

環境研資料

No. 142

ISSN 0918-5720

横浜市環境科学研究所報

第 25 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.25

2001年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE RESEARCH INSTITUTE

ま え が き

今日、私たちをとりまく環境問題は、炭酸ガス等による温暖化、酸性雨などの地球環境問題、ダイオキシン類及び環境ホルモンなどの化学物質問題、自動車排ガスによる大気汚染など、私たちの生活様式とも大きな関係を持ち、いくつもの原因が絡み合った複雑なものとなっています。そして、これらの環境問題については、継続した科学的調査が求められています。

環境科学研究所は、環境保全行政の推進にあたって、試験検査及び調査研究によってその裏付けとなる科学的根拠を提供する役割を担っています。

平成11年度は、化学物質の調査として、一般大気環境中等のダイオキシン類濃度調査、市内河川水中等の環境ホルモン物質の調査、さらに、横浜市における酸性雨調査、市内の生物多様性の調査などについて調査研究を進めてきました。

今回の所報第25号は、研究所の研究成果公表の一環として平成11年度の調査研究を中心にまとめたもので、平成11年度業務編、調査研究編（15報文）などから成っています。今後とも、内容を充実したものにしていきたいと考えておりますので、皆様のご指導、ご鞭撻を賜りたいと存じます。

平成13年3月

横浜市環境科学研究所
所長 牛山修一

目 次

まえがき	
I 業務報告編	
環境科学研究所の沿革	1
試験検査業務	
大気汚染関係の測定分析	1
水質汚濁関係の試験検査	1
調査研究業務	
基礎研究	1
プロジェクト研究	1
啓発事業	
環境セミナー	1
第23回環境セミナー 市民研究発表会	1
環境セミナー野外教室 環境調査講習会	1
II 調査・研究編	
報 文	
基礎研究	
・谷戸におけるヌカエビの生息場所と生態との関係 -生物多様性の保全に向けて-	13
・飼育水槽におけるヌカエビの繁殖行動	19
・視覚障害者の歩行実験 -音環境と空間認知-	24
プロジェクト研究	
・横浜市における酸性雨モニタリング調査 -1999年の結果-	34
・三宅島火山ガスによる酸性雨への影響	38
・横浜市水域における油流出事故について	47
・横浜市水域における環境ホルモン実態調査	56
・人工衛星データを用いた横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布状況	62
・環境中のダイオキシン類測定の実状と課題	67
・横浜市におけるダイオキシン類モニタリング調査 (第1報)	74
・身近な生き物についてのアンケート調査 (第1報)	78
短 文	
基礎研究	
・横浜市内における路面堆積物について	86
・植物による減音量の計算用葉面積調査 (その2)	88
プロジェクト研究	
・横浜市内水域における有機スズ化合物 (トリブチルスズ・トリフェニルスズ) 調査	92
・横浜市内の事業所排水, 河川, 海域のホウ素の調査結果	95
III 資料編	
1 人員及び組織	101
2 主要機器一覧表	101
3 予算額 (平成11, 12年度)	101
4 学会等研究発表	105
5 雑誌等投稿	106
6 発行資料	107
7 発行資料目録	107
編集後記	

1. 環境科学研究所の沿革

横浜市環境科学研究所は、昭和51年4月に横浜市公害研究所として設立され、平成3年6月に機構改革により名称が横浜市環境科学研究所に変わりました。大気、騒音・振動、水質、地盤沈下、社会科学の各部門に分かれ、各種調査研究、市の規制・指導等に反映させるための試験検査業務や環境監視に用いる自動測定機等の精度管理などさまざまな事業を行ってきました。

また、平成10年5月には複雑多様化する環境問題に柔軟に対応できるよう、研究調整、調査研究(基礎研究)、調査研究(プロジェクト研究)、試験検査などに組織を整備しました。

2. 試験検査業務

工場・事業場への立入検査や苦情処理に伴う検体の試験検査や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。

2-1. 大気汚染関係の測定分析

平成11年度における大気汚染関係の試験検査は、工場・事業場の苦情処理に伴うもの11検体、一般環境大気中の揮発性有機塩素化合物などのモニタリング136検体、電子顕微鏡を用いた建築材料中のアスベスト等の測定22検体、計169検体の検査を実施しました。

2-2. 水質汚濁関係の試験検査

平成11年度における水質汚濁関係の試験検査は、工場・事業場の立入検査、ゴルフ場農薬の検査、工場跡地土壌の検査及び魚類浮上事故などに伴う検体について、計749検体の検査を実施しました。

3. 調査研究業務概要(平成11年度)

3-1. 基礎研究

大気環境に関する研究

- ・自動測定機の精度に関する研究
- ・自動車排ガス・エミッションファクター調査
- ・自動車排ガス中の有害化学物質の研究

水質汚濁汚濁対策推進に関する研究

- ・河川汚濁負荷解明調査

水域環境の改善に関する研究

- ・再生河川の生物群集の構造に関する研究
- ・水生生物個体群の生態に関する研究
- ・人工衛星データによる水質解析に関する研究
- ・東京湾の水質の統計解析

地盤環境対策に関する研究

- ・地盤及び地下水環境調査研究

音環境に関する研究

- ・快適音環境における情報性の音の認知と活用に関する研究

3-2. プロジェクト研究

化学物質対策推進に関する研究

- ・ダイオキシン類研究事業
- ・環境ホルモン研究事業
- ・地下水汚染対策に関する研究

エコシティに関する研究

- ・横浜型エコシティの形成

・エコロジカル・デザインの研究

都市持続に関する研究

・ヒートアイランドに関する研究

・酸性雨モニタリング調査

・市内森林土壌の酸性化の実態と中和能力調査

・人工衛星データを利用した森林の活性度調査

・研究所における循環型システムの調査研究

(各研究調査業務概要はP.2~11に記載)

4. 啓発事業

4-1. 環境セミナー

昭和52年度から、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を開催しています。

4-1-1. 第23回環境セミナー市民研究発表会

期 日/平成12年1月22日(土)

会 場/横浜市港南公会堂

内 容/作品発表(16編)講演、研究報告

(司会・渡部允氏(ジャーナリスト))

講 演/「横浜に住む生きものたちの将来」

講師・高桑正敏氏(神奈川県立生命の星・地球博物館主任学芸員)

研究報告/「ダイオキシンのはなし」

前田裕行(環境科学研究所職員)

参加者/250人

4-1-2. 環境セミナー野外教室—環境調査講習会

身近な環境について調査、観察方法を体験しながら学んでもらう教室を行いました。

期 日/平成11年8月6日(金)

会 場/いたち川日東橋(栄区中野町)

内 容/いたち川流域の水生昆虫調査、魚類調査、水質検査などの環境調査

参加者/42人(参加対象・小学生以上)

調査研究名	<p style="text-align: center;">大気環境に関する研究 自動測定機の精度に関する研究</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 本市の大気汚染常時監視測定機は湿式から乾式に現在移行しつつある。そこで、日本において稼働歴の浅い乾式測定機について、性能評価と改良研究を本研究所の機器性能試験システムによって行い、国際的なデータの整合性の点も含め、各測定局において大気汚染常時監視している測定データを現在よりさらに信頼性の高いものにする。 大気汚染測定機の目盛較正は、通常、ガス濃度に相当する等価標準溶液によって調整する。その後、既知濃度の標準ガスを測定機に導入すると、標準ガス濃度と指示値の間に差が認められる。そこで、両者を一致させるために、機器性能検査用標準ガス調整装置を用いて測定機の性能特性を十分に試験検討し、誤差のない測定機に改善する。</p> <p>〔方法〕 機器性能検査用標準ガス調整装置を用いて各種の乾式測定機に対し性能特性を十分に試験検討し、このデータを基に測定機の改善改良をメーカーと共に進める。</p> <p>〔結果〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 自動測定機較正検定用標準ガス調製装置に関する研究：更新した標準ガス調製装置の性能に関する試験を行った結果、オゾン標準ガスシステムに対する性能向上がほぼ確認された。 ② 乾式自動測定機に関する研究：乾式自動測定機の内、オゾン計の性能について試験検討し、日本のような高温多湿となる測定環境の中で長期安定に稼働できる測定機について調査検討した。 ③ 受領性能試験：購入した窒素酸化物自動測定機およびオゾン自動測定機について JIS の性能試験項目等を確認し、不備な箇所を整備後、測定局に適正配備した。 ④ オゾン計の動的校正：オキシダント自動計測器等の動的較正において用いられる二次標準の紫外線吸収式オゾン自動測定機に対して指示目盛の感度を確認較正した。 ⑤ 小型標準ガス希釈装置に関する研究：市販の自動測定機較正検定用標準ガス調製装置に対し事前に本研究所所有の標準ガス調製装置と比較検査し、購入対象とする適正な標準ガス調製装置を評価選定した。 	

調査研究名	<p style="text-align: center;">大気環境に関する研究 自動車排ガス対策に関する調査研究 自動車排ガス・エミッションファクター調査</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 自動車から排出される大気汚染物質の、ガスおよび黒煙粒子の排出量実態を把握し、自動車排ガス対策の最適化を目指すための実証データを得ることを目的とする。</p> <p>〔方法〕 自動車検査所において、可搬型測定器による簡易測定法とシャーシダイナモ測定との併行測定を行い測定法の検討を行った。測定は積載量 4 t、2 tトラックおよび乗用のディーゼル車を対象に、アイドリングの状態で行った。測定項目は、NO_x（窒素酸化物）、CO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）について行った。</p> <p>〔結果〕 NO_xについて比較した結果、4 t、2 tトラックでは 14.8～20.6%簡易測定の方が高め、乗用車では 8.5～13.9%低めでそれぞれ一定の範囲の傾向を示し、再現性よく測定できた。CO、HCについては 2～10 倍の差がみられ、エンジン状態（Cold 状態と暖機状態）、オートマチックのドライブおよびニュートラルモード、酸化触媒の作用によって測定値にばらつきがあった。以上の結果から NO_xについては簡易測定法で十分測定可能であることが認められた。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">大気環境に関する研究 自動車排ガス対策に関する調査研究 －自動車排ガス中の有害化学物質の研究－</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 自動車から排出されるガス中の有害化学物質の実態を把握し、自動車排ガス対策の最適化を目指すための実証データを得ることを目的とする。</p> <p>〔方法〕 自動車排ガス中の有害化学物質の測定法および分析法の検討を行った。 自動車排ガス中の炭化水素類を分離分析し、有害成分のベンゼン、トルエン、キシレン等について調べた。 試料は、シャーシダイナモ測定によりテトラバッグに捕集された排ガスを採取した。サンブラには活性炭吸着管を用いて、分析は加熱脱着法によりFID-GCにより行った。測定はガソリン車、ディーゼル車および低公害とされるCNG車、ハイブリッド電気自動車を対象に行った。</p> <p>〔結果〕 ガソリン車について分析を行った結果、ベンゼン等有害成分濃度は比較的低かった。全体的に排ガス中のTHC（全炭化水素）濃度が低く、近年の排ガス規制の強化による効果と燃料の改善によるものとみられる。 また年式及び走行距離の異なるディーゼル車において、THC濃度が同レベルであったが排ガス中の成分の組成が異なり、エンジン等の劣化による燃焼効率の違いが認められた。ハイブリッド電気自動車ではガソリン車と比べかなり低く、メタンを主成分とするCNG車については有害成分はほとんど認められなかった。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">水質汚濁対策推進に関する研究 河川汚濁負荷解明調査</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 最近の都市河川の水質が横ばいである原因として、河川外の面汚染源から降雨時に流入する汚濁物質の影響が大きいと考えられる。平成11年度は農耕地域からの汚濁負荷を把握するために、モデル地域として帷子川流域の上川井農専地区を選定し、晴天時・降雨時の水質調査を行った。</p> <p>〔方法〕 水路に自動採水装置を設置して晴天時・降雨時の採水を行った。晴天時は2時間毎に24時間採水した。降雨時の採水は0.5mmの降水量で開始し、以後30分毎に11時間行った。</p> <p>〔結果〕 晴天時の水質はpH7.6、電気伝導率約31mS/m、BOD約1.3mg/l、全窒素約3.7mg/l、全リン約0.01mg/l、また流量は約0.007m³/sであった。 降水量が30mmを越えた降雨調査では、時間降水量が5mmを越えるとBODは100mg/l以上となるが、T-N・T-Pの濃度はあまり増加しなかった。濁度の上昇は流量の増加より先行して現れ、同時に全窒素・全リンも約7および約0.8mg/lにまで高くなるのが認められた。流量は累加降水量が10mmを越えたあたりから増加し、0.16m³/sまで増加した。電気伝導率は流量変化に反比例して10mS/m前後にまで低下した。また、各汚濁負荷量は流量に比例する傾向が認められた。 流出負荷量は晴天時がBOD 0.015kg/ha・日、全窒素 0.04kg/ha・日、全リン 0.00016kg/ha・日に対して、降雨時採水期間中のBODは2～3.4kg/ha、全窒素は0.10～0.14kg/ha、全リン約0.01kg/haであった。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">水域環境の改善に関する研究 生物群集の多様性に関する研究 —再生河川の生物群集の構造に関する研究—</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 河川水質は、公共下水道の普及等による流入排水の減少により、回復傾向にある。一方、河川水量の減少により、生物生息環境としての機能維持が不可能になる可能性も生じている。都市河川における多様な生物群集の生息環境の維持に、生息場として適した複雑な河川構造の再生と共に、下水処理水などの水資源の再利用を進める必要がある。そこで、近自然化工事が行われた河川と、水資源の再利用により維持されている河川を対象に、環境特性と生物群集構造との関係を検討し、多様な群集の維持可能な環境条件を明らかにする。</p> <p>〔方法〕 河道修復と堰設置による河川改修工事が行われた大岡川上流域と、オゾン消毒された下水処理水を維持用水として流している江川を対象とした。大岡川上流域では、河川改修の効果の評価に適した調査時期の検討を行った。江川では、オゾン消毒の生息生物への影響を評価するため、河川に人工付着基物を設置して藻類の増殖実験を行った。</p> <p>〔結果〕 大岡川上流域における河川改修工事の評価のための調査では、魚類と底生動物の採集される種類数と個体数が夏期に多いのに対して、冬期には明瞭に少なくなった。夏期と冬期の水質的な相違はほとんどなく、冬期に種類数と個体数が減少したのは、水温の低下により生物分布が局所的になったためと考えられたことから、継続的な変化の評価には夏期の調査結果が適していることが明らかになった。 下水処理水を維持用水として流している江川の上流側では、付着基物上に生育する藻類量は、付着基物設置からしばらくの期間は少なかったが、その後は対照とした鶴見川と同じ程度まで増加した。また、下流側における藻類量の変化は対照の鶴見川とほとんど同じであった。このことから、過去に塩素消毒していた時の消毒の藻類量への影響は、江川の下流側までの全域に強く現れていたのに対して、オゾン消毒の影響は下水処理水放流点近くに限定され、その影響の程度も小さいことが確認された。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">水域環境の改善に関する研究 生物群集の多様性に関する研究 —水生生物個体群の生態に関する研究—</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 分布が限定されてきた在来種のヌカエビを対象に形態のおよび酵素タンパク質のアロザイム分析による集団遺伝学的側面から種の多様性の問題を解析した。これら得られた遺伝情報は、在来種の保護育成に関する方策、モニタリングの基礎資料となるものである。</p> <p>〔方法〕 前年度では、大岡川集団を対象に測定条件、分析方法、変動等の検討を行い、他水系集団との関係をみていく上でグルコース6 磷酸イソメラーゼ (Gpi)、マンノース6 磷酸イソメラーゼ (Mpi)、ホスホグルコムターゼ (Pgm) の3 酵素の有効性が認められた。そのため今回は、同様な方法を用いて横浜市北部に分布する集団、港北区の池集団、こども自然公園の池集団における生態、遺伝情報を分析した。</p> <p>〔結果〕 両集団の生態に関わる形態、繁殖形質における比較では、額角歯数と卵サイズで差があった。アロザイム分析の結果では、Gpi、Pgm で差がなく、Mpi で若干の差が認められたが、両集団のヘテロ接合体率（遺伝子多様度）は低い傾向を示し、また大岡川集団と比較しても低く、川と池等の生息場所との関係が示唆される。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">水域環境の改善に関する研究 富栄養化機構の解析 －人工衛星データによる水質解析に関する研究－</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 東京湾の富栄養化機構解析の一環として、また、将来的には水質の広域的監視への発展を目指して、人工衛星データによる水質解析手法について検討すると共に、赤潮プランクトンについても把握する。</p> <p>〔方法〕 1986年から1995年までに取得した東京湾の水質データと同日の人工衛星ランドサットTMデータ9シーンについて、今までに作成したアルゴリズムを用いて相互の関係について統計解析を行い、その結果を基にクロロフィルa濃度と濁度について人工衛星データによる推定分布画像を作成した。</p> <p>バンド1からなる重回帰式から求めた推定値が、実測値と相関が強く有効であることがわかった。しかし、大気の解析に使用した水質データは、人工衛星運行時にあわせて取得したものを、衛星データは、リモートセンシング技術センターの研究向けTMデータを用いた。</p> <p>〔結果〕 クロロフィル濃度については、衛星データと実測値との重相関分析を行った結果、近赤外域のバンド4と紫外域浮遊粒子状物質が多い時には、実測値との相関が弱く推定値の精度は悪くなる傾向が見られたが、クロロフィル濃度の相対的推定が可能であることが明らかになった。また、濁度についても重相関分析を行った結果からは、紫外域のバンド1と近赤外域のバンド4からなる重回帰式から求めた推定値が実測値との相関が強く有効であると思われた。クロロフィル濃度は沿岸水域及び湾奥で高い傾向が見られた。人工衛星の運行時に合わせた赤潮生物相調査の結果では、ナノプラクトンを除いては、最優占種はどの月も珪藻類で、次いで渦鞭毛藻類と平成10年度と同様な傾向を示した。また、8月に<i>Alexandrium minutum</i>、10月に<i>Heterocapsa</i> sp. が出現し、これらは毒素を持っている可能性のあるプランクトンであった。</p>	

調査研究名	<p style="text-align: center;">水域環境の改善に関する研究 富栄養化機構の解析 －東京湾の水質の統計解析－</p>
部 門	<p style="text-align: center;">基礎研究</p>
<p>〔目的〕 横浜市沿岸域を含む東京湾では、毎年赤潮が発生し水質の改善がみられないことから、第5次水質総量規制のなかでN・P対策が主要な課題になってきている。富栄養化対策を進める上で、過去から現在までの間における東京湾の水質がどのように変化してきたのかを把握しておくことは重要である。平成10年度は、基本的な項目である水温と塩分について東京湾における水質の空間濃度分布の傾向変動を調べた。今年度は、CODとDOを対象にして同様な検討を行った。</p> <p>〔方法〕 東京湾内の41地点における過去10年の毎月の公共用水域水質測定結果に2つの統計的手法を適用し、水質の時空間濃度分布を作成した。具体的には、各地点・各項目ごとの時系列データは、統計的には、傾向変動成分、季節変動成分、および測定条件のバラツキに応じて一時的に変動する不規則変動成分からなるとみなすことができる。したがって、データから傾向変動成分をよりの確に抽出するためには、傾向変動成分と季節変動成分を分離して推定し、同時に不規則変動成分を除去すればよい。そこで、まず、各地点・各項目ごとにベイズ型季節調整という時系列解析手法により不規則変動成分を除去し、傾向変動成分の各年の推定値を求めた。次に、各年の推定値から離散薄板補間により東京湾の水質濃度分布を作成した。</p> <p>〔結果〕 データの測定開始年度や精度等を考慮し、1985年4月から1995年3月までの10年間のデータについて分布図を作成した。</p> <p>CODは年毎の変動が大きい、表層ではやや改善傾向にある。底層DOも少しずつ改善されてきている。今後は、栄養塩についても分布図を作成し、それら傾向変動の特徴や水域毎の違いなどを調べる予定である。</p>	

調査研究名	地盤環境対策に関する研究 地盤および地下水環境調査研究
部 門	基礎研究
<p>〔目的〕 地盤環境調査により、本市域の地下環境の詳細を明らかにし、各種地盤災害対策（地盤沈下、液状化等）の検討資料を作成する。また、本市の事業推進において必要不可欠な土質データ等を整理し、地盤情報の活用を図ると共に、本市の事業推進における基礎資料となる地盤環境図等を作成する。</p> <p>〔方法〕 次のような調査を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地盤環境情報資料（主にボーリング柱状図、土質試験結果）の収集整理とデジタル化業務。 ・ボーリング調査（鶴見川・矢上川地点1カ所）。 ・既設33井戸の地下水位測定及び既設5基地の層別沈下測定。 <p>〔結果〕 ボーリング調査に伴う井戸設置とコア分析により、液状化地層の特性と堆積環境および浅層地下水（自由地下水）の水頭を明らかにすることが出来た。デジタル化されたボーリング柱状図を用いた液状化解析を南部沿岸地域から北部沿岸地域にかけて検討してきた。液状化の発生しやすい地域および地盤沈下地域は、前者が埋立地および河川低地の砂地層、後者が軟弱地盤層の厚い粘性地層であることが確認できた。層別沈下は前年度と同様の傾向を示し、特に著しい沈下は認められない。丘陵・台地を含む33井戸の地下水位は降雨時の水位回復（天水の涵養）は顕著に認められたが、急激な地下水位の低下は認められなかった。</p>	

調査研究名	音環境に関する研究 快適音環境における情報性の音の認知と活用に関する研究
部 門	基礎研究
<p>〔目的〕 視覚障害者が頭に描く地図（メンタルマップ）が、ここから右へ30m行ってそこから左へ70m行くというように2次元化されていると、彼らの街中での自立的歩行は容易になる事が過去の調査で明らかになった。その2次元化を促進するには、現在の視覚障害者の歩行訓練に、2次元に配置された絶対的位置情報を具体的音声で直接伝え、それらの位置関係を頭の中で構築させるシステムの導入が考えられる。そこで、街中に設置した発信器と視覚障害者が持つ受信器を組んだモデルを設定し、その有効性を調べる。</p> <p>〔方法〕 長方形実験区域（約120m×170m）内の神社入口、鳥居、レストラン、中華料理屋に設置した4箇所の発信器、過去の調査から彼らが日常的に用いる特徴的な音を出す店や自販機前に設置した5箇所の鍵入り缶の計9箇所全てを、受信器を持つ被験者は規定の出発点から自由歩行で通過する。出発前に区域の外枠（内部の通路は未記載）と通過確認すべき位置のみが判る触地図で確認し、歩行中も利用可とする。</p> <p>〔結果〕 通過箇所の確認は、 ・楽しい ・送信器の音声情報は確認できれば絶対的で良い ・ガソリンスタンド等の広い角は空間的で角と認知し難い ・受信器の使用法に慣れが必要 ・通過点の探求に意を取られ周囲に注意が向かなくなる ・触地図に未経験でも、触地図と音声の絶対的位置情報がメンタルマップの2次元化を促し、自己の定位に迷っても音声情報位置からの再出発が可能となる。以上のように、音声による絶対的な位置情報の重要性和有効性は明らかであり、それを含む触地図は娯楽性を持った歩行を可能とし、歩行訓練と同時にメンタルマップの2次元化に寄与すると考えられる。</p>	

調査研究名	ダイオキシン類研究事業 横浜市内におけるダイオキシン類濃度モニタリング調査
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 ダイオキシン類汚染問題については、平成12年1月に「ダイオキシン対策特別措置法」の施行があり、更なる対策の段階に入っている。モニタリング調査は、市内の大気、土壌及び公共水域(横浜市内河川・海域の水質、底質)で実施した。</p> <p>〔方法〕 ①一般大気環境モニタリング調査：平成11年度調査は、昨年度と同一の市内9地点において、平成11年5月、8月、11月、平成12年2月に調査した。それぞれ24時間大気採取を2回連続して実施した。 ②土壌中のダイオキシン類濃度調査：平成11年度調査は、11月に市内全区について、臨海部市街地、住宅地及び郊外部の小学校27地点で実施した。(このうち、20地点のダイオキシンを当研究所で分析した。) ③河川・海域のダイオキシン類濃度調査：今年度より市内の各河川・海域の調査を開始した。水質は、河川11地点、海域7地点、底質は河川6地点海域7地点である。</p> <p>〔結果〕 ①一般大気環境：市内9地点の年平均値は、0.16～0.25 pg-TEQ/m³の範囲内にあり、平均値は0.20 pg-TEQ/m³であった。なお、冬期調査(平成12年2月)からコプラナーPCBを加えてダイオキシン類を測定している。 年平均値については、西区平沼小学校及び青葉区総合庁舎で0.25 pg-TEQ/m³と最も濃度が高く、次いで鶴見区生麦小学校で0.24 pg-TEQ/m³、瀬谷区南瀬谷小学校で0.22 pg-TEQ/m³の順となっていた。一方、戸塚区汲沢小学校では、0.16 pg-TEQ/m³と最も濃度が低かった。 季節別には、特に夏季に濃度が低い傾向(9地点平均：0.059 pg-TEQ/m³)となっていた。 各調査地点の平均値は環境庁で定めている大気環境基準値(年平均値0.6 pg-TEQ/m³)を下回っており、環境庁調査の全国的な測定結果と比較すると、概ね大都市並の値に近い傾向であった。 ②土壌中のダイオキシン類濃度：濃度範囲は都筑区北山田小学校の0.0085 pg-TEQ/g～青葉区奈良小学校の7.8 pg-TEQ/g、27地点平均濃度は1.48 pg-TEQ/gであり、環境庁が定めた環境基準値(1,000 pg-TEQ/g)を大幅に下回っていた。ダイオキシン(PCDD/F)に対するCoPCB(コプラナーPCB)の比率は平均で約17%であった。 ③河川・海域のダイオキシン類濃度：水質のダイオキシン類濃度は、0.11～0.53 pg-TEQ/Lで河川水の平均は0.29 pg-TEQ/L、海水の平均は0.20 pg-TEQ/Lであった。各地点とも環境基準(1 pg-TEQ/L)を下回っていた。底質のダイオキシン類濃度は0.51～24 pg-TEQ/g、河川の底質の平均は4.2 pg-TEQ/g、海の底質の平均は12.6 pg-TEQ/gであった。</p>	

調査研究名	ダイオキシン類研究事業 ダイオキシン類緊急不特定調査
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 環境庁ダイオキシン類緊急全国一斉調査において、本市河川であるいたち川において比較的高濃度のダイオキシン類が検出された。このことにより、緊急に確認再調査を実施した。</p> <p>〔方法〕 平成10年度冬季にいたち川いたち川橋で4.7 pg-TEQ/Lを検出したのを受け、平成11年4月に8検体、10月に1検体いたち川においてダイオキシン類(CoPCB含まず)の追加調査を実施した。(国の再調査と同時期)</p> <p>〔結果〕 いたち川における確認再調査の結果は、4月調査で0.017～0.54 pg-TEQ/Lの範囲、10月調査で0.18 pg-TEQ/Lの値でいずれも環境基準1 pg-TEQ/L以下であった。</p>	

調査研究名	化学物質対策に関する研究 環境ホルモンに関する研究 —横浜市水域における環境ホルモン実態調査—
部 門	プロジェクト研究
<p>【目的】 内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)問題については、早急な実態調査が求められている。そこで、横浜市水域における環境ホルモンの存在状況を把握するため、横浜市内河川・海域の水質、底質について、環境ホルモンと疑われている物質(「SPEED'98」、環境庁)を対象に調査を実施した。</p> <p>【方法】 ①調査対象物質：22物質(農薬13物質;アトラジン等、農薬以外8物質;ノニルフェノール、ビスフェノールA等、女性ホルモン1物質;17β-エストラジオール) ②調査地点：9地点(河川;6地点、海域;3地点) ③調査時期：1999年8月、12月 ④分析法：「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル」(環境庁)に準拠。</p> <p>【結果】 水質からは、調査対象とした22物質のうち10物質が検出された。ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、17β-エストラジオールの4物質は、調査地点の半数(5地点)以上から検出された。検出濃度については、概ね環境庁の全国調査結果と同程度であった。 底質からは、8物質が検出された。ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジ-n-ブチル、17β-エストラジオールの6物質が調査地点の半数(5地点)以上から検出された。オクチルフェノール、ビスフェノールA、ベノミルの3物質については、全国調査(環境庁、H10年度)の濃度範囲を超えて検出されたが、それ以外の物質は濃度範囲内であった。 いずれの調査地点からも2物質以上の環境ホルモンが検出され、横浜市水域においては環境ホルモンが複合的に存在していることが示唆された。</p>	

調査研究名	化学物質対策に関する研究 地下水汚濁対策に関する研究
部 門	プロジェクト研究
<p>【目的】 環境庁が1982年に実施した地下水汚染実態調査により揮発性有機塩素化合物の広範囲な汚染が明らかになった。それから約20年が経過しているが、地下水の小さい流動性などのために依然として汚染は続いている状況にある。一方、これまで分解は困難とされてきた揮発性有機塩素化合物は地下水中でも比較的速く分解され、また、その分解過程では親物質よりも毒性の高い物質が生成されることなどが指摘されている。</p> <p>そこで、地下水中の揮発性有機塩素化合物の分解過程に着目して反応速度論の視点から実験、調査および解析を行い、報告書「地下水汚染に関する調査研究報告書—分解反応モデルを用いた評価—」を作成した。</p> <p>【内容】 本報告書は平成元年度より開始した揮発性有機塩素化合物による地下水汚染に関する調査研究についての成果をまとめたものである。その内容は、文献調査や市内における地下水汚染状況調査結果等を参考にして、有機塩素系溶剤の分解反応機構を調べてモデル化し、その分解反応モデルを応用した地下水汚染の評価方法をまとめたものである。また、その評価方法を実際の汚染地下水に適用し解析を行い、汚染源の位置の推定や汚染状況・分解状態の経年変化などについても考察した。</p> <p>なお、報告書では、数学的な記述を本文中に入れることは極力避け、本文の後にAppendixとしてまとめた。また、分解反応モデルを用いた評価方法では、各種パラメータを求める必要があるが、その度に計算するのは時間と労力を要すので、比較的簡単にパラメータを算出するためのマクロプログラムを作成した。その入手方法および使用方法も本文中に記述しておいた。</p>	

調査研究名	エコシティに関する研究 横浜型エコシティ形成に関する研究
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 エコシティには、環境負荷低減型と自然共生型の2つのアプローチがある。本研究では、エコアップを生かした横浜的自然共生都市形成に向けたステップアップ・プロセスを検討する。</p> <p>〔方法〕 横浜の都市構造の生態的特質（谷戸型・流域生態系）、主体形成と合意形成手法等の検討を基礎に、横浜型自然共生都市形成手法を検討する。</p> <p>〔結果〕</p> <p>(1) 横浜型エコシティの形成の骨格の調査研究 自然共生都市の骨格となる流域生態系（谷戸－川－海）のエコロジカルネットワークの方法を検討し、平成12年度に作成するイメージ図の基礎資料を得た。また、横浜においては「谷戸」が自然と共生したまちづくりの「生態的拠点」であること（仮説）を明確にするための資料を得た。</p> <p>(2) エコアップ意識調査 トンボ、ホタルなどの生きものが大好き、もしくはどちらかという如果喜欢と答えた児童・生徒は、約半数以上であった。反面、大嫌い、どちらかという嫌いと答えた児童・生徒が約2割に上った。</p> <p>(3) 水系・エコロジカルデザイン指針調査 水系エコロジカル・デザイン技術指針作成の原案を作成した。</p> <p>(4) モニタリング調査 横浜市内でエコアップを実施した公園、学校、河川等89カ所について、植生等の現況調査を実施した。</p>	

調査研究名	都市持続に関する研究 都市型温暖化に関する研究
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 横浜市内の気温は横浜気象台のデータによると過去50年間で約1℃上昇している。この傾向は地球温暖化と都市でのヒートアイランドの相乗効果によるものと考えられる。そこで平成10年度に引き続き森林域、内陸市街域及び臨海市街域を代表する3小学校で気温と湿度の観測を行った。また地表温度の上昇予測モデルの改良を行った。</p> <p>〔方法〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・月1回の晴天日での地表での放射温度と分光特性の観測 ・ランドサット衛星データの解析 ・3小学校での気温の観測（森林域：氷取沢小、内陸市街域：大岡小、臨海市街域：生麦小） <p>〔結果〕 調査の結果、日平均気温の特徴として春を除く全季節で気温は、森林域より市街域の方が高くなっており、横浜市内でも市街化によるヒートアイランドが生じつつあることがわかった。また、冬の最低気温の月平均が森林域より市街域の方が1.6～2.0℃ほど高いことがわかった。さらに熱帯夜の最低気温は森林域より市街域の方が0.3～0.7℃ほど高い傾向が認められた。</p>	

調査研究名	都市持続に関する研究 酸性雨に関する研究 －酸性雨モニタリング調査－
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 環境庁が報告しているように、現在、日本では欧米並の酸性雨が降り続いており、さらに急速に工業化を進める東アジア近隣諸国からの影響も懸念されている。このため、1984年より継続して酸性雨の監視を行っている。</p> <p>〔方法〕 横浜市磯子（横浜市環境科学研究所）で1999年1月～12月の1年間、自動雨水採取装置により雨水（湿性沈着物）、乾性沈着物を分別採取して、これらの pH 及び NO_3^-、nssSO_4^{2-}等の酸性雨原因物質、nssCa^{2+}、NH_4^+の中和物質等を分析した。</p> <p>〔結果〕 1999年の雨水の年平均 pH は 4.84、湿性の nssSO_4^{2-}、NO_3^-、nssCa^{2+}、NH_4^+の年沈着量はそれぞれ 47、34、14、59 ($\text{meq}/\text{m}^2/\text{年}$)、乾性の nssSO_4^{2-}、NO_3^-、nssCa^{2+}、NH_4^+の年沈着量はそれぞれ 10、11、24、3 ($\text{meq}/\text{m}^2/\text{年}$) であった。 これを経年的にみると、湿性については1999年の nssSO_4^{2-}、NO_3^-の沈着量（酸性雨原因物質）は、例年並で減少の傾向はなく、依然、本市は欧米並の酸性雨が降り続けている状況となっている。一方、乾性沈着量はやや減少傾向となっている。</p>	

調査研究名	都市持続に関する研究 酸性雨に関する研究 －市内森林土壌の酸性化の実態と中和能力調査－
部 門	プロジェクト研究
<p>〔目的〕 丹沢のブナ、モミ、関東山地のスギ枯れ等、各地で森林の衰退が問題となっている。この一因として酸性雨・酸性降下物による土壌の酸性化が指摘されている。本市においては、現在のところ森林衰退は認められていない。しかし、現在、欧米並の酸性雨が降り続けている状況にあることから、このままいくと、土壌が酸性化して森林が衰退していく可能性がある。そこで、これを未然に防ぐ基礎資料を得るため、平成10年度より市内の森林土壌の酸性化の実態を調査している。</p> <p>〔方法〕 平成10、11年度に横浜市内の市民の森等25カ所（163地点）で、土壌種別（褐色森林土、黒ボク土）、樹種別（針葉樹下土壌71、広葉樹下土壌66、林外26）に表層土壌（深さ15cm）を採取し、土壌の pH (H_2O)、pH (KCl)、土壌の元素成分、イオン成分、中和能等を測定した。</p> <p>〔結果〕 全土壌試料（163）の pH (H_2O) は 3.8～8.3 の範囲、平均は 4.9 であり、市内の森林土壌はかなり酸性を呈していた。樹種別では、針葉樹が pH4.6、広葉樹が pH5.3、林外が pH6.5 であり、針葉樹下土壌が特に pH が低かった。土壌種別では、褐色が pH4.7、黒ボクが pH5.0 であり、褐色森林土がやや pH が低かった。地域的には、針葉樹では、道路近傍ほど pH が低く、S、N、Ca、Mg 等の元素成分、SO_4^{2-}、NO_3^-等のイオン成分が高い傾向であり、特に、道路近傍地域の森林で酸性化が進んでいると考えられた。しかし、広葉樹下では道路近傍でも pH は高く、地域差はあまりなかった。</p>	

調査研究名	都市持続に関する研究 人工衛星データを利用した森林活性度調査
部 門	プロジェクト研究
[目的]	近年の環境汚染や環境破壊により横浜市内の森林の活性度が低下しているものと推測される。また酸性雨などによるスギ枯れなども懸念される。そこで人工衛星データを用いて市内の森林の活性度調査を行った。
[方法]	下川井地区などスギの多い地区でのスギ枯れの分光特性を夏及び冬について行った。 ランドサット衛星により落葉樹と常緑樹を区別するための因子について調べた。
[結果]	人工衛星データよりスギなどの特定樹種を選別するための因子は未だ確定していないが、落葉樹と常緑樹とを選別する方法を見出すことができた。これにより市内の落葉樹林と常緑樹林の割合が算出できるものと考えられた。

調査研究名	都市持続に関する研究 研究所における循環型システムの構築に関する調査研究
部 門	プロジェクト研究
[目的]	環境保全、循環型社会システムに対応した研究所としての行動計画を策定するため、情報を収集、整理するとともに、職員への啓発を進める。
[方法]	1. 環境管理、環境マネジメントシステムの状況調査 自治体、公立試験研究機関、一般企業の環境管理や環境マネジメントシステムの状況調査を行った。 2. 研究所職員への啓発活動 環境マネジメント関係の資料や環境報告書等を回覧し、研究所の職員の啓発活動を行った。
[結果]	1. 環境情報調査 多数の企業で、環境マネジメントシステムの国際的な基準である ISO14001 の認証取得を行い、環境報告書等を取り組みを公開していた（平成 12 年 3 月時点で認証取得の事業所は神奈川県内だけで 250 以上）。一方、公立の環境関係の試験研究機関で ISO14001 の認証を取得したのは、全国で 8 機関（平成 12 年 3 月）であった。 また、環境負荷の低減に関しては、多くの団体で、エネルギーや資源の有効活用以外に、使用薬品や排ガス、排水について法律、条例等よりも厳しい自主基準の設定などといった積極的な行動が認められた。 2. 研究所職員への啓発活動 自治体及び企業の環境管理の資料の回覧以外に、職員が適宜、環境報告書等を閲覧することができるように、資料室に環境報告書や環境レポートのコーナーを設けた。

谷戸におけるヌカエビの生活場所と生態との関係 — 生物多様性の保全に向けて —

樋口文夫, 福嶋 悟, 水尾寛己 (横浜市環境科学研究所)

Relationship between the life history and habitats of freshwater shrimp *Paratya compressa improvisa* in the hill headwater — For the conservation of biodiversity —

Fumio Higuchi, Satoshi Fukushima, Hiromi Mizuo
(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：ヌカエビ, 生活史, 繁殖生態, 食性, 谷戸, 大岡川

要旨

大岡川源流部に生息するヌカエビの地域個体群を対象に, 生息環境と生態との関係を検討した。池集団の頭胸甲長の季節変化は, 雌の繁殖期が5, 6月から8月の下旬までで, 生長パターンは, 新年級群が8月に出現し, 11月まで生長, 12月から翌年の2月までは生長が停止した。3月から5月まで再び生長し繁殖集団に加わると思われた。この年級群は, 2, 3の山を形成する。雄は, 雌より小型で, 8月の稚エビ出現から1, 2ヶ月で成エビと分布が重なるまでに生長する。寿命は多くが1年と思われた。生息場所との関係では, 池, 川の上流集団に比べて下流集団は稚エビの出現数が多く, 出現期間が長かった。生息場所によって集団構造が異なることが示唆された。消化管内容物は, 砂泥が80%以上を占め, 他は緑藻類, 珪藻類, 有機物片等であった。有機物組成は夏, 秋に多くの種類が食べられ, またその組成は生息場所によって若干の差を示していた。

1. はじめに

都市の周辺部に点在する谷戸, それは今に残された貴重な緑と水辺の空間でもある。しかしそこを生活場所としている生物の現状は, 特に水辺に生息する生物は, 水辺の改変, 水質汚濁, 外来種, 移入種等の放流によって多くの種類が数を減少させ, 生態的, 遺伝的攪乱が進行している。その中で淡水コエビ類のヌカエビは, 水質汚濁, 特に農薬, 外来種等の影響を受け, 急速に分布域が狭められてきている。そのため今回は大岡川の地域個体群を対象に生態学的観点から生息場所と生活史との関係, 繁殖等について検討した。

今回は, アロザイム分析によって同集団の遺伝的特徴の把握と変異等について報告した¹⁾。これら遺伝的情報, 生息場所と生態との関係を解析することは, 水辺環境, 地域個体群の生物多様性, 固有性を保全, 再生させていくために必要なことと考える。

2. 材料と方法

調査地点を図-1に示した。

大岡川の源流部, 水取沢地区を対象に, 南側の流れの最源流部に位置する池 (以下O-P), 河川, 流水域は東側の流れの上流部 (以下O1) と下流部 (以下O2) のいずれも淵を調査地点とした。調査時期は, 1992年5月から1993年5月まで, 月一回の頻度で行ったものであ

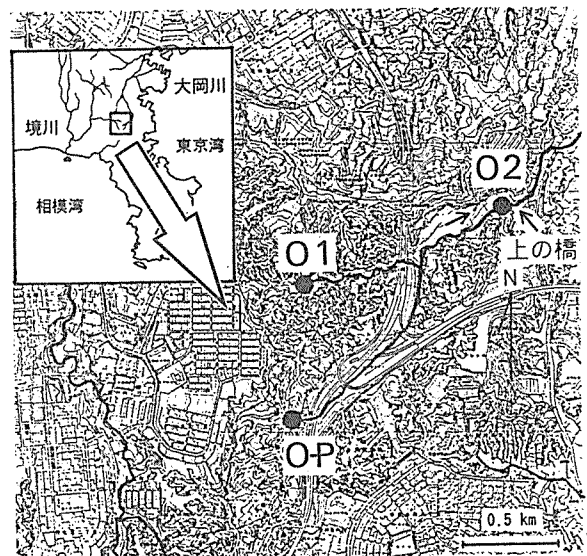


図-1 大岡川谷戸の調査地点, 池 (O-P), 川の上流 (O1), 下流 (O2)。

る。

採集は, D型フレームネット, 横45cm, 縦39cm, 網目2mmを用いた。採集した個体は, 10%ホルマリン溶液で固定し, 持ち帰った。頭胸甲長は, 眼下後縁から頭胸甲後縁までの長さをノギス (0.01mm) で, 体重は口紙で水分をよく拭き取った湿重量, 上皿天秤 (0.001g)

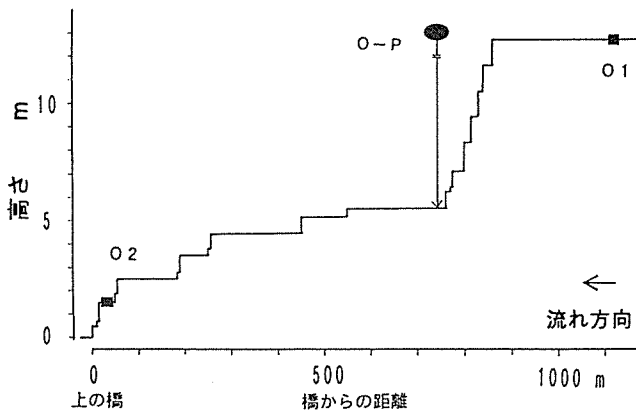


図-2 大岡川谷戸の積算落差高と調査地点

表-1 調査地点の河川形態

地点名	河川形態	河床形態	淵の成因	護岸構造
O-P	池	泥		土
O1	Aa-Bb	砂, レキ	S型	土
O2	Aa-Bb	砂, レキ	M型	コンクリート

を用いて測定した。雌雄の判別は、頭胸甲長の大きさでそれぞれ2.7mm以上(体長10mm以上)の個体を対象に、第2腹肢の内肢突起の有無で行った。消化管内容物は、全内容物の湿重量を測定し、この値から体重を除いて重量指数(%)を算出した。内容物は、光学顕微鏡(倍率600倍)を用いて観察した。組成割合は、砂泥と有機物については目測で測定し、有機物の藻類等は生細胞を計数した。

気温、水温、pH、電気伝導度は月1回の頻度で、水深と流速は年4回で測定した。世代解析は、月別の頭胸甲長をもとに堤他(1988)²⁾の方法によって行った。

3. 結果

3-1 生息環境

大岡川上流の積算落差高と各調査地点の位置を図-2、河川形態を表-1に示した。

最源流部の地点と下流の地点間の河床高度は、約15/(1.2×10^3)mで、積算落差高をみると下流上の橋から上流O1までは約13mの落差があった。川では、O1と池からの流れが合流する場所の間に、約10mから20m間隔で連続する約1m高の多段式落差工があり、三面コンクリートとなっている。その下流、O2までには、高さ30~70cmの落差工が5つ設置されている。また、池のO-Pは、孤立した状態となっており、その流れは高速道路沿いの遊水池、一部暗渠となって流下し、O1とO2の間で合流する。

河川形態区分³⁾は、O1、O2のいずれもAa-Bb移行型である。川の調査地点はいずれも安定した淵であり、水深があり、流速が遅い。淵の成因区分⁴⁾は、O1が土丹の浸食によって出来た基底変化型(S型)、O2は、河道が鋭角に屈曲した場所に形成される蛇行型(M型)と堰などの上流に出来るダム型(D型)も含まれている。またO2は、両側がコンクリートブロック護岸と

なっており、小規模な河原が存在する。流域の状況は、O1が谷間を流れ、水辺林がある。O2は、人家や畑の近く、開かれた所を流れる。O-Pは、人為的に堰き止めて造った池、谷間にあり、周囲に水辺林があるため自然の状態が保たれている。

環境要因を表-2、水温の季節変化を図-3に示した。

水温の地点別季節変化をみると、O-Pは、川の地点に比べて春、夏、秋で高く、3、4月には5℃の差があった。

川の地点間の比較では、春から秋までほとんど差がないが、冬はO1が低かった。pHは地点間で差がなく、6.8から8.4の範囲であった。各地点とも夏で高かった。

電気伝導度は、O-P、O1で低く、下流のO2は、先の地点の2倍以上の値を示した。この地区の生物学的酸素要求量(BOD)はO-Pの最小、最大値が0.7~1.5mg/L、O2が0.4~1.4mg/Lであり、きれいな水質環境であった。

3-2 生息場所と生活史

調査区域でのヌカエビの分布範囲は、川の最源流部の湧水点近くまで分布し、下流は上の橋までであった。

O-Pでの採集個体数は、雌が1264、雄が1113、不明が26で合計が2403であった。川の採集個体数は、O1の

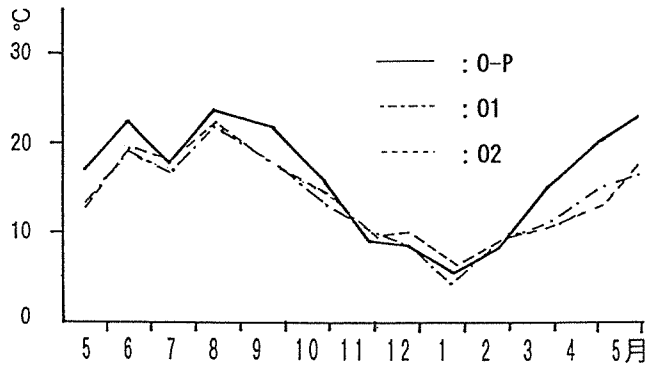


図-3 地点別水温の季節変化

表-2 環境要因

項目	地点	n	x	u	min	max
水深 (cm)	O-P	4	52.5	5.0	50.0	60.0
	O1	5	58.0	4.5	50.0	60.0
	O2	5	44.0	5.5	40.0	50.0
流速 (cm/sec)	O-P	4	0.0			
	O1	4	1.0	0.0	1.0	1.0
	O2	4	12.8	8.9	2.0	20.0
水温 (°C)	O-P	13	16.2	6.4	5.5	23.8
	O1	12	12.9	5.0	3.5	18.5
	O2	14	14.1	4.7	6.0	22.1
pH	O-P	13	7.4	0.4	6.8	8.3
	O1	12	7.7	0.4	7.2	8.4
	O2	14	7.7	0.3	7.2	8.3
電気伝導度 (μ/s)	O-P	13	260	23	210	290
	O1	12	316	56	200	400
	O2	14	767	147	490	1020

注) n:例数, x:平均値, u:不偏分散からの標準偏差, min:最小値, max:最大値。

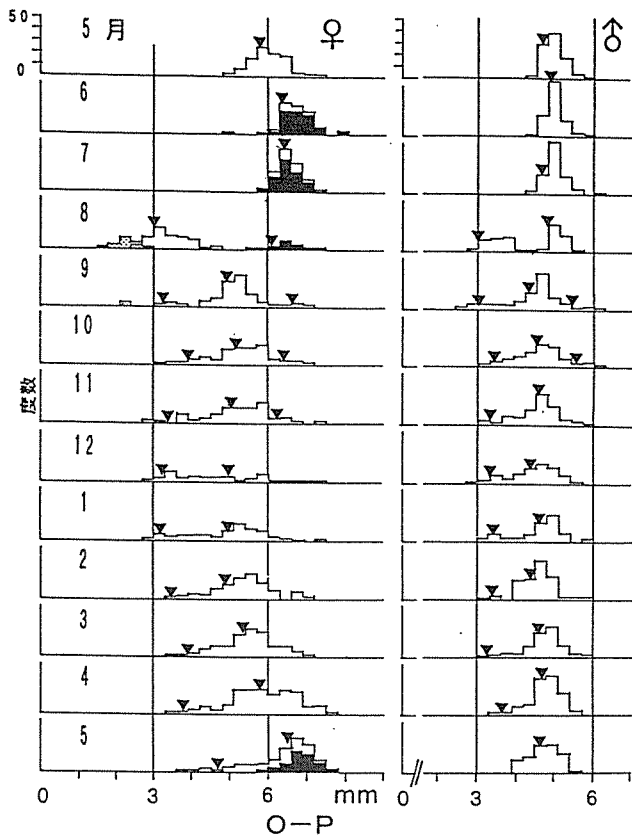


図-4 池 (O-P) 集団と上流 (O-1) 集団の頭胸甲長の季節変化, ▼は世代解析による級群の平均値, ■は抱卵個体, □は性不明の稚エビを示す。

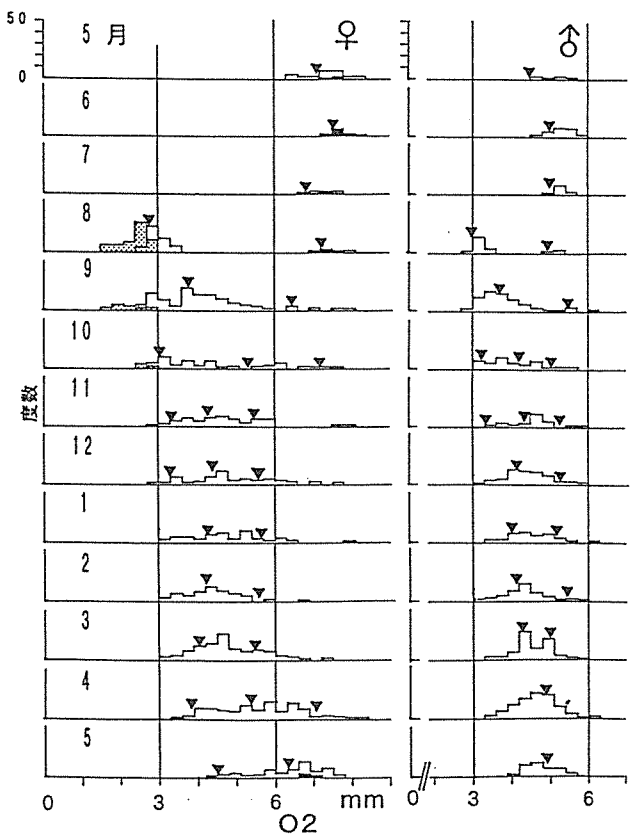
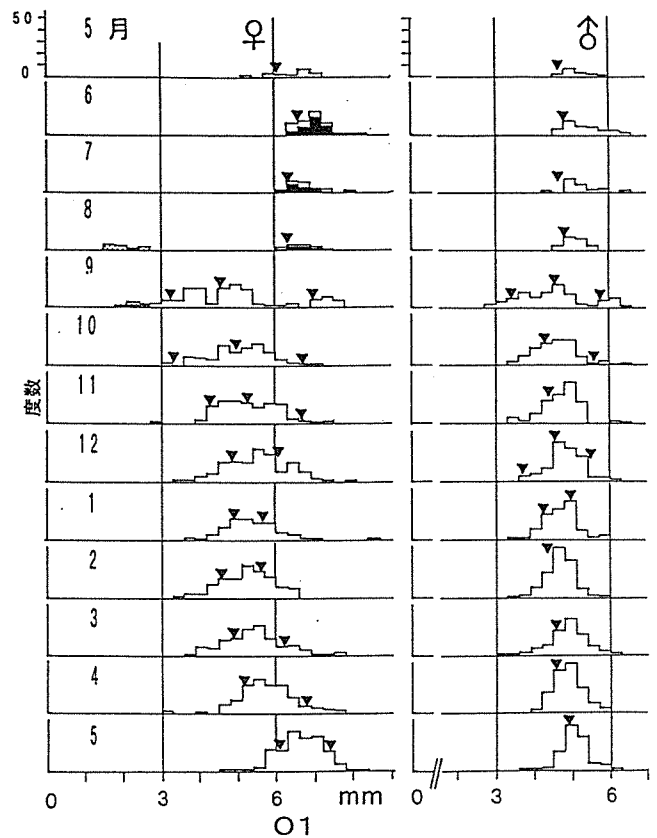


図-5 下流 (O-2) 集団の頭胸甲長の季節変化 ▼は世代解析による級群の平均値, ■は抱卵個体, □は性不明の稚エビを示す。

雌が1358, 雄が1110, 性不明が22の合計2490, O2は雌が734, 雄が553, 性不明が78の合計1365であった。

なお調査期間中に確認された魚種は, アブラハヤ, モツゴ, シマドジョウ, ホトケドジョウ, トウヨシノボリの3科5種で, アブラハヤが優占種であった。

3-2-1 池 (O-P) 集団

頭胸甲長の季節変化を図-4の左に示した。

雌は, 5月に平均値 6.0mm の一つの山があり, 6月には 6.7mm と若干増加した。抱卵個体の出現は6月から8月までであった。抱卵個体の最小値は 5.7mm, 体長が 22.2mm であった。成エビは繁殖期間中に生長を示さなかった。

稚エビ, 新年級群の出現は8月からで, 山は両側になだらかな形状を示した。この集団の平均値は 3.0mm であった。世代解析の結果は, 9月に2つの山に分離し, 平均 5 mm の大きな山と 3.2mm の小さい山となった。この年級群の生長は, 10月から11月まで続き, その後, 翌年の2月まで生長は停止した。しかし3月から5月の間に再び生長を始め, 平均値が 6.4mm までになった。この年級群が繁殖集団に加わっていくと推測した。一方, 成エビ集団の山は, 8月よりしだいに低くなっていった。これより繁殖期間は6月~8月で盛期は6, 7月の2ヶ月, 寿命は多くは1年と思われた。

雄は5月の平均値が 4.9mm で尖った山となっていた。新年級群は, 9月には成エビ集団と重なるまでに生長した。そのため山は, 両側に広いなだらかなものとなった。例数が若干少ないが, 新年級群の頭胸甲長分布は, 平均

値が9月に4.2mm, 2.9mmの2つの山となった。しかし新年級群は、翌年の5月まであまり生長せず、山の形状は平均値が4.7mmの尖った一つの山になった。体サイズが小さい群が少なくなっていた。

3-2-2 川の上流(O1)と下流(O2)集団

O1集団の頭胸甲長の季節変化を図-4の右に示した。

雌の分布は、5、6月と生長し、平均値6.4mmの一つ山を形成する。この成エビは生長せず繁殖集団に加わっていくと考える。新年級群の出現は8月、9月で、O-P集団に比べて出現時期が遅く、個体数が少なかった。また、平均値4.7mm, 3.4mmの大小2つの山を形成する。この年級群の生長パターンはO-P集団と似ていた。

抱卵個体の最小値は6.0mmであった。雄は、9月に成エビと稚エビによって3つの山を形成するが、生長にともない翌年の5月に4.8mmの一つの山となっていた。生長パターンは、フ化して10月まで比較的早く成長し、翌年の3月から再び生長、繁殖集団に加わっていくものと思われる。

雄は新年級群が9月に成エビと分布が重なり2、3の低い山と成っていくが、翌年の5月には尖った一つの山となった。

つぎにO2集団の頭胸甲長の季節変化を図-5に示した。

成エビの個体数は少なかった。また抱卵個体の出現は5月から9月まで、抱卵雌の最小値は6.8mm、体長が25.9mmでO-P, O-1集団より期間が長く、大きかった。新年級群の稚エビは8月に出現し、出現個体数が他の地点より多かった。また頭胸甲長2mm以下の性不明個体の出現期間が11月まで続いた。この年級群は生長し9月、10月に広く低い山を形成した。個体数が少なくあまり明確なことは言えないが、世代解析の結果では11月に平均値5.3mm, 4.3mm, 3.4mmの3つの低い山を形成していた。これらの山は翌年の3月より再び生長し、5月には平均値7mmの一つの山となり、抱卵個体が出現していた。すなわち繁殖集団に加わっていった。

雄の新年級群の山は、雌に比べて狭く、2つの山を形成するようであった。しかし翌年の5月には一つの山となっていた。生長時期は雌ほど明確ではないが、同様な生長パターンを示した。

3-3 食性

地点別、季節別の消化管内容物における重量指数は、図-6に示した。それによれば5、8月に多く、2月は非常に低かった。地点別では8月のO2集団が高く、11月のO-P集団で低かった。

消化管内容物の中で砂泥、有機物の割合を示したのが図-7である。約0.01mm以下の細かい粒子サイズの砂泥の中に有機物が含まれていた。O1集団で5月に有機物が50%以上と多く食べられていた以外は、80%から90%以上が砂泥で占められ、季節、地点間の差があまりなかった。つぎに有機物の内容組成を図-8に示した。季節別ではどの地点も8、11月に多くの種類の有機物を食べていた。地点別の組成をみると、O-P集団では糸状緑藻と珪藻のGomphonema属、Navicula属、真菌類等が多かった。O1集団では、8月に珪藻が比較的多く食べ

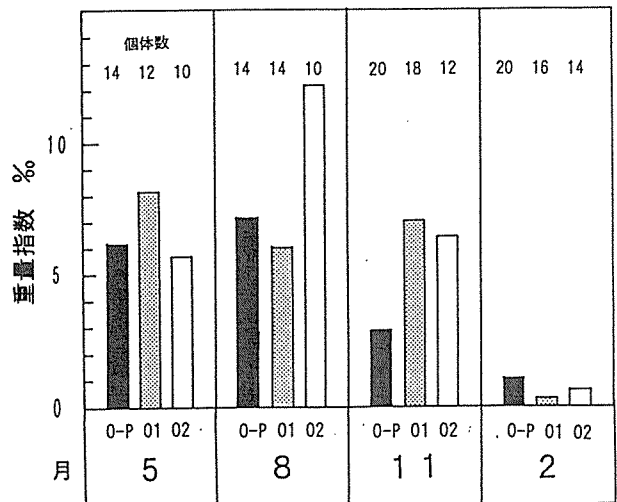


図-6 季節別地点別の内容物重量指数

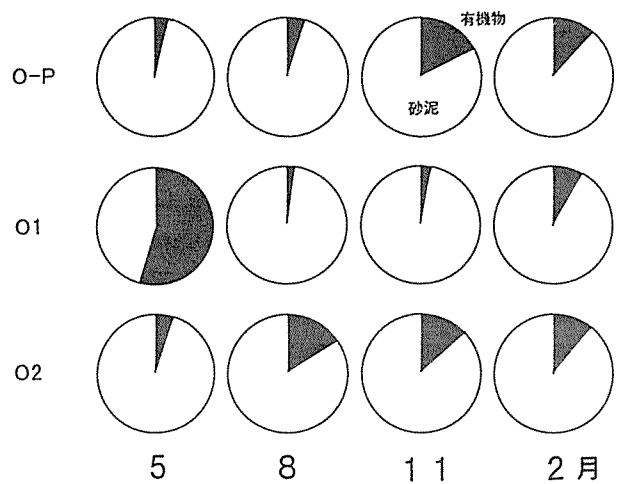


図-7 全消化管内容物の砂泥と有機物

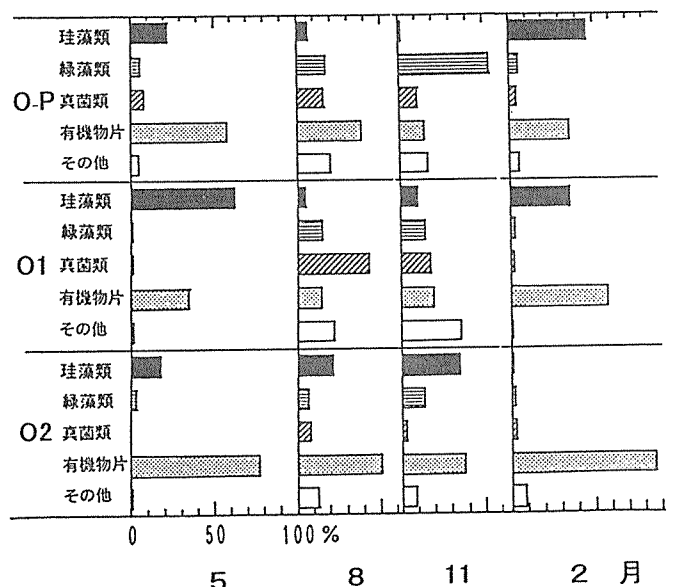


図-8 有機物の内容物組成

られ、Rhoicosphenia属が最も多く、他にAchnanthes属、Cocconeis属であった。O2集団は、生物の遺骸等の有機物片が多く食べられていた。藍藻、Gomphonema属、Rhoicosphenia属、Navicula属等が多かった。

4. 考察

ヌカエビの生息場所は、池、湖沼、沼沢等の止水域、水路、川の上流から下流にある淵、伏流水が湧出するワンド、たまり等の水がきれい河辺植物が繁茂する所である。

今回対象とした区域は大岡川上流の谷戸であり、そこに多く生息する地域個体群の生活場所である池（O-P）、川の上流（O1）と下流（O2）の3地点の生活様式を概観した。その結果、池と川の上流集団は、ほぼ同様な生長パターンを示したのに対して、川の下流集団は、雌成エビの個体数が上流集団に比べて少ないにもかかわらず稚エビの出現個体数が多くまた長期間出現することから推測すると、上流からの移入等によって成り立っている集団の特徴を示していると考えられる。

繁殖期間中（6月から8月）の地点別雌の抱卵個体の体サイズを比較し、また池集団の抱卵数の変化を見たのが表-3である。6月の体サイズが大きく、7、8月に有意差を示す地点が多かった。また地点間では池より川、川では上流より下流の体サイズが大きかった。また池集団の抱卵数は、6月が最も多く、ついで8、7月であった。繁殖集団は、初期では個体数と大型の個体が多く、また体サイズと抱卵数が正の相関関係があることから、これらが新年級群の2つの山の内の大山を形成する要因となっているものと思われる。

つぎに繁殖集団の構造について考える。同じヌカエビ科のミナミヌカエビでは、繁殖後期に生長が早い個体が年内に抱卵する集団、前年に生まれ越冬して繁殖する集団等、種々の履歴を持った個体が集団を構成することが報告されている⁵⁾。ヌカエビの場合、繁殖期間が今回、3ヶ月、生長パターンから見るように、特に雌では繁殖

初期に生まれた個体はその集団に加入できるほどには生長せず、越冬した個体、前年の繁殖初期に生まれた個体が多く参入してくるものと考えられる。また繁殖様式と移入、移出等の集団が置かれている状況を考慮すると、その繁殖集団の構造は複雑になるとともに生息場所によって異なってくると思われた。ただし年内産卵の個体の出現は、高水温等が要因となって繁殖期間が延長されればその可能性があると思われる。横浜市内に分布する個体群の繁殖期間は、長くて4月下旬から9月までの間である。これらエビ類の繁殖機構は基礎的な環境変化に応じた多様な様式を潜在的に持っていると考えられる。

食性については消化管全内容物組成を調査した。80%以上が砂泥で多かった。ヌカエビは第一、第二胸脚の指節末端に、毛が櫛状にはえており、それを用いて底部の堆積物、あるいは付着する有機物を食している。その時、有機物とともに多くの砂泥も取り込むと考える。有機物組成は、池と上流集団が秋に緑藻類、冬、春に珪藻類、下流集団では有機物片を多く食べており、生息場所によって若干の違いを示していた。筆者らの同じ市内の公園池集団についての報告^{6,7)}を見ると、消化管内容物組成では砂泥を除く有機物の中に藍藻、珪藻、糸状緑藻等が多くあり、特に春、夏に種類が多かったこと等、今回と同様な結果を得ている。

川にすむ生物は、増水等の他動的要因だけでなく、種々の目的を持って流下、移動する場合がある。そしてこの移動の意味には、個体としての定着から始まり種としての定着、分布拡大を示している⁸⁾。ヌカエビは、淡水エビ類の卵サイズ、小卵多産から大卵少産の中で中卵中産⁹⁾に位置づけられており、浮遊幼生期間が存在する。ふ化した後のゾエア幼生、稚エビが、平水、増水のどちらの場合も比較的安定した止水域まで流下していくこと

表-3 繁殖期間における抱卵雌の体サイズと抱卵数

月	頭胸甲長 (mm)				計	抱卵数
	池 O-P	O1	O2			O-P
6	n	72	36	11	47	47
	x	6.775	7.029	7.663	7.177	247.5
	u	0.395	0.379 ++	0.254 +++	0.443	48.6
	min	5.84	6.3	7.22 ---	6.3	121
	max	8.03	8.13	8.11	8.13	350
7	n	72	17	5	22	38
	x	6.513 ***	6.847	7.242 **	6.937 *	198.1 ***
	u	0.308	0.483 +++	0.265 +++	0.469	43.7
	min	5.84	6.11	6.83	6.11	108
	max	7.25	7.92	7.5	7.92	305
8	n	22	12	4	16	21
	x	6.530 **	6.775 *	7.330 *	6.913 *	222.2
	u	0.359	0.355	0.285 +++	0.412	64.8
	min	5.67	6.08	6.92	6.08	34
	max	7.31	7.4	7.58	7.58	310

注) n: 例数, x: 平均値, u: 不偏分散からの標準偏差, min: 最小値, max: 最大値。
*, **, ***: 6月と他の月の平均値の比較, $P < 0.05, 0.01, 0.001$.
++, +++: O-PとO1,2の月別比較, $P < 0.01, 0.001$, ---: O1とO2の月別比較, $P < 0.001$.

