

環境研資料

No. 184

横浜市環境科学研究所報

第 37 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.37

2013年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE RESEARCH INSTITUTE

はじめに

横浜市では、平成25年度を目標年度とした中期的な計画である「中期4か年計画」を策定しており、本市における様々な課題に対する基本政策を掲げ「安心と活力があふれるまち・横浜」の実現に向けて事業を進めています。

一方、環境問題に関しては、本市の環境に関する総合計画である「横浜市環境管理計画」を平成23年4月に策定し、「総合的な環境行政の推進」、「環境に関する広報の充実」、「人と環境とのきずなづくり」という3つの視点を掲げ、地球温暖化対策と生物多様性の2つの分野に重点を置いて環境行政を進めています。また、生物多様性については、「生物多様性基本法」において各自治体が生物多様性に取り組むべき内容を地域戦略として取りまとめることとなっていることから「生物多様性横浜行動計画（ヨコハマbプラン）」を平成23年4月に策定し、事業を展開しているところです。

こうした計画の実現に向けて、環境科学研究所では、調査研究・試験検査・環境監視などの事業を通して環境の現状把握を行い、また、環境改善となる実験や調査を実施し、環境施策を推進するための裏づけとなる科学的根拠を提供する役割を担うとともに、喫緊の課題解決に向けた対応をしてきました。

これまでもダイオキシン、アスベスト等、社会問題になった事柄に対して取組んできましたが、平成24年2月からは放射能核種分析も行い、可能な限り市民の不安を取り除き安全な市民生活を送れるよう努めています。

今後は、これまで培われてきた技術や研究成果を継承し、技術・研究レベルをさらに向上していくための人材育成を進め、また、従来環境問題にとどまらず、社会状況・行政ニーズに応じた調査研究を進め環境施策に反映していく必要があると考えています。

本所報は、平成23年度の事業成果を取りまとめたものですが、皆様に活用していただき、環境問題への取組みをさらに進展することができればと願っています。

皆様のご指導ご鞭撻をよろしく申し上げます。

平成25年3月

横浜市環境科学研究所長

橘 一秀

目 次

はじめに

I 業務報告編

業務報告	1
研究概要	2

II 調査研究編

報文

・ オゾンによるトリエタノールアミンの酸化分解	9
・ 鶴見川における農薬調査について(平成23年度)	13
・ 帷子川におけるアユの流程分布と産卵場	19
・ 梅田川流域の谷戸水路におけるホトケドジョウの産卵場選択	29
・ 室内飼育水槽におけるホトケドジョウの産卵行動	40
・ 横浜港の底層環境調査 ―根岸湾奥・堀割川河口―	47
・ 山下公園前海域における生物生息空間の検討	54

III 資料編

人員及び組織	59
主要機器一覧表	59
学会等研究発表	61
雑誌等投稿	62
記者発表一覧	63
環境科学研究所発行資料目録	64
施設見学者等一覧	69
環境教室等講師派遣一覧	70

編集後記	72
------------	----

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。

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。

平成21年4月には、市の環境政策との連携を推進するため、環境科学研究所は環境創造局企画部に組織再編し、環境監視センターは、環境保全部環境管理課の所管となりました。

平成23年4月には、環境科学研究所は組織再編のため、環境創造局企画部から環境創造局政策調整部に名称変更し、下水道技術開発担当は下水道計画調整部下水道事業推進課に再編されました。

2 試験検査業務

平成23年度の試験検査業務の概要は次のとおりです。

なお、福島第一原発事故による放射能の影響に対する市民の不安解消のため、放射能測定を行いました。

- ◇事業所排水等の試験検査
- ◇有害大気汚染物質のモニタリング調査
- ◇アスベスト被害対策事業
- ◇浮遊粒子状物質(PM2.5)調査
- ◇酸性雨モニタリング調査
- ◇化学物質の環境リスクに関する調査研究
- ◇放射能測定

3 調査研究業務概要

平成23年度の調査研究業務の概要は次のとおりです。

- ◇ヒートアイランド対策に係る技術支援研究
- ◇地盤及び地下水水位観測および環境情報提供事業
- ◇生物多様性横浜行動計画推進事業
 - ・生物生息状況モニタリング調査 一河川域生物相調査一
 - ・市民協働による陸域生き物調査
 - ・生物環境情報整備事業
 - ・多自然型水・緑整備事業の環境への効果に関する研究
 - ・沿岸域等の水環境保全・再生に関する研究
- ◇きれいな海づくり事業

4 環境教育活動

4-1 第7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7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、教育委員会指導企画課と共催で実施しています。

当日は、市内小中学校から出された環境に関する児童生徒による作品の発表(調査結果、活動報告、提言)や、展示を中心とし、環境活動団体や当研究所等による活動紹介などのワークショップを実施しました。今年は、環境科学研究所や環境創造局政策課職員による特別授業を盛り込むなど、環境教育活動としての内容充実を目指しました。

期 日/平成24年2月25日(土)

会 場/西公会堂 講堂

内 容/作品発表(14編)、特別授業(3編)

音楽演奏(こどもエコフォーラムテーマ)、

ワークショップ(8団体)

講評:和泉 良司(市立三保小学校長)

参加者/300人

4-2 第35回 環境・公害研究合同発表会

横浜市環境科学研究所、神奈川県環境センター及び川崎市公害研究所で組織する神奈川県市環境・公害研究機関協議会主催による、「第35回 環境・公害研究合同発表会」を開催しました。

環境科学研究所からは、「横浜市におけるヒートアイランド現象解明のための上空調査」及び「横浜の海の生物相の変遷—長期モニタリング結果から—」の研究発表を行いました。

期 日/平成23年6月17日(金)

会 場/横浜市技能文化会館 多目的ホール

内 容/研究発表(6編)、

特別講演:「新しい排水管理手法(WET)について」 鑓迫 典久(独立行政法人国立環境研究所環境リスク研究センター環境暴露計測室主任研究員)

参加者/150人

4-3 施設見学、出前講座等

環境科学研究所の施設公開を隣接する衛生研究所と合同開催とし、例年と比べ、多くの市民の方に研究所の研究業務を紹介することができました。また、随時、学校や市民団体等の施設見学を受け入れ、研究業務の紹介も行っています。また、区役所・市民団体等からの依頼を受けて、出前講座や自然観察会への講師派遣も行っています。

事業名

試験検査・環境危機管理対策

1 事業所排水等の試験検査

[目的]

規制部局と連携・協力し、安全で豊かな水辺環境の維持・回復を図るため、水質汚濁の防止に関する試験・検査を行う。

[方法]

水質汚濁防止法にある項目について、規制部局と連携し、規制指導に必要な事業所排水の試験・検査を行う。
ゴルフ場の農薬調査を行う。
環境中のダイオキシン類の分析を行う。
汚染井戸及びその周辺地域における水質調査を行う。
事故検体等緊急時の対応を行う。

[結果]

平成 23 年度の試験・検査検体数は次の表のとおり。

事業所等排水検査	465 検体
ゴルフ場農薬調査	15 検体
ダイオキシン類分析	36 検体
汚染井戸及びその周辺地域における水質調査	49 検体
事故検体（生物試験検体含）	39 検体

事故検体としては、河川の白濁、油流出事故、魚浮上事故等があり、分析結果を水・土壌環境課へ報告した。
ゴルフ場の農薬については、22 年に暫定指導指針が改正され、新たに追加されたチアメトキサム、クロチアニジン、チフルザミド等についても分析項目に加えた。

2 有害大気汚染物質のモニタリング調査

[目的]

有害大気汚染物質は、低濃度ではあるが、多様な物質が大気環境中から検出されており、その長期暴露による健康被害が懸念されている。そこで、大気汚染防止法で規定されている有害大気汚染物質の大気汚染状況の把握を行い、有害大気汚染物質の排出を抑制するための基礎資料とするため測定を実施し、環境省へ報告を行う。

また、PRTR 対象物質で排出の多いトルエン、キシレン、エチルベンゼンについても大気汚染状況の把握を行う。

[方法]

- 有害大気汚染物質 13 物質について、毎月 1 回、県下一斉に市内 5 か所（鶴見区潮田交流プラザ、中区本牧、緑区三保小学校、戸塚区矢沢交差点、磯子区滝頭）で測定を行う。
- 有害大気汚染物質の測定と同時に PRTR 対象物質（トルエン、キシレン、エチルベンゼン）について年 4 回、3 か所（鶴見区潮田交流プラザ、中区本牧、緑区三保小学校）で測定を行う。
- 測定の精度管理と関連し、高温多湿時のアルデヒドの採取方法について、ヨウ化カリウムと還元銅をそれぞれオゾンスクラバーとして用い、検討を行う。

[結果]

- 有害大気汚染物質 13 物質については当初計画通り毎月測定を行い、環境省へ報告を行った。また、測定値については環境省及び監視センターのホームページで公表されている。
- PRTR 対象物質の測定結果は神奈川県公害防止推進協議会に報告し、今後公表される予定である。
- アルデヒドの採取方法の検討については、今後チャンバー試験を並行しながら引き続き検討する。

3 アスベスト被害対策事業

[目的]

アスベストの繊維は、肺線維症（じん肺）、悪性中皮腫の原因になるといわれ、肺がんを起こす可能性があることが知られている（WHO 報告）。横浜市環境管理計画において、化学物質対策の推進としてアスベストが記述されており、2025 年度までの環境目標の達成状況を評価する上で、継続的なアスベストのモニタリングが必要とされる。また、震災発生後にはアスベストの飛散状況調査が必要となり、危機管理対応の観点からも継続的なモニタリングが必要とされる。そこで、市内の大気環境中アスベスト濃度の定期的モニタリングを継続し、一般環境測定局のデータに関してはホームページでの公表、記者発表を行うことで、市民への迅速な情報提供を行う。また、解体建材中のアスベスト含有調査を行い、被害を未然に防ぐのに役立てる。

[方法]

- 市内 6 か所の一般環境測定局及び 3 か所の自動車排ガス測定局で年 4 回、合計 36 検体の大気環境のサンプリングを行い、アスベスト濃度を測定する。
- 規制部局と連携し、解体建設材中のアスベスト含有確認を行う。

[結果]

- 市内測定局 9 か所、合計 36 検体のアスベスト濃度は全て 10 本/L^(*)を大幅に下回っており、濃度が急上昇す

るような地点・期間は見られなかった。一般環境測定局のデータについては記者発表し、市民への情報提供を行った。

(*) WHO の環境保健クライテリアによると「世界都市部の一般環境中のアスベスト濃度は 1 本から 10 本程度であり、この程度であれば健康リスクは検出できないほど低い」とされている。

- ・ 解体建材中のアスベスト含有確認測定：21 検体
- ・ 横浜市所管公共建築物のアスベスト含有確認試験：9 検体
- ・ 東日本大震災に関連して、仙台市からのアスベスト測定依頼：4 検体

4 浮遊粒子状物質 (PM2.5) 調査

[目的]

微小粒子状物質 (PM2.5) については、平成 21 年に環境基準が定められ、平成 22 年度から大気環境中の常時監視が法定受託事務として定められた。また、横浜市環境管理計画においては 2025 年までに PM2.5 の環境基準を達成することを目標としている。

PM2.5 は粒径が極めて小さいことから大気中に浮遊する時間が長く、その被害は局所的ではなく広域に及ぶことが確認されている。そのため、関東地方大気環境対策推進連絡会浮遊粒子状物質調査会議 (関東 SPM 調査会議) 及び神奈川県公害防止推進協議会浮遊粒子状物質部会 (推進協 SPM 部会) と協力して、PM2.5 の発生メカニズムの実態を調査し、環境測定部局が対策の検討を行うにあたり、必要となる情報を提供することを目的とする。

[方法]

推進協 SPM 部会と協力し、光化学スモッグ注意報が発令された日について環境測定局で測定している SPM 自動測定器のテープろ紙のイオンクロマトグラフ分析 (12 検体×4 地点 合計 48 検体) を行い、 SO_4^{2-} 成分と光化学オキシダントの関係を調査する。

関東 SPM 共同調査においては、参加 17 都府県で夏季の 2 週間について一斉調査を行い、PM2.5 (及び PM_(10-2.5)) 質量濃度、成分濃度及びガス状物質濃度を調査する。

[結果]

昨年度、推進協 SPM 部会共同調査では、粒子状物質とガス成分を分離捕集するデニューダ法の検討を標準測定法と併せて行い、標準測定法においては、フィルター上で NO_3^- と大気中の SO_2 及び水が置換反応を行っていること、更に有機炭素濃度が減少していることを確認した。第 51 回大気環境学会 (平成 23 年 9 月 14 日～9 月 16 日) において、昨年度の推進協 SPM 部会共同調査結果について口頭発表 (報告) を行った。

今年度の共同調査については、神奈川県内で SPM 濃度が高くなった平成 23 年 8 月 7 日のテープろ紙をイオンクロマトグラフ分析し、現在推進協 SPM 部会において結果の取りまとめを行っている。

また、関東 SPM 調査会議については、平成 20 年度から平成 22 年度までの 3 年間にわたる共同調査の結果を取りまとめ、報告書を作成した。

両共同調査の結果については、第 52 回大気環境学会で報告する予定である。

5 酸性雨モニタリング調査

[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 (SO_2 ガス) の影響が加わったため、急速に酸性度が強まり、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じレベルとなった。そこで、酸性雨のモニタリングを継続して現状の把握を行うとともに、基礎的な環境データとして蓄積を行う。

[方法]

横浜市磯子区 (環境科学研究所屋上) において自動雨水採取装置を用いて降水を採取した。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。

捕集容器に集めた降水は、試料体積を測定したのち、降水量 (mm) に換算して記録した。その後、pH と電気伝導度 (EC) を測定した。

[結果]

平成 23 (2010) 年 4 月～平成 24 (2011) 年 3 月の期間に、降水を計 68 回採取した。

降水ごとの pH について、降水量で重み付けした平成 23 年度の平均値は、初期 1mm 降水が 4.50、一降水全量は 4.83 であった。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、初期降水 3.88、一降水全量 4.31 に降下した。その後、火山活動の沈静化に伴い、pH は徐々に回復傾向にあり、本年度の結果も火山ガス放出前と同程度の水準であった。

また、これらのデータは「酸性雨情報」として、毎月、各月の降水ごとの pH 及び EC、降水量を研究所ホームページに掲載し、市民への情報提供に努めた。

6 化学物質の環境リスクに関する調査研究 (1)

[目的]

未規制化学物質や残留性の高い化学物質の環境実態調査を把握することにより、環境汚染の未然防止や、環境影

響評価の基礎資料を得ることを目的とする。

[方法]

環境省が実施する化学物質環境実態調査を受託する。受託内容は、

- ① 分析法開発検討調査（底質、生物試料中のシクロドデカ-1,5,9-トリエン分析法開発）
- ② 初期・詳細環境調査（鶴見川、横浜港の水質、底質、生物調査、礫子の大気調査）
- ③ モニタリング調査（鶴見川、横浜港の水質、底質、生物調査、礫子の大気調査）

[結果]

- ① シクロドデカ-1,5,9-トリエンの分析方法については、専門家の意見を聞きながら、底質及び生物試料を使用して再現性、定量限界の算出、添加回収試験を行い、分析法を確立した。
- ② 初期・詳細環境調査では、水質、底質、生物、大気試料について、15種類の未規制物質の調査を行い、フルオランテンについては、精度管理試料及び鶴見川、横浜港の水質試料の分析を行った。
- ③ 鶴見川及び横浜港の水質、底質、生物試料（横浜港：ムラサキイガイ）、礫子区の大気試料について、PCB や DDT 等について残留性の調査を行った。

以上の結果について、環境省へ報告し、環境省が各自治体取りまとめのうえ、製本するとともに、ホームページ上で公開予定であり、市民は横浜市の環境情報だけでなく、他自治体との比較検討が可能である。

7 化学物質の環境リスクに関する調査研究（2）

[目的]

環境省の全国調査等で、鶴見川の農薬について、全国平均よりも高い例が認められ、生態系への影響が懸念される。そこで、農薬の測定とともに生物試験を行い、生体影響について検討する。

[方法]

国立環境研究所と共同で農薬濃度の測定と、オオミジンコを用いた生物試験を行う。

- ① 農薬調査：鶴見川亀の子橋等で原則月1回、また、農薬の使用が多いと思われる夏季の降雨増水時には追加調査を行う。
- ② 生物試験：国立環境研究所に鶴見川で採水した検体を送付し、オオミジンコを用いた生物試験を行う。

[結果]

合計17回（4,5,10～3月各1回、6月3回、7～9月2回）調査を実施したところ、24種類の農薬（除草剤14種類、殺菌剤4種類、殺虫剤6種類）が検出され、最も検出頻度の高い農薬は、前年度同様除草剤のブロマシルであり、最も高い濃度は、寺家川で検出されたジクロロボス（殺虫剤）の47μg/Lであった。

ミジンコ繁殖試験では、6月の寺家川、10月の亀の子橋、2月のしらとり川などで影響が認められた。また、降雨増水時の調査では、23年度は平水時と差の少ないものとなった。これら結果の詳細については、学会等で報告するとともに、研究所報で報告し、横浜市のホームページで公開予定である。

8 放射能測定

[目的]

東日本大震災における福島第一原発事故による放射能の影響に対する市民の不安を解消し、より一層の安全・安心を確保するため、市民へ放射線量の情報提供を行う。また、放射能測定装置を導入し、環境中の放射能濃度をを行う。

[方法]

研究所屋上に設置しているモニタリングポスト（環境管理課所管）の放射線データを環境管理課と連携してホームページ上で市民へ情報提供を行う。

ゲルマニウム半導体検出器をもつ放射能測定装置を導入し、環境中の放射性物質の測定体制を整備する。

[結果]

モニタリングポストによる放射線データは環境管理課と連携して年間を通じホームページで市民に情報提供を行った。

平成24年1月にゲルマニウム半導体検出器をもつ放射能測定装置を整備し、庁内で測定要望のあった下水汚泥焼却灰、下水流入水、処理水などの測定を行った。また、廃水路敷き周辺の一部から高い値の放射線量が測定され、除去等必要な対応を迅速に行うため、緊急に放射能測定を行った。

（平成23年度放射能測定実績 H23.2月～3月）

内容	検体数
廃水路敷き周辺で測定された高い放射線量 土壌の緊急対応のための測定	110
下水流入水・処理水、下水汚泥焼却灰等	51
海の公園のあさり	1
合計	162

事業名

ヒートアイランド対策に係る技術支援研究

[目的]

横浜市内におけるヒートアイランド現象の原因及び対策について、科学的手法を用いて現状を把握し、対策手法についての技術提案を行うことにより、熱環境の緩和による市民の快適環境の創出につながる施策の提示を行う。

[方法]

① 気温観測調査

市内 74 か所の小学校等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）の気温分布図を作成する。

② 河川周辺街区における熱環境実測調査

「風の道」によるクールスポット創出の可能性を検証するため、河川及び大規模道路周辺において熱環境の実測調査（温湿度、風向風速、日射量、河川水温）を行う。調査地域として鶴見川河口域周辺の街区を選定した。

③ ヒートアイランド対策事業の効果測定・技術支援

各局区が実施しているヒートアイランド対策事業（緑のカーテン・打ち水等）に対して赤外線サーモグラフィを使用した効果測定等の技術支援を行う。

④ 環境学習支援事業

市民のヒートアイランド対策に関する活動を広げるため、講義、実験等を通して普及啓発活動を行う。

[結果]

① 気温観測調査

2011年夏季の平均気温は港北区綱島東で最も高い 27.7℃を観測した。真夏日日数は鶴見区生麦で最も多い 46 日を観測した。熱帯夜日数は神奈川区新子安で最大 39 日を観測した。日中は市内の北東部（港北区、都筑区など）、夜間は横浜港周辺（鶴見区、神奈川区、西区、中区など）で高温となっており、ここ数年と同様の傾向がみられた。前述の各項目について分布図を作成した。結果について記者発表し、広く市民に情報を提供した。また、環境創造局業務研究改善事例発表会で調査結果を報告した。観測結果のデータは、神奈川県、川崎市と情報共有を行い、連携を図っている。

② 河川周辺街区における熱環境実測調査

鶴見川河口域周辺街区において調査した結果、日中は河川上及び河川周辺地域が街区密集地域より低温となっていた。夜間はどの地点も一様に気温が低下し、地点間の差が小さかった。河川上からの風は日中、夜間共に流れていた。このことから、河川が周辺街区に及ぼす冷却効果は、限定された区画内でみられること、夜間には効果が現れず日中のみみられることがわかった。環境創造局業務研究改善事例発表会で調査結果を報告した。

③ ヒートアイランド対策事業の効果測定・技術支援

各局区が行っているヒートアイランド対策事業の効果測定等の技術支援として、赤外線サーモグラフィの貸出及び操作・解析方法のレクチャーを庁内 23 部署に行った。また、貸出部署にアンケート調査を行い、次年度のヒートアイランド対策に向けての課題を抽出した。アンケート結果を庁内向けに報告した。

④ 環境学習支援事業

環境教育「出前講座」として、市内小学校及び高等特別支援学校（計 3 校）に出向き、ヒートアイランド対策に関する講義・実演を行った。研究所見学・研究所施設公開・こどもアドベンチャーにおいても講義・実演を行い、多くの市民の方にヒートアイランドについて身近に感じてもらうことができた。

事業名	地盤環境の研究および環境情報提供事業
<p>[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、横浜市域の地質や地盤構造、地下水に関する調査研究を行う。</p> <p>[方法] ・横浜市の各種事業で行われた地盤調査結果の集約、情報提供 ・地盤沈下、地下水位のモニタリング</p> <p>[結果] ・平成 23 年度に市内で実施した土質調査の報告書を集約（委託件数：55 件、柱状図本数：497 本）、整理した。土質調査データは市内等の依頼に基づき、情報提供（件数：15 件、柱状図本数：48 本）した。消防局の地震被害想定の見直しにも資料を提供し、協力をした。地盤 View へのアクセスは 151842 件、問合せ件数は 56 件でした。 ・地盤沈下観測所（5 箇所）、地下水位観測井（15 箇所）のデータ回収および保守点検を行なった。</p>	

事業名	生物多様性横浜行動計画推進事業
<p>1. 生物生息状況モニタリング調査 —河川域生物調査—</p> <p>[目的] 横浜市では昭和 48 年以来ほぼ三年毎に、市内河川および海域において生物のモニタリングを実施している。40 年間近くのデータの蓄積は、横浜市の水環境における生物の変遷を記録する貴重な資料となっている。ヨコハマ b プランの施策を遂行するため、また、評価するための基礎資料として、本事業から得られる生物生息情報は必要不可欠である。 また、生物生息環境における新しい変化や新しい問題点を把握するためにも、定期的に生物データをとることが必要である。</p> <p>[方法] 調査地点：鶴見川（12 地点）、帷子川（4 地点）、大岡川（8 地点）、境川（13 地点）、宮川（2 地点）、侍従川（3 地点）の 6 水系における合計 41 地点 調査項目：魚類、底生生物（甲殻類他含む）、水草、付着藻類、水質（調査は水草調査の一部と水質調査を除き、委託業務） 調査時期：7 月～9 月に 41 地点で 1 回</p> <p>[結果] 魚類は 50 種、底生動物は 171 種、水草は 8 種、付着藻類は 125 種の合計 354 種が確認された。その中で、海とのつながりを持つ回遊性の種類（アユやエビ類の数種など）は増加傾向にあり、水環境の改善に伴い多様な生物が戻ってきている。354 種のうちレッドリスト等掲載種¹⁾は 27 種で、平成 20 年度の結果（24 種）と同程度の種類数。レッドリスト等掲載種は絶滅のおそれのある野生生物であり、生育生息地の保全とともに今後の動向を見守っていく必要がある。なお、外来種²⁾は 32 種（国外外来種 24 種、国内外来種 6 種、品種 2 種）を確認した。</p> <p>2. 市民協働による陸域生き物調査</p> <p>[目的] 市民協働による生物調査を行い、市民が市内に分布している動植物など生き物のことを知ると共に、調査結果は今後の環境施策や身近な生き物とふれあえる環境づくりに反映させる。また、横浜の明治期植生図の GIS 化を行う。</p> <p>[内容および成果] 平成 23 年度は、平成 20～22 年度実施の市民協働生き物調査について、方法・結果をとりまとめ、今後の陸域生物調査手法について検討した。 明治期植生図については、20 年度から横浜国立大学との共同研究で GIS 化を開始し、23 年度は、横浜市北部・中部地域（港北区、都筑区、緑区、青葉区、旭区、瀬谷区、泉区）の作業を行い明治期植生図が完成した。</p> <p>[今後の展開] 継続性や施策への反映を踏まえた市民協働生き物調査手法の確立が課題であり、平成 24 年度は、市民協働調査手法の検討・試行、陸域生物調査（専門家調査）を予定している。</p>	

3. 生物環境情報整備事業

[目的]

生物多様性横浜行動計画「ヨコハマbプラン」に掲げている、標本や生物多様性に関するデータの蓄積・一元化に向け、横浜市が実施した様々な調査について、データや報告書の収集を行い、環境に関する基礎情報として活用する。

[成果]

- ① 生物情報を含む報告書リスト（タイトル、発行者、調査年、調査項目、調査場所、現在の所管課等の情報が含まれる）をエクセルで作成した。
内訳は、研究所で発行した調査報告書と委託成果物の情報 360 件。この他に、環境創造局内に情報提供を依頼し、9 課から約 70 件の報告書情報を収集した。
- ② 生物モニタリングの結果のうち、河川の魚類と底生動物について、紙ベースのデータをエクセルに入力し、電子化・データベース化した。

[今後の展開]

- ① 報告書リストを充実させるため、来年度は他局で保有する情報の収集を検討する。
- ② 市民への公開を視野に入れ、庁内で生物情報に関する文章取扱い基準について調整を行うと共に、下記の項目を検討する必要がある。
 - ・報告書本体（紙媒体、電子データ）の保管方法。
 - ・データ提供の形。
 - ・市民からの問合せ窓口、対応フロー。
- ③ データベース化する項目の優先順位づけを行う。

4. 河川の多自然型緑・水整備事業による事業効果に関する研究

[目的]

多自然型河川整備、河川構造物の改変、魚道設置等の水・緑整備事業が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な評価を行い、新たな事業や効率的な管理に反映させるとともに、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。

[方法]

帷子川を対象にアユの分布調査を行い、落差工、魚道等の河川構造物との関係について検討した。繁殖生態として、踏査による産卵場の特定とともに物理的環境調査等による、産卵場選択条件を解析した。

[結果]

帷子川のアユの分布調査から、遡上距離は、河川構造物の構造、魚道の設置、河川水位変動等に影響されていると思われる。繁殖生態調査では、産卵場が 10 月から 12 月まで 3~4 地点に形成された。その場所は、河口距離 4 から 6km の下流域であった。産卵場形成期間は、10 月から 12 月までであった。産卵場条件は流れの速い瀬、小礫、浮石状態の基質が選択されていた。これら産卵場等は、大岡川に比して、生息個体数が多いことを反映して、産卵場が比較的多く形成されていたが、主な産卵場は限られていた。

5. 沿岸域等の水環境保全・再生に関する研究

[目的]

富栄養化した横浜市沿岸や感潮域における水質、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。

[方法]

根岸湾奥（堀割川河口、火力発電所や下水処理場、石油精製工場の前など）の 6 地点で 6 月、9 月に各 1 回、水質、底質、底生生物の調査を行い、赤潮や貧酸素、底質の有機汚濁の状況などを把握した。

[結果]

- ・水質は 9 月に全地点の表層で赤潮、DO は過飽和だった。
- ・底質は堀割川河口を除いて嫌気度が高かった。ポンプ場排水口近くでは、有機物や硫化物の濃度が高かった。
- ・底生生物は出現種 18 種の約半数が有機汚濁指標種だった。堀割川河口では汚濁種でないアサリやムラサキガイがみられた。
- ・水産用水基準による底質評価では、6 地点中 1 または 2 地点が「汚染初期泥」で、その他は夏に著しい貧酸素状態を引き起こす恐れのある「汚染泥」と判定された。
- ・七都県市底質環境評価では 6 地点中 1 地点が「環境保全度Ⅱ」だったが、その他は「環境保全度Ⅰ」であり、目標を下回る評価であった。

事業名

「きれいな海づくり」事業

[目的]

市民の皆様に親しみを持っていただける、生きものが豊かで浄化能力の高い海づくりを推進するため、市民と協働での海の取り組みを行っている。また、事業内容の周知や環境教育を行い、海で活動する団体の連携を図るためのイベント等を開催する。

末広地区：末広地区での海づくりとして、磯浜などでの生物多様性への取組を、地域と連携して進める。

山下地区：都心臨海部の魅力づくりとして、山下公園前面海域における環境改善に取り組むことで、トライアスロンなどのイベント開催や、海洋性レクリエーションへの水域利用などが進み、海が身近に感じられるよう施策を進める。

野島地区：横浜で唯一の自然海浜である野島海岸の再生に向けた取組を進める。

[成果]

末広地区：23年度は、各種調査（水質・底質・生物相）を実施した。また、この調査結果から得られる情報をもとに、より良い水環境の創出について、下水道処理場の護岸部の整備手法を検討するなど下水道事業と整合を取った具体的な検討を行った。

山下地区：23年度は、流況や水塊構造などの基礎データを取得し山下園前の海域において、効果的な実施計画を策定するための検討を行った。調査から山下公園前海域海域の平均流速は、概ね1cm/s前後と小さく、流速の出現頻度は上層で2～4cm/sと静かな場所であることが確認された。この事から流況調査（実測）や風浪・地形等も加味して、底質の状況が一番厳しくなる条件（北東の風15m/s）で現況潮流シミュレーションを行った結果、小潮期・大潮期に関わらず、北北東及び北東の風によって比較的大きな冲向きの底層流が生じることが分かった。さらに、市民に都市部において身近に海を感じてもらうため、世界トライアスロン大会プレイベントを通じてプロモーションを実施した。

野島地区：23年度は、野島周辺で活動されている市民団体にヒアリングを行い、問題点・課題抽出および現状把握を実施した。この結果、【海岸漂着ゴミの適正な処理方法の検討】【活動時の申請先が分かりにくい（窓口の一本化）】【砂浜の減少】などが挙げられ、官民連携での海岸維持の検討が必要であることが分かった。

[今後の展望]

末広地区：24年度は、浅場形成の基本検討を行うために必要な夏季の各種データを取得し、下水道処理場の護岸部の、より良い水環境の創出への取り組みの基礎資料として検討・整理する。

山下地区：24年度は、浅場の形成手法の検討と事業化に向けた庁内調整、世界トライアスロン大会プレイベントに参加し、市民に対して横浜の海への関心・環境意識を高めるため環境活動の普及推進を実施する。

野島地区：24年度は、市民参加型イベントの開催および市民活動団体と海岸美化の仕組みづくりのための課題共有を図り、生物多様性の普及啓発の観点からも海づくり事業に関する市民連携による取組を進めていく。

新たな候補地の選定：市民に身近な海辺空間再生として、市民の皆様に親しみを持って、生き物が豊かな浄化能力の高い海づくりを推進するため、候補地の選定、候補地における海域の状況等の基礎調査を実施する。

Ⅱ 調 査 研 究 編

オゾンによるトリエタノールアミンの酸化分解

浦垣充朗、福崎有希子、福田亜佐子（横浜市環境科学研究所）

Oxidative degradation of Triethanolamine by Ozone.

