環境研資料
No. 157

ISSN 0918-5720

横浜市環境科学研究所報

第 31 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.31

２００７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、ダイオキシン類やアスベスト等の微量な有害物質による環境汚染の問題、自動車からの排出ガスや近隣騒音等の都市生活型の問題、都市におけるヒートアイランド現象の問題、また、緑地や水辺の減少とそれに伴う生物生息環境への影響の問題、そして地球温暖化や酸性雨など地球規模の問題まで複雑多岐にわたっています。

横浜市環境創造局では、これら幅広い環境分野について総合的な施策を推進しています。環境科学研究所は、環境施策の推進にあたって、その裏付けとなる科学的根拠を提供する役割を担っており、環境の現況把握、将来を見据えた科学的解析、対策に向けた各種手法の検討等に取り組んでいます。特に現在では、水・緑・生き物など、新たな分野に調査研究の領域を広げ、より広範な視野から環境施策の推進に寄与できるよう、取組を進めているところです。

今回の所報第３１号は、従来の環境科学研究所の調査研究分野に加え、平成１７年度に研究所に統合された下水道技術開発分野における報告を併せて掲載いたしました。この所報がみなさまの取組の参考に活用されれば、誠に幸いに思います。

平成１９年３月

横浜市環境科学研究所長

山　口　敬　義

目　　次

まえがき

Ⅰ　業務報告編

業務報告 …… 1

研究概要 …… 3

Ⅱ　調査研究編

報文

・横浜市内の気温観測調査 －2006年夏季の観測結果と熱帯夜及び真夏日による類型化－ …… 11

・Cool わだまち24 プロジェクトでの道路散水による温度低減効果調査 …… 17

・横浜市内での壁面緑化の温度低減効果 ―2006 年夏季の観測事例― …… 21

・和泉川下流における停滞水域の調査 …… 25

・瀬谷狢窪公園および寺ノ脇の水辺の水域生態系 …… 32

・鶴見川水系における谷戸水路と河川の人工構造物と魚類流程分布との関係 …… 40

・帷子川源流域におけるホトケドジョウの分布状況調査 …… 56

・源流域水環境基礎調査結果　－鶴見川、帷子川－ …… 64

・まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究（第一報） …… 69

・横浜市における酸性雨モニタリング調査　－2005年の結果－ …… 80

・横浜における海塩物質沈着量の長期変動(1984－2004年) …… 84

・平成17年度環境ホルモン・モニタリング調査結果等について …… 92

・横浜市水域における油流出事故について（第２報） …… 96

・鶴見川における農薬調査について（Ⅱ） …… 102

・ダイオキシン類モニタリング調査　―環境大気の経年変化― …… 108

・文献調査から眺めた環境振動への苦情 …… 110

・高度処理の効率化に関する検討 …… 117

・消化ガスの高品質化と高濃度CO_2の有効利用の研究について …… 125

・焼却灰中の重金属不溶化処理技術の開発 …… 130

・下水汚泥焼却灰を利用した高流動埋戻材の事業開発 …… 136

Ⅲ　資料編

人員及び組織 …… 142

主要機器一覧表 …… 142

学会等研究発表 …… 144

雑誌等投稿 …… 145

記者発表一覧 …… 147

環境科学研究所発行資料目録 …… 148

施設見学者等一覧 …… 152

環境教室等講師派遣一覧 …… 153

ふれあい環境学習塾（小中学生塾、社会人塾） …… 154

編集後記 …… 155

業務報告

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、各種調査研究をはじめ、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。

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・プロジェクト研究)、試験検査などに組織を整備しました。

また、平成17年4月には、環境保全局、緑政局、下水道局の3局再編による環境創造局の発足に伴い、監視センター及び下水道局技術開発担当が新たに加わった組織になりました。

2　試験検査業務

平成17年度は、一般環境大気中の揮発性有機化合物のモニタリングや工場･事業場への立入検査等に伴う検査を681検体、また事故・苦情に伴う検査を62検体実施したほか、アスベスト含有吹付け材等を使用している公共建築物のアスベスト含有量実態調査を1,484検体、合計2,227検体（＊）の試験検査を実施しました。

＊1検体あたり、複数の項目を分析

3　調査研究業務概要（平成１７年度）

【地球温暖化・ヒートアイランド】
◇ヒートアイランドに関する研究
【水循環・水環境】
◇地下水・水循環に関する研究
◇停滞性水域が河川水質や生物に及ぼす影響に関する研究
【生物多様性】
◇都市河川における谷戸生態系の維持機能に関する研究
◇横浜港の水質改善に関する研究
◇源流域水環境基礎調査
◇まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究
【大気環境】
◇酸性降下物の影響に関する研究
【有害化学物質】
◇環境ホルモンに関する研究
◇化学物質環境実態調査
◇横浜市内におけるダイオキシン類モニタリング調査
◇ダイオキシン類依頼調査
【音環境】
◇大音響の宣伝放送における騒音問題と影響に関する研究
【環境情報】
◇市民への地盤情報の提供
【下水道技術開発】
◇水処理・汚泥処理に関する調査研究
◇資源・エネルギーの有効利用に関する調査研究

（各調査研究業務概要はP. 3～10 に記載）

4　啓発事業

4-1　第１回　こどもエコフォーラム

平成17年度から、新たに教育委員会小中学校教育課と共催で、市内の児童生徒が自ら行った環境に関する調査や活動の報告などを発表する「こどもエコフォーラム」を開催しました。このフォーラムでは、児童生徒が日頃から良好な環境について考え、環境に対する豊かな感性と主体的に行動する実践的な資質能力を育む機会とすることを目的としています。

内容は、児童生徒から募集した環境に係わる小中学生の公募作品（調査結果、活動報告、提言）などを中心とし、環境をテーマとした児童などによる音楽演奏や作品の展示、環境ＮＰＯ団体等のワークショップも行いました。

期日／平成18年2月25日（土）
会場／神奈川公会堂
内容／作品発表(15編)、音楽演奏、ワークショップ等
　　司会：渡部允氏(ジャーナリスト)
　　司会補助：ボランティア高校生
参加者／715人

4-2　ふれあい環境学習塾

平成17年度より新たに、地球温暖化、ヒートアイランド、酸性雨など最近の環境問題や川の生きもの観察について、小中学生や社会人の方々を対象に実地見学や体験学習を中心としたシリーズ開催の「ふれあい環境学習塾」を開催しました。

（資料編 p. 154 参照）

4-2-1　小中学生塾

対象／シリーズで参加できる小中学生
実施時期回数／夏休み、冬休み期間中などで5回開催
内容／①地球温暖化とｴﾈﾙｷﾞｰ ②川の野外観察・調査 ③汚れた水をきれいにするために ④酸性雨 ⑤大気のよごれ

4-2-2　社会人塾

対象／シリーズで参加できる市民
実施時期回数／年間を通し10回開催
内容／①ｶﾞｲﾀﾞﾝｽ及び地球温暖化問題 ②ﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ ③川の野外観察・調査 ④下水道の役割 ⑤酸性雨 ⑥化学物質 ⑦里山の保全 ⑧大気汚染 ⑨自然の保護（ﾐﾃｨｹﾞｰｼｮﾝ） ⑩地球環境問題の現状と横浜市の対策

4-3 「いたち川　自然観察教室」

身近な川の環境について、調査や観察方法を体験しながら学んでいただきました。「ふれあい環境学習塾」の小中学生塾第2回及び社会人塾第3回として実施しました。

期日／平成17年8月2日(火)
場所／いたち川（栄区日東橋付近）

内容／魚、川の虫、水質などの調査方法の体験学習
参加者／23 人

4-4　施設見学、環境教室等

環境月間（６月）の施設公開をはじめ、随時、学校や市民団体等の施設見学を受け入れ、研究業務の紹介を行っています。また、区役所・市民団体等からの依頼を受けて、環境教室や自然観察会への講師派遣も行っています。（資料編 p.152～153 参照）

５　監視センター業務

監視センターでは、大気汚染・水質汚濁等の環境状況を監視しています。

5-1　オンラインシステムによる常時監視

大気汚染、水質汚濁について、環境及び発生源工場の常時監視を行っており、光化学スモッグ発生時、魚浮上事故、油流出事故時などの緊急時対応をとっています。

5-2　その他の環境測定（常時監視システムを補完）

二酸化窒素濃度の汚染分布、有害大気汚染物質、河川・海域・地下水の水質、道路交通騒音、鉄道騒音・振動などの測定のほか、航空機騒音と放射線の連続測定を行っています。

６　下水道技術開発業務

市民生活を豊かにする快適な水環境の保全や資源循環型社会などへの対応を図るため、課題となるテーマについて技術開発・調査研究を行っています。

現在は、下水の高度処理の効率化に関する検討や汚泥焼却灰の資源化に関する研究・開発を進めています。

また、民間企業との共同により、汚泥消化ガスの高効率化や焼却灰中の重金属溶出抑制技術などについても、研究を行っています。

調査研究名

ヒートアイランドに関する研究

分　野　　**地球温暖化・ヒートアイランド**

［目的］

都市での夏期の気温は上昇傾向にある。横浜市では過去100年間に2.6℃平均気温が上昇しており、ヒートアイランド現象の影響が懸念されている。そのため市内66地点に気温観測網を設け、市内の気温マップを作成している。また、横浜市ヒートアイランド対策取組方針策定のため、市内のシミュレーションを行い、熱環境マップを作成した。

［方法］

市内の小学校66ヶ所に気温計を設置し、観測を行うと共に夏期の市内の気温マップを作成した。
都市気候予測モデル（UCSSモデル）によるヒートアイランドシミュレーションを実施した。
UCSSモデルの結果と天空率などのデータを用いて市内の熱環境マップを作成した。
栄第一水再生センターにパネル式壁面緑化を設置し、夏期の温度低減効果を測定した。

［結果］

気温分布については夏期平均気温で最大2.1℃に地域差がみられ、日中では市内中心部と北東部で気温が高く、熱帯夜は臨海部で多くなる傾向がみられた。
UCSSモデルによる気温、天空率、人工排熱、裸地緑地面積率を用いて市内を８つのカテゴリーに分類した熱環境マップを作成し、横浜市ヒートアイランド取組方針に反映させた。
夏期でのパネル式壁面緑化の観測結果として、緑化の表面温度は壁面コンクリートの表面温度に較べて最大10℃程度低くなることがわかった。

調査研究名

地下水･水循環に関する研究
市域地盤の地域特性の把握と検討
地盤情報の集約

分　野　　**水循環･水環境**

［目的］

地盤環境に関する情報を環境保全や災害対策等の公共事業に役立てるため、横浜市域の地質や地盤構造、地下水の分布や利用状況等に関する地域特性の把握を目的に調査研究を行なう。

［方法］

・市域地盤の地域特性調査の実施
・地下水位観測井（35 箇所）のデータ回収および保守点検
・土質検索システム（横浜市の各種事業で行われた地盤調査結果の集約と庁内提供）の運用

［結果］

水循環に関するデータの収集として、①主に市域西部（境川、柏尾川流域）における地下水揚水井の分布状況の確認、地下水の採水・分析（12 か所）を行なった。②帷子川流域の川井・矢指・大池・市沢・仏向地区の源流域水環境基礎調査を調査主体である環境創造局環境活動事業課と共同で行った。

土質検索システムの運用として、土質データの庁内配布（平成 10 年度～平成 15 年度に実施された調査結果）および平成 17 年度に実施された土質調査報告書の集約（委託件数：38 件、柱状図本数：205 本）を行った。

調査研究名

停滞性水域が河川水質や生物に及ぼす影響に関する研究　－　和泉川　－

分　野　　水循環･水環境

［目的］

都市河川の河川形態や構造物が水質・藻類・魚類等に及ぼす影響を明らかにし、より良好な水環境の維持・向上に向けた河川構造、管理方法の検討に必要な資料を得ることを目的とする。今回は和泉川の河床勾配の緩い区間に作られた多自然型改修地域を中心に、水質、底質、付着物、付着藻類および魚類への影響調査を行う。

［方法］

調査は、和泉川下流の低水路や魚道などの多自然型改修を行った約２㎞の地域について、年４回行った。水質、底質、付着物は停滞水域となっている淵や瀬について、SS 沈降などの影響を検討した。また、付着藻類は水質や流速の影響について検討した。さらに、魚類は河岸の形態、ならびに魚道や落差工の存在が魚類の種移動、分散に及ぼす影響について検討した。

［結果］

多自然型河川改修により河川水の流下時間は２、３倍と長くなり、流速は遅くなったが、水質が以前より改善されたため、流れが緩いことによって水質が悪化した地点はなかった。底質は流れのないワンドの中では泥質状だったが、他のところではおおむね砂質で良好だった。停滞性水域でも、流れのある部分には多様な藻類群集が維持されていた。魚類はきれいな水域に生息するアブラハヤが全域で出現し、水質環境が良好だった。また通し回遊魚のヨシノボリ類等が境川から遡上していることが明らかになった。

調査研究名　　水域環境の改善に関する研究
－都市河川における谷戸生態系の維持機能に関する研究－

分　野　　生物多様性

［目的］

都市河川を生物の良好な生息環境に回復・維持するためには、水質の改善、生物の生息に適した河川構造の形成が必要である。良好な生物生息環境が形成されている河川には、源流域や感潮域から分布を拡大した生物が生息するようになり、多様な生物群集が形成されるようになる。源流域は河川の固有水量の維持と共に、生物の生息環境、河川への生物供給の場として重要な環境となっている。そのため谷戸の源流域における生態系の特性と維持機能を明らかにし、これらの基礎的情報を水環境の改善整備事業に活用していく。今回は、魚類等の生息条件と環境特性との関係を検討した。

［方法］

① 調査地域は、鶴見川水系の支川谷戸を中心に、４谷戸水路、流入する支川と鶴見川の各水域に 23 地点を設定して実施した。

② 環境特性調査では、調査地域全ての河川構造物の位置、高さを計測し、河川形態を把握した。

［結果］

河川構造物は、谷戸の水路、小溝には、堰、落差工が設置され、その落差高の平均値は 20cm 以上、流れ幅が 0.2～1.8m であった。谷戸水路と支川 C との合流点は 2 ヶ所あり、１m 以上の落差高だった。支川 C には落差工が５ヶ所、可動堰が１ヶ所設置されていた。

出現魚種は、7 科 17 種、魚種別の採集割合は、谷戸水路ではホトケドジョウが 90%、池ではモツゴが高い割合、C はオイカワが 40%、カワヨシノボリ（国内移入種）が 24%の高い率であった。魚類別の流程分布は、ホトケドジョウが小溝、水路に広く分布し、春から夏にかけて C の下流まで分布を広げていた。アブラハヤは C と本川 D の合流点、オイカワが C と D までの分布範囲を示していた。カワヨシノボリは C と水路下流まで分布していた。ホトケドジョウの体長分布の季節変化から、5 月上旬、水路の上流に 2005 年級群が出現し、6 月に中流と C にも同年級群が出現し、生長段階によって移動分散の範囲が異なっていた。河川構造物が谷戸水路間の双方向移動に影響を及ぼしていると思われた。

調査研究名

水域環境の改善に関する研究
－横浜港の水質改善に関する研究－

分　野　　生物多様性

［目的］

横浜港の水辺生態系の保全や再生を図るために、横浜港独自の再生へ向けた研究と東京湾岸関連自治体、研究機関と連携した研究を進めている。横浜港独自の再生へ向けた研究として、カキなど付着生物による水質浄化について検討した。また、横浜市沿岸域の赤潮及び青潮の発生状況を把握し、東京湾の富栄養化対策や水辺再生の基礎資料として役立てる。

［方法］

付着生物による水質浄化に関する研究では、横浜港内にある閉鎖的な日本丸ドック内岸壁の付着生物の分布状況や月 1 から 2 回の頻度での水質調査を行なった。また、東京湾岸自治体の研究機関と連携した水質及び赤潮プランクトンの調査を、横浜港水域 4 地点について、人工衛星の運航日に合わせて月に 1 から 2 回の頻度で行なった。

［結果］

日本丸ドック内・外の水質調査からは、平成 16 年度の結果と同様に、ﾄﾞｯｸ内の透明度がﾄﾞｯｸ外に比べて良好な結果が得られた。カキによる水質浄化実験を行ない、ドック内に付着しているカキの推定付着量からドック内におけるカキによる水質浄化の寄与について検討した。その結果、日本丸ドック内の水質が良好なのは、カキによる水質浄化効果による寄与と日本丸ドックの半閉鎖的な特殊な構造が関係していると思われた。

平成 17 年度の横浜市沿岸の赤潮プランクトンの調査では、6 月 23 日に Skeletonema　costatum、Ceratium　fusus などによる赤潮が横浜港、根岸湾で見られ、7 月 15 日には Ceratium　fusus による赤潮が横浜港、扇島沖などで発生した。この時、横浜港内では Heterosigma　akashiwo による赤潮が発生していた。平成 15 年、16 年に発生したような青潮や魚の死亡事故は見られなかった。

調査研究名

源流域水環境基礎調査
－鶴見川、帷子川－

分　野　　生物多様性

［目的］

平成１６年度から開始した源流域水環境基礎調査は、緑の 7 大拠点を中心に水環境調査及び生物生息環境調査の基礎的データを収集整理解析し、源流域の水環境状況や生物生息状況等を明らかにし、水環境や生物多様性の視点から見た源流域の保全再生施策や環境情報提供に資することを目的としている。

［方法］

①源流域周辺の水路河川の水量・水質調査を定期的に行った。
②源流域の谷戸(水路)を中心とした生物生息状況を、ルートセンサス法や採取法等で季節を替えて行った。

［結果］

平成１６年度と平成１７年度に行った源流域水環境基礎調査から、河川流量変化や流域の樹林被率と水源涵養機能、水環境計画の水質目標と源流域河川水質、湿地環境と生物生息状況、生物指標と生物生息状況における以下の知見が得られた。

①流域の水源涵養機能は樹林被率の高い源流域で大きい。
②源流域水質は、夏季と冬季で概ね良好である。
③源流域の生物多様性は、湿地環境等多様な環境から構成されていることが背景となっている。
④源流域における水環境計画の指標生物の種数を見ると、自然に近い流域（河川）で多く出現している。

調査研究名

環境共生都市に関する研究
「まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究」

分　野　　**生物多様性**

［目的］
　環境共生都市の実現へ向けた研究の一環として、市街地内における生物生息空間の「質」の向上、市街地への自然的環境の創造や多様な生き物の誘導に関する施策検討に寄与するため本研究に着手した。平成17年度については、環境特性（環境構成要素、面積の大きさ、緑の七大拠点からの距離等）と、そこに生息する生き物との相関や傾向等について解析を行った。

［方法］
　自然地形及び二次林を有した市街地内に孤立点在する公園緑地の中から、調査対象面積や大拠点からの距離等を付帯条件として５箇所を選定した。その５箇所の公園緑地において動植物相調査を実施し、環境構成要素ごとに出現特性を解析した。

［結果］
① 生物生息空間を構成する環境が多様な方が、出現する種も多様となる傾向が確認された。とくに水辺は多様な種の出現にとって不可欠な存在で、草地等の開けた空間も生き物にとって大切であることが判明した。
② 生物生息空間は単一の環境構成要素の大きさよりも、複合的な構成で、より大きい面積の方が多様な種の出現が見込めることが確認された。
③ 緑の七大拠点からの距離に影響があるのは、行動半径の広い鳥類のみであった。多様な種の鳥類を誘導したい場合は、概ね１ｋｍ以内で拠点に準じた樹林構成などに配慮する必要がある。
④ 生物の出現特性には、植物の出現種数が影響していることが確認された。
⑤ 生物生息空間における多様性とは、健全な生態系を維持する上での多様性も大切であり、単に種の多様性があることとは必ずしも一致しない。
⑥ 昆虫の多様性を確保するためには、土環境及び樹林環境を良好に保つ必要がある。

調査研究名

酸性降下物の影響に関する研究

分　野　　**大気環境**

［目的］　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。一方、2000年9月からは三宅島火山から酸性雨の主要な原因物質であるSO_2ガスが大量に放出され始め大きな問題となっている。このため、横浜市環境科学研究所では、1984年から継続して酸性雨の監視及び被害の未然防止を目的として種々の影響調査を行ってきている。2005年は酸性雨のモニタリングおよび器物への影響を調べるため金属試験板溶出試験を実施した。

［方法］
①　酸性雨のモニタリング：横浜市磯子で2005年1月～12月の1年間、自動雨水採取装置により降水を採取し、pH及び$nssSO_4^{2-}$、NO_3^-、$nssCl^-$の酸性雨原因物質、$nssCa^{2+}$、NH_4^+の中和物質等を分析。
②器物影響調査：横浜市磯子で2005年1月～12月の1年間、簡易雨水採取器に試験板(ブロンズ、銅、炭素鋼)を取り付け1ヶ月単位で降水を採取し、pH、酸性雨原因物質、中和物質、及び溶出金属(Cu、Pb、Zn、Fe) を測定。

［結果］
①　酸性雨のモニタリング：
　2005 年の降水の年平均pHは初期 1mmが 4.21、一降水全量が 4.55、$nssSO_4^{2-}$、NO_3^-、$nssCl^-$、$nssCa^{2+}$、NH_4^+の年間沈着量はそれぞれ 77、34、8、17、57（meq/㎡/年）であった。三宅島火山ガス放出以降（2000 年）、湿性の$nssSO_4^{2-}$沈着量の増加、pHの低下がみられているが、本年も火山ガス放出前に比べ、湿性の$nssSO_4^{2-}$沈着量の増加、pHの低下がみられており、依然として火山ガスの影響が窺える。
②　器物影響調査：
　当該期間は三宅島火山ガス放出後6年目に当たるが、火山ガス放出前1年間(1999年9月～2000年8月)に比べ、$nssSO_4^{2-}$の年間沈着量は約1.7倍多く、ほぼこれに対応してブロンズ板からのCu、Pb、Znの溶出量、銅板からのCuの溶出量、炭素鋼板からのFeの溶出量も火山ガス放出前に比べ1.4～1.6倍程度多くなっていた。

調査研究名	環境ホルモンに関する研究 －平成１７年度モニタリング調査－
分　野	有害化学物質

［目的］
市内河川における環境ホルモンおよび女性ホルモン類の濃度状況を把握するため、低用量経口避妊薬の一成分として使用されている合成女性ホルモンのエチニルエストラジオールを含む計８物質を対象に、平成17年度モニタリング調査を実施した。この調査では、トリメチルシリル誘導体化－高分解能GC/MS法を用いて、天然および合成の女性ホルモンを一括して分析する方法を検討し、この方法を採用した。また、平成11年度から環境調査を実施してきた環境ホルモン３物質の経年濃度変化についてもまとめた。

［方法］
①調査対象物質：ノニルフェノール、ビスフェノールＡ、17β－エストラジオール、エチニルエストラジオール等
②調査地点および時期：市内主要河川の６地点、季節ごとの年４回
③分析方法：「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル」など

［結果］
環境ホルモン３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）はいずれも予測無影響濃度を下回っていた。天然女性ホルモン４物質については、濃度の高い順にエストロン、17β－エストラジオール、エストリオール、17α－エストラジオールであった。しかし、合成女性ホルモンのエチニルエストラジオールは全地点で検出されなかった。総女性ホルモン様作用強度における各物質の寄与率については、天然女性ホルモンのエストロンと17β－エストラジオールがほとんどを占めた。一方、平成11年度から今回まで継続して実施した環境調査における環境ホルモン３物質の経年濃度変化をみると、ノニルフェノールとオクチルフェノールは少し減少してきているが、ビスフェノールＡはほぼ横ばいで推移していた。

調査研究名	化学物質環境実態調査
分　野	有害化学物質

［目的］
化学物質による環境リスクの低減を図るため、環境実態が明らかでない化学物質の環境調査を行い、環境実態を把握することを目的とする。

［方法］
１．環境省委託化学物質環境実態調査
（１）環境省の化学物質環境実態調査（委託調査）に参加し、横浜市内の水質・底質・生物・大気試料中の化学物質について調査を行った。
（２）環境省化学物質環境実態調査に伴う精度管理調査に参加し、分析精度の確認を行った。
（３）化学物質の分析法の開発、検討を行った。
２．有害化学物質調査
鶴見川（亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、田奈）にて、化学物質（農薬）の調査を行った。

［結果］
１．環境省委託化学物質環境実態調査
横浜市の水質、底質、生物（ムラサキイガイ）試料中のＰＣＢ、ｏ,ｐ´-DDT、ｐ,ｐ´-DDT濃度は、全国調査の最高濃度より低いが、平均濃度より高い濃度であった。また、分析法の開発では、水質中のケルセン（殺虫剤）の分析法を開発して発表会で発表し、報告書を作成した。
２．有害化学物質調査
鶴見川から、除草剤10種類、殺菌剤3種類、殺虫剤6種類が検出された。公共用水域等における指針値が設定されている農薬の場合、測定結果はいずれも指針値を満たすものであった。

調査研究名

横浜市内におけるダイオキシン類モニタリング調査

分　野　　有害化学物質

［目的］

「ダイオキシン類対策特別措置法」に基づき、市内の測定地点でダイオキシン類モニタリング調査を実施する。

［方法］

①一般大気環境のモニタリング調査 ： 平成17年度調査は、市内１８地点（全区）において、平成１７年５月、８月、１１月及び平成１８年１～２月の４季節，それぞれ７日間連続で、環境大気試料を採取した。

②河川・海域の底質のモニタリング調査 ：公共用水域の水質測定計画に基づく市内の各河川・海域の調査地点において、平成１７年８月に海域７地点、９月に河川１１地点で底質の試料採取を行った。

［測定結果］

①一般大気環境：市内１８地点の年平均値は、0.051～0.082pg-TEQ/m^3の範囲で、すべて環境基準（0.6 pg-TEQ/m^3）を大きく下回っていた。今年度の市内平均値は0.061 pg-TEQ/m^3で、昨年度（0.054pg-TEQ/m^3）と同程度であった。

②河川・海域の底質：河川底質の測定値は0.59～17 pg-TEQ/g-dryの範囲で、全体の平均値は4.4 pg-TEQ/g-dryであった。また、海域底質の測定値は2.6～36 pg-TEQ/g-dryの範囲で、平均値は13 pg-TEQ/g-dryであった。各地点の底質測定値はすべて環境基準値（150 pg-TEQ/g-dry）を大きく下回っていた。

調査研究名

ダイオキシン類依頼調査
－処分地等のダイオキシン類調査－

分　野　　有害化学物質

［目的］

①資源循環局の依頼で産業廃棄物最終処分場排出水のダイオキシン類測定を実施した。

②青葉区役所の依頼で黒須田川のダイオキシン類測定を実施した。

［方法］

①処分地排出水等の調査：平成１７年５月に処分地放流ますと処分場に近接するＪＲトンネルへ浸入した水について採取した。

②黒須田川の調査：平成１７年１２月に雪柳橋で試料採取した。

［結果］

①放流ますの滞留水は12pg-TEQ/Lで排水基準（10pg-TEQ/L）を超えていた。JRトンネルへ浸入した水は0.020pg-TEQ/Lで基準値以下であった。

②黒須田川のダイオキシン類は0.21pg-TEQ/Lで環境基準(1pg-TEQ/L)以下であった。

調査研究名

大音響の宣伝放送における騒音問題と影響に関する研究
－平成 17 年度　地下街及び繁華街の実態調査－

分　野　　音　環　境

［目的］　現在、横浜市内の繁華街における宣伝と音楽放送は、必要以上に大きな音を出している地域があると思われる。殊に一部の地下街では、音がこもってしまうにも拘わらず大きな音量を出し続けているが、苦情が少ない、一過性である、近隣に住宅が無い等の理由で特に規制は行われておらず、実態は把握されていない。この状況は望ましいものではなく、これら繁華街の音環境の実態を把握し、都市の静穏化に資することを目的とする。

［方法］　市内を代表するＡ地下街の 6 地点(Pt1～Pt6)と繁華街 3 地区（商店街Ｂ、Ｃ、Ｄ）を選定し、Ｂ商店街 2 地点（Pt7～Pt8）、Ｃ商店街 3 地点（Pt9~Pt11)、Ｄ商店街 2 地点（Pt12～Pt13）において、地上 1.5ｍにマイクロホンを設け連続録音を行った。測定地点の特徴は、耳による判断、連続 15 分間のデータの周波数分析（20Hz～6300Hz）結果、及び各周波数の累積度数分布から把握した。

［結果］　耳による判断では、小音量の BGM が常在するＡ地下街の人通りが多い Pt3、Pt5、Pt6 は雑踏的騒がしさであり、Ｂ商店街の Pt7,8 は販売のための売り込み声の騒がしさであった。5 地点の 15 分間の等価騒音レベルは Pt3 から順に、70、73、69.5、68.2 及び 68dB であった。両地区の明確な差は周波数分析に現れ、Ａ地下街では 800Hz を最大値とした山形の周波数構成だが、Ｂ商店街では人声が主となった 630Hz を最大値とした構成であった。地下街では、天井の有る場合に比し、無い場合では反射音が減少し、1000Hz 以上では明確に 3dB の差が生じ、いわゆるシャーシャー音が低下していた。Ｃ商店街は協定で店舗外へスピーカを向けておらず、最も音環境に配慮があった（レベルは 64～65dB)。Ｄ商店街は 59、62dB であった。

調査研究名

市民への地盤情報の提供

分　野　　環境情報

［目的］
市内の環境状況を示すデータを、インターネット等を活用して市民へわかりやすく情報提供するとともに、庁内利用の促進を図る。

［内容］
市民へ向けた地盤環境に関する情報提供として、公共事業に伴う地質土質調査結果を環境地図情報「環境View」に掲載し、公開した。掲載データはボーリング資料（土質柱状図）約８，０００本である。

環境地図情報「環境View」　(URL)　http://wwwm.city.yokohama.jp/kankyo/

調査研究名

水処理･汚泥処理に関する調査研究

分　野　　下水道技術開発

［目的］

市民生活を豊かにする快適な水環境の保全のための処理水質の向上や効率的･効果的な処理方法の確立に向けて、水処理や汚泥処理に関する研究などを行っている。

現在は主に、下水道処理水の放流先である公共水域の水質改善を目的とした高度処理について、処理方法の効率化に関する研究を行っている。

［方法］

下水道研究室員により、高度処理の効率化に関する研究を実験プラントや実際の処理施設を利用し、流入水質や流入量の変動に合わせた運転を行い、開発した技術の検証や処理性能の確認などを行った。また、焼却に代わる新しい汚泥の処理方式の調査などを行った。

［結果］

高度処理法の効率化については、約３ヵ年の期間をかけて研究を進めた結果、窒素除去向上のための運転管理方法や雨天時のリン除去を安定化させるための運転方法、処理時間を短縮し、効率的に処理を行うための新しい施設設計方法などについて一定の成果が得られた。

また、新しい汚泥処理方法として、汚泥を石炭の代替品とするような燃料化技術に関する調査を行った。

調査研究名

資源･エネルギーの有効利用に関する調査研究

分　野　　下水道技術開発

［目的］

下水道、特に汚泥の処理過程からはメタンを主成分とした消化ガスや汚泥焼却灰が発生する。これらを、資源やエネルギーとして有効利用することにより資源循環型社会の形成に寄与する研究・開発を行っている。

現在は主に、焼却灰の有効利用を安定的に進めるため、有害重金属の溶出防止技術や焼却灰を利用したリサイクル製品の開発を行うとともに、消化ガスの精製や精製した高品位ガスの有効利用に関する研究を行っている。

［方法］

本研究については、主に民間企業との共同研究により研究･開発を行っており、民間企業の持つ技術と本市のノウハウを融合させて開発を進めており、試料提供によるリサイクル製品の試作や、実験プラントによる技術の確認、実証試験などを行っている。

［結果］

焼却灰の資源化については、焼却灰中に含まれる重金属の溶出防止技術について検討を行うとともに、資材としての利用を図るため、焼却灰を利用した高流動埋戻材について試験施工を行い、施工性や環境安全性について確認した。

また、消化ガスの効率的利用については、初めて公募型の共同研究として実施し、その成果としてメタンと二酸化炭素を高濃度で分離するとともに不純物の除去や精製した高品位ガスの有効利用についての知見を得ることができた。

横浜市内の気温観測調査

—2006 年夏季の観測結果と熱帯夜及び真夏日による類型化—

佐俣満夫、白砂裕一郎、井上友博、下村光一郎（横浜市環境科学研究所）

Results of Atmospheric Temperature in Summer at 2006 year on Yokohama City and Mapping of Areas classified from the heat days and the hot nights

Mistuo Samata, Yuitirou Shirasuna, Tomohiro Inoue, Kouitirou Shimomura
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、気温分布、熱帯夜、真夏日、環境気候図

「要旨」

横浜市内 60 地点の 2006 年夏期（７～８月）の気温データを用いて、横浜市内の夏季の平均気温分布、熱帯夜日数分布、真夏日日数分布を作成した結果、ヒートアイランド現象として都心部と北東部で高温となる昨年同様のパターンが得られた。また熱帯夜と真夏日を指標として地域分類した類型化地図を作成し、対象地域での対策メニューの抽出を試みた。

1. はじめに

寝苦しい熱帯夜の出現など都市部の夏季でのヒートアイランドの影響は地域的な高温化となって現れているが、その年のグローバルな気候の変動により高温な地域の出現場所や最高気温の値も影響を受けるため、都市部での気温観測網の整備は不可欠となっている。そこで環境科学研究所では横浜市内のヒートアイランド現象を把握するため、2002 年から市内の小学校の百葉箱を利用して気温の観測を開始した。2002 年には 14 地点、2003 年に 31 地点、2005 年には 63 地点にまで増設し、2006 年には従来の 63 地点に３地点を加えて 66 地点とした。これまでの増設によって横浜市内の気温状況を 2.5Km メッシュ単位でカバーできるようになり、比較的詳細な気温分布や熱帯夜日数分布などが得られている[1)]。ここでは 2006 年夏期（７～８月）の気温観測結果について報告する。

また、夏季のヒートアイランド現象では真夏日の多い昼間の高温化地域と熱帯夜の多い夜間の高温化地域があり、昼間と夜間では自ずとその対策方法も異なるため、昼間と夜間の高温化を指標として地域分類することは、今後のヒートアイランド対策の推進に当たり有効と考えられた。そこで 2006 年夏季の気温データより昼間の高温化地域と夜間の高温化地域を分類したので合わせて報告する。

2. 観測方法

気温、湿度、雨量の観測方法は 2005 年と同様であり、いずれも市内の小学校の百葉箱を用いデータロガー式の観測機器で 1 時間値を収録した[1)]。気温観測地点は 2005 年では 63 地点であったが、2006 年には子安小学校（神奈川区）、大鳥小学校（中区）、小机小学校（港北区）の３校を増設し 66 地点とした。なお、夏期にデータを回収した結果使用できる地点は 60 地点であったため解析にはこの 60 地点のデータを用いた。

3. 結果と考察

3-1　2006 年夏季の気温分布

2006 年夏季の気象状況は 2005 年の夏季に比べ梅雨明

けが遅れ、８月中旬以降に台風の影響に伴う雨天日が多く見られ、比較的涼しい夏となった。そこで 2005 年と 2006 年の夏期（７～８月）での平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数及び最高気温の比較を表―１に示す。これより 2006 年の最高気温を除いた平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数は 2005 年より軒並み若干低くなっている。

平均気温分布を図-１に示す。これより中心部（西区、中区など）と北東部（港北区、鶴見区など）で高温域がみられ、円海山、三保、新治といった大規模な緑地がある地域では低温となる傾向がみられた。このパターンは観測体制の整った 2003 年頃から同じ傾向となっている。また鶴見区、保土ケ谷区、港北区などで最も高い 27.4℃、旭区で最も低い 25.5℃を観測し、観測地点間で最大 1.9℃の差がみられた。

また最高気温は、梅雨明け直後の晴天日の 2006 年８月５日に都筑区で 38.5℃が観測された。

熱帯夜日数分布を図-２に示す。熱帯夜日数は臨海部の神奈川区と鶴見区で最も多い 27 日、緑地に隣接した戸塚区の観測地点で最も少ない５日を観測し、観測地点間で最大２２日の差がみられた。また中心部（西区、中区など）と臨海部（鶴見区、神奈川区など）で 7～８月の間に 25 日を超える熱帯夜を観測した。

真夏日日数分布を図-３に示す。真夏日の多い地域は中区から鶴見区にかけての臨海部や港北区、都筑区、青葉区などの北東内陸部に広く分布しているのが見られる。真夏日の出現日数としては港北区で最も多い４１日、緑

表-1　観測結果の比較（７～８月）

	2005年	2006年
平均気温	（最大）27.7℃ （最小）25.6℃	（最大）27.4℃ （最小）25.5℃
熱帯夜日数	（最大）33日 （最小） 9日	（最大）27日 （最小） 5日
真夏日日数	（最大）44日 （最小）27日	（最大）41日 （最小）17日
最高気温	37.9℃	38.5℃

区で最も少ない 17 日を観測し、観測地点間で最大２４日の差がみられた。

3-2　熱帯夜と真夏日による地域類型化

2006 年夏期（７～８月）の各観測地点による平均気温と熱帯夜日数のグラフを図-４に示す。これより平均気温と熱帯夜日数の間には高い相関が認められ相関係数は 0.82 であった。次に平均気温と真夏日日数の関係を図-５に示す。この場合も相関係数は 0.78 となり平均気温と真夏日の間にも高い相関が認められた。さらに熱帯夜日数と真夏日日数の関係を図-６に示すが、この場合図-4,5 と異なり相関係数は 0.38 程度となりほとんど相関は認められないことがわかる。これは平均気温が熱帯夜や真夏日の出現に対して総体的に影響しているものの熱帯夜と真夏日は他の要因

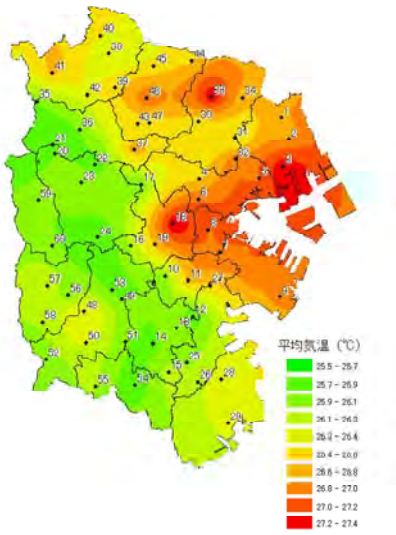


図-1　平均気温分布

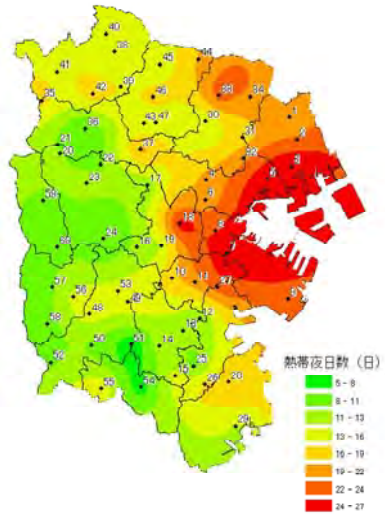


図-2　熱帯夜日数分布

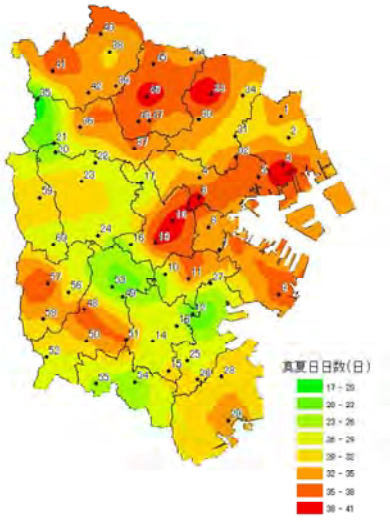


図-3　真夏日日数分布

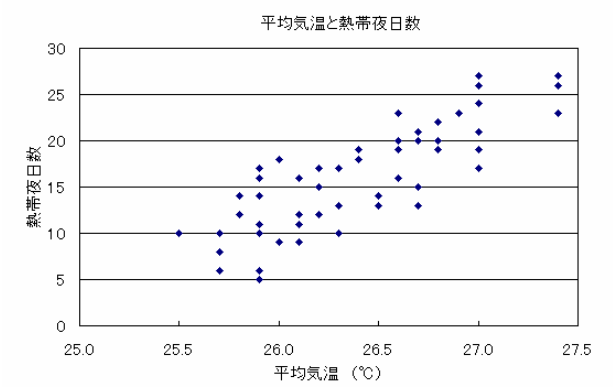


図-4　平均気温と熱帯夜日数の相関図

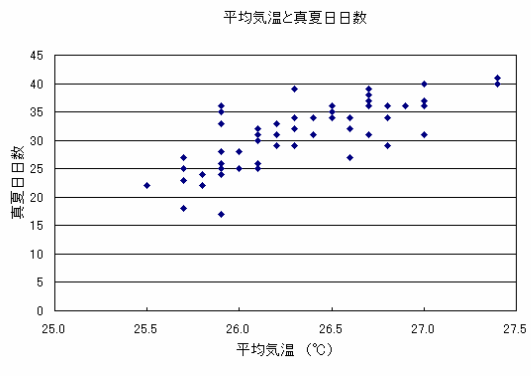


図-５　平均気温と真夏日日数の相関図

によって互いに独立して出現していることを推測させた。夜間の高温化を熱帯夜に、また昼間の高温化を真夏日にそれぞれ代表させ、図-６の分布を分類することによって夜間に高温化する地点と昼間に高温化する地点をカテゴリー別に分類することが可能となる。そこで熱帯夜日数の平均値（15.3 日）と真夏日日数の平均値（31.4 日）から平均値近傍の整数代表値をそれぞれの分布の中央値とすると、図-６において熱帯夜日数の中央値（15 日）と真夏日日数の中央値（30 日）をそれぞれ境界ラインとする図-６の４区分に分けられる。４区分にそれぞれ含まれる値は地点特有のものとまとまった地域性を持つものから成り立っていると考えられるが、まとまった地域性を持つもののみを抽出すると熱帯夜も真夏日も多い地域（エリア(1)）、熱帯夜は少ないが真夏日の多い地域（エリア(2)）、熱帯夜は多いが真夏日の少ない地域（エリア(3)）,熱帯夜も真夏日も少ない地域（エリア(4)）の４つのカテゴリーに分類される。ここでまとまった地域性とは同じカテゴリー内の地点が隣接して存在しているため地域性があるものと考えられる場合を言う。

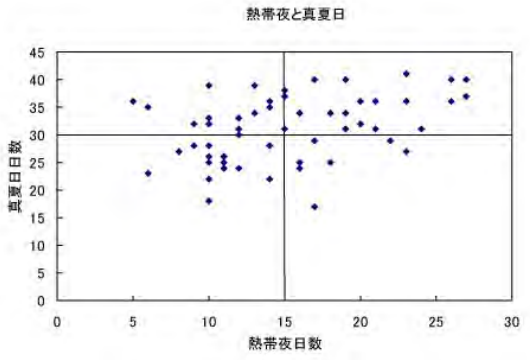


図-6　熱帯夜日数と真夏日日数の相関図

ここでまとまった地域性を考慮して図-６を分類すると図-７のようになり、図-７を観測地点地図上に当てはめると図-８に示すような環境気候図群の１つである熱帯夜と真夏日の出現特性による分類地図（以下カテゴリーマップ）が得られる。

さて、ヒートアイランド対策としてはエリア(1)～(3)をエリア(4)へすべて移行せしめるための対策を立てる必要があることは論を待たないわけであるが、図-６から得られたその移行方法の分類を図-９に示す。現在のところエリア(1)を直ちにエリア(4)に移行する（対策（イ））ことは中区、鶴見区のような業務集積または建物密集地域（エリア(1)）を大池、名瀬地区のような緑の７大拠点に相当する地域（エリア(4)）に一気に移行することを意味するため、都市計画上かなり大胆な対策を必要とする。そこで、まずエリア(2)の地域をエリア(4)に移行し、エリア(1)の内でエリア(2)に移行しやすい地域をエリア（２）に移行する（対策（ロ））、同様にエリア(3)の地域をエリア(4)に移行し、エリア(1)の内でエリア(3)に移行しやすい地域をエリア（3）に移行する（対策（ハ））段階的な移行方法が施策的に有効と考えられる。

ここではこのように分類された地域のうち、特徴的な地域である C,D１,D2 の地域を選び、その周辺での具体的に有効な対策方法について考察する。図-８中の C 地域はエリア(1)に属する A,B 地域を分断するように横に長く伸びており、鶴見川の港北区から緑区の恩田川の流域を覆うように分布している。これは鶴見川それ自身の影響より流域の地形や風の流れと被覆状況によるところが大きいもの

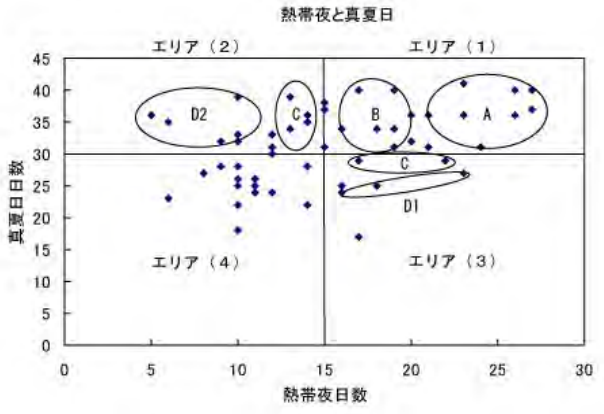


図-7　熱帯夜日数と真夏日日数の関係を４つの
カテゴリーに分類した類型図

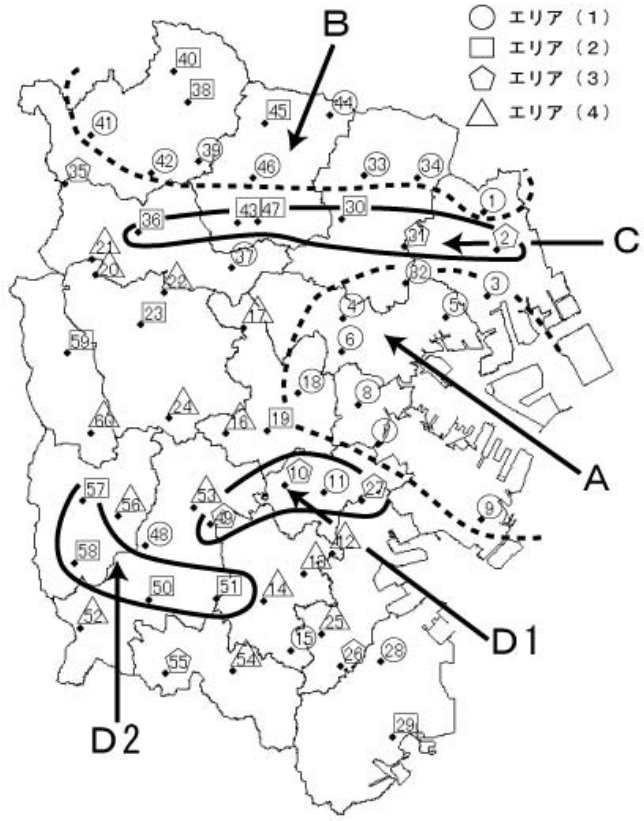


図-8　４つのカテゴリー分類から特徴的なエリアを抽出した
地域類型化地図
（図中の番号は観測地点番号であり、A～D の地域は
図-7 の分類に対応している）

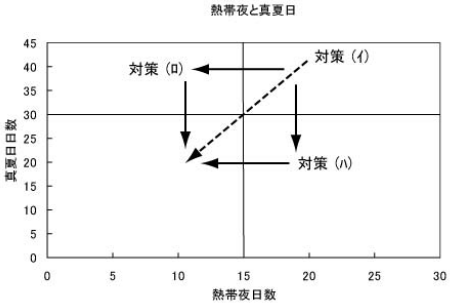


図-9　熱帯夜対策と真夏日対策からみた可能な対策方法の概念図

と考えられ、この C 地域の領域を B あるいは A 地域に拡大させるための方策が考えられる。特に北東部の B 地域は人工排熱は大きくなく、夏の正午前後には鶴見区、神奈川区などの臨海部からの風が流入する（UCSS シミュレーション結果[2]）ことによる。なお、以下に述べる風の考察も同結果による）ため、対策としては A 地域からの熱の移流と表面被覆を中心に検討することが重要となる。具体的対策としては自然林及び農地の保全、拠点となる建物密集地周辺での大規模緑化、鶴見川周辺での風の道の確保、自然エネルギーの積極的な導入、保水性舗装などによる道路やコンクリート面の改善等が考えられる。

次に、特徴的なのは D1 及び D2 地域であるが、これらの地域は図-８に示すように地理的には互いに接近しているが、図-7 より D1 はエリア(3)、D2 はエリア(2)に属しカテゴリーを異にしている。D1 地域は真夏日日数は少ないが熱帯夜日数が多い地域である。日中は隣接する舞岡やゴルフ場周辺の緑地と根岸港からの風によって真夏日は少ないが、夜間は横浜港からの風に乗って流入する臨海部の A 地域で発生した熱と南区周辺の建物密集地域の熱が合わさり熱帯夜が多くなるものと考えられる。D2 地域は周辺を比較的緑に囲まれているが、観測地点周辺にいずれも比較的大きな開発地域が点在しているため、昼間はこれらの建物やコンクリート面により高温化し、夜間には周辺の緑地の影響が顕著になるため熱帯夜は少ないものと推測される。D1 地域の対策としては主に南区、戸塚区での熱帯夜対策が重要と考えられ、周辺の河川、道路、緑地等による風の道の確保、建物密集地区での緑化等が考えられる。また D2 地域の対策としては点在する開発地域への集中的な対策が重要と考えられ、建物などの緑化や遮熱性塗装化、保水性舗装、自然エネルギーの積極的な導入、商店街や広場でのクールスポット空間の創設、開発地域周辺での水辺づくりなどが考えられる。なお、ここに掲げた対策方法は「横浜市ヒートアイランド対策取組方針」（平成１８年）（以下、取組方針という）に基づく対策メニューをカテゴリーの特性に合わせて抽出したものである[3]。

A 地域は「取組方針」に定めた重点推進地域に相当し、業務集積及び建物密集度合いが高い。そのため行政の積極的な誘導が求められ、街区、町レベルでのモデル地区の選定等により街区レベルでの特性に合わせた公共・民間による積極的な対策が望まれる。

4. おわりに

2006 年夏期（７～８月）に観測した 60 地点の気温観測データを用いて平均気温、熱帯夜、真夏日などの解析を行うと共に、横浜市ヒートアイランド対策取組方針の策定を受けて、今後、より具体的で実践的に有効な対策へ向けて、真夏日対策と熱帯夜対策の相違に基づく類型化マップを作成し、特徴的な地域に対し対策メニューの抽出を試みることにより以下の知見が得られた。

１）2006 年夏期の平均気温分布、熱帯夜日数分布、真夏日日数分布は共に 2005 年に比べその値は若干小さかったが、分布パターンは概ね一致していた。

２）平均気温と熱帯夜日数及び真夏日日数の間にはそれぞれ高い相関がみられたが、熱帯夜日数と真夏日日数の間には相関は認められず、熱帯夜と真夏日の出現には互いに異なる要因があるものと推測された。

３）真夏日の出現を日中での高温化、熱帯夜の出現を夜間での高温化と捉え、真夏日日数と熱帯夜日数の比較から昼・夜の高温化を４つのカテゴリーに分けた分類地図を作成した。

４）分類地図の中で特有なカテゴリー区分を持った地域について「取組方針」の対策メニューの中から有効と考えられる対策方法の抽出を試みた。

「参考文献」

1)　平澤、佐俣、井上、福田：横浜市内の温湿度分布調査、横浜市環境科学研究所報、30,50-55（2006）

2)　佐俣、井上、福田、平澤：横浜市における熱環境マップの作成について、同上、30,56-59（2006）

3)　横浜市環境創造局：横浜市ヒートアイランド対策
　　取組方針（2006 年 3 月）

Cool わだまち 24 プロジェクトでの道路散水による温度低減効果調査

佐俣満夫、井上友博、白砂裕一郎、下村光一郎（横浜市環境科学研究所）

Investigation of Temperature on the collecting store moisture Road with Water Scattering at Wadamati Area in Yokohama

Mistuo Samata ,Tomohiro Inoue, Yuitirou Shirasuna, Kouitirou Shimomura
(Yokohama Environmental science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、保水性舗装、打ち水、散水、温度

「要旨」
横浜市保土ヶ谷区和田町商店街に敷設された保水性舗装道路に 2006 年夏季に打ち水と散水車による散水を日中と夕方行い、道路の表面温度及び周辺環境の気温を測定した。
その結果、昼間の散水は散水直後の効果は大きいが長続きしないこと。また夕方の散水は昼間の散水直後のような効果は期待できないが長続きする傾向があることがわかった。

1. はじめに

横浜市では、ヒートアイランド現象の緩和に資するための具体的行動を市民との協働により実施し、ヒートアイランド対策の普及啓発を図ることを目的に、2005 年より「ヒートアイランドモデル事業」を実施している。特に、保土ヶ谷区和田１丁目から２丁目の帷子川沿いの区域２２ｈａ をヒートアイランド対策のモデル実験地域とし、「Cool わだまち２４」というプロジェクト（以下、プロジェクトという）の下、地元商店街、町内会、横浜国立大学との協働で、家庭内・事業所内での省エネ行動の実践や緑化の推進、道路への水再生センターの再生水による定期散水や子供たちによる打ち水などのヒートアイランド対策を実施している。

横浜市内のヒートアイランド現象は中区や西区といった都心部の人工排熱の多い地区から和田地区のように建物が比較的密集した地域が多い保土ヶ谷区などの都心部周辺地域にかけて広がっている[1)]。これより都心部の対策と共に都心部周辺地区の対策も急務となっている[2)]。

帷子川に架かる和田橋から北東方向へ約 200m、国道 16 号線と交差するまでの道路沿いに和田町商店街があり、2006 年にこの和田町商店街道路に本市道路局により保水性舗装が敷設されるに当り、地元町内会による打ち水及び本市環境創造局温暖化対策課による散水が行われ、

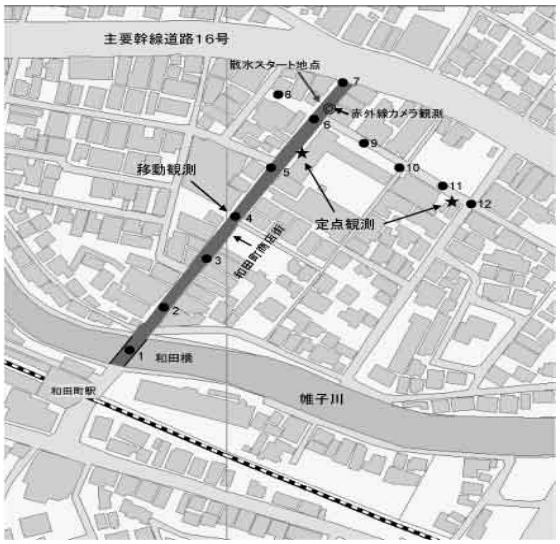


図-1　観測地区の状況と観測位置

表-1　散水日と観測時間

調査回数	実施日	散水時刻	実施内容	観測時刻	備　考
1回目	2006年8月23日	15:00	打ち水	15:00時前後	地蔵祭り
2回目	2006年8月29日	12:00	散水	12:00～14:00	散水車　晴天日
3回目	2006年8月30日	8:00	散水	8:00～14:00	散水車　曇天のち雨
4回目	2006年9月 5日	17:00	散水	17:00～22:00	散水車　晴天日

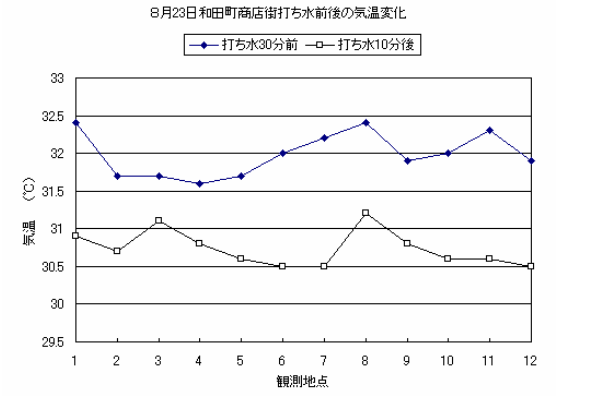


図-2　打ち水前後での観測地点による気温分布

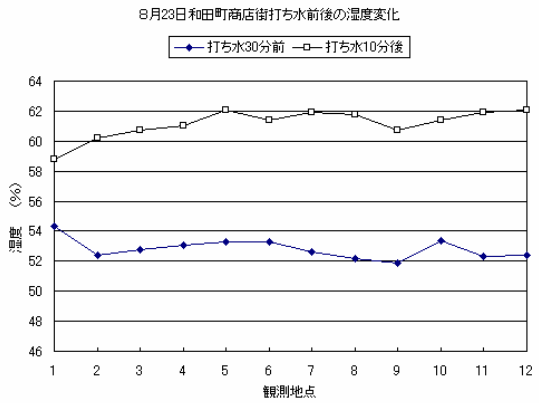


図-3　打ち水前後での観測地点による湿度分布

当研究所で散水等による温度低減効果を調査したので報告する。

2. 調査方法

散水調査は保水性舗装施工１ヶ月後に行い、打ち水による効果と朝、昼、夕方の散水時刻による効果の特徴について調べた。観測機器の設置位置を図-１に示す。移動観測地点は商店街道路に沿って 30ｍおきに７地点を設けた。また散水による影響の比較のため商店街道路に直角に交差している道路（以下対照道路という）に５地点を設けた。移動観測は温湿度計を所持した観測者が１時間おきに観測地点を巡回し、各観測地点に２分間留まって気温と湿度を観測した。また赤外線カメラを散水開始地点に設置し、散水された道路と散水されていない道路とが同一視野内に入るようにし、得られた赤外画像からそれぞれの表面温度を算出した。また定点観測として商店街道路と対照道路に温湿度計をそれぞれ設置した（図-1)。

商店街道路での散水と観測時間を表―１に示す。第２～４回目の調査での散水は車の前方２ヶ所に広角シャワー式散水ノズルを持つ散水車により行い、散水は１回だけでの散水では保水性舗装に水が十分吸収されないため１５分の間をおいて計２回行った。１回での散水量は道路表面に均一に概ね 5㎜ 程度の厚さで覆う量である。散水には本市水再生センターの処理水を用いた。

3. 結果と考察

3-1　打ち水での観測結果

打ち水は地元町内会の方々により柄杓を用いて行われた。打ち水時間は１０分程度であったが商店街道路全面に渡って散水されていた。打ち水前後での赤外線カメラによる道路表面温度は打ち水前で 38℃、打ち水後で 33℃程度であり、打ち水により商店街道路の表面温度はおよそ 5℃低くなった。また移動観測による各観測地点の気温及び湿度分布を図―２、３に示す。気温分布をみると商店街道路の全域で打ち水による気温の低下が認められ、商店街での平均（地点１～7）気温として 1.2℃ほど低くなった。図-３より湿度分布でも打ち水前より後の方が全地点で湿度が上昇し、平均して 8%高くなった。この湿度の上昇は散水された水の急激な蒸発によるものと考えられた。実際打ち水現場では蒸発潜熱により表面温度は低下したものの、蒸発した水分による湿度の上昇により､打ち水の１５分後頃から 10 分間程度蒸し暑く感じられた。これより無風下や上方をアーケードなどで遮断された商店街などで日中高温になった地表面に打ち水をした場合、打ち水前より蒸し暑く感じる場合があるものと推測された。また図-２，３より対照地点（地点８～12）でも気温、湿度共に商店街道路での結果と同様の差がみられたが、打ち水の影響が区画を超えて広がったかどうかについては今後の調査が必要と考えられた。

3-2　散水車による散水での観測結果

散水車による散水日中 2006 年８月２９日（１２時散水）(以下正午散水という）及び９月５日（17 時散水）(以下夕方散水という）は天候に恵まれていたが、８月 30 日（8 時散水）（以下朝散水という）は曇りのち雨だったためここでは主に正午と夕方の散水の結果を中心に述べる。

正午及び夕方散水での散水された道路部分（以下散水道路）と対照となる散水されていない道路部分（以下非散水道路）との赤外線カメラによる表面温度の経時変化の比較を図―４，５に示す。いずれの図でも観測期間中散水道路の表面温度が非散水道路の表面温度より低く、朝散水の場合でも温度差は 0.2℃程度と小さかったが同じ傾向がみられた。一般舗装で晴天日に散水した場合、散水後ほぼ 1～２時間程度でこの温度差は消滅するのが普通であるが、今回の調査では５時間以上の温度低減効果が認められたことは保水性舗装による効果と考えられた。また図―４より正午散水では散水後 1 時間の間は 10℃程度の温度差（温度低減効果）がみられたが、長くは持続せず 3 時間後には急速に温度差が小さくなった。これは散水車での散水の場合、十分に保水できずに表面のみ保水した状態であったことが、効果が持続しなかった原因と考えられた。この保水性舗装の水吸収速度等の問題については現在横浜国大佐土原・吉田研究室にて研究されている[4)]。また夕方散水の特徴としては図-５より温度差は日中の散水ほどは大きくはないが 3℃程度の温度差が午後 10 時頃まで持続するのが認められた。

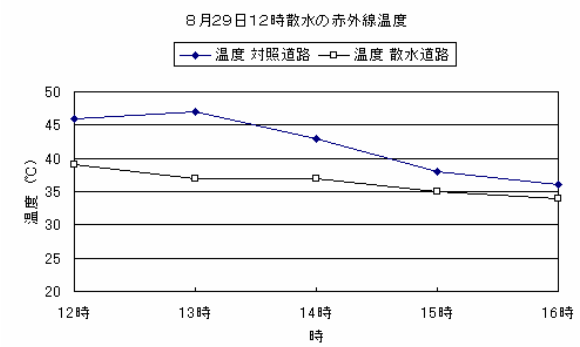


図-4　正午散水での散水及び非散水（対照）道路の表面温度の時系列変化

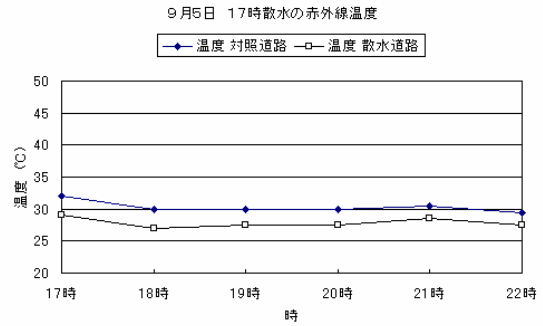


図-5　夕方散水での散水及び非散水（対照）道路の表面温度の時系列変化

正午と夕方の散水後の移動観測による散水道路と対照道路の代表地点での気温の経時変化を図―６、７に示す。正午散水の場合、図-６からわかるように散水直後から１時間の間は付近の散水していない道路より散水した道路の気温の方が約 2℃ほど低くなっているのがわかる。またその１時間の間では湿度も最大 5%ほど散水道路の方が高くなっており、それ以外の時間帯では湿度の差はみられなかった。図―８に正午散水での散水前後の気温の観測地点による分布を示す。散水後の気温には地点によりばらつきがみられるが、散水車での散水の場合は図-８に示すように散水直後の気温は散水道路の内、幹線道路側（地点５～７）より河川側（地点１～４）の方が低い傾向がみられた。これは当日の横浜国大の観測チームのデータ[3]によると 2m/ｓの南風（和田橋→16 号線）が吹いており河川側では帷子川の風の影響、幹線道路側では１６号線からの熱の流入等の影響もあるものと考えられた。また正午散水での定点観測の結果でも散水後１時間の間に移動観測と同様の傾向か認められた。

夕方の散水では図-７に示したように散水道路と対照道路の間での気温を較べると散水道路の方が 0.2～0.4℃ほど低い傾向が散水時（午後５時）より午後 10 時まで持続しており、この傾向は前述した図-５の傾向と一致している。また散水時には 1.6m/ｓ程度の南西の風[3]が吹いており、この弱い風が商店街を吹き抜けたことにより効果をさらに持続させた可能性もある。日中の散水のように一時的に大きく温度を下げる効果は小さいが、夜間遅くまで続く夕方散水の有効性は横浜国大でのシミュレーション解析からも指摘されており[5]、今後の熱帯夜対策にも有効と考えられる。夕方散水での湿度の変化は移動観測でも定点観測でも明確な結果は得られなかった。これは日中の散水と違い急激な蒸発が起こらず、夜間を通して徐々に地表の水分が蒸発したためと考えられた。

総じて、今回の調査では早朝散水の効果の結果は得られなかったものの結論として保水性舗装の有効性と共に以下の知見が得られた。

- 昼間の散水は散水直後の効果は大きいが長続きしない。
- 夕方の散水は昼間の散水直後のような効果は期待できないが長続きする。

4. おわりに

2006 年に敷設された和田町商店街の保水性舗装道路で、プロジェクトの一環として、同年夏季に行われた打ち水及び散水車による散水の温度低減効果を調査した結果、以下の知見が得られた。

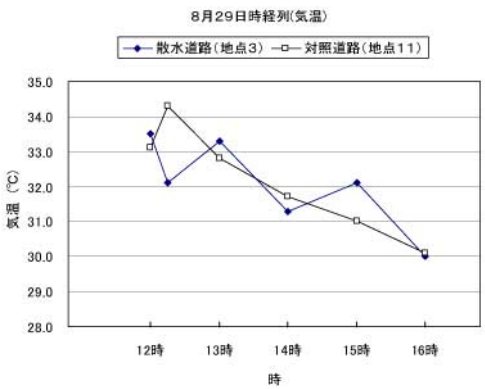


図-6　正午散水での散水及び非散水（対照）道路での気温の時系列変化

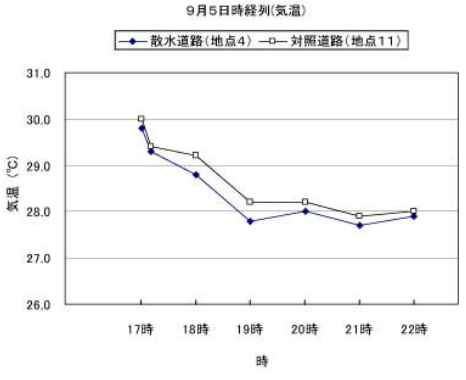


図-7　夕方散水での散水及び非散水（対照）道路での気温の時系列変化

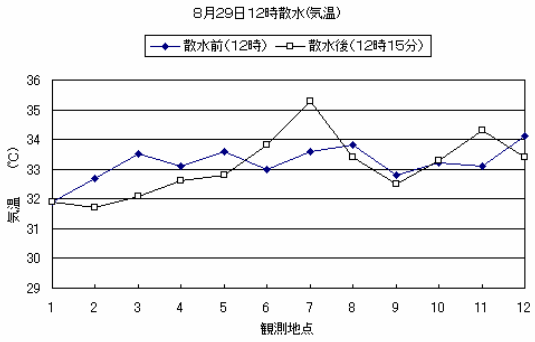


図-8　正午散水での散水前後の観測定点による気温分布

1）柄杓を用いた打ち水の結果、気温が 1.2℃ほど低下した。しかし、打ち水後の水の蒸発により湿度が上昇し、一時的に蒸し暑く感じる場合があることもわかった。

2）朝、昼、夕方のいずれの散水でも保水性舗装の場合、表面温度として５時間以上の効果が持続することが分かったが、散水車での散水の場合、散水方法の工夫と保水材の水吸収速度の更なる改善が望まれた。

3）今回の調査結果から散水時刻の特徴として、昼間の散水は散水直後の効果は大きいが長続きしないこと。また夕方の散水は昼間の散水直後のような効果は期待できないが長続きする傾向があることがわかった。

近年、都市の高温化と相まって各地で昼間の打ち水作戦のイベントが普及しつつある　さらに夏季の夜間の納涼を求めた様々な趣向のナイトイベントなども計画されており、熱帯夜などの緩和を考えた場合、夕方からの散水にも期待したい。

「謝辞」

「Cool わだまち２４」に参画された和田西部町内会や和田町商店街、横浜国立大学などの関係者各位に感謝します。また本報文をまとめるにあたり一部観測データの提供をいただいた横浜国立大学環境情報研究院佐土原・吉田研究室の各位に感謝します。

「参考文献」

1）平澤、佐俣、井上、福田：横浜市内の温湿度分布調査、横浜市環境科学研究所報、30,50-55、(2006)

2）横浜市環境創造局：横浜市ヒートアイランド対策取組方針（2006）

3）横浜国立大学環境情報研究院佐土原・吉田研究室：和田町観測データ（2006）

4）横浜国立大学環境情報研究院佐土原・吉田研究室：研究情報（未発表）

5）上条、吉田、佐土原：夏季における打ち水を利用した熱環境改善に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1,679（2006）

横浜市内での壁面緑化の温度低減効果

—2006 年夏季の観測事例—

佐俣満夫、井上友博、白砂裕一郎、下村光一郎（横浜市環境科学研究所）
久家祥子（国際マイクロフォト研究所）

Surface temperature measured on several Wall-Plantings in Yokohama City

Mistuo Samata,Tomohiro Inoue,Yuitirou Shirasuna,Kouitirou Shimomura
(Yokohama Environmental Science Research Institute)
Shoko Kuga(Internatinal Microphoto Institute Co.)

キーワード：壁面緑化、ヒートアイランド、表面温度

「要旨」
環境科学研究所、道路法面、小学校、住宅など２１ヶ所に設置された種々の種類の壁面緑化について 2006 年夏季に温度低減効果を観測した。その結果、壁面緑化の温度低減効果は植生の種類より主に日射の影響を強く受け、晴天日の日向の壁面緑化では温度低減効果は 10℃前後認められたが、曇天日や日陰では 3～8℃程度であることがわかった。

1. はじめに

横浜市内では都市化の影響によるヒートアイランド現象が観測されており、特に人工排熱の多い地域や建物の密集地域では夏季の高温化が問題となっている[1)]。そこで横浜市では「横浜市ヒートアイランド対策取組方針」（平成 18 年 3 月）を策定し、建物が密集し緑の少ない地域における対策メニューの１つとして屋上緑化や壁面緑化の普及を目指している。屋上緑化や壁面緑化は設置場所、気象条件等により効果に特性があるため環境科学研究所では常時観測システムを持った屋上緑化と壁面緑化の中でも最も効果が高いと考えられたパネル式壁面緑化についてそれぞれ温度低減効果の調査を行ってきた[2、3)]。また当研究所では壁面緑化の普及のための「壁面緑化マニュアル」（平成 17 年）を作成したが[4)]、壁面緑化の温度低減効果をさらに調べるため平成 16 年には当研究所及び市内の 2 つの小学校に壁面緑化を設置した。

一方、横浜市内では夏季の猛暑や熱帯夜を涼しく過ごすための取組が始まっており、2006 年には「緑のカーテン事業」のように区、市民、大学、企業などの協働による壁面緑化の普及事業が展開されている。当研究所では 2006 年の夏季にこれら市内に設置された種々の壁面緑化の温度観測を行ったのでその温度低減効果について報告する。

2. 対象施設と観測方法

対象施設はコンクリートビルディング（2）、道路法面（1）、小学校校舎（5）、住宅（13）の計 21 箇所である。コンクリートビルディングの内当研究所の壁面緑化では平成 17 年に西側壁面に登はん型壁面緑化 23m^3 を設置し、テイカカズラ、ノウゼンカズラを植栽した。また 2 階テラス部には 25 個のコンテナを設置し、ヘデラ・カナリエンシスを植栽し下だれ型とした（写真-1）。さらに下だれ型では雨水タンクを利用した自動灌水方式を採用した。当研究所で壁面緑化を設置した小学校 2 校の内、豊岡小学校（鶴見区）では校舎南面 23m^2 にメッシュ金網とコ

写真-1　環境科学研究所壁面緑化（下だれ型）

写真-2　豊岡小学校壁面緑化

ンテナを設置しテイカカズラ、キウイ、クレマチスを植栽した（写真-2)。また神大寺小学校（神奈川区）では校舎の東面と西面のそれぞれ 21m^{2}にメッシュ金網とコンテナを設置しテイカカズラ、トケイソウ、アケビを植栽した（写真-3)。道路法面 1 ヶ所は幹線道路・新横浜通りの西区南軽井沢付近の長さ 300m程度の法面であり藤つるなどの多年草類が横浜市により植栽されている（写真-5)。西区総合庁舎では庁舎南面 40m^{2}程度にゴーヤ、西洋あさがお、風船かずらなどの一年草を植栽したものである（写真-4)。また南区については南区の緑のカーテン事業として小学校や区民に壁面緑化の普及の呼びかけに応じた施設である。住宅の多くは一戸建てであるが一部マンションも含まれている。南区の場合ほとんどがゴーヤ、ヘチマ、あさがおなどの一年草の植栽である。

壁面緑化の温度観測には赤外線カメラ（AbioTVS-700）を用い､緑化表面､緑化のない壁表面の温度を測定した。また赤外温度観測時の周辺環境の気温情報は当研究所で設置してある気温観測網のうち直近の地点のデータを用いた。

3. 結果と考察

観測結果を表-1 に示す。壁面緑化は植物の繁茂している部分と葉の疎らな部分があり繁茂状況で温度も異なるため表-1 中の緑化温度はこれらの温度分布を考慮して温度幅として示した。壁面緑化の温度低減効果は壁面（コンクリート等）温度―緑化温度としてまとめた。また観測時気温は直近観測点のデータであり、観測時に壁面緑化が日向であったかどうかを日照の有無として示した。さらに観測時の環境情報として横浜気象台でのデータも示した[5)]。

3-1 壁面緑化の温度低減効果

表-1 からわかるように壁面緑化温度は設置の状況、植物の種類、観測日の気象、観測時等により異なるが壁面緑化の温度低減効果（壁面温度―緑化温度）は観測時での気候（晴れ、曇りなど）と日照の有無の差が大きく、晴れた日の正午前後では概ね 10℃前後の効果がみられるが、曇っていると 5～8℃程度である。また日照の有無では日向では温度低減効果が 10℃を超える場合がしばしばみられるが、日陰では 5℃以下となっていた。例えば小学校（A）では東面の壁面緑化は観測時（14 時）には完全に日陰となっていたため温度低減効果は 3～5℃であったが、西面の壁面緑化は日向となっていたため温度低減効果は 7～11℃と大きくなっている。これらの結果より壁面緑化の温度低減効果は太陽の日射の影響を強く受けるものと考えられた。また観測時間の影響としては午後より午前中の方が温度低減効果は大きい傾向がみられるが、これは夏季の午前中は強い日射により急激に壁表面の温度が上昇するためと考えられる。今回の結果では植物の種類間の影響は他の影響に較べて大きくはなく､一年草でも多年草でも同様の結果となっていた。2005 年のパネル型壁面緑化の観測結果[3)]でも温度低減効果は 10℃程度であったので壁面緑化の温度低減効果には植物の種類より繁茂状況の影響の方が大きいものと推測された。観測時期の問題としては西区総合庁舎の壁面緑化は写真-4 に示すように、ゴーヤの葉が十分繁茂していたにもかかわらず温度低減効果が 5～8℃程度であったが、これは観測日が 9 月中旬であったためすでに真夏より日射が弱くなっていたためと考えられた。

写真-3　神大寺小学校壁面緑化（東面）

写真-4　西区総合庁舎壁面緑化

写真-5　道路法面緑化（西区軽井沢）

今回の観測で道路法面緑化の結果は特異的であった。コンクリート法面での温度は今回観測した中で最高の 57℃であり、温度低減効果は最大で 20℃にも達していた。この場所は写真-5 に示すように高さ 10～30mの法面が

表-1　観測結果

			観測結果				条件			観測時の横浜気象台のデータ		
番号	場　所	地　区	緑化温度	壁面温度	壁面温度－緑化温度	観測時気温	緑化の種類	観測日時	日照の有無	気温	風向風速	天気
			℃	℃	℃	℃				℃	m/s	
1	道路法面緑化	西区（三ツ沢）	37～50	57	7～20	32.2	藤等多年草	８月３日（１４時）	日向	30.9	南(3.8)	晴れ
2	環境科学研究所	磯子区										
	（登はん型）		29～32	40	8～11	27.2	テイカカズラ	９月11日(14時)	日向	27.1	東(4.3)	晴れ
	（下だれ型）		29	41	12	27.2	ヘデラ	９月11日(14時)	日向	27.1	東(4.3)	晴れ
3	西区総合庁舎	西区	33～36	41	5～8	29.8	ゴーヤ	9月19日（11時）	日向	29.1	南南東(6.3)	晴れ
4	小学校(A)	神奈川区										
	（東面）		32～34	37	3～5	32.6	カズラ、アケビ	8月3日（14時）	日陰	30.9	南(3.8)	晴れ
	（西面）		35～39	46	7～11	32.6	トケイソウ	8月3日（14時）	日向	30.9	南(3.8)	晴れ
5	小学校(B)	鶴見区	28～32	38	6～10	27.8	テイカカズラ	7月4日（16時）	日向	26.2	南西(4.3)	曇り
6	小学校(C)	南区	33	40	7	29	一年草	9月４日(12時)	日向	28.2	東(4.4)	曇り
7	小学校(D)	南区	33	38	5	28.9	一年草	9月４日(14時)	日陰	28.4	東(3.6)	曇り
8	小学校(E)	南区	30～35	42	7～12	28.9	一年草	9月４日(13時)	日向	28.2	東(3.8)	曇り
9	住宅(F)	南区	30	46	16	33.2	一年草	8月5日(10時)	日向	31.4	東(1.2)	晴れ
10	住宅(G)	南区	34～41	50	9～16	33	一年草	8月5日(10時)	日向	31.4	東(1.2)	晴れ
11	住宅(H)	南区	39	51	12	33.5	一年草	8月5日(11時)	日向	31.5	東南東(2.9)	晴れ
12	住宅(I)	南区	34	38	4	33.5	一年草	8月5日(11時)	日陰	31.4	東(1.2)	晴れ
13	住宅(J)	南区	33	45	12	34.6	一年草	8月5日(12時)	日向	32.6	南東(2.6)	晴れ
14	住宅(K)	南区	39	42	3	35.9	一年草	8月5日(13時)	日陰	31.5	東南東(2.9)	晴れ
15	住宅(L)	南区	32	39	7	33	一年草	8月5日(14時)	日向	35	東南東(2.8)	晴れ
16	住宅(M)	南区	37	43	6	36.1	一年草	8月5日(14時)	日向	35	東南東(2.8)	晴れ
17	住宅(N)	南区	45	56	11	35	一年草	8月5日(15時)	日向	33.1	南東(3.5)	晴れ
18	住宅(O)	南区	38	48	10	35	一年草	8月5日(15時)	日向	33.1	南東(3.5)	晴れ
19	住宅(P)	南区	33	39	6	29.9	一年草	9月4日(14時)	日向	28.4	東(3.6)	曇り
20	住宅(Q)	南区	35	45	10	29.9	一年草	9月4日(14時)	日向	28.4	東(3.6)	曇り
21	住宅(R)	南区	34	42	8	29.8	一年草	9月4日(15時)	日向	28.3	東(4.5)	曇り

数十センチメートルほど重なっているためコンクリート面が 60℃近くに達してもこの部分では 37℃と低い温度となっていた。これより壁面緑化でも規模が大きくなるほどその効果も大きくなる傾向が確かめられた。

今回の観測より壁面緑化を行うことにより、良く繁茂した緑化部分では、夏季の晴天日の日中では表面温度として 10℃前後の温度低減効果が期待できることがわかった。

3-2　壁面温度と壁面緑化温度との関係

今回観測した壁面緑化は種々の条件は異なっていたものの表-1 中の壁面温度と温度低減効果（壁面温度―緑化温度）の最大値（これは壁面緑化の最も繁茂した部分の表面温度と壁面温度との温度差に相当）の間には何らかの相関があることが推測された。そこでこの最大値（以下効果の最大値という）と壁面温度の関係を図-1 に示す。

これより壁面温度が上昇すると良く繁茂した壁面緑化の温度低減効果も大きくなる傾向があることがわかる。相関係数は 0.71 であり一定の相関があることが認められた。効果の最大値（℃）を Y とし、壁面温度（℃）を X とすると回帰式（１）が得られる。

$$Y=0.53\cdot X-13.5 \quad \cdots \quad (1)$$

ここで、Y は繁茂している部分の温度低減効果であるから、Y=（壁面温度―壁面緑化温度）と置くと（１）式から次式を得る。

壁面緑化温度＝0.47｛壁面温度｝+13.5　　・・・　（２）

（２）式は壁面緑化を設置しようとした場合、周辺の壁面温度が推定できれば設置された壁面緑化の効果が（２）式により推定できることを示している。しかし、この推定式はこれまで述べたように植物の繁茂状況、日照、気候、時刻等により得られた壁面緑化温度値に±2℃程度のばらつきがあるものと考えられる。

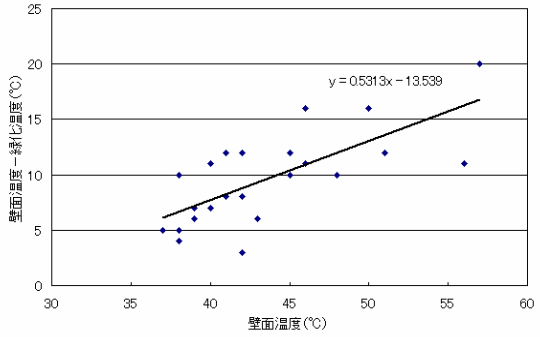


図-1　壁面温度と低減効果

4.　おわりに

ビルディング、小学校校舎、道路法面、住宅などの横浜市内 21 箇所に設置されたさまざまな種類の壁面緑化について 2006 年夏季（7 月～9 月）に赤外線カメラによって表面温度による温度低減効果（壁面温度―壁面緑化温度）を調査した結果以下の知見が得られた。

１）壁面緑化の温度低減効果は植物の種類より主に日射の影響を強く受け、晴天日の日向の壁面緑化では温度低減効果は 10℃前後認められたが、曇天日や日陰では 3～8℃程度であった。

２）今回の調査より道路法面や学校校舎など壁面緑化の規模が大きくなるほど温度低減効果も大きくなる傾向がみられた。

３）今回の調査より壁面温度が高くなるほど繁茂した壁面緑化部分の温度も高くなる傾向が認められ、壁面温度から壁面緑化温度を推定する推定式を得た。

横浜市内には都心部の周辺に建物の密集した地域が多いことから、比較的経費も安く、また広い場所も必要としない壁面緑化は有効なヒートアイランド対策と考えられる。今回の調査対象施設以外にも街中には独自に設置された壁面緑化が多々見られる現状からみても、今後より広範な普及事業が期待される。そのため、横浜市ではモデル地区を設定するなどして、建物の屋上・壁面緑化等の市民のヒートアイランド対策の取組を支援することとしている。

「謝辞」

本調査実施にあたり南区緑のカーテン事業に参画された市民の皆さんのご協力に感謝いたします。また観測に先立ち協力いただいた南区及び西区の区政推進課の各位に感謝します。

さらに平成１６年に当研究所が設置した壁面緑化の維持管理に協力いただいた豊岡小学校の各位、神大寺小学校の各位及び担当された同校職員の方々に感謝します。

「参考文献」

１）平澤、佐俣、井上、福田：横浜市内の温湿度分布調査、横浜市環境科学研究所報、30,50－55（2006）

２）佐俣、福田：港北区役所屋上緑化での温度低減効果、同上、29,84－91（2005）

３）佐俣、平澤、福田：パネル式壁面緑化の温度低減効果、同上、30,60－62（2006）

４）横浜市環境科学研究所編：壁面緑化マニュアル、2005

５）横浜気象台ホームページ（観測情報編）2006

和泉川下流における停滞水域の調査

小市佳延、福嶋　悟、下村光一郎、樋口文夫（横浜市環境科学研究所）

Research on influence of the stagnation waters in lower part of Izumi river

Yoshinobu Koichi, Satoshi Fukushima, Kouichirou Shimomura, Fumio Higuchi
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：水質調査、底質、停滞水域、多自然型

要　旨

横浜市西部にある和泉川下流の停滞水域を中心に水質・底質・付着物等の調査を行った。その結果、多自然型改修によって淵となった区間では、河川形態変化や下水道普及による水量減少で流下時間が 2 倍程度遅くなった。水中の SS は淵となった区間で沈降が進み、川底の石に砂泥が堆積する傾向がみられた。淵の区間の底質は瀬の底質にくらべて IL などがやや高いが、悪化することなく、降雨時の増水による掃流作用によって良好な状態に保たれていると思われた。ただし、水があまり流れ込まないワンド内の底質は他の地点より Eh が低く、IL などが高かった。

１．はじめに

都市河川では周辺の宅地開発による緑地減少や道路舗装の整備などによって降雨時に河川水量が短時間に増加し、中下流域で河川が氾濫することがしばしばあった。このため、治水対策を最優先に、河川の直線化や強固なコンクリート護岸への改修が行われた。その結果、水辺空間の喪失や水生生物の生息域の制限が起こった[1)]。近年、市民の親水化を求める要求が高まり、従来の三面コンクリート、直線河川などの排水路化した都市河川に対して、より自然に近い河川形状へ再改修する動きが強まっている。

この多自然型改修が緩傾斜の河川に行われた場合、景観的には良くなっても流速の変化によって水質や河床底質、付着物などに影響が出ることも考えられる。大岡川の調査によると、治水対策の河川改修でできた分水路取水庭では流速が遅くなったことで底質がかなり悪化し、時期によっては下流に堆積物が流されているように推測された[2)]。

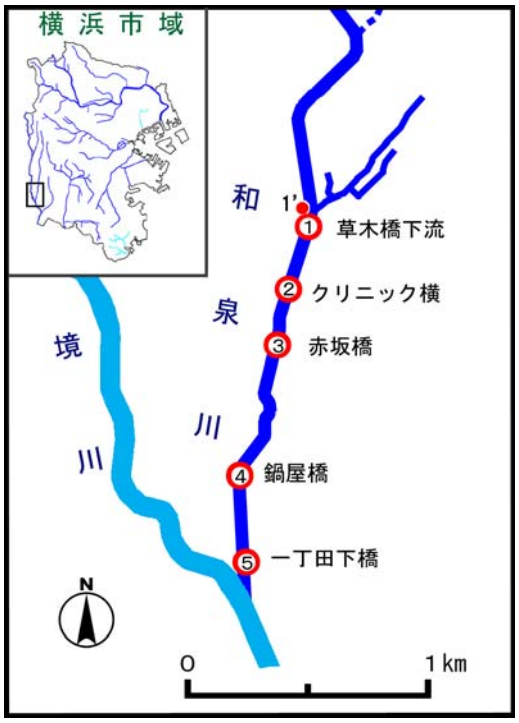
そこで今回、横浜市西部の和泉川において単純構造の緩傾斜河川を多自然型河川に改修した地域を中心に水質・底質・付着物等の調査を行ったところ、若干の知見が得られたので報告する。

２．調査方法

２－１　調査地域

和泉川は横浜市西部を流れる境川水系の支川のひとつで、瀬谷市民の森を源とし、北から南へと流れる約 11.5 ㎞の二級河川である。上流は宅地開発による市街地を流れる。中流では川に沿って田畑や森林があり、下流では田畑や大規模な遊水地が広がっている。

調査地点を**図－1** および**写真－１～６**に示す。今回の調査地域は**図－１**に示すように和泉川の下流部にあたる。草木橋～赤坂橋は低水敷に草の繁茂した多自然型の景観をしており、低水路内には数十 m おきに礫で作った瀬がみられる。St.1 は草木橋下流で、左岸より支流が流入している箇所である。川幅 7 m、水深 25 ㎝の淵で、河床は砂礫質である。St.2 のクリニック横には中洲があり、ここより赤坂橋は礫で瀬が形成されている。河床は礫砂質である。St.3 の赤坂橋付近では上を通る環状道路の工事が行われていた。淵と瀬があり、河床は礫砂である。赤坂橋～鍋屋



図－１　和泉川調査地点図

写真－１　　St. 1　草木橋下流

写真－２　　St. ２　クリニック横

写真－３　　St. ３　赤坂橋

写真－４　　St. ４　鍋屋橋

写真－５　　St. ５　一丁田下橋

写真－６　ワンド付近　（上流に草木橋。右から支流が入る。左側がワンド。鳥居状の木杭は植生ロールの固定用だったと思われる。）

橋は 2004 年度までに礫を積み上げた低水敷の形状に改修されている。鍋屋橋下には農業用水取水口があり、集水用の段差工がある。St.4 の鍋屋橋より約 100m 下流までは草の生えた低水敷となっている。それより下流は両岸が垂直のコンクリート護岸で構成されている。St.4 では川幅４mの瀬で、河床は礫砂である。St.5 の一丁田下橋は川幅約 10m、河床は砂礫である。境川合流直前では中央に階段状の魚道がある段差工となっている。また、この付近では隣接の遊水地関係の工事が河川内外で行われていた。