が推測される。これらの点から、この種にとって下流の安定した淵の存在が分布拡大のための前提条件である。多くのエビ類の生活様式は、回遊性をもつものが多く、それぞれ回遊の目的、範囲の違いがあるもの下流だけでなく、上流への移動もあるものと推測する。今回対象とした地域内には、落差工が多くあり、相互の移動が困難な状況になっており、集団間の関係は一方的である。これらの河川構造になったのは30年以上前であり、今後上流集団の隔離状態が続くと思われる。前報¹⁾ではこれら集団間の形態的変異があっても遺伝的特徴に差がないことを示したが、魚類では人工構造物の設置により短時間で上、下流集団で遺伝的組成が異なっていくことが報告されている¹⁰⁾。今後、魚だけでなく他の水生生物を含めた相互交流、魚道^{11, 12)}を考えていく必要があるとともに生息場所の確保、再生等によって集団の遺伝的固有性と多様性を保全していくための施策が望まれるところである。

5. まとめ

大岡川源流部に生息するヌカエビの地域個体群を対象に生息環境と生態との関係を検討した。

- 1) 頭胸甲長分布の変化から生長パターンは、新年級群の出現が8月で、11月まで生長し、大小の二つの山を形成した。12月から翌年の2月まで停止、5月まで再び生長し産卵群となっていくものと推測した。寿命は多くは1年と思われた。
- 2) 下流集団は、上流集団に比べ稚エビの出現個体数が多かった。
- 3) 雌抱卵個体の体サイズは池集団より川、川の上流より下流集団で大きかった。
- 4) 消化管内容物組成は、有機物とともに砂泥が80%以上を占め、有機物組成は春、秋に種類数が多かった。また生息場によって若干組成が異なっていた。

引用文献

- 1) 樋口文夫・益子計夫：アロザイム分析によるヌカエビ集団の遺伝学および形態学的研究，横浜市環科研報No.24, 26~33 (2000)。
- 2) 堤裕昭・田中雅生：体長頻度分布データからの世代解析，パソコンによる資源解析プログラム集，東海区水産研究所，数理統計部編，189~207 (1988)。
- 3) 可児籐吉：溪流棲昆虫の生態学，可児籐吉全集，全一卷，思索社，東京，3~91 (1970)。
- 4) 川那部浩哉・水野信彦・宮地伝三郎・森主一・大串竜一・西村登：遡上アユの生態2，とくに生息密度と生活様式について，生理生態，7, 145~167 (1957)。
- 5) 丹羽信彰・浜野龍夫：兵庫県菅生川におけるミナミヌマエビの個体群生態，Researches on Crustacea, No. 19, 43~54 (1990)。
- 6) 樋口文夫・福嶋 悟・水尾寛己：港北ニュータウンに生息するヌカエビ *Paratya compressa improvisa* の生態，鶴見川・帷子川水系生態調査報告書，環境研資料No.106, 89~109 (1993)。
- 7) 樋口文夫・福嶋 悟・水尾寛己・畠中潤一郎：こども自然公園池に生息するヌカエビ *Paratya compressa improvisa* の生態，鶴見川・帷子川水系生態調査報告書，環境研資料No.106, 215~234 (1993)。
- 8) C.S. ELTON：動物の生態学，渋谷寿夫訳，科学新興社，東京，168~184 (1968)。
- 9) 諸喜田茂充：ヌマエビ類の生活史，海洋と生物，12, 15~23 (1981)。
- 10) 樋口正仁・後藤 晃：イトヨの集団構造と文化のプロセス，川と海を回遊する淡水魚，生活史と進化，後藤晃・塚本勝巳・前川光司 編，東海大学出版会，114~126 (1994)。
- 11) 三矢 泰彦・濱野龍夫：魚道のないダムが十脚甲殻類の流程分布に与える影響，日水誌，54, 429~435 (1988)。
- 12) 浜野龍夫・吉見圭一郎・林健一・柿元 皓・諸喜田茂充：淡水産（両側回遊性）エビ類のための魚道に関する実験的研究，日水誌，61, 171~178 (1995)。

- 1) 樋口文夫・益子計夫：アロザイム分析によるヌカエ

飼育水槽におけるヌカエビの繁殖様式

樋口文夫 (横浜市環境科学研究所)

Reproductive patterns of freshwater shrimp *Paratya compressa improvisa* on the rearing aquarium

Fumio Higuchi (Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード: ヌカエビ, 脱皮, 産卵, 交尾行動, 繁殖様式

要旨

ヌカエビの繁殖生態を解析するために室内飼育による繁殖様式と交尾行動を観察した。繁殖様式では、雌の同一個体が多数回産卵し、5月から9月まで最大5回、10月までは7回行っていた。雌の抱卵日数は、平均16日、抱卵からつぎの抱卵まで約10日前後であった。繁殖期間中の体重の変化は雄が増加を示したが、雌は変化がなかった。同一個体の抱卵回数によるフ化個体数は1回目が最も多かった。

交尾行動は、交尾前、雄が活発に遊泳し、雌に接近、接触をした。交尾は雌の脱皮後、雄が接触、マウンティングをする場合と、脱皮直後に交尾といった種々の行動パターンがあり、交尾時間は平均4秒であった。1雌と2雄の関係では、雄に若干の体サイズの差があっても双方とも交尾行動を示した。これらから繁殖様式の概要が明らかになったとともに地域個体群の保全に向けての基礎的資料が得られた。

1. はじめに

生態学的情報の中で繁殖生態、繁殖様式に関するものは、種の保護、育成の手だてを考へていく上で必要である。しかしヌカエビの繁殖様式についての研究報告はない。先の研究報告¹⁾では、生息場と生態との関係について検討し、上流、下流等の生息場によって若干異なる生活様式を示すことが明らかになったが、繁殖期の種内の問題、繁殖様式、個体間の相互の関係は、未解明のままであった。

そのため今回は、室内飼育観察により繁殖様式、交尾行動等の繁殖機構を解析した。

2. 材料と方法

供試エビは、大岡川水系の池(O-P)集団を用いた。採集は、1997年、1998年4月に行い、研究室内の水槽で順化飼育した。

室内飼育による繁殖生態の観察は、5水槽で行い、各水槽には雌、雄1尾を入れ、4月末から10月までの観察を行った。体サイズの頭胸甲長、体重の測定を月2回の頻度で行った。ガラス水槽(横幅395×奥行254×高さ270mm)に脱塩素処理した水道水を約25Lを入れ、13時間の長日条件で飼育した。水槽内にはオオカナダモを入れた。水交換は、1回/週の頻度であった。給餌は、コイ用の配合飼料(クランブル)を1回/日、約0.03gを与えた。

繁殖行動の観察は、恒温室内に設置した小型水槽(横幅197×奥行100×高さ198mm)に雌、雄の一对と雌

が1尾、雄が2尾を入れ、家庭用ホームビデオと24時間記録のビデオデッキ(SVT-100 ソニー製)を用いて観察記録した。照明は観賞魚用ランプ(10w)で昼夜行った。形態の測定方法は、頭胸甲長が、眼下後縁から頭胸甲後縁までの長さ、体長が、眼下後縁から尾節末端までの長さ、体重は、口紙でよく拭き取った湿重量であった。器具は、ノギス(10⁻²mm)、上皿天秤(10⁻⁴g)であった。

3. 結果

3-1 室内飼育水槽による繁殖様式

実験時の水温変化を図-1に示した。

4月から10月の平均値±標準偏差、23.7±1.15°C、最小値が21.3°C、最大値が26.4°Cであった。6、8月に若干の変動があったが、総じて変動は少なかった。

供試個体の体長、頭胸甲長、体重を表-1に示した。

表-1 飼育観察に用いたエビ頭胸甲長等

性		体長 (mm)	頭胸甲長 (mm)	体重 (g)
雌	n	5	5	5
	x	26.73	6.91	0.32
	u	0.87	0.54	0.04
雄	n	5	5	5
	x	19.95	5.03	0.13
	u	0.70	0.03	0.01

注) n: 例数, x: 平均値, u: 不偏分散からの標準偏差.

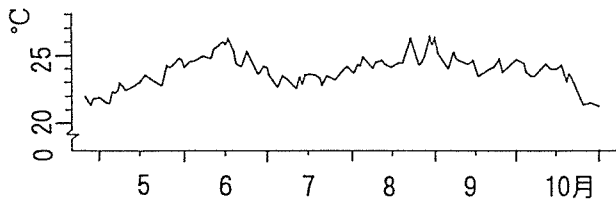


図-1 実験期間中の水温変化

供試した個体の頭胸甲長の平均値 ±標準偏差は、雌が $6.91 \pm 0.54\text{mm}$ 、雄が $5.03 \pm 0.03\text{mm}$ であった。

5水槽の4月26日から10月31日まで198日間に観察した繁殖様式を図-2に示した。

実験開始後、各水槽は5月上旬に、雌の脱皮後に抱卵する個体が出現し、No. 4水槽は、5月25日から開始したために6月6日に抱卵個体が出現した。その後、全水槽で10月下旬まで抱卵個体が出現した。抱卵は、No. 2, 4, 5水槽が7回で多く、No. 3水槽が4回と少なかった。また卵脱落をNo. 2, 4の2水槽で観察した。

以上の観察結果を性別に集計したのが表-2である。雌の繁殖様式を平均値でみると、脱皮回数が10.8回、18日に1回の頻度、抱卵期間が15.5日、最小値が8日、最大値が19日であった。抱卵からつぎの抱卵までの間隔は、10.8日、最小値が1日であった。脱皮間隔が16.9日であった。雄は、脱皮回数が13.4日、14日に1回の頻度で、脱皮間隔は12.8日で雌より多く、間隔が短かった。

実験期間中の体重の変化を図-3に示した。これは開始時の測定値を1としてその後の推移を見たものである。これによれば雌の体重は、一部抱卵個体も含めて検討しているので若干の変動があるものの全体的に変化がなしか、減少することを示していた。雄ではNo. 5水槽で6月まで変わらなかったが、他の水槽では明らかに増加していった。

つぎに同一抱卵個体からフ化した個体数を3日以内に計測した結果を表-3に示した。各水槽の雌が抱卵し、フ化した順にその個体数を計数し、その平均値を示したものである。第1回目の平均フ化数が最も多く、200以上

表-2 性別脱皮回数、抱卵日数等

水槽 No		雌				雄	
		抱卵		脱皮		脱皮	
		日数	間隔	間隔	回数	間隔	回数
1	n	6	5	10	11	13	14
	x	16.0	14.0	17.6		13.5	
	u	1.8	7.2	6.4		4.8	
	min	13	7	9		10	
	max	18	26	29		25	
2	n	7	7	12	13	13	14
	x	15.3	9.3	14.2		13.8	
	u	3.5	7.3	4.3		6.6	
	min	8	1	9		9	
	max	19	21	20		33	
3	n	4	3	10	11	10	11
	x	16.0	28.3	17.3		14.4	
	u	2.6	11.7	8.2		9.2	
	min	13	15	10		9	
	max	19	37	34		39	
4	n	7	7	8	9	14	15
	x	14.7	5.1	21.1		10.8	
	u	2.2	4.7	8.0		3.7	
	min	12	2	16		7	
	max	18	15	40		22	
5	n	7	6	9	10	12	13
	x	15.9	7.8	15.8		12.2	
	u	1.1	5.0	5.2		4.2	
	min	14	1	10		8	
	max	17	12	26		20	
計	n	31	28	49	5	62	5
	x	15.5	10.8	16.9	10.8	12.8	13.4
	u	2.2	9.3	6.6	1.5	5.8	1.5
	min	8	1	9	9	7	11
	max	19	37	40	13	39	15

注) n: 例数, x: 平均値, 不偏分散からの標準偏差, min: 最小値, max: 最大値.

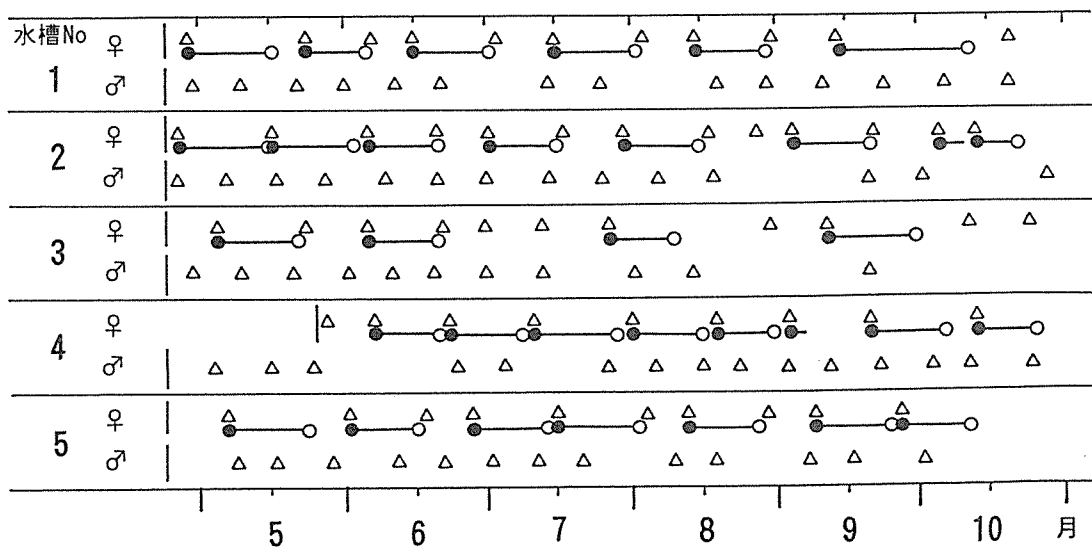


図-2 繁殖様式の観察記録, Δは脱皮, ●-○は産卵-フ化, ●は産卵-脱卵を示す。

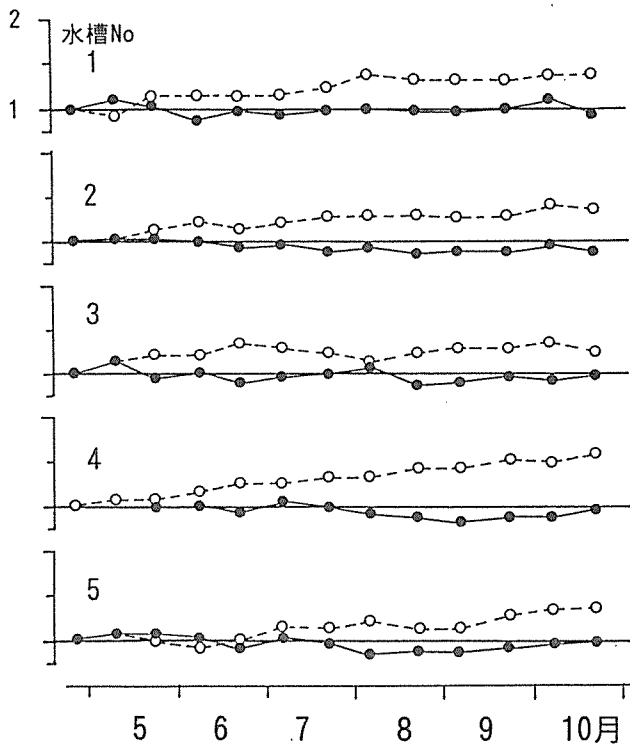


図-3 実験期間中の体重の変化、
●は雌、○は雄を示す。

表-3 抱卵回数ごとのフ化個体数

	抱卵回数					
	1	2	3	4	5	6
n	5	5	5	5	5	4
x	206.8	165.0	147.2	154.4	107.0	120.8
u	22.5	46.2	40.1	52.1	34.9	69.4

注) n: 例数, x: 平均値, u: 不偏分散からの標準偏差。

で、ついで2回目、他4回目まではあまり差がないが、フ化個体数が少なかった。

3-2 繁殖行動

観察に供試した個体の体サイズを表-4に示した。雌雄が1対の場合、雌の頭胸甲長の平均値が6.8mm、雄が5.2mm、雌1雄2個体は、雌が7.6mm、雄が5.1mmで

表-4 行動観察に用いた個体の頭胸甲長等

No.	性	項目	体長 (mm)	頭胸甲長 (mm)	体重 (g)
雌雄1	雌	n	4	4	4
		x	26.22	6.76	0.30
		u	0.89	0.32	0.04
	雄	n	4	4	4
		x	20.10	5.15	0.14
		u	1.33	0.08	0.01
雌1雄2	雌	n	3	3	3
		x	26.88	7.56	0.33
		u	0.69	0.51	0.05
	雄	n	6	6	6
		x	19.61	5.13	0.15
		u	1.02	0.26	0.02

注) n: 例数, x: 平均値, u: 不偏分散からの標準偏差

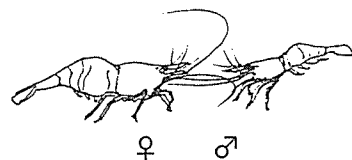
あった。

3-3-1 交尾行動

交尾行動の観察結果を図-4、表-5に示した。

交尾行動が発現する前にいくつかの行動パターンを示した。雌の脱皮が始まる前に雄は、盛んに遊泳し、雌に接触する。また雄が抱きつき、交尾行動も見られる。しかし雌が逃げる場合が多い。雌の脱皮後、同時に雄がいきなり交尾行動に入る場合や、マウンティングしてからその行動に入る場合等、種々の組み合わせがある。また雌が雄の接触に対してトビハネて逃げる場合(拒絶)が多い。交尾の体位は、雄が強引に雌を仰向けさせ、雌の胸部に雄が体を押し付けていく場合が多かった。

脱皮時間は平均1.8秒、脱皮から交尾までの最短時間は、変動が大きく、最小値が1秒、最大値が70秒であった。この最大値を除けば平均10秒以下であった。交尾時間は平均3.7秒、最小値、最大値が2秒、7秒であった。



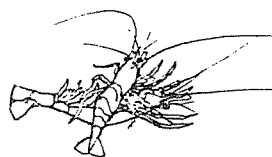
接近, 接触



マウンティング



♀脱皮



交尾

図-4 ヌカエビの繁殖行動パターン

表-5 交尾時間・産卵時間等

	脱皮 (秒)	脱皮~ 交尾 (秒)	交尾 (秒)	脱皮~ 産卵 (分)	産卵 (分)
n	7	6	20	7	6
x	2.3	9.2	3.7	136.0	52.7
u	1.1	10.3	1.1	57.9	46.2
min	1	1	2	73	25
max	4	24	7	238	144

注) n: 例数, x: 平均値, u: 不偏分散からの標準偏差, min: 最小値, max: 最大値。

またこの時、雄は精胞を雌の胸脚基部に付着させていると思われた。

3-3-2 脱皮・交尾・産卵

脱皮1時間前と脱皮後から産卵までの雌雄の行動パターンを10分間隔でまとめたのが表-6, 7である。

1) 雌雄1個体の場合

表-6は、ビデオで記録した4例の行動パターンを平均値で示したものである。

脱皮前30分に雄からの接触、特に10分前に多かった。その時雌は、多くは逃げて拒絶する。ただし雌も雄に接触するが、雄は雌ほどに拒絶しない。脱皮後、10分以内に雄は、平均3回の接触、平均0.8回のマウンティング、平均1.3回の交尾行動をとり、最も多くの行動パターンを示した。また雌では、拒絶が2.5回であった。ついて20分では雄が接触3.8回と若干の増加、マウンティング、交尾行動は0.5回と減少していった。雌では拒絶が3回と最も多かった。約30分以上になると回数が雌雄とも低くなるが、交尾行動は90分後でも出現していた。これらの行動が交尾の目的を達成しているのかどうかは不明である。

産卵は、多くは底部で静止し、腹部を凸の状態にして、前後に動かし産卵とともに腹部底部に卵を付けていく。この時になると雄はほとんど干渉しなくなる。脱皮から産卵開始までの時間は、平均136分、最小値が73分、最大値が238分、産卵開始から終了までは、平均52.7分、最小

値が25分、最大値が144分であった。

2) 雌1・雄2個体の場合

3例の内1例の行動パターンの集計結果を表-7に示した。

この観察の目的は、繁殖行動における雄相互の関係をみるために行ったものである。

繁殖行動に関わる行動パターンの出現は、脱皮約20分前からで、やや大型の雄が接触、マウンティング行動を示す。

脱皮直後、10分以内に接触は多数回、交尾行動が大型、小型双方で1回あるいは2回行った。雌はトビハネ等による拒絶行動を示す場合も多かった。それ以後、交尾行動は、最大で130分後に出現していた。雄の体サイズと交尾との関係は、雌の受容のタイミングさえ合えば体サイズに影響されず、雌をめぐる積極的な争いはなかった。

今回の雄間の差は頭胸甲長が最大値で0.2mm、体長が4mmであった。

4. 考察

淡水エビ類に関する繁殖様式の研究は、テナガエビ、スジエビ等の報告^{2,3,4)}はあるが、ヌカエビについてはない。そのため今回は、室内の飼育水槽による繁殖様式の解明とビデオ記録による繁殖行動の観察を行った。

室内水槽の繁殖様式の検討では、平均抱卵日数が16日、平均抱卵間隔が10日であった。この結果をもとに野外の

表-6 雌雄1個体の行動パターン

性	行動パターン	雌の脱皮区分															
		脱皮前							← 脱皮	脱皮後							
		0	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	70	80	90
雌	接触			0.5*1			0.3	3.0	0.8		0.5			0.3	0.3	0.5	0.5
	拒絶				0.3	1.3	2.5	2.5	3.0	0.8	0.8		0.3				
	マウンティング					0.3											
	交尾								1.3	0.5			0.3		0.3		0.3
雄	接触	0.5	0.3		1.0	1.5	4.0	3.0	3.8			0.8	1.3				0.5
	拒絶						0.5			0.3							
	マウンティング	0.3	0.3	0.5	0.3				0.8	0.5	0.8	0.8		1.8			
	交尾							0.3	1.3	0.5					0.3		0.5

*1: 4例の平均値

表-7 雌1・雄2個体の行動パターン

性	行動パターン	雌の脱皮区分															
		脱皮前							← 脱皮	脱皮後							
		0	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	70	80	90
雌	接触							*2									
	拒絶						2-4	10-0	2-3	0-2	1-0	1-0	2-0	1-0			
	マウンティング																
	交尾								1-1						1-0	sp	
雄	接触						4-2	12-0	2-3	0-2	1-1	1-0	2-0	1-0	1-1		
	拒絶																
	マウンティング						2-1										
	交尾						0-4	1-1							1-0		

*2: 雌の雄2個体に対する行動発現数と雄2個体の発現数, sp: 産卵開始

産卵回数と繁殖集団の構造について推定してみると、池集団の場合、雌成エビの体サイズ分布が一つの山、繁殖期間が6月～8月、産卵盛期が6,7月の2ヶ月、個体数が8月より減少等を考え合わせると、多くは3回、最大で5回と思われる。しかし産卵期間中の成エビの生長差は、雌の生長がなく、繁殖努力量として消費されるエネルギーが大きいこと、特に野外の場合、エサ条件、環境条件等によって産卵回数が低く抑えられることを考えると、多くは3回以下と思われる。それは野外での新年級群の分布の特徴に反映しているものと推測される。また多回産卵を持続させる個体、新規参入個体も分布に影響をおよぼす因子として考えられるが少ないものと思われる。これら繁殖集団の構造をさらに明確にするにはより詳細な調査が必要である。また雄では、野外での生長はあまり明確ではなかったが、室内では生長することが示唆され、繁殖期での性差があることが推測された。

抱卵日数は、水温に影響され、高水温ほど日数が少なくなることが報告されている。今回は16日、この値は同じヌマエビ科のミナミヌマエビが水温20～25℃の時、24日～25日に比して短く、またヤマトヌマエビの13～15日に比べて多い⁵⁾。これらの日数は、繁殖形質の卵数、卵サイズとの関係があるとともにフ化直後の幼生の発生時期とも関係していることが指摘されている。すなわちミナミヌマエビが大卵少産で幼生のゾエア期が短く、ヤマトヌマエビは小卵多産でゾエア期が長い。ヌカエビは中卵中産で両者の中間である⁶⁾。

交尾行動に関する研究報告から、一般的にエビ・カニ類の交尾システムは、交尾前ガード、求愛行動、雌の脱皮、交尾等の中でいくつかの組み合わせで成り立っているようである^{7,8)}。テナガエビでは、交尾前に雄が雌をガードし、脱皮後に交尾する。またスジエビは、短い求愛行動、脱皮後に交尾する。今回のヌカエビは、接触を求愛行動とするならば、脱皮後に交尾する一連の行動パターンを示した。これらは、いずれも平均4秒の短い時間であった。またその行動パターンは、何回かくり返される。ただし、交尾行動において雄が雌に精包を付着させたかどうかの確認の事例が少なく、今後の検討課題である。雄を2個体入れた時、体サイズの差による影響はあまりなく、ほぼ同じ回数の交尾行動を示した。これらからこの種の交尾様式は、何個体かの雄が脱皮した成熟雌に交尾するものと考えられる。この時、昆虫等で報告⁹⁾されている様な精子競争、精子置換が行われているかどうかは不明であるが、興味のあるところである。

交尾行動は、脱皮後、約2時間近くまで出現する例があった。エビ類の脱皮後、交尾の一連の行動パターンの意味は、雌の輸卵管の開口部に精包を付着させる種類では、産卵時に開口部を柔らかくしておく必要があるためと考えられている¹⁰⁾。

雄の繁殖行動に関して、雌の脱皮前1時間以内になると盛んに遊泳し、接触、マウンティングする活発な行動を示した。さらに今回の結果には示さなかったが、成熟雌2個体を入れた場合、脱皮しない雌に対しては何の反

応を示さなかったこと等からみると、スジエビで報告⁴⁾されている様な雄を誘引させる物質(性フェロモン)が関係していることが示唆される。しかし、これらのことは今後に残された検討課題である。

5. まとめ

ヌカエビの繁殖生態を解析するために室内飼育により繁殖様式と交尾行動を観察した。その結果は、以下の様であった。

- 1) 繁殖様式では、雌の同一個体が多数回産卵し、5月から10月までは平均6.2回であった。
- 2) 雌の抱卵日数は、平均16日、抱卵からつぎの抱卵まで10日であった。
- 3) 同一個体の抱卵回数によるフ化個体数は、1回目が最も多かった。
- 4) 雌脱皮前、雄は遊泳し、雌に接触等の活発な行動を示す。交尾行動は、雌の脱皮後、雄が接触、マウンティングをする場合と、脱皮直後に交尾といった種々の行動パターンがあった。交尾時間は平均4秒であった。
- 5) 1雌と2雄の関係では、若干体サイズが異なる雄双方で同様な交尾行動を示した。

引用文献

- 1) 樋口文夫・福嶋悟・水尾寛己：谷戸におけるヌカエビの生活場と生態との関係、横浜市環科研報No.25, 13-18, (2001).
- 2) 益子計夫：テナガエビの繁殖行動の進化をめぐって、Cancer, 2, 17-20(1992).
- 3) S.Chow, Y.Ogasawara, Y.Takai: Male Reproductive System and Fertilization of the Palaemonid Shrimp *Macrobrachium rosenbergii*, Nippon Suisan Gakkaishi, 48, 177-183(1982).
- 4) Y.Kamiguchi: Mating Behavior in the Freshwater Prawn, *Palaemon paucidens*, A Study of the Sex Pheromone and its Effect on Males, Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI, Zool, 18, 347-355(1972).
- 5) 竹田文弥：コエビ群エビ類の産卵に関する研究、飼育による産卵期と産卵回数について、昭和45年兵庫水試事報, 1-30(1972).
- 6) 諸喜多茂充：ヌマエビ類の生活史、海洋と生物, 12, (Vol.3), 15-23(1981).
- 7) 朝倉彰：十脚甲殻類の交尾行動、配偶システムとその進化、とくに交尾ガードに関する話を中心に、生物科学, 42, 192-200(1990).
- 8) R.G. Hartnoll: Mating in the Brachyura, Crustacea, 16, 161-181(1969).
- 9) 伊藤嘉昭・山村則男・嶋田正和：動物生態学、蒼樹書房, 507pp(1992).
- 10) M.Ridley: The Explanation of Organic Diversity, The comparative method and adaptations for mating, Clarendon Press, 272pp(1983).

視覚障害者の歩行実験 —音環境と空間認知—

鹿島教昭*¹ (横浜市環境科学研究所), 黒澤亜希*² (元横浜市環境科学研究所)
 田村明弘*³ (横浜国大工学部建設学科)
 太田篤史*⁴ (横浜国大エコテクノロジー・システム・ラボラトリー)
 清家 聡*⁵ (大和ハウス工業)

Experimental walking of the visually challenged —Sound environment and space recognition—

- *1 : Kashima Noriaki (Yokohama Environmental Research Institute)
- *2 : Kurosawa Aki (Resigned from Yokohama Environmental Research Institute)
- *3 : Tamura Akihiro (Department of Architecture, Faculty of Engineering, Yokohama National University)
- *4 : Ota Atsushi (Ecotechnology System Laboratory, Yokohama National University)
- *5 : Seike Satoru (Daiwa House Industry Co., Ltd.)

キーワード：視覚障害者、歩行実験、メンタルマップ、音環境、聴覚情報

要 旨

視覚障害者が街中を自立歩行できれば、彼等に善かれとスピーカから流される誘導・案内音は不要となり、街に或る程度の静けさを取り戻せる。そこで彼等の自立的歩行に重要な音環境要素は何かを、彼等が未知のコースを歩行する実験から調べた。危険回避に用いる音の殆どは交通音であり、動線の確保には車や人の流れが用いられ、音情報を上手に利用できる視覚障害者は、コース外へ出ても音情報を頼りにコースへの復帰が可能であるが、それが下手であると自己が定位できず方向感覚が狂い復帰が困難となる。メンタルマップが2次元化し、そこに標識音を配置している視覚障害者は音を活用して自らの歩行を容易にできるが、メンタルマップが1次元に止まっていると、標識音が認知できても活用できず歩行が容易とならない。音情報の利用段階は、点→線→面→空間へと発展すると考えられるが、点的な触覚情報に比し空間情報を含む音情報は自己の定位、歩行にとって数段優れている故に、視覚障害者のメンタルマップの2次元化を促す音情報の配置が都市計画、及び彼等の歩行訓練に求められる。

1. はじめに

都市の快適音環境とは何か。その答が容易に求め得ると思えない。しかし都市の快適音環境は一般的に、静けさ、賑わい、それと自然の音から構成されていると考えて良い

であろうし、快適音環境のベースは静けさと言い得る。これまで我々は都市に静けさを実現するための様々な提案を行ってきたが、その基本的思考は図-1 に示す物理的

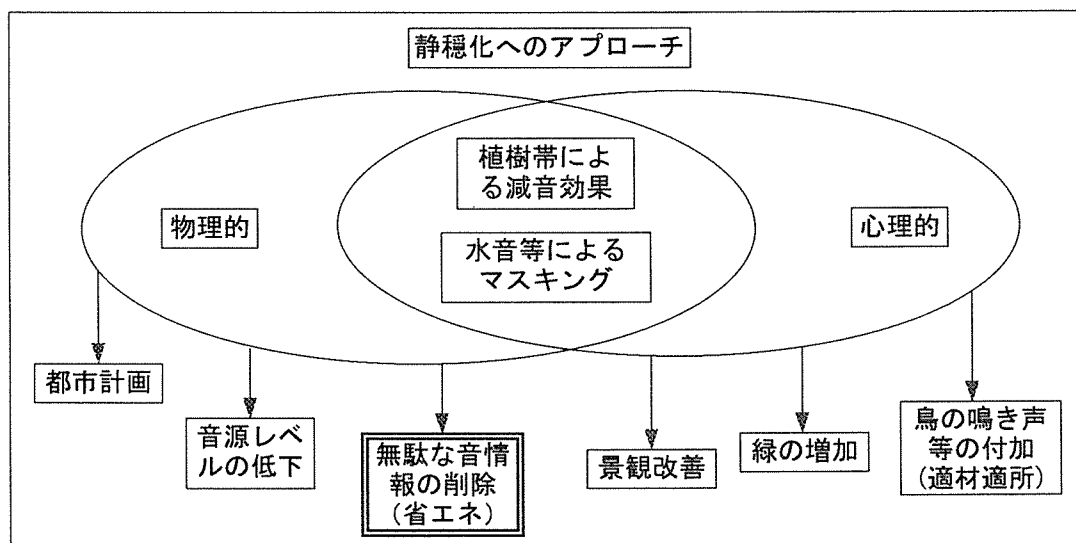


図-1 都市に静けさを実現する方法

または心理的、或いはその交互作用を相互に利用する対策手法である。その中で筆者等が着目して来た一方策が、街に氾濫する無駄な音情報の削減・削除である。都市の音環境を考えると、或る特定の人々に善かれと考えスピーカを用いて、その実、不特定多数に呼び掛けている音情報がある。音情報を不要とする人々にとっては、それは何等注意を喚起しない単なる騒音であり、今の喧噪な街中では必要とする人々にとっても確とは聴き取れない無駄な情報である。このように音情報が物理的にも心理的にも情報化されていない状態が、都市における現代音環境の一要素と言える。

例えば、多種多様な音を重要な情報とする視覚障害者の立場と、視覚からの情報に依拠する健常者の立場は大いに異なっているが、視覚障害者の便宜を意図した音響式信号機の使用時間制限や、様々な指示説明音への騒音苦情は無駄な音情報を示す好例である。快適音環境が存立するものであれば、それは万人にとって、前述の場合では視覚障害者にも健常者にも快適であるはずであり、かつ、視覚障害者の自立的歩行活動に有益である事が望まれる。

我々は視覚障害者への聞き取り調査から、彼等が既知である音情報と音源のセットを場所の標識として用い、人・車の流れを移動方向の動線確認に用い、また障害物認知に反射音と音の影を利用する結果を得ている^{1,2)}。そして、彼等の自立的歩行に有益な音環境を把握し、その歩行を促す手法を確立すれば、街から無駄な音情報を削除することが可能となるであろう。そこで、彼らが実際の歩行で音情

報をどのように利用しているのか、未知の歩行コースを設定し、そのコースを認知していく過程を探った^{3,4)}。

2. 調査方法

2-1 被験者

かつて視覚に基づく歩行をし、街を2次元的に捉えていた経験がある、即ち視覚表象を有する後期全盲⁵⁾二人と、視覚表象の無い早期全盲⁵⁾二人とした。被験者の概要を表-1に示す。

2-2 実験コース

被験者がかつて歩行した経験が無く、環境が異なる4種類を選出した。各実験コースを図-2~5に、またコースの周囲状況を表-2に示す。各コース図中の丸数字は、歩行に鍵となる主たる曲り角や標識位置を示しており、 α と β に関しては後述する。

商店街コースは交通信号(非音響式)を含みかつ標識音が豊富に在り、被験者がそれらを用い易いであろうと考えたコースである。立体交差コースは、頻繁に鳴る踏切と地区を貫通する自動車騒音という明確な標識音が在り、かつ

表-1 被験者

	年齢	性別	備考
A	40歳	女性	後期全盲, 17歳まで弱視, 有職者
B	25歳	男性	早期全盲(先天性), 有職者
C	22歳	女性	早期全盲(先天性), 盲学校学生
D	50歳	女性	後期全盲, 5歳8ヶ月で失明, 有職者



図-2 商店街コース

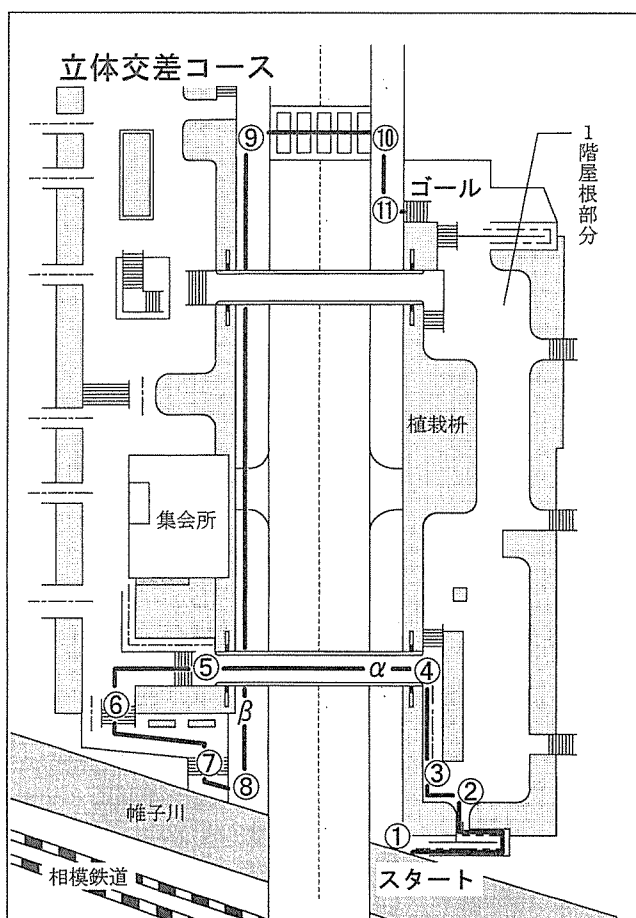


図-3 立体交差コース

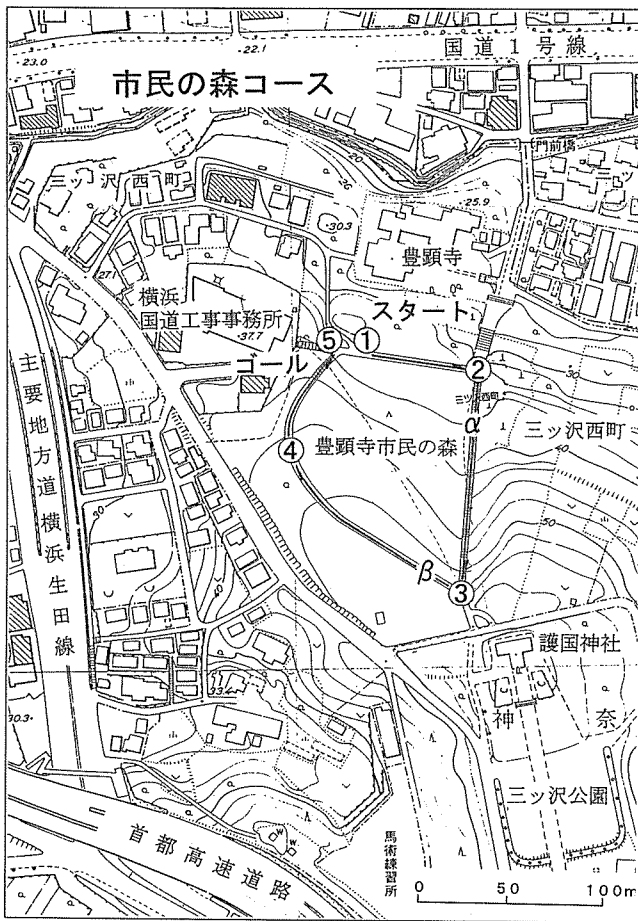


図-4 市民の森コース

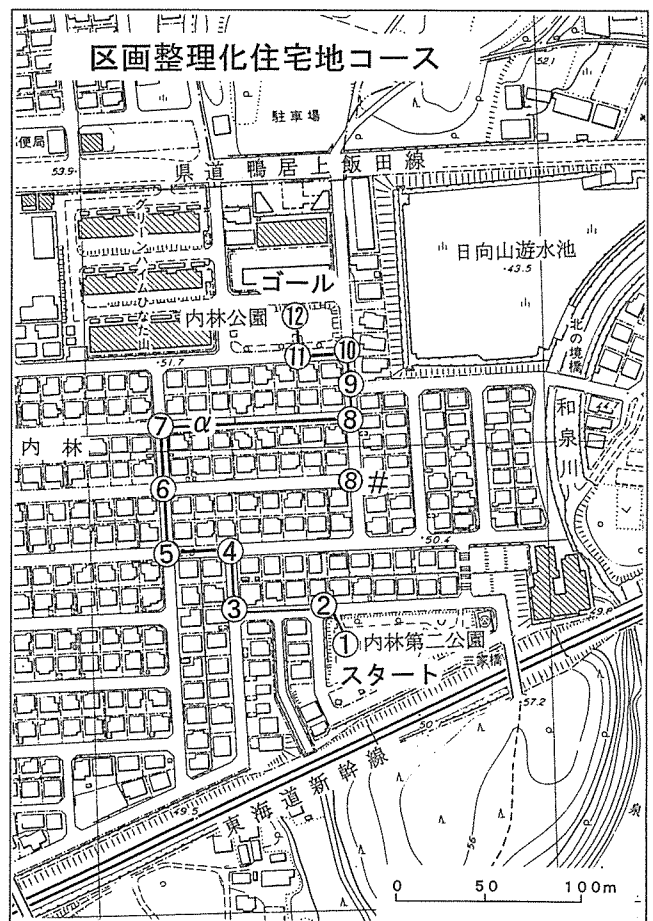


図-5 区画整理化住宅地コース

高度方向への移動が彼等の歩行に如何なる影響を与えるかを検討するものである。市民の森コースは標識音が殆ど無く、歩行距離は短いものの困難性が高いコースである。住宅地コースは、区画整理された格子状道路を持ち、曲り角にあまり特徴が無い静かで比較的難しいコースであるが、標識音は南側の新幹線と北側の地区幹線道路からの音である。

2-3 歩行実験

1 回目に手引きでコースのスタートからゴールまで案内し、曲り角や交差点の白杖での確認と他の特徴の記憶をお願いし、2 回目からは白杖のみの単独歩行でゴールまで原則5回、計6回の歩行を繰り返した。但し、A氏とD氏は商店街コースのみを平成6、7年で4回歩行し、他のコースを残りの2名と同じく平成7年に歩行した。

1名の実験者が脇につき被験者が避け得ない場合のみの危険を回避し、被験者がコース外に出て復帰不能となった場合にコースへ案内した。被験者に歩行中の自由な発話を促し、気付いた事、思った事等を録音した。またコースに設けた位置α及びβ(図-2~5参照)でスタート及びゴール方向を指示させ、2次元的空间把握の可否を調べた。他の実験者が彼等の後方から、歩行の様子と環境をビデオカメラ及び騒音計+デジタル録音機(DAT)で記録した。

被験者は、ゴール到着ごとにレーザーライタ(ボールペンで描くと紙面が浮き上がる)を用いて歩行コースを描画し、気付いた事や聞こえた音、コース周囲の想像などを書き

表-2 実験コース概要

商店街	激しい交通量の横浜市環状1号とその横断歩道、多数の路地が交差する日用品販売の典型的商店街▲スタートから約310m北に国道16号、約100m南に私鉄の駅▲パチンコ屋、ゲームセンターなど雑多な音源の商店▲歩道上は車や自転車、商品など障害物が多い
立体交差	集合住宅の一部の1階屋上に設置された公開空地と前面道路からなる3次元の立体交差▲前面道路は車、バイクがかなり頻りに通過▲スタートから約360m北に国道16号、約45m南の踏切を私鉄が3~5分間隔で通過▲1階屋上部分では子供が遊んでおり、住宅からは人声、布団叩き等▲全体的に、人、車、電車、踏切など豊富な音情報
市民の森	自然的土地利用の落葉の多い(10、11月)林の中で階段と坂から成り約20mの高低差がある▲スタートから約150m北の国道1号、約160m西の主要地方道、約290m南西の首都高速道路に囲まれる▲これら道路の音は常時間こえ、低地では僅かに、頂部では包まれたように聞こえる▲鳥と虫の声、散策する人の声、遠方からの恒常的車の音が主音源
住宅地	曲がり角に特徴の少ない格子状新興住宅地で地区内の車は少ない▲スタートから約260m北に県道、同西側に環状4号、約50m南に新幹線▲環状4号の音は、それが見通せる路地で聞こえる▲住民の声、新幹線及び時々通る車の音が主音源で音種は少ない

加える。それらから、彼等が歩行中に得た各種の情報をどのように組み合わせながら空間イメージを形成するのかを調べた。

正に結ばない程度であり精度は高くないと思われる。氏自身「歩いた時の感覚とコースを描くのは全く別物」と発言しており、描画の修正は曲り角の連結で得られた結果であると言える。

B氏は⑨をゴールと2度間違えた。両地点の路面の傾斜が同様のためだが、ゴールは幹線道路際で騒音が激しく⑨の音環境とは相当異なっている。この点からも、氏が音情報よりも触覚情報に依拠している事実が了解される。

3-1-3 C氏

C氏は、既に他のコースにおける実験を終えた段階で本コースを迎えている。4回の歩行を試みたが、このコースのみは独力でゴールに達せず、単独歩行では2回目で③、3回目で④、4回目で⑤までの到達であり、それ以降は実験者の助力を得てゴールに着いている。氏の発言から判断すると、1回目のスタート①から②で環状1号の音を前から来たかと判断しているが、2回目では実態に即して前からはなくやや右側から聞いており、②で環状1号を斜め前方に横切る様に曲るべきか環状1号沿いに鋭角的に曲るべきか混乱し、その結果道路交通に対する恐怖心が増大し多大な時間を消費している。また、路上の障害物や走行車を避けようと体の向きを変えると方向感覚を失う傾向があり、一旦迷い込むと周囲の交通騒音に助長された恐怖感に襲われ、標識音の利用が困難なパニック状態となり正規のコースへの修正が利かない。

音に関する発言は歩行に余裕が無いために少ないが、人のざわつきや音の雰囲気から店の存在、商店街を推測し、パチンコ屋を標識音とし、ゴールを国道16号の騒音で確認していることから、歩行経験を積み標識音の認知・認識を確固とすれば恐怖感を払拭でき、歩行に余裕が生まれると思われる。

描画コースは回を重ねるに従い詳しくなるが、基本的に曲り角を連結した歩行コースのみの単純なものでゴールまでは描ききれず、やはりコースの2次元的把握と周辺状況の把握は曖昧である。

3-1-4 D氏

歩行は速くかつ大雑把に歩くようであり、聴覚情報の収集は非常に的確で鋭く、白杖は単に足下の障害物のためであるという印象である。A氏同様に「頭に地図を描きながら歩行する」とのことで、D氏は1回目の歩行で「川に架かる橋」を緩い勾配の上り下りと周囲の開放感から推定し、他にも半閉鎖空間、ビル間空間、駐車自動車を認知している。駐車中の自動車を避ける術は実験者の驚きである。音の影と音の反射を利用した障害物認知は実に巧みであり、頭の高さ辺りの物は何となく判るようで、当然ながら標識音にも敏感である。また、嗅覚から薬局らしき店（事実薬局）も認知している。

メンタルマップは的確に2次元化され、ために「こっちは行けばゴールだろう」と迷い込むこともあるが、標識音を頼りに元の位置へ戻り、時には戻らずとも自らの方向感覚を立て直し次の歩行へ進んでいる。

4人の被験者の歩行実験から、音種が豊富な商店街コースでは歩行回数を重ねるに従い動線確認用の音種への発話量は減り、発話される標識音が一定の音種に収束する傾向にあると言える。また、その音種が被験者間で共通する傾

向にある（パチンコ、特定の商店、信号等）。即ち、現在の全盲は未知の場では先ず危険回避音の認知に注意し移動するが、彼等の目的を持った歩行に多大な援助をなすのは、自己位置の確認に必要と認識された標識音と言える。この音で正しい歩行進路に安心し、次へ歩を運ぶと確言できる。

3-2 立体交差コース

3-2-1 A氏とD氏

共に1回目の歩行で概ね正しい歩行コースを描いており、スタート地点とゴール地点の方向に対するコース途中での質問にも、その都度ほぼ正確に答えている。メンタルマップは2次元化されており、両氏とも歩道橋の下を通った感覚・記憶は無いものの、空間的にそのはずとしているし、D氏は1回目に①（図-3、以下同様）からの上り階段と③からの登り坂と、恐らく中央通りの自動車騒音から、歩道橋を渡るのではと推測している。両氏の共通点は、1回目の歩行前から周囲の状況に気を配り、A氏は布団叩きの音から高層住宅を想像し、車の停車音から住宅の下が駐車場ではないかと考えている。また、両氏は初めに全体像を把握し、回を重ねるに従い細部を描画に付加していくが、中央通りの自動車と踏切を常に標識音として用いている。

両者の違いは既述のように、A氏が白杖で路面を叩いて反射音を確認したり、足で路面の感触を確認したりとかなり触覚情報を得るが、D氏は白杖での確認も少なく、「このコースは曲り角で壁が切れる場所が多い」と開放感で曲り角を見出している。

⑨においてA氏もD氏も横断歩道を確認する術が無くなかなか正しい位置で渡れていないが、適宜、車が途切れた時に渡っている。D氏は3回目頃から慎重になり、⑧から⑨への距離感と左側建物の感じが微妙に変化することから渡ると話している。事実、横断歩道の位置で左側建物は途切れている。また、3回目に⑧で左に曲らずに車道に出たが、この時に中央通りの車が途絶え、これを標識音にしていたがためである。

3-2-2 B氏

B氏は歩行時に度々コースを外れ迷い込み実験者の案内を受けている。⑨の手前で道路を横断しているが、そこは駐車場から道路へ出る段差解消部で、触覚に頼る氏は⑧及び踏切音からの距離感と無関係に横断歩道位置と判断したのである。B氏の描画コースは毎回異なっており、最後まで不正確であった。曲った角と角を繋ぐという図で、記憶違いで誤った描画は、踏切音と中央通りの標識音を聞いてはいるが、それらに基づいた方向の修正は描画に為されない。αで尋ねたスタート位置は6回共に左下と高度を含め正解であるが、歩道橋の下を通過した概念は全く無くコースが交差している図は描けない。また、βとゴールで尋ねたスタート位置は一定しない。このような事実から、やはり氏のメンタルマップは2次元化され得ていないと思われる。その理由の一つに、自己の位置を記憶した触覚情報に頼り、周囲の音を利用して自己の位置を空間的に定位する段階までには至っていないと判断される。

3-2-3 C氏

C氏も歩行の初期段階ではコース外に出て案内されているが、5、6回目で正確にゴールへ到達している。しかし

コースの全体像は描けず、歩行回数と共に描くコースが延びる程度であり、歩道橋の下を歩いた描画、即ちコースの交差は描けず、歩行時に尋ねたスタートとゴールの方向は一貫して「判らない」である。やはりメンタルマップは2次元化されていない。つまり、或る曲り角で右に向くまたは左に向く記憶が歩行を継続させているのであって、自己を定位する一つの曲り角とその前後の曲り角との関係は弱く、更に離れた以前・以後の曲り角との関係は非常に希薄と判断される。

氏は2次元化されたコース全体像は描けないもののゴールには着いている。「車の音がする方に曲ると歩道に出られた」「左右に空間がありそう」「車の音が右に聞こえるように歩く」といった発話があり、部分的に音を利用してゴールに着いており、実生活での単独歩行は殆ど無いが、街中を単独歩行するB氏よりは音利用が上手である。しかし、踏切音を含め認知している標識音を相互に関係付けるには至っていない。

3-3 市民の森コース

3-3-1 A氏

図-7はA氏の1回目の描画コースである。ほぼ扇形のコースであるが、②において直角に右に進む記憶が曖昧なために図ではスタート(①)から③まで直線的に描いている。コースの頂部③で開放空間に達したことを感知し、その後はゴールまでを白杖を用いて右の柵、柵からの推測で右側の下り斜面、下り階段を認知している。②における右折の記憶が正しければ、1回目でももう少し正確な図が描けたとも思える。

氏の歩行は既述の如く触覚と聴覚の両情報を巧みに利用するが、このコースでは、氏の「音の情報に恵まれていない所」との発話が示すように白杖の触覚に頼って歩いている。①から②、及び②から③の直線部を共に左に湾曲していると感じている。①から②では右側の上り斜面の触覚が因となった錯覚と考えられるが、②から③に向かう階段での錯覚の理由は定かではない。③から④は右に湾曲しているが、何故か左に湾曲と知覚している。なお、多くの視覚障害者は、このような湾曲部は明確な曲りが察知されず、直線歩行と錯覚しやすく方向を定め難いと発言している。

図-8、9は各々2、5回目の描画である。2回目以降A氏は正しく角を曲り扇形に歩行しゴールに着いてはいるが、コースをほぼ直線とイメージし直し、コース途中で尋ねたスタートとゴール方向はそれぞれ常に「前方」と「後方」で描画に合致している。

