

環境研資料

No. 12

横浜市環境科学研究所報

第 34 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.34

2010年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE RESEARCH INSTITUTE

まえがき

今日では、「環境」という言葉を目にしない耳にしない日は無いほど市民生活において環境に対する関心が高まっています。

横浜市の環境問題は、工場・事業場に由来する産業型公害をはじめ、自動車排ガスや生活騒音などの都市・生活型公害、東京湾の富栄養化、ヒートアイランド現象、さらには地球温暖化・酸性雨などの地球規模の環境問題まで、非常に多岐に亘っています。また、2010年は「国際生物多様性年」にあたり生態系、或いは生物多様性に配慮した施策をこれまで以上に進めていくことが求められてきます。

これらの問題は一朝一夕に解決できることではありませんが、市民・事業者・行政がそれぞれの分野で活動をし、また、協働して取り組んでいけるよう施策を進めていくことが必要です。

環境科学研究所では、環境の現状把握を行い、また、対策技術を開発することを目的に、調査研究・試験検査・環境監視・技術開発を進めており、また、本市の環境施策を推進するための裏付けとなる科学的根拠を提供する役割も担っています。

本所報は、これらの調査研究・技術開発などの成果を取りまとめたものであり、この所報が、皆さまに活用され、環境に対する取り組みがさらに進展することができれば幸いに思います。

平成 22 年 3 月

横浜市環境科学研究所長

橘 一 秀

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

・ 横浜東部地域におけるGISを活用した明治前期の植生図化と植生の変遷	9
・ 横浜港の底層環境調査 ―みなとみらい～瑞穂地区―	16
・ 河川感潮域の水質・底質調査結果 ―帷子川―	24
・ 梅田川の改修後における魚類の再生と生活場選択に関する研究	28
・ 単回帰分析による季節時系列のトレンド推定の問題点	43
・ 東京湾西部海域における表層水温のトレンド	46
・ 鶴見川中流域における水質の長期変動の特徴(第2報)	52
・ 鶴見川中流域における気温と水温の関係	57
・ 市内河川・海域におけるLC/MS測定対象農薬の環境調査	61
・ 鶴見川における農薬調査について(平成20年度)	65
・ 横浜のゲンジボタル、ヘイケボタルの生息環境調査	70

III 資料編

人員及び組織	76
主要機器一覧表	77
学会等研究発表	78
雑誌等投稿	79
記者発表一覧	81
環境科学研究所発行資料目録	82
施設見学者等一覧	86
環境教室等講師派遣一覧	87
編集後記	88

I 業 務 報 告 編

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月に名称を横浜市環境科学研究所としました。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、今までの、大気や水質部門などの現象対応型組織から、ヒートアイランド対策研究や化学物質対策研究などの機能対応型組織とするため、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、環境監視センター及び下水道技術開発担当を統合し機能を拡充するとともに、調査研究テーマに基づく組織編成としました。

2 試験検査業務

平成20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625検体、また事故・苦情に伴う検査を79検体実施したほか、一般環境大気中アスベストのモニタリング検査、建築物等のアスベスト含有量実態調査を155検体、合計859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20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
- ◇クールスポット解析手法の開発

【地下水・水循環】

- ◇地下水・水循環に関する研究

【生物多様性】

- ◇生物生息状況モニタリング調査 一源流域水環境基礎調査一
- ◇横浜港の水質改善に関する研究
- ◇多自然型水・緑整備事業の環境への効果に関する研究
- ◇まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究

【大気環境】

- ◇酸性降下物の影響に関する研究

【有害化学物質】

- ◇環境ホルモン等に関する研究
- ◇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

【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4回 こどもエコフォーラム

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場を提供する「第4回こどもエコフォーラム」を開催しました。このフォーラムは、平成17年度に第1回を開催し、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を育むとともに、主体的に環境活動を実践できるようにしていくことを目的として、教育委員会小中学校教育課と共催で実施しています。

内容は、児童生徒から出された環境に関する小中学生による作品の発表(調査結果、活動報告、提言)・展示を中心とし、環境活動団体や当研究所等のワークショップも実施しました。今回は、こどもエコフォーラムのテーマ曲に、前回のフォーラムに参加した児童生徒から寄せられた詩をもとに作成した歌詞をつけたエコフォーラムテーマソングを参加者全員で合唱しました。

期日/平成21年2月28日(土)

会場/青葉公会堂

内容/作品発表(13編)、音楽演奏

ワークショップ(9団体)

講評:渡部允氏(ジャーナリスト)

参加者/704人

4-2 「いたち川 生きもの観察会」

身近な川の環境について、実際に川に入り、川の生きものの採集や川のよごれ具合などについて観察・実習し、川の環境を考えるきっかけとするために実施しています。調査や観察方法を体験しながら楽しく学んでいただきました。

期日/平成20年8月19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/47人

(資料編 参照)

4-3 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 参照)

5 監視センター業務

監視センターでは、大気汚染及び水質汚濁等の環境測定を行っています。

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、一般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などの緊急時措置を実施しています。

5-2 その他の環境測定（常時監視システムを補完）

二酸化窒素の環境濃度、有害大気汚染物質濃度、河川・海域・地下水の水質汚濁、道路交通騒音及び鉄道騒音・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。

研究分野	ヒートアイランドに関する研究
研究名称	地球温暖化・ヒートアイランド
[目的]	市内の気温観測結果を基にして、夏季の気温分布図を作成しヒートアイランド現象の把握を行うと共に、モデル事業として地球温暖化対策事業本部が設置した金沢区総合庁舎の壁面緑化、遮熱性塗装、ドライミスト等の効果観測の研究を行う。さらに樹木等によるクールスポット効果を評価するための簡易ツールの開発研究を行う。
[方法]	<p>① 気温観測調査 市内 69 か所の小学校の百葉箱を活用して気温観測を行い、横浜市内の夏季（7、8月）の気温分布を作成。</p> <p>② 金沢区総合庁舎でのモデル事業の観測 金沢区総合庁舎に設置された南面壁面緑化、緑化ハウス（2か所）、屋上に塗装された遮熱性塗料（3種類）について赤外線カメラを用いてそれぞれの温度低減効果を観測。</p> <p>③ ドライミストの温度低減効果の観測 ズーラシア横浜動物園（2か所）、中区日本大通、伊勢佐木町商店街（2か所）に設置されたミスト冷却装置による温度低減効果を赤外線カメラを用いて観測。</p> <p>④ 樹木等のクールスポット効果評価のための簡易ツールの開発 横浜市内で主に植栽されている樹木等によるクールスポット効果を評価するための簡易ツールを東京工業大学との共同研究により開発。</p>
[結果]	<p>2008 年夏季の気温分布による夏季の平均気温の最高は 27.4℃であり、2007 年より若干暑い夏となったが、熱帯夜日数（最大 33 日）、真夏日日数（最大 48 日）は 2007 年よりいずれも多かった。</p> <p>金沢区総合庁舎での壁面緑化、緑化ハウスの温度低減効果は表面温度としてコンクリート面と比較すると最大約 9℃あった。遮熱性塗装では最大 4～8℃程度の温度低減効果が得られた。</p> <p>ミスト冷却装置は効果に与える要因としてミストの発生方法や風の影響が大きいことがわかった。</p> <p>東京工業大学で開発したシミュレーターを基に横浜市内で植栽されている樹木類をデータベース化したツールを付加した簡易ツールを開発した。</p>

研究分野	地下水・水循環
研究名称	地盤情報の集約と提供 持続可能な地下水利用に関する研究等
[目的]	地盤地下水環境に関する情報を環境保全や各種公共事業に役立てるため、横浜地域の地質や地盤構造、地下水に関する調査研究を行う。
[方法]	<ul style="list-style-type: none"> ・横浜市の各種事業で行われた地盤調査結果の集約 ・地盤沈下、地下水位のモニタリング ・都市土壌の乾燥化を評価する手法の開発 ・横浜の基本植生図の G I S 化
[結果]	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 20 年度に実施された土質調査報告書を集約（委託件数：32 件、柱状図本数：90 本）し、整理した。土質調査データは庁内等の依頼に基づき情報提供（件数：18 件、柱状図本数：8720 本）を行った。市ホームページ上に掲載された地盤情報（柱状図）606 箇所を追加更新した。 ・持続可能な地下水利用の基礎調査として和泉川水系の水循環調査を行い、調査結果をまとめた。 ・地盤沈下観測所（5 箇所）、地下水位観測井（20 箇所）のデータ回収および保守点検を行った。 ・横浜国立大学との共同研究で、「都市土壌の乾燥化を評価する手法の開発」結果をまとめ、神奈川区・西区・中区の「横浜の基本植生図（明治）の G I S 化」を行った。

研究分野	生物多様性
研究名称	源流域水環境基礎調査の解析評価 —2004～2007年度調査中間まとめ—
<p>[目的] 源流域水環境基礎調査は2004年度から開始し、市内主要河川の源流域である緑の七大拠点を対象に、水環境、生物生息状況の調査を行っている。本研究は、2004～2007年度にかけて行った調査結果を踏まえ、水環境および生物多様性からみた源流域の特徴、今後の源流域の保全・再生に向けた検討を行い、今後の生物多様性等の本市施策に反映すること、環境学習への情報提供、今後の継続的モニタリングの基礎資料とすることを目的に行った。</p> <p>[方法] ①2004～2007年度に行った調査結果から得られた水量、水質等のデータを解析し、源流域の水源涵養機能等を整理。 ②2004～2007年度に行った調査結果から得られた動植物の出現種を流域別に表として整理。 ③4年間の結果と既往文献から、源流域の生物相の特徴を解析する。解析は、源流域の生態系の多様性と切り離せない種の多様性という観点から行う。 ④以上をふまえ、源流域の環境を未来に引き継いでいくための保全・再生方向と流域別配慮事項について整理。 ⑤継続的モニタリングの重要性と方法の提案。</p> <p>[結果]（「横浜の源流域環境」として製本化、HPup） ①水環境の解析では、河川の水源涵養機能（最小流量）は集水面積だけでなく、流域の樹林被率に依存する。 ②植物852種、動物625種が確認され、その内重要（希少）種は128種であった。 ③源流域の生物多様性は、水域、陸域がセットとして多様で連続的な生息環境が存在するゆえに、時間をかけて形成されてきたことが明らかになった。 ④一方で、特定外来生物を含む外来生物の存在も明らかになり、今後の推移を注視する必要がある。 ⑤まとめとして、源流域の水・緑環境の保全と再生に向けて、基本目標、流域毎の考え方、配慮事項を整理した。また、継続的モニタリングの重要性と多様な主体による取り組みについても提案した。 ⑥最後に、資料編として源流域水環境基礎調査の調査手法、水環境の各種データ、生物出現リストを添付した。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	ホタル生息環境調査 —2007～2008年度調査まとめ—
<p>[目的] ホタルは、「横浜市水と緑の基本計画」の「水循環の再生」施策で、再生のシンボルとして鮎とともに挙げられている。このよう位置づけられているホタルの市内生息状況を、地形・植生等周辺の環境、水路の形状、水環境、ホタル以外の生物生息状況から明らかにし、今後のホタル保全再生に向けた基礎資料とする。</p> <p>[方法] ①聞き取り等ホタルが生息すると思われる情報から、ホタル生息域調査地域を決める。 ②ホタル成虫調査をはじめとする、地形景観(水路形状)、植生、水生動物調査を1回～数回季節を替え実施する。 採用した調査法は水路を中心としルートセンサス法や採取法等により行った。 ③水路の流速・水質調査を年1回実施する。 ④ホタル生息地域で、地域住民との協働調査を行い、併せてホタルへの意識をアンケート調査する(2008年度)。 ⑤以上の結果と過去の文献を総合して、ホタルの保全再生の方向および地域別配慮事項を整理する。</p> <p>[結果] 2007～2009年度に行ったホタル生息域調査から以下のことが明らかになった。 ①21地域でゲンジボタルが確認され、9地域でヘイケボタルが確認された。ゲンジボタルは、流水水路、ヘイケボタルは止水域(池、湿地)で確認された。 ②水路の水環境の各平均値は、水深10cm、流速13cm/s、水温℃、BOD<2mg/Lであった。湧水が流れる源流の水路なので水温、BODなどは安定していた。 ③ホタル以外で確認された水生植物は、ホタル幼虫の餌であるカワニナ、カゲロウ目、オニヤンマ幼虫等が確認された。 ④水田等と里山がセットになっている伝統的な里山環境以外にも、水路敷内に確保された落差のある空間を持つ都市河川でも低水敷の存在等一定の条件がそろえばホタルが生息することが今回確認された。 ⑤ホタル協働調査を行った市民意識調査では、「将来の世代にホタルを残してあげたい」との思いを持っており、また、ホタルを残すためには何が必要かとの質問には「身近な里山環境を残す」との回答が上位であった。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	沿岸域の水質改善に関する研究
<p>[目的] 富栄養化した横浜市沿岸・感潮域の水質・底質、赤潮状況などの調査を行い、水環境保全・再生に必要な問題点を明らかにし、行政施策に有効な情報を提供することを目的とする。</p> <p>[方法] 沿岸域における赤潮調査は、1～2回/月の頻度で行った。 横浜港内でみなとみらい～瑞穂地区の水質・底質・底生生物の調査を2008年6月、9月に行ない、底層環境について検討した。 帷子川の感潮域について水質・底質の調査を2008年6月、10月に行った。</p> <p>[結果] 沿岸域の赤潮調査では、春～夏に赤潮が発生し、経年的に底層で貧酸素状態にあることが確認された。 横浜港では帷子川河口を除いて表層水は赤潮、底層水は貧酸素状態の傾向があった。横浜港の底質は還元状態にあり、泥分や有機物量が多く、特に帷子川の沖で硫化物が多く蓄積していることがわかった。 帷子川感潮域では、本川の底層水で貧酸素の傾向があったが、支川ではみられなかった。底質は還元状態にあり、有機物量や硫化物はやや多い傾向にあった。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	生物モニタリング・河川生物相調査
<p>[目的] 河川の生物生息状況を明らかにし、生物指標による水質状況を明らかにすること、河川環境への行政施策効果の事業効果の適切な情報提供を市民に提供するための基礎資料とすることを目的とした。</p> <p>[方法] 河川生物相調査は、1973年より原則として3年ごとに実施しているモニタリング調査で、横浜市の河川生物の生息状況を長期間にわたり把握してきた情報は他にはない。第12回目の河川生物相調査として、鶴見川、帷子川、大岡川、境川・柏尾川、宮川、侍従川の6水系41地点で河川生物指標に指標種となっている生物群などの調査を行った。魚類、底生動物、水草などは夏季に調査を行い、藻類と水質等の水環境については冬季にも補足的に調査を行った。</p> <p>[結果] 魚類は48種類、底生動物は173種類、水草は7種類、付着藻類は171種類が確認された。魚類と底生動物の確認種類数は12回の調査で最も多かった。重要種として26種類がリストされた。外来種は28種類がリストされ、過去の調査を含めて最も外来種の種類数は多かった。 生物指標による水質評価では、41地点のうち「大変きれい」は22地点、「きれい」が14地点で、大岡川、境川、侍従川では「大変きれい」と評価された地点が多かった。 アユの産卵状況を把握するため、宮川を除く各水系で流下仔魚調査を行ったところ、鶴見川、帷子川、大岡川、境川、柏尾川（本流上流で河川工事中、濁水状態のため阿久和川で調査）、侍従川で仔魚が確認され、帷子川と境川で多く確認された。この調査で横浜のほとんど全ての川でアユが産卵していることが明らかになった。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	多自然型水・緑整備事業の環境への効果に関する研究
<p>[目的] 多自然型河川整備、自然共生型雨水調整池整備事業など、水・緑整備事業が数多く展開されているが、より効果的の事業とするために、事業により創造された環境について生物的に適切に評価を行い、新たな事業や効率的な管理に反映させると共に、地域住民等に対しても事業効果の適切な情報提供を行うための基礎資料とすることを目的とした。</p> <p>[方法] 多自然型整備河川として阿久和川の3地区を対象として1996年からの変化について検討し、自然共生型雨水調整池は市域北部の赤田1号、黒須田1号、黒須田2号、南部の岡津A、岡津B、大船台住宅の6箇所を対象に、水環境、植物、鳥類、魚類、底生動物などの調査を行い多自然整備の効果について検討した。</p> <p>[結果] 多自然型整備が進められた阿久和川河川水量は1996年に比べて減少している傾向がみられた。1996年における水質はそれ以前に比べて回復しBOD濃度は5mg/l前後で、2008年には水質の回復がさらに進んでBOD濃度は2mg/l以下となった。魚類は1996年には各地区で2～13種類確認されたのに対して2008年には7～14種に増加し、上流と中流における増加が顕著であった。過去にはドジョウ、フナ属、モツゴが多かったが、オイカワ、アブラハヤ、メダカが多く出現するようになり、魚類相の変化や分布状況に水質だけでなく、河川形態、河床材料、横断構造物が関係していることが示された。底生動物の種類数は各地区で2.5倍以上増加し、40種類以上が確認されるようになった。1996年にはミズミズ科が多く出現したのに対して、2008年には外来種のフロリダマミズヨコエビが目立つようになり、底生動物の変化に、水質の回復、河川改修に伴う河床材料の変化、水温上昇が影響を及ぼしていることが示唆された。付着珪藻類の種類数も各地点で2倍以上増加し、52～58種類が確認され、群集構造に水質回復を反映した変化と共に、季節的な特徴が現れるようになった。</p> <p>自然共生型雨水調整池調査では、規模の大きなところで植物、チョウ、トンボ、鳥の種多様性が大きいのに対して、水生生物では規模と種多様性にはそのような関係は見られなかった。</p>	

研究分野	大気環境
研究名称	酸性雨モニタリング調査
<p>[目的] 大気汚染による酸性雨の影響は、近年の東アジア地域における急速な工業化の進展により、広範囲に渡ると懸念されている。横浜は以前から都市・工業地帯の汚染の影響を受け、日本の中ではやや強いレベルの酸性雨となっていたが、平成12年(2000年)9月からは三宅島火山ガス(SO₂ガス)の影響が加わったため、急激に酸性度が強まり、世界で最も酸性雨が強い東欧、北米、中国重慶等の地域と同レベルとなった。横浜市環境科学研究所では酸性雨の監視及び被害の未然防止を目的として、1984年から継続して酸性雨モニタリング調査を行っている。</p> <p>[方法] 横浜市磯子で平成20年(2008年)4月～平成21年(2009年)3月の1年間、自動雨水採取装置を用いて降水を採取し、pHを測定した。降水は、初期1mm降水(降り始め1mm目までの雨)及び一降水全量(降り始めから降り終わりまでの一雨)の2種を採取した。採取単位は原則として降水ごととし、降水と降水の間隔が3時間以上の場合は別の降水とみなした。なお、初期1mm降水は、降水の初期性状を調べるために採取した。大気中の物質の取り込みは初期降水に多く、後続の降水は少ないため、一降水全量のpHは初期降雨のpHより高くなる場合が多い。</p> <p>[結果] 火山ガス放出前10年間の平均pHは、初期1mm降水4.33、一降水全量4.73であったが、火山ガス放出後1年間の平均pHは、初期1mm降水3.88、一降水全量4.31であった。その後徐々に回復傾向がみられており、平成20年度(2008年度)の平均pHは、初期1mm降水4.24、一降水全量4.64であった。</p>	

研究分野	有害化学物質
研究名称	化学物質リスク管理に関する研究
[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や、モニタリングが必要とされる化学物質の環境調査を実施し、その残留状況を把握することを目的とする。
[方法]	<p>1 環境省委託化学物質環境実態調査</p> <p>(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。</p> <p>(2) 精度管理調査（環境省）に参加した。</p> <p>(3) 化学物質の分析法の開発、検討を行った。</p> <p>2 有害化学物質調査</p> <p>鶴見川（亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、恩田）にて、農薬 82 種類の調査を行った。</p>
[結果]	<p>1 環境省委託化学物質環境実態調査</p> <p>水質、底質、生物（ムラサキイガイ）、大気試料中の有害化学物質の環境実態調査に参加した。20 年度の結果は取りまとめ中である。19 年度の結果、PCB 類、DDT 類等が横浜市内の環境中から検出され、ほぼ前年度と同じレベルであった。また、水質試料中のベンゾグアナミン、底質試料中のフェンバレレートについて、精度管理調査に参加するとともに、環境試料の分析を行った。</p> <p>2 有害化学物質調査</p> <p>鶴見川から、プロモプチド（除草剤）、イプロベンホス（殺菌剤）、フェントロチオン（殺虫剤）など 23 種類が検出された。公共用水域等における基準値、指針値が設定されている農薬について、基準値、指針値を超えるものは認められなかった。</p>

研究分野	下水道技術開発
研究名称	水処理・汚泥処理に関する調査研究
[目的]	<p>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。</p> <p>現在は主に、下水道処理水である再生水の水質改善を目的とした消毒技術について、消毒の確実性と効率性に関する研究を行っている。</p>
[方法]	<p>実験タンク（25L）付きマイクロバブル発生装置を用いて、下水道処理水とオゾンとを反応させ、既存の再生水とオゾンマイクロバブルを用いた場合の消毒性能の比較を行った。</p>
[結果]	<p>「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」（平成17年4月、国土交通省）による「親水用水基準」を満足するための水質を得るには、オゾン注入率7mg/l、「修景用水基準」を満足するための水質を得るには、オゾン注入率2mg/lが必要であることが確認できた。これは、既存施設の設計注入率14mg/lをはるかに下回る値であることが確認できた。</p> <p>また、レジオネラ属菌とノロウイルスについても調査を行った結果、レジオネラ属菌は実験原水自体に含まれていなかったが、ノロウイルスについては不活化（PCR検査による未検出）できることが確認できた。</p> <p>今回はタンクを用いたバッチ処理による小規模な実験だったが、今後は実施設を見据えて連続式での実証実験を行い、実験回数や調査場所を増やす必要がある。</p>

研究分野	下水道技術開発
研究名称	資源・エネルギーの有効利用に関する調査研究
<p>【目的】</p> <p>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。</p> <p>現在、汚泥消化ガスから分離した硫黄ケーキの処分先が限定されており、安定的な処理が難しくなっているため、安定的な処理に向けて、硫黄ケーキの有効利用について検討している。また、下水の高度処理に伴い汚泥中のりん濃度が上昇しており、配管の閉塞など、様々な影響を及ぼしている。このため、汚泥中のりん回収技術や有効利用に関する研究を行っている。</p> <p>【方法】</p> <p>硫黄ケーキ及びりんの有効利用手法としては、インターネットや文献調査を行い、横浜市において適用可能な有効利用を選定した。また、りんの回収技術の評価としては、下水汚泥及び汚泥処理返流水からのりんの回収技術を調査し、評価を行った。</p> <p>【結果】</p> <p>硫黄の有効利用手法は、工業用原料や建設資材などがあり、りんの有効利用手法は、肥料・工業薬品・工業材料・医薬品・食品添加剤・農薬などがあげられる。横浜市において適用可能な有効利用法は、硫黄ケーキについては、工業用材料として製造会社への無償譲渡が考えられる。また、りんについては肥料用原料として有効利用する可能性が高いと考えられる。</p> <p>りんの回収技術の総合評価としては、焼却灰からりん酸カルシウムを回収する技術が、維持管理費が最も安く、また実用化段階にあることから、現時点では最適なりんの回収技術と考えられる。</p> <p>今後は、いくつかの都市で導入が予定されているりん回収技術を追跡調査し、検証する必要がある。</p>	

Ⅱ 調 査 研 究 編

横浜東部地域における GIS を活用した明治前期の植生図化と植生の変遷

井上 智、石川孝之
(横浜市環境科学研究所)

The mapping of vegetation in the early Meiji era utilizing GIS and the change of vegetation
from the early Meiji era to today around Yokohama east area

Satoshi Inouye, Takayuki Ishikawa
(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：GIS、明治時代、横浜市、植生図、航空写真

要 旨

生物多様性やヒートアイランド対策の観点から、横浜の自然環境の変遷を植生図で追跡することは重要である。明治 10 年代後半に作成された「迅速測図」を基に作成した明治期植生図を GIS 化して、現存植生図と比較検討した。本研究で調査した横浜東部地域において、明治期に水田や畑・果樹園であった耕作地は、ほとんど住宅地や工場地となっていた。明治期にマツ林で覆われていた鶴見区三ツ池公園周辺では、総面積の約 25% は広葉樹林へと変遷していた。神奈川区菅田羽沢地区周辺では、明治期より畑・果樹園が広がり、現在も約 50% は残存していた。

1. はじめに

横浜市は 1859 年の開港以来、都市化によって、地域の基本植生を大きく変化させてきた。とりわけ 1960 年以降は、人口の増加とともに進んだ宅地開発によって、市内の緑地は急速にその姿を消した。

ヒートアイランド対策や生物多様性の観点から、横浜の自然環境の変遷を把握することは重要である。そこで、各年代の植生図から横浜の植生の変遷を追跡して、自然環境の変遷を把握することにした。

しかし、現存植生図の基になる明治前期の植生図（以降、明治期植生図と表記）の作成は、空中写真がなく資料も少ないため困難であった。一方、戦後は航空写真技術が徐々に発達し、空中写真の利用により、植生図の作成は比較的容易に行なわれるようになった。このため、明治期植生図を把握できれば、横浜の植生の変遷を追跡することが可能である。

そこで、平成 20 年度から 3 年計画で、横浜国立大学との共同研究により、明治期植生図の作成、GIS 化手法の検討、現存植生図との比較を行なってきた。

今回は、共同研究の成果の一部を活用し、横浜の植生の変遷について考察した。

2. 調査地域

調査地域は、横浜市のヒートアイランド対策重点推進地区を 5 地区（鶴見駅周辺地区・鶴見区南部地区・横浜駅周辺地区・関内地区・都市部周辺地区）抱える東部地域の鶴見区、神奈川区、西区、中区、南区の合計 5 区で、総面積は 96.10km² である（図 1）。

横浜市では、緑の現状を量的に示す指標の一つとして、

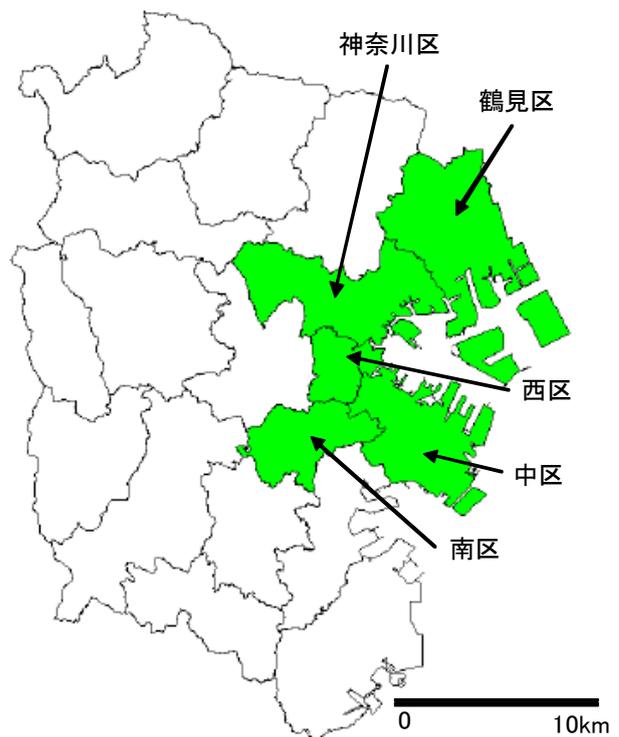


図 1 調査地域

緑被率を使用している。緑被率とは、樹林地や耕作地、街路樹のほか個人の住宅の庭木や芝生、花壇など緑に覆われた土地の割合と定義している。

今回の調査地域は、緑比率が 13~24%（2004 年）と横浜市の平均緑比率 31%（2004 年）より低く、住宅地や工

場地在大部分を占めている地域である（図2）。

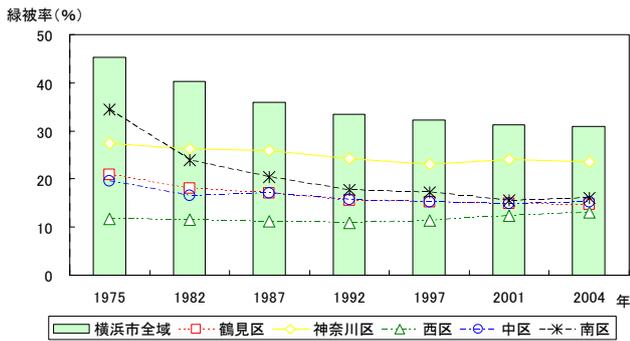


図2 調査地域と横浜市全域の緑比率の推移

3. 方法

3-1 明治期植生図の作成

明治期植生図を GIS 化するにあたり、紙媒体の明治期植生図が必要である。今回は、原田ら（未発表）が作成した横浜市の明治期植生図を使用した。作成方法は、原田ら¹⁾と同様の方法であった。

紙媒体の明治期植生図の凡例は、広葉樹林 1（常緑広葉樹林）、広葉樹林 2（その他）、マツ林、スギ・ヒノキ林、竹林、低木林、草地 1（ササ草地）、草地 2（ヨシ草地）、草地 3（その他）、沼地、果樹園、桑畑、桑畑が混在する畑、茶畑、畑、水田、塩田、集落、水域、不明の 20 区分であった。

本研究で使用した明治期植生図は、明治 15 年測量の「第一軍管地方 2 万分 1 迅速測図」、通称「迅速測図」と呼ばれる地図と、その原図となった「迅速測図原図」を基に作成した。「迅速測図」と「迅速測図原図」は、明治 10 年代に当時の陸軍省参謀局が、軍隊の移動度を知るために作成した地図である²⁾。このため、本研究で使用した明治期植生図は、土地利用図的な性格が強いことに留意する必要がある。

3-2 GIS 化手法の検討

明治期植生図を GIS 化するためには、横浜国立大学と環境科学研究所で共通するソフトウェアが必要なため、フリーソフトの MapWindowGIS（Gary Watry, COAPS-FSU）を使用した。

GIS 化にあたって、明治期の地形と現在の地形を比較し重ね合わせることで、地形図の精度が高い横浜市都市計画基本図の地形データ（平成 13 年～15 年版）を利用した。

紙媒体の明治期植生図を GIS 化する手順は、以下の通りである。

- ①紙媒体の明治期植生図の植生区分から GIS データの属性を決定
- ②紙媒体の明治期植生図を参考に都市計画基本図上に植生区分毎のポリゴン（多角形）を作成
- ③ポリゴン（多角形）の属性値を入力
- ④隣接するポリゴン（多角形）を接合
- ⑤接合したポリゴン（多角形）を行政区の GIS データを用い、区毎に切り出す

⑥区毎に GIS 化した明治期植生図を印刷して確認

紙媒体の明治期植生図を GIS 化する際、植生区分の凡例を前述の 20 区分から、広葉樹林、マツ林、スギ・ヒノキ林、竹林、草地 1（ヨシ草地）、草地 2（その他）、果樹園、桑畑、茶畑、畑、水田、水域・沼地、集落、その他（塩田・荒地・砂礫地・その他）の 14 区分とした。

3-3 現存植生図

現存植生図は、平成 12 年横浜市環境保全局発行の横浜市地域環境特性図（第 3 版）³⁾のうち、紙媒体の調査地域の各区版（1:10,000）5 面と、電子データ（ARC/INFO フォーマット形式）を使用した。

なお、電子データは MapWindowGIS ソフトウェアに取り込み、解析した。

4. 結果と考察

4-1 GIS 化

本研究では、MapWindowGIS ソフトウェアを用いて、紙媒体の明治期植生図を GIS 化した。

GIS 化することにより、紙媒体の植生図に比べて、以下の作業が容易に行えるようになった。

- ①植生区分のポリゴン（多角形）の位置の修正
- ②植生区分のポリゴン（多角形）の面積の計算
- ③植生区分の凡例の変更

また、GIS 化する際に入力した属性値を表計算ソフトウェアに取り込み、様々な解析ができる利点もある。

今後、人口や農業などの統計データを属性値として入力すれば、統計データと位置・空間データ間の関連性の解析を行っていくことも可能である。

紙媒体の GIS 化については、スキャナにより紙媒体の地図情報をデジタル化し、座標値情報を設定し、ポリゴン（多角形）を編集し、属性値を入力して、地図を統合する方法もある⁴⁾。

Sprague ら⁵⁾は、茨城県南部の「迅速測図」をコンピュータに取り込み、幾何補正して、農業的土地利用変化の傾向について考察した。

また、岩崎ら⁶⁾は、関東地方の「迅速測図」約 900 枚を 1 枚の画像に結合し、位置情報を与え、現在の地理情報と自動的に重ね合わせるようにして、インターネットで閲覧、利用できる歴史的農業閲覧システムを構築した。

本研究では、都市計画基本図上に明治期の植生区分毎のポリゴン（多角形）を作成する方法で、明治期植生図を GIS 化した。今後、明治期植生図も含めた紙媒体の植生図を GIS 化するには、Sprague ら⁵⁾や岩崎ら⁶⁾の手法について比較検討したい。

4-2 明治期の植生景観

明治期植生図（植生凡例：14 区分）を、図 3 に示した。調査地域において、総面積の 52.3% を占めているのは水田と畑・果樹園を合わせた耕作地で、主に沖積地に水田、丘陵上に畑・果樹園が作られていた。

井口⁷⁾は、「迅速測図」から読み取れる明治前期の関東平野の土地利用相で、水田の広がり注目し、米が基本かつ主産物であったと指摘している。自然の地形と水系

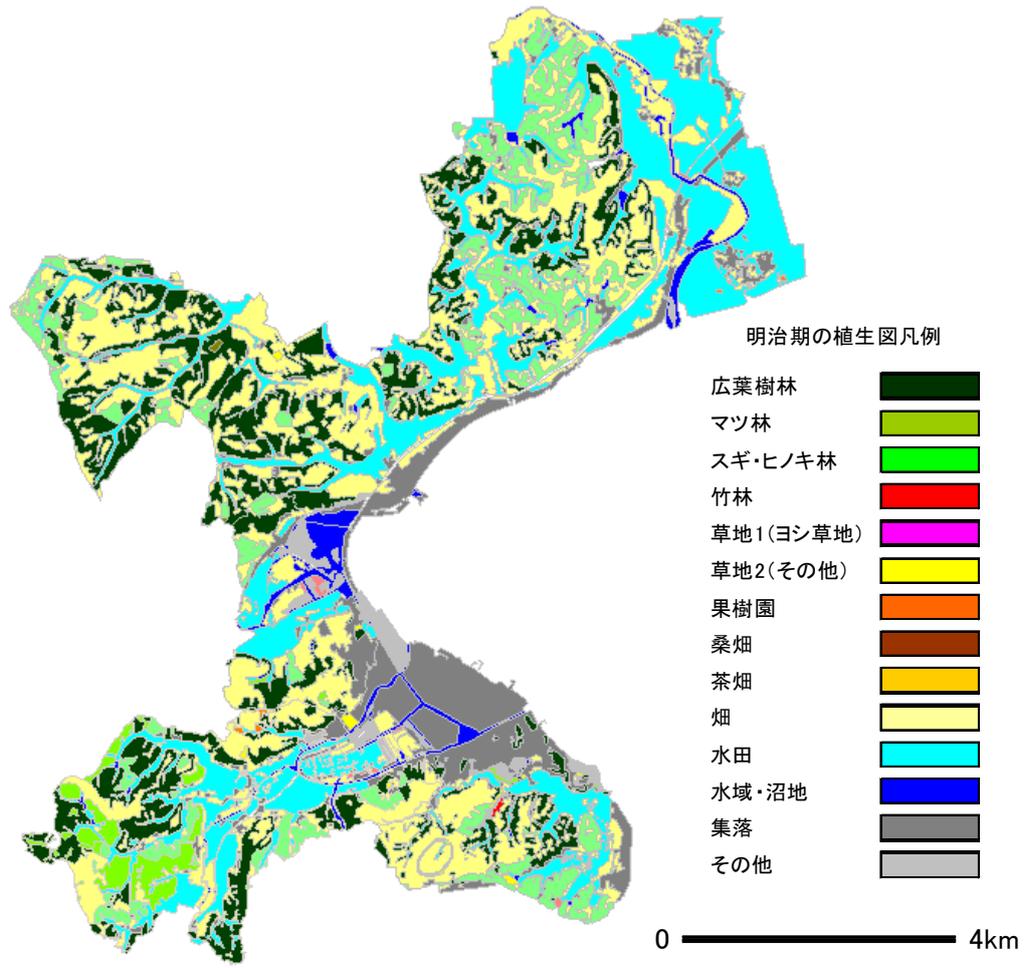


図3 調査地域における明治期植生図

を巧みに利用した場所として、関東地方に広く分布する台地の谷間に樹枝状に発達した水田を挙げている。台地の谷間の崖下各所から湧き出す適量の水を水源として、可能な限り谷間の低地を水田化してきたと報告している。

一方、畑に関しては、原則として水田地が十分とれる地域では相対的に畑地は少なくなり、従って台地地域の村落で水田が設けられない場所で、畑地がやや広く必要となり、台地上の林地の占める割合が低下していると指摘している。

樹林地については、東京西郊の「迅速測図」にはコナラやクヌギ等が中心に生える雑木林が点在しており、西の狭山丘陵や多摩丘陵の斜面、東の下総台地や常陸方面の台地上に人工の赤松林が広がっていると指摘している。小枝を中心とする家庭の炊事用の柴を採取する雑木林に対し、赤松林は割木を示す工業用の薪を採取する燃料林であった。赤松は油を含み高熱を発生し、かつ比較的長く燃焼するため、木炭を別にすれば、石炭、石油以前の重要な燃料源であり、東京という薪の大消費地も控えていたため、大きな需要があったと報告している。

本研究で調査した横浜東部地域(鶴見区、神奈川区、西区、中区、南区)の場合も、鶴見川と大岡川の沖積地は水田で占められ、それ以外の地域は、丘陵地と畑

表1 現存植生図の植生凡例

小分類(44区分)	中分類(12区分)	大分類(3区分)
イロハモミジ・ケヤキ群集	落葉広葉樹林	自然植生
ハンノキ群集		
マサキ・トベラ群集		
ヤブコウジ・スタジイ群集		
ホソバカナワラビ・スタジイ群集		
イノデ・タブ群集		
シラカシ群集 ケヤキ亜群集		
シラカシ群集 典型亜群集		
シラカシ群集 モミ亜群集		
イノギリ・ハチジョウススキ群集		
オオバクサ・オギ群集 他(掘水植物群落)	水辺植物群落	
オニシバリ・コナラ群集	落葉広葉樹林	代償植生
クヌギ・コナラ群集		
ミズギ・ミズナギ群集		
オオシマザクラ植林 他(落葉広葉樹植栽地)		
クスノキ植林 他(常緑広葉樹植栽地)	常緑広葉樹林	
スギ・ヒノキ・サウラ植林	針葉樹林	
クロマツ植林	針葉樹林	
アカマツ植林	針葉樹林	
モウソウチク・マダケ林	竹林	
スギ・ヤブシ群集 他(耕作放棄水田雑草群落)	水辺植物群落	
フタクサ・オオバクサ群集 他(河辺敷地雑草群落)	シバ・雑草群落	代償植生
オヒシバ・アキメシバ群集 他(造成跡地雑草群落)		
オオクサ・キビ・ホウキク群集 他(埋立地雑草群落)		
カゼクサ・オオバコ群集 他(踏跡群落)		
ヒロハノウシノゲサ群集 他(外来放草吹付地)		
シバ群落		
オオイノフグリー・シロザ群集(耕作放棄畑雑草群落)		
メダケ群集		
アズマネザサ・ススキ群集		
クサギ・アカメガシワ群集		
クズ群落	林縁・伐跡植物群落	
常緑果樹園	畑・果樹園	その他
落葉果樹園		
苗圃		
カラスビシャク・ニシキソウ群集(畑地雑草群落)	畑	
牧草地		
ウリカワ・コナギ群集(水田雑草群落)	水田	
緑の多い住宅地内の樹林地(樹種不特定)	緑の多い住宅地	
緑の多い住宅地等	市街地	
市街地		
工場地		
造成裸地		
人工海浜		
開放水域		

表 2 植生凡例の統一

統一した区分	明治期植生図	現存植生図「中分類」
広葉樹林	①広葉樹林	①落葉広葉樹林
		②常緑広葉樹林
針葉樹林	②マツ林	③針葉樹林
	③スギ・ヒノキ林	
竹林	④竹林	④竹林
草地	⑤草地1:ヨシ草地	⑤水辺植物群落
		⑥シバ・雑草草地
	⑥草地2:その他	⑦ササ・ススキ草原
		⑧林縁・伐跡植物群落
畑・果樹園	⑦果樹園	⑨畑・果樹園
	⑧桑畑	
	⑨茶畑	
	⑩畑	
水田	⑪水田	⑩水田
	⑫水域	開放水域
市街地・その他	⑫沼地	⑪緑の多い住宅地
	⑬集落	
	⑭塩田	その他
	⑭荒地	
	⑭砂礫地	
	⑭不明	

が広がり、その間に樹枝状に刻まれた「谷戸」と呼ばれる小さな谷と中小河川に沿って水田が広がっていた。神奈川区菅田羽沢地区周辺は、台地地形で水田が設けられないため、明治時代前期より畑地が広がり、他

地域と比較して樹林地が少なかった。

耕作に不適な丘陵地の斜面は、広葉樹林とマツやスギ・ヒノキの針葉樹林が連続的に分布していた。特に北部方面の鶴見区周辺は、他地域と比較してマツ林の占める割合が高かった。

4-3 植生凡例の統一

明治期植生図の凡例は、前述の14区分で、現存植生図の凡例は、表1に示すように、「大分類」(3区分)、「中分類」(12区分)、「小分類」(44区分)に分類されている。

明治期植生図と現存植生図と比較する関係上、植生凡例の統一を行わなければならない。今回は、明治期前期の凡例区分(14区分)と現存植生図の「中分類」の凡例区分(12区分)を、表2に示すように、7区分(広葉樹林、針葉樹林、竹林、草地、畑・果樹園、水田、市街地・その他)にまとめて、統一区分とした。

4-4 平成期の植生景観

現存植生図(植生凡例:7区分)を、図4に示した。平成12年横浜市環境保全局発行の横浜市地域環境特性図(第3版)³⁾から、調査地域の植生分布状況の概要について、以下のように指摘されている。

鶴見区は、北西部の「獅子ヶ谷市民の森」と北部の

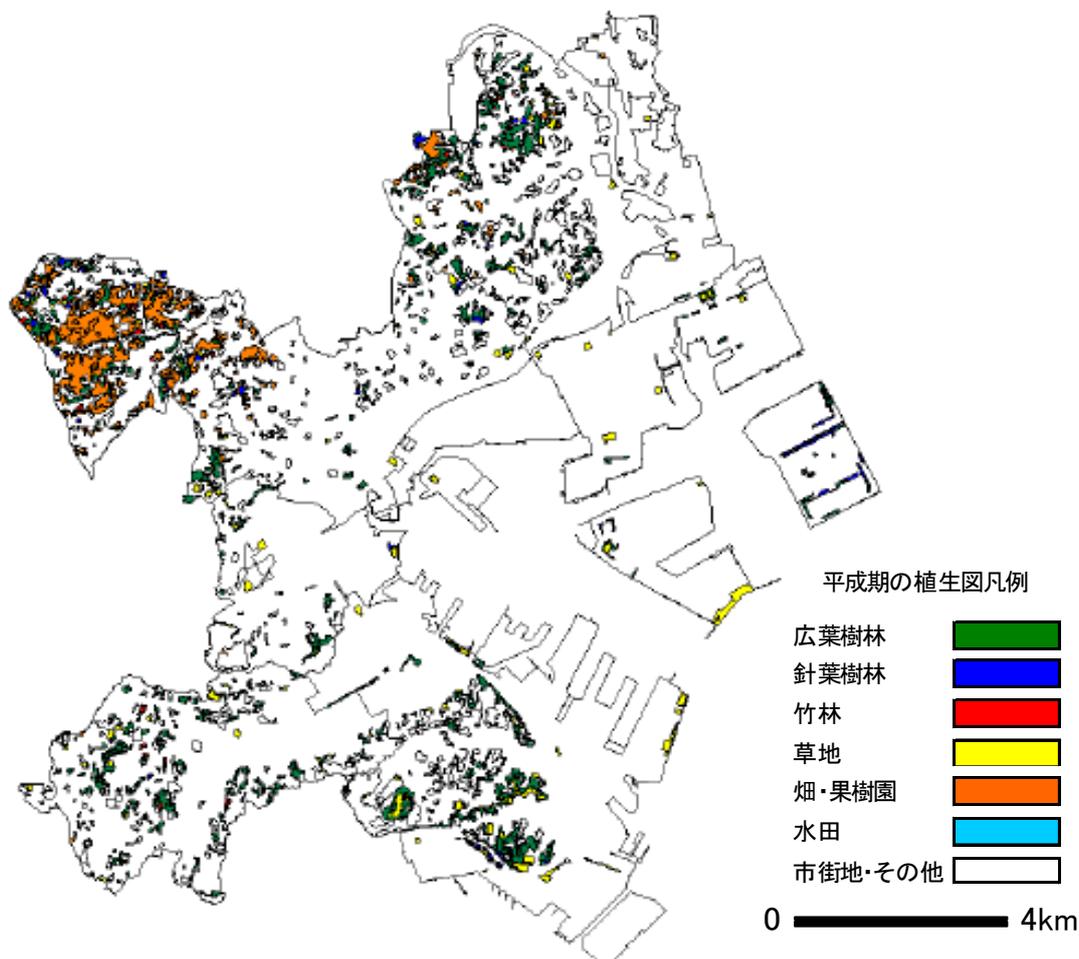


図 4 調査地域における平成期植生図

「三ツ池公園」付近に比較的まとまった緑地がみられた。ヤブコウジースダジイ群集が所々にみられた他、森林群落の大部分は二次林のオニシバリーコナラ群集で占められていた。

