.2 調査方法

表-1に測定に使用した各採取装置の概要を示した。

#### (1) 湿性降下物

湿性降下物は、小笠原計器製の湿性、乾性分別採取装置(R-500及びUS-400:口径200mm, ステンレス製、テフロンコーティング)を用いて測定した。採取単位は一降水毎、調査期間は1984年5月～1995年12月の約12年間である。

表-1 湿性、乾性降下物等の採取装置

	湿性降下物	乾性降下物		ろ過式
		水張り	水無し	
装置・型式	小笠原R-500 小笠原US-400	小笠原US-400	小笠原US-400	宮本理研
採取部	材質	ステンレス製 テフロンコーティング*	ステンレス製 テフロンコーティング*	ステンレス製 テフロンコーティング*
	口径	200mm	197mm	197mm
	深さ		250mm	250mm
採取単位	一降水毎	一ヶ月	一ヶ月	一ヶ月

Recent Trends of  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  Ratio of Dry and Wet Deposition in Yokohama(1984-1995)

\*Yoshinori Katou, Terumi Yamoto, 横浜市環境科学研究所



## (2) 乾性降下物

乾性降下物の測定は、以下の水張り式、水無し<sup>5)</sup>の2つの方法で行った。なお、水無しには捕集した乾性降下物が再飛散によりロスする可能性、水張りは再飛散によるロスはないものの、逆にガス吸着による過大評価の指摘<sup>5)</sup>がある。

### (ア) 水張り式

水張り式は、小笠原US-400を用い、口径197mm、深さ250mmのテフロン製、テフロン<sup>®</sup>の容器に純水を張り、乾性降下物を採取した。採取単位は1ヶ月単位とし、これをろ過後ろ液を試料とした。調査期間は1986年6月～1995年12月の約10年間である。

### (イ) 水無し

水無しは、水張りと同型の装置及び容器を用い、水を張らずに1ヶ月の採取単位で乾性降下物を採取した。採取後、容器内部の付着物を全量かきとりこれを純水に溶解後、ろ過し、そのろ液を試料とした。調査期間は1991年4月～1995年12月の約5年間である。

## (3) ろ過式採取法による降下物(湿性+乾性)

宮本理研製のろ過式採取装置(ホリテック製、口径198mm)を用い、湿性、乾性降下物を一括採取した。採取単位は1ヶ月、調査期間は1984年4月～1995年12月の約12年間である。

## 2. 3 分析方法

採取した各試料は、酸性雨等調査マニュアル<sup>6)</sup>に従い、pH、ECその他、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Cl^-$ の陰イオン3成分、 $NH_4^+$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $K^+$ の陽イオン5成分を、表-2に示す方法で分析した。この他、解析資料として、常時監視局の $SO_2$ 、 $NO_2$ のデータ<sup>7)、8)</sup>を用いた。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 湿性降下物

表-3に1984年～1995年の各成分の年間湿性降下量を示した。また、図-2にpH、 $NO_3^-$ 降下量、 $SO_4^{2-}$ 降下量及び $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の経年変化を示した。なお、1984年、1986年には欠測値があり、年間値とはなっていない。

pHは1984年以来、4.6前後とほぼ横ばいで推移している。 $SO_4^{2-}$ 降下量は1988、1989年の一時期、3.9、4.6 $g/m^2$ とやや多かったが、その後は3.0 $g/m^2$ 前後とほぼ横ばいで推移している。一方、 $NO_3^-$ 降下量は1990年頃から上昇傾向となっている。これを、 $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比としてみると、その比は1990年頃から明確な上昇傾向を示している。

### 3. 2 ろ過式による降下物(湿性+乾性降下物)

表-4に1984年～1995年のろ過式による各成分の年間降下量を示した。また、図-3にpH、 $NO_3^-$ 降下量、 $SO_4^{2-}$ 降下量及び $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の経年変化を示した。なお、1984年には欠測値が

あり、年間値とはなっていない。pHは1987年は5.2と高かったが、それ以降低下傾向にあり、特に1990年以降は4.6前後となっている。 $SO_4^{2-}$ 降下量は1989、1990年が約5.0 $g/m^2$ 程度とやや多かったが、その他は4.0 $g/m^2$ 前後で推移しており特に一定の傾向はない。一方、 $NO_3^-$ 降下量は湿性降下物の傾向とほぼ同様で、1990年以降上昇傾向となっていた。

$NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比としては湿性降下物と同様、1990年以降明確な上昇傾向にある。

## 3. 3 乾性降下物

### (1) 水張り式

表-5に1986年～1995年の水張り式による各成分の年間乾性降下量を示した。表-5に示すように、1987、1988、1990、1995年以外の年は欠測値があり、年間値とはなっていない。そこで、ここでは、経年変化をみるため、月間降下量を算出してその傾向をみた。ただし、1991、1992年は測定月数がそれぞれ1月、4月と少ないため、検討から除いた。

図-4に水張り式による $SO_4^{2-}$ 月間乾性降下量、 $NO_3^-$ 月間乾性降下量及び $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の経年変化を示した。 $SO_4^{2-}$ の月間降下量は1989年以前に比べ最近はかなり低めとなっている。一方、 $NO_3^-$ 月間降下量は1986年以来、0.08 $g/m^2$ 前後で推移しておりほぼ横ばいであった。また、 $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比としてみると、その値は1989年以前に比べ最近は上昇傾向となっている。

### (2) 水無し

表-6に1991年～1995年の水張り無しによる各成分の年間乾性降下量を示した。水張り同様に欠測値がかなりあるので月間降下量を算出してから経年変化について検討した。なお、1993年は測定月数がそれぞれ1月と少ないため、検討から除いた。

図-5に水張り無しによる $SO_4^{2-}$ 月間乾性降下量、 $NO_3^-$ 月間乾性降下量及び $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の経年変化を示した。 $SO_4^{2-}$ の月間降下量は1991年来低下傾向を示している。一方、 $NO_3^-$ 月間降下量は水張りと同様、1991年来、0.08 $g/m^2$ 前後でほぼ横ばいとなっている。また、 $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比は1991年来、急激に増大している。

## 4. 関東地域の $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の状況

関東地方では1980年代始めから梅雨時期を中心に関東及びその周辺地域で酸性雨の共同調査を行っている<sup>9)、10)</sup>。表-7、図-6はその結果の一部を示したものであるが、湿性降下物、大気降下物(降下ばいじん)とも、全地点の平均で見ると、 $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比は礫子の結果と同様、最近、増大傾向を示している。このことから、 $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比の増大の傾向は、関東の広域で生じているといえる。

表-2 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法	分析機種
pH	ガラス電極法	TOA HM-60S
導電率 (EC)	電気伝導度法	DKK AOC-10
$Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$	原子吸光光度法	HITACHI Z-8000
$NH_4^+$	イオンクロマトグラフ法	Dionex 4000i
	インドフェノール法	JAS. CO UVIDEC-610C
$SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Cl^-$	イオンクロマトグラフ法	Dionex 4000i
	イオンクロマトグラフ法	Dionex 4000i

表-3 各成分の湿性年降下量

	降水量 mm	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N/S比
			g/m <sup>2</sup> ・年								
(1984年)	853	4.77	1.81	0.67	0.95	0.44	0.04	0.36	0.12	0.06	0.37
1985年	1824	4.69	2.79	1.39	2.41	0.69	0.07	1.04	0.33	0.16	0.50
(1986年)	1003	4.47	2.22	1.71	1.50	0.75	0.12	0.47	0.18	0.60	0.77
1987年	1408	4.73	2.55	1.51	1.63	0.72	0.17	0.59	0.20	0.08	0.59
1988年	1694	4.64	3.88	1.90	2.10	0.86	0.07	0.68	0.24	0.10	0.49
1989年	2277	4.57	4.58	2.80	3.05	1.28	0.11	1.21	0.50	0.23	0.61
1990年	1764	4.63	3.18	1.76	3.93	0.67	0.11	2.19	0.58	0.32	0.55
1991年	2196	4.71	3.08	1.60	2.20	1.08	0.07	0.88	0.44	0.18	0.52
1992年	1654	4.61	2.86	1.60	2.61	0.98	0.07	1.08	0.40	0.15	0.56
1993年	1952	4.75	3.05	2.05	2.46	1.11	0.08	0.78	0.53	0.14	0.67
1994年	1372	4.55	2.98	2.40	1.93	0.86	0.04	0.80	0.48	0.14	0.81
1995年	1524	4.77	2.36	1.81	2.06	0.81	0.06	0.84	0.35	0.12	0.77

注) ( ) 内は欠測がある年を示す。1984年は1月～4月，1986年は3月～5月が欠測。N/S比はNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>比を示す。

表-4 ろ過式採取装置による各成分の年降下量

	降水量 mm	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N/S比
			g/m <sup>2</sup> ・年								
(1984年)	559	4.95	2.12	0.92	1.22	0.33	0.03	0.36	0.54	0.09	0.43
1985年	1788	4.85	3.82	1.67	3.48	0.53	0.08	1.57	1.19	0.29	0.44
1986年	1459	4.81	3.48	2.54	2.35	1.09	0.18	0.72	0.82	0.12	0.73
1987年	1232	5.21	3.39	1.95	2.52	0.62	0.17	0.80	1.05	0.18	0.58
1988年	1503	4.88	4.32	1.84	2.26	0.68	0.13	0.95	0.99	0.18	0.43
1989年	1807	4.99	5.13	2.00	3.84	1.59	0.22	1.59	1.55	0.25	0.39
1990年	1388	4.69	5.01	2.22	7.73	0.59	0.22	3.78	1.65	0.53	0.44
1991年	1648	4.65	3.86	2.04	3.20	0.96	0.10	1.34	1.08	0.25	0.53
1992年	1191	4.60	3.81	2.28	3.47	0.75	0.09	1.54	1.24	0.27	0.60
1993年	1234	4.68	3.44	2.61	3.53	0.77	0.10	1.49	1.47	0.27	0.76
1994年	1307	4.57	4.69	3.73	4.59	0.78	0.15	2.00	1.38	0.35	0.80
1995年	1321	4.58	4.20	3.16	4.50	0.83	0.13	2.01	1.23	0.30	0.75

注) ( ) 内は欠測がある年を示す。1984年は1月～4月が欠測。

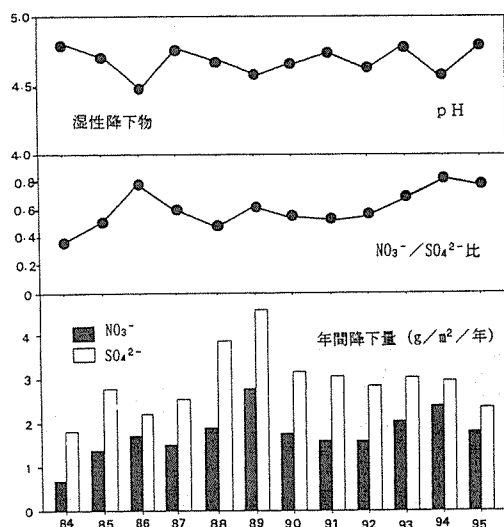


図-2 湿性降下物のpH及びNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量の経年変化

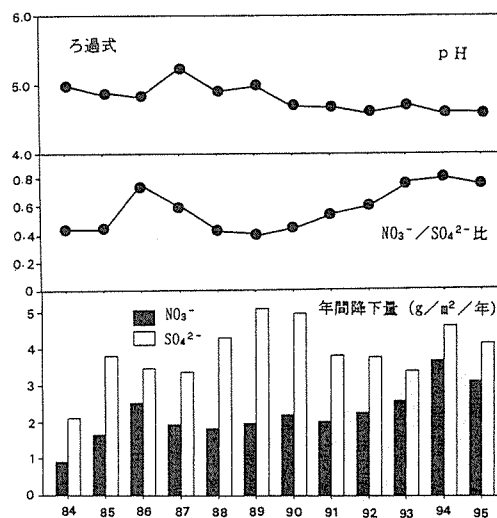


図-3 ろ過式採取装置による降下物のpH及びNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>降下量の経年変化

表-5 各成分の乾性年降水量（水張り式）

測定月数	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	N/S比	
	g/m <sup>2</sup> ・年									
(1986年)	7	2.17	0.49	0.61	0.28	0.04	0.16	0.50	0.05	0.23
1987年	12	3.85	0.99	1.68	0.40	0.12	0.50	1.65	0.17	0.26
1988年	12	4.29	1.12	1.66	0.58	0.07	0.44	1.36	0.19	0.26
(1989年)	10	3.14	0.73	1.13	0.59	0.06	0.51	1.21	0.13	0.23
1990年	12	2.70	0.79	1.26	0.12	0.07	0.68	1.27	0.15	0.29
(1991年)	1	0.07	0.02	0.02	0.01	<0.01	0.01	0.04	<0.01	0.29
(1992年)	4	1.59	0.60	0.97	0.21	0.04	0.25	0.53	0.12	0.38
(1993年)	10	2.48	0.67	1.21	0.21	0.07	0.29	1.07	0.21	0.27
(1994年)	11	2.97	0.79	1.14	0.19	0.07	0.39	1.00	0.13	0.27
1995年	12	2.49	0.88	2.33	0.20	0.43	0.95	1.07	0.22	0.35

注) ( ) 内は欠測がある年を示す。1986年は1年の内5ヶ月、1989年は2ヶ月、1991年は11ヶ月、1992年は8ヶ月、1993年は2ヶ月、1994年は1ヶ月が欠測。

表-6 各成分の乾性年降水量（水張り無し）

測定月数	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	N/S比	
	g/m <sup>2</sup> ・年									
(1991年)	8	1.45	0.67	1.44	0.12	0.05	0.47	0.61	0.17	0.46
(1992年)	6	0.89	0.49	0.95	0.08	0.04	0.33	0.43	0.12	0.55
(1993年)	1	0.05	0.03	0.06	0.01	<0.01	0.02	0.03	<0.01	0.80
1994年	12	1.33	1.11	1.35	0.11	0.07	0.46	0.78	0.16	0.83
1995年	12	0.82	0.81	0.94	0.09	0.08	0.38	0.66	0.09	0.98

注) ( ) 内は欠測がある年を示す。1991年は1年の内4ヶ月、1992年は6ヶ月、1993年は11ヶ月が欠測。

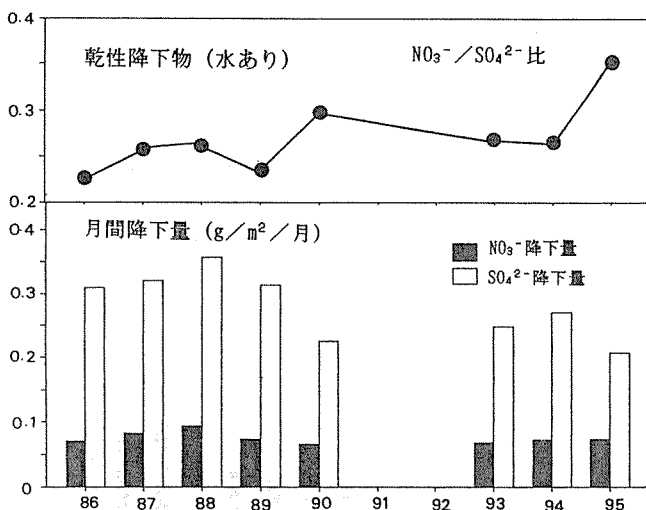


図-4 乾性降下物（水あり）の $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 月間降下量の経年変化

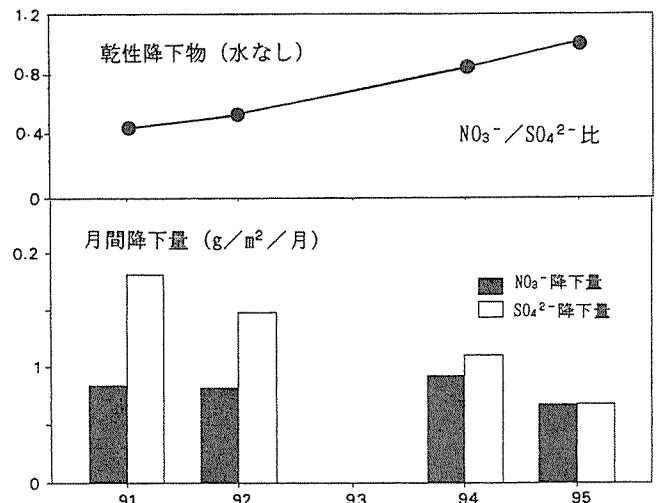


図-5 乾性降下物（水なし）の $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 月間降下量の経年変化

表-7 湿性及び大気降下物の  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  降下量 ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot 12\text{day}$ )

年		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
湿性降下物	地点数	19	22	23	28	32	32	33	30	32	31	30	30	26	24
	降水量(mm)	60	51	90	135	187	75	48	108	122	26	86	104	76	16
	$\text{NO}_3^-$	156	79	131	152	185	146	46	154	165	60	172	140	136	83
	$\text{SO}_4^{2-}$	235	122	164	223	247	212	77	240	270	74	195	171	139	74
	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	0.66	0.65	0.80	0.68	0.75	0.69	0.60	0.64	0.61	0.81	0.88	0.82	0.98	1.11
大気降下物	地点数	17	17	22	26	43	42	47	47	53	52	51	51	44	44
	降水量(mm)	60	51	90	140	200	63	36	108	116	33	85	112	70	30
	$\text{NO}_3^-$	181	102	172	174	222	158	61	146	143	73	166	134	146	154
	$\text{SO}_4^{2-}$	363	227	232	292	303	222	112	258	251	106	202	198	156	144
	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	0.50	0.45	0.75	0.59	0.73	0.71	0.54	0.57	0.57	0.69	0.82	0.68	0.94	1.07

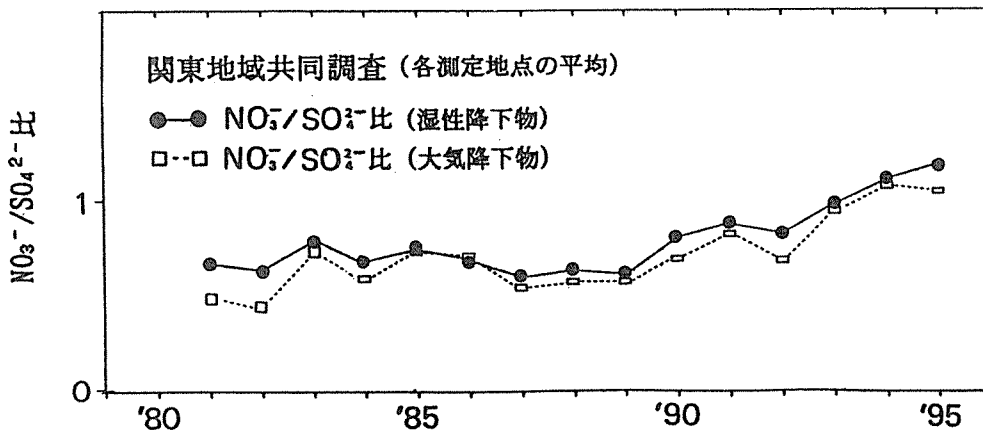


図-6 関東及びその周辺地域の湿性降下物の  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比の経年変化 (梅雨期調査)

### 5. 大気環境中の $\text{NO}_2$ , $\text{SO}_2$ の状況

図-7 に神奈川県内常時監視局 51 地点における環境大気中の  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  濃度の年平均値の 1985 年～1994 年の経年変化を示した。

#### (1) 大気中の $\text{NO}_2$ の状況

図-7 にみられるように、神奈川県内全地点の  $\text{NO}_2$  の年平均濃度は 1985 年以来、上昇傾向となっており、1985 年当時はその平均は約 25ppb 程度だったが、現在は 30ppb 程度となっている。

図-8 に 1985 年と 1994 年における  $\text{NO}_2$  濃度の年平均値の地域分布を示した。1994 年は 1985 年に比べほぼ全域で濃度が上昇しているが、特に 30ppb の濃度の区域をみると、1985 年は川崎、横浜の臨海部の地域に限られていたが、1994 年になると、それは県西部の地域まで広がってきている。すなわち、比較的高濃度の  $\text{NO}_2$  の領域が県西部まで広がってきているのかわかる。

#### (2) 大気中の $\text{SO}_2$ の状況

$\text{SO}_2$  の年平均濃度は (図-7)、1985 年～1991 年まではほぼ横ばいであったが、 $\text{NO}_2$  の傾向とは逆に、1992 年以降かなり低下してきている。この大きな原因は軽油中の硫黄含有分の規制が、この年の 7 月に 0.4% から 0.2% になったためと考えられる。図-9 に 1985 年と 1994 年における  $\text{SO}_2$  濃度の年平均値の地域分布を示したが、 $\text{SO}_2$  の 8 ppb のレベルは 1985 年当時は臨海部を中心にかなり広くみられたが、1994 年では臨海部の非常に限られた地域だけとなっている。

#### (3) 大気中の $\text{NO}_2/\text{SO}_2$ 比の経年変化

以上、 $\text{NO}_2$  が上昇、 $\text{SO}_2$  が低下したため、 $\text{NO}_2/\text{SO}_2$  比は図-7 にみられるように、最近非常に増大してきている。また、これは、調査地点 (磯子) 付近の常時監視局データ (図-10) をみても同様である。これらの挙動は、これまで述べてきた湿性、乾性の  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比の変化と非常によく類似していた。

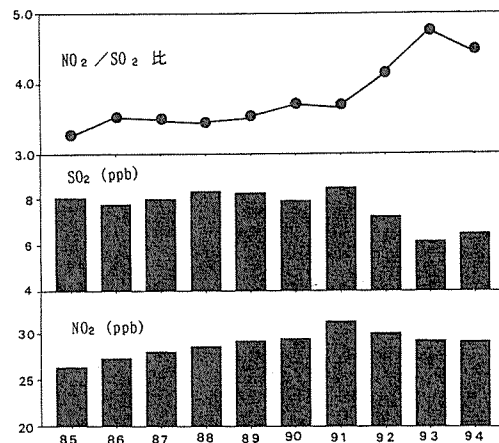


図-7 神奈川県内における  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  及び  $\text{NO}_2/\text{SO}_2$  比の経年変化 (全地点平均)

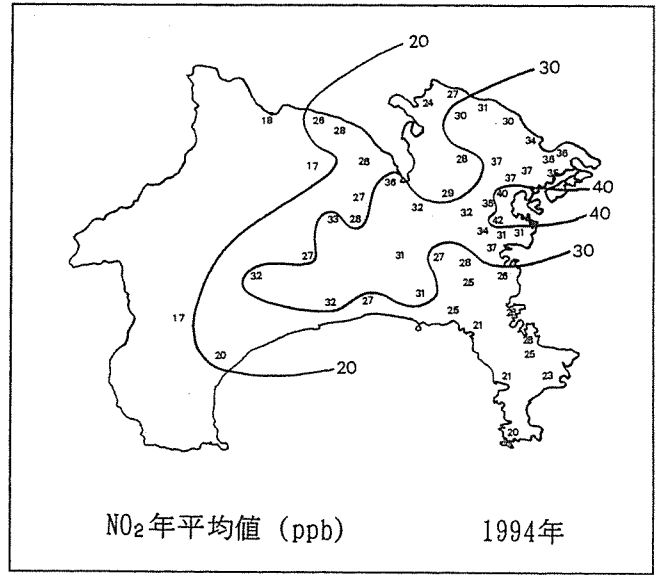
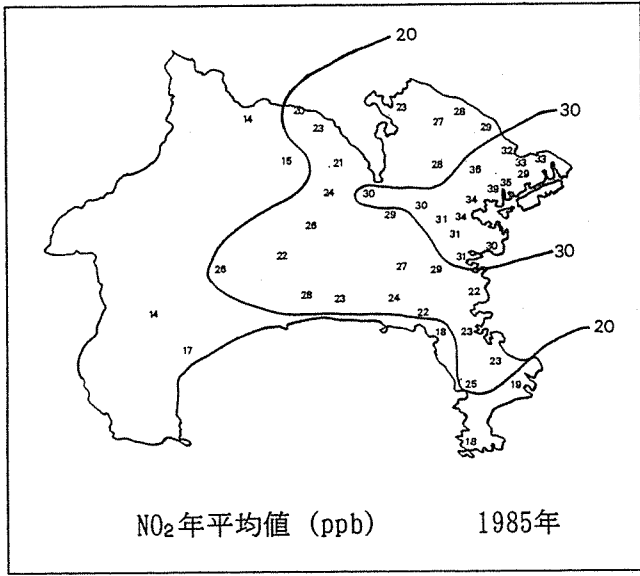


図-8 1985年及び1994年におけるNO<sub>2</sub>濃度の地域分布

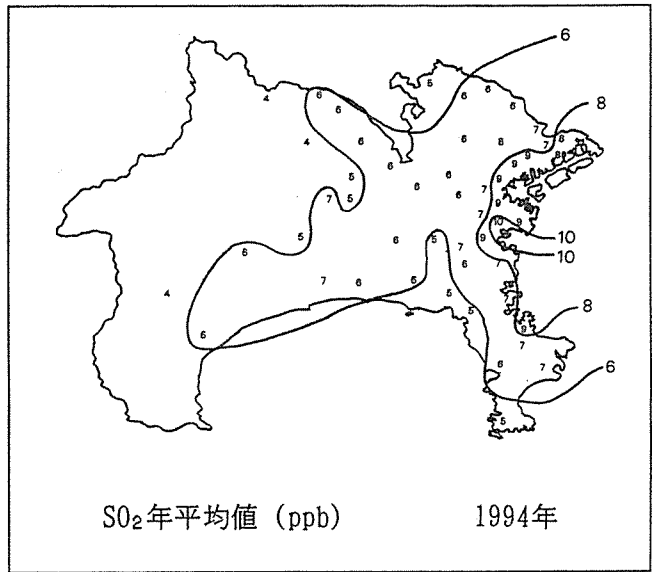
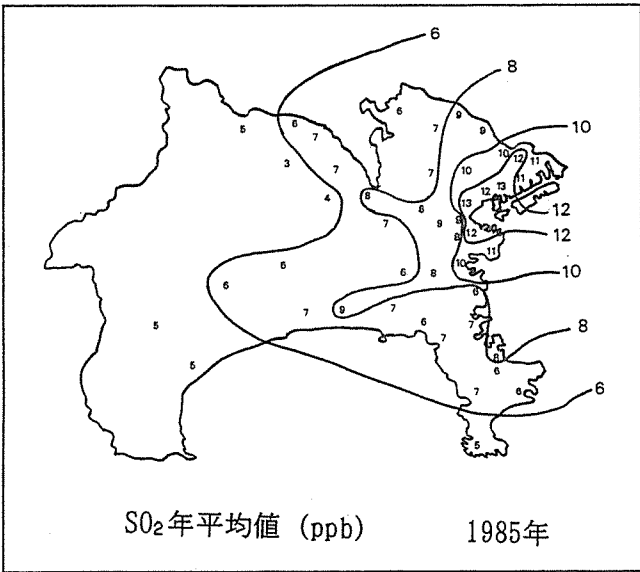


図-9 1985年及び1994年におけるSO<sub>2</sub>濃度の地域分布

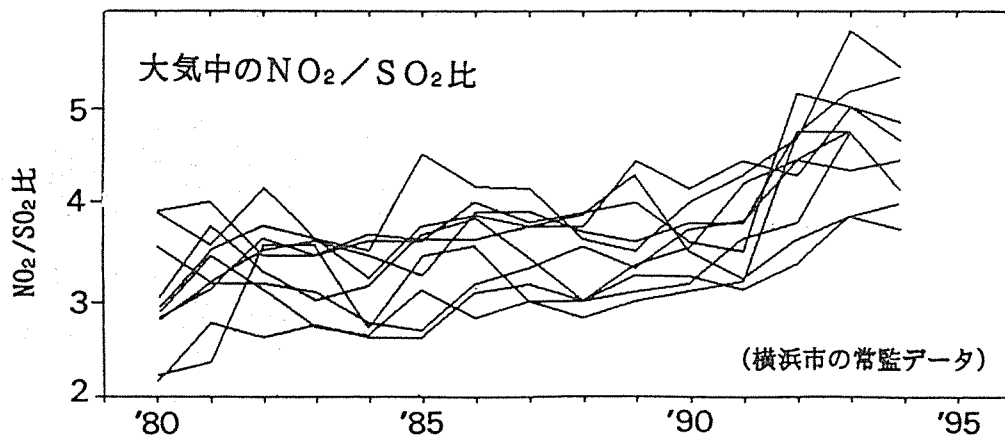


図-10 雨水採取点付近のNO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>比の経年変化

## 6. まとめ

1984年～1995年の間、横浜市磯子において自動雨水採取装置等を用いて湿性及び乾性の $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ の年間沈着量を測定し、その経年推移を調べた。その結果、次のことがわかった。

(1) 湿性の $\text{NO}_3^-$ 降下量は1990年以降上昇傾向、 $\text{SO}_4^{2-}$ 降下量は横ばいであり、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比としては1990年以降上昇傾向となっている。

(2) ろ過式による降下物は、 $\text{SO}_4^{2-}$ は一定の傾向はないが、 $\text{NO}_3^-$ 降下量は1990年以降上昇傾向にあり、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比としては1990年以降上昇傾向となっている。

(3) 水なしによる乾性降下物は $\text{NO}_3^-$ は横ばいであるが、 $\text{SO}_4^{2-}$ は低下傾向にあり、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比としては1991年以降急激に増大している。

(4) 水ありの乾性降下物も水なしと同様で、 $\text{NO}_3^-$ は横ばい、 $\text{SO}_4^{2-}$ は低下傾向にあり、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比としては1990年頃から上昇傾向となっている。

(5) 関東地方及び周辺地域の湿性降下物、大気降下物(降下ばいじん)とも、全地点の平均でみると、 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比は磯子と同様、最近増大傾向となっている。

(6) 神奈川県内の $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ の前駆物質である $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 濃度の経年推移を調べたところ、最近、 $\text{NO}_x$ は上昇、 $\text{SO}_2$ は低下、 $\text{NO}_x/\text{SO}_2$ 比としては上昇傾向にあり、上記の湿性及び乾性降下物の $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比の変化とよく類似していた。

## 7. 文 献

- 1) Schuett, P, and Cowling, E. B. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in central Europe: Symptoms, development, and possible causes. *Plant Dis.*, 69, 548-558
- 2) Chevone, B. I., and Linzon, S. N. 1988. Tree decline in North America. *Environ. Pollut.*, 50, 87-99.
- 3) 鶴田治雄：東アジアの酸性雨，科学，59，305-315(1989)。
- 4) (社) ゴルフの緑化促進協会：酸性雨－生態系に与える影響－(1989)。
- 5) 酸性雨対策検討会大気分科会：酸性雨に関する資料集，77-87(1990)。
- 6) 環境庁大気保全局：酸性雨等調査マニュアル(改訂版)(平成2年3月)。
- 7) 神奈川県環境科学センター：神奈川の大気汚染(平成6年度)。
- 8) 横浜市環境保全局：横浜市大気汚染調査報告書，第35報(1994)。
- 9) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会：平成6年度酸調査報告書(平成7年4月)。
- 10) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会：平成7年度酸性雨調査報告書(平成8年4月)。

## ホルムアルデヒド測定方法の比較検討

-PID-ガスクロマトグラフとホルムアルデヒド標準ガス  
連続発生法を用いた測定法の検討-

白砂 裕一郎\*, 坂井 清\*

## 要 旨

ホルムアルデヒド (HCHO) の測定方法には J I S 規格により 4-アミノ-3-ヒドロキシ-5-メチルピト-1, 2, 4-トリメチル吸光光度法 (AHMT法) や、2, 4-ジニトロフェニルドラジン捕集法 (DNPH法) 等が標準測定方法として定められているが、この測定分析に用いる標準ガスや標準試薬は調製が難しく、定量性の低さおよび各測定方法間での測定値の差を生ずる可能性がある。今回は、HCHO標準ガスを生成し連続的に発生させ、光イオン化検出器付ガスクロマトグラフ (PID-GC) を用い、その発生安定性をモニターする方法について検討した。さらに、その装置を用いて各測定方法の精度についての検討を行った。各測定方法の測定値と標準ガス濃度を比較した結果、比較的良好な相関関係が認められた。

## 1. はじめに

HCHOは、自動車燃料の不完全燃焼や潤滑油の酸化分解、大気汚染物質の光化学反応から生成されることがわかっている。また、殺菌剤や防腐剤、合成樹脂および接着剤などの原材料として多方面で使用されている。最近では住宅の建築材料や家具、壁紙等から放散されるHCHOの影響で室内環境中のHCHO濃度が高くなることがわかり、環境衛生の面からも重要な有害大気汚染物質の1つとして注目される問題になっている。HCHOは発ガン性などの危険性があり、特に新築で、しかも密閉性の高い建築物では高濃度になるので人体への影響が懸念される。J I S 規格では、HCHOの標準測定方法としてAHMT法やDNPH法等が定められている。これらの測定には、分析に用いる標準試薬の調製の際に生ずる誤差や、またその保存性が悪いなどの問題があることが、それぞれの測定精度の管理上の課題となっている。

そこで今回は、蒸気拡散法によるガス発生器を用いて市販のパラホルムアルデヒドから発生させたHCHO標準ガスを、PID-GCにより連続的に安定して発生していることを確認する装置についての検討を行った。

次にそれを基に各測定方法を比較し、測定精度についての検討を行った。今回は標準測定法の中でも一般によく用いられているAHMT溶液捕集法とDNPHカートリッジ捕集法について検討を行った。

## 2. HCHO標準ガスの発生および

## PID-GCを用いたHCHOモニター装置の検討

## 2. 1 実験方法

## 2. 1. 1 HCHO標準ガス発生方法

蒸気拡散法によりHCHO標準ガスの発生を行なった。一定温度一定圧力下では、物質は固有の蒸気拡散量を持つ。蒸気拡散により物質重量が減少することを利用した標準ガスの発生法が蒸気拡散法である。発生濃度は、揮発し減少した物質の蒸気拡散量と発生時間から求めることができる。標準ガスの発生には市販のパラホルムアルデヒドを用いた。パラホルムアルデヒドは、HCHOの含有率が80~90%であり、(解重合)解離して、HCHOを容易に取り出せる。そこで、温度、キャリアーガス流量を一定にすることにより、一定濃度のHCHOを発生させた。実験にあたりまずパラホルムアルデヒドの表面に付着しているメタノールを除去するため、あらかじめ純水で十分水洗し、60℃で乾燥させた。乾燥は70℃以上で行うと試薬が茶色く変色し、また50℃以下で行うと乾燥に相当時間を要するので、60℃位で数時間乾燥させるのが最も効率的であった。これをバイアルビンに入れ、秤量し、図-1に示す装置の発生器の中に固定した。この発生器を45℃または60℃の水浴中に浸し、キャリアーガス (N<sub>2</sub>) を流した。また希釈ガスにはゼロガスを用いた。測定終了後に発生器中のパラホルムアルデヒドを再度秤量し、減少した重量から濃度計算を行い発生ガス濃度を求めた。<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> また、分子拡散理論を用いてHCHOの理論発生濃度を求めることも可能であるが、分子拡散係数や装置比例定数などを経験的に求める必要がある。今回のような実験において発生させるガス濃度は、できるだけ環境中の濃度レベルのような低濃度が理想であるが、1回の実験における発生時間と天秤による

Comparative examination of measurement methods of formaldehyde.

-Examination of measurement method which used PID-GC and formaldehyde standard gas continuous generation method.-

\*Yuuichirou Shirasuna, \*Kiyoshi Sakai, 横浜市環境科学研究所大気部門

秤量精度を考慮し、表-1に示す発生器の温度およびキャリアガス流量、希釈ガス流量条件で行った。

表-1 HCHO標準ガス発生条件

TEMP	キャリアガス流量	希釈ガス流量
45℃	400ml・min <sup>-1</sup>	8.0L・min <sup>-1</sup>
60℃	200ml・min <sup>-1</sup>	8.0L・min <sup>-1</sup>

### 2. 1. 2 PID-GCによる分析方法

前述の方法で発生させたHCHOガスを標準として用いて各測定方法の検討を行なう時に、HCHOガスが安定して連続的に発生していることを確認しながら行う必要がある。今回そのモニター装置としてPID-GCを使用した。PIDはカラムから溶出した成分に紫外線を照射してその物質をイオン化して検出するもので、二重結合をもつ有機化合物に特に感度が高いという性質を持ち、水素等の可燃性ガスを用いずに炭化水素類の高感度分析が出来るという特徴を持つ。<sup>3), 4)</sup> 表-2にPID-GCの装置、表-3にその分析条件を示す。

表-2 PID-GC装置

本体	: 日立263-50型
検出器	: HNU製PID(11.7eVUVランプ)エレクトロメータ
UVランプ電源	: カスク工業製GS-5000AH(計量管0.5ml)
カラム	: J.K263-50 SUS I.D 2φ×2m
	APS-201 20%
	Flusin 60/80

表-3 PID-GCの分析条件

キャリアガスおよび流速	: He, 35ml・min <sup>-1</sup>
注入口および検出器温度	: 35℃
印加電圧	: 0.5mA
カラム温度	: 25℃

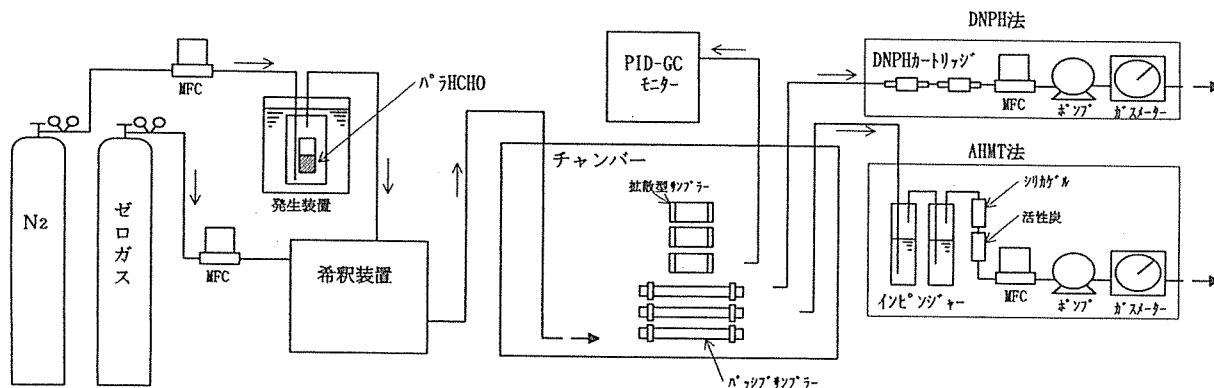


図-1 ホルムアルデヒド標準ガス発生装置および採取装置

### 2. 2 実験結果および考察

PID-GCを用いたHCHO標準ガスの発生安定性試験結果を図-2に示す。試験開始直後から発生量が増加し、発生開始後20min程でピークに達し、その後時間と共に徐々に下がり、およそ2時間程度で一定濃度に達し、連続的に安定して発生していることが判った。したがって、この発生装置を使って各測定方法の検討を行う時には少なくとも標準ガス発生後2時間以上経過し、安定な状態になってから各試験を行うことが重要である。

また、発生開始から終了までの時間については、発生初期に高濃度となる部分が全体の重量変化に与える影響や天秤による秤量誤差等を小さくするために、少なくとも24時間以上の連続発生が必要であることが判った。

現在、HCHOの作業環境基準は0.5ppmに定められている。また、現状における環境汚染濃度は、発生源近傍では0.5~2ppm、一般大気で数ppb~30ppb、室内では10~300ppbのレベルであることが報告されている。測定に用いるHCHO標準ガス濃度は環境濃度レベルに合わせ、数十ppb程度で行うことが望ましい。今回の実験でのHCHO標準ガス濃度は現状の環境中の濃度よりも高かったが、発生器の温度およびキャリアガス流量、希釈ガス流量のバランス、PID-GCの分析条件次第でさらに低濃度の標準ガスを発生させることが可能であると考えられる。今回のPID-GC分析条件における検出下限は0.1~0.2ppmであった。フォトマルなどの光に関係するディテクター類は低い温度ほど感度が高いという特徴があるので、ディテクターを冷却し、印加電圧を0.5mAから0.7~0.8mA位まで上げることによりさらに分析感度を高めることができるので、低濃度標準ガスのモニターとして使用することも可能であると考えられる。

### 3. 測定方法の比較検討

#### 3. 1 測定方法および分析方法

測定方法の比較検討には標準測定法として一般的な①AHMT法と②DNPH法について行った。また、測定時に面倒な装置や電気を用いなくても採取できる簡易測定方法として市販の③パッシブガスチューブサンプラー(トリエタノールアミン: TEA捕集)や、当研究所で開発した④ディフュージョンサンプラー(拡散型暴露サンプラー, トリエタノールアミン: TEA捕集)(図-3)についても合わせて検討を行った。

①AHMT法は、HCHOをほう酸溶液に吸収後、塩基性としAHMTを加えて発色させ紫外可視分光光度計による吸光分析で吸光度を測定する方法である。



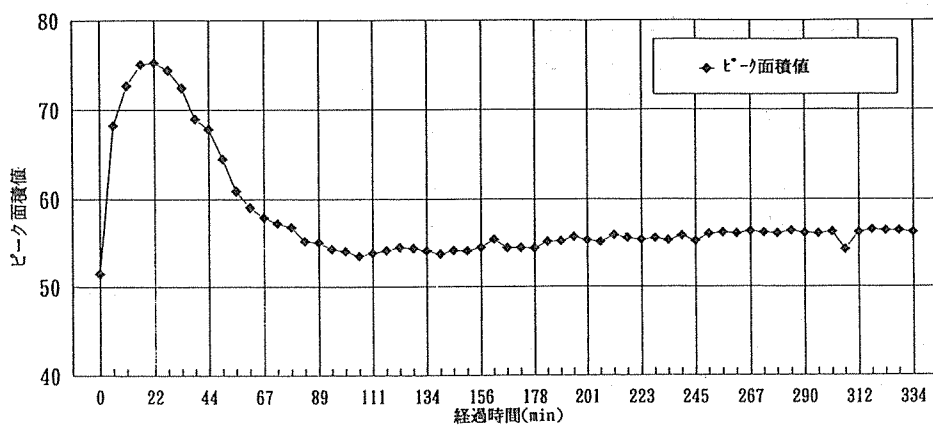


図-2 標準ガス発生安定性試験

②DNPH法は、シリカゲルにDNPHを含浸しカートリッジに充填した市販のDNPH-SEP-PAKカートリッジにHCHOを捕集後、アセトニトリルで溶離し高速液体クロマトグラフ(UV-HPLC)により分析する方法である。<sup>5)</sup> 図-1に示すように試料採取に関する2法の異なる点は捕集剤のみで、それ以外は全く同様である。採取時の流速および流量は、マスフローコントローラーと積算流量計を用い、一定流速 $0.5\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 、流量 $10\sim 20\text{L}$ で行った。確実にHCHOガスを捕集するためインピンジャー、DNPH-SEP-PAKカートリッジはそれぞれ2連につき行った。

③ディフュージョンサンプラーは石英繊維フィルターに10%TEAアセトン溶液を担持させたものを吸着剤とした。④パッシブガスタチューブサンプラーは、TEAを含浸させたシリカゲルが拡散チューブに充填されたものである。ディフュージョンサンプラーとパッシブガスタチューブサンプラーはチャンバー内に入れ、6~24h暴露により測定を行った。分析はAHMT法と同様に紫外可視分光光度計による吸光分析で行った。なおディフュージョンサンプラーの濃度の算出は次式の分子拡散式により求めた。また、装置比例定数 $\alpha$ は実験から得た実験値である。<sup>6)</sup>

$$C = \alpha \cdot (W/t)$$

C:濃度(ppb)

$\alpha$ :装置比例定数( $\text{ppb}\cdot\text{min}\cdot\text{ng}^{-1}$ )

W/t:捕集速度( $\text{ng}\cdot\text{min}^{-1}$ )

$$\alpha = (1/60) \cdot (1/f) \cdot (1/K) \cdot (L/A) \cdot (V/M) \cdot 10^3$$

K:分子拡散係数( $\text{cm}^2\cdot\text{sec}^{-1}$ )

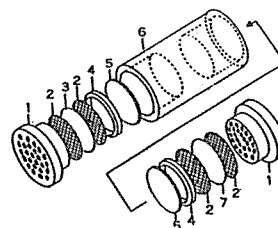
f:捕集係数

L:拡散長(cm)

A:捕集部の有効拡散面積( $\text{cm}^2$ )

V:1モルのガス容量(L)

M:1モルのガス重量(g)



- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1 ポリエチレン多孔栓(円筒型吸引孔25個) | 5 テフロン板(厚さ 1.5mm, 直径 14.5mm)             |
| 2 ステンレス金網(80メッシュ)      | 6 プラスチック円筒<br>(ジュラコン製, 内径 15mm, 外径 19mm) |
| 3 HCHO捕集エレメント(TEA液使用)  | 7 HCHO捕集エレメント(TEA液使用)                    |
| 4 テフロンリング(厚さ 2mm)      |  |

図-3 拡散型 $\text{NO}_x$ ・HCHOサンプラーの構造図

### 3. 2 測定結果および考察

本測定前にHCHOを捕集するのに適当な流速および流量についての検討を行った結果、 $1.0\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ の流速では速すぎて吸収または反応しないという結果を得た。 $0.5\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ の一定流速で行ったところ、2連につないだ1本目に確実に捕集されており、バックアップにHCHOは認められなかった。今回の測定結果を表-4および図-4に示す。AHMT、DNPH法は重量濃度法による標準ガス濃度と比べ10%程度低かったが、関係としては良好な直線性を示した。また、AHMT法とDNPH法を比較するとDNPH法の方が全体的に若干低めの値を示していた。

ディフュージョンサンプラーについてはHCHO標準ガス濃度と比較するとおよそ30%程度低い値であったが、これについても直線性があった。しかし問題点として、このサンプラーが固有に持つ装置の捕集効率の低さから測定範囲が狭いことがあげられる。また、分析においてブランク値が高い点である。これはサンプラーの材質が、HCHOを原料とするアクリルおよび尿素樹脂(ジュラコン)製であるためと考えられる。HCHOはこれらの原材料であるのでそれが原因として考えられる。今回発生させたガス濃度レベルはこのサンプラーにとって比較的都合の良い測定範囲だったと考えられる。したがって、現状においては数十ppbレベルの環境中では測定に用いることは難しく、発生源などのppmレベルの高濃度になる作業環境では使える可能性があると思われる。

パッシブガスタチューブサンプラーをHCHO標準ガス濃度と比べると、低濃度の4回目とは比較的一致したが、2・3回目とは50%程低い

表-4 DNP H法、AHMT法、ディフュージョン  
 サンプラーパッシブサンプラー、重要濃度  
 法の測定結果

No	標準ガス	DNP H	AHMT	DiffSamp	PassSamp
1-1	4.74	4.18	3.85		
2	〃	4.19	4.09		
3	〃	4.15	4.05		
4	〃	4.37	4.74		
5	〃	4.47	4.81		
平均	4.74	4.27	4.39		
2-1	3.15	2.42	2.50	2.10	1.60
2	〃	2.90	2.95	2.22	1.42
3	〃	2.91	-	2.09	1.46
4	〃	2.91	2.77		
平均	3.15	2.79	2.74	2.14	1.49
3-1	2.89	2.70	3.03	2.04	1.26
2	〃	2.47	2.54	1.87	1.23
3	〃	2.08	2.26	-	1.32
4	〃	2.11	2.18		
5	〃	2.11	2.17		
平均	2.89	2.29	2.44	1.96	1.27
4-1	0.78	0.62	0.70	-	0.48
2	〃	0.65	0.61	-	0.65
3	〃	0.65	0.69	-	0.45
4	〃	0.65	0.75		
5	〃	0.67	0.73		
6	〃	0.65	0.83		
平均	0.78	0.65	0.72		0.52

(Unit: ppm)

値を示した。良い相関が得られなかった理由として、分子拡散の理論から容易に求まる面拡散のディフュージョンサンプラーと違い、パッシブガスチューブサンプラーは充填された吸着剤への拡散の形態が複雑で、単純に1つの装置比例定数から定量を行なうのは難しいことが考えられる。

#### 4. まとめ

今回の試験でHCHOを蒸気拡散させ、それが安定して発生していることをPID-GCによってモニターすることが出来た。この乾式分析法は再現性が有るのでキャリブレーションをきちんと行うことで、現状の装置でも作業環境基準レベルの濃度であれば十分に分析出来ることが分かった。例えば発生源において、水分影響を考慮する必要があるが、テトラバッグ等にHCHOの採取を行い、それを直接PID-GCに注入し分析する方法が考えられる。このPID-GCの分析感度をさらに高められれば室内および大気環境中のHCHO濃度を計測することも可能である。

また、測定法についてはいずれの測定法も分析に用いる検量線の調製や試薬の保存が困難である。特にAHMT法やディフュージョンサンプラー、パッシブガスチューブサンプラーのような吸光分析

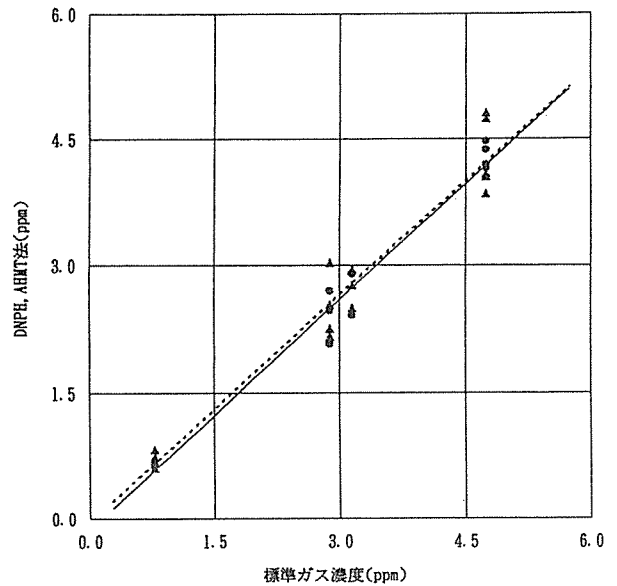


図-4 DNP H法、AHMT法と重要濃度法の関係

は試薬の保存が利かない。DNP H乾式法は、AHMT湿式法比べると採取の面や分析の面で非常に簡便である。特に試薬の調整及び検量線の作成に要する手間が極端に少なく、また試薬や検体の保存性も良い。実験の結果ではAHMT溶液捕集法より低めの値を示す傾向が見られたが、分析に関する誤差等を考慮すればDNP H乾式法の方が優れていると考えられる。

パッシブガスチューブサンプラーについてはAHMT、DNP H法と比べると濃度によって低めの値を示したが、長所および特徴としてブランク値が低く、数十ppbの低濃度から数ppmの高濃度まで幅広い測定範囲を持つので、このサンプラーが持つ固有の装置定数や係数を実験や計算からさらに細かく求め、補正することで精度をさらに高められるものと考えられる。

ディフュージョンサンプラーについては、サンプラーの材質をUS製やガラス製などに変更し、吸着剤の材質の検討およびその有効捕集面積の拡大、反応試薬をTEA以外で検討することで用途をさらに広げられる可能性がある。

#### 文 献

- 1) 前田 泰昭, 宗森 信: 低濃度ホルムアルデヒド標準ガス連続発生方法, 大気汚染学会誌, 21(5)P440~445(1986)
- 2) 堀本 能之, 西 末雄: 一定濃度のホルムアルデヒドの連続発生法, 化学技術研究所報告 第87巻 第4・5号(1992)
- 3) 前田 裕行, 新井 久雄: PID-ガスクロマトグラフを用いるアルシン, シランの同時分析, 横浜市公害研究所報 第14号(1990)
- 4) 前田 裕行, 平野 耕一郎: 光イオン化式連続ガス分析計の各種有機ガスの応答特性及び温湿度影響について, 横浜市公害研究所報 第8号(1983)
- 5) 阿久津 康久, 菅野 博孝, 長谷川 利則, 太田 正雄: 排出ガス中のアルデヒドの乾式分析法の開発, 自動車技術会論文集 Vol22 No. 4, October 1991
- 6) 平野 耕一郎, 前田 裕行, 松田 啓吾: 拡散型サンプラーを用いたNO, NO<sub>2</sub>の環境濃度測定法, 横浜市環境科学研究所報告書, (1996)
- 7) 片桐 忍: ホルムアルデヒド標準ガス発生に関する研究, 北里大学衛生学部卒業論文(1993)

# 視覚障害者の音環境

鹿島 教昭\*, 田村 明弘\*\*, 太田 篤史\*\*

## 要 旨

健全者に無用な音であっても視覚障害者は重要な情報とせざるを得ず、一方、健全者にとっては、障害者用誘導音の増加は騒音の増大を意味する。この矛盾の解決が、両者が共生できる快適音環境の実現に必要である。その第一歩として、小学生以上の視覚障害者32名にインタビューし、彼等が街で利用する音の種類と利用状況及び問題点の把握を試みた。危険回避は車や人の接近音で行われ音種は少なく、道路横断では音響式信号機への依存が極めて高い。歩行では、既知である店舗等の音を位置の標識とし、目標音を頼りに脇を通る車や人の流れを動線として歩を進めている。従って標識・目標音の変更、移動、消滅は彼等を不安にし、大型トラック等の突発的大音響は歩行中の方向感覚を失わせ混乱状態から恐怖に陥らせている。単独歩行する全盲は、反射音や音の影、またマンホールや側溝の水音など、健全者が気付かぬ微細な音までも有効な情報としており、これらの音の情報化システムは、健全者の騒音にもならず、視覚障害者の自立的行動を促進することが示唆されている。自動販売機が発する“お礼”の音声は障害者すらも無意味としており、不要な情報が不要な人に伝達されている状況が現に存在する。

## 1. はじめに

音環境とは単に音量や音質などの機械的分析のみによって測れる事象ではなく、その存在意義の視点からは地域の風土・歴史・文化を、それを捉える側に視点を置けば彼等の身体的条件や精神的条件を考慮せねばならない。後者に関して、街中で行動する際に聴覚に大きく依存し、多種多様な音を重要な情報とせざるを得ない視覚障害者にとっての音環境は、不要な音情報を騒音とする健全者の認識とは大きく異なる。

我々の社会には多くの障害者が生活しているが、街造りや環境計画などは健全者の解釈から進められることが多く、障害者の意見や考え方が十分に反映されるとは言い難い。逆に障害者のための施設・設備計画に健全者の意見が反映されない場合もある。視覚障害者の街中での自由な行動を大きく左右する「街の音」についても同様のことが言え、健全者と視覚障害者の音の捉え方の違いから各種の問題が顕在化しており、音響計画の見直しの必要性を物語っている。視覚障害者のための音響式信号機が健全者の騒音となり、意に反して使用時間の制限を受ける等は好例である。

目指すべき快適音環境は健全者と視覚障害者の両者にとって快適であることが肝要であり、かつ、視覚障害者の自由な活動に有益であることが望ましい。近年、視覚障害者の日常における不利益<sup>1)</sup>、点字ブロックの問題点等<sup>2, 3)</sup>が研究され出しているが、「街の音」に着目した調査は少ない。我々は、快適音環境創造研究の一環として、「視覚障害者にとっての音環境」に対する健全者の意見を既にまとめた<sup>4)</sup>。本研究では、視覚障害者へのインタビューを通して、彼等が街の音環境をどのように認知・認識しているのか、外出時どのように情報として利用しているのか、利用の際の問題点は何なのかを探った。

なお本論に入る準備として、視覚障害者及び彼等と音の特殊な関係を各々2章、3章に簡略に記す。

## 2. 視覚障害者

厚生省が身体障害者福祉法に基づき5年毎に行う身体障害者調査(平成3年11月実施)<sup>5)</sup>によると、視覚障害者は全国で35万7千人、本市には平成8年3月現在で約8千人が居住しており、その50%強が重度(1, 2級)障害者(表-1参照)である<sup>6)</sup>。

### 2-1 視覚障害の定義<sup>7)</sup>

視覚障害は「盲」と「弱視」からなり、医学的には視力ゼロを「盲」とし、それを「先天盲」と「後天盲(或いは中途失明)」とに分けている。視力的には、全く光を感じない「全盲」から健常視力とほとんど変わりのないものまで連続的に分布している。この障害程度を画一的に定め分類することはかなり困難である。なぜなら、純粋医学的な分類が必ずしも日常生活への適応度を示す尺度とはなり得ず、その適応が失明時期や視機能低下の進行度により異なるからで

表-1 身体障害者福祉法で定める視覚障害者の範囲と等級区分

身体障害者の範囲	視覚障害
次に掲げる視覚障害で、永続するもの	
1. 両眼の視力(万国式視力表によって測ったものをいい、屈折異常がある者については、矯正視力について測ったものをいう。以下に同じ。)が、それぞれ0.1以下のもの	
2. 一眼の視力が0.02以下、他眼の視力が0.6以下のもの	
3. 両眼の視野がそれぞれ10度以内のもの	
4. 両眼による視野の2分の1以上が欠けているもの	
等級	視覚障害
1級	両眼の視力の和が0.01以下のもの
2級	両眼の視力の和が0.02以上0.04以下のもの
3級	両眼の視力の和が0.05以上0.08以下のもの
4級	1. 両眼の視力の和が0.09以上0.12以下のもの 2. 両眼の視野がそれぞれ5度以内のもの
5級	1. 両眼の視力の和が0.09以上0.12以下のもの 2. 両眼の視野がそれぞれ5度以内のもの
6級	3. 両眼による視野の2分の1以上が欠けているもの 一眼の視力が0.02以下、他眼の視力が0.6以下のもの で、両眼の視力の和が0.2を超えるもの