Michio Uragaki, Yukiko Fukusaki, Asako Fukuda (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：オゾン，トリエタノールアミン，アミン-N-オキシド，PM2.5，デニューダ

要旨

大気中の酸性ガス捕集に使用されるトリエタノールアミンについて、オゾンとの反応性を調査した。調査の結果、トリエタノールアミンはオゾンにより酸化され、アミン-N-オキシド中間体を経て、ヒドロキシルアミン類へ変化していることが示唆された。一方、オゾンは O_2 へ還元されるため、デニューダ法 (PM2.5 サンプリング) において捕集フィルタを通過するオゾン量は、標準測定法より少ないことが確認された。

1 はじめに

PM2.5 の構成成分には、硝酸アンモニウム、塩化アンモニウム及び蒸気圧の低い有機物等、半揮発性粒子が含まれており、フィルタに捕集されたこれらの粒子は、サンプリング条件下 (減圧状態) においては、ガス態となり揮散してしまう (負のアーティファクト)。また、大気中のガス状物質は、フィルタを通過する際に、捕集された粒子に吸着 (正のアーティファクト) 又は化学反応を引き起こす可能性があり、捕集フィルタの成分分析値は、環境大気中の実態を必ずしも反映していないと考えられる。

横浜市では、平成 20 年度から平成 22 年度それぞれの夏季に、神奈川県及び川崎市と共同 (神奈川県公害防止推進協議会) で、デニューダ法及び標準測定法を並行で実施し、PM2.5 の実態調査を行った。サンプリングには、組成分析用カートリッジ (東京ダイレック社製、Model 3500) を使用した。酸性ガス捕集用には炭酸ナトリウム及びトリエタノールアミン (TEA) を、アルカリ性ガス捕集用にはクエン酸を塗布したデニューダを調整し、フィルタ前段にセットした。さらに、フィルタの後段には同じく塗布剤を含浸させたバックアップフィルタをセットすることで、イオン成分の揮散を確認した。塗布剤と捕集成分を表-1に示す。

表-1 塗布剤及び捕集成分

塗布剤	捕集成分
2% Na_2CO_3 + 5v/v% TEA	塩化水素、硝酸、 NO_2 、 SO_2
2% クエン酸	アンモニア

大気中のガス状物質が、PM2.5 捕集フィルタを通過する際に粒子状物質に与える影響については、第 51, 52 回大気環境学会年会において報告を行った (横浜市、神奈川県、川崎市 共同発表)。

有機炭素 (OC) については、全調査期間にわたって標準測定法よりもデニューダ法の方が高濃度であり、両者の濃度差と光化学オキシダント濃度との間には相関が見られることが確認できた。図 1 は、平成 22 年 7 月 26 日から 8 月 9 日の期間に、横浜市環境科学研究所屋上において実施した、標準測定法とデニューダ法の並行サンプリングの調査結果である。サンプリングは 7 月 26 日 午前 10 時に開始し、周期は 48 時間とした (期間③及び⑥は週末のため 72 時間)。

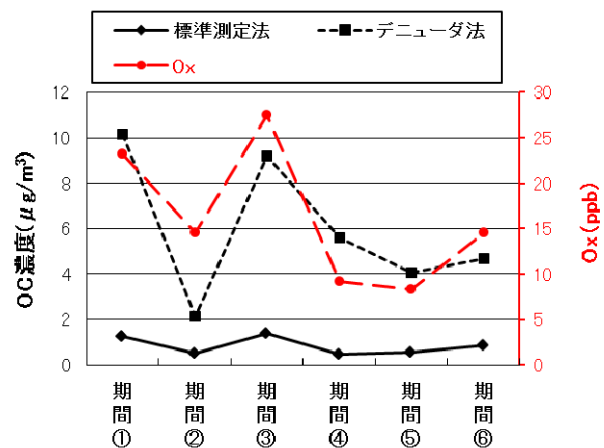


図 1 OC 濃度及び Ox 濃度

2 仮説の立案

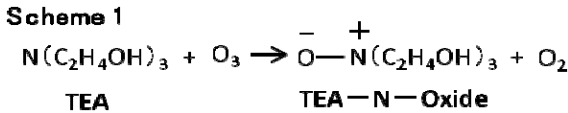
2-1 光化学二次生成と酸化分解のトレードオフ

光化学オキシダントの主要成分であるオゾンは、大気中においては VOC と反応して二次生成有機粒子の生成を促進する。一方で、オゾンは有機物を酸化分解する性質も併せ持っているため、PM2.5 サンプリングにおいて大気中のオゾンは、フィルタを通過する際に、捕集された有機粒子を分解している可能性がある。標準測定法においては、オキシダント濃度上昇時には光化学二次生成の促進だけな

く、フィルタ上での有機物分解もまた促進されていると考えられる。

2-2 TEA のオゾン酸化

酸性ガス（特に NO₂）を除去する目的で、デニューダ管内壁に塗布した TEA とオゾンは酸化還元反応を起こし、アミン-N-オキシドと O₂ を生成する可能性がある。Scheme 1 に示すとおり、オゾンは O₂ へ還元されて後段のフィルタを通過するため、デニューダ法においてはフィルタ上に捕集された有機物の分解は起こらない、すなわち OC は減少しないと考えられる。



3 調査の目的

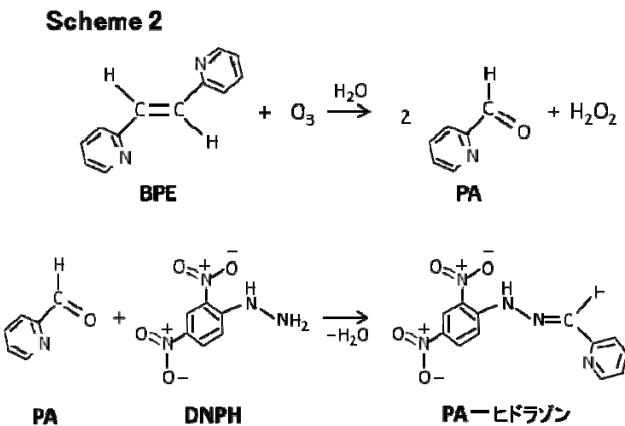
仮説 2-1 については、オゾンデニューダを用いた PM2.5 実態調査により、大気中のオゾンがフィルタ上の有機物（特に PAH）を酸化していることが報告されている¹⁻²⁾。仮説 2-2 の TEA のオゾン酸化については、報告事例が見当たらず、また図 1 の調査結果を説明する上で重要であるため、非常に興味深いと考えられる。

Scheme 1 については、TEA-N-オキシドが製造・販売されていないため、反応生成物の定性及び定量による検証が不可能であった。そこで、本報では Scheme 1 の左辺に着目し、TEA についてオゾンスクラバーとしての性能の有無を調査することとした。

4 調査方法

4-1 オゾン濃度測定

オゾン濃度を測定する方法として、BPE/DNPH-カートリッジ（Sigma-Aldrich 社製、**BPE/DNPH**）を用いる分析法を適用した。このカートリッジは、trans-1,2-ビスピリジルエチレン（BPE）及び DNPH をそれぞれシリカゲルに含浸させ、前後 2 層に充填したサンプラーである。カートリッジに捕集されたオゾンは、前段の BPE と反応し、ピリジン-2-アルデヒド（PA）に変換され、さらに、この PA は DNPH と反応し、ヒドラゾン誘導体を生成する特徴を有する（Scheme 2）。



生成物 PA-ヒドラゾンを定量することで、化学反応式の量論係数からオゾン濃度を間接的に求めることができる。また、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒド等、

大気中のアルデヒド類も後段の DNPH と反応し、類似の誘導体を生成するため、オゾンとアルデヒド類の同時分析を、このカートリッジで行うことができる。

今回、この BPE/DNPH のさらに前段に、TEA 含浸シリカゲルを装着し、PA-ヒドラゾン生成量を調査した（写真-1、**TEA-BPE/DNPH**）。通常のサンプリングと比較して PA-ヒドラゾン生成量が減少した場合、TEA はオゾンスクラバーの性能を有することとなり、Scheme 1 が実証できると考えた。

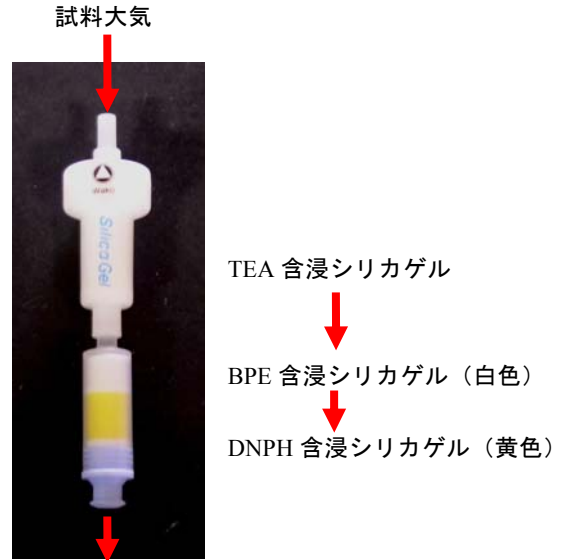


写真-1 TEA-BPE/DNPH

4-2 TEA 含浸シリカゲルの調整

固層カートリッジ Presep-C Silica Gel（和光純薬工業社製）をアセトニトリル 10mL でクリーンアップし、10 v/v%TEA-アセトニトリル溶液 3mL を含浸させた後、窒素ガスパージにより溶剤を除去した。

4-3 試料採取及び試料液の調整

横浜市内の大気汚染常時監視測定局（中区本牧：北緯 35 度 24′ 52″、東経 139 度 39′ 42″）において、BPE/DNPH 及び TEA-BPE/DNPH サンプラーを用いて、2012 年 7 月 30 日から 7 月 31 日まで 24 時間並行サンプリングを行った。サンプリングは午前 10 時から開始し、流速は 200mL/min. とした。サンプリング終了後、0.1 v/v%のリン酸を含む 25% DMSO/アセトニトリル混合溶液で生成物を溶出、5mL に定容した後、HPLC で分析した³⁾。

4-4 分析条件

分離カラムに ODS シリカ、移動相に 0.1%ギ酸水溶液とアセトニトリルの混合溶液を使用した。

カラム：Devolosil C18 (250×4.6mm, 5μm)

移動相：アセトニトリル (A) / 0.1%ギ酸 (B)

Gradient Profile

min.	%A	%B
0	20	80
1	50	50
5	50	50
12	60	40

流速：0.5mL/min.
 注入量：20 μ L
 カラム温度：40 $^{\circ}$ C

5 結果と考察

5-1 分析結果

通常の試料 (BPE/DNPH) 及び TEA 含浸シリカを装着した試料 (TEA-BPE/DNPH) の HPLC クロマトグラムを図 2 に示す。通常のサンプリングにおいては、大気中のホルムアルデヒド誘導体 (FA-ヒドラゾン) 及びアセトアルデヒド誘導体 ((Z)AA-ヒドラゾン, (E)AA-ヒドラゾン 異性体 2 種 : 図 3) に加えて、オゾン由来の PA-ヒドラゾンが確認された。一方、TEA-BPE/DNPH については、オゾン由来の PA-ヒドラゾンは生成されていない。この結果は、オゾンが TEA によって除去されていることを示しており、Scheme 1 のとおり TEA とオゾンが反応することが確認された。

さらに、TEA-BPE/DNPH については、アセトアルデヒド由来の AA-ヒドラゾン (特に Z 異性体) が大量に生成されており、大気中のアセトアルデヒド濃度に換算すると約 120 μ g/m 3 に達していた。通常サンプリングの BPE/DNPH では、この現象は見られなかったため、TEA による影響だと考えられる。

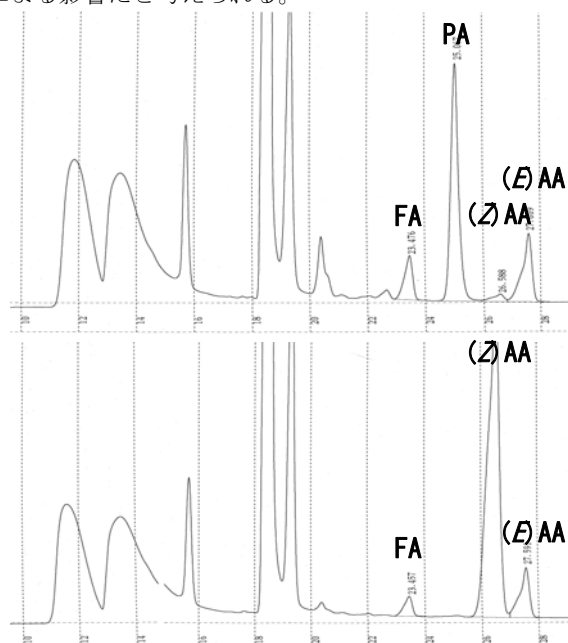


図 2 通常サンプリング (BPE/DNPH ; 上) 及び TEA 装着サンプリング (TEA-BPE/DNPH ; 下)

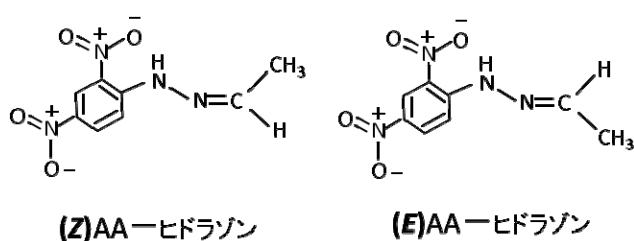


図 3 アセトアルデヒド-ヒドラゾン異性体 2 種

5-2 考察

TEA-BPE/DNPH において生成された (Z)AA-ヒドラゾンの生成経路を考察した。 β 水素を有する 3 級アミノオキシドは、加熱によりヒドロキシルアミンとアルケンに分解することが知られている (Cope 脱離)。そこで、今回検討した TEA についても、N-オキシド中間体を経て、分解反応が起こっていると考えた。Cope 脱離反応の遷移状態を参考に、TEA-N-オキシドの遷移状態と電子の流れを図 4 のとおり推察した。

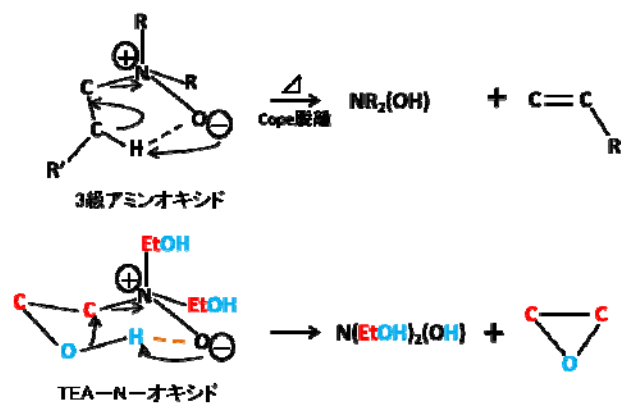
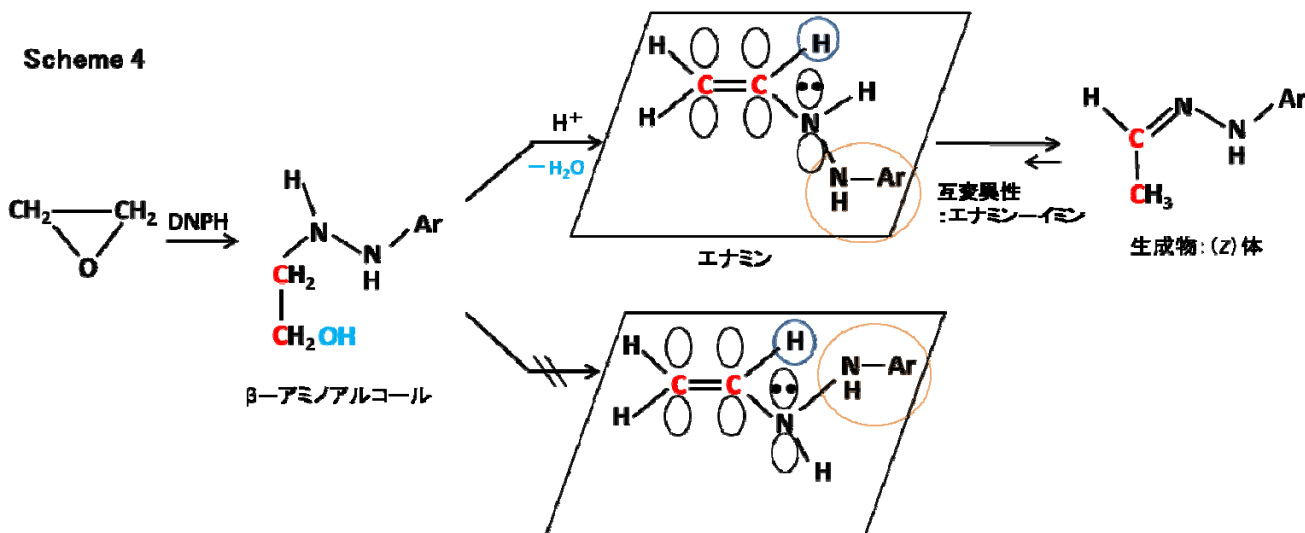
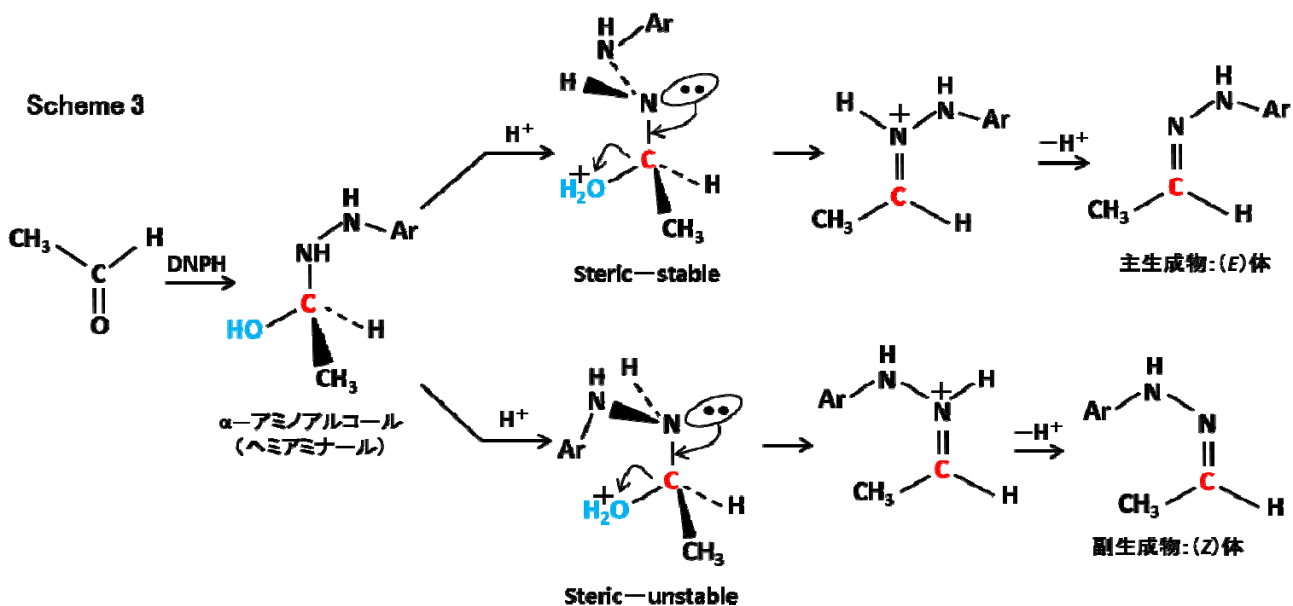


図 4 3 級アミノオキシド及び TEA-N-オキシドの遷移状態

TEA-N-オキシドの遷移状態は、水素結合によりヒドロキシル基と N 原子上の O 原子が相互作用し、さらに 6 員環構造であるため、5 員環構造の 3 級アミノオキシドよりも安定だと考えられる。そのため、活性化エネルギーが小さく、常温で分解反応が進行し、酸化エチレンが生成したと思われる。

酸化エチレンは、組成式 C $_2$ H $_4$ O であり、アセトアルデヒドとは構造異性体の関係にある。また、反応性という観点からも、アセトアルデヒド同様 DNPH (アミン化合物) により求核付加攻撃を受けるため、AA-ヒドラゾンを生成することが予想される。すなわち、図 2 (下) において生成した (Z)AA-ヒドラゾンは、アセトアルデヒドではなく、酸化エチレンと DNPH が反応して生成した AA-ヒドラゾンであると考えられる。

アセトアルデヒド及び酸化エチレンの反応経路を Scheme 3 及び Scheme 4 のとおり推察した。BPE/DNPH においては、大気中のアセトアルデヒドが α -アミノアルコールを経由して反応が進行するため、(E)体が主生成物になると考えられる。一方、TEA-BPE/DNPH においては、TEA-N-オキシドから脱離した酸化エチレンが、 β -アミノアルコール及びエナミンを経由して反応が進行するため、(Z)体が選択的に生成される⁴⁻⁵⁾ (副生成物の (E)体はアセトアルデヒド由来のものと考えられる)



6 まとめ

調査結果から、TEA はオゾンと反応して、ヒドロキシルアミン及び酸化エチレンに分解していることが示唆された。神奈川県及び川崎市と共同調査を行ったデニューダ法においては、大気中のオゾンがデニューダで除去され、それに伴い酸化エチレンが発生していたと考えることができる。そのため、標準測定法と比較して、捕集フィルタを通過したオゾンは減少したものの、VOC (酸化エチレン) については、むしろ増加していたことが考えられる。

捕集フィルタの材質である石英繊維は、VOC を吸着する⁶⁾。そのため、オゾン除去の効果と捕集フィルタへのVOC (酸化エチレン) 吸着のどちらの影響が、デニューダ法における OC 高濃度化に寄与していたのか断定はできなかった。

今後、他種アミンを用いて、さらなる調査を行う必要があると考えられる。

7 謝辞

PM2.5 共同調査に御協力いただいた、神奈川県環境科学センター及び川崎市公害研究所の方々に、心から感謝の意を表します。

8 参考文献

- 1) Schauer C, Niessner R, Pöschl U.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air particulate matter: decadal and seasonal trends, chemical degradation, and sampling artifacts. , *Environ Sci Technol.*, 37, p2861-2868 (2003)
- 2) 萩野浩之, 坂本和彦: 多重管デニューダを用いた微小粒子中の有機炭素測定法の比較, 大気環境学会誌, 46(3), p172-178 (2011)
- 3) Uchiyama S, Inaba Y, Kunugita N: A diffusive sampling device for simultaneous determination of ozone and carbonyls, *Analytica Chimica Acta.*, 691, p119-124 (2003)
- 4) 野村祐次郎: エナミンの化学, 有機合成化学協会誌, 19(11), p801-808 (1961)
- 5) 服部正平, 佐藤成美: Wittig 型反応によるエナミンの合成, 日本化学会誌, 10, p1780-1788 (1975)
- 6) 環境省 大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアル (2012)

鶴見川における農薬調査について(平成23年度)

酒井 学 (横浜市環境科学研究所)、多田 満 (国立環境研究所)

Investigation of Pesticides in the Tsurumi River (April 2011-March 2012)

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード: 農薬、河川水、オオミジンコ

要旨

横浜市内を流れる鶴見川5地点で82種類の農薬を調査した結果、ブロマシル(除草剤)、ジクロロボス(殺虫剤)、フェニトロチオン(殺虫剤)等、24種類の農薬が検出された。検出頻度の高い農薬は、22年度と同様にブロマシルであり、寺家川以外の4地点から、ほぼ年間を通して検出され、検出頻度は60%以上であった。最も高い濃度は、23年6月に寺家川から検出されたジクロロボス47 μ g/Lであり、施用に伴って一時的に河川水中の濃度が高くなったと考えられた。また、降雨時の調査を寺家川、しらとり川、鶴見川亀の子橋で実施したが、降雨時に農薬濃度が高くなる場合と低くなる場合があり、降雨による施用地からの農薬の流出以外に、取水堰の影響、雨水による希釈などいくつかの要因が関係しているものと思われる。寺家川、しらとり川、鶴見川亀の子橋の試料について、国立環境研究所でオオミジンコ生態影響試験を実施したところ、数検体で影響が認められ、農薬濃度と生態影響試験の結果を比較検討した結果、影響を与えた因子の一つとして、殺虫剤が推察された。

1. はじめに

農薬は、効率的な生産活動や緑地や土地の管理に有用であるが、環境中に排出された場合、低濃度でも周辺環境へ影響を及ぼすおそれがある。「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(化学物質排出把握管理促進法)」においても、人の健康や生態系に影響を及ぼすおそれがある物質として、第1種指定化学物質にシアナジン、ブロマシル、フェニトロチオン、ダイアジノン、ジクロロボス等、100種類以上の農薬関連物質が指定され、環境リスクを検討する際の重要な物質である^{1,2)}。また、平成24年の生物多様性国家戦略において、「農薬や化学肥料については、1950年代から1970年代にかけて急速に利用が拡大しましたが、こうした中で、不適切な農薬・肥料の使用は生物多様性に対して大きな影響を与えてきた要因の一つと考えられます。1990年代以降は農薬全体の製造量は低下し、農薬の安全性も高まってきているものの、生物多様性に与える影響については未だに懸念されています。」とあり、化学物質の生物多様性に対する懸念を示している³⁾。

しかし、農薬の場合、化学物質排出把握管理促進法の届出外排出量が多いため、農薬の出荷量、作付面積等から環境への排出量を推計しており^{1,2)}、環境実態について不明確な部分も残されている。横浜市環境科学研究所では、流域面積が広く、市内の代表的河川である鶴見川で農薬のモニタリング調査を行うとともに、平成22年度より降雨時について検討を加えており⁴⁻¹³⁾、今回平成23年度の調査結果の報告を行う。

2. 調査方法

2-1 試料採取

亀の子橋(鶴見川、横浜市港北区)、都橋(鶴見川支流恩田川、横浜市緑区)、寺家川(鶴見川支流寺家川・宮前橋より上流50m、横浜市青葉区)、奈良川(鶴見川支流奈良川と恩田川の合流点より奈良川側100m、横浜市青葉区)、しらとり川(鶴見川支流しらとり川と恩田川の合流点よりしらとり川側流路、横浜市青葉区)において、平成23年4月から平成24年3月まで、毎月1回(農薬の使用が多いと考えられる夏季は原則2回)、試料採取を行った。また、降雨時の調査として、平成23年6月11日、7月20日、9月5日に寺家川、しらとり川、鶴見川亀の子橋で調査を実施した。

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⁷⁾。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、カフェンストロール、キノクラミン(ACN)、クロロニトロフェン、シアナジン、ジクロベニル(DBN)、シハロホップブチル、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、ナプロバミド、ビフェノックス、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、ブロマシル、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

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(TPN)、クロロネブ、ジフェノコナゾール、チフルザミド、テブコナゾール、トリシクラゾール、トルクロホスメチル、ピロキロン、フサライド、フルトラニル、プロシミドン、ペンシクロン、ミクロブタニル、メタミノストロピン、メタラキシル、メプロニル、EDDP

殺虫剤：イソキサチオン、エチルチオメトン、エトフェンブロックス、クロルピリホス、クロルピリホスメチル、ジクロロボス、ダイアジノン、テブフェンピラド、パラチオン、ピラクロホス、ピリダフェンチオン、ピリプロキシフェン、ピリミホスメチル、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、フェントエート、プロプロフェジン、プロチオホス、 α -ベンゾエピン、 β -ベンゾエピン、ホサロン、マラチオン、メチダチオン、メチルパラチオン、EPN

成長調整剤：パクロボトラゾール

21、22年度は対象物質に除草剤のピペロホスを含めていたが、平成15年に農薬登録が失効し、21、22年度に検出されなかったことから、23年度は除外し、殺菌剤のトリシクラゾールを加えた。

3. 結果及び考察

表-1に調査結果を示し、表-2に検出された24種類の濃度範囲及び基準値、指針値等を示した。

3-1 除草剤

今回の調査では、エスプロカルブ、カフェンストロール、キノクラミン、シアナジン、シマジン、シメトリン、ピリブチカルブ、ピリミノバックメチル、プレチラクロール、ブロマシル、プロモブチド、ベンフレセート、メフェナセット、モリネートの14種類が検出され、環境基準値や指針値等が設定されている除草剤について、これらの濃度を超えるものは認められなかった。平成17年の調査で⁷⁾、寺家川、都橋、亀の子橋等で検出されたチオベンカルブは、昨年度同様、いずれの地点からも検出されず、23年度ほとんど使用されていないものと思われる。かながわのPRTRによるチオベンカルブの推計排出量（横浜市全体）も、これを裏付けるもので（図-1）、平成19年度以降、チオベンカルブの市内環境への排出減を示している²⁾。

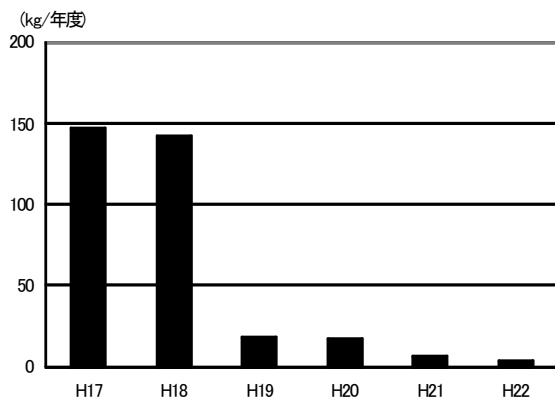


図-1 PRTR データによるチオベンカルブの排出量

図-2に寺家川におけるメフェナセットとブロマシルの濃度を示し、図-3にしらとり川におけるメフェナセットとブロマシルの濃度を示した。寺家川では、水田用除草剤メフェナセットが6月29日に1.4 μ g/L 検出されたが、駐車場等の土地管理に使用される例の多いブロマシルは検出されなかった。一方、しらとり川では、メフェナセットが検出されず、ブロマシルがほぼ年間を通して検出され、全く異なる検出挙動を示した。ブロマシルは鶴見川中流の亀の子橋でも50%を超える頻度で検出されており、今回最も検出頻度の高い農薬であった。これは、ブロマシルの使用量が21年度、1900kg（推計値）と比較的多いこと²⁾及び土壤中で長期間効果があり¹⁴⁾、分解が比較的遅いことが関係しているものと思われる。一方、22年度市内における使用量の多いシアナジン（市内環境への年間排出量3390kg）²⁾及びジクロベニル（市内環境への年間排出量2680kg）²⁾は河川からの検出例が少なかった。

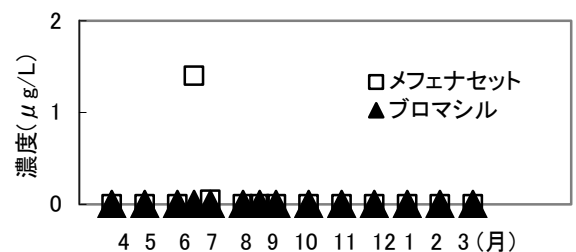


図-2 寺家川のブロマシル及びメフェナセット

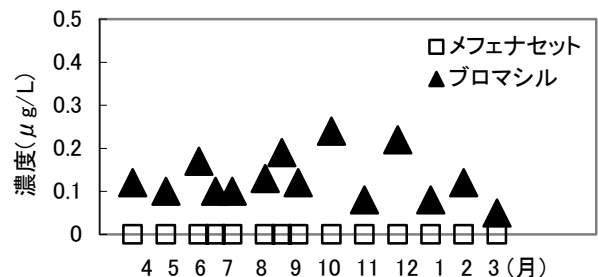


図-3 しらとり川のブロマシル及びメフェナセット

3-2 殺菌剤

イプロベンホス、トリシクラゾール、チフルザミド、ピロキロンの4種類が検出されたが、検出頻度は少なかった。最高濃度も、イプロベンホスの0.60 μ g/Lであり、22年度（寺家川で、ピロキロンが1.5 μ g/L、都橋でイプロベンホスが1.0 μ g/L）¹³⁾より低い濃度であった。水稻用の殺菌剤で、全国的に使用量が多いとされるフサライドについては¹⁾、PRTR データ上、神奈川県内の使用量が0kg(22年度)であり²⁾、過去の調査同様、検出されなかった。

表-1 分析結果 (濃度: µg/L)

物質名	平成23年4月18日					平成23年5月23日					平成23年6月9日					平成23年6月29日					平成23年7月11日				
	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5
エスプロカルブ																0.12									
カブエンストロール																0.08	0.05								
キノクラミン						0.09										0.29	0.43								
シアラジン										0.12															
シマジン						0.05							0.08												
シメトリン											0.07					0.37			0.22	0.11	0.25				0.08
ヒリブチカルブ											0.06			0.05											
ピリミノバツクメチル														0.10											
プレラクロール						0.15	0.10	0.19	0.17		0.12	0.17	0.13	0.13	0.13	0.05	0.10	0.05	0.08	0.08	0.11	0.10	0.07	0.07	0.05
プロマシル						0.12	0.07				0.58	1.6	1.1	0.36	0.52	0.07		0.12	0.12	0.12	0.05				
プロモプチド											0.05					1.7		0.15	0.09	0.08					0.05
ペンフレセート											1.7					0.20									
メフエチセット																									
モリネート																									
イプロベンホス																									
ヒロキロン																									
ジクロールボス						1.2				0.07						1.8				0.06					
ダイアシロン											0.12														
ファイロニル						0.05	0.05			0.05	0.08	0.05													
フエニトロチオン						0.39	0.39			0.23	0.07							0.06	0.35	0.19	0.12				0.56
フェノプロカルブ												5.6		0.49	0.29	0.23	0.06								

物質名	平成23年8月1日					平成23年8月18日					平成23年9月15日					平成23年10月18日					平成23年11月14日				
	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5
キノクラミン																									
プロマシル						0.41																			
ジクロールボス						0.12	0.13	0.11	0.18		0.05	0.19	0.07			0.10	0.12	0.18	0.06	0.19	0.08	0.10	0.15	0.24	0.19
ファイロニル						0.08																			
フエニトロチオン											0.08									0.30					0.08
フェニトロチオン										0.05															0.05

物質名	平成23年12月5日					平成24年1月17日					平成24年2月1日					平成24年3月5日									
	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5	st1	st2	st3	st4	st5					
プロマシル						0.09	0.22	0.16	0.12							0.12	0.12				0.13	0.05	0.05		0.05
ファイロニル																									

st1: 寺家川, st2: 奈良川
 st3: しろとり川, st4: 都橋
 st5: 亀の子橋

表—2 検出された農薬の濃度範囲と基準値、指針値

物質名	検出された濃度範囲 ($\mu\text{g/L}$)	人の健康の保護に関する環境基準値、指針値($\mu\text{g/L}$)	水質汚濁に係る農薬登録保留基準($\mu\text{g/L}$)	水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準($\mu\text{g/L}$)	公共用水域等における水質評価指針値($\mu\text{g/L}$)
エスプロカルブ	0.12		20		10以下
カフェンストロール	0.52~0.05		7		
キノクラミン	0.52~0.09			6.3	
シアナジン	0.12~0.08				
シマジン	0.31~0.05	3以下			
シメトリン	0.37~0.08			6.2	60以下
ピリプチカルブ	2.8~0.07		23	10	
ピリミノバックメチル	0.06~0.05			5900	
プレチラクロール	0.10		47		40以下
プロマシル	0.24~0.05				
プロモブチド	1.6~0.05		100	480	40以下
ベンフレセート	0.08~0.05				
メフェナセット	1.7~0.05		10	32	9以下
モリネート	0.20~0.06				5以下
殺菌剤					
イプロベンホス	0.60~0.09	8以下	93	270	
チフルザミド	0.20~0.17			140	
トリシクラゾール	0.11				100以下
ピロキロン	0.19			3300	
殺虫剤					
ジクロルボス	47~0.05 (注)	8以下			
ダイアジノン	0.12	5以下			
フィプロニル	0.08~0.05			19	
フェニトロチオン	0.56~0.05	3以下			
フェノブカルブ	5.6~0.06	30以下		1.9	
フェンチオン	0.48				

空欄は基準値、指針値等が未設定。

検出された農薬及び濃度範囲には降雨時の調査を含む

(注) ジクロルボスの指針値は、年平均で、 $8\mu\text{g/L}$ 以下である。一時的に $8\mu\text{g/L}$ を超えた地点が認められたが、年平均では $8\mu\text{g/L}$ 以下であった。

表—3 降雨時の調査結果

(1) 平成23年6月11日				(2) 平成23年7月20日			
項目、物質名	調査地点			項目、物質名	調査地点		
	寺家川	しらとり川	亀の子橋		寺家川	しらとり川	亀の子橋
水温	21.0	21.0	21.4	水温	26.0	24.3	26.8
pH	7.7	7.8	7.4	pH	7.7	8.3	7.4
電気伝導度	160	90	170	EC	180	240	300
濁度	48.2	8.3	18.1	濁度	7.1	2.2	6.1
カフェンストロール	0.52	nd	nd	シメトリン	0.12	nd	nd
キノクラミン	0.52	nd	nd	プロマシル	nd	0.10	0.09
シアナジン	nd	nd	0.08	モリネート	0.06	nd	nd
シマジン	nd	0.31	nd	イプロベンホス	0.15	nd	nd
ピリプチカルブ	2.8	nd	nd				
プロマシル	nd	0.09	0.12				
プロモブチド	0.43	nd	0.13				
メフェナセット	nd	nd	0.11				
チフルザミド	0.17	nd	nd				
ジクロルボス	0.15	nd	nd				
フェニトロチオン	nd	0.13	0.09				
フェノブカルブ	nd	nd	0.15				
フェンチオン	0.48	nd	nd				

(3) 平成23年9月5日			
項目、物質名	調査地点		
	寺家川	しらとり川	亀の子橋
水温	26.0	24.0	26.0
pH	7.9	8.1	7.4
EC	180	180	220
濁度	5.4	4.8	10.5
プロマシル	nd	0.19	0.13
チフルザミド	0.20	nd	nd
トリシクラゾール	0.11	nd	nd

水温： $^{\circ}\text{C}$ 、EC：電気伝導率 $\text{mS/m}(25^{\circ}\text{C})$
 農薬濃度： $\mu\text{g/L}$

表—4 殺虫剤のオオミジンコに対する急性毒性及び予測無影響濃度

物質名	検出された濃度範囲 ($\mu\text{g/L}$)	オオミジンコに対する 48h-EC ₅₀ ($\mu\text{g/L}$)	水生生物に対する予 測無影響濃度 ($\mu\text{g/L}$)
殺虫剤 ジクロルボス	47~0.05 (注)	0.20 *	0.0013 ***
ダイアジノン	0.12	0.87 *	0.00026 ***
フィプロニル	0.08~0.05	190 **	
フェントロチオン	0.56~0.05	0.75 *	0.00021 ***
フェノブカルブ	5.6~0.06	13 *	0.0030 ***
フェンチオン	0.48	1.0 *	

*: 参考資料15, **: 参考資料16, ***: 参考資料17
空欄は水生生物に対する予測無影響濃度が未測定

3-3 殺虫剤

ジクロルボス、ダイアジノン、フィプロニル、フェントロチオン、フェノブカルブ、フェンチオンの6種類が検出された。

ジクロルボスは、寺家川、都橋、亀の子橋から検出され、最も高い濃度は、平成23年6月29日の47 $\mu\text{g/L}$ であった。平成9年度の調査⁵⁾及び平成22年度の調査¹³⁾においても寺家川から40 $\mu\text{g/L}$ を超えるジクロルボスを検出しており、施用に伴い一部が河川へ流入し、一時的に河川水中の濃度が高くなったものと考えられた。なお、環境基準(要監視項目)で、指針値は、8 $\mu\text{g/L}$ 以下(年平均)である(表—2)。23年度、一時的に8 $\mu\text{g/L}$ を超える濃度が検出されたが、年平均ではいずれの地点も8 $\mu\text{g/L}$ 以下であり、指針値を満たしていた。

