

環境研資料

No. 161

横浜市環境科学研究所報

第 33 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.33

2009年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE RESEARCH INSTITUTE

まえがき

横浜市は、「横浜市環境の保全及び創造に関する基本条例」を制定し、環境の保全及び創造のための基本理念を定めました。さらに、この条例に基づき、「横浜市環境管理計画」を策定し、横浜市がめざす都市環境像を明らかにし、環境の保全及び創造に関する施策を総合的かつ計画的に推進しています。

一方、私たちが生活する横浜市の環境問題は、工場・事業場に由来する産業型公害をはじめ、東京湾の富栄養化、自動車公害などの都市・生活型公害、さらに、地球温暖化・オゾン層問題・酸性雨などの地球環境問題など、非常に多岐にわたっています。また、これらが絡み合い、私たちの生活に複雑な影響を与えています。

これらの環境問題は、その原因が複雑多岐に渡るため、事業活動の規制や、私たちの生活の中での努力だけでは、解決できないものとなっています。

そこで、環境科学研究所は、環境の現状把握や対策技術の開発などの成果を環境行政に生かすことを目的に、調査研究・試験検査・環境監視・技術開発を進めています。

特に、従来から取り組んできた「公害（生活環境）対策」や、「自然環境の保全及び快適環境の創造」などの分野の調査研究に加えて、「省負荷型・循環型都市の形成」や「地球環境保全対策」などの分野の調査研究・技術開発も積極的に行っています。

本所報は、これらの調査研究・技術開発などの成果を取りまとめたものです。この所報が、皆さまに活用され、環境に対する取り組みがさらに進展することを祈念しています。

平成 21 年 3 月

横浜市環境科学研究所長

畑 澤 智

目 次

まえがき

I 業務報告編

業務報告	1
研究概要	3

II 調査研究編

報文

・ 横浜市内の気温観測調査 -2008年夏季の観測結果-	9
・ 緑化、遮熱性塗装及びミスト冷却による温度低減効果の赤外線カメラによる観測	12
・ 緑のカーテンによる省エネ及びCO2削減効果の試算	17
・ 横浜の川におけるアユの分布状況 -2007年度調査と繁殖予備調査-	21
・ 横浜港の底層環境調査 -浚渫覆砂工区-	31
・ 今までの横浜市沿岸域の水環境調査の取り組みと今後の課題	39
・ 人工衛星データによる東京湾の水質モニタリング手法	45
・ 和泉川水系の水循環調査(第一報)	52
・ 温暖化と東京湾の水環境 -水温と水質との関係-	58
・ 鶴見川中流域における水質の長期変動の特徴	68
・ 横浜市におけるPRTR対象物質の大気環境調査 2004~2006年度の調査報告	75
・ 鶴見川における農薬調査について(平成19年度)	80
・ LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法	86
・ 下水汚泥焼却灰の重金属不溶化処理技術について	91
・ 高品質消化ガスの利用実証研究について	96

III 資料編

人員及び組織	103
主要機器一覧表	103
学会等研究発表	105
雑誌等投稿	107
記者発表一覧	109
環境科学研究所発行資料目録	110
施設見学者等一覧	114
環境教室等講師派遣一覧	115

編集後記	116
------------	-----

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に、今までの、大気や水質部門などの現象対応型組織から、ヒートアイランド対策研究や化学物質対策研究などの機能対応型組織とするため、研究調整、調査研究(基礎研究・プロジェクト研究)、試験検査などに組織を整備しました。

また、平成17年4月には、環境保全局、緑政局、下水道局の3局再編による環境創造局の発足に伴い、環境監視センター及び下水道技術開発担当を統合し機能を拡充するとともに、調査研究テーマに基づく組織編成としました。

2 試験検査業務

平成19年度は、一般環境大気中の揮発性有機化合物のモニタリングや工場・事業場への立入検査等に伴う検査を629検体、また事故・苦情に伴う検査を80検体実施したほか、一般環境大気中アスベストのモニタリング検査、建築物等のアスベスト含有量実態調査を287検体、合計987検体(*)の試験検査を実施しました。

*1検体あたり、複数の項目を分析

3 調査研究業務概要(平成19年度)

【地球温暖化・ヒートアイランド】

◇ヒートアイランドに関する研究

【地下水・水循環】

◇地下水・水循環に関する研究

◇横浜市内の湧水特性

【生物多様性】

◇生物生息状況モニタリング調査 一源流域水環境基礎調査一

◇生物生息状況モニタリング調査 一川と海の生きものシリーズ9「よこはま 谷戸の水辺の生きものたち」一

◇沿岸域の水質改善に関する研究

◇多自然型水・緑整備事業の環境への効果に関する研究

◇まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関する研究

【大気環境】

◇酸性降下物の影響に関する研究

【有害化学物質】

◇環境ホルモン等に関する研究

◇化学物質環境実態調査

◇横浜市内におけるダイオキシン類モニタリング調査

【下水道技術開発】

◇水処理・汚泥処理に関する調査研究

◇資源・エネルギーの有効利用に関する調査研究

(各調査研究業務概要はP.3~8に記載)

4 啓発事業

4-1 第3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3回こどもエコフォーラム」を開催しました。このフォーラムは、平成17年度に第1回を開催し、児童生徒が日頃から良好な環境について考え、環境に対する豊かな感性を育むとともに、主体的に環境活動を実践できるようにしていくことを目的として、教育委員会小中学校教育課と共催で実施しています。

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

期日/平成20年2月23日(土)

会場/戸塚公会堂

内容/作品発表(11編)、音楽演奏

ワークショップ(11団体)

講評:渡部允氏(ジャーナリスト)

参加者/687人

4-2 「いたち川 生きもの観察会」

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

期日/平成19年8月24日(金)

場所/いたち川(栄区日東橋付近)

内容/魚、川の虫、水質などの調査方法の体験学習

参加者/23人

4-3 施設見学、環境教室等

環境月間(6月)の施設公開をはじめ、随時、学校や市民団体等の施設見学を受け入れ、研究業務の紹介を行っています。また、区役所・市民団体等からの依頼を受けて、環境教室や自然観察会への講師派遣も行っています。(資料編p.114、115参照)

5 監視センター業務

監視センターでは、大気汚染及び水質汚濁等の環境測定を行っています。

5-1 オンラインシステムによる常時監視

大気汚染、水質汚濁について、一般環境及び発生源工場の常時監視を行っており、光化学スモッグ発生時などの緊急時措置を実施しています。

5-2 その他の環境測定（常時監視システムを補完）

二酸化窒素の環境濃度、有害大気汚染物質濃度、河川・海域・地下水の水質汚濁、道路交通騒音及び鉄道騒音・振動などの測定のほか、航空機騒音と放射線の連続測定を行っています。

研究分野	ヒートアイランドに関する研究
研究名称	地球温暖化・ヒートアイランド
[目的]	市内の気温観測結果を基にして、夏季の気温分布図を作成しヒートアイランド現象の把握を行う。また、「緑のカーテン」による温度低減効果、街区シミュレーションによるヒートアイランド対策効果の研究を行う。
[方法]	<p>① 気温観測調査 市内 68 か所の小学校の百葉箱を活用して気温観測を行い、横浜市内の夏季（7，8月）の気温分布を作成。</p> <p>② 「緑のカーテン」事業に伴う温度低減効果の観測 南区、旭区、保土ケ谷区、都筑区、西区、港北区の小学校 26 箇所、保育園 14 か所、一般家庭 25 か所、その他 4 か所で、赤外線カメラを用いた緑のカーテンの温度観測。</p> <p>③ 街区シミュレーションの実施 MM21 地区（約 300m×500m）の地域について、屋上緑化、壁面緑化、保水性舗装を行った場合について、CFD シミュレーションを実施。</p> <p>④ GIS データを用いた地表面被覆マップの作成 市内の GIS データを用いて市内のヒートアイランドの対策済み地域と今後対策可能地域に分類し、各区での対策可能面積率を計算した。</p>
[結果]	<p>2007 年夏季の気温分布による夏季の平均気温は 26.9℃であり、2006 年より若干涼しい夏となったが、熱帯夜日数（最大 28 日）、真夏日日数（最大 37 日）は 2006 年とほぼ同程度であった。</p> <p>「緑のカーテン」による温度低減効果は、表面温度として晴天日の日向では 10℃程度であり、曇天日や日陰では 3～4℃程度であった。</p> <p>街区シミュレーションの結果から、高いビル間に挟まれた空間では、ビル風の吹き出し効果により海からの冷風を遠くに運びやすい効果があることが推測された。</p> <p>地表面被覆マップを作成したことにより、市内における今後の対策可能面積が明確になったので、「横浜市ヒートアイランド対策アクションプラン」に反映させた。</p>

研究分野	地下水・水循環
研究名称	地盤情報の集約と提供 持続可能な地下水利用に関する研究等
[目的]	地盤地下水環境に関する情報を環境保全や各種公共事業に役立てるため、横浜地域の地質や地盤構造、地下水に関する調査研究を行なう。
[方法]	<ul style="list-style-type: none"> ・横浜市の各種事業で行われた地盤調査結果の集約 ・地盤沈下、地下水位のモニタリング ・都市土壌の乾燥化を評価する手法の開発
[結果]	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 19 年度に実施された土質調査報告書を集約（委託件数：31 件、柱状図本数：150 本）し、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：8110 本）を行った。 ・持続可能な地下水利用の基礎研究として和泉川流域の水循環調査を行なった。 ・地盤沈下観測所（8 箇所）、地下水位観測井（35 箇所）のデータ回収および保守点検を行なった。 ・横浜国立大学原田研究室と共同し、都市土壌の乾燥化を評価する手法の開発研究を行った。 ・インターネットによる柱状図提供について、世界測地系対応を行なった

研究分野	生物多様性
研究名称	源流域水環境基礎調査結果 —舞岡・野庭源流域調査、ホタル生息域調査—
<p>[目的]</p> <p>源流域水環境基礎調査は、緑の7大拠点で行われた水環境調査及び生物生息状況調査で得られた結果を収集・整理・解析し、水環境や生物多様性の視点から見た源流域の保全再生施策や環境情報提供に活用する。</p> <p>[方法]</p> <p>①流域周辺の水路河川の流量・水質調査を定期的に行った。 ②源流域の谷戸(水路)を中心とした動植物の生息状況調査を、ルートセンサス法や採取法等により、季節を変えて行った。 ③市内3地域でホタルの成虫発生時期を中心に、水環境や動植物の調査を行った。</p> <p>[結果]</p> <p>2007年度に行った舞岡・野庭源流域調査、ホタル生息域調査の調査結果から以下のことが明らかになった。</p> <p>①月別の流量の変動は降雨量の変動に類似していた。「横浜市水と緑の基本計画」で定めているBOD、糞便性大腸菌群数の達成目標を全ての水路(河川)において満足していた。</p> <p>②源流域調査では、植物497種、動物306種が確認され、その内重要(希少)種は25種であった。</p> <p>③舞岡地区は、舞岡公園で調査を行い重要種19種が確認された。まとまったハンノキ群落がある湿地環境などが残っており多様な環境と生物が確認された。しかしタイワンリスによる小動物等への被害もみられた。</p> <p>野庭地区は、野庭農専地区で調査を行った。植物の腐化率が高かったが、重要種11種(動物)が確認され、湧水も通年流れていた。農業用水路を多自然型にする等の改善がされれば、魚類等の生息環境は再生するものと考えられた。</p> <p>両地区は近接したまとまった緑を形成しており、多様な生物に貴重な棲み家を提供していると思われた。このことは、広域の生息域を必要とする猛禽数種が両地区で確認されたことからもうかがえた。</p> <p>ゲンジボタルは調査地域で10～40頭確認された。ホタルの生息環境は、水質が良好な湧水が流れていること、水路沿いに落葉樹の斜面林が存在しているなどの条件が必要であることが確認された。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	沿岸域の水質改善に関する研究
<p>[目的]</p> <p>富栄養化した横浜市沿岸・感潮域の水質・底質、赤潮状況などの調査を行い、水環境保全・再生に必要な問題点を明らかにし、行政施策に有効な情報を提供することを目的とする。</p> <p>[方法]</p> <p>沿岸域における赤潮調査は、1～2回/月の頻度で行った。横浜港内で10年前に浚渫・覆砂した新港地区の水質・底質・底生生物の調査を2007年6月、9月に行い、浚渫・覆砂による底質改善効果について検討した。大岡川の感潮域5kmについて水質・底質の調査を2007年6月、9月に行った。また、沿岸域の浄化を検討する上から、5月に発生した赤潮海水に対して、カキ及びムラサキガイを用いて室内での水質浄化実験を行った。</p> <p>[結果]</p> <ul style="list-style-type: none"> 沿岸域の赤潮調査から、経年的に底層で貧酸素状況にあることが確認された。 横浜港新港地区の底質・底生動物などの調査結果から、浚渫・覆砂効果はやや薄れてきたが持続していた。 大岡川の感潮域では6月に河口から3km地点で青潮がみられ、底質中に硫化物などが蓄積していることがわかった。 水質浄化実験の結果から、カキ及びムラサキガイが <i>Heterosigma akashiwo</i> 海水に対しても、浄化効果のあることを確認した。 	

研究分野	生物多様性
研究名称	多自然型水・緑整備事業の環境への効果に関する研究
<p>[目的]</p> <p>多自然型河川整備、自然共生型雨水調整池整備事業など、水・緑整備事業が数多く展開されているが、より効果的の事業とするために、事業により創造された環境について生物的に適切に評価を行い、新たな事業や効率的な管理に反映させると共に、地域住民等に対しても事業効果の適切な情報提供を行うための基礎資料とすることを目的とした。</p> <p>[方法]</p> <p>多自然型整備河川として舞岡川の整備区間と隣接する未整備区間の2地区を対象とし、自然共生型雨水調整池は市城北部の黒須田1号、松風台、森の台1号、南部の領家Aと領家Bの5箇所を対象に、水環境、植物、鳥類、魚類、底生動物などの調査を行い多自然整備の効果について検討した。</p> <p>[結果]</p> <p>舞岡川では多自然型整備区間に比べて未整備区間で魚類密度がやや大きく、オイカワのような開放環境を遊泳する種類が整備区間で多いのに対して、未整備区間では隠れ場が多い閉鎖環境に分布するアブラハヤなどが多い傾向が確認された。このような傾向は、未整備区間の改修に当たっては、隠れ場の形成により魚類の生息環境を再生することが、多様な生物生息環境の維持に必要となることを示している。植物については整備区間と未整備区間に生育する種類数に大きな相違はなかったが、整備区間で帰化植物がやや多い傾向が見られた。帰化植物は整備後に増加するが、その後に減少する傾向もあることから、整備後の推移を観察し、必要性に応じて対策を検討すべきと考えられる。雨水調整池では自然共生型整備から期間が長いほど池の堆積泥が多くなり、泥の堆積と水質とは関連が認められなかった。また、雨水調整池の規模が大きいと植物、トンボ類、チョウ類などの種類数が多くなる傾向が認められた。植物は整備時に植栽されているが、湿潤状態の土壌に適応しない種類の多くは枯死、あるいは衰退していることから、植栽を行う場合には、環境特性を考慮することが必要となることが示された。</p>	

研究分野	生物多様性
研究名称	環境共生都市に関する研究 「まち・生き物・自然が融合した環境づくりに関する研究」
<p>[目的]</p> <p>環境共生都市の実現へ向けた研究の一環として、市街地内における生物生息空間の「質」の向上、市街地への自然的環境の創造や多様な生き物の誘導に関する施策検討に寄与するため、平成17年度より本研究に着手した。平成19年度は、維持管理手法の違いが生物生息空間に与える質的影響について調査解析を行った。</p> <p>[方法]</p> <p>敷地内の一部に自然地形及び二次林を有する市街地内の公園緑地うち、規模並びに環境構成要素が概ね似ている3箇所を選定し、維持管理手法の違いとそこに生息する生き物の出現特性から、生息空間にどのような影響を与えているかについて解析を行った。</p> <p>[結果]</p> <p>① 生物多様性に配慮した維持管理マニュアルを備え、当該マニュアルに沿った丁寧な維持管理を実施している小雀公園は、生物出現種数が極めて多く、生態系健全度簡易評価（SEEM法）及び生物多様性評価（Gleason）のいずれも高い評価が得られた。</p> <p>② 鴨池公園は広い水辺空間とほとんどが生物保護区であるにもかかわらず、下草の刈り方や伐採時期等、管理に生き物への配慮が見込まれていない。今川公園はレクリエーション主体で極めて限定的な二次林を残すのみの公園であるが、維持管理に生き物への配慮を独自に行っており、出現種数や多様性評価については鴨池公園とほぼ同等の値を示した。</p> <p>③ 維持管理の条件、生物保護区域面積等を要素として数量化Ⅲ類による多変量解析を実施した結果、維持管理マニュアルとこれに沿った維持管理活動、生物保護区域の設定が、生物多様性の向上と生物生息空間の質向上に大きく影響があることが判明した。</p>	

研究分野	大 気 環 境
研究名称	酸性雨モニタリング調査
[目的]	<p>大気汚染による酸性雨の影響は、近年の東アジア地域における急速な工業化の進展により、広範囲に渡ると懸念されている。横浜は以前から都市・工業地帯の汚染の影響を受け、日本の中ではやや強いレベルの酸性雨となっていたが、平成12年(2000年)9月からは三宅島火山ガス(SO₂ガス)の影響が加わったため、急激に酸性度が強まり、世界で最も酸性雨が強い東欧、北米、中国重慶等の地域と同レベルとなった。横浜市環境科学研究所では酸性雨の監視及び被害の未然防止を目的として、1984年から継続して酸性雨モニタリング調査を行っている。</p>
[方法]	<p>横浜市磯子で平成19年(2007年)4月～平成20年(2008年)3月の1年間、自動雨水採取装置を用いて降水を採取し、pHを測定した。降水は、初期1mm降水(降り始め1mm目までの雨)及び一降水全量(降り始めから降り終わりまでの一雨)の2種を採取した。採取単位は原則として降水ごととし、降水と降水の間隔が3時間以上の場合は別の降水とみなした。なお、初期1mm降水は、降水の初期性状を調べるために採取した。大気中の物質の取り込みは初期降水に多く、後続の降水は少ないため、一降水全量のpHは初期降雨のpHより高くなる場合が多い。</p>
[結果]	<p>火山ガス放出前10年間の平均pHは、初期1mm降水4.33、一降水全量4.73であったが、火山ガス放出後1年間の平均pHは、初期1mm降水3.88、一降水全量4.31であった。その後徐々に回復傾向がみられており、平成19年度(2007年度)の平均pHは、初期1mm降水4.33、一降水全量4.68であった。降水のpHは火山ガス放出前10年間の平均pHと同程度まで回復していたが、依然として欧米並みの酸性雨となっていた。</p>

研究分野	有害化学物質
研究名称	化学物質リスク管理に関する研究
[目的]	<p>化学物質による環境リスクの低減を図るため、環境実態が明らかでない化学物質や、モニタリングが必要とされる化学物質の環境調査を実施し、その残留状況を把握することを目的とする。</p>
[方法]	<p>1 環境省委託化学物質環境実態調査 (1) 環境省の化学物質環境実態調査(委託調査)に参加し、横浜市内の水質・底質・生物・大気試料中の化学物質について調査を行った。 (2) 精度管理調査(環境省)に参加した。 (3) 化学物質の分析法の開発、検討を行った。 2 有害化学物質調査 鶴見川(亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、田奈)にて、農薬80種類の調査を行った。</p>
[結果]	<p>1 環境省委託化学物質環境実態調査 横浜市の水質、底質、生物(ムラサキイガイ)、大気試料中のPCB、DDT類、クロルデン類等の濃度はほぼ昨年度と同じレベルであり、依然として環境中に残存していることが認められた。また、水質試料中のピフェントリン、フェナントレンについて、精度管理調査に参加するとともに、環境試料の分析を実施した。 2 有害化学物質調査 鶴見川から、エスプロカルブ(除草剤)、イプロベンホス(殺菌剤)、フェニトロチオン(殺虫剤)など26種類が検出された。公共用水域等における基準値、指針値が設定されている農薬について、基準値、指針値を超えるものは認められなかった。</p>

研究分野	有害化学物質
研究名称	緊急時の環境調査
<p>[目的] 農薬等の化学物質による河川や海域における事故などでは、迅速かつ正確な物質の同定が求められる。これまでは(ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)で測定できる低極性で揮発性の比較的高い物質を対象にしてきたが、液体クロマトグラフ質量分析計(LC/MS)により高極性で水溶性の高い物質についても測定できるようになった。そこで、緊急時の環境調査に寄与するため、LC/MSを用いた農薬の多成分同時分析法について検討した。</p> <p>[方法] LC/MSで測定できる124種類の農薬を対象に、水質試料を250mlとした場合における前処理方法およびLC/MSの最適な測定条件を求めた。</p> <p>[結果] 前処理で約4時間、LC/MSを用いた分析で測定で約1時間、合計約5時間で124種類の農薬を測定できた。</p>	

研究分野	下水道技術開発
研究名称	水処理・汚泥処理に関する調査研究
<p>[目的] 市民生活を豊かにする快適な水環境の保全のための処理水質の向上や効率的・効果的な処理方法の確立に向けて、水処理や汚泥処理に関する研究などを行っている。 現在は主に、下水道処理水の放流先である公共水域の水質改善を目的とした高度処理について、処理方法の効率化に関する研究を行っている。</p> <p>[方法] 下水高度処理の処理水質をシミュレーションするソフトウェアである活性汚泥モデル(ASM)を用いて、高度処理施設(嫌気-無酸素-好気法(以下A₂O法))における反応槽容量の最適計算手法の検討を行い、実際の運転状況との比較を行った。</p> <p>[結果] ASMを用いて既設A₂O法施設における反応槽滞留時間(HRT)短縮運転のシミュレーションを行った結果、現状よりもHRTを短縮しても処理水質に影響が無いことが確認された。 また、この結果を基に反応槽容量計算方法の改良について検討を行い、嫌気槽、無酸素槽、好気槽それぞれについて、流入水質に対する計算方法の改良案を作成した。併せて、改良計算法により算出した結果をASMによりシミュレーションしたところ、概ね良好な処理水質が得られることが分かった。</p>	

研究分野	下水道技術開発
研究名称	資源・エネルギーの有効利用に関する調査研究
<p data-bbox="172 360 244 389">〔目的〕</p> <p data-bbox="150 392 1410 510">下水道、特に汚泥の処理過程からはメタンを主成分とした消化ガスや汚泥焼却灰が発生する。これらを、資源やエネルギーとして有効利用することにより資源循環型社会の形成に寄与する研究・開発を行っている。現在は主に、焼却灰の有効利用を安定的に進めるため、有害重金属の溶出防止技術や焼却灰を利用したリサイクル製品の開発を行うとともに、消化ガスの精製や精製した高品位ガスの有効利用に関する研究を行っている。</p> <p data-bbox="172 546 244 575">〔方法〕</p> <p data-bbox="150 577 1410 696">生成した高品位消化ガスの有効利用の一方法として、外部利用を念頭に置き都市ガスとの混合燃焼実験を行い、燃焼の安定性や排出ガス性状の確認などを行った。また、焼却灰の有効利用については、利用の前提となる環境安全性の向上に向けて、焼却灰中の有害重金属の溶出防止技術の検討を行った。</p> <p data-bbox="172 732 244 761">〔結果〕</p> <p data-bbox="150 763 1410 913">高品位消化ガスの混合燃焼実験については、実験用の燃焼装置を用いて実験を行った結果、安定した燃焼が確認できた。また、排出ガスの性状についても基準値を十分満足する結果が得られた。焼却灰中の重金属溶出防止技術の検討については、一般的な薬剤（消石灰、硫酸第一鉄、チオ硫酸ナトリウム）を用いた実験を行いある程度の溶出防止効果が確認された。今後、実用化に向けて最適な薬品の配合率や反応時間等について検証する必要がある。</p>	

横浜市内の気温観測調査

－ 2008 年夏季の観測結果 －

奥津千里、佐俣満夫、白砂裕一郎、下村光一郎、井上友博（横浜市環境科学研究所）

Results of atmospheric temperature in summer at 2008 year on Yokohama city

Yukinori Okutsu, Mitsuo Samata, Yuitirou Shirasuna, Kouitirou Shimomura, Tomohiro Inoue
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、気温分布、30℃以上の時間数、雷雨

要 旨

横浜市内 69 地点の 2008 年夏季（7～8 月）の気温観測データを用いて、市内の夏季の平均気温分布、熱帯夜日数分布、真夏日日数分布、30℃以上の時間数分布を作成した結果、ヒートアイランド現象として都心部（西区、中区など）と北東部（港北区、鶴見区など）で高温となる 2006 年、2007 年と同様のパターンが得られた。

また、昨今都市部で集中豪雨の被害が多発するようになったが、横浜市においても 2008 年夏季は、たびたび寒気を伴った気圧の谷の通過による激しい雷雨が発生した。そこで 7 月 29 日午後の雷雨を解析したところ、気温が一気に 10.7℃低下している地点があったことが分かった。

1. はじめに

横浜市環境科学研究所では、2002 年から市内に気温観測網の整備を進め、2008 年には市内 69 地点において気温等の観測を行っている。これらの観測データを用いて、2008 年夏季（7～8 月）のヒートアイランドの状況を解析したので報告する。

また、市内において激しい雷雨により、浸水、停電等の被害が発生した。そこで 7 月 29 日午後の雷雨による気温低下の解析を行ったので報告する。

2. 観測方法

横浜市内の小学校の百葉箱内にデータロガー付サーミスタ温湿度計（日置電機製 3641 またはタスコジャパン製 TMS70UR）を設置した。気温観測地点は、2002 年 14 地点、2003 年 31 地点、2005 年 63 地点、2006 年 66 地点、2007 年 68 地点、2008 年には都心部の熱の移流状況を詳細に観測するため保土ヶ谷区は丘陵地に観測点を増設し 69 地点とし、概ね 2.5km メッシュ毎に 1 地点の観測地点を確保している。69 地点の観測位置を  1 に示す。観測機器は 5 月に各観測地点に設置した。観測は 1 時間毎の瞬間値の気温、湿度をロガーに蓄積し、9 月、11 月にデータの回収を行った。気温の分布図は、GIS ソフト（ArcGIS）により作成し、Kriging 法による空間補間を行っている。

3. 結果と考察

2008 年 7 月 1 日から 8 月 31 日までの期間における下

記の気温分布及びヒートアイランド現象についての検討を行った。なお、各地で多発した落雷等の影響と思われる観測機器の不調のためデータの欠測が生じ、11 地点においては全データが欠測となった。不調の要因と対策については、現在検討中である。

3-1. 2008 年夏季の気温状況

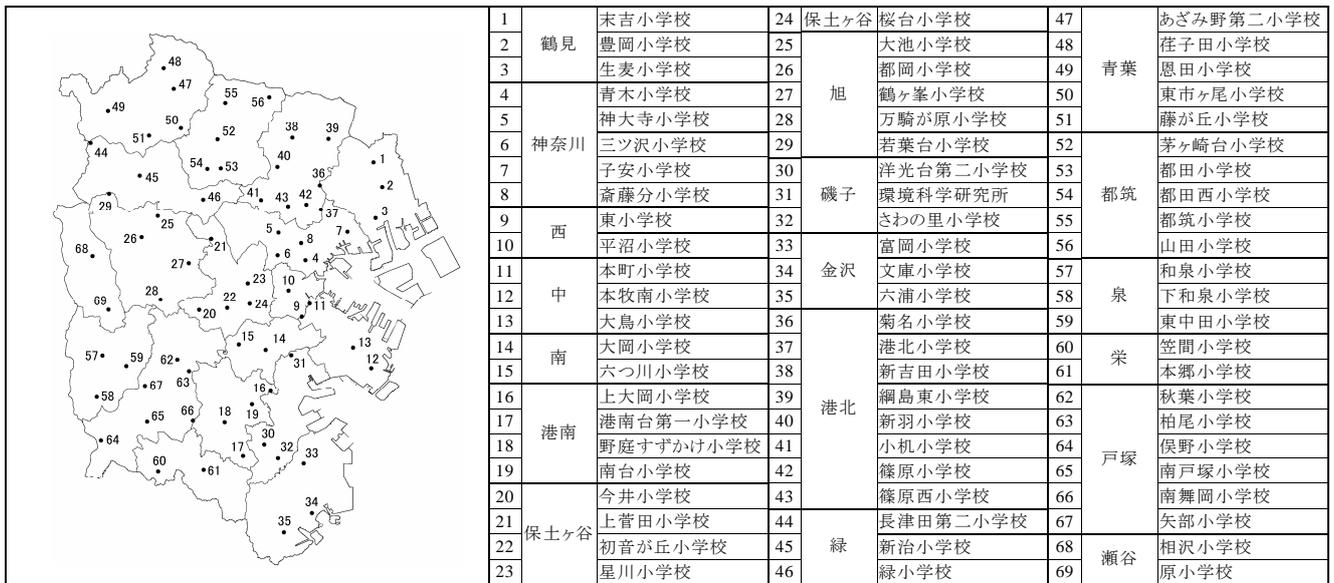
2008 年夏季の気象状況は、7 月中旬ころから太平洋高気圧に覆われて晴天日が続ぎ、気温の高くなる日が多かった。7 月下旬から 8 月上旬は晴れて暑い日が続いたが、上空に強い寒気が入り所々で激しい雷雨となった。8 月下旬は曇りや雨の日が多く気温が低い傾向であった。

2007 年と 2008 年の夏季（7～8 月）の平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数、猛暑日日数、最高気温及び 30℃以上の時間数の比較を  1 に示す。

最高気温は 2007 年が高くなっているが、平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数、30℃以上の時間数は 2008 年が上回っており、暑い夏であったことが分かった。

表－1 観測結果の比較（各年 7 月～8 月）

	2007 年		2008 年	
	平均気温	(最大)26.9℃	(最小)25.2℃	(最大)27.4℃
熱帯夜日数	(最大) 28 日	(最小) 7 日	(最大) 33 日	(最小) 12 日
真夏日日数	(最大) 37 日	(最小) 25 日	(最大) 48 日	(最小) 30 日
猛暑日日数	(最大) 10 日	(最小) 0 日	(最大) 10 日	(最小) 0 日
最高気温	38.9℃		37.6℃	
30℃以上の時間数	(最大)319 時間	(最小)142 時間	(最大)341 時間	(最小)161 時間



図－1 観測地点

3-2. 平均気温分布

平均気温は、港北区綱島東で最も高い27.4℃、旭区大池で最も低い25.8℃を観測し、観測地点間で最大1.6℃の差がみられた。平均気温分布を図－2に示す。

2007年同様に中心部（西区、中区など）と北東部（港北区、鶴見区など）で高温域が見られ、金沢区や栄区の円海山、緑区の三保・新治といった大規模な緑地がある地域では低温となる傾向が見られた。

3-3. 熱帯夜日数分布

熱帯夜日数は、港北区綱島東と南区大岡で最も多い33日、緑地に隣接した緑区新治で最も少ない12日を観測し、観測地点間で最大21日の差があった。

中心部（西区、中区など）と臨海部（鶴見区、神奈川区など）では2ヶ月の間に32日の熱帯夜が観測された。熱帯夜日数分布を図－3に示す。

3-4. 真夏日日数分布

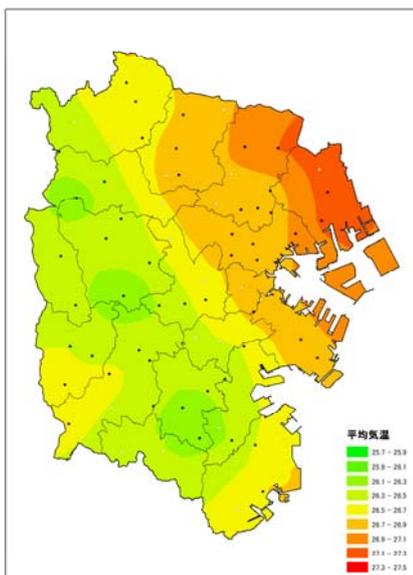
真夏日日数は、鶴見区生麦で最も多い48日、磯子区滝頭で最も少ない30日を観測し、観測地点間で最大18日の差があった。真夏日日数分布を図－4に示す。

真夏日の多い地域は港北区、都筑区、青葉区など北東内陸部に広く分布している。

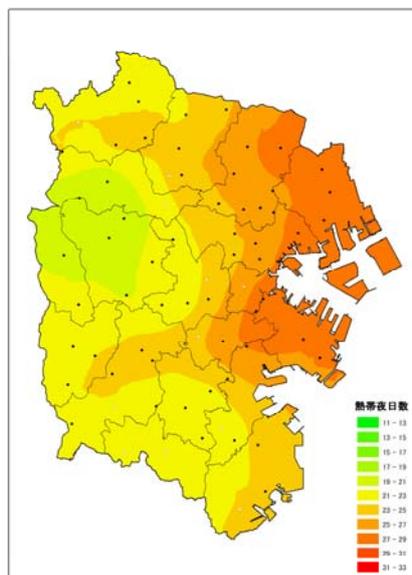
3-5. 30℃以上の時間数分布

30℃以上になった時間数が最も多い地点は都筑区池辺町で延べ341時間を記録し、最も少ない地点は旭区大池で161時間であった。30℃以上の時間数分布を図－5に示す。30℃以上の時間数の多い地域は港北区、鶴見区に分布し、近接している川崎市幸区、中原区でも多くなる傾向が認められている³⁾。

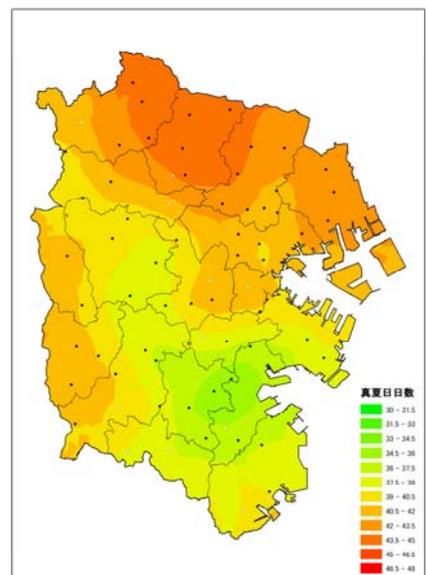
また、2007年の30℃以上の時間数の最大は319時間で、2008年夏は2007年夏と比較すると全般に暑い傾向であった。



図－2 平均気温分布



図－3 熱帯夜日数分布



図－4 真夏日日数分布

4. 雷雨による気温の低下について

2008年夏季は、寒気を伴った気圧の谷の通過より激しい雷雨がたびたび発生した。大雨・洪水警報が発表された7月29日午後の集中豪雨では、港北区、青葉区、緑区、鶴見区等で建物浸水が30棟、停電719棟、道路のアスファルトのはく離、倒木等の被害が発生した（市安全管理局による）。この雷雨は非常に激しい豪雨となり、緑区新治で80分間に102ミリ、鶴見区生麦で50分間に82ミリ、港北区新吉田では30分間に74ミリの雨量を観測した。この時、青葉区藤が丘で気温が12時の33.0℃から14時の22.3℃へ10.7℃の低下、港北区新吉田で同10.5℃の低下が観測され、強い寒気が移動してきたことが分かった。移動の経路については、集中豪雨が1時間程度であったことや気温観測が毎正時のため、解析ができなかった。7月29日午後の雷雨による気温の低下分布を図-6に示す。

5. おわりに

横浜市内69地点の2008年夏季（7～8月）の気温観測データを用いて、平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数、30℃以上の時間数などの解析をした結果、以下の知見が得られた。

- 1) 2008年の夏は平均気温、熱帯夜日数、真夏日日数、30℃以上の時間数は2007年夏季を上回っており、暑い夏であった。
- 2) 2008年の夏は2006年、2007年と同様に中心部から北東部にかけて高温域になりヒートアイランドになっていた。

文献

- 1) 佐俣満夫、白砂裕一郎、井上友博、福田亜佐子、下村光一郎：横浜市内の気温観測調査、横浜市環境科学研究所報、32、11-14（2008）
- 2) 佐俣満夫、白砂裕一郎、井上友博、下村光一郎：横浜市内の気温観測、横浜市環境科学研究所報、31、11-16（2007）

- 3) 上坂弘、石田哲夫、小倉隆、竹内浄、原久男：川崎市におけるヒートアイランド現象の実態調査（2006年度）、川崎市公害研究所年報、34、15-17（2007）

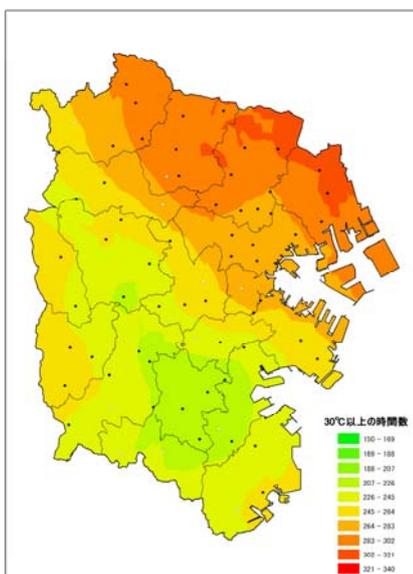


図-5 30℃以上の時間数分布

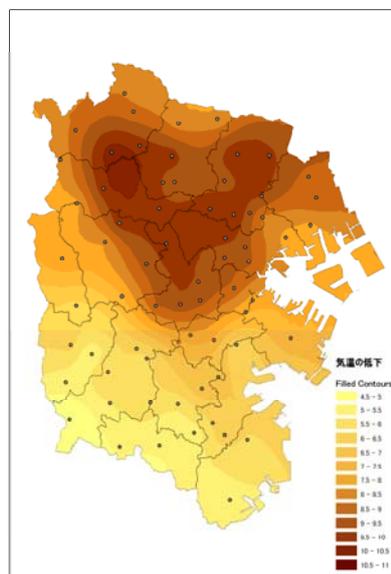


図-6 気温の低下分布

緑化、遮熱性塗装及びミスト冷却による 温度低減効果の赤外線カメラによる観測

佐俣満夫、白砂裕一郎、奥津千里、井上友博、下村光一郎、吉野利男
(横浜市環境科学研究所)
安齊大輔、工藤牧子
(横浜市地球温暖化対策事業本部)

Investigations for effects reduced temperature with Infrared Thermo-graphy on
green screen and house, mist and painting obstructed heat.

Mitsuo Samata, Yuicirou Shirasuna, Yukinori Okutu, Tomohiro Inoue, Kouitirou
Shimomura, Toshio Yoshino
(Yokohama Environmental Science Research Institute)
Daisuke Anzai, Makiko Kudou
(Climate Change Policy Headquarters of Yokohama City)

キーワード：ヒートアイランド、壁面緑化、遮熱性塗装、ミスト冷却、表面温度

要旨

本市金沢区総合庁舎での壁面緑化、緑化ハウス及び遮熱性塗装の温度低減効果、並びに市内5ヶ所に設置されたミスト冷却装置による周辺環境の温度低減効果を赤外線カメラで観測した。その結果、壁面緑化の表面温度は、日向路面に対しては最大約16℃、コンクリート壁面に対しては最大約9℃低いことがわかった。さらに、壁面緑化の効果は緑化面積が大きいほど効果も大きいものと推測された。緑化ハウスの温度低減効果は今回の壁面緑化とほぼ同程度の効果があることがわかり、また、ハウス内では風通しが良ければ日射の強い夏季でもきわめて快適に過ごせることがわかった。遮熱性塗装の表面温度の低減効果は最大約4～8℃あることがわかった。ミスト冷却装置の冷却効果はミスト発生方法や設置場所により異なることがわかり、冷却効果は粗大ミストの水温と微細ミストの蒸発効果によるものと推測された。

1. はじめに

横浜市地球温暖化対策事業本部（以下「事業本部」という）では、2008年度のヒートアイランド対策の一環として、従来から先進的に庁舎内の使用エネルギーが詳細に把握できるシステムを導入している本市金沢区総合庁舎をモデルに選び、排熱抑制や各種緑化技術を導入した。また、市内各所にクールスポットの創設として、ドライミストなどの先端技術を導入した。それらの温度低減効果を市民、事業者「目に見える形」で検証する「ヒートアイランド対策集中導入モデル事業」（以下「モデル事業」という）を展開した。環境科学研究所では、本事業の観測検証の一環として緑化、遮熱性塗装、ミスト冷却装置などの表面温度を赤外線カメラにより観測したので報告する。

2. 対象施設と観測方法

赤外線カメラ観測を行った施設は次のとおりである。

(1) 金沢区総合庁舎

- ・庁舎南面壁面緑化1～2階(128m²)と3～4階部分(116m²) 植物：ヘチマ、ゴーヤ、キウリ
- ・緑化ハウス（床面19m²、高さ約3m）
緑化ハウスは正八角形に建てられた金属メッシュにヘチマ、ゴーヤ、キウリ、カボチャ、トマトなどのつる植物を全面に這わせた施設である。
- ・遮熱性塗装
遮熱性塗装は、金沢区総合庁舎の屋上にエマルジョン系（高反射性）のもの2種類（A、B）と熱交換系（C）のもの1種類を1つの屋上に普通塗装、エマルジョン系（A）、（B）及び熱交換系（C）の順に配置した。

(2) ミスト冷却装置

- ・ズーラシア横浜動物園の「ころこロッジ」と「わくわく広場」での自動間歇型ミスト噴霧装置
- ・中区日本大通、飲食店前でのファン送風式ミスト噴霧装置
- ・伊勢佐木町商店街での下方ミスト噴霧装置2施設

観測期間はいずれの場合も8月の晴天日を選び、正午前後に行った。

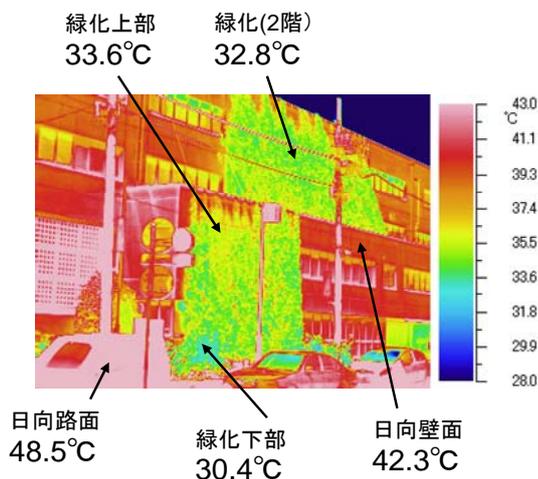
赤外線による表面温度の観測にはAVIO製TVS-700を用い、赤外線画像解析を行った。ミスト観測ではミストの流れを観測するため赤外線動画解析も行った。また、同じ観測期間に事業本部でも気温、風向風速、接地温度計等の観測^{1,2)}を実施しており、結果の考察では必要に応じてこれらのデータも使用した。

3. 結果と考察

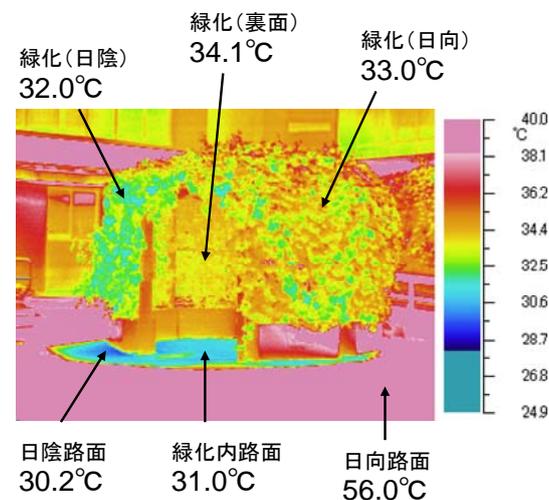
3-1 金沢区総合庁舎での観測結果

(1) 壁面緑化

庁舎南面壁面緑化での2008年8月14日の正午頃の赤外線画像を画像-1に示す。1、2階の緑化部分の表面温度は30.4~33.6℃に分布しており、画像-1に示すとおり、緑化上部より緑化下部の方が温度は低い傾向にあった。これは上部ほど新芽が多く緑がまばらになるためと考えられ、緑のカーテンの場合でも同様の傾向がみられる³⁾。また、3、4階の緑化部分の表面温度は32.7~35.0℃であり平均すると1、2階部分より3、4階部分の方が1℃ほど表面温度が高かった。また、日向の路面の表面温度は



画像-1 金沢区総合庁舎南面の壁面緑化の赤外線画像



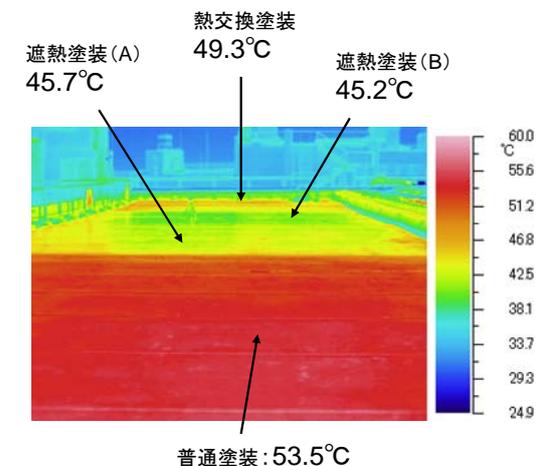
画像-2 緑化ハウスの赤外線画像

48.5℃であり、緑化近傍のコンクリート壁面の表面温度は42.3℃であるから、壁面緑化の表面温度は路面より約16℃、壁面より約9℃ほどそれぞれ低い。通常行われている緑のカーテンでは、表面温度の低減効果は最大でも5~10℃程度であるから³⁾、同じ葉密度でも緑化面全体が大きいほど温度低減効果は大きくなるものと推測された。

3、4階壁面緑化の場合、3階ベランダの緑化コンテナとコンクリート壁面の間に1.5m程度の空隙がある。この空間での観測として、緑化裏側のコンクリート壁面の表面温度は36.0℃と緑化の表面温度に対して2、3℃高い程度である。さらに、葉陰でのガラス窓の表面温度は32.0~34.5℃、またこの空間内で最も低かったのは葉陰のベランダ床であり、33.0℃であった。緑化近傍の日向のコンクリート壁面の温度が42℃であるから、この葉陰空間での表面温度はいずれも5~10℃ほど日向箇所より低いことがわかった。また、事業本部の調査より¹⁾、庁舎内の冷房を停止した場合での室内温度は壁面緑化のある場合は、無い場合に比べて約1℃低いことがわかっている。

(2) 緑化ハウス

晴天日正午頃の緑化ハウスの観測結果の一例を画像-2に示す。日向の路面温度は54.0~58.8℃であるが、日のあたる緑化の表面温度は33.0~35.5℃、日陰部分の緑化の表面温度は31.0~35.5℃といずれも緑化の表面温度は日向の路面に比べて20~25℃ほど低い。また、緑化ハウス内での葉裏の温度は34℃、緑化ハウス内の床面温度は31℃とほぼどの場所でも変化は認められなかった。この原因は、緑化ハウスの外側葉面では、直達日射の葉による相互の反射の影響が大きく温度にばらつきがみられるが、内側ではこれらの熱放射が葉の重なりを通過することにより、均一に近い乱反射となるためと考えられた。さらに、画像-2からわかるように緑化ハウス内の床面と外側の葉陰路面温度には差はなくどちらも30℃程度であった。また、緑化ハウス周辺の気温は35℃であったが、緑化ハウス内の気温は34℃であり、ハウス内の方が1℃ほど気温が低かった。さらに、地表放射を考慮したWBGT値も緑化ハウス内の方が約2℃低かった¹⁾。しかし、人が緑化ハウスに入ると、日射や路面からの反



画像-3 普通塗装、遮熱性塗装(A)、(B)及び熱交換塗装(C)の赤外線画像

射が遮られ、さらに全方位で緑に包み込まれることによる身体及び人感の相互作用により、より涼しく感じられることもわかった。

(3) 遮熱性塗装

晴天日正午前後での普通塗装(手前)、遮熱性塗装(A)、(B)、熱交換性塗装(C)の順に撮影した赤外線画像を画像-3に示す。いずれの塗装も多少のばらつきはあるが、表面温度を平均すると普通塗装で 53.5℃、遮熱性塗装(A)で 45.7℃、(B)で 45.2℃、熱交換性塗装(C)で 49.3℃であった。これより各塗装の表面温度は普通塗装に比べて遮熱性塗装(A)、(B)ではともに約 8℃、熱交換性塗装(C)では約 4℃ほど低かった。今回の観測から夏の晴天日の正午前後では遮熱性塗装はいずれの種類のもので概ね 4~8℃程度の温度低減効果があると考えられるが、今回使用した遮熱性塗装は白色系のものであったから、色彩による反射効果もあったものと考えられる。

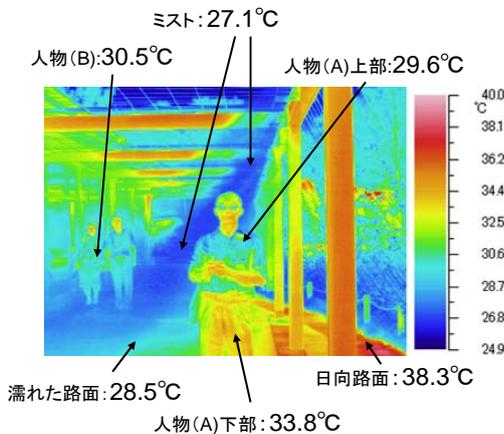
また、エマルジョン系塗装(A)、(B)では日射熱の一部を近赤外として反射するものと考えられている。そのため、事業本部では塗装からの反射率(アルベド)を観測した結果、通常塗装に比べ遮熱性塗装(A)~(C)の反射率は高く、空中へ熱を放射していることを窺わせた¹⁾。その効果を検証するため、各塗装面に垂直に設置されているフェンス面に、黒色ダンボール板と白色タイル板を貼り付け、その板面の表面温度と各塗装面の表面温度を赤外線画像として観測して比較した。その結果、いずれの塗装でも板と塗装面との表面温度に明確な差は認められなかった。

3-2 ミスト冷却装置での観測結果

(1) ズーラシア横浜動物園での結果

「ころこロッジ」

ころこロッジに設置されているミスト冷却装置は高さ 2.5mから斜めに噴霧するものであり、ミストによる人体への冷却効果を観察するため、ミスト内に人を配置したミスト噴霧中の赤外線画像を画像-4に示す。赤外線カメラは本来固体の表面から放出される赤外線量を計測する装置であるため、空間的に高密度をもったミストの集団



画像-4 「ころこロッジ」でのミスト冷却装置と人物の赤外線画像
(ズーラシア横浜動物園)

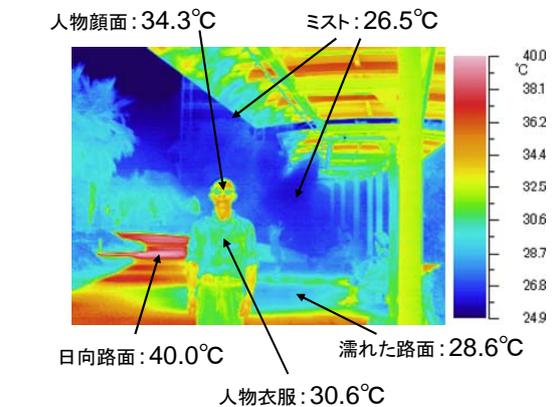
はキャッチできるが、低密度に分散したミストは捕捉しきれない。したがって、画像-4中に写っているミストは比較的高密度の粒子群だけである。

観測結果は、日向の路面温度が 38.3℃に対しミストは後方でも 27℃程度で変わらなかった。また、ミストに暴露されている人物(A)の衣服はミストに暴露されていない衣服下部の 33.8℃に対し、暴露されている衣服上部ではミストを吸収して 29.6℃に低下している。この温度低下はミスト自身の水温(約 27℃)による影響と、付着した微細なミストの蒸発潜熱の両方の影響によるものと考えられる。また、画像-4中でミストの後流にいる人物(B)の衣服でも 30.5℃となっており、室内入口付近までミストの効果があつたことがわかる。さらに、ミスト噴霧口から水平距離で 2~3m付近の通路は水に濡れた路面となっており、表面温度は 28℃とミストの温度より 1℃高いだけである。これは画像-4からもわかるように、噴霧されたミストが直線的に到達したものと考えられる。

一般に空気中を移動する粒子状物質は慣性力の働きにより粒子は大きいほど直線的に遠くまで運ばれるようになる。しかもこの作用はストークス数により粒子径の 2乗に比例して急激に大きくなる。したがってミスト中には粗大なミスト(30μm以上)が多く含まれていたため、衣服等へのミストの濡れ作用が大きかったものと考えられる。事業本部の気温調査によるとミストによる気温の低減効果としては最大で 5.5℃と観測されている²⁾。

「わくわく広場」

わくわく広場の屋根付きベンチの屋根裏に設置された噴霧口から噴霧中のミストと人物の赤外線画像を画像-5に示す。日向路面温度は 40℃に対しミスト温度は 26.5℃程度である。また、ミスト中に暴露された人物の衣服は 30.6℃であったが、顔は 34.3℃と高くなっている。ミストの人物への影響はころこロッジの場合とほぼ同じであったが、ミストによる冷却効果としては暴露中の衣服等へ付着した微細なミストが暴露後に徐々に蒸発することによって暴露後涼しさが継続する効果もあるものと考えられた。また、画像-5に示すようにわくわく広場の場合

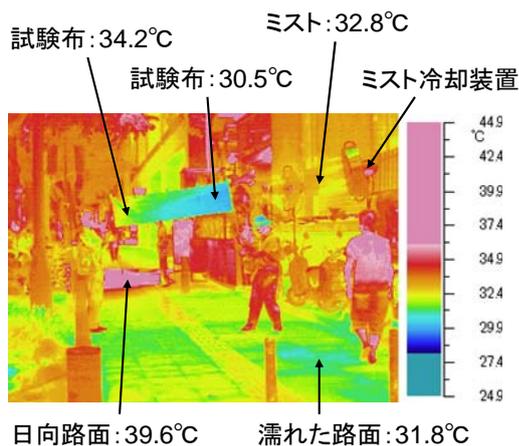


画像-5 「わくわく広場」でのミスト冷却装置と人物の赤外線画像
(ズーラシア横浜動物園)

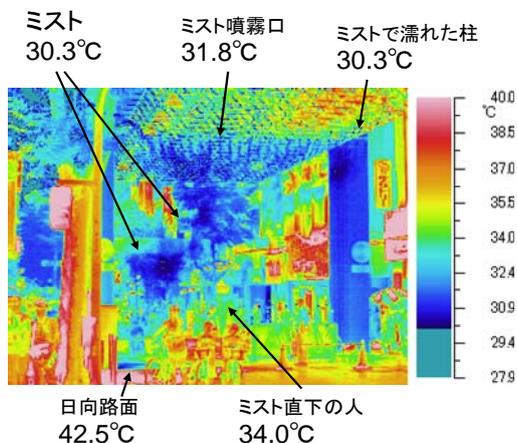
もころこロッジの場合と同じく 28℃程度の濡れた路面がみられた。濡れた路面の生じる場所はころこロッジとは異なり常に移動し、大きさも変化していた。赤外線動画観察によるとわくわく広場はオープンスペースが大きいので風の影響が大きく、多少の風向風速の変化（2～3m/s以上）でもミストの流れは大きく変化し、地上へのミストの到達場所も大きく変わることがわかった。また、風速が大きくなる（約3m/s以上）とミストも吹き上げられ、ミストが人体まで届かない割合が大きくなるため、広いオープンスペースで風の強い場所でのミスト冷却は注意が必要である。事業本部の気温調査では気温によるミスト冷却効果は最大で8.3℃あった²⁾。