Sound environment perceived by the visually handicapped

\* KASHIMA Noriaki (Yokohama Environmental Research Institute)

\*\* TAMURA Akihiro, OTA Atsushi (Yokohama National University)

表一 学校教育法における視覚障害者の基準とその教育措置

1) 両眼の視力が0.1未満のもの	盲学校
2) 両眼の視力が0.1以上0.3未満のもの、または視力以外の視機能障害が高度のもののうち点字による教育を必要とする事となると認められるもの	
3) 両眼の視力が0.1以上0.3未満のもの、または視力以外の視機能障害が高度のもののうち2)の程度に達しないもの	特殊学級、または通常の学級で留意して指導する

ある。そこで視覚障害は、医学的分野、社会的・教育的分野の各必要目的から種々の定義・分類がなされている。先の表一は福祉上の分類であり、表二は学校教育上の分類である。

### 2-2 視覚障害者の心理学的分類

医学的分類とは別に、視覚障害者の心理や生活行動という面を重視して分類する場合、視覚的経験の記憶（視覚表象、または心象と呼ばれる）の有無が重要な意味を持つてくる。

佐藤<sup>8)</sup>に拠ると、視覚表象の有無と失明年齢の関係は、個人差は有るものの、約3歳から5歳までの失明では視覚表象が残らないと考えられている。従って、その程度の年齢までに失明した者の心理や生活行動における思考過程は、成長後の失明者のそれよりは先天盲に近い。また、成長後の失明者は、視覚表象を持つ経験が長いほど健常者の心理的特性を持っていると考えられる。しかし、中途失明でも、失明期間が長くなると心理学の記憶の法則から、失明前の記憶をそのまま保持することはないとしている。

佐藤<sup>8)</sup>はこの意味から、全盲を視覚表象を持たないという意味の「早期全盲」と、視覚表象を持つ「後期全盲」とに分けている。早期全盲は3歳から5歳までに失明した者、後期全盲は6歳以上で失明した者としているが、視覚表象が皆無という条件では3歳以前の失明を採用すべきとしている。この視覚障害者の心理学的分類を図一に示す。本研究は、視覚障害者が感覚的と言われる音をどのように捉え日常の活動にどのように用いているのか、彼等を悩ます音環境とは何なのかを対象とするので、この分類法を有効と考え適用する。

## 3. 視覚障害者と音

### 3-1 視覚障害者の聴覚による空間認知能力

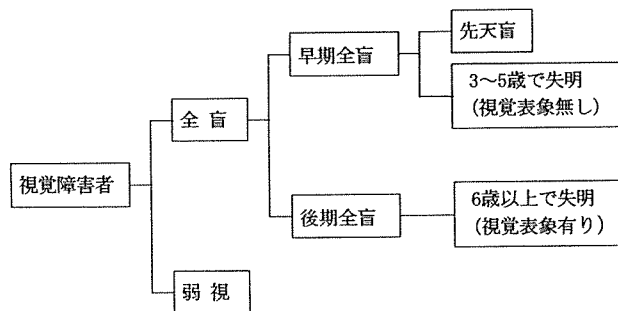
聴覚系の情報処理の働きは、視覚障害に因って視覚情報の不足ないし欠如を生じた場合に、触運動感覚（日常生活においては、単に物に触れる意の触覚よりも、手の能動と受動を含めた運動による触感覚を考へる<sup>9)</sup>）や嗅覚などと共に極めて重要になる。特に音に関しては、良く知られた事実として、音源から生じた音や反射音を手掛かりとしてかなりの程度まで空間把握や障害物知覚が可能となるし、物を叩く等の意図的な音を手掛かりに空間を把握することや障害物の存在を知覚することも可能となる。

#### 3-1-1 空間把握

聴覚を通して把握する空間を聴空間と呼ぶ。その基本的把握能力は、音源の方向や音源までの距離など、音源の空間的位置を聴覚によって認知する働きである。この空間では、種々様々な反射音を利用することで、自己の置かれている空間の広がりなども認知可能とされている<sup>7)</sup>。

#### 3-1-2 障害物知覚

聴覚による障害物知覚には、大別してエコーロケーション（反響定位）とサウンドシャドウ（音の影）の2つの方法がある<sup>9, 10, 11)</sup>。



図一 視覚障害者の心理学的分類

### 1) エコーロケーション

障害物が生じる音の反射音を利用し、自己の位置を知るものである。歩行者が声、足、杖などで音を発しながら障害物に近付いて行くと、或る距離から、直達音に対して時間遅れを伴った反射音がいわゆるエコー（反響）として分離された状態で聞こえて来る。接近を続けると、反射音が耳に達するまでの距離は短くなるので反射音の距離減衰は小さくなり、反射音の増大が感知される。更に接近すると、直達音と反射音が融合し、両者の時間差が或る一定時間以下になると人間には弁別が不可能となる（先行音効果）。一例としては、コウモリが飛翔中に極めて高周波数（50,000Hz）の音を発し、その反射音に拠って暗闇の中でも餌や障害物を感知している。

### 2) サウンドシャドウ

障害物の音の影では音圧が低下するので、歩行者がその遮音効果を感知し障害物の存在を知覚するものである。上述の先行音効果が作用し出す距離以下では、エコーの存在を知覚できない。従って障害物の存在も知覚できない。しかし視覚障害者は、表現は「気配」「圧迫感」等もあるが、「何となく」感知するのであり、これが音の影と言われる現象である。

## 4. インタビュー調査

### 4-1 調査期間

平成4年～平成6年

### 4-2 調査対象者の属性

障害者を対象者とした調査ではプライバシーの問題が絡み、ランダム抽出は容易ではない。しかし、平成4, 5年に横浜市視覚障害者福祉協会と横浜市立盲学校の協力を得て成人19名、6年に再び盲学校に依頼し同校生徒13名にインタビューが可能となった。対象者は視覚のみに障害を持つ者であり、結果的に早期全盲6名（成人1名）、後期全盲17名（成人16名）、弱視9名（成人2名）であった。生徒の抽出に当たっては、事前に調査の目的を学校に伝え、個人のプライバシーに関する事実が特定されることはない旨を学校を通して保護者に承諾して頂いた。

盲学校生徒の一覧を表三に示す。表中、光覚は、視力的には全盲と区別されるが、心理学的分類に基づき早期全盲或いは後期全盲と判断された者がいる。生徒の場合、小学生は基本的に通学バスを用い、歩行は学校近辺での白杖利用を含む歩行訓練が多い。日常の私的な外出では介護者が付く場合が多く、それも自宅周辺に限られる。中学生以上では登下校を含め、白杖を用いた単独での外出が多くなるようであり、未知の場所へも積極的に出掛ける姿勢が窺える。

成人対象者を表四に示す。成人のほとんどが有職者故に、介護者を伴うR氏を除いて、基本的に一人で頻りに外出し未知の場所への外出機会も多い。補助器具の使用は基本的に白杖であるが、盲導犬

表一 3 調査対象者（小学校4年生以上の盲学校生徒）

記号	学年	障害の分類	失明時期・障害程度等	補助器具	外出*1等
a	小学	弱視，先天性，左：光覚*2， 右：10cm指数*3	建物の高さ・建物間を判別，車等の 赤白を多少判別，アブラ蟬程度は 目で確認・捕獲	白杖小3より歩 行訓練のみ	母が介護
b	小学	早期全盲，左：0，右：0	視覚表象無し	白杖小3より訓 練・下校時のみ	介護
c	小学	早期全盲，左：0，右：光覚	3歳，停止車を視覚で時に判別可， が自転車不可	白杖小3より訓 練のみ	母が介護
d	小学	弱視，左右：眼前手動	色，壁の影，道幅，停止車等判 別，が走行車は判別不可	白杖小4より	白杖無しで視覚に依り頻 繁に外出，自転車で乗り 遊ぶ
e	小学	弱視，左：0，右：光覚	玩具，ポスト，路上の障害物の 色，及び自販機の光を判別	白杖小3より， 時に通学時	介護
f	小学	弱視，左：0，右：光覚	目で追いTVゲーム，漫画雑誌の 字を読む	白杖，歩行訓練 と通学時	マンションの下まで独歩
g	中学	弱視，先天性，左：光覚，右：0	停止車の強コントラストの色彩の み時に判別	白杖小3より	中1より一人で通学・頻 繁な外出
h	中学	早期全盲，光覚	押しボタン式信号の手元の光を判 別	白杖小1より	中1より一人で通学・頻 繁な外出
i	中学	弱視，先天性，左：0，右：0.01 か0.02	8歳まで右：0.07，明るい場所で点 字ブロックの黄色や蛍光色判別，	白杖小3より	小6より一人又は友人と 外出
j	高校	早期全盲，先天性	3歳，視覚表象無し	白杖	小より一人で外出，未知 の場所へも
k	高校	早期全盲，先天性	太陽光の判別（但し，熱の可能性 あり）	白杖小5より	中より一人で通学・外 出，ピアノを練習
l	高校	弱視，先天性，左右：0.01か 0.02，中心視野欠損	慎重に見て停止車を，又道路の白 線を判別	白杖小5より	通学・外出に使用，稀に 一人で未知の場所へも
m	高校	後期全盲，光覚，視野狭窄（中 2～3），網膜剥離（小6）	16歳，左：生後直後に失明，右：小学 生まで0.2～0.3，昼間の太陽を判別	白杖小6より	通学・外出に使用，高校 生頃から頻繁な外出

\*1：「介護」は未知の場所へ行く場合に介護人が付く意

\*2：光覚とは暗室内で瞳孔に光を射れ明暗が判別可の視力を持つ障害

\*3：指数弁とは眼前で指の数が判別可の視力を持つ障害，眼前距離がy cmの時，y cm指数と呼ぶ。

が1名，超音波を発信し反射音波を受信する器具で障害物認知に用  
いるソニックガイド1名である。弱視者の中には白杖を携帯するが  
通常は使用しない者もある。

#### 4-3 インタビュー

##### 4-3-1 インタビュー形式

音環境の捉え方や意見，外出状況をざっくりばらんな話の中で自由  
に述べさせることを意図して1対1の会話方式を採用し，聞き手は  
会話の流れを話者に任せるように努めた。但し，インタビューの目  
的である次項の質問内容が網羅されるようには配慮した。

盲学校生徒の場合は，学校内で彼等の自由時間に，中・高生は約  
1時間，小学生は集中して対話が可能な時間を1日に30分と判断し  
インタビューを2回実施した。成人には場所と時間を指定して頂き，  
一人当たり1時間から3時間を掛けた。

原則として，対象者1名，インタビュアー1名，記録者1名の構  
成とし，会話を録音し後にテープから文字を起こし分析に用いた。

##### 4-3-2 質問内容

次の4項目を主たる把握事項とした。

- 1) 属性，生い立ち，障害の程度と生活状況
- 2) 外出頻度，外出自由度
- 3) 既知及び未知の場所への外出時の環境に関する認識
- 4) 音環境に関する認識・意見

生徒への質問では，環境に関する認識や把握状況は彼等の経験と

行動範囲から制限を受けていると判断し，登下校時と自宅周辺を重  
点に質問した。その際に，ボールペン等で描くとその紙面部分が凹  
凸状となる「レーザーライト」を用いて地図を描かせながら話を進め，  
行動範囲や地域の概略及び特定の場所等の付加的説明ができるよう  
にした。本来，レーザーライトは生徒に円や三角形等の図形を教える  
道具であるが，地図を描かせることで，生徒が方向や距離を2次元  
的に把握しているか否かを確認でき，非常に有力な手段であること  
を認識した。

#### 5. インタビュー調査結果の分析方法

対象者の属性，障害程度，歩行経験，外出状況などに関する個人  
属性を抽出し，個人別シートに整理したが，個々の内容の主要なも  
のは前出の表一3，4に掲示してある。

日常生活における視覚障害児の音環境の捉え方に関しては，イン  
タビュー調査から音に関する発言部分を抽出し，表一5に示すよう  
に，I：情報として利用する音，II：聞こえるが利用までには至ら  
ない音，III：一種の音利用ではあるが健常者とは異なるものとして，  
エコーロケーションに用いる反射音と音圧の変化を知る音の影（サ  
ウンドシャドウ），IV：行動を妨げる音を主とした音に付随する問  
題，V：音から受ける心理的影響の5項目に分類整理し考察に用い  
た。なお，Iの情報として利用する音に関しては，1) 危険回避，  
2) 標識として場所の確認，3) 動線の確認の細項目に分類した。

表-4 調査対象者（成人）

記号	年齢	職業	障害の分類	失明時期・障害程度等	補助器具	外出*1等
A	48	有	後期全盲, 先天性視神経萎縮	5歳8ヶ月	白杖	毎日一人, 稀に介護, ハイキング
B	40代	有	後期全盲	30代半ば, 以前は0.3	白杖	毎日一人, 介護
C	34	有	後期全盲, 視野欠損, 光覚*2	14歳, 先天障害無し	白杖	毎日一人, 略図が書ける
D		有	後期全盲, 緑内障	12歳で左眼20代で右眼	白杖,	毎日一人, 介護不可なら立体コピー地図
E	43	有	後期全盲, 先天性弱視,	中学1年,	白杖, ソニックガイド肌に合わず断念	毎日一人, 周囲の状況を視覚的に感じる
F	51	有	早期全盲, 光覚	2~3歳で障害に気付く(0.2)	白杖	毎日一人, 団体, 斜め方向困難
G	42	有	後期全盲, 先天性弱視	高校の初期	白杖	毎日一人
H	37	有	後期全盲, 光覚	高校の頃, 以前は0.3	白杖	毎日一人, 道順は記憶せず2次元的方向付け
I	43	有	後期全盲	30歳, 24歳から視力低下	白杖	一人
J	43	有	後期全盲, 先天性弱視, 左眼に光覚	26歳	白杖, ソニックガイドは慣れれば便利	毎日一人
K	41	有	後期全盲, 先天性弱視(0.03)	10歳	白杖	毎日一人, 記憶した数字距離と移動距離に差無し
L	38	無	後期全盲, 先天性弱視(0.01)	17歳, 10歳頃から視力低下, 立体感無し	白杖, 以前盲導犬	毎日一人, 介護
M	64	有	後期全盲, 光覚	39歳, 30歳で網膜剥離	白杖	毎日一人, 介護,
N	42	有	後期全盲, 視野狭窄	19歳, 以前は0.7	白杖, ソニックガイド使用困難で断念	毎日一人, 未知の場所には行かない
O		有	後期全盲	1988頃	盲導犬	毎日一人て記憶に頼る, 未知の場所へは周囲の人に確認
P		有	強度弱視, 緑内障	大きく明度彩度が明確な物を判別	白杖	毎日一人, 介護かタクシー
Q	58	有	早期に近い後期全盲, 左眼光覚	5歳	白杖(以前は勘で歩行)	毎日一人, 未知の場所へは視覚障害者の意見が良い参考, 音だけの夢
R	60代	有	後期全盲	17歳	白杖, 以前は盲導犬	毎日家族等と,
S	40代	有	先天性弱視(右眼0.01)	生後100日目左眼ゼロ	白杖は畳んで携帯のみ	不規則だが一人, 未知の場所へは地図を読む

\*1: 「介護」は未知の場所へ行く場合に介護人が付く意

\*2: 光覚とは暗室内で瞳孔に光を射れ明暗が判別可の視力を持つ障害

表-5 日常の音環境内における音の利用状況と心理的影響

I 利用する音情報	
1) 危険回避	前後左右からの人や車の回避 道路の横断
2) 標識として場所の確認	自己の位置
3) 動線の確認	進むべき方向
II 利用しない音情報	認知されるが本人には重要度が低い
III エコーロケーション, サウンドシャドウ	障害物認知 曲がり角や交差点の認知
IV 音に付随する問題	主として困る場合
V 音に因る心理的影響	安心, 不安, 恐怖など

[条件]: 確実に聞こえること

[問題]: 自転車の接近音は気付き難い面もある。従って大騒音下では危険が察知できない。

#### 2) 道路横断

外出機会が少ない小学生を除けば、音響式信号機はほぼ完全に頼られている。これが無い場合は、同一方向へ渡る人の流れと車の流れだけが頼りのようである。他には、全く通過車の無い時と車の停車を確認した時に横断している。

[条件]: 絶対的な道路交通流の遮断

[問題]: 音響信号機を別にするると、人の流れと車の流れ以外に頼る物が無い。また、スクランブル交差点のように、人の流れが乱雑になると利用が困難になる。

#### (2) 標識として場所の確認

具体的な音が種々様々に挙げられている。場所と音の関係が既知であることが条件だが、店舗からの音楽や声、工場、テレホンカードの返却音、噴水といった即座に理解できる大きな音から、自動販売機、マンホールや側溝の水音のように健常者には考え難い微細なものにまで及ぶ。一般に、パチンコ屋、コンビニエンスストアのように音の存在に確実性の有るものが利用し易いようである。また、トンネル通過時の電車内音の差異やガード下の音の違い、更には、

## 6. 結果及び考察

インタビュー調査の分析結果を整理し表-6に示す。これに基づき視覚障害者の音環境の捉え方、及び音情報の利用状況について考察を進める。

### 6-1 視覚障害者による音環境の捉え方

#### 6-1-1 利用する音情報

##### (1) 危険回避

##### 1) 接近する車や人からの回避

前後左右から来る車、自転車及び人の接近音(足音, 声)がほとんどであり、身の危険に関連するので全員に共通している。

表-6 視覚障害者の音の利用状況と音に関わる問題点

I	(1) 危険回避			
	1) 接近からの回避			
	接近する車 車のドアの開閉	接近する自転車	接近する人	車のアイドリング
利用 する 音	2) 道路横断			
	音響式信号機	車の無通過	車の停車	同一方向への人車
	(2) 標識として場所の確認			
II 利 用 せ ず	店・家からの人声や音楽	マンホールの水音	テレホンカードの返却音	小学校のざわめき
	パチンコ屋	工場	火葬場	犬の鳴き声
	コンビニエンスストア	自動販売機	交通音の量	音なら何でも使う
III	ガソリンスタンド	音響式信号機	踏切	長期の建設工事
	噴水	電車のトンネル通過音	改札の鉄の音	出入口での雑踏
	側溝の水流通音	ガード音の差異		
エ コ ウ ン ド ロ ケ シ ヤ ウ ン	(3) 動線の確認			
	人・車の流れ	改札での誘導音	店からの音楽・宣伝	自動ドア
	音響式信号機	自動改札機券売機の釣り銭の音	エレベータの音声指示	出入口での雑踏
IV	電車の上下別男女の声	電車のドアの開閉	誘導チャイム	
	駅のホームからのアナウンス	レジの音	下水の音	
	発車ベルは無くとも良い	マンション前の人声	虫の声	地下通路での白杖音
V	電車	マンションドアの開閉音	自動販売機	
	(1) 障害物認知			
	車、壁、電柱など大きな物は近くに在ると何となく判る時がある			
音 に 付 随 す る 問 題	風の音、風の跳ね返ってくる感じで判るが、静かでないと判らない			
	車の横では白杖音がふさがる様な感じ			
	車が近くでは白杖の音が畳って来る感じ、音の響くエリアが狭まった感じになる			
心理 的 影 響	ブロック塀の側では、普通の白杖音に低い音が混ざる感じ			
	大きな障害物は白杖の音の反響の変化で判断し避ける場合が多い			
	人が側にいると白杖の音が反響する			
IV	(2) 曲がり角や交差点の認知			
	高い息音を出しその変化で階段手摺の変化を知る			
	脇道の数を音の変化で知る			
V	高い壁が無くなると白杖の音の響きが広がる感じで曲がり角が判る			
	交通音の反響音が無くなり、音が散らばる感じ			
	壁が無くなると風の当たる感じと風の音で判る			
IV	少し開けた場所は雰囲気判る			
	(3) その他			
	白杖の使用前から足音の変化に気付いていた			
IV	手引きで歩くときは音の変化を気にしない			
	自転車やバイクでは、また小さいゴミでも白杖の音に変化しない			
	点字ブロックを歩く時は気を抜いて周囲にこだわらず音の変化に気付かない			
IV	慣れた場所では、白杖より音の反響に頼った歩行の方が短時間で済むし楽である			
	大音響で音聞こえず、方向感覚を喪失する			
	非常ベルはパニックに陥る			
IV	街がうるさく自転車音が聞こえない			
	駅構内の多過ぎる音楽			
	風の強い日は周囲の音、反響が判らず困るが、雨はそれ程ではない			
IV	傘を差すと、白杖音が地面との間で反響増大し白杖音の微細な変化が不明となる			
	雪の日は白杖音も周囲の音も頼れない			
	天井のスピーカ・飛行機（位置が不明）			
IV	工事音は位置、種類が不明で通過が不安			
	駅の発射番線明示			
	アイドリングの車（通過の可否が心配）			
IV	大学の構内等広い場所で音情報が無い			
	車内放送の音量不足・減少と誤放送			
	街中に音声表示が欲しい（全て良しとはしないが）			
IV	不要な音声案内（自販機のお札の音等）より必要なものを音声案内は耳元の高さにして欲しい			
	切符の販売には音声案内を			
	音響式信号機の音が小さいと交通騒音に消される			
IV	音響式信号機の時間制限（障害者が通る時だけ鳴らす）			
	両方向で同一の音が同時に鳴る音響式信号機			
	擬音式音響信号機は方向が取り易い、但し、音楽だと信号の時間間隔が判る			
IV	音響式信号機が鳴っていないと渡るタイミングが判らない			
	公共施設周囲は音響式信号機を			
	空調音等の恒常音に緊張を強いられ疲れる			
IV	最近の車はエンジンが静かでその存在に気付く難くなってしまった			
	銀行のタッチパネルは使えない			
	自動改札機は位置が判り難い			
IV	駅の案内が北口でも南口でも同じなのは混乱の元になる			
	スクランブル交差点（人の流れに規則性が無いと方向を定められない）			
	スピードを出した車、またはいきなり通る車は怖い			
IV	車の通過音は、特に大型トラック・バイクはとてもうるさい、怖い			
	交通量の多い所は敷かれそうで怖い			
	音が何もしていない道は気味が悪い、怖い			
IV	何か音があると安心する			
	普段ある音が聞こえないと不安になる			

道路交通騒音の大小なども認知され用いられている。

〔条件〕：音の存在の確実性とその意味が既知であること。但し、間違った経路への進入は、音の異常さから何となく理解されるようである。

〔問題〕：標識として頼っているため、店舗の不意の休日、機器の故障、マスキング等で聞こえないと不安感や危険感を増大し混乱を生じる。なお、音の意味が既知であれば初めての土地でも利用可となる。従って音の有効利用の観点からは、重要な意味を持つ。また、マンホールの水流や自動販売機のような小さな音は健常者に大きな迷惑を及ぼさないので、将来の音の活用にヒントを与える。

### (3) 動線の確認

外出する全員に共通して2種類の利用が認められる。

第1は、意識した標識に向かうものではなく、一定の歩行経路の方向を確保するために或る流れの音に乗る場合で、人の流れ、車の流れを用いている。現在のところ、これらの流れのみが利用されており、殊に車の流れは、進行方向の交差点や街並の変化を察知する手掛かりとなっている。

〔条件〕：或る程度のまとまった人数、車数が規則性を持って移動する必要がある。

〔問題〕：人通りや車の往来の無い閑静な場所では使えない。また、車や雑踏の音が不規則に大きいと利用し難い。大きな問題は、自らの脳を通る車の音を利用する場合は、常に危険への接近が伴うことである。車の音の利用が多く指摘されているが、しかし、危険への接近が不要となる他の手段が本質的に備わっていることこそが重要と考える。

第2は、目指す方向に在るべき標識として用いるもので、先の「場所の確認」と同様に誘導音、音響式信号機、自動改札機、ドア、既知の店からの音楽や呼び声、券売機の釣り銭の音など様々な音が挙げられている。音声指示では、電車の上下を男女で分けているものやエレベータ内の階数指示が役立つとのことである。確かに、後者の必要性は高く健常者への迷惑度も低いと思われる。

条件と問題は、先の「場所の確認」と同じである。

### 6-1-2 利用しない音情報

いくつか挙げられているが、或る対象者が「利用しない音は無い」と述べているように、一人歩きが始まる中学生以上では実に多様な音に神経を配っている。何等かの形で音が情報になるからである。但し、時間的にも空間的にも偶然に聞こえる音の利用価値は格段に低いとは言える。その代表例は虫の声である。電車の通過音も利用されていないが、本質的に危険回避から踏切を渡る経路を探らない故と思われる。

本来利用しているのだが利用できなくなる音として、地下通路での白杖音がある。これは通路が反射音で充満し白杖音の反射音が利用できず自らを定位できない意と、他の音でかき消されている意である。

電車の発車ベルの存在に対する疑いは健常者の気付き難い問題であり、車内にいる視覚障害者ならずとも健常者にも、即ち車内の客にとって全く不要な音である。

### 6-1-3 エコーロケーションとサウンドシャドウ

#### (1) 障害物認知

反射音や音の影の利用に関しては、高校生以下では多くが「何となく判ることがある」という程度の認知に留まっている。成人からは、障害物や道路脇の壁面の有無の認知に利用するとの発言が多くなる。成人では、身長以上の大きさを持ったトラック等の障害物は

かなり認知されているようであり、「圧迫感」等で表現されている。但し、自転車程度では判り難いようである。何れにしても、このような認知は、視覚障害者がかなり神経を音に向けて一人歩きをするような場合に認められる。

#### (2) 曲がり角や交差点の認知

生徒は、閉息された場所から開けた場所へ出て「音が散らばる感じ」、街区の高層建築物と交差点が成す閉と開の混在した音空間を伝搬する車の音の変化を、「風の音に変化する」などと発言しており、これらは音の変化が認知されていることを示す。成人の場合は、消極的には高校生と同様に圧迫感等の認知であるが、積極的には、「脇道の数を知る」「白杖音を強く発し反射の状況を知る」、中には「高い息音を出し、その反射音の変化で階段や手摺の変化を知る」等の利用が報告されている。

### 6-1-4 音に付随する問題

主として歩行の際に音で困る問題を尋ねたが、そのほとんどは音情報の利用が困難になることである。原因には、大きな騒音による音情報のマスキングと音情報の不規則性の2つがある(図-2)。マスキングでは風や雨で反射音や音の影が使えなくなる場合と、必要とする音が聞こえなくなる場合とがあり、自ら発する音でも他からの音でも利用できず危険回避が困難になる。なお、雨は風ほどの妨害を与えないようである。特にバイク、大型トラック、工事の突発的大騒音に曝されると、歩行中に得て来た空間的位置の把握が突然に無秩序状態になり大きな混乱を視覚障害者に与えている。大音量のバックグラウンド音楽も同様である。不規則性は、普段存在する音が無い場合と、無秩序な人の流れに入ってしまった場合、或いは同様な車の流れによって創り出された音環境に囲まれた場合等を意味し、この状況時に位置の確認と進むべき方向が判断できなくなってしまう。

その他に、誘導音を好意的に捉える意見が多い中で、誘導音に因る騒音公害の懸念もかなり表明されている。「障害者の通過時のみ音響式信号機を鳴らす」などはその例である。しかし、音響式信号機の改善要望も多く、現在では他に代わる手段が無い状況を示している。同時に、「誘導音の意味が不明」「聞き取り難い」等の指摘もある。天井に設置された低劣な音響設計のスピーカ音は、その室内にランダムな方向からの反射音を生じてしまい役立たずになっている。「スピーカの位置を耳の高さに」との意見は、聞き取り易さに限らず公害への懸念もあつてかなり多い。恐らく、機器へのいたずらを避ける管理上の都合が高位置の最大の理由であろう。

一方、車内放送の音量不足や誤放送は困るとのことであり、銀行

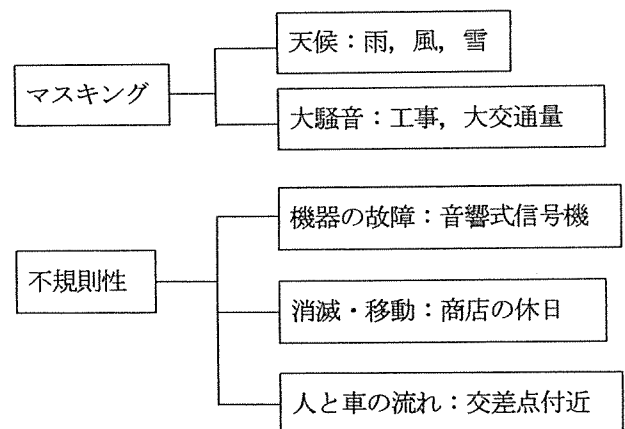


図-2 音情報の利用困難となる原因





街の音を情報として利用する面では、危険回避と歩行の補助が主である。危険回避は車や人の接近音で行われ全員に共通している。道路の横断では音響式信号機への依存が極めて高い。しかし、これが騒音公害を惹起する懸念が「障害者が渡る時だけ音を鳴らす」という意見に表出している。反射音や音の影を用いた障害物の存在認知は、高校生では「何となく判る」程度であるが、多くの成人は音の変化を自覚した状態で認知しており、積極的に反射音を白杖等で創り出し利用する者もいる。

歩行補助に使用される音は実に様々であるが、一般に、既知である店舗等の音を標識として位置を確認し、移動先にある当面の目標音を頼りに、脳を通る車や人の流れを動線として歩を進めている。この場合、標識音の変更、移動、消滅は視覚障害者を不安にする。

弱視とソニックガイドや盲導犬を利用する全盲は、単独歩行する全盲に比べ音情報の必要性が低い。単独の全盲は、反射音や音の影、またマンホールや側溝の水音、自動販売機の音など、健常者が気付かぬ音までも有効な情報としており、このような音を情報化するシステムが街に備わっていれば、彼等の行動範囲は、はるかに拡大すると思われる。

視覚障害者は、バイクや大型トラック等の突発的大音響に曝されると、歩行中に得た方向感覚を失い混乱状態に陥り恐怖を感じている。

自動販売機が発声する「ありがとう御座いました」は、障害者すらも無意味としており、それよりもキャッシュカード利用の際のタッチパネルが点字等で利用できるようにと希望しており、真に必要な情報が伝わり使える音空間を考慮しなければならない。

## 8. おわりに

街中で視覚障害者が利用する情報は音ばかりでなく、嗅覚や触覚からも得ている。或る視覚障害者は、街から豆腐屋のような匂いで判る店が無くなり、不便になっていると話していた。彼等にとっては、全てが重要な情報であり、音、香り、手触り、それらを含んだトータルな空間が環境を形成し彼等の役に立っているのであって、どれか一つが快適であれば良いというものではない。いや、彼等にとってではなく、万人に共通であろう。今回の調査で、視覚障害者が車の音を頼りに行動しているからといって、今の道路交通騒音を

是認する理由にならないことは、トータルな環境の健全性を考えれば明らかである。単に危険性を考えても、彼等が車の音を利用せざるを得ない街が異常であることに着目すべきである。

## 謝 辞

最後になりましたが、お忙しい中、本調査に協力された方々に深く感謝します。また、調査の主旨に賛同され対象者を紹介して下さいった当時の横浜市視覚障害者福祉協会会長林 昌正氏（故人）と、横浜市立盲学校の鈴木和子先生には、大変お世話になりました。ここに深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本点字図書館：朝起きてから夜寝るまでの不便さ調査 視覚障害者アンケート調査報告書 要約編，(1993, 10).
- 2) 地域問題研究所：視覚障害者にわかりやすい都市デザインの研究，NIRA 研究報告書 No. 950060, (1995, 9).
- 3) 津田美知子：視覚障害者の歩行と都市デザイン，建築学会大会 学術講演梗概集，891-892(1995, 8).
- 4) 横浜市環境科学研究所：横浜市民の音環境に関する意識調査，環境研資料 No. 115, (1995, 3).
- 5) 厚生省社会・援護局厚生課監修：日本の身体障害者—平成3年身体障害者実態調査報告書—，(第一法規出版，東京，1994)。
- 6) 横浜市福祉局総務課：福祉事業年報 平成8年版，(1996, 9).
- 7) 佐藤泰正編：視覚障害学，(学芸図書，東京，1991)。
- 8) 佐藤泰正編著：視覚障害心理学，(学芸図書，東京，1987)。
- 9) 関 喜一，伊福部 達，田中良広：盲人歩行補助のための基礎研究—聴覚による「障害物知覚」の要因について—，電子情報通信学会技術研究報告，90(437)，71-78(1991)。
- 10) 関 喜一，伊福部 達，田中良広：盲人歩行補助のための基礎研究—障害物知覚における反響定位の役割について—，第17回感覚代行シンポジウム発表論文集，89-92(1991)。
- 11) 関 喜一，伊福部 達，田中良広：盲人の障害物知覚における障害物の遮音効果の役割について，日本音響学会講演論文集，419-420(1992)。

# 地域住民の音環境意識調査

## —その1 住居系—

村林 亜希\*, 鹿島 教昭\*,  
田村 明弘\*\*, 嶋 理恵子\*\*\*

### 要 旨

横浜市内の住宅地域の中から歴史的背景、利用形態等で特徴のある5地域（保土ヶ谷町3丁目、万騎が原、生麦5丁目、日吉本町1丁目、釜利谷町）を選び、音環境に関する意識のアンケート調査を行った。質問内容には、音環境以外にも居住性に関連のある自然環境、利便性、安全性、個人の住宅事情等も含まれている。いずれの地域も自然の音に対しては好感を持っている一方、自動車、バイクの音に対しては悪感情を抱いている。必ずしも音のない環境を希望しているわけではなく、自然の音、生活に付随した何らかの音のある環境を望んでいる。また、自然の音を人工的につけ加えることには抵抗を感じている。なお、音に対する感情は地域によって異なり、例えば自動車の音について、その必要性を強く有する地域では反発が少ない。また、過去の音に対しては物売りの声・ラッパ等の郷愁を覚える音、うぐいす等の季節感を感じる音に対して好感を持ち、それらの音が減りつつあること、なくなってしまったことに寂しさを感じていることがわかった。

### 1. はじめに

音環境は地域の居住性を左右する重要な因子のひとつである。横浜市内の音環境状況を調査する一環として、まず、平成4年に住宅地として特色を持った5地域を選定し、住民のアンケート調査を行った。本報告は、その回答を整理し、各地域の特徴（地域の歴史、自然環境、生活環境等）と音環境に対する住民の意識との関連を解析・評価し、今後の住み良い地域づくりに資するものである。

む15歳以上の男性又は女性のうち1人を対象者とした。なお、調査地区の歴史的背景、観察記録を表-2に示し、主な特徴を以下に述べる。

保土ヶ谷町3丁目は、旧東海道に面し、JR線にも隣接しており交通機関に囲まれたところである。近くには交通量の多い国道1号線も通っている。

万騎が原は、昭和30年代の分譲で区画整理された第一種住専地区の一般住宅地で、児童公園や緑が多い。

生麦5丁目は、近隣商業地域、住居地域地区で朝市の歴史の古い町であり、鮮魚店が並ぶ通りには路上駐車、自転車が多い。

日吉本町1丁目は、大正5年に区画された第一種住専地区で、近くに商店街や大学がある。

釜利谷町は第一種住専地区で横浜市から緑地の確保などの条件付

### 2. 調査方法

#### 2-1 アンケート調査期日

平成4年10月~11月。

#### 2-2 アンケート対象者

表-1に示す調査地区内の戸建て住宅80軒を対象とし、そこに住

表-1 調査地区概要

調査地区	用途地域区分	主な土地利用形態	人口密度	世帯密度	有効回収数	有効回収率(%)
保土ヶ谷町3丁目	住居地域	旧東海道沿いの市街地、JR線に隣接	644	242	59	73.8
万騎が原	第一種住専	区画整理された一般住宅、児童公園多数有り	637	196	69	86.3
生麦5丁目	近隣商業地域 住居地域	商業及び住宅地	1730	591	56	70.0
日吉本町1丁目	第一種住専	商業及び住宅地	1064	485	64	80.0
釜利谷町	第一種住専	区画整理された一般住宅、高速道路に隣接、その背後に緑地あり	510	137	69	86.3

人口密度、世帯密度は共に1メッシュ(250m×250m)あたりの人数、世帯数

Social survey on sound environment of local residents in Yokohama - Part 1 residential area -

\*Aki Murabayashi, Noriaki Kashima 横浜市環境科学研究所騒音振動部門

\*\*Akihiro Tamura 横浜国立大学工学部建築学教室

\*\*\*Rieko Shima 旭硝子アメニテック(株)

表-2 調査地区の歴史的背景と観察記録

調査地区	歴史的背景	主な音源	観察記録
保土ヶ谷町3丁目	旧東海道に面し、江戸時代に宿場町として栄えたと考えられる。	国道1号線 旧東海道, JR線 今井川	国道1号線の交通量が多い。旧東海道は上下2車線で、交通量の割に狭く、歩道がない。今井川の水量は少ない。JR線は5分間隔程度。
万騎が原	昭和30年代の分譲。	バス通り, 商店街 自然公園	下校中の小学生がいた。自然公園が多数有り、静かな住宅地。
生麦5丁目	朝市の歴史が古く、明治時代に佃煮製造・魚の卸問屋が店を構えるようになった。	国道15号線, 鶴見川 JR線, 京浜急行線 鮮魚店	魚市場の通りには路上駐車が多い。全体的に緑が少なく、自動車・自転車が多い。家と家が近接して建てられており、路地を入ると生活音が聞こえる。
日吉本町1丁目	現在の区画は大正5年。その後、東急東横線の開通、慶應義塾大学の移転と共に発展。	中央通り 東急東横線	調査地区近くの商店街は賑わっていて人通りも多いが、住宅地は静かで人があまりいない。
釜利谷町	市から緑地確保の条件付きで開発許可を与えられ、昭和53年に開発が始まった。	釜利谷西小学校 横浜横須賀道路 バス通り	バス通りの交通量はそれほど多くない。学校のチャイムが時々聞こえるが静かな住宅地。緑に恵まれている。

きで開発許可を与えられた、緑の大変多い一般住宅地である。

### 2-3 アンケートの配布と回収

質問紙を対象の住宅へ依頼状と共に投函（平成4年10月7～9日）、返信用封筒を同封し、返却は郵送とした。

各調査地区の有効回収数と有効回収率を既出の表-1に示す。どの地区でも70%以上という高い回収率であったが、歴史の古い地区（保土ヶ谷町3丁目、生麦5丁目）では70%台、区画整理開発された住宅地（万騎が原、日吉本町1丁目、釜利谷町）では80%以上と、若干の違いが見られた。全体の有効回収数は317通、有効回収率は79.3%であった。

表-3 アンケート質問内容

生活環境の調査
Q1: 地域や住まいなどの居住環境に対する評価 (12項目 4段階評価)
Q2: 地域や住まいなどの居住環境に対する変化意識 (Q1と同項目 3段階評価)
Q3: 居住地の気に入り方と永住意識 (6選択肢)
現在の音環境の把握
Q4: 住まいの周辺で聞こえる音 (自由回答)
Q5: 横浜市の音 (自由回答)
Q6: 居住地の音 (自由回答)
音環境の現状に対する意見
Q7: 自宅周辺の音環境の評価 (7選択肢)
Q8: 音環境に対する意見への賛否 (6項目 5段階評価)
Q9: 住まいとして希望する (理想の) 音環境 (7選択肢)
フェースシート
Q10: フェースシート (性別、年齢、居住年数)
過去の音環境
Q11: 以前町内で聞こえた音 (自由回答)
SQ1: いつ、どこで、音を聞いたときの感想 (自由回答)
自由意見
Q12: 身近の気に入っている音環境 (自由回答)
Q13: 視覚障害者のための音環境 (自由回答)
Q14: 自由意見 (自由回答)

### 2-4 アンケート質問内容

アンケートの各質問の内容を表-3に示す。地区の音環境とそれに対する住民の意見を知ること、過去の音環境とその移り変わりを調べることを目的とした質問から成っている。

本報告では特に、地区の生活環境の特性とそれが居住性の評価に及ぼす影響(Q1, Q3)、日常生活で耳にする音や印象音の地区による違い(Q4~Q6)、音環境の現状に対する意見(Q8, Q9)、過去の音環境(Q11)について考察を述べる。

## 3. 調査結果及び解析

### 3-1 各地区の生活環境調査 (居住環境)

調査地区5地区について種々の内容12項目に対する満足度を調査した。保土ヶ谷町3丁目の例を図-1に示す。これより各項目について「不満」と「どちらかといえば不満」の割合の和を不満度として抽出して各地区について示すと表-4の如くなる。ここで、網掛け数字は不満度が50%を超えた項目である。これより、各地区の

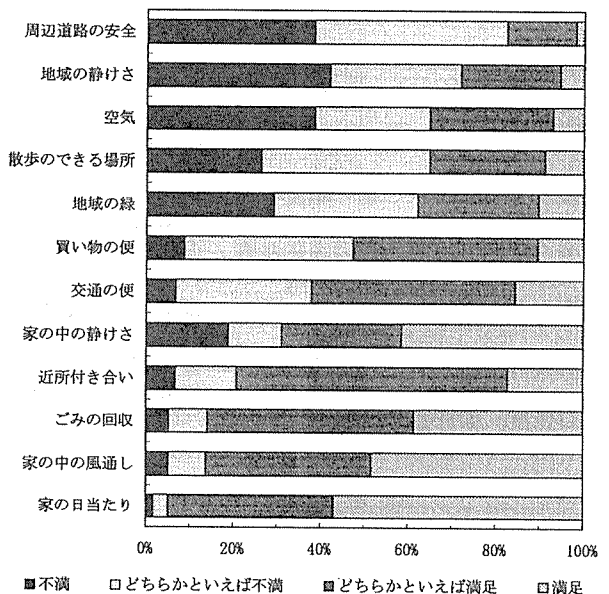


図-1 地域環境の満足度 (保土ヶ谷町3丁目)

表-4 各項目の不満足割合(%)

項 目		保土ヶ谷町 3丁目	万騎が原	生麦5丁目	日吉本町 1丁目	釜利谷町
生活・自然環境 に関する項目	散歩のできる場所	64.9	1.4	53.6	46.9	2.9
	空気	64.9	18.8	78.2	50.8	18.8
	地域の緑	62.1	4.5	80.3	40.6	1.4
	地域の静けさ	71.9	27.3	42.9	29.7	21.7
都市の利便性 に関する項目	ごみの回収	14.1	9.0	16.1	31.3	11.5
	買い物の便	47.4	0.0	3.6	17.2	63.2
	交通の便	37.9	1.5	1.8	1.6	44.1
安全性に関する項目	周辺道路の安全	82.5	32.9	55.5	81.3	13.3
個人の住宅事情 に関する項目	近所付き合い	20.7	11.5	5.4	21.9	11.8
	家の日当たり	5.1	14.7	52.3	20.4	2.9
	家の中の静けさ	31.1	14.7	17.9	12.5	5.9
	家の中の風通し	13.8	11.6	35.7	15.7	1.4

結果を総合評価すると以下のようになる。

保土ヶ谷町3丁目は、安全性、生活・自然環境に関する項目で不満度が高い。一方、都市の利便性および個人の住宅事情に関する項目での不満度は比較的低い。

万騎が原は、全ての項目においてほぼ満足している。あえて不満の項目をあげると、「周辺道路の安全」である。

生麦5丁目は、「地域の静けさ」を除く生活・自然環境に関する項目、安全性に関する項目で不満度が高い。また、個人の住宅事情に関する項目の「家の日当たり」についても大半が不満に感じている。一方、都市の利便性に関する項目では満足度が非常に高い。

日吉本町1丁目は、安全性に関する項目の不満度が極めて高い。また、生活・自然環境に関する項目の「空気」も半数が不満に感じているが、その他の項目はさほどではない。

釜利谷町は、「ごみの回収」を除く都市の利便性に関する項目で不満度が高い。その他の項目については全て満足度が高い。特に個人の住宅事情に関する項目と生活・自然環境に関する項目の「地域の緑」に対する満足度が極めて高い。

以上より、各地区の歴史・特徴(表-1, 2参照)と合わせて見ると、万騎が原、釜利谷町の様に比較的最近計画的に区画整理して開発された住宅地では、生活・自然環境に関する項目、安全性に関する項目での不満度が低いということが言える。反面、歴史が古い地区では利便性の点では不満度が低い、自然環境面での不満度が高い。

### 3-2 各地区の生活環境調査(永住意識)

永住意識も含めた居住地の評価を調査した結果を「気に入っている」、「どちらかといえば気に入っていない」、「気に入らない」の3種類に大別して各地区の回答者数に対する割合で図-2に示す。5地区全てにおいて、「気に入っている」の意見が60%以上を占めており、特に釜利谷町、日吉本町1丁目、万騎が原では80%以上と、極めて高い。

「気に入っている」理由については、多くの様々な要因(例えば近所付き合い、生活条件の維持など)を含んでいると考えられる。一方、「気に入らない」理由は比較的地域環境に起因する部分が多いと思われる。これらを3章1節 各地区の生活環境調査(居住環境)の結果(表-4参照)と共に着目してみる。

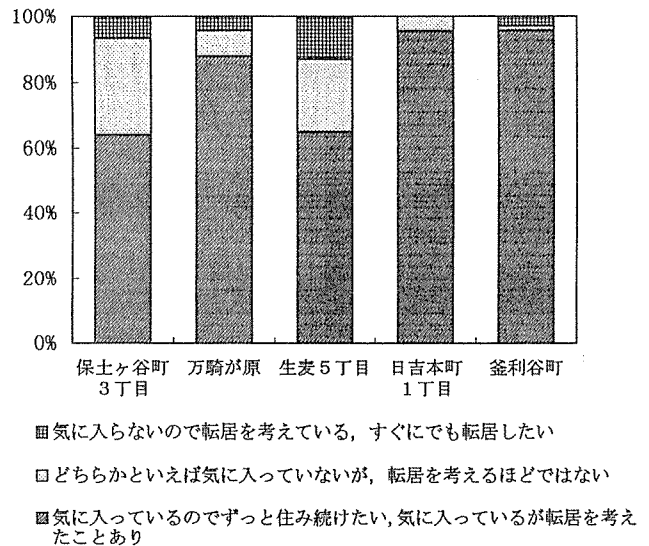


図-2 居住地区の評価

#### 3-2-1 「気に入らない」及び「どちらかといえば気に入っていない」の意見の多い地区

保土ヶ谷町3丁目、生麦5丁目で「気に入らない」「どちらかといえば気に入っていない」の意見の合計がそれぞれ36.1%、35.2%と、他の地区に比べて多いことがわかる。これらの2地区の共通項としては、3章1節 各地区の生活環境調査(居住環境)において、生活・自然環境に関する項目で不満度が高いことがあげられる。

#### 3-2-2 「気に入っている」の意見の多い地区

釜利谷町、日吉本町1丁目、万騎が原で「気に入っている」の意見がそれぞれ95.6%、95.3%、87.9%を占めている。これらの3地区の共通項としては、3章1節 各地区の生活環境調査(居住環境)において、ほとんどの人が全ての項目で満足しているか、一部不満の項目があっても、生活・自然環境に関する項目で満足度が高いことがあげられる。

したがって、居住地区の評価とその地区での自然環境の満足度とは極めて密接な関係があると言える。

#### 3-3 現在の音環境調査

各調査地区で実際に聞こえている音について調査した結果を表-5に示す。回答された音(声)を回答者数に対する割合の多いもの

表－5 居住地の音（実際に聞こえる音）

調査地区	音種	割合(%)	調査地区	音種	割合(%)
保土ヶ谷町 3丁目	自動車	82.1	日吉本町 1丁目	自動車	73.4
	電車	55.4		話し声	40.6
	鳥	39.3		子供の声	35.9
	バイク	37.5		犬	32.8
	犬	30.6		バイク	28.1
万騎が原	自動車	69.6	釜利谷町	自動車	58.8
	鳥	39.1		鳥	52.9
	子供の声	36.3		犬	51.4
	バイク	31.9		子供の声	29.4
	バス	30.4		暴走族	26.8
生麦5丁目	自動車	84.6			
	話し声	36.5			
	バイク	34.6			
	電車	21.2			
	犬	21.2			
	朝市の声	21.2			

表－6 居住地の音（印象音）

調査地区	音種	割合(%)	調査地区	音種	割合(%)
保土ヶ谷町 3丁目	自動車	58.7	日吉本町 1丁目	自動車	44.0
	電車	30.1		学生の話し声	14.0
	祭り囃子	15.2		鳥	14.0
	鳥	13.0		話し声	14.0
	バイク	10.9		幼稚園	10.0
	犬	10.9			
万騎が原	自動車	49.0	釜利谷町	鳥	34.6
	子供の声	25.5		犬	30.1
	鳥	19.6		自動車	25.0
	バイク	9.8		高速道路	19.2
	犬	9.8		暴走族	15.4
	虫	15.4			
生麦5丁目	自動車	40.0			
	漁海岸の人の声	20.0			
	魚市場	15.0			
	電車	7.5			
	豆腐屋の 笛、ラッパ	7.5			

表－7 横浜市の音（印象音）

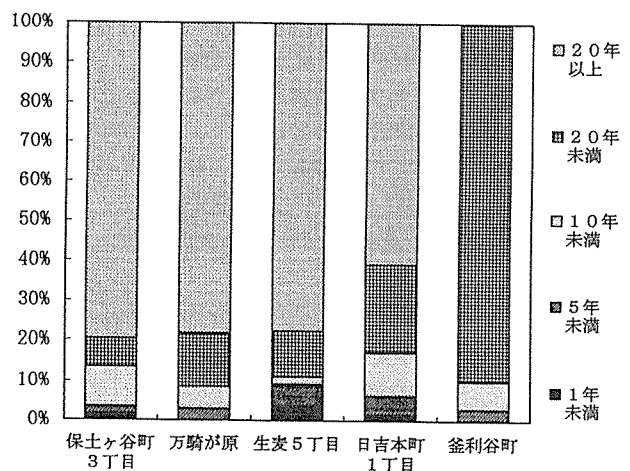
調査地区	音種	割合(%)	調査地区	音種	割合(%)
保土ヶ谷町 3丁目	船の汽笛	57.4	日吉本町 1丁目	船の汽笛	60.4
	自動車	23.4		自動車	16.7
	波の音	14.9		港の音	10.4
	花火	10.6		船の音	10.4
万騎が原	船の汽笛	59.3	釜利谷町	船の汽笛	67.3
	自動車	22.2		自動車	30.8
	電車	14.8		ゴミ収集車の オルゴール	13.5
	波の音	14.8		船の音	11.5
生麦5丁目	船の汽笛	51.3			
	自動車	17.9			
	波の音	17.9			
	船の音	15.4			

から順に地区ごとに示す。どの地区でも割合の最も多い音は自動車の音である。自動車の音の次、又はそれ以降に地区の特徴を示す音が指摘されている。JR線に隣接し、交通機関に囲まれた地区である保土ヶ谷町3丁目では電車の音、自然公園の多い万騎が原では鳥や子供の声、家と家が近接して建てられている生麦5丁目では話し声（近隣の家の生活音と考えられる）、付近に学校や商店街が存在する日吉本町1丁目では話し声（住宅地外の学生の声、商店街からの声であると考えられる）、緑に恵まれた釜利谷町では鳥の声があげられている。

次に、居住地について思い浮かべる音（印象音）を調査した結果を、回答者数に対する割合の多い順に地区ごとに表－6に示す。釜利谷町を除く全ての地区で自動車の音が一番に指摘されている。自分の居住地の印象音であるにもかかわらず、あまり好印象であるとは言えない自動車の音を、多くの人が指摘するという結果である。自動車騒音が現代の騒音問題の大きな課題なのである。しかし、騒音のみではなく鳥の声の様に好意的な音も指摘されている。また、生麦5丁目の魚市場の声、日吉本町1丁目の学生の話し声など地区の環境条件の特徴を表す音も見られる。

最後に、横浜市の音として思い浮かぶ音（印象音）について調査した結果を表－7に示す。回答された音（声）を回答者数に対する割合の多いものから順に地区ごとに示す。どの地区でも、各地区で実際に聞こえる音とは無関係に船の汽笛が1位である。これより、横浜市が歴史の上で港といかに強いつながりをもっていたかがわかる。

また、どの地区でもこの回答には船の汽笛、波の音等の海に関する音と自動車の音が上位を占めているにもかかわらず、釜利谷町でだけゴミ収集車のオルゴールが13.5%と、3番目に回答割合が高い。ここで、アンケート回答者の居住年数を地区別に図－3に示す。保土ヶ谷町3丁目、万騎が原、生麦5丁目、日吉本町1丁目は、居住20年以上が最も多く、特に保土ヶ谷町3丁目、万騎が原、生麦5丁目では75%を超えている。そこで、釜利谷町に注目してみると、釜利谷町は5地区の中で一番新しく開発された地区である。そのため居住年数が20年以上という人は0%で、10年以上20年未満という人が89.9%と、最も多い。このことから、釜利谷町は横浜市外を含む他地域から移り住んできた人が多いため、横浜市独特のゴミ収集車のオルゴールの音の印象が強かったということが考えられる。ま



図－3 回答者の居住年数

た、釜利谷町は大変静かな住宅地であり、鳥の声や自動車の音の他には特徴のある音が聞かれず、地区の音の多様性に欠けていることも原因のひとつにあげられる。特に釜利谷町では横浜市の印象音の中に地域の特性が関与していると言えよう。

### 3-4 音環境の現状に対する意見

音環境一般に対する住民の意識を検討するため、次の各内容の意見に対する賛否を調査した。

#### 3-4-1 自動車、バイクに関する内容

「自動車やバイクを減らすことが住宅地を静かにすることだと思う」「交通の便が良ければ少々の交通騒音は我慢できる」「車の音は普段聞いていれば気にならなくなると思う」の各意見に対する賛否を調査した結果を図-4～6に地区別を示す。

「自動車やバイクを減らすことが住宅地を静かにすることだと思う」(図-4)の意見に賛成の人はどの地区でも50%以上を占めており、日吉本町1丁目では80.7%、万騎が原では78.8%、保土ヶ谷町3丁目では74.5%である。これより、自動車、バイクが騒音の原因の大きな比重を占めていると感じている人はどの地区でもかなり多いことがわかる。

また、地区別に見ると、生麦5丁目と釜利谷町は地域環境がかなり異なるにもかかわらず、極めて類似の傾向を示していることが興味深い。「自動車やバイクを減らすことが住宅地を静かにすることだと思う」の意見に対しては、生麦5丁目も釜利谷町も賛成側が他地区よりも少なく、50%台にとどまっている。「交通の便が良ければ少々の交通騒音は我慢できる」(図-5)の意見に対しては、生麦5丁目も釜利谷町も賛成側が40%前後で他地区よりも多い。「車の音は普段聞いていれば気にならなくなると思う」(図-6)の意見に対しては、賛成側が生麦5丁目で23.1%、釜利谷町で16.9%と他地区よりも多い。すなわち、生麦5丁目は商店の多い住宅地、釜利谷町は自然豊かな住宅地であるという点で地域環境が異なっているにもかかわらず、両地区とも自動車騒音に対して、若干他地区よりも容認的であると言える結果となっている。これは、生麦5丁目は商業活動が盛んであること、釜利谷町は3章1節 生活環境調査(居住環境)で交通の便、買い物の便の不満度が高いこと(表-4参照)から、いずれも自動車が生活に欠かせないものとなっているためと考えられる。

これらのことから、住民の音環境に対する意識はその住民の生活に対する必要性の認識に大きく左右されるということが言える。

#### 3-4-2 人工自然音に関する内容

「さわやかな気持ちにするためにスピーカから小鳥の声を流す」の意見に対する賛否を図-7に地区別に示す。

自然の音はどの地区の住民にとっても好意的な音であることは過去のアンケート調査<sup>1) 2)</sup>より明らかである。しかし、だからといって、この音を人工的に流すことに対してはどの地区でも抵抗を持っていることがわかる。ただし、反対側が保土ヶ谷町3丁目では44.7%、生麦5丁目では39.6%と、他地区よりも少なくなっている。その地域が自然環境に乏しいところでは抵抗は少なくなる様である。