フェントロチオンは、亀の子橋、都橋、奈良川で複数の試料から検出され、特に亀の子橋では、4~7月にかけて、毎月検出された。22年度は、冬季に0.5 $\mu\text{g/L}$ を超えるフェントロチオンが検出されたが¹³⁾、23年度の冬季は、いずれの地点からも検出されなかった。フェントロチオンは22年度、6380kg/年と、今回調査した殺虫剤の中で最も市内使用量の多い農薬であり²⁾、施用した一部が河川へ流出したのと考えられた。

3-4 降雨時の調査

降雨時の調査結果を表—3に示した。6月9日(晴天時)と6月11日(降雨時)の結果を比較すると、寺家川のジクロルボス濃度は、1.8 $\mu\text{g/L}$ (6月9日)から、0.15 $\mu\text{g/L}$ (6月11日)と大きな濃度減少が認められる一方、ピリブチカルブは、降雨時の方が高い濃度(2.8 $\mu\text{g/L}$)となり、チフルザミド、フェンチオンなども6月9日はndであったが、6月11日には河川水から検出された。

また、しらとり川では6月9日ndであったフェントロチオンが6月11日には検出(0.13 $\mu\text{g/L}$)され、亀の子橋では0.35 $\mu\text{g/L}$ であったフェントロチオン

濃度が、降雨時には0.09 $\mu\text{g/L}$ へ減少するなど、晴天時と降雨時を比較して、濃度変化は一定の傾向を示さなかった。これは、降雨時、施用地からの流出以外に、取水堰が開放され、せき止められていた河川水が流下したり、雨水による希釈が生じたりと、多くの要因が関与するためと考えられた。

9月5日にも降雨時の調査を実施したが、最も高い濃度は、チフルザミドの0.20 $\mu\text{g/L}$ (寺家川)であり、6月と比較して農薬の使用も減っていると考えられ、降雨による施用地からの流出等は小さいと思われた。

3-5 生態影響試験

今回の調査では、環境基準値(年平均値)、指針値等が設定されている農薬について、基準値等を超えている農薬は認められなかった。しかし、オオミジンコに対するEC₅₀^{15,16)}、水生生物への予測無影響濃度¹⁷⁾報告されている農薬について、上回る濃度が検出され、生態系への影響が懸念される結果であった(表—4)。22年度同様、国立環境研究所で、オオミジンコ繁殖試験(OECD TG211)を寺家川、しらとり川、鶴見川亀の子橋の河川水について毎月実施したところ、4月18日、6月9、11、29日の寺家川、10月18日の寺家川、鶴見川亀の子橋、2月1日のしらとり川で影響が認められた¹⁸⁾。6月及び10月の寺家川、鶴見川亀の子橋については、検出された濃度と報告値等との比較から、殺虫剤(ジクロルボス)がオオミジンコに対する48h-EC₅₀(0.20 $\mu\text{g/L}$)¹⁵⁾を大きく超えており、因子の一つと考えられたが、2月のしらとり川については、オオミジンコに対して、殺虫剤より毒性が低いとされる除草剤のプロマシル(オオミジンコに対する48h-EC₅₀:119000 $\mu\text{g/L}$)¹⁹⁾以外検出されておらず、オオミジンコに影響を与えた因子は明らかでなかった。

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 23 年度は 24 種類が検出された。22 年度同様、除草剤のプロマシルが最も検出頻度が高く、寺家川以外の 4 地点から検出されたが、いずれも $0.5 \mu\text{g/L}$ 以下の濃度であった。最も高い濃度は、ジクロルボスの $47 \mu\text{g/L}$ であり、施用にともない、一時的に河川に流出したものとされた。

環境基準値（年平均値）、指針値等が設定されている農薬について、基準値等を超過している農薬は認められなかった。しかし、オオミジンコ繁殖試験を寺家川、しらとり川、鶴見川亀の子橋の河川水に適用した結果、数検体で影響が観察され、殺虫剤が生態影響の因子の一つと考えられた。環境中における生態系への影響については不明確な部分があるものの、今後、生きものにやさしいまちづくりや、生物多様性を推進する上では、化学物質に対する配慮が重要と思われた。

参考資料

- 1) 環境省:PRTR インフォメーション広場、
<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>
- 2) 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/>
- 3) 環境省:生物多様性国家戦略 2012-2020、
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/wakaru/initiatives/index.html>
- 4) 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)。
- 5) 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 2 報)、横浜市環境科学研究所報、**22**、55-62 (1998)。
- 6) 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)。
- 7) 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)。
- 8) 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)。
- 9) 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)。
- 10) 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)。
- 11) 酒井 学:鶴見川における農薬調査について(平成 20 年度)、横浜市環境科学研究所報、**34**、65-69 (2010)。
- 12) 酒井 学:鶴見川における農薬調査について(平成 21 年度)、横浜市環境科学研究所報、**35**、41-46 (2011)。
- 13) 酒井 学、多田 満:鶴見川における農薬調査について(平成 22 年度)、横浜市環境科学研究所報、**36**、40-45 (2011)。
- 14) CBC 株式会社:
<http://www.cbc.co.jp/service/medicine/agro-product/agro.html>
- 15) M. Kikuchi, Y. Sasaki, and M. Wakabayashi, Screening of organophosphate insecticide pollution in water by using *Daphnia magna*, *Ecotoxicol, Environ Safety*, **47**, 239-245 (2000)。
- 16) 環境省:水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準の設定に関する資料 フィプロニル、2011。
- 17) 環境省:化学物質ファクトシート 2012 年版、2012。
- 18) 多田 満、投稿準備中。
- 19) Dow Agro Sciences, Material Safety Data Sheet, Savanna 500SC, 2003。

帷子川におけるアユの分布と産卵場に関する研究

樋口文夫、阿久津 卓、渾川直子、村岡麻衣子、川田 攻、七里浩志
(横浜市環境科学研究所)

Studies on the spawning ground and distribution of Ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in Katabira river

Fumio Higuchi, Takashi Akutsu, Naoko Nigorikawa, Maiko Muraoka, Kou Kawada, Hiroshi Shichiri
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：アユ 分布 産卵場 物理的環境 帷子川

要旨

帷子川を対象にアユの流程分布と河川環境との関係、産卵場選択等について検討した。調査は2010年～2012年の期間、調査範囲は、流程分布が今川橋から柳橋の約6.3kmの範囲、産卵場調査は今川橋から新道下までであった。確認された魚種(2011年)は、7科22種、アユ、オイカワ、ウグイ等の個体数が多かった。アユの遡上と流程分布は、5月に分水路末端まで遡上し、7月、8月までに分布上限地点に至った。これらの経過時間は、河川構造物、河川水位等に影響されていた。流程分布の特徴は、上流、中流の区間で観察個体数が多く、小集団の群れがバッチ状に分布していた。地点により体サイズが異なっていた。繁殖期、アユ集団は、10月までは上流に分布していたが、11月に降下していた。産卵場の位置は、下流の淡水域末端から上流の1.2kmの範囲で、産卵場数は年により変化し、安定した産卵場は少なかった。繁殖期間は10月～12月と推定した。産卵場の物理的環境要因は、瀬の面積が大きく、小礫の浮石状態の場所が選択されていた。卵付着礫は長径30mm以下が多かった。以上、都市河川におけるアユの生態学的知見から、生物多様性の保全、再生に向けての基礎的資料が得られた。

1 はじめに

都市河川の河川生態系の保全、再生に向けて、川から海までの流域を含めた範囲の広い河川環境を考えることが重要となってきた。海から遡上し、川を利用する魚種、アユ等の通し回遊魚の存在は、都市の中で河川生物群集の多様性を創造していくための指標種としての役割を持っている。

一方、アユは、他の大河川では内水面漁業、遊魚上の重要な魚種となっており、毎年、湖産、海産、人工産アユ等¹⁾が放流され、混合集団として存在している。最近、放流アユの病気等の問題、資源の枯渇で、天然、すなわち、海産の地域集団の再生が望まれるようになってきた²⁾。市内の都市河川では、今まで、イベント等での放流情報がなく、海産の地域個体群が多く遡上しているものと推測される。これらのことから、都市河川に生息するアユ集団の分布と河川環境の関係、繁殖生態を把握することは、意義あるものと考えられる。

ところで、横浜市内河川では、生物モニタリング調査³⁾を1976年から実施しており、魚類相変遷の中で、1990年までアユが確認されなかった。その後、水質改善等が進むとともに、1993年より市内河川で多く確認されるようになり、さらに、2007年には帷子川で初めて産卵が確認された⁴⁾。その後、アユが確認された河川では産卵が行われていることが明らかになった。そこで、前回、大岡川のアユに注目して、繁殖集団の分布、産卵場選択

条件を解析してきたのであった⁵⁾。

これら調査報告は、1都市河川におけるアユの分布と繁殖生態に関する報告である。地域集団の保全、再生を考えていく上で、他の地域集団の特徴等を把握することが必要と考えた。今回、対象とした帷子川は、大岡川に近接して流れ、同じ横浜港に流入する河川として、今後、海域集団の系統的な特徴、集団間の関係や、メタ個体群の安定、維持を考えていく上での基礎的資料となるものと考えた。

以上のことから、今回、生物多様性の保全、再生に向けて、帷子川を対象に河川環境とアユの流程分布、産卵場との関係について解析したので報告する。

2 調査方法

調査地点、調査範囲を図-1に示した。帷子川は全長17km、流域面積57.9m²の2級河川である。

分布調査は、河口からの距離が9.5km～4.1kmの区域に、上流から今川橋(ST.1)、二俣川合流点の今川橋下流(ST.2)、鶴舞橋(ST.3)、島越橋上流(ST.4)、島越橋(ST.5)、上逆田橋(ST.6)、稲荷橋(ST.7)、新道下(ST.8)の8地点で採集調査を行った。流程分布調査は、今川橋から柳橋までの約6.3kmを踏査による目視観察によって実施した。産卵場調査は、鶴舞橋、島越橋上流、稲荷橋、両郡橋、宮崎橋、和田橋、平和橋、新道下の9地

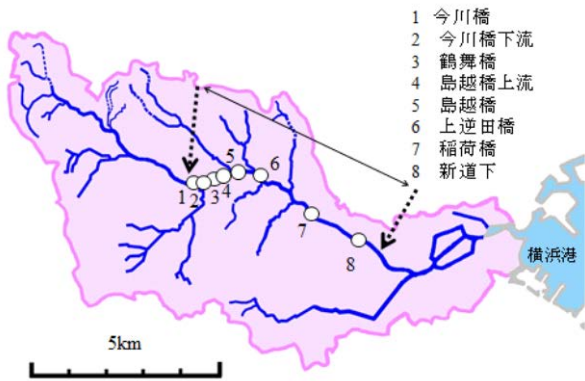


図-1 帷子川の調査地点と凡例（地点番号と地点名）、○：分布調査地点、↓：流程分布の調査範囲、帷子川の全長 17km、流域面積 57.9km²

点で行い、その対象地点は、基質が礫の瀬を選択した。

調査時期は、分布調査が 2011 年 4 月～8 月、流程分布調査が 2012 年 4 月～8 月、産卵場調査が 2010 年、2011 年度の 10 月～2 月、2012 年 11 月に行った。

調査方法は、魚類の採集方法がタモ網（D 型フレームネット、網目 1.5mm）、投網（16 節、900 目）を用いた。アユの流程分布調査は、偏光メガネ、双眼鏡を用いた。目視観察の調査方法は、観察個体数が 200m の区間、10×10m の区画で、1 区間 3 区画について計測し、その内の最大値を区間観察個体数とした。個体数区分は、10 尾以下を＋、11～30 尾を＋＋、31 尾以上を＋＋＋の 3 区分とした。体長区分は、推定体長が 5～10cm、11～15cm、16～20cm の 3 区分として記録し、区分別に 1 区間 3 区画の最大値としてまとめた。目視観察は、なるべく透明度が良い日を選択し、水深のある淵等では観察不可能の場合もあったが、他の区域で区間の値とした。なお、目視による体長区分は、調査後に代表地点で採捕し、体長の確認を行った。

産卵場の確認は、調査区間内の 6 地点の瀬を対象に 3～4 人で礫等を採取して、付着卵の有無を目視確認した。卵が確認された場所を産卵場として、付着基質の長径、短径をノギスで測定

し、付着卵数を計測した。なお、これらの卵が付着した基質は測定後、もとの場所に戻した。産卵場の環境は、以下の項目、測定方法で調査した。

物理的環境項目は、流れ幅、水深、流速、貫入度、基質性状等で、瀬の代表的な地点と卵確認場所等で測定した。

測定方法は、流れ幅（m）、水深（cm）が折尺で測定し、流速は携帯型電磁流速計（KENEK VE10）を用い、60%水深で 5 回測定 of 平均値とした。貫入度の測定はシノを用いて計測した⁹⁾。基質性状は、50cm×50cm 枠の中で、砂（粒径<2mm）、小礫（2～16mm）、中礫（17～64mm）、大礫（65mm<）、岩盤（軟質の砂泥岩）の分類に従って目視で測定した。流程分布調査時に 10×10m 区画の 3 区画における基質性状の岩盤、礫等の被覆割合を目視で計測し、平均値で示した。瀬と淵の占有割合は、1/2500 の都市計画図⁷⁾上に記録し、200m の区間別に算出した。瀬と淵の区分はハビタット⁸⁾の早瀬、平瀬を瀬、とろ、淵を淵とした。

水質測定項目と方法は、水質が水温（℃）、pH、電気伝導率（mS/m）（以下、EC）、溶存酸素量（mg/L）（以下、DO）の 4 項目をアルコール水温計、携帯型 pH 計（東亜 DKK HM-20P）、携帯型 EC 計（東亜 DKK CM-14P）、携帯型 DO 計（東亜 DKK）を用いて行った。

解析方法は、データの正規性の検定を行い、正規性を示さなかった項目は、対数変換（log₁₀（1+変数））、逆正弦変換（asin√変数）を行った。標準体長の地点別比較は、多重比較検定で解析した。産卵場の物理的環境要因では、卵が確認された場所（以下、瀬＋と略記）、未確認の場所（以下、瀬－と略記）の環境要因等を検定で比較を行った。卵付着基質サイズの比較、付着卵数と基質サイズとの相関関係を解析した。また、遡上調査期間の河川水位は、今川橋の観測点の 10 分間データから日最大河川水位⁹⁾、降水量は、横浜気象台の日降水量計¹⁰⁾を用いた。

3 結果

3-1 河川環境と水質環境

河床勾配と河川構造物の位置等を図-2、代表的な河川構造物を写真-1、2、3に示した。調査対象区域に設置されている構造物は、上流の今川橋まで 13 基、落差 1m 以上が 8 基、50cm

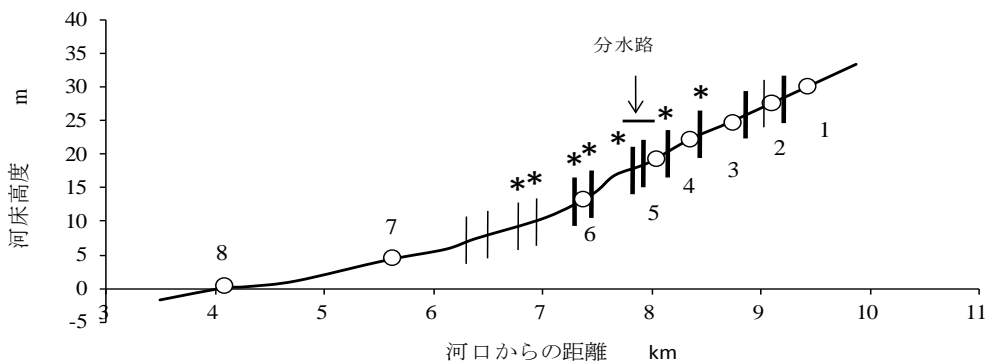


図-2 河床勾配と河川構造物の位置等、縦線：構造物の位置、太線が落差高 1m 以上、細線が 0.5m 以下、*：魚道設置、○と地点番号は図-1 と同じ



写真-1 水道橋上流、魚道のない落差工



写真-2 魚道が設置された落差工 (ST. 5、島越橋)



写真-3 分水路の上端の落差工 (愛宕橋)

以下が5基であった。この中で、石積の傾斜落差工が2基、魚道等が設置されている落差工が5基の計7基であった。魚道が未設置で、落差高の大きい構造物は、分水路の上端(愛宕橋)、水道橋上流と今川橋の二俣川の合流点、いずれも落差高1m以上の3基で、河口からの距離がいずれも8km以上にあった。河口から6.2kmの新橋までは河川構造物は設置されていなかった。

調査期間中、両郡橋から和田橋の下流域では護岸再改修のた

めの工事が施工されていた。

水質環境は、2011年5月19日～8月16日の期間に測定した結果を、項目別に平均値±標準偏差で示すと、水温が、 $21.7 \pm 5.7^{\circ}\text{C}$ 、pHが 9.7 ± 5.1 、EC(電気伝導率)が $24.9 \pm 4.4\text{mS/m}$ 、DO(溶存酸素量)が $9.9 \pm 1.1\text{mg/L}$ 、標本数22であった。

3-2 魚類相等

魚類、大型十脚目甲殻類の月別の採集リストを表-1に示し、地点別の魚種組成を図-3に示した。

表-1 帷子川の採集魚類、大型十脚目のリスト、●：確認種

No	種名	4月	5月	6月	7月	8月
1	コイ(イロゴイ)	●	●		●	●
2	キンギョ					●
3	タイリクバラタナゴ			●		
4	オイカワ		●	●	●	●
5	アブラハヤ			●	●	●
6	ウグイ	●	●	●	●	●
7	マルタ					●
8	モツゴ			●		
9	タモロコ		●			
10	ドジョウ			●		●
11	シマドジョウ			●		●
12	ホトケドジョウ			●		
13	ギバチ				●	●
14	アユ		●	●	●	●
15	メダカ			●		●
16	コトヒキ					●
17	スミウキゴリ				●	●
18	ウキゴリ					●
19	ビリンゴ					●
20	マハゼ					●
21	トウヨシノボリ		●		●	●
22	ヌマチチブ	●	●			●
種数		3	7	10	8	18
1	ミズレヌマエビ					●
2	カワリヌマエビ属			●		
3	テナガエビ					●
4	アメリカザリガニ			●		●
5	モクズガニ				●	●
種数		0	0	2	1	4

採集魚類は、全体で7科22種、生活環別に見ると、純淡水魚が4科13種、通し回遊魚が3科8種、周縁性淡水魚が1科1種であった。採集個体数は、合計378中、オイカワが38%、アユが34%、ついでウグイが8%の順であった。分布数では延べ調査地点23の内、アユが74%、オイカワが70%、ウグイが48%の分布割合であった。

地点別の魚種組成は、オイカワがST.1～ST.8、アユがST.2～ST.8まで出現し、オイカワの出現割合が高かった。ウグイは、ST.3～ST.6に出現し、ヌマチチブはST.4で出現していたが、下流のST.8の出現割合が高かった。

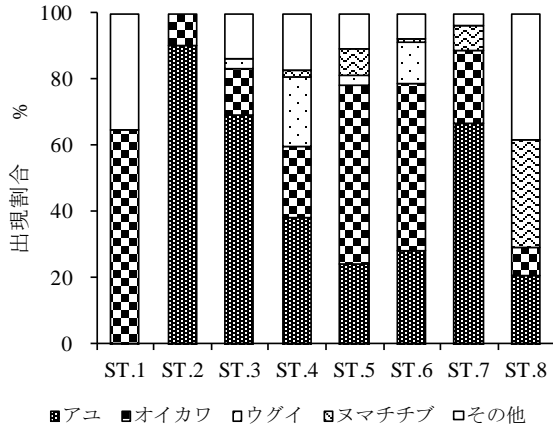


図-3 地点別の魚種組成

人為的に移入されたと思われる種類としては、コイ、ウグイ、オイカワ、ギバチ等があげられる。なお、コイは採集個体数の解析から除いたが、2012年の踏査による目視観察調査では、成魚が500~900尾の範囲で計測され、主な分布は比較的大きな淵であった。

十脚目甲殻類は、全体で4科5種が確認された。採集個体数では合計30の内、アメリカザリガニが37%、テナガエビが23%、ミズレヌマエビが20%の順に多かった。分布地点割合ではアメリカザリガニが22%、モクズガニが9%であった。

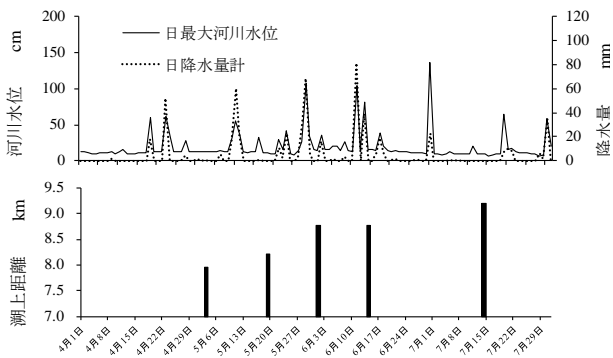


図-4 河川水位等と湖上距離との関係、分水路から湖上上限までの範囲 (2011年)、図-7も同じ

3-3 アユの湖上と流程分布

3-3-1 2011年の湖上時期と体長分布

河川水位等と湖上距離との関係は図-4、標準体長の分布は月別、地点別に図-5、6に示した。

4月20日より観察を開始し、河口からの距離8kmの分水路上流、下流を中心に調査を行った。その結果、5月3日に下流の逆田橋から分水路上端までアユの湖上が確認された。この上端には落差高1m以上の落差工があり、アユは飛び跳ねによる湖上行動を示すが、到達点が落差高の1/3であり湖上は確認されなかった。その後、5月19日、この分水路より1区間上流まで分布

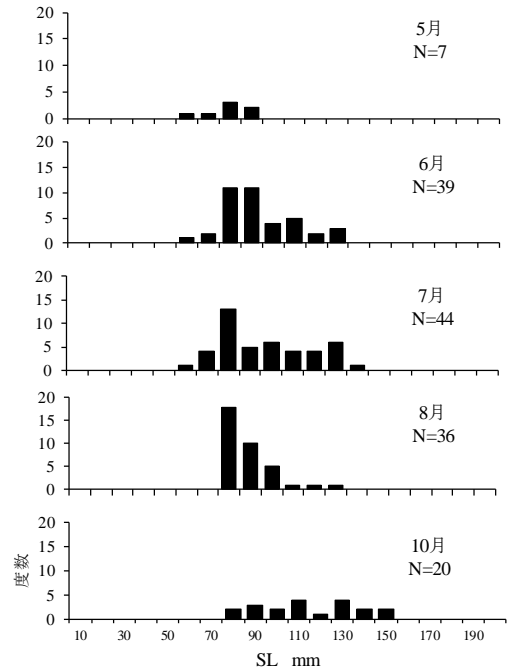


図-5 月別の標準体長分布

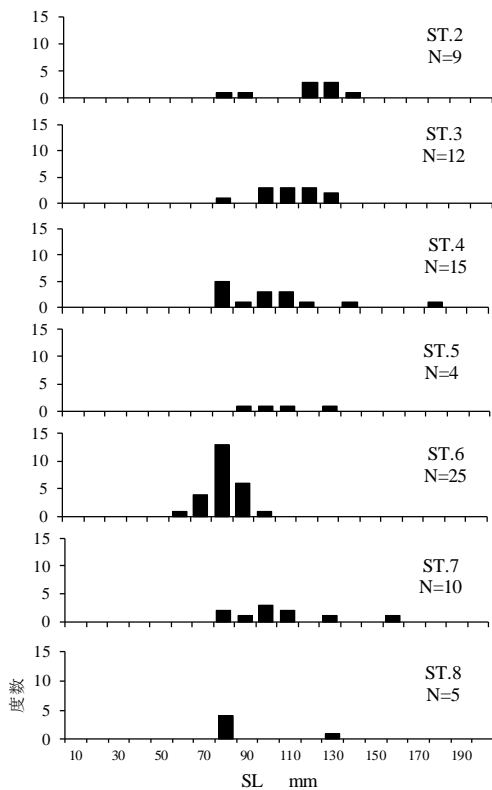


図-6 地点別の標準体長分布 (7、8月)

が拡大されていた。この期間の河川水位等は、5月11日の今川橋の日最高水位が約60cm、日降水量計が69mmの値が最大であった。その後、6月1日、6月14日に鶴舞橋まで拡大し、7月14日に今川橋下流の分布上限地点で確認された。この期間の最高水位60cm以上の日数が4日であった。

標準体長 (mm) の月別の平均値±標準偏差 (標本数) は、5

月が 80.6 ± 10.5 (7)、6月が 98.0 ± 17.1 (39)、7月が 102.1 ± 20.7 (44)、8月が 105.2 ± 24.2 (36)、10月が 118.2 ± 22.4 (20) であった。体長分布は5月が狭い範囲の低い山、6、7月になると生長し、分布範囲が広がっていた。8月は狭くなり、90mm以下の小型のアユが多かった。10月は80~150mmとなっていた。

地点別の標準体長は、例数が少ないことと月間の差があまりなかったため、7、8月を合わせて検討した。

体長分布は、ST.6（上逆田橋）を除いて、80~140mmの範囲の低い山、ST.6が80~90mmにピークがある山を形成した。平均値の比較では、ST.6で低い値を示し、ST.2（今川橋下流）、ST.3（鶴舞橋）、ST.4（島越橋上流）ST.7（稲荷橋）との間に有意差を示した（シェッフエF検定、 $F_{6,73}=8.877$ 、 $p<0.001$ ）。

調査時期の水温の平均値±標準偏差（標本数）は、4月20日が $13.9 \pm 1.0^\circ\text{C}$ (2)、5月19日が $20.1 \pm 1.9^\circ\text{C}$ (3)、6月14日が $18.6 \pm 1.3^\circ\text{C}$ (6)、7月13日が $23.3 \pm 7.9^\circ\text{C}$ (5)、8月9日が $27.0 \pm 3.5^\circ\text{C}$ (5)、8月16日が $26.6 \pm 1.6^\circ\text{C}$ (2) であった。

3-3-2 2012年の遡上時期と流程分布の季節変化

河川水位等と遡上距離との関係を図-7、定性的な量的区分、体長区分を基に区間別に流程分布の季節変化を示したのが表-2である。

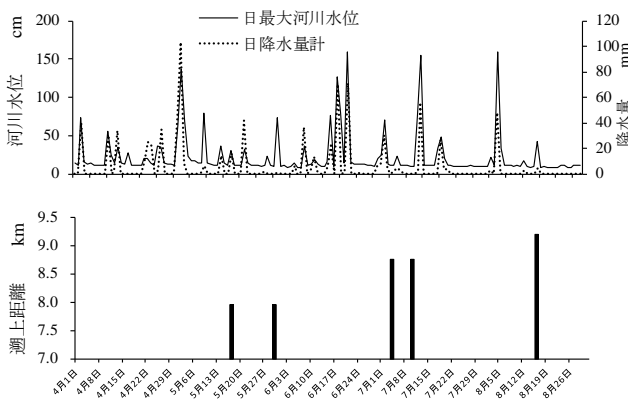


図-7 河川水位等と遡上距離との関係（2012年）

調査の範囲は、今川橋から柳橋の6.3kmで、新道下から柳橋までは感潮域であった。遡上調査は、4月24日、4月30日、5月5日、8日までアユが観察されなかった。遡上は、5月17日に上流の分水路上端の落差工で、飛び跳ね行動によって確認された。下流の上逆田橋、両郡橋の確認区間は、観察個体数が少なかった。5月30日、分水路より上流では、未確認、下流では新橋から宮崎橋までの区間で、体長サイズが5~10cm、量的には++、+++の区分で分布してきた。7月10日、魚道が設置された2基の落差工より上流の鶴舞橋（ST.3）で観察個体数が多かった。8月16日、水道橋の落差工より上流、ST.2の今川橋下流（二俣川合流点）の分布上限地点で観察され、下流区間でもほぼ全区間で分布が観察された。特に、鶴舞橋から島越橋、河口からの距離8~9km、新橋から両郡橋の区間、河口からの距離5.2~6.4kmの範囲で観察個体数が多く、体長区分も5~20cmの範

表-2 アユの流程分布の季節変化

河口からの距離 (km)	地点	区間	月日		5/17	5/30	7/10	8/16	10/10	11/14
			量的区分	体長区分						
9	ST.1	今川橋	5-10	11-15						
			16-20							
	ST.2	今川橋下流	5-10	11-15						
			16-20							
	水道橋	5-10	11-15							
		16-20								
ST.3	鶴舞橋	5-10	11-15							
		16-20								
中根橋	5-10	11-15								
	16-20									
ST.4	島越橋上流	5-10	11-15							
		16-20								
ST.5	島越橋	5-10	11-15							
		16-20								
分水路	5-10	11-15								
	16-20									
中田橋	5-10	11-15								
	16-20									
ST.6	上逆田橋	5-10	11-15							
		16-20								
新幹線下	5-10	11-15								
	16-20									
学校橋	5-10	11-15								
	16-20									
自然岩盤	5-10	11-15								
	16-20									
落差工	5-10	11-15								
	16-20									
鷺山橋	5-10	11-15								
	16-20									
新橋	5-10	11-15								
	16-20									
かるがも橋	5-10	11-15								
	16-20									
川島橋	5-10	11-15								
	16-20									
ST.7	稲荷橋	5-10	11-15							
		16-20								
稲荷橋下流	5-10	11-15								
	16-20									
両郡橋	5-10	11-15								
	16-20									
光栄橋	5-10	11-15								
	16-20									
宮崎橋上流	5-10	11-15								
	16-20									
宮崎橋	5-10	11-15								
	16-20									
和田橋	5-10	11-15								
	16-20									
平和橋	5-10	11-15								
	16-20									
ST.8	新道下	5-10	11-15							
		16-20								

囲を示していた。分水路から分布上限までの経過日数は、図-7に示した様に、河川水位の変動と関係があると推測した。5月30日から、分布上限で確認された8月16日まで河川水位が60cm以上に高かった日数が9日、1m以上が4日で、この高い水位は、魚道がない落差工の遡上可能なレベルまで落差高が低下したことを示しているものと考えた。

なお、調査時期の水温（℃）の平均値±標準偏差（標本数）は、5月5日が 18.1 ± 0.6 (2)、5月8日が 18.8 ± 0.3 (2)、5月17日が 20.8 ± 0.2 (2)、5月30日が 21.1 ± 0.5 (2)、7月10日が 23.9 ± 0.8 (3)、8月16日が 27.9 ± 0.2 (3) であった。

以上の様に、帷子川のアユ集団は、新道下から分水路上端までは河川構造物が7基あるが、短期間に遡上可能な区間であり、その上流区間は遡上にとって河川構造物等に影響される区間であると推測した。

分布の特徴は、個体間距離の長い群れ集団がパッチ状に分布し、流れ形態が早瀬、瀬、平瀬等、基質組成が岩盤等の区間で摂餌行動を示していた。なわばり行動を示す個体はほとんど観察されなかった（写真-4）。

10月10日、今川橋下流の分布上限区間では、観察されなかつ



写真-4 小集団の群れとなってパッチ状に分布、岩盤上の藻を食んでいる。鳥越橋上流、8月

た。他の区間は、8月に比して、下流区間で観察個体数が少ない傾向を示したが、流程分布はあまり変化なかった。群れは、摂餌行動をとる群れもあったが、上流区間は、個体間距離の短い群れ集団が観察された。11月14日、分布が下流区間へと移行し、分布上限が河口から約7kmの学校橋上流であったが、主な集団はかろがも橋から新道下区間で観察され、繁殖期における分布状況が示された。11月15日、下流区間での産卵場調査では両郡橋、宮崎橋、平和橋と新道下の区間で卵が確認された。12月11日、全区間でアユが観察されなかった。しかし、新道下で発眼卵が確認された。

この時期の水温(°C)の平均値±標準偏差(標本数)は、10月10日が 19.1 ± 1.2 (3)、11月14日が 14.1 ± 0.7 (3)、12月11日が 8.7 ± 1.4 (3)であった。

3-4 産卵場の位置

河床勾配図における産卵場の位置と基質組成の岩盤、礫等の被覆割合、淵と瀬の占有割合を図-8に示した。また、アユの卵と産卵場の状況を写真-5、6、7、8に示した。

産卵場の位置は、2010年が両郡橋、宮崎橋、平和橋の3地点、2011年が両郡橋、平和橋下流、新道下の3地点、2012年は11月のみの調査であるが、両郡橋、宮崎橋、平和橋下流、新道下の4地点で卵が確認された。両郡橋は3年間にわたり産卵場として利用されていた。これらの地点は、河口からの距離が4.1~5.2kmの下流、淡水域末端の新道下より両郡橋までの上流1.2kmの範囲であった。区間別の基質組成は、河口から6kmの川島橋下流から礫等の被覆割合が高率、それより、上流は岩盤の割合が高くなっていった。産卵場形成は、礫等の割合が高い下流区間となっていた。区間別の瀬と淵の占有割合では、上流区間では河口から6.4km、鷺山橋の上流、8kmの分水路で淵が形成されていたが、その他の淡水域は瀬の割合が高かった。河口から4kmの範囲は、淵が卓越した感潮域となっていた。

産卵場形成の期間を推定すると、2010年は10月~11月で、同一地点で継続的に利用された産卵場はなかった。2011年は10月~12月に、平和橋下流から新道下の区間で継続的に利用され、

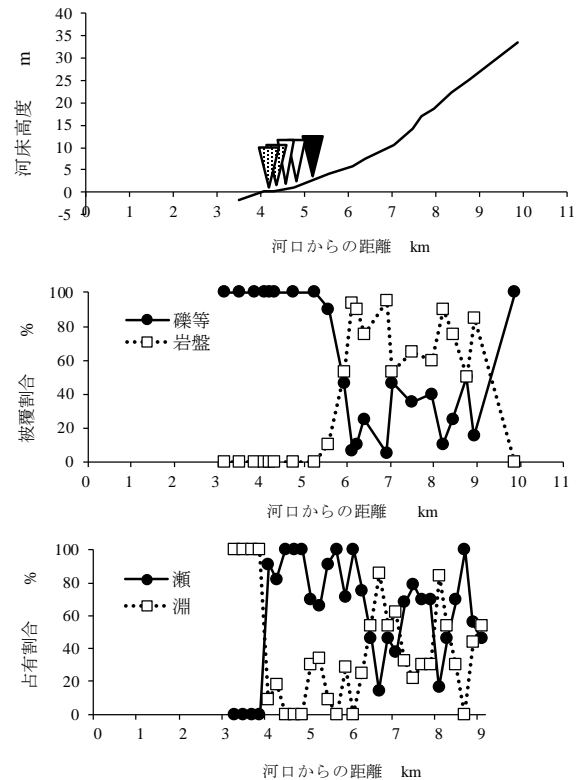


図-8 産卵場の位置(上段)、基質被覆割合(中段)、瀬と淵の占有割合(下段)、上段の産卵場は、黒が2年間、網掛は2010年、白が2011年で形成されていた



写真-5 アユの発眼卵、直径約1mm

産卵期間が推定された。その期間の水温(°C)の平均値±標準偏差は 15.4 ± 2.8 であった。

なお、2010年より2011年まで冬から夏にかけて、護岸改修工事が行われていた。改修後、固定化された河道はそのまま蛇行しており、瀬と平瀬、淵等が前と同じ場所に形成された。しかし、基質組成等の微環境要因は変化し、安定した産卵場が限定されていた。