神奈川区は、緑地のほとんどが北西部の丘陵地であり、その大部分は耕作地として利用されていた。傾斜の緩やかな丘陵斜面や平地では苗圃や畑地雑草群落、丘陵斜面ではクスギーコナラ群集等の森林群落が分布していた。

西区は、区域のほとんどが市街地であるため、森林群落の分布は限られていた。常緑広葉樹林の分布する社寺林の他は、北部の丘陵斜面にオニシバリーコナラ群集、ミゾシダーミズキ群集が带状にみられる程度だった。

中区は、南部の「根岸森林公園」、「三溪園」等の公園に比較的広い面積で緑地が残存していた。オニシバリーコナラ群集、ミゾシダーミズキ群集が比較的まとまった面積でみられた他、南部の丘陵斜面にも同様な森林群落が带状に残存していた。

南区は、丘陵地の斜面に緑地が残存する程度で、森林群落の分布は限られていた。「弘明寺公園」、「六ツ川高校」にオニシバリーコナラ群集が比較的まとまった面積でみられた他は、丘陵斜面にオニシバリーコナラ群集、モウソウチク・マダケ林等が小面積でみられた程度だった。

4-5 植生の変遷

4-5-1 調査地域全域の変遷

明治期植生図の占有割合を図5に示した。広葉樹林は19.1%、針葉樹林は11.4%、畑・果樹園は29.1%、水田は23.2%、市街地・その他は16.8%、竹林と草地は1%以下であった。

現存植生図の占有割合を図6に示した。広葉樹林は4.2%、草地1.2%、畑・果樹園は2.7%、市街地・その他は91.3%、針葉樹林と竹林と水田は1%以下であった。

明治期植生図と現存植生図を比較すると、市街地・その他の割合が74.5%増加し、それ以外の区分は減少していた。特に減少が著しいのは畑・果樹園(26.4%)と水田(23.2%)の耕作地であり、明治期に耕作地として利用されていたところのほとんどは、現在では住宅地や工場地となっていた(図7)。

4-5-2 松林の変遷

明治期と平成期の全樹林面積に対する各植生の占有面積の割合を、図8に示した。明治期には広葉樹林が62.5%、マツ林が30.9%であったが、平成期は広葉樹林が87.2%、マツ林が6.4%と変遷していた。

明治期にはマツ林が全樹林面積に対して約3割占めていたのに対し、現在は1割にも満たなく、マツ林の減少が顕著である。

若林ら⁸⁾は、明治期の多摩川中・下流域の植生図を作成し、昭和後期の植生図と比較して、「東京」・「川崎」・「横浜(鶴見区・港北区を中心とした地域)」の地

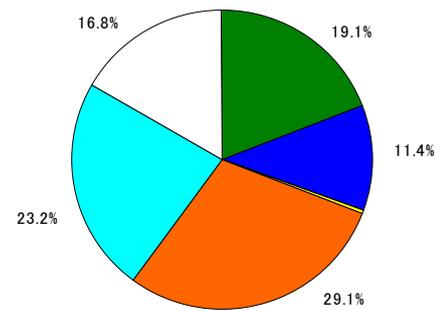


図5 明治期における各植生の占有割合

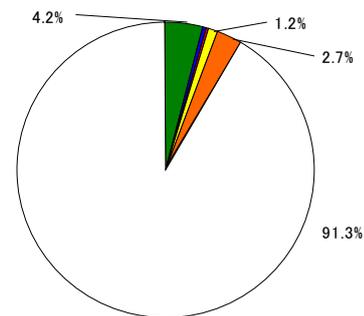


図6 平成期における各植生の占有割合

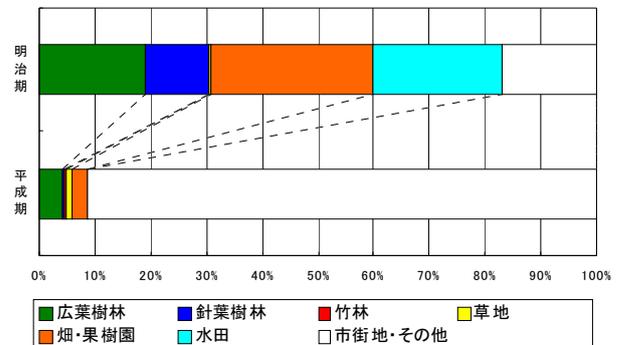


図7 明治期から平成期における植生の変化

区毎に考察している。そのなかで、「横浜」地区の特徴として、「東京」・「川崎」地区に少ないマツ林が広葉樹林と同じくらいの面積で分布していて、調査地域の約80%に相当する面積が「横浜」地区に集中していたと報告している。

本調査では、現存植生図でマツ林を含む針葉樹林は、調査地域の全面積に対し、1%以下の占有割合であった。

そこで、明治期に最もマツ林が存在していた鶴見区のうち三ツ池公園(鶴見区三ツ池公園1-1)周辺について、明治前期から現在までのマツ林の変遷を検討した結果を、図9に示した。

明治期のマツ林は、開発によって65.9%が市街地・その他へとなり消失したが、広葉樹林(26.4%)、竹林

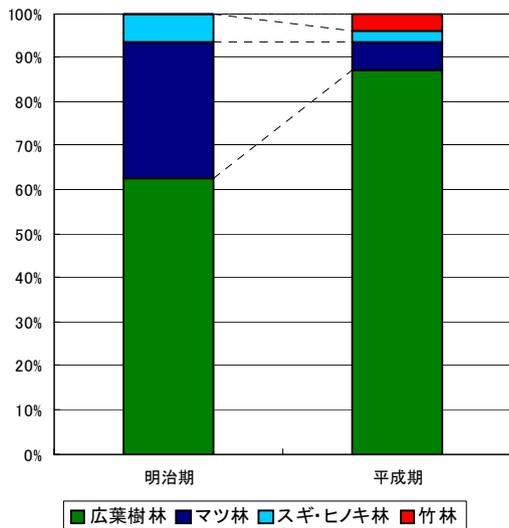


図8 全樹林面積に対する各植生割合の変化

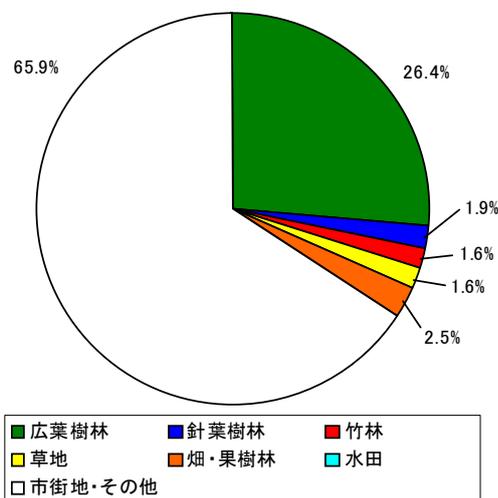


図9 ミツ池公園周辺のマツ林の変遷

(1.6%)、草地(1.6%)、畑・果樹園(2.5%)へと変遷していた。針葉樹林は1.9%で、そのうちマツ林(クロマツ)は0.8%であった。マツ林から変遷した広葉樹林は、落葉広葉樹林のオニシバリ・コナラ群集、クヌギ・コナラ群集、植林されたオオシマザクラ等と、照葉広葉樹林のヤブコウジ・スダジイ群集だった。

原田ら⁹⁾は、現在と比較して明治期にマツ林が広い面積を占めていた理由を、広葉樹林の伐採や火入れとマツの植林という人為作用の結果と報告している。

また、山田ら¹⁰⁾は、マツ林は現在わずかしこ残らず、広葉樹林へ変遷した理由を、薪炭利用を目的に行われていたマツ林の積極的な植林や管理という人為圧からの解放によって、調査地域の潜在自然植生へと遷移が進行した結果と報告している。

若林ら⁸⁾は、貧養な土地でも生育可能で成長の早いマツは薪炭林として植林されてきたが、1960年以降から、低木類の刈取や落葉かきなどのマツ林に対する人為作用がほとんどなくなった。その結果、肥沃した立

地に広葉樹が侵入してマツを圧倒し、広葉樹林へ変遷していったと報告している。

さらに、原田ら⁹⁾は、マツノザイセンチュウや大気汚染によるマツ枯れはマツ林の衰退を加速したと報告している。

本調査の結果から推察すると、江戸時代前期までは燃料に使用していた薪や炭の原料の多くは、クヌギやコナラなどの広葉樹林が供給源であった。しかし、1700年頃を境に需要の増加に伴い、広葉樹林の伐採が過度に行われ、土地が持つ潜在的な地力が急速に衰えた。そこで、マツのなかでも特にアカマツは貧養な瘠地でも生育可能で成長が早いため、植林が盛んに行われた。その結果、明治期にはマツ林が広い面積を占めたと考えられる。

戦後の1960年以降のエネルギー革命により、マツ林に対する人為作用がほとんどなくなり、マツ林を放置することにより、広葉樹林へと遷移したと推測した。

今回、三ツ池公園周辺のごく限られた地域ではあるが、明治期植生図をGIS化したことで、マツ林から広葉樹林への変遷を数量化することができ、マツ林のうち約四分の一(26.4%)は広葉樹林へ変遷していた。

若林ら⁸⁾は、明治期に面積的にまとまりを持っていた「横浜」地区のマツ林が、小面積に分断・縮小され、昭和後期に明治期のマツ林の約30%が広葉樹林に置き換わったと報告している。三ツ池公園周辺のマツ林から広葉樹林への変遷も、同様の経過によるものと考えられる。

4-5-3 耕作地の変遷

明治期から平成期にかけて、特に減少が著しいのは、畑・果樹園と水田の耕作地であると前述した。

本研究の調査地域では、現存植生図で水田は神奈川区の一地域(0.3ha)しか残っていなかった。畑・果樹園は、調査地域全体では2.7%の占有割合であったが、神奈川区に限ると9.8%であった。そのうち、北西部の丘陵地の菅田羽沢地区が大部分を占めていた。

そこで、菅田羽沢地区について、明治前期から現在までの植生の変遷を、図10に示した。明治期の畑・果樹園は、開発によって市街地・その他へ40.5%、広葉樹林へ4.6%変遷したが、畑・果樹園として53.6%残っていた。

これは、菅田羽沢地区は農業専用地区に指定され、都市開発から守られてきたためと考えられる。農業専用地区とは、都市農業の確立と、都市環境の保全を目的に、横浜市が1969年に創設した独自の農業振興策である。菅田羽沢地区は1972年に農業専用地区に指定された¹¹⁾。

現在では、新鮮な農産物の市民への供給、地域の自然や田園環境の保全、災害等から市民を守る防災空間の三つの目標を達成するため、集団的な農地などを農業専用地区に指定し、農業振興策を実施することにより、農地の保全を図っている。

横浜市内で27地区が農業専用地区に指定され、菅田羽沢地区は畑47.0ha、山林・その他13.2haの合計

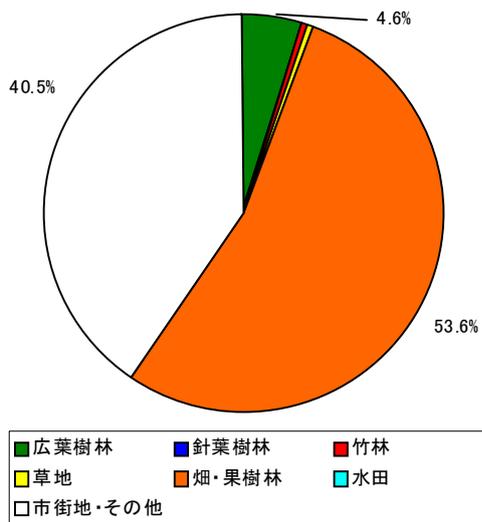


図 10 菅田羽沢農業専用地区周辺の畑・果樹園の変遷

60.2ha で、横浜市内でも 5 番目に大きい農業専用地区である¹²⁾。

また、ヒートアイランド対策で、農地と緑地の積極的な保全の取組を拡大・拡充する必要性があるとしている。

横浜のような大都市でも、行政が都市開発に規制をかけるこのような法制を整備すれば、樹林地や耕作地を保護できる先駆的な例である。

5. おわりに

明治期植生図を GIS 化することにより、植生景観の変遷を様々な角度から検討することが容易になった。

今回は、横浜市の中なかでも住宅地や工場地が占める割合が著しい地域を調査対象地域としたが、今後は横浜市内全域を GIS 化する予定である。その際は、横浜の「緑の七大拠点」の地域も含まれるので、新たな傾向がみられる可能性がある。

また、今回は明治期植生図と現存植生図を比較したが、1970年代の植生図も GIS 化する作業を進めており、さらに詳細な植生景観の変遷が把握できると考えられる。

今後は、様々なデータを可視化できる GIS の特徴を利用して、明治期植生図の活用方法を検討していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、御指導をいただいた共同研究者である横浜国立大学教育人間科学部原田洋教授と原田研究室の佐藤亮太氏、横浜市在住の原田敦子氏に厚く御礼申し上げたい。

引用文献

- 1) 原田洋、原田敦子：横浜本牧地域の明治期前期の植生景観、生態環境研究、4(1)、p23-31 (1997)
- 2) 清水靖夫：明治前期測量 2 万分 1 フランス式彩色地図 CD-ROM 版解説書、紀伊國屋書店、p47-66 (1998)
- 3) 横浜市環境保全局：横浜市地域環境特性図、第 3 版、(2000)
- 4) 川崎昭如、吉田聡：図解 ArcGIS Part2-GIS 実践に向けてのステップアップ、古今書院、p17-38 (2006)
- 5) David S. SPRAGUE、岩崎亘典：迅速測図に見る農業的土地利用の変遷：歴史 GIS の構築と活用、システム農学、23(1)、p33-40 (2007)
- 6) 岩崎亘典、デイビット S. スプレイグ、小柳知代、古橋大地、山本勝利：FOSS4G を用いた歴史的農業環境閲覧システムの構築、GIS-理論と応用、17(1)、p83-92 (2009)
- 7) 井口悦男：明治前期測量 2 万分 1 フランス式彩色地図 CD-ROM 版解説書、紀伊國屋書店、p99-106 (1998)
- 8) 若林園子、原田洋：多摩川中・下流域における明治期の植生図化と植生景観の変遷、春夏秋冬、31、p1-14 (2004)
- 9) 原田洋、磯谷達宏：マツとシイ、岩波書店、p1-77 (2000)
- 10) 山田智子、原田洋：藤沢市南部における明治期の植生図化と植生景観の変遷、春夏秋冬、28、p1-13 (2002)
- 11) 江成卓史：計画的都市農業への挑戦、日本経済評論社、p91-142 (1991)
- 12) 横浜市緑政局：横浜の都市農業マップ&データ、(1995)

横浜港の底層環境調査 —みなとみらい～瑞穂地区—

小市佳延、下村光一郎、犬飼まり子(横浜市環境科学研究所)、水尾寛己(現・観音崎自然博物館)、西栄二郎(横浜国立大学)、坂本昭夫(海をつくる会)

Investigation of bottom environment in port of Yokohama

—the area of Minatomirai and Mizuho warf—

Yoshinobu Koichi, Kouichiroh Shimomura, Mariko Inukai(Yokohama Environmental Science Research Institute), Hiromi Mizuo(Kannonzaki Natural History Museum), Eijiroh Nishi (Yokohama National University), Akio Sakamoto (The Sea Beautification Society)

キーワード：貧酸素、内港、底質、底生生物

要 旨

富栄養化が進行している東京湾の西岸にある横浜港において 2008 年 6、9 月に水質、底質および底生生物の調査を行い、底層環境の現状について検討した。水質は表層で赤潮、底層で貧酸素状態であった。底質は嫌気度が強く、内港部では泥分率や強熱減量が高かった。また、全硫化物は帷子川河口先で特に高かった。底生生物は多毛類が優占し、貝類では大型の外来種ホンビノスガイなどが出現したが、水産重要種のアサリ等はほとんど出現しなかった。有機汚濁が進行し、泥分の多い地点に有機汚濁指標種が多くみられた。水産用水基準による底質評価では「汚染底質」と判定され、七都県市底質環境評価区分では「環境保全度 I」の低い評価であった。

1. はじめに

閉鎖性海域である東京湾では、周辺の生活・産業活動により生じた栄養塩が長年にわたって湾内に流入・蓄積し、富栄養化状態となっている。その結果、春から秋にかけて赤潮や青潮が発生し、湾内の水生生物の生息に影響を与えている。横浜港でも赤潮が毎年観測され、その後プランクトンが死滅することで悪臭の発生や貧酸素化が起り、横浜港での魚の浮上も報告されている^{1、2)}。

このような東京湾の富栄養化状態を改善するために、2003 年から 10 年計画で行う「東京湾再生のための行動計画」が東京湾再生推進会議により策定された³⁾。この中では国や関係自治体による水質改善の取り組みとして、『流入負荷削減』、『海域環境改善』、『モニタリングを行うこと』が決められた。その達成状況の判断には底層の溶存酸素量を指標として、底生生物の通年生息限度を目標としている。底層における貧酸素状態の改善が物質循環や食物連鎖の輪を廻し、東京湾の水域環境の回復に繋がると考えている。

栄養塩等の流入負荷削減は工場排水の総量規制や下水処理場の高度処理化などによって進められている。横浜内港に近い神奈川水再生センターでは処理水の約 50% まで高度処理が進んでいる⁴⁾。また、下水道普及率がほぼ 100%の横浜市では河川水質が向上し、横浜中央部を流下する帷子川の水質もきれいになってきた。横浜内港にはこれらの水が流入するため、水域環境の改善が期待される。

今回、帷子川河口および横浜内港北部で底層環境を中心に水質、底質および底生生物について調査したところ、いくつか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

今回の調査は、横浜内港北部を中心に行った。調査地点を図-1 に示す。

横浜港には帷子川と大岡川が流入している。St.1 は帷子川河口部にあたり、周囲は高層ビルや商業施設に囲ま

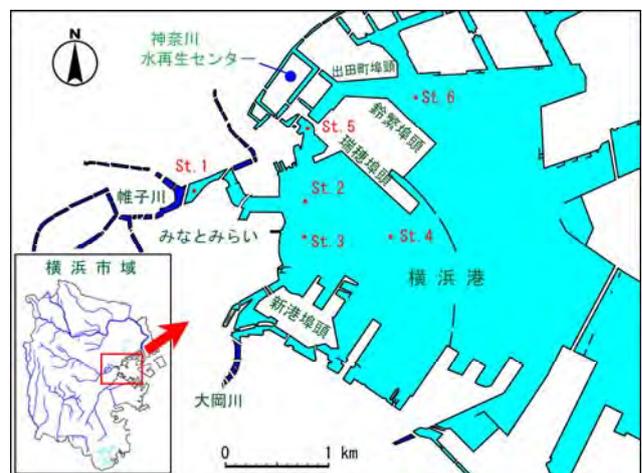


図-1 調査地点図

表-1 調査項目および測定方法

項目	測定方法
【環境】	
水温	水銀温度計
水深	超音波測定法
透明度	白色セッキ板
pH	pH計:堀場 F-52
塩分濃度	屈折計:アタゴ S/Mill
濁度	濁度計:セントラル科学 TB50
【水質】	
溶存酸素 (DO)	ウインクラ—アジ化ナトリウム変法 (JIS K0102)
化学的酸素消費量 (COD)	100°C過マンガン酸カリウム法 (JIS K0102)
クロロフィルa (Chl.a)	グラスフィルターを過後N、N-ジメチルホルムアミド抽出、分光光度計によるUNESCO法
【底質】	
泥温	携帯型ORP計:東亜電波 RM-20P
酸化還元電位 (Eh)	携帯型ORP計:東亜電波 RM-20Pで測定後、換算
粒度組成 <砂分率>	2mm目および0.075mm目のふるいをを用いた湿式ふるい法
<泥分率>	100-砂分率(%)
強熱減量 (IL)	粒径2mm以下試料について600°C、2時間後の減量
砂分のIL	粒径2-0.075mm試料について600°C、2時間後の減量
泥分のIL	砂分率とIL、砂分ILから算出
COD	アルカリ性過マンガン酸カリウム法(底質調査方法)
全硫化物 (T-S)	現場固定後、検知管法:ガステック ヘドロテック-S

れている。St. 2は帷子川河口の沖で、水深11mである。St. 3は臨港パーク沖で、水深11m、大岡川と帷子川の間であり、港内観光船の航路にあたる。St. 4は瑞穂埠頭の南にあたり、港の出入り口に近い。St. 5は瑞穂橋付近で水深6mと浅く、近くには横浜港湾空港技術調査事務所の人工干潟や神奈川水再生センター(下水処理場)がある。St. 6は瑞穂埠頭の北にあたる。

2-2 試料採取方法および調査期日

調査は港湾局港務艇「ひばり」にて目的地点に行き、船上より水質・底質・底生物用試料を採取した。表層水はバケツを用いて採水し、底層水(海底上1m)はリゴ-B号透明採水器を用いて採水した。底質および底生物用試料はエックマンバージ採泥器を用いて採取した。

水質試料はDOふらんビンおよびポリビンに分取し、DOはただちに固定液を用いて固定した。底質試料はバットで均一に混合後、硫化物用容器およびポリ容器に分取し、クーラーボックスにて冷暗状態で保存運搬した。底生物用試料は、採泥器で採取した泥を網目1mmの篩でふるい、室内にて選別した。選別した底生物は室内で観察した後、10%海水ホルマリンで固定し、後に70%アルコール中で保存した。

調査期日は2008年6月23日、9月4日である。両日も中潮にあたり、調査時は引き潮であった。

2-3 調査項目および測定方法

環境、水質および底質の調査項目および測定方法を表-1に示す。底質の試料調整は環境省の底質調査法⁵⁾に準じた。底質の粒度組成は砂分率、泥分率に大別し、それぞれ粒径2~0.075mm、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。

底生物は選別後、双眼実体顕微鏡および光学顕微鏡を使用して種の同定および個体数の計測を行った。分類学的情報が不足している群や虫体が破損して分類・同定に必要な形質が観察できない場合は属までまたは科までの同定にとどめた。同定に用いた主な文献は西・田中⁶⁾に引用されているもの⁷⁻⁹⁾、および最新の文献類¹⁰⁻¹³⁾などを網羅するよう努めた。また、各文献に引用されて

表-2 水質の結果

項目 地点	水深 (m)	水温 (°C)	透明度 (m)	pH	塩分 (psu)	濁度 (mg/l)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	Chl.a (μg/l)	
6月	St.1 上	3.8	20.5	0.8	7.93	3	8.6	6.9	2.7	2.2
		下	21.5	7.90	15	8.9	4.9	3.0	3.0	5.8
	St.2 上	10.6	21.2	1.0	7.78	5	7.6	6.6	3.0	11.0
		下	21.0	7.72	23	7.0	2.8	1.8	4.0	4.0
	St.3 上	10.9	21.8	1.2	7.86	14	6.8	7.0	6.0	52.0
		下	21.4	7.75	22	4.2	3.3	2.1	3.5	3.5
	St.4 上	11.7	21.9	1.3	8.10	13	6.3	6.9	4.6	50.0
		下	21.3	7.90	23	3.8	3.6	2.0	2.8	2.8
	St.5 上	6.0	21.8	0.9	8.09	14	8.2	6.6	6.2	49.0
		下	22.4	8.02	21	4.3	3.5	2.6	3.4	3.4
	St.6 上	13.0	22.5	1.2	8.15	18	5.2	6.7	6.2	51.0
		下	21.2	8.10	24	4.0	2.3	1.8	2.7	2.7
9月	St.1 上	3.8	25.5	2.2	7.86	10	2.5	4.0	2.6	13.3
		下	25.3	7.89	21	3.5	1.8	2.0	20.5	20.5
	St.2 上	10.5	26.5	1.5	8.35	17	10.7	8.4	3.4	108
		下	23.5	8.01	24	1.8	1.2	1.2	4.9	4.9
	St.3 上	10.5	26.0	1.7	8.30	17	8.2	6.8	3.4	79.1
		下	23.2	8.00	24	1.7	1.2	1.2	4.3	4.3
	St.4 上	10.7	26.4	1.3	8.45	18	11.2	9.8	4.4	102
		下	23.2	8.09	24	1.7	2.0	0.8	7.5	7.5
	St.5 上	5.2	26.0	1.5	8.15	18	5.9	6.0	3.6	57.7
		下	25.2	8.07	21	3.7	3.2	2.4	31.7	31.7
	St.6 上	13.0	26.7	1.2	8.40	19	10.0	10.4	4.6	107
		下	23.8	8.02	25	4.0	1.0	1.4	3.2	3.2

* 上=表層、下=底層

いる文献¹⁴⁻¹⁶⁾も参考にした。

3. 結果と考察

3-1 水質

水質の調査結果の一部を表-2および図-2に示す。水深はSt. 1、5では5m前後と浅く、他の地点では10m以深であった。水温は水深の深い地点で9月に表層水と底層水の差が3°Cほどあり、夏期に成層構造が形成されたものと考えられる。

透明度は6月には全地点で1.5m以下であった。この時St. 3~6では、Chl.aが表層で50μg/l前後と高かった。神奈川県赤潮判定基準(透明度1.5m以下、Chl.a 50μg/l以上)から、これらの地点ではほぼ赤潮状態にあったと考えられる。9月の表層では透明度が1.5m付近であるが、Chl.aがSt.2~6で58~108μg/lと高く、赤潮と考えられる。底層のChl.aは6月は低く、また9月もSt. 1、5で2、30μg/lとなった以外は低い。

塩分は表層が3~19psu、底層が15~25psuであり、表層で低く、底層で高いのが認められる。外洋の海水塩分は34psu前後であるから、両層とも淡水がかなり混入していると考えられる。帷子川の河口であるSt.1では他の地点にくらべて表・底層とも低い。今回の調査地区は下水処理場にも近いため、河川水や処理場放流水の影響と考えられる。

DOは表層よりも底層で低く、底層DOのほとんどが4.3mg/l以下の貧酸素状態で、特に9月はSt. 5以外は2mg/l以下になるなどその傾向が強い。公共用水域水質測定計画による9月3日の横浜港内のDOは表層が11.6mg/lの過飽和、底層は0.8mg/lのほぼ無酸素状態であった¹⁷⁾。また、東京湾の多地点における底層DOデータ

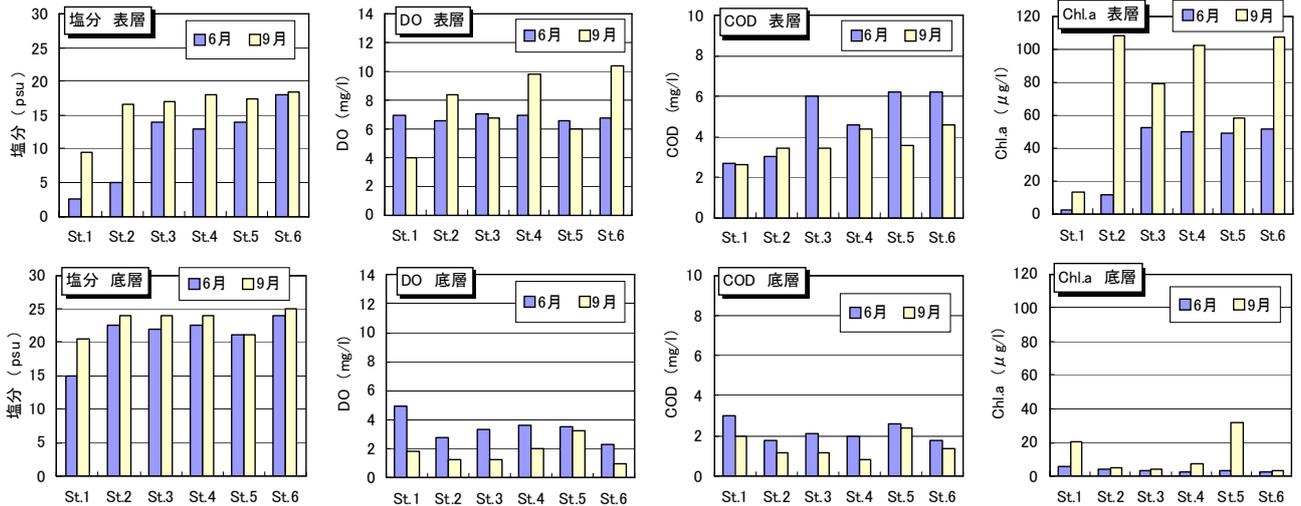


図-2 水質の結果(一部)

等から湾内の DO 分布を類推する「貧酸素水塊速報¹⁸⁾」でも本牧沖の底層では6月16日、7月2日には4.3mg/l前後、9月1日に3mg/l、9日に1mg/l程度と推定されており、9月上旬に1mg/l以下のほぼ無酸素の水塊が東京湾北西部から大黒ふ頭沖まで拡大していた。今回の底層 DO の結果もこれらに連動するような傾向がみられた。

COD は表層では3~6mg/l に対して底層では1~3mg/l であり、表層は底層より高い。表層では赤潮プランクトンなどが多く、これらが COD の原因物質になっていると考えられる。

地点別特徴としては St.1 が他の地点にくらべて表層の塩分が低く、Chl.a が低いのが認められた。帷子川河口であり、周りも陸地に囲まれた水路状となっているために横浜港の赤潮が進入しにくい構造になっているためと考えられる。St.2 では6月の Chl.a が低い、塩分も低いことからこれは前日の大雨による河川水が流れ出した影響とみられる。St.2 の9月は表層では赤潮、底層は貧酸素状態であった。St.3~6 では表層で赤潮あるいは赤潮気味の状態であり、一方底層では貧酸素の状態になっていた。

3-2 底質

3-2-1 現況

底質の調査結果を表-3、図-3に示す。

酸化還元電位 Eh は-110~-200mV 以下で、いずれの地点も嫌気度が強く、温度の高い9月の方がより嫌気度が強い傾向が認められる。

粒度組成は泥分の割合が多く、9月の St.5、6 を除くと泥分率は80%以上となる。特に St.3、4 では泥分率が約95%あり、内港全体に泥分(シルト・粘土)が多く堆積していると推測される。

強熱減量 IL は St.1 が16%と高く、St.2、3、4 と帷子川河口から離れるにつれて下がる傾向がみられる。St.6 は9%と低い。佐々木らの調査でも横浜内港の IL は14%以上、St.6 付近が10%程度となっている¹⁹⁾。

粒度別の IL では、粒径2~0.075mm の砂分 IL で地点別の差が大きい。St.1 では砂分 IL が20%前後と高く、また St.2 も約15%とやや高い。これらの地点では枯れ

葉などの植物片が多くみられたことから、帷子川から運ばれてきた落葉が細分化されていたものと考えられる。

有機汚濁指標である COD は St.2 が55mg/g と最も高く、St.1 や St.5、6 でやや低い傾向がみられた。St.1 では IL が高いことから、木質の植物細片などの分解しにくい有機物の割合が多いと考えられる。

全硫化物 T-S は St.2 が8mg/g 前後と他の地点に突出して高い。一方、内港地区外周の St.6 では T-S は1mg/g と低い。硫化物を生成する硫酸還元細菌は有機物に富む嫌気的環境に多い²⁰⁾、といわれている。St.2 は COD の傾向から、帷子川からの易分解性有機汚濁物質が堆積した箇所と考えられる。この有機物が嫌気分解される過程で硫化水素が生成され、有機物は減少・消失するが、硫化水素の多くは硫化鉄として底泥中に蓄積され、その結果として St.2 で硫化物が特異的に高濃度になったものと考えられる。

地点別の特徴としては、帷子川河口の St.1 は IL が16%と高いが COD はそれほど高くなく、植物細片の寄与が大きいと推測される。帷子川沖の St.2 は T-S が特に高く、COD や IL も高いことから、陸域からの有機汚濁物質の蓄積場所と考えられる。内港部の St.3、4 は泥分が95%

表-3 底質の結果

項目 地点	泥温 (°C)	Eh (mV)	粒度組成		IL (%)	砂分IL (%)	泥分IL (%)	COD (mg/g)	T-S (mg/g)	
			砂分率 (%)	泥分率 (%)						
6月	St.1	20.1	-115	15.9	84.1	15.7	17.1	15.4	22.6	3.13
	St.2	18.7	-180	14.0	86.0	14.2	13.9	14.2	47.8	9.20
	St.3	18.9	-137	5.9	94.1	12.9	7.7	13.2	39.8	1.32
	St.4	18.9	-119	4.7	95.3	12.8	11.4	12.8	43.4	2.23
	St.5	19.8	-168	20.2	79.8	12.2	5.9	13.8	36.8	3.51
	St.6	18.6	-154	18.7	81.3	9.3	3.6	10.6	30.2	1.09
9月	St.1	25.1	-177	6.8	93.2	16.0	25.1	15.3	46.4	5.04
	St.2	21.0	-199	8.9	91.1	14.1	15.6	13.9	63.8	7.08
	St.3	21.4	-184	3.7	96.3	12.4	9.8	12.5	49.7	1.78
	St.4	21.3	-197	5.9	94.1	12.9	10.7	13.0	53.7	3.64
	St.5	24.8	-193	46.6	53.4	7.6	3.1	11.6	32.5	1.91
	St.6	21.7	-188	25.4	74.6	8.1	3.0	9.8	29.9	1.15

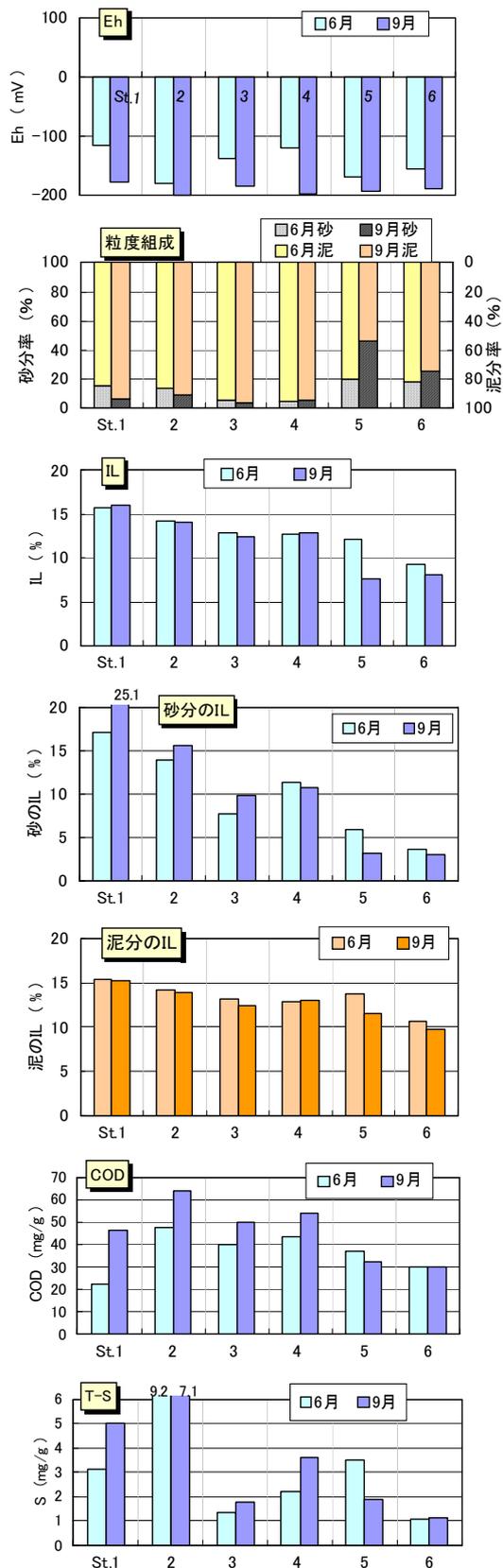


図-3 底質の結果

と高く、微細粒子が堆積している。瑞穂橋近くの St.5 は潮の干満などで海水の出入りがある通路にあたるため、粒度組成の変化が大きく、IL や COD は他より比較的低い。内港地区の外周にあたる St.6 は IL や T-S 等が他よりも低い。

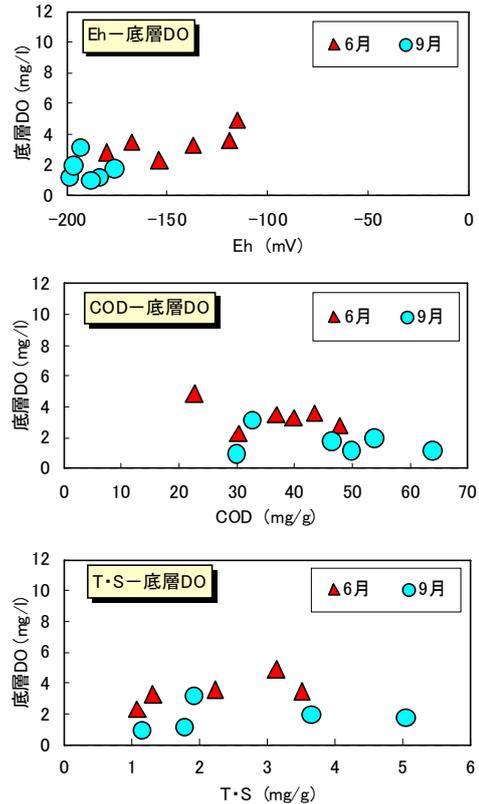


図-4 底層 DO と底質性状との関係

3-2-2 底層水の DO と底質の関係

底質の性状が底層水に影響をおよぼしていると考えられるので、今回の底層水 DO と底質の Eh、COD、硫化物との関係を図-4 に示す。底質 Eh と底層水の DO の関係では Eh が低くなると底層水 DO も低くなる傾向がみられる。中央の図では底質の COD 濃度が高くなると底層水の DO が減少する傾向がみられる。また、COD が同じでも6月よりも9月の方が DO が低い。底質中の微生物活動は温度が高いほど活発に行われ、DO 消費や還元性物質の溶出が促進されて、その結果直上の底層水 DO の減少に影響したと考えられる。これらに対して、底質の全硫化物濃度と底層水の DO との関係は明確でない。

3-2-3 過去の調査との比較

今回調査した底質の程度を知るために、内港地区で過去に行われた底質調査と比較してみる。

1986 年頃に行われた横浜港底質調査では内港地区 25 地点、その外周 (本牧~大黒) 22 地点、計 47 地点で表泥および柱状試料について重金属を中心に測定されている²¹⁾。今回の調査地点と合致するのは St.2~4、6 の

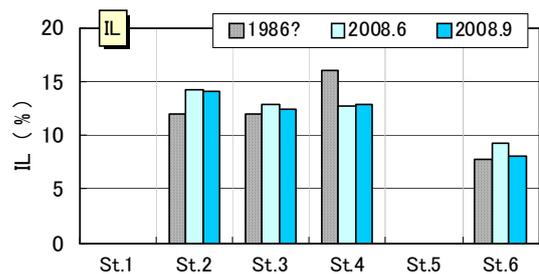


図-5 底質性状の比較

表-4 底生生物の出現状況

属、種(和名)	学名	6月						9月						
		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	
二枚貝	ホンビノスガイ	<i>Mercenaria mercenaria</i> Linnaeus, 1758	15					11					11	
	コウロエンカワヒバリガイ	<i>Xenostrobus securis</i> (Lamarck, 1819)					2						1	
	シズクガイ	<i>Theora fragilis</i> (A. Adams, 1855)		3		5	3	2	2					3
	チヨノハナガイ	<i>Raetellops pulchellus</i> (Adams & Reeve, 1850)							3			1		2
	ムラサキガイ	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819											1	1
	アサリ	<i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams and Reeve, 1850)	1						2					3
シオフキ	<i>Macra veneriformis</i> Deshayes in Reeve, 1854												2	
巻貝	アラムシロ	<i>Reticunassa festiva</i> (Powy, 1833)					1						6	
多毛類	スベスベハネエラスピオ	<i>Paraprionospio patiens</i> Yokoyama, 2007	1		2					1		1		
	シノブハネエラスピオ	<i>Paraprionospio coora</i> Wilson, 1990		2					1					
	エラナシスピオ	<i>Spiophanese bombyx</i> (Claparede, 1870)		1				1	2					
	チャメチヨリ	<i>Glycinde wireni</i> Arwidsson, 1899		1						1			1	
	ミツバナスピオ	<i>Prionospio kurusadaensis</i> Fauvel, 1929											9	
	アシナガゴカイ	<i>Neanthes succinea</i> (Frey and Leckart, 1847)		1					1		1			
	ハナオカカギゴカイ	<i>Sigambra hanaokai</i> (Kitamori, 1960)	2	4	2	1	2		1	1		1	4	
	ヒガタスピオ	<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802	1			1								32
	ドロオニスピオ	<i>Pseudopolydora kempfi</i> (Southern, 1921)												2
	イトエラスピオ	<i>Prionospio pulchra</i> Imajima, 1990		1						2	1	1		
	ミズヒキゴカイ	<i>Cirriiformia comosa</i> (Marenzeller, 1879)												1
コアシギボシイソメ	<i>Scoletoma nipponica</i> (Imajima and Takeda, 1975)	2	1	1		1	2	2	1		1	1	2	
総出現種類数		6	8	3	3	5	3	7	7	3	5	13	3	
総出現個体数		22	14	5	7	9	5	20	11	3	5	74	7	

■ : 有機汚濁指標種 ■ : 外来種

4地点であり、ILについて比較した結果を図-5に示す。過去の調査ではILは内港地区のSt.2~4で12~16%、St.6で8%であった。St.2では今回調査は2%増加し、逆にSt.4は3%減少している。St.3および外周のSt.6は今回調査とほとんど変わらない。

3-3 底生生物

底生生物の出現種、個体数を表-4に示す。出現種は二枚貝類7種、巻貝類1種、多毛類12種の計20種であった。各地点で3~13種が出現し、個体数は3から74とばらつきがあった。優占種はホンビノスガイやヒガタスピオであり、これら2種は3地点にのみ分布が確認された。シズクガイやハナオカカギゴカイ、コアシギボシイソメは多くの地点で確認され、出現頻度は高いものの、ほとんどの地点で採集個体は1から3個体(シズクガイでは最大5個体、ハナオカカギゴカイは最大4個体)と密度は低かった。

今回の調査で有機汚濁指標種^{22, 23)}と考えられる種が9種採集された。それらはシズクガイ、チヨノハナガイ、スベスベハネエラスピオ、シノブハネエラスピオ、アシナガゴカイ、ハナオカカギゴカイ、イトエラスピオ、ミズヒキゴカイ、コアシギボシイソメである。この他にも、イトゴカイの断片と思われる試料がSt.5の9月に採集されており、イトゴカイもまた有機汚濁指標種として知られている。スベスベハネエラスピオとシノブハネエラスピオはそれぞれヨツバナスピオC1型、A型として多くの記録があるが、近年、横山¹¹⁾により新たな分類名が与えられている。同様にイトゴカイも新たな分類名が与えられており¹³⁾、過去の記録との比較の際には注意が必要である。

各地点別に見ると、9月のSt.5が出現種数13、個体数74個体と多く、次いで6月のSt.1とSt.2、9月のSt.1とSt.2が種数、個体数共に多い傾向がある。これらの5地点では有機汚濁指標種が卓越し、外来種も多い傾向がある。St.2ではCODの値が高く、有機汚濁が進行し、それに伴って有機汚濁指標種の割合が高くなっている(St.2の6月では8種中7種が、St.2の9月では7種中6種が有機汚濁指標種)。同様に有機汚濁が進行していると考えられるSt.3で

は出現種数や個体数は少ないものの、出現種全てが有機汚濁指標種であった。

東京湾内の他の干潟や浅海の底生生物相²⁴⁻²⁷⁾と比較すると、多毛類の多様性は概して低く、貝類の出現も少ない傾向がある。特に水産重要種のアサリがほとんど出現しておらず、サルボウなども見られない。有機汚濁が進行していることと底質の泥分含量が多いため、生息に適さない環境になっていると考えられる。

本調査において外来種が3種確認された。二枚貝のホンビノスガイ、コウロエンカワヒバリガイ、ムラサキガイである。多毛類のアシナガゴカイも外来種の可能性が指摘されている¹⁴⁾。ホンビノスガイは近年東京湾で確認され、横浜港沿岸でも分布を拡大していることが報告されている²⁸⁻³⁰⁾。横浜港内や周辺海域でのモニタリングを継続し、これら外来種の分布拡大や衰退を注視していく必要がある。

3-4 水産用水基準による底質評価

(社)日本水産資源保護協会の水産用水基準では、過酷な夏に底生生物の生息状況に影響する底層水のDOと底質の状態との間に相関関係があることを応用して、底質の全硫化物T-SとCODの値について望ましい底質の基準を設定している。昭和58年(1983年)の改訂版では底質を3段階に分けている³¹⁾。今回の調査についてあてはめた結果を図-6に示す。

Aランクの「正常泥」はない。St.1~6はCランクの「汚染泥」と判定される。このうちSt.6はBランクの「汚染初期泥」に近い。St.1の6月CODは汚染初期泥値にあたるが、T-Sが高いため、「汚染泥」と判定された。St.2はT-Sが高く、「汚染泥」としての位置が高いのが認められる。

さらに2000年版の水産用水基準では、COD、IL、泥分率、全硫化物、マクロベントス群集の多様性指数の中から3~4項目を用いた合成指標を4種類提案しており、指標の値が負であれば「正常な底質」、正であれば「汚染された底質」としている³²⁾。

今回の調査について算出した合成指標4種の結果を表-5に示す。合成指標では Ised-1~4 は全地点で正の値であり、「汚染された底質」にあたる。値としては St. 2で7~9と大きく、St. 6や9月の St. 5では1と小さい。

今回調査した地点は底生生物にとって過酷な夏を乗り越えるには難しい環境にあり、通年での生息には適さないと考えられる。

3-5 七都府市底質環境評価区分による底質評価

東京湾岸自治体で構成する八都府市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会は底生生物等による底質の評価方法を定めている³³⁾。