歩行の1回目、及び2回目(図-8)では足下の危険回避に注意が向き音に関する発言は殆ど無い。徐々にコース慣れし歩行に余裕が持て「普段の歩行でも音に注意する」との発言通り、5回目(図-9)では北側の自動車(国道1号)、落葉、頂部③での人の気配や四周からの自動車などの音に言及している。

他のコースでは誤って外れても音情報と触覚情報に依拠して元のコースへ戻って来たA氏だが、ここでは、自己の定位に用いる標識音の少なさと四方から常に聞こえる自動車音とが災いし、方向感覚を正しく把握し難いのために2回目に抱いた直線的イメージが最後まで修正されないま

までである。言及された音が、直線的イメージを修正するほどの標識音としては認識されていない。

氏はどちらかという点情報に過ぎない触覚情報を重要視しており、それも空間イメージが修正されなかった理由

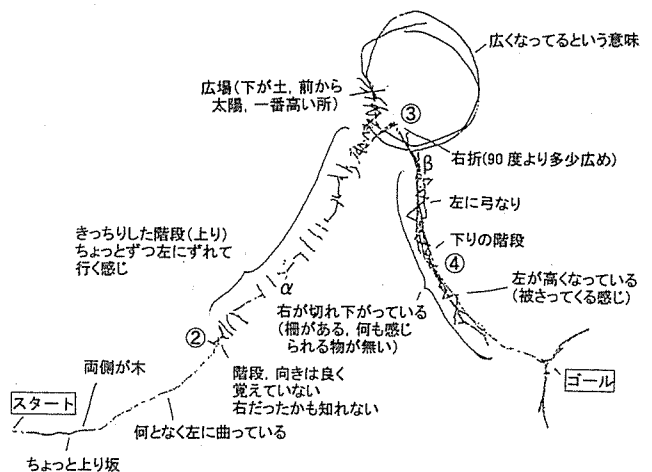


図-7 市民の森コース A氏1回目の描画

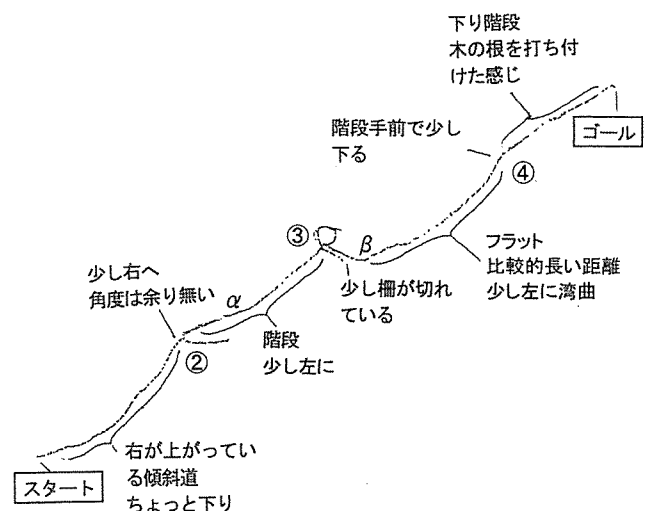


図-8 市民の森コース A氏2回目の描画

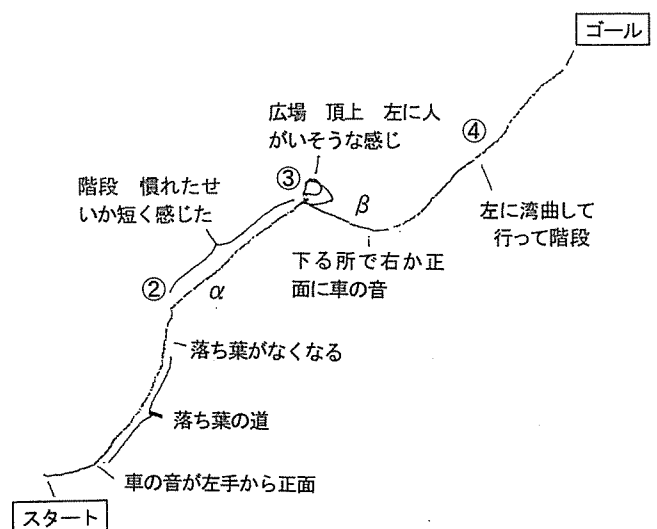


図-9 市民の森コース A氏5回目の描画

の一つと考えられる。

3-3-2 B氏

歩行中の氏は車や工事の音には気付いているが発話とはならず、路面の硬軟・凹凸や曲り角を触覚情報で確認する発言が多い。歩行後の描画は全て②と③でほぼ直角に曲る長方形の第3辺までの形状であり、位置 α と β で尋ねたスタートとゴール方向も概ね正しく指し示していることから、単純なコースでは或る程度2次元的なメンタルマップのイメージ化が可能と言える。しかし、気付いた音を標識音として認識し、それを根拠に描画コースを扇形（或いは三角形）に修正することはない。また、③から湾曲しつつゴールする経路は前述の如く認識が困難であり、かつ距離感が不正確で当初は長方形の3辺をほぼ等距離に描いていたが、徐々に変化し、最終の6回目の歩行後には最短距離の①から②を最長と、最長距離の③から④を最短と感じている。これらの点からも、足下と曲る角に意が集中して全体像を把握し得ていないと判断される。

3-3-3 C氏

1回目に「山の中のような気がする」と雰囲気をつえ、歩行では足下に注意が向き触覚に頼るが、2回目の描画（図-10）に示すように、②から③で「横が狭い、前にも階段が積み重なっている」感じを受け、③で「広がった」感じを持ち、以後③ではその感じと触覚で自己を定位している。6回目に「ゴールに近付くとすごく遠くで車の音がする」と発言し、これを2, 3回目に気付いたとしている。商店街コースでは独力でゴールできていないが、ここでは2回目で迷い込み案内を受け、3回目はコース外となったものの自らコースへ戻り、以降は余裕を持った歩行でゴールに着いている。これらのことは、氏が障害物認知に長け、周囲が静かで余裕を持てれば音情報の利用にも長

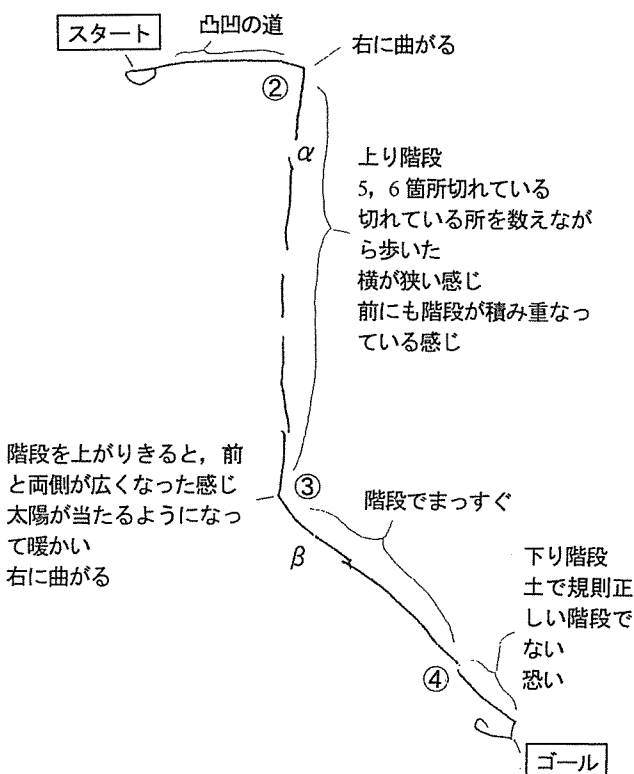


図-10 市民の森コース C氏2回目の描写

けていることを示唆している。

また「山の中か→（長い階段から）神社かお寺か→（線香の香りから）お寺か」という認識展開から、自分さえ足下に気を配り標識を確認すれば、他からの恐怖（例えば交通事故）を考慮せずに歩けると判断した事も余裕を持ち得た理由の一つと考えられる。

描画は、③で右折しそれを発言しつつも当人は左折の図を描いている。最後まで左折の図である。これは「地図を描いたことがない」との発言（初実験である後述の区画整理化住宅地コースでの発言）が示すように、歩行経路を手前から描かずにレーザーライタのトップ側から手前側に描き始め、右折ならペンを右側へ移動させる描き方が原因である。しかし数回の描画後に手前側から描く方が楽であることを見出し、右左折も通常の描き方に進歩している。C氏の初期の描画は、メンタルマップの2次元化を促す教育の欠如を感じさせる。

「2回曲ると方向が判らなくなる」との発言、及び歩行途中で尋ねたスタート・ゴール方向が多くの場合に「判らない」との返答から、角を曲った点と点を繋ぐことはできても、氏のメンタルマップでは、点と線から成る全体像が正確には2次元化されてはいないと言える（そのような意識形成が不必要な生活だったとも言える）。しかし回を重ねるに従い、2つの直線と1つの湾曲線から成る各歩行コースの距離（感）は、かなり正確度を増しつつ描かれている。「ゴールに近付くとすごく遠くで車の音がする」とスタート位置の音状況とが結び付けば、描画は正解に近付いたものと思われる。従って、氏の歩行の潜在能力はかなり高いと言える。なお、湾曲部は最後まで直線で描かれ、徐々に進行方向が変化することは視覚障害者にとっては相当に感知し難い。

3-3-4 D氏

1回目は音関係の発言は少ないが、既に③からゴールまでの湾曲部を含めかなり正確なコースを描画している（但し、D氏でも道路横断の斜行路や湾曲路は判り難いと発言している）。図-11にD氏の2, 3回目の描画と主な発言を示す。音情報は少ないコースではあるが、その利用法では、スタート直後に「左の大人と子供の声」、②で「落葉の減少」、②を右折して「右からの車の音」、頂部③を右折し「前方からの車の音」、③からゴール途中の柵の感知などと鋭敏に捉え、ゴールでは「右から子供の声」を聞き「スタート近くか」とイメージしている。実に音の認知と標識音化が巧みである。

3-4 区画整理化住宅地コース

3-4-1 A氏

開始前に、スタートの後方が公園と察し、左斜め後方の工事音と木の匂いから住宅の建て替えを想像し、電車通過音（新幹線を小田急線と想像）などから住宅地と推測している。歩行は道路端の白杖伝いであり、先ず大枠の曲り角の標識を白杖で意識化し、その後の歩行では曲り角を含め詳細を触覚で確認しつつ、単独歩行では全て正しくゴールに着いている。2回目の歩行で格子状の区画を意識し始め、歩行途中でのスタート・ゴール方向への指示もほぼ正確で、メンタルマップは2次元化されている。図-12は5回目

の描画である。コース以外は白杖での確認をせずに存在を推定した道路であり、それらの交差も格子状の印象と車の通過音から推定しているが、かなり正確である。

他にも、地域イメージの詳細を明確にしていく情報を様々に収集している。「家が塀の近くにあり迫ってくる感じ、空き地が少ない、ゴールには子供の声、結構整備されているので分譲地か、(電車の音から) 駅からそんなに近くはない、(木の匂いと音から) 建替え工事、(土の匂いと雰囲気から) お年寄りが庭いじりをしている」などがその発話例である。

3-4-2 B氏

「広くなった、風の流れが変わった」等の発言が示すように路地や交差点の存在を感知しているが、音情報の発言は少なく、基本的に曲るべき角の順と方向を記憶し民家の壁面を白杖で伝い歩く。従って、一度記憶違いで曲るべき角や方向を誤ると、その後も記憶の順通りに誤った歩行路を取る傾向がある。これは、触覚情報に依拠するもののどの曲り角も似た様子で明瞭な差異を意識化できなかった事、音情報の標識化をしない事、氏の特徴だが距離感に乏しい事などが原因である。しかし、誤った歩行と距離感に基づいてはいるが、「どこの角度もほぼ 90 度」と単純な区画が幸いし、歩行後の描画コースは或る程度は 2 次元化されている。「慣れるのに時間がかかる、目印が少ない、難しい」との発言に示されるように触覚情報に頼っているが、そればかりではなく、音情報の標識化に意を配り自己の正しい位置の定位が可能となれば、歩行はかなり容易になると思われる。

なお、4 回目に④で右折してしまい大幅にコースから外れたが、車の通過を待っている間に方向感覚を失したとの事であり、一般的に視覚障害者は、大きな音に含まれるとその状態に陥る²⁾。

3-4-3 C氏

実生活において、C氏は通学以外には街中で単独歩行することは無く、未知の場所へは介護人が付く。このコースが歩行実験の初体験であり、前述の如く地図を描いた経験も無い。単独方向の経験の少なさが原因か定かではないが、氏は殆ど白杖を用いずに「何となく広い所へ来た、右にも左にも行けそう」と開空間を認知しつつ、「次は右、その次は左」と順を追う記憶に頼って歩行を続ける。しかし経路と曲り角に「目印となる物が無い」ために曲り角を通過したり、「スムーズに歩けなかったので距離感がつかめない」ために行き過ぎたかと戻り、誤った記憶からコース外へ出たりと、結局、全ての単独歩行で筆者等の案内を受けている。

描画コースは 2 回目までは途中まで描けているが、その後のゴールまでは思い出せない。3 回目以降はゴールまで描けてはいるが、全てがほぼ 90 度のその「曲り角度が判らない」ままに、曲り角と曲り角を単に距離感の無い直線で繋いでいる。歩行途中でのスタート・ゴール方向への指示も、常に判らないであり面的な方向感覚は把握し得ていない。これまで、面的空間を 2 次元で捉える訓練がなされていない、或いはそのような生活上の必要性が無かった事が大きな理由であろう。また聴覚情報に頼る氏の特長も、音情報の少ないこのコースでは活かされなかった事も一理

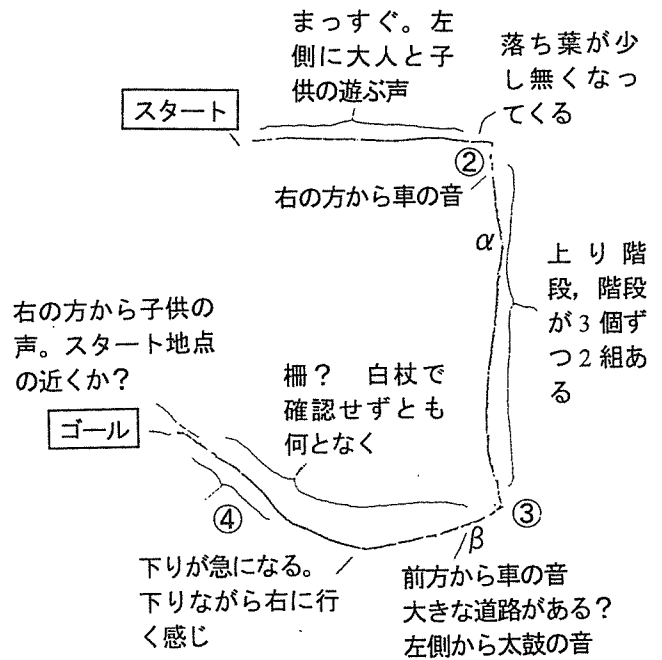


図-11 市民の森コース D氏 2, 5 回目の描画

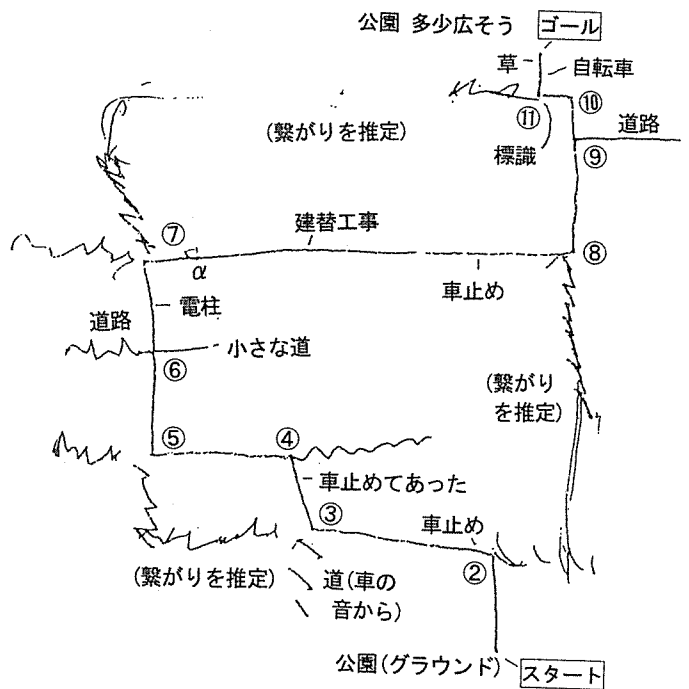


図-12 住宅地コース A氏 5 回目の描画

由であろう。しかし障害物認知は鋭く、駐車中の車を白杖無しで感知し得る。

またやはり、曲り角で音の大きな車等が通過すると方向感覚を失う光景が認められる。この理由は次のように考えられる。自己の移動に伴う音の微妙な変化を感知し障害物を認知している場合、大きな音に曝されるとその間は変化が感知されない。また、危険回避のために自己は動きを止め立ちすくむので、大きな音が去った後も自己は停止状態にあり、やはり微妙な音の変化は感知できない。このような事実から方向感覚を失うと考えられる。その感覚を回復するには方向を含めて自己を再定位せねばならぬが、それ

には適当な触覚情報か音情報が不可欠であり、空間的方向を短時間に知るには、点的位置のみを知るにすぎない触覚情報よりは空間情報を含む環境音が数段優れていると思われる。

3-4-4 D氏

歩行前に、音から新幹線と知り、それとベランダで叩く布団の音から「住宅地」と考えている。歩行中は、「目印が無い」ものの白杖による確認をあまりせず、「開けているような感じ、広くなったような感じ」で曲り角を感知し、マンホールの水と新幹線との音を標識音としている。また、「新幹線の音を基準に経路の道路の向きを修正」しつつ、歩いた距離感からゴールは①と②を結ぶ直線より右側ではないかと、常に全体像を2次元的に把握しようと努めている。

描画は正確である。他の被験者が、①から②への方向に対して②から③への鈍角的斜行に言及せず、描画にも斜行があまり表現されていないのに対して、D氏は感知している。その感知が原因と思われるが、②から③は右に湾曲していると錯覚している。だが歩行中に尋ねたスタート・ゴール方向もほぼ正しく、距離感からゴールは①と②を結ぶ直線より右側と推定しており、氏のメンタルマップはほぼ正確に2次元化されている。

D氏は他のコースでもそうだが、音情報の利用が巧みで、それに依拠して歩く傾向が強い。空間的な複数情報を瞬時に把握するには、点的触覚情報よりは音情報の方が都合が良いことは想像に難くない。しかし、本コースは曲り角に特徴が無く、その曲り角を氏は触覚で確認していないために、6回目になっても他の道に入ってしまうミスをしている。なお、4回目以降のミスは自ら気付いてコースに戻っている。このミスが、鍵となる曲り角を触覚で丁寧に確認し単独歩行で誤りの無かったA氏との差異である。

4. まとめ

4-1 音情報の認知と認識及び利用状況

4-1-1 危険回避

車が無い市民の森以外では、全てのコースにおいて車の通過音に神経を集中し危険を避け、横断歩道では車の完全な停止を待って道路を渡る。他に工事の音は、避けるべき方向に不安をもたらしている。歩道を通る自転車は、立ち止まって通過を待つ傾向がある。

4-1-2 自己定位の標識音

必要な情報は一般に認知から認識へと発展する。認知した種々の音の中から有用な音として、大通りの音、踏切の音、商店の音などを認識し、これらを基に自己の定位を行う行為が比較的多く見られる。これらの音は、定期的或いは恒常的に聞こえ耳につき易く、立体交差コースと商店街コースで程度の差はあるものの全被験者に利用され、同一コースでの歩行回数を重ねるごとに確実な情報として認識されていく。

一方、住宅地コースや市民の森コースでは音情報が少ないため、位置の確認が困難との意見が多いが、周囲が静かであれば健常者が意識しない微妙な音、例えば住宅地コースの下水音なども利用される。

また、白杖で得られる情報は点的であるのに対して、音

情報には空間情報が含まれる。従って自己を定位する場合には、音情報は白杖よりも遙かに優れている。

4-1-3 動線の確認

車や人の流れの音、またそれらの断絶を頼りに移動方向を確認し決定する事が殆どである。それらから交差点の位置を見出し、横断歩道では移動方向と直角に動く車群の停止を待って渡っている。しかし、早期全盲のC氏は図-2の信号(③、④)で渡るべき場所は確認できるが、歩行経験の浅さと音情報の空間的利用が未熟なため、一旦渡るべき方向を誤ると混乱状態に陥り、自らの位置と方向感覚を失う事が頻繁であった。これに対して音情報の空間的利用が上手な人は、コースを誤っても空間的音情報を頼りに元の位置に復帰することが可能であり、そこで更に触覚情報で確認し方向感覚を立て直すことが可能である。

移動経路が湾曲している場合、多くはその湾曲を感知せず、自らは直線的に移動したと認識している。

歩行中に大きな騒音に包まれると多くが方向感覚を失う。移動に伴う空間音の微妙な変化が大騒音で一瞬にして失われ立ちすくみ、空間音の微妙な変化が形成してきた方向感覚が無に帰すためと考えられる。この場合でも、白杖による触覚情報は点情報であるのに対して、音情報は空間情報を含むが故に方向感覚の建て直しにも優れている。

4-1-4 障害物認知

駐車車両や電柱などの障害物に対しては、白杖による認知が一般的に行われている。しかし、後期全盲のD氏と早期全盲のC氏には、駐車車両を白杖の確認無しで避ける行為がしばしば見られる。D氏は「顔より高い物は、何となく判る」との事であり、反射音や音の影の利用が認められる。これは歩行上極めて有利であり、左右の壁面や建物の有無を的確に捉え曲り角等をすばやく発見できるので、白杖に拠る確認を相当程度省略し目的地に早く到達し得る。

4-2 音情報の空間的把握

歩行実験から、メンタルマップ上に、空間を2次元的にイメージする事が可能な者と困難な者とに分類できることが判明した。移動の確保には様々な音情報をいかに有機的に2次元化し得るかが大きな問題であるが、危険回避に利用する音は歩行コースのイメージ作りにはあまり関係が無い。地点の標識たる音の意味と、音に拠る周囲状況の類推、遠方からの音との位置関係の把握、起終点の方向付け、これらが歩行に拠る正確で楽な移動を決める。この空間把握の発展段階を、仮説としてレベル化すると図-13の如くなる。

B氏とC氏の描画コースは記憶した曲り角(標識)で繋げた線状で、空間の2次元把握ができていない。危険回避と「曲る順番と方向を憶える」事に腐心し、重要な情報源である音の利用が単にレベルI、IIに留まっている。従って、コースを誤ると方向の修正が困難である。一方、A氏とD氏は視覚表象を有し失明前に地図を見た経験を持つ事から、常に空間を2次元的に捉えようとする(但し、D氏は早期全盲に近い)。コースを外れても、大通りの音、踏切の音等を頻繁に確認し、レベルIIIから軌道修正することがB、C氏に比較し容易に可能である。時には、レーズライトに「路地がここにある」「右手は崖のようだ」等と

レベル I	音情報から音源を特定し、自己の位置を 点的に確認・類推
↓	
レベル II	人・車の流れ、反射音を用いた左右の壁 面・建物の有無、及び触覚情報を加え移 動方向を線的に把握
↓	
レベル III	レベルIIに周囲の状況、特に前方の音情 報を加え交差点等を把握
↓	
レベル IV	通過コース中に得た情報や他の情報から コースを含む地域的な把握

図-13 音情報の利用段階

レベルIVの正確な判断を下す。

5. おわりに

位置標識としての音情報をいかに2次元化し得るかが視覚障害者の歩行に重要である。そのためには、今の街の雑多な音環境を整理し、健全者に騒音とならない微細な標識音を適正に配置し、それらを有機的な空間情報とする音環境計画が街に求められる。

C氏は学生でありながら歩行経路を描くような経験は無いと述べている。事実、初期の段階では右折が左折となり、左折が右折となる描画を行っていた。しかし数回の実験の後に自ら正しく描く方法を見出している。これも氏のメンタルマップの2次元化に大きく寄与するはずである。視覚障害者の教育に、彼等のメンタルマップの2次元化を促す方法が採用されるべきと思われる。

視覚障害者は、嗅覚情報から特殊な商店などの存在をイメージしている。彼等の歩行経路を香り豊かな木々、草花

で区別することも可能のような気がする。区別には微妙な音を活用する事も考えられるが、その前に、或る種の音が或る種の状況を知らせる約束事が必要であろう。現在はそのような約束事が何も無く、騒がしくない音を活用し、地下への入口などを知らせる事は可能であろう。今後の課題である。

参考文献

- 1) 太田篤史, 田村明弘, 鹿島教昭: 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的研究, 騒音制御工学会講演論文集, pp.113-116(1995).
- 2) 鹿島教昭, 田村明弘, 太田篤史: 視覚障害者の音環境, 横浜市環境科学研究所報, 21, pp.51-58(1997).
- 3) 太田篤史, 田村明弘, 清家聡, 鹿島教昭: 視覚障害者の未知空間の認知過程における聴覚情報の役割, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.41-43 (1996).
- 4) 鹿島教昭, 田村明弘, 太田篤史, 清家聡: 視覚障害者の歩行実験における音情報の利用, 日本音響学会講演論文集, pp.661-662(1996).
- 5) 佐藤泰正編著: 視覚障害心理学, (学芸図書, 東京, 1987), pp.7-23.
- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) 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).

横浜市における酸性雨モニタリング調査

— 1999年の結果 —

梅田てるみ, 加藤善徳 (横浜市環境科学研究所)

Survey of Acid Rain in Yokohama City.
— Rain acidity data from January to December 1999 —

Terumi Umeda, Yosinori Katou
(Yokohama Environmental Science Reserch Institute)

キーワード: 酸性雨, 湿性沈着物, 乾性沈着物

1. はじめに

環境庁の報告¹⁾にもあるように、現在、我が国では森林・湖沼等の被害がみられる欧米と同レベルの酸性雨が降り続けている状況にあり、さらに急速に工業化を進める東アジア近隣諸国からの影響も懸念されている。この東アジアの問題については、2000年に『東アジア酸性雨モニタリングネットワーク』が設立され、酸性雨対策に向けての国際的な取り組みが開始されたところである。

一方、横浜市環境科学研究所では、これに先駆け、1984年より酸性雨のモニタリングを実施しているが、これまでの結果^{2),3)}から、横浜は国内の中でやや強いレベルの酸性雨が降り続けていること、市内のブロンズ像等の器物に酸性雨の被害が生じていること等がわかっているが、今後、東アジアの状況によっては酸性雨による影響が強まる恐れもあり、注意深くこれを監視していく必要がある。

ここでは、1999年の横浜の酸性雨(湿性沈着物及び乾性沈着物)のモニタリング結果について報告する。

2. 調査内容

(1)採取期間: 1999年1月～12月

(2)採取地点: 横浜市環境科学研究所屋上(横浜市磯子区滝頭)

(3)採取方法

自動雨水採取装置(小笠原計器製作所 US-400型)により湿性沈着物(降水)と乾性沈着物を採取した。湿性沈着物は一雨毎、降り始め初期1mmと一降水全量を採取した。乾性沈着物は代理表面法^{4),5)}により1ヶ月単位で採取した。

(4)分析項目及び分析方法: 表-1に示した。

3. 結果

(1)降水量

1999年1月～12月の1年間に47の降水試料を採取し、その貯水量から算出した年間降水量は1651mmとな

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
Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺	イオンクロマトグラフ法
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	イオンクロマトグラフ法
SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Cl ⁻	イオンクロマトグラフ法

った。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^{6),7)}(1503.5mm)の109%で、両者はほぼ同程度であった。

また、気象台の観測によると、月間降水量は3月、4月、7月が平年よりかなり多かったが、1月、9月、12月は平年よりかなり少なく、年間降水量としてはほぼ平年並(平年値⁸⁾1569mm)となった。

(2) pH

図-1に一降水全量、初期1mm降水のpHの最高値、最低値、平均値を示した。

1999年の一降水全量の最高pHは6.09、最低pHは3.89、降水量で重み付けした年平均pHは4.84であった。一方、初期1mm降水は最高が6.94、最低が3.78、年平均pHが4.46であった。1999年は47の降水試料を得たが、一降水全量で見ると酸性雨とされるpH5.6以下のものは45(96%)あり、採取した降水のほとんどが酸性雨であった。

経年的には、一降水全量は1984年以来pH4.6前後、初期1mm降水はpH4.3前後で推移していたが、ここ2年間(1998, 1999年)は一降水、初期1mmともやや高めとなっている。

(3)湿性沈着量

表-2に湿性(降水)による各成分の沈着物の測定結果を示した。また、図-2に mSO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 mCl^- の経年変化を示した。なお、欠測期間のある年(1984年, 1986年)については、 $[\text{測定値}] / [\text{測定月数}] \times [12]$ で年間値に補正した値を用いた。

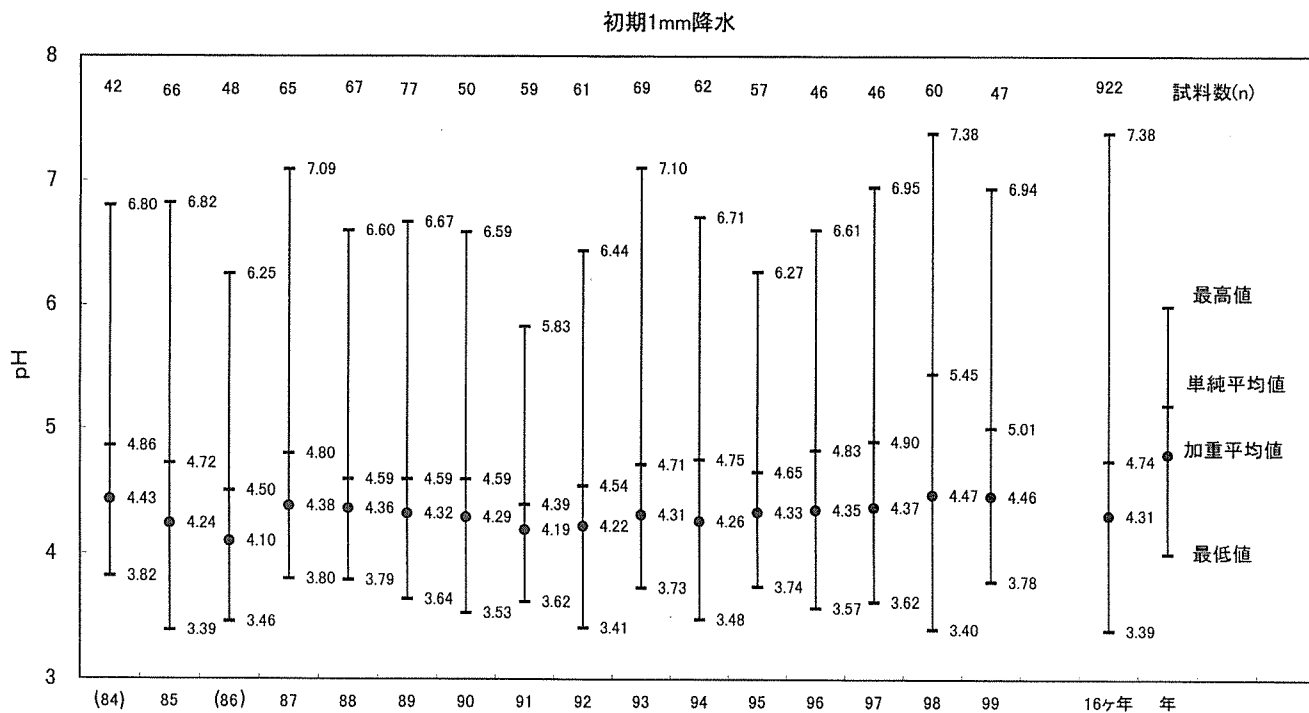
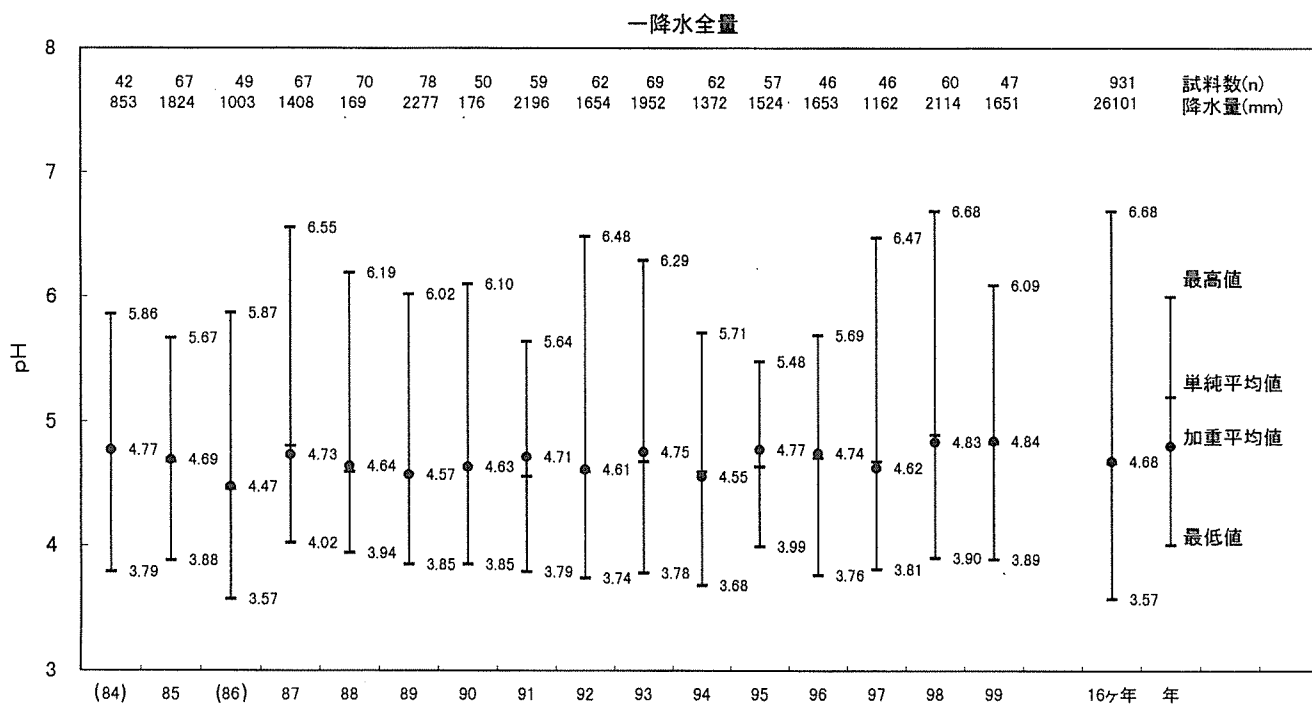


図-1 降水pHの経年推移
 (単純平均値は各降水のpH値の算術平均値, 加重平均値は各降水のpHを水素イオン濃度に換算し降水量で重み付けした平均値をpHに再変換した値である。1984年1月~4月及び1986年3月~5月は欠測である。)

表-2 湿性沈着量

降水量 mm	pH	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺ _{nss}	SO ₄ ²⁻ _{nss}	Cl ⁻ _{nss}	TA	TN	N/S比	
meq/m ² /年																	
1984年	853	4.77	14	24	1.0	16	6	5	38	11	27	5	36	8	55	29	0.31
(1984年)	(1280)	(4.77)	(22)	(37)	(1.5)	(24)	(9)	(8)	(57)	(16)	(40)	(8)	(54)	(13)	(83)	(45)	(0.30)
1985年	1824	4.69	37	38	1.8	45	17	13	58	22	68	14	53	15	90	52	0.42
1986年	1003	4.47	34	42	3.1	20	9	5	46	28	42	8	44	18	90	50	0.64
(1986年)	(1337)	(4.47)	(46)	(56)	(4.1)	(27)	(12)	(7)	(62)	(37)	(56)	(11)	(58)	(24)	(120)	(66)	(0.64)
1987年	1408	4.73	27	40	4.4	26	10	7	53	24	46	9	50	16	90	49	0.48
1988年	1694	4.64	39	48	1.8	30	12	8	81	31	59	11	77	25	133	59	0.40
1989年	2277	4.57	62	71	2.8	53	25	19	95	45	86	23	89	24	158	94	0.51
1990年	1764	4.63	42	37	2.8	95	29	27	66	28	111	25	55	0	83	62	0.51
1991年	2196	4.71	43	60	1.8	38	22	15	64	26	62	20	60	17	103	80	0.43
1992年	1654	4.61	40	54	1.8	47	20	13	60	26	74	18	54	19	99	72	0.48
1993年	1952	4.75	34	62	2.1	34	27	12	64	33	69	25	60	30	123	87	0.55
1994年	1372	4.55	39	48	1.0	35	24	12	62	39	54	22	58	14	111	70	0.67
1995年	1524	4.77	26	45	1.5	37	18	10	49	29	58	16	45	15	89	61	0.64
1996年	1653	4.74	30	57	1.8	43	26	11	63	37	67	24	58	17	112	81	0.64
1997年	1162	4.62	28	45	1.5	47	19	13	52	30	68	17	47	13	90	62	0.64
1998年	2114	4.83	31	74	2.1	75	39	22	74	45	120	35	65	32	142	109	0.69
1999年	1651	4.84	24	59	1.3	42	16	12	52	34	73	14	47	23	104	73	0.72
年平均	1732	4.68	36	53	2.0	46	22	14	64	32	73	20	58	19	109	72	0.55

注1) 1984年は1月~4月, 1986年は3月~5月が欠測。()は[測定値]÷[測定月数]×12で年間値に補正した値。

注2) nss XはNa⁺をすべて海塩起源と仮定した場合のその成分の非海塩起源(non sea salt)を示す。

注3) TAは酸性成分の総量(nss SO₄²⁻+NO₃⁻+nss Cl⁻), TNは中和成分の総量(NH₄⁺+nss Ca²⁺), N/S比はNO₃⁻/nss SO₄²⁻当量比を示す。

注4) 年平均の欄には1984年と1986年を除いた14ヶ年の平均を示した。

表-3 乾性沈着量

測定 月数	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺ _{nss}	SO ₄ ²⁻ _{nss}	Cl ⁻ _{nss}	TA	TN	N/S比	
meq/m ² /年															
1991年	8	6.4	1.4	21	30	14	30	11	41	29	28	16	55	35	0.39
(1991年)	(12)	(9.6)	(2.1)	(31)	(46)	(22)	(45)	(16)	(61)	(44)	(42)	(25)	(83)	(54)	(0.39)
1992年	6	4.2	1.0	14	22	10	19	8	27	21	17	10	35	25	0.47
(1992年)	(12)	(8.5)	(2.0)	(28)	(43)	(20)	(37)	(15)	(53)	(42)	(34)	(20)	(69)	(51)	(0.47)
1993年	1	0.6	0.1	1	2	0	1	1	2	2	1	1	3	3	-
1994年	12	5.9	1.8	20	39	14	28	18	38	38	25	15	58	44	0.72
1995年	12	4.8	2.0	16	33	7	17	13	26	32	15	7	35	37	0.87
1996年	12	6.8	1.4	17	49	12	27	14	29	48	25	9	48	55	0.56
1997年	12	2.8	1.3	18	41	6	19	15	20	40	16	0	31	43	0.94
1998年	12	2.3	1.1	14	41	5	20	12	24	41	18	7	37	43	0.67
1999年	12	2.9	1.1	17	25	7	12	11	25	24	10	5	26	27	1.08
年平均	12	4.3	1.5	17	38	8	21	14	27	37	18	7	39	41	0.76

注1) 1991年は1年のうち4ヶ月, 1992年は6ヶ月, 1993年は11ヶ月が欠測。()は[測定値]÷[測定月数]×12で年間値に補正した値。

注2) nss XはNa⁺をすべて海塩起源と仮定した場合のその成分の非海塩起源(non sea salt)を示す。

注3) TAは酸性成分の総量(nss SO₄²⁻+NO₃⁻+nss Cl⁻), TNは中和成分の総量(NH₄⁺+nss Ca²⁺), N/S比はNO₃⁻/nss SO₄²⁻当量比を示す。

注4) 年平均の欄には欠測のない6ヶ年(1994年~1999年)の平均を示した。

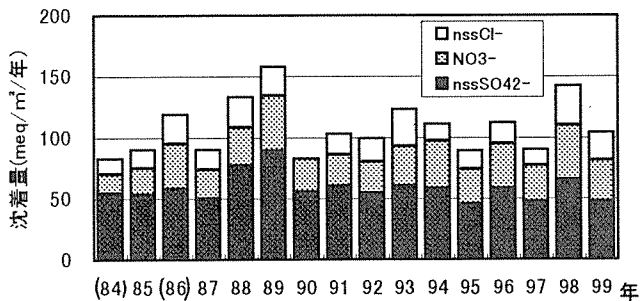


図-2 湿性沈着物の経年推移

(84年, 86年は[測定値]÷[測定月数]×[12]で年間値に補正した値。)

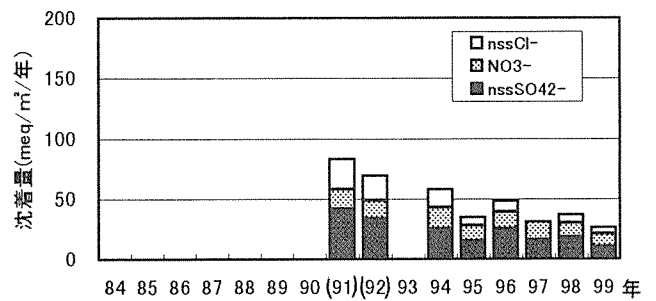


図-3 乾性沈着物の経年推移

(91年, 92年は[測定値]÷[測定月数]×[12]で年間値に補正した値。93年は欠測。)

1999年の湿性による酸性雨原因物質の沈着量は SO_4^{2-} が $47\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 NO_3^- が $34\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 Cl^- が $23\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。これらの合計量（以下、TAとする）は $104\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。一方、中和物質である NH_4^+ は $59\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 Ca^{2+} は $14\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、これらの合計量（以下、TNとする）は $73\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。

TA、TNで酸性雨原因物質、中和物質の沈着量の経年推移をみると（図-2、表-2）、年によりややばらつきがあるものの、TAはここ10数年 $100\text{meq/m}^2/\text{年}$ 前後、TNは $70\text{meq/m}^2/\text{年}$ 前後で推移してきており、1999年も同様であった。よって、酸性雨原因物質からみると本市の酸性雨の状況は改善しておらず、依然横ばい状況となっていると言える。

（4）乾性沈着量

表-3に乾性による各成分の沈着物の測定結果を示した。また、図-3に SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- の経年変化を示した。なお、欠測期間のある年（1991～1993年）については、 $[\text{測定値}] / [\text{測定月数}] \times [12]$ で年間値に補正した値を用いた（ただし、欠測期間が半年以上ある1993年は解析対象から除いた）。

1999年の乾性による酸性雨原因物質の沈着量は SO_4^{2-} が $10\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 NO_3^- が $11\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 Cl^- が $5.3\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、TAとしては $26\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。一方、中和物質である NH_4^+ は $2.9\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、 Ca^{2+} は $24\text{meq/m}^2/\text{年}$ 、TNとしては $27\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。

TA、TNで酸性雨原因物質、中和物質の沈着量の経年推移をみると（図-3、表-3）、TAは1991年以降減少傾向となっており、特に SO_4^{2-} の減少が著しくなっていた。TNは1991年以降、 $50\text{meq/m}^2/\text{年}$ 前後で推移していたが、99年はかなり少な目となっていた。

4. まとめ

1999年の酸性雨モニタリング調査の結果は次のとおり

であった。

（1）1999年の降水（一降水全量）の年平均pHは4.84であった。経年的には、pHは1984年以来4.6前後の横ばいで推移してきたが、ここ2年間（1998、1999年）はやや高めとなっている。

（2）1999年の湿性（降水）による SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、TA（ $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$ ）の沈着量は47、34、23、 $104\text{meq/m}^2/\text{年}$ であった。経年的には湿性のTAは1984年以来、 $100\text{meq/m}^2/\text{年}$ 前後で推移しており、本市の酸性雨の状況は依然横ばいとなっている。

（3）1999年の乾性による SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、TAの沈着量は10、11、5.3、 $26(\text{meq/m}^2/\text{年})$ であった。経年的には、乾性のTA、とくに SO_4^{2-} の沈着量は1991年以降かなり減少してきており、乾性沈着物については改善傾向がみられている。

文 献

- 1) 環境庁酸性雨対策検討会：第3次酸性雨対策調査とりまとめ（平成11年3月）。
- 2) 横浜市環境科学研究所：酸性雨に関する調査研究報告書（Ⅱ）－酸性雨による器物影響－（1998）。
- 3) 梅田てるみ、加藤善徳：横浜市における酸性雨モニタリング調査－1998年の結果－、横浜市環境科学研究所報第24号、92－100（2000）。
- 4) 酸性雨対策検討会大気分科会：酸性雨に関する資料集、p77－87（1990）。
- 5) 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）。
- 6) 横浜地方気象台：神奈川県気象月報、1999年1月～3月。
- 7) 気象庁編集：気象庁月報、2巻4～12号（1999年4月～12月）。
- 8) 気象庁監修：気象庁観測平年値（1996）。

三宅島火山ガスによる酸性雨への影響

加藤善徳, 梅田てるみ (横浜市環境科学研究所)

Acid Rain by Volcanic Gases from Miyakejima

Yosinori Katou, Terumi Umeda
(Yokohama Environmental Reserch Institute)

キーワード: 酸性雨, 火山ガス, 火山噴出物

要旨

2000年9月頃より、三宅島火山ガス放出量が急激に増大し、酸性雨の面からもその影響が懸念された。そこで、横浜市磯子で観測している酸性雨データ (1984~2000年) 及び、気象、SO₂、NO_x等の常時監視データ等を用いて火山ガスの影響を調べた。

その結果、横浜の降水のpHは、9月以前 (2000年1~8月) の平均が4.82に対し、9月以降 (2000年9~12月) は4.21と急激に低下していた。また、火山放出物に多く含まれる_{ns}SO₄²⁻ (非海塩起源SO₄²⁻)、_{ns}Cl⁻ (非海塩起源Cl⁻) の降水による沈着量は、9月以前がそれぞれ4.4、1.9 (meq/m²/月) に対し、9月以降はそれぞれ9.4、5.8 (meq/m²/月) と急激に増加していた。これより横浜の降水は2000年9月以降、三宅島火山ガスの影響を強く受けていたことがわかった。

2001年2月5日現在も三宅島火山ガスは大量に放出され続けており、今後も注意深く監視していくことが必要であるが、特に、南風が卓越する春季以降は一層の注意が必要と考えられる。

1. はじめに

平成12年 (2000年) 8月28日、関東一円で三宅島の噴煙が原因と考えられる異臭やSO₂が非常に高濃度 (八王子で935ppb) となる現象が発生し¹⁾、各地で苦情や問い合わせが相次いだ。8月30日に環境庁は二酸化硫黄濃度による健康影響についての注意を呼びかけた²⁾。その後もSO₂の高濃度現象は各地でかなり頻繁に出現し、横浜市においては9月17日に中区でSO₂濃度が405ppbを記録し、昭和46年以来30年ぶりに二酸化硫黄注意報が発令された³⁾。三宅島からの火山ガスは2000年9月頃から急激に放出され始め⁴⁾ (図-1)、気象庁の火山観測情報第69号によれば、平成13年 (2001年) 2月5日現在も同レベルの火山ガスが放出され続けており、気象庁は当面、火山ガスに対する警戒が必要としている⁵⁾。

火山の噴煙による影響は、国内では桜島の例が報告されている⁶⁾。それによると、桜島の噴煙により鹿児島市内でSO₂濃度が約500ppbまで上昇し、その際降った雨は

pH2.45という極めて強い酸性雨となった。これにより目がチカチカする等の被害や、鹿児島市内の広い地域でネギ、トマト等の野菜やウメ、ケヤキ、サツキ等の樹木の可視被害が生じた。

横浜は三宅島からはかなり距離が離れているものの、前記のように9月頃より、SO₂高濃度現象が頻繁に発生し、最高405ppbと桜島の例に匹敵するほどの高濃度となったことから、三宅島の噴煙の影響を受け強い酸性雨が降っている可能性がある。

そこで、三宅島火山ガス放出量が急激に増大した9月以降の降水、特にSO₂濃度が405ppbと非常に高濃度となった9月17日の降水、市民から酸性度が強い降水として問い合わせがあった11月17日の降水を中心に、三宅島火山の噴煙により横浜の酸性雨に影響がみられているのかどうか、降水成分の組成等に変化が生じてきているのかどうか検討した。

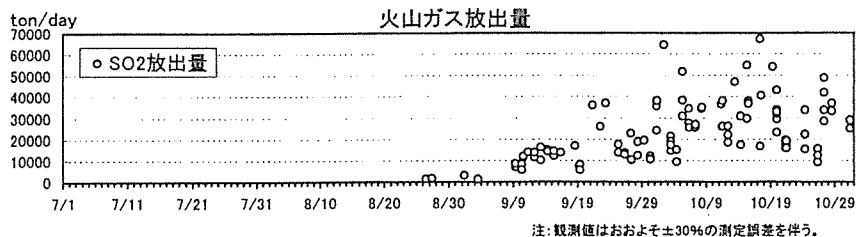


図-1 三宅島火山ガス放出量の変化
(日本気象協会発行“気象”NO.524より)

2. 調査方法

横浜市環境科学研究所では、1984年より一年を通じ一降水毎、継続して酸性雨の観測を行っている。ここでは2000年の観測結果及び過去の観測データを用いて解析を行った。以下に酸性雨観測の概要を示す。

2-1 測定地点

図-2に測定地点を示した。測定は横浜市磯子の横浜市環境科学研究所屋上で実施した。測定地点と三宅島とは約150kmの距離にある。

2-2 測定方法

降水の採取は小笠原計器製の自動雨水採取装置 (US-400) を用いた。採取単位は一降水毎。降り始め初期1mm及び一降水全量 (降り始めから降り終わりまで一括採取) を採取した。また、一部降水については、降り始めから1mm毎分画して採取する分画調査も実施した。

2-3 測定期間

2000年1月～12月

2-4 分析項目及び分析方法

採取した試料は、酸性雨等調査マニュアル⁷⁾に従い、pH、EC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-1に示す方法で分析した。

この他、降水量、風向風速等の地上及び高層気象データ^{8),9)}、 SO_2 、 NO_x 等の常時監視データ¹⁰⁾を随時使用した。高層気象データは、館野 (茨城県)、八丈島のデータを用いた。



図-2 測定地点

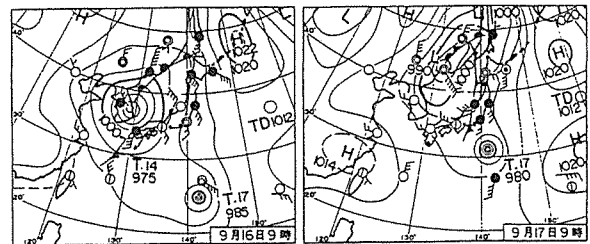


図-3 地上天気図

(日本気象協会発行“気象”NO.523より)

3. 結果および考察

3-1 9月17日の降水

3-1-1 気象及び大気汚染の状況

図-3に9月16日、17日の地上天気図¹¹⁾を示す。9月16～17日は朝鮮半島に台風14号から変わった温帯低気圧、南海上に台風17号があり、関東地方には終日南よりの湿った空気が流入する状況であった。このため、9月16～17日にかけて関東各地で雷を伴う雨が降り、図-4に示すように、東京、神奈川、静岡の南岸部で特に大雨となった。磯子の降水量は134mmであり、図-5に示すように、9月16日の18時～20時にかけて特に強雨となった。地上風は16、17日ともほぼ南よりの風であり、上層風 (館野、700hPa (高度約3km)) も南よりの風であった。

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
Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+	イオンクロマトグラフ法
Ca^{2+} 、 Mg^{2+}	イオンクロマトグラフ法
SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^-	イオンクロマトグラフ法

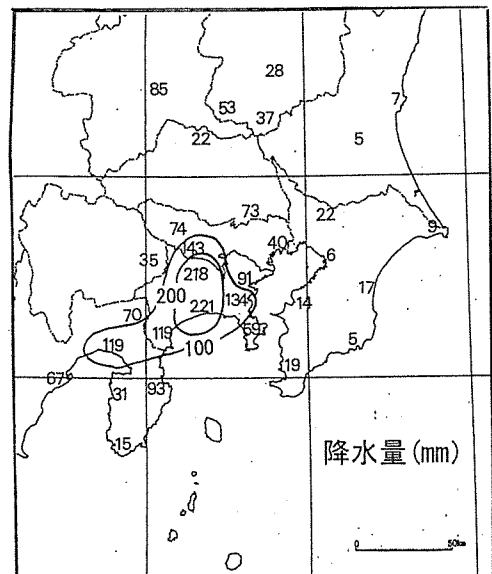


図-4 各地の降水量

図-5に9月16～17日における横浜市内の主な常時監視局の大気中のSO₂、NO_x濃度の経時変化を示した。SO₂濃度は16日16時～19時頃やや高くなり、市内で最高90ppb程度まで上昇した。その後一旦低下したが、翌17日の8時～10時頃急激に高くなり最高405ppbまで上昇した。NO_x濃度は16～17日を通じほぼ30ppb前後の濃度レベルで推移し、SO₂高濃度時に特に高くなるということはない。

SO₂濃度が急激に上昇した原因は、南よりの風であったこと、異臭が認められたこと、SO₂だけが高濃度になったことから、既に環境庁や日本原子力研究所が8月28日の例¹¹⁾、¹²⁾で指摘しているように、三宅島火山ガスによる影響と判断される。

3-1-2 降水成分の分析結果

(1) 成分濃度

表-2に2000年9月17日、11月17日の一降水全量の降水成分の分析結果を示した。比較のために過去10年間（1990年～1999年）の降水成分の平均濃度も併せて示した。単位は当量濃度（μeq/l）。ここで、nssとは海塩起源以外（非海塩起源：non sea salt）の成分を示す。非海塩起源成分の算出はNa⁺を基準とした。

9月17日の降水は降水量が134mmと非常に多かった。通常、降水量が多くなるとpHは高くなる¹³⁾が、この降水のpHは3.98と非常に低く特異的であった。また、成分濃度も降水量が多くなると非常に低くなるが、この降水はNO₃⁻、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等は非常に低かったが、nssCl⁻、nssSO₄²⁻だけは高いという特徴があり、10年平均と比べそれぞれ7倍、1.8倍高かった。

表-2 各成分の濃度

単位：μeq/l

項目	9/17降水	11/17降水	10年平均		
	(A)	(B)	(C)	A/C	B/C
降水量 (mm)	134	17	31	4.3	0.5
pH	3.98	3.72	4.70	—	—
nssSO ₄ ²⁻	59.1	148.2	32.2	1.8	4.6
seaSO ₄ ²⁻	1.7	3.3	3.4	0.5	1.0
NO ₃ ⁻	2.1	20.8	19.2	0.1	1.1
nssCl ⁻	74.2	130.4	10.6	7.0	12.3
seaCl ⁻	15.9	31.6	33.8	0.5	0.9
NH ₄ ⁺	5.0	52.8	31.7	0.2	1.7
Na ⁺	14.3	27.0	28.9	0.5	0.9
K ⁺	0.0	1.3	1.0	0.0	1.3
Ca ²⁺	0.0	22.5	14.1	0.0	1.6
Mg ²⁺	0.0	9.2	8.6	0.0	1.1
nssSO ₄ ²⁻ /NO ₃ ⁻	28	7.1	1.7	—	—
nssCl ⁻ /NO ₃ ⁻	35	6.3	0.6	—	—

注) 10年平均の降水量は全降水量/全試料数の値。nssは非海塩起源、seaは海塩起源。

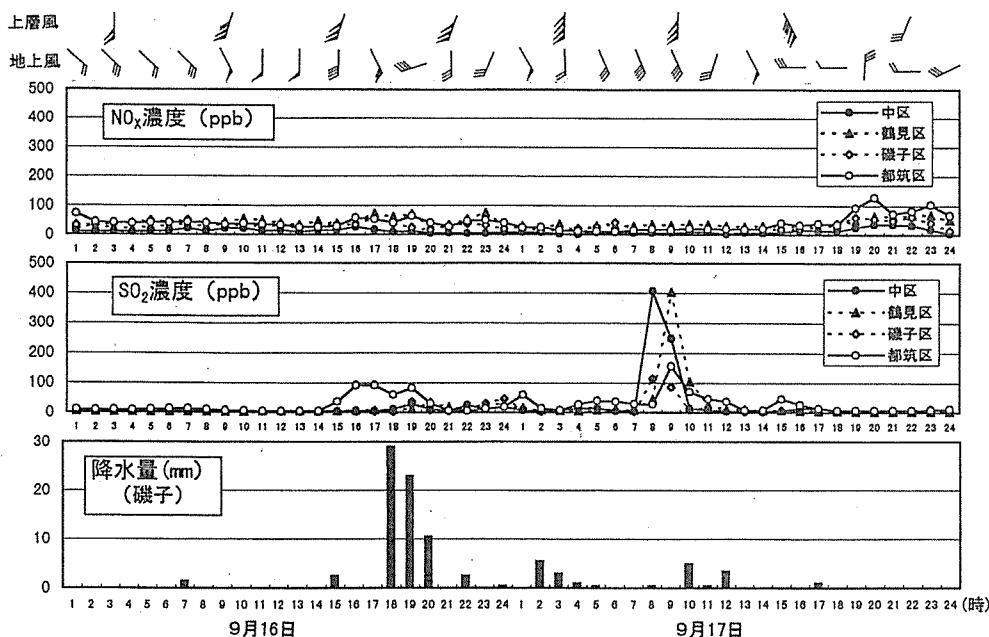


図-5 SO₂、NO_x濃度、降水量の変化

(地上風は横浜地方気象台、上層風は館野高層気象台 (700hpa)、┌は5m/s、└は1m/s)

(2) イオンバランス

図-6に9月17日の降水の降水成分を陰イオン、陽イオンとに分けて示した。陰イオンは陽イオンよりやや多めであったが、ほぼイオンバランスはとれていた。陰、陽イオン別に成分をみていくと、陰イオンの大半は nssCl^- と nssSO_4^{2-} であり、陽イオンの大半は H^+ であった。これより、この降水のイオン成分の大半は $\text{H}^+\text{-Cl}^-$ 、 $\text{H}^+\text{-SO}_4^{2-}$ として構成されていることがわかった。酸性雨の観測を1984年より実施しているが、この組成は前例のないものであった。

(3) nssS/N 比、 nssCl/N 比

酸性雨の主な原因成分は nssSO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 nssCl^- であるが、このうち、 NO_3^- は都市部ではかなり高濃度となり、かつ、火山放出物にはほとんど含まれていない特徴をもつ (nssSO_4^{2-} 、 nssCl^- は SO_2 ガス、 HCl ガスとしてかなり放出されている)。ここではこれに着目し、 NO_3^- を分母にとり $\text{nssSO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比 (以下、 nssS/N 比)、 $\text{nssCl}^-/\text{NO}_3^-$ 比 (以下、 nssCl/N 比) を求め、9月17日の降水と10年平均のこれらの比を比べた。

表-2に示すように、9月17日の降水の nssS/N 比、 nssCl/N 比はそれぞれ28、35であった。一方、10年平均の nssS/N 比、 nssCl/N 比はそれぞれ1.7、0.6であり、9月17日の降水は10年平均に比べこれらの比が著しく大きかった。このことは、9月17日の降水が通常の都市部の降水組成とは著しく異なっていることを示しており、すなわち、9月17日の降水が都市部以外からの nssSO_4^{2-} 、 nssCl^- の発生源の影響を強く受けていたことを示している。