写真-6 両郡橋の産卵場、河口からの距離 5.3km



写真-7 宮崎橋の産卵場、河口からの距離 4.7km



写真-8 平和橋と新道下 (ST. 8) の産卵場、
200m 下流は感潮域

3-5 産卵場の物理的環境要因

2010年、2011年、2012年の卵が確認された瀬（以下、瀬+と略記）と確認されなかった瀬（以下、瀬-と略記）の物理的環境要因を表-3に、卵付着基質の礫サイズと付着卵数との関係を図-9、10に示した。

瀬+と瀬-の比較では、瀬+が瀬面積の平均値が 321m²、貫

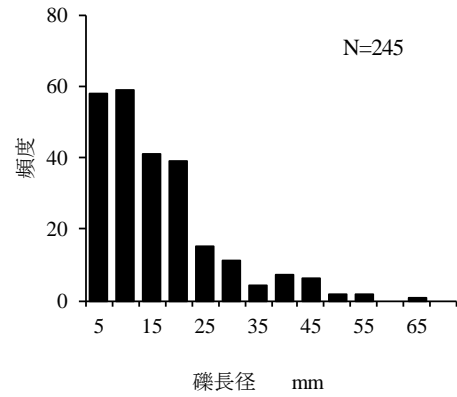


図-9 卵付着礫の長径のヒストグラム

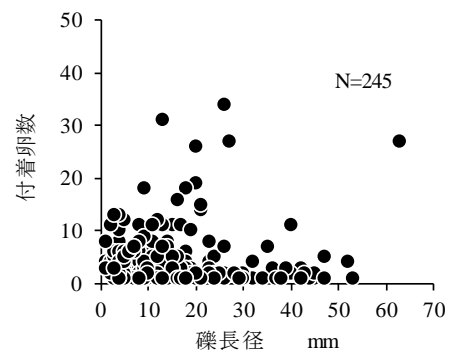


図-10 付着卵数と礫長径との関係

入度の平均値が 8.1cmと瀬-より高い値を示し、水深が 27cm、流速が 60cm/sと低い値であった。基質組成は、瀬+で小礫の平均値が 41%の被覆割合を示し、瀬-に比して高く、中礫では逆に低い被覆割合であった。砂の被覆割合は若干瀬+で低かった。流れ幅は 10m前後で差がなかった。

統計学的には、瀬面積、貫入度、小礫で有意差を示し、特に瀬面積では高い有意水準で有意差を示した（瀬面積： $t=4.155$ 、 $df=69$ 、 $P<0.001$ 、貫入度： $t=2.099$ 、 $df=69$ 、 $P<0.05$ 、小礫： $t=2.582$ 、 $df=69$ 、 $P<0.05$ ）。帷子川における産卵場形成は、水深が約 25~30cm、流速が 60cm/s の瀬、瀬面積が広く、小礫の深い浮石状態の基質が選択される傾向を示した。

つぎに、卵付着基質組成は、計 284 の内、礫が 86%、コンクリート片が 14%であった。礫長径のヒストグラムは、長径が低いほど頻度が高くなる傾向を示し、30mm以下が全体の 90%を占めていた。礫長径の平均値±標準偏差は 14.2±11.3mm、コンクリート片が 18.5±10.1mmであった。礫長径と付着卵数との関係は、礫長径が低いほど、卵数が多くなる傾向を示したが、有意な相関関係を示さなかった ($R^2=0.003$)。

4 考察

アユに関する調査研究は、内水面における水産資源の保全、地域固有種の保護の観点から多く行われてきており、繁殖生態についても多くの報告がある¹¹⁻¹⁷⁾。しかし、都市の小河川にお

表一三 卵確認の産卵場瀬（瀬+）と未確認の瀬（瀬-）の環境要因の比較、平均値±標準誤差、*、**は $P<0.05$ 、 0.01 で有意差ありを示す、項目の（ ）の数字は標本数

項目	流れ幅 (m)	瀬の面積 (m ²)	水深 (cm)	流速 (cm/s)	貫入度 (cm)	砂 (%)	小礫 (%)	中礫 (%)	大礫 (%)
瀬+ (18)	9.9±2.3	321±44	27.3±2.3	59.8±4.3	8.1±0.7	2.2±1.0	40.6±5.2	38.7±3.6	18.5±3.4
瀬- (53)	10.2±2.9	210±23	29.2±1.2	68.9±4.0	6.5±0.6	3.8±0.9	28.7±1.9	45.1±1.5	22.5±1.8
有意差検定		**			*		*		

けるアユの流程分布の変化、繁殖生態についての報告は少ない。前報⁹⁾では、大岡川を対象に繁殖期におけるアユの分布と産卵場選択について解析したが、今回は、遡上と河川構造物との関係、流程分布の季節変化、産卵場選択の条件等について解析した。

帷子川の魚類相の変遷は、生物モニタリング調査³⁾からみると、源流部では1984年～1990年頃までアブラハヤ、シマドジョウ、ホトケドジョウが確認されていたが、中流域ではコイ（放流魚）、ヨシノボリ属だけで出現種数が少なかった。1993年になると、下水道普及等により水質が改善されてくるとともに、アユ、ハゼ科等の通し回遊魚が出現するようになってきた。アユは、筆者らの調査報告によれば、1989年が帷子川での初記録¹⁸⁾であった。その後、中、下流域では、出現種類数が増加してきたが、人為的影響によると思われる種類も増加してきた。今回、帷子川の中、下流域、春から夏にかけて確認された種類は7科22種、その内、通し回遊魚が38%であった。河川の生物多様性の保全、人為的影響を少なくして再生していくためには、通し回遊魚の存在は大きいと考える。

遡上確認時期は、2011年が5月上旬、2012年が5月中旬であった。多摩川¹⁹⁾、相模川²⁰⁾では遡上月が3月から確認されており、4、5月になると遡上活動が活発になるとしている。今回に比して遡上時期がいずれも早期であった。河口域から遡上を開始する要因として海水温と河川水温の差の低下があげられ、適水温範囲が14～16℃としている^{21,22)}。帷子川河口の海水温については測定していないが、河川水温では遡上確認時期の平均水温が18～20℃の範囲で高かった。遡上時期の条件として水温の他に降雨、遡上個体数の変動等との関係も示唆されている。しかし、これらの要因を考慮しても他の河川に比して遅かった。その理由については不明であるが、感潮域の入り組んだ水路網等による影響も考えられることから、今後、水質環境、調査区域等を変えて調査を行っていく必要があると考える。

遡上と河川構造物との関係は、分水路末端までは、魚道設置、低落差のために短期間に遡上すると考えた。河口から8km以上の区間では、魚道設置のない河川構造物により影響され、遡上には降雨等による河川水位の上昇が必要であった。分水路に設置された水位目盛、写真、動画記録等から推定すると、分水路上端の落差工の推定落差高が5月、1.2mの時、飛び跳ねているアユの最大到達高が40～50cmであった。ちなみに、アユの遡上力は、平均的な値が水面からの高さ63～68cmの報告²³⁾があり、これらから、遡上可能水位は、上流の河川水位観測点の値で推

測すると60cm以上であると推測された。

一方、増水による水温低下、水の汚れによって遡上行動が停滞することが指摘されている^{19,23)}。水温では、5月～7月までの平均水温が20℃前後、適水温範囲を超えたものとなっており、逆に、低い水温を嗜好することが推測される。また、水の汚れに対しても忌避行動を示すとされているが、都市河川では、捕食圧の低下とともに、活動時期、河川水位上昇による遡上行動を選択しているものと考えられる。

体長の季節変化は、5月で50～90mmの低い山を形成し、6、7月では50～140mmの広い範囲の山、8月は80～130mmの山を形成しており、体長の平均値を月別に見ると、7月まで増加傾向にあった。遡上初期の体サイズは、大型が多く、時間経過とともに小型になっていくことが報告^{22,24,25)}され、また、まとまった群れとして遡上することが指摘されている¹⁹⁾。これらから、5月の体サイズが初期遡上集団であり、その後、小型サイズ集団の遡上により、体長分布の範囲が広がってきたことが推測された。つぎに遡上終期については、相模川²⁰⁾では5月下旬、遡上個体の水温選択では、上限が21～22℃とされており、今回、6月、7月までは平均水温が20～24℃、降雨の影響等も考慮すれば、この時期にも遡上の可能性が示唆される。

地点別では、分水路下流、ST.6で体長が低い値を示していた。このことは、遡上初期の大型個体は、上流へ遡上^{22,24)}し、遡上後期、小型個体が遡上活動の低下により中、下流に定着する傾向を示しているものと推測された²⁵⁾。

流程分布の季節変化は、5月、遡上初期集団が分水路上端まで達し、7月、8月には今川橋下流から新道下まで分布範囲が拡大していた。量的区分から観察個体数が多かった区間は分水路上流と下流のかるがも橋から両郡橋の区間、その中間は個体数が少なかったが、淵が比較的多い区間であることが影響していることも考えられる。この区間の淵の成因区分が堰上のD型²⁶⁾であり、生活場として適していないと思われた。

分布の特徴は、数個体の群れとしてパッチ状に分布し、岩盤等に繁茂する藻を食べており、縄張りをもつ個体は観察されなかった。既存の研究報告²⁶⁾では、生息密度、餌の量等により縄張りや群れの行動発現が変化するとし、また、縄張り防衛のための損益によって変化するとの解釈もなされている²⁷⁾。帷子川の生活空間、生息密度、カワウ、サギ類からの捕食圧²⁷⁾、餌は岩盤上に繁茂する藻類等、すなわち、餌の量と存在形態の複雑な要因が関係し、群れ行動を選択しているものと推測される。

大岡川の場合も、生息密度がそれほど高くないと推定されるが、群れ行動を選択しており、これら要因との関係が示唆される。今後、都市河川の分布の特徴は、選択要因等、興味ある検討課題である。

アユ集団の降下時期は、10月が8月に比してほぼ同じ分布範囲を示したが、11月は、分布範囲が明らかに下流へと移行し、降下時期が示された。この10月と11月の調査時の低下水温差は5°Cであった。これら下流域には産卵場が形成されていた。降下時期と行動に関しては、10月、群れとなって流下し、増水時に促進されることが指摘されている^{2,13}。10月には上流域で、個体間距離が短い群れの塊として観察されており、降下時の特徴的な行動と思われた。

産卵場の位置は、河床勾配を反映し、勾配が高い時は産卵場が河口近く、低い時は離れた場所を選択するとしている¹³。大岡川の河床勾配は1/240で、産卵場が淡水域末端から上流1kmの範囲であった。

帷子川は、河床勾配が1/249で、淡水域末端から産卵場が1.2kmの範囲で、ほぼ同じ区域に産卵場が形成されていた。これら産卵場は、稲荷橋～新道下の範囲、河床勾配が1/1400と低くなり、礫等が堆積しやすい区域となっていた。基質の被覆割合でも高率であったが、瀬の占有割合は比較的高率であった。しかし、これら産卵場は、河川工事が行われており、年別による瀬の位置に変化がなかったが、瀬の面積、基質組成が変化し、その結果、産卵場も変化していた。また、産卵場の環境は、3地点が橋の下、2地点が開放系の瀬に形成されており、大岡川の場合も含め、橋梁等の存在が大きいものと思われた。これは、流況の変化とともに日照時間が少なく、礫等が藻に被覆されにくい環境を選択していることが推測される。既存の報告では、産卵場は河川の合流点、湾曲部、砂州、橋の周辺等で形成されるとしている¹³。

産卵期は、相模川水系、多摩川では10月～12月、水温は12～20°Cの範囲^{14,28}で、帷子川も同様な期間、水温が9～19°Cで若干低い値となっていた。

卵が確認、未確認の環境要因の比較では、卵が確認された瀬の面積が大きく、貫入度、小礫で高い場所が選択された。既存の報告では、河床が砂礫、不安定な浮石状態の場所を選択することが示されており、ほぼ、一致した結果となった^{13,14,15,17}。また、卵付着基質は、礫が86%と多かったが、コンクリート片にも付着しており、河川工事後の影響を反映していた。これら瀬の中で、卵が確認される場所は、小礫で踏み込むと足元から埋まってしまうような場所が多く、瀬尻、淵から瀬へ移行する瀬頭等であった。瀬の中間、小礫が少なく、貫入度が低い場所でも少数の卵が確認された。

今回、これらの報告と比べて長径30mm以下が90%以上、5～10mmの級間隔が最頻値となっていた。付着卵数との関係では、小サイズで多くなる傾向を示したが、有意な相関を示さなかった。

アユの繁殖行動は、瀬で群れて泳ぐ雄アユ集団に雌が入ることにより、数尾の雄が追尾して産卵、放精する。その時、砂礫

を動かして、その間に卵を産み付けるとしている^{11,15,17}。卵は底から6～10cmの深さまで産み付けられていたとしており¹¹、卵は、結果として空隙の多い礫に混じる小礫に付着し易いものと考えられる。

今回、産卵行動は観察されなかったが、大岡川の例では、適産卵場が狭く、流速が遅いため、近接した場所等で多数回行われ、窪地が形成されていた。しかし、今回、産卵場に産卵床は形成されず、平坦な小礫、浮石状態となっていた。また、大岡川の例では、アユの産卵集団にとって瀬だけでなく、淵も重要であることを指摘した。これは、琵琶湖のコアユの例では、繁殖期に産卵場と淵の間に昼夜移動があり、昼間は隣接した淵に移動して休息しているとしており、周辺部の淵の存在も重要であることを報告^{15,16}していることからきていた。

帷子川でも同様なことが指摘できるが、産卵場と淵との距離が長いこと、深みのある淵は生息個体数が把握できなかったことなど、明確にできなかった。しかし、新道下では、11月に淵で婚姻色になった雄を少数確認している。また、淵は、他の魚種にとっても生活場として重要であり、都市河川の瀬と淵が持つ役割を考えて行く必要がある。

最後に、固定化された都市河川、可能な限りでの蛇行の確保が必要であるとともに、堤外地の瀬、淵、洲等の形態形成の確保と維持、さらに、川を持つ本来の姿の再現、増水の基質攪乱の役割、その川に特徴的な基質組成の人為的再生、増水による魚類等の遡上、降下への寄与、それをバックアップする河川構造物、多くの河川生物に対応した多目的魚道の設置等が、治水対策との関連の中で、生物多様性の構築に向けての検討課題としてあげられる。

謝辞：本調査報告をまとめるにあたり、多くの情報を提供していただき、また、こころよく調査協力をしていただいた市民の方々、横浜市道路局の関係者各位に厚く御礼を申し上げます。

5 まとめ

帷子川を対象にアユの流程分布と河川環境との関係、産卵場選択等について検討した。

- 1) 調査は2010年度の繁殖期、2011年、2012年の遡上期、繁殖期の2期間で行い、調査範囲は、流程分布が今川橋から柳橋、産卵場調査は今川橋から新道下までであった。
- 2) 2011年に確認された魚種は、7科22種、コイは除いて、アユ、オイカワ、ウグイ等の個体数が多かった。
- 3) アユの遡上と流程分布は、5月に分水路上端まで遡上し、7月、8月までに分布上限地点に至った。これらの経過時間は、河川構造物、河川水位等に影響されていると思われた。
- 4) 体サイズは、地点別に異なっていた。
- 5) 分布の特徴は、小集団の群れがパッチ状に分布する傾向にあった。
- 6) 繁殖期、流程分布は11月に下流区間に移行し、その分布範囲に産卵場が形成されていた。
- 7) 産卵場の位置は淡水域末端から1.2kmの範囲で、産卵場数

は年別に変化し、安定した産卵場は少なかった。繁殖期間は10月～12月と推定した。

8) 産卵場の物理的環境要因は瀬の面積が大きく、小礫の浮石状態の場所が選択されていた。

以上、都市河川におけるアユの生態学的知見から、生物多様性の保全、再生に向けての基礎的資料が得られたと考える。

参考文献

- 1) 谷口順彦・池田 実(2009):アユ学、築地書館、東京、pp271.
- 2) 高橋勇夫・東 健作 (2006):アユの本、築地書館、東京、pp265
- 3) 横浜市環境科学研究所 (2012):横浜の川と海の生物(第13報・河川編)、pp176.
- 4) 樋口文夫・福嶋 悟・下村光一郎・洲澤 譲 (2009):横浜の川におけるアユの分布状況-2007年年度調査と繁殖予備調査一、横浜市環科研報、33号、21-30.
- 5) 樋口文夫・阿久津卓・渾川直子・村岡麻衣子 (2012):大岡川におけるアユの産卵場選択に関する研究、横浜市環科研報、36号、22-29.
- 6) 石井 徹 (1993):調査方法指針、アユの産卵場づくりの手引、魚類再生産技術開発調査報告書一、全国内水面漁業協同組合連合会、228.
- 7) 横浜市都市計画局 (1997):1/2500 地図.
- 8) 萱場祐一・島谷幸宏 (1999):河川におけるハビタットの概念とその分類、土木技術資料、41、32-37.
- 9) 横浜市道路局 (2012):横浜市の水防災情報、mizubousai.yokohama.jp/suii_area.cgi
- 10) 横浜气象台 (2012):横浜地点、統計資料、www.jma-net.go.jp/yokohama/8.html
- 11) 石田力三 (1959):アユの産卵生態-I.産卵群の構造と産卵行動、日水誌、25、259-268.
- 12) 石田力三 (1961):アユの産卵生態-II.産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ、日水誌、27、1052-1057.
- 13) 石田力三 (1964):アユの産卵生態-IV.産卵水域と産卵場の地形、日水誌、30、478-485.
- 14) 白石芳一・鈴木則夫 (1962):アユの産卵生態に関する研究、淡水区水産研究所、12、83-107.
- 15) 西田 睦 (1978):びわ湖のコアユの産卵生態、日水誌、44、577-585.
- 16) 東 幹夫 (1973):びわ湖における陸封型アユの変異性に関する研究 III.各集団における成熟過程、産卵習性および形態的特徴について、日生態会誌、23、147-159.
- 17) 立原一憲・木村清朗 (1991):池田湖における陸封アユの成熟と産卵、日水誌、57、2187-2192.
- 18) 樋口文夫・水尾寛己・福嶋 悟・畠中潤一郎・前川 渡 (1993):帷子川水系の魚類分布状況と河川形態との関係、鶴見川・帷子川水系生態調査報告書、横浜市環科研資料 106、147-170.
- 19) 前田洋志・藤原 直 (2011):多摩川におけるアユの遡上生態、海洋と生物、33、530-537.
- 20) 神奈川県水産総合研究所内水面試験場 (2000):平成11年度相模川水系魚類生息状況調査報告書(1999年4月～2000年3月実施)、pp147.
- 21) 林 繁一・川崎博之 (1947):江戸川産稚鮎の漁獲数量と水温、気温及び其の他の気象要因との関係に就いて、日本水産學會誌、13、105-107.
- 22) 楠田理一(1963):海産稚アユの遡上生態-II、大雲川における遡上群の季節変化、Bull.Japan.Soc.Sci.Fish.、29、822-827.
- 23) 小山長雄 (1978):アユの生態、中央公論者、東京、pp176.
- 24) 高橋勇夫・新見克也 (1999):矢作川におけるアユの生活史-II、遡上から産卵・降下までの生態、矢作川研究、No.3、247-267.
- 25) 西田 睦 (2005):アユ、改訂版 日本の淡水魚、山溪カラー名鑑、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 編・監修、山と溪谷社、東京、66-79.
- 26) 川那部浩哉・水野信彦・宮地伝三郎・森 主一・大串竜一・西村 登 (1957):遡上アユの生態II、とくに生息密度と生活様式について、生理生態、7、145-167.
- 27) 井口恵一朗 (1998):アユの生活史戦略と繁殖、魚類の繁殖戦略1、桑村哲生・中嶋康裕 共編、海游舎、東京、42-77.
- 28) 本西 晃・花里匡史・青木雄二 (2011):多摩川のアユ産卵場の地形および物理的特徴、海洋と生物、33、538-545.

梅田川流域の谷戸水路におけるホトケドジョウ の産卵場に関する研究

樋口文夫、阿久津 卓（横浜市環境科学研究所）

Studies on the spawning grounds of Hotoke-dojo *Lefua echigonia* in
hill-bottom valley ditches on Umeda river basin

Fumio Higuchi, Takashi Akutsu
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード： ホトケドジョウ 産卵場 物理的環境 谷戸水路 梅田川

要旨

鶴見川の支川、梅田川の流域の谷戸水路に生息するホトケドジョウの産卵場と物理的環境要因との関係について検討した。調査は、2006年～2009年の繁殖期間で行った。調査地点は、旭谷戸のBL、BRの2水路であった。水路別の産卵場密度はBRよりBLで高かった。BRの産卵場は上流部で年により減少してきた。卵確認、未確認の環境要因の比較は水深、流速、基質の砂泥被覆割合に差があった。卵付着基質は、流域の水際に繁茂する湿地性植物、枯葉・枝等であった。産卵場には雄個体の平均1尾が占有し、卵を保護していることが推測された。卵付着基質は、水路の流域環境を反映し、BLはミズソバ類、BRはミズゴケ類が高率であった。産卵場と微環境要因との関係は、多自然型護岸の水路では流速、水中カバー面積、基質の砂泥被覆割合との関係が若干示唆された。仔稚魚も同様な環境を選択していた。コンクリート三面張り水路は、蛇行、洲の形成、簡易的な堰の存在が産卵場形成に寄与していた。以上、産卵場として選択される物理的環境要因、繁殖生態の概要が把握された。

1 はじめに

孤立した都市自然、里地里山での水辺ネットワーク、さらに川、海へと拡大、再構築していくための基礎的資料を得ることを目的として、河川環境と魚類との関係について解析した。対象とした地域は、梅田川流域の谷戸、ここは、新治・三保地域にあり市内では、貴重な谷戸の原風景が残り、緑の10大拠点、市民の森、里山公園として重要な緑地空間¹⁾となっている。このような状況にあって、筆者らも、源流部谷戸のこの地区を水辺環境としても重要な地区と位置づけ、1993年に源流部の魚類相調査²⁾、2007年に梅田川と流域の谷戸水路に注目し、河川構造物と魚類分布との関係について解析し、水路と川相互間の移動、分散様式を把握した³⁾。また、源流と川をつなげる流域として支川に注目して、梅田川の多自然型改修工事後の魚類再生状況について解析し、環境要因の変化にともなう生活場選択を明らかにしてきた⁴⁾。さらに、谷戸を代表する種、ホトケドジョウを対象に、生態学的観点から水路環境と生息密度との関係から、生活場選択について解析してきた⁵⁾。

今回は、これら調査研究の中で、生活史にとって重要な時期でもある繁殖生態に注目し、産卵場と水辺環境との関係を検討した。ちなみに、ホトケドジョウの繁殖様式、産卵場環境に関する研究報告は少なく、また、谷戸環境が刻々と変化

し、生息数が減少する中で、地域個体群の保全、再生に向けて、これらの具体的資料を得ることが必要なことと考えた。

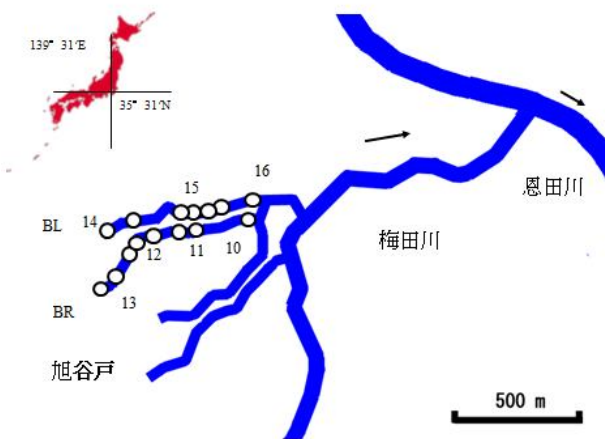
市内の谷戸水路は、細流等、生息空間が狭いことから、出現魚種が限られている。ホトケドジョウは、自然度が高い丘陵地、湧水が流出する最源流部まで生息する種類であり、また、本市の生物指標の「非常にきれい」な水域の指標種でもある。これらのことから、この種は、谷戸水辺環境の自然度を評価する上でのシンボル種としての役割を持つものと考ええる。

2 調査方法

2-1 調査水路の概況

旭谷戸の水路延長は、右水路が700m、左水路が約900m、河床勾配は約1/80以上であった。これらの水路は合流し、梅田川に流入していく。水路に設置されている主な河川構造物は、右水路が4基、左水路が11基、平均落差高が45.5cm、33.4cmであった。護岸構造は、下流から約50～70%が石積み、コンクリートの人工護岸、基質もコンクリートとなっていた。それより上流は土護岸、基質は砂泥、土垣からなる岩盤が露出する水路となっていた。

2-2 調査地点と時期



図一 梅田川流域の谷戸水路の調査地点 (ST.)、BR (右水路)、BL (左水路)

調査地点を図一に示した。調査対象地点は、梅田川に流入する、標高が最大で約70mの丘陵地に囲まれた旭谷戸であった。調査は、谷戸平野部の脇を流れる2水路で、左側水路は、南斜面の下(以下、BLと略記)を流れており、右側水路は、北斜面の下(以下、BRと略記)を流れている。これらは周囲丘陵地からの湧水によって、周年一定の水量が維持されている。調査地点は、前報⁵⁾の調査地点名を踏襲し、それ以外の地点は補助地点として、地点名を付け加えた。BLが上流～下流に、ST.14、15-2、15-1、15、16-2、16-1、16の7地点、BRが下流～上流に、ST.10、11、11-2、12、12-1、12-2、13、13-1の8地点であった。

産卵場の微環境等の解析調査は、BLがST15、BRがST10の2地点に観察区を設けて行った。

調査時期は、産卵場調査が、2006年5月8日～6月28日の期間で6回、2007年5月8日～6月17日では4回、2008年4月14日～8月21日が11回、2009年5月14日～6月25日で8回、2010年6月10日の1回の頻度で行った。産卵場の微環境調査は、BL観察区が2006年5月8日～6月28日の期間で8回、BR観察区は2008年4月14日～8月21日の期間で8回と2009年5月14日～6月25日の期間で5回であった。

2-3 調査方法

産卵場調査は、水路の下流から上流の方向で、水を攪乱させないように静かに踏査し、ホトケドジョウの生息と卵の確認を目視観察によって行った。なお、卵を確認した場所を産卵場として表示した。

微環境調査は、BL観察区のST.15が柳枝柵工法の護岸で改修された多自然型水路で、調査区間には、木杭が0.9m間隔で打ち付けられており、また幅が0.9mであった。観察区は、木杭を目印に長さ7.8mの範囲で、1区画(30×30cm)を縦に26区画、横に右、中央、左の3区画の計78区画を設定した。それらを、上流からS1～S26、r(右)、c(中央)、l(左)の区画として、卵の確認、仔稚魚の出現数を区画ごとに目視計

測していった。

BR観察区のST.10は、水路最下流に位置している。河川形態はコンクリート三面張り水路になっているが、U字溝ブロック、大礫によって簡易的に堰が造られていた。調査は、堰上の約9mの範囲を上流からS1～S9の縦1m×幅1.2m間隔で9区画を設定した。

採集に用いた用具は、D型フレームネット(網目1.5×1.5mm)であった。採集方法は、産卵場とその周辺部で連続的に採集した。採集した魚類は、標準体長をノギスで0.1mmまで測定し、その後には放流した。また、BL観察区とその周辺域では、採集した産卵場の雄個体は、鱗の先端部等をカットし、個体識別して同じ場所に放流し、経過観察を行った。BR観察区は、卵の確認調査を行った。

物理的環境要因は、産卵場が確認された場所と確認されなかった場所を、流れ幅(cm)、水深(cm)は折尺で測定し、水深については3地点で計測し、平均値を求めた。流速は携帯型電磁流速計(KENEK VE10)を用い、60%水深で5回測定した平均値とした。基質性状については、コンクリート・岩盤、シルト(0.06mm以下)、砂泥(0.06～1mm)、小礫(2～16mm)、中礫(17～64mm)、大礫(65mm以上)の区分をもとに50×50cmの方形枠で目視計測を行なった。産卵場の卵付着基質等と水中に露出した根と枯葉・枝等の長さ、幅を計測し面積を求めた(以下、産卵場面積、水中カバー面積と表記)。また、卵が付着していた植物の種類も記録していった。微環境調査は、BL観察区が同様な項目について各区画の中央部の環境要因を測定し、BR観察区は、水際の産卵場と流心の環境要因を測定した。また、堰が開放された時の環境要因も測定し、開閉の差を若干比較してみた。水温は調査時に測定した。

2-4 解析方法

産卵場密度は、調査区間の水面面積(以下、調査面積と略記)を求め、産卵場数に除して算出した。統計学的解析は、正規性を示さなかった項目は、対数変換、 \log_{10} (変数)、1以下は $\log_{10}(1+\text{変数})$ 、百分率については逆正弦変換、 $\text{asin}(\sqrt{\text{変数}})$ を行って解析し、それでも正規性を示さなかった項目についてはノンパラメトリックの解析手法を用いて行った。仮説検定の有意水準は0.05とした。

解析手順は、水路別産卵場の物理的環境要因の比較を二元配置の分散分析、卵が確認された場所と確認されなかった場所の環境要因の比較が2つの平均値の比較(少数例の場合)、比率はマン・ホイットニ検定の統計解析を用いて比較した。産卵場の物理的環境要因を詳細に検討するために、BLの観察区における微環境要因と産卵場、稚仔魚の生息密度との関係について、多重ロジスティック回帰分析、ピアソンの相関係数を用いて解析した。

3 結果

3-1 谷戸水路の産卵場

3-1-1 年別の産卵場密度の変化

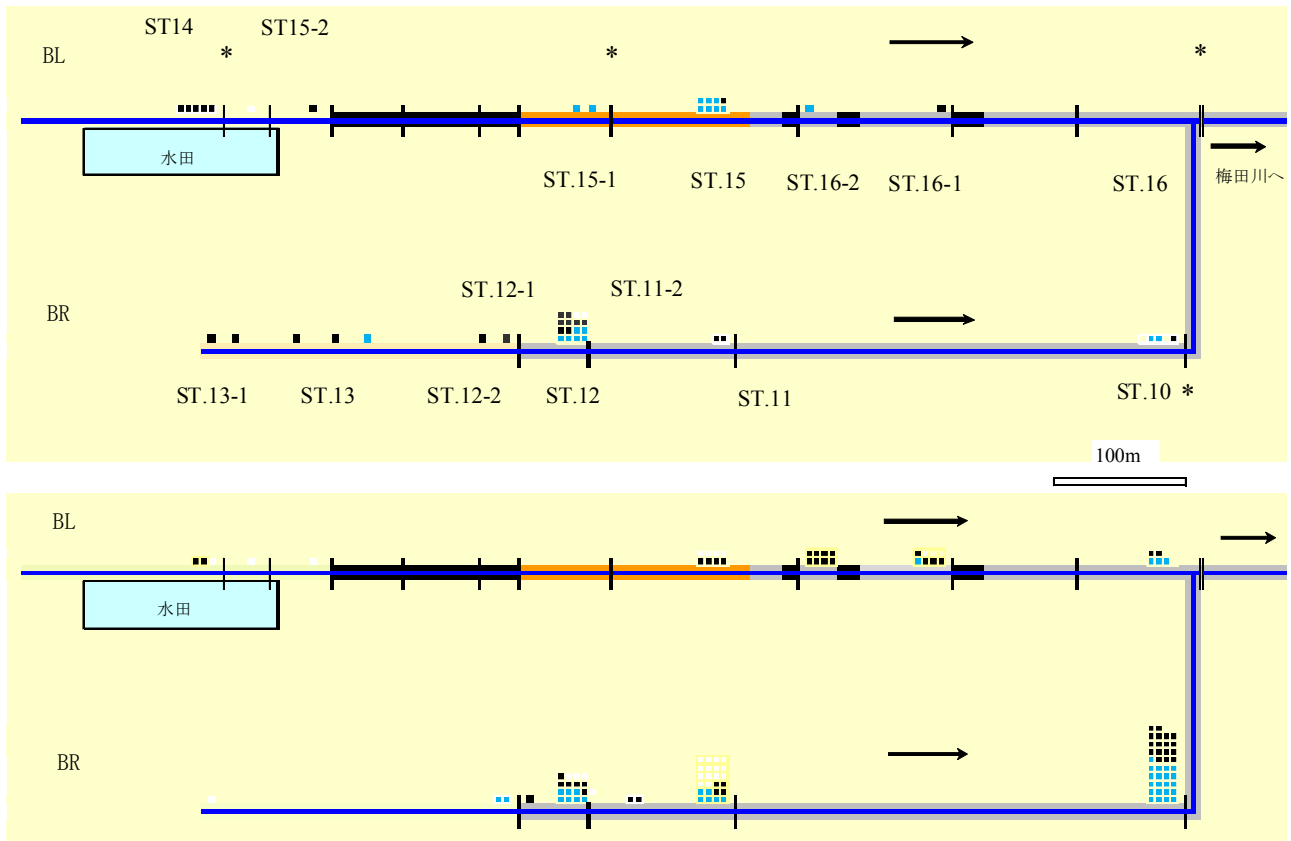


図-2 谷戸水路の産卵場位置、産卵場数、上段：2006年と2007年（■：2006年、■：2007年）、下段：2008年と2009年（■：2008年、■：2009年）、縦線：河川構造物、水路の両岸の色、無色：土、橙色：多自然型、灰色：コンクリート三面張り（一部石積護岸）、黒：暗渠、→：流れ方向、*：一時的な堰

表-1 地点別水路環境の概要と年別産卵場密度（N×10/調査面積）、-：淵区分なし

水路	地点	水路形態	淵区分	調査面積 (m ²)	2006年	2007年	2008年	2009年
BR	13-1	土	-	6.3	0.00	1.59	0.00	0.00
	13	土	-	7.0	0.00	1.43	0.00	0.00
	12-2	土	-	25.0	0.40	0.40	0.00	0.40
	12-1	土	D型	17.0	0.00	0.59	0.00	0.00
	12	石積、コンクリート	D型	6.5	9.23	13.85	13.85	7.69
	11-2	コンクリート三面	-	4.0	0.00	0.00	0.00	2.50
	11	コンクリート三面	D型	12.8	0.00	1.56	4.69	3.13
	10	コンクリート三面	D型	12.0	1.67	0.83	17.50	14.17
BL	14	土	D型	41.6	0.00	1.20	0.00	0.48
	15-2	コンクリート一面	-	20.0	0.00	0.50	0.00	0.00
	15-1	板張り	D型	28.0	0.71	0.00	0.00	0.00
	15	柳枝柵、板張り	-	60.7	1.15	0.16	0.00	0.66
	16-2	コンクリート二面	-	12.2	0.82	0.00	0.00	6.54
	16-1	コンクリート二面	D型	23.0	0.00	0.43	0.43	1.74
	16	コンクリート二面	D型	24.7	0.00	0.00	1.21	0.81

調査年別の BR、BL の水路における産卵場の位置を 2006年と2007年、2008年と2009年の2年ごとにまとめて図-2に、年別、地点別の産卵場密度を表-1に示した。また、産卵場の代表的な水路形態を写真-1、2、3に示した。

水路別の産卵場数は2006年を除いて、BRがBLより多く、産卵場密度ではいずれの年もBRで高い値を示した。産卵場の位置は、特にBRが2006年、2007年では水路上流にも確認されたが、2008年、2009年になると水路下流での産卵場



写真－1 BLの多自然型護岸の水路、観察区 ST.15



写真－2 BRの石積護岸、底面コンクリート水路、堰上に砂泥堆積、護岸にミズゴケが繁茂する



写真－3 水中の根に産卵、直径約1mm

形成が多くなっていった。統計学的には年別より水路別で有意差を示していた（繰り返しのある二元配置法、水路別： $F_{1,59}=4.604$ 、 $P=0.037$ 、年別： $F_{3,59}=0.802$ 、 $P=0.498$ 、交互作用： $F_{3,59}=0.341$ 、 $P=0.796$ ）。