(2) ファン式ミスト冷却装置の結果

ファン式ミスト冷却装置の特徴はミスト後方のファンの強制旋回流によりミストがより遠くに運ばれることと、旋回流の破碎効果により微細なミストが生じやすいことである。通常ファン式の場合、角度60°程度の間で首振り状態で使用するが、ファンの軸方向への冷却効果を観察するため、ファンの角度を固定し、軸方向に乾いた布幕（2m×40cm）を固定し、これに5分間ミストを噴霧し



画像-6 ファン式ミスト冷却装置と
布幕試験中の赤外線画像
(日本大通、飲食店前)

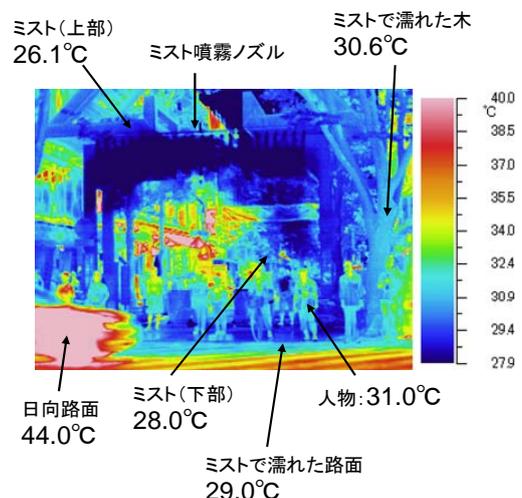


画像-7 伊勢佐木町一丁目ゲートでのミスト
冷却装置の赤外線画像

た後の赤外線画像を画像-6に示す。これより日向路面温度は39.6℃であり、ミスト温度は32.8℃であった。また布幕のファンに近い位置では30.5℃であったが、2m後方では34.2℃であった。これより、ミストによる冷却効果は装置に近い方が効果が大きいにみえる。しかし、事業本部の気温観測より、気温による最大効果は2～3℃と大きくはないものの装置の近傍より3～5m程離れた方が効果が大きく、7m離れても1℃程度の気温低減効果がみられている²⁾。布幕の2m後方位置はちょうど気温低減効果の最も大きかった距離に相当するため、ファンに近い布幕の温度の低下は布へのミストの吸着による水蒸気とその蒸発による影響が大きいのと考えられた。さらに、ミストの温度よりファンに近い布幕の温度の方が2℃ほど低いことは、ファンによる旋回流が強制的に蒸発を促進させた結果と考えられた。これらの結果より、ファン式ミスト冷却装置はミスト及び生じた冷気をより遠くへ運ぶことと、強制流によりミストの蒸発が促進される効果があるものと考えられた。

(3) 伊勢佐木町商店街での結果

伊勢佐木町商店街では2施設で観測した。伊勢佐木町1丁目ゲート（以下施設(1)）でのノズル位置は高さ7m、伊勢佐木町2丁目ゲート（以下施設(2)）でのノズル位置は高さ5.3mであった。これらの施設での特徴はいずれも高位置から直下への噴射である。施設(1)でのミスト噴射時の赤外線画像の一例を画像-7に示す。画像-7よりミスト温度は30～32℃であり、日向路面で41.3℃であった。さらに施設(2)でのミスト噴射時の赤外線画像の一例を画像-8に示す。画像-8より施設(2)のミスト温度は26～28℃であり、日向路面温度は44℃であった。いずれの画像からも高位置から下方へのミストは多少の風の影響でも複雑に変化している様子がわかる。また、赤外線動画観察から通行人は装置周辺の広い範囲でミストに暴露する可能性があるが、暴露時間は瞬間的で数秒程度である。ミスト下流でミストに暴露したと思われる人物の表面温度をみると暴露しなかったと思われる人物の表面温度33～36℃に比べて、施設(1)、(2)ともに31～34℃と低く、



画像-8 伊勢佐木町二丁目ゲートでのミスト
冷却装置の赤外線画像

これは衣服へのミストの付着による温度低減効果と推測された。

気温による温度低減効果も変化が激しかったが、施設(1)、(2)で気温による瞬間最大効果は2~5℃であった²⁾。また、路面、周辺の柱や樹木でもミストの影響と考えられる濡れた部分が観測され、施設(1)ではノズル近くの柱で30.3℃、施設(2)では濡れた路面で29.0℃、ノズルに近い樹木で30.6℃の表面温度が観測された。いずれもミスト自身の温度に近く、周辺の風の影響により、間歇的に多数回ミストに暴露されたことを窺わせた。これらの結果より、高所からのミストの噴霧による温度低減効果は面的には広い範囲に及ぶが、効果自体は瞬間的であるため、風の影響の少ないなど設置場所等がかなり制限されるものと思われた。

4. おわりに

事業本部の推進する「ヒートアイランド対策集中導入モデル事業」の内、環境科学研究所が赤外線カメラを用いて表面温度観測を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 金沢区総合庁舎南面に設置された壁面緑化の表面温度は夏季晴天日の正午頃では、日向路面に対しては約16℃、コンクリート壁面に対しては約9℃低いことがわかった。また、葉陰空間では表面温度として日向より5~10℃涼しくなることもわかった。さらに、壁面緑化の効果は緑化面積が大きいほど効果も大きいことがわかった。
- 2) 緑化ハウスの温度低減効果は南面壁面緑化とほぼ同程度の効果があることがわかり、また、ハウス内では風通しが良ければ日射の強い夏季でもきわめて快適に過ごせることがわかった。
- 3) 夏季晴天日の遮熱性塗装の表面温度として、エマルジョン系で約8℃、熱交換系で約4℃の温度低減効果が認められた。日射の反射率はいずれの遮熱性塗装でも通常塗装に比べて大きかったが、反射した熱エネルギーが近くの材質に及ぼす影響は明確には観測できなかった。

4) ミスト冷却装置はミストに暴露されている間は冷却効果が認められるが、これは低温な水滴自身の温度と蒸発潜熱による効果の相乗作用によるものと考えられた。また、ミストの発生は単体で発生させるよりも、より広い範囲で発生させる方が効果も大きいものと推測された。ファン式のミスト冷却装置では強制旋回流によりミストと冷気をより遠くに運ぶことができると、旋回流により蒸発が促進されることがわかった。高所からのミストの噴霧は風の影響を受け易く、設置方法に注意が必要であることがわかった。

今回調査したミストはいずれも暴露時に濡れを感じる粗大ミストが含まれていたが、今後はより微細なミスト(ドライ化した)の発生方法の検討が望まれた。

現在、横浜市ではヒートアイランドに関する施策として「都市と緑 CO-DO」や「横浜市ヒートアイランド対策アクションプラン」を策定している。今回の観測結果及び同時に事業本部により調査されたデータ^{1,2)}を活用して、これらの施策をさらに推進していくことにしている。

参考文献

- 1) 横浜市地球温暖化対策事業本部：緑化及び遮熱性塗装温度低減効果測定報告書(2008)
- 2) 横浜市地球温暖化対策事業本部：ミスト冷却装置効果測定報告書(2008)
- 3) 福田、佐俣、白砂、下村、井上：緑のカーテンの温度低減効果、横浜市環境科学研究所報、32、22-26(2008)

緑のカーテンによる省エネ及びCO₂削減効果の試算

佐俣満夫、福田亜佐子
(横浜市環境科学研究所)

A estimations for Values of reduced energy and Ones reducing emitted CO₂
on green screen

Mitsuo Samata, Asako Fukuda
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：地球温暖化、省エネルギー、CO₂削減、緑のカーテン

要旨

南側に面したガラス窗外側に植えられた8m²の緑のカーテンを仮定し、7～9月の夏季3ヶ月間での緑のカーテンによる省エネ効果とCO₂削減効果について試算した。その結果、省エネ効果は、家庭用(8畳)エアコン1台分を毎日1時間から1時間半程度稼働させる場合と同等の効果が推定された。また、CO₂削減量としては杉の木約9本分の削減効果があるものと推測された。

1. はじめに

夏季のヒートアイランド対策として家庭や学校でも手軽に行える緑のカーテンが普及しつつある。緑のカーテンは一般にヘチマ、ゴーヤなどの一年草のつる植物を用い、窓辺の植物の遮熱効果により室内を涼しくさせる効果がある^{1,2)}。また、室内への温度低減効果により夏季の冷房時間の短縮としての省エネ効果が期待される。緑のカーテンによるCO₂の削減効果として植物自身へのCO₂の吸収量が問題にされることがあるが、使用される一年草類のCO₂は1年間で土壌と大気を循環するため、一般にはCO₂の固定量としては算定されていない。しかし、冷房時間の短縮から電力消費によるCO₂の削減効果として期待できる。そのため、近年、緑のカーテン、壁面緑化等の普及に伴う省エネやCO₂の削減効果の推定が望まれている。

しかし、緑のカーテンによる省エネやCO₂削減効果を算定するには、気象条件、風、熱移動の評価、冷房器の種類、建物構造など種々に異なること、さらに求められる期間(瞬間値、平均値等)などの違いがあるため、一般的な評価モデルが構築されていないのが現状である。一般に行政上求められる効果は夏季に緑のカーテンによってどの程度の省エネとCO₂の削減が期待されるかである。そこで、夏季(7月～9月)3ヶ月間に冷房施設をもった一般的家庭の緑のカーテンにおける電力の省エネ量と電力によるCO₂削減量の試算を行った。

2. 解析のためのモデルの概要

緑のカーテンのある場合と無い場合での熱移動の概要をそれぞれ図-1、2に示す。熱の移動には一般に放射、伝熱、対流の3つの形態がある。モデルでの対流は部屋

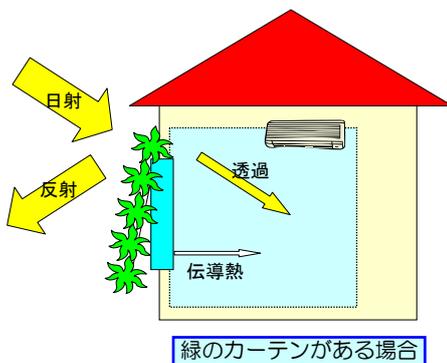


図-1 緑のカーテンのある場合の概念図

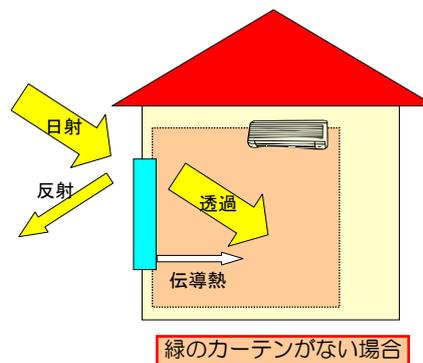


図-2 緑のカーテンの無い場合の概念図

の内外の風の流れと考えられるが、対流の評価には別途シミュレーション等が必要なため、ここでは対流項は無視し、無風状態と仮定する。したがって、室外から室内への熱の流入は放射と伝熱のみとなる。さらに、実際には窓面以外にも熱の入出は存在するが、これらの熱移動は緑のカーテンの有無には影響しないものとする、緑のカーテンのある場合と無い場合の熱量差分(効果)の計算では相殺されるため、実際には緑のカーテンの有無による熱の流入のみを考えればよい。

「熱の放射による流入」

屋外からの緑のカーテンの有無による熱放射の供給は、太陽からの日射のみとする。夏季3ヶ月の間には雨天や曇天もあるため、これらも含めて3ヶ月間の全天日射量を用いる。緑のカーテンのある場合は

日射(全天日射量) → {緑のカーテン+ガラス窓}(日射透過率) → 室内への熱量(1)

緑のカーテンの無い場合は

日射(全天日射量) → ガラス窓(日射透過率) → 室内への熱量(2)

となる。また、ガラス面への日射量の補正として地域別方位別係数で補正する。

「熱の伝熱による流入」

ガラスなどの物質を伝達する熱量は、ガラス面の外側と内側の表面温度から熱伝達式を用いて計算できる。緑のカーテンのある場合、緑のカーテンの裏面のガラスの表面は緑の日射遮蔽効果等により、無い場合に比べて表面温度が低い。これより実測された緑のカーテンの有無によるガラスの表面温度¹²⁾と室内側のガラスの表面温度からガラス窓を通った伝熱量がわかる。

この放射+伝熱による熱量を室内に流入した熱量とした。緑のカーテンのある場合と無い場合について流入熱量を算出し、その差を冷房器の消費熱量で換算することにより、省エネ効果及びCO₂削減効果をそれぞれ計算した。

ここでは、これらのモデルを用いて2m×2mの緑のカーテンを南西及び南東方向のガラス窓2面に設置した場合について以下に試算した。

3. 解析方法と結果

3-1 日射遮蔽効果

緑のカーテンでガラス窓を覆うことにより、日射によって室内へ透過する熱量がどの程度削減されるかを試算する。単位面積あたりのガラス窓面を透過する熱量(日射透過量) $Q_m(\text{kcal/m}^2\text{h})$ は、日射透過率を a 、全天日射量を b 、地域別方位別係数を c とすると、次式で算出される。

$$Q_m = a \times b \times c \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、日射透過率とは、ガラス窓に入射した日射熱が、室内側へ透過する割合をパーセントで表したものである。

日射透過率

一般的な3mmガラス窓³⁾ $a = 0.88 \dots \dots (2)$

緑のカーテンで覆ったガラス窓⁴⁾ $a = 0.28 \dots \dots (3)$

次に、一般に窓面は、地面と垂直に設置されているので、窓面に差し込む日射量は、東京気象台で観測されている

「全天日射量」(水平面で受ける日射量)を窓が受ける日射量に補正するため、地域別方位別係数を乗じる必要がある。

地域別方位別係数(神奈川県、南東・南西)⁵⁾

$$c = 0.45 \quad \dots \dots (4)$$

全天日射量: b は7月から9月の3ヶ月間の東京気象台での全天日射量の積算量を用いた。

$$b = 301,000(\text{kcal/m}^2) \quad \dots \dots (5)$$

(2)~(5)式を(1)式に緑のカーテンのある場合と無い場合について代入し、それぞれ単位換算すると、3ヶ月間の日射透過量は

緑のカーテンの無い場合の日射透過量

$$Q_1 = 499,000(\text{kJ/m}^2)$$

緑のカーテンのある場合の日射透過量

$$Q_2 = 158,800(\text{kJ/m}^2)$$

となる。さらに、3ヶ月間の日射量の削減効果を ΔQ_1 とすると

$$\Delta Q_1 = Q_1 - Q_2 = 340,200 (\text{kJ/m}^2) \quad \dots \dots (6)$$

を得る。

3-2 緑のカーテン及びガラス窓の伝熱効果

緑のカーテンによる冷房負荷低減効果の概念を図-3に示す。ガラス窓を通して建物内部に伝わる単位面積あたりの熱量(熱貫流量)を $Q(\text{kcal/m}^2\text{h})$ とすると熱伝達式は以下のように与えられる。

$$Q = \frac{1}{\left(\frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}\right)} (\theta_1 - \theta_i) \quad \dots \dots (7)$$

ここで、

L (ガラス面の厚さ) = 3mm

λ (ガラス面の熱伝導率) = 0.86(kcal/m²h^oC)

α_i (室内側熱伝達率) = 8(kcal/m²h^oC)

さらに、 θ_i は室内側ガラス窓表面温度であるが夏季の冷房中を考慮して、赤外線カメラでの実測から緑化のある場合も無い場合も、ともに $\theta_i = 26^\circ\text{C}$ とした。 θ_1 は室外ガラス窓の表面温度であるが、赤外線カメラの実測値から以下のように求めた。

緑のカーテンの無い場合: $\theta_1 = 39^\circ\text{C}$

緑のカーテンのある場合: $\theta_1 = 35^\circ\text{C}$

緑のカーテンによる冷房負荷低減

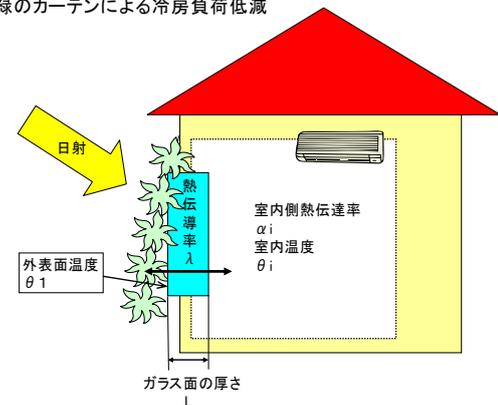


図-3 緑のカーテンによる冷房負荷低減効果の概念図

これらの値から緑のカーテンのある場合： Q_{p1} と無い場合： Q_{p2} についてそれぞれの Q の値を(7)式から求めると $Q_{p1}=101.2(\text{kcal}/\text{m}^2\text{h})$ 、 $Q_{p2}=70.05(\text{kcal}/\text{m}^2\text{h})$ を得る。さらに、日射のない夜間は、緑のカーテンの有無による室外ガラス窓の表面温度に差はないものとするれば、熱量差が生じるのは昼間の12時間のみと仮定できるので伝熱による熱移動は1日あたり12時間で計算した。これより Q_{p1} 、 Q_{p2} を用いて夏期3ヶ月間の室内への伝熱量は以下ようになる。

緑のカーテンの無い場合： $Q_{o1}=457,400(\text{kJ}/\text{m}^2)$

緑のカーテンのある場合： $Q_{o2}=316,600(\text{kJ}/\text{m}^2)$

3ヶ月間の削減伝熱量を ΔQ_2 とすると

$$\Delta Q_2 = Q_{o1} - Q_{o2} = 140,700(\text{kJ}/\text{m}^2) \dots (8)$$

を得る。さらに放射と伝熱を合わせた3ヶ月間の全削減熱量を ΔQ とすると、

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 481,000(\text{kJ}/\text{m}^2) \dots (9)$$

を得た。これらの結果より、緑のカーテンの有無による室外からの流入熱量の削減割合は50%と推定された。

3-3 緑のカーテンによる省エネ効果

(9)式より、緑のカーテンの設置により夏季3ヶ月間でガラス面の単位面積あたりに削減される熱量は

$$\Delta Q = 481 (\text{MJ}/\text{m}^2) \dots (10)$$

と推定された。

「冷房の消費電力量の削減量の試算」

エアコンは緑のカーテンの有無でも同一の機種を使用し、エアコンの温度特性・負荷特性は一定とみなした上で、運転状況の変更による消費電力の削減効果(kWh)のみを推計した。消費電力の削減量 $\Delta E(\text{kWh}/\text{m}^2)$ は次式のようにになる。

$$\Delta E = (\Delta Q/3600) \times (1/C) \dots (11)$$

ここで、 ΔQ は(9)式より得られる。3600はkJからkWhへの変換係数である。また、 C は一般に冷房 COP とよばれる定数で、冷房器の消費電力に対してヒートポンプ作用により実際にどの程度冷やすことができるかという定数(=冷房能力 kW/冷房消費電力 kW)である。ここでは省エネルギーセンターのデータ⁶⁾より、一般住宅を想定してエアコン冷房能力 2.8kW の製品の冷房 COP 値より、 $C=4.97$ とした。

これらの値と(11)式より

冷房による単位面積あたりの消費電力削減量

$$\Delta E = 28.6(\text{kWh}/\text{m}^2) \dots (12)$$

を得た。

「エアコンの消費電力との比較」

8m^2 の緑のカーテンを設置した場合の消費電力削減量を ΔE_o とすれば

$$\Delta E_o = \Delta E \times 8(\text{m}^2) = 228.9 (\text{kWh}) \dots (13)$$

を得る。室内を一般家庭の8畳と想定し、省エネルギーセンターのデータ⁶⁾より一般家庭8畳用のエアコンの夏1ヶ月あたりの消費電力量の平均値は $71(\text{kWh})$ なので、エアコン1台分の夏期3ヶ月分の消費電力量は $H=213(\text{kWh})$ となる。 ΔE_o と H より夏期3ヶ月間での削減電力量に見合った平均的なエアコンの稼働台数： G が得られる。

$$G = \Delta E_o / H = 1.07(\text{台}) \dots (14)$$

これより、 8m^2 の緑のカーテンの設置による省エネ効果は8畳用エアコン約1台分に相当する。さらに、このエアコンの省エネによる1日での平均的稼働時間について試算する。ここで、エアコンは平均的には冷房能力の7割程度で稼働しているものと仮定すると、平均冷房能力は $2.8 \times 0.7 = 1.96(\text{kW})$ となるから、

$$\text{エアコンの1日の平均稼働時間} = (71(\text{kWh})/30 \text{日}) \times (1.07/1.96\text{kW}) = 1.3 (\text{h}/\text{日})$$

を得る。夏期3ヶ月の間にはエアコンを使用しない雨天や曇天もあり、逆に3~4時間も使用する暑い晴天日も考慮すると、平均した稼働時間は約1時間から1時間半程度となる。この値は通常使われているエアコンの稼働時間としても妥当なものと考えられた。

3-4 緑のカーテンによるCO₂削減効果

地球温暖化対策の推進に関する法律⁷⁾より電力1kWhあたりのCO₂排出量は $0.555(\text{kg}\text{-CO}_2/\text{kWh})$ なので、緑のカーテンの単位面積あたりのCO₂の排出量： R は(12)式より

$$R = \Delta E \times 0.555 = 15.9(\text{kg}\text{-CO}_2/\text{m}^2) \dots (15)$$

を得る。さらに、緑のカーテン 8m^2 でのCO₂削減量を R_o とすると

$$R_o = 15.9 \times 8 = 127.0(\text{kg}\text{-CO}_2) \dots (16)$$

となる。また、樹木のCO₂吸収量換算として多く用いられている杉の木の本数に換算すると、杉一本のCO₂吸収量は $14(\text{kg}\text{-CO}_2)$ ⁸⁾ なので

$$\text{CO}_2 \text{削減による杉の本数} = 127/14 = \text{約} 9 \text{本}$$

を得る。夏季3ヶ月間で、これらの省エネ及びCO₂削減効果をわかり易くまとめると以下ようになった。

- 8m^2 の緑のカーテンによる省エネ効果は8畳用エアコン約1台分に相当する。
また、省エネ分のエアコンの稼働時間は1日に約1時間から1時間半程度と推測された。
- 8m^2 の緑のカーテンによるCO₂の削減量は杉の木約9本分に相当する。

4. おわりに

夏季3ヶ月間、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ の緑のカーテンを南西及び南東のガラス窓面に設置した場合を想定して、緑のカーテンによる省エネ効果とCO₂削減量を試算した結果以下の知見が得られた。

- (1) 緑のカーテンの設置により夏季の冷房の節約が可能であり、緑のカーテンには省エネ効果やCO₂削減効果があるものと推測された。
- (2) 緑のカーテンを設置した場合の省エネ効果は、家庭用エアコン約1台分を夏季3ヶ月(7~9月)の間、毎日1時間から1時間半程度稼働させた分に相当するものと推測された。
- (3) 夏季3ヶ月間での緑のカーテンの冷房節約によるCO₂削減量は杉の木約9本分に相当するものと推測された。

今回の解析はその行政目的からエアコンや杉の本数な

ど分かり易い評価結果を試算するためのモデルを設定したが、目的に応じてモデルや物性値などを適切に選ぶ必要がある。

参考文献

- 1) 佐俣、井上、白砂、久家、下村：横浜市内での壁面緑化の温度低減効果、横浜市環境科学研究所報、31,21-24 (2007)
- 2) 福田、佐俣、白砂、下村、井上：緑のカーテンの温度低減効果：同上、32,22-26 (2008)
- 3) (社) 日本建材産業協会資料
- 4) 梅干野、山下：ツル植物による植栽スクリーンの日射遮へい効果、建築環境工学論文集第6号学術論文講演発表会資料
- 5) (財) 建築環境・省エネルギー機構：住宅の次世代省エネルギー基準と指針
- 6) 省エネルギーセンター：省エネ性能カタログ 2006年夏版
- 7) 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第3条
- 8) 環境省・林野庁：地球温暖化防止のための緑の吸収源対策

横浜の川におけるアユの分布状況

—2007 年度調査と繁殖予備調査—

樋口文夫、福嶋 悟、下村光一郎（横浜市環境科学研究所）
洲澤 謙（有限会社 河川生物研究所）

Distribution of Ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, in the rivers of Yokohama

— Survey report of 2007 year and preliminary investigation of reproduction —

Fumio Higuchi · Satoshi Fukushima · Kooichiro Shimomura
(Yokohama environment science research institute)
Yuzuru Suzawa (Institute of river biology Ltd.)

キーワード： アユ、河川構造物、分布、流下仔魚、横浜

要旨

河川生態系の生物多様性を保全、再生、水辺ネットワークの構築を図っていくための基礎的資料を得ることを目的に、アユの分布状況等の調査を行った。1976 年～2005 年度のモニタリング調査から魚類相の変遷は、通し回遊魚の種類数が 2002 年度より有意に増加していた。アユは 1993 年度に主要河川に初めて出現していた。今回、鶴見川、境川、帷子川、大岡川、侍従川水系でアユの分布状況調査は行なった結果、魚種全体で 7 科 12 種が確認され、アユは侍従川を除く河川で出現した。アユの遡上上限は、流路延長に対する遡上距離の割合で見ると境川支川の柏尾川が 68%、鶴見川が 50%で他の河川に比して高かった。低い率を示したのは境川で、河川構造物との関係が示唆された。水質環境はアユ分布との関係が明確ではなかった。帷子川の流下仔魚調査ではふ化して間もない仔魚が採集され、繁殖が行われていることが市内河川では初めて明らかになった。以上から、アユは河川構造物の堰、落差工によって遡上に影響を受けていると考える。今後、多くの魚種が双方向移動を可能にする河川形態、水環境をさらに考えていく必要がある。

1 はじめに

国土交通省の川づくりの方向が、「多自然型川づくり」から「多自然川づくり」へと展開させ、生物に関しては、特定地域の保全、再生だけでなく河川全体、すなわち生物の双方向移動を考えた水辺環境等の再生を含めた考え方となってきた¹⁾。これは、河川生態系の多様性を維持していく上で、多くの魚種の生息場の再生、保全とともに移動分散を可能にする河川形態の再生等の必要性を示している。

一方、筆者らは、都市河川の魚類分布と河川構造物との関係、移動分散等について検討してきた^{2, 3)}。その中で、流域の源流部、谷戸の魚類群集の多様性が重要²⁾であり、また、一時期に川を利用する魚種、ハゼ科、アユ等の通し回遊魚の存在は、都市の中で生物群集の多様性を再生していくために重要であることも指摘してきた³⁾。

今回対象としたアユは、他の都市においては古くから内水面漁業、養殖、遊魚等の有用な水産資源として考慮され、その安定した資源確保のために放流が行われてきた。しかし、最近、在来の天然アユ集団の再生が見直され、都市河川にあっては、地域活性化、川から海までの範囲の広い河川環境を考える等の視点から検討されるようになってきた⁴⁾。

これらのことから、水辺のネットワークを考えていく

ための基礎資料を得ることを目的として、アユの分布状況調査を行い、河川環境との関係を検討した。既存の調査報告から市内河川の魚類相の変遷も解析した。また、帷子川では、繁殖確認のための予備的調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2-1 調査期日と調査地点

調査期日は 2007 年 6 月 6 日から 7 月 3 日までの 6 日間であった。

調査対象とした地点等を図-1、表-1 に示した。地点は、鶴見川で 6 地点 (TA、TB、TC、TD、Ta、Tb)、境川で本川の 3 地点 (SA、SB、SC)、支川の柏尾川の 3 地点 (Sa、Sb、Sc)、帷子川の 4 地点 (KA、KB、KC、KD)、大岡川の 2 地点 (OA、OB)、侍従川の 1 地点 (J) の合計 19 地点であった。調査地点は、大きな落差工、堰等の河川構造物が設置されている下流とその上流を選定した。

河川構造物の河口からの距離、河床高度は、都市計画図 1/2500 の地図⁵⁾をもとにマップメーターで計測した。

河川の概況と河川構造物の位置は、鶴見川の流路延長と河床勾配がそれぞれ 42.5km、1/1000、境川が 49.8km、1/750、支川の柏尾川は約 23km、1/460、帷子川が 17km、

1/290、大岡川が 15km、1/750、侍従川は 3km、1/300 である。

河川構造物は、鶴見川が河口から 16km に農業用取水堰の小机堰、18km に鴨居堰の 2 基の鉄板可動堰があり、境川の本川が河口から 10km に俣野堰のゴム堰（ゴム引布製起伏堰）、14km に高飯堰、15km に上高倉堰の鉄板稼動堰の 3 基が設置されている。これらの堰の直下はコンクリート、落差高は取水時に約 2 m であった。柏尾川は堰がなく、各支川との合流点に低い落差工が設置されている。帷子川は落差工が河口から 6～7 km の間に 7 基、大岡川が河口から 10km より上流に落差高 0.5m 以上の落差工が 11 基設置されている³⁾。

2-2 分析項目と方法

水質環境項目は、次の項目について調査した。

水温、pH は携帯型 pH 計、流速は電磁式流速計（ケネック VE10）、電気伝導率は携帯型 EC 計（東亜電波 CM-14P）で測定し、BOD（生物化学的酸素要求量）はウィンクラーアジ化ナトリウム変法で分析した。NH₄-N

（アンモニア態窒素）はインドフェノール青吸光光度法、NO₂-N（亜硝酸態窒素）と NO₃-N（硝酸態窒素）は Dionex DX-120 で測定し、TIN（全無機態窒素）はこれら 3 項目を合計して求めた。PO₄-P（リン酸態リン）はアスコルビン酸-モリブデン青法で分析した。水深は折れ尺を用い、基質性状は砂礫、礫、岩盤の区分で優占する基質を目視で判定した。

2-3 採集方法と繁殖確認調査

2-3-1 アユ分布調査

魚類調査は、タモ網（網目 1.5mm メッシュ）、投網（16 節、900 目）を用い、調査区域は構造物から下流、あるいは上流で調査時間約 20 分、投網打数 5～10、人員 2 名で行った。体サイズは標準体長をノギスで 1mm まで測定した。測定後の個体は原則放流した。

2-3-2 アユの流下仔魚調査

繁殖調査は、帷子川で実施し、繁殖集団の観察が 2007 年 10 月に河口から 3 km の調査地点（KA）で目視にて行い、繁殖確認調査は、2007 年 12 月上旬に、横浜新道下の地点で、流下ネットを瀬の右岸より（A）と左岸より（B）の 2ヶ所に設置して行った。流下ネットは間口 30cm × 50cm、長さ 1 m、目合 0.3mm であった。採集方法は、日没前後の 16 時から 20 時まで 1 時間ごとに採集し、その資料は 5%ホルマリンに固定して後日に仔魚の同定、計数を行った。

2-4 解析方法

1976 年から 2005 年までに実施してきたモニタリング調査結果^{6~15)}から、生活環¹⁶⁾別に出現地点数と延べ地点数との比（以下、出現比と略記）を求めた。これらの値については逆正弦変換を行なった後、調査年度別生活環別に多重比較検定（Tukey-Kramer 法）を行い、また、種類数の比較では、繰り返しのない二元配置法の分散分析を用いて検討した。アユの出現した地点としなかった地点の環境要因、分布地点間の標準体長の比較は、正規分布しなかった項目については対数変換を行い、2つの平均値の比較（少数例の場合）の *t* 検定を用いて解析した。

3 結果及び考察

3-1 市内河川の魚類相変遷とアユ

1976 年度より実施してきたモニタリング調査を生活



図-1 アユの分布状況調査地点（○）と流下仔魚調査地点（KA）

表-1 アユの分布状況調査地点名等(2007年)

水系	河川名	地点番号	地点名	水系	河川名	地点番号	地点名
鶴見川		TA	小机堰下	境川	柏尾川	Sb	元町橋
		TB	鴨居堰下		阿久和川	Sc	片曽橋
	谷本川	TC	千代橋	帷子川		KA	和田町下
	谷本川	TD	水車橋		KB	用賀下橋	
	恩田川	Ta	都橋		KC	鶴舞橋	
	恩田川	Tb	新良橋下		KD	今川橋	
境川		SA	俣野堰	大岡川		OA	青木橋
		SB	高飯堰(高鎌橋)			OB	向坂橋
		SC	上高倉堰(新緑橋)	侍従川	侍従川	J	大道橋
	柏尾川	Sa	柏尾大橋				

表-2 モニタリング調査による魚類相の変遷

表中の数字は、魚種別の出現比（夏、冬の出現地点数/延べ地点数）×100、

L.Tは生活環、Gが純淡水魚、Dが通し回遊魚、Pが周縁性淡水魚を示し、表-4も同様、-は0を示す。

L.T. No.	Taxon	種類	調査年度												
			1976	1979	1984	1987	1990	1993	1996	1999	2002	2005			
G	1 <i>Lethenteron reissneri</i>	スナヤツメ	-	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-
	2 <i>Cyprinus carpio</i>	コイ	6.0	4.8	18.6	25.0	22.4	31.8	32.3	32.6	41.8	37.4	-	-	-
	3 <i>Carassius cuvieri</i>	ゲンゴロウブナ	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-
	4 <i>Carassius auratus</i> subsp.2	キンブナ	-	-	4.9	2.5	8.2	3.6	1.1	-	-	-	-	-	-
	5 <i>Carassius</i> sp.	ギンブナ	-	-	9.9	15.0	29.6	25.7	19.4	7.6	2.2	4.4	-	-	-
	6 <i>Carassius</i> spp.	ブナ属	24.0	27.4	25.9	22.5	22.4	21.8	28.0	20.7	11.0	6.6	-	-	-
	7 <i>Carassius auratus</i>	キンギョ	-	1.6	2.5	1.3	2.0	3.7	2.2	2.2	-	2.2	-	-	-
	8 <i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	タイリクバラタナゴ	-	-	-	-	1.0	3.7	2.2	1.1	-	-	-	-	-
	9 <i>Zacco platypus</i>	オイカワ	13.9	3.2	3.8	7.5	-	5.5	7.5	22.8	24.2	31.9	-	-	-
	10 <i>Nipponocypris temminckii</i>	カワムツ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	-	-
	11 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	ソウギョ	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12 <i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	アブラハヤ	8.0	4.8	0.1	10.0	18.4	21.8	18.3	19.6	24.2	24.2	-	-	-
	13 <i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>	タカハヤ	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	5.5	6.6	-	-
	14 <i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ	-	-	-	-	1.0	3.7	1.1	2.2	2.2	3.3	-	-	-
	15 <i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ	24.0	25.8	21.0	32.5	14.3	20.9	31.2	22.8	20.9	22.0	-	-	-
	16 <i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	タモロコ	1.9	8.1	4.9	7.5	5.1	5.5	9.7	12.0	5.5	11.0	-	-	-
	17 <i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	カマツカ	1.9	-	1.3	1.3	-	-	-	-	4.3	2.2	1.1	-	-
	18 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	ドジョウ	38.0	24.2	27.2	32.5	29.6	21.8	25.8	19.6	16.5	17.6	-	-	-
	19 <i>Cobitis biwae</i>	シマドジョウ	4.8	4.8	3.8	7.5	7.1	10.9	6.5	10.9	8.8	11.0	-	-	-
	20 <i>Lefua echigonia</i>	ホトケドジョウ	20.0	12.9	17.3	13.8	15.3	19.1	16.1	16.3	19.8	19.8	-	-	-
	21 <i>Pseudobagrus tokiensis</i>	ギバチ	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-
	22 <i>Silurus asotus</i>	ナマズ	-	-	1.3	2.5	-	-	1.1	1.1	-	-	-	-	-
	23 <i>Gambusia affinis</i>	カダヤシ	16.0	6.5	1.3	2.5	3.1	-	2.2	5.4	2.2	8.8	-	-	-
	24 <i>Poecilia reticulata</i>	グッピー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	-	-
	25 <i>Oryzias latipes</i>	メダカ	12.0	1.6	6.2	5.0	11.2	4.6	11.8	18.5	16.5	27.5	-	-	-
	26 <i>Cottus pollux</i>	カジカ	-	-	-	-	2.0	3.7	1.1	2.2	2.2	1.1	-	-	-
	27 <i>Lepomis macrochirus</i>	ブルーギル	-	-	1.3	-	4.1	0.9	3.2	1.1	1.1	1.1	-	-	-
	28 <i>Micropterus salmoides</i>	オオクチバス	-	-	1.3	-	1.0	2.8	1.1	3.3	1.1	4.4	-	-	-
	29 <i>Oreochromis</i> sp.	オレオクロミス属	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30 <i>Rhinogobius flumineus</i>	カワヨシノボリ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.5
	31 <i>Channa argus</i>	カムルチー	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
		種類数小計	12	12	20	16	18	20	20	23	20	22	-	-	-
D	32 <i>Anguilla japonica</i>	ウナギ	-	1.6	-	1.3	3.1	4.6	1.1	1.1	2.2	1.1	-	-	
	33 <i>Tribolodon brandti</i>	マルタ	-	-	-	-	-	-	1.1	-	4.4	1.1	-	-	
	34 <i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	アユ	-	-	-	-	-	5.5	6.5	2.2	12.1	3.3	-	-	
	35 <i>Eleotris oxycephala</i>	カワアナゴ	-	-	-	1.3	-	0.9	-	1.1	-	-	-	-	
	36 <i>Sicyopterus japonicus</i>	ボウズハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	
	37 <i>Luciogobius guttatus</i>	ミミズハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	
	38 <i>Gymnogobius petschiliensis</i>	スミウキゴリ	-	-	-	-	1.0	0.9	2.2	5.4	12.1	17.6	-	-	
	39 <i>Gymnogobius urotaenia</i>	ウキゴリ	-	-	-	-	-	1.8	1.1	3.3	3.3	6.6	-	-	
	40 <i>Gymnogobius breunigii</i>	ピリンゴ	-	-	-	-	1.0	0.9	-	4.3	3.3	7.7	-	-	
	41 <i>Glossogobius olivaceus</i>	ウロハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	-	-	
	42 <i>Redigobius bikolanus</i>	ヒナハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	
	43 <i>Mugilogobius abei</i>	アベハゼ	-	-	2.5	2.5	10.2	5.5	2.2	1.1	3.3	3.3	-	-	
	44 <i>Rhinogobius giurinus</i>	ゴクラクハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	
	45 <i>Rhinogobius</i> sp.CB	シマヨシノボリ	-	-	-	-	-	0.9	1.1	4.3	3.3	7.7	-	-	
	46 <i>Rhinogobius</i> sp.LD	オオヨシノボリ	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	2.2	-	-	
	47 <i>Rhinogobius</i> sp.OR	トウヨシノボリ	-	-	-	11.3	14.0	18.2	9.7	16.3	20.9	16.5	-	-	
	48 <i>Rhinogobius</i> sp.	ヨシノボリ属	12.0	8.1	13.6	-	-	-	5.0	2.2	-	-	-	-	
	49 <i>Tridentiger brevispinis</i>	ヌマチチブ	-	-	-	-	1.0	8.2	5.4	9.8	11.0	13.2	-	-	
	50 <i>Tridentiger obscurus</i>	チチブ	-	-	-	1.3	3.1	2.7	4.3	4.3	4.4	4.4	-	-	
			種類数小計	1	2	2	5	7	11	11	12	14	16	-	-
P	51 <i>Sardinella zunasi</i>	サツバ	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	
	52 <i>Konosirus punctatus</i>	コノシロ	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	1.1	-	
	53 <i>Microphis (Oostethus) brachyurus brachyurus</i>	テングヨウジ	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	
	54 <i>Mugil cephalus cephalus</i>	ボラ	1.9	1.6	6.2	5.0	5.1	14.6	11.8	16.3	14.3	12.1	-	-	
	55 <i>Chelon affinis</i>	セスジボラ	-	-	-	-	3.1	0.9	2.2	1.1	-	-	-	-	
	56 <i>Lateolabrax japonicus</i>	スズキ	-	-	-	-	-	-	6.5	3.3	3.3	3.3	-	-	
	57 <i>Leiognathus nuchalis</i>	ヒイラギ	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	
	58 <i>Terapon jarbua</i>	コトヒキ	-	1.6	-	-	1.0	-	-	2.2	3.3	1.1	-	-	
	59 <i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	シマイサキ	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	1.1	-	-	
	60 <i>Gymnogobius heptacanthus</i>	ニクハゼ	-	-	-	-	1.0	1.8	-	-	-	-	-	-	
	61 <i>Acanthogobius flavimanus</i>	マハゼ	-	1.6	1.3	1.3	8.2	7.2	10.8	6.5	16.5	19.8	-	-	
	62 <i>Acanthogobius lactipes</i>	アシシロハゼ	-	-	-	-	-	6.3	2.2	4.3	6.6	4.4	-	-	
	63 <i>Tridentiger bifasciatus</i>	シモフリシマハゼ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	
	64 <i>Takifugu niphobles</i>	クサフグ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	
			種類数小計	1	3	2	4	8	5	5	6	5	9	-	-
			種類数計	14	17	24	25	33	36	36	41	39	47	-	-
		延べ地点数	50	62	81	80	98	110	93	92	91	91	-	-	

環別調査年度別に示したのが表-2である。また、生活環別の出現比を図-2に示した。学名は中坊¹⁷⁾、Stevenson¹⁸⁾、Chen 他¹⁹⁾に従った。

1976年～2005年度まで出現した魚種は、延べ64種(属、亜種を含む)で、純淡水魚が31種、通し回遊魚が19種、周縁性淡水魚が14種であった。

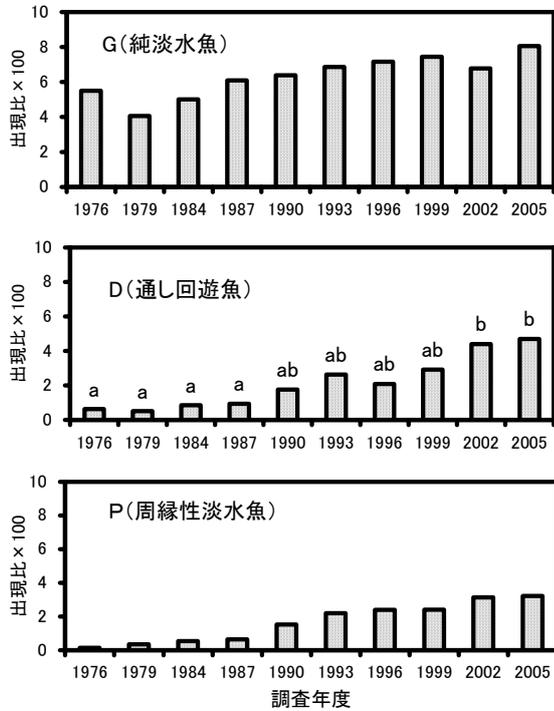


図-2 生活環別調査年度別の出現比の比較
出現比×100の平均値、Dのアルファベットの違いは統計学的に有意差ありを示す。

生活環別に出現比を比較すると、通し回遊魚、周縁性淡水魚は、1990年度より増加し、特に通し回遊魚は高かった。区分別の平均値の比較では、通し回遊魚は1987年までの年度と2002、2005年度とに統計学的に有意差を示し、他は差がなかった。通し回遊魚で出現頻度が高かった種類は、トウヨシノボリ、ヌマチチブ、スミウキゴリ、アユの順であった。生活環別の分散分析の結果では、種類数で差があったが、調査年度による差がなかった。しかし、通し回遊魚の種類数は増加傾向にあった。これらの出現種類数の増加は水質改善、河川形態の改変、感潮域の拡大等の要因が推測される。ちなみに、横浜市公共用水域の水質測定結果²⁰⁾の有機汚濁の指標であるBODの経年変化をみると、帷子川、大岡川、境川は1990年頃に年平均値が5mg/L前後となり、鶴見川は、中流では5～10mg/Lであるが、下流域で低い値となっていた。

アユが1993年度から2005年度に分布確認された水系、地点と採集個体数等を表-3にまとめた。

モニタリング調査では1993年に鶴見川、境川、帷子川、大岡川水系で初めて確認し、筆者ら²¹⁾の他の調査では帷子川の星川で1989年9月1日にアユを確認している。出現地点数は調査年度によって変動が大きく、1999年、2005年は少なかった。体サイズは最大値が175mmであった。

各河川の分布上流地点は鶴見川が2002年度に都橋で出現し、境川が高鎌橋、柏尾川が大橋、帷子川が横浜新道下、大岡川が青木橋であった。

3-2 アユの分布状況(2007年)

3-2-1 魚種組成

河川別地点別の出現魚種を表-4に示した。

全体で7科24種が確認され、生活環別では、純淡水魚のコイ、フナ属、オイカワ、カワムツ、アブラハヤ、ウ

表-3 調査年度別のアユの採集年月日、採集個体数、体長(mm)の平均値±標準偏差等

調査年度	河川名	支川	採集年月日	地点名	n	x±u(min-max)
1993	鶴見川		19930723	小机堰下	4	101.8±4.4(97-106)
	帷子川		19930721	横浜新道下	5	119.2±8.5(105-127)
	大岡川		19930721	青木橋	2	121.0±9.9(114-128)
	境川		19930805	俣野堰	2	121.5±3.5(119-124)
	境川	柏尾川	19930728	大橋	5	102.4±9.8(91-116)
	境川	柏尾川	19930802	S下水処理場	2	143.0±15.6(132-154)
1996	鶴見川		19960806	小机堰下	1	120
	鶴見川		19960813	亀の甲橋	3	157.7±15.4(140-168)
	鶴見川		19960806	境田橋	1	144
	帷子川		19960725	横浜新道下	2	137.5±14.8(127-148)
	境川		19960814	高鎌橋	2	159.0±1.4(158-160)
	境川		19960719	俣野堰	6	102.7±18.5(82-131)
1999	鶴見川		19990729	小机堰下	1	95
	大岡川		19990812	青木橋	1	175
2002	鶴見川		20020730	小机堰下	4	129.3±22.4(109-160)
	鶴見川		20020730	亀の甲橋	1	160
	鶴見川		20020722	都橋	5	134.2±14.2(113-150)
	帷子川		20020802	横浜新道下	4	113.8±27.5(66-69)
	大岡川		20020726	青木橋	4	126.8±24.1(105-157)
	境川		20020812	高鎌橋	7	128.9±26.4(96-175)
	境川		20020812	俣野堰	4	122.3±12.1(112-139)
	境川	柏尾川	20020806	大橋	1	104
	境川	柏尾川	20020806	S下水処理場	9	101.8±13.1(87-130)
境川	柏尾川	20020808	鷹匠橋	3	101.0±11.4(88-109)	
2005	鶴見川		20050721	境田橋	1	82.4
	帷子川		20050817	横浜新道下	2	127.5±5.0(124-131)
	境川		20050818	俣野堰	1	175

注) n: 採集個体数、x: 平均値、u: 標準偏差(不偏分散から算出)、以上は表-6も同様。min: 最小値、max: 最大値

表-4 魚類の分布状況調査結果 (2007年)
数字は、上段が採集個体数、下段が体長 (mm) の平均値±標準偏差

区分	種類	鶴見川				境川			柏尾川			帷子川				大岡川		侍従川	採集個体数					
		TA	TB	TC	TD	Ta	Tb	SA	SB	SC	Sa	Sb	Sc	KA	KB	KC	KD	OA	OB	J	合計	%		
G	コイ			2 42.0±1.4													1 20				3	0.8		
	フナ属			3 19.0±9.6		3 13.7±0.6					1 27											7	1.8	
	オイカワ	1 93	11 81.8±8.3	5 78.6±13.4	29 78.3±7.3	14 79.1±6.5	11 42.0±12.1	19 70.8±11.7	29 96.6±13.8	14 80.1±5.9	1 74.7	16 75.3±8.2	6 70.3±2.4			19 83.3±11.6	7 59.4±29.8		10 74.6±5.6			193	51.0	
	カワムツ															1 85						1	0.3	
	アブラハヤ		1 30			7 21.7±8.7						4 18.3±2.4	8 19.2±3.7						12 48.4±32.6			32	8.5	
	ウグイ							1 112														1	0.3	
	モツゴ	1 30	1 30	2 27.0±5.7								3 18.7±0.9										7	1.8	
	タモロコ	4 40±4.2												1 62								5	1.3	
	カマツカ	1 86	1 84			1 66																3	0.8	
	ホトケドジョウ					2 27.5±2.1																1	0.3	
	シマドジョウ																		4 33.0±19.8			4	1.1	
	カダヤシ														1 26							1	0.3	
	メダカ					1 30									5 26.6±1.9							6	1.6	
	カワヨシノボリ					1 15																1	0.3	
D	アユ	2 85.0±2.8	1 90	1 134	1 109		1 68.1	6 124.3±18.7			2 89.4±5.7			5 86.6±6.1	8 115.1±18.1	1 190		2 76.4±11.2				33	8.7	
	ウキゴリ																	2 32.2±0.8		5 43.7±4.9		11	2.9	
	スミウキゴリ	11 39.4±5.1	1 43												17 31.5±5.1			6 25.4±3.7	3 39.5±4.8	13 39.6±19.4		47	12.4	
	ビリンゴ																			2 30.3±6.7		2	0.5	
	シマヨシノボリ						1 19				3 46.5±2.3											4	1.1	
	トウヨシノボリ					4 33.1±12.3											1 14					5	1.3	
	チチブ																				2 44.3±3.2		2	0.5
	ヌマチチブ	2 25.0±0.0																	1 90			3	0.8	
	P	ボラ	1 66																				1	0.3
		マハゼ													5 32.8±5.4								5	1.3
	採集個体数	23	16	13	29	30	11	25	36	14	1	29	15	36	8	21	8	12	29	22	378	100.0		
	種類数	8	6	5	1	8	1	4	3	1	1	6	3	5	1	3	2	5	4	4				

グイ、モツゴ、タモロコ、カマツカ、シマドジョウ、ホトケドジョウ、カダヤシ、メダカ、カワヨシノボリの14種、通し回遊魚のアユ、ウキゴリ、スミウキゴリ、ビリンゴ、シマヨシノボリ、トウヨシノボリ、チチブ、ヌマチチブの8種、周縁性淡水魚のボラ、マハゼの2種が出現した。河川別では侍従川を除く水系でアユが確認された。魚種別出現地点数は、19地点中、オイカワが15地点、アユが11地点、採集個体数割合は378尾中、オイカワが51%、スミウキゴリが12%、アユが9%の順に多かった。

3-2-2 アユの遡上上限の推定

地点別のアユの分布をもとにして遡上上限を推測し、その距離等を表-5に、遡上地点と河床高度との関係を図-3に示した。代表的な河川構造物を写真-1、2に示した。

表-5 河川別の遡上距離割合

河川	流路延長 (km)	遡上距離 (km)	遡上距離割合 (%)	河床高度 (m)
鶴見川	42.5	21.6	50.8	14
境川	49.8	14.1	28.2	20
柏尾川	23	15.5	67.4	9
帷子川	17	8.2	48.2	22
大岡川	15	7.1	47.3	4

鶴見川では2基目の鴨居堰上流の河口から約21、22kmの地点、千代橋(TC)、都橋(Ta)が遡上上限で、境川は河口から14kmで2基目の高飯堰下(SB)が上限、帷子川は最も高い落差のある河口から約8kmの鶴舞橋(KC)が上限であった。大岡川は落差のない下流、河口から7kmの青木橋(OA)が上限であった。ただし、2004年に実施した大岡川調査³⁾では上流11kmの落差工下の向坂橋(OB)が上限であった。以上から、遡上した上限距離は鶴見川、柏尾川、境川、帷子川、大岡川の順に長く、遡上距離と流路延長との割合では柏尾川、鶴見川が全体の約5割以上で、境川の本川が約3割と低かった。河床高度は帷子川の22mで高く、大岡川が4mと低かった。

地点別に遡上距離と標準体長との関係を図-4に示した。

標本数が少なく、十分な解析はできなかったが、河川別に見ると距離が長いほど標準体長が大きい傾向を示した。比較的採集個体数が多かった帷子川の上、下流集団の比較では有意差を示した。

アユは、他の河川では重要な水産資源の対象として、湖産アユ、人工種苗(海)アユ等が放流されている²²⁾。市内では、現在、放流されている情報はない。放流集団の他河川からの移動分散も推測されるが、今回は天然アユ集団とみなした。ただし、天然アユの判別法について

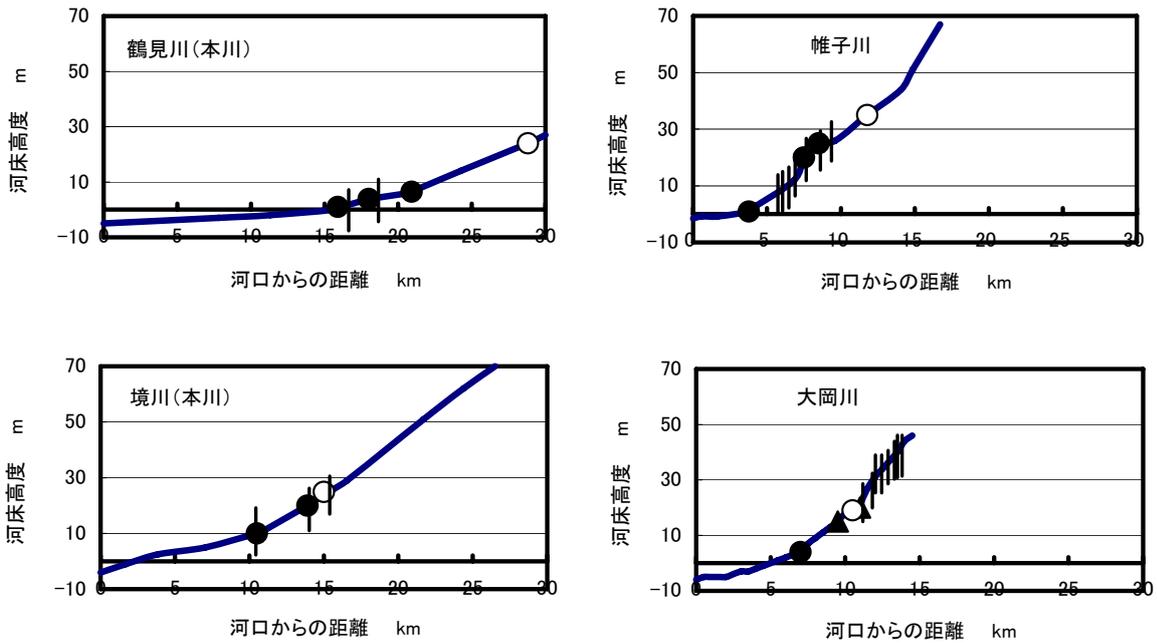


図-3 アユ分布地点の河口からの距離と河床高度

●：いた地点、○：いない地点、▲：大岡川で2004年調査時に確認³⁾、縦線は河川構造物の位置を示す。

は種々^{22, 23)}検討されているが、市内の集団については今後の検討課題である。

アユの遡上に関する既存の調査研究^{24, 25)}では、遡上距離は河川環境によって影響されるが、生息個体数が多いほど上流へと分布を拡大する傾向があることが報告されている。また、早生まれで、成長がよい個体ほどより上流まで遡上し、体サイズが下流集団に比して大きいことが知られており、今回も一部であるが、これらと同様な結果を示していた。なお、遡上時期は、水温によって影響され、10℃以上になると稚アユが遡上し、最適水温は14～16℃であった²⁶⁾、相模川^{27, 28, 29)}多摩川³⁰⁾の例では3月～6月の期間となっている。