なお、St. 1’は St.1 の上流で左岸から入る支流の対岸にあるワンドである。河床は砂泥である。このワンドは降雨時に支流が急激に増水することによって対岸の低水敷が削り取られてできたと思われる。多自然型河川改修箇所が度重なる増水の影響で変化する事例は同じ境川水系のいたち川でも確認されている[3)]。

２－２　試料採取方法および調査期日

調査は予備調査を春季に行い、水塊の流下時間および水質を中心に調査した。本調査は夏・秋・冬季に行い、水質、底質、付着物を採取した。水質試料は上流の地点から行い、水塊の流下時間にできるだけ合わせて表面水

を採水した。底質試料は、流れの緩やかなところの表層泥を数カ所採取して混合した。付着物試料は流れのあるところの平坦な礫を採取し、表面の付着物をブラシで擦り落として試料とし、擦り落とした面積を記録した。底質および付着物の試料調整は環境省の底質調査法[4)]に準じた。

なお、調査期日は次のとおりである。

予備調査　春季：　2005 年 6 月 8 日
本調査　　夏季：　2005 年 9 月 8 日
　　秋季：　2005 年 11 月 9 日
　　冬季：　2006 年 1 月 26 日

２－３　調査項目および測定方法

調査項目および測定方法を**表－１**に示す。なお、水塊の流下時間は予備調査時に飽和食塩水を St.1 より投入し、各地点の EC ピークより算出した。本調査時の流下時間は St.1 における予備調査時と本調査時の流速の比から求めた。流量は、河川横断方向の数点について水深・間隔・流速を測定し、河川断面積と流速から算出した。また、底質の微細泥率は粒径 0.075mm 以下の試料が粒径２mm 以下の試料に占める割合とした。

３．結果と考察

３－１　流下時間

流下過程における水質の変化をみるために、あらかじめ水塊の流下時間を測定し、採水時間の決定に利用することにした。予備調査で測定した水塊の流下時間、および過去の調査[6、7)]で測定した流下時間を今回の地点間距離に補正した値を**図－２**に示す。St．１～３間の流下時間は 77 分であり、これは以前の調査の２倍以上の値である。この区間は、以前は川幅全体が砂礫質の浅瀬であった。今回は両岸に低水敷があり、中央の低水路にはところどころに石を積み上げた瀬が造られ、その間が流速の遅い淵となっている。また、流量は以前の調査では約 0.4m^3/s であったが、今回は 0.13m^3/s に減少している。和泉川の流れる瀬谷区や泉区の下水道普及率は 1988 年度に 60%前後だったのが最近は 99%まで上昇してきたため、事業場・家庭排水の河川への流入量が減少したと考えられる。このような河川形態の変化や水量減少もあって、流下時間が長くなったと思われる。St．３～４間でも以前より平均して３割程度長い時間となっていた。この区間では、川幅がもともと狭い瀞場であったのが低水敷のある直線状の水路に改修されている。

３－２　水質

調査結果を**表－２**、**図－３**に示す。

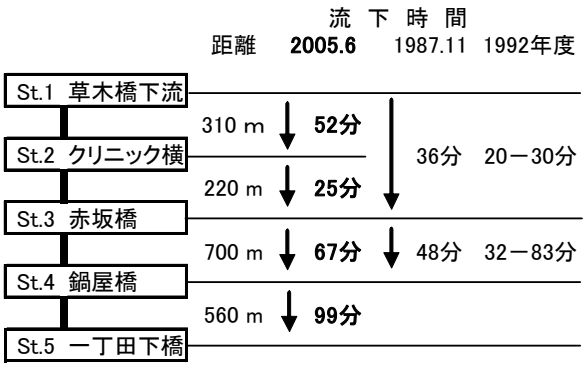
流量は夏季がもっとも多く、0.7～0.8m^3/s であった。反対に最も少ないのは冬季で、0.04～0.06m^3/s であった。夏季は調査日直前１週間の降水量が約 100mm あり、そのために流域の湧水量が増加し、河川水量が増したと思われる。

SS は夏季に 10mg/l 以上の地点があるなど最も高くなる一方、冬季は２～３mg/l と最も低い傾向がみられた。SS 負荷量を比較すると夏季に突出して大きかったのが認められる。夏季は水量が多く流速も速いため、河床底質の浮上や付着物が剥離しやすくなって、SS が増えたものと考えられる。地点別では St．１が各回とも最も低く、流速の遅い淵になっているために SS の沈降が進むものと考えられる。SS の増加は St．１～St．２間で著しく、淵の中に溜まっていた SS が浮上して St．２では 13mg/l まで高くなり、流下につれて SS が沈降して濃度が低下したと思われる。

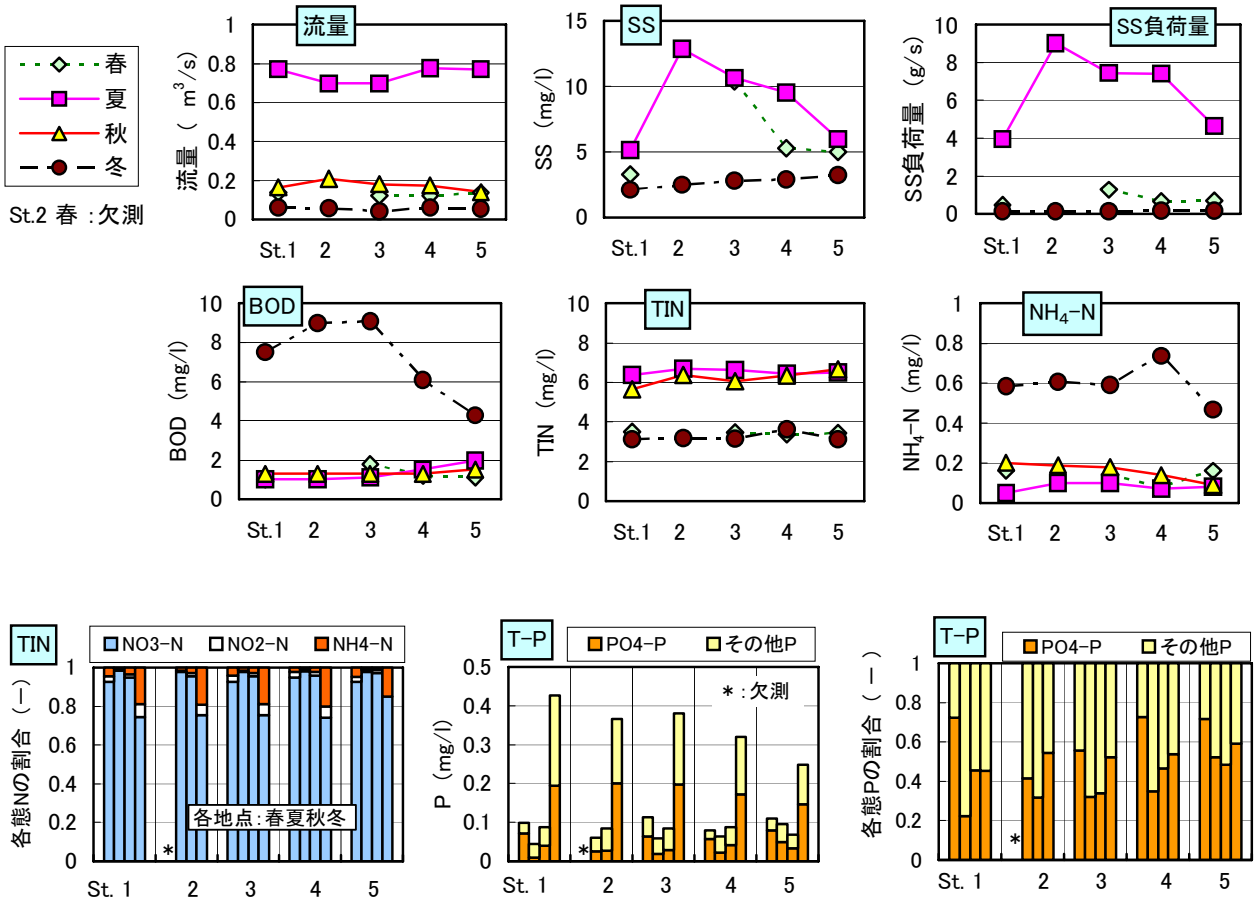
BOD は春・夏・秋季は１～２mg/l と低いのに対し、冬季は４～９mg/l と高いのが認められた。冬季は St．３～５間で流下とともに減少する傾向が認められた。BOD 負荷量は水量の多い夏季が最も大きく、ついで冬季が春・秋季の２倍程度の値であった。冬季に BOD 濃度が他の季節の数倍になることは、流域に下水処理場を有する河川ではよくあるが、下水道が普及した地域の河川ではあまりみられない。また、定期的な市内の中小河川調査にお

表－１　測定項目と測定方法

項　目	測　定　方　法
【 環境 】	
水温	携帯型pH計：東亜電波 HM-12P
pH	携帯型pH計：東亜電波 HM-12P
透視度	1m 透視度計
電気伝導率（EC）	携帯型EC計：東亜電波 CM-14P
酸化還元電位（Eh）	携帯型ORP計：東亜電波 RM-20Pで測定後、換算
相対照度	携帯型デジタル照度計：TOPCON IM-5
泥温	携帯型ORP計：東亜電波 RM-20P
流速	携帯型電磁流速計：東邦計測 TK-105D
水深	折れ尺
【 水質 】	
溶存酸素（DO）	ウインクラー―アジ化ナトリウム変法（JIS K0102 ）
生物化学的酸素要求量（BOD）	20℃・5日間、ウインクラー―アジ化ナトリウム変法（JIS K0102 ）
全窒素（T-N）	紫外吸光光度法（JIS K0102 ）
アンモニア態窒素（NH_4-N）	インドフェノール青吸光光度法（JIS K0102 ）
亜硝酸態窒素（NO_2-N）	イオンクロマトグラフ法（JIS K0102 ）
硝酸態窒素（NO_3-N）	イオンクロマトグラフ法（JIS K0102 ）
全無機態窒素（TIN）	NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N
全リン（T-P）	ペルオキソ二硫酸カリウム分解、アスコルビン酸-モリブデン青法（JIS K0102 ）
リン酸態リン（PO_4-P）	アスコルビン酸-モリブデン青法（JIS K0102 ）
【 底質 】	
微細泥率	2mm目および0.075mm目のふるいを用いた湿式ふるい法
強熱減量（IL）	600℃、2時間後の減量
全リン（T-P）	硫酸・硝酸分解後、アスコルビン酸ーモリブデン青法
クロロフィルa（Chl.a）	湿泥についてStrickland and Parsonsの方法[5)] 準拠、 SCOR/UNESCO法
【 付着物 】	
付着量	採取面積と乾重量から換算
強熱減量（IL）	600℃、2時間後の減量
全リン（T-P）	硫酸・硝酸分解後、アスコルビン酸ーモリブデン青法
クロロフィルa（Chl.a）	Strickland and Parsonsの方法[5)]，SCOR/UNESCO法



図－２　　水塊の流下時間



図－３　　水質のおもな結果

いても最近の和泉川の冬季 BOD は他の季節よりわずかに増加するだけである[8]。このようなことから、今回の冬季調査では一過性の排水が上流で混入した可能性が考えられる。

T-N、TIN は夏・秋季が高く、春・冬季が低い傾向があり、地点間の差はあまりみられなかった。

NH_4-N は冬季が他の季節にくらべて３倍以上高い傾向がみられ、各地点とも 0.5mg/l 以上であった。TIN 中に占める NH_4-N の割合は冬季には 20%近くになっており、他の季節の５%以下とは大きな違いがみられた。これは水温が低下することによって硝化作用が遅くなったためと思われる。

T-P は BOD や NH_4-N と同様に各地点とも冬季に突出して高いのが認められた。冬季は流下とともに減少する傾向があった。T－P に占める PO_4-P の割合は春季に高く、夏季が最も低い傾向が認められた。夏季は SS が多いことから、SS と結合したリン成分が増え、相対的に PO_4-P の割合が下がったものと考えられる。

1988 年の調査当時、SS は 10～70mg/l、BOD は 10～50mg/l など他の項目の値も高かった[6]。淵では沈降作用による浄化が、また瀬では流下に伴う浄化がはっきりみられた。今回の調査では、当時より濃度が大きく低下しており、流下に伴う水質変化は小さいように思われた。

以上から、流速の遅い淵では SS が低かった。流下に伴う水質変化は SS、BOD などで濃度が高い時は流下に伴って値が上昇あるいは下降する、いわゆる自濁・自浄作用

表－２　　水質の結果　：平均値±標準偏差

St.	地点名	wt (℃)	pH (－)	EC (mS/m)	Eh (mV)	流量 (m^2/s)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
1	草木橋下流	16.1 ± 8.0	7.41 ±0.04	35.8 ± 0.6	389 ± 18	0.28 ±0.33	3.5 ± 1.5	8.4 ± 0.5	2.7 ± 3.2
2	クリニック横	14.5 ± 9.6	7.37 ±0.10	36.3 ± 0.9	403 ± 60	0.32 ±0.34	7.7 ± 7.3	8.7 ± 0.8	3.8 ± 4.5
3	赤坂橋	16.9 ± 9.1	7.47 ±0.13	36.3 ± 0.8	443 ± 30	0.26 ±0.30	8.0 ± 4.5	8.7 ± 0.9	3.3 ± 3.9
4	鍋屋橋	18.9 ± 7.8	7.72 ±0.27	35.9 ± 0.4	462 ± 44	0.28 ±0.33	5.9 ± 3.4	9.1 ± 1.3	2.5 ± 2.4
5	一丁田下橋	19.6 ± 7.6	7.94 ±0.33	35.6 ± 0.2	451 ± 46	0.28 ±0.33	4.8 ± 1.4	9.4 ± 1.9	2.2 ± 1.4

St.	地点名	T-N (mg/l)	TIN (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	T-P (mg/l)	PO_4-P (mg/l)
1	草木橋下流	5.30 ± 1.44	4.66 ± 1.59	0.25 ± 0.23	0.11 ±0.07	4.30 ±1.82	0.165 ±0.177	0.040 ± 0.025
2	クリニック横	5.89 ± 1.26	5.42 ± 1.94	0.30 ± 0.27	0.11 ±0.06	5.01 ±2.27	0.171 ±0.170	0.026 ± 0.001
3	赤坂橋	5.35 ± 1.41	4.82 ± 1.76	0.25 ± 0.23	0.11 ±0.06	4.46 ±1.97	0.159 ±0.149	0.035 ± 0.019
4	鍋屋橋	5.14 ± 1.79	4.94 ± 1.67	0.26 ± 0.32	0.12 ±0.06	4.57 ±1.89	0.138 ±0.122	0.041 ± 0.015
5	一丁田下橋	4.86 ± 1.71	4.94 ± 1.91	0.20 ± 0.18	0.07 ±0.05	4.67 ±2.03	0.131 ±0.080	0.049 ± 0.022

がみられた。下水道の普及により、定常時の水質は良好で、各項目も低濃度なため、河川形態の変化による水質変化は小さいと考えられた。

３－３　底質

底質は St.1～５については夏・秋・冬季に調査した。St.1’は St.1 付近のワンドで、冬季のみ調査した。その調査結果を**表－３、図－４**に示す。

Eh は St.２～５では 400mV 以上なのに対し、淵の St.１では 240～450mV と幅があり、他の地点より低くなる傾向がみられた。冬の St.１’では Eh は 126mV と低く、St.1 の半分程度であるのが認められた。

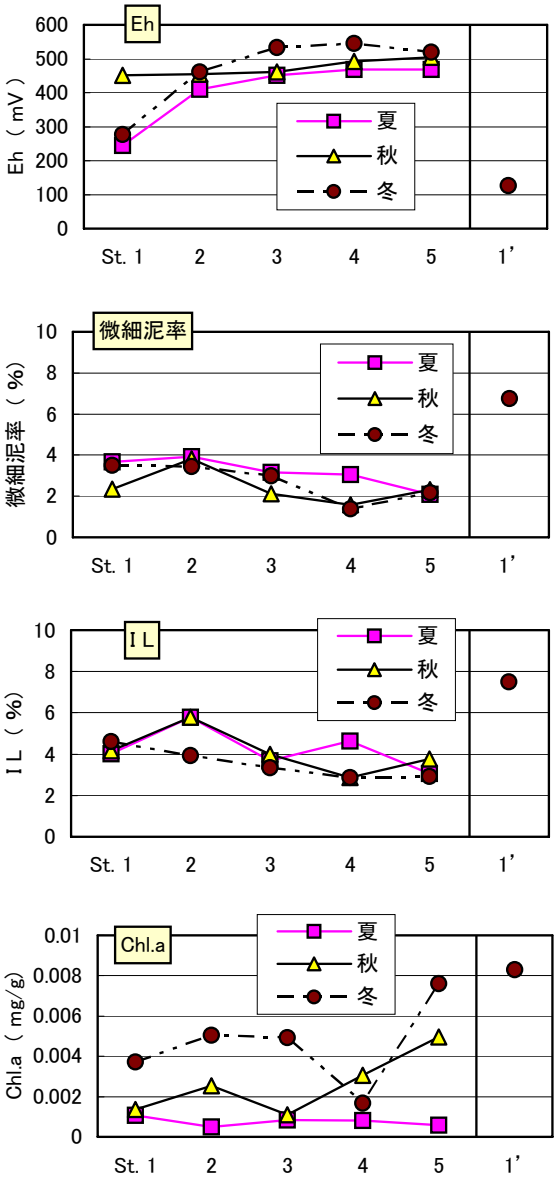
微細泥率は St.1～３では３％前後、また St.４、５では２％とやや低い傾向がみられた。ST.1～３の中では St.2 がやや高く、平均で 3.7%である。St.1～２間は淵の連続であり、その最下流地点の St.２には上流から流れ着いた細泥が溜まっていたと思われる。一方、St.１’では７％であり、他の地点の２倍以上の値であった。ワンドである St.１’では定常時から流速が遅いため、増水によって水位が上がって河川水が流入してくると、濁水や周囲の土壌中の微細粒子が選択的に沈降・堆積するものと考えられる。

IL は St.１、２では平均値が 4.3%、5.2%と淵となった地点で高く、St.３～５では３％台と瀬の地点ではやや低い傾向がみられた。一方、St.１’では 7.5%と高いのが認められた。

T-P も IL と同様の傾向があった。

Chl.a はいずれの地点も夏季に低く、冬季に高くなる傾向がみられた。St.1～５の中で最も高いのは St.５であり、また季節の差が大きいのが認められた。冬季は水量が少なく、流速が遅いために比重の軽い剥離藻が留まるためと思われる。St.１’の Chl.a は他の項目と同様に St.1～５より高いのが認められた。

このように、淵の St.1、２の底質は、瀬の St.３～５の底質より微細粒子が多く、有機物も多いために微生物分解がやや活発で酸化状態が低下しているが、その差はわずかである。淵の中の底質は悪化することなく、降雨時の増水による掃流作用によって良好な状態に保たれていると思われた。一方、ワンドである St.１’は水の交換が少なく、微細粒子や有機物が多いために微生物分解作用によって酸化状態が低下しており、夏には還元状態になる可能性もある。ただ、冬季の調査の時にはワンド内に稚魚の群れが泳いでおり、弱小生物の生息水域としては適しているように考えられた。



図－４　　底質のおもな結果

表－３　　底質の結果　：平均値±標準偏差

St.　地点名	泥温（℃）	Eh（mV）	微細泥率（%）	ＩＬ（%）	T-P（mg/g）	Chl.a（mg/g）
1　草木橋下流	16.2 ± 7.1	324 ± 91	3.2 ± 0.6	4.3 ± 0.2	0.743 ± 0.109	0.0020 ± 0.0012
2　クリニック横	15.1 ± 7.6	442 ± 23	3.7 ± 0.2	5.2 ± 0.9	0.783 ± 0.090	0.0027 ± 0.0019
3　赤坂橋	15.5 ± 7.8	482 ± 37	2.8 ± 0.5	3.7 ± 0.3	0.539 ± 0.058	0.0023 ± 0.0019
4　鍋屋橋	18.1 ± 6.5	502 ± 33	2.0 ± 0.7	3.5 ± 0.8	0.488 ± 0.044	0.0018 ± 0.0009
5　一丁田下橋	19.2 ± 8.5	498 ± 22	2.2 ± 0.1	3.3 ± 0.4	0.416 ± 0.024	0.0044 ± 0.0029

表－４　　1992 年度　底質調査の主な結果　：　平均値（ 最小値-最大値 ）

St.　地点名	Eh　(mV)	ＩＬ　(%)	T-P (mg/g)	Chl.a　(mg/g)
I-A 草木橋下流	279（ 177 － 369 ）	7.0（ 1.6 － 11.1 ）	1.80（ 0.47 － 3.02 ）	0.0407（ 0.0050 － 0.0864 ）
I-B 赤坂橋上流	338（ 278 － 389 ）	5.8（ 2.4 － 8.8 ）	1.33（ 0.42 － 2.13 ）	0.0735（ 0.0099 － 0.2895 ）

過去において、St.１と２の付近では底質の調査をしている[9)]。その時のおもな結果を**表－４**に示す。1992 年度にくらべて今回調査の Eh は平均値で 50～100mV 高く、酸化状態が高くなったことを示している。IL は 1992 年度より３ないし 0.6%低く、また T-P は半分近くに低下している。特に変化が顕著なのは Chl.a で、1/20 以下になっているのが認められる。一般に、瀬より淵の底質のほうが汚濁度が高い。たとえば、1992 年度の調査では淵と瀬の底質について比較をしており、淵の方が Chl.a を除いて各項目の濃度が高い傾向があった。また、大岡川では停滞水域である分水路取水庭の底質は汚濁度が高かった[2)]。今回の調査地点 St.1、２では瀬から淵に河川形態が変わったにもかかわらず、底質の汚濁度は低くなっている。1992 年度当時、河床は砂礫質の平坦な構造で、冬を除いて糸状緑藻類のシオグサ(*Cladophora* sp.)によって全面的に覆われていた。そのために、当時は剥離藻が底質に含まれて Chl.a や T-P が高くなったと推定された。今回は水質が改善されて付着藻類も少なくなり、その結果底質中の剥離藻の量も少なくなって各項目の濃度が低くなったと考えられる。

３－４　付着物

付着物は夏・秋・冬季に調査した。その結果の一部を**表－５、図－５**に示す。

St.１の淵では付着量が多く、IL 等の濃度は低い傾向がみられた。特に秋季は付着量が約 1kg/㎡ときわめて高くなった。このときの IL、T-P は約３%および 0.3mg/g であり、これは同一地点の底質よりも低い濃度であった。淵では流速が遅いために、増水時に巻き上げられた砂泥が石の上に堆積していたためと考えられる。

St.２では IL や T-P は平均で St.１の３倍程度であった。一方、付着量は約 30g/㎡と St.１の 1/10 以下であった。淵の出口であり、流速も瀬ほどではないが速くなるため、砂泥の堆積が少なかったと考えられる。

St.３、４の瀬では IL 等の濃度は St.２とほぼ同一であるが、付着量は St.２よりやや少ないのが認められる。秋季は Chl.a が St.２～４で高くなった。春～秋季は藻類の成長期であるが、今回の調査では夏季は直前一週間内に大雨が降っていることから、それによる増水で流速が速くなり、付着藻類が秋季調査時より剥離していたと考えられる。

St.５では上流の St.３、４より付着量が多く、IL 等の濃度が低い傾向がみられた。

４．まとめ

横浜市西部にある和泉川下流の停滞水域を中心に水質・底質・付着物等の調査を行ったところ、以下のような知見が得られた。

１）多自然型改修によって瀬と淵を組み合わせた区間では、河川形態変化や下水道普及による水量減少で改修前より水の流下時間は遅くなり、流れが全体的に緩やかになった。

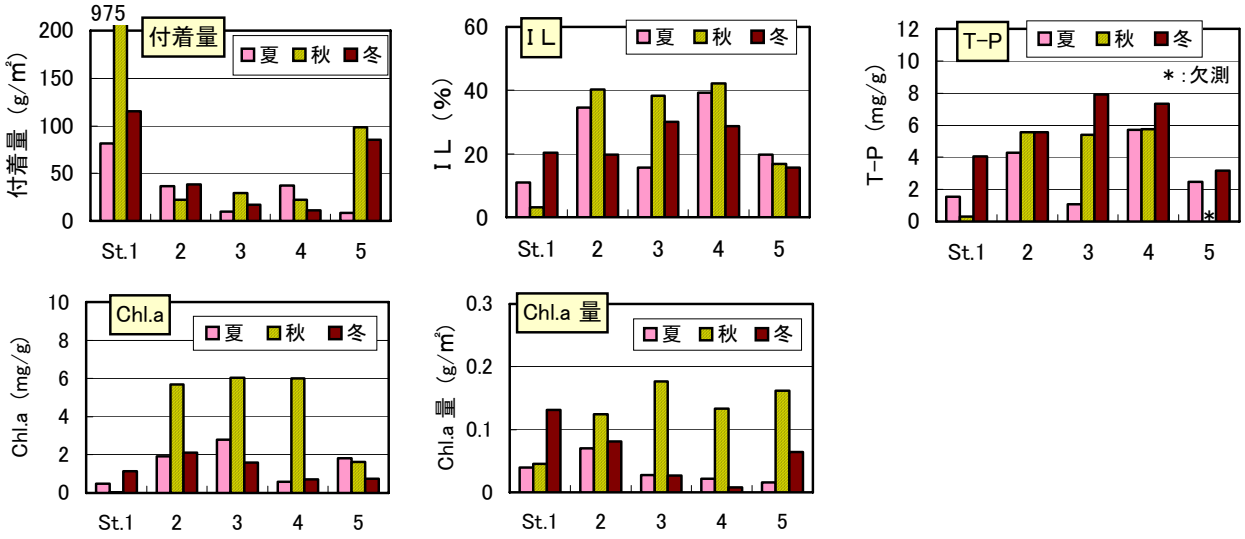
２）冬季は一時的な流入排水によって水質が悪くなる例がみられたが、水質は 10 数年前にくらべて改善された。

３）水があまり流れ込まないワンド内の底質は他の地点より Eh が低く、IL などが高かった。

４）淵の区間の底質は瀬の底質にくらべて IL などがやや高いが、水質が改善されたために悪化することはなく、また降雨時の増水による掃流効果も寄与していると思

表－５　　付着物の結果　　：　平均値±標準偏差

St.　地点名	付着量　(g/㎡)	ＩＬ　(%)	T-P　(mg/g)	Chl.a　(mg/g)
1　草木橋下流	391　± 413	11.5　± 7.0	1.96　± 1.55	0.56　± 0.45
2　クリニック横	32.3　± 7.4	31.5　± 8.6	5.14　± 0.61	3.23　± 1.73
3　赤坂橋	18.5　± 8.0	28.1　± 9.4	4.80　± 2.83	3.48　± 1.88
4　鍋屋橋	23.4　± 10.6	36.7　± 5.7	6.25　± 0.76	2.44　± 2.53
5　一丁田下橋	64.2　± 39.6	17.4　± 1.8	2.82　± 0.37	1.41　± 0.47



図－５　　付着物のおもな結果

われた。

これらから今後の河川改修では、多自然川づくりの方針に基づくことが基本となる [10] が、水生生物の良好な生息環境を維持するために、降雨による掃流作用で河床環境の良好さが保たれるような視点が求められる。

なお、今回の調査地域のうち、St. 1～３間は平成 18 年度上期に再び河川改修された。その区間の現在の様子を「横浜市の水防災情報」ホームページ上で垣間見ることができる（http://mizubousaiyokohama.jp/yokohama/）。河川監視カメラの画像は**写真－２**の風景を上流の橋（四ッ谷橋）から見た構図である。

文　献

１）樋口文夫、福嶋悟、宇都誠一郎：大岡川の河川構造物が魚類流程分布に与える影響に関する調査報告、29、30－57（2005）.

２）小市佳延、福嶋悟、樋口文夫、下村光一郎：分水路取水庭の河川機能に及ぼす影響に関する研究、横浜市環境科学研究所報、30、10－19（2006）.

３）（財）リバーフロント整備センター：まちと水辺に豊かな自然をⅢ－多自然型川づくりの取り組みとポイント、山海堂、113－119（1997）.

４）環境庁：底質調査方法、2－4（1998）.

５）J.D.H.Strickland, T.R.Parsons：A Practical Handbook of Seawater Analysys, *Bull.Fish.Res.Bd.Can.*, 167, 185-192(1972).

６）小市佳延、福嶋悟：都市河川における自浄作用（第４報)－和泉川－、横浜市公害研究所報、14、97－103（1990）.

７）初貝留美、福嶋悟、小市佳延：都市河川における水質調査（第２報)－和泉川－、横浜市環境科学研究所報、18、53－62（1994）.

８）横浜市環境創造局：平成 16 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、141（2006）.

９）小市佳延、福嶋悟、初貝留美：都市河川における河床汚濁物質の動態調査（第３報)－和泉川－、横浜市環境科学研究所報、19、89－96（1995）.

10）国土交通省河川局：多自然川づくり基本方針（2006）.

瀬谷猿窪公園および寺ノ脇の水辺の水域生態系

福嶋　悟、 樋口文夫、 小市佳延、 下村光一郎（横浜市環境科学研究所）、
澤木　勉、 米森由佳（横浜市瀬谷土木事務所）

Aquatic ecosystem in Seya - Mujinakubo Park and Teranowaki Riverside Park

Satoshi Fukushima, Fumio Higuchi, Yoshinobu Koichi, Khoichiro Shimomura,
(Yokohama Environmental Research Institute) , Tsutomu Sawaki and
Yuka Yonemori (Seya Public Works Branch Office)

キーワード ： 地区公園、河川、整備・管理、生態系、保全・再生

要　旨

瀬谷猿窪公園では多様な生物群集が生息する公園の水路環境を維持・保全するため、雨水浸透マスの設置、湧水池と水路の浚渫、樹木の間伐などの整備が行われた。和泉川では寺ノ脇の水辺整備が行われ、瀬谷猿窪公園と一体化した自然環境が整備された。このような整備が生物群集に及ぼす影響あるいは効果を明らかにするための調査を行った。その結果、公園内ではホトケドジョウやオニヤンマなどが生息し、源流部に特徴的な生物群集が保全されていることが確認された。新たに造成された寺ノ脇の水辺の水路には、公園の水路からホトケドジョウやヤマトヌマエビが分布を拡大した。和泉川では整備事業の前に多く生息していたアブラハヤやオイカワが、整備後にも多く確認され、生物群集の回復が示された。しかし、寺ノ脇の水辺整備に伴い、公園の水路に生育していたカワモズクは生育しなくなった。

１．はじめに

瀬谷猿窪公園では、公園内水路の生態系の維持、生物多様性の保全・回復を目的にした整備の一環として、湧水の枯渇を防ぎ、水路流量の維持・増大のために、公園内に雨水浸透マスを設置した。水路における生物生産の向上を目指して、水路周辺の樹木の間伐を行った。また、池と水路環境の維持のため、土砂が堆積した湧水池と水路の一部で浚渫を行い、間伐材を斜面に設置して土砂流入を減少させた。

瀬谷猿窪公園の湧水は、公園内を水路となって流れているが、公園区域外では道路の下を暗渠となって流れて和泉川に流入していた。寺ノ脇の水辺として新たに整備された、和泉川と瀬谷猿窪公園に挟まれた部分には、それまで暗渠を流れていた公園の湧水が、水路を流れるように整備され、この部分には小規模であるが池も配置された。寺ノ脇の水辺整備により公園と寺ノ脇の水辺は一体の自然環境となった。

本研究は、瀬谷猿窪公園および和泉川の整備に伴う生物の分布状況の変化を明らかにし、今後の公園、河川の維持管理、整備のための基礎資料を得ることを目的に行った。

２．対象地域および調査地点

調査は瀬谷貉窪公園（瀬谷区阿久和西三丁目 52－６、地区公園、公園面積 43,216 平方メートル）内の湧水の池と水路、公園近くの小水路、瀬谷猿窪公園に隣接して整備された寺ノ脇の水辺の水路、和泉川の寺ノ脇の水辺整備区間を対象として実施した。

水質等の環境概要と生物の調査地点として、瀬谷猿窪公園内では湧水の池（MU-1）、そこから流れる水路（MU-2、MU-3）、瀬谷猿窪公園に隣接して整備された寺ノ脇の水辺水路（MU-4）、公園近くの小水路（MU-6）、和泉川の寺ノ脇の水辺整備区間（MU-7）に合計６地点を設定した（**図－１**、**写真－１～写真－10**）。また、トンボ類の成虫調査は公園区域と寺ノ脇の水辺の水路部分を対象とした。

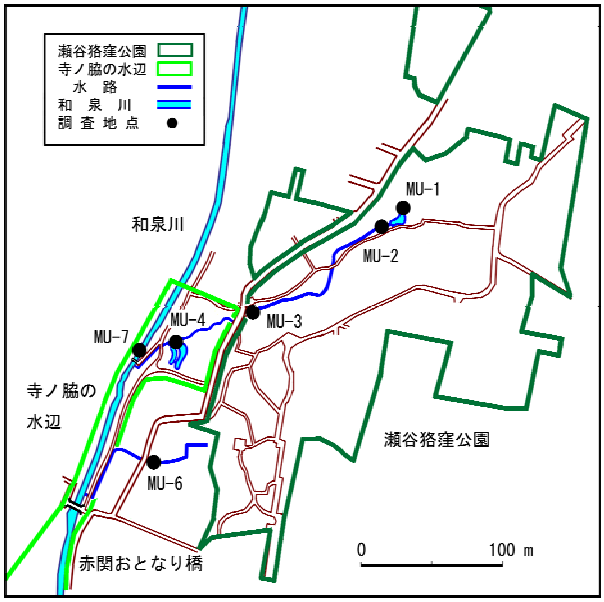
水質と水生生物の現地調査は 2005 年 10 月と 2006 年１月に２回実施し、カワニナの確認調査は 10 月にのみ行った。トンボ類成虫については 2005 年８月、９月、10 月に調査を行った。

本調査で対象とした地点は、2003 年に実施した調査[1)]と原則的には同じであるが、本調査の MU-4 は、新たに整備された部分に移動し、環境概要と魚類を対象とした和泉川の MU-7 は 2003 年調査時から上流側に移動している。

３．項目と方法

３－１　環境概況

環境概況調査の現場測定では、流量については折れ尺で流れ幅と水深を測定して流路断面を作成し、それと流速（電磁式流速計：ケネック VE10）から算出した。水温と pH は携帯型 pH 計（TOA HM-12P）、相対照度は水面と裸地の照度を照度計（TOPCON・IM-5）で測定してその百分率として求めた。



図－１　調査地点

写真－１　瀬谷狢窪公園内の湧水の池（MU-1、2003 年８月）、広い水面が維持されている

写真－２　瀬谷狢窪公園内の湧水の池（MU-1、2005 年５月）、土砂流入により水面はほとんどない

写真－３　瀬谷狢窪公園内の湧水の池（MU-1、2005 年６月）、土砂の浚渫

写真－４　瀬谷狢窪公園内の湧水の池（MU-1、2005 年 10 月）、土砂の浚渫により池の水面が維持されている

写真－５　瀬谷狢窪公園内湧水の池（MU-1）に見られる地下水の湧出（2003 年８月）

水質項目で、BOD（生物化学的酸素要求量）は採集した水を冷暗所に保持し、研究室で JIS K-0102 のウインクラーアジ化ナトリウム変法により分析を行った。TIN（全無機態窒素）は、メンブランフィルター（Millipore HAWP 04700）で濾過した水の、NH_4-N（アンモニア態窒素）はインドフェノール青吸光光度法、NO_2-N（亜硝酸態窒素）と NO_3-N（硝酸態窒素）は Dionex DX-120 で測定し、NH_4-N 、NO_2-N 、NO_3-N 濃度を合計して求めた。

底質の強熱減量は、表層約５cm の底泥を採取し、粒径

写真－６　瀬谷狢窪公園内の水路
（MU-2 下流側、2004 年１月）

写真－７　瀬谷狢窪公園内の水路
（MU-3、2003 年 10 月）

写真－８　寺ノ脇の水辺に造成された水路(2005 年 10 月)

写真－９　寺ノ脇の水辺整備前の和泉川
（MU-7、2005 年５月）

写真－10　寺ノ脇の水辺整備後の和泉川
（MU-7、2005 年 10 月）

２㎜以下の底質を 600℃で２時間維持した前後の重量から求めた。

３－２　水生生物

魚類と大型甲殻類はタモ網（D フレームネット、編目 0.6mm）、投網（16 節、900 目）と小型トラップで採集した。各地点における個体数の相対的な比較ができるように、10 月と１月の調査時で、それぞれの地点における調査範囲、トラップの数等を統一した。水路での採集はタモ網のみで行った。両調査時で採集された個体を合わせた数を採集個体数とした。

底生動物は D フレームネット（編目 NGG40）、サーバーネット（NGG54）、サデ網により定性的に採集した。採集された大型個体（トンボ類幼虫、ヘビトンボ類、カワニナ等）で、現地で種類の同定が可能なものは、種別に個体数を記録して放流した。また、持ち帰った試料から、底生動物を選別し、10 月と１月の調査結果から種別に相対出現率を求め、その平均値を出現率とした。カワニナは 10 月に１m^2の枠内の肉眼で識別可能な個体を全て採集し、他に枠外の周辺部分で大型個体の個体数を計数し、両者を合わせてカワニナの個体数とした。

カワモズクについては、現場での出現状況から相対的に３段階で生育量を記録した。

３－３　陸上動物

陸上動物で対象としたのはトンボ類のみである。瀬谷狢窪公園の水路沿いから高台の平地部分、寺の脇の水辺との境界部、公園外の一部の範囲を、午前８時から日没までの間ルートセンサスにより調査を行い確認されたトンボ類の個体数を記録した。一部の個体は網で捕獲して種類を確認した。

表－１　環境状況概要

	MU-2				MU-3				MU-7(和泉川)			
	2003年		2005年		2003年		2005年		2003年		2005年	
	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季
流　量(l/s)	4.0	1.7 >	2.0	0.4	3.6	1.3 >	2.2	0.7	232.8	19.6 >	49.5	5.2
水　温(℃)	19.1	16.6 >	17.2	10.4	16.8	9.6 >	17.5	7.6	17.4	8.4 <	18.5	11.8
pH	6.2	6.0 <	6.4	7.3	7.0	6.7 <	6.8	7.6	7.4	7.2 >	6.8	7.3
BOD(mg/l)	0.2	0.7 ≒	0.5	1.1	0.7	－ ≒	0.8	1.6	1.1	－ ≒	1.2	1.6
TIN(mg/l)	12	14 ≒	13	12	11	12 ≒	12	12	7.3	5.2 ≒	6.6	4.6
底質強熱減量(%)	26	24 ≒	21	22	26	17 >	17	14				
相対照度(%)	－	1 <	0.5	39	3	28 <	0.6	42	95	78 ≒	95	96

４．結果と考察

本研究の結果については、2003 年に行われた調査の結果[1)]との変化に視点を当て、とりまとめた。2003 年から本調査までの間に、瀬谷狢窪公園では 2004 年に雨水浸透マスの設置、2004 年と 2005 年に樹木の間伐、2005 年に水路と湧水池の浚渫などが行われた。また、2005 年には和泉川と隣接地で寺ノ脇の水辺整備が行われた。本調査の開始時には、公園内における樹木の間伐以外の整備はすべて終了していた。

４－１　環境概況

瀬谷狢窪公園では、公園内の谷戸部分で地下水が湧き出し、湧水の池が形成されている。池の水は池縁の斜面部分で地表に湧き出したもの、池奥の谷戸を表流水として流れてきたもの、池内で湧出するもので維持されている。横浜市内で、池の底で地下水が砂を巻き上げて湧き出す様子は、ここだけで見られるものである。

池の水は公園に接する道路まで、0.2～0.6ｍ幅の水路となって流れ、新たに整備された寺ノ脇の水辺を横切り、緩傾斜のコンクリート水路を通って和泉川に流入している。水路と和泉川の環境要因は**表－１**にまとめたが、水路の流量は池下流の MU-2 で 10 月には 2.0 l/s であったが、１月は 0.4 l/s に減少した。MU-3 では両調査時とも水量は MU-2 より僅かに増加し、MU-2 から MU-3 までの間で湧水の流入があることを示している。2003 年の同じ時期の流量は 2005 年より多かった。2003 年以降に雨水浸透マスが新たに公園内に設置されているが、2003 年の降水量は 2005 年より多く、雨水浸透マス設置の効果を確認することはできなかった。このような効果を検証するためには、瀬谷狢窪公園周辺にいくつかある規模が類似した湧水との長期的な比較検討が必要となる。

和泉川の寺ノ脇の水辺における流量は、10 月に約 50 l/s であったが、渇水期の１月には約十分の一程度まで減少した。和泉川の流量も瀬谷狢窪公園を流れる湧水のそれと同じように、2003 年に比べて少なかった。

2003 年と 2005 年の調査で、冬季における和泉川の水温を比べると 2003 年に低い。両調査年におけるそれぞれの地点での測定時刻は類似していることから、2003 年の調査時の気温が低かったために、放射冷却による水温の低下が大きくなったと考えられる。湧水池のすぐ下流側に位置する MU-2 で測定された冬季の水温は和泉川とは逆に、2003 年が明瞭に高かった。瀬谷狢窪公園で年間４回測定された湧水の平均水温は 15.5℃で、河川の水温に比べて各測定時の温度幅は小さく[1)]、湧水の特徴を示している。2003 年と 2005 年の MU-2 で測定された水温の相違は、流量に示されているように、湧水量が少ないことを反映している。

和泉川は開けた場所を流れているが、瀬谷狢窪公園の水路は樹林の中を流れているため、相対照度に示されているように、年間を通して直射日光があまり当たらない環境となっている。2005 年の 10 月と１月の調査時の間に、水路に沿った部分に生育した杉などの樹木が間伐され、水路にある程度の日射が当たるようになったため、2005 年冬季の相対照度が大きくなった。また、冬季の pH も 2005 年に高くなり、日照条件が良くなったことによる水路の藻類生産が大きくなっていることを示している。

瀬谷狢窪公園内を流れる水路の底質は全体的に砂で、一部で砂の堆積により水は伏流していた。池の浚渫時にこの区間の土砂も取り除いた。2005 年に水路下流部の MU-3 の強熱減量は小さくなり、上流側の MU-2 では両年の割合は類似しているが、僅かにその減少が見られる。強熱減量のこのような変化は、降雨時における流量の増加により有機物が掃流され、比重の大きな砂には流量増加の影響が小さいことによると推察される。

瀬谷狢窪公園では水路あるいは水路周辺の小規模な環境整備により、測定したいくつかの項目に変化が見られたが、BOD と TIN は環境整備の前後で変化はなかった。和泉川の MU-7 で測定された BOD 濃度は低く、流量が減少するために BOD 濃度が高くなる冬季においても、公園内を流れる湧水の BOD 濃度と同じであった。過去に和泉川では、流域の市街化による排水流入量の増加と、多くの畜舎からの排水が流入していた。和泉川では 1980 年代中途の BOD は夏季と冬季の平均値で 40mg/l を超えており、1990 年には 20mg/l 程度だったが、1990 年代中途には 5 mg/l に低下し、最近も低下傾向が進んでいる[2～5)]。また、和泉川の BOD が 20mg/l 程度の頃に、本調査地点より上流で秋季から春季にかけて測定された BOD は、５～10mg/l 程度の時期もあったが、冬季には 30mg/l を超え[6)]、本調査地域を含めた和泉川の広い範囲で明瞭に水質は汚濁していた。このような水質の回復は、流域における下水道の普及により、河川に流入する排水が減少したためである。横浜市内の河川では流域の下水道普及により、河川を流れる水量は減少する傾向が示されている[7)]。和泉川の流域には多くの湧水点が分布しているが、川沿いに形成された谷底が良好な帯水層である相模野礫層まで達する谷戸地形を形成しているためである[8)]。瀬谷狢窪公園の水路の流量は 2005 年 10 月には和

泉川の流量の４％を、１月には８％を占め、和泉川の流量維持に大きく寄与している。瀬谷猿窪公園の周辺では、他にも湧水の流れが和泉川に流入しており、それ以外にも、湧水が和泉川に流入している部分も多くある。和泉川の流量を維持するために、このような湧水の背景となる樹林の保全が望まれる。

４－２　魚　類

出現魚種は、コイ科のオイカワ、アブラハヤ、モツゴ、ドジョウ科のドジョウとホトケドジョウ、メダカ科ではメダカの６種類であった（**表－２**）。環境省はホトケドジョウを絶滅危惧ＩＢ類、メダカを絶滅危惧Ⅱ類に指定している[9]。神奈川県は両種とも危惧種Ｆとしている[10]。

瀬谷猿窪公園内の湧水池 MU-1 と、水路 MU-3 の比較的水深があり、隠れ場のあるところからホトケドジョウが出現した。これらの地点では、2003 年にもホトケドジョウが出現しており、採集個体数から、生育密度に変化はほとんどないことが推察される。本種は寺ノ脇の水辺の水路 MU-4 でも出現し、新たに造成された水環境にも、ホトケドジョウは早期に分布を拡大することが示された。MU-4 では新たにドジョウも出現した。

和泉川では寺ノ脇の水辺整備により、流路幅は広がり、水深の深い淵はなくなり、河川形態は単純なものに変化した。和泉川の MU-7 ではアブラハヤとオイカワが多く出現したが、整備以前にもこの両種が多かった。また、整備後に新たにモツゴ、ドジョウ、メダカが出現したが、個体数は少なかった。アブラハヤは 2003 年には主に水深の深い淵に分布していた。水辺整備後には、両側に造成された高水敷に生育する草本類が水面にはりだしたところや、水に浸かって隠れ場となっているところが、アブラハヤの主な分布域となっていた。河川改修による河道の直線化や浅い平瀬になることなどの、河川形態の単純化により、オイカワが増加することが指摘されている[11]。また、横浜市内の河川でも、自然環境が維持されている未整備区間ではアブラハヤが多く分布するが、多自然型の環境整備によりオイカワが多く分布するようになったことが明らかにされている[12]。寺ノ脇の水辺における魚類の分布状況は、整備前に比べてほとんど変化しなかったが、その要因として、高水敷とそこに生育する草本類が挙げられる。しかし、このような環境は安定した生息空間ではない。河川の安定した魚類の個体群と多様な群集を維持・再生に、整備されていない部分の存在が重要であることが指摘されている[12]。

和泉川から寺ノ脇の水辺に造成された水路までの間は、落差が約２m、暖傾斜の水路となっているが、三面

表－２　魚類採集個体数

		瀬谷猿窪公園		寺ノ脇の水辺 新規造成	寺ノ脇の水辺 和泉川
		MU-1	MU-3	MU-4	MU-7
フナ属	2003年			－	1
Carassius sp.	2005年				
オイカワ	2003年			－	19
Zacco platypus	2005年				25
アブラハヤ	2003年			－	36
Phoxinus lagowskii steindachneri	2005年				33
モツゴ	2003年			－	
Pseudorasbora parva	2005年				1
ドジョウ	2003年				
Misgurunus anguillicaudatus	2005年			＊	1
ホトケドジョウ	2003年	2	2	－	
Lefua echigonia	2005年	1	3	1	
メダカ	2003年			－	
Oryzias latipes	2005年				1

数値：秋季と冬季の合計採集個体数、＊：他の調査時（夏季）に確認、－：2003年整備

表－３　大型甲殻類採集個体数

		瀬谷猿窪公園		寺ノ脇の水辺 新規造成	寺ノ脇の水辺 和泉川
		MU-1	MU-3	MU-4	MU-7
ヤマトヌマエビ	2003年		＊	－	
Caridina japonica	2005年		7	6	
アメリカザリガニ	2003年	1		－	4
Procambarus (*Scapulicambarius*) *clarkii*	2005年			6	6
サワガニ	2003年		4	－	
Geothelphusa dehaani	2005年		1		

数値：秋季と冬季の合計採集個体数、＊：他の調査時（春季と夏季）に確認、－：2003年整備

コンクリート張りで、浅い単純な流れとなっている。この水路は瀬谷猿窪公園と和泉川を結びつけるものであり、生物の移動、分散に重要な場所である。今後、魚類等が遡上していけるかどうか、遡上ができないならば、それを可能にする手立てを検討する必要がある。

４－３　大型甲殻類

甲殻類はヌマエビ科のヤマトヌマエビ、アメリカザリガニ科のアメリカザリガニ、サワガニ科のサワガニの３種類が出現した（**表－３**）。ヤマトヌマエビは、横浜市内で初めて 2003 年に瀬谷猿窪公園で確認されている[1)]。本調査でも公園内の水路で出現し、この水路が安定した生息環境となっていることを示している。

ホトケドジョウが下流に分散して分布を拡大したように、ヤマトヌマエビも下流側の寺ノ脇の水辺で新たに造成された水路 MU-4 に分布するようになった。ヤマトヌマエビは通し回遊性の生活史をもっており、遡上能力は高い種類である[13)]。本種は和泉川の源流域でも出現しているが[14)]、和泉川の中・下流域で本種が確認されたことはなく、自然分布かどうか不明である。

サワガニは公園内の水路 MU-3 で出現し、本調査時と

表－４　底生動物出現状況

		MU-2		MU-3	
		2003年	2005年	2003年	2005年
ウズムシ目	Tricladida				+
カワニナ	*Semisulcospira libertina*	+	+	+	+
マメシジミ属	*Pisidium* spp.	++	+	+	+
エラミミズ	*Branchiura sowerbyi*	+	+		
イトミミズ科	Tubificidae	+		+	+
ミズムシ	*Asellus hilgendorfi hilgendorfii*	+++	+	+++	+
サワガニ	*Geothelphusa dehaani*		+	+	+
オニヤンマ	*Anotogaster sieboldii*	+	++	+	++
ミルンヤンマ	*Planaeschna milnei*		+		+
フサオナシカワゲラ属	*Amphinemura* spp.		+		++
オナシカワゲラ属	*Nemoura* spp.	+	+	+	+
センブリ属	*Sialis* spp.	+			
ヤマトクロスジヘビトンボ	*Parachauliodes japonicus*		+		
シマアメンボ	*Metrocoris histrio*		+		
コガタシマトビケラ属	*Cheumatopsyche* spp.			+	
コカクツツトビケラ	*Goerodes japonicus*		+		
オオカクツツトビケラ	*Neoseverinia crassicornis*		+		+
カクツツトビケラ属	*Neoseverinia* spp.		+	+	+
ウスバガガンボ属	*Antocha* spp.		+		+
ホシヒメガガンボ属	*Erioptera* spp.			+	
クロヒメガガンボ属	*Hexatoma* spp.		+	+	+
Limnophila属	*Limnophila* spp.			+	
ガガンボ属	*Tipula* spp.		+		
ガガンボ科	Tipulidae	+			
ヌカカ科	Ceratopogonidae	++	+		
ホソカ属	*Dixa* spp.	+		+	+
アシマダラブユ属	*Simulium* spp.		+		+
ブユ科	Simuliidae			+	
ケブカエリユスリカ属	*Brillia* spp.		+		++
ボカシヌマユスリカ属	*Maclopelopia* spp.				+
コガタエリユスリカ属	*Nanocladius* spp.		++		+
ユスリカ属	*Chironomus* spp.			+	
ハモンユスリカ属	*Polypedilum* spp.			+	+
Pseudorthocladius属	*Pseudorthocladius* spp.			+	
ヒゲユスリカ属	*Tanytarsus* spp.	+	+	+	+
キザキユスリカ属	*Sergentia* spp.		+		+
ヤマトヒメユスリカ族	Pentaneurini	+	+	+	+
ボカシヌマユスリカ族	Macropelopiini	+++	++	+	+
エリユスリカ亜科	Orthocladiinae	+	+	+++	+
ユスリカ亜科	Chironominae	+	+		+
ユスリカ科pupa	Chironomidae pupa	+	+	+	+
ヒメアブ属	*Silvius* spp.		+		
出現種類数		17	29	22	27

10%以下＋、10～20%++、20%以上+++（10月と１月調査での出現頻度の平均値）

2003 年の分布は共に、公園内の水路に限定されていた。

アメリカザリガニは 2003 年と本調査で、和泉川 MU-7 で出現している。また、本調査では新たに造成された MU-4 でも多く出現した。

４－４　底生動物

底生動物は瀬谷猿窪公園の水路のみを対象に調査し、その結果について 2003 年に得られたデータと共に**表－４**にまとめた。調査で出現した種類は 34 種類で、2003 年に比べて出現種類数は増加し、良好な環境が維持されている源流部に分布する種類が多く出現している。

出現頻度が高かったのはオニヤンマ、フサオナシカワゲラ属、ユスリカ類であった。2003 年にはミズムシが高い頻度で出現していたが、2005 年には明瞭に減少した。ミズムシは腐植物を餌としているが、両年の強熱減量の相違に示されているように、ミズムシの餌となる腐植物が減少したことが、本種の減少と関係している可能性がある。また、肉食性のオニヤンマが増加しているが、食物ピラミッドの上位に位置する肉食性動物が多いことは、餌となる底生動物量が多いことを示している。水路整備により一部分ではあるが浚渫が行われ、湧水池ではほぼ全域が浚渫された。浚渫による底質の搬出は、そこに生息する底生動物も底質と共に除去されることになる。搬出する底質を分散して短期間放置することにより、移動力の大きいオニヤンマ、フサオナシカワゲラ属、カワニナなど多くの底生動物が底質から這い出すことが明らかにされている [15]。瀬谷猿窪公園の湧水池と水路の浚渫では、除去される底質を水際に数日間放置し、底質中の底生動物が生息環境である湧水池や水路に戻れるようにした。このような方法により浚渫を行ったことが、底生動物の豊富さに寄与している可能性がある。

底生動物とは別に、カワニナの生息状況について、公園内の水路と公園外の水路で調査を行った。確認されたカワニナの個体数は、公園内の水路 MU-2 から MU-3 と、公園外の水路で、ほぼ同じで、2005 年に確認された個体数は、2003 年に比べて明瞭に減少している（**表－５**）。

４－５　カワモズク

カワモズク（*Batrachospermum arcuatum*）の出現状況を

表－５　カワニナ確認個体数

		瀬谷猿窪公園	
		MU-2+3	MU-6
カワニナ	2003年秋季	23	41
Semisulcospira libertina	2005年秋季	11	12

数値：確認個体数

表－６　カワモズク出現状況

		瀬谷猿窪公園	
		MU-2	MU-3
カワモズク類	2003年秋季	－	+++
Batrachosphermum arcuatum	2003年冬季	－	++
	2005年秋季	－	－
	2005年冬季	－	－

－：出現せず、++：中位の出現、+++：多く出現

表－６に示したが、2005 年に行った本調査では確認できなかった。2003 年には MU-3 で秋季と冬季に中位あるいは多く生育していることが確認されている。また、2003 年には春季と夏季にも出現し、年間を通して出現している可能性が高いことが指摘されている [1)]。横浜市内でカワモズクが通年観察された帷子川源流域における調査では、水温の上昇により減少するが、良好な日照条件下では年間を通して出現している [16)]。公園内の水路でモズクが生育していたのは MU-3 だけで、ここの生育基盤は、水路の水を道路下に設置された導水管に流すために施設されたコンクリート製のマスであった。公園内の水路の底質は砂であるが、小石が集まった部分もあるが、このようなところにモズクが生育していなかったのは、樹木により日射が妨げられており、日照条件が良くないためと考えられる。

カワモズクの消失は、寺ノ脇の水辺整備に伴う水路の整備により、コンクリートマスが更新されたためである。小規模な整備でも、生息が局在する生物には大きな影響が生じることを、このカワモズクの消失が示している。予めこの地区にカワモズクが生育していることは明らかであり、水路整備方法の変更、あるいは再生が可能な環境の確保と移植などにより、カワモズクの保全が可能で

表－７　トンボ類（成虫）出現状況

		瀬谷猿窪公園					
		2003年			2005年		
		8月	9月	10月	8月	9月	10月
オニヤンマ	*Anotogaster sieboldii*	++	++		++	+	
マルタンヤンマ	*Anaciaeschna martini*	+			+		
ミルンヤンマ	*Planaeschna milnei*	+		+	+	+	
シオカラトンボ	*Orthetrum albistylum speciosum*	+	+		+	+	
オオシオカラトンボ	*Orthetrum triangulare melania*	+	+		+	+	
ウスバキトンボ	*Pantala flavescens*		+	+	++	++	+
コシアキトンボ	*Pseudothemis zonata*	+			+		
コノシメトンボ	*Sympetrum baccha matutinum*					+	
ナツアカネ	*Sympetrum darwinianum*					++	
アキアカネ	*Sympetrum frequens*			+		++	+++
ノシメトンボ	*Sympetrum infuscatum*			+		+	+
種類数		6	4	4	7	9	3

+：1～5個体、 ++：6～50個体、 +++：51個体以上

あったと考えられる。

４－６　トンボ類（成虫）

調査で出現したトンボ類は**表－７**に示したが、11 種類が確認され、公園内の水路で多くの幼虫が生息するオニヤンマ、池などに産卵する停水性のウスバキトンボ、ナツアカネ、アキアカネが多く確認された。2003 年に多く確認されたのはオニヤンマのみで、2005 年には停水性の種類が多く確認されるようになった。このような変化は、2005 年の調査時には、公園に隣接して寺ノ脇の水辺が整備され、池のある開放地ができたことにより、環境の多様性が大きくなったことを反映したものであろう。

５．生態系の保全・再生に向けて

瀬谷狢窪公園については、多様な生物群集が生息する公園の水路管理の基本方針として、現況の環境状況の維持・保全のために、台地部分からの雨水の地下浸透などによる湧水の積極的な確保、落差構造の解消による水生生物の移動可能な水路とすること、水の流れが阻害されるような土砂の堆積が生じないようにすること、日照の確保のために枝打ちをすること、水生動物の餌を供給するため杉の伐採、落葉広葉樹を植栽することなどが挙げられた[1)]。和泉川における寺ノ脇の水辺整備では、瀬谷狢窪公園と一体化した多様な自然環境が形成されるようにするため、公園の水路との水面の連続性を確保し、河川の水辺部分を植物帯の発達が可能な構造とすることが提案された[1)]。その後、瀬谷狢窪公園では基本方針に基づいて生態系の維持に向けた整備が進められ、寺ノ脇の水辺整備事業にも提案が盛り込まれた。

本研究はこのような整備の効果を明らかにするために行われた。その結果、公園内では多様な生物群集が保全されていることが確認された。また、新たに造成された寺ノ脇の水辺の水路には公園の水路などからの生物の分布拡大、和泉川では生物群集の回復が示された。また、整備による負の影響もあったことも認められた。本調査は環境が整備された直後に行われたもので、各生物群集の遷移を長期的に把握し、整備による変化をより明らかなものとし、得られた知見を水辺の管理・整備に反映する必要がある。

文　献

１）福嶋悟、樋口文夫、小市佳延、下村光一郎、水尾寛己、赤池繁、中島高志：瀬谷狢窪公園（横浜市）の水域生態系、横浜市環境科学研究所報、**29**、20-29（2005）.

２）横浜市公害研究所：市内河川の水質環境調査結果、横浜の川と海の生物（第４報）、横浜市公害対策局、37-56（1986）.

３）水尾寛己、樋口文夫、福嶋悟、畠中潤一郎：河川の調査地点の環境概況、横浜の川と海の生物（第６報）、横浜市環境保全局、41-68（1992）.

４）倉林輝世、福嶋悟、水尾寛己、樋口文夫：横浜市内河川の水質環境、横浜の川と海の生物（第８報・河川編）、横浜市環境保全局、37-67（1998）.

５）福嶋悟、樋口文夫、水尾寛己、阿久津卓：横浜市内河川の水質環境（2002～2003 年）、横浜の川と海の生物（第 10 報・河川編）、横浜市環境保全局、39-49（2004）.

６）横浜市環境科学研究所：キショウブによる水質浄化法－実験報告書、121pp.（1994）.

７）福嶋悟：横浜市内河川の水環境変化、横浜の川と海の生物（第９報・河川編）、横浜市環境保全局、55-70（2001）.

８）横浜市下水道局河川部河川計画課・社団法人雨水貯留浸透協会：平成７年度和泉川等水循環再生構想策定調査委託報告書、129pp.（1996）.

９）環境庁自然保護局野生生物課・編：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 －レッドデータブック－ ４ 汽水・淡水魚類、財団法人 自然環境研究センター、東京、230pp.（2003）.

10）神奈川県立生命の星・地球博物館・編：神奈川県レッドデータ生物調査報告書、神奈川県立博物館研究報告、自然科学７号、121-132.（1995）.

11）水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学、築地書館、東京、245pp.（1972）.

12）樋口文夫、水尾寛己、福嶋悟、前川渡：多自然型改修区と未改修区におけるオイカワとアブラハヤの分布様式、全国公害研誌、**22**、139-145（1997）.

13）浜野龍夫、小林健一：徳島県志和岐川に遡上するヤマトヌマエビの生態、*Researches on Crustacea*、**21**、1-13（1992）.

14）樋口文夫：未発表資料.

15）福嶋悟、近藤卓哉、小林紀雄：源流部底質の外気暴露に伴う水生動物の挙動、全国公害研誌、**20**、21-28（1995）.

16）福嶋悟、樋口文夫、水尾寛己、前川渡：横浜市におけるカワモズク（*Batrachospermum moniliforme*）の季節的な出現状況とその分布、横浜市環境科学研究所報、**18**、35-42（1994）.

鶴見川水系における谷戸水路と河川の人工構造物と魚類流程分布との関係

樋口文夫、福嶋 悟（横浜市環境科学研究所）

Relationships between distributions of freshwater fish and artificial structure in the farm canals and channel on Tsurumi River

Fumio Higuchi, Satoshi Fukushima (Yokohama environment science research institute)

キーワード　河川構造物　魚類　ホトケドジョウ　谷戸水路　鶴見川

要旨

谷戸生態系の生物多様性の保全、再生のための基礎資料を得るために、鶴見川流域の谷戸と支川、本川との魚類流程分布と人工構造物との関係について検討した。

対象水域は、A、B 谷戸の 4 水路、小溝には、堰、落差工が設置され、その落差高の平均値は 20cm 以上、流れ幅が 0.2～1.8m であった。谷戸水路と支川 C との合流点は 2 ヶ所あり、１m 以上の落差高だった。支川 C には落差工が５ヶ所、可動堰が 1 ヶ所であった。水温は谷戸水路では AR、ＢＲの水路で低かった。

出現した魚類は、6 科 17 種、魚種別の採集割合は、谷戸水路ではホトケドジョウが 90%、池ではモツゴが高い割合、C はオイカワが 40%、カワヨシノボリが 24%の高い率であった。魚類別の流程分布は、ホトケドジョウが小溝、水路に広く分布し、春から夏にかけて C の下流まで分布を広げていた。アブラハヤは C と本川 D の合流点、オイカワが C と D までの分布範囲を示していた。カワヨシノボリは C と水路下流まで分布していた。ホトケドジョウの体長分布の季節変化から、5 月上旬、水路の上流に 2005 年級群が出現し、6 月に中流と C にも同年級群が出現し、生長段階によって移動分散の範囲が異なっていた。谷戸水路の特徴として水田等が少ないために流下する個体も多かった。人工構造物が双方向移動に影響を及ぼしていると思われた。

以上から、地域個体群の保全、再生していくためには、丘陵地、谷戸水路、小溝の保全、水田等の水域面積の拡大、谷戸間の双方向移動を可能にする河川形態、支川と川との関係の修復が必要なことと思われた。

１．はじめに

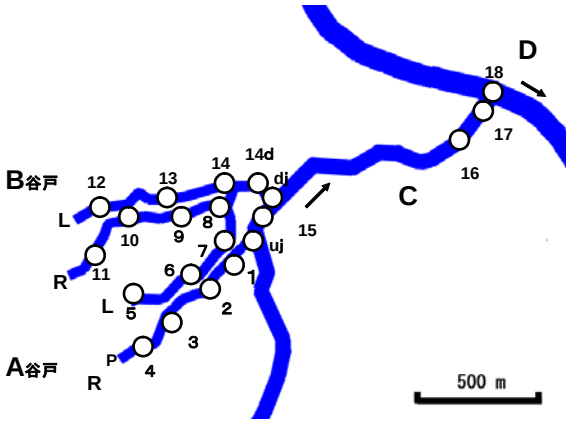
都市近郊に点在する谷戸の丘陵地、水田等の二次的自然は、減少して来たとはいえ農業活動の場であるとともに、都市の中でも生物多様性の高い地域となっている。環境省でまとめた「新・生物多様性国家戦略」[1)]の中でも、生物多様性を考える上で、里地里山の二次的自然環境の重要性を指摘している。また、農村部では、水田稲作が環境保全に果たす役割に注目し、ため池、水田、水路等を活用して自然環境の回復、保全、圃場整備等で魚類の生息を考慮した農業水路の整備、改修方法、魚道の構造、設置等について検討されるようになってきた[2、3)]。

しかし、水田、水路等の水域に関した調査報告は、平野部における魚類の生活様式等について解析した報告が多く[4～8)]、丘陵地にある谷戸田と水路等に関する調査報告はあまりない。これらのことから、本報告は、地域的特徴をもった谷戸生態系を保全、再生していくための基礎資料を得るために、人工構造物の形態と魚類の移動分散様式について解析した。

２．材料と方法

調査水域の概況は、鶴見川水系は、１級河川、流路延長約 42km、流域面積 235m^2、源流域は町田市の多摩丘陵地にあり、流域から市内では 12 の支川が流入する。今回対象とした調査水域は、標高が最大で約 70m の丘陵地に囲まれた隣接した２谷戸で、東あるいは東北方向に開かれている。丘陵地の植生は、クヌギーコナラ林、スギ・ヒノキ・サワラ植林等の二次林であった。谷戸平野域は、果樹園、畑や耕作放棄地が多く、平均水田面積は平野域の約 15%、A 谷戸が 18%（0.6ha）、B 谷戸が 13%（0.7ha）と少なかった。谷戸水路は支川Ｃに２ヶ所で合流し、本川Ｄへと流入する。

調査地点を**図－１**に示した。A、B 谷戸の左右の水路と池、流入する支川と鶴見川の各水域に 23 地点を設定した。A 谷戸の北向き丘陵下を流れる AR（右水路）に 5 地点（ST.１、２、３、４）、この水路の上流には人工池があり、調査地点 P として加えた。南向き丘陵下の AL（左水路）に 3



図－１　鶴見川流域の谷戸水路と川の調査地点

地点（ST.５、６、７）を設定した。また、B 谷戸の北向き丘陵下を流れる BR（右水路）に 4 地点（ST.８、９、10、11）、南向き丘陵下の BL（左水路）に 4 地点（ST.12、13、14、14d）を設定した。A 谷戸の AR 水路は直接支川（C）に、AL 水路はコンクリート三面張り、U 字溝を介して、B 谷戸からの左右の水路に合流して C へと流入する。これら合流する落差下にそれぞれ調査地点（ST.15uj、ST.15dj）を設けた。水路最下流の地点から合流点までの距離は約 100～200m、コンクリート三面張りであった。C では、3 地点（ST.15、16、17）で調査し、鶴見川本川（D）では C と合流する上流、下流の範囲を調査地点（ST.18）とした。本川から谷戸水路間の距離は最大で約 4km であった。なお、調査地点の名称等の詳細については、種の保存の観点から最小限の記載にとどめた。

調査期日は、2004 年 9 月から 2005 年 9 月まで月 1 回の頻度で行なった。調査方法は、D型フレームネット（網目 1.5×1.5mm）、どじょうず（口径 57cm、長さ 57cm　竹製）、投網（16 節、900 目）を用いた。調査は人員２名、調査範囲は約 50m、採集時間は約 20 分であった。採集方法は水路に設置されている堰等で区分された一定の水域を２人で連続的にタモ網を用いて採集した。どじょうずは、2005 年 1 月～9 月、AL、BR、BL 水路の末端落差上、導入部を下流に向け、上流から魚類等が入り込まないように障害物を置いた。設置方法は、前日に３地点と支川に直接流れ込む水路 1 地点の計 4 地点にしかけ、翌日回収した。支川では、タモ網と投網、びんどう（25×34×25mm）を併用して採集した。本川ではタモ網、投網であった。池はびんどうとタモ網であった。

採集した魚は、標準体長をノギスで全数測定し、原則的に測定後放流した。

ホトケドジョウの移動分散調査は、A、B 谷戸の左水路（AL、BL）では、2005 年の 5 月から 7 月の期間で行なった。AL、BL 水路中流の ST.６、ST.13 の地点で採捕した個体について尾鰭をカットして放流した。追跡調査範囲は、AL に補助地点を 6 地点、BL に 9 地点を設定し、放流地点から下流、上流方向に連続的に採集していった。なお、調査するにあたっては、室内飼育個体で尾鰭再生の経過観察を行い、追跡可能期間を推定して行なった。

河川形態等の項目は、河床高度、本川からの距離の測定は、都市計画図 1/2500 の地図をもとにマップメータ（小泉測機社製）で計測した。人工構造物は、下流から上流まで踏査し、1/2500 地図により全ての構造物の位置を記録した。巻尺、折尺を用いて底から上端までを測定し、水深を計測し、その差を落差高（cm）とした。流れ幅（cm）、水深（cm）を各地点で測定した。

水質では、水温（℃）、pH、電気伝導度（μs/cm）（以下、EC）、溶存酸素量（mg/l）（以下、DO 量）、相対照度（%）を月 1 回の頻度で測定し、谷戸水路の流量（l/min）については、同時期に行なった調査結果から引用した [9]。基質性状については、コンクリート、岩盤、シルト、砂泥、小礫（16～64mm）、中礫（64～256mm）、大礫（256mm 以上）の区分をもとに 50×50cm の方形枠で３ヶ所を選定し、目視計測を行なって平均化した。

統計学的解析方法は、正規性の検定を行い、正規性を示さないデータに対しては対数変換、逆正弦変換を行なって解析し、変換を行なっても正規性を示さない場合は、ノンパラメトリック検定のクラスカル・ワーリス、スヒール・ドゥワスの多重比較を用いて解析した。また、生息密度の水域間の比較では、繰り返しのある、ない場合の二元配置法の分散分析とテューキー法による多重比較等を行なった。

３．結果及び考察

３－１．河川形態

谷戸水路と支川の河川形態を**表－１**、本川から谷戸水路までの距離と河床高度をもとに調査地点と人工構造物の位置等をまとめたのが**表－２**、**図－２**である。

A、B 谷戸の水路の形態は、それぞれ長さが A 谷戸の AR、AL が 600m 前後、B 谷戸の BR が 700m、BL が約 900m であった。それぞれの河床勾配は A 谷戸の水路の方が高く、約 1/70、B 谷戸は約 1/80 以上、支川の C は 1/153 であった。水路と川には多くの構造物が設置されており、谷戸水路の AR が 6 基、落差高平均値が 48.7cm、AL が 9 基、落差高平均が 27.4cm、BR が 8 基、落差高平均が 28.5cm であった。BL が 15 基で、落差高平均が 28.5cm で最も多かった。これらは、木製の堰板によって開閉される堰が多かった。AR、AL、BR、BL 水路と C との合流点には落差高の最大値があり、それぞれ 139cm、103cm であった。C には 6 基の落差工があり、落差高平均値が 54cm であった。また、鶴見川合流点から 300m の位置に可動堰があり、落差高が 100cm となっていた。

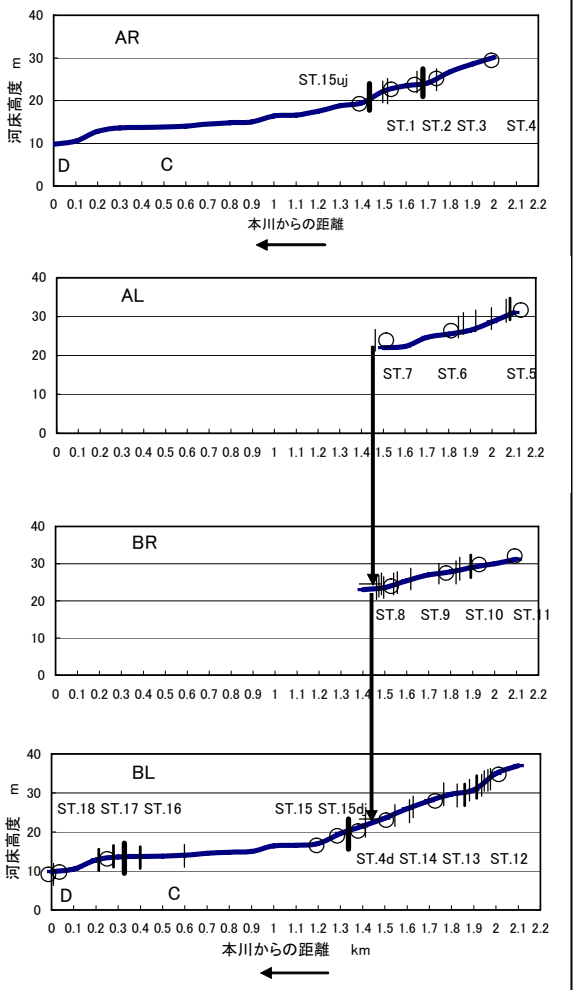
調査地点での流れ幅の平均値は、谷戸水路が 0.5～1.8m の範囲、C が 2.5m、D が 10m であった。水深は、水路が 10～20cm の範囲、C が 25cm、D が約 50cm であった。60%流速の平均値は、水路が 8～25cm/sec、C が 23cm/sec、D が 41cm/sec であった。底質性状の占有率は、水路では砂泥が 50～90%と多く、ついでコンクリート、岩盤であった。C は砂泥、中礫、小礫の順に多かった。統計学的には水域間で差がなく、底質性状間に差を示した（フリードマン検定、$p<0.01$）。護岸構造は、水路の下流から約 50%が石積み、コンクリート、BL の ST.13 を除く他の水路は三面コンクリートとなっている。

表－１　谷戸水路、支川、川の人工構造物の形態、調査面積等

水域	地点名	落差下基質	流方向	距離	河床高度	河川構造物			斜度	川幅	調査面積
	ST.			m	m	高さ cm	水深 cm	落差 cm	°	m	m^2
Cuj		堰		1390		155	16	139		0.8	
A谷戸	1d	堰　木製　引水時期				25	5	20	90	1.5	8.6
AR	1	堰　木製　常時		1465	22.5	75	9.5	65.5	90	1.2	15
	2	埋め込み石3ヶ所　下				15	10	5		1.3	36
		中				13	4	9			
		上				18	4	14			
		落差工（埋め込み石）	↑	1615		120	2	118	20	1.1	
	3d	堰下									18
	3	堰　木製		1705	24.7	24	5	19		1.2	
	3u	ここより上は自然護岸		1755	28.6					1.4	10.4
	4			1980	31					2	40.9
	P（池）			1985						10	12
AL		源流		2155							
	5			2065	31					0.5	13.9
		道路の上				30	1	29			
						30	2	28			
						25	17	8			
	5d	落差工		2040		174	80	94			
	6u			1965	27.9						
		落差工		1920		20	2	18		1.5	
	6		↓	1820							22
		石積段差				16	2	14	65	0.55	
		石積段差				17	3	14	25		
	6d	石積段差低い								1.8	10
	7	鉄の橋下の段差		1595		7	6	1		1	88.3
		11ヶ所に段差				2.5	1	1.5			
	7d	上落差工				13	4	9	35		
		下落差工				18	4	14	40		
	BR合流	段差		1435	22.6	20	4	16	35	0.8	
B谷戸		段差				16	3.5	12.5	40	1.3	
BR		段差上				28	1	27	65	1.2	
		段差中				20	1	19	65	1.2	
		段差下				20	1	19	60	1.2	
	8	段差　コンクリブロック		1440	23.2	22	2	20		1.3	23.3
		下の段差コンクリート				20	9	11	90	1.2	
		上の段差コンクリート	↑			20	2	18	90	1.2	
		木堰		1625		20	2	18		1.25	
	9	木堰		1730	27.6	45	3	42	90	1.3	14.4
		木堰　カワモズク調査		1805		40	1	39	90	1	
		段差（コンクリート）		1815		25	4	21	90	0.8	
	10	木堰		1875		84	2	82	90	1	12.8
		石積段差		1950							
	11	源流		2050	31.2					0.5	15.6
BL		源流　水田上		2140							
	12	水田		1940	30.8						15.5
		上木堰				30	5	25		23	
	12d	下木堰				20	5	15		40	
		土管				25	8	17		59	
		道路の上				12	0.3	11.7			
		道路下				43	14	29		60	
		段差（コンクリート）		1895		60	7	53			
		暗渠									
		木堰				26	3	23			
		段差（コンクリート）	↓	1845		60	8	52			
	13u	暗渠からの出口		1820		20	10	10			
	13	上の木堰				20	2	18			17.5
		下の段差				26	23	3		0.7	
	13d	暗渠からの出口		1640	26.7	20	12	8			
	14uu	コンクリート		1460		65	12	53	90	85	
		木・コンクリート		1456		50	24	26	45	85	
	14u	堰、木				70	22	48	90	0.45	
	14			1440						0.45	23.4
		AL、BRと合流				20	10	10			89.5
	14	引水時木堰設置				30		30	90	1	
	14d			1285	19.5						
Cdj				1215		120	17	103		1.7	
C(支川)	15			1265	18						158.4
				1450	19.3						
				1140	16.6					9	
		コンクリート		665	14.5	53	12	41	15	9	
		コンクリート		440		75	10	65	15	9.2	
		可動堰	↓	320	13.6	100		100	120		
		コンクリート				60	8	52	70		5.7
	16			240	12.8					9	125
		コンクリート				63	11	52	70		4.2
		17の上				60	44	16			
	17			0	9.8					5	56
D(川)											80

表－２　谷戸水路、支川の地形概況

項目	A谷戸		B谷戸		支川
	AR	AL	BR	BL	C
河川延長　m	595	605	700	925	1450
河床勾配	1/70	1/72	1/88	1/82	1/153
全人工構造物数(常時設置)	8	12	12	16	6
落差10cm以上の人工構造物	6	9	8	15	6
落差平均値　cm	48.7	22.3	27.4	28.5	54.3
落差高最大値　cm	139	94	82	103	100
谷戸面積(ha)	3.5		5.6		
水田面積(ha)	0.6 (17.1%)		0.7 (12.5%)		



図－２　谷戸水路、支川、川の河床高度、人工構造物の位置（l）、調査地点、I は 1m 以上の落差

３－２．水質環境

水質項目の水温（℃）、pH、EC（μs/cm）、DO 量（mg/l）、相対照度（%）、流量（l/min）を**表－３**、水温の季節変化を**図－３**に示した。

水温の季節変化は、冬季が 5～10℃、AR と C で低く、D が高い傾向を示した。夏季では 20～25℃の範囲で谷戸水路の AR、BR で低い傾向を示した。全体の平均値では、双方の谷戸の右水路が、左水路に比べて低かった。統計学的には AR と BL に差があった(テューキー法による多重比較、$p<0.05$)。pH は、6.8～9.1 の範囲で、水域間の水路と川では、C が他の水路より高い値を示した（テューキー法による多重比較、$p<0.05$)。電気伝導度は、122～454μs/cm の範囲、水域間では A、B 谷戸水路、C、D の順に高くなっていた（対数変換、テューキー法による多重比較、$p<0.05$)。DO 量は 5.5～14.8mg/l の範囲、水域間では谷戸の左水路より右水路の方が高かったが、統計学的には差がなかった(対数変換、テューキー法による多重比較、$p>0.05$)。同時期に行なわれた流量の調査結果報告 [10]は、各水路で 1～2160L/min の範囲、平均値の比較では AL の水路が多かったが、統計学的には差がなかった（対数変換、テューキー法による多重比較、$p>0.05$)。

相対照度%は、3.3～100%の範囲で、C、D で高く、谷戸水路では左水路より右水路で低かった。源流部の水路間の比較では、4 月から 6 月まで相対照度%が高く、7 月から顕著に低くなっていた。二次林の若葉が光を遮る時期である。統計学的には水域間では AR、BR が他の水路より低く（クラスカル・ワーリス検定、$p<0.01$、スヒール・ドゥワスの多重比較、$p<0.05$)、源流部水路間の 4 月から 8 月の比較では水路間ではなく、月間で差があった（クラスカル・ワーリス検定、$p<0.05$)。

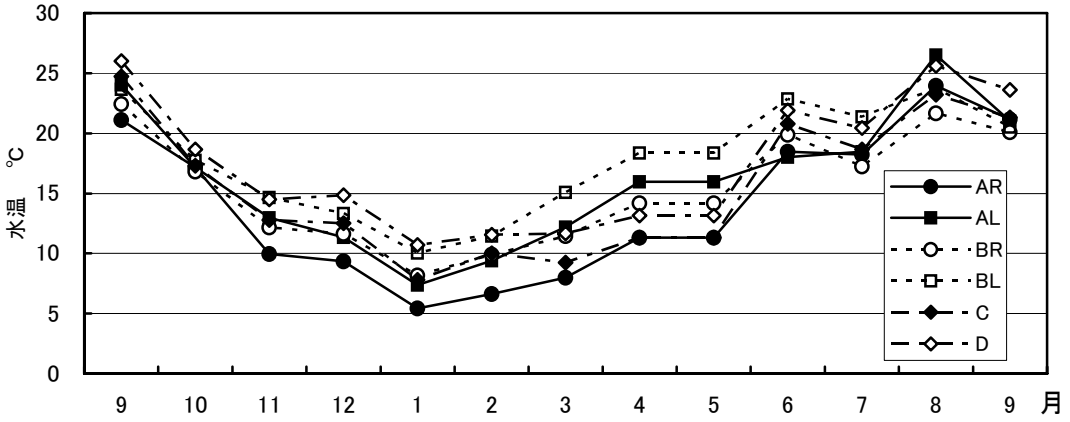
３－３．採集魚類リスト

採集魚類の水域別の出現状況を**表－４**に示した。学名は中坊 [11]、川那部・水野・細谷 [12]に従った。

調査期間に確認された魚種は、6 科 17 種であった。谷戸水路全体では、モツゴ、タモロコ、ドジョウ、ホトケドジョウ、メダカ、ヒメダカ、カワヨシノボリの 7 種、水路別で見ると 2～4 種と少なかった。また、水田内の定性調査では、ホトケドジョウ、ドジョウが確認されている。支川 C ではコイ、ギンブナ、フナ属、オイカワ、アブラハヤ、モツゴ、タモロコ、ドジョウ、シマドジョウ、ホトケドジョウ、ナマズ、ゼブラダニオ、メダカ、ヒメダカ、ブルー

表－３　水域別の水温（WT）、pH、流量、相対照度等の平均値、最小値、最大値

水域	WT(℃)	pH	E.C(μs/cm)	DO量(mg/L)	流量(L/min)	相対照度(%)
AR	14.0(5.1-24.6)	7.3(6.5-9.1)	152.4(122-200)	9.6(5.6-11.6)	398(17-1884)	46.0(0.7-96.8)
AL	16.2(7.0-32.5)	7.2(6.6-8.3)	152.4(131-228)	8.8(5.4-11.0)	201(1-858)	60.4(3.3-100)
BR	15.3(7.8-23.1)	7.4(6.9-7.8)	207.9(157-350)	9.4(7.4-11.4)	315(4-1320)	55.2(1.4-98.7)
BL	17.8(9.6-24.6)	7.4(6.8-8.1)	244.8(139-350)	8.9(5.5-11.4)	706(1-2160)	65.5(13.5-97.4)
C	15.5(7.1-25.7)	7.7(7.2-8.2)	311.7(231-353)	9.7(7.1-14.8)	5321(2130-12720)	87.6(66.7-100)
D	17.4(10.7-26.0)	7.3(7.1-7.6)	395.9(359-454)	-	-	90.5(78.9-100)



図－３　水域別の水温の季節変化

ギル、トウヨシノボリ、カワヨシノボリの 17 種、本川 D はコイ、オイカワ、アブラハヤ、モツゴ、タモロコ、メダカ、トウヨシノボリ、カワヨシノボリの８種であった。

この中でホトケドジョウ、メダカは環境省レッドデータブック[13]で絶滅危惧ＩＢ類、絶滅危惧種Ⅱ類で、神奈川県[14]ではホトケドジョウが絶滅危惧ＩＢ類、メダカが絶滅危

表－４　水域別の採集魚類リスト

	学名		科	種	A谷戸 AR	A谷戸 P	A谷戸 AL	B谷戸 BR	B谷戸 BL	支川 C	本川 D
1	Cyprinidae	*Cyprinus carpio*	コイ	コイ						●	●
2		*Carassius* sp.		ギンブナ						●	
3		*Carassius* spp.		フナ属						●	
4		*Zacco platypus*		オイカワ						●	●
5		*Phoxinus lagowskii steindachneri*		アブラハヤ						●	●
6		*Pseudorasbora parva*		モツゴ	●	●				●	●
7		*Gnathopogon elongatus elongatus*		タモロコ					●	●	●
8		*Brackydanio rerio*		ゼブラダニオ						●	
9	Cobitidae	*Misgurnus anguillicaudatus*	ドジョウ	ドジョウ	●				●	●	
10		*Cobitis biwae*		シマドジョウ						●	
11		*Lefua echigonia*		ホトケドジョウ	●		●	●	●	●	
12	Siluridae	*Silurus asotus*	ナマズ	ナマズ						●	
13	Adrianichthyidae	*Oryzias latipes*	メダカ	メダカ			●			●	●
14		*Oryzias latipes*		ヒメダカ				●		●	
15	Centrarchidae	*Lepomis macrochirus*	サンフィシュ	ブルーギル						●	
16	Gobiidae	*Rhinogobius* sp. OR	ハゼ	トウヨシノボリ						●	●
17		*Rhinogobius flumineus*		カワヨシノボリ				●	●	●	●
				種数	3		2	3	4	17	8

惧ＩＡ類、アブラハヤ、シマドジョウが準絶滅危惧、ナマズは注目種、コイが情報不足であった。タモロコ、カワヨシノボリは国内移入種、カワヨシノボリは神奈川県内で分布の初記録であった（登録番号 KPN-NI001 14394,14395）。ヒメダカは飼育品種、ブルーギル、ゼブラダニオは外来種であった。

生活型区分ではトウヨシノボリの通し回遊魚を除いて、全て純淡水魚であった。

なお、淡水エビ類（十脚目）の採集リストは、谷戸水路と支川でヌマエビ科のヌカエビ *Paratya compressa improvisa*、テナガエビ科のスジエビ *Palaemon* (*P*) *paucidens*、アメリカザリガニ科のアメリカザリガニ *Procambarus clarkii* が確認された。

３－４．採集個体数、生息密度等の季節変化

水域別の採集個体数と割合を**表－５**、代表的な魚種のホトケドジョウ、ドジョウ、オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの月別の生息密度を**表－６、７、８、９、10** に示した。

採集個体数割合は、水路では 90%以上がホトケドジョウで、AR の上流にある人工池ではモツゴが多く出現し、また下流ではドジョウが 5%の割合で採集された。BL は下流でカワヨシノボリが 3%の採集割合を示していた。C は、オイカワが約 40%、カワヨシノボリが 24%、アブラハヤが 16%、ホトケドジョウが 6%の採集割合であった。D はオイカワが 61%、コイが 21%、メダカが 4%の順に高い割合であった。

ホトケドジョウの生息密度の季節変化は、谷戸水路では 12 月～4 月まで低く、5 月より 7 月かけて増加し、8 月、9 月と減少していった。特に、7 月は ST.12 の水田で幼魚を確認した。谷戸水路と C との合流点では、６月に高い密度を示し、他の月は０であった。C では 6 月～8 月にかけて低い密度で出現し、1 月～３月までは出現していなかった。ホトケドジョウが最も下流で出現したのは、C の ST.16 であった。幼魚期に広く移動分散する傾向が示唆される。筆者らも、増水後に谷戸水路の下流に設置されている落差工の直下に多数群れている幼魚を観察している。

統計学的には、繰り返しのある分散分析による解析では、月間と水路間の 2 要素に有意差があり、交互作用がなかった。月間の多重比較は、６、７、８、９月と 10、11、12、１、２、３、４月との間に有意差を示した。水路間の比較では、B 谷戸の方が A 谷戸より生息密度が高く、季節によって異なるが、BL、ＢＲが高く、AR が低かった（対数変換、繰り返しのある分散分析、一元配置法、テューキー法の多重比較、$p<0.05$）。

ドジョウは、谷戸水路の AR で５、9 月に出現し、BL は採集個体数が少なく、あまり明確ではなかった。C でも確認されたていたが、生息密度は低かった。ただし、7 月に ST.12 脇の水田で幼魚を確認し、標準体長の平均値±標準偏差は 24.9±1.0（mm）であった。