BRの上流が浅い細流、土護岸、基質が砂泥等で、枯葉・枝等により形成された深み等に、BLでは水田水路の堰上流に存在する水際植物等に卵が確認された。中、下流域では改



写真－4 産卵場を占有する雄、そっと、水中カメラを近づけても逃げない

修が行われている区間であり、特に、BRでは多くがコンクリート三面張りとなっていた。しかし、産卵場が多く確認された地点は、これら区間に設置された堰上のD型⁹⁾の淵で、低木、高木により被覆される区間であった。BLは、一部の区間、ST.15で多自然型改修方法の柳枝柵護岸となっており、水際に植物が繁茂し、産卵場が比較的多く形成されていた。また、水路が固定化されても、流況により土砂が堆積し、基質性状の変化、細流内の小規模な洲の形成、湿地性植物の繁茂等、複雑な水際微環境となっていた。

3-1-2 産卵場の物理的環境要因と占有個体等

産卵場（以下、卵+と略記）とその周辺部で卵が確認されなかった場所（以下、卵-と略記）での環境要因を比較したのが表-2、3である。また、産卵場面積、占有個体数、付着卵数、標準体長等を表-4、卵付着基質組成を表-5に示した。

卵+と卵-の環境要因について比較すると、卵+が卵-より、水深、流速で低い値を示し、基質組成では、砂泥、枯葉・枝の被覆割合が高かった。統計学的には、水深($t=5.658$ 、 $df=187$ 、 $P<0.001$)、流速（ウェルチの $t=15.068$ 、 $df=69$ 、 $P<0.001$)、砂泥（マン・ホイットニ検定、 $Z=2.863$ 、 $P=0.004$)、小礫（マン・ホイットニ検定、 $Z=3.337$ 、 $P<0.001$)、中礫（マン・ホイットニ検定、 $Z=3.750$ 、 $P<0.001$)で有意差を示した。

産卵場面積（卵付着基質等の縦と横の長さの積）の平均値は、 226cm^2 であった。基質に付着していた平均卵数は、6.1個と少なく、分散していた。

卵が付着している植物の下、えぐれた場所には、ホトケドジョウが頭を出した状態で確認される例が多いことから、今回、目視観察と同時に採捕調査を行った。また、産卵場の占有個体を写真-4に示した。

産卵場を占有していた個体数は、標本数135の内、1尾が53%、0が34%、2尾が7%で、占有個体は1尾が多かったが、0も比較的多いものとなっていた。全体の占有個体数の平均値は0.9尾、性別では、標本数が113の内、雄が110尾、雌が3尾で、性比が97%と雄に著しく偏っていた。性別の標準体長の平均値は、雌が53.5mm、雄が47.9mmで、雌の方が大

表－2 卵確認（卵＋）と未確認（卵－）の環境要因の比較、平均値±標準誤差

項目	標本数	水温 (°C)	流れ幅 (cm)	水深 (cm)	流速 (cm/s)
卵＋	135	15.9±0.0	69.9±0.2	9.3±0.0	1.0±0.0
卵－	54	16.4±0.0	73.3±0.4	15.8±0.2	10.2±0.1

表－3 卵確認（卵＋）と未確認（卵－）の基質組成の比較、平均値±標準誤差

項目	標本数	コンクリート (%)	砂泥 (%)	シルト (%)	小礫 (%)	中礫 (%)	枯葉・枝 (%)
卵＋	135	1.5±0.1	68.1±0.3	0.2±0.0	0.7±0.1	0.2±0.0	29.3±0.3
卵－	54	5.4±0.4	55.2±0.6	0.7±0.1	4.4±0.2	5.7±0.3	25.0±0.6

表－4 産卵場面積、占有個体、付着卵数等

項目	産卵場面積 (cm ²)	占有個体数 (尾)	付着卵数 (個)	標準体長 (mm)		性比 (%)
				雄	雌	
標本数	135	135	92	110	3	97.3
平均値±標準誤差	226±26	0.9±0.0	6.1±0.1	47.9±0.1	53.5±1.2	

表－5 卵付着基質組成

項目	ミズゴケ類	枯葉・枝	イネ科	ミゾソバ類	セリ	オランダガラシ	その他	計
標本数	27	26	23	19	13	9	18	135
%	20.0	19.3	17.0	14.1	9.6	6.7	13.3	100.0

表－6 水路別の環境要因の比較、平均値±標準誤差

水路	標本数	水温 (°C)	流れ幅 (cm)	水深 (cm)	流速 (cm/s)
BL	41	17.7±0.2	58.6±2.4	9.1±0.5	1.0±0.2
BR	94	15.1±0.2	74.8±2.3	9.5±0.5	1.0±0.1

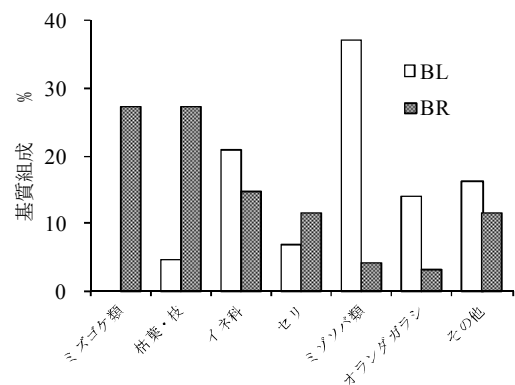
きかった。

卵付着基質は、ミズゴケ類、枯葉・枝が20、19%、イネ科が17%の順で高率であった。これらは、水際に繁茂する湿地性植物が多く、全体の80%を占めていた。卵はこれら植物の水中に張り出した根、ミズゴケ類、枯葉等では陸生植物のササ等に散在的に付着させていた。

3-1-3 水路別の環境要因と卵付着基質の比較

水路別に産卵場の環境要因について検討したのが表－6、図－3である。

水路は、BLが南斜面下、BRが北斜面下を流れている。水温は、BRがBLより低く、流れ幅、水深はBLの方が高い値を示していた。流速は差がなかった。基質性状は、BLが砂泥、小礫等の被覆率が高く、BRでは枯葉・枝が高率であった。水路別の卵付着基質の種類は、BLがミゾソバ類、イネ



図－3 水路別の卵付着基質組成の比較

科等、BR がミズゴケ類、枯葉・枝等が多い傾向を示した。

統計学的には、水温、流れ幅で有意差を示し、基質性状、卵付着基質では有意差を示さなかった(水温： $t=7.934$, $df=133$, $P<0.001$ 、流れ幅： $t=4.100$, $df=13$, $P<0.001$)。

3-2 微環境要因と産卵場選択条件

3-2-1 多自然型水路の事例

1) 産卵場、仔稚魚生息密度と微環境要因

BL 観察区の ST.15 で、柳枝柵護岸の区間を対象に、産卵場の位置、ふ化仔魚の分布と物理的環境要因との関係について検討した。水路の概況を写真-5に、水路上面から調査区間、区画を図-4に示し、S1~S26 区画別の水中カバー面積、水深、流速、基質組成、卵確認場所、仔稚魚の生息密度を図-5に示した。

縦区画の S1~S15 までは水深が浅く、流速が高い傾向を示



写真-5 BLの観察区、ST.15、上流方向

していた。特に、S10~S15の区間は少し波立つ瀬を形成していた。S16~S26は、水深が深く、流速が低い値を示し、淵を形成していた。水深ではr(右区画)とl(左区画)で差がなかったが、流速ではl区画が低い値を示す傾向があった。水中カバー面積は、S3、S8、S12、S15~S25のl区画の方がr区画より高い値を示した。基質組成では砂泥被覆割合が高率であった。横区画別は、水中カバー面積は、l区画がc(中央区画)、r区画より高く、水深、流速はr区画が高い値を示していた。砂泥の被覆割合ではc、r区画で高い率であった。統計学的には、縦区画間は流速を除く他の項目で有意差を示し、横区画間では全項目で有意差を示していた(フリードマン検定、水中カバー面積：縦区画間： $\chi^2=21.7$, $df=25$, $P<0.001$ 、横区画間： $\chi^2=37.85$, $df=2$, $P=0.048$ 、水深：縦区画間： $\chi^2=58.81$, $df=25$, $P<0.001$ 、横区画間： $\chi^2=21.66$, $df=2$, $P<0.001$ 、流速：縦区画間： $\chi^2=24.29$, $df=25$, $P=0.502$ 、横区画間： $\chi^2=15.08$, $df=2$, $P<0.001$ 、砂泥被覆割合：縦区画間： $\chi^2=46.32$, $df=25$, $P=0.006$ 、横区画間： $\chi^2=14.39$, $df=2$, $P<0.001$)。

産卵場はl区画のS9、S17、S21、S25の4地点で、S17が5回、S9、S21が2回、S25が1回の頻度で確認された。S9は、小規模な淵に産卵場が形成され、形成頻度が高かったS17の周囲には成魚の分布数が多いことが目視観察された。この産卵場では、右岸から数尾が侵入し、一時的な移入移出、追いかけ等の行動が観察された。しかし、これらは水面上の植物カバー、水中カバーの中で行われており、産卵行動の明確な観察はできなかった。

2) 産卵場の選択条件

産卵場形成と微環境要因との関係について検討した。回帰分析を行うにあたって、環境要因の水中カバー面積、流れ幅、

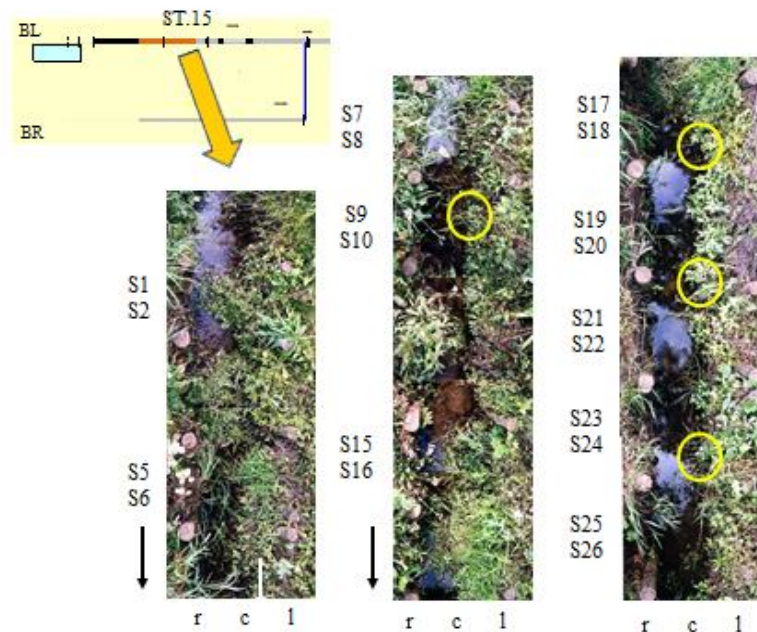


図-4 観察区の水路環境と産卵場調査、Sは30×30cm区画、r、c、l：右、中央、左区画、○：産卵場、→：流れ方向、S1~S26へと連続的に流れる

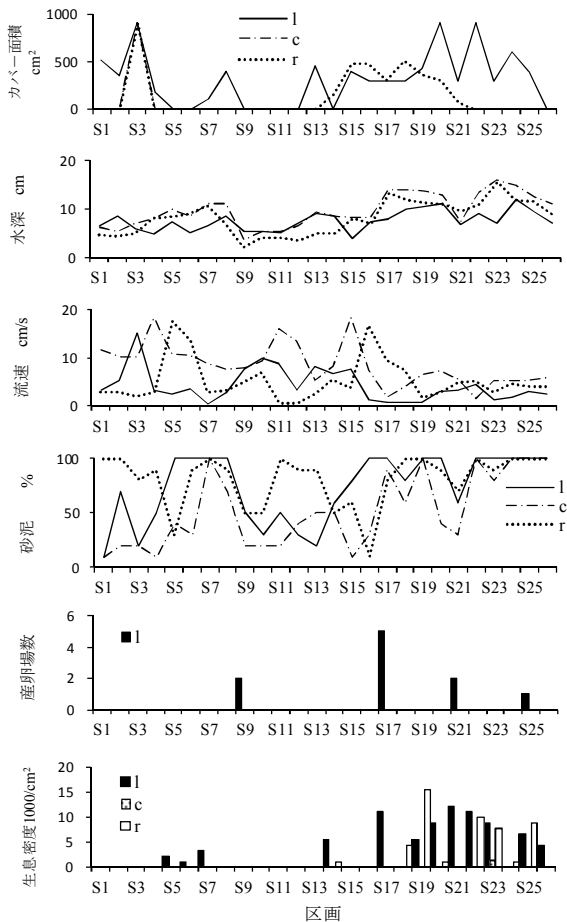


図-5 観察区の微環境と産卵場、仔稚魚生息密度、r：右区画、c：中央区画、l：左区画

表-7 産卵場と環境要因との関係、多重ロジスティック回帰分析

項目	偏回帰係数	Wald統計量	P 値	オッズ比
カバー面積	0.003	3.119	0.077	1.003
水深	-0.074	0.128	0.720	0.929
流速	-0.081	0.116	0.733	0.922
砂泥率	0.020	0.377	0.539	1.020
定数項	-4.166	1.665	0.197	

水深、流速、基質組成との間の多重共線性を検討したところ、VIF 値が 1.1 であり、多重共線性がないと判断し、以下の解析を行った。

目的変数をダミー変数として、産卵場形成区画を 1、未形成区画を 0、説明変数を全区画別の環境要因として、多重ロジスティック回帰分析で解析を行って見た。その結果を表-7 に示した。

ダミー変数と環境要因との回帰モデルは、水中カバー面積、砂泥被覆割合とは正、水深、流速とは負の関係を示した。モデルの対数尤度比は 13.32、Wald 統計量はカバー面積、砂泥で高い値を示したが、P 値はいずれも 0.05 以上で有意差はなかった。ちなみに、環境要因の値が 1 単位増加したときの産

卵場出現割合の程度を示すオッズ比は、他の要因に比して砂泥被覆割合、カバー面積が若干高い値を示していたにすぎなかった。

3) 仔稚魚の選択条件

図-5 から、全長 10mm 以下の仔稚魚の生息密度は、S17 から下流の区画で高い値を示し、横区画では l, r 区画で高く、c 区画は少なかった。統計学的には、縦区画間、横区画間で有意差を示した（フリードマン検定、縦区画間： $\chi^2=41.01$ 、 $df=25$ 、 $P=0.023$ 、横区画間： $\chi^2=15.17$ 、 $df=2$ 、 $P<0.001$ ）。

つぎに、生息密度と環境要因との関係を解析した結果を、表-8 に示した。

生息密度と水深、砂泥被覆割合、水中カバー面積とは正の相関関係を示し、流速は負の相関関係を示した。相関係数の検定は、砂泥被覆割合、水中カバー面積、流速と有意差を示していた。

表-8 仔稚魚生息密度と環境要因との関係、ピアソンの相関係数等、値は対数変換、逆正弦変換

項目	定数	回帰係数	相関係数	t	P
水深	-0.002	0.025	0.207	1.847	0.069
流速	0.577	-0.484	-0.361	3.373	0.001
砂泥率	-0.195	0.087	0.444	4.315	<0.001
カバー面積	0.121	0.094	0.312	2.865	0.005

4) 産卵場の雄個体の追跡調査

観察区とその上流の地点で確認された産卵場での占有雄を経過観察した。産卵場で採捕した個体に鱗カット等による個体識別したものである。産卵場 4 地点の内、3 地点で追跡調査が可能となった。同一産卵場で確認された期間、平均日数が 16 日、最小値が 9 日、最大値が 24 日であった。占有日数が高い産卵場は、観察区外と S9 で、いずれも孤立した場所に形成されていた。また、経過観察できなかった産卵場は、S17 の安定した淵に形成されていた。産卵場で確認された雄の標準体長は 54.7 ± 1.2 mm (標本数 3) であった。

3-2-2 コンクリート三面張り水路の事例

1) 産卵場の微環境要因

BR の最下流 ST.10 のコンクリート三面張り水路には、堰が簡易的に設置され、上流に淵が形成される。蛇行の屈曲角度が約 170 度、左岸の浸食域は掘られ、右岸の堆積域には洲が形成されている。観察区は、堰上の淵を S1~S9 の区画に分けて調査した。水路概況を写真-6、2008 年、2009 年の 6 月の観察区と産卵場を図-6、産卵場の水際とその流心部の区画別環境要因を表-9、産卵場を写真-7 に示した。

2008 年 5 月 5 日~7 月 11 日までの期間、5 回調査で、産卵場数が計 22 であった。産卵場の形成区画は、S3~S8 の範囲で、いずれも右岸の洲際の水中カバーに卵を付着させていた。その水中カバーの平均面積は 244cm^2 であった。産卵数が多かった S5、S6 の卵付着基質はイネ科の根が多く、他区画は



写真-6 BRの観察区、ST. 10
写真下に簡易堰、水路出口



写真-7 S6区面の右岸産卵場、○：産卵場



図-6 観察区の水路環境と産卵場、S: 1 × 1.2m 区画、左が2008年6月、右が2009年6月の調査、
○：産卵場、→：流れ方向、S1～S9へと連続的に流れている

水際に堆積した枯葉が比較的多かった。産卵場の環境要因では平均流れ幅が51cm、平均水深が12cm、平均流速が0.8cm/sであった。これら産卵場の位置に対応した流心部は平均水深が20cm、平均流速が6.6cm/sであった。産卵場の基質組成ではS6が砂泥であったが、他の区画は枯葉・枝が多かった。統計学的には区画間の産卵場環境に差がなかった。

産卵場形成期間の水温の平均値±標準偏差（標本数）は14.5±1.2°C（18）であった。

2009年5月14日～6月16日までの期間、4回調査で、産卵場数が計15であった。産卵場はS1～S8まで広く確認され、S1が左岸、S2～S8までは右岸洲際に存在する水中カバーに卵を付着させていた。卵付着基質はイネ科、セリ等の根であった。水中カバーの平均面積は133cm²であった。産卵場の

環境要因は、平均流れ幅が76.3cm、平均水深が10.4cm、平均流速が0.58cm/s、基質組成は枯葉・枝等が砂泥より若干高い率であった。統計学的解析は例数が少なかったので検討しなかった。

産卵場形成期間の水温の平均値±標準偏差（標本数）は15.8±1.2°C（15）であった。

2) 堰開放による環境要因の変化

2009年6月25日の調査時、簡易的に造られた堰が開放された。前回の調査、6月16日までは堰が閉められた状態となっており、卵が確認されていた。そこで、開閉時、同一区画（S1、2、4、7、8）で測定した水際と流心部の流れ幅、水深、流速、砂泥、枯葉・枝被覆割合の環境要因を比較検討した。それを表-10に示した。

表－9 観察区の産卵場の区画別環境要因（2008年、2009年）、平均値±標準誤差、－：欠測値

調査年	項目	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
2008年	産卵場数	0	0	3	3	4	6	3	3	0	
	産卵場面積 (cm ²)	—	—	123±38	286±118	398±251	224±50	240±100	166±82	—	
	流れ幅 (cm)	—	—	53.3±5.3	46.7±3.3	44.3±4.1	46.6±3.5	62.7±6.5	56.7±6.7	—	
	水深 (cm)	水際	—	—	8.3±3.5	13.4±3.1	13.9±4.2	11.8±2.4	13.0±4.0	12.3±2.1	—
		流心部	—	—	12.1±5.3	17.2±2.8	20.4±4.1	17.1±2.8	30.3±3.7	27.8±2.3	—
	流速 (cm/s)	水際	—	—	0.3±0.0	2.2±0.6	0.5±0.2	0.5±0.4	0.6±0.4	1.1±0.7	—
		流心部	—	—	5.9±1.2	6.5±0.5	7.6±1.0	6.1±0.7	6.5±0.3	6.5±0.8	—
	基質性状(%)	砂泥	—	—	50.0±20.0	36.7±17.6	72.5±8.5	36.7±10.2	46.7±3.3	36.7±17.6	—
		枯葉・枝	—	—	50.0±20.0	63.3±17.6	27.5±8.5	63.3±10.2	53.3±3.3	53.3±12.0	—
	2009年	産卵場数	2	2	1	1	1	1	2	5	0
産卵場面積 (cm ²)		170±100	331±131	120	280	56	63	64±16	71±28	—	
流れ幅 (cm)		97.5±0.5	68.5±11.5	70.0	70.0	70.0	70.0	76.5±3.5	75.9±1.6	—	
水深 (cm)		水際	9.5±0.6	11.7±0.7	9.3	11.0	13.0	9.7	11.2±0.2	9.6±1.0	—
		流心部	16.1±3.3	17.0±0.7	18.0	24.0	20.3	20.0	24.3±0.8	23.0±1.8	—
流速 (cm/s)		水際	0.9±0.6	0.4±0.1	0.2	0.5	0.3	0.2	0.7±0.5	0.7±0.4	—
		流心部	5.3±1.8	5.7±2.4	4.0	9.4	6.2	4.6	7.3±0.6	6.0±0.5	—
基質性状(%)		砂泥	20.0±0.0	25.0±5.0	20.0	90.0	50.0	80.0	44.0±5.0	42.7±6.4	—
		枯葉・枝	80.0±0.0	78.5±8.5	80.0	10.0	50.0	20.0	56.0±11.7	48.8±8.3	—

表－10 簡易堰の開閉時の環境要因

項目	閉		開	
	水際	流心部	水際	流心部
流れ幅 (cm)	80.2±10.6	—	68.2±9.3	—
水深 (cm)	10.6±0.4	20.7±1.1	7.9±1.4	19.4±2.5
流速 (cm/s)	0.6±0.2	5.6±1.2	2.1±1.1	29.4±2.4
砂泥 (%)	38.0±13.6	22.0±5.8	42.0±11.1	60.0±7.1
小礫 (%)	0.0	0.0	0.0	16.0±10.3
中礫 (%)	0.0	0.0	0.0	6.0±6.0
枯葉・枝 (%)	62.0±13.6	78.0±5.8	58.0±11.1	18.0±8.0

堰の開放時、流れ幅は低い値、水際、流心部の水深が低い値、流速は高い値であった。基質性状は特に流心部の枯葉・枝被覆割合が開放時に低い値となっていた。統計学的には、流心部の流速と枯葉・枝被覆割合が有意差を示した (*t* 検定：流心部の流速；ウェルチの $t=8.585$ 、 $df=5.7$ 、 $P<0.001$ 、マン・ホイットニ検定：流心部の枯葉・枝； $Z=2.627$ 、 $P=0.009$)。

以上から、堰開放時、流速が増加するとともに、堆積物が流出していたことを示していた。

3) 産卵場の成魚と産卵行動

2008年の産卵場数計22の内、個体が確認されたのが12で約半分の割合であった。性別は全個体が雄で、標準体長±標準偏差が46.4±6.7mmであった。

2009年の産卵場数は15、個体が確認されたのが10で約67%であった。性別は全て雄で、標準体長±標準偏差が50.6±5.2mmであった。また、産卵場周辺部で採捕された成魚

は52個体、雄が44、雌が8で性比が84.6%と雄に偏っていた。

産卵行動の観察は、2009年がS1区画で、6月2日の14:00～15時に観察された。動画記録から、枯葉・枝が堆積した近接した2地点、植物の根を中心に、雌に数尾の雄個体が追尾して産卵が行われているのが観察された。ただし性別は推測である。産卵行動が観察された場所には、卵が多く付着し、その産卵場面積は約70cm²であった。雄成魚、標準体長が43、50mmの2尾が採捕された。また、6月3日では雄、49mmの1尾が卵とともに同一産卵場で確認された。

4 考察

前報⁵⁾では、梅田川流域にあるA、Bの2つの谷戸水路を対象に、水路の物理的環境要因と生息密度との関係を解析した。その結果、生活場として、水際の湿性植物カバー、基質

組成の砂泥、さらに相対照度との関係で、低木カバー、高木カバーを含めて被覆する場所が選択される傾向を示した。特に、生息密度が高かった水路では、流域の植物よりも、水際草本カバーが高率で、生活場として適していることが推測された。谷戸水路環境としてこれら環境因子は、生活史等の季節的变化をともなって選択されることが推測され、また、それが、集団の維持に寄与しているものと考えられる。

今回は、産卵場として選択される環境要因について、B谷戸の2水路を対象に解析した。年別水路別の産卵場密度は、水路別に差があり、BRで多く確認された。水路形態は、コンクリート三面張り水路、堰の存在によってD型の淵⁶⁾、砂泥被覆割合の高い水域が形成され、産卵場として選択されていた。また、BRでは年経過により産卵場の位置が上流から下流へと変化していた。

産卵場として選択された環境要因は、水深、流速が低く、砂泥被覆割合が高率の場所が選択された。卵付着基質は、湿地性植物、枯葉・枝が選択され、水中カバーの存在が重要であった。前報⁵⁾および既存の文献^{7,8)}では、水田水路においてホトケドジョウ、ドジョウの生活場として、沈水植物、垂下植物被覆率、砂泥の環境要素が重要であることが指摘されており、前回でもその重要性が確認されたが、それらは、同時に産卵場が選択される条件でもあった。

また、今回検討されなかったが、湧水点との関係、水温の影響も重要な環境因子として指摘されており、水温上昇が負の因子として認識されている^{9,10,11)}。ただし、生活史初期は、高水温域へと移動、分散していくことも指摘されている¹²⁾。今回、BRがBLより水温が低く、湧水の量との関係は不明であるが、水路流域の二次林の影響によって、夏期には光が遮蔽されるため水温上昇が抑えられているものと考えられる。

ホトケドジョウの繁殖場として浅い砂泥底、水田、小溝が利用され、水草、草の根、葉等に産卵することが報告^{13,14,15)}されていることから、水際構造と基質性状とそれに付帯する植物の存在が重要であると考えられる。産卵場環境の水路別比較から、卵付着基質が水路流域の環境によって若干異なっていた。すなわち、水面上を二次林等の低木、高木によって被覆される水路、BRは、ミズゴケ類、枯葉・枝、南斜面の下、畑、家屋が存在する水路、BLではミゾソバ類、イネ科等が水際に繁茂し、水中に根を張りだした植物、水中の落枝に枯葉が堆積している場所等が選択されていた。選択範囲は統計学的には明確でなかったが、水路形態、付着基質の性状に対応して変化することが推測された。産卵場はこれら基質のまとまりとして観察される。

繁殖期での移動、分散様式は、季節により変化し、冬期に源流部の湧水点、春期は水田、湧水点等に移動するとしている^{9,11)}。今回の地区は、水路に河川構造物が多く設置され、移動、分散は一方向になっている。同地区を対象とした既存の報告³⁾では、ST.15の地点でマーク個体を放流したが、採捕されたマーク個体は放流点で多く確認され、少数が流下していたにとどまった。このことから、集団の移動、分散が制限されていることにより、水路の中、下流に定着し、生活場と

同時に産卵場として利用していると考えられる。また、移動、分散方向から、上流集団が減少し、産卵場が下流方向へと移行している可能性が推測される。

産卵場には、成魚が確認されない場合もあったが、雄成魚の約1尾が占有していた。占有場所は、根毛が水中に張り出し、隠れ家がある場所が多く選択され、また、枯葉・枝では塊等であった。これらは、シルト等が除かれ砂泥が露出していることから、産卵床として他の場所とは識別でき、水中カバーから頭部を突き出した状態で目視観察される例もあった。

産卵場における雄個体は、産卵場の確保、それは、卵の保護としての役割をもっているものと推測した。今回、雄個体の占有期間は変動し、その期間は、産卵場の環境、他個体との相互関係等によって変化するものと考えた。また、目視確認された付着卵数が産卵場あたり平均6個と少なく、同所的に生息する他種も少ないことから、同種による卵食が推測される。

産卵行動は、BL、ST.10での観察例から、少し黒色の雌と思われる個体は、枯葉、根等を遊泳し、数尾の雄が追尾し、雌の体側に接触させながら、これら基質に卵を付着させていた。この産卵行動は既存の報告^{13,14,16)}と一致したものと考えた。今後、これらの繁殖機構、配偶システム等については、室内の単条件のもとで再確認していく必要がある。

産卵場の微環境要因を解析するために、水路形態の異なるBL、BRに観察区を設定して検討した。BL観察区では柳枝柵護岸となっており、水際に植物が繁茂し、水面上の草カバー、特に左岸の水中カバーを形成させていた。産卵場はこれらの要因と水路の中でも水深があり、流速の遅い場所に形成し、選択条件は明確ではなかったが、砂泥、水中カバー面積との関係が示唆された。また、これらの環境要因は仔稚魚の生息密度との関係も強く、産卵場、生育場、また生活史を通じて重要な環境因子であった。

BR観察区は、水路最下流に位置し、コンクリート三面張り水路となっている。河道が屈曲、簡易的な堰が設置されていることが、産卵場形成にとって重要な因子となっていた。洲の水際に繁茂する湿地性植物、枯葉・枝、砂泥の堆積等、流速の緩和、水中カバーの拡大等であった。これらは、堰が開放された時の環境変化によって理解される。

産卵場形成とともに仔稚魚の過度の流下を抑制する観点から、蛇行水路の確保、堰あるいは一時的避難場所等の再生と堰構造の改変、簡易魚道の設置^{17,18)}、上流、細流での木杭等による深みの造成、枯葉・枝等の供給によって産卵場形成の促進を図ることが必要であり、一時的水域である水田¹⁹⁾との関係の修復、維持も重要なことと考える。これらは、丘陵地、湧水点等を含めて地域の特徴を考慮して考えていく必要があると考える。

5 まとめ

鶴見川の支川、梅田川の流域の谷戸水路に生息するホトケドジョウの産卵場と物理的環境要因との関係について検討

した。

- 1) 調査時期は、2006年～2009年の4年間、繁殖期の4月～8月の期間で行った。調査地点は、旭谷戸のBL、BRの2水路であった。
- 2) 産卵場形成密度は、年による変動を示したが、BLよりBRで高く、産卵場が上流部で減少傾向にあった。
- 3) 卵確認、未確認の物理的環境要因の比較は水深、流速、基質の砂泥被覆割合で差があった。
- 4) 卵付着基質は、流域の水際に繁茂する湿地性植物、枯葉・枝等であった。産卵場には雄個体の平均1尾が占有し、卵の保護が推測された。
- 5) 水路別の卵付着基質は、水路の流域環境を反映し、BLではミゾソバ類、BRではミズゴケ類が高率を示した。
- 6) 産卵場形成と微環境要因との関係では、多自然型水路が、流速、水中カバー面積、基質の砂泥被覆割合との関係が示唆され、仔稚魚の生活場として、同様な要因を選択していた。
- 7) コンクリート三面張り水路は、蛇行、洲の形成、簡易的な堰の存在が産卵場形成に寄与していた。
以上、産卵場形成にとって重要な環境要因が抽出され、地域個体群の保全、再生のための基礎的資料が得られた。

文献

- 1) 横浜市環境創造局 (2009) : 横浜みどりアップ計画 (新規、拡充施策)、本分、pp48<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/etc/jyorei/keika/midori-up/midori-up-plan>
- 2) 水尾寛己・樋口文夫・福嶋 悟 (1993) : 鶴見川水系の魚類の分布状況と河川形態との関係、鶴見川、帷子川水系生態調査報告書、横浜市環境科学研究所、環科研資料 106、45-74.
- 3) 樋口文夫・福嶋 悟 (2007) : 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れ分布との関係、横浜市環科研報、31、40-55.
- 4) 樋口文夫・福嶋 悟・犬飼まり子・阿久津 卓、森田純子・渾川直子 (2010) : 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、横浜市環科研報、34、28-42.
- 5) 樋口文夫・福嶋 悟 (2012) : 梅田川流域の谷戸水路におけるホトケドジョウの生活場選択に関する研究、横浜市環科研報、36、30-39.
- 6) 川那部浩哉・水野信彦・宮地伝三郎・森主一・大串竜一・西村登 (1957) : 遡上アユの生態 II、とくに生息密度と生活様式について、生理生態、7、145-167.
- 7) 藤咲雅章・神宮宇寛・水谷正一・後藤 章・渡辺俊介 (1999) : 小河川・農業用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.
- 8) 柿野 亘・水谷正一・藤咲雅明・後藤 章 (2007) : 利根川水系小貝川上流域の谷津内水路の魚類の生息密度に影響を与える環境因子の期別変化、農業土木学会論文集、247、19-29.
- 9) 守山拓弥・柿野 亘・水谷正一 (2010) : 地下水を水源とする保全池における冬期のホトケドジョウの分布パターン、魚類学会誌、75、161-166.
- 10) 守山拓弥 (2009) : 扇状地の“春の小川”に生息する淡水魚とその保全、春の小川の淡水魚、その生息場と保全、水谷正一・森 淳編、学報社、90-120.
- 11) 守山拓弥・水谷正一・後藤 朗 (2007) : 栃木県西鬼怒川地区の湧水河川におけるホトケドジョウの季節移動、魚類学雑誌、54、161-171.
- 12) 相木寛史・間野伸宏・笹田勝寛・島田正文・廣瀬一美 (2008) : 福島県におけるホトケドジョウの分布と生息状況、日本生物地理学会会報、63、5-11.
- 13) 岡田彌一郎・清石禮造 (1937) : 日本産淡水魚の仔魚及び稚魚の形態並に生態学的研究 (VII)、ホトケドジョウ、水産研究 誌、32、490-494.
- 14) 青柳兵司 (1957) : 日本列島産淡水魚類総説、大修館、東京、160-162.
- 15) 伊奈博彦・倉本 宣 (2003) : 灌漑期と非灌漑期の谷戸の水路における絶滅危惧種ホトケドジョウの生息環境、ランドスケープ研究、66、627-630.
- 16) 洲澤譲 (2000) : 関東産ホトケドジョウの産卵生態、2000年度日本魚類学会年会、講演要旨、33.
- 17) 鈴木正貴 (2007) : 魚道の対策と効果、水田生態工学入門、水谷正一編、農文協、東京、100-106.
- 18) 鈴木正貴 (2007) : 落差工の対策と効果、水田生態工学入門、水谷正一編、農文協、東京、107-111.
- 19) 斉藤憲治・片野 修・小泉顕雄 (1988) : 淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵、日生態会誌、38、35-47.