3-1-3 降水の汚染の原因

以上、9月17日の降水は nssSO_4^{2-} 、 nssCl^- で非常に汚染され強い酸性雨となっていることがわかった。この原因は主に、①終日南よりの風が吹き、三宅島火山ガスによる非常に高濃度の SO_2 ガスが横浜に到達していたこと、②降水組成からみて都市部以外の nssSO_4^{2-} 、 nssCl^- の発生源の影響を強く受けていたと考えられること、③測定地点の風上には、 nssSO_4^{2-} (SO_2 ガス)、 nssCl^- (HCl ガス) の人為的な大規模な発生源がないこと、④三宅島火山灰から水溶性の SO_4^{2-} の他、 Cl^- が同等量検出されており^{14)・15)}、三宅島火山から SO_2 ガスと同時に、 HCl ガスも大量に放出されていたと考えられることから、三宅島火山ガスの影響といえる。

なお、9月17日の降水の大半は SO_2 濃度が最高で90ppb時の際の降水であり、必ずしも最高濃度(405ppb)時の影響を強く受けていなかった(図-5)。最高濃度時の際の降水はわずか5mmであった。仮に最高濃度時の降水だけを分割して採取していれば、桜島の例(pH2.45)に匹敵する極めて強い酸性雨となっていた可能性がある。

3-2 11月17日の降水

3-2-1 気象及び大気汚染の状況

図-7に11月17日の地上天気図¹⁰⁾を示す。11月17日は東海沖に前線があり、前線上を低気圧が東進してきたため、関東各地で雨が降った。磯子の降水量は17mmであり、図-8に示すように、17日の4時~14時頃にかけて降った。

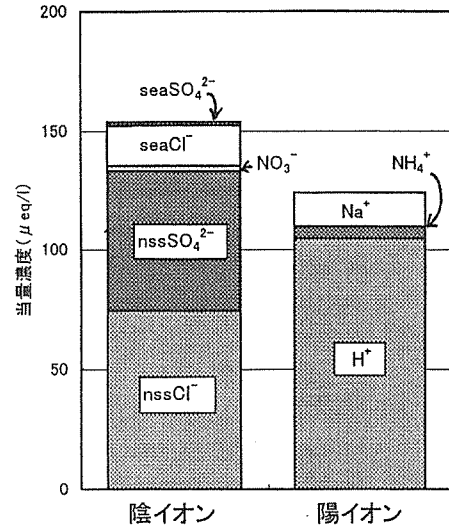


図-6 陰イオン、陽イオン別濃度
(9月17日降水)

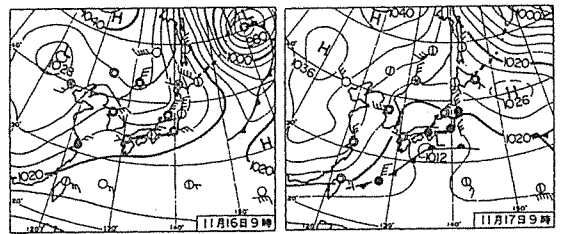


図-7 地上天気図
(日本気象協会発行“気象”NO.525より)

地上風は太平洋岸では北よりの風であり、大島でも北よりの風が吹いていた。一方、前線の南側では南よりの風が吹いており、八丈島では17日の7時~14時頃まで南~西南西の風であった。

図-9に11月17日9時における八丈島、館野(茨城県)の気温、相対湿度、風向風速の鉛直分布⁹⁾を示した。八丈島では地上からおよそ1.5kmぐらいまでは暖かい湿った南風が吹いており、その上層を南西風が吹いていた。館野では地上からおよそ1kmぐらいまでは北風が吹いており、その上層をおよそ2kmぐらいまでは暖かい湿った南よりの風が吹いており、さらにその上層を南西風が吹いていた。

図-8に11月16~17日における横浜市内の主な常時監視局の大気中の SO_2 、 NO_x 濃度の経時変化を示した。 SO_2 濃度は11月16~17日を通じ5ppb程度と低濃度で推移し、先の9月16、17日時のように非常に高濃度となるようなことはなかった。 NO_x 濃度は11月16日~17日午前まで50ppb前後の濃度レベルで推移し、17日午後から100ppb程度とやや高めとなった。

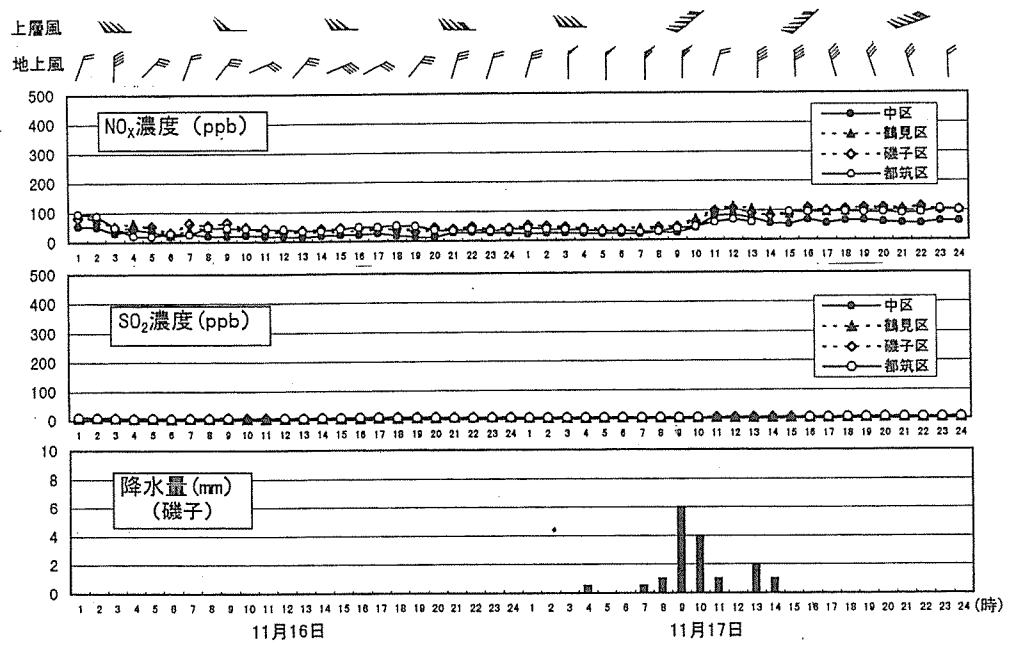


図-8 SO₂, NO_x濃度, 降水量の変化

(地上風は横浜地方気象台, 上層風は館野高層気象台 (700hpa), 〔は5m/s, 〔は1m/s)

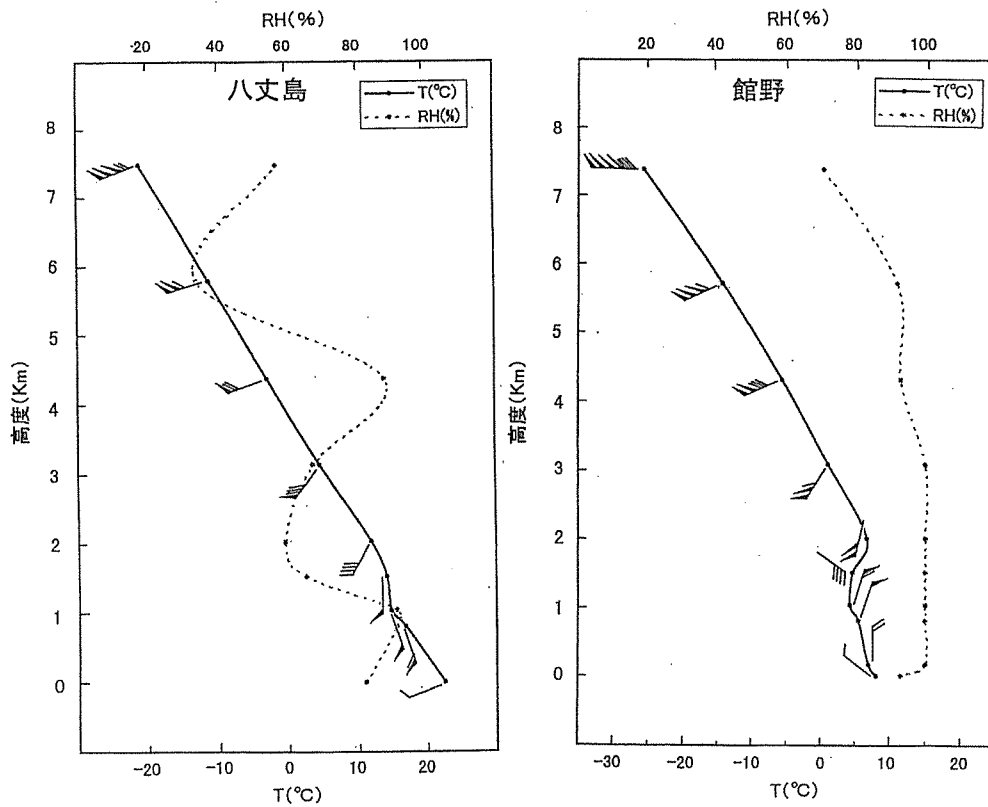


図-9 八丈島, 館野の気温, 相対湿度, 風向風速の鉛直分布

(Tは気温, RHは相対湿度, 〔は10m/s, 〔は2m/s)

3-2-2 降水成分の分析結果

(1) 成分濃度

表-2に示すように、11月17日の降水のpHは3.72と非常に低かった。成分濃度は $seaSO_4^{2-}$ 、 NO_3^- 、 $seaCl^-$ 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} は10年平均とほぼ同程度であったが、 $nssCl^-$ 、 $nssSO_4^{2-}$ だけは高く、10年平均と比べそれぞれ約12倍、約5倍と高かった。 $nssCl^-$ 、 $nssSO_4^{2-}$ だけが低い傾向は9月17日降水と共通していた。

$nssS/N$ 比、 $nssCl/N$ 比は、それぞれ7.1、6.3であり、9月17日降水と同様、10年平均に比べ非常に大きくなっていった。

(2) イオンバランス

図-10に11月17日降水の降水成分を陰イオン、陽イオンに分けて示した。陰イオンが陽イオンよりやや多めであったが、ほぼイオンバランスはとれていた。陰、陽イオンについてみていくと、陰イオンの大半は $nssCl^-$ 、 $nssSO_4^{2-}$ であり、陽イオンの大半は H^+ が占めた。9月17日降水に比べると NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 等がやや多めであったが、その組成は9月17日降水に非常によく類似していた。

(3) 降水過程による $nssS/N$ 比、 $nssCl/N$ 比の変化

11月17日降水の降水量は17mmであったが、この降水については降り始めから9mmまで1mm毎の分画調査も行っている。この結果を図-11に示す。この降水は降水過程を通じpHが低く、特に2mm目はpH3.20と非常に低かった。この値は、初期1mm、一降水全量、降水過程を含めこれまで横浜で記録した降水の最低pHであった。

$nssS/N$ 比、 $nssCl/N$ 比はともに降り始めの初期1mm目は小さく、10年平均の組成比に近い値であったが、降り進むにつれ非常に大きくなり、6mm目では先の三宅島火山ガスの影響を強く受けたと考えられる9月17日降水の組成比に近い値となった。

3-2-3 降水の汚染の原因

11月17日の横浜における大気中の SO_2 濃度は通常濃度レベルにあり、地上で見える限り三宅島の火山ガスの影響はみられなかった。しかし、降水成分は、降り始めは通常の都市部の降水組成に近かったが、降り進むにつれ、明らかに三宅島の火山ガスの影響を受けたと考えられる降水組成となった。この原因については以下のように推定される。

図-12に地上天気図(図-7)、八丈島、館野の気象の鉛直分布(図-9)を基に、11月17日の関東沿岸地域における前線の模式図を示した。図-12に示すように、前線の北側では北よりの風が吹いており、都市部の汚染空気が輸送され前線付近に生じた雲の雲底部に取り込まれた。一方、前線の南側では南よりの風が吹いており、三宅島火山ガスを含む大気が輸送され、前線付近の雲に取り込まれた。そして、これらは雨とともに地上に落下したが、降り始めは雲底部に取り込まれた都市部由来の汚染物質の影響が強く、降り進むにつれ三宅島火山ガスの影響が強くなっていったものと推定される。このように、地上では火山ガスの影響がみられなくても、上層の雲に火山ガスが取り込まれて降水に影響を及ぼす場合があるので注意する必要がある。

なお、11月17日降水の汚染機構については、さらに詳細な気象データ、衛星画像、常時監視データ等をそろえ、さらに検討していく予定である。

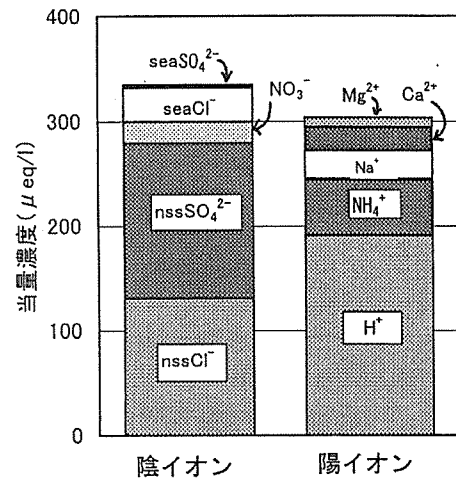


図-10 陰イオン、陽イオン別濃度
(11月17日降水)

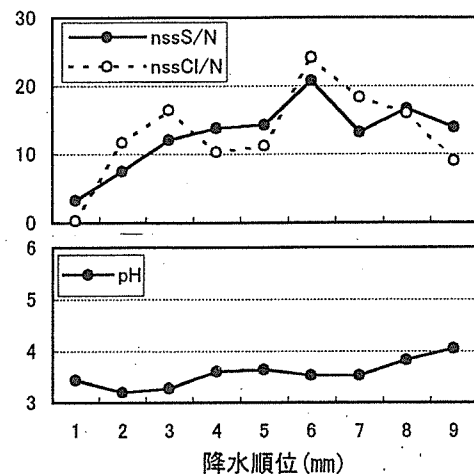


図-11 降水過程によるpH、 $nssS/N$ 、 $nssCl/N$ の変化
(11月17日降水)

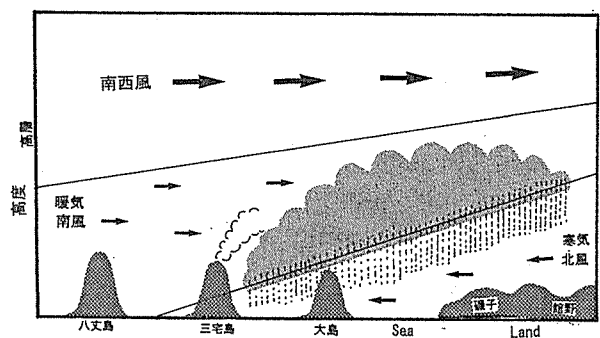


図-12 11月17日における前線の模式図

3-3 9月以降の状況

2000年1~12月の間の降水試料は、9月17日、11月17日の降水を含め70試料であった。図-13にこれらの降水毎のpH, $nssS/N$ 比, $nssCl/N$ 比の変化を示した。また、表-3に三宅島火山ガスの放出量が急激に増大した9月を境に、1年間を9月以前(1~8月)と9月以降(9~12月)とに分け、pH, $nssS/N$ 比, $nssCl/N$ 比及び H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 沈着量の期間平均値を算出しこれを示した。

(1) pH

図-13にみられるように、pHは初期1mm、一降水全量とも、三宅島火山ガスの放出量(図-1)が急激に増大した9月頃から、pH4以下の低pH降水が頻繁に出現する状況であった。特に、10月2日の初期1mm降水はpH3.24となり、これまでの観測以来、初期1mmとしての最低pHを記録した。図には降水量で重みづけした2ヶ月平均のpHも示したが、初期1mm、一降水全量とも、9月以降明らかに低下傾向を示している。

また、これを期間平均値でみると(表-3)、9月以前は初期1mmは4.45、一降水全量は4.82、9月以降は初期1mmは3.92、一降水全量は4.21であり、9月以降は9月以前に比べ、初期1mmが0.53、一降水全量が0.61も低下していた。

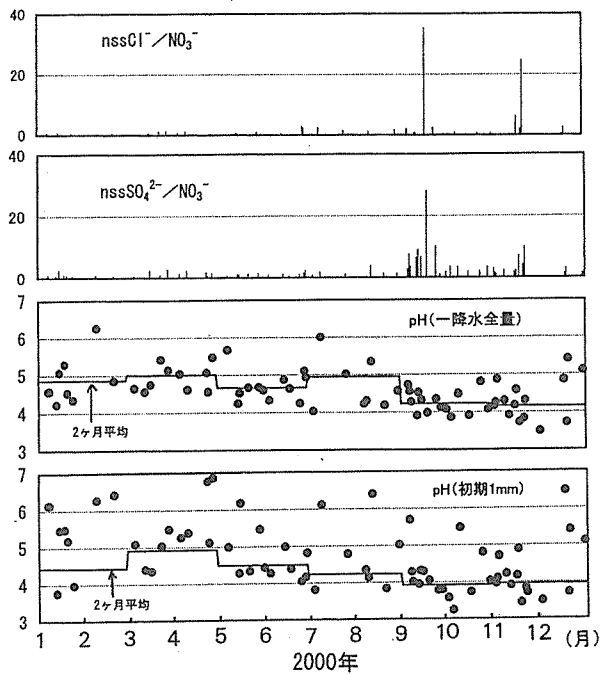


図-13 2000年1月~12月の間のpH, $nssS/N$, $nssCl/N$ の変化

(2) $nssS/N$ 比, $nssCl/N$ 比

図-13にみられるように、 $nssS/N$ 比は1月~8月の間はほとんどが2未満で過去10年平均(1.7)に近い値で推移していたが、9月以降は $nssS/N$ 比の大きい降水が頻繁に出現する状況であった。 $nssCl/N$ 比も $nssS/N$ 比に比べると頻度はかなり少ないが、9月以降、 $nssCl/N$ 比の大きい降水が出現している。

また、期間平均値でみると(表-3)、9月以前は $nssS/N$ 比は1.3、 $nssCl/N$ 比は0.6、9月以降は $nssS/N$ 比は4.6、 $nssCl/N$ 比は2.8であり、9月以降は9月以前に比べ $nssS/N$ 比が3.5倍、 $nssCl/N$ 比が4.7倍も大きくなっていった。

(3) H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 沈着量

図-14に2000年の H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 沈着量の経月変化を示した。比較のため、過去10年平均(1990年~1999年)のこれらの沈着量の経月変化も併せて示した。沈着量は成分濃度と降水量の積で算出した。単位は $meq/m^2/月$ である。

図-14にみられるように、2000年の H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ の沈着量はともに9月以降、急激に増大した。これを期間平均(表-3)でみると、9月以前は H^+ は1.9、 $nssSO_4^{2-}$ は4.4、 $nssCl^-$ は1.9、9月以降は H^+ は9.8、 $nssSO_4^{2-}$ は9.4、 $nssCl^-$ は5.8であり、9月以降は9月以前に比べ、 H^+ が5.2倍、 $nssSO_4^{2-}$ が2.1倍、 $nssCl^-$ が3.1倍も多くなっていった。なお、過去10年平均ではこのような傾向はみられていない。

以上のように、9月以降、急激なpHの低下、 $nssS/N$, $nssCl/N$ 比の増大、 H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 沈着量の増大がみられており、横浜の降水は9月以降、三宅島火山ガスの影響を強く受けていたものと考えられた。

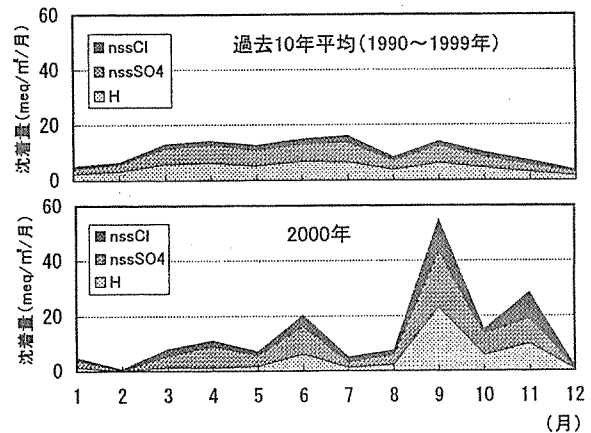


図-14 H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 沈着量の経月変化

表-3 2000年9月以前, 以降の期間平均値

沈着量単位: ($meq/m^2/月$)

	pH		組成比		沈着量		
	初期1mm	一降水全量	$nssS/N$	$nssCl/N$	H^+	$nssSO_4^{2-}$	$nssCl^-$
9月以前(1~8月)	4.45	4.82	1.3	0.6	1.9	4.4	1.9
9月以降(9~12月)	3.92	4.21	4.6	2.8	9.8	9.4	5.8

なお、測定地点（磯子）は、秋季からは南風が少なく三宅島の風上に当たる北風が卓越するが、それにもかかわらず、火山ガスの影響がかなり強かったのは、先の11月17日降水のような例がかなりあったからと考えられる。

3-4 年平均pH, 年間沈着量

表-4に2000年及び過去10年平均（1990年～1999年）の平均pH, 各成分の年間沈着量を示した。また、図-15に1990～2000年の間のpHの経年変化、図-16に1990～2000年の間の H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ の年間沈着量の経年変化を示した。

(1) 年平均pH

2000年の年平均pHは一降水全量が4.47, 初期1mmが4.16であった。この値はこれまでの観測以来、一降水全量が年平均としての最低値, 初期1mmが2番目に低い値であった。また、図-15にみられるように、経年的にはここ数年間、pHは一降水全量, 初期1mmともやや上昇傾向であったが、2000年になり急激に低下した。また、これを10年平均を比べると（表-4）、2000年は10年平均より一降水全量が0.23, 初期1mm（表には示してない）が0.16低かった。

(2) H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ の年間沈着量

図-16にみられるように、 H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ の年間沈着量はともに2000年になりかなり増加していた。また、2000年と10年平均を比べると（表-4）、2000年は10年平均より、 H^+ が1.6倍、 $nssSO_4^{2-}$ が1.3倍、 $nssCl^-$ が2.1倍も多くなっていた。なお、 NO_3^- , NH_4^+ 等他の成分は10年平均とほとんど変わらなかった。

以上、2000年の年平均pHはかなり低く、2000年の H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ の年間沈着量はかなり多くなっていた。この主な原因は三宅島火山ガスの影響と考えられるが、9月以降の短期間で、しかも三宅島の風上に当たる北よりの風が卓越する時期に、年平均値にかなり影響を与えていたことから、現在（2001年2月5日）も大量に放出し続けている三宅島火山ガスが、南よりの風が卓越する春、夏まで続くならば、かなり影響が大きくなるものと考えられるので、今後、一層注意深く監視していく必要がある。

4. まとめ

2000年9月頃より、三宅島火山ガス放出量が急激に増大し、酸性雨の面からもその影響が懸念された。そこで、横浜市磯子で観測している酸性雨データ（1984～2000年）及び、気象、 SO_2 , NO_2 等の常時監視データ等を用いて火山ガスの影響を調べた。その結果、以下のことがわかった。

(1) 2000年9月16～17日は終日南風が吹き、三宅島火山ガスの影響により横浜市内の SO_2 濃度は最高405ppbと非常に高濃度となった。この際の降水は、pHが非常に低く、 $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 濃度が高く、そのイオン組成は主に H^+Cl^- , $H^+SO_4^{2-}$ で構成されており、これまでに前例のない極めて特異な降水であった。

表-4 各成分の年間沈着量

単位: meq/m²/年

項目	2000年 (A)	10年平均 (B)	A/B
降水量 (mm)	1635	1704	1.0
pH	4.47	4.70	—
H^+	54.6	33.7	1.6
$nssSO_4^{2-}$	72.7	54.9	1.3
$seaSO_4^{2-}$	6.2	5.7	1.1
NO_3^-	34.9	32.7	1.1
$nssCl^-$	38.5	18.0	2.1
$seaCl^-$	60.4	57.6	1.0
NH_4^+	59.5	54.1	1.1
Na^+	51.5	49.3	1.0
K^+	1.7	1.8	0.9
Ca^{2+}	16.7	24.0	0.7
Mg^{2+}	11.9	14.7	0.8

注) nssは非海塩起源, seaは海塩起源。

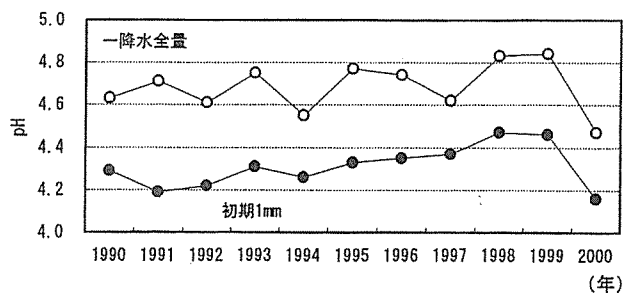


図-15 pHの経年変化

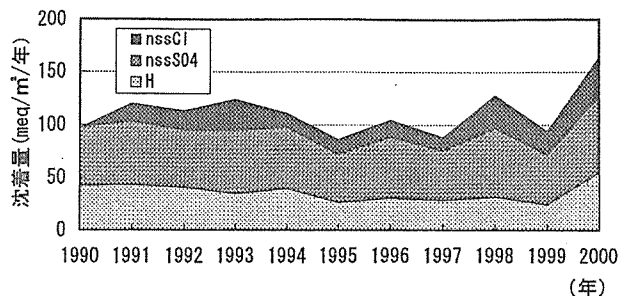


図-16 H^+ , $nssSO_4^{2-}$, $nssCl^-$ 年間沈着量の経年変化

(2) この降水は火山放出物に多く含まれている $_{nss}SO_4^{2-}$, $_{nss}Cl^-$ が高いこと、また、風向、成分組成比、 SO_2 , NO_x 濃度の挙動等からみて、三宅島火山ガスの影響を強く受けた降水であることが判明した。

(3) 2000年11月17日の横浜は、地上風が北よりであり SO_2 濃度は低かったが、その際の降水はpHが非常に低く、 $_{nss}SO_4^{2-}$, $_{nss}Cl^-$ が高く、その組成は9月16~17日の降水に非常に類似していた。

(4) この原因は降水の分画調査、八丈島、館野の高層気象の解析等を行った結果、北風の上層を南風が吹いており、この南風により三宅島火山ガスが関東まで運ばれ雲や雨に取り込まれたものと考えられた。

(5) 2000年1年間を9月以前(1~8月)と三宅島火山ガス放出量が急激に増大した9月以降(9~12月)とに分け期間平均値を比較したところ、横浜の降水のpHは9月以前が4.82に対し、9月以降は4.21と急激に低下していた。

(6) また、 $_{nss}SO_4^{2-}$, $_{nss}Cl^-$ 沈着量も9月以前がそれぞれ4.4, 1.9 (meq/m²/月)に対し、9月以降はそれぞれ9.4, 5.8 (meq/m²/月)と急激に増加していた。

(7) 2000年の年平均pHは一降水全量が4.47、初期1mmが4.16であり、これまでの観測以来、一降水全量は最低値、初期1mmは2番目に低い値であった。また、これを過去10年平均(1990年~1999年)と比べると、一降水全量は0.23、初期1mmは0.16低くなっていた。

(8) 2000年の $_{nss}Cl^-$, H^+ , $_{nss}SO_4^{2-}$ の年間沈着量 (meq/m²/年)は、それぞれ38.3, 54.2, 72.0であり、過去10年平均と比べ、2000年は $_{nss}Cl^-$ が約2.1倍、 H^+ が約1.6倍、 $_{nss}SO_4^{2-}$ が約1.3倍多くなっていた。

以上、横浜の降水は9月以降三宅島火山ガスの影響を強く受けていたことがわかった。2001年2月5日現在、三宅島火山ガスは大量に放出され続けており、今後も注意深く監視していくことが必要であるが、特に、南風が卓越する春季以降は一層の注意が必要である。

文 献

- 1) 環境庁大気保全局大気規制課：関東地方における二酸化硫黄濃度の上昇について(平成12年8月28日)。
- 2) 環境庁大気保全局企画課：二酸化硫黄濃度による健康影響について(平成12年8月30日)。
- 3) 横浜市環境保全局：三宅島の噴煙が原因と思われる二酸化硫黄の高濃度の発生について(平成12年9月18日)。
- 4) 日本気象協会：気象, No524号(平成12年12月15日)。
- 5) 気象庁地震火山部・三宅島測候所：火山観測情報第69号(平成13年2月5日)。
- 6) 宝来俊一, 大津陸雄, 柳川民夫：鹿児島市周辺に降ったpH2.5の特異的酸性雨について, 52-58, 鹿児島県環境センター所報第4号(1988)。
- 7) 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)。
- 8) 気象庁：気象庁月報, 3巻9号(平成12年9月)。
- 9) 気象庁：気象庁月報, 3巻11号(平成12年11月)。
- 10) 横浜市環境保全局環境監視センター資料速報値
- 11) 日本気象協会：気象, No523号(平成12年11月15日)。
- 12) 日本原子力研究所：関東地方の異臭騒ぎと三宅島噴火との関連を数値シミュレーションにより解明—緊急時環境放射能予測システムSPEEDI(原研版)の新たな利用—(平成12年9月7日)。
- 13) 横浜市環境科学研究所：酸性雨に関する調査研究報告書, 63-66(1993年3月)。
- 14) 気象庁：三宅島の火山活動について, 資料4, 火山灰の水溶性付着成分,(平成12年10月6日)。
- 15) 気象庁：三宅島活動に関する火山噴火予知連絡会統一見解, 資料7, 三宅島2000年噴火の推移,(平成12年1月1日)。
- 16) 日本気象協会：気象, No525号(平成13年1月15日)。

横浜市水域における油流出事故について

二宮勝幸, 森本敏昭 (横浜市環境科学研究所)

白柳康夫 (横浜市立大学学術情報センター)

Characteristics and analytical methods of spilled oil in Yokohama City

Katsuyuki Ninomiya, Tishiaki Morimoto (Yokohama Environmental Research Institute)

Yasuo Shirayangi (Yokohama City University Library & Information Center)

要旨

横浜市内で発生した油流出事故のうち代表的・特徴的な 7 つの事故について油の種類の特異性のため分析事例を紹介し、また、油の同定のために行った検討実験の結果についても示した。

灯油や軽油などの燃料油については、GC/MS を用いて直鎖飽和炭化水素などの炭化水素成分を分析することによって、それぞれの石油製品を推定できた。ただし、低沸点成分は比較的速く揮散するため、流出油の成分組成が変化することなどを考慮して油の種類を同定する必要がある。このことは、逆に汚染源の絞り込みのための重要な情報となった。また、潤滑油については、GC/MS を用いた炭化水素成分の測定とともに、蛍光 X 線分析装置を用いた添加剤中の元素の測定が潤滑油の種類を特定する上で有用であった。廃潤滑油には鉄や銅などの金属磨耗粉が混入することから、それらの有無を調べることによって、潤滑油が使用前のものか使用後のものかを推定できた。さらに、動植物油の同定は、赤外線吸収スペクトルと核磁気共鳴装置を用いて行った。

キーワード: 流出油, 種類, GC/MS, 蛍光 X 線, IR, NMR

1. はじめに

現代社会では多種類の化学物質がさまざまな場所および用途で使われている。そうしたなかで、化学物質の取り扱い不注意や機械の操作ミスなどにより化学物質が水域に流出し、水質汚濁事故が発生している。水質汚濁事故は、日常的に排出される事業系・生活系からの負荷とは異なり、一時的・局所的ではあるが、汚染物質が高濃度にあるいはそのまま排出されたため、水生生物や農漁業関係などに対して悪影響や被害を与えている¹⁾。また、もし同じ水域で事故が繰り返されるならば、その水域の汚染レベルは高い状態で維持されてしまう。したがって、公共用水域の水質保全のためには、工場や事業場などの排水規制とともに、水質汚濁事故の対策を図っていくことも重要な課題である。

水質汚濁事故を分類すると、魚の浮上事故、着色水・濁水等の事故、および油の流出事故の 3 つに区分される²⁾。横浜市における 3 つの水質汚濁事故の過去 10 年間の年間平均発生件数はそれぞれ 15 件、40 件、23 件で、着色水等の事故が最も多く、次いで油の流出事故、魚の浮上事故の順となっている²⁾。これら水質汚濁事故の発生時には、環境保全局水質地盤課をはじめとした関係行政機関が原因究明等のために現地調査を行い、汚染源や汚染物質を特定できない場合あるいは汚染状況を把握する必要がある場合には、行政依頼として研究所に事故検体が搬入され、原因物質の同定や分析が行われる。

水質汚濁の事故時には、分析結果を早く知らせることに追われ、また定常的な業務ではないため、その時々の

対応で終始してしまいがちになる。しかし、今後の事故検体分析に迅速に対応するため、また事故発生防止対策に役立てるためには、それらの事故事例を整理しなるべく系統的にまとめておく必要がある。そのような観点から、魚の浮上事故と着色水等の事故については既にそれぞれ報告書³⁾と年報⁴⁾にまとめた。

魚の浮上事故については、報告書³⁾で指摘しているが、過去に発生した事故の原因としては、原因不明が最も多く、次いで酸欠、そしてシアンなどの毒物を含む工場排水およびアルカリ性のコンクリート排水などであった。しかし、近年に研究所に分析依頼される事故検体については、農薬が原因と推定される場合がやや多くなる傾向がある。これは、前処理方法の改良や GC/MS 等による微量な化学物質の測定技術の向上、有機汚濁の改善に伴う魚の生息数の回復などが関連しているものと考えられる。なお、毒物等による事故では、原因不明の場合が多くなるが、その理由の一つとして、毒物等が河川水で希釈された速やかに流れ去り、検出レベル以下の濃度まで低下してしまうことが挙げられる。研究所で分析した魚の死亡事故において、採取された河川水に毒物は認められなかったが、死亡魚の鰓を水で抽出した試料からシロアリ駆除剤のクロロピリフォスが検出される事例があった(未発表)。このように、河川水には既に毒物が残留していなくても、魚体などに毒物が付着あるいは吸着していれば、毒物の検出が可能となる場合がある。

また、着色水等の事故については、原因物質が無機物の場合が多く、蛍光 X 線分析装置および X 線回折装置等

で対応してきた。試料の元素組成に関しては蛍光X線分析装置を用いて、また試料の結晶構造に関してはX線回折装置を用いて測定し、それらの情報から未知試料の同定を行っている。年報⁴⁾には、着色水等の事故を中心とした代表的な分析事例についての成果を示した。

油の流出事故については、石油類に関連した事故が多い。近年における大規模な石油流出事故としては、1997年に発生した日本海におけるナホトカ号と東京湾におけるダイヤモンドグレース号の2度の石油タンカー事故が記憶に新しい。後者の事故については、横浜市でも対応しており、その原油流出事故時の環境調査結果を既に報告した⁵⁾。この調査は、原油による水域毎の水質汚染状況の推移などを把握することが目的であった。しかし、これまでの依頼内容の多くは水面上に浮遊した未知の油の同定である。他の自治体の研究機関でもほぼ同様であり、これまでに扱った油流出事故の分析事例や油に関する基本的特性について多くの報告がなされている^{6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)}。

そこで、本報告では、これまでに横浜市水域で発生した油流出事故のうち代表的・特徴的な分析事例を示すとともに、それらの事故時に流出油を同定するために検討した実験結果についても述べる。

2. 油流出事故発生件数の推移

本論に入る前に、油流出事故の発生件数の推移について調べた。東京湾内¹³⁾および横浜市水域²⁾で発生した油流出事故件数の経年変化を図1に示す。

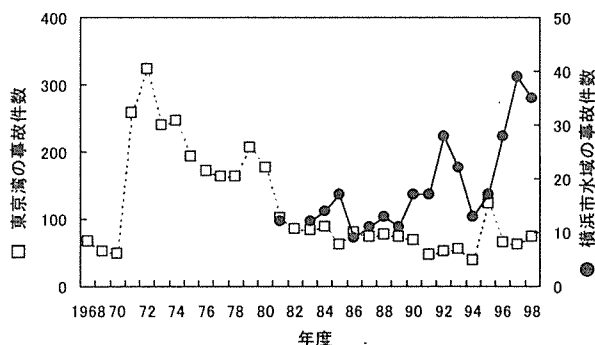


図1 東京湾内および横浜市水域における油事故件数の推移

まず、海上保安庁が所管している東京湾内の事故件数についてみると、1960年代に50件前後であったが、1971年度になると急激に増加して258件、そして1972年度には324件と最大となった。1970年に「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」いわゆる海洋汚染防止法が施行され¹³⁾、船舶などからの油の排出に対して監視・規制が強化されたために、事故件数が急増したと推察される。事故件数はその後減少し、1980年代の半ば以降は70件前後とほぼ横ばいで推移してきている。

次に、横浜市水域における事故件数は、1980年代には年間15件程度であったが、1990年代に入ると変動はあるものの増加傾向を示してきており、1997年度に39件、1998年度には35件の油流出事故があった。これは、1996年に水質汚濁防止法が改正され¹³⁾、油の流出事故時の対

応措置が義務付けられ監視・規制が強化されたこと、また先に述べたように1997年に石油タンカー事故が2度も発生したため油流出事故に対する市民の関心が高まったことなどが影響したためと考えられる。

なお、これらの事故件数は市民からの通報や行政機関の監視などによってカウントされたものであり、実際の事故件数はそれらよりも多いと思われる。

3. 方法

3-1 油の種類と成分組成および用途

油の種類や成分組成および用途について把握しておくことは、未知の油を同定・分析するための前処理法や使用機器などを決めるために、また発生源の絞り込みや着火・爆発の危険性等を予知するためにも重要である。油の種類とその主な用途を図2に示す¹⁾。

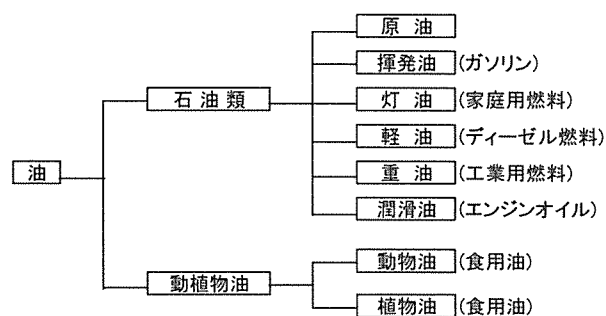


図2 油の種類と主な用途

油は石油類(鉱油)と動植物油(油脂)に分けられる。石油類については、原油から沸点の違いを利用して蒸留・精製され、沸点の低いものから順に、揮発油・灯油・軽油が留出し製品化される。重油は残油分と軽油を混合して作られ、残油分の割合が少ない順にA重油、B重油、C重油に分類される。残油分からは潤滑油が作られるが、合成油が潤滑油に使われる場合もある。これらの石油製品はいずれもある沸点範囲をもつ直鎖飽和炭化水素(一般式は C_nH_{2n+2})、分岐型および環状の炭化水素などの混合物である。また、燃料油や潤滑油には劣化防止や性能向上のために各種添加剤が加えられている¹⁴⁾。後述するが、潤滑油については添加剤中の元素が潤滑油の種類を判別するのに役立つ場合が多い。動植物油は、大豆油、ナタネ油、牛脂など、動植物油に含まれる脂肪酸グリセリドの総称で、食用油や洗剤の原料等に使用される。

用途をみると、ガソリンと軽油は自動車や船舶の燃料などに使用され、灯油は家庭燃料以外に溶剤としても使用されている。重油は工場・事業場などで多用されまた大型船舶の燃料などにも使用される。潤滑油は様々な内燃機関のエンジン油などに使用される。動植物油は食用などに利用されている。

3-2 分析方法

まず、石油類については、汚染指標として有用な直鎖飽和炭化水素(以降、炭素数がn個の直鎖飽和炭化水素を C_n とする。)等を調べるため、流出油をヘキサンに溶解し、その溶液の一定量をGC/MSを用いて測定した。なお、ガソリンに代表される揮発油については、ヘッド

スペース-GCあるいはGC/MSなどを用いて測定する。その結果については魚の報告書³⁾で既に報告したので、ここでは灯油以上の石油製品(主として、C9以上の成分を対象とする)の事故について述べる。

[GC/MS条件]

それぞれの事故時に適宜条件を設定し測定を行ってきたので、以下に代表的な2例を示す。

GC装置: HP5890 あるいは HP6890

カラム: DB5, 30m×0.25mm I.D., 膜厚 0.25 μm

イオン源温度: 300°C

温度プログラム: 90°C (2min) - 7°C/min - 290°C (15min)

あるいは

50°C (1min) - 14°C/min - 170°C

(0.1min) - 9°C/min - 230°C (0.1min) -

7°C/min - 300°C (24min)

キャリアーガス: He 2ml/min

MS装置: VG AutoSpec あるいは JEOL JMS-700

イオン化エネルギー: 70eV

イオン化電流: 200 μA あるいは 300 μA

次に、潤滑油については、添加剤に含有されている特徴的な元素の組成を把握することが潤滑油の同定に有効であることから、蛍光X線分析装置を用いて測定した。方法としては、試料を点滴濾紙に滴下し、ドライヤーで乾燥した後、蛍光X線分析を行った。

[蛍光X線分析条件]

装置: リガク System3270E

管球: Rh エンドウィンド型

電圧電流: 50KV-40mA

分光結晶及び検出器

F~Mg: TAP, F-PC

Al~Si: PET, F-PC

P~Cl: Ge, F-PC

K~Ca: LiF, F-PC

Ti~U: LiF, SC

最後に、動植物油については、赤外線吸収スペクトル(IR)および核磁気共鳴装置(NMR)を用いて測定した。前者は流出油をKBr板に直接塗布しIRで測定し、また、後者は四塩化炭素に溶解したのちNMRで測定した。

4. 各種石油製品のGC/MSおよび蛍光X線分析装置による検討

はじめに述べたように、事故時には流出油の同定のために各種確認試験を行ってきたので、それらの検討結果を示す。

4-1 各種石油製品中のCn成分

最初に、原油(ダイヤモンドグレース号積載)のトータルイオンクロマトグラム(TIC)を図3に示す。なお、図にはC25までしか示さなかったが、それ以上の成分も含まれている。この原油は比較的低沸点成分を多く含むと言われていたことから、原油の中でも低沸点成分の多いTICパターンに相当するものと思われる。

直鎖炭化水素のマススペクトルの一例として、C15のマススペクトルを図4に示す。最大ピークのm/zは57、

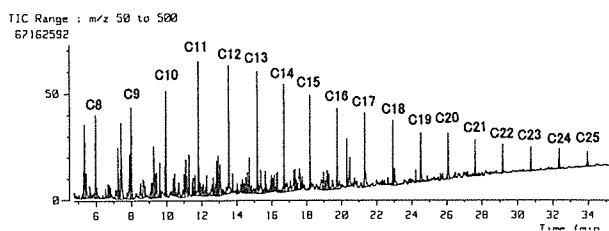


図3 原油(ダイヤモンドグレース号積載)のTIC

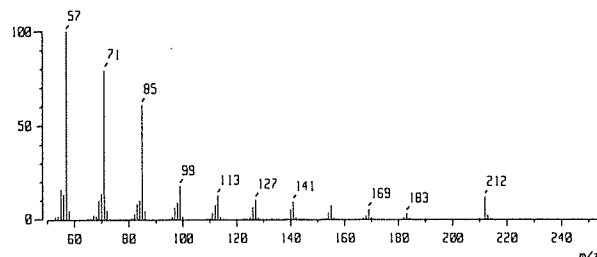


図4 C15のマススペクトル

次いで71, 85の順となっており、いずれも直鎖炭化水素のフラグメントイオンに由来する。m/z=212のピークはC15の分子イオン(C₁₅H₃₂=212)由来し、相対強度が10%程度となっている。他のCn成分もほぼ同様なマススペクトルを示す。これらフラグメントイオンのマスクロマトグラム(MC)は、石油製品に含有されるCn以外の成分からCn成分に由来するピークを強調して表現でき、油の同定に有用である⁵⁾。同様に、石油製品に含有しているアルキルベンゼン類や多環芳香族などに由来するフラグメントイオンのMCを用いることによって、それらの成分の有無などの情報が得られ、同じ石油製品のなかでの違いを把握するのに役立つ^{5,9,15)}。

次に、市販の灯油のTICを図5に示す。灯油のTICは、最大ピークのC11を中心にC9からC16までのCn成分に由来するピークと、それらピークの間に分岐型や環状の炭化水素成分などに由来するピークからなるパターンを示している。

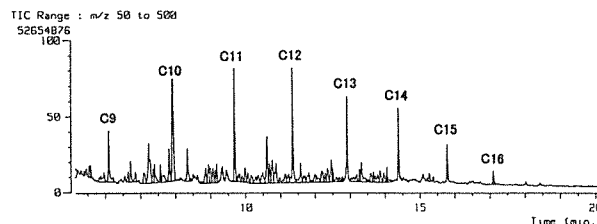


図5 市販の灯油のTIC

同様に各種石油製品について、TICを測定し、また、他の報告の測定例^{9,10,12)}も参考にして、それぞれの製品が含有するCn成分の範囲を模式図として作成した(図6)。石油製品の成分組成はメーカーによってあるいは原料の原油などによって多少異なると考えられるが、この図から石油製品の種類をほぼ特定できる。

4-2 Cn成分の経時変化

実際の油流出事故では、事故が発生してからある程度

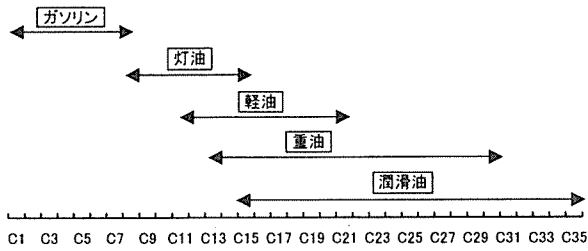


図6 各種石油製品中の含有Cn成分の範囲

の時間を経過して後、油が採取されることが多い。この場合、時間の経過とともに低沸点成分が高沸点成分に比べて速く蒸発し、成分組成が変化してくることから、事故油の種類を同定する上で誤った判断を下す可能性がある。そこで、各Cn成分量の時間変化について検討した。

Cn成分量の時間変化を調べるため、Cnの混合標準品を用いた実験を行った。実験方法は、複数の100mlビーカーにCnの混合標準を添加し、それらを20℃のドラフト内に放置した。そして、一定時間毎にビーカーを取り、一定量のn-ヘキサンを加え、その一部をGC/MSで測定した。各時間毎のm/z=85のMCを図7に示す。

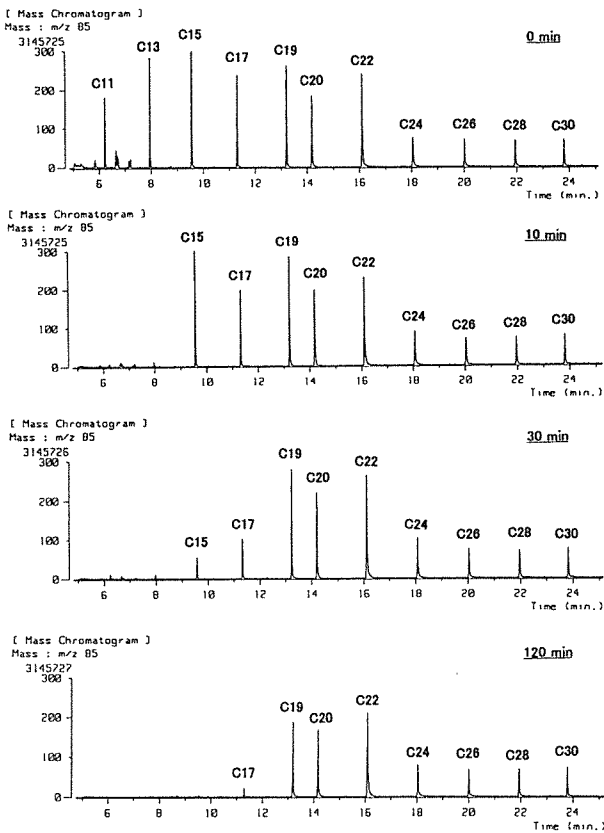


図7 Cn標準のMC(m/z=85)の経時変化

実験開始時(0min)のMCの各ピーク高と比較すると、10分後にC11とC13はほぼ消失し、30分後ではC15やC17も大きく減少した。120分後になると、C15やC17がほとんど消失するとともに、C19以上の成分もやや減少した。実験結果から、C17以下の成分が揮散しやすいこと、なかでもC13以下の成分は速やかに揮散することがわかった。

ただし、実際の事故において、浮遊油は風や気温などの環境因子の影響を受けるほか、微生物によって分解される^{16,17,18)}。さらに、流出油の採取日から分析までに要した時間や採取した油の保存状態などによって油の成分組成は変化していくので、それらのことを考慮して、油の種類を推定する必要がある。

4-3 潤滑油

近年、流出油の種類が潤滑油であると推察されるものが増える傾向が認められる。潤滑油は、炭化水素成分を主要成分とするほか、磨耗防止剤、清浄分散剤、および酸化防止剤などの各種添加剤が使用されている。それら添加剤に含有されている元素は潤滑油の種類を特定する上で重要な成分である¹⁴⁾。元素の分析方法としては、原子吸光分析法、ICP発光分析法および蛍光X線分析法などがあるが、なかでも蛍光X線分析法が多元素を迅速に測定できることから、油の流出事故の分析に有効である。この節では数種類の潤滑油について、炭化水素成分と添加剤中の元素をそれぞれGC/MSと蛍光X線分析装置を用いて検討した。また、一部の潤滑油については、使用後における組成変化も検討した。

4-3-1 GC/MS

4サイクル自動車エンジンの潤滑油の使用前後におけるTICとm/z=85のMCを図8および図9に示す。

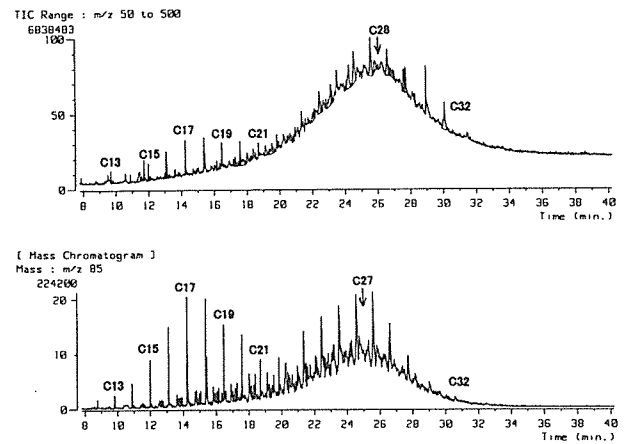


図8 使用前の4サイクル自動車エンジン潤滑油のTICとMC(m/z=85)

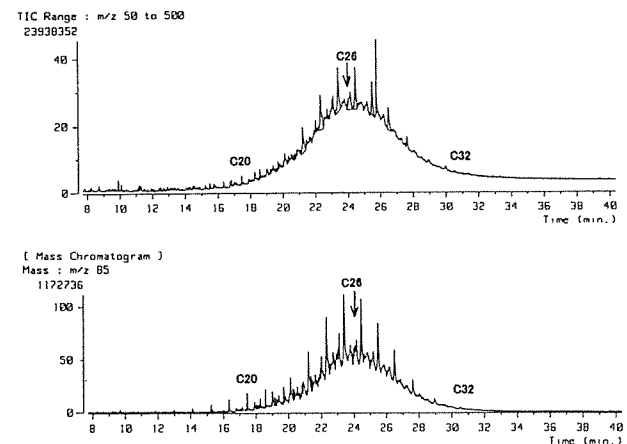


図9 使用後の4サイクル自動車エンジン潤滑油のTICとMC(m/z=85)

図8(a)から、使用前の潤滑油は C27 の保持時間を中心とした幅広いピークを示し、また、C17 を中心とする C13 から C21 までの Cn 成分に由来するピークも認められた。図8(b)のMCをみると、T I Cに比べて Cn 成分のピークがより明確に認められる。なお、C27 の保持時間前後に現れる鋭いピークは、物質検索で調べた結果、Cn 以外の成分に由来するものであった。したがって、4 サイクル自動車エンジンの潤滑油は、C27 の保持時間付近に現れる幅広いピークに由来する成分を主とし、C17 を中心に C13 から C21 までの範囲の Cn 成分なども含む油であった。

使用後の潤滑油 (図9) では、Cn 成分はほとんど無くなり、使用前に比べ 1~2 小さい C26 前後の幅広いピークだけが認められた。長期間の使用により、低沸点の Cn 成分は揮散・分解し、また幅広いピーク成分は分解し低分子化したためと考えられる。なお、ディーゼル自動車エンジンの潤滑油も、ほぼ同様な結果が得られた。

次に、真空ポンプの潤滑油の T I C と m/z=85 のMCを 図10に示す。真空ポンプの潤滑油は、C30 の保持時間付近を中心とした幅広いピークを示し、C13 から C21 までの Cn 成分由来のピークは認められなかった。したがって、真空ポンプの潤滑油は、自動車エンジンのそれよりも少し高沸点の炭化水素成分を主要成分とする油であった。

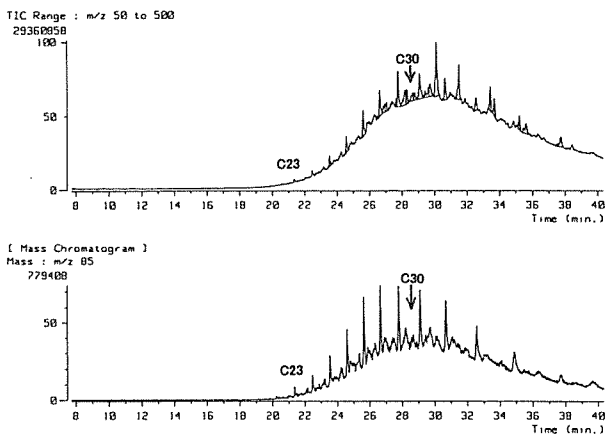


図10 使用前の真空ポンプ潤滑油のTICとMC(m/z=85)

これまでに事故原因油として確認されたことはないが、参考のために2サイクル自動車エンジンの潤滑油についても測定した。2種類の潤滑油のT I Cを 図11に示す。潤滑油Aと潤滑油Bとはやや異なるT I Cパターンを示した。潤滑油AはC11からC15までのCn成分を主要成分としたものであるが、潤滑油Bは潤滑油Aよりもやや低沸点のCn成分とC20~C23の保持時間付近の炭化水素成分の混合物であった。このように、同系統の潤滑油でも、それらの成分組成は製品によって少し異なることに留意して、油の同定を行う必要がある。

4-3-2 蛍光X線分析

使用前の4サイクル自動車エンジンの潤滑油の蛍光X線分析結果を 図12に示す。検出された元素は、重金属のZnのほか、S、P、Caなどであった。Zn、S、およびPの3つの元素は、それらの強度比から磨耗防止剤などとして使用されているジチオリン酸亜鉛系の化合物、そして、

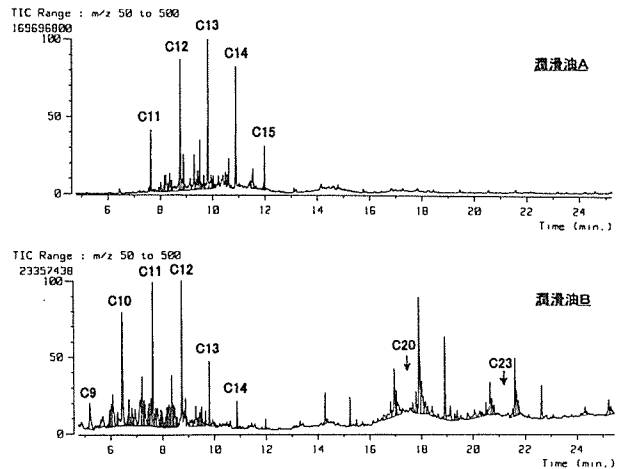


図11 2種類の2サイクル車エンジン潤滑油のTIC

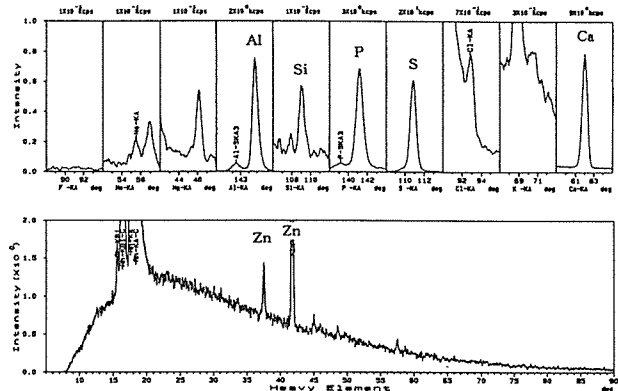


図12 使用前の4サイクル自動車エンジン潤滑油の蛍光X線分析結果

Caは清淨分散剤のカルシウム石鹸などにそれぞれ由来すると推察された。

次に、使用前および使用後の真空ポンプ用潤滑油の蛍光X線分析結果を 図13および 図14に示す。使用前の潤滑油から重金属は検出されなかったが、SおよびAlが検出された。これらはそれぞれ潤滑油添加剤に由来する元素と考えられる。一方、使用後の潤滑油からは、前記成分のほか微量の鉄が検出された。潤滑油を長期間使用すると、金属磨耗粉として鉄や銅などが生じ、潤滑油の劣化を判断する際の指標になるとされている^{14,19)}。したがって、検出された鉄は磨耗粉と推察される。なお、銅が検出されなかった理由として、分析に用いた潤滑油の劣化があまり進んでいなかったことなどが考えられる。このように、金属磨耗粉の存在の有無や含有比から、潤滑油が使用前あるいは使用後のものかなどについて推察することが可能である。

5. 分析事例

この節では、代表的・特徴的な7つの分析事例について述べる。

5-1 井戸への灯油混入

この事故は、井戸に油が混入した事故である。 図15

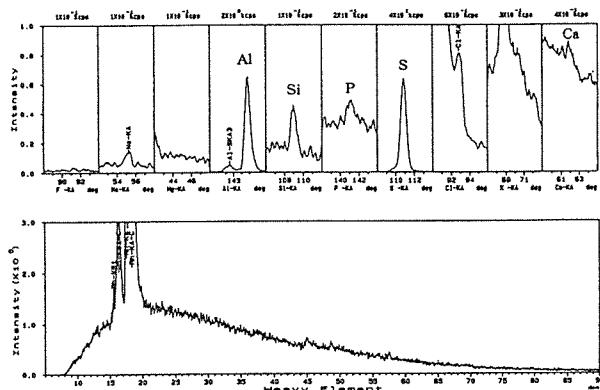


図13 使用前の真空ポンプ潤滑油の
蛍光X線分析結果

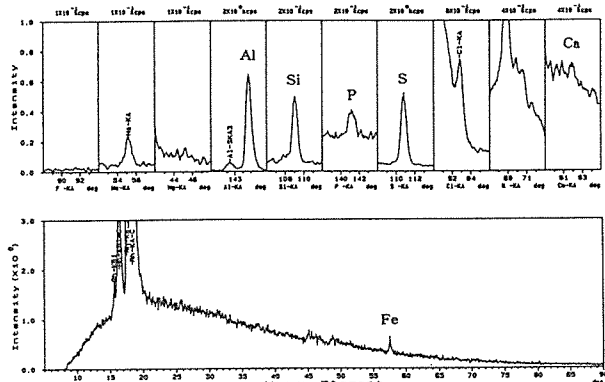


図14 使用後の真空ポンプ潤滑油の
蛍光X線分析結果

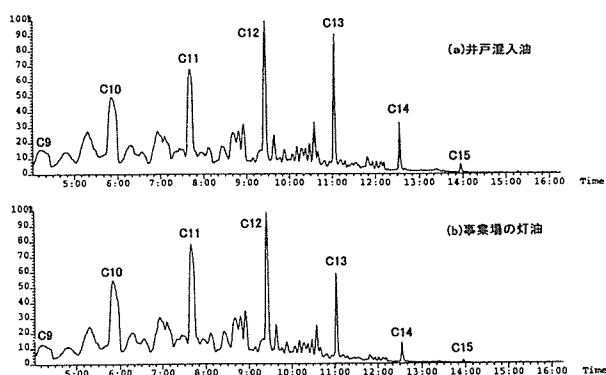


図15 井戸混入油と事業場の灯油のTIC

に(a)混入油のTICと(b)近くの事業場で使用されていた灯油のTICを示す。C13~C15のピークが灯油に比べて混入油のほうで少し高いが、両者のTICパターンはほぼ一致したことから、混入油は事業場の灯油であると推察された。高沸点成分の量が両者で異なるのは、灯油が流出してから一定時間経過する間に低沸点成分がより多く揮散し、相対的に混入油の高沸点成分が多くなったためと考えられる。