オイカワは、C に周年出現し、本川 D で６～10 月まで出現、11～5 月には出現しなかった。D で出現していない時期は、C での最下流の地点の ST.17 で、10～3 月にかけて生息密度が高くなった時期とほぼ一致していた。これは低水温期に、D から移動してきた集団と推測されるが、統計学的には、月間の相互の差より水域間で差があった（対数変換、繰り返しのない分散分析、テューキー法の多重比較、$p>0.05$）。このことに関して D が C に比して水温が高く、直線的な流れ、平瀬が連続するものの淵もあり、その理由については不明である。しかし、鶴見川本川の魚類相調査[15]では、同水域の近い地点で夏期のみに多く採集され、冬期は採集されなかったことから、本川と支川間の季節によ

表－５　水域別、魚種別の採集個体数と割合

	AR		P		AL		BR		BL		C		D		計	
種名	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%
コイ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	11	0.8	38	20.8	49	1.2
ギンブナ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	6	0.4	0	0.0	6	0.1
フナ属	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	51	3.6	0	0.0	51	1.2
オイカワ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	553	38.9	112	61.2	665	15.8
アブラハヤ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	223	15.7	14	7.7	237	5.6
モツゴ	13	2.7	116	99.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	51	3.6	4	2.2	184	4.4
タモロコ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	0.6	52	3.7	5	2.7	61	1.4
ゼブラダニオ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.1	0	0.0	1	0.0
ドジョウ	24	4.9	1	0.9	0	0.0	0	0.0	9	1.3	12	0.8	0	0.0	46	1.1
シマドジョウ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.1	0	0.0	1	0.0
ホトケドジョウ	450	92.4	0	0.0	595	99.8	718	99.6	656	95.1	79	5.6	0	0.0	2498	59.3
ナマズ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.1	0	0.0	1	0.0
メダカ	0	0.0	0	0.0	1	0.2	0	0.0	0	0.0	26	1.8	7	3.8	34	0.8
ヒメダカ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.3	0	0.0	1	0.1	0	0.0	3	0.1
ブルーギル	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.1	0	0.0	1	0.0
トウヨシノボリ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	18	1.3	1	0.5	19	0.5
カワヨシノボリ	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.1	21	3.0	335	23.6	2	1.1	359	8.5
計	487	100.0	117	100.0	596	100.0	721	100.0	690	100.0	1422	100.0	183	100.0	4216	100.0

表－６　ホトケドジョウの水域別生息密度（個体数/10㎡）の季節変化

水域	ST.	9月	10	11	12	'05 1	2	3	4	5	6	7	8	9
AR	1d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.49	0.00	1.16	9.30	17.44	13.95
	1	1.33	1.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.33	2.67	7.33
	2	0.83	0.28	1.11	2.50	4.44	1.39	3.61	1.94	4.17	7.50	4.17	2.78	1.39
	3d	6.67	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78	0.00	1.11	8.89	15.56	3.89	8.89	8.89
	3	13.46	0.96	2.88	1.92	0.00	0.00	0.96	0.00	1.92	16.35	25.00	18.27	17.31
	4	0.49	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	2.69	2.20	1.71
AL	5	2.16	0.72	1.44	2.16	2.16	2.16	2.88	2.88	7.91	2.88	20.14	22.30	10.07
	6	2.27	1.36	2.73	2.27	1.82	5.00	5.91	6.82	16.36	35.45	30.00	25.00	32.27
	7	1.25	0.34	0.23	0.34	0.00	0.23	0.11	0.23	2.49	1.70	2.94	2.27	0.79
BR	8	7.30	2.58	10.73	4.72	0.86	3.00	3.86	2.15	4.72	45.06	61.37	32.62	19.74
	9	13.19	4.17	0.00	1.39	0.00	0.00	2.08	0.00	1.39	15.97	43.06	19.44	10.42
	10	0.00	2.34	0.78	1.56	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	10.94	9.38	6.25	5.47
	11	0.00	0.00	2.56	0.64	1.92	1.28	2.56	0.00	1.92	8.97	3.85	3.21	2.56
BL	12	3.23	1.29	2.58	0.00	1.29	1.94	1.94	0.00	2.58	22.58	19.35	19.35	19.35
	13	9.71	8.00	6.29	5.71	1.71	2.29	2.86	2.86	20.00	20.57	29.71	29.71	22.86
	14	13.11	18.03	9.84	4.10	4.10	7.38	4.92	0.82	7.38	21.31	27.05	28.69	24.59
	14d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	1.01	0.34	0.34
Cj	15uj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.30	0.00	0.00	0.00
（合流点）	15dj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	15	0.00	0.19	0.06	0.13	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	1.14	0.95	0.82	0.82
	16	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.08	0.00	0.00

表－７　ドジョウの水域別生息密度（個体数/10㎡）の季節変化

水域	ST.	9月	10	11	12	'05 1	2	3	4	5	6	7	8	9
AR	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.67	0.00
	2	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.28	0.28	0.56	1.11
	3d	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00
BL	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.57
	14	0.43	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.43	0.85	0.43	0.43	0.00	0.00	0.00
Cj	15dj	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38	0.00	0.00	0.00	0.00
C	15	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00
	17	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.18	0.36	0.36

表－８　オイカワの水域別生息密度（個体数/10㎡）の季節変化

水域	ST.	9月	10	11	12	'05 1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	15	1.26	2.65	2.27	2.46	3.28	1.83	0.32	0.06	0.25	0.25	0.13	0.13	0.44
	16	0.80	0.08	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.16	0.32	0.80	2.08
	17	0.18	1.43	10.71	15.36	15.36	6.79	1.43	0.54	0.18	0.18	0.18	0.54	0.00
D	18	4.13	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.50	1.75	1.75

表－９　アブラハヤの水域別生息密度（個体数/10㎡）の季節変化

水域	ST.	9月	10	11	12	'05 1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cj	15uj	0.00	0.00	0.00	2.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38	4.76	7.14	4.76
	15dj	0.00	7.02	1.75	0.00	1.75	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00	0.00
C	15	0.69	0.57	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.51	0.38	0.44	0.25
	16	0.16	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.08	0.40	0.00	0.00	0.88	2.40	1.52
	17	0.54	0.00	0.18	0.54	0.54	0.54	1.43	0.36	0.36	0.18	2.32	6.07	2.50
D	18	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	1.38	0.38

表－10　カワヨシノボリの水域別生息密度（個体数/10㎡）の季節変化

水域	ST.	9月	10	11	12	'05 1	2	3	4	5	6	7	8	9
BR	8	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BL	14	0.00	0.85	0.85	0.85	0.43	0.00	0.00	0.43	0.43	1.71	0.00	0.43	0.43
	14d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.11	0.22	0.22
Cj	15uj	0.00	0.00	10.53	3.51	1.75	3.51	0.00	8.77	0.00	1.75	3.51	10.53	10.53
（合流点）	15dj	0.00	0.00	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76	0.00	2.38	0.00	2.38	2.38
C	15	2.08	0.82	0.13	0.06	0.38	0.13	0.00	0.00	1.20	0.44	1.20	3.60	1.70
	16	0.64	0.24	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.88	0.24	0.40	0.16	1.12	3.28
	17	0.18	0.36	0.36	0.18	0.18	0.36	0.00	0.00	0.00	0.36	0.36	1.07	1.07
D	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00

る移動分散の可能性が示唆される。

アブラハヤは、C で周年出現し、6 月～9 月にかけて生息密度が高かった。谷戸水路からの２合流点下の平均値では、２～5 月を除く時期で確認され、特に７～9 月にかけて高かった。また、合流点の調査面積が小さかったために生息密度が高い値を示す傾向にあった。統計学的には、季節による変化は明確ではなかったが、水域別の比較は水路と合流点、D との間に差があった（対数変換、くり返しのない分散分析、一元配置法、テューキー法の多重比較、$p<0.05$）。同じ遊泳魚のオイカワに比べて上流水路への移動分散の傾向が推測された。

カワヨシノボリは、C で周年出現し、谷戸水路では A 谷戸の ST.14 と８で確認され、また A 谷戸から C までの水域の三面張りの流れの中でも５、８、９月に確認されていた。また、C との２合流点は、９、10、３月を除いて出現していた。統計学的には、月間で差がなく、水域間の水路と C の合流点と他の水域で差が明確であった（対数変換、くり返しのない分散分析、テューキー法の多重比較、$p<0.01$）。近似種のトウヨシノボリは、C の下流地点で少数出現していた。

モツゴは、谷戸水路の AR の源流部の池に多く生息していた。筆者らの同水域の既存の調査報告、聞き取り情報等からみると移入されたのは、十数年前と推測された。その時、人工池に淡水エビ類のヌカエビ、スジエビ、アメリカザリガニも移植され、AR 水路から他の水域へと分布を拡大させてきたものと推測した。モツゴは AR 下流でも採集されたが、他の水路では確認されなかった。

タモロコは、採集個体数が少ないものの C に多く出現する。谷戸水路の AL 下流で確認されているが、下流から移動してきた可能性は少ないと考える。

メダカは、C に比較的多く出現し、谷戸水路では出現しなかった。ただし、最近の調査では BL で確認された（未発表資料）。

ギンブナは C に出現し、春から夏にかけて幼魚が出現するが、周年を通じて採集個体数は少なかった。

コイは目視観察によって確認されることが多く、C の ST.16 で少数が確認される程度で、上流の ST.15 では確認されなかった。D は、淵等で比較的多く確認された。

ナマズは 1 個体を C の下流地点 ST.17 で確認されたにとどまった。

３－５．体長分布の季節変化

３－５－１　ホトケドジョウ

B 谷戸の BL 水路の５～7 月までの上流から下流までの体長分布変化を**図－4、5** に示した。

調査地点は、定点以外にも補助地点を設定し、上下流（u、uu、d）まで範囲を広げた。調査頻度を 5 月は 2 回であった。体長分布のヒストグラムの級間隔は 2mm であった。

5 月 6 日に ST.12 の源流部の水田脇の地点より下流で、10～15mm にモードがある 2005 年級群が出現していた。ST.13、14 では生息数が少ないが、30～60mm の 2004 年級群のみであった。同月 16 日は、上流では水田脇、その下流水路で 2005 年級群が出現し、下流水路では、同年級群は出現していないが、40～60mm の個体が多く出現していた。

6 月 14 日は、上流で 2005 年級群が 15～30mm までに生長し、下流域でも少数ながら同年級群が出現した。さらに、C まで 20～30mm の山が出現し、出現した最下流 ST.16 でも同範囲の個体が出現し、広く分布していた。

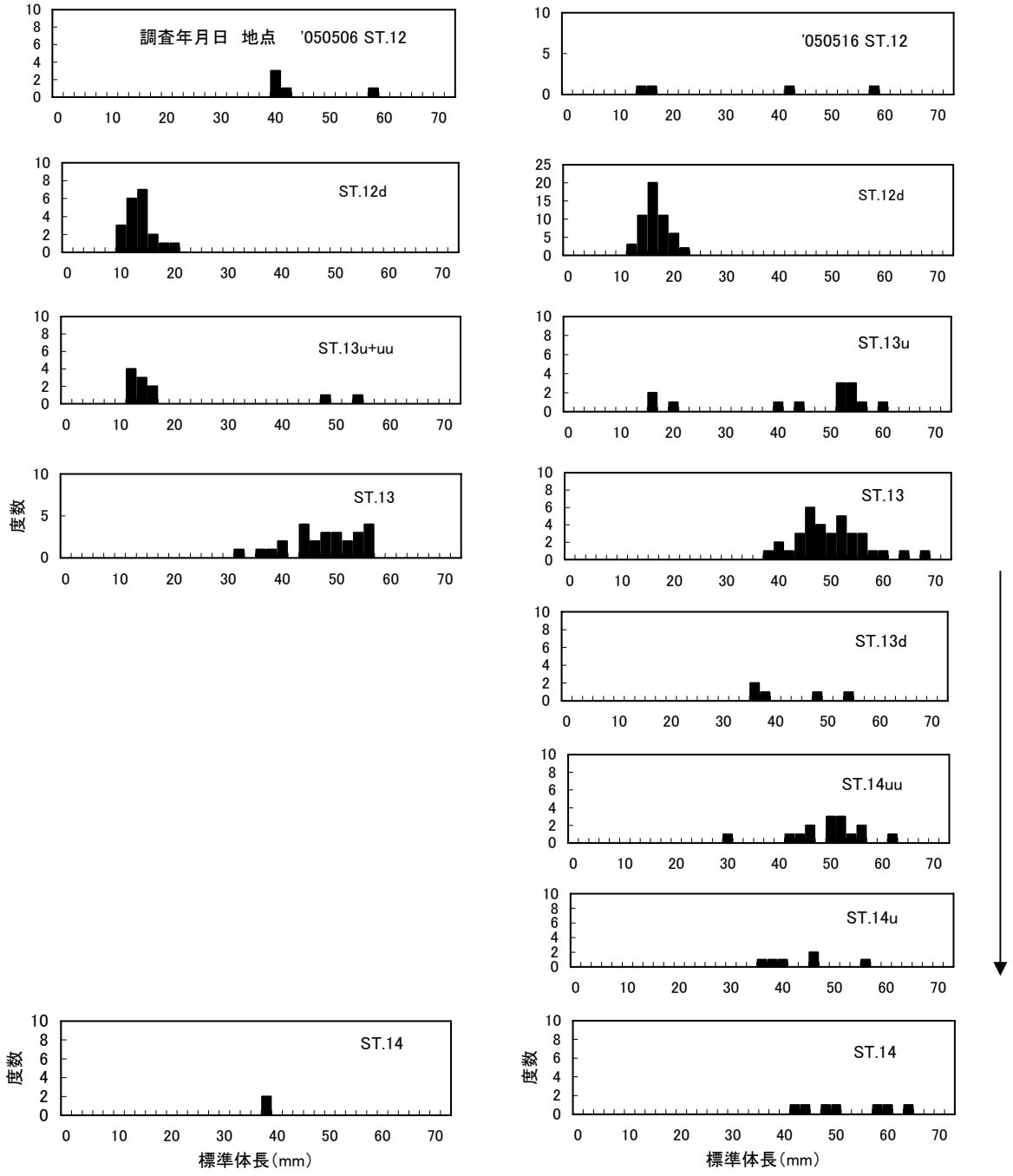
7 月 13 日は、源流部の水田脇水路、ST.12 では、2005 年級群が 30～40mm まで生長した。ちなみに、7 月 22 日に水田内で採集された 7 個体の標準体長の平均値±標準偏差は 28.9±3.3（mm）、いずれも 2005 年級群であった。ST.13 では 2004 年級群とともに明確な山となっていた。下流水路の ST.14 の上では、10～30mm までの広い体長分布範囲を示し、新規加入個体が、まだ出現していることが示唆された。C では、30mm 前後の山があった。

以上、今回、繁殖期を新規加入個体の出現した時期と見るならば 5 月初旬から 7 月と推測される。また、水路の上流で 2005 年級群が繁殖期の初期に出現し、６、７月でも水路中流でも出現していることから、上流から下流に繁殖条件が整った環境があれば繁殖を行なっていると思われる。支川 C での繁殖については不明であるが、体長分布の特徴、谷戸水路から移動分散してきた個体が多いものと考える。

３－５－２　カワヨシノボリ

C の ST.15、16 の体長分布の 5 月～9 月までの変化を**図－６**に示した。

５、６月までは 30～50mm までの成魚のみの山があり、７月に ST.15 で 10～20mm の 2005 年級群が、ST.16 に比して多く出現し、8 月には、ST.15 で 20～30mm の大きな山となった。9 月は、ST.16 で ST.15 に比して 20～30mm の山が大きかった。また、ST.15、16 の瀬にある礫下に卵が確認されており、この国内移入種は C に移入、定着しているこ



図－４　BL 水路のホトケドジョウの地点別体長分布（5 月）、→　流れ方向

とが明らかであった。さらに、鶴見川の魚類相調査等でも他の支川、上流の本川で確認されていることから、広く分布を拡大させていることが推測された[16)]。なお、谷戸水路では ST.14、14d 等で 5 月～9 月まで標準体長 18～53mm の個体が出現していた。

３－５－３　オイカワとアブラハヤ

採集個体数が多かったオイカワが 9 月、アブラハヤが 8 月の体長分布を**図－６（右下）**に示した。

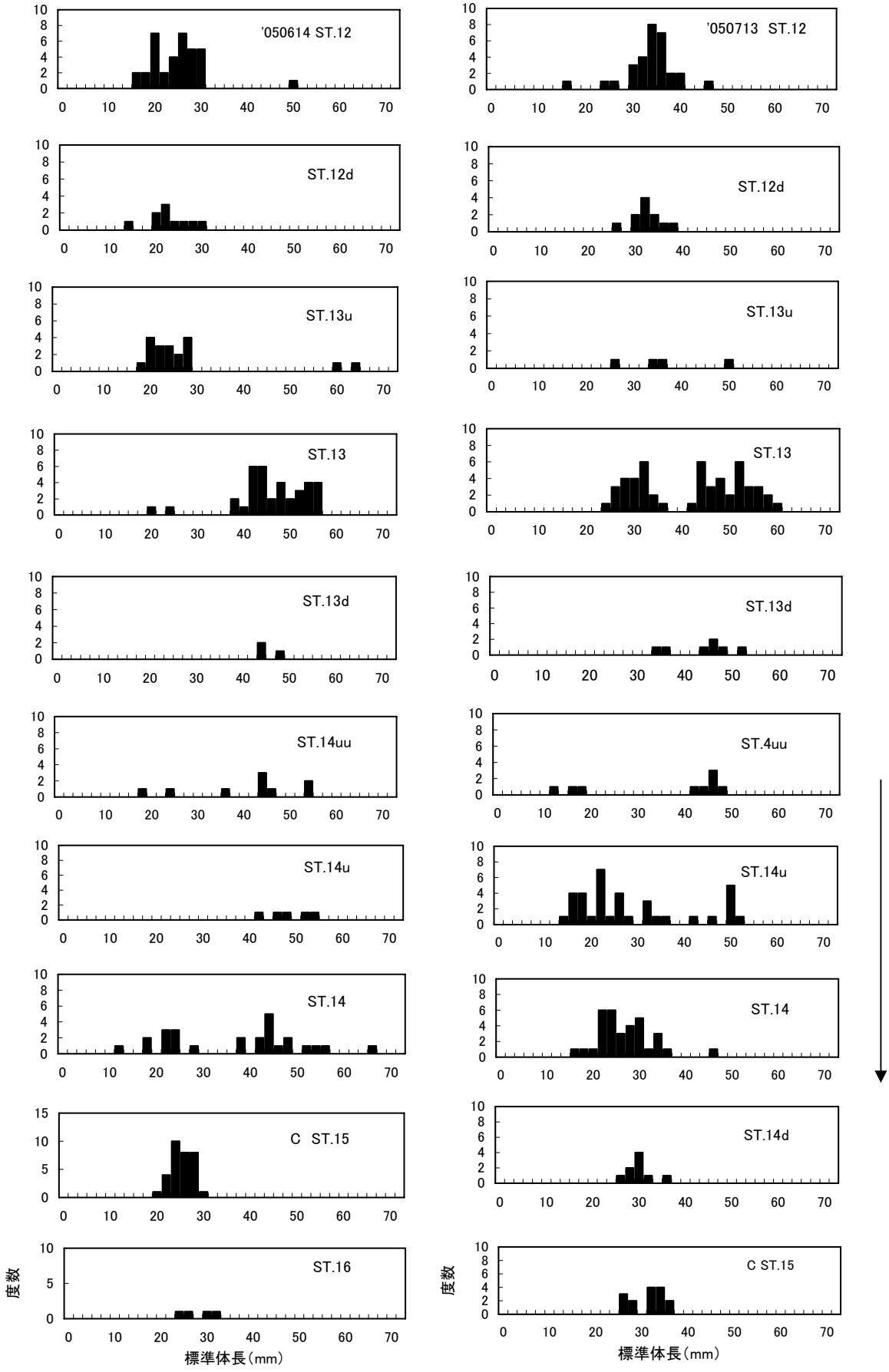
オイカワは、体長の範囲が広く、成魚の個体数が少なかった。標準体長 18mm のモードをもつ山があり、2005 年級群の幼魚が出現しているものと推測する。

アブラハヤは、標準体長 30～54mm が 2004 年級群、12～18mm の小さな山が 2005 年級群と思われ、個体数が少ないもののオイカワと同様に C で繁殖を行なっていることが推測された。

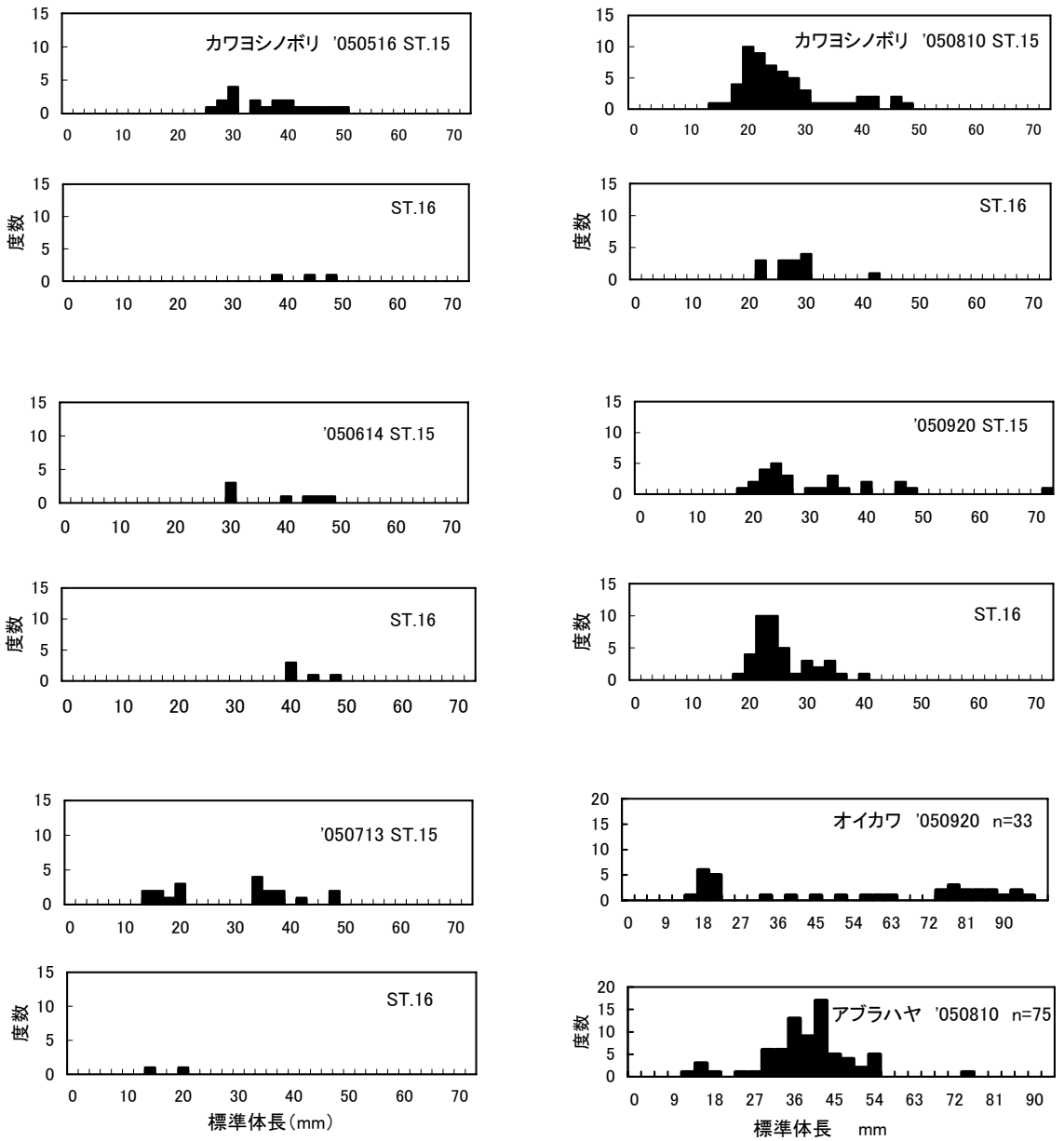
３－６．ホトケドジョウ等の移動分散調査

A 谷戸の AL、B 谷戸の BL でホトケドジョウのマーク個体追跡調査とどじょうずによる遡上調査の結果を**図－７、表－11** に示した。

AL の ST.6 で 60 個体、標準体長±標準偏差が 42.0±10.1（mm）、BL の ST.13 で 70 個体、48.6±7.6（mm）の個体に



図－５　BL 水路、C のホトケドジョウの地点別体長分布（左６月、右７月）



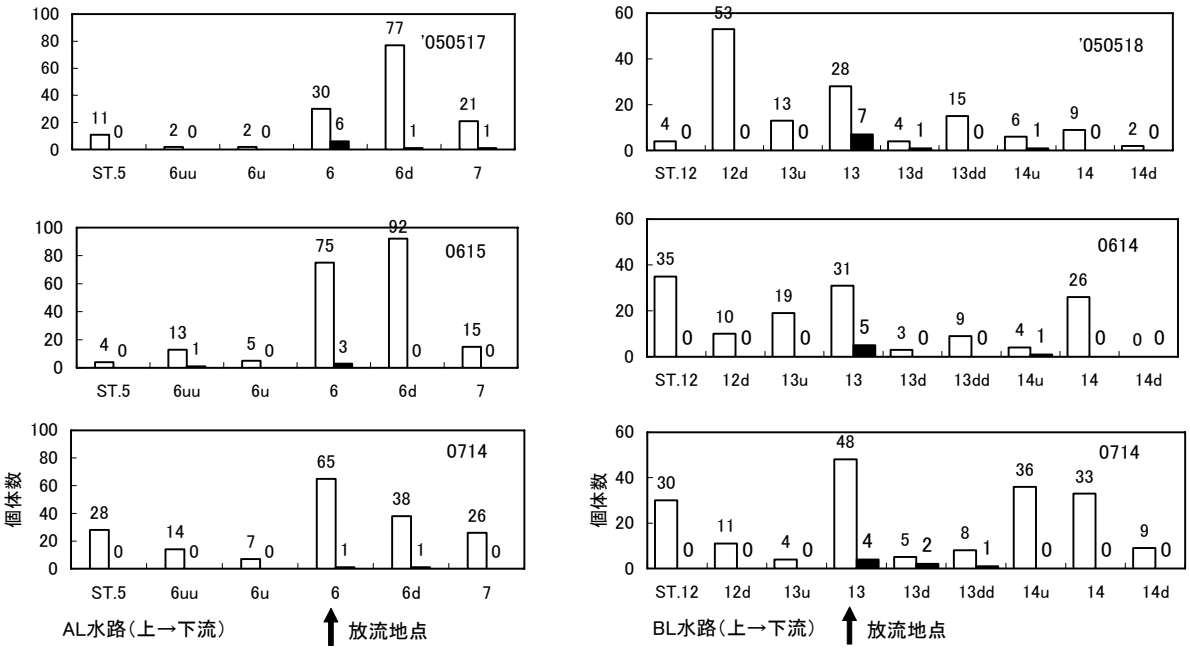
図－６　カワヨシノボリのＣでの体長分布（５月～９月）、オイカワ（９月）とアブラハヤ（８月）の体長分布（右下）

マークした後に放流した。その後、定期的に上下流の水路を採集して、マーク個体の出現状況を追跡した。

AL 水路は、放流後の 12 日目では放流地点に 36 個体中マーク個体が 6、ST.6 の下の地点で 78 個体中 1 個体のみ、1ヶ月後の 6 月 15 日は、上流地点の ST.6uu、ST.6 で 1 個体、2 ヶ月後の 7 月 14 日でも下流に 1 個体だけであった。また、BL 水路は、12 日目で、放流地点の ST.13 で 35 個体中マーク個体が 7、その下流で 1 個体であった。1 ヶ月後、ST.13 で 36 個体中マーク個体が 5、2 ヶ月後、ST.13 より約 100m 下流で 1 個体を確認している。

どじょうずの結果は、AL 水路の ST.7、落差高 16cm の上で採捕個体がなく、下流の U 字溝の連続によって移動が障害されていると考える。BR 水路の ST.8 は、落差高 20cm の上でホトケドジョウが 6 月～9 月まで採捕され、7 月にはカワヨシノボリの標準体長 40mm が採捕された。落差高は高いが、階段上であった。BL 水路の ST.14 は、非潅漑期に C との合流点以外には落差がなくなる。そのため、タモロコ、ホトケドジョウ、カワヨシノボリの 3 種が採捕された。カワヨシノボリは体長 40～50mm 台の個体であった。また、ST.14 と C との間にしかけたどうじょうずには、５、９月にカワヨシノボリ、ホトケドジョウが採捕された。ここは三面コンクリート、中央に U 字溝があり、平均流速は 32.2cm/sec であった。これらの環境要因から判断すると、カワヨシノボリは遡上、ホトケドジョウは流下個体である可能性が大きい。

以上から、ホトケドジョウは、マーク個体放流の AL、BL とも放流地点より下流方向の移動が確認されたが、その距離は短かった。放流地点は生息密度が高い地点、生息



図－７　AL、BL 水路のホトケドジョウのマーク個体（■）の追跡調査（グラフ上の数字は個体数）

表－11　どじょうずによる遡上魚採集結果、上段：個体数、下段：標準体長（㎜）の平均値±標準偏差

水域	ST.	種類	1月	2	3	4	5	6	7	8	9
AL	7	なし	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR	8	ホトケドジョウ	0	0	0	0	0	35 50.3±7.4	9 29.3±2.8	10 51.2±4.1	2 54.3±2.5
		カワヨシノボリ	0	0	0	0	0	0	1 44.7	0	0
BL	14	タモロコ	1 59.1	2 55.6±9.0	0	0	0	0	0	0	0
		ホトケドジョウ	2 51.8±0.1	5 52.7±7.1	0	0	3 57.3±7.5	7 47.5±9.5	0	2 43.9±5.4	0
		カワヨシノボリ	0	0	0	0	1 41.7	3 45.4±3.7	0	1 52.7	0
BL	14d	ホトケドジョウ	0	0	0	0	0	0	0	0	1 41.5
		カワヨシノボリ	0	0	0	0	2 42.4±9.3	0	0	0	1 42

条件が比較的安定していることと上下構造物の位置にも関係していることが推測される。上流方向は、構造物等、落差高が比較的低い時、わずかながらでも移動していくものと推測される。また、どじょうずの結果からは、カワヨシノボリが水路でも確認されていた。体長からするといずれも 2004 年級群の集団と推測される。これらは、遡上してきたか、人為的な影響かは不明であるが、先に指摘したようにＣから遡上してきたものと考える。

３－７．人工構造物と魚類流程分布との関係

これまでの結果をもとに、谷戸水路と支川と川の人工構造物と魚類流程分布との関係についてまとめてみた。なお、水域の代表的な河川形態を**写真－１、２**、ホトケドジョウの遡上行動を**写真－３－１、２、写真－４－１、２**示し、魚類の移動分散様式を**図－８**にまとめた。

A 谷戸の水路は、AR が北に面した丘陵地下を流れ、相対照度、水温が低かった。ST.2 の横には水田があり、引水時には、水路より塩ビ管で導水している。また、同じ水田へは AL からも引水できるようになっており、落差がないことから水田内に容易にホトケドジョウが入り込むことができる。この水路には、下流域は底面が埋め込み石の三面張り、落差高が 20cm 以上の構造物が多く、ST.2 の上流には 1m 以上の斜度 20 の暖傾斜の落差工があった。上流には池があり、モツゴが多く生息し、この水路の下流ではモツゴが少数確認された。この水路は C に直接流入しており、合流点には 1m 以上のオーバーハングした落差があり、支川の魚類が遡上することは不可能と思われた。

AL は、相対照度が高く、水温も AR に比して高かった。

この水路の源流部は耕作放棄地、下流水路との間に約 1m のコンクリートの落差工があるが、下流 ST.6 までには 20cm 以下の落差が一ヶ所あるだけであった。ただし底面がコンクリート、埋め込み石、ST.6 から放流されたホトケドジョウのマーク個体は、この上流で確認されていた。ST.7 まで落差高は 20cm 以下が多かった。また、この地点の出口にどじょうずを設置したが、何も採捕することができなかった。この水路は、B 谷戸の水路と合流するまで U 字溝、三面コンクリートとなっていた。

BR 水路は、相対照度、水温が低かった。源流部は、自然状態に近く、二次林で覆われており、繁殖期の初期の 5 月、6 月までは相対照度が約 90%と高く、7 月より 1/20 まで低くなる。この小溝で 6 月初旬に繁殖場が確認されている（未発表資料）。下流は、三面コンクリートで、高い落差高の構造物が多く設置されている。しかし、木製の堰が常時設置されているため、砂泥が堆積し、ホトケドジョウが生息し、上流の湧水点に近い細流とこの水域で繁殖場も確認できた（未発表資料）。この水路と AL からとの合流点前には約 20cm の落差が連続し、三面コンクリートとなっていた。

BL 水路は、相対照度、水温とも他の水路に比して高い傾向を示していた。源流部が水田で、小溝、水路との落差がほとんどないことから、ホトケドジョウが水田との移動分散も可能になっていた。この、水田内にはホトケドジョウ、ドジョウの幼魚を確認した。この地点から下流 ST.13 までは多くの高い落差工、堰がある。ST.13 は、多自然型の水路で枝束を木柱で支えた護岸となっており、水際に湿地性植物が繁茂していた。ホトケドジョウの生息密度が高く、繁殖場が確認された（未発表資料）。この地点の上流には、18cm 木製の堰が設置され、マーク個体はこれより上流では確認できず、下流にのみ確認された。ST.14 は、その下で右方向からの AL、BR の流れに合流して C に流入する。灌漑期に落差高 30cm の木製の堰が設置され、他の期間は開放されている。この水域は埋め込み石の三面張りであった。この水域ではカワヨシノボリが確認され、C とこの水路間に設置したどじょうずでは、カワヨシノボリ、ホトケドジョウが採集されていた。カワヨシノボリは、夏期に平均標準体長 22mm の幼魚が採集され、上流に産卵場が確認されてないこと等から、C から遡上してきたものと推測される。C とこの水路との合流点は、落差高 1m、垂直コンクリート落差工になっている。

以上、谷戸水路では、全体で 7 種が確認されていた。ホトケドジョウの移動範囲は、成魚については、適した生息場が存在すれば、あまり移動分散しないと考えられるが、幼魚等は他の水域への移動分散の傾向を示した。

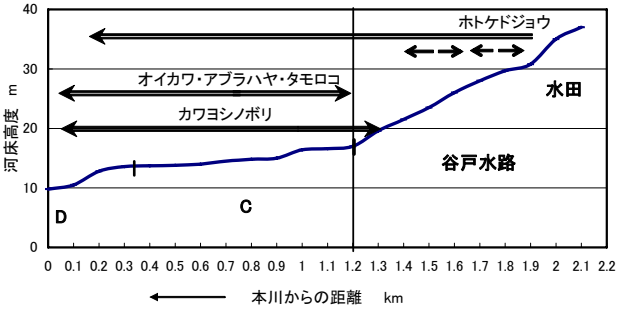
上流から流入する AR、下流の AL、BR、BL の流れが合流するがいずれも合流前は三面コンクリートが約 100～200m と連続し、落差高が 1m 以上で、双方向移動分散の障害となっている。アブラハヤは、水路合流点の下まで確認され、合流点までは浅い流れで、傾斜があることから、オイカワより上流方向への移動行動が強いと思われる。

この落差高は、2004 年 10 月 25 日に計測した結果、増水時の水位を護岸痕跡から類推すると、河床から 1.5m の高さを示し、下流では落差がなくなることも考えられる。

C は、上流から 40cm 以上の落差工が 4 基あり、落差高 1m の可動堰は 5 月から 9 月頃まで閉じられ、その間ほとんど相互の移動はできない。また、下流には 10cm 以上の落差工が 2 基あり、落差直下は根固めの 5m 長のコンクリート底面となっている。アブラハヤ、オイカワは、体長組成から見ると C で繁殖等を行なっている可能性があるが、繁殖場は特定できなかった。カワヨシノボリは瀬の大礫等で繁殖していることが確認されており、採集個体数が多かった。

C と D との間には合流点より約 7m 上流に落差高 10cm の蛇籠製の落差があり、その落込みにオイカワ等の多くの魚種が出現する。

C で確認された魚種は、17 種で、D が 8 種であった。谷戸水路との共通確認種は 5 種であった。この内、C から谷戸水路への移動分散は、カワヨシノボリだけで、他は、人為的影響と思われた。これらから、水域の魚類の移動分散についてまとめたのが**図－８**である。



図－８　谷戸水路、支川間の魚類移動分散様式

一時的水域の水田と恒久的水域の水路、川において魚類の生態との関係でみた移動様式についていくつかの調査報告がある。これらは、平野部に位置する水田と水路との関係についての報告が多い。

京都府内[4]では、ドジョウ、アユモドキ、スジシマドジョウ、ギンブナ、ナマズ、タモロコ、オイカワが水田に移動し、産卵した種類は、ドジョウ、アユモドキ、スジシマドジョウ、ギンブナ、ナマズ、タモロコの 6 種であったことが報告されている。また、栃木県内[5]では、遡上時期と遡上目的から、タモロコ、シマドジョウ、トウヨシノボリ、ギバチ、ナマズ、オイカワの 6 種は産卵、ウグイ、カワムツは生育、ドジョウは産卵と生育目的としている。長野県内[6]は、水路と落差のない水田には、多くの魚種が出現し、ウグイ、オイカワ、アブラハヤ、ニゴイ等の幼魚が出現したことを報告している。神奈川県内[17]は、メダカ、ナマズ、オイカワの幼魚、タモロコ、ウグイ、ギンブナ、モツゴ等が水田まで移動してくることが報告されている。

以上、地域によって水田、水路を利用する魚種が異なるが、双方の水域に一時的でも移動分散が可能であるならば、多くの魚種が産卵、生育等により利用することが理解される。

横浜の谷戸では、標高 70m 以下の丘陵地に囲まれた谷戸、水路は短く平均 700m で、河床勾配は高く、水量も少なくなるために、出現魚種数は平野部と比べて少ない。また、

その生息環境は、ホトケドジョウ等の生息に適した環境を提供してきたことが推測される。

1989 年度[18]に同水域で調査した時は、谷戸の原風景が残されており、推定水田面積が約 80%、水田と水路との落差は小さかった。

そこで、同一水路の調査年度による魚種別の採集個体数を**表－12** に示した。

表－12　1989 年度と 2005 年の採集個体数比較

	AR水路		BL水路	
種類	1989年	2005年	1989年	2005年
アブラハヤ	3	0	1	0
モツゴ	0	13	0	0
タモロコ	0	0	0	4
ドジョウ	43	24	36	9
ホトケドジョウ	298	450	160	656
カワヨシノボリ	0	0	0	21
計	344	487	197	690

調査地点、調査回数が異なっていることを前提にして、1989 年度と 2005 年の AR、BL 水路の結果を比較してみた。1989 年度に採集された魚種は 3、採集個体数 541 の内、ホトケドジョウが 85%、ドジョウが 15%で、他にわずかにアブラハヤが生息していただけであった。今回の調査では、谷戸水路で採集された魚種が 5、採集個体数が 1177 の内、ホトケドジョウが 94%、ドジョウが 3%となっていた。統計学的には、AR、BL 水路別に 1989 年度と 2005 年の両種の採集個体数を比較すると、調査年度により有意差を示していた（マンテル・ヘンツェル χ^2 検定、$p<0.01$）。これらの結果から、1989 年度と 2005 年の水域環境の違いは、水路、小溝を主な生息場とするホトケドジョウより水田を産卵場として利用すると思われるドジョウに強く影響を及ぼしてきたことが示唆される[19]。

先にホトケドジョウは、生長段階によって生息場を変えていくことを推測した。繁殖の場を水路、小溝、沈水植物を利用し、幼魚になると上、下流の双方向に移動分散、下流の C の ST.16 が分布の下限、冬から春の時期は確認されなくなることから、C では定着できていない。この様に移動分散様式は、人工構造物の位置に制約されながら狭い範囲の双方向と一方向移動を行なっていると考える。

落差工等の障害物に対して魚類の遡上行動には、匍匐型、遊泳型、跳躍型等[20]があり、遡上する構造物の形態、流量等により魚類の行動特性、能力の範囲で柔軟に対応していくものと考える。ホトケドジョウは、上流方向への移動に関して落差工壁面に体を密着させ、胸鰭、尾鰭等を利用して遡上していく匍匐型を示すが、ハゼ科の魚種の様な腹鰭が吸盤上になっていないため高い落差では遡上できない。また、落差工壁面の形状に影響される。すなわち、滑面より粗面、柔軟な素材、観察例ではコンクリート壁面にミズゴケが繁茂していた。他にカワニナ、突起物等を利用して壁面についている個体を観察することができた。これらのことは今後、落差のあり方に示唆を与えている（**写真－３－１、２、写真－４－１、２**）。また、ドジョウでも匍匐型、休憩と移動、遡上にあたっては突起物が有効であることが報告されている[21]。

カワヨシノボリは、C に多く生息し、上流水路まで確認されていることから、遡上してきたものと推測した。ハゼ科の魚類は遡上能力があり、市内河川ではトウヨシノボリ、スミウキゴリが源流域まで分布を拡大させている[22]。

C で多く出現するアブラハヤは、産卵場を流れのある礫下等を利用し、オイカワも同様と思われる。ただし、アブラハヤは深い、隠れ場のある場所を好むことから瀬とともに淵の存在が大きいと考える。これらの点からすれば、谷戸水路は、アブラハヤ、オイカワの生息場としては、狭いかもしれない。

先の平野部の水田と水路との関係では、ナマズ、メダカが水田まで遡上し産卵する生活史をもっていることが報告されている。市内ではナマズは減少し[16]、C で 1 尾を採集するにとどまった。これらの魚種が生息するには、平野部の水量が多い水路と水田の関係が成り立っていることが必要である。このことは、流域平野部の水田生態系の再生に向けての検討が今後、必要になってくるものと考える。

生物多様性を持った谷戸生態系を再生していくためには、水田面積の拡大、谷戸水路、小溝、丘陵地の二次林の保全、深い淵、瀬の存在、土地の地質性状の砂泥河床等、水際の植物、沈水植物、隠れ家等を再生していく必要がある[7、23、24]。また、谷戸間の相互の移動分散を保障する河川形態、支川と川との関係の修復、魚道、素材を考慮した緩傾斜の落差工等である。

魚道については、水田と水路を連結する魚道が検討されており、ドジョウ、メダカ等の小型魚種に注目し、また設置場所と時期を考慮した小規模魚道も開発されている[21、25]。

水路の構造に関しては、コンクリート護岸であっても、底質がその土地の性状を反映し、砂泥等であれば、生息可能であることが指摘されている[24、26、27]。また、コンクリート三面張りの水路は、生息場としては多くは不適当であるが、堰等が設置されていることにより D 型の淵[28]が形成され、砂泥、落枝落葉が堆積し、植物カバー等の付帯因子が加わり生息密度が高くなる傾向を示す水路もあった。ただし、水路に連結した上流あるいは流域に安定した生息場があることが前提となる。

堰は、落差高によっては障害物となる反面、河床勾配が高い水路では地域個体群の過度の流失を防ぐ効果もあると思われる。

今後、さらに、ホトケドジョウ等の生息密度と環境因子との関係、繁殖生態等の保存、再生のための基礎資料を得ることが必要と考える。

４．まとめ

谷戸生態系の保全、再生に向けての基礎資料を得るために、鶴見川流域の谷戸と支川、本川との魚類流程分布と人工構造物との関係について検討した。

１）　調査期間は 2004 年 9 月～2005 年 9 月、23 地点を対象に実施した。

２）　A、B 谷戸の 4 水路（AR、AL、BR、BL）、小溝には、堰、落差工が設置され、その落差高の平均値は 20cm 以上

写真－１　AR 水路、ST.2（上流方向）

左岸に水田がある.三面コンクリート.水路を浚渫した.

写真－２　支川 C（上流方向）

多自然型河川改修が 1990 年頃より行なわれ、現在は季節によって河辺植物に覆われる.

写真－３－１　ホトケドジョウ幼魚の遡上行動１

匍匐型の遡上行動、体長約 30mm、コンクリート落差工、落差高 13cm、壁面にミズゴケが繁茂している. 落差下コンクリート底面.

写真－３－２　左写真と同様

わずかに上へ移動、数秒後に上流方向へ移動していった.

写真－４－１　ホトケドジョウ幼魚の遡上行動２

コンクリート落差工、落差高 10cm、落差下もコンクリート底面.

写真－４－２　左写真と同様

突起物を支えとして遡上を試みたが、滑面で阻害された.

であった。谷戸水路間は三面コンクリート等で連結されていた。

３）　谷戸水路と支川 C との合流点は 2 ヶ所あり、1 m 以上の落差高だった。C には落差工が 5 ヶ所、可動堰が 1 ヶ所あった。

４）　採集魚種は 6 科 17 種、採集割合が水路でホトケドジョウが 90%以上、池ではモツゴが高い割合、C はオイカワが 40%、カワヨシノボリが 24%の高い率であった。

５）　流程分布は、ホトケドジョウが小溝、水路に広く分布し、オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリは C 等に分布していた。カワヨシノボリは水路まで分布していた。

６）　ホトケドジョウの体長分布の季節変化から、5 月上旬、水路の上流に 2005 年級群が出現し、6 月に中流と C にも同年級群が出現した。

以上から、生物多様性を持った谷戸生態系を再生していくためには、谷戸水路、小溝の保全、水田等の水域面積の拡大、谷戸間の双方向移動を可能にする河川形態、また、支川と川との関係の修復が必要なことと思われた。

謝辞:　この調査を実施するにあたり、多くの方々の協力、援助を受けました。文献、調査等でお世話になった神奈川県内水面試験場勝呂尚之氏、神奈川県環境科学センター齋藤和久氏、神奈川県生命の星・地球博物館瀬能 宏博士、山梨大学教育人間科学部宮崎淳一博士、京都大学大学院理学研究科渡辺勝敏博士、横浜市港南区福祉保健センター木村喜芳氏、谷戸水路を踏査するにあたって地元の農家の皆様にはこころからのご協力と多くの情報を提供していただきました。本報告書をまとめるにあたり皆様に厚く御礼申し上げる次第です。

文献

１）環境省編（2003）: 新・生物多様性国家戦略、自然の保全と再生のための基本計画、ぎょうせい、pp　.

２）独立行政法人農林水産省農業環境技術研究所（1998）: 水田生態系における生物多様性、農業環境研究叢書、10、35－172.

３）端憲二（2005）: メダカはどのように危機を乗りこえるか、農文協、pp154.

４）齋藤憲治・片野修・小泉顕雄（1988）: 淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵、日生態会誌、38、35－47.

５）中村智幸・尾田紀夫（2003）: 栃木県那珂川水系の農業水路における遡上魚類の季節変化、魚類学会誌、50（１）、25－33.

６）片野　修・細谷和海・井口恵一郎・青沼佳方（2001）: 千曲川流域の３タイプの水田間での魚類相の比較、魚類学雑誌、48（１）、19－25.

７）片野　修（1998）: 水田・農業水路の魚類群集、水辺環境の保全、－生物群集の視点から－、江崎保男・田中哲夫編、朝倉書店、67－79.

８）藤咲雅明・神宮字寛・水谷正一・後藤章・渡辺俊介（1999）: 小河川・農業水路系における魚類の生息と環境構造との関係、応用生態工学、２（１）、53－61.

９）横浜市環境創造局（2004）: 鶴見川源流域調査報告.

10）横浜市環境創造局環境活動事業課（2005）: 平成 16～17 年度源流域水環境基礎調査報告書、pp90.

11）中坊徹次・編（2000）: 日本産魚類検索（第二版），東海大学出版会，pp1474.

12）　川那部浩哉・水野信彦・細谷和海・編・監修（2005）: 改訂版，日本の淡水魚，山渓カラー名鑑，山と渓谷社，719pp，東京.

13）環境省自然保護局野生生物課・編（2003）: 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物　-　レッドデータブック-，４（財）自然環境研究センター，230pp.

14）勝呂尚之・瀬能宏（2006）:　高桑正敏・勝山輝男・木場英久編，（2005）: 神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006, 神奈川県立生命の星･地球博物館, 275-298.

15）樋口文夫・水尾寛己・木村喜芳（2003）: 横浜市内河川における淡水魚類相調査報告（2002～2003 年），横浜の川と海の生物（第 10 報），河川編，51～81.

16）樋口文夫・水尾寛己（2006）: 横浜市内河川における淡水魚類相調査報告（2005 年），横浜の川と海の生物（第 11 報・河川編）、（印刷中）.

17）神奈川県環境科学センター（2006）: かながわ　田んぼの生きものウォッチング、小冊子、pp31.

18）水尾寛己・樋口文夫・福嶋悟（1993）: 鶴見川水系の魚類の分布と河川形態との関係、鶴見川・帷子川水系生態調査報告書，横浜市環境科学研究所，環科研資料 No.106，45－74.

19）田中道明（1999）: 水田周辺の水環境の違いがドジョウの分布と生息密度に及ぼす影響、魚類学雑誌、46（２）、75－81.

20）財産法人ダム水源地環境整備センター編（1998）: 最新魚道の設計、－魚道と関連施設－、信山社サイテック、228－349.

21）鈴木正貴・水谷正一・後藤章（2000）: 水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発、農業土木学会誌、68（12）、1263－1266.

22）樋口文夫・福嶋悟・宇都誠一郎（2005）: 大岡川の河川構造物が魚類流程分布に与える影響に関する調査報告、横浜市環境科学研究所報、29、30－57.

23）齋藤憲治（1984）: 農業用水路の改修工事の影響を少なくするために（私案）、淡水魚、10、47－51.

24）樋口文夫・水尾寛己・福嶋悟・畠中潤一郎・前川渡（1993）: 矢指地区の魚類の生態と河川形態－ホトケドジョウ *Lefua costata echigonia* を中心に－、鶴見川・帷子川水系　生態調査報告書，横浜市環境科学研究所，環科研資料 No.106，171～198.

25）端憲二（1999）: 小さな魚道による休耕田への魚類遡上試験、農業土木学会誌、67（5）、497－502.

26）端憲二（1998）: 水田灌漑システムの魚類生息への影響と今後の課題、農業土木学会誌、66（2）、143－148.

27）松井明・佐藤政良（2006）: 水田小排水路における水路構造が水生生物に及ぼす影響、応用生態工学、９（２）、191－201.

28）水野信彦（1995）: 魚にやさしい川のかたち、信山社、pp135.

帷子川源流域におけるホトケドジョウの分布状況調査

樋口文夫、福嶋 悟（横浜市環境科学研究所）

The investigation on the distributions of *Lefua echigonia* in the head water areas of Katabira River

Fumio Higuchi、Satoshi Fukushima (Yokohama environment science research institute)

キーワード　　ホトケドジョウ　魚類相　源流域　帷子川

要旨

帷子川水系の源流域における魚類相調査を実施した結果以下の成績を得た。

1984 年から 2005 年調査までの既存報告から、確認された魚種は 9 科 27 種、源流域では消失した魚種がシマドジョウの 1 種、ホトケドジョウは、調査年度に関係なく出現率が高かった。源流域 30 地点で確認された魚種は 4 科 6 種、出現地点、採集個体数ではホトケドジョウがいずれも 50%以上の率を占めていた。ホトケドジョウの採集個体数が多かったのは 15 地点の内、3 地点であった。エビ類は 2 科 2 種、ヌカエビが 2 地点で確認された。ホトケドジョウの分布地点は支川の源流域にあり、基質が砂泥で生息密度が高い傾向を示した。分布地点の多くは小集団で孤立化し、種の多様性消失、環境改変の影響が危惧される。

１．はじめに

帷子川水系は、横浜市中心部を流れ、早くから市街化進み、源流部の入り組んだ丘陵地谷間に存在した谷戸が消失していった。しかし、谷戸数、面積が減少しつつも、自然度が高い谷戸が、まだ存在している。

また、帷子川水系では上－中流域の魚類相は、出現数、生息数が他の近似した都市河川、大岡川等に比して少ない。これらは、河川形態、水質環境の違いを考慮しなければならないが、流域に生物多様性が高い地域の存在と相互の関係が成り立っているかどうかに係わってくるものと思われる。そのため、水系全体の生物多様性を保全、再生していくためには、源流部の存在が重要なキーポイトとなる。しかし、これら水域の詳細な魚類相調査は今まで行なわれてなく、ホトケドジョウの分布状況も把握されていなかった。

そこで、今回は、源流部のホトケドジョウの生息状況を把握するために、生物相調査で設定されている定点だけでなく、緑地が残る源流部を地図上、聞き取り情報等をもとに調査区域を設定して詳細調査を実施した。また、既存の調査報告 [1~8]から帷子川水系の魚類相の特徴、変遷等について解析した。

２．材料および方法

帷子川水系は 2 級河川で、流路延長が約 17km、流域面積が 57.9km2 である。本川は、旭区の若葉台付近に源流があり、矢指川、中堀川、くぬぎ川、新井川、今井川等の支川を合流させながら横浜駅東口で横浜港に流れ込む。

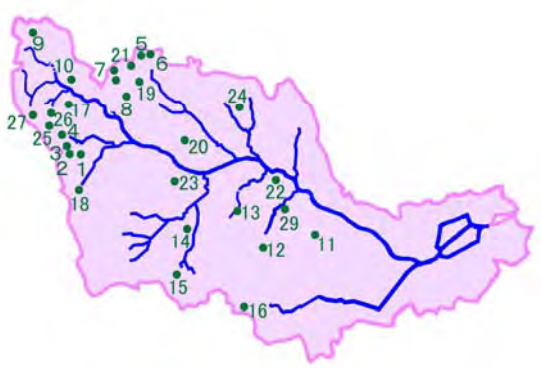
調査は、2005 年 1 月～4 月、一部 7 月、2006 年 2 月に行なった。

調査地点は図－１に示した。

調査地点は帷子川本川、支川の源流部を対象として 30 地点であった。地点の位置は、保土ケ谷区 4 地点以外は全て旭区内にあった。また、地点の詳細は種の保全のために必要最小限の記載に留めた。

地点の河口からの距離（km）は 1/2500 の横浜市都市計画図をもとにマップメーター（小泉測機社製）で計測し、河床高度（m）は同図の地点に最も近い標高をもとに算出した。

採集方法は、D型フレームネット（網目 1.5×1.5mm）、びんどう（25×34×25mm）を用いた。調査は人員 2 名、調査



図－１　帷子川源流域の調査地点

表－１　採集魚類リスト（1984～2005 年度）とレッドデータブック（RDB)、生活型区分（L.T）

No.	Taxon		科	種名	種の由来	L.T	環境省RDB	神奈川県RDB
1	Anguillidae	*Anguilla japonica*	ウナギ	ウナギ	在来種	D		
2	Cyprinidae	*Cyprinus carpio*	コイ	コイ	移入種	G		情報不足
3		*Carassius auratus* subsp.2		キンブナ	在来種	G		絶滅危惧ＩB類
4		*Carassius auratus langsdorfii*		ギンブナ	在来種	G		
5		*Carassius* sp.		フナ属	在来種	G		
6		*Zacco platypus*		オイカワ	在来種	G		
7		*Phoxinus lagowskii steindachneri*		アブラハヤ	在来種	G		準絶滅危惧種
8		*Tribolodon hakonensis*		ウグイ	在来種	G		準絶滅危惧種
9		*Pseudorasbora parva*		モツゴ	在来種	G		
10		*Gnathopogon elongatus elongatus*		タモロコ	移入種	G		
11	Cobitidae	*Misgurnus anguillicaudatus*	ドジョウ	ドジョウ	在来種	G		
12		*Cobitis biwae*		シマドジョウ	在来種	G		準絶滅危惧種
13		*Lefua echigonia*		ホトケドジョウ	在来種	G	絶滅危惧ＩB類(EN)	絶滅危惧ＩB類
14	Plecoglossidae	*Plecoglossus altivelis altivelis*	アユ	アユ	在来種	D		
15	Mugilidae	*Mugil cephalus cephalus*	ボラ	ボラ	在来種	P		
16	Poeciliidae	*Poecilia reticulata*	カダヤシ	グッピー	外来種	G		
17	Adrianichthyidae	*Oryzias latipes*	メダカ	メダカ	在来種	G	絶滅危惧Ⅱ類(VU)	絶滅危惧ＩA類
18		*Oryzias latipes*		ヒメダカ	移入種	G		
19	Teraponidae	*Terapon jarbua*	シマイサキ	コトヒキ	在来種	P		
20	Gobiidae	*Gymnogobius* petschiliensis	ハゼ	スミウキゴリ	在来種	D		準絶滅危惧種
21		*Gymnogobius* urotaenia		ウキゴリ	在来種	D		
22		*Acanthogobius flavimanus*		マハゼ	在来種	P		
23		*Acanthogobius lactipes*		アシシロハゼ	在来種	P		
24		*Mugilogobius abei*		アベハゼ	在来種	D		
25		*Rhinogobius* sp.OR		トウヨシノボリ	在来種	D		
26		*Rhinogobius* sp.		ヨシノボリ属	在来種	D		
27		*Tridentiger brevispinis*		ヌマチチブ	在来種	D		

範囲は約 50m、採集時間は約 20 分であった。

採集した魚は、標準体長をノギスで全数測定し、原則的に測定後放流した。

環境条件の測定は､流れ幅(m)､水深(cm)､相対照度(%)、基質は、砂泥、砂、砂・岩盤、石張、コンクリート、護岸は、土、土・板、土・石積、石積、コンクリートに区分し、柔らかい基質から硬い基質へと 5 段階区分してスコアー化した。水質項目は、水温（℃)、pH、電気伝導度（μs/cm）（以下、EC）を現場で測定した。また、採水した資料をもとに研究室で生物化学的酸素要求量（mg/l）（以下、BOD 値）を測定した。

解析方法は、魚類相の特徴と変遷に関しては、既存の生物相調査報告書[1～8)]の夏冬データを基に解析した。また、調査年度で調査地点数が異なるので、出現地点数を延べ地点数で除した値をもとに検討した。統計学的解析は、データ変換しても正規分布を示さない項目は、ノンパラメトリック検定のフリードマン検定､クラスカル･ウォリス検定、スヒール・ドゥワスの多重比較を用いて解析した。

源流域調査では、採集個体数を調査面積（調査区長+流れ幅）で除した生息密度で解析した。生息密度と環境条件との関係は、対数変換、逆正弦変換を行い相関係数とピアソンの相関係数検定を行なった。

３．結果及び考察

３－１　帷子川水系の魚類相の特徴と変遷

３－１－１　採集魚類リスト

1984 年から 2005 調査年度の間で確認された採集魚類リストを**表－１**に示した。

魚類リストの中に魚種別の生活型区分（純淡水魚：G、通し回遊魚：D、周縁性淡水魚：P）と環境省[9)]、神奈川県のレッドデータブック[10)]に該当する貴重種をあげた。なお、学名は中坊、川那部・水野・細谷[11、12)]に従った。

帷子川水系で確認された魚種は 9 科 27 種(亜種､属)で、生活型区分では純淡水魚がコイ、キンブナ、ギンブナ、フナ属、オイカワ、アブラハヤ、ウグイ、モツゴ、タモロコ、ドジョウ、シマドジョウ、ホトケドジョウ、グッピー、メダカ、ヒメダカの 15 種、通し回遊魚はウナギ、アユ、スミウキゴリ、ウキゴリ、アベハゼ、トウヨシノボリ、ヨシノボリ属、ヌマチチブの 8 種、周縁性淡水魚がボラ、コトヒキ、マハゼ、アシシロハゼの 4 種であった。

これらの種の中で、環境省版レッドデータブックの絶滅危惧種に該当したのが、ホトケドジョウ、メダカ、神奈川県版の絶滅危惧種がキンブナ、ホトケドジョウ、メダカ、準絶滅危惧種がアブラハヤ、ウグイ、シマドジョウ、スミウキゴリであった。

移入種はコイ、タモロコ、飼育品種のヒメダカの 3 種、外来種はグッピーだけであった。

帷子川と同様に市内丘陵地に源流部を持つ大岡川と比較してみると、大岡川では同期間（1984 から 2005 調査年度）で確認された魚種は10科36種(ハゼ科の不明種 1 を除く)、生活型区分では、純淡水魚が 17 種、通し回遊魚が 10 種、周縁性淡水魚が 9 種であった。両河川の生活型区分による出現種数の比較では、周縁性淡水魚の種数が帷子川の方が少なかったが、統計学的には有意差がなかった（マン・ホイットニ検定、$p>0.05$)。

３－１－２　水域区分による魚類相の変遷

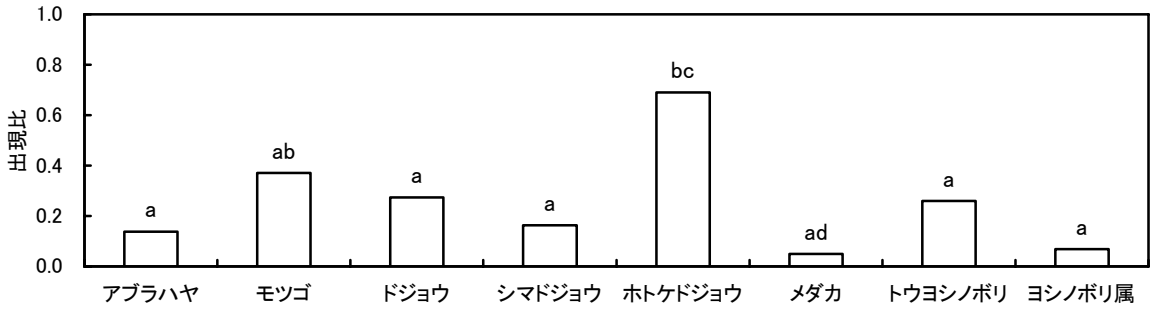
源流－上流域、中流－下流域の区分による魚種別、調査年度別の出現地点数を延べ地点数で除した値を示したのが

表－２　源流－上流域の出現比（出現地点数/延べ地点数）の変化

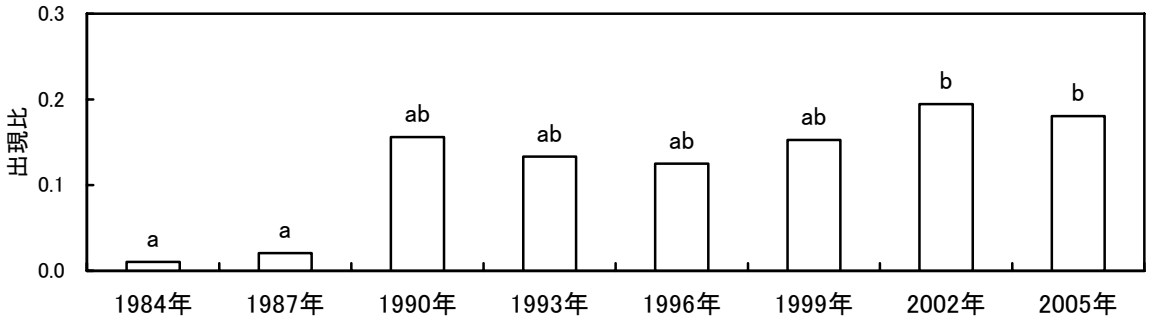
No.	種名	1984年	1987年	1990年	1993年	1996年	1999年	2002年	2005年
1	アブラハヤ	0.50	0.50	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	モツゴ	0.75	0.75	0.10	0.22	0.29	0.29	0.29	0.29
3	ドジョウ	0.75	0.75	0.40	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00
4	シマドジョウ	0.50	0.50	0.20	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
5	ホトケドジョウ	0.75	0.50	0.60	0.67	0.71	0.86	0.86	0.57
6	メダカ	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
7	トウヨシノボリ	0.00	0.00	0.00	0.22	0.29	0.71	0.43	0.43
8	ヨシノボリ属	0.00	0.00	0.40	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
	種類数	6	5	6	4	5	3	4	3
	種類数/地点数	1.50	1.25	0.60	0.44	0.71	0.43	0.57	0.43
	延べ地点数	4	4	10	9	7	7	7	7

表－３　中流－下流域の出現比（出現地点数/延べ地点数）の変化

No.	種名	1984年	1987年	1990年	1993年	1996年	1999年	2002年	2005年
1	ウナギ	0.00	0.00	0.25	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
2	コイ	0.00	0.00	0.75	0.60	0.67	0.33	0.67	0.33
3	キンブナ	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	ギンブナ	0.00	0.00	0.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
5	フナ属	0.00	0.00	0.75	0.20	0.33	0.33	0.00	0.00
6	オイカワ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.33	0.67
7	ウグイ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
8	モツゴ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00
9	タモロコ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
10	ドジョウ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
11	アユ	0.00	0.00	0.00	0.20	0.33	0.00	0.33	0.33
12	ボラ	0.00	0.00	0.25	0.60	0.33	0.33	0.33	0.00
13	グッピー	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
14	メダカ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
15	ヒメダカ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
16	コトヒキ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
17	スミウキゴリ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
18	ウキゴリ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.33
19	マハゼ	0.00	0.00	0.25	0.20	0.33	0.33	0.33	0.33
20	アシシロハゼ	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
21	アベハゼ	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	トウヨシノボリ	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.33	0.33	0.33
23	ヨシノボリ属	0.25	0.50	0.50	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
24	ヌマチチブ	0.00	0.00	0.00	0.20	0.33	0.33	0.33	0.00
	種類数	1	1	9	10	8	8	12	10
	種類数/地点数	0.25	0.25	2.25	2.00	2.67	2.67	4.00	3.33
	延べ地点数	4	4	4	5	3	3	3	3



図－２　源流－上流域の魚種別平均出現比
アルファベットの違いは多重比較検定で差がありを示す．p<0.05、図－３も同様.



図－３　中流－下流域の調査年度別平均出現比

表－２、３、平均出現比が**図－２**、３である。延べ調査地点は年度によって異なるが、全体で 8 から 15 地点、源流－上流域が約 10 地点、中流－下流域が 4 地点であった。これらの水域形態区分は、源流と支川、本川にほぼ一致する。

源流－上流域は、1996 年まで出現種数が多かったが、アブラハヤ、シマドジョウが分布していた水路の改変によって減少し、出現種がホトケドジョウ、モツゴ等の限られたものとなってきた。シマドジョウは、帷子川水系で絶滅の可能性が大きいと考えている。

調査年度と魚種の 2 要素の比較では、魚種間に有意差があった（フリードマン検定、p<0.05）、魚種間の多重比較では、ホトケドジョウがモツゴ、ドジョウを除く他の種とに差があった（クラスカル・ウォリス検定、p<0.01、スヒール・ドゥワスの多重比較、p<0.05）。 中流－下流域は、1987 年までは種類数が少なく、トウヨシノボリの 1 種だけが出現し、その後、種数が漸増し、アユが 1993 年度、オイカワが 1999 年度より、2002、2005 年度では、ウグイ、タモロコ、メダカ、スミウキゴリ等が出現してきた。出現地点が多い魚種はオイカワであった。調査年度と魚種の 2 要素の比較では、年度間に有意差があった（フリードマン検定、p<0.05）。年度間の多重比較は、1984、1987 年と 2002、2005 年との間に有意差があり、1990 年から 2005 年の間は有意差がなかった（クラスカル・ウォリス検定、p<0.01、スヒール・ドゥワスの多重比較、p<0.05）。

以上から、魚類相変遷の特徴は、源流域ではホトケドジョウが調査年度に関係なく最も多くの地点で出現し、中流－下流域は、特に 2002、2005 年度で多くの魚種が出現していた。

３－２　ホトケドジョウ等の分布と河川形態

３－２－１　河川形態

源流域 30 地点の形態、水質等の平均値、標準偏差、最小値、最大値を**表－４**、基質、護岸区分のスコアーをもとにまとめたのが**表－５**である。

帷子川本川の河口から調査地点源流部までの距離は最大で約 17km、平均河床勾配は、1/249、各支川の河床勾配は 1/950 から 1/7 の範囲であった。各地点の河床高度の平均値±標準偏差が 56.0±11.8（m）、最小値が 16m、最大値が 67m であった。流れ幅は 1.0±0.6（m）、水深が 12.6±11.6（cm）、相対照度が 74.8±20.7(%)であった。基質性状の区分では、基質がスコアー２、１の砂、砂泥が 60%で最も多かった、他は石張、コンクリート等の硬い性状であった。護岸はスコアー１の土が 53%で多かった。

水温は、調査時期が冬に多かったので、平均値は低い値であった。最小値が 6.9℃、最大値が 23.7℃であった。pH、EC、BOD 値の平均値±標準偏差は、7.3±0.3、303±153.6(μs/cm)、1.1±0.5(mg/l)であった。

３－２－２　採集魚類リスト

源流域の採集魚類リストを**表－６**、地点別の採集個体数と標準体長の平均値±標準偏差を**表－７**、魚種別の出現地

表－４　源流域の河川形態と水質概況

	標本数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
流れ幅(m):最大	29	1.0	0.6	0.3	3.0
標高(m)	30	56.0	11.8	16.6	68.3
水深(cm):(最大)	30	12.6	11.9	3.0	53.0
水温(℃)	30	12.3	4.1	6.9	23.7
pH	30	7.3	0.3	6.7	7.9
E.C(μs/cm)	30	303.0	153.6	127.0	689.0
相対照度(%)	28	74.8	20.7	3.5	100.0
BOD(mg/l)	27	1.1	0.5	0.3	2.6

表－５　基質、護岸区分の地点数、%

	区分	砂泥	砂	砂・岩盤	石張	コンクリート
項目	スコアー	1	2	3	4	5
基質	実数	6	12	3	5	4
	%	20.0	40.0	10.0	16.7	13.3
	区分	土	土・板	土・石積	石積	コンクリート
項目	スコアー	1	2	3	4	5
護岸	実数	16	1	3	5	5
	%	53.3	3.3	10.0	16.7	16.7

点数、採集個体数を**表－８**にまとめた。

今回採集された魚種は、アブラハヤ、モツゴ、ホトケドジョウ、メダカ、ヒメダカ、トウヨシノボリの4科6種、ただしヒメダカは飼育品種であった。アブラハヤは、1993年まで、KA27 の水路でシマドジョウ、ホトケドジョウとともに多く確認されていたが、改修されて生息地を失っていた。今回、KA29 で再び確認された。この地点は、環状道路高架下の谷筋を流れ、景観的には良好な場所であった。しかし、過去の水質環境等を考慮すると天然分布かどうかを照査する必要がある。

生活型区分ではトウヨシノボリのみが通し回遊魚で、他は純淡水魚であった。

魚種別の出現率は、合計 30 地点の内、ホトケドジョウが 50%で最も高く、メダカ、トウヨシノボリが約 7%であった。メダカ、アブラハヤは 1 地点のみであった。

採集個体数では、合計 182 尾の内、ホトケドジョウが約 70%で最も高く、ついでアブラハヤの 19%、トウヨシノボリの 6%、モツゴ、メダカは５%以下であった。

ホトケドジョウの採集個体数が比較的多かった地点、すなわち 20 個体以上の地点は、KA４、KA25、KA27 の 3 地

表－６　源流域の採集魚類、甲殻類リスト

No.		Taxon		科	種名	種の由来	L.T
1	魚類	Cyprinidae	*Phoxinus lagowskii steindachneri*	コイ	アブラハヤ	在来種	G
2			*Pseudorasbora parva*		モツゴ	在来種	G
3		Cobitidae	*Lefua echigonia*		ホトケドジョウ	在来種	G
4		Adrianichthyidae	*Oryzias latipes*	メダカ	メダカ	在来種	G
5			*Oryzias latipes*		ヒメダカ	移入種	G
6		Gobiidae	*Rhinogobius* sp.OR	ハゼ	トウヨシノボリ	在来種	D
1	甲殻類	Atyidae	*Paratya compressa improvisa*	ヌマエビ	ヌカエビ	在来種	G
2	（長尾亜目）	Astacidae	*Procambarus clarkii*	ザリガニ	アメリカザリガニ	外来種	G

表－７　地点別の採集個体数（上段）、標準体長（㎜）の平均値±標準偏差（下段）（１）

種名	地点 / 調査年月日	KA1 '050119	KA2 '050119	KA3 '050119	KA4 '050119	KA5 '050119	KA6 '050119	KA7 '050203	KA8 '050203	KA9 '050203	KA10 '050203
アブラハヤ											
モツゴ											
ホトケドジョウ		6 44.2±2.0	1 55.3 (1)		22 46.1±9.1	2 39.2±20.9		3 43.7±6.4	3 42.7±10.2	2 28.7±0.5	9 43.9±5.1
メダカ									1 21.6 8		
ヒメダカ											
トウヨシノボリ									1 29		
ヌカエビ						29					
アメリカザリガニ						5	6				1

表－7のつづき(2)

種名	KA10r '050203	KA11 '050309	KA12 '050309	KA13 '050309	KA14 '050309	KA15 '050309	KA16 '050309	KA17 '050322	KA18 '050322	KA19 '050322
アブラハヤ										
モツゴ										
ホトケドジョウ			2 55.2±2.6				2 42.3±3.5	1 62.4		
メダカ										
ヒメダカ										
トウヨシノボリ						10 32.5±6.3				
ヌカエビ						9				
アメリカザリガニ						4			1	5

表－7のつづき(3)

種名	KA19A '050322	KA20 '050322	KA21 '050322	KA22 '050322	KA23 '050406	KA24 '050406	KA25 '050406	KA26 '050406	KA27 '050727	KA29 '060201
アブラハヤ										35 39.9±11.7
モツゴ			8 32.8±17.0							
ホトケドジョウ				3 39.5±3.0	2 66.8±15.0		35 41.1±7.8		31 34.2±10.1	
メダカ										1 25.5
ヒメダカ			2 24.1±0.7							
トウヨシノボリ										
ヌカエビ										
アメリカザリガニ	20	3						2	6	1

表－８　魚種別の出現地点数、採集個体数等

	種名	地点数 実数	地点数 %	採集個体数 実数	採集個体数 %
1	アブラハヤ	1	3.3	35	19.2
2	モツゴ	1	3.3	8	4.4
3	ホトケドジョウ	15	50.0	124	68.1
4	メダカ	2	6.7	2	1.1
5	ヒメダカ	1	3.3	2	1.1
6	トウヨシノボリ	2	6.7	11	6.0
	計	30	100.0	182	100.0

点で、他は 10 個体以下であった。

これらから帷子川源流域に生息する魚種組成は単純であった。ホトケドジョウの分布は大岡川等の市内に源流をもつ河川に比べて多いが、生息数が多い地点は極めて限定されているものと思われた。

３－２－３　採集淡水エビ類リスト

甲殻類（長尾亜目）の採集リストを**表－６**、地点別の採集個体数を**表－７**に示した。なお、学名は三宅[13)]に従った。

今回、２科２種で、ヌマエビ科ヌカエビ *Paratya compressa improvisa* が KA５、KA１５の２地点、ザリガニ科アメリカザリガニ *Procambarus clarkii* が 11 地点で確認された。

帷子川水系の淡水エビ類の分布は限定されており、ヌカエビ *Paratya compressa improvisa*、スジエビ *Palaemon* (*p*) *paucidens*、テナガエビ *Macrobrachium nipponense* が KA15 でのみ記録されていた[14)]。この帷子川水系のヌカエビ集団は、遺伝的特徴からみて他の水系とは若干異なる集団であることが報告されている[15)]。

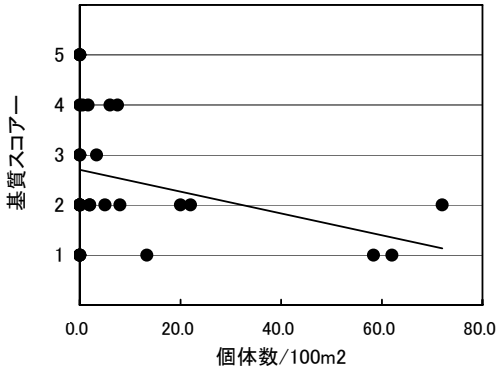
３－２－４　ホトケドジョウの生息場所

帷子川水系の分布地点を**図－４**に示した。生息密度（採集個体数/100m^2）と河川形態、水質等の環境要因との相関関係を**表－９**、基質、護岸スコアーとの関係を**図－５、６**に示した。

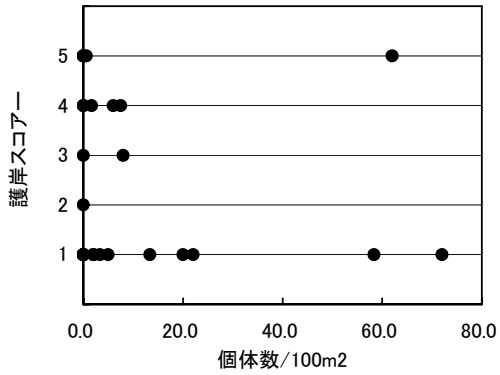
図－４　ホトケドジョウの分布地点（大●）

ホトケドジョウが分布する 15 地点は、河床高度の平均値が 54.9m、1 地点を除いて帷子川水系支川に分布し、本川合流点からの距離の平均値が約 2km で、多くの地点は支川源流域に孤立化し、生息地間の関係は消失している。

生息密度と河川形態、環境要因との関係は、生息密度と



図－５　生息密度と基質スコアーとの関係
数値変換してない値をもとに図示．図－６も同様.



図－６　生息密度と護岸スコアーとの関係

基質スコアーとに負相関（n=30、r=0.361、p<0.05）を示した。これは、基質のスコアーが大きくなると硬い基質性状、コンクリート等としており、点数が低い柔らかい砂泥の時に生息密度が高い傾向を示していた。他に流れ幅と水深、基質スコアーと護岸スコアーとに高い正相関を示していた（n=30、r=0.471、0.713、p<0.01）。

以上の結果、ホトケドジョウの分布は、特に基質性状に影響されることが推測された。

帷子川に関する既存の調査報告は、KA１の谷戸を対象にした研究報告[16)]がある。そこで、ホトケドジョウの地域個群の生態を明らかにし、保全、再生にかかわる生息条件を提示した。それは丘陵地の二次林、水田等、瀬と深い淵、自然の河床等の条件が重要な要素であることを指摘した。

今回、生息密度が高かった地点は、二次的自然が残る丘陵地谷戸の用水路であった。しかし、その地域は少なく、多くは北側斜面下、住宅街に近接している等、狭い区域に限定されており、環境改変によっては簡単に消失してしまう。また、小面積、小生息数化によって種の多様性消失も危惧される。今後これら区域の関係の修復、保全、再生の手立てとともに一定のガイドライン[17)]に沿った新たな生息地確保も視野にいれていく必要がある。

表－９　ホトケドジョウの生息密度と生息環境の相関関係、ピアソンの相関係数検定

	生息密度	流れ幅	水深	基質スコアー	護岸スコアー	水温(℃)	pH	EC(μs/cm)	相対照度(%)
生息密度	1								
流れ幅	0.151	1							
水深	0.252	**0.471	1						
基質スコアー	＊−0.361	0.039	0.140	1					
護岸スコアー	−0.227	−0.004	−0.043	**0.713	1				
水温(℃)	0.228	−0.203	−0.014	−0.107	0.088	1			
pH	0.122	0.108	0.282	0.112	0.053	0.044	1		
EC(μs/cm)	0.139	−0.023	0.168	−0.012	0.038	−0.247	0.034	1	
相対照度(%)	−0.279	−0.295	0.149	−0.176	−0.363	−0.145	0.134	−0.064	1

注） 無変換：水温、pH、 対数変換 log10(1＋x)：生息密度、流れ幅、水深、基質スコアー、 逆正弦変換：相対照度
＊ ： p<0.05、** ： p<0.01で有意差ありを示す.

４．まとめ

帷子川水系の源流域における魚類相を把握するために調査を実施した。

１） 1984 年から 2005 年調査までの報告から、出現魚種は９科 27 種､源流－上流域ではホトケドジョウが調査年度に関係なく生息し、中－下流域は出現魚種が増加した。

２） 源流域 30 地点で確認された魚種は４科６種、ホトケドジョウの出現地点は 50%の率を占めていた。エビ類は 2 科 2 種であった。

３） 分布地点は支川の源流域にあり、多くの生息地が小規模で孤立化している。

４） ホトケドジョウの生息密度と環境との関係は基質と正相関、砂泥で生息密度が高い傾向を示した。

以上の結果から、今後、帷子川源流域のホトケドジョウは、生息地の保全、再生等が必要になってくると考える。

文献

１）横浜市公害対策局（1986）：横浜市内河川の魚類相、横浜の川と海の生物（第４報）、公害資料 No.126、57～83.

２）横浜市公害対策局（1989）：横浜市内河川の魚類相、横浜の川と海の生物（第 5 報）、横浜市公害対策局、公害資料 No.140、59～96.

３）樋口文夫・水尾寛己・梅田孝（1992）：横浜の淡水魚類相の変化と分布の特徴､横浜の川と海の生物､第６報、横浜市環境保全局、環境保全資料 No.161、93～139.

４）樋口文夫・水尾寛己・近藤卓哉（1995）： 横浜の淡水魚類相調査報告（1993 年度）、横浜の川と海の生物、第 7 報、 河川編、横浜市環境保全局、環境保全資料 No.178、 77～126.

５）樋口文夫・水尾寛己（1996）：横浜の淡水魚類相調査報告（1996～1997）、第８報、河川編、横浜市環境保全局、環境保全資料 No. 186、69～108.

６）樋口文夫・水尾寛己（2001）：横浜市内河川における淡水魚類相調査報告（2002～2003 年）、環境保全資料 No.190、横浜の川と海の生物（第 9 報）、河川編、71～119.

７）樋口文夫・水尾寛己・木村喜芳（2003）：横浜市内河川における淡水魚類相調査報告（2002～2003 年）、横浜の川と海の生物（第 10 報）、河川編、51～81.

８）樋口文夫・水尾寛己（2006）：横浜市内河川における淡水魚類相調査報告（2005 年）、横浜の川と海の生物（第 11 報）、河川編（印刷中）.

９）環境省自然保護局野生生物課・編（2003）：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 - レッドデータブック-、４ 汽水・淡水魚、（財）自然環境研究センター、230pp.

10）勝呂尚之・瀬能宏（2006）： 高桑正敏・勝山輝男・木場英久編、（2005）：神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006､神奈川県立生命の星･地球博物館､275-298.

11）中坊徹次・編（2000）：日本産魚類検索（第二版）、東海大学出版会、1474、東京.

12） 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海・編・監修（2005）：改訂版、日本の淡水魚、山渓カラー名鑑、山と渓谷社、719pp、東京.

13） 三宅貞祥（1983）：原色日本大型甲殻類図鑑Ⅰ、第Ⅰ版、保育社、pp276.

14）樋口文夫・福嶋悟・水尾寛己・畠中潤一郎（1993）：こども自然公園池に生息するヌカエビ *Paratya compressa improvisa* の生態、－性別の形態的特徴と産卵生態－、鶴見川･帷子川水系生態調査報告書、環境研資料 106、横浜市環境科学研究所、215－234.

15）樋口文夫・益子計夫（2003）：アロザイム分析によるヌカエビ集団の遺伝学的および形態学的研究、第２報、－横浜市域および三浦半島の集団間の比較－、環境研資料 148、横浜市環境科学研究所報（27）、19－29.

16）樋口文夫・水尾寛己・福嶋悟・畠中潤一郎・前川渡（1993）：矢指地区の魚類の生態と河川形態－ホトケドジョウ *Lefua costata echigonia* を中心に－、鶴見川・帷子川水系 生態調査報告書、横浜市環境科学研究所、環科研資料 No.106、171～198.

17）森誠一（2005）：日本魚類学会による「生物多様性の保全をめざした魚類の放流ガイドライン」､応用生態工学会、８（１）、107－110.