室内飼育水槽におけるホトケドジョウの産卵行動

樋口文夫 (横浜市環境科学研究所)

The spawning behavior of Hotoke-dojo *Lefua echigonia* in test tank

Fumio Higuchi (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード: ホトケドジョウ 産卵行動 繁殖様式 室内飼育水槽

要旨

ホトケドジョウの産卵行動、繁殖様式等を室内飼育観察により解析した。飼育条件は、恒温室内に設置された流水式水槽に、水草のウィローモス塊を固定して産卵床を作った。産卵行動は、雄が占有する水草に、雌が侵入し、体を振動させながら遊泳する。雄は雌の腹部等を吻端でつつき、体側を接触させて振動させながら並行遊泳し、水草に卵を散在的に付着させていた。この行動が何回か繰り返される。雄 2 尾の場合、産卵行動時に占有雄とともに参加するスニーキングを行っていた。占有雄と他個体との個体間の相互関係は、個体数が増加すると少なくなったが、産卵床占有期間は不安定であった。繁殖様式は、同一雌が多回産卵、ふ化日数が 1~2 日、ふ化個体数計の最大値が 1000 個以上であった。これらの産卵行動、繁殖様式等から配偶システムは、なわばり訪問型複婚と推定した。以上、地域個体群の保全、再生するための基礎的資料が得られた。

1 はじめに

前報^{1,2)}では、ホトケドジョウが谷戸水路で生活場、産卵場として選択される物理的環境要因について解析した。生活場は、相対照度%、砂泥被覆割合、水面上の植物カバーの環境因子が選択され、産卵場では、水中カバー面積、砂泥被覆割合が選択されていた。ホトケドジョウは、河川構造物等の存在によって移動、分散が制限される中で、水路環境の変化に対応して生活場、産卵場を選択していたのであった。

産卵期、産卵場には、植物の水中に張り出した根、枯葉・枝等に卵が散在的に付着し、平均 1 尾の雄が占有していた。産卵行動は、野外で少数観察され、1 尾に数尾が追尾して植物の根、堆積域に入り乱れて並走遊泳し、産卵していた。しかし、繁殖機構については不明の点が多かった。

一方、ホトケドジョウの産卵行動等に関する研究は、種苗生産の方法^{3,4)}、野外⁵⁾、室内飼育観察での報告⁶⁾がある。ちなみに、地理的分布、生息場が異なる同属のナガレホトケドジョウ、エゾホトケドジョウでは、いくつかの研究報告^{7,8,9)}がある。

これら、産卵行動は、生活史の中で重要な時期であり、繁殖様式の機構、産卵行動、個体間の相互関係等を解析していくことが必要であると考えた。

今回、室内飼育による産卵行動の観察と繁殖様式等を解析し、野外での繁殖生態の調査結果を補完し、さらに、減少しつつある地域個体群の保全、再生するための基礎的資料を得るために、若干の解析を加えたので報告する。

2 材料と方法

2-1 産卵行動の観察方法

供試魚は、旭谷戸集団を室内で稚魚から飼育していた 1 歳魚、実験期間は、2006 年 4 月~6 月であった。

飼育方法は、恒温室内に設置した流水式水槽(縦 45×横 90×高さ 45cm)に脱塩素処理した水道水を、換水率 2 回/日の割合で通水した。照明は、観賞魚用蛍光ランプ(785 ルーメン)で明条件 14 時間、飼料は冷凍アカムシを給餌した。

水槽の中に産卵床を形成させるための写真用バット(縦 30×横 25×高さ 3.5cm)をセットした。産卵床の中に、水草のウィローモスの一塊を移動しないように、水槽上段より塩ビ管を用いてセットした。

個体の分布位置を把握するために、水槽内の区画を、バット内の産卵床(以下、B と略記)、産卵床に近い区画(バット

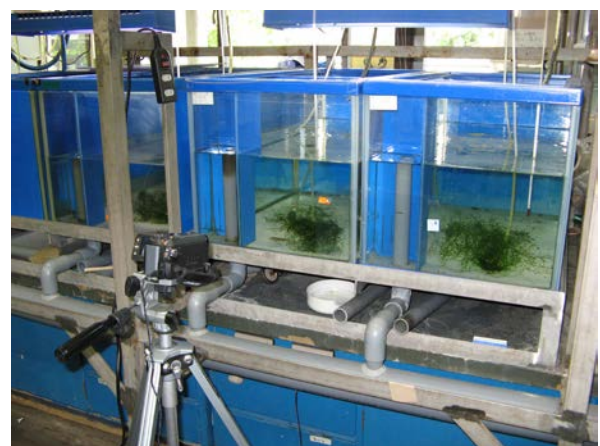


写真-1 恒温室内に設置された観察水槽

から 10cm 以内の区画、以下、S1 と略記)、水槽から遠い区画 (バットから 10cm 以上の区画、以下、S2 と略記) の 3 区画を設定し、鱗の一部カットによる個体識別を行い、雌は f、雄が m 番号の識別記号で示した。観察は、3 実験水槽の A1、A2、A3 区を設け、A1 には雌雄 1、A2 は雌 1、雄 2、A3 は雌 1、雄 4 尾を供試して経過観察を行った。観察期間は、A1 が 5 月 9 日～6 月 14 日の期間、飼育期間は 37 日、観察回数が 11 回であった。A2 が 4 月 11 日～5 月 20 日の飼育期間が 40 日、観察回数 29 回、A3 が 4 月 18 日～5 月 21 日、飼育日数が 34 日、観察回数 24 回であった。

実験水槽、観察方法の概要を写真-1 に示した。観察は、10 分/日で、水槽別に各個体の動きをトレースした。また、産卵行動の観察記録は主にビデオカメラ (GZ-MG575B、ビクター製) を用い、2006 年、2007 年 4 月に 12 時間録画で行った。水温の平均値±標準偏差は $20.6\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ (標本数 35) であった。

2-2 繁殖様式の調査方法

供試魚は、旭谷戸集団の 1 歳魚を用い、実験期間は、2007 年 4 月～7 月であった。

飼育方法は、前回と同様であった。産卵床として水草、ウィローモスを上から塩ビ管で底層にセットした。観察方法は、原則的に雌雄 1 尾で行い、雌の行動、外観所見等によって、雌個体を入れ替えながら 5 回に分けて行った。それを、実験水槽の産卵床番号として、B1～B5 と表示してまとめた。卵が確認された産卵床は、卵付着基質の水草全部を金魚ネットですくい取り、円筒水槽 (径 24cm×高さ 12cm、塩ビ製) に入れ、経過観察を行った。産卵床には、新たな水草をセットした。なお、円筒水槽には、脱塩素した水道水を満たし、散気していた。

観察項目は、卵からふ化した個体数を計測した。卵数とふ化個体数との差が希少であることから³⁾、ふ化仔魚数を対象とした。実験水槽の水温の平均値±標準偏差は、 $23.3\pm 1.8^{\circ}\text{C}$ (標本数 47) であった。

3 結果

3-1 産卵行動のパターン

実験水槽で観察された雌雄 1 尾の場合の産卵行動パターンを写真-2、3、4 に示した。

雌雄 1 尾の例では、産卵床に雄が分布し (写真-2)、飼育開始 1 日後から産卵行動が観察された。産卵行動は雌が産卵床の水草の塊に入り込み、体を左右に小刻みに振るわせて遊泳する。雄はそれに触発されて追尾し、後方より雌の体側、腹部等を吻端でつつき、追尾する (写真-3)。後方追尾から相互に体を振るわせ、体を接しながら、並行に遊泳し、あるいは雌尾部後方からまわりこみながら並行遊泳をする場合も観察された (写真-4)。その後に再び吻端で、腹部等をつつき、追尾行動へと連動していた。これらの遊泳行動は水草の中を、体をくねらせながら行われる。この時、放卵し、水草に付着させ、産卵放精を行っているものと推測した。産



写真-2 水草のウィローモスを占有する雄



写真-3 雌 (黒色) の腹部を吻端でつつく、雄、雌は水草の中に突き進み、雄は追尾する

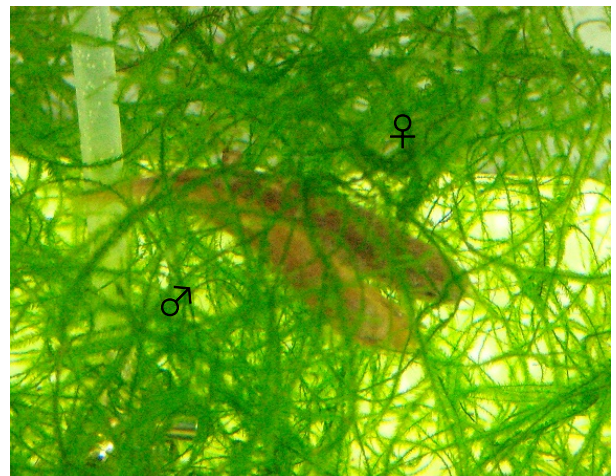


写真-4 体側を接触させ、振動、並行遊泳、その時に産卵放精、水草に卵付着

卵行動終了後は、ウィローモスの塊が解れた状態となっていた。卵は、水草に散在的に付着し、水槽の底でも確認された。これらの行動は短時間の中で繰り返し行われた。産卵行動終了後は、雄は雌に突進し、産卵床から追い出し、排除する行動をとった。

雌 1 尾、雄 2 尾の例では、飼育開始後、雄間で、頭を同じ

方向、逆方向にして体を振動させる、誇示行動を示す、個体間干渉が観察された。その後、産卵床に雄1尾が占有し、他個体は産卵床の外部に排除された。しかし、産卵行動が発現するとともに、その雄は、産卵床占有個体とともに水草の中、雌を追尾し、並行遊泳し、先の雌雄1個体の場合と同様な産卵行動を示した。さらに、産卵中の雄2個体の行動は、前後して雌の腹部等をつつき、追尾していた。その時、雄間の相互の争いはあまりなかった。これらの行動は、1産卵行動が約2分以内で終了し、産卵終了後の雌は雄とともに産卵床から排除された。産卵行動が誘発される時期は、不特定な時間、所要時間に変動があるが、短い時間の範囲で行われた。また、個体の相互作用によって体表面の裂傷、出血斑等の外観所見も認識された。

3-2 雌と雄間の相互関係

実験水槽、A1、A2、A3の供試個体の標準体長、体重を表-1に示した。個体間の相互関係を解析するために、産卵行動の観察から行動パターンを、「振動」、「並行遊泳」、「つつき」、「追い出し」、「側面誇示」の5区分とし、水槽別にまとめたのが表-2である。また、個体別区分別の飼育日数による分布位置等をまとめたのが図-1、表-3である。

3-2-1 A1水槽の観察

雌のfが標準体長51.5mm、雄のmが45.8mmの各1尾であった。卵は産卵床のBに存在する水草で、飼育日数1日、7日目の2回確認された。行動パターンは、雄による産卵床からの雌の追い出し、排除行動が多く観察され、飼育37日期間中にmがBに100%の占有割合を示した。fは産卵床から10cmの区画S1、10cm以上の区画S2に分布し、特に、S2が70%以上の分布割合であった。産卵時を除いて、fは産卵

床に入り込めないものと思われた。卵は、ウィローモスに散在的に付着していた。

個体間の行動様式は、動画記録から産卵行動が観察され、一連の産卵行動パターンを頻度多く出現させていた。fは産卵床のウィローモスに侵入し、fの体の振動を伴って、mが同調し、産卵放精を行っていた。産卵後のfは、mに排除されながらも、産卵床に接近し、底に散在する卵を摂餌しているのが観察された。後日に、同様な例での産卵後の雌を採捕し、胃内容物を調査したところ、卵を確認した。

3-2-2 A2水槽の観察

雌のfが1個体で標準体長47.5mm、雄のm1が標準体長43.6mm、m2の44.4mmの2個体であった。卵は産卵床のBの水草に付着しているのを、飼育日数1日、21日目の2回確認された。

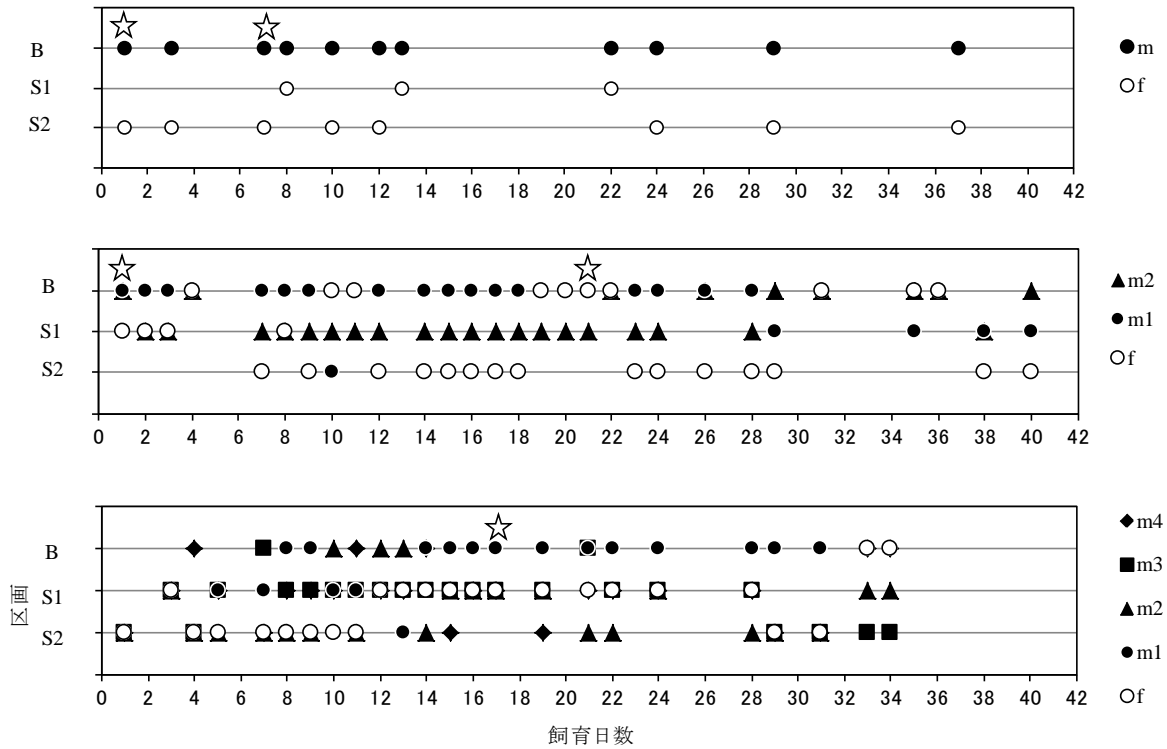
実験開始からm1がBに分布し、28日まで持続させた。し

表-1 供試魚の標準体長、体重

水槽	個体No	標準体長 (mm)	体重 (g)
A1	m	45.8	1.4
	f	51.5	1.9
A2	m2	44.4	1.8
	m1	43.6	1.6
	f	47.5	2.3
A3	m4	40.9	1.1
	m3	40.4	1.2
	m2	56.0	2.4
	m1	50.0	1.6
	f	56.6	2.6

表-2 実験水槽別個体間の相互関係、行動パターンの出現数、f：雌、m：雄

実験水槽	飼育日数	観察回数	出現方向	個体No	振動	並行遊泳	つつき	追い出し	側面誇示
A1	37	11	m →	f	0	0	0	46	0
			m1 →	m2	0	0	0	11	7
A2	40	35	m2 →	f	2	2	15	12	0
			m1 →	m1	0	0	0	0	0
			m2 →	f	0	0	2	2	0
A3	33	29	m1 →	m2	0	0	0	1	3
			m1 →	m3	0	0	0	1	1
			m1 →	m4	0	0	0	1	0
			m1 →	f	0	0	0	0	0
			m2 →	m1	0	0	0	4	0
			m2 →	m3	0	0	0	3	0
			m2 →	m4	0	0	0	1	0
			m3 →	f	0	0	0	0	0
			m4 →	m1	0	0	0	1	0
			m4 →	m2	0	0	0	0	0
	m3	0	0	0	0	1			
	f	5	0	1	0	0			
	f →	m2	0	0	0	1	0		



図一 1 個体間の相互関係の経過観察、上段：A1、中段：A2、下段：A3 水槽、区画：B は産卵床、S1 が産卵床から 10cm 以内、S2 が 11cm 以上、表一 3 も同様、☆：卵確認、凡例：f；雌、m；雄個体番号

表一 3 個体別の区画占有割合 (%)

水槽	個体No	B	S1	S2
A1	m	100.0	0.0	0.0
	f	0.0	20.0	80.0
A2	m2	40.0	60.0	0.0
	m1	74.3	22.9	2.9
	f	40.0	11.4	48.6
	m4	31.0	48.3	20.7
A3	m3	13.8	62.1	24.1
	m2	20.7	31.0	48.3
	m1	65.5	20.7	13.8
	f	13.8	48.3	37.9

かし、29 日より S1 に分布する傾向を示し、B での分布割合が 74%であった。m2 は、産卵床から 10cm 以上の区画 S1 に 60%と多く分布していたが、B にも 40%の割合で分布していた。26 日より m1 に変わって m2 が B に分布する傾向を示した。f は S2、B に分布割合が高く、実験水槽 A1 とは異なっていた。統計学的には個体間、区画間で有意差を示さなかった (フリードマン検定、個体間： $\chi^2=0.545$ 、 $df=2$ 、 $P=0.761$ 、区画間： $\chi^2=0.667$ 、 $df=2$ 、 $P=0.717$)。

個体間の行動様式は、雄間での産卵床への占有競合として側面誇示行動等の出現を示し、m2 より体長が低かったが、m1 が産卵床を占有した。m2 と f への追い出しがほぼ同率で出現、つつき行動も多く出現していた。また、m1 と f とが産

卵時の行動パターンでもある体の振動、並行遊泳も観察された。

3-2-3 A3 水槽の観察

雌の f が 1 個体、標準体長 56.6mm で、雄の m1 が標準体長 50.0mm、m2 が 56.0mm、m3 が 40.4mm、m4 が 40.9mm の 4 個体であった。卵の確認は、飼育日数 17 日目の 1 回のみであった。

実験初期、f は S1、2 に分布していたが、雄間では飼育日数 13 日まで分布区画が定まらなかったが、14 日より産卵床の B に m1 が分布するようになり、その占有期間に卵が確認された。m2 が S2 に、m3、m4 が S1 の分布割合が高かった。統計学的には個体間、区画間で有意差を示さなかった (フリードマン検定、個体間： $\chi^2=0.759$ 、 $df=4$ 、 $P=0.944$ 、区画間： $\chi^2=2.800$ 、 $df=2$ 、 $P=0.247$)。

雌と雄 4 個体間の行動様式は、産卵床占有個体が m1 となったが、A1、A2 水槽に比して雄個体間の相互関係が少なかった。しかし、m1 より体サイズが大きい m2 に対しての追い出し行動が観察され、また、m2 から m1、m3 方向への追い出し行動も発現していた。体サイズによって行動発現の方向性が異なっていた。A1、A2 水槽との比較では、個体間の相互関係を示す行動発現が少なく、雄個体の産卵床占有率、追い出し等の行動発現も A1 の場合に比して少なかった。

3-3 繁殖様式

実験水槽 B1~B5 の供試魚の標準体長、体重と産卵回数、

表一 4 産卵床 (B) 別の繁殖様式、SL : 標準体長、BW : 体重、水温、産卵間隔日数、ふ化日数の値は、
 平均値±標準偏差

項目		B1	B2	B3	B4	B5
雄	SL (mm)	49.2	—	—	—	—
	BW (g)	1.7	—	—	—	—
雄	SL (mm)	48.3	50.5	48.0	47.5	47.5
	BW (g)	2.1	1.8	1.4	1.7	1.7
雌	SL (mm)	52.5	52.3	55.0	48.0	36.6
	BW (g)	2.4	2.2	2.3	1.4	0.6
水温		20.9±0.4	23.5±1.1	22.2±1.4	21.3±0.6	22.7±1.1
飼育日数		35	56	41	5	5
産卵回数		4	7	17	2	2
飼育日数/回		8.8	8.0	2.4	2.5	2.5
産卵間隔日数		5.0±4.2	7.6±6.9	2.4±1.6	4.0	4.0
ふ化日数		1.3±0.5	1.6±0.8	1.4±0.6	1.5±0.7	1.0±0.0
ふ化仔魚数計		217	303	1079	38	94
ふ化仔魚数/回		54.3	43.3	63.5	19.0	47.0

ふ化仔魚数等を表一 4 に示した。

飼育日数は水槽により異なっており、5 日～56 日であった。そのため産卵回数も 2 回～17 回と範囲が広がった。

産卵間隔は、全体の平均値が 4 日で、B3 は、2.4 日ごとに産卵が行われていた。この B3 は飼育日数が長く、産卵回数も多かった。産卵からふ化するまでの所要日数は、1～3 日の範囲、全産卵床の平均値±標準偏差 (標本数) が 1.4±0.6 日 (32) であった。なお、その時の水温は 22.3±1.5°C (65) であった。ふ化仔魚数計の最大は B3 の 1079 尾で、産卵回数あたりの仔魚数は約 64 尾であった。

雄個体 2 尾の B1 と雌雄 1 個体の B2、B3 を比較すると、B1 が産卵回数、ふ化仔魚数で少なかった。しかし、1 回あたりのふ化仔魚数は、B2 より多かった。

卵サイズ等では、B2 の場合、卵長径の平均値±標準偏差 (標本数) が 1.1±0.1mm (30)、ふ化仔魚の全長がふ化 1 日で 4.1±0.9mm (31)、2 日後が 4.5±0.4mm (26)、3 日～5 日では 4.8±0.5mm (10) であった。

4 考察

ホトケドジョウの産卵行動は、室内水槽内では、雄がなわばりを持ち、雌がそこに入り込ることにより並んで産卵受精が行われることを報告している⁶⁾。また、野外では多数の雌雄が加入して、枯草や切り株に 2～3 粒、散在して産み付けるとしている^{10,11)}。また、水際に繁茂する水辺植物、雄がなわばりを持ち、雌が侵入し、まわりにいた個体が加入して産卵が行われていることが報告されている³⁾。前報²⁾では、枯葉、湿性植物の周囲で、数尾の個体が加入して産卵行動を示し、卵を産み付けているのを確認した。これらの結果は、既存の報告と同様な観察結果であった。しかし、産卵場での雄占有

個体の役割、雌雄、同性の個体間の相互関係、産卵行動のパターンについては明確ではなかった。今回、これら野外での観察結果を明確にするために、室内水槽で産卵行動等を観察したのであった。

ホトケドジョウの室内飼育水槽での産卵行動は、雄が水草を占有し、そこに雌が侵入し、水草の中で体側を振動させ、遊泳始めると同時に、雄が追尾し、腹部等をつつきながら追尾、体を接触させながら並行遊泳し、産卵が行われることを確認した。雌 1 尾、雄 2 尾の場合は、雌が侵入すると同時に、産卵床から離れた区画にいた雄が加入し、占有雄とともに産卵行動に加わり、スニーキングを行っていることが観察された。

これら産卵行動のパターンは、同属のナガレホトケドジョウ⁷⁾の産卵習性と比較すると、生息場の違いを反映し、雄は占有している礫に接近してきた雌の体をつつき、雌は頭で礫下の砂を掘り、並行遊泳し、砂の中に産卵、放精しており、産卵行動パターンは似たものであったが、卵付着の段階で、基質に対応した異なる行動を示していた。また、エゾホトケドジョウもホトケドジョウと同様な場所に産卵し、行動パターンも似ていた⁹⁾。ちなみに、ドジョウは、雌の体に雄が巻き付く産卵行動を示すことが報告^{12,13)}され、シマドジョウでも同様な産卵行動を示すことが示唆されており¹⁴⁾、ホトケドジョウとは異なったものであった。

雌 1 尾に対して雄の数を変えた実験水槽では、雌雄 1 尾の場合、雄の産卵床に産卵時以外は入り込めなく、一方向の明確な排他的な行動を示していた。これら産卵床占有に関する行動の出現頻度は、雄が増加するにつれ減少する傾向を示した。また、雄 4 尾の試験水槽では、個体間の相互関係の中で、産卵床占有雄の成立によって雌の産卵が成立したものと解

積された。

これらの結果は、雄が水草のある産卵床を占有することにより、雌の産卵を誘発し、産卵後に水草に付着した卵を保護することを示していた。産卵を終えた雌は、卵を捕食する行動が観察され、実際に雌の胃内容物を見たところ卵を確認することができた。この卵食は他の研究報告でも指摘されている³⁾。

雄個体間の相互関係では、体を振動させて側面誇示行動が観察され、その結果として占有雄が決まってくるものと推測した。占有雄の体サイズは、体長差が希少であれば、小型個体でも産卵床を占有することが可能であることを示していた。

繁殖様式では、ふ化仔魚数は、産卵からふ化するふ化率がほぼ 100%であることが示されていることから、ふ化仔魚数として検討したのであった。ホトケドジョウの産卵は同一個体が多回産卵することが知られており、雌雄 1 尾の試験区では 1000 個以上の産卵、雌 1、雄 2 尾では 148~226 個の産卵数を報告している³⁾。今回は、例数が少なく、今後、追加して解析を行う必要があるが、あえて比較すれば、雌雄 1 尾の水槽でふ化仔魚数が最大値で 1079 尾、雌 1、雄 2 尾では 217 尾と産卵数の結果と近似していた。産卵の間隔は、全体の平均値で 4 日、産卵回数最大値は 17 回、1 回あたりのふ化仔魚数は 19~64 尾であった。ナガレホトケドジョウでは、産卵間隔の平均値が 6 日であり、今回の方が若干短かった。

以上、繁殖様式は、多回産卵、推定産卵数は数回に分けて数十個の卵を基質に付着させ、付着卵は短期間にふ化し、生長していく方法をとっているものと思われた。

一方、前報²⁾の野外の観察例では、産卵床を占有する同一雄個体の占有期間が 9~24 日の範囲で産卵床を占有していた。すなわち、雄は、卵付着基質となる場所を占有し、そこに雌が侵入することにより産卵行動が行われる。その時、周囲にいた雄も加わり、基質の中を 1 尾の雌と数尾の雄が追尾、並行遊泳し、数十個の卵を産み付けていた。産卵終了後は、占有雄が産卵床から雌、雄を排除する。

野外の産卵場は、分布が制限されている中で、近接した場所に多く形成されていた。そのため、雌は他の産卵場へと移動し、産卵していくことが推測される。産卵床基質には異なる雌の卵が付着し、短期間でふ化していく卵を占有雄が継続的に保護しているものとする。これらの産卵行動、繁殖様式等から、配偶システムのタイプは、なわばり訪問型複婚 (Male-territory-visiting polygamy)¹⁵⁾に該当すると推測した。また、占有雄と未占有雄との個体間の相互関係等によって、占有雄が交代する場合もあるものとする。特に、繁殖期、生息密度が高い区間では性比が雌に偏っているため、産卵床の占有維持が短期間で、不安定なものとなる。

以上、室内水槽の観察から産卵行動、繁殖様式の概要が明らかになった。今後、さらに、野外、室内での観察等の追加調査研究が望まれるところである。

5 まとめ

ホトケドジョウの産卵行動、繁殖様式等を室内飼育観察により若干の解析を行った。

- 1) 飼育条件は、恒温室内に設置された流水式水槽にウィローモスの塊を固定して産卵床を作った。
- 2) 産卵行動は、雄が産卵床を占有し、侵入雌が体を振動させながら遊泳し、雄は雌の腹部等を吻端でつつき、体側を接触させ並行遊泳する。その時に水草に卵を散在的に付着させていた。
- 3) 雄 2 尾の場合、産卵行動時に、占有雄とともに追尾、つつき行動等を示し、スニーキングを行っていた。
- 4) 個体間の相互関係は、産卵床占有雄と他個体との干渉が個体数が増加すると少なくなった。しかし、産卵床占有期間が不安定であった。
- 5) 繁殖様式は、同一雌が多回産卵、ふ化までの所要日数が平均値 1.4 日、ふ化個体数計が最大 1000 個以上であった。
- 6) 産卵行動、繁殖様式は、配偶システムのなわばり訪問型複婚に該当すると考えた。

以上、繁殖生態の概要が明らかになった。

文献

- 1) 樋口文夫・福嶋 悟 (2012) : 梅田川流域の谷戸水路におけるホトケドジョウの生活場選択に関する研究、横浜市環科研報、36、30-39.
- 2) 樋口文夫・阿久津 卓 (2013) : 梅田川流域の谷戸水路におけるホトケドジョウの産卵場に関する研究、横浜市環科研報、37、29-39.
- 3) 勝呂尚之 (2005) : ホトケドジョウ種苗生産における最適親魚収容数および魚巢設置数、水産増殖、53、83-90.
- 4) 勝呂尚之 (2002) : ホトケドジョウの初期飼育条件、水産増殖、50、55-62.
- 5) 洲澤 譲 (2000) : 関東産ホトケドジョウの産卵生態、2000 年度日本魚類学会講演要旨、33.
- 6) 秋山廣光・前畑政善・松田尚一 (1980) : ホトケドジョウ、故国びわ湖の魚たち、滋賀県立琵琶湖文化会館編、第一法規、東京、115-116.
- 7) Aoyama Shigel (2005) : Spawning habitats of the fluvial eight-barbel loach *Lefua* sp. observed in captivity, *Ichthyol. Res.*, 52, 237-242.
- 8) Aoyama Shigel (2006) : Spawning site of the fluvial eight-barbel loach, *Lefua* sp., in the natural environment, *Ichthyol Res.*, 53, 107-112.
- 9) 青山 茂・佐藤亜紀 (2008) : 水槽内で観察されたエゾホトケドジョウ、水産増殖、56、609-610.
- 10) 田彌一郎・清石禮造 (1937) : 日本産淡水魚の仔魚及び稚魚の形態並びに生態的研究 (VII)、水産研究誌、32、490-494.
- 11) 青柳兵司 (1957) : ホトケドジョウ、日本列島産淡水魚類総説、大修館、東京、160-162.
- 12) 塚原 博 (1948) : ドジョウの求愛・産卵行動とその誘発、

- 採集と飼育、**10**、354–356.
- 13) 斎藤憲治 (2005) : ドジョウ、日本の淡水魚類、改訂版、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 監修・編、山と溪谷社、東京、382–385.
- 14) 君塚芳輝 (2005) : シマドジョウ、日本の淡水魚類、改訂版、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 監修・編、山と溪谷社、東京、392–393.
- 15) 桑村哲生 (1998) : 魚類の繁殖戦略入門、魚類の繁殖戦略 I、桑村哲生・中嶋康裕 共編、海游舎、東京、1–41.

横浜港の底層環境調査 —根岸湾奥・堀割川河口—

小市佳延、村岡麻衣子、上原直子、七里浩志(横浜市環境科学研究所)、
西栄二郎、松尾香菜子、若井美里(横浜国立大学)、坂本昭夫(海をつくる会)、
杉原(村上)奈央子(元・東京大学大学院)

Investigation of bottom environment in port of Yokohama —The Gulf of Negishi depths and Horiwari river mouth—

Yoshinobu Koichi, Maiko Muraoka, Naoko Uehara, Kouji Shichiri(Yokohama Environmental Science Research Institute),
Eijiroh Nishi, Kanako Matsuo, Misato Wakai (Yokohama National University),
Akio Sakamoto (The Sea Beautification Society), Naoko Murakami-Sugihara(Graduate School, The University of Tokyo)

キーワード：貧酸素、河口、底質、底生生物

要 旨

富栄養化した東京湾の西岸にある根岸湾奥・堀割川河口 6 地点において 2011 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 9 月に根岸湾奥全域で赤潮がみられたが、底層 DO は 4mg/l 以上あり、貧酸素ではなかった。底質は堀割川河口を除いた地点で嫌気性が強く、ポンプ場排水口に近い地点では有機物や硫化物の濃度が高かった。底生生物は 6 種の有機汚濁指標種を含む 16 種が採集された。6 月の 2 地点と 9 月の 2 地点においては無生物帯に近く、わずかに 1 または 2 種で 2~4 個体のみ出現していた。水産用水基準による底質評価では、6 月の 1 地点と 9 月の 2 地点が「汚染初期泥」で、その他の地点は「汚染泥」と判定された。七都府県市底質環境評価区分では、近くの海の公園・八景島周辺での底質環境評価の目標は「環境保全度Ⅲ」であるが、今回調査では最高でも 6 地点中 1 地点が「環境保全度Ⅱ」であり、評価の低い地点が多かった。

1. はじめに

閉鎖性海域の東京湾では富栄養化のために、春から秋にかけて赤潮や貧酸素化現象がみられ、景観や漁業に影響を及ぼしている。東京湾における水質モニタリング体制としては、千葉灯標の海上観測局や観測船・漁船等の定期的な観測があり、これらの情報をもとに東京湾全体を推測した「貧酸素水塊速報」¹⁾ や「東京湾海況情報」²⁾ などが提供されている。

しかし、東京湾に直接面していない運河や淡水の流入する河口などでは沖合とは赤潮等の挙動が異なると考え

られる。このような条件の場所として、筆者らはこれまで横浜内港や小運河、鶴見川や帷子川などの河口、下水処理場放出口付近を選び、水質等の調査を行ってきた³⁻⁶⁾。

今回、根岸湾奥・堀割川河口周辺において水質・底質等を調査し、その特徴や底生生物の生息の可能性等を検討したので報告する。

2. 調査方法

2-1 調査地域

調査域は東京湾に面した根岸湾の奥および堀割川の河

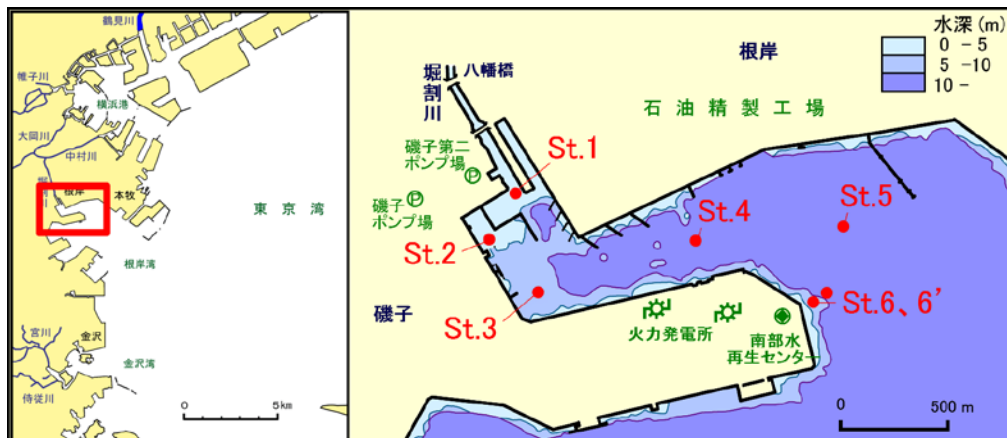


図 1 調査地点

表-1 調査項目および測定方法

項目	測定方法
【水質】	
水温	防滴型温度計:カスタム CT-280WR
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
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)	グラスフィルターろ過後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

口である。調査地点を図-1に示す。

堀割川は大岡川の支川で、St.1はその河口にあたる。近くにヨットハーバーや石油精製工場がある。水深は浅く、約3mである。St.2はヨットハーバーの南側にあたる。水深はやや浅く、約5mである。St.2の西岸には下水道のポンプ場からの排出口や小河川の出口があり、大雨時にはここから淡水の流入があると考えられる。St.3は根岸湾に突出しているふ頭の根元に位置する。水深は約8mである。St.4は石油精製工場と火力発電所に挟まれた地点で水深は約10mである。発電所の冷却水放流口からは約200m離れている。St.5は石油精製工場の沖で、水深は約17mである。St.6、6'は下水処理場の放流口近くの地点である。St.6の海底は礫質なため、採泥地点は沖側のSt.6'に移した。

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」にて調査地点に行き、船上より水質・底質・底生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取した。底質および底生生物用試料はエ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2011年6月2日、9月5日である。6月2日は大潮にあたり、調査時は下げ潮から干潮までで、小雨であった。9月5日は小潮にあたり、調査時はわずかに上げ潮から潮が止まる状態であった。また、調査時は曇りだったが、未明に15mmの降雨があった。