写真-1 鶴見川の小机堰 (TA)

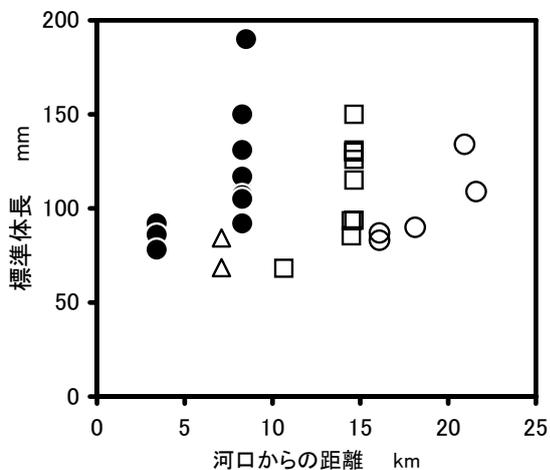


図-4 体長と河口からの距離との関係

○：鶴見川、□：境川、●：帷子川、△：大岡川



写真-2 境川の高飯堰 (SB)

表-6 アユがいた地点といない地点の水質環境の比較

項目		いた	いない	計	項目	いた	いない	計	
気温 (°C)	n	9	5	14	NH ₄ -N(mg/L)	n	11	5	16
	x	28.2	26.3	27.5		x	1.25	1.13	1.21
	u	2.4	2.6	2.6		u	1.84	2.26	1.90
水温 (°C)	n	11	6	17	NO ₂ -N(mg/L)	n	11	5	16
	x	23.4	25.1	24		x	0.37	0.32	0.35
	u	3.0	2.6	2.9		u	0.29	0.43	0.32
pH	n	11	6	17	NO ₃ -N(mg/L)	n	11	5	16
	x	8.3	8.3	8.3		x	2.96	3.67	3.20
	u	0.5	0.7	0.6		u	1.98	1.95	1.93
電気伝導度 EC (mS/ m)	n	11	6	17	TIN(mg/L)	n	11	5	16
	x	38.9	56.8	45.2		x	4.58	5.12	4.75
	u	14.8	31.9	23.0		u	3.17	2.53	2.91
BOD(mg/L)	n	11	6	17	PO ₄ -P(mg/L)	n	11	5	16
	x	2.4	2.7	2.5		x	0.024	0.065	0.037
	u	1.4	2.6	1.8		u	0.036	0.095	0.060

他の通し回遊魚では、ハゼ科のスマウキゴリが多くの地点に分布し、河川によっては源流部、支川の上流まで遡上し、アユより遡上距離が長かった。今回はアユに注目したが、川の多様性を再生する上でこれらの魚種の存在も大きく、今後注視していく必要がある。

河川生態系の生物多様性を保全、再生、水辺ネットワークの構築を図っていくためには、純淡水魚の双方向移動だけでなく、通し回遊魚の移動分散を保証する河川環境を考えていく必要がある。アユは河川構造物の堰、落差工によって遡上に影響を受けているが、河川によっては堰の稼働状況、河川の水量変化、魚道、水質等が遡上距離と関係していることも推測される。なお、市内の河川では落差工をなくし、堰改修時に魚道を設置することが行われており、これらの今後の効果に期待したい。

3-2-3 アユの分布と水質環境

アユがいた地点といなかった地点の pH、BOD、窒素成分等の水質環境の平均値、標準偏差を表-6、また、分布した地点の水質と環境のヒストグラムを図-5に示した。

アユがいた地点といなかった地点の平均値を比較すると、いた地点が低い値を示す項目が多かった。しかし、統計学的には全項目で有意差は示さなかった。アユがいた地点の河川形態は瀬が10地点、淵が1地点、流速と水深の平均値±標準偏差は、53.9±18.9cm/s、40.5±11.2cmであった。

ヒストグラムから、BODは2~3mg/L、NH₄-Nが0~1mg/Lにモードがあった。環境要因では、流速が60~80cm/s、水深が30~40cmにモードがあった。基質性状は砂礫が多かった。

今回の水質環境を、水産用水基準³¹⁾のアユの生育条件に関する基準値と比較すると、BODの平均値は基準値の3mg/L以下であった。しかし、pHの平均値は高い値を、窒素成分は無機態窒素(TIN)と全窒素(TN)とは一概に比較できないが、分析組成上で前者が低い値をとることから、他の窒素成分を含めてTNの0.2mg/L、アンモニア態窒素(NH₄-N)の0.01mg/Lよりいずれも高い値を示していた。

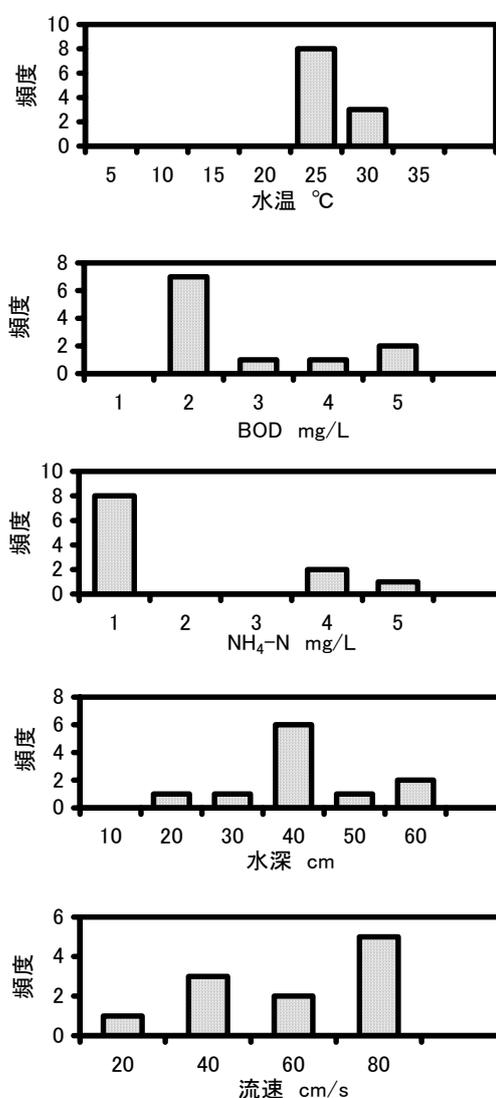


図-5 アユがいた地点の水温、BOD、NH₄-N、水深、流速のヒストグラム

モニタリング調査（1984～2002年度）^{8～14}の魚類調査と同時に実施している水質分析の結果報告から集計すると、アユが生息していた地点の BOD の平均値±標準偏差（標本数）は、 4.7 ± 3.5 mg/L (29)、同様に $\text{NH}_4\text{-N}$ が 0.85 ± 0.82 mg/L (28)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0.383 ± 0.266 mg/L (28)、DO 量が 8.1 ± 1.9 mg/L (28) であった。

3-3 帷子川でのアユの繁殖

帷子川は 1989 年に始めてアユが確認され、モニタリング調査では 1993 年より出現していた。また、この川は、調査年度によって変動がある中で、安定して出現しており、今回も多くの子魚が観察された。これらのことから、都市河川における地域個体群としての特徴、生活史、繁殖確認等の検討を進める第一歩として、帷子川で繁殖確認調査を予備的に行った。その結果を表-7、図-6 に、調査地点、婚姻色のアユと流下仔魚を写真-3、4、5 に示した。

繁殖集団の観察調査では、10月に婚姻色になったアユの群れが観察された。12月に実施した流下ネットによる繁殖確認調査では、18時までは仔魚の採集はなかったが、18時～19時に84尾、19時～20時で57尾の合計141尾が採集された。採集仔魚の中で無作為に抽出した17個体の体長の平均値±標準偏差は 6.17 ± 0.42 mm で、卵黄消費の指標である卵黄指数³²⁾の範囲が4～1、平均値が 2.2 ± 0.9 で低かった。この時の環境要因は、気温 11.3°C 、水温 10.3°C で、流速は 60cm/s 前後であった。

表-7 流下仔魚の時間別採集個体数

時間	位置		計
	A	B	
16-17	0	0	0
17-18	0	0	0
18-19	64	20	84
19-20	40	17	57

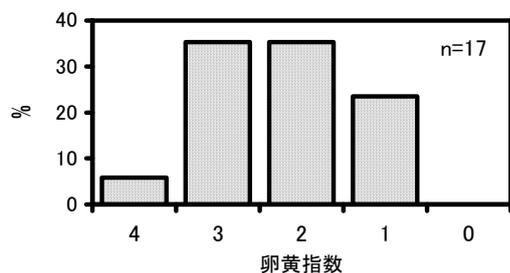


図-6 流下仔魚の卵黄指数のヒストグラム

産卵時期は、地域によって若干異なっており、北方集団ほど期間が早くなることが知られている³³⁾。相模川では10月～12月の期間、水温が約 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ の範囲であった^{27, 28, 29)}。今回、12月の繁殖後期に多くの個体が採集されたことは、帷子川では繁殖盛期にさらに産卵が多く行われていることが推測された。流下仔魚数は日没後の18時～20時までがピークになることが報告²⁵⁾されてお



写真-3 帷子川の流下仔魚調査地点 (KA)、和田町付近、ここより下流 (写真上方向) は感潮域、横浜駅西口へと流下する。



写真-4 婚姻色になった雄アユ、体長 150mm、2007年10月。

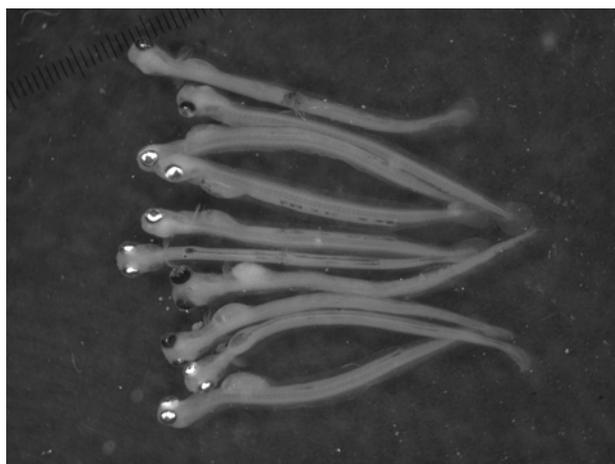


写真-5 卵黄を抱えた流下仔魚、体長 6～7 mm。

り、今回も同様な結果であった。しかし夜間遅くに多いという報告²⁹⁾もあり、河川の環境要因等に影響されるものと思われる。

仔魚の卵黄指数からふ化後の日数を推定すると、4が0日齢、3が1日齢、2が2日齢、1が約2～5日齢と

しており²⁵⁾、今回、採集された流下仔魚はふ化後1～2日程度の個体が多かったことになる。

卵黄指数は、下流ほど低い値を示すことが報告³²⁾されており、今回、卵黄指数が低かったのは、調査地点が河口からの距離が3.4km、下流末端に位置していることから同様な結果を示したものと考えられる。また、河川構造物によって仔魚の流下が停滞し、卵黄消費が進み、減耗していくことも指摘されていることから²⁶⁾、今後、上流での産卵場の位置とふ化した後の仔魚の動態を調査していく必要がある。

産卵場の位置は、河床勾配が高い河川では河口近くに、低い河川は河口から遠い水域にあることが報告されている³⁴⁾。産卵場の環境条件として水深が10～60cm、基質が浮き石、瀬で、流速が20～120cm/sとしている。

今後、より上流での産卵場確認等とともに都市河川でのアユの生活史、ふ化仔魚の流下状況、海へと流下した仔魚がどのような生活場を利用し、成長し、再び河川に遡上してくるのか等の調査研究は今後の興味のある検討課題である。

4 まとめ

河川生態系の生物多様性を維持していくための水辺ネットワークの構築を図っていくための基礎的資料を得るために、アユに注目して分布状況等の調査を行った。

- 1) 既存の調査報告からみた魚類相の変遷は、他の生活環境に比して通し回遊魚の種類数が2000年以降に有意に増加していた。アユの分布変化は1993年度に主要河川に初めて出現していた。
- 2) アユの分布状況の調査結果は、採集魚類全体で7科12種が確認され、アユは侍従川を除く河川で確認された。
- 3) アユの遡上上限は、柏尾川が68%、鶴見川が50%の遡上割合であった。境川は低く、河川構造物との関係が示唆された。
- 4) 分布していたといない地点の水質環境に違いはなかった。
- 5) 帷子川で18時～19時に多くの流下仔魚が確認された。その卵黄指数の平均値が2.2であった。

以上から、アユは河川構造物の堰、落差工によって遡上に影響を受けているが、河川によっては堰の稼働状況、河川の水量変化、魚道、水質等が遡上距離と関係していることも推測された。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：多自然川づくり基本指針、国土交通省河川局ホームページ(2006)
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/050530_.html
- 2) 樋口文夫、福嶋 悟：鶴見川水系における谷戸水路と河川の人工構造物と魚類流程分布との関係、横浜市環境科学研究所報、31、40～55(2007)。
- 3) 樋口文夫、福嶋 悟、宇都誠一郎：大岡川の河川構造物が魚類流程分布に与える影響に関する調査報告、横浜市環境科学研究所報、29、30～51(2005)。
- 4) 高橋勇夫・東 健作：ここまでわかったアユの本、築

- 地書館、p265(2006)。
- 5) 横浜市都市計画局：1/2500地図(1997)。
- 6) 横浜市公害対策局：横浜の川と海の生物、公害資料73、p164(1978)。
- 7) 横浜市公害対策局：横浜の川と海の生物(第3報)、公害資料92、p291(1981)。
- 8) 横浜市公害対策局：横浜の川と海の生物(第4報)、公害資料126、p352(1986)。
- 9) 横浜市公害対策局：横浜の川と海の生物(第5報)、公害資料140、p392(1989)。
- 10) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物、第6報、環境保全資料161、p458(1992)。
- 11) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物、第7報、河川編、環境保全資料178、p312(1995)。
- 12) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物、第8報、河川編、環境保全資料186、p223(1996)。
- 13) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物 第9報、河川編、環境保全資料190、p246(2001)。
- 14) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物 第10報、河川編、p179(2004)。
- 15) 横浜市環境創造局：横浜の川と海の生物 第11報、河川編、p200(2007)。
- 16) 後藤 晃：淡水魚、日本の淡水魚類、水野信彦・後藤晃編、東海大学出版会、東京、1～15(1987)。
- 17) 中坊徹次 編：日本産魚類検索(第二版)、東海大学出版会、東京、p1474(2000)。
- 18) Stevenson, Duane E.: Systematic and distribution of fishes of the Asia goby genera *Chaenogobius* and *Gymnogobius*(Osteichthys: Perciformes:Gobiidae), with the description of a new species, *Species Diversity*,7,251～312(2002)。
- 19) Chen I-Shiung・ jui-Hsien Wu・ Chi-Hsin Hsu : The taxonomy and phylogeny of *Canadidia*(Teleostei : Cyprinidae) and comments on a new genus, *The Raffles Bulletin of Zoology*, supplement 19,203～214(2008)。
- 20) 横浜市環境創造局：平成17年度 横浜市公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書、p147(2007)。
- 21) 樋口文夫・水尾寛己・福嶋 悟・畠中潤一郎・前川渡：帷子川水系の魚類分布状況と河川形態との関係、環境研資料106、147～170(1993)。
- 22) 梅澤彰馬・塚本勝巳：耳石微細構造による湖産・海産アユの判別法、*Nippon Suisan Gakkaishi*、56、1919～1926(1990)。
- 23) 清家暁・岡部正也・佐伯昭・海野徹也・大竹二雄・中川平介：耳石 Sr/Ca 比による高知県伊尾木川および物部川産アユの由来判別、*Nippon Suisan Gakkaishi*、68、852～858(2002)。
- 24) 楠田理一：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、*日水誌*、29、822～827(1963)。
- 25) 高橋勇夫・新見克也：矢作川におけるアユの生活史—I、産卵から流下までの生態、*矢作川研究*、2、225～245(1998)。
- 26) 高橋勇夫・新見克也：矢作川におけるアユの生活史—II、遡上から産卵・流下までの生態、*矢作川研究*、

3. 247～267 (1999).
- 27) 神奈川県水産総合研究所内水面試験場：平成 10 年度相模川水系魚類生息状況調査報告書（1998 年 4 月～1999 年 3 月実施）、p107 (1999).
- 28) 神奈川県水産総合研究所内水面試験場：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）、p147 (2000).
- 29) 神奈川県水産総合研究所内水面試験場：平成 12 年度相模川水系魚類生息状況調査報告書（2000 年 4 月～2001 年 3 月実施）、p119 (2001).
- 30) 東京都島しょ農林水産総合センター：平成 19 年アユ遡上調査取りまとめ、センター便り、
tosuiso@ifarc.metro.tokyo.jp.
- 31) 社団法人水産資源保護協会：水産用水基準（2005 年版）、p95 (2005).
- 32) 塚本勝巳：長良川・木曾川・利根川を流下する仔アユの日齢、*Nippon Suisan Gakkaishi*、57、2013～2022 (1991).
- 33) 西田 睦：アユ、川那部浩哉・水野信彦・細谷和海・編・監修（2005）改訂版，日本の淡水魚，山溪カラー名鑑，山と溪谷社，東京、66～81 (2005).
- 34) 石田力三：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 (1964).

横浜港の底層環境調査 — 浚渫覆砂工区 —

小市佳延、水尾寛己、下村光一郎(横浜市環境科学研究所)、高野善彦(横浜市港湾局企画調整課)
西栄二郎(横浜国立大学)、坂本昭夫(海をつくる会)

Investigation of bottom environment in port of Yokohama

— the area of dredged and covered by sand —

Yoshinobu Koichi, Hiromi Mizuo, Kouichiro Shimomura (Yokohama Environmental Science Research Institute),
Yoshihiko Takano (Planning and Coordination Division in the Port & Harbor Bureau of Yokohama),
Eijiroh Nishi (Yokohama National University), Akio Sakamoto (The Sea Beautification Society)

キーワード：貧酸素、浚渫、覆砂、底質、底生生物

要 旨

富栄養化状態の水質を改善するために十数年前に浚渫・覆砂工法を施した横浜港新港地区において水質、底質および底生生物の調査を行い、改善策の現況について未施工区と比較検討した。底質は浚渫覆砂工区の強熱減量や泥分率が浚渫覆砂完了直後の1999年に比べてやや高くなっているが、未施工区の値より低く、浚渫覆砂の効果は持続していることが認められた。底生生物は浚渫覆砂工区では有機汚濁指標種がほとんどみられないことから、浚渫覆砂の効果は持続しているものと思われた。水産用水基準や八都府県市底質環境評価区分による底質評価では、浚渫覆砂工区は[正常底質]で[環境保全度Ⅱ]と判定されたのに対し、未施工区では[汚染底質]と判定され、[環境保全度Ⅰ]の評価であった。

1. はじめに

閉鎖性水域である東京湾は、周辺の生活・産業活動により生じた栄養塩が湾内に流入・蓄積し、富栄養化状態となっている。その結果、春から秋にかけて赤潮や青潮が発生し、水生生物の生息に影響を与えている。

さらに閉鎖的な横浜港内では赤潮が頻繁に発生し、その後プランクトンが死滅することで悪臭の発生や貧酸素化が起こり、魚の浮上につながることもある^{1, 2)}。

水質の改善や水生生物の生存のためには、流入する有機物や栄養塩の削減だけでなく底層 DO の改善が必要である。そのためには底質を改善する必要があり、汚泥を浚渫した後に同量の覆砂を実施する方法や、浚渫土砂に

よる干潟、浅場、藻場の造成が考えられる。

横浜市では海域環境創造(シーブルー)事業として1994年から1998年にかけて横浜港新港地区で浚渫・覆砂を行った。完了直後の1999年には1～5年経過後の浚渫覆砂効果について水質・底質等の調査を行い、良好な状態が維持されつつも新たな有機物堆積の危惧を報告した^{3, 4)}。しかし、それ以後も同地区では赤潮の発生がみられ、河川水による汚濁物質の流入も続いている。

そこで、浚渫・覆砂後十数年経過した同地区および周辺において底層環境調査を行ったので、浚渫覆砂工区の現況を報告する。

2. 調査方法

2-1 調査地域

今回の調査は、横浜港内で行われた浚渫覆砂による底質改善を検証するために、港湾局が1994年から1998年にかけて浚渫・覆砂を行った新港地区、ならびに大岡川河口先および大さん橋周辺の未浚渫地区を調査地域として選んだ。調査地点を図-1に示す。

浚渫覆砂工区の地点はSt. 2、3、4、5、7の5地点であり、浚渫・覆砂工事はそれぞれ1994、1995、1996、1997、1998年に行われた。一方、対照とする未浚渫・未覆砂の地点はSt. 8およびY1、2、3である。

新港地区は二級河川である大岡川の河口に位置する。このうち浚渫覆砂工区は南側の陸地とに挟まれた水路状の地域にあたり、広さは7.8haである。大岡川からの流

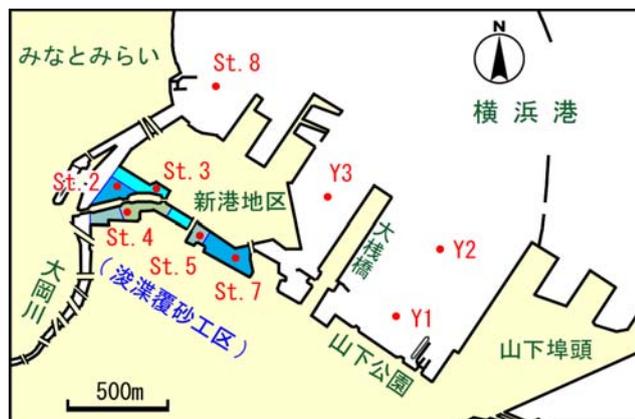


図-1 調査地点図

入水は、新港地区で二分され、横浜港に流出する。北側の出口に位置するのが St. 8 であり、東側の出口には Y3 が位置する。Y1、2 は三方を埠頭や陸地に囲まれており、河川水の流入はない。

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」を使用し、船上より水質・底質・底生動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 1 m）はリゴ-B 号透明採水器を用いて採水した。底質および底生動物用試料はエックマンバージ採泥器を用いて採取した。

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蔵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 1 mm 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 2007 年 6 月 18 日、9 月 13 日である。両日とも中潮にあたり、調査時は引き潮であった。

2-3 調査項目および測定方法

環境、水質および底質の調査項目および測定方法を表 1 に示す。底質の試料調整は環境省の底質調査法⁵⁾ に準じた。また、底質の砂分率、泥分率はそれぞれ粒径 2~0.075mm、粒径 0.075mm 以下の試料が粒径 2 mm 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および個体数の計測を行った。分類学的情報が不足している群や虫体が破損して分類・同定に必要な形質が観察できない場合は属まで、または科までの同定にとどめた。同定に用いた主な文献は西・田中⁶⁾ に引用されているもの⁷⁻⁹⁾、および最新の文献類^{10, 11)}などを網羅するよう努めた。また、各文献に引用されている文献¹²⁻¹⁴⁾も参考にした。

3. 結果と考察

3-1 水質

水質の調査結果の一部を表 2 および図 2 に示す。

水深は浚渫覆砂工区では 2 m と浅く、未施工区では 7~12 m と比較的深かった。

水温は浚渫覆砂工区では表層水と底層水の差は認められなかった。未施工区では 6 月に底層水が 1~4℃ 表層水より低いことが認められた。未施工区では水深があるため成層が形成されたものと考えられる。

透明度は全地点でほぼ 1.5 m 以下である。Chl.a は 6 月の表層では St. 4、5 を除いて概ね 50 μg/l 以上と高い。神奈川県赤潮判定基準（透明度 1.5 m 以下、Chl.a 50 μg/l 以上）から、ほぼ赤潮状態にあったと考えられる。St. 2、3 では底層においても Chl.a が高く、赤潮海水が浸入してきたことが考えられる。一方 St. 4、5 は中央部に当たるため、赤潮海水の浸入度合いが低かったと考えられる。9 月は未施工区の St. 8、Y2、3 で Chl.a が 30 μg/l とやや高く、赤潮気味であった。

pH は浚渫覆砂工区では 6 月に 8.2、9 月に 8.0 と 6 月の方が高いが、表層と底層の差は小さい。未施工区では 6

表 1 調査項目および測定方法

項目	測定方法
【環境】	
水温	水銀温度計
水深	超音波測定法
透明度	白色セッキ板
pH	pH計: 堀場 F-52
塩分濃度	屈折計: アタゴ S/Mil
濁度	濁度計: セントラル科学 TB50
【水質】	
溶存酸素 (DO)	ウインクラール-アジ化ナトリウム変法 (JIS K0102)
化学的酸素消費量 (COD)	100℃ 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
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 (%)
COD	アルカリ性過マンガン酸カリウム法 (底質調査方法)
強熱減量 (IL)	600℃、2 時間後の減量
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

表 2 水質の結果

【 6 月 】

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)
浚渫 覆砂 工区	St.2 上	23.2	1.5	8.22	27	5.7	10.0	4.8	48.8
	下	1.5	23.1	8.31	28	9.4	10.2	4.4	59.1
	St.3 上	23.3	1.5	8.35	27	9.3	11.0	5.4	57.8
	下	2.0	23.1	8.32	27	6.7	10.4	4.8	59.1
	St.4 上	23.2	1.6	8.17	27	5.0	9.4	4.4	34.8
	下	1.9	23.2	8.11	28	3.8	8.2	3.8	34.9
未 施工 区	St.5 上	23.4	1.5	8.22	26	4.2	9.8	4.6	16.1
	下	2.0	23.3	8.17	28	6.3	8.6	3.8	22.6
	St.7 上	23.4	1.5	8.21	28	5.6	11.0	4.6	55.3
	下	2.0	23.3	8.18	28	4.4	9.2	4.4	34.9
	St.8 上	22.9	1.6	8.39	28	9.3	10.8	5.6	47.1
	下	11.0	20.1	7.76	32	5.4	2.6	2.2	4.3
未 施工 区	Y1 上	22.7	1.0	8.60	27	7.2	11.6	6.4	65.1
	下	7.0	21.9	8.10	30	5.3	5.8	2.6	18.9
	Y2 上	23.0	1.2	8.60	29	10.7	12.4	6.4	71.2
	下	12.7	18.7	7.90	32	8.4	3.8	1.8	4.3
	Y3 上	23.5	1.1	8.40	27	8.3	10.6	5.2	60.7
	下	12.0	20.9	7.98	31	2.9	4.0	1.8	5.3

* 上=表層、下=底層

【 9 月 】

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)
浚渫 覆砂 工区	St.2 上	24.2	1.5	7.97	11	6.2	6.4	3.8	17.9
	下	3.4	25.0	7.94	17	6.6	6.4	3.1	16.7
	St.3 上	24.8	1.4	7.99	18	3.6	6.4	4.6	20.2
	下	2.0	24.9	7.99	18	7.4	6.1	4.0	19.6
	St.4 上	25.0	1.5	8.03	17	3.2	6.4	4.4	20.9
	下	2.3	25.0	8.02	18	3.7	6.2	3.6	21.8
未 施工 区	St.5 上	24.5	1.3	8.09	16	4.1	7.0	5.6	24.3
	下	2.4	24.8	8.05	18	4.1	6.4	3.6	19.7
	St.7 上	24.4	1.2	8.10	14	6.7	7.0	3.8	25.7
	下	2.4	24.8	8.06	15	3.1	6.6	3.0	21.8
	St.8 上	24.7	1.3	8.11	18	4.9	7.6	3.6	34.0
	下	9.8	24.8	7.94	28	6.7	3.6	2.8	6.8
未 施工 区	Y1 上	24.1	1.2	7.82	14	6.2	7.6	4.0	22.2
	下	6.8	25.3	7.88	22	4.1	5.4	2.8	13.1
	Y2 上	24.1	1.3	8.14	16	7.9	7.8	4.3	39.4
	下	12.3	23.7	7.90	30	5.7	1.6	1.6	4.1
	Y3 上	24.1	1.2	8.10	16	5.3	7.4	4.2	27.5
	下	12.4	23.0	7.90	31	4.9	3.2	1.6	5.0

* 上=表層、下=底層

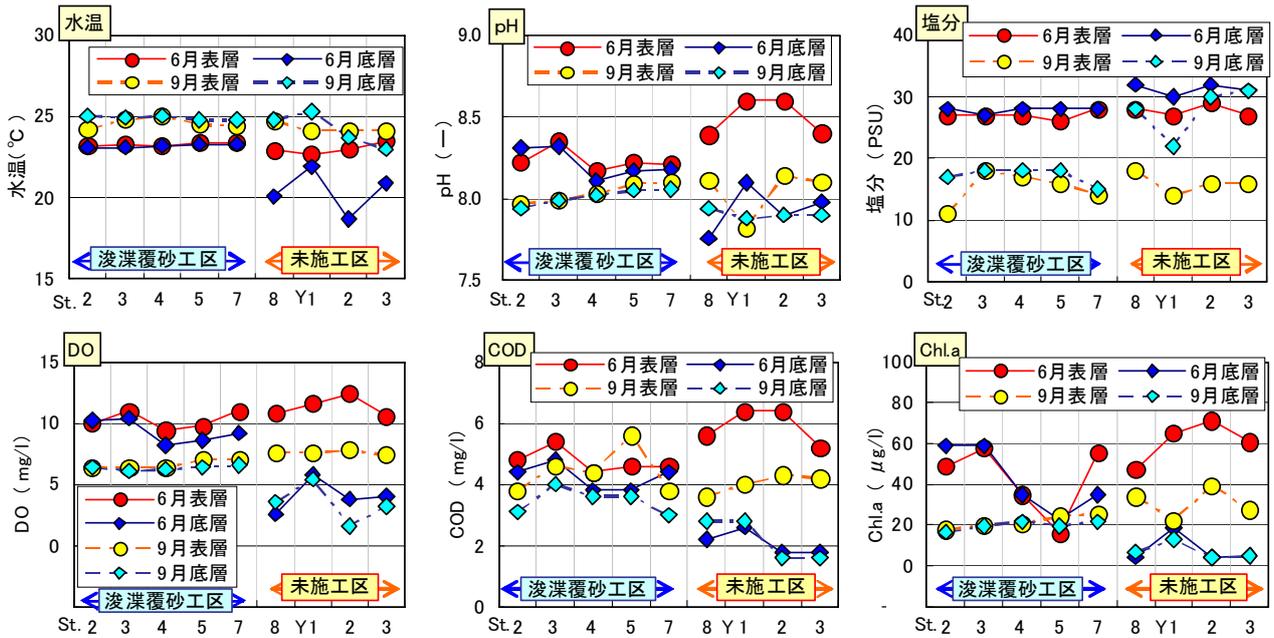


図-2 水質の結果 (一部)

月の表層で 8.5 前後と施工区にくらべて高くなるが、底層は逆に低下し、その差は大きいことが認められる。

塩分は6月には全地点で 26 以上、未施工区では底層水の塩分が約 31 と高くなる傾向がみられた。9月は浚渫覆砂工区では 17 前後と低く、河川水の影響と考えられる。未施工区の底層水では表層水にくらべて塩分濃度が高く、河川水の影響が及んでないことが考えられる。

DO は6月には表層で 8 mg/l 以上の値がみられ、さらに浚渫覆砂工区では底層でも過飽和の状態にあった。赤潮プランクトンによる酸素供給と考えられる。表層と底層の差は浚渫覆砂工区では小さいが、未施工区では底層の DO が大きく低下していることが認められた。9月も未施工区では底層の DO の低下が認められた。底層のうち St.8、Y2、Y3 では DO が 4.3mg/l 以下であり、貧酸素化状態にあったと考えられる。

COD は6、9月とも表層で 4～6 mg/l であり、6月は浚渫覆砂工区より未施工区で高くなる傾向がみられた。底層は表層より低く、その差は未施工区で大きい。Chl.a の傾向に似ていることから、プランクトンやデトリタスが関係していることが考えられる。

3-2 底質

底質の調査結果を表-3、図-3に示す。

3-2-1 浚渫覆砂工区の現状

酸化還元電位 Eh は浚渫覆砂工区の St. 2～7 で 33～-174mV であった。St. 2 の6月が正の値で酸化状態にあった一方で、St. 3 の9月だけは-174mV と大きく低下して還元状態が強かった。未施工区の St. 8、Y1～3 では Eh は-61～-192mV であり、Y2、3 は-200mV 近くまで低下しており、還元状態が強い。一方 Y1 では浚渫・覆砂工区の値に近い。底層水の DO も他にくらべて高いことから、水深が浅いことが影響していることが考えられる。概して浚渫覆砂工区の方が Eh の高い傾向が認められる。

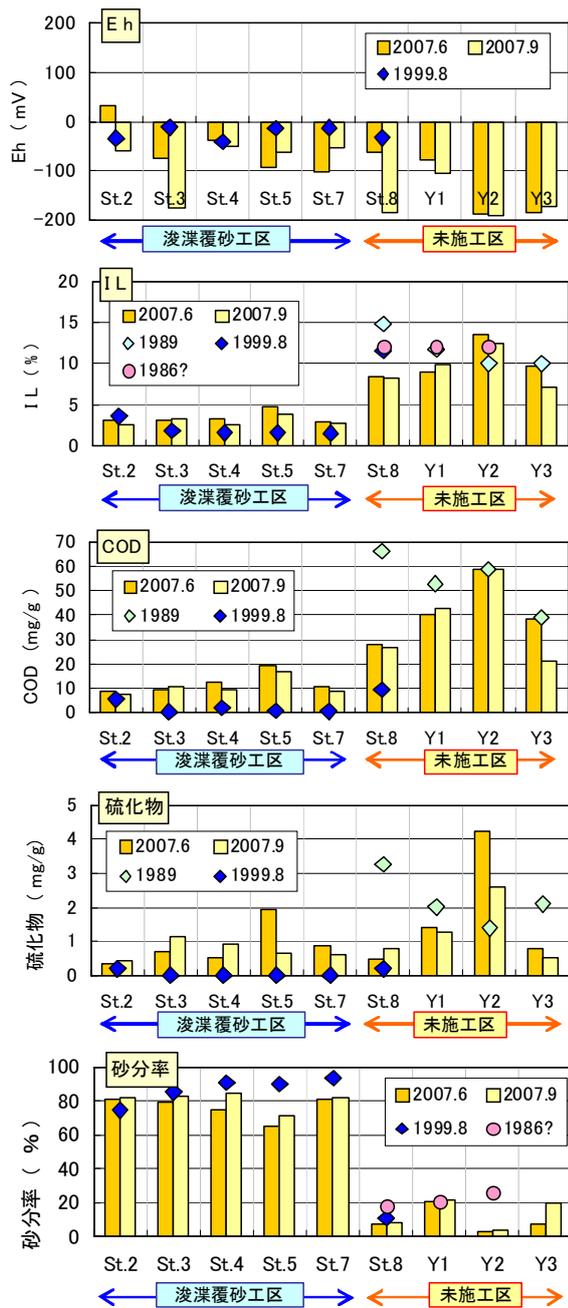
強熱減量 IL は浚渫覆砂工区では 2.6～4.8% であるのに対し、未施工区では 7.1～13.6% であり、浚渫・覆砂工区が低く、有機物の含有量が少ないことが考えられる。

有機汚濁指標である COD も IL と同様に、浚渫・覆砂工区では 7.4～19.1mg/g、未施工区で 21.3～58.7mg/g であり、浚渫覆砂工区が低い。

全硫化物 T-S は浚渫・覆砂工区では 0.33～1.92mg/g、未施工区では 0.47～4.24mg/g であるが、未施工区の St. 8 や Y3 の値は低く、浚渫覆砂工区の値と変わらない。

表-3 底質の結果

[6月]		泥温	Eh	IL	COD	T-S	砂分率	泥分率
項目	地点	(°C)	(mV)	(%)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)
浚渫覆砂工区	St.2	22.3	33	3.2	8.9	0.33	80.9	19.1
	St.3	21.9	-75	3.0	9.5	0.68	79.7	20.3
	St.4	22.9	-38	3.3	12.6	0.54	75.2	24.8
	St.5	22.4	-92	4.8	19.1	1.92	64.7	35.3
	St.7	22.6	-102	2.9	10.6	0.88	80.9	19.1
未施工区	St.8	20.8	-61	8.5	27.8	0.47	7.7	92.3
	Y1	21.5	-76	8.9	39.9	1.42	20.9	79.1
	Y2	18.1	-189	13.6	58.7	4.24	3.2	96.8
Y3	18.5	-184	9.8	38.4	0.77	7.3	92.7	
[9月]		泥温	Eh	IL	COD	T-S	砂分率	泥分率
項目	地点	(°C)	(mV)	(%)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)
浚渫覆砂工区	St.2	24.9	-60	2.6	7.4	0.43	82.0	18.0
	St.3	24.9	-174	3.3	10.8	1.12	82.6	17.4
	St.4	24.7	-48	2.6	9.4	0.92	84.3	15.7
	St.5	25.1	-62	3.8	16.7	0.63	71.4	28.6
	St.7	24.8	-53	2.7	8.9	0.59	82.3	17.7
未施工区	St.8	22.9	-185	8.2	27.0	0.79	8.1	91.9
	Y1	24.6	-106	9.9	42.6	1.27	21.5	78.5
	Y2	22.4	-192	12.6	58.7	2.58	4.1	95.9
Y3	23.0	-172	7.1	21.3	0.51	20.0	80.0	



図一 3 底質の結果 (過去の調査を含む)

砂分率は浚渫・覆砂工区で 64.7~84.3%、未施工区で 3.2~20.9%で、浚渫覆砂工区が高い。十数年前に行った覆砂の効果を持続しているものと考えられる。

このようなことから、浚渫覆砂工区では未施工区より底質の性状はよいと考えられる。ただし、浚渫覆砂工区のうち St.5 は他の地点より IL、COD、6月の T-S が高く、砂分率がやや低い。これは St.5 が水路状の浚渫覆砂工区の間にあたるため、干満によって東西に有機物含量の高い懸濁物質が移動する際に流速が遅くなり、ここで沈降することによるものと考えられる。

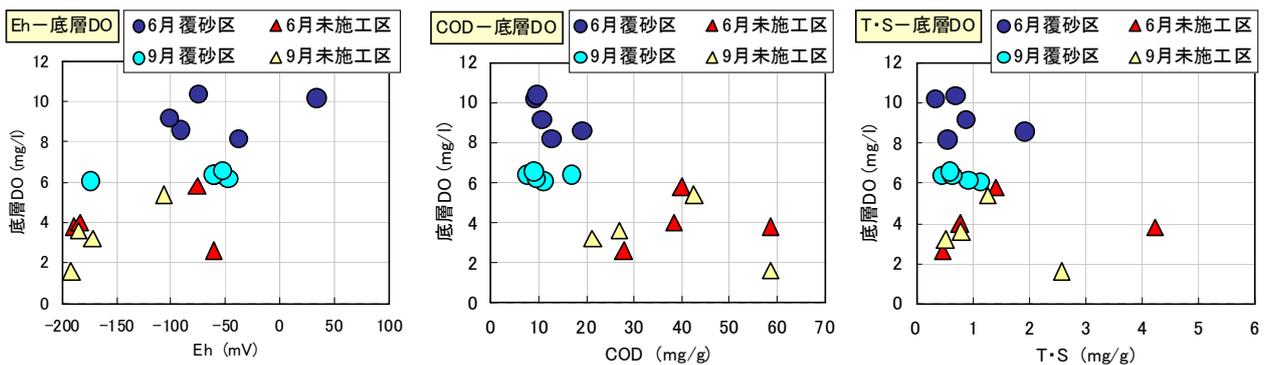
3-2-2 底層水の DO と底質の関係

底質の性状が底層水に影響をおよぼしていると考えられているので、今回の底層水 DO と底質の Eh、COD、硫化物との関係を図一 4 に示す。底質 Eh と底層水の DO の関係では Eh が低くなると底層水 DO も低くなる傾向がみられる。一部を除くと浚渫覆砂工区は図中の右上に、また未施工区は左下に分布している。中央の図では底質の COD 濃度が高くなると底層水の DO が減少する傾向がみられる。浚渫覆砂工区は図中の左上に、また未施工区は右下に分布している。底質中の微生物活動は有機物等の濃度が高い未施工区の方で活発に行われ、DO 消費や還元性物質の溶出が起きて、その結果直上の底層水 DO の減少に影響したと考えられる。これらに対して、底質の全硫化物濃度は浚渫覆砂工区と未施工区で相違が小さいため、底層水の DO との関係は明確でない。

3-2-3 経過年数による底質性状の変化

今回調査した底質の程度を知るために、過去に行われた 1~5 年経過後の浚渫覆砂効果についての底質調査 (1999 年) など^{3, 15, 16)} と比較してみる。

浚渫覆砂工区の St.2, 3, 5, 7 では、図一 3 に示すように、酸化還元電位 Eh については 1999 年調査時は約 -10~-40mV と比較的還元状態が弱かったが、今回の調査では St.3, 5, 7 で還元状態がやや増している。IL は 1999 年には浚渫覆砂工区で 1.5~3.6%、今回調査では St.2 の IL がわずかに低下しているものの、それ以外の St.3~7 の IL は 1999 年の 2~3 倍の値になっている。COD は 1999 年には浚渫覆砂工区で 0.5~5.6mg/g、今回調査ではいずれの地点も増加しており、St.3~7 は増加率が大きい。硫化物も COD と同様に、St.3~7 では 0.1mg/g だったのが今回は 0.3~2mg/g へと大きく増加し



図一 4 底層 DO と底質 (Eh、COD、全硫化物) との関係

ている。もっとも両者の分析法が違うため、数値を比較する際はその点を考慮する必要がある。砂分率は1999年に74~94%だったのが、今回はSt.2の81%を除いて他の地点ではいずれも低下しており、十数年の間にシルト・粘土分が堆積したことが考えられる。

一方、未施工区のSt.8では1989年のIL、COD、硫化物は高いが、1999年にはCODや硫化物は低下している。今回は1999年よりCODや硫化物はやや増加している。流入河川の影響で変動が大きいと考えられる。砂分率は徐々に低下しており、シルト・粘土分が堆積していると推測される。Y1、Y3では1989年とくらべて、IL、COD、硫化物がやや低くなっている。Y2は1989年よりILがやや高く、硫化物が大きく増加しているのが認められる。Y2の砂分率は1989年に比べて大きく低下している。

底質の性状と浚渫覆砂後の経過年数との関係を図-5に示す。浚渫覆砂工区のILや泥分率は事業終了直後の1999年に比べてやや高くなっているが、未施工区の分布範囲からはまだ低い。浚渫覆砂工区のCODは1999年よりやや高く、未施工区の分布範囲の下部に重なる値である。一方、浚渫覆砂工区の硫化物は1999年より高く、また未施工区と重なる濃度範囲にあるのが認められる。

3-3 底生生物

底生生物の出現種、個体数を表-4に示す。出現種は二枚貝類7種、巻貝類1種、多毛類7種の計15種であった。これらのうち、タケフシゴカイ科の1種は体後半部または体前半部のみであったため、属または種までの同定はできなかった。各地点で2~7種が出現し、各地点での個体数は1~52個体とばらつきがあった。優占する種は各地点で異なり、アサリ・サルボウ・ホトトギスが多い地点と、シヅクガイ・チヨノハナガイ・スベスベハネエラスピオ・コアシギボシソメが優占する地点があり、その他は3、4種が1~3個体出現する傾向が見られた。

これらの出現種の中で有機汚濁指標種^{17, 18)}が5種採集された。それらはシヅクガイ、チヨノハナガイ、コアシギボシソメ、スベスベハネエラスピオ、イトゴカイである。

各地点別に見ると、6月のY1、Y2、Y3で有機汚濁指

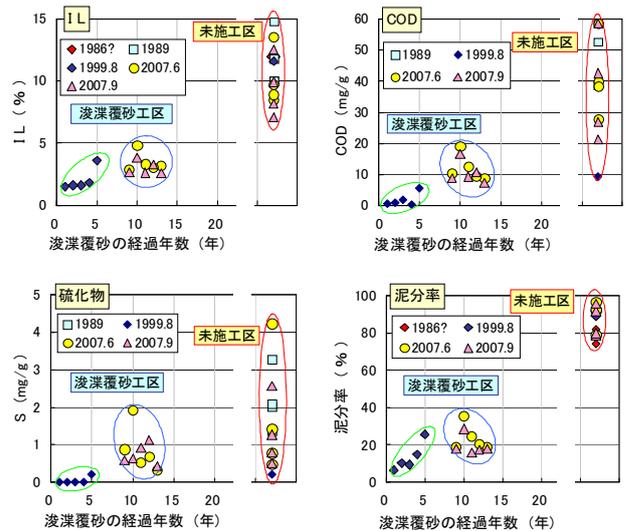


図-5 底質性状と浚渫覆砂経過年数との関係

標種が多く出現している。9月においてはSt.5、7、8、Y1、Y2、Y3で有機汚濁指標種が優占する傾向があった。有機汚濁指標種が優占するような環境では、総個体数は概して他地点よりも多く、個々の重量計測は行っていないが、総重量も多い傾向が認められた。

浚渫・覆砂を行ったSt5、7と未施工区のSt.8、Y1、2、3で有機汚濁指標種が多く観察された。水質調査の結果でも6月の未施工区(St.8、Y2、Y3)と9月のSt.8、Y2、Y3でDOが4.3mg/l以下と貧酸素化が進行していることがわかっており、特に未施工区において底質の有機汚濁が進行していることが示唆される。

東京湾内の他の干潟や浅海の底生生物相^{6, 19-21)}と比較すると、出現する種数は少なく、有機汚濁種が優占するか、生物の出現がほとんどみられない地点が多いといえる。浚渫・覆砂を行った地点と未施工区の比較では、既工区にアサリやサルボウなど水産重要種の出現が見られ、有機汚濁指標種もほとんどみられないことから、浚渫覆砂の効果が持続しているものと思われた。

本調査において特筆されるのは、近年東京湾で分布を拡大しつつある大型の外来二枚貝、ホンビノスガイの出

表-4 底生生物の出現状況

属、種(和名)	学名	6月												9月											
		浚渫覆砂工区						未施工区						浚渫覆砂工区						未施工区					
		St.2	St.3	St.4	St.5	St.7	St.8	Y1	Y2	Y3	St.2	St.3	St.4	St.5	St.7	St.8	Y1	Y2	Y3						
二枚貝	チヨノハナガイ						2	2					1	12	23	1	6	14							
	シヅクガイ								2					3	11	3	5	3							
	アサリ	1	2	2									1	2	1	3									
	サルボウ			3	3	2							2	2	4										
	ホトトギス	4	5	3	1								3												
	コウロエンカワヒバリガイ	2											1												
	ホンビノス												3	7											
巻貝	アラムシロ	1	2	1									1												
多毛類	スベスベハネエラスピオ																	38							
	コアシギボシソメ		1										1	1	1		5	1							
	アンビキツバサゴカイ								1						1		1	2							
	アシナガゴカイ				1								1	1											
	オウギゴカイ	1	1			1																			
	イトゴカイ															1	2								
	タケフシゴカイの1種					1												1							
総出現種類数		4	4	5	4	3	1	4	4	3	4	2	7	5	5	3	5	5							
総出現個体数		8	9	10	7	4	1	9	5	4	6	8	12	19	42	5	52	23							

■ : 有機汚濁指標種 ■ : 外来種

現であろう。この種の出現と横浜港沿岸での分布については西ほか²²⁻²⁴⁾に詳しく報告されている。本種はこれから東京湾西岸を南下してさらに分布拡大することが懸念される。今後の調査において、有機汚濁指標種の選定などとあわせて、外来種の探索とモニタリングも重要視されるべきと考える。

3-4 水産用水基準による底質評価

(社)日本水産資源保護協会の水産用水基準では、過酷な夏に底生生物の生息状況に影響する底層水のDOと底質の状態との間に相関関係があることを応用して、底質の全硫化物とCODの値について望ましい底質の基準を設定している。昭和58年(1983年)の改訂版では底質を3段階に分けている²⁵⁾。今回の調査についてあてはめた結果を図-6に示す。

Aランクの「正常泥」はない。浚渫覆砂工区の大部分はBランクの「汚染初期泥」に入り、St.5の6月およびSt.3の9月は硫化物濃度が高いためCランクの「汚染泥」に位置づけられる。このことから、浚渫覆砂工区の地点では底質の汚濁度は中程度と考えられる。対照となる未施工区のSt.8はCODが高いもののBランクである。同じく河口にあたるY3も9月はBランクだが、Y1、2はCランクでこのうちY2は硫化物の変化が大きい。

さらに2000年版の水産用水基準では、COD、IL、泥

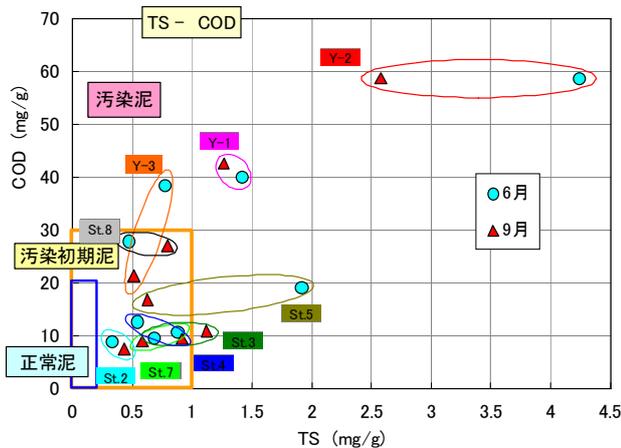


図-6 水産用水基準による底質の結果

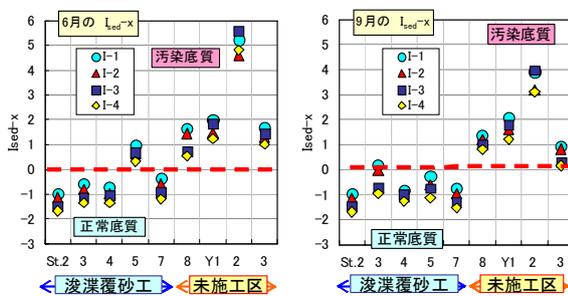


図-7 水産用水基準による合成指標値の結果

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

分率、全硫化物、マクロベントス群集の多様性指数の中から3~4項目を用いた合成指標を4種類提案しており、指標の値が負であれば「正常な底質」、正であれば「汚染された底質」としている²⁶⁾。

今回の調査について算出した合成指標4種の結果を図-7に示す。浚渫覆砂工区では6月はSt.5の指標が正であるから「汚染底質」と判定されるが、他の4地点は「正常底質」と判定される。9月はSt.3の指標値の一部で正の値になっているが、St.2~7は「正常底質」の範囲に入っている。これらから浚渫覆砂工区では底生生物の生息が可能と推測される。一方、未施工区の値はいずれも正の値であり、「汚染底質」と判定される。特にY2の値が大きい。未施工区の地点は底生生物の通年での生息には適さないと考えられる。

3-5 八都府市底質環境評価区分による底質評価

東京湾岸自治体で構成する八都府市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会は底生生物等による底質

表-5 底質環境評価の項目別得点と評価区分*

評価区分	項目	① 底生生物の総出現種類数	② 総出現種類数に占める甲殻類比率	③ 底質の強熱減量	④ 上位三種の優占種による評価	⑤ 評点の合計 (①+②+③+④)	環境評価区分	
								評点
6月	浚渫覆砂工区	St.2	1	0	3	3	7	II
		St.3	1	0	3	3	7	II
		St.4	1	0	3	3	7	II
		St.5	1	0	3	3	7	II
		St.7	1	0	3	3	7	II
	未施工区	St.8	1	0	2	1	4	I
		Y1	1	0	2	2	5	I
		Y2	1	0	1	2	4	I
9月	浚渫覆砂工区	St.2	1	0	3	2	6	II
		St.3	1	0	3	1	5	I
		St.4	1	0	3	3	7	II
		St.5	1	0	3	2	6	II
		St.7	1	0	3	2	6	II
	未施工区	St.8	1	0	2	2	5	I
		Y1	1	0	2	2	5	I
		Y2	1	0	1	2	4	I
	Y3	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、好氣的である。
- * 環境保全度III(10~13点): 環境は概ね良好に保全されている。夏季に底層水の溶存酸素が減少するなど生息環境が一時的に悪化する場合もみられる。
- * 環境保全度II(6~9点): 底質の有機汚濁が進んでおり、貧酸素水域になる場合がある。底生生物は汚濁に耐える種が優占する。
- * 環境保全度I(3~5点): 一時的に無酸素水域になり、底質の多くは黒色のヘドロ状である。底生生物は汚濁に耐える種が中心で種数、個体数とも少ない。
- * 環境保全度0(0~2点): 溶存酸素はほとんどなく、生物は生息していない。底質は黒色でヘドロ状である。

の評価方法を定めている²⁷⁾。

底質の強熱減量と底生生物の分類の結果から算出した各項目の評点・評価区分を表-5に示す。浚渫覆砂工区は評価区分が[環境保全度Ⅱ] (底質の有機汚濁が進んで貧酸素水域になる場合がある) となる。未施工区の環境評価区分は一時的に無酸素水域になる [環境保全度Ⅰ] で、低い評価である。この評価は平成16年の東京都の内湾と同じである。

東京湾再生推進会議のアピールポイント (水域環境改善の実感地域) に指定された「みなとみらい21地区」の目標とする環境評価区分は[Ⅱ] である²⁸⁾ ことから、今回その地区に近い新港地区の結果では達成しているが、St.8では達成していないとみられる。

なお、金沢湾奥の平潟湾における干潟域調査 (平成9~15年度) では、その環境評価は[Ⅲ] または[Ⅳ] であった²⁹⁾。東京湾の湾奥でも人工海浜や干潟では[Ⅱ] ~ [Ⅳ] であった³⁰⁾。干潟域は潮の干満で溶存酸素が供給されることから生物種も多く、環境評価も上位になっている。水質や生物生息環境の改善のためには干潟域の普及が有効と考えられる。

4. まとめ

富栄養化状態の水質を改善するために十数年前に浚渫・覆砂工法を施した横浜港新港地区において、水質、底質および底生生物の調査を行い、現況について未施工区と比較検討したところ、以下のような知見が得られた。

- 1) 6月は赤潮状態であり、表層のDOは過飽和であった。底層のDOは浚渫覆砂工区では過飽和だったが、未施工区では底層のDOは大きく低下していた。
- 2) 底質では浚渫覆砂工区のILや泥分率が浚渫覆砂完了直後の1999年に比べてやや高くなっているが、未施工区より低く、浚渫覆砂の効果は持続していると認められた。
- 3) 浚渫覆砂工区のうち、水が停滞する場所においては他に比べて底質悪化の進行が早いと思われた。
- 4) 底生生物は浚渫覆砂工区ではアサリやサルボウなど水産重要種の出現がみられ、有機汚濁指標種もほとんどみられないため、浚渫覆砂の効果は持続しているものと思われた。
- 5) 水産用水基準による底質評価では浚渫覆砂工区のほとんどは「汚染初期泥」であるが、「正常底質」と判定され、底生生物の生息が可能と推測された。一方、未施工区では「汚染底質」と判定され、底生生物の通年での生息には適さないと考えられた。
- 6) 八都府市底質環境評価区分による底質評価では、浚渫覆砂工区は[環境保全度Ⅱ] であった。一方、未施工区は[環境保全度Ⅰ] であった。