源流域水環境基礎調査結果

－鶴見川、帷子川－

加藤良昭，樋口文夫，福嶋　悟（横浜市環境科学研究所）

Environmental basics　survey on the　head-water-region　of YokohamaCity

－　Tsurumi River　and　Katabira River　－

Yoshiaki Kato, Fumio Higuchi ,Satoshi Fukushima
(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード　：水源涵養、河川流量変化、樹林被率、水環境計画、源流域環境の生物生息状況

要　旨

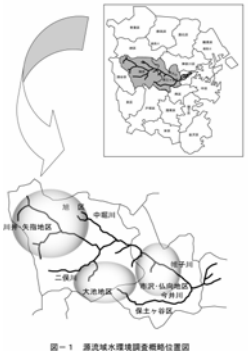
平成１６年度と平成１７年度に行った源流域水環境基礎調査から、河川流量変化や流域の樹林被率と水源涵養機能、水環境計画の水質目標と源流域河川水質、湿地環境と生物生息状況、生物指標と生物生息状況における源流域の特徴的知見が得られた。

１．はじめに

平成１６年度から始めた源流域水環境基礎調査は、河川源流域の緑の７大拠点とその周辺において源流域の水環境や生物生息状況の基礎的な調査を行っている。平成１６年度と平成１７年度に行った鶴見川源流域と帷子川源流域の調査結果から、水源涵養機能、水質の状況、生物生息状況について得られた知見を第一報としてとりまとめた。

図－１　源流域水環境調査概略位置図

図－１　平成 16 年度調査地域



図－１　源流域水環境調査概略位置図

図－２　平成 17 年度調査地域

２．対象地域、調査項目

平成１６年度は、鶴見川流域の　恩田(奈良川)、長津田(岩川)、三保・新治(梅田川)地域を対象に調査を行った。(**図-1**)。調査項目は**表-1** に示した。

平成 17 年度は、帷子川流域の川井・矢指、大池、市沢・仏向地域を対象とした(**図－２**)。調査項目は**表－２**に示した。

表－１　鶴見川源流域調査概況(平成 16 年度)

調　査　項　目		調査時期	調　査　地　点
①地形・地質・景観		通年	全体及び20地点
②植生	陸域植生	9月	10ﾙｰﾄ
	水生植物	5･7･9月	水路･細流等を含む10ﾙｰﾄ
③流量・水質調査	水量・水質現地調査	月1回	20地点
	水質分析・有害物質調査*	8･1月 (*は8月のみ)	20地点
④生物調査	魚類・甲殻類	年1回	16地点
	底生動物	8月	16地点
	藻類	年1回	16地点
	昆虫類(トンボ･チョウ･地表性昆虫**)	5･6･7･9･10月	10ﾙｰﾄ (**は10地点)
	鳥類	6･10･1月	10ﾙｰﾄ

表－２　帷子川源流域調査概況(平成 17 年度)

調　査　項　目		調査時期	調　査　地　点
①地形・地質・景観		通年	全体及び20地点
②植生	陸域植生	9･5月	10ﾙｰﾄ
	水生植物	8･9･5月	水路･細流等を含む10ﾙｰﾄ
③流量・水質調査	水量・水質現地調査	月1回	20地点
	水質分析・有害物質調査*	8･1月 (*は8月のみ)	20地点
④生物調査	魚類・甲殻類	年1回	16地点
	底生動物	8月	16地点
	藻類	年1回	16地点
	昆虫類(トンボ･チョウ･地表性昆虫**)	7･9･10･5･6月	10ﾙｰﾄ (**は10地点)
	鳥類	7･10･1月	10ﾙｰﾄ

３．　項目と方法

３－１　水環境調査

３-１-１　現場測定

（１）流量（水量）

河川（水路）流量については、折れ尺で流れ幅と水深を測定し、流路断面を作成し、それと流速（電磁式流速計）から算出した。

（２）水質

水温はアルコー棒状温度計、pH は携帯型 pH 計、電気伝導度は携帯型電気伝導度計で測定した。

３-１-２　室内分析

ＢＯＤ（生物化学的酸素要求量）は JIS K-0102 のウインクラーアジ化ナトリウム変法により分析を行った。糞便性大腸菌群数は河川水質試験方法によった。

３－２　生物生息調査

植物は､河川や各谷戸の水路沿いの一定区間を歩行し、水路周辺の生育種を記録した｡また､尾根の踏査を行い、水路周辺を対象とした調査結果を補完した。

魚類と甲殻類調査はＤフレームネット、投網を用いて行った。底生動物調査は、サーバーネット及び手網を用いて、瀬・淵、水際などの多様な環境要素を対象に定性採集した。藻類調査では、広い範囲を対象とした紅藻類の生育状況について目視調査を行った。

トンボ・チョウ類調査は、ルートセンサス法、鳥類調査は、ルートセンサス法を基本に定点調査で補完した。

３－３　生物重要種の分類基準

表－３に生物重要種の分類基準を示した。

４．結果と考察

４－１　水環境

４-１-１水源涵養機能

河川源流域は、まとまった樹林が存在しかつ田畑果樹が存在する農業地域でもある。

このような地域は、樹林等との関係で、降雨量や河川流出量の計測が行われ河川の水量を維持し平準化する水源涵養機能があることが明らかにされている。

樹林域における水源涵養機能は、林冠による降雨の遮断、樹木の蒸発散作用、林床部への雨水の遮断・浸透・保水等により説明されている[1)2)]。

これが河川への雨水の流出量を抑制し河川の固有水量の維持や洪水抑制機能につながっている。

ここでは、平成１６年度の鶴見川の支川流域で行った毎月の河川流量測定結果と降雨量、流域面積、樹林被率の関係から、これらの流域で明らかになった水源涵養機能に係わる特徴について考察する。

表－３　重要種分類基準

選　定　基　準	区　　分
「文化財保護法」（昭和25年法律第214号）	国指定特別天然記念物
	国指定天然記念物
「神奈川県及び横浜市指定天然記念物」	県指定特別天然記念物
	横浜市指定天然記念物
「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」(平成4年法律第75号)	国内希少野生動植物種
「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－」 ・「植物１(維管束植物)」(2000、環境庁) ・「植物Ⅱ(維管束植物以外)」（2000、環境庁）	絶滅（Ｅｘ）
	野生絶滅（Ｅｗ）
	絶滅危惧Ⅰ類Ａ（CR）
	絶滅危惧Ⅰ類Ｂ（EN）
	絶滅危惧Ⅱ類（VU）
	準絶滅危惧（NT）
	情報不足（DD）
	絶滅のおそれのある地域個体群（LP）
「神奈川県レッドデータ生物調査報告書」 (1995、神奈川県立博物館)	絶滅種[A～C]
	危惧種[D～F]
	減少種[G～H]
	希少種[I]
「横浜の植物」(2003、横浜植物会)	絶滅種（EX-A,EX-B）
	絶滅寸前（En-A、En-B）
	危急種（V-A、V-B）
	準絶滅危惧種（R）

注1)神奈川県レッドデータ生物の区分の内容（A～I）は以下のとおり
絶滅種A:もともと分布域が狭く局地的で、それが絶滅したと判断される種
絶滅種B:もともと分布域が狭く局地的で、Aランクより個体数が多かったと思われるが、それが絶滅したと判断される種
絶滅種C：分布が広く個体数も多いが、伝染病や極端な狩猟圧により破滅的に絶滅したと判断される種
危惧種D:現在も分布が限られ、かつ個体数が少ない種
危惧種E：分布は比較的広いが、個体数が少なくなってきている種
危惧種F：かつて広域分布であったが、分布が限定され、かつ個体数が少なくなってきている種
減少種G：分布は広域分布種であるが、分布が狭まり減少している種
減少種H：広域に分布しているが、個体数が減少している種
希少種I：狭分布域を維持している種のなかで、分布が希薄で、かつ個体数の少ないと考えられた種

注2)横浜の植物におけるランクの内容は以下のとおり
Ex-A:横浜市が分布域の縁にあたる種や海岸生の種など、分布域や分布量が限られた種のうち、現在絶滅したと考えられる種
Ex-B:かつては横浜市全域に広く、あるいは点々とみられたが、現在は絶滅したと考えられる種
En-A：横浜が分布域の縁にあたる種や海岸生の種など、分布域や分布量が限られた種のうち、今や絶滅寸前と考えられる種
En-B:かつては横浜市全域に広く、あるいは点々とみられたが、現在は絶滅寸前と考えられる種
V-A ：横浜が分布域の縁にあたる種や海岸生の種など、分布域や分布量が限られた種のうち、減少が著しい種
V-B ：かつては横浜市全域に広く、あるいは点々とみられたが、急激に減少している種
R　：もともと生育地が限られ、生育数も極端に少ない種や最近になって、見いだされた種

(1)降雨量と河川の流量変化

図－３に 2004 年度の横浜気象台の 6 月から 3 月の降雨量経月変化を、**図－４**に同時期の鶴見川流域の奈良川、岩川、梅田川で測定された各支川流量の経月変化を示した。両グラフを比較すると、降雨量の変化と奈良川の流量変化が類似している。一方、岩川と梅田川の流量でみると、10 月の台風時の降雨量への反応が、緩やかで、遅れ気味に変動し、台風による異常な降雨量があった 10 月に、各河川は対象的な反応を示した。岩川と梅田川は河川への降雨の流出量を抑制する平準化作用があるといえる。

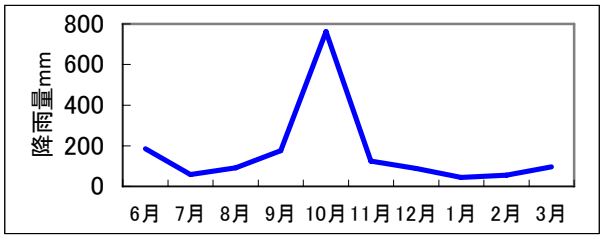


図-3 降雨量の経月変化(平成 16 年度横浜気象台)

(２)樹林被率と河川流量

(1) で示した降雨量と河川流量の関係を、流域面積、樹林被率と河川流量との関係でみる。

まず**図-５**に 3 河川流域地域の緑被の状況を示した。図中に示した恩田は奈良川流域、長津田は岩川流域、三保・新治は梅田川流域である。

図中の黒色部分は樹林、灰色は農地と草地、白は開発地域である。

樹林、灰色は農地と草地これらを合わせ緑被とし、対象地域の流域面積に対する緑被面積の割合を緑被率とする。梅田川、岩川、奈良川の順で 緑被面積(緑被率)が大きい。

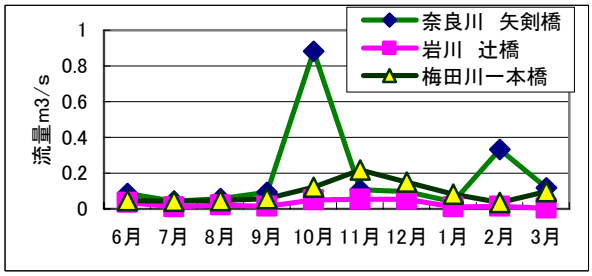
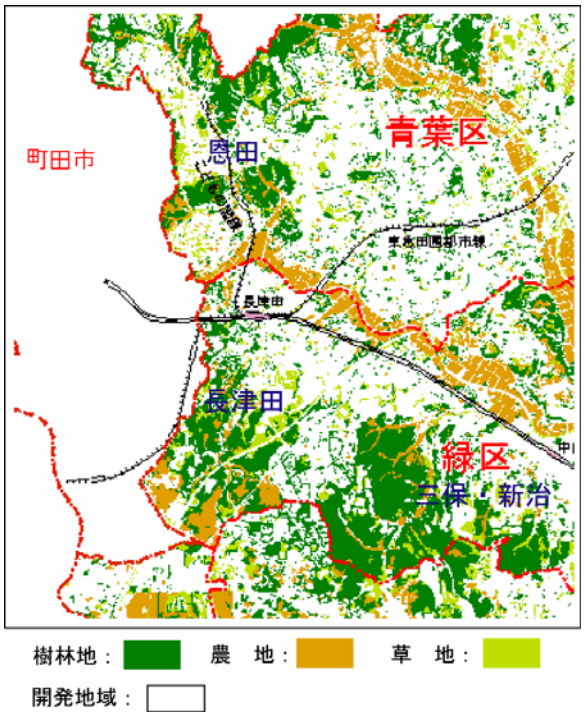


図-4 鶴見川支川流量経月変化(2004 年度)

表-４に、鶴見川各支川の流域面積、流域の樹林面積及び流域面積に対する樹林面積の割合である樹林被率を示した。

流域面積は、奈良川と梅田川が大きく、岩川の面積は小さい。流域面積が同等の奈良川と梅田川では、奈良川の平均流量が大きかった。**図－４**に示されているように、10 月と 2 月に、奈良川では流量が多く、特に 10 月の台風襲来時に突出した流量であったことが、平均流量に影響していた。それ以外の月では、奈良川と梅田川のでは、流量の差はほとんどなかった。

流域面積に対する樹林被率が大きければ、蒸発散作用等による雨水の流出抑制効果が有ることは先に指摘した。樹林面積、樹林被率ともに梅田川が最大で、次いで岩川、奈良川の順であった。10 月の流量に、奈良川と梅田川で大きな差があるのは、主に、この樹林面積、樹林被率の差によるものと思われる。岩川も梅田川と類似した傾向が見られ、樹林被率が高いことが関係していると思われる。



図－５ 各調査地域の緑被の状況

４－１－２ 水質

(1)水質調査結果と横浜市水環境計画達成目標との比較

水質項目の平均値と範囲は、**表－５**に示した。水温は、季節により 0℃～30℃近くまで変化し、気温の影響が大きいことがうかがえる。溶存酸素は、季節変動を受け冬季に高く、夏季に低い傾向があったが、全ての地点で 4mg/L を超えていた。電気伝導度は、鶴見川流域の方が帷子川流域に比べ高かった。有機性汚濁の指標となるＢＯＤと、糞便性大腸菌群数については、**表－６**に示した「横浜市の水環境計画」で定められている源流域の達成目標と比較した。

表－４ 鶴見川流域の流域面積、流量、樹林被率

	奈良川(矢剣橋)	岩川(辻橋)	梅田川(一本橋)
流域面積km2	1.04	0.50	0.98
最大流量m3/s	0.88	0.06	0.22
最小流量m3/s	0.041667	0.003667	0.035
平均流量m3/s	0.19	0.027	0.089
樹林面積km2	0.17	0.16	0.48
樹林被率%	16	32	49
流域の特徴	中規模以下の数谷戸残るが、周辺住宅開発進む。	中規模以下の数谷戸と田畑が残る。	ほぼ開発されていない大小8谷戸を含む里山が残る

ＢＯＤは、大部分の地点で夏季と冬季で目標値の 3 mg/L 以下であった。糞便性大腸菌群数は、夏季には全ての地点で目標値の 1,000 個/100 mL 以下を超えた。それに対して、冬季は全ての地点で目標値を下回っていた。

夏季に糞便性大腸菌群数が目標値を超えたのは、降雨の流入による水路の濁りや、水温が高く、糞便性大腸菌群数が高くなる状況があったためと考えられる。

４－２　生物生息状況

４－２－1 源流域環境と植物重要種の出現状況

平成 16 年度 17 年度に行った植物生育状況調査では、702 種が確認された。源流域は、湿地、溜池、水路、水辺、田、畑、草地、樹林等の環境で構成されており、多様な植物の生育環境があるといえる。重要種の出現状況を**表－７**に示した。

全体で 33 種の重要種が確認されている。環境分類毎にみると[3)]湿地系で生育するものが 24 種、山地系で 5 種、林縁系で 2 種、草地系で 2 種が確認されている。

全体の約 7 割が湿地系に生育する種であり、保全が必要とされる重要種のほとんどが、湿地系に生育していることが示された。これは、その減少が危惧される重要種を含む生物の多様性を維持するためには、湿地環境が維持されている源流域の保全が不可欠であることを示している。

４－２－２　水環境計画の指標生物の流域別出現状況

水環境計画の源流域における指標生物の出現状況を**表－８**に示した。

表－５　河川調査結果の現地調査及び分析調査結果

流域名		鶴見川			帷子川
項　目	河川名	奈良川	岩川	梅田川	帷子川
水　温 (℃)	平　均	17.1	16.9	17.6	16.2
	範　囲	5.9-26	5.4-31	8.1-31	5.1-26
ｐＨ	平　均	7.8	7.9	8.0	8.4
	範　囲	6.8-8.2	7.2-8.7	7.4-8.7	7.6-8.9
溶存酸素 (mg/L)	平　均	9.4	9.2	9.7	10.4
	範　囲	7.2-11	4.7-12	7.1-15	8.5-14
電気伝導度 (μS/cm)	平　均	543	348	306	241
	範　囲	385-646	180-415	281-345	188-388
ＢＯＤ (mg/L)	夏　季	2.2	1.2	1.4	-
	冬　季	1.5	1.5	2.2	2.2
ふん便性大腸菌群数 (個/100mL)	夏　季	3,600	100,000	1200	2,700
	冬　季	3	17	250	890

注)網がけは、目標値に達していない数値を示す。

表－６　横浜市における水域水環境計画の達成目標

目標項目 / 水域区分	生物化学的酸素要求量（ＢＯＤ）	生物指標による感覚的な水質階級	糞便性大腸菌群数
ＩＡ(源流域)	3mg／L以下	ホトケドジョウ、アブラハヤ、カワニナ、サワガニ	1,000個／100 mL以下

指標生物種が最も多く出現したのは、梅田川で、次いで川井・矢指、岩川、その他の順であった。出現種をみると、共通して見られるのは、ホトケドジョウ、ミズムシ、オナシカワゲラ科、カワニナ、イトミミズ、オニヤンマ、ヤマトクロスジヘビトンボであった。また、カゲロウ属とトビケラ属は、自然形態が維持されている河川で出現する傾向があった。

表－７　環境別植物重要種確認リスト

全種701種	環境分類と種数	種 名
重要種33種	湿地系24種	*ミズニラ、エビモ、コバギボウシ、マコモ、ヌメリグサ、シカクイ、シラコスゲ、オタルスゲ、ミヤマシラスゲ、アゼテンツキ、ウキヤガラ、セイタカハリイ、サクラタデ、ハンゲショウ、タコノアシ、チダケサシ、イワボタン、キツリフネ、ミズマツバ、クサレダマ、コシロネ、ミゾホオズキ、アブノメ、タウコギ
	山地系5種	コシダ、**キンラン、ムカゴイラクサ、マツブサ、ボタンヅル
	林縁系2種	イチリンソウ、アカショウマ
	草地系2種	イヌアワ、オグルマ

注)キンラン以外は、横浜市の重要種　*国、県指定種　**県指定種

表－８　流域別指標生物出現状況

流域	鶴見川流域(H16年度)		
河川	奈良川	岩川	梅田川
魚類	ホトケドジョウ、メダカ、モツゴ　3種	ホトケドジョウ、アブラハヤ、ドジョウ　3種	ホトケドジョウ、アブラハヤ、ドジョウ、メダカ、モツゴ、フナ類　6種
底生動物	サワガニ、オナシカワゲラ科、オニヤンマ、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、ミズムシ、アメリカザリガニ、イトミミズ科 8種	サワガニ、オナシカワゲラ科、カワトンボ、オニヤンマ、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、シロハラコカゲロウ、ウルマーシマトビケラ、ミズムシ、アメリカザリガニ、サホコカゲロウ、コガタシマトビケラ、イトミミズ科 13種	ヌカエビ、サワガニ、フタスジモンカゲロウ、オナシカワゲラ科、カワトンボ、オニヤンマ、カクツツトビケラ科、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、シロハラコカゲロウ、ウルマーシマトビケラ、ミズムシ、アメリカザリガニ、サホコカゲロウ、コガタシマトビケラ、イトミミズ科　16種
藻類	オオイシソウ	カワモヅク類	カワモヅク類、オオイシソウ
合計	12種	17種	24種
流域	帷子川流域(H17年度)		
河川	川井・矢指	大池	市沢・仏向
魚類	ホトケドジョウ、メダカ　2種	ホトケドジョウ　1種	ホトケドジョウ、メダカ　2種
底生動物	ヌカエビ、サワガニ、フタスジモンカゲロウ、オナシカワゲラ科、カワトンボ、オニヤンマ、カクツツトビケラ科、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、シロハラコカゲロウ、ミズムシ、アメリカザリガニ、サホコカゲロウ、コガタシマトビケラ、イトミミズ科　15種	ヌカエビ、サワガニ、オナシカワゲラ科、カワトンボ、オニヤンマ、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、ミズムシ、アメリカザリガニ、イトミミズ科　10種	ヌカエビ、オナシカワゲラ科、オニヤンマ、カワニナ、ヤマトクロスジヘビトンボ、ミズムシ、アメリカザリガニ、イトミミズ科　8種
藻類	カワモヅク類	カワモヅク類	カワモヅク類
合計	18種	12種	11種

５．おわりに

鶴見川と帷子川の源流域調査から以下のことが明らかになった。

1)流域の水源涵養機能は樹林被率の高い源流域で大きい。
2)源流域水質は、夏季と冬季で概ね良好である。
3)源流域の生物多様性は、湿地環境等多様な環境から構成されていることが背景となっている。
4)源流域の指標生物の種数を見ると、自然に近い流域(河川)が多く出現している。

本調査で市内源流域の重要性、生物多様性の一端が明らかにされた。平成 19 年度まで源流域調査は地域を変えて行われる予定である。今後の結果も加え、源流域の環境状況をより明らかにし、保全施策に反映するための資料として取りまとめる。

謝辞

調査にご理解ご協力をいただいた地権者、町内会、愛護会、市民団体、区政担当者、調査者の㈱アクアパルスの皆様に対してここに記して感謝する。

参考文献

１） 丹保憲仁・丸山俊朗編：水文大循環と地域水代謝、技報堂出版、46－69(2003).
２） 登坂博行：地圏の水環境科学　東京大学出版会 230-250（2006).
３） 牧野富太郎：牧野日本植物図鑑、北隆館　(1967).
４） 横浜市水環境計画
５） 平成 16～17 年度源流域水環境基礎調査業務委託報告書、平成 17 年 7 月
６） 平成 17 年度源流域水環境基礎調査業務委託報告書、平成 18 年 3 月

まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究（第一報）

西高幸作（横浜市環境創造局環境科学研究所）

A study of well-balanced creating environment for the town, the creature, and the nature, in City of Yokohama. (The First Report)

Kohsaku Nishitaka
（ The Environmental Science Research Institute, Environmental Planning Bureau, City of YOKOHAMA ）

キーワード：生物生息空間、環境共生、環境構成要素、生物出現特性

要旨

横浜市内における生物に配慮した環境への改善（生物生息空間の質の向上）、市街地への自然的環境や生き物の誘導に係る施策検討に寄与するため本研究に着手した。今回は第一報として、市街地内に現存する樹林地や自然的環境を有する公園において動植物相調査を実施し、環境特性（環境構成要素、面積、緑の七大拠点からの距離など）と、そこに生息する生き物との相関や傾向等について解析を行った。その結果、多様な環境構成要素を持つ場所では多様な生き物が生息していること、面積の大きさとの関係について、鳥類では出現種数に一定の相関がみられるが昆虫類ではみられないこと、鳥類や昆虫類にとって樹林環境以外に草地などの開けた空間も重要であることなど、生物生息空間を支える「質」と生き物との関係について、いくつかの知見を得ることができたので報告する。

1　はじめに

横浜市では、１９６０年代以降にみられた急激な都市化や大規模な宅地開発等は収束を迎えたが、緑化義務を伴わない小規模な宅地開発や、市街地内における大規模な住宅再編等の行為により、市内における緑地や自然地は依然として減少していく傾向にあり、とくに市街地内においては孤立化が著しく進行している状況にある。このような状況は、そこに生息する生き物が健全な生態系を維持していく上で必要と考えられる量的、並びに質的荒廃を誘発し、環境や生物の多様性を損なう主な要因となっている。

一方、近年において環境に対する市民ニーズや意識が高まりつつある中、住環境やその近隣において身近な自然や生き物とふれあえる環境の存在が必要[1)]であると考えられており、公園や緑地等の存在が都市空間に潤いを与え、精神的な安らぎをもたらすために重要な役割を担っていることがうかがえる。このことからも市街地内の公園や孤立林等に多様な環境を確保し、生物生息空間としての質を向上し維持していくことが、環境共生都市の実現へ向けた重要な課題であると考えられる。このような状況を踏まえ、本研究では、横浜市における生物生息空間の「質」と生き物の出現特性を解析し、市街地内における自然的環境の創造、生物生息空間の多様性確保と質的転換などの施策検討に対し、技術的な知見を提供することを目的とする。

今回はその第一報として、市街地内に孤立点在する公園緑地に着目し、環境構成要素の種類や面積、緑の七大拠点からの距離等と生物出現特性との関係について、いくつかの知見が得られたので報告する。

2　動植物相調査の概要

2-1 調査箇所の選定

平成１６年度に実施した予備研究[2)]では、本研究における解析方法に沿った調査箇所選定の必要性について指摘されている。したがって、今回の調査箇所選定にあたっては、市街地内に孤立する公園緑地であること、自然地形及び二次林を有するという基本条件を定めた。さらに環境構成要素ごとの解析を行う必要性から、調査面積は概ね２～４ha程度とし、環境構成要素の違い（とくに水辺の有無）や緑の七大拠点からの距離等を付帯条件として、岡村公園（磯子区）、港南台中央公園（港南区）、篠原園地・白幡池公園（港北区及び鶴見区）、もえぎ野公園・ふれあい樹林（青葉区）の４箇所を選定した。また、環境構成要素に関する解析を充実させるため、同一敷地内に複数の環境構成要素を有する久良岐公園（磯子区及び港南区）を加えた合計５箇所を調査箇所とした。以下に各調査箇所の概要について紹介する。

2-1-1 岡村公園

岡村公園は、磯子区岡村６丁目の丘陵地に整備された公園で、園内にはミズキ群落を有する樹林地のほか、野球場やテニスコート等のレクリエーション施設や、植栽による庭園も備えている。全体では約７haの敷地面積を有するが、市道である天神道路により敷地を東西に分断されている。西側の斜面には、かつて岡村天神の広大な社寺林であった一部が残されており、この部分が今回の調査箇所となる。環境構成要素としては、全調査箇所中で最も単純な構成となっており、落葉広葉樹林と草地（植栽含む）の２種類に分類された。落葉樹林帯となっている斜面は、非常に傾斜が厳しいことから、普段は人の出入りがほとんどなく、実

質的な生物保護区域となっている。

図１　岡村公園

2-1-2 篠原園地・白幡池公園

篠原園地は神奈川県所管の公園で、斜面を利用したサクラ植栽林と遊歩道、ゲートボール場が整備されており、東側には市立白幡池公園が隣接している。白幡池公園には、かつてため池として利用されていた白幡池が改修整備されており、貴重な親水空間を形成している。周辺は密集した旧市街地となっており、緑の七大拠点からの距離も全調査箇所中もっとも遠い。環境構成要素としてはサクラ植林、水辺、裸地の３種類に分類される。全面積は約２ha程度とあまり広くはないものの、水辺周辺には生物保護区域が設定されており、樹林部分についても柵のある遊歩道のため、樹林内には人が立ち入ることはほとんどない。水辺周辺では日中多くの市民が利用しているが、篠原園地側では遊歩道を散策する人はまばらである。

図２　篠原園地・白幡池公園

2-1-3 港南台中央公園

ＪＲ根岸線港南台駅に近く、周辺を大規模に造成開発された新興住宅地に囲まれたる公園である。傾斜の厳しい丘陵地が中央部に存在し、この部分にコナラとモウソウチクの群落が広がっている。公園面積は約４haで、そのほとんどが調査対象地となっており、環境構成要素としては落葉広葉樹林、竹林、草地及び裸地（いずれも植栽部分を含む）の４種類に分類される。樹林帯となっている斜面部は、傾斜が急であるため普段から人の出入りは少ない。一方、裸地はその大部分がグランド、若しくは遊具等が設置された平地で、相応の利用者があり賑わっている。

図３　港南台中央公園

2-1-4 もえぎ野公園・ふれあい樹林

青葉区もえぎ野小学校及び中学校に隣接する、周囲を新興住宅地に囲まれた公園、並びにふれあい樹林である。両敷地の中央を市道が分断しており、一体的な土地利用とはなっていない。公園側に大きな池が存在し、生物保護区域の設定がされていることから、多くの水鳥を観察することができる。ふれあい樹林側は良く管理された里山で、樹林地内に生物保護区域を設定している。環境構成要素としては、落葉樹林、竹林、水辺、草地、裸地の５種類に分類され、多様な環境を有している。

図４　もえぎ野公園

2-1-5 久良岐公園

総面積が約２３haにおよぶ広大な敷地内に、落葉樹林、常緑樹林、サクラ植栽林、水辺、草地、裸地などの多様な環境構成要素を有する拠点公園である。丘陵部等の自然地形を活かした土地利用となっており、人為的な環境が制限され、生物保護区域も広い面積で設定されている。樹林環境のみならず水辺空間も多様であり、池の存在に加え湿地や水路等もあり、充実した環境が維持されている。

2-2 調査項目及び手法

各調査箇所において植物相及び植生、哺乳類、鳥類、両生類、は虫類、昆虫類に関する動植物相調査を実施した。

表１に調査項目及び調査手法等を示す。なお、各調査では、事前に調査箇所を環境構成要素ごとにエリア区分を行い、その環境構成要素ごとに出現種を整理した。

2-3 調査結果

表２に調査結果を示す。表２では左の岡村公園から右の久良岐公園へ向かって環境構成要素が増えていく状況を表現した。また、久良岐公園については、表３に各環境構成要素に分類した調査結果を別途示した。

表１　調査項目及び手法等一覧

調査項目		調査手法	季節	もえぎ野	篠　原	港南台	岡　村	久良岐Ⅰ～Ⅳ
植物相		現地踏査	夏季	6/30	6/30	7/1	7/1	6/30
			秋季	10/21	10/21,22,11/9	10/22	10/22,11/8	10/20,11/8
動物相	哺乳類	目撃法及び フィールドサイン法	秋季	10/26	10/31	10/31	10/28	10/28
			冬季	1/27	1/17	1/27	1/30	1/30
	鳥　類	ロードサイドセンサス法及び任意観察	初夏	6/18	6/20	6/20	6/14	6/14
			秋季	10/7	10/21	10/13	10/14	10/14
			冬季	1/17	1/17	1/18	1/18	1/18
	両生・は虫類	目撃法及びフィールドサイン法	夏季	6/18	6/18	6/17	6/17	6/17
			秋季	9/29	9/29	9/29	9/29	9/29
	昆虫類	目撃法及びスウィーピング法	初夏	6/18	6/18	6/17	6/17	6/17
			夏季	8/18	8/18	8/18	8/18	8/18
			秋季	10/7	10/7	10/6	10/7	10/6

表２　　調査結果一覧表

項目 ＼ 調査地			単位	岡　村	篠　原	港南台	もえぎ野	久良岐
概略面積	全　体		ha	6.8	2.2	4.1	3.3	23.1
	調査対象			2.0	2.2	3.8	2.9	5.2
緑の七大拠点からの概略距離			km	4.5	8.0	1.0	1.5	3.5
公開（開園）年月日			－	1950.5.25	1968.8.27	1980.9.1	1990.6.25	1973.3.24
環境構成要素	落葉樹林		－	○		○	○	○
	常緑樹林							○
	竹　林					○	○	
	サクラ植栽林				○			○
	草地（植栽含）			○		○	○	○
	裸地（植栽含）			○	○	○	○	○
	水　辺				○		○	○
	環境の多様性			単 純 ←→ 多 様				
植物相内訳	草本類数		種	113	148	163	230	221
	木本類数		種	67	87	129	139	119
	木本率		%	37.2	37.0	44.2	37.7	35.0
	鳥類食餌植物種数		種	76	101	126	145	125
	昆虫類食餌植物種数		種	135	177	207	259	247
樹林環境階層構造	主群落高木層		－	ミズキ	ソメイヨシノ	ミズキ	コナラ	コナラ
	高木層樹高		m	16	10	12	12	15
	亜高木層		－	ムクノキ等		コナラ等	ヤマザクラ等	ミズキ等
	中・低木層			シロダモ等	ヤマグワ等	マダケ・キブシ等	アラカシ等	アオキ等
	草本層			ナガバジャノヒゲ	アズマネザサ	アズマネザサ	ナガバジャノヒゲ	ナガバジャノヒゲ
確認種数	植物相		種	180	235	292	369	340
	動物相	哺乳類	種	3	1	2	2	3
		鳥　類	種	22	23	23	29	34
		は虫類	種	2	3	2	4	3
		両生類	種	0	2	0	2	1
		昆虫類	種	245	153	166	222	333
	合　計		種	452	417	485	628	714

表３　　久良岐公園における環境種別調査結果内訳表

項目 ＼ 環境種別			単位	Ⅰ 樹林地	Ⅱ 水辺・草地	Ⅲ サクラ植栽地	Ⅳ 草地・裸地
概略面積	全　体		ha	23.1			
	調査対象			1.7	1.2	1.0	1.3
環境構成要素	落葉樹林		－	○			
	常緑樹林			○			
	竹　林						
	サクラ植栽林					○	
	草地（植栽含）				○		○
	裸地（植栽含）						○
	水　辺				○		
植物相内訳	草本類数		種	83	131	74	104
	木本類数		種	77	29	37	60
	木本率		%	48.1	18.1	33.3	36.6
	鳥類食餌植物種数		種	77	45	42	71
	昆虫類食餌植物種数		種	125	113	84	121
樹林環境階層構造	主群落高木層		－	コナラ・アカガシ	クロマツ	サトザクラ	シラカシ・イチョウ
	高木層樹高		m	16・12	5	6	8～13
	亜高木層		－	ミズキ・ヒサカキ等			
	中・低木層			アオキ・シュロ等			
	草本層			ナガバジャノヒゲ	ヒメガマ・フトイ等	ススキ・チカラシバ	ノシバ等
確認種数	植物相		種	160	160	111	164
	動物相	哺乳類	種	2	2	0	0
		鳥　類	種	16	22	15	17
		は虫類	種	0	3	0	0
		両生類	種	0	1	0	0
		昆虫類	種	189	145	81	76
	合　計		種	367	333	207	257

3　生物生息空間の質に関する解析と考察

3-1 生物生息空間の「質」とは

動植物にとって棲みやすい環境とはどのようなものなのであろうか。また、どのような環境を構築すれば、人と生き物がバランス良く共生できるのか。これは非常に難しい問題であり、それぞれの都市や地域、周辺環境、そこに住む人々の考え方や文化、産業構造など、様々な視点により異なり、また求められる姿や価値観も千差万別と考えてよい。これは「多様な環境」や「生物多様性」についても同様といえる。

本研究では横浜市における市街地内の生物多様性の向上を目的とし、そのためには市街地内における生物生息空間の質をどのように向上すれば良いか、ということに主眼を置いている。例えば、玄関を出たら鬱蒼とした木々が生い茂り、通勤通学する街路ではヘビやカエルが横断し、タヌキやイタチが走り回る。動植物にとっては、それが良い世界なのかもしれないが、このような環境共生都市像を思い描く人がこの横浜市内にどれだけいるだろうか。

つまり、自宅から少し歩けば、緑があふれ、鳥や昆虫などの身近な生き物とふれあえる場所がたくさんある、このことこそが、横浜市において目指すべき環境共生都市像ではなかろうか。このような前提に基づき、市街地内に点在する生物生息空間の質と、そこに生息する生き物との関係を解析し、把握していくこととする。ただし、動植物の世界は複雑かつ多様な食物連鎖（Food Chain）や食物網（Food Web）を背景とし、その相互作用により形成されていることから、統計学的手法による解析結果については、一定の傾向を示すものであり絶対値ではない。

3-2 環境の多様性との関係

表２の調査結果に基づき、各調査箇所で確認された動植物相の出現種数を図５に示した。

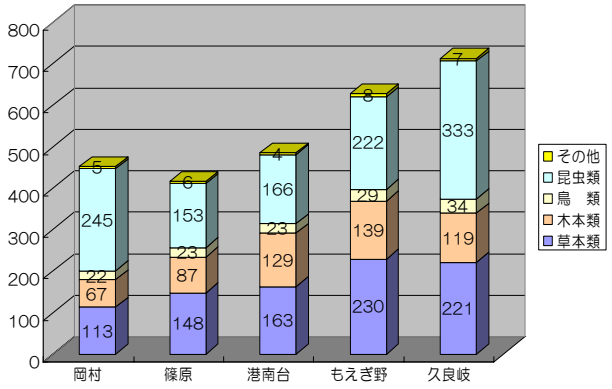


図５　調査箇所別生物出現種数

環境構成が最も単純な岡村公園で動植物の出現種数が若干多いものの、多様な環境においては、多様な動植物が生息する傾向が確認できる。とくに水辺の有無は両生類の生息には不可欠であり、は虫類や水鳥などの多くの種の出現に影響を与えている。また、図６に示すとおり、環境構成要素数と動植物出現種数との関係について相関係数を求めたところ、r=0.901と強い相関が認められ、このことからも環境構成要素が多いほど、動植物の出現種数が多くなる傾向が確認できた。また個別の種で解析した場合、植物では相関係数r=0.996、鳥類では相関係数r=0.865となり、いずれも強い相関があることが判明した。ただし、昆虫類については相関係数r=0.494となり、環境の多様性以外に出現種数に影響をおよぼす要因があることがうかがえる。このことは岡村公園の昆虫類出現種数の結果と合致しており、後述において解析を加えることとする。

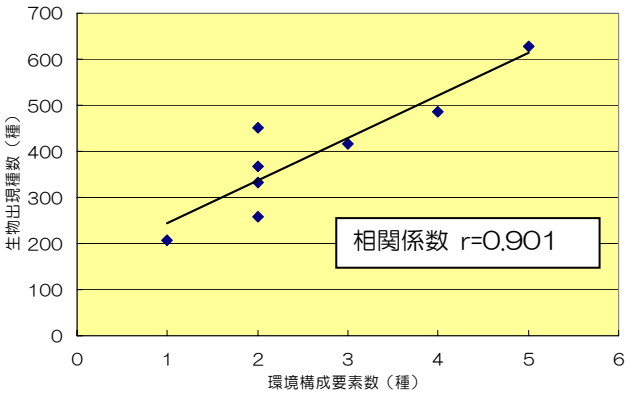


図６　環境構成要素数と生物出現種数の相関

次に、環境構成要素別に動植物相の出現特性を解析してみる。各調査箇所を構成する環境を、落葉樹林、常緑樹林、竹林、植栽林、水辺、草地、裸地の７要素に分解して解析を試みた。なお、樹林については、落葉又は常緑を主体とした雑木林であり、草地及び裸地については植栽を含むものとする

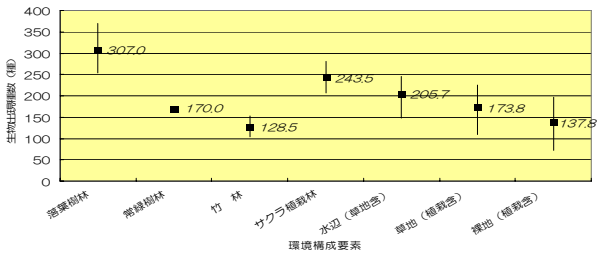


図７　環境構成要素別生物平均出現種数

図７は環境構成要素別の生物平均出現種数を示したものである。この図から、サクラ植栽林を含む落葉樹林に最も多くの種が出現していることが分かる。水辺や草地も落葉樹林に次いで高い出現種数を示している。一方、同じ樹林であっても常緑樹林や竹林は、生物出現種数が少ないことが判明した。これは図８に示す植物平均出現種数についても同様の傾向を示しており、常緑樹では林床への日照不足による中・低木及び草本層の貧弱化、竹林においては難分解性の葉が表土を覆うことと根が浅い部分で広がる性質から、中・低木並びに草本層が発達しにくいことが出現種数の伸びない主な要因と推察される。

図９に昆虫類平均出現種数を示す。興味深いことに、植物平均出現種数と同様の傾向を示している。これは昆虫類の大多数が植物を糧とする一次消費者であることから、植物相の出現特性に追随したものと考えられる。

一方、鳥類では図１０に示すとおり、水辺が最も出現種

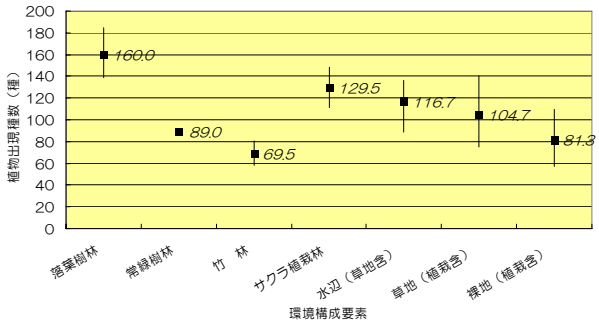


図８　環境構成要素別植物平均出現種数

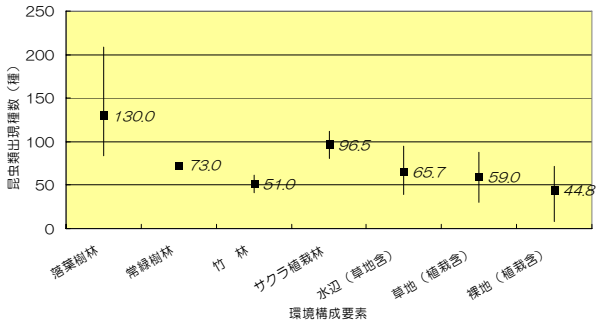


図９　環境構成要素別昆虫類平均出現種数

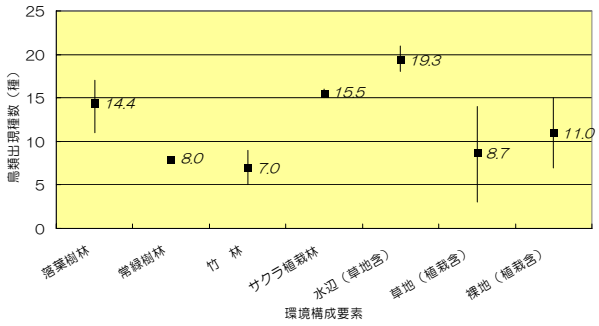


図１０　環境構成要素別鳥類平均出現種数

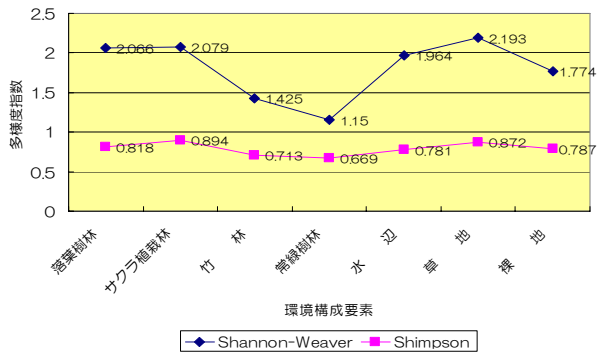


図１１　環境構成要素別鳥類多様度指数

数が多く、次いでサクラ植栽林を含む落葉樹林となっている。これに関連して、ロードサイドセンサス調査結果に基づき、Shannon-Weaver(Margalef. 1958)及びShimpson(1949)式により多様度指数を求めた結果を図１１に示す。多様度指数では、草地が最も多様度が高く、次いで落葉樹林、水辺とほぼ同様の結果となっており、樹林環境のみならず、水辺や草地などの開けた空間も、鳥類や昆虫類等の身近な生き物にとって重要な環境であることが確認された。

3-3 生物生息空間の面積との関係

次に生物生息空間における面積の大きさと生物出現種数との関係について着目した。

図１２は調査箇所における調査対象面積と生物出現種数の相関を示したものであるが、相関係数r=0.809と強い相関があることが判明した。これは、調査対象面積を含む公園

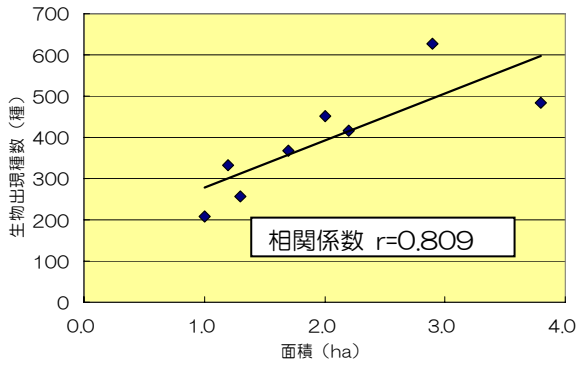


図１２　生物生息空間面積と生物出現種数の相関

緑地の全面積とした場合でも同様（相関係数 r=0.741）の傾向を示していることから、多様で自然的環境を備えた公園緑地においては、面積が大きいほど多様な生物種の出現が期待できると考えられる。また、個別の生物相では、植物相で相関係数 r=0.855、水鳥を除く鳥類で相関係数 r=0.719となっており、いずれも面積が大きい方がより多様となる傾向を示した。なお、鳥類出現種のうち水鳥については、水辺の存在が出現の有無を左右することから除外して解析した。また、昆虫類については相関係数 r=0.514と中程度の相関を有するものの、面積以外の要因が出現種数に影響を与えている可能性が高いと考えられる。

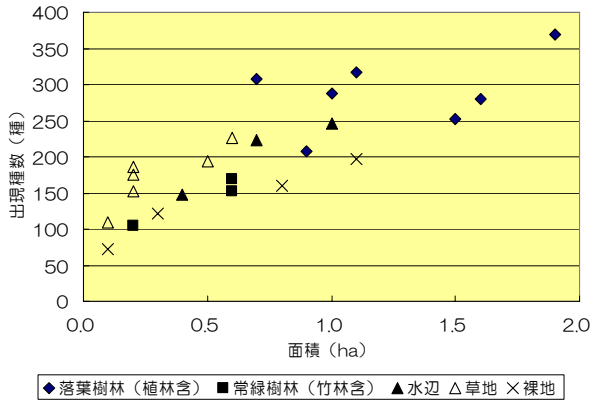


図１３　環境要素別面積と出現種数の関係

次に環境構成要素別に面積との相関を検討する。図１３に環境要素別面積と生物出現種数の関係を示した。この図より求めた相関係数の一覧を表４に示す。表４からサクラ植栽林を含む落葉樹林以外の環境構成要素において、面積

	相関係数
落葉樹林（サクラ植栽含）	0.384
常緑樹林（竹林含）	0.945
水　辺	0.655
草　地	0.794
裸　地	0.838

表４　環境要素別面積と生物出現種数相関係数

と強い相関があることが分かる。しかし、総出現種数では植物の出現種数が圧倒的に多く、この数値に他の種が影響を受けている可能性が高い。したがって、都市鳥を除く鳥類と昆虫類の出現種数を用いて同様の解析を行った。その結果、都市鳥を除く鳥類では、サクラ植栽林を含む落葉樹林で相関係数 r=0.384、水辺で相関係数 r=0.655と若干低い値を示した。また、昆虫類ではサクラ植林を含む落葉樹林で相関係数 r=0.545、草地で相関係数 r=0.176となった。この結果より、環境構成要素は単体の大きさではなく、多様で複合的な構成で、かつその面積が大きい方が、多様な種の出現を期待できるものと考えられる。

3-4 緑の七大拠点からの距離との関係

植物のように自力による移動がない種を除き、広い行動半径を有する種では、緑の七大拠点からの距離が、その生物生息空間に何らかの影響を与えるひとつの「質」であると捉えることができる。

そこで、緑の七大拠点からの距離と、全生物出現種数との相関係数を求めたところ、r=−0.480となった。そこで、条件と種を絞り込んで解析を進めることとした。まず、行動半径が大きい種として鳥類が挙げられる。このうち水辺の存在に出現の有無が左右される水鳥と、カラスやドバト等のいわゆる都市鳥を除き、樹林依存性の鳥類のみにデータを絞り込み、久良岐公園を除いた４地点で解析を試みた。その結果、図１４に示すとおり相関係数 r=−0.777となり、強い負の相関があることが確認された。これは、緑の七大拠点から遠ざかるほど、鳥類出現種数が少なくなる傾向を示している。また、久良岐公園を含めて解析した場合、相関係数 r=−0.386となり弱い相関となってしまう。その理由としては、久良岐公園は約２３haという広大な面積と多様

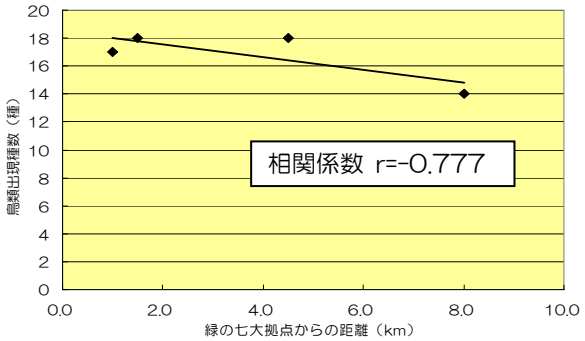


図１４　緑の七大拠点からの距離と鳥類出現種数の関係

な環境を背景とし、単独でも拠点に相当する生物生息空間としての資質を有しているためで、植物や鳥類等の出現種数は、緑の七大拠点である横浜自然観察の森や円海山の落葉樹林における出現種数[3)]と同等以上を記録していることからも容易に判断できる。したがって、久良岐公園のデータを入力した場合、緑の七大拠点からの距離が遠いにもかかわらず出現種数が多くなることから、相関係数が低くなってしまうという現象が生じてしまう。このことを踏まえ、久良岐公園を「地域拠点」と仮定した場合、近い位置に存在する岡村公園については、鳥類の出現特性について何らかの影響があるものと考えられる。

表５に鳥類出現種における類似度指数を示した。同表より、久良岐Ⅰ（樹林環境）と岡村での鳥類出現種の類似度が９０％に達している。このことから、久良岐Ⅰ及び岡村において、ミズキを優占種とする樹林環境が酷似する点と、両者が１ｋｍ以内に存在するという地勢から判断し、どちらかに生息拠点を置く鳥類が餌場等として利用し、相互往来している可能性が極めて高いと推察できる。

	岡村	港南台	篠原	久良岐Ⅰ	久良岐Ⅱ	久良岐Ⅲ	久良岐Ⅳ	久良岐計
もえぎ野	0.680	0.691	0.743	0.697	0.670	0.560	0.588	0.833
岡村		0.606	0.408	0.900	0.433	0.464	0.527	0.731
港南台			0.868	0.624	0.309	0.395	0.461	0.575
篠原				0.462	0.581	0.361	0.430	0.587
久良岐Ⅰ					0.461	0.473	0.531	
久良岐Ⅱ						0.304	0.337	
久良岐Ⅲ							0.708	

表５　環境構成要素間における鳥類類似度指数

以上より、鳥類の出現種数は緑の拠点（七大拠点をはじめ地域拠点）からの距離が近いほど多く、遠くなるほど少なくなる傾向がある。ただし、拠点における多様な種の鳥類を誘導する際には、拠点に準じた樹林等の環境が必要であることを付記したい。

また、参考までに、篠原ともえぎ野で鳥類類似度指数が高いのは、両者とも水辺環境を有しており、水鳥における出現特性が酷似していたためと考えられる。また、篠原と港南台では、カラスやドバト、ヒヨドリなどの都市鳥の出現特性を強く反映したものと考えられる。一方、水辺環境の久良岐Ⅱと樹林環境の港南台など、類似度指数が低い組合せについては、いずれも環境特性が符号しないことがその理由として挙げられる。

なお、昆虫類の出現種数と緑の七大拠点からの距離の関係については、相関係数 r=−0.286と弱い負の相関しかみられなかった。そこで、昆虫類の中でも飛翔性、移動性に長けた種であるチョウ目、トンボ目、セミ科の３種に絞り込んで解析を試みた。その結果についても、同様に相関係数 r=−0.246と弱い負の相関しかみられなかった。以上を踏まえ、昆虫類の出現種数と緑の七大拠点との距離については、ほとんど関係がないものと考えられる。

3-5 食餌成分との関係

各環境構成要素を成立させている中心的な生き物は何であろうか。それは、水辺環境も含めて植物であるということができる。その理由として、生き物の消費活動により摂取される栄養の根源が、植物にあるからにほかならない。また、生き物の行動原理は極めて単純で、個体がその存在

を維持し、或いは新たな生命を育むため、餌を摂り、エネルギーに変換することを基本としている。ここでは、生物出現特性や行動原理に影響を与えると想定される食餌植物の存在に着目し、その関係について解析を行う。

図１５に食餌植物と鳥類、昆虫類の出現種数を示した。

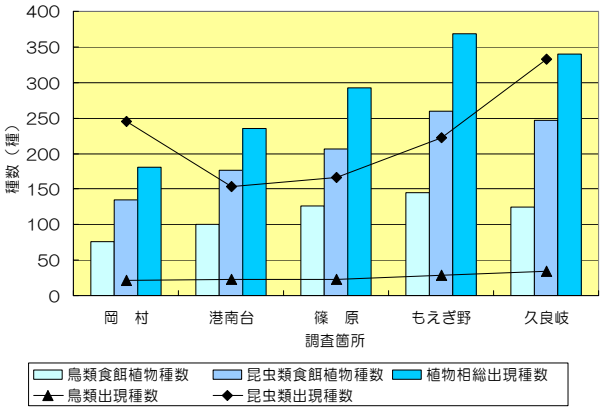


図１５　食餌植物と鳥類・昆虫類出現種数

図より、岡村公園における昆虫類以外は、概ね食餌植物の出現種数に鳥類、昆虫類の出現種数が連動する傾向がみられる。

昆虫類は一次消費者の代表としてよく知られているが、実際にはかなり多様な食の世界を持っており、植物食性、動物食性、腐食性、雑食性の大きく４群に分類されている。また、種によっては単食性、狭食性、広食性があり、変態機能を有する種などでは、ステージによって食群や食性が変化するものもある。動物食性昆虫は、一次消費者である昆虫を捕食する二次消費者の立場にあり、必然的に一次消費者の近隣に生息する場合が多い。

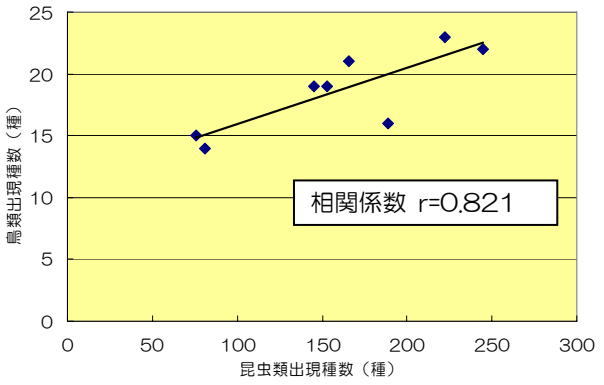


図１６　昆虫類及び鳥類（水鳥除く）出現種数の関係

鳥類についても、食群及び食性は昆虫類と同様で、どちらかといえば昆虫類を餌とする二次消費者としての位置付けが強い。図１６に昆虫類出現種数と水鳥を除く鳥類出現種数との関係を示した。図より、相関係数 r=0.821と強い相関があることが分かる。このことから、多様な昆虫類が出現する場所では、鳥類も多様となる出現特性を示すことが確認された。ただし、昆虫類の個体数が多いところで必ずしも鳥類個体数が多くなるわけではなく、このことは昆虫の個体数密度が高い所ほど、鳥による採食効果が小さくなるという研究報告[4]でも明らかにされている。つまり、限られた樹林内において、存在できる同一種の鳥類の個体数にはある程度の制限があるが、多様な種の鳥類が同時に存在することは妨げない、と解釈することができる。

以上より、食餌植物の存在は、一次消費者である昆虫類及び鳥類の出現特性だけでなく、これを捕食する二次消費者としての多様な昆虫類、並びに鳥類の出現特性にも影響を与える間接的要因となっていると推察できる。ただし、昆虫類の多様な出現特性を支えているのは、岡村公園の事例から食餌植物の存在のみではないことも明らかで、この点については後述で別途解析を加えることとする。

3-6　生態系の健全性との関係

これまでの解析では、植物や昆虫類、鳥類といった比較的身近で、サンプル数の多い種を用いてきた。しかし、実際の生物生息空間では、より多様な生き物たちが生息しており、食物連鎖（Food Chain）や食物網（Food Web）を形成する上で重要な役割を果たしているものも多い。ここでは、各調査箇所における全出現種データを用い、生態系の健全性を生物生息空間の質として捉え、簡易的な手法により評価する。なお、本手法については、本市における将来的な生物相・生態系調査の在り方を検討する「横浜市市民協働による陸域生物相・生態系調査検討委員会」[5]において提案されているもので、食物連鎖箱法[6]をベースに一部改良を加えて簡易モデルとしたものである。

図１７に「健全な生態系簡易評価モデル図」を示す。図中において、各調査箇所において出現した種が属する種群の箱を塗りつぶし、その箱の数と種群のニッチに応じて設定されている得点ポイントを乗じ、これを合計したものを評価点とする。なお、今回未調査である土壌動物（図１７の枠で囲った部分）については、すべての調査箇所において設定種群の半数が出現したと仮定し、当該設定ポイント合計値の1/2（＝８ポイント）を一律加算した。

図１８～２２に各調査箇所におけるチェック済みモデル図と、これに対応した算定結果を表６に示した。その結果、生態系の健全性が最も低いのは港南台で、次いで篠原、もえぎ野、岡村、久良岐の順となった。ここでも岡村公園が高いポイントを獲得しており、猛禽類や大型の肉食鳥類、は虫類等の高ニッチが確認されたことに加え、二次消費者が様々な種群で出現したことが、その主な要因と考えられる。岡村公園は環境の多様性や、昆虫類を除く動植物の出現特性では、最も単純であると位置付けられていたが、生態系の健全性では高い評価を得た。一方、環境及び動植物の出現特性において中間的な存在であった港南台中央公園は、生態系の健全性という観点では最下位という結果となった。このことから、生物多様性と生態系の健全性は密接な関係になければならないが、単純に「生物出現種の多様性＝生態系の健全性」ではないということが分かる。つまり、生態系の健全性では、生食又は腐食連鎖の各栄養段階において、生態的地位が特徴的な種の存在を中心に、種間関係に基づく生物多様性を評価することから、単純に出現種数が多いこととは意味が異なるということである。

生態的階層区分	種群数	設定ポイント	岡　村		篠　原		港南台		もえぎ野		久良岐	
			出現	得点	出現	得点	出現	得点	出現	得点	出現	得点
三次消費者（生食）	2	8.0	1	8	1	8	0	0	1	8	2	16
三次消費者（腐食）	2	6.0	2	12	1	6	2	12	2	12	2	12
二次消費者（Key種）	1	5.0	1	5	1	5	0	0	0	0	1	5
二次消費者	22	1.5	15	23	14	21	12	18	13	20	16	24
一次消費者	26	1.0	13	13	13	13	12	12	16	16	16	16
生産及び分解者	8	1.0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
未調査土壌動物加算	-	8.0		8		8		8		8		8
合　計				76		68		57		71		88

※ 未調査である土壌動物に関しては、対象となる赤枠内の二次消費者４種群×1.5P = 6P及び一次消費者9種群×1P = 9Pの合計15Pの1/2（=8P）について一律加算することとした。

表６　健全な生態系簡易評価算定結果一覧表

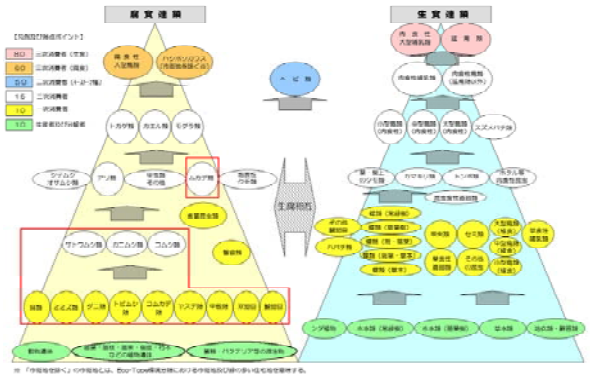


図１７　健全な生態系簡易評価モデル図

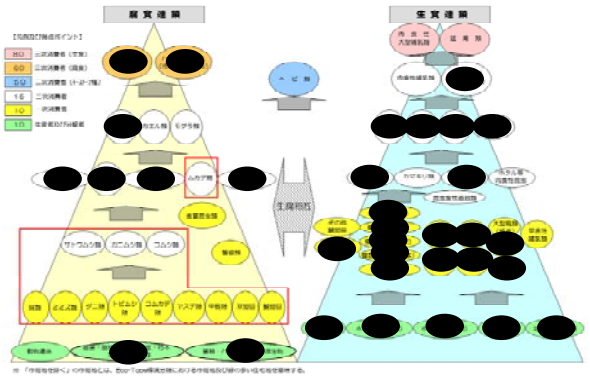


図１８　港南台中央公園

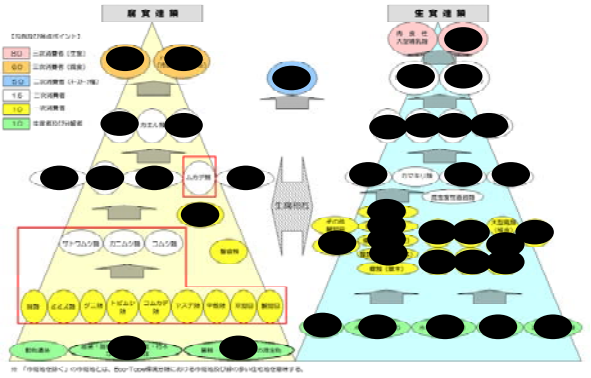


図１９　岡村公園

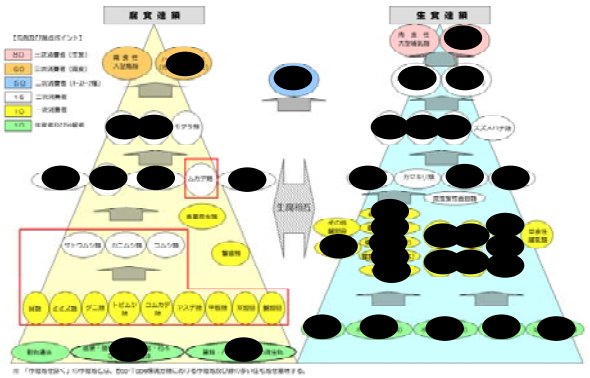


図２０　篠原園地・白幡池公園

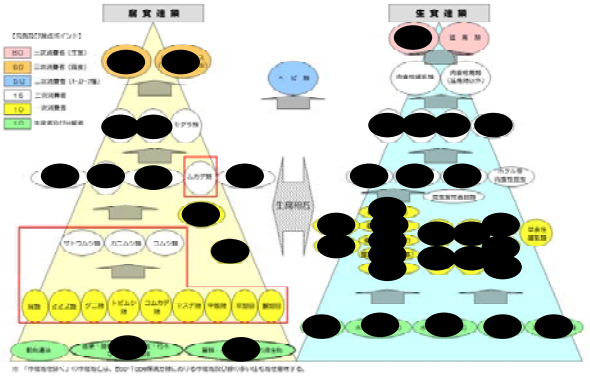


図２１　もえぎ野公園・ふれあい樹林

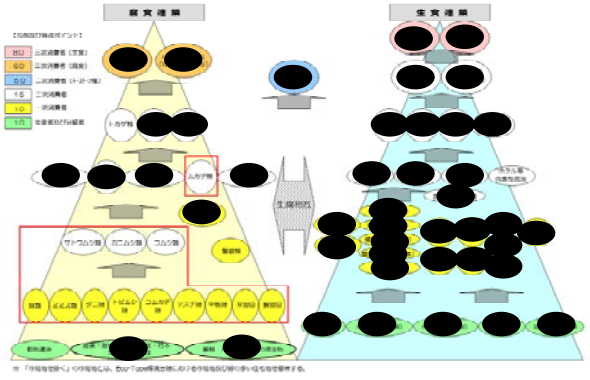


図２２　久良岐公園

また、実際の生物生息空間では、上位消費者の餌とならないまま死んでいく個体や種の方がはるかに多いことから、腐食連鎖の割合の方が生食連鎖に比べ非常に高いとされている。その意味では、生物生息空間が維持している種の多様性を知ることと、その場所における生態系の健全性を知ることは共に重要なことである。

久良岐公園では、保有する環境の多様性、出現種の多様性、生態系の健全性、いずれの面でも非常に良好な結果を得ており、生物生息空間として優れた資質を有していることが確認できた。また、この公園の市民利用状況も良好であることから、人と生き物のバランスがとれた「環境共生」空間としての良い事例として位置付けられ、市街地内における生物生息空間の在り方を示すひとつの指針となるものと考えられる。

3-7　昆虫類と生物生息空間の質に関する追加解析

3-7-1 追加解析に係る基本条件の整理

これまで生物生息空間の質について、様々な視点から解析を行ってきた。しかし、岡村公園に昆虫類出現特性ついては、一般的な傾向とは異なる結果を示している。このことは、これまで解析した生物生息空間の質以外に、昆虫類の出現特性に何らかの影響を与える別の質が存在することを意味するものではなかろうか。

岡村公園では、食餌植物の出現種数が比較的少ないにもかかわらず、久良岐に次ぐ多様な種の出現があることが挙げられる。また、これまでの解析結果より、昆虫類の出現特性は、環境の多様性や面積の大きさ、緑の七大拠点からの距離にあまり影響を受けない傾向があることが確認されている。以上を踏まえた結果、岡村公園には、昆虫類の産卵～孵化～成長（各ステージ）を支えていくための固有の条件が存在していると推察することができる。また、一般に昆虫類の行動半径は、ごく一部の種を除きあまり広くないことが知られている。例えば、アリや甲虫など、地這性の昆虫における行動半径は概ね５０m程度[7)]とされており、成虫で飛翔機能を有する種であっても、幼虫などの成長ステージではほとんど移動はない。このことから、昆虫類は土着性が高く、特定の質に対し依存性の高い生き物であると仮定できる。

3-7-2 表土の健全性との関係

昆虫類が生息する環境のうち、忘れてはならないものに地表及び地中がある。「土」は樹林等の環境を支える基本要素であり、昆虫類のみならず、土壌動物、両生・は虫類、鳥類、哺乳類など、様々な種が営巣や餌場として利用している。とくに昆虫類では、卵やサナギなどの成長段階において、或いは成虫でも多くの種が「土」に依存する生活を送っている。

「土」は一般に土壌、土質、地層などの表現で用いられるが、ここでは生物生息空間の一環として捉え、「土環境」という表現を用いることとする。土環境の中で、生物生息空間の質という観点から最も重要なのは表土であると考えられる。表土は落ち葉や枯れた植物、動物等の死骸が微生物によって分解されることにより造られるが、自然の植生被覆の状態で１ｃｍ形成するのに１００～４００年を要するといわれている。ドイツでは表土の重要性が非常によく認識されており、表土の保全方法や再利用等について、法的に定められている。[8)] 岡村公園の場合、開園が1950年と古いが、それ以前に当該箇所が岡村天神の社寺林として存在していたことが重要な点として挙げられる。また、樹林地は厳しい斜面地形の為、造成等の人為的な手があまり加えられていないこと、開園後についても人の立入が事実上不可能な状況であり、長期間に渡って表土が保全されてきたことが重要なポイントといえる。これは、樹高１６ｍにおよぶ良好な林分を呈するミズキ群落が存在することにより証明される。さらに、同様の傾向は久良岐Ｉの落葉樹林でも確認できる。

図２３　岡村公園の斜面に展開する落葉樹林

一方、篠原では、ほとんどが斜面造成により形成された植林段地であり、表土と従前に存在した樹林を喪失したことが、昆虫類の出現種数が少ないことに対する最大の理由であると考えられる。同様に、港南台では、樹林地における下層はアズマネザサが密生し地表を覆い尽くしていることに加え、樹林地の裾野を大規模に造成して整備されたことが最大の原因であると推察できる。

以上のように、表土は昆虫類の生物生息空間として重要な質と位置付けることができる。また、土環境は、は虫類等の比較的大型の種にとっても重要であり、造成等による大規模な土環境の改変は、それらの種に多大な影響があることを認識しなければならない。

3-7-3 樹林構造との関係

ここでは樹林構造のうち、主に林分構造と階層構造について着目する。林分構造については、前節でも述べたとおり土環境と密接な関係があり、良好な林分構造を維持していることは、良好な土環境が維持されていることにほかならない。本来、林分構造とは、樹林内における量的（優占種における直径階分布や材積頻度分布など）及び質的（樹齢構成や樹種構成など）側面から成立する樹林相互の関係全般を意味するが、ここでは主に優占種の樹高のみに着目し取り扱うこととする。

図２４に落葉及び常緑樹林優占種における林分構造と昆虫類出現種数との関係を示した。同図より落葉樹林における相関係数は r=0.773となり、常緑樹林ではr=0.929といずれも強い相関があることが確認された。

次に階層構造との関係について解析を行う。図２５に岡村の落葉樹林における代表的な植生断面図を示した。

岡村の植生断面図より、草本層、低木層、中木層、亜高

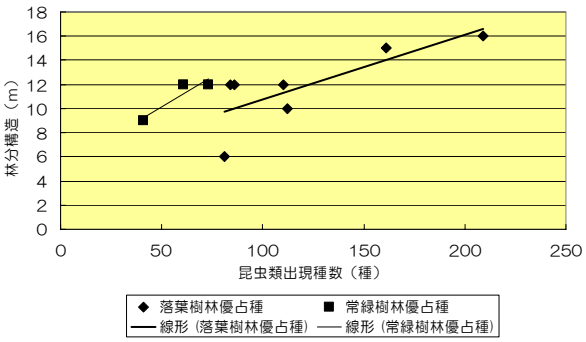


図２４　落葉及び常緑樹林優占種の林分構造と昆虫類出現種数との関係

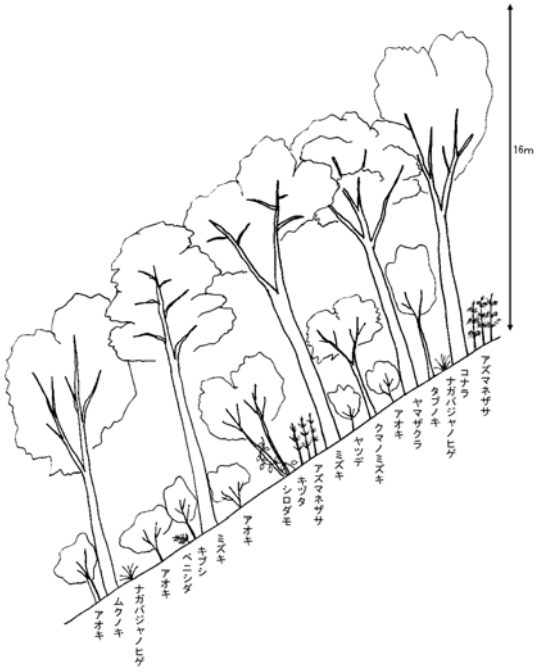


図２５　岡村の落葉樹林における植生断面図

木層、高木層の５階層が良好に形成されていることが分かる。樹高１６ｍにおよぶミズキを高木優占種とする良好な林分構造に支えられ、亜高木層にはムクノキ、コナラ、ヤマザクラ等の夏緑広葉樹にシロダモ等の常緑広葉樹が多少混生している。中木層にはクマノミズキやシロダモ等、低木層にはアオキ、ヤツデがみられる。また、草本層にはナガバジャノヒゲやキヅタ、ベニシダ等の常緑植物が占めており、植被率は約２０％程度と低かった。そのため地表が容易に確認でき、表土も柔らかい状態であった。

一方、昆虫類の出現種数が最低であった篠原の植生断面図を図２６に示す。

篠原は林分構造が約１０ｍ程度であり、高木優占種はソメイヨシノやヤマザクラの植栽木である。図にみられる通り、亜高木層及び中木層が存在せず、ムクノキやエノキ等

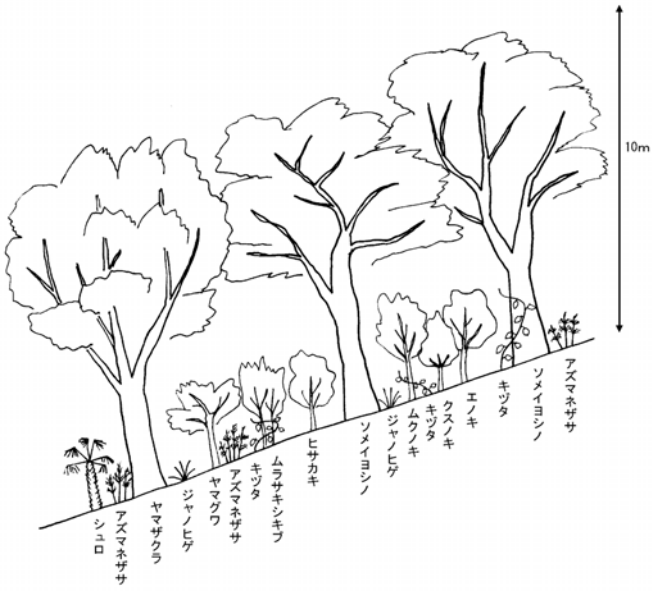


図２６　篠原のサクラ植林における植生断面図

の低木層、アズマネザサやキヅタ等の草本層の３階層で構成される。また、下層はアズマネザサとキヅタ等のツル類が絡み合い荒れた状態で、低木及び草本層の植被率は約７０％と高い値を示し、表土は見える箇所とそうでない箇所の差が大きかった。

土中より孵化して地上を次ステージとする昆虫類は、草本層を含めた樹林下層への移行がスムーズに行わなければならない。つまり、林床に草本類が密生して荒れた状況や、踏圧又は舗装等により地表部が固結し、樹林下層が未発達な場合などは、次の成長ステージに移行することが困難となってくる。また、葉や樹幹等を媒体に地上で孵化する種や、成長ステージに応じて食餌物が変化する種などは、下層から中層以上へと食餌物を求めてスムーズに移動できる高さ関係が必要となってくる。このように、昆虫類の出現特性と樹林の階層構造の形成状態とは密接な関係があることが分かる。とくに、樹林環境における林床植生や下層植物が、昆虫類などへ生態的な影響を与えることは既に指摘されており、[9)] 草本層である下草の管理、並びに良好な林床景観の育成は、表土の保全や樹林階層構造を形成する上で非常に重要であるといえる。以上を踏まえ、昆虫類の多様性を確保する上で、生息空間となる樹林環境における良好な林床景観と階層構造の形成、並びに適切な管理が、非常に重要であると結論付けることができる。

3-8　まとめ

生物生息空間の質に関する解析結果について整理する。

第一に、生物生息空間を構成する環境が多様な方が、出現する種も多様となる傾向がある。とくに水辺は多様な種の存在にとって不可欠であり、落葉樹林を中心とした樹林環境や草地などの開けた空間も、生き物にとって重要な要素であることが確認された。

第二に、生物生息空間は環境構成要素単体の大きさよりも、複合的な環境構成で、より面積の大きい方が多様な種の出現が見込めることが確認された。なお、この点につい

ては、以下に具体的な内容について補足する。

面積と各環境要素における出現特性との関係について、図２７に鳥類、図２８に昆虫類を示す。それぞれの図から、多様な環境を備えた生物生息空間において約5,000㎡までの間に出現種数が急激に上昇し、それ以降は緩やかに増加する傾向があることが分かる。ここで、種の多様性の観点から、樹林環境における平均出現種数程度を確保したいと考えた場合、鳥類で12.5種以上、昆虫類で101.8種以上となる。このとき両散布図に示す対数曲線から、この種数を概ね満足する面積は約10,000㎡程度となる。つまり、多様と考えられる鳥類、昆虫類の出現種数を期待するためには、概ね１ｈａ以上の多様な環境を有する生物生息空間を確保する必要がある、ということができる。また、これに付随し、市街地内における生物生息空間では、樹林環境並みに「多様である」といえる出現種数として、鳥類１５種、昆虫類１００種をひとつの目標値として設定する。

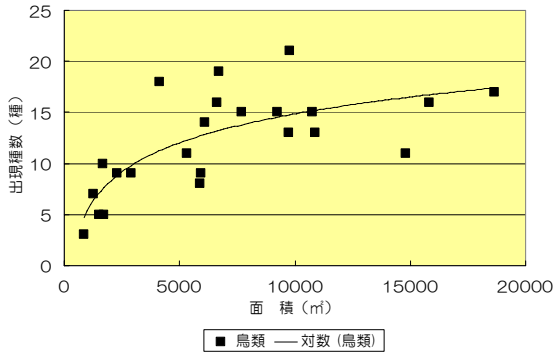


図２７　面積と鳥類出現特性の関係

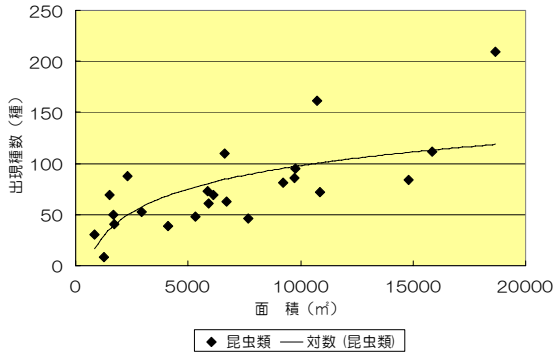


図２８　面積と昆虫類出現特性の関係

第三に、緑の七大拠点及び地域拠点との距離において、出現特性に影響がみられる種は、行動半径の広い鳥類のみであった。拠点における多様な種の鳥類を誘導したい場合、拠点からの距離が近い場所（概ね半径１ｋｍ以内）に設定することと、樹林環境等の主要な環境構成要素に共通性を持たせることが重要である。

第四に、生物の出現特性には、植物の出現種数が影響していることが確認された。とくに食餌植物の存在は、一次消費者である昆虫類の出現に影響を与える一因となっており、更にそれを消費する肉食性昆虫等の高次消費者の出現特性にも間接的に影響を与えている。

第五に、生物生息空間における生物の多様性とは、健全な生態系を維持する上での多様性も含まれ、単に種の多様性があることとは必ずしも一致しない。とくに地域拠点として位置付ける公園緑地等においては、種の多様性に加え、生態系の健全性についても、備えておくべき条件とすべきであろう。

第六に、昆虫類の多様性を確保し維持するためには、土環境及び樹林構造を良好な状態に保つことが重要である。また、表土の逸失や造成等による土環境の大規模な改変は、昆虫類のみならず、多くの種の生存に影響を与える。したがって、新たに生物生息空間を創造する場合など、自然の地形を活かしながら、造成等の土環境の改変を極力抑制するとともに、現地表土を確保し、再利用していくなどの工夫を行う必要がある。さらに、良好な樹林構造を形成し、維持していくためには、それに適した維持管理が必須であると考えられる。

４　おわりに

この第一報では、環境の種類や面積との関係など、広い意味での生物生息空間の質に関して取り扱ってきた。それは、横浜市固有の環境条件に基づき、市街地内における生物生息空間としての資質を計るために見いだした「物差し」であるといえる。これにより、市街地内における生物生息空間の創造等へ向け、一定の方向性を示すことができたと考えている。今後は、樹林構造等の極めて限定的な質について解析を深めていくとともに、生き物にとって良好な維持管理手法の提言へ向け、調査、解析を進めていきたいと考えている。

参考文献

1）平成16年度市民意識調査（横浜市都市経営局）

2）横浜市内における生物生息空間に関する一考察（小野勝義・西高幸作）：横浜市環境科学研究所報第30号pp.70-74(2006)

3）横浜市陸域の生物相・生態系調査報告書（横浜市公害対策局）：平成３年３月pp.157-158

4）Holmes R.T.（1990)Ecological and evolutionary impact of bird predation on forest insects：an overview.In:*Avian Foraging:theory,morphology, and applications*(eds.Morrison M.L.,Ralph C.J., Verner J.&Jehl Jr.J.R.),pp.6-13.Allen,Lawrence.

5）市民協働生き物調査の仕組みづくり（素案）～横浜市市民協働による陸域生物相・生態系調査検討委員会とりまとめ～（委員長：柴田敏隆）：横浜市環境創造局（2007.2）pp.44-45

6）食物連鎖箱法による地域環境の評価に関する研究（川瀬博）：環境情報科学29(1)pp.83-91(2000)

7）ヨコハマエコアップマニュアル（横浜市）pp.12-13

8）ビオトープネットワーク－都市・農村・自然の新秩序－（財団法人 日本生態系協会）pp.26-28(1995)

9）雑木林の林床景観の形成についての考察Ⅰ（川瀬博）：春夏秋冬20,pp7-13(1998)

横浜市における酸性雨モニタリング調査

-2005年の結果-

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 2005—

Yoshinori Katou(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：酸性雨、湿性沈着物、火山ガス

要旨

2005年の横浜市磯子における年間降水量は1433㎜、年平均pHは初期1㎜降水が4.21（最低値3.51）、一降水全量が4.55（最低値3.68）、全試料（66試料）に占める強酸性降水（pH4未満の降水）の割合は、初期1㎜が23%（15試料）、一降水全量が12%（8試料）であった。また、年間湿性沈着量は、酸性雨原因成分では$_{nss}SO_4^{2-}$、NO_3^-、$_{nss}Cl^-$がそれぞれ77、34、8meq/㎡/年、これらの総量であるAPが119meq/㎡/年、中和成分ではNH_4^+、$_{nss}Ca^{2+}$がそれぞれ57、17meq/㎡/年、これらの総量であるNPが74meq/㎡/年であった。

経年的には、2000年9月に三宅島から火山ガスが大量に放出し始めてから、$_{nss}SO_4^{2-}$沈着量が急増、強酸性の降水が多発、pHが低下したが、火山ガス放出後、5年経過した2005年現在もこの状況が続いており、2005年においても依然として火山ガスの影響が大きいと考えられた。

1. はじめに

現在、我が国は森林・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いている状況にあり[1]、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、2001年1月に『東アジア酸性雨モニタリングネットワーク』が正式稼働し、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、2000年9月からは三宅島火山から酸性雨の主要な原因物質であるSO2ガスが大量に放出され始め[2]大きな問題となっている。

横浜市環境科学研究所では、1984年から酸性雨のモニタリング、酸性雨に関する種々の調査研究を実施している。これまでの結果[3)-7)]から、横浜では国内の中でやや強いレベルの酸性雨が降り続いていること、市内の森林土壌は道路近傍を中心に一部地点で酸性化が生じていること、市内のブロンズ像等の屋外器物に酸性雨の被害が生じていること等が明らかになっており、さらに、最近の状況としては、三宅島火山ガスの影響が加わり、器物への酸性雨の影響を加速させている[8)]ことも明らかになっている。これらのことから今後も、引き続き注意深く監視していく必要がある。

ここでは、2005年の横浜の酸性雨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：2005年1月～12月

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

(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）により降水を採取した。降水は一雨毎に、降り始め初期1㎜と一降水全量を採取した。

(4)分析項目及び分析方法

採取した試料は、湿性沈着モニタリング手引書[9)]に従い、pH、導電率(EC)、SO_4^{2-}、NO_3^-、Cl^-、NH_4^+、Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}を表－1に示す方法で分析した。

3. 結果と考察

表－2に1996～2005年までの降水量、pH、降水による各成分の沈着量（以下、湿性沈着量）の年間値を示す。ここで、nss（non sea salt）とは、非海塩起源を示し、非海塩成分の算出は、海水の成分組成をもとに雨水中のNa^+をすべて海塩由来と仮定して算出している。算出した非海塩成分が負となった場合は0として取り扱っている。

表-2 横浜市磯子におけるpH及び湿性沈着量

	pH		降水量	H^+	NH_4^+	K^+	Na^+	Mg^{2+}	NO_3^-	Cl^-	$_{nss}Ca^{2+}$	$_{nss}SO_4^{2-}$	$_{nss}Cl^-$	AP	NP	N/S比
	初期1mm	一降水	mm	meq/m²/年												
1996年	4.35(3.57)	4.74(3.76)	1653	30	57	2	43	11	37	67	24	58	19	114	81	0.64
1997年	4.37(3.62)	4.62(3.81)	1162	28	45	2	47	13	30	68	16	44	13	87	61	0.68
1998年	4.47(3.40)	4.83(3.90)	2114	31	74	2	75	22	45	120	35	65	32	142	109	0.69
1999年	4.46(3.78)	4.84(3.89)	1651	24	59	1	42	12	34	73	14	47	23	104	73	0.72
2000年	4.16(3.24)	4.47(3.49)	1635	55	60	2	52	12	35	99	14	73	39	147	74	0.48
2001年	3.92(2.98)	4.49(3.21)	1721	55	72	2	82	16	40	106	17	88	16	144	89	0.45
2002年	4.14(3.45)	4.62(3.71)	1730	41	73	2	100	22	43	127	24	84	12	139	97	0.51
2003年	4.10(3.04)	4.69(3.04)	2139	44	83	2	52	10	39	64	13	83	5	127	96	0.47
2004年	4.31(3.53)	4.69(3.57)	2035	42	56	3	139	32	34	171	15	67	7	108	72	0.51
2005年	4.21(3.51)	4.55(3.68)	1433	40	57	2	36	10	34	50	17	77	8	119	74	0.44
10年平均	4.18(2.98)	4.65(3.04)	1727	39	64	2	67	16	37	95	19	69	17	123	83	0.56

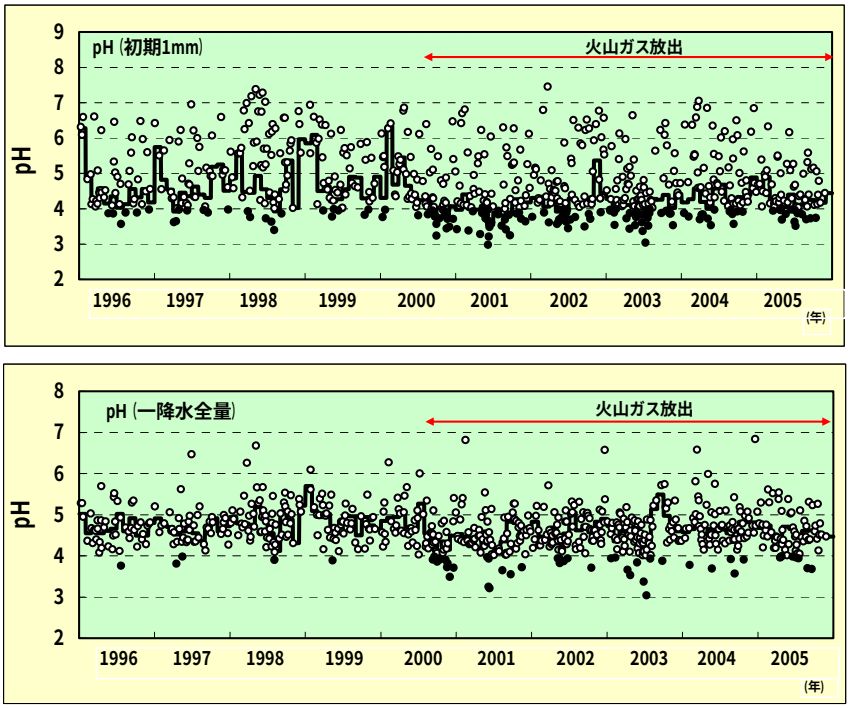
注1) pHの（ ）は最低値を示す。

注2) nssX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) APは$_{nss}SO_4^{2-}+NO_3^-+{}_{nss}Cl^-$, NPは$NH_4^++{}_{nss}Ca^{2+}$を示す。

注4) N/S比は$NO_3^-/{}_{nss}SO_4^{2-}$当量比を示す。

注5) 10年平均は1996年～2005年の10年の平均。



図－1 降水毎のpHの変化
（●はpH4未満、実践は月平均値）

3－1 降水量

2005年1月～12月の1年間に66の降水を採取した。その貯水量から算出した年間降水量は1433㎜であった。この値は、採取地点から約4㎞離れた横浜地方気象台における年間降水量[10]（1411㎜）とほぼ一致していた。なお、2005年の年間降水量は平年（平年値[11]1622.5㎜）に比べやや少なめであった。

3－2 pH

図－1に1996年1月～2005年12月までの一降水毎のpHの変化、図－2にpH4未満の特に酸性度の強い降水（以下、強酸性降水と呼ぶ）の出現数の経年変化を示す。

2005年の磯子における初期1㎜の最高値は6.33(2月24日)、最低値は3.51（7月9日）、年平均値は4.21であった。一方、一降水全量の最高値は5.54(4月12日)、最低値は3.68(9月20日)、降水量で重み付けした年平均値は4.55であった。2005年には66の降水試料を得たが、酸性雨とされるpH5.6以下のものは初期1㎜が63試料（全体の95%）、一降水全量が66試料（同100%）であった。また、pH4未満の強酸性降水の出現数は、初期1㎜が15試料（全体の23%）、一降水全量が8試料（同12%）であった。

次に、これを経年的にみると、図－1にみられるように、三宅島火山ガスが放出され始めた2000年9月以降、pHは低下傾向を示しており、火山ガス放出後5年経過した2005年現在も、やや回復傾向はみられるものの、依然としてまだかなり低い値となっている。また、強酸性降水の出現数も2000年9月頃から急激に増加したが、2005年現在も同様な状況となっており（図－1、図－2）、三宅島火山ガスの影響がまだ依然として大きいことが窺われる。

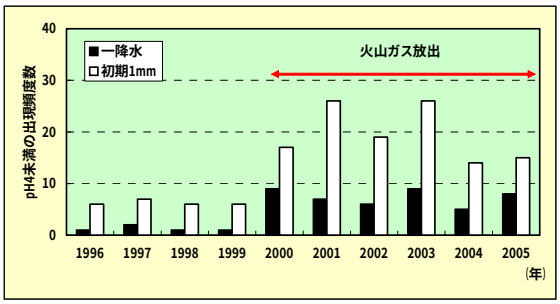
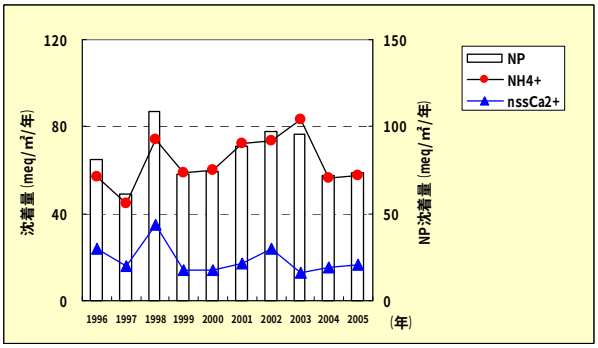


図-2 pH4 未満の降水（強酸性降水）の出現数



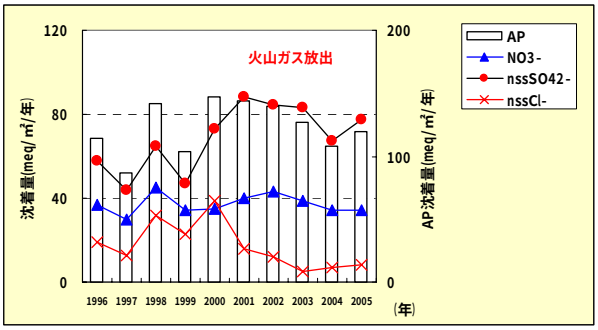


図-3 AP、NP の経年変化

3－3 湿性沈着量

酸性雨の主な原因成分は $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-、$nss Cl^-$であり、これらを抑制する（中和する）主な成分は NH_4^+、$nss Ca^{2+}$である。これら酸性雨原因の 3 成分の総量を AP[12]（酸性度ポテンシャル）、中和 2 成分の総量を NP[12]（中和ポテンシャル）と呼び、酸性雨の強さを比較する指標としてよく用いられている。図－3 に 1996 年～2005 年までのこれらの経年変化を示す。

2005 年における $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-、$nss Cl^-$の湿性沈着量はそれぞれ 77meq/m²/年、34meq/m²/年、8meq/m²/年、AP としては 119meq/m²/年であった。一方、NH_4^+、$nss Ca^{2+}$の湿性沈着量はそれぞれ 57meq/m²/年、17meq/m²/年、NP としては 74meq/m²/年であった

次に、これらを経年的にみると（図－3）、酸性雨原因成分のうち、$nss SO_4^{2-}$は三宅島火山ガスが放出され始めた 2000 年以降、増加傾向を示しており、2005 年においてもこの状況は続いている。この $nss SO_4^{2-}$の挙動からみても、2005 年現在も依然として三宅島火山ガスの影響が大きいことがわかる。NO_3^-はほぼ横ばいであった。$nss Cl^-$は 2000 年以降、減少傾向となっている。この $nss Cl^-$の減少傾向は、前報[4]で明らかにしたように、ダイオキシン対策等による対策効果の反映と考えられる。AP としては、2000 年以降、$nss SO_4^{2-}$が増加したが、他方、$nss Cl^-$が減少したため、2005 年は 2000 年以前に比べ、やや多い程度となっている。一方、中和成分では、NH_4^+は 1996 年以降、やや増加傾向を示したが、2004、2005 年は減少し、2005 年は 1996 年当時と同程度となっている。$nss Ca^{2+}$はほぼ横ばいであった。NP としては NH_4^+の変化に大きく左右され、1996 年以降、増加傾向であったが、2004、2005 年は減少し、2005 年は 1996 年当時と同程度となっている。

3－4 他地域との比較

環境省では、酸性雨の全国調査を行っており、2002 年度までの調査結果が報告されている[13]。その結果によると、2002 年度の $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-、NH_4^+、$nss Ca^{2+}$の湿性沈着量の全国平均（48 地点平均）はそれぞれ、47、24、29、12meq/m²/年であった。この調査結果では、$nss Cl^-$は算出されていないので、AP を $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-の和として求めると、AP は 71meq/m²/年となった（$nss Cl^-$は $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-に比べ少量であるので、$nss Cl^-$を除いた AP で比較しても大きな支障はない。）。また、NP は 40meq/m²/年であった。

2002 年の磯子における $nss SO_4^{2-}$、NO_3^-、NH_4^+、$nss Ca^{2+}$、AP（$nss SO_4^{2-}$とNO_3^-の和として算出）、NP は（表-2）、それぞれ、84、43、73、24、127、97meq/m²/年であった。これは、全国平均のそれぞれ、1.8、1.8、2.5、2.0、1.8、2.4 倍に当たり、酸性雨原因成分、中和成分とも非常に多く、AP、NP としては全国最大レベルであった[4]。また、2005 年のこれらの湿性沈着量はそれぞれ 77、34、57、17、111、74meq/m²/年であり、2002 年の全国平均のそれぞれ、1.6、1.4、2.0、1.4、1.6、1.9 倍に当たった。2005 年は 2002 年に比べ、AP、NP ともやや減少したものの、全国と比べるとまだ非常に多く、横浜（磯子）は、2005 年現在においても全国の中ではまだ強いレベルの酸性雨の地域と判断される。

4. まとめ

横浜市（磯子）における 2005 年の酸性雨モニタリング調査結果は次のとおりであった。

（1）年間降水量は 1433mm、年平均 pH は初期 1mm 降水が 4.21（最低値 3.51）、一降水全量が 4.55（最低値 3.68）であった。

（2）2005 年は 66 の降水試料を得たが、酸性雨とされる pH5.6 以下のものは初期 1mm が 63 試料（全体の 95%）、一降水全量が 66 試料（同 100%）であった。また、pH4 未満の特に酸性度の強い降水は、初期 1mm が 15 試料（全体の 23%）、一降水全量が 8 試料（同 12%）であった。

（3）年間湿性沈着量は、酸性成分では $nss SO_4^{2-}$が 77meq/m²/年、NO_3^-が 34meq/m²/年、$nss Cl^-$が 8meq/m²/年、これらの総量である AP が 119meq/m²/年であり、中和成分では NH_4^+が 57meq/m²/年、$nss Ca^{2+}$が 17meq/m²/年、これらの総量である NP が 74meq/m²/年であった。

（4）経年的には、2000 年 9 月に三宅島から火山ガスが大量に放出し始めてから、$nss SO_4^{2-}$沈着量が急増、強酸性の降水が多発し、pH が急激に低下したが、火山ガス放出後、5 年経過した 2005 年現在もこの状況が続いており、依然として火山ガスの影響がみられていると考えられた。

文 献

1）環境省酸性雨対策検討会：第4次酸性雨対策調査取りまとめ（平成14年9月）.