5-2 沿岸海域における浮遊油

この事故では、油が沿岸海域に浮遊しており、近くに

ある雨水管から流出してきたことから、汚染源追跡のための調査が行われた。図16に(a)海域の油、(b)海域の油の採取日と同じ日に採取された雨水管滞留水の油、(c)それから4日後にさらに上流のマンホールで採取された油のTICを示す。

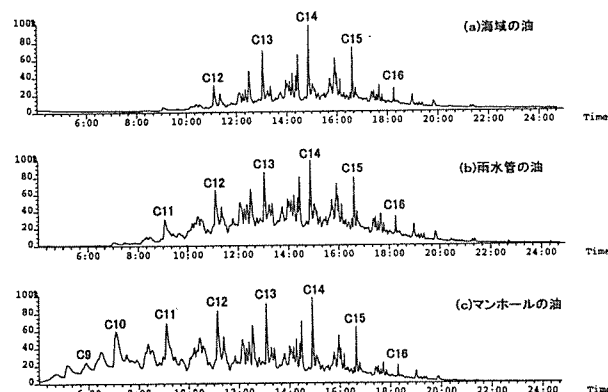


図16 沿岸海域の浮遊油事故における
3カ所の油のTIC

汚染源に最も近いと考えられるマンホールの油は灯油よりやや高沸点の成分から成っていた。雨水管滞留水の油はマンホールの油よりも高沸点成分が多くなり、海域の油はさらに高沸点成分側に偏っていた。Cn以外の炭化水素成分に由来するピークのパターンはいずれの油でもほぼ一致していることを考慮すると、油はマンホールから雨水管を経由して海域に流出したものと推察された。また、マンホールの油は流出後4日以上経過していることから、低沸点成分が揮散した炭化水素組成になったと考えられる。したがって、この流出油はC11付近の炭化水素成分を主成分とする灯油である可能性が高かった。

5-3 河川水面上の油膜

これは、河川水面上に浮かんでいた油膜の同定を依頼された事例である。図17に油膜のTICを示す。油膜はC17を中心にC13からC22までの範囲のCn成分を含有しており、やや黒色を呈していたことから、重油であると推察された。

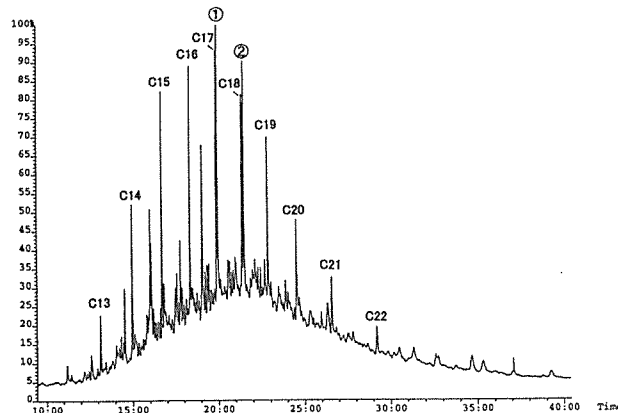


図17 河川水面上の油膜のTIC

一方、図のTICには、Cn成分以外にも比較的鋭いピークが認められ、それらのうちの①と②のピークはそれぞれプリスタン(2,6,10,14-tetramethyl-Pentadecane)とフィタン(2,6,10,14-tetramethyl-Hexadecane)に該当する。それらのマススペクトルと分子構造の炭素骨格を図18に示す。これら2物質はともに石油類に含まれる植物を起源とした特徴的な炭化水素成分である。しかし、次の分析事例などでも示すように、これまでに扱った流出油のほとんどは、これら2物質のピークがそれぞれC17やC18のピークよりも低かった。この事故は、油中のプリスタンとフィタンの濃度が特異的に高い事例であった。

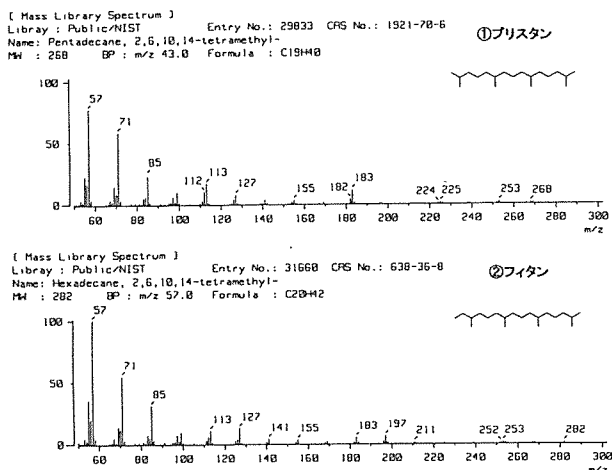


図18 プリスタンおよびフィタンのマススペクトルと分子構造

5-4 河川の浮遊油

河川に浮遊している油が発見され、それから3日後にもほぼ同じ地点で油が再度浮遊していた。この事故では、2つの油の同定およびそれらが同一のものであるかどうかの確認が依頼された。図19に(a)最初の発見時の油および(b)それから3日後の油のTICを示す。

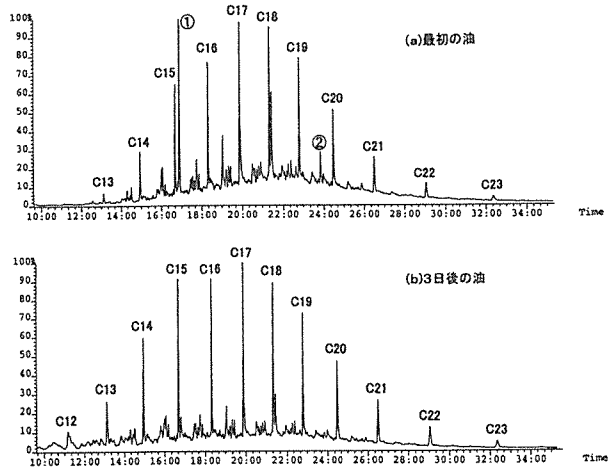


図19 河川の浮遊油およびそれから3日後に同じ河川で発見された浮遊油のTIC

最初の油(a)は、C17を中心にC13からC23までの範囲のCn成分を含有していることから、軽油あるいは重油と推察された。また、C18の保持時間の後にフィタンがC18の半分程度のピーク高で現われていた。さらに、比較的高いピークである①および②について物質検索をしたところ、それぞれジブチルヒドロキシルエン(BHT)およびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)に該当した。前者は酸化防止剤、後者は可塑剤などとして使用されているので^{14,20)}、それぞれ燃料添加剤およびプラスチック容器からの溶出成分と考えられた。

一方、3日後の油(b)は、C12からC23までの範囲のCn成分を含有しており、やはり軽油あるいは重油と推察された。しかし、3日後の油では、BHTやDEHPは認められず、また、フィタンのピーク高もC18の約1/5程度であること、さらに、Cn成分以外の炭化水素のパターンが最初の油とは異なることから、最初の油と3日後の油は異なるものであった。

図の(a)と(b)を比較すると、3日後の油は最初の油よりも低い沸点成分を含有し、かつCn成分以外の残留分などに由来する幅広のピークの高さが低かった。したがって、3日後の油は軽油、そして最初の油はA重油である可能性が高かった。

5-5 水路暗渠の黒色油

水路暗渠で比較的粘性の高い黒色の油が流れているのが発見された。黒色油のTIC(図20)は、C23の保持時間付近を最大とする幅広のピークのみを示し、Cn成分は認められなかった。4-3-1で示した使用後の潤滑油の場合(C26)よりも少し早い保持時間に幅広のピークが認められるが、油の性状も考慮すると、使用後の潤滑油である可能性が高かった。

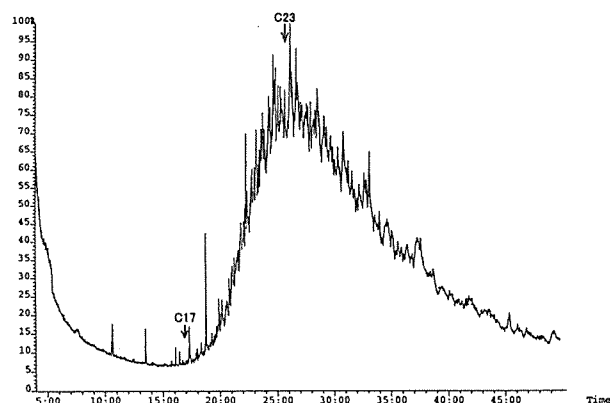


図20 水路暗渠の黒色油のTIC

そこで、黒色油の蛍光X線分析を行った結果(図21)、S, P, Al, Ca, Siなどの元素とともに、重金属の鉄と銅も検出された。後2者は使用後の潤滑油などに認められる磨耗粉であり、それら以外は潤滑油添加剤に由来する元素であった^{14,19)}。自動車エンジンの潤滑油添加剤に多く使用されている亜鉛化合物が認められないこと、また、事故現場周辺には工場が多数存在することから、黒色油は工場設置の機械などで使用された後の潤滑油であると推察された。

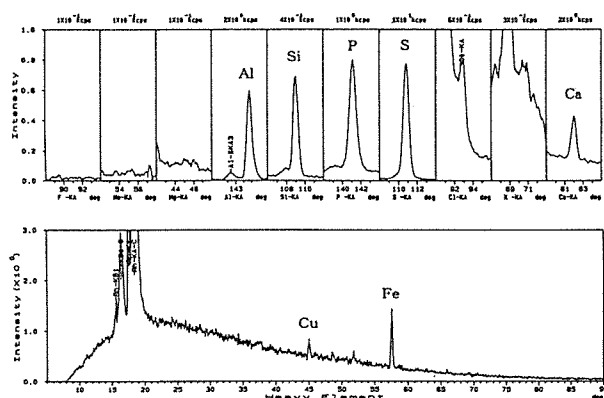


図21 水路暗渠の黒色油の蛍光X線分析結果

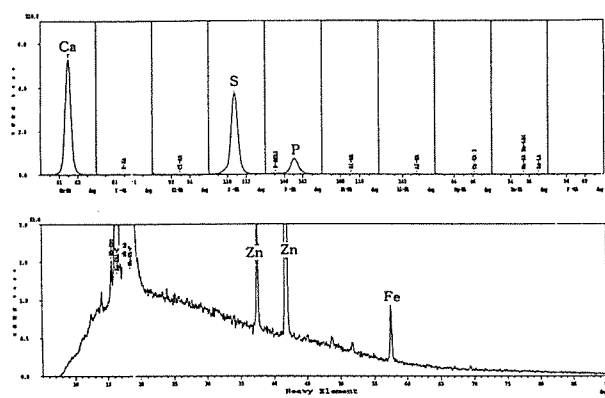


図23 河川の黒色油の蛍光X線分析結果

5-6 河川の黒色油

この事例は河川水面上に黒色油が浮遊していた事故である。黒色油のTICおよび $m/z=85$ のMCを図22に示す。黒色油のTICは、C18, C19を中心としたC12からC25までの範囲のCn成分と、C29の保持時間付近を中心とした幅広いピークから成っていた。後者から、黒色油には潤滑油が含まれていることが推察された。また、このTICとMCは、4-3-1で示した自動車エンジンの潤滑油の場合と比べて、Cn成分のほうが幅広いピークよりも高かった。Cn成分が比較的低沸点のC12から検出されたことを考慮すると、この黒色油は潤滑油と軽油あるいは重油などとの混合物である可能性が高かった。

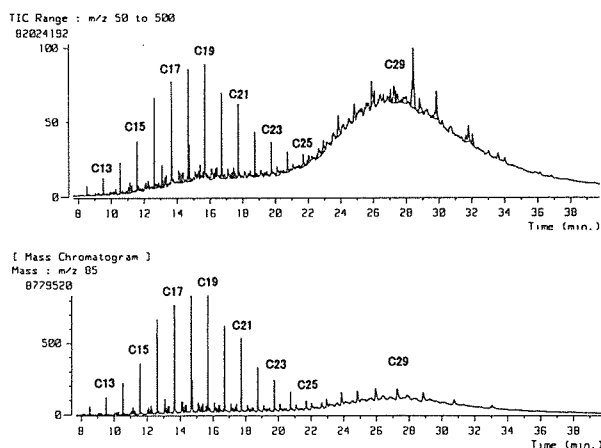


図22 河川の黒色油のTICとMC($m/z=85$)

次に、黒色油の蛍光X線分析の結果を図23に示す。この黒色油からは、重金属のZnとFe、およびCa, S, Pが検出された。Zn, S, Pは自動車エンジン潤滑油の磨耗防止剤のジチオリン酸亜鉛系化合物、Caは清浄分散剤のカルシウム石鹸などに由来する成分であり、Feは使用後の金属磨耗粉である^{14,19}。

したがって、GC/MSと蛍光X線分析の結果を併せて考えると、この黒色油は使用後の自動車エンジン潤滑油と軽油などとの混合物と推察された。

5-7 下水処理場への植物油の流入

この事故は、臭気等から鉱油ではなく動植物油と考えられる油が下水処理場に流入した事例である。流入油の

IRおよびNMRの測定結果を図24および図25に示す。

IR(図24)では、C-Hの伸縮振動に基づく 2925cm^{-1} と変角振動に基づく 1460cm^{-1} 付近の吸収のほか、C=Oの伸縮振動に基づく 1750cm^{-1} およびエステル化合物のC-O伸縮振動に基づく 1175cm^{-1} 付近の幅広い吸収が認められた²¹⁾。一方、NMR(図25)からは、C-CH₂-CやCH₃-Cに基づく1.3ppm付近のピークのほか、CH₃-C=C-や-HC=CH-の2重結合に基づくピークなども認められた²²⁾。これらの測定結果から、流入油は高級脂肪酸のグリセリドである植物油などが考えられた。確認のために、市販のサラダ油のIRおよびNMRを測定したところ、いずれも流入油とほぼ同じスペクトルを示した。したがって、流入油はサラダ油などに代表される植物油であると推察された。

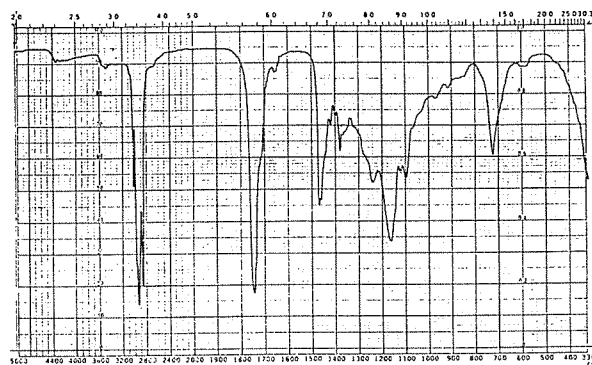


図24 流入油のIR

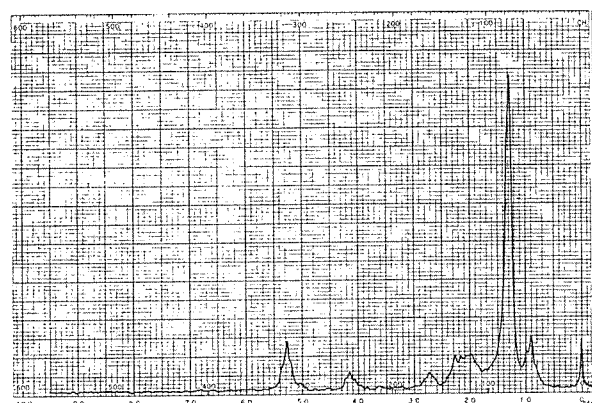


図25 流入油のNMR

6. まとめ

横浜市内で発生した油流出事故については、灯油や軽油などとともに潤滑油の流出事故が増加する傾向が認められた。前者は主に燃料油として一般的に使用されているが、後者は廃油として残ることも一因になっていると考えられる。

これらの油はそのまま土壌に流出すると、地中に浸透して地下水汚染を引き起こす。また、それらの一部は降雨時に土壌とともに流出して河口沿岸域の底質を汚染^{23, 24)}、水質にも悪影響を与える。下水道普及率が高くなるにしたがい水質が改善されてきているが、横浜市のように人口が多く産業活動が盛んな都市域では水質汚濁事故が発生する確率が高く、事故による水域への影響が大きくなると予想される。それらの結果は総合的に公共用水域の水質に反映されることから、今後も水質汚濁事故について注意を払っていく必要がある。

参考文献

- 1) 環境庁水質保全局水質規制課：油による水質汚濁事故防止の手引き，平成9年度。
- 2) 横浜市環境保全局：横浜環境白書 平成10年度版，p.72-p167，1998。
- 3) 横浜市公害研究所：魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書，公害研資料No.91，
- 4) 白柳康夫：環境中の未知物質に対するX線分析の応用，横浜市環境科学研究所報，**18**，95-102，1994。
- 5) 二宮勝幸，前田裕行，森本敏昭，小市佳延，武田裕，下村光一郎，坂井 清，平野耕一郎菅原継好：東京湾におけるダイヤモンド・グレース号原油流出事故時の環境調査，全国公害研会誌，**25**(3)，137-144，2000。
- 6) 重江伸也，近藤紘之，森田邦正，大石興弘，森本昌弘：鉱油による井水汚染の事例，福岡県衛生公害センター年報，**7**，101-103，1980。
- 7) 千葉恵，佐竹武典，関敏彦：油汚染について（第1報）－汚染事例－，仙台市衛生試験所報，**18**，381-390，1988。
- 8) 渡辺正敏：油流出事例へのGC/FID, GC/MSの応用，名古屋市環境科学研究所報，**25**，75-86，1995。
- 9) 剣持堅志，萩野泰夫，松永和義，森忠繁，緒方正名：油汚染時における化学成分のスクリーニング分析，**7**(3)，561-576，1997。
- 10) 富山典孝，河野謙一，関谷幸一，杉本貴之，安藤ゆかり，河野和子，小畑聡子：流出油等による汚濁事例とその識別分析について，全国公害研会誌，**23**(3)，122-130，1998。
- 11) 北野肇一，泉広栄，加藤充哉：石川県沿岸に漂着したナホトカ号流出重油中の n-アルカンとアルキル P A H の組成，石川県保健環境研究所年報，5-14，1998。
- 12) 中牟田啓子，松原英隆：福岡市内で使用されている鉱物油の全成分および水溶性成分のGC/MSによる分析，福岡市衛生試験所報，**23**，135-144，1998。
- 13) 環境庁：環境白書，平成11年度版。
- 14) 桜井俊男編著：新版石油製品添加剤，521-557，幸書房，1986。
- 15) 牧秀明，佐々木哲也：原油の分析手法と流出油の特性，水環境学会誌，**20**(10)，639-643，1997。
- 16) 早川修二，奥田哲也：石油（原油）成分の経時変化について，三重県環境科学センター研究報告，**16**，39-47，1996。
- 17) 惣田いく夫：*Moraxella* sp. KE-2991 による石油系炭化水素類の分解とその特徴，神奈川県環境科学センター研究報告，**19**，101-106，1996。
- 18) 小森正樹，芹川俊彦，庄田文夫，中村嘉利，澤田達郎，丸山明彦，東原孝規：ナホトカ号流出重油の日本海沿岸海域微生物による分解性，環境化学，**8**(4)，787-796，1998。
- 19) 理学電機工業株式会社：APPLICATION REPORT XRF121，潤滑油中の添加成分および重金属磨耗粉の分析，1-2。
- 20) 化学工業日報社：12394の化学商品，1994。
- 21) 堀口博：赤外線吸光図説総覧，三共出版株式会社，1973。
- 22) Silverstein, Bassler, Morrill (荒木峻，益子洋一郎，山本修 訳)：有機化合物のスペクトルによる同定法 第5版，東京化学同人，1992。
- 23) 二宮勝幸：油分による鶴見川の底質汚染，横浜市公害研究所報，**8**，119-126，1983。
- 24) 二宮勝幸，白柳康夫，小市佳延：水域環境指標－II，主成分分析による底質評価，横浜市公害研究所報，**11**，83-109，1986。

横浜市水域における環境ホルモン実態調査

倉林輝世, 初貝留美, 二宮勝幸
(横浜市環境科学研究所)

Environmental Survey of Endocrine Disrupting Chemicals in Yokohama City

Teruyo Kurabayashi, Rumi Hatsugai, Katsuyuki Ninomiya
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：環境ホルモン, 河川, 海, 実態調査

要旨

横浜市内河川, 海域の環境ホルモン濃度の実態を把握するため, 環境ホルモンと疑われているアトラジン等の農薬 13 物質, ノニルフェノール等の農薬以外 8 物質, 及び女性ホルモンである 17β エストラジオールの計 22 物質を対象に, 9 地点で夏季及び冬季に調査を行った。水質からはノニルフェノール, オクチルフェノール, ビスフェノールA等 10 物質が検出され, 底質からはビスフェノールA, フタル酸類等 8 物質が検出された。全調査地点において, 水質, 底質ともに 2 物質以上が検出され, 市内水域では各物質が複合的に存在していると考えられた。水質では, 亀の子橋地点と鷹匠橋地点において 8 物質と最も多く検出された。底質では, 水道橋地点において 8 物質と最も多く検出され, 濃度についても水道橋地点は他地点より高い濃度であった。

1. はじめに

環境中に存在するいくつかの化学物質が, 体内のホルモン作用を攪乱し生殖等に悪影響を与える可能性が指摘され, 社会的な問題を引き起こしている。これらの化学物質は「外因性内分泌攪乱化学物質 (環境ホルモン)」と呼ばれ, これによる環境汚染は, 生物生存の基本条件に関わるものとして環境保全上重要視されている。環境庁では平成 10 年度に「環境ホルモン戦略計画 SPEED' 98」¹⁾ を策定し, 環境ホルモンの疑いがある 67 化学物質を提示し, 環境中での濃度実態を把握するため平成 10 年度に全国調査を実施している^{2) 3)}。

横浜市においても平成 10 年度から「横浜市ダイオキシン類・環境ホルモン調査検討委員会」を設置し, 本問題について取り組むべき課題等を検討している。そこで, 当研究所においては, 横浜市内水域の環境ホルモン濃度の実態を把握するため, 平成 11 年度に河川, 海域の水質及び底質について調査を実施したので報告する。

2. 方法

2-1 調査対象物質

調査対象物質を表 1 に示す。調査対象物質は「SPEED' 98」に挙げられている「内分泌攪乱作用を有すると疑われる 67 化学物質」(以下, 環境ホルモンと略す) の中から, 農薬 13 物質, 農薬以外 8 物質の計 21 物質を選定した。農薬については神奈川県内の出荷量が多いこと, それ以外の物質については環境庁平成 10 年度全国調査結果²⁾ の検出状況が高いこと等を考慮して選定した。選定

物質は, 全て現在使用されているものである。また, 人畜由来の女性ホルモンのうち, ホルモン活性が強く, 下水処理場等からも排出される 17β-エストロジオールについても同時に調査した。

表 1 調査対象物質 (22物質)

物質名	用途
アトラジン	除草剤
アラクロール	除草剤
シマジン	除草剤
カルバリル	殺虫剤
ケルセン	殺ダニ剤
エンドスルファン I	殺虫剤
エンドスルファン II	殺虫剤
マラチオン	殺虫剤
メソミル	殺虫剤
トリフルラリン	除草剤
ベノミル	殺菌剤
フェンバレート	殺虫剤
ペルメトリン	殺虫剤
ノニルフェノール	界面活性剤の原料/分解生成物
4-セオクチルフェノール	界面活性剤の原料/分解生成物
4-セプチルフェノール	界面活性剤の原料/分解生成物
ビスフェノールA	樹脂の原料
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	プラスチックの可塑剤
フタル酸ジ-n-ブチル	プラスチックの可塑剤
2,4-ジクロロフェノール	染料中間体
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	プラスチックの可塑剤
17β-エストロジオール	人畜由来の女性ホルモン

2-2 調査地点

調査地点は、公共用水域測定計画地点の中から選定した。河川については、市内を代表する各河川から1地点程度の計6地点を選定し、海域については、従来から化学物質を調査している横浜港内地点と他2地点の計3地点を選定した(図1)。

2-3 調査時期

調査は1999年夏季(8月)と冬季(12月)に行った。夏季は水質のみ、冬季は水質及び底質を調査した。但し、農薬については使用時期が夏季中心と考えられることから、夏季のみ水質調査を実施した。

2-4 分析方法

2-4-1 試料採取及び分析方法

環境庁の「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル」⁴⁾に記載されている方法に準じて行った。17β-エストラジオールについては機器分析法(GC/MS)と酵素免疫法とがマニュアルに記載してあるが、本調査では環境庁が平成10年度全国調査で用いた酵素免疫法を用いて分析した。

2-4-2 強熱減量

強熱減量は、「底質調査方法」⁵⁾に記載されている分析法に準じて行った。

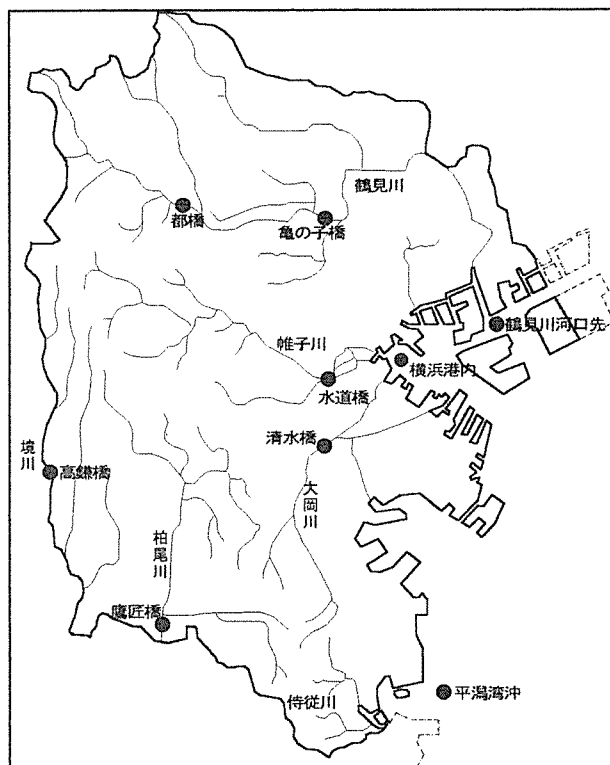


図1 調査地点

3. 結果及び考察

3-1 水質

3-1-1 水質調査結果

水質の調査結果を表2に示す。調査対象とした22物質のうち、農薬3物質、農薬以外7物質の計10物質が検出された。そのうち、ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、及び17β-エストラジオールの4物質が、調査地点の半数(5地点)以上から検出された。ビスフェノールA及び17β-エストラジオールは、全調査地点から検出されている。農薬ではカルバリル、ベノミル、ペルメトリンの3物質が検出されたが、濃度は検出限界値付近であった。

3-1-2 全国調査結果との比較

環境庁平成10年度全国調査結果との比較を、表3に示す。本調査において調査地点の半数(5地点)以上から検出されたノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、及び17β-エストラジオールの4物質は、全国調査においても50%以上の比較的高頻度で検出されている物質である。ビスフェノールA及び17β-エストラジオールは、本調査では90%以上の頻度で検出されているが、全国調査では60%程度であった。ビスフェノールAは千葉市の調査⁶⁾で94%、東京都調査⁷⁾で79%の頻度で検出されており、17β-エストラジオールも東京都調査⁷⁾で82%の頻度で検出されている。このように、これらの物質は都市域において高頻度で検出される傾向にあると考えられる。

農薬については、本調査では全国調査よりやや高い頻度で検出されたが、濃度は検出限界値付近の低い濃度であり、全国調査と同程度かその範囲内の濃度であった。

それ以外の物質については、検出頻度、濃度ともに概

ね全国調査結果と同程度であった。

3-1-3 CODとの相関

水質試料のCODについて、表4に示す。CODは有機汚濁の指標として用いられており、亀の子橋、都橋、鷹匠橋地点が比較的高い値を示した。中でも鷹匠橋地点は夏季、冬季ともに9μg/l程度と高く、有機汚濁が進んでいる地点と考えられる。

比較的高い検出頻度を示した4物質、ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、及び17β-エストラジオールの検出濃度とCODとの相関を図2に示した。オクチルフェノールと17β-エストラジオールについては、相関係数が0.8と比較的強い正の相関が認められた。人畜由来の女性ホルモンである17β-エストラジオールや、界面活性剤として使用されているオクチルフェノールは生活排水として環境中に放出されるため、有機汚濁と強い相関を示したと思われる。一方、同じアルキルフェノール類であるノニルフェノールについては、相関係数は0.43と強い相関は見られなかった。ノニルフェノールはオクチルフェノールと同様に界面活性剤として使用されているが、それ以外にも殺虫剤、防かび剤、酸化防止剤等にも広く用いられている⁸⁾。多様な使用形態や、環境中への排出経路が多岐にわたること等から、ノニルフェノールとCODとの間に明確な相関が見られなかったのではないかと考えられる。

ビスフェノールAについては、相関係数は0.159であるが、外れた1ポイントを除くと0.589となり弱い正の相関が認められた。ビスフェノールAの外れた1ポイントは、水道橋地点の夏季調査結果である。冬季の水道橋調査結果では高い値は見られず他調査地点と同程度の値を示したことから、この夏季の値は一過性のものである

表2 平成11年度水質調査結果

(単位 $\mu\text{g/l}$)

物質名	調査時期	鶴見川	恩田川	帷子川	大岡川	境川	柏尾川	東京湾	東京湾	東京湾
		亀の子橋	都橋	水道橋	清水橋	高鎌橋	鷹匠橋	鶴見川河口	横浜港内	平潟湾沖
カルバリル	夏季	0.01	ND	0.01	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
ベノミル	夏季	0.2	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND	ND
ペルメトリン	夏季	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	ND	ND
ノニルフェノール	夏季	0.5	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.2	ND	ND
	冬季	0.3	0.1	ND	ND	0.4	0.4	ND	ND	ND
4- <i>t</i> -オクチルフェノール	夏季	0.10	0.04	0.03	ND	0.03	0.09	0.01	ND	ND
	冬季	0.06	0.04	ND	ND	0.07	0.09	ND	ND	ND
4- <i>t</i> -ブチルフェノール	夏季	0.03	ND	0.27	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
	冬季	0.02	ND	ND	0.01	0.01	0.05	ND	ND	ND
ビスフェノールA	夏季	0.07	ND	0.46	0.03	0.04	0.07	0.04	0.01	0.01
	冬季	0.12	0.05	0.04	0.05	0.05	0.16	0.03	0.03	0.03
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	夏季	ND	ND	ND	ND	1.0	2.0	ND	0.6	ND
	冬季	0.6	ND	ND	ND	0.7	ND	ND	0.6	ND
2,4-ジクロロフェノール	夏季	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	冬季	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17- β -エストラジオール	夏季	0.018	0.022	0.014	0.007	0.022	0.049	0.019	0.026	0.012
	冬季	0.027	0.020	0.006	0.004	0.023	0.024	0.007	0.003	0.003

不検出物質：アトラジン、アラクロール、シマジン、ケルセン、エンドスルファンI、エンドスルファンII、マラチオン、メソミル、トリフルラリン、フェンバレレート、フタル酸ジ-*n*-ブチル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル
 ND：検出限界値以下

表3 検出物質の全国調査結果との比較（水質）

(単位 $\mu\text{g/l}$)

物質名	横浜市			環境庁		
	検出頻度	(%)	濃度範囲	検出頻度	(%)	濃度範囲
カルバリル	3/9	33%	~0.01	7/747	1%	~0.39
ベノミル	2/9	22%	~0.2	42/747	6%	~0.76
ペルメトリン	1/9	11%	~0.02	0/747	0%	ND
ノニルフェノール	11/18	61%	~0.5	245/405	60%	~21
4- <i>t</i> -オクチルフェノール	10/18	56%	~0.1	228/405	56%	~13
4- <i>t</i> -ブチルフェノール	7/18	39%	~0.27	110/405	27%	~0.87
ビスフェノールA	17/18	94%	~0.46	255/405	63%	~1.7
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	6/18	33%	~2.0	136/405	34%	~9.9
2,4-ジクロロフェノール	1/18	6%	~0.01	38/405	9%	~0.2
17- β -エストラジオール	18/18	100%	0.003~0.049	260/405	64%	~0.041

検出頻度：検出数/総検体数

濃度範囲：最低濃度値が記入されないものは全てND~

表4 水質試料のCOD

	調査地点								
	亀の子橋	都橋	水道橋	清水橋	高鎌橋	鷹匠橋	鶴見川河口先	横浜港内	平潟湾
夏季COD (mg/l)	8.4	7.3	5.2	5.6	5.7	8.8	6.0	6.9	4.3
冬季COD (mg/l)	6.5	7.7	3.8	3.5	6.7	9.4	3.5	2.3	1.9

平成11年度横浜市公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書（横浜市環境保全局）

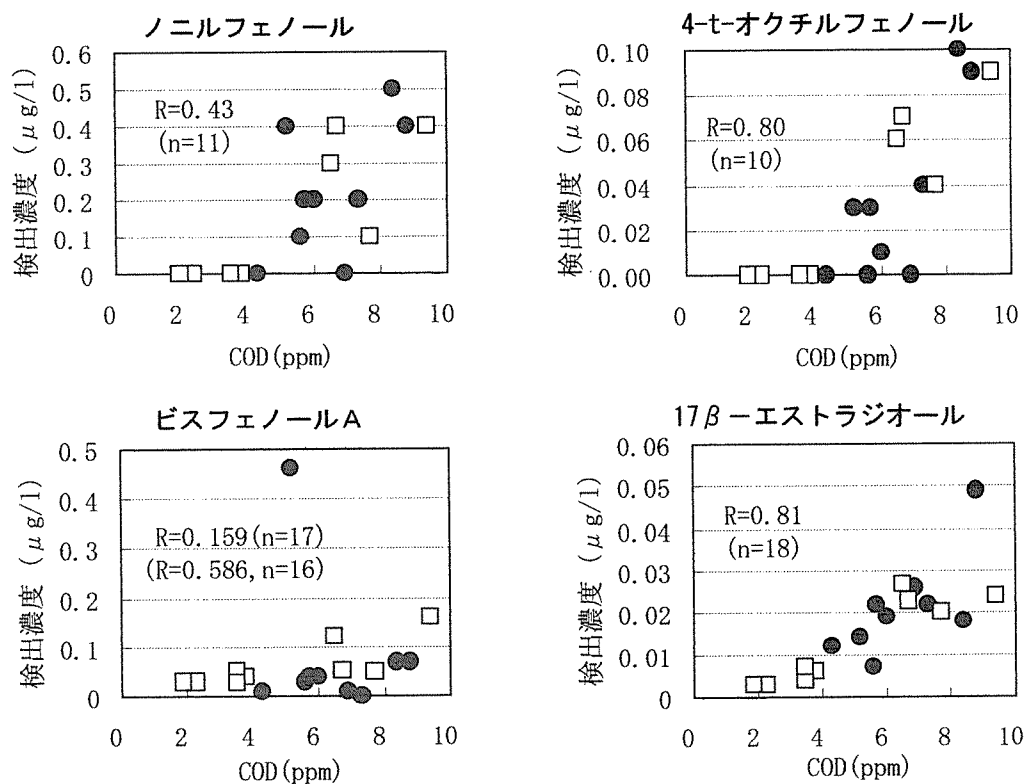


図2 CODと検出濃度との相関 (●夏季, □冬季)
(相関係数は、検出限界値以下の検体を除いて求めた)

表5 平成11年度底質調査結果

(単位 $\mu\text{g}/\text{kg-dry}$)

物質名	調査時期	鶴見川	恩田川	帷子川	大岡川	境川	柏尾川	東京湾	東京湾	東京湾
		亀の子橋	都橋	水道橋	清水橋	高鎌橋	鷹匠橋	鶴見川河口	横浜港内	平潟湾沖
アトラジン	冬季	ND	ND	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ベノミル	冬季	2	ND	28	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ノニルフェノール	冬季	130	ND	2200	440	520	57	1100	320	160
4-tert-オクチルフェノール	冬季	ND	ND	87	8	28	ND	22	5	ND
ビスフェノールA	冬季	ND	ND	160	21	ND	ND	59	24	7
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	冬季	700	660	23000	8000	220	1100	6600	1400	980
フタル酸ジ-n-ブチル	冬季	ND	ND	480	120	ND	37	230	86	44
17-β-エストラジオール	冬季	0.51	0.52	10	2.20	0.22	0.45	4.40	5.20	2.60
強熱減量 (%)		2.0	1.6	22.8	3.5	1.6	2.2	35.9	12.3	5.6

不検出物質：アラクロール、シマジン、カルバリル、ケルセン、エンドスルファンI、エンドスルファンII、マラチオン、

メソミル、トリフルラリン、フェンバレート、ペルメトリン、4-tert-ブチルフェノール、

2,4-ジクロロフェノール、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル

ND：検出限界値以下

可能性が考えられる。吉澤らは COD と同様に有機汚濁の指標として用いられている BOD (生物学的酸素要求量) とビスフェノールAとの相関について調べ、明確な相関は認められなかったと報告している⁶⁾。環境ホルモン濃度と COD に代表される有機汚濁との関係については、今後調査を重ねデータ数を増やし解析を進める必要があると考えられる。

3-2 底質

3-2-1 底質調査結果

底質の調査結果を表5に示す。底質からは、農薬2物質、農薬以外6物質の計8物質が検出された。農薬以外の検出物質、ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジ-n-ブチル、17β-エストラジオールの6物質は調査地点の半数(5地点)以上から検出され、そ

表6 検出物質の全国調査結果との比較（底質）

（単位 $\mu\text{g}/\text{kg-dry}$ ）

物質名	横浜市			環境庁		
	検出頻度	(%)	濃度範囲	検出頻度	(%)	濃度範囲
アトラジン	1/9	11%	~0.7	0/94	0%	ND
ベノミル	2/9	22%	~28	8/94	9%	~12
ノニルフェノール	8/9	89%	~2200	36/152	24%	~4900
4- <i>t</i> -オクチルフェノール	5/9	56%	~87	11/152	7%	~45
ビスフェノールA	5/9	56%	~160	55/152	36%	~67
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	9/9	100%	~23000	125/152	82%	~210000
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	6/9	67%	~480	67/152	44%	~2000
17- β -エストラジオール	9/9	100%	~10	134/152	88%	~16

検出頻度：検出数/総検体数

濃度範囲で最低濃度値が記入されないものは全てND~

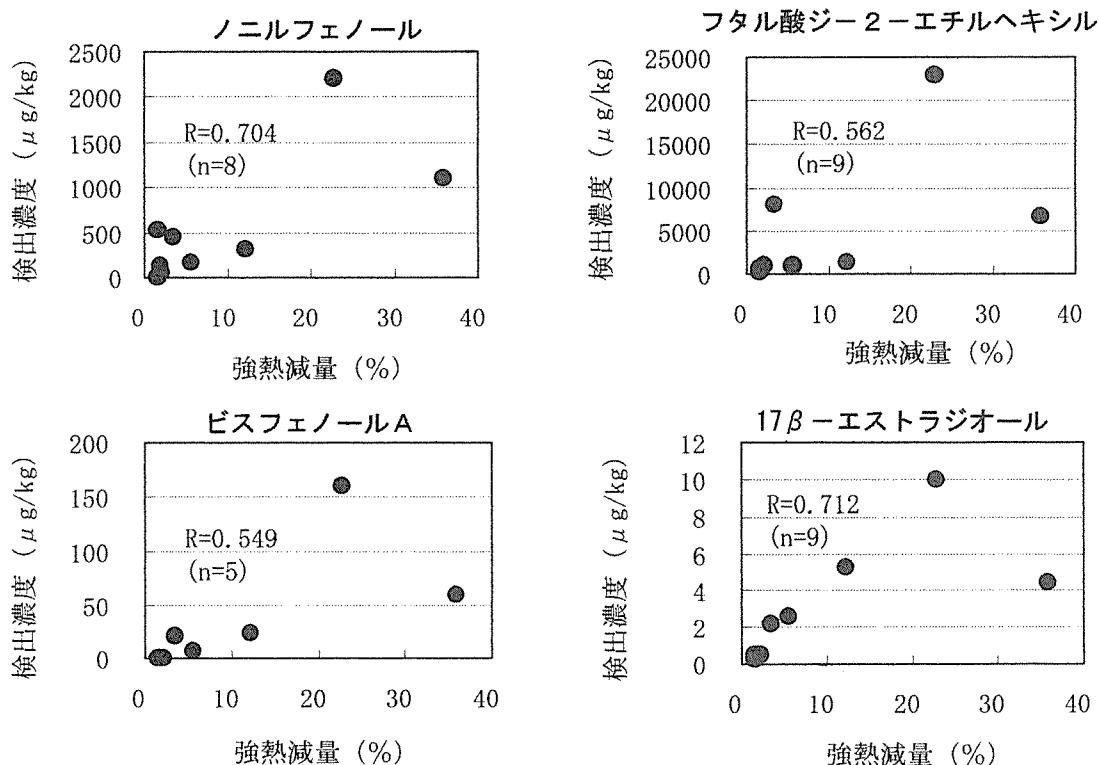


図3 強熱減量と検出濃度との相関

（相関係数は、検出限界値以下の検体を除いて求めた）

のうち、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル及び17 β -エストラジオールは、全調査地点から検出された。いずれの物質も、水道橋地点において最も高い濃度で検出された。

3-2-2 全国調査結果との比較

全国調査結果との比較を表6に示す。底質からの検出頻度は、どの物質も全国調査に比べやや高かった。全調査地点から検出されたフタル酸ジ-2-エチルヘキシル及び17 β -エストラジオールは、全国調査でも80%以上と高い検出頻度である。

濃度については、オクチルフェノール、ビスフェノールA、ベノミルの3物質が、水道橋地点において全国調査の濃度範囲を超えて検出された。ビスフェノールAは東京都調査⁷⁾でも200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ と、本調査と同程度の濃度を示している。3物質以外は、全ての調査地点において全国調査結果の濃度範囲内であった。

3-2-3 強熱減量との相関

各底質試料の強熱減量について、表5に示す。強熱減量は有機汚濁の指標として用いられており、水道橋、鶴見川河口先、横浜港内地点が高い値を示したことから、

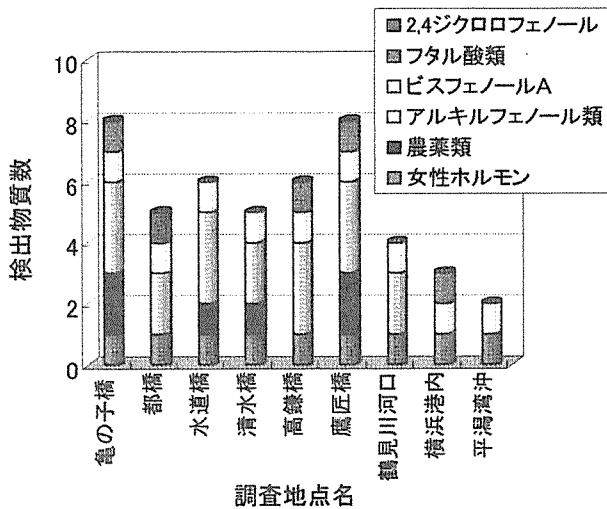


図4 水質中の調査地点別検出物質数

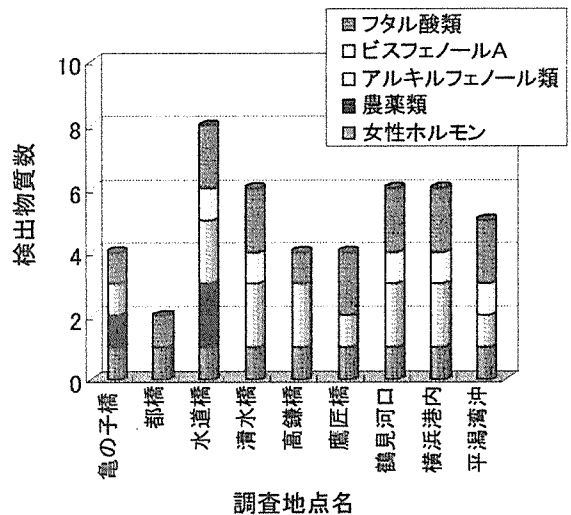


図5 底質中の調査地点別検出物質数

これらの地点は有機汚濁物質が蓄積していると考えられる。

比較的高い検出頻度を示したノニルフェノール、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、ビスフェノールA、及び17β-エストラジオールの検出濃度と強熱減量との相関を図3に示す。いずれの物質も相関係数が0.5~0.7と正の相関が認められたが、水質と同様、今後調査を重ねデータ数を増やし、解析を進める必要があると考えられる。

3-3 調査地点別検出物質数

調査地点別の検出物質数を、図4、5に示す。水質では、亀の子橋と鷹匠橋地点から8物質と最も多く検出された。これらの調査地点は、CODも高い値を示した地点である(表4)。また、海域は河川に比べ検出物質数が少なく、海水による希釈の影響を受けていると考えられた。

底質では、水道橋地点から8物質と最も多く検出され、また、海域の3地点も比較的多く検出された。いずれの調査地点においても水質、底質ともに2物質以上が検出されたことから、横浜市水域においては環境ホルモン物質が複合的に存在していると示唆された。

4. まとめ

- 1) 水質からは、調査対象物質22物質のうち、農薬3物質、農薬以外7物質が検出された。ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA及び17β-エストラジオールの4物質が、調査地点の半数以上(5地点)から検出された。
- 2) 底質からは、調査対象物質22物質のうち、農薬2物質、農薬以外6物質が検出された。ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジ-n-ブチル及び17β-エストラジオールの6物質が、調査地点の半数以上(5地点)から検出された。
- 3) 全ての調査地点において、環境ホルモンの疑いのある物質は2物質以上検出され、水質では亀の子橋地点と鷹匠橋地点が8物質と最も多く検出された。底質では水道橋地点が8物質と最も多く検出され、濃度につ

いても他地点より高濃度で検出された。

今回の調査は、環境庁が提示した「環境ホルモンの疑いのある67物質」のうち、22物質を選定して実施した。残りの物質についても、それらの濃度実態を把握するために調査を実施する予定である。また、本調査結果により検出頻度、濃度の高い物質についてのモニタリングや、市内に生息している生物への影響等についても、今後、調査をしていく必要があると考えられる。

尚、本調査では、サンプリング及び一部の物質の分析は委託により行った。

引用文献

- 1) 環境庁環境保健部環境安全課：外因性内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について—環境ホルモン戦略計画 SPEED'98—, 1998, 5
- 2) 環境庁水質保全局水質管理課：水環境中の内分泌攪乱化学物質(いわゆる環境ホルモン)実態調査, 1999, 10
- 3) 環境庁水質保全局土壌農薬課：環境ホルモン戦略計画 SPEED'98 関連の農薬等の残留実態調査結果について, 1999
- 4) 環境庁水質保全局水質管理課：外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル(水質、底質、水生生物), 1998, 10
- 5) 環境庁水質保全局：底質調査方法, 昭和63年9月, 3-4
- 6) 吉澤正, 藤本千鶴：千葉県内公共用水域における外因性内分泌攪乱化学物質に関する実態調査—フェノール類, フタル酸エステル類など—, 用水と排水, Vol. 42, 140-148, No. 2(2000)
- 7) 東京都環境保全局水質保全部水質監視課：平成10年度東京都河川・内湾の内分必かく乱化学物質環境汚染状況調査(11月・2月)
- 8) 化学工業日報社：12394の化学商品, 1994

人工衛星データを用いた横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布状況

佐俣満夫, 梅田てるみ (横浜市環境科学研究所)

The mapping of evergreen forests and deciduous forests in Yokohama area

Mitsuo Samata (Yokohama Environmental Research Institute)

Terumi Umeda (Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード: ランドサット, 常緑樹, 落葉樹, 植生指標

要旨

ランドサット衛星データより横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布を調べるアルゴリズムを開発した。1997年のデータより、横浜市内の10アール以上の森林は16%であり、その内落葉樹林が10%、常緑樹林が6%と推測された。また市内の落葉樹林の面積は4500ha程度であり、常緑樹林は3170ha程度と見積もられた。

1. はじめに

横浜市では横浜市環境管理計画の中で「緑と水にふれあえる街づくりの推進」を重要な施策と位置づけている¹⁾。その推進に当たっては都市緑地保全法や緑の環境をつくり育てる条例に基づき様々な緑地保全事業を展開している。それらの事業を円滑に推進するに当たって市内の正確な緑地分布図の作成が必要不可欠となる。横浜市内には雑木林が比較的多いことが知られているが、常緑樹と落葉樹では冬期における落葉の有無など季節的な形態が異なるため、その分布は周辺の生態系に及ぼす影響も大きいものと考えられ正確な調査が望まれている。これらの図の作成は航空機写真や現地調査によって行われているが、いずれもかなりの経費と要員を必要とする。また緑地の判別には熟練が必要となり人為的誤差も無視できない。当研究所ではこれまで都市型温暖化研究の一環として人工衛星データを用いて、地上の緑被分布について調査してきた^{2, 3)}。この解析技術を応用すれば、本市での常緑樹林と落葉樹林の分布を把握できるものと考えられる。また当研究所での酸性雨の調査研究より、土壌の酸性中和能には針葉樹と広葉樹の相違が影響しているものと推測されている^{4, 5)}。これらの行政需要や研究結果からの要請により、人工衛星データを用いた常緑樹林と落葉樹林の分布状況を調べるためのアルゴリズムを開発した。なお、本研究はスギ枯れなどの森林活性度調査の一環として行われたものである。

2. 解析方法

人工衛星データには比較的細かい地域(空間分解能30X30m)まで解析可能なランドサット衛星データを用いた。地上の植生分布を評価するには植生の活性度として

得られる植生指標(以下NVI)を用いた^{2, 3)}。ランドサットでのNVIはBand3,4より与えられ、以下のようになる。

$$NVI = \frac{Band.4 - Band.3}{Band.4 + Band.3} \quad (1)$$

当研究所周辺で生育しているケヤキを代表的な落葉樹、ツバキを代表的な常緑樹として、地上でフォトメータ(阿部計測製)を用いて毎月の晴天日の正午前後に分光測定を行った。測定結果をランドサットの各Bandに変換し、得られた1997.8～1998.7までの1年間の地上でのNVIの変化を図-1に示す。NVIは植生の活性が高いほど大きな値を示すが、ツバキでは年間を通して0.3～0.5の間にある。宅地などの人工建造物では年間を通してゼロ以下となっている。ケヤキは夏(5～8月)の間はツバキ

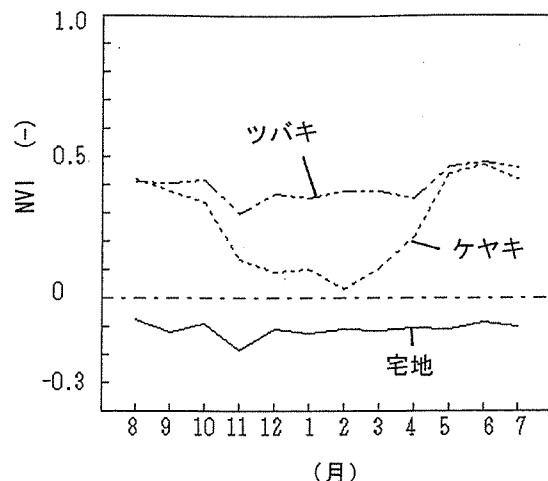


図-1 地上で観測した植生指標(NVI)
(1997年8月～1998年7月)

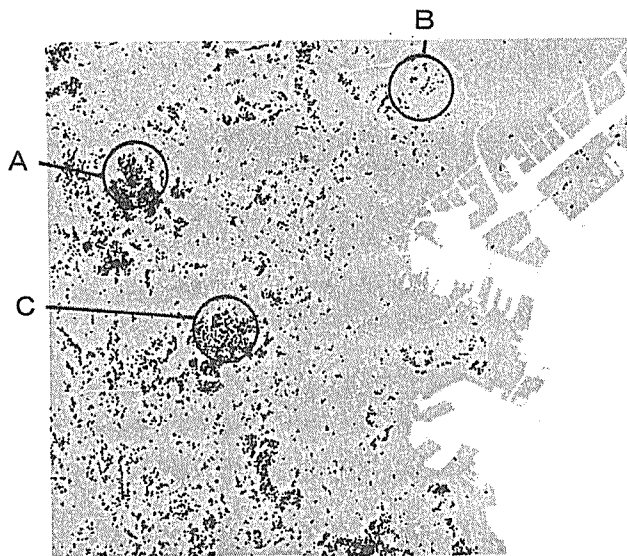


図-2 横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布
(常緑樹林：黒，落葉樹林：白)

A：三保町周辺， B：三ツ池公園周辺，
C：横浜カントリー周辺

とほぼ同様な値であるが，冬（12～2月）ではNVIの値はかなり低くなり0.1以下となる。これは冬の落葉樹は葉を落とすため，樹木のNVIの値が土壌や人工建造物の値に近づくためである。この傾向の差より常緑樹林と落葉樹林の判別が可能となる。そのためランドサットデータは夏のシーンと冬のシーンを必要とし，夏シーンより森林と他の地域の判別を行い，冬シーンより常緑樹林と落葉樹林の判別を行うことになる。夏シーンとしては1997年7月3日，冬シーンとしては1997年2月25日のランドサットデータをそれぞれ使用した。夏シーンの(1)式より得られるNVI値をNVI(S)とし，冬シーンでのNVI

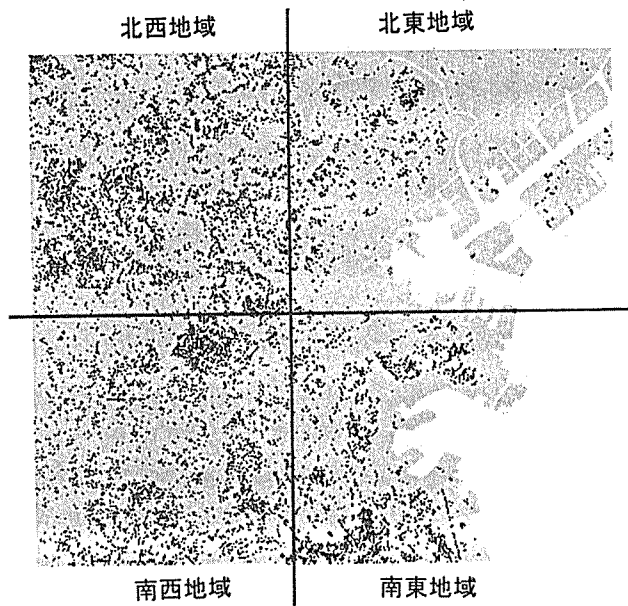


図-3 横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布
(常緑樹林：白，落葉樹林：黒)

値をNVI(W)とすると，各シーンには太陽光の輝度や大気散乱などの影響によりかならずしも図-1のようにはならないため，実際の代表地点の各シーンのNVI値より補正を行う必要がある。その補正の結果，常緑樹林，落葉樹林含めて夏シーンのNVI値はNVI(S)>0.3の範囲であった。冬シーンでは常緑樹林と落葉樹林を分ける境界のNVI(W)の値は補正の結果0.05の値を得た。これらの結果，常緑樹林と落葉樹林を分けるための判別式は次式のように与えられた。

$$\text{落葉樹林 } NVI(S) > 0.3 \text{ AND } NVI(W) < 0.05$$

$$\text{常緑樹林 } NVI(S) > 0.3 \text{ AND } NVI(W) > 0.05 \quad (2)$$

表-1
横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の割合 (%)

	北東地域	北西地域	南東地域	南西地域	全域
森林/Ya	6	23	14	22	16
落葉樹林/Ya	4	13	10	12	10
常緑樹林/Ya	2	10	4	10	6

落葉樹林/森林	67	57	71	53	61
常緑樹林/森林	33	43	29	47	39

Ya：各対象地域の面積

表-2
横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の占める面積 (単位：ha)

	北東地域	北西地域	南東地域	南西地域	全域
落葉樹林	530	1630	890	1450	4500
常緑樹林	260	1250	370	1290	3170

表-3

図-4～6での図面のシンボル

(a) のシンボル	(b), (c) のシンボル
■ 森林以外の地域	□ 緑のない地域
■ 落葉樹林	■ 多少緑の残っている地域
■ 常緑樹林	■ 比較的緑の多い地域
	■ 緑の多い地域

夏、冬の2シーンについて(2)式より判別して重ね合わせれば常緑樹林と落葉樹林の分布が得られるが、この場合2シーンの位置を正確に合わせる必要がある。このため、別途シーンの位置を正確に合わせるためのアルゴリズムを作成した。これによりランドサットデータを1画素単位で正確に合わせることが可能となった。またシーンの位置が1画素ずれることにより結果は20%近くも誤差が生じることもわかった。なお、ランドサットの1画素は面積としてはおよそ10アール程度なので、得られた森林は10アール以上の森林ということになる。

3. 結果と考察

3.1 横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の割合と分布

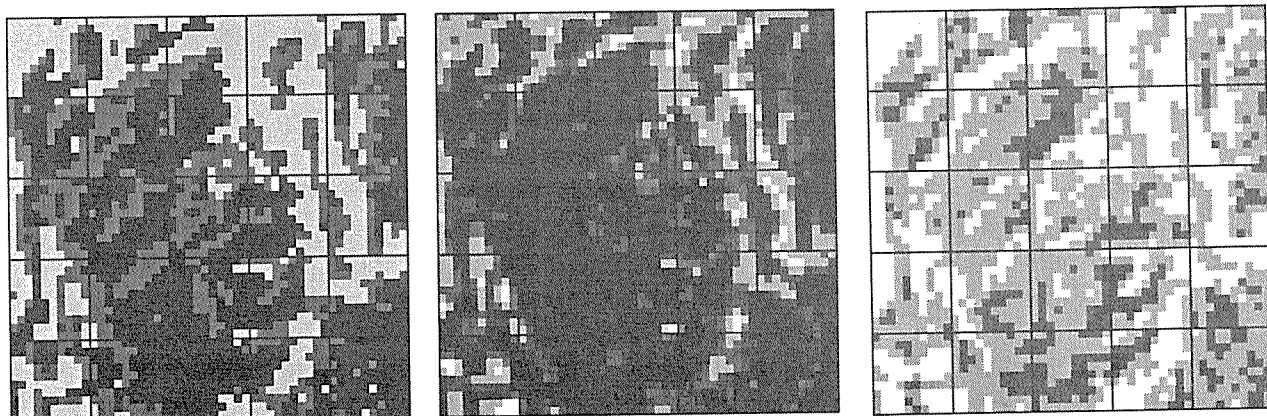
横浜市内の常緑樹林と落葉樹林の分布について常緑樹林を黒、落葉樹林を白とした場合を図-2に、逆に落葉樹林を黒、常緑樹林を白とした場合を図-3に示す。これより常緑樹林は比較的大きな森林地域に多く、落葉樹林は小さな林に多くみられるが、小さな林ではランドサットの分解能の関係でその画素内は平滑化されるため、落葉樹が若干多めに評価される場合がある。これらの図より常緑樹が多い森林としては緑区四季の森周辺、金沢区自然公園周辺などにみられ、逆に落葉樹の多い森林は