今回の調査について、底質の強熱減量と底生生物の分類の結果から算出した各項目の評点・評価区分を表-6に示す。底質環境評価区分はほとんどの地点・調査日で「I」(一時的に無酸素、汚濁耐性種が主、種・数が少)である。9月の St. 5のみ「II」(貧酸素化、汚濁耐性種優占)となっている。この評価は2007年の横浜港内の新港地区前面や山下公園前と同一である³⁰⁾。

「東京湾再生のための行動計画」では、市民に施策の

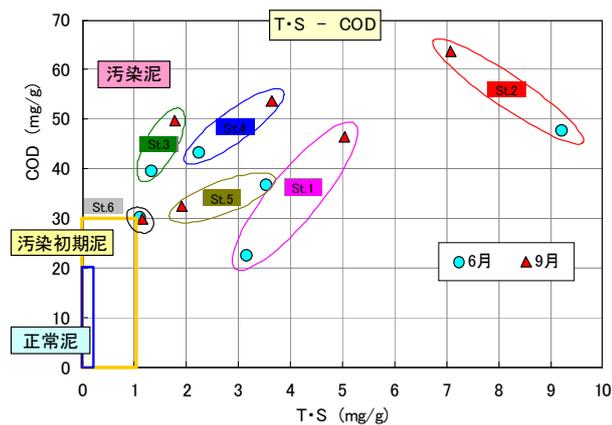


図-6 水産用水基準による底質の結果

表-5 水産用水基準による合成指標値の結果

No.	合成指標				
	Ised-1	Ised-2	Ised-3	Ised-4	
6月	St.1	3.01	3.80	2.91	3.81
	St.2	8.63	8.41	9.64	9.30
	St.3	2.22	2.15	2.03	1.95
	St.4	3.28	3.07	3.06	2.81
	St.5	3.51	3.45	3.73	3.63
	St.6	1.50	1.33	1.21	1.02
9月	St.1	5.38	5.43	5.79	5.80
	St.2	7.46	6.71	8.33	7.41
	St.3	2.95	2.49	2.88	2.35
	St.4	4.37	3.83	4.76	4.11
	St.5	1.38	0.95	1.54	1.04
	St.6	1.42	1.12	1.13	0.79

合成指標 $I_{sed-1}=f(COD, TS, MC, H')$
 $I_{sed-2}=f(IL, TS, MC, H')$ TS:全硫化物
 $I_{sed-3}=f(COD, TS, MC)$ MC:泥分率
 $I_{sed-4}=f(IL, TS, MC)$ H':多様性指数

効果を実感してもらうアピールポイント7箇所の評価にこの環境評価法を採用している。その中で、みなとみらい地区の目標は「II」であり⁴⁾、いまだ達成されていない。

今回の調査地点は有機汚濁が進行した海域であることが明らかになった。底生生物の出現はわずかではあったが、その中でも有機汚濁指標種は明らかな汚染泥である St. 2に好んで多く生息しており(表-4)、他方、表-5、6で汚染度が低いとされた9月の St. 5では有機汚濁指標種を含むものの底生生物の多様性はもっとも高かった(表-4)。明らかに有機汚濁の進行した底泥に棲む外来種のホンビノスガイも確認された。底質の化学的・物理的環境要因に敏感に反応するこれらの指標生物を利用した新たな環境指標の開発もまたこれからの課題の一つだと思われる。

4. まとめ

富栄養化状態の横浜港6地点で、底層環境を中心に2008年6、9月に水質、底質、底生生物の調査をしたところ、以下のような知見が得られた。

- 1) 河川水の影響を受けない地点では表層水は赤潮で、底層水は貧酸素状態だった。
- 2) 底質は嫌気度が強く、河口や内港部で泥分や強熱減

表-6 底質環境評価の項目別得点と評価区分*

項目	評点	①	②	③	④	評点の合計 ①+②+③+④	環境評価区分
		底生生物の総出現種類数	総出現種類に占める甲殻類比率	底質の強熱減量	上位三種の優占種による評価		
6月	St.1	1	0	0	2	3	I
	St.2	1	0	1	1	3	I
	St.3	1	0	1	2	4	I
	St.4	1	0	1	1	3	I
	St.5	1	0	1	1	3	I
	St.6	1	0	2	2	5	I
9月	St.1	1	0	0	3	4	I
	St.2	1	0	1	2	4	I
	St.3	1	0	1	2	4	I
	St.4	1	0	1	2	4	I
	St.5	2	0	2	3	7	II
	St.6	1	0	2	2	5	I

* 環境保全度IV(14~15点): 環境が良好で保全されている。多様な底生生物が生息しており、底質は砂質で、好氣的である。

* 環境保全度III(10~13点): 環境は概ね良好に保全されている夏季に底層水の溶存酸素が減少するなど生息環境が一時的に悪化する場合もみられる。

* 環境保全度II(6~9点): 底質の有機汚濁が進んでおり、貧酸素水域になる場合がある。底生生物は汚濁に耐える種が優占する。

* 環境保全度I(3~5点): 一時的に無酸素水域になり、底質の多くは黒色のヘドロ状である。底生生物は汚濁に耐える種が中心で種数、個体数とも少ない。

* 環境保全度0(0~2点): 溶存酸素はほとんどなく、生物は生息していない。底質は黒色でヘドロ状である。

量が高かった。また、全硫化物は帷子川河口先で特に高かった。

3) 底生生物は多毛類が優占し、貝類では大型の外来種ホンビノスガイなどがみられ、水産重要種のアサリ等はほとんどみられなかった。有機汚濁が進行し、泥分の多い地点に有機汚濁指標種が多くみられた。

4) 水産用水基準による底質評価では、夏に著しい貧酸素状態を引き起こす恐れのある [汚染底質] と判定された。

5) 七都県市底質環境評価区分では、[環境保全度 I] (一時的に無酸素、汚濁耐性種が主、種・数が少ない) の低い評価であった。

謝 辞

本調査に協力していただいた横浜市港湾局港務艇「ひばり」の乗務員の方々に、心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) 古川恵太、中山恵介、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、沿岸域学会誌、18、No.4、67-77 (2006)
- 2) 水尾寛己、鳥海三郎、下村光一郎、風間真理、岡敬一、小野寺典好、若林信夫、阿久津卓、御処野博子：横浜市沿岸域で発生した *Mesodinium rubrum* による赤潮、横浜市環境科学研究所報、28、20-25 (2004)
- 3) 東京湾再生推進会議：東京湾再生のための行動計画 (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/SAISEI/council/council_index.htm)、36pp (2003)
- 4) 横浜市環境創造局：神奈川水再生センターの紹介、<http://www.city.yokohama.jp/me/kankyou/gesui/centerinfo/03wtc/>
- 5) 環境庁：底質調査方法、2-4 (1988)
- 6) 西栄二郎、田中克彦：神奈川近海の干潟・汽水域に産する環形動物多毛類、神奈川自然誌資料、28、101-107 (2007)
- 7) 西栄二郎、加藤哲哉：環形動物多毛類の移入と移出の現状、日本ベントス学会誌、59、83-95 (2004)
- 8) 西栄二郎、田中克彦：多摩川河口川崎市側の干潟における底生生物相、神奈川自然誌資料、27、77-80 (2006)
- 9) 西栄二郎、田中克彦、森敬介、藤岡義三：博多湾と東京湾の干潟から採集された日本初記録のヒガタケヤリムシ (新称) *Laonome albicingillum* (多毛綱・ケヤリムシ科)、南紀生物、47 (2)、115-118 (2005)
- 10) Glasby, C. J. & H. L. Hsieh: New species and new records of the *Perinereis nuntia* species group (Nereidae: Polychaeta) from Taiwan and other Indo-West Pacific shores. *Zoological Studies*, 45, 553-577 (2006)
- 11) 横山寿： *Paraprionospio* 属多毛類の分類と系統、海洋と生物、172、487-494 (2007)
- 12) 西栄二郎・田中克彦：外来種としての多毛類、海を渡る海洋生物、60-66、東海大学出版会、東京 (2009)
- 13) Blake, J., A., J. P. Grassle & K. J. Eckelbarger: *Capitella teleta*, a new species designation for the opportunistic and

experimental *Capitella* sp. I, with a review of the literature for confirmed records. *Zoosymposia*, 2, 25-53 (2009)

- 14) 山西良平、佐藤正典：環形動物門多毛類、182-192、浅海域生態系調査 (干潟調査) 報告書、環境省自然環境局生物多様性センター、235pp (2007)
- 15) Yokoyama H: A revision of the genus *Paraprionospio* (Polychaeta: Spionidae), *Zoological Journal of the Linnean Society*, 151, 253-384 (2007)
- 16) Nishi E., K. Tanaka, Y. Fujioka & M. Sato: Reinstatement of *Sigambra hanaokai* (Kitamori, 1960) (Polychaeta, Pilargidae), with a literature overview of the genus, *Zootaxa*, 1653, 57-68 (2007)
- 17) 横浜市環境創造局：公共用水域の水質年間測定結果 (2008年度)、<http://www.city.yokohama.jp/me/kankyou/mamoru/kanshi/wplan08/>
- 18) 千葉県水産総合研究センター、神奈川県水産技術センター、内湾底びき網研究会連合会、東京都環境局、千葉県環境研究センター、海上保安庁海洋情報部、第三管区海上保安本部：貧酸素水塊速報 (2008年)、<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/04jouhou/04tkod/04tkodflame.html>
- 19) 佐々木淳、角田篤：横浜港における底質環境特性に関する現地調査、海洋開発論文集、23、1147-1152 (2007)
- 20) 日本海洋学会：沿岸環境調査マニュアル II [水質・微生物篇]、恒星社厚生閣、東京、305-307 (1990)
- 21) 横浜市環境科学研究所：横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書 (環境研資料 No. 102)、35-76 (1992)
- 22) 北森良之介：環境指標としての底生動物 (2) - 指標生物を中心に -、共立出版、東京、265-273 (1975)
- 23) 津田松苗、菊池泰二：環境と生物指標 2 - 水界編 -、日本生態学会環境問題専門委員会編、共立出版、東京、310pp (1975)
- 24) 西栄二郎、田中克彦：多摩川河口川崎市側の干潟における底生生物相、神奈川自然誌資料、27、77-80 (2006)
- 25) 榎本輝樹、西栄二郎、田中克彦、中山聖子、多留聖典、飯島明子、高崎隆志：東京湾内湾横浜沿岸と小櫃川河口干潟の底生生物、特に多毛類を中心とした生物相の動態について、第6回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集、47-52 (2007)
- 26) 榎本輝樹、西栄二郎、田中克彦、中山聖子、多留聖典、須藤治、林紀男、飯島明子、高崎隆志：東京湾内湾の干潟・汽水域の多毛類相とその生態学的解析、第6回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集、53-58 (2007)
- 27) 西栄二郎、榎本輝樹、多留聖典、中山聖子、風間 (若林) 真紀、文珠正哲、陶山典子、会田真理子、佐藤雅典、田中克彦、E.K. クブリヤノバ：羽田空港再拡張工事に伴う環境アセスメント調査で明らかにされた環形動物多毛類の多様性、第21回海洋工学シンポジウム講演論文集、OES-21-191、1-8pp. (2009)
- 28) 西栄二郎、坂本昭夫、水尾寛己、小市佳延、下村光一郎：横浜港内で採集された外来大型二枚貝ホンビノ

スガイについて、神奈川自然誌資料、**29**、181-183 (2008)

29) 西栄二郎、坂本昭夫、水尾寛己、小市佳延、下村光一郎、下迫健一郎、室井雅弘、渡部昌治：横浜港内で定着が確認された外来大型二枚貝ホンビノスガイ、神奈川自然誌資料、**30**、51-53 (2009)

30) 小市佳延、水尾寛己、下村光一郎、高野善彦、西栄二郎、坂本昭夫：横浜港の底層環境調査－浚渫覆砂工区－、横浜市環境科学研究所報、**33**、31-38 (2009)

31) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準 (1995 年版)、66-68 (1995)

32) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準 (2000 年版)、88-91 (2000)

33) 七都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会：東京湾における底生生物調査指針および底生生物等による底質評価方法、全国公害研会誌、**25**、55-61 (2000)

河川感潮域の水質・底質調査結果 — 帷子川 —

小市佳延、下村光一郎、犬飼まり子(横浜市環境科学研究所)、水尾寛己(現・観音崎自然博物館)

Investigation of water quality and sediment in the tidal river

— Katabira river —

Yoshinobu Koichi, Kouichiroh Shimomura, Mariko Inukai (Yokohama Environmental Science Research Institute),
Hiromi Mizuo(now; Kannonzaki Natural History Museum)

キーワード：貧酸素、感潮域、底質、水産用水基準

要 旨

富栄養化が進行している横浜港に注ぐ帷子川の感潮域で2008年6、10月に水質および底質の調査を行い、表層および底層環境について検討した。帷子川本流の感潮域では水深が3、4mあり、表層では溶存酸素は6mg/l以上あったが、底層では海水の侵入により貧酸素の傾向があった。支流は水深が浅いため、上流からの河川水が主で底層は貧酸素状態ではなかった。底質は還元状態にあって下流ほど泥分が多い傾向があり、河口近くの地点でCODや全硫化物をもっとも高かった。水産用水基準による底質評価では「汚染底質」と判定され、底生生物には厳しい生息環境と思われた。

1. はじめに

河川感潮域では河床勾配が緩やかになり、潮汐現象の影響で流速が遅くなるとともに、上流から流れてきた浮遊物質が海水の塩析効果によって沈降しやすくなるため、感潮域には栄養分が堆積しやすい。河川内に浅瀬や洲などがあれば、生物が生息しやすく、生物の生産性は高くなる。

しかし、都市河川の感潮域では垂直のコンクリート護岸が多く、生物の生息域は限られている。また、周辺の下水道が合流式の場合、下水の雨水吐き口やポンプ場が河川に接続しており、大雨の時には未処理の汚水が少なからず河川に流出し、感潮域に堆積すると考えられる。

底質が微生物分解により還元状態になると、水質が悪化したり、浮泥(スカム)が水面一杯に出現することがある。また、富栄養化の海域に繋がる河川では海水の遡上によって赤潮がみられることもある。

今回、横浜港に注ぐ帷子川の感潮域において水質および底質について調査したところ、いくつか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

調査地点を図-1に示す。帷子川は横浜市域の中央部を西から東に流れる延長17kmの河川である。河床勾配は市内の河川中もっとも急峻で、かつては大雨による増水で流域では浸水被害がたびたびあり、洪水防止のための分水路も造られた。しかし、2004年10月の台風22号では横浜駅周辺の感潮域で氾濫し、周辺の商店街に泥水が溢れ出したことがある。帷子川の感潮域は河口より約

4kmである。

K1は順流域と感潮域の境にあたり、K2は帷子川と今井川の合流点付近である。K1~4が帷子川本流、K5、6は支流のそれぞれ新田間川、石崎川の地点で、両支流はK2の下流で分流した後、河口の手前で再び合流する。

2-2 試料採取方法および調査期日

調査は原則として橋上より水質・底質用試料を採取した。表層水はバケツを用いて採水し、底層水(河床上0.5~1m)はリゴ- B号透明採水器を用いて採水した。底質試料はエックマンバ-ジ採泥器を用いて採取した。

調査期日は2008年6月25日、10月14日である。6月の調査は小潮にあたり、調査時は引き潮であった。10月の調査は大潮の引き潮時で干潮の直前であった。

2-3 調査項目および測定方法

環境、水質および底質の調査項目および測定方法は別

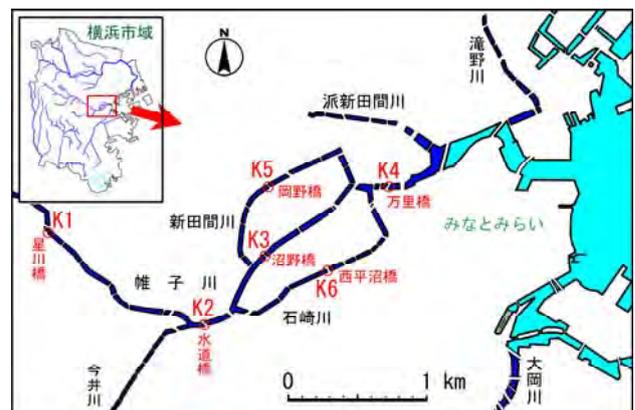
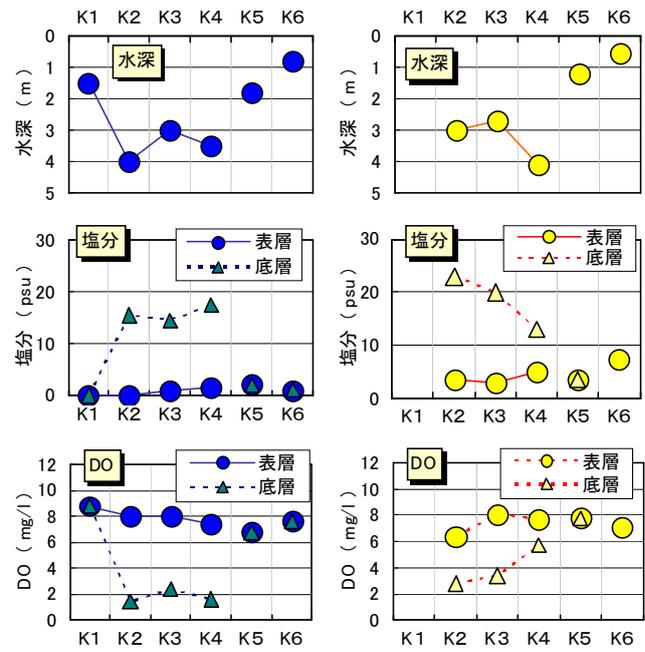


図-1 調査地点図

表-1 水質の結果

項目 地点	水深 (m)	水温 (°C)	透明度 (m)	pH	塩分 (psu)	濁度	DO (mg/l)	COD (mg/l)	Chl.a (μg/l)	
6月	K1 上	1.5	20.0	1.1	8.36	0	2.8	8.8	2.3	4.0
		下	20.0		8.22	0	2.8	8.8	2.1	3.3
	K2 上	4.0	20.2	1.8	7.93	0	2.3	8.0	2.1	2.3
		下	22.2		7.41	16	2.8	1.4	3.3	1.8
	K3 上	3.0	20.7	1.8	8.06	1	2.7	8.0	2.1	2.3
		下	22.1		8.07	15	2.5	2.4	2.9	1.8
	K4 上	3.5	21.3	1.4	7.96	2	3.1	7.4	2.9	1.7
		下	22.7		7.56	18	2.5	1.6	3.7	2.0
	K5 上	1.8	23.2	1	8.02	2	4.0	6.8	2.5	1.5
		下	23.2		7.96	2	3.8	6.8	2.9	1.9
	K6 上	0.8	21.3	>1	8.12	1	4.7	7.6	2.8	2.6
		下	22.1		8.02	1	4.2	7.6	3.1	2.7
10月	K1 上	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		下	-	-	-	-	-	-	-	-
	K2 上	3.0	18.7	>3.0	7.75	4	1.7	6.4	3.6	1.9
		下	21.5		7.53	23	0.7	2.8	3.8	1.0
	K3 上	2.7	19.0	>2.7	7.94	3	1.6	8.1	2.0	1.7
		下	20.7		7.66	20	1.1	3.4	2.2	1.1
	K4 上	4.1	18.8	3.0	7.95	5	1.5	7.7	2.2	1.7
		下	20.0		7.69	13	1.4	5.7	2.8	1.3
	K5 上	1.2	19.2	>1.2	7.93	4	2.2	7.8	1.6	2.1
		下	19.2		7.98	4	2.2	7.8	2.4	2.2
	K6 上	0.55	19.2	>0.55	7.94	8	2.8	7.1	2.8	2.2
		下	-	-	-	-	-	-	-	-

* 上=表層、下=底層



〔 6 月 〕 〔 10 月 〕

図-2 水質の結果(一部)

報¹⁾と同様である。

3. 結果と考察

3-1 水質

水質の調査結果の一部を表-1および図-2に示す。

K1の星川橋は順流域と感潮域の境界付近の地点である。6月の調査では水深は最深部で1.5mであった。塩分は表層・底層とも0psuと、海水の影響はみられない。DOは8mg/l前後と高かった。一方、CODは2mg/gと低かった。

水深は帷子川本流感潮域のK2~4で3~4mであるのに対して、支流のK5、6では0.6~2m弱と浅かった。

透明度は6月には1.8m以下であったが、Chl.aは低いため、赤潮の影響ではなかった。10月の方が透明度は高かった。

塩分は本流のK2~4では表層で0~8psu、底層で15~23psuであり、表層で低く、底層で高いのが認められる。淡水と海水の比重差や河川流速が遅いため、淡水と海水は混ざりにくく、表層は上流からの河川水が、底層は海水が多くを占めていたと考えられる。支流のK5、6では表・底層とも塩分は低かった。水深が浅いことが影響していると考えられる。

DOは6月の場合、本流のK2~4では表層で8mg/l前後で上流のK1とあまり変わらないが、底層では1.4~2.4mg/lと低く、魚介類の致死濃度に近い貧酸素状態であった。支流のK5、6では表・底層のDOはほぼ同じで6.8mg/l以上あった。10月は本流の表層DOは6mg/l以上あったが、底層ではK2、3で水産用水基準4.3mg/l以下の貧酸素状態であった。一方K4の底層DOは6mg/l弱に上昇していた。10月のK2~4では6月に比べて底層DOが高く、下流に行くほど増加している。調査時

は大潮の引き潮時にあたっており、底層水の塩分が漸減傾向にあることから、河川水の流下速度が大きくなってDOに富む淡水と貧酸素の海水が混じりあい、下流ほどその傾向が強かったと考えられる。支流のK5、6では表層・底層DOはほぼ同じであった。水深が浅いため、貧酸素の海水の影響が少ないためと考えられる。

有機汚濁指標のCODは2~4mg/lと低い。表層より底層のほうがやや高い傾向がある。帷子川が流入する横浜港に対する横浜市の水環境目標は3mg/l以下であるから、流入河川水はこの基準をほぼ満足する。

Chl.aはいずれの地点も低く、赤潮はみられなかった。

河川の特徴として、帷子川本流の感潮域にあたるK2~4では水深が3、4mあり、底層には海水が侵入して貧酸素状態の傾向があった。赤潮はみられなかった。一方、支流のK5、6は水深が浅く、淡水が主であり、底層でも貧酸素状態ではなかった。

3-2 底質

3-2-1 底質の性状

底質の調査結果を表-2、図-3に示す。

酸化還元電位Ehは最上流のK1では430mVで、酸化状態である。一方、K2~6のEhは-50~-170mVと還元状態であり、また6月より10月の方が嫌気度が強い傾向が認められる。本流の河口に近いK4が最も嫌気度が強い。

粒度組成はK1ではほぼ砂分で占められ、泥分はわずかだが、K2~6では20~84%が泥分となる。本流のK2では泥分率が6月は60%、10月は20%と変化が大きかった。K2は帷子川と今井川の合流点であることから、大雨による増水時に河床底質が変動しやすいと考えられる。河口に近いK4では泥分率が80%前後と高い。支流のK5、6ではおおよそ50%である。

強熱減量ILはK1では1.6%と低いが、K2~6では

表-2 底質の結果

項目 地点	泥温 (°C)	Eh (mV)	粒度組成		IL (%)	砂分IL (%)	泥分IL (%)	COD (mg/g)	T-S (mg/g)	
			砂分率 (%)	泥分率 (%)						
6月	K1	19.9	433	98.9	1.1	1.6	1.5	12.9	1.5	0.005
	K2	22.5	-62	41.7	58.3	11.7	7.9	14.5	42.5	3.27
	K3	22.4	-70	61.5	38.5	8.9	5.0	15.2	20.1	1.47
	K4	22.5	-166	15.7	84.3	13.6	9.0	14.4	54.9	5.46
	K5	22.6	-49	39.0	61.0	14.0	12.7	14.9	41.2	2.77
	K6	23.0	-86	44.1	55.9	12.0	8.9	14.4	21.1	2.65
10月	K1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	K2	21.4	-146	80.1	19.9	5.1	2.3	16.4	14.6	3.09
	K3	21.3	-121	51.5	48.5	11.0	6.1	16.2	18.5	2.48
	K4	21.1	-149	22.9	77.1	10.4	6.1	11.7	37.1	3.25
	K5	21.4	-106	43.1	56.9	16.9	16.3	17.3	35.0	3.46
	K6	20.7	-113	54.3	45.7	10.5	6.4	15.3	21.4	2.53

ほとんどが 10%以上となる。支流の K5 がもっとも IL が高く、15%前後である。粒度別 IL をみると、K5 では粒径 2~0.075mm の砂分 IL が他の地点にくらべて大きいのが認められる。感潮域での採取試料には粒径 2mm 以上の夾雑物として礫や貝殻片の他に葉や茎・根などの植物片が含まれていた。K5 では植物片が多かったことから、これらが細分化して底質の IL に寄与したと考えられる。

IL と同じく有機汚濁指標である COD は、K1 の 1.5mg/g に対して K2~6 では 15~55mg/g であった。この中で河口近くの K4 が最も高かった。支流の K5 は IL にくらべて COD がやや低い傾向がみられた。植物細片などの分解しにくい有機物の割合が多いためと考えられる。

全硫化物 T-S は K2~6 ではおおよそ 3mg/g であるが、6月は本流の K3 でやや低く、一方 K4 では 5.5mg/g と高くなった。K4 は COD の傾向から分解しやすい有機汚濁物質が堆積しており、Eh も -150mV と硫酸還元細菌に好適な環境である^{2, 3)} ことから、生成物としての硫化物が特異的に高濃度になったものと考えられる。

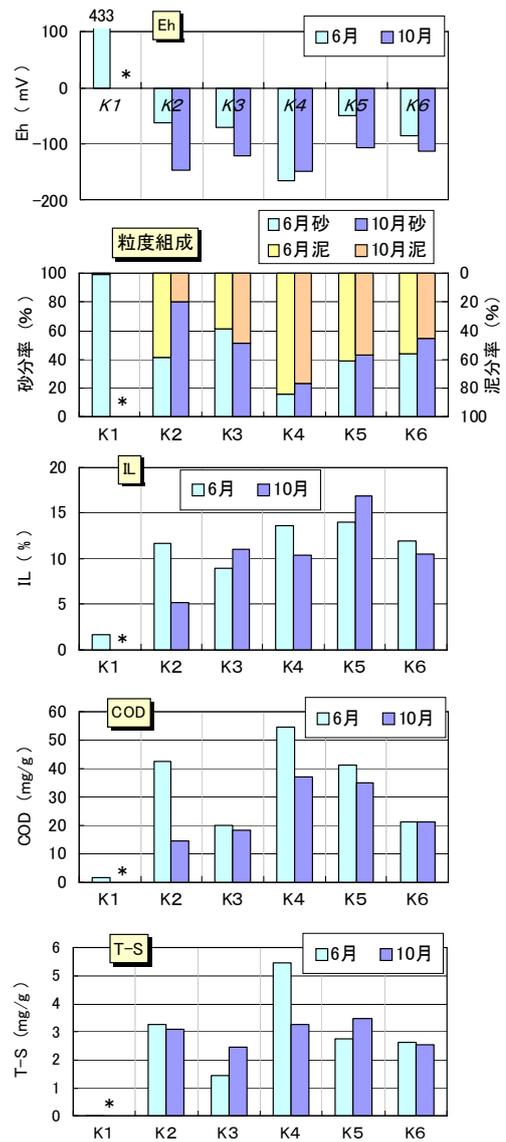
地点別の特徴としては、最上流の K1 は酸化状態で砂礫質のため IL 等の値は低かった。感潮域の K2 では6月は泥分が多く、IL 等の値は高かったが、10月は有機物含量の少ない砂分が多く他の項目の値は低かった。K3 は IL に対して、COD がやや低く、分解しやすい有機物は少ないと考えられる。T-S が感潮域の地点中では最も低い。K4 は泥分が地点中もっとも多く、COD や T-S が高く、嫌気度も強かった。

支流の K5 では IL は 15%前後で、全地点中最も高く、これは細分化した植物片が多いためと考えられる。支流の K6 は本流の K3 と各値がほぼ同じであり、K5 よりは低かった。

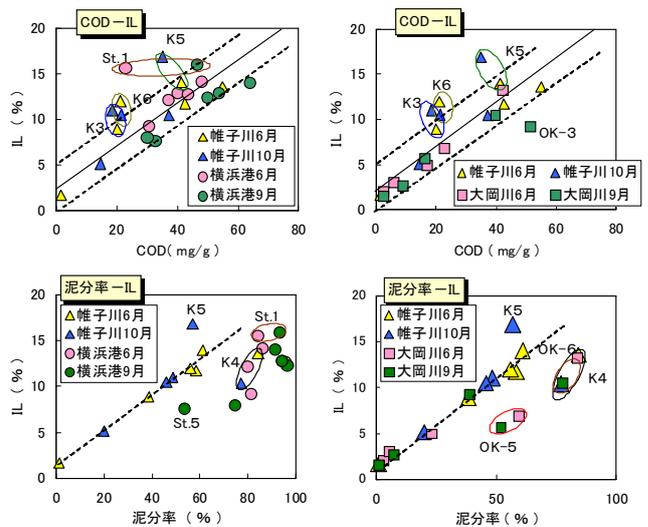
3-2-2 他の水域との比較

今回調査した帷子川感潮域のほか、同時期に帷子川河口および横浜港の調査¹⁾ を、また前年には大岡川感潮域の調査⁴⁾ をしている。帷子川底質の状況を知るためにこれらの調査結果と比較してみる。

帷子川と横浜港および大岡川の底質の性状分布図を 図-4 に示す。有機汚濁指標である底質 COD と IL の相



* 10月K1のデータは欠測
図-3 底質の結果 (一部)



[帷子川と横浜港] [帷子川と大岡川]
図-4 底質性状の比較

関はきわめて高いとされている。COD と IL の関係図に

において、点線の範囲で示した領域は東京湾の底質の分布範囲である⁵⁾。横浜港の底質はほとんどの範囲に入っているが、これから外れているのは St. 1 の帷子川河口である。帷子川底質では K 3、5、6 が外れているのが認められる。いずれの地点も COD にくらべて IL が高い地点であり、帷子川底質には海域の底質に比べて分解しにくい有機物が多いと考えられる。大岡川では OK-3 が外れている。IL にくらべて COD が高いため、分解しやすい有機物が多いと考えられる。

泥分率と IL の関係では帷子川の河口に近い K 4 が海域である横浜港底質の分布域に入っている。また、帷子川と大岡川との比較ではいくつかを除いて一本の直線にのる。河口に近い OK-6 は K 4 とほぼ同じで海域の底質に近い。また OK-5 も泥分率に比べて IL が低く、海域底質に近いと考えられる。

3-2-3 水産用水基準による底質評価

(社)日本水産資源保護協会の水産用水基準では、過酷な夏に底生生物の生息状況に影響する底層水の DO と底質の状態との間に相関関係があることを応用して、底質の全硫化物と COD の値について望ましい底質の基準を設定している。昭和 58 年(1983 年)の改訂版では底質を 3 段階に分けている⁶⁾。今回の調査についてあてはめた結果を図-5 に示す。

最上流の K 1 は「正常泥」、感潮域の K 2~6 は「汚染

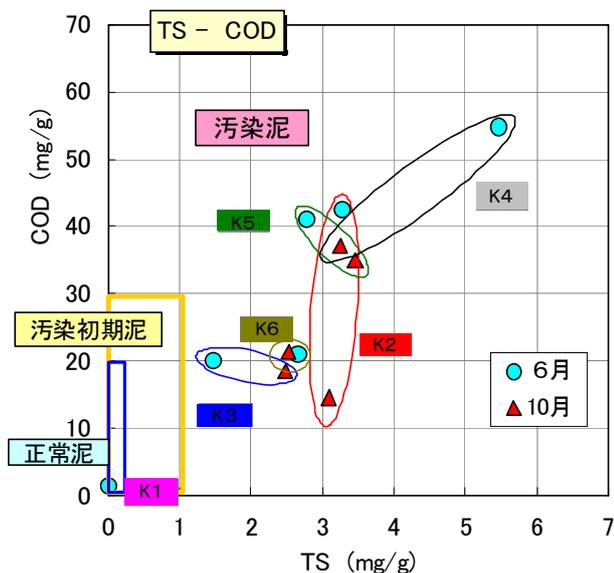


図-5 水産用水基準による底質評価

泥」と判定される。このうち K 2 (10 月) は COD が 20mg/g 以下で「正常泥」の範囲、また K 3、6 は COD が 20mg/g 前後なので「正常泥」と「汚染初期泥」の境界にあるが、いずれも T-S が高いために、「汚染泥」に入る。K 4 は T-S が高く、「汚染泥」の中で位置が高いのが認められる。

このように帷子川の感潮域では底生生物が生息条件の厳しい夏を乗り切るのはむずかしいと考えられる。

4. まとめ

横浜港に注ぐ帷子川の感潮域で 2008 年 6、10 月の引き潮時に水質および底質の調査をしたところ、以下のような知見が得られた。

- 1) 帷子川本流の感潮域では水深が 3、4 m あり、表層では溶存酸素は 6 mg/l 以上と充分にあったが、底層では海水の侵入により貧酸素の傾向があった。一方、支流は水深が浅いため、上流からの河川水が主で底層でも貧酸素状態ではなかった。
- 2) 感潮域の底質は還元状態にあつて下流ほど泥分が多い傾向があり、河口近くの地点で最も COD や硫化物が高かった。支流には分解しにくい有機物が本流より多いとみられた。
- 3) 水産用水基準による底質評価では「汚染底質」と判定され、底生生物が生息するには厳しい環境と思われた。

文 献

- 1) 小市佳延、下村光一郎、犬飼まり子、水尾寛己、西栄二郎、坂本昭夫：横浜港の底層環境調査ーみなとみらい〜瑞穂地区ー。横浜市環境科学研究所報、34、(2010)
- 2) 日本海洋学会：沿岸環境調査マニュアルⅡ〔水質・微生物篇〕、305-307、恒星社厚生閣、東京(1990)
- 3) 左山幹雄、栗原 康：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー、32-42、東海大学出版会、東京(1988)
- 4) 小市佳延、下村光一郎、水尾寛己：河川感潮域の水質・底質調査結果ー大岡川ー、平成 21 年度横浜市環境創造局職員業務研究改善事例発表会資料集、145-146(2009)
- 5) 七都府市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会：東京湾における底生生物調査指針および底生生物等による底質評価方法、全国公害研究会誌、25、55-61(2000)
- 6) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準(1995 年版)、66-68(1995)

梅田川の改修後における魚類の再生と生活場選択に関する研究

樋口文夫、福嶋 悟、犬飼まり子、阿久津 卓、森田純子、渾川直子
(横浜市環境科学研究所)

Investigation of habitat select and recovery by fish following the improvement of Umeda River

Fumio Higuchi, Satoshi Fukushima, Mariko Inukai, Takashi Akutsu, Sumiko Morita, Naoko Nigorikawa
(Yokohama environment science research institute)

キーワード：魚類、再生、生活場選択、河川改修、梅田川

要約

梅田川下流の改修区間で、魚類の回復状況と生息場選択性を明らかにするために調査を行なった。期間中の採集魚種リストは、全体で5科15種が確認され、採集個体数割合はカワヨシノボリ、アブラハヤ、オイカワの3種で90%以上を占めた。改修後の形態区分を水際、河床等の特徴から、開放区、カバー区、人工区等として比較検討した。採集個体数はカバー区が60%以上を占めて多かった。物理的環境要因の季節変化は、最高水位が9月で最も高い値、水深が開放区で6月より高い値となり、水際照度等は、カバー区で6月から10月まで低い値となっていた。基質性状では、カバー区で9月から砂率等が高くなっていった。魚類生息密度の季節変化は、オイカワ、アブラハヤが7、8月に高い値で、9月に低い値となった。冬も両種で低かった。カワヨシノボリは周年確認され、夏から秋にかけて生息密度が高くなった。体長分布の季節変化では、アブラハヤが生長初期、成魚ともカバー区で多く出現し、オイカワが初期にカバー区、その後に開放区で出現していた。生息密度と環境要因との関係は、オイカワが流れ幅、砂率、小礫率、アブラハヤが水際照度、流速、小礫率等、カワヨシノボリが土坦率、流れ幅、水面下のカバー面積等との関係が示された。以上から、改修後の形態は変化し、それに応じて出現魚種による利用様式も変化した。また、増水等による影響が大きいことも推測された。

1 はじめに

河川生態系における生物多様性を保全、再生するためには、流域の自然度が高い谷戸源流部、本川、海のそれぞれの拠点を確保し、相互関係を維持、修復していくことが必要と考える。それにより、生物の生活場と移動分散を保障する水辺ネットワークが構築される。

筆者らは、梅田川の流域に点在する谷戸水路と梅田川を対象に魚類の分布と生態について調査してきた¹⁾。その中で、源流と支川との連続性が分断化されている中で、魚種により移動分散様式が異なっていることが示された。

最近、アユ、ハゼ科等の通し回遊魚が多く確認され、特に支川への遡上が多く確認²⁾されだし、また、源流、本川に比して支川で多くの魚種が出現している¹⁾。これらのことから、この水域の重要性を把握するために、河川形態の変化と出現魚種との関係、生息場の利用様式等に注目して検討した。

今回、対象河川とした梅田川は、鶴見川水系の二次支川である。1987年より上流区間で、多自然型工法による改修が行われ、河道を直線化しつつ、低水路、斜路工部の木工と礫により瀬の形成、水際、土等と植物が繁茂する沿水域を再生することとして改修された³⁾。その後、1988年に下流区間でも改修が行われ、低水路が造成されてきたが、落差工、取水堰等の河川構造物が設置されていた。2007年には落差工落差の緩和、新たな低水路



図-1 梅田川の調査地点；○、→；流れ方向

の再改修が施行された。

これら、河川改修後の環境形態の変化と生物への影響、そして回復過程を把握するための継続的なモニタリング調査は今まであまり行われてこなかった⁴⁾。そのため、これからの支川の管理、多自然河川環境等を考える上で、水生生物と河川形態との関係等を把握することが必要なことと考える。以上から、梅田川で改修が行われた下流水域を対象に調査を実施したので報告する。

表－1 調査地点と形態区分の概要

地点名	水系	河川名	橋名等	形態区分	合流点からの距離(m)	護岸	底質	流況
St. 1	鶴見川	恩田川		本川	0	土	自然	平瀬
St. 2	鶴見川	梅田川		開放	17	土	自然	瀬
St. 3	鶴見川	梅田川		開放	20	土	自然	落差下淵
St. 4	鶴見川	梅田川		カバー	25	土	自然	平瀬、淵
St. 5	鶴見川	梅田川		カバー	50	土	自然	平瀬
St. 6	鶴見川	梅田川	旭谷橋	人工	120	埋め込み大礫	埋め込み大礫	瀬
St. 7	鶴見川	梅田川	寺前	開放	240	土	土	平瀬
St. 8	鶴見川	梅田川		人工	252	蛇籠	コンクリート	瀬
St. 9	鶴見川	梅田川		カバー	295	土	自然	平瀬
St. 10	鶴見川	梅田川	取水堰	堰下	320	コンクリート	コンクリート	淵、瀬
St. 11	鶴見川	梅田川	西ノ前橋	カバー	500	土	自然	平瀬

2 材料と方法

2-1 調査時期と地点

調査時期は、2008年4月～2009年4月まで月1回の頻度で計13回実施した。

調査河川と地点の概要は、対象河川が梅田川、鶴見川水系の恩田川に流入する支川で、東経139°31'、北緯35°31'に位置し、流域面積3.9km²、流路延長2.2km、河床勾配が1/140となっている。流域には自然度の高い谷戸が比較的多く残っており、谷戸水路からの集水によって水量が維持されている。しかし、水路の多くは、三面コンクリート、U字溝となっており、梅田川との合流点は、1m以上の落差のあるコンクリート垂直面の構造物が設置されている。

調査地点は、梅田川と恩田川合流点から、西の前橋の約500m上流までの範囲で、低水路の護岸および河床構造等の形態的特徴をもとに11地点（下流からSt.1～11地点）を設定した。

11地点の形態的特徴から開放区、カバー区、人工区、堰下、本川の5区分にまとめ解析した。それらを図-1、表-1、また主要な地点を写真-1～6に示した。

形態区分の特徴は、開放区が、低い草本類が水際に繁茂するが、水面上はオープンな地点で、St.2、3、7の3地点、その中でSt.3は段差のF型の落ち込み淵、St.7がS型の基質硬度の変化による淵が形成されていた。カバー区は、水面上にヨシ等が被覆した地点で、St.4、5、9、11の4地点、人工区は、コンクリート、固定化された大礫等の地点で、St.6、8の2地点、堰下区は、取水堰（転倒式稼働堰）が設置されている下流のSt.10とし、6月から9月まで閉められて上流は深い淵が形成される。他に本川が恩田川の合流点周辺の地点、St.1であった。

2-2 調査方法

降水量の気象データについては、気象庁横浜地方気象台日吉⁵⁾の日間降雨データを用い、梅田川の最高水位記録は、横浜市防災情報⁶⁾から神明橋の観測点データを日間にまとめた。観測点は、調査区域の上端から約900m上流に位置する。これらのデータは、それぞれ調査日後からつぎの調査日までの平均値を算出し、調査月の平均最高水位とした。ただし、2008年4月は、調査日までの



写真－1 調査開始時のカバー区 (St. 4、5)、4月、上方向



写真－2 カバー区、7月



写真－3 カバー区、1月



写真－4 開放区 (St. 7)、淵、7月、下方向



写真－5 人工区 (St. 8)、7月、下方向



写真－6 取水堰 (St. 10)、7月

表－2 形態区別の調査面積 (m²)、N；例数；Mean；平均値、SD；標準偏差

区	N	Mean	SD
開放	39	43.4	32.1
カバー	52	40.5	27.0
人工	26	52.6	24.1
堰下	13	17.1	3.9
本川	13	129.5	4.2

4月のデータの平均値を算出して解析に供した。

環境要因の水質は、以下の項目について地点ごとに測定した。水温 (°C)、pH、電気伝導度 (mS/m) の3項目を携帯型 pH 計 (東亜電波 HM-12P)、携帯型 EC 計 (東亜電波 CM-14P) で測定した。

物理的環境要因は、調査区域の上、中、下の位置で測定した。項目と測定方法は、水深 (m)、流れ幅 (m) は折れ尺で測定した。流速は、携帯型電磁流速計 (KENEK VE10) を使い、60%水深で5回測定の平均値とした。相対照度は、調査区の中央、左右の水際の水面上約 30cm の位置で携帯型デジタル照度計 (TOPCOM IM-5) を用いて測定した。

水面下に張り出した植物の根、えぐれ等の横断長を左右岸で計測し、それを縦断長に乗じてそれぞれカバー面積 (m²) とし、調査水面面積を除いて割合で示した。基質性状は、50cm×50cm 枠の中で、コンクリート、砂 (粒径<2mm)、小礫 (2~16mm)、中礫 (17~64mm)、大礫 (65mm<)、土坦 (軟質の砂泥岩) の分類に従って目測で測定した。これらの物理的環境要因の測定は各調査地点の範囲内で上、中、下流の3ヶ所を測定して、その平均値を求めて解析した。

魚類の採集方法は、各地点で一定の調査範囲を設定し、上端下端に網目 1mm の仕切り網を設置し、人員 2 名で下流から上流に向かって、同時に左右で約 20 分かけて採集した。用具は、D 型フレームネット (底辺 45cm、高さ 40cm、網目 1.5mm) を St.2~11、投網 (16 節、900 目) を St.1、St.3 と St.7 の淵で用いた。採集された魚類は、標準体長をノギスで全数測定し、その後放流した。種不明の個体は研究室に持ち帰り同定した。地点別の採集個体数は調査水面面積で除して生息密度 (個体数/10m²) を算出した。全期間の各調査地点の水面面積を形態区別にまとめたのが表－2である。

2-3 解析方法

形態区分の開放区、カバー区、人工区、堰下、本川をもとに物理的環境要因、生息密度をまとめ比較検討した。解析方法は、データの正規性の検定を行い、正規性を示さない場合は、実数データが対数変換 (log₁₀ 変数、log₁₀ (1+変数))、比率が逆正弦変換を行なって解析した。また、正規性を示さない値にはノンパラメトリックの解析手法を用いて比較検討した。

形態区別の平均値の比較は、一元配置分散分析、チューキー法による多重比較検定を行った。季節変化の解析は、物理的環境要因が開放区、カバー区、人工区の3区分、魚類の生息密度が主要な魚種、オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの3種について繰り返しのある2元配置分散分析、チューキー法による多重比較検定を行った。

平均最高水位、物理的環境要因と3魚種の生息密度との関係は、変換後のデータを用いて単回帰分析で解析した。さらに物理的環境要因との関係は、有意な相関関係を示した項目について目的変数を生息密度、説明変数を環境要因として変数選択の減少法で多重回帰分析を行った。相関係数の相対的比較によって共線性を示すと推測