2）気象庁：三宅島の火山活動に関する火山噴火予知連絡会統一見解(平成14年5月23日).

3）横浜市環境科学研究所：酸性雨に関する調査研究報告

4）加藤善徳：最近の10年間の横浜の酸性雨の状況、横浜市環境科学研究所報第30号、-（2006).

5）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).

6）加藤善徳、梅田てるみ：横浜の森林土壌の酸性化の実態と酸中和能(1)－スギ林、広葉樹林、林外土壌の調査－、横浜市環境科学研究所報第26号、129-138(2002).

7）加藤善徳、梅田てるみ：横浜の森林土壌の酸性化の実態と酸中和能(2)－人工酸性雨・カラム試験による酸中和能の測定－、横浜市環境科学研究所報第29号、-(2005).

8）梅田てるみ、加藤善徳：酸性雨等による金属材料への影響調査－三宅島火山ガス放出後の金属溶出量，腐食量の状況－、大気環境学会誌、第39巻、第1号、11－20（2004).

9）環境庁大気規制課：湿性沈着モニタリング手引書（平成10年5月).

10）気象庁編集：気象庁月報、8巻1～12号（2005年1月～12月).

11）気象庁編集：気象庁観測平年値(2001年4月).

12）東アジアの酸性雨、科学、Vo.59、No.5、305-315(1989).

13）環境省：酸性雨対策調査総合とりまとめデータ集、昭和58年度～平成14年度.

横浜における海塩物質沈着量の長期変動(1984－2004年)

加藤善徳（横浜市環境科学研究所）

Long-Term Trend of Sea Salt Deposition in Yokohama City(1984-2004)

Yoshinori Katou(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：海塩粒子、海塩成分、金属腐食、塩害

要旨

近年、地球温暖化による様々な気候変動が指摘されているが、これに伴い各地への海塩物質沈着量も大きく変動している可能性が考えられる。そこで、1984～2004年に横浜市磯子で観測した湿性沈着物（降水に伴うもの、以下、湿性）、及び大気降下物（降水の他、非降水時の降下物も含むもの、以下、大気）データを用いて、ここ20年の横浜における海塩物質沈着量の状況について調べた。また、環境省の湿性沈着物全国調査データを用いて、日本における海塩物質沈着量の状況についても併せて調べた。

その結果、（1）ここ20年間の横浜における湿性、大気の海塩物質沈着量はともに有意な経年的増加傾向が認められた。（2）湿性の海塩物質量を台風によるもの（A）、それ以外のもの（B）に分け、調査期間の中間点である1995年を境に前半、後半に分けて比較すると、A、Bともに後半／前半比が増加していた。Aの増加については偶発性が高いと考えられるが、Bについては有意な経年的増加傾向が認められた。（3）1991～2002年の間の全国22地点の湿性沈着物データを用いて、全国平均の海塩物質沈着量の経年的動向を調べたところ、有意な経年的増加傾向が認められた。

今後、海塩物質沈着量の増加傾向が続くようであれば、文化財、屋外建築物、一般屋外建造物等への影響が大きくなり、被害の顕在化、深刻化の恐れもあり、この面からの調査、監視も重要となってくるものと考えられる。

１．はじめに

古くから知られているように、海塩物質はいわゆる塩害として、金属腐食に深く関与し、農作物や植物等にも多大な影響を与えている。また、これらは大気中で、特に光化学時にH_2SO_4ミスト、HNO_3ガス等と反応して、Na_2SO_4、$NaNO_3$等のエアロゾルを生成し、HClガスを発生させている物質でもある。

近年、地球温暖化により、海水面、海水温の上昇、様々な気候変動が指摘されるようになってきているが、これに伴い、各地に降下する海塩物質量も大きく変化していく可能性がある。横浜市環境科学研究所では、1984年～2005年まで各イオン成分の湿性沈着物（降水に伴い降下するもの）、大気降下物（降水によるものの他、非降水時に降下するものも含む）を詳細に観測してきた[1)-3)]。

ここでは、これらデータを用い、ここ20年の横浜における海塩物質沈着量の実態、経年的動向について調べた。また、環境省が実施している全国調査データ[4)]を用いて、日本における海塩物質沈着量の状況についても併せて調べた。その結果、以下の知見が得られたので報告する。

２．調査内容

２-１　測定期間

湿性沈着物：1984年6月～2005年5月（1985年6月～1986年5月は欠測）

大気降下物：1984年6月～2005年5月（1988年6月～1991年5月は欠測）

２-２　測定地点

測定地点は図-1に示す横浜市環境科学研究所屋上（横浜市磯子区滝頭、以下、磯子）であり、東京湾から約1.5km、相模湾から約20kmの位置にある。

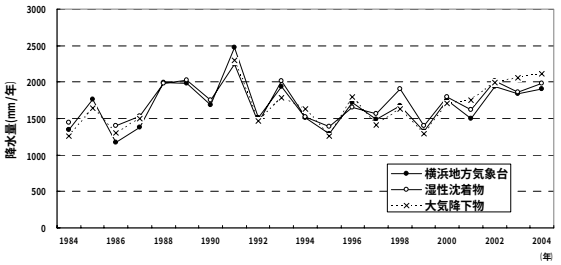
２-３　測定方法

湿性沈着物：自動雨水採取装置（小笠原計器製作所US-3300型（口径20cm）により、原則として一雨毎、降水を採取した。なお、自動雨水採取装置とは降水時にのみ蓋が開き、非降水時には蓋が閉じる装置で、降水のみが採取されるものである。

図－１　測定地点

表－1　分析項目及び分析方法

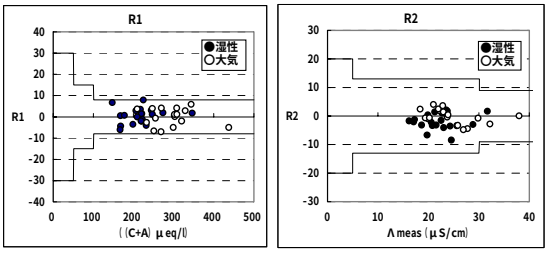
分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法
導電率（EC）	電気伝導度法
Na^+, K^+, NH_4^+	イオンクロマトグラフ法
Ca^{2+}, Mg^{2+}	イオンクロマトグラフ法
SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-	イオンクロマトグラフ法



図－2　降水量の経年変化

表－2　R1、R2 の基準値

C+A	R1	Λmeas	R2
(μeq/l)	(%)	(μS/cm)	(%)
＜50	±30以内	＜5	±20以内
50～100	±15以内	5～30	±13以内
＞100	±8以内	＞30	±9以内



図－3　湿性沈着物、大気降下物の R1、R2
（図中の実線は基準値の範囲を示す）

大気降下物：濾過式雨水採取装置（口径 20cm）により、一ヶ月毎、降水及び非降水時の降下物（乾性降下物）を採取した。なお、濾過式雨水採取装置とは、常時蓋が開いており、降水の他、乾性降下物も一括採取されるものである。

2-4　分析項目及び分析方法

湿性沈着モニタリング手引書[5]に基づき、表-1 に示す項目を分析した。

3．結果と考察

２項で述べたように、1984 年 6 月～2005 年 5 月の調査期間中、湿性沈着物（以下、湿性）、大気降下物（以下、大気）には、それぞれに欠測期間がある。以下の解析を進める上で、できるだけデータを活かすため、年間値としての期間は、6 月～次年の 5 月までとした。これより、湿性は 1985 年が、大気は 1988、1989、1990 年が欠測となる。

3-1　降水量

調査期間中に得た降水試料数は、湿性が 1298、大気が 216 である。図-2 に 1984 年～2004 年までのこれら試料の貯水量から算出した湿性、大気の年間降水量を示す。図-2 には横浜地方気象台（磯子の北東約 4km、以下、気象台）の年間降水量[6]も併せて示した。湿性、大気の降水量は気象台とほぼ一致しており（気象台に対し、湿性は 91～119%、大気は 93～117%）、気象台を基準に考えると、湿性、大気の測定はほぼ正確に実施できたものと判断できる。

調査期間中の降水量についてみると、1991 年は多め（平年値[7]（1622.5mm）より約 50%多い）、1988～1989、1993、2002～2004 年はやや多め（平年値より約 20%多い）、1986 年は少なめ（平年値より約 30%少ない）、1984、1995、1999 年はやや少なめ（平年値より約 20%少ない）、その他はほぼ平年並みであった。

3-2　データの精度

湿性モニタリング手引き書[5]では、イオン成分のデータ精度について、測定値の信頼性を確保するよう、表-2 に示すような基準値が設けられている。即ち、イオンバランス（R1）、電気伝導率バランス（R2）が基準値内に入るように定められており、C＋A、Λmeas が高濃度になるほど基準値が厳格なものとなっている。ここで、R１＝{(C-A)／(C＋A) }×100、R2＝{(Λcalc－Λmeas)／(Λcalc＋Λmeas)} ×100、C は陽イオンの当量濃度和、A は陰イオンの当量濃度和、Λcalc は各イオン成分濃度から求めた電気伝導率の計算値の和、Λmeas は電気伝導率の測定値である。

図-3 に湿性、大気の R1、R2 値の算出結果を示す。データは年間値を用いている。図-3 にみられるように、湿性、大気の R1 はそれぞれ-6～7.9、-7.0～5.9、湿性、大気の R2 はそれぞれ-8.4～2.1、-4.8～4.0 であり、これらはともに最も厳格な基準値内にあった。これより、以下の解析に使用する湿性、大気試料のデータ精度は十分に信頼できるものであると判断された。

3-3　湿性、大気試料中の海塩成分相互の関係

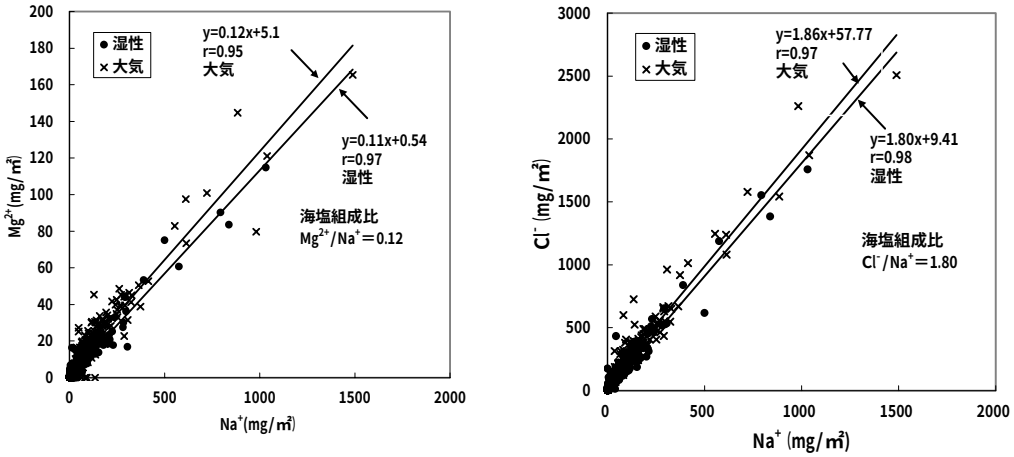
ここでは、湿性、大気の試料に含有する海塩の主成分である Na^+、Mg^{2+}、Cl^-相互の関係について調べた。図-4 にこれらの関係を示す。湿性の Na^+と Mg^{2+}、Na^+と Cl^-の相関係数はそれぞれ 0.97、0.98、大気の Na^+と Mg^{2+}、Na^+と Cl^-の相関係数はそれぞれ 0.95、0.97 であり非常に大きかった。また、これらの組成比は海塩組成比に極めて近かった。これより、湿性、大気試料に含有するこれら成分のほとんどが海塩起源と考えられる。

以下、海塩物質について、主に Na^+を用いて論議していく。なお、海水中には Na^+、Mg^{2+}、Cl^-の他に、Ca^{2+}、K^+、SO_4^{2-}も微量ながら存在する[8]。これらを含め海塩物質の全体量（以下、TSS とする）を Na^+を海塩の指標として算出し、Na^+との関係を求めると、TSS(g)は 3.24×Na^+(g)となる。

3-4　海塩物質沈着量

3-4-1　年平均値

表-3 に湿性、大気の測定結果を示す。20 年平均における湿性の Na^+沈着量は 1.25 g/㎡/年、TSS としては 4.05 g/㎡/年、総イオン（9 成分の和、以下、Ti とする）に占



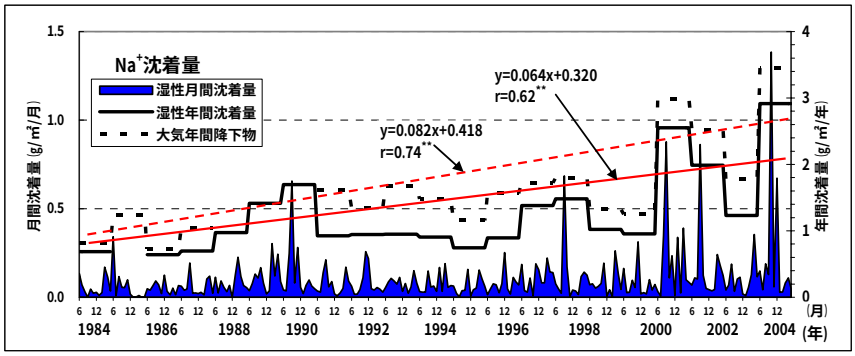
図－４　Na^+と Mg^{2+}及び Na^+と Cl^-の散布図

る Na^+の当量%は 14%、Ti に占める TSS の当量%は 42%であった。一方、18 年平均における大気の Na^+降下量は 1.64g/㎡/年、TSS としては 5.31 g/㎡/年、Ti に占める Na^+の当量%は 14%、Ti に占める TSS の当量%は 41%であった。

表の下段には同一期間に測定した 17 年間の湿性、大気の年平均値、及び湿性／大気比を示した。これを用いて湿性と大気を比較すると、海塩物質である Na^+、Mg^{2+}、Cl^-の湿性／大気比は 0.65～0.75 となっていた。また、酸性雨原因物質である SO_4^{2-}、NO_3^-や K^+もほぼ同様な比であった。これらの約 7 割は降水に伴って降下してきたものと考えられる。Ca^{2+}はその比が 0.30 と小さく、非降水時に降下してきたものが非常に多いことを示しているが、特に、土壌の飛散の影響が大きいものと考えられる。

３-４-２　経年変化

図－5 に 1984～2004 年の間の湿性の Na^+沈着量、大気の Na^+降下量の経年変化（湿性につては月間沈着量も示す）を示す。Na^+沈着量は季節的には、9 月、10 月の秋に大きなピークが出現する傾向であった。最近は冬にも大きなピークが出現するようになってきている。経年的には、湿性、大気とも有意な増加傾向が認められ、調査期間を、1995 年を境として前半と後半とに分けて比較すると、湿性は前半が 0.98 g/㎡/年、後半が 1.52 g/㎡/年であり、後半は前半に比べ約 1.6 倍の増加、大気は前半が 1.11 g/㎡/年、後半は 2.18 g/㎡/年であり、後半は前半に比べ約 2.0 倍の増加となっていた。



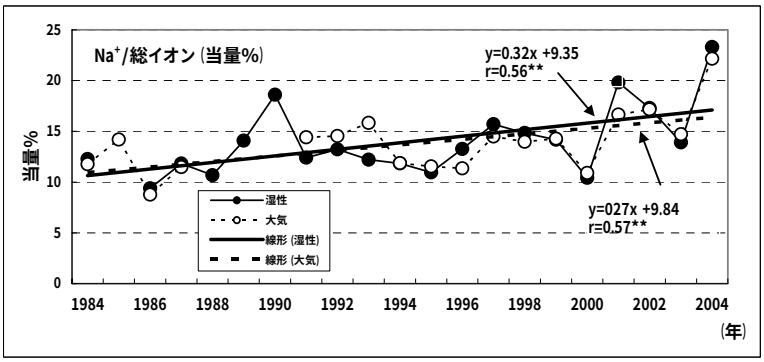
図－５　Na^+沈着量の経年変化

(Y：Na^+沈着量、X：year-1980、**：1%有意)

表－３　湿性沈着量、大気降下物量の年平均値

	降水量	H^+	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	TSS	Na^+/Ti	TSS/Ti
	(mm/年)	(mg/m^2/年)	(g/m^2/年)									当量%	
湿性 (20年)	1726	38.6	1.03	0.08	1.25	0.42	0.18	3.38	2.09	2.87	4.05	14	42
大気 (18年)	1676	25.4	0.97	0.12	1.64	1.33	0.26	4.39	2.76	3.76	5.31	14	41
湿性 (17年)	1692	36.9	1.03	0.08	1.23	0.40	0.17	3.29	2.08	2.84	3.99	14	41
大気 (17年)	1677	25.7	0.98	0.13	1.67	1.36	0.26	4.46	2.81	3.80	5.42	14	41
湿性/大気比	1.01	1.43	1.05	0.66	0.74	0.30	0.65	0.74	0.74	0.75	0.74	-	-

注1) 湿性 (20年) は、1984年6月～2005年5月 (1985年6月～1986年5月欠測) までの20年間の湿性沈着量の年平均値
注2) 大気 (18年) は、1984年6月～2005年5月 (1987年6月～1990年5月欠測) までの18年間の大気降下物量の年平均値
注3) 湿性(17年)、大気 (17年) は、同一期間(1984年6月～2005年5月 (1985年6月～1986年5月、1987年6月～1990年5月欠測) までの17年間)の湿性沈着量、大気降下量の年平
注4) TSSは海塩由来成分の総量
注5) Tiは各イオン成分 (H+、NH4+、K+、Na+、Ca2+、Mg2+、SO42-、NO3-、Cl-) の総量



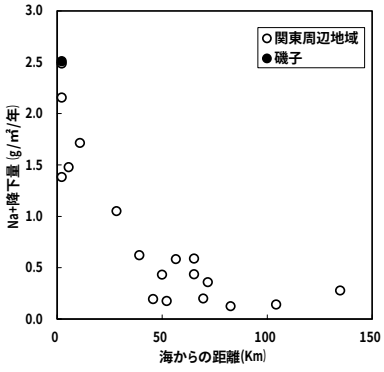
図－6　Na^+沈着量の経年変化
(Y:Na^+沈着量、X:year-1980、:2%有意)**

図－6 に 1984～2004 年の間の総イオンに占める Na^+の当量割合の経年変化を示す。湿性、大気とも総イオンに占める Na^+成分が経年的に多くなっていることが認められる。これより、降水量の増加等の影響により、海塩物質沈着量が増加したのではなく、海塩成分そのものが多くなって海塩物質沈着量が増加してきたことがわかる。

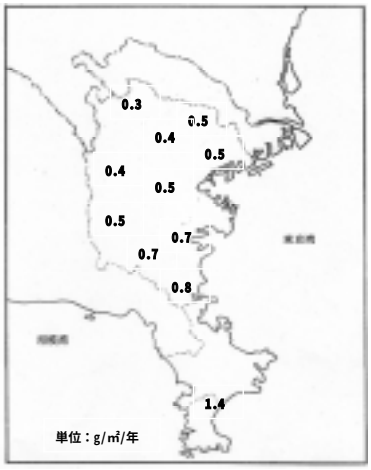
3-4-3　地域分布

関東周辺地域では大気降下物の共同調査を実施している [9]。図-7 に 2002 年度における関東甲信静地域の Na^+降下量の測定結果を示す。Na^+降下量は沿岸から離れるに従って減少する傾向を示し、50㎞ 離れた地点では沿岸地点の約 1/5、100㎞ 離れた地点では沿岸地点の約 1/10 程度に減少していた。磯子は沿岸地域にあり、測定地点の中では最も降下量の多い地点であった。

1984 年度には、三浦及び横浜市内 10 地点で大気降下物の調査を実施している [1]。図-8 に調査結果を示す。前述したように、1984 年当時はまだ、Na^+降下量が少なかった時期である。図-8 にみられるように、Na^+降下量は、北部に比べ南部で多く、内陸部に比べ臨海部で多い傾向であった。磯子は市内ではやや多い地点に属している。市内の最多地点と最少地点を比べると、最多/最小比は 2.7 倍であった。1984 年以降 4 年間、地点数を 5 地点に減少し、市内分布調査を継続したが、その地域分布は同様の傾向であった [1]。



図－7　関東周辺地域の Na^+年降下量（2002 年度）
（測定地点：群山、水戸、河内、小山、前橋、さいたま、熊谷、堂平、騎西、市原、江東、奥多摩、横浜、平塚、長野、上田、諏訪、軽井沢、八方、静岡）



図－8　三浦及び横浜市内の Na^+降下量分布（1984 年度）

3-5　気象と海塩物質沈着量の関係

海塩物質は様々な経路を経て海から陸地に運ばれてくるが、その地域に沈着する量は風向、風速に大きく影響されているものと考えられる。湿性沈着物の試料については、一降水毎採取している。そこで、全データ（n=1298）を用い、各々の降水時の風向、風速を調べ、これらと海塩物質沈着量との関係について検討した。気象データは、測定地点の北東約 4㎞ 離れた横浜地方気象台のデータ [10] を用いた。なお、降水期間中、風向、風速はたえず変動しているので、ここでの風速は降水期間中の最大風速を用い、風向は、最大風速時の風向とした。

3-5-1　風向、風速と海塩物質沈着量の関係

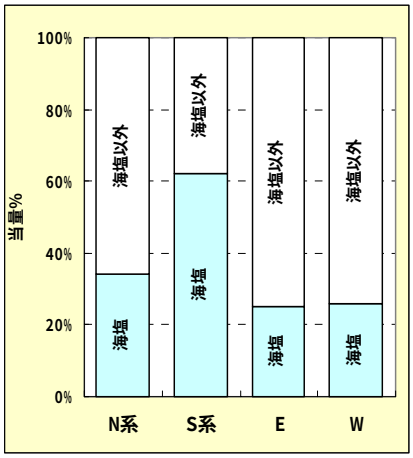
表-4 に 20 年間における風向別の降水試料数と各成分の湿性沈着量を示す。風向は N 系（NE、N、NW）、S 系（SE、S、SW）、E、W に区分した。なお、前述したように、ここでの風向は、降水期間中の最大風速時の風向であり、最多頻度の風向ではないので注意が必要であるが、風向別の沈着量の特徴をある程度把握することは可能と考える。

降水の試料数を風向別にみると、N 系が 755 と多く、全体の 58%を占めた。以下、S 系が 388（全体の 30%）、E が 126（同 10%）、W が 29（全体の 2%）であった。各成分の沈着量は試料数の多い N 系が多い傾向となっているが、Na^+、Mg^{2+}については試料数が N 系の約半分であるにもかかわらず、S 系の方が N 系を上回っていた。図-9 に全海

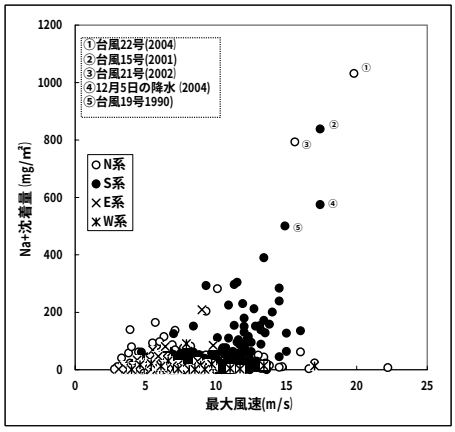
表－4　風向別湿性沈着量（20 年平均）

風向	n数	降水量 (mm/年)	H^+ (mg/m²/年)	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+/Ti	TSS/Ti
				(g/m²/年)								当量%	
N系	755	1062	22.1	0.67	0.04	0.54	0.26	0.07	2.00	1.30	1.37	12	34
S系	388	520	11.9	0.22	0.03	0.63	0.11	0.10	0.94	0.50	1.31	21	62
E	126	127	4.1	0.13	0.01	0.07	0.04	0.01	0.39	0.25	0.17	9	25
W	29	17	0.5	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.04	0.03	10	26
20年平均	1298	1726	38.6	1.03	0.08	1.25	0.42	0.18	3.38	2.09	2.87	14	42

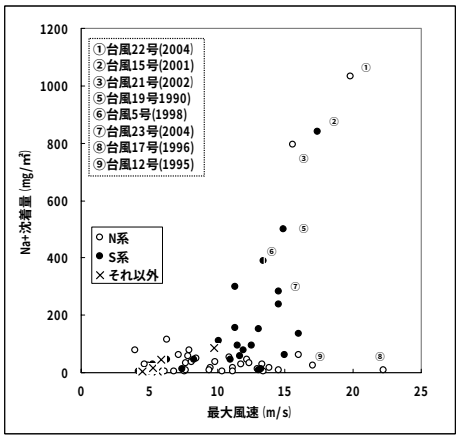
注1）期間は1984年6月～2005年5月（1985年6月～1986年5月を除く）の20年間
注2）N系はN、NE、NWの和、S系はS、SE、SWの和
注3）n数は20年間の降水試料の総数
注4）Tiは各イオン成分の総量、TSSは海塩由来成分の総量



図－9　風向別の海塩、海塩以外の当量組成図



図－10　最大風速と Na^+沈着量の関係
（1984 年 6 月～2005 年 5 月、n=1298）



図－11　台風試料の最大風速と Na^+沈着量の関係
（1984 年 6 月～2005 年 5 月、n=66）

塩物質とそれ以外とに分けた風向別の組成割合を示す。これより、S 系は他の風系とは著しく異なり、海塩物質を多く含んだ構成割合になっていた。一方、N 系、E、W は SO_4^{2-}、NO_3^-、NH_4^+等を多く含み、都市汚染の影響を強く受けたことを示す構成割合となっていた。

図-10 に風向別の最大風速と Na^+沈着量との関係を示す。Na^+沈着量は、概して風速が強くなると増加する傾向を示し、特に、最大風速が 10m/s 以上になると急激に増大する傾向を示した。これを風向別にみると、S 系は風速との関係が明瞭であったが、その他の風系は風速との関係はみられなかった。図には沈着量上位 5 組（図中①～⑤）の降水の種類を示したが、5 組中 4 組までが台風であった。これより、台風の影響が非常に大きいことがわかるが、台風でなくても、④のように沈着量が非常に多い試料もあった。これは 2004 年 12 月 4 日から 5 日にかけての降水であり、低気圧が急激に発達し、最大風速 17.4m/s、最大瞬間風速 43.4m/s を記録[10]した。最近、いわゆる異常気象等として、このような降水が取り上げられているが、今後、このような降水が増加していく可能性もあり注目される。

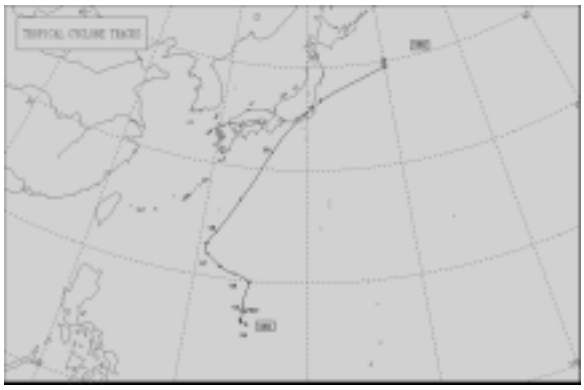
3-5-2　台風による影響

海塩物質沈着量は台風の影響がかなり大きいことが窺われた。そこで、ここでは、台風と海塩物質沈着量との関係について検討した。なお、ここでの台風とは、「関東甲信地方（伊豆諸島および小笠原諸島を除く）に接近した台風[11]」による降水とした。

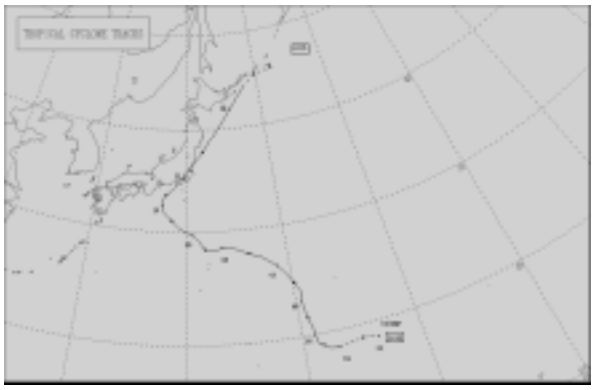
（1）台風の経路による海塩物質沈着量の違い

全データ（1298）のうち、上記に該当する降水（台風による降水）は 66 試料であった。図-11 にこの 66 試料についての風向別の最大風速と Na^+沈着量の関係を示す。図-11 にみられるように、台風であっても沈着量が多いものばかりではなく少ないものも多数存在した。これを風向別にみていくと、S 系は風速と沈着量との関係が明瞭であり、風速が強くなると沈着量が増加する傾向を示した。N 系は①、③の試料を除くと沈着量は非常に少なく、風速が強くなっても沈着量が増加することはなかった。E、W は S 系、N 系のように風速が非常に強くなることがなく、Na^+沈着量も多くはならなかった。

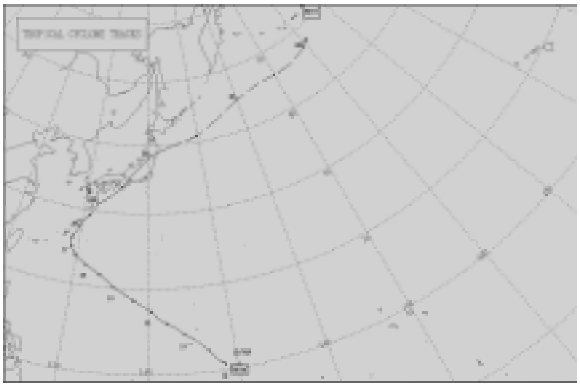
図-12 に台風 66 試料のうち、4 試料の台風経路図[12]を示す（図中の番号は、図-11 の番号に対応）。図-12 に



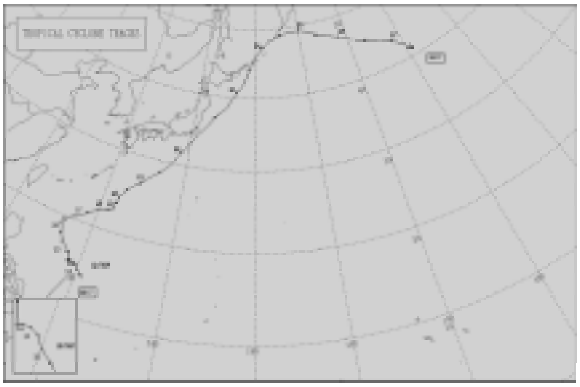
①台風22号（2004年10月8～9日、N系、最大風速19.8m/s、降水量282mm、Na^+沈着量1032mg/㎡）



②台風15号（2001年9月8～11日、S系、最大風速17.4m/s、降水量170mm、Na^+沈着量838mg/㎡）



⑤台風19号（1990年9月19～21日、S系、最大風速14.9m/s、降水量52mm、Na^+沈着量500mg /㎡）



⑧台風17号（1996年9月22日、N系、 最大風速22.2m/s、降水量173mm、Na^+沈着量7mg /㎡）

図－12 台風経路図

（気象庁ホームページ（気象統計情報台風経路図）[12]に基づき作成）

みられるように、①、②は測定地点付近を直撃したものであった。③、⑥も図-12 には図示はしてないが、①、②とほぼ同じコースで測定地点付近を直撃した時のものであった。①③と②⑥では地上風が大きく異なるが、台風が直撃した場合は、地上風の風向に関わらず、沈着量が非常に多くなっていた。①③については、上層風をみる必要があるが、上層に S 系の風が流入していた可能性がある。

⑤は測定地点の西側を台風が通過していったものであり、S 系の風で風速が非常に強く、沈着量が非常に多かった。⑦も⑤と同様、測定地点の西側を通過していったものであり、この他、S 系となっている試料は測定地点への接近度合いがそれぞれ異なるが、ほとんどがこのケースであった。一方、⑧は測定地点の東側を台風が通過していったものであり、N 系の風となった。風速は非常に強く、降水量も非常に多かったが、沈着量は少なかった。⑨も⑧と同様、測定地点の東側を通過していったものであり、この他、N 系となっている試料はほとんどがこのケースであった。

以上を整理すると、台風による海塩物質沈着量は台風の経路に大きく関わり、(ア)台風が直撃した場合、地上風の風向に関わらず沈着量は非常に多くなる、(イ) 台風の進路が測定地点の西側の場合、風向は南よりとなり、沈着量はほぼ風速に依存する、(ウ) 台風の進路が測定地点の東側の場合、風向は北よりとなり、風向が非常に強くなっても沈着量は大きくはならない、となる。

（2）台風と台風以外の降水による海塩物質沈着量

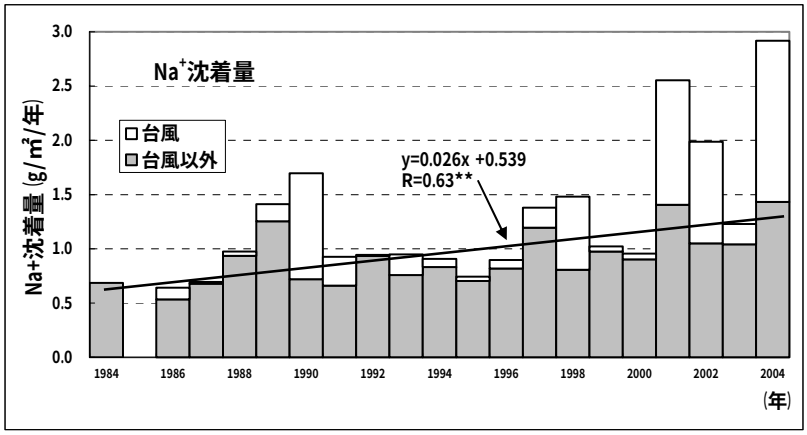
表-5 に台風と台風以外の試料数、降水量及び Na^+沈着量を示す。20 年間の総試料数は、台風は 66（全体の 5%）、台風以外は 1232（同 95%）であった。また、20 年間の平均降水量は、台風は 318㎜（全体の 18%）、台風以外は 1408㎜（同 82%）、Na^+の平均沈着量は、台風は 0.33 g/㎡/年（全体の 26%）、台風以外は 0.92 g/㎡/年（同 74%）であった。台風は、試料数は少ないが、1 試料当たりにすると降水量、Na^+沈着量が非常に多くなっていることがわかる。次に、これを経年的にみてみると、図－13 に示すように、台風による Na^+沈着量は 1990、1998、2001、2002、2004 年が非常に多かった。1990 年は主に台風 19 号（図-11⑤）の影響、1998、2001、2002、2004 年は、主にそれぞれ直撃台風 5 号、15 号、21 号、22 号（図-11⑥、②、③、①）の影響が大きい。また、1995 年を境に前半と後半とに分け Na^+沈着量を比較すると、後半/前半比は 2.7 となった。後半期に特に多くなっているが、これは偶発的な要素が大きいと考えられる。しかし、台風直撃が後半期に集中していることから、台風の経路が変わってきた可能性もあり、今後も注視していく必要があるだろう。

一方、台風以外は、図－13 にみられるように、有意な経

表－5　台風と台風以外の Na^+湿性沈着量

	試料数				降水量(mm)				Na^+沈着量 (g/m²/年)			
	A	B	C	C／B	A	B	C	C／B	A	B	C	C／B
台風	66	31	35	1.1	318	307	331	1.1	0.33	0.18	0.48	2.7
台風以外	1232	624	608	1.0	1408	1429	1387	1.0	0.92	0.80	1.03	1.3
合計	1298	655	643	1.0	1726	1736	1718	1.0	1.25	0.98	1.52	1.6

A：1984年～2004年（1986年欠）までの20年間の平均
B：1984年～1994年（1986年欠）までの10年間の平均
C：1995～2004年までの10年間の平均



図－13　台風及び台風以外の Na^+沈着量の経年変化
（Y：Na^+沈着量、X：year-1980、**：1%有意）

年的増加傾向が認められ、後半／前半比は 1.3 となっていた。この増加傾向は、試料数、降水量は前半、後半でほとんど変わっていないことから、規模はことなるが 3-5-1 で述べた④（図-10）のような降水が増加してきていることを示している可能性もある。

3-6　日本における海塩物質沈着量の経年推移

環境省では、1983～2002 年の間、全国延べ 56 地点で各成分の湿性沈着量の調査を行っている [4)]。この間、開始から調査を継続している地点、途中で調査を終了した地点、途中から調査に加わった地点等、様々ある。ここでは、日本全体の経年的な動向を知るという観点から、データに用いた期間は、継続調査が実施されており、かつ、その調査地点数が多い 1991 年～2002 年の間のデータ（地点数 22）を用いた。また、これらを個々についてみると、台風の影響の有無等で増加、低下、横ばい等、様々な傾向がみられるが、ここでは日本全体の状況をみるため、22 地点の平均値でその傾向を調べた。

図-14 に 1991～2002 年の間における全国 22 地点平均の Na^+沈着量の経年変化を示す。なお、これらデータ中には、年間値が有効判定基準で棄却されたものがあり、これらは参考値として取り扱われている。図には、全データを用いたもの（●）、棄却データを取り除いて平均値を算出したもの（○）、両方を示した。

図-14 にみられるように、全データ、棄却データを取り除いたもの両者とも有意な増加傾向が認められた。1991～2002 年の期間に限って言えば、日本における海塩物質の沈着量はやや増加傾向にあるものと推定された。

ただし、解析した調査期間は非常に短期間であり、この動向については引き続き長期間かけて、みていく必要がある。

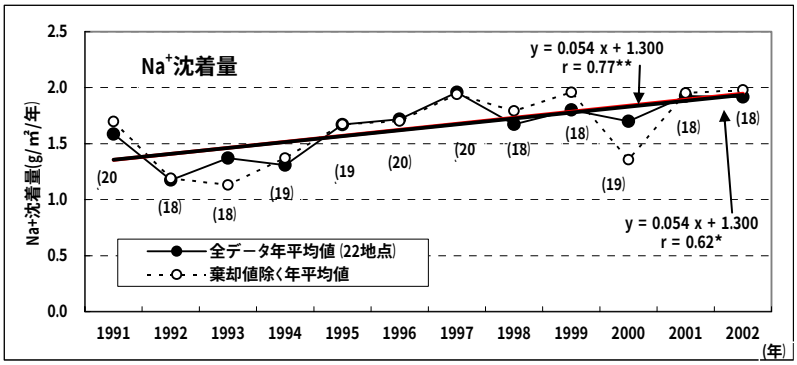
4．おわりに

1984～2004 年に横浜市磯子で観測した湿性沈着物（降水に伴うもの、以下、湿性）、及び大気降下物（降水の他、非降水時の降下物も含むもの、以下、大気）データを用いて、ここ 20 年の横浜における海塩物質沈着量の状況について調べた。また、環境省の湿性沈着物全国調査データを用いて、日本における海塩物質沈着量の状況についても併せて調べた。その結果、以下の知見が得られた。

（1）ここ 20 年間の横浜における湿性、大気の海塩物質沈着量はともに有意な経年的増加傾向が認められた。調査期間を、1995 年を境に、前半、後半に分け比較すると、湿性は後半／前半比が 1.6、大気は後半／前半比が 2.0 であった。

（2）湿性の海塩物質量を台風によるもの（A）、それ以外のもの（B）に分けると、A は全体の 26%、B は全体の 74%であった。また、これを、1995 年を境に前半、後半に分けて比較すると、A は後半／前半比が 2.7、B は後半／前半比が 1.3 であり、ともに増加していた。A の増加については偶発性が高いと考えられるが、B については有意な経年的増加傾向が認められた。

（3）1991～2002 年の間の全国 22 地点の湿性沈着物データを用いて、全国平均の海塩物質沈着量の経年的動向を調べたところ、有意な経年的増加傾向が認められた。短期間ではあるが、この期間に限って言えば、日本における海塩物質沈着量はやや増加傾向にあると推定された。



図－１４　Na⁺沈着量全国平均の経年変化（22 地点平均）

（Y：Na⁺沈着量、X：year-1980、：1%有意、*：5%有意、（）内は棄却値除く地点数）、**

（22 地点：利尻、札幌、新潟、隠岐、松江、筥岳、仙台、筑波、鹿島、市原、川崎、犬山、名古屋、京都八幡、尼崎、大阪、倉敷、倉橋島、宇部、対馬、筑後小郡、大牟田）

以上の事象は気候変動による環境への影響の一端を示している可能性があり、今後も、長期間かけて注意深くみていく必要がある。また、今後、海塩物質沈着量の増加傾向が続くようであれば、文化財、屋外建築物、一般屋外建造物等への影響が大きくなり、被害の顕在化、深刻化の恐れもあり、この面からの調査、監視も重要となってくるものと考えられる。

文　献

1) 横浜市環境科学研究所：酸性雨に関する調査研究報告
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) 加藤善徳：最近の 10 年間の横浜の酸性雨の状況、横浜市環境科学研究所報第 30 号、-（2006).
4) 環境省：酸性雨対策調査総合とりまとめデータ集、昭和 58 年度～平成 14 年度
5) 環境庁大気規制課：湿性沈着モニタリング手引書（平成 10 年 5 月).
6) 気象庁編集：気象庁月報、(1984 年 6 月～2005 年 5 月).
7) 気象庁編集：気象庁観測平年値(2001 年 4 月).
8)日本化学会：化学便覧応用編.p147、丸善（1965).
9)関東地方環境対策推進本部大気環境部会・酸性雨調査会議：平成 14 年度酸性雨調査報告書（平成 16 年 3 月).
10)http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html）
11)http://www.data.kishou.go.jp/yohou/typhoon/statistics/accession/kanto_koshin.html）
12)http://www.data.kishou.go.jp/yohou/typhoon/rout
)

平成 17 年度環境ホルモン・モニタリング調査結果等について

二宮勝幸 （横浜市環境科学研究所）

Investigation of Endocrine-Disrupting Chemicals and Estrogens in River water in Yokohama City in the fiscal year of 2005

Katsuyuki Ninomiya
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：環境ホルモン、天然女性ホルモン、合成女性ホルモン、河川水質、モニタリング

要旨

低用量経口避妊薬の一成分として使用されている合成女性ホルモンのエチニルエストラジオールを含む計８物質を対象に、トリメチルシリル誘導体化－高分解能GC/MS法等により、市内河川水質の平成17年度モニタリング調査を実施した。環境ホルモン３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）はいずれも予測無影響濃度を下回っていた。天然女性ホルモン４物質については、濃度の高い順にエストロン、17β－エストラジオール、エストリオール、17α－エストラジオールが検出された。しかし、合成女性ホルモンのエチニルエストラジオールは全地点で検出されなかった。総女性ホルモン様作用強度における各物質の寄与率については、これまでの調査結果と同様に、天然女性ホルモンのエストロンと 17β－エストラジオールがほとんどを占めた。一方、平成 11 年度から今回まで継続して実施した環境調査における環境ホルモン３物質の経年濃度変化をみると、ノニルフェノールとオクチルフェノールは少し減少してきているが、ビスフェノールＡはほぼ横ばいで推移していた。

1. はじめに

横浜市内水域における内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）の濃度状況を把握するため、平成 11 年度より実態調査[1)]やモニタリング調査[2)]そして関連調査[3,4,5,6,7)]を実施してきた。その結果、天然の女性ホルモンは環境ホルモンに比べて濃度は低いが、高い活性を持つため、その影響は相対的に大きいことなどが明らかとなった。

一方、低用量経口避妊薬の一成分として使用されている合成女性ホルモンのエチニルエストラジオール[8)]は天然女性ホルモンの 17β－エストラジオールとほぼ同じ活性強度をもち[9,10)]、欧米では下水処理場から他の天然女性ホルモンとともに検出されている[11)]。そのため、欧米とは状況が異なるが、流域人口が多く、下水処理水が河川水量の相当量を占める鶴見川等において、エチニルエストラジオールを調査することとした。

天然女性ホルモンの分析方法については、調査開始当初は酵素免疫測定法（ELISA法）を採用していたが、交差反応により実際の値に比べて高くなるという問題があったため[3)]、平成 16 年度調査[5)]から「要調査項目等調査マニュアル」[12)]のメチル誘導体化－高分解能GC/MS 法を採用した[5)]。しかし、このメチル誘導体化による方法は、反応前の脱水を完全に行わなければならず、操作が煩雑で時間がかかることなどの問題があった。

そこで、平成 17 年度は、メチル誘導体化に比べて反応条件が簡便で短時間で済むトリメチルシリル誘導体化－高分解能GC/MS法[13,14)]を用いて、天然および合成の女性ホルモンを一括して分析する方法を検討し、この方法によりモニタリング調査を実施した。また、平成 11 年度から環境調査を実施してきた環境ホルモン３物質の経年濃度変化についてもまとめたので、あわせて報告する。

2. 方法

2-1 調査方法

モニタリング調査地点は図１に示した河川６地点であり、調査時期は平成 17 年５月、８月、11 月および平成 18 年２月の計４回である。

調査対象物質は以下の８物質である。

環境ホルモン：ノニルフェノール（NP）、オクチルフェノール（OP）、ビスフェノールＡ（BPA）
天然女性ホルモン：エストロン（E1）、17α－エストラジオール（αE2）、17β－エストラジオール（βE2）、エストリオール（E3）
合成女性ホルモン：エチニルエストラジオール（EE2）

ただし、女性ホルモン類については、５月は従来通りメチル誘導体化法により E1、βE2、および E3 の３物質を測定し、８月以降は上記３物質にαE2 と EE2 を加えた５物質について、トリメチルシリル誘導体化法により一括して測定した。

2-2 分析方法

2-2-1 環境ホルモン

環境ホルモン３物質の分析方法は既報[1)]の通りである。

2-2-2 天然および合成の女性ホルモン

トリメチルシリル（TMS）誘導体化-高分解能 GC/MS 法の概要を以下に示す。

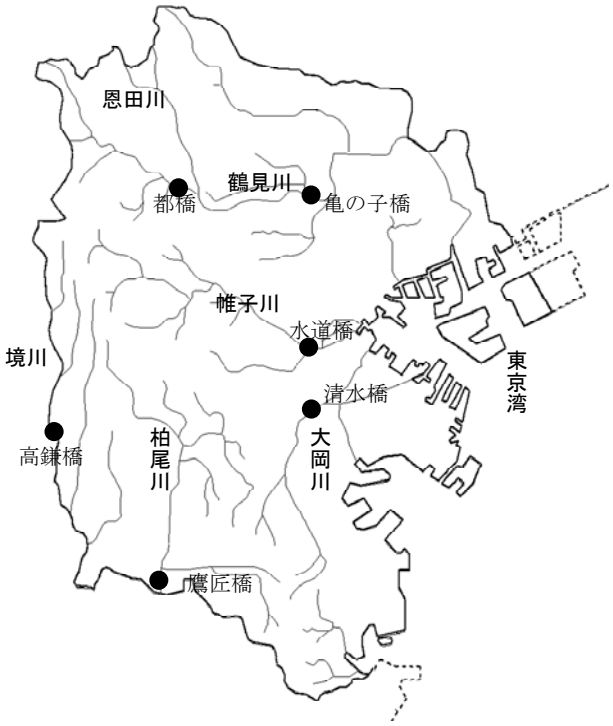


図1 調査地点

[前処理法]

試料500mlにサロゲート物質(E1、βE2、E3、EE2の各13C体) 各5ngを添加した後、あらかじめアセトン、酢酸エチル、メタノールおよび精製水でコンディショニングしたガラス繊維ろ紙(GF/C)を上層に重ねたエムポアディスク(RPS)でろ過する。それらを精製水10mlで洗浄し、吸引を30分程度続けて脱水してから、酢酸エチル:メタノール(1:1)12ml で女性ホルモン類を溶出させる。その溶出液を窒素ガス吹き付けにより濃縮乾固する。それをヘキサン:ジクロロメタン(1:1)1ml に溶解し,フロリジルカートリッジに通し、さらにヘキサン:ジクロロメタン(1:1)10ml を通して不純物を溶出する。女性ホルモン類が吸着されているフロリジルカートリッジにアセトン10ml を通して女性ホルモン類を溶出し,溶出液は窒素ガス吹き付けにより乾固する。それをメタノール 1ml に再溶解し、NH2 カートリッジに通し、さらに、メタノール10ml で女性ホルモン類を溶出して窒素ガスパージにより乾固する。

[TMS 誘導体化]

乾固試料に、N,O-bis(trimethylsilyl)acetamide(BSA)を100μl加えて超音波で溶解した後、密栓して100℃で60分間放置する。反応後、n-ヘキサン100μlを加えて混合した後、その1μをGC/MSに注入し測定する。

[GC/MS 条件]

GC装置:HP6890
カラム:DB5、30m×0.25mmID、膜厚0.25μm
イオン源温度:300℃
注入方法:1μl注入、1.5minスプリットレス
昇温プログラム:50℃(1min)−30℃/min−280℃(0.1min)
−1℃/min−285℃(0.1min)−10℃/min
−300℃(15min)
キャリヤーガス:He 2ml/min
MS装置:JEOL JMS-700D
イオン化エネルギー:38eV
イオン化電流:500μA
分解能:10,000

[測定方法]

SIM法:E1はモノ-TMS体(m/z=342.2015)、αE2およびβE2はジ-TMS体(m/z=416.2567)、E3はトリ-TMS体(m/z=504.2911)、EE2はモノ-TMS体(m/z=368.2172)とジ-TMS体(m/z=425.2332)により定量する。

検出下限値は、E1、αE2およびβE2は0.1ng/l、E3は0.5ng/l、EE2は0.3ng/lである。

3. 結果及び考察

3-1 平成17年度のモニタリング調査結果

3-1-1 調査結果の概要

表1に環境ホルモンと女性ホルモンの平均濃度と濃度範囲を示す。

まず、環境ホルモンについてみると、NPの平均濃度は

表1 各調査地点における平均濃度と濃度範囲

河川名 調査地点	濃度	NP (μg/l)	OP (μg/l)	BPA (μg/l)	E1 (ng/l)	17α-E2 (ng/l)	17β-E2 (ng/l)	E3 (ng/l)	EE2 (ng/l)
鶴見川	平均値	0.06	0.01	0.10	48	0.2	4.0	0.4	ND
亀の子橋	濃度範囲	ND ～ 0.09	ND ～ 0.02	0.04 ～ 0.20	30.0 ～ 73.7	ND ～ 0.6	2.4 ～ 5.8	ND ～ 0.6	ND ～ ND
恩田川	平均値	0.05	0.01	0.03	44	0.2	4.7	0.4	ND
都橋	濃度範囲	ND ～ 0.07	ND ～ 0.01	0.02 ～ 0.03	19.0 ～ 65.6	ND ～ 0.5	2.6 ～ 6.5	ND ～ 1.0	ND ～ ND
帷子川	平均値	0.05	0.01	0.07	0.5	0.1	0.1	0.5	ND
水道橋	濃度範囲	ND ～ 0.10	ND ～ 0.01	0.05 ～ 0.12	0.2 ～ 0.8	ND ～ 0.1	ND ～ 0.3	ND ～ 0.7	ND ～ ND
大岡川	平均値	0.05	0.01	0.05	3.3	0.2	1.3	1.0	ND
清水橋	濃度範囲	ND ～ 0.09	ND ～ 0.01	0.02 ～ 0.08	1.8 ～ 6.9	ND ～ 0.4	0.7 ～ 2.5	ND ～ 2.4	ND ～ ND
境川	平均値	0.07	0.02	0.04	18	0.4	1.9	0.5	ND
高鎌橋	濃度範囲	ND ～ 0.14	ND ～ 0.02	ND ～ 0.08	13.0 ～ 30.1	ND ～ 0.6	1.0 ～ 2.7	ND ～ 1.1	ND ～ ND
柏尾川	平均値	0.11	0.02	0.48	60	0.1	4.2	0.5	ND
鷹匠橋	濃度範囲	0.07 ～ 0.21	0.01 ～ 0.03	ND ～ 1.65	10.0 ～ 129	ND ～ 0.2	1.3 ～ 8.4	ND ～ 0.7	ND ～ ND

注)平均値の算出において、NDがある場合は定量下限値の1／2の値を用いた。

鷹匠橋で最も高く 0.11 を示し、次いで高鎌橋、亀の子橋の順となり、他の３地点は同じ値を示した。OP の平均濃度は 0.01μg/l～0.02μg/l の範囲にあり、地点ごとの違いは少なく、しかも比較的低濃度であった。BPA については、平均濃度は鷹匠橋で 0.48μg/l と最も高く、また、その最大濃度は 1.65μg/l であった。しかし、環境ホルモン３物質の最大濃度はいずれも予測無影響濃度(NP=0.608μg/l、OP=0.992μg/l、BPA=24.7μg/l)を下回っていた。

次に、天然女性ホルモンについては、感潮域に位置する水道橋と清水橋を除き、E1 濃度が最も高く、２桁の値を示した。次いで濃度が高いのは、βE2、E3、αE2 の順であり、今回調査から測定を開始したαE2 の濃度は定量下限値をやや上回る程度であった。

最後に、合成女性ホルモンのEE2 はすべて不検出であった。EE2 は欧米などで頻繁に検出されているが[9,11]、今回の調査では検出されなかった。活性汚泥による天然及び合成の女性ホルモンの消失率については、βE2 が３週間で 100%、EE2 が４週間で 95%との報告[8]があり、両者で大きな違いはない。また、日本では低用量経口避妊薬の使用量自体がまだ少ないので、他の自治体による環境調査[15,16]でも、EE2 は検出されていない。社会情勢の変化等により、経口避妊薬の使用量が今後多くなっていく場合には、注意していく必要があろう。

3-1-2　総女性ホルモン様作用強度

環境ホルモンと天然の女性ホルモンを含めた複数物質による生物影響を評価するため、前報[3]と同様に、総女性ホルモン様作用強度の季節変化を求めた(図２)。また、図３に各物質の総女性ホルモン様作用強度に対する寄与率（年平均）を示す。総女性ホルモン様作用強度は、ある物質の 17-β-エストラジオールに対する活性値（βE2 比活性値）に、モニタリング調査結果の濃度を乗じてβE2 換算濃度（ng/ｌ）とし、それらを調査地点ごとに総和したものである。ただし、αE2 は活性値がないので除外した。

総女性ホルモン様作用強度は、亀の子橋、都橋および鷹匠橋で 10ng/l を超える場合があり、また、夏季よりも冬季のほうが高くなる傾向を示した。各物質の寄与率をみると、水道橋と清水橋を除き、総女性ホルモン様作用強度のほとんどがE1 とβE2 で占められ、また、βE2 よりE1 の占める割合が大きかった。これらの結果は、これまでの調査結果[2, 3, 5]とほぼ同じ傾向を示した

天然及び合成の女性ホルモンが生態系に対してどのような作用を及ぼすかが懸念されているが[17]、これらの物質による影響評価の進展が望まれる。

3-2　環境ホルモンの経時濃度変化

はじめに述べたように、平成 11 年度から今回まで環境調査を実施してきたが、ここでは、同一の分析方法を採用してきた環境ホルモン３物質の濃度の経年変化について検討した（図４）。

NP の濃度は調査開始当初より徐々に減少してきた。NP 関連製品の使用抑制や製品転換などによるためと考えられる。OP 濃度は調査開始当初に大きく減少した後、定量下限値をやや上回る濃度レベルでほぼ横ばいに推移してきている。NP や OP は亀の子橋や鷹匠橋で一時的に濃度が高まることもあったが、その予測無影響濃度を超えることはなかった。BPA も同様に亀の子橋や鷹匠橋で一時的に高濃度になることがあるが、その予測無影響濃度を超えることはなかった。しかし、BPA については、NP や OP に比べて相対的に高い濃度を示しており、また、使用量も多いことから、今後も濃度推移を注意してみていく必要がある。

4. まとめ

今回の調査結果や平成 11 年度から継続して実施してきた調査結果から、環境ホルモン３物質の濃度が予測無影響濃度を超えることはなかった。ただし、女性ホルモン類による生態影響等ついては今後の課題として残る。

一方、環境省は、「化学物質の内分泌かく乱作用」問題への対応方針のSPEED’98 をExTEND 2005 に全面的に改訂し、総合的な化学物質対策の中で内分泌かく乱化作用についての対応を進めることとしている[18]。

当研究所においても、今後は、国の動向や社会情勢の変化を注視しつつ、環境ホルモンだけでなく新たな問題として注目されている水環境中の医薬品などを含めた化学物質全般に関する最新の情報を継続して収集し、その中から課題を抽出して必要な調査・研究を進めていく予定である。

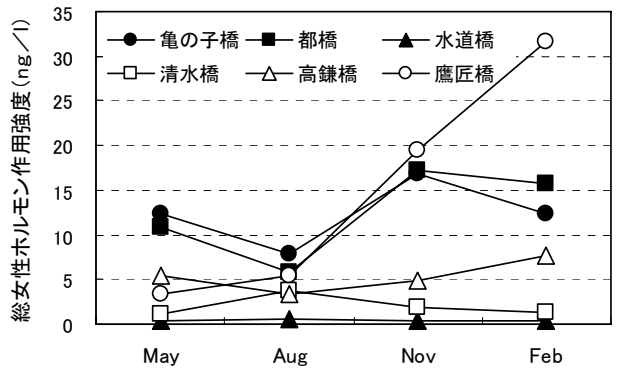


図2　各調査地点における総女性ホルモン様作用強度の季節変化

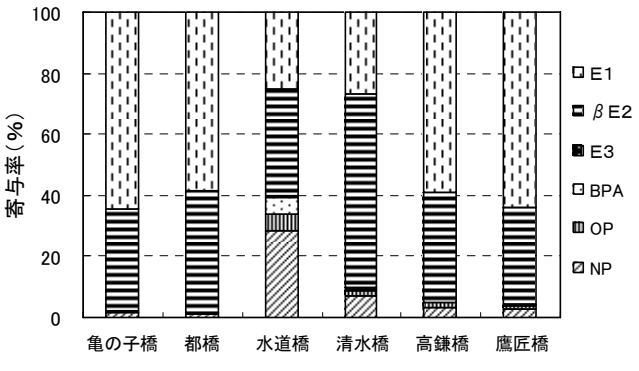


図3　総女性ホルモン様作用強度の各物質の寄与率（年平均）

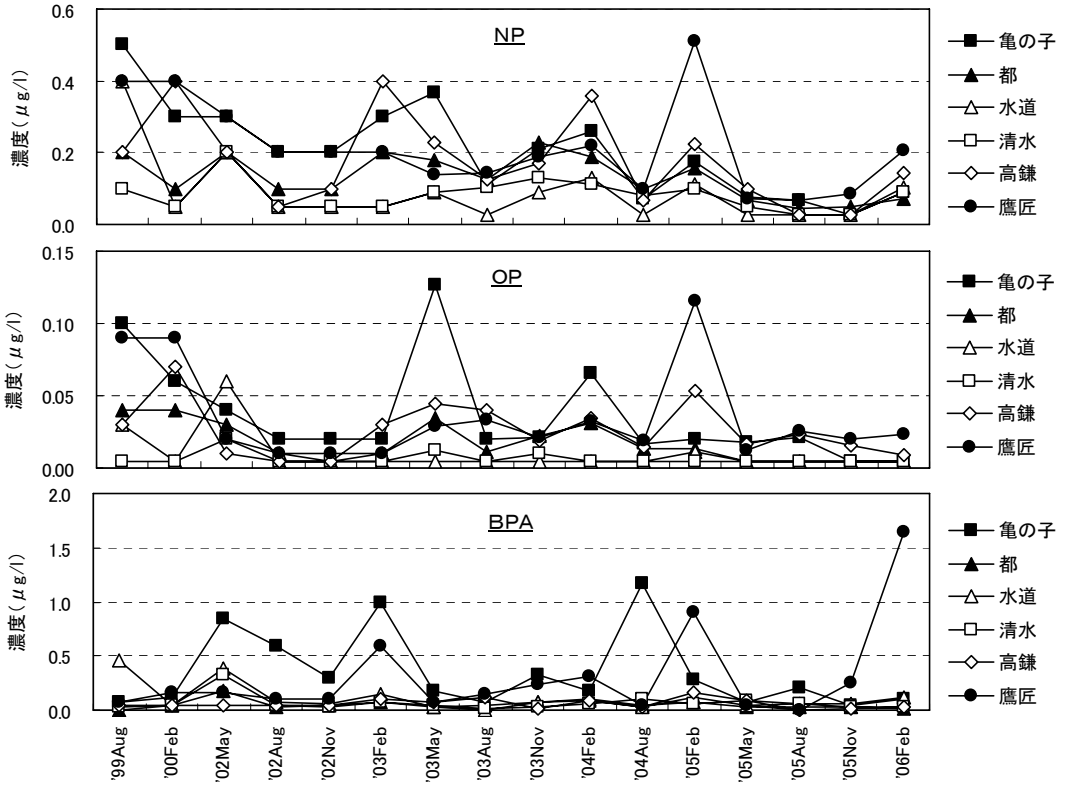


図4　環境ホルモン濃度の経年変化

参考文献

1）横浜市環境科学研究所：横浜市内河川・海域における環境ホルモン実態調査報告書、環境研資料 No.149、2003.

2）倉林輝世、二宮勝幸：横浜市内河川における環境ホルモン物質のモニタリング調査－女性ホルモン様作用に関する解析－、横浜市環境科学研究所報、**28**、39－45、2004.

3）倉林輝世、二宮勝幸：鶴見川水系における総女性ホルモン様作用の変動、横浜市環境科学研究所報、**29**、65－69、2005.

4）二宮勝幸、倉林輝世：鶴見川におけるノニルフェノール関連物質の挙動、横浜市環境科学研究所報、**28**、46－51、2004.

5）二宮勝幸：境川・柏尾川水系における環境ホルモンとその関連物質の環境調査、横浜市環境科学研究所報、**30**、40－45、2006.

6）二宮勝幸、倉林輝世：横浜市水域における環境ホルモン実態調査（第３報）－同族体組成からみたＰＣＢ分布の特徴－、横浜市環境科学研究所報、**26**、96－106, 2002.

7）二宮勝幸：横浜市水域におけるＰＣＢの起源推定、横浜市環境科学研究所報、**29**、70－77、2005.

8）厚生労働省：低用量経口避妊薬（ピル）の承認を「可」とする中央薬事審議会答申について、報道発表資料、1999年６月２日
http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1106/h0602-3_15.html

9）中央薬事審議会：ピルの内分泌かく乱化学物質としてのまとめ、平成 11 年３月３日
http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1103/h0303-1_a_15.html

10）塩田勉、若林明子：メダカ FLF 系統雄の雌化に及ぼす 17β エストラジオールの暴露時期及び期間の影響、東京都環境科学研究所年報、108-110、2001.

11）田中宏明，山下尚之：し尿に由来する河川のエストロゲン汚染と魚類の雌性化、J. Natl. Inst. Public Health, **54** (1)、22-28、2005.

12）環境省：要調査項目等調査マニュアル（水質、底質、水生生物）、平成 11 年 12 月.

13）SUPELCO：ガスクロマトグラフィー用誘導体化試薬他

14）JEOL：GC/MS による外因性内分泌撹乱化学物質の分析(1)17β-エストラジオールの分析にかかわる MS の分解能の影響、MS Data Sheet 、MS Tips、No.002
http://www.jeol.co.jp/technical/ai/ms/mstips-002/no-002.htm

15）橋本 和久 馬部 文恵 中冨 光信 小中ゆかり 常政 典貴 佐伯 彩路* 尾川 健 今村 光徳：広島市におけるエストラジオール類の調査結果、平成 14 年度広島市衛生研究所年報.

16）木下誠 ・中牟田啓子：福岡市内河川・博多湾におけるエストラジオール類の実態調査、福岡市保健環境研究所報、**30**、108-113、2004.

17）Tyrone B. et al : Pesticide Mixtures, Endocrine Disruption, and Amphibian Declines: Are We Underestimating the Impact?,Environmental Health Perspectives Volume 114, Number S-1, 40-50, April 2006.

18) 環境省：平成 17 年度 第１回 ExTEND2005 基盤的研究企画評価検討会、資料２－１ ExTEND2005 における取組について
http://www.env.go.jp/chemi/end/et05com_2be/01/index.html

横浜市水域における油流出事故について（第２報）

二宮勝幸（横浜市環境科学研究所）

Characteristics and analytical methods of spilled oil in Yokohama City（Ⅱ）

Katsuyuki Ninomiya(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：油流出事故、軽油、A重油、多環芳香族、GC/MS

要旨

成分組成が類似している軽油とＡ重油を識別する方法を検討するため、横浜市内で過去に発生した油流出事故事例を対象に GC/MS を用いて検討した。常圧蒸留で原油を分留すると残渣油が底部に溜まり、残渣油には軽油などに比べて相体的に多くの多環芳香族化合物を含有している。Ａ重油は残渣油と軽油等との混合物であることから、軽油とＡ重油とでは多環芳香族化合物の含有量や成分組成が異なる。そこで、二環および三環の芳香族化合物の SIM クロマトグラフのパターンを軽油とＡ重油で比較したところ、それらのパターンは両者を識別するのに有用であることがわかった。また、それらのパターンは２つの油が同じものであるのかどうか、すなわち異同を判断するのに役立つと考えられた。一方、トリメチルアントラセン（TMA）と炭素数が 21 個の直鎖炭化水素（C21）との面積比は軽油よりもＡ重油のほうで大きいことなどが指摘されている。流出油について検討した結果、それらの TMA／C21 比から両者を識別することが可能であった。

1．はじめに

横浜市内で発生した油流出事故の原因物質としては石油製品に関連した場合が多く、直鎖飽和炭化水素の組成の違いから油種をほぼ推定できる[1)]。しかし、石油製品のなかでも軽油とＡ重油は類似した直鎖飽和炭化水素の組成を有しており[2)]、それだけで識別するのは困難である。外観から軽油はほぼ無色透明でＡ重油はやや黒色を呈することで区別できるが、確実ではない。

一方、軽油とＡ重油は直鎖飽和炭化水素以外に少量の多環芳香族化合物などを含有しており、その成分組成や含有量は軽油とＡ重油とで異なる[3)]。したがって、多環芳香族化合物の成分組成等の違いから両者を識別できることが予想される。

本報告では、過去に発生した事故の流出油を対象にして、GC/MS を用いて軽油とＡ重油の識別する方法について検討した。また、例えば同一場所で再度流出事故が起こった場合において、２つの流出油が同一のものであるのかどうか、すなわち異同の識別についてもあわせて検討を試みた。

2．石油製品としての軽油とA重油の違いについて

軽油とＡ重油とで成分組成が異なるのは、これら石油製品の製造方法の違いによる。

石油類は、原油から沸点の違いを利用して蒸留・精製され、揮発油・灯油・軽油の順に留出し、底部に残渣油が残る。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ＣnH2n+2），分岐型および環状の炭化水素などの混合物である。以降、炭素数がｎ個の直鎖飽和炭化水素をＣｎとする。

軽油は一般にC12～C22 程度の範囲の直鎖飽和炭化水素を含有しており、また、寒冷地用のものには灯油を混合して製造される[3)]。残渣油と軽質留分（灯油や軽油）を混合したものが重油である。この混合割合によって、Ａ重油、Ｂ重油、Ｃ重油の三つに分かれる。例えば、残渣油と軽油を混合して重油をつくるとすると、その割合はＡ重油では 0.5：99.5、Ｂ重油では 65：35、Ｃ重油では 90：10 となる[2)]。このため、軽油とＡ重油はほぼ同じ直鎖炭化水素組成を示す。

一方、軽油とＡ重油はともに多環芳香族化合物を少量含有しているが、Ａ重油のほうが軽油よりも多環芳香族化合物を多く含有している[3,4)]。これは、残渣油の有無によるためである。なお、灯油は二環芳香族化合物を含有するが、三環以上の芳香族化合物を含有しない。軽油は三環芳香族化合物を含有し、残渣油には三環以上の多環芳香族化合物も含有されている[3)]。

3．方法

3-1　測定対象物質

測定対象物質として、直鎖飽和炭化水素、二環芳香族化合物（ジメチルナフタレンとトリメチルナフタレン）、および三環芳香族化合物（ジメチルアントラセンとトリメチルアントラセン）を選択した。ジメチルあるいはトリメチル化合物を選択したのは、メチル基をもたない化合物やモノメチル化合物に比べて異性体数が多いので、特徴あるクロマトグラムパターンが出現すると推察されるからである。また、ナフタレン化合物に比べてアントラセン化合物は沸点が高いため、揮散しにくい。なお、三環芳香族には、フェナンスレン類も含まれていると考えられるが、ここではアントラセンで名称を統一した。

3-2 測定方法

[GC/MS 条件]

GC 装置：HP6890

カラム：DB5、30m×0.25mmID、膜厚 0.25μm

イオン源温度：300℃

注入方法：１μl 注入、1.5 min スプリットレス

昇温プログラム：40℃(2min)－15℃/min－130℃(1min)－6℃/min－190℃(0.01min)－5℃/min－230℃(0.01min)－4℃/min－280℃(11min)

キャリヤーガス：He 2ml/min

MS 装置：JEOL JMS-700D

イオン化エネルギー：70eV

イオン化電流：300μA

[測定方法]

SIM 法：m/z＝85、156、170、206、220

モニタリング質量はそれぞれ①直鎖炭化水素、②ジメチルナフタレン、③トリメチルナフタレン、④ジメチルアントラセン、⑤トリメチルアントラセンに特有の質量に該当する。

サイクル時間：250mSec（各 50mSec）

4. 結果と考察

4-1 流出事故事例による軽油とA重油の SIM クロマトグラムパターンの特徴

過去に発生した油流出事故のうち流出油が軽油あるいはＡ重油と推定された６件（試料番号：S-1～S-6）について、SIM クロマトグラムのパターンの特徴を比較検討した。表１に６件の流出油の発生月や性状などの内容を、また、図１には Ｃｎ成分を特徴的に表現できる SIM(m/z=85)クロマトグラムを示す。

図１の最初の４件については、S-1 からS-4 に向かってＣｎの低沸点成分が少なくなる傾向を示した。その傾向は、事故の発生月からみると、冬季よりも夏季に顕著であることが示唆される。S-5 やS-6 についても、同様なことがいえる。このようにＣｎの低沸点成分が減少するのは、油が環境中に流出してからの経過時間、気温そして風などの因子が影響しているためと考えられる。実験結果[1)]からも，C17 以下の成分が比較的揮散しやすいことが明らかになっている。

一方、SIM(m/z=85)クロマトグラムでは、特徴的なＣｎのピークの間に分岐型や環式の化合物などに由来する複数の小さなピークが出現している。各試料について、これらのパターンを比較したが、軽油相互あるいは軽油とＡ重油との間に違いはほとんど認められなかった。

次に、ジメチルナフタレン、トリメチルナフタレン、ジメチルアントラセン、およびトリメチルアントラセン SIM クロマトグラムのパターンの特徴を調べるため、図２～５にそれぞれの SIM（m/z＝156、170、206、220）クロマトグラムを示す。

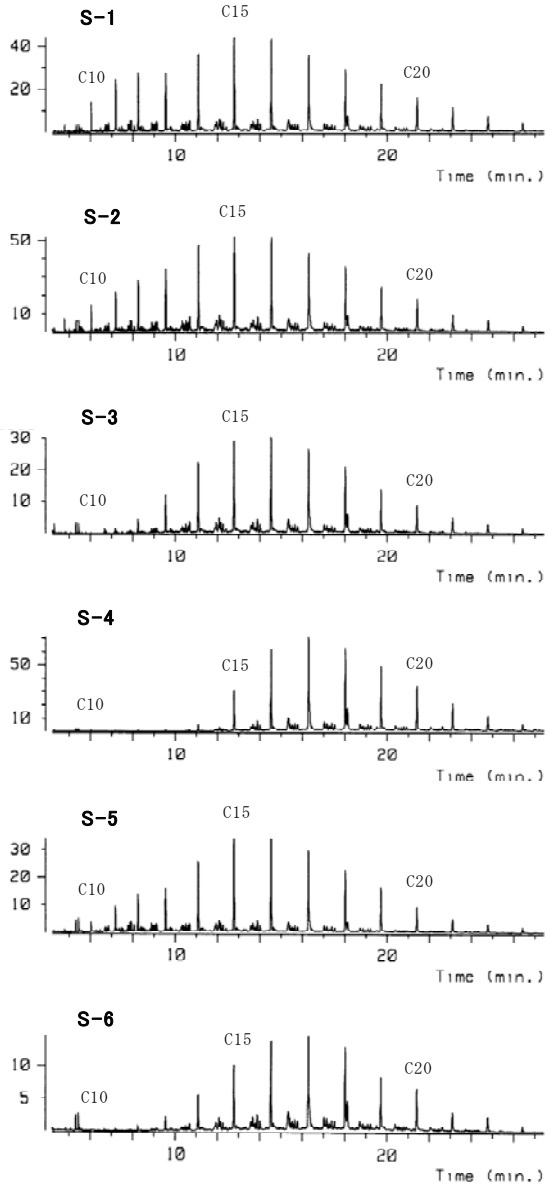


図1 6件の流出油の SIM(m/z=85)クロマトグラム

表1 6件の流出油の内容

試料	発生月	試料の性状	前処理法	推定油種
S-1	12月	水面上に浮遊、無色透明	油をn-ヘキサンに溶解	軽油
S-2	9月	水面上に浮遊、無色透明	油をn-ヘキサンに溶解	軽油
S-3	10月	水にほぼ溶解	水をn-ヘキサンで抽出	軽油
S-4	7月	水面上に浮遊、無色透明	油をn-ヘキサンに溶解	軽油
S-5	3月	水面上に浮遊、やや黒色	油をn-ヘキサンに溶解	A重油
S-6	8月	水面上に油膜状で浮遊	水をn-ヘキサンで抽出	軽油など

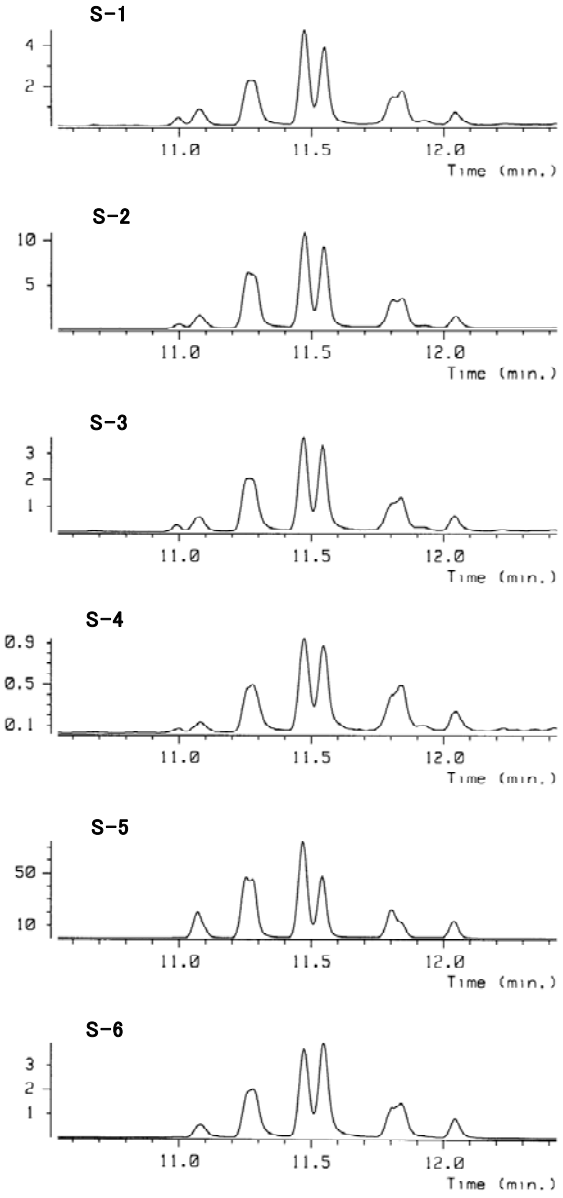


図2　6件の流出油の SIM(m/z=156)クロマトグラム

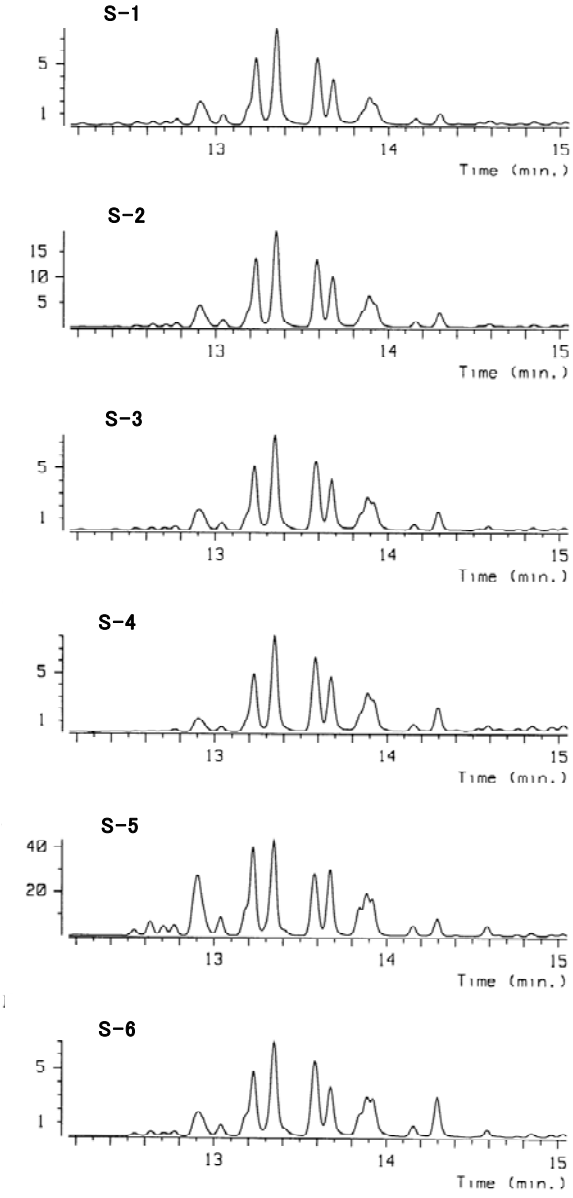


図3　6件の流出油の SIM(m/z=170) クロマトグラム

ジメチルナフタレン（図２）については、S-1～S-4 まではほぼ類似したパターンを示しているが、S-1 から S-4 に向けて保持時間の短い成分のピーク高が長い成分のそれに比べて少し低くなっている。これは、Cn 成分のところで述べたように、揮散程度の違いによるためと考えられる。また、それぞれのピークの高低も相互にわずかだが異なっていた。S-5 については、保持時間 11.0 分付近のピークが無く、保持時間 11.8 分付近の２つのピークは１番目が高く２番目が低いなど、前４者とは異なっていた。これらは、軽油とＡ重油との違いを示唆している。S-6 に関しては、保持時間 11.5 分付近の２つの主ピークの高低パターンが他のいずれの試料とも異なるなど、軽油かＡ重油かを判断できない。この理由として、S-6 は軽油の単独汚染ではなく、機械類の洗浄に使用した後のものあるいは廃油との混合物などが考えられる。

トリメチルナフタレン（図３）については、S-1～S-4 のパターンがほぼ類似していること、S-5 は前４者とは異なるパターンであること、S-6 はいずれの試料ともやや異なることなど、ジメチルナフタレンの場合とほぼ同様な傾向を示した。ジメチルアントラセン(図４)とトリメチルアントラセン(図５)については、ナフタレン化合物に比べて高沸点であることから、揮散による影響は小さいが、クロマトグラムパターンに関してはナフタレン化合物とほぼ同じ傾向を示した。

このように、芳香族化合物のクロマトグラムパターンは、軽油とＡ重油との識別に有効であり、また、同一油種相互の異同の識別にも活用できる可能性がある。

4-2　直鎖炭化水素と芳香族化合物の含有量の比率を用いた軽油とA重油の識別

はじめに述べたように、Ａ重油のほうが軽油よりも多環芳香族化合物を多く含有している。この違いを利用して、10 社の石油製品を対象に軽油とＡ重油を識別できることが指摘されている[5)]。例えば、直鎖炭化水素のC21 に対するトリメチルアントラセン（TMP）の面積比TMA／

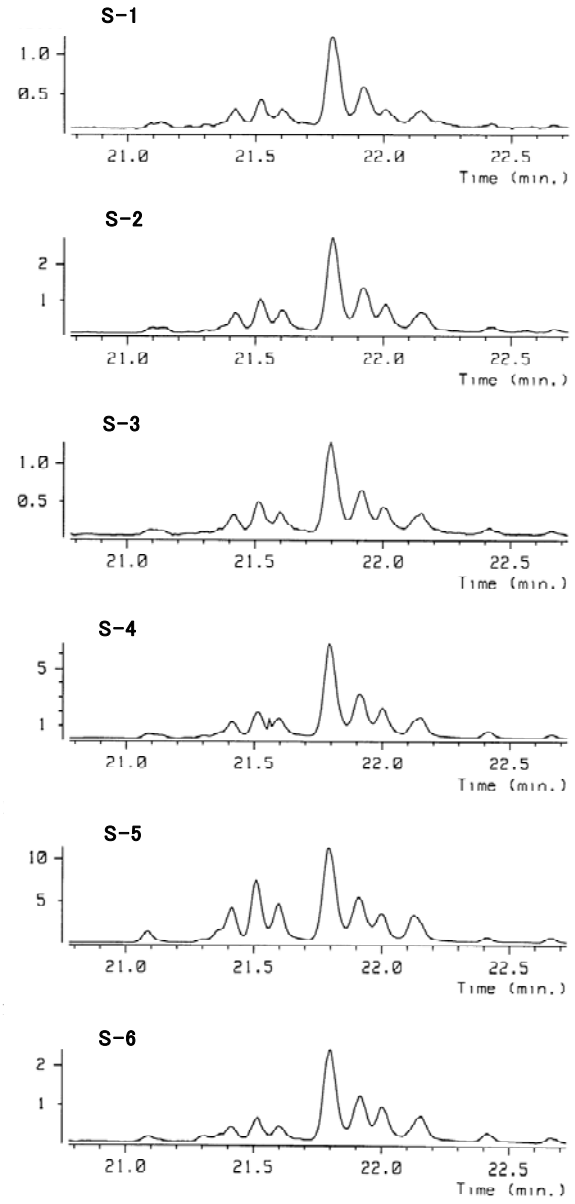


図4　6件の流出油の SIM(m/z=206) クロマトグラム

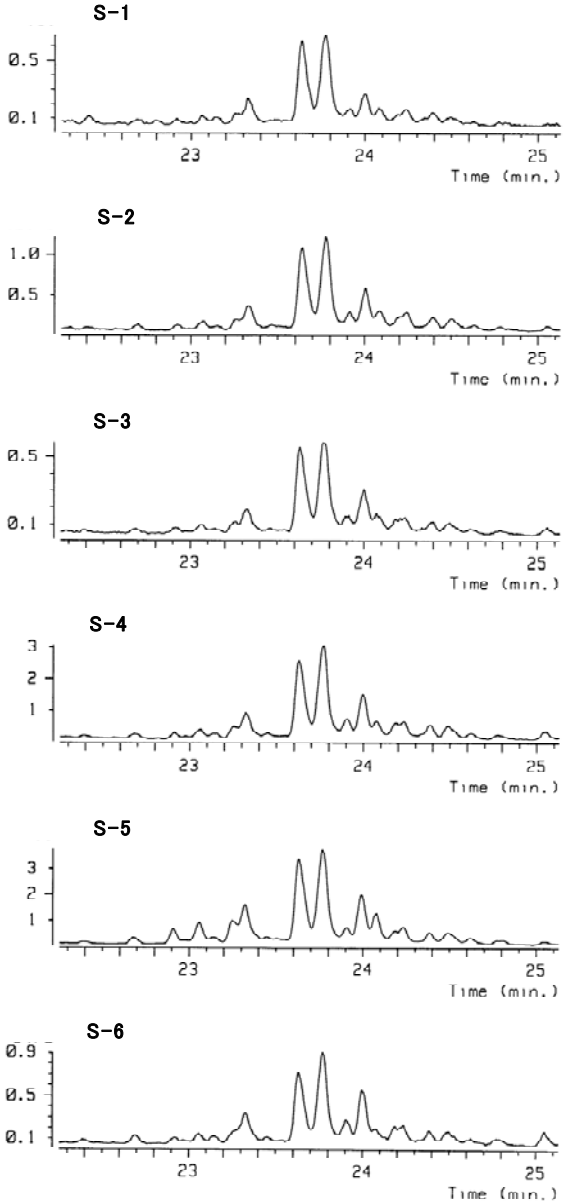


図5　6件の流出油の SIM(m/z=220) クロマトグラム

C21 は、軽油では最小値が 0.08、最大値が 0.39 で、平均 0.19 であったが、A重油は最小値が 0.53、最大値が 2.2 で、平均 1.2 であった。ただし、トリメチルアントラセンの面積は図５に示した保持時間が 23.6min～23.8min の範囲にある主要な２つのピークの面積である。

そこで、６件の流出油について、面積比TMA／C21 を求めた（図６）。軽油と推定された試料、S-1～S-4 の面積比TMA／C21 は 0.14～0.34 の範囲の値をとり、既報告[5)]の範囲内にあることから、ほぼ軽油であることが確認できた。S-1 については、面積比TMA／C21 が他の３つの試料の 1/2 以下であることから、３つの試料とは異なる軽油製品である可能性が高い。A重油と推定されたS-5 の面積比TMA／C21 は 1.64 を示しており、A重油であることが確認できた。

一方、S-6 の面積比TMA／C21 は 0.64 であり、既報告[5)]によるとA重油に該当する。しかし、先に示したS-6 の二環および三環の芳香族化合物のクロマトグラムパタ

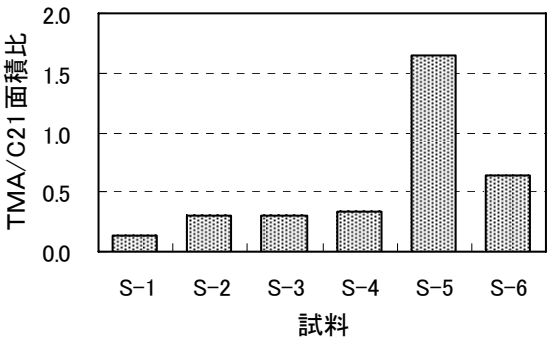


図6　6件の流出油の直鎖炭化水素(C21)に対するトリメチルアントラセン（TMA）の面積比

ーンはＡ重油よりは軽油に近かった。したがって、S-6は機械類を洗浄した後の軽油あるいは軽油と廃油との混合物と判断するのが妥当であろう。

4-3 異同の識別への応用

ここでは、クロマトグラムパターンと面積比 TMA／C21から、２つの流出油が同じものであるのかどうか、すなわち異同の識別について、事故事例をもとに検討を試みた。

１つは、油臭を放つ河川水 K-1 とその発生源と疑われる事業場の油 K-1B に関する事故である。K-1 および K-1B の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラムを図７および図８に示す。

SIM(m/z=85) クロマトグラムをみると、K-1B より K-1 のほうが C15 以下の低沸点成分のピークはやや低いことから、K-1 は少し揮散による影響等を受けていた。ジメチルナフタレンとトリメチルナフタレンの SIM(m/z=156 と m/z=170)クロマトグラムをみると、揮散影響のため両者とも保持時間の短い成分が長い成分に比べてピーク高は相対的にやや低かった。しかし、それらのクロマトグラムパターンはほぼ一致した。他の２つの芳香族化合物ジメチルアントラセンおよびトリメチルアントラセンの SIM(m/z=206 および m/z=220)クロマトグラムパターンも両者でほぼ一致しており、軽油に特有のパターンであった。面積比 TMA／C21 を求めると、K-1 は 0.33 そして K-1B では 0.34 となり、軽油の値の範囲内でほぼ一致した。これらのことから、K-1 と K-1B は同じ軽油である可能性が高い。

もう一つは S-5 と関連した事故であり、S-5 の事故発生の後日に再度同じ場所で油流出事故が発生した(S-5B)。S-5 および S-5B の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラムを図９および図 10 に示す。

SIM(m/z=85) クロマトグラムをみると、S-5 に比べて S-5B では C15 以下の低沸点成分のピークがわずかに低いことから、後者は前者より少し揮散影響があったと考えられる。しかし、他の４つの芳香族化合物 SIM(m/z=156、170、206、220)のクロマトグラムパターンはいずれもほぼ一致した。また、面積比 TMA／C21 についても、両者共に 1.64 で一致したことから、両者は同一のＡ重油である可能性が高い。

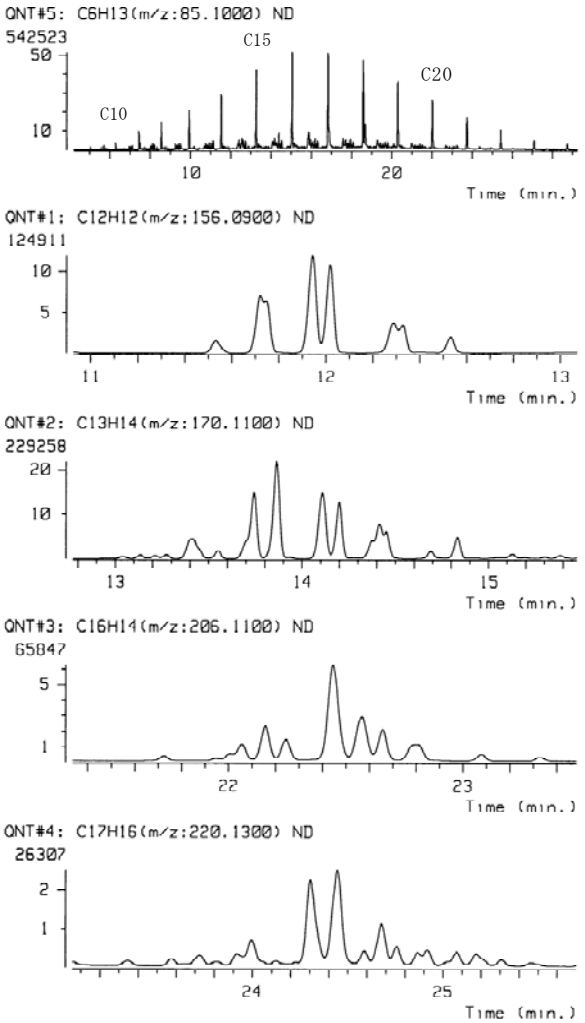


図7 河川水中の油 K-1 の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラム

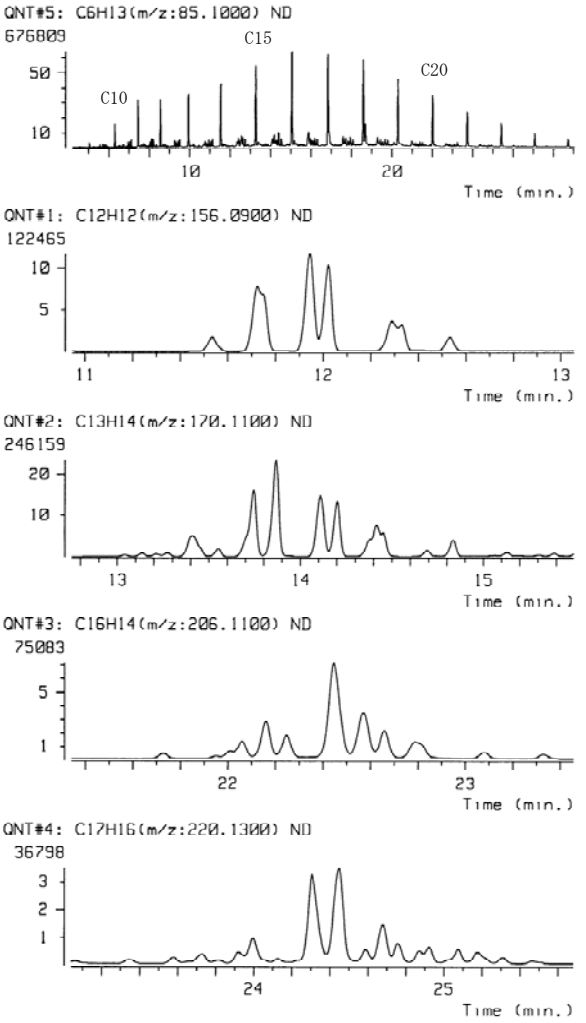


図8 K-1 の発生源と考えられる事業場の油 K-1B の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラム

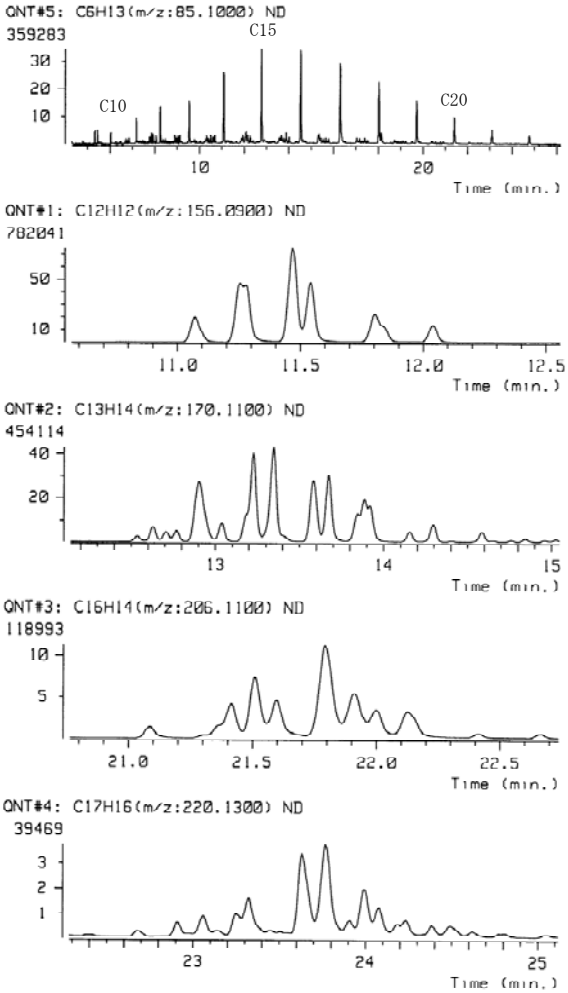


図9　流出油 S-5 の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラム

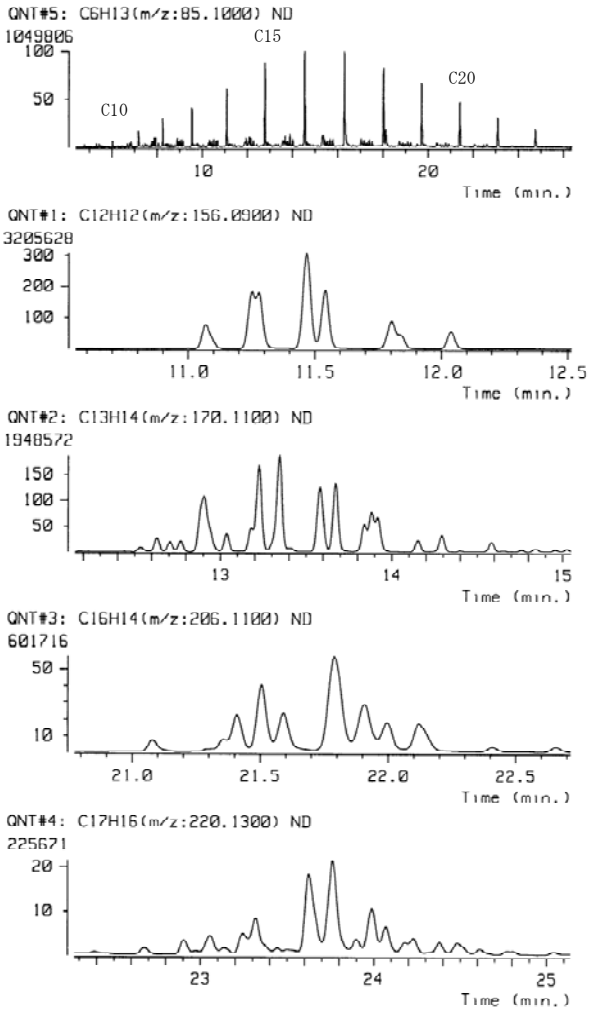


図10　流出油 S-5 と同場所で後日発生した流出油 S-5B の SIM(m/z=85、156、170、206、220) クロマトグラム

5. まとめ

二環および三環の芳香族化合物のSIMクロマトグラフパターンと面積比TMA／C21 を用いて比較検討したところ、それらは軽油とＡ重油を識別する上で有用であり、２つの流出油の異同を判断する材料にもなると考えられた。ただし、異同の判断をする上では、ここで検討した以外の成分についても検討して判断材料に加えること[6)]、SIM測定においてサイクル時間の短縮やピーク分離の良い温度プログラムなどクロマトグラムをさらに詳細に表現できる条件を求めることなどにより確度を高めていくことが重要である。

参考文献

1) 二宮勝幸、森本敏昭、白柳康夫：横浜市水域における油流出事故について、横浜市環境科学研究所報、25、47－55、2001.
2) 化学工業日報社：知っていますか『石油の話』、2001.
3) 小西誠一：石油のおはなし、日本規格協会、1999.
4) 藤原英隆、鈴木元治、吉岡昌徳、中野武：鉱物油による環境汚染時の GC-MS を用いた汚染成分の分析事例、兵庫県立健康環境科学研究センター紀要、2、23－27、2005.
5) 中牟田啓子、木下誠、小林登茂子：福岡市内を流通している A 重油と軽油の識別方法、福岡市衛生試験所報，28、97－100，2002.
6) 田口一雄:石油はどうしてできたかー地球の歴史をさぐる⑩ー、青木書店、pp.108、1993.