さらに、この質問を行った結果を年齢別に整理して図-8に示す。年齢が高くなると自然音を人工的に流すことに対する抵抗は少なくなる傾向がある。

以上より、自然環境の乏しい地域の居住性は安易に自然音を人工的に付け加えることで解決できるとは言えない。

#### 3-5 住まいとして希望する理想の音環境

「あなたはどの様な音環境に住みたいと思いますか」の質問を各

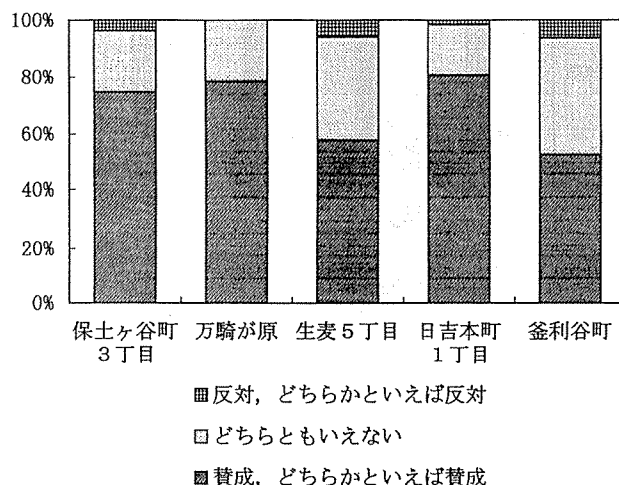


図-4 「自動車やバイクを減らすことが住宅地を静かにすることだと思う」に対する賛否

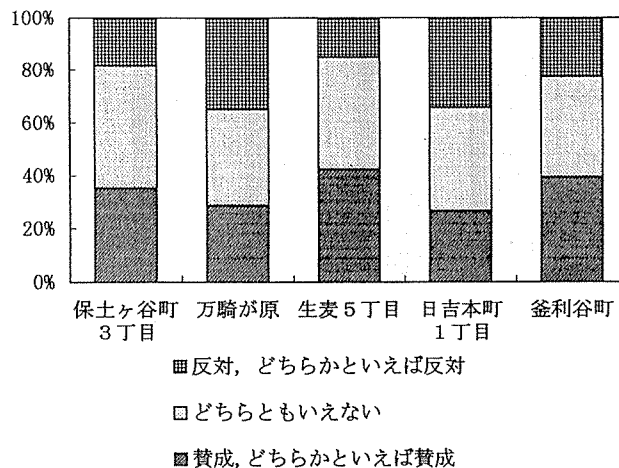


図-5 「交通の便が良ければ少々の交通騒音は我慢できる」に対する賛否

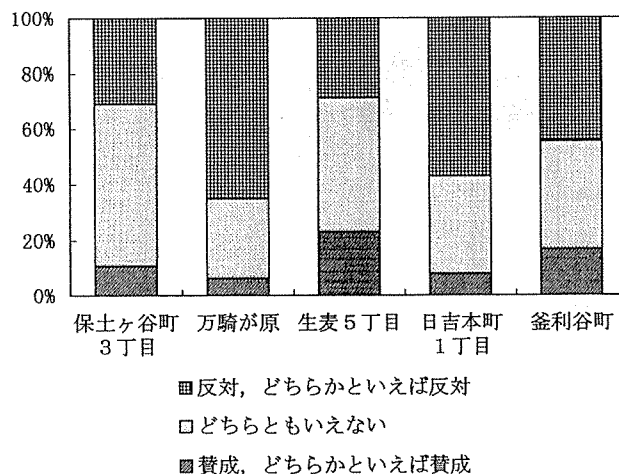


図-6 「車の音は普段聞いていれば気にならなくなると思う」に対する賛否

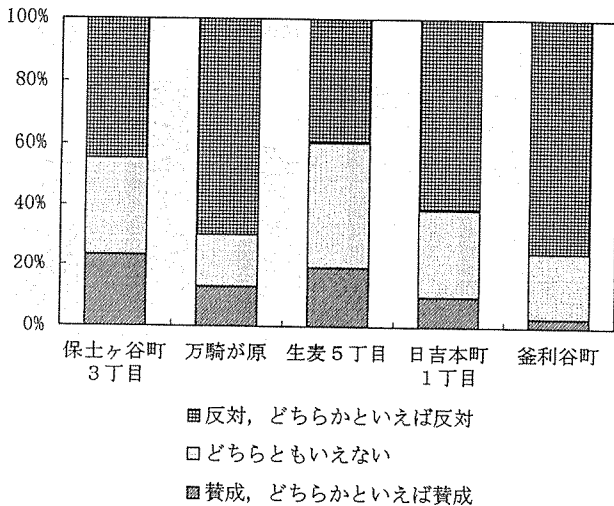


図-7 「さわやかな気持ちにするためにスピーカから小鳥の声を流す」に対する賛否（地区別）

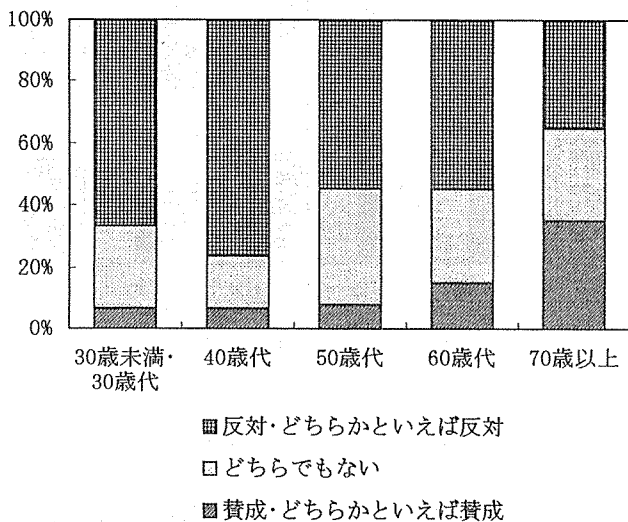


図-8 「さわやかな気持ちにするためにスピーカから小鳥の声を流す」に対する賛否（年齢別）

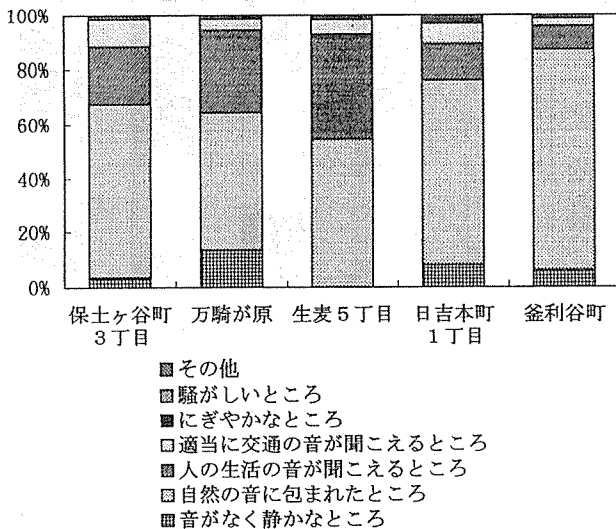


図-9 理想の音環境

地区で行った結果を図-9に各地区の回答者数に対する割合で示す。

住民が希望している音環境は地区によらず、ほぼ同じ以下の傾向を示していることがわかる。

- 1) 自然の音のある場所を半数以上の人希望している。
- 2) 生活に付随した何らかの音、人工音が適当に聞こえるところも希望している人が多い。
- 3) 音がなく静かなところの希望が必ずしも高くない。
- 4) 当然のことながら、騒々しいところは嫌われる。

### 3-6 過去の音環境に対する意見

以前町内で聞こえていた音（声）について、いつ、どこで、感じたことを質問した。昭和20年代～現在まで、複数の人が答えた回答だけを整理して、代表として日吉本町1丁目の例を表-8に示す。

個々の内容は異なるが、回答の傾向は他の地区でも同じである。すなわち、

- 1) 郷愁的な感情を含んだ音、特に豆腐屋のラッパ、チャルメラ等の生活音、かえる・せみ・うぐいす等の季節感のある自然の音（声）等が主体である。
- 2) 3章3節 現在の音環境調査では自動車の音が実際に聞こえている音の筆頭であったが、ここでは指摘されていない。
- 3) 聞こえていた当時はうるさいと感じていた子供の声を、今はなつかしく感じたり、同じ音に対しても時代・状況により感じ方が異なる。
- 4) 地区の音環境も時代と共に移り変わっている。例えば、以前は周囲が静かだったため、遠くの電車の音が聞こえていた、昭和60年代頃から物売りの声なくなった、子供が減って子供の音が聞こえなくなった等である。

なお、地区の特徴を見ると、近隣商業地域では昔盛んであった商業的な音を懐かしむ傾向があり、また、新興開発の住宅地では開発工事の音に強い印象を持っている。

## 4. まとめ

横浜市内の住宅地5地域の住民に対し、音環境に関する意識調査を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 住宅地の居住性は「生活・自然環境」、「都市の利便性」、「安全性」、「個人の住宅事情」それぞれの項目によって決まるが、全てが満足ということは困難で、一般に相反する場合が多い。このうち、居住性を最も大きく左右する項目は、生活・自然環境（散歩のできる場所、空気、地域の緑、地域の静けさ）であることがわかった。この項目の中で音環境も大きな因子となっている。
- 2) 比較的最近、計画的に区画整理された住宅地では生活・自然環境に関する項目、安全性に関する項目（周辺道路の安全）での不満度が低いと言える。
- 3) 実際に聞こえている音は、どの地区でも自動車の音で、騒音として感じている。その次に指摘された音、それ以降の音については、各地区の生活又は自然環境の特徴を示している。例えば、保土ヶ谷町3丁目では電車の音、万騎が原では鳥や子供の声、生麦5丁目では話し声（近隣の家の生活音）、日吉本町1丁目では話し声（学生の声、商店街からの声）、釜利谷町では鳥の声である。
- 4) 居住地の印象音については、ほとんどの地区で自動車の音の指摘が最も多い。
- 5) 横浜市の音として思い浮かぶ音については、全ての地区で船



表-8 以前町内で聞こえていた音（日吉本町1丁目）

時代	音種	指摘数	感じたことなど
昭和20年代	かえる	2	うるさいくらい、にぎやか
	電車（蒸気機関車の汽笛）	2	寂しい感じ
昭和20年代	かえる	3	にぎやか
	子供（缶けり、かくれんぼ）	2	
	鳥（うぐいす、にわとり）	3	さわやかな自然
	物売り（納豆、豆腐、金魚、竹竿、風鈴、貝）	5	その時は当たり前のことだった
昭和30年代	かえる	3	のどかで良い、夜の静けさ、田舎だ
	せみ	2	夏休みの暑い盛り
	物売り（金魚、チャルメラ、焼き芋、豆腐屋のラッパ）	5	夕方が近い、季節感、懐かしさ
昭和40年代	子供	5	平和
	鳥（うぐいす、こじゅけい）	3	ほのぼの、都会のなかの自然
	物売り（ラーメン屋、金魚、納豆、傘直し、豆腐屋のラッパ）	3	平和
昭和50年代	子供（小学生）	6	子供が少なくなった、うるさい
	自転車（ベル）	2	うるさい
	人の声	3	
	鳥（うぐいす、からす、にわとり、ひよどり）	7	ほのぼの
	物売り（魚屋）	2	
昭和60年代 ～平成	子供	2	生活の雑音、うるさい
	人の声（幼稚園からマイクで）	2	狭い場所で不必要
	鳥（うぐいす、すずめ、はと、にわとり、いんこ）	12	自然、四季、緑は大切に残す、心安らぐ
現在	せみ	2	季節を実感、近頃激減
	子供	3	にぎやか、近頃減っている

の汽笛音を多くの人があげている。なお、環境庁による“日本の音風景 100 選”事業で、人々が地域のシンボルとして大切に、将来に残していきたいと願っている音風景として「横浜港新年を迎える船の汽笛」が平成8年7月1日に認定された。

- 6) 音環境一般に対する住民の意識は、住民の生活に対する必要性の認識に左右される。例えば自動車の音について、その必要性を強く有する地域では反発が少ない。
- 7) 自然音を人工的に付加することは必ずしも自然環境の改善には直結せず、反発する人もかなりいる。また、年齢層による意見の違いも見られる。
- 8) 住民の希望する音環境は、地区によらず次の傾向にある。すなわち、当然のことながら騒々しいところは嫌われるが、音のないところを希望しているわけではなく、自然の音、生活に付随した適当な音のある環境を希望している。
- 9) 過去の音環境については、物売りの声、チャルメラ等の郷愁的感情を含んだ音、せみ、うぐいす等の季節感を感じる音の指摘が多い。

## 5. おわりに

住宅地におけるアンケート調査により、音環境に関して着目してみると、自然の音、適度の生活音が居住性を良くする上で寄与していること、自動車やバイクの音に強い悪感情を有していることがわかった。また、住民の身の回りの音の中には、なくなってしまっただけから寂しいと気が付く音が多くあり、単に人工的な自然音をつけ加えるのではなく、将来残していくべき音、なくすべき音とは何かを十分検討し、音環境を改善して行くことが必要である。そのためには騒音を低減させることと同時に、音に対する関心が高まるような環境づくりを進めていくことがこれからの課題である。

今後はこの結果に引き続き、住宅地以外の地域についても同様の調査、分析を行って行きたい。

## 参考文献

- 1) 横浜市環境科学研究所：横浜市民の音環境に関する意識調査、32-49、(1995, 3)
- 2) 環境庁長官官房総務課環境調査官：「音環境について」の調査結果、34-41、(1995, 10)

# キショウブ(*Iris pseudo-corus L.*)による窒素・りん の除去速度と原水濃度 (第2報)

森本 敏昭\*, 遠田 和雄\*

## 要 旨

キショウブ (*Iris Pseudo-corus L.*) を水耕法により植栽した人工水路に窒素, りんを比較的高濃度に含む水耕培養液を循環通水し, 窒素及びりんの濃度と除去速度との関係について, 前報の夏期の実験に引き続き秋期と冬期について検討を行った。

その結果, 全窒素 (T-N) の除去速度は, 秋期が 2.99~1.24g/m<sup>2</sup>・日, 冬期は 2.19~0.40g/m<sup>2</sup>・日であった。全りん (T-P) の除去速度は, 秋期が 0.616~0.012g/m<sup>2</sup>・日であった。夏期の実験と同様, 窒素, りんともに濃度の高い段階での除去速度は高く, 濃度の低下とともに除去速度も低下する傾向が確認された。

また, 特に目立った傾向として秋期のりんの除去率が 88.7%と高かったが, 冬期は 20.4%と低率であった。

## 1 はじめに

窒素やりんなどの汚濁のために起きるといわれる水域環境の富栄養化現象が飲用水源の水質や水産業などに深刻な弊害を生じており, その対策が急がれている。しかし, 湖, 河川, 海域などは水量や面積の規模が著しく大きいので, 汚濁水域の直接浄化は非常に難しい課題である。

一方, これら水域の汚濁の原因の多くは, 家庭排水, 農業排水または工場排水などによるものである。

これらの汚濁排水を湖や海域などに流入する以前の流入水路や発生源などの段階で水質浄化を図れるならば, 水量は少なく, 浄化施設ははるかに小規模なものにできると考えられる。本実験ではこれらの背景を念頭に, 植物が窒素やりんを吸収する特性を活用し, 窒素, りんの濃度とその除去速度を把握する目的でキショウブを用いて実験を行った。

実験は比較的高濃度の高い水耕培養液を循環し, 途中で栄養塩の添加はせず, 濃度変化とともにそれぞれの濃度レベルにおける窒素及びりんの除去速度 (吸収速度) を測定した。

## 2 実験方法

### 2-1 実験装置及びキショウブ

実験装置を図-1に示す。水路は長さ 2.0m×巾 0.3m×深さ 0.4mの合板製の箱をプラスチック製のシートカバーで覆ったもので, これを2個直列に連結して1系列とした。秋期, 冬期実験ともキショウブ及び装置は夏期実験で使用したものをそのまま継続使用した。

秋期実験期間中のキショウブの株数は植栽水面積 1.125 m<sup>2</sup>当たり 131株であった。また, 冬期実験期間中のキショウブの株数も 131株として計算した。

### 2-2 実験方法

実験期間は秋期実験が平成7年10月16日から11月2日までの18日間, 冬期実験が平成8年1月22日から2月9日までの19日間で他は夏期実験と同様の方法で実験を行った。

### 2-3 水質測定

試験水に対して, 夏期実験と同様に以下の項目の理化学分析を行った。①水温②溶存酸素 (DO) ③透視度④水素イオン濃度 (pH) ⑤電気伝導率 (EC) ⑥全窒素 (T-N) ⑦全りん (T-P)

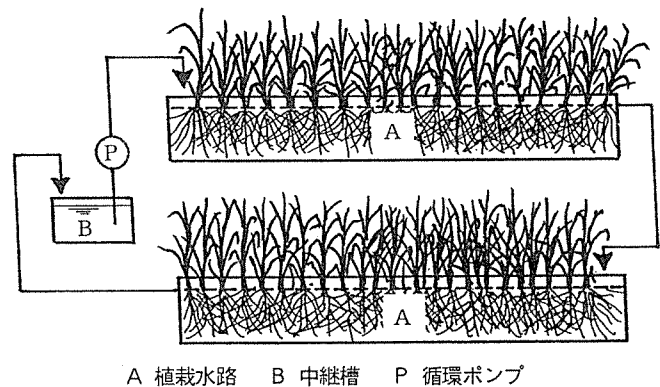


図-1 実験装置

## 3 結果および考察

### 3-1 植物の生育状況

夏期の実験開始時に 106株であったキショウブは秋期実験終了時の計測では 131株であった。秋期, 冬期とも一株当たりの計算値はこの値を使用した。また, 草高は秋期は夏期と同様の年間の最高値を維持したが, 12月中旬の降霜後は春から秋にかけて成長した葉が枯れ, 同時に新しい株が発生した。1月から2月にかけての冬期実験時はこの新しい株が約 10cm程度に成長した状態で行われた。

一方, 循環槽内のキショウブの根群は秋期, 冬期とも夏期とほとんど同様で, 根は槽の底部まで到達したが, 池や河川での浄化実験<sup>1)</sup>でみられたような, 根が槽の内部をマット状に埋め尽くすほどには至らなかった。これは, 本実験で使用した供試液の窒素やりんの濃度が, 池水や河川水に比べかなり高濃度であったためと考えられる。

### 3-2 実験期間中の天候と植栽水路におけるキショウブ草体からの蒸散量

表-1, 2に秋期, 冬期実験期間中の天候, 気温, 水温およびキショウブ植栽水路における植物体からの蒸散量を示した。表で蒸散量が-の箇所は降雨により前日より水量が増加したか, 又は, 対照水路の蒸発量が植栽水路の蒸散量を上回った測定日である。

ここで, 蒸発量とは対照水路から蒸発した水分量をいい, 蒸散量とは植栽水路において蒸発した水分量から対照水路の蒸発量を差し引いた値, すなわち, 植物体を通して蒸発した水分量をいう。

秋期実験では実験期間中ほとんど晴天であったが, 開始後10日目に降雨があり, その後晴天が継続したが強風の日が後半の2日間で見られた。冬期実験での天候は, 晴天の日が多かったが実験開始日に降雨があり, その後期間中強風の日が2日ほどあった。

秋期の場合対照水路の蒸発量を差し引いた植栽水路の蒸散量は82~212ml/株・日の範囲で平均は142ml/株・日であった。冬期の蒸散量は2~31ml/株・日, 平均は9ml/株・日であった。また, 夏期実験での蒸散量は179~378ml/株・日, 平均は266ml/株・日であったことから<sup>2)</sup>, 秋期の平均蒸散量は夏期の約1/2, 冬期は夏期の約1/30であることが確認された。

### 3-3 pH および電気伝導率

表-3に秋期及び冬期のpHおよび電気伝導率の推移を示す。

秋期実験のpHは実験開始時の7.4から18日間の実験期間中に, 8.1まで上昇した。冬期も秋期と同様7.7から8.2まで, ほぼ実験日数の経過とともに上昇した。ただし, 秋期, 冬期にそれぞれpH4.9と, 5.0の降雨があったため, 両期とも降雨後pHの値が僅かに低下

する傾向が認められた。一方, 対照水路のpHは実験期間中ほとんど変化は認められなかった。

電気伝導率は秋期実験で実験開始時の855  $\mu$  S/cmから, 実験終了時の628  $\mu$  S/cmまで約230  $\mu$  S/cm低下し, 冬期実験では930  $\mu$  S/cmから785  $\mu$  S/cmと145  $\mu$  S/cm低下した。秋期の植栽水路の低下した差は夏期実験の低下した差215  $\mu$  S/cm<sup>3)</sup>とほとんど同じであった。これは, 夏期, 秋期ともに実験終了時のT-N, T-Pの濃度が同レベルまで低下しており, 実験期間中に植物によって吸収された栄養塩の量が同程度であったことを示していると考えられる。冬期実験で減少が少ない理由は, 栄養塩類として植物への吸収が悪かったためと考えられる。一方, 対照水路の電気伝導率の低下した差は秋期実験で30  $\mu$  S/cm, 冬期実験で35  $\mu$  S/cmと夏期実験の低下分35  $\mu$  S/cmとほとんど同様であった。

### 3-4 溶存酸素 (DO)

秋期及び冬期実験におけるDOの変化を表-4に示す。

表-4に示したように秋期の植栽水路のDOは6.0~8.3 mg/l, 飽和率は70~85%であった。また, 冬期の植栽水路のDOは10.2~12.7 mg/lで飽和率はすべて90%以上であった。対照水路のDOの飽和率が両期ともほとんど100%であったことから, 秋期と冬期の植栽水路のDOの飽和率の違いは, それぞれキショウブの活性の差を示していると考えられる。

すなわち, 秋期はキショウブの呼吸作用が活発なため水中のDOが消費された結果, DOの飽和率が低くなったが, 冬期は呼吸量が減少した結果DO飽和率が90%以上になったと思われる。

表-1 秋期実験期間中の気候とキショウブ植栽水路における蒸散量

実験経過 日数	天候	気温 ( $^{\circ}$ C)	水温 ( $^{\circ}$ C)	植栽水路の蒸散量 ( $l/m^2 \cdot 日$ )	対照・蒸発量 ( $ml/株 \cdot 日$ )	対照・蒸発量 ( $l/m^2 \cdot 日$ )
1	薄曇り後晴	24.4	21.0			
2	快晴	27.4	21.5	10.00	86	3.75
3	晴	25.5	21.0	16.67	143	5.75
4	曇り時々晴	25.3	21.4	10.45	90	3.00
5	晴	24.0	21.0	18.23	157	1.25
6	快晴	22.5	18.5	22.45	193	4.75
7	曇り時々晴	19.0	18.0	12.23	105	4.75
8	快晴	21.2	18.0	14.45	124	4.00
9	曇り	21.3	18.5	12.67	109	4.25
10	晴 (前夜雨)	23.1	19.0	-	-	-
11	晴	22.4	17.5	22.68	195	1.00
12	快晴	23.0	18.0	18.23	157	2.50
13	晴	20.0	16.8	20.23	174	2.75
14	曇り	16.0	16.0	9.56	82	3.50
15	快晴	22.0	17.1	11.56	99	1.00
16	曇り時々晴 (強風)	24.8	19.0	15.78	136	2.50
17	晴 (強風)	23.2	19.8	24.45	210	3.50
18	快晴	18.0	15.2	24.68	212	2.25
平均		22.4	18.7	16.52	142	3.16

秋期実験期間 (平成7年10月16日~11月2日)

表一 冬期実験期間中の気候とキシウブ植栽水路における蒸散量

実験経過 日数	天候	気温 (°C)	水温 (°C)	植栽水路の蒸散量		対照・蒸発量 ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )
				( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )	( $\text{ml}/\text{株} \cdot \text{日}$ )	
1	曇り後雨	7.9	8.9			
2	曇り(薄日)	9.9	8.3	-	-	-
3	晴	7.4	7.4	-	-	-
4	快晴	7.0	5.0	2.22	19	1.75
5	曇り後晴(強風)	6.7	5.6	1.56	13	2.25
6	晴	7.0	4.1	1.33	11	2.50
7	快晴	-	5.4	-	-	-
8	晴	11.5	6.3	0.89	8	2.00
9	快晴(強風)	9.7	7.3	-	-	-
10	晴	7.2	5.9	0.67	6	2.75
11	曇り(晴れ間有り)	8.5	5.6	-	-	-
12	曇り(薄日)	3.1	4.6	1.33	11	2.00
13	快晴	8.3	3.0	0.44	4	3.50
14	曇り(薄日)	7.5	4.2	0.44	4	2.75
15	晴	9.4	5.3	0.67	6	1.75
16	晴	10.9	8.0	0.44	4	2.25
17	快晴	10.7	7.0	3.56	31	2.00
18	晴	9.7	7.4	0.44	4	2.25
19	晴	12.1	7.7	0.22	2	3.25
平均		8.6	6.2	1.09	9	2.38

冬期実験期間(平成8年1月22日~2月9日)

表一 3 pHと電気伝導率の変化

実験経過 日数	pH				電気伝導率( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )			
	植栽水路		対照水路		植栽水路		対照水路	
	秋期	冬期	秋期	冬期	秋期	冬期	秋期	冬期
1	7.4	7.8	7.6	7.8	855	930	780	795
2	7.4	7.7	7.9	7.8	810	900	780	780
3	7.5	7.8	7.9	7.8	835	885	780	780
4	7.7	7.9	7.9	7.8	796	875	760	775
5	7.7	8.0	7.9	7.8	785	870	760	780
6	7.8	7.9	7.8	7.7	765	860	770	790
7	7.9	8.0	7.7	7.7	730	860	770	790
8	7.9	8.0	7.5	7.7	712	860	762	790
9	7.8	8.0	7.5	7.8	685	845	740	785
10	7.7	8.1	7.5	7.8	665	835	745	785
11	8.0	8.1	7.6	7.9	660	835	740	790
12	7.9	8.2	7.5	7.8	645	830	735	790
13	8.1	8.1	7.5	7.7	630	820	745	785
14	8.1	8.2	7.5	7.8	620	810	750	780
15	8.0	8.1	7.5	7.7	620	815	740	775
16	8.0	8.1	7.6	7.8	625	810	740	780
17	8.1	8.2	7.6	7.8	645	800	740	770
18	8.0	8.2	7.6	7.8	628	795	750	755
19	-	8.2	-	7.8	-	785	-	760

表-4 DOの変化

(単位 DO : mg/ℓ , 飽和率 : %)

実験経過 日数	植栽水路				対照水路			
	DO		飽和率		DO		飽和率	
	秋期	冬期	秋期	冬期	秋期	冬期	秋期	冬期
1	6.4	10.4	74	93	8.3	10.9	98	101
2	6.0	10.2	70	90	7.7	10.7	95	99
3	6.4	10.6	74	91	8.1	11.0	100	100
4	6.2	11.8	72	95	7.9	11.9	97	101
5	6.6	11.4	76	94	7.9	11.5	97	100
6	7.3	12.1	80	96	8.4	12.4	98	103
7	7.0	12.0	76	98	8.3	11.8	97	103
8	7.3	11.3	80	94	8.3	11.4	97	102
9	7.3	10.8	80	93	8.4	11.1	100	101
10	6.2	11.5	69	95	8.2	11.4	98	100
11	7.5	11.7	81	96	8.4	11.5	98	101
12	7.1	11.8	77	94	8.5	11.7	101	99
13	7.8	12.7	83	97	9.4	12.4	108	102
14	7.7	12.2	81	97	8.8	11.8	100	100
15	7.6	11.8	81	96	8.4	11.6	98	102
16	7.1	10.6	79	92	8.1	10.8	97	100
17	6.9	11.4	78	97	8.0	11.4	97	103
18	8.3	11.0	85	95	8.7	11.2	98	102
19	-	10.9	-	94	-	10.8	-	100

3-5 T-Nの濃度変化と除去速度および除去率

3-5-1 秋期実験におけるT-Nの処理状況

表-5に秋期実験の植栽水路および対照水路のT-N濃度ならびに植栽水路における単位面積当たり、およびキシウブ一株当たりのT-Nの除去速度を示した。また、図-2に植栽水路および対照水路におけるT-Nの濃度変化を、図-3にT-Nの各濃度に対する除去速度および除去率の関係をグラフとして示した。

表-5および図-2より、秋期実験における対照水路のT-Nの濃度は実験開始時の53.31 mg/ℓから実験終了時の49.41 mg/ℓと、18日間で3.90 mg/ℓ低下したのに対して、植栽水路のT-N濃度は、実験開始時の52.99 mg/ℓから13日目の0.58 mg/ℓと直線的に減少し、その後は横ばい状態を示した。この間対照水路の低下分を差し引くと、植栽水路では、18日間で、48.54 mg/ℓ低下し、91.6%のT-Nが除去されたと考えられる。これは、夏期の実験結果<sup>4)</sup>と同程度の濃度低下である。

次に、表-5、図-3より、秋期実験におけるT-Nの除去速度は、実験開始当初の供試液のT-N濃度が52.99 mg/ℓの時、最高値の2.99g/m<sup>2</sup>・日(25.72 mg/株・日)を示した。そして、T-N濃度が45.82~13.40 mg/ℓの範囲の除去速度は1.92~1.52g/m<sup>2</sup>・日(16.46~13.03 mg/株・日)、平均値1.88g/m<sup>2</sup>・日(16.17 mg/株・日)と、この間の除去速度はT-N濃度にほとんど関係なく平均的な数値で推移した。さらにT-N濃度が下がって9.77~3.55 mg/ℓの範囲の除去速度は1.27~1.24g/m<sup>2</sup>・日(10.90~10.66 mg/株・日)、平均値1.28g/m<sup>2</sup>・日(10.99 mg/株・日)となり、T-N濃度が0.6 mg/ℓより低くなった範囲では除去速度はほとんど零となった。実験開始当初に示した高い除去速度は実験開始前の栄養分が不足した状態のキシウブが高濃度の栄養塩を含む水耕培養液を与えられたために一

時的にT-Nの摂取量が高くなったものと考えられる。

表-5 秋期実験における供試液中のT-N濃度とキシウブ植栽水路による除去速度

経過 日数	植栽水路 T-N(mg/ℓ)	T-N除去速度 (g/m <sup>2</sup> ・日) (mg/株・日)		対照水路 T-N(mg/ℓ)
1	52.99	2.99	25.72	53.31
2	45.82	1.92	16.46	53.03
3	41.24	1.77	15.20	52.03
4	37.00	2.08	17.85	51.46
5	32.02	1.62	13.94	52.00
6	28.14	2.14	18.34	51.03
7	23.02	2.14	18.41	51.17
8	17.89	1.88	16.12	50.60
9	13.40	1.52	13.03	51.42
10	9.77	1.27	10.90	50.47
11	6.73	1.33	11.41	50.68
12	3.55	1.24	10.66	49.89
13	0.58	0.04	0.38	49.80
14	0.47	-0.01	-0.05	50.15
15	0.48	0.00	-0.02	50.72
16	0.49	-0.01	-0.08	49.37
17	0.51	-0.01	-0.12	49.45
18	0.55			49.41

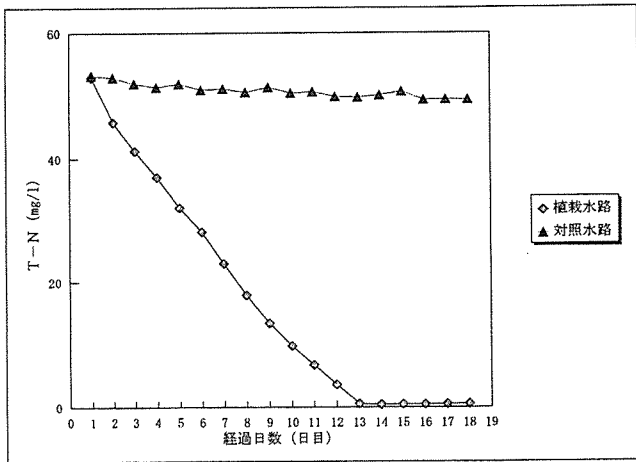


図-2 秋期実験におけるT-Nの濃度変化

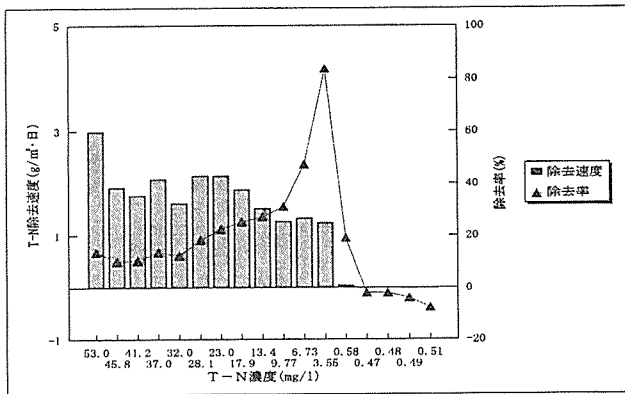


図-3 秋期実験 T-Nの濃度と除去速度及び除去率

また、図-3から分かるように、T-N濃度が約10~45.8 mg/lの範囲で除去速度は1.5~2.1g/m<sup>2</sup>・日(13~18 mg/株・日)と供試液の濃度とは無関係にほぼ一定の数値を示した。このことは、キショウブによるT-Nの吸収限界を示唆するものと推定される。

図-3の折れ線グラフから、秋期実験におけるT-Nの除去率は供試液のT-Nが52.99~32.02 mg/lの高濃度の範囲では10~13.5% (平均11.9%)と低く横這い状態であったが、T-N濃度が28.14~9.77 mg/lでは18.2~31.1% (平均24.8%)と除去率はゆるやかだが直線的に上昇した。そして、T-Nの濃度が6.73~3.55 mg/lでは47.3~83.7% (平均65.5%)と高い除去率を示した。その後、T-N濃度が1 mg/lを割ると除去率は再び低くなり、T-N濃度が0.58 mg/lの時に19%の除去率を示したあとは負の数値で横ばいとなった。

このことから、秋期に24時間の滞留時間で1回の処理により40%以上の高い除去率を得られるのは、対象となるT-N濃度がおよそ3~7 mg/lの範囲であると考えられ、これは、過去に行った河川水の浄化実験<sup>5)</sup>の結果ともほぼ一致する。

### 3-5-2 冬期実験におけるT-Nの処理状況

表-6に冬期実験の植栽水路および対照水路のT-N濃度ならびに植栽水路における単位面積当たり、およびキショウブ一株当たりのT-Nの除去速度を示した。また、図-4に植栽水路および対照水路におけるT-Nの濃度変化を、図-5にT-Nの各濃度に対する除去速度および除去率の関係をグラフとして示した。

表-6および図-4により、冬期実験のT-Nの濃度変化をみると、対照水路のT-Nは実験開始時の46.31 mg/lから実験終了時の42.65 mg/lへ、19日間で3.66 mg/l低下した。一方、植栽水路のT-N濃度は、実験開始時の46.28 mg/lから19日目の6.47 mg/lまで段階的に減少したが、夏期、秋期ともに実験終了時のT-N濃度が1 mg/lを割ったのと比べると冬期はかなり高い濃度のT-Nが残留した。この間対照水路の低下分を差し引くと、植栽水路では、19日間で、36.15 mg/l低下し、78.1%のT-Nが除去された。夏期及び秋期の実験で、除去率が90%程度に達したとと比較すると、冬期の除去速度は大幅に低くなったことが分かる。

表-6、図-5によると、冬期実験の除去速度は実験開始当初のT-N濃度が46.28~36.13 mg/lの時に平均値で2.11g/m<sup>2</sup>・日(18.10 mg/株・日)と高い値を示した。その後T-N濃度が31.14~17.91 mg/lの時は平均1.06g/m<sup>2</sup>・日(9.11 mg/株・日)で推移し、さらにT-N濃度が15.91~7.58 mg/lの範囲では、除去速度は平均0.44g/m<sup>2</sup>・日(3.76 mg/株・日)と低下した。そして、全体としてはT-Nが高濃度から低濃度へと推移するにしたがって、除去速度は減少の傾向を示した。

実験開始当初の3日間は秋期の除去速度に劣らない値を示したものの、31.14~17.91 mg/lの濃度範囲では秋期の除去速度の約55%まで低下し、T-Nが15.91 mg/l以下の濃度でも除去速度は低値を維持したため、実験終了時に至っても植栽水路のT-Nは6.47 mg/lとかなり高い濃度が残留した。

また、図-5によると冬期の実験期間中のT-N除去率は9.25~19.53% (平均10.2%)であった。夏期、秋期の実験では、T-N濃度10~1 mg/lの範囲で除去率が上昇したが、冬期実験では実験終了時のT-N濃度6.47 mg/lまでの範囲では10%前後の平均除去率で推移した。

表-6 冬期実験における供試液中のT-N濃度とキショウブ植栽水路による除去速度

経過日数	植栽水路 T-N(mg/l)	T-N除去速度 (g/m <sup>2</sup> ・日)	T-N除去速度 (mg/株・日)	対照水路 T-N(mg/l)
1	46.28	2.05	17.65	46.31
2	41.36	2.19	18.77	45.98
3	36.13	2.08	17.89	45.75
4	31.14	1.07	9.18	45.19
5	28.58	1.27	10.94	45.47
6	25.53	0.95	8.16	46.45
7	23.26	1.03	8.87	45.34
8	20.79	1.20	10.32	45.45
9	17.91	0.84	7.18	44.96
10	15.91	0.49	4.20	45.28
11	14.74	0.49	4.19	44.95
12	13.57	1.11	9.51	44.59
13	10.92	-0.42	-3.63	44.33
14	11.93	0.42	3.64	43.81
15	10.92	0.54	4.63	44.15
16	9.63	0.45	3.90	43.49
17	8.54	0.40	3.43	43.50
18	7.58	0.46	3.99	43.62
19	6.47			42.65

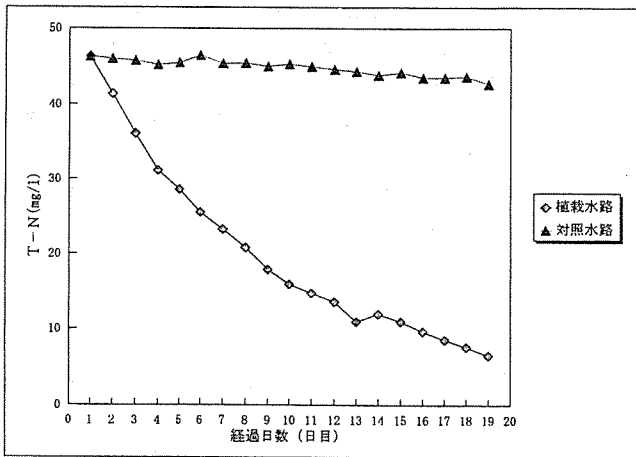


図-4 冬期実験におけるT-Nの濃度変化

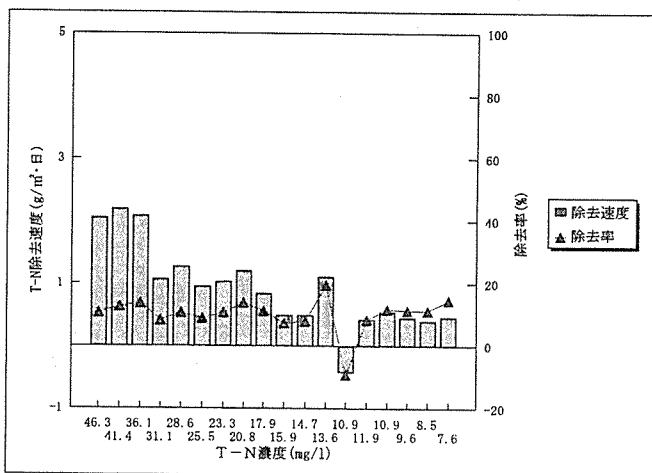


図-5 冬期実験T-N濃度と除去速度及び除去率

### 3-6 T-Pの濃度変化と除去速度および除去率

#### 3-6-1 秋期実験におけるT-Pの処理状況

表-7に秋期実験の植栽水路および対照水路のT-P濃度ならびに植栽水路における単位面積当たり、およびキショウブ一株当たりのT-Pの除去速度を示した。また、図-6に秋期実験の植栽水路および対照水路におけるT-Pの濃度変化を、図-8にT-Pの各濃度に対する除去速度および除去率の関係をグラフとして示した。

表-7、図-6より秋期実験でのT-Pの濃度変化をみると、対照水路では実験開始当初の8.195 mg/lから実験終了時の7.639 mg/lへと18日間で0.556 mg/l低下した。一方、植栽水路は実験開始当初の8.111 mg/lから実験終了時の0.360 mg/lへと7.751 mg/l低下した。この間対照水路の低下分を差し引くと18日間で7.195 mg/l低下し、88.7%のT-Pが植物に吸収されたと考えられる。これは、16日間で6.528 mg/lの濃度低下が見られた夏期実験（実験終了時濃度0.502 mg/l）と比較すると秋期の方が夏期より濃度の低下が早く進み実験終了時の濃度も夏期に比べ低値となった。

表-7、図-7によると秋期実験のT-Pの除去速度は大略3グループに分けられる。すなわち、供試液のT-P濃度8.111~3.506 mg/lの範囲では除去速度は平均0.459 g/m<sup>2</sup>・日（3.945 mg/株・日）、T-P濃度2.612~0.639 mg/lでは平均0.127 g/m<sup>2</sup>・日（1.090 mg/株・日）、さらに下がってT-P濃度0.486~0.368 mg/lでは平均0.010 g/m<sup>2</sup>・日（0.090 mg/株・日）と一段と低下した。最大値はT-

表-7 秋期実験における供試液中のT-P濃度とキショウブ植栽水路による除去速度

経過日数	植栽水路 T-P(mg/l)	T-P除去速度 (g/m <sup>2</sup> ・日)	(mg/株・日)	対照水路 T-P(mg/l)
1	8.111	0.616	5.288	8.195
2	6.637	0.496	4.261	8.063
3	5.449	0.479	4.117	8.076
4	4.302	0.332	2.855	7.753
5	3.506	0.373	3.206	7.903
6	2.612	0.210	1.805	7.765
7	2.109	0.197	1.691	7.870
8	1.638	0.152	1.304	7.764
9	1.274	0.105	0.898	7.641
10	1.024	0.089	0.762	7.634
11	0.812	0.072	0.620	7.898
12	0.639	0.064	0.550	7.935
13	0.486	0.015	0.131	7.627
14	0.449	0.018	0.152	7.619
15	0.407	0.012	0.105	7.472
16	0.378	0.004	0.034	7.453
17	0.368	0.003	0.027	7.398
18	0.360			7.639

P濃度8.111 mg/lの時0.616 g/m<sup>2</sup>・日（5.288 mg/株・日）を記録したが、これは夏期に行った実験の最大値0.541 g/m<sup>2</sup>・日（5.747 mg/株・日）と値がほとんど同様で全体の傾向も似かよっていた。

図-7の折れ線グラフで示した秋期実験のT-Pの除去率は、実験開始当初の約18.2%から23.9%の除去率を示した12日目まで横ばいしない微増の傾向を示したが、T-P濃度が0.5 mg/lを割った13日目以後急激に低下した。すなわち供試液のT-P濃度8.111~0.639 mg/lの間の除去率は17.9~25.5%、平均20.9%と高い除去率を示したが、T-P濃度0.486~0.407 mg/lの範囲では平均除去率8.0%と低下した。そしてT-P濃度0.378~0.368 mg/lの範囲では平均2.4%とさらに低下した。夏期の実験結果と比較すると夏期T-P濃度が約1~8 mg/lの範囲で、T-Pの除去率が20%を越えたのに対し、

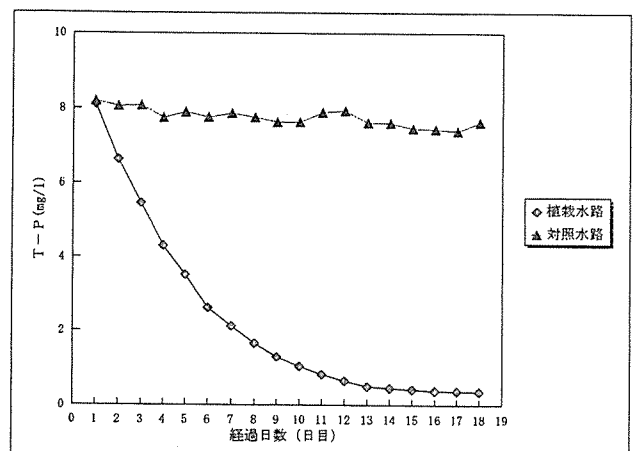


図-6 秋期実験におけるT-Pの濃度変化

秋期実験では0.6~8 mg/lの範囲で約20%のT-P除去率を示しており夏期と秋期はほぼ同じような傾向であることが確認された。

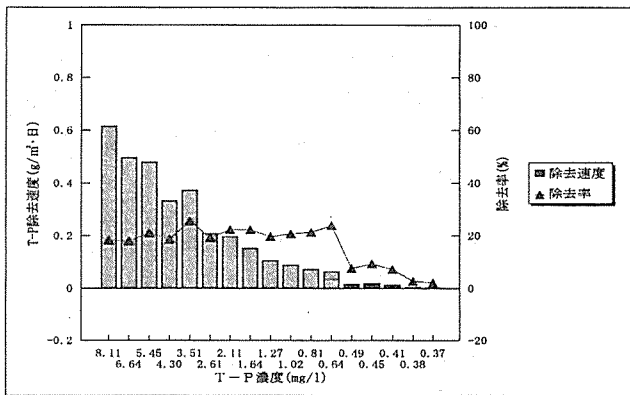


図-7 秋期実験T-Pの濃度と除去速度及び除去率

### 3-6-2 冬期実験におけるT-Pの処理状況

表-8に冬期実験の植栽水路および対照水路のT-P濃度ならびに植栽水路における単位面積当たり、およびキシウブ一株当たりのT-Pの除去速度を示した。また、図-8に植栽水路および対照水路におけるT-Pの濃度変化を、図-9にT-Pの各濃度に対する除去速度および除去率の関係をグラフとして示した。

表-8、図-8により冬期実験のT-Pの濃度変化をみると対照水路では実験開始当初の7.514 mg/lから実験終了時の6.817 mg/lへと19日間の実験で0.697 mg/lの濃度低下が見られた。一方、植栽

表-8 冬期実験における供試液中のT-P濃度とキシウブ植栽水路による除去速度

経過日数	植栽水路 T-P(mg/l)	T-P除去速度 (g/m²·日)	対照水路 T-P(mg/l)
1	7.501	0.069	7.514
2	7.337	0.076	7.479
3	7.154	0.139	7.253
4	6.823	0.065	7.151
5	6.668	0.093	7.654
6	6.446	0.130	7.160
7	6.135	0.043	7.403
8	6.032	0.039	7.506
9	5.940	0.039	7.501
10	5.847	-0.062	7.457
11	5.994	0.033	6.932
12	5.916	0.025	7.120
13	5.855	0.095	6.937
14	5.627	-0.012	7.051
15	5.656	-0.009	6.999
16	5.678	0.154	7.191
17	5.309	0.048	7.171
18	5.193	-0.035	7.060
19	5.277		6.817

水路のT-P濃度は実験開始時7.501 mg/lから実験終了時5.277 mg/lへと2.224 mg/lの濃度低下であった。そして、対照水路低下分を考慮すると20.4%のT-Pが実験期間中に除去されたと考えられる。

このように、冬期のT-Pの濃度低下は夏期、秋期に比べてかなり小さいが、これは、冬期における植物の活性が大幅に低下したためと考えられる。

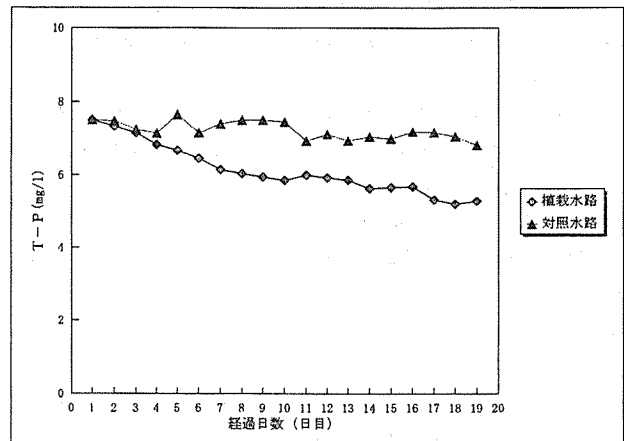


図-8 冬期実験におけるT-Pの濃度変化

表-8、図-9による冬期のT-Pの除去速度は実験開始時から9日目まで、すなわちT-Pの濃度が7.501~5.940 mg/lの範囲では、単位水面積当たりのT-P除去速度は0.039~0.139 g/m²·日(0.331~1.190 mg/株·日)と正の除去速度を示したが、10日目(T-P濃度5.85 mg/l)以降、実験が終了するまでの間のT-P除去速度は-0.062~0.154 g/m²·日と乱高下し、負の数値も混在した。

図-9の折れ線グラフによると冬期のT-Pの除去率は実験開始から9日目までは1.5~4.8%(平均2.72%)と正の数値を示したが、秋期実験の12日目までの平均除去率が20.9%であったのと比較しても非常に低い値であった。又、10日目以降は負の数値が4回観察された。

キシウブは冬期実験中でも12月末に新芽として出てきた10cm前後の青葉が見られたが、植物としての活性は非常に低かったものと考えられる。それゆえ、実験前半に見られた正の除去速度及び除去率はすべてが植物に吸収されたことを示しているとは言えず、根の周囲や水路内への吸着も考えられる。又、実験後半に負の数値が

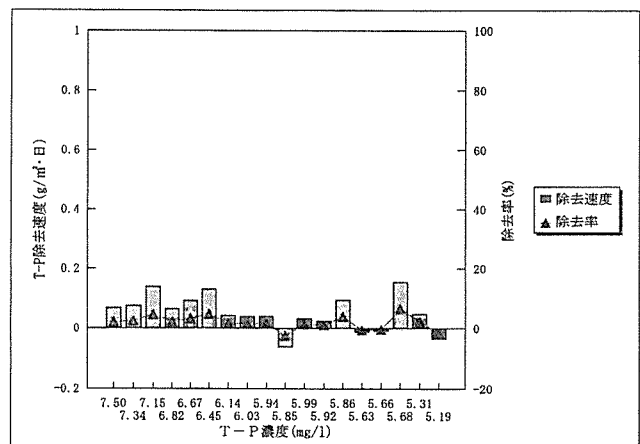


図-9 冬期実験T-Pの濃度と除去速度及び除去率



散見されたのは、吸着されたりんからの脱着が起きたことも推定される。いずれにしても、冬期のT-P除去速度は大変低く、ほとんど吸収されなかったと考えてよい。

#### 4 まとめ

キショウブを水耕法により植栽した人工水路に窒素やりんなどを含む水耕培養液を循環通水し、主として窒素、りんの濃度と除去速度及び除去率等の関係を、前報の夏期の実験に引き続いて秋期（平成7年10月16日～11月2日）と冬期の実験（平成8年1月22日～2月9日）を行った。

その結果、秋の実験ではりんの吸収が特に良く除去率及び除去速度で夏期を上回り、窒素も夏期と同程度の処理状況が得られた。

冬期は植物の活性が低いため、窒素やりんの処理状況は概して低調で、特にりんの除去率が低かった。

秋期及び冬期実験の窒素、りんの処理状況と除去速度は次のとおりであった。

##### 秋期

###### T-N

①初期濃度 52.99 mg/ℓ に対して終了時の濃度は 0.55 mg/ℓ で 18 日間で 91.6%の T-N が除去された。

②除去速度は、供試液の濃度が 52.99～3.55 mg/ℓ の範囲では、約 2.99～1.24g/m<sup>2</sup>・日と良好な数値が得られたが、1 mg/ℓ 以下ではほとんど窒素は除去されなかった。

供試液の濃度が高濃度の時に除去速度が高く、濃度の低下とともに低くなる傾向は夏期の実験と同様であった。

###### T-P

①初期濃度 8.111 mg/ℓ に対して終了時の濃度は 0.360 mg/ℓ で 18 日間で 88.7%の T-P が除去された。

②除去速度は、供試液の濃度が 8.111～0.407 mg/ℓ の範囲では、0.616～0.012g/m<sup>2</sup>・日で、窒素の場合と同様に高濃度の供試液に対して除去速度は高いが、濃度の低下とともに低くなった。

##### 冬期

###### T-N

①初期濃度 46.28 mg/ℓ、終了時の濃度 6.47 mg/ℓ で 19 日間で 78.1%の T-N が除去された。

②除去速度は、供試液の T-N 濃度が約 40 mg/ℓ と高濃度の時は約 2.1g/m<sup>2</sup>・日と高い数値が得られたが、31～18 mg/ℓ の濃度範囲では 1.1g/m<sup>2</sup>・日、15.9～7.58 mg/ℓ の濃度範囲では 0.46g/m<sup>2</sup>・日と非常に低い値であった。

###### T-P

①T-P の初期濃度は 7.501 mg/ℓ、実験終了時の濃度は 5.277 mg/ℓ で 19 日間における T-P の除去率は 20.4%の低値にとどまった。

②除去速度は、供試液の T-P 濃度が 7.501～5.940 mg/ℓ の範囲では 0.139～0.039g/m<sup>2</sup>・日であったが、実験後半の T-P 濃度 5.847 mg/ℓ 以下では負の数値が混在したので、りんはほとんど除去されなかったと思われる。

今後は残された春期の実験を実施し、キショウブを水耕法で植栽した人工水路における窒素、りんの通年の除去特性をまとめる予定である。

#### 引用文献

- 1)キショウブによる水質浄化法－実験報告書－横浜市環境科学研究所資料 N0111, 17, 18(1994)
- 2)キショウブによる窒素・りんの除去速度と原水濃度（第1報）横浜市環境科学研究所報第20号 44(1996)
- 3)同上
- 4)同上, 45(1996)
- 5)キショウブによる水質浄化法－実験報告書－横浜市環境科学研究所資料 N0111, 103(1994)

# 有機塩素化合物で汚染された井戸水の吸着浄化実験

大場 栄次\*, 石崎 信男\*\*

## 要 旨

フェルト状活性炭繊維を吸着材に使用した地下水浄化装置を製作し、テトラクロロエチレン等で汚染された民家の井戸に設置して吸着浄化実験を行った。

都筑区I町の汚染井戸では、実験当初のPCE濃度が0.21mg/lであったが、延べ275日間に11m<sup>3</sup>/日程の通水量で、約2KgのACフェルトを5回の更新に分けてPCE等の連続吸着を行ったところ、0.031mg/lの濃度まで81%減少した。また、近くの湧出池も、実験当初に0.20mg/lであったPCE濃度が275日後には0.061mg/lの濃度まで70%の減少になった。

鶴見区K町の汚染井戸では、実験前のPCE濃度が0.51mg/lであったが、都筑区の浄化装置を改良した装置に560gのACフェルトを充填して、15m<sup>3</sup>/日程の通水量で連続吸着を行ったところ、実験開始から19日間経過後に0.016mg/lのPCE濃度まで97%減少した。

## 1. はじめに

清浄な地下水は、快適な環境を創造するための重要な環境資源の一つであり、また、災害時においては住民の緊急な用水として非常に貴重である。そのため、地下環境の保全及び回復に努めることが大切である。

現在、都市域の地下水の状況は、電子部品製造やドライクリーニングなどの事業場で使用されている、有機塩素化合物による地下水汚染が多く、多くの地域で顕在化している。その中で、一般家庭の井戸は地下浅層部の帯水層から取水利用していることが多い。

当研究所では、平成元年度から既設の井戸で定期的に水質調査を実施してきた。それによると、調査した井戸ではテトラクロロエチレン（以下PCEで表す）の検出割合が高く、しかも、検出されたうちの多くが水道水の飲料水基準値（0.010mg/l）を上回る結果となっている。また、汚染源から地下水の流れに沿って有機塩素化合物が拡散移動する場合、これらの物質が水への溶解性が低いことと地下水の動きが緩慢であるため、特に、難透水層が分布している地域では汚染物質が同じところに停滞しやすいという結果も得られている。(7), (8), (9)

PCE等で汚染された井戸水の浄化には、曝気や微生物による方法などが提案されているが、前者は汚染物質の大気揮散と設備投資の膨大化が懸念され、後者は処理効率が低いなどの問題が考えられる。(13), (14), (15), (18), (20) このような中で、簡易な設備で維持管理がしやすい処理方法を目指して、簡易浄化器などを使用した実用化に向けた検討を重ねてきた。(1), (2), (5), (6)

実験では、主にガス状有機溶剤の吸着に用いられているフェルト状活性炭繊維（以下ACフェルトで表す）を使用した小型浄化装置を製作し、PCE等で汚染された地域の井戸に設置して、井戸水中からの有害物質（PCE等）の吸着実験を行った。

なお、今回は、前回報告した都筑区（旧緑区）の実験の継続結果<sup>(1)</sup>

と、新たに実験を開始した鶴見区K町の実験結果を合わせて報告する。

## 2. 適用吸着材

吸着材の中で、ACフェルトは、物質を吸着するための細孔（ミクロポア）が繊維の表面に露呈しており、同質量で外表面積が粒状活性炭の200倍程度あるため、分子量の大きいPCE（有機塩素化合物中）には吸着速度と吸着容量が優れている。1gのACフェルトで約17mgの水中のPCEを吸着することが今までの実験結果から得られている。(6)

これに比較して、粒状活性炭は、細孔の大半が粒体の中間孔（マクロポア）の奥に存在するため、分子が拡散して細孔に吸着されるまで中間孔等を通過する分、ACフェルトより吸着速度が遅いことが理解できる。(3), (4)

このことから、ACフェルトは、小規模な設備で有機塩素化合物汚染水等の浄化に適しているといえる。また、この場合、容易な維持管理で経済的に運用できる。

ACフェルトと粒状活性炭の細孔モデル図を図-1に示す。

## 3. 実験方法

### 3-1 PCEの分析方法

PCE濃度をECD検出器付ガスクロマトグラフで定量した。

検量線用のPCE標準溶液はn-ヘキサン1mlにPCEが1mg溶解した水質試験用標準原液（アンプル封入の市販品）を適宜n-ヘキサン（水質試験用を使用、以下同じ）で希釈して、ガスクロマトグラフに注入して定量できる濃度に混合調製した。このときのPCE濃度は0.020mg/lである。

この溶液2μlをガスクロマトグラフに注入して、得られた成分ピークから絶対検量線法で試験水の濃度を求めた。

An Experimental Adsorption of Chlorinated Volatile Hydrocarbons in well water using Activated Carbonfiberfelt.