表－3 採集魚類リスト、形態区分別個体数と割合

学名	和名	開放		カバー		人工		堰下		本川		計	
		実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%	実数	%
1 <i>Cyprinus carpio</i>	コイ	11	2.3	21	1.5	0	0.0	0	0.0	5	62.5	37	1.6
2 <i>Carassius auratus langsdorfi</i>	ギンブナ	2	0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.1
3 <i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	タイリクバラタナゴ	3	0.6	0	0.0	0	0.0	10	3.7	0	0.0	13	0.6
4 <i>Zacco platypus</i>	オイカワ	163	33.9	167	11.9	7	6.4	102	37.4	2	25.0	441	19.3
5 <i>Zacco temminckii</i>	カワムツ	2	0.4	1	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	0.1
6 <i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	アブラハヤ	84	17.5	366	26.0	6	5.5	83	30.4	0	0.0	539	23.6
7 <i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ	8	1.7	2	0.1	0	0.0	4	1.5	0	0.0	14	0.6
8 <i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	タモロコ	5	1.0	8	0.6	0	0.0	1	0.4	0	0.0	14	0.6
9 <i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	カマツカ	1	0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	12.5	2	0.1
10 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	ドジョウ	6	1.2	14	1.0	1	0.9	8	2.9	0	0.0	29	1.3
11 <i>Lefua echigonia</i>	ホトケドジョウ	2	0.4	4	0.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	6	0.3
12 <i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	アユ	2	0.4	1	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	0.1
13 <i>Oryzias latipes</i>	メダカ	22	4.6	1	0.1	0	0.0	31	11.4	0	0.0	54	2.3
14 <i>Rhinogobius sp.OR</i>	トウヨシノボリ	1	0.2	1	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.1
15 <i>Rhinogobius flumineus</i>	カワヨシノボリ	169	35.1	823	58.4	96	87.3	34	12.5	0	0.0	1122	49.2
	計	481	100.0	1409	100.0	110	100.0	273	100.0	8	100.0	2281	100.0
	種数計	15		12		4		8		3			

された関係 ($r < 0.6$) の環境因子については、それを除いて解析した。

3 結果

3-1 採集魚類リストと採集個体数

形態区分別の魚類リストと採集個体数割合を表－3に、主要魚種を写真－7～9に示した。



写真－7 オイカワ ♂



写真－8 アブラハヤ ♀



写真－9 カワヨシノボリ ♀

全体の採集魚種は、コイ、ギンブナ、タイリクバラタナゴ、オイカワ、カワムツ、アブラハヤ、モツゴ、タモロコ、カマツカ、ドジョウ、ホトケドジョウ、アユ、メダカ、トウヨシノボリ、カワヨシノボリの5科15種であった。今回の初記録は、カワムツ、カマツカ、アユの3種、外来種はタイリクバラタナゴ、カワムツ、タモロコ、カワヨシノボリの4種であった。2004年～2005年の調査¹⁾では、6科17種が確認されており、今回、確認されなかった在来種は、シマドジョウ、ナマズであった。

魚種別の採集個体数割合は、2281尾中、最も多く採集された魚種は、カワヨシノボリの49.2%、ついでアブラハヤの23.6%、オイカワの19.3%の順で、これら3種で90%以上を占めていた。

形態区分別の採集個体数の計は、カバー区が1409で60%以上を示し、ついで開放区が481の21%であった。採集個体数割合は、開放区が15種で、カワヨシノボリとオイカワが多く30%台、アブラハヤが約18%の順で高い割合を示した。カバー区は、12種、カワヨシノボリ58%と最も多く、アブラハヤが26%、オイカワが12%の順、人工区は、4種、カワヨシノボリが87%を占めていた。堰下区の出現魚種が8種、採集個体数割合はオイカワが37%、アブラハヤが30%、カワヨシノボリが13%の順に多かった。本川は3種と少なく、コイが63%と最も多かった。これら魚種別個体数割合を形態区分間で比較すると、魚種間、形態区分間の両因子で差を示していた(フリードマン検定、魚種間： $\chi^2_{14}=42.10$ 、 $P < 0.001$ 、形態区分間： $\chi^2_4=33.92$ 、 $P < 0.001$)。

3-2 環境要因の季節変化

開放区、カバー区、人工区、堰下、本川の5区分の物理的環境要因の平均値、標準誤差を表－4に示し、区分別の比較を一元配置分散分析と多重比較をチューキー法により解析した。

日間降雨量と最高水位の年変化を図－2に、開放区、

表－4 形態区分別の物理的環境要因の平均値；Mean、標準誤差；SE、括弧内の数字は例数、アルファベットの違いは有意水準 5%以上で差ありを示す

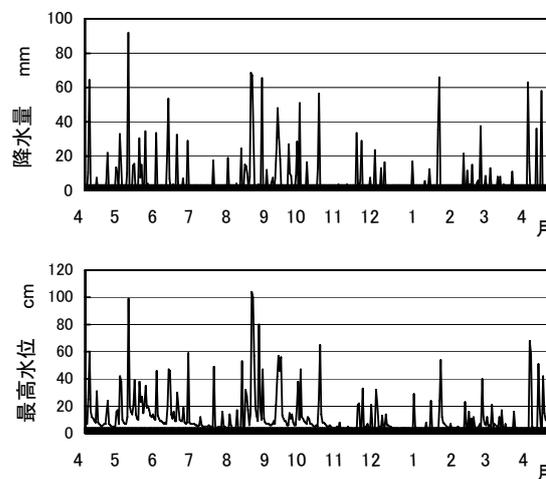
項目		開放区	カバー区	人工区	堰下	本川
		(39)	(54)	(26)	(12)	(12)
水温 (°C)	Mean	15.68	16.20	16.42	16.28	17.31
	SE	0.87	0.76	1.10	1.71	1.37
平均流れ幅(m)	Mean	3.35	1.95	2.07	4.79	5.96
	SE	0.20	0.03	0.09	0.55	0.04
平均水深(m)	Mean	0.51	0.33	0.17	0.19	0.45
	SE	0.05	0.01	0.02	0.03	0.02
平均流速(m/s)	Mean	0.39	0.31	0.46	0.24	0.51
	SE	0.03	0.02	0.05	0.04	0.04
平均中央照度(%)	Mean	83.31	72.48	86.40	94.23	85.15
	SE	2.93	3.25	3.70	2.62	6.75
平均水際照度(%)	Mean	71.38	41.95	65.02	70.07	85.11
	SE	2.87	3.29	4.26	5.18	6.74
カバー面積率(%)	Mean	2.18	13.45	2.76	0.00	0.00
	SE	0.74	1.46	0.61	0.00	0.00
コンクリート率(%)	Mean	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00
	SE	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
砂率(%)	Mean	0.08	0.36	0.07	0.71	0.13
	SE	0.02	0.04	0.03	0.07	0.04
小礫率(%)	Mean	0.30	0.24	0.05	0.28	0.20
	SE	0.02	0.03	0.02	0.07	0.01
中礫率(%)	Mean	0.42	0.16	0.03	0.01	0.19
	SE	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
大礫率(%)	Mean	0.19	0.08	0.38	0.00	0.15
	SE	0.03	0.01	0.08	0.00	0.01
土坦率(%)	Mean	0.00	0.17	0.00	0.00	0.38
	SE	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03
基質変異係数(%)	Mean	1.25	1.49	2.11	2.07	0.83
	SE	0.04	0.06	0.10	0.06	0.07

カバー区、人工区の物理的環境要因の平均値の季節変化を図-3に示した。物理的環境要因の月別、形態区分別の比較は、繰り返しのある二元配置分散分析、多重比較をチューキー法で解析した。

調査期間中における全地点の pH、電気伝導度の平均値±標準偏差は、pH が 7.96±0.36、電気伝導度 (mS/m) が 26.8±5.0 であった。

降水量の年変化は、5、6、9月に高く 11月後は低い値であった。最高水位では、年平均が 12cm であった。年変化は 5、9月で高く、9月が最も高い値で、月別の平均最高水位 (前月の調査後から調査日までの最高水位の平均値) の比較では、9月が他の月との間で有意差を示していた (一元配置分散分析、 $F_{12,372}=13.94$ 、 $P<0.001$)。日間最高水位では、8月 29日、30日の二日間にわたり 100cm 以上を記録し、ついで 5月 20日の 99cm であった。日間降水量と最高水位との相関関係は、 $y=0.499x+0.786$ ($N=395$ 、 $r=0.788$ 、 $F_{1,393}=642.97$ 、 $P<0.001$)、 y は最高水位、 x が降水量であった。なお、データは対数変換 ($\log_{10}(1+\text{変数})$) している。

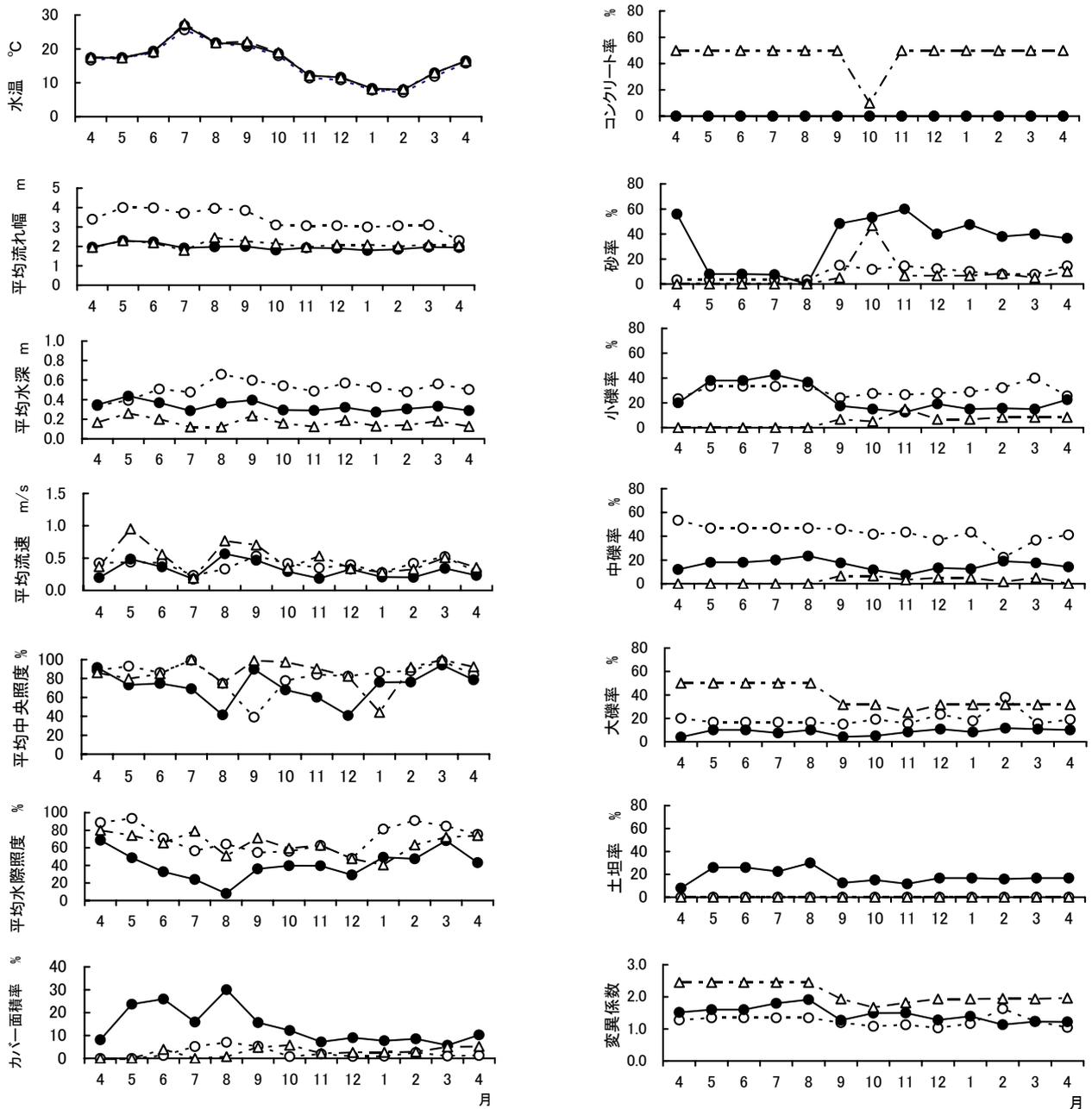
水温の年平均値の比較では、開放区、カバー区、人工区、堰下区、本川の 5 区分間の差は明確でなかった ($F_{4,138}=0.22$ 、 $P=0.925$)。しかし、開放区、カバー区、人工区の 3 区の季節変化では、統計的に月、形態区分の両因子で有意差を示し、開放区で他の区より低い値を示した (月： $F_{12,77}=280.0$ 、 $P<0.001$ 、形態区分、 $F_{2,77}=6.06$ 、 $P=0.003$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.23$ 、 $P=1$)。なお、月と形態の因子間の交互作用は有意差がなく、以下の環境項



図－2 日間降水量と日間最高水位の年変化

目も同様であった。

平均流れ幅は、年平均値が堰下、本川で高い値を示し、統計的には本川、堰下が他の区に比して高かった ($F_{4,138}=69.14$ 、 $P<0.001$)。季節変化では、開放区が平均値で 3.4m と広く、他のカバー区、人工区は 2m で区分間に差があるが、区分ごとの季節変化は少なかった。統計的には月別で差がなく、区分間で差を示し、カバー区が開放区と他の区で有意差を示した (月： $F_{12,77}=1.16$ 、 $P=0.327$ 、形態区分： $F_{2,77}=76.82$ 、 $P<0.001$ 、交互作用：



図一 物理的環境要因の季節変化、左上から水温、平均流れ幅、平均水深、平均流速、平均中央照度、平均水際照度、右上からコンクリート率、砂率、小礫率、中礫率、大礫率、土坦率、基質変異係数、平均値で示す。○；開放区、●；カバー区、△；人工区

$F_{24,77}=0.39, P=0.994$ 。

平均水深は、年平均値が堰下で低く、本川で高かった ($F_{4,138}=14.26, P<0.001$)。季節変化では、調査初期に開放区とカバー区で差がなかったが、6月より8月まで開放区で0.6m以上の高い値となった。これは、河川構造物の落差工、基質の硬度等に影響されて、S型の淵が形成されたことによる。統計学的には、形態区分で有意差を示し、開放区、カバー区、人工区の順で高かった (月： $F_{12,77}=0.27, P=0.992$ 、形態区分： $F_{2,77}=14.87, P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.18, P=1.000$)。

平均流速は、年平均値の比較では、堰下区で低く、本川で高かった ($F_{4,125}=7.10, P<0.001$)。季節変化では、5

月、8月、9月に人工区で高い値を示し、調査前の降水量と関係しているものと推測される。統計学的には、月別、区分別に有意差を示し、月別では、5月と8月、9月が冬等に比して高く、区分別はカバー区が他の区に比して低かった (月： $F_{12,64}=7.42, P<0.001$ 、形態区分： $F_{2,64}=13.02, P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,64}=1.19, P=0.282$)。

平均中央照度は、カバー区が低く、人工区、堰下区との差があった。

水際照度は、年平均値が区分間で差を示し、カバー区で低い値を示した ($F_{4,138}=16.34, P<0.001$)。この照度は、左右の水面上の照度を測定したもので、繁茂する植物群落の組成に影響される。調査初期はほとんどが裸地で、

表 5 形態区別の生息密度の平均値；Mean、標準誤差；SE、括弧内の数字は例数、アルファベットの違いは、本川を除く区分間の比較で、有意水準 5%以上で差ありを示す

種類		開放 (39)		カバー (52)		人工 (26)		堰下 (13)		本川 (13)
オイカワ	Mean	2.60	<i>a</i>	1.09	<i>ab</i>	0.04	<i>b</i>	4.67	<i>c</i>	0.01
	SE	1.13		0.49		0.02		2.67		0.01
アブラハヤ	Mean	1.30	<i>ab</i>	2.75	<i>a</i>	0.05	<i>b</i>	3.29	<i>c</i>	0.00
	SE	0.62		1.15		0.03		1.53		0.00
カワヨシノボリ	Mean	1.49	<i>a</i>	5.72	<i>b</i>	0.86	<i>a</i>	1.58	<i>a</i>	0.00
	SE	0.43		1.20		0.50		0.90		0.00

区分間で差がなかった。6、7月になるとカバー区でヨシ群落が卓越し、7、8月で低い値を示し、ヨシが枯れる冬は高い値となった。開放区は丈が短い、イネ科等の植物が繁茂し、夏と冬の差は小さかった。統計学的には月別、形態区別の両因子に有意差を示し、区分間ではカバー区が低かった（月： $F_{12,77}=4.27$ 、 $P<0.001$ 、形態区分： $F_{2,77}=30.34$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=1.46$ 、 $P=0.110$ ）。

水面下のカバー面積率は、水面を覆う植物、水中に張り出した根、護岸の浸食によるえぐれ等を含めて測定した。年平均値の比較はカバー区が明らかに高率であった（ $F_{4,138}=40.89$ 、 $P<0.001$ ）。季節変化では、カバー区で5月、6月と8月に高率を示し、11月からは低い値となっていた。統計学的には両因子で有意差があり、6月、カバー区で他の月、区に比して高かった（月： $F_{12,77}=4.48$ 、 $P=0.009$ 、形態区分： $F_{2,77}=59.24$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=1.46$ 、 $P=0.110$ ）。

基質性状のコンクリート率は、人工区で10月に低い値となったが、安定した高い率を示していた。統計学的には、形態区分で有意差があり、人工区で高い率であった（月： $F_{12,77}=0.06$ 、 $P=1.0$ 、形態区分： $F_{2,77}=28.72$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.09$ 、 $P=1.0$ ）。

砂率は、年平均値では、カバー区、堰下区が他の区に比して高かった（ $F_{4,138}=24.15$ 、 $P<0.001$ ）。季節変化では、カバー区で9月から特に高い率を示し、8、9月の増水による影響が示唆された。統計学的には、両因子で有意差を示し、10、11月で高く、カバー区で高い率となっていた（月： $F_{12,77}=5.35$ 、 $P<0.001$ 、形態区分： $F_{2,77}=31.96$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=1.53$ 、 $P=0.085$ ）。

小礫率は、年平均値では人工区が他の区より低率であった（ $F_{4,138}=12.64$ 、 $P<0.001$ ）。季節変化は、カバー区で9月より低い率であった。統計学的には、形態区分で有意差を示し、人工区で低かった（月： $F_{12,77}=0.25$ 、 $P=0.995$ 、形態区分： $F_{2,77}=20.76$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.42$ 、 $P=0.992$ ）。

中礫率は、年平均値が開放区で高い率を示し（ $F_{4,138}=62.50$ 、 $P<0.001$ ）。季節変化は月別で差がなく、区分間で有意差を示し、開放区で高率、人工区で低率であった（月： $F_{12,77}=0.19$ 、 $P=0.999$ 、形態区分： $F_{2,77}=69.49$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.53$ 、 $P=0.958$ ）。

大礫率は、年平均値では人工区、ついで開放区の順で高い率であった（ $F_{4,138}=9.79$ 、 $P<0.001$ ）。季節変化は、人工区が高い率で、1地点が埋め込み石の大礫であったことを反映していた。この地点は9月後に砂、小礫等が堆

積していた。統計学的には、区分別で有意差を示し、カバー区で低率で、人工区、開放区で高率であった（月： $F_{12,77}=0.17$ 、 $P=0.999$ 、形態区分： $F_{2,77}=7.53$ 、 $P=0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.26$ 、 $P=1.000$ ）。

土坦率は、年平均値が本川、カバー区で高い率であった（ $F_{4,138}=17.68$ 、 $P<0.001$ ）。この土坦は硬い粘土質である。季節変化はカバー区で5月から8月まで高い率であった。統計学的には、区分別で有意差を示し、カバー区で高率であった（月： $F_{12,77}=0.11$ 、 $P=0.999$ 、形態区分： $F_{2,77}=6.82$ 、 $P=0.002$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.08$ 、 $P=1.000$ ）。

基質の変異係数は、年平均値が人工区、堰下区で高い値を示した（ $F_{4,138}=40.04$ 、 $P<0.001$ ）。これらの区は、根固工により、コンクリート等が施行され、単純な基質となっている。季節変化は、区分別で有意差を示し、人工区が高かった（月： $F_{12,77}=2.44$ 、 $P=0.010$ 、形態区分： $F_{2,77}=36.07$ 、 $P<0.001$ 、交互作用： $F_{24,77}=0.53$ 、 $P=0.957$ ）。

3-3 魚種別生息密度の季節変化

オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの生息密度の

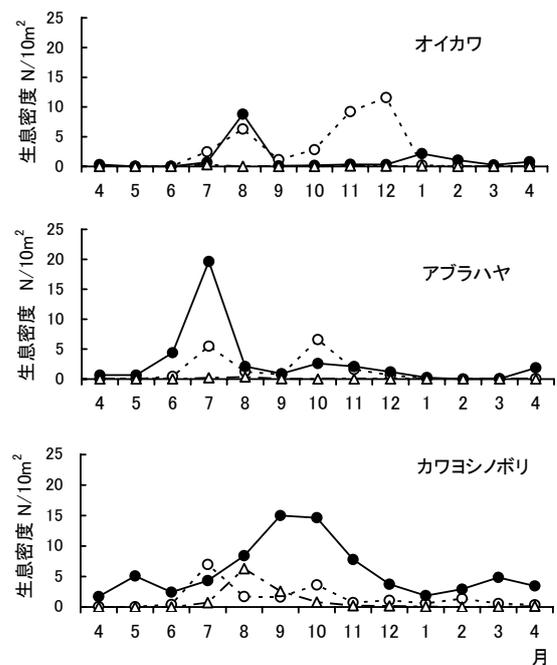


図 4 オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの生息密度の季節変化、○；開放区、●；カバー区、△；人工区、平均値で示した

年平均値と標準誤差を形態区分別に表-5に示した。開放区、カバー区、人工区の生息密度変化について図-4に示した。統計学的解析は、年平均値が本川を除く形態区分間で比較し、他は物理的環境要因と同様であった。

オイカワの生息密度は、年平均値で見ると堰下、開放区で高かった ($F_{3,126}=7.75, P<0.001$)。開放区、カバー区、人工区の季節変化では、7月から確認されだし、開放区で8月、12月、カバー区は、8月に密度が高くなっていた。9月は低い密度であった。1月以降、カバー区でのみ確認された。統計学的には月別、形態区分ともに有意差を示し、形態区分では人工区が低かった。月と形態の交互作用は有意差を示さなかった (月: $F_{12,77}=2.35, P=0.013$ 、形態区分: $F_{2,77}=4.71, P=0.012$ 、交互作用: $F_{24,77}=1.00, P=0.474$)。

アブラハヤの生息密度は、年平均値では、堰下、カバー区の順で高かった ($F_{3,126}=7.86, P<0.001$)。季節変化はカバー区で調査開始時より僅かに確認し、7月に生息密度は高い値を示したが、8月より低い値となった。開放区は7月、10月に密度が高い傾向を示した。人工区は個体数が少なかった。2月、3月は、どの区も確認されな

った。統計学的には月別の7月が高く、カバー区と人工区とに有意差があった。月と形態の交互作用は有意差を示さなかった (月: $F_{12,77}=3.09, P=0.001$ 、形態区分: $F_{2,77}=9.57, P<0.001$ 、交互作用: $F_{24,77}=0.52, P=0.965$)。

カワヨシノボリの生息密度は、年平均値がカバー区で最も高かった ($F_{3,126}=8.37, P<0.001$)。季節変化は開放区、カバー区で周年生息し、特にカバー区で9、10月に生息密度が高かった。開放区は7月、人工区が8月に比較的高い値を示していた。これら季節変化はオイカワ、アブラハヤとは異なる傾向を示した。統計学的には両因子ともに有意差を示し、交互作用には有意差を示さなかった (月: $F_{12,77}=2.55, P=0.006$ 、形態区分: $F_{2,77}=13.50, P<0.001$ 、交互作用: $F_{24,77}=0.50, P=0.972$)。

3-4 魚種別体長分布の変化

オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの形態区分別の体長分布変化を図-5~7に示し、開放区、カバー区の魚種別月別標準体長の平均値と標準誤差を表-6に示した。両区の平均値の比較は、例数が少ない月もあるが、月別に母分散未知の場合のt検定を用いて検討した。

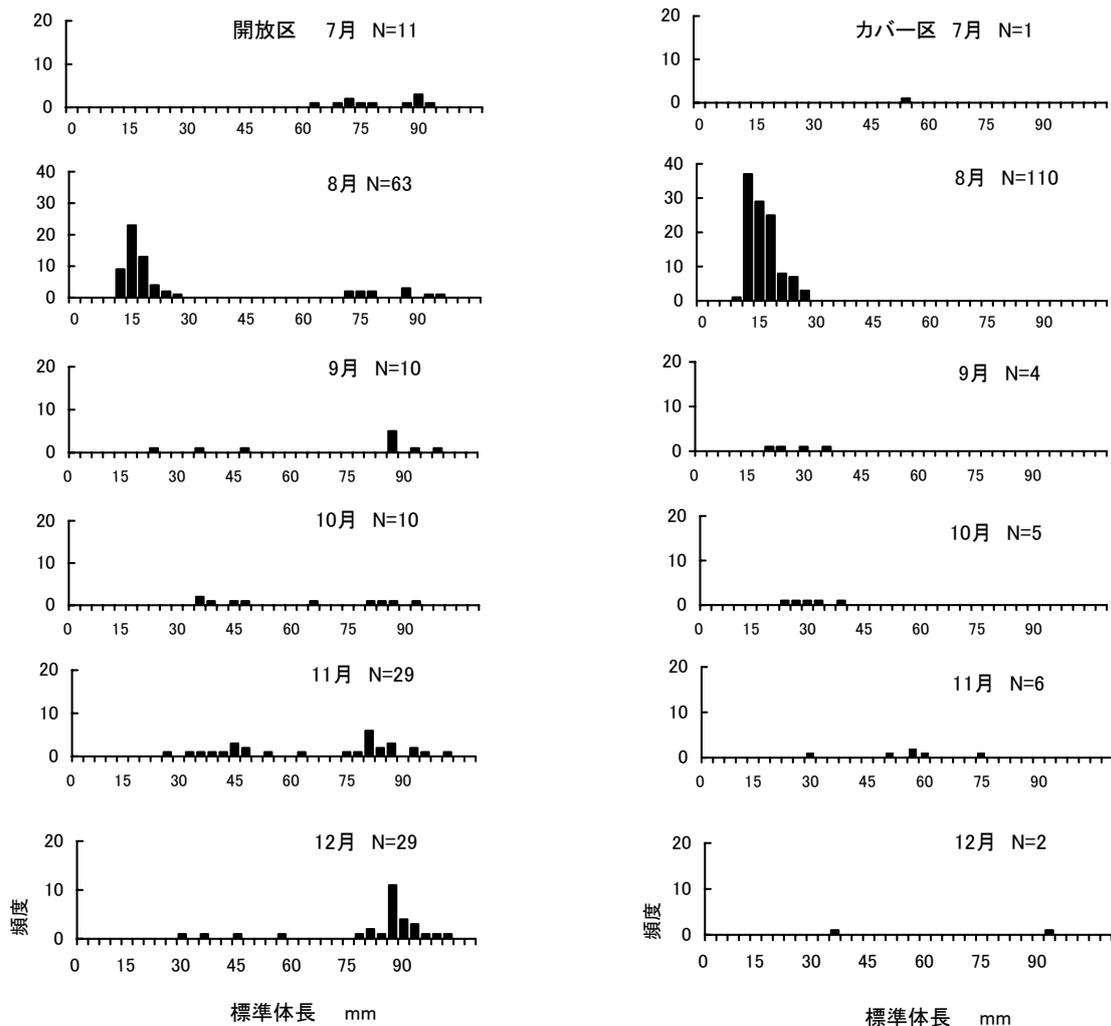


図-5 オイカワの開放区とカバー区の体長分布変化 (7月~12月)、左が開放区、右がカバー区、縦軸が頻度、横軸が標準体長、以下の図-6、7も同様

オイカワは、7月に60mm以上の成魚が開放区で比較的多く出現していた。8月になると、12~27mmの当歳魚の山が両区で多く出現した。しかし、カバー区は当歳魚のみが出現した。統計学的には、両区で有意差を示し、カバー区が開放区に比して低い値であった。9月から11月まで出現個体数が両区とも減少していたが、開放区は当歳魚、成魚が出現、カバー区は当歳魚のみが出現する傾向を示していた。統計学的には8、9、10月で有意差を示し、いずれもカバー区で低い値を示した。

アブラハヤは、カバー区で4月より出現し、6月は、9~24mmに山がある当歳魚が多く出現した。7月になると開放区でも当歳魚が少ないが出現していた。成魚はカバー区でわずかに出現するだけであった。8月からは、個体数が減少し、カバー区で12~24mm、30~50mmの低い山が見られた。しかし、9月になると30mm以下の体長範囲の小さい個体の山がなくなり、30~40mmの山

が11月には30~60mmの体長範囲へと移行していった。両区分の月別平均値の比較では、開放区が高い値を示し、統計学的には6、7、8、10、11月の両区分間で有意差を示した ($P<0.05$)。

カワヨシノボリは、6月に30~40mmの1年魚と推測される成魚がカバー区で出現し、7月になると、10~24mmの当歳魚が両区で出現した。9月には16~30mmの範囲で高い山となり、個体数が増加していた。カバー区では、成魚、当歳魚ともに個体数に変動はあるものの安定して出現し、当歳魚の山が11月まで生長していた。統計学的には、9月を除いて有意差を示し、7月、8月がカバー区で高い値を示し、10、11、12月では、開放区で高い値であった。

3-5 環境要因と生息密度との関係

平均最高水位とオイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボ

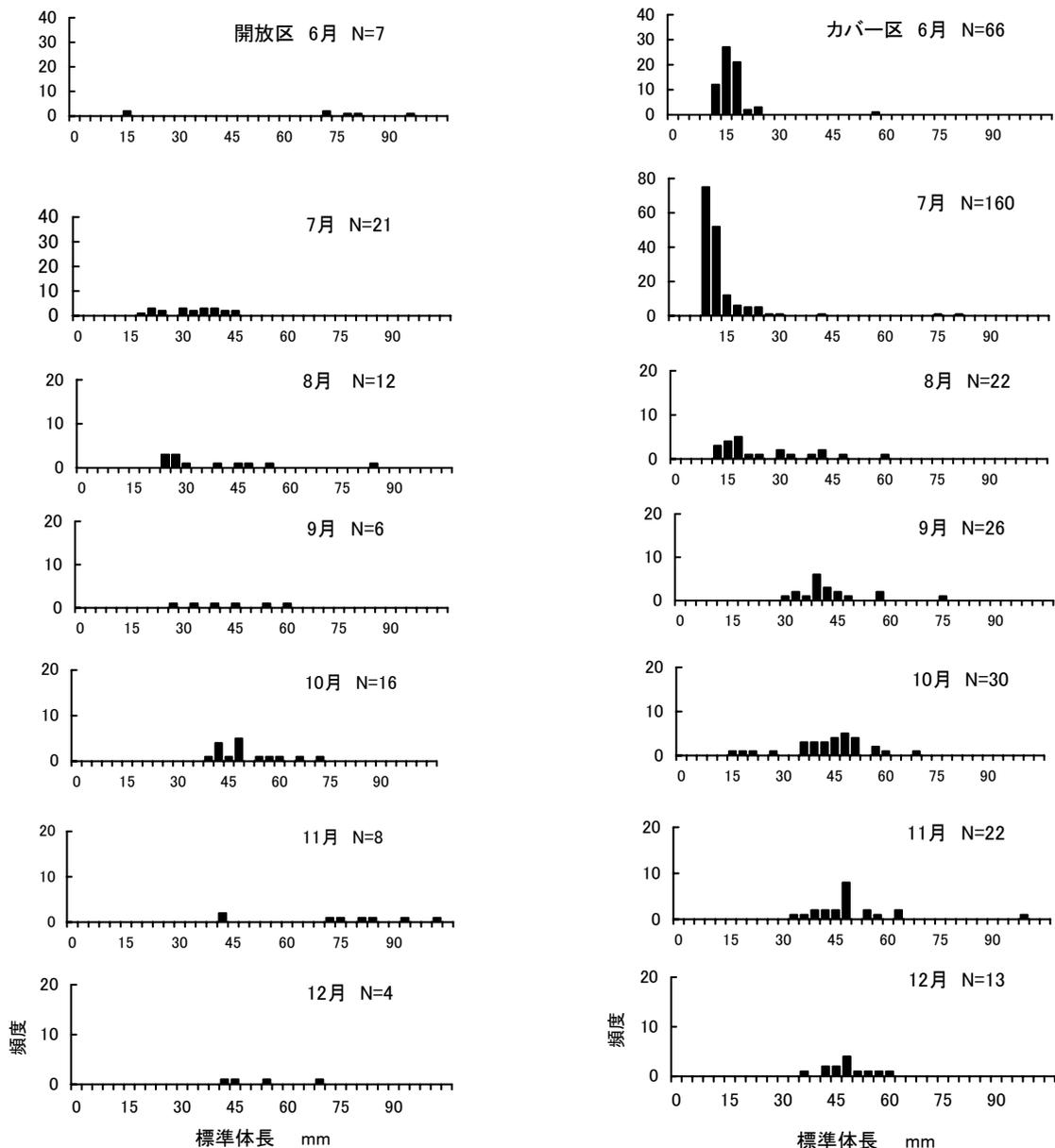


図-6 アブラハヤの開放区とカバー区の体長分布変化 (6月~12月)

リの生息密度との関係を見るために、形態区分別に単回帰分析を行った。その中で、オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの関係を図-8に示した。

13項目の物理的環境要因と3魚種の生息密度との関係は、測定項目の中で欠測値がある場合は解析データから除外して検討した。解析の手順は、単回帰分析を行い、有意な相関 ($p < 0.05$) を示した変数で、重回帰分析を行った。その結果を、表-7、表-8に示した。アブラハヤ、カワヨシノボリとの関係は図-9に示した。

3魚種の生息密度と平均最高水位との関係は、開放区に比してカバー区で比較的相关係数が高かったが、統計学的には例数が13と少ないことから有意差を示さなかった(開放区:オイカワ $r=0.115$ 、アブラハヤ $r=0.072$ 、カワヨシノボリ $r=0.003$ 、カバー区:オイカワ $r=-0.474$ 、アブラハヤ $r=0.208$ 、カワヨシノボリ $r=0.394$)。しかし、相関図からみた時、カバー区のオイカワが最高水位と負の関係を示し、カワヨシノボリは正の関係を示す傾

向があった。

オイカワの生息密度と物理的環境要因との関係は、平均流れ幅、平均水深、砂率、小礫率と有意な正の相関関係、平均流速と基質性状のコンクリート率、土坦率とは有意な負の相関を示していた。変数選択による重回帰分析では選択された説明変数は流れ幅、砂率、小礫率であった。

アブラハヤの生息密度との関係は、平均水深、水際照度、カバー面積率、小礫率とは有意な正の相関関係を示し、平均流速、コンクリート率、大礫率とは負の相関を示した。変数選択による重回帰分析では、選択された変数は平均流速、水際照度、小礫率、大礫率であった。

カワヨシノボリの生息密度との関係は、平均水深、カバー面積率、土坦率と有意な正の相関、平均流れ幅、水際照度、大礫率とは負の相関を示していた。相関係数が顕著に高かった土坦率を除いた他の項目で重回帰分析を行った結果、説明変数として平均流れ幅、平均水深、カ

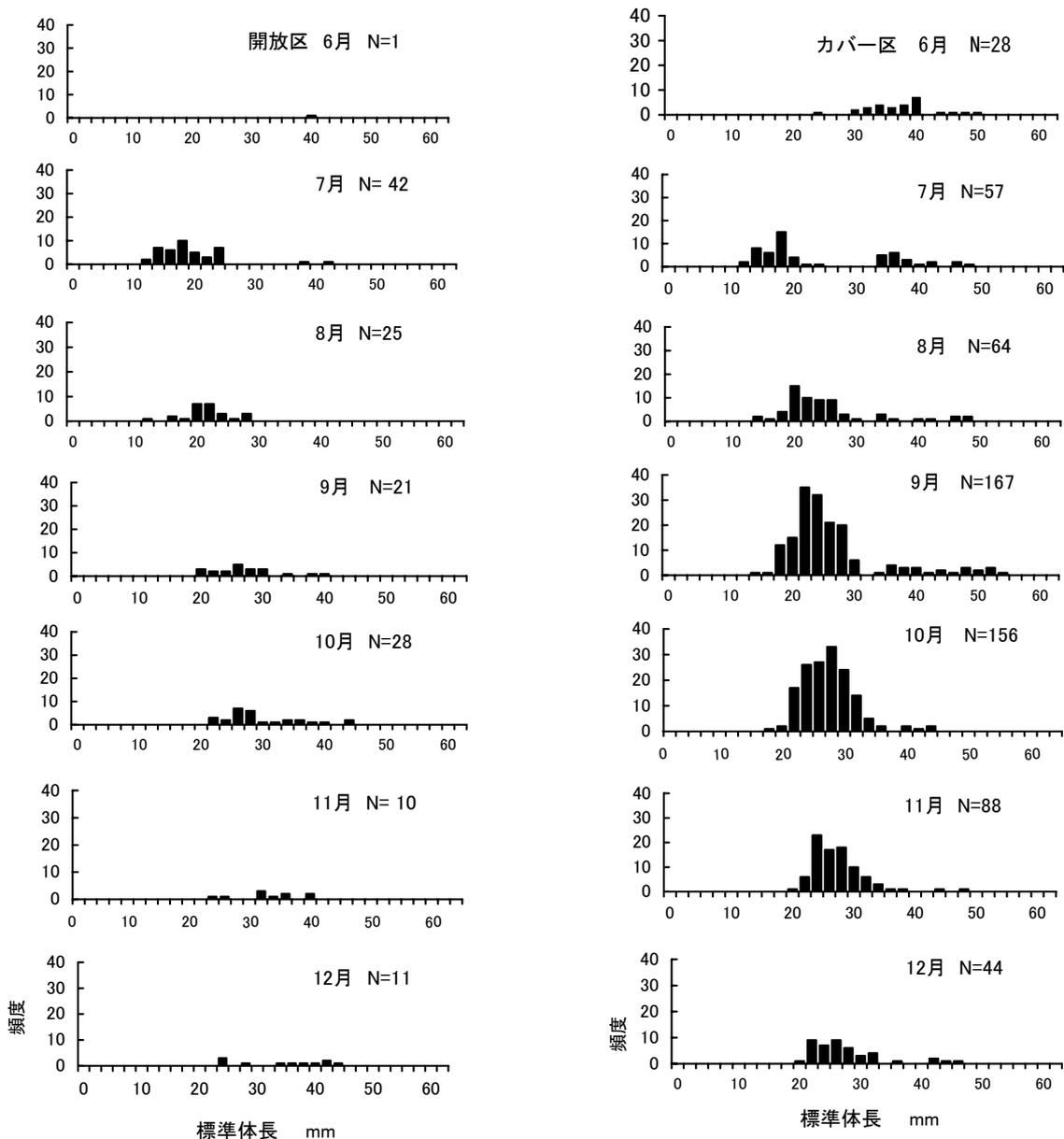


図-7 カワヨシノボリの開放区、カバー区の体長分布変化 (6月~12月)

表-6 オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリにおける開放区、カバー区の標準体長 (mm) の月別比較、例数; N、平均値; Mean、標準誤差; SE、*t*; 母分散未知の場合の *t* 検定の値

月		オイカワ				アブラハヤ				カワヨシノボリ			
		開放	カバー	<i>t</i>	<i>P</i>	開放	カバー	<i>t</i>	<i>P</i>	開放	カバー	<i>t</i>	<i>P</i>
5	N					4	4			1	56		
	Mean					75.5	47.7	1.59	0.209	38.0	34.0		
	SE					3.6	13.0				0.6		
6	N					7	66			1	28		
	Mean					60.0	15.8	3.67	0.010	39.0	36.8		
	SE					12.1	0.7				1.1		
7	N	11	1			21	160			42	57		
	Mean	79.1	52.0			31.3	12.0	11.72	<0.001	18.8	23.9	2.63	0.010
	SE	3.1				1.9	0.7			0.9	1.4		
8	N	63	110			12	22			25	64		
	Mean	26.8	15.0	3.74	<0.001	36.7	24.4	2.65	0.012	21.1	24.6	2.41	0.019
	SE	3.2	0.4			5.1	2.9			0.8	1.0		
9	N	10	4			6	26			21	167		
	Mean	69.1	24.3	3.30	0.006	42.2	38.0	0.75	0.462	26.3	25.9	0.54	0.587
	SE	8.5	3.4			5.3	2.6			1.2	0.6		
10	N	10	5			16	30			28	156		
	Mean	57.4	26.2	3.63	0.003	49.1	42.5	2.28	0.027	29.3	25.1	4.27	<0.001
	SE	7.2	2.9			2.3	2.1			1.2	0.3		
11	N	29	6			8	22			10	88		
	Mean	64.2	50.8	1.14	0.264	72.9	48.8	3.49	0.002	30.8	26.8	2.63	0.010
	SE	4.2	6.1			7.8	2.8			1.6	0.5		
12	N	29	2			4	13			11	44		
	Mean	78.4	61.0	1.34	0.190	51.8	46.8	1.02	0.325	34.0	27.2	3.07	0.003
	SE	3.3	28.0			5.6	1.8			2.3	0.9		

バー面積率、大礫率が選択された。その中で、流れ幅、大礫率は負の係数であった。

4 考察

梅田川流域に関する既存の調査報告では、源流部谷戸で6種が確認されたが、採集個体数割合から見ると90%以上がホトケドジョウであった¹⁾。また、本川でも8種が確認され、60%以上がオイカワでいずれも単純な魚種組成であった。これに対して、梅田川では17種が確認され、採集個体数割合は分散していた¹⁾。しかし、これら魚類集団間の関係は、双方向の移動が分断化され、種の初期移動様式、増水等による流下等の一方向の移動が主なものとなっている。そのため、各水域で安定した集団を維持しているとは必ずしも言えない。

これらの点からも、魚類の生活環境の保全、再生、双方向の移動分散、源流と本川との関係を修復し、安定した地域個体群を維持していくためには、源流と本川の間位置する、梅田川が重要な水域と考える。

梅田川の前回と今回の魚類組成を比較すると前回は、17種、採集個体数割合がオイカワ、カワヨシノボリ、アブラハヤの順で多かった¹⁾。今回は15種、カワヨシノボリ、アブラハヤ、オイカワの順に多く、魚種別採集個体数で差を示したが、統計学的には有意な差を示さなかった(ウィルコクソンの符号順位検定、 $z=0.040$ 、 $P=0.516$)。

2004~2005年の調査報告¹⁾、未発表資料から見ると、梅田川、支川まで移動分散してきた魚種は、源流からはホトケドジョウ、ドジョウ等が季節によって流下し、本

川からは、アユ、コイ、カマツカ等が一時遡上する。定着している魚種は、オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリ、生息数が少ない魚種として、フナ属、モツゴ、タモロコ等であった。外来種は、カワヨシノボリ、タモロコ他に、タイリクバラタナゴ、カワムツが確認された。タイリクバラタナゴは流域にある池に放流されたものが、流下してきたものと推測した。カワムツは一時期、少数確認されたが、その後いなくなった。このカワムツは、境川水系で2002年⁷⁾から確認されており、今後、注視していく必要があると思われる。

調査対象とした区域は、合流点から約500mの河川改修された範囲であり、河川形態の特徴は、直線的な低水路、落差工による落差の解消とコンクリート、大礫の埋め込み石等の根固、水際、河川敷を一部蛇籠で覆っていた。調査開始時の4月は、土護岸の裸地であったが(写真-1)、6、7月に背丈の低いイネ科の植物等が繁茂する区域、背丈が高いヨシ等の群落が卓越する区域(写真-2)、植物が繁茂しない人工の区域が連続的に出現した。秋から冬にかけては植物が枯れ、一部刈り取られていた(写真-3)。上流の地点は、2007年に同じ改修工法によって実施され、ヨシ等の群落で構成された区域であった。これらは環境項目の水際平均照度の季節変化に反映し、また水面下のカバー面積にも影響していた。また、河川敷に繁茂する河辺植物の変化とともに降雨等の気象状況も河川環境を変化させた。今回、5、6月、9月に降水量が多く、梅田川の最高水位も5、8月に1m前後の最高水位を記録している。平均最高水位では9月が最も高

表ー7 オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの生息密度と物理的環境要因との単回帰分析結果 (N=114)、
 r ; 相関係数、 F ; 不偏分散比、回帰式の有意性の検定、*、** ; $p<0.05$ 、 $p<0.01$

目的変数(生息密度)	説明変数	回帰係数	定数	r	F	P
オイカワ	平均流れ幅(m)	0.340	0.024	0.202	4.902	0.029 *
	平均水深(m)	1.308	0.024	0.230	6.446	0.012 *
	平均流速(m/s)	-1.182	0.311	-0.225	6.120	0.015 *
	平均中央照度(%)	-0.005	0.165	-0.004	0.002	0.963
	平均水際照度(%)	-0.120	0.263	-0.117	1.606	0.208
	カバー面積率(%)	0.090	0.141	0.057	0.377	0.540
	コンクリート率(%)	-0.116	0.179	-0.185	4.097	0.045 *
	砂率(%)	0.178	0.075	0.248	7.529	0.007 **
	小礫率(%)	0.254	0.049	0.268	8.878	0.004 **
	中礫率(%)	-0.105	0.196	-0.100	1.169	0.282
	大礫率(%)	-0.150	0.204	-0.174	3.573	0.061
	土坦率(%)	-0.171	0.181	-0.187	4.146	0.044 *
基質変異係数(%)	0.423	-0.012	0.124	1.790	0.184	
アブラハヤ	平均流れ幅(m)	0.114	0.176	0.063	0.451	0.503
	平均水深(m)	1.516	0.065	0.248	7.333	0.008 **
	平均流速(m/s)	-1.626	0.431	-0.286	9.981	0.002 **
	平均中央照度(%)	-0.094	0.332	-0.083	0.771	0.382
	平均水際照度(%)	-0.351	0.526	-0.320	12.742	0.001 **
	カバー面積率(%)	0.540	0.110	0.312	12.069	0.001 **
	コンクリート率(%)	-0.148	0.247	-0.220	5.717	0.018 *
	砂率(%)	0.096	0.175	0.125	1.767	0.186
	小礫率(%)	0.275	0.102	0.270	8.782	0.004 **
	中礫率(%)	-0.065	0.244	-0.058	0.377	0.541
	大礫率(%)	-0.183	0.275	-0.197	4.544	0.035 *
	土坦率(%)	0.011	0.221	0.011	0.014	0.908
基質変異係数(%)	0.500	0.017	0.131	1.965	0.164	
カワヨシノボリ	平均流れ幅(m)	-0.618	0.623	-0.260	8.120	0.005 **
	平均水深(m)	2.304	0.137	0.286	9.953	0.002 **
	平均流速(m/s)	0.316	0.335	0.042	0.199	0.656
	平均中央照度(%)	-0.231	0.647	-0.154	2.715	0.102
	平均水際照度(%)	-0.464	0.777	-0.320	12.812	0.001 **
	カバー面積率(%)	1.039	0.160	0.456	29.324	<0.001 **
	コンクリート率(%)	-0.145	0.400	-0.164	3.097	0.081
	砂率(%)	0.011	0.370	0.011	0.013	0.911
	小礫率(%)	-0.008	0.379	-0.006	0.004	0.951
	中礫率(%)	-0.102	0.410	-0.069	0.537	0.465
	大礫率(%)	-0.282	0.458	-0.231	6.286	0.014 *
	土坦率(%)	0.860	0.284	0.637	76.364	<0.001 **
基質変異係数(%)	-0.354	0.521	-0.071	0.560	0.456	