謝辞

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

文献

- 1) 古川恵太、中山恵介、水尾寛己：2003年東京湾に発

生した繊毛虫 *Mesodinium rubrum* による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例、沿岸域学会誌、18、No.4、67-77 (2006)

- 2) 水尾寛己、鳥海三郎、下村光一郎、風間真理、岡敬一、小野寺典好、若林信夫、阿久津卓、御処野博子：横浜市沿岸域で発生した *Mesodinium rubrum* による赤潮、横浜市環境科学研究所報、28、20-25 (2004)
- 3) 横浜市港湾局：みなとみらい21新港地区水質・底質・海生生物調査委託業務報告書、IV6-IV9 (2000)
- 4) 横浜市港湾局：みなとみらい21新港地区水質・底質・海生生物調査委託 (その2) 報告書、29-42 (2000)
- 5) 環境庁：底質調査方法、2-4 (1988)
- 6) 西栄二郎、田中克彦：神奈川近海の干潟・汽水域に産する環形動物多毛類、神奈川自然誌資料、28、101-107 (2007)
- 7) 西栄二郎、加藤哲哉：環形動物多毛類の移入と移出の現状、日本ベントス学会誌、59、83-95 (2004)
- 8) 西栄二郎、田中克彦：多摩川河口川崎市側の干潟における底生生物相、神奈川自然誌資料、27、77-80 (2006)
- 9) 西栄二郎、田中克彦、森敬介、藤岡義三：博多湾と東京湾の干潟から採集された日本初記録のヒガタケヤリムシ (新種) *Laonome albicingillum* (多毛綱・ケヤリムシ科)、南紀生物、47 (2)、115-118 (2005)
- 10) Glasby, C. J. & H. L. Hsieh: New species and new records of the *Perinereis nuntia* species group (Nereidae: Polychaeta) from Taiwan and other Indo-West Pacific shores. *Zoological Studies*, 45, 553-577 (2006)
- 11) 横山寿：Paraprionospio 属多毛類の分類と系統、海洋と生物、172、487-494 (2007)
- 12) 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)
- 13) Yokoyama H: A revision of the genus *Paraprionospio* (Polychaeta: Spionidae), *Zoological Journal of the Linnean Society*, 151, 253-384 (2007)
- 14) 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).
- 15) 横浜市港湾局：みなとみらい21新港地区水質・底質・海生生物調査委託 (その2) 報告書、資料40-42 (2000)
- 16) 横浜市環境科学研究所：横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書 (環境研資料 No. 102)、35-76 (1992)
- 17) 北森良之介：環境指標としての底生動物 (2) - 指標生物を中心に -、265-273、共立出版、東京 (1975)
- 18) 津田松苗、菊池泰二：環境と生物指標 2 - 水界編一、日本生態学会環境問題専門委員会編、共立出版、東京、310pp (1975)
- 19) 西栄二郎、田中克彦：多摩川河口川崎市側の干潟における底生生物相、神奈川自然誌資料、27、77-80 (2006)
- 20) 榎本輝樹、西栄二郎、田中克彦、中山聖子、多留聖典、飯島明子、高崎隆志：東京湾内湾横浜沿岸と小櫃川河口干潟の底生生物、特に多毛類を中心とした生物相の動態について、第6回海環境と生物および沿岸環

- 境修復技術に関するシンポジウム発表論文集、47-52 (2007)
- 21) 榎本輝樹、西榮二郎、田中克彦、中山聖子、多留聖典、須藤治、林紀男、飯島明子、高崎隆志：東京湾内湾の干潟・汽水域の多毛類相とその生態学的解析、第6回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集、53-58 (2007)
- 22) 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)
- 23) 西榮二郎・坂本昭夫・水尾寛巳・小市佳延・下村光一郎・下迫健一郎・室井雅弘・渡部昌治：横浜港内で定着が確認された外来大型二枚貝ホンビノスガイ。神奈川自然誌資料、30、(印刷中) (2009)
- 24) 小市佳延、水尾寛己、下村光一郎、西榮二郎：横浜市沿岸域における貧酸素化状況調査。横浜市環境科学研究所報32号、46-55 (2008)
- 25) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準 (1995年版)、66-68 (1995)
- 26) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準 (2000年版)、88-91 (2000)
- 27) 七都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会：東京湾における底生生物調査指針および底生生物等による底質評価方法、全国公害研会誌、25、55-61 (2000)
- 28) 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)
- 29) 横浜市環境保全局：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、95pp (2005)
- 30) 東京都環境局自然環境部：平成16年度 東京湾調査結果報告書、57-61 (2006)

今までの横浜市沿岸域の水環境調査の取り組みと今後の課題

水尾寛己（横浜市環境科学研究所）

Achievements and future works on marine environment monitoring along Yokohama city coast

Hiromi Mizuo (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：地方環境研究所、発生源規制、モニタリング、水質浄化

要旨

「地域の水環境としての沿岸海域における、地方環境研究所の果たす役割とは」を念頭に、今までの沿岸海域調査研究を顧みて、今後の課題についてまとめた。本市研究所が取り組んできた沿岸海域調査研究は、発生源規制関連の研究、水域環境モニタリング関連の研究と水質浄化関連の研究と多岐に渡っていた。これらの調査研究を踏まえて、本市の施策との関連で今後の研究課題について検討した。

1. はじめに

横浜市環境科学研究所では長年にわたり、沿岸海域の水環境の保全・再生に向け、調査研究を行ってきた。

国立環境研究所シンポジウム¹⁾で「地域の水環境としての沿岸海域における、地方環境研究所の果たす役割とは」のテーマが与えられ、環境科学研究所が発足して30年以上経過し、今までの調査研究を顧みて今後を展望する良い機会と考えてまとめた。

本市の調査研究は湾岸自治体の行政・研究機関、大学関係者など様々な方々の連携協力により進められてきた。

ここでは、本市研究所が取り組んできた研究の概要を報告するとともに、特に筆者がかかわった部分については詳しく紹介し、それを踏まえて共同研究の必要性、地方環境研究所としての今後の課題などについてまとめた。

2. 環境科学研究所が取り組んできた沿岸海域調査研究

本市研究所が取り組んできた沿岸海域調査研究の概要について、図-1に示した。

取り組んできた調査研究は発生源規制関連、水域環境モニタリング関連と水質浄化関連など多岐にわたる。

発生源規制関連は、研究所発足当初に取り組んだ研究で、公害防止協定を締結した事業場の魚類による排水監視手法についての研究とその監視を支援してきた。

水域環境モニタリング関連では市沿岸域水質と生物相の長期間における変化を把握する取組みと、水質を広域的に把握する取組みなどを行ってきた。

水質浄化関連は、水質・底質の浄化に関する取組みを進めており、カキなどによる水質浄化や浚渫・覆砂による効果などについて検討してきた。

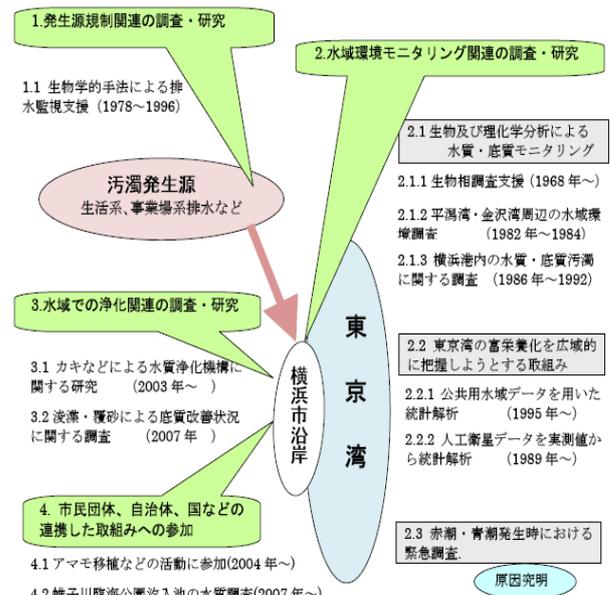


図-1 横浜市が取り組んできた沿岸海域調査研究

2-1 発生源規制関連の調査・研究

2-1-1 魚類指標による沿岸域にある公害防止協定締結工場の排水監視

横浜市は、排水量1,000トン以上/日の10社11事業場のうち、沿岸の5事業場と「魚類による排水監視」を盛り込んだ公害防止協定を締結した。

研究所では発足時(1976年)から、この協定にある「魚類による排水監視手法」について取り組んだ。魚類による排水監視の実施にあたっては、図-2に示すように、当時、魚病学の四竈(しかま)安正博士(観音崎自然博物館、故人)、魚類生理学の尾崎久雄教授・池田弥生助教授

(前東京水産大学)、生物検定に詳しい田端健二博士(旧水産庁東海区水産研究所、故人)、飼育専門の鈴木規夫科長(前神奈川県淡水魚増殖試験場、故人)の協力を得て、1979年から試行的に実施し、1986年からは、当歳の健康なコイを指標魚として本格的に実施した。排水監視の試験は、図-3に示すように、排水区の他に対照区を設けて実施した。

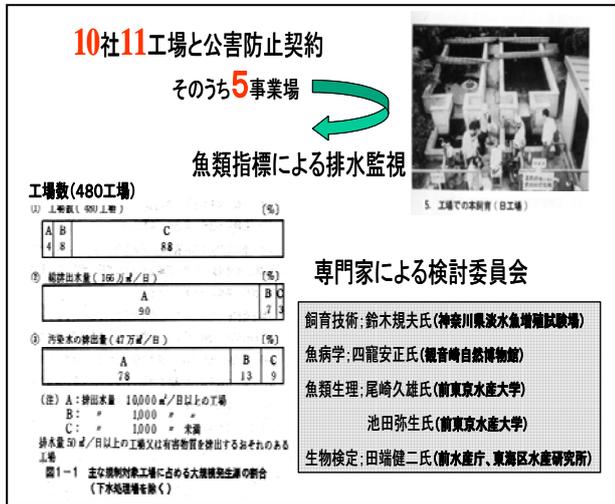


図-2 生物学的手法による排水監視支援(その1)
 —魚類指標による排水監視と専門家による検討—

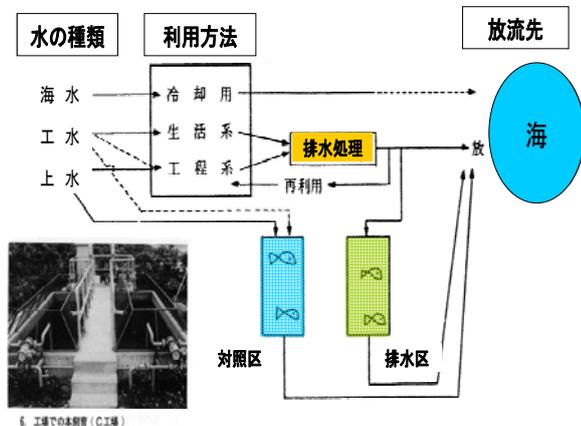


図-3 生物学的手法による排水監視支援(その2)
 —工場排水の試験池への導入経路模式図—

その間、図-4に示すように事業場側では、排水監視のための飼育試験を実施し、研究所は飼育指導、飼育魚の検査、排水の評価の技術的支援を続けた。事業場によっては、魚の鰓(えら)の変形、尾ひれの異常の発生が見られることにより、魚類を指標とした排水評価が、理化学的分析では明らかにできない生体への影響などについて把握することができた^{2,3)}。

その後、「魚類による排水監視」は市内にある6ゴルフ場で実施し、ゴルフ場での農薬使用量の減少に寄与した。

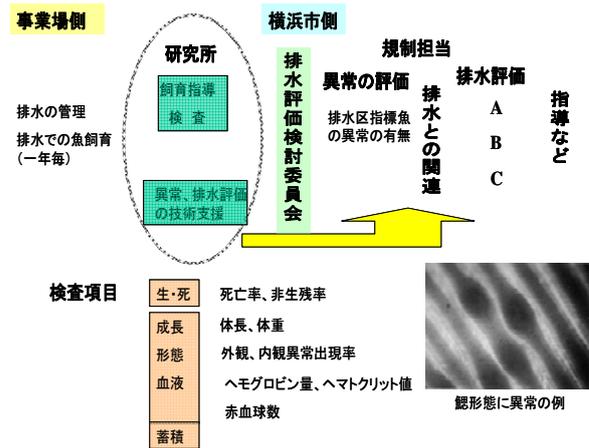


図-4 生物学的手法による排水監視支援(その3)
 —検査および排水評価の流れ—

2-2 水域環境モニタリング関連の調査研究

2-2-1 市沿岸域における生物及び理化学分析によるモニタリング

環境科学研究所が発足した1971年頃は、横浜市沿岸域では赤潮が頻繁に発生し、海底は貧酸素、無酸素の状況で無生物の海底も見られていた。その頃から、3年に一回の頻度で、川と海の生物モニタリング調査を行なってきた。この生物モニタリング調査の目的は、図-5に示すように水域の長期間における生物生息状況の変化を把

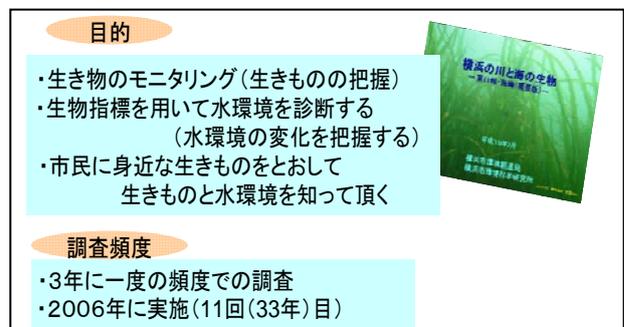


図-5 海域の生物相調査支援(その1)
 —調査の目的など—

握し、生き物から水質状況を知ろうとするものであった。海域の生物モニタリング調査⁴⁾は、図-6に示すように市沿岸では魚類、海岸動物、プランクトン、海藻、沖合では魚類、プランクトン、底生生物などについて、それぞれの分野の研究者からなる調査会に委託して実施した。

研究所のスタッフは調査が円滑に行われるように支援してきた。2007年の第11回生物相調査⁵⁾からは民間委託に変わったため、その中で今までの専門家による調査と同一水準のデータをいかにして得るかが、今後の課題である。

また、市沿岸水質調査において、1999年8月に渦鞭毛藻の *Alexandrium minutum* が確認されており⁶⁾、*Alexandrium* 属には毒素を有するプランクトンもあり、魚



図-6 海域の生物相調査支援（その2）
—調査項目および地点—

貝類などへの影響が懸念されることから、有害プランクトンの監視は今後の重要な検討課題になると思われる。海域の水質モニタリングについては、監視センターで公共用水域の測定計画に基づき、6地点で月一回の頻度で委託により実施している。また、横浜市独自に大黒、本牧、根岸沖の3地点で水質自動連続観測を行っており、これらは、水質の異常時などの把握に役立っている。また、研究所での水質調査・研究としては、横浜市南部に位置する平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査⁷⁾、横浜港の水質・底質汚濁に関する調査⁸⁾やブイ計測での根岸湾における水質の時系列的解析⁹⁾などがある。

2-2-2 東京湾の水質を広域的に把握する取組み

2-2-2-1 公共用水域水質測定計画データを利用した解析

東京湾岸の自治体などの共同研究で、東京湾内41地点における長期間の公共用水域水質測定データベースを作成するとともに、統計的に水質の時系列的、空間的特長を明らかにした⁹⁾。その手法は湾岸自治体による東京湾の水質に関する報告書¹⁰⁾に利用されている。その結果から、東京湾のCODや窒素、リン濃度分布についての季節的・年次的変化が明らかにされ、一時の最悪の状況に比べて改善されていることを明らかにしている。

2-2-2-2 人工衛星データを用いた水質把握手法

人工衛星データによる水質把握に関する研究は当初、統計数理研究所との共同研究¹¹⁾にはじまり、その後国立環境研究所の協力を得て、横浜市と神奈川県で共同に実施した。1995年からは東京都、千葉県とも連携し、人工衛星が東京湾上空を通過する日に合わせた水質調査を実施した¹²⁾。2002年には図-7、8に示すように、横浜市と宇宙開発事業団（現宇宙航空研究開発機構）との共同研究で、今まで取得したデータを統計学的に処理し、人工衛星により水質把握が可能であることを明らかにした^{13, 14, 15)}。2006年には、連日観測可能なセンサMODISデータからのクロロフィルa推定モデルの精度を向上させるために、実測値からの検証などを宇宙航空研究開発機構の村上氏と共同で検討し、モデルの値は実測値より低めの値を示すなどの問題点を明らかにした¹⁶⁾。

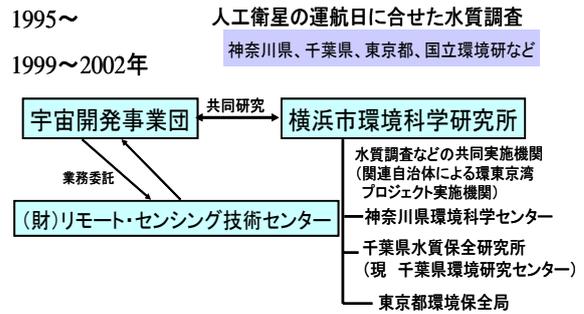


図-7 人工衛星を用いた水質把握手法（その1）
—横浜市と宇宙開発事業団との共同研究体制—

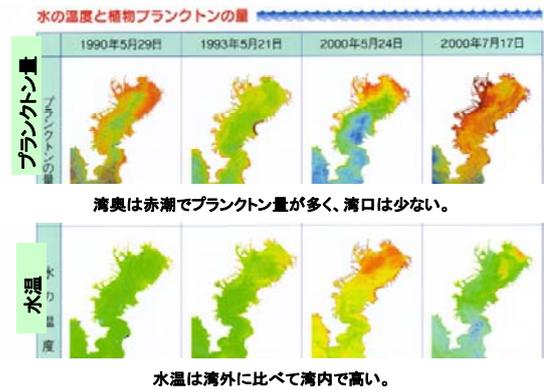


図-8 人工衛星を用いた水質把握手法（その2）
—共同研究で得られた人工衛星画像—

2-2-2-3 赤潮・青潮発生時における緊急調査、解析

横浜市沿岸では1995年から2002年まで魚貝類の死亡を伴う赤潮や青潮は見られなかったが、2003年以降にそのような赤潮や青潮が見られてきていた^{17, 18)}。2003年5月の赤潮は繊毛虫類の *Mesodinium rubrum* によるもので、当初、東京湾奥で発生し、その後、図-9に示すように、横浜市沿岸から沖合まで広範囲に発生した。その赤潮が死滅後に青潮を発生し、図-10に示すように底層に生息するアナゴやカレイなどの魚類、マテガイやアサリなどの貝類、アマモなどの海草に被害が見られた。これらの現象については、陸上と海上の両面からの調査

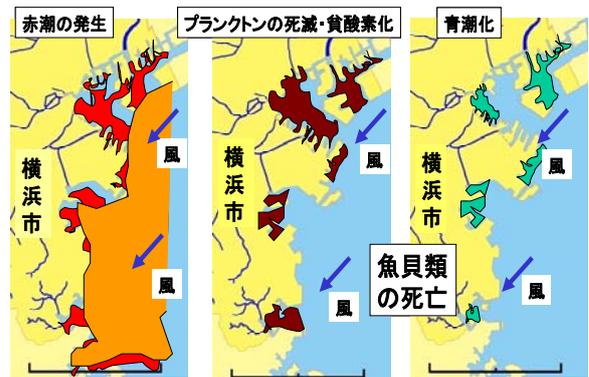


図-9 赤潮・青潮発生時における緊急調査・解析
（その1） —2003年5月に発生した赤潮—

データ、自動観測ブイの DO、蛍光強度などの時系列データ、潮汐データ、気象データなどをもとに、多面的に解析した^{19), 20)}。その後、国土技術政策総合研究所の呼びかけで東京湾岸の大学、自治体研究機関などが集まって、2003 年に見られた赤潮・青潮の発生の推移、原因、メカニズムなどについて検討し、現象の解明を深めることができた。²¹⁾ また、2004 年 8 月には、図-11 に示すように、南本牧付近で青潮が発生し、魚類に被害が見られた。その原因究明のため、横浜市沿岸域下層における貧酸化状況についての調査を行い、湾奥に向かって貧酸素化状態になっていることが明らかになった²²⁾。

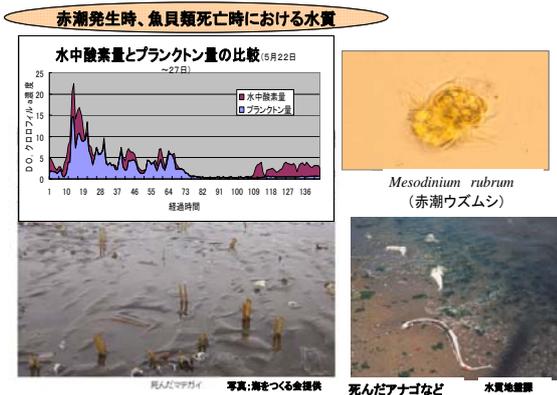


図-10 赤潮・青潮発生時における緊急調査・解析 (その2) —赤潮発生時、魚貝類死亡時の水質—

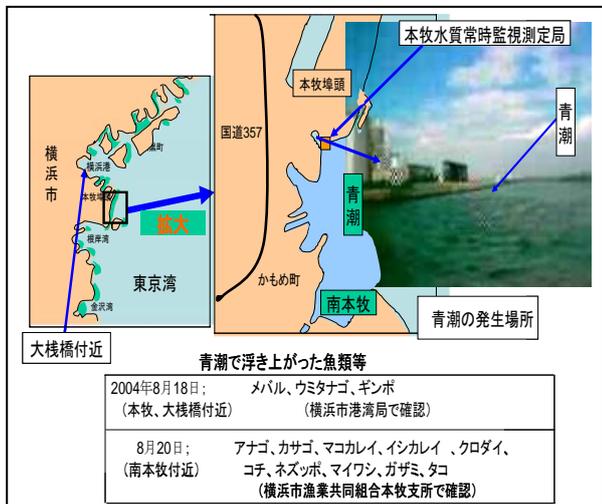


図-11 赤潮・青潮発生時における緊急調査・解析 (その3) —2004年に発生した青潮—

2-3 水域での浄化関連の調査・研究

2-3-1 カキなどによる水質浄化機構に関する研究

2002年に日本丸記念財団からの依頼で、ドック内・外の水質調査を行った。その結果、図-12に示すようにドック外の横浜港で赤潮が発生している時にドック内では赤潮は見られず透明度も良好であることがわかった²³⁾。それ以降、2007年12月まで、月一回の頻度で調査を行い同様な結果が得られた。ドック内の透明度が良い原因

について、カキのドック内分布調査やカキによる水質浄化実験などから検討した結果、プランクトンフィーダーであるカキが水質浄化に大きく寄与していることが明らかになった²⁴⁾。

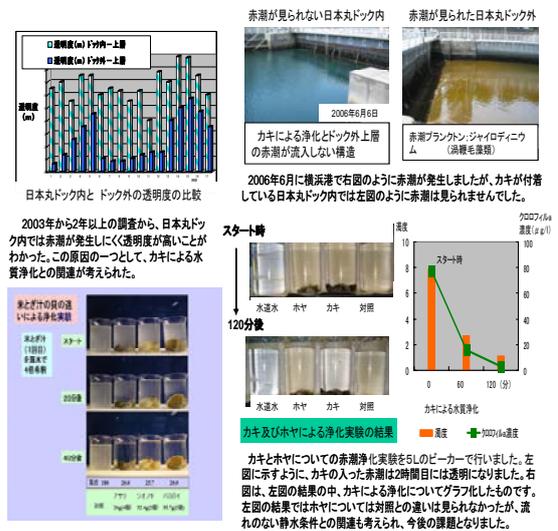


図-12 水域での浄化関連の調査・研究 (その1) —カキなどによる水質浄化に関する研究—

2-3-2 浚渫・覆砂による底質改善状況に関する調査

浚渫・覆砂は一時的に底質を浄化するが、河川水が有機物で汚染されている限り、その有機物はやがて海底に堆積し、底質が悪化する。市港湾局は1994年から1998年にかけて、MM21新港地区(図-13)の水環境改善のための浚渫・覆砂を行なった。その翌年、1999年に底質改善効果についての調査を行い、良好な結果を得た²⁵⁾。

その後、研究所は浚渫・覆砂による底質改善効果を把握するために、2007年度に底質調査を行った。その結果、図-14に示すように1999年度調査時に比べて底

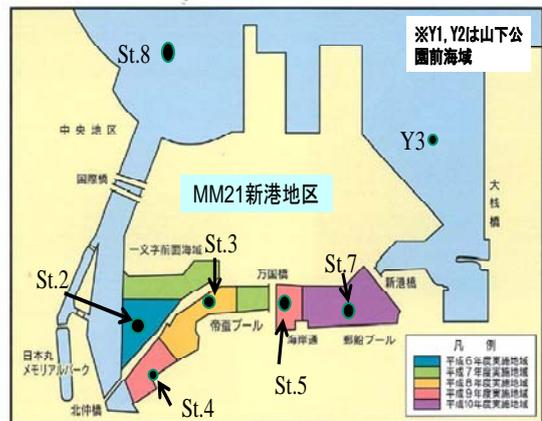


図-13 水域での浄化関連の調査・研究 (その2) —浚渫・覆砂による底質改善効果に関する調査—

質は悪化しているが、未施工区域に比べて底質の有機物量が少なく、浚渫・覆砂の効果が維持されていることが明らかになった²⁶⁾。

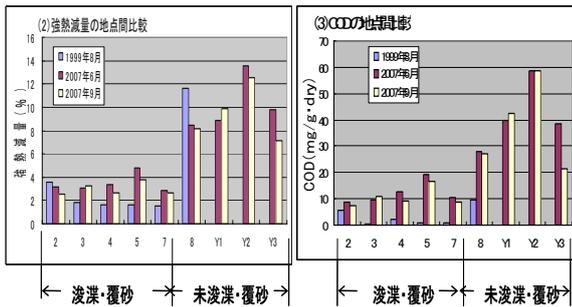


図-14 水域での浄化関連の調査・研究（その3）
—浚渫・覆砂地点と未浚渫地点間における底質比較—

3. 地方環境研究所としての今後の課題

本市の事業目標を実現する上から、現況で考えられる対策事業と研究課題・具体的対応との関係を図-15に示した。これらの関係と今までの沿岸海域の調査研究を振り返り、今後の課題として以下の事項が考えられた。

(1) 横浜市における公害防止協定の対応に見られるように、本市研究所は行政施策を科学的に担保するような研究を担う役割がある。そのためには大学や研究機関などの協力を得やすい研究体制が求められる。

(2) 市の沿岸海域の長期目標に対応した水質・底質の浄化事業や干潟・浅場の造成事業を支援するような調査・研究を推し進めると共に、これらの事業効果を把握するための長期・短期モニタリングが必要である。また、これらのモニタリング指標である理化学指標及び生物指標について、生物多様性の視点からも充実する必要がある。

(3) 東京湾の湾奥では大河川の影響を直接受けやすく、赤潮の発生頻度も高い。赤潮は、東京都側で異常発生し、その後に神奈川県側で発生する場合や、神奈川県側だけで発生する場合など様々である。青潮は千葉県側で発生頻度が高いが、2003年頃から横浜市沿岸でも発生している。一方、横浜市南部の金沢湾付近では、外洋との水交換が良いことも関係して3種のアマモが確認されている。

以上のように東京都側、千葉県側、神奈川県側それぞれで、赤潮、青潮、外洋との水交換、水の停滞、生きものの分布などが異なるなどの地域特性があり、それに対応した調査・研究を継続的に行う必要がある。

(4) 魚貝類の死亡事故は原因の究明が求められ、市民の安全を守る上から、その水域を所管する自治体が速やかに対応しなければならず、まさに地域の環境研究所が対応する課題である。また、今後は貝毒で知られる有害プランクトンの監視の必要性も高まると思われる。その場合に、ブイなどによる水質の時系列的モニタリングや赤潮プランクトンなどの監視が原因究明に必要となる。また、他水域の情報も原因究明と対策に必要であることから、自治体間の情報交換や協体制が重要である。

(5) 東京都で発生した赤潮が神奈川県側に移動したり、

東京湾奥の貧酸素水が神奈川県側に広がったりする事象が見られることから、湾岸自治体研究機関の連携した取り組みや、大学や国の研究機関の協力による広域的調査・研究も必要となる。

(6) 東京湾の広域的な水質モニタリングについては、東京湾全体の貧酸素水分布情報などが千葉県水産総合研究センターのホームページ²⁷⁾から発信されている。人工衛星データによる精度の良いクロロフィル a など水質情報の発信などが今後の課題である。

(7) 生き物の豊かな川や海を取り戻そうとする市民団体によるアマモ復活や環境教育活動などを支援する取組みも今後の課題である。

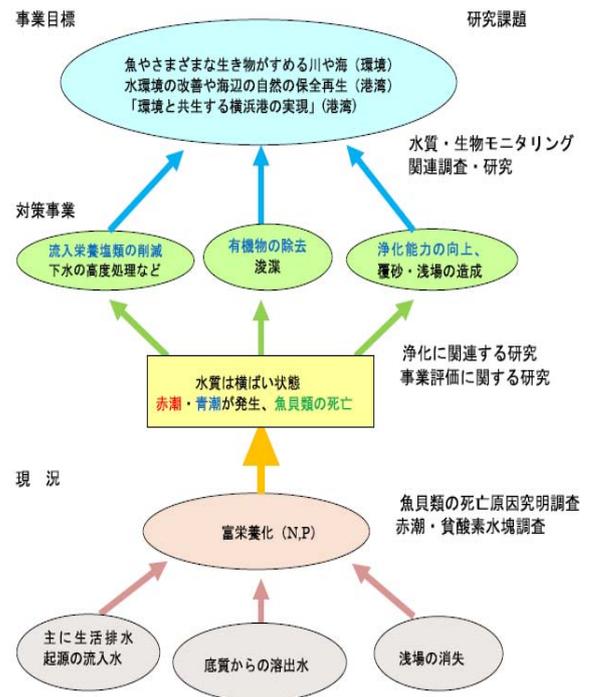


図-15 沿岸域の水環境保全・再生に関する研究課題

4. おわりに

1970年代においては、横浜市の川と海は汚れきり、市民のアンケートの中にも、臭いから川にふたをしてほしいという意見も少なからず見られるほど、きびしい状況であった。横浜市は国で定める水質基準の他に、生物を水質監視の指標とする生物指標を導入し、「釣や水遊びのできる川や海を取り戻す」ことを目標に工場排水規制、下水道普及による水質浄化などを推進してきた。

その結果、1989年頃、まず、帷子川でアユが見られ、その後1993年頃には、横浜市内の各河川にアユが見られるようになってきた。1998年には大岡川感潮域でワカメが見られ、岩壁にはカキも見られ、野島海岸ではタチアマモなど3種類のアマモの生息が確認された。しかし、毎年赤潮が発生し、2003年からは青潮も見られて魚介類に被害を及ぼしたこともあり、今だ、生き物にとっては厳しい環境といえる。

赤潮防止対策は、根本的には栄養塩類の削減であるが、

プランクトンフィーダーであるカキやアサリなどによる生物浄化も有効である。横浜市沿岸の干潟・浅場は埋め立てにより失われてしまったが、浅場に生息するアマモは魚介類の産卵、再生の場であると言われる。干潟や浅場を増やすことが海の浄化にとって重要である。

市内にある干潟や浅場の役割を明らかにすることも、海を見つめなおす上から大きな研究課題と考える。

謝辞

本市の沿岸海域の調査研究に直接、間接に関わってきた関係者各位に深くお礼申し上げます。また、現場の調査でご協力くださった、港湾局海務課の皆様には感謝致します。

参考文献

- 1) 水尾寛己：横浜市が取り組んできた沿岸海域研究と今後の課題、第23回全国環境研究所交流シンポジウム要旨集、31-35 (2008)。
- 2) 横浜市公害研究所：魚類指標による工場排水規制手法に関する研究、133pp. (1986)。
- 3) 水尾寛己・樋口文夫・畠中潤一郎・福嶋悟・斉藤治子・山口一誠・阿久津卓・佐野定雄・宗像美代子：横浜市における魚類を指標とした工場排水の規制手法に関する研究（その2）、横浜市公害研究所報、11、149-159 (1987)。
- 4) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物（第10報 海域編）、85pp. (2005)。
- 5) 横浜市環境科学研究所：横浜の川と海の生物（第11報 海域編）、85pp. (2005)。
- 6) 水尾寛己・鳥海三郎他：東京湾で観察された、渦鞭毛藻 *Alexandrium minutum* Halim、横浜市環境研究所報、30、20-23 (2006)。
- 7) 横浜市公害研究所：平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告書、149pp. (1986)。
- 8) 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、133pp. (1986)。
- 9) 横浜市環境科学研究所：東京湾の富栄養化に関する調査報告書、133pp. (1995)。
- 10) 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16年度）、48pp. (2007)。
- 11) 水尾寛己・雫石雅美・鶴田治雄・二宮勝幸・多賀保志：東京湾水質データとランドサットデータとの比較、自然環境についての標本調査法の研究、統計数理研究所共同研究レポート、16、21-40 (1989)。
- 12) 水尾寛己・岡敬一・小倉久子・二宮勝幸・大道章一・飯村晃・安藤晴夫・三嶋義人・安岡善文：人工衛星データによる水質モニタリングー関連自治体による環東京湾プロジェクトの紹介ー日本リモートセンシング学会誌、18 (3)、62-66 (1998)。
- 13) 宇宙開発事業団・横浜市環境科学研究所：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、88pp. (2001)。
- 14) Hiromi Mizuo, Keiichi Oka, Naoya Tomii, Yoshifumi Yasuoka : The algorithm for estimating the upper water quality of Tokyo bay with LANDSAT/TM data、第2回北太平洋地域における海洋環境のリモートセンシングに関する国際ワークショップ報告書<参考資料>、財団法人・環日本海環境協力センター、283-291 (2002)。
- 15) 水尾寛己・富井直哉・岡敬一・小倉久子・安藤晴夫・向井田明・川人しのぶ・安岡善文：地球観測衛星による東京湾の水質推定、第36回日本水環境学会年会講演集、551p. (2003)。
- 16) 水尾寛己・村上 浩・安岡善文：Terra/MODIS 及び Aqua/MODIS から出力したクロロフィル a 推定値についての実測値からの検討、生研フォーラム「宇宙からの地球モニタリング」第16回論文集、東京大学生産技術研究所、(2007)。
- 17) 水尾寛己・鳥海三郎・岡敬一・二宮勝幸・下村光一郎：横浜市沿岸のプランクトン相調査（第2報）、横浜市環境科学研究所報、26、47-61 (2002)。
- 18) 横浜市環境科学研究所：海の情報、<http://www.city.yokohama.jp/me/kankyuu/mamoru/kenkyu/>
- 19) 水尾寛己・鳥海三郎・下村光一郎・風真理・岡敬一・小野寺典好・阿久津卓・御処野博子：横浜市沿岸域で発生した *Mesodinium rubrum* による赤潮、横浜市環境科学研究所報、28、20-25 (2004)。
- 20) 水尾寛己・下村光一郎・鳥海三郎・風真理・岡敬一・小野寺典好・阿久津卓：横浜市沿岸水域で発生した *Mesodinium rubrum* による赤潮及び生物被害、第38回水環境学会年会講演集、155p. (2004)。
- 21) 古川恵太・中山恵介・水尾寛己：2003年に東京湾に発生した繊毛虫 *Mesodinium rubrum* による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例、沿岸域学会誌、18 (4)、67-66 (2006)。
- 22) 小市佳延・水尾寛己・下村光一郎・西栄二郎：横浜市沿岸域における貧酸素化状況調査、横浜市環境科学研究所報、32、20-25 (2008)。
- 23) 水尾寛己・下村光一郎・角田定孝・渡辺昭男：カキ浄化効果などによる赤潮の発生しない系、第40回日本水環境学会年会講演集、56p. (2006)。
- 24) 水尾寛己・小市佳延・下村光一郎・西栄二郎・木村尚：日本丸ドックにおけるカキによる水質浄化、横浜市環境科学研究所報、32、56-61 (2008)。
- 25) 横浜市港湾局、日本工営株式会社：みなとみらい 21 新港地区水質・底質・海生生物調査委託（その2）報告書、126pp. (2000)。
- 26) 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ー浚渫覆砂区一、横浜市環境科学研究所報、33、(2009)。
- 27) 千葉県水産総合研究センター：貧酸素水塊速報他、<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/>

人工衛星データによる東京湾の水質モニタリング手法

水尾寛己（横浜市環境科学研究所）、岡 敬一（神奈川県環境科学センター）
二宮勝幸・下村光一郎（横浜市環境科学研究所）

A study on water-quality monitoring techniques in Tokyo Bay by satellite data

Hiromi Mizuo (Yokohama Environmental Science Research Institute)
Keiichi Oka (Kanagawa Environmental Research Center)
Katsuyuki Ninomiya, Kouichirou Shimomura (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：人工衛星データ、水質モニタリング、クロロフィル a 濃度、エアロゾル

要 旨

東京湾の富栄養化機構を把握するための調査研究の一環として、市沿岸域の赤潮調査と並行して本研究を進めてきた。研究は人工衛星の運航日に合わせて実施した赤潮調査データを用いて、人工衛星データについて水質推定アルゴリズムと統計学手法を用いて検討した。その結果、人工衛星データから、赤潮指標であるクロロフィル a 濃度分布の推定画像抽出が可能であることを明らかにした。

1. はじめに

COD の濃度規制、総量規制などにより、東京湾の水質は改善されてきたが、富栄養化の状態は改善されず、その対策として、2002 年から窒素・リンの総量規制が行われてきた。東京湾はいまだに富栄養化の状態が続いており、毎年赤潮が発生している。東京湾の COD は、夏季においては植物プランクトンに起因する二次汚濁が原因で、環境基準を超過する場合が多い¹⁾。また、2003 年頃からは、横浜市沿岸で赤潮・青潮が発生し魚介類に被害をもたらす現象^{2, 3)}も見られており、きめ細かな水質モニタリングが重要である。

東京湾の水質モニタリングは、月一回の定点調査でモニタリングされている。二宮・安藤ら^{4, 5)}は東京湾で計測している 40～50 地点のデータを用いて、統計学的手法による面的把握手法を開発して経月的、経年的に東京湾の水質解析を行っているが、データ数が少ないという点で面的な分布把握の正確性においては限界がある。

人工衛星データで水質の把握が可能な場合には数万点からのデータで、まさに面的な把握が可能となる。人工衛星データを用いた環境把握に関する研究は、1961 年のガガリンによる世界初の宇宙飛行から 20 数年経過した 1984 年の米国のランドサット 5 号が TM (セマチックマップ) センサ搭載以降、盛んに研究されるようになった。TM は可視光域 3 バンド、近赤外域 1 バンド、中間赤外域 2 バンド、熱赤外域 1 バンドからなるセンサで、太陽の電磁波を反射・吸収した地球上物質の情報を検知しており、その中には水質の情報も検知されている。しかし、特に可視光域の電磁波は水に吸収されやすいため水中に含まれる物質からの電磁波が弱いことや大気中のエアロゾルの影響が大きいことなどが、人工衛星データによる湾などでの水質把握モデルの構築を難しくして

いる。ここでは、今まで当研究所を中心に取り組み得られた成果について報告する。

2. 人工衛星データによる水質把握について

人工衛星で水質観測可能と思われる項目としては、水温、プランクトン量 (クロロフィル、有機懸濁物質)、懸濁物質 (有機懸濁物質 + 無機懸濁物質)、溶存有機物質、透明度などがあげられる。COD、SS については、人工衛星データで観測可能なプランクトン量、有機懸濁物質、溶存有機物質と関連していることから、それらの物質との回帰式から、間接的に求めることが可能である。通常、人工衛星データによる水質把握手法の検討は表層水質を対象にしているが、電磁波の違いにより水の吸収の違いがあり、この違いを利用することにより表層と中層の水質の違いも理論的には把握可能と思われる。

水質の把握は理論モデルによる方法^{6, 7, 8)}、実測データとの統計解析による方法^{9, 10, 11)}、ニューラルネットワーク¹²⁾による方法などで検討されているが、いずれも実測データによる検証を必要としている。

当研究所では、東京湾上を運行するランドサット 5 号の TM データを研究対象とし、5 号の運航日に合せて水質調査を行い、晴天時の水質データを本研究に用いた。

大気のアロゾルの影響についての実測データは沿岸の陸上で計測している大気浮遊粒子状物質濃度 (SPM) とした。水質推定手法の開発は Gordon のアルゴリズムと統計的手法を組み合わせ検討した。その結果、数点の実測データが揃っていれば人工衛星データから水質の推定は可能であることを明らかにした。

本研究の結果から、人工衛星データによる水質把握モデル構築の難しい理由として、以下の 3 点が考えられた。一点は赤潮が発生する春季から秋季と透明度の良い冬季

のような水質では、水中内での電磁波の吸収と反射に違いがある。もう一点は、水質情報は大気情報（特にエアロゾル）に比べて少ないことから、水質を把握するためには、エアロゾルの影響を消去する必要がある。三点目は無機懸濁物質の影響のある海水でクロロフィル a を把握するためには、無機懸濁物質の影響を消去する必要がある。

2-1 統計的手法による水質推定モデルの検討

2-1-1 統計数理研究所との共同研究

人工衛星データによる水質把握手法に関する最初の研究は、1988年の統計数理研究所との共同研究¹³⁻¹⁸⁾で、ランドサット5号の運航日に計測された晴天時の1986年8月6日と1987年3月2日の公共用水域のデータを用いて検討した。この時の2つのデータは、湾岸の数自治体が同日に調査した快晴時で、かつエアロゾルが少ない日のデータであった。統計的手法を用いて、観測時間の違いを層別に分けて解析した結果、運航時間に近いデータのみを用いて解析することにより、衛星データの各バンドとクロロフィル濃度、濁度、透明度の相関が強く、水質推定の可能性が明らかになった¹⁵⁾。

2-1-2 東京湾岸自治体研究機関、国立環境研究所、宇宙開発事業団との共同研究

1989年からは、人工衛星データと水質情報との関係を明らかにするための水質調査を実施した。

アメリカの人工衛星ランドサット5号の運航日に合わせて、湾奥から中ノ瀬までの10地点で調査を行い、衛星データと水質との関係について検討してきた¹⁹⁻²²⁾。その後1993年からは東京都環境局、千葉県水質保全研究所と共同で人工衛星の運航日に合わせた同日調査を実施し²³⁻²⁹⁾、1999年には神奈川県内の湖沼への適用について検討した³⁰⁾。

また、1999年に宇宙開発事業団（現宇宙航空研究開発機構）と共同研究³¹⁻³⁵⁾を行った。それまでに収集したランドサット5号運航日と同日の延20日のデータについて統計解析した。解析の結果、赤潮把握の指標となるクロロフィル a 濃度については、クロロフィル a 濃度を低濃度と高濃度の2層に分けることにより、それぞれ可視光線の赤色域のバンド4から青色域のバンド1を差演算する重回帰式により、推定可能であることが明らかになった。

さらに、透明度については、青色域のバンド1から赤色域のバンド4を差演算する式により求められることを明らかにした。

また、水質情報がないとされている近赤外域にも、クロロフィル a 濃度が高い場合には、クロロフィルの影響があることも明らかになった。

2-2 東京湾のデータから得られたクロロフィル a 濃度推定モデル

ここでの内容は、第3回北西太平洋地域における海洋環境のリモートセンシングに関する国際ワークショップで発表したものなど^(11, 36, 37)である。図-1に示すよう

に、人工衛星による東京湾上空での観測においては、人工衛星センサの情報は大気からの情報と水質情報からなっており、水質情報としては、プランクトン中のクロロフィル色素とプランクトンの粒子としての情報、プランクトンを除く懸濁物質が考えられる。

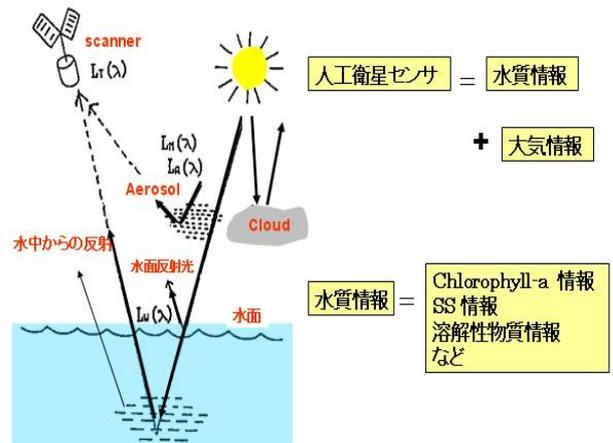


図-1 海域における人工衛星センサの受信する

水中の懸濁物質が主に植物プランクトンに起因する場合は以下の式で表すことが出来る。

$$R_i = a_i \times \text{Log}(\text{chl-a}) + b_i \times \text{SPM} + c_i$$

但し、 R_i ；センサで検知される情報

$\text{Log}(\text{Chl-a})$ ；クロロフィル a 濃度情報

SPM ；大気浮遊粒子状物質

a_i, b_i, c_i ；係数

センサで検知されるバンド I、J の反射輝度は、それぞれ (1)、(2) の式で表わされる。これらの式から、クロロフィル a を求める逆推定式 (3) 式が導かれる。

$$R_i = a_i \times \text{Log}(\text{Chl-a}) + b_i \times \text{SPM} + c_i \quad \text{-----}(1)$$

$$R_j = a_j \times \text{Log}(\text{Chl-a}) + b_j \times \text{SPM} + c_j \quad \text{-----}(2)$$

式(2)× b_i - 式(1)× b_j とすると

$$b_i \times R_j - b_j \times R_i = (b_i \times a_j - b_j \times a_i) \times \text{Log}(\text{Chl-a}) + (b_i \times c_j - b_j \times c_i)$$

$$\text{Log}(\text{Chl-a}) = \frac{b_i \times R_j}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)} - \frac{b_j \times R_i}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)}$$

$$+ \frac{(b_j \times c_i - b_i \times c_j)}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)} \quad \text{但し}(b_i \times a_j) \neq (b_j \times a_i)$$

よって

$$\text{Log}(\text{Chl-a}) = a' \times R_j - b' \times R_i + c' \quad \text{-----}(3)$$

$$\text{但し、} a' = \frac{b_i}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)} \quad b' = \frac{b_j}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)}$$

$$c' = \frac{(b_j \times c_i - b_i \times c_j)}{(b_i \times a_j - b_j \times a_i)}$$

また、(1)、(2) 式から、大気浮遊粒子状物質 (SPM) を求める (4) 式も導かれる。

式(2)× a_i - 式(1)× a_j とすると

$$a_i \times R_j - a_j \times R_i = (a_i \times b_j - a_j \times b_i) \times \text{SPM} + (a_i \times c_j - a_j \times c_i)$$

$$\text{よって} \quad a_i \times R_j - a_j \times R_i = -(b_i \times a_j - b_j \times a_i) \times \text{SPM}$$

$$- (aj \times ci - ai \times cj)$$

$$SPM = \frac{-ai \times Rj}{(bi \times aj - bj \times ai)} + \frac{aj \times Ri}{(bi \times aj - bj \times ai)}$$

$$+ \frac{-(aj \times ci - ai \times cj)}{(bi \times aj - bj \times ai)} \quad \text{但し } (bi \times aj) \neq (bj \times ai)$$

よって

$$SPM = -a'' \times Rj + b'' \times Ri - c'' \quad \text{-----(4)}$$

$$\text{但し、 } a'' = \frac{ai}{(ai \times bj - aj \times bi)} \quad b'' = \frac{aj}{(ai \times bj - aj \times bi)}$$

$$c'' = \frac{(aj \times ci - ai \times cj)}{(bi \times aj - bj \times ai)}$$

ここでは、東京湾で得られた 15 回の水質および沿岸域の大気観測データから、上記 (1)、(2) 式の適用可能性についての検証を試みた。

大気情報の主要な成分としては、大気分子散乱光情報とエアロゾル情報が考えられ、そのうちエアロゾル情報として大気浮遊粒子状物質 (SPM) や大気浮遊粉塵などが考えられるが、SPM と大気浮遊粉塵は正の強い相関が見られることから、水質情報と大気情報との関係式を単純化する上から、エアロゾル情報として SPM で代表させた。また、水面反射光やミストの影響については、解析に使用した人工衛星の運航時間が午前 10 時 40 分頃なのでそれらの影響は少ないと判断して、式からは省略した。

晴天時に得られた東京湾通過時のランドサット 5 号の TM データの抽出は、バルク補正、幾何学的補正済のデータから、図-2 に示すように水質観測地点における各バンドの DN (デジタルナンバー) 値を抽出し、次に太陽高度角補正、輝度値変換を行い、その後で測定日別各バンド別輝度値平均値を求めた。同様に測定日別に水質情報 (Chl-a, SS) の平均値、SPM の平均値を表-1 に示すように求めた。

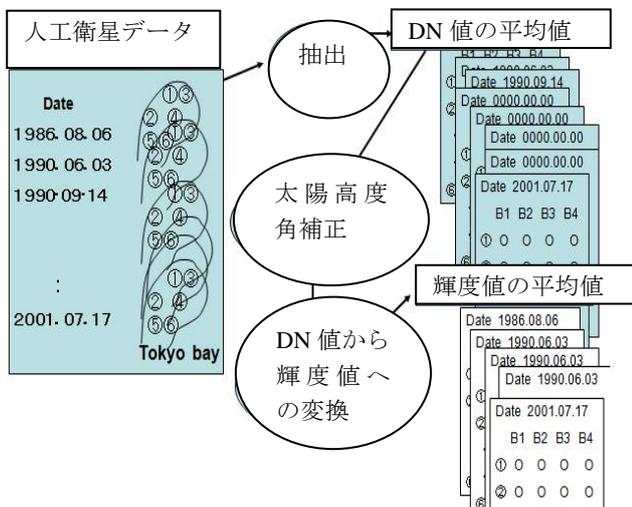


図-2 輝度値平均値データの抽出の

表-1 東京湾 TM、水質平均値データ

Date	TM data				Water quality		Atmosphere
	R1	R2	R3	R4	Chl-a*	SS	SPM
'86/08/06	0.3455	0.2585	0.117	0.078	25	3.4	11
'87/03/02	0.4365	0.3126	0.1411	0.1274	6.6	0.5	23
'90/04/27	0.5104	0.4444	0.2649	0.2538	51.7	9.9	102
'90/05/29	0.3881	0.3013	0.1589	0.1363	72.1	10	38
'90/11/15	0.3502	0.2409	0.107	0.0917	12.1	2.4	29
'92/06/03	0.4388	0.3563	0.2072	0.2091	144	11	91
'93/05/21	0.3978	0.3167	0.1803	0.1641	38.7	6.2	49.4
'93/09/10	0.3635	0.2627	0.1323	0.0928	34.3	4.4	61.2
'94/04/22	0.3716	0.2488	0.142	0.1304	27.5	3.4	62.7
'95/08/15	0.3544	0.2533	0.134	0.0943	23.6	3.9	37.3
'99/01/14	0.4368	0.3214	0.1826	0.113	7.86	0.7	55.9
'00/02/18	0.365	0.233	0.1167	0.1094	16.8	1.0	31.1
'00/05/24	0.4323	0.3371	0.1977	0.2146	16.8	1.0	135
'00/07/11	0.344	0.2596	0.147	0.1232	93.9	13	95.1
'00/08/28	0.4203	0.3095	0.1688	0.1653	36.4	4.2	53.1
X	0.3970	0.2971	0.1598	0.1402	40.5	6.0	58.3
σ	0.0477	0.0559	0.0418	0.0516	37.3	4.1	34.1
Max	0.510	0.444	0.265	0.254	144	13.4	135
MIN	0.344	0.233	0.107	0.078	6.6	0.5	11

※ Chl-a; クロロフィル a

統計解析ソフトは日本科学技術研修所の多変量解析システム JUSE-MA/V5.0 を使用した。

検証にあたっては、SPM とバンドとの関係について全データを用いて、それぞれのバンドを目的変数として、クロロフィル a 濃度 (水質情報) と SPM (大気情報) を説明係数として重回帰分析をおこなった。その結果は (5) ~ (8) 式に示すように、各バンドは SPM に依存し、クロロフィル a 濃度に依存しない結果が得られた。

$$R1 = +0.0007 \times SPM + 0.358 \dots (5)$$

$$r = 0.483$$

$$R2 = +0.0009 \times SPM + 0.261 \dots (6)$$

$$r = 0.560$$

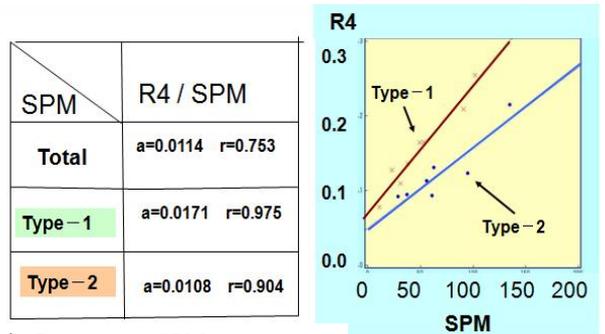
$$R3 = +0.0009 \times SPM + 0.109 \dots (7)$$

$$r = 0.706$$

$$R4 = +0.0011 \times SPM + 0.074 \dots (8)$$

$$r = 0.753$$

次に SPM とバンドとの関係から、図-3 に示すように R4/SPM の比の高い Type1 と低い Type2 の二つのタイプ



$$\text{但し } R4 = a \times SPM + b$$

R4; TM バンド 4 の輝度値

図-3 SPM と TM バンド 4 との関係

に分けられた。それぞれのタイプについて、バンドを目的変数として、クロロフィル a 濃度 (水質情報) と SPM (大気情報) を説明係数として重回帰分析をおこなった。その結果、(11)、(12) 式に示すように、Type 1 ではバンド 3 (R3)、バンド 4 (R4) に強い正の相関が見られた。

また、クロロフィル a 濃度 (水質情報)、SPM (大気情報) に SS (水質情報) を加え場合に (13)、(14) 式に示すようにバンド 2 (R2)、バンド 3 (R3) それぞれに強い正の相関がみられた。

Type 1 (n=8) で求めたクロロフィル a 濃度と SPM からなる重回帰式と自由度二重調整寄与率 (R**²) を以下に示す。

$$R1 = -0.082 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0019 \text{SPM} + 0.438 \quad \dots (9)$$

$$R^{**^2} = 0.741$$

$$R2 = -0.041 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0019 \times \text{SPM} + 0.275 \quad \dots (10)$$

$$R^{**^2} = 0.627$$

$$R3 = -0.005 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0015 \times \text{SPM} + 0.103 \quad \dots (11)$$

$$R^{**^2} = 0.816$$

$$R4 = -0.020 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0019 \times \text{SPM} + 0.093 \quad \dots (12)$$

$$R^{**^2} = 0.930$$

$$R2 = -0.297 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0019 \times \text{SPM} + 0.206 \times \text{Log}(\text{SS}) + 0.536 \quad \dots (13)$$

$$R^{**^2} = 0.933$$

$$R3 = -0.139 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0014 \times \text{SPM} + 0.107 \times \text{Log}(\text{SS}) + 0.238 \quad \dots (14)$$

$$R^{**^2} = 0.948$$

※R1~R4 ; TM バンド 1~バンド 4 の反射輝度
Log(Chl-a) ; Log10 (Chlorophyll-a 濃度)