\* Eiji Ohba, 横浜市環境科学研究所水質部門

\*\*Nobuo Ishizaki, 東洋紡績株式会社AC技術センター

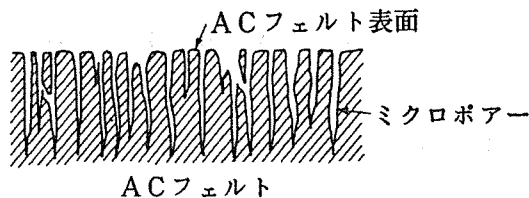


図-1 細孔モデル図

### 3-2 吸着浄化方法

#### 3-2-1 浄化装置の製作

都筑区I町に設置している浄化装置(以下I装置で表す)の説明は前回の報告で行っているため省略する。(1)

鶴見区K町に設置した浄化装置(以下K装置で表す)を図-2に示す。

当研究所でI装置の構造を基に改良箇所的设计を仕直し、塩化ビニール板を使用して株式会社離合社で製作した。

現在まで使用しているI装置の問題箇所を以下に述べる。

#### (1) I装置の問題箇所

4層で構成されている吸着層のうち、通水順から2層と3層目のACフェルト充填層は水の重力通水によるため多量のACフェルトが充填できず(100g以下)、この層での吸着力があまり期待できない。安価で電力消費が少ない揚水ポンプを用いたが、揚呈が1mの仕様で揚水力が小さい。ポンプのインペラーが小型のため水を押し込む力が小さく、また、ポンプのインペラーの回転軸がベアリング仕様でないため摩耗が激しい。以上の機能の問題が指摘できたためK装置の製作ではこれらの改良を行った。

#### (2) K装置の構造と仕様

I装置と同じ容積で、吸着層をA、Bの2層に変更して1層でのACフェルト充填量を増やし、吸着容量と吸着速度を強化させた。K町の井戸はI町の井戸に比べて水位と水深があり、さらに、井戸の真上に装置の設置が不可能で離れた場所に置かざるを得なくなったため、井戸水面と浄化装置との揚程差とその距離が大きくなりI装置仕様の揚水ポンプでは井戸水の揚水が不可能となった。そこで、揚水ポンプも揚呈が3m仕様のものに変更して揚水力を強化させた。

吸着行程は、装置内で処理水と空気の接触が少なくなるように、最初の未処理水をA層の下方から揚水ポンプで圧力通水して吸着材と接触させ、仕切り板をオーバーフローした処理水がB層に流れ込むようにした。

充填層の下の部分には、塩化ビニール板(丸穴格子付き)で吸着材を固定するための仕切り板を取り付けた。さらに、通水時の水流圧で吸着材がA層からはみ出ないように押さえるための、取り外しできる同じ塩化ビニール板を1枚用意した。

製作終了後仮通水試験を行ったところ、通水量が多いため仕切り板からB層にオーバーフローした水から多少の気泡が発生した。

処理水の排出口は、処理水を放流できる場所がないので循環方式に限定してB層の下部に1個付けた。装置の蓋は内部の気密を保てるように製作した。

揚水ポンプの仕様はAC-100V-50Hz、1A-40W、3m揚程で毎分18ℓである。

#### 3-2-2 装置の設置場所

##### (1) 都筑区I町について

都筑区I町は前回報告しているため説明は省略する。(1)

##### (2) 鶴見区K町について

鶴見区K町は、発生源(事業所等)が特定できない以前からのPCE等の汚染地域である。

今回新たに実験した井戸は、鶴見区K町にあるS宅の井戸で、国道1号線と並行した県道を挟んで地下水の涵養帯になる尾根状の山が両側に形成され、県道から20m程入った国道1号線側の山裾に位置する。この井戸の周辺には、他にも6箇所のPCE等の汚染井戸があり、特に実験の井戸はPCE濃度が高い。ここの井戸水は当研究所で毎月モニタリング調査を実施しており、平成6年10月から8年6月までの間に、PCEが0.40mg/ℓから0.62mg/ℓの範囲で検出されている。

井戸の様子は、地表から井戸蓋まで20cm、井戸の内径が90cm前後、採孔部から重石をつけたロープを落として計測したところ、井戸蓋からの水位が90cm、水深が266cmあり、井戸水の容積は1.7m<sup>3</sup>程度であった。

#### 3-2-3 装置の設置状態

鶴見区K町での浄化装置の設置状態を図-3に示す。緑区I町の設置状態の説明は省略する。(1)

鶴見区K町では、井戸から3m程離れた場所に塩化ビニール製のパイプと板で装置固定用のアングルを製作して、その上に浄化装置と揚水ポンプをネジ止めた。揚水ポンプと周辺の電気配線には天候の変化に対処できるように塩化ビニール板枠で四方を囲い、覆い用の天板は放熱性を考慮しながら横方向からの風雨でも内部に悪影響が出にくい底構造にした。

電源は仮設電源工事を行って電力を供給した。仮設電柱の配電盤に2個のブレーカーを付け、事故発生時における安全対策を施した。給水構造は、ストレーナーを井戸底から50cm上の位置に決めて、15mmφの塩化ビニール管を3mの長さに繋ぎ合わせて井戸蓋まで立ち上げた。これで、吸水口が水面下2mにあるため大幅な水位変化があっても揚水に支障がない。次に、揚水管を井戸蓋から90度方向変換して浄化装置の近くまで地中に埋設した。装置の近くで再度揚水管を地中から立ち上げ、揚水ポンプに接続した。ポンプから浄化装置の通水口まではビニールホースで接続した。

排水経路は、装置の排水口と地中から立ち上げた排水用の塩化ビニール管までビニールホースで接続し、ここから井戸蓋まで揚水管と同じに排水管を地中に埋設した。井戸蓋から下方へは1.5mの長さの塩化ビニール管を繋ぎ、排水口も60cm程水面下の位置にして処理水が井戸水中に直接流入するようにした。

処理水は外部から通水力が加わらないため、排水管には径に余裕を持たせて25mmφの太さにした。

#### 3-2-4 ACフェルトの充填方法

K装置では、20cm幅に裁断した乾燥ACフェルトを、浄化装置のA層のみにポンプの圧力による通水のため560gを充填した。B層は水の重力圧での通水であり、排水経路も非直線的でオーバーフローする可能性が考えられたためACフェルトの充填を控えた。

### 3-2-5 試験水の採水と処理水量

鶴見区K町の分析する試験水は井戸水、処理水とした。

井戸水は、既設の揚水ポンプと連結した蛇口から2~3分井戸水を放出した後、気泡が発生しないように100ml容量の細口褐色瓶に入れ密栓し、保冷剤を入れた発泡スチロール製のクーラーボックスに収納し試験室に搬入して即日分析とした。

処理水は、装置の排水口に繋いであるビニールホースを外し、排水口から直接採水瓶に採水した。その後の手法は井戸水の試験方法に準拠した。この時、排水口からの処理水をポリバケツ(16ℓ)に入れてから水が溢れるまでの時間を計測して24時間の処理水量に換算した。

## 4. 結果と考察

### 4-1 都筑区I町での実験結果

275日間における井戸水、池水、処理水のPCE濃度変化と通水量を、月平均でまとめた結果を表-1と図-4に示す。吸着処理

前(平成7年7月12日)のPCE濃度を起点として吸着処理中の経月での減少率を表-1に示す。

#### (1) ACフェルト吸着浄化装置の効果

井戸水の濃度変化に追従するように池水の濃度が変化していることから、周辺の浅層地下水中でPCEの移動が盛んに行われていることが予想される。実験井戸から一部の井戸水が池へ流入し、さらに池水の濃度変化に影響を与えたことも考えられる。

ACフェルトの使用限度の確認は、今回の報告では掲載していないが、1週間に1回観察している井戸水、処理水、池水のPCE濃度が近似した時の値で飽和状態と判断した。初回のACフェルト充填での通水日数は434gを使用して49日間、2回目の充填では555gで53日間、3回目は454gで58日間、4回目は267gで63日間であった。5回目は266gで52日間である。

後半の吸着材更新で、ACフェルト充填量に対して通水処理日数が長い理由は、井戸水中のPCE濃度が低くなっているため濃度平衡に達するまで長期間を要したためである。

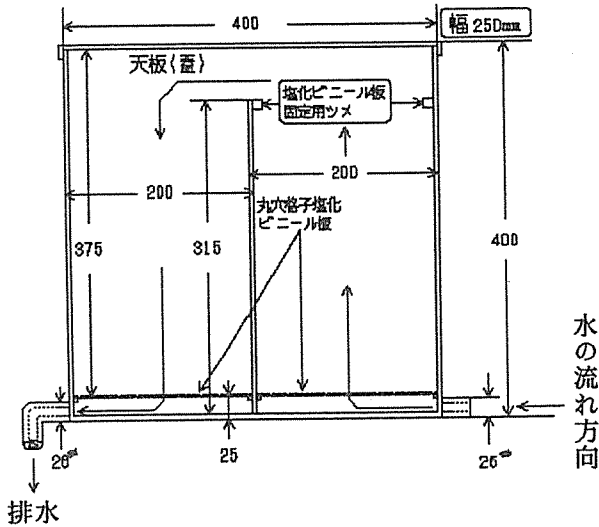


図-2 K吸着浄化装置の断面図(単位=mm)

表-1 I町の各実験水のPCE濃度変化と減少率

調査月	PCE濃度変化(mg/ℓ)				減少率(%)	
	通水量	井戸水	池水	処理水	井戸水	池水
開始時	13.3	0.21	0.20	ND	0	0
7年7月	12.8	0.076	0.19	0.017	64	5.0
8月	11.5	0.090	0.12	0.064	58	38
9月	10.2	0.048	0.10	0.026	78	49
10月	17.1	0.084	0.095	0.046	61	51
11月	10.5	0.064	0.075	0.039	70	61
12月	10.5	0.063	0.066	0.029	71	66
8年1月	10.0	0.057	0.056	0.051	73	71
2月	10.1	0.059	0.047	0.032	72	76
3月	9.15	0.031	0.061	0.018	81	70

※開始時の各結果は、井戸水と池水が実験開始直前の値で処理水と通水量は実験開始2時間後の値を表し、NDとは検出限界以下(検出限界=0.0005mg/ℓ)の意味で、通水量はm<sup>3</sup>/日を表す。

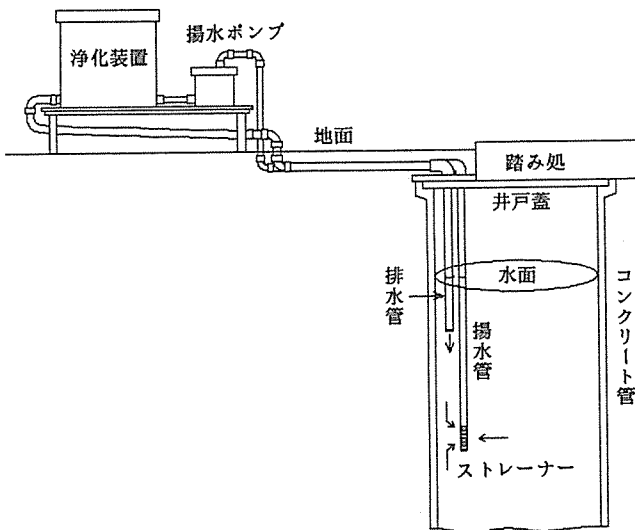


図-3 浄化装置の設置状態(鶴見区K町)

表-2 K町の実験水のPCE濃度変化と減少率

調査月	PCE濃度変化(mg/ℓ)			減少率(%)
	通水量	井戸水	処理水	井戸水
7月12日	-	0.51	-	-
12日	15.1	0.23	0.0047	55
17日	11.1	0.092	0.0018	82
24日	15.0	0.018	0.0059	96
31日	15.0	0.016	0.012	97
8月7日	15.2	0.021	0.014	96
28日	15.1	0.025	0.022	95
9月4日	15.2	0.049	0.024	90
11日	15.4	0.027	0.026	95
19日	14.9	0.032	0.031	94
25日	15.1	0.035	0.034	93

※7月12日は吸着開始直前の濃度で12日は吸着開始2時間経過を表し、通水量はm<sup>3</sup>/日を表す。減少率は7月12日の濃度を起点にした。

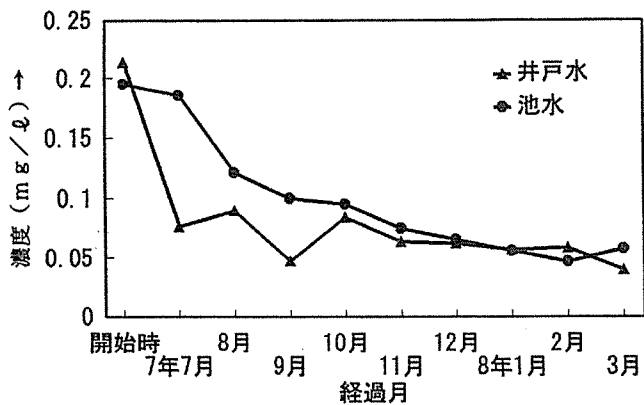


図-4 I町実験井戸のPCE濃度変化

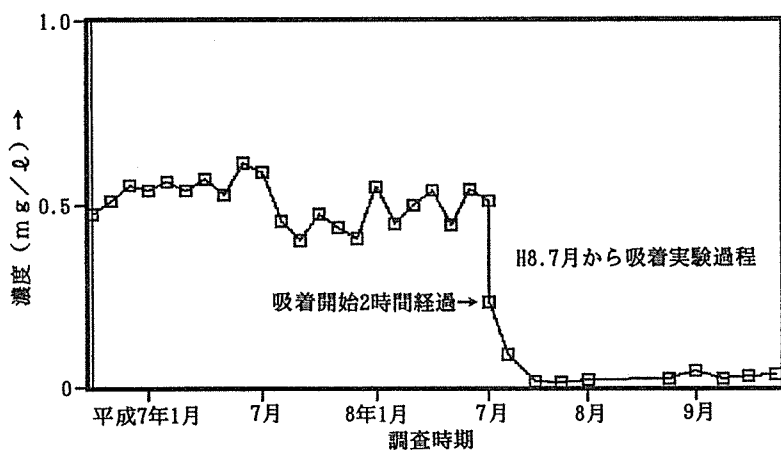


図-5 K町実験井戸のPCE濃度変化

このことから、この地区の浅層のPCE汚染地下水を、400g程度のACフェルトを使用した循環吸着浄化の場合、11m<sup>3</sup>/日程度の通水量で7~9週間の連続吸着が可能になったことがわかった。また、延べ275日間の実験経過から、吸着開始直前のPCE濃度から井戸水が81%、池水が70%減少した結果になった。

実験井戸近くにある湧出池は、容積が4.6m<sup>3</sup>程度あり排水口で湧出水量を測定したところ約8m<sup>3</sup>/日あった。池水のPCE濃度は平成6年2月から7年6月までの月毎の調査から0.21~0.17mg/lの範囲で検出されている。池の場合は井戸と異なり、水面が外気と多く接触しているため揮発性のあるPCEが揮散しやすい条件にあるが、PCEを含んだ湧出水が絶えず流入しているためモニタリング期では変動の少ない濃度値になっている。また、池の縁はコンクリート壁で仕切られているが、崩壊部分があり地肌に接触した部分が多く周辺の地下水の影響を受けやすい構造になっている。このため、井戸周辺の地下水が改善されると、池の水も井戸水の水質変化に追従する結果になったと考える。

#### 4-2 鶴見区K町での実験結果

実験井戸の、浄化実験を始めた7年7月12日から9月25日までの井戸水と処理水のPCE濃度変化と通水量を表-2と図-5に示す。まお、平成6年10月から8年6月までの月毎のモニタリングによるPCE濃度を図-5に示す。

実験開始前に0.51mg/lであった井戸水のPCE濃度が、吸着開始から19日間経過した7月31日の採水時に、最も低い濃度の0.016mg/lを示して97%の減少値になった。その後も井戸水のPCE濃度を1週間毎に観察しているが9月4日時点で0.049mg/lの濃度まで上昇した。同時点で、処理水の濃度が0.024mg/lになった。その1週間後、再度0.027mg/lまで減少して3週間の後までは0.03mg/l程度のPCE濃度になっている。これに比べ、処理水のPCE濃度は7月17日時点で0.0018mg/lと最も低くなって、その後は徐々に上昇してきた。9月11日時点から井戸水と処理水の濃度が一致して、双方の濃度に上昇の傾向がみられる。

この結果から、ACフェルトは9月11日時点でPCEの吸着容量が飽和状態になったが、上昇傾向が緩やかでまだ吸着効果があるものと考えられるため、9月25日以降も吸着材の更新は行わず、吸着実験を継続して井戸水と処理水のPCE濃度変化をみている。

以上の結果から、浄化井戸周辺の帯水層から濃度平衡によって実験井戸にPCEが移動流入していることが予想できる。また、この現象を利用することで、周辺の浅層汚染地下水の水質改善が期待できる。

都筑区と鶴見区の浄化実験経過を照合すると、鶴見区の実験井戸では吸着前のPCE濃度が高い(都筑区の2.4倍)にも拘らず、吸着過程で最も減少した濃度が都筑区の実験井戸より低くなり(約1/2)、装置の仕様を変更したことで浄化効率が向上した結果になった。このことから、ACフェルトの充填量より揚水ポンプの仕様がPCEの濃度減少に大きく影響することがわかった。これと同時に、PCE濃度と通水量が増加しても吸着効率が低下しないことからACフェルトの吸着速度が相当に早いことも実証された。

## 5. おわりに

セルロース繊維を原料としたACフェルトは、他の吸着材に比較して繊維構造のため外表面積が大きく孔径が細孔であり、迅速かつ大量の水処理に適する長所を持つ吸着材といえる。

ACフェルトに吸着しやすい物質には石油系炭化水素やハロゲン化炭化水素、エステル類、エーテル類、アルコール類などがあるが、現在での井戸水調査ではハロゲン化炭化水素系のPCE等の含有が主で、濃度も1mg/l以下のところが多いため2ヶ月程度の使用に支障がなかったものとする。従って、今回の実験で7~9週間の連続使用ができた一因に井戸水の性状とPCE濃度があげられる。

ACフェルトは熱窒素気流下で活性化(脱離作用)を施せば再利用できる利点がある。このとき、同時に有機塩素化合物の分解も行われる。また、焼却処分すれば再利用は不可能になるが環境への適切な処理となる。

今回の実験結果から、ACフェルトを用いた循環吸着処理方法を、PCE等で汚染された浅層地下水の浄化対策の一つとして利用できるものとする。また、地下水浄化対策の効果をみるためには、汚染源と地下環境の複雑な関係があるため継続したモニタリング調査も重要である。

今後は、処理効果を向上させるための浄化装置の構造の改良や、処理水の放流方法による違いなどの検討を行い、さらに効率のよい

地下水浄化対策が行える手法を確立して行きたい。

## 参考文献

- (1) 大場 栄次:井戸水に溶解したテトラクロエチレンのフェルト状活性炭による吸着実験, 横浜市環境科学研究所報, 20, 37-41(1996).
- (2) 大場 栄次:テ-マ7・井戸水に溶解した有機塩素化合物(テトラクロエチレン)の吸着実験, 環境公害研究合同発表会・講演要旨集(神奈川県市環境・公害研究機関協議会), 20, 27-30(1996).
- (3) 東洋紡績株式会社:KF 装置技術資料, Kフィルタ-溶剤回収装置の特徴と実際例.
- (4) 石崎 信男:活性炭素繊維の特性と応用, 科学と工業, 59(5), 171-178(1985).
- (5) 大場 栄次, 悪七 由美子:水中に溶解したテトラクロエチレンのフェルト状活性炭による吸着実験, 横浜市環境科学研究所報, 18, 87-9 (1994).
- (6) 大場 栄次:水中に溶解したテトラクロエチレンのフェルト状活性炭による吸着実験(Ⅱ), 横浜市環境科学研究所報, 19, 127-131(1995).
- (7) 大場 栄次, 二宮 勝幸, 酒井 学, 若林 信夫, 悪七 由美子:穿孔採水による低沸点有機塩素化合物の地下水調査方法, 横浜市環境科学研究所報, 16, 99-104(1992).
- (8) 大場 栄次, 若林 信夫, 成田 政義:エソゾ付オーガ-の開発, 横浜市環境科学研究所報, 17, 163-165(1993).
- (9) 大場 栄次, 二宮 勝幸, 酒井 学, 若林 信夫, 悪七 由美子:横浜市における低沸点有機塩素化合物の地下水調査, 横浜市環境科学 研究所報, 16, 87-97(1992).
- (10) 山本 莊毅:地下水探査法, (改訂増補)株式会社地球社.
- (11) 村岡 浩爾:地下水-その現状を探る, 公害と対策, 23(10) 920-926(1987).
- (12) 中杉 修身:地下水への汚染物質侵入の機序, 公害と対策, 23(10) 941-946(1987).
- (13) 有機塩素系溶剤による地下水汚染について:(社)日本水質汚濁研究会-関東支部, (社)日本水質汚濁研究会関東支部講演会講演要旨集(1991).
- (14) 常盤 寛:テトラクロエチレンの分解細菌, 水, 495, 24-27(1993).
- (15) 横浜市環境保全局(1993), 有機塩素系溶剤の対策技術:排水処理技術講演集 9.
- (16) 先崎 哲夫:有機塩素化合物汚染地下水の処理, 資源環境対策, 1417-1422, Vol. 30No. 15(1994).
- (17) 平田 健正:土壌地下水汚染の浄化技術の現状と課題, 水環境学会誌, 86-90, Vol. 17 No. 2(1994).
- (18) 石崎 信也:熊本市における地下水汚染とその対策について, 水環境学会誌, 91-95, Vol. 17 No. 2(1994).
- (19) 岡村 和雄, 吉田 克彦, 平野 浩二, 井口 潔, 伊藤 公紀, 村林 眞行, 曝気法と気相光反応の組合せによる水中トリクロエチレンの分解処理, 水環境学会誌, 270-275, Vol. 17 No. 2(1994).
- (20) 徳永 隆司, 永淵 義孝, 田上 四郎, 世良 暢之, 北森 成治, テトラクロエチレン 分解菌の分離と諸特性, 水環境学会誌, 679-685, Vol. 17No. 2(1994).

# 都市河川における河床汚濁物質の動態調査（第5報）

—大岡川—

小市 佳延\*, 福嶋 悟\*, 初貝 留美\*

## 要 旨

横浜市内の中小河川の中では比較的清潔な大岡川において、河床の沈降物、堆積物、付着物および底質の動態を夏～冬季に調査した。その結果、夏季は付着物中の有機物に藻類の占める割合は35～98%と高いものの、栄養塩濃度が低いために他の河川のような100%を大幅に越える値はみられなかった。冬季の沈降物、堆積物および付着物は蓄積速度が小さく、またChl. a が平均で0.92～1.5mg/gと高かったが、これはミズワタの繁殖が少ないためと思われた。有機物分解の進行度を示すC/N値は、底質では20以上の高い値がみられ、排水の影響の少ないかなり分解の進んだ自然界の底質と思われた。

## 1. はじめに

著者らは既報<sup>1-4)</sup>において、横浜市内のいくつかの代表的な都市河川について河床汚濁物質の動態を報告した。これらの河川水質は比較的有機汚濁度が高いところであった<sup>5, 6)</sup>。このような河川の河床では有機物の蓄積量が大きく、夏季は付着藻類、冬季はミズワタ等の細菌類の繁殖がみられた。

一方、市街地でも流域における早い時期からの下水道普及により、家庭排水等があまり流れ込まない比較的汚濁の少ない河川がある。また現在、郊外の下水道普及により市内河川の水質は良好になりつつある。

今回、水質浄化対策によって市内河川がきれいになったときの河床状態を類推するために、また他の河川の結果と比較するために、大岡川において調査を行った。日照条件等の異なる2地点において河床の汚濁物質として沈降物、堆積物、付着物および底質の各試料を採取し、それらの性状や相互関係について検討したところ、若干の知見が得られたので報告する。

## 2. 調査方法

### 2-1 調査地点

調査地点である大岡川の概略図を図-1に示す。大岡川は横浜市南部の水取沢に源を発し、日野川と合流後、下流で再び3方向に分かれ、みなとみらい21地区や山下埠頭で横浜港に、また八幡橋で根岸湾に注ぐ全長15kmの二級河川である。源流域を除いて流域は市街地となっているものの、ほとんどが下水処理区のために水質は市内河川の中では良好である。

調査地点付近は左右を高さ約4mのほぼ垂直なコンクリート護岸で囲まれており、川幅は約6mある。上流側のO-1は水深7～12cm、流速10～25cm/secの瀬であり、河床は礫質で構成され、日当りの良い地点である。そこから100m下流で支流の左右手川と合流した後に、堰によって形成された水深約60cmの淵となる。下流側のO-2はその堰より約60m下流の瀬で、水深10～20cm、流速8～20cm/sec、河床は岩盤で構成されている。上方には竹林や大木が繁茂しており、日当りは悪い。

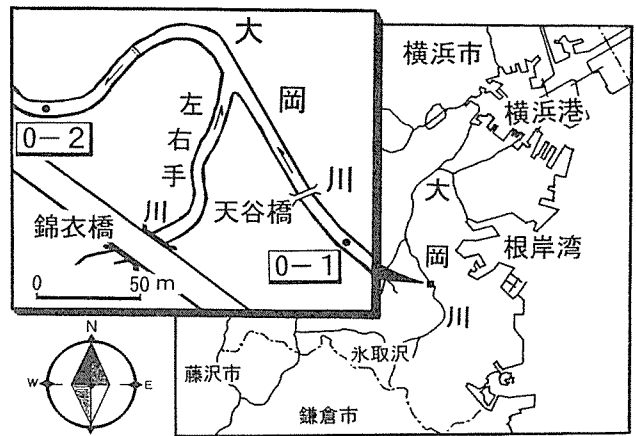


図-1 調査地点概略図

### 2-2 調査期日および項目

調査は夏、秋および冬毎に行い、それぞれ3～4日間程度捕集用トラップおよびレンガを設置し、これを3～4回繰り返した。詳細な期日を以下に示す。

[夏] ①1994年8月26日～30日, ②9月2日～5日, ③5日～8日, ④8日～12日

[秋] ①1994年11月21日～24日, ②24日～28日, ③28日～12月1日

[冬] ①1995年2月17日～21日, ②21日～24日, ③24日～27日

調査期間中の横浜地区の降水量<sup>7)</sup>は秋季の第1期に20mm、冬季の第3期に8mmであった。なお、底質は原則として各季節毎の初期と終期に採取した。試料の採取方法や、測定項目および分析方法については前報<sup>1)</sup>のとおりである。

## 3. 結果と考察

### 3-1 汚濁状態の特徴

沈降物、堆積物、付着物および底質の測定結果を表-1に、結果の一部を図-2～5に示す。

#### 3-1-1 沈降物

蓄積速度は夏季が上流のO-1で122～266 g/m<sup>2</sup>・dayと高いのが

表-1 大岡川における測定結果(平均値±標準偏差)

(a) 沈降物								
季節	地点	蓄積速度(g/m <sup>2</sup> ·day)	密度(g/ml)	IL (%)	T-C(mg/g)	T-N(mg/g)	T-P(mg/g)	Chl. a(mg/g)
夏	0-1	205 ± 62	2.35 ± 0.05	18.5 ± 1.5	85.0 ± 13.4	9.47 ± 1.43	3.49 ± 0.83	1.48 ± 0.45
	0-2	78.4 ± 11.8	2.34 ± 0.08	19.4 ± 3.5	81.2 ± 15.2	10.3 ± 2.13	3.10 ± 0.58	1.31 ± 0.39
秋	0-1	649 ± 906	2.51 ± 0.28	17.7 ± 10.9	61.6 ± 38.9	7.26 ± 4.81	2.22 ± 1.27	0.493 ± 0.417
	0-2	141 ± 168	2.39 ± 0.19	17.7 ± 7.5	73.7 ± 32.6	8.26 ± 4.46	2.26 ± 1.10	0.317 ± 0.253
冬	0-1	13.7 ± 13.3	2.08 ± 0.02	36.2 ± 4.6	140 ± 23	18.5 ± 3.6	4.49 ± 0.88	1.54 ± 0.40
	0-2	52.1 ± 63.6	2.15 ± 0.12	27.9 ± 5.0	137 ± 37	20.2 ± 6.6	4.65 ± 1.27	1.53 ± 0.33
(b) 堆積物								
季節	地点	蓄積速度(g/m <sup>2</sup> ·day)	密度(g/ml)	IL (%)	T-C(mg/g)	T-N(mg/g)	T-P(mg/g)	Chl. a(mg/g)
夏	0-1	13.3 ± 3.0	2.36 ± 0.03	17.4 ± 1.3	99.4 ± 9.5	9.72 ± 1.43	2.45 ± 0.33	1.52 ± 0.33
	0-2	10.5 ± 4.6	2.40 ± 0.09	15.0 ± 2.8	74.3 ± 19.1	10.0 ± 3.3	2.15 ± 0.63	1.10 ± 0.37
秋	0-1	1.76 ± 0.18	2.30 ± 0.14	17.3 ± 4.4	74.6 ± 22.8	9.70 ± 3.55	3.32 ± 0.94	0.813 ± 0.632
	0-2	3.50 ± 1.71	2.48 ± 0.13	11.1 ± 3.9	51.2 ± 22.4	6.23 ± 3.35	1.55 ± 0.78	0.473 ± 0.477
冬	0-1	1.69 ± 0.62	2.06 ± 0.15	24.9 ± 5.1	118 ± 27	16.3 ± 3.8	4.70 ± 0.84	1.44 ± 0.61
	0-2	3.18 ± 0.99	2.29 ± 0.10	16.3 ± 4.5	80.2 ± 21.0	11.1 ± 4.0	2.63 ± 0.85	0.924 ± 0.448
(c) 付着物								
季節	地点	蓄積速度(g/m <sup>2</sup> ·day)	密度(g/ml)	IL (%)	T-C(mg/g)	T-N(mg/g)	T-P(mg/g)	Chl. a(mg/g)
夏	0-1	1.82 ± 0.76	2.11	31.8 ± 4.0	157 ± 20	20.7 ± 3.5	3.88 ± 0.50	2.70 ± 0.60
	0-2	1.07 ± 0.27	2.26 ± 0.02	26.4 ± 4.5	121 ± 22	19.3 ± 3.6	3.49 ± 0.61	3.10 ± 0.54
秋	0-1	0.644 ± 0.141	2.10 ± 0.53	25.1 ± 5.3	111 ± 36	15.4 ± 5.7	3.88 ± 1.22	0.880 ± 0.444
	0-2	0.853 ± 0.307	1.99 ± 0.22	22.5 ± 4.5	111 ± 22	16.5 ± 3.7	2.87 ± 0.76	0.496 ± 0.345
冬	0-1	0.594 ± 0.187	1.96	30.9 ± 7.4	151 ± 32	21.5 ± 5.9	4.91 ± 0.73	1.18 ± 0.77
	0-2	1.49 ± 1.01	2.13 ± 0.06	22.3 ± 5.6	118 ± 30	18.4 ± 5.4	3.49 ± 1.04	1.15 ± 0.58
(d) 底質								
季節	地点	Eh(mV)	密度(g/ml)	IL (%)	T-C(mg/g)	T-N(mg/g)	T-P(mg/g)	Chl. a(mg/g)
夏	0-1	403 ± 44	2.77 ± 0.01	2.6 ± 0.3	8.81 ± 2.46	0.443 ± 0.302	0.405 ± 0.340	0.040
	0-2	418 ± 21	2.73 ± 0.04	2.4 ± 0.5	5.56 ± 1.96	0.214 ± 0.076	0.214 ± 0.076	0.004
秋	0-1	478 ± 14	2.95 ± 0.18	1.7 ± 0.9	3.51 ± 2.11	0.196 ± 0.071	0.196 ± 0.071	0.003 ± 0.002
	0-2	449 ± 45	2.84 ± 0.04	1.7 ± 0.2	2.94 ± 1.72	0.177 ± 0.001	0.177 ± 0.001	0.002 ± 0.000
冬	0-1	486 ± 10	2.80 ± 0.02	2.4 ± 0.0	5.65 ± 0.70	0.601 ± 0.038	0.601 ± 0.038	0.041 ± 0.013
	0-2	496 ± 0	2.73 ± 0.04	2.4 ± 0.7	3.72 ± 1.37	0.284 ± 0.065	0.284 ± 0.065	0.006 ± 0.002

認められる。秋季の第1期は降雨の影響で蓄積速度が大きく、特に上流の0-1では1930 g/m<sup>2</sup>·dayと顕著である。それにくらべて下流の0-2の値が低いのは直前の堰によって流下物が沈殿したためと思われる。逆に、晴天時期の第2, 3期は蓄積速度が小さい。冬季は降雨のあった第3期にやや大きいものの、平均値は夏・秋季の2/3~1/50と小さい。

IL等の濃度項目の値は秋期の降雨のあった第1期は低く、夏季平均値の1/3~1/200となっている。秋季第2, 3期のIL等の濃度は夏季と同程度であるが、このうちChl. aは夏季の約1/2と低いのが認められる。冬季のILは30%前後であり、夏・秋季の2倍近く高い。他の濃度項目も同様だが、このうちChl. aは夏季と同じ程度となっているのが認められる。

以前調査した他の河川<sup>1-3)</sup>と比較すると、冬季の蓄積速度については他の河川では200 g/m<sup>2</sup>·day以上であるのに対し、大岡川では4~140 g/m<sup>2</sup>·dayと小さいのが特徴的である。大岡川のILは天候の安定する夏・冬季の場合、和泉川(淵)が大岡川の2倍近くあるのを除けば、瀬である他の鶴見川、鳥山川、和泉川(瀬)とほぼ同じである。大岡川のChl. aは夏季の場合、0.7~2.0 mg/gであり、鳥山川の3 mg/g前後には及ばないものの、鶴見川や和泉川の0.5~1.3 mg/gと同じ程度である。冬季になると他の河川ではChl. aが0.2 mg/g以下に下がるのに対し、大岡川では夏季と変わらず、高い値を維持している。

### 3-1-2 堆積物

蓄積速度は夏季が12 g/m<sup>2</sup>·day前後に対し、秋・冬季はその1/3以下と小さい。ILやChl. a等は冬季がやや高いものの、3季節ともほぼ同じであるのが認められる。地点別では蓄積速度の場合、夏季に上流の0-1の方が下流の0-2より大きいのが、秋・冬季は逆に下流の方が大きい傾向にある。IL, T-C, Chl. a等の濃度は3季節とも

上流の0-1の方が高い。もっとも、それぞれの蓄積速度に換算すると、堆積量の多かった夏季だけ0-1が0-2の2倍程度の値となるが、秋・冬季は0-1, 2ともほぼ同一の値となり、地点差はみられない。

他の河川での蓄積速度の値は和泉川(淵)が最も大きく、平均値で14~67 g/m<sup>2</sup>·dayである。最も小さい河川は和泉川(瀬)で、4~7 g/m<sup>2</sup>·dayであるが、この値を大岡川は夏季に上回るものの、秋・冬季はその1/2程度となる。ILは夏季には15%前後の鶴見川と同程度、他の河川の1/2~1/3である。Chl. aはどの河川でも夏季に高く、鳥山川や和泉川では2~8 mg/gとなるが、大岡川では1.3 mg/g前後でその後に続く。冬季になると今までの河川ではChl. aの値が大幅に下がっていたが、大岡川ではそれほどではなくて1.2 mg/g前後であり、これは冬季に最も高い和泉川(瀬)と同じ程度である。

### 3-1-3 付着物

蓄積速度は、上流の0-1では夏季に約2 g/m<sup>2</sup>·dayとなり、下流の0-2とはおよそ2倍の開きがあるのに対し、秋・冬季は逆転し、その1/3程度まで低下する。一方、0-2では季節による変化は小さく、降雨のあった時期を除けば0.9 g/m<sup>2</sup>·day前後であるのが認められる。ILは14~38%であり、秋季にやや低くなる傾向がみられる。また、下流の0-2の方が0-1より低いのが認められる。Chl. aは季節の中では夏季が3 mg/g前後と高く、しかも下流の日当りの悪い0-2の方が日当りの良い0-1より高いのが認められる。これは上流側の蓄積速度やILが大きいことからわかるように、0-1では付着藻類以外の有機物が多いためによるものと思われる。Chl. a蓄積量に換算すると上流の0-1が0-2を上回る。

他の河川での付着物は、淵では和泉川(淵)にみられたように蓄積速度やILがきわめて高く、Chl. aが低い。瀬ではChl. aが高くなり、このうち蓄積速度やIL等は鳥山川が最も大きく、鶴見川、和泉



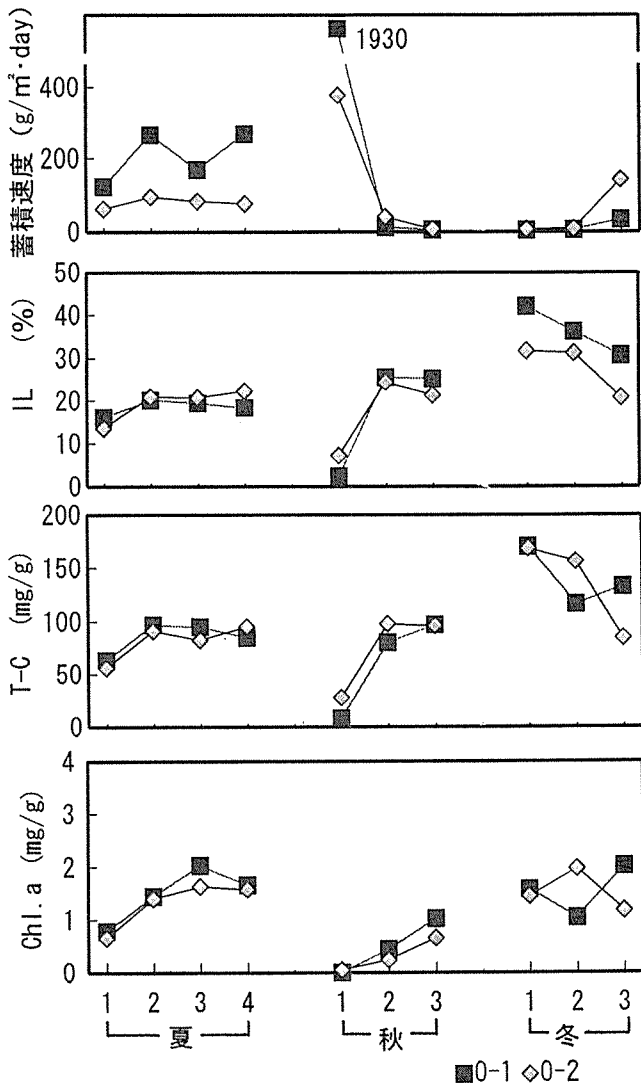


図-2 沈降物の測定結果

川(瀬)と続く。今回の大岡川の付着物は和泉川(瀬)の3~9割の値となっており、瀬の中では最も低い。もっとも、冬季になるとChl. aの他川との差は小さくなる。

また、他市の例をみると、年間を通じてBODが2 mg/l以下の沼沼川では、堆積・付着物の主な構成成分は藻類および細菌であった<sup>8)</sup>。さらに冬季の御用川では、BODが1.1~4.3 mg/lの地点での優先種は付着珪藻、BODが4.4~9.6 mg/lの地点での優先種はミズワタであった<sup>9)</sup>、という報告がある。このようなことから、市内における和泉川等の河川では冬季にミズワタ等の繁殖によってChl. aが低下するのに対し、冬季の大岡川ではミズワタ等が他ほど繁殖しないためにChl. aの値はそれほど低下しないと考えられる。

### 3-1-4 底質

Ehは夏季が360~450mVで最も低く、秋・冬季になるにしたがってやや高くなるのが認められる。ILは2%前後で、Eh同様、季節や地点差が小さい。Chl. aについては秋季は低いものの、夏・冬季は0-1で約0.04 mg/gと高くなり、下流の0-2との差が大きいのが認められる。冬季に高くなるのは沈降物等に共通する傾向である。

他の河川と比較すると、大岡川のChl. aは最大でも0.05 mg/gであり、これは他の河川の1/4~1/20であることから、大岡川では剥離した藻類が少ないと考えられる。Ehは他の瀬では28~380mVなのに対し、403~496mVと高く、またILも他が5~20%と高く、さらに冬

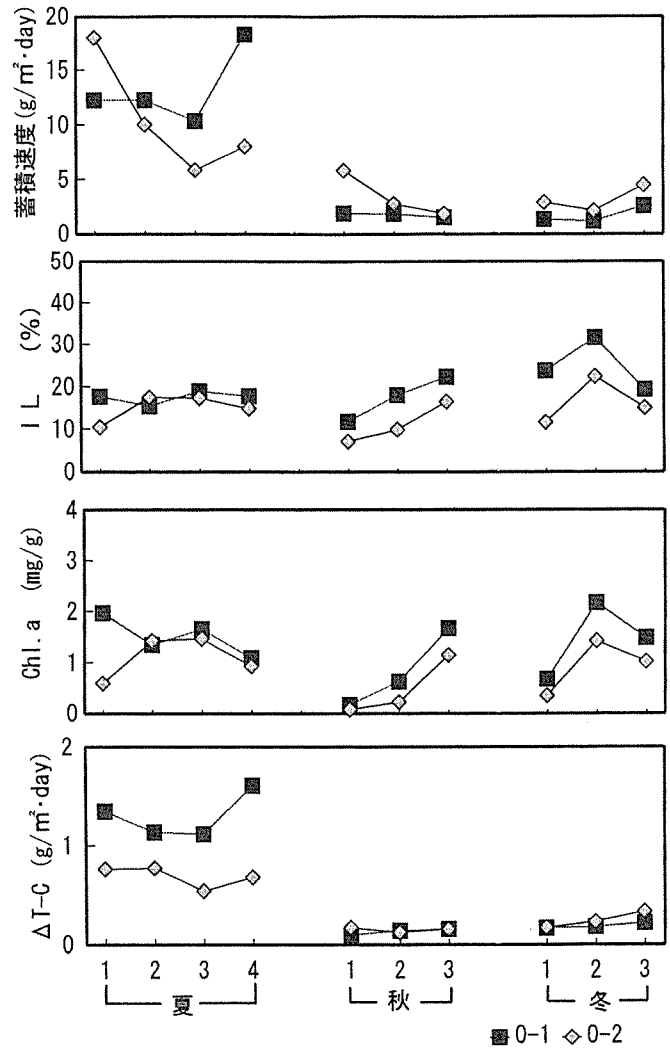


図-3 堆積物の測定結果

季に高くなるのに対して常におおよそ2%と低いことから、大岡川の底質は良好な底質と思われる。

### 3-2 C/N値

有機物分解の進行度の指標としてのC/N値<sup>10)</sup>を図-6に示す。沈降物のC/N値は、秋季の第1期が15前後と高く、降雨による増水のために有機物分解の進んだ河床堆積物が再浮上した後、捕捉されたものと思われる。その他の時期は6.4~9.3と低く、また下流の0-2の方が上流の0-1より低い傾向がみられる。

堆積物のC/N値は、夏季の0-1で9.3~12とやや高いが、他は6.5~8.6の低い値が大部分を占めており、比較的新しい汚濁物質が堆積したと考えられる。

付着物のC/N値は5.8~8.3と4つの汚濁状態の中で最も低く、有機物のほとんどが生育中の生物で占められていると思われる。地点別では上流の0-1が6.6~8.3、下流の0-2が5.8~7.1と下流側が低い。沈降物や付着物のC/N値が上流で高いことから、上流では流下してきた分解の進んだ物質がより多く付着物中に取り込まれたものと思われる。

底質のC/N値は4態中最も高く、このうち夏は15~45と高く、冬は8.8~15とやや低い。夏季は高温のために有機物分解が進んでおり、冬は低温のために微生物による分解は進んでいないものと思われる。

他の河川と比較すると、沈降物のC/N値は晴天期の値については他の河川と変わらない。堆積物のC/N値6.5~12は同じ瀬である鶴見川や和泉川(瀬)の5.6~7.6、5.4~7.9よりも高い値である。大

岡川では分解が進んだ汚濁物質が堆積物中に他よりも長く留まり、あるいはレンガ上での増殖も少ないためと思われる。

付着物の下流の値は鳥山川、和泉川と同程度だが、上流はやや高い。

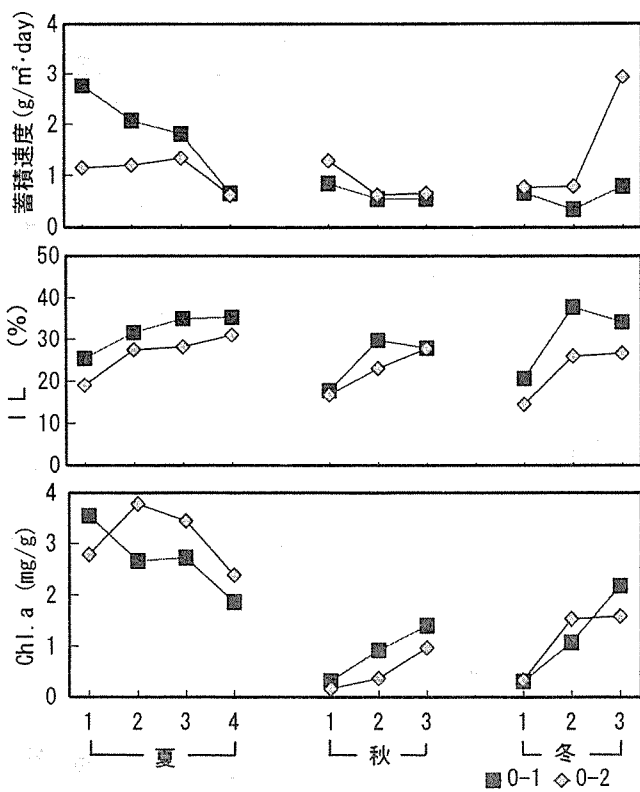


図-4 付着物の測定結果

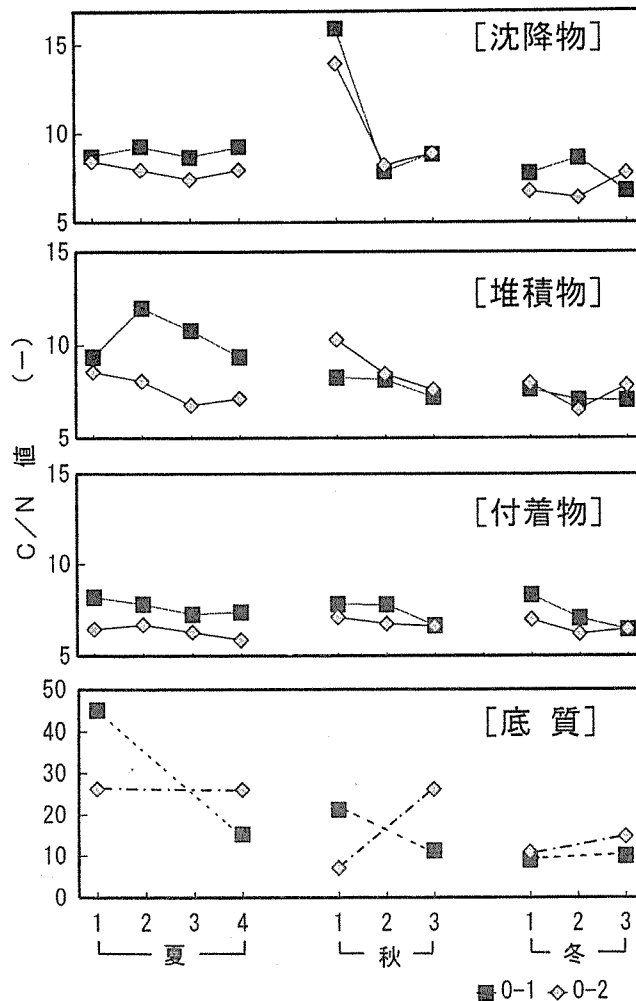


図-6 各汚濁状態におけるC/N値

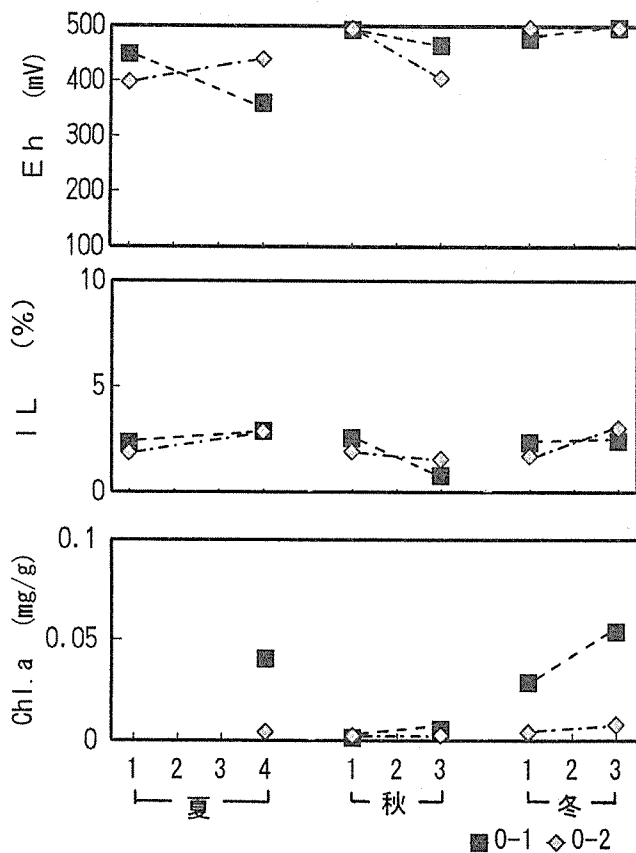


図-5 底質の測定結果

鶴見川、鳥山川、和泉川の底質では最高でもC/N値は13であり、大岡川では20以上の値もみられることから、今回の調査地点では自然界に由来するかなり分解の進んだ底質が蓄積していたものと思われる。

### 3-3 付着藻類の汚濁状態への寄与

2次汚濁をもたらす恐れのある付着藻類が各汚濁状態においてどの程度の割合を占めているのかをみるために、前報同様、藻類のILに対するChl. aの割合を1.5%と仮定して計算した<sup>1)</sup>。その結果を図-7に示す。また、以前調査した河川の結果を表-2に示す。

沈降物、堆積物、付着物では、夏季が最も高く、付着藻類の寄与率はそれぞれ32~69%、37~74%、35~98%であり、この中では付着物の高いのが認められる。しかし、秋・冬季は51%以下となり、付着物よりも堆積物の藻類寄与率が高い傾向がみられる。

底質の藻類寄与率は0.3~14.8%であり、いずれの季節も上流の0-1の方が高い。0-1の方が日照が良いために、河床で繁殖した藻類が含まれたものと思われる。

過去の調査河川と比較すると、沈降物については、夏季は最も高い鳥山川と同程度、秋・冬季は他の河川が0.2~13% (平均1.0~5.3%)なのに対し、大岡川は2.0~44% (平均11~37%)といずれの河川よりも高い値となっている。このことから、大岡川では秋・冬季になっても沈降物内のILの由来が付着藻類に比重があるものと思われる。

堆積物については過去の調査では和泉川(瀬)が最も高く、鳥山川、鶴見川、和泉川(淵)の順に低くなる傾向がある。夏季は和泉

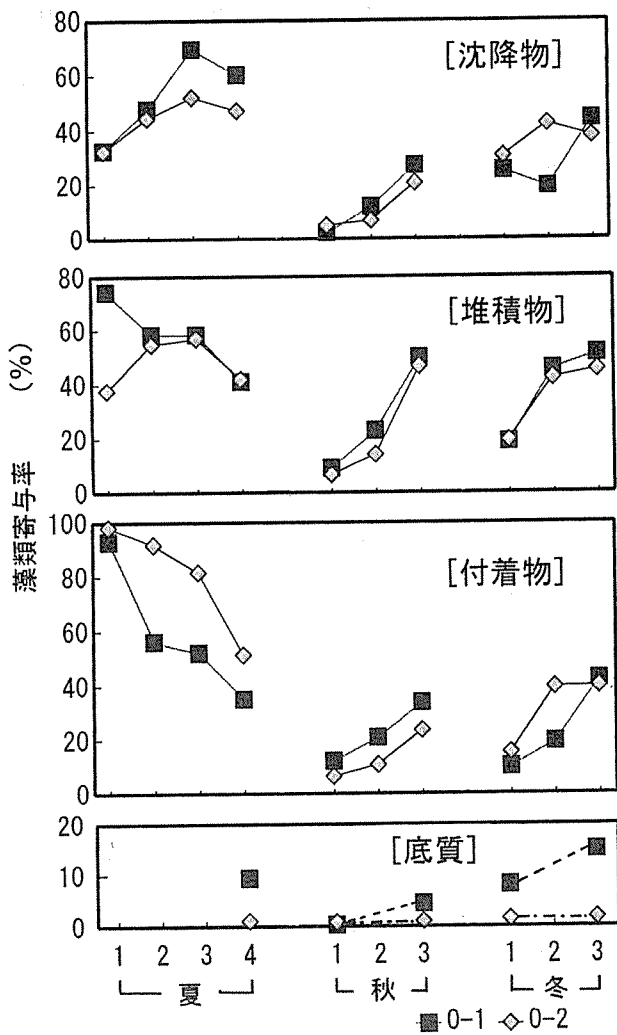


図-7 各汚濁状態における藻類寄与率

川(瀬)の33~192%には及ばないものの、37~97%の鳥山川と同程度、秋季は鳥山川よりは高く、また冬季は和泉川(瀬)と同程度となっている。これは他の河川が夏から冬季へ移行するにしたがって寄与率が低下するのに対し、大岡川では季節による低下が相対的に小さいことによる。

付着物については鳥山川や和泉川と異なり、夏にも藻類寄与率が100%を越えることもなく、また冬でも寄与率は40%近くまでである。どちらかといえば和泉川(瀬)に近い。鳥山川、和泉川の水質はBOD、T-N、T-Pがそれぞれ10~21、7~11、0.3~1.7mg/lであるのに対し、大岡川のそれは平均で4.0、1.9、0.06mg/lと栄養源および栄養塩類

が低いために、夏は藻類の過剰生育が、また冬はILの増加に反映するミズワタ類等の繁殖が起こらなかったためと思われる。

底質の値は和泉川、鳥山川、鶴見川と同程度である。

### 3-4 汚濁状態間の比較

沈降物、堆積物、付着物および底質の4つの汚濁状態間の相互関係ないしは類似度をみるために、IL等の項目について、同一地点・同一期間の値の比を堆積物を基準にして求めてみた。その比が1に近いほど堆積物と類似していることになる。結果の一部を図-8に示す。

IL比では沈降物は最も低い値0.2の一点を除くと、0.9~2.7の間に集中している。付着物も0.9~2.4でまとまっており、沈降物と分布が似ている。一方、底質のIL比は0.03~0.27であり、他よりも低い値で分布しているのが認められる。

T-C、T-N、T-Pについても同様である。

Chl. a比では沈降物の場合、最低の0.05を除くと0.4~4.3にまとまって分布しているのが認められる。付着物のChl. a比はIL比の場合と同様に沈降物に近い。他の河川では沈降物の方が付着物より低い値で分布しているのが通例であり、大岡川では沈降物の由来が河床付着物によるものと考えられる。底質は0.002~0.04であり、他のIL等の濃度項目より1/10程度小さい。

各種蓄積速度比はほとんどが沈降物では1~100であるのに対し、付着物では1~0.1と小さく、まとまって分布しているのが認められる。蓄積速度については付着物は堆積物との類似性が高いと考えられる。

大岡川でのこれらの分布状況は、過去の調査河川の中では鳥山川に類似していると思われる。しかし、両川の水質には、たとえばBODでは鳥山川10~20mg/lに対し、大岡川2~9mg/lと差があり、また河床汚濁物質の質・量ともに異なることから、河川形態や流速が影響したと考えられる。

## 4. まとめ

市内中小河川の中では比較的清潔な大岡川において、夏~冬季にわたって河床の沈降物、堆積物、付着物および底質の性状を調査した結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 沈降物および堆積物は秋・冬季にくらべて夏季に蓄積速度が大きく、IL等の濃度も比較的高かった。冬季は過去の調査河川のように蓄積速度が大きくはなく、またChl. aが相対的に高いことが認められた。
- 2) 付着物は冬季でもChl. aが1.2mg/gあり、従来の市内河川で多かったミズワタによる藻類の生育阻害がみられなかった。
- 3) 有機物分解の進行度を示すC/N値は、河床から剥離した流下物

表-2 過去の調査における市内河川の藻類寄与率(%) [最低値~最高値(平均値)]

季節	河川名	沈降物	堆積物	付着物	底質
夏	鶴見川	7.3 ~ 27 (19)	4.7 ~ 77 (34)	72 ~ 220 (106)	0.3 ~ 13 (5.6)
	鳥山川	34 ~ 93 (59)	37 ~ 97 (61)	40 ~ 131 (80)	0.2 ~ 37 (20)
	和泉川(淵)	2.4 ~ 5.3 (4.3)	3.3 ~ 23 (12)	4 ~ 16 (8.1)	1.8 ~ 4.0 (2.7)
	和泉川(瀬)	2.8 ~ 38 (24)	33 ~ 192 (114)	37 ~ 367 (146)	2.3 ~ 28 (10)
秋	鳥山川	0.2 ~ 4.3 (1.5)	1.0 ~ 47 (13)	3.4 ~ 70 (22)	0.2 ~ 0.5 (0.3)
	和泉川(淵)	0.3 ~ 0.6 (0.5)	0.2 ~ 1.1 (0.5)	0.2 ~ 0.8 (0.5)	0.1 ~ 0.8 (0.4)
	和泉川(瀬)	0.7 ~ 13 (5.3)	1.6 ~ 120 (51)	12 ~ 82 (38)	1.1 ~ 2.7 (1.8)
冬	鳥山川	0.4 ~ 1.8 (1.0)	0.9 ~ 22 (4.7)	1.3 ~ 4.9 (2.3)	0.3 ~ 0.6 (0.4)
	和泉川(淵)	2.1 ~ 2.7 (2.5)	2.5 ~ 9.1 (5.0)	3.0 ~ 4.7 (4.2)	1.1 ~ 1.3 (1.2)
	和泉川(瀬)	1.5 ~ 6.9 (3.8)	9.8 ~ 97 (31)	4.5 ~ 78 (23)	

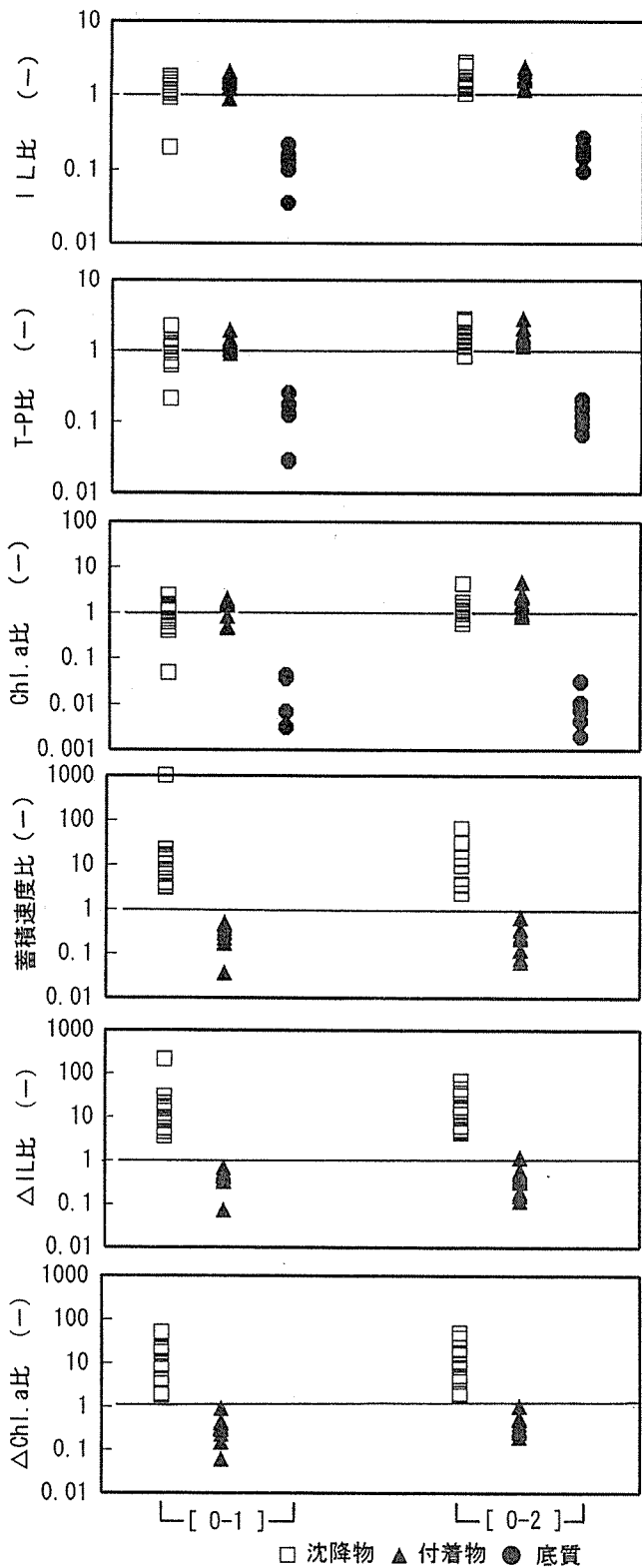


図-8 堆積物と各汚濁状態との比

の多い夏季の場合、直接影響を受ける上流側での沈降物・堆積物の値が高いのが認められた。

4) 底質のC/N値は20以上のものもあり、過去の市内河川の中ではかなり分解の進んだ底質と思われた。

5) 有機汚濁物質に対する付着藻類の寄与率は、夏季が最も高かった。このうち付着物では他の市内河川のように100%を越えることはなく、栄養塩濃度が低いために異常繁殖が起らなかったものと思われた。

6) 各汚濁状態間の類似度は、IL等の濃度項目については沈降物が付着物に近いと思われた。また、各種蓄積速度については付着物が堆積物に近いと思われた。

## 文 献

- 1) 小市佳延, 福嶋 悟, 初貝留美, 酒井 学: 都市河川における河床汚濁物質の動態調査(第1報) - 鶴見川 -, 横浜市環境科学研究所報, 17, 113-121(1993).
- 2) 小市佳延, 福嶋 悟, 初貝留美, 酒井 学: 都市河川における河床汚濁物質の動態調査(第2報) - 鳥山川 -, 横浜市環境科学研究所報, 18, 43-51(1994).
- 3) 小市佳延, 福嶋 悟, 初貝留美: 都市河川における河床汚濁物質の動態調査(第3報) - 和泉川 -, 横浜市環境科学研究所報, 19, 89-96(1995).
- 4) 小市佳延, 福嶋 悟, 初貝留美: 都市河川における河床汚濁物質の動態調査(第4報) - 降雨の影響 -, 横浜市環境科学研究所報, 20, 19-24(1996).
- 5) 初貝留美, 福嶋 悟, 小市佳延, 酒井 学: 都市河川における水質調査 - 鶴見川, 鳥山川 -, 横浜市環境科学研究所報, 17, 123-132(1993).
- 6) 初貝留美, 福嶋 悟, 小市佳延: 都市河川における水質調査 - 和泉川 -, 横浜市環境科学研究所報, 18, 53-62(1994).
- 7) 横浜地方気象台: 神奈川県気象月報平成6年8月 - 平成7年2月, 日本気象協会(1994, 1995).
- 8) 井上隆信, 海老瀬潜一: 河床付着生物膜現存量の周年変化と降雨に伴う剥離量の評価, 水環境学会誌, 16, 507-515(1993).
- 9) 福田訓真, 塩田陽子, 戸室康二, 小山次朗, 松永 隆, 村上敬吾, 茂木惣治: 御用川の水質汚濁について - ミズワタによる可視汚染 -, 栃木県公害研究所年報, 7, 12-17(1983).
- 10) 対馬和浩, 工藤精一, 千代森光仁: 県南公共用水域における底質の特性, 青森県公害センター所報, 9, 82-86(1989).