かった。その結果として区分別の流れ幅等の河道の変化は少なかったが、浸食等による窪地、深い淵の形成、砂礫の堆積等によって基質性状が9月後に変化していた。

これらの環境変化に応じて魚類は、移動分散から、生活場を選択し、一時的あるいは定常的に分布する。

オイカワは、生長するにしたがって移動分散、河川内を回遊することが知られており、仔魚期が産卵場より下流へと移動し、主な生活場は浅い水深、流速が遅い淵、平瀬となる。未成魚期になると遡上し、成魚は淵、平瀬、瀬等と広く分布し、冬では水深のある植物が繁茂する場所へと移動する^{8, 9, 10}。今回、生息密度の季節変化と体長変化から推測すると、7、8月に開放、カバーの両区で生息密度が高くなり、特に8月に当歳魚がカバー区で高

かったことから、初期生育場としてカバー区が重要な水域と考える。9月には密度が低下し、10月後から開放区で当歳魚が減少し、成魚が増加してきた。9月以後の体長12~30mmの当歳魚の減少は、増水による影響を受けたものと推測した。また、11、12月の開放区で密度がたかったのは、S型の深い淵が形成されたことと関係していると思われる。

生息密度と環境要因との関係では、水深、流速等に有意な正の相関関係を示し、選択された要因は、開放区の特徴である流れ幅、基質の砂、小礫であった。水面面積の増加は、浅瀬、淵の深み等の複雑な河川形態を形成させ、多くの魚種の生活場を提供するものと考えられる。

アブラハヤは、上流から中流の淵に分布し、隠れ家の

表-8 オイカワ、アブラハヤ、カワヨシノボリの変数選択による重回帰分析結果(変数減少法)、 r ; 重回帰係数、 F ; 不偏分散比、回帰式の有意性の検定

目的変数(生息密度)	説明変数	回帰係数	標準回帰係数	r	F	P
オイカワ	平均流れ幅(m)	0.224	0.133	0.396	7.022	<0.001
	砂率(%)	0.175	0.243			
	小礫率(%)	0.248	0.261			
	定数項	-0.122				
アブラハヤ	平均流速(m/s)	-1.167	-0.205	0.465	10.134	<0.001
	平均水際照度(%)	-0.328	-0.298			
	小礫率(%)	0.236	0.232			
	定数項	0.552				
カワヨシノボリ	平均流れ幅(m)	-0.441	-0.185	0.532	10.750	<0.001
	平均水深(m)	1.145	0.142			
	カバー面積率(%)	0.643	0.282			
	大礫率(%)	-0.349	-0.285			
	定数項	0.403				

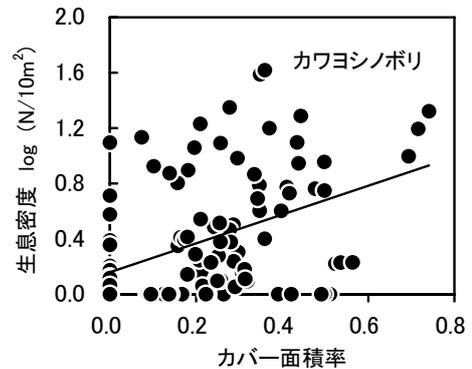
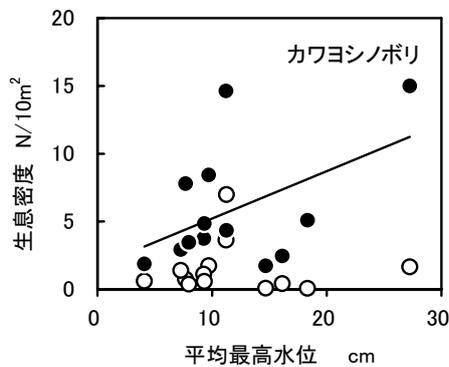
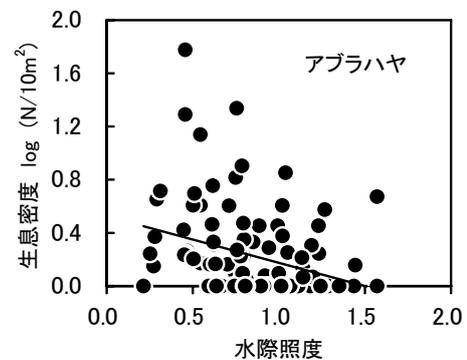
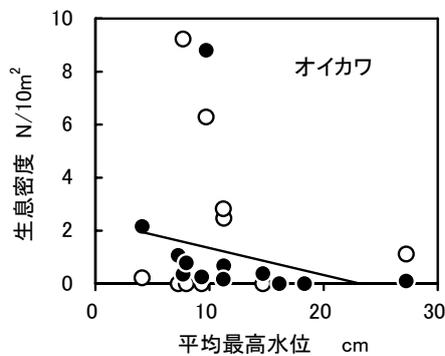


図-8 オイカワ、カワヨシノボリの生息密度と平均最高水位との関係、○; 開放区、●; カバー区、回帰直線はカバー区(N=13)に基づく

図-9 アブラハヤの生息密度と水際照度、カワヨシノボリの生息密度と水面下のカバー面積率との関係、生息密度は対数変換値($\log_{10}(1+\text{変数})$)、比率は逆正弦変換値、 $N=114$

ある比較的深い淵等に生息する。仔魚、稚魚期まで岸よりの流れのあまりない場所に分布する^{9, 11, 12})。市内では上流の淵等に生息し、きれいな水域を好むため分布は限られている。

梅田川では、アブラハヤの生息密度が6月、7月にカ

バー区で高くなり、8月から翌年まで低い値であった。体長分布から見ると、カバー区では6月、7月に15mm前後の当歳魚の高い山が出現することから、オイカワと同様に生育場等として利用していると思われる。当歳魚は10月になると、30~50mmの生長した低い山となって

いた。オイカワに比してカバー区との係わりが深い。

生息密度と環境要因との関係では、水深、水際照度、カバー面積率とは正の相関関係、流速とは負の相関関係を示し、アブラハヤの適生息場として、淀み、水面上のカバー、小礫率が選択され、カバー構造、砂礫底、倒流木等の存在が大きいとした報告¹³⁾とほぼ一致する。生息密度の季節変化、体長分布において、カバー区の9月での減少、体長組成の30mm以下の稚魚の消失は、増水による影響を受けたと示唆される。その後若干生長した個体が少ないながらも定着していたことは、カバー区の水際構造の重要性が指摘できる。しかし、持続性のある安定した集団を維持していくためには、水深、水面下のカバー面積等の要因を付加すること、上流での安定した生息場環境、繁殖集団を確保していくことが必要と考える。

カワヨシノボリは、最近、市内で確認されたヨシノボリ属の移入種で、生活環区分では純淡水魚である^{1, 4)}。鶴見川では、在来種のトウヨシノボリが生息し、今回の調査でも少数確認した。この外来種、カワヨシノボリは梅田川の優占種となっていた。本来の分布は、太平洋側では静岡県富士川以西、生息場が上流から中流域に分布し、淵から瀬までの比較的流れの緩やかな場所に分布している¹⁵⁾。定着してしまった外来種の除去対策等は、今後の困難な検討課題である。

カワヨシノボリの生息密度の季節変化は周年、カバー区に多く分布し、特に9、10月に高い値、冬には低い値を示した。人工区では8月に高い値を示し、さらにオイカワが、9月から減少していたのに対して、増加しており、増水によって流下してきた個体がカバー区に定着した可能性が大きい。体長分布は、カバー区で6月に1年魚以上の成魚が出現し、7月に当歳魚も出現する等、カバー区との関係が高かった。環境要因との関係では、基質が土坦で、流れ幅が狭く、水深が比較的深く、水面下のカバー等が生活場として選択された。

前回の調査では、夏期、20~30mmの当歳魚が河川構造物を遡上し、源流水路末端まで分布しており、他の魚種に比して分布範囲が広がったことを報告した¹⁾。繁殖については、今回確認されなかったが、上流域と改修前のSt.7の、いずれも早瀬の大礫、土坦の隙間に卵を確認している(樋口 未発表資料)。

以上のように、改修後の環境変化に応じて、出現個体数、魚種、生長段階により生活場利用が異なることが示唆された。

周年、カバー区が他の区に比して多くの魚種が出現し、さらに、カバー区は、オイカワ、アブラハヤの初期生長期、アブラハヤは成魚にとっても重要な生活空間となる。しかし、開放区を含めて冬での適生活場が少なくなる。カワヨシノボリは、周年にわたってカバー区を利用するが、生長段階に応じた生活場選択の範囲は広い。堰下では、堰が閉められていた時期にオイカワ、アブラハヤの生息密度が高い値になる。これは流下あるいは上流方向への移動集団とも考えられるが、堰構造との関係も推測され、堰のあり方を含めて、今後の検討課題である。他の魚種では、採集個体数が少なく検討することができな

かったが、コイ、ドジョウ、ホトケドジョウ等はカバー区で多く採集され、メダカは開放区で多かった。

既存の文献等では、河川改修は、魚類分布に影響をおよぼし、生息数の減少、種組成の単純化等を惹起させる。その主な要因として瀬、淵の河川形態の複雑さの消失等であることが指摘されている¹⁶⁾。また、河川流路の形態変化の中で、淵の量、大きさが、河川性サケ科魚類で現存量等に大きく影響を及ぼすことが報告されている¹⁷⁾。さらに、カバー率が多いほど生息密度が高くなること等から、カバーには環境収容力を高める効果があるとみなされている¹⁸⁾。ここでいうカバーは水中内の倒流木、水中のブッシュ状の構造物、水面上の張り出した植生等を指している。今回は、淵の量、大きさ等との関係については検討しなかったが、開放区にはF型、S型の比較的深い淵が存在しており、それが高い生息密度を示したことと関係しているものと推測した。しかし、3魚種の生息密度の季節変化は、冬に低い値を示しており、その時期の水際植物、カバー面積の減少と関係しているものと思われた。周年を通じて定着させていくためには、水面上、下のカバーの存在、水深のある淵等の隠れ家的形態がより重要になる。

季節変化の中で特に、突発的な増水による影響が大きいと思われた。今回も魚種、体サイズ等によって影響の大きさに違いがあることが示唆された。増水時に沈水植物、わんど等が魚類の逃避場所となることが報告されている^{19, 20)}。河道が直線化され、護岸がコンクリートブロック、川幅が狭いこの梅田川下流において河道全体が冠水することにより、多くは定位できずに流出していくものとする。これらのことから、流速を制御する形態、逃避場所を考えた河道構造を下流に創出していく必要がある。その例として、上流に設置されている川幅を広げた広場的スペース、限られた河道では窪地、わんど等があげられる。

魚類の移動分散に影響を与える河川構造物は、今回の改修区間では、落差工の解消、暖傾斜化が行われており、アユ等の遡上も可能になったものとする。また、取水堰は、移動分散の障害となっているが、今後、地域の特徴を考慮した魚道等^{21, 22)}を設置することが必要になると思われる。

改修後の時間経過の中で、魚類の生息場所を造成した場合、生息場所の十分な反応がみられるまで数年は要する²³⁾。この種のモニタリング調査は、継続していく必要があり、これからの河川形態を考える上での貴重な情報になる。

謝辞：この報告書をまとめるにあたり、種々の情報を提供していただいた横浜市道路局河川管理課、緑土木事務所の関係者各位に心から感謝いたします。

5 まとめ

梅田川の下流で施工された改修区間で、魚類分布状況と河川形態の生息場利用様式を解析した。

1) 魚種リストは、全体で5科15種が確認され、採集個体数割合は、カワヨシノボリが49%、ついでアブラハ

- ヤ、オイカワの順で、これら3種で90%以上であった。
- 2) 形態区分の開放区、カバー区、人工区別の採集個体数の比較ではカバー区が60%以上で最も多かった。
 - 3) 物理的環境要因の季節変化は、平均水深が開放区で高くなり、カバー区では、6月から10月まで水際照度は低い値、水面下のカバー面積率が高くなった。基質性状では、カバー区で9月より砂率等が高くなった。
 - 4) 魚類生息密度の季節変化は、オイカワ、アブラハヤが7、8月に高い値であった。しかし、9月に低い値となっていた。冬も両種が低かった。カワヨシノボリは周年確認され、特に夏に生息密度が高くなった。
 - 5) 体長分布の季節変化では、アブラハヤの生長初期、成魚ともカバー区を利用し、オイカワが初期にカバー区、その後に開放区を利用していた。カワヨシノボリは利用範囲が広がった。
 - 6) 魚種別生息密度と環境要因との関係は、オイカワが流れ幅、砂率、小礫率、アブラハヤが水際照度、流速、小礫率等、カワヨシノボリが土坦率の他に水深、水面下のカバー面積等が選択された。
- 以上から、改修後の形態変化に応じて魚種により利用様式も季節的に変化した。また、増水の影響が大きいことも推測された。

文献

- 1) 樋口文夫、福嶋悟：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量分布との関係、横浜市環科研報 No.31、40-55 (2007)。
- 2) 樋口文夫、福嶋悟、下村光一郎、洲澤譲：横浜の川におけるアユの分布状況 -2007 年度調査と繁殖予備調査-、横浜市環科研報 No.33、21-30 (2009)。
- 3) 吉村伸一：生物環境を重視した河川づくり、自然環境復元の技術、杉山恵一、進士五十八 編、朝倉書店、東京、93-104 (1993)。
- 4) 豊島照雄、中野繁、井上幹生、小野有五、倉茂好匡：コンクリート化された河川流路における生息場所の再造成に対する魚類個体群の反応、日本生態学会誌、46、9-20 (1996)。
- 5) 気象庁横浜地方気象台ホームページ、<http://www.jma-net.go.jp/yokohama>
- 6) 横浜市安全管理局危機管理室ホームページ、横浜市防災情報、<http://mizubousay.yokohama-s.jp>
- 7) 樋口文夫、水尾寛己、木村喜芳：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)、横浜市環境保全局、51-81 (2003)。
- 8) 水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学、補訂・新装版、築地書館、東京、103-239 (1995)。
- 9) 中村守純：日本のコイ科魚類、資源科学シリーズ4、財団法人 資源科学研究所、pp455 (1969)。
- 10) 森誠一、名越誠：オイカワ、日本の淡水魚 改訂版、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 編・監修、山溪カラー名鑑、山と溪谷社、東京、244-246 (2005)。
- 11) 板井隆彦：静岡県瀬戸川水系におけるアブラハヤ属 (Phoxinus) 魚類の2型 I. 流れに沿った分布について、静岡県立女子大学紀要、13、153-175 (1980)。
- 12) 板井隆彦：アブラハヤ、日本の淡水魚 改訂版、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 編・監修、山溪カラー名鑑、山と溪谷社、東京、270-273 (2005)。
- 13) 藤咲雅章、神宮宇寛、水谷正一、後藤章、渡辺俊介：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、53-61 (1999)。
- 14) 後藤晃：淡水魚、日本の淡水魚類、水野信彦・後藤晃 編、東海大学出版会、東京、1-15 (2000)。
- 15) 水野信彦：カワヨシノボリ、日本の淡水魚 改訂版、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 編・監修、山溪カラー名鑑、山と溪谷社、東京、600-601 (2005)。
- 16) Takahashi, K., Yamashita, S.: Effect of channel alteration on fish habitat. *Jpn.J.Limnol.*,45,178-186(1984).
- 17) Urabe,H.and S.Nakano.:Contribution of woody debris to trout habitat modification in small streams in secondary deciduous forest, northern Japan, *Ecological Research*, 13, 335-345 (1998).
- 18) Inoue M., S. Nakamura and F. Nakamura: Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 1331-1341(1997).
- 19) 玉井信行、水野信彦、中村俊六 編：河川生態環境工学、魚類生態と河川計画、東京大学出版会、東京、pp322 (1997)。
- 20) 佐川志朗、萱場祐一、荒井浩昭、天野邦彦：コイ科稚仔魚の生息場所選択 -人工増水と生息場所との関係-、応用生態工学、7、129-138 (2005)。
- 21) 鈴木正貴：落差工の対策と効果、水田生態工学入門、水谷正一 編著、農文協、東京、107-111 (2007)。
- 22) 浜野龍夫・伊藤信行・山本一夫 編著：水辺の小わざ 改訂増補版、山口県土木建築部河川課、pp271 (2008)。
- 23) 佐川志朗、中村太士、妹尾優二、木村明彦、三沢勝也、入江潔、藤田真人、渡辺敏也：北海道渡島地方小溪流河川における魚類の春季生息場所選択、一実験的管理における作業仮説の提示-、応用生態工学、5、85-102 (2002)。

単回帰分析による季節時系列のトレンド推定の問題点

二宮勝幸（横浜市環境科学研究所）
 柏木宣久（統計数理研究所）

A problem on estimating trend using simple regression when data involve seasonal variation

Katsuyuki Ninomiya (Yokohama Environmental Science Research Institute)
 Nobuhisa Kashiwagi (The Institute of Statistical Mathematics)

キーワード：季節時系列、sin 関数モデル、単回帰分析、トレンド、精度

要旨

季節変動している時系列データに単回帰分析を適用してトレンドを求めた場合の問題点について検討した。トレンド成分を含まず季節成分だけを含むデータを sin 関数により生成して解析したところ、非零のトレンド成分が推定され、それは開始月や対象期間および年間の測定頻度の違いなどによって変化した。例えば、海水温の測定において測定頻度が毎月 1 回、振幅が 10℃の sin 関数モデルによると、開始月を 4 月、対象期間を 20 年間とした場合のトレンドは -0.0028℃/月となり、実際の海水温のトレンドを 3 割から 7 割程度低めることが示唆された。したがって、季節変動を含む時系列データに単回帰分析を適用してトレンドを算出することは避け、適切な統計手法を使うべきであると考えられた。

1. はじめに

地球温暖化や都市廃熱などに起因した温度上昇による影響が課題となっており、様々な統計手法を用いてトレンドが推定されている。

一般に最も多く使用されている統計手法は単回帰分析であると考えられるが、季節成分しか含まない時系列データに単回帰分析を適用しても、非零のトレンドが推定される場合がある。季節変動が誤ってトレンドと認識されてしまうからだが、あまり周知されていないのが現状と思われる。

ここでは、季節時系列を sin 関数モデルで近似し、それに単回帰分析を適用した場合、トレンドがどのような因子によってどのように変化するかについて検討した。

2. 解析方法

2-1 参考データ

sin 関数モデルを構築するために参考としたデータは、公共用水域水質測定結果¹⁾の横浜港における 1985 年 4 月を開始年月とし、それから 2005 年 3 月までの毎月の水温データ (20 年間) である。図 1 に横浜港における水温の推移を示した。

当初 5 年間における平均水温は約 17℃、水温の年間変動幅は約 20℃ (振幅は約 10℃) であった。

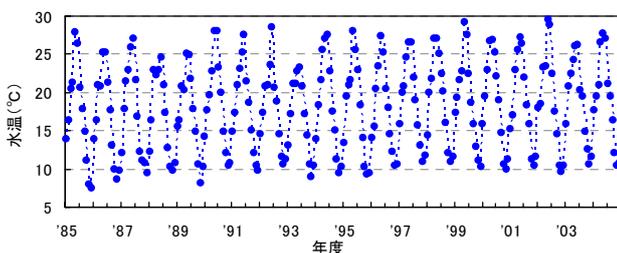


図 1 横浜港における水温の推移

2-2 季節時系列の sin 関数モデル

sin 関数モデルの一般式は次の時間 t の関数で表される。

$$y_t = A \times \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \phi\right) + m + \varepsilon_t \quad (1)$$

ここで、 A は振幅、 T は周期、 ϕ は位相、 m は平均値、 ε_t は誤差項である。また、 $t=1, 2, 3, \dots, n$ であり、 n は対象期間の月数に相当する。

したがって、参考データに基づく sin 関数モデルの各パラメータは、振幅 A が 10℃、周期 T が 12 (1 年=12 ヶ月)、開始月の 4 月の位相 ϕ が $-2 \times (\pi/6)$ 、平均水温 m が 17℃となる。なお、ここでは誤差項 ε_t は無視した。

図 2 に sin 関数モデルの時系列を示した。図 1 はトレンド成分を有するため上昇傾向を示すが、それを除けば、図 2 は図 1 とよく対応している。

2-3 解析手法

sin 関数モデルに単回帰分析に適用した場合、トレンドが開始月や解析対象期間および測定頻度の違いによってどのように変化するかについて解析した。

3. 結果と考察

3-1 sin 関数モデルのトレンド

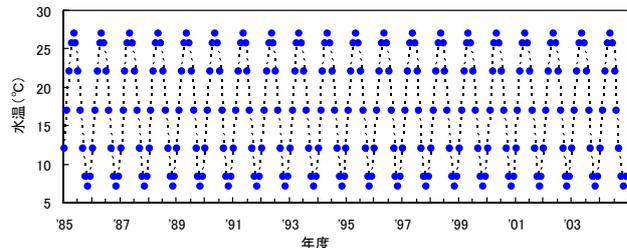


図 2 sin 関数モデルの時系列

回帰式を $y_t = a t + b$ とすると、回帰係数（トレンド） a は次式で表される。

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})(t - \bar{t})}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2} \quad (2)$$

ここで、測定値 y と時間 t の上付きバー記号は、それぞれ y と t の平均値である。

式(2)に式(1)を代入すると、次式が得られる。

$$a = 12A \sum_{t=1}^n t \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \div \{n(n^2 - 1)\} \quad (3)$$

式(3)から、トレンド a は振幅 A に比例し、対象期間 n の関数 $n(n^2 - 1)$ に反比例すること、また、周期 T と位相 φ によっても変化することがわかる。そこで、各因子によってトレンドが具体的にどのように変化するかについて調べた。

3-2 各因子のトレンドへの影響

3-2-1 開始月と対象期間が異なる場合のトレンド

位相 φ （開始月に相当する）と対象期間 n が異なる場合について調べた。図3に周期 T が12（1年間の測定頻度）の条件下において、対象期間が1年間で開始月が4月(a)と8月(b)の場合および対象期間が2年間で開始月が4月(c)の場合について、sin関数モデルの時系列およびその回帰直線と回帰式を示した。なお、通常は1年間程度の短期間のトレンドを求めることはありえないが、短期間でも長期間でもトレンドの変化傾向は変わらず、短期間のほうが開始月などの違いの影響が明瞭に表れてわかりやすいことから、ここでは1年間および2年間について例示した。

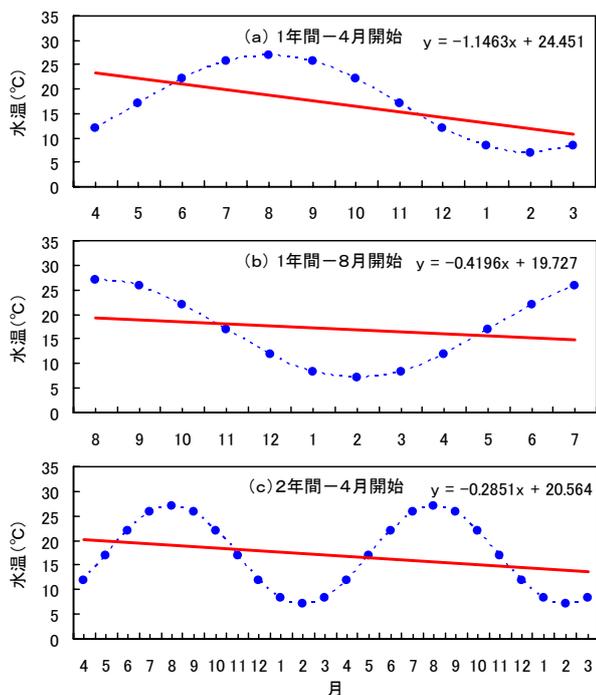


図3 開始月が4月と8月における1年間および開始月が4月における2年間の水温時系列（点線）および回帰直線（実線）と回帰式

まず、対象期間が1年間で開始月が4月と8月についてみると、それぞれのトレンドは約 $-1.15^\circ\text{C}/\text{月}$ と約 $-0.42^\circ\text{C}/\text{月}$ となり、後者は前者よりも低い値を示した。このようにトレンドは開始月の違いによって変化した。

次に、対象期間が2年間で開始月が4月のトレンドは約 $-0.29^\circ\text{C}/\text{月}$ となり、1年間のそれ（ $-1.15^\circ\text{C}/\text{月}$ ）に比べて絶対値は低かった。トレンドは対象期間 n の関数 $n(n^2 - 1)$ に反比例するためである。

3-2-2 異なる対象期間における開始月とトレンドの関係

対象期間が異なる場合における開始月の違いによるトレンドの変化を調べるため、図4に対象期間が10、20、30年間で開始月とトレンドの関係を示した。

まず、開始月別にみると、いずれの対象期間とも、開始月が5月と6月あるいは11月と12月の場合にトレンドが最も大きく、8月と9月あるいは2月と3月の場合にトレンドが最も小さくなる傾向を示した。

次に、対象期間別では、トレンドが最も大きいのは10年間で、次いで20年間、30年間の順であり、対象期間が長いほどトレンドは小さくなった。一例として、期間が20年間で開始月が4月の時系列のトレンドは $-0.0028^\circ\text{C}/\text{月}$ になる。この値は季節変動幅 20°C の0.014%程度に過ぎないが、東京湾西岸における実際のトレンド（ $0.004 \sim 0.009^\circ\text{C}/\text{月}$ ）²⁾ の3割から7割ほどを占める。これは大きな誤差要因であり、無視できない。

3-2-3 測定頻度が異なる場合のトレンド

年間の測定頻度が異なる場合のトレンドへの影響についてみるため、図5に開始月が4月で年間の測定頻度が6回と24回の場合における水温時系列と回帰直線および回帰式を示した。

トレンドの絶対値は、測定頻度が12回の場合の $-1.46^\circ\text{C}/\text{月}$ （図3(a)）に比べて6回の場合は大きく、24回の場合は小さくなる傾向がみられた。ここで留意すべき点は、測定頻度が毎月1回（12回/年）より少ない場合、例えば、季節毎の測定（4回/年）の場合などに単回帰

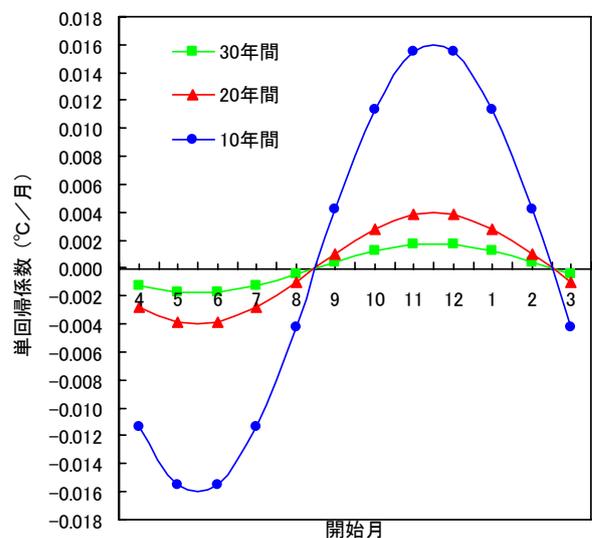


図4 対象期間が10、20、30年間に おける開始月と回帰係数の関係

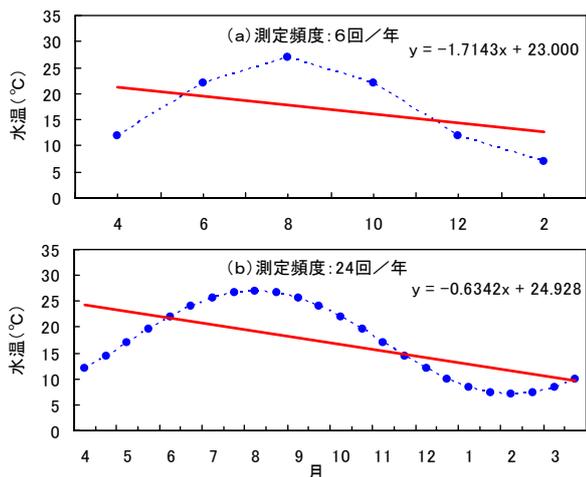


図5 測定頻度が年に6回と24回における1年間の時系列(点線)および回帰直線(実線)と回帰式

分析を適用してトレンドを求めると、季節変動自身によるトレンドへの影響がより大きくなる可能性が高いことである。

これまでの検討結果から、季節変動を含む時系列データに単回帰分析を適用することは避け、季節変動に対応した統計手法、例えば、ダミー変数を用いた重回帰によ

る方法²⁾などを使う必要があると考えられた。

4. まとめ

季節変動している時系列データに単回帰分析を適用してトレンドを求めた場合の問題点について検討した。

- 1) トレンド成分を含まず季節成分だけを含むデータをsin関数により生成して解析したところ、非零のトレンド成分が推定され、それは開始月や対象期間および年間の測定頻度の違いなどによって変化した。季節変動が誤ってトレンドと認識されてしまうためである。
- 2) したがって、季節変動を含む時系列データに単回帰分析を適用することは避けるべきであると考えられた。
- 3) この問題を解決するためには、季節変動に対応した統計手法を使う必要がある。また、このことは循環変動にも当てはまり、今後検討すべき課題である。

文献

- 1) 神奈川県環境部：昭和60-平成16年度版、神奈川県水質調査年表(1985-2004)。
- 2) 二宮勝幸、柏木宣久、岡敬一：東京湾西部海域における表層水温のトレンドーダミー変数を用いた重回帰分析による推定ー、横浜市環境科学研究所報、34、46-51(2010)。

東京湾西部海域における表層水温のトレンド

— ダミー変数を用いた重回帰分析による推定 —

二宮勝幸（横浜市環境科学研究所）

柏木宣久（統計数理研究所）

岡 敬一（神奈川県環境科学センター）

岩淵美香、飯島恵（川崎市公害研究所）

Trend of surface water temperature at the west part of Tokyo Bay

- Estimation of trend by using multiple regression analysis containing dummy variables -

Katsuyuki Ninomiya (Yokohama Environmental Science Research Institute)

Nobuhisa Kashiwagi (The Institute of Statistical Mathematics)

Keiichi Oka (Kanagawa Environmental Research Center)

Mika Iwabuchi, Megumi Iijima (Kawasaki Municipal Research Institute for Environmental Protection)

キーワード：東京湾、水温、上昇率、重回帰分析、ダミー変数

要旨

東京湾西岸 9 地点における 20 年間の公共用水域水質測定結果の水温時系列を用いて、ダミー変数を用いた重回帰分析により水温のトレンドを求め、その結果の評価および分布の特徴について検討した。水温時系列の基本変動成分として、トレンド成分、季節成分、採水日および採水時刻の変化に伴う成分の 4 成分が考えられた。各基本成分に対応した説明変数（ダミー変数）を用いて重回帰分析を行った結果、9 地点ともトレンド成分、季節成分および採水日の変化に伴う成分の 3 つの基本成分からなる Model が最適なモデルと判断された。水温のトレンドは $0.051 \sim 0.104^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の範囲にあり、横浜港内で最大値、鶴見川河口で最小値を示し、また、湾奥で高く湾口に向かって低下する傾向が認められた。水温は 20 年間で $1.03 \sim 2.08^{\circ}\text{C}$ 上昇しており、季節的には半月ほど春季は早まり秋季は遅くなったと推察された。

1. はじめに

地球温暖化や都市廃熱による温度上昇が指摘されているが^{1, 2)}、温度上昇による気象や生物などへの影響を把握する上で基本的に重要なことは、正確な温度上昇率を知ることである。

気温の上昇率は、多くの場合に気象台などで長期間にわたって測定されている毎正時のデータを基に算出される場合が多い。海域における長期の水温データについては、例えば、公共用水域水質測定計画があり、水温とともに多項目の水質データが測定されており、貴重な資料となっている。しかし、その測定頻度は毎月 1 回程度であり、また、毎月の採水日や採水時刻は必ずしも一定ではないため、測定計画データをそのまま用いて水温上昇率を求めると、偏りが生じると推察される。

それを解決してより正確な温度上昇率を推定する統計手法の一つとして、ダミー変数を用いた重回帰分析がある³⁾。

ここでは、東京湾西岸における公共用水域水質測定計画の水温データにダミー変数を用いた重回帰分析を適用して水温上昇率を求め、その結果の妥当性および分布の特徴について検討した。

2. 方法

2-1 使用データ

次の東京湾の公共用水域水質測定結果⁴⁾を用いた。

期 間：1985 年 4 月～2005 年 3 月の毎月のデータ

地 点：横浜市沿岸域および沖合域の 9 地点（図 1）

測定水深：表層（海面下 0.5m の位置）

2-2 統計手法

先述した、ダミー変数を用いた重回帰分析による方法を用いた。なお、ダミー変数とは、説明変数が 0 か 1 かいずれかの値をとるもので、例えば 0 の場合は効果無し、1 の場合は効果有りという使い方で活用される。

2-3 解析の手順

まず、9 地点の公共用水域水質測定結果から水温時系列のデータ構造を推定した。具体的には、水温時系列はトレンド成分、季節成分および採水日時の変化にともなう変動成分などの基本成分の和（合成成分）で表されることが考えられることから、それら基本成分を求めた。

次に、重回帰分析を用いて合成成分から各基本成分を分離して推定するため、適切なダミー変数を含む説明変数を選択した。

最後に、重回帰分析を適用して 9 地点のトレンドを推

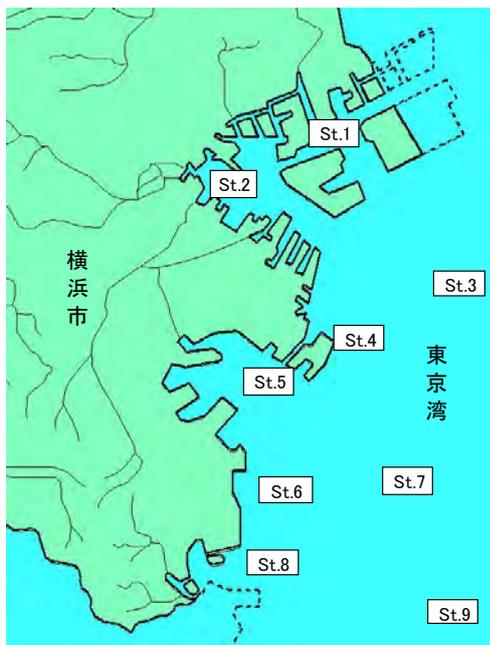


図1 測定地点（地点番号）

定し、その結果の妥当性について検証するとともに、水域ごとのトレンドの特徴などについて調べた。

3. 結果と考察

3-1 水温時系列と基本成分

3-1-1 水温の季節変化とトレンド

図2にSt.2における20年間の水温時系列を示した。20年間を通してみるとわずかに上昇傾向が認められるが、季節変動が大きかった。当初5年間における平均水温は約17℃、水温の年変動幅は約20℃（振幅は10℃）であった。また、12ヶ月移動平均から求めた水温のトレンドは約0.01℃/月であった。

3-1-2 採水日の変化に伴う水温変化

図3にSt.2における20年間の毎月の採水日の変化を示した。なお、採水日の変化は全9地点とも図3とほぼ同じパターンを示した。

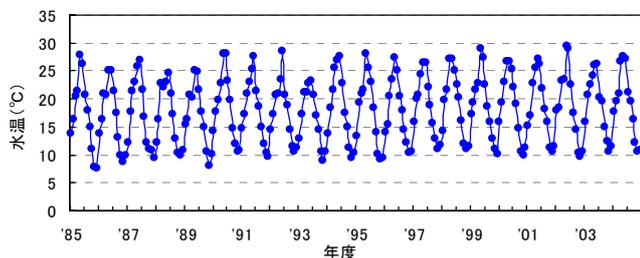


図2 St.2における水温時系列

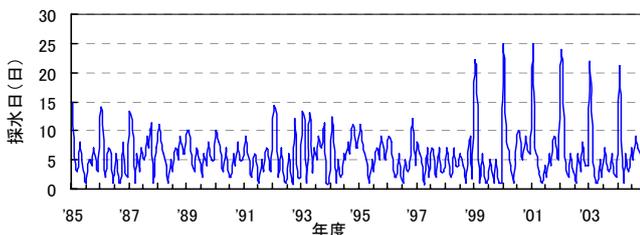


図3 St.2における採水日の変化

採水日は1985年度から1998年度までは毎月の上旬で推移していたが、1999年度以降は4月のみが下旬に変わった。図2によると、4月は季節的には水温上昇期に相当するので、1999年度以降の4月の水温データは1998年度以前の4月の水温データよりも採水日が遅れた日数分だけ高い（以降、4月遅効果という）と考えられる。正確なトレンドを求めるためには、1999年度以降の4月遅効果に伴う水温上昇分を補正する必要がある。1998年度以前の4月の採水日は平均すると約11.1日、1999年度以降のそれは約23.2日であり、それらの差は約12日となった。したがって、4月遅効果は、4月と5月の水温差が約3.7℃であることから（図2）、その12/30に相当する約1.5℃と推定された。

3-1-3 採水時刻の変化に伴う水温変化

採水時刻の変化については、地点により異なる3つのパターンが認められた（図4）。まず、Pattern1は、20年間を通して採水時刻がほぼ一定時刻で推移するパターンであった。Pattern2は1995年度以降における午前中の採水時刻がそれ以前より約1時間遅れとなるパターン、Pattern3はPattern2とは逆に1995年度以降に採水時刻が約1時間早まるパターンであった。

横浜市根岸沖の水質測定局データによると、午前中の水温は時間とともに上昇傾向を示し、1時間当りの上昇率は年間平均として約0.1℃であった（未発表）。

したがって、採水時刻がほぼ一定のPattern1は水温に変化はないが、Pattern2では採水時刻の遅れにより1994年度以前に比べて1995年度以降の水温は0.1℃程度高まり（以降、時刻遅効果という）、Pattern3は採水時刻が早まったため1995年度以降に水温は0.1℃程度低下する（以降、時刻早効果という）と推察された。なお、時刻遅効果と時刻早効果を合わせて時刻効果という。

3-1-4 基本成分とパラメータ

これまでの検討結果から、水温時系列の基本成分として、全地点において傾き成分と季節成分と4月遅成分が

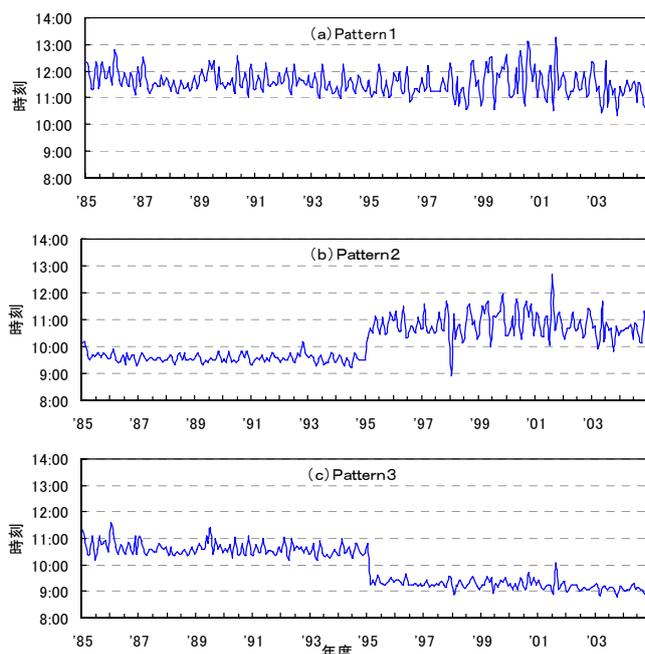


図4 採水時刻の変化

あり、さらに地点により時刻成分が加わると考えられた。これらの基本成分と予測値を表1に、また、図5には基本成分の時系列を示した。

表1 基本成分と予測値

基本成分名	項目	予測値
傾き成分	傾き	0.01°C/月
	切片	17°C
季節成分	振幅	10°C
4月遅成分	遅効果	1.5°C
時刻遅成分	遅効果	0.1°C
時刻早成分	早効果	-0.1°C

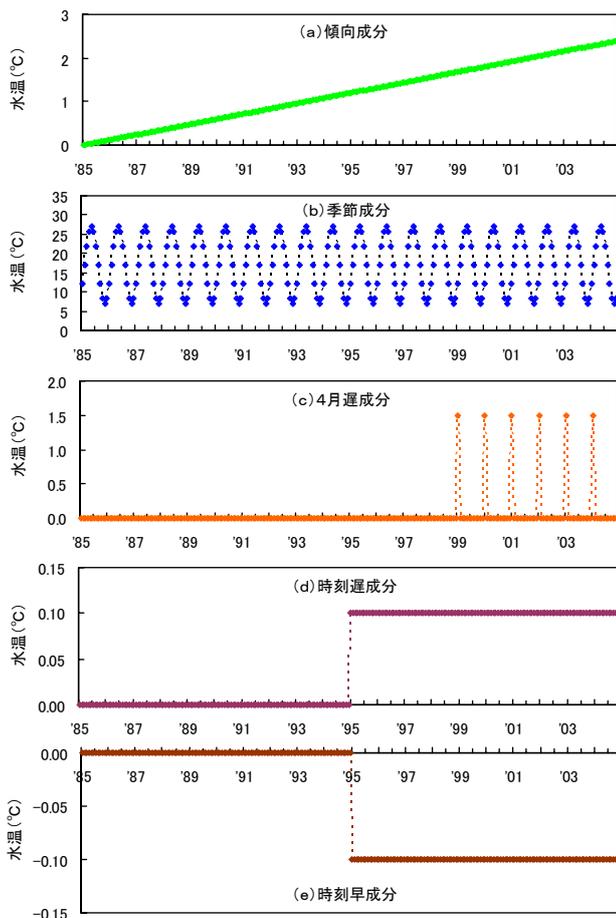


図5 基本成分の時系列

3-2 ダミー変数を含む説明変数

3-2-1 重回帰の説明変数

水温時系列 Y_t は各基本成分の和として、式(1)のように表される。

$$Y_t = T_t + S_t + A_t + H_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

ここで、 T_t =トレンド成分、 S_t =季節成分、 A_t = 4月遅成分、 H_t =時刻成分、 ε_t =誤差である。また、 a を回帰係数(傾き)、 b を切片とすると、 $T_t = a t + b$ で表される。

式(1)の各基本成分に対応した重回帰における説明変数を表2に示した。

トレンド成分 T_t は採水年月に対応しており、その偏回帰係数(傾き効果)が水温変化率(°C/月)である。

季節成分 S_t は各月の季節効果を表す成分である。ただし、それぞれの月は名義尺度であるため、ダミー変数を用いて、季節効果に該当する月は1とし、それ以外の月は0とした。なお、説明変数としての3月が無いのは、冗長になるためである。また、測定年月の3月において、すべての月の季節効果を-1に設定したのは、年度毎の季節成分の和を0にするためである。

4月遅成分 A_t は1999年度以降の4月だけ1998年度以前の4月よりも水温が1.5°C程度高いと想定されることから、4月遅効果のダミー変数として1999年度以降の4月のみ1とし、それ以外を0とした。

時刻成分 H_t については1995年度以降は1994年度以前よりも水温が約0.1°C高いあるいは低いと想定されることから、時刻効果のダミー変数として1995年度以降の毎月を1とし、1994年度以前の毎月を0とした。

このように4つの説明変数を用いることによって、合成成分は各基本成分に分離できることになる。

3-2-2 説明変数の組み合わせ Model

重回帰分析において説明変数の選択の妥当性を評価することは重要である。表3に説明変数の組み合わせ Model を示した。表3において、Model 1は説明変数に傾き効果のみを用いた場合、すなわち、水温時系列に単重回帰分析を適用した場合に相当する。Model 2は説明変数に季節効果を加え、季節成分を分離して傾き効果を推定した場合、Model 3ではそれらに4月遅効果を加わった場合、Model 4はさらに時刻効果を加わった場合である。

3-3 各 Model の重回帰分析の妥当性

ここでは、時刻効果の Pattern 1、2、3の代表的な地点として、それぞれ St. 2、St. 3、St. 6を例に Model ごとに重回帰分析を行い、Model の妥当性を検討した。

表4に3地点における各 Model の重回帰分析結果(偏回帰係数)を示した。1番目の列は表3に対応した各説明変数、2列以降は各地点における各 Model の偏回帰係数である。表中の傾き効果、4月遅効果および時刻効果の各偏回帰係数には有意差検定の結果もあわせて示した。

結果の評価は、赤池情報量基準(AIC)と有意差検定結果を用いて行った。なお、AICは統計モデルの良さを評価するための指標であり、最小の値をもつモデルが良いモデルと判断される⁵⁾。

3-3-1 St. 2の重回帰分析結果の評価

AICはModel 3が最も小さく、次いでModel 2、Model 1の順であった。また、Model 1の傾き効果の偏回帰係数は統計的に有意でなく、Model 3の傾き効果と4月遅効果の偏回帰係数はいずれも1%危険率で有意であった。したがって、3つの Model のなかでModel 3が最もあてはまりの良いモデルと判断された。