鶴見区三ツ池公園周辺や本牧の丘陵地帯などにみられる。また保土ヶ谷区横浜カントリー周辺や円海山などは雑木林が多いものと推測される。

次に、図-3に示すように市内を北東、北西、南東、南西地域の4ブロックに分けて市内に占める常緑樹林と落葉樹林の割合を表-1に示す。これより市内全域に対しおよそ10アール以上の森林の占める割合は16%程度であり、森林の中で落葉樹林は60%、常緑樹林は40%と横浜市内では落葉樹林の方が多く結果が得られた。図-2, 3にはシーンの切り取りの関係より、緑の少ない川崎市の一部が含まれ、逆に緑の多い金沢区の一部が除かれているが、これらを勘案しても市内の森林の割合は20%程度以下と推測される。これより森林が比較的多いのは北西及び南西地域であり、逆に北東地域の林の減少が目立つ。また常緑樹林と落葉樹林の割合も北西及び南西地域は同程度であるが、北東及び南東地域では落葉樹林の方が常緑樹林に比べて2倍ほど多い傾向がみられた。次に、ランドサットデータの1画素は30X30mなのでこの値と画素数より対象領域の面積が算出できる。常緑樹林と落葉樹林の面積をヘクタールhaで算出したものを表-2に示す。これより市内の落葉樹林の占める総面積は4500ha、常緑樹林は3170ha程度と見積もられ、特に北東地域の常緑樹林は260haと極めて低い値となっている。

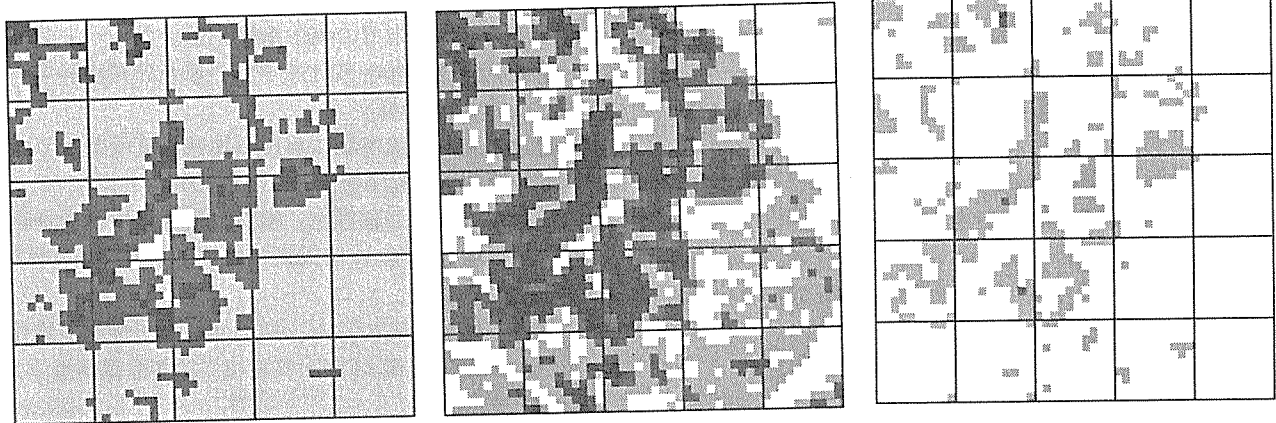
3.2 横浜市内の代表的な森林地域の常緑樹林と落葉樹林の分布状況

ここでは、常緑樹の多い森林の例として緑区三保町周辺(図-2中の(A))、落葉樹の多い森林の例として鶴見区三ツ池公園周辺(図-2中の(B))、その中間として保土ヶ谷区横浜カントリー周辺(図-2中の(C))について考察する。三保町周辺の常緑樹林と落葉樹林の分布と各シーンより得られたNVIによる緑被分布図を図-4に示す。図中のメッシュは300X300mであり、ドットは30X30mである。なお、図-4～6のシンボルの説明



(a)常緑樹林と落葉樹林の分布 (b)夏シーンによる植生分布 (c)冬シーンによる植生分布

図-4 緑区三保町周辺の常緑樹林と落葉樹林の分布と夏、冬の植生分布の比較



(a) 常緑樹林と落葉樹林の分布 (b) 夏シーンによる植生分布 (c) 冬シーンによる植生分布

図-5 鶴見区三ツ池公園周辺の常緑樹林と落葉樹林の分布と夏、冬の植生分布の比較

を表-3に示す。図-4 (a)より森林中の70%程度が常緑樹であり落葉樹はその中を帯状に走っているのがわかる。また図-4 (b)より夏ではこの地域は道路や若干の宅地を除きほとんど緑で覆われる。さらに図-4 (c)より冬でもかなり緑が残っていることが見て取れる。しかし、この周辺は森林中心部を除き近年マンション建設などの中規模開発の進んでいる地域でもある。つぎに三ツ池公園周辺を図-5に示す。図-5 (a)に示すように樹木は三ツ池を中心に分布しているが、常緑樹は落葉樹に囲まれるように散見されるにすぎない。図-5 (b)より夏は池を中心に円環状に緑が広がっているが、冬では図-5 (c)より緑は池の西側に帯状に、その東側に半円環状にかろうじて存在していることがわかる。次に、横浜カントリー周辺を図-6に示す。この地域はゴルフ場として人工的に樹木が整備され、その管理も行き届いているものと考えられるため、図-6 (a)に示すように常緑樹と落葉樹は規則正しくほぼ帯状に連なっている。夏では芝生なども活性が高くなり図-6

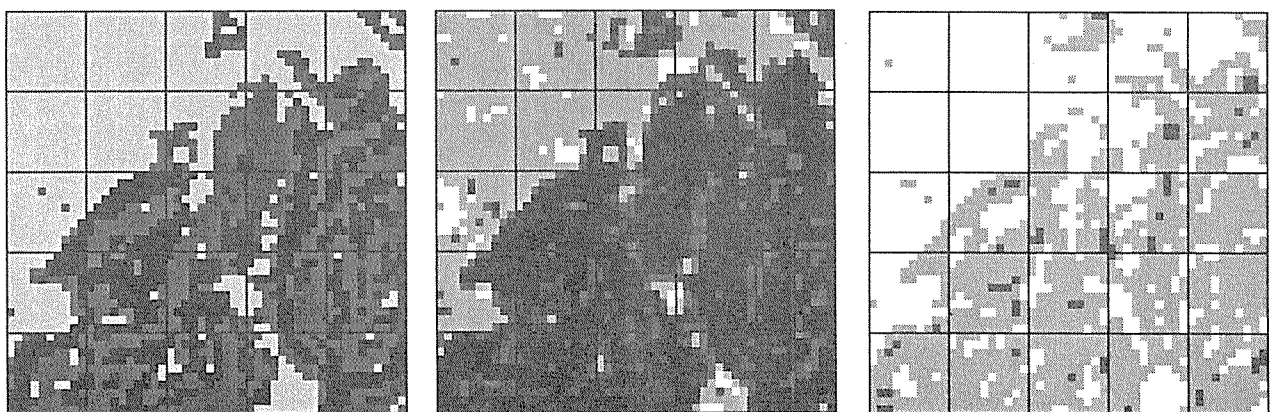
(b)では林と同様に評価されているものと推測される。また冬では図-6 (c)より部分的に活性が落ちるが、全体としては緑が残されている状態がわかる。

以上、図-4~6は図-2, 3の画面から任意に地域を指定することにより、瞬時に得られるようなプログラムとして開発されているため、今後の環境及び緑化行政推進において有用な手段になるものと考えられる。

4. おわりに

人工衛星データより市内の常緑樹林と落葉樹林の分布状況を把握するためのアルゴリズムを開発した。1997年のランドサットデータより市内の常緑樹林と落葉樹林の割合やその占める面積などを算出することができた。なお、このプログラムは画面上で容易に地域指定をし、指定された地域の拡大図により種々の情報が瞬時に得られるので、行政活用上有効な手段になるものと推測される。以下得られた知見を述べる。

- 1) 横浜市全域に対しおよそ10アール以上の森林の割合



(a) 常緑樹林と落葉樹林の分布 (b) 夏シーンによる植生分布 (c) 冬シーンによる植生分布

図-6 保土ヶ谷区横浜カントリー周辺の常緑樹林と落葉樹林の分布と夏、冬の植生分布の比較

は 16%程度であり、その内落葉樹林は 10%、常緑樹林は 6%程度と推測された。

2) 市内の落葉樹林の面積は 4500ha、常緑樹林は 3170ha 程度と見積もられたが、臨海部での林の減少が目立った。

3) 代表的な森林地域を拡大して観察することにより、その地域の緑の分布特性が把握できるものと推測された。

なお、本市では種々の目的により緑の分布図が作成あるいは調査されているが、今後これらの資料との比較検討が重要である。

「参考文献」

1) 横浜市環境管理計画年次報告書（平成 9 年度版）

2) 佐俣満夫，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)

3) 佐俣満夫，横浜地域における地表温度予測モデル，横浜市環境科学研究所報，21,13-18(1997)

4) 梅田てるみ，加藤善徳，横浜の森林土壌の酸性化の実態と中和能(1)，第 41 回大気環境学会年会講演要旨集，333(2000)

5) 加藤善徳，梅田てるみ，横浜の森林土壌の酸性化の実態と中和能(2)，第 41 回大気環境学会年会講演要旨集，334(2000)

環境中のダイオキシン類の測定の現状と課題

前田裕行, 森本敏昭, 越智洋之 (横浜市環境科学研究所)

The present condition and the subject of measurement of dioxin in environment

Hiroyuki Maeda, Toshiaki Morimoto, Hiroyuki Ochi
(Yokohama Environmental Science Reserch Institute)

キーワード: ダイオキシン類, ケミカルハザード, SIM分析法

要旨

平成11年7月に「ダイオキシン類対策特別措置法」が成立し、平成12年1月から施行され、ダイオキシン類の規制及び各種環境濃度調査は本格的な段階へ入っている。地方自治体でのダイオキシン分析は、近年の関連法進展によって測定体制の整備にとりかかっているところも多いと思われる。本市では、平成9年度補正予算で環境科学研究所に「ダイオキシン類等分析室」を整備し、平成10年7月から分析調査業務を開始している。ダイオキシン類の分析施設の設備基準等については、国の測定マニュアルに規定されるようになったが、大量の溶媒を使用し加熱抽出する作業に対しての防災対策にはあまり触れていない。そこで、特に本市での分析処理室の防災対策設備及び調査研究の留意点を含め、業務の実際と課題について報告する。

1. はじめに

近年、身のまわりには、プラスチック、塗料、合成洗剤、殺虫剤、医薬品、農薬、ハイテク材料等数多くの化学製品があふれており、化学物質は私たちの生活になくてはならないものになっている。このように有用である化学物質も、その製造、流通、使用、廃棄の各段階で適切な扱いがなされなかったり、漏洩等の事故が起これば、深刻な環境汚染を引き起こし、人の健康や生態系に有害な影響をもたらすおそれがある。

また、ダイオキシン類のように、意図して製造・使用される化学物質ではないが、他の化学物質の製造や燃焼などに伴って生成される有害化学物質もある。環境中に微量に存在するこれらの化学物質量を把握するためには、高感度な検出法と効果的な採取方法が重要なものとなる。

そこで、環境中ダイオキシン類の環境調査の概要、測定の実際及び現状の課題について報告する。

一方、国においては、大気汚染防止法および廃棄物処理法の政省令を改正し、平成9年12月から焼却施設の煙突などから排出されるダイオキシン類の規制やごみ焼却施設の改善等の対策が開始された。また、平成11年3月30日に開催されたダイオキシン対策関係閣僚会議において「ダイオキシン対策推進基本指針」を策定し、各種対策が推進されている。さらに、平成11年7月12日に「ダイオキシン類対策特別措置法」¹⁾が成立し、同16日に公布された。(平成12年1月15日施行)

その中で、施策の基本とすべき基準として、耐容一日摂取量[TDI]および環境基準が制定され、ダイオキシン類の規制は本格的な段階へ入っている。それに伴い、調査・測定に関しても精度管理が強化され、平成12年11月には、「ダイオキシン類の環境測定に係る精度管理指針」が策定され、従来の環境汚染物質の分析法ではあまり事例を見ない細目にわたる管理基準等が規定されている。²⁾

2. ダイオキシン類の調査・分析について

2-1 ダイオキシン類分析設備について

ダイオキシン問題については、健康影響の面から社会的な関心が高く、その対策は、緊急な課題となっている。地方自治体においても、その排出実態や健康への不安などに関する問い合わせが多く寄せられてきた。本市では、平成9年度補正予算で環境科学研究所に「ダイオキシン類等分析室」を整備し、平成10年7月から分析調査業務を開始している。

2-2 専用分析室の必要性

近年問題となっている環境汚染物質のうち、ダイオキシン類などの物質は、極めて微量であっても毒性が高い。また、一般に環境試料から検出し分析する場合は、極微量存在する物質を取り扱うため、超高感度の分析技術と安全の確保が要求される。

環境中の試料に含まれるダイオキシン類を分離し、定量分析するためには、採取用捕集材および採取、分析用器具の洗浄工程から始まり、「サンプリング」→「抽出」→

「試料のクリーンアップ」→「分離および濃縮工程」→「ガスクロマトグラフ質量分析（GC/MS分析）」→「データ処理解析」という一連の手順が踏まれる。これらの分析工程は、他の場所からの汚染の流入を避け、また、分析工程から他の場所へ汚染しないような独立した室内環境の実験室で操作する必要がある。

そこで、他の化学物質に比べて周辺環境の安全確保と分析業務従事者の健康保護のため、専用の換気空調設備を持つ実験室、いわゆる「ケミカルハザード実験室」を整備する必要がある。

<補足説明>

ダイオキシン類の分析施設の設備指針については、その後国の測定マニュアル（「有害大気汚染物質測定方法マニュアル（ダイオキシン類及びコプラナPCBs）」³⁾及び「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」⁴⁾）の中で規定されるようになった。

2-3 設備の概要

(1)場所；横浜市環境科学研究所1階

(2)面積；46平方メートル

(3)工事期間；平成10年2月から平成10年6月

(4)整備費；約73,000千円（ガスクロマトグラフ質量分析計のリース費用は除く。）

(5)分析室の構成

①前室

②分析計室（専用ガスクロマトグラフ/質量分析計、データ処理装置）

③前処理室（試料の調製・抽出・濃縮等、標準物質添加操作及び廃棄物管理）

(6)換気・空調；室内の気圧を外部より低く保ち（約-5mmAq）独立した給排気の構造・設備

(7)排ガス処理等

①分析計の排ガスは活性炭吸着処理、これを含め室内空気全体を高性能フィルタ（ヘパフィルタ）と活性炭吸着処理

②排水は流し台下部で活性炭吸着処理し、更に既存排水処理施設で処理

③分析で生じた廃棄物は室内保管庫に保管

実験室排気は、ドラフトチャンバー等により行い、専用の活性炭吸着施設により完全に除害して大気へ放出する。また、排気ダクトは、トルエン等使用する溶剤に耐性のある材質を使用し、機密性ある施工となっている。

(8)安全管理

煩雑で作業時間のかかる溶媒抽出工程について、より安全化および効率化を図るため、モニターカメラによる工程チェックおよび局所自動消火システムを設けている。

また、実験従事者及び周辺環境の安全を確保するため、「ダイオキシン等分析室安全管理規程」を定めた。

①安全管理体制

実験従事者を選任するとともに、施設管理者、業務管理者を置いた。

②安全管理小委員会の設置

③安全管理基準等

(9)セキュリティ

分析室の入り口にある「前室」のドアに特定の分析者のみが入り出できるロック機構を有している。また、警報表示板を設け、排気の状態や正常な負圧になっているかを分析者に示す機構を設けている。

(10)分析調査体制

人員；分析担当職員3名

測定対象；環境大気、河川水、河川底質、海水、海底質、土壌、地下水、排ガス、排水、灰、精度管理試料など

<参考> 構造基準について

化学物質による大気拡散や水質変性などによる環境への影響や災害に対し、「ケミカルハザード」（化学物質による災害）対策を講じた試験室施設の基準は、OECDの勧告（OECD優良試験所基準(案) OECD-GLP）もあり、その必要性から、我が国では「化審法」（化学物質の審査および製造等の規制に関する法律）に導入され「新規化学物質に係る試験の方法等を定める命令第3条に規定する試験施設について」（昭和59年）（化審法GLP）が定められ、設備レベルについてレベルⅠ～レベルⅣが規定されている。^{5),6),7)}

その内容は「バイオハザード」対策（組換えDNA実験指針、科学技術庁）におけるP1～P4と類似しており、^{8),9)}設備・管理のレベル区分、物理的隔離に関し定められている。

本実験室は、バイオハザード対策におけるP3レベル相当、または化審法GLPのレベルⅢ相当の物理的隔離基準を満たしている。

2-4 ダイオキシン等分析室

研究所の既存試験室を改造し、専用の分析室を設けた。分析室内を、①試料の分解、抽出、精製及び濃縮を行うエリア（前処理室）②GC/MS分析を行うエリア（GC/MS分析室）③前処理室、分析室の陰圧保持のためのインターロック機構の扉を持つエリア（前室）に仕切り、各室とも外部へ空気が漏れないよう負圧となっている。

2-5 ダイオキシン類濃度調査方法

各環境試料についての採取方法の概要

当研究所では、ダイオキシン類の調査・測定について、国のマニュアル及び関係JISに規定された方法に準じて測定操作を行っている。測定方法の詳細は各マニュアルに記載されているので、測定の全工程にわたる説明は省略し、いくつかの作業ポイントについて、図を中心に概略を説明する。

2-5-1 大気試料採取方法

ポリウレタンフォーム採取筒を装着したハイボリウムエアサンプラーに石英繊維ろ紙1枚およびポリウレタンフォーム2個を装着したものをを用いる。

捕集材のクリーンアップ：

<石英繊維ろ紙> 600℃で6時間加熱処理

<ポリウレタンフォーム> アセトンソックスレー抽出器で24時間洗浄、乾燥

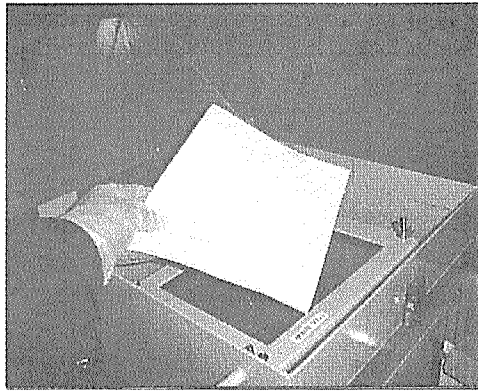


図-1 ハイポリウム・エアサンプラーにおける紙の装着

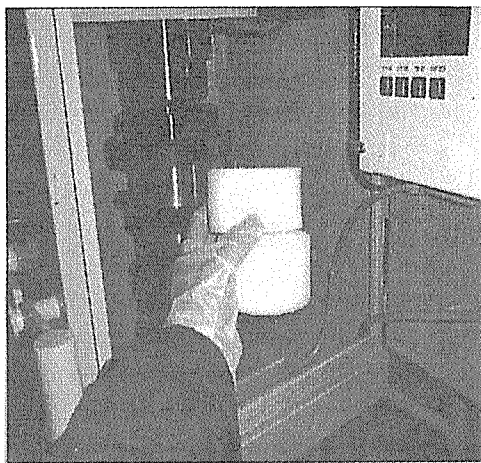


図-2 ハイポリウム・エアサンプラーにおけるウレタンフォームの装着

2-5-2 土壌試料採取方法

採土器を使用し、直径5cm、長さ5cmの柱状試料を採取する。

調査地点における表層土壌の試料採取は原則として5地点混合方式による。

(中心および周辺4方位の5~10mの間から1箇所ずつ、合計5箇所て試料採取し等量混合する)

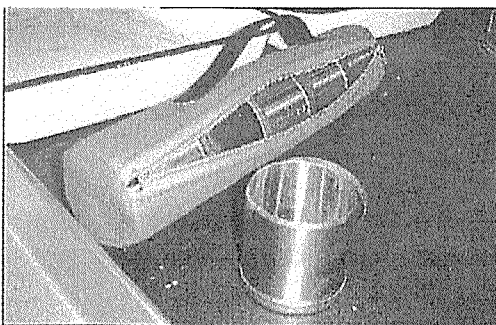


図-3 採土器

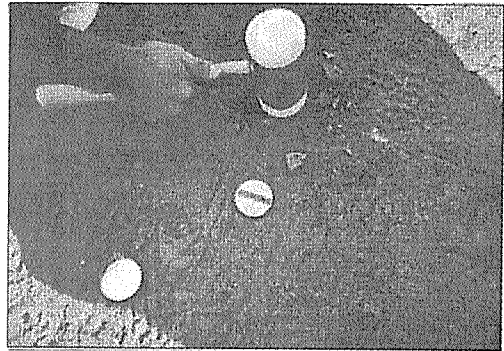


図-4 採土器による土壌試料の採取

2-5-3 水質試料採取方法

試料：環境水（公共用水域等），河川，湖沼，海域，地下水，排水

採取：ガロンびん（3リットル）による水質試料の採取
14本（42リットル）で1検体分

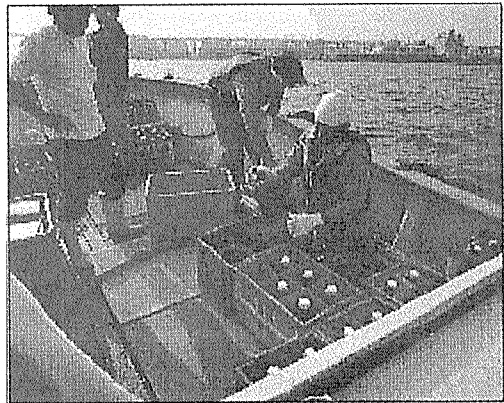


図-5 船上での海水試料の採取

2-5-4 底質試料採取方法

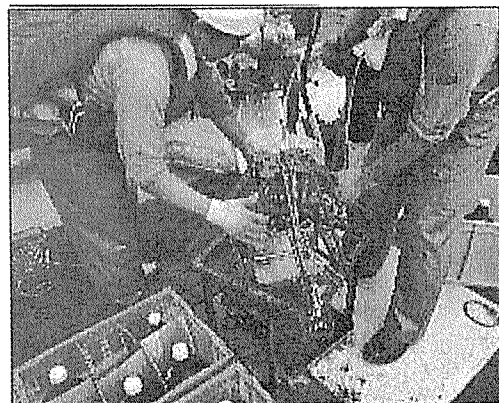


図-6 スミス・マッキンタイヤー採泥器による底質の採取



図-7 採取した底質試料

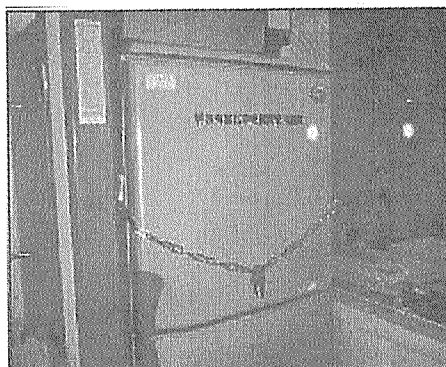


図-10 特殊有害化学物質保管冷蔵庫
(標準物質等の保管)

2-6 ダイオキシン類分析方法の概要

2-6-1 試料の抽出

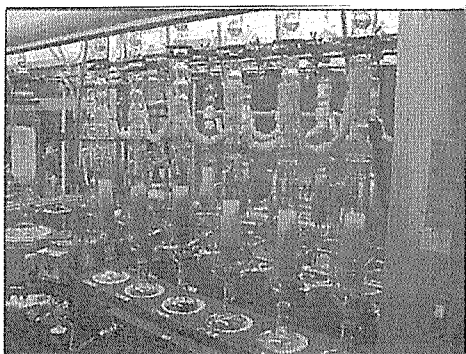


図-8 ソックスレー抽出器による抽出
(土壌及び大気試料など)



図-11 標準物質 (高気密保存ビンで保管)
(検量線作成用, クリーンアップスパイク, シリンジスパイク及びサンプリングスパイク)

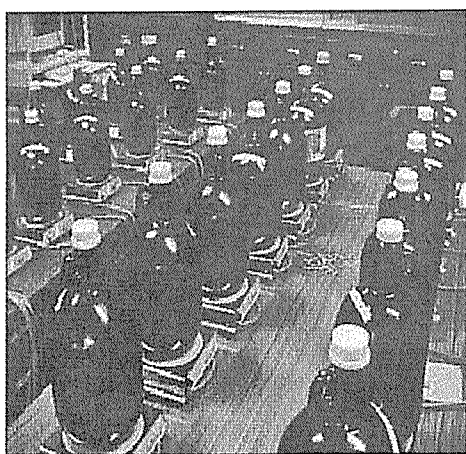


図-9 スターラーによる溶媒抽出 (水質など)

2-6-2 標準物質の添加

専用冷蔵庫に施錠して保管する。

濃度の基準となる内標準物質の添加

(内標準物質: 炭素13でラベル化 (識別化) したダイオキシン類標準液)

2-6-3 試料の酸化・濃縮・精製

(1) 硫酸による他の有機物の酸化分解

(2) カラムクロマトによる精製

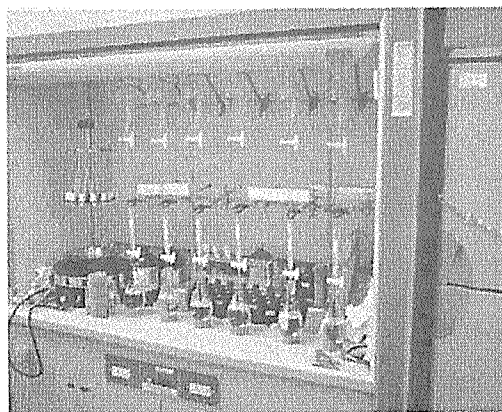


図-12 シリカゲル及びアルミナクロマト
カラムによる試料の精製

2-6-4

分析用試料の調整

(1) 窒素気流による濃縮

n-ノナンおよびシリンジスパイクをそれぞれ一定量添加し定容する。最終試料 50 μ l



図-13 ロータリーエポレータによる濃縮

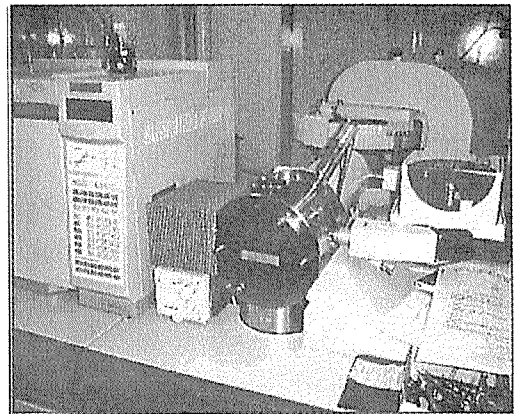


図-16 GC/MS分析装置 (HRGC-HRMS)

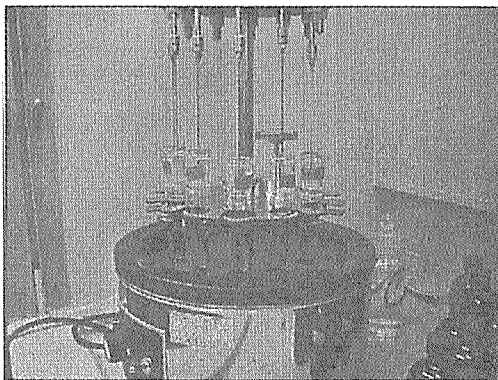


図-14 窒素吹きつけ濃縮装置 (エバポクイック)

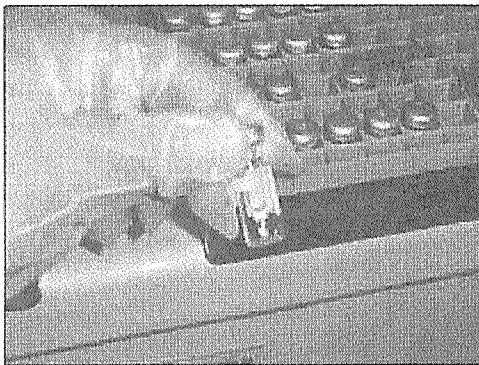


図-15 最終調整試料 (50 μl)

2-6-5 試料のGC/MS分析

(1) 使用機器

同定と定量は、キャピラリーカラムを用いる高分離能ガスクロマトグラフ (HRGC) と二重収束型の高分解能質量分析計 (HRMS) を用いる高分解能ガスクロマトグラフ質量分析法 (HRGC-HRMS) によって行う。

(2) GC/MS分析

検出法としては各同族体を区分するため、ロックマス方式を用いる選択イオン検出 (SIM) 法を用いる。

2-6-6 データ解析・処理

(1) ダイオキシンの同族体:

四塩化物から八塩化物の各同族体を定性・定量する。異性体濃度は、各2,3,7,8-位塩素置換異性体 (17異性体) について表示する。

(2) コプラナPCBs:

ノンオルト異性体4種、モノオルト異性体8種を定性・定量する

(3) ダイオキシン類の定量計算処理のネットワーク化

PC使用のネットワークを構築し、PC処理専用ソフトを使用することで、同定、定量計算が効率化する。

ダイオキシン類の定量処理等のネットワーク処理

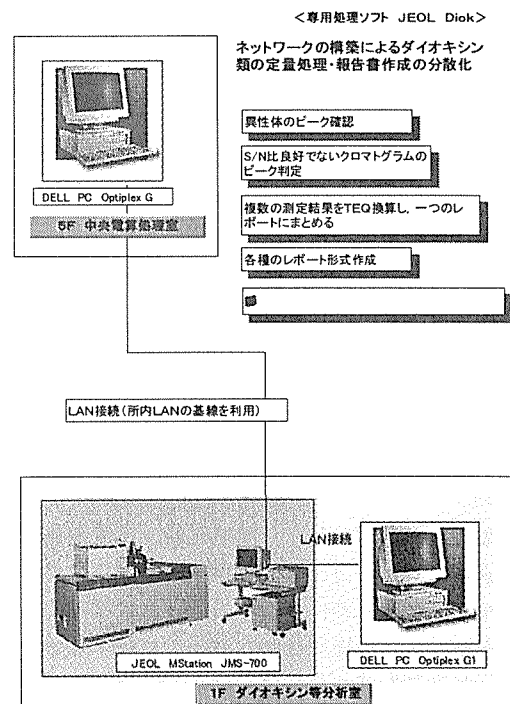


図-17 ダイオキシン類の定量計算処理ネットワーク

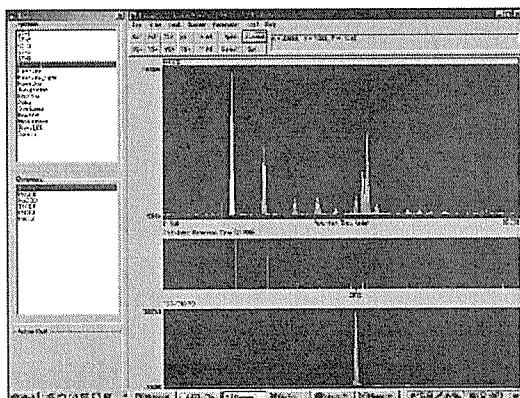


図-18 SIMクロマトグラム例

3. 調査研究の課題及び留意点等

3-1 成果の活用

ダイオキシン類汚染実態調査は、市民の関心が高く、国が行う全国的な調査と時期を合わせていることもあり、その結果を迅速に市民に対し公表してゆく必要がある。調査結果がまとまり次第、公表している。

3-2 精度管理

環境庁が実施している「環境測定分析統一精度管理調査」に機関参加し、共通試料を分析することで当研究所の精度について検討し、管理の充実をはかり情報交換をより推進する。

また、多種にわたる検体の分析を効率的に実施するため、経験の長い他機関の操作手順に関する情報および分析調査方法改良の情報を積極的に吸収するとともに、ダイオキシン類調査研究の進展に貢献する。

3-3 独自の研究調査の実施

各種モニタリング調査とともに、独自の研究調査を実施する。

排出ガス等の粒径別存在量に関する研究等を実施し、発生源ガス等について粒径別採取サンプラーを使用し粒径別の存在量を求める。このことにより、排出ばいじんから環境粉じんへ移行するメカニズム解明資料が得られる。

また、臭素化ダイオキシン類についても検討を進める。

3-4 ダイオキシン類測定年間実績数と採取委託について

測定対象試料が多岐にわたる環境試料（環境大気、河川水、河川底質、海水、海底質、土壌、地下水、排ガス、排水、灰、精度管理試料等）を扱っている。「ダイオキシン類対策特別措置法」が施行された平成12年1月からは、コプラナーPCBも併せた分析を行っている。

試料採取については、環境大気、排ガス→委託採取、水質、底質、土壌→委託採取と行政職員の採取である。ただし、環境大気採取に使用するろ紙およびウレタンフォームは、当研究所でクリーンアップし、サンプリングスパイクを添加したものを委託業者に渡している。

一方、環境保全局の行政部門では、措置法に関連した補

正予算や本予算により、事業所排ガスや土壌検体を委託分析している。最近では、最終処分場や産業廃棄物施設周辺に居住する市民からの調査要望が増加している。¹⁰⁾

表-1 平成11年度ダイオキシン類分析検体数

	内 容	項目		総検体数
		PCDD+ PCDF	CoPCB	
1. 一般大気環境モニタリング	9地点×年4回	36	9	45
2. 土壌調査	20地点	20		20
3. 水質・底質調査	水質:河川11, 海域7	18		18
	底質:河川6, 海域7	13		13
4. いたち川等調査	河川水等	13		13
5. 環境庁精度管理調査	分析用土壌試料 (二重測定実施)	2	2	4
	クリーンアップ済み試料	1	1	2
6. 不特定緊急環境調査	大気	1	1	2
	水質	1	1	2
	土壌	1	1	2
7. ばいじん粒径別調査	焼却場排ガス	20		20
総計		126	15	141

3-5 ダイオキシン類分析試験室からの廃棄物の保管と処理

近年、有害汚染物質の規制が急速に進展し、それに伴って分析施設で生じる標準溶液の洗浄液やウエス類は、ダイオキシン類分析についてのものは施設内に保管していることが多い。

特に、試験施設の排気ガスおよび排水の処理に活性炭層を用いる場合、安全を考慮すると、より大容量のものを用いることになり、排気システムの保守作業時に大量の使用済み活性炭が生じる。これらも当面保管している施設が多いと思われる。

一方、持ち込まれる分析用の試料は、分析作業（粗抽出液等の保管も含む）に必要な量に限定しておいても、ある程度の保管場所の確保が必要となり、しだいにその量と種類が増加してゆく。

現在、実験室内に保管しているものは、上述のもの他、酸処理に使用した廃硫酸、クロマト処理に使用したシリカおよびアルミナ充填物である。廃棄溶液は濃縮してゆくのて高濃度汚染廃棄物となる。

試験室レベルでの処理方法については、以前から、紫外線ランプ照射が有効であるとされているが、当研究所では現在のところ当面保管している。

これらの保管すべきとされているダイオキシンが付着した材料のうち、排気ガス及び排水の処理に使用した活性炭等は、比較的軽微な毒性危険物である。

したがって、多くの場所を占める低濃度廃棄物については、現行の水銀やアスベスト等の廃棄物を規制する「特別管理産業廃棄物」としての回収がなされ、専用の焼却施設等で適切に処理が可能となるようなシステムづくりが望まれる。¹¹⁾

3-6 分析処理室の防災対策について

3-6-1 局所自動消火設備

作業時間のかかるソックスレー溶媒抽出工程では、突沸が起きやすく、特に引火性のあるアセトンを使用しマントルヒーターで加熱を行っているため、安全化対策が重要な

ものとなる。

一般に作業時に常時排気を行っているダクトでは火災が起きた場合、延焼が早く大きな惨事となる可能性がある。このため、本研究所では、「フード・ダクト用簡易自動消火装置」をソックスレー抽出器12連が稼働する排気フード内に設置している。

万が一の発火の場合には、ダクト内のセンサーが200℃の温度を感知しフード内の上部に設置された2個の噴射ノズルから消火剤が放射される。また、同時に吸引ブロワーが停止するシステムとなっている。



図-19 フード内の上部の噴射ノズル

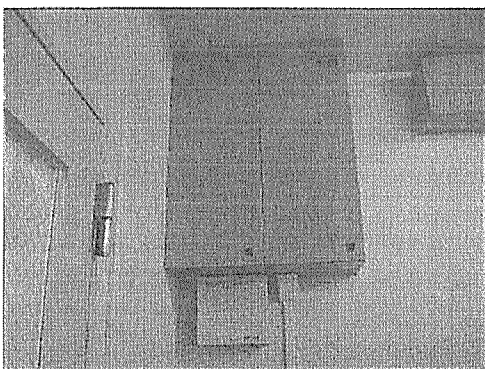


図-20 消火剤収納ボックス

3-6-2 溶媒抽出工程のモニターカメラ

ソックスレー溶媒抽出時において、データ解析等で分析処理室を離れて作業している場合でも抽出の様子をモニターすることができるようになっている。

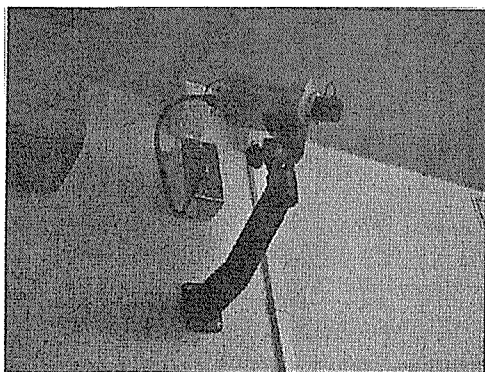


図-21 ソックスレー抽出工程モニターカメラ

4. まとめ

本市では、平成9年度補正予算で環境科学研究所に「ダイオキシン類等分析室」を整備し、平成10年7月から分析調査業務を開始している。そこで、業務の実際と現状の課題について本市での分析処理室の防災対策設備の紹介と調査研究の課題及び留意点等について次のとおり報告する。

(1)安全管理について

作業時間のかかる溶媒抽出工程について、より安全化および効率化を図るため、局所自動消火システム及びモニターカメラによる工程チェック機構を設けている。また、実験従事者及び周辺環境の安全を確保するため、「ダイオキシン等分析室安全管理規程」を定めた。

(2)調査研究の課題及び留意点等

迅速に市民に対し公表してゆく必要があると同時に、環境省が実施している「環境測定分析統一精度管理調査」に機関参加し、精度の向上及び精度管理の充実をはかる。

また、各種モニタリング調査とともに、独自の研究調査を実施している。

(3)実験室廃棄物について

標準溶液の洗浄液及び標準液の入っていた使用済みガラスサンプル等は、実験室内に当面保管されている。しかし、排気システムの保守作業時に大量の使用済み活性炭が生じており、多くの場所を占める低濃度廃棄物については、「特別管理産業廃棄物」としての回収がなされ、専用の焼却施設等で適切に処理が可能となるようなシステムづくりが望まれる。

文献

- 1)環境庁：ダイオキシン類対策特別措置法，(1999)。
- 2)環境庁：ダイオキシン類の環境測定に係る精度管理指針，(2000)。
- 3)環境庁大気保全局大気規制課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル（ダイオキシン類及びコプラナPCBs），(1999)。
- 4)環境庁水質保全局土壌農薬課：ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル，(2000)。
- 5)通産省基礎産業局化学品安全課：化審法関係GLP精度の概要ーよりよき試験施設のためにー，(財)通産産業調査会，(1985)。
- 6)北村敬，小松俊彦（バイオメディカルサイエンス研究会）：実験室バイオセーフティ指針<WHO，第2版，1993>，(1996)。
- 7)神奈川県：バイオテクノロジー環境安全管理指針運用マニュアル，(1997)。
- 8)科学技術庁：組換えDNA実験指針，(1991)。
- 9)文部省：大学等における組換えDNA実験指針，(1994)。
- 10)前田裕行：ダイオキシンのモニタリングに関する最近の話題，大気環境学会 環境大気モニタリング分科会第3回研究会，(1999)。
- 11)前田裕行：環境中のダイオキシン類及び有害化学物質の測定の現状と課題，第9回横浜国大アドバンストセンサ研究会，(2000)。

横浜市におけるダイオキシン類モニタリング調査（第1報）

越智洋之, 前田裕行, 森本敏昭（横浜市環境科学研究所）

Survey of PCDDs, PCDFs and Co-PCBs in Yokohama City

Hiroyuki Ochi, Hiroyuki Maeda and Toshiaki Morimoto
(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：ダイオキシン類, コプラナーPCB

要旨

市内各地域において、大気、水質、底質及び土壌等の各環境媒体についてダイオキシン類濃度調査を行った。その結果、平成 10 年及び 11 年度ともに環境基準がある大気、水質及び土壌については全て基準値を満たしていることがわかった。環境基準が設定されていない底質については、全国調査^{1,2)}と比較して妥当な値であることを確認した。また、各媒体において報告されている同族体組成や異性体組成等の特徴的な傾向が、横浜市内においてもいくつか見られた。

1. はじめに

ポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン(PCDDs)、ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDFs)及びコプラナーPCB(Co-PCBs)からなるダイオキシン類は極めて強い毒性を有し、微量の汚染で人体に影響を及ぼす可能性が指摘されている。これらダイオキシン類については、大気、水質及び土壌の環境基準を設定したダイオキシン類対策特別措置法が平成 11 年 7 月に公布され、平成 12 年 1 月に施行されたことを受けて、環境モニタリングの重要性がますます高まってきた。

横浜市では、ダイオキシン類に対する社会的関心が大きくなっていることから、平成 10 年度にダイオキシン類分析施設を当研究所内に導入し、同年 7 月から大気、水質、土壌及び底質等の環境媒体についてのモニタリング調査を行っている。今回は、平成 10, 11 年度に当研究所で行った分析を中心としたダイオキシン類モニタリング調査結果について報告する。

2. 調査内容

2-1. 大気中のダイオキシン類調査

(1) 調査期間：平成 9 年秋期から開始（当研究所では平成 10 年夏期から分析開始）

(2) 採取時期及び回数：各季節測定年間計 4 回（5 月、8 月、11 月、2 月）平成 10 年度は 24 時間サンプリングを 2 回連続して行い、平成 11 年度は 1 回行った。

(3) 調査地点：本市一般環境大気測定局で、臨海部、都心部、郊外部等の地域性を考慮し、選定した市内 9 地点

調査方法：環境庁が作成したマニュアル等に従って実施

(4) 毒性等価係数及び下限値の扱い：ダイオキシン類(PCDD, PCDF 及びコプラナーPCB (平成 11 年冬期から実施))の各異性体の毒性等価係数(TEF)は、平成 10 年度

は I-TEF (1997)、平成 11 年度は WHO-TEF (1998)によった。また、各異性体における定量下限値未満の数値の取扱については、平成 10 年度は定量下限値未満の数値を 0 として扱い、平成 11 年度は、検出下限未満の値は検出下限の 1/2 の値を用いて各異性体の毒性等量を算出し、それらの値を合計して毒性等量(TEQ)を算出している。

2-2. 河川及び海域におけるダイオキシン類調査

(1) 調査期間：平成 11 年度から開始

(2) 採取時期及び回数：平成 11 年 10 月 13 日～14 日(平成 11 年度)、年間 1 回

(3) 調査媒体及び地点：公共用水域測定計画の測定地点を対象にした水質 18 地点（河川 11 地点、海域 7 地点）及び底質 13 地点（河川 6 地点、海域 7 地点）

(4) 調査方法：日本工業規格及び環境庁が作成したマニュアル等に従って実施

(5) 毒性等価係数及び下限値の扱い：ダイオキシン類(コプラナーPCB 除く。なお、コプラナーPCB 調査については平成 12 年度から実施)の各異性体の毒性等価係数(TEF)は WHO-1998 によった。また、各異性体における定量下限値未満の数値の取扱については、検出下限未満の値は検出下限の 1/2 の値を用いて各異性体の毒性等量を算出し、それらの値を合計して毒性等量を算出している。

2-3. 土壌中のダイオキシン類調査

(1) 調査期間：平成 10 年度から開始

(2) 採取時期及び回数：平成 10 年 11 月 16 日～19 日(平成 10 年度)平成 11 年 12 月 15 日～21 日(平成 11 年度)、年間 1 回

(3) 調査地点：市内を 3km のメッシュで区切り(47 メッシュ)、各メッシュ内において環境庁が作成したマニ

アル等に準じた、試料採取に適した公園 20 地点(平成 10 年度)及び小学校 27 地点(平成 11 年度)。

(4) 調査方法：環境庁が作成したマニュアル等に従って実施

(5) 毒性等価係数及び下限値の扱い：ダイオキシン類の各異性体の毒性等価係数(TEF)は、WHO-TEF(1998)によった。また、各異性体における定量下限値未満の数値の取扱については、定量下限値未満の数値を 0 として扱い各異性体の毒性等量を算出し、それらの値を合計して毒性等量を算出している。

3. 調査結果及び考察

3-1. 大気中のダイオキシン類調査結果

平成 10 年度以降の各季節測定値及び年平均値を表 1 に示す。調査した市内 9 地点それぞれの年平均値は、平成 10 年度は 0.21~0.41pg-TEQ/m³、平成 11 年度は 0.16~

0.25pg-TEQ/m³の範囲にあり、全調査地点とも環境基準(平成 10 年(指針値) 0.8pg-TEQ/m³、平成 11 年 0.6pg-TEQ/m³)に適合していた。平成 10 年度及び 11 年度ともに全国平均^{1, 3)}と同程度であった。

都市環境大気の平均的な異性体組成はフライアッシュの組成と対応しており、市内各地点でも同様な傾向が見られた⁴⁾。また、PCDD/F 同族体組成を見ると各地点ともに PCDF が PCDD に比べて全体的に高かった。この傾向は首都圏¹⁾や他の地域⁵⁾における同族体組成にも見ることができた。季節濃度変化(図 1)については、明らかな傾向が見られなかった。今回の結果と同様に季節的な変動は見られないという報告⁶⁾もあるが、冬季に高い濃度傾向を示すという報告⁷⁾もあり、今後も定期的にモニタリングを続けて傾向を調べていくことが必要である。

表 1 大気中のダイオキシン類調査結果

測定地点	10 年春		10 年夏		10 年秋		10 年冬		10 年度 平均値	11 年 春	11 年 夏	11 年 秋	11 年 冬	11 年度 平均値
	①	②	①	②	①	②	①	②						
鶴見区生麦小学校	0.17	0.28	1.0	0.68	0.39	0.39	0.14	0.21	0.41	0.22	0.27	0.19	0.28	0.24
西区平沼小学校	0.23	0.25	0.47	0.55	0.38	0.34	0.13	0.77	0.39	0.19	0.040	0.12	0.64	0.25
中区本牧	0.20	0.23	0.51	0.47	0.30	0.27	0.18	0.17	0.29	0.17	0.041	0.11	0.31	0.16
旭区鶴ヶ峯小学校	0.33	0.25	0.32	1.1	0.35	0.54	0.21	0.20	0.41	0.21	0.038	0.15	0.37	0.19
港北区総合庁舎	0.21	0.19	0.36	0.28	0.38	0.37	0.20	0.21	0.28	0.19	0.034	0.15	0.38	0.19
青葉区総合庁舎	0.37	0.29	0.19	0.17	0.38	0.50	0.085	0.18	0.27	0.32	0.026	0.15	0.50	0.25
戸塚区汲沢小学校	0.20	0.27	0.23	0.32	0.40	0.54	0.16	0.22	0.29	0.16	0.019	0.13	0.33	0.16
栄区犬山小学校	0.34	0.20	0.15	0.16	0.26	0.38	0.073	0.12	0.21	0.26	0.028	0.11	0.32	0.18
瀬谷区南瀬谷小学校	0.35	0.24	0.48	0.30	0.41	0.57	0.33	0.31	0.37	0.10	0.038	0.17	0.59	0.22
市内 9 地点平均	0.27	0.24	0.41	0.45	0.36	0.43	0.17	0.27	0.32	0.20	0.059	0.14	0.41	0.20

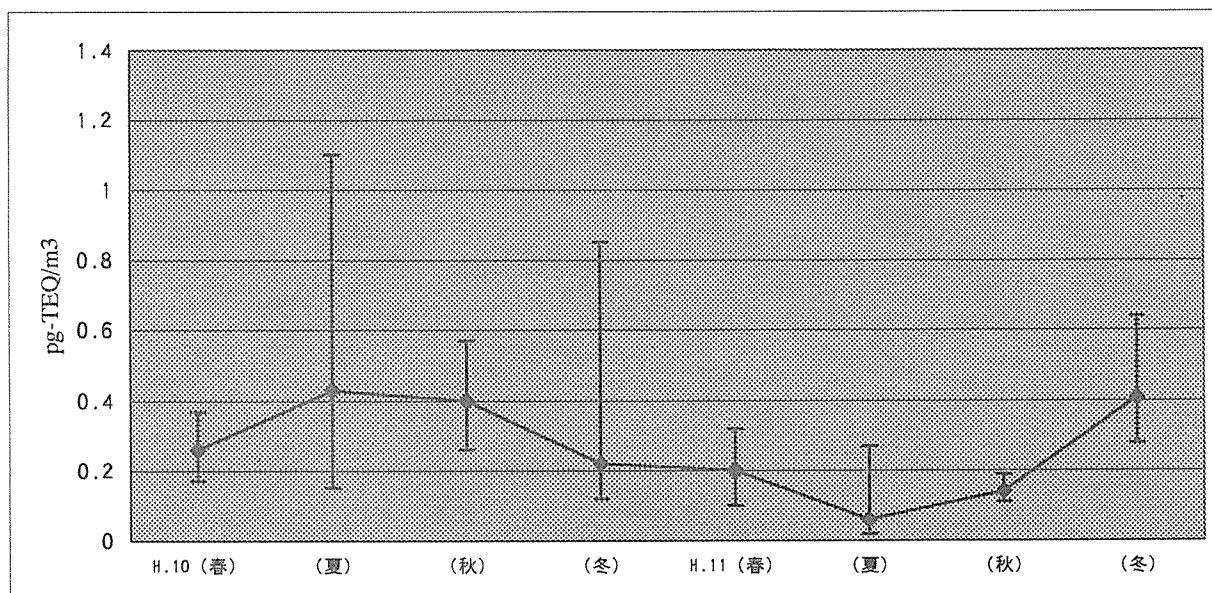


図 1 大気中のダイオキシン類濃度季節変化

3-2. 河川及び海域におけるダイオキシン類調査結果

各地点の水質及び底質調査結果を、それぞれ表2及び3に示す。水質におけるダイオキシン類濃度の平均値は0.25pg-TEQ/L(河川水0.29pg-TEQ/L, 海水0.20pg-TEQ/L)で、濃度範囲は0.11~0.53pg-TEQ/Lであった。いずれの地点も環境基準(1pg-TEQ/L)を下回る値であった。

底質の平均値は8.1pg-TEQ/g(河川4.2pg-TEQ/g, 海域13pg-TEQ/g)で、濃度範囲は0.51~24pg-TEQ/gであった。底質に関しては環境基準が設定されていないため、全国調査^{1), 2)}と比較を行い妥当な値であることを確認した。

同族体組成においては、水質及び底質ともにTCDD及びOCDDの寄与が高い地点が多かった。また、東京湾に堆積している底質中のPCDD/Fについては、焼却に加え、CNP、PCP由来のPCDD/Fの影響が大きいことが指摘さ

れている^{8), 9)}ことから、海域の底質において、TCDDに対するCNP由来と推定される1368-, 1379-TCDDの割合を調べたところ67~92%となっており、横浜市域にかかる東京湾においてもCNPの影響が認められた。

3-3. 土壌中のダイオキシン類調査結果

市内47地点のダイオキシン類濃度を図2に示す。平均値は2.1pg-TEQ/gで、濃度範囲は0.0085~14pg-TEQ/gであり、環境基準(1000pg-TEQ/g)や要調査とされる250pg-TEQ/gを満たしていた。

土壌中ダイオキシン類の同族体組成ではOCDDの割合が非常に高いと報告されている¹⁰⁾ように、市内各地点でも基本的に同様な傾向を示していた。

総TEQ濃度に占めるCo-PCBの割合は、地点によって幅があった。

表2 水質中のダイオキシン類調査結果

河川	pg-TEQ/L	海域	pg-TEQ/L
鶴見川 千代橋	0.27	鶴見川河口先	0.27
鶴見川 都橋	0.27	横浜港内	0.24
入江川 入江橋	0.15	磯子沖	0.13
帷子川 水道橋	0.18	平潟湾内	0.31
大岡川 清水橋	0.53	本牧沖	0.14
宮川 瀬戸橋	0.24	富岡沖	0.16
侍従川 平潟橋	0.11	平潟湾沖	0.14
境川 高鎌橋	0.51	平均	0.20
柏尾川 吉倉橋	0.40		
柏尾川 鷹匠橋	0.35		
いたち川 いたち川橋	0.18		
平均	0.29		

表3 底質中のダイオキシン類調査結果

河川	pg-TEQ/g	海域	pg-TEQ/g
鶴見川 千代橋	0.51	鶴見川河口先	24
鶴見川 都橋	1.3	横浜港内	23
帷子川 水道橋	2.7	磯子沖	3.3
大岡川 清水橋	18	平潟湾内	18
境川 高鎌橋	1.1	本牧沖	12
柏尾川 鷹匠橋	1.7	富岡沖	1.4
平均	4.2	平潟湾沖	6.6
		平均	13

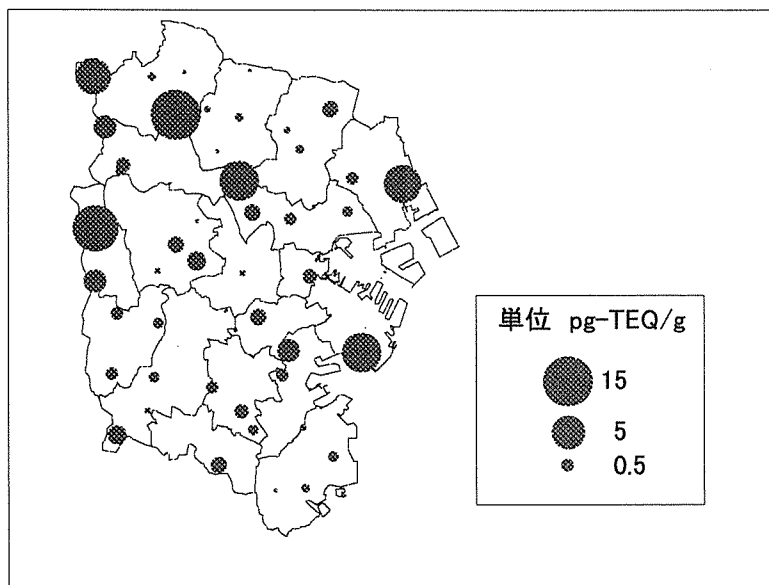


図2 土壌中のダイオキシン類濃度

4. まとめ及び今後の課題

横浜市内各地点において、大気、水質、底質及び土壌のダイオキシン類調査をしたところ、以下の点が明らかになった。

- (1) 環境基準等が設定されている大気、水質、及び土壌については、いずれも基準値を下回る濃度であった。
 - (2) 環境基準が設定されていない底質は、全国調査と比較する限り特に問題になるような点は見られなかった。
 - (3) 各異性体濃度及び同族体濃度組成から、それぞれの媒体特有の傾向が横浜市内においても同様に見られた。
- 今後も引き続き定期的にモニタリングを行い、市内各地域におけるダイオキシン濃度変化を監視する必要がある。また、今回は調査結果を中心にまとめたため、各異性体及び同族体組成などについては大まかな傾向しか見えていない。したがって、次報では新たに加わったデータを含め、媒体ごとにより詳細に解析を行い横浜市内の傾向を明らかにしていく。

参考文献

- 1) 環境省：ダイオキシン類全国一斉調査結果について（平成10年度実施）(1999)
- 2) 環境省：平成11年度公共用水域等の調査結果について(2000)
- 3) 環境省：平成11年度地方公共団体における有害大気汚染物質モニタリング調査結果について(2000)
- 4) Nakano, T., Tsuji, M., and Okuno, T., : Distribution of PCDDs, PCDFs and PCBs in the Atmosphere. *Atmospheric Environm.*, **24(A)**, 1361-1368(1990)
- 5) 西村 貴司, 多々野 秀二, 鎌田 暁義, 服部 幸和, 牧 定雄: 環境大気中のダイオキシン類の挙動, *環境化学*, **8(4)**, 759-767(1998)
- 6) Eitzer, B. D., and Hites, R. A., : Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in the Ambient Atmosphere of Bloomington, Indiana. *Environ. Sci. Technol.*, **23**, 1389-1395(1989)
- 7) 桑田 一弘, 山下 幸康: 環境大気中のダイオキシン類の分析法及び分析法の問題点, *環境化学*, **1(2)**, 359-370(1991)
- 8) 姚 元, 益永 茂樹, 中西 準子, 奥田 啓司, 高田 秀重: 東京湾におけるダイオキシン類汚染の歴史の変遷に関する研究, 第9回環境化学討論会, 278-279(2000)
- 9) 佐々木 裕子, 蒔田 茂穂, 吉岡 秀俊, 東野 和雄: 都内河川, 海域のPCDD/F濃度と分析法の検討, 第9回環境化学討論会, 296-297(2000)
- 10) 大崎 靖彦, 松枝 隆彦, 黒川 陽一: 土壌中のダイオキシン類の濃度レベル *環境化学*, **2(3)**, 523-531(1991)

身近な生きものについてのアンケート調査結果 (第1報)

島村 雅英, 森 清和 (横浜市環境科学研究所)

Result of questionnaire about environment close to ourselves (vol.1)

Masahide Shimamura, Seiwa Mori
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

要 旨

本調査は、現在の小学生の身近な生き物についての意識、経験、知識及び考え方を把握するため、小学生を中心に中学生、大学及び保護者を対象にアンケート調査を実施したものである。

調査の結果、小学生の身近な生き物とのふれあいについては、保護者や大学生に比べ減少しているが、知識や意識はそれほど相違がないことが把握できた。考え方については、大学生や保護者に比べブラックバスなど外来種のいる池を望む割合が高いことが明確になった。また、身近な生き物に対しての意識や経験が男女で異なることが明確になった。