# 横浜市内河川水中の糞便性大腸菌群について

## (Ⅱ) 横浜市北部地域

酒井 学\*

### 要 旨

横浜市では、「水環境」の保全創造をめざした、ゆめはま水環境プランを作成し、河川源流～中流域の河川区分において糞便性大腸菌群数についての水質目標値を示したが、市内河川において糞便性大腸菌群数の測定調査はBODなどと比べると少ないのが現状である。そこで、平成6年度に行った横浜市南部地域に引き続き、平成7年度には北部地域において、市民が河川とふれあいやすい場所を選び、糞便性大腸菌群数及び水質の測定を行った。

上流に人家の存在しない源流部の糞便性大腸菌群数は、 $1.0 \times 10^1$ 個/ml以下(ゆめはま水環境プランの目標値及び水浴場の糞便性大腸菌群数の適合基準値)であり、ここでの糞便性大腸菌群はほとんどが自然環境に常在するものに由来すると思われた。

一方、源流部以外の地点では、下水道整備が進んでいるものの、依然として糞便性大腸菌群数の測定平均値は $1.0 \times 10^1$ 個/ml(水浴場の糞便性大腸菌群数の適合基準値)を超えており、一部残された下水道未整備地域からの排水の河川への流入が原因と考えられた。

また、下水処理場の放流口の下流では、BOD、CODがあまり小さくないにもかかわらず、糞便性大腸菌群数は極めて少ないといった特徴が認められ、これは残留塩素による滅菌の影響であると推察された。

### 1. はじめに

都市における河川は単なる水路としての働きだけでなく、市民にうるおいとやすらぎを与える憩いの場所として見直されるようになってきた。横浜市においても「ゆめはま水環境プラン」が設定され<sup>1)</sup>、横浜市内の河川水域を目標イメージに沿って6区分に分け、各々の目標水質を定めている。その中で、河川源流から中流域にかけては「豊かな緑に囲まれた自然のせせらぎ」「魚とりが楽しめるのどかな小川」(河川源流～上流域)、「水遊びが楽しめる澄んだ流れ」(上流～中流域)を目標イメージとして、BODとともに糞便性大腸菌群数に関しても基準(目標値)が掲げられた。

しかし市内河川において、BODなどと比べて、糞便性大腸菌群数の測定は少ないのが現状であることから、平成6年度より横浜市内を、北部、中部、南部の3地域に分け、糞便性大腸菌群数を調査することとした<sup>2)</sup>。今回は平成7年度に行った北部地域を流れる鶴見川水系の調査結果及び考察について報告を行う。

### 2. 調査方法

調査は平成7年4月から平成8年3月にかけて行った。図-1、表-1に調査地点を示し、一部の調査地点の現場状況を写真-1に示した。今回の調査地点は横浜市北部地域において市民が河川とふれあいやすい場所を中心に、現状を把握する目的で選定したので、ゆめはま水環境プランにおいて糞便性大腸菌群数の目標値が設定されていない場所や横浜市環境保全局の水質測定計画による測定点と異なる場所も含まれている。

気温、水温及び残留塩素は現地測定し、それ以外の項目については、研究所へ試料を持ち帰り分析を行った。分析方法は、糞便性大腸菌群数は下水試験方法(デスオキシコール酸塩培地による高温平板法、 $44.5^\circ\text{C}$ 、20時間培養)に従い<sup>3)</sup>、培地上で典型的な赤色コロニーを示さない場合及び不明瞭な場合は適宜MMO-MUG法<sup>4)</sup>

を用いて確認した。また、BOD、COD(100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量)及び残留塩素(DPD比色法)はJIS K 0102<sup>5)</sup>に従った。

表-1 調査地点

番号	調査地点
1	鶴見川(港北区及び鶴見区、樽綱橋)
2	矢上川(港北区、上田橋)
3	大熊川(都筑区、新大熊橋)
4	江川(都筑区、半助橋)
5	早淵川(都筑区、境田橋)
6	鶴見川(緑区及び都筑区、鴨池橋)
7	谷本川(青葉区市ケ尾町及び下谷本町、新川間橋)
8	寺家川(青葉区寺家町、寺家ふるさと村)
9	奈良川(青葉区奈良町、ことり橋)
10	恩田川(緑区恩田町、都県境)
11	恩田川(青葉区恩田町及び緑区長津田町、柳橋)
12	恩田川(青葉区及び緑区、恩田大橋)
13	恩田川(緑区、中山大橋)
14	岩川(緑区長津田町、岡部谷戸)
15	梅田川(緑区新治町、新治谷戸)
16	梅田川(緑区三保町、神明橋)
17	烏山川(港北区、新横浜駅前公園)
18	烏山川(神奈川区羽沢町、羽沢スポーツ会館横)

### 3. 結果及び考察

各調査地点の測定結果を表-2に示し、BOD、COD、糞便性大腸菌群数についての平均値を表-3に示した。

以下調査地点別に結果及び考察を述べる。

#### 3-1 鶴見川(樽綱橋)

Fecal Coliforms in the River of Yokohama City (Ⅱ) Northern Area of Yokohama City

\* Manabu Sakai, 横浜市環境科学研究所水質部門

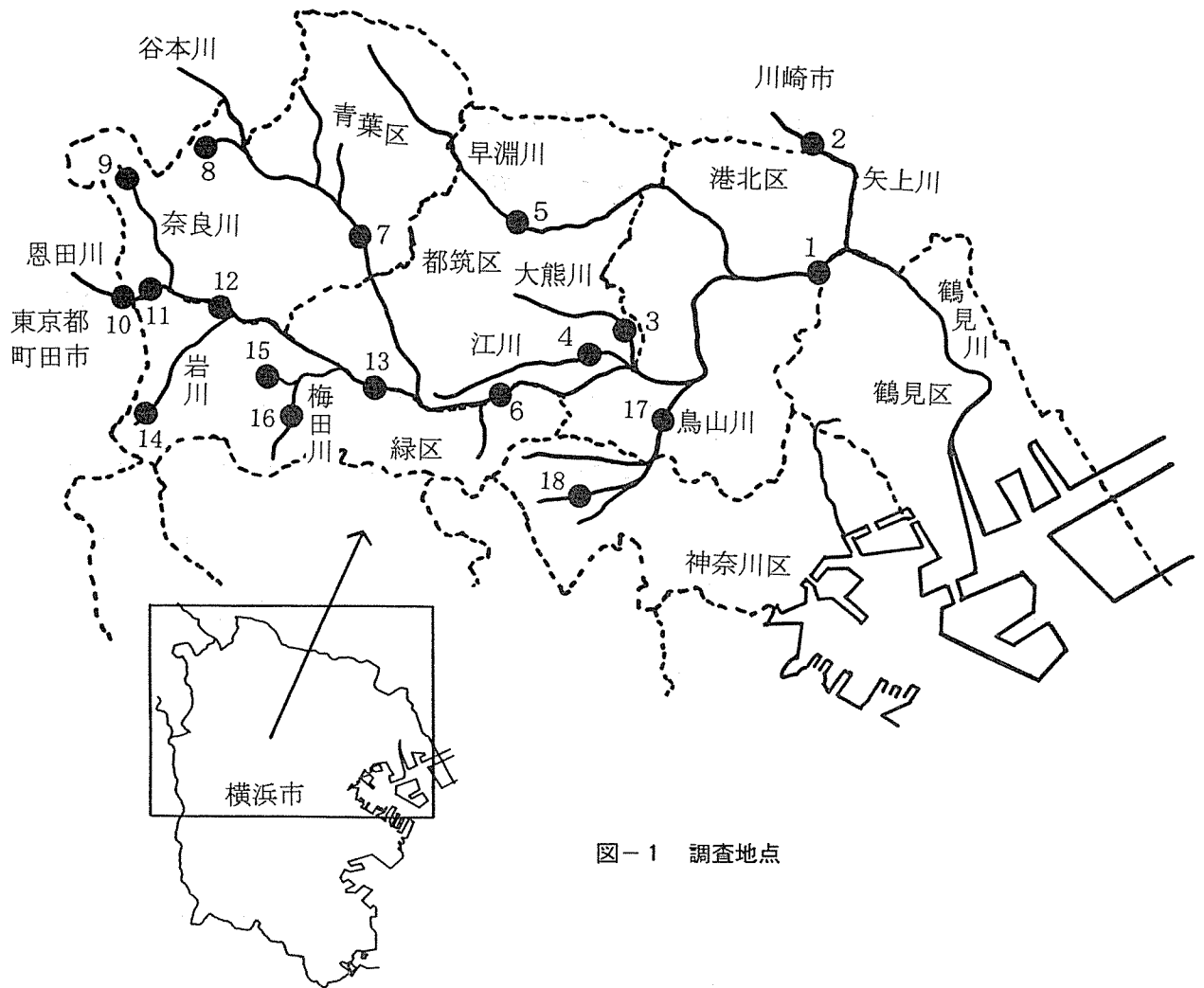
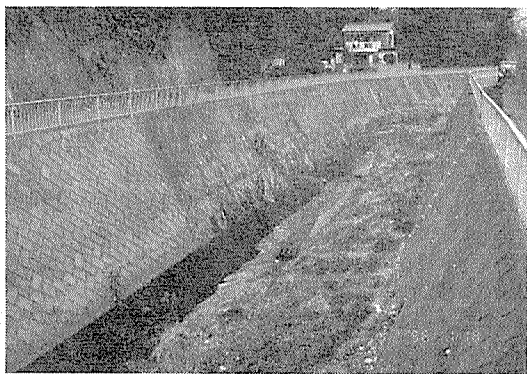


図-1 調査地点



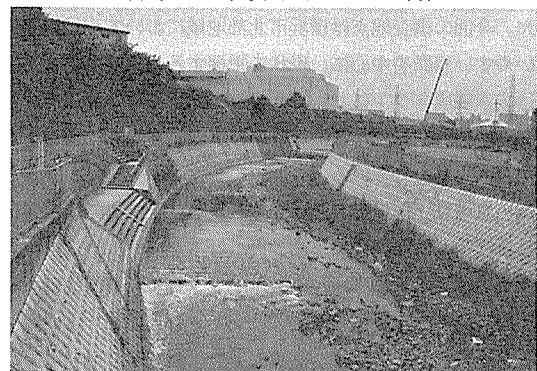
地点番号3 大熊川(新大熊橋)



地点番号8 寺家川(ふるさと村)



地点番号10 恩田川(都県境)



地点番号11 恩田川(柳橋)

写真-1 調査地点

表-2 調査結果

調査地点	調査日 (年月日)	気温 (°C)	水温 (°C)	pH	EC* (μS/cm)	天気	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	糞便性大腸菌 群数 (個/mL)
鶴見川 (樽網橋)	7. 4. 19	24.8	21.8	7.3	240	晴れ	6.5	6.6	2.5X10 <sup>4</sup>
	8. 2	32.0	29.2	7.6	420	曇り	4.0	7.7	9.0X10 <sup>4</sup>
	11. 1	22.2	19.4	7.5	13500	晴れ	2.0	7.0	2.7X10 <sup>4</sup>
	8. 2. 8	5.8	9.9	7.3	2700	晴れ	15	10	2.1X10 <sup>4</sup>
矢上川 (上田橋)	7. 4. 19	24.7	20.5	7.9	320	晴れ	11	11	1.1X10 <sup>4</sup>
	8. 2	33.8	28.7	9.0	390	晴れ	7.5	11	7.6X10 <sup>4</sup>
	11. 1	21.4	17.3	8.9	450	晴れ	8.8	11	6.6X10 <sup>4</sup>
	12. 21	10.0	8.9	7.7	660	晴れ	12	9.7	4.4X10 <sup>4</sup>
大熊川 (新大熊橋)	7. 5. 10	22.5	20.3	7.9	480	曇り	5.4	6.5	7.9X10 <sup>4</sup>
	8. 2	33.7	26.7	8.3	470	晴れ	2.9	4.8	3.2X10 <sup>4</sup>
	10. 11	20.4	19.2	7.9	480	曇り	2.9	4.4	1.2X10 <sup>4</sup>
	8. 1. 18	6.5	6.5	7.6	460	曇り	8.0	8.9	(1.7X10 <sup>4</sup> )*
2. 8	6.3	5.5	7.7	490	晴れ	12	9.2	1.3X10 <sup>4</sup>	
江川 (半助橋)	7. 5. 10	24.2	24.0	7.7	510	曇り	7.4	11	7.1X10 <sup>-4</sup>
	6. 28	23.7	22.7	7.2	490	曇り	2.7	9.5	2.5X10 <sup>9</sup>
	8. 9	34.6	31.3	7.7	500	晴れ	3.6	11	1.3X10 <sup>9</sup>
	10. 18	24.2	23.3	7.5	600	晴れ	7.9	8.3	7.0X10 <sup>9</sup>
	8. 2. 8	8.5	12.1	7.6	620	晴れ	5.3	8.3	6.3X10 <sup>-1</sup>
早瀬川 (境田橋)	7. 4. 26	18.8	17.8	8.0	350	曇り	2.2	4.6	5.5X10 <sup>9</sup>
	8. 9	33.7	28.2	8.3	410	晴れ	2.1	4.0	2.0X10 <sup>4</sup>
	10. 11	20.1	19.0	8.1	420	曇り	1.2	3.5	6.2X10 <sup>9</sup>
	12. 14	10.0	8.7	8.1	420	晴れ	3.2	5.3	9.7X10 <sup>4</sup>
8. 2. 8	8.2	7.3	8.1	420	晴れ	6.7	7.1	2.6X10 <sup>4</sup>	
鶴見川 (精池橋)	7. 5. 10	24.5	21.5	7.5	440	曇り	10	9.0	2.2X10 <sup>4</sup>
	8. 16	32.7	28.4	7.6	390	晴れ	5.5	8.7	3.2X10 <sup>4</sup>
	10. 18	22.5	21.7	7.4	500	晴れ	6.8	8.6	3.1X10 <sup>9</sup>
	8. 1. 18	7.4	11.5	7.3	520	曇り	16	11	2.3X10 <sup>4</sup>
谷本川 (新川間橋)	7. 4. 26	20.5	18.4	7.8	390	曇り	6.8	8.3	2.0X10 <sup>4</sup>
	8. 9	35.3	28.3	8.0	380	晴れ	2.2	7.6	2.8X10 <sup>4</sup>
	10. 11	20.6	19.3	8.0	400	曇り	3.5	6.2	9.3X10 <sup>9</sup>
	12. 14	11.4	10.4	7.9	430	晴れ	9.2	8.4	7.5X10 <sup>9</sup>
寺家川 (ふるさと村)	7. 4. 26	23.5	20.4	8.0	200	曇り	0.8	3.6	1.3X10 <sup>9</sup>
	8. 9	35.6	17.5	8.1	220	晴れ	0.2	0.8	0.0X10 <sup>-1</sup>
	10. 11	20.4	18.5	8.1	210	曇り	0.4	3.8	1.5X10 <sup>9</sup>
	12. 14	14.3	7.8	8.0	180	晴れ	0.6	1.9	0.0X10 <sup>-1</sup>
奈良川 (ことり橋)	7. 4. 26	21.0	16.4	7.8	510	曇り	1.6	3.4	1.3X10 <sup>4</sup>
	8. 9	34.9	24.1	7.7	410	晴れ	5.5	7.2	4.1X10 <sup>4</sup>
	10. 11	18.0	18.0	8.0	490	曇り	1.7	3.8	4.4X10 <sup>9</sup>
	12. 14	12.7	9.6	7.6	370	晴れ	2.5	4.2	1.1X10 <sup>4</sup>
恩田川 (都県境)	7. 4. 26	23.0	21.3	8.5	340	曇り	7.5	7.6	9.0X10 <sup>9</sup>
	6. 1	24.5	23.5	8.8	320	曇り	5.5	6.7	6.5X10 <sup>4</sup>
	6. 28	26.6	23.1	9.1	300	曇り	4.0	4.5	1.9X10 <sup>4</sup>
	8. 31	28.6	24.2	8.9	300	曇り	3.6	7.7	3.9X10 <sup>4</sup>
	10. 25	21.5	19.9	8.0	310	晴れ	6.3	8.0	1.2X10 <sup>4</sup>
	8. 2. 1	5.6	8.7	8.2	350	曇り	7.3	7.3	1.7X10 <sup>9</sup>
恩田川 (柳橋)	7. 6. 1	24.8	24.0	7.3	460	曇り	5.3	9.2	0.0X10 <sup>-4</sup>
	6. 28	26.5	23.6	7.7	410	曇り	5.7	7.3	0.0X10 <sup>-4</sup>
	8. 31	29.0	27.0	7.7	450	曇り	5.4	9.1	0.0X10 <sup>-2</sup>
	10. 25	20.5	23.3	7.4	510	晴れ	7.1	9.0	5.0X10 <sup>-1</sup>
8. 2. 1	6.2	15.8	7.5	580	曇り	6.7	12	5.0X10 <sup>-1</sup>	
恩田川 (恩田大橋)	7. 6. 28	25.0	23.3	7.5	410	曇り	7.5	6.8	3.8X10 <sup>4</sup>
	8. 31	28.5	26.6	7.4	450	曇り	11	11	1.1X10 <sup>4</sup>
	10. 25	21.5	22.2	7.5	450	晴れ	11	9.7	1.1X10 <sup>4</sup>
	8. 2. 1	6.8	13.7	7.5	570	晴れ	15	11	2.5X10 <sup>9</sup>
恩田川 (中山大橋)	7. 6. 28	24.0	21.7	7.4	360	曇り	7.3	5.9	1.9X10 <sup>4</sup>
	8. 31	28.4	25.3	7.5	380	曇り	11	11	3.5X10 <sup>4</sup>
	10. 25	20.4	20.2	7.5	370	曇り	11	9.1	6.0X10 <sup>4</sup>
	8. 2. 1	5.5	8.5	7.7	520	晴れ	12	9.7	6.2X10 <sup>9</sup>
岩川 (岡部谷戸)	7. 5. 10	25.4	21.7	8.0	370	曇り	2.5	4.1	4.3X10 <sup>9</sup>
	8. 16	34.0	30.3	8.6	310	晴れ	1.5	5.1	2.6X10 <sup>9</sup>
	10. 18	24.8	21.9	8.1	350	晴れ	1.0	3.8	2.0X10 <sup>9</sup>
	8. 1. 18	7.1	7.7	7.8	370	曇り	5.3	5.3	4.8X10 <sup>4</sup>
梅田川 (新治谷戸)	7. 5. 24	25.8	14.8	7.5	330	晴れ	0.4	2.9	5.0X10 <sup>-4</sup>
	8. 16	35.0	18.3	7.7	330	晴れ	0.7	2.8	5.0X10 <sup>-1</sup>
	10. 18	25.8	16.7	7.6	340	晴れ	0.3	3.1	5.0X10 <sup>-1</sup>
	8. 1. 18	7.3	9.2	7.4	270	曇り	0.5	1.9	0.0X10 <sup>-4</sup>
梅田川 (神明橋)	7. 8. 16	33.0	25.8	8.4	350	晴れ	1.3	5.2	2.3X10 <sup>4</sup>
	8. 1. 18	7.3	8.2	7.7	370	曇り	2.6	5.1	3.8X10 <sup>9</sup>
鳥山川 (新横浜駅前公園)	7. 4. 19	21.3	17.8	7.4	330	晴れ	6.2	7.5	4.0X10 <sup>4</sup>
	8. 2	33.0	26.7	8.2	400	曇り	4.7	7.8	2.2X10 <sup>4</sup>
	11. 1	23.3	17.9	7.8	400	晴れ	5.4	8.7	1.5X10 <sup>4</sup>
	12. 21	11.8	8.9	7.5	440	晴れ	11	17	1.8X10 <sup>4</sup>
鳥山川 (羽沢)	7. 5. 24	22.8	16.5	7.2	370	晴れ	14	10	1.1X10 <sup>9</sup>
	8. 2	27.4	22.6	7.5	370	晴れ	9.3	13	1.2X10 <sup>9</sup>
	11. 1	20.7	16.6	7.5	330	晴れ	8.5	9.9	1.0X10 <sup>9</sup>
	12. 21	10.3	9.2	7.3	520	晴れ	28	24	3.8X10 <sup>4</sup>

\*EC (電気伝導度、25°C換算値)

\*\*大熊川の8月18日の糞便性大腸菌群数は、E.coli陰性の可能性が高い

この地点は鶴見川の下流部で感潮域となっており、潮の状況により、川の水位の変動が認められる場所である。

4回の測定結果を比較すると、pHは7.3~7.6とほぼ同じ値であったが、ECは240~13500 μS/cmとかなり測定値に差がみられ、この差は潮の干満による塩分濃度の影響と思われた。

BODの平均値は6.9mg/L、CODは7.8mg/Lと有機性汚濁が認められ、ゆめはま水環境プランの目標値(5mg/L以下)を超えていた。また糞便性大腸菌群数についても、8月の調査では9.0X10<sup>9</sup>個/mLと

表-3 BOD、COD、糞便性大腸菌群数の平均値

調査地点	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	糞便性大腸菌 群数 (個/mL)
鶴見川 (樽網橋)	6.9	7.8	2.1X10 <sup>4</sup>
矢上川 (上田橋)	9.8	11	7.4X10 <sup>4</sup>
大熊川 (新大熊橋)	6.2	6.8	3.4X10 <sup>4</sup>
江川 (半助橋)	5.4	9.6	2.4X10 <sup>9</sup>
早瀬川 (境田橋)	3.1	4.9	3.1X10 <sup>4</sup>
鶴見川 (鴨池橋)	9.6	9.3	2.0X10 <sup>4</sup>
谷本川 (新川間橋)	5.4	7.6	1.6X10 <sup>4</sup>
寺家川 (ふるさと村)	0.5	2.5	7.0X10 <sup>-1</sup>
奈良川 (ことり橋)	2.8	4.7	1.7X10 <sup>4</sup>
恩田川 (都県境)	5.7	7.0	5.2X10 <sup>4</sup>
恩田川 (柳橋)	6.0	9.3	2.0X10 <sup>-1</sup>
恩田川 (恩田大橋)	11	9.6	7.1X10 <sup>9</sup>
恩田川 (中山大橋)	10	8.9	3.0X10 <sup>4</sup>
岩川 (岡部谷戸)	2.6	4.6	1.4X10 <sup>4</sup>
梅田川 (新治谷戸)	0.5	2.7	3.8X10 <sup>-1</sup>
梅田川 (神明橋)	2.0	5.2	1.3X10 <sup>4</sup>
鳥山川 (新横浜駅前公園)	6.8	10	2.4X10 <sup>4</sup>
鳥山川 (羽沢)	15	14	9.2X10 <sup>4</sup>

少なかったが、8月以外の調査ではいずれも1.0X10<sup>4</sup>個/mL(水浴場の基準値)を超え、平均2.1X10<sup>4</sup>個/mLとなった。

横浜市環境保全局による水生生物を用いた水質評価においても大綱橋(樽網橋)の1km上流は「ややよごれている水域」と判定されており<sup>6)</sup>、鶴見川下流の水質は改善されつつあるものの<sup>7)</sup>、依然として汚濁が認められる状況と考えられた。

### 3-2 矢上川(上田橋)

矢上川は上流部が川崎市域に属し、下流部が横浜市と川崎市の境界を流れ、港北区日吉にて鶴見川に注いでいる。

BODの測定値は7.5~12mg/L(平均値9.8mg/L)、CODの測定値は9.7~11mg/L(平均値11mg/L)であった。矢上川一本橋(上田橋)より2km下流)におけるBODは、昭和50年代後半までは30mg/L前後であり<sup>8)</sup>、この10年間で急速に水質改善が進んでいることを示しているが、依然として有機性汚濁が認められる状況であった。

糞便性大腸菌群数はいずれの調査においても1.0X10<sup>4</sup>個/mL(水浴場の基準値)を超えて、平均7.4X10<sup>4</sup>個/mLとなり、今回の調査地点の中では鳥山川羽沢に次ぐ大きな数値を示した。

### 3-3 大熊川(新大熊橋)

大熊川は都筑区の農業地域や住宅地域を流れ、港北区新羽町にて鶴見川に合流する河川である(写真-1)。

BODは8月及び10月の調査では、5.0mg/L(ゆめはま水環境プラン目標値)を下回っていたが、それ以外の調査時には、5.0mg/Lを超えており、特に冬季の調査で有機性汚濁が進んでいた。

糞便性大腸菌群数についても、毎回1.0X10<sup>4</sup>個/mL(ゆめはま水環境プラン目標値)を超えた数値となり、生活排水の流入に起因すると思われる水質汚濁が推察された。なお、1月の調査で、デオキシコール酸塩寒天培地上に多数の赤色でやや小型のコロニーが認められ(1.7X10<sup>9</sup>個/mL)、10月の測定値(1.2X10<sup>4</sup>個/mL)の100倍以上の大きな値となった。そこで、1月の寒天培地上のコロニー3個を白金針で分離して、MMO-MUG法を用いて確認を行った結果、Escherichia coliの場合に陽性を示す蛍光反応がこのコロニーでは陰性を示し、E. coliとは異なる種である可能性が強いと考えられ

た。そこで2月に再度調査を行い、糞便性大腸菌群数の平均値は、1月の結果を除いて算出し、 $3.4 \times 10^1$ 個/mlとなった。

### 3-4 江川(半助橋)

江川は、従来の河川に覆蓋をし、地上部に遊歩道を設けて上流の都筑下水処理場の下水処理水を流している。

水質は、BODの平均値 $5.4 \text{mg/l}$ 、CODの平均値 $9.6 \text{mg/l}$ となり、有機性汚濁は認められるものの、糞便性大腸菌群数は平均 $2.4 \times 10^0$ 個/mlと少なかった。これは下水処理水に滅菌処理を行っていることによるものと思われるため<sup>9)</sup>、6月の調査以降、残留塩素について測定を行った結果、残留塩素濃度が6~8月に $0.08 \sim 0.10 \text{mg/l}$ 検出された。江川せせらぎ水路の付着藻類について塩素滅菌の影響が報告されており<sup>10)</sup>、糞便性大腸菌群は塩素に対して感受性が強いことから<sup>11, 12)</sup>、塩素滅菌の影響により減少したものと考えられた。

### 3-5 早淵川(境田橋)

早淵川は、横浜市北部を流れ、綱島にて鶴見川に合流する河川である。

BODは4月( $2.2 \text{mg/l}$ ) 8月( $2.1 \text{mg/l}$ )、10月( $1.2 \text{mg/l}$ )の調査では低い数値を示したが、12月( $3.2 \text{mg/l}$ )及び2月( $6.7 \text{mg/l}$ )の調査においては、やや高い値であった。

糞便性大腸菌群数の結果も4月( $5.5 \times 10^0$ 個/ml)、8月( $2.0 \times 10^1$ 個/ml)、10月( $6.2 \times 10^0$ 個/ml)の調査ではあまり大きな値ではなかったが、12月の調査では $9.7 \times 10^1$ 個/mlとかなり大きな値となった。そこで、12月の糞便性大腸菌群数について、寒天培地上のコロニー3個をMMO-MUG法を用いて確認を行った結果、いずれも*E. coli*陽性を示し、糞便性大腸菌群であると判定された。これら糞便性大腸菌群数の平均値は $3.1 \times 10^1$ 個/mlとなり、ゆめはま水環境プランの目標値( $1.0 \times 10^1$ 個/ml以下)を超え、水遊び可能な水質を満たしていなかった。

早淵川において冬季に水質が悪化した理由としては、冬季は降雨などによる水量が少なく、一部下水道未整備地域からの生活排水の影響が夏季に比べて顕著に現れたものと思われた。

### 3-6 鶴見川(鴨池橋)

BODの平均値は $9.6 \text{mg/l}$ 、CODの平均値は $9.3 \text{mg/l}$ であり、有機性水質汚濁が認められた。鴨池橋の4km下流にある亀の子橋におけるBODは、平成5年 $8.6 \text{mg/l}$ 、平成6年 $9.5 \text{mg/l}$ であり<sup>8)</sup>、ここ数年はほぼ横ばいの状況である。糞便性大腸菌群数の結果も、平均 $2.0 \times 10^1$ 個/mlとゆめはま水環境プランの目標値( $1.0 \times 10^1$ 個/ml以下)をわずかながら上回っており、コイなどの魚影が多数認められるものの、水浴には不適な水質であった。

### 3-7 谷本川(新川間橋)

8月~10月の調査ではBOD $2.2 \sim 3.5 \text{mg/l}$ であったが、12月の調査では $9.2 \text{mg/l}$ となった。また糞便性大腸菌群数の結果も平均 $1.6 \times 10^1$ 個/mlとなり、水浴場の基準値( $1.0 \times 10^1$ 個/ml以下)をわずかながら超えていた。流域には農地、山林以外に、住宅地も広がっており、一部下水道未整備の地域からの生活排水の影響と考えられる。

### 3-8 寺家川(寺家ふるさと村)

この調査地点は寺家ふるさと村として、農地や山林が保全されている地域で、調査地点より上流には山林及び農地があり、人家はない場所である(写真-1)。8月の調査時には調査地点上流の農業用地下水の放流口からやや多い水量で放水しており、8月の水温が4月と比べて低い結果となった。BODはいずれの調査においても $1 \text{mg/l}$ 以下であり、有機性汚濁は認められなかった。また糞便性大

腸菌群数に関しても、平均 $7.0 \times 10^{-1}$ 個/mlと水浴場の基準値に適合していた。

### 3-9 奈良川(ことり橋)

ここは横浜市の北西部で、上流には農地、住宅、大学、山林などが認められる奈良川の源流に近い地点である。BODの平均は $2.8 \text{mg/l}$ 、糞便性大腸菌群数の平均は $1.7 \times 10^1$ 個/mlとなり、大岡川の水取沢<sup>2)</sup>や寺家川のふるさと村などの源流域と比べるとわずかながら水質汚濁が認められた。この付近の住宅はほとんどが下水道処理区域になっているが、一部の下水道未整備の場所からの排水が流入していることに起因するものと考えられた。

### 3-10 恩田川(都県境)

ここは横浜市と東京都町田市との境で、この調査地点より上流は町田市域となっている(写真-1、図-2)。BODの平均は $5.7 \text{mg/l}$ であり、水質汚濁は認められるものの、ゆめはま水環境プランの目標水質(恩田川の場合 $8 \text{mg/l}$ 以下)を満足していた。

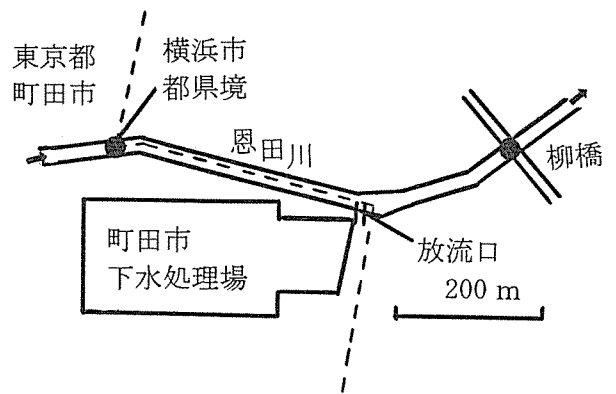


図-2 恩田川(都県境、柳橋付近)

糞便性大腸菌群数については、2月の調査で $7.1 \times 10^0$ 個/mlであったものの、他の調査では毎回 $1.0 \times 10^1$ 個/mlを超えて、平均 $5.2 \times 10^1$ 個/mlとなり、一部の生活排水が流入しているものと推察された。

また残留塩素について測定したところ、 $0.05 \text{mg/l}$ (定量限界)未満であり、柳橋において検出される残留塩素がこの地点では検出されなかった(表-4)。

表-4 恩田川の残留塩素濃度

調査地点	調査年月日	残留塩素濃度 (mg/l)
恩田川(都県境)	7.8.31	<0.05
	10.25	<0.05
	8.2.1	<0.05
恩田川(柳橋)	7.8.31	0.23
	10.25	0.25
	8.2.1	0.37
恩田川(恩田大橋)	7.8.31	<0.05
	10.25	0.05
	8.2.1	0.05
恩田川(中山大橋)	7.8.31	<0.05
	10.25	<0.05
	8.2.1	<0.05



### 3-1-1 恩田川(柳橋)

ここは恩田川の都県境より500m下流である。BODの平均は6.0mg/l、CODの平均は9.3mg/lと、都県境の水質よりわずかに汚濁が進行していたが、糞便性大腸菌群数に関しては、0~5.0X10<sup>1</sup>個/mlと少なかった。横浜市南部地域の河川における調査で、BODとLog(糞便性大腸菌群数)(糞便性大腸菌群数の対数)との間で相関関係(危険率5%水準で有意)が認められていたこと<sup>2)</sup>を、考慮すると、柳橋の調査結果はBODと比べて糞便性大腸菌群数が極端に少なくなっている。そこで、10月及び2月の調査時に河川水1mlをMMO-MUG法を用いて*E. coli*の存在を定性的に確認調査したところ、都県境では陽性を示したが、柳橋では陰性を示し、都県境の河川水中に多く存在する糞便性大腸菌群数が柳橋において少ないことが確認された。

この調査地点(柳橋)と上流の調査地点(都県境)の間には町田市市の下水処理場があり、柳橋の200m上流で下水処理水が河川に流入している(写真-1、図-2)。下水処理水の滅菌に次亜塩素酸ナトリウムを用いており、調査地点における糞便性大腸菌群数はその影響を受けていると考えられたので、8月以降、残留塩素の測定を行い、更にこの地点よりも下流の恩田大橋及び中山大橋を追加することとした。

その結果、柳橋において、残留塩素が0.23~0.37mg/l検出され(表-4)、糞便性大腸菌群数は比較的塩素に弱いことから<sup>11)、12)</sup>、恩田川の糞便性大腸菌群数は町田市市の下水処理水の残留塩素により減少したものと推察された。

また水温に関しても、2月の調査時に15.8℃と上流の都県境の水温(8.7℃)よりも7.1℃高く、これは下水処理水の水温が恩田川の水温よりも高く、その影響によるものと思われた。

### 3-1-2 恩田川(恩田大橋)

ここは柳橋より2km下流の場所で、奈良川の合流した地点より下流で、岩川が合流する地点よりわずかに上流側である。

CODの平均値は9.6mg/lであり、柳橋とほぼ同程度の有機性汚濁が認められた。しかし、糞便性大腸菌群数については、平均7.1X10<sup>0</sup>個/mlと柳橋に比べると増えていた。この地点における残留塩素濃度は0.05mg/lから0.05mg/l未満の範囲であり、上流の都県境よりわずかに濃度が高いものの、柳橋と比べると低濃度であり、糞便性大腸菌群に対する影響が軽減されたものと思われた。

### 3-1-3 恩田川(中山大橋)

ここは柳橋より4km下流の場所である。BODは平均10mg/l、CODは平均8.9mg/lとなり、恩田大橋の測定値との差は少なかった。糞便性大腸菌群数に関しては、平均3.0X10<sup>1</sup>個/mlと、恩田大橋より多く、残留塩素濃度は定量限界(0.05mg/l)未満と、柳橋で顕著に認められた残留塩素による影響がここではかなり小さくなっていった。

また水温に関しても2月に8.5℃であり、柳橋(水温15.8℃)でみられた下水処理水の川の水温への影響がこの中山大橋においてはほとんど認められなかった。

### 3-1-4 岩川(岡部谷戸)

ここは岩川の源流に近い場所で、付近には農地、住宅、山林が存在している調査地点である。BODの平均は2.6mg/l、CODの平均は4.6mg/lとなり、大岡川の氷取沢や寺家川のふるさと村などの源流部と比べるとわずかながら数値が高いことが認められた。

糞便性大腸菌群数は5月~10月の調査では毎回1.0X10<sup>1</sup>個/ml以下の水遊び可能な水質であったが、1月の調査では、4.8X10<sup>1</sup>個/ml

となった。大熊川において1月にデスオキシコール酸培地上に多数の*E. coli*陰性のコロニーが認められたことから、岩川の1月の試料に関してもデスオキシコール酸培地上の赤色コロニー3個を白金針で分離し、MMO-MUG法を用いて調べたところ、いずれも*E. coli*陽性であり、糞便性大腸菌群が確認された。

岩川の岡部谷戸付近の生活排水はほとんど下水道により処理されているが、1月の糞便性大腸菌群数(4.8X10<sup>1</sup>個/ml)は、自然環境由来のものと考えするには少し数が多いと思われ<sup>2)</sup>、一部の排水が流入しているものと推察された。

### 3-1-5 梅田川(新治谷戸)

ここは緑区新治町に広がる山林及び農業地域で、この地点より上流には人家の認められない場所である。BOD平均値は0.5mg/lと低く、また糞便性大腸菌群数についても1.0X10<sup>0</sup>個/ml以下と、今回の調査地点の中では、寺家川(ふるさと村)と並んで水遊び可能な良好な水質を示していた。

### 3-1-6 梅田川(神明橋)

梅田川は新治谷戸を調査地点としたが、一部で水田の埋め立て工事が開始されたので、神明橋を追加することとした。梅田川の神明橋付近は、三保念珠坂公園及び農地が広がり、新治谷戸同様に田園風景が残っている地域である。

8月の調査においてBOD1.3mg/l、COD5.2mg/l、1月の調査ではBOD2.6mg/l、COD5.1mg/lとなり、わずかながら有機性汚濁が認められるものの、ゆめはま水環境プランの目標値(BOD3mg/l以下)は満たしていた。糞便性大腸菌群数に関しては、8月の調査で2.3X10<sup>1</sup>個/mlとやや多い結果が得られたが、1月の調査では3.8X10<sup>0</sup>個/mlであった。

### 3-1-7 鳥山川(新横浜駅前公園)

ここは新横浜駅前公園の脇で、初貝らが汚濁物質の周日調査を行い生活排水の影響を調査した場所<sup>13)</sup>より500m下流である。BODの平均は6.8mg/lと、以前に比べて水質改善が進んでいるものの、ゆめはま水環境プランの目標(5mg/l以下)は依然として満たしていなかった。CODについても平均値10mg/lとなり、有機性汚濁が認められた。

糞便性大腸菌群数についても、いずれの調査においても1.0X10<sup>1</sup>個/ml(ゆめはま水環境プラン目標値)を超えて、平均2.4X10<sup>1</sup>個/mlとなり、水遊びのできる水質には達していなかった。

鳥山川上流には羽沢、菅田地区などに下水道未整備の地域が残っており、その影響と思われた。

### 3-1-8 鳥山川(羽沢)

ここは鳥山川の上流部で、下水道整備が進んでいるものの、一部下水道未整備の場所が残っている地域である。BODの平均は15mg/l、CODの平均値14mg/lとなり、平成4年にミズワタに関連して水質調査を行った時(BOD平均23mg/l、COD平均24mg/l)<sup>14)</sup>と比べて改善が認められたものの、ゆめはま水環境プランの目標(5mg/l以下)は依然として満たしていなかった。糞便性大腸菌群数についても、今回の調査地点の中で最も平均値が大きかった(9.2X10<sup>1</sup>個/ml)。

## 4. まとめ

横浜市北部地域18地点の糞便性大腸菌群数及び水質(BOD、CODなど)に関する調査を行った。

寺家川(寺家ふるさと村)及び梅田川(新治谷戸)の源流域では糞便性大腸菌群数が少なく、水質汚濁もほとんど認められず良好な

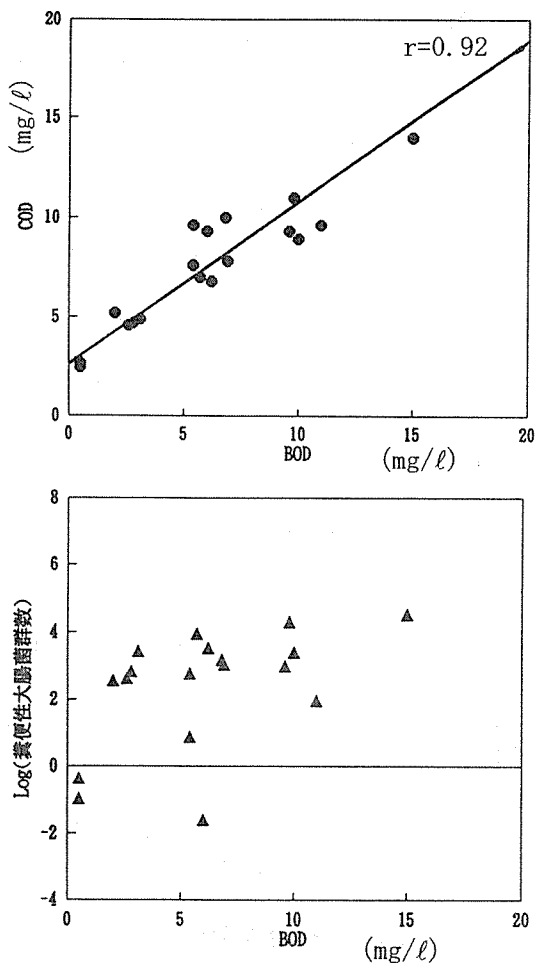


図-3 BOD、COD、Log (糞便性大腸菌群数の関係)

水質であった。奈良川（ことり橋）及び岩川（岡部谷戸）の源流域では、BODに関して、ゆめはま水環境プランの目標値（3 mg/l以下）を満足していたが、糞便性大腸菌群数が多く検出された地点もあり、一部生活排水が流入しているものと推察された。

一方谷本川、恩田川（柳橋及び恩田大橋を除く）、鶴見川、矢上川、鳥山川については、水質改善が進んでいるものの、依然として $1.0 \times 10^4$ 個/ml（水浴場の基準値）を超え、有機性汚濁も認められた。恩田川（柳橋）及び江川（半助橋）においては、有機性汚濁が認

められるものの、糞便性大腸菌群数は極めて少なく、残留塩素の影響と考えられた。

最後に横浜市南部地域の河川において相関関係が認められたBODとCOD及びBODとLog（糞便性大腸菌群数）に関して<sup>2)</sup>、北部地域の河川においても相関関係を調べてみた。BODとCODの関係（図-3）は、相関係数0.92で危険率1%水準で有意な相関関係が認められた。一方、BODとLog（糞便性大腸菌群数）については、相関係数0.51となり、相関関係は弱いものであった（図-3）。この原因としては、糞便性大腸菌群数は、水質の有機性汚濁以外に、人間由来の要因や下水処理水の残留塩素などの種々の要因によって影響されていると思われる。

## 文 献

- 1) 横浜市環境保全局：ゆめはま水環境プラン—概要版—，横浜市広報印刷物登録番号第060564号，p 1-30（1996）。
- 2) 酒井学：横浜市内河川水中の糞便性大腸菌群について（I）横浜市南部地域，横浜市環科研所報，20，25-30（1996）。
- 3) 日本下水道協会：下水試験方法1985年版，p 420-424（1985）。
- 4) 厚生省生活衛生局水道環境部監修：上水試験方法1993年版，p 504-505，日本水道協会（1993）。
- 5) 日本規格協会：JIS K 0102，p 41-43，p 48-53，p 106-107（1993）。
- 6) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物（第7報・河川編），p 14-29，横浜市広報印刷物登録番号第060560号（1995）。
- 7) 岡本文夫，竹村伸一，小川雅道：下水道整備が河川生物相に与える影響，下水道協会誌，30(4)，25-34（1993）。
- 8) 横浜市環境保全局：横浜環境白書平成7年版，横浜市広報印刷物登録第070329号，p 154-155（1995）。
- 9) 伊藤恵一，竹村伸一：江川せせらぎの水質調査，第18回横浜市下水道局研究発表会講演集，p 118-120（1994）。
- 10) 福嶋悟：塩素消毒の藻類群集に及ぼす影響，日本陸水学会第60回名古屋大会講演要旨集，p 41（1995）。
- 11) Goshko, M. A., Pipes, W. O. and Christian R. R.: Coliform occurrence and chlorine residual in small water distribution systems, J. A. W. W. A., 75, 371-374（1983）。
- 12) 古畑勝則，松本敦彦：飲料用タンク水から検出された大腸菌群とその塩素，熱抵抗性，東京衛研年報，37，343-348（1986）。
- 13) 初貝留美，福嶋悟，小市佳延：都市河川における汚濁物質の周日変動—鳥山川，横浜市環科研所報，19，83-88（1995）。
- 14) 酒井学：ミズワタの生長について（II）—河川における生長と水質の変化について，横浜市環科研所報，18，137-139（1994）。

# 横浜市における酸性雨調査

— 1995年の調査結果 —

矢本てるみ\*, 加藤善徳\*

## 1. はじめに

降水の化学的性状を長期的に把握するため、本市では1984年5月より一降水全量及び初期1mm降水を年間を通じ採取し、pH、導電率(EC)及び各イオン成分濃度の測定を実施している。ここでは、1995年の調査結果について報告する。

## 2. 調査内容

採取期間：1995年1月～1995年12月

採取地点：横浜市環境科学研究所屋上（横浜市磯子区滝頭）

採取方法：自動雨水採取装置（小笠原計器製作所US-400型）により一降水全量及び初期1mm降水を各降水毎に採取した。

分析項目及び分析方法：表-1に示した。

## 3. 結果

### 3-1. 気象状況及び採取状況

1995年1月～12月の1年間に一降水全量及び初期1mm降水を各57試料ずつ採取した。なお、降水量1mm未満の降水は調査対象から除外した。

1995年の年間降水量（採取した降水の貯水量より算出）は1524mmとなり、この値は、採取地点から約4km離れた横浜地方気象台における年間降水量<sup>1)</sup>（1440mm）の106%で、両者は概ね一致していた。

また、気象台の観測によると、月間降水量<sup>2)</sup>は1月、3月、5～7月が平年よりやや多かったが、その他の月は平年より少なく、特に8月と12月は平年の1%、3%とかなり少なかった。このため年間降水量としては平年<sup>2)</sup>（1569mm）よりやや少なめとなった。

### 3-2. pH

図-1、2に一降水全量及び初期1mm降水のpHの最高、最低、平均値を示した。

#### (1) 一降水全量

1995年の一降水全量の最高pHは5.48（3月16日、降水量16.9mm）、最低pHは3.99（3月15日、降水量1.3mm）、降水量で重み付けした平均pHは4.77であり、この値は前年までの11ヶ年の平均値4.64（表-2）と比べやや高い値であった。

また、図-3にpHの頻度分布を示したが、一降水全量のpHは4.5以上5.0未満の階級が31試料（54%）と最も多く、次いでpH4.0以上4.5未満の17試料（30%）だった。また、pH4.0未満の特にpHの低い降水は、前述した3月15日の1試料（2%）だけだった。なお、酸性雨とされるpH5.65以下の降水は57試料（100%）で、採取した降水のすべてが酸性雨であった。

次に、経年変化についてみると（図-1、欠測期間のある年は除く）、加重平均値は4.55～4.77の範囲内にあり、ほぼ横ばいで推移している。また、最低値については1987年～1994年にかけて低下の

表-1 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法
導電率(EC)	電気伝導度法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup>	イオンクロマトグラフ法
Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	イオンクロマトグラフ法
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup>	イオンクロマトグラフ法

傾向であったが、1995年はやや上昇している。

#### (2) 初期1mm降水

1995年の初期1mm降水の最高pHは6.27（5月29日）、最低pHは3.74（6月20日）、加重平均pHは4.33であり、この値は前年までの11ヶ年の平均値4.28（表-2）と比べやや高い値であった。

また、図-3にpHの頻度分布を示したが、初期1mm降水のpHは、一降水全量よりも一階級低い4.0以上4.5未満の階級が21試料（37%）と最も多かった。また、pH4.0未満の特にpHの低い降水は7試料（12%）であり、3月、6月、8月に観測された。

次に、経年変化についてみると（図-2）、加重平均値及び最低値が1987年～1992年にかけてやや低下の傾向であったが、その後は明確な傾向は見られない。

### 3-3. イオン成分濃度

表-2に一降水全量及び初期1mm降水の各イオン成分の年平均濃度を示した。

#### (1) 一降水全量

1995年のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の年平均値（μg/ml）は、それぞれ1.55、1.19であり、前年までの11ヶ年の平均（1.83、1.08）と比較し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はやや低め、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はやや高めであったが、経年的に見て大きな変化は見られなかった。

また、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>及び海塩が主と考えられるNa<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>は11ヶ年の平均とほぼ同程度で大きな変化はなかった。

#### (2) 初期1mm降水

1995年のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の年平均値（μg/ml）は、それぞれ6.00、6.44であり、前年までの11ヶ年の平均（6.55、5.13）と比較し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はやや低く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はやや高い値であった。

また、Ca<sup>2+</sup>は11ヶ年の平均と同じ値であったが、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及び海塩が主と考えられるNa<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>は11ヶ年の平均に比べやや低い値であった。

次に、経年変化をみると、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>が1987年～1994年にかけてやや上昇の傾向となっていたが、1995年はやや低下している。一方、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>については明確な増減傾向がみられない。

Survey of Acid Rain in Yokohama City. —Rain acidity data from January to December 1995—