各 Model の傾き(偏回帰係数)について比較検証した。Model 1の傾きは0.0071°C/月でModel 2のそれ(0.0094°C/月)よりも0.0023°C/月低い値を示した。この理由として、4月を開始月とした季節成分自身が負の傾きを持っていることが挙げられる。例えば、図5(b)に示した4月を開始月とし振幅を10°Cとした季節変動だけから成る20年間の時系列をsin関数で近似したモデルに回帰分析を適用して傾きを求めると、約-0.0028°C

表2 目的変数と説明変数

測定年月	目的変数		説明変数														
	水温 実測値	傾き 効果	季節効果												4月遅 効果	時刻 効果	
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月				
1985.04	Y ₁	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.05	Y ₂	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.06	Y ₃	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.07	Y ₄	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.08	Y ₅	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.09	Y ₆	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.10	Y ₇	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1985.11	Y ₈	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1985.12	Y ₉	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1986.01	Y ₁₀	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1986.02	Y ₁₁	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1986.03	Y ₁₂	12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
1986.04	Y ₁₃	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.
.
1995.04	Y ₁₂₁	121	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1995.05	Y ₁₂₂	122	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
.
.
1999.04	Y ₁₆₉	169	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1999.05	Y ₁₇₀	170	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
.
.
2005.03	Y ₂₄₀	240	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1

表3 説明変数の組み合わせ Model

説明変数	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
傾き効果	○	○	○	○
季節効果		○	○	○
4月遅効果			○	○
時刻効果				○

表4 3地点における各 Model の重回帰分析結果 (偏回帰係数)

説明変数	St.2			St.3				St.6			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
傾き効果(°C/月)	0.0071	0.0094**	0.0087**	0.0062	0.0083**	0.0077**	0.0055*	0.0032	0.0052**	0.0046**	0.0055**
4月(°C)		-3.2480	-3.7004		-3.6898	-4.0756	-4.0915		-3.5097	-3.8705	-3.8641
5月(°C)		-0.0223	0.0152		-0.3581	-0.3261	-0.3356		-0.5999	-0.5699	-0.5661
6月(°C)		3.3783	3.4165		2.9736	3.0062	2.9989		2.7599	2.7904	2.7934
7月(°C)		5.2989	5.3379		5.1803	5.2135	5.2084		5.0047	5.0358	5.0379
8月(°C)		8.3895	8.4292		8.2820	8.3159	8.3129		8.0295	8.0611	8.0623
9月(°C)		8.2551	8.2955		8.0987	8.1332	8.1324		7.7993	7.8315	7.8318
10月(°C)		3.6007	3.6419		3.9204	3.9555	3.9570		3.9291	3.9619	3.9613
11月(°C)		0.2663	0.3082		0.5222	0.5578	0.5615		0.5939	0.6272	0.6258
12月(°C)		-3.3830	-3.3405		-2.8761	-2.8398	-2.8340		-2.8764	-2.8424	-2.8448
1月(°C)		-6.7274	-6.6842		-6.4294	-6.3925	-6.3845		-6.1616	-6.1271	-6.1303
2月(°C)		-8.1568	-8.1128		-7.9827	-7.9452	-7.9350		-7.6268	-7.5917	-7.5958
4月遅効果(°C)			1.6309**			1.3907*	1.4046*			1.3005*	1.2949*
時刻効果(°C)							0.3497				-0.1410
定数項(°C)	17.23	16.95	16.99	16.91	16.65	16.69	16.78	17.30	17.06	17.10	17.06
AIC ^{注1)}	1526	766	760	1518	772	768	768	1500	735	731	733

注1) 赤池情報量基準、 **:危険率1%で有意、 *:危険率5%で有意

／月が得られる⁶⁾。これは先に示した Model 1 と Model 2 の傾きの差に近い値である。したがって、Model 1 は説明変数として季節効果を考慮していないモデルであるため、すなわち、Model 1 の傾きには季節成分の影響（約 $-0.0028^{\circ}\text{C}/\text{月}$ ）が含まれるため、両 Model の傾きに差が生じたと推察される。

一方、Model 2 の傾きは Model 3 のそれよりも $0.0007^{\circ}\text{C}/\text{月}$ だけ高かった。この理由として、両 Model における 4 月遅効果の有無が挙げられる。具体的には、図 5 (c) の 4 月遅成分の時系列に単回帰分析を適用して、4 月遅効果の傾きを求めると、 $+0.0006^{\circ}\text{C}/\text{月}$ （4 月遅効果に相当する）が得られる。これは両 Model の傾きの差とほぼ一致した。

以上のことをまとめると、Model 3 の傾きは実測値から季節効果と 4 月遅効果を分離し除去した真値に近い値になっていると考えられた。

3-3-2 St. 3 の重回帰分析結果の評価

AIC は小さい順に Model 3、Model 4、Model 2、Model 1 であるが、Model 3 と Model 4 との差は 0.5 と小さかった。そこで、Model 3 と Model 4 について比較検討した。

有意差検定の結果によると、Model 3 の傾き効果は 1% 危険率で有意であるのに対して、Model 4 のそれは 5% 危険率で有意であった。また、4 月遅効果については両 Model ともに 5% 危険率で有意であったが、Model 4 の時刻効果は有意とはならなかった。Model 4 の時刻効果の予測値（表 1）は約 0.1°C であるが、水温は 0.1°C 単位での読取り値であること、また、測定は毎月 1 回であり、その時々々の気象条件に左右されることなどから、誤差が大きくなると予想される。そのため、時刻効果は検定により棄却されたと推察される。したがって、Model 3 が最適と判断するのが妥当であると考えられた。

3-3-3 St. 6 の重回帰分析結果の評価

AIC は小さい順に Model 3、Model 4、Model 2、Model 1 であるが、Model 3 と Model 4 との差は 1.7 と小さかった。有意差検定の結果を考慮すると、前項の St. 3 の場合とほぼ同様な解釈が可能であることから、Model 3 が最適と判断された。

3-3-4 全地点の重回帰分析結果の評価

先の 3 地点以外の全地点についても同様な解析を行った。その結果、時刻効果の Pattern 1 に該当する地点については全て Model 3 が最適モデル、時刻効果の Pattern 2 および Pattern 3 に該当する地点についても Model 3 が最適モデルであると判断された。

3-4 水温のトレンドおよび季節のずれの日数

ここでは、最適モデルにおける水温のトレンドと季節のずれの日数について検討した。図 6 に水温のトレンド（単位： $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ）と季節のずれの日数の分布を示した。なお、季節のずれの日数については、後述する。

3-4-1 水温のトレンド

トレンドは St. 2 が $0.104^{\circ}\text{C}/\text{年}$ で最も大きく、次いで St. 3、St. 7 の順であり、最小値は St. 1 の $0.051^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であった。また、沿岸域の 4 地点（St. 4、St. 5、St. 6、St. 8）のトレンドは $0.056\sim 0.078^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の範囲にあった。

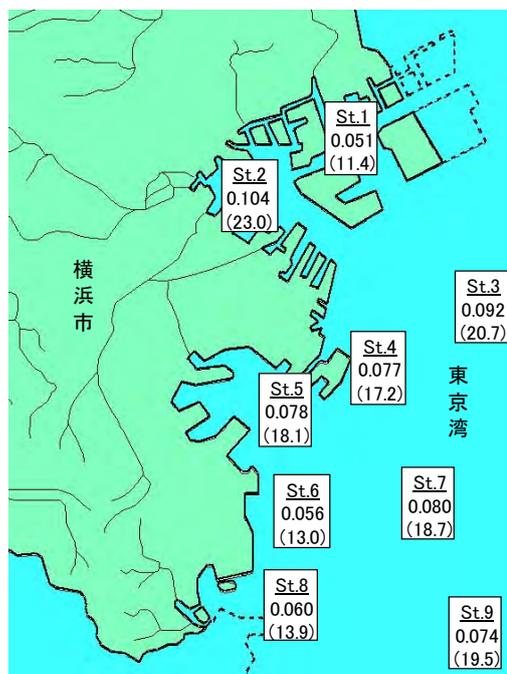


図 6 水温のトレンド（上段： $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ）と季節のずれの日数（下段：日）

St. 2 は横浜港内の防波堤に囲まれた比較的狭い水域であり、他地点に比べて船舶の航行や周辺の事業場が多いため、トレンドが最も高くなったと考えられた。沖合域の St. 3、St. 7 および St. 9 についてみると、トレンドは北から南に向かって小さくなる傾向が認められた。これは、東京湾西岸における表層水は湾奥から湾口方向に流れることから⁷⁾、トレンドは湾奥の河川からの影響を強く受け、湾口に向かって弱まった結果と考えられた。沿岸域の 4 地点（St. 4、St. 5、St. 6、St. 8）については、沖合域ほど明確ではないが、やはりトレンドは湾奥から湾口に向かって小さくなる傾向が認められた。

3-4-2 季節のずれの日数

トレンドは $0.051\sim 0.104^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の範囲にあることから、20 年間で水温は $1.03\sim 2.08^{\circ}\text{C}$ 上昇した。この水温上昇が季節的に何日程度のずれに相当するのかを試算した。

具体的には、各地点におけるある月と翌月との水温差の絶対値を全期間について平均した値（ひと月の平均的な水温変動幅）は約 $2.32\sim 2.75^{\circ}\text{C}$ であり、ひと月の平均日数は 30.4 日であることから、水温上昇は約 11.4 日（St. 1）～約 23.0 日（St. 2）に相当すると推算された（図 6）。St. 1 と St. 2 以外の地点における季節のずれの日数は約 13.0 日～約 20.7 日の範囲にあり、沿岸域に比べて沖合域のほうが多かった。このように、20 年間で季節的には半月ほど春季は早まり秋季は遅くなったと考えられた。

実際に、横浜港などでは南方系のみドリイガイ等が確認されていることから⁸⁾、外来種の生物などについても注意してみていく必要がある。

4. まとめ

東京湾西岸の 9 地点における 20 年間の公共用水域水質測定結果の表層水温にダミー変数を用いた重回帰分析

を適用し、得られたトレンドの評価および分布の特徴について検討した。

- 1) 水温時系列は、基本成分としてトレンド成分、季節成分、4月遅成分および時刻成分（一定時刻成分、1時間遅成分、1時間早成分）から成ると推察された。
- 2) 各基本成分に対応した説明変数（ダミー変数）を設定して重回帰分析を行ったところ、9地点ともトレンド成分、季節成分および4月遅成分の3つの基本成分からなるModel 3が最適なモデルと判断された。
- 3) 水温のトレンドは0.051～0.104℃/年の範囲にあり、最大値は横浜港内、最小値は鶴見川河口であった。また、水温のトレンドは湾奥で高く湾口に向かって低下する傾向が認められた。
- 4) 水温は20年間で1.02～2.08℃上昇し、季節的には半月ほど春季は早まり秋季は遅くなったと考えられた。

なお、本報告の一部は、地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（C型）「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究」の平成20年度第2回打ち合わせ会議（2009年2月、大阪府）で発表した。

文献

- 1) 環境省：ヒートアイランド対策
http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/index.html
- 2) 中山有、神田学、木内豪、森脇亮：都市人工排水系における水・熱輸送に関する観測研究、水工学論文集、**50**、511-516(2006)。
- 3) <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Regression/mreg/dummy-variable/dummy.html>
- 4) 神奈川県：神奈川県水質調査年表(1985年度-2004年度)。
- 5) 坂本慶行、石黒真木夫、北川源四郎：情報量統計学、42-62、共立出版（1982）。
- 6) 二宮勝幸、柏木宣久：単回帰分析による季節時系列のトレンド推定の問題点、横浜市環境科学研究所報、**34**、43-45(2010)。
- 7) 二宮勝幸、柏木宣久、安藤晴夫：東京湾における水温と塩分の空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、**19**(6)、480-490(1996)。
- 8) 横浜市環境科学研究所：横浜の川と海の生物（第11報・海域編）、38-42(2007)。

鶴見川中流域における水質の長期変動の特徴（第 2 報）

— 千代橋 —

二宮勝幸（横浜市環境科学研究所）

Characteristics of long-term fluctuation of water quality at the middle stream of Tsurumi River (II)

— Chiyo Bridge —

Katsuyuki Ninomiya (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：鶴見川、水質、時系列解析、硝酸態窒素、N-BOD

要 旨

鶴見川中流域・千代橋における水質の長期変動特性の解析を行うとともに、同じ鶴見川の都橋の水質と比較検討した。千代橋の水質時系列には、減少後に横ばいで推移する変動成分、3年程度の周期で変動する成分などが認められた。3年程度の周期変動は年々の降雨量の変化に起因するもので、降雨量の多い年に BOD や $\text{NH}_4\text{-N}$ などは低濃度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は高濃度を示した。減少後横ばいで推移する項目は COD や $\text{PO}_4\text{-P}$ などであり、その逆に増加傾向を示す項目は水温と $\text{NO}_3\text{-N}$ などであった。水温の上昇率は約 $0.054^\circ\text{C}/\text{年}$ を示した。T-N は季節的には春季から秋季にかけて増加しており、その主要因は $\text{NO}_3\text{-N}$ であると考えられた。千代橋の水質は都橋に比べて良好だが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経年的な上昇率は約 $0.012\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}/\text{年}$ で都橋とほぼ同じであった。一方、都橋は千代橋に比べて BOD に対する N-BOD の寄与が大きいと推察された。

1. はじめに

著者は、前報¹⁾で鶴見川中流域に位置する支流・恩田川の都橋の水質について気象因子や人間の社会活動を背景とした長期変動を解析し、その特徴を明らかにした。

ここでは、同じ鶴見川の主流・谷本川水系の千代橋における水質の長期変動の特徴を把握するとともに、千代橋と都橋の水質の違いについて検討した。

2. 解析方法

2-1 測定地点

測定地点は鶴見川主流の谷本川の下流に位置する千代橋であり、そこから直線距離で約 700m 離れた場所に都橋がある（図 1）。谷本川流域は、横浜市以外に町田市と川崎市の一部を含んでおり、田畑が比較的多く住宅地もある。また、測定地点の上流には市外の 2 つの下水処理場がある。千代橋は河川 D 類型に属し、BOD の環境基準値は $8\text{mg}/\text{l}$ である。なお、都橋は住宅が比較的多く、その上流の市外には下水処理場が 1 つある。

2-2 測定期間および測定項目

解析に用いたデータは、公共用水域水質測定結果²⁾の千代橋における 1980 年 4 月から 2006 年 3 月まで（26 年間）

の毎月 1 回、平日の午前中に採水・測定された次の 14 項目である。

測定項目：

流量(FLOW)、水温(WTemp)、pH、BOD、COD、DO、陰イオン界面活性剤(MBAS)、大腸菌群数(ECO)、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 。

なお、大腸菌群数はその対数(logECO)を用いた。MBAS については、1986 年度までは標準物質としてドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(DBS)が用いられていたが、1987 年度以降はドデシル硫酸ナトリウム(DS)が用いられるようになったので、1987 年度以降は DBS と DS の分子量比 1.21 をデータに乘じ、DBS を標準とした MBAS 濃度に統一した。栄養塩類については、T-N から無機態窒素 TIN($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$)を差し引いたものを有機態窒素(ORG-N)、T-P から $\text{PO}_4\text{-P}$ を差し引いたものを有機態リン(ORG-P)とした。

なお、参考データとして、横浜地方気象台の月平均気温(気温)、月合計降雨量(降雨量)、月合計日照時間(日照時間)の 3 つの気象要素を用いた³⁾。

2-3 異常値のデータ処理

降雨に伴う濁水などによって水質に異常値が生じる場合があるが、各項目とも統計量の 3σ を超えたデータは、その前後の月のデータの平均値に置き換えた。

3. 結果と考察

3-1 水質と気象の推移

水質や気象の長期変動傾向を調べるため、図 2 に水質の毎月および 12 ヶ月移動平均の時系列を、また、図 3 に気象の 12 ヶ月移動平均時系列を示した。

水質については、FLOW や COD などは減少傾向、そして WTemp や pH などは増加傾向を示すとともに、いずれの項目も 2 年から 5 年程度の不定周期で変動していることが認められた。

気象の 3 要素は水質と同様に数年程度の周期で変動し、



図 1 測定地点

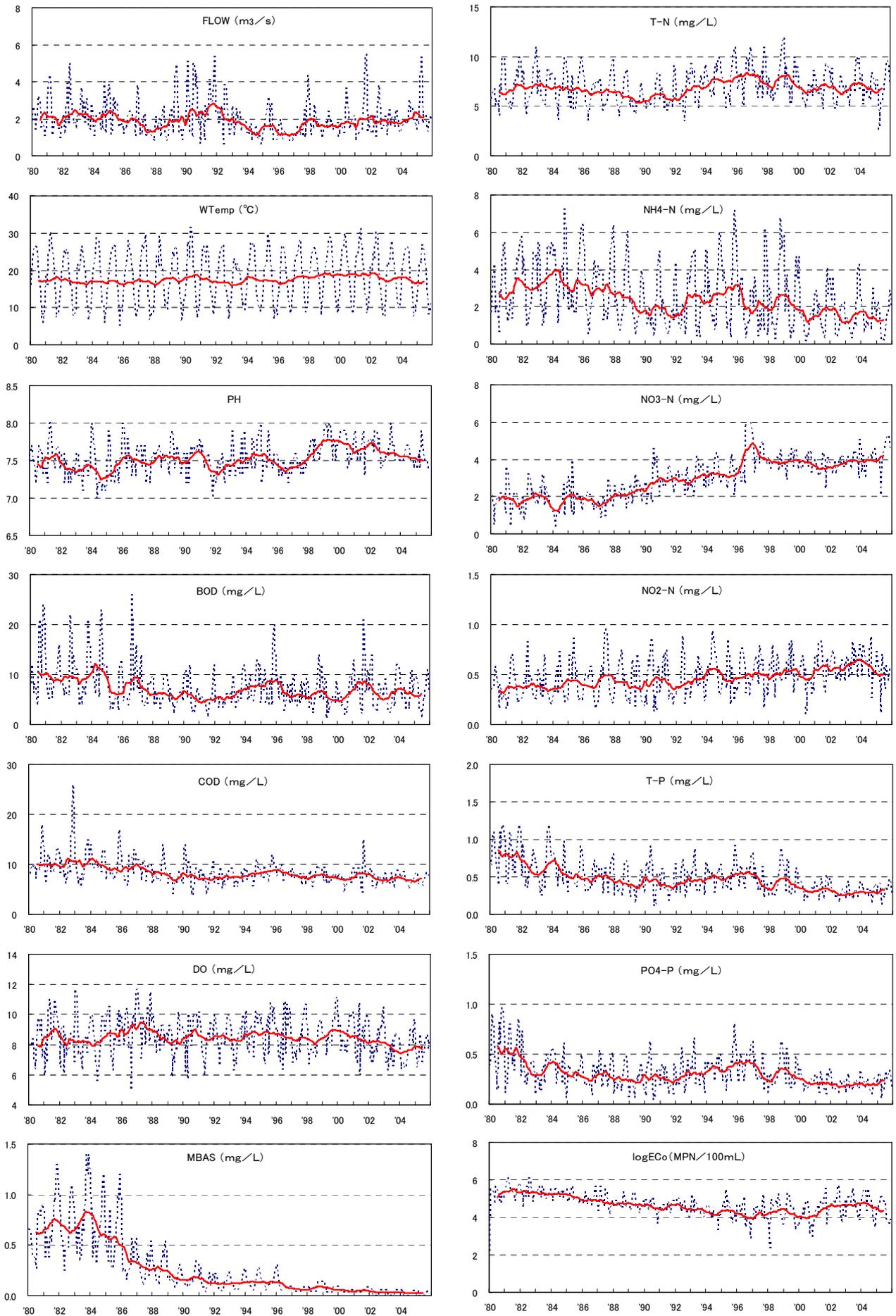


図2 水質の時系列（点線：実測値、実線：12ヶ月移動平均値）

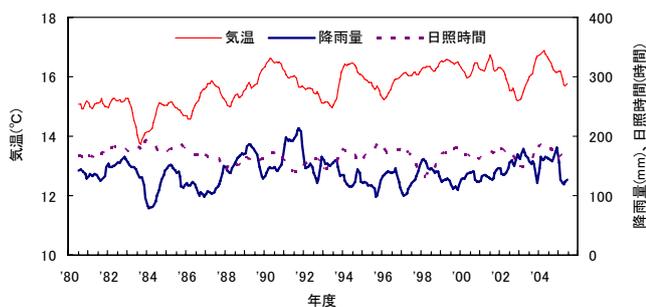


図3 気象の12ヶ月移動平均時系列

また、気温は少し上昇傾向を示した。

3-2 主成分分析による水質の周期変動解析

3-2-1 主成分分析結果の概要

水質および気象の12ヶ月移動平均時系列にはどのような変動成分が含まれているのかを調べるため、主成分分析法を適用して検討した^{4, 5)}。図4に各主成分得点の時系列を、表1に主成分分析の結果(固有ベクトル)を示した。各主成分の固有値は、第1主成分で8.7、第2主成分で2.6、第3主成分では1.5であり、寄与率はこれら3つの主成分の合計で75.1%となった。

図4によると、第1主成分は減少した後に1992年度頃から横ばいで推移する変動成分であった。第2主成分は数年程度の周期で変動する降雨量(図3)の変化に対応した成分、第3主成分は減少した後に増加する成分であった。なお、表1において固有ベクトルが正值の項目は該当する主成分の変動と順に対応し、負値の場合はその主成分の変動と逆に対応する^{4, 5)}。以下に、主成分と固有ベクトルを用いて、水質の長期変動の特徴について検討した。

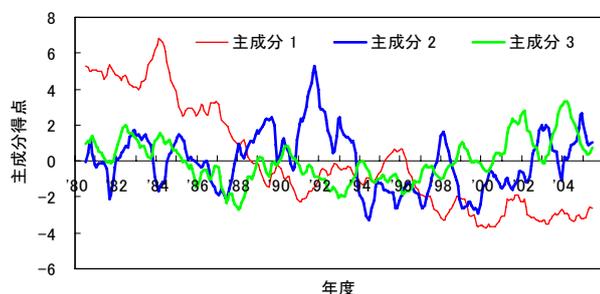


図4 主成分得点の時系列

表1 主成分分析の結果(固有ベクトル)

項目	主成分1	主成分2	主成分3
FLOW	0.07	0.46	0.33
WTemp	-0.18	-0.25	0.35
PH	-0.20	-0.23	0.17
BOD	0.27	-0.18	0.29
COD	0.32	-0.14	0.10
DO	0.06	-0.26	-0.53
MBAS	0.32	0.04	0.10
LogEC _o	0.28	0.19	0.27
Org-N	0.28	-0.10	0.11
NH ₄ -N	0.29	-0.17	-0.13
NO ₃ -N	-0.29	-0.11	0.08
NO ₂ -N	-0.25	-0.22	0.24
Org-P	0.32	0.02	0.01
PO ₄ -P	0.22	-0.23	-0.11
気温	-0.27	-0.15	0.17
降雨量	-0.11	0.49	0.05
日照時間	0.12	-0.32	0.39

3-2-2 各主成分の特徴

(1) 第1主成分

表1によると、第1主成分の固有ベクトルが大きな正值をもつ項目はCOD、MBAS、Org-Pなどであり、第1主成分と同様に減少傾向を示した(図2)。これは、下水処理普及率の向上や工場排水指導の強化および洗剤の無リン化などによる効果と考えられた。一方、固有ベクトルが負値をもつ項目はWTempやNO₃-Nなどであり、増加傾向を示した(図2)。これらの変化傾向は都橋の場合とほぼ同じであった¹⁾。WTempの上昇率を回帰式から求めると、0.054°C/年が得られた。NO₃-Nはほぼ単調な増加傾向を示した。

(2) 第2主成分

第2主成分と順に変動する項目はFLOWや降雨量やEC_oなどであり、逆の変動項目はBODやNH₄-Nなどであった。FLOWは降雨量の長周期変動を背景とした平水時河川流量の増減に対応し⁶⁻⁸⁾、EC_oは越流水や動物由来等の糞便が降雨にともない流出したことなどが考えられた⁹⁾。BODやNH₄-Nの変動は降雨による希釈効果と推察される¹⁾。一方、図2によると、1992年度以降においてNH₄-Nは減少するのに対しBODは横ばいで推移する傾向が認められた。これは、前報でも述べたように¹⁾、有機汚濁が改善されるに従いNH₄-Nの硝化によるN-BODの寄与が経年的に高まってきたためと考えられた。

(3) 第3主成分

第3主成分については、DOの固有ベクトルが-0.53と最も大きい負値を示した。第3主成分はDOの変動と強く関連した変動成分と推察されるが、他の項目との関連は見出せなかった。DOは生物の生息にとって重要な因子であることから、さらに検討していく必要がある。

3-3 形態別の窒素化合物

3-3-1 経年変化

窒素化合物は相互に関連しあっていることから、それらの関係を検討した。図5に各窒素化合物の比率の12ヶ月移動平均時系列を示した。

NO₃-Nは増加傾向、NO₂-Nはやや増加傾向を示すが、NH₄-Nは減少傾向、Org-Nはやや減少傾向を示した。下水道普及率の向上などの水質改善施策の強化により有機汚濁やNH₄-Nの負荷量が経年的に減少したためと考えられた。NO₃-Nの増加要因については後述する。

3-3-2 月別変化

窒素化合物の季節毎の違いを調べるため、図6に月別の各窒素化合物の比率の5項移動平均時系列を示した。

各窒素化合物の比率は季節により異なっており、NO₃-NとNO₂-Nの比率は冬季に比べて夏季に高く、逆にNH₄-Nの比率は冬季に高かった。夏季は水温が高いため硝化反応が促進されたためと推察された¹⁰⁾。

一方、各窒素化合物の増減は季節により異なる傾向がみられることから、月別の回帰係数を調べた(図7)。Org-NとNH₄-Nの回帰係数は全ての月で負の値を示し、その

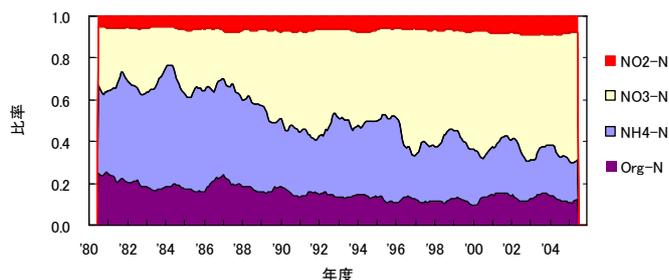


図5 各窒素化合物の比率の12ヶ月移動平均時系列

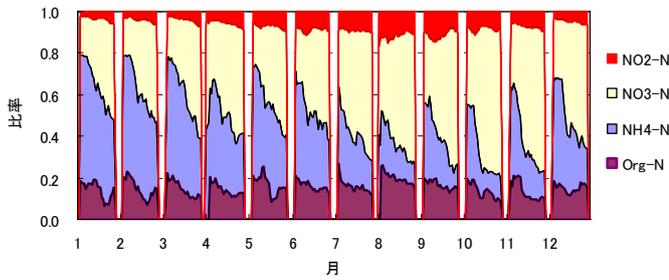


図6 月別の各窒素化合物の比率の5項移動平均時系列

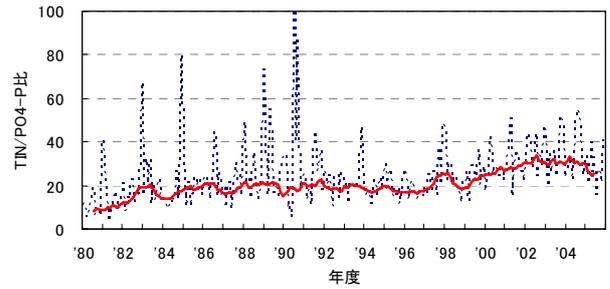


図8 TIN/PO₄-P比の時系列
(点線：毎月、実線：12ヶ月移動平均)

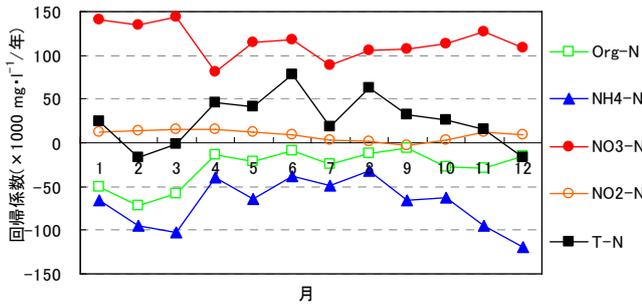


図7 月別の各窒素化合物の年回帰係数

傾向は冬季に顕著であった。しかし、NO₃-NとNO₂-Nの回帰係数は年間を通して正值でほぼ横ばいで推移しており、前者のほうが1桁程度高かった。これらの結果として、T-Nの回帰係数は春季から秋季にかけて正值を示した。したがって、T-Nの増加は主として春季から秋季におけるNO₃-Nによるものであることが示唆された。水温は経年的に上昇傾向を示し、また、これらの季節は降雨量が多いことから、経年的な硝化促進とともに、比較的高濃度に汚染された地下水の流出が徐々に影響してきた¹¹⁾可能性が考えられるが、今後の検討課題である。

3-4 TIN/PO₄-P比の経年変化

富栄養化問題における制限因子を検討するため、TINとPO₄-Pの濃度比(TIN/PO₄-P)の変化について調べた(図8)。

TIN/PO₄-P比の12ヶ月移動平均は、1980年度に約10であったが、1983年度ごろになると20程度まで増加し、その状態が1998年度までは続いた。それから再度30程度まで増加してきている。東京湾ではTIN/PO₄-P比が10を超えると制限因子は窒素となることから¹²⁾、千代橋では1980年代以降は制限因子が窒素の状態が続いていると考えられた。

3-5 千代橋と都橋における水質の比較

水質項目のうち有機汚濁と栄養塩類の項目を対象に、これらの平均値と回帰係数を用いて千代橋と都橋の比較・検討を行った。表2に水質の平均濃度および都橋と千代橋の平均濃度の比率、表3に水質の回帰係数および都橋と千代橋の回帰係数の比率を示した。なお、流量は両地点とも約1.7m³/sであり、ほとんど差は認められなかった。

3-5-1 平均濃度

表2から、平均濃度の比率は1.1~1.9の範囲にあり、平均濃度は全項目で都橋のほうが千代橋よりも高かった。比率は、NH₄-Nが最も大きく(1.9)、次いで、BOD(1.5)の順であり、また、CODの比率は1.2であった。両地点におけるBODとCODの濃度を比較すると、千代橋でBOD<CODであったのに対して、都橋ではBOD>CODとなり、BOD濃度は相対的に都橋で高いことが顕著であった。これは、NH₄-N濃度が高い恩田川水系の都橋のほうが谷本川水系の千代橋に比べてN-BODの影響が大きいため、その分だけBODも高くなったと考えられた。

NH₄-Nは都橋のほうが千代橋よりも1.9倍高い濃度を示したが、NO₃-Nの比率は1.1となり両地点でほとんど濃度差はなかった。この原因については、次項で考察する。

3-5-2 回帰係数

表3によると、両地点とも回帰係数が正值を示す項目はT-NとNO₃-NとNO₂-Nであり、年々増加してきている。T-Nを高めている主要因はNO₃-Nであり、その回帰係数の比率は1.1と両地点でほぼ同じ値を示した。前項で述べた平均濃度の比率に関しても、NO₃-Nの比率は1.1であり両地点でほとんど濃度差はなかった。このように土地利用形態の異なる両地点でNO₃-Nの平均濃度と上昇率がほぼ同じとなった。このようなNO₃-Nの増加要因として、窒素肥料等由来の地下水汚染、下水処理水由来の負荷、および車・工場など燃焼系由来の負荷など多種多様な窒素負

表2 水質の平均濃度(mg/l)とその比率

地点	BOD	COD	TN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Org-N	TP	PO ₄ -P	Org-P
千代橋	7.0	8.2	6.80	2.33	2.92	0.46	1.04	0.46	0.30	0.16
都橋	10.2	9.5	9.59	4.52	3.30	0.64	1.10	0.59	0.40	0.19
比率*	1.5	1.2	1.4	1.9	1.1	1.4	1.1	1.3	1.3	1.2

* : 平均濃度の比率 = 都橋/千代橋

表3 水質の回帰係数(mg·l⁻¹/年)とその比率

地点	BOD	COD	TN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Org-N	TP	PO ₄ -P	Org-P
千代橋	-0.126	-0.126	0.027	-0.072	0.116	0.009	-0.023	-0.015	-0.007	-0.007
都橋	-0.148	-0.274	0.012	-0.079	0.124	0.011	-0.041	-0.028	-0.016	-0.012
比率*	1.2	2.2	0.4	1.1	1.1	1.2	1.8	1.9	2.3	1.6

* : 回帰係数の比率 = 都橋/千代橋

荷源が挙げられるが、定量的な評価については今後の検討課題である。また、先述したように、水系のN/P比が高まり栄養塩バランスが偏ってきていることから、他の水系についても窒素負荷の状況を調べ、また、その低減を図って行く必要がある。

一方、BODの比率は1.2であり両地点とも大きな違いはないが、CODの比率は2.2で都橋は千代橋よりも2倍ほど減少速度が大きかった。都橋ではCODに比べてBODの改善効果が小さいといえる。これは、先述したように、都橋は千代橋に比べてN-BODの影響が大きく、そのN-BODの影響が都橋では年々高まってきているため、都橋のBODの回帰係数がCODに比べて小さくなったと考えられた。都橋が位置する恩田川水系の水質改善のためには、BODに影響を与え、また、それ自身も環境にとって悪影響を与えるNH₄-Nの削減が必要と考えられた。

4. まとめ

鶴見川中流域の千代橋における水質時系列のデータ解析を行い、都橋の解析結果と比較検討した。

- 1) 水質時系列には、減少してから横ばいで推移する変動成分、3年程度の周期変動成分などが認められた。
- 2) 減少後に横ばいで推移する項目はCOD、MBASおよびOrg-Pなどであり、その逆に増加傾向を示す項目はNO₃-Nや水温などであった。千代橋におけるNO₃-N濃度の経年的な上昇率は都橋の場合とほぼ同じであった。
- 3) 3年程度の周期変動は年々の降雨量の変化に起因するもので、降雨量の多い年に低濃度を示す項目はFLOWや降雨量やEC_oなどであり、その逆の変動項目はBODやNH₄-Nなどであった。
- 4) N/P比は徐々に増加して30を超えており、制限因子が窒素の状態が続いている。
- 5) T-Nは増加してきているが、その主要因は春季から秋季におけるNO₃-Nの負荷によるものであった。また、千代橋におけるNO₃-N濃度の上昇率は約0.012mg・l⁻¹/年で都橋とほぼ同じであった。
- 6) 千代橋と都橋の水質を比較してみると、いずれの項目も都橋のほうが高い濃度を示し、特にBODとNH₄-Nで

顕著であった。また、回帰係数も考慮すると、都橋は千代橋に比べてN-BODの影響が大きく、そのN-BODの影響が都橋では年々高まってきていると考えられた。

文献

- 1) 二宮勝幸、若林信夫：鶴見川中流域における水質の長期変動の特徴、横浜市環境科学研究所報、33、68-74(2009)。
- 2) 神奈川県：神奈川県水質調査年表(昭和55年度-平成17年度)。
- 3) 横浜地方気象台：神奈川県気象年報(1980-2006)。
- 4) 二宮勝幸：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(I) -COSINE関数モデルによる検証-、横浜市公害研究所報、13、113-119、1989。
- 5) 二宮勝幸、水尾寛己：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(II) -河川水質への応用-、横浜市公害研究所報、13、121-129(1989)。
- 6) 気象庁編：異常気象レポート、近年における世界の異常気象と気候変動、p238、大蔵省印刷局(1989)。
- 7) 中島幸久：ENSOと日本の降水量の年々変動、気象、33(7)、35-37(1989)。
- 8) 二宮勝幸：河川水質データの時系列解析 -気象および社会因子による過去15年間の水質変化、用水と廃水、36(2)、107-114(1994)。
- 9) 藤生和也、菅谷悌治、那須基、山田和弘：水循環・物質循環変動による影響評価技術の開発に関する調査、平成16年度下水道関係調査研究年次報告書集
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0263pdf/ks0263026.pdf>
- 10) 佐藤和明、岸田弘之、渡辺択：2. 鶴見川水質浄化実験におけるNH₄-Nの除去性能と都市河川への適用に関する研究、河川環境総合研究所報告、10、15-25(2004)。
- 11) 永井茂：地下水汚染・土壌汚染の現況と浄化対策、第4章 地下水の無機汚染の実態と問題点、工業技術会、45-66(1993)。
- 12) 横浜市環境科学研究所：東京湾の富栄養化に関する調査報告書、環境研資料No.117、47-52(1995)。

鶴見川中流域における気温と水温の関係

二宮勝幸（横浜市環境科学研究所）

Study on relationship between atmospheric temperature and water temperature at the middle stream of Tsurumi River

Katsuyuki Ninomiya (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：温暖化、河川、気温、水温、温度特性

要 旨

鶴見川中流域の千代橋と都橋における 16 年間の公共用水域水質測定結果を用いて、気温と水温の関係などについて考察した。気温と水温は両地点とも経年的にほぼ同じ上昇パターンを示し、水温の回帰係数は $0.11^{\circ}\text{C}/\text{年}$ で気温の回帰係数よりも 2 倍ほど大きかった。気温と水温の季節変化によると、夏季は水温が気温よりも低く冬季は水温が気温よりも高いため、春季と秋季に気温と水温の変化曲線が交差しており、気温と水温が同一温度になる交点が 2 つ存在した。交点の時期を試算すると、水温が気温よりも低い期間は千代橋では 4 月下旬から 10 月下旬までの約 6 ヶ月間、都橋では 5 月下旬から 9 月下旬までの約 4 ヶ月間と推察された。交点の温度は経年的に都橋ではほぼ横ばいで推移しているが、千代橋では上昇しており、水温が気温より低い期間が短くなってきていると考えられた。また、16 年間の季節のずれの日数は両地点とも気温では約 1 週間、水温では半月強であり、春季は早まり秋季は遅れてきていると推察された。

1. はじめに

地球温暖化やヒートアイランドによる気温や水温の上昇が大きな社会問題となっているが¹⁻³⁾、気温と水温は相互に関連しあって変動することが指摘されている^{4, 5)}。

そこで、本報告では、鶴見川中流域の 2 地点における公共用水域水質測定計画の測定結果を用いて、両地点における気温と水温の関係および経年変化の特徴などについて検討した。

2. 解析資料

2-1 測定地点

測定地点を図 1 に示す。測定地点は鶴見川中流域の千代橋（本流・谷本川）と都橋（支流・恩田川）であり、両地点は直線距離で約 700m 離れた位置にある。鶴見川は町田市を起点とし横浜市の北部を流れ東京湾に注ぐ一級河川であり、千代橋の上流には市外に 2 つの下水処理場、都橋の上流には市外に 1 つの下水処理場がある。図中には、横浜地方気象台（標高：39.1m、千代橋・都橋との直線距離：約 12 km）の位置をあわせて示した。

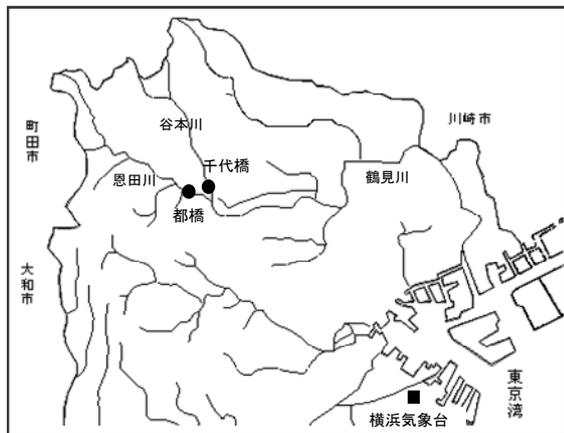


図 1 測定地点

2-2 解析データ

使用データは千代橋と都橋における公共用水域測定計画測定結果の 1990 年 4 月から 2006 年 3 月まで（16 年間）の毎月のある 1 日間、6 時間間隔で 4 回測定された気温と水温であり⁶⁾、その 4 回の平均値を解析に用いた。なお、千代橋と都橋の気温はともに橋上で測定されたデータであり、それぞれ平常時の河川水面より約 9 m と約 8 m の高さである。参考データとして用いた横浜地方気象台のデータは、測定計画と同一の採水年月日における日平均気温である⁷⁾。

3. 解析結果

3-1 平均温度とトレンド

千代橋と都橋における温度特性の概要を把握するため、表 1 に 16 年間の平均気温と平均水温および回帰係数（12 ヶ月移動平均を用いて算出した）を、図 2 に気温と水温の 12 ヶ月移動平均の時系列を示した。なお、表 1 と図 2 には横浜地方気象台の気温データもあわせて示した。

3-1-1 平均気温と平均水温

表 1 から、平均気温は、高い順に千代橋 > 都橋 > 横浜地方気象台であった。平均気温は横浜地方気象台に比べて千代橋で 1.6°C 、都橋で 0.9°C 高かった。横浜市内の気温分布調査⁸⁾によると、春期および夏期の気温は森林域と臨海域でともに低く内陸域で高い傾向がみられること、横浜地方気象台は人工衛星画像では森林域として判別されることが明らかとなっている。このため、横浜地方気象台は千代橋や都橋よりも低い気温を示したと考えられた。また、千代橋の平均気温は都橋のそれよりも 0.7°C 高かった。千代橋と都橋は 700m 程度しか離れていないが、両地点周辺域における土地利用形態の違いなどが反映したためと考えられた。

平均水温については、平均気温の場合とは逆に都橋のほうが千代橋よりも 0.7°C 高かった。この理由として、後者のほうが下水処理水の影響が大きいことなどが考えられた³⁾。

このように、都橋は千代橋に比べて気温は低く水温は高いという特徴が認められた。

3-1-2 気温と水温のトレンド

表1 気温と水温の平均値およびトレンド

地点	平均気温 (°C)	平均水温 (°C)	気温の回帰係数 (°C/年)	水温の回帰係数 (°C/年)
千代橋	17.6	17.8	0.053**	0.11**
都橋	16.9	18.5	0.058**	0.11**
気象(横浜)	16.0		0.034	

注)**:危険率1%で有意、*:危険率5%で有意

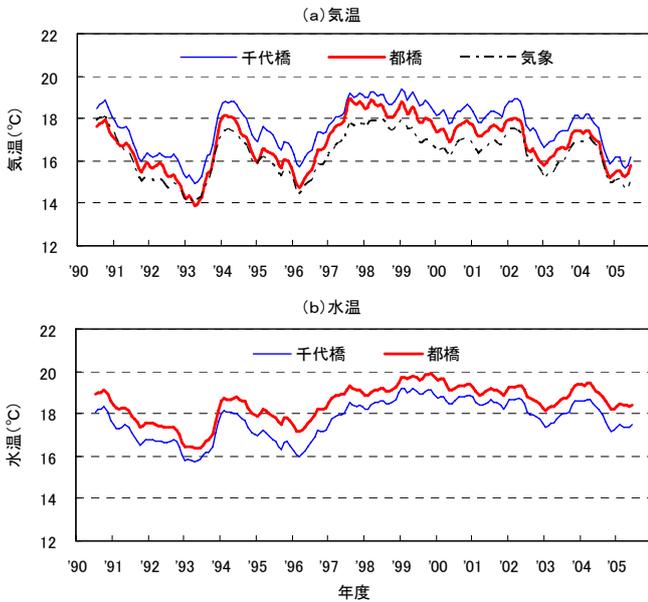


図2 気温および水温の12ヶ月移動平均時系列

図2によると、気温は3地点ともほぼ同じパターンで変化しており、相関係数は相互に0.98以上の高い値を示した。また、気温は上昇傾向が認められた。表1から、回帰係数は大きい順に都橋>千代橋>横浜地方気象台となり、都橋が千代橋より少し大きい程度であった。

水温も両地点でほぼ同じ変化パターンを示しており(図2)、相関係数は0.98であった。回帰係数は両地点とも0.11°C/年で一致した(表1)。また、水温の回帰係数は気温のその約2倍であり、気温よりも水温の上昇率が大きかった。他都市域における水温上昇率は河川上流部で0.04—0.08°C/年であるのに対し、下水処理水の影響域では0.06—0.18°C/年で相対的に高いと報告されている⁹⁾。千代橋と都橋の水温上昇率はその範囲にあった。

一方、水温の変動幅は気温のその半分程度であったが、変化パターンは気温と水温ともに類似していた。気温と水温との相関係数を求めると、千代橋では0.89、都橋では0.87と比較的高い値を示すことから、気温と水温は相互に関連していることが示唆された。

3-2 月別平均温度による季節変化

16年間の月別の平均値を用いて、千代橋および都橋における気温と水温の季節変化を調べた(図3)。なお、図中の月日(x軸)は各月における測定日の平均値である。

3-2-1 千代橋

気温と水温との間に位相の違いが認められ、気温の変化に比べて水温は少し遅れて変化していた。このため、春季と秋季に気温と水温の変化曲線が交差しており、気温と水温が同一温度になる交点が2つある。そこで、交点の時期と温度を試算した。具体的には、気温と水温が交差する前後の月のデータの間比例関係が成り立つと仮定して、気