鶴見川における農薬調査について（Ⅱ）

酒井　学　（横浜市環境科学研究所）

Investigation of Pesticides in the Tsurumi River

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：農薬、河川水

要旨

横浜市の鶴見川（亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、田奈）において農薬調査を行ったところ、除草剤10種類、殺菌剤3種類、殺虫剤6種類が検出された。公共用水域における指針値等が設定されている農薬の場合、検出された濃度（平均値）は、いずれも指針値を満たすものであった。しかし、ジクロルボス等は、生態リスク初期評価の予測無影響濃度を超えており、生態系への影響などで注意が必要と考えられた。

１．はじめに

農薬は、作物を病中害から守り、生産性を高める上で有用であるが、開放系で使用することが多いため、周辺環境への影響に注意を払う必要がある。「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」（ＰＲＴＲ法）においても、100種類を超える農薬が対象物質に選ばれており、農薬の環境中における実態を把握することは、重要な課題の一つである。また、平成17年度には、環境省化学物質環境実態調査の中で、イソプロチオラン、プレチラクロール等の農薬調査を実施するなど環境中の農薬に対する関心は高いものがある。

そこで、市内を流れる河川で最も流域面積が広く、流域に水田、畑等の農地や、緑地、公園等が存在し、以前の調査で農薬が検出されている鶴見川において、農薬のモニタリング調査を実施した[1-4]。

２．調査方法

２－１　試料採取

試料は平成17年６月から平成18年３月まで、毎月1回、亀の子橋（鶴見川、横浜市港北区）、千代橋（鶴見川、横浜市緑区、都筑区）、都橋（鶴見川支流恩田川、横浜市緑区）、寺家（鶴見川支流寺家川、横浜市青葉区）、田奈（鶴見川支流恩田川への流入水、横浜市青葉区）で採取した（図―１）（田奈の恩田川への流入水は6月から9月まで）。流域は、住宅、商業施設等の市街地化が進んでいるものの、一部に水田、畑等の農地が認められ、寺家及び田奈は、農地、特に水田が多い地域である。

２－２　農薬分析

以前の報告に準じてGC/MSによる一斉分析を行った[4]。

なお、今回分析対象とした農薬は以下の通りである。

除草剤：モリネート、シマジン、シメトリン、チオベンカルブ、メフェナセット、トリフルラリン、アトラジン、プロピザミド、ブロモブチド、テルブカルブ、エスプロカルブ、ペンディメタリン、メチルダイムロン、ブタクロール、ブタミホス、プレチラクロール、オキサジアゾン、クロルニトロフェン、ナプロパミド、ニトロフェン、ベンフレセート、MCC、ピリブチカルブ、アラクロール、ビフェノックス、テニルクロール、ピペロホス、ジメピペレート、ピリミノバックメチル

殺菌剤：クロロネブ、ペンシクロン、クロロタロニル、イプロベンホス、トルクロホスメチル、フサライド、フルトラニル、イソプロチオラン、メプロニル、EDDP、ジフェノコナゾール、プロシミドン、PCNB

殺虫剤：ジクロルボス、フェノブカルブ、ダイアジノン、フェニトロチオン、フェンチオン、イソキサチオン、ＥＰＮ、エチルチオメトン、マラチオン、クロルピリホス、ピリダフェンチオン、α―ベンゾエピン、β―ベンゾエピン、フェントエート、プロチオホス、メチダチオン、ブプロフェジン、ピラクロホス、テブフェンピラド、ピリプロキシフェン、ハルフェンプロックス、エトフェンプロックス、パラチオン、メチルパラチオン、α―BHC、γ―BHC、フェニトロチオンオキソン、マラオキソン、フィプロニル

前報[4]と比較して、今回はピリミノバックメチル、ジメピペレートを対象に追加した。

３．結果及び考察

３－１　農薬分析結果と農薬濃度変化

河川水中の農薬分析の各調査結果を表－１に示し、平成17年6月から18年3月までの平均値を表―２に示した。併せて表―２の右側に「水質汚濁に係る環境基準値及び指針値」、「公共用水域等における水質評価指針値」が設定されている農薬に関してはその濃度を示し、環境省が生態リスク初期評価を報告した農薬[5]に関しては予測無影響濃度を示した。71種の測定対象の農薬について、表－１に示した以外は定量限界（0.05μg/L）未満の濃度であった。また、基準値や指針値の欄がーの農薬は、基準値や指針値が設定されていない農薬であり、予測無影響濃度の欄がーの農薬は、予測無影響濃度が報告されていない農薬である。

図―１に各地点のモリネートの濃度を示した。寺家では、6月にモリネートの濃度が32μg/Lであったが、7月は0.47μg/L、8月は0.22μg/Lと濃度が下がり、9月以降は定量限界未満となった。モリネートの公共用水域等における水質評価指針値は、

表-1　鶴見川の農薬調査結果（検出された物質。単位：μg/L）

（1）平成17年6月

物質名	調査地点				
	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
モリネート	32	0.29	0.47	0.15	0.24
チオベンカルブ	0.64	nd	0.08	0.42	0.20
シメトリン	3.5	0.13	0.14	0.05	0.06
メフェナセット	0.43	14	0.07	0.67	0.29
ブロモブチド	nd	1.2	0.28	0.46	0.22
ピリブチカルブ	0.08	nd	0.08	nd	nd
ベンフレセート	1.4	nd	nd	nd	nd
ジメピペレート	0.63	nd	nd	nd	nd
プレチラクロール	nd	nd	nd	0.14	0.10
ピリミノバックメチル	nd	0.25	nd	nd	nd
イプロベンホス	0.05	nd	0.13	nd	0.05
フェニトロチオン	nd	nd	0.05	nd	0.14
フェンチオン	nd	0.63	nd	nd	nd
フィプロニル	nd	nd	0.05	nd	0.07

ndは定量限界(0.05μg/L)未満

（2）平成17年7月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
モリネート	0.47	nd	nd	0.09	nd
チオベンカルブ	0.27	nd	nd	nd	nd
シメトリン	0.13	nd	nd	nd	nd
メフェナセット	0.13	0.09	nd	nd	nd
ブロモブチド	nd	0.16	nd	nd	nd
ピリミノバックメチル	nd	0.05	nd	nd	nd
イプロベンホス	1.1	nd	nd	nd	nd
フェニトロチオン	0.90	nd	nd	nd	nd

（3）平成17年8月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
モリネート	0.22	nd	nd	nd	nd
シメトリン	0.12	nd	nd	nd	nd
イプロベンホス	0.05	9.5	nd	0.94	0.11
EDDP	nd	0.13	nd	nd	nd
イソプロチオラン	1.4	nd	nd	nd	nd
ダイアジノン	nd	1.4	nd	0.13	nd
エトフェンプロックス	0.11	nd	nd	nd	nd

（4）平成17年9月

物質名	調査地点				
	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ピリミノバックメチ	nd	0.10	nd	nd	nd
イプロベンホス	nd	0.05	nd	nd	nd
イソプロチオラン	0.07	nd	nd	nd	nd

（5）平成17年10月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
調査対象全種類	nd	－	nd	nd	nd

（6）平成17年11月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
フェニトロチオン	nd	－	nd	nd	0.06

（7）平成17年12月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ジクロルボス	nd	－	0.87	nd	0.24

（8）平成18年1月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
フィプロニル	nd	－	nd	nd	0.12

（9）平成18年2月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ジクロルボス	nd	－	nd	0.06	nd

（9）平成18年3月

	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ジクロルボス	nd	－	0.28	nd	0.11

平成17年10月～平成18年3月：田奈・恩田川への流入水がなく、試料採取ができなかった。

表-2　鶴見川の平均農薬と環境基準値・指針値等との比較（検出された物質。単位：μg/L）

物質名	調査地点					基準値もしくは指針値 注1）	生態リスク初期評価の予測無影響濃度 注2）
	寺家 (n=10)	田奈(n=4)	千代橋 (n=10)	都橋 (n=10)	亀の子橋 (n=10)		
モリネート	3.3	0.07	0.05未満	0.05未満	0.05未満	5 c）	—
チオベンカルブ	0.09	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	20 a）	0.17
シメトリン	0.38	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	60 c）	—
メフェナセット	0.06	3.5	0.05未満	0.07	0.05未満	9 c）	—
ブロモブチド	0.05未満	0.34	0.05未満	0.05未満	0.05未満	40 c）	—
ピリブチカルブ	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
ベンフレセート	0.14	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
ジメピペレート	0.06	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
プレチラクロール	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	40 c）	—
ピリミノバックメチル	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
イプロベンホス	0.12	2.4	0.05未満	0.09	0.05未満	8 b）	1.0
EDDP	nd	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	6 c）	—
イソプロチオラン	0.15	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	40 b）	10
フェニトロチオン	0.09	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	3 b）	0.00021
フェンチオン	0.05未満	0.16	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
フィプロニル	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	—	—
ダイアジノン	0.05未満	0.35	0.05未満	0.05未満	0.05未満	5 b）	0.00026
エトフェンプロックス	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	80 c）	—
ジクロルボス	0.05未満	0.05未満	0.12	0.05未満	0.05未満	8 b）	0.0013

注1）a)水質汚濁に係る環境基準値、b)指針値（要監視項目）、c)公共用水域等における水質評価指針値
　　－は基準値、指針値等が設定されていない

注2）環境省環境保健部「化学物質の環境リスク評価　第2巻」(2003)
　　－は予測無影響濃度が報告されていない

年平均で5μg/Lと設定されており、6月は一時的に高い濃度であったが、平均値（3.3μg/L）は、指針値を満たす結果となった（表―２）。一方、田奈では、6月にモリネートが0.29μg/Lと、寺家同様に水田の下流の水を分析したものの、モリネートの濃度は寺家の1/100以下であった。また、寺家川と鶴見川（谷本川）の合流地点より下流の千代橋では、6月に0.47μg/L検出されたのみであり、更に谷本川と恩田川の合流地点より下流の亀の子橋では、6月に0.24μg/Lと、寺家の1/100以下の濃度となった。モリネートは、田植え後の水田用の除草剤であり、今回、使用した水田の下流で濃度が一時的に高くなったものと思われる。

図―２に各地点のメフェナセットの濃度を示した。6月の田奈の恩田川への流入水の濃度は14μg/Lだが、7月には0.09μg/L、8月以降は定量限界未満となった。メフェナセットの場合、公共用水域等における水質評価指針値は年平均で9μg/Lであり、6月に一時的に高い濃度となったが、調査平均値（3.5μg/L）は、指針値を満たす結果となった（表―２）。寺家も水田下流の試料であるが、6月の濃度が0.43μg/Lと田奈の1/10以下の濃度であった。また、田奈の下流の恩田川都橋では0.67μg/L、恩田川と谷本川の合流地点より下流の亀の子橋では0.29μg/Lと、田奈の1/10以下の低い濃度であった。メフェナセットもモリネートと同じく水田用の除草剤であり、使用した水田の下で一時的に濃度が高くなったものと思われる。

チオベンカルブ、シメトリン、ブロモブチド、ピリブチカルブ、ベンフレセート、ジメピペレート、プレチラクロール、ピリミノバックメチルも水田用の除草剤であり、6月の濃度が他の月より高い濃度であった。今回の鶴見川の除草剤の分析結果を兵庫県の水田地域の河川（平成16年度）[6]と比較すると、兵庫県では、モリネート及びチオベンカルブが全ての調査地点（4地点）で不検出、メフェナセット、ピリブチカルブが一部の地点から検出、ブロモブチド、プレチラクロールが全ての調査地点（4地点）から検出され、除草剤の種類に地域による違いが認められた。

次にイプロベンホスの場合は、田奈の恩田川への流入水で8月に採水した試料が9.5μg/Lと、最も高い濃度を示し、次いで田奈の下流の恩田川都橋（8月、0.94μg/L）であった（図―３）。イプロベンホスの主な用途は稲用の殺菌剤であり、使用した水田の下流で濃度が高くなったと考えられる。

イソプロチオラン及びＥＤＤＰも稲用の殺菌剤である。水田の下流にある寺家で8、9月にイソプロチオランが、8月に田奈でＥＤＤＰが検出されたが、10月以降は定量限界未満となった。

有機リン系殺虫剤のフェニトロチオンの場合を図―４に示した。フェニトロチオンは、6月に千代橋（0.05μg/L）及び亀の子橋（0.14μg/L）、7月に寺家（0.90μg/L）、11月に亀の子橋（0.06μg/L）から検出され、他は定量限界未満であった。フェニトロチオンは、様々な農作物や樹木に適用可能な殺虫剤であることから、千代橋(6月)及び亀の子橋（6、11月）で検出したフェニトロチオンの使用場所、目的等は特定できなかった。

最後に、ジクロルボスについて図―５に示した。ジクロルボスは、千代橋で、平成17年12月に0.87μg/L、18年3月に0.28μg/L、亀の子橋で17年12月に0.24μg/L、18年3月0.11μg/L、都橋で2月に0.06μg/L検出されたのみであり、以前の調査で検出された[2]寺家からは検出されなかった。また、12月～3月に検出されるなど、モリネート等の除草剤とは明らかに異なる濃度変化を示した。

ジクロルボスは農作物や樹木の殺虫剤として使用されるだけでなく、防疫用として市街地で使用されることもある。また、東京都[7]や横浜市内の大気[8]、横浜市内の雨水[9,10]から検出されており、大気や雨水への移行を通して使用場所から離れた場所で検出する可能性もある[11-12]。平成17年12月及び18年3月に検出したジクロルボスは、稲刈り終了後に検出したもので、水田以外の使用場所が考えられるが、今回調査地点が少なく、使用場所等は明らかでなかった。

なお、今回の調査では、加古川（兵庫県）[13]で検出頻度が高く、過去鶴見川[2,3]からも検出されたフェノブカルブ（殺虫剤）は、全て定量限界未満であった。

３－２　生態リスク初期評価の予測無影響濃度と農薬濃度

表―２に示した環境省・生態リスクの初期評価における予測無影響濃度は、水生生物（魚類、甲殻類、植物）を用いた生態影響試験及びアセスメント係数から算出したものである。ジクロルボスの場合、環境基準（要監視項目）としての指針値は、8μg/L以下であり、いずれの地点でも指針値を満たしていた。しかし、甲殻類(*Ceriodaphnia dubia*)の48時間半数致死濃度は0.13μg/Lであり、生態リスク初期評価における予測無影響濃度は、48時間半数致死濃度(0.13μg/L)÷（アセスメント係数：100）＝0.0013μg/L[5]、と指針値（環境基準の要監視項目）の1/100以下の濃度である。千代橋のジクロルボスの場合、17年12月に0.87μg/L、18年3月に0.28μg/Lと、予測無影響濃度（0.0013μg/L）の100倍以上の濃度で、甲殻類(*Ceriodaphnia dubia*)の48時間半数致死濃度（0.13μg/L）を超えており、生態系への影響が推察される結果となった。なお、予測無影響濃度が定量限界（0.05μg/L）より低いため、分析結果が定量限界未満の場合でも生態影響の可能性があり、今後の課題と思われた。

４．まとめ

横浜市内の鶴見川で農薬調査を実施したところ、除草剤、殺菌剤及び殺虫剤の合計19種類が検出された。モリネート、メフェナセット、チオベンカルブ、ブロモブチド、シメトリン、イプロベンホス、イソプロチオランのような水田で使用される除草剤、殺菌剤は、鶴見川中流部の亀の子橋よりも、寺家、田奈（恩田川への流入水）のような農地（水田）の下流で濃度が高くなる傾向が認められた。一方、ジクロルボス（殺虫剤）は、稲刈り終了後の17年12月～18年3月に千代橋、都橋、亀の子橋で検出されたが、寺家では定量限界未満であり、モリネート、イプロベンホス等と明らかに異なる濃度パターンを示した。

測定結果を環境基準値、指針値等と比較すると、モリネート（寺家）、メフェナセット(田奈)などで一時的に指針値を超えたものが認められたが、平均値はいずれも基準値、指針値を満たす濃度であった。

河川水質の生態系への影響を考慮するため、測定結果を生態リスク初期評価の予測無影響濃度と比較すると、千代橋におけるジクロルボス（平成17年12月、18年3月）など、予測無影響濃度の100倍以上の濃度であり、生態系への影響が推察される結果となった。

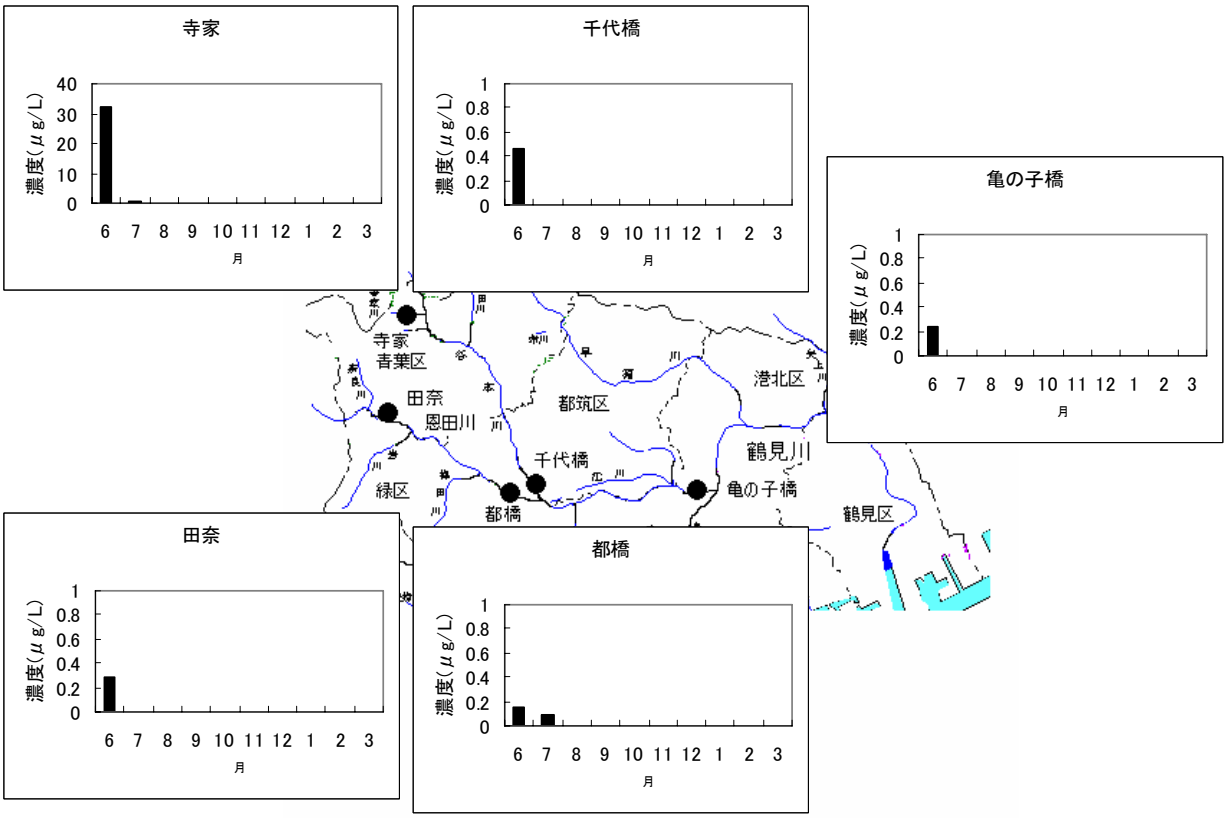


図-1　モリネートの調査結果

Y軸：寺家は0～40 μg/L、他は0～1.0 μg/L

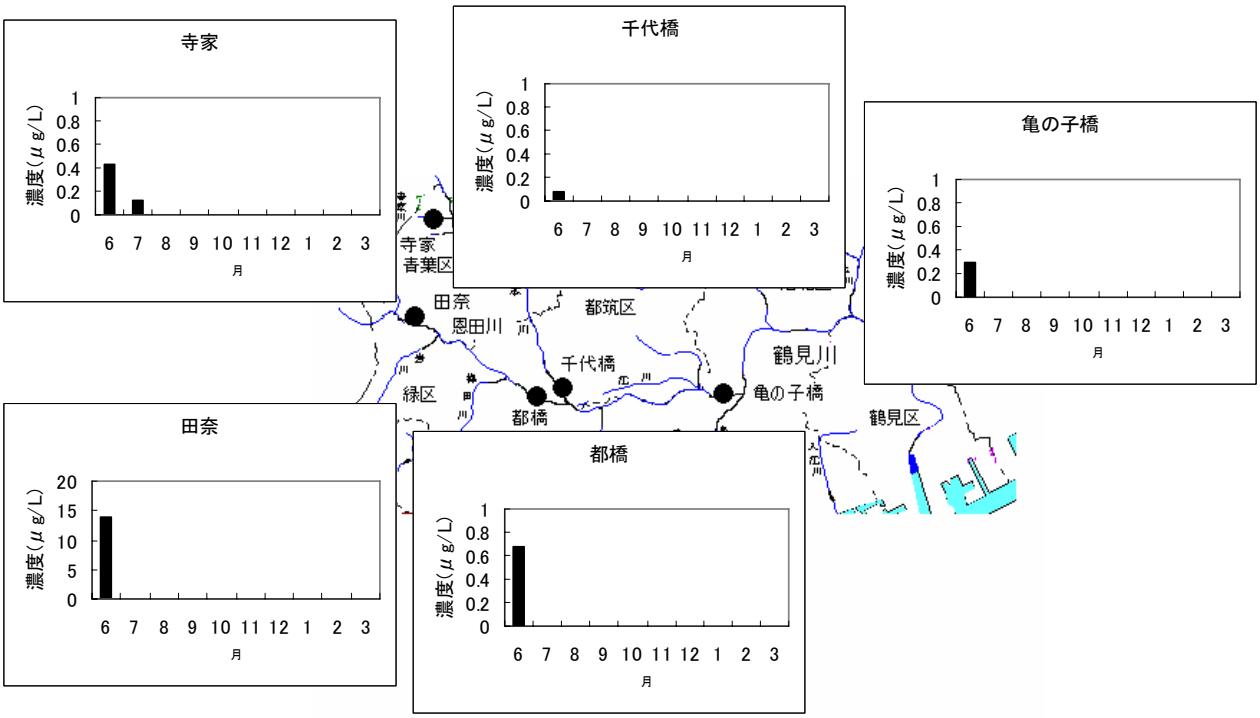


図-2　メフェナセットの調査結果

Y軸：田奈は0～20 μg/L、他は0～1.0 μg/L

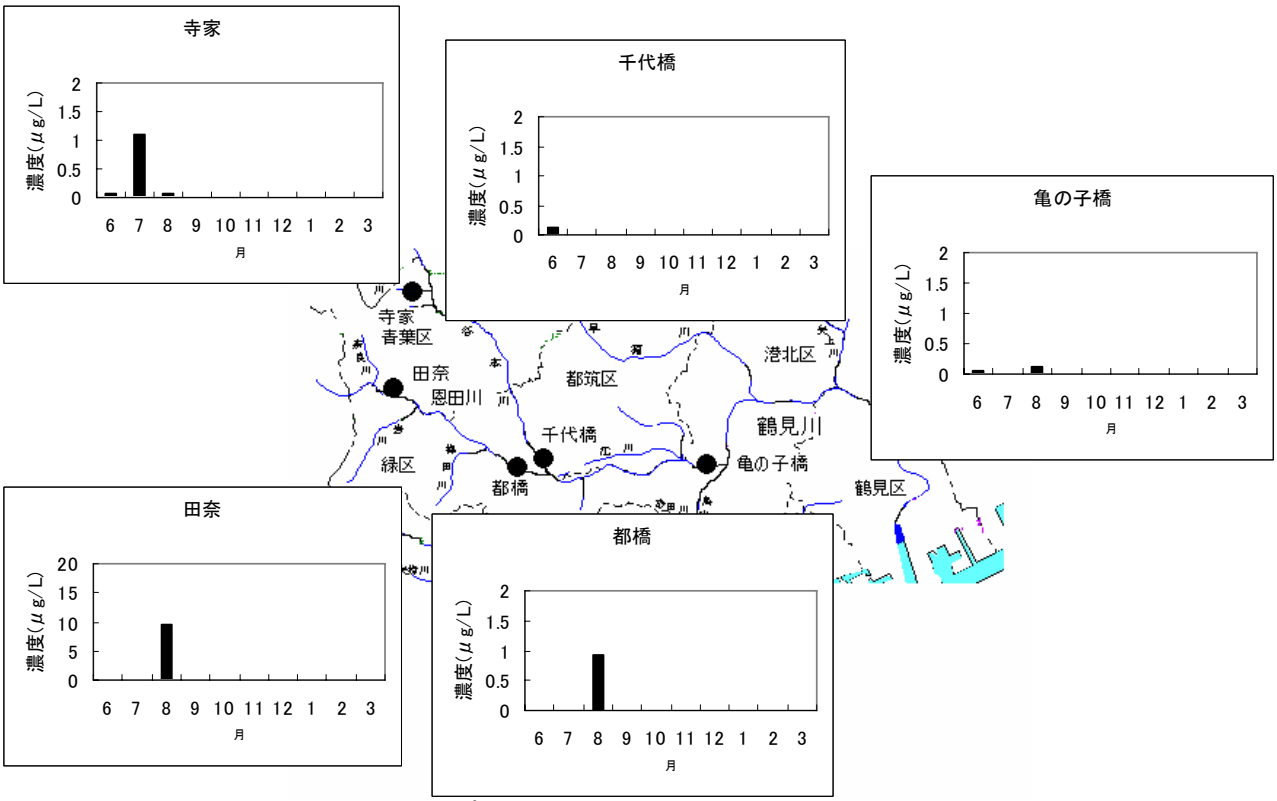


図-3　イプロベンホスの調査結果

Y軸：田奈は0～20 μg/L、他は0～2.0 μg/L

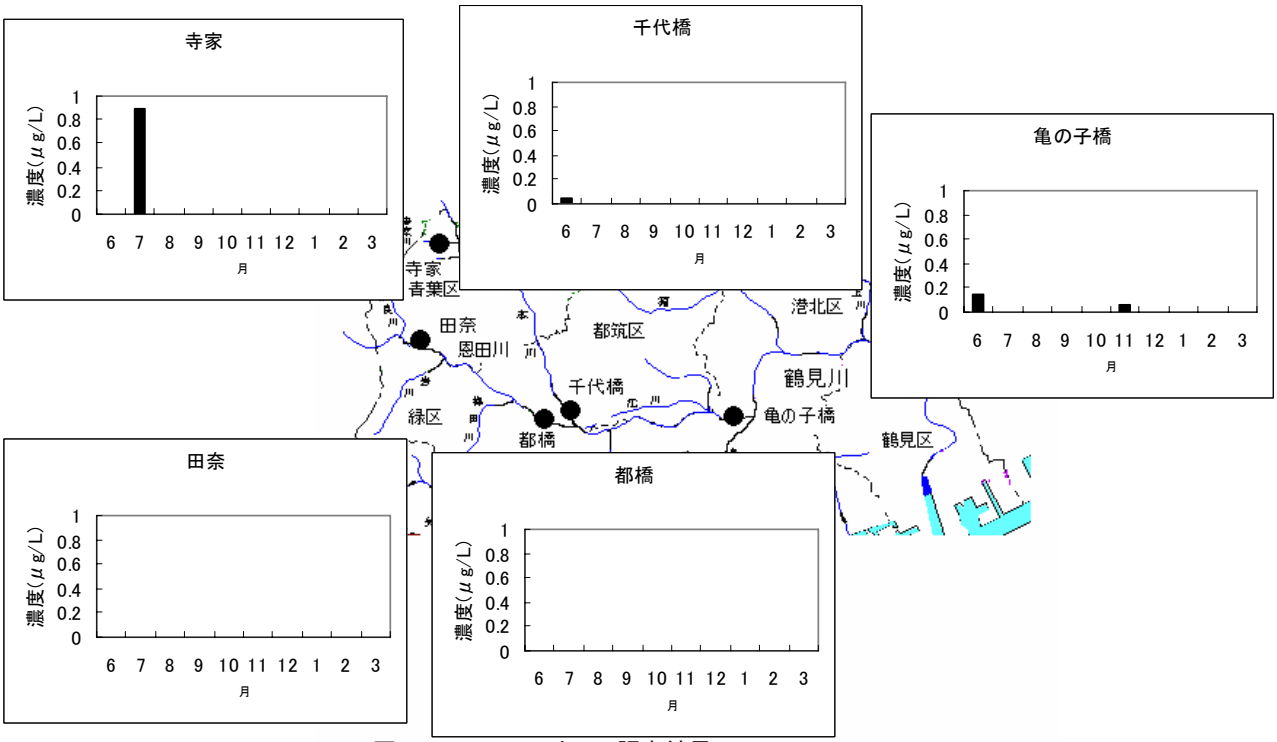


図-4　フェニトロチオンの調査結果

Y軸：0～1.0 μg/L

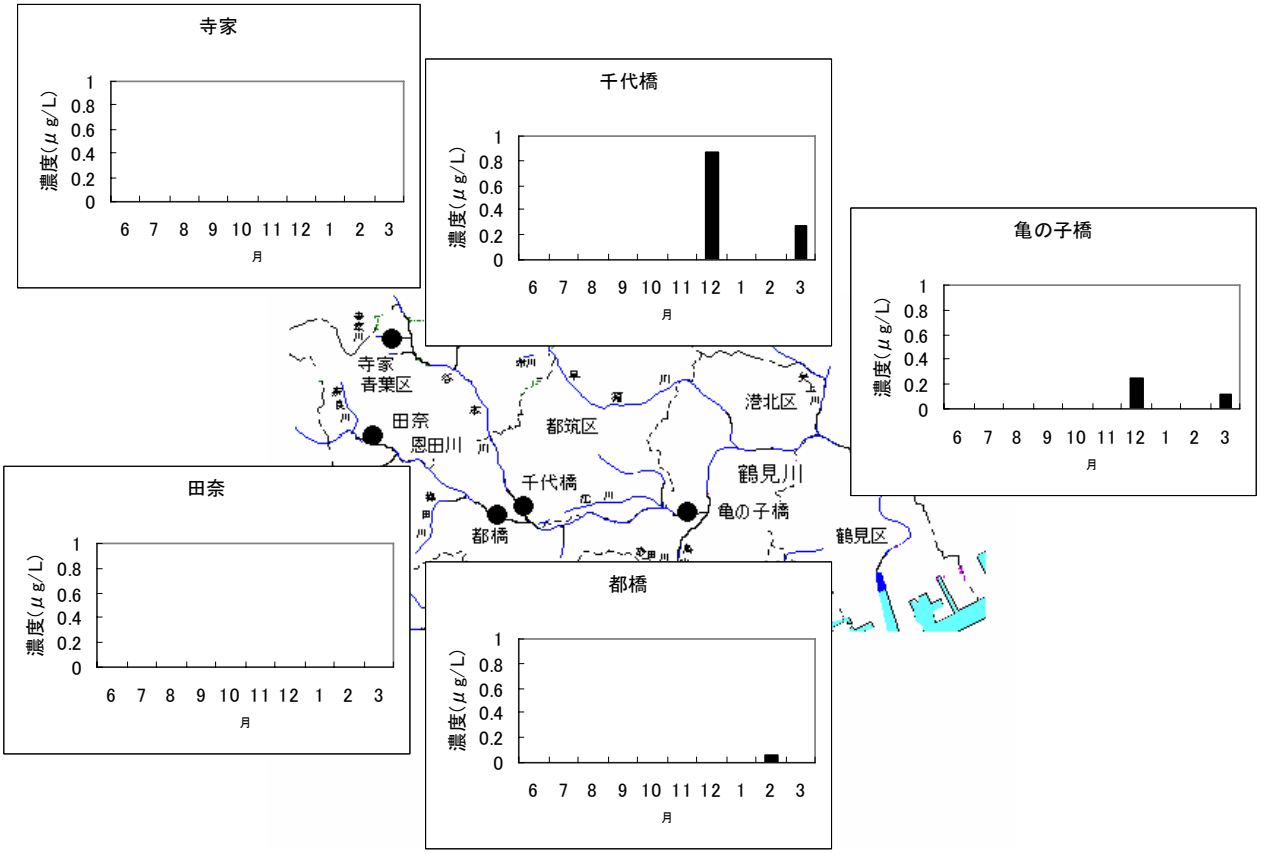


図-5 ジクロルボスの調査結果

Y軸:0～1.0 μg/L

参考資料

1)酒井　学、二宮勝幸：横浜市内河川の農薬モニタリング，横浜市公害研究所年報，**15**，135-141（1991）.

2)初貝留美、下村光一郎、飯塚貞男、山口一誠：横浜市内の水田排水中の農薬調査（第３報），横浜市環境科学研究所報，**23**，16-25（1999）.

3)酒井　学：横浜市内河川の農薬調査について，横浜市環境科学研究所報，**24**，101-106（2000）.

4)酒井　学：鶴見川における農薬調査について，横浜市環境科学研究所報，**30**，46-49（2006）.

5)環境省：化学物質の環境リスク評価第２巻，2003.

6）吉田光方子、藤森一男：水田地域における河川水中農薬調査，兵庫県立健康環境科学研究センター紀要，**2**，28-36（2005）.

7)斎藤育江、大貫　文、瀬戸　博、上原真一：有機リン系殺虫剤の室内および外気濃度測定、大気環境学会誌，**38**，78-88（2003）

8)酒井　学：横浜市（磯子区）における大気中の有機リン系農薬調査，横浜市環境科学研究所報，**28**，70-71（2004）.

9)Sakai，M.：Investigation of pesticides in rainwater at Isogo Ward of Yokohama，J. Health Sci.，**49**，221-225（2003）.

10）酒井　学：横浜市（磯子区）における殺虫剤、殺菌剤、除草剤の湿性沈着について，横浜市環境科学研究所報，**29**，137-139（2005）

11）Van Dijk，H.　and　Guicherit，R.：Atomospheric dispersion of current-use pesticides - A review of the evidence from monitoring studies，Water Air Soil Pollut.，**115**，21-70（1999）.

12）Dubus，I.G.：Pesticides in rainfall in Europe，Environ. Pollut.，**110**，331-344（2000）.

13)吉田光方子、鄭　小萍、藤森一男：加古川下流域における農薬の濃度変動，　兵庫県立健康環境科学研究センター年報，**2**，162-167（2003）.

ダイオキシン類モニタリング調査

—環境大気の経年変化—

白浜　武四郎　、　加藤　美一（横浜市環境創造局環境科学研究所）

Survey of Dioxins — Trends of Air —

Takeshiro Shirahama , Yoshikazu Kato
（ The Environmental Science Research Institute, Environmental Planning Bureau, City of YOKOHAMA ）

キーワード：ダイオキシン類、コプラナーPCB

要旨

平成17年度環境大気のダイオキシン類濃度の全地点平均値は、0.061 pg-TEQ/m^{3}となり、環境基準0.6pg-TEQ/m^{3}の約10分の１まで低下した。季節的には夏期に低く、冬期に高い傾向にあった。また、春期及び夏期の気温が高い季節において、コプラナーPCB濃度の割合が高くなる現象が見られた。

1　はじめに

1990 年代後半から、ダイオキシン類に関する社会的不安が高まり、平成 12 年１月にダイオキシン類対策特別措置法が施行された。横浜市環境科学研究所では、法の施行に先駆け、平成 10 年度にダイオキシン等分析室を設置し、大気をはじめ環境試料の分析に取り組んできた。以下に、本市における環境大気のモニタリング調査結果を取りまとめたので報告する。

2　調査の概要

横浜市内の各区に設置されている常時監視測定局 18 地点(平成 11 年度までは 9 地点)において、環境大気のモニタリング調査を行った。

(1) 方法

「ダイオキシン類に係る大気環境調査マニュアル（環境省)」による。

(2) 採取期間

年 4 回（春・夏・秋・冬）

7 日間連続採取(平成 9～14 年度は 24 時間採取)。

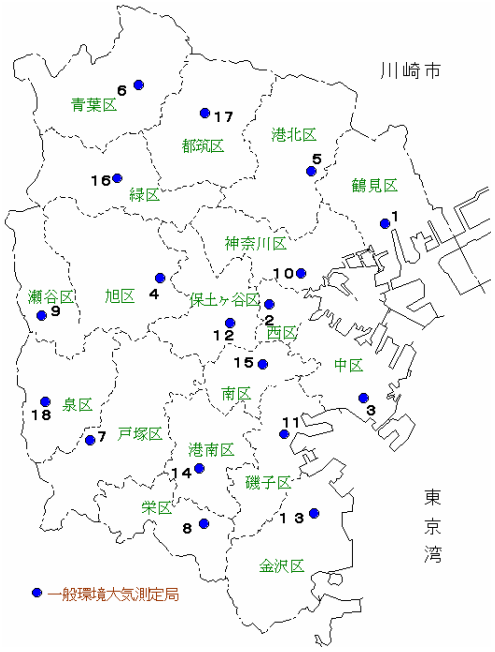
(3) 調査地点【図－１】

市内一般環境大気測定局 18 地点（平成 11 年以前は 9 地点）

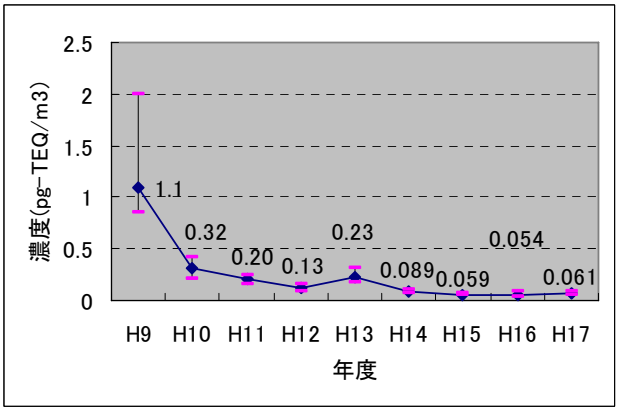
3　結果概要

(1) 平成 9～17 年度調査の経年変化

平成 9 年度から平成 17 年度の大気中ダイオキシン類濃度の推移を【図－２】に示す。平成 9 年度の全地点の年間平均値は 1.1 pg-TEQ/m^3 であり、大気環境基準(0.6 pg-TEQ/m^3：平成 9 年度当時の指針値は 0.8 pg-TEQ/m^3)を超過している地点もあったが、一般廃棄物焼却炉対策、産業廃棄物処理業者への指導などダイオキシン類削減施策が進んだ結果、平成 10 年度以降、全地点で環境基準を満足するようになった。平成 17 年度では全地点平均値は、0.061 pg-TEQ/m^{3}となり、環境基準の約 10 分の 1 にまで低下した。



図－ 1　調査地点



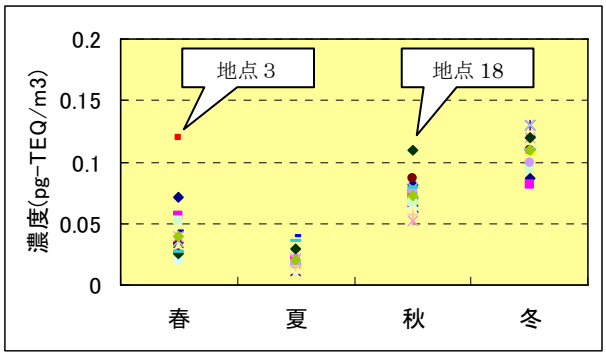
図－ 2　環境大気中ダイオキシン類の経年変化

今後は、G30 プランよる廃棄物そのものの減量化やリサイクルの推進に伴い廃棄物焼却量が減少し、ダイオキシン類の排出量が削減されるため、さらに大気中の濃度は低下していくことが予想される。

(2) 平成１７年度調査の季節変動

平成 17 年度調査の大気濃度(TEQ 換算値)の季節変動を【図－３】に示す。ダイオキシン類濃度は、夏期に低く、冬期に高い傾向にあった。夏期の全地点平均値は 0.02 pg-TEQ/m^3、冬期は 0.11 pg-TEQ/m^3 となった。

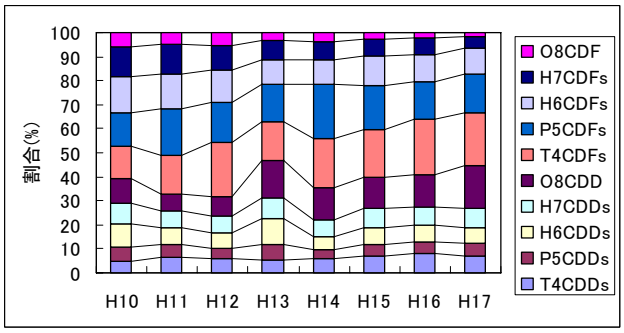
平成 17 年度調査では、全調査地点でおおむね同様な変動を示しているが、若干高い濃度を示した地点もあった。春期調査の「地点３」では、全地点平均値 0.040 pg-TEQ/m^3 に対して、0.12 pg-TEQ/m^3 となった。また、秋期調査の「地点１８」では全地点平均値 0.072 pg-TEQ/m^3 に対して、0.11 pg-TEQ/m^3 となった。これらの地点は、ダイオキシン及びフランの割合が高く、コプラナーPCB の割合が低い傾向にあった。「地点３」ではコプラナーPCB の実測濃度割合が春期 18 地点平均 56%に対して 33%、「地点１８」では秋期 18 地点平均 26%に対して 20%となった。局地的な燃焼由来の影響が考えられる。



図－３　平成 17 年度調査の季節変動

(3) 同族体組成の経年変化

大気中のダイオキシン及びフランの同族体実測濃度割合の経年変化を【図―４】に示す（特異的に 08CDF が高濃度であった H14 年度秋季調査のデータは除いた。）。高塩素化フランの割合が年々低下傾向にある。５～８塩素化フランの合計が平成 10 年度調査では 47%だったが、平成 17 年度では 33%まで減少した。

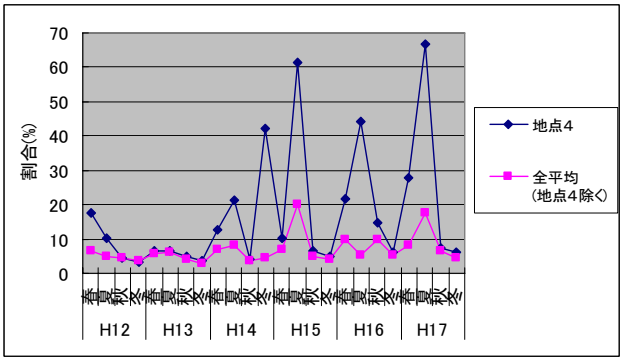


図－４　大気における同族体組成の経年変化

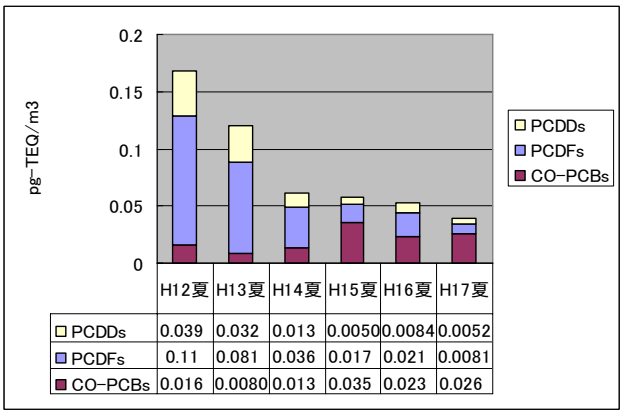
(4) コプラナーPCB の季節変動、経年変化

コプラナーPCB の TEQ 濃度の割合の経年変化を【図―５】に示す。春期及び夏期の気温が高い季節において、コプラナーPCB 濃度の割合が高くなる現象が見られた。特に「地点４」においては、環境基準に比べれば低濃度ではあるが、他地点より約 10～40%程度高い傾向にあった。「地点４」ではコプラナーPCB の割合が増加傾向にあるが、これは焼却由来のダイオキシン及びフランが焼却炉対策等により減少したため、相対的に増加傾向を示したものと考えられる。【図―６】

なお、「地点４」近傍では PCB 保管施設等は確認されず、この原因については定かではない。今後ともコプラナーPCB の濃度及び割合について推移を監視していく。



図－５　コプラナーPCB 割合の経年変化



	H12夏	H13夏	H14夏	H15夏	H16夏	H17夏
PCDDs	0.039	0.032	0.013	0.0050	0.0084	0.0052
PCDFs	0.11	0.081	0.036	0.017	0.021	0.0081
CO-PCBs	0.016	0.0080	0.013	0.035	0.023	0.026

図－６　地点４におけるﾀﾞｲｵｷｼﾝ類組成の経年変化

４　おわりに

ダイオキシン類対策推進の結果、環境大気中のダイオキシン類濃度は環境基準の１／１０程度まで低減した。今後も、モニタリングを継続するとともに、正確かつ迅速に分析を行えるよう、分析工程の見直しに取り組んでいく。

＜参考文献＞

越智ら：横浜市内における環境大気中ダイオキシン類濃度調査（その２）、横浜市環境科学研究所所報、28、34-38 (2004)

文献調査から眺めた環境振動への苦情

鹿島教昭（横浜市環境科学研究所）＊1
国松　直（産業技術総合研究所）＊2、塩田正純（工学院大学）＊3

Complaints through references to environmental vibration

＊1：Kashima Noriaki (Yokohama Env. Sci. Res. Inst.)
＊2：Kunimatu Sunao (National Inst. of AIST)、＊3：Shioda Masazumi (Kogakuin Univ.)

キーワード：苦情、環境振動、振動規制法施行状況調査、家屋増幅

要旨　工場・事業場、建設作業、道路交通を発生源とする振動苦情を収集した振動規制法施行状況調査（平成9～同15年版）、及び振動の家屋増幅に関する報告書を調べた。苦情対応を発生源別にまとめると、法対象の場合、特定工場・特定事業場では50%強が測定されず測定結果では70～80%が適合、特定建設作業では70～80%が測定されず測定結果では80～90%が適合、また道路交通では約40%が測定されず測定結果では90%強が適合である。条例対象の場合、工場・事業場では70～80%が測定されず測定結果では70～80%が適合、建設作業では約70%が測定されず測定結果では90%強が適合である。木造の家屋増幅量は鉛直方向で5dBとされているが、マイナスの増幅量を含めて平均化しており安全率が考慮されていない。屋内の水平方向の増幅率は鉛直方向のそれより大きく、敷地境界の鉛直方向が基準内であっても屋内の水平振動が苦情を誘発する場合が多く想定される。苦情の愁訴にも拘わらず測定結果の多くが適合である矛盾は、家屋内で苦情者が感じる振動を把握しない現行の敷地境界レベル(鉛直方向)のみの測定では解決できない。苦情に伴う測定結果が解決に繋がらなければ無駄なデータになる可能性が高く、家屋内測定を実行し結果の有効利用を図るべきである。

1. はじめに

近年、建設作業振動への苦情が、その大型化に伴い漸増傾向にあり、総振動苦情数中の割合が高まっている。海外においては、ISOは、人体に伝達する振動に関してそれまでの規格を総合化的に1997年に改正しISO 2631-1を、また建物内における振動曝露に関して2003年にISO 2631-2を規定した。ISOの規格には我が国の鉛直方向のみの測定と異なり、水平2軸、鉛直1軸が含まれている。

環境省はこれらの状況を考慮し、2004年から5カ年計画で「振動評価手法のあり方に関する調査」を委託に出した。受託した(社)日本騒音制御工学会は筆者らを検討調査委員会の構成委員として選び、評価の動向、振動実態、社会反応、伝搬増幅などの調査を進めた。本報では主に文献調査から眺めた苦情の実態と振動の家屋増幅について報告する。

2. 振動苦情の変遷

振動規制法は昭和51年12月1日に施行されたが、環境省はそれ以前から地方自治体に寄せられた振動苦情を収集し、発生源ごとに整理してきた[1-8]。その発生源別苦情数を**図1**に示す。図には法適用外の苦情も含む。

昭和51年以降では、苦情数は昭和53年の4033件をピークとして漸減傾向にあったが平成12年からは上昇傾向を示している。しかし、工場･事業場振動（図では工場等と表示）に対する苦情数は昭和51年の1884件から平成15年の672件まで顕著に減少し、概ね三分の一となっている。強制力を持った規制効果の賜物と言えよう。

建設作業振動への苦情数は経年的に多少の変動は見せつつも、昭和50年代中頃にそれまで最大数の工場・事業場振動苦情数に匹敵するようになり、昭和58年以降は最大数を誇っている。平成10年頃には初期の1500件台から1000件台までに減少してきた。しかし、平成11年から苦情数は上昇傾向にあり、同年に振動苦情総数の50%を超えその率を増

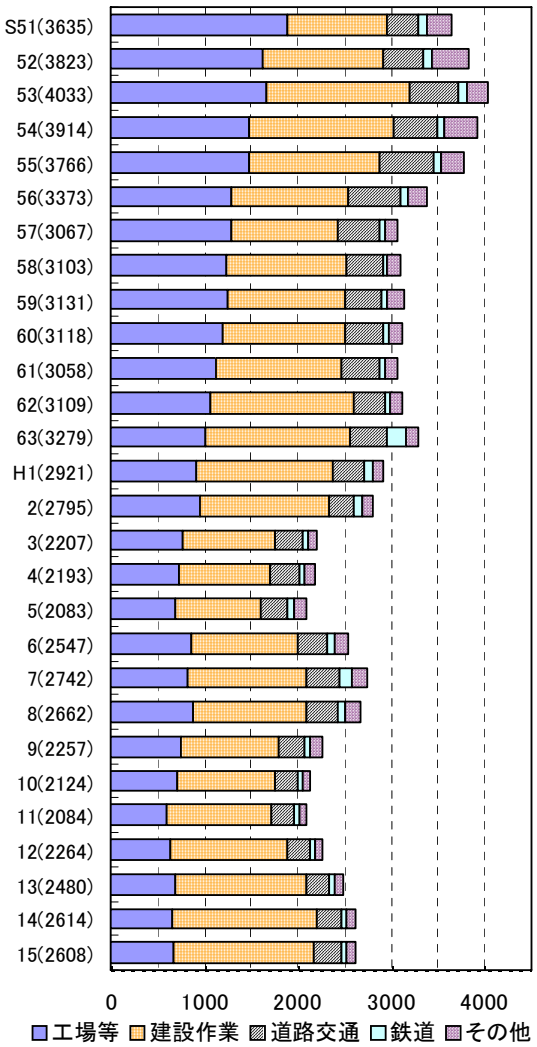


図1　発生源別振動苦情数の年度別推移
かっこ内は振動苦情総数

しながら、近年では60%に達しようとしている。

道路交通振動への苦情数も長期的には減少傾向だが、昭和50年代には400～500件、平成に入ってからは300件前後であり全体的に少数派である。

鉄道振動への苦情は道路交通より更に少なく、昭和51年以降で100件を超えたのは、昭和51年、同63年及び平成7年の3ヶ年のみであり、近年では50～60件程度となっている。

3. 苦情に基づく振動測定

地方自治体は法と各自治体の条例に基づき振動測定を行い、法規制及び条例規制との比較を行っているが、全ての苦情に対して測定を行っている訳ではない。ここでは法に基づく測定、及び条例等に基づく測定の割合を、また測定結果の規制適合割合を平成9年度から同15年度の振動規制法施行状況調査[2-8)]を参考にして眺める。なお鉄道振動に関しては、新幹線に環境基準が適用されているのみ故に言及しない。

3.1 振動規制法対象

3.1.1 特定工場・特定事業場振動

法では都道府県知事や政令指定都市、中核市、特例市、及び特別区の長が法を適用する地域を指定する。この指定地域内の特定工場と特定事業場が法規制の対象である。以下では特定工場・特定事業場を特定工場等と略記し、非特定工場・非特定事業場を非特定工場等と、また特定工場等と非特定工場等をまとめて工場等と略記する。

工場等への苦情数を母数と考えた特定工場等の振動への法の適用状況を図2に示す。苦情に基づいた特定工場等の振動測定数の内訳数が「適合数、不適合数、判定不能」であるから、それら三者の和と「測定せず」の合計が特定工場等に起因する振動への苦情数となる。

特定工場等への苦情に関して、測定数は苦情数に対応して変動するが、平成9～15年では測定率は約40～50%であり、適合率は約70～80%である。大略が適合状態であり、振動苦情を申し立てても、その多くは法的に対処する手段はほぼ断たれていると言って良かろう。

工場等への苦情の内、法対象外がほぼ70%であり、苦情の多くが非特定工場等からの振動に対するものである。法の趣旨は大きな振動を出す施設を規制することにあるが、それにしても苦情数の70%が法対象外振動である事実から、法は振動実態を把握しているようには見えない。

特定工場等に対して「測定せず」の理由には、人員や機材の不足も考えられるが、測定しても敷地境界では低レベルが予想されるので測定していないことも考えられる。苦情は有るがレベルが把握されていない実態がここに窺える。実際に法が適用され測定されているのは、図2の測定結果が「適合」と「不適合」及び「判定不能」のみで、苦情の合計に対して10%から15%程度に過ぎない。残りの90%近くは法の網からこぼれているのが実情である。

即ち、特定工場等に起因する振動への苦情が訴えられても、その50%強は振動レベルが測定されず、測定されてもその70～80%は適合である。

3.1.2 特定建設作業振動

図3は、前項同様に建設作業振動への苦情を母数とし、特定建設作業振動への法の適用状況である。

指定地域内の特定建設作業振動に対して、測定されているのは約20～30%である。特定工場等の場合に比し測定率が小さいのは、或る期間内の作業であり、測定に赴いた時点で作業完了も多々あり得るから当然とも思える。測定結果の適合数は平成10年の61件から平成12年の120件とばらついており、適合率も約60%から約93%まで広がっている。しかし、平成10年を除けば約83～93%は適合であり、工場等に比し、多い苦情数の割に測定されることが少なく、しかも測定結果は適合が多い。

法の網に掛からない非特定建設作業に対する苦情が毎年62%以上であり、法が適用され測定された結果の「適合」「不適合」及び「判定不能」の和で当該苦情総数の10%を超えたのは、平成11年と12年のみである。工場等以上に法の網から抜けている場合が多い。建設作業の振動レベルは概ね工場等からの振動よりは高く、最近では建設作業の大型化、それに伴う長期化が懸念されており、特定工場等と見做して良いと思える程の長期間を建設作業と称して続行している可能性も考えられる。

特定建設作業に起因する振動への苦情が訴えられても、

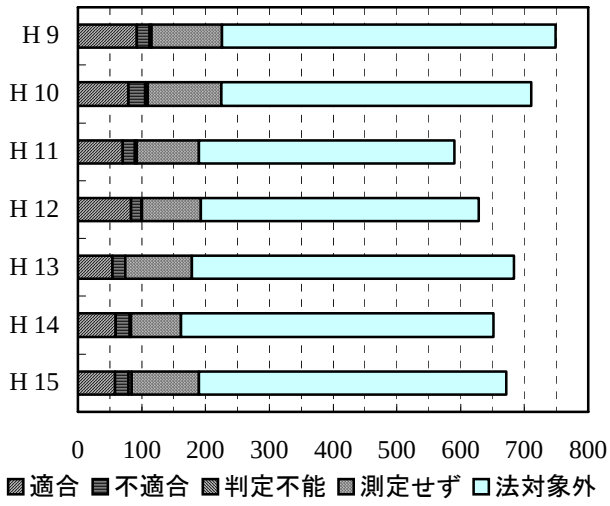


図2 工場・事業場振動への苦情数と法の適用状況

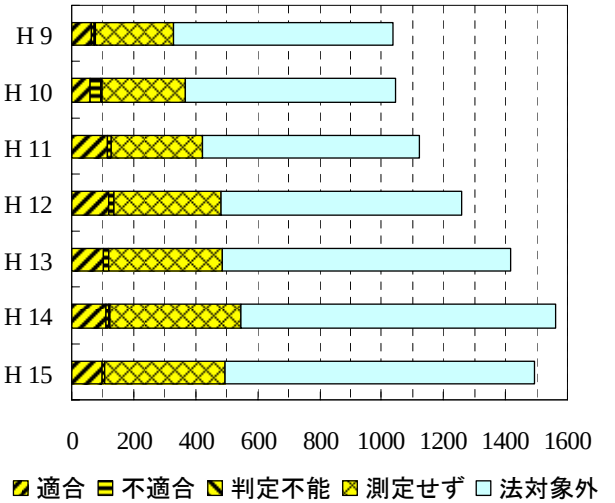


図3 建設作業振動苦情数と法の適用状況

その70～80％は振動レベルが測定されず、測定された場合でもその80～90％は適合である。

3.1.3　道路交通振動

図4に道路交通振動への苦情数の合計に対する法の適用状況を示す。道路交通振動に対する苦情はその92％以上が指定地域内の道路に対してであり、指定地域外の道路交通振動への苦情は微々たるものである。

法対象の振動苦情に対してほぼ半数強が測定され、特定工場等の測定実績に匹敵するが、適合率はほぼ90％以上であり、不適合数の最大は高々3件である。つまり苦情があり測定しても殆どは適合である。道路交通振動の場合は路上の段差解消等で苦情は無くなるが、必ずしもそうではない定常的な振動発生も十分に考えられるので、このように苦情が有ろうとも殆どが適合であることは、敷地境界（官民境界）の振動レベルと家屋内において苦情者が感じる振動レベルのとの乖離を感じさせる。

工場等や建設作業と異なり、殆どの道路を指定地域内としていながら、そこから来る振動を測定していない場合が平均で約40％強である。即ち苦情の40％強は顧みられていないが、顧みた道路でこれほどまでに適合が多ければ、測定自体が無意味と捉えられても致し方ないし、現場における実査の意図の衰退を招きかねない。

指定地域内の道路交通に起因する振動への苦情が訴えられてもその40％は振動レベルが測定されず、測定された場合でもそのほぼ90％以上は適合であり、適合率は特定工場等の場合に比し非常に高く、特定建設作業のそれより高い。

3.2　各自治体の条例対象

地方自治体の中にはそれぞれに条例を設け法の網からこぼれる振動の防止に努めているが、工場・事業場振動と建設作業振動に対する各条例の適用状況[2-8]を記す。

3.2.1　工場・事業場振動

図5に工場等からの振動に対する苦情に関して、条例の適用状況を示す。条例対象工場等からの振動への苦情数を「適合、不適合、判定不能、測定せず」に分け、また法にも条例にも該当しない苦情数を「法･条例対象外」に示してある。

特定工場等の場合に苦情に基づく測定率は大略50％であったが、条例対象工場や事業場からの振動苦情の場合はその測定率は概ね20～30％（平成15年のみ15％）と極度に低下する。苦情が存在しても70～80％は測定すら実行されていない。しかし測定が為されれば、適合率は70～80％と法対象の場合と同様で非常に高い。

また、法にも条例にも対象とならない振動苦情数は平成11年の233件を最少とし平成9年の326件が最多であるが、平均的には各年の工場等に関わる苦情総数の約40％に当たり、未規制施設からの振動に対する苦情が多い事実を示している。

3.2.2　建設作業振動

図6に建設作業振動が惹起する苦情に対する条例の適用状況を示す。苦情の内、大体30％が毎年測定され、法の場合の20～30％台に比し多目である。適合率は平成9年の76％と同12年の85％が低いものの他の年では92～97％と高い。建設作業振動においても、条例対象となる苦情が生起

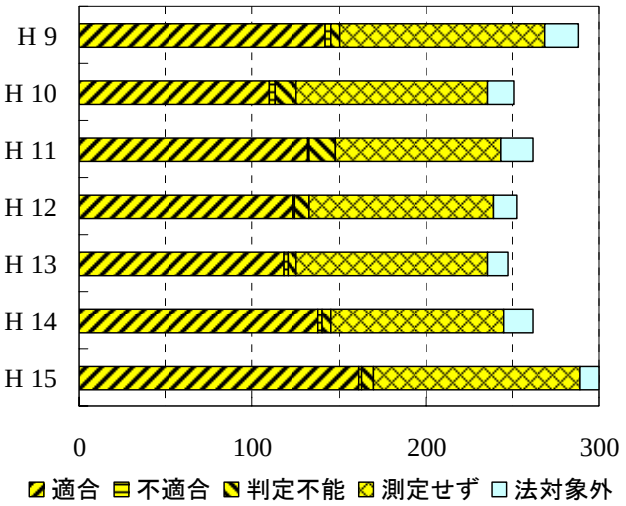


図4　道路交通振動への苦情数と法の適用状況

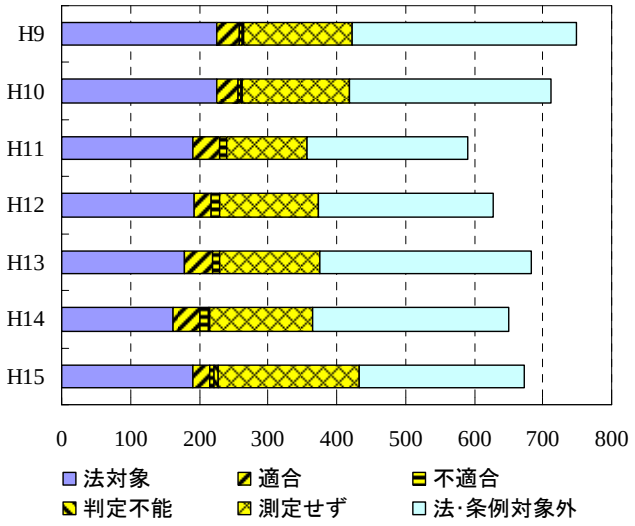


図5　工場･事業場振動への苦情数と条例の適用状況

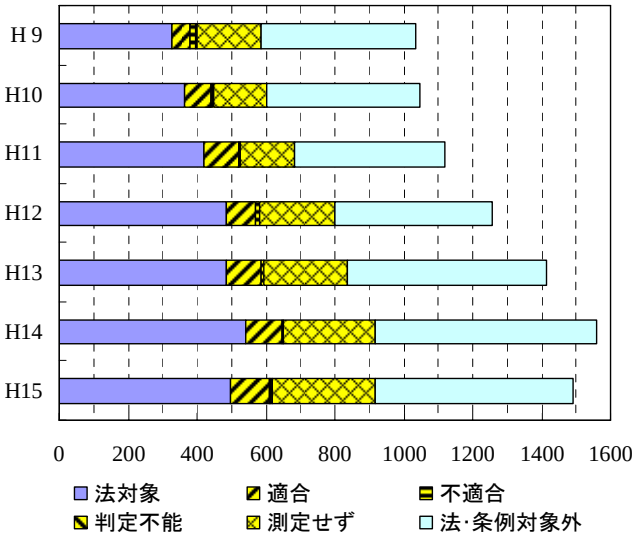


図6　建設作業振動への苦情数と条例の適用状況

してもその約70%は測定されず、測定すると適合となる場合が多い。

また法・条例対象外の苦情数は平成11年の432件（最少）から同14年の642件（最多）と多く、各々その年の建設作業振動苦情総数の39%と41%を占め、平均的には40%である。

工場等の振動の場合同様に、毎年苦情数の40%が未規制である事実は行政にとっての再考材料と言える。

4. 苦情の多い未規制加振源

振動苦情を生起する工場・事業場や建設作業の中には規制対象外となるものが相当数存在する。条例で規制する対象は自治体毎に異なるので、法対象外の施設と建設作業を非特定施設と非特定建設作業として例示する。但し、施設と建設作業の分離は、発生源が工場等の内部に存するか、建設作業に伴うものかという区分けである。

4.1 非特定施設

文献7)をまとめるに際し、環境省が抽出した主な非特定施設[9)]を**表1**に示す。法対象の施設名が掲示されているが、能力的に対象外となるものである。

圧倒的に苦情の多いものは資材置場であり、開放型の工場・事業場付属施設の場合もあると思われる。次いで工場作業、搬入搬出などの作業であり、クレーンは走行とクレーンからの落下物が振動源である。他に洗濯脱水機と想像されるクリーニング店が非工場型として目立っている。

4.2 非特定建設作業

苦情の多い非特定建設作業[9)]を先の表1に示すが、バックホウを用いた作業と解体工事に伴う苦情が非常に多い。

表1 振動苦情の多い非特定施設･非特定建設作業と苦情数

No.	施　設	苦情数	建設作業	苦情数
1	資材置き場	102	バックホウ	228
2	工場作業	51	解体工事	144
3	搬入搬出	34	破砕機	70
4	金属加工機械	14	建築工事	42
5	バックホウ	13	掘削機	38
6	クリーニング店	11	杭打機	14
7	圧縮機	11	重機作業	11
8	破砕機	9	ブルドーザー	11
9	車両走行	5	削岩機	10
10	コンクリート製造施設	4	資材置き場	9
11	プレス	4	造成工事	9
12	クレーン	3	搬入搬出	8
13	ポンプ	3	車両走行	7
14	せん断機	2	ボーリング工事	6
15	織機	2	トラクターショベル	6
16	—	—	舗装工事	4
	計	268	計	617

5. 苦情発生の振動レベル

苦情が訴えられても法・条例対象外が意外に多く、法・条例対象の場合も測定されず、従って振動レベルが把握されず、しかも測定すればその殆どが適合である様子を確認してきた。しかし、苦情を惹起した振動レベルは不明のままである。そこで環境省が苦情発生となった振動レベルを平成8年度に調査した文献10)を参考に概観する。

文献10)は、平成7年度に全国の都道府県と指定都市を対象に、振動レベルが測定された振動苦情を調査票の回収方式で行った調査の解析書である。回収数は799、敷地境界における振動レベルを伴うものが699件、その内訳は工場・事業場が247件、建設作業が224件、道路交通が187件、その他が11件である。

5.1 工場・事業場振動

図7に苦情を生起した工場・事業場振動レベルの敷地境界におけるレベルの分布を示す。95dBは特殊な場合と考えれば、苦情を起こした振動レベルの範囲は30～80dBの50dBであり、平均値は59dBである。

しかし、5dBの家屋増幅を考慮しても40dBや50dBでこれ程の苦情数を引き起こしているのは妙である。最も厳しい第1種区域の夜間の規制基準55dBと比較すると、振動レベルの約1/3は基準内で法的対処は難しい。

5.2 建設作業振動

図8に苦情を生起した建設作業振動レベルの敷地境界におけるレベルの分布を示す。分布の範囲は約60dB、平均値は約64dBと工場等のそれより5dB高いが、規制基準75dBより遙かに低い。

規制基準の75dB以下の苦情数は苦情総数の90%強を占めている。ここでも40～55dBの振動レベルがかなりの苦情を起こしているが、これらに法的に対処することはやはり困難である。

5.3 道路交通振動

図9に苦情を生起した道路交通振動の敷地境界におけるレベルの分布を示す。分布の範囲は約40dBと前二者に比し狭く、平均値は51dBである。この値は80%レンジの上端値であるから、計測時間の90%は敷地境界で誰も感じないレベルと言っても良いが、実際には苦情が出ている。なお、振動の閾値は一般に55dBと言われる。

法に定める最も厳しい第1種区域の夜間の要請限度60dB以下と比すと、振動レベル分布から苦情の90%が要請限度以下であり、このような実態では、5dBの家屋増幅と睡眠妨害を考慮した法の要請限度の意味が軽んじられるし、苦情出現の原因が把握できない。

6. 家屋内振動レベル

法や条例が基準を適用する敷地境界における振動レベルの実測結果から、

1) 工場・事業場振動では、概略70～80%が適合
2) 建設作業振動では、概略80～90%が適合
3) 道路交通振動では、概略90%以上が適合。

これ程までに適合が多いにも拘わらず苦情が多出するの

は、やはり苦情者が如何なる振動を感じて訴え出ているかが実は十分に把握されていないことが原因である。

筆者らが委員を務めた文献11)のアンケート調査に依れば、振動苦情を受けて測定を行う25都道府県の36%、同様に測定を実行する48指定都市の25%が被害者側住居内でも測定

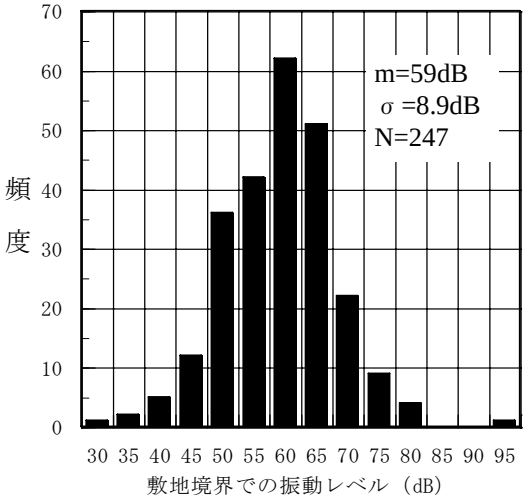


図7　工場・事業場振動[10)]

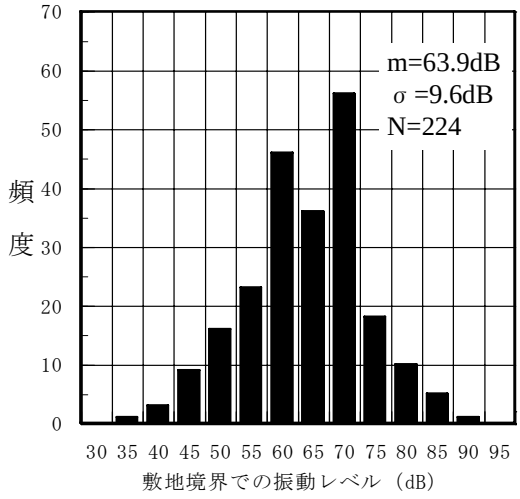


図8　建設作業振動[10)]

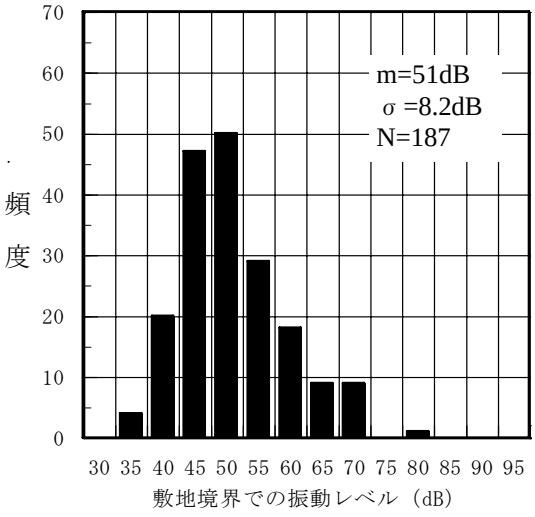


図9　道路交通振動[10)]

を実施すると回答している。また、苦情発生の屋内振動レベルも一部では実際に測定されている。しかしこれらのデータが広く社会的に活用されている状況にはない。データの活用を図るべきではないか。

実際に同アンケートから得られた家屋内振動の増幅量は、工場等の敷地境界Z(鉛直)方向の振動レベルに対し、2～10dBの増幅量が認められており[12)]、苦情発生原因の一部が家屋増幅である証左の一例と言える。

7. 木造・プレハブ家屋の水平方向振動の増幅

従来、家屋増幅は鉛直方向で5dBと見做され、睡眠妨害を考慮し法の規制基準や要請限度が定められている。しかし法に基づく測定では苦情者が振動を感じている場所の振動レベルが不明のままであり、更には屋内では鉛直方向よりも水平方向の振動が大きい場合もある。

ここに振動問題を明確にする上で大きなネックが存在する。苦情発生の振動レベルを不明なままにしては、環境改善を求めたり苦情発生を防ぐことを目途にしても、苦情発生の事由が曖昧なままに残されてしまう。

環境省も苦情と基準の乖離を考慮し、**表2**に示す108家屋において家屋増幅を主目的とした詳細な調査[13)]を行っている。調査報告によると、

1) やむを得ず19家屋の畳上で測定したが同時測定の敷居等の固い面での測定結果の平均値で、X(家屋短軸水平)方向で1.50dB、Y(家屋長軸水平)方向で0.71dB、Z(鉛直)方向で5.31dB畳の上の方が大きいが、全体への影響は小さい故に全データを用いる。
2) 増幅は加振源に関係しない。
3) 増幅は、調査件数が少ない洪積粘性と埋土・盛土を除くと地盤に関係しない。従って、洪積粘性と埋土・盛土を含めても増幅は地盤に関係しない。
4) RC造では増幅は認められない。
5) 木造とプレハブは築年数に拘わらず同様の増幅傾向を示す。
6) 従って増幅に関して木造とプレハブを区別する必要はない。

表2　振動調査件数[13)]

家屋構造	木造:87	プレハブ:12	RC造:9
振動源	道路:31	鉄道:33	工場:30	新幹線:14

地盤	洪積砂質	洪積粘性	沖積砂質	沖積粘性	埋土盛土
	15	3	79	9	2

表3　家屋の3次元増幅量(木造及びプレハブ)[13)]

方　向		JIS C 1510			
		地表面	玄関	1F	2F
X	平均値	0.0	−0.8	0.9	7.5
	標準偏差	0.0	4.3	4.9	6.7
y	平均値	0.0	−0.9	1.4	7.1
	標準偏差	0.0	4.0	5.5	5.7
Z	平均値	0.0	−2.7	1.9	4.1
	標準偏差	0.0	3.7	6.2	6.8

注）データ数は計99家屋

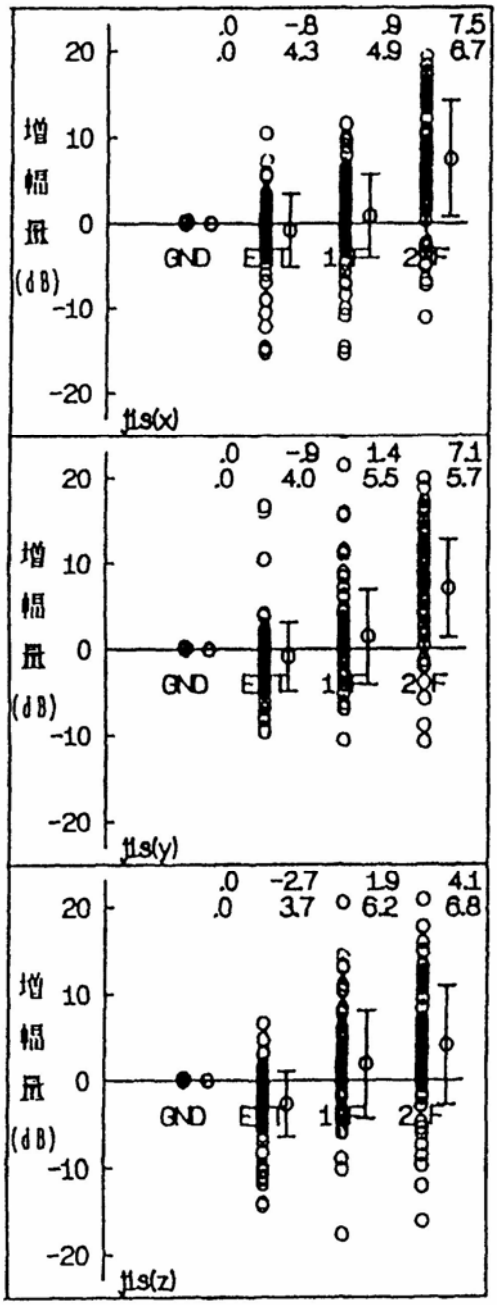


図10　木造・プレハブ家屋の地表面振動レベルに対する3次元増幅量[13]　データ数99
図中の数字は上段：平均値、下段：標準偏差

以上の結論を基に、木造及びプレハブの計99家屋の調査から家屋玄関前の各X、Y、Z方向の地表面振動レベルに対して、**表**3及び**図**10に示すそれぞれの増幅量を得ている。

Z方向の増幅量の平均値は1階で1.9dB、2階で4.1dBだが、X方向とY方向の増幅量は、各々1階で0.9dBと1.4dB、2階で7.5dBと7.1dBである。2階ではX、Y方向の増幅量はZ方向の増幅量4.1dBより3dB以上の大きな揺れである。個々には、2階の水平方向で20dB近くの増幅を示す家屋が相当数認められる（図10）。

これまでこの水平方向の増幅量を無視してきた結果が、苦情発生だが多くは基準内と云う矛盾解決を妨げてきたのではなかろうか。苦情者が感じる家屋内レベルが把握されるべき所以である。

更に大きな問題は、平均の求め方である。平均値に比し標準偏差があまりに大きく平均値の意味が希薄である。図から明らかな通り減衰量も含めて増幅量の平均を求めているが、環境サイドで通常採用される安全側思考であれば、家屋全体像を眺める必要は無く、プラスの増幅を平均値の対象とすべきではないか。

何はともあれ、苦情者の感じる屋内の振動レベルの把握が、それも増幅率が大きい水平方向の振動も含めた測定が前述の矛盾を解決するために不可欠であり、木造の3、4階建てが認められた現在では、屋内測定の重要さが増している。

8. まとめ

平成9年度から15年度までの振動規制法施行状況調査や家屋内増幅等に関する調査報告書から次の事が言える。

1)　振動規制法施行状況調査結果は**表**4にまとめられる。

表4　振動規制法施行状況調査結果(H9－15年度)　単位　%

振動発生源	法対象		法対象外
	測定数に対する適合率	測定せず	
特定工場･事業場	70～80	＞50	70
特定建設作業	80～90	70～80	＞60
道路交通	＞90	40	＜8
振動発生源	条例対象		法･条例対象外
	測定数に対する適合率	測定せず	
工場･事業場	70～80	70～80	40
建設作業	＞90	70	40

2)　木造の家屋増幅量は鉛直方向で5dBと見做されているが、その求め方には大きなマイナスの増幅量が含まれており安全率が考慮されていない。

3)　屋内の水平方向の増幅率は鉛直方向のそれより大きく、敷地境界の鉛直方向では基準内である場合でも、屋内の水平振動が苦情を誘発する場合が多く想定される。

4)　苦情の愁訴にも拘わらず測定結果の多くが適合である矛盾は、家屋内で苦情者が感じる振動を把握しない現行の敷地境界レベル(鉛直方向)のみの測定では解決できない。

5)　苦情に伴う測定結果が苦情解決に繋がらなければ、単に遺棄されるデータになる可能性が高く、測定結果の有効利用を図るためにも屋内振動の実態を把握すべきと考える。

6)　苦情に基づき屋内測定を実施する地方自治体も相当数あるが、その測定法及びデータの統一的活用体制が求められる

9. おわりに

既述の如く環境省は平成16年度に(社)日本騒音制御工学会に「振動評価のあり方に関する調査」を委託した。本報は、同工学会が組織した検討調査委員会(委員長　国松　直)が環境省に提出した報告書[14]の第5章を書き直したものである。他の委員は、前田節雄(産業医学総合研究所)、松本泰尚(埼

玉大学)、末岡伸一(東京都環境科学研究所)、安藤啓(鹿島建設株式会社 技術研究所)、幹事・平尾善裕(小林理学研究所)である。

参考文献

1) 環境省大気生活環境室編：Environmental Administration F.Y.2000；NOISE AND VIBRATION，JICA研修資料(E)，p.18(2000).
2) 環境庁大気保全局大気生活環境室：平成9年度 振動規制法施行状況調査、平成10年12月.
3) 環境庁大気保全局大気生活環境室：平成10年度 振動規制法施行状況調査、平成11年12月.
4) 環境庁大気保全局大気生活環境室：平成11年度 振動規制法施行状況調査、平成12年12月.
5) 環境省環境管理局大気生活環境室：平成12年度 振動規制法施行状況調査、平成14年3月.
6) 環境省環境管理局大気生活環境室：平成13年度 振動規制法施行状況調査、平成14年12月.
7) 環境省環境管理局大気生活環境室：平成14年度 振動規制法施行状況調査、平成15年12月.
8) 環境省環境管理局大気生活環境室：平成15年度 振動規制法施行状況調査、平成16年12月.
9) 環境省環境管理局大気生活環境室内部資料.
10) (財)小林理学研究所：平成8年度環境庁委託業務結果報告書 未規制施設等振動解析調査業務(２)振動、平成9年3月.
11) 日本騒音防止協会：振動防止技術指針策定調査 平成12年度環境省委託業務報告書.
12) 鹿島教昭、塩田正純、福原博篤、由衛純一、大野崇、平野高司：環境振動に関する自治体へのアンケート調査（その2）、日本騒音制御工学会春季研究発表会講論集、（2004.4）.
13) 環境庁大気保全局特殊公害課：公害振動の新評価法に関する研究結果報告書、平成2年3月.
14) (社)日本騒音制御工学会：平成16年度環境省委託業務結果報告書、振動評価手法のあり方に関する検討調査、平成17年3月.