\*Terumi Yamoto, Yoshinori Katou, 横浜市環境科学研究所大気部門

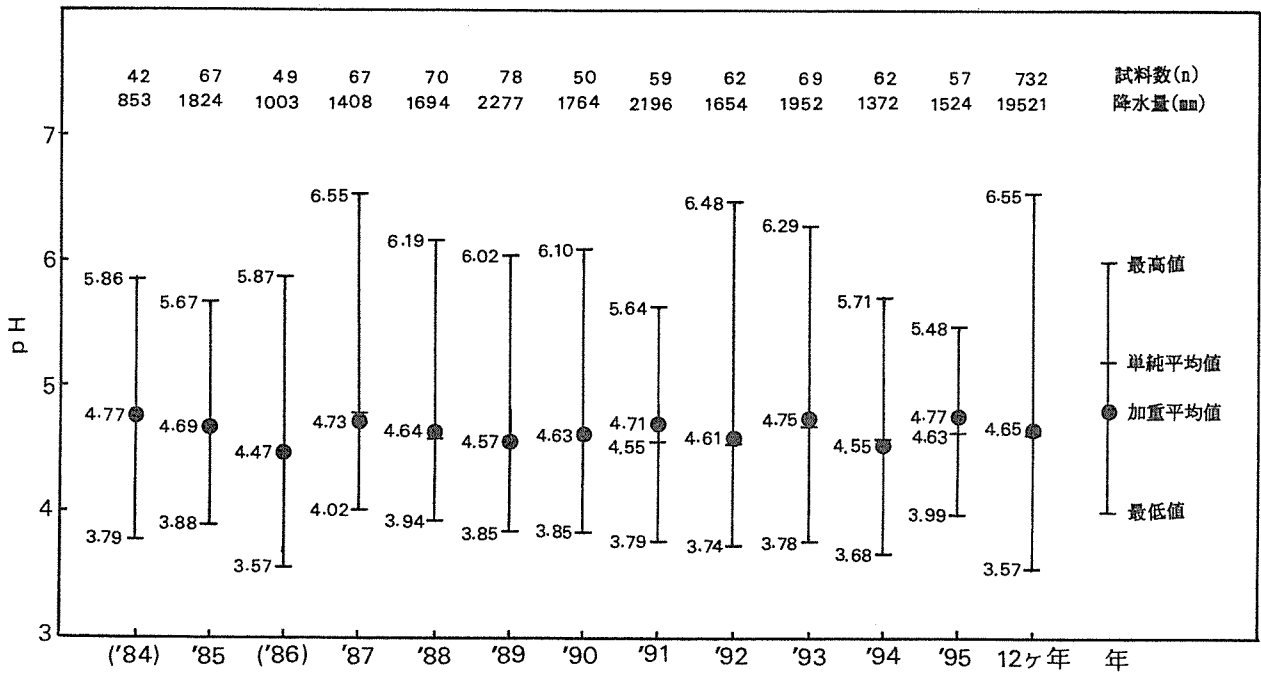


図-1 pHの経年変化（一降水全量）

（単純平均値は各降水のpH値の算術平均値，加重平均値は各降水のpHを水素イオン濃度に換算し、降水量で重み付けした平均値をpHに再変換した値である。1984年1月～4月及び1986年3月～5月は欠測である。）

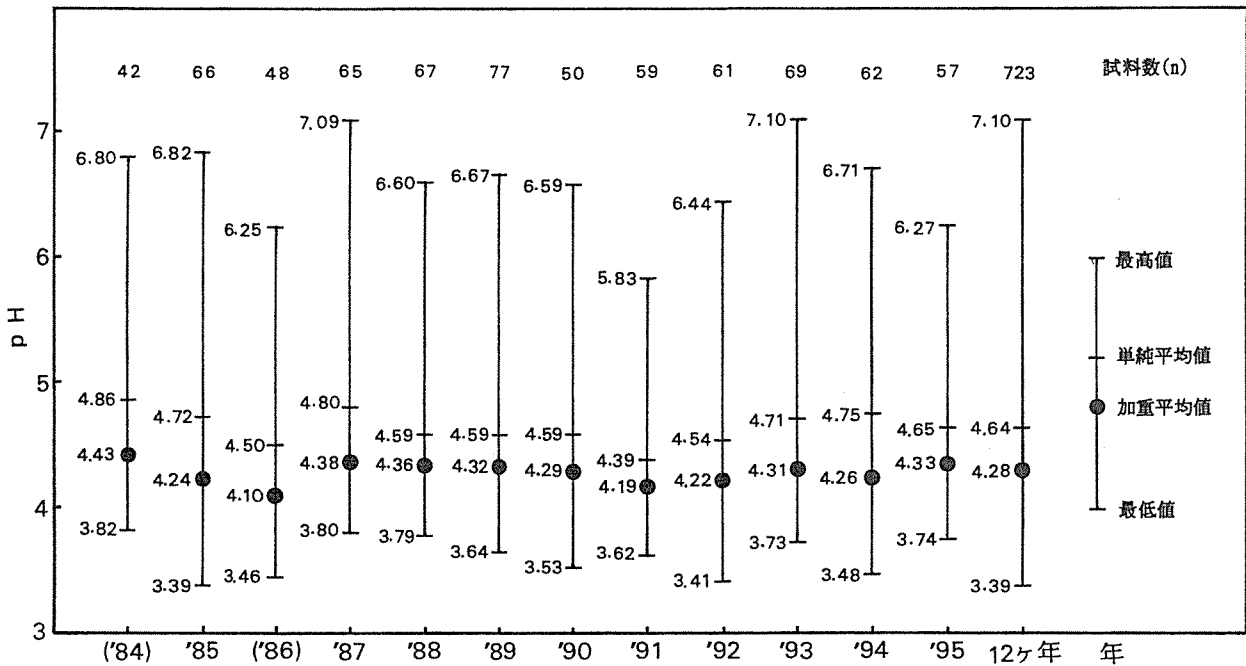


図-2 pHの経年変化（初期1mm降水）

（単純平均値は各降水のpH値の算術平均値，加重平均値は各降水のpHを水素イオン濃度に換算したものを平均し、pHに再変換した値である。1984年1月～4月及び1986年3月～5月は欠測である。）

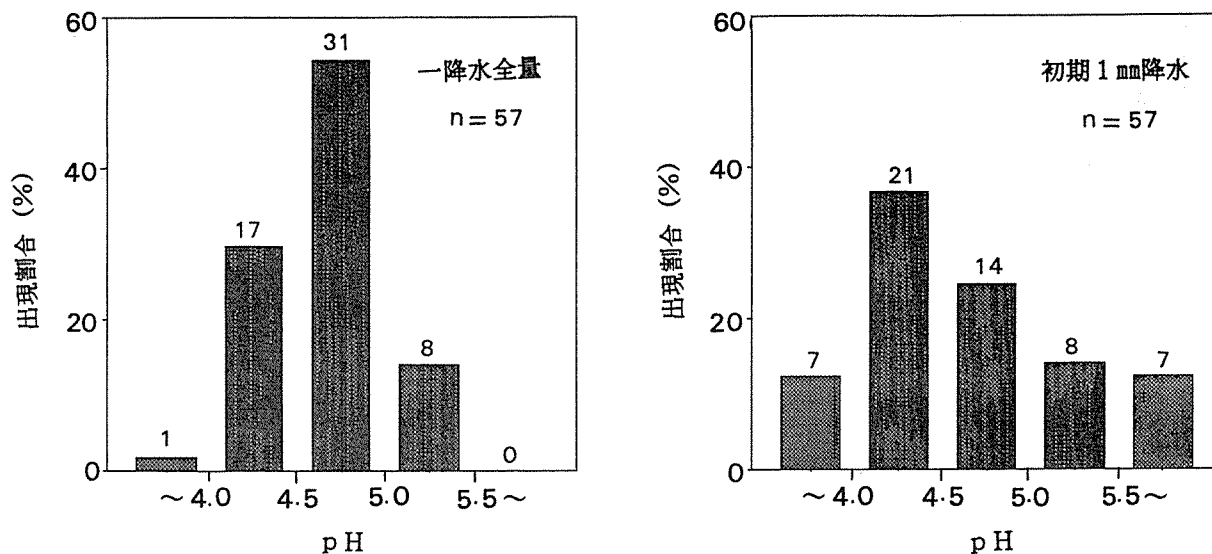


図-3 pHの頻度分布

表-2 降水成分の年平均濃度

	降水量 mm	試料数 n	pH	EC	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
				μg/ml									μS/cm
一 降 水 全 量	(1984年)	853	42	4.77	17.5	0.51	0.05	0.42	0.14	0.07	2.12	0.78	1.11
	1985年	1824	67	4.69	17.4	0.38	0.04	0.57	0.18	0.09	1.53	0.76	1.32
	(1986年)	1003	49	4.47	24.5	0.75	0.12	0.47	0.18	0.06	2.21	1.70	1.50
	1987年	1408	67	4.73	19.2	0.51	0.12	0.42	0.14	0.06	1.81	1.07	1.16
	1988年	1694	70	4.64	21.0	0.51	0.04	0.40	0.14	0.06	2.29	1.12	1.24
	1989年	2277	78	4.57	25.3	0.56	0.05	0.53	0.22	0.10	2.01	1.23	1.34
	1990年	1764	50	4.63	25.7	0.38	0.06	1.24	0.33	0.18	1.80	0.99	2.23
	1991年	2196	59	4.71	16.7	0.49	0.03	0.40	0.20	0.08	1.40	0.73	1.00
	1992年	1654	62	4.61	20.6	0.59	0.04	0.65	0.24	0.09	1.73	0.97	1.58
	1993年	1952	69	4.75	17.4	0.57	0.04	0.40	0.27	0.07	1.56	1.05	1.26
1994年	1372	62	4.55	24.7	0.63	0.03	0.58	0.35	0.10	2.17	1.75	1.41	
1995年	1524	57	4.77	19.6	0.53	0.04	0.55	0.23	0.08	1.55	1.19	1.35	
11ヶ年	17997	675	4.64	20.9	0.53	0.05	0.56	0.22	0.09	1.83	1.08	1.38	
12ヶ年	19521	732	4.65	20.8	0.53	0.05	0.56	0.22	0.09	1.81	1.08	1.37	
初 期 1 mm 降 水	(1984年)	-	42	4.43	53.6	1.63	0.14	1.41	1.11	0.28	6.73	3.52	4.38
	1985年	-	66	4.24	66.8	1.62	0.20	2.56	1.86	0.49	6.26	4.28	5.87
	(1986年)	-	48	4.10	71.9	2.09	0.20	1.68	1.20	0.27	7.03	6.41	5.49
	1987年	-	65	4.38	56.9	1.15	0.23	1.90	1.31	0.36	5.57	4.04	4.82
	1988年	-	67	4.36	57.0	1.37	0.16	2.15	1.08	0.34	6.10	4.15	5.20
	1989年	-	77	4.32	63.0	1.31	0.20	2.13	1.29	0.39	5.44	4.11	5.44
	1990年	-	50	4.29	73.4	1.26	0.28	4.22	1.97	0.71	6.39	4.42	6.20
	1991年	-	59	4.19	70.7	1.73	0.20	2.48	1.47	0.48	6.75	4.62	5.20
	1992年	-	61	4.22	59.0	1.55	0.19	1.96	1.43	0.36	5.89	4.63	4.35
	1993年	-	69	4.31	77.8	2.56	0.31	2.95	2.51	0.55	8.76	8.00	7.16
1994年	-	62	4.26	76.3	1.80	0.21	3.18	2.11	0.55	7.40	7.95	6.42	
1995年	-	57	4.33	65.6	1.56	0.21	2.25	1.59	0.41	6.00	6.44	4.67	
11ヶ年	-	666	4.28	66.1	1.64	0.21	2.44	1.59	0.44	6.55	5.13	5.54	
12ヶ年	-	723	4.28	66.0	1.64	0.21	2.42	1.59	0.44	6.51	5.23	5.47	

注1)一降水全量の平均値は降水量で重み付けした加重平均値である。

注2)pHの平均は水素イオン濃度に換算したものを平均して求めた。

注3)1984年1月~4月及び1986年3月~5月は欠測である。

注4)11ヶ年の欄には1984年~1994年の平均値、12ヶ年の欄には1984年~1995年の平均値を示した。

#### 4. まとめ

1995年の酸性雨調査の結果は次のとおりであった。

(1) 一降水全量(57試料)の平均pHは4.77, 初期1mm降水(57試料)の平均pHは4.33であった。

(2) 年平均pHは, 一降水全量, 初期1mm降水とも, 前年までの平均値と比較しやや高いものの, 経年的に大きな変化はみられなかった。

(3)  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ の平均濃度( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )は一降水全量が各々1.55, 1.19, 初期1mm降水が6.00, 6.44であり, 前年までの平均値と比べ $\text{SO}_4^{2-}$ はやや低く,  $\text{NO}_3^-$ はやや高い値であった。

#### 文 献

- 1) 横浜地方気象台: 神奈川県気象年報, 平成7年(1995).
- 2) 横浜地方気象台: 神奈川県気象月報, 平成7年1月~12月(1995).

## 人工酸性雨による銅板および青銅板のリーチング試験

矢本てるみ\*, 加藤善徳\*

### 1. はじめに

酸性雨等による歴史的文化財や建造物への影響が懸念されている。建築材料としてよく用いられる銅や銅合金の劣化には、①保護作用のない進行性の錆が形成される場合、②地金そのもの、あるいは保護作用のある錆層が溶解する場合などが考えられる。ここでは、酸性雨による金属からの含有成分の溶出について検討するため、銅および青銅（ブロンズ）の試験片に人工酸性雨を暴露するリーチング試験を行ったので報告する。

### 2. 調査内容

#### (1) 試験片

リーチング試験は、銅及び青銅の2種類について行った。以下に試験片の仕様を示す。

①銅板 規格：JIS H3100 C1100P (Cu:99.9%以上), 寸法：1.2×100×100mm, 表面研磨：鏡面羽布仕上, 日本テストパネル社製。

②青銅板 規格：JIS H5111 BC6 (Cu:82~87%, Zn:4~6%, Pb:4~6%, Sn:4~6%, 不純物:2%以下), 寸法：7×100×100mm, 表面研磨：400HL機械加工, 日本テストパネル社製。

なお、試験片は使用前にアセトンを含ませたガーゼで拭き、風乾後使用した。

#### (2) 人工酸性雨

人工酸性雨は、硫酸、硝酸、塩酸の混合溶液を用いてpH2, 3, 4, 5の4種類を調製した。混合比は、横浜市磯子における一降水全量の12年間の平均濃度<sup>1)</sup>を基に、 $SO_4^{2-}:NO_3^-:Cl^-=4:2:1$  (当量濃度比) とした。

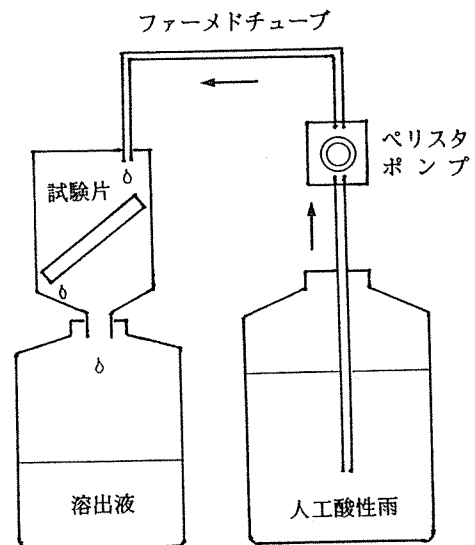


図-1 リーチング試験装置

表-1 溶出液量 (単位：リットル)

		1日	1週間	2週間	3週間	4週間	5週間
銅	pH2	0.39	6.05	12.2	17.9	23.9	29.8
	pH3	0.39	6.15	12.4	18.2	24.5	30.7
	pH4	0.37	5.82	11.6	17.1	22.8	28.6
	pH5	0.39	5.97	12.0	17.5	22.8	28.5
青銅	pH2	0.40	5.74	11.4	16.7	22.2	27.6
	pH3	0.39	5.57	11.1	16.3	22.1	27.8
	pH4	0.39	5.75	11.5	16.9	22.4	27.9
	pH5	0.38	5.78	11.7	16.8	22.4	28.1

表-2 蛍光X線分析条件

機種	リガク RIX2000
管球	Rh エンドウィンド型
電圧電流	50KV - 40mA
分析項目	F ~ U

(3) リーチング試験装置

図-1にリーチング試験装置の模式図を示す。広口10Lポリ容器の上に細口2Lポリ容器を中央で輪切りにしたものを逆さにして直接のせ、その中に試験片を約45度の角度でセットした。試験片の上部に人工酸性雨が滴下されるようにファームドチューブを固定し、ペリスタポンプを用いて流量約1ml/minで人工酸性雨を滴下した。

(4) リーチング試験

試験期間は5週間とした。原則として月曜日の朝から金曜日の夕まで人工酸性雨を連続暴露し、1週間毎に溶出液を回収した。但し、第1週目は半日暴露したところで一旦試料溶液を回収した。金曜日の夕から月曜日の朝までは暴露を停止し、試験片を自然乾燥させるようにした。

表-1に溶出液量を示した。5週間の総液量は30リットル程度となり、これは降水量に換算すると約3000mm(横浜市磯子の約2年間分の降水量)に相当する。

(5) 溶出液の分析

銅板からの溶出液についてはCu濃度を、青銅板からの溶出液についてはCu, Zn, Pb, Snの濃度を測定した。Cu, Zn, Pbはフレイム原子吸光度法(日立 Z-8000形), Snはフレイムレス原子吸光度法(パーキンエルマー 4100ZL型)で測定した。

(6) 試験片の分析

試験片は暴露前後で秤量し、1週間毎に写真撮影した。

また、青銅板については、暴露後の表面腐食生成物をカッターナイフで掻き取り、蛍光X線法により含有元素の半定量分析を行った。掻き取った試料は、ろ紙上の上せてポリプロピレン箔をかぶせ、中空アルミホルダー(35mmφ)を用いて測定した。蛍光X線分析条件は表-2の通りである。

3. 結果および考察

3-1. 試験片の外観

(1) 銅板

写真1~4に5週間暴露後の銅板を示した。人工酸性雨が接触した部分の色調は、pH2では、金属光沢が全く無くなり紫色を帯びた褐色となった。また、人工酸性雨接触部の周囲や、人工酸性雨が流れ落ちずに滞留している様な部分には、緑錆と思われる緑青色の腐食物や褐色の腐食物が生成された。

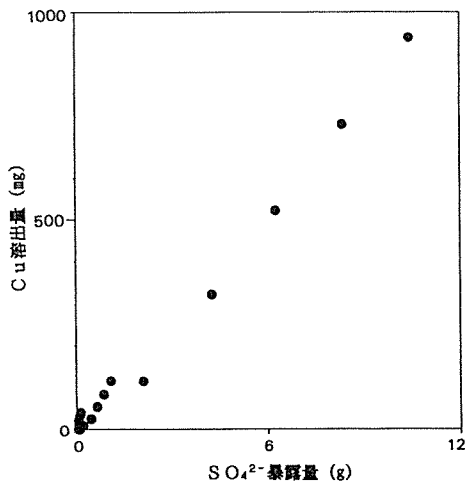


図-3 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>暴露量とCu溶出量の関係(銅板)

表-3 暴露前, 5週間暴露後の試験片の重量変化

		暴露前(g)	暴露後(g)	減少量(g)
銅	pH2	104.5321	103.1732	1.3589
	pH3	103.9849	103.8675	0.1175
	pH4	104.5289	104.4892	0.0397
	pH5	104.5300	104.5264	0.0036
青銅	pH2	619.30	618.54	0.76
	pH3	620.23	620.03	0.20
	pH4	620.62	620.55	0.07
	pH5	620.36	620.33	0.03

表-4 5週間暴露後の各成分の溶出量(mg)

	銅	青銅				合計
	Cu	Cu	Zn	Pb	Sn	
pH2	939	592	43	35	1	669
pH3	114	132	10	10	1	152
pH4	39	31	3	3	0	37
pH5	5	6	1	1	0	8

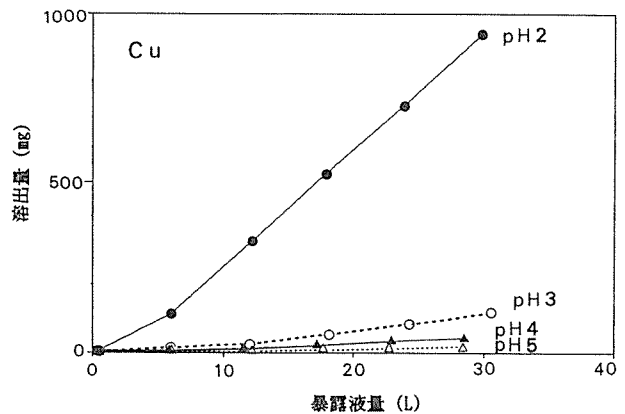


図-2 暴露液量とCu溶出量の関係(銅板)

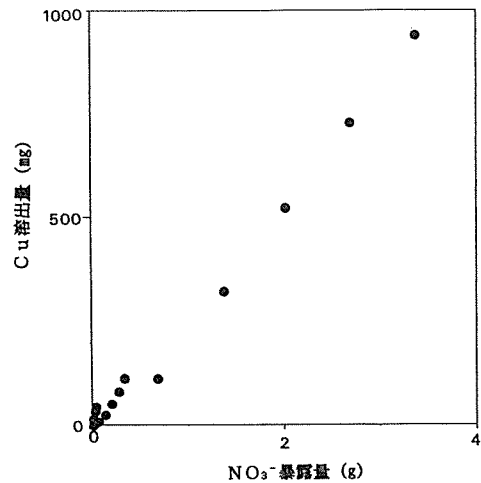


図-4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>暴露量とCu溶出量の関係(銅板)



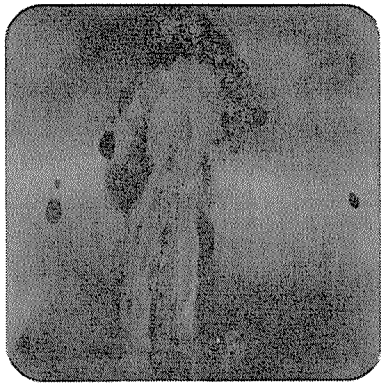


写真1 5週間暴露後の銅板(pH2)

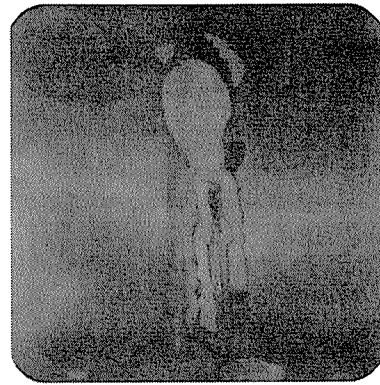


写真2 5週間暴露後の銅板(pH3)

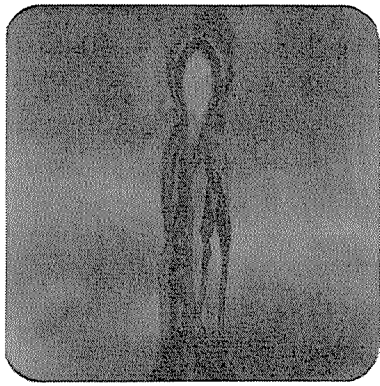


写真3 5週間暴露後の銅板(pH4)

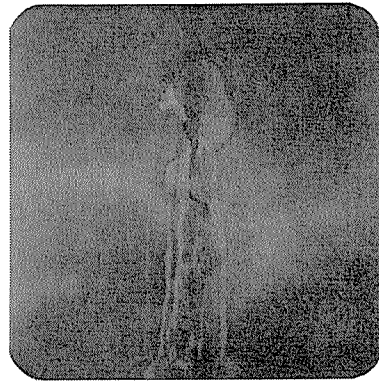


写真4 5週間暴露後の銅板(pH5)

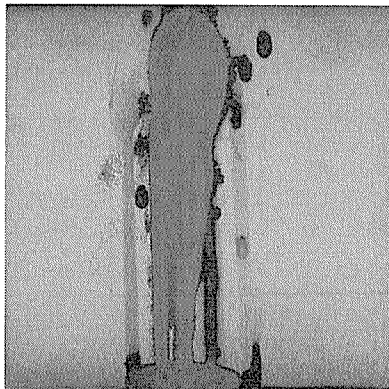


写真5 5週間暴露後の青銅板(pH2)

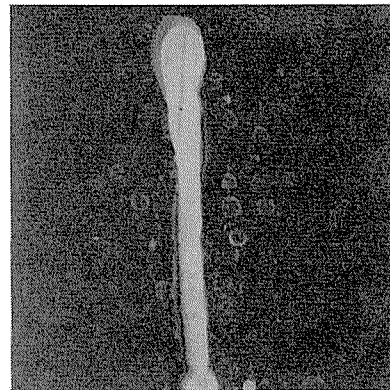


写真6 5週間暴露後の青銅板(pH3)

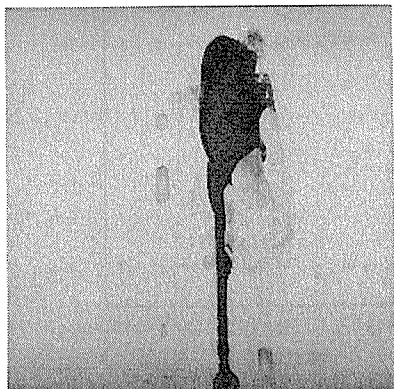


写真7 5週間暴露後の青銅板(pH4)

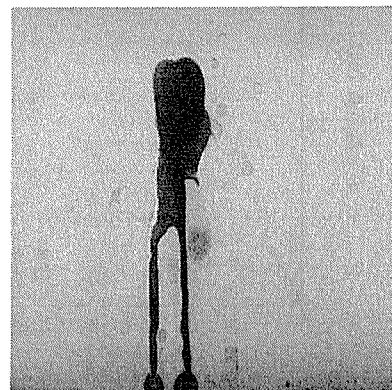


写真8 5週間暴露後の青銅板(pH5)

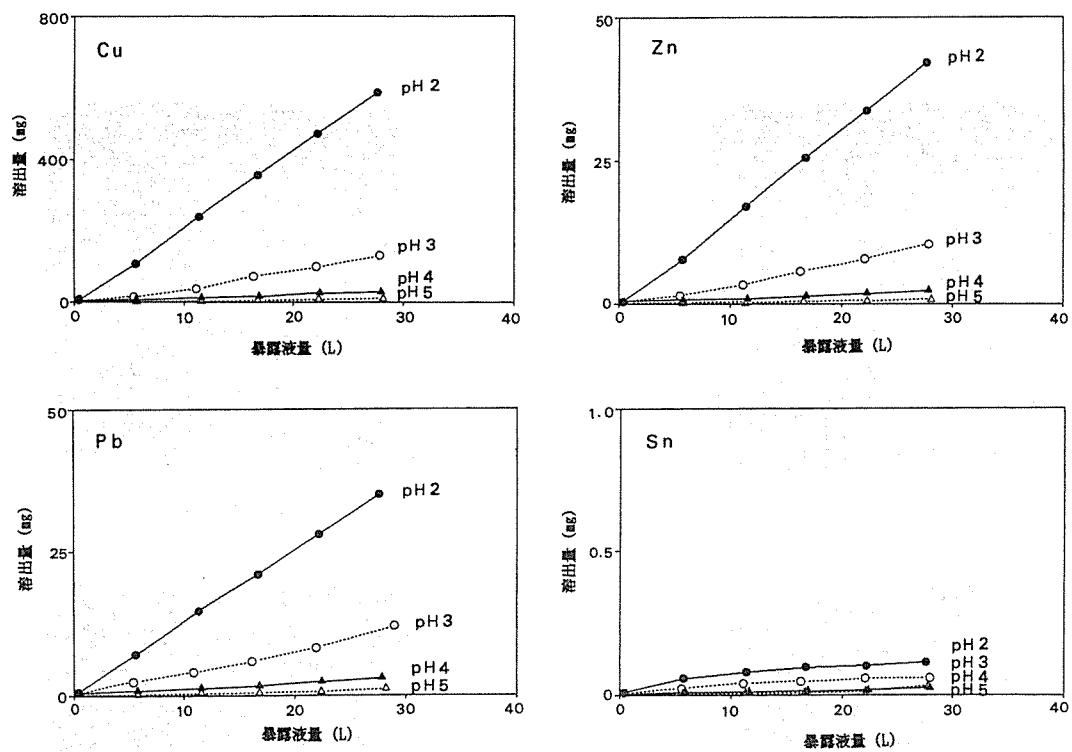


図-5 暴露液量とCu, Zn, Pb, Sn溶出量の関係 (青銅板)

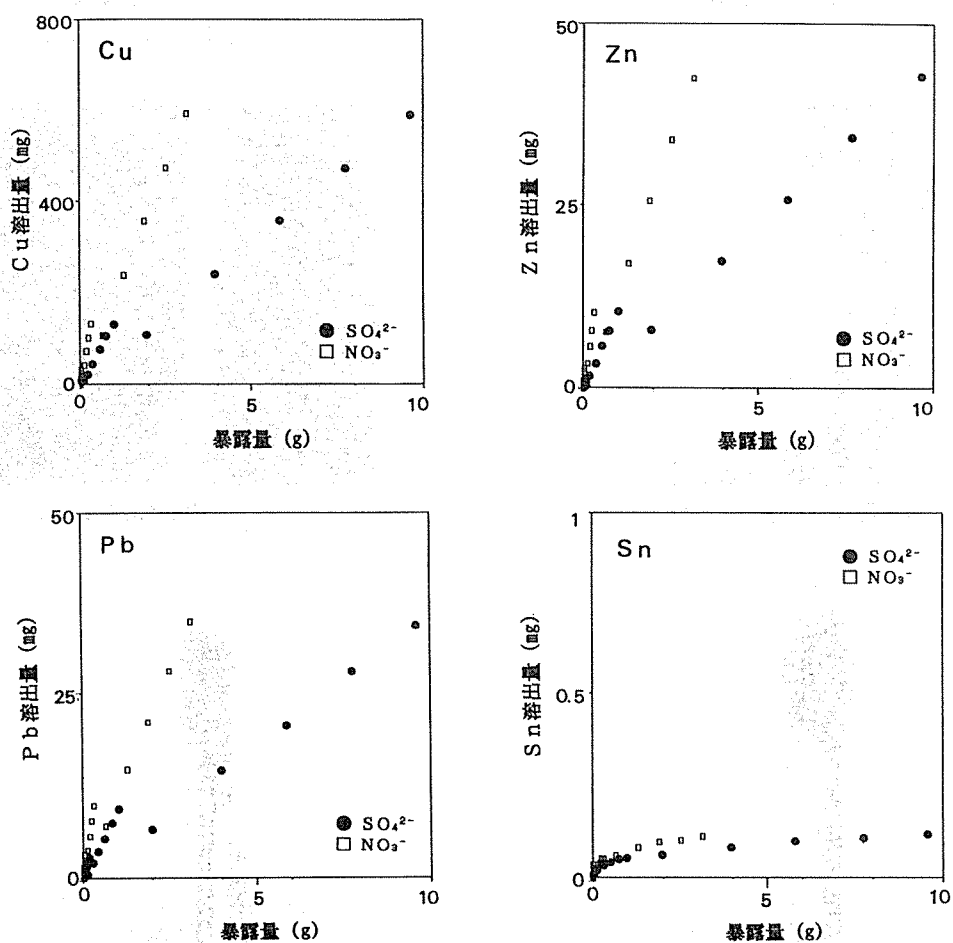
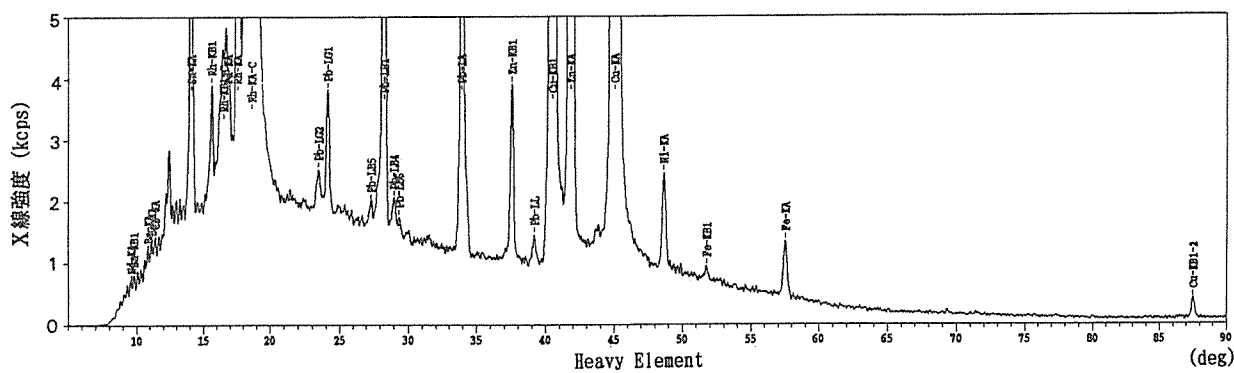
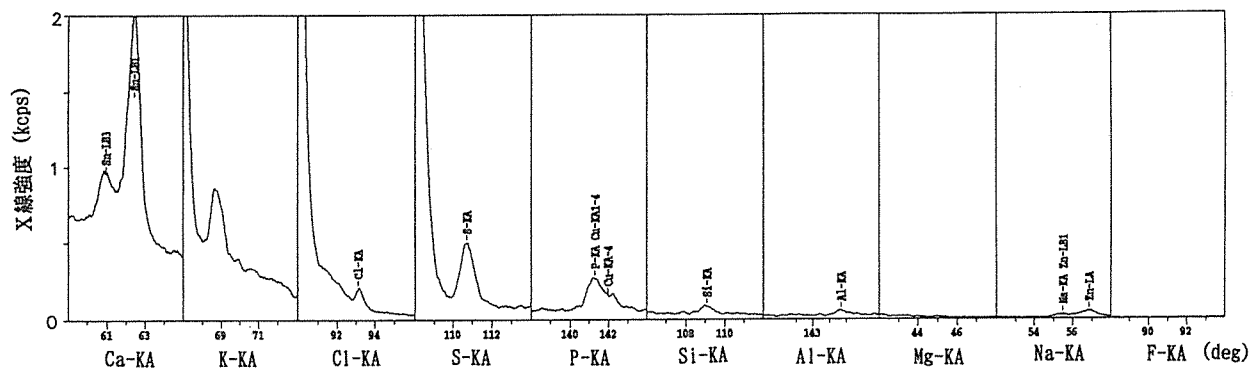
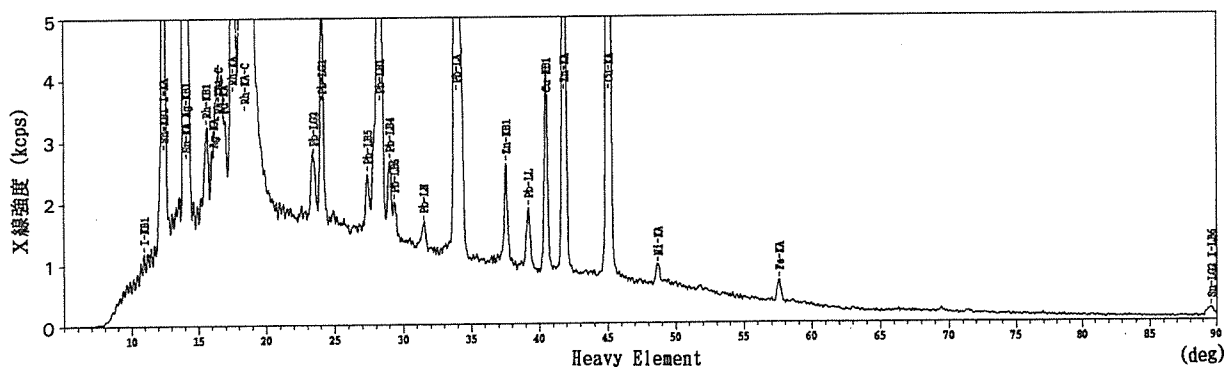
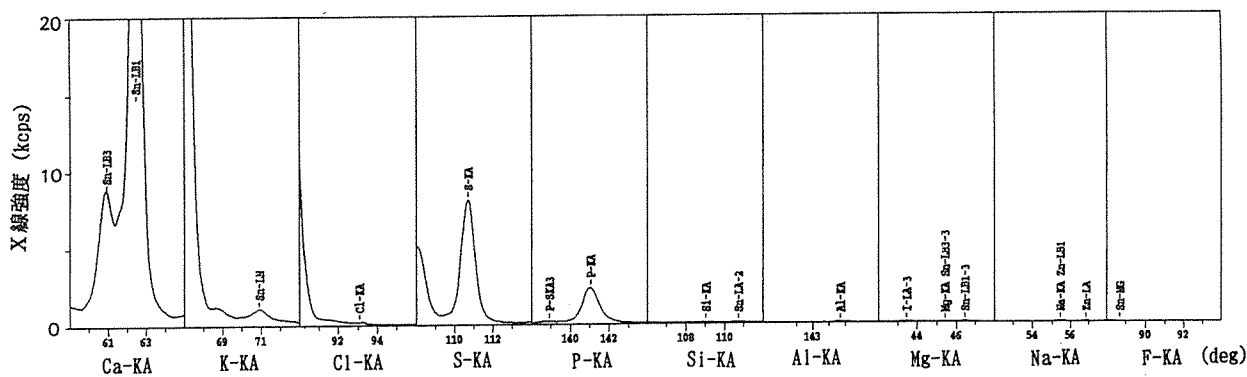


図-6  $\text{SO}_4^{2-}$  及び  $\text{NO}_3^-$  暴露量とCu, Zn, Pb, Sn溶出量の関係 (青銅板)



図一七 蛍光X線分析結果 (地金)



図一八 蛍光X線分析結果 (白色生成物)

一方、pH3の人工酸性雨接触部は、ざらめ状の輝きをもった橙色となり、その周囲には緑色がかかった褐色の部分が見られた。pH4もpH3と同様のざらめ状の橙色となったが、その周囲の色調は緑～暗紫色の複雑な色調を示した。pH5は、金属光沢の感じられる淡橙色ないし淡褐色を呈した。pH3, 4, 5の銅板には、pH2でみられた緑青色腐食物は生成されなかった。

#### (2) 青銅板

写真5～8に5週間暴露後の青銅板を示した。pH2の青銅板では、人工酸性雨接触部が真っ白に変色し、少量ではあるが、銅板と同様、周囲に緑青色の腐食物が生成された。また、pH3, 4も人工酸性雨接触部が白色に変化した。pH2に比べその面積は小さく、pH4では、褐色物質の上に白色物質が細くスジ状に生成する程度であった。一方、pH5は、白色にはならず濃褐色となったが、詳細にみると、この褐色物質の上に薄くパール状に白色物質が生成している様子が観察された。また、銅板と同様に、pH3, 4, 5の青銅板には、pH2でみられた緑青色腐食物は生成されなかった。

### 3-2. 溶出液の分析結果

#### (1) 重量変化

表-3に各試験片の暴露前及び5週間暴露後の重量を示した。暴露後の重量は銅、青銅いずれも減少しており、とくに暴露液のpHが低いほど減少量が大きかった。

#### (2) 銅板からのCuの溶出

図-2に暴露液量とCu溶出量の関係を示した。なお、各成分の溶出量は溶出液中の成分濃度と溶出液量との積により求めた。

銅板からのCuの溶出量は、暴露液量に比例してほぼ直線的に増加していた。また、Cuの溶出量は暴露液のpHが低いほど多く、5週間暴露後（暴露液量約30リットル）の溶出量（表-4）はpH2:939mg, pH3:114mg, pH4:39mg, pH5:5mgとなった。

図-3に $\text{SO}_4^{2-}$ の暴露量とCu溶出量の関係、図-4に $\text{NO}_3^-$ の暴露量とCu溶出量の関係を示した。なお、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ の暴露量は、暴露液中の濃度と暴露液量との積により求めた。図に示すように、Cuの溶出量は、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{NO}_3^-$ の暴露量とよい比例関係を示した。

#### (3) 青銅板からのCu, Zn, Pb, Snの溶出

図-5に暴露液量とCu, Zn, Pb, Snの溶出量の関係を示した。また、図-6に $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{NO}_3^-$ の暴露量とCu, Zn, Pb, Snの溶出量の関係を示した。

前述の銅板の場合と同様に、青銅板からのCuの溶出量は、暴露液量とよい直線関係にあり、また、暴露液のpHが低いほど溶出量は多くなっていた（図-5、表-4）。また、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ の暴露量が増加すると、Cu溶出量も増加する関係がみられた（図-6）。これらの関係は、Zn, Pbについても同様であった。しかし、Snについては、Cu, Zn, Pbとは異なり、暴露液量、 $\text{SO}_4^{2-}$ 暴露量、 $\text{NO}_3^-$ 暴露量と直線関係を示さず、いずれのpHにおいても、Snはほとんど溶出されなかった。

### 3-3. 白色生成物の分析結果

青銅板にみられた白色生成物について蛍光X線分析を行った。試料は、最も生成量の多いpH2の試験片から採取した。また、対照として、暴露液の接触していない地金の部分についても分析した。図-7, 8に分析結果を示す。

各元素のX線強度からFP法<sup>2)</sup>・<sup>3)</sup>により簡易定量を行った結果、地金の組成は、Cu 83%、Zn 6%、Pb 6%、Sn 3%、その他 2%となり、JIS規格範囲にほぼ近い値が得られた。一方、白色生成物の組成はSn 48%、Pb 21%、Cu 11%、Zn 4%、S 6%、その他 10%となり、地金に比べSnの含有率が高くなっていた。

このことから、この白色生成物は、人工酸性雨により溶出されずに試験片表面に析出したSn化合物が主であると推測された。なお、Pbの含有率もやや高くなっていることから、Pbは、溶出するもの他に、酸化物や塩として析出するものもあると思われる。

今後は、この白色析出物及び緑青色や褐色の生成物について、X線回折法やX線マイクロアナライザー法等により成分の同定を行い、更に検討を進めるとともに、他の材質についても検討してゆく予定である。

### 4. まとめ

人工酸性雨（pH2, 3, 4, 5）による銅板及び青銅板のリーチング試験を行った結果、次のことがわかった。

(1) 青銅板の人工酸性雨接触部は、白色に変色し、これはpHが低いほど顕著であった。

(2) 5週間暴露後の試験片の重量は、銅、青銅ともに減少しており、とくに暴露液のpHが低いほど減少量が大きかった。

(3) 銅板からのCu溶出量は、暴露液量、 $\text{SO}_4^{2-}$ 暴露量、 $\text{NO}_3^-$ 暴露量とよい直線関係にあった。また、暴露液のpHが低いほどCu溶出量は多くなった。

(4) 青銅板からのCu, Zn, Pbの溶出量は、暴露液量、 $\text{SO}_4^{2-}$ 暴露量、 $\text{NO}_3^-$ 暴露量とよい直線関係にあった。また、暴露液のpHが低いほどCu, Zn, Pbの溶出量は多くなった。

(5) 一方、青銅板からのSn溶出量は、暴露液量、 $\text{SO}_4^{2-}$ 暴露量、 $\text{NO}_3^-$ 暴露量と直線関係を示さず、いずれのpHにおいても、Snはほとんど溶出されなかった。

(6) 蛍光X線分析の結果、青銅板の白色生成物の主成分はSn化合物であることがわかった。

### 文献

- 1) 矢本てるみ、加藤善徳：横浜市における酸性雨調査 - 1995年の調査結果一、横浜市環境科学研究所報第21号、93-96 (1997)。
- 2) 理学電機工業株式会社編集：蛍光X線分析の手引、p72-81 (1990)。
- 3) 理学電機工業株式会社応用技術センター編集：蛍光X線分析におけるFP法の理論と演習 (1993)。

## 横浜市内の大気中有害物質調査

坂井 清\*, 平野 耕一郎\*, 新井 久雄\*, 白砂 裕一郎\*  
 草野 一\*\*, 砂田 育夫\*\*\*, 中村 雅俊\*\*\*

### 1. はじめに

横浜市では、1982年度に環境庁からの委託事業として、大気中有害物質の調査を行った。これを契機に、1984年度以降現在に至るまで、継続して行っている。

初年度における調査項目は水銀、ホルムアルデヒド及びベンゾ(a)ピレンであったが、1984年度からはアセトアルデヒドを、1986年度冬期からはアスベストをそれぞれ追加して調査している。

### 2. 調査方法

#### 2-1 調査地点及び期間

調査地点としては、表-1に示すとおり、商業地域等の各地域を代表するものとした。調査期間は表-2のとおり、1988年度までは年2回夏と冬に調査した。1989年度以降は、それまでの調査で夏は冬に比べ濃度が低いことが多いので、冬のみ調査とした。

#### 2-2 調査項目と測定方法

##### 2-2-1 水銀

1982年は、金アマルガム法用の捕集管に、毎日1回3時間大気を吸引し捕集した。この捕集管を加熱することにより発生したガスを過マンガン酸カリウム溶液に吸収させ、還元気化-原子吸光光度法により分析した。

1984年から1988年は活性炭吸着法により、1989年以降は再び金アマルガム法により毎日24時間捕集し、それぞれ加熱気化-金アマルガム式水銀計にて分析した。

##### 2-2-2 ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒド

1982年のホルムアルデヒドは、毎日1回3時間、ほう酸溶液に大気を吸引捕集した後、4-アミノ-3-ヒドロジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール(AHMT)吸光光度法により分析した。

1984年以降のホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドは、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)含浸シリカゲルを充填した捕集管に、毎日24時間大気を吸引捕集した後、アセトニトリルで溶離し、高速液体クロマトグラフィー-紫外分光法で分離、定量した。

##### 2-2-3 ベンゾ(a)ピレン

毎日24時間ハイボリューム・エアサンブラでシリカ繊維ろ紙に吸引捕集した浮遊粉じんから、ベンゼン-エタノール混合溶液で抽出し、高速液体クロマトグラフィー-蛍光分光法で分離、定量した。

##### 2-2-4 アスベスト

ポリカーボネート系メンブランフィルタ(nuclepore)に吸引捕集した浮遊粉じん中のアスベストを、走査型電子顕微鏡で形態観察し、X線マイクロアナライザーによる元素組成から同定した。なお、捕集は各調査期間中に、24時間捕集を1~2回行った。

### 3. 調査結果

各項目の調査結果を表-3~7に示した。

水銀濃度は、各地点間の差がはっきり現れていない。各地点ともここ数年比較的低い濃度となっている。

アルデヒド類、ベンゾ(a)ピレン及びアスベストの各濃度は、野庭中学校が他の地域と比べ低くなることが多い。また各地点とも経年の傾向は認められない。

環境庁が1996年4月1日現在でまとめた、官公庁による一般大気環境濃度の調査結果(以下「全国調査」という)によると、

- ・水銀及びその化合物 0.16 ~ 39 ng/m<sup>3</sup> (124地点)
- ・ホルムアルデヒド 1.4 ~ 34 μg/m<sup>3</sup> (125地点)
- ・アセトアルデヒド < 0.42 ~ 10 μg/m<sup>3</sup> (18地点)
- ・ベンゾ(a)ピレン 0.015 ~ 4.1 ng/m<sup>3</sup> (96地点)

となっている。本調査の結果は、水銀及びホルムアルデヒドでは全国調査の範囲内であるが、アセトアルデヒドは時折、またベンゾ(a)ピレンはたびたび全国調査の範囲を越えている。

また、環境庁による1991及び1993年度の未規制大気汚染物質モニタリング結果によると、住宅地域、商業地域及び農業地域のアスベスト濃度はN.D. ~ 2.91 繊維/1 (延39地点、241標本)となっている。本調査の結果は、環境庁調査結果の範囲内である。

Survey of hazardous air pollutants in Yokohama city

\* Kiyoshi Sakai, Koichiro Hirano, Hisao Arai, Yuichiro Shirasuna 横浜市環境科学研究所大気部門

\*\* Hajime Kusano 横浜市環境保全局公害対策部交通環境対策担当

\*\*\* Ikuo Sunada, Masatoshi Nakamura 横浜市環境保全局公害対策部大気騒音課

表-1 調査地点

地域の区分	施設名	所在地	調査年度
工業地域近傍 の居住地域	旧鶴見保健所 (1988年度まで鶴見保健所)	鶴見区本町通四丁目 171-23	1982~1991
商業地域	神奈川区総合庁舎	神奈川区広台太田町 3-8	1992~1995
商業地域近傍 の居住地域	港北区総合庁舎	港北区大豆戸町 26-1	1984~1995
	横浜商業高等学校	南区南太田町二丁目 122	1982
住居地域	野庭中学校	港南区野庭町 630	1982~1995
	公害研究所 (現 環境科学研究所 )	磯子区滝頭一丁目 2-15	1986(冬期) (7ヶ月)

表-2 調査期間

年 度	季節	調 査 期 間
1982(昭和57)	夏期	8月23日~8月28日
	冬期	1月17日~1月22日
1984(昭和59)	夏期	7月30日~8月4日
	冬期	12月10日~12月15日
1985(昭和60)	夏期	8月5日~8月10日
	冬期	12月2日~12月7日
1986(昭和61)	夏期	8月4日~8月9日
	冬期	12月1日~12月6日
1987(昭和62)	夏期	7月27日~8月1日
	冬期	12月7日~12月12日
1988(昭和63)	夏期	7月25日~7月30日
	冬期	12月5日~12月10日
1989(平成元)	冬期	12月4日~12月9日
1990(平成2)	冬期	12月3日~12月8日
1991(平成3)	冬期	12月2日~12月7日
1992(平成4)	冬期	12月14日~12月19日
1993(平成5)	冬期	12月6日~12月11日
1994(平成6)	冬期	12月12日~12月17日
1995(平成7)	冬期	12月4日~12月9日

表-3 大気中の水銀濃度測定結果 (ng/m<sup>3</sup>)

( )内は平均値

調 査 地 点		旧 鶴 見 保 健 所	横 浜 商 業 高 等 学 校	野 庭 中 学 校
1982(S. 57)	夏期	1 ~ 4 ( 2 )	2 ~ 5 ( 3 )	1 ~ 5 ( 3 )
	冬期	2 ~ 7 ( 4 )	2 ~ 4 ( 3 )	2 ~ 6 ( 4 )
調 査 地 点		旧 鶴 見 保 健 所	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1984(S. 59)	夏期	4.9~ 8.1 ( 6.1 )	1.6~ 6.1 ( 3.5 )	1.5~ 4.8 ( 2.9 )
	冬期	6.4~14 ( 9.9 )	( 欠 測 )	5.4~12 ( 8.7 )
1985(S. 60)	夏期	4.5~ 6.4 ( 5.3 )	3.7~ 4.4 ( 4.1 )	2.1~ 4.1 ( 3.0 )
	冬期	5.2~ 8.9 ( 6.8 )	5.4~ 8.7 ( 7.1 )	4.8~ 8.2 ( 6.4 )
1986(S. 61)	夏期	5.1~10.3 ( 6.8 )	4.4~ 5.9 ( 4.9 )	3.8~ 5.7 ( 4.6 )
	冬期	5.7~ 7.3 ( 6.4 )	5.8~ 8.3 ( 7.3 )	5.4~ 8.3 ( 7.1 )
1987(S. 62)	夏期	4.5~ 9.1 ( 6.9 )	3.8~ 6.2 ( 5.1 )	3.5~ 7.5 ( 5.3 )
	冬期	5.6~10.7 ( 8.0 )	6.8~ 8.9 ( 7.9 )	6.5~10.1 ( 8.2 )
1988(S. 63)	夏期	3.8~ 5.0 ( 4.4 )	3.6~ 4.7 ( 4.2 )	3.3~ 5.4 ( 4.5 )
	冬期	3.2~ 8.1 ( 6.0 )	3.6~ 7.8 ( 6.0 )	4.5~ 8.4 ( 6.2 )
1989(H. 元)	冬期	5.6~ 9.5 ( 8.0 )	3.3~ 6.7 ( 5.1 )	3.8~ 6.3 ( 5.3 )
1990(H. 2)	冬期	5.1~24.9 (10.6)	5.2~ 8.3 ( 6.9 )	5.1~ 8.0 ( 6.4 )
1991(H. 3)	冬期	3.8~ 7.6 ( 5.4 )	4.1~ 9.8 ( 5.9 )	3.3~ 7.3 ( 5.2 )
調 査 地 点		神 奈 川 区 総 合 庁 舎	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1992(H. 4)	冬期	2.3~ 5.5 ( 3.7 )	2.3~ 6.1 ( 4.0 )	3.0~ 6.6 ( 4.5 )
1993(H. 5)	冬期	3.8~ 6.6 ( 5.0 )	4.2~ 7.0 ( 5.4 )	4.1~ 6.5 ( 5.4 )
1994(H. 6)	冬期	2.2~ 5.5 ( 3.4 )	2.2~ 5.2 ( 3.5 )	2.3~ 5.3 ( 3.3 )
1995(H. 7)	冬期	2.0~ 4.7 ( 3.2 )	2.5~ 4.4 ( 3.5 )	2.4~ 3.6 ( 2.9 )

表-4 大気中のホルムアルデヒド濃度測定結果 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

( )内は平均値

調査地点		旧鶴見保健所	横浜商業高等学校	野庭中学校
1982(S. 57)	夏期	ND ~13 ( 4.0 )	ND ~12 ( 4.0 )	ND ~ 9.4 ( 1.3 )
	冬期	ND ~16 ( 5.4 )	ND ~12 ( 4.0 )	ND ~12 ( 2.7 )
調査地点		旧鶴見保健所	港北区総合庁舎	野庭中学校
1984(S. 59)	夏期	3.4~ 6.1 ( 4.7 )	3.4~ 7.4 ( 5.4 )	2.2~ 5.1 ( 3.5 )
	冬期	2.0~ 5.3 ( 3.5 )	2.3~ 7.7 ( 4.0 )	3.0~ 7.2 ( 4.1 )
1985(S. 60)	夏期	1.6~ 4.0 ( 3.4 )	3.5~ 3.9 ( 3.7 )	2.1~ 3.1 ( 2.5 )
	冬期	4.1~ 6.0 ( 4.7 )	3.1~ 7.0 ( 5.2 )	2.4~ 5.2 ( 3.7 )
1986(S. 61)	夏期	2.3~ 5.6 ( 4.2 )	2.3~ 7.7 ( 4.4 )	1.6~ 3.8 ( 3.1 )
	冬期	2.5~ 5.7 ( 4.1 )	2.7~ 6.0 ( 4.2 )	3.2~ 4.0 ( 3.6 )
1987(S. 62)	夏期	7.5~11.6 ( 9.2 )	5.5~ 9.9 ( 7.7 )	1.5~ 7.7 ( 4.8 )
	冬期	4.9~12.0 ( 7.8 )	5.2~ 7.7 ( 6.6 )	4.7~ 8.6 ( 6.3 )
1988(S. 63)	夏期	1.8~ 5.8 ( 3.6 )	2.6~ 3.1 ( 2.9 )	2.2~ 2.9 ( 2.6 )
	冬期	2.2~ 6.1 ( 4.6 )	2.4~16.4 ( 7.9 )	2.2~ 8.4 ( 4.6 )
1989(H. 元)	冬期	2.1~ 4.4 ( 3.5 )	1.6~ 4.2 ( 3.2 )	1.8~ 3.2 ( 2.7 )
1990(H. 2)	冬期	3.4~ 6.9 ( 4.9 )	3.9~11.0 ( 6.0 )	2.5~ 6.4 ( 4.4 )
1991(H. 3)	冬期	3.1~ 7.4 ( 5.7 )	2.7~ 7.0 ( 5.1 )	5.3~ 6.5 ( 4.7 )
調査地点		神奈川区総合庁舎	港北区総合庁舎	野庭中学校
1992(H. 4)	冬期	2.3~11.0 ( 6.4 )	1.7~ 9.9 ( 5.4 )	1.5~ 7.9 ( 4.3 )
1993(H. 5)	冬期	5.2~ 8.7 ( 6.5 )	3.6~12.9 ( 5.9 )	3.5~ 7.5 ( 5.1 )
1994(H. 6)	冬期	1.3~13.0 ( 5.1 )	1.6~12.5 ( 6.0 )	0.8~ 8.2 ( 3.6 )
1995(H. 7)	冬期	1.6~ 6.1 ( 3.7 )	3.2~12.0 ( 8.1 )	1.4~ 4.4 ( 2.5 )