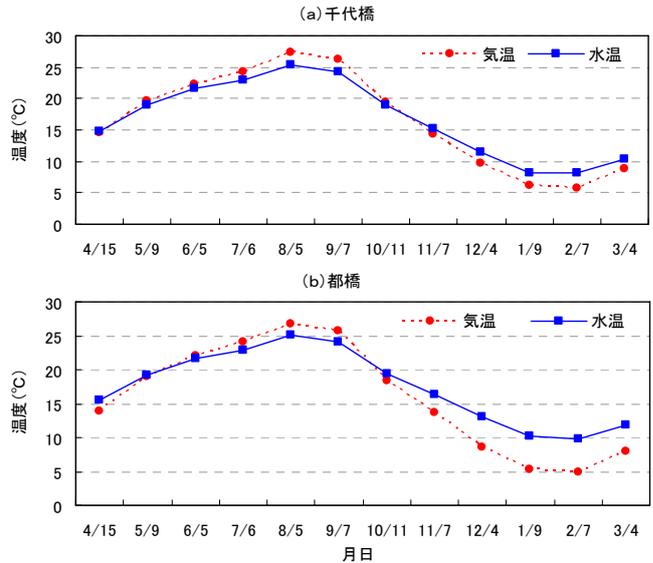


図3 気温と水温の16年間の月別平均値による季節変化

温と水温が一致する月日と温度を求めた。その結果、春季では4月22日と16.0°C、秋季では10月22日と17.4°Cが得られた。春季よりも秋季のほうが温度は1.4°C高く、また、水温よりも気温が高い時期は4月下旬から10月下旬までの約6ヶ月間であると推察された。

3-2-2 都橋

都橋における気温と水温の季節変化も千代橋の場合とほぼ同様な傾向を示した。異なる点は、冬季の水温が千代橋の場合に比べて高いこと、気温と水温が交差する時期が千代橋の場合よりも春季には遅れ秋季には早まっていることである。前者については、例えば、2月の水温は都橋(9.8°C)が千代橋(8.2°C)よりも1.6°C高かった。水温の上昇程度が夏季と冬季とで異なる理由として、夏季には水利用に伴って付加された熱は下水道を流下する間に土壌への熱伝導によってその40%が減ぜられて水圏へと放流されるが、冬季には水利用に伴って付加された熱は下水道を通してそのまま水圏へと放流されることが挙げられる¹⁰⁾。実際に、鶴見川においても、下水処理水の水温は1974年から2002年の29年間で約4°C上昇するが、冬季の3ヶ月では6°C上昇し18°Cを越えていることが指摘されている¹¹⁾。また、東京都の荒川では冬期における下水処理水の流入による水温上昇は顕著であり、平均で約2°C程度、最大では3°C程度昇温したと報告されている¹²⁾。

一方、都橋についても、千代橋の場合と同様に交点の時期と温度を試算した。春季の交点は5月22日と19.9°C、秋季の交点は9月27日と21.4°Cが得られた。春季よりも秋季のほうが温度は1.5°C高く、気温が水温より高い期間は5月下旬から9月下旬までの約4ヶ月間となった。したがって、都橋における春季の交点は千代橋に比べて1ヶ月程度遅れ、秋季の交点は1ヶ月弱早いと考えられた。また、都橋における交点の水温は千代橋のそれに比べて春季に3.9°C、秋季に4.0°C高く、それぞれが1ヶ月程度の温度差に相当するといえる。

なお、これらの温度特性は周辺の土地利用状況や下水処理場からの距離などによって左右されること、また、気温は河川水面からの高さによっても影響される可能性があることに留意する必要がある。

3-3 指標を用いた評価

3-3-1 気温と水温の関係

前節の季節変化の検討結果によると、交点の温度が両地

点における温度特性の違いを表すのに有用であった。この交点の温度を年度毎に求めることができれば、その経年変化から何からの知見が得られると考えられる。しかし、交点の温度を年度毎に求めるのは無理がある。測定計画データは毎月のある1日間のデータであり、測定日の気象条件等が大きく影響するなどのため、交点の温度が年度により3つ以上存在することがあった。そこで、同じ16年間の月別の平均値を用いて気温と水温の関係について調べた。図4に千代橋および都橋における気温と水温の散布図を示した。図中には、回帰直線と対角線を併記した。

気温と水温の相関係数は千代橋で0.999、都橋で0.998と、両地点ともに高い相関を示し、ほぼ直線関係にあるとみなすことができた。また、ここには示さないが、年度毎の気温と水温の相関係数は0.97以上であった。そこで、回帰直線と対角線との関係から、両地点における年度毎の温度特性を表す指標として導入することを試みた。

3-3-2 評価指標

3-3-2-1 交点温度

図4において、対角線は気温と水温が等しくなる温度を表し、データ点が対角線より右下にある場合は気温が水温よりも高く、左上にある場合は気温が水温よりも低い。回帰直線は両地点とも対角線と交差しているが、前節の季節変化(図3)では交点は春季と秋季の2回存在し、それぞれ値は異なった。図4を詳細にみると、データ点は回帰直線方向を長軸とする楕円となっており、その楕円と対角線との交点は2つ存在する。しかし、先述したように気温と水温の関係はほぼ直線にあるので、この回帰直線と対角線は1点で交差する(以下、この温度を交点温度 T_i という)とみなすことができる。その交点温度は季節変化(図3)

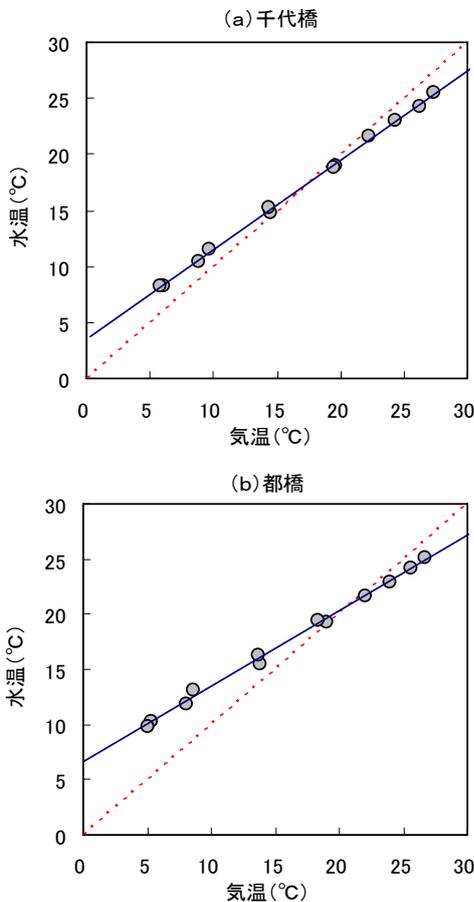


図4 16年間の月別平均値を用いた気温と水温の関係 (実線：回帰直線、点線：対角線)

において春季と秋季に気温と水温が交差する2つの温度の平均的な値であり、温度特性を表す指標になると考えられる。

交点温度 T_i の求め方は、回帰直線 $y = ax + b$ と対角線 $y' = x$ において、 $y = y'$ とすると、 $x = T_i = b / (1 - a)$ が得られる。

3-3-2-2 交点平均気温偏差と交点平均水温偏差

交点温度を用いて気温と水温の関係を評価できるが、ある年度の交点温度とその年度の平均気温あるいは平均水温との偏差を見ることも有用である。これは、先に述べたように年平均気温と年平均水温は温暖化等の影響により年々上昇しているが、それらと交点温度との差を比較することによって、年平均水温と年平均気温の上昇分を除いた交点温度の変化を把握できると考えられるからである。これ以降、交点温度と年平均気温の偏差を交点平均気温偏差、交点温度と年平均水温の偏差を交点平均水温偏差という。

3-3-3 評価指標による経年変化の特徴

図5に千代橋と都橋における各評価指標の経年変化を、また、表2には各評価指標の回帰係数を示した。

まず、交点温度の経年変化についてみると、千代橋は都橋よりも低い温度レベルで推移しているが、両地点とも上昇傾向が認められた。交点温度の回帰係数は千代橋のほうが都橋よりも $0.20^\circ\text{C}/\text{年}$ 高く、この16年間に交点温度は千代橋で 5.6°C 、都橋で 2.4°C 上昇した。このように千代橋における交点温度の上昇傾向が大きく、春季から秋季にかけての水温が気温より低い期間が短くなってきた。交点温度の推移を今後も注意してみていく必要がある。

次に、交点平均気温偏差は、千代橋では上昇してきおり、1999年度を境にしてマイナスからプラスに転じた。千代橋の交点温度は1999年度から年平均気温を上回るようになったと推察された。また、千代橋における交点平均気温偏差

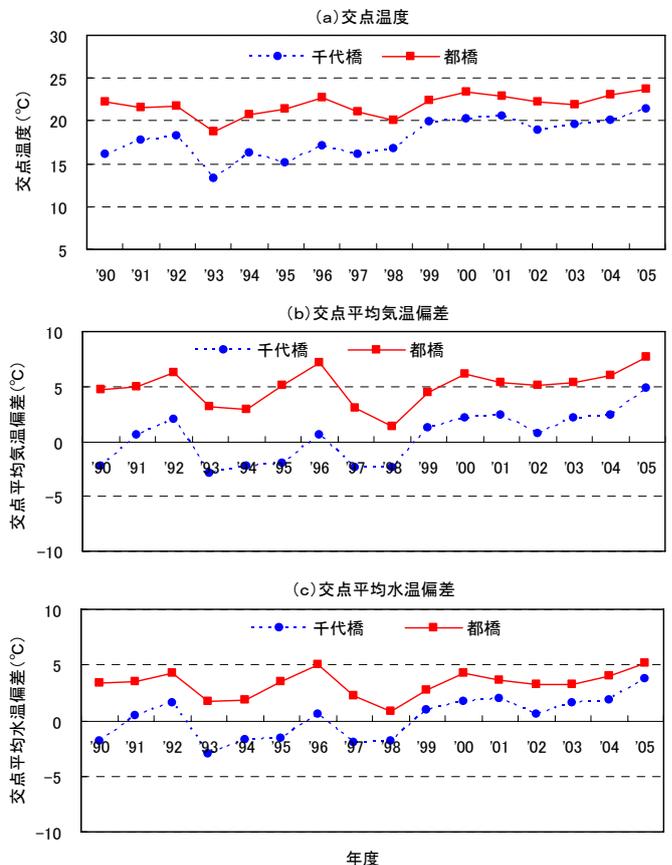


図5 各評価指標の経年変化

表2 各評価指標の回帰係数

地点	交点温度 (°C/年)	交点平均気温偏差 (°C/年)	交点平均水温偏差 (°C/年)
千代橋	0.35 ^{**}	0.32 [*]	0.26 [*]
都橋	0.15 [*]	0.11	0.06

注)**:危険率1%で有意、*:危険率5%で有意

の回帰係数は 0.32°C/年であった。千代橋の平均気温は年々上昇しているが(表1)、その上昇率よりも大きな割合で交点温度が高まっていることを意味している。一方、都橋の交点平均気温偏差は16年間を通して5°C前後でほぼ横ばいで推移していることから、交点温度は年平均気温よりも常に高い状態が続いていると推察された。

最後に、交点平均水温偏差は、都橋では交点平均気温偏差の場合よりも少し低い温度レベルで推移していた。これは、都橋では年平均値が気温に比べて水温で高いためである。このことを除いてほぼ同じ変化パターンを示していることから、交点平均水温偏差についても交点平均気温偏差と同様な考察が可能であった。

3-4 季節のずれの日数

気温・水温ともに経年的に上昇しているが、感覚的には、その温度上昇分が季節的に何日程度に相当するのかわかりやすい。そこで、季節的なずれの日数を試算して検討した。

季節のずれの日数の算出方法としては、まず、回帰係数から16年間の上昇温度を求め、次に、ある月と翌月との温度差の絶対値を全期間について平均した値(ひと月の平均的な温度変動幅)を求めた。そして、ひと月の平均日数は30.4日であるから、16年間の上昇温度に相当する日数は、 $30.4 \times [\text{上昇温度}] / [\text{ひと月の平均的な温度変動幅}]$ として算出した。この計算を各地点の気温と水温について行った結果を表3に示した。

まず、気温についてみると、千代橋における季節のずれの日数は6.7日で、都橋のそれ(7.3日)との間にほとんど差はなかった。両地点とも、この16年間に季節は1週間ほど春季に早まり秋季に遅れてきていると考えられた。一方、横浜地方気象台における季節のずれの日数は4.7日となり、前2地点よりも季節のずれは2日ほど少なかった。

次に、水温の季節のずれの日数は、千代橋では17.9日と半月を超え、都橋はそれよりも1.5日ほど多い19.5日であった。水温の場合は、16年間に季節は半月強ほど春季に早まり秋季に遅れてきていると推察された。

このように、季節的なずれの日数は気温よりも水温のほうが両地点とも10日以上多かった。これは、16年間の上昇温度が気温に比べて水温で2倍程度大きいことが影響しているためである。

これまでの検討結果から、河川水温とその周辺の大気温度とは密接に関連しており、定点での継続的な温度観測は温暖化やヒートアイランド等の影響を評価する上で有効なデータになると考えられた。

4 まとめ

鶴見川中流域の千代橋と都橋における公共用水域測定結果を用いて、気温と水温の関係等について検討した。

1) 都橋は千代橋に比べて気温は低く水温は高いという特徴がみられた。

表3 季節のずれの日数

	気温			水温	
	千代橋	都橋	気象	千代橋	都橋
16年間の上昇温度(°C)	0.85	0.93	0.54	1.79	1.74
ひと月の平均温度変動幅(°C)	3.8	3.8	3.5	3.0	2.7
季節のずれの日数(日)	6.7	7.3	4.7	17.9	19.5

2) 気温と水温は両地点とも経年的にほぼ同じ上昇パターンを示し、水温は気温の約2倍の上昇率であった。

3) 季節変化によると、春季と秋季に気温と水温の変化曲線が交差しており、気温と水温が同一温度になる交点が2つ存在した。

4) 交点の時期を推算すると、気温が水温よりも高い期間は千代橋では4月下旬から10月下旬までの約6ヶ月間、都橋では5月下旬から9月下旬までの約4ヶ月間となった。

5) 交点の温度は都橋ではほぼ経年的に横ばいで推移しているが、千代橋では上昇しており、水温が気温より低い期間が短くなってきていると考えられた。

6) 千代橋と都橋における16年間の季節のずれの日数は気温では約1週間、水温では半月強であり、いずれも春季は早まり秋季は遅れてきていると推察された。

参考文献

- 1) 環境省：温暖化とは
<http://www.env.go.jp/earth/cop3/ondan/ondan.html>
- 2) 環境省：ヒートアイランド対策
http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/index.html
- 3) 中室克彦、奥野智史、高田聡子、田口 寛、井上知明、上田彬博、福永 勲、加賀城直哉、服部幸和、厚井弘志：都市河川水の水温に及ぼす下水処理場放流水の影響、水環境学会誌、29、177-181(2006)。
- 4) 気象庁：地球温暖化予測情報 第7巻 (2008年)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/index.html>
- 5) 近藤純正：河川改修と魚の大量死事件
<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kisho/kisho23.html>
- 6) 神奈川県：神奈川県水質調査年表(平成2年度-平成17年度)。
- 7) 気象庁：過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 8) 佐俣満夫：横浜地域における地表温度と気温の分布特性(その1) -夏期と春期-、横浜市環境科学研究所報、20、9-12(1996)。
- 9) 服部幸和、加賀城直哉、西海 展、中室克彦、奥野智史、福永勲、田口寛、日下哲也：大阪府域の河川における水温の上昇特性について、第41回水環境学会講演集、pp.559(2007)。
- 10) 中山有、神田学、木内豪：下水処理場での水温観測に基づく都市下水道の水・熱輸送に関する研究、水文・水資源学会誌、20(1)、25-33(2007)
- 11) 福島悟：都市河川の珪藻群集における季節性の再生、Diatom、20、171-178(2004)。
- 12) 宮本守、木内豪：感潮域における都市河川の水・熱輸送特性と下水処理水が河川水温に与える影響、水文・水資源学会誌、20(4)、291-302(2007)。

市内河川・海域における LC/MS 測定対象農薬の環境調査

二宮勝幸、犬飼まり子、小市佳延、下村光一郎（横浜市環境科学研究所）
水尾寛巳（現・観音崎自然博物館）

Study on investigation of pesticides using by LC/MS at rivers and sea in Yokohama city

Katsuyuki Ninomiya, Mariko Inukai, Yoshinobu Koichi, Kouichiroh Shimomura
(Yokohama Environmental Science Research Institute)
Hiromi Mizuo
(Kannonzaki Nature Museum and Institute)

キーワード：農薬、LC/MS、多成分同時分析法、水質、環境調査

要旨

LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法により市内河川6地点と海域4地点の計10地点における水質環境調査を実施した。約40種類の農薬が検出されたが、検出率が40%以上の農薬について汚染の状況を検討した。検出された農薬の種類は、除草剤5種類、殺虫剤4種類、殺菌剤2種類の計11種類であった。尿素系除草剤のDiuronとIsouronとDaimuronは高頻度、高濃度で検出されたが、河川流域毎に検出率や濃度が異なった。農業用途は前2者が畑用、後者が水田用であることから、土地利用形態などの違いを反映したためと考えられた。また、河川では3つの除草剤以外に殺虫剤や殺菌剤なども比較的高頻度で検出されたが、海域では先の3つの除草剤が100%検出され、その他の農薬の検出頻度は低かった。沖合湾奥部の地点では他の海域3地点よりも多くの農薬が検出された。この理由の一つとして、東京湾の西岸沿いにおける湾奥部から湾口部に向かう恒流が影響していると考えられた。Diuronは船底塗料としても使用されており、そのことが海域におけるDiuronの濃度を高めていると推察された。

1. はじめに

著者らは、既に、GC/MSで測定可能な揮発性のある低極性の農薬を対象に市内河川の環境調査を実施し、農薬汚染の特徴を明らかにした^{1, 2)}。

一方、GC/MSでは測定困難な難揮発性、高極性、熱不安定化合物をLC/MSによって高感度に測定することが可能となり^{3, 4)}、LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法をまとめた⁵⁾。

ここでは、LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法により横浜市内の河川と海域における環境調査を実施したので、報告する。

2. 調査方法

2-1 分析方法と調査対象農薬

既報⁵⁾にしたがい、124種類の農薬を対象とし、定量下限は1ng/lである。

2-2 調査地点と調査時期

調査地点は河川6地点（鶴見川水系：R-1～R-2、境川水系：R-3、柏尾川水系：R-4～R-6）と海域4地点（沿岸域：S-1～S-2、沖合域：S-3～S-4）の計10地点について行った。図1に調査地点（地点番号）を、表1に調査地点の地点番号と地点名を示した。

調査時期は2008年の6月、7月および8月の計3回で

ある。河川の調査実施日は6月5日、7月3日および8月13日、海域の調査実施日は6月18日、7月25日および8月21日である。

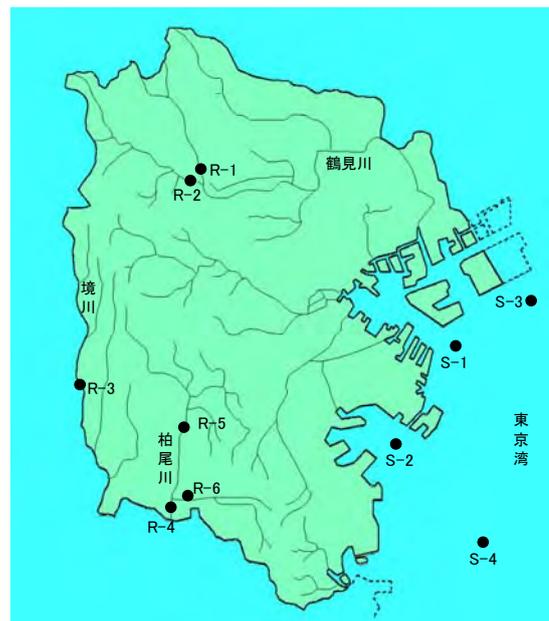


図1 調査地点

表1 地点番号と地点名

	地点番号	地点名
河川	R-1	千代橋
	R-2	都橋
	R-3	高鎌橋
	R-4	鷹匠橋
	R-5	吉倉橋
	R-6	いたち川橋
海域	S-1	横浜港沖
	S-2	根岸湾沖
	S-3	扇島沖
	S-4	中の瀬南

3. 結果及び考察

3-1 農薬の種類別の平均濃度と検出率

調査の結果、約40種類の農薬が検出されたが、検出頻度が1回程度の農薬が多いなどの理由により、検出率が40%以上の11種類の農薬について検討した。検出された農薬の種類は、除草剤5種類、殺虫剤4種類、殺菌剤2種類の計11種類であった。表2に農薬の種類別の平均濃度と検出率を、全地点、河川地点および海域地点に分けて示した。なお、表2では全地点の検出率が高い順から並べてある。

3-1-1 河川地点

河川地点別では、検出率は22%~100%の範囲にあり、全ての農薬が検出された。Diuron、Isouron、ImidaclopridおよびPropoxurの4つの農薬は100%検出され、次いで、検出率が高い順にAzoxystrobin、Clothianidin、Daimuronであった。

DiuronとIsouronとDaimuronはいずれも尿素系除草剤であるが、検出率は前2者と後者で異なった。農業用途は前2者が畑用であるのに対して、後者は水田用である。したがって、土地利用形態の違いが検出率に反映したと考えられた。

一方、ほとんどの農薬の平均濃度は1桁のレベルであったが、DiuronとDaimuronは2桁の濃度を示した。この2種類の農薬は他の農薬に比べて使用量が多いためと考えられた。

3-1-2 海域地点

海域地点別では、検出率は0%~100%の範囲にあり、DiuronとIsouronとDaimuronは100%検出された。Daimuronの河川地点の検出率は72%であったのに対して、海域地点では100%となった。また、Daimuronは河川地点の場合と同様にDiuronとともに2桁の濃度を示した。それら以外の農薬は濃度と検出率とも低かった。

このように河川地点と海域地点に分けてみると、海域地点におけるDiuronとIsouronとDaimuronの3つの尿素系除草剤が他の農薬に比べて濃度・検出率ともに高いという特徴がみられた。Diuronは船底塗料としても使用されており、海域での濃度が数10~数百ng/Lと報告されている^{6, 7, 8)}。本調査でも、その濃度範囲にあった。これらの除草剤の物性や使用形態が環境中の濃度などに影響を与えていると考えられた。

3-2 地点別の検出率と平均濃度

3-2-1 検出率

図2に地点別の農薬の検出率を示した。

検出率は河川地点のほうが海域地点よりも高い傾向が認められた。河川地点の検出率は64%~91%の範囲にあり、海域地点では39%~61%の範囲にあった。また、海域地点のうちS-3の検出率は61%で、他の海域3地点の検出率39%よりも高かった。

3-2-2 平均濃度

図3に農薬の地点別平均濃度を示した。

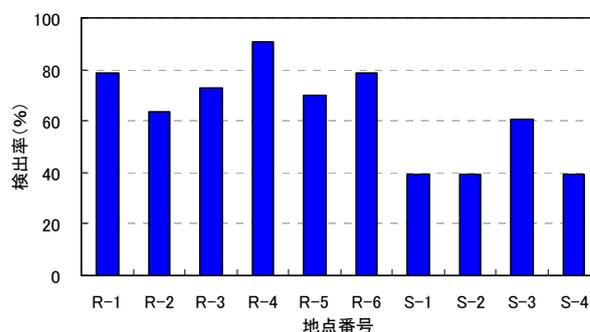


図2 地点別の農薬の検出率 (n=33)

表2 農薬の種類別の平均値と検出率

No.	種類	農薬名	全地点(n=30)		河川地点(n=18)		海域地点(n=12)	
			平均濃度 (ng/L)	検出率 (%)	平均濃度 (ng/L)	検出率 (%)	平均濃度 (ng/L)	検出率 (%)
1	除草剤	Diuron	73.2	100	96.2	100	38.7	100
2	除草剤	Isouron	5.5	100	6.8	100	3.5	100
3	除草剤	Daimuron	22.5	83	23.3	72	21.1	100
4	殺虫剤	Imidacloprid	4.4	70	7.1	100	0.3	25
5	殺菌剤	Azoxystrobin	2.3	67	3.6	89	0.4	33
6	殺虫剤	Propoxur	3.2	60	5.4	100	0.0	0
7	殺虫剤	Clothianidin	2.1	50	3.6	83	0.0	0
8	殺菌剤	Pencycuron	2.6	47	3.0	50	1.9	42
9	殺虫剤	Fenobucarb	1.2	40	1.6	50	0.7	25
10	除草剤	Terbucarb	1.2	40	2.0	67	0.0	0
11	除草剤	Tebuthiuron	0.8	40	0.5	22	1.2	67

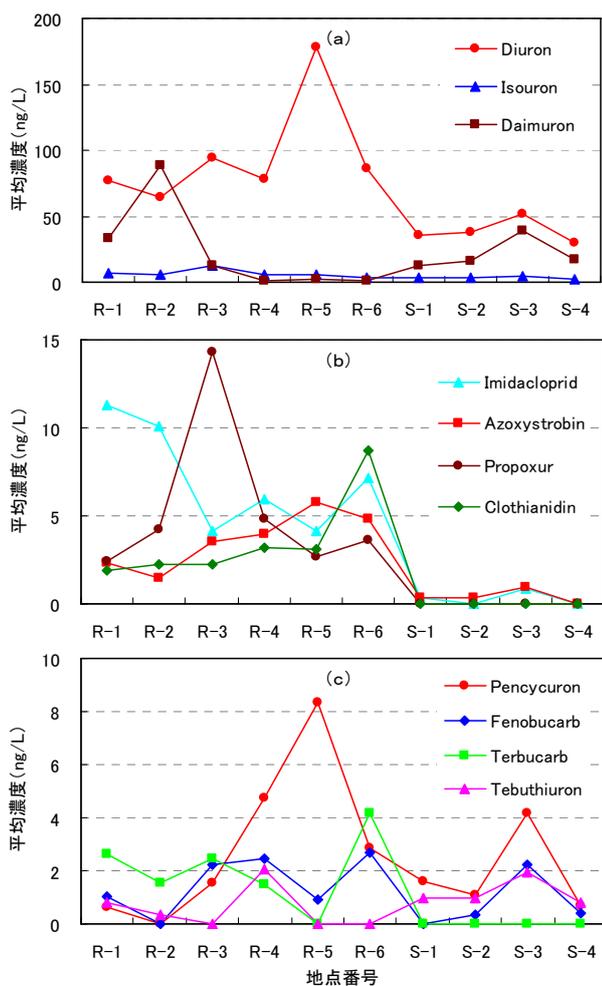


図3 各地点における農薬の平均濃度 (ng/L)

図3(a)によると、3種類の尿素系除草剤は地点毎にそれぞれ異なる傾向を示した。Diuronの濃度は海域地点よりも河川地点で高かった。しかし、Daimuronの濃度は高い順に鶴見川水系のR-2、R-1、次いで海域の4地点、境川水系のR-3、そして柏尾川水系のR-4~R-6となり、Diuronの場合とは異なった。これは、先述したようにDiuronとDaimuronの主な農業用途はそれぞれ畑用と水田用などであることから、河川流域の土地利用形態の違いなどが影響したため、水系毎に異なる結果が得られたと考えられた。一方、海域4地点についてみると、DiuronとDaimuronはともに沖合域のS-3地点で最も高い濃度を示した。

図3(b)では、4つの農薬(殺虫剤3種、殺菌剤1種)とも河川地点のほうが海域地点よりも高い濃度を示した。また、図3(a)の除草剤と同様に、海域4地点のうちS-3における濃度がやや高かった。

図3(c)では、地点毎の濃度に一定の傾向はみられないが、海域については図3(a)、(b)の場合と同様にS-3における濃度がやや高かった。

海域4地点において、多種類の農薬の濃度が沿岸域よりも沖合い域のS-3で高かった理由の一つとして、東京湾の西岸沿いでは湾奥部から湾口部に向かう恒流が存在していることから⁹⁾、湾奥部の河川等に由来する比較的

高濃度の農薬を含む水塊が影響していることが考えられた。このことを検証するためには、さらに詳細な調査が必要である。

3-3 月別の検出率と平均濃度

3-3-1 河川地点

図4に河川地点(n=6)における農薬の月別の検出率と平均濃度を示した。

検出率が6、7、8月の3ヶ月とも100%の農薬はDiuronとIsouron、および殺虫剤のImidaclopridとPropoxurであった。これらのうちDiuronの濃度は6月から8月に向けて上昇した。一方、Daimuronについては、検出率と濃度はともに6月から8月に向けて低下傾向を示した。この理由として両農薬の使用量が8月に向けて増加あるいは減少したことなどが考えられた。

3-3-2 海域地点

図5に海域地点(n=4)における農薬の月別の検出率と平均濃度を示した。

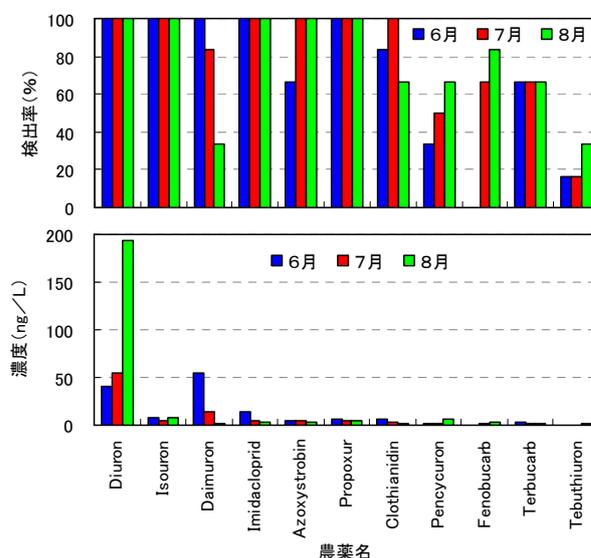


図4 河川地点(n=6)における農薬の月別の検出率と平均濃度

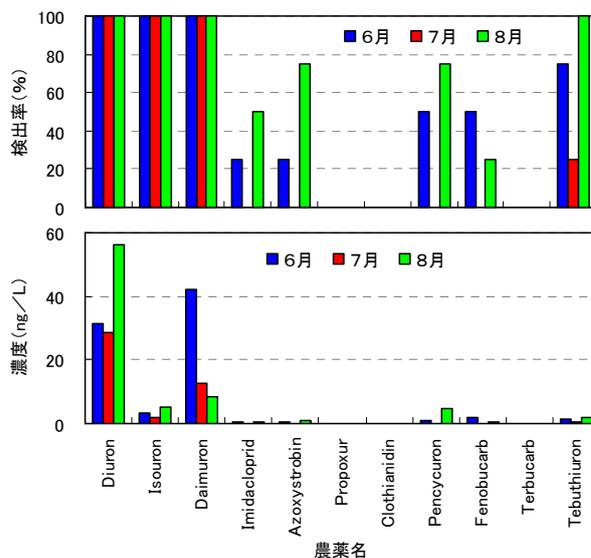


図5 海域地点(n=4)における農薬の月別の検出率と平均濃度

検出率が6、7、8月の3ヶ月とも100%の農薬はDiuronとIsouronとDaimuronであった。その他の農薬はほとんどが7月に検出されない傾向がみられた。濃度は、河川地点の場合と同様に、Diuronが6月から8月に向けて上昇するが、Daimuronは低下した。大阪湾における船底塗料の調査結果によると、Diuronは夏場に高い傾向がみられ、その原因として、航行船舶量の増加、水温上昇による溶出速度の増大及び塗装更新の増加等が考えられると指摘されている¹⁰⁾。これらの農薬の増減傾向については測定頻度を高めるなどして、さらに検討していく必要がある。

4. まとめ

LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法により、市内河川や海域の水質環境調査を実施した。

- 1) 約40種類の農薬が検出され、検出率が40%以上の農薬は、除草剤5種類、殺虫剤4種類、殺菌剤2種類の計11種類であった。
- 2) DiuronとIsouronとDaimuronはいずれも尿素系除草剤であり高頻度、高濃度で検出されたが、河川流域毎に検出率や濃度が異なった。農業用途は前2者が水田用、後者が畑用であることから、土地利用形態などの違いを反映したためと考えられた。
- 3) 河川では先の3つの除草剤以外に殺虫剤や殺菌剤なども比較的高頻度で検出されたが、海域では3つの除草剤が100%検出され、その他の農薬の検出頻度は低かった。
- 4) 沖合湾奥部の地点では他の海域3地点よりも多くの農薬が検出された。この理由の一つとして、東京湾の西岸沿いにおける湾奥部から湾口部に向かう恒流が影響していると考えられた。
- 5) Diuronは船底塗料としても使用されており、そのことが海域におけるDiuronの濃度を高めていると推察された。

文献

- 1) 二宮勝幸：大岡川の水環境-水質の経年変化および農薬の季節調査-、横浜市環境科学研究所報、32、104-108(2008)。
- 2) 二宮勝幸：横浜市内河川における農薬汚染の特徴、横浜市環境科学研究所報、23、9-15(2009)。
- 3) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課：LC/MSを用いた化学物質分析法開発マニュアル
- 4) 浦山豊弘、杉山広和、劔持堅志、藤原博一、鷹野洋、吉岡敏行：環境中超微量有害化学物質の分析、検索技術の開発に関する研究、岡山県環境保健センター年報、30、57-62(2006)。
- 5) 二宮勝幸：LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法、横浜市環境科学研究所報、33、86-90(2009)。
- 6) 常政典貴、馬部文恵、中富光信、小中ゆかり、佐伯彩路、橋本和久、尾川健、今村光徳、岡村秀雄：代替船底塗料物質による海域の汚染状況について、広島市衛生研究所年報、22、67-72(2003)。
- 7) 常政典貴、馬部文恵、中富光信、山岡雄一郎、小中ゆかり、花尾香奈恵、橋本和久、尾川健、上野博昭、今村光徳、岡村秀雄：広島湾北部における有機スズ代替船底防汚剤による海域の汚染状況について、広島市衛生研究所年報、23、74-80(2004)。
- 8) 常政典貴、中富光信、山岡雄一郎、宮野高光、花尾香奈恵、片岡真喜夫、橋本和久、上野博昭、今村光徳、久保田昭利、岡村秀雄：広島湾北部における有機スズ代替船底防汚剤による海域汚染状況について、広島市衛生研究所年報、24、64-67(2005)。
- 9) 二宮勝幸、水尾寛巳、柏木宣久、安藤晴夫、小倉久子、飯村晃、岡敬一、吉田謙一、飯島恵：温暖化と東京湾の水環境 -水温と水質との関係-、横浜市環境科学研究所報、33、58-67(2009)。
- 10) 千田哲也：船底塗料用防汚物質の海水中挙動の解明
www.env.go.jp/policy/digest/h16/pdf/mat11.pdf

鶴見川における農薬調査について(平成20年度)

酒井 学 (横浜市環境科学研究所)

Investigation of Pesticides in the Tsurumi River (April 2008-March 2009)

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード: 農薬、河川水

要旨

横浜市内を流れる鶴見川(亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、恩田)で82種類の農薬を調査した結果、プロモブチド(除草剤)、イプロベンホス(殺菌剤)、フェニトロチオン(殺虫剤)等、合計23種類が検出された。平成20年度は、過去継続的に検出されていた水田用除草剤のチオベンカルブがいずれの調査地点からも検出されず、使用農薬の変更が推察された。公共用水域における基準値、指針値等が設定されている農薬について、基準値、指針値を超えるものは認められなかった。

1. はじめに

農薬は、農作物を病害虫から守り、生産性を高めるために有用であるが、低濃度でも生態系へ影響を及ぼすおそれ有している¹⁾。そのため、一部の農薬には、環境基準値、公共用水域における水質評価指針値、水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値が設定されている²⁾。また、フェニトロチオン、ジクロロポスをはじめとする多くの農薬が、「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(化管法)」における第1種指定化学物質に選定されており、更に平成20年の法令改正の際、エトフェンプロックス、テブコナゾール、プロマシルなどが新たに第1種指定化学物質へ追加されるなど、従来にも増して環境実態の把握が求められている。そこで、環境省・化学物質環境実態調査では、平成17~19年度にイプロベンホス、イソプロチオラン、エチルチオメトン、ダイアジノン、フェニトロチオン、モリネート等の全国調査を行った³⁻⁵⁾。

横浜市環境科学研究所においても、市内河川の中で、流域面積が広く、流域に水田、畑等の農地が存在している鶴見川で農薬のモニタリング調査を行っており⁶⁻¹²⁾、今回平成20年度の結果報告を行う。

2. 調査方法

2-1 試料採取

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)、恩田(鶴見川支流奈良川、横浜市青葉区)において、平成20年4月から平成21年3月まで、毎月1回、試料採取を行った。流域は、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、寺家及び恩田は水田が多い地域である。

2-2 農薬分析

分析方法は以前の報告に準じ、GC/MSによる一斉分析を行った^{8,9)}。

なお、今回調査対象とした農薬は以下の82種類である。

除草剤：アトラジン、アメトリン、アラクロール、エスプロカルブ、オキサジアゾン、カフェンストール、クロロニトロフェン、シマジン、ジメタメトリン、シメトリン、ジメピペレート、チオベンカルブ、テニルクロール、テルブカルブ、トリフルラリン、ナプロパミド、ニトロフェン、ピフェノックス、ピペロホス、ピリブチカルブ、ピリミノバックメチル、ブタクロール、ブタミホス、プレチラクロール、プロピザミド、プロマシル、プロメトリン、プロモブチド、ペンディメタリン、ベンフレセート、メチルダイムロン、メフェナセット、モリネート、レナシル、ACN、MCC

殺菌剤：イソプロチオラン、イプロベンホス、クロロタロニル、クロロネブ、ジフェノコナゾール、テブコナゾール、トルクロホスメチル、フサライド、フルトラニル、プロシミドン、ペンシクロン、メタミノストロピン、メタラキシル、メプロニル、EDDP、PCNB

殺虫剤：イソキサチオン、エチルチオメトン、エトフェンプロックス、クロルピリホス、ジクロロポス、ダイアジノン、テブフェンピラド、パラチオン、ハルフェンプロックス、ピラクロホス、ピリダフェンチオン、ピリプロキシフェン、フィプロニル、フェニトロチオン、フェニトロチオンオキソン、フェノブカルブ、フェンチオン、フェントエート、ブプロフェジン、プロチオホス、 α -ベンゾエピン、 β -ベンゾエピン、マラオキソン、マラチオン、メチダチオン、メチルパラチオン、 α -BHC、 γ -BHC、EPN

成長調整剤：パクロブトラゾール

3. 結果及び考察

表-1に河川水中の農薬分析結果を示し、表-2に検出された23種類の農薬の「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」、「ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針値」、「水産動植物の被害防止に係る農薬登録

保留基準値」¹³⁾、「生態リスク初期評価に基づく予測無影響濃度」を示した。82種の農薬の中で、表-1に示した以外は定量限界(0.05 μg/L)未満の濃度であった。

はじめに除草剤の結果であるが、今回の調査では、アメトリン、エスプロカルブ、カフェンストロール、シメトリン、ナプロパミド、ピリミノバックメチル、プレチラクロール、プロモブチド、プロマシル、プロメトリン、ベンフレセート、メフェナセット、モリネート、ACNの14種類が検出された。一方昨年度まで継続的に検出されていたチオベンカルブはいずれの場所からも検出されなかった。図-1に、平成18年~20年(6~7月)の寺家における、チオベンカルブ、プロモブチド、メフェナセット、モリネートの濃度をグラフに示した^{11,12)}。いずれも水田用除草剤であるが、平成18年は、チオベンカルブ及びモリネートの濃度がプロモブチドやメフェナセットより高かったが、平

成20年では、プロモブチド、メフェナセットの濃度が高く、チオベンカルブは検出されなかった。中流部の千代橋、都橋、亀の子橋でも同様の傾向が認められており、平成18年度~20年度にかけて鶴見川流域で使用している除草剤種類の変更が推察された。次に、平成20年度の寺家におけるプロモブチドの濃度変化を図-2に示した。6月に3.7 μg/Lであったが、7月には0.07 μg/L、8月には0.05 μg/Lに減少し、9月以降は検出されなかった。プロモブチドは水田用除草剤であり、田植え直後の6月に一時的に高い濃度となったものと思われた。6月の地点別の濃度では、流域に水田が広がっている寺家で3.7 μg/Lであったが、中流部の千代橋、都橋では1 μg/L以下であり、更に下流の亀の子橋では、0.39 μg/Lに減少していた。今回検出されたプロモブチドの最高濃度は3.7 μg/Lであり、公共用水域水質評価指針値(40 μg/L)及び水産動植物の被害防止に係る

表-1 鶴見川の農薬調査結果(検出された物質、μg/L)

(1)平成20年4月						(5)平成20年8月									
物質名	調査地点					寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋					
	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋										
プロマシル	nd	-	0.07	nd	nd	0.14	nd	nd	nd	nd					
ジクロルボス	nd	-	0.05	nd	nd	nd	nd	0.05	0.05	0.08					
(2)平成20年5月						(6)平成20年9月									
物質名	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋					
	プロマシル	nd	nd	1.0	0.09						nd	nd	nd	nd	nd
フェニトロチオン	nd	nd	nd	0.40	nd	ナプロパミド	nd	nd	nd	nd	0.06				
(3)平成20年6月						(7)平成20年10月									
物質名	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋					
	エスプロカルブ	0.05	nd	nd	nd						nd	nd	0.10	0.12	0.08
カフェンストロール	nd	0.08	nd	0.05	nd	プロマシル	nd	0.07	0.10	0.19	0.18				
シメトリン	nd	nd	nd	nd	0.06	フェニトロチオン	nd	0.08	nd	nd	nd				
ピリミノバックメチル	0.19	nd	nd	nd	nd	(8)平成20年11月									
プレチラクロール	nd	nd	nd	0.09	0.06	全調査対象物質					nd	nd	nd	nd	nd
プロモブチド	3.7	0.49	0.17	0.83	0.39	(9)平成20年12月									
プロマシル	0.89	0.08	0.05	0.16	0.09	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
プロメトリン	0.05	nd	nd	nd	nd	nd	0.16	0.08	nd	nd	nd	nd	nd		
ベンフレセート	0.19	nd	nd	nd	nd	(10)平成21年1月									
メフェナセット	nd	2.1	0.06	0.05	0.24	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
モリネート	nd	nd	nd	0.21	0.10	nd	nd	nd	0.10	nd	nd	nd	nd		
ACN	2.3	nd	nd	0.28	nd	(11)平成21年2月									
イプロベンホス	1.9	nd	0.09	nd	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
ダイアジノン	2.8	nd	0.06	nd	0.05	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	nd		
フィプロニル	nd	nd	nd	nd	0.06	(12)平成21年3月									
フェンチオン	0.23	nd	nd	nd	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
(4)平成20年7月						(10)平成21年1月									
物質名	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
	アメトリン	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	nd	nd	0.10	nd	nd	nd	nd	
シメトリン	nd	nd	nd	0.09	nd	(11)平成21年2月									
プロマシル	nd	nd	nd	0.11	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
プロモブチド	0.07	nd	nd	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
ベンフレセート	0.06	nd	nd	nd	nd	(12)平成21年3月									
メフェナセット	1.1	nd	nd	nd	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
モリネート	nd	nd	nd	0.24	0.05	nd	nd	nd	0.15	0.06	nd	nd	nd		
イプロベンホス	2.9	nd	nd	0.20	0.06	(11)平成21年2月									
ダイアジノン	0.11	nd	nd	nd	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
フィプロニル	nd	nd	0.05	nd	0.05	nd	nd	nd	0.11	nd	nd	nd	nd		
フェニトロチオン	nd	nd	nd	0.08	nd	(12)平成21年3月									
(4)平成20年7月						(10)平成21年1月									
物質名	寺家	恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	
	プロマシル	nd	nd	0.05	0.18	0.06	nd	nd	nd	0.15	0.06	nd	nd		
フェニトロチオン	nd	nd	nd	0.15	0.06	(11)平成21年2月									
マラチオン	nd	nd	nd	0.11	nd	寺家					恩田	千代橋	都橋	亀の子橋	

nd: 定量限界(0.05 μg/L)未満
-: 試料なし

表-2 検出された物質の環境基準値、指針値及び予測無影響濃度

物質名	基準値もしくは指針値 ($\mu\text{g/L}$)	予測無影響濃度 ($\mu\text{g/L}$)
アメトリン	-	-
エスプロカルブ	10 ^c , 15 ^e	-
カフェンストロール	-	-
シメトリン	60 ^c , 6.2 ^e	-
ナプロバミド	300 ^d	-
ピリモノバックメチル	5900 ^c	-
プレチラクロール	40 ^c	-
プロマシル	-	-
プロメトリン	35 ^e	-
プロモブチド	40 ^c , 480 ^e	-
ベンフレセート	-	-
メフェナセット	9 ^c , 32 ^e	-
モリネート	5 ^c	-
ACN	6.3 ^e	-
殺菌剤		
イプロベンホス	8 ^b , 270 ^e	1.0 ^f
殺虫剤		
ジクロルボス	8 ^b	0.0013 ^f
ダイアジノン	5 ^b , 50 ^d	0.00026 ^f
フィプロニル	-	-
フェントロチオン	3 ^b , 30 ^d	0.00021 ^f
フェノプカルブ	30 ^b	-
フェンチオン	-	-
マラチオン	10 ^c	-
メチダチオン	0.11 ^c	-

- 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
- d: ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針値
- e: 水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値¹³⁾
- f: 生態リスク初期評価の予測無影響濃度²⁾
- : 環境基準値、指針値等が未設定あるいは予測無影響濃度が未報告