キーワード： エコアップ, 環境教育, 昆虫, アンケート

1 はじめに

1960年代の横浜市域は、約2/3が緑に覆われていたが高度経済成長に伴う急激な都市化により緑地等が著しく減少し、現在では約1/3まで減少してしまっている。都市化とともに、大きなまとまりとしての樹林地・公園・農地、また水系としての河川・水路・海岸などはわずかに残されているものの、全体としては生物相、生態系の衰退が認められる。このような背景の中、子どもたちも自然とふれあう機会が減少し、昔は当たり前だったトンボ、メダカ、カエルなど身近な生きものと接する機会もなくなってきたために、いわゆる「虫嫌い」の子どもたちが多くなったといわれている。

現在、横浜市内の多くの小学校においてトンボ池がつくられ、生きものの生息空間の回復とともに、子どもたちにとって身近な生き物(以下:生き物等)とのふれあいの場として、また環境学習の場として活用されている。

本調査研究は、アンケート方式によって、現在の小学生の生き物等に対する体験と認識の実体を把握する目的で実施したものである。なおここでの体験や認識は、日常の体験を通じた生き物等とのふれあい程度を考えたものであり、特別な野外実習や研究を意識したものではない。

また、比較のため小中学生の保護者、中学生、大学生にも同様のアンケートを実施し検討を行った。

2 調査方法

アンケート調査は、小中大学生については、担任の先生にお願いし教室内で記載してもらった。保護者には、小中学生に配布し持ち帰ってもらい、自宅で記入してもらった。

内容は大きく分けて生き物等に対しての基本的意識、体験等の事実関係、基本的な知識及び身近な自然環境に

関する考え方の4つに分けられる。それぞれの質問の回答はすべて選択式である。

なお本報は、小学生についての概略的な傾向を把握するため、学区、学年については一括して扱い、主に単純集計結果から考察を行ったものである。

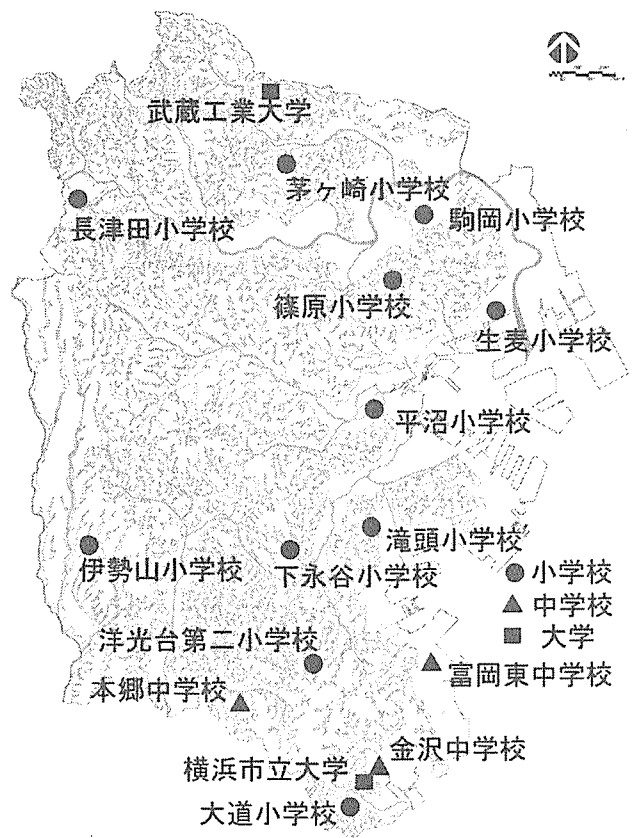


図-1 アンケート実施校位置図

3 調査対象

アンケートは、横浜市内の小学校11校（4年生～6年生、男435人女431人）、中学校3校（男103人、女87人）、大学2校（男240人、女143人）及び対象とした小学生の保護者（男112人、女340人）の合計1891人を対象に実施した。なお、大学生に関しては、市外からの通学者も含まれる。アンケートを行った学校及びアンケート数量については表-1及び図-1に示す。

4 調査結果

4-1 生き物等に対する基本的意識について

問1 あなたは**ネム**、**トンボ**、**クワガタ**、**メダカ**、**カエル**などの生きものについてどう思いますか。

調査結果を図-2に示す。小学生は、「大好き」が男性32%、女性は8%であった。これに「どちらかという好き」を加えると、男性は73%、女性は37%にとどまった。反対に「大嫌い」は、男性2%、女性6%であり、「どちらかという嫌い」を加えると男性5%、女性は26%であった。また「どちらでもない」は、男性で22%、女性で36%であり女性は選択肢の中で最も割合が多かった。

小学生と他の年代を比較すると、「大好き」の割合は、男女とも中学生で半減していた。また、大学生と保護者については、男性は小学生と同等か若干多かった程度であるが、女性は、大学生、保護者とも小学生の約2倍であった。反対に「大嫌い」の割合は、男女とも小学生に比べ中学生で倍以上に増加していた。大学生と保護者は、男性はほぼ同じ割合であったが、女性は、大学生で半減し、保護者においては0%であった。

4-2 生き物等に対する体験について

問2 あなたは、次の生きものをつかまえて遊んだことがありますか。（選択肢：セミ、カブトムシ、クワガタ、トンボ、コオロギ、バッタ、ネム、チョウ、ザリガニ、タマシ）

調査結果を図-3に示す。全ての選択肢、年代で男性が生きものをつかまえて遊んだ体験率が高かった。

小学生の体験率は、男性では「バッタ」が81%と最も高く唯一80%を超過していた。その他は「セミ」「カブトムシ」「トンボ」が約70%、「クワガタ」「チョウ」「ザリガニ」が約65%、「コオロギ」が52%であった。また「ネム」は20%、「タマシ」は11%であった。

女性では、「バッタ」が72%で最高であり、「チョウ」が61%、「トンボ」「セミ」が約50%、「カブトムシ」が42%、「クワガタ」「ザリガニ」が約35%、「コオロギ」は25%であった。また「ネム」は12%であり「タマシ」は5%と低かった。

小学生と他の年代を比較すると、男性はすべての種類で小学生の体験率が最も低く、年代とともに体験率が増加する傾向にあった。

女性は、「バッタ」は小学生から保護者まで体験率はあまり変わらないが、それ以外は大学生及び保護者より体験率が低かった。

表-1 アンケート実施校及び実施数量一覧表

(人)

学校名	学年	小中大学生			保護者		
		男	女	計	男	女	計
駒岡小学校 (鶴見区)	4	36	40	76			0
	5	44	33	77			0
	6	34	42	76	4	10	14
	計	114	115	229	4	10	14
茅ヶ崎小学校 (都筑区)	4	17	15	32	7	14	21
	5	8	20	28	5	6	11
	6	17	16	33			0
	計	42	51	93	12	20	32
洋光台第二小学校 (磯子区)	5	28	20	48	14	20	34
	6	20	29	49			0
	計	48	49	97	14	20	34
長津田小学校 (緑区)	5	44	18	62	2	10	12
	6			0	1	11	12
	計	44	18	62	3	21	24
下永谷小学校 (港南区)	5	14	9	23	11	38	49
	計	14	9	23	11	38	49
大道小学校 (金沢区)	4	13	19	32			0
	5	11	16	27			0
	6	26	16	42	4	16	20
	計	50	51	101	4	16	20
篠原小学校 (港北区)	4	14	14	28			0
	5			0	15	52	67
	6	14	11	25		1	1
	計	28	25	53	15	53	68
伊勢山小学校 (泉区)	5			0	8	41	49
	6	8	13	21			0
	計	8	13	21	8	41	49
生麦小学校 (鶴見区)	4			0	6	15	21
	5	34	36	70			0
	計	34	36	70	6	15	21
平沼小学校 (西区)	5	21	26	47	9	27	36
	計						
滝頭小学校 (磯子区)	5	32	38	70			0
	計						
小学校合計		435	431	866	86	261	347
富岡東中学校 (金沢区)	2	40	34	74	12	32	44
	計	40	34	74	12	32	44
金沢中学校 (金沢区)	1	2	0	2	0	2	2
	2	21	20	41	7	25	32
	計	23	20	43	7	27	34
本郷中学校 (栄区)	1	20	14	34	7	20	27
	2	20	18	38			0
	3		1	1			0
	計	40	33	73	7	20	27
中学校合計		103	87	190	26	79	105
保護者合計					112	340	452
武蔵工業大学	1	90	47	137	保護者の年代		
	2	104	48	152	年代	男	女
	他	16	20	36	30代	23	146
	計	210	115	325	40代	66	179
横浜国立大学	2	30	28	58	50代	20	5
大学生合計		240	143	383	60代	0	2
総計		890	1001	1891	不明	3	8

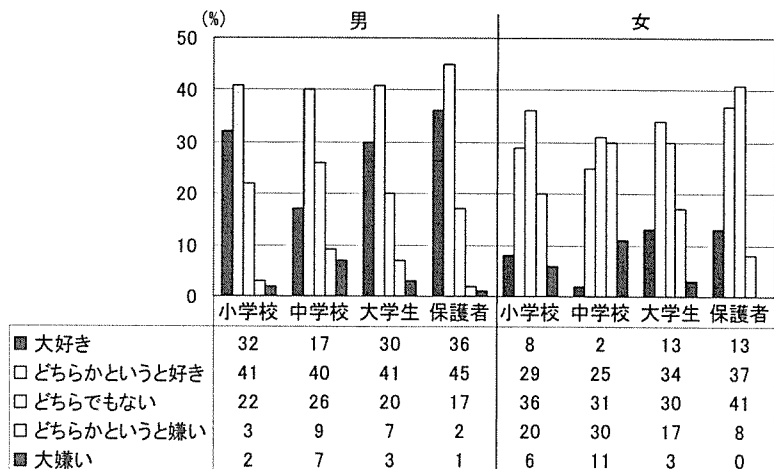


図-2 身近な生き物に対しての基本的意識 (%)

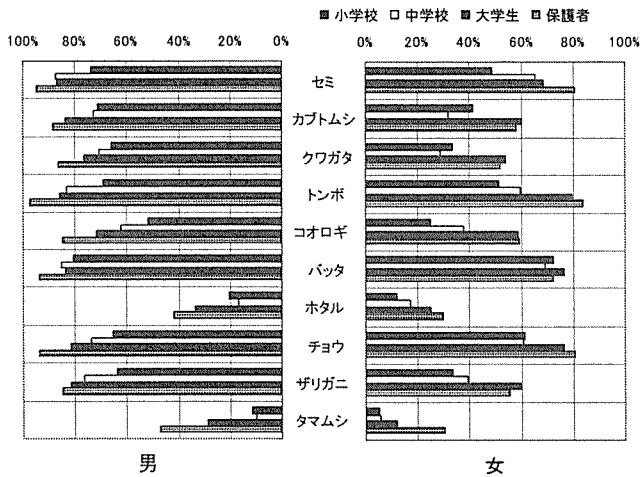


図-3 昆虫等をつかまえて遊んだ経験

問3 あなたは犬や猫以外の生き物を飼ったことがありますか。

(選択肢: 魚, オタマジャクシ・カエル, クワガタ・カブトムシ, ザリガニ, ヤゴ, ゲンゴロウ・カメ, その他)

調査結果を図-4に示す。生き物を飼った体験は、全体的に男性の方が女性に比べ体験率が高いが、魚は同等か女性の方が高かった。

小学生の体験率は、「魚」が63% (男61%, 女65%) と最も多く、次いで「クワガタ・カブトムシ」が59% (男74%, 女43%) であり男性では最も多かった。他の選択肢は半数以下であった。

また、横浜ではほとんど見ることの出来なくなった「カメ・ゲンゴロウ」も5%あった。

小学生と他の年代と比較すると、女性の「魚」、男性の「クワガタ・カブトムシ」は年代別にあまり差がなく、「オタマジャクシ・カエル」「ザリガニ」男性の「魚」は保護者に飼った体験率が高かった。「ヤゴ」は小学生及び保護者に高く、中・大学生には少なかった。

図-5に示すとおり、問2の生き物をつかまえた経験と同一の選択肢である「クワガタ・カブトムシ」に関して、クロス集計を行うと、「飼った体験がある」と回答した小学生のうち、「つかまえて遊んだことがない」小学生が14% (男11%, 女19%) あった。同様に「ザリガニ」についてみると、19% (男7%, 女31%) であった。

問4-1 あなたはホタルを見たことがありますか

調査結果を図-6に示す。「見たことがある」は、小学生56% (男61%, 女52%), 中学生54% (男51%, 女56%), 大学生68% (男70%女66%), 保護者82% (男88%, 女81%) であった。また、大学生と保護者についてはホタルを見た場所について質問し、表-2に示すとおり「横浜市内」は大学生で10%であった (ただし、大学生は横浜市外から通学しているものが含まれている)。また、保護者は33%であり女性の方が多かった。

問5 あなたは、次の生きものをさわることができますか。

(選択肢: トンボ, チョウ, クワガタ, ザリガニ, カエル, ヘビ)

調査結果を図-7及び表-3に示す。小学生について「平気でさわれる」は、女性に比べ男性の方が割合が高く、「チョウ」と「ヘビ」以外は2倍以上の差があった。反対に

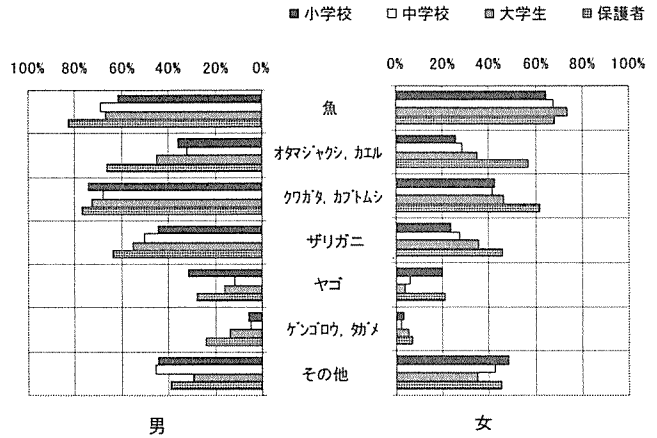


図-4 家で飼った経験のある生き物

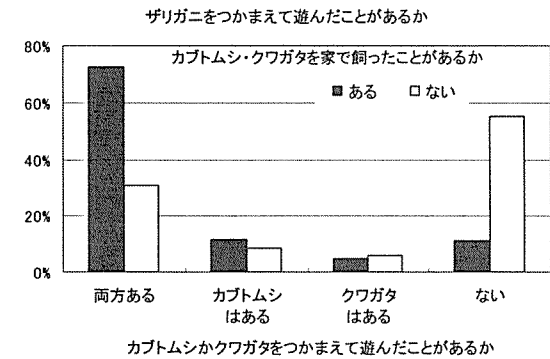
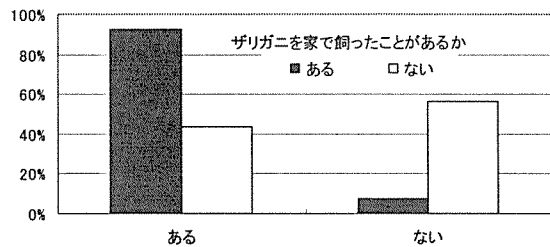


図-5 つかまえて遊んだ経験と家で飼った経験のクロス集計結果

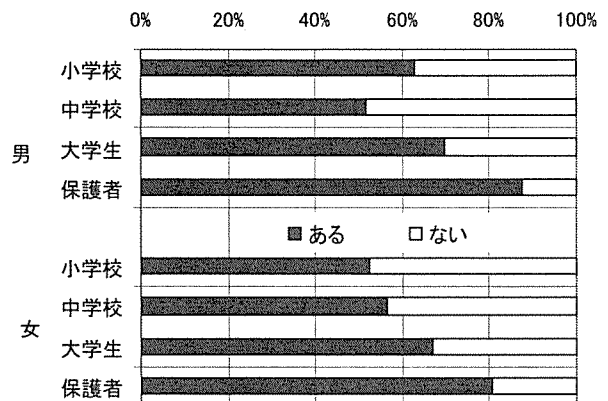


図-6 ホタルを見たことの経験

表-2 ホタルを見た場所 (%)

ホタルを見た場所	大学生			保護者		
	男	女	計	男	女	計
横浜市内	10	11	10	29	34	33
横浜以外	91	88	90	76	74	75

「さわれない」は女性が高く、「へび」を除いて2倍以上の差があり、「トンボ」「クワガタ」においては約4倍の差があった。

生き物別では、「平気でさわれる」は「トンボ」「チョウ」「クワガタ」が比較的高く、男性で約75%、女性で30~40%であった。ついで「ザリガニ」「カエル」が男性で54%~43%、女性で19~17%であり、「へび」は男女とも最も低かった(男15%、女10%)。

小学生と他の年代を「平気でさわれる」について比較すると、男性は「ザリガニ」以外の生き物は中学生より割合が高く大学生とは同程度であった。「ザリガニ」は小学生が一番少なかった。女性では中学生と同程度のものが「トンボ」「クワガタ」であり、中学生より高いものは「チョウ」「へび」であった。また低いものは「カエル」「ザリガニ」であった。また「カエル」と「へび」以外は年代とともに割合が大きくなった。

問6 あなたは次のトンボを見たことがありますか？
(選択肢：アカトンボ、シオカラトンボ、ギンヤンマ、オニヤンマ、イトトンボ、ハグロトンボ、カアトンボ、チョウトンボ)

全体的に見ると、すべての種類で男性の方が女性に比べ見た体験率が高かった。

図-8に示すとおり、小学生のトンボを見た体験として「アカトンボ」は、男女とも90%以上と最も高い回答率であった。次いで「オニヤンマ」「シオカラトンボ」「ギンヤンマ」(男64~72%、女46~55%)であり、男性の方が20%程度高かった。

また、横浜ではほとんど見ることの出来なくなった「ハグロトンボ」「チョウトンボ」も3%程度であった。

小学生と他の年代と比べると表-4に示すとおり、保護者は男女とも全種目において体験率が高く、「アカトンボ」においては男性は100%であった。また、「イトトンボ」を見た体験率とが多いのも保護者であった。

問6-2 あなたはアカトンボを手でつかまえたことがありますか
アカトンボを手でつかまえた体験について、問6-1でアカトンボを「見た体験がある」を対象に集計した。その結果、図-9に示すとおり小学生の「つかまえた体験がある」は、男性69%であり女性は47%であった。

小学生と他の年代と比べると、男女とも小学生がつかまえた体験率が最も低く、男性は中学生から保護者まで、女性は大学生まで年代ごとに高くなっていった。また女性は大学生と保護者がほぼ同じであり、保護者の体験率は男性で92%女性で66%であった。

4-3 生き物等に対する基本的な知識について

問6-3 アカトンボのもっとも好きなのところはどこなところだと思いますか (選択肢：池、田んぼ、川、プール)

アカトンボの最も好きなのところは「田んぼ」であるが小学生をはじめ各年代とも「田んぼ」を回答したものは図-10に示すとおり約50%にとどまった。また、「プール」については小学生の回答率が若干高かった。男女による差はあまりなかった。

問6-4 トンボは人をさすと思いますか

ヨーロッパにおいて一般にトンボは「刺す昆虫」と思

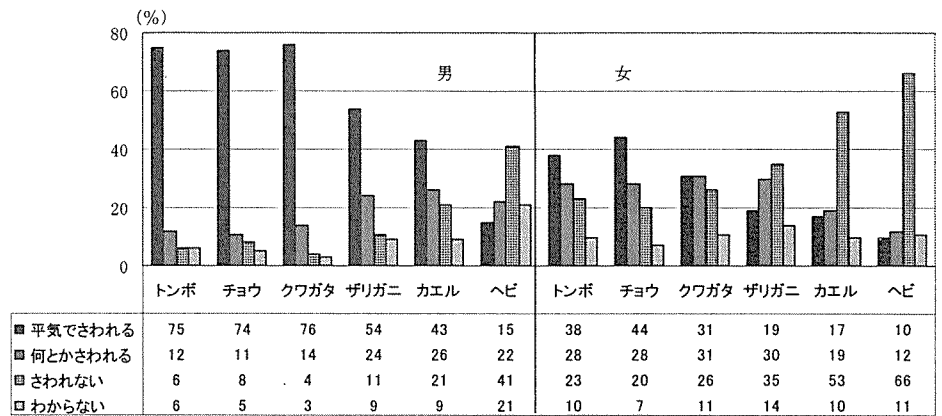


図-7 生き物にさわることができるか (小学生)

表-3 昆虫にさわることができるか (%)

		中学生		大学生		保護者	
		男	女	男	女	男	女
トンボ	平気でさわ	72	37	75	48	91	67
	何とかさわ	15	29	15	29	8	24
チョウ	平気でさわ	67	33	72	35	86	57
	何とかさわ	18	32	20	31	9	26
クワガタ	平気でさわ	73	30	79	38	89	53
	何とかさわ	17	28	11	34	9	30
ザリガニ	平気でさわ	62	26	64	34	80	32
	何とかさわ	19	18	24	35	14	34
カエル	平気でさわ	40	26	43	14	63	16
	何とかさわ	24	18	30	27	21	25
へび	平気でさわ	13	6	14	5	14	4
	何とかさわ	17	11	23	12	30	8
	さわれない	55	67	52	76	54	83
	わからない	16	16	10	7	2	5

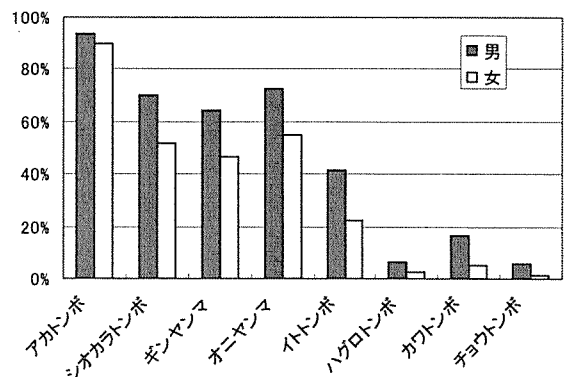


図-8 見たことのあるトンボの種類 (小学生)

表-4 見たことのあるトンボの種類 (%)

	男				女			
	小学生	中学生	大学生	保護者	小学生	中学生	大学生	保護者
アカトンボ	94	96	90	100	90	94	83	96
シオカラトンボ	70	74	70	89	52	47	50	79
ギンヤンマ	64	57	60	86	46	33	37	64
オニヤンマ	72	75	75	93	55	53	55	73
イトトンボ	42	50	40	74	23	33	22	58
ハグロトンボ	6	8	9	21	3	1	1	9
カアトンボ	16	13	18	21	5	5	6	12
チョウトンボ	6	7	6	8	1	0	2	3

われており、参考のために聞いてみた。結果は図-11に示すとおりである。小学生は、「刺すと思う」が3%であった。また、「刺さないと思う」は、80%であり男女の差はあまりなかった。

他の年代と比較すると大きな差はないが、「刺さないと思う」が中学生女子で64%と低かった。

問7 次の生きものについて、正しいと思うものは
(選択肢: ね, め, 両方, わからない)

結果は図-12に示すとおりである。

(1) カブトムシで角があるのは (正解 オス)

正解した小学生は86% (男91%, 女80%) であった。

(2) カで人を刺して血を吸うのは (正解 メス)

正解した小学生は66% (男70%, 女60%) であった。

(3) ハチで人を刺すのは (正解 メス)

正解した小学生は19% (男23%, 女15%) であった。

また、「両方」が47%あり、「ね」の回答も20%あった。

(4) コオロギで鳴くのは (正解 オス)

正解した小学生は72% (男73%, 女71%) であった。

(5) セミで鳴くのは (正解 オス)

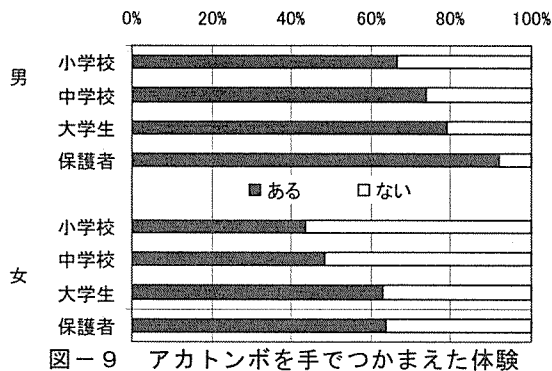


図-9 アカトンボを手でつかまえた体験

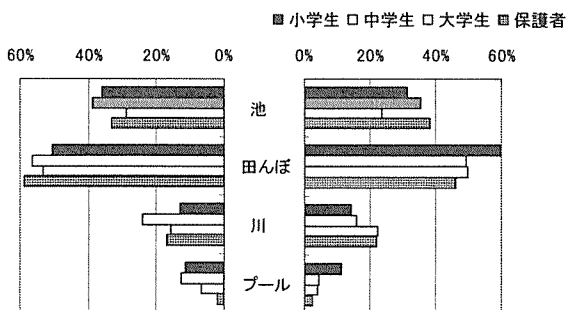


図-10 アカトンボの好きな場所はどこだと思うか

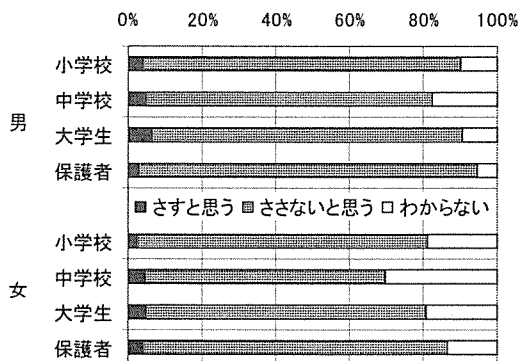


図-11 トンボは人を刺すと思うか

正解した小学生は58% (男63%, 女54%) であった。また「両方」と回答したものが22%あった。

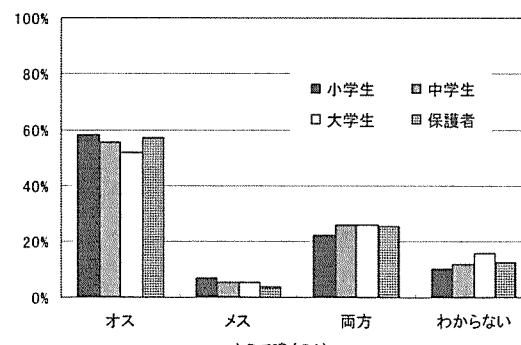
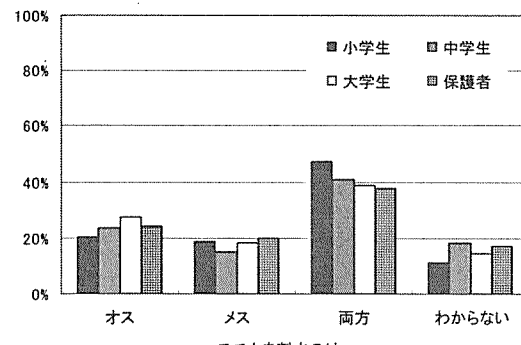
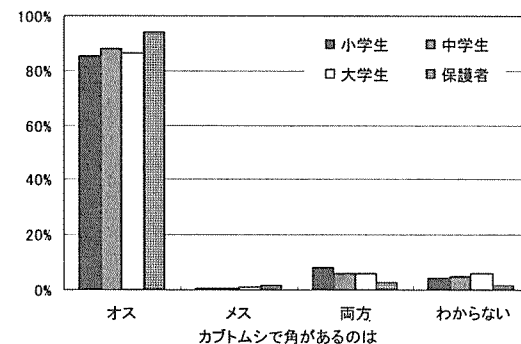
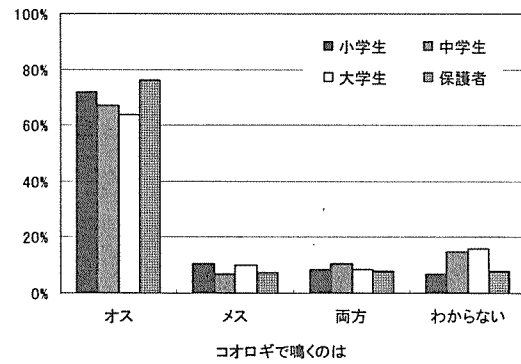
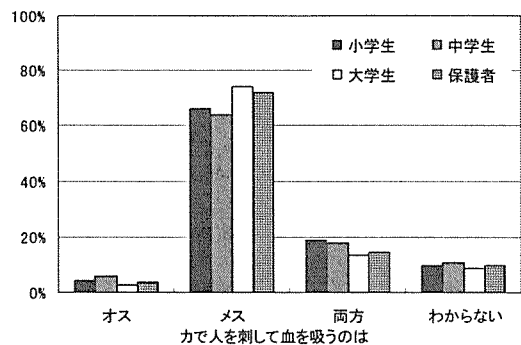


図-12 生き物等に関する基本的知識

小学生の回答を他の年代と比較すると、すべての種類について大きな差はなかった。

全体について、問1の生き物等に対する意識と正解率をクロス集計すると、図-13に示すとおり「セミ」「コオロギ」については「大好き」が正解率が最も高く「大嫌い」まで正解率が低くなっている。男性についてはすべての種類で「大嫌い」で正解率が最も低くなっている。

「か」と「ハチ」については生き物等に対する意識と正解率に相関はみられない。

問2のつかまえて遊んだことのある生きものとの選択肢が一致する「セミ」「カブトムシ」「コオロギ」について、結果をクロス集計すると図-14に示すとおり、すべての年代、性別でつかまえた体験のあるものの方が、正解率が高かった。

4-4 身近な生きものの生息環境に対する考え方

問8 あなたは、学校や家の近くにトンボやメダカやウグuisなどの好きな池や川や林などがあるとよいと思いますか？

小学生は男性80%、女性69%が「あるとよい」と回答した。年代別に比較すると中学生に比べやや高く、大学生とは同等であった。また保護者は男女とも90%以上と小学生よりも高かった。

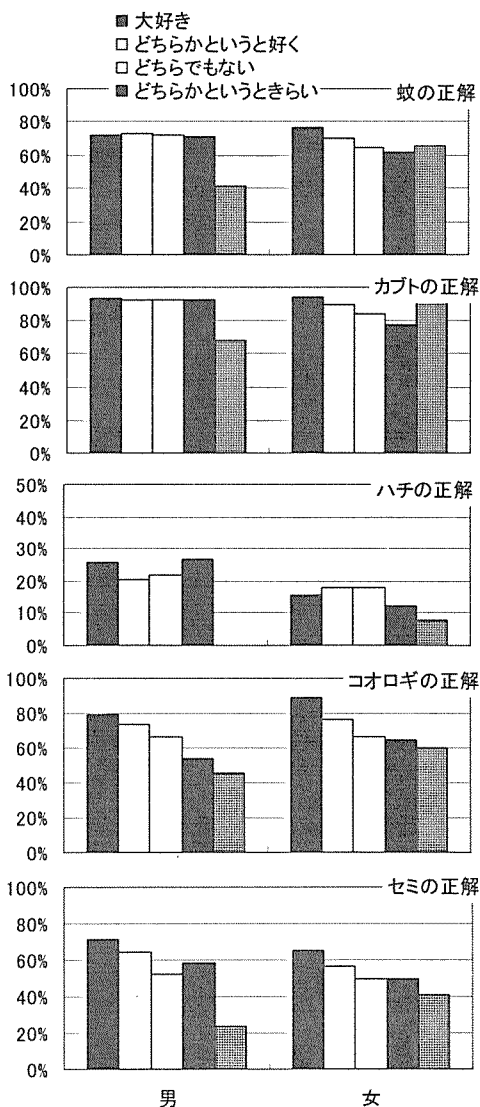


図-13 生き物等に対する意識と基本的知識とのクロス集計結果

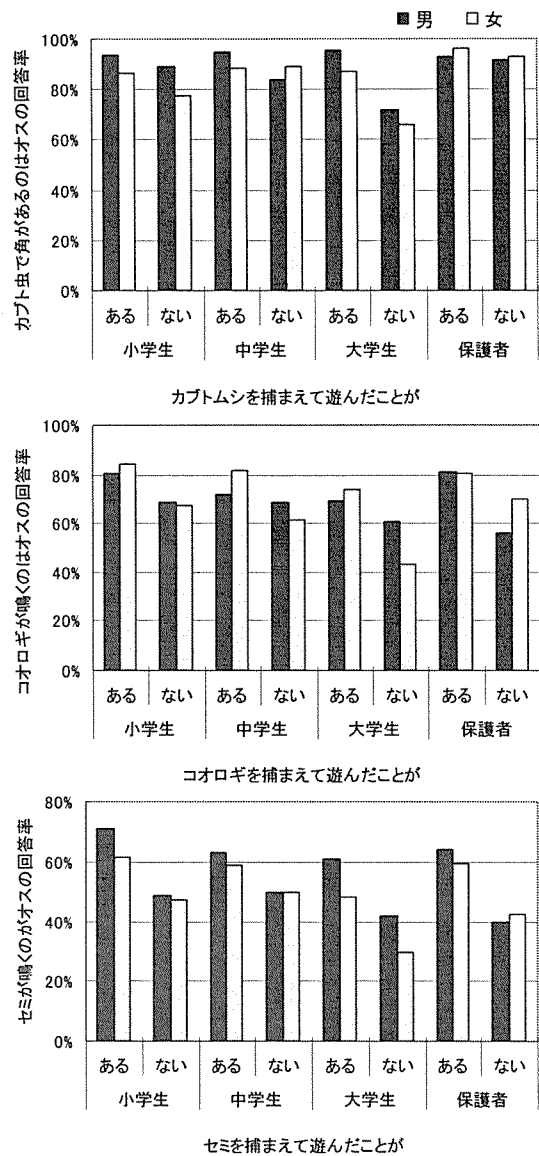


図-14 昆虫等をつかまえて遊んだ経験と基本的知識の関係

反対に「なくてもよい」は、小学生で男女とも約10%であるのに対し、中学生、大学生は約15%とやや高く、保護者は4%以下であった。

小学生について、生き物等に対する意識とクロス集計すると図-15に示すとおり「緑地や水辺がほしい」は「大好き」では男性96%、女性97%であったが「大嫌い」では男性13%、女性27%であった。反対に「必要ない」では「大好き」で男性1%、女性3%であったものが「大嫌い」では男性63%、女性46%であった。

問9 池に、外国からきたブラックバスやブルーギルやザリガニなどがいると、もともと日本にいたトンボのヤゴやメダカなどは食べられて住みにくくなってしまいます。あなたは「ブラックバス、ブルーギル、ザリガニがいる池」「トンボのヤゴやメダカが多い池」と、どちらの池が好きですか

図-16に示すとおり「ブラックバス、ブルーギルがいる池」と回答した小学生は男性で27%、女性6%と大きな差が認められた。

小学生と他の年代と比較すると、男性は中学生が37%と小学生より高く、大学生9%、保護者は2%であった。女性は、中学生、大学生とも3%以下であり保護者では0

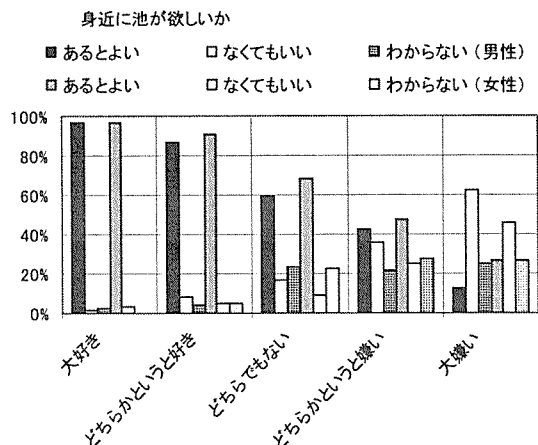


図-15 昆虫等に対する意識と身近な環境に対する意識とのクロス集計結果

%であった。また、「トンボのやど、マガが多い池」は小学生では男性59%であったのに対し女性73%と女性の方が多かった。この傾向は他の年代も同様であった。

小学生について、問1の生き物の好き嫌いの結果とクロス集計すると、図-17に示すとおり「トンボ、マガの多い池」の回答は「大嫌い」「どちらかという嫌い」にくらべ「大好き」「どちらかという好き」に多く、「フラックバス・サリガニの池」については、「大好き」から「どちらかという嫌い」に比べ「大嫌い」において回答率が高かった。

問10 あなたの学校にトンボ池がありますか

図-18に示すとおり、学校にトンボ池が「ある」と回答した小学生は67%であり、中学生は21%であった。

トンボ池の有無について事実関係の質問であるが、環境科学研究所で「ある」と把握している学校でも「ない」の回答があったり反対の場合もあった。これは、何をトンボ池と見なすか主体によって意識の違いがあるということを示している。

問11 (小中学生) 問10で学校に「トンボ池がある」と答えた方におききます。そこにどれくらい行きますか?

図-19に示すとおり「ほとんど毎日行く」と「よく行く」は小学生で24% (男27%, 女20%) であった。これに対して中学生では10% (男5%, 女性子17%) と減少していた。また、「ほとんど行かない」は小学生が31% (男24%, 女38%) であったのに対して、中学生では61% (男55%, 女60%) と倍増していた。

5 まとめ

5-1 身近な生き物についての意識について

身近な生き物に対して、男性は生き物等が「大好き」「どちらかという好き」を合わせると、中学生の57%以外は70%以上である。また「どちらかという嫌い」「大嫌い」は中学生を除いて10%以下である。これに対し女性は、小中学生は「大好き」「どちらかという好き」と「どちらでもない」と「どちらかという嫌い」「大嫌い」が1/3ずつ同じような割合を示し、大学生から保護者へと年代が上がるにつれは「大好き」「どちらかという好き」が増えの「どちらかという嫌い」「大嫌い」が減少する傾向にある。

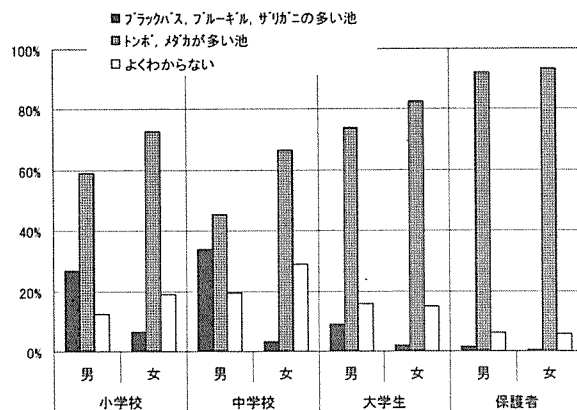


図-16 身近にどのような池が欲しいか

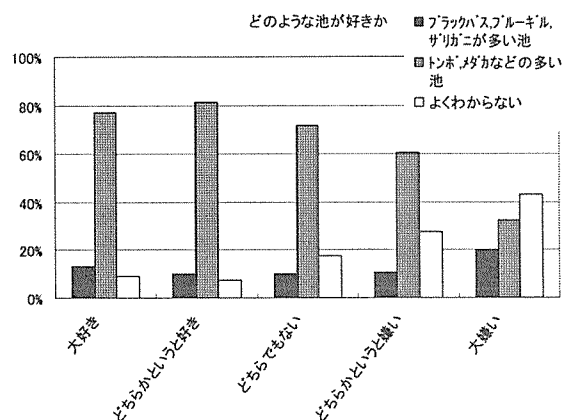


図-17 問2の昆虫等に対する意識と身近な自然環境に対する考え方

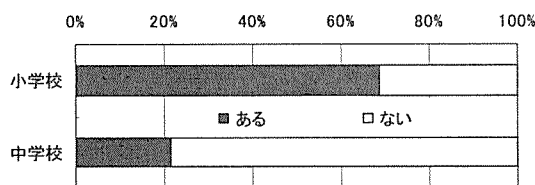


図-18 学校にトンボ池があるか

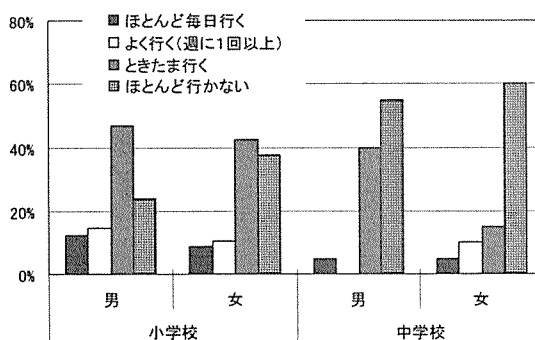


図-19 トンボ池にはどれぐらいの頻度で行くか

以上から、男性がすべての年代で身近な生き物が好きという傾向にあるのに対し、女性は男性ほど好きという傾向は認められない。

5-2 身近な生き物とのふれあい、体験について

① 生き物遊び

小学生について、生き物等をとって遊んだ体験は、男性でバッタの80%が最高であり、セミ、トンボは70%であった。女性では最高でもバッタの70%であった。この回答は1回でも遊んだ経験があれば「ある」と回答され

るので、日常的に生き物等をつかまえて遊んでいる小学生はさらに少ないと考えられる。

男女に共通してつかまえて遊ぶ対象になっている生き物は、バッタ、チョウ、セミが多く、クワガタ、カブトムシ、ザリガニは男性の遊びの対象であるといえる。

また、横浜市内では、ホタルを見ることができるところが非常に限られているにも関わらず、ホタルを見た経験のある小学生が56%と半数以上であった。反面ホタルをつかまえて遊んだ経験がある小学生は16%にとどまった。

生き物をつかまえて遊んだ体験率は、保護者から小学生へと年代が若くなるごとにと減少していた。生き物等をつかまえて遊ぶいわゆる昆虫採集などは、マニアを除いて小中学生の体験する遊びであるといわれることから、子どもたちが生き物等にふれる機会が年々減少していると考えられる。

子供たちが生き物等を採って遊ばなくなった背景には、テレビゲームやスポーツクラブなど遊びの質の変化、自然環境の悪化などが考えられる。また、遊びそのものが伝承されなくなってきていることも考えられる。

②飼育の経験

家で飼ったことのある生きものについて、1種類も「飼ったことのない」は全体で7%であり、多数の家では何らかの生き物を飼った経験がある。年代別の特徴として小学生にヤゴが多かった。アカトンボが好きなどころでは「プール」の回答が小学生に多くなっていることから、学校プールを利用したヤゴ救出作戦が影響していると考えられる。

生き物の種類別での特徴として、横浜ではほとんどつかまえることのできない貴重種である「ゲンゴウ・カガメ」について、5%（男6%、女3%）の小学生が飼った経験があると回答している。割合としては少なかったが、これらの生きものを飼うことは、水辺の生きものに対して相当な興味を持っている小学生が5%はいるということである。

つかまえて遊んだ体験と選択項目が共通する「ザリガニ」と「カブトムシ」についてクロス集計すると、つかまえて遊んだ体験率に比べ飼ったことのある体験率の方が多かった。これらは友人や兄弟から譲り受けたかペットショップなどで購入したものであると考えられる。

③身近な生き物に対する意識

生き物にさわられるかという質問に対して「平気でさわられる」が多かったのは「トンボ」「チョウ」「クワガタ」の陸上の昆虫であった。

「トンボ」について、生き物をつかまえて遊んだ体験の有無とクロス集計すると、「経験のある」小学生のうち「平気でさわられる」は男性で91%であり、女性でも65%あった。これに対して、「体験がない」では「平気でさわられる」は男性で46%と半数以下であり、女性では11%と極端に低かった。反対に「さわれない」については、「体験がある」では男性で2%、女性で8%であったのに対し、「体験のない」では男性は12%であり女性では35%に達した。この傾向は、「クワガタ」「チョウ」「ザリガニ」にも同様に現れており、生き物をつかまえたことの体験

とさわられるかどうかに関係しているといえる。

④特にトンボについて

トンボについては、見たことのある種類がアカトンボ以外は年代が若いほど減少しており、アカトンボを捕まえた体験率も同時に減少している。

アカトンボの好きなどころについて「田んぼ」の回答は、年代、性別に大きな差はなく、保護者の年代ですらで横浜市内で田んぼが身近なものではなかったと考えられる。

5-3 身近な生き物に対する基本的な知識について

①生き物をつかまえた経験と知識

生き物をつかまえて遊んだ経験と選択肢が共通の「セミ」「クワガタ」「コオロギ」について基本的な知識を問う問題の正解率をクロス集計した結果、すべての年代においてつかまえた経験のある方が正解率が高かった。また身近な生き物に関する意識と正解率をクロス集計した結果では、つかまえて遊ぶ対象とならない「カ」と「ハ」では、小学生男子で「大嫌い」の正解率が若干低かった以外は正解率には大きな差は認められなかった。

5-4 周辺環境に対する意識について

小学生について、生き物に対する意識とあわせると、「大好き」と答えた小学生に「緑地・水辺がほしい」の回答率が多く、反対に「嫌い」には「なくてもいい」が高かった。また、身近な生きものの好き嫌い、どのような池が好きかの相関関係では、「大嫌い」と回答したものに「ブラックバス、ブルーギル、ザリガニのいる池」を選んだものの割合が他より10%近く高く、「トンボ・メダカのいる池」を選んだものが少なくなっていることから、「バス釣り」は生きものを対象とした遊びではなく、一つのスポーツとしてとらえ、池はその道具の一つにすぎないと考えているのではないだろうか。

以上から、小学生が身近な生き物と接する機会が減少してきていることが把握できたとともに、生き物をつかまえて遊ぶということは、自然に対する認識を無意識のうちに遊びながら体験できる重要な要素であることがアンケートの結果から読みとれる。

田口（1995）¹⁾は「こどものころの昆虫体験の少なさが大人になってからのイメージ形成に悪く関わっている」と指摘しており、横浜市内で、子供たちが生き物等をとって遊ぶことのできる環境を再生していくことは重要であるといえる。

6 謝辞

本調査を行うに当たり、アンケートにご協力していただいた学校関係者のみなさまに感謝します。また、アンケートの作成に当たり、横浜市教育文化研究所研究委員のみなさまから助言をいただいたことに感謝いたします。

7 引用文献

- 1) 田口正男：子供たちの昆虫体験はいかに変化したか、緑の読本、35、(1995) p87-91

横浜市内における路面堆積物について

小市佳延, 福嶋 悟 (横浜市環境科学研究所)

Character of road sediment in Yokohama city

Yoshinobu Koichi, Satoshi Fukushima
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード: 面汚染源, 汚濁負荷, 堆積物

要 旨

横浜市郊外において、面汚染源として3種類の路面堆積物について調査したところ、農道の強熱減量および総炭素、総窒素、総リンの濃度が最も高く、以下住宅地、幹線道路の順であった。

1. はじめに

横浜市の下水道の普及率が100%近くになったにもかかわらず、河川のBOD・全窒素等は横ばいである¹⁾。その原因として、降雨時に河川に流入する河川外の面汚染源の影響が大きいと考えられる。

そこで、面汚染源による水質汚濁が大きいと思われる帷子川の上・中流域を調査研究対象に選び、河川に対する汚濁負荷を定量的に把握することとした。

本報では、面的汚染源のうち都市域で負荷が大きいとされる²⁾ 路面負荷の特性を把握するために、3種類の道路上の堆積物を採取し、分析を行ったところ、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

帷子川流域における調査地点を図-1に示す。10地点のうち農地内道路が2地点、住宅地内道路および幹線道路が各4地点である。

2-2 調査期日および試料採取方法

調査は1998年冬季(12月17日および22日)に行った。

試料採取方法は、農地内の道路については道路が簡易舗装および砂利道であるため、路肩の堆積土壌および表土を採取した。その他の道路については路肩のL字溝に堆積した土壌等をブラシで掻き集め、分析に供した。

2-3 試料調整法および測定項目

路面堆積物は風乾後、2mm目のふるいを使って木の葉・礫等を除去したのち、砂と泥との境界である0.075mm目のふるいで篩別し、それぞれ粒径2-0.075mm試料、粒径0.075mm以下試料とした。これらの乾燥試料について強熱減量(IL)、全炭素(T-C)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)を測定した。

測定方法は、

IL: 600°C, 2時間後の減量

T-C, T-N: 柳本製MT-3型 CHN計

T-P: 硫酸・過酸化水素分解後、アスコルビン酸-モリブデン青法

また、微細泥率は粒径0.075mm以下の試料が粒径2mm以下の試料に占める割合、C/IL値はT-CとILとの比、N/IL値はT-NとILの比とした。

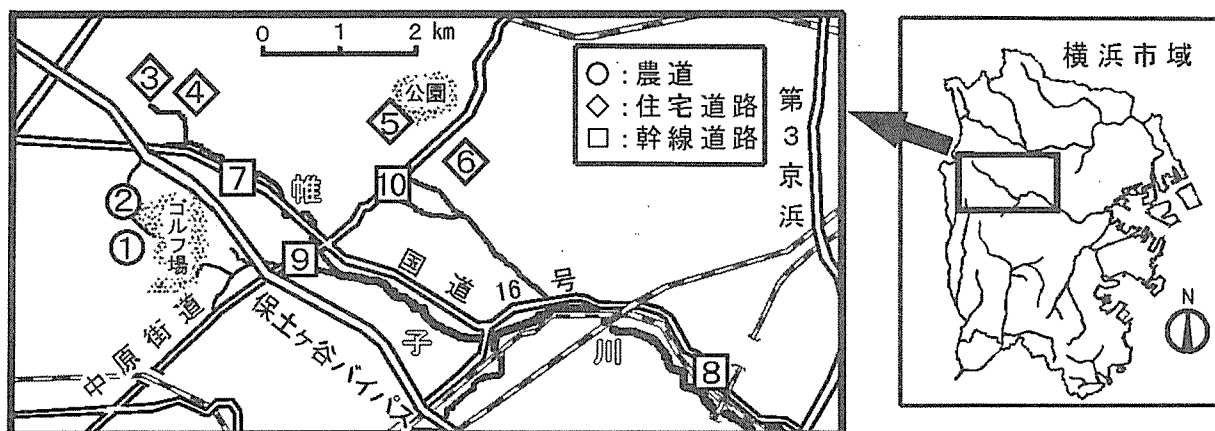


図-1 調査地点図

表-1. 路面堆積物の分析結果

st	種類	微細泥率 (%)	IL (%)	T-C (mg/g)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	C/IL (-)	N/IL (-)
1	農道	17.0	19.0	71.0	4.38	1.67	0.375	0.0231
2		22.9	16.0	45.0	3.36	2.56	0.281	0.0210
3	住宅道路	9.1	6.7	38.9	1.56	0.541	0.583	0.0234
4		10.0	12.9	71.2	3.38	0.864	0.551	0.0262
5		18.2	6.5	34.1	1.66	0.483	0.523	0.0254
6		7.8	8.3	41.1	1.97	0.791	0.494	0.0237
7	幹線道路	12.2	4.0	21.9	0.664	0.351	0.551	0.0167
8		7.4	5.8	32.5	0.956	0.403	0.559	0.0165
9		14.2	8.9	64.8	1.20	0.560	0.729	0.0134
10		8.8	3.7	13.8	0.401	0.356	0.375	0.0109
平均 値	農道	20.0	17.5	58.0	3.87	2.12	0.328	0.0220
	住宅道路	11.3	8.6	46.3	2.14	0.670	0.537	0.0247
	幹線道路	10.7	5.6	33.2	0.804	0.417	0.554	0.0144

3. 結果と考察

結果を表-1に示す。

3-1 微細泥率

微細泥率はst. 1, 2の農地内道路(以下農道と記す)が高く、20%前後である。一方、st. 3~6の住宅道路とst. 7~10の幹線道路はそれぞれ7.8~18.2%、7.4~14.2%と幅広いのが認められる。この2種類の堆積物は平均すると約11%であり、農道の半分程度である。この両道路は路肩がL字溝のアスファルト舗装路であり、周囲も建造物が多いため、農道に見られたような土壌の影響が少ないと考えられる。

3-2 IL

有機物の指標であるILは農道が17%前後の値なのに対し、住宅道路は6.5~12.9%、幹線道路は3.7~8.9%であり、農道が突出しているのが認められる。安田^{2, 3)}によれば、路肩がL字溝の住居地域の試料ではIL 2.5~13.7%であり、今回の住宅道路はそれに該当する。また、市内の用途地域別の降下ばいじんはIL 35~44%であり⁴⁾、今回の路面堆積物はこれより低い値である。

3-3 T-C

T-Cは農道が平均で58.0mg/gと高いものの、住宅道路48.3mg/g、幹線道路33.2mg/gであり、農道と他の道路との差はILに見られたほどはない。交通量の多い道路際の道路ダスト(粒径0.075mm以下)の場合⁵⁾、T-Cは39~61mg/gであり、そのうち元素炭素が6割を占めていることから、今回の住宅・幹線道路の試料中には自動車由来のT-C成分が含まれていたと推測される。

3-4 T-N, T-P

T-N, T-Pは栄養塩の指標である。T-Nは農道が4mg/g前後と最も高く、住宅道路はその半分程度の2mg/g、幹線道路ではさらにその半分の1mg/g以下が主であるのが認められる。T-Pも農道が2mg/g前後と最も高く、以下住宅道路約0.7mg/g、幹線道路約0.4mg/gの順である。

今回の農道は畑作地に隣接していたため、耕作に適した栄養分の高い土壌が風や雨水等によって移動し、道路上に堆積したものと考えられる。

3-5 C/IL値, N/IL値

C/IL値の平均は農道が0.33に対して、住宅・幹線道路は0.55前後と高く、タイヤの摩耗や自動車排煙等によるT-C成分が多いためと考えられる。またN/IL値は幹線道路が他より低く、動植物由来の有機物が少ないと考えられる。

4. まとめ

横浜市中部の帷子川流域において、路面堆積物を調査した結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 3種類の路面堆積物では、農道の強熱減量、総炭素、総窒素、総リンが最も高く、以下住宅地、幹線道路の順であった。これは農耕地の土壌が栄養分に富んでいるためと考えられた。
- 2) 幹線道路の路面堆積物は炭素/強熱減量比が高く、窒素/強熱減量比が低いことから、試料中の有機物の由来は自動車排煙等による割合が高いと考えられた。

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(平成10年度), 23-35(2000).
- 2) 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版, 29-39(1990).
- 3) 和田安彦, 田内和三:用途地域別路面堆積負荷の定量と特性, 用水と廃水, 26, 727-735(1984).
- 4) 横浜市環境保全局：横浜市大気汚染調査報告書, 第39報, 207-213(2000).
- 5) 神奈川公害センター：神奈川県における浮遊粉じんの組成と発生源の関係, 大気汚染調査研究報告, 31, 54-70(1990).