表-5 大気中のアセトアルデヒド濃度測定結果 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

( )内は平均値

調 査 地 点		旧 鶴 見 保 健 所	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1984(S. 59)	夏期	1.8~ 4.5 ( 2.9 )	2.0~ 6.0 ( 4.2 )	1.2~ 3.8 ( 2.2 )
	冬期	2.7~ 8.8 ( 4.7 )	2.9~10 ( 4.7 )	2.2~ 7.7 ( 4.0 )
1985(S. 60)	夏期	0.8~ 1.2 ( 1.0 )	1.4~ 1.6 ( 1.5 )	0.5~ 0.8 ( 0.6 )
	冬期	1.8~ 3.5 ( 2.8 )	4.0~ 7.0 ( 5.2 )	2.6~ 5.7 ( 4.3 )
1986(S. 61)	夏期	1.3~ 3.2 ( 2.2 )	1.5~ 2.8 ( 2.0 )	1.2~ 2.0 ( 1.5 )
	冬期	1.5~ 4.3 ( 2.7 )	1.1~ 4.6 ( 3.0 )	2.4~ 3.1 ( 2.7 )
1987(S. 62)	夏期	0.2~ 3.4 ( 2.0 )	0.4~ 5.9 ( 2.1 )	ND ~ 2.4 ( 1.2 )
	冬期	5.3~12.8 ( 8.6 )	5.6~ 7.8 ( 6.8 )	4.8~ 9.4 ( 6.4 )
1988(S. 63)	夏期	1.5~ 3.9 ( 2.7 )	1.8~ 2.5 ( 2.2 )	1.9~ 2.6 ( 2.3 )
	冬期	2.1~12.5 ( 6.9 )	2.4~22.0 (10.1 )	2.1~ 9.7 ( 5.0 )
1989(H. 元)	冬期	0.8~ 4.2 ( 2.3 )	2.5~ 7.1 ( 4.9 )	2.6~ 5.8 ( 4.2 )
1990(H. 2)	冬期	4.2~11.4 ( 7.5 )	3.0~12.6 ( 7.1 )	3.7~ 8.8 ( 5.8 )
1991(H. 3)	冬期	( 欠 測 )	( 欠 測 )	( 欠 測 )
調 査 地 点		神 奈 川 区 総 合 庁 舎	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1992(H. 4)	冬期	2.0~11.1 ( 6.0 )	1.6~ 9.9 ( 5.2 )	1.6~ 7.3 ( 4.3 )
1993(H. 5)	冬期	4.2~ 6.5 ( 5.1 )	3.9~ 6.7 ( 4.7 )	3.3~ 7.3 ( 4.7 )
1994(H. 6)	冬期	1.2~10.3 ( 4.2 )	1.5~10.0 ( 5.0 )	1.2~ 7.7 ( 3.8 )
1995(H. 7)	冬期	1.4~ 5.7 ( 3.4 )	3.6~11.8 ( 7.9 )	1.3~ 4.4 ( 2.4 )

表-6 大気中のベンゾ(a)ピレン濃度測定結果 (ng/m<sup>3</sup>)

( )内は平均値

調査地点		旧鶴見保健所	横浜商業高等学校	野庭中学校
1982(S. 57)	夏期	0.1~0.5 (0.3)	0.1~0.5 (0.3)	0.0~0.4 (0.2)
	冬期	2.1~6.6 (4.3)	1.9~3.8 (2.5)	1.2~2.8 (1.8)
調査地点		旧鶴見保健所	港北区総合庁舎	野庭中学校
1984(S. 59)	夏期	0.2~5.9 (1.6)	0.1~0.8 (0.5)	0.1~0.7 (0.3)
	冬期	1.9~8.3 (3.7)	2.0~8.8 (3.6)	0.6~4.0 (1.8)
1985(S. 60)	夏期	0.5~1.2 (0.8)	0.4~0.9 (0.6)	0.1~0.2 (0.1)
	冬期	3.1~8.0 (5.0)	2.7~5.3 (4.2)	0.9~3.4 (1.9)
1986(S. 61)	夏期	0.8~15.6 (4.9)	0.6~3.8 (2.1)	0.4~1.7 (0.9)
	冬期	2.5~5.5 (4.0)	1.3~4.2 (3.3)	1.0~3.3 (2.5)
1987(S. 62)	夏期	0.5~1.6 (1.0)	0.4~1.5 (0.8)	0.1~0.9 (0.4)
	冬期	5.4~8.6 (6.8)	3.2~7.2 (5.4)	0.3~5.9 (2.0)
1988(S. 63)	夏期	0.4~1.0 (0.7)	0.4~1.2 (0.7)	0.4~0.8 (0.7)
	冬期	1.1~11.5 (6.6)	0.7~18.9 (8.5)	0.4~4.3 (2.1)
1989(H. 元)	冬期	0.6~5.6 (2.6)	0.3~3.6 (2.2)	0.6~2.5 (1.5)
1990(H. 2)	冬期	4.3~8.3 (6.6)	4.5~19.5 (11.2)	2.4~4.7 (3.6)
1991(H. 3)	冬期	2.6~8.0 (4.8)	2.2~7.0 (4.7)	1.4~4.6 (3.0)
調査地点		神奈川区総合庁舎	港北区総合庁舎	野庭中学校
1992(H. 4)	冬期	0.9~6.5 (3.5)	0.8~7.8 (3.9)	0.8~4.1 (2.1)
1993(H. 5)	冬期	1.5~3.3 (2.8)	1.1~3.5 (2.2)	1.0~2.6 (2.1)
1994(H. 6)	冬期	(欠測)	(欠測)	(欠測)
1995(H. 7)	冬期	0.8~9.2 (4.8)	0.7~8.9 (4.1)	2.2~7.5 (3.9)

表-7 大気中のアスベスト濃度測定結果 (繊維/l)

調 査 地 点		旧 鶴 見 保 健 所	公 害 研 究 所	野 庭 中 学 校
1986 (S. 61)	冬期	0.54	2.44	0.91
調 査 地 点		旧 鶴 見 保 健 所	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1987 (S. 62)	夏期	0.18 , 0.26	0.35 , 0.36	0.20 , 0.22
	冬期	0.39	0.83	0.35
1988 (S. 63)	夏期	0.11 , 0.08	0.16 , 0.05	<0.01 , 0.05
	冬期	0.59 , 0.23	0.52 , 1.08	0.31 , 0.49
1989 (H. 元)	冬期	0.74 , 0.61	0.66 , 0.65	0.28 , 0.45
1990 (H. 2)	冬期	0.17 , 0.38	0.18 , 0.23	0.12 , 0.26
1991 (H. 3)	冬期	0.63 , 1.03	0.89 , 0.42	1.01 , 0.18
調 査 地 点		神 奈 川 区 総 合 庁 舎	港 北 区 総 合 庁 舎	野 庭 中 学 校
1992 (H. 4)	冬期	0.10 , 0.36	0.18 , 0.57	ND , 0.16
1993 (H. 5)	冬期	0.13 , 0.15	0.05 , 0.11	0.08 , 0.18
1994 (H. 6)	冬期	0.32 , 0.18	0.17 , 0.32	ND , 0.08
1995 (H. 7)	冬期	0.23 , 0.06	0.12 , 0.15	0.21 , 0.16

## サーマル・デソープション法を用いた大気中 炭化水素類のモニタリング

前田 裕行\*

### 要 旨

このたび、大気汚染防止法の一部が改正され、地方自治体においては、新たな有害大気汚染物質対策が始まろうとしている。

特に、各種の揮発性有機化合物（VOC）の分析やモニタリングをする場合、その試料採取および分析方法は、キャニスター捕集、GC/MS分析が適当であるが、炭化水素類の分析については、FID検出器の物質選択性の良さやデュアルカラムおよびデュアル検出器を用いて効率良い分離分析が可能であると考えられる。

そこで、今回は、ベンゼンなどの有害炭化水素類をモニタリングする方法として、環境大気を活性炭吸着管で捕集し、サーマルデソープション（加熱脱着）してGC-FID分析するシステム分析方法の使用特性を検討した。

その結果、シーケンシャルローターを有するサンプリング装置に試料捕集管をセットし、これをハイボリウムエアースンプラー用のシェルターの内部に入れ、風雨を避けて試料採取が可能であった。

また、大気中の炭化水素類のうちC<sub>2</sub>～C<sub>9</sub>までの成分を吸着捕集する場合、サンプリングチューブ内に中高沸点物質吸着用活性炭としてCarbotrap 20/40 meshを300mg、低沸点物質吸着用活性炭としてCarbosieve S III 60/80 meshを150mg充填したもので分析検討し、53種の炭化水素類の成分を一斉分析することができた。

### 1. はじめに

近年、大気環境と発ガン性など健康影響の観点から、有害大気汚染物質に対する問題解決意識の国際的な流れもあり、この平成8年の春、大気汚染防止法の一部が改正され有害大気汚染物質対策は新たな取り組みが始まっている。

とりわけ揮発性有機化合物（VOC）の分析やモニタリング方法を整備する必要性が生じている。VOC分析には、ガスクロマトグラフ（GC）による一斉分析法が各物質の同族体を系統分析できることから適していると考えられる。検出法も含めた最近のGC分析技術の進展はめざましく、コンピューター処理技術の発達に伴い、測定の自動化、迅速化および高精度化がもたらされている。

地方自治体においては、固有の複雑な地形や産業立地条件などに応じた測定地点数および頻度で大気汚染状況を把握するため試料採取および分析の自動化が必要となっている。

一方、国より示されたこれらVOCの標準的な採取および分析方法は、①キャニスターによる大気試料捕集→低温濃縮→GC/MS分析 ②固体捕集管による大気試料捕集→溶媒抽出→GC/MS分析 ③固体捕集管による大気試料捕集→加熱脱着→低温濃縮→GC/MS分析 の3種に大別できる。

固体捕集管による大気試料採取方法は、採取装置にポンプと流量計を用いる必要があるが採取検体が小型で多数検体を扱いやすいことや採取時にサンプル濃縮が効果的に行えることなどが利点である。



STS25の外観（左はバッテリーバック）



STS25サンプリャー部

図-1 連続大気サンプリャー（PE社製 STS25）

従来、この場合のサンプルの分析は固体捕集管の充填物を溶媒で抽出することが多かったが、使用する溶媒の有害性、溶媒の不純物および回収率などの課題があった。

このため、抽出溶媒を使用しないサーマルデソープション（加熱脱着）法による分析方法が検討されている。この方法は回収率が高く、分析の自動化も容易であることが特徴である。

そこで、今回は、ベンゼンなどの有害炭化水素類をモニタリングする方法として、FID検出器を用いることによる物質選択性の良さやデュアルカラム、デュアル検出器を用いて効率良い分離分析が可能であると考えられることから、環境大気を活性炭を充填した固体捕集管で捕集し、サーマルデソープション（加熱脱着）してGC-FID分析するシステム分析手法の使用特性を検討したので報告する。

## 2. 炭化水素類分析システム

### (1) 連続大気サンプラー

サンプラー本体は、パーキンエルマー社製（STS-25）で図-1に示すように内部のタイマー機構により任意の時間間隔に大気試料を吸着採取することのできるシーケンシャルローターを有する装置である。最大24本の試料捕集管（サンプリングチューブ）をセットすることができる。装置は、12Vのバッテリーまたは交流電源で作動可能である。

### (2) 試料捕集管（サンプリングチューブ）

サンプリングチューブは、図-2に示すように全長90mm、内径5mmのステンレススチール製のものである。大気中の炭化水素類のうちC<sub>2</sub>~C<sub>9</sub>までの成分を吸着捕集するため、捕集管内部には中高沸点物質吸着用活性炭としてCarbotrap 20/40 meshを300mg、低沸点物質吸着用活性炭としてCarbosieve S III 60/80 meshを150mg充填したものをを用いて検討を行った。

大気採取時の通気方向は、図に示すようにCarbotrap側からであり、ここを通過する低沸点成分は次のCarbosieve S IIIで捕集される。

なお、分析時の加熱脱着は、大気採取方向と逆にキャリアーガスを流し、脱離してくる分析成分はキャリアーガス中でのバンド幅が最小となり次のフォーカシングトラップへ向かう。

### (3) GC分析システム

分析検討に使用したGCは、パーキンエルマー社製 Auto GC Systemで、試料ガスの加熱脱着および低温濃縮機能を持つサーマルデソープションシステム（ATD-400）を用いた自動分析FID-GCである。このサーマルデソープションシステムは、50検体までの試料捕集管を加熱脱着してGCへ自動導入することができるマイクロプロセッサ制御の2段階濃縮・デソープションシステムである。<sup>1)</sup>

GCの構成について、図-3に示した。加熱脱着されたサンプルはCarbotrap CおよびCarbosieve S IIIを充填し-30℃に電子冷却されたフォーカシングトラップに再トラップされる。この部分は容積が小さく、次に向かうキャピラリーカラムの分離を高める効果がある。

GC部における低沸点炭化水素類の分離には、アルミナPLOTキャピラリーカラム 50m×0.32mmを用い、中高沸点炭化水素類の分離には、メチルシリコン（DB-1）キャピラリーカラム 50m×0.22mm×1.0μmを用いている。

フォーカシングトラップを加熱して脱離されたサンプルガスは、

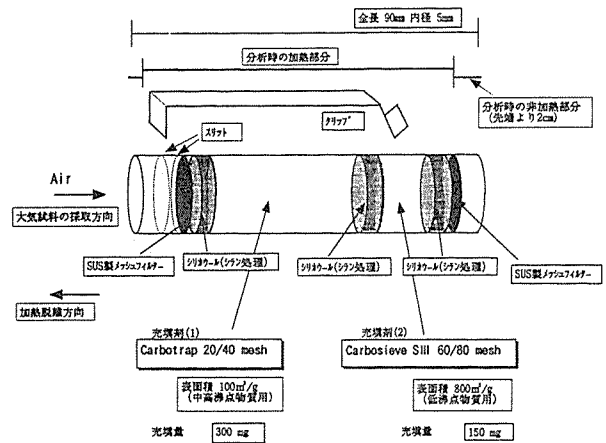


図-2 試料捕集管（サンプリングチューブ）の構造

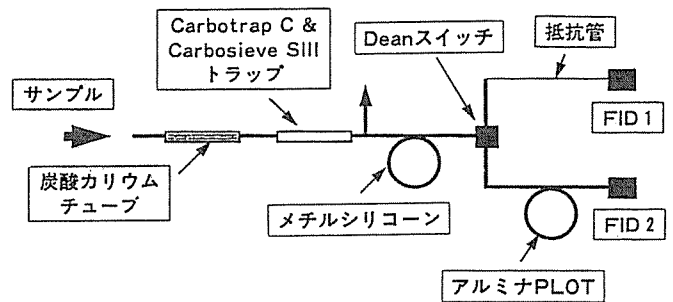


図-3 炭化水素類分析システムGCの構成

表-1 GCおよびサーマルデソープションシステム設定条件

GC :		ATD-400 :	
Initial Oven Temp	46℃	Split Min Pressure	48psi
Initial Oven Time	15min	Time event Valve	14.00min
Ramp Rate	5℃/min	Sample Collection	15ml/min
Oven Temp	170℃	Trap Low Temp	-30℃
Ramp Rate	15℃/min	Trap High Temp	300℃
Final Oven Temp	200℃	Trap Hold	5min
Final Oven Time	6min(Hold)	Cycle Time	60min
Mid-point Pressure	21.5psi		

まずメチルシリコンカラムへ送られる。ここでは低沸点成分が早く溶出するので次のアルミナPLOTに入る。C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>成分のみがアルミナPLOTに入るようにDeanスイッチの切り替えタイミングを調節する。それぞれのカラムからの溶出成分を2個のFID検出器で検出し、低沸点炭化水素類および中高沸点炭化水素類のクロマトグラムを得る。

今回の検討分析に用いたガスクロマトグラフおよびサーマルデソープションシステム設定条件を表-1に示した。

## 3. 炭化水素類分析システムの使用特性検討結果

### (1) 連続大気サンプラーを用いた環境測定について

連続大気サンプラーにセットされたそれぞれのチューブにテフロン製キャピラリー管を取り付け、タイマー制御のローターの回転によりポンプ吸引ポジションのチューブのみに大気が吸引される。吸

引を終えたチューブは、ローターの回転に送られて吸引位置から外れ、次のサンプルチューブがポンプ吸引ポジションにくる仕組みである。吸引を終えたチューブは装置内部に放置されるが、キャピラリー管が付いているため装置内部のガスを吸引することがなく保存される。したがって、従来一般のシーケンシャルサンプラーの機構でしばしば見られたチューブの開口端と大気を遮へいする多くの電磁弁などを用いることなく装置を構成することができるため非常に小型で扱いが容易である。

しかしながら、大気吸引口は粉じん除去の目的もあり、比較的大きな形状の吸引口となっており、通常は大気吸引位置が装置本体の上部でしか採取することができない。この形状は風雨に晒されない室内空気などの採取に適するが、実際の野外フィールドでの採取に用いるためには風雨を遮断できる工夫が必要となる。そこで、連続大気サンプラーを野外で設置する場合、図-4に示すように、採取地点に設置したハイボリウムエアーサンプラー用のシェルターの内部に入れ、風雨を避けるように試料採取する必要があった。

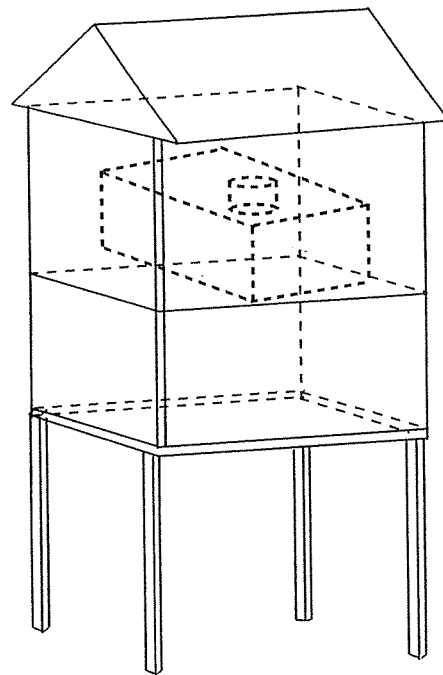


図-4 連続大気サンプラーの設置方法

### (2) サンプルチューブの炭化水素成分の保持容量

今回使用したサンプルチューブ内に充填した吸着剤は2種類ものを直列に用いることにより幅広い沸点の炭化水素成分を吸着できるようになっている。

一方、検出器のFIDの感度特性からみて、GC成分分析に必要な大気通気量は約2L以上必要であった。したがって、環境大気を連続捕集する場合、サンプルチューブの通気量を2Lとした場合の破過特性を調べておく必要がある。

一般に、気液充填剤カラムにおける温度(T)と保持容量(V)との関係式として  $\ln V = -\Delta H S / RT + K$  ( $\Delta H S$ : 1モルあたりの溶解度, K: 定数) が知られている。この関係は、気固充填剤カラムにも適用できる。この関係を用い高温部においての各物質の保持容量を求め、温度と保持容量の関係を求めておく。採取温度における各物質の保持容量は外挿して知ることができる。

そこで、チューブの破過試験を行うためサンプルチューブをGCのカラムとして接続し、60℃から250℃までの温度条件で各物質の溶出状態のクロマトグラムを得た。これから得られた保持容量(ピークトップではなく、溶出ピークの立ち上がり時点における保持容量とした)と温度の逆数( $1/T \times 10^3$ , T: 絶対温度)の関係を求め、図-5-1~図-5-4に示した。

これによると、エタンの破過容量は、20℃で0.5Lであり、エチレンでは、0.2Lであった。

C4ブテン類では1, 3-ブタジエンを例にとると、20℃で約1500Lであった。また、C3成分のプロパンでは8Lであった。

したがって、環境大気を通気量を約2Lで行う場合、沸点の低いエタンおよびエチレンは、定量的に捕集できないが、プロパン(C数: 3)以上の沸点(炭素数)を持つ物質は、定量的に捕集できると分かった。

### (3) 連続大気サンプラーに用いる吸引ポンプの流量計測

使用した吸引ポンプは、微量流量制御可能なパーソナルサンプラー用のものであり、捕集エレメントのチューブの圧力増加が生じる場合でもそれに応じて自動的に回転数へフィードバックする駆動方式である。実際の環境濃度調査に用いる大気通気流速は、10~20 ml/min程度の低流量であるので、その流量調整には、一般の乾式または湿式流量計は、本ポンプの駆動圧が少ないため使用することは

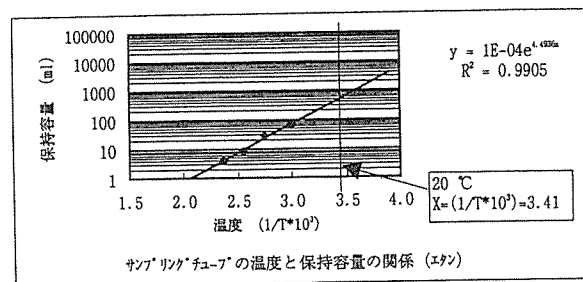


図-5-1 サンプルチューブの破過容量 (エタン)

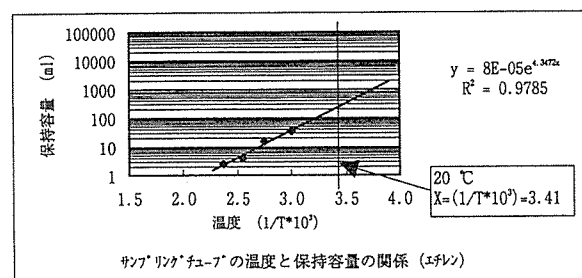


図-5-2 サンプルチューブの破過容量 (エチレン)

できない。

そこで、図-6に示すようにポンプの排気口からの空気を、水浴の上の水で満たしたメスシリンダー中に導き、時間と置換した空気量を計測することによりポンプ流速を調整することができる。

(4) 標準ガス

ガスのメーカーへ発注した高圧ボンベ入り標準ガスおよび真空ビン注入気化法によって作成した標準ガスを成分の同定と定量に用いた。その濃度仕様を表-2に示した。

標準ガスのGCへの導入方法は、高圧ボンベ入り標準ガスの0.5mlと真空ビン注入気化法によって作成した標準ガス0.05mlを同一のサンプリングチューブに窒素気流中(50ml/min, 3分間)で吸着させ、システムGCへ加熱脱着導入し、14物質の標準ガスのクロマトグラムを得た。そのときのクロマトグラムを図-7に示した。各物質のGC注入量は、表-3に示すように m-Xylene 22.15ng から 1,3,5-Trimethylbenzene 168.64ng の範囲である。

(5) 大気中炭化水素類の成分同定

今回、実際に用意した標準ガスは、前述のように14種類であり、これだけで多成分存在する実大気中の炭化水素類を全て同定することは通常困難である。

そこで、まず実大気測定(横浜市磯子区)のクロマトグラムを得た後、パーキンエルマー社資料のThe Ozone Precursor Chromatogram<sup>2)</sup>の図中から読みとった各物質の保持時間(RT)とn-ペンタンおよびトルエンを基準とした比保持時間(RRT)の算出値と実大気で得られたクロマトグラムから得られた比保持時間の比較を行った。その結果を、表-4に示した。これによると、各クロマトグラムの始めから約20分以降の成分についてのRRTは非常に一致していた。しかし、約20分以内に溶出する成分は、GCのコンディショニングの違いから前述のn-ペンタンおよびトルエンのRRTにずれが生じていた。そこで、この範囲のクロマトグラムについては、低沸点クロマトグラムについてさらにプロパンで、中高沸点クロマトグラムについてさらにn-ヘキサンでRRTを補正した。

また、中高沸点クロマトグラムは、最も高沸点側でもRRTのずれが生じていたので、1,3,5-トリメチルベンゼンでもRRTを補正した。

以上の手法により各成分のRRTを一致させて、表-5に示す53種の炭化水素類の成分同定をすることができた。

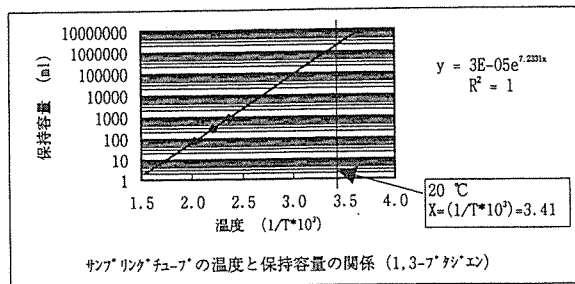
以上により同定および定量した実大気分析の典型的一例を図-8に示した。

(6) サンプリングチューブのクリーンアップおよび保存

今回分析検討に用いたサンプリングチューブは、ステンレススチール製のものであるが、他にガラス製チューブのものもある。これは、内部の充填物の状態が分かりやすい特徴があるが、ステンレススチール製の方が捕集剤の充填量をより多くすることができ耐久性も高い。通常、チューブのシール栓はOリングを用いたテフロン栓

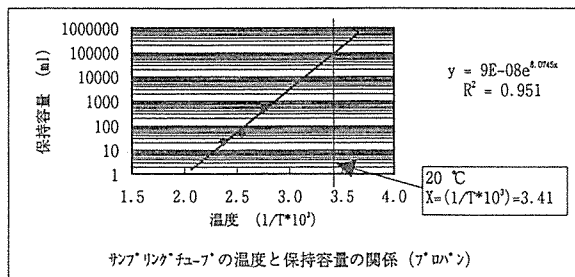
表-2 混合標準ガスの濃度仕様

番号	物質番号	物質名	高圧ボンベ入り標準ガス ppm	真空ビン気化標準ガス ppm
1	1	Ethane	49.7	
2	3	Propane	50.6	
3	13	n-Pentane	52.3	
4	27	n-Hexane	39.3	
5	31	2,4-Dimethylpentane		629
6	32	Benzene	41.6	
7	38	n-Heptane		640
8	41	Toluene	79.2	
9	42	2-Methylheptane		586
10	44	n-Octane		577
11	46	m-Xylene	10.04	
12	48	o-Xylene		757
13	49	n-Nonane		526
14	52	1,3,5-Trimethylbenzene		675



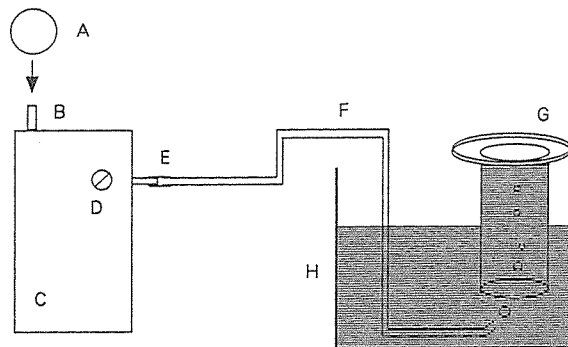
温度 (°C)	破過容量 (L)
20	1579

図-5-3 サンプリングチューブの破過容量 (1,3-ブタジエン)



温度 (°C)	破過容量 (L)
20	8

図-5-4 サンプリングチューブの破過容量 (プロパン)



- A シーケンシャル・ローター
- B 吸引ノズル
- C 定流量小型ポンプ
- D 流量調整ネジ
- E ポンプ排気口
- F シリコンゴム管
- G メスシリンダー(50ml容量)
- H 水浴

図-6 連続大気サンプラーに用いる吸引ポンプの流量計測

表-3 混合標準ガスのGC注入量

物質名	分子量	°C	ppm	ml	ng
Ethane	30.00	20	49.7	0.5	30.99
Propane	44.09	20	50.6	0.5	46.37
n-Pentane	72.15	20	52.3	0.5	78.43
n-Hexane	86.17	20	39.3	0.5	70.39
2,4-Dimethylpentane	100.20	20	629	0.05	131.00
Benzene	78.11	20	41.6	0.5	67.54
n-Heptane	100.20	20	640	0.05	133.29
Toluene	92.13	20	79.2	0.5	151.67
2-Methylheptane	114.22	20	586	0.05	139.12
n-Octane	114.22	20	577	0.05	136.99
m-Xylene	106.16	20	10.04	0.5	22.15
o-Xylene	106.16	20	757	0.05	167.04
n-Nonane	128.00	20	526	0.05	139.94
1,3,5-Trimethylbenzene	120.20	20	675	0.05	168.64

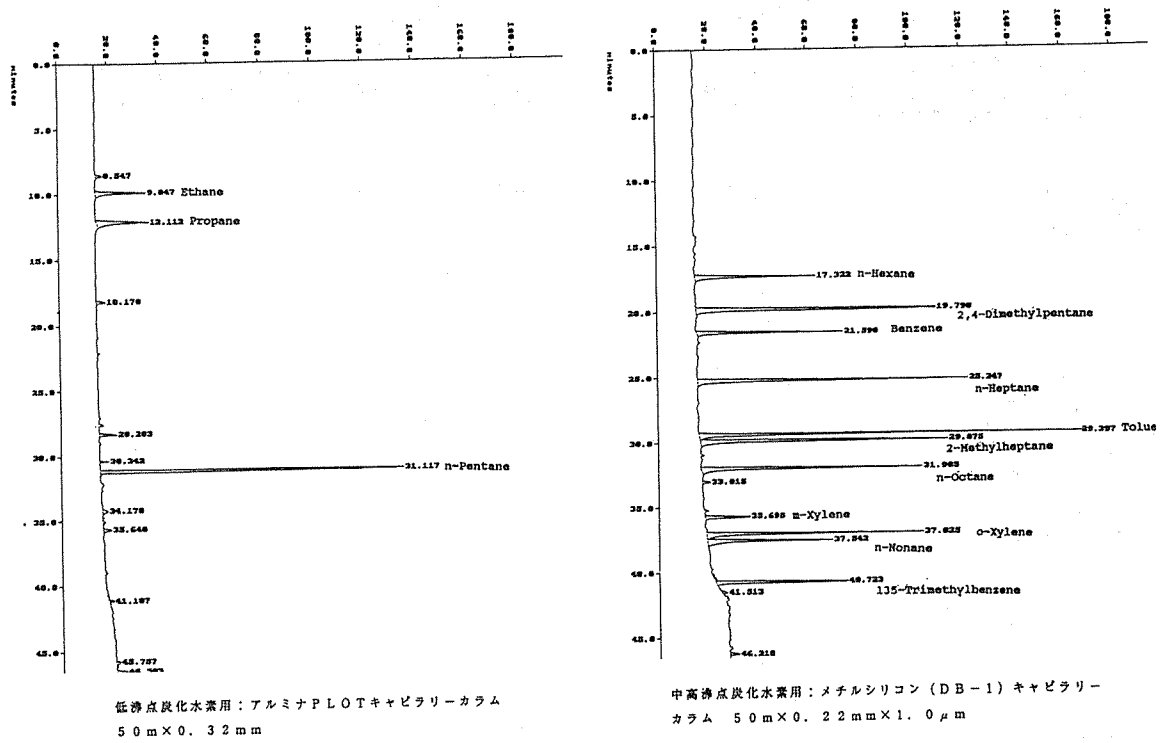


図-7 混合標準ガスのクロマトグラム

表-5 実大気のクロマトグラムから同定できた炭化水素成分一覧

物質 番号	物質名	C数	分子量	物質 番号	物質名	C数	分子量
1	Ethane	2	30.07	28	trans-2-Hexene	6	84.16
2	Ethylene	2	28.05	29	cis-2-Hexene	6	84.16
3	Propane	3	44.10	30	Methylcyclopentane	6	86.18
4	Propene	3	42.08	31	2,4-Dimethylpentane	6	100.20
5	Isobutane	4	58.12	32	Benzene	6	78.11
6	n-Butane	4	58.12	33	Cyclohexane	6	84.16
7	trans-2-Butene	4	56.11	34	2-Methylhexane	7	100.20
8	1-Butene	4	56.11	35	2,3-Dimethylpentane	7	100.20
9	Acetylene	2	26.04	36	3-Methylhexane	7	100.20
10	cis-2-Butene	4	56.11	37	2,2,4-Trimethylpentane	8	100.20
11	Cyclopentane	5	70.13	38	n-Heptane	7	100.20
12	Isopentane	5	72.15	39	Methylcyclohexane	8	98.19
13	n-Pentane	5	72.15	40	2,3,4-Trimethylpentane	8	114.23
14	2-Methyl-2-butene	5	70.13	41	Toluene	7	92.14
15	Cyclopentene	5	70.13	42	2-Methylheptane	8	114.23
16	trans-2-Pentene	5	70.13	43	3-Methylheptane	8	114.23
17	3-Methyl-1-butene	5	70.13	44	n-Octane	8	114.23
18	1-Pentene	5	70.13	45	Ethylbenzene	8	106.17
19	cis-2-pentene	5	70.13	46	p,m-Xylene	8	106.17
20	2,2,-Dimethylbutane	6	86.18	47	Styrene	8	104.15
21	2,3-Dimethylbutane	6	86.18	48	o-Xylene	8	106.17
22	Isoprene	5	68.12	49	n-Nonane	9	128.26
23	4-Methyl-1-pentene	6	84.16	50	Isopropylbenzene	9	120.19
24	2-Methyl-1-pentene	6	84.16	51	n-Propylbenzene	9	120.19
25	2-Methylpentane	6	86.18	52	1,3,5-Trimethylbenzene	9	120.19
26	3-Methylpentane	6	86.18	53	1,2,4-Trimethylbenzene	9	120.19
27	n-Hexane	6	86.18				



表-4 PE社分析データと実大気でのRRT (比保持時間) の比較

パーキンエルマー社資料の The Ozone Precursor Chromatogram\* の図中から読みとった各物質の保持時間 (RT) とn-ペンタンおよびトルエンを基準とした比保持時間 (RRT) の算出値と実大気で得られたクロマトグラムの保持時間の比較

7AミナPLOTカラム 50m×0.32mm

物質  
番号 物質名

Perkin Elmer社分析データ

RT RRT  
n-Pentane=1.00

実大気(横浜市磯子)分析データ

RT RRT  
n-Pentane=1.00

物質番号	物質名	RT	RRT
1	Ethane	8.1	0.26
2	Ethylene	8.8	0.28
3	Propane	11.1	0.35
4	Propene	18.2	0.58
5	Isobutane	21.2	0.67
6	n-Butane	22.4	0.71
7	Acetylene	24.3	0.77
8	trans-2-Butene	27.4	0.87
9	1-Butene	27.8	0.88
10	cis-2-Butene	29.3	0.93
11	Cyclopentane	30.7	0.97
12	Isopentane	30.8	0.98
13	n-Pentane	31.5	1.00
14	2-Methyl-2-butene	34.3	1.09
15	Cyclopentene	34.5	1.10
16	trans-2-Pentene	34.5	1.10
17	3-Methyl-1-butene	35.0	1.11
18	1-Pentene	35.5	1.13
19	cis-2-pentene	36.0	1.14
20	2,2,-Dimethylbutane	37.6	1.19
21	2-Methylpentane	38.0	1.21
22	3-Methylpentane	38.4	1.22
23	2,3-Dimethylbutane	38.5	1.22
24	Isoprene	39.4	1.25
25	4-Methyl-1-pentene	41.2	1.31
26	2-Methyl-1-pentene	41.7	1.32

Propane補正

RT	RRT
9.187	0.30
9.745	0.32
11.950	0.39
17.512	0.57
20.485	0.66
21.707	0.70
26.670	0.87
27.115	0.88
28.548	0.93
29.968	0.97
30.832	1.00
33.375	1.08
33.738	1.09
34.350	1.11
34.625	1.12
35.270	1.14
36.573	1.19
37.075	1.20
38.593	1.25
40.835	1.32
41.242	1.34

未知ピーク  
RT RRT

27.853 0.90

32.115 1.04

34.897 1.13

マルチコン(BP-1)カラム 50m×0.22mm×1.0μm

物質  
番号 物質名

RRT  
Toluene=1.00

実大気(11/18)

RT RRT  
Toluene=1.00

物質番号	物質名	RT	RRT
27	n-Hexane	14.6	0.54
28	trans-2-Hexene	15.0	0.55
29	cis-2-Hexene	15.9	0.58
30	Methylcyclopentane	17.2	0.63
31	2,4-Dimethylpentane	17.7	0.65
32	Benzene	19.0	0.70
33	Cyclohexane	19.8	0.73
34	2-Methylhexane	20.4	0.75
35	2,3-Dimethylpentane	20.7	0.76
36	3-Methylhexane	21.2	0.78
37	2,2,4-Trimethylpentane	22.1	0.81
38	n-Heptane	23.0	0.85
39	Methylcyclohexane	24.7	0.91
40	2,3,4-Trimethylpentane	26.7	0.98
41	Toluene	27.2	1.00
42	2-Methylheptane	27.7	1.02
43	3-Methylheptane	28.1	1.03
44	n-Octane	29.8	1.10
45	Ethylbenzene	32.9	1.21
46	p,m-Xylene	33.3	1.22
47	Styrene	34.4	1.26
48	o-Xylene	34.7	1.28
49	n-Nonane	35.3	1.30
50	Isopropylbenzene	36.3	1.33
51	n-Propylbenzene	37.7	1.39
52	1,3,5-Trimethylbenzene	38.5	1.42
53	1,2,4-Trimethylbenzene	39.6	1.46

n-Hexane補正

RT	RRT
17.410	0.59
	0.54
18.822	0.64
20.403	0.69
	0.63
21.675	0.74
	0.67
22.440	0.76
	0.69
22.857	0.78
23.548	0.80
25.333	0.86
27.155	0.92
29.480	1.00
32.052	1.09
35.325	1.20
35.782	1.21
36.795	1.25
	1,3,5-Trimethylbenzene補正
37.105	1.26
	1.29
37.617	1.28
	1.31
39.800	1.35
	1.38
40.480	1.37
	1.40
40.790	1.38
	1.42
41.938	1.42
	1.46

未知ピーク  
RT RRT RRT

19.740 0.67 0.61

24.525 0.83

未知ピーク  
RT RRT RRT

40.480 1.37 1.40

40.605 1.38 1.41

41.335 1.40 1.43

42.195 1.43 1.46

42.687 1.45 1.48

\* パーキンエルマー社資料

1. Seeley, A. Tipler, G. Broadway 著: Auto GC System for Enhanced Ozone Monitoring Network, Perkin Elmer Ozone Precursor System (Figure 3. The Ozone Precursor Chromatogram).

パーキンエルマー社のPerkin Elmer Ozone Precursor System資料 (Figure 3. The Ozone Precursor Chromatogram)\* の図中から読みとった各物質の保持時間 (RT) とn-ペンタンおよびトルエンを基準とした比保持時間 (RRT) の算出値と実大気 (横浜市磯子区, 1995.11.18 12:30~13:30 大気2.4L採取) で得られたクロマトグラムの保持時間の比較から実大気クロマトグラムを同定した。

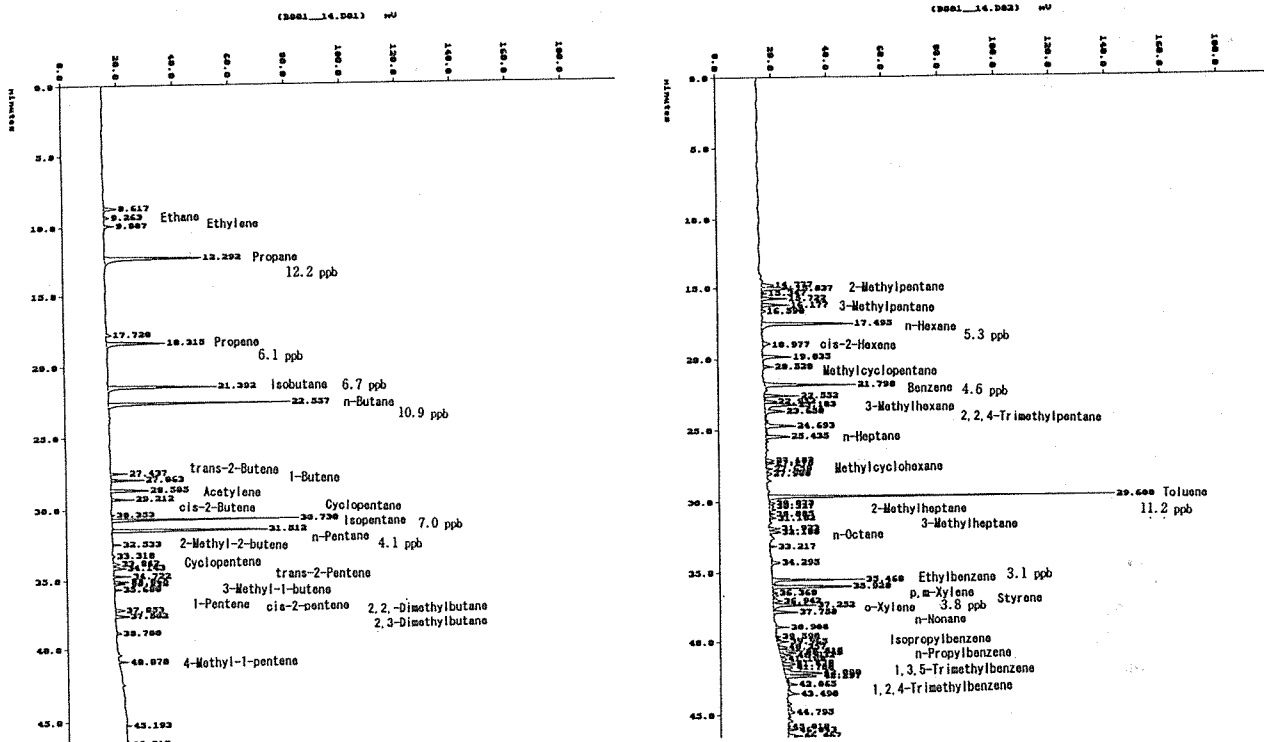


図-8 実大気分析のクロマトグラム例

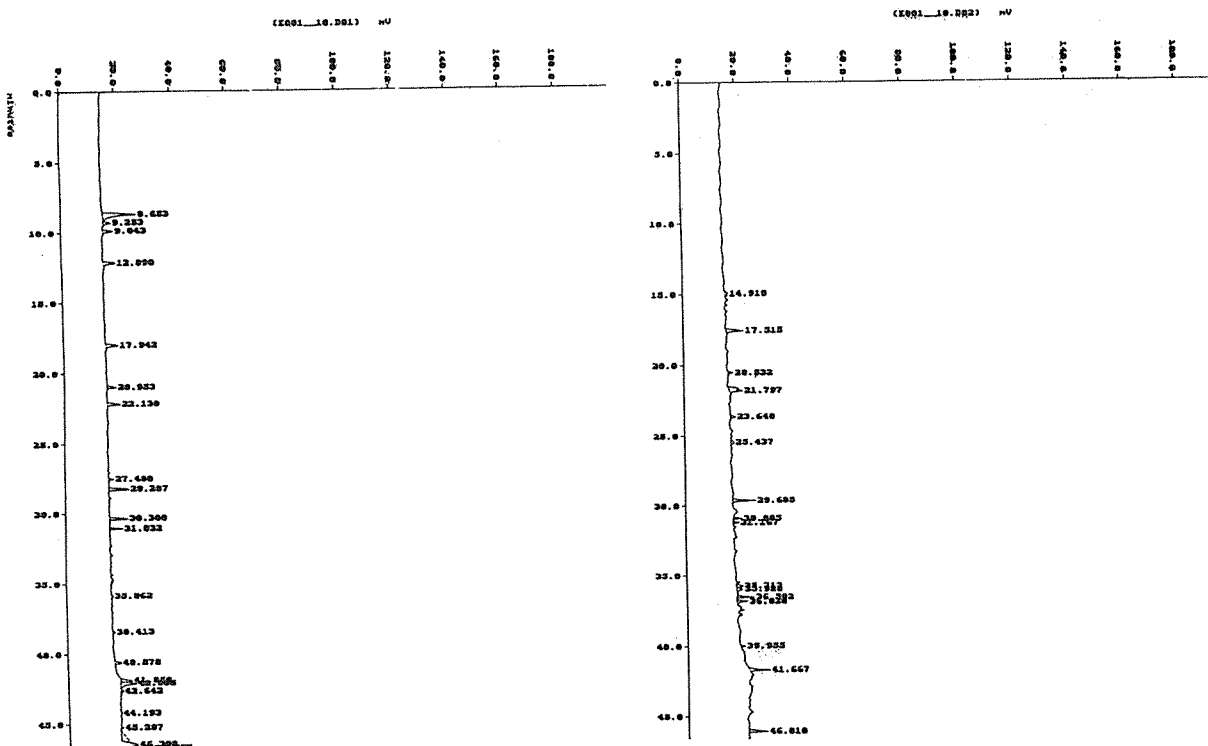


図-9 サンプルチューブのブランク分析クロマトグラム

が用いられるが、より気密性を高めたシールをする場合には 1/4 インチのスウェジロックフィッティングを使用できる。

今回分析検討に用いたサンプリングチューブのシール栓には、テフロン製のものであるので、これに吸着された汚染を除去するために、使用する前にテフロンシール栓をまとめて蒸留水で 30 分程度煮沸し乾燥させたものを用いた。

チューブのクリーンアップは、加熱導入装置 (ATD400) のクリーンアップモードで 300℃、20 分間で行った。

クリーンアップが終わったサンプリングチューブは、環境大気からの汚染を防ぐため、20ml 容量の共栓付きガラス製試験管へ密閉し、大気サンプリングに供するまで保存した。

図-9に、以上のようにクリーンアップし5日間保存したプランクの分析クロマトグラムを示した。このようなサンプリングチューブの調整および保存をした場合、十分に清浄な状態でサンプリングチューブを用意することができることが分かった。

#### (7) 活性炭チューブサンプリング法の拡散捕集への応用

前述のように、一般的にチューブサンプリングはポンプを用いて試料ガスを採取するが、チューブ内においてガス吸引口から活性炭充填剤までの境界面の位置を一定に作成すれば、同一のチューブを用いて拡散捕集することが可能である。この場合、採取口前面に大気の流れの影響を防ぐディフューザーを設ける必要がある。このような拡散採取方法は、多数地点やサンプリング装置を置くことが困難な場所での平均濃度把握に適している。<sup>3)</sup>このようにして大気試料を拡散捕集したチューブは、通常の吸引採取を行ったチューブと全く同一の方法で加熱脱着し分析できる。

この方法で大気中の炭化水素類を分析した例を図-10に示した。このクロマトグラムを見ると、捕集剤表面のみの吸着ではこのような低沸点炭化水素類は保持できないと考えられるが、 $C_2$ や $C_3$ 成分の捕集がなされている。

この現象は、低沸点成分の吸着管内部への拡散浸透が起こった結果であると考えられる。このように拡散捕集することにより低沸点成分の捕集も可能であることを示唆している。<sup>4)</sup>しかしながら、物質によってその揮発性による吸着保持量が異なることや充填剤内部へ浸透することによっての結果的な拡散長の増加(増加)が生じるとかんがえられるので、捕集量と環境濃度の関係については今後さらなる検討が必要になると考えられた。

近年のVOC分析技術の進展は、めざましいものがあり、より優れた高感度一斉分析を実現できる。これらの分析方法とガス採取方法の拡散サンプリングとを組み合わせることで、応用範囲がより広がるであろう。

## 5. まとめ

ベンゼンなどの有害炭化水素類をモニタリングする方法として、環境大気を活性炭吸着管で捕集し、サーマルデゾープション(加熱脱着)してGC-FID分析するシステム分析方法の使用特性を検討した。

その結果、シーケンシャルローターを有するサンプリング装置に試料捕集管(サンプリングチューブ)をセットし、さらにこれを採取地点に置いたハイポリウムエアースンプラー用のシェルターの内部に入れ、風雨を避けるように試料採取することができた。

また、大気中の炭化水素類のうち $C_2 \sim C_9$ までの成分を吸着捕集する場合、サンプリングチューブ内に中高沸点物質吸着用活性炭としてCarbotrap 20/40 meshを300mg、低沸点物質吸着用活性炭としてCarbosieve S III 60/80 meshを150mg充填したもので分析検討し、53種の炭化水素類の成分同定をすることができた。

ただし、環境大気を通気量を約2Lで行う場合、沸点の低いエタンおよびエチレンは、定量的に捕集できないが、プロパン(C数:3)以上の沸点(炭素数)を持つ物質は、定量的に捕集することが分かった。

また、使用するサンプリングチューブを拡散サンプリングすることで簡易的な平均濃度を調査することができることが示唆され、より応用範囲が広がると考えられた。

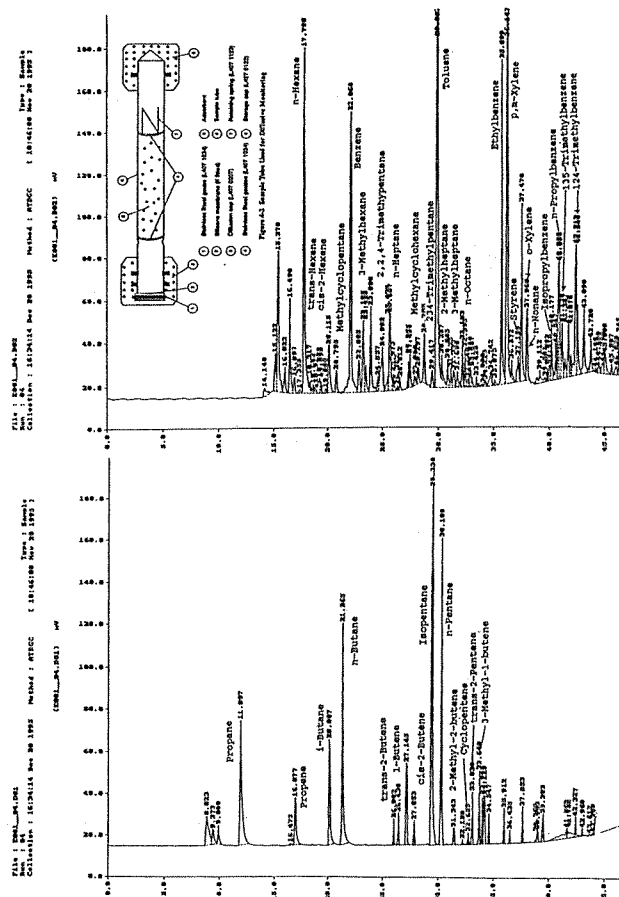


図-10 活性炭チューブ法の拡散捕集への応用

(装置: PERKIN ELMER ATD 400 FID) カラム: 上図-中高沸点用(メキシコンBP-1 50m×0.22mm×1.0 μm), 下図-低沸点用(7&#246;PLOTGA 50m×0.32mm) 大気採取場所: 横浜市環境科学研究所屋上(横浜市磯子区) 1995年11月24日~12月20日(26日間)

## 文 献

- 1) パーキンエルマー・ジャパン: ATDの標準的使用法(環境大気分析への応用), パーキンエルマー技術資料, (1995).
- 2) I. Seeley, A. Tipler, G. Broadway: Auto GC System for Enhanced Ozone Monitoring Network, Perkin Elmer Corporation Technical Document, (1994).
- 3) パーキンエルマー・ジャパン: 最先端GCサンプリング技術 ATD 400サーマルデゾープション法による定性・定量, 分析技術資料 GC, (1994).
- 4) 小林 智, 相馬悠子: パッシブサンプリング-加熱脱着GC/MS法による室内環境中の揮発性有機化合物の測定, 第2回室内環境研究会研究発表会公園抄録集, 34-35, (1996).