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	2.5	20.0	2.0	8.00	23.5	2.4	4.5	4.1	3.0
		下		20.0		8.03	24.0	2.3	3.9	2.7	3.3
	St.2	上	6	19.9	2.5	8.25	27.0	1.4	6.1	2.7	3.9
		下		19.2		8.23	33.0	3.7	5.5	2.5	4.5
	St.3	上	7.6	19.7	2.8	8.27	27.5	1.3	6.3	3.1	4.5
		下		18.9		8.23	33.5	2.1	5.7	2.4	3.6
	St.4	上	13.1	20.6	2.3	8.39	30.2	1.3	6.9	2.9	6.1
		下		18.1		8.26	35.0	1.5	7.3	1.7	1.8
	St.5	上	16.2	20.5	2.5	8.31	28.0	1.4	7.1	3.1	6.5
		下		18.2		8.27	35.7	1.6	6.9	1.6	1.5
	St.6	上	9.6	19.3	2.2	8.01	23.5	1.1	7.3	3.7	5.3
		下		18.4		8.29	34.0	2.4	7.1	2.1	3.6
9月	St.1	上	4.2	27.3	1.2	8.72	22.0	7.0	11.4	6.1	75.1
		下		27.2		8.57	23.0	5.4	9.1	5.8	59.0
	St.2	上	6.5	27.1	1.0	8.74	20.0	9.7	11.0	5.3	105
		下		27.9		8.34	27.0	4.4	5.2	3.2	24.9
	St.3	上	10	27.0	1.2	8.77	21.0	8.3	10.2	6.6	88.5
		下		26.3		8.30	29.5	1.1	5.8	2.4	9.7
	St.4	上	15.4	27.0	1.3	8.81	19.0	7.2	10.4	6.6	115
		下		24.7		8.16	31.0	1.0	4.8	2.0	4.2
	St.5	上	17.6	26.9	1.2	8.72	18.0	6.9	11.6	6.7	114
		下		24.1		8.10	31.0	1.3	3.9	2.3	3.7
	St.6	上	15.2	26.6	1.2	8.84	14.5	6.5	11.0	6.7	85.4
		下		25.6		8.27	30.0	4.8	5.8	3.1	13.5

* 上=表層、下=底層

2-3 調査項目および測定方法

水質、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⁷⁾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⁸⁻¹⁸⁾ならびに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いる分類・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。

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では3m前後と浅く、St.2、3、6では6~10m、St.4、5、6'では13~18mと深い。

水温は6月の表層水でSt.4、5がSt.1、2より約0.5°C高いのが認められる。火力発電所では冷却用の海水は表層より水温の低い底層水が使われる。ここでは敷地南側から取水し、北側から放流される。火力発電所の冷却水量は出力100万kWあたり30~40m³/secといわれている¹⁹⁾。2箇所の発電所の総出力は115万および120万kWであるから^{20、21)}、それぞれの温排水量は約300~400万m³/日となる。多摩川の流量は約320万m³/日²²⁾なので、多摩川2本分の冷却水が根岸湾奥に排出されていることになる。St.4、5では、St.1、2よりわずかな温度上昇であるが火力発電所の温排水の影響も考えられる。

透明度は6月には2.0m以上あったが、9月は1.2mと低くなった。一方、濁度は6月には表層で2度台であつ

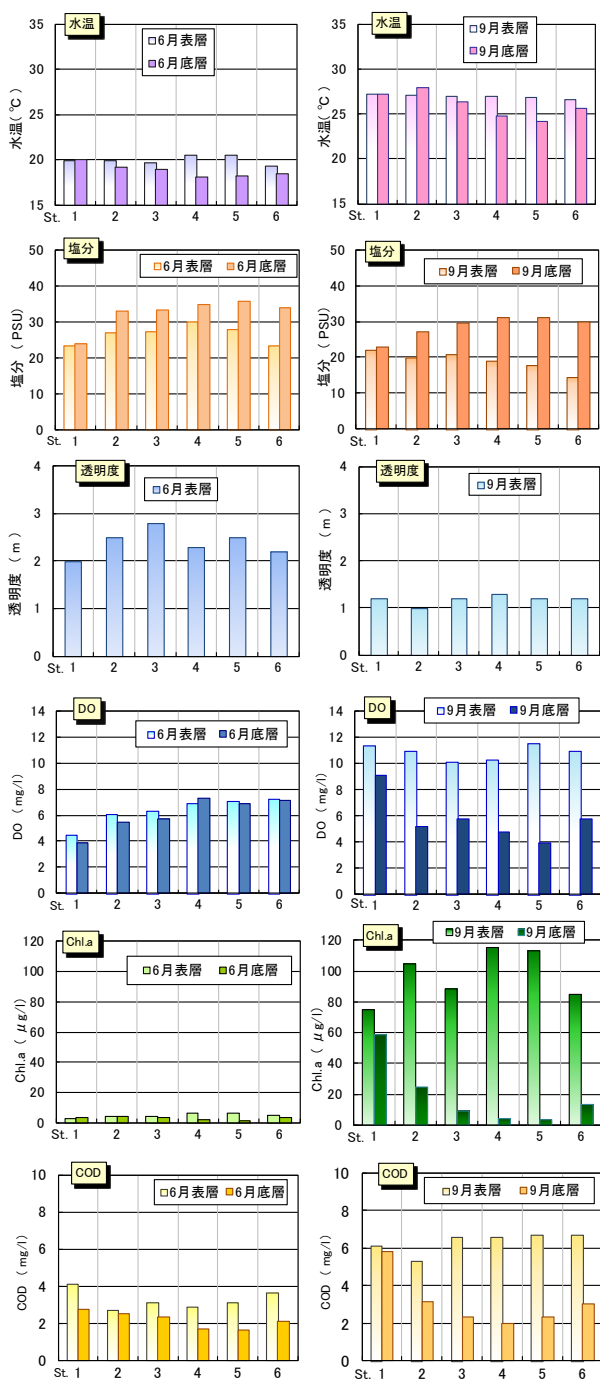


図-2 水質の結果(一部)

たが、9月は6~10度と高かった。

塩分は表層よりも底層で高い。6月は堀割川河口の St.1 と下水処理場放流口付近の St.6 で表層の塩分が低くなっており、淡水流入の影響とみられる。9月の表層塩分は6月より低く、St.1 から St.6 にかけて漸減していく傾向がみられた。調査日の未明に降った雨の影響で大量の河川水が沖に向かって流れて行ったためと思われる。底層の塩分は水深の浅い St.1 を除いて St.3~6 は 30psu 前後でほぼ一定である。ただ9月の St.2 は底層塩分がやや低くなっているが、水深が浅いためにポンプ場排水が底層部にまで多少およんだと考えられる。

DO は6月では St.1 で表層・底層とも 4mg/l 前後と低

かったが、その他の地点では 6mg/l 程度あり、底層と表層の DO の差が小さかった。9月は表層 DO が 10mg/l 以上あり、過飽和となっていた。底層 DO は水深の浅い St.1 では過飽和だったが、他の地点は 5mg/l 前後であった。St.5 では底層 DO は 3.9mg/l であり、水産用水基準値 (4.3mg/l) に達していなかった。ただし、閉鎖性海域中長期ビジョン²³⁾ の目標値である底層 DO 2mg/l 以上には全地点で到達していた。

Chl.a は6月が表層、底層とも 6 μ g/l 以下であったのに対し、9月は表層で 75~115 μ g/l と高かった。この時の透明度は約 1.2m であるから、神奈川県や千葉県・東京都の赤潮判定基準 (透明度 2 (1.5) m 以下、Chl.a 50 μ g/l 以上)²⁴⁾ により、調査域は赤潮状態にあったと考えられる。

COD は6月の表層で 2.7~4.1mg/l、これに対して底層では表層 COD より低い傾向がみられた。9月は表層で 5.3~6.7mg/l と6月よりやや高くなった。9月には赤潮プランクトンなどが多く、これが高 COD の原因物質になったと考えられる。

9月の「東京湾海況情報」²⁾ では調査日と同じ9月5日に東京湾全域で測定が行われている。東京湾の西側は大雨を伴った台風の影響で表層の塩分は 10 以下となっており、根岸湾付近は 10 を少し超える領域になっている。また透明度の分布は 1m を少し超える領域になっている。同日観測の「貧酸素水塊速報」¹⁾ では根岸湾の底層 DO は約 2mg/l の領域になっている。今回調査した根岸湾の湾奥では塩分は 14~22、透明度は 1.0~1.3m、底層 DO は 3.9~9.1mg/l であり、東京湾全域の情報から推測した値とはやや違う結果が観測されていた。

3-2 底質

底質の調査結果を表-3、図-3に示す。St.6では礫質のため採泥できず、沖側に採泥地点 (St.6') を移した。

酸化還元電位 Eh は水深の浅い St.1 を除いて St.2~6' では -110mV 以下であり、嫌気度が強かった。また、同一地点では6月より9月に低くなる傾向があり、嫌気度が増したのが認められる。特に水深が深い St.4~6' ではその度合いが大きかった。

堀割川河口 St.1 の底質夾雑物として貝片の他に木の葉

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	19.1	11	47.4	52.6	6.9	3.5	9.9	31.4	1.09
	St.2	18.6	-192	29.7	70.3	11.4	9.5	12.2	64.5	3.57
	St.3	18.3	-179	21.0	79.0	7.6	4.1	8.5	40.2	2.07
	St.4	17.8	-118	29.0	71.0	7.4	3.2	9.1	31.6	0.96
	St.5	17.9	-114	8.3	91.7	9.0	4.7	9.4	33.5	0.88
	St.6'	17.9	-114	42.6	57.4	6.2	2.9	8.7	22.4	0.82
9月	St.1	27.0	-20	80.7	19.3	2.7	1.2	8.8	6.4	0.35
	St.2	26.3	-191	9.4	90.6	9.9	16.1	9.2	42.2	3.37
	St.3	25.2	-187	51.1	48.9	6.9	2.3	11.8	24.5	1.72
	St.4	25.1	-149	55.9	44.1	5.4	1.9	9.9	18.2	0.72
	St.5	22.0	-184	5.8	94.2	10.7	6.5	11.0	40.2	1.95
	St.6'	23.1	-187	8.3	91.7	9.7	5.4	10.1	35.8	2.28

等の植物片がみられた。河川上流から運ばれてきたものが沈降したものと考えられる。粒度組成は粒径 2~0.075 mmの砂分が 6 月は 47%と半分近くを占め、さらに 9 月には 81%と多かった。その 9 月には COD が 6 mg/g、全硫化物 T-S が 0.4mg/g と他の地点に比べて低くなっていた。汚濁物質を含有する割合が高い泥分が 6 月に比べて少なくなったためと思われる。

ポンプ場放流口近くの St.2 でも底質夾雑物として貝片の他に木の葉等の植物片がみられた。砂分の IL が 10%以上と高い。これは、雨水排水の放出に伴って運ばれてきた落葉等が細分化されていたものと考えられる。6 月は COD や T-S が 65、3.6mg/g と他の地点に比べて高かった。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く存在し²⁵⁾、生育できる酸化還元電位 Eh は 0~-200mV といわれている²⁶⁾。St.2 は COD や IL の値が高いことから、有機汚濁物質に富む底質が堆積した箇所と考えられる。また Eh は -190mV であるから、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、硫化水素の多くが硫化鉄として底質中に蓄積されて St.2 で硫化物が高濃度になったものと考えられる。9 月は粒径 0.075 mm以下の泥分が増加したものの有機物指標である COD は 2/3 に減少した。IL も 9 月に減少しているが、6 月との差はわずかである。砂分の IL は 9 月に 16%と高くなったがその割合は少なく、泥分の IL は 9 月の方が約 9%と低く、割合も多くなったためと思われる。

湾奥の岸近くである St.3 も 6 月は St.1、2 同様に底質夾雑物として木の葉等の植物片がみられた。Eh が St.2 と同程度に低く嫌気度が強いが、COD や IL は St.2 の約 2/3、T-S は約 1/2 と差がみられた。粒度組成は 6 月の砂分が 20%と St.2 に近かったが、9 月は約 50%と増加しており、St.2 とは異なる傾向を示していた。

St.4 の 6 月は St.1 と Eh で大きな差があるものの、COD や T-S の値は St.1 とほぼ同じだった。9 月の COD や T-S

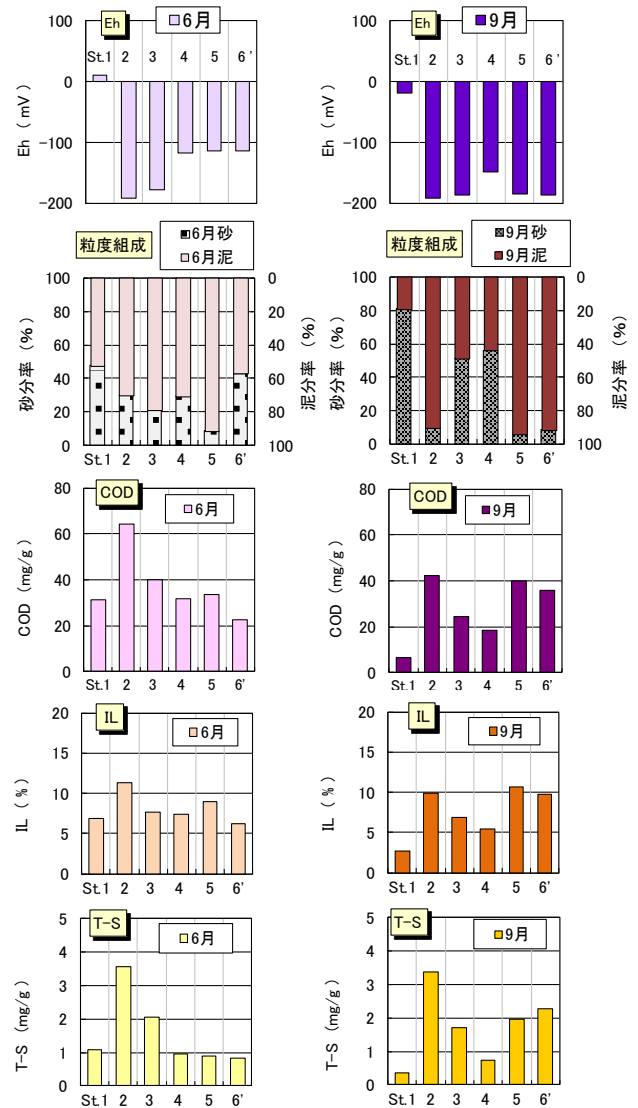


図-3 底質の結果 (一部)

表-4 底生生物の出現状況

和名	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	シズクガイ			2	5	3					15	6
	チヨノハナガイ				2				1	3	1	
	アサリ	2					1					
	ホトギスガイ	5					4					
	ムラサキガイ	2					1					
巻貝					1		1					
多毛類	アシナガゴカイ	2		1	1	1		1				
	オウギゴカイ	1				2	1					1
	ハナオカカゴカイ	3			2	1	2				2	
	チャメチヨリ					1						
	チロリ	1									1	
	ヨツバナスピオ類(断片)		1		1		1	1				2
	シノブハネエラスピオ							2			20	25
	タケフシゴカイ科の1種					2	1					
	イトゴカイ										1	2
イトゴカイ科(断片)		1	2			2	1	1			1	
ヒトデ類				1	1							
クモヒトデ類						1				1	1	
総出現種類数	7	2	1	5	9	7	7	3	2	2	7	7
総出現個体数	16	2	2	6	17	10	11	4	2	2	43	38

■ : 有機汚濁指標種 ■ : 有機汚濁指標種・外来種

の値は6月の約7割で、水深の浅いSt.1に次いで9月は各項目の値が低くなっていた。9月は粒度組成で砂分が約56%に増加していた。

St.5は粒度組成で泥分が90%以上を占めていた。6月はCODが33mg/g、T-Sが0.9mg/gであり、これらはSt.1やSt.4と同程度の値である。しかし、9月は6月よりCODやT-Sなどが高く、特にT-Sは2mg/gと9月の約2倍にまでなっていた。

St.6は東京湾に面しているためか、CODやILはSt.5より低い傾向にあった。また、6月より9月の方がCODやT-Sなどが高くなっており、泥分も9月には90%以上を占めていた。

3-3 底生生物

底生生物の出現種、個体数を表-4に示す。二枚貝類5種、巻貝類1種、多毛類8種、ヒトデ類1種、クモヒトデ類1種が採集された。各地点での出現種数は0~9種と少なく、各種の出現個体数も0~25と少ない。いくつかの地点で粘土粒や陸上からの枯葉、付着性二枚貝類の殻片の流入があり、嫌気層が発達した地点もあるなど、底生生物の多様性は低い傾向にある。特に6月におけるSt.2およびSt.3や9月におけるSt.2~4で多様性が低い傾向にあった。また、総出現種数16種のうち、6種が有機汚濁指標種であり、汚濁が進行していると考えられる。

6月、9月の調査ともに、St.1のアサリやホトトギスガイが優占する地点と、有機汚濁指標種のシズクガイやチヨノハナガイ、ハネエラスピオ類などが優占する地点(St.4、5、6)、汚濁が進み、無生物帯に近い地点(St.2、3)に大別される。St.4においては、9月に汚濁が進行し、無生物帯に近い状態になっている(表-4)。St.1ではホトトギスガイのマットが形成され、その下に硫化水素により黒化した層が見られ、アサリやアシナガゴカイが観察された。9月の調査において、St.5、6において出現個体数が増加しているが、有機汚濁指標種の増加によるもので、種類組成はほとんど変化していない。

6月と9月の調査で外来種のアシナガゴカイが採集された(表-4)。横浜港内の他の海域で採集されているホンビノスガイ^{27, 28)}は採集されなかった。

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養殖用いけすでの餌やり管理などにも供せるように、水質だけでなく底質にも基準を設けている²⁹⁾。今回の調査についてあてはめた結果を図-4に示す。

底層水のDOに影響する底質のCODとT-Sの値から、「B:汚染初期泥」は6月のSt.6および9月のSt.1、4が、「C:汚染泥」にはその他の地点が該当した。St.1やSt.4では6月はC「C:汚染泥」にあたるが、Bの分布域に近い値である。一方、「C:汚染泥」の中でもSt.2は他の地点よりもT-Sが高く、6月はCODも高かったのが認められる。多くの地点で夏には水産動植物に厳しい生息環境になると判定された。

3-5 七都府底質環境評価区分による底質評価

東京湾の流域の主な自治体で構成する九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

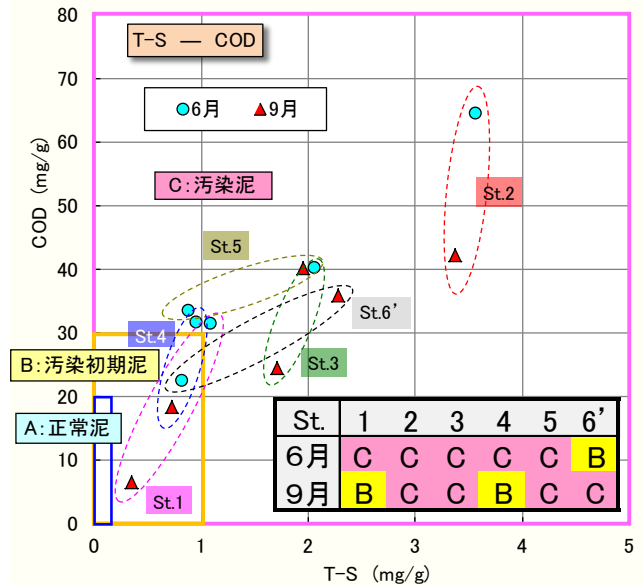


図-4 水産用水基準による底質の結果

表-5 底質環境評価の項目別得点と評価区分*

月	St.	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数	総出現種類数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	2	2	5	I
	St.2	1	0	1	1	3	I
	St.3	1	0	2	1	4	I
	St.4	1	0	2	2	5	I
	St.5	2	0	2	2	6	II
	St.6'	1	0	2	2	5	I
9月	St.1	1	0	3	2	6	II
	St.2	1	0	2	2	5	I
	St.3	1	0	2	1	4	I
	St.4	1	0	2	1	4	I
	St.5	1	0	1	1	3	I
	St.6'	1	0	2	1	4	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、好气的である。
- * 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。

よる底質の評価方法を定めている³⁰⁾。

底質のⅡ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-5に示す。どの地点も甲殻類は出現しなかったため、その項目は0点となっている。6月のSt.5および9月のSt.1は「環境保全度Ⅱ」（貧酸素化水域、汚濁耐性種優占）、他の地点は「環境保全度Ⅰ」（一時的に無酸素水域、汚濁耐性種が主、種・数が少）であった。

「東京湾再生のための行動計画」³¹⁾では、市民に施策の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、調査域に近い海の公園・八景島周辺での底質環境評価の目標は「環境保全度Ⅲ」であるが、今回調査では最高でも6地点中1地点が「環境保全度Ⅱ」であり、評価の低い地点が多かった。

「Ⅰ」の評価は2007年の横浜港内の新港地区前面や山下公園前³⁾、2008年の帷子川河口、みなとみらいや瑞穂ふ頭周辺⁴⁾、2009年の鶴見川河口や京浜運河⁵⁾、2010年の堀川河口や山下ふ頭周辺⁶⁾と同一である。一方「Ⅱ」の評価は2007年の横浜港内の新港地区汽道周辺の浚渫覆砂部分³⁾、2008年9月の瑞穂橋付近⁴⁾、2009年6月の入江川河口や恵比寿運河⁵⁾、2010年の本牧ふ頭B突堤沖⁶⁾などでみられた。

4. まとめ

根岸湾奥・堀割川河口6地点で、底層環境を中心に2011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) 水質は9月に根岸湾奥全域で赤潮がみられたが、底層DOは4mg/l以上あり、貧酸素ではなかった。

2) 底質は堀割川河口を除いた地点で嫌気性が強く、ポンプ場排水口に近い地点では有機物や硫化物の濃度が高かった。

3) 底生生物は16種が採集され、そのうち6種が有機汚濁指標種、外来種が1種出現した。優占種は二枚貝類や多毛類の有機汚濁指標種で、無生物帯に近い状態の地点もあった。6月より9月の方が出現個体数は多いが、これは有機汚濁指標種の個体数の増加によるものであった。

4) 水産用水基準による底質評価では、6地点中6月は4地点が、9月は5地点が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、大部分の地点で魚介類や底生生物にとって厳しい生息環境にあると考えられた。

5) 七都縣市底質環境評価区分では、海の公園・八景島周辺での底質環境評価の目標は「環境保全度Ⅲ」であるが、今回調査では最高でも6地点中1地点が「環境保全度Ⅱ」であり、評価の低い地点が多かった。

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) 千葉県水産総合研究センター、千葉県農林水産技術

会議、神奈川県水産技術センター、内湾底びき網研究会連合会：貧酸素水塊速報、<http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suikaisokuhou/index.html>

2) 千葉県水産総合研究センター漁場環境研究室：東京湾海況情報、<http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/kaikyouchouhou/index.html>

3) 小市佳延、水尾寛己、下村光一郎、高野善彦、西榮二郎、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）

4) 小市佳延、下村光一郎、犬飼まり子、水尾寛己、西榮二郎、坂本昭夫：横浜港の底層環境調査—みなとみらい～瑞穂地区—、横浜市環境科学研究所報、34、16-23（2010）

5) 小市佳延、二宮勝幸、阿久津卓、下村光一郎、犬飼まり子、西榮二郎、坂本昭夫、杉原(村上)奈央子、水尾寛己：横浜港の底層環境調査—鶴見川河口周辺—、横浜市環境科学研究所報、35、15-22（2011）

6) 小市佳延、阿久津卓、村岡麻衣子、上原直子、二宮勝幸、西榮二郎、坂本昭夫、杉原(村上)奈央子：横浜港の底層環境調査—山下ふ頭・本牧ふ頭周辺—、横浜市環境科学研究所報、36、9-16（2012）

7) 環境庁：底質調査方法、1-2（2001）

8) 西榮二郎、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）

9) 西榮二郎、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）

10) 西榮二郎、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）

11) 西榮二郎、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）

12) 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)

13) 横山寿：Paraprionospio 属多毛類の分類と系統、海洋と生物、172、487-494（2007）

14) 西榮二郎・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）

15) 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）

16) 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）

17) Yokoyama H : A revision of the genus *Paraprionospio* (Polychaeta: Spionidae), *Zoological Journal of the Linnean Society*, 151, 253-384（2007）

18) 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)
- 19) (財) 海洋生物環境研究所: 発電所取放水の影響、
<http://www.kaiseiken.or.jp/study/study02.html>
 - 20) 東京電力(株): 設備一覧、<http://www.tepco.co.jp/tp/list/index-j.html>
 - 21) 電源開発(株): 石炭火力発電・地熱発電事業所一覧、
<http://www.jpower.co.jp/bs/karyoku/ichiran.html>
 - 22) 国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室: 東京湾環境マップ ver. 3 (平成 21 年 1 月)、
<http://www.meic.go.jp/kowan/kenkyu/tokyo081205/tokyobaymap03.pdf>
 - 23) 環境省、閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会: 閉鎖性海域中長期ビジョン、92pp (2010)
 - 24) 東京湾岸自治体環境保全会議: 東京湾水質調査報告書 (平成 20 年度)、48 (2010)
 - 25) 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)
 - 26) 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)
 - 27) 西榮二郎、坂本昭夫、水尾寛巳、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)
 - 28) Murakami-Sugihara, N., T. Furota & K. Okamoto: Genetic structure of the exotic hard clam *Mercenaria mercenaria* in Tokyo Bay, determined using mitochondrial DNA. *Fisheries Science*, 78, 569-575 (2012)
 - 29) (社)日本水産資源保護協会: 水産用水基準 (1995 年版)、66-68 (1995)
 - 30) 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、全国公害研会誌、25、55-61 (2000)
 - 31) 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)

山下公園前海域における生物生息空間の検討

上原直子、小市佳延、村岡麻衣子、七里浩志、川田攻、阿久津卓、渾川直子、内藤純一郎
(横浜市環境科学研究所)

Examination of the creature habitation space in the sea area in front of Yamashita Park

Naoko Uehara, Yoshinobu Koichi, Maiko Muraoka, Hiroshi Shichiri, Koho Kawata,
Takashi Akutsu, Naoko Nigorikawa, Junichirou Naito (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：山下公園，生物生息環境，東京湾，酸素

要旨

横浜市中区の山下公園前海域において、平成 20 年から平成 24 年にかけて、地形、底質、生物、水質、流況など様々な視点から調査を行った。

様々な実験の結果より、護岸下(±0m)から水深 3m 付近までの海底には底生生物が多く生息していたが、水深 5m 以深では底生生物の種類数、個体数とも少なく、夏季には貧酸素水塊が形成されることが分かった。また、海底にはシルト・粘土分の多い軟泥が堆積し、海底付近は貧酸素状態になっていたことから、浄化能力を高めるためには生物付着基盤の設置など、様々な環境を作ることによって多様な生物が棲める環境を創出することができると考えられ、生き物の生息環境を整えることの重要性が改めて確認された。

1. はじめに

横浜港の水質汚濁は昭和 45 年から昭和 50 年頃までと比較して公共下水道の整備や工場排水の規制により改善されたが、近年は横ばい傾向にあり、赤潮発生や降雨に伴う水質悪化という課題が残されている。横浜港の水質をより向上するためには、流入汚濁負荷量の削減や底質の改善を行うと共に、海域生物の水質浄化能力を活かす場の修復・創出が重要であることが知られている¹⁻²⁾。

本報では山下公園前海域において海が本来持っている水質浄化能力を高めるのに適した生物生息空間について、平成 20 年から平成 24 年まで様々な視点から調査した結果をもとに検討したものである。

2. 調査方法

2-1 調査地域および調査期間

山下公園は神奈川県横浜市中区にあり、関東大震災の復興事業として瓦礫などを使用し埋め立て造成した公園である。

調査は平成 20 年 3 月に地形の調査、平成 21 年 7 月から 9 月にかけて生物の生息状況について調べた。

流況調査は平成 23 年 11 月から 12 月にかけて流況調査および流況シミュレーションを、平成 23 年 9 月および平成 24 年 1 月の 2 回に水質調査を行った。

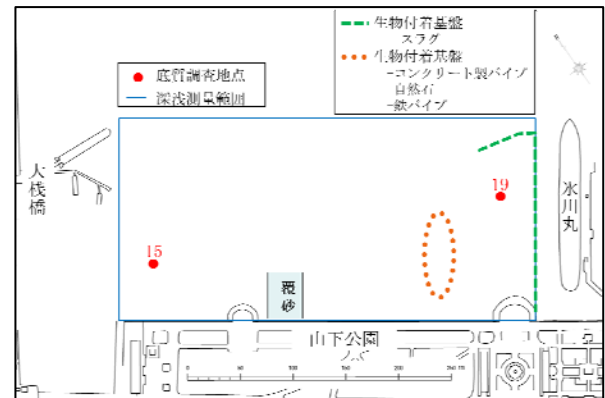


図-1 地形、底質、生物調査の地点

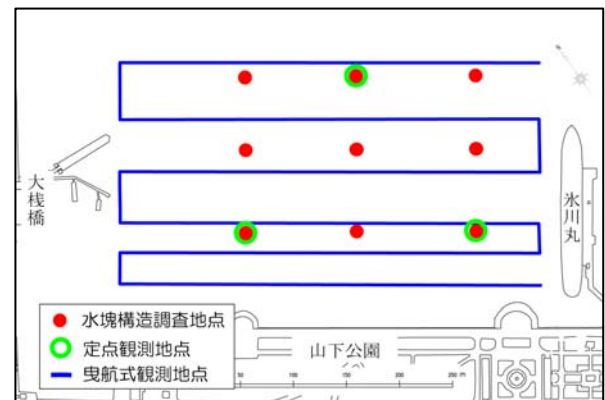


図-2 流向調査、水質調査の地点

2-2 調査方法

2-2-1 地形調査

地形の調査は図-1 に示す範囲で、海底面形状を把握するため、マルチビーム測深機(SEA-BAT8125)を艀装した測量船（以下深浅測量と言う）により実施した³⁾。

海上測位方式は DGPS を用い、陸上の基地局から無線により補正情報を受信して船位の補正を行った。

既設護岸付近等やむを得ない箇所については、レッド及び測深用ポールにより測深を行った。

2-2-2 水質調査

水質調査は図-1 に示す9地点で、多項目水質計（JFEアドバンテック製）により、水温、塩分及び溶存酸素を海面から海底まで1m間隔で測定した⁴⁾。

2-2-3 生物相調査

生物相調査は図-1 に示す生物付着基盤の付近及び覆砂を行った範囲で潜水士により行った。海面付近から海底面までの付着生物について1m角の方形枠を用い、種類別個体数(もしくは被覆率)、海藻草類の種類別被覆率、底質状況について、目視観察及び水中写真撮影を実施した。また、底生生物及び貝礁状況についても同様に調査した⁵⁻⁷⁾。

各測点における代表的な付着生物相50cm角の方形枠2枠及び護岸直下の底質生物1枠のなかに出現する生物をすべて採取し、種の同定を行うとともに、種別個体数及び湿重量を測定した。

2-2-4 流況調査

図-2 に示す3地点で流速と流向の頻度分を調べる為、15昼夜の定点観測により流向、流速を測定した。

観測はメモリー式電磁流向流速計(JFEアドバンテック株式会社製)およびメモリー式水圧波高計(JFEアドバンテック株式会社製)を用いて行った⁸⁾。

メモリー式電磁流向流速計は、アンカーを用いた2点係留による方法で設置し、流向・流速を15昼夜連続観測した。測定間隔は10分とし、1秒間隔で60データ取得した。流向・流速値は、これらの60データの平均処理を行い10分毎のデータとした。観測層は、各地点とも海面下1.0m及び海底上1.0mとした。

メモリー式水圧波高計は大棧橋側の1地点に海底上に設置し、波高(水圧波高)を計測した。波高の測定間隔は0.1秒で、連続してデータを取得した。

全体的な流れの傾向と潮汐との関連を調べるため、図-2 に示す6測線において曳航式観測を行った。

観測は超音波ドップラー流速計(T-RDI社製)を用いて行った。

超音波ドップラー流速計(以下ADCPと言う)の音波の発信面が海面下0.5mとなるように艀装し、3~4ノットで走行しながら流向・流速を測定した。移動中の位置は、D-GPSより取得し、得られた流向・流速及び船位は、観測と同時にパソコンにデータを収録した。水深が浅い場所(概ね2m以浅)は迂回して走行し、観測層は海面下1.5mから0.5m毎に海底付近までとした。

表-1 は以上の調査項目及び手法をまとめたものである。

表-1 調査項目及び手法

平成	調査日(期間)	調査項目	内容	手法
20年	8月22日	地形	深浅測量	マルチビーム測深機およびレッド及び測深用ポール
21年	7月24日(設置)~9月11日(撤去)	生物	生物付着基盤の設置	ダイバー潜水による目視、写真による同定
	11月30日(設置)~12月16日(撤去)	流況	定点観測	メモリー式電磁流速計(3地点1層)
23年	12月1日(小潮)・12月12日(大潮)	流況	曳航式観測	ADCP(2潮時×2潮期)
	8月8日(夏季)	水質	水境構造調査	多項目水質計による水温、塩分及び溶存酸素の測定
11月26日(冬季)				

3. 実験結果および考察

3-1 地形、底質

深浅測量の結果より、地形は岸壁50mから150m間においては、起伏の大きい海底地形となっており、それ以遠では水深7m以深となっていた。また、岸壁より20m付近は水深1m台で、岸壁に向かいなだらかな勾配を示し、干潮時には護岸周りで数箇所の干出が見られた(図-3)。

底質の粒径は横浜港の底質環境調査の結果を表-2に示す。護岸から100mの地点(測点19)では、砂分率は20%前後、泥分率は80%となっており、護岸周辺(測点15)は、砂質を含む泥であった⁹⁾。

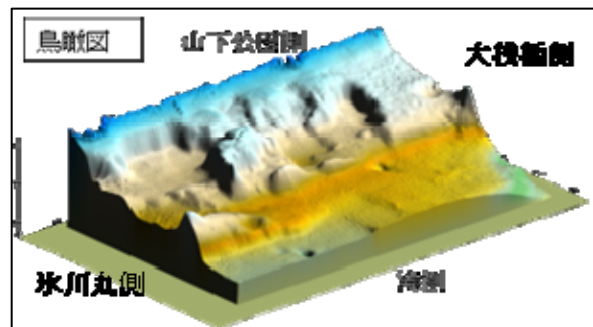


図-3 山下公園前海域の地形

表-2 底質の物理的特性

測点	中央粒径(μm)	比重	砂質(%)	泥質(%)
15	24.5	2.52	42.5	57.5
19	9.2	2.17	20.3	79.7

3-2 水質

山下公園前のような閉鎖性の海域では夏季において成層が発達し、海水が鉛直混合されにくくなるのが一般的に知られている¹⁰⁻¹²⁾。調査海域の底層付近は酸素がない状態(貧酸素水塊)が形成されている¹³⁾と考えられたため、夏季及び冬季において鉛直方向に水質調査を行った。

図-4 に溶存酸素の鉛直分布を示す。冬季においては海面下の溶存酸素は7.0mg/L以上となっているが、夏季には海面下2.5m以深では溶存酸素が少なく、貧酸素水塊が形成されていることが分かった。水産用基準によると、海域における生物の生息環境に影響を及ぼす溶存酸素量は2.9mg/L以下になるとほとんどの種で影響がみられる¹⁴⁾とされていることから、溶存酸素からみた生物の快適な生息可能な水深は2~3mまでであると推測できる。

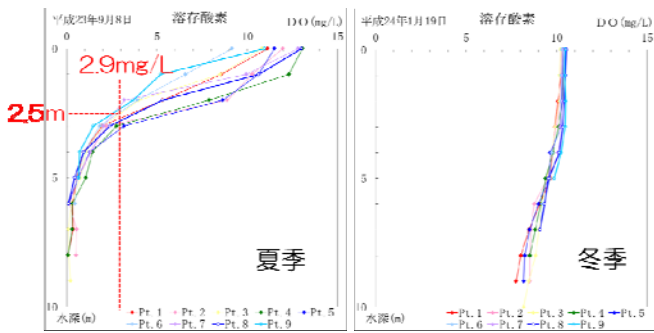


図-4 溶存酸素の鉛直分布

3-3 生物

生物調査は生物付着基盤（コンクリートパイプ、自然石（安山岩）、鉄パイプ）の設置と覆砂を実施し、生物付着状況の調査を行った。覆砂は、木更津産山砂を用い、約 10m²を貝礁が隠れる程度（覆砂厚 10~20cm）で施工を行った。その効果をまとめると、以下のとおりである。