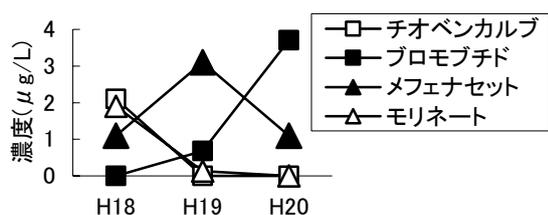


図-1 寺家の除草剤濃度

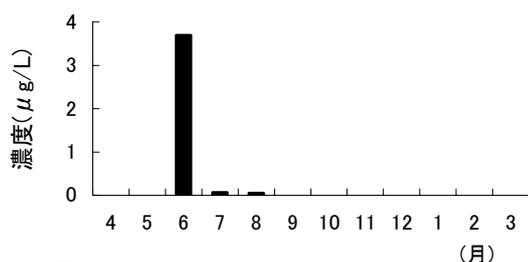


図-2 寺家のプロモブチド濃度

農薬登録保留基準値(480 $\mu\text{g/L}$)より低く、水産動植物への影響は大きくないと推察された。メフェナセットも同様の傾向で、寺家(7月:1.1 $\mu\text{g/L}$)、恩田(6月:2.1 $\mu\text{g/L}$)で一時的に1 $\mu\text{g/L}$ を超えたが、9月以降は検出されず、水田用除草剤として使用され、一時的に1 $\mu\text{g/L}$ を超えたものと思われた。メフェナセットの濃度も、公共用水域水質評価指針値(9 $\mu\text{g/L}$)、及び水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値(32 $\mu\text{g/L}$)を下回る濃度であった。シメトリン、プレチラクロール、ベンフレセート、モリネート等も水田用除草剤であり、6月~8月に検出されるが、9月以降は検出されなかった。一方、プロマシルは、今回最も多くの検体(26検体)から検出されており、**図-3**に都橋のプロマシル濃度を示した。検出時期は、春~夏のみならず、1月~2月の冬季にも認められ、プロモブチドやメフェナセットとは異なるパターンであった。プロマシルは、駐車場、道路、宅地等で使用される事が多い除草剤で、環境実態等明らかでない部分が残されている。従来、化管法の指定化学物質には該当しなかったが、平成20年の法令改正により第1種指定化学物質に新規追加され、今後、環境動態等について検討が進むものと思われる。

次に殺菌剤であるが、20年度は、イプロベンホスのみ検出された。平成20年度の寺家のイプロベンホス濃度を**図-4**に示した。寺家では、6月、7月に1 $\mu\text{g/L}$ を超える濃

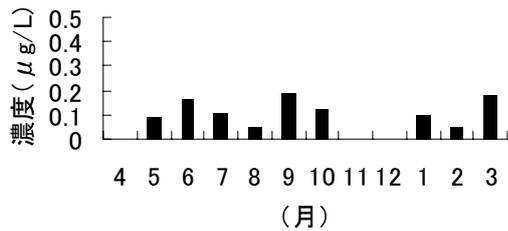


図-3 都橋のプロマシル濃度

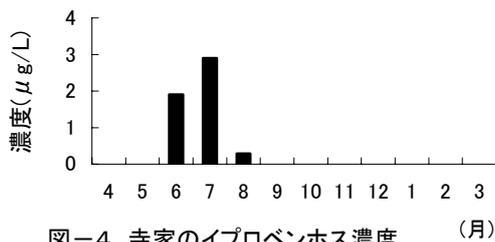


図-4 寺家のイプロベンホス濃度 (月)

度が検出されたが、9月以降は検出されず、稲用殺菌剤として使用され、一時的に濃度が高くなったものと思われた。一方、稲用殺菌剤のイソプロチオランは、平成18、19年度に引き続き^{11,12)}、平成20年度も不検出であった。環境省の調査(平成17年度)では、香川県(財田川:1.8~0.37 μg/L)、大阪府(大和川:0.055~0.49 μg/L)、埼玉県(元荒川:0.16~0.26 μg/L)等の河川で検出されている³⁾。また、かながわのPRTRによると、イソプロチオランの方がイプロベンホスよりも横浜市内における排出量が多いとされている¹⁴⁾。しかし、調査結果から、鶴見川流域ではイソプロチオランはあまり使用されていないものと推察された。また、メトミノストロピン、EDDPといった稲用殺菌剤も、平成19年度は検出されたが¹²⁾、20年度は検出されなかった。

最後に殺虫剤であるが、今回、ジクロロボス、ダイアジノン、フィプロニル、フェニトロチオン、フェノブカルブ、フェンチオン、マラチオン、メチダチオンの8種類が検出された。フェニトロチオンは、調査したいずれの地点からも検出され、濃度も1 μg/Lを超える試料が認められた。

図-5に平成19年度及び平成20年度の都橋のフェニトロチオン濃度を示した。春~夏の5月、8月に検出されるのみならず、19年度20年度ともに冬季の12月に検出された。検出された濃度は、最も高い濃度で、12月の都橋(2.8 μg/L)であり、環境基準(要監視項目)の指針値(3 μg/L)を満たすものであった。しかし、化学物質ファクトシートに記載された予測無影響濃度(0.00021 μg/L)と比較すると(水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値は設定されていない)、12月の都橋の濃度(2.8 μg/L)、8月の寺家の濃度(1.8 μg/L)、8月の亀の子橋の濃度(0.99 μg/L)等は、

予測無影響濃度の1000倍を超える濃度であり、生態系への影響が推察されるものであった¹⁵⁻¹⁷⁾。フェニトロチオンは農地だけでなく、住宅等でも使用されており、今回の起源等については明らかでなかった。平成18年度の環境省化学物質環境実態調査では、利根川(0.0007 μg/L:3検体の平均値)、那珂川(0.0003 μg/L:3検体の平均値)であり⁴⁾、定量限界値や分析方法が異なるものの、鶴見川はフェニトロチオンの濃度が比較的高いと考えられた。次にダイアジノンであるが、6月に寺家で2.8 μg/Lと、高い濃度が検出されたが、フェニトロチオンと異なり、8月以降は検出されなかった。環境基準(要監視項目)の指針値は5 μg/Lと設定されているが、化学物質ファクトシートによる予測無影響濃度は、0.00026 μg/Lとなっている(水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値は設定されていない)。今回寺家で検出された濃度は、予測無影響濃度の1000倍を上回る濃度であり、フェニトロチオン同様に生態系への影響が推察される結果となった。他に有機リン系殺虫剤としては、マラチオン、ジクロロボス、メチダチオンが検出された一方、かながわのPRTRで使用が推察されたエチルチオメトンについては¹⁴⁾、過去の調査同様^{11,12)}、今回の調査においても検出がなく、平成17年度の環境省の全国調査においても検出されていないことから、環境中における残留性が低いと考えられた。

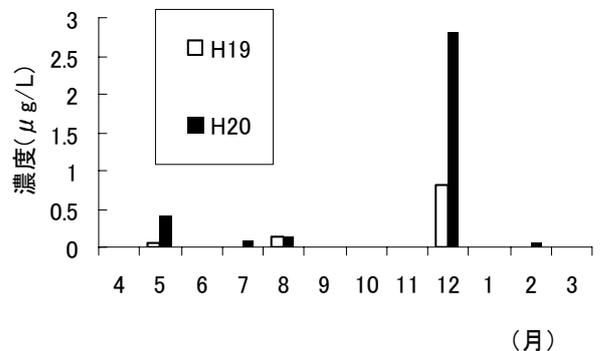


図-5 都橋のフェニトロチオン濃度

4. まとめ

横浜市内の鶴見川で農薬調査を実施した結果、平成20年度は23種類が検出された。今年度は、過去継続的に検出されていた水田用除草剤のチオベンカルブが不検出となった一方、プロモブチドの濃度が平成18年度と比較して高くなっており、使用している除草剤の種類の変更が推察された。プロモブチド、メフェナセット等の水田用除草剤は、初夏、水田に近い流域で一時的に1 μg/Lを上回ることがあるが、秋以降は定量限界以下の濃度となった。一方、除草剤のプロマシルは、検出回数が多く、冬季にも検出する例が認められた。

殺虫剤では、フェニトロチオン、ダイアジノン等が検出されたが、使用場所、用途等は明らかでなかった。また、検出された最高濃度は、化学物質ファクトシートに記載されている予測無影響濃度を上回る濃度であり、生態系への影響が推察される結果となった。

参考資料及び注

- 1) 国立環境研究所：国立環境研究所特別研究報告・水環境における化学物質の長期暴露による相乗的生態系影響に関する研究、(1995).
- 2) 環境省：化学物質ファクトシート-2007年版-、(2008).
- 3) 環境省：化学物質と環境、(2007).
- 4) 環境省：化学物質と環境、(2008).
- 5) 環境省：化学物質と環境、(2009).
- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) 酒井 学：鶴見川における農薬調査について（Ⅱ）、横浜市環境科学研究所報、**31**、102-107 (2007).
- 11) 酒井 学：鶴見川における農薬調査について（平成18年度）、横浜市環境科学研究所報、**32**、98-103 (2008).
- 12) 酒井 学：鶴見川における農薬調査について（平成19年度）、横浜市環境科学研究所報、**33**、80-85 (2009).
- 13) 水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値は、上流の流域面積が概ね百平方キロメートルであり、上流の農地の面積が、水田にあつては概ね五百ヘクタール、畑地等にあつては概ね七百五十ヘクタールである地点を基準にしており、今回は参考値として掲載した。
- 14) 神奈川県環境科学センター：かながわ PRTR 情報室、<http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/prtr/>
- 15) Kikuchi, M., Sasaki, Y. and Wakabayashi, M., Screening of organophosphate insecticide pollution in water by using *Daphnia magna*, Ecotoxicol. Environ. Safety, **47**, 239-245 (2000).
- 16) Sakai, M., Use of chronic tests with *Daphnia magna* for examination of diluted river water Ecotoxicol. Environ. Safety, **53**, 376-381 (2002).
- 17) 多田 満、小神野 豊：オオミジンコ生態影響試験法によるつくば市内河川水の評価、第14回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会講演要旨集、p71 (2008).

横浜のゲンジボタル、ヘイケボタルの生息環境調査

加藤良昭(横浜市環境科学研究所)

The investigation on habitat of *Luciola cruciata* and *Luciola lateralis* in Yokohama City

Yoshiaki Kato

(Yokohama Environmental Research Institute)

キーワード：ゲンジボタル、ヘイケボタル、水環境、ホタル生息環境、ホタルに対する市民意識

要 旨

2007年度から2009年度にかけて横浜市内におけるホタル生息環境調査を行った。22地域(地点)で行った調査結果からゲンジボタルは21地域で確認され、9地域でヘイケボタルが確認された。ゲンジボタルの生息地域は、従来からの里山環境以外にも都市的な河川でも今回確認することができた。またホタル協働調査を行った市民にホタルへの意識調査を行い、「次世代にホタルを残したい」「そのために身近な里山環境を残す」という思いが強いことが判明した。

1. はじめに

ホタルは源流域の清流を代表する生物である。横浜市の水と緑の基本計画にも、「水循環の再生」の目標として「ホタルの舞う環境づくりを進めます」としている。

以上のように位置づけられているホタルが、横浜の源流域の周辺環境にどの程度分布しているのか2007年度から2009年度にかけて調査を行い^{1, 2)}、一定の

知見が得られたのでまとめた。

2. 調査地点、調査項目及び方法

2-1 調査地域

2007年度から2009年度にかけて調査した22地域の概況を表-1に示した。

表-1 調査地域の概況

No	流域	地域	地域特性
1	帷子川	旭区大池町こども自然公園	谷戸地形(緑の七犬拠点)、都市公園
2	帷子川	旭区川井宿町	谷戸地形(緑の七犬拠点)、農地は畑
3	境川(舞岡川)	戸塚区舞岡町A	谷戸地形(緑の七犬拠点)、農専地区、里山公園
4	境川(舞岡川)	戸塚区舞岡町B	谷戸地形(緑の七犬拠点)、農専地区、ふるさと村
5	鶴見川(寺家川)	青葉区寺家町	農専地区、ふるさと村
6	鶴見川(岩川)	緑区長津田	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)
7	帷子川	旭区上川井町A	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)
8	帷子川	保土ヶ谷区川島町	溪谷状河川、都市公園隣接
9	境川(柏尾川)	戸塚区名瀬町	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)
10	境川(柏尾川)	栄区小菅ヶ谷	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)、公園予定地
11	境川(いたち川)	栄区上郷町(瀬上沢)	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
12	侍従川	金沢区大道	街中を流れる都市河川
13	大岡川	磯子区上中里町	街中を流れる都市河川
14	帷子川	旭区上川井町B	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)
15	宮川源流域	金沢区釜利谷東	谷戸地形(緑の七犬拠点周辺)
16	鶴見川(梅田川)	緑区新治町(梅田川)	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
17	鶴見川(梅田川)	緑区新治町(A谷戸)	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
18	鶴見川(梅田川)	緑区新治町(K谷戸)	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
19	鶴見川(梅田川)	緑区新治町(J谷戸)	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
20	帷子川	旭区矢指町	谷戸地形(緑の七犬拠点)、田んぼ
21	鶴見川(梅田川)	緑区三保町	谷戸地形(緑の七犬拠点)、市民の森
22	境川(柏尾川)	小雀公園	谷戸地形、都市公園

2-2 調査項目

調査項目を表-2に示した。

表-2 調査項目

項目	細項目
地域概観	景観
	護岸等水路構造
水環境	水温
	pH
	溶存酸素
	電気伝導度
	BOD
	流速
動植物	植生
	ホタル成虫
	水生動物(カワニナ等)

2-3 調査方法

2-3-1 地域概観

(1) 景観

現場踏査、写真撮影により確認した。

(2) 護岸等水路構造

現場踏査、写真撮影により確認した。

2-3-2 水環境

(1) 水温等

水温はアルコール棒状温度計、pHは携帯型pH計、電気伝導度は携帯型電気伝導度計、溶存酸素は携帯型溶存酸素計で測定した。

(2) BOD

BOD(生物化学的酸素要求量)はJISK-0102(1998)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。

(3) 流速

電磁流速計を流路水面下に一定時間浸漬させ、その平均流速を測定した。

2-3-3 動植物

(1) 植生

植物社会学的調査により行った。

(2) ホタル成虫調査

ルートセンサス法により調査ルートを設定し、出現頻度の高い時期及び時間帯を設定、目視観察により種および個体数を確認した。

(3) 水生動物調査

水路沿いを移動しながら、大型の水生昆虫(カワニナ、トンボ幼虫、カワゲラ目他)を中心に現場同定した。

3. 結果と考察

3-1 ホタル成虫調査結果

ゲンジボタルの生息場所が流水環境であるのに対し、ヘイケボタルは止水(水田、湿地)環境に生息している。

図-1に、今回調査した地点数における出現数について出現数範囲で分類したゲンジボタル出現数分布を、同じくヘイケボタルの出現数分布を図-2に示した。

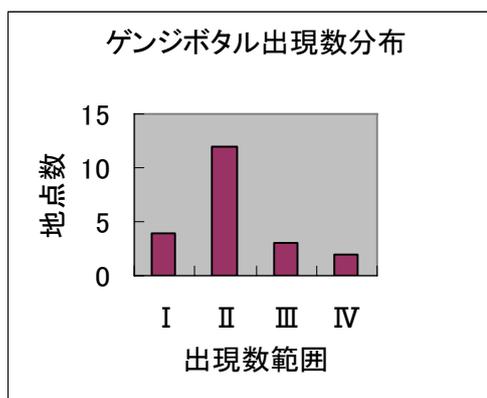


図-1 ゲンジボタル出現数分布

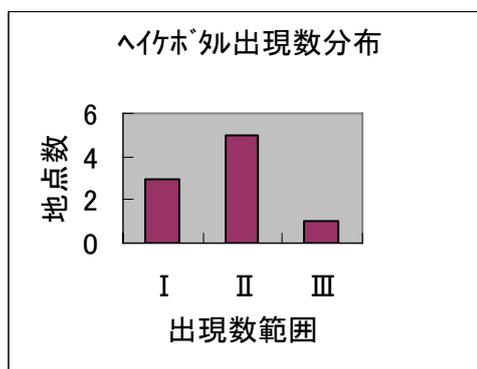


図-2 ヘイケボタル出現数分布

凡例：I. 10 頭未満、II. 10~50 頭未満、
III. 50~100 頭未満、IV. 100 頭以上
(いずれも一回当たりの出現頭数)

ゲンジボタルが出現した地域は22地域中21地域、ヘイケボタルは9地点であった。

出現数分布では、ゲンジボタルでは10~50頭未満が最も多くなっており、ヘイケボタルも同様であった。ヘイケボタルが100頭以上出現した地点は今回無かった。

ゲンジボタルは今回調査した地点のほぼ全てで確認されたが、ヘイケボタルは調査地点の半分以下にとどまっている。ヘイケボタルが水田、湿地等止水的環境に生息することを考えれば、これらの環境が市内から失われていることがうかがえる。またヘイケボタルは神奈川県レッドデータブック(2006)では準絶滅危惧種に位置づけられており、県内でも同様の状況と考えられる。

図-3に、今回の調査で判明した比較的多くの頭数が出現した市内の主要なゲンジ・ヘイケボタルの分布を示した。また、写真-1にホタルの飛翔写真を示した。

鶴見川流域では、こどもの国周辺(寺家 他)、帷子川流域では川井・矢指・大池、境川・宮川流域では舞岡・円海山周辺に主要な出現地が見られた。

これらの地点は、緑の7大拠点に位置しており、緑の7大拠点の保全とホタル生息地を守ることが一体であるといえる。



図-4 トビケラの一生⁴⁾

に生物指標を採用している。この中で河川域の源流・上流域における生物指標として底生動物(水生動物)としてカゲロウ目、トビケラ目、カワゲラ目、ヘビトンボ科があげられている。今回調査した地域は、緑の7大拠点を中心とする源流域に位置し河川域の源流・上流域にあたり、「横浜市水と緑の基本計画」の生物指標ともほぼ類似していた。

写真-2に今回確認された水生動物の写真を示した。

3-4 ホタルが生息しやすい生息空間について

ホタルが生息しやすい環境(空間)について主にゲンジボタルを対象に若干の考察を試みる。

考察を加える前にホタルの生活史及び生息環境モデルをまず確認しておく。

図-5にホタルの生活史、図-6にホタル生息環境モデル図を示した。ホタル生息環境モデル図は、田んぼと里山が接している典型的里山景観がモデル図となっている。

ホタルの生活史及び生息環境モデル図と過去の知見から表-6に整理した項目を考慮する必要がある。

今回ゲンジボタルを調査した22地点の生息環境(地形、



カワニナ



ゲンジボタル幼虫



トビケラ



オニヤンマ幼虫



ヤマトクロスジヘビトンボ



サワガニ

写真-2 確認された水生動物

植生、出現数等)を表-7に示したように、各地点の環境タイプをI~VIに分類した。また、景観例を写真-3に示した。

すなわち、地形(景観)ではIからIVまでは谷戸の環境で源流域に位置する。Vは保土ヶ谷区の渓谷状の景観、VIは低水敷^{*1}を有する都市河川である。ここからいくつかの知見を導き出すことができる。

(1) モデル環境図に相当する環境タイプとしては、護岸の相違はあるがIからIVが該当する。このタイプは22地点中18地点と約8割が占めていた。したがってモデル図の地形(景観)がホタル生息地として最も適切といえる。

(2) Vの渓谷状の川は、谷戸の地形ではないが源流域に近接し湧水も流入する地点である。周囲は開けた環境でなく水面までは10m程度の落差がある渓谷景観である。

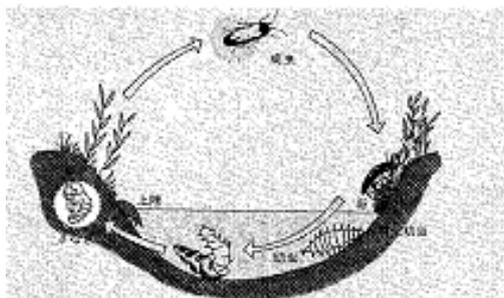


図-5 ホタルの生活史³⁾

表-6 ホタルが好む環境(空間)³⁾

選好する環境	理由
水路沿いに落葉樹林	餌の生育 雌雄の出会い空間 水温の安定化等
護岸が土	蛹(さなぎ)が土中に繭(マユ)をつくる
水路内外に飛翔空間が確保されている	雌雄が出会う空間
カワニナの餌となる珪藻等が生育	カワニナはホタル幼虫の餌となる

表-7 ホタル生息域の環境(景観)等調査結果

環境タイプ	地点数	地形(景観)	斜面林植生	流域における位置	河床・護岸	整備方式
I	7	谷戸(水田、湿地、ため池)	落葉樹(コナラ等)	源流域	泥砂礫・両面土(一部石組等)	素掘り水路
II	2	谷戸	落葉樹(コナラ等)	源流域	泥砂礫・(石組等)片面土	アメニティ整備水路
III	8	谷戸(水田、畑)	落葉樹(コナラ等)	源流域	泥砂礫・両面石組等	アメニティ整備水路
IV	1	IとIII複合タイプ	落葉樹(コナラ等)	源流域	泥砂礫・両面土、泥砂礫・両面石組等	素掘り水路、アメニティ整備水路
V	1	渓谷状	落葉樹(コナラ等)	上流域	砂礫(岩盤)・両面土(岩盤)	自然河川
VI	3	都市河川(低水敷)	植栽樹(サクラ等)	上流域	砂礫・両面コンクリ(1地点多自然型)	アメニティ整備水路

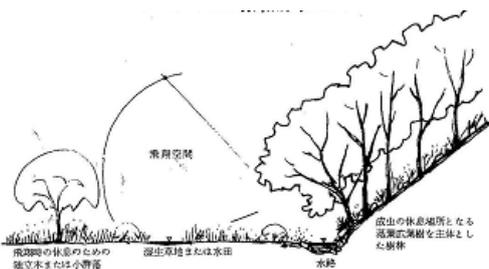


図-6 ホタル生息環境モデル図³⁾

タイプⅠ



タイプⅡ



タイプⅢ



タイプⅣ



タイプⅤ



タイプⅥ



写真－3 タイプ別景観写真

明らかにモデル図とは相違する。

(3) VIは低水敷を有する都市河川である。従来は、ホタルの出現が期待出来ない地点と考えられてきたが、今回確認することが出来た。Vも含め、低水敷や護岸に土の部分全部または一部存在していること、護岸にコケ等があること、湧水の流入が認められ、水質も良好なことが共通している。

(4) 景観的な特徴として、モデル図の開放的な里山の環境以外にも水路敷内に確保された落差のある空間でも一定の条件がそろえばホタルが生息することが今回確認された。この様な水路は、渋江等による横須賀市における調査結果からタイプⅠに相当すると思われる。(図－7) 低水敷^{*1}：平時の川水が流れる堤防内の河道。

3-5 市民協働調査と市民意識調査

2008年7月、栄区の開設準備中の公園でヘイケボタル

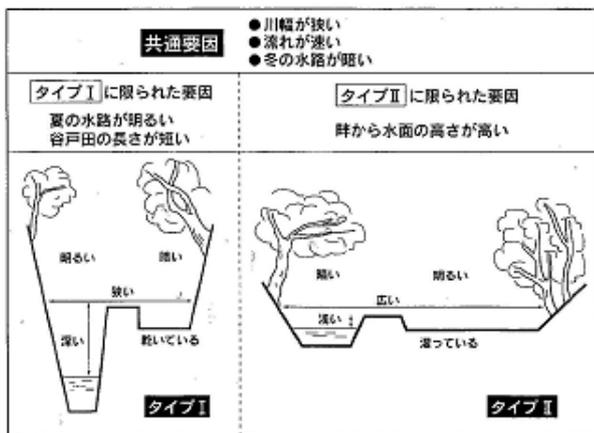
の市民協働調査と市民意識調査を行った。

調査の結果、ヘイケボタルを合計24頭確認した。7月中旬の調査のためゲンジボタルはほとんど確認できなかった。本公園は、小規模な谷戸で放棄田、ため池からなる。

ハンノキが生えるヨシ原もある。したがって、ゲンジボタルより止水を好むヘイケボタルの方が頭数は多く確認されると思われた。近くに都市計画道路の街路灯があり園内の街路灯と合わせ夜間照明の影響を確認していく必要がある。

同時に行った市民意識調査(アンケート調査)の結果を表－8に示す。回答数は13名だった。

この結果をみるとこの地域は、以前からホタルが自生していた場所だったことが分かる。回答者は将来、公園愛護会のメンバーになることが予定されている市民で、地域に長年住んで子供時代からホタルを見てきたと思わ



図－7 横須賀市ホタル生息環境の2タイプ⁶⁾

表－8 市民意識調査結果

質問	回答(割合)	
	上位の回答(割合)	その他
最初にホタルを見たのはいつ頃か	10歳まで(7割)	
最近ホタルを見たのはいつ頃か	1年前(8割)	小菅ヶ谷北で(5割)
ホタルに対する思い(複数回答可)	○里山を代表する生き物 ○将来世代にも見せたい	養殖・移植はやらない。30年前からホタルはここにいた。
ホタルを将来に残していくために何が必要か(複数回答可)	○身近な里山環境を残す ○環境教育をおこなう	
今日のような観察会の意義をどう思うか(複数回答可)	○毎年行うことに意義がある ○子供たちと一緒に観察することに意義がある	

れる。ホタルへの愛着が有り将来へホタルを残してきたという思いが強い。ホタルを将来に残していくためには、身近な里山環境を残し、ホタル観察会を子供たちと一緒にすることが大切と考えている。この点からも研究所の継続的な生き物モニタリング調査が重要であるといえる。

4. おわりに

2007～2009年度に行ったホタル生息域調査から以下のことが明らかになった。

- (1) 21 地域でゲンジボタルが確認され、9 地域でヘイケボタルが確認された。ゲンジボタルは、流水水路、ヘイケボタルは止水域(池、湿地)で確認された。
- (2) 水路の水環境の各平均値は、水深 10cm、流速 13cm/s、水温℃、BOD<2mg/L であった。湧水が流れる源流の水路なので水温、BODなどは安定していた。
- (3) ホタル以外で確認された水生植物は、ホタル幼虫の餌であるカワニナ、カゲロウ目、オニヤンマ幼虫等が確認された。
- (4) 水田等と里山がセットになっている伝統的な里山環境以外にも、水路敷内に確保された落差のある空間を持つ都市河川でも低水敷の存在等一定の条件がそろえばホタルが生息することが今回確認された。
- (5) ホタル協働調査を行った市民意識調査では、「将来

の世代にホタルを残してあげたい」との思いを持っており、また、ホタルを残すためには何が必要かとの質問には「身近な里山環境を残す」との回答が上位であった。

謝 辞

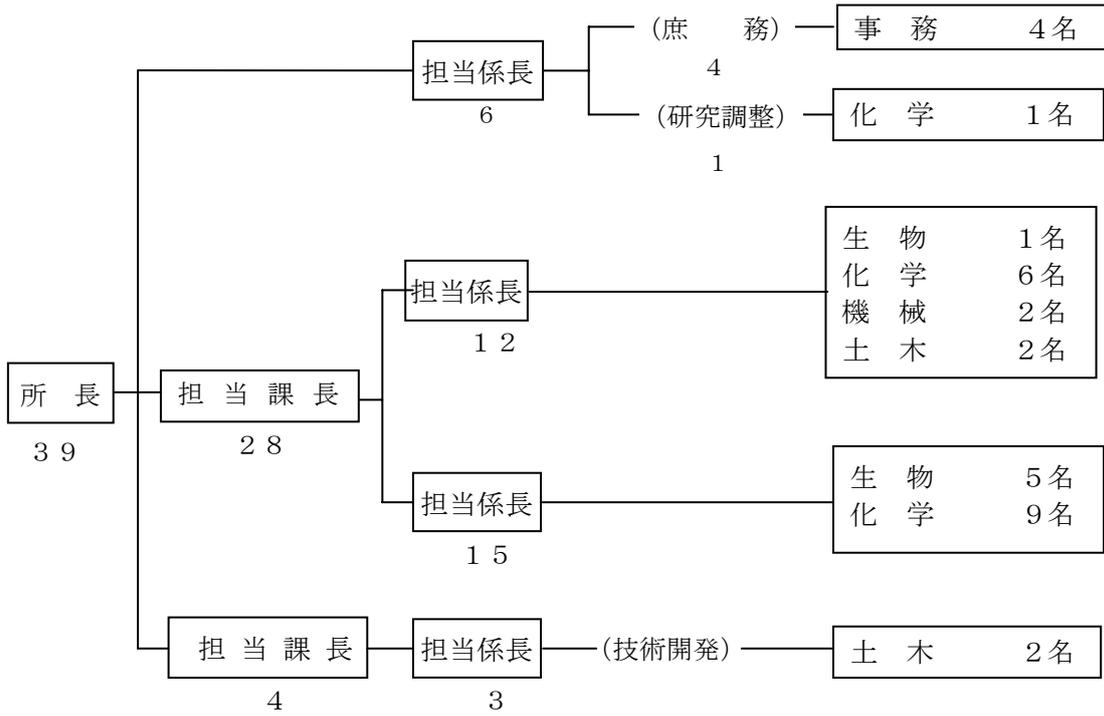
調査にご教示ご協力をいただいた環境科学研究所の職員の皆様に対して、ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 横浜市環境科学研究所:平成 19 年度ホタル生息域調査報告、pp116 (2008)
- 2) 横浜市環境科学研究所:平成 20 年度ホタル生息域調査報告書、pp115 (2009)
- 3) 横浜市公害研究所、横浜ほたるの会:ホタルの生息環境づくり～技術マニュアル試案～、横浜市公害研究所発行資料 No. 71、pp121 (1986)
- 4) 神奈川県環境科学センター:相模川水系の水生動物、p34 (2009)
- 5) 環境創造局:横浜市水と緑の基本計画、pp236 (2007)
- 6) 横須賀市自然博物館:三浦半島の水辺～身近な生物と私たちの暮らし～、p17 (1996)

III 資料編

1. 人員及び組織



(平成21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 (ダイオキシン分析)	JEOL JMS-800 D	1式	ダイオキシン等分析室
走査型電子顕微鏡	日立 S-4800	1式	電子顕微鏡室
同上用 X線分析装置	EDAX Genesis 2000	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 MODEL915-B	1台	液クロマト室
水銀分析計	日本インスツルメンツ RA-3	1式	液クロマト室
高速液体クロマトグラフ (農薬分析)	アジレントテクノロジー 1100	1式	液クロマト室
原子吸光光度計	バリアン SPECTR AA-220P	1式	原子吸光室
高周波プラズマ質量分析装置	パーキンエルマー ELAN DRC-e	1式	原子吸光室
高周波プラズマ発光分光分析装置	パーキンエルマー Optima5300DV	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	1式	生物研究室
電気マッフル炉	アドバンテック東洋 FUL232FA	1台	分解室 (3F)
自動測定器校正・標準ガス調製装置	ダイレック製	1式	標準ガス調製室
標準ガス精密希釈装置	製鉄化学工業 SDS-401	1式	標準ガス調製室
石英ガラスチャンバー	ダイレック製	1台	標準ガス調製室
パーソナル・ダストモニタリングシステム	柴田科学 PDS-1	1台	標準ガス調製室
液体クロマトグラフ	島津製作所 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	紀本電子工業 SS-1002	1式	元素分析室
高速液体クロマトグラフ質量分析装置	ウォーターズ Quattro Premier	1式	ガスマス室
ガスクロマトグラフ質量分析計 (水中揮発性成分分析)	島津製作所 GCMS-QP2010	1式	ガスマス室
マイクロウェルプレート測定用吸光光度計	ナルジェンクインターナショナル イムニニ NJ-2300	1式	実験室 (4F)
オートアナライザー (HPLC 分析装置)	ダイオネクス DX-120	1式	実験準備室
ガスクロマトグラフ (FID)	島津製作所 GC-14A 外	3式	ガスクロマトグラフ室
ガスクロマトグラフ (FPD)	アジレントテクノロジー 6890N	1式	ガスクロマトグラフ室

品名	規格	数量	配置
ガスクロマトグラフ (ECD)	ヒューレットパッカード HP6890	1式	ガスクロマトグラフ室
ガスクロマトグラフ質量分析計 (農薬分析)	島津製作所 GCMS-QP2010 Plus	1式	ガスクロマトグラフ室
サーマルデソープションガスクロマトグラフ	パーキンエルマー ATD-400	1式	ガスクロマトグラフ室
イオンクロマトグラフ	ダイオネクス DX-320	1台	都市環境研究室
高速液体クロマトグラフ	ヒューレットパッカード HP1090	1式	都市環境研究室
分光光度計	日本分光 V-550	1式	大気試験室
科学技術計算システム	富士通 GRANPOWER 5000	1台	中央データ処理室
薬品管理システム	インフォグラム ケミカルデザイン	1式	中央データ処理室
ガスクロマトグラフ質量分析計 (微量ガス分析)	島津製作所 GCMS-QP2010 Plus	1式	微量ガス分析室
光透過式スモークメーター	堀場製作所 MEXA-130S-BZ	1台	器材庫 (5F)
直挿型 NO _x 分析計	堀場製作所 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)
自動雨水採取装置	小笠原計器製作所 US-330+300 型	1式	屋上
風向風速計	海上電機 WA-200 外	1式	屋上

(平成 21 年 4 月現在)

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29回大会	2008.5	ダム下流河川におけるフラッシュ放流と大気暴露による藻類コントロール	○福嶋 悟・皆川朋子(土木研・自然共生研究センター)
第32回 環境・公害研究合同発表会 (1県2市)	2008.6	横浜市におけるアスベスト実態調査	○白砂裕一郎・安達理文・桐栄恵美子 平野耕一郎
〃	〃	カキなどの生物による水質浄化	○水尾寛己・下村光一郎・小市佳延 石井 彰、木村 尚(NPO・海辺つくり研究会)、西栄二郎(横浜国大) 鈴木あや子(日本エヌ・ユー・エス) 坂本昭夫(海をつくる会)
バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会	2008.8	横浜市内の水環境中の有機リン系殺虫剤について	○酒井 学
応用生態工学会 第12回研究発表会	2008.9	大気暴露によるダム下流河川の不快糸状緑藻類(アオミドロ)対策	○福嶋 悟・皆川朋子(土木研・自然共生研究センター)
〃	〃	多摩川永田地区における土砂投入が付着藻類に及ぼす影響	○皆川朋子・萱場祐一(土木研・自然共生研究センター)、福嶋 悟
日本珪藻学会第28回研究集会	2008.10	都市河川の水温状況を反映する珪藻類の長期的分布状況変化	○福嶋 悟
平成20年度環境創造局職員業務研究改善事例発表会	2008.11	「鉍物類から環境を考える」—新たなふれあい体験型環境教育実施事例—	○前田裕行
〃	〃	高品質消化ガスの利用実証研究について	○片山尚樹・伊熊信男
〃	〃	下水汚泥焼却灰の重金属不溶化処理技術について	○米山利行・伊熊信男
〃	〃	横浜における温暖化の環境影響—気温変動による植物開花日の経年変化—	○佐俣満夫、石橋国男(環境創造局)
〃	〃	街区スケールによる熱環境変化の数値シミュレーション	○佐俣満夫・井上友博
〃	〃	横浜の川でアユはどこまで遡上しているのか?	○樋口文夫・福嶋 悟・下村光一郎 犬飼まり子
〃	〃	大門川のダイオキシン類について	○白濱武四郎・加藤美一
〃	〃	横浜の川・海のダイオキシン類について	○白濱武四郎・加藤美一
〃	〃	横浜のホテル生息環境	○加藤良昭
〃	〃	東京湾における水質濃度分布の特徴	○二宮勝幸、都環境科学研究所、千葉県環境研究センター、統計数理研究所
〃	〃	水質改善策—浚渫・覆砂効果について—	○水尾寛己・小市佳延・下村光一郎 石井 彰、西栄二郎(横浜国大)、坂本昭夫(海をつくる会)、高野善彦 伊藤 廣(港湾局)
〃	〃	化学物質環境実態調査について	○酒井 学
日本水処理生物学会第45回大会	〃	残留塩素が河川藻類の一次生産と群集構造に及ぼす影響	○ランムゾー・小堀洋美(武蔵工業大学)、福嶋悟

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
4 th International Workshop on Sustainable Asia - Sustainable Water Resource and Environment -	2008.11	Changes in Diatom Assemblages due to Improvement in Water Quality of the Izumi River in Yokohama City	○Wlwan Moe Zaw, Satoshi Fukushima & Hiromi Kobori
平成20年度環境科学セミナー	2009. 1	ジチオリン酸S-2-(エチルチオ)エチル-O,O-ジメチル(チオメトン) (水質)	○酒井 学
平成21年度日本水産学会春季大会	2009. 3	浚渫・覆砂による底質改善効果	○水尾寛己・小市佳延・下村光一郎、西栄二郎(横浜国立大学)、坂本昭夫(海をつくる会)、高野善彦(港湾局)

4. 雑誌等投稿

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
春夏秋冬第(37号)	2008.11	石川孝之・市川治道・井上友博	横浜市和泉川水系の水循環

〔要旨〕 和泉川水系の狹谷地区の井戸と湧水は関東ローム層の宙水に依拠し武蔵野礫層を帯水層とするものでないこと、第六天神社地区の井戸は武蔵野礫層を帯水層とし湧水は関東ローム層の宙水に依拠していること、天王森地区の井戸と湧水はともに武蔵野礫層を帯水層としていることが推察された。関東ローム層の宙水に依拠する狹谷湧水は降雨量と湧水量のピーク値にずれが見られることから、関東ローム層の分布や層厚、地下水流動系の把握が課題となる。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
春夏秋冬第(37号)	2008.11	奥山隼人・蛭田真生・原田洋・石川孝之	都市域に残存する森林土壌のササラダニ群集の構造と種組成

〔要旨〕 土壌中に有機物が比較的多く含まれているような環境においては、土壌水分(含水比)がササラダニの群集構造や種組成を決定する大きな要因になっていることが判明した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
4th International Workshop on Sustainable Asia ~ Sustainable Water Resource and Environment ~	2008.11	Hlwan Moe Zaw, Satoshi Fukushima, Hiromi Kobori	Changes in diatom assemblages due to improvement in water quality of the Izumi River in Yokohama City

〔要旨〕 和泉川下流域における1988年と2005年における水質と珪藻群集について比較検討し、両時期の水質状況には明瞭な相違があり、珪藻群集の種類数と多様性にも同じ傾向が認められた。1988年における代表的な種類は水質汚濁に適応性が大きい種類だったが、2005年のそれは適応性がやや小さな種類などに変わった。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
応用生態工学 11巻	2008.12	福嶋悟・皆川朋子	大気暴露による河川の不快糸状緑藻類コントロール

〔要旨〕 緑藻類のアオミドロとシオグサはダム下流河川に大量に発生することがあり、そのコントロール手法としての大気暴露を行い、出水による効果と比較した。大規模な出水でもこれらの藻類には影響がなかったが、大気暴露すると明瞭に減少し、その効果が明らかとなった。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
化学物質と環境 平成19年度化学物質分析法開発調査報告書	2008.12	酒井 学	ジチオりん酸 S-2-(エチルチオ)エチル-O,O-ジメチル(チオメトン) (水質)

〔要旨〕 水質中のチオメトンの分析法開発検討を行った。水質試料からヘキササン抽出、KD濃縮を行い、クリーンアップ後GC/MSを用いて測定する方法により、MDL(検出下限)0.97ng/Lで分析することが可能であった。また、河川水及び海水を用いた添加回収試験の結果、いずれも80%以上の平均回収率となった。

5. 記者発表一覧

■ 平成20年度 環境科学研究所

発表日	発表内容
平成20年5月26日	川と海の生きものシリーズ9「よこはま 谷戸の水辺の生きものたち」発刊
平成20年7月10日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成20年度春季調査結果)
平成20年7月22日	山下公園前海域で水質浄化実験を始めました
平成20年7月23日	平成19年度大気汚染の状況について
平成20年7月23日	平成19年度交通騒音等の状況について
平成20年7月23日	平成19年度水質汚濁及び地盤沈下の状況について
平成20年7月29日	平成19年度源流域水環境基礎調査(舞岡・野庭地区)の結果がまとまりました
平成20年8月7日	帷子川(旭区)で生態系に配慮した川づくりにむけて魚道検討開始
平成20年8月19日	横浜国際トライアスロン大会プレイベントにて水質浄化実験を行います
平成20年10月9日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成20年度夏季調査結果)
平成20年10月16日	今年の夏は暑かった!? ～平成20年度夏のヒートアイランド観測結果をお知らせします～
平成21年1月19日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成20年度秋季調査結果)
平成21年2月25日	第4回こどもエコフォーラムを開催します
平成21年3月25日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成20年度調査結果)

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	ホテ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
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
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
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

資料番号	件名	発行年月	体裁等
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 -	1996. 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・・・・ -	1997. 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 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・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及び軟弱地盤分布図、地形地質図)	2003. 3	A4. 550 頁 A4. 243 頁 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 回子どもエコフォーラム公募作品集 一つなごう! 広げよう! 環境を守るカー	2006. 2	A4. 83 頁
156	第 2 回子どもエコフォーラム公募作品集 一つなごう! 広げよう! 環境を守るカー	2007. 2	A4. 72 頁
157	横浜市環境科学研究所報第 31 号	2007. 3	A4. 155 頁
158	横浜市環境科学研究所報第 32 号	2008. 3	A4. 150 頁
159	第 3 回子どもエコフォーラム公募作品集 一つなごう! 広げよう! 環境を守るカー	2008. 2	A4. 49 頁
160	第 4 回子どもエコフォーラム公募作品集 一つなごう! 広げよう! 環境を守るカー	2009. 2	A4. 50 頁
161	横浜市環境科学研究所報第 33 号	2009. 3	A4. 116 頁
162	横浜の源流域環境	2009. 3	A4. 140 頁

7. 施設見学者等一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H20. 5. 8	宮城県宮崎中学校	横浜の環境研究について	4
H20. 5. 23	横浜市大国際総合科学部	地球環境と生命	58
H20. 5. 29	横浜市医師会看護専門学校	市の環境の現状と汚染対策	36
H20. 6. 6	横浜国大人間教育学部1年生	横浜市の環境調査・研究について	51
H20. 6. 13	環境科学研究所施設公開	主要な研究の説明と施設見学	115
H20. 6. 12	横浜市医師会看護専門学校	市の環境の現状と汚染対策	39
H20. 6. 25	小田原市立千代中学校	魚の住みやすい環境、緑化対策について	6
H20. 8. 8	福岡県立小倉高等学校	酸性雨調査研究について	11
H20. 8. 12	蒔田中学校生徒	大岡川の生き物について	2
H20. 9. 11	J I C Aプロジェクト研修生（ルーマニア）	研究所の施設見学と業務の紹介、精度管理等について	2
H20. 11. 21	美しい作田川を守る会、同木戸川を守る会	水生生物と環境共生について	35
H21. 1. 20	環境省「アジア諸国における石綿対策に関するワークショップ」参加者	石綿の大気環境等モニタリング手法	10
H21. 1. 29	市立岡村中学校2年生	職業体験（ヒートアイランド、水生生物、化学物質等について）	4
合計	13		373

8. 環境教室等講師派遣一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H20. 4. 16	局転入職員・新採用職員研修	研究所業務概要、源流域調査	60
H20. 5. 14	国土交通省 公園・緑化技術会議	「みどりの技術フォーラム2008」発表	400
H20. 5. 22	神奈川県環境計量協議会	特別講演会	120
H20. 5. 23	神奈川大学法学部講義	環境行政特論「公害対策と未然防止」①	180
H20. 5. 30	神奈川大学法学部講義	環境行政特論「公害対策と未然防止」②	180
H20. 6. 9	環境・公害合同研究発表会	生物による水質浄化、アスベスト調査	200
H20. 6. 20	神奈川大学法学部講義	環境行政特論「環境アセスメント」	180
H20. 6. 24	市立金沢小学校児童	ヒートアイランド対策体験（「見える、実感できる」緑化の体験）	83
H20. 7. 9	出前講座（南吉田小6年）	化学物質と水の中の生きもの	95
H20. 7. 27	戸塚区区政推進課	阿久和川生物調査	79
H20. 7. 31	栄区地域振興課「いたち川知り隊」	いたち川の生物観察等	30
H20. 8. 5	横浜国立大学集中講義（8月5日、6日）	地球環境学特論 I B	40
H20. 8. 20	芹が谷南小学校	平戸永谷川の水質調査など	17
H20. 8. 27	磯子区総合的な学習研究会	公園づくりのポイント（久良岐公園）	15
H20. 8. 19	いたち川生きもの観察会	生物観察（いたち川日東橋、扇橋付近）	47
H20. 8. 26	栄第二水再生センター	海の生物、環境共生	56
H20. 9. 2	出前講座（ひかりが丘小5年）	化学物質と水の中の生きもの	17
H20. 9. 29	局技術監理課	「緑地の生態系を知ろう」（こども自然公園）	40
H20. 10. 28	出前講座（日枝小5年）	大気のごれはどこから	40
H20. 10. 28	出前講座（東汲沢小5年）	暑くなる街、横浜の今	89
H20. 11. 5	出前講座（洋光台第二小5年）	暑くなる街、横浜の今	73
H20. 11. 9	こども植物教室	土の中の生物と植物（こども植物園）	4
H20. 11. 26	出前講座（不動丸小5年）	大気のごれはどこから	146
H21. 2. 14	日本技術士会	所施設見学、横浜港水質浄化	20
	24		2, 211

◇編集後記◇

ここに、横浜市環境科学研究所報第34号を無事とりまとめることができました。掲載した研究成果が環境の保全や創造に貢献することを期待しながら、原稿の編集を行いました。

多様化する環境問題に対応し研究成果を効果的に環境施策につなげていくためには、社会現象に対応した時機を得た調査研究が求められています。一方、現在の環境問題を考えるときに、永年にわたり積み上げてきた環境情報が貴重な財産となっていることも改めて認識することができました。

今後とも、環境科学研究所の研究成果を伝える手段として所報の充実を図り、皆さんに活用して頂ける所報を作成していきたいと考えております。

所報第34号編集委員会

宮下 英之
石井 彰
橋本 あゆみ
小市 佳延
二宮 勝幸
渾川 直子
小倉 智代
平野 耕一郎
米山 利行
井上 智

横浜市環境科学研究所報・第34号

2010年3月

編集・発行 横浜市環境科学研究所

〒235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-15

電話 045-752-2605

FAX 045-752-2609

<http://www.city.yokohama.jp/me/kankyou/mamoru/kenkyu/>