## 横浜市内事業所のセレン排水処理実態調査

下村 光一郎\*, 初貝 留美\*  
飯塚 貞男\*, 江口 憲治\*\*

### 要 旨

環境基準項目に追加されたセレンの横浜市内事業所での使用の実態調査を行った。ガラス製造業、電気部品製造業、金属加工業、セレン化合物製造業の4種の事業所でセレンを扱っており、排水処理方法は、凝集沈殿と活性炭やキレート樹脂吸着及び砂ろ過等を組み合わせた方法であった。六価のセレンが凝集沈殿処理では、十分除去できないという問題があり、還元処理したあと、凝集沈殿処理を行っている事業所があった。

### 1 はじめに

平成5年4月の、水質汚濁に係る環境基準の改正により、セレンが環境基準項目に追加され、環境基準値(0.01 mg/l)が設定されている。一方、横浜市では、マイクロエレクトロニクス、バイオテクノロジー等のいわゆる先端技術産業による環境汚染を未然に防止するため、平成3年4月に『横浜市先端技術産業環境保全対策暫定指導指針』を制定し、セレンを含む約300種類の未規制の化学物質を選定し新規に立地する先端技術に係わる事業所に対し、そこで取り扱う化学物質の使用、保管、環境への排出等の指導を行ってきた<sup>1)</sup>。セレンは、一般にはなじみの薄い化学物質であるが、融点が217℃の灰色の光沢のある固体であり、化学的性質はイオウに似ており、空気中で青白い炎をあげて燃え二酸化セレン( $SeO_2$ )となり、水素と反応するとセレン化水素( $H_2Se$ )となる。多くの非金属元素や金属元素と化合して、セレン化合物を作る。そしてセレン化合物は、家の窓ガラスや信号機のガラス、セレンの光に対する特異性を応用した光電池、各種センサーや複写機などにも使用されている。一方毒性については、人間に対し胃腸障害や皮膚炎が、また家畜に対しては、食欲不振、脱色、肝硬変などのセレン中毒症が昔から知られている。また、発ガン性に関する評価は、IARC(国際対ガン連合)で3にランクされている<sup>2), 3)</sup>。

このような性質である、セレンの環境中への排出源と考えられる市内のセレン使用事業所での、その使用方法及び排水処理方法などを調査したので報告する。

### 2 分析方法

事業所排水中のセレンの分析方法(JIS K 0102)は、水素化合物発生原子吸光法と3, 3'-ジアミノベンジジン吸光光度法がある。この中から、排水基準値の1/20の5.0  $\mu g/l$ の値まで十分に測定できる水素化合物発生原子吸光法で、市内事業所の排水中のセレンの分析を行った<sup>4), 5)</sup>。

### 3 市内事業所のセレンの使用実態調査

#### 3-1 セレンを使用している事業所

横浜市内には、数多くの事業所があるが、セレン化合物(セレンと略)を扱っている事業所は少ない。セレンを使用している事業所は、ガラス製造業、金属加工業、電気部品製造業、セレン化合物製造業の4業種4事業所であった。この4事業所で、セレンの使用目的、セレン含有排水の処理方法及び処理した排水中のセレンの濃度を調査した。

#### 3-2 ガラス製造業

ガラスにセレンを添加すると、鉄の酸化物による緑色を脱色しし質感をもたせることができたり、信号機用の深紅色のガラスにすることができる。調査した事業所では、原料のケイ砂、ソーダ灰、長石、石灰石、芒硝等にセレンを加え熔融炉で溶解しガラスを製造する。セレンは熔融炉で昇華混入している。この排ガスには、セレンの他イオウ酸化物(イオウと略)が含まれるため排煙脱硫工程を通しイオウとセレンを除去している。排ガスの処理工程を図-1に示した。排ガスは吸収塔に入り洗浄され、ここで排ガス中のセレンやイオウが洗浄水に吸収される。吸収塔から出た吸収液に還元剤を加えて金属セレンとして回収する。更に、中和槽、凝集槽を経てセレンは吸収液中から凝集汚泥中へと取り除かれる。また、吸収液は晶析工程を経て芒硝が精製されイオウが除去される。最後に、吸収液の一部が排水集合ピットを経て排水として放流される。このように、排煙脱硫の工程でセレンは回収除去されていた。セレンは、表-1に示したように排水基準の適用が猶予され、暫定基準値がセレンを取り扱う業種ごとに定められている。しかし、平成9年2月から排水基準が適用され、業種によらず一律に0.1 mg/lとなる。それに備えセレン除去を目的として排煙脱硫工程に新たに凝集沈殿槽を追加し、凝集剤を使って凝集沈殿処理を行う改造計画があった。なお、処理水中のセレン濃度は、表-2に示したように0.092 mg/lであった。

The investigation on Selenium removal from waste water at some Factories in Yokohama

\*Koichiro Shimomura, \*Rumi Hatsugai, \*Sadao Iizuka 横浜市環境科学研究所水質部門

\*\*Noriharu Eguchi 横浜市環境保全局水質地盤課

### 3-3 電気部品製造業

電気部品製造事業所は、セレンの電気化学的反応を利用したセレン光電池、各種センサー、ダイオードなどを製造している。セレン光電池はセレンを真空中にて加熱溶解し、これを基盤材料に蒸着する。この時生ずる排ガスにセレンが含有する。排ガスはダクトで洗浄水に吸収され、排水として他の工程排水と合流し、排水処理施設へ流入する。図-2に排水処理工程を示した。原水槽で合流した工程排水は塩化第二鉄、水酸化カルシウム、カセイソーダ、高分子凝集剤を使った凝集沈殿法で処理されていた。処理された排水は、pH調整後、さらに活性炭塔、キレート樹脂塔で処理されて放流されていた。この処理施設は、主にカドミウム処理を目的として設計されたもので、ガラス製造業と同様に、セレンの除去のための特別の設備は設けていなかった。なお、処理水中のセレン濃度は、表-2に示したように0.13 mg/lであった。

### 3-4 金属加工業

この金属加工事業所では、金属を加工して合金などを製造しており、この合金は塗装され製品化されるが、その塗料中にセレンが含

まれている。塗装された合金を洗浄し製品となるが、セレンを含んだ洗浄水は凝集処理されていた。しかし調査時は、この洗浄水は全てタンクに貯留し、産業廃棄物として委託処理していた。今後は、セレンを使用しない塗装方法に切り替える予定である。

表-1 セレンの暫定基準値と基準値

業種	暫定基準値	基準値
色板ガラス製造業	1.6	0.1
セレン化合物製造業	4	0.1
セレン第一次精練・製造業	1.5	0.1
銅第一次精練・精製業	20	0.1

単位 (mg/l)

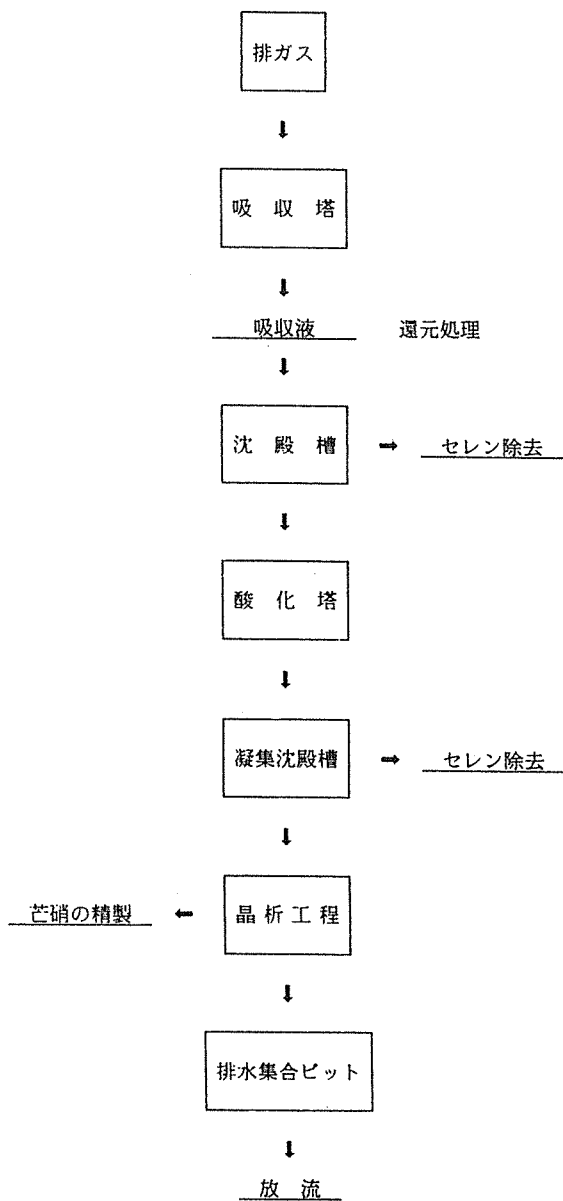


図-1 ガラス製造業の排ガス処理工程

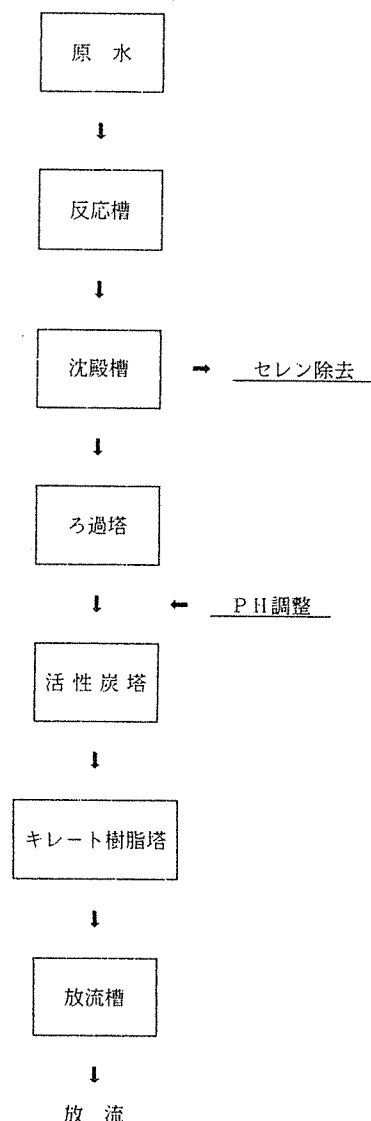


図-2 電気部品製造業の排水処理工程

### 3-5 セレン化合物製造業

この事業所は、粗セレンから亜セレン酸、セレン化合物、セレン合金などを製造している日本でも数少ない業種の一つである。製造工程のセレンを含有する排水には、製品や反応容器の洗浄水と、排ガスの洗浄水とがある。この洗浄排水は排水処理施設で処理される。

セレン化合物を精製、製造するため、各工程排水中のセレン濃度は非常に高い。例えば、製品洗浄水で 230 mg/l、排ガス洗浄水で 620 mg/l であった。そのため、排水処理が大きな問題となっており、事業所が独自に検討を行い、還元処理と凝集処理の組み合わせが最も有効な処理方法であると判断した。図-3 にその排水処理工程を示した。この処理方法は、排水中のセレンをヒドラジンと塩酸で六価セレンを還元して、共沈させ汚泥として一部を除去する。共沈後の排水を、塩化第二鉄、PAC、水酸化ナトリウムを用いて凝集沈殿処理をし、pH調整した後、もう一度同様の凝集沈殿処理を行い、さらに砂ろ過、活性炭ろ過で処理する4段階の処理を行っていた。しかし、事業所の実験結果報告書によると「六価セレンの還元反応が不十分であると、処理効果が悪く、処理水中のセレンの濃度が 3 mg/l になることもあり、還元方法についてはさらに検討する予定である」とあった。なお調査時の処理水の濃度は、表-2 に示したように 0.35 mg/l であった。

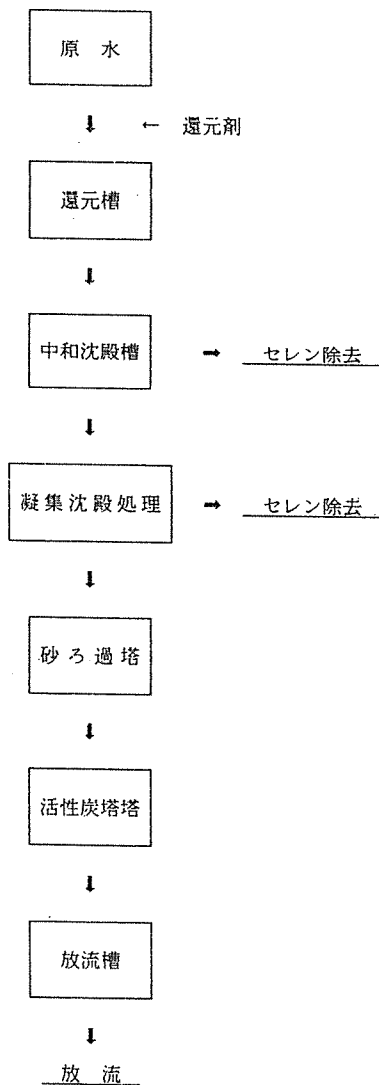


図-3 セレン化合物製造業の排水処理工程

### 4 セレン含有排水の処理と今後の課題

以上、セレンを使用する市内事業所の調査結果であったが、これらの事業所では、セレン除去目的の排水処理施設を設けていた事業所は1ヶ所、ほかの2事業所では既存の凝集沈殿処理施設で鉛やカドミウムと共にセレンを処理していた。水中のセレンの処理方法は、水道水源となる地表水についての検討例は多いが、事業所排水のように高濃度水の検討例は少ない<sup>6)・7)</sup>。通常水中のセレンは凝集沈殿処理が可能と言われている。調査した事業所のうち、工程排水のサンプリングができた電気部品製造事業所のセレン除去についてみると、表-2 に示したように、0.55 mg/l の濃度の工程排水が、処理後 0.13 mg/l となり処理効果は認められた。そのためセレン除去を目的とした装置を新たに増設する必要がないように思われる。しかし、六価のセレンでは凝集処理が困難であるという報告がある<sup>1)・6)</sup>。事実、調査した事業所では、六価のセレンが凝集沈殿処理では除去しにくいという問題が生じ、還元処理などの前処理が必要となってきている。一方排水中のセレンの処理方法には水酸化鉄を使った共沈法、活性アルミナによる吸着処理法などが検討されているが、いずれも六価のセレンの除去率は低いという結果となっている<sup>6)・8)</sup>。セレンは、自然環境中では、四価の亜セレン酸 ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) と六価のセレン酸 ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) があり、四価及び六価の存在形態は、pH、酸化還元雰囲気に影響されると考えられている。しかし、事業所排水中のセレンの形態や、なぜ六価のセレンが生成してしまうのかなどについてのメカニズムはまだ分かっていない。このことは、セレンの排水処理技術を研究するうえで重要なことであり今後の課題と考えている。

表-2 事業所排水の調査結果

業種	原水	処理水
ガラス製造業	-	0.092
電気部品製造業	0.55	0.13
セレン化合物製造業	620	0.35

単位 (mg/l)

### 5 まとめ

横浜市内のセレン取扱い事業所のセレンの使用法、排水処理方法及び処理水濃度を調査し、次のことが分かった。

- 1) 電気部品製造やガラス製造の事業所では、セレン含有排水の処理を既存の凝集沈殿処理法で行っているが、処理後の濃度は、それぞれ 0.13 mg/l と 0.092 mg/l であった。
- 2) 排水中に六価のセレンが生成する問題があり、前処理として、還元処理し、セレンを四価にした後、凝集沈殿処理を行っている事業所があった。除去効率は良かったが、処理水の濃度は 0.35 mg/l と排水基準値の 0.1 mg/l を超えており、六価のセレンの排水処理対策の検討が必要である。

## 文 献

- 1) 横浜市環境保全局：横浜環境白書, 1994
- 2) 日本水道協会：上水試験法, 解説編, 1993
- 3) 林祐造, 他：新しい発癌のメカニズムと評価 (株)サイエンスフォーラム, 昭和 59 年度.
- 4) 伊藤和男：環境水中のセレンの分析法, ふんせき, 56~59, 1994.
- 5) 土佐林誠一：セレンの分析法の検討, 札幌市衛生年報, 21, 78~80, 1994.
- 6) 加藤勇：「有害物質の処理－重金属を中心として－」, 排水処理技術講演会資料, 1996.
- 7) 守屋雅文：重金属排水処理の最近の動向, 環境管理, Vol. 6, 33~40, 1994.
- 8) Merrill, D. T. etc. "Field Evaluation of Arsenic and Selenium Removal by Iron Coprecipitation; Final Report" EPRI-CS-5187, 1987. (USA)

## 横浜市内の河川水中の農薬調査

初貝 留美\*, 下村 光一郎\*  
飯塚 貞男\*, 若林 信夫\*\*

### 要 旨

横浜市内を流れる、河川水中の農薬調査を行った。調査地点は31地点で、調査した農薬は、監視および要監視項目の農薬のうち、ガスクロマトグラフで分析できる13種類とした。検出された農薬は、ダイアジノン、フェニトロチオン (MEP)、ジクロロボス (DDVP)、イプロベンホス (IBP) の4種類であった。このうちダイアジノンとフェニトロチオンは10の調査地点で検出された。

### 1 はじめに

農薬による環境汚染が社会問題になり、平成5年4月の法律改正による『水質汚濁に係わる環境基準の改正』では、シマジン、フェノカルブ、1,3ジクロロプロペン、チウラムの4種の農薬が新たに規制項目として追加され、表-1に示したように、それぞれ基準値が設定された。また、ダイアジノンなど12種類の農薬が『要監視項目』に指定され、表-2に示したように、指針値が設定された。そして、平成6年4月にさらに27種類の農薬が『公共用水域等における農薬の水質評価指針』に指定された。従って、現在43種類の農薬の公共用水域における基準値や指針値が設定されている。横浜市内では、公共用水域測定計画で基準項目の農薬について、毎月調査を行っている<sup>1), 2)</sup>。しかし他の農薬に関しては、データが少ない。そこで、筆者らは、市内を流れる河川水について、表-1、表-2に示した農薬の中から、ガスクロマトグラフで分析できる13種類を選び、調査したので報告する。

### 2 調査方法

#### 2-1 調査期間

調査期間は、1996年の農薬の散布する種類・量の最も多い期間の6月から8月まで、毎月1回調査を行った。また、ゴルフ場の排水と周辺の側溝や河川水は、8、9月の2回調査した。

#### 2-2 調査地点

調査地点は横浜市が測定計画の補足調査として行っている河川の31地点と、ゴルフ場のコース (からの排水)、および排水が流入する周辺河川の12地点を調査地点とした。それぞれの調査地点を図-1に示した。

#### 2-3 調査した農薬

調査した農薬は表-1、表-2の基準項目および要監視項目のうち、ガスクロマトグラフで分析可能な13種類を選び、下線で示した。

#### 2-4 分析方法

分析方法は、平成5年3月8日、環境庁告示第16号の付表8に示されている固相抽出法に基づいた。固相抽出用カートリッジは、Waters社製のスチレンジビニルベンゼン共重合体を充填剤としたSep-Pak PS2を使用し、アセトン5ml、純水10mlを10ml/minの速度で通水し、活性化した。また、農薬の分析をするため

表-1 環境基準項目と分析概要

単位  $\mu\text{g}/\ell$

農薬名	基準値	GC検出器	定量限界値
1, 3-ジクロロプロペン	2 以下	—	—
チウラム	6 以下	—	—
<u>シマジン (CAT)</u>	3 以下	NPD	0.1 以下
<u>チオベンカルブ</u>	20 以下	NPD	0.1 以下

: 下線は今回測定した項目を示す。

表-2 要監視項目と分析概要

単位  $\mu\text{g}/\ell$

農薬名	指針値	GC検出器	定量限界値
<u>イソキサチオン</u>	8 以下	FPD	0.1 以下
<u>ダイアジノン</u>	5 以下	FPD	0.1 以下
<u>フェニトロチオン (MEP)</u>	3 以下	FPD	0.05以下
<u>イソプロチオラン</u>	40 以下	ECD	0.1 以下
オキシ銅 (有機銅)	40 以下	—	—
<u>クロロタロニル (TNP)</u>	40 以下	ECD	0.1 以下
<u>プロミザミド</u>	8 以下	ECD	0.1 以下
<u>EPN</u>	6 以下	FPD	0.1 以下
<u>ジクロロボス (DDVP)</u>	10 以下	FPD	0.5 以下
<u>フェノカルブ (BPMC)</u>	20 以下	NPD	0.1 以下
<u>イプロベンホス (IBP)</u>	8 以下	FPD	0.1 以下
<u>クロロニトロフェン (CNP)</u>	*	ECD	0.1 以下

: 下線は今回測定した項目を示す。

: \*) 平成6年3月の環水管43号で当初設定された $5\mu\text{g}/\ell$ の指針値が削除され新たに指針値は定められていない。

The Concentration of the Agricultural Chemicals in Small Rivers in Yokohama

\*Rumi Hatsugai, \*Koichiro Shimomura, \*Sadao Iizuka 横浜市環境科学研究所水質部門

\*\*Nobuo Wakabayashi 横浜市環境保全局水質地盤課





二俣川（調査地点-20）、阿久和川（調査地点-22）では、6月と8月の調査でも検出されていた。しかし、検出された濃度はいずれも指針値の3  $\mu\text{g}/\ell$  以下であった。

3) ジクロロポス (DDVP)

ジクロロポスは、検出頻度は少ないが、4つの調査地点で検出された。検出された調査地点は、恩田川（調査地点-10）、二俣川、相沢川（調査地点-26）それと境川（調査地点-30）であった。ジクロロポスの濃度の最も高かった調査地点は、7月の調査の恩田

表-3 河川調査結果

平成8年6月20日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イソプロ チオラン	クロロ タロニル	イプロ ペンフォス	シマジン	アロピ サミト	クロロ トロフェン	チオヘン カルブ	イソキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロ ホス	フェ カルブ	EPN
0	恩田川（常盤橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	入江川（久保下橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	砂田川（団地入口）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	江川（半助橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	鴨居川（鴨居橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	梅田橋（信治橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	寺家川（村中央橋）	-	-	6.2	-	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-
7	奈良川（神前橋）	-	-	2.3	-	-	-	-	-	0.29	-	-	-	-
8	岩川（屋敷橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	白鳥川（真橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	恩田川（恩田大橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-
11	早淵川（茅ヶ崎橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	早淵川（平原橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	黒須田川（黒須田橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	大場川（市ヶ尾橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	鶴見川（学校橋）	-	-	0.77	-	-	-	-	-	0.23	-	-	-	-

平成8年6月25日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イソプロ チオラン	クロロ タロニル	イプロ ペンフォス	シマジン	アロピ サミト	クロロ トロフェン	チオヘン カルブ	イソキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロ ホス	フェ カルブ	EPN
16	帷子川（学校橋）	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-	-
17	帷子川（大真橋）	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	中堀川（浜串橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-
19	今井川（八幡橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.87	-	-	-
20	二俣川（四季見橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	-	-	-
21	大岡川（日下橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.084	-	-	-
22	阿久和川（トコ橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	-
23	平戸永谷川（渡戸橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.074	-	-	-
24	舞岡川（元舞橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	いたち川（本郷橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	相沢川（童橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.074	-	-	-
27	和泉川（中村橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	和泉川（鍋屋橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.088	-	-	-
29	宇田川（宇田川橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	境川（東西橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

平成8年7月4日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イソプロ チオラン	クロロ タロニル	イプロ ペンフォス	シマジン	アロピ サミト	クロロ トロフェン	チオヘン カルブ	イソキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロ ホス	フェ カルブ	EPN
0	恩田川（常盤橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	入江川（久保下橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	砂田川（団地入口）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	江川（半助橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	鴨居川（鴨居橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	-	-	-
5	梅田橋（信治橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	寺家川（村中央橋）	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	奈良川（神前橋）	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	岩川（屋敷橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	白鳥川（真橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	恩田川（恩田大橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	早淵川（茅ヶ崎橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	早淵川（平原橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	黒須田川（黒須田橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	大場川（市ヶ尾橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	鶴見川（学校橋）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

川で、8.0  $\mu\text{g}/\ell$  検出されており、二俣川の2.8  $\mu\text{g}/\ell$ 、相沢川で、3.2  $\mu\text{g}/\ell$ 、そして、境川で、2.9  $\mu\text{g}/\ell$  となった。ジクロロボスが検出された4つの調査地点のうち、二俣川は7月と8月の2回検出されていたが、恩田川、相沢川それと境川は7月の調査で

検出された。しかし、検出された調査地点の濃度は、全て、指針値の10  $\mu\text{g}/\ell$  以下であった。

4) イプロベンフォス (IBP)

イプロベンフォスは、ジクロロボスと同様に検出頻度は少ないが、

表-3 河川調査結果 (つづき)

平成8年7月16日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イプロ チオン	クロ ロニル	イプロ ベンフォス	ジメチル アミン サリチ	クロロ トロフェン	チオベン カルブ	イキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロロ ホス	フェ カルブ	E P N
16	帷子川 (学校橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	帷子川 (大貫橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.47	-	-	-	-
18	中堀川 (浜串橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	今井川 (八幡橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	二俣川 (四季見橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	-	-
21	大岡川 (日下橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	阿久和川 (トヨ橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	平戸永谷川 (渡戸橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	舞岡川 (元舞橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	いたち川 (本郷橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	相沢川 (童橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
27	和泉川 (中村橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	和泉川 (鍋屋橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	宇田川 (宇田川橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.27	-	-	-	-
30	境川 (東西橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-

平成8年7月23日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イプロ チオン	クロ ロニル	イプロ ベンフォス	ジメチル アミン サリチ	クロロ トロフェン	チオベン カルブ	イキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロロ ホス	フェ カルブ	E P N
0	恩田川 (常盤橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	入江川 (久保下橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	砂田川 (団地入口)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	江川 (半助橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	鴨居川 (鴨居橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	梅田橋 (信治橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	寺家川 (村中央橋)	-	-	2.2	-	-	-	-	0.16	-	-	-	-
7	奈良川 (神前橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	岩川 (屋敷橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	白鳥川 (真橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.18	-	-	-	-
10	恩田川 (恩田大橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	8.0	-	-
11	早瀬川 (茅ヶ崎橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	早瀬川 (平原橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	黒須田川 (黒須田橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	大場川 (市ヶ尾橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	鶴見川 (学校橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

平成8年8月12日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

番号	調査地点名	イプロ チオン	クロ ロニル	イプロ ベンフォス	ジメチル アミン サリチ	クロロ トロフェン	チオベン カルブ	イキサ チオン	ダイア ジノン	フェニト チオン	ジクロロ ホス	フェ カルブ	E P N
16	帷子川 (学校橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	帷子川 (大貫橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	中堀川 (浜串橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-
19	今井川 (八幡橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.61	-	-	-	-
20	二俣川 (四季見橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.076	2.2	-	-
21	大岡川 (日下橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	阿久和川 (トヨ橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.15	-	-	-
23	平戸永谷川 (渡戸橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-
24	舞岡川 (元舞橋)	-	-	-	-	-	-	-	0.58	-	-	-	-
25	いたち川 (本郷橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	相沢川 (童橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	和泉川 (中村橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	和泉川 (鍋屋橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	宇田川 (宇田川橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	境川 (東西橋)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

検出された調査地点は、寺家川（調査地点-6）、梅田川（調査地点-5）、奈良川（調査地点-7）であった。7月の調査では、寺家川で、14  $\mu\text{g}/\ell$ 、梅田川で、12  $\mu\text{g}/\ell$  の濃度であった。この値は、指針値の8  $\mu\text{g}/\ell$  を超えていた。その他の調査地点の濃度はいずれも指針値以下で、奈良川の2.3  $\mu\text{g}/\ell$ 、鶴見川の0.77  $\mu\text{g}/\ell$  であった。また、寺家川の調査地点では、イプロベンフォスが3回の調査全てで検出された。

### 3-2 検出された農薬

検出されたダイアジノン、フェニトロチオン、ジクロロボスはいずれも有機りん系の殺虫剤である。ダイアジノンは農業、家庭、畜舎などに広く使用されており、また、ダニの駆除にも使用されている。フェニトロチオンは、水稻、野菜、果樹などの農業、林業などの衛生害虫防除に広い範囲で使用されており、松の害虫駆除としても使用されている。ジクロロボスは果樹や野菜防疫用に使用されている。一方、イプロベンフォスは、有機りん系の殺菌剤で、稲のイ

モチ病防除に田面に散布される。今回の調査で、これらの農薬のうち、イプロベンフォスやダイアジノンが検出された寺家川、梅田川、鶴見川、ジクロロボスやフェニトロチオンが検出された和泉川、境川の各調査地点の周辺はいずれも農地があり、農地の側溝を通ってきた排水が流入する近くにある。また、これらの農薬の多くは、6月～8月の夏季に、散布する量が最大になるという調査結果もあることから、検出された農薬は、農地から流入してきたものと推定できる<sup>3), 4), 5)</sup>。一方、ジクロロボスが検出された二俣川、相沢川、ダイアジノンやフェニトロチオンが検出された今井川、阿久和川、帷子川（調査地点-17）などの調査地点は市街地にあり、周辺には農地は見られない、いわゆる都市型河川である。このような、河川から検出された農薬は、農地以外からも流入する要因があるといわれているが、その因果関係は調査されていない。しかし、通常農薬の河川への流入の大きな原因として、その使用量から考えて農地のほかにゴルフ場からのものが考えられている。今井川や阿久和川

表-4 ゴルフ場周辺における中小河川調査結果

平成8年8月19日～20日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

調査地点名	イプロベンフォス	クロロピリフェン	イプロベンフォス	シマジン	アロピサミト	クロロピリフェン	チオベンカルブ	イネキサチオン	ダイアジノン	フェニトロチオン	ジクロロボス	フェニカルブ	EPN
Aゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aゴルフ場 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-
Cゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-
Dゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

平成8年9月2日

( $\mu\text{g}/\ell$ )

調査地点名	イプロベンフォス	クロロピリフェン	イプロベンフォス	シマジン	アロピサミト	クロロピリフェン	チオベンカルブ	イネキサチオン	ダイアジノン	フェニトロチオン	ジクロロボス	フェニカルブ	EPN
Aゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aゴルフ場 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eゴルフ場 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eゴルフ場 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

平成8年7月9～10日

ゴルフ場排水調査結果

( $\mu\text{g}/\ell$ )

ゴルフ場名	イプロベンフォス	クロロピリフェン	イプロベンフォス	シマジン	アロピサミト	クロロピリフェン	チオベンカルブ	イネキサチオン	ダイアジノン	フェニトロチオン	ジクロロボス	フェニカルブ	EPN
Aゴルフ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bゴルフ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cゴルフ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dゴルフ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eゴルフ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

など農薬の検出された調査地点の上流には、図-1に示したように、ゴルフ場がある。そのため、ゴルフ場からの影響が考えられた。そこで、ゴルフ場の排水およびゴルフ場周辺の河川水中の農薬の調査を行った。

### 3-3 ゴルフ場の排水中の農薬

横浜市には、5つの大きなゴルフ場がある。農薬の検出された二俣川、今井川の上流にはDゴルフ場、阿久和川の上流にはCゴルフ場、帷子川の上流にはEゴルフ場があり、大岡川、いたち川の上流にはそれぞれA、Bゴルフ場がある。各ゴルフ場の排水および周辺の河川水の分析を行い、結果を表-4に示した。Bゴルフ場の周辺の河川水中からフェニトロチオン $0.20 \mu\text{g}/\ell$ 、Cゴルフ場からダイアジノンが $0.99 \mu\text{g}/\ell$ 検出されただけで、各ゴルフ場の排水及び他の調査地点からは、調査対象とした農薬はいずれも検出されなかった。このため、河川水中で検出された、ダイアジノン、フェニトロチオン、ジクロロボス、イプロベンフォスとゴルフ場の排水との関係は明確にはならなかった。しかし、ゴルフ場の排水の調査数が少ないこと、また、ゴルフ場の農薬の散布時期と調査時期のずれなどの問題があるため、計画的な調査が必要である。また、ゴルフ場では調査対象とした農薬以外に、多くの種類の農薬を散布しているため、それらの農薬も今後調査する必要があると考えられる。

以上が6月～8月の調査結果であった。この調査は、継続して行っており、その一部を中間報告とするが、今後1年間を通じた調査結果を報告する予定である。

## 4 まとめ

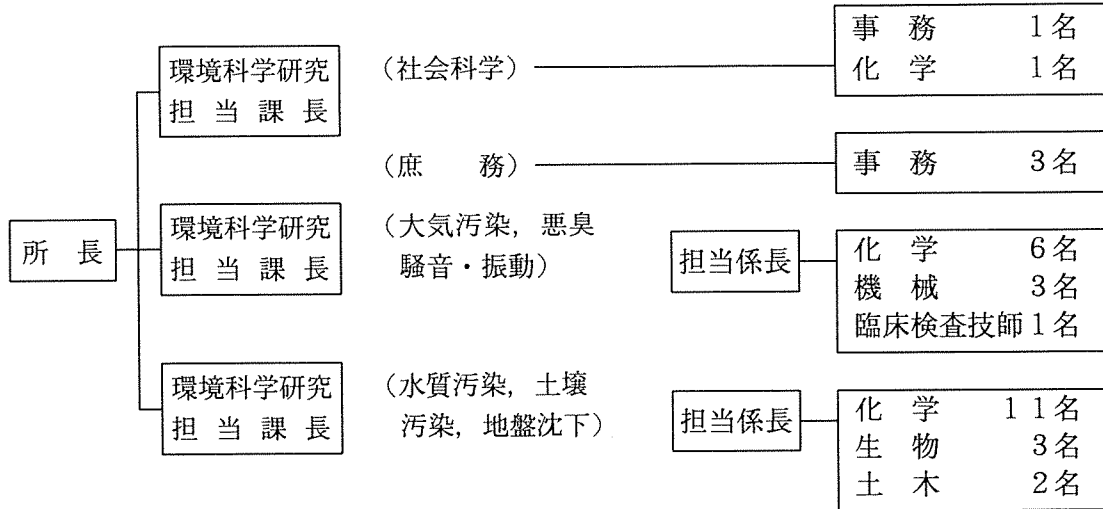
今回の横浜市内中小河川の農薬調査では、以下のことが分かった。

- 1) 検出された農薬は、殺虫剤のダイアジノン、フェニトロチオン、ジクロロボスおよび殺菌剤のイプロベンフォスであった。寺家川でイプロベンフォスが3回の調査全てで検出したが、これは農地から流入したものと推定できる。そして7月の調査では、寺家川と梅田川で指針値の $8 \mu\text{g}/\ell$ を超える濃度のイプロベンフォスが検出された。
- 2) ゴルフ場の排水からは調査対象とした農薬は検出されず、ゴルフ場の排水との因果関係は明確にはならなかった。

## 文 献

- 1) 横浜市環境保全局：横浜市公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書、1995
- 2) 酒井学、二宮勝幸：横浜市内河川の農薬モニタリング、横浜市公害研究所報、15、135～141、1991
- 3) 吉澤正：千葉県内公共用水域における農薬汚染実態調査、千葉県水保研年報、83～89、1995
- 4) 大野健治他：ゴルフ場使用農薬の流出実態調査、福岡県保健環境研究所年報、21、70～75、1994
- 5) 本多隆他：ゴルフ場使用農薬の分析、長崎県衛生公害研究所報、40、97～101、1994

1. 人員及び組織



(平成8年12月1日現在)

2. 主要機器一覧表

品名	規格	数量	配置
ガスクロマトグラフ質量分析計	VG アナリティカル Auto Spec	1式	第二機器分析室
走査型電子顕微鏡	日立 S-4500	1式	電子顕微鏡室
同上用 X線分析装置	The KeveX DELTA レベル3	1式	電子顕微鏡室
蛍光 X線分析装置	理学電機システム 3270	1式	第二機器分析室
原子吸光度計	日立 Z-8000 外	2式	第一機器分析室
ガスクロマトグラフ装置	島津 GC-14A ECD 外	14式	第三機器分析室
液体クロマトグラフ	島津 LC-4A, LC-6A	2式	第二機器分析室
赤外分光光度計	日本分光 3 A	1式	恒温室
光化学反応実験装置	600A スモークチャンバー	1式	恒温室
分光光度計	ダブルビーム自記 日立 200-10 型外	4式	第二水質実験室
分光蛍光光度計	日立 MPF-4	1式	放射能研究室
水銀分析計	柳本 AMD	1式	第一機器分析室
二次導函数微量ガス分析装置	LEAR SIEGLER MODEL 400	1式	恒温室
超軟 X線発生装置	SOFTEX-CSM-2	1式	第二機器分析室
標準粒子発生装置	東京高周波電気炉 SRF-305W	1式	工学実験室
標準ガス精密希釈装置	製鉄化学工業 SDS-401	1式	恒温室
窒素酸化物自動記録計	MONTIOR RABS MODEL-8440 外	3台	第二大気実験室
オキシダント自動記録計	電気化学	1台	第二大気実験室
オゾンメータ	京都電子工業 OX-21	1台	第二大気実験室
風向風速計	海上電機 WA-200 外	2台	第二大気実験室
イオン濃度測定装置	オリオン 801A 型	1台	第二大気実験室
多チャンネルデジタル騒音計	リオン SV-70 型の改良型	1台	騒音研究室
データレコーダ	NAGRAIV-SJ 型	1台	騒音研究室
騒音振動解析装置	ONO CF-360	1式	騒音研究室
騒音振動データ処理装置	YHP 310 AJ	1式	騒音研究室
慢性毒性試験装置(魚用)	関東工機製作所製 外	2式	生物研究室
波高分析機	東芝 USC-1 MODEL 10	1式	元素分析室
電子計算機	ACOS3300	1式	電子計算機室
微粒子自動計測器	ロイコ社 MODEL226	1式	第二大気実験室
攪拌実験装置	佐竹化学機械工業製	1式	処理実験室
標準圧密試験器(3連型)	丸東 S43-3 UL-1	1台	地盤沈下研究室
ソイルミキサー	丸東 SE-27	1台	地盤沈下研究室
一軸圧縮試験装置	丸東 SG-2033	1式	地盤沈下研究室
核磁気共鳴装置	日立製作所 R-600 型	1式	第二機器分析室
凝縮核モニター	日本化学工業 MODEL 3020	1台	第二大気実験室
14チャンネルデータレコーダ	ソニー UN61430W	1台	騒音研究室
イオンクロマトグラフ	ダイオネックス社 4500i	1台	第二大気実験室

品 名	規 格	数 量	配 置
全有機炭素分析計	ベックマン MODEL 915-B	1台	第一機器分析室
高精度NOx計	ダイレック社 DY8400型	1台	第二大気実験室
高精度オゾン計	紀本電子工業製	1台	第二大気実験室
高精度弾性波速度測定装置	丸東製作所製	1台	地盤沈下研究室
炭素・水素・窒素(CHN)分析計	柳本CHNコーダー MT-3型	1台	第二大気実験室
クロロフィルメータ	ターナーデザイン社 MODEL10-000R	1台	生物研究室
電気炉	西村工業製	1台	第一水質実験室
三軸圧密試験記録装置	理研電子製	1台	地盤沈下研究室
1/3オクターブ実時間自動分析装置	リオンSA-25	1式	騒音研究室
凍結濃縮装置	大洋科学工業 FC-6	1式	第二水質実験室
水生植物による水処理実験装置	当研究所設計	1台	処理実験室
煙道用水銀連結分析計	日本インストルメンツDM-C1	1式	工学実験室
圧密自動記録装置	理研電子 MODEL DACT-6	1式	地盤沈下実験室
風向別制御装置	日本公害防止技術センター WDP-100	1式	屋 上
ハートナール・ダストモニタリングシステム	柴田科学 PDS-1	1式	恒 温 室
コンジットサンプラー	日科機 S-4081	1式	第一機器分析室
データ収録分析装置	理研電子製	1式	地盤沈下実験室
粒度分布測定装置	島津SA-CP3L	1式	第三水質実験室
パン型製粒機		1台	屋 上
超低温マイクロトーム	共栄オリンパス クライオトーム	1個	恒 温 室
液体クロマトグラフ用蛍光モニター	日立F-1150	1式	第二機器分析室
揮発成分混合ガス発生装置	紀本電子製 SS-1002	1式	第二大気実験室
特殊材料ガス環境用試料採取装置	三紳工業製	1式	標準ガス調整室
高精度自動体積計	エステック VM-100	1式	処理実験室
環境物理測定装置	RM-5220	1式	生物研究室
元素分析装置オートサンプラー	ヤナコMTA-5	1台	元素分析室
騒音振動動作図装置	日本ヒールパッカー 7550B 外	1式	騒音研究室
分光光度計	日本分光V-550 外	1式	天 秤 室
農薬分析装置	HP5890・HP1090 外	1式	第三機器分析室
ガスクロマトグラフ分析装置	HP6890	1式	第三機器分析室

3. 平成7年度 予 算 額

(単位：千円)

科 目	金 額	付 記
共 済 費	1,426	社会保険料 1,426
賃 金	10,540	
報 償 費	916	
旅 費	1,641	普通旅費 1,621
需 用 費	55,999	消耗品費 17,910
		燃料費 246
		食糧費 641
		印刷製本費 5,030
		光熱水費 26,405
		修繕料 5,767
役 務 費	3,296	通信運搬費 1,580
		手数料 1,490
		筆耕翻訳料 226
委 託 料	49,758	調査委託料 12,890
		清掃その他委託料 36,968
使用料及び 賃 借 料	78,624	
工事請負費	2,000	
備品購入費	13,800	
負担金補助 及び交付金	270	会費及び負担金 270
公 課 費	0	
計	218,270	

管 理 運 営 費	86,000
試 験 検 査 費	8,800
主 要 機 器 維 持	7,200
管 理 運 営 費	
調 査 研 究 事 業 費	27,000
機 器 等 整 備	9,000
事 業 費	
施 設 改 修 工 事 費	2,000
環 境 教 育 啓 発 等	10,010
そ の 他 事 業 費	
大 型 機 器 更 新	35,330
整 備 事 業 費	
ガスクロマトグラフ	20,666
質 量 計 更 新 事 業	
農 薬 分 析 装 置 導 入	8,185
原 子 吸 光 分 析 装 置	4,079
導 入	
計	218,270



平成8年度 予 算 額

(単位：千円)

科 目	金 額	付 記
共 済 費	1,790	社会保険料 1,790
賃 金	10,435	
報 償 費	372	
旅 費	1,476	普通旅費 1,458
需 用 費	46,116	消耗品費 13,733
		燃料費 273
		食糧費 576
		印刷製本費 2,496
		光熱水費 23,848
		修繕料 5,190
役 務 費	2,605	通信運搬費 1,223
		手数料 1,349
		筆耕翻訳料 33
委 託 料	51,929	調査委託料 13,553
		清掃その他委託料 38,376
使用料及び 賃 借 料	72,948	
工事請負費	1,930	
備品購入費	13,820	
負担金補助 及び交付金	370	会費及び負担金 370
公 課 費	0	
計	203,791	

管 理 運 営 費	80,576
試 験 検 査 費	7,920
主 要 機 器 維 持 管 理 運 営 費	6,479
調 査 研 究 事 業 費	24,300
機 器 等 整 備 費 事 業 費	8,100
施 設 改 修 工 事 費	1,800
環 境 教 育 啓 発 等 そ の 他 事 業 費	6,386
大 型 機 器 更 新 整 備 事 業 費	35,300
ガスクロマトグラフ 質 量 計 更 新 事 業	20,666
農 薬 分 析 装 置 導 入	8,185
原 子 吸 光 分 析 装 置 導 入	4,079
計	203,791

4. 学会等研究発表

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
日本リモートセンシング学会 学術講演会	1995. 5	ヒートアイランド解析のためのNVI モデルと地表温度特性	○佐俣満夫
市民環境教室	1995. 6	塩素消毒の藻類群集に及ぼす影響	○遠田和雄・森本敏昭
全公研関東甲信静支部騒音振 動専門部会	1995. 7	横浜市民の音環境に関する意識調査	○鹿島教昭
	1995. 7	高速道路における自動車騒音の日変化 について	○中村俊亮・全公研関東甲信静支部 騒音振動専門部会研究連絡会
エアロゾル科学・技術研究討論 会	1995. 8	多分散粒子の非等速吸引に伴う濃度測 定誤差の新しい評価法	○佐俣満夫
日本騒音制御工学会技術発表会	1995. 9	音環境に関する地域住民の意識 その 3. 横浜市内の商店街を含む5住宅地 における調査	○貝島熱紀・田村明弘(横浜国大), 鹿島教昭
	1995. 9	視覚障害者の空間認知における地域音 環境の役割に関する発達の研究	○太田篤史・田村明弘(横浜国大) 鹿島教昭
日本陸水学会第60回名古屋大 会	1995. 10	塩素消毒の藻類群集に及ぼす影響	○福嶋悟
	1995. 10	塩素消毒の底生動物群集に及ぼす影響	○金田彰二・福嶋悟
第4回地下水・土壌汚染とその 防止対策に関する研究集会	1995. 11	分解反応モデルを用いたテトラクロロ エチレン汚染地下水の評価	○二宮勝幸・大場栄次・酒井学, 若林信夫・悪 七由美子(横浜市環境保全局)
第22回環境保全・公害防止研 究発表会	1995. 11	地域の静けさ評価の主要因	○鹿島教昭
第36回大気環境学会	1995. 11	人工衛星データを用いた都市部での地 表温度と気温の分布特性	○佐俣満夫
	1995. 11	都市域における林内雨・樹幹流(3) - 樹幹流濃度と大気汚染物質濃度の関係 -	○矢本てるみ・加藤善徳
	1995. 11	都市域における林内雨・樹幹流(4)-樹 幹流濃度と光化学二次生成物質-	○加藤善徳・矢本てるみ
	1995. 11	横浜市の初期降水にみられるpHの経年 的な低下傾向	○加藤善徳・矢本てるみ
	1995. 11	0.1mm毎に分画採取した初期降水の性状	○矢本てるみ・加藤善徳
	1995. 11	ガス状汚染物質測定法(含浸ろ紙法, 拡 散スクラバー法)の比較検討	○小山恒人(神奈川県環境科学センター), 井上 康明(川崎市公害研究所), 加藤善徳 神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会(神奈川 県, 横浜市, 川崎市, 横須賀市)

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
第36回大気環境学会	1995. 11	韓国での大気汚染調査	○平野耕一郎
	1995. 11	放射線源式ECD/GCによる環境大気中のN <sub>2</sub> O, フロン同時分析	○平野耕一郎
	1995. 11	高血圧自然発症ラットに及ぼす二酸化窒素暴露の影響(第1報) - 50%致死濃度と赤血球浸透圧抵抗性 -	○池見好昭・北爪稔・矢沢篤子(横浜市衛生研究所), 平野耕一郎(横浜市環境科学研究所), 逢坂文夫(東海大学医学部)
	1995. 11	白神山地の大気質(SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> )	○斉藤勝美(秋田県環境技術センター), 平野耕一郎
	1995. 11	拡散型フロン・有機塩素サンプラーに対する温湿度の関係	○前田裕行
	1995. 11	神奈川県周辺における光化学大気汚染の経年推移について	○前田裕行ほか 神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会(神奈川県, 横浜市, 川崎市, 横須賀市)
	1995. 11	横浜市内での年末年始時における浮遊粒子状物質調査	○新井久雄・白砂裕一郎
大気環境学会国際セミナー The International Seminar of the Simple Measuring and Evaluation Method on Air Pollution (台湾)	1996. 1	Monitoring Methods of Ambient NO, NO <sub>2</sub> Using a Diffusional Sampler	○前田裕行・平野耕一郎, 松田啓吾(横浜市環境保全局)
有害大気汚染物質測定分析セミナー(大気環境学会)	1996. 1	パッシブサンプラーによる有害大気汚染物質の測定分析技術	○前田裕行
日本薬学会第116年会	1996. 3	ダイアジノンの密閉系における分解とミジンコへの影響について	○酒井学
第30回水環境学会	1996. 3	リモートセンシングによる水質情報把握のための基礎的検討(3) - TMデータによるクロロフィルの推定 -	○水尾寛己・二宮勝幸, 岡敬一・吉見洋(神奈川県環科センター), 安岡善文(国立環境研究所)
中日情報交換会	1996. 3	中国のSO <sub>x</sub> 簡易測定を可能にするパッシブサンプラーの開発 「パッシブサンプラーとエコテクノロジー」	○平野耕一郎

## 5. 雑誌等投稿

雑誌名	発行年月	執筆者	題名
用水と廃水	1995. 8	福嶋悟	下水処理水による都市河川の生物生息環境の回復－付着藻類群集による評価－

(要旨) 下水処理水を通水している野火止用水、江川における水質と藻類群集との関係についてまとめた。

雑誌名	発行年月	執筆者	題名
地下水・土壌汚濁の現状と対策 (日本水環境学会関西支部編)	1995. 9	二宮勝幸・大場栄次・酒井学	トリクロロエチレン汚染地下水における分解生成物質

(要旨) トリクロロエチレンによって汚染された地下水の分解生成物質およびその分解経路について解説した。

雑誌名	発行年月	執筆者	題名
実務者のための騒音・振動対策 設計方法	1995. 11	鹿島教昭	第3章 騒音・振動対策の基礎

(要旨) (社)日本騒音制御工学会が毎年秋に騒音振動に携わる実務者向けに講習会を開催しているが、そこで用いるテキストの「第3章 騒音・振動対策の基礎」を分担執筆した。第3章の内容は、波動の基礎、騒音・振動の性質と対策の基本的考え方、遮音材と吸音材の特徴とから成る。

雑誌名	発行年月	執筆者	題名
水環境学会誌	1995. 12	福嶋悟	付着藻類の水質指標性

(要旨) 付着藻類を指標とする水質汚濁評価の方法についてまとめた。

雑誌名	発行年月	執筆者	題名
横浜の川と海の生物(第7報・海域編)横浜水環境保全局・環境保全資料(No. 183)	1996. 3	島海三郎・水尾寛己	横浜市沿岸のプランクトン相調査

(要旨) 横浜市沿岸に出現するプランクトンについて、1994年4月から10月までの計8回の調査についてまとめた。

6. 横浜市環境科学研究所発行資料（調査研究等報告書）

環科研資料	報 告 書 名	発 行 年 月
No. 122	多環芳香族炭化水素（PAHs）に関する調査研究報告書	1996. 3

（要 旨） ベンゾ(a)ピレン等の発癌性が指摘されている多環芳香族炭化水素（PAHs）について、1976年以來、当所で実施した調査研究を様々な観点から総合的にまとめた。本報告書は「一般環境調査」、「バックグラウンド調査」、「発生源調査」、「関連資料」の4部から構成されている。このうち、「一般環境調査」は横浜市の実態と、南関東の各自治体との共同調査による結果を述べた。「バックグラウンド調査」は海上調査と、南関東の清浄地域における実態把握からなっている。「発生源調査」はPAHsの主要発生源と考えられる移動発生源及び固定発生源からの排出実態を調査したものである。移動発生源はディーゼル自動車からのPAHs排出調査と、幹線道路を対象とした道路沿道調査からなっている。また、固定発生源は燃料の異なる様々な施設（16施設）からのPAHs排出調査と、大規模施設からの周辺環境の影響を調べた。

環科研資料	報 告 書 名	発 行 年 月
NO. 123	大岡川・境川水系生態調査報告書	1996. 3

（要 旨） 大岡川と境川水系における環境と魚類、水生動物、付着藻類との関係について調査した結果をまとめた。

環科研資料	報 告 書 名	発 行 年 月
No. 124	横浜の酸性雨 -よりよい環境をめざして-	1996. 6

（要 旨） 当研究所では、1984年より酸性雨の観測を行っている。本報は、この結果をもとに、横浜の酸性雨の実態を一般市民向けにわかりやすく紹介したものである。

環科研資料	報 告 書 名	発 行 年 月
No. 125	酸性雨のはなし	1996. 12

（要 旨） 本報は、横浜の酸性雨の実態を、小中学生向けに、平易な言葉使いで簡単にまとめたものである。イラストなどを交え、できるだけ親しみやすくなるように工夫した。

7. 環境科学研究所発行資料目録

資料番号	件名	発行年月	体裁等
	明日の都市を照らす	1977. 3	A4. 16頁 (パンフレット)
No. 1	窒素酸化物特殊発生源調査報告書(環境庁大気保全局委託調査)	1977. 3	B5. 49頁
2	横浜市公害研究所報創刊号	1977. 11	B5. 56頁
3	公募論文・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1977. 11	B5. 136頁
4	第1回公害セミナー会議録・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1978. 3	B5. 96頁
5	昭和52年度環境庁委託業務結果報告書 非特定重大障害物質発生源等対策調査(アスベスト発生施設)	1978. 3	B5. 36頁
6	横浜市公害研究所報第2号	1978. 8	B5. 236頁
7	中間報告横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1978. 8	B5. 195頁
8	横浜市公害研究所報第3号	1978. 12	B5. 156頁
9	第2回公害セミナー会議録・合成洗剤	1979. 3	B5. 89頁
10	自動車公害に関する意識調査 —国道一号線三ツ沢・松本地区, 1978年3月実施 単純集計結果(第1報)—	1979. 3	B5. 112頁
11	大気中の炭化水素濃度調査及び各種発生源施設からの排出実態調査結果 第3回公害セミナー論文集・川, よこはまに水辺をもとめて	1979. 3	B5. 66頁
12	横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1979. 8	B5. 85頁
13	横浜市公害研究所報第4号	1979. 9	B5. 201頁
14	第3回公害セミナー会議録・川, よこはまに水辺をもとめて	1980. 3	B5. 204頁
14	横浜市地域環境大気調査報告書(昭和54年度環境庁委託調査)	1980. 5	B5. 72頁
15	非特定重大障害物質発生源等対策調査(ベンゼン取扱施設)	1980. 3	B5. 72頁
16	沿道環境整備対策のための基礎調査報告書—三ツ沢地区対象—	1980. 3	B5. 31頁
17	魚類の健康評価に関する研究(1)(昭和53年度)	1980. 12	B5. 84頁
18	魚類の健康評価に関する研究(2)(昭和54年度)	1981. 2	B5. 20頁
19	横浜市公害研究所報第5号	1981. 2	B5. 51頁
20	帯水層層序確定のための地質調査	1980. 12	B5. 236頁
21		1981. 3	B5. 32頁
	第4回公害セミナー資料提言要旨		付図4枚
22	第4回公害セミナー資料・調査研究事業のあらまし	1981. 3	B5. 18頁
23	—	1981. 3	B5. 41頁
24	地域交通環境に関する意識調査		
25	—金沢4区, 1980年11月実施—	1981. 3	B5. 46頁
	第4回公害セミナー会議録・80年代の環境対策の課題		
26	低周波空気振動実態調査報告書	1981. 3	B5. 115頁
27	有機ハロゲン化合物の分解と消長	1981. 3	B5. 163頁
28	—有機塩素化合物特にPCBの環境中における動態について— 第5回公害セミナー公募論文集・よこはまに自然をもとめて	1981. 3	B5. 98頁
29	横浜市公害研究所報第6号	1981. 8	B5. 150頁
30	横浜市自動車問題研究会第二報告書	1981. 12	B5. 211頁
31	—横浜の物流と自動車公害に対する調査研究— 排水処理技術維持管理マニュアル—凝集処理編—	1981. 12	B5. 227頁
32	固定発生源から排出されるばいじん(粒度分布)調査報告書	1982. 3	B5. 116頁
33	第5回公害セミナー会議録・よこはまに自然をもとめて	1982. 3	B5. 133頁
34	魚類の健康評価に関する研究(3)	1982. 3	B5. 123頁
35	魚類指標による排水評価のための技術要領	1982. 3	B5. 34頁
36	横浜市深層地下水調査中間報告書	1982. 3	B5. 30頁
37		1982. 3	B5. 44頁
	横浜市自動車問題研究会第一報告書		付図2枚
38	—地域交通環境とまちづくり— 横浜市緑区及び戸塚区における道路交通騒音と交通量調査報告書	1982. 3	B5. 124頁
39	会下谷の雑木林の生物相とその季節変化	1982. 3	B5. 440頁
40	(横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 3	B5. 11頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
41	自動車騒音公害対策模型実験－車線内遮音壁－	1982. 7	B5. 87頁
42	第6回公害セミナー資料	1982. 8	B5. 31頁
43	大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－ 会下谷の雑木林の生物相とその季節変化 (横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 11	B5. 143頁
44	横浜市公害研究所報第7号	1982. 11	B5. 105頁
45	第6回公害セミナー会議録	1983. 1	B5. 99頁
46	大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－ 浮遊粉じん・ばいじんに関する総合調査報告書	1983. 1	B5. 187頁
47	南関東地域での光化学大気汚染に関する総合調査報告書	1983. 2	B5. 177頁
48	こども自然公園環境調査報告書	1983. 2	B5. 155頁 付図4枚
49	道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的騒音効果に関する研究 －中間報告－	1983. 3	B5. 106頁
50	横浜市南部沿岸地域の軟弱地盤調査図 付図1-5	1983. 3	B2.
51	調査研究事業のあらまし	1983. 3	B5. 34頁
52	都市自然に関する社会科学的研究	1983. 11	B5. 226頁
53	第7回公害セミナー公募論文集	1983. 11	B5 149頁
54	身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－ 横浜市公害研究所報第8号	1983. 12	B5. 157頁
55	排水処理技術維持管理マニュアル－生物処理編－	1983. 12	B5. 132頁
56	魚類の健康評価に関する研究(4)	1984. 1	B5. 67頁
57	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書	1984. 2	B5. 183頁
58	第7回公害セミナー会議録	1984. 2	B5. 135頁
59	身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－ 横浜市南部沿岸地域軟弱地盤調査報告書	1984. 2	B5. 付図6枚
60	横浜のホタル生息地(1983年度版)	1984. 3	B5. 49頁
61	第8回公害セミナー公募論文集	1984. 11	B5. 105頁
62	いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－ 横浜市公害研究所報第9号	1984. 12	B5. 193頁
63	横浜市南部丘陵 舞岡川源流域の水分調査	1984. 12	B5. 120頁
64	排水処理施設維持管理マニュアル－イオン交換処理編－	1985. 3	B5. 134頁
65	第8回公害セミナー会議録	1985. 1	B5. 133頁
66	いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－ 道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的減音効果に関する研究 －総合報告－	1985. 3	B5. 173頁
67	横浜市公害研究所報第10号	1985. 12	B5. 190頁
68	平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告	1986. 3	B5. 149頁
69	魚類指標による工場排水規制手法に関する研究	1986. 2	B5. 192頁
70	第9回公害セミナー会議録	1986. 2	B5. 179頁
71	静かなまちづくりをめざして－道路緑化と騒音－ ホタルの生息環境づくり～技術マニュアル試案～	1986. 2	B5. 121頁
72	第10回公害セミナー公募作品集	1986. 11	B5. 174頁
73	調べてみよう、身近な環境－水、みどり、まち……－ 横浜市公害研究所報第11号	1987. 3	B5. 216頁
74	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第2報	1987. 3	B5. 275頁
75	排水処理施設維持管理マニュアル－汚泥処理編－	1987. 3	B5. 132頁
76	10年のあゆみ・横浜市公害研究所設立10周年記念誌	1987. 3	B5. 203頁
77	第10回公害セミナー会議録	1987. 3	B5. 127頁
78	調べてみよう・身近な環境－水、みどり、まち……－ 横浜市軟弱地盤層調査報告書 土地質試験データ図案 付図1-4	1987. 3 1987. 3	B5. 217頁 B2. (付図1) A O

資料番号	件名	発行年月	体裁等
79	横浜市公害研究所資料室図書目録	1987. 3	B5. 328頁
80	第11回公害セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1987. 11	B5. 89頁
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁
82	第11回公害セミナー会議録 調べてみよう・身近な環境-水, みどり, まち……-	1988. 3	B5. 139頁
83	横浜市軟弱地盤層調査報告書 (軟弱地盤構造と地盤沈下特性)	1988. 3	B5. 103頁
84	横浜市軟弱地盤層調査報告書 (縦断面地質柱状図, 水準点変動図集)	1988. 3	B5. 162頁
85	植樹帯による歩道環境改善効果に関する調査研究 -横浜市磯子区産業道路沿道植樹帯設置事業のケーススタディー-	1988. 3	B5. 148頁
86	第12回公害セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1988. 11	B5. 133頁
87	横浜市公害研究所報第13号	1989. 3	B5. 210頁
88	水域生物指標に関する研究報告	1989. 3	B5. 348頁
89	浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書	1989. 3	B5. 195頁
90	第12回公害セミナー会議録 調べてみよう・身近な環境-水, みどり, まち……-	1989. 3	B5. 39頁
91	魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書	1989. 3	B5. 125頁
92	第13回公害セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1989. 12	B5. 137頁
93	横浜市公害研究所報第14号	1990. 3	B5. 212頁
94	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第3報	1990. 3	B5. 166頁
95	第14回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1990. 11	B5. 102頁
96	横浜市公害研究所報第15号	1991. 3	B5. 226頁
97	自然観察ワークシート～横浜の都市自然を調べる～	1991. 3	B5. 115頁
98	トンボ生息環境づくり調査報告書	1991. 3	B5. 210頁
99	第15回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1991. 11	B5. 174頁
100	横浜市環境科学研究所報第16号	1992. 3	B5. 164頁
101	環境科学研究所業務案内リーフレット	1992. 2	B5. 4頁
102	横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書	1992. 3	B5. 133頁
103	第16回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1992. 12	B5. 108頁
104	横浜市環境科学研究所報第17号	1993. 3	B5. 232頁
105	横浜市の陸域生物による環境モニタリング調査報告書	1993. 3	B5. 77頁
106	鶴見川・帷子川水系生態調査報告書	1993. 3	B5. 268頁
107	酸性雨に関する調査研究報告書	1993. 3	B5. 218頁
108	第17回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1993. 12	A4. 105頁
109	横浜市環境科学研究所報第18号	1994. 3	A4. 164頁
110	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究	1994. 3	A4. 118頁
111	キショウブによる水質浄化法-実験報告書-	1994. 3	A4. 121頁
112	第18回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1994. 12	A4. 71頁
113	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究 パートⅡ	1994. 12	A4. 175頁
114	横浜市環境科学研究所報第19号	1995. 3	A4. 153頁
115	横浜市民の音環境に関する意識調査	1995. 3	A4. 136頁
116	横浜港, 生物と環境の変遷 -底質柱状試料中の生物化石調査-	1995. 3	A4. 87頁 A4. 133頁
117	東京湾の富栄養化に関する調査報告書	1995. 3	A4. 55頁
118	第2回陸域生物による環境モニタリング調査	1995. 3	A4. 117頁
119	第19回環境セミナー公募作品集 調べてみよう, 身近な環境-水, みどり, まち……-	1995. 12	



資料番号	件名	発行年月	体裁等
120	横浜市環境科学研究所報第 20 号	1996. 3	A4. 83 頁
121	エコロジカルライフスタイルの政策科学的研究(Ⅲ)	1996. 3	A4. 84 頁
122	多環芳香族炭化水素(PAHs)に関する調査研究報告書	1996. 3	A4. 130 頁
123	大岡川・境川水系生態調査報告書	1996. 3	A4. 200 頁
124	横浜の酸性雨 —よりよい環境をめざして—	1996. 6	A4. 6 頁
125	酸性雨のはなし	1996. 12	A4. 8 頁

## ◇ 編集後記 ◇

研究所発足以来、毎年刊行してまいりました所報もここに「第21号」をとりまとめることができました。内容は前号に引き続き、「業務報告」、「調査研究編」および「資料編」を柱として構成されています。

限られた経費の中で、より多くの投稿を目指すため編集委員会で議論をし、知恵を出し合ったすえようやく本号をとりまとめるに至りました。しかし、その中で今回も、いくつかの反省点を残しました。それらは次期編集委員会に引き継ぎ今後に生かしていこうと思います。

### 所報第21号編集委員会

関川朋樹

前田裕行

加藤善徳

初貝留美

美濃輪和朗

梅田孝

松島裕子