高度処理の効率化に関する検討

浅野卓哉、小川洋平、森豊明　（横浜市環境創造局下水道・河川研究室）
小菅博明　（横浜市環境科学研究所）

An examination of efficient advanced sludge process

Takuya Asano, Yohei Ogawa, Toyoaki Mori　(Laboratory of Sewer and River, Yokohama Environmental Planning Bureau)
Hiroaki Kosuge（Yokohama Environmental Science Research Institute ）

キーワード：富栄養化、嫌気－無酸素－好気法、窒素除去、りん除去、活性汚泥モデル

要旨

下水処理において、放流先閉鎖性水域の富栄養化対策として窒素・りん除去の向上が課題となっている。本市では窒素・りん除去を目的とした高度処理施設の導入を推進している。現在６水再生センターで高度処理施設が稼動しており、今後も既存施設の更新時にあわせて嫌気－無酸素－好気法（以下A_2O法）による高度処理施設を導入する計画である。しかし、高度処理施設は難しい運転管理と建設・維持管理コストの増加という課題を抱えている。我々はそれらの問題を改善し、高度処理施設の効率的な設計・運転管理手法を検討・提案することを目的として、平成 15～17 年の３年間にかけて調査を実施した。

調査は神奈川水再生センターと港北水再生センターの既存A_2O法実施設および中部水再生センター内に設置した実験プラントを用いて実施した。まず様々な運転条件下でデータ収集・解析を行い、窒素・りん除去の費用対効果向上対策を検討した。特に、A_2O法の課題であるりん除去性能の不安定性の原因について検討し、その結果をもとに雨天後のりん除去悪化を抑制する運転方法を考案し、実施設でその効果について検証を行った。また、建設コスト縮減可能性を検討するために、A_2O法施設設計に用いる容量計算方法の問題点を抽出し、その改善案を作成した。最後にこれらの成果をまとめると同時に、今後の課題を提案した。

1　はじめに

閉鎖性水域の富栄養化問題の対策として、本市では下水処理における窒素・りんの除去向上を目的とした高度処理施設の導入を推進している。平成 17 年現在の本市の高度処理能力は、全下水処理能力の約 16%に相当し、処理水質向上に一定の成果を得ている[2)]。今後も既存施設の更新にあわせて、各水再生センターにA_2O法施設を順次導入する計画である。

一方でA_2O法施設は標準法施設と比べて建設・維持管理コストが高いこと、運転管理が難しいことなどが問題点として挙げられる。高度処理施設において安定した処理水質を得るには、窒素・りん除去理論に沿った適切な運転管理と、それを可能とする施設設備導入の両者が求められる。有機物・SS除去を目的とした従来の標準法施設では、経験的な運転管理で十分に対応可能であった。しかし、さらに窒素・りん同時除去を行うA_2O法では、理論的な施設設計・運転管理能力が求められる。これは窒素・りん除去が一般にトレードオフの関係にあり、同時除去に適する運転条件範囲が狭いことや、特にりん除去については標準法にはない多くの要素の理解および制御が必要となるためである。また、既存A_2O法施設では、施設設備的制限により同時除去が難しくなっているケースもみられる。これは、A_2O法施設設計には改善の余地があることを意味する。今後は既存A_2O法施設の運転管理で得られた知見を施設設備設計にフィードバックしていくことが重要である。

本報告は、A_2O法に関する上記課題を解決することを目標として、H15~17 年にかけて実施した調査結果をまとめたものである。

2　調査内容

本調査の目的は次の３点である。

①　処理水質の向上
②　建設コストの縮減
③　維持管理コストの縮減

表１　調査対象施設

	系列（方式）	反応槽容量	対象池数
神奈川水再生センター	4系　（合流）	3120m^3	4池
港北水再生センター	南側4系　（分流）	6480m^3	1池
	北側1系　（合分流）	8166m^3	1池
中部水再生センター実験プラント	（合流）	約1m3	2池

高度処理施設導入の目的は窒素・りん除去性能の向上にある。コスト縮減を優先することで処理水質の低下や維持管理の非効率化を招くことがあってはならない。本調査の方針としては、まず処理水質の向上、特に雨天後のりん除去悪化の抑制を第一目標として重点的に調査を行い、次いで処理性能確保を視野に置いた上で建設・維持管理コスト縮減の可能性を検討することとした。

対象施設の概要を表１に示す。本調査では、まず既存のA_2O法実施設（神奈川・港北水再生センター）および中部水再生センターに設置した実験プラントを用いて様々な運転条件下でデータ収集を行い、窒素・りん除去に関する解析を行った。ついでその結果から、雨天後のりん除去悪化抑制対策を考案し、神奈川センターで検証した。同時に、下水処理のシミュレーションツールである活性汚泥モデルを用いて机上検討を行った。

また、建設コスト縮減の可能性を検討するには、まず設計方法を最適化し、処理性能が確保されることを前提として行うことが重要

である。本調査では現在本市で用いている容量計算方法の問題点を抽出し、その改善策を検討した。特に、嫌気槽滞留時間（HRT）について重点的に検討した。それらの検討結果をもとに、新しい容量計算方法を作成した。

なお、本調査内容は多岐にわたるため、調査方法・結果の詳細については各年度の調査報告書や発表論文[1)-7)]を参照されたい。

3　調査結果と考察

3-1　窒素除去に関する検討[6),7)]

3-1-1　窒素除去向上方法の検討

A_2O法では、好気槽末端の硝化液を無酸素槽に循環させ脱窒反応を行うことで窒素除去向上を図る。循環法の窒素除去率は循環比（循環ポンプによる循環比と汚泥返送比の和）から計算で求められ、循環比 1.5 では理論窒素除去率は 60%である。実際には流入した窒素の 20～30%は余剰汚泥として引き抜かれるため、除去率は理論値を上回り概ね 70%前後となる。循環比を更に上げることは、維持管理コストの増加とりん除去への悪影響のため望ましくない。従って、A_2O法において更なる窒素除去向上を図るには、処理系の窒素収支を把握し、循環プロセス以外の除去向上を図る必要がある。

調査期間中の神奈川、港北センターA_2O法施設の窒素収支の概算結果を図 1 に示す。循環による脱窒の割合は 20%～30%程度で、最終沈殿池～嫌気槽における脱窒および余剰汚泥引抜による除去と同程度であった。最終沈殿池での過度の脱窒促進は汚泥浮上によるSS流出を招く恐れがある。従って、循環比を上げずに窒素除去向上を考える場合、余剰汚泥として引き抜く窒素量を増やすか、反応槽内で別の脱窒プロセスを組み込む必要がある。

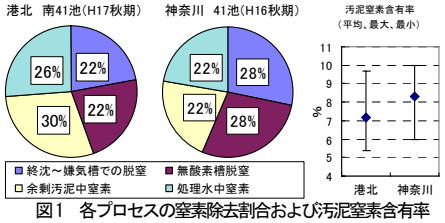


図1　各プロセスの窒素除去割合および汚泥窒素含有率

3-1-2　余剰汚泥引抜による窒素除去

調査期間中、余剰汚泥中の窒素含有率は平均すると神奈川、港北とも 7～8%であった（図 1）。余剰汚泥引抜による窒素除去量を増やすには、汚泥窒素含有率を上げるか、余剰汚泥発生量を増やす必要がある。一般に汚泥窒素含有率は 5~10%程度であり、意図的に窒素含有率を上げる方法は知られていない。従って、BOD-SS 負荷を高め、余剰汚泥発生量を上げることが窒素除去向上に有効であるといえる。

3-1-3　硝化に関する検討

上で検討した余剰汚泥発生量の増加は、SRTの短縮を意味する。しかし硝化反応を維持するにはA-SRTを必要値以上に確保する必要があるため、そのバランスをとる必要がある。必要A-SRTは、文献[14)]では次式で与えられている。

$$必要\ A\text{-}SRT(\theta)=11.0\times EXP(-0.0525\times 水温) \quad \cdots(1)$$

調査期間中のA-SRTの実測値/必要値比と硝化率の関係を図2に示す。実際のA-SRTが必要値を満足していれば、80%以上の硝化率を維持していた。この結果から、今回の調査対象センターでは(1)式は妥当性があり、窒素除去向上には必要A-SRT値を下回らない程度の余剰汚泥発生量を維持するBOD-SS負荷を与えることが望ましい。

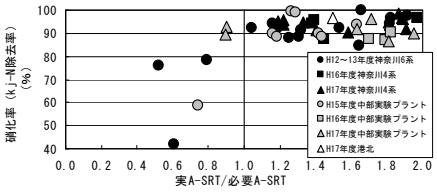


図2　必要A-SRTと硝化率の関係

ただし、(1)式は好気槽前半のDO濃度が 1.0mg/L以上確保されている場合としており[14),15)]、それ以下では必要A-SRT値は大きくなる。本調査期間中の硝化速度を図 3 に示す。港北の硝化速度が低いのは、神奈川と比較して反応槽DO濃度が低かったことや、流入負荷量が少なく硝化細菌自体の数が少なかったためと推察される。

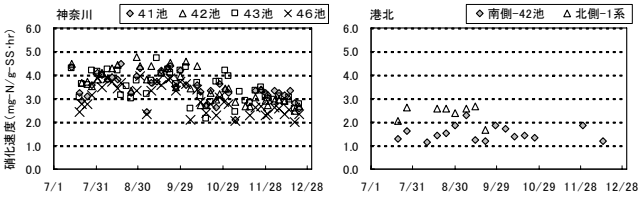


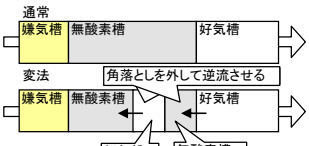
図3　好気槽硝化速度（神奈川、港北A2O実施設調査）

3-1-4　A_2O変法による窒素除去向上[11)]

本調査では好気槽から無酸素槽への逆流を促し、また好気ー無酸素兼用槽を活用して無酸素槽の間に曝気槽をおくことで反応槽内での脱窒の促進を試みた（A_2O変法）。変法と通常運転との比較検証結果を図 4 に示す。通常運転と比べ、槽配分以外はほぼ同条件なのに対し、処理水T-N、NO_X-N各濃度は 1mg/L程度低下していた。本法は追加コストをかけずに窒素除去を向上する優れた手段であるといえる。

神奈川　41系（期間：H16.6.22～9.12）

運転条件	通常	変法
槽配分	2:5:4	**2:3:2:1:3**
反応タンク流入水量（m3/d）	10200	10200
滞留時間（hr）	7.3	7.3
返送率（%）	50	50
循環率（%）	100	100
実測A-SRT/必要A-SRT比	2.0	2.2
総空気倍率（倍）	1.6	1.7
MLSS（mg/l）	2060	2020
BOD－SS負荷（kg/kg･日）	0.10	0.10



水質	流入水	処理水	
		通常	変法
T-N	23	7.6	**6.9**
NH4-N	14	0.14	0.17
NOx-N	0.11	6.7	**5.8**

図4　A2O変法の槽配分、比較検討結果

3-1-5 窒素除去向上のための運転管理方法

これまでの考察結果を窒素除去向上のための運転管理フローとして図 5 にまとめた。硝化速度を維持しながら余剰汚泥量を増やすには、必要 A-SRT を確保できる程度に負荷を上げると同時に、好気槽 DO 濃度を一定以上に保つ必要がある。ただし、必要以上に高い DO 濃度は運転コスト増加につながり、りん除去にも悪影響を及ぼす恐れがある。このように、DO 計や散気装置の適切な維持管理が処理向上・安定化には重要である。

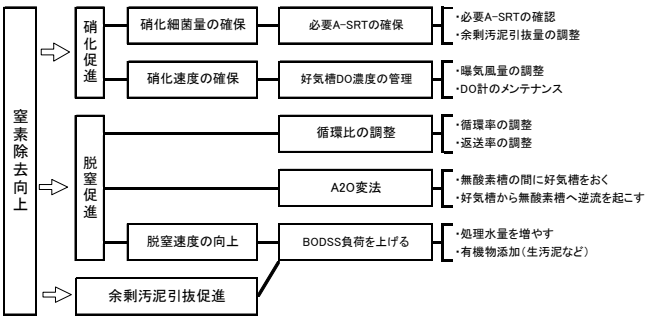


図5　窒素除去向上プロセス

3-2　りん除去に関する検討

3-2-1　りん収支モデルの構築[1),7)]

りん除去率は窒素と比較して変動が大きく、特に合流式センターにおいて雨天後に除去が大きく悪化するが、そのメカニズムについては十分に理解されていない。りん除去安定化を図るには、まずりん除去変動のメカニズムについて理論的・定量的な理解を得たうえで、それに基づき合理的な対策を講じることが望ましい。

本調査では、神奈川で採取した各種データの解析を行い、りん除去の定量的な表現方法を検討した。期間中の運転条件と流入水質を表２に示す。

表２　調査対象期間中の運転条件および流入水質
（期間：H16. 7～12 月）

運転条件（実績値）	夏期	秋期	流入水質（mg/L）	夏期	秋期
HRT合計 (hr)	7.3	8.0	T-N	23	16
嫌気槽HRT (hr)	0.8~1.3	0.9~1.5	NH_4-N	13.9	10.6
無酸素槽HRT (hr)	2.8~3.3	2.5~3.1	T-P	2.3	1.4
好気槽HRT (hr)	3.2	4.0	PO_4-P	1.1	0.7
返送率 (%)	50	50	BOD	66	39
循環率 (%)	100	100~150	S-BOD	30	16
BOD-SS負荷 (g/g/d)	0.10	0.06	酢酸	7.1	2.9

処理系に流入したりんは大気中に揮散しないため、処理水または余剰汚泥として系外に排出される。このため処理系のりん収支は、汚泥発生量および汚泥りん含有率（P_X）を用いて説明されてきた。しかし、実際にはP_Xおよび系内汚泥濃度は変動するため、日々のりん除去変動を説明するには系内蓄積りんの変化量（ΔQ_{PX}）の概念を導入する必要がある。そこで、新たにΔQ_{PX}および汚泥りん含有率変化量（ΔP_X）の２因子を導入して、下式のようなりん収支モデルを考案した。

流入水中のりん量（$Q_{P,in}$）　処理水中のりん量（$Q_{P,eff}$）　余剰汚泥中のりん量（$Q_{P,es}$）　系内蓄積りん変化量

$$Q_{in} \times C_{P,in} = Q_{in} \times C_{P,eff} + Q_{es} \times C_{SS,es} \times P_X + \Delta Q_{PX} \quad \cdots(1)$$

$$\Delta Q_{PX} = V \times C_{SS,ml} \times \Delta P_X + V \times \Delta C_{SS,ml} \times P_X \quad \cdots(2)$$

Q_{in}：反応槽流入水量（m^3/d）　$C_{P,eff}$：処理水T-P濃度（mg/L）　P_X：汚泥りん含有率（gP/gSS）
Q_{es}：余剰汚泥引抜量（m^3/d）　$C_{SS,es}$：余剰汚泥濃度（mg/L）　ΔP_X：汚泥りん含有率変化量（gP/gSS/d）
$C_{P,in}$：反応槽流入水T-P濃度　$C_{SS,ml}$：活性汚泥濃度（mg/L）　V：反応槽容量（m^3）
$\Delta C_{SS,ml}$：活性汚泥濃度変化量（mg/L/d）

ΔQ_{PX}は、P_X変動に伴う汚泥中ポリりん酸蓄積量の変化量と、汚泥量自体の変動に伴うりん変化量の和であると考えられる。MLSS濃度が一定と仮定すれば、ΔQ_{PX}はりん蓄積細菌によるポリりん酸合成（分解）量であるといえる。本調査期間中、(1)(2)式のΔQ_{PX}、ΔP_X以外の項目は既知であるため、各調査日のΔQ_{PX}、ΔP_Xを算出することができる。以降、このΔQ_{PX}、ΔP_Xの計算値と各因子実測値を用いて解析を行った。なお期間中のMLSS濃度は 10 月の大雨時に大きく低下した以外は 2,000mg/L前後で安定して推移していたため、本報告では$\Delta C_{SS,ml}$は 0 と仮定して解析を行った。

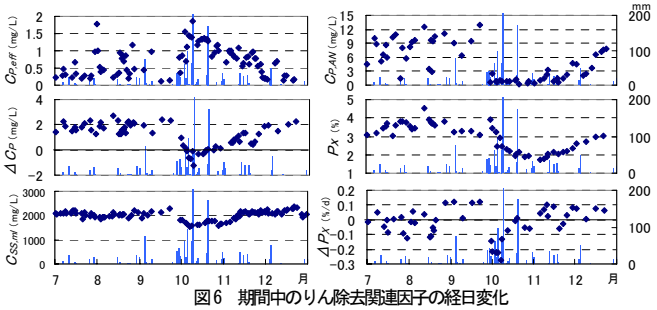


図６　期間中のりん除去関連因子の経日変化

調査期間中の$C_{P,eff}$、りん除去濃度（ΔC_P：$C_{P,in}-C_{P,eff}$）、MLSS、嫌気槽末端PO_4-P濃度（$C_{P,AN}$）、P_X、ΔP_Xと降雨量の経日変化を図６に示す。りん除去は夏期は晴天時には0.5mg/L以下と良好であったが、降雨後には 1mg/L以上に上昇した。10 月に大雨により大幅に悪化し、11 月以降次第に回復した。ΔP_Xは-0.3~+0.2%の間を推移していた。以降、ΔP_XとΔC_P、$C_{P,AN}$の関係を解析することにより、このモデルの有効性について検証した。

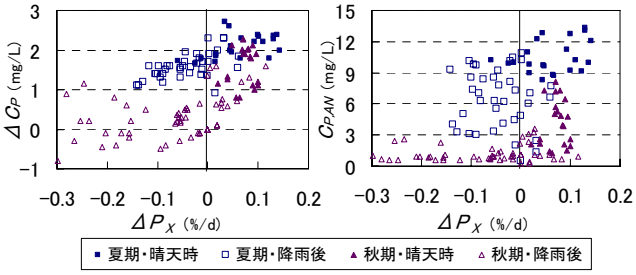


図７　ΔP_XとΔC_P、$C_{P,AN}$の相関（季節・天候別）

3-2-2　りん収支を用いたりん除去メカニズムの解析[1)]

各調査日のΔP_XとΔC_P、$C_{P,AN}$の相関を図７に示す。夏秋期および降雨後（降雨日（10mm以上）から６日間）と晴天時の４パターンに区別して表示した。ΔP_Xの分布は、概ね晴天時には正、降雨後には負に分離している。これは、P_Xが降雨後に低下し、晴天時には上昇することを意味している。P_Xの低下は、$Q_{P,es}$の減少および汚泥中のポリりん酸の分解・流出につながり、その結果りん除去が悪化すると考えられる。このように、実測値から算出したΔP_Xの値を用いて、りん除去変動状況を説明することができる。

図７から、ΔP_XとΔC_Pの間には概ね正の相関があることがわかる。また、夏期と秋期で分布の傾きが異なっているが、これは秋期は大雨によりP_Xと汚泥発生量がともに低下したため、$Q_{P,es}$が夏期より大きく減少しているためである。この結果、秋期はりん除去量に占めるΔQ_{PX}の割合が高く、ΔC_P／ΔP_X比も高くなっている。

また、ΔP_Xと$C_{P,AN}$も同様に正の相関がみられるが、これはΔC_Pと$C_{P,AN}$の間に相関があるためである（図８）。上のΔC_P／ΔP_Xの関係から、$C_{P,AN}$／ΔP_XについてもP_Xが低いほど高くなる。これは、P_Xが低いほど少ない$C_{P,AN}$でP_Xが上昇することを示している。

以上のように、ΔP_X の概念を導入することで、系のりん除去機構を定量的に解析することが可能になる。このモデルの概念を模式的に図９に示す。

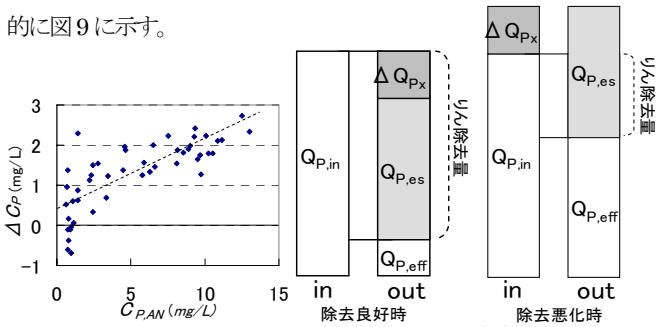


図８　ΔC_Pと$C_{P,AN}$の相関　　図９　りん収支概念図

3-2-3　雨天後のりん除去悪化抑制対策の立案[2),7)]

ΔP_Xの概念を導入することで、りん除去のメカニズムを合理的に解析することが可能となった。雨天後にりん除去が悪化するのは、$Q_{P,es}$が減少すると同時にΔQ_{PX}が負となるためである（図9）。逆に、高いりん除去性能を維持するには、$Q_{P,es}$を最大化すると同時にΔQ_{PX}を正に保つ必要がある。$Q_{P,es}$最大化には、余剰汚泥発生率とP_Xをともに高く維持する必要がある。また、ΔQ_{PX}、ΔP_Xを正に保つには$C_{P,AN}$を高く維持する必要がある（図 7）。$C_{P,AN}$は流入水中の有機酸濃度と概ね正の相関がある[4),10)]。流入水中の有機酸は降雨後にはほとんど検出されなかった[2),6),7)]。つまり、雨天後のりん除去悪化の最大の原因は、流入水中の有機酸濃度の低下にあるといえる。これまでの記述をまとめると、雨天後のりん除去悪化のメカニズムは、図 10 のように表される。

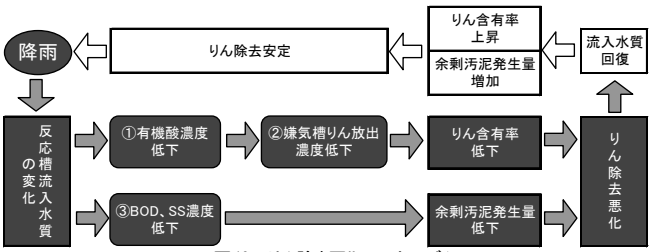


図10　りん除去悪化のメカニズム

りん除去性能を良好に維持するには、嫌気槽への有機酸の供給と高い有機物負荷が必要である。有機物添加によりりん除去悪化を抑制できることは、多くの事例が報告されている[18]。本調査においても、実験プラントを用いて酢酸添加実験を行ったところ、雨天後のりん除去悪化が抑制された[7]。しかし有機物添加法は薬品コストや維持管理コストと手間がかかるなど問題もある。

本調査では、有機物添加を行わずに、既存施設設備で実現可能なりん除去安定化対策を検討することとした。今回検討した対策およびその予想される効果をまとめて表3に示す。

表3　りん除去安定化対策一覧

りん除去安定化対策	効果	メリット	デメリット
Ⅰ 処理水量増加	余剰汚泥量増加	処理能力向上	ブロア動力増加
Ⅱ 雨天時処理水量増加	雨天時余剰汚泥量低下抑制、好気槽HRT短縮	簡易処理水量削減	ブロア動力増加
Ⅲ 雨天時循環ポンプ停止	雨天時嫌気槽HRT延長によるりん放出促進	循環ポンプ動力削減	窒素除去の低下
Ⅳ 雨天時処理水量増加＋循環ポンプ停止	Ⅱ＋Ⅲ	簡易処理水量削減 循環ポンプ動力削減	窒素除去の低下 ブロア動力増加
－ 酢酸添加	嫌気槽りん放出促進	効果実証済み	薬品コスト増加
－ 最初沈殿池汚泥添加	余剰汚泥量増加	効果実証済み	夾雑物流入による撹拌機トラブル ブロア動力増加
－ 凝集剤添加	凝集反応によりりん除去	効果実証済み	薬品コスト増加

3-2-4　りん除去安定化対策の検証[2),7)]

表3の各対策について、神奈川センター4系41～43池を用いて通常運転と比較することで効果を検証した。各池の施設設備および流入水は同一である。各対策の検証期間と運転方法を表4に、施設概要を図11に示す。なお、期間中各池MLSS濃度は2000mg/Lに調整し、通常時は循環率100%、返送率50%で運転した。処理目標値は、本市東京湾系A_2O法施設の計画放流水質（最終形）であるT-N 16mg/L、T-P 1.4mg/L、BOD 15mg/Lとした。また、雨天時処理変更はセンター簡易処理水流出時に行い、変更解除時期は流入水質と処理水質の状況から適宜判断した。

検証結果（各期間中の処理水T-P、T-N、BOD濃度平均値および最大値）を表5に示す。以下、各対策（表3 Ⅰ～Ⅳ）についてそれぞれ検討する。

表4　検証期間および運転条件

期間	運転方法	反応槽HRT（hr） 晴天時	反応槽HRT（hr） 雨天時	槽配分（嫌気:無酸素:好気） 晴天時	槽配分（嫌気:無酸素:好気） 雨天時
H16 7-9	① 通常運転	7		2:5:4	
H17 2-3	② 通常運転	9		2:4:5	
	③ 雨天時循環停止 Ⅱ	9		2:4:5	6:0:5
	④ 雨天時水量増加 Ⅲ	9	5.4	2:4:5	
H17 7-9	⑤ 通常運転（水量増加） Ⅰ	6		2:5:4	
	⑥ 雨天時循環停止＋水量増加 Ⅳ	6	5.4	2:5:4	7:0:4
	⑦ 雨天時循環停止＋水量増加 Ⅳ	8	5.4	2:6:3	8:0:3
H17 10-11	⑧ 通常運転	8		2:5:4	
	⑨ 雨天時循環停止＋水量増加 Ⅳ	8	6	2:5:4	7:0:4

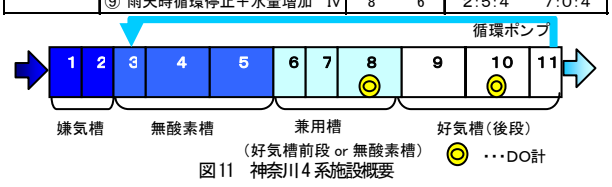


図11　神奈川4系施設概要

表5　各対策処理結果　(mg/L)

対策	期間	T-P 平均	T-P 最大	T-N 平均	T-N 最大	BOD 平均	BOD 最大
① 通常運転	H16夏	0.40	**1.80**	7.6	11.0	3.0	4.3
② 通常運転	H16冬	1.00	**1.80**	8.3	9.7	3.2	5.0
③ 雨天時循環停止		0.50	1.20	11.0	15.0	2.9	4.0
④ 雨天時水量増加		0.50	1.40	8.7	13.0	6.0	13.0
⑤ 通常運転（水量増加）	H17夏	0.25	1.20	6.3	7.7	2.7	4.9
⑥ 雨天時循環停止＋水量増加		0.25	0.90	7.7	12.0	3.9	5.7
⑦ 雨天時循環停止＋水量増加		0.16	0.47	7.3	10.0	5.0	9.0
⑧ 通常運転	H17秋	0.64	**2.00**	7.3	10.2	2.8	4.1
⑨ 雨天時循環停止＋水量増加		0.37	0.98	7.4	11.0	3.1	4.7
処理目標値（計画放流水質）		－	1.40	－	16.0	－	15.0

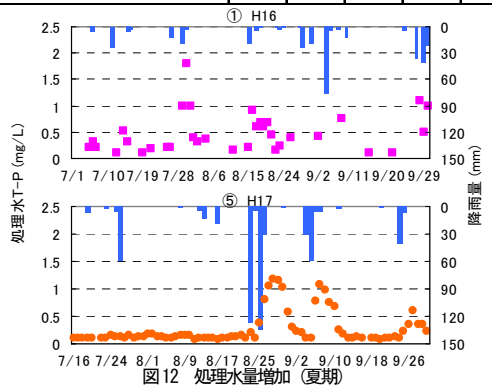


図12　処理水量増加（夏期）

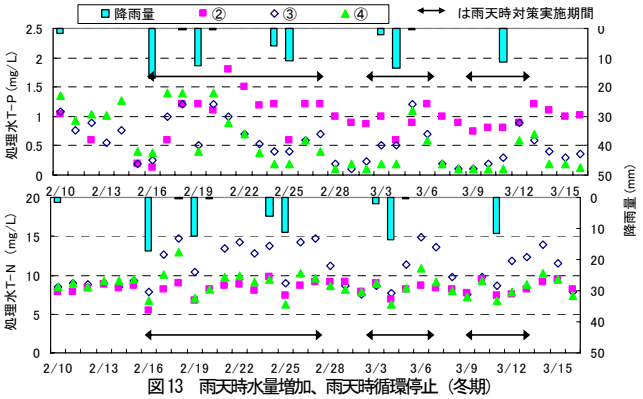


図13　雨天時水量増加、雨天時循環停止（冬期）

(1)　処理水量増加（HRT短縮）（①、⑤、図12）

処理水量増加によるりん除去向上効果はすでに報告されている[8),12)]。本調査では過去実績よりさらに水量を増加して効果を検証した。通常運転（HRT夏期7hr（①）、秋期8hr（⑧）、冬期9hr（②））ではT-P目標値をクリアできなかったが、夏期6hr（⑤）では、100mm以上の降雨があったにも関わらず、目標値をクリアできた。同じ夏期の①と⑤を比較すると（図12）、①では少量の降雨で度々りん除去が悪化し、最大1.8mg/Lまで上昇したのに対し、⑤では晴天時は極めて良好で少量の降雨では悪化はみられず、100mm以上の降雨が続いた時期でも最大1.2mg/Lの上昇に抑えられていた。

(2)　雨天時処理水量増加、雨天時循環ポンプ停止（②～④：図13）

雨天後の処理水量増加は、流入負荷低下期間中に処理水量を増やし余剰汚泥発生量低下を抑制する狙いがある。一方、雨天時循環ポンプ停止は、嫌気槽HRTの大幅延長によりりん放出反応を促進するためである[12)]。冬期において上記対策の効果を検証した。期間中10mm程度の降雨が数回あり、通常運転（②）ではりんは最大1.8mg/Lまで悪化し、期間中不安定な状態が続いた。雨天時運転変更を実施した③、④ではいずれも降雨後にりん除去は悪化したものの、②と比較して回復が早く、ある程度のりん除去抑制効果が得られていたといえる。ただし、いずれも窒素除去は悪化した。③ではT-Nが目標値近くまで上昇した。④では好気槽HRT不足によるNH_4-N残存のため、BODが大きく上昇した。

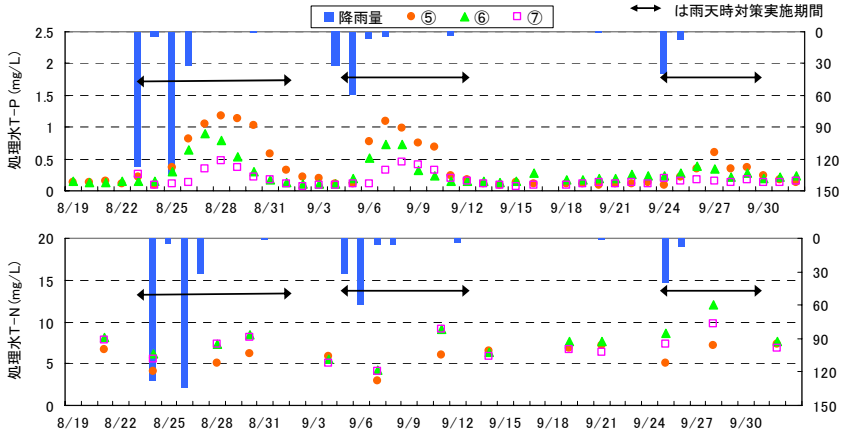


図14　雨天時水量増加＋循環停止（夏期）

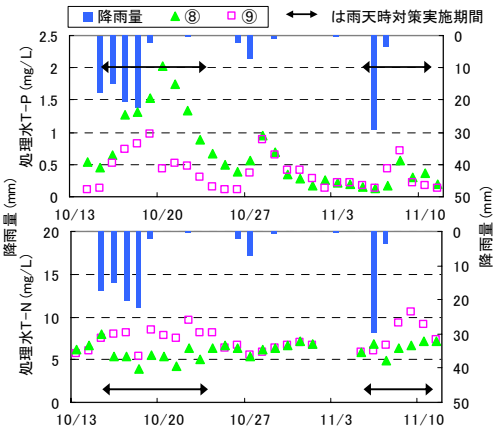


図15　雨天時水量増加＋循環停止（秋期）

(3)　雨天時処理水量増加＋循環ポンプ停止

（夏期⑤～⑦：図14、秋期⑧、⑨：図15）

雨天時処理水量増加と循環ポンプ停止を同時に行う方法について、夏期、秋期において検証した。夏期では槽配分と晴天時 HRT が異なる 2 通り（⑥、⑦）を実施した。いずれもりん除去悪化抑制効果が認められ、大雨が連続したにも関わらず、最大値は⑥は 0.9mg/L に抑えられ、⑦では期間中 0.5mg/L 以下で推移した。一方秋期では、通常運転（⑨）では処理水量を削減した影響で、T-P は最大 2.0mg/L まで悪化した。一方⑩では最大 1.0mg/L に抑えられていた。T-N は循環停止により、概ね 2mg/L 程度上昇していた。

夏期における⑥と⑦のりん除去率の違いは、循環停止後の嫌気槽の長さの違いだと考えられる。晴天時および雨天後対策実施期間中の反応槽内のPO_4-P挙動を図 16 に示す。循環停止後の嫌気槽の長い⑦のほうがりん放出が多く、そのためりん除去悪化が抑制されたと考えられる。

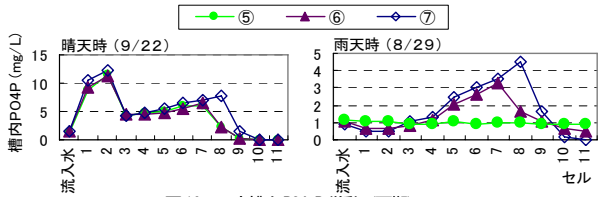


図16　反応槽内 PO4-P 挙動（夏期）

このように、神奈川センターでは、雨天時に処理水量を HRT=5.5 時間程度に増やし、さらに循環を停止させることでりん除去悪化を大幅に抑制できた。その際の窒素除去は 1~2mg/L 程度悪化していたが、流入窒素負荷も低下していたため、目標値は余裕を持ってクリアしていた。

3-2-5　活性汚泥モデルによるりん除去安定化対策の検証

雨天時処理水量増加＋循環停止運転は、循環動力削減があるため追加コストもかからず、また状況によっては簡易処理水削減につながる可能性もあり、すぐれた方法であるといえる。一方で過度の水量増加は好気槽 HRT 不足による処理低下や最終沈殿池での汚泥流出につながる恐れがある。本調査では夏秋期の検証であったため、今後は冬期降雨時の検証や他センターでの検証を行っていく必要がある。

また、今回検証を行った神奈川センターでは設備的制限により HRT=5.5 時間以上水量を増やせず、処理限界の検証を行うことができなかった。そこで、本調査では神奈川A_2O法系列について活性

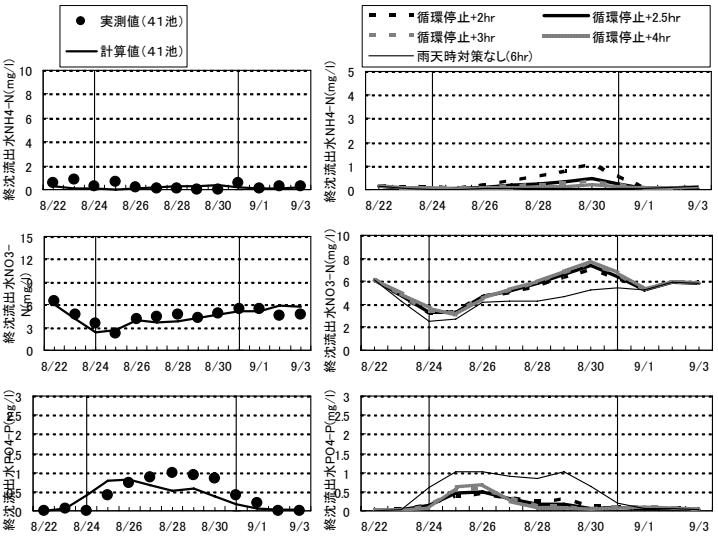


図17　ASM 再現性の確認

図18　ASM による処理水量増加の検討

汚泥モデル（ASM）を構築し、それを用いて机上検討を行った。

H17 年夏期の 1 降雨期間（8/22～9/3）中において収集したデータを用いてモデルを構築し、モデル上で運転条件を変更することで処理水質がどのように変化するかを検討した。なお、計算ソフトには「AQUASIM」を使用し、モデルはASM2dを用いた（モデル構築の詳細は文献[7]参照）。

期間中の処理水NH_4-N、NO_3-N、PO_4-Pの実測値と計算値の比較を図 17 に示す。PO_4-Pについては誤差がみられるものの、傾向として再現性は概ね良好であった。

次に同一期間において、処理水量を変えてシミュレーションを行った結果を図 18 に示す。通常運転(対策なし)と比較して、循環停止と水量増加により、PO_4-Pは低下し、NO_3-Nは上昇していた。また、HRTが短くなるほど、期間後半のNH_4-Nが上昇した。しかし、HRTを標準法の最大処理水量より短い 2.5 時間としても、NH_4-N残存は 1mg/L程度であり、PO_4-Pには影響はなかった。なお、この検討を水温を秋期条件に変えて再計算すると、4.0 時間程度でNH_4-N残存は 1mg/L近くまで上昇した（データ非掲載）。

この結果から、神奈川 4 系では雨天時に処理水量を更に大幅に増やしても窒素・りん除去には問題ないことを示唆している。BOD や大腸菌除去、最終沈殿池能力など他の要素についても検討する必要はあるが、標準法同様、高度処理においても雨天時には処理水量を大幅に増やすことのできる施設設備能力を整えることが環境負荷削減には望ましいといえる。

3-3 A_2O法設計方法の検討

本市のA_2O法施設の設計は「下水道施設計画・設計指針と解説2001年版」[13]に準拠して行われる。これまで4箇所の水再生センターにA_2O法施設が導入されているが、容量計算に用いられた各因子設計値は運転実績と大きく異なっている。これは、「設計指針」の容量計算法の問題と、各パラメーターの設定方法の両面の問題があると考えられる。

本調査では、まず本市における現在の設計方法の問題点について検討した。次いで嫌気槽HRTの検討を行い、りん除去の最適化を考慮した反応槽全体の容量計算方法の見直し検討を行った。

3-3-1 現設計方法の問題点

本市のA_2O法現設計方法の問題点について、表5にまとめた。以下、各項目について検討した。

(1) 設計水質

容量設計は認可水質を用いて行うが、本市各センターの流入水質は特にT-PおよびSSが認可水質よりも低い（表6）。設計水質は反応槽の規模に大きく影響し、現設計法では過大な反応槽設計となってしまう。そのため、実際にはMLSSやBOD-SS負荷を設計指針設定範囲内で最大とし、反応槽容量ができる限り小さくなるよう設計している。しかし、この場合これらの設計値は実績と大きく乖離している。

表6 本市認可水質と各センター流入水質 (mg/L)

	認可水質	北部第一	北部第二	神奈川	中部		南部	金沢
					A系	B系		
T-P	4.0	3.3	6.9	3.2	2.6	2.6	2.3	4.0
T-N	26	21	45	27	24	24	23	32
BOD	100	72	94	130	112	104	93	107
COD	50	51	47	45	54	52	48	61
SS	80	34	37	36	43	42	59	59

	港北			都筑	栄第一	栄第二	西部
	中央	北側	南側		A系		
T-P	3.2	3.1	2.9	3.4	3.4	3.3	3.7
T-N	23	27	26	30	28	28	31
BOD	88	111	103	103	102	97	95
COD	38	54	53	54	51	57	57
SS	40	47	46	34	54	43	34

(出典：H15年度 横浜市水質年報)

(2) 嫌気槽HRT[3),4)]

設計指針では嫌気槽HRTを過去の各自治体における運転実績をもとに1～2時間としている。一般に嫌気槽HRTは長いほうがりん除去にとっていいと考えられているが、神奈川A_2O法施設の運転実績では嫌気槽HRTを0.7時間程度で良好なりん除去が行われている。また、本調査期間中に神奈川4系で嫌気槽HRTを通常の1.5倍に延長して比較運転を行ったが、晴天時、雨天後ともに処理水質に差は認められなかった（表7）。こうしたことから、嫌気槽HRTはセンターによっては設計指針値より大幅に短縮できる可能性がある。今後標準法施設を改築しA_2O法を導入していく際に、嫌気槽と無酸素槽を過剰に長く設定すると、単位体積あたりの処理能力が低下してしまい、逆に環境排出負荷を高めてしまう恐れがある。そうした背景から、本調査では必要嫌気槽HRTの検討を重点的に実施した。

表7 嫌気槽滞留時間の違いによる窒素・りん除去への影響

神奈川 41系（期間：H16.6～12）		41池	42池
滞留時間合計(hr)		7.3	7.3
嫌気槽(hr)		1.3	0.8
無酸素槽(hr)		2.8	3.3
好気槽(hr)		3.2	3.2
返送率(%)		50	50
循環率(%)		100	100
MLSS(mg/L)		2,070	2,060
処理水T-P濃度(mg/L)	平均	0.7	0.7
	最大	2.0	2.3
処理水T-N濃度(mg/L)	平均	7.7	7.3
	最大	11	12

(3) 必要A-SRTの設定

必要A-SRTの算出は、好気槽容量の算出に大きく影響する。A-SRT算出式（表5）の安全率δは設計指針においては流入水T-N変動比としている。都筑水再生センターでの日間変動比の最大値（実績値）はT-N濃度で1.4程度である。この式は本市の現行設計方法においても用いられているが、式そのものに安全率が考慮されていると考え、変則的にδ＝1.0としている[9)]。しかし実際に必要な好気槽容量は流入有機物負荷および窒素負荷により異なるはずであり、そのあたりの整合性を確認する必要がある。

表5 現設計方法の問題点

項目	現設計指針による設計方法	港北南側3系での採用値等	問題点
(1) 嫌気槽HRT	・嫌気槽HRTは**1～2時間**	**2時間**	・生物学的りん除去反応の定量的知見が不足
(2) A-SRT算定式	・設計指針の式 $\theta_{SA} = \delta \times 20.65 \exp^{(-0.0639T)}$ θ：ASRT(day) T：水温(℃) δ：安全率	・設計指針の式を用いる $\theta_{SA} = 7.9(d) \quad T = 15$（℃） $\delta = 1.0$	・本市の実績値と異なる
(3) 有機物消費計算での嫌気槽の考え方	・有機物（BOD）は無酸素槽・好気槽でのみ除去される	設計指針に準ずる	・嫌気槽での有機物消費を考慮していない
BOD-SS負荷	・設定範囲$0.05 \sim 0.1$	0.1	・本市の実績値と異なる
(4) 脱窒速度式	$K_{DN} = 7.7 \times$ BOD-SS負荷$+0.6$	設計指針に準ずる	・季節変動を考慮していない
(5) 汚泥転換率	・設定範囲 $a = 0.4 \sim 0.6$ $b = 0.9 \sim 1.0 \quad c = 0.03 \sim 0.05$	$a = 0.55 \; b = 0.95 \; c = 0.03$	・本市の実績値と異なる
MLSS	・設定範囲$2000 \sim 3000$mg/L	3000mg/L	・本市の実績値と異なる
(6) 設計水質	－	・認可水質を流入水質に用いる	・認可水質は実績値と大きく異なる（特に合流式センター）

(4) 有機物消費の考え方とBOD-SS負荷

設計指針のBOD-SS負荷は嫌気槽を除いた反応槽容量より算出しており、嫌気槽における有機物消費（主に脱窒反応）を考慮していない。これは無酸素槽および好気槽HRTの過大化につながる。

(5) 脱窒速度の算出

脱窒速度はBOD-SS負荷の関係を用いて算出する。表5の脱窒速度式は低水温期に限定されているため、年間を通した脱窒速度を表現することができない。

(6) 汚泥発生量の推定方法

汚泥発生量の推定は、A-SRTの算出につながるため、非常に重要である。設計指針において汚泥転換率の係数群 a=0.4～0.6、b=0.9～1.0、c=0.03～0.05の範囲において設定するとされている。本市の現行設計方法においても係数群の範囲内で設定しているが、流入水質が違えば各値の適正値も異なるはずであり、センターごとに適正値を設定することが望ましい。

3-3-2 嫌気槽設計方法の検討

上述したように、嫌気槽HRTは流入水質によっては1時間以内でも十分りん除去が可能だと考えられる。3.2のりん収支解析の中で、汚泥りん含有率が高いほどりん放出濃度を高く保つ必要があることを述べた。これは、汚泥りん含有率が決まれば必要嫌気槽りん放出濃度が求められることを意味する。この必要りん放出濃度と、嫌気槽りん放出速度がわかれば、必要嫌気槽HRTが定量的に算出できることになる。そこで、神奈川、港北センターの反応槽流入水およびA_2O法活性汚泥を用いてりん放出回分実験を行い、りん放出速度を求めた。回分実験結果の一例を図19に示す。

りん放出反応は、嫌気槽流入NO_X-Nの影響を大きく受ける[10)]。これは、脱窒反応により有機酸が消費され、その分りん放出反応に消費される有機酸が減少するためである。この嫌気槽流入NO_X-N濃度はりん除去性能に大きな影響を与えていることから、嫌気槽内反

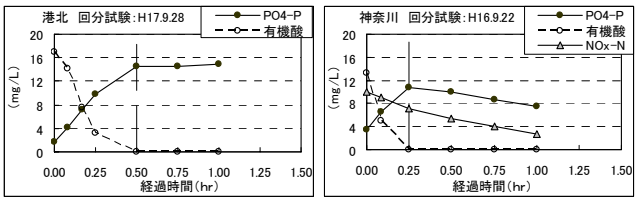


図19 りん放出回分実験

表8　回分実験から求めた嫌気槽内各反応速度（平均）

有機酸	NOX-N	りん放出速度 (mgP/gss/hr)	脱窒速度 (mgN/gss/hr)
＋	±	11	8.3
－	－	2.8	－
－	＋	−2.9	2.8

	有機酸消費速度 (mgVFA/gss/hr)
①:りん放出	18
②:りん放出＋脱窒	35
③:脱窒(②−①)	17

応を定量的に表現するにあたって、これを無視することはできない。回分試験の結果、表8に示すような反応速度が得られ、有機酸の有無によりりん放出速度に大きな差が生じることが分かった。また、有機酸が存在せずにNOx-Nが存在する場合にはりん放出速度は負であり、逆にりん摂取反応が進んでいた。また、脱窒速度も有機酸の有無により大きく異なっていた。

上述の嫌気槽内各反応をまとめて図式化すると図20のように表現できる。これらの概念を基に、図21に示す手順で嫌気槽に関する容量計算方法を構築した。検討の詳細は文献[3),7)]を参考されたい。

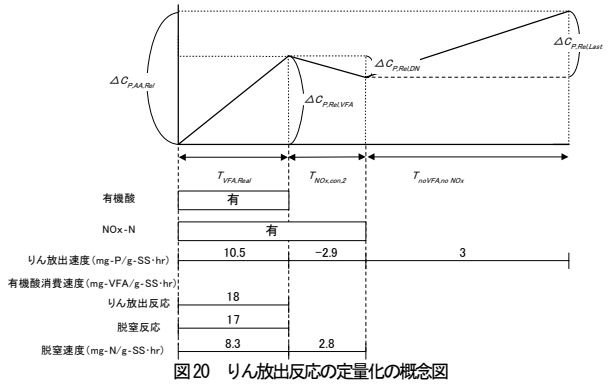


図20　りん放出反応の定量化の概念図

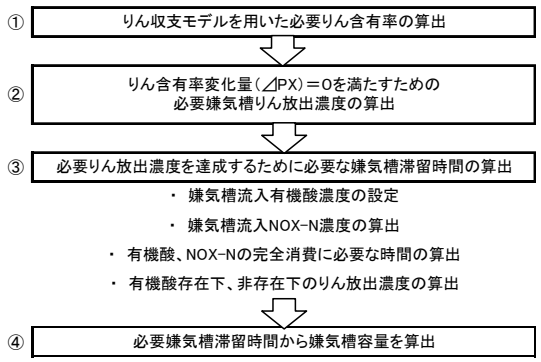


図21　嫌気槽容量計算フロー

3-3-3　A_2O法新設計方法（案）の作成[7)]

文献[15)]において、「設計指針」のA_2O法容量計算方法をベースに、本市独自の「A_2O法容量計算方法案」を作成している。この案に本調査で得られた知見を追加することで、A_2O法設計方法案を作成した。3.3.2で述べた嫌気槽設計方法のほか、無酸素槽、好気槽についての課題（3.3.1参照）についても収集データを元に改善を加えている。また、りん除去安定化対策（雨天時処理水量増加＋循環停止運転、3.2参照）の概念も取り入れている。図22に新容量計算フロー（晴天時）を示す。

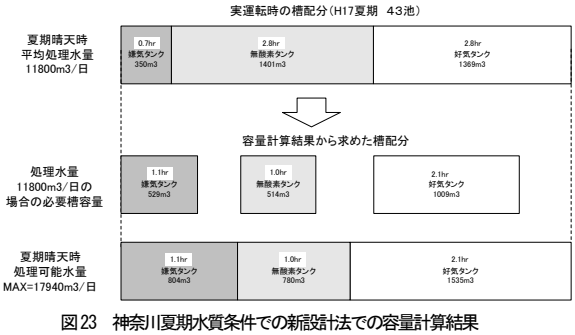


図23　神奈川夏期水質条件での新設計法での容量計算結果

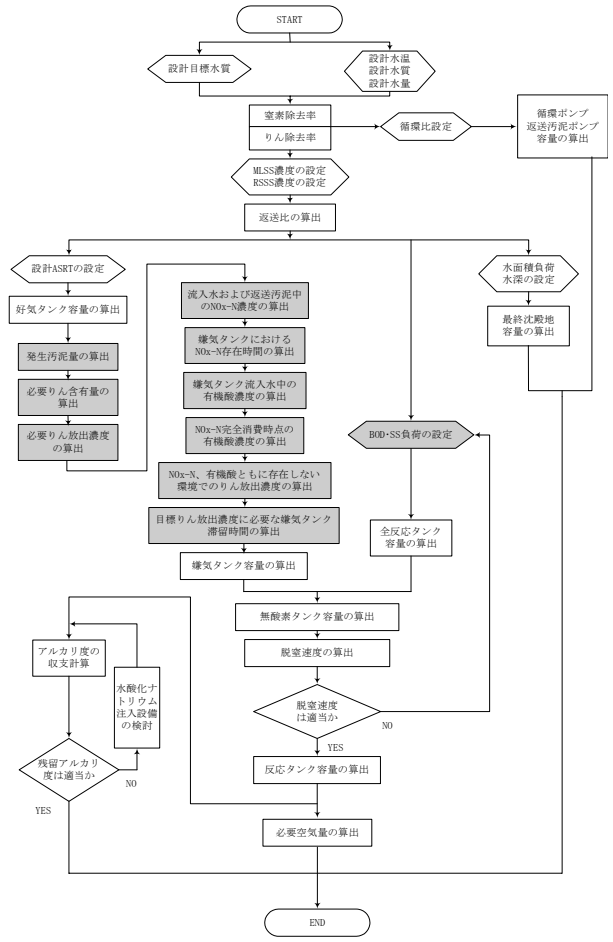


図22　新容量計算フロー（晴天時）

図23に新設計方法で算出した神奈川センター夏期流入水質条件での容量計算結果を示す。本条件では現状の処理水量よりも約1.5倍の処理が可能であるという結果となった。

3-3-4　ASMを用いたA_2O法新設計方法（案）の検証[7)]

図23の結果について、3-2-5と同様にASMを用いた検証を試みた。上記の新設計方法で求められた各槽HRTを元に槽割を決定し、図18で検討した期間と同条件（流入水質、運転条件）で運転した場合の処理水質シミュレーション結果を図24に示す。図18と比較すると、図24のほうが窒素・りんともに除去は良好であった。

このように机上検討では、神奈川センターの夏期水質条件では反応槽HRTは4.2時間で処理可能であり、新設計方法による容量計算結果は妥当であるという結果が得られた。

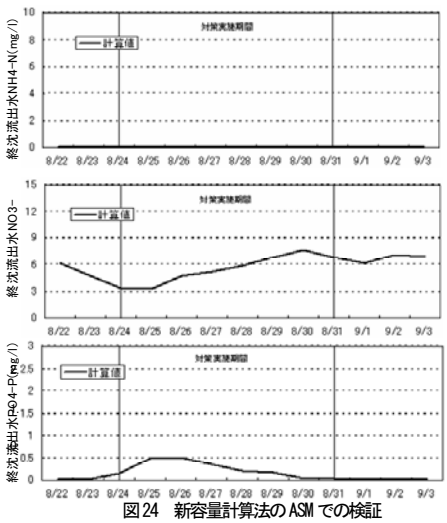


図24　新容量計算法のASMでの検証

3-4 建設・運転コストに関する検討[7)]

3-4-1 建設コストの検討

3-3 で提案した新設計方法は、ASMでの検証は行ったものの、実施設設計に導入するには安全率の設定など更なる検討・検証が必要である。しかし神奈川４系では現状で設計水量の１.５倍以上を処理しており、計画と乖離している[21)]。そこで、神奈川センター全体をA_2O法にした場合、新設計方法と現行設計方法での建設コスト試算を行った。試算条件および積算結果を示す。必要新築施設規模が半

項目	I 新設計方法	II 港北認可HRTをベースとする場合	III 設計指針方法（中央値）
①新設の冬期高度処理必要能力(m^3/d)	115,400	144,800	171,300
②新設の必要反応タンク容量(m^3)	43,300	61,500	82,800
③容量あたりの土木施設建設単価（千円/m^3）	384	384	384
④新設土木施設の建設費（百万円）	16,600	23,600	31,800
⑤新設土木施設の建設年価（百万円/年）	773	1,099	1,480

＊試算条件
・神奈川水再生センターを試算対象とする　・設備費は対象外とする　・設計水質は本市認可水質とする
・神奈川センター既存全系列にA2O法を導入した場合に不足する処理能力に相当する新規施設を建設する
・施設建設単価③は港北第5系列の実績値を用いる（最初・最終沈殿池の建設費は同額とみなす）
日最大HRT=8.2hr、反応タンク容量＝11100m^3、13.1万円／(m^3/d)
∴ 対象日最大水量＝32500m^3/d(＝11100×24/8.2)　建設コスト＝425750万円（＝13.1×32500）
単位容量あたりの建設コスト＝384千円/m^3(＝425750/11000)
・⑤は、次式で算出した。なお、割引率i＝0.04、耐用年数n＝50年とした。
建設年価＝建設費×(i+i/((i+1)^n−1))
上式の出典：下水道の高度処理事業における費用効果分析マニュアル（案）、H18.1

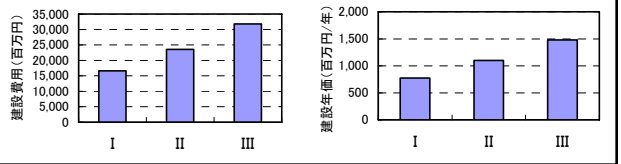


図25　新設計法と現行設計法での建設コスト比較

分以下に減少するため、コストは大幅に削減される結果となった。

3-4-2 維持管理コスト

3-4-1 での試算結果をもとに、さらに雨天時循環停止運転を行うケースを加えて、維持管理（電力）コスト試算を行った。なお、嫌気槽・無酸素槽の撹拌機は現在神奈川センターで行われている間欠運転を行っているものとして試算した[20)]。他の詳細な試算条件、結果は文献[7)]を参照されたい。

撹拌機電力費は間欠撹拌を行うことでブロア電力費の 1%程度に抑制することができる。循環ポンプ電力は 20%～30%であり、雨天時循環停止により数%削減可能である。ブロア電力費は維持管理コストの大半を占めるが、計画水量が変わらなければセンター全体の必要空気量はほぼ変わらない。曝気風量調整によるブロア電力削減は、硝化に支障のない程度に好気槽 DO 濃度を調整するといった日常の維持管理努力が重要である。

表9　新設計法と現行設計法での維持管理コスト比較

項目	現行認可水質条件 新設計方法（雨天循環停止）	新設計方法（常時A_2O法）	港北認可HRTをベースとする場合	設計指針方法（中央値）
計画日平均下水量(m^3/d) ＝各期の計画日最大下水量(m^3/d)	365,000	365,000	365,000	365,000
新設土木施設の建設年価（百万円/年）	773	773	1,099	1,480
総電力費（百万円/年）	180	188	195	210
建設費年価+年間電力費（百万円/年）	952	960	1,294	1,690
計画日平均下水量当りの建設年価(円/m^3)	5.8	5.8	8.2	11.1
計画日平均下水量当りの電力費(円/m^3)	1.3	1.4	1.5	1.6
計画日平均下水量当りの建設年価＋電力費(円/m^3)	7.1	7.2	9.7	12.7

4 まとめと今後の課題

本調査では窒素・りん除去に関するデータ収集・解析を行い、改善策について実施設およびASM での検証を行った。特にりん除去安定化対策について大きな成果が得られた。今後は得られた知見を各センターの運転管理・施設設計に反映していくことが重要である。

従来の標準法と窒素・りん除去を行う高度処理の最大の違いは流入負荷の概念である。一般に、標準法では主にBOD、SS除去が目的であり、流入負荷が低いほど安定した処理を行うことができた。一方、窒素・りん除去では流入負荷は除去細菌にとってのエサであり、負荷が高いほうが除去細菌が増加し除去性能は向上する。逆に、低いと十分な除去性能が確保できない。A_2O法の処理能力の過小評価は窒素・りん除去不安定性の原因のひとつとなっている。

本調査では反応槽容量について検討を行った。しかし、処理能力の面では最終沈殿池、各ポンプ能力、各配管径の確保のほうが重要である。これらの能力を過小に設計すると、雨天時処理能力を上げることができず、りん除去悪化を抑制できず (3-2-4)、さらに簡易処理水量増加により環境排出負荷が増大する。このように高度処理施設の処理能力が過小評価されると、処理の非効率化を招き、CSO 対策コストの増加にもつながる。そうした面からも、今回提案したような設計方法の検討や、ASM の活用などにより各施設の処理限界、適正能力の検証を行っていくことが望ましい。

また、維持管理コスト縮減を検討するには、窒素・りん除去の費用対効果に基づき検討すべきである。3-1-4 で検討したA_2O変法は、追加コストなしで窒素除去向上を図る優れた方法である。また、現在本市各センターで行っている擬似嫌気-好気法運転で、センターによっては高度処理の処理水質目標値をクリアしている[10)]。これは条件次第で循環ポンプなど追加設備導入なしで窒素・りん除去目標を達成できる可能性があることを示唆している。

以上のことから、窒素・りん排出負荷削減と処理コスト削減を達成するためには、既存の高度処理施設導入計画に縛られずに、流入水質等の特性などを把握し、センターごとに適切な対策を講じていくことが望ましい。

参考文献

1) 浅野卓哉、小川洋平「生物学的りん除去法におけるりん除去変動機構の解析」第 42 回下水道研究発表会講演集 pp. 777
2) 浅野卓哉、森豊明、小菅博明「合流式A_2O法施設におけるりん除去安定化対策の検討」第 43 回下水道研究発表会講演集 pp. 794
3) 森豊明、浅野卓哉、小菅博明「A_2O法の嫌気槽設計法に関する検討」第 43 回下水道研究発表会講演集 pp. 797
4) 小川洋平、浅野卓哉「A2O法における嫌気槽滞留時間に関する検討」第 42 回下水道研究発表会講演集pp. 780
5) 高度処理の効率化等に関する調査研究委託（その１）報告書　平成 16 年３月　横浜市環境創造局　株式会社日水コン
6) 高度処理の効率化等に関する調査研究委託（その 2）報告書　平成 17 年３月　横浜市環境創造局　株式会社日水コン
7) 高度処理の効率化等に関する調査研究委託（その 3）報告書　平成 18 年３月　横浜市環境創造局　株式会社日水コン
8) 飯野登志夫、鈴木孝「低流入負荷の嫌気・無酸素・好気槽におけるりん除去の向上について」第 39 回下水道研究発表会講演集 pp. 635
9) 目黒亨、横内宣明「嫌気・無酸素・好気法の運転実績評価に基づく設計手法の検証」第 41 回下水道研究発表会講演集pp. 867
10) 浅野卓哉「標準活性汚泥法施設における生物学的りん除去の向上」第 41 回下水道研究発表会講演集pp. 825
11) 小野朔彦、浅野卓哉、小川洋平「高度処理A_2O変法による窒素除去の向上」第 1 回環境創造局職員業務研究発表会（下水道・河川部門）講演集 pp. 64
12) 紺野繁幸、安達理文「北部第一下水処理場における高度処理について」第 28 回横浜市下水道局研究発表会講演集
13) 下水道施設計画・設計指針と解説　後編　2001 年版；社団法人日本下水道協会
14) 高度処理施設設計資料検討プロジェクト報告書（平成 15 年３月）；独立行政法人土木研究所
15) 鈴木穣「高度処理施設設計資料検討プロジェクト報告書の概要」；下水道協会誌 Vol. 40 No. 486 2003/4
16) 下水道維持管理指針　後編　2003 年版；社団法人日本下水道協会
17) 神奈川下水センター高度処理施設機能解析委託報告書　H15. 3：横浜市下水道局
18) 「有機酸添加によるりん除去性能向上に関する実証調査」；東京都下水道局技術調査年報 2002
19) 「活性汚泥モデル」；国際水協会・生物学的廃水処理の設計および運転を支援するための数学モデルの関するタスクグループ、味埜俊 監訳
20) 坂本俊彦、飯野登志夫「高度処理における嫌気槽、無酸素槽の間欠撹拌について」第 42 回下水道研究発表会講演集pp. 528
21) 水質試験年報（平成 17 年度）：横浜市環境創造局

消化ガスの高品質化と高濃度ＣＯ$_2$の有効利用の研究

小菅博明、伊熊信男、片山尚樹（横浜市環境科学研究所）

A study of qualitative improvement of sludge digestion gas and utilization of high density CO_2

Hiroaki Kosuge, Nobuo Ikuma, Naoki Katayama (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：消化ガス、高品質化、高濃度化、メタンリッチ、有効利用

要旨

京都議定書が２００５年２月１６日に発効され、ＣＯ$_2$の排出量削減など温暖化対策が急務となっている。横浜市ではすでに様々な形で温暖化対策に取り組んでいるが、新たな取組みとして、消化ガスの高品質化とそれに伴う高濃度二酸化炭素ガスを有効利用するため、公募型共同研究を行った。これは、下水汚泥から発生する消化ガスをメタン濃縮することにより高カロリー化（高品質消化ガス）し、分離した炭酸ガスを有効利用する地球に優しい技術の開発である。

研究の結果、消化ガスの高品質化について良好な結果が得られたが、消化ガスの高品質化と二酸化炭素ガスの高濃度化には、両立し得ない関係（トレードオフ）があること、二酸化炭素ガスの有効利用はコスト面で課題が残ることなど、いくつかの知見を得ることができた。

1. はじめに

横浜市では、下水汚泥を全量消化処理しており、その処理過程で発生するメタン（以下「ＣＨ$_4$」という。）を主成分とする下水汚泥消化ガス（以下「消化ガス」という。）を、発電等の燃料として有効利用し、年間約 18,000 kℓに相当する化石燃料とそれに伴う温室効果ガスの削減に努めている。

近年発電用消化ガスエンジンの老朽化に伴い、メンテナンスの増加や設備の改良、更新などが必要となっており、このためには、「消化ガス」の性状に合わせた改築計画が必要である。

また、省エネルギー、温室効果ガス排出量削減及び資源の有効利用の観点からは、今後、消化ガスをより効率的に、又用途の拡大を行う必要があり、そのためには、消化ガスを精製しメタン濃度を高めた、利用価値の高い「高品位な消化ガス」（以下「精製ガス」という。）とする必要がある。

なお、高品質化の過程で発生するカーボンニュートラル※な高濃度の二酸化炭素（以下「ＣＯ$_2$」という。）も、有効利用することによりいっそうのＣＯ$_2$排出量削減の可能性についても調査する必要があった。

消化ガスの主な精製方法として、ガス吸収法（物理吸収法、化学吸収法）、吸着法、膜分離法、深冷分離法があるが、公募型共同研究者である、月島機械㈱及び三菱重工業㈱からそれぞれ提案のあった、「ガス吸収法（物理吸収法）」〈逆混合防止型圧力水接触方式〉（図１参照）と、「吸着法」〈ＶＰＳＡ（真空再生式圧力スイング吸着法）方式〉（図２参照）の２方式の研究を行った。ここでは、このうち「ガス吸収法（物理吸収法）」〈逆混合防止型圧力水接触方式〉の研究成果を報告するものである。

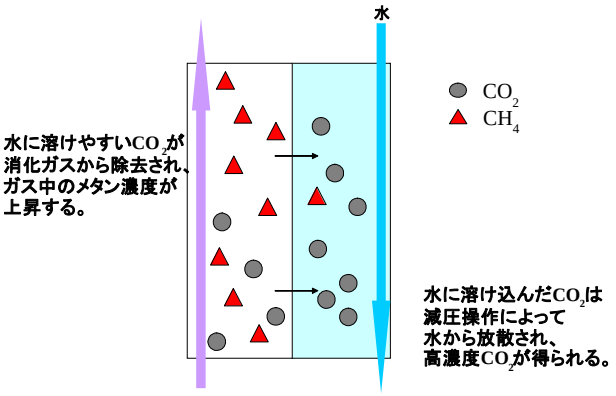


図１　圧力水接触方式

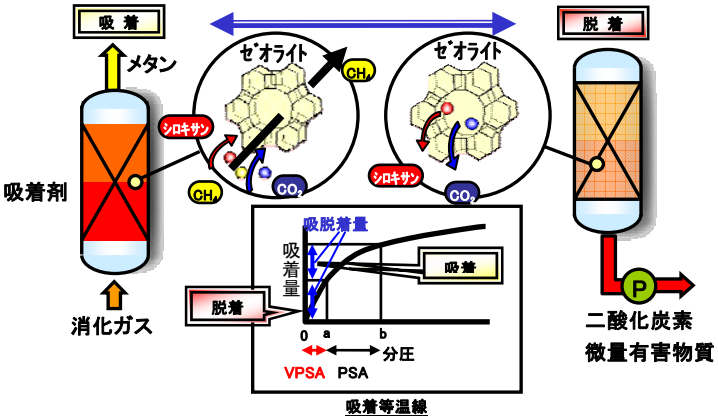


図２　ＶＰＳＡ方式

2. 研究課題

消化ガスの主成分であるCH_4を高濃度に濃縮するとともに、燃焼効率を妨げているCO_2や、燃焼時に酸化し硅砂となって機器の摩耗・損傷の原因となっているシロキサンといった不純物を効率よく分離精製する方法を研究した。

また、分離したCH_4及びCO_2をどのように有効利用するかも検討し、事業の実現可能性の検討を行った。

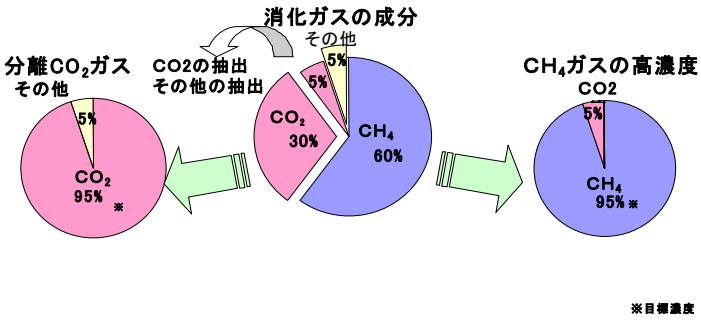


図３　消化ガスと分離精製後の成分イメージ

3. 実証設備

南部汚泥資源化センターに実証設備を設置し、脱硫後の消化ガスと砂ろ過水を用いて実証試験を行った。

精製ガスの目標値は、CH_4濃度 95%に加え、分離したオフガスのCO_2濃度も 95%とした。

3-1 逆混合防止型圧力水接触方式による消化ガスの精製

CO_2が水に溶けやすい性質を利用した方式であり、コンプレッサーで 0.8MPa まで圧縮した消化ガスを精製塔（Ｔ－１）下部より供給し、精製塔上部からは水を降らせ、圧力をかけた塔内で水と接触させCO_2を溶解させる方式で、精製塔上部から高濃度CH_4を採取することが出来る。

このガスと水が接触する過程で、ガスの逆流を防ぐ仕組みが施されており、精製効率を向上させているのが、本方式の特徴である。

一方、水に溶け込んだCO_2は洗浄塔（Ｔ－２）で 0.2～0.4MPa に減圧し、一部溶け込んでいたCH_4とCO_2の一部が放出され、Ｃ１コンプレッサーを経由して再度精製塔に戻される。

残りのCO_2は脱気塔（Ｔ－３）で真空ポンプにより減圧され、水から放散されることにより、高濃度CO_2を得ることができる。（図４参照）

3-2 実験結果

ガス流量と水流量の比（接触比）を変化させ、精製ガスの組成を分析し精製能に影響を与える因子とその影響を把握する目的で行った。

3-2-1 精製能確認試験

(1) 接触比及び作用圧力の試験

設計値の接触比（ガス流量 8.2Nm³/h、液面負荷 50m³/m²･h）を基準に流量を変化させる実験を行った。以下にCH_4及びCO_2精製ガスの濃度を測定した実験結果を示す。

実証プラントの諸元

- 逆混合防止式圧力水接触型
- φ200mm×6,230mm（メイン塔）
- 塔内圧力 Max0.80MPa
- 循環水量 1.57m³/h
- ガス処理量 8.2Nm³/h

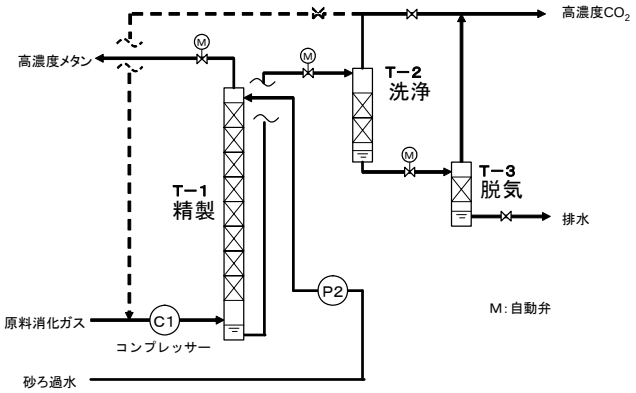


図４　精製能確認試験のフローシート

この実験の結果で、CH_4濃度はガス流量が少なく水量が多いほど高まる傾向があり、CO_2濃度はガス流量が多く水量が少ないほど高まる傾向である。（表１参照）

ただし、この実験ではCO_2濃度が十分高いとは言えないため、洗浄塔圧力を 0.4MPa から 0.2MPa へ低下させる実験を行った。

この実験では接触比を一定に保ったまま、設計値の 0.5 倍、1.0 倍、1.5 倍の各流量で条件を変化させ、精製塔断面積当たりの負荷量を変化させた場合の影響を把握した。

この実験の結果、いずれの場合にも洗浄塔圧力が 0.4MPa の時と比べ、洗浄塔圧力を 0.2MPa へ下げたことによるCO_2濃度の向上が見られた。

これは、洗浄塔圧力を下げた事によって、吸収水中のCH_4及びCO_2がより多く放出されたため、洗浄塔以降の吸収水中に溶存するCO_2濃度が高まり、結果として最終的なCO_2濃度が上昇したと考えられる。

また、表２の実験結果からも分かるとおり、精製塔断面積当たりの負荷量は、CO_2濃度を高める運転条件としては、設計値の接触比(1.0 倍)が好ましいといえる。（表２参照）

また、洗浄塔圧力は、0.3MPa 以下であれば、ほぼ全ての結果で、濃度 95%以上のCO_2が得られることが確認された。

(2) 吸収水の温度

実設備においては、ユーティリティーの一つである砂ろ過水を節約するため、精製塔で使用する吸収水は、脱気塔でCO_2を放出後、精製塔へ戻し、循環利用することが望ましい。

しかし、冬季の実験で水温が 18℃程度にも関わらず、循環ポンプで昇圧されることによって、吸収水温度が 30℃近くまで上昇した。

表１　Ｔ－２圧力：0.4MPa の場合　上段：CH_4／下段：CO_2　（vol%）

供給ガス ＼ 液面負荷	A			B			C		
	8.2 Nm³/h	12.3 Nm³/h	16.4 Nm³/h	8.2 Nm³/h	12.3 Nm³/h	16.4 Nm³/h	8.2 Nm³/h	12.3 Nm³/h	16.4 Nm³/h
50 m³/m²·h	99.3 91.4	90.7 96.0	86.9 95.9	99.9 90.0	92.3 95.6	—	99.4 95.4	91.8 97.6	—
75 m³/m²·h	—	—	94.6 94.4	—	99.3 90.7	94.1 93.7	—	99.0 93.3	94.2 96.3
100 m³/m²·h	—	—	98.2 89.5	—	>99.9 81.4	98.2 90.3	—	99.8 86.9	—

表２　Ｔ－２圧力：0.2MPa の場合　上段：CH_4／下段：CO_2　（vol%）

供給ガス ＼ 液面負荷	A			B			C		
	4.1 Nm³/h ×0.5	8.2 Nm³/h ×1.0	12.3 Nm³/h ×1.5	4.1 Nm³/h ×0.5	8.2 Nm³/h ×1.0	12.3 Nm³/h ×1.5	4.1 Nm³/h ×0.5	8.2 Nm³/h ×1.0	12.3 Nm³/h ×1.5
25m³/m²·h ×0.5	99.9 94.4	—	—	99.8 97.5	—	—	99.8 98.7	—	—
50m³/m²·h ×1.0	—	99.3 96.2	—	—	98.6 97.9	—	—	97.8 99.0	—
75m³/m²·h ×1.5	—	—	99.4 93.8	—	—	98.6 96.5	—	—	98.0 97.3

供給ガスの条件（表１及び表２共通）

（Ａタイプ）消化ガスだけ

（Ｂタイプ）消化ガス＋洗浄塔排ガス

（Ｃタイプ）消化ガス＋洗浄塔排ガス＋CO_2ボンベガス（液化装置オフガス想定）

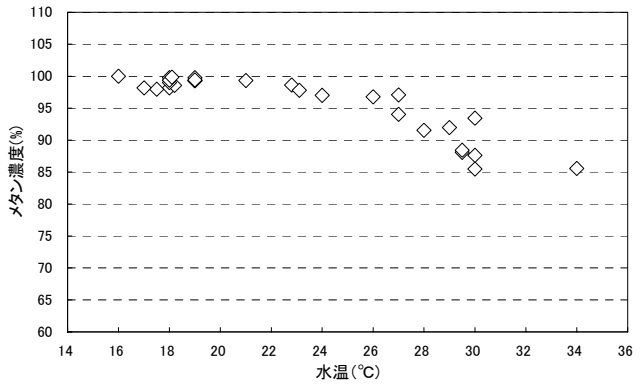


表３　水温とメタン濃度の関係

表３を見ると、水温が 30℃近辺に達すると、CH_4濃度が急激に低下する傾向が見られ、90%を下回る状況も確認された。

このことから、CH_4濃度は精製塔で接触させる水温により、大きく左右されるため、CH_4濃度を安定的に高める運転条件としては、洗浄塔圧力の調整よりも、精製塔で接触させる水温を低く抑えることが好ましいといえる。（表３参照）

しかし、水を冷却し温度制御を行うには、多量の電気エネルギーを消費するため、現実的ではない。

そのため、実設備を想定する場合、図５に示すように、精製塔上部から水温の安定している砂ろ過水を補給し、高濃度CH_4と接触させることで、より安定的にCH_4濃度を向上させることが可能と思われる。

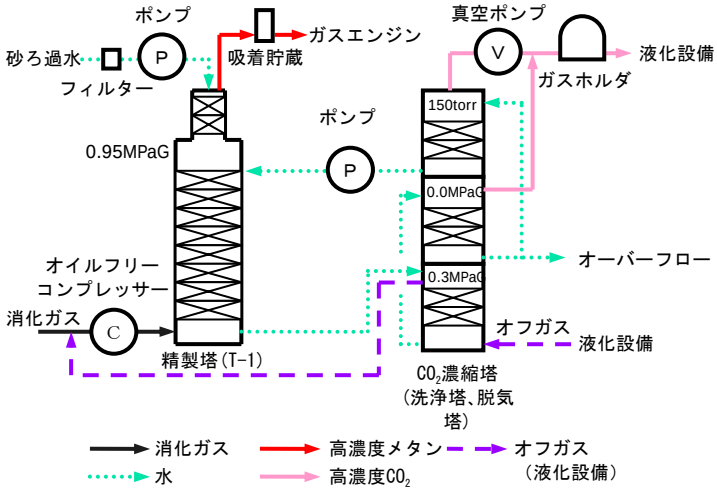


図５　実設備を想定した概略フロー

(3) 精製ガスの回収率

CH_4の回収率は、平均 95%となり、CO_2の回収率は、真空ポンプの封水に高濃度CO_2が巻き込まれて系外へ排出される現象により、今回の実験設備では測定できなかった。

実設備においては、ドライ真空ポンプを採用することにより防ぐことが可能と考えられる。

3-2-2 消化ガスの高品質化についての考察

(1)精製能力と精製ガス濃度

CH_4とCO_2を安定的に分離精製することに成功し、CH_4とCO_2の精製濃度は、一方を高めると他方が下が

る、相反する作用であり、高濃度化ガスをどの様な用い方とするかにより､濃度バランスを決定する必要がある。

その一例として、CO_2を液化する場合には、CO_2濃度が高い方が効率よく液化炭酸が製造出来る、すなわち収率が上がり電力消費率は下がるため、CH_4濃度よりもCO_2濃度を優先的に高める運転管理が良いと言える。

(2) シロキサンの除去

シロキサン(D4,D5)に代表される微量有機成分については、通常 50～100mg/Nm^3 程度含有（トルエン換算値。以下同じ）されているが、精製後のCH_4ガス側で 13～15mg/Nm^3、CO_2ガス側で 4～7mg/Nm^3 程度まで除去されている。

これは、精製装置において、コンプレッサーとアフタークーラーを備えているため、消化ガスの圧縮・冷却過程において微量有機成分が凝縮され、精製塔へ達する前に大部分が除去されたと考えられる。

さらに、精製塔内部において、消化ガス温度より水温の方が低い場合には、微量成分がさらに凝縮すると考えられる。

このように、精製段階における凝縮により、微量有機成分の大部分について除去作用が見込めるが、残存する微量有機成分については精製後のCH_4ガス側及びCO_2ガス側において、活性炭除去による処理をすることが好ましい。

3-3 有効利用方法について

本実験で得られた濃度 95%以上のCH_4ガス及びCO_2ガスについて有効利用の方法について検討した。

3-3-1 CH_4ガスの利用

(1) コージェネレーションへの適用

高濃度CH_4ガスは、都市ガス仕様のコージェネレーションへの利用が可能であり、現在使用している消化ガス用ガスエンジンより発電効率の向上が見込める。

また、シロキサンも除去されているので、燃焼による酸化で硅砂が生じにくくなり、摩耗や損傷によるメンテナンスを軽減できると考えられる。

(2) CH_4ガスの販売

ボンベなどに充填し、ボイラー等を持つ需要家への販売が考えられる。

また、昇圧機を用いてＣＮＧ車への充てんを行い、燃料としての利用も考えられる。

3-3-2 CO_2ガスの利用

(1) 液化炭酸ガスへの加工

CO_2ガスは、液化炭酸に加工することにより、食品添加物､溶接用及び冷媒用などへの利用が考えられるが、下水由来という心理的マイナス要素のため、食品添加物への利用は不可能と考えられる。

また、溶接用及び冷媒用などへの利用にあたっては、既存の輸送・貯蔵ラインを利用するため、食品添加物相当の品質保証が必要となり、製造コストが多額なものとなる。

そこで、純度は通常の液化炭酸と同程度だが、不純物が微量に残存する「粗製液化炭酸」で利用できる方法が望ましいといえる。

粗製液化炭酸は、水洗塔や脱臭塔といった不純物除去の洗浄工程が省略できるため、イニシャルコスト及びランニングコストを大幅に削減することが可能となる。

ただし、前述のように既存の用途や流通系統を用いるのが困難になるため、従来品の代替ではなく、他の薬品の代替品として用いるのが望ましいと言える。

具体的な用途として、ゴミの埋立処分場から排出される浸出水を処理する高度処理（カルシウム除去）があげられる。

浸出水には、塩化カルシウムが含まれており、従来ではソーダ灰（炭酸ナトリウム）を使用し除去している。

このソーダ灰の代替品として、液化炭酸ガスを苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）と共に添加し、炭酸カルシウムとして系外に除去するものである。

高度処理（カルシウム除去）の反応

・従来の反応

$$(Ca)+(Na_2CO_3)\rightarrow(CaCO_3)+(2Na)$$

・CO_2利用技術の反応

$$(Ca)+(CO_2)+(2NaOH)\rightarrow(CaCO_3)+(2Na)+(H_2O)$$

また、アルカリ水の中和があげられる。これは、希硫酸の代替品として、CO_2の弱酸性を利用したものである。

4. 事業の実現可能性の検討

事業化を想定するにあたって、様々な設備パターンが挙げられる。

発生する消化ガスの内、どのくらいの量を精製するかにより、イニシャルコストやランニングコストに大きな違いが生じる。

また、稼働中の設備の有効活用及び設備更新も考慮に入れなければならない。

今回「採算性」を優先的に考慮し、設備の冗長性や既設設備の更新が容易なものとなるよう検討した。

4-1 設備建設のケース

既設の消化ガスエンジンが稼働していることから、下水汚泥消化タンクの加温に必要な熱エネルギーはまかなわれているが、将来設備の更新を行う事を考慮し、段階的に精製設備を導入することが必要である。

そのため、既設のラインと別系統に、「精製設備」「コージェネレーション設備」及び「液化設備」を設置することにより以下の効果が見込める。（図６参照）

〈効果〉

・既設ガスエンジンの更新が容易に行える。
　新設のコージェネレーションで熱源の確保がされるため、既設ガスエンジン（２基）を順次更新することが可能となる。
・既設ガスエンジンの延命化等がはかれる。

現在は、２基のガスエンジンがフル稼働している状態だが、新設のコージェネレーションを稼働させることにより、既設ガスエンジンの稼働時間を減らすことが可能となり、延命化がはかれる。

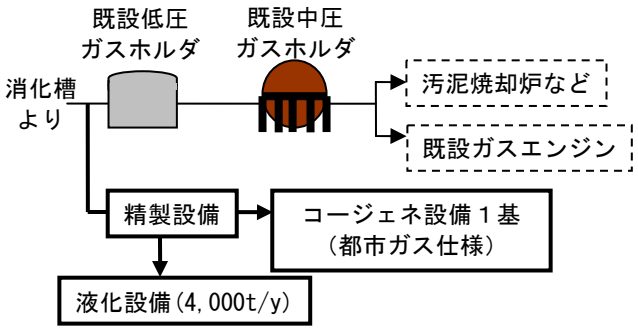
また、既設プロセスとの組合せにより、プラントとしての冗長性を確保できる。

・消化ガスの全量利用及び効率的な精製運転が可能となる。

消化ガス発生量の変動に合わせ、既設ガスエンジン側で運転量を調整出来るため、精製設備側のラインは効率的な安定運転が可能となる。

さらに、余剰燃焼をすることなく消化ガスを全量利用出来きる。

・ガスホルダの貯蔵に余裕が生じるため、将来の消化ガス増量施策にも対応が出来る。



精製設備、コージェネ設備、液化設備を同時に新設し、液化設備（4,000t/y）に必要な量の消化ガスを処理

図６　設備建設のケース

図６で想定している精製設備の規模は、採算性から考慮した場合、イニシャル及びランニングコストが掛かるCO_2の液化設備を安定稼働させることが必要である。

液化設備の高圧コンプレッサーは、１台の最小処理量が液化炭酸ベースで 4,000t/年ペースであり、これは、現在発生している消化ガス発生量約 1,600Nm^3/h のうち、約半分 800Nm^3/h の消化ガスを精製した時に得られるCO_2ガス量に相当する。

ここで、全量を対象として液化した場合、発生する消化ガス量が減少変動した時に、液化設備の稼働率を下げる必要が生じる。

このため、約半分 800Nm^3/h の消化ガス精製時に発生するCO_2ガスを、１台の高圧コンプレッサーで液化させることにより、液化設備の構成を最小かつ安定稼働させることが可能になる。

また、既存のラインとは別系統に設置することにより、ガス発生量の変動を既存ライン側で吸収させることが可能となるため、一番採算性を向上させることが出来る。（図６参照）

4-2 採算性

図６のケースの場合、イニシャルコストを、収入からランニングコストを差し引いた値で割り戻すＬＣＣ（ライフサイクルコスト）で検討すると、採算年は全ての設備で国庫補助(55%)の導入が可能な場合は、18.5 年程度で採算が取れる計算となる。

ただし、これはCH_4ガスの有効利用事業単独で得られる採算が同 13.2 年と良いため、液化事業分の損失を埋め合わせているためである。

このことから、液化設備を粗製液化炭酸用とする場合、イニシャルコスト及びランニングコストの削減により、採算は同 14.8 年と改善される。

しかし、CO_2ガスの液化事業は、横浜・川崎地区の事業者規模で、2,500t/月～16,600t/月を製造しており、今回の 4,000t/年ペースでは、事業規模が小さく単独での採算性が悪いため、事業化にあたっては十分な検討が必要である。

また、消化タンクの加温用熱源を既設ガスエンジンに依存しなくなるため、中圧ガスホルダの最低操作圧を 0.4MPa から 0.1MPa へ下げることが可能となり、同量４基相当分の貯蔵余裕が生じる。

今後、消化ガスの増量施策などが実施され、ガスホルダを増設する必要が生じた場合、建設費を削減できるメリットがある。

5. まとめ

今回の共同研究を通し、消化ガスの高品質化について良好な研究結果が得られた。今後は、精製装置の長期安定性を阻害する因子を調査したり、実設備への効果的な導入方法を検討する必要がある。

また、精製ガス（CH_4及びCO_2）の有効利用については、汚泥資源化センター内でのエネルギー収支を考え、場内利用を積極的に進めるのか、場外へ用途を広げていくのかなど、詳細に検討する必要がある。

※【カーボンニュートラル】バイオマス(生物資源)燃焼によるCO_2発生は、成長過程で光合成により吸収したCO_2を発生しているにすぎないと見なされ、ライフサイクルで見ると大気中のCO_2を増加させることにはならないと言われている。このように、CO_2の増減に影響を与えない性質のことをカーボンニュートラルと呼び、消化ガスもバイオマスとして位置づけられている。

文　献

1) 横浜市環境科学研究所、月島機械株式会社：公募型共同研究「消化ガスの高品質化と高濃度CO_2の有効利用の研究」報告書（平成 18 年 3 月）.