次に Type 2 (n=7) では、(18) 式に示すようにバンド 4 (R4) に強い正の相関が見られた。また、バンド 1 (R1)、2 (R2)、3 (R3) とも正の相関が見られた。

$$R1 = -0.092 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0008 \times \text{SPM} + 0.448 \quad \dots (15)$$

$$R^{**^2} = 0.742$$

$$R2 = -0.073 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0009 \times \text{SPM} + 0.31 \quad \dots (16)$$

$$R^{**^2} = 0.721$$

$$R3 = -0.044 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0008 \times \text{SPM} + 0.154 \quad \dots (17)$$

$$R^{**^2} = 0.597$$

$$R4 = -0.04 \times \text{Log}(\text{chl-a}) + 0.0012 \times \text{SPM} + 0.094 \quad \dots (18)$$

$$R^{**^2} = 0.843$$

次に、クロロフィル a 濃度を求める逆推定式について検証すると、Type 1 では式 (19)、(20) に示すようにバンド 3 (R3) とバンド 1 (R1) の差演算式、バンド 4 (R4) とバンド 1 (R1) の差演算式で求めた値と実測値で正の相関が見られた。Type 2 では式 (21) に示すようにバンド 3 (R3) とバンド 1 (R1) の差演算式で求めた値と実測値で強い正の相関が見られた。

Type-1

$$\text{Log}(\text{chl-a}) = 13.759 \times R3 - 10.433 \times R1 + 3.425 \quad \dots (19)$$

$$R^{**^2} = 0.719$$

$$\text{Log}(\text{chl-a}) = 12.518 \times R4 - 10.993 \times R1 + 4.040 \quad \dots (20)$$

$$R^{**^2} = 0.639$$

Type-2

$$\text{Log}(\text{chl-a}) = 18.383 \times R3 - 18.773 \times R1 + 5.706 \quad \dots (21)$$

$$R^{**^2} = 0.821$$

※R1~R4 ; TM バンド 1~バンド 4 の反射輝度
Log(Chl-a) ; Log10 (Chlorophyll-a 濃度)

以上より、上記バンドからなる逆推定式がクロロフィ

ル a 推定に有効と判断できる結果が得られた。以上の結果、および三河湾の結果を表 2 にまとめて示した。

Type 1 と Type 2 について、季節との関連性について検討したが、特に関連は認められなかった。また、クロロフィル a 濃度レベルとの関連性も認められなかった。Type 1 は Type 2 の SPM の計測値に比べてバンド 4 (R4) の輝度値が高いケースを示しており、その傾向は他のバンドにおいても見られた。SPM の値は地上 1.5m で計測している値であるために、その位置からセンサに到達するまでの大気中のエアロゾル濃度が比例して均一に分布しているとは限らないわけであり、その違いが Type 1 と Type 2 に反映している可能性が考えられた。

また、TM のバンド 1 (R1) とバンド 4 (R4) を用いた式から求めた夏季における東京湾のクロロフィル a 分布画像を図 4 に示した。合せて、熱バンドであるバンド 6 から求めた水温分布画像を示した。この図からは赤潮が沿岸部や湾奥で発達している特徴や赤潮の発達が水温の分布と一致する場合などが観察できた。

表 2 東京湾および三河湾におけるクロロフィル a (対数) 実測値と TM データからの推定値との相関
クロロフィル a (対数) 実測値

推定に用いたバンド	Tokyo Bay			Mikawa Bay
	Total	Type-1	Type-2	
R1, R2	0.397	0.240	0.326	
R1, R3	0.541	0.719	0.821	0.688
R1, R4	0.365	0.639	0.261	
R2, R3	0.052	0.449	0.020	
R2, R4	-0.056	0.122	-0.240	
R3, R4	-0.148	-0.662	-0.112	

* R1~R4 ; The radiance of TM1~TM4
係数 ; 自由度二重調整寄与率 (R**²)

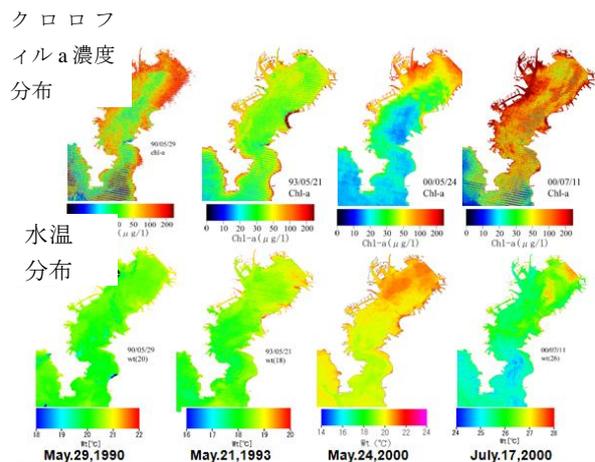


図 4 人工衛星データから作成したクロロフィル a 濃度分布、水温分布推定画像

2-3 センサの違いによるクロロフィル a 濃度推定画像の比較検討

2001 年からは、ランドサット 7 号の運航に合わせて水質調査を実施してきた。また、分解能は 250m、500m でランドサット 5 号、7 号に劣るが、ほとんど連日計測可

能なTerraセンサ搭載の衛星MODISとAquaセンサ搭載の衛星MODISが運行していた。それらのセンサデータについて、図-5に示すようにランドサット5号の後継機であるランドサット7号のETM+センサデータと比較した。

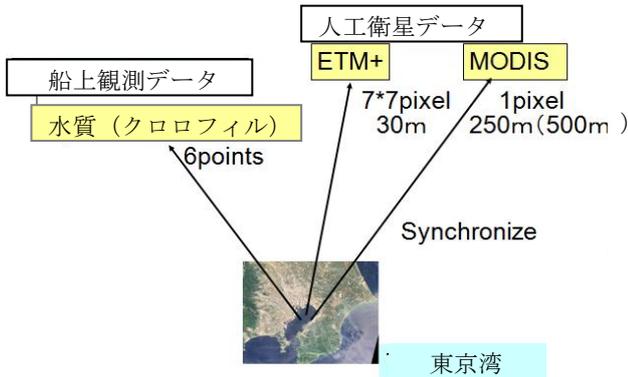


図-5 ランドサット ETM+データとMODISデータの比較

各センサのバンドと波長域との関係を図-6に示した。MODISのR2は近赤外域、R1は赤色域、R4は緑色域、R3は青色域で、それぞれETM+のR4、R3、R2、R1に近い波長域を示している。

2002年6月7日におけるランドサット7号ETM+とMODIS/Terraセンサによるクロロフィルa推定画像の比較結果からは、図-7に示すように、MODISによるクロロフィルa推定画像はランドサット7号ETM+画像に比べて分解能は低い、類似した濃度分布画像が得られた。このことから、MODISのセンサの分解能はETM+に劣るが、海域の赤潮の指標としてのクロロフィルa濃度のモニタリング用として利用可能であることが明らかになった。

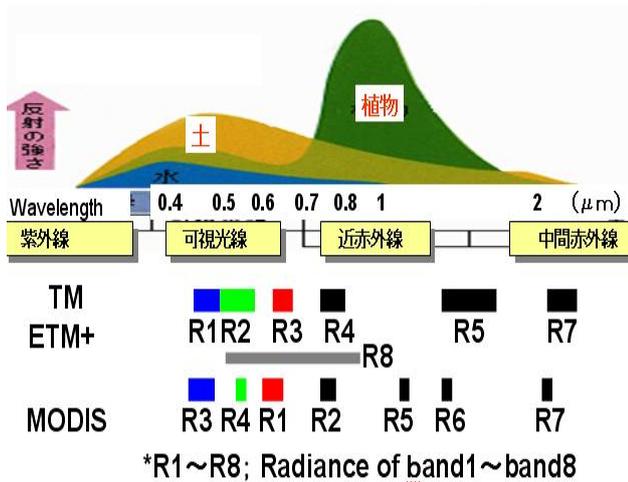


図-6 各センサのバンドと波長域の比較

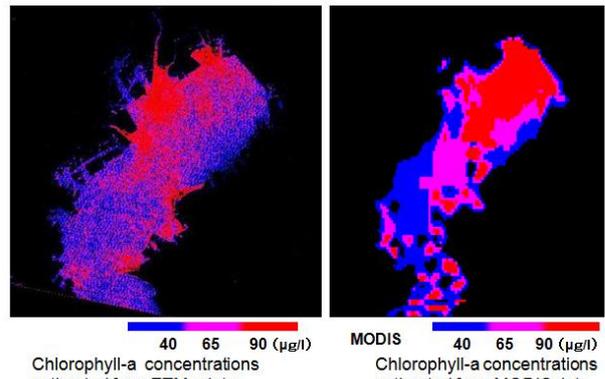


図-7 ランドサット ETM+データとMODISデータのクロロフィルa推定画像の比較

3. 人工衛星データによる水質モニタリングの実用化

現在、海上保安庁のホームページで公開されているMODISのセンサ、TerraとAquaについて、宇宙航空研究開発機構の村上浩氏と共同でクロロフィルaについてのモデル検証を行った。その結果、図-8に示すようにAquaについてはクロロフィルa濃度を定性的に把握可能であるが、実測値より低めの傾向の値が見られた。Terraについては定性的にも不安定で、実測値による確認が必要と思われた³⁸⁾。

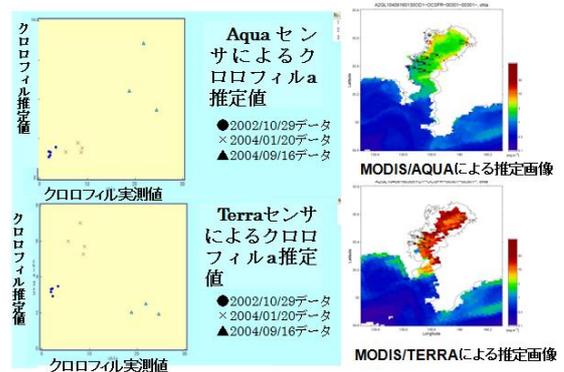


図-8 MODIS_AquaセンサとTerraセンサから推定

以上より、実用化のためにはモデルの改善が必要であるが、MODISは連日運行の人工衛星のために、分解能と精度の向上により、赤潮モニタリング用として期待できることが明らかになった。

4. おわりに

本研究は東京湾の富栄養化機構を把握するための調査研究の一環として、市沿岸域の赤潮調査と同時に人工衛星データから東京湾の水質を把握する手法開発の研究を進めてきた。その結果、赤潮指標であるクロロフィルa濃度について、人工衛星データからの実用化に役立つ成果が得られた。

人工衛星データによる利用は、晴天時しか観測できないという制約があるが、船上による定点調査と違い、多地点の情報を同時に得られる利点がある。

現時点で、人工衛星によるモニタリング可能な水質項目は赤潮、青潮、濁り、油汚染、熱汚染などに限られるが、赤潮などの分布状況を面的に把握できるなど、赤潮対策などを検討する上で有益と考える。

自治体の水質モニタリングに人工衛星データを活用するための課題として、ソフトウェアやシステムについての国の支援が必要である。また、連日運行しているMODISのAqua センサなどの分解能などがランドサット7号のETM+センサ並みに向上する必要もある。

謝辞

本研究に終始ご指導とご鞭撻を頂いた、前東京大学教授、現国立環境研究所理事の安岡善文博士に厚く感謝致します。

データ取得にご協力くださった東京湾岸自治体の関係者の皆さま、特に元神奈川県環境科学センターの吉見 洋博士、東京都環境保全局の風間真理博士、東京都環境科学研究所の安藤晴夫博士、千葉県水質保全研究所の小倉久子博士に感謝致します。

また、船上調査でご協力くださった、港湾局海務課職員の皆様に感謝致します。

人工衛星データの処理、解析などでお世話になった宇宙航空研究開発機構の富井直哉氏、村上 浩博士、リモートセンシング技術センターの向井田 明氏、川人しのぶ氏、豊橋工科大学の青木 伸一博士、(財)環日本海環境協力センター前理事長の平野敏行博士、東京大学の沖一雄博士に感謝致します。

文献

- 1) 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17年度）、48pp.（2007）
- 2) 水尾寛己・鳥海三郎・下村光一郎・風間真理・岡敬一・小野寺典好・阿久津卓・御処野博子：横浜市沿岸域で発生した *Mesodinium rubrum* による赤潮、横浜市環境科学研究所報、28、20-25（2004）
- 3) 古川恵太・中山恵介・水尾寛己：2003年に東京湾に発生した繊毛虫 *Mesodinium rubrum* による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例、沿岸域学会誌、18(4)、67-66（2006）。
- 4) 二宮勝幸・柏木宣久・安藤晴夫・小倉久子：東京湾におけるCODとDOの空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、19（9）、480-490（1996）。
- 5) 安藤晴夫・柏木宣久・二宮勝幸・小倉久子・山崎正夫：東京湾における水質平面濃度分布の変遷と特徴、東京都環境科学研究所年報、97-104（2002）。
- 6) Gordon,H.R.,J. W.Brown,O.B. Brown,R.H. Evans and W.W.Broenkow : phytoplankton pigment Concentration in Middle Atlantic Bight ,Comparison of Ship Determination and Coastal Zone Color Scanner Measurements , *Appl. Optic*, 22(20), 20-36（1983）。
- 7) 宮崎早苗・灘岡和夫：光学理論に基づく海域内複数物質濃度の逆推定法、日本リモートセンシング学会誌、19(2)、20-36（1999）。
- 8) Bukata,R.P.,Jerome,J.H.,Kondratyev, K.Ya.,Pozdnayakov,

D.V.:The Effects of Chlorophyll, Suspended Minerals, And Dissolved Organic Carbon on Volume Relectance, Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters, CRC Press, INC., 135-166（1995）。

- 9) 安岡善文、宮崎忠邦：遠隔計測による湖水域の水質分布計測—回帰分析を用いた大気補正と水質推定—、国立公害研究所研究報告、第39号、129-143（1983）。
- 10) 沖一雄・安岡善文・田村正行：高濃度水域における水質リモートセンシング、日本リモートセンシング学会誌21（5）、449-457（2001）。
- 11) 水尾寛己・岡敬一・富井直哉・安岡善文：リモートセンシングによる東京湾のクロロフィル a 濃度分布の把握、生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」第11回論文集、東京大学生産技術研究所、35-40（2002）。
- 12) Akihiko Tanaka, Motoaki Kishino, Roland Doerffer, Helmut Schiller, Tomohiko Oishi, Tadashi Kubota : Development of a Neural Network Algorithm for Retrieving Concentrations of Chlorophyll, Suspended Matter and Yellow Substance from Radiance Data of the Ocean Color and Temperature Scanner, *Journal of Oceanography*, 60(3), 519-530（2004）。
- 13) 水尾寛己・零石雅美・鶴田治雄・二宮勝幸・多賀保志：東京湾水質データとランドサットデータとの比較、自然環境についての標本調査法の研究、統計数理研究所共同研究レポート、16、21-40（1989）。
- 14) 水尾寛己・鶴田治雄・二宮勝幸・零石雅美・多賀保志・大隈昇・岸野洋久・田口時夫：東京湾の水質観測へのランドサットデータの利用について、横浜市公害研究所報、13、105-112（1989）。
- 15) 水尾寛己・二宮勝幸・零石雅美・安藤晴夫・多賀保志・中村永友：東京湾水質データとランドサットデータとの比較（その2）、自然環境についての標本調査法の研究Ⅱ、統計数理研究所共同研究レポート、23、37-45（1990）。
- 16) 水尾寛己・二宮勝幸・零石雅美・多賀保志・安岡善文：TM データによる東京湾のクロロフィル a 量の観測の検討—中間赤外域における水質情報抽出の可能性—、日本リモートセンシング学会誌、11(3)、135-139（1991）
- 17) 水尾寛己・二宮勝幸・畠中潤一郎・零石雅美・多賀保志・安藤晴夫：リモートセンシングデータによる東京湾水質観測の検討、第25回水質汚濁学会講演集、170-171（1991）。
- 18) 水尾寛己：クロロフィルのリモートセンシング、—環境とリモートセンシング（第1回）—<環境評価手法>テキスト、日本リモートセンシング学会、53-58（1993）。
- 19) 水尾寛己・二宮勝幸・零石雅美・多賀保志：リモートセンシングによる赤潮等の分布推定に関する基礎的検討、東京湾の富栄養化に関する調査報告書、横浜市環境研資料 No. 117、91-100（1995）。
- 20) 水尾寛己・二宮勝幸・前川渡・岡敬一・吉見 洋：リモートセンシングによる水質情報把握のための基礎的検討（1）—ランドサットTMバンド間の関係—、日

- 本リモートセンシング学会第15回学術講演会論文集、119-120 (1993).
- 21) 水尾寛己・二宮勝幸・畠中潤一郎・岡敬一・吉見 洋：TM データによる広域の水質状況の検討—東京湾でのクロロフィル a 及び濁度分布—、横浜市環境科学研究所報、17、149-156 (1993).
- 22) 水尾寛己・二宮勝幸・前川渡・岡敬一・吉見 洋：ランドサットと東京湾水質との関係、第28回日本水環境学会年会講演集、406-407 (1994).
- 23) 水尾寛己・岡敬一・二宮勝幸・前川渡・吉見 洋・大道章一・安岡善文・小倉久子・小川カホル・田中総太郎：ランドサットTMデータによるクロロフィル a 濃度の推定手法、東京湾の富栄養化に関する調査報告書、横浜市環境研資料 No. 117、101-112 (1995).
- 24) 水尾寛己・岡敬一・安岡善文・吉見 洋：第8章大気補正アルゴリズムによるクロロフィル a 濃度の推定、東京湾の富栄養化に関する調査報告書、横浜市環境研資料 No. 117、113-127 (1995).
- 25) 水尾寛己・岡敬一・安岡善文：ランドサットTMデータによる大気補正とクロロフィル a 濃度の推定、日本リモートセンシング学会第20回学術講演会論文集、125-126 (1996).
- 26) 水尾寛己・二宮勝幸・岡敬一・大道章一・沖一雄・安岡善文：クロロフィル a 濃度とマルチスペクトルデータとの比較、日本リモートセンシング学会第22回学術講演会論文集、43-44 (1997).
- 27) 水尾寛己・二宮勝幸・岡敬一・吉見 洋・安岡善文：リモートセンシングによる水質情報把握のための基礎的検討(3)—TMデータによるクロロフィルの推定—、第30回水環境学会年会講演集、315p. (1996).
- 28) 水尾寛己・岡敬一・小倉久子・二宮勝幸・大道章一・飯村晃・安藤晴夫・三嶋義人・安岡善文：人工衛星データによる水質モニタリング—関連自治体による環東京湾プロジェクトの紹介—日本リモートセンシング学会誌、18 (3)、62-66 (1998).
- 29) 水尾寛己・二宮勝幸・小倉久子・飯村晃・岡敬一・大道章一・安岡善文：リモートセンシングによる東京湾の水質分布解析、日本水環境学会年会講演集、187 p. (1999).
- 30) 水尾寛己・河原美沙・杉村俊郎・岡敬一・北原節子：衛星リモートセンシング画像による神奈川県内の湖における水質モニタリング、生態工学会、15 (1)、3-11 (2003).
- 31) 水尾寛己・森山隆・富井直哉・岡敬一・小路光明・向井田明・川人しのぶ：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研究、成果報告書、宇宙開発事業団・横浜市環境科学研究所、89 pp. (2001).
- 32) 水尾寛己・富井直哉・岡敬一・向井田明・川人しのぶ・安岡善文：LANDSAT/TM データによる東京湾のクロロフィル a 推定における大気補正手法、日本リモートセンシング学会第32回学術講演会論文集、45-48 (2002).
- 33) 水尾寛己・富井直哉・岡敬一・向井田明・川人しのぶ・小倉久子・安藤晴夫・安岡善文：LANDSAT/TM データによる東京湾のクロロフィル a 濃度の推定手法、2002年度日本海洋学会春季大会講演要旨集、332p. (2002).
- 34) Hiromi Mizuo, Keiichi Oka, Naoya Tomii, Yoshifumi Yasuoka: The algorithm for estimating the upper water quality of Tokyo bay with LANDSAT/TM data. 第2回北西太平洋地域における海洋環境のリモートセンシングに関する国際ワークショップ報告書<参考資料>、財団法人環日本海環境協力センター、283-291 (2002).
- 35) 水尾寛己・富井直哉・岡敬一・小倉久子・安藤晴夫・向井田明・川人しのぶ・安岡善文：地球観測衛星による東京湾の水質推定、第36回日本水環境学会年会講演集、551p. (2003).
- 36) 青木伸一・谷口智紀：ランドサット画像を用いた内湾のクロロフィル濃度の推定、土木学会、海岸工学論文集、48、1466-1470 (2001).
- 37) Hiromi Mizuo, Yoshifumi Yasuoka, Shin-ichi Aoki, Keiichi Oka, Toshiro Sugimura : Estimation of Chlorophyll-a Concentration with Satellite Remote Sensing, The third International Workshop on Marine Remote Sensing in Northwest Pacific Region, 21p. (2004).
- 38) 水尾寛己・村上 浩・安岡善文：Terra/MODIS 及び Aqua/MODIS から出力したクロロフィル a 推定値についての実測値からの検討、生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」第16回論文集、東京大学生産技術研究所、(2007).

和泉川水系の水循環調査（第一報）

石川孝之、市川治道、井上友博（横浜市環境科学研究所）

Research on water cycle in water system of Izumi River (I)

Takayuki Ishikawa , Harumichi Ichikawa , Tomohiro Inoue
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：地下水、湧水、降雨量、武蔵野礫層、武蔵野ローム

要 旨

「横浜市水と緑の基本計画」の推進施策である水循環の再生を実現するためその基礎調査として、和泉川流域を対象にした水循環調査を平成 19 年度に行った。今回は第一報として河岸段丘上の井戸、斜面地の湧水及び谷戸の小川について、その流量、水質などを報告する。調査の結果、湧水は関東ローム層の宙水に依拠するものと武蔵野礫層を帯水層とするものがあることが判った。また、関東ローム層の宙水に依拠する湧水は降雨量と湧水量のピークに時間的ずれがあることが判明した。

1. はじめに

生態系保全や生活環境改善を目指した環境活動が注目される昨今、それらの基盤の一つである流域の水循環系が重要視されるようになった。流域の地下水水循環を把握するためには様々な調査が行われている。その際、地質構造の把握が必須となるが、地質調査の実施には膨大な費用を要する。そこで、本調査では既存の地質調査資料を活用して大まかな地質構造を把握し、その上で、地下水位や湧水量、水質調査などにより和泉川流域の地下水帯水層である武蔵野礫層の水循環を明らかにする試みを行ったので報告する。

2. 調査地

(1) 地形地質の概要

調査地は、神奈川県横浜市と藤沢市の境を流れる境川の支川である和泉川流域である（図 1）。和泉川は横浜市の瀬谷区を源流に泉区を通過し、戸塚区俣野町付近で境川に合流する延長約 9.42 km の二級河川である。その流域面積は 11.5 km² である。

横浜市瀬谷区から泉区には相模原台地の一部が分布している。その台地には相模川によって形成された武蔵野段丘が南北方向に分布し、武蔵野礫層及び武蔵野ローム層が堆積している。

武蔵野段丘上は平坦で関東ローム層に覆われており、土壌も浸透性が高いため、雨水は地下に浸透し、表面流出はしにくい。

武蔵野礫層は、古相模川の扇状地性の堆積物で、東西 3.5km、南北 14km の平坦な台地を形成し、堆積面の高度は北から南に低くなっている。標高は 20～60m だが最下流の南部では高度が 30m となっている。それは堆積物が褶曲しているためと考えられており、北から南に傾斜す

るものと、東から西に傾斜しているものがある。礫層の層厚は約 6m 以下である。

調査にあたり、既存地質調査資料から和泉川流域の武蔵野礫層（図 2）及び関東ローム層の基底等高線図（図 3）を作成した。和泉川流域中部の相鉄線や弥生台駅周辺の地質調査資料が不足しているため、一部地域で等高線が不連続になっている。

図 2 からは武蔵野礫層は全体として北東から南西に向かって基底面標高が下がっていることが推定できる。

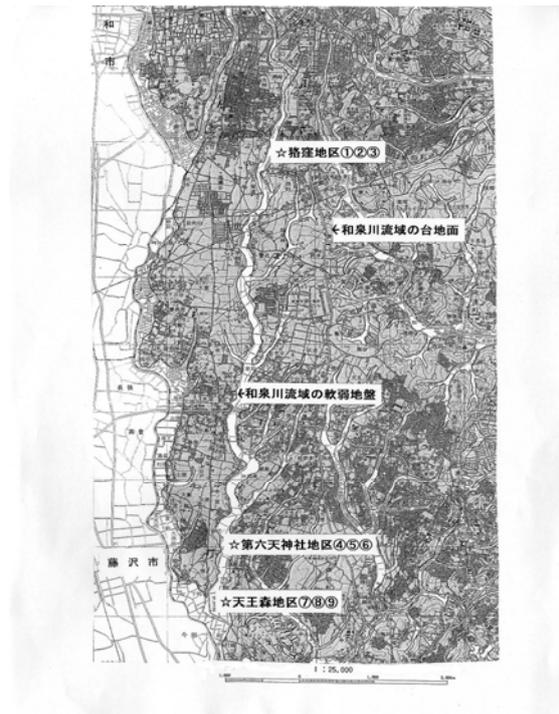


図 1 和泉川流域と調査地点

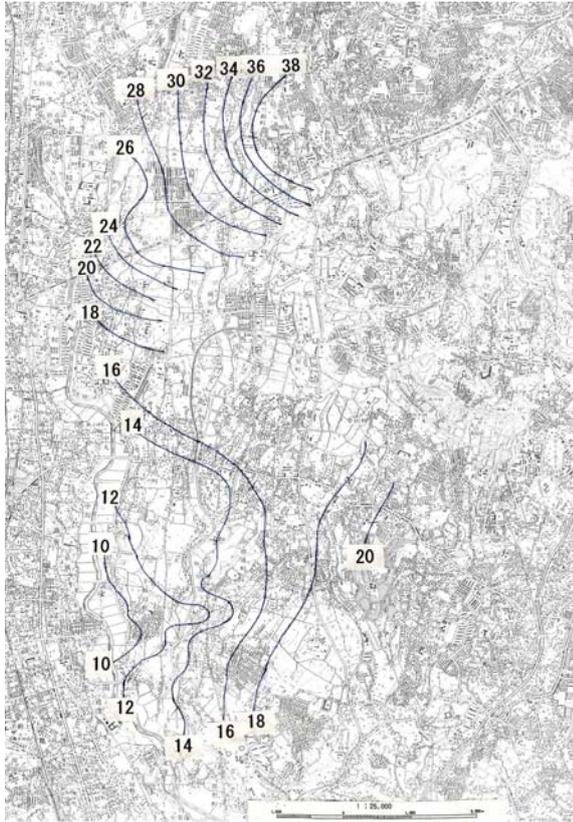


図2 武蔵野礫層基底等高線図

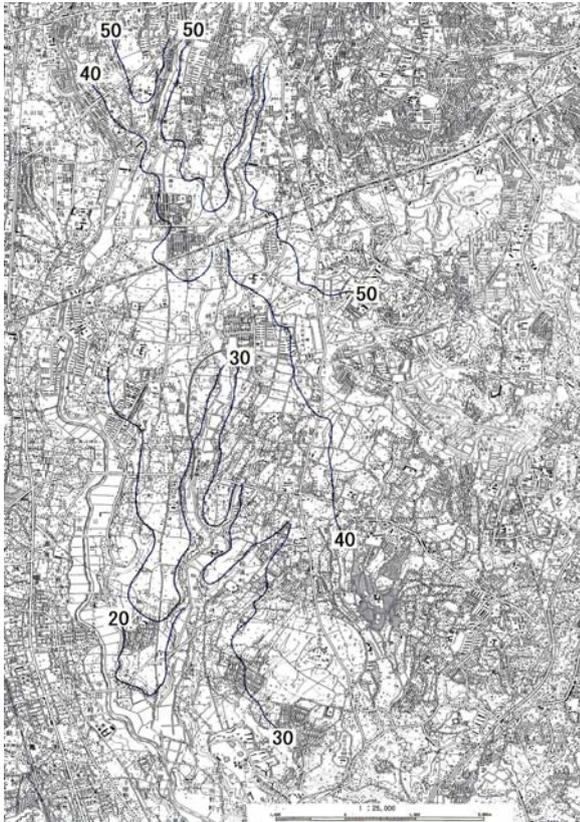


図3 武蔵野ローム層基底等高線図

(2) 調査地点の特徴

和泉川上流部の瀬谷区北部地域は、下流地域に比べ河川浸食が進んでいないため武蔵野礫層を滞水層とする湧水はないと考えられる。本調査では調査地点を中流部の

貉窪地域、下流部の第六天神社地域と天王森地域に設けた。各調査地点の概要は図1と表1に示すとおりである。

表1 調査地点の概要

No	調査地	標高	井戸深	礫層基底標高
①	貉窪井戸	61	6.6	38.4
②	貉窪湧水	53	—	38.4
③	貉窪の沢	48.5	—	38.4
④	第六天井戸	38.1	7.5	16
⑤	酒湧池湧水	30	—	16
⑥	第六天雨水樹	23	—	14.2
⑦	天王森井戸	37.0	14.4	15
⑧	ワサビ田湧水	22	—	14.1
⑨	天王森湧水	17.5	—	14.1

注：標高は T.P.m

調査地点①②③は、瀬谷区阿久和西3丁目の瀬谷貉窪公園付近である。台地上に観測用井戸①、斜面中部の貉窪池の奥に湧水②、谷戸出口に谷戸の水が合流する雨水樹があり、合流した水③はそこから和泉川に流出する。

地質断面図の凡例は以下のとおりである。沖積層は腐植土 Ap、粘性土 Ac、。洪積層は新期ローム層 Lm-1、古期ローム層 Lm-2、粘性土 Dc1、砂礫 Dg1、下部洪積層 D2、上総層群 T。

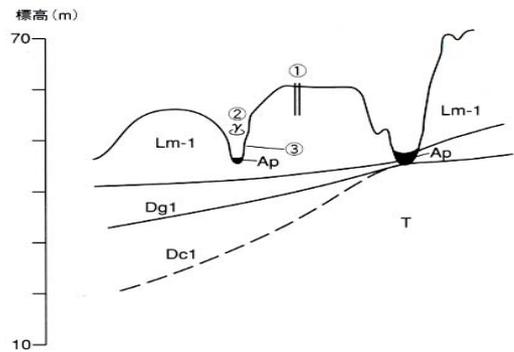


図4 貉窪公園谷戸の断面図

調査地点④⑤⑥は、泉区和泉町の第六天神社付近である。台地上に観測用井戸④、谷戸中部の酒湧池横に湧水⑤、谷戸出口に湧水と沢の水が合流する樹⑥がある。

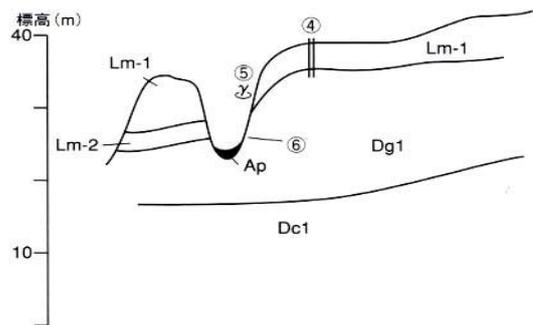


図5 第六天神社付近の断面図

調査地点⑦⑧⑨は、泉区和泉町の天王森泉公園付近である。台地上部に観測用Y井戸⑦、斜面中部のワサビ田上部に湧水⑧、森の林縁部に湧水⑨がある。湧水は谷戸の水と合流して和泉川の支線に流出する。

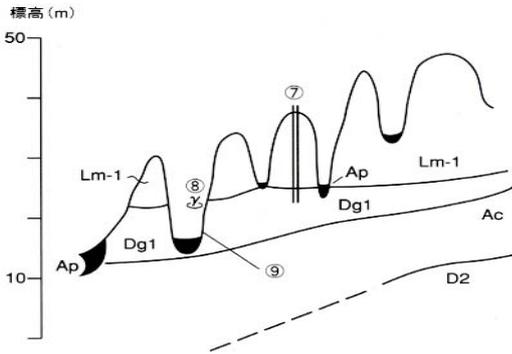


図6 天王森付近の断面図

3. 調査方法

(1) 地下水位及び湧水量の測定方法

井戸の地下水位は携帯型地下水位測定器により地表面から測定した。湧水量は湧水出口から直接柄杓により採水して時間を測定する方法と水路断面と流長を測定し指標物が流れる時間を測定する方法の二通りで行った。測定は概ね二週間に一度の頻度で行った。

(2) 地下水及び湧水の水質測定の方法

地下水の水質は採水器により井戸底付近から採水し、バケツに集めた後にハンディメータ（堀場製作所）により電気伝導度、溶存酸素、水温、pHを測定した。

湧水は滲出口で直接測定する方法と柄杓で採水して測定する方法の二通りで行った。測定項目は、2(1)と同様に電気伝導度、溶存酸素、水温、pHである。

(3) 降雨量の算定方法

降雨量は横浜気象台の2007年8月15日から2008年8月19日までの一日降雨量データを採用した。

4. 結果及び考察

(1) 水温と気温

狛窪地区（図7.1）の井戸水の年間平均水温は16.5度で年間の温度差は4.4度、湧水の年間平均水温は15.0度で年間の温度差は5.7度、沢出口の年間平均水温は13.9度で年間の温度差は13.6度であった。

気温の年間平均は15.4度で年間の温度差は25.2度であった。地下水は2008年4月と7月に井戸底の水位が浅くなり採水出来ないため、水温と水質に欠測値がある。

井戸水の年間平均水温は湧水より1.5度高いが、両者の温度差は1.3度であり小さい。気温変化のグラフで同じ傾向を示しているのは沢出口、井戸の順である。

第六天神社地区（図7.2）の井戸水の年間平均水温は17.2度で年間の温度差は5.4度、湧水の年間平均水温は16.6度で年間の温度差は7.1度、沢出口の年間平均水温は15.4度で年間の温度差は16.7度であった。年間平均気温は20.3度で年間の温度差は28.9度であった。井戸の地下水が涸れることはなかった。湧水は2007年9月と2008年7月に涸れている。沢の水は2007年12月と

2008年2月及び3月に一時涸れている。井戸水の平均水温は湧水より0.6度高いが、湧水の水温と同様に安定している。気温変化のグラフと同じ傾向に沢水である。

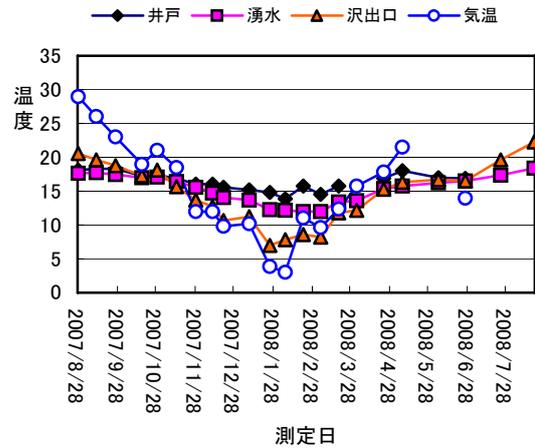


図7.1 狛窪地区の水温と気温

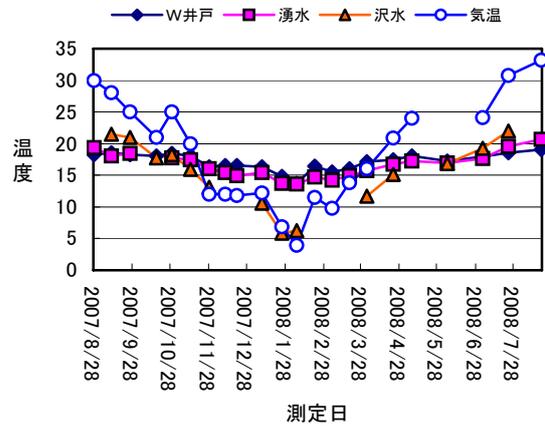


図7.2 第六天神社地区の水温と気温

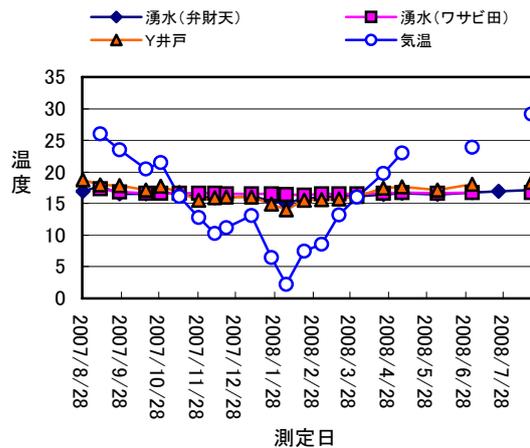


図7.3 天王森地区の水温と気温

天王森地区（図7.3）のY井戸の年間平均水温は16.7度で年間の温度差は4.8度、弁財天湧水の年間平均水温は16.3度で年間の温度差は2.8度、ワサビ田湧水の年間平均水温は16.6度で年間の温度差は1.0度であった。年

間平均気温は16.0度で年間の温度差は27度であった。井戸は2008年7月に欠測があるが、8月の水温が高く2月の水温が低い。ワサビ田湧水は年間を通して安定している。弁財天湧水も安定しているがワサビ田ほどではない。冬場の気温上昇時にワサビ田水温の上昇と僅かな時間的ずれが見られる。

(2) 湧水量と地下水位

猪窪地区（図8.1）の井戸の地表面からの年間平均水位は5.9mで年間水位の差は1.3mであった。湧水の年間平均水量は1.3L/sで最大水量と最小水量の差は3.4L/s、沢出口の年間平均水量は13.6L/sで最大水量と最小水量の差は46.5L/sであった。井戸水位が6mより深くなると湧水量は2L/s未満になり、沢出口の水量も10L/s未満になる。湧水量が多いのは春と秋の季節であった。

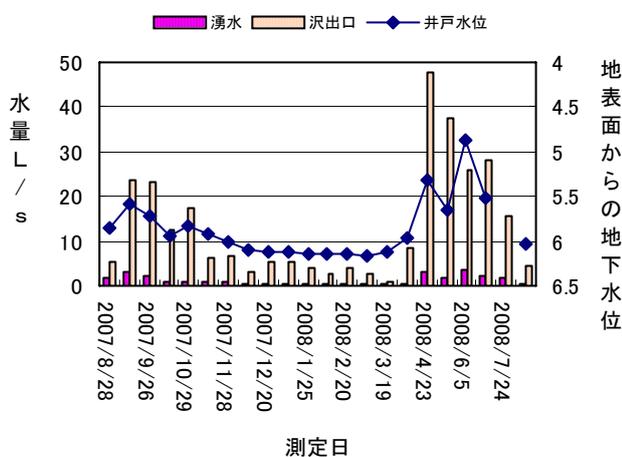


図8.1 猪窪地区の湧水量と地下水位

第六天神社地区（図8.2）の井戸の地表面からの年間平均水位は4.6mで年間水位の差は1.5mであった。湧水の年間平均水量は0.1L/sで最大水量と最小水量の差は0.3L/s、沢出口の年間平均水量は0.1L/sで最大水量と最小水量の差は0.5L/sであった。井戸水位が5mより深くなると湧水量は0.02L/s未満になり、沢の水も涸れていた。湧水量が多いのは春と秋の季節であった。

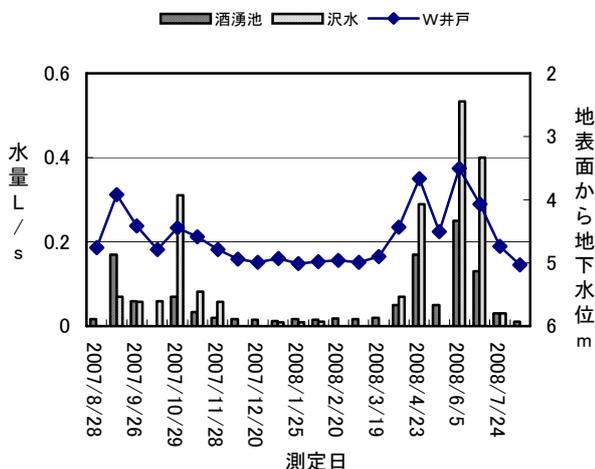


図8.2 第六天神社地区の湧水量と地下水位

天王森地区（図8.3）のY井戸の地表面からの年間平均水位は13.5mで年間水位の差は1.9mであった。弁財天湧水の年間平均水量は1.2L/sで最大水量と最小水量の差は1.8L/s、ワサビ田湧水の年間平均水量は2.6L/sで最大水量と最小水量の差は5.0L/sであった。井戸水位が13.3mより深くなると湧水量は2.0L/s未満になるが、一年を通して二つの湧水は涸れることはなかった。

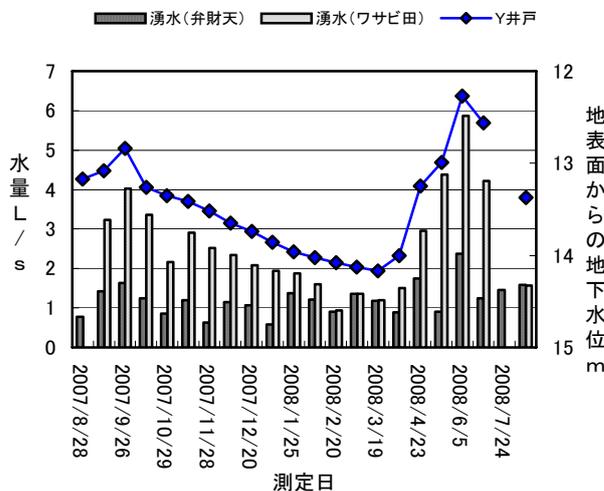


図8.3 天王森地区の湧水量と地下水位

(3) 降雨量と湧水量

観測は概ね二週間に一度行ったので、図9に14日間の降雨量と湧水量の変化を示した。14日間降雨量の年平均値は56mmで、最大は177mmであった。

猪窪の湧水は4月から6月に降雨量の増加と湧水量の増加のピークにずれが見られた。弁財天湧水は年間を通じてピークのずれが認められる。第六天神社は湧水量が少ないので明らかでない。

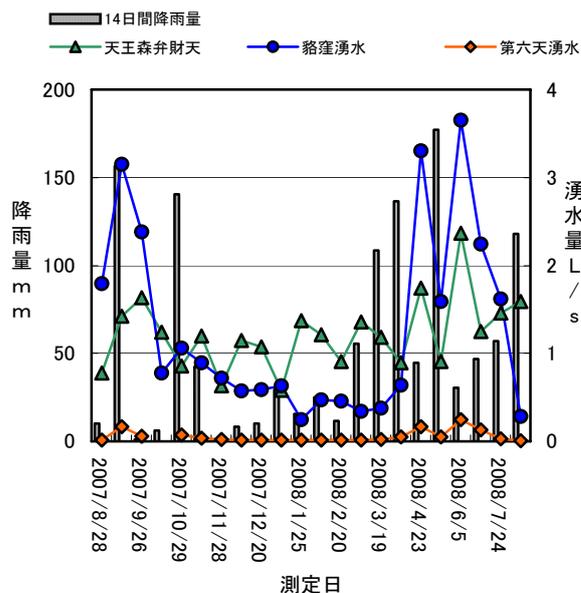


図9 降雨量と湧水量

(4) 14日間降雨量と地下水位

図10は14日間降雨量と地表面からの地下水位の変化を示したものである。猪窪井戸と第六天神社W井戸水位は降雨量の増減と似た傾向を示すが、天王森Y井戸は同じ動きを示さない。猪窪井戸と第六天神社W井戸水位は4月から6月の降雨量の増加時に井戸水位の上昇とずれが見られる。

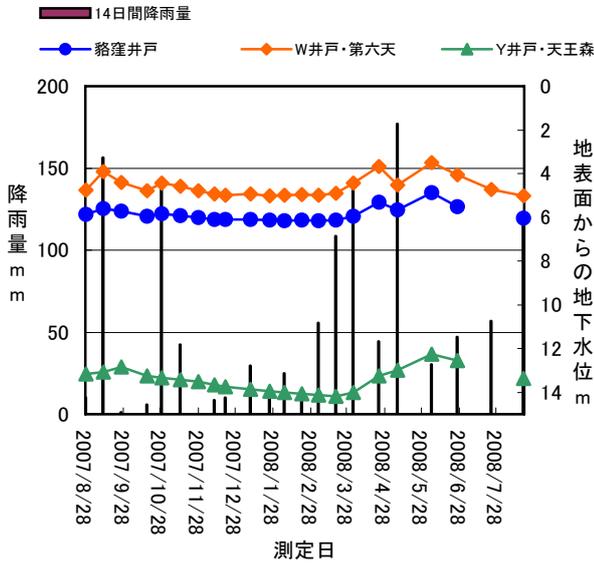


図10 降雨量と地下水位

(5) 水温と水質

深井戸の被圧地下水とは異なり浅井戸の地下水は降雨の影響が大きい。そのため地下水の水質も変動幅が大きくなる。pH、EC、DOの測定結果を一つの図で示すのは無理があるが、調査地の特徴を一目瞭然に理解できる手法としてここでは採用することとした。

図11.1は猪窪井戸の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は18.3、最低水温は13.9度であった。水質はpHが6.1から8.4で平均7.6、DOは3.2から6.2で平均4.9、ECは12.8から36.4で平均26.3であった。

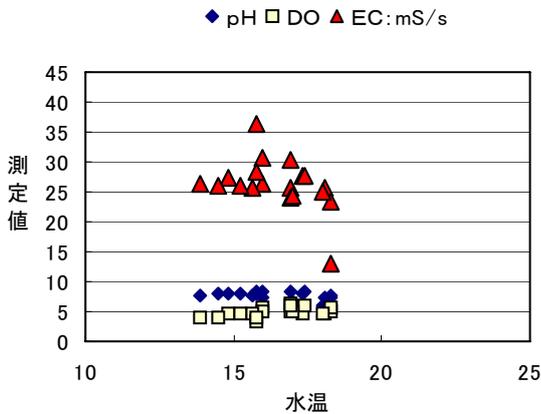


図11.1 猪窪井戸の水温と水質

図11.2は第六天神社W井戸の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は19.1度、最低水温は13.7度であった。水質はpHが6.5から8.5で平均7.5、DOは4.1から10.0で平均6.0、ECは7.1から28.9で平均

21.2であった。

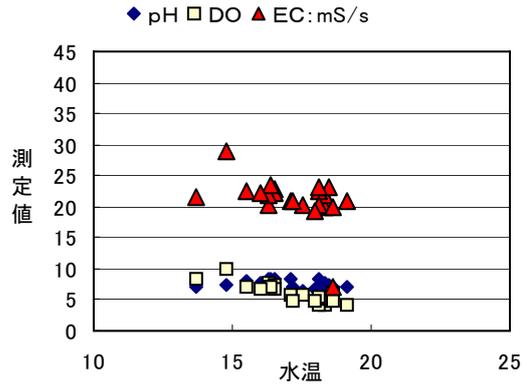


図11.2 第六天神社W井戸の水温と水質

図11.3は天王森Y井戸の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は18.8度、最低水温は14.0度であった。水質はpHが6.7から8.4で平均7.4、DOは6.1から12.3で平均8.6、ECは23.4から44.7で平均31.9であった。

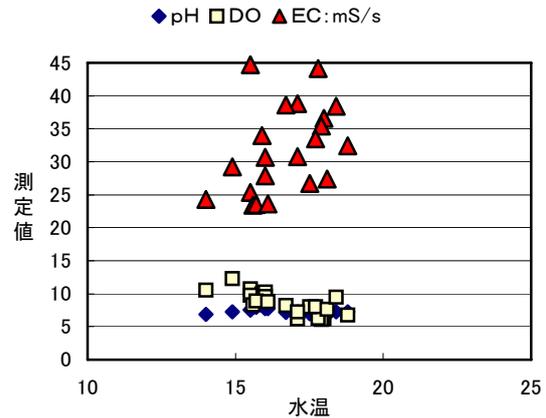


図11.3 天王森Y井戸の水温と水質

図12.1は猪窪湧水の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は18.4度、最低水温は12.0度であった。水質はpHが6.6から8.8で平均7.6、DOは5.4から10.2で平均8.1、ECは24.9から43.0で平均27.1であった。

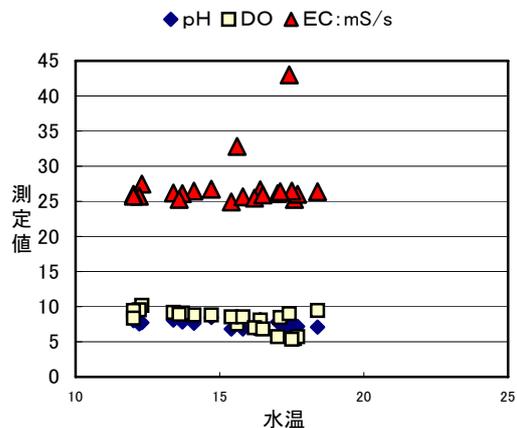


図12.1 猪窪湧水の水温と水質

図 1 2 . 2 は第六天神社湧水の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は 20.7 度、最低水温は 13.6 度であった。水質は pH が 6.4 から 8.6 で平均 7.4、DO は 6.0 から 13.8 で平均 8.5、EC は 21.8 から 40.4 で平均 27.0 であった。

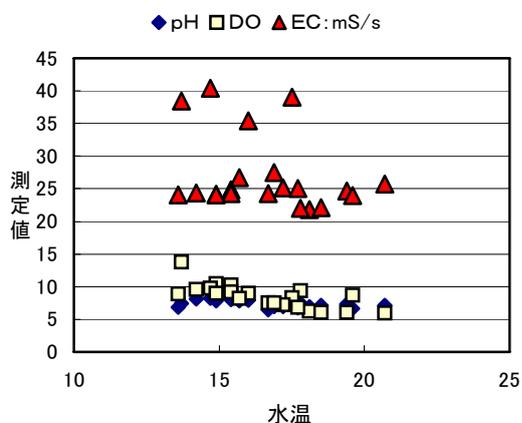


図 1 2 . 2 第六天神社湧水の水温と水質

図 1 2 . 3 は弁財天湧水の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は 17.8 度、最低水温は 15.0 度であった。水質は pH が 6.7 から 8.5 で平均 7.4、DO は 4.1 から 9.0 で平均 6.0、EC は 25.0 から 31.6 で平均 26.0 であった。

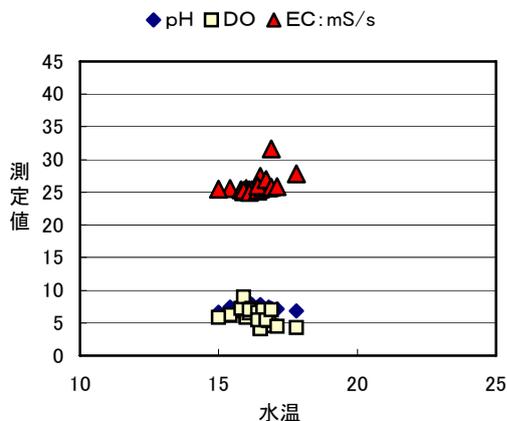


図 1 2 . 3 弁財天湧水の水温と水質

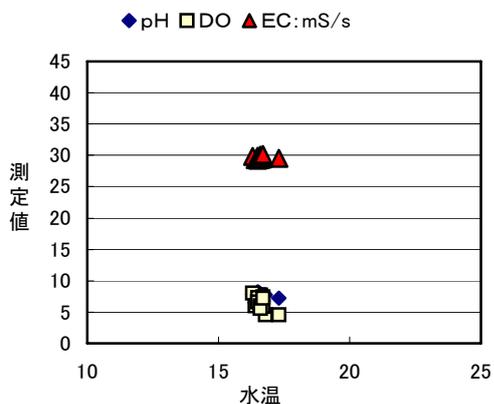


図 1 2 . 4 ワサビ田湧水の水温と水質

図 1 2 . 4 はワサビ田湧水の水温と水質の変化を示したものである。最高水温は 17.3 度、最低水温は 16.3 度であった。水質は pH が 6.6 から 8.2 で平均 7.4、DO は 4.6 から 8.0 で平均 6.6、EC は 29.2 から 30.1 で平均 29.6 であった。

5. まとめ

1991 年の横浜市調査で作成した自由地下水の地下水位等高線図では、北東から南西に向かって地下水位標高の低下が見られた。今回既存地質調査資料により新たに作成した武蔵野礫層基底等高線図でも、武蔵野礫層の基底面が全体的に北東から南西に向かって下がっていることが確認できる。

調査地の区域別に作成した地質断面図からは、以下のことが判った。

- ① 狹窪地区の井戸と湧水は関東ローム層の宙水に依拠し、武蔵野礫層を帯水層とするものでないことが推察される
- ② 第六天神社地区の井戸は武蔵野礫層を帯水層とし、湧水は関東ローム層の宙水に依拠することが推察される
- ③ 天王森地区の井戸と湧水は武蔵野礫層を帯水層とすることが推察される
- ④ 関東ローム層の宙水に依拠すると思われる湧水は降雨量と湧水量のピークに時間的ずれが見られる

和泉川流域の水循環を明らかにするため、今後は地形地質を考慮した調査地点の選定、観測頻度の向上を図った調査計画を立案し、関東ローム層中の地下水流動系を明らかにする必要がある。

参考文献

- 横浜市：横浜市地盤図集、p3-44 (1991)
 横浜市：和泉川環境調査報告書、p2-9 (2006)
 横浜市：境川水系地下水流動流向調査報告書、p139 (1991)
 横浜市総務局災害対策室：横浜市地盤と地震に関する調査報告書、(1984)
 地学団体研究会：湧泉調査の手引き・地学ハンドブックシリーズ 6、p116 (1992)
 横浜市：環境地図情報・地質調査資料 (<http://www.city.yokohama.jp/kankyo/>)、(2008)

温暖化と東京湾の水環境 —水温と水質との関係—

二宮勝幸、水尾寛巳（横浜市環境科学研究所）
 柏木宣久（統計数理研究所）
 安藤晴夫（東京都環境科学研究所）
 小倉久子、飯村晃（千葉県環境研究センター）
 岡敬一（神奈川県環境科学センター）
 吉田謙一、飯島恵（川崎市公害研究所）

Effects of global warming on water environment of Tokyo Bay —relationship between water temperature and water quality—

キーワード：地球温暖化、東京湾、水温、赤潮、貧酸素水塊

Katsuyuki Ninomiya, Hiromi Mizuo (Yokohama Environmental Science Research Institute)
 Nobuhisa Kashiwagi (The Institute of Statistical Mathematics)
 Haruo Andoh (The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection)
 Hisako Ogura, Akira Imura, (Chibaken Kankyo Kenkyu Center)
 Keiichi Oka (Kanagawa Environmental Research Center)
 Kenichi Yoshida, Megumi Iijima (Kawasaki Municipal Research Institute for Environmental Protection)