○生物付着基盤（表-3）

- ・生物の出現頻度が上がった。
- ・多くの付着生物が確認できた。
- ・材質の優劣は判断することはできなかった。

○覆砂（図-5）

- ・今まで見られなかった場所に生き物が見られるようになった。
- ・ある程度の粒径があれば留まる。

表-3 生物付着基盤の種類と生物相

区別	確認された生物	
付着基盤	コンクリート製パイプ	ヨコエビ類棲管、カタエウレイボヤ、ヒドロ虫綱 イッカククモガニ、シロボヤ、小型巻貝類、アラムシロガイ、ハゼ科、マガキ
	自然石（安山石）	ヨコエビ類棲管、ヒドロ虫綱、シロボヤ、オトヒメゴガイ科、ケヤリ科、ホトギスガイ、マンハッタンボヤ、アミメハギ、ハゼ科、マガキ
	鉄パイプ	ヒドロ虫綱、アメリカフジツボ、イソギンボ科、ハゼ科
覆砂（山砂）	ハゼ科、イソギンチャク科	

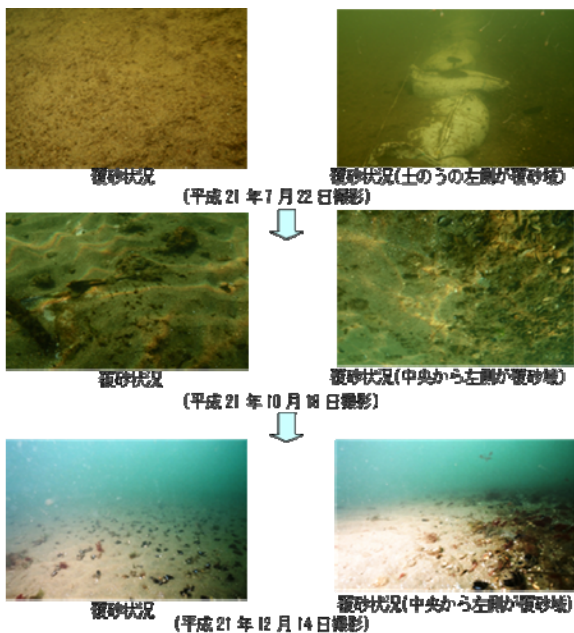


図-5 覆砂の状況

3-4 流況調査

山下公園前海域の護岸付近では大潮の干潮時に海底の干出がみられている。この大潮時に干出する付近と連続性を持たせて浅場を造成した場合、砂が安定して定着できる条件を確認するために流況調査を行った。

調査から、山下公園前の平均流速は概ね 1cm/s 前後と小さいことが分かった（表-4）。流速の出現頻度は上層で 2~4cm/s の出現が多く、調査海域は静かな場所であることが確認された。また、地形から北東方向からの風の影響を受けやすいと考えられ、前面海域での流れは、表層で岸向き、下層で沖向きとなり、潮流よりも風の影響が大きい海域であることが調査から分かった（図-6）。

表-4 流速の統計値

測点	層	最大流速			平均流速	
		流向(°)	流速(cm/s)	観測	流向(°)	流速(cm/s)
1	海面下1m	100	11.0	2012/12/2 8:20	272	0.9
	海底上1m	354	11.4	2012/12/2 5:20	12	0.5
2	海面下1m	302	11.0	2012/12/4 3:00	276	0.9
	海底上1m	352	9.3	2012/12/4 1:50	78	0.3
3	海面下1m	184	12.9	2012/12/2 6:10	162	1.2
	海底上1m	351	8.9	2012/12/4 1:20	89	0.3

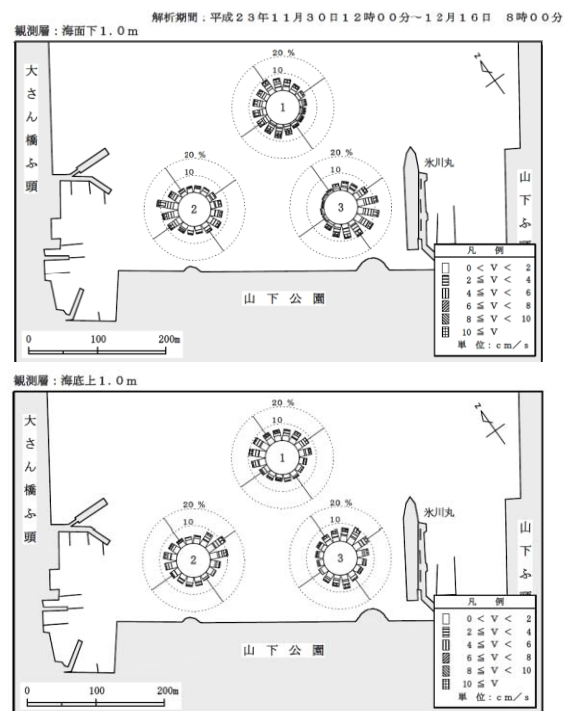


図-6 流向別流速出現頻度

① 潮流シミュレーション

上記の調査結果を踏まえ、山下公園前で起こり得る、底質の状況が一番厳しくなる北東の風 15m/s の条件で（流況調査や風浪・地形等も加味）で現況潮流シミュレーション（図-7）を行った結果、小潮期・大潮期に関わらず、北北東及び北東の風によって比較的大きな沖向きの底層流が生じることが確認された。

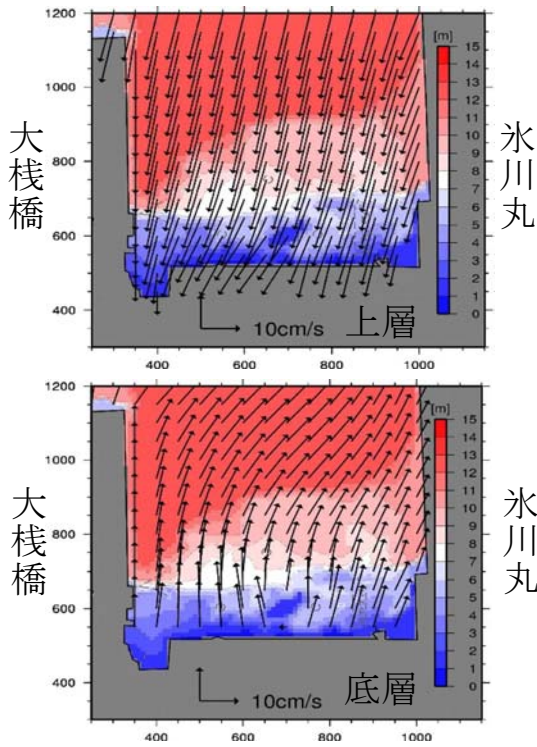


図-7 潮流シミュレーション

② 流砂シミュレーション

底層の砂の移動は、砂の粒径と底層の流れに依存することから、干潟・浅場造成に重要な底質の安定性¹⁵⁻¹⁶⁾を検討するため、シールズ数^{*}を求め、波浪や流れに伴う影響を予測した(図-8)。

現況の底質状態では、公園前面の海域のほとんどで砂が動きやすい状態になっている。特に風がある場合は、シールズ数が0.2以上となる区域は広がっており不安定な状態であることが分かる。現状地形0に覆砂した場合(中央粒径が0.3mm)、岸壁沿いの一部及び沖合水深1~2mの浅場でシールズ数0.1-0.2と掃流移動状態がみられるものの、ほとんどの区域で底質は安定状態となっていた。また、風があるケースでも、その範囲は大きくは変化せず、安定した状態となっていた。

^{*}シールズ数：砂の動きやすさを示す指標で、シールズ数が大きければ大きいほど移動しやすいことを示す。

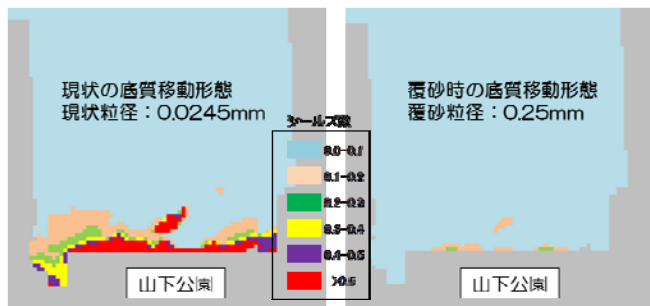


図-8 シールズ数

4. 生物生息空間の検討

地形、底質、水質、生息生物の把握、流況などの山下公園前の現状を踏まえた上で、市民が親しみを持てる、生きものが豊かで水質浄化能力の高い海を創造するためには以下の視点を取り入れる必要がある。

○基本的な考え方

- ①浅場、干潟の造成により生物の多様性を保持し、海岸で環境教育が行えるような親水性の高い公園とすることを考慮する。
- ②干潟、浅場の造成には航行船舶を阻害しない区域とする¹⁷⁾。
- ③地形の多様性が大きいと生物はその多様性のなかで好む環境を見いだして生息する。自然の浅場及び養浜部との連続性をもたせ、地形の起伏を確保する。
- ④水質調査によると、海面下2.5m以深では貧酸素状態となることから、水深が深い氷川丸バルコニー左舷側に浅場を造成し、貧酸素水を発生抑制して生物の生息基盤を創造する。
- ⑤浅場の石積堤には凹凸の多い自然石を採用し、生物の生息環境となるようにする。
- ⑥流速は通常上層で2~4cm/s程度で静かな海域であるが、北東方向からの風の影響を受けやすく、表層で岸向き、下層で沖向きとなり、潮流よりも風の影響が大きい海域であることから、浅場等の造成に用いる砂の中央粒径が0.3mm程度前後であれば安定すると考えられる。

5. 結論および今後の課題

山下公園のように、閉鎖的な環境では、夏季は赤潮や濁水の影響により、水深の深い所まで光の届かないような環境が形成していた。

図-9は深浅測量の水深図である。水質の結果から水深3m程度では、光が海底部まで到達していることが分かった。また、水深5m以深になると夏季において泥の堆積、貧酸素など、生物の生息環境としては厳しいと考えられ、自然の浅場と繋げるように浅場を造成することによって生物生息環境が改善されると考える。

今後は、山下公園前の実験を活用して横浜市内に多くある、水際の浅場を利用して、水域利用のさらなる活性化を図っていきたい。

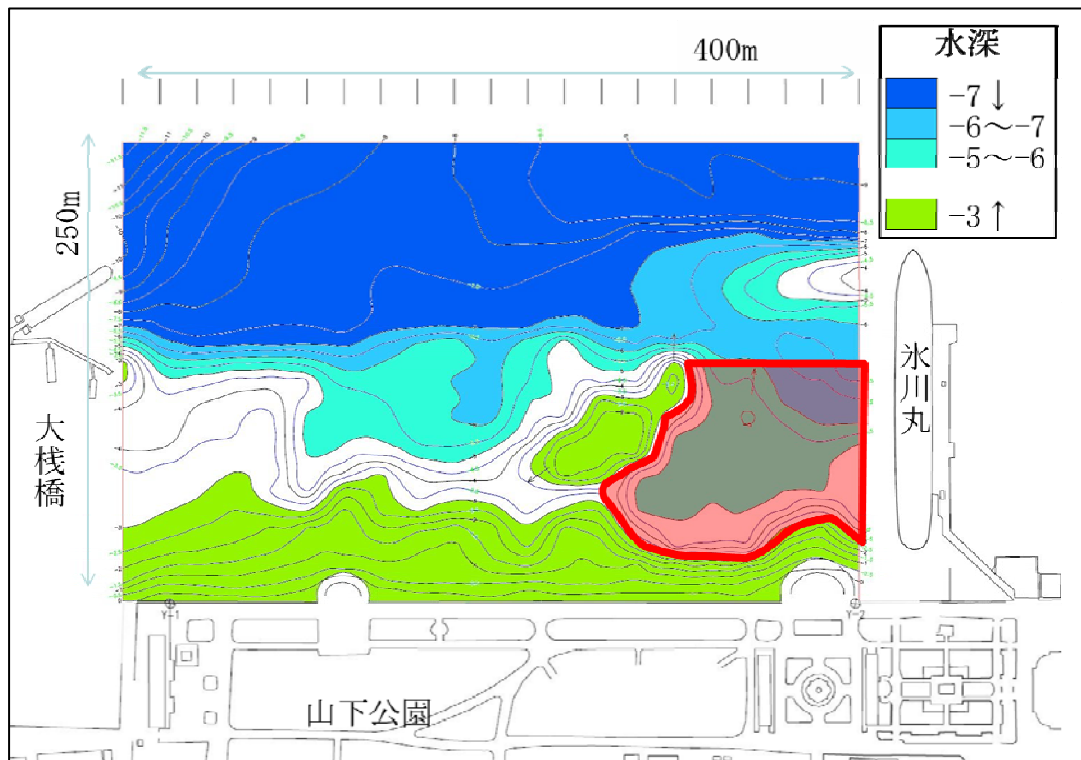


図-9 浅場造成領域

謝 辞

この報告書をまとめるにあたり、様々な情報提供をしていただいた関係者各位に心から感謝いたします。

また、調査内容、生物生息空間の検討について地環研等共同研究Ⅱ型共同研究「藻場・干潟等浅海域と陸水域における生態系機能評価と生息環境修復に関する研究」の皆様と情報・意見交換を行いながら進めました。

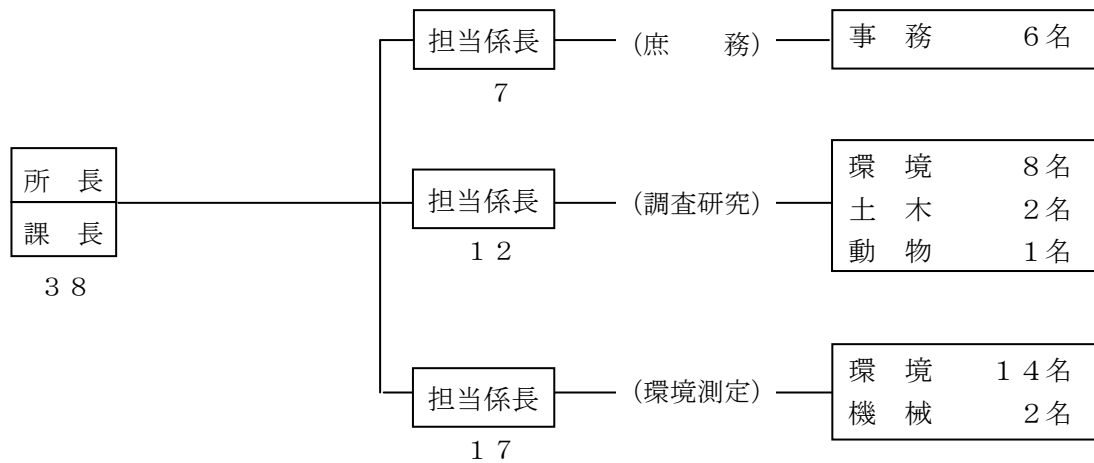
ご協力いただきました皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村充、石川公敏：環境配慮・地域特性を生かした干潟造成法、恒星社厚生閣（2007）
- 2) NPO 大阪湾研究センター：海域・海岸線における環境創造のための計画知識、大阪湾沿岸域干潟環境創造研究センター p 79-102（2000）
- 3) 横浜市環境科学研究所：平成 19 年度横浜港深淺測量等調査業務委託（きれいな海づくり事業関連業務）報告書（2008）
- 4) 横浜市環境科学研究所：山下公園前における水質測定業務委託（2012）
- 5) 横浜市環境科学研究所：横浜の川と海の生物（第 12 報）海域編（2009）
- 6) 横浜市環境科学研究所：平成 20 年度山下公園前海域等における水質浄化実験業務委託（海域の部分浄化実験）報告書（2009）
- 7) 横浜市環境科学研究所：平成 21 年度きれいな海づくり事業（山下公園前海域における水質浄化実験）報告書（2010）
- 8) 横浜市環境科学研究所：平成 23 年度「きれいな海づくり」事業（山下公園前海域における流況調査業務委託）報告書（2012）
- 9) 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）、p35-76（1992）
- 10) 東海大学海洋学部：改訂 宇宙から深海底へ図説海洋概論、講談社サイエンティフィック、p29-32（1997）
- 11) 柳哲夫：海の科学 海洋学入門、第 2 版、恒星社厚生閣、p70-80（2001）
- 12) ポール・R・ピネ：海洋学、第 4 版、東海大学出版会、p96-100、p161-163（2010）
- 13) 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 号（2009）
- 14) （社）日本水産資源保護協会：水産用水基準、2000 年版、p20（2000）
- 15) 柳哲夫：海洋観測入門、恒星社厚生閣、p45-48、p73-84（2002）
- 16) 海洋調査協会：海洋調査技術マニュアル-海象・気象調査編-、社団法人海洋調査協会 p68-261
- 17) 横浜市：横浜港港湾計画書-改訂-（2006）

III 資料編

1. 人員及び組織



(平成 24 年3月現在)

2. 主要機器一覧表

品名	規格	数量
ガスクロマトグラフ質量分析計	JEOL製 JMS-800 D	1式
走査型電子顕微鏡	日立 S-4800	1式
同上用 X線分析装置	EDAX	1式
分光光度計	日立 U2000	1式
全有機炭素分析計	ベックマン MODEL 915-B	1台
水銀分析計	日本インスツルメンツ RA-3	1式
水素化物原子吸光光度計	バリアンスペクトラ 220	1式
高周波プラズマ質量分析装置	パーキンエラン PRC-e	1式
高周波プラズマ発光分光分析装置	パーキンオブティマ S300DV	1式
慢性毒性試験装置 (魚用)	関東工機製作所製 外	2式
電気炉	ADVANTEC FUL232FA 外	2台
標準ガス精密希釈装置	製鉄化学工業 SDS-401	1式
石英ガラスチャンバー	ダイレック	1台
ハートソナル・タストモニタリングシステム	柴田科学 PDS-1	1台
液体クロマトグラフ	島津 LC-6A	2式
同上用蛍光モニター	日立 F-1150	1台
炭素・水素・窒素 (CHN) 分析計	柳本 CHN コーダー MT-3 型	1台
同上用オートサンプラー	ヤナコ MTA-5	1台
液体クロマトグラフ質量分析計	26PS_Q-プルミエール XE	1式
ガスクロマトグラフ質量分析計	島津 GCMS-QP2010	1式
マイクロウェルプレート測定用吸光光度計	ナルジェヌクインターナショナル イムニ NJ-2300	1式
データレコーダー	ソニー PC208	1台
イオンクロマトグラフ分析装置	DIONEX DX-120	1式
ガスクロマトグラフ分析装置	HP6890, 島津 GC-14A 外	5式
農薬分析装置	アジレント 6890N, GCMS-QP2010 Plus	3式
イオンクロマトグラフ	DIONEX ICS-1600	1台
大気 V O C 分析装置	GCMS-QD2010 Plus	1式
ゲルマニウム半導体検出器	セイコーEG&G GEMZS-70	1式
高速液体クロマトグラフ	HP 1090	1式
分光光度計	日本分光 V-550 外	1式
ポータブル窒素酸化物測定器	MEXA-120 NOx 堀場	1式
サーマルテソーフ・シジョンカ・スクロマトグラフ	パーキンエルマー ATD-400	1式
薬品管理システム	関東化学 IASO 2000	1式

品名	規格	数量
自動雨水採取装置	小笠原 US-330+300 型	1 式
光透過式スモークメータ	堀場製作所	1 台
直挿型 NO _x 分析計	堀場 MEXA-120 NO _x	1 台
高精度オゾン計	紀本電子工業製	1 台
コンポジットサンブラー	日科機 S-4081	1 台
風向別制御装置	日本公害防止技術センター WDP-100	1 台

(平成 24 年3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
第35回（平成23年度）神奈川県・横浜市・川崎市・環境・公害研究合同発表会	2011.6	横浜におけるヒートアイランド現象解明のための上空調査 横浜の海の生物相の変遷ー長期モニタリング調査結果からー	○佐俣満夫、内藤純一郎、片岡雅樹 ○村岡麻衣子、阿久津卓
日本ヒートアイランド学会第6回全国大会	2011.7	横浜におけるカイツーンを用いた上空調査によるヒートアイランド生成モデル 熱環境評価のための行政支援ツールの開発	○佐俣満夫、内藤純一郎、片岡雅樹、佐土原聡（横浜国大）、田中貴宏（広島大）、石田寛人（日本気象協会）、古堅宏和（環境省） ○佐俣満夫、内藤純一郎、梅干野晃（東工大）、中大窪千晶（東工大）、深澤朋美（東工大）、熊倉永子（東工大）
第10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	2011.9	山下公園前海域等における水質改善実験の検討	○上原直子、石井彰（元横浜市環境科学研究所）
第52回大気環境学会年会	2011.9	神奈川県、横浜市、川崎市によるPM2.5実態調査結果(2010年) ーハニカムデニューダを用いたPM2.5測定ー	○浦垣充朗、阿相敏明（神奈川県環境科学センター）、山田大介（川崎市公害研究所） 【神奈川県公害防止推進協議会浮遊粒子状物質対策検討部会】
平成23年度全国環境研協議会関東甲信静支部水質専門部会	2011.11	横浜におけるアユの分布と産卵	○樋口文夫、阿久津卓、渾川直子、村岡麻衣子、福嶋悟（藻類研究分析センター）、犬飼まり子（環境創造局）
平成23年度環境創造局職員業務研究改善事例発表会	2011.11	鶴見川周辺街区における熱環境実測調査 鶴見川の農薬調査とオオミジンコを用いた生態影響試験について 平成23年夏季の気温観測結果について 大気中の微小粒子状物質（PM2.5）実態調査 山下公園前海域等における水質改善実験 横浜市内のゲンジボタル数個体の遺伝的多様性について 横浜の川におけるアユの分布と繁殖 横浜の池の生物ー市内の4つの池における生物相調査の結果からー 横浜市におけるPRTR対象物質の大気環境調査 山下ふ頭・本牧ふ頭周辺における水質・底質等の調査	○内藤純一郎、奥津千里 ○酒井学、多田満（国立環境研究所） ○奥津千里、鈴木麻菜 ○浦垣充朗 ○上原直子 ○七里浩志、渾川直子 ○樋口文夫、阿久津卓、渾川直子、村岡麻衣子 ○渾川直子、阿久津卓、村岡麻衣子 ○鈴木麻菜、福崎有希子 ○小市佳延、阿久津卓、村岡麻衣子、上原直子、二宮勝幸（環境創造局）、西榮二郎（横浜国立大学）、坂本昭夫（横浜国立大学）、杉原奈央子（東京大学大学院）

4. 雑誌等投稿

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
神奈川大学法学研究所・研究年報 30	H24.3	阿不力孜・玉苏甫（新疆師範大学）、石川孝之	中国・新疆における生態移民の研究

[要旨] 本稿は、2011年11月17日に、神奈川大学法学会主催・法学研究所後援で開催された「中国と日本の自然環境を考える」シンポジウムに参加した阿不力孜・玉苏甫氏（新疆師範大学法経学院教授）が講演のために準備した論文を翻訳し、論説としてまとめたものである。

移民と移住の定義、生態移住に関する国内外の研究の現状について詳述し、新疆における生態移住の必要性、生態移民が直面する問題（例えば水不足、深刻な土地の塩化、砂嵐、環境への適合）について焦点を当て、開墾事業の欠陥、生態移住と地域開発の関係における不合理な処理などについて建設的な提言と対策を示した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
基礎工	H24.2	正木 千里	地盤情報データベース公開事例 横浜市行政地図情報提供システム 地盤地図情報「地盤 View」

[要旨] 地盤情報データベースの公開事例として地盤 View を紹介。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
(月刊) 資源循環対策	H24.3	佐俣 満夫	横浜市

[要旨] 2000年から現在までの横浜市におけるヒートアイランドに関わる研究と行政対応についてわかりやすく説明した。特に横浜における夏季の気温分布の特徴、ヒートアイランドの生成機構を探るためのカイツーンによる上空調査、2006年での横浜市の熱環境マップの作成と行政での活用、対策として保水性舗装や市民とのコラボレーションによる緑のカーテンづくり、クールスポット評価のための大学と共同による支援ツール開発などについて概説した。

5. 記者発表一覧

■ 平成23年度 環境科学研究所

発表日	発表内容
平成23年8月2日	横浜市衛生研究所・横浜市環境科学研究所 初の合同による施設公開を行います
平成23年9月22日	平成23年夏の気温観測結果をお知らせします
平成24年2月22日	第7回こどもエコフォーラムを開催します
平成24年3月29日	大気中のアスベスト濃度について（平成23年度調査結果）

6. 環境科学研究所発行資料目録

◆ 出版物

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)
公害研資料			
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

資料番号	件名	発行年月	体裁等
公害研資料			
No. 41	自動車騒音公害対策模型実験－車線内遮音壁－	1982. 7	B5. 87 頁
42	第 6 回公害セミナー資料 大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－	1982. 8	B5. 31 頁
43	会下谷の雑木林の生物相とその季節変化 (横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 12	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 よこはま「都市自然」行動計画	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

資料番号	件名	発行年月	体裁等
公害研資料 No. 80	第11回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1987. 11	B5. 89頁
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁
82	第11回公害セミナー会議録 調べてみよう, 身近な環境－水, みどり, まち－	1988. 3	B5. 139頁
83	横浜市軟弱地盤層調査報告書(軟弱地盤構造と地盤沈下特性)	1988. 3	B5. 103頁
84	横浜市軟弱地盤層調査報告書(縦断面地質柱状図, 水準点変動図集)	1988. 3	B5. 162頁
85	植樹帯による歩道環境改善効果に関する調査研究 －横浜市磯子区産業道路沿道植樹帯設置事業のケーススタディー－	1988. 3	B5. 148頁
86	第12回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1988. 11	B5. 133頁
87	横浜市公害研究所報第13号	1989. 3	B5. 210頁
88	水域生物指標に関する研究報告	1989. 3	B5. 348頁
89	浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書	1989. 3	B5. 195頁
90	第12回公害セミナー会議録 調べてみよう, 身近な環境－水, みどり, まち－	1989. 3	B5. 39頁
91	魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書	1989. 3	B5. 125頁
92	第13回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1989. 12	B5. 137頁
93	横浜市公害研究所報第14号	1990. 3	B5. 212頁
94	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第3報	1990. 3	B5. 166頁
95	第14回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1990. 11	B5. 102頁
96	横浜市公害研究所報第15号	1991. 3	B5. 226頁
97	自然観察ワークシート～横浜の都市自然を調べる～	1991. 3	B5. 115頁
98	トンボ生息環境づくり調査報告書	1991. 3	B5. 210頁
99	第15回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1991. 11	B5. 174頁
環境研資料 No. 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)	1995. 3	A4. 84頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
環境研資料			
No. 122	多環芳香族炭化水素（PAHs）に関する調査研究報告書	1996. 3	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 ーよりよい環境をめざしてー	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ー水・みどり・まちー	1996. 12	A4. 91 頁
127	横浜市環境科学研究所報第 21 号	1997. 3	A4. 141 頁
128	短期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中の NO, NO2 及び SO2 濃度の測定方法（YERI METHOD - 1996）	1997. 3	A4. 13 頁
129	酸性雨に関する調査研究報告書（II）ー酸性雨による器物影響ー	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 ー環境庁委託報告書ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	1999. 1	A4. 104 頁
135	酸性雨に関する調査研究報告書（II） ー酸性雨による器物影響ー（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ー水・みどり・まち・・・ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	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報告書 花鳥風月のまちづくり	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ー水・みどり・まち・・・ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	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ー水・みどり・まち・・・ー	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 ーつなごう!広げよう!環境を守る力ー	2006. 2	A4. 83 頁
156	第 2 回子どもエコフォーラム公募作品集 ーつなごう!広げよう!環境を守る力ー	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

資料番号	件名	発行年月	体裁等
環境研資料 No. 159	第3回こ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回こ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
162-2	横浜の源流域環境 概要版	2009. 3	A4. 12頁
163	第5回こ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	2010. 2	A4. 56頁
164	第6回こ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	2011. 2	A4. 45頁
165	第7回こどもエコフォーラム作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2012. 2	A4. 52頁
166	壁面緑化マニュアル	2005. 3	A4. 54頁
167	横浜の川と海の生物(第11報・河川編)	2006. 3	A4. 200頁
168	短期暴露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO、NO ₂ 、SO ₂ 、O ₃ およびNH ₃ 濃度の測定方法(マニュアル)	2010. 8	A4. 21頁
169	平成16年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(鶴見川)	2005. 12	A4. 27頁
170	平成17年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(帷子川)	2006. 3	A4. 27頁
171	平成18年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(円海山)	2007. 3	A4. 27頁
172	平潟湾の干潟域の生物相調査(平成9年度～平成15年度の経年変化) 総括報告書	2005. 3	A4. 6頁
173	横浜の川と海の生物(第11報・海域編)	2006. 3	A4. 188頁
173-2	横浜の川と海の生物(第11報・海域編)概要版	2006. 3	A4. 34頁
174	平成19年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(舞岡・野庭)	2008. 3	A4. 10頁
175	地球観測衛星データを利用した東京湾の水質モニタリング手法開発に関する共同研究 成果報告書	2001. 7	A4. 88頁
177	横浜の川と海の生物(第12報・河川編)	2009. 2	A4. 91頁
177-2	横浜の川と海の生物(第12報・河川編)概要版	2009. 2	33頁
178	横浜の川と海の生物(第12報・海域編)	2010. 3	A4. 188頁
178-2	横浜の川と海の生物(第12報・海域編)概要版	2010. 3	A4. 19頁
179	横浜市環境科学研究所報第34号	2010. 3	A4. 88頁
180-2	横浜の池の生物 概要版	2011. 3	A4. 23頁
181	横浜市環境科学研究所報第35号	2012. 3	A4. 63頁
182	横浜市環境科学研究所報第36号	2012. 3	A4. 63頁
183	横浜の川と海の生物(第13報・河川編)	2012. 3	A4. 249頁
183-2	横浜の川と海の生物(第13報・河川編)概要版	2012. 3	A4. 40頁

7. 施設見学者等一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H23. 6. 2	横浜市医師会看護専門学校	ヒートアイランド対策、ダイオキシン類、水生生物、アスベスト、化学物質、きれいな海づくり	60
H23. 6. 21	滝頭小学校生徒	概要説明、きれいな海づくり、ヒートアイランド、水生生物	60
H23. 6. 24	横浜市立大学 国際総合科学部	きれいな海づくり（海域生物）、GISによる植生の変遷、ヒートアイランド、化学物質、河川生物	45
H23. 7. 12	横浜市立桜丘高等学校	帷子川の水質、水生生物、採取方法、飼育方法	4
H23. 7. 15	慶応大学 環境情報学部	きれいな海づくり、化学物質、ダイオキシン類、水生生物	20
H23. 7. 20	生涯現役かなざわ会	概要説明、ヒートアイランド調査研究、きれいな海づくり、市内河川の生物、化学物質	15
H23. 8. 25	立野小学校 教員	概要説明、きれいな海づくり、横浜の大気環境（VOC）、水生生物	23
H23. 9. 14	磯子区理科研究会（小学校教員）	概要説明、ヒートアイランド、水生生物	25
H23. 10. 18	環境創造局転入職員・新採用職員	概要説明、放射線、ヒートアイランド、水生生物、きれいな海づくり、ダイオキシン類	28
H23. 11. 16	JICAナショナルスタッフ	概要説明、ヒートアイランド、水生生物、電子顕微鏡	3
H24. 1. 31	環境創造局 局内YES施設見学	概要説明、放射線、ヒートアイランド、きれいな海づくり、ダイオキシン類、電子顕微鏡、環境測定、地盤VIEWと湧水調査、生物多様性等	35
合計			318

8. 環境教室等講師派遣一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H23. 5. 25	出前講座（丸山台小学校 5年）	きれいな海づくり	60
H23. 5. 27	神奈川大学法学部 環境行政特論講義	公害対策と未然防止	170
H23. 6. 24	神奈川大学法学部 環境行政特論講義	環境アセスメントの現状と課題	170
H23. 6. 10	横浜市立大学 国際総合科学部	氷取沢市民の森における自然観察	45
H23. 6. 17	環境・公害合同研究発表会	横浜におけるヒートアイランド現象解明のための上空調査, 横浜の海の生物相の変遷	142
H23. 7. 7	出前講座（吉原小学校 環境委員）	日野川生きもの調査	27
H23. 7. 11	出前講座（奈良の丘小学校 6年）	ヒートアイランド現象とその対策について	128
H23. 7. 15	出前講座（日野中央高等学校）	ヒートアイランド現象とその対策について	190
H23. 7. 24	戸塚区役所 観察会	阿久和川における自然観察	100
H23. 7. 28	保土ヶ谷宿松並木水辺プロムナード愛護会	今井川における自然観察	25
H23. 8. 1	栄区 いたち川いきもの観察会	いたち川にける自然観察	50
H23. 8. 5	出前講座（都築小学校 5年）	ヒートアイランド現象とその対策について	66
H23. 8. 17	子供アドベンチャー（関内中央ビル）	きれいな海づくり、海の色は何の色？、見てわかる！分析の基礎	525
H23. 8. 18	子供アドベンチャー（関内中央ビル）	横浜の川にすむ外来生物	483
H23. 8. 20	Green Triathlon	山下公園での海の浄化に関する出展	2000
H23. 9. 14	出前講座（三保小学校 5年）	こんなにいるよ横浜の海の生きものたち	66
H23. 9. 15	出前講座（三保小学校 5年）	こんなにいるよ横浜の海の生きものたち	97
H23. 10. 15	横浜国立大学教育人間科学部 地球環境行政特論 集中講義	公害対策とその未然防止	48
H23. 10. 16			48
H23. 11. 1	磯子小学校	堀割川に住む生き物説明	30
H23. 11. 5	環境行動フェスタ2011	クイーンズパーク、きれいな海づくりに関する出展	4500
H23. 11. 5	神奈川大学大学院法学研究科 トライアルコース 講義	コモンズをめぐる法と政策	15
H23. 11. 6			15
H23. 11. 17	神奈川大学法学会・法学研究所	国際シンポジウム「中国と日本の自然の管理を考える」	150
H23. 12. 3	磯子区役所	いそごどもエコフェスタ2011	157
H23. 12. 7	横浜市立大学 国際総合科学部	環境保全学「横浜のヒートアイランド対策」	30
H24. 1. 28	出前講座（六ッ川台小学校 5年）	こんなにいるよ横浜の海の生きものたち	50

日付	団体名等	内 容	人数
H24. 2. 1	出前講座（金沢小学校 4年）	こんなにいるよ横浜の海の生きものたち	84
H24. 2. 25	第7回こどもエコフォーラム	横浜で暮らす魚たち, 東京オリンピックの時代のS A T O Y A M A	300
H24. 3. 9	出前講座（洋光台第三小学校 5年）	こんなにいるよ横浜の海の生きものたち	46
合計			9817

◇編集後記◇

ここに、横浜市環境科学研究所報第37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、積極的に情報発信を行い、皆さんが活用してくださる所報を編集していきたいと考えております。

所報第37号編集委員会

竹田 隆彦

片岡 雅樹

古川 聡

小市 佳延

酒井 学

正木 千里

七里 浩志

檜垣 正海

佐俣 満夫

前田 裕行

横浜市環境科学研究所報・第37号

2013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/>