植物による減音量の計算用葉面積調査 (その 2)

鹿島 教昭*¹ (横浜市環境科学研究所) 黒澤 亜希*² (元横浜市環境科学研究所)

Leaf area study for calculation of insertion loss through vegetation (Part 2)

* 1 : Kashima Noriaki (Yokohama Environmental Research Institute)

* 2 : Kurosawa Aki (Resigned from Yokohama Environmental Research Institute)

要旨

植樹帯を通過した音の挿入損失用計算チャート及び回帰式を用いるには樹木の葉面積が必要であるが、これらのデータはほとんど無い。葉面積のデータベース化を目的に、今回、9 種 18 例の樹木の葉に関して、物理特性として個々の葉面積と葉の長径、短径、長径×短径及び質量を計量しそれらの相関を調べた。結果は前報同様に葉面積と最も良い相関を示す特性は長径×短径であり、ついで質量であった。長径×短径では概略 1 本の直線から葉面積を求め得るが、質量の場合は質量が大となるほど誤差が大きくなる。しかし、長径と短径は個々の葉を計量せねばならぬのに対し、質量の場合は複数枚の葉のデータを用いて葉面積を算出し得る。この長所を活かすには、精度の高いデータ収集が必要である。

キーワード：葉面積、挿入損失、植樹帯、葉の長径と短径、葉の質量

1. はじめに

植樹帯による挿入損失（減音量）を計算するチャート及び回帰式は既に筆者らが提案済みであるが^{1,2,3)}、それを有効に使用するには樹種の或る程度正確な葉面積が既知であらねばならない。しかし、或る樹木の葉面積は、木の成長状況、季節、気候などによって異なるであろう。このような事由からか、一般化された樹種別葉面積のデータはほとんど見当たらない。

騒音低減に用いる樹木が決定されれば、その葉面積を求めることは手数は掛かるが可能である。今では、いわゆる葉面積計より遙かに簡単正確にパソコンを用いて葉面積の算出ができる。従って、そのデータを用いて上記の計算チャートや回帰式を用いればよい。

しかし、そこでも個々の葉の面積を算出することになるため、やはり手数は掛かる。そこで前報³⁾では、

個々の葉の特性とは無関係に、葉数とその葉数の全質量から葉面積を算出する簡易法を示した。本報はその続報であり、データ収集を図り精度の向上を目途としたものである。

2. 調査方法

2-1 対象樹木

葉の採取を行った樹木を表-1 に示す。表中の科名、学名は文献 4-6) に基づく。

2-2 調査方法

一辺が 0.2m の立方体に含まれる葉をビニール袋に採取し、葉の乾燥を防ぎつつ、1 枚毎の葉の質量 (m) を 0.01mg まで、長径 (l) 及び短径 (s) を各々 0.2mm まで、厚さを 0.001mm まで測った。葉を方眼紙にコピー

表-1 調査対象樹種

樹種	科名	学名	葉	樹高
キンモクセイ	モクセイ科	<i>Osmanthus fragrans</i>	常緑広葉	中木
ユズリハ	ユズリハ科	<i>Daphniphyllum macropodum</i>	常緑広葉	高木
ヤマモモ	ヤマモモ科	<i>Myrica rubra</i>	常緑広葉	高木
キョウチクトウ	キョウチクトウ科	<i>Nerium indicum</i>	常緑広葉	中木
オオムラサキ	ツツジ科	<i>Rhododendron Oomurasaki</i>	落葉広葉	低木
アベリア	スイカズラ科	<i>Abelia grandiflora</i>	半常緑広葉	低木
トウネズミモチ	モクセイ科	<i>Ligustrum lucidum</i>	常緑広葉	高木
マテバシイ	ブナ科	<i>Pasania edulis</i>	常緑広葉	高木
アラカン	ブナ科	<i>Quercus glauca</i>	常緑広葉	高木
アオキ	ミズキ科	<i>Aucuba japonica</i>	常緑広葉	中木

し、定温定湿の天秤室に数日間放置し、後に方眼紙の面密度を用いて個々の葉面積 (A) を算出した。なお、方眼紙面積のその質量に対する回帰直線は、ほとんど相関係数 1 となる一直線である。

3. 調査結果

3-1 物理特性

各樹木の葉の物理特性を平均値として表-2 に示す。なお、採取した葉の総数と総質量も同表に示す。樹種に対して番号付けで分けてあるものは、同一樹木の採取位置が異なる場合や、別個の樹木からの採取等を示す。

実際の挿入損失を求めるには、表-2 に併記した直径 (a) と単位体積当りの葉面積 (F) が必要となる。但し、直径は葉面積を円とした場合の直径である。

同一樹種で複数のデータが得られた樹木を見ると、マテバシイを除けば同一樹種内では或る程度の範囲に収まる諸特性が得られている。しかし、既述の如く結果を一般化することは避けるべきで、採取する時期や採取高さ等を定める基準化は残された問題である。

3-2 物理特性間の相関

3-2-1 相関係数

葉が有する特性間の相関を樹木別に表-3 に示す。葉の厚さと葉面積との相関はほとんど無い故に³⁾、一部の樹木では測られていない。

前報³⁾ 同様に、厚さを除けばどの特性も葉面積との

相関が高い。長径×短径 ($l \cdot s$) はマテバシイ 2 以外は全て 0.990 以上の値である。筆者等が簡易法に用いる特性として提案している質量の場合、葉面積との相関係数は、トウネズミモチでやや低く 0.949 と 0.956、ヤマモモ 2 で 0.952 であるが、他の樹木では 0.970 以上と言える。やはり質量は、葉面積の算出に有効である。

3-2-2 葉面積の回帰式

葉の長径×短径及び葉の質量と葉面積との各関係を樹種別に図-1, 2 に示し、各回帰式を表-4 に示す。

図-1 から、全樹種を括っても、葉面積は長径×短径の単純な直線関係として得られそうである。しかし前報³⁾ にも記したように、この関係を用いて葉面積を算出するには、個々の葉の長径と短径を求めねばならぬ。これに対して質量から葉面積を求める場合には、一度の計測で得られる数枚の葉の総質量を用いることが可能であり、手数は甚だ簡単となる。

葉面積と質量の関係を示す図-2 では、質量が大となるに従えばらつきが大きくなり、到底 1 本の直線で表現されるとは言えない。しかし殊にばらつきの大きいトウネズミモチを除くと、他は概ね直線上にプロットされている。トウネズミモチの場合には秤量時での誤差の混入も考えられるが、今となっては詮無しである。

他の特徴として、卵形に近い葉の場合は質量に対して相対的に大きめの面積となり、長円形の葉 (マテバシイ、キョウチクトウ) では逆に小さめとなる傾向が認められるが、結論には十分なデータ数と詳細な解析が必要と

表-2 調査樹種の葉の物理特性

樹種	キンモクセイ			ヤマモモ			キョウチクトウ	オオムラサキ	
	1	2	3	1	2	3		1	2
長径 l (mm)	78.5	73.6	74.8	72.7	73.2	61.7	108.1	40.9	47.6
短径 s (mm)	32	28	27.7	23.2	23.9	20.0	16.6	14	17.9
厚さ t (mm)	0.293	0.298	0.317	0.270	0.263	0.282	0.362	0.195	—
$l \cdot s$ (mm ²)	2608.2	2161	2151.6	1750.3	1785.2	1292.0	1914.1	668.2	983.2
質量 m (g)	0.4767	0.3926	0.3716	0.2848	0.2671	0.2227	0.5828	0.0856	0.1174
葉面積 A (mm ²)	1708.8	1420.2	1381.3	1122.6	1142.5	832.1	1474.4	478.3	659.3
直径* a (mm)	46.6	42.5	41.9	37.8	38.1	32.5	43.3	24.7	28.9
総葉数	43	65	55	99	93	128	42	55	45
総質量 (g)	20.5	25.5	20.4	28.2	24.84	28.50	24.5	4.71	5.28
単位体積当りの葉面積 F (m ⁻¹)	9.18	11.54	9.50	13.89	13.28	13.31	7.74	3.29	3.71

樹種	アベリア		トウネズミモチ		マテバシイ		アラカシ		アオキ
	1	2	1	2	1	2	1	2	
長径 l (mm)	24.3	20.4	81.7	67.8	109.3	141.3	67.4	71.9	118.7
短径 s (mm)	11.7	9.6	46	40.8	31.9	44.2	24.7	27.4	52.5
厚さ t (mm)	—	—	0.316	0.395	—	—	—	—	—
$l \cdot s$ (mm ²)	343	223.3	3917.5	3071.6	3641.4	6440	1713.5	2121.2	6470.4
質量 m (g)	0.0341	0.0262	0.9518	0.8774	0.9261	1.258	0.182	0.248	1.1705
葉面積 A (mm ²)	211.2	138.3	2881.9	2304.7	2483.0	3977.4	1098.6	1340.2	4492.7
直径* a (mm)	16.4	13.3	60.6	54.2	56.2	71.2	37.4	41.3	75.6
総葉数	46	45	34	43	39	20	85	67	24
総質量 (g)	1.56	1.18	32.4	37.3	36.1	25.2	15.2	15.4	28.1
単位体積当りの葉面積 F (m ⁻¹)	1.21	0.78	12.25	12.39	12.10	9.94	11.67	11.22	13.48

* : 葉面積を円と考えた場合の直径

表-3 樹木の葉の物理特性間の相関

キンモクセイ 1						アベリア 1					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.729	-0.283	0.896	0.943	0.994	長径 <i>l</i>	0.986	—	0.969	0.975	0.973
短径 <i>s</i>		-0.139	0.919	0.901	0.897	短径 <i>s</i>		—	0.979	0.982	0.980
厚さ <i>t</i>			-0.129	-0.224	-0.222	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.979	0.984	質量 <i>m</i>				0.994	0.994
<i>l</i> · <i>s</i>					0.997	<i>l</i> · <i>s</i>					0.999
キンモクセイ 2						アベリア 2					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.806	0.339	0.892	0.940	0.920	長径 <i>l</i>	0.967	—	0.952	0.985	0.983
短径 <i>s</i>		0.383	0.949	0.943	0.943	短径 <i>s</i>		—	0.964	0.977	0.980
厚さ <i>t</i>			0.367	0.355	0.326	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.983	0.991	質量 <i>m</i>				0.953	0.971
<i>l</i> · <i>s</i>					0.991	<i>l</i> · <i>s</i>					0.995
キンモクセイ 3						トウネズミモチ 1					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.831	-0.025	0.943	0.960	0.953	長径 <i>l</i>	0.824	0.694	0.874	0.949	0.913
短径 <i>s</i>		0.150	0.928	0.937	0.931	短径 <i>s</i>		0.752	0.910	0.938	0.966
厚さ <i>t</i>			0.067	0.031	0.047	厚さ <i>t</i>			0.881	0.754	0.768
質量 <i>m</i>				0.982	0.987	質量 <i>m</i>				0.954	0.956
<i>l</i> · <i>s</i>					0.994	<i>l</i> · <i>s</i>					0.991
ヤマモモ 1						トウネズミモチ 2					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.921	0.167	0.954	0.963	0.953	長径 <i>l</i>	0.937	0.399	0.939	0.969	0.958
短径 <i>s</i>		0.124	0.951	0.980	0.979	短径 <i>s</i>		0.426	0.934	0.977	0.981
厚さ <i>t</i>			0.194	0.144	0.138	厚さ <i>t</i>			0.493	0.405	0.381
質量 <i>m</i>				0.983	0.983	質量 <i>m</i>				0.953	0.949
<i>l</i> · <i>s</i>					0.995	<i>l</i> · <i>s</i>					0.995
ヤマモモ 2						マテバシイ 1					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.880	-0.076	0.895	0.952	0.928	長径 <i>l</i>	0.939	—	0.957	0.974	0.973
短径 <i>s</i>		-0.075	0.923	0.975	0.980	短径 <i>s</i>		—	0.941	0.976	0.971
厚さ <i>t</i>			0.090	-0.077	-0.089	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.953	0.952	質量 <i>m</i>				0.974	0.979
<i>l</i> · <i>s</i>					0.992	<i>l</i> · <i>s</i>					0.997
ヤマモモ 3						マテバシイ 2					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.942	0.125	0.969	0.973	0.962	長径 <i>l</i>	0.890	—	0.943	0.935	0.911
短径 <i>s</i>		0.057	0.961	0.981	0.978	短径 <i>s</i>		—	0.970	0.986	0.979
厚さ <i>t</i>			0.177	0.065	0.043	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.984	0.978	質量 <i>m</i>				0.991	0.978
<i>l</i> · <i>s</i>					0.995	<i>l</i> · <i>s</i>					0.988
キョウチクトウ						アラカシ 1					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.956	0.517	0.975	0.982	0.985	長径 <i>l</i>	0.887	—	0.888	0.958	0.950
短径 <i>s</i>		0.468	0.928	0.975	0.965	短径 <i>s</i>		—	0.951	0.976	0.969
厚さ <i>t</i>			0.556	0.457	0.451	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.975	0.975	質量 <i>m</i>				0.954	0.958
<i>l</i> · <i>s</i>					0.993	<i>l</i> · <i>s</i>					0.991
オオムラサキツツジ 1						アラカシ 2					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.951	0.568	0.968	0.966	0.967	長径 <i>l</i>	0.891	—	0.926	0.948	0.940
短径 <i>s</i>		0.424	0.939	0.959	0.959	短径 <i>s</i>		—	0.968	0.977	0.978
厚さ <i>t</i>			0.531	0.455	0.455	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.963	0.965	質量 <i>m</i>				0.985	0.987
<i>l</i> · <i>s</i>					0.999	<i>l</i> · <i>s</i>					0.994
オオムラサキツツジ 2						アオキ					
特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積	特性	短径 <i>s</i>	厚さ <i>t</i>	質量 <i>m</i>	<i>l</i> · <i>s</i>	葉面積
長径 <i>l</i>	0.969	—	0.965	0.980	0.979	長径 <i>l</i>	0.931	—	0.975	0.975	0.976
短径 <i>s</i>		—	0.927	0.968	0.966	短径 <i>s</i>		—	0.933	0.978	0.975
厚さ <i>t</i>			—	—	—	厚さ <i>t</i>			—	—	—
質量 <i>m</i>				0.973	0.977	質量 <i>m</i>				0.979	0.980
<i>l</i> · <i>s</i>					0.997	<i>l</i> · <i>s</i>					0.997

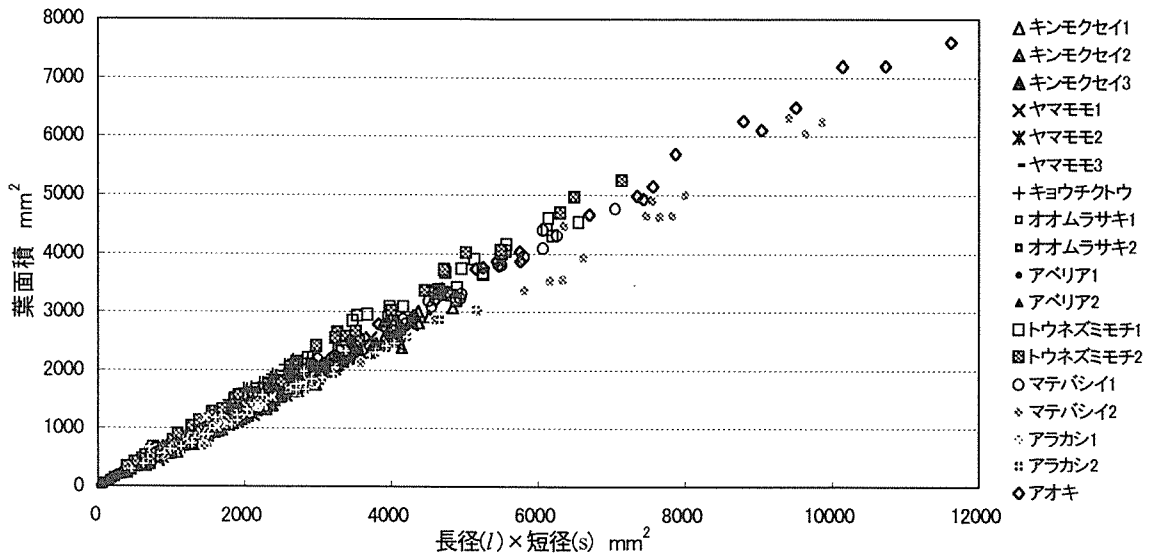


図-1 葉面積と長径×短径との関係

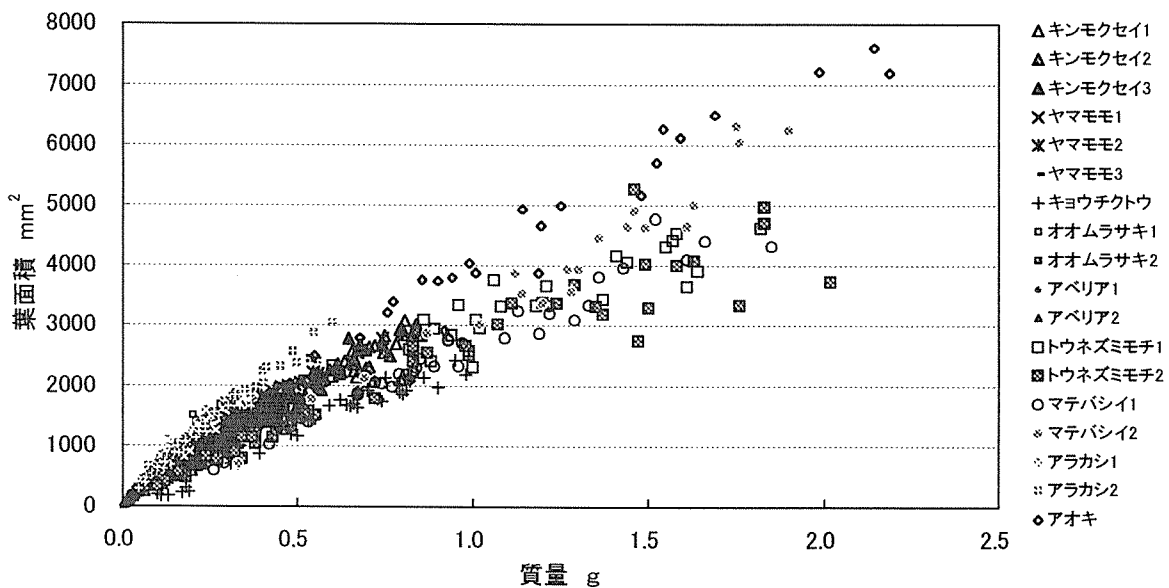


図-2 葉面積と質量との関係

考える。今後の検討課題である。

4. まとめ

今回、9種の樹木、延べ18樹木の葉を調査した結果、前報³⁾同様に、葉面積と長径、短径、長径×短径及び質量との相関はかなり高く、相関係数で最高値を示すものは長径×短径でほぼ0.990以上、ついで質量でほぼ0.970以上である。従って、質量を用いて葉面積を簡略に算出することは可能である、が、今以上の精度の向上が望まれる。

参考文献

1) 鹿島教昭：環境騒音と緑の効果，騒音制御，12(6)，

pp.19-23(1988).

2) 鹿島教昭，田村明弘，鈴木弘之：植樹帯による減音効果の研究（第4報），横浜市公害研究所報，13，pp.57-63(1989).

3) 村林亜希，鹿島教昭：植物による減音量の計算用葉面積調査（その1），横浜市環境科学研究所報，22，pp.91-94(1998).

4) 北村四郎，村田源：原色日本植物図鑑 木本編 [I]，改訂17刷，保育社，(1982)。

5) 北村四郎，村田源：原色日本植物図鑑 木本編 [II]，改訂7刷，保育社，(1981)。

6) 塚本洋太郎：原色園芸植物図鑑 [I]，1980，保育社，(1980).

横浜市内水域における有機スズ化合物（トリブチルスズ、トリフェニルスズ）調査

酒井 学（横浜市環境科学研究所）

Investigation of Organotin Compounds in the Water and Sediment at Yokohama City

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：トリブチルスズ、トリフェニルスズ

要 旨

特定化学物質に指定されている有機スズ化合物について、横浜市内水域 4 地点（河川 1 地点、海域 3 地点）で、底質、水質の調査を行った。その結果、トリブチルスズは、海域の水質から $0.003 \sim 0.005 \mu\text{g}/\ell$ の濃度範囲で検出され、海域及び河川の底質から $0.0003 \sim 0.370 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ の濃度範囲で検出された。トリフェニルスズは、水質からは定量限界未満であったが、海域の底質から $0.022 \sim 0.0046 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ 検出された。環境庁は、トリブチルスズについて、今後、環境リスクの評価を推進していく方針であり、横浜市においても適宜、監視、調査が重要と思われる。

1. はじめに

有機スズ化合物は、船底塗料や漁網防泥剤として広く用いられていたが、軟体動物（貝類）等の生態系に対する影響が懸念され¹⁻³⁾、平成 2 年、トリブチルスズ化合物の一種であるビス（トリブチルスズ）オキシド (TBTO) が化学物質審査規制法に基づく第一種特定化学物質に、トリフェニルスズ化合物 7 種類及び TBTO を除くトリブチルスズ化合物 13 種類が同法に基づく第二種特定化学物質に指定され、現在、わが国では使用されていない。

しかし、世界的にみると、欧米諸国以外では未だ使用規制されていない国が多く存在している。また、嫌気性の土壌における分解性が低いとされることから⁴⁾、環境中に残留するおそれがあり、その動態には、注意を払う必要がある。

環境庁においても、昭和 60 年からトリフェニルスズの生物モニタリングをはじめ、昭和 63 年からは、化学物質等検討調査において水質及び底質中の有機スズ化合物の継続的な監視を実施している。更に、最近の環境ホルモン（内分泌攪乱化学物質）に対する関心の高まりから、環境ホルモン戦略計画 (SPEED98) 中の全国調査（平成 10 年度）を実施した際も、調査項目として取り上げられた。

横浜市においても、環境ホルモンによる環境汚染の懸念から、平成 11 年度、環境調査を実施し⁵⁾、その中で、河川 1 地点、海域 3 地点の水質、底質中のトリブチルスズ及びトリフェニルスズ濃度を測定したので、結果及び他都市との比較について報告する。

2. 調査及び分析

2-1 調査地点及び調査日時

河川は、環境庁の全国調査 (SPEED98, 平成 10 年度) において、底質から微量のトリブチルスズが検出された恩田川の都橋において、平成 11 年 12 月 1 日に採水、採泥を行った。

海域は、横浜港内、平潟湾沖、鶴見川河口先の 3 地点とし⁵⁾、平成 11 年 10 月 13 日に採水、採泥を実施した。

2-2 分析

トリブチルスズ及びトリフェニルスズの分析は、環境庁の方法に従った。

また、底質の場合、底質調査法によって乾燥減量を求め、測定値を乾泥換算した。

3. 結果及び考察

3-1 測定結果

今回の測定結果及び定量限界値を表-1 に示した。

恩田川の都橋においては、底質中のトリブチルスズが $0.0003 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ 検出されたが、その他は、定量限界未満であった。

海域では、横浜港内では、トリブチルスズが水質から $0.003 \mu\text{g}/\ell$ 、底質から $0.370 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ 検出され、トリフェニルスズが、底質から $0.022 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ 検出された。

平潟湾沖、鶴見川河口先いずれの地点においても、同様の物質が検出され、水質中のトリブチルスズの濃度はほぼ同じレベルであったが、底質中のトリブチルスズ、トリフェニルスズ濃度は、横浜港内と比較すると、低濃度であった。

3-2 今回の測定結果と以前の報告値との比較

横浜市海域中の有機スズ化合物について、環境庁⁶⁾が継続調査を実施している他、佐藤ら⁷⁾（平成 3 年）及び白柳⁸⁾（平成元年）によって横浜港底質の調査が行われ、表-2 にその報告値を示した。過去の調査では、トリブチルスズが横浜港内から、 $1.0 \mu\text{g}/\text{g.dry}$ を越える濃度で検出されており、今回の横浜港底質中のトリブチルスズ濃度 ($0.370 \mu\text{g}/\text{g.dry}$) は、過去と比較して改善が認められた。トリフェニルスズについても、今回の横浜港の測定結果 ($0.022 \mu\text{g}/\text{g.dry}$) は、平成元年及び 3 年の結果と比べて明らかに濃度が減少しており、汚染が改善していた。

表－１ 横浜市内水域における有機スズ化合物調査結果

調査地点		トリブチルスズ	トリフェニルスズ
恩田川（都橋）	（水質）	定量限界未満	定量限界未満
	（底質）	0.0003 ug/g.dry	定量限界未満
横浜港内	（水質）	0.003 ug/ℓ	定量限界未満
	（底質）	0.370 ug/g.dry	0.0220 ug/g.dry
平潟湾沖	（水質）	0.005 ug/ℓ	定量限界未満
	（底質）	0.042 ug/g.dry	0.0052 ug/g.dry
鶴見川河口先	（水質）	0.003 ug/ℓ	定量限界未満
	（底質）	0.097 ug/g.dry	0.0046 ug/g.dry
定量限界値	（水質）	0.002 ug/ℓ	0.001 ug/ℓ
	（底質）	0.0001 ug/g.dry	0.0001 ug/g.dry

表－２ 過去の横浜市内水域における有機スズ化合物・調査結果報告値

	トリブチルスズ	トリフェニルスズ
平成元年横浜港調査 横浜港内 2地点（底質）	1.2 ～ 0.34 ug/g.dry	0.31 ～ 0.16 ug/g.dry
平成3年 東京湾調査 横浜港内（底質）	1.1 ug/g.dry	0.16 ug/g.dry
鶴見川河口先（底質）	0.11 ug/g.dry	0.011 ug/g.dry

文献7,8)より

表－３ 環境庁の全国調査及び川崎市、東京都の調査結果報告値（濃度範囲）

	トリブチルスズ	トリフェニルスズ
環境庁平成10年度全国調査 （105検体） （水質） （底質）	0.0080ug/ℓ ～ 定量限界未満 0.730 ug/g.dry ～ 定量限界未満	0.0015ug/ℓ ～ 定量限界未満 0.065 ug/g.dry ～ 定量限界未満
川崎市平成10年度調査 （16検体） （水） （底質）	0.013 ug/ℓ ～ 定量限界未満 1.20ug/g.dry ～ 定量限界未満	0.00084ug/ℓ ～ 定量限界未満 0.013ug/g.dry ～ 定量限界未満
東京都平成10年度調査 （21検体） （水） （底質）	0.005 ug/ℓ ～ 定量限界未満 7.60ug/g.dry ～ 定量限界未満	定量限界未満 0.94ug/g.dry ～ 定量限界未満

文献6,9,10)より

3-3 平成10年度の全国調査及び川崎、東京との比較

平成10年度における川崎市⁹⁾、東京都¹⁰⁾及び環境庁全国調査⁶⁾の有機スズ化合物の測定結果（濃度範囲）を表－3に示した。

比較的濃度が高い横浜港の底質中のトリブチルスズ（0.370ug/g.dry）について、川崎市の調査（多摩川2地点、川崎港14地点）及び東京都の調査（河川10地点、海域11地点）と比較すると、横浜港の底質より高濃度だった試料の割合は、川崎市の場合16検体中2検体、東京都の場合21検体中9検体であった。

一方、環境庁の全国調査⁶⁾（全国35地区で各地区につき3検体を分析、合計105検体）でみると、今回の横浜港の底質試料より、高濃度だった試料の割合は105検体中、2検体であった。

このことから、横浜港の底質中のトリブチルスズは、

全国レベルと比較するとやや高い濃度に入るが、川崎、東京といった近隣と比較すると、周辺より極端に高いとはいえない状況と思われる。

4. まとめ

有機スズ化合物は、嫌気性の土壌中における分解性が低く、環境中に残留するおそれがある⁴⁾。更に、極微量で生態系に対して影響を及ぼすとされ、イボニシ、アワビなどの生殖異常との関係が指摘されている¹⁻³⁾。横浜の沿岸海域にも、イボニシ、アカニシ等が生息しており¹¹⁾、生態系への影響について注意を払う必要がある。

人間への影響に関しても、佐藤らによる平成9年度の調査によると、1日摂取量は、魚介類中からトリブチルスズが6.6ug、トリフェニルスズが2.8ugとなり、人間の1日摂取許容量の10～15%と報告されている¹²⁾。そして報告の中で、今後、内分泌攪乱作用などの見直しによ

り摂取許容量が変わる可能性があり、引き続き有機スズ化合物に対する監視の重要性が述べられている。

環境庁もトリブチルスズを内分泌攪乱作用についての環境リスクの評価を積極的に推進していく化学物質（8種類）の1つに選んでおり¹³⁾、横浜市においても、適宜、監視、調査が重要と思われる。

参考文献

- 1) Horiguchi, T., Shiraishi, H., Shimizu, M. and Morita M.: Imposex and organotin compounds in *Thais claviger* and *T. bronni* in Japan, *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, **74**, 651-669 (1994).
- 2) 堀口敏宏：海産腹足類のインボセックス, 第5回日本環境毒性学会, バイオアッセイ研究会合同研究発表会講演要旨集, p11-12, (1999).
- 3) 佐久間 隆, 鈴木 滋, 木戸一博, 小野研一, 沢田和男：国立環境研究所との内分泌攪乱化学物質の影響に関する研究—宮城県におけるイボニシのインボセックスを中心に—, 宮城県保健環境センター年報, **17**, 99-101 (1999).
- 4) Short, J.W. and Thrower, F.P.: Accumulation of butyltins in muscle tissue of Chinook salmon reared in sea pens treated with tri n butyltin, Northwest and Alaska Fisheries Center, National Marine Fisheries Service, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, Auke Bay, AK, p10-202 (1986).
- 5) 倉林輝世, 初貝留美, 二宮勝幸：横浜市水域における環境ホルモン実態調査(1), 横浜市環境科学研究所報, **25**, (2001).
- 6) 環境庁環境保健部環境安全課, 平成11年版化学物質と環境, p241-259, (1999).
- 7) 佐藤昭男, 堀 孝美, 日高利夫, 木川 寛：東京湾におけるクロルデン, PCB, 有機スズ化合物等の汚染実態, 横浜衛研年報, **31**, 91-101 (1992).
- 8) 白柳康夫：横浜港の化学物質汚染の現況と変遷, 横浜環境科学研究所報, **19**, 67-72 (1995).
- 9) 丸山朝子, 吉川サナエ, 関 昌之, 柴田幸雄, 吉田謙一：川崎市内の河川, 海域における化学物質濃度分布調査(1)—有機スズ化合物について—, 川崎市公害研年報, **26**, 21-25 (2000).
- 10) 東京都環境保全局：平成10年度東京都河川, 内湾の内分泌攪乱化学物質環境汚染実態調査結果, 平成11年5月31日発表資料.
- 11) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物(第8報)：横浜市沿岸の海岸動物相, p59-90, 横浜市広報印刷物登録番号第100562号, (1998).
- 12) 佐藤直之, 石井敬子, 佐藤昭男, 日高利夫, 臼井 進：東京湾における魚介類中の環境汚染物質実態調査, 横浜衛研年報, **38**, 103-106 (1999).
- 13) 環境庁環境保健部環境安全課, 内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について—平成12年11月版—, (2000).

横浜市内の事業所排水、河川、海域のホウ素の調査結果

初貝 留美 (横浜市環境科学研究所)
 下村 光一郎 (横浜市環境科学研究所)
 武田 裕 (横浜市環境科学研究所)
 飯塚 貞男 (横浜市環境科学研究所)
 江口 憲治 (横浜市環境保全局水質地盤課)

Reserches on Boron in the industrial wastewaters,rivers and sea areas in Yokohama

Rumi Hatsugai (Yokohama Environmental Science Reserch Institute)
 Kouichirou Shimomura (Yokohama Environmental Science Reserch Institute)
 Yutaka Takeda (Yokohama Environmental Science Reserch Institute)
 Sadao Iizuka (Yokohama Environmental Science Reserch Institute)
 Noriharu Eguchi (Yokohama Environmental Protection Bureau)

キーワード：ホウ素、ホウ砂

要旨

横浜市内の事業所のホウ素化合物の使用実態調査及び排水、河川、海域のホウ素の濃度測定調査を行った。ホウ素化合物を使用している事業所は、メッキ、ガラス、電気機器、印刷の各事業所であった。使用していたホウ素化合物は、ホウ酸とホウ砂で、調査した全ての事業所でホウ酸が使用されていた。ガラス製造事業所ではホウ酸とホウ砂が使用されており、その使用量もほかの事業所に比べて多く、年間約1000トンであった。また各事業所からの排水中のホウ素の濃度は 0.02mg/ℓ～15mg/ℓであった。

一方河川水中のホウ素の濃度は、汽水域を除いた31調査地点では 0.012mg/ℓ～0.14mg/ℓ の範囲であった。また汽水域及び海域の濃度はそれぞれ 0.19mg/ℓ～3.5mg/ℓと 3.3mg/ℓ～7.8mg/ℓ であった。

1. はじめに

ホウ素(B)は、平成5年3月に要監視項目として指針値 0.2 mg/ℓ が示され、さらに平成11年2月に環境基準健康項目に指定され基準値が 1.0mg/ℓ と定められた。ホウ素は自然水中では、ホウ素、ホウ素イオン、酸化ホウ素または何種類かのイオンとして存在し、海水に多く含まれ温泉水、河川水、地下水などに含有することがある。またホウ素は、ホウ酸やホウ砂などのホウ素化合物としてガラス、メッキ、電気などの各種産業で使用されており、これらの事業所の排水中にも含有している。一方ホウ素の河川水や海域中の濃度は、環境庁や各都市の報告書などで明らかになってきている^{1),2),3)}。

筆者らは、横浜市内の環境中のホウ素の実態を把握するために

- ① 市内事業所のホウ素化合物の使用実態調査及び排水中の濃度調査
 - ② 市内の河川水及び海域のホウ素の濃度調査
- この2項目の調査を行ったので報告します。

2. 調査方法

2-1 事業所の調査

① 調査対象の事業所

市内のホウ素化合物を使用している事業所を立入調査を行い、その使用方法や使用量を調査し、排水口等から排水を採取して分析に供した。

② 調査期間

平成12年5月～10月

2-2 河川、海域の調査

① 調査地点

市内35河川の36地点及び海域7地点を選び調査地点とした。(図-1)

② 調査期間

平成12年6月～10月

3. 分析方法

JIS K 0102 47.3 : ICP発光分光分析法に示された注(8)のイットリウム内標準法に基づき分析した。

4. 調査結果

4-1 事業所のホウ素化合物の使用実態と排水中の濃度

調査対象としたホウ素化合物を使用している市内の事業所の内訳は、メッキ関連の事業所が9で、ガラス製造、電気機械器具製造、印刷が各1事業所であった。これらの事業所で使用されていたホウ素化合物は、ホウ酸 (H_3BO_3) とホウ砂 ($Na_2B_4O_7$) であった。この2つのホウ素化合物の使用実態と排水中のホウ素の濃度を事業所の種類別に見てみた。

①メッキ事業所

調査した9つの事業所では、全てホウ酸を使用していた。各事業所ではメッキの製品、工程、規模がそれぞれ異なっているが、ホウ酸はニッケルメッキ液のpH調整剤として用いられていた。ニッケルメッキは自動車や電気部品などをクロムメッキをする前に行われるもので、錆や腐食の防止処理を目的としている。この工程ではニッケルメッキ液のpHの変化がメッキの仕上がりに大きな影響があるため、pHは一定に維持されなければならない。ホウ酸にはpHの変動を抑制する働きがあり、そのためニッケルメッキの工程ではホウ酸は不可欠な物質となっている⁴⁾。ホウ酸の使用量は事業所で差はあるが、メッキ液への使用濃度は、30g/ℓ～40g/ℓで年間使用量は10kg～200kgであった。各事業所の排水中のホウ素の濃度を表-1に示した。濃度の高かったのは自動車や電気等のプラスチック部品メッキの事業所(A, B)で、8.1mg/ℓ～15mg/ℓの範囲で検出された。これに対し電気部品、金属部品メッキ(C～I)の排水中の濃度は低く、0.22mg/ℓ～2.2mg/ℓの範囲であった。また各事業所の16の排水を分析した中で環境基準値の1mg/ℓを超えたのは11あった。一方排水処理施設は、各事業所とも凝集沈殿処理法を用い、排水中の金属の処理を目的としているため、ホウ素は除去されていなかった。

②ガラス製造事業所

調査したガラス製造事業所は1つであった。製造されていたガラスは、主にケイ酸ガラスであった。ケイ酸ガラスには、主原料のケイ酸に混合する物質を変えることにより、ソーダ石灰ガラス、鉛ガラスなど幾つかの種類があり、その一つにホウケイ酸ガラスがある。ホウケイ酸ガラスはケイ酸にホウ酸とホウ砂等を混合して作るもので、2つのホウ素化合物は、このホウケイ酸ガラスの原料として使用されていた。ホウ酸とホウ砂は、加熱するとホウ素酸化物の(B_2O_3)が生成する。この物質はガラス構成の主要成分の一つとなるため、ホウ酸とホウ砂は、ホウケイ酸ガラス製造の重要な原料となっている⁵⁾⁶⁾。使用量は両方合わせて年間約1000トンであった。事業所では、それぞれの原料を溶解炉に入れて溶解し、各工程を経てガラスを製造しているが、ホウ素はこの溶解炉から

出るガスを洗浄処理した排水や工程排水に含有していた。表-1に排水中のホウ素の分析結果を示した。ホウ酸やホウ砂の使用量はメッキ事業所よりはるかに多いが、排水中のホウ素の濃度はそれよりも低く、2つの排水の濃度は0.10mg/ℓと0.40mg/ℓであった。一方排水処理は、セレン、イオウ、有機物などを処理する目的で排煙脱硫、凝集処理等を組み合わせた方法を用いており、ホウ素の処理はメッキ事業所と同様に考慮されていなかった。

③その他の事業所

電気機械器具製造と印刷の各1事業所を調査したが、どちらもホウ酸を使っていた。電気機械器具製造では部品の洗浄にホウ酸を含んだ溶液で洗浄しており、その使用量は年間12kgであった。また印刷の事業所ではフィルム自動現像機の定着溶液や刷版の現像処理工程で使用されており、使用量は年間20ℓ～30ℓであった。各排水中のホウ素の分析結果を表-1に示した。電気機械器具製造の3排水の濃度は0.02mg/ℓ～0.13mg/ℓの範囲であり、印刷は0.87mg/ℓであった。

表-1 事業所の排水中のホウ素の濃度

mg/ℓ		
種類	事業所名	濃度
メッキ	A	11
		15
	B	8.1
		8.7
	C	1.6
		2.2
		2.1
	D	0.25
		0.28
		0.22
ガラス	F	0.98
	G	1.2
	H	0.26
		1.1
電機部品	I	1.5
		1.8
	J	0.1
印刷		0.4
		0.02
	K	0.11
		0.13
	L	0.87

表-2 河川水中のホウ素の濃度

地点No	河川名	測定地点名	濃度
1	砂田川	団地橋	0.024
2	黒須田川	耕地橋	0.043
3	布川	荏田管理橋	0.041
4	寺家川	宮前橋	0.026
5	鴨志田川	いなり橋	0.032
6	奈良川	神前橋	0.031
7	大場川	竹の下橋	0.037
8	鴨居川	鴨居橋	0.073
9	岩川	屋敷橋	0.037
10	梅田川	新治橋	0.066
11	しらとり川	真橋	0.039
12	帷子川	中井橋	0.016
13	矢指川	耕地橋	0.042
14	今井川	八幡橋	0.048
15	中堀川	浜串橋	0.039
16	二俣川	四季美橋	0.053
17	新井川	分水路際	0.058
18	くぬぎ台川	原下橋	0.021
19	菅田川	新川島橋	0.036
20	日野川	港南橋	0.054
21	大門川	中川橋	0.021
22	相沢川	童橋	0.026
23	和泉川	鍋屋橋	0.017
24	宇田川	宇田川橋	0.043
25	阿久和川	トヨ橋	0.14
26	平戸永谷川	渡戸橋	0.04
27	舞岡川	元舞橋	0.028
28	柏尾川	鷹匠橋	0.094
29	柏尾川	吉倉橋	0.03
30	境川	高兼橋	0.012
31	恩田川	都橋	0.028
32	大岡川	清水橋	0.64
33	帷子川	水道橋	0.19
34	入江川	入江橋	2.2
35	宮川	瀬戸橋	1.5
36	侍従川	平潟橋	3.5

表-3 海域のホウ素の濃度 mg/ℓ

地点No	測定地点名	濃度
37	鶴見川河口	3.3
38	扇島沖	4.1
39	横浜港内	4.9
40	本牧沖	5.6
41	磯子沖	5.7
42	富岡沖	5.4
43	平潟湾沖	7.8

5. まとめ

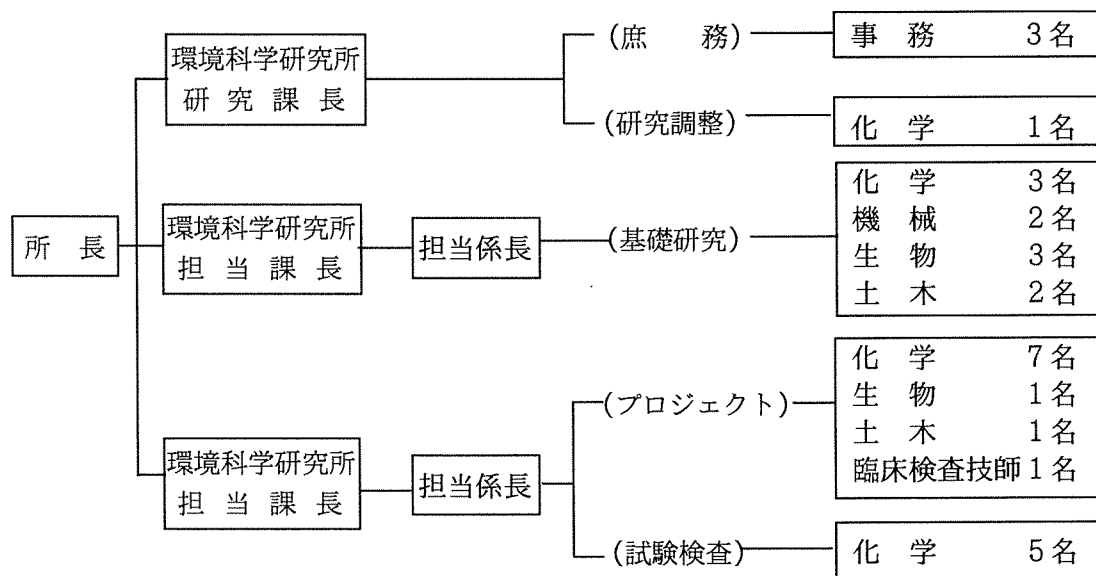
横浜市内の事業所のホウ素化合物の使用実態調査及び河川、海域中のホウ素の濃度調査を行って次のことが分かった。

- 1) ホウ素化合物を使用していた事業所はメッキ、ガラス、電気機械器具製造、印刷の事業所であった。
- 2) 使用していたホウ素化合物は各事業所ともホウ酸であったが、ガラス製造の事業所では、ホウ酸とホウ砂の両方を使用していた。
- 3) 事業所の排水中の濃度は0.02mg/ℓ～15mg/ℓの範囲で、プラスチック部品のメッキ事業所の排水中の濃度が高い傾向があった。
- 4) 市内河川水中のホウ素の濃度は汽水域を除くと0.012mg/ℓ～0.14mg/ℓの範囲で環境基準値を満たしていた。しかし検出されたホウ素が自然由来なのか又は人為的なのかについては明らかにできなかった。

6. 参考文献

- 1) 山崎正夫、安藤晴夫：ICP-質量分析法による都内河川水中の溶存態微量元素の分析、東京都環境科学研究所年報、49～53、1998
- 2) 吉永淳、薩摩林光 他：廃棄物埋立処分場におけるホウ素の収支、環境化学、Vol.10, No.11、19～25、2000
- 3) 岩佐智佳：誘導結合プラズマ発光分析法による微量ホウ素の定量に関する検討、徳島県保健環境センター年報、No.17、69～72、1999
- 4) 矢野里平：めっきマニュアル、オーム書店、1971
- 5) 窯業協会編：窯業ハンドブック、枝報堂、1984
- 6) 下村光一郎、初貝留美、飯塚貞男、江口憲治：横浜市内事業所のセレン排水処理実態調査、横浜市環境化学研究所報、21、119～122、1997
- 7) 一方井誠治：環境基準項目「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」等の追加について、用水と廃水、Vol.41、No.10、7～11、1999

1. 人員及び組織



(平成12年5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	JEOL製 JMS-700	1式	ダイキシ等分析室
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
分光光度計	日立 U2000	1式	液クロマト室
全有機炭素分析計	ベックマン MODEL 915-B	1台	液クロマト室
凍結濃縮装置	大洋科学工業 FC-6	1式	液クロマト室
液体クロマトグラフ	HP 1090	1式	液クロマト室
水銀分析計	柳本 AMD-F2	1式	原子吸光室
原子吸光度計	日立 Z-5700	1式	原子吸光室
高周波プラズマ質量分析装置	島津 ICPM-8500	1式	原子吸光室
高周波プラズマ発光分光分析装置	島津 ICPS-7000	1式	原子吸光室
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
環境物理測定装置	RM-5220	1式	生物研究室
電気炉	西村工業製	1台	水質試験室
標準粒子発生装置	東京高周波電気炉 SRF-305W	1式	標準ガス調製室
標準ガス精密希釈装置	製鉄化学工業 SDS-401	1式	標準ガス調製室
スモークチャンバー		1台	標準ガス調製室
パーソナル・タストモニタリングシステム	柴田科学 PDS-1	1台	標準ガス調製室
液体クロマトグラフ	島津 LC-6A	2式	元素分析室
同上用蛍光モニター	日立 F-1150	1台	元素分析室
炭素・水素・窒素(CHN)分析計	柳本 CHN コーダー MT-3 型	1台	元素分析室
同上用オートサンプラー	ヤナコ MTA-5	1台	元素分析室
揮発成分混合ガス発生装置	紀本電子製 SS-1002	1式	元素分析室
ガスクロマトグラフ質量分析計	JEOL製 JMS-700	1式	ガス・蛍光 X線室
蛍光 X線分析装置	リガク RIX2000	1式	ガス・蛍光 X線室
ガスクロマトグラフ質量分析計	JEOL製 AUTOMASS II	1式	ガス・蛍光 X線室
マイクロウェーブ測定用吸光度計	ルジエマクインターナショナル イムニ NJ-2300	1式	ガス・蛍光 X線室
データレコーダ	ソニー PC204,208	2台	音環境研究室
2chFFT分析器	小野測器 CF-360	1式	音環境研究室
広帯域1/3 octave実時間分析器	リオン SA-27	1式	音環境研究室
騒音振動作図装置	日本ヒューレット・パッカド 7550B	1式	音環境研究室

品名	規格	数量	配置
騒音振動データ処理機	ヒューレットパッカート モデル 712/100	1式	音環境研究室
広帯域精密騒音計	小野測器 LA-5110	3台	音環境研究室
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	実験準備室
オートアナライザー (HPLC 分析装置)	DIONEX DX-120	1式	実験準備室
粒度分布測定装置	島津 SA-CP3L	1式	実験室 (4F)
窒素酸化物自動記録計	MONITOR RABS MODEL-8440 外	3台	都市環境研究室
オキシダント自動記録計	電気化学	1台	都市環境研究室
風向風速計	海上電機 WA-200 外	2台	都市環境研究室
イオン濃度測定装置	オリオン 801A 型	1台	都市環境研究室
イオンクロマトグラフ	DIONEX Series4000i	1台	都市環境研究室
高精度オゾン計	紀本電子工業製	1台	都市環境研究室
ガスクロマトグラフ分析装置	HP6890, 島津 GC-14A ECD 外	5式	ガスクロマトグラフ室
農薬分析装置	HP5890・HP6890 外	1式	ガスクロマトグラフ室
微粒子自動計測器	ロイコ社 MODEL226	1式	大気試験室
凝縮核モニター	日本化学工業 MODEL 3020	1台	大気試験室
分光光度計	日本分光 V-550 外	2式	大気試験室
科学技術計算システム	富士通 GRANPOWER 5000 外	1式	中央データ処理室
ガスクロマトグラフ質量分析計	JEOL 製 AUTOMASS II	1式	微量ガス分析室
コンポジットサンプラー	日科機 S-4081	1式	器材庫 (5F)
パン型製粒機		1台	屋上
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
高精度自動体積計	エステック VM-100	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	地盤環境研究室
ソイルミキサー	丸東 SE-27	1台	地盤環境研究室
一軸圧縮試験装置	丸東 SG-2033	1式	地盤環境研究室
高精度弾性波速度測定装置	丸東製作所製	1台	地盤環境研究室
三軸圧密試験記録装置	理研電子製	1台	地盤環境研究室
圧密自動記録装置	理研電子 MODEL DACT-6	1式	地盤環境研究室
データ収録分析装置	理研電子製	1式	地盤環境研究室

3. 平成11年度 予算額

(単位：千円)

科 目	金 額	付 記
共 済 費	1,904	社会保険料 1,904
賃 金	10,551	
報 償 費	825	
旅 費	1,566	普通旅費 1,548
需 用 費	49,337	消耗品費 17,056
		燃料費 245
		食糧費 202
		印刷製本費 2,915
		光熱水費 25,774
		修繕料 3,145
役 務 費	2,696	通信運搬費 1,438
		手数料 1,246
		筆耕翻訳料 10
委 託 料	174,684	調査委託料 87,547
		清掃その他委託料 87,137
使用料及び 賃 借 料	81,688	
工事請負費	480	
備品購入費	7,213	
負担金補助 及び交付金	530	会費及び負担金 530
計	331,474	

管 理 運 営 費	74,003
試 験 検 査 費	6,505
主 要 機 器 維 持 管 理 運 営 費	4,834
機 器 等 整 備 事 業 費	3,184
調 査 研 究 事 業 費	16,547
環 境 庁 受 託 事 業	68,000
ダ イ オ キ シ ン 類 分 析	27,600
環 境 ホ ル モ ン 環 境 調 査	6,500
施 設 改 修 工 事 費	49,321
環 境 教 育 啓 発 等 そ の 他 事 業 費	6,750
大 型 機 器 更 新 整 備 事 業 費	68,230
計	331,474

平成12年度 予算額

(単位：千円)

科目	金額	付記
共済費	1,928	社会保険料 1,928
賃金	10,374	
報償費	820	
旅費	1,566	普通旅費 1,548
需用費	51,151	消耗品費 19,282
		燃料費 245
		食糧費 136
		印刷製本費 2,569
		光熱水費 25,774
		修繕料 3,145
役務費	2,680	通信運搬費 1,422
		手数料 1,246
		筆耕翻訳料 10
委託料	209,425	調査委託料 82,490
		清掃その他委託料 126,935
使用料及び賃借料	81,496	
工事請負費	480	
備品購入費	7,113	
負担金補助及び交付金	498	会費及び負担金 498
計	367,531	

管理運営費	73,130
試験検査費	6,105
主要機器維持管理運営費	4,834
機器等整備事業費	3,184
調査研究事業費	13,809
環境庁受託事業	63,000
ダイオキシン類分析	29,382
環境ホルモン環境調査	9,215
施設改修工事費	91,292
環境教育啓発等その他事業費	5,350
大型機器更新整備事業費	68,230
計	367,531

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
日本珪藻学会第20回大会	1999.5	都市河川維持用水としての下水処理水の消毒と珪藻群集	○福嶋 悟
	1999.5	水質回復と浄水場排水が都市河川の珪藻群集に及ぼす効果	○奥山美峰（ビー・シー・イー）， 福嶋 悟
第23回環境・公害研究合同発表会	1999.6	水域における油流出事故の分析事例	○二宮勝幸，森本敏昭，小市佳延， 武田裕，大場栄次，下村光一郎
	1999.6	油流出事故に伴う大気環境調査事例 —東京湾ダイヤモンド・グレース号事故時の炭化水素類調査—	○前田裕行，坂井 清，平野耕一郎， 菅原継好
全公研関東甲信静支部大気専門部会	1999.6	ダイオキシン等分析室の概要	○前田裕行
全公研関東甲信静支部騒音振動専門部会	1999.7	視覚障害者の空間認知法	○鹿島教昭
日本騒音制御工学会研究発表会	1999.9	視覚障害者の聴覚による空間認知—ダミーヘッド収録した街の音環境再生実験—	○太田篤史・田村明弘（横浜国大）， 小松広和（相模鉄道），鹿島教昭
第5回日本環境毒性学会バイオアッセイ研究会合同研究発表会	1999.9	河川水へのミジンコ繁殖試験の応用について	○酒井 学
日本珪藻学会第19回研究集会	1999.10	下水処理水により再生された根川（東京都）の珪藻群集	○福嶋 悟
	1999.10	一般公開講演：都市河川における環境の修復と珪藻群集との関係	○福嶋 悟
平成11年度第1回環境科学研究所研究発表会	1999.11	研究所内におけるコンピュータネットワークの構築	○江幡育郎
	1999.11	有害大気汚染物質の環境濃度	○坂井 清
	1999.11	土質データを活用した地盤災害に関する検討	○横内宣明・杉本 実
日本地質学会第9回環境地質学シンポジウム	1999.11	都市型温暖化としてのヒートアイランド	○佐俣満夫
	1999.11	横浜地域における沖積層の古環境対比	○杉本実，横内宣明，興津昌宏，大嶋秀明（パリオ・サーヴェイ（株））
市民環境教室（平成11年度第3回）	1999.11	横浜金沢低地における完新世古地理と環境利用	○佐藤ゆきの（お茶の水女子大学・院），杉本 実
	1999.12	横浜の酸性雨の現状—その実態について—	○梅田てるみ
平成11年度第2回環境科学研究所研究発表会	1999.12	横浜の酸性雨の現状—その影響について—	○加藤善徳
	2000.3	横浜市域における谷戸地形の特徴と谷戸保全の意義について	○島村雅英
	2000.3	横浜市内の環境水中の農薬調査	○初貝留美
	2000.3	疫学調査における微小粒子状物質（PM2.5）の測定について	○平野耕一郎
	2000.3	ダイオキシン類の分析設備の概要と市内環境濃度調査結果について	○前田裕行
大気環境学会 環境大気モニタリング分科会（第3回研究会）	2000.3	自治体における環境大気中のダイオキシン測定の現状と課題	○前田裕行

5. 雑誌等投稿

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
騒音・振動技術の基礎と測定	1999.6	鹿島教昭	第4章 騒音の測定法

〔要旨〕 騒音の環境基準が平成10年に改訂され、同11年4月1日から施行されたが、環境基準の適用概念が従来の点位置における中央値 (L_{50}) から、面的地域における等価騒音レベル (L_{Aeq}) へと変更され、これに伴い騒音測定法も大幅に変更された。そこで(社)日本騒音制御工学会が初心者向けに用いるテキストの内容において、等価騒音レベルの測定法の解説を加筆し、測定結果の算出に用いない除外音の見出し方を説明した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
The Japanese Journal of Limnology (Vol. 60)	1999.9	Shoji Kanada & Satoshi Fukushima	Biodiversity of benthic macroinvertebrates in urban rivers and streams

〔要旨〕 都市河川では、水質の回復に伴い底生動物群集の多様性が增大する傾向が認められた。また、底質構造と護岸構造が多様性と強く関連し、コンクリートの底質と護岸の環境での多様性は最も小さく、礫底で土(石混じりを含む)の護岸の環境で多様性が最も大きい。また、下水処理水を維持用水とする河川の底生動物群集は、周辺にある河川の影響を受け、多様な群集の生育する河川が近くを流れる場合には、下水処理水を維持用水とする河川でも、群集の多様性が大きくなる。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
環境技術	1999.10	鹿島教昭	「騒音に係る環境基準」の測定・評価—問題点とその対応について—

〔要旨〕 騒音に係る環境基準が平成10年に改訂・告示され、同11年4月1日より施行され、従来の点位置での中央値から面的地域の等価騒音レベルでの評価となったが、「生活環境を保全し、人の健康の保護に資する上で維持することが望ましい基準」である騒音の環境基準が、音源の種類によって幾つかある矛盾を指摘し、「道路に面する地域」の定義「道路交通騒音が支配的音源である地域」の支配の程度次第では、昼と夜でその地域の広さが変化する可能性、面的評価を基準達成の戸数で評価するとしても、現地調査以外に戸数を把握することの困難などを示した。また、等価騒音レベルの算出に用いない除外音の見出し方や、環境基準の測定法マニュアルに従わない方法が、不要な騒音データの取込みを避けられる点などを解説した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
The Japanese Journal of Limnology (Vol. 60)	1999.12	Satoshi Fukushima & Shoji Kanada	Effects of chlorine on periphytic algae and macroinvertebrates in a stream receiving treated sewage as maintenance water

〔要旨〕 塩素消毒された下水処理水で維持されている小川では、全残留塩素濃度が高いと、付着藻類と底生動物の両生物群集の種類数と現存量は減少したが、0.1mg/l以下では種類数に回復が認められた。人工基物による現場実験では、残留塩素の影響下では藻類増殖量が少なくなった。室内実験では残留塩素の影響下で生育した藻類と異なり、対照地点の藻類は1.0mg/lで24時間後の生育量に影響が生じた。残留塩素の影響下で生育したセスジユスリカの4.1mg/lでの24時間後の死亡率は、対照地点に比べて低かった。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
Proceedings of the 14 th International Diatom Symposium	1999	Satoshi Fukushima	Change in the Diatom Assemblage of an urban river with utilization of treated sewage as maintenance water

〔要旨〕 下水処理水を流し始めた後、下水処理場と地下水のしみ出したコンクリート護岸に生育している種類が、河川の珪藻群集の構成に加わるようになった。良好な水質の生息地由来の種類が新たに河川で生育するようになったのは、下水処理水の通水により流量が増大し、川底に堆積した有機物が減少し、底質環境が改善されたためである。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
関東の四紀	2000.2	杉本 実, 岡 重文	横浜市帷子川の保土ヶ谷礫層と河岸段丘

〔要旨〕 帷子川沿いの河岸段丘堆積物は古相模川の礫層から成り、保土ヶ谷礫層として地層区分され、戸塚層と対比されている。本層は降水時の地下ダム機能を有し、良質な地下水の帯水層となっているが、地表調査等ではその分布・形態が明らかでない部分がある。本論は多数の既存ボーリング資料に基づいて帯水層の分布・形態を調査し、連続ボーリング試料の鑑定から、従来の地質図を再検討し、段丘の分布範囲を一部改訂した。

6. 横浜市環境科学研究所発行資料（調査研究等報告書）

環境研資料	報告書名	発行年月
No.140	地下水汚染に関する調査研究報告書 ―分解反応モデルを用いた評価―	2000.3

〔要旨〕 本報告は、平成元年度より開始した揮発性有機塩素化合物による地下水汚染に関する調査研究についての成果をまとめたものです。その内容は、市内における地下水汚染状況調査結果や有機塩素系溶剤の生分解実験結果等からそれらの分解反応機構について考察しました。そして、それらの分解反応をモデル化し、その分解反応モデルを応用した地下水汚染の評価方法を考案しました。さらに、その評価方法を実際の汚染地下水へ適用し、汚染源の位置の推定や汚染状況・分解状態の経年変化などについて評価を行いました。

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)
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	1979.3	B5 66頁
12	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	1979.8	B5 85頁
13	横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1979.9	B5 201頁
14	横浜市公害研究所報第4号	1980.3	B5 204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	1980.5	B5 72頁
15	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）	1980.3	B5 72頁
16	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 31頁
17	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―	1980.12	B5 84頁
18	魚類の健康評価に関する研究(1)（昭和53年度）	1981.2	B5 20頁
19	魚類の健康評価に関する研究(2)（昭和54年度）	1981.2	B5 51頁
20	横浜市公害研究所報第5号	1980.12	B5 236頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
21	帯水層層序確定のための地質調査	1981.3	B5 32頁 付図4枚
22	第4回公害セミナー資料提言要旨	1981.3	B5 18頁
23	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 41頁
24	—		
25	地域交通環境に関する意識調査—金沢4区, 1980年11月実施—	1981.3	B5 46頁
26	第4回公害セミナー会議録・80年代の環境対策の課題	1981.3	B5 115頁
27	低周波空気振動実態調査報告書	1981.3	B5 163頁
28	有機ハロゲン化合物の分解と消長 —有機塩素化合物特にPCBの環境中における動態について—	1981.3	B5 98頁
29	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	1981.8	B5 150頁
30	横浜市公害研究所報第6号	1981.12	B5 211頁
31	横浜市自動車問題研究会第二報告書 —横浜の物流と自動車公害に対する調査研究—	1981.12	B5 227頁
32	排水処理技術維持管理マニュアル—凝集処理編—	1982.3	B5 116頁
33	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 133頁
34	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 123頁
35	魚類の健康評価に関する研究(3)	1982.3	B5 34頁
36	魚類指標による排水評価のための技術要領	1982.3	B5 30頁
37	横浜市深層地下水調査中間報告書	1982.3	B5 44頁 付図2枚
38	横浜市自動車問題研究会第一報告書—地域交通環境とまちづくり—	1982.3	B5 124頁
39	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 440頁
40	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)	1982.3	B5 11頁
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 —大気汚染—青空はよみがえったか, この横浜に—	1982.8	B5 31頁
43	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 —大気汚染—青空はよみがえったか, この横浜に—	1983.1	B5 99頁
46	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研究	1983.11	B5 226頁
53	第7回公害セミナー公募論文集 —身近な水辺とまちづくり—「よこはまの川と池」再発見—	1983.11	B5 149頁
54	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 —身近な水辺とまちづくり—「よこはまの川と池」再発見—	1984.2	B5 135頁
59	横浜市南部沿岸地域軟弱地盤調査報告書	1984.2	B5 56頁 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 —いま 横浜の海は—水質, 生物, 水ぎわ……—	1984.11	B5 105頁
62	横浜市公害研究所報第9号	1984.12	B5 193頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
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ーイオン交換処理編ー	1985.3	B5 134 頁
65	第 8 回公害セミナー会議録	1985.1	B5 133 頁
66	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 ー総合報告ー	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 静かなまちづくりをめざしてー道路緑化と騒音ー	1986.2	B5 179 頁
71	ホテルの生息環境づくりー技術マニュアル試案ー	1986.2	B5 121 頁
72	第 10 回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まちー	1986.11	B5 174 頁
73	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ー汚泥処理編ー	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 調べてみよう、身近な環境ー水、みどり、まちー	1987.3	B5 127 頁
78	横浜市軟弱地盤層調査報告書（土地質試験データ図） 横浜市地盤環境図 横浜市地盤環境図	1987.3	B5 217 頁 B2（付図 1） A0（付図 2-10）
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ー水・みどり・まちー	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、身近な環境ー水、みどり、まちー	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 ー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ー水・みどり・まちー	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、身近な環境ー水、みどり、まちー	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ー水・みどり・まちー	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ー水・みどり・まちー	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ー横浜の都市自然を調べるー	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ー水・みどり・まちー	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

資料番号	件名	発行年月	体裁等
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
117	東京湾の富栄養化に関する調査報告書	1995.3	A4 133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 55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	A4 117頁
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
126	第20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－	1996.12	A4 91頁
127	横浜市環境科学研究所報第21号	1997.3	A4 141頁
128	短期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO、NO ₂ 及びSO ₂ 濃度の測定方法(YERI METHOD-1996)	1997.3	A4 13頁
129	酸性雨に関する調査研究報告書(Ⅱ)－酸性雨による器物影響－	1997.3	A4 88頁
130	長期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO、NO ₂ 及びSO ₂ 濃度の測定方法(YERI METHOD-1997-1)	1997.7	A4 頁
131	有害大気汚染物質の沿道実態調査報告書－環境庁委託報告書－	1997.3	A4 60頁
132	第21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・・・－	1998.1	A4 109頁
133	横浜市環境科学研究所報第22号	1998.3	A4 115頁
134	第22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・・・－	1999.1	A4 104頁
135	酸性雨に関する調査研究報告書(Ⅱ)－酸性雨による器物影響(改訂版)	1998.12	A4 142頁
136	横浜市環境科学研究所報第23号	1999.3	A4 65頁
137	エコシティ研究報告書	1999.3	A4 頁
138	第23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・・・－	2000.1	A4 76頁
139	横浜市環境科学研究所報第24号	2000.3	A4 116頁
140	地下水汚染に関する調査研究報告書－分解反応モデルを用いた評価－	2000.3	A4 98頁
141	第24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・・・－	2001.1	A4 112頁
142	横浜市環境科学研究所報第25号	2001.3	A4 頁

◇ 編集後記 ◇

研究所発足以来、毎年刊行してきました所報もここに「第25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」及び「資料編」です。今後、編集委員会等で新たな視点から所報について議論をし、内容の充実を図っていきたいと考えています。

所報第25号編集委員会

小座間国雄

松島裕子

杉本実

鹿島教昭

森本敏昭

小市佳延

坂井清

島村雅英

酒井学