要 旨

東京湾内 41 地点の公共用水域水質測定結果に統計的手法を適用して作成した表層と底層における季節別の水質濃度分布図をもとに、水温が東京湾における季節毎の水の流動や水質濃度分布におよぼす影響について検討した。その結果、水温は季節的な成層構造の発達と崩壊、赤潮の発生および貧酸素水塊の形成等に大きく影響していることが明らかとなった。これらのことから、地球温暖化や都市廃熱などにより海面水温が経年的に上昇すると、20°C程度を増殖の最適温度とする赤潮の発生時期が早まると考えられた。また、年間を通して成層構造を形成する期間が長くなると推察されることから、CODの年間値を押し上げ、また、貧酸素水塊が長期間にわたり留まることなどが懸念された。

1. はじめに

地球温暖化や都市廃熱による環境への影響が様々な分野で指摘されており¹⁾、東京湾においても水質や生物などへの影響が懸念される²⁾。

東京湾のような閉鎖性水域は、異なる温度特性をもつ河川水と外洋水が流入し混合する場であり、水温や塩分などの分布は基本的に河口の位置や海底地形などによって規定され、また、日射や風などにより変化していると考えられる。

一方、温暖化等による水温の上昇傾向は水温の季節変化に比べて小さいことから³⁾、温暖化等による水質への影響を調べる前に、水温の季節変化にともなう水質への影響について検討しておくことは重要である。

著者らは、既に東京湾の水質濃度分布の季節別特徴を明らかにしたが^{4, 5, 6)}、ここでは、あらためて水温の視点から東京湾における水の流れを概観するとともに、水温が赤潮の発生や貧酸素水塊の形成などにおよぼす影響について検討した。

2. 解析方法

2-1 解析資料

次の東京湾の公共用水域水質測定結果^{7, 8, 9)}をデータベース化し解析に用いた。なお、対象期間については欠測値等を考慮して決定した。

期 間：1985年4月～1995年3月の毎月のデータ
 (120回分の調査結果)

地 点：東京都7地点、神奈川県15地点、千葉県19地点
 の計41地点 (図1)

測定水深：表層は海面下0.5mの位置、

底層は海底上1mの位置
 (ただし、深度が50m以上の場合の測定水深は50mである。)

項 目：水温、塩分、COD (化学的酸素要求量)、
 DO (溶存酸素)

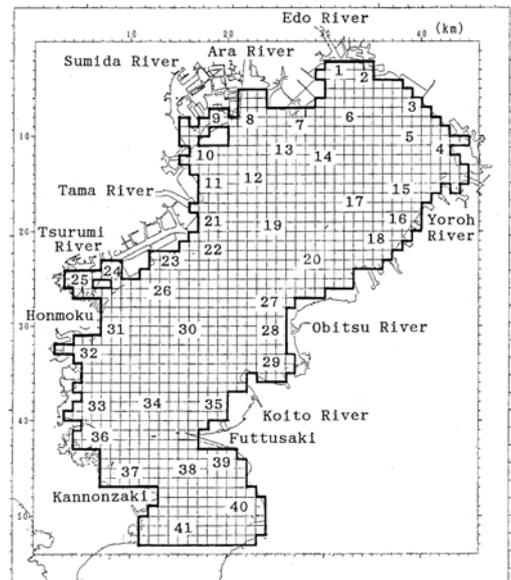


図1 測定地点

2-2 統計処理方法

各地点・各項目の時系列データは、統計的には、傾向変動成分、季節変動成分、および測定条件のばらつきに応じて一時的に変動する不規則変動成分からなるとみなすことができる。したがって、データから情報をより的確に抽出するためには、季節変動と傾向変動を分離して推定し、同時に不規則変動を除去すればよい。具体的には、まず、地点毎・項目毎にベイズ型季節調整¹⁰⁾という時系列解析手法により不規則変動成分を除去し、各月の平均的な推定値を求めた。次に、各月の推定値から離散薄板補間¹¹⁾により東京湾の水質濃度分布を作成した。

3. 結果と考察

3-1 塩分と水温の時系列

密度偏差によって駆動される季節毎の水の流れや鉛直対流の程度を知るためには、塩分と水温の季節変化を把握しておくことは重要と考えられる。東京湾のほぼ中央部に位置する地点(St. 30, 水深約30m)を例として、その表層と底層における塩分と水温の時系列(1987年度の毎月の推定値)を図2に示した。

3-1-1 塩分

夏期の塩分は底層に比べて表層がかなり低いことから、成層構造がよく発達していることが推察される。しかし、冬期には鉛直対流により表層と底層の塩分差はほとんどなくなった。ここで、冬期における底層塩分の約33psuを河川水と外洋水が完全混合した塩分、そして成層構造が最も発達した夏期における底層塩分約34psuを湾内に流入する外洋水の塩分、さらに河川水の塩分を0~1psuと仮定すると、河川水と外洋水の完全混合の塩分と外洋水の塩分の比率は約33/34となる。言い換えると、St. 30における冬期の河川水と外洋水の混合割合はほぼ3:97となることから、冬期の東京湾の水温は外洋水に大きく影響されていると推察される。

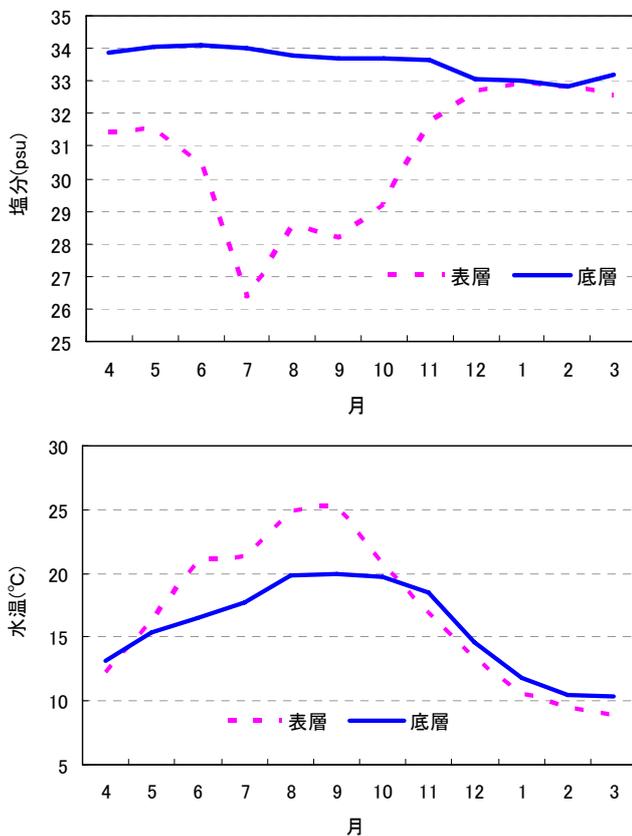


図2 塩分と水温の推定値の時系列 (St. 30の1987年度)

3-1-2 水温

水温は夏期に表層が底層よりも5°C程度高いことから、夏期は成層構造がよく発達していることが示唆された。しかし、表層と底層の水温差は10月過ぎには逆転し、11月以降は底層が表層より約1°C高くなった。冬期は表層に比べて底層が相対的に水温の高い外洋水¹²⁾の影響を強く受けているためと考えられる。

3-2 塩分分布の季節別特徴

図3に表層の塩分分布、図4に底層の塩分分布を示した。

3-2-1 表層の塩分分布

表層塩分については、4月に湾奥から西岸沿いに低塩分の水域が認められ、それから徐々に水域が拡大し8月、9月に最も広がった。特に、荒川河口のほか鶴見川河口などで塩分が低かった。10月以降、低塩分域は縮小し、1月、2月になると塩分はほぼ湾全域で30psu以上の値を示すとともに、湾奥と外洋との塩分差は縮小した。

このように夏期に成層構造が発達していることが示唆された。また、東京湾の人工衛星画像(図5:台風が通過して2日後の画像)によると、東京湾に流入する代表的な河川である荒川や多摩川などからの濁水が湾奥から西岸沿いに流れているのが認められるが、それは塩分分布とほぼ一致した。

3-2-2 底層の塩分分布

底層の塩分分布(図4)は、いずれの季節も表層の塩分分布とは異なるパターンを示した。底層の塩分分布の特徴は、高塩分域が湾口部から多摩川河口の沖合付近までの西岸沿いに存在していること、そして、そこから沿岸に向かって低塩分となっていることである。

底層における塩分分布は海底地形に大きく影響されると考えられる。海底地形¹³⁾については、観音崎の沖が最も深く70m程度あり、そこから西岸沿いに深い溪谷が多摩川の沖合まで達している。そして、深い溪谷から沿岸に向かって浅くなり、湾奥から東岸側では10m~20m程度の比較的浅い水域が広がっている。したがって、高塩分域が西岸沿いにある原因は、密度循環流すなわち低塩分の軽い水は表層を通して沖へ流れるが、それを補償するため高塩分の重い外洋水は底層から陸に向かうことによって説明ができる。また、高塩分域から沿岸に向かって低塩分となっているのは、底層水は水深が浅いほど低塩分の表層水の影響を受けやすいため、その結果、塩分の等濃度線と等深線がほぼ平行になったと考えられる。冬期でも同じような傾向は認められるが、夏期ほど明確ではないのは、鉛直対流が盛んで、その影響が底層にまでおよんでいるためと考えられた。

3-3 水温分布の季節別特徴

図6に表層の水温分布を、図7に底層の水温分布を示した。

3-3-1 表層の水温分布

表層水温は2月が最も低くほぼ湾全域で10°C以下となり、それから上昇し、6月には湾奥部から湾中央部にかけて植物プランクトンの増殖に最適な20°Cを超えた¹⁴⁾。8月、9月になると水温はほぼ湾全域で24°C以上を示し、それ以降は低下していった。水温の分布状況は夏期と冬期とで異なるが、その理由は後述する。

3-3-2 底層の水温分布

底層水温は表層水温とほぼ同様な季節変化を示すが、最高水温は9月に20°C前後の値を示し、その月の表層水温に比べて4°C程度低かった。また、夏期における底層の水温分布は表層のそれとは異なり、湾奥部や沿岸部で水温が高くまた等温線が込んでいた。これは、深い水域よりも浅い水域が大気の影響をより強く受けるので、等温線は等深線に平行な分布を示したと推察される¹²⁾。

3-3-3 8月と2月の水温分布

図6と図7では年間を通した季節分布を把握するため水温間隔を2°Cとしたが、水域毎の水温分布の違いをより詳細に検

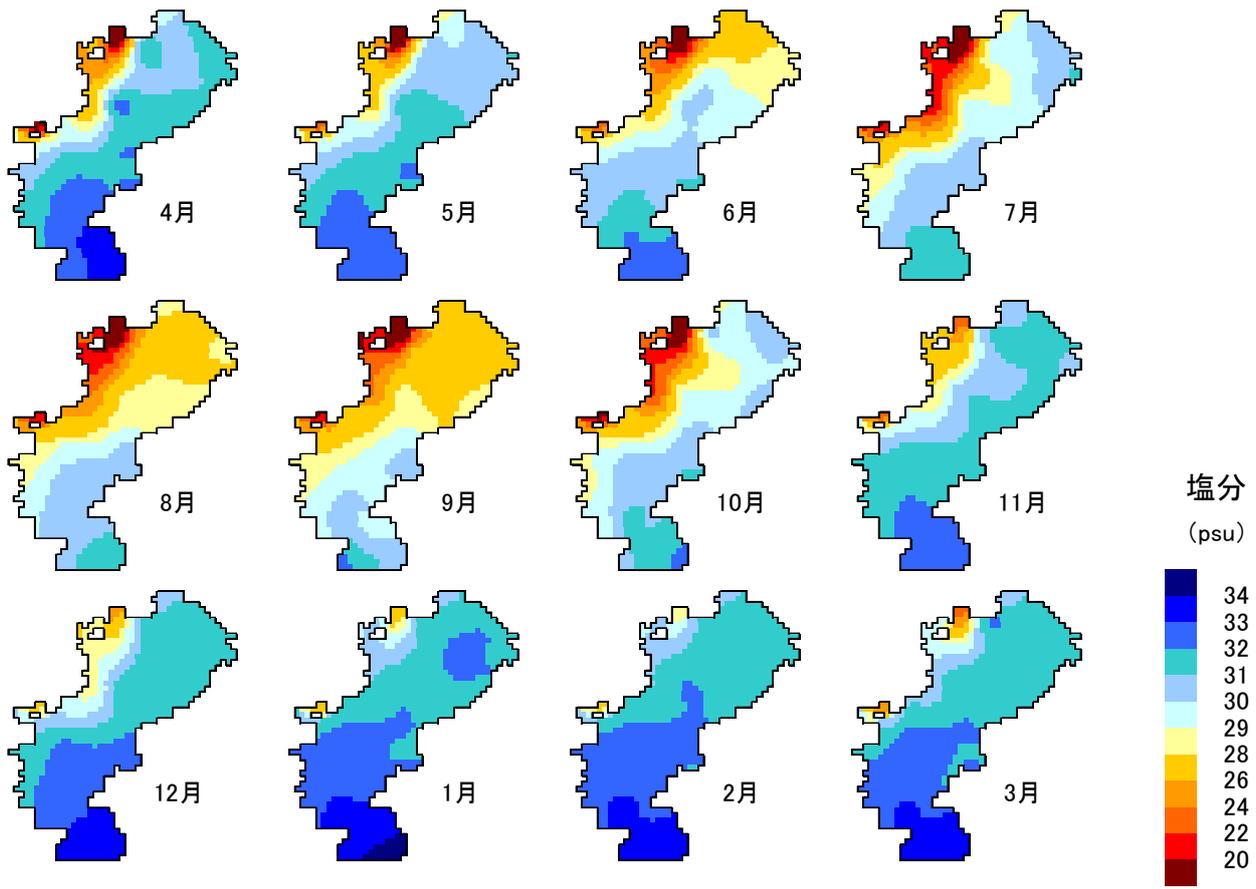


図3 表層塩分の季節分布

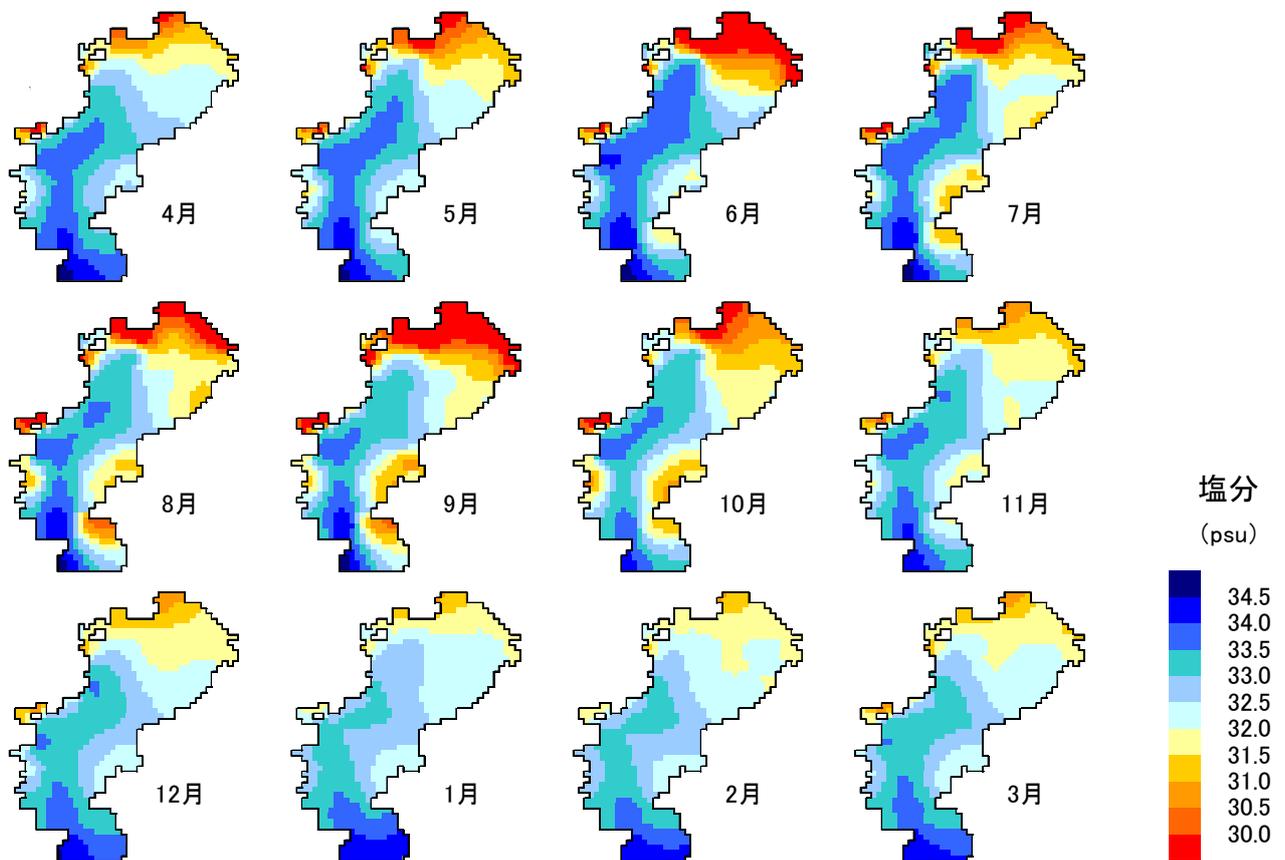


図4 底層塩分の季節分布

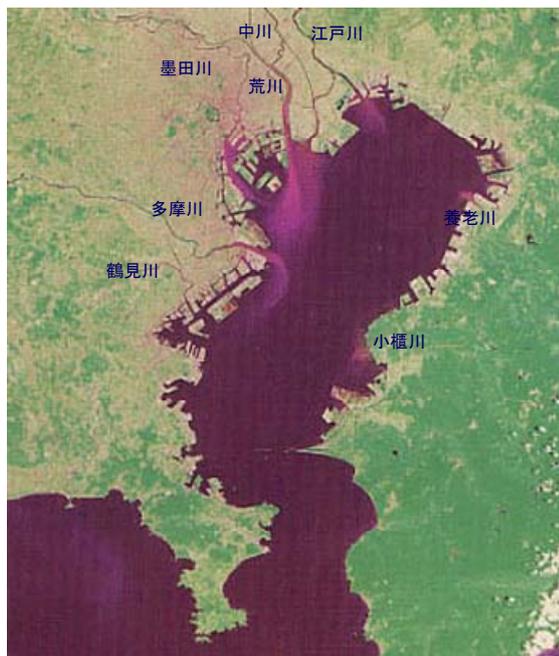


図5 東京湾の人工衛星画像(1986年8月6日)

討するため、図8に水温間隔を0.5度とした表層と底層における8月と2月の水温分布を示した。

(1) 表層の水温分布

8月の表層水温は湾奥部から西岸沿いに高く、湾口部から東岸側までは低くなる傾向が認められた。特に、湾奥の一部水域や鶴見川河口などで水温は比較的高い値を示した。2月は、8月とは逆に湾奥部に比べて湾口部が高温となり、また、2月の湾口部において等温線が密になった。

8月の表層水温が西岸側で高く東岸側で低い理由として、湾奥部では水温の比較的高い河川水の影響が大きい、湾口部では河川水に比べて低水温の外洋水が東岸側から湾内に流入してきたためと推察される。また、2月の湾口部では内湾と外湾の温度の異なる海水がぶつかり、熱塩フロント¹²⁾が形成されているため等温線が密になったと考えられる。

(2) 底層の水温分布

8月の底層の水温分布から、低温の外洋水が湾口の西岸側から流入し、多摩川河口沖合い付近の比較的大い水域まで達していた。このことから、夏期の東京湾では密度循環流がかなり強化されているものと推察される。2月は8月とは逆に高温の外洋水が湾口部から多摩川河口の沖合いにまで達しており、湾口部と最も水温の低い江戸川河口とは約5℃の差があった。このように、外洋水は夏期に冷源、そして冬期には熱源となって東京湾の水温に大きく影響を及ぼしていることが示唆された¹⁵⁾。

(3) 表層と底層の水温差の分布

表層と底層とで水温分布が異なることから、それらの水温差について検討した(図9)。水温差は4月に深度の大きい西岸沿いで0℃以下、すなわち表層よりも底層が高かったが、5月には湾全域で0℃以上と表層が高くなり、6月には湾奥部で+4℃前後まで高まった。水温差は8月に最大となり、多摩川河口の沖合いの比較的大い水域で+6℃以上を示した。9月以降、水温差は減少していき、10月にはほぼ0℃をやや上回る程度となった。その後、11月に水温差はほぼ湾全域で0℃以下となり、12月から3月にかけては多摩川河口の沖合い水域で-2℃以下の状態が続いた。

このように、表層と底層の水温差は夏期と冬期とも多摩川河口の沖合い水域が最も大きく、夏期に+6℃以上、そして、冬期には-2℃以下となった。この理由として、図8から推察さ

れるように、その水域への外洋水の侵入による影響が大きいと考えられた。

3-4 密度の時系列と季節分布

成層構造の発達と崩壊は厳密には密度によって規定される。そこで、図10に表層と底層における密度の時系列(St. 30における1987年度の推定値)を、図11に底層と表層の密度差の季節分布を示した。なお、密度 ρ は水温と塩分と圧力によって決まるが、沿岸海域は比較的水深が浅く圧力変化が小さいので、1気圧における水温と塩分を関数とする海水の状態方程式から求めた。また、密度 ρ を直接表すと桁数が多くなって煩わしいので、ここでは次式で定義される σ_t (シグマテー)で表した¹⁶⁾。

$$\sigma_t = 1000 \times \rho - 1000$$

3-4-1 密度の時系列

図10から、表層と底層の密度差は4月に約2であるが、それから徐々に大きくなり、8月、9月には最大の約5になった。その後、密度差は減少し、11月に約1、そして、12月にはほとんど0となり、3月まで続いた。このように、4月から10月頃までは密度差は大きく、成層構造が発達しているが、11月頃を境にして密度差はなくなり、成層構造が崩壊しやすくなっていると推察される。

3-4-2 密度差の季節分布

底層と表層の密度差の季節分布(図11)によると、密度差は4月から11月、12月にかけて湾奥部から西岸沿いで5以上の値を示したが、湾奥東部から東岸側までは1以下であった。

前述したように、西岸沿いの表層は高温低塩分の河川水の流れの場であり、底層では低温高塩分の外洋水が侵入しているため、密度差が大きくなり成層構造が発達していると推察される。湾奥東部から東岸側までの水域では成層構造が未発達であり、なかでも青潮の発生域である北東部沿岸¹²⁾は北東風による底層水の湧昇が起こりやすい場になっていると考えられる。

一方、1月から3月までは、荒川河口や鶴見川河口で密度差は2~3程度と比較的高いが、それ以外のほぼ湾全域で1以下の値を示し、湾奥の一部水域では0以下であった。この期間は荒川河口や鶴見川河口を除いて鉛直対流が起こりやすい状況になっていると考えられる。これらの年間を通した密度差の分布は表層の塩分分布と類似していることから、塩分が密度を規定する大きな因子となっていることが示唆された。ただし、ここで示した密度差の分布は毎月の平均的な傾向を表したものである。実際には、ひと月のなかでも気温や風などの気象変化、例えば、気温の低下する夜間や北風が強まる時には表層水温はさらに低下し、その密度が大きくなることが予想され、成層構造が崩壊し鉛直対流が発生している可能性があることに留意する必要がある。

3-5 CODの季節分布

東京湾では、CODの環境基準超過が問題となっていることから、表層CODの季節分布について検討した(図12)。

CODは4月から10月にかけて湾奥部から西岸沿いに高い傾向を示し、なかでも6月は他の月よりも高く、湾奥部から横浜港までの水域で6mg/l以上の値を示した。これは、図11に示した成層構造の発達程度によく対応していた。したがって、表層水温が経年的に高まれば、成層化している期間が長くなり、年間のCOD値を上昇させる可能性が考えられる。ただし、東京湾に流入する外洋水の量が長期的に増加するため、水温は夏期に下降傾向として冬期に上昇傾向を示す可能性が指摘されていることから¹⁵⁾、今後はそのことを考慮に入れて水温とCODとの関連を注意して監視していく必要がある。

3-6 クロロフィルaと水温との関係

赤潮の発生に作用する因子のなかでも、水温の影響は大きいことから¹⁷⁾、水温と植物プランクトン量の指標であるクロロフィルaの関係を図13に示した¹⁴⁾。なお、クロロフィルa

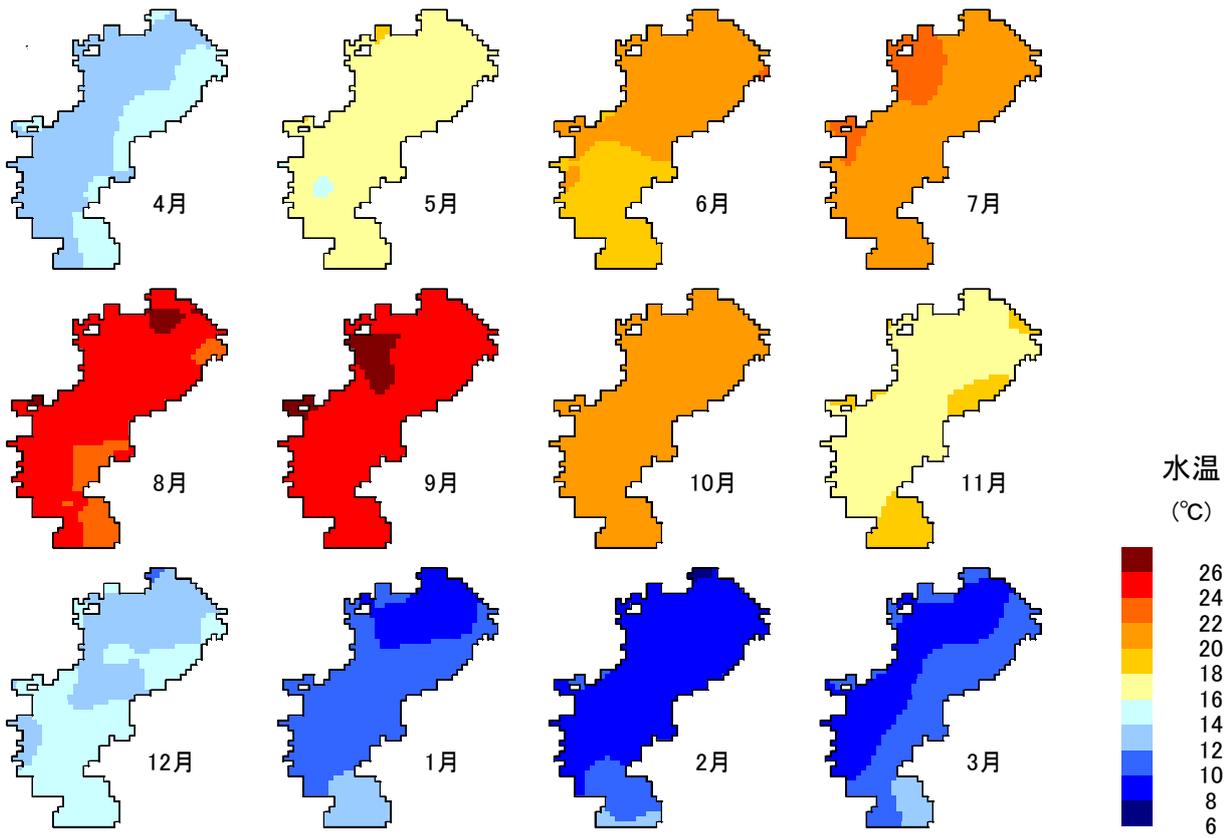


図6 表層水温の季節分布

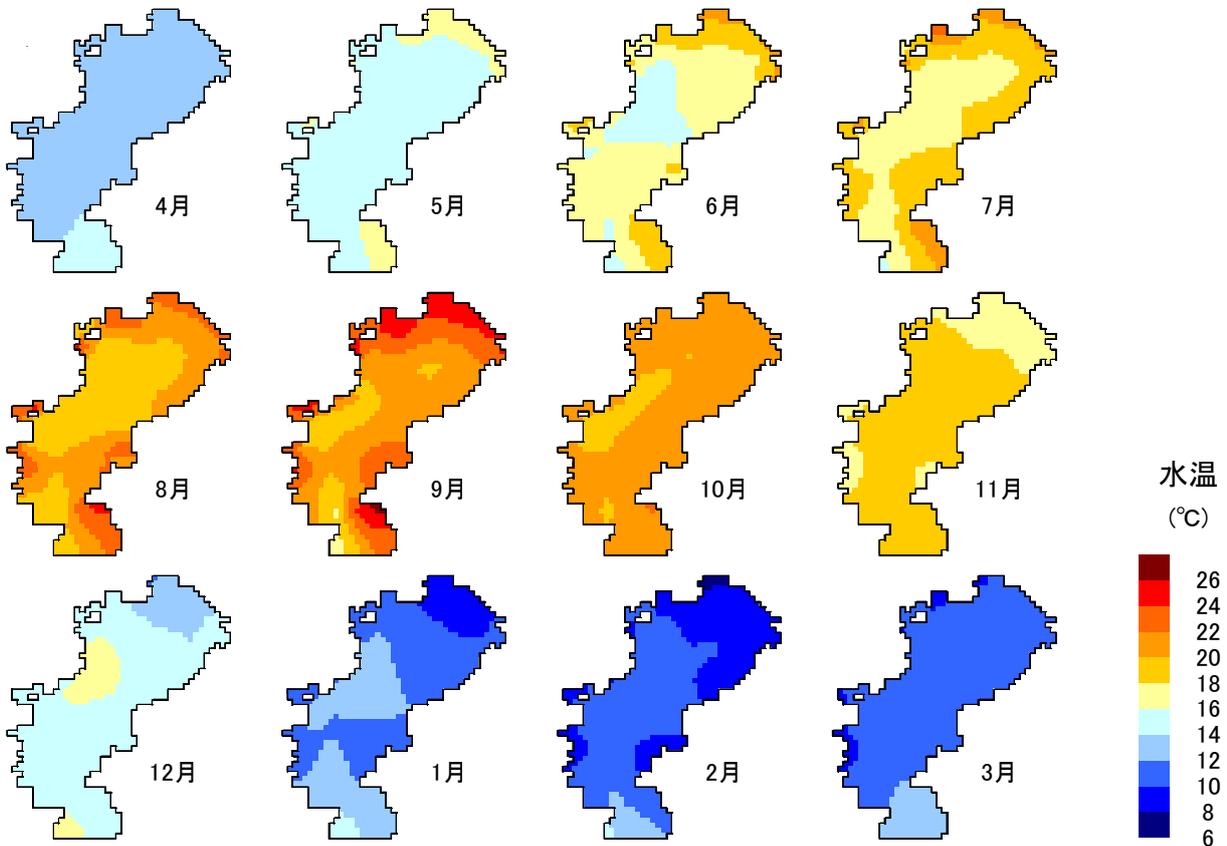


図7 底層水温の季節分布

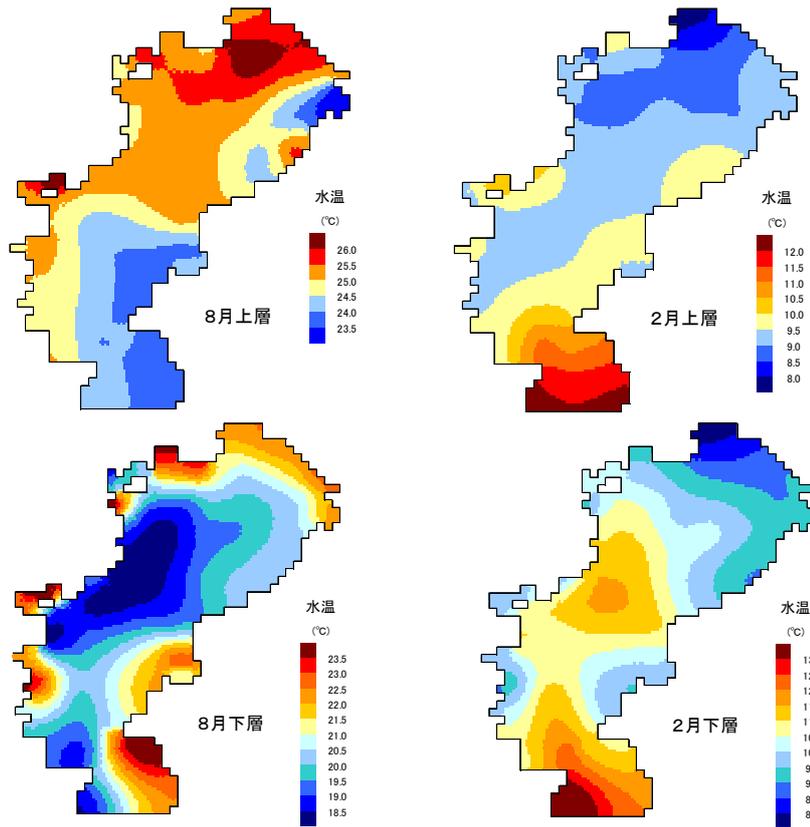


図8 表層と底層における水温の8月と2月の分布

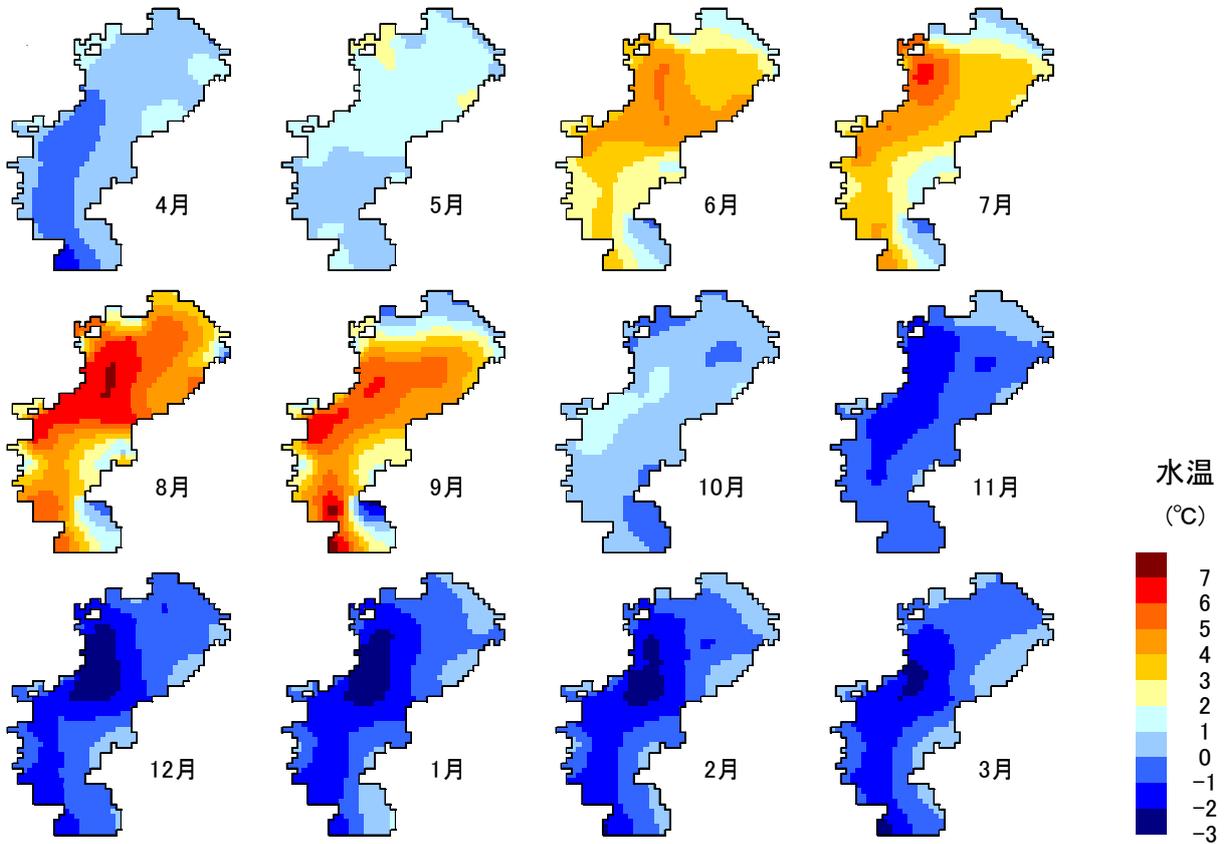


図9 表層と底層の水温差の季節分布

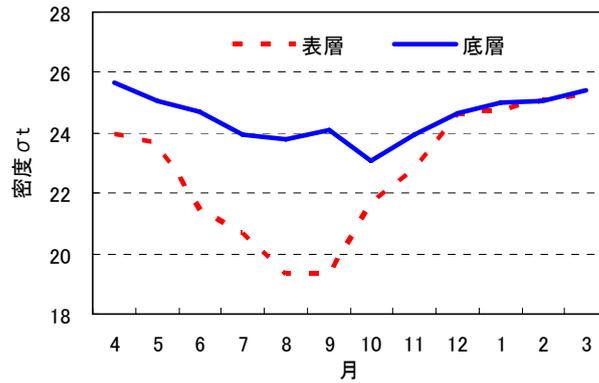


図10 密度 σ_t の推定値の時系列(St. 30の1987年度)

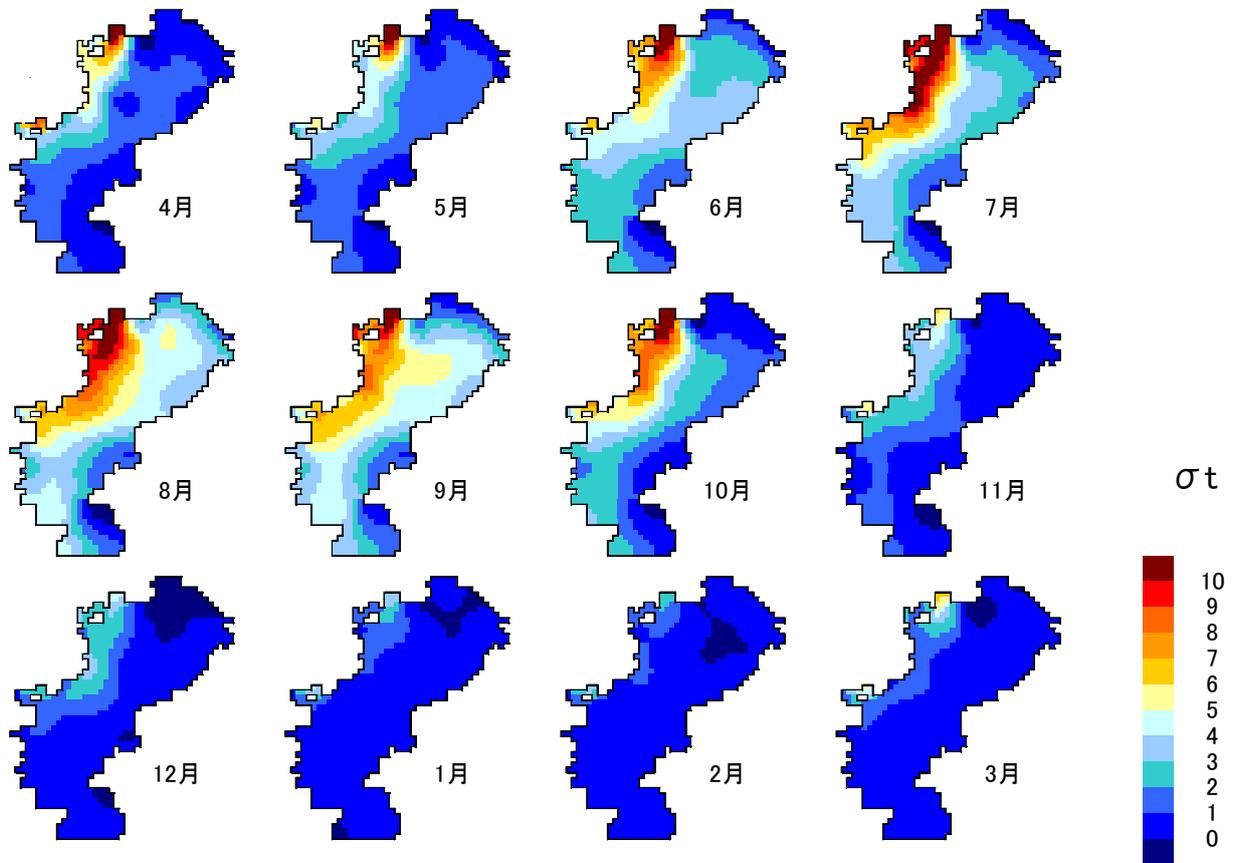


図11 底層と表層の密度 σ_t 差の季節分布

が $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以上のものを赤潮と定義されている。

クロロフィルaと水温の相関係数は -0.2 となり、両者に相関は認められなかった。しかし、クロロフィルaが $200 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以上の値を示す赤潮は $20^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ の狭い温度範囲に集中していた。なかでも $500 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以上の値を示す特異的な赤潮は計5回あり、それらの発生時期はいずれも6月であった。これまでの検討結果を含めて考察すると、6月は成層構造が発達し東京湾表層には栄養塩の豊富な河川水が存在するとともに、植物プランクトンの増殖の最適温度である 20°C 程度まで上昇するため、植物プランクトンが異常増殖しCODが高まったと考えられる。

3-7 DOの季節分布

ここでは、水生生物の生息にとって重要な因子であるDOの季節変化と水温との関係について検討した。図14に表層DOの季節分布、図15に底層DOの季節分布を示した。

3-7-1 表層DO

表層DOは4月に湾奥部から西岸にかけて $9 \text{ mg}/\text{l}$ 以上を示しており、同様な傾向が7月まで続いた。それ以降、DOは徐々に低下していくが、1月頃から再び上昇し始めて、2月には湾奥部で $10 \text{ mg}/\text{l}$ を超えた。

6月の湾奥部において、DOが最高で約 $13 \text{ mg}/\text{l}$ の高濃度域が出現しているが、これは、CODの節で述べたように赤潮の発生によるもので、そこでは光合成が盛んに行われていたためと考えられる。飽和DO量は水温と塩分によって規定されるが¹⁸⁾、その水域のデータから計算すると飽和DO量は約 $8 \text{ mg}/\text{l}$ となり、それよりも $5 \text{ mg}/\text{l}$ ほど過飽和であった。一方、2月にDO濃度が高まったのは、水温の低下に伴う飽和DO量の増加によって説明できた。

3-7-2 底層DO

底層DOは湾奥部において4月頃から毎月ほぼ $1 \text{ mg}/\text{l}$

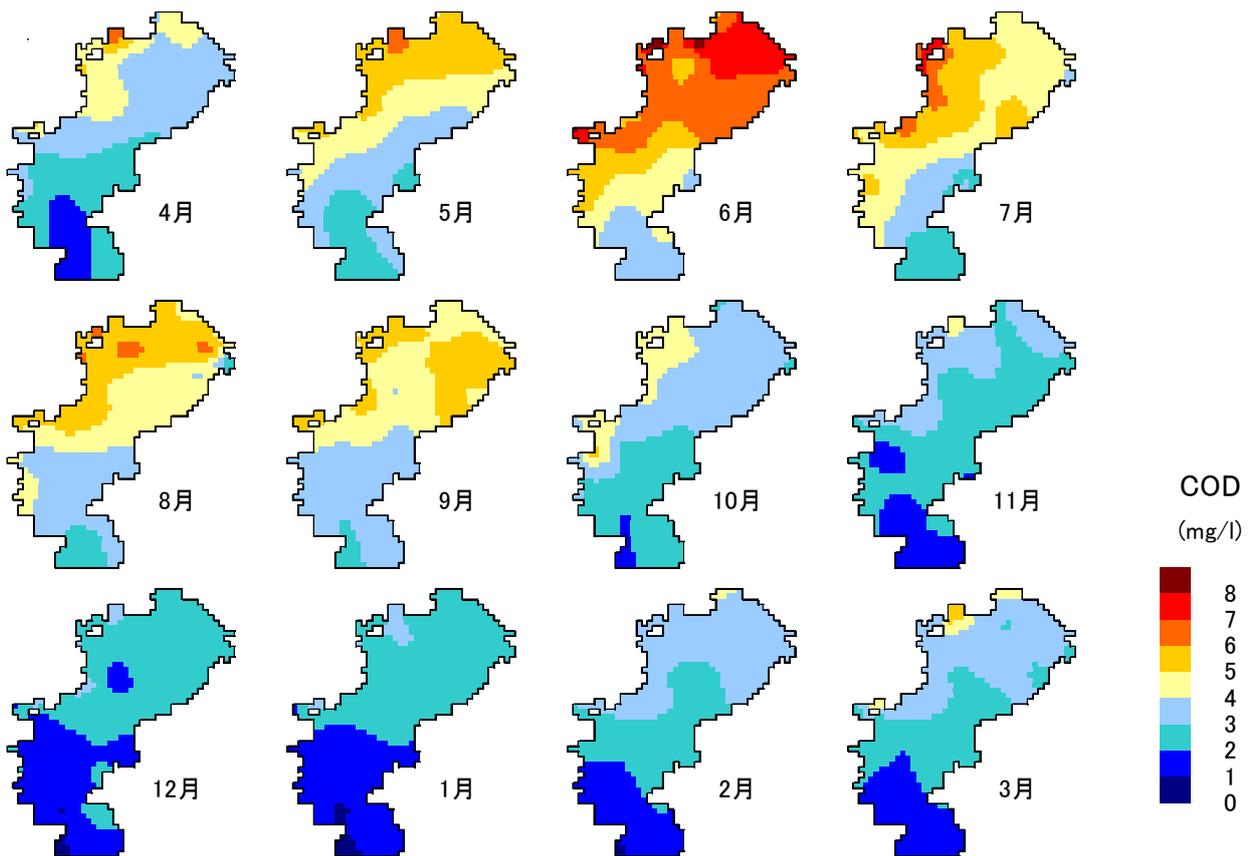


図12 表層CODの季節分布

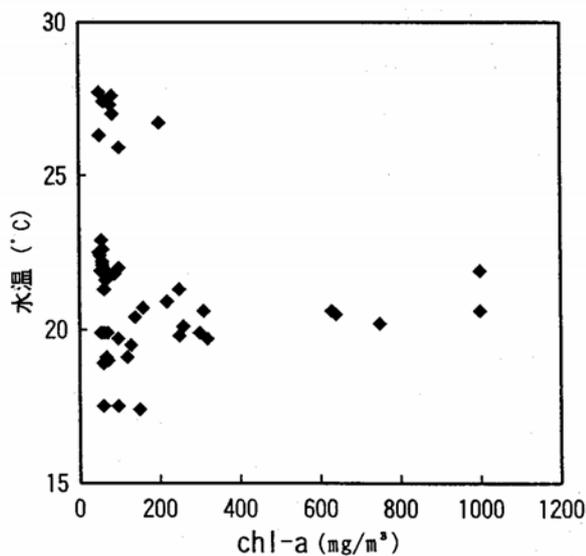


図13 クロロフィルa (>50 mg/m³)と水温の関係¹⁴⁾

程度の割合で低下していき、6月には3 mg/l以下の水域が現れた。9月になるとDOは最も低くなり、2 mg/l以下の貧酸素水塊が湾奥部のほとんどを占めた。その水域の飽和DO量は約7 mg/lであり、それよりも5 mg/l以上低かった。10月からDOは増加し、2月になるとほぼ湾全域で8 mg/lを超えた。

4月以降のDOの低下傾向は、図7に示した底層水温の上昇傾向とよく対応していることから、水温が貧酸素水塊の形成に大きく影響していることが示唆された。また、表

層から底層への植物プランクトン由来の有機物の供給¹⁷⁾なども貧酸素水塊の形成に寄与していると考えられるので、栄養塩類を含めて検討していく必要がある¹⁹⁾。

4. まとめ

東京湾の公共用水域水質測定結果に統計的手法を適用して作成した水質の時系列および季節別濃度分布をもとに、水温がおよぼす水質への影響について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 水温は季節的な成層構造の発達と崩壊、赤潮の発生および貧酸素水塊の形成等に大きく影響している。
- 2) 海面水温が経年的に上昇すると、季節的な赤潮の発生時期が早まると考えられる。
- 3) 年間を通して成層構造の安定期が長くなると推察されることから、COD濃度の高い期間が長くなりCODの年間値を押し上げること、貧酸素水塊が長期間にわたり留まることなどが懸念される。

謝辞

公共用水域水質測定結果を利用するにあたり、東京都環境局・神奈川県環境農政部・横浜市環境創造局・千葉県環境生活部の協力を得ました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 環境省：
<http://www.env.go.jp/earth/cop3/ondan/ondan.html>
- 2) 環境省：
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rc_eff-adp/report/part2chpt3.pdf
- 3) 気象庁：

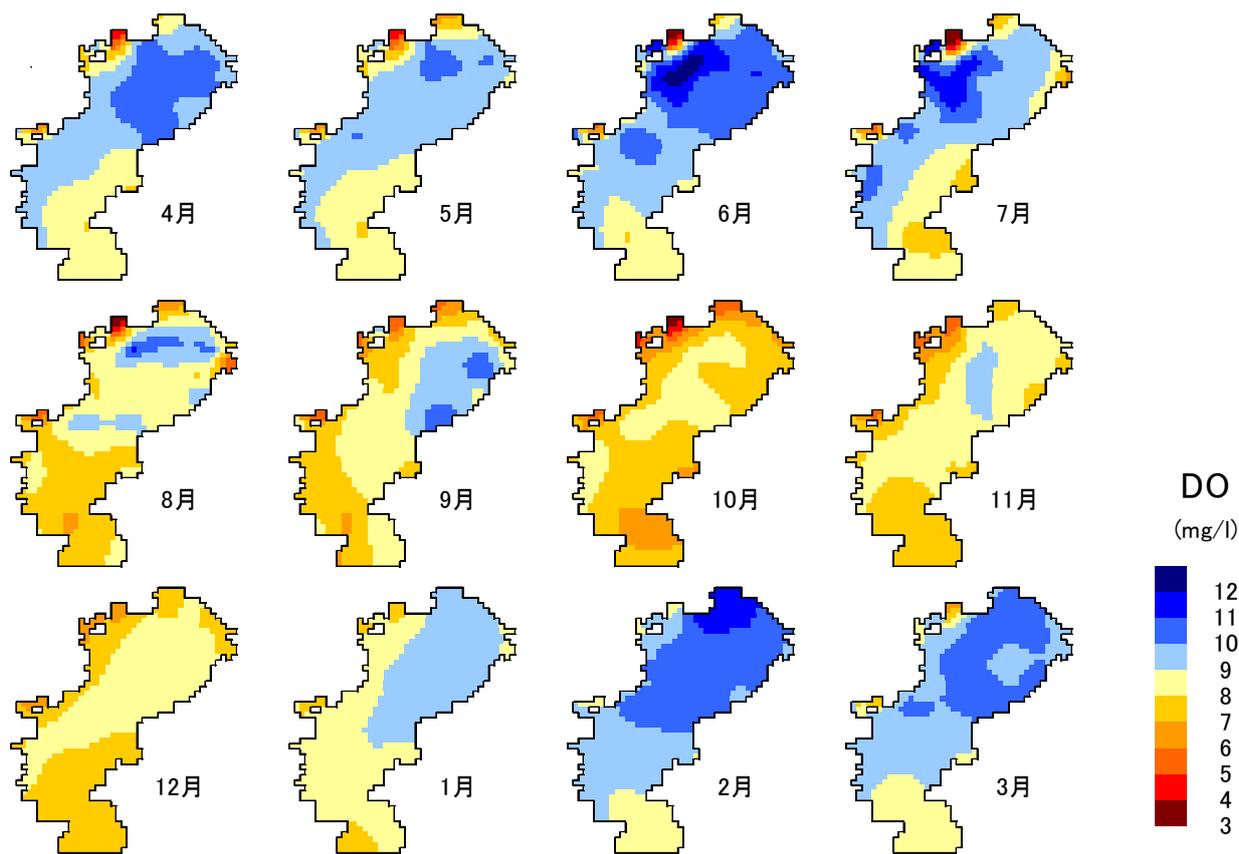


図 14 表層DOの季節分布

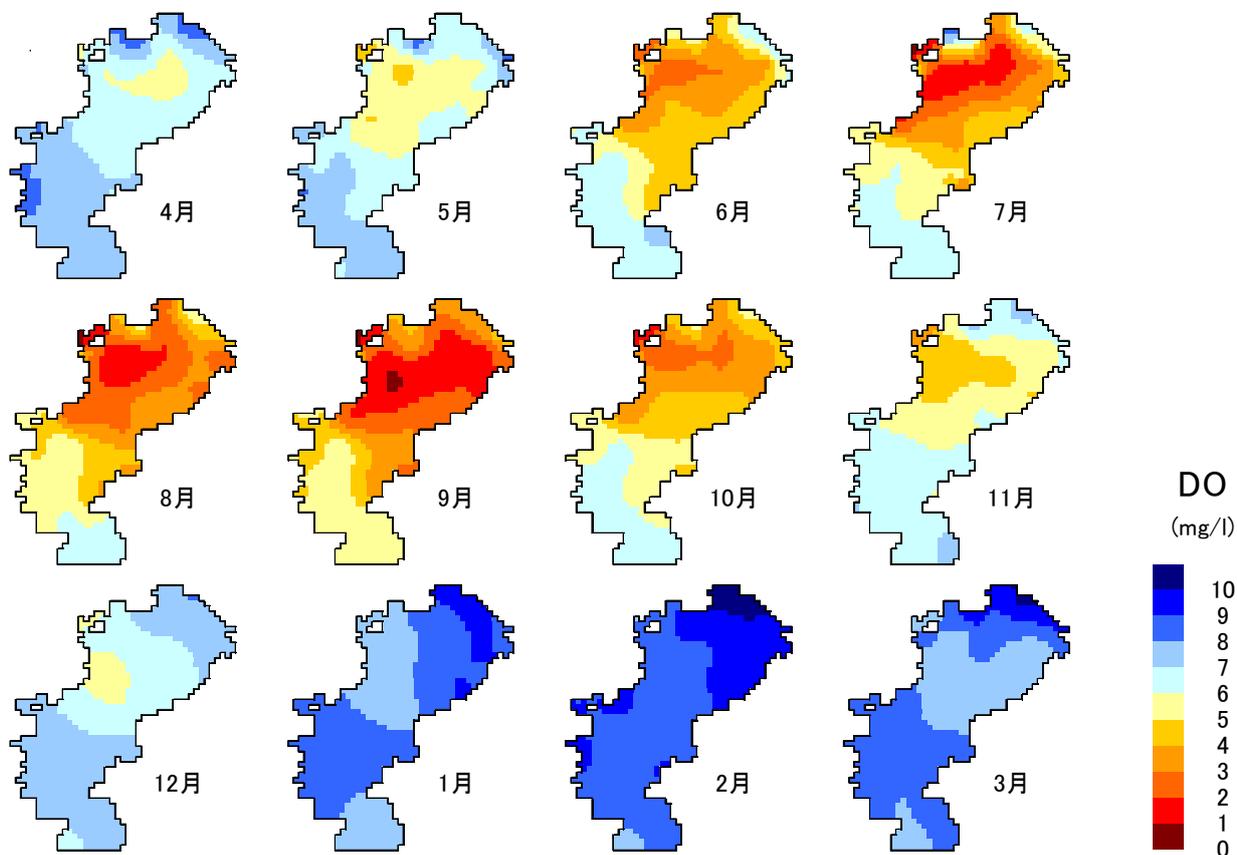


図 15 底層DOの季節分布

<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>

- 4) 二宮勝幸、柏木宣久、安藤晴夫：東京湾における水温と塩分の空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、**19**、480～490(1996).
- 5) 二宮勝幸、柏木宣久、安藤晴夫：東京湾における COD と DO の空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、**19**、741～748、(1996).
- 6) 二宮勝幸、柏木宣久、安藤晴夫、小倉久子：東京湾における溶存性無機態窒素およびリンの空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、**20**、457～467(1997).
- 7) 東京都環境保全局：昭和 60～平成 6 年度版、公共用水域の水質測定結果(資料編) (1985～1994).
- 8) 神奈川県環境部：昭和 60～平成 6 年度版、神奈川県水質調査年表(1985～1994).
- 9) 千葉県環境部：昭和 60～平成 6 年度版、公共用水域水質測定結果(1985～1994).
- 10) Akaike H: *Likelihood and the Bayes procedure*, *Trabajos de Estadística*, Vol. **31**, 143～166. (1980).