焼却灰中の重金属不溶化処理技術の開発

小菅博明、伊熊信男、西山　寛（横浜市環境科学研究所）

A progress of controlling toxic heavy metals elution from the incinerated ash of sewage sludge

Hiroaki Kosuge, Nobuo Ikuma, Hiroshi Nishiyama
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード ： 下水汚泥焼却灰、焼却灰の有効利用、重金属不溶化処理、環境基準、長期安定性

要 旨

下水汚泥焼却灰の有効利用に関しては、コストダウンとリスク分散を目途に鋭意技術開発を行っているが、焼却灰中に含まれている有害重金属が、新たに開発された有効利用メニューの事業化を阻んでいる。

ただし、焼却灰中から有害重金属を除去することは現状の技術では困難であると考えられているため、環境基準を満たすための溶出防止策（重金属不溶化処理）を施すことにより、焼却灰を通常の建設資材と同等に位置付け、新メニューの早期事業化を図ろうと考えている。

今回開発された、酸化鉄系環境浄化材を使用した重金属不溶化処理技術については一定の成果が得られているが、他の処理方法についても検証中であるため、その概要を紹介する。

1 はじめに

横浜市では発生する下水汚泥を全量焼却しており、年間約 20,000DSt の下水汚泥焼却灰（以下「焼却灰」という）が発生している。

この焼却灰の有効利用については数々の検討を行って有効利用率を徐々に向上させてきた結果、平成 16 年度には改良土プラントへの利用が PFI 事業化により大幅に増大したこともあって、有効利用率 100％を達成した。

しかし、平成 16 年度後半にレンガ製造を休止したため、平成 17 年度以降の有効利用予定としてはセメント原料化に 6 割程度を依存せざるを得ない状況であり、コスト軽減とリスク分散の観点から他の有効利用メニューの開拓が急務となっている。

現在、コンクリート二次製品や埋め戻し材への利用について、検討あるいは試験施工を行っているが、焼却灰は産業廃棄物であり、これを有効利用して製品を製造する場合、廃掃法上の課題を解決しなければならない

焼却灰を有効利用しようとする我々としては、焼却灰を配合した製品を技術開発する課程で、製品に焼却灰を配合することによる強度等の試験を行うことはもちろんであるが、同時に、製造された製品の溶出試験やタンクリーチング試験を入念に行うことで、製品が環境安全性の高いものであることを確認している。

しかし、より環境安全性を高めるためには、製品を製造しようとする段階で、構成原料の一つとみなされる焼却灰自体が環境基準を満たす必要がある。

日々発生し続ける膨大な量の焼却灰をいかに効率的に有効利用できるかは、有効利用製品への焼却灰配合量および当該製品の需要に大きく左右されるものである。そのために現段階では、コンクリート二次製品や埋め戻し材等の建設資材への利用が最も効果的と考えられるが、これらは製造後土壌中に還元されるものである。

そこで、今後焼却灰の効率的な有効利用を進めるためには、焼却灰に含まれる重金属類（特にヒ素 As 及びセレン Se）の土壌への流出を防止する技術を確立することが不可欠である。

2 重金属不溶化処理技術の現状把握

焼却灰自体に含まれている重金属の不溶化（溶出防止）に関する技術は現段階ではあまり見あたらない。

これは、各自治体での焼却灰中の重金属含有量がまちまちであることや、セメント原料化に安住し、他の有効利用手法の開拓に積極的でないこと等が考えられる。

そこで、今回の検討を行うための他技術の現状把握として、焼却灰を対象とした重金属不溶化処理技術はほとんど無いが、類似技術を調査した。

これらの中から、横浜市の焼却灰の重金属不溶化処理を検討していくためのベースとなる技術を選択し、これをもとに不溶化の長期安定性、処理にかかるコスト（経済性）および過去の実績等について評価を行った。

この結果を**表－１**に示す。

結果としては、Ｉの処理技術が最も可能性が高いと判定された。この技術も焼却灰中の重金属不溶化処理の実績はないが、地下水や土壌に対する有害物不溶化処理に対してはかなりの実績を持っているため、従前のノウハウを重金属不溶化処理技術に応用することで、新たな薬剤や手法の検討を行うにあたっても最も有望であると考えた。

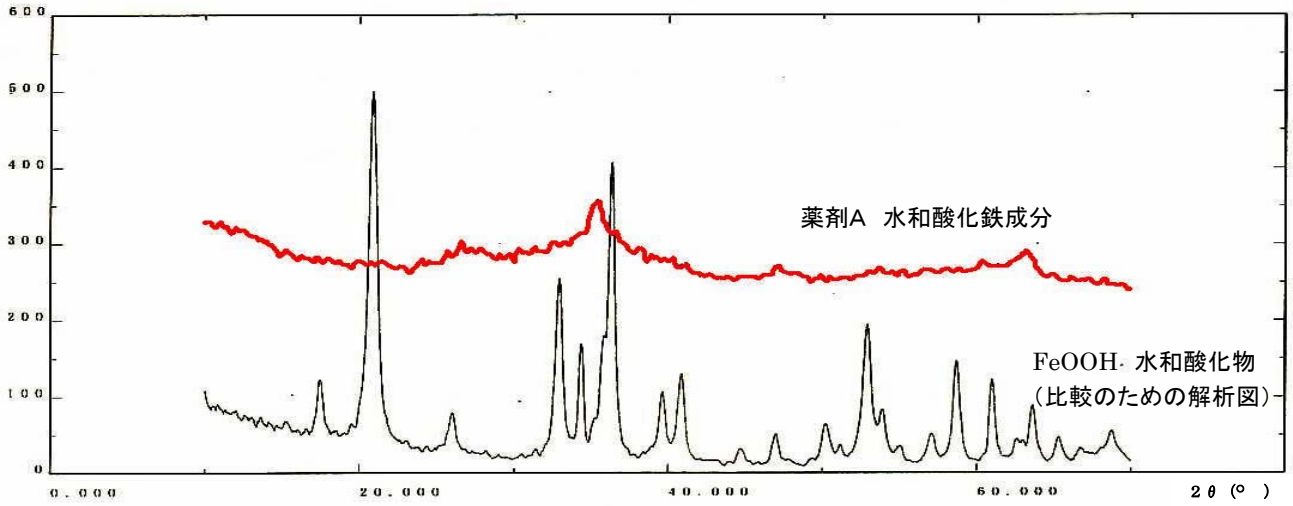
処理技術名	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
原理及び特徴	薬剤は酸化鉄を主成分とし、重金属類を物理・化学吸着することにより不溶化。 ● 酸化鉄粒子比表面積：200m²/g ● pH：7.5-8.5 ● 外観：茶褐色粉末	硫酸第一鉄とﾁｵ硫酸ﾅﾄﾘｳﾑを焼却灰に添加し、150-200℃で加熱処理することにより不溶化。 水和鉄が重金属類を固定。 pH の低下（酸性化）、赤水発生が懸念。	鉄化合物を主成分とする重金属類溶出抑制剤。セレンの溶出抑制のために開発。剤とセレンが結合し、難溶性の塩を形成。 土壌環境基準をクリアーするのは困難。	無機系焼却飛灰重金属類不溶化処理剤。 ● 高アルカリ飛灰・溶融飛灰にも効果 ● 飛灰性状に応じて各種薬剤から選定	キレート系の焼却飛灰重金属類不溶化処理剤。 ● 高アルカリ飛灰にも効果 ● pH：約 9 ● 外観：無色～薄白色の液体	キレート系の焼却飛灰重金属類不溶化処理剤。 ● アルカリ度調整が必要 ● pH：13.5 以上 ● 外観：黄色～橙色液体
不溶化の長期安定性	（社）土壌環境センター提案による安定性評価試験の結果、実質上半永久的に再溶出しないことを確認。 砒素・セレンにも有効。	酸性雨を想定した炭酸連続法による溶出試験でも再溶出しないことを確認。 砒素・セレンにも有効。	不溶化の長期安定性に関するデータなし。	欧米の長期安定性試験をクリアー。	不溶化の長期安定性に関するデータなし。	不溶化の長期安定性に関するデータなし。
	◎	◎	△	◎	△	△
処理方法及び添加量	焼却灰と混合する場合は適量の水を混ぜる必要あり。 添加量は重金属類の種類・含有量によって変動するため実験で求める必要がある。 サンプル試験結果によると、土壌環境基準をクリアーするのに、砒素で 3%セレンで 6%以下と想定。	硫酸第一鉄とﾁｵ硫酸ﾅﾄﾘｳﾑの水溶液を焼却灰に添加・混合し、150～200℃で加熱。 添加量は重金属類の種類・含有量によって変動するため実験で求める必要がある。 実証実験によると土壌環境基準をクリアーするのに、砒素・セレンで 3%程度。	焼却灰と混合する場合は適量の水を混ぜる必要あり。 添加量は重金属類の種類・含有量によって変動するため実験で求める必要がある。 実証実験によると、セレンを埋立基準以下にするのに 20%必要。	焼却灰と混合する場合は適量の水を混ぜる必要あり。 実績データによると、土壌環境基準をクリアーするのに、砒素で 12%必要。	焼却灰と混合する場合は適量の水を混ぜる必要あり。 実績データによると、土壌環境基準をクリアーするのに、鉛で 5%必要。	焼却灰と混合する場合は適量の水を混ぜる必要あり。 実績データによると、土壌環境基準をクリアーするのに、鉛等で 3%必要。
	○	△	×	○	○	○
経済性 セレン	サンプル試験結果に基づくセレン・砒素処理概算薬剤費：5,000～9,000 円/t(灰重量) 砒素のみの場合 3,000 円/t(灰重量)	加熱処理も含めた概算処理費：15,000～20,000 円/t(灰重量)	実証実験に基づく概算薬剤費：60,000 円/t(灰重量)	データなし	データなし	データなし
経済性 砒素		同上 砒素単独のデータなし	データなし	実績データに基づく砒素に対する概算薬剤費：10,000 円/t(灰重量)	実績データに基づく鉛に対する概算薬剤費： 10,000 円/t(灰重量)	実績データに基づく鉛等に対する概算薬剤費：18,000 円/t(灰重量)
	◎	△	×	△	△	×
実績	焼却灰の重金属類不溶化実績なし。 地下水・土壌に対する不溶化実績あり。	実証実験段階で実績なし。	実証実験段階で実績なし。	平成7年より 33 の自治体ごみ焼却炉事業所へ納入実績あり。 砒素・セレンを対象にした不溶化実績なし。	砒素・セレンを対象にした不溶化実績なし。	砒素・セレンを対象にした不溶化実績なし。
	○	△	△	○	△	△
総合評価	◎	△	×	△	△	×

表－１　重金属不溶化処理方法比較表

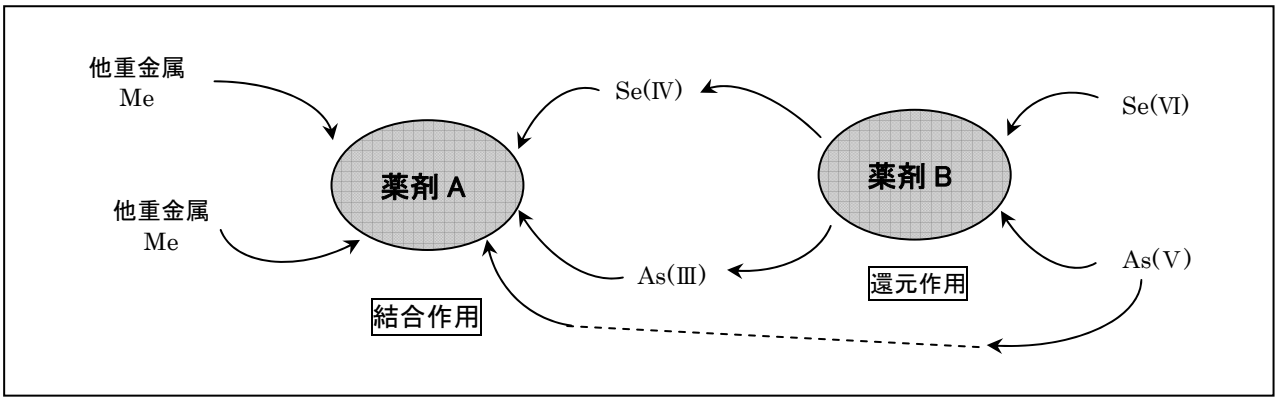
３　重金属不溶化機構

Ⅰの地下水・土壌に対する不溶化処理技術を、焼却灰中の重金属不溶化処理技術に当てはめるために、従前からの酸化鉄系環境浄化材に様々な改良を加えた。その結果、重金属吸着剤（以下「薬剤Ａ」という）及び重金属還元剤（以下「薬剤Ｂ」という）を組み合わせて用いることにより、焼却灰中の重金属が不溶化されるということが明らかになった。

薬剤Ａは**図－１**のＸ線回折結果からわかるように結晶性が低く、また、水和酸化鉄を主成分とするものなので、この薬剤を焼却灰と混合することで、薬剤粒子の表面に焼却灰中の重金属が化学結合するものである。



図－１　薬剤ＡのＸ線解析図（FeOOH との比較）



図－２　薬剤Ａ・Ｂによる重金属結合・不溶化反応機構図

溶出溶媒 / 重金属	超純水	酸性水（酸性雨__年分当量）		アルカリ水（酸性雨__年分当量）	
		100	500	100	500
As	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01
Se	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01
Cd	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01
Pb	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01	＜ 0.01

（各重金属を100ppm吸着させた試料について溶出試験）〔mg/L〕

表－２　薬剤Ａによる重金属不溶化処理の長期安定性評価

薬剤Ａ単独で不溶化処理を行った場合、As や４価の Se は、この化学結合作用によって容易に不溶化されるが、６価の Se に対しては、還元作用のある薬剤Ｂ（VOC 分解材として開発されたもの）を併用して混合することで、薬剤Ａの結合作用が十分に発揮される。

これらをまとめたのが**図－２**であり、ある程度の水と薬剤Ｂの作用で６価の Se が 4 価に還元され、薬剤Ａと結合し、不溶化される。

一方、As は、３価でも５価でも全く同等に薬剤Ａにより不溶化されるため、薬剤Ｂを特に必要としない。

また、薬剤Ａの作用によって、As と Se 以外の他の重金属類についても同様に不溶化されることが分かっている。

さらに、**表－２**に示したとおり、土壌環境センターから提案されている 100 年加速試験（酸性雨 100 年分相当の酸およびアルカリを加えての溶出試験）及び 500 年加速試験を行っても、結合した重金属類の再溶出が見られないことから、長期安定性を備えた不溶化処理方法であることが明らかになった。

4　ラボ試験

南部汚泥資源化センターで、2004 年 10 月から 2005 年 3 月までの間 10 回にわたってサンプリングした焼却灰を溶出試験したところ、As と Se の溶出量にかなりバラツキが見られた（**表－３**参照）。このように、原灰での溶出量にバラツキがあるサンプルを利用することによって、灰の状況に応じた最適薬剤添加量を検討することができる。

不溶化処理した焼却灰が環境基準を満たすためには、

焼却灰番　号	溶出試験（環告４６号試験）			T-Fe分析（%）
	ｐＨ	Ａｓ (mg/L)	Ｓｅ (mg/L)	
1	5.5	0.02	0.030	－
2	6.6	0.06	0.120	4.04
3	7.5	0.07	0.180	3.94
4	7.4	0.17	0.299	3.92
5	7.2	0.10	0.217	4.34
6	7.3	0.13	0.233	3.98
7	7.5	0.09	0.110	3.95
8	7.3	0.04	0.100	4.08
9	6.7	0.08	0.092	4.78
10	7.9	0.10	0.290	4.09

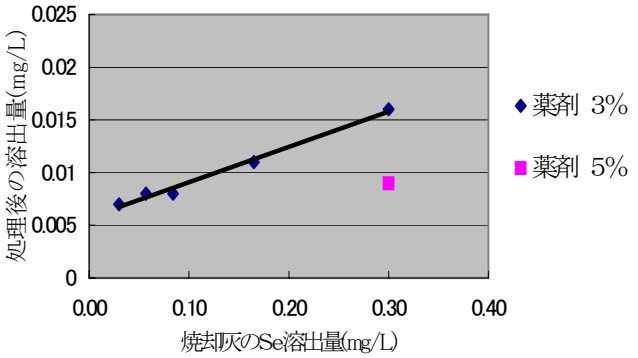
表－３　サンプル灰の溶出試験結果

原灰の重金属溶出量が多いものは薬剤添加量を増やさなければならないことは容易に想像できるが、この試験によりこの相関関係が明確になったので**図－３**に示す。

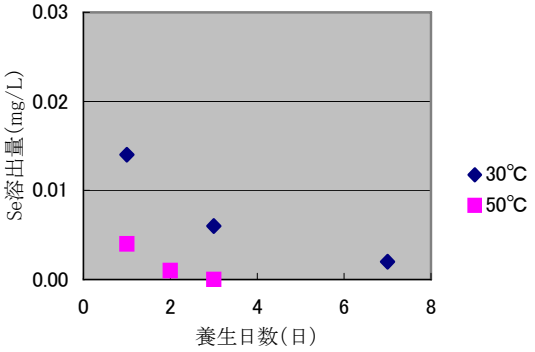
これによると、Se については不溶化処理後の溶出量を 0.01mg/L 未満にするために、原灰溶出量が 0.1mg/L のものには薬剤ＡおよびＢを同量混合したものを約 3%、原灰溶出量が 0.3mg/L のものには約 5%を添加する必要があった。

また、**図－４**に示すように、混合後に養生期間を置くことにより Se の溶出量が低減し、50℃程度に加温することによって溶出量抑制のための養生期間を大幅に短縮できることも判明した。

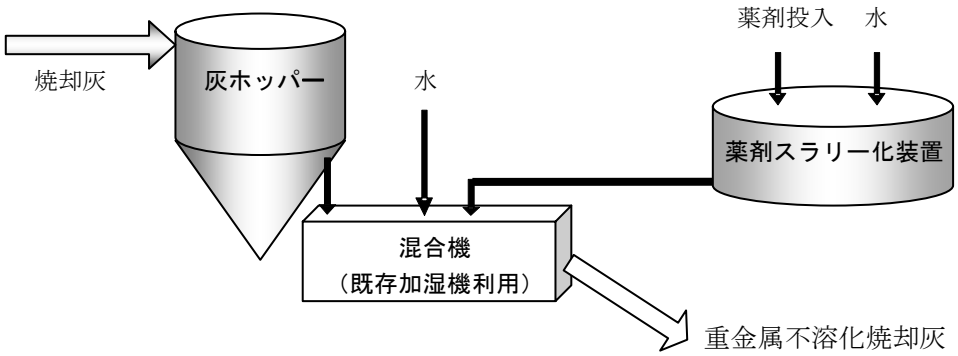
さらに、薬剤混合時の含水比を 70%以上にすることにより薬剤添加量を最小限にとどめることが可能であることもわかっている。



図－３ 薬剤処理前後の Se 溶出量



図－４ 養生条件による Se 溶出量の変化



図－５ 実証試験設備概略図

As に関しては、Se と比較して不溶化処理がはるかに容易であり、薬剤 3%以上の添加においてすべて環境基準値（0.01mg/L）未満の値が得られた。また、養生期間は特に必要はなく、薬剤Ａへの結合反応は短時間で終了した。

５ 実証試験

横浜市の焼却灰に関して言えば、As は薬剤Ａのみの適用で環境基準を十分に満たすことができ、Se においても、通常は吸着が困難と考えられている６価 Se も薬剤Ｂで４価に還元されることにより、As と同様に薬剤Ａの吸着作用により不溶化されることがラボ試験において明らかになった。また、含水比・温度および養生期間による薬剤Ｂの最適添加量についてもほぼ明らかになった。

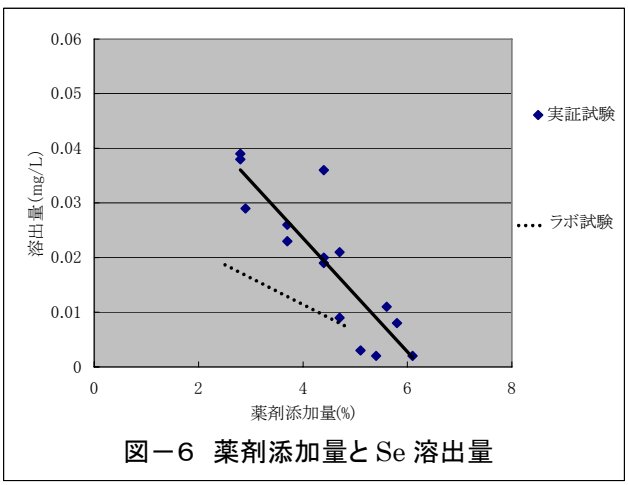
そこで、重金属不溶化焼却灰製造を本格的に開始するにあたり、ある程度まとまった量の処理試験を行い、スケールアップした際に生じる課題の整理を行う必要があった。

しかし、現在の検討段階で実施レベルの試験設備を設置することは困難であったため、南部汚泥資源化センターに、従前から焼却灰運搬時の防塵対策として設置されている水分混合加湿機を混合機として利用し、これによって焼却灰と薬剤を混合する実証試験設を行った。（図－５参照）

この結果、ラボにおける試験と同様に、As については全て環境基準以下の値となったので、図－６には Se の結果のみを示す。

ラボ試験の結果と比較して、グラフの傾きが大きいこと、つまり薬剤添加量が少ない側でラボより実証の方が溶出量が大きいことは、既存加湿機を利用した混合はラボでの混合には劣っていることから生じると考えられる。

今回の実証試験結果からは薬剤添加量 5.5～6.0%程度で、環境基準をクリアーすると読みとれるが、今後専用の混合機を使用して実証試験を行うことにより、ラボ試験に近い結果が得られるものと考えられる。



図－６ 薬剤添加量と Se 溶出量

分析項目＼試料		地点A		地点B		地点C		地点D		土壌の汚染に係る環境基準
		施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後	
カドミウム	(mg/ι)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01mg/ι以下
鉛	(mg/ι)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01mg/ι以下
六価クロム	(mg/ι)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.05mg/ι以下
ヒ素	(mg/ι)	0.004	0.003	0.006	0.005	0.002	0.001	0.006	0.008	0.01mg/ι以下
総水銀	(mg/ι)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005mg/ι以下
セレン	(mg/ι)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.01mg/ι以下

表－４　施工後２０箇月経過後の周辺土壌検査結果

６ 追跡調査および今後の課題

今回製造した重金属不溶化焼却灰を高流動埋戻材に配合し、これを横浜市内の公共工事において試験施工を行った。高流動埋戻材を製造する際に、通常の焼却灰と比較して作業性等に問題がないことは確認できたが、今回の試験施工の目的の一つに環境安全性の確認があげられる。

前述したとおり、今回の溶出防止策が現行の環境基準を満たし、かつ、酸性雨 100 年分相当の酸およびアルカリを加えての加速試験をもクリアーしていることから長期にわたる環境安全性も十分に確認できているが、実際の試験施工現場での追跡調査を継続的に行っていくことによって、より安全性を確保できるものと考えている。

追跡調査の結果については**表－４**に示すが、施工後 20 箇月を経過した時点で周辺土壌への重金属類の溶出等は一切無い。

酸化鉄系環境浄化剤を使用した重金属不溶化処理技術については、以上の通り一定の成果が得られたものと考えているが、あくまでも吸着反応であるため、逆反応が絶対に起こらないとまでは言い切れない。そこで、今後は引き続き追跡調査を行っていくとともに、さらに処理コストの低減や課題の解決を求めて、今回とは異なる方法についても焼却灰中の重金属が不溶化できることをめざしている。以降はこれらについて概観する。

７ 他の重金属不溶化処理手法

７－１ 不溶化処理手法の検討

焼却灰中の重金属を不溶化する技術については、今回の重金属不溶化処理技術の検討を行うに先立って調査した国内の既存技術（前述の**表－１**）も含めて、**表－４**のような数々の手法があることがわかっている。

公にされていない手法も含めると、この分野に関しては多くの研究開発が行われているものと考えられるが、**表－４**からもわかるように、安定性とコストのバランスが取れた手法となると、その数はかなり少なくなるものと考えられる。

手法	詳細手法	安定性	コスト
薬品添加	消石灰添加混合	×	安
	鉄化合物添加混合	○	安
	キレート添加混合	△	安
薬品添加＋低温熱処理	鉄化合物＋低温処理	○	中
	消石灰＋水熱処理	○	中
高温熱処理	灰溶融スラグ化	◎	高
	灰溶融球状化	◎	高
ゼオライト化	アルカリ水熱反応	◎	高
その他	弱還元焼却	×	高
	静電分離	△	高
	酸抽出＋フェライト処理	○	高
	溶融イオウ固化	○	高

表－５　セレン・ヒ素溶出技術比較表

そこで、この中から安定性がかなり高いと考えられているゼオライト化による処理技術の検討状況について簡単に説明する。

７－２ ゼオライト前駆体形成による処理技術概要

現在、原子力発電所の低レベル放射廃棄物の減容処理処分用固化材として開発された薬剤を改良することによる重金属不溶化処理技術を検証している。

この薬剤は、貝殻や石灰岩を原料とするカルシヤに、粘土鉱物や火山灰等のケイ酸塩原料をアルカリにより活性化処理したシラノール基(-Si-OH)保有の活性ケイ酸塩を加え、さらに機能性素材等を加えた粉末複合組成物として構成される新型処理材である。

従前から汚染土壌の原位置処理や底質（ヘドロ）類の海域での再資源化処理等においての効果は確認しているが、共存する重金属類を固定・不溶化せしめた無害化処理についても着実に実績を挙げつつある。

この薬剤が焼却灰中の重金属を不溶化する原理としては、焼却灰に共存する水可溶性重金属類ならびにアルカリ成分と共に硬化マトリックスを形成し、シラノール基を有するケイ酸塩を主成分とする薬剤が、水を介して常

温で起こす次の反応により、シリカポリマーならびに水不溶性のアルミノケイ酸のナトリム塩を形成する。

① シラノール基によるポリシロキサン結合からなるシリカポリマーの形成

$-Si-ONa + HO-Si- \rightarrow (-Si-O-Si-)n + NaOH$

② 硫酸カルシウムならびにケイ酸カルシウム等の水和鉱物類の形成

$CaO \cdot SO_3 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$

$CaO + SiO_2 \rightarrow CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$

③ アルミノケイ酸のナトリム塩（ゼオライト前駆体）の形成

$SiO_2 \cdot Al_2O_3 + NaOH + MO$

$\rightarrow Na_2O \cdot MO \cdot [(AlO_2)_x \cdot (SiO_2)_y] \cdot nH_2O$

［式中 M は重金属類、X+Y は配位格子当りの四面体数］

この処理システムは、下水汚泥焼却灰に対して、灰に共存する重金属類ならびにナトリウムイオンを常温で固定・不溶化せしめる機能特性を有する薬剤を活用し、特別なエネルギーを消費することなく低コストで下水汚泥焼却灰の再資源化処理を完成させるところに特長がある。

8 おわりに

横浜市として焼却灰中の重金属を不溶化する目的は、焼却灰を環境安全性の高い細骨材等として有効利用するためである。

ただし、これに要するコストが、現在セメント原料化に要しているよりも低いものでなければ、重金属不溶化の技術開発自体コンセンサスを得ることが難しくなる。

今後も、安定性が高くコストの低い他の技術について研究開発を進めていく所存である。

文献

横浜市環境創造局、国際水道ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ㈱「焼却灰中の重金属不溶化処理技術に関する調査委託報告書」(H.17.3、H18.3)

下水汚泥焼却灰を利用した高流動埋戻材の事業開発

小菅博明、伊熊信男、西山　寛 （横浜市環境科学研究所）

A report of projecting new superplasticizing backfillings made with the incinerated ash of sewage sludge

Hiroaki Kosuge, Nobuo Ikuma, Hiroshi Nishiyama
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード ： 下水汚泥焼却灰、焼却灰の有効利用、高流動埋戻材、流動化処理土、環境基準

要 旨

下水汚泥焼却灰の有効利用に関しては、平成元年から鋭意取り組んでおり、平成 16 年度には有効利用率が 100%に達したが、有効利用メニューの多様化および効率化を図るための利用手法の一つとして、焼却灰を大量に有効利用でき、かつ需要の多い製品として高流動埋戻材が有望視されている。この製品は平成 15 年度までに技術開発を終了しているが、事業化にあたっては、材料としての焼却灰中に有害重金属が含まれているため、廃掃法上の課題を解決する必要がある。

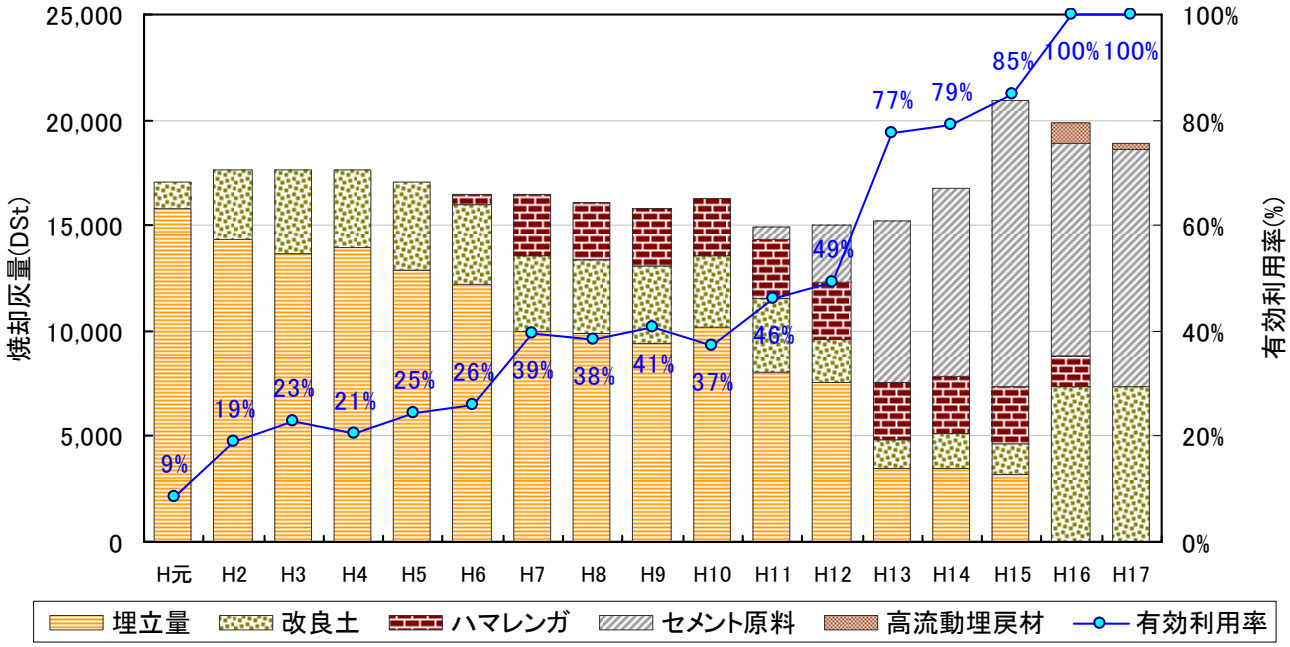
そこで、事業化に向けて関係部署の協力を得ながら、局内外での製品の利用促進および廃掃法上の課題解決に向けて数々の検討を行ってきたので、その概要を報告する。

1 研究目的

下水汚泥焼却灰（以下「焼却灰」という）は、年間に約 20,000DSt 発生している。

焼却灰の有効利用については平成元年から鋭意取り組んでおり、最初は改良土だけであった有効利用メニューに平成 6 年度からハマレンガ、平成 11 年度からセメント原料化が加わることで埋立処分量を減らすことができ、有効利用率が徐々に増加した。そして、平成 16 年 1 月に改良土プラントが PFI 事業として運営を開始したことにより、平成 16 年度からは埋立処分することなく、有効利用率が 100%となった。（図－１参照）

しかし、レンガや改良土は需要が限られており、これらへの焼却灰有効利用には限界があるため、近年セメント原料化に依存する割合が急激に増加し、平成 17 年度の有効利用の内訳を見ると、有効利用量のうちの 59%をセメント原料化が占めることとなった。また、改良土プラント PFI 事業における焼却灰引取量は、契約上年間約 7,000Dst でほぼ固定されているため、現状の有効利用メニューのままでは、今後もセメント原料化への過依存が続くものと考えられる。



図－１　焼却灰有効利用の推移

セメント原料化には、埋立て処分ほどではないが多額のコストがかかるため、有効利用のコストダウンを図る観点から、過依存を見直していく必要がある。また、社会情勢の変化によってセメント需要が落ち込んだ場合、焼却灰の受入量低下や受入時のコスト増大も懸念されるため、これらのリスクを分散するとともに、今後も安定的に有効利用率 100%を継続するために、新たな有効利用メニューを開拓しなくてはならない。

横浜市では、平成 10 年度からコンクリート二次製品の材料として焼却灰を有効利用するための調査を開始し、これまでにさまざまな製品への焼却灰の適用可能性を研究してきたが、このうち高流動埋戻材について次に述べる。

2 事業化ワーキンググループ設置経緯

平成 10 年度に焼却灰をコンクリート二次製品に添加するための基礎特性調査を行い、平成 11 年度には実際の二次製品工場でボックスカルバート等の 4 種類の汎用品を製造し、製品の作業性、安全性、強度試験等の調査を行って一定の成果が得られた。続いて平成 12 年度には市場性・事業化についての調査を行い、これを受けて平成 13 年度は、焼却灰を多量に使用することが期待できるシールド工事用セグメントに着目し、その適応性について調査を行った。平成 14 年度はさらに研究を醸成させるための性能､品質についての調査を行うとともに、事業化に向けた検討を行った。

これまでの調査を通じて、コンクリート二次製品への焼却灰の適用可能性に関して一定の成果は出たが、焼却灰使用量や製造技術水準等を勘案した場合、ボックスカルバート、Ｌ型擁壁、マンホール側塊、矩形暗渠における焼却灰使用量は、最大量を想定しても、需要量と設備投資の関係から採算ベースに乗る量には満たないことが判明した。また、焼却灰という産業廃棄物を扱うに際して、高度な製造技術水準を有する事業者でなければ問題が生じるおそれがあるため、平成 14 年度以降は「シールド工事用セグメントへの利用」及び「下水汚泥焼却灰を利用した高流動埋戻材への利用」の２つのテーマに絞って検討を進めた。

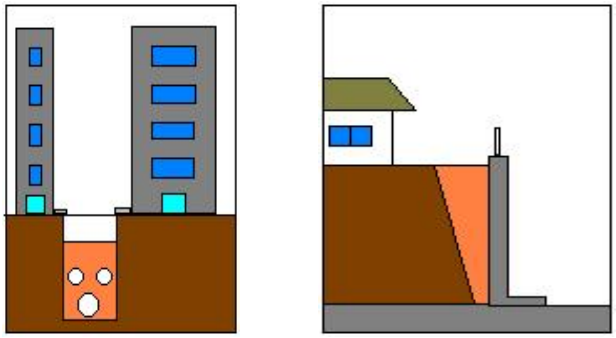
このうち高流動埋戻材への利用に関して、平成 15 年度中に事業化に向けてのデータ整理等がほぼ終了したため、平成 16 年度からは事業化に向けて具体的な検討を開始した。

3 高流動埋戻材の概要

高流動埋戻材とは、多くの建設現場等で主に狭隘箇所等への充填材料として使用されている流動化処理土の一種である。

流動化処理土は主材料に現場発生土を用いることが多いが、現場発生土を使用した場合に製品のばらつきが生じる可能性があることに対して、主材料に山砂を使用することで、均一な埋戻材を提供することが可能である。この埋戻材は、山砂に少量のセメントを配合し、生コン工場から発生し通常は産業廃棄物として処理されるスラッジ水を加えて練り混ぜることにより製造される、きわめて流動性の高い製品である。

高流動埋戻材に焼却灰を利用することにより、製品の原料となる山砂の使用量を削減し、資源の枯渇を防ぐことができるとともに、焼却灰有効利用メニューの拡大と有効利用のコストダウンを図ることが可能となるものである。



図－２　高流動埋戻材施工状況図

4 焼却灰を利用した高流動埋戻材の特徴

まず、従来から多方面で利用されている、山砂、セメント、スラッジ水から製造されている高流動埋戻材の特徴としては、次のようなものが考えられる。

① **写真－１**からも読みとれるように､極めて高い流動性により狭隘で複雑な場所への施工が可能で締め固めが不要なため、低騒音・低振動・低粉塵施工が可能で、近隣家屋等への影響が少ない。

② 現場発生土を使用した流動化処理土と比較して､品質の安定した山砂を使用しているため、製品のばらつきが極めて少ない。

③ 固化材の配合割合により、28 日強度で 0.3 N/mm²～5.0 N/mm² の任意の強度が得られるため、強度をそれほど必要とせず、後に再掘削する可能性の高い現場から、高い強度を必要とする現場まで幅広い施工場所で利用可能である。

写真－１　高流動埋戻材施工状況

さらに、従来製品に焼却灰を配合することにより新たに生じる利点としては、次のようなものが考えられる。

④ 焼却灰は水に溶けることにより粘性を発現するため、高流動埋戻材の粘性も高まり、材料分離抵抗性がさらに向上することで、より均一で高精度の充填施工が可

能となる。

⑤ 焼却灰の比重が山砂に比べてかなり低いため、製品の重量も軽くなり、ポンプ圧送する際の距離を延伸することが可能となる。（通常は 100m 程度が限界だが、200m 程度まで延伸可能）

⑥ 焼却灰は脱臭効果を持つため、水再生センターで発生する洗砂等を細骨材として使用する際の臭気拡散防止が可能となる。

⑦ 使用する焼却灰は高分子系焼却灰を予定しており、この灰の色は茶系の色であるため、硬化した後の色が、横浜市内の代表的な地盤である関東ローム層と同じ色を呈し、周辺環境になじみやすい。

5 高流動埋戻材の配合

高流動埋戻材の配合割合を様々に変化させて、少しでも多くの焼却灰を有効利用できるようにし、かつ、流動性の高い埋戻材としての品質を確保したものにするための室内試験を行った。**表－２**はその結果の一部であるが、固化剤の配合により強度が大きく変化することを示すための代表例を提示した。なお、要求品質としては、旧建設省土木研究所が共同研究成果としてまとめた「流動化処理土利用技術マニュアル」による。

①～④の配合で、単位体積重量やブリージング率はすべて要求品質を満たしており、固化材の配合量を増やすに従って一軸圧縮強度が増加するとともにフロー値が低減して行くことが読みとれる。

固化剤の配合を 50kg 程度にとどめると 28 日強度が 0.4 N/mm² であるため、この時点で植栽等を施すための再掘削が可能となる。また、固化材を 180kg 程度配合することによって 28 日強度で 5.0 N/mm² まで強度発現可能である。

なお、ここに提示したデータは、細骨材を極力少なくして焼却灰を多く利用したケースのみを載せたが、細骨材を増やして焼却灰を減らすにことによって粘性の低い埋戻材を製造することも可能なため、施工場所の規模・形状に応じて、最適な配合を行うことができる。

次に、山砂の使用量を極力少なくするという観点から、⑤において細骨材をすべて焼却灰に置き換えた配合による試験を行った。結果としては、単位体積重量、ブリージング率、フロー値とも基準値内に収まっているが、一軸圧縮強度が材令 7 日時点よりも 28 日時点で若干低下したため、長期強度が低減する可能性が危惧される。そこで、今後は固化材やスラッジ水の配合割合等を調整していくことで、細骨材をすべて焼却灰に置き換えた製品の製造を可能なものにしていきたいと考えている。

なお、横浜市では各水再生センターの沈砂池に溜まった砂を南北の汚泥資源化センターに運搬して洗浄し、これを「洗砂」として販売しているが、残存する臭気や異物混入等の問題により、販売量が伸び悩んでいるという現状がある。そこで、この洗砂を高流動埋戻材の細骨材に利用すれば、前述したとおり焼却灰の脱臭機能により臭気の問題も解決できるという利点があるため、洗砂を積極的に高流動埋戻材に有効利用することにより、当面の間は貴重な山砂資源を利用しない製品製造が可能であると考えている。

6 試験施工

室内配合試験で得られた知見をもとに、平成 15 年度に中部水再生センター内の老朽管渠及び周辺の空隙への試験施工を行った。

試験施工対象が老朽管渠周辺であるため、中位の強度発現が期待され、また細部まで充填される必要性から粘性を低く抑えるために、細骨材を増やして焼却灰を減らす配合とした。試験施工を行うことにより明らかになったことは次の 3 点である。

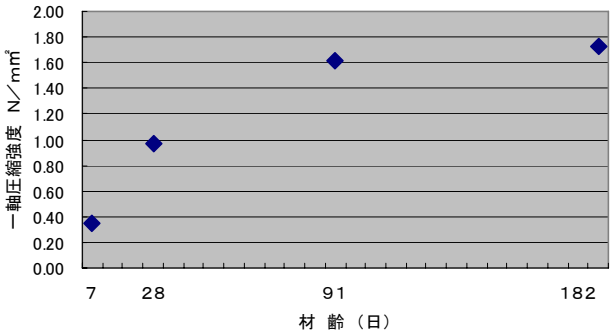
まず 1 点目として、流動性についてであるが、試験施工打設時にチェックリストに記載する方式で細かいチェックを行った結果、ミキサー車からの投入時は「水が流れるようなさらさらした感じ」であり、材料分離等も全くなかった。

配合単位；kg/m³

	固化材	細骨材	スラッジ水	焼却灰	単位体積重量 (g/cm³)	ブリージング率 (%)	フロー値 (mm)	一軸圧縮強度(N/mm²)	
								7日	28日
①	50	500	495	500	1.576	0.2	280	0.18	0.40
②	75	500	491	493	1.590	0.3	275	0.28	0.60
③	100	500	487	486	1.604	0.0	260	0.47	1.15
④	180	735	450	359	1.800	0.1	230	1.80	5.00
⑤	75	—	660	860	1.691	0.2	225	0.26	0.24
要求品質;「流動化処理土利用技術マニュアル」による					1.5 以上	1.0 以下	160 以上	0.2 以上	要求なし

表－２　高流動埋戻材の代表的な配合例

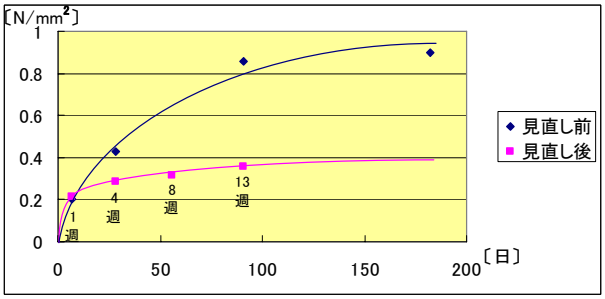
2 点目は、一軸圧縮強度に関してであるが、試験施工時のサンプルを多数保管して、室内試験での強度測定期間を延長したところ、**図－３**のグラフのようになり、通常の生コンのように材齢 28 日以降で伸びが止まることはなく、91 日時点で 28 日強度の 2 倍に近い値を示し、182 日程度まで伸び続けて収束するものであると考えられる。



図－３　長期強度発現状況

この特徴は、埋戻し後の長期安全性を考慮した場合の強度発現としては非常に好ましいものであると考えている。しかし、別の視点からは、「埋戻し箇所に将来的に植栽を施す等の場合に再掘削しなければならないこと等を想定し、最終的な強度を 0.5 N/mm² 以下に抑えてほしい」という利用者の要望があったため、材齢 28 日で強度がほぼ収束するような配合検討も行った。

配合割合を微妙に調整したところ、良好な結果が得られたので、結果について**図－４**および**表－３**に示す。



材齢（週）	1	4	8	１３
強度〔N/㎟〕	0.22	0.29	0.31	0.36

図－４　強度見直し結果グラフ

単位〔kg/m³〕

	固化材	細骨材	スラッジ水	焼却灰
見直し前	50	1,000	275(濃度 10%)	288
見直し後	20	403	584(濃度 15%)	400

表－３　強度見直し前後の比較配合表

また 3 点目として、この埋戻し材の性質上複雑に配管されている現場での利用も想定されるため、硬化熱の発生による管渠等への影響がないことについても検証した。

試料の温度測定を行った結果を**表－４**に示すが、打設開始から水和反応が完了すると想定される 7 時間後までの温度を測定した結果、2～3 時間後の温度低下が見られたが、4 時間経過以降は大きな温度変化が見られなかったため、硬化熱は発生しないものと考えられる。なお、当日の最高気温は 27℃であった。

経過時間等	資料温度(℃)
測定開始(午前 10 時)	31.0
1 時間後(午前 11 時)	30.0
2 時間後(午前 12 時)	28.0
3 時間後(午後 1 時)	26.0
4 時間後(午後 2 時)	26.0
5 時間後(午後 3 時)	26.0
6 時間後(午後 4 時)	25.0
7 時間後(午後 5 時)	25.0

表－４　強度見直し前後の比較配合表

7　環境安全性

焼却灰は廃掃法上の産業廃棄物として扱われるため、焼却灰を使用した製品はその環境安全性が問われるものであるが、特に土壌に還元する埋戻材等として利用する場合は、安全性の確認を十分に行わなければならない。

そこで、共同研究開始当時から溶出試験用試料を随時保管し、平成 3 年 8 月環境庁告示第 46 号に定める方法により溶出試験を行った結果、すべての項目に関して基準値を満足している。そのため、高流動埋戻材を一般の埋戻材と同様に施工した場合にも、周辺環境への影響は無いと考えられる。

8　事業化への検討

これまでの研究結果から、効率的な焼却灰有効利用促進のために高流動埋戻材の早期事業化が期待されたが、さらに長期間における安定性を確認する必要があった。

8－1　加速試験の実施

多年にわたる環境変化（酸性雨等の影響）を想定した条件下で、製品化された高流動埋戻材自体からの有害物質溶出が無ければ、周辺環境への影響は無いと判断できると考え、社団法人土壌環境センターから提案されている「不溶化処理技術の安定性を評価する溶出試験法」いわゆる「加速試験」を平成 16 年 9 月に行った。

酸性雨を pH4、年間降雨量 2,000mm とし、100 年間の酸量を計算した溶液中で溶出試験を行うことにより、100 年後の周辺環境への溶出の可能性が判断できる。

なお、通常はセメントを 75kg/m³ 配合したものが標準だが、より貧配合の（アルカリが弱い）ものを検体として使用した方が酸性雨の影響を受けやすいことを考慮し、**表－５**に示すようにセメントの配合を 10kg～50kg/m³ とした。これによる試験の結果を**表－６**に示す。

	セメント (kg/m³)	濃縮スラッジ水 (20%) (kg/m³)	焼却灰＋希釈スラッジ水 (10%) (kg/m³)	洗い砂 (kg/m³)
検体 1	10	253	566(焼却灰=365)	856
検体 2	20	253	566(焼却灰=365)	848
検体 3	30	253	566(焼却灰=365)	840
検体 4	40	253	566(焼却灰=365)	832
検体 5	50	253	566(焼却灰=365)	824

表－５　加速試験用サンプル配合表

平成１６年９月６日

分析項目＼試料		検体1	検体2	検体3	検体4	検体5	土壌の汚染に係る環境基準
カドミウム	(mg/ℓ)	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	0.01mg/ℓ以下
鉛	(mg/ℓ)	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	0.01mg/ℓ以下
六価クロム	(mg/ℓ)	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	0.05mg/ℓ以下
ヒ素	(mg/ℓ)	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	0.01mg/ℓ以下
総水銀	(mg/ℓ)	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	0.0005mg/ℓ以下
セレン	(mg/ℓ)	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.01mg/ℓ以下

表－６　高流動埋戻材の長期安定性試験結果

試験の結果、カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、セレンの６項目すべてにおいてで土壌環境基準を満足しているため、100 年後も周辺環境への重金属溶出の可能性はないと判断できる。

また、下水汚泥焼却灰は他の産業廃棄物と違い、排出物が限定されているため、灰中の重金属等の含有物はほぼ一定であり、今回の５検体の試験結果は、焼却炉の形状が変更されない限り、今後排出される焼却灰すべてにあてはまると言っても過言ではない。

８－２　事業化に向けた試験施工および追跡調査

加速試験の他、さらに安全性・安定性を確認するためにフィールド試験を行った。

平成 16 年度から 17 年度にかけて、6 箇所の公共工事現場において、実績を積み重ねるための集中的な試験施工を行い、施工後 20 箇月経過後の周辺土壌の検査を行ったが、**表－７**に示すように重金属の溶出は基準以下であった。なお、**写真－２**は日吉本町防空壕における試験施工状況である。

平成１８年１２月１９日

分析項目＼試料		地点A		地点B		地点C		地点D		土壌の汚染に係る環境基準
		施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後	
カドミウム	(mg/ℓ)	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	＜0.001	0.01mg/ℓ以下
鉛	(mg/ℓ)	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	0.01mg/ℓ以下
六価クロム	(mg/ℓ)	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	＜0.04	0.05mg/ℓ以下
ヒ素	(mg/ℓ)	0.004	0.003	0.006	0.005	0.002	0.001	0.006	0.008	0.01mg/ℓ以下
総水銀	(mg/ℓ)	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	＜0.0005	0.0005mg/ℓ以下
セレン	(mg/ℓ)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.01mg/ℓ以下

表－７　施工後２０箇月経過後の周辺土壌検査結果

打設箇所締切状況

ポンプ圧送打設状況

充填終了状況

写真－２　高流動埋戻材試験施工状況

8－3 事業化に向けての方向性

加速試験および実際の試験施工現場での追跡調査の結果、焼却灰を利用した高流動埋戻材が十分に環境安全性の高い製品であることは実証できたと考えられるため、今後は廃掃法を遵守しながら積極的に製品の事業化を進めていくこととなる。

しかし一般市民からは､加速試験結果と 20 箇月経過後の周辺土壌の検査結果が良好だからと言って、果たして将来にわたって安全な製品だと保証できるのかという不信感を持たれる可能性もある。

そこで、市民生活に影響を与える可能性が全くない場所、例えば水再生センターの敷地内等での工事については早急かつ積極的に高流動埋戻材の利用を行っていくが、そうでない場所での利用にあたっては、広く一般市民からもコンセンサスが得られる方法で行っていかなければならないと考える。そのため、焼却灰を高流動埋戻材の良好な材料として確立させるため、汚泥資源化センターから排出される時点での重金属溶出防止について検討しているため、これについて次に述べる。

9 焼却灰中の重金属溶出防止技術の検討

現在さらなる環境安全性を担保するため、二重防護の観点から、焼却灰そのものの重金属溶出防止技術を調査検討することにした。

焼却灰を汚泥資源化センターから排出する時点で環境庁告示第 46 号の基準を満たすものにすると共に、高流動埋戻材以外の利用を考慮して、「焼却灰中の重金属溶出防止技術の開発」を平成 16 年度から行っている。

これは､焼却灰に薬剤を添加して処理することにより、焼却灰中の重金属が溶出しないようにするものであるが、詳細については、別途報告する。

重金属不溶化処理には確かにコストがかかるが、ここでのコストが最終的に市の利益に結びつくように、事業者への焼却灰提供方法等のスキーム構築を現在行っているところであるが、具体的には次の２つの方向を検討している。

9－1 焼却灰を有価物として販売する方向

重金属溶出防止を施した焼却灰については「明確な根拠のある有価物」とみなされるため、安全性を確保し、かつ廃掃法の適用を受けずに通常の山砂等と同様の建設資材として有効利用者に販売することが可能である。また、この販売収入によって重金属溶出防止にかかったコストを回収することができる。

9－2 事業者が中間処理業許可を取得する方向

「重金属が不溶化された焼却灰」が環境安全性が高い建設資材として認定されることで、事業者が高流動埋戻材を製造する際の中間処理業許可を取得できるようにするものである。この場合は廃掃法に則って手続きを進めるため、焼却灰は有価販売せずに無償で提供することができる。

無償で提供することのメリットとしては、事業者が焼却灰購入代金分を販売価格に上乗せしない分の価格競争力が出てくるため、製品の販売量が増加し、それに比例して焼却灰利用量が増大する。

コストをかけて重金属溶出防止を施した焼却灰を無償で提供することには抵抗があるかもしれないが、重金属溶出防止にかかるコストはセメント原料化にかかるコストよりもかなり低いことを考慮すると、その差額分が市にとって大きな経費削減になる。

10 おわりに

焼却灰を利用した高流動埋戻材は、焼却灰をセメントや濃縮スラッジ水で固化させたものであるため、たとえ長い年月を経ても焼却灰中から有害重金属が周辺の土中に流出することは無いと考えている。

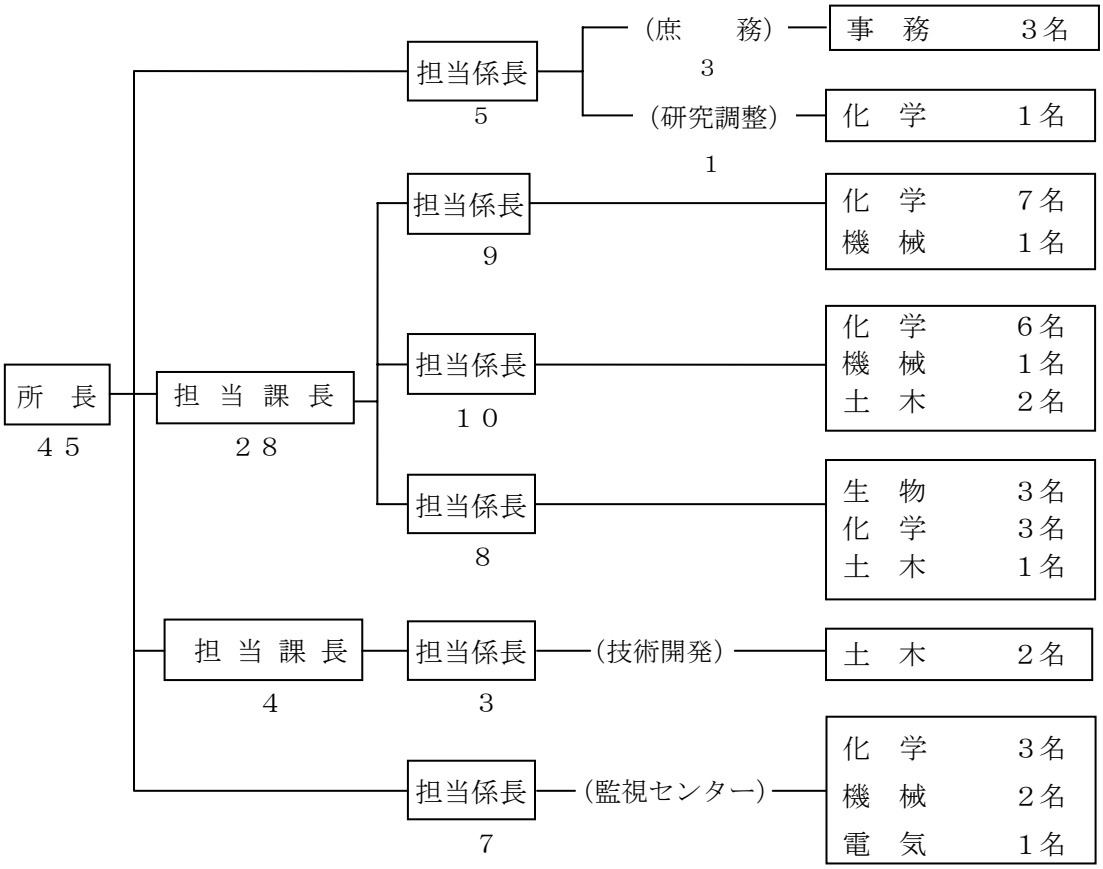
また、焼却灰自体についても重金属溶出防止を図ることで､より環境安全性の高い素材として認められるので、今後は建設資材としての基準にこの焼却灰を適合させることにより、利用範囲を広げていく必要がある。

いずれにしろ、土壌汚染を引き起こすことのないように留意しなければならないと考えている。

文献

横浜市環境創造局、㈱金子コンクリート「焼却灰を利用した高流動埋戻材共同研究報告書」(H.14.9、H16.3)

１．人員及び組織



（平成18年4月現在）

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	ﾀﾞｲｵｷｼﾝ等分析室
走査型電子顕微鏡	日立 S-4700	１式	電子顕微鏡室
同上用Ｘ線分析装置	EDAX	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
水銀分析計	日本インスツルメンス　RA-3	１式	液クロマト室
原子吸光光度計	パーキンエルマー　アナリスト 300	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
電気炉	ADVANTEC　KL-280　外	２台	分解室（３Ｆ）
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
石英ガラスチャンバー	ダイレック	１台	標準ガス調製室
ﾊﾟｰｿﾅﾙ・ﾀﾞｽﾄﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞｼｽﾃﾑ	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-700D	１式	ガスマス室
ガスクロマトグラフ質量分析計	島津　GCMS-QP2010	１式	ガスマス室
ﾏｲｸﾛｳｪﾙﾌﾟﾚｰﾄ測定用吸光光度計	ﾅﾙｼﾞｪﾇﾝｸｲﾝﾀｰﾅｼｮﾅﾙ　ｲﾑﾉﾐﾆ　NJ-2300	１式	実験室（４Ｆ）
データレコーダ	ソニー　PC204,208	２台	音環境研究室

品　　名	規　　格	数　量	配　　置
２ｃｈＦＦＴ分析器	小野測器　CF-360	１式	音環境研究室
広帯域 1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞ実時間分析器	リオン　SA-27	１式	音環境研究室
騒音振動作図装置	日本ﾋｭｰﾚｯﾄﾊﾟｯｶｰﾄﾞ　7550B	１式	音環境研究室
騒音振動データ処理機	ﾋｭｰﾚｯﾄﾊﾟｯｶｰﾄﾞ　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
ｵｰﾄｱﾅﾗｲｻﾞｰ（HPLC 分析装置）	DIONEX DX-120	１式	実験準備室
ガスクロマトグラフ分析装置	HP6890，島津　GC-14A 外	５式	ｶﾞｽｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾌ室
農薬分析装置	アジレント 5973N 外	３式	ｶﾞｽｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾌ室
イオンクロマトグラフ	DIONEX DX-320	１台	都市環境研究室
高速液体クロマトグラフ	HP　1090	１式	都市環境研究室
分光光度計	日本分光　V-550 外	１式	大気試験室
ポータブル窒素酸化物測定器	MEXA-120 NOx	１式	大気試験室
ｻｰﾏﾙﾃﾞｿｰﾌﾟｼｮﾝｶﾞｽｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾌ	パーキンエルマー ATD-400	１式	大気試験室
科学技術計算システム	富士通　GRANPOWER 5000 外	１台	中央データ処理室
薬品管理システム	関東化学　IASO 2000	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 Sun	１式	微量ガス分析室
自動雨水採取装置	小笠原　US-330+300 型	１式	屋上
風向風速計	海上電機　WA-200 外	１式	屋上
β線式浮遊粒子状物質自動測定器	DKK DUB-32	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
６ペンレコーダー	理化電機	１台	標準ガス調製室
光透過式スモークメーター	堀場製作所	１台	器材庫（５Ｆ）
直挿型 NO_x 分析計	堀場　MEXA-120　NO_X	１台	器材庫（５Ｆ）
高精度オゾン計	紀本電子工業製	１台	器材庫（５Ｆ）
コンポジットサンプラー	日科機　S-4081	１台	器材庫（５Ｆ）
風向別制御装置	日本公害防止技術ｾﾝﾀｰ　WDP-100	１台	器材庫（５Ｆ）

３．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26回大会	2005. 5	都市河川の水環境指標としての冷水性珪藻類	○福嶋悟
〃	〃	日本産*Gomphonema*の１種の形態変異	○福島博･小林艶子(藻類研)、福嶋悟、吉武佐紀子(湘南短大)
相模川よこはま地域協議会	2005. 6	河川環境の再生と水生生物	○福嶋悟
宮ヶ瀬ダムフラッシュ放流勉強会	2005. 6	短期間の水位低下による河床の大気暴露が底生生物群集に及ぼす影響	○福嶋悟、皆川朋子(土木研・自然共生研究セ)、日野洋一(FAL)
第29回　環境･公害研究合同発表会　(1県2市)	2005. 6	大岡川の河川構造物が魚類流程分布に与える影響について	○樋口文夫･福嶋悟、宇都誠一郎(志学館中･高等部)
〃	〃	大気有害物質の簡易測定法について	○平野耕一郎･白砂裕一郎、光崎純･佐藤茂弥･中井里史(横浜国大)
〃	〃	横浜市内における生物生息空間に関する一考察	○小野勝義･西高幸作
平成17年度第1回環境創造局職員業務研究発表会（下水道・河川部門）	2005. 6	下水汚泥焼却灰を利用した高流動エコセグメントの適用	○片山尚樹
〃	〃	酸化鉄系環境浄化材を利用した焼却灰中の重金属不溶化処理技術の検討	○西山　寛
平成17年度全環研関東甲信静支部騒音･振動専門部会	2005. 7	環境音に対する視覚障害者と健常者の反応	○鹿島教昭
日本下水道協会主催　第42回下水道研究発表会	2005. 7	下水汚泥焼却灰を利用した高流動エコセグメントの適用	○秋本圭一
〃	〃	酸化鉄系環境浄化材を利用した焼却灰中の重金属不溶化処理技術の検討	○西山　寛
第8回日本水環境学会シンポジウム	2005. 9	藻類と川の風景	○福嶋悟、皆川朋子(土木研･自然共生研究セ)
日本騒音制御工学会秋期研究発表会	2005. 9	小売店舗駐車場における自動車ドア閉扉回数について	○鹿島教昭、劉金翠(ムラタ計測器)
平成17年度全環研騒音振動担当者会議	2005. 9	振動規制法施行状況調査からみた振動苦情	○鹿島教昭、国松直(産総研)、塩田正純(工学院大)、齋藤輝彦(環境省)、油衛純一･平野高司(元環境省)
応用生態工学会　第9回研究発表会	2005. 9-10	都市河川の魚類流程分布と人工構造物との関係について	○樋口文夫、福嶋悟、宇都誠一郎(志学館中･高等部)
〃	〃	河川流量の減少よる大気暴露が付着藻類と底生動物に及ぼす影響	○福嶋悟、皆川朋子(土木研･自然共生研究セ)、日野洋一(FAL)
第128回長屋門寺子屋	2005.10	和泉川に生息する生き物あれこれ	○福嶋悟
日本魚類学会年会	2005.10	都市河川の人工構造物が魚類流程分布に与える影響	○樋口文夫･福嶋悟、宇都誠一郎(志学館中･高等部)
平成17年度全環研関東甲信静支部水質専門部会	2005.10	横浜市水域におけるPCBの起源推定	○二宮勝幸
平成17年度全環研関東甲信静支部水質専門部会東京湾連絡会議	2005.11	日本丸ドック内の水質とカキによる浄化との関連	○水尾寛己
横浜国際ワークショップ	2005.11	横浜港、日本丸ドック内の水質とカキによる浄化との関連	○水尾寛己･下村光一郎･角田定孝、渡辺昭男(日本丸記念財団)
平成17年度第2回環境創造局職員業務研究発表会	2005.12	鶴見川における環境基準達成のための要因に関する研究	○小市佳延･福嶋悟･下村光一郎
〃	〃	横浜市内における生物生息空間における一考察	○小野勝義･西高幸作
〃	〃	横浜市水域における油流出事故について	○二宮勝幸

学 会 大 会 名	年 月	題　　名	発表者・共同研究者
平成17年度第2回環境創造局職員業務研究発表会	2005.12	河川域の生物指標の改訂について	○阿久津卓(環境創造局)、樋口文夫･水尾寛己・福嶋悟
〃	〃	河川生物指標の改訂　－生物分布状況と水質との関係－	○福嶋悟
〃	〃	大岡川における魚類流程分布と河川構造物との関係	○樋口文夫･福嶋悟、宇都誠一郎(志学館中･高等部)
〃	〃	横浜市の夏期の気温分布について	○平澤佐都子･佐俣満夫･井上友博･福田亜佐子
〃	〃	体験型環境学習講座　「ふれあい環境学習塾」事業事例について	○前田裕行
〃	〃	鶴見川における農薬調査	○酒井　学
〃	〃	閉鎖水域、日本丸ドック内における赤潮発生の抑制機構	○水尾寛己･下村光一郎･角田定孝
第40回日本水環境学会	2006. 3	カキ浄化効果などによる赤潮の発生しない系	○水尾寛己･下村光一郎･角田定孝、渡辺昭男(日本丸記念財団)

４．雑誌等投稿

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
環境と測定技術 第32巻	2005. 4	福嶋悟	藻類による河川の水環境評価

［要　旨］　藻類の横浜市における有機汚濁指標（改訂版）について紹介し、藻類の水温指標性と残留塩素に対する指標性についても論議した。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
魚類学雑誌　第52巻	2005. 5	樋口文夫・渡辺勝敏（京都大学）	横浜市を流れる河川におけるアブラハヤの遺伝的多様性と交雑

［要　旨］　市内河川に生息するアブラハヤとタカハヤ（国内移入種）の遺伝的攪乱を、ミトコンドリアDNAを用いて解析した。その結果、アブラハヤの形態的特徴を持ちながらタカハヤのハプロタイプを持つ個体が出現した。また、他の水系のアブラハヤ６集団の遺伝的特徴を把握した。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
河川技術論文集 第11巻	2005. 6	皆川朋子(土木研･自然共生研究セ)、福嶋悟、萱場祐一(土木研・自然共生研究セ)	河川流量管理のための河床付着物の視覚的評価に関する研究

［要　旨］　河床付着物に対する視覚的評価について、人工水路などに生育する藻類の視覚的状況についてモニター調査をした。その結果、乾燥重量で約10g/m^2、強熱減量で５g/m^2、クロロフィルａで20mg/m^{2}以下で視覚的に川底がきれいと評価される傾向が認められた。また、川底の色も評価に強く影響を及ぼすことが示された。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
平成16年度自然共生研究センター研究報告書	2005.11	福嶋悟	大気暴露が珪藻類の優占する人工水路の付着藻類群集に及ぼす影響

［要　旨］　珪藻類が優占する藻類群集では、晴天時における短期間大気暴露の現存量コントロール効果は、大規模なフラッシュ放流の効果より大きいことが示された。曇天時の大気暴露は晴天時のそれに比べて小さいことが明らかにされた。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
東京都環境科学研究所年報	2005.12	安藤晴夫(東京都環科研)、柏木宣久(統計数理研)、二宮勝幸、小倉久子(千葉県環研セ)、川井利雄(東京都環科研)	1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について―公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析―

［要　旨］　1980年以降の東京湾の水質汚濁状況を解析した。湾東側では湾奥方向に改善傾向、湾西岸部では湾口方向に悪化する傾向が認められた。COD は1990年代前半からは改善が進まない状況が続いており、Ｔ－ＮとＴ－Ｐは、改善傾向が認められた。DOについては、横ばいか、やや悪化する傾向を示している。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
沿岸域学会誌　第18巻	2006. 3	古川恵太･中山恵介(国土技術政策総合研)、水尾寛己	2003年東京湾に発生した繊毛虫*Mesodinium rubrum*による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例

［要　旨］　2003年5月末に横浜を中心に発生した水生生物の大量死の原因について、内湾域におけるイベントの連鎖的な発生機構に着目したシナリオ検証的解析をおこなった。その結果、*Mesodinium rubrum*による赤潮が移流していく過程で沈降分解し、水塊の貧酸素化を引き起こし、生物の大量死に連鎖した可能性が明らかになった。

雑　誌　名　等	発行年月	執　　筆　　者	題　　名
平成17年度環境省委託業務結果報告書　振動評価手法のあり方に関する検討調査(社)日本騒音制御工学会	2006. 3	鹿島教昭、国松直(産総研)、塩田正純(飛島建設技研)、前田節雄(産業医学総研)、松本泰尚(埼玉大)、末岡伸一(東京都環科研)、安藤啓(鹿島建設技研)、平尾善裕(小林理研)、横島潤紀(神奈川県環科セ)、吉川教治(リオン)	第5章　振動の発生実態調査(分担執筆)

［要　旨］　木造住宅の場合、家屋増幅は一般的に水平方向が大きく、また敷地の鉛直・水平振動から家屋内鉛直・水平振動を予測する事は困難であり、実際に苦情者が曝露される家屋内振動の実態把握が必要である。家屋内で曝露される振動とそれが生起する被害との関係を社会調査で正しく把握し、「振動の大きさ－居住者反応」の関係から、物理的、精神的、心理的、身体的等の反応に関して、あるべき振動レベルを確定すべきである。

5. 記者発表一覧

■ 平成17年度　　環境科学研究所

発表日	発表内容
平成18年 3月31日	公共事業による横浜市内の地盤情報データを公開します
平成18年 2月23日	第1回「こどもエコフォーラム」～つなごう！広げよう！環境を守る力～を開催
平成18年 1月19日	「生きもので調べよう よこはまの川」を発行！ PDF 616KB
平成17年10月11日	平成17年度、夏のヒートアイランドの観測結果
平成17年10月 5日	市民協働による動植物調査の仕組みづくりをスタート！
平成17年 8月 9日	鶴見川源流域で豊かな生物多様性が明らかに！ PDF 362KB
平成17年 8月 4日	平成16年度の大気汚染状況について
平成17年 8月 4日	平成16年度の水質汚濁・地盤沈下の状況について
平成17年 8月 4日	平成16年度の交通騒音等の環境状況について
平成17年 6月30日	「やってみよう！壁面緑化」壁面緑化マニュアルを発行
平成17年 6月27日	下水道の汚泥は資源の宝庫！～汚泥バイオマスガスの民間協働研究～
平成17年 5月31日	大岡川の魚類調査で過去最高の30種類の魚種を確認しました！ PDF 1,888KB
平成17年 5月12日	横浜市環境中のダイオキシン類調査結果について

６．環境科学研究所発行資料目録

資料番号	件　　名	発行年月	体　裁　等
	明日の都市を照らす	1977. 3	A4. 16頁 (パンフレット)
No. 1	窒素酸化物特殊発生源調査報告書（環境庁大気保全局委託調査）	1977. 3	B5. 49頁
2	横浜市公害研究所報創刊号	1977. 11	B5. 56頁
3	公募論文・クルマ社会をどうするか ―明日の都市環境を考える―	1977. 11	B5. 136頁
4	第1回公害セミナー会議録・クルマ社会をどうするか ―明日の都市環境を考える―	1978. 3	B5. 96頁
5	昭和52年度環境庁委託業務結果報告書 非特定重大障害物質発生源等対策調査（アスベスト発生施設）	1978. 3	B5. 36頁
6	横浜市公害研究所報第2号	1978. 8	B5. 236頁
7	中間報告横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1978. 8	B5. 195頁
8	横浜市公害研究所報第3号	1978. 12	B5. 156頁
9	第2回公害セミナー会議録・合成洗剤	1979. 3	B5. 89頁
10	自動車公害に関する意識調査 ―国道一号線三ツ沢・松本地区，1978年3月実施 単純集計結果（第1報）―	1979. 3	B5. 112頁
11	大気中の炭化水素濃度調査及び各種発生源施設からの排出実態調査結果	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
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

資料番号	件　　名	発行年月	体　裁　等
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的研究	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
63	横浜市南部丘陵　舞岡川源流域の水分調査	1984. 12	B5. 120 頁
64	排水処理施設維持管理マニュアル－イオン交換処理編－	1985. 3	B5. 134 頁
65	第８回公害セミナー会議録 いま　横浜の海は　－水質，生物，水ぎわ……－	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 －総合報告－	1985. 3	B5. 173 頁
67	横浜市公害研究所報第 10 号	1985. 12	B5. 190 頁
68	平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告	1986. 3	B5. 149 頁
69	魚類指標による工場排水規制手法に関する研究	1986. 2	B5. 192 頁
70	第９回公害セミナー会議録 静かなまちづくりをめざして－道路緑化と騒音－	1986. 2	B5. 179 頁
71	ホタルの生息環境づくり～技術マニュアル試案～	1986. 2	B5. 121 頁
72	第 10 回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	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－汚泥処理編－	1987. 3	B5. 132 頁
76	10 年のあゆみ・横浜市公害研究所設立 10 周年記念誌	1987. 3	B5. 203 頁
77	第 10 回公害セミナー会議録 調べてみよう，身近な環境－水，みどり，まち…－	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－水・みどり・まち…－	1987. 11	B5. 89 頁

資料番号	件　　名	発行年月	体　裁　等
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁
82	第11回公害セミナー会議録 調べてみよう，身近な環境－水，みどり，まち…－	1988. 3	B5. 139頁
83	横浜市軟弱地盤層調査報告書（軟弱地盤構造と地盤沈下特性）	1988. 3	B5. 103頁
84	横浜市軟弱地盤層調査報告書（縦断面地質柱状図，水準点変動図集）	1988. 3	B5. 162頁
85	植樹帯による歩道環境改善効果に関する調査研究 －横浜市磯子区産業道路沿道植樹帯設置事業のケーススタディー	1988. 3	B5. 148頁
86	第12回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1988. 11	B5. 133頁
87	横浜市公害研究所報第13号	1989. 3	B5. 210頁
88	水域生物指標に関する研究報告	1989. 3	B5. 348頁
89	浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書	1989. 3	B5. 195頁
90	第12回公害セミナー会議録 調べてみよう，身近な環境－水，みどり，まち…－	1989. 3	B5. 39頁
91	魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書	1989. 3	B5. 125頁
92	第13回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1989. 12	B5. 137頁
93	横浜市公害研究所報第14号	1990. 3	B5. 212頁
94	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第3報	1990. 3	B5. 166頁
95	第14回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1990. 11	B5. 102頁
96	横浜市公害研究所報第15号	1991. 3	B5. 226頁
97	自然観察ワークシート～横浜の都市自然を調べる～	1991. 3	B5. 115頁
98	トンボ生息環境づくり調査報告書	1991. 3	B5. 210頁
99	第15回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1991. 11	B5. 174頁
100	横浜市環境科学研究所報第16号	1992. 3	B5. 164頁
101	環境科学研究所業務案内リーフレット	1992. 2	B5. 4頁
102	横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書	1992. 3	B5. 133頁
103	第16回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1992. 12	B5. 108頁
104	横浜市環境科学研究所報第17号	1993. 3	B5. 232頁
105	横浜市の陸域生物による環境モニタリング調査報告書	1993. 3	B5. 77頁
106	鶴見川・帷子川水系生態調査報告書	1993. 3	B5. 268頁
107	酸性雨に関する調査研究報告書	1993. 3	B5. 218頁
108	第17回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1993. 12	A4. 105頁
109	横浜市環境科学研究所報第18号	1994. 3	A4. 164頁
110	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究	1994. 3	A4. 118頁
111	キショウブによる水質浄化法－実験報告書－	1994. 3	A4. 121頁
112	第18回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1994. 12	A4. 71頁
113	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究　パートⅡ	1994. 12	A4. 175頁
114	横浜市環境科学研究所報第19号	1995. 3	A4. 153頁
115	横浜市民の音環境に関する意識調査	1995. 3	A4. 136頁
116	横浜港，生物と環境の変遷－底質柱状試料中の生物化石調査－	1995. 3	A4. 87頁
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

資料番号	件　　名	発行年月	体　裁　等
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, NO2及び SO2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, NO2及び SO2濃度の測定方法（YERI METHOD - 1997-1）	1997. 7	A4.
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	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報告書	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. 110頁
143	新低騒音化技術の適用研究	2001. 3	A4. 66頁
144	第25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・・・－	2002. 1	A4. 135頁
145	横浜市環境科学研究所報第26号	2002. 3	A4. 192頁
146	横浜型エコシティ研究	2002. 3	A4. 118頁
147	第26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・・・－	2003. 1	A4. 141頁
148	横浜市環境科学研究所報第27号	2003. 3	A4. 90頁
149	環境ホルモンに関する環境調査報告書	2003. 3	A4. 50頁
	横浜市地盤環境調査報告書（ボーリング柱状図集、地質断面図・	2003. 3	A4. 550頁
	土質試験データ・地下水位観測データ集、ボーリング調査位置		A4. 243頁
	及び軟弱地盤分布図、地形地質図）		A0. 2枚
150	第27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・・・－	2004. 2	A4. 114頁
151	横浜市環境科学研究所報第28号	2004. 3	A4. 87頁
152	第28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・・・－	2005. 2	A4. 141頁
153	横浜市環境科学研究所報第29号	2005. 3	A4. 153頁
154	横浜市環境科学研究所報第30号	2006. 3	A4. 86頁
155	第1回こどもエコフォーラム公募作品集 －つなごう!広げよう!環境を守る力－	2006. 2	A4. 83頁

７．施設見学者等一覧

日付	団体名等	内　　容	人数
H17.4.19	福島県福島市立第四中学校	酸性雨問題（しくみ、対策、酸性雨降雨地域、被害等）	21
H17.4.19	福島県福島市立信夫中学校	水質汚濁による河川環境の生態変化、横浜の川の汚れ等	6
H17.4.25	環境創造局異動職員	当研究所業務について（概要、ダイオキシン地盤環境、水生生物、酸性雨、ヒートアイランド）	38
H17.5.12	広島県立府中高等学校	地球温暖化及びヒートアイランド現象の状況と対策について	7
H17.5.24	環境活動推進部事業概要に係る職員	当研究所における研究業務について（概要、技術開発、ヒートアイランド、水と緑のまちづくり、環境ホルモン等）	7
H17.5.26	横浜市医師会看護専門学校①	当研究所の研究業務を中心として見た環境の現状と対策等について（講義及び見学）	40
H17.6.2	横浜市医師会看護専門学校②	当研究所の研究業務を中心として見た環境の現状と対策等について（講義及び見学）	40
H17.6.2	一般市民	主要研究説明と施設等見学（ヒートアイランド、燃料電池自動車、水生生物）	1
H17.6.3	一般市民	主要研究説明と施設等見学（ヒートアイランド、燃料電池自動車、水生生物）	4
H17.6.14	環境創造局関係職員	主要事業説明と施設等見学（概要、ダイオキシン、ヒートアイランド、水生生物）	80
H17.6.22	市立高校保健体育研究会	学校教育における保健、健康に関する所の研究テーマ（ヒートアイランド、ダイオキシン、環境ホルモン等）	30
H17.6.30	海老名市立今泉中学校	ダイオキシン類について（汚染状況、分析方法、対策等）	5
H17.7.25	市立小学校総合学習研究会	学校教育総合学習に関する所の研究テーマ（概要、ヒートアイランド、環境ホルモン、水生生物）	30
H17.7.28	広島県立府中高等学校	地球温暖化及びヒートアイランド現象の状況と対策について（その他、オゾン層破壊問題など）	7
H17.8.17	戸塚区小学校総合学習研究会	学校教育における総合学習に関する所の研究テーマ（ヒートアイランド、ダイオキシン、水生生物）	22
H17.8.18	市立小学校理科研究会	学校教育における理科、環境問題等に関する所の研究テーマ（概要、ﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ・地球温暖化、環境ホルモン、水性生物、大気汚染、横浜市の環境情報）	35
H17.8.19	逗子開成中学	地震災害と防災について、泉区緑園付近の地盤状況について	3
H17.8.23	一般市民	夏休み自由研究「ヒートアイランド、緑化対策」について	3
H17.9.28	一般市民（川の保全団体）	河川の自浄作用（いたち川の事例）、水質検査・分析室見学	7
H17.10.21	小田原市立千代田中学校	地球温暖化、ヒートアイランド現象など	6
H17.11.17	秦野市立東中学校	酸性雨について（生成メカニズム、影響、自分たちの実験結果への講評、対策等）	4
H17.12.5	横浜市立滝頭小学校	ヒートアイランド現象、騒音、掘り割り川について	29
H18.1.26	横浜市立岡村中学校	職業体験学習の一環（所の概要、水生生物、騒音、ヒートアイランド）	10
H18.2.28	横浜市立岡村中学校	生徒による職業インタビュー（仕事内容、流れ、資格・免許、適性、生きがい等）	4
H18.3.14	横浜市立滝頭小学校	所の研究業務内容、生物試験室での内容見学	8
合計	25		447

８．環境教室等講師派遣一覧

日付	団体名等	内　　容	人数
H17.4.7	宮川関ヶ谷市民の森愛護会	ホタル再生のための環境教室	15
H17.6.4	茅ヶ崎公園生態園　水辺たんけん隊	プランクトン観察会	30
H17.6.16	横浜市立本町小学校４年	酸性雨の話	70
H17.6.24	相模川よこはま地域協議会	河川環境の再生と水生生物	15
H17.6.30	出前講座（岩崎小６年）	川の生きもの	33
H17.7.1	横浜市立小田小学校５年	酸性雨の話	37
H17.7.8	横浜市立獅子ヶ谷小６年	川の生きもの	32
H17.7.12	出前講座（岩崎小５年）	川の生きもの	80
H17.7.22	出前講座（中川小６年）	騒音てなんだろう	30
H17.9.7	出前講座（上寺尾小４年）	川の生きもの	82
H17.10.17	出前講座（保土ケ谷小５年）	大気のよごれはどこから	42
H17.10.18	出前講座（市が尾小３年）	暑くなる街、横浜の今	123
H17.10.20	出前講座（西寺尾第二小５年）	大気のよごれはどこから	120
H17.10.20	出前講座（初音ヶ丘小３年）	暑くなる街、横浜の今	120
H17.10.27	出前講座（岩崎小３年）	暑くなる街、横浜の今	72
H17.10.28	横浜市立瀬ヶ崎小学校６年	金沢区周辺の土質柱状図とボーリング資料	30
H17.10.29	長屋門公園　寺子屋（出前教室）	和泉川の生物あれこれ	12
H17.10.31	横浜市立本郷小学校	川の生きものやまわりの生きもの	42
H17.11.1	出前講座（西寺尾第二小５年）	大気のよごれはどこから	115
H17.12.13	出前講座（小坪小５年）	大気のよごれはどこから	60
H18.1.20	出前講座（羽沢小５年）	大気のよごれはどこから	84
H18.1.24	横浜市立岸谷小学校	大気汚染のはなし、自動車の排気ガス測定実験等	66
合計	22		1,310

９．ふれあい環境学習塾（小中学生塾、社会人塾）

日付	塾テーマ（会場）	内　　容	人数
小中学生塾			
H17.7.29	小中学生塾① 地球温暖化とエネルギー （会場：環境科学研究所）	地球温暖化、省エネルギー、新エネルギー、ソーラーカー模型組み立て	21
H17.8.2	小中学生塾② 川の野外観察・調査 （観察場所：いたち川）	魚類や底生生物の採集方法、評価のしかた、水質検査のしかた	19
H17.8.19	小中学生塾③ 汚れた水をきれいにするために （会場：中部水再生センター）	下水処理のしくみ紹介ビデオ、水再生センターの施設や設備など概要のお話、いろいろな処理施設とそこでの「水」のようす、活性汚泥の中の微生物の観察、処理した水の水質検査体験	9
H17.10.11	小中学生塾④ 酸性雨　～ブロンズ像の溶ける現象の観察～ （会場：関内駅前第１ビル、大通り公園）	酸性雨とは～そのしくみと被害～（プレゼン）、いろいろな水溶液のｐＨを測ろう、酸性雨の影響（反応）を観察しよう、ブロンズ像の観察（大通り公園）	20
H17.12.26	小中学生塾⑤ 大気のよごれ （会場：関内中央ビル、駐車場）	＜紙芝居＞かけがえのない空気の話、空気のよごれはどこから、環境基準、常時監視測定局、汚染物濃度変化、「やってみよう　自動車排気ガスの比較測定実験」	15
社会人塾			
H17.6.28	社会人塾① ガイダンス及び地球温暖化問題 （会場：環境科学研究所）	地球温暖化、ヒートアイランド、省エネルギー、新エネルギー、境啓発物の展示説明（エコタップ、ゼネコンキット、ソーラーキット等）	12
H17.7.22	社会人塾② ヒートアイランド （会場：環境科学研究所他）	ヒートアイランド概要、各対策効果を検証（壁面緑化、保水レンガ、遮熱性舗装、保水性舗装、遮熱性塗料）、体感温度体験、赤外線カメラによる表面温度計測、緑地と他の場所の温度差比較等	14
H17.8.2	社会人塾③ 川の野外観察・調査 （観察場所：いたち川）	魚類や底生生物の採集方法・評価方法、水質検査（パックテスト法を用いたＣＯＤ測定、気温、水温、透視度、色合い、臭気、ｐＨ測定、各測定値からの評価方法	4
H17.8.23	社会人塾④ 下水道の役割 （会場：神奈川水再生センター）	下水道の役割ビデオ、窒素・りんの高度処理の話、施設見学（各処理工程施設、中央操作室、高度処理施設）各処理工程での水質をビーカー水で見る、活性汚泥を顕微鏡で観察	10
H17.8.29	社会人塾⑤ 酸性雨　～ブロンズ像の溶ける現象の観察等～ （会場：関内駅前第１ビル、大通り公園）	概要（酸性雨とは）、各種水溶液のｐＨ測定、酸性雨の影響（器物影響、同経年変化、土壌影響など）、ブロンズ像の観察（大通り公園にて観察）	9
H17.9.16	社会人塾⑥ 化学物質 （会場：環境科学研究所）	ガイダンス（化学物質と公害・環境問題、ＰＲＴＲ(化学物質排出移動量届出制度）とリスクコミニュケーションについて）、設備見学（ダイオキシン類分析、環境ホルモン分析）、微量分析機器原理の実習・体験（混合色素を用いたクロマト展開、キャビラリーカラムの形状と強度の体験、質量分析の低、高分解能の違いをモニターで見る等）	9
H17.10.12	社会人塾⑦ 野外観察・調査 （会場：横浜自然観察の森）	横浜市のみどりの保全の取り組みについて、横浜自然観察の森について、ウグイスの道を歩きながら観察（ウグイスの道自然観察、炭焼き窯見学等）	6
H17.10.19	社会人塾⑧ 大気汚染 （会場：関内駅前第１ビル）	横浜市の大気汚染対策の歴史、環境監視センター見学と環境データーの変遷について、自動車排気ガスの測定比較（ジーゼル乗用車、普通車、低公害対策車の排ガス中二酸化窒素濃度比較）、燃料電池自動車の説明と体験乗車	7
H17.11.11	社会人塾⑨ 自然の保護 （会場：関内駅前第１ビル）	環境共生都市とは、ミティゲーション概論、ミティゲーション事例実習（仮想のうつくし町を舞台に再生計画ミティゲーションを行う。グループ討議等）	8
H17.11.25	社会人塾⑩ 地球環境問題の現状と横浜市の対策 （会場：関内駅前第１ビル）	横浜市の環境政策概論、温室効果ガスの温度上昇実験（温室効果ガスの種類と係数について、各物質別寄与率について、三種類のガス①亜酸化窒素②二酸化炭素③空気をそれぞれ三角フラスコへ封入し、同一条件下でビームランプの光を照射し、気体の温度上昇を測定）	9
合計	15		172

◇　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３１号」をとりまとめることができました。内容は、「業務報告編」、「調査研究編」及び「資料編」です。

研究所が新しい体制となって初めての所報として、新たに下水道関係の研究報告を掲載いたしました。

今後とも、新たな視点から編集委員会等で議論をし、一層の充実を図っていきたいと考えています。

所報第３１号編集委員会

山内　泉
伊熊 信男
細野 夏木
鹿島 教昭
二宮 勝幸
加藤 善徳
小市 佳延
西高 幸作
若林 信夫
安達 理文
石川 孝之
西山　寛