- 11) Matusita K., Kashiwagi N., Aki S. and Kuboki H: *Statistical analysis of air pollution data with graphical methods*; location characteristics of the monitoring stations, *Statistical theory and data analysis*, Elsevier Science Publishers B.V. (1988).
- 12) 柳哲雄：沿岸海洋学、恒星社厚生閣(2001).
- 13) 貝塚爽平編：東京湾の地形・地質と水、第 5 章、築地書館(1994).
- 14) 横浜市環境科学研究所：東京湾の富栄養化に関する調査報告書、環境研資料 No. **117**、47～52(1995).
- 15) 安藤晴夫、柏木宣久、二宮勝幸、小倉久子、山崎正夫：東京湾における水温の長期変動傾向について、海の研究、**12**(4)、407～413(2003).
- 16) 気象庁編：海洋観測指針、日本気象協会(1990).
- 17) 岡市友利編：赤潮の科学、恒星社厚生閣(1987).
- 18) 日本工業規格 (JIS) K 0102、pp94(1998).
- 19) 白柳康夫、大矢正代：横浜港底質からのリン、窒素の溶出、横浜市公害研究所報、**15**、57～66(1991).

鶴見川中流域における水質の長期変動の特徴

二宮勝幸、若林信夫（横浜市環境科学研究所）

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

Katsuyuki Ninomiya, Nobuo Wakabayashi (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：公共用水域水質測定結果、時系列解析、硝化反応、N-BOD、N/P比

要 旨

鶴見川中流に位置する都橋の公共用水域水質測定結果を用いて水質の長期変動特性について検討した。水質時系列には、3年程度の周期変動成分、減少してから横ばいで推移する変動成分、増加傾向を示す変動成分などが認められた。3年程度の周期変動は年々の降雨量の変化に起因するもので、降雨量の多い年に低濃度を示す項目はBODやNH₄-Nなどであり、逆に高濃度を示す項目はNO₃-Nであった。減少後横ばいで推移する項目は、CODなどの有機汚濁成分やPO₄-Pであり、そのうちBODについてはN-BOD(NH₄-Nの硝化に伴う酸素要求量)の寄与が近年大きくなってきており、BODが環境基準値を超える要因になっていると推察された。増加傾向を示す項目は、水温とNO₃-Nなどであり、水温の上昇率は約0.065℃/年であった。NO₃-N増加の理由として、水温上昇などに伴う下水処理場や河川での硝化促進および降雨に伴う地下水流出の影響などが考えられた。これらの結果、N/P比は近年40を超えており、制限因子はNとなっている。

1. はじめに

河川水質は主として自然由来の変動要因と人間の社会活動による変動要因によって変化しており、前者は気象因子が大きく関わっている¹⁾。

気象変化に伴う水質変動には、地球の自転および公転に伴う1日および1年の周期変動、数日程度の間隔で繰り返される降雨の影響による変動、そして地球規模の気象変化に起因する数年程度の周期変動などがある^{2, 3)}。これらのうち、数年周期の変動成分は全変動成分の中で必ずしも比率が高くないが、年度毎の水質評価や長期間における水質の変動解析を行う場合には、この数年程度の周期成分を考慮する必要がある¹⁾。

河川水質に影響を与える社会因子としては、人間の1日間あるいは1週間などの生活パターンを基本単位としたもの、その時々々の環境問題への取り組み方や経済社会情勢によるものなどがある。環境汚染問題に対する具体的な取り組みとして、工場排水基準・環境水質基準の設定・遵守指導、下水道や浄化槽の整備などが挙げられる。その一方で、横浜市のような都市域では人口増加や土地利用形態の変化などが河川水質に対して負荷を与えている。

このように、気象変化に伴う基本的周期変動に人間の社会活動による影響が加わって、実際の河川の水質変動が形成されている。そして、これらの事柄の総合的に反映された結果である公共用水域の水質を監視するため、各地方自治体により測定計画が実施され、長期間にわたる貴重なデータが蓄積されている。

そこで、公共用水質測定結果を用いて、都市型河川である鶴見川の中流に位置する都橋の水質が気象および社会因子によってどのような影響を受けまた変化してきたのかを、1年間よりも長い変動成分について検討した。

2. 解析方法

2-1 測定地点

測定地点は鶴見川中流に位置する都橋である(図1)。鶴見川は町田市を起点として横浜市の北部を流れ東京湾に注ぐ一級河川であり、都橋はその支流である恩田川の下流に

位置している。恩田川流域は、横浜市以外に町田市の一部を含んでおり、住宅地が比較的多い。また、測定地点の下流と上流にAおよびB下水処理場があり、それぞれ主として恩田川流域の横浜市域および町田市域の排水を集水し、処理後に放流している。都橋は河川D類型に属し、BODの環境基準値は8mg/Lである。

2-2 測定期間および測定項目

解析に用いたデータは、公共用水域水質測定結果⁴⁾の都橋における1980年4月から2006年3月までの毎月1回、平日の午前中に採水、測定された次の14項目である。

測定項目：

流量(FLOW)、水温(WTemp)、pH、BOD、COD、DO、陰イオン界面活性剤(MBAS)、大腸菌群数(ECo)、T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、T-P、PO₄-P。

なお、大腸菌群数の数値処理にはその対数log ECoを用いた。また、MBASについては、1986年度までは標準物質としてドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(DBS)が用いられていたが、1987年度以降はドデシル硫酸ナトリウム(DS)が用いられるようになったので、1987年度以降はDBSとDSの分子量比1.21をデータに乘じ、



図1 測定地点

DBSを標準としたMBAS濃度に統一した。さらに、栄養塩類については、T-Nから無機態窒素TIN(NH₄-N+NO₃-N+NO₂-N)を差し引いたものを有機態窒素(Or g-N)、T-PからPO₄-Pを差し引いたものを有機態リン(Or g-P)とした。

なお、参考データとして、横浜地方気象台の月平均気温(気温)、月合計降雨量(降雨量)、月合計日照時間(日照時間)の3つの気象要素を用いた⁵⁾。

2-3 測定日時について

河川の水質変動は本来いろいろな周期成分から形成されているが、実際に河川調査を行い水質時系列データを得るためには、ある時間間隔で水質試料をサンプリングし測定しなければならない。そのサンプリング間隔はどの周期成分(期間)について調べるのかによって決まる⁶⁾。例えば、季節変動成分や1年より長い周期成分を把握することを目的とした場合は、1年間について季節毎に1回、できれば月に1回程度の頻度で調査を行えばよい。ただし、この場合は、その調査日におけるサンプリングの時間が一定している必要がある。時間が一定していないと、季節変動成分に日周変動成分がノイズとして加わってしまうからである。

今回用いたデータのサンプリング日時は平日の午前中、具体的には1980年代は11時30分前後であり、それから徐々に早まっていき2000年代に入ると9時30分前後となった⁴⁾。したがって、人間の1週間の生活パターン特に平日と休日に起因する変動ノイズは無視できるが、日周変動による影響については考慮して検討する必要がある。

2-4 異常値のデータ処理

測定計画⁴⁾では、なるべく晴天日の調査を目標としているが、現実には降雨影響のある日が調査日になるのは避けられない。そこで、降雨に伴う濁水などによる水質の異常値については、各項目とも統計量の3σを超えたデータは、その前後の月のデータの平均値に置き換えた。

3. 結果と考察

3-1 水質と気象の推移

ここでは、水質と気象の長期変動の特徴を抽出するため、12ヶ月移動平均により1年を周期とする季節変動を除去した時系列について検討した。

図2に水質の毎月および12ヶ月移動平均の時系列を、また、図3に気象の12ヶ月移動平均時系列を示した。

水質の12ヶ月移動平均時系列から、FLOWやCODなどは減少傾向、そしてWTempやpHなどは増加傾向を示しており、また、いずれの項目も2年から5年程度の周期で変動していることなどが認められた。

気象の12ヶ月移動平均時系列についても、3つの気象要素は水質と同様に数年程度の周期で変動し、また、気温は上昇傾向を示した。

3-2 主成分分析による水質の周期変動解析

3-2-1 主成分分析結果の概要

前述したように、水質および気象の12ヶ月移動平均時系列はいろいろな周期成分を含んでいた。異なる周期をもつ複数の変動成分を解析する方法の一つとして、主成分分析法がある^{7, 8)}。そこで、水質と気象を合わせた計17項目に主成分分析法を適用して代表的な周期成分と各水質項目および各気象要素の間の関係について検討した。主成分分析の結果、固有値が1以上の3つの主成分が得られた。各主成分の固有値は、第1主成分で10.3、第2主成分で1.9、第3主成分では1.2であり、寄与率はこれら3つの主成分で79.2%となった。図4に主成分得点の時系列を、表1に主成分分析(固有ベクトル)の結果を示した。

図4から、これらの主成分の時系列の特徴についてみると、第1主成分は減少した後、1992年度頃から横ばいで推

移する変動成分であった。第2主成分は降雨量(図3)とほぼ同じ変動を示すことから、3年程度の周期で変動する降雨量の変化に対応した成分であると考えられる。第3主成分は増加した後、減少する変動成分であった。

3-2-2 各主成分の特徴

(1) 第1主成分

固有ベクトル(表1)によると、第1主成分と同じ減少傾向を示す項目は固有ベクトルが大きな正値をもつFLOW、COD、MBAS、PO₄-P等の栄養塩類などであり、逆に増加傾向を示す項目は固有ベクトルが負値のWTempやNO₃-Nなどであった。FLOWの減少は土地利用形態の変化や下水処理普及率との関連が考えられた。また、CODなどの有機汚濁項目やPO₄-Pの減少傾向は、工場排水規制の強化や下水処理普及率の向上および無リン洗剤への転換などによるものと推察される。そして、有機汚濁項目などが減少した後に横ばいに転じたのは、下水普及率の上昇傾向が1992年頃までは大きく、その後緩やかになったためと考えられ⁹⁾。なお、1992年度頃からBODはやや増加傾向を示しているが、この原因については、NH₄-Nとの関連を含めて後述する。

一方、増加傾向を示す項目のうち、WTempの上昇率を回帰式から求めると、0.065°C/年が得られた。これは他都市の調査結果による上昇率の範囲内にあった^{9, 10)}。ただし、先述したように午前中のサンプリング時間が過去26年間に2時間ほど早くなっていることから、実際の水温上昇率はそれよりも少し高い値にあると推察される。NO₃-Nについては他項目とは異なりほぼ単調な増加傾向を示しており(図3)、その増加要因としては、下水処理場でのNH₄-NからNO₃-Nへの硝化促進や降雨に伴う地下水流出の影響などが考えられる。後者については、降雨に伴い比較的高濃度のNO₃-Nが存在している地下水が湧水などとして流出しており^{11, 12)}、その影響が徐々に高まってきたことが考えられる。なお、logECoについては、減少した後2001年度頃から急増したが、他の水質項目との関連は見られず、この原因はわからなかった。今後検討すべき課題である。

(2) 第2主成分

第2主成分と順に変動する項目(表1)はFLOWや降雨量などであり、逆の変動項目はBODやNH₄-Nなどであった。FLOWは降雨量の長周期変動を背景とした平水時河川流量の増減に対応し、BODやNH₄-Nは降雨量が多いと希釈効果により濃度が低下し、逆に降雨量が少ないと濃度が高まった結果と考えられる^{2, 3, 13)}。

(3) 第3主成分

第3主成分と順な変動を示す項目は、固有ベクトルが0.68と最も大きい正値をもつDO、次いで、固有ベクトルが0.44のNH₄-Nであった。しかし、BODの固有ベクトルは-0.26であり、DOやNH₄-Nとは逆の変動を示した。第3主成分はDOやNH₄-Nの変動と強く関連した変動成分と推察されるが、DOは1992年度頃より減少傾向を示しており(図3)、これは第1主成分が横ばいで推移する時期と一致した。その時期からBODが上昇傾向を示していることをあわせて考慮すると、下水普及率の向上にしたがい、河川水中ではNH₄-Nの硝化によるDOの消費とBODの増加が目立ってきていると考えられる。

3-3 NH₄-Nの硝化によるN-BODへの寄与

3-3-1 NH₄-NとBODの関係

鶴見川では下水普及率が高いが、BODは環境基準を上回っていることが指摘されている^{14, 15)}。これは、河川水に含まれるNH₄-Nが硝化によりNO₂-N、NO₃-Nに酸化され、その酸素消費量(N-BOD)がBOD値に大きく影響しているためである^{15, 16)}。実際、図3によるとBODは

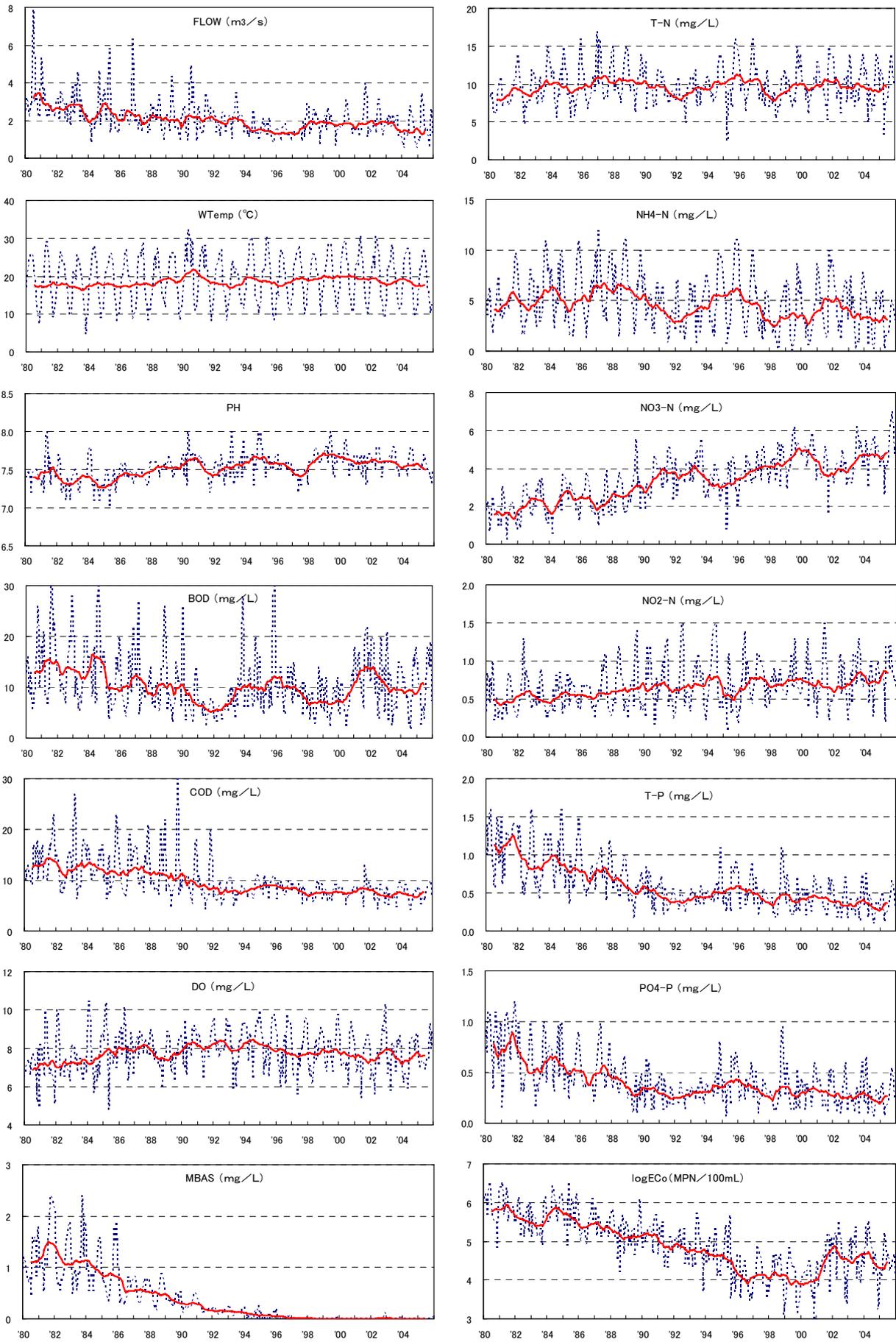


図2 水質の時系列（点線：毎月、実線：12ヶ月移動平均）

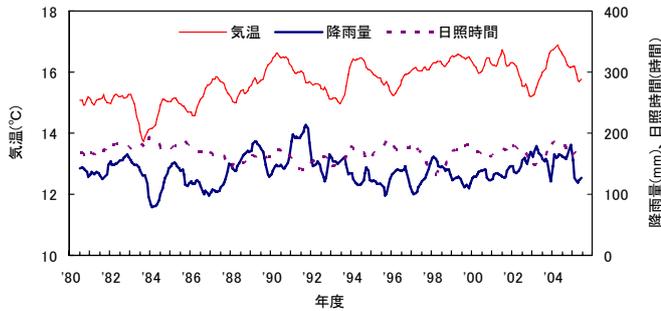


図3 気象の12ヶ月移動平均時系列

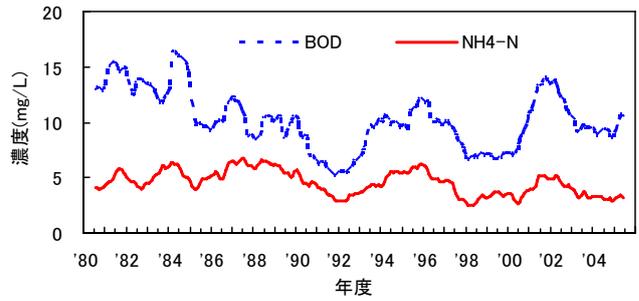


図5 BODとNH₄-Nの12ヶ月移動平均時系列

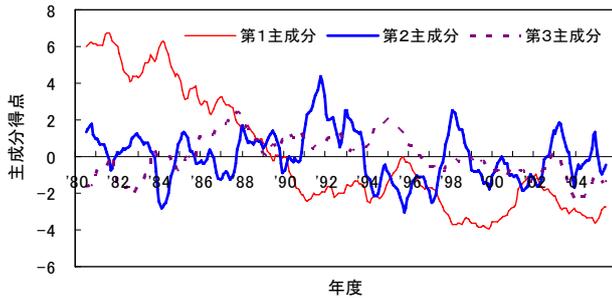


図4 主成分得点の時系列

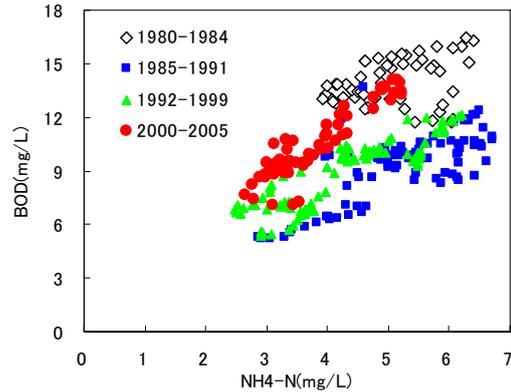


図6 BODとNH₄-Nの関係

表1 主成分分析の結果(固有ベクトル)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
FLOW	0.23	0.33	-0.11
WTemp	-0.19	-0.15	0.03
PH	-0.23	-0.15	0.13
BOD	0.22	-0.30	-0.26
COD	0.30	-0.01	0.12
DO	-0.15	0.03	0.68
MBAS	0.30	0.09	-0.08
logEC _o	0.28	0.15	0.10
Org-N	0.29	-0.04	-0.04
NH ₄ -N	0.18	-0.30	0.44
NO ₃ -N	-0.29	-0.00	-0.24
NO ₂ -N	-0.27	-0.06	-0.16
Org-P	0.30	0.03	0.03
P ₀₄ -P	0.29	-0.09	-0.03
気温	-0.25	-0.14	-0.09
降雨量	-0.08	0.58	-0.16
日照時間	0.11	-0.52	-0.29

表2 BODとNH₄-Nの関係の回帰統計量

期間(年度)	傾きa	切片b	相関係数
1980-1984	0.58	11.04	0.32
1985-1991	1.36	2.20	0.72
1992-1999	1.59	1.98	0.89
2000-2005	2.40	1.28	0.91

1990年度以降においても環境基準値(8 mg/L)を上回っており、その変動傾向はNH₄-Nのそれとほぼ一致した。

BODとNH₄-Nの時系列を詳細にみると(図5)、両者の変動が比較的一致している期間は次の4つに分けられた。

- ①1980年度～1984年度
- ②1985年度～1991年度
- ③1992年度～1999年度
- ④2000年度～2005年度

図6にこれら4つの期間別のBODとNH₄-Nの関係を、表2にそれらの直線回帰の結果を示した。①の期間における相関係数は0.32とやや低い、その期間以外では0.7以上の値を示した。①の期間は有機汚濁が顕著で有機成分が

BODに大きく反映していたため、NH₄-NとBODの相関は低かったと考えられる。

1985年度以降の3つの期間についてみると、傾きは1.36から2.40まで徐々に高まり、切片は逆に2.20から1.28まで減少した。傾きはNH₄-Nの単位濃度当たりのBODの濃度を表していることから、NH₄-NのBODに寄与する割合が徐々に高まってきているため傾きは上昇したと考えられる。また、切片はNH₄-Nがゼロの時のBOD、すなわちNH₄-N以外の有機汚濁成分などに由来するBODを表している、切片の減少は下水普及率の向上に伴い有機汚濁成分が徐々に減少してきている、言い換えると、BODとN-BODとの差C-BODが減少してきていると推察される。

3-3-2 N-BODの寄与率の変化

公共用水域水質測定結果ではN-BODは測定されていないので、NH₄-Nの硝化率を推定し、その経年変化について検討した。すなわち、硝化反応における酸素消費量は、NH₄-N 1mg/LがNO₂-Nまで酸化される過程で3.43mg/L、さらにNO₂-NからNO₃-Nまで酸化される過程で1.14mg/Lである。仮に試料水に1mg/LのNH₄-Nが含まれていて、5日間のBOD試験の間に完全にNO₃-Nまで酸化される場合、N-BODの値は4.57mg/Lになる。したがって、硝化率をxとした場合に、NH₄-Nの硝化によるN-BODは4.57×NH₄-N×xで表される。そこで、河川

水中に存在するNH₄-Nが硝化率xでNO₃-Nまで硝化され、そのN-BODがBODと一致すると仮定して、4つの期間毎に次式により硝化率を最小二乗法で求めた。

$$\sum_{ij} | \varepsilon | ^2 = \sum_{ij} [(BOD)_{ij} - (4.57 \times NH_4-N \times x_{ij})]^2$$

ここで、iは年、jは月を表す。

表3に硝化率の計算結果を、**図7**にBODとN-BOD計算値の時系列を示した。**図7**から、N-BOD計算値の変動は1980年度～1984年度の期間を除いてBODの変動とほぼ一致した。これら3つの期間の硝化率はそれぞれ0.39、0.44、0.60と徐々に大きくなってきていることから、河川水中で硝化が経年的に高まってきていると推察される。

硝化に関しては、水温が高いほど硝化反応速度が速く、C-BOD/NH₄-N比が小さいほど硝化反応が検出されるまでの時間が短くこと¹⁷⁾、N-BODは硝化菌の初期存在量に支配されること¹⁶⁾が指摘されている。都橋では、水温は既に述べたように上昇傾向にあり、下水普及率の向上によりC-BODは減少傾向にある¹⁵⁾。また、長期にわたり比較的高濃度のNH₄-Nに曝露されていることから、硝化菌の存在量が以前より多くなっている可能性がある。このようにNH₄-NがBODを高め、BODの環境基準を超えることに寄与していることから、NH₄-Nの処理対策が重要になると考えられる。

3-4 形態別の窒素化合物

3-4-1 経年変化

これまでに述べたように、窒素化合物は相互に関連していることから、それらの関係を検討した。**図8**に各窒素化合物の比率の12ヶ月移動平均時系列を示した。

表3 最小二乗法による硝化率の計算結果

期間(年度)	硝化率
1980-1984	0.59
1985-1991	0.39
1992-1999	0.44
2000-2005	0.60

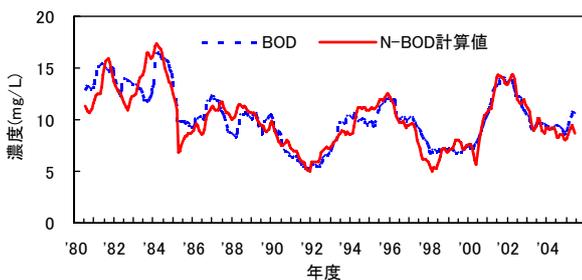


図7 BODとN-BOD計算値の時系列

図8から、増加傾向を示すのはNO₃-NとNO₂-Nであり、NH₄-Nは減少してきている。また、Org-Nは減少してから横ばいで推移している。そこで、NH₄-N、NO₃-NおよびNO₂-Nについて、回帰式より1年当たりの回帰係数を求めると、それぞれ-0.079mg/L/年、0.124mg/L/年、0.011mg/L/年が得られた。

NO₃-NとNO₂-NがNH₄-Nの硝化反応だけから生成すると仮定すると、前2者の年回帰係数の合計と後者の年回帰係数は一致するはずである。しかし、年回帰係数は前2者の合計が後者よりも0.056mg/L/年高かった。この理由の一つとして、先述したように、比較的高濃度のNO₃-Nが存在する地下水流出の影響が考えられる。また、NH₄-Nの脱窒反応や植物への吸収があるが、この場合はNH₄-Nが減少してもNO₃-Nなどは生成されないことから、NO₃-Nの増加要因にはならない。さらに、Org-Nの分解によってNH₄-Nが生成され、NH₄-Nの減少が抑えられることも考えられるが、Org-Nの濃度変動がNH₄-Nのそれに比べて小さいことから、Org-Nの分解がNH₄-Nの増加に大きな影響を及ぼしているとは考えにくい。したがって、NH₄-Nは硝化反応により減少して、NO₃-NやNO₂-Nが増加するとともに、NO₃-Nは地下水流出によっても増加していると推察される。

3-4-2 季節変化

これら窒素化合物の月毎の違いを調べるため、まず一例として、**図9**に1980年度から2005年度までの1月における各窒素化合物の比率の時系列を示した。

各化合物とも年度毎の変動はやや大きく、比率が大きいのは、順にNH₄-N、NO₃-N、NO₂-NおよびOrg-Nであった。期間を通してみると、NO₃-Nは増加傾向を示し、NO₂-Nもやや増加傾向を示すが、NH₄-NとOrg-Nは減少傾向を示した。

次に、1月の場合と同様に、各月について各窒素化合物の比率の5項移動平均時系列を示したのが**図10**である。なお、5項移動平均としたのは、年度毎のノイズ成分を減らして、変動傾向を滑らかにするためである。

各窒素化合物の比率と増減傾向は季節によって異なっていた。NO₃-NとNO₂-Nの比率は夏期に最も高く、冬期に最も低かった。また、NH₄-Nの減少率は夏期よりも冬期に大きかった。

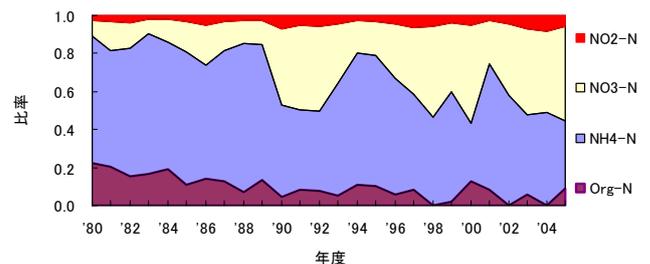


図9 1月における各窒素化合物の比率の時系列

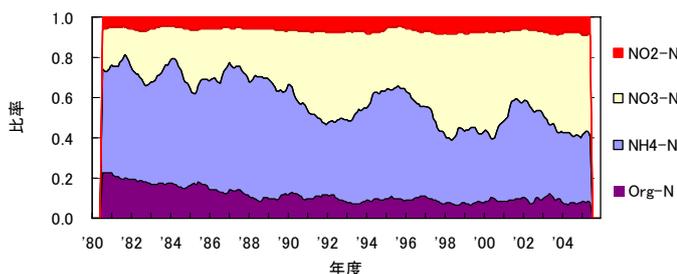


図8 各窒素化合物の比率の12ヶ月移動平均時系列

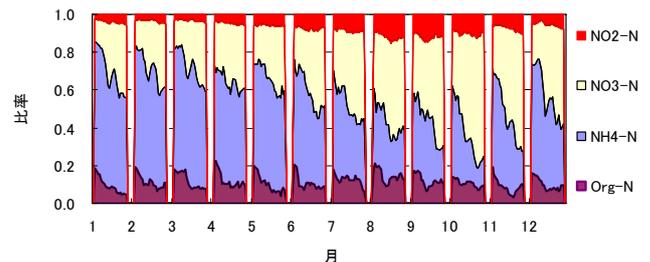


図10 月別の各窒素化合物の比率の5項移動平均時系列

各窒素化合物の比率と増減傾向が季節により異なった理由の一つとして、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の変動傾向が $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N}$ と逆の変動を示していることから推察されるように、硝化反応が水温に大きく影響されていることが考えられる¹⁷⁾。

そこで、月毎の各窒素化合物の推移を詳しく調べるため、月別の各窒素化合物の1年当たりの回帰係数を求めた(図11)。

$\text{NO}_3\text{-N}$ の回帰係数はどの月も正值であり、4月から9月までよりもそれ以外の月のほうが大きかった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の回帰係数は4月と5月が正值であることを除き他の月はいずれも負値を示し、夏期よりも冬期のほうが大きかった。水温の上昇率は夏期よりも冬期に大きいことが指摘されていることから^{18), 19)}、夏期に比べて冬期における水温の上昇率が大きいことが一因となって、冬期の硝化反応が経年的に活発になってきた可能性が高いと考えられた。

3-5 TIN/PO₄-P比の経年変化

一般に、藻類の増殖は最小律の法則に従い、最も不足する物質が制限因子となり、増殖量を支配する。湖沼や海域における富栄養化現象は、窒素やリンが制限因子となる場合が多く、制限因子が窒素かリンかの判定基準はN/P比から求めることができる。そこで、TINとPO₄-Pの濃度比(TIN/PO₄-P)の変化について調べた(図12)。

TIN/PO₄-P比は、1980年度に10前後であったが、その後徐々に増加していき、1988年度に約20そして1990年度には30を超える程度まで上昇した後、2000年度頃まで横ばいで推移した。それからTIN/PO₄-P比は再び増加して、2005年度には約40となった。湖沼については、 $\text{N/P} \leq 20$ の場合に窒素を制限因子としているので²⁰⁾、1988年度頃に制限因子はNから完全にPに移ったといえよう。また、TIN/PO₄-P比が2000年代に再度上昇し始めた理由として、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が緩やかな増加傾向を示していることやPO₄-Pがやや減少してきていることなどが考えられる。これらの栄養塩濃度の変化は海域の富栄養化問題と密接に関連していることから²¹⁾、今後も注意して監視していく必要がある。

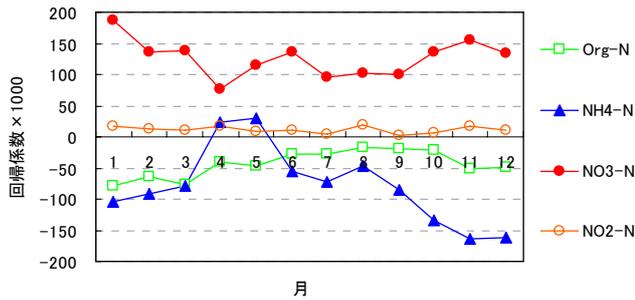


図11 月別の各窒素化合物の年回帰係数 (mg/L/年 × 1000)

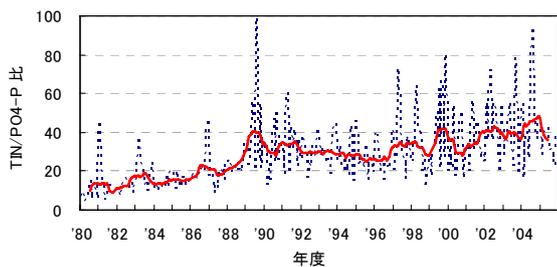


図12 TIN/PO₄-P比の時系列 (点線：毎月、実線：12ヶ月移動平均)

4. まとめ

典型的な都市型河川である鶴見川の中流に位置する都橋において、過去25年間の公共用水域測定結果を用いた時系列解析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 水質時系列には、3年程度の周期変動成分、減少してから横ばいで推移する変動成分、増加傾向を示す変動成分などが認められた。
- 2) 3年程度の周期変動は年々の降雨量の変化に起因するもので、降雨量の多い年に低濃度を示す項目はBOD、MBAS、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ などであり、逆に高濃度を示す項目は $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。
- 3) 当初減少し1992年度頃から横ばいで推移する項目は、CODなどの有機汚濁成分や $\text{PO}_4\text{-P}$ であり、特にBODについてはN・BODの寄与が近年大きくなってきており、BODの環境基準値を超える要因になっていると推察された。
- 4) 増加のトレンドを示す項目は、WTempと $\text{NO}_3\text{-N}$ などであった。WTempの上昇率は約 $0.065^\circ\text{C}/\text{年}$ であった。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加要因としては、水温上昇などに伴う下水処理場や河川での硝化促進および降雨に伴う地下水流出の影響などが考えられた。
- 5) TIN/PO₄-P比は近年徐々に増加して40を超えており、制限因子はNとなっている。

文献

- 1) 古田正次、岩瀬敏夫：環境水質データの解析システムについて－河川水質変動の自然及び人為的な要因の検討への適用－、愛知県公害調査センター報告、17、35～43(1989)。
- 2) 気象庁編：異常気象レポート、近年における世界の異常気象と気候変動、p238、大蔵省印刷局(1989)。
- 3) 中島幸久：ENSOと日本の降水量の年々変動、気象、33(7)、35～37(1989)。
- 4) 神奈川県：神奈川県水質調査年表(昭和55年度～平成17年度)。
- 5) 横浜地方気象台：神奈川県気象年報(1980～2006)。
- 6) 日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店(1979)。
- 7) 二宮勝幸：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(I)－COSINE関数モデルによる検証－、横浜市公害研究所報、13、113～119、1989。
- 8) 二宮勝幸、水尾寛己：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(II)－河川水質への応用－、横浜市公害研究所報、13、121～129(1989)。
- 9) 中室克彦、奥野智史、高田聡子、田口寛、井上知明、上田彬博、福永勲、加賀城直哉、服部幸和、厚井弘志：都市河川水の水温に及ぼす下水処理場放流水の影響、水環境学会誌、29、177～181(2006)。
- 10) 服部幸和、西海暢展、中村智：大阪府水域における水温の経年変化と分布について、第17回環境化学討論会、156～157(2008)。
- 11) 永井茂：地下水汚染・土壌汚染の現況と浄化対策、第4章 地下水の無機汚染の実態と問題点、工業技術会、45～66(1993)。
- 12) 西村和彦、千田千代子、岩淵美香、丸山朝子、榎一成、酒井泰：川崎市の湧水とその水質特性、川崎市公害研究所年報、32、97～102(2005)。
- 13) 二宮勝幸：河川水質データの時系列解析－気象および社会因子による過去15年間の水質変化、用水と廃水、36(2)、107～114(1994)。
- 14) 福島悟：横浜市内河川の水環境変化、横浜の川と海の生物(第9報・河川編)、55～70(2001)。
- 15) 佐藤和明、岸田弘之、渡辺沢：2.鶴見川水質浄化実験における $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去性能と都市河川への適用に関する研

究、河川環境総合研究所報告、10、15～25（2004）。

16) 津久井公昭：都内河川の N-BOD について、用水と廃水、36(2)、115～119(1994)。

17) 山田一裕、伊藤由季子、鹿野信宏、佐々木久雄、須藤隆一：河川の N-BOD に及ぼす下水 2 次処理水の影響、水環境学会誌、20、311～317(1997)。

18) 中室克彦、奥野智史、高田聡子、田口 寛、井上知明、上田彬博、福永 勲、加賀城直哉、服部幸和、厚井弘志：

都市河川水の水温に及ぼす下水処理場放流水の影響、水環境学会誌、29、177～181(2006)。

19) 福島悟：都市河川の珪藻群集における季節性の再生、Diatom、171-178(2004)。

20) 鈴木繁：公共用水域の水質と保全対策の動向、用水と廃水、35(1)、7～18(1993)。

21) 横浜市環境科学研究所：東京湾の富栄養化に関する調査報告書、環境研資料 No.117、47-52(1995)。

横浜市における PRTR 対象物質の大気環境調査

2004～2006 年度の調査結果

桐栄 恵美子 白砂 裕一郎 榎本 怜子 山口 雄二（横浜市環境科学研究所）

Environmental Survey of PRTR Chemicals in Yokohama City, 2004-2006

Emiko Toei Yuichiro Shirasuna Satoko Enomoto Yuji Yamaguchi
(Yokohama Environmental Science Reserch Institute)

キーワード：大気環境調査 PRTR

要 旨

化学物質による環境保全上の支障を未然に防止することを目的として、1999 年（平成 11 年）7 月に「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に関する法律」が公布された。この法律に基づき、対象事業者は 2001 年度（平成 13 年度）から対象化学物質の環境中への排出量等を把握し、2002 年度（平成 14 年度）からその届出が実施されており、2002 年度（平成 14 年度）末から毎年集計結果が公表されている。本報では、2004～2006 年度にかけて横浜市において環境への排出量が多いとされる第一種指定化学物質 4 物質（トルエン、キシレン、エチルベンゼン、p-ジクロロベンゼン）について、大気環境濃度の調査結果を報告するとともに、既報の結果と合わせ、2002～2006 年度の大気環境濃度と PRTR 排出量との比較を行った。

1. はじめに

化学物質による環境保全上の支障を未然に防止することを目的として、1999 年（平成 11 年）7 月に PRTR（Pollutant Release and Transfer Register：化学物質排出移動量届出）制度と MSDS（Material Safety Date Sheet：化学物質安全データシート）制度を柱とした「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」、いわゆる化管法が公布された。PRTR 制度とは、有害性のある多種多様な化学物質が、どのような発生源から、どれくらい環境中に排出されたか、あるいは廃棄物に含まれて事業所の外に運び出されたかというデータを把握し、集計し、公表する仕組みで、この法律に基づき、対象事業者は 2001（平成 13）年度から対象化学物質の環境中への排出量等を把握し、2002（平成 14）年度からその届出が実施されており、2002（平成 14）年度末から毎年集計結果が公表されている。PRTR 制度の対象となる化学物質は、現在、人や生態系への有害性があり、環境中に広く存在すると認められる 354 物質（第一種指定化学物質）である。

本報では、2004～2006 年度にかけて横浜市において環境への排出量が多いとされる 4 物質について、大気環境濃度の調査結果を報告する。さらに、既報¹⁾の調査結果と合わせ、2002～2006 年度の大気環境濃度と PRTR 排出量（届出排出量と届出外排出量の合計）との比較を行う。

2-1. 調査物質

PRTR 制度の対象物質のうち、2006 年度横浜市の PRTR 排出量上位 10 物質を **図 1** に示した。**図 1** は、神奈川県環境科学センターのデータ²⁾を用い作成した。今回はその中の上位 4 物質（トルエン、キシレン、エチルベンゼン、p-ジクロロベンゼン）について、モニタリング調査を行った。**表 1** には各調査物質の用途を示した。

2-2. 調査地点

調査は、横浜市内の一般大気測定局 2 か所（緑区三保、鶴見区潮田）と自動車排ガス測定局 1 か所（戸塚区矢沢）（**図 2**）において実施した。また、対象物質について、事業所や移動発生源からの排出が予想されることから、調査地点と主要道路・主要固定発生源との関係³⁾を **表 2** に示した。

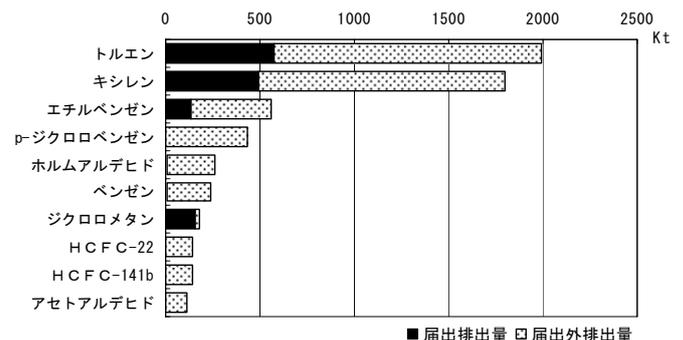


図 1 PRTR 対象物質の排出量 (横浜市)

2. 調査内容

表1 上位4物質の用途

物質名	用途*
トルエン	合成原料（可塑剤、合成繊維、染料、香料 有機顔料、火薬（TNT）） ガソリン成分、溶剤（塗料、インキ）
キシレン	合成原料（合成繊維・樹脂、染料、香料 有機顔料、可塑剤、医薬品） ガソリン・灯油成分、溶剤（塗料、農薬、石油精製）
エチルベンゼン	合成中間体（スチレンモノマー） 溶剤、その他（希釈剤）
p-ジクロロベンゼン	合成中間体（染料）、農薬（殺虫剤） その他（防腐剤）

* 神奈川県環境農政部大気環境課：PRTRについてもっと知っていただくために（平成14年度集計結果）

表2 調査地点の概況

測定地点名	用途地域	主要固定発生源の方位と距離	主要道路の方位と距離
緑区三保	住居地域	特になし	特になし
戸塚区矢沢	住居地域	特になし	E 6mに国道1号（横浜新道）
鶴見区潮田	商業地域	E~SW 0.5kmに京浜工業地帯	SSE 0.3kmに東京大師横浜線 SSE 0.3kmに首都高速横浜羽田空港線

大気環境濃度とPRTR排出量の関連については、ピアソンの統計関数係数を求め、検定⁵⁾を行った。



図2 調査地点

2-3. 調査方法

調査期間は2004年4月～2007年3月、試料採取は毎月1回、24時間行った。

トルエン、キシレン、エチルベンゼン、p-ジクロロベンゼンの測定は、「有害大気汚染物質モニタリング測定方法マニュアル」の容器採取-ガスクロマトグラフ質量分析法⁴⁾によって行った。

3. 結果と考察

3-1. トルエン

2004～2006年度の3調査地点（三保、潮田、矢沢）における年平均値、最高値、最低値を表3、図3に示した。3か所の測定値は、1.2～54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲であり、1998年度に環境省の実施した全国調査^{6,7)}の最高値（85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超える値はなかった。

図4に、3調査地点の平均濃度の月別変動を示した。大気環境濃度は、冬季に高い傾向がみられた。

次に、既報の2002、2003年度の調査結果を合わせ、2002～2006年度の年平均濃度（各調査地点の年平均値をさらに平均した濃度）とPRTR排出量との比較を図5に示した。2002～2006年度については、大気環境濃度とPRTR排出量に有意な関連は認められなかった。

3-2. キシレン

2004～2006年度の各調査地点における年平均値、最高値、最小値を表3と図6に示した。キシレン濃度は3異性体（o-キシレン、m-キシレン、p-キシレン）の合計濃度とした。なお、3か所のm,p-キシレンの測定値は、0.57～33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、1998年度に環境省の実施した全国調査の最高値（35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超える値はなかった。o-キシレンの測定値についても、0.21～9.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で、全国調査の最高値（9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超える値はなかった。

図7に、3調査地点の平均濃度の月別変動を示した。大気環境濃度は、冬季に高い傾向がみられた。

次に、2002～2006年度の年平均濃度とPRTR排出量

表3 4物質の年平均値、最高値、最低値 (μg/m³)

地域	年度	トルエン			m-p-キシレン			o-キシレン			エチルベンゼン			p-ジクロロベンゼン		
		年平均	最大	最小	年平均	最大	最小	年平均	最大	最小	年平均	最大	最小	年平均	最大	最小
三保	2004	12	26	1.2	3.6	8.4	0.57	1.3	2.9	0.21	2.8	7.0	0.43	1.5	2.9	0.36
	2005	9.9	17	3.2	3.0	6.0	1.1	1.0	2.0	0.41	2.3	4.3	0.86	1.5	3.2	0.28
	2006	17	33	5.1	4.4	12	1.3	1.6	4.5	0.44	4.1	10	1.5	2.1	5.3	0.38
矢沢	2004	16	51	3.3	5.5	18	1.5	1.9	5.9	0.58	3.7	14	0.61	1.6	3.8	0.56
	2005	13	24	7.0	4.9	8.6	2.3	1.6	2.5	0.80	3.5	8.3	1.4	1.4	2.7	0.33
	2006	22	54	8.7	6.6	20	2.3	2.1	5.9	0.68	5.2	17	1.7	2.2	6.0	0.36
潮田	2004	17	49	2.7	7.5	33	1.4	2.4	9.3	0.49	7.8	42	1.1	1.9	4.5	0.45
	2005	9.7	25	3.1	3.8	9.5	1.4	1.3	3.0	0.49	3.7	13	0.59	1.5	3.2	0.54
	2006	16	43	5.6	4.6	10	1.5	1.7	3.5	0.58	4.9	9.8	1.8	2.1	4.6	0.66
全国*	1998		85	1.1		35	0.55		9.5	0.33						
	1999										10	0.089		17	0.16	

* : 全国濃度とは、全国の調査地点で9~11月の天候の安定した時期に、連続した3日間において、1日1回、24時間採取を行い検出された濃度

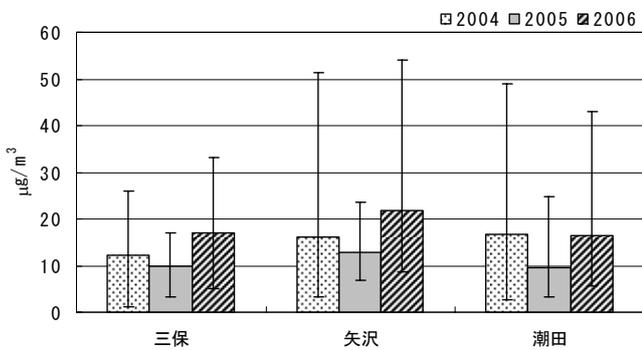


図3 トルエンの年平均値、最高値、最低値

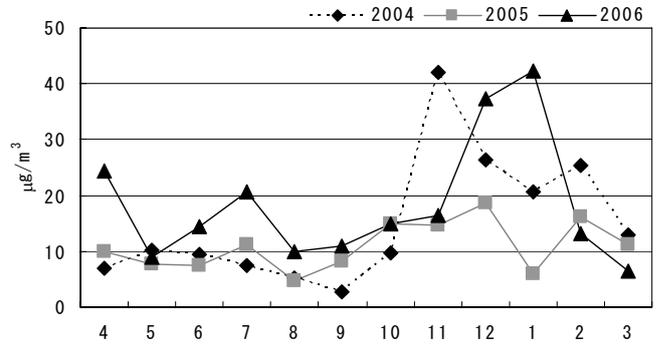


図4 トルエンの月別変動 (3調査地点の平均)

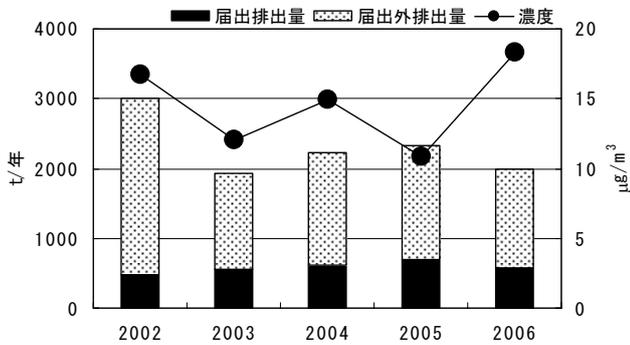


図5 トルエンの環境濃度とPRTR 排出量

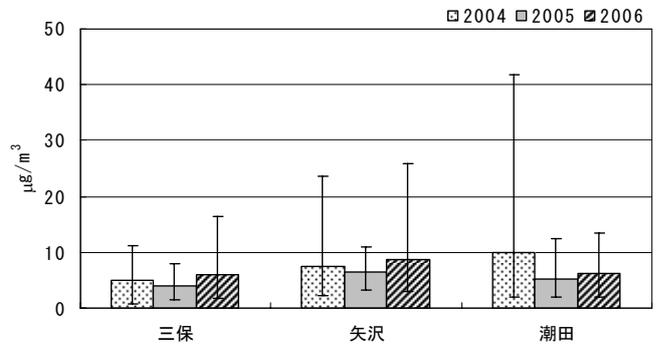


図6 キシレンの年平均値、最高値、最低値

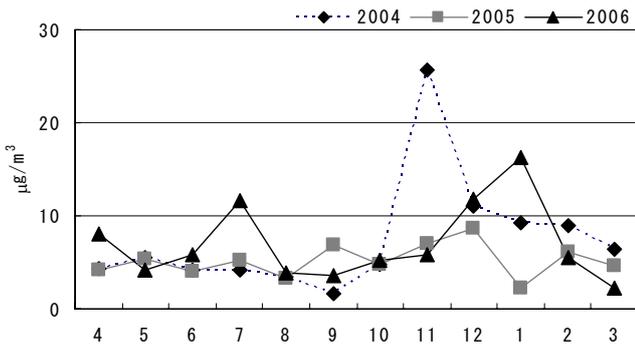


図7 キシレンの月別変動 (3調査地点の平均)

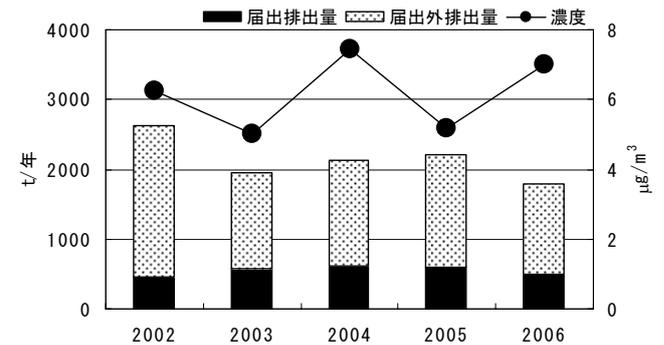


図8 キシレンの環境濃度とPRTR 排出量

との比較を **図 8** に示した。2002～2006 年度については、大気環境濃度と PRTR 排出量に有意な関連は認められなかった。

3-3. エチルベンゼン

2004～2006 年度の各調査地点における年平均値、最高値、最低値を **表 3** と **図 9** に示した。3 か所の測定値は、 $0.43 \sim 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲であり、1999 年度に環境省の実施した全国調査の最高値 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超える値がみられた。

図 10 に、3 調査地点の平均濃度の月別変動を示した。大気環境濃度は、冬季に高い傾向がみられた。

次に、2002～2006 年度の年平均濃度と PRTR 排出量との比較を **図 11** に示した。2002～2006 年度について

は、大気環境濃度と PRTR 排出量に有意な関連は認められなかった。

3-4. p-ジクロロベンゼン

2004～2006 年度の各調査地点における年平均値、最高値、最低値を **表 3** と **図 12** に、3 調査地点の平均濃度の月別変動を **図 13** に示した。3 か所の測定値は $0.28 \sim 6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲であり、1999 年度に環境省の実施した全国調査の最高値 ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超える値はなかった。

次に、2002～2006 年度の年平均濃度と PRTR 排出量との比較を **図 14** に示す。2002～2006 年度については、大気環境濃度と PRTR 排出量に有意な関連は認められなかった。

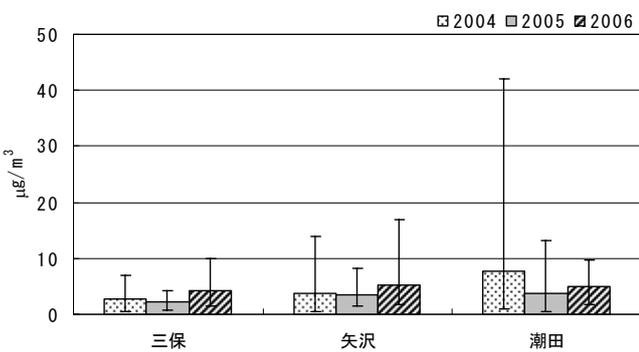


図9 エチルベンゼンの年平均値、最高値、最低値

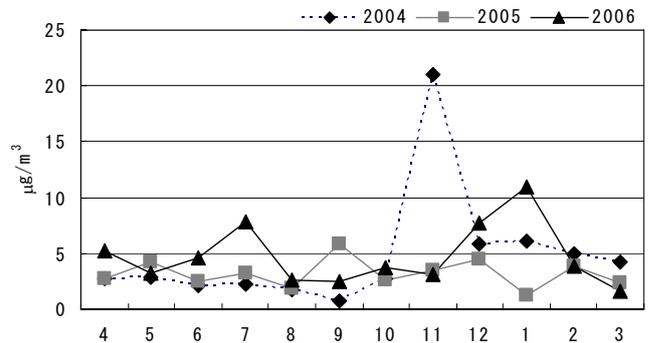


図10 エチルベンゼンの月別変動（3調査地点の平均）

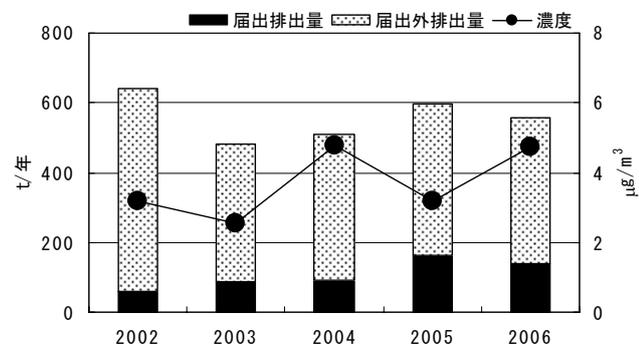


図11 エチルベンゼンの環境濃度とPRTR排出量

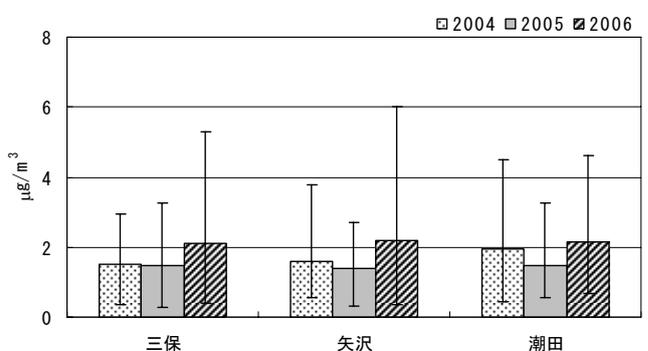


図12 p-ジクロロベンゼンの年平均値、最高値、最低値

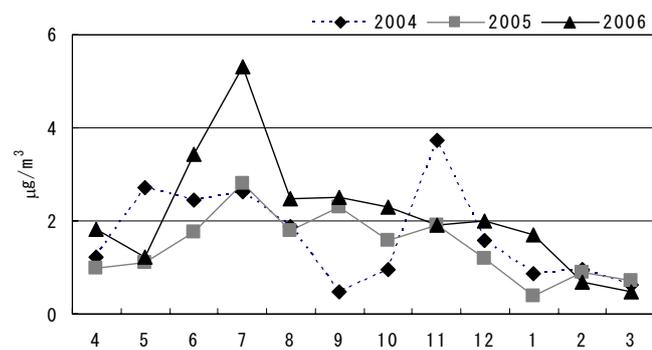


図13 p-ジクロロベンゼンの月別濃度（3調査地点の平均）

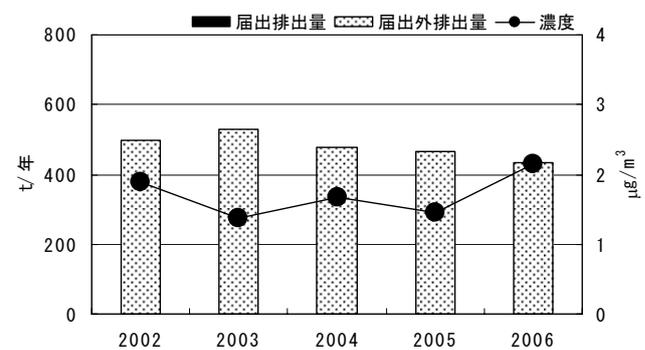


図14 p-ジクロロベンゼンの環境濃度とPRTR排出量

4. まとめ

- 本調査結果と環境省の実施した全国調査との比較では、トルエン、キシレン、p-ジクロロベンゼンで、1998年度と1999年度の全国調査の最高値を超える値はみられなかった。エチルベンゼンについては全国調査の最高値を超える値が認められた。
- 2002～2004年度のトルエン、キシレン、エチルベンゼン、p-ジクロロベンゼンについては、大気環境濃度とPRTR排出量に関連は認められなかった。その理由のひとつとして、大気環境濃度は、毎月1回の試料採取濃度であるため、気象条件等の影響が考えられる。したがって、今後引き続き調査を継続しデータを解析していく必要があると考えられる。

文献

- 1) 平澤佐都子、坂井清：横浜市環境科学研究所報、29、120-125（2008）
- 2) 神奈川県環境科学センターPRTR情報室
<http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/prtr/index.html>
- 3) 横浜市環境創造局：横浜市横浜市大気汚染調査報告書（平成18年度）、47、2-3（2007）
- 4) 環境庁大気保全局大気規制課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル（1997）
- 5) 高木廣文、佐伯圭一郎、中井里史：HALBAUによるデータ解析、101-102（1989）
- 6) 環境庁環境保健部環境安全課：化学物質と環境（1999年版）
- 7) 環境省環境総合環境政策局環境保健部環境安全課：化学物質と環境（2000年版）

鶴見川における農薬調査について(平成19年度)

酒井 学 (横浜市環境科学研究所)

Investigation of Pesticides in the Tsurumi River (April 2007-March 2008)

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード: 農薬、河川水

要旨

横浜市内を流れる鶴見川(亀の子橋、千代橋、都橋、寺家、田奈)で80種類の農薬を調査した結果、エスプロカルブ(除草剤)、イプロベンホス(殺菌剤)、フェニトロチオン(殺虫剤)等、合計26種類が検出された。平成19年度は、水田用除草剤のチオベンカルブの検出回数が18年度と比較して少なく、検出した濃度も低いものであったが、18年度には検出されなかったエスプロカルブが寺家から検出されており、使用農薬の変更が推察された。なお、公共用水域における基準値、指針値等が設定されている農薬について、基準値、指針値を超えるものは認められなかった。

1. はじめに

農薬は、農作物を病害虫から守り、生産性を高めるために有用であるが、低濃度でも生態系へ影響を及ぼすおそれを有している¹⁾。そのため、一部の農薬には、環境基準値や公共用水域における水質評価指針値が設定されている²⁾。また、100種類以上の農薬が、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」における第1種指定化学物質に選定され、環境実態や排出量の把握が求められている。そこで、環境省では化学物質環境実態調査の中で、プレチラクロール(除草剤)、イソプロチオラン(殺菌剤)、イプロベンホス(殺菌剤)等について調査を実施している³⁾。横浜市環境科学研究所においても、市内河川で、流域面積が広く、流域に水田、畑等の農地が存在している鶴見川において、農薬のモニタリング調査を実施しており⁴⁻⁹⁾、今回、平成19年度の結果報告を行う。

2. 調査方法

2-1 試料採取

亀の子橋(鶴見川、横浜市港北区)、千代橋(鶴見川、横浜市緑区、都筑区)、都橋(鶴見川支流恩田川、横浜市緑区)、寺家(鶴見川支流寺家川、横浜市青葉区)において、平成19年4月から平成20年3月まで、毎月1回、試料を採取した。また、田奈(鶴見川支流恩田川への流入水、横浜市青葉区)においては、平成19年5月から8月まで、毎月1回、試料採取を行った。流域は、市街地化が進んでいるものの、一部に水田、畑等の農地が認められ、寺家及び田奈は水田が多い地域である。

2-2 農薬分析

分析方法は以前の報告に準じ、GC/MSによる一斉分析を行った^{7,8)}。

なお、今回調査対象とした農薬は以下の80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、

クロロニトロフェン、シマジン、ジメタメトリン、シメトリン、ジメピペレート、チオベンカルブ、テニルクロール、テルブカルブ、トリフルラリン、ナプロパミド、ニトロフェン、ピフェノックス、ピペロホス、ピリブチカルブ、ピリミノバックメチル、ブタクロール、ブタミホス、プレチラクロール、プロピザミド、プロマシル、プロモブチド、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、MCC

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

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

成長調整剤：パクロブトラゾール

3. 結果及び考察

表-1に河川水中の農薬分析の各調査結果を示し、表-2に「水質汚濁に係る環境基準値及び指針値」、「公共用水域等における水質評価指針値」、「ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針値」、「生態リスク初期評価に基づく予測無影響濃度」²⁾を示した。80種の農薬の中で、表-1に示した物質以外は定量限界(0.05 μ g/L)未満の濃度であった。

表-1 鶴見川の農薬調査結果 (検出された物質、μg/L)

(1) 平成19年4月						(5) 平成19年8月										
物質名	調査地点					寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	
	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋											
プロマシル	nd	-	nd	0.05	nd	0.17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.05	nd		
レナシル	nd	-	nd	0.05	nd	nd	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	nd		
フェニトロチオン	nd	-	0.06	nd	nd	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	nd	0.05	nd		
バクロブトラゾール	nd	-	0.09	nd	0.05	nd	nd	nd	0.14	nd	nd	nd	0.14	nd		
(2) 平成19年5月						(6) 平成19年9月										
アメリリン	nd	nd	nd	0.06	nd	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	
プロマシル	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	-	nd	0.05	nd	nd	-	0.15	nd	0.21	
ジクロルボス	nd	nd	0.14	nd	0.06	nd	-	0.08	nd	nd	nd	-	0.08	nd	nd	
フェニトロチオン	nd	nd	nd	0.05	0.45	nd	-	nd	nd	nd	nd	-	nd	0.82	nd	
(3) 平成19年6月						(7) 平成19年10月										
エスプロカルブ	0.29	nd	nd	nd	nd	全調査対象物質					寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	
カフェンストロール	0.44	nd	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	
シメトリン	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	(8) 平成19年11月					寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋	
チオベンカルブ	nd	nd	nd	0.05	nd	ジクロルボス	nd	-	0.08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ピリブチカルブ	0.10	nd	nd	nd	nd	フィプロニル	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	0.05	0.05	
ピリミノバックメチル	nd	nd	nd	nd	0.05	(9) 平成19年12月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
プロモブチド	0.68	0.05	0.20	0.62	0.31	フェニトロチオン	nd	-	nd	0.82	nd	(10) 平成20年1月				
メフェナセット	nd	0.46	nd	0.09	nd	テルブカルブ	nd	-	0.05	nd	nd	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
モリネート	0.13	0.13	0.18	0.20	0.18	テブコナゾール	nd	-	0.05	nd	0.05	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
イプロベンホス	0.21	nd	0.13	nd	0.06	(11) 平成20年2月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
フェニトロチオン	nd	nd	nd	nd	0.35	全調査対象物質	nd	-	nd	nd	nd	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
フェンチオン	0.10	0.06	nd	nd	nd	(12) 平成20年3月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
(4) 平成19年7月						全調査対象物質	nd	-	nd	nd	nd	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
アメリリン	nd	0.05	nd	0.05	nd	(10) 平成20年1月										
エスプロカルブ	1.1	nd	nd	nd	nd	テルブカルブ	nd	-	0.05	nd	nd	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
カフェンストロール	0.08	nd	nd	nd	nd	テブコナゾール	nd	-	0.05	nd	0.05	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ジメタメトリン	0.05	nd	nd	nd	nd	(11) 平成20年2月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
シメトリン	nd	0.10	0.05	0.17	0.10	全調査対象物質	nd	-	nd	nd	nd	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
プロモブチド	0.30	nd	0.05	0.20	0.09	(12) 平成20年3月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
メフェナセット	3.1	0.51	0.05	nd	nd	全調査対象物質	nd	-	nd	nd	nd	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
モリネート	nd	0.19	0.07	0.50	0.24	(10) 平成20年1月										
イプロベンホス	0.40	nd	0.07	nd	nd	テルブカルブ	nd	-	0.05	nd	nd	寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
メトミノストロピン	nd	0.13	nd	nd	nd	テブコナゾール	nd	-	0.05	nd	0.05	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
ダイアジノン	nd	nd	0.05	nd	nd	(11) 平成20年2月						寺家	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋
フェンチオン	0.16	0.17	nd	0.09	nd	全調査対象物質	nd	-	nd	nd	nd	nd	田奈	千代橋	都橋	亀の子橋

nd: 定量限界(0.05 μg/L)未満

-: 試料なし

表-2 検出された物質の環境基準値、指針値及び予測無影響濃度

物質名	基準値もしくは指針値 (μg/L)	生態リスク初期評価の予測無影響濃度 ²⁾ (μg/L)
アメリリン	-	-
エスプロカルブ	10 ^c	-
カフェンストロール	-	-
ジメタメトリン	-	-
シメトリン	60 ^c	-
チオベンカルブ	20 ^a	0.17
テルブカルブ	200 ^d	-
ピリブチカルブ	200 ^d	-
除草剤		
ピリミノバックメチル	-	-
プロマシル	-	-
プロモブチド	40 ^c	-
メフェナセット	9 ^c	-
モリネート	5 ^c	-
レナシル	-	-
殺菌剤		
イプロベンホス	8 ^b	1.0
テブコナゾール	-	-
フルトラニル	200 ^c , 2000 ^d	-
メトミノストロピン	-	-
EDDP	6 ^c	-
イソキサチオン	8 ^b , 80 ^d	-
ジクロルボス	8 ^b	0.0013
ダイアジノン	5 ^b , 50 ^d	0.00026
殺虫剤		
フィプロニル	-	-
フェニトロチオン	3 ^b , 30 ^d	0.00021
フェンチオン	-	-
成長調整剤		
バクロブトラゾール	-	-

a: 水質汚濁に係る環境基準値

b: 指針値 (要監視項目)

c: 公共用水域等における水質評価指針値

d: ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針値

-: 環境基準値、指針値等が未設定 あるいは予測無影響濃度が未報告

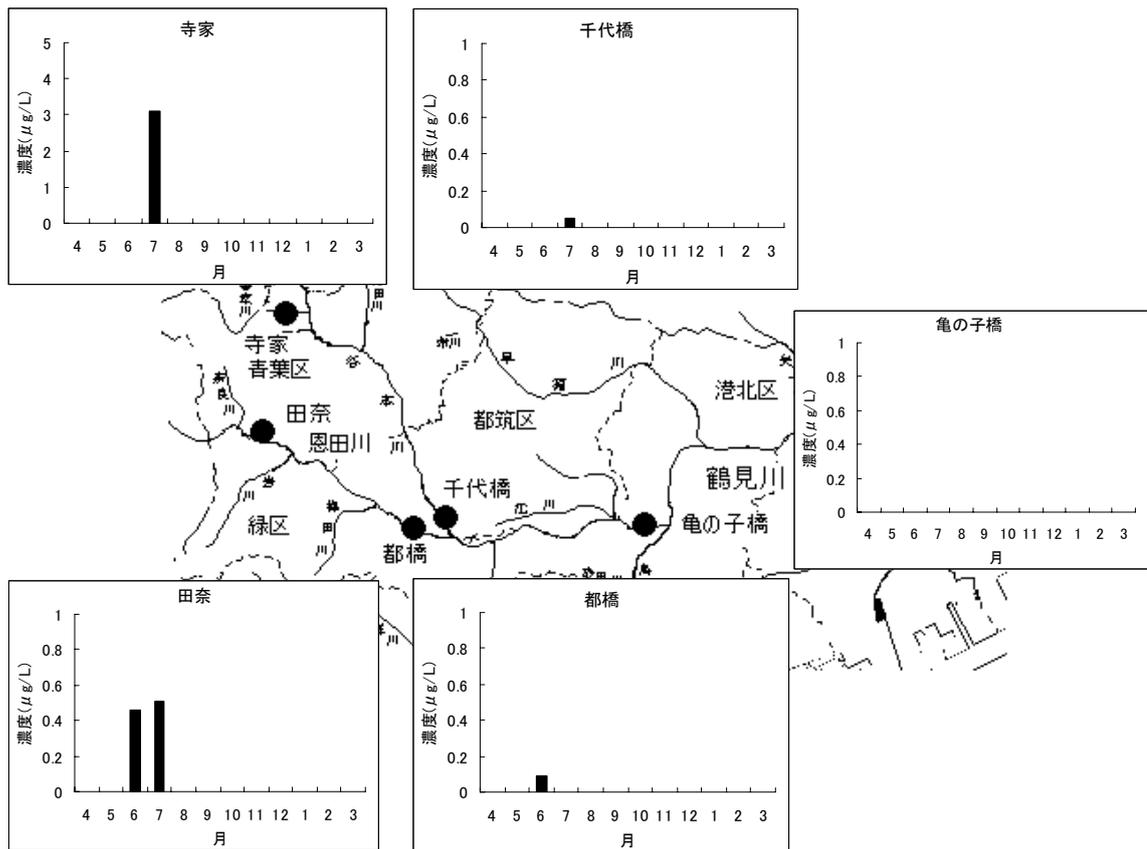


図-1 メフェナセツの調査結果

はじめに、除草剤の調査結果であるが、**図-1**に各地点のメフェナセツの濃度を示した。平成19年7月、寺家では、 $3.1 \mu\text{g/L}$ であったが、千代橋では、 $0.05 \mu\text{g/L}$ 、亀の子橋では定量限界未満と寺家の10分の1以下の濃度に減少しており、公共用水域等における水質評価指針値（年平均 $9 \mu\text{g/L}$ 以下）を超える地点は認められなかった。メフェナセツの主な用途は、水田用除草剤であり、神奈川県による横浜市全体の年間使用量は、 22.6kg と推察されている¹⁰⁾。6～7月にメフェナセツを使用した水田の下流で濃度が一時的に高くなったものと思われた。

7月に寺家で $1 \mu\text{g/L}$ を超える濃度が検出されたエスプロカルブ及び6月、7月に鶴見川の多くの地点から検出されたシメトリン、プロモブチド、モリネートもメフェナセツ同様、水田用除草剤であり、水田の影響が大きいと考えられる。一方、プロマシルは、駐車場や工場敷地等で使用される例が多い除草剤であり、寺家では検出されず、4、5、9月の都橋で $0.05 \mu\text{g/L}$ 検出されるなど、水田用の除草剤と異なる検出パターンを示しており、この傾向は平成18年度と同様であった。

チオベンカルブは、水田用除草剤で、平成18年6月、寺家： $2.1 \mu\text{g/L}$ 、田奈の恩田川への流入水： $6.7 \mu\text{g/L}$ 、都橋： $0.20 \mu\text{g/L}$ であったが⁹⁾、平成19年度、都橋で $0.05 \mu\text{g/L}$ 検出されたのみで、寺家で検出されなかった。平成17年から19年までの6月の寺家、都橋、亀の子橋にお

けるチオベンカルブの濃度は、平成18年6月の寺家で前年度より高い濃度が認められた以外は、減少傾向が認められた(**図-2**)。これは、平成18年12月にチオベンカルブを成分とする一部の農薬の登録が失効し、使用量が減少した影響と考えられた。

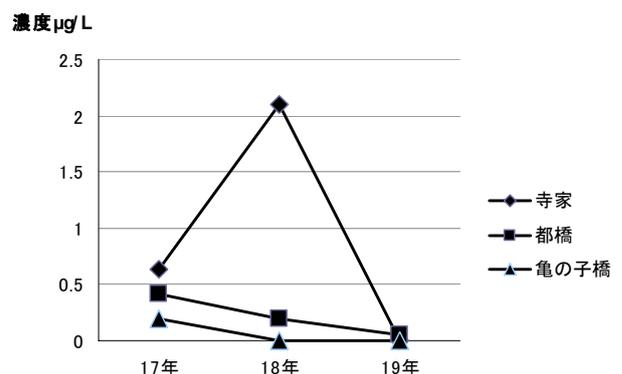


図-2 チオベンカルブの濃度変化

プレチラクロールについては、平成17年5～7月に環境省化学物質環境実態調査で4河川の調査を実施している³⁾。**図-3**に環境省の調査結果を示したが、兵庫県や香川県内の河川で、プレチラクロールは $0.5 \mu\text{g/L}$ を超える濃度が検出され、最高濃度は、美囊川（兵庫県）の $1.7 \mu\text{g/L}$ であった。また、環境省の調査と別に、吉田らが兵庫県内の河川を調べたところ、プレチラクロールは、

モリネートやシメトリンより検出回数が多く、最も高い濃度は $0.74 \mu\text{g/L}$ であった¹¹⁾。横浜市内においてプレチラクロールは、メフェナセット、エスプロカルブ、モリネートより使用量が多いと推察されているが¹⁰⁾、今回の調査によると、プレチラクロールは、鶴見川流域で比較的使用量が少ないと考えられた。

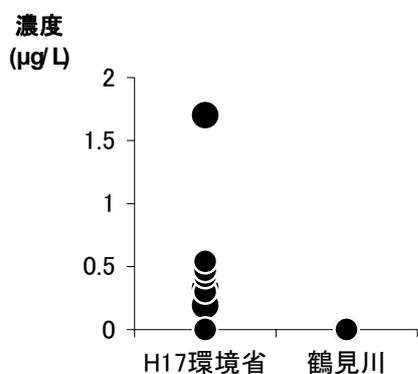


図-3 プレチラクロールの調査結果

次に殺菌剤であるが、今回の調査では、イプロベンホスが最も検出回数も多く、最高濃度も他の殺菌剤より高かった。しかし、最も高い濃度でも $0.40 \mu\text{g/L}$ (8月・寺家)であり、指針値(要監視項目)の $8 \mu\text{g/L}$ を超える地点は認められなかった。イプロベンホスの主な用途は稲用の殺菌剤であり、使用した水田の下流で一時的に濃度が高くなったものと考えられる。なお、イプロベンホスについて平成17年夏季に環境省が全国8河川で環境実態調査を実施しており、三重県(金沢川: $1.9 \sim 0.79 \mu\text{g/L}$)や埼玉県(元荒川: $1.8 \sim 0.2 \mu\text{g/L}$)では、濃度が $1 \mu\text{g/L}$ を超える試料も認められている(図-4)³⁾。平成19年度の鶴見川の場合、全国調査の幾何平均の濃度 ($0.10 \mu\text{g/L}$) を超える試料も認められるが、全国調査の最高濃度を超えるものは認められなかった。

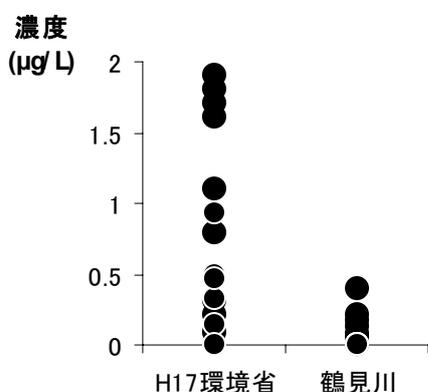


図-4 イプロベンホスの調査結果

稲用の殺菌剤では、メトミノストロピン及びEDDPも検出されたが、イプロベンホスと比較すると検出回数は少なかった。

殺菌剤のイソプロチオランは、平成17年度の環境省の化学物質環境実態調査で、香川県(財田川: $1.8 \sim 0.37 \mu\text{g/L}$)、大阪府(大和川: $0.055 \sim 0.49 \mu\text{g/L}$)、埼玉県(元荒川: $0.16 \sim 0.26 \mu\text{g/L}$)等の河川で検出されていた(図-5)。神奈川県の調査によると、横浜市内でもイソプロチオランが年間1.7kg使用されていると推察されているが¹⁰⁾、今回の調査では、平成18年度同様、いずれの地点でも不検出であった。

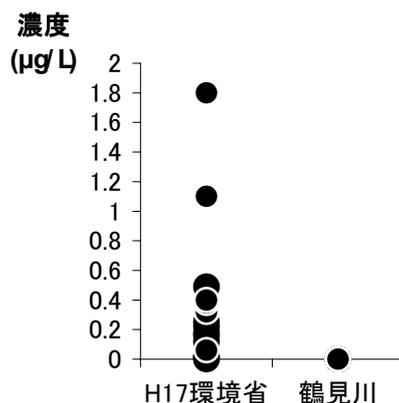


図-5 イソプロチオランの調査結果

殺虫剤に関し、検出回数が多いフェニトロチオンの濃度を図-6に示した。4月に千代橋、5月、6月に亀の子橋、5月、8月に都橋で検出され、冬季の12月に都橋から $0.82 \mu\text{g/L}$ 検出された。平成18年の12月にも亀の子橋で $0.41 \mu\text{g/L}$ 検出されており⁹⁾、フェニトロチオンの検出は、春～夏に限定されない傾向であった。

フェニトロチオンの指針値(要監視項目)は、 $3 \mu\text{g/L}$ であるが、生態リスク初期評価の予測無影響濃度は $0.00021 \mu\text{g/L}$ と、極めて低い濃度である(表-2)。都橋で12月に $0.82 \mu\text{g/L}$ 、亀の子橋で5月に $0.45 \mu\text{g/L}$ と、指針値より低い濃度であるが、予測無影響濃度より1000倍以上高い濃度を検出しており、平成18年度同様、生態系への影響が懸念される結果となった¹²⁻¹⁴⁾。

殺虫剤ではフェンチオンが寺家及び田奈で6月、7月に検出されているが、最も高い濃度でも $0.17 \mu\text{g/L}$ と、フェニトロチオンと比較して低い濃度であった。フェンチオンは、以前の調査でも、水田下流から検出されたことがあり⁵⁾、水田等で害虫対策に使用したものと思われた。

また、ジクロロボスは、寺家、田奈で検出されず、千代橋(5月 $0.14 \mu\text{g/L}$ 、11月 $0.08 \mu\text{g/L}$)、亀の子橋(5月 $0.06 \mu\text{g/L}$)で検出され、フェンチオンとは異なる濃度変化を示した。ジクロロボスの指針値(要監視項目)は、 $8 \mu\text{g/L}$ であるが、生態リスク初期評価の予測無影響濃度は、 $0.0013 \mu\text{g/L}$ と低い濃度であり(表-2)、フェニトロチオン同様に、生態系への影響が懸念される結果となった¹²⁻¹⁴⁾。

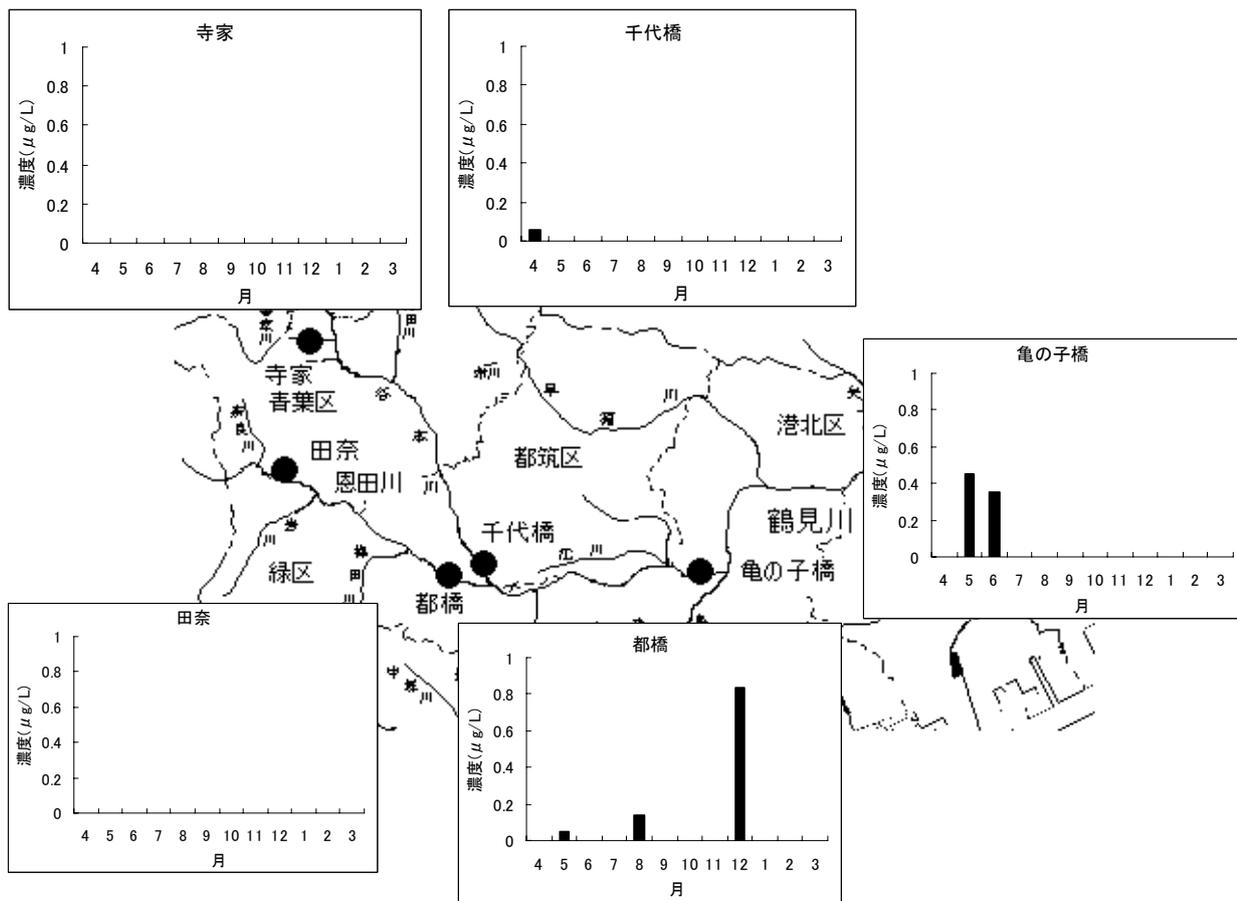


図-6 フェニトロチオンの調査結果

殺虫剤では、他にイソキサチオン及びダイアジノンが検出されたが、検出回数は少なく、検出濃度も指針値を超えるものではなかった。また、横浜市内で使用が推察されるフェノバルブ（横浜市内全体で年間 890kg）やエチルチオメトン（横浜市内全体で 900kg）については¹⁰⁾、今回検出されなかった。エチルチオメトンは平成 17、18 年度の鶴見川調査や環境省の化学物質環境実態調査³⁾でも、全て不検出であり、河川へ流出する割合が低いと考えられた。

4. まとめ

横浜市内の鶴見川で農薬調査を実施したところ、除草剤、殺菌剤及び殺虫剤の合計 26 種類が検出された。メフェナセット、モリネート、イプロベンホス、フェンチオン等水田で使用が推察される除草剤、殺菌剤、殺虫剤は、6～8 月に検出され、鶴見川中流部の亀の子橋よりも、寺家、田奈（恩田川への流入水）で濃度が高くなる傾向が、平成 19 年度も平成 18 年度同様に認められた。一方、フェニトロチオンやジクロロボスは、11、12 月に都橋、千代橋で検出されるなど、メフェナセット、モリネート等と異なる傾向を示した。

除草剤の一種であるチオベンカルブの検出回数の減少及び検出濃度の低下が認められ、平成 17、18 年度検出されなかったエスプロカルブが平成 19 年度検出されるなど、使用する水田用除草剤に変化が認められた。

測定結果を環境基準値、指針値等と比較すると、環境基準値、指針値等を超える物質は認められなかった。しかし、測定結果と生態リスク初期評価の予測無影響濃度と比較すると、都橋におけるフェニトロチオン（0.82 μg/L、平成 19 年 12 月）など、予測無影響濃度の 1000 倍以上の濃度であり²⁾、平成 18 年度同様に生態系への影響が懸念される結果となった。

参考資料

- 1) 国立環境研究所：国立環境研究所特別研究報告・水環境における化学物質の長期暴露による相乗的生態系影響に関する研究、(1995)。
- 2) 環境省：化学物質ファクトシート-2007 年版-、(2008)。
- 3) 環境省：化学物質と環境、(2007)。
- 4) 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 3 報）、横浜市環境科学研究所報、**23**、16-25 (1999)。
- 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) 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/>
- 11) 吉田光方子、藤森一男：水田地域における河川水中農薬調査、兵庫県立健康環境科学研究所センター紀要、**2**、28-36（2005）.
- 12) Kikuchi, M., Sasaki, Y. and Wakabayashi, M., Screening of organophosphate insecticide pollution in water by using *Daphnia magna*, Ecotoxicol. Environ. Safety, **47**, 239-245（2000）.
- 13) Sakai, M., Use of chronic tests with *Daphnia magna* for examination of diluted river water Ecotoxicol. Environ. Safety, **53**, 376-381（2002）.
- 14) 多田 満、小神野 豊：オオミジンコ生態影響試験法によるつくば市内河川水の評価、第 14 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会講演要旨集、p71（2008）.

LC/MS を用いた農薬の多成分同時分析法

二宮勝幸 (横浜市環境科学研究所)

Study on simultaneous analysis of pesticides by LC/MS/MS

Katsuyuki Ninomiya
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：魚死亡事故、緊急時環境調査、農薬、多成分同時分析法、LC/MS

要旨

市内河川や海域における魚の死亡事故件数は近年 10 件前後で推移しており、そのうち 8 割程度が原因不明となっている。事故原因は様々であるが、これまで農薬等の化学物質による事故については主としてガスクロマトグラフ質量分析装置 (GC/MS) を用いて化学物質検索を行ってきたが、より多種類の農薬を対象に迅速に測定できるように液体クロマトグラフ質量分析装置 (LC/MS) を用いた多成分同時分析法について検討した。

1. はじめに

下水道普及率の向上や排水規制の強化などによって、河川水質が改善され河川に魚が戻ってきているが¹⁾、魚の死亡事故件数は近年についてみると毎年 10 件ほど発生している^{2,3)}。

事故原因としては、貧酸素や赤潮など気象因子が影響しているものや、水生生物に対する影響の大きい農薬などの化学物質によるものがあるが、原因不明のものも多い^{2,3)}。

原因不明の場合が多い理由に、化学物質等が河川水で希釈されまた速やかに流れ去り、検出レベル以下の濃度まで低下してしまうことなどが挙げられる。また、化学物質の検索については、これまで GC/MS で測定可能な揮発性のある低極性の物質を対象に行ってきたため、測定対象物質が限られる制約があった。

一方、LC/MS は GC/MS では測定困難な難揮発性、高極性、熱不安定化合物を測定することが可能となり、感度も向上してきた^{4,5)}。すなわち、測定対象物質の種類が多くなり、化学物質が痕跡量でも検出できる。

そこで、魚の死亡事故の原因解明や緊急時環境調査等に寄与するため、LC/MS を用いて農薬の多成分同時分析法を検討したので報告する。

2. 方法

2-1 試薬および農薬標準溶液

メタノール：LC/MS 分析用

アセトニトリル：LC/MS 分析用

アセトン：残留農薬分析用

精製水：ミリポア製 Milli-Q Gradient を用いた。

固層ディスク：エムポアディスク SDB-XD

酢酸アンモニウム：試薬特級

硝酸：試薬特級

農薬標準溶液：林純薬製 LC/MS 用農薬標準溶液の Mix 1 ~ Mix 7 (合計で 155 種類の農薬) を混合して 1 μ g/ml に調製した。

2-2 分析装置の条件

表 1 に LC/MS の装置条件を示した。

表 1 LC/MS の装置条件

[LC分析条件]

装置：Alliance2695
 カラム：Sunfire™ C18 5 μ m 4.6x150 mm
 流速：0.2 mL/min
 温度：40°C
 移動相：A液:H2O、B液:CH3OH、C液:100mM-CH3COONH4
 注入量：5 μ l

時間(分)	A%	B%	C%
0.0	80	15	5
1.0	55	40	5
3.5	55	4	5
6.0	45	50	5
8.0	40	55	5
17.5	0	95	5
24.0	80	15	5

グラジエント：

[MS分析条件]

装置：Quattro Premier
 Capillary：5kV
 SourceTemp：120°C
 Desolvation Temp：350°C
 Desolvation Gas：600L/hr,
 Cone Gas：50L/hr,

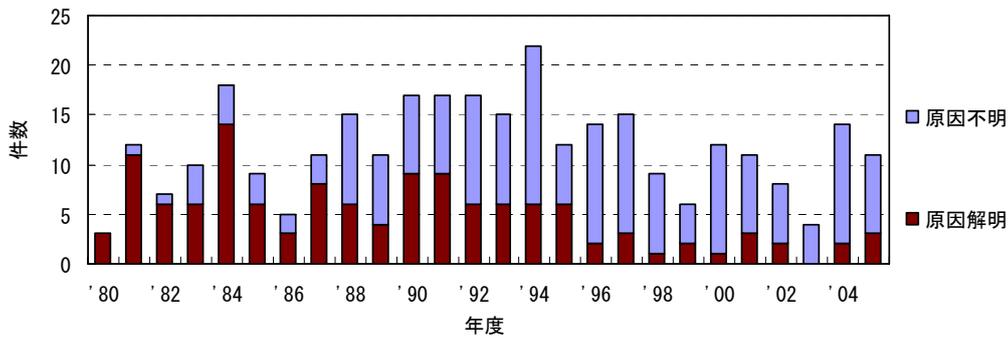


図1 魚の死亡事故件数の推移

3. 結果及び考察

3-1 魚の死亡事故件数の推移

図1に1980年度から2005年度までの魚の死亡事故件数の推移を示した²⁾。

年度毎の事故件数は1980年代前半は3件から18件、平均して約10件発生していたが、1990年代に入ると15件を上回る年が続いた。その後、事故件数は低下し2000年代には再び10件程度で推移している。

事故原因が不明な場合と解明された場合に分けると、1980年代はじめは9割ほどの事故原因が解明されていたが、徐々に低下し2000年度以降は原因不明が7割を超えるようになった。この理由として、以前は事故原因物質がシアンなどの工場等に由来する化学物質で因果関係がはっきりしていたのに対して、そのようなケースが少なくなってきたこと、また、農薬などの化学物質が原因物質であったとしても、その種類は非常に多くかつ採取された試料水中の濃度がかなり低いため、特定できなかったことなどが考えられる。なお、農薬については、農業以外にも家庭菜園、緑地、公衆衛生など多方面で使用されていることも一因になっていると推察される。

3-2 マルチプルリアクションモニタリング (MRM) 条件の最適化

農薬標準溶液 (1 µg/ml) を希釈して、10ng/ml に調製したものをを用いた。155種類の農薬について、以下の手順により最適なMRM条件を求めた。ただし、イオン化法はエレクトロスプレーイオン化 (ESI) とし、最初に Positive 測定により最適なMRM条件を求め、次に、Positive 測定で感度が出ない物質については Negative 測定を行い最適なMRM条件を求めた。また、デュエル時間は各農薬とも50msで統一した。

①データを連続的なスペクトルとして取り込む方法 (MS Scan 法) を用いて、ピーク強度の大きいプレカーサーイオンの m/z を選択する。

②1つの m/z 値のみをモニターする方法 (SIR 法) を用いて、①のプレカーサーイオンの最大感度のコーン電圧 (V) を求める。

③プレカーサーイオンから開裂させたイオンを見るための MS/MS 測定モード (Daughters 法) を用いて、②の条件下におけるピーク強度の大きいプロダクトイオンの m/z を選択する。

④MRM法により、③の条件で最大感度のコリジョン

エネルギー (eV) を求める。

⑤最後に、1つのグループになるべく5~15物質となるように保持時間を区分した。その結果、最適なグループ数は13グループとなった。

表2に対象物質、最適MRM条件を、また、図2にグループ別に測定した TIC クロマトグラフを示した。

この条件での分析時間は同定も含めて約1時間である。

3-3 前処理方法および回収率試験

精製水 250ml に農薬標準溶液 10 µl (各 10ng) を添加した後、硝酸 (1+10) で pH を 3.5 に調製した。次に、あらかじめアセトン、アセトニトリル、メタノールおよび精製水でコンディショニングしたガラス繊維ろ紙 (GF/C) とエムポアディスク (SDB-DX) に通水する。それを精製水 10ml で洗浄し、吸引を30分間続けて脱水してから、アセトニトリル 8ml で溶出し、その溶出液を窒素ガス吹き付けにより 0.2ml 程度まで濃縮する。それにアセトニトリルを加えて 1ml までメスアップしたものを LC/MS 測定用試験溶液とし、3-2 で求めた MRM 条件で LC/MS 測定を行った。この所要時間は約4時間であり、LC/MS 測定とあわせて合計約5時間となる。

表2に回収率を示した。ただし、回収率については3回の測定値の平均から求め、回収率が50%以上の124物質についてまとめた。

4. まとめ

河川・海域での魚の死亡事故や緊急時の環境調査などに活用するため、124種類の農薬を対象に LC/MS を用いた多成分同時分析法をまとめた。

文献

- 1) 横浜市環境保全局：横浜の川と海の生物、第8報 (1998)
- 2) 横浜市公害対策局：公害との戦い、昭和51年度～昭和57年度
- 3) 横浜市環境保全局：横浜環境白書、昭和58年度～平成17年度
- 4) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課：LC/MS を用いた化学物質分析法開発マニュアル
- 5) 浦山豊弘, 杉山広和, 劔持堅志, 藤原博一, 鷹野洋, 吉岡敏行：環境中微量有害化学物質の分析, 検索技術の開発に関する研究, 岡山県環境保健センター年報, 30, 57~62 (2006).

表2 対象物質、測定条件および回収率（その1）

化合物名	保持時間 (分)	イオン化法	モニターイオン		コーン 電圧(V)	コリジョン 電圧(eV)	回収率 (%)
			プレカサー	プロダクト			
Oxamyl	7.3	ESI Positive	237	72	15	15	101
Nitenpyram	7.5	ESI Positive	271	126	25	30	80
Methomyl	7.8	ESI Positive	163	88	15	10	92
Thiamethoxam	8.1	ESI Positive	292	211	25	15	104
Imidacloprid	9.4	ESI Positive	256	209	30	15	95
Clothianidin	9.8	ESI Positive	250	169	25	15	108
Thiofanox_sulfone	10.2	ESI Positive	251	76	20	10	110
Vamidothion	10.3	ESI Positive	288	146	25	15	90
Acetamiprid	10.5	ESI Positive	223	126	30	20	99
Carbofuran-3-hydroxy	10.6	ESI Positive	238	181	25	10	101
Dioxacarb	10.6	ESI Positive	224	123	20	15	81
Chloridazon	10.9	ESI Positive	222	92	40	25	101
Oxycarboxine	11.7	ESI Positive	268	175	25	15	106
Tribenuron_methyl	11.9	ESI Positive	396	155	25	15	72
Thiacloprid	12.0	ESI Positive	253	126	35	20	105
Tricyclazole	12.5	ESI Positive	190	163	40	30	95
Butocarboxim	13.0	ESI Positive	208	75	10	10	73
Aldicarb	13.2	ESI Positive	208	116	10	10	74
Tepraloxydim_metabolite_DMP	13.6	ESI Positive	245	117	25	20	87
Metolcarb	14.1	ESI Positive	166	109	20	10	61
Probenazole	14.2	ESI Positive	224	41	25	10	96
Azamethiphos	14.5	ESI Positive	325	183	25	15	99
Propoxur	15.2	ESI Positive	210	168	20	10	88
Bendiocarb	15.3	ESI Positive	224	167	25	10	89
Carbofuran	15.3	ESI Positive	222	165	25	10	121
Aminocarb	15.4	ESI Positive	209	137	30	25	92
Tebuthiuron	15.6	ESI Positive	229	172	30	20	95
Isouron	15.9	ESI Positive	212	167	30	15	98
Thiofanox	16.0	ESI Positive	219	145	15	15	99
Carbaryl	16.0	ESI Positive	202	145	20	10	96
MPMC	16.3	ESI Positive	180	123	20	10	81
Thiodicarb	16.4	ESI Positive	355	88	20	15	92
Monolinuron	16.6	ESI Positive	215	126	25	20	92
XMC	16.7	ESI Positive	180	123	20	10	77
Pirimicarb	17.1	ESI Positive	239	182	30	15	95
Methabenzthiazuron	17.3	ESI Positive	222	165	25	15	96
Furametpyr	17.3	ESI Positive	334	157	35	35	100
Isoprocarb	17.5	ESI Positive	194	95	25	15	72
Isoxaflutole	17.8	ESI Positive	360	251	30	15	103
Azafenidin	17.8	ESI Positive	338	264	40	30	98
Diuron	17.9	ESI Positive	233	72	30	20	98
Mepanipyrim_metabolite	17.9	ESI Positive	244	226	30	20	96
2,3,5-Trimethacarb & 3,4,5-Trimethacarb	18.0	ESI Positive	194	137	25	10	87
Triforin	18.3	ESI Positive	435	390	15	15	103
Phenmedipham	18.3	ESI Positive	318	168	20	20	96
Pyrifthalid	18.6	ESI Positive	319	139	40	30	103
Fluridon	18.6	ESI Positive	330	310	40	30	98
Azoxystrobin	18.8	ESI Positive	404	372	25	15	105
Azinphos_methyl	18.8	ESI Positive	318	77	30	35	97
Fenobucarb	19.0	ESI Positive	208	95	15	15	75
Dimethomorph-E	19.1	ESI Positive	388	301	40	20	95
Inabenfide	19.1	ESI Positive	339	80	35	30	89
Linuron	19.2	ESI Positive	249	182	30	15	99
Methiocarb / Mercaptodimetur	19.3	ESI Positive	226	169	25	10	101
Acibenzolar-S-methyl	19.3	ESI Positive	211	136	35	30	87
Fenamidone	19.4	ESI Positive	312	92	25	25	102
Benzobicyclon	19.6	ESI Positive	447	257	40	25	104
Boscalid	19.6	ESI Positive	343	307	40	20	100
Dimethomorph-Z	19.7	ESI Positive	388	301	40	20	102
Promecarb	19.7	ESI Positive	208	151	25	10	90
Methoxyfenozide	19.8	ESI Positive	369	313	15	15	99
Dymuron	20.0	ESI Positive	269	151	25	15	104

表2 対象物質、測定条件および回収率（その2）

化合物名	保持時間 (分)	イオン化法	モニターイオン		コーン 電圧(V)	コリジョン 電圧(eV)	回収率 (%)
			プレカサー	プロダクト			
Cumyluron	20.2	ESI Positive	303	185	30	15	98
Chloroxuron	20.2	ESI Positive	291	72	35	20	101
Butafenacil	20.3	ESI Positive	492	331	25	25	101
Chromafenozide	20.3	ESI Positive	395	175	40	15	90
Tralkoxydim2	20.5	ESI Positive	330	138	25	25	81
Mepanipyrim	20.5	ESI Positive	224	77	40	40	97
Triticonazole	20.6	ESI Positive	318	70	30	20	97
Triflumizole metabolite	20.6	ESI Positive	295	215	35	35	101
Iprovalicarb	20.6	ESI Positive	321	119	30	20	101
Oryzalin	20.7	ESI Negative	345	281	40	20	98
Epoxiconazole	20.7	ESI Positive	330	121	30	20	99
Simeconazole	20.7	ESI Positive	294	70	30	20	98
Tepraloxym metabolite OH-DMP	20.7	ESI Positive	261	211	30	25	97
Cyazofamid	20.7	ESI Positive	325	108	20	15	99
Indanofan	20.8	ESI Positive	341	175	20	15	98
Flufenacet	20.8	ESI Positive	364	152	20	20	97
Diflubenzuron	21.0	ESI Positive	328	158	10	20	103
Diflubenzuron	21.0	ESI Positive	311	141	25	35	98
Naproanilide	21.0	ESI Positive	292	171	25	15	99
Fenoxycarb	21.1	ESI Positive	302	116	25	10	98
Tebufenozide	21.1	ESI Positive	353	133	15	20	84
Tetrachlorvinphos	21.3	ESI Positive	367	127	30	15	98
Fentrazamid	21.6	ESI Positive	350	197	20	10	108
Anilofos	21.6	ESI Positive	368	199	25	15	111
Carpropamid	21.7	ESI Positive	334	139	30	15	109
Cyprodinil	21.9	ESI Positive	226	93	40	35	94
Pyraclostrobin	22.0	ESI Positive	388	163	25	25	111
Cyflufenamid	22.0	ESI Positive	413	295	25	15	98
Phoxim	22.0	ESI Positive	299	129	20	10	101
Triflumuron	22.1	ESI Positive	359	156	30	15	97
Prochloraz	22.1	ESI Positive	376	308	25	10	91
Pyrazolate	22.2	ESI Positive	439	173	35	20	102
Pyrazolynate	22.3	ESI Positive	439	91	35	35	104
Pencycuron	22.4	ESI Positive	329	125	35	25	108
Clofentezine	22.4	ESI Positive	303	138	25	15	66
Indoxacarb MP	22.4	ESI Positive	528	150	35	25	95
Hexaflumuron	22.5	ESI Negative	459	439	25	15	100
Novalron	22.5	ESI Positive	493	158	30	20	81
Terbucarb	22.6	ESI Positive	278	222	25	10	89
Triflumizole	22.8	ESI Positive	346	278	20	10	92
Benzofenap	22.9	ESI Positive	431	105	40	35	99
Fenoxaprop-ethyl	23.0	ESI Positive	362	288	35	20	101
Oxaziclofomefone	23.1	ESI Positive	376	190	25	15	103
Pentoxazone	23.1	ESI Positive	354	286	30	15	101
Quizalofop-ethyl	23.1	ESI Positive	373	299	40	20	97
Lactofen	23.2	ESI Positive	479	344	25	15	97
Furathiocarb	23.2	ESI Positive	383	195	30	20	95
Clomeprop	23.3	ESI Positive	324	120	30	25	93
Lufenuron	23.3	ESI Positive	511	158	35	25	92
Propaquizafop	23.3	ESI Positive	444	100	30	10	95
Imibenconazole	23.5	ESI Positive	411	125	35	30	94
Aramite	23.5	ESI Positive	352	191	20	10	97
Fenpyroximate_E	23.5	ESI Positive	422	366	25	15	88
Teflubenzuron	23.6	ESI Positive	381	141	25	35	101
Cloquintocet mexyl	23.6	ESI Positive	336	238	30	25	94
Hexythiazox	23.8	ESI Positive	353	228	25	15	95
Flufenoxuron	23.9	ESI Positive	489	158	35	20	95
Cycloprothrin	24.2	ESI Positive	499	181	20	35	96
Chlorfluazuron	24.4	ESI Positive	540	383	40	20	88
Fenpyroximate_Z	24.4	ESI Positive	422	366	40	15	90
Acequinocyl	24.7	ESI Positive	357	329	30	20	76
Abamectin	25.2	ESI Positive	891	567	20	15	75

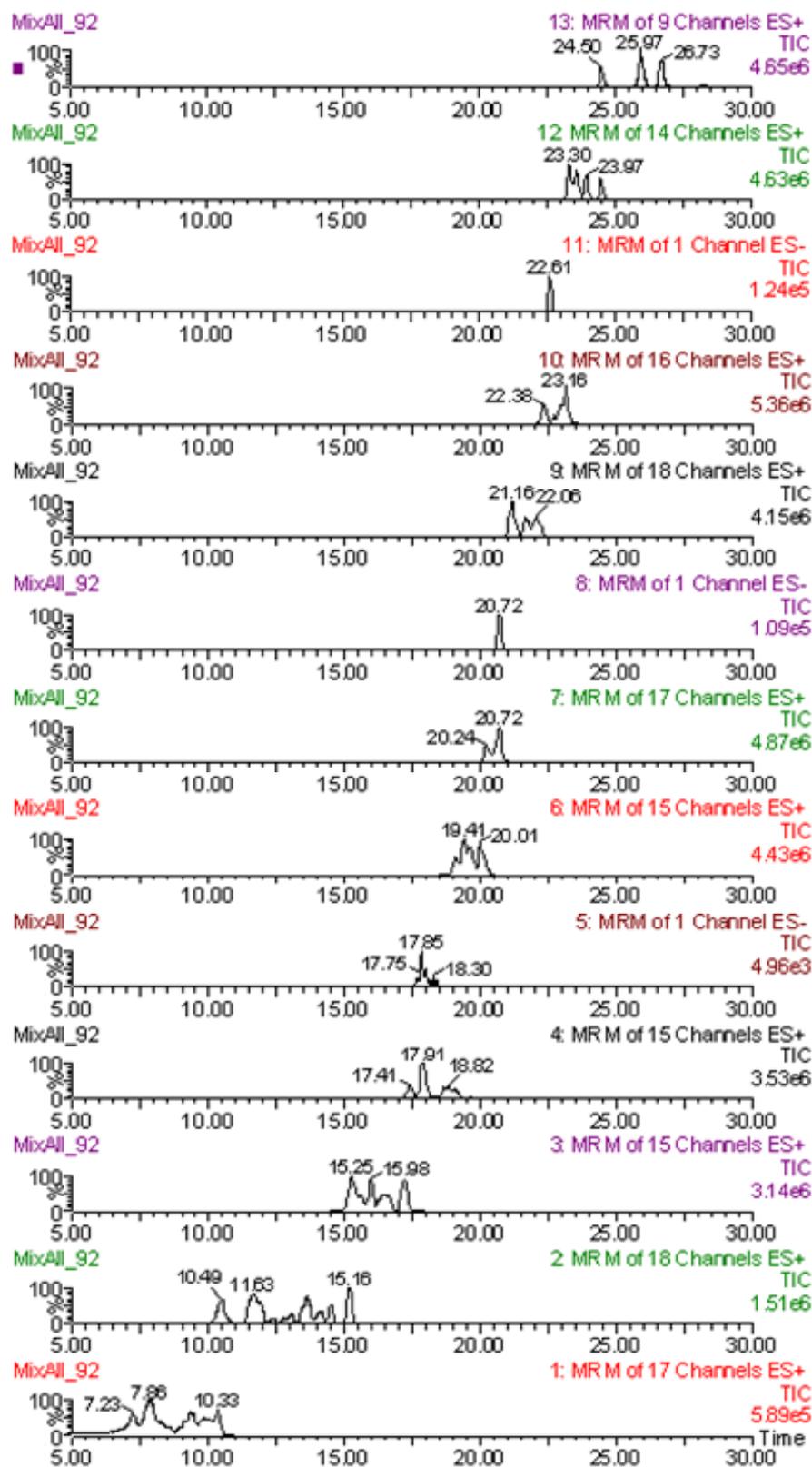


図2 TICクロマトグラフ

下水汚泥焼却灰の重金属不溶化処理技術について

川井英夫、伊熊信男、米山利行（横浜市環境科学研究所）

On heavy metal insoluble treatment technology of the sludge incinerated ash

Hideo Kawai, Nobuo Ikuma, Toshiyuki Yoneyama
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：不溶化処理技術、重金属含有量、溶出試験

要旨

本市では下水汚泥を全量焼却しており、年間約2万トン発生する焼却灰を、平成16年度には埋立処分することなく全量有効利用することができた。しかし、今後さらに有効利用における環境安全性を高めるために、焼却灰に含まれる重金属類の不溶化処理技術を確立することが不可欠である。そこで、下水汚泥焼却灰の重金属不溶化処理技術について、平成16年度及び17年度の調査結果を踏まえ、下水汚泥焼却灰中に含まれる有害重金属の溶出を抑制させる技術の中から、本市に適用可能な重金属溶出抑制技術を調査するとともに、抽出した技術の室内実験を行い、資源化に向けた課題の検討を行った。実験の結果、全ての物質に適応する方法がなかったが、基準適合の状況からは、法3「硫酸第一鉄+加熱」の方法が本市焼却灰への適用性が高いと考えられる。

本稿では、一般に土壌の重金属溶出抑制技術として用いられている（消石灰、硫酸第一鉄、チオ硫酸ナトリウム）を用いて実験した結果について報告する。

1 はじめに

本市では下水汚泥を全量焼却しており、焼却灰の利用は、セメント原料約60%、改良土約39%、その他約1%である。しかし、セメント原料化に大きく依存しているのが現状であり、社会情勢の変化に伴って、処理コストが増大する可能性があるだけでなく、受け入れ量が大幅に削減され、100%有効利用形態が崩れる可能性もある。そこで、焼却灰中の重金属溶出抑制技術を調査し、抽出した技術の室内実験を行い、不溶化することで、多目的な有効利用方法が確立できる。

2 過去の経緯

平成16年度に、還元剤と酸化鉄系薬剤を焼却灰に混練して重金属が不溶化されることを確認し、この焼却灰を高流動埋戻材に適用して実際の現場で試験施工を行った。また、平成17年度は、前年度で行った試験施工現場での追跡調査を行うとともに、新たな還元剤を開発することにより重金属不溶化処理にかかるコストの低減を検討した。しかし、一般的な薬剤と比べてコストが非常に高い為、今回は、一般に土壌の重金属溶出抑制技術として用いられている消石灰、硫酸第一鉄、チオ硫酸ナトリウムを用いて実験を行った。

3 対象重金属

土壌汚染対策法において対策の対象とする物質は、第一種、第二種及び第三種特定有害物質と規定されているが、下水汚泥焼却灰を再生物の原材料として利用する場合、第一種特定有害物質である VOC（揮発性有機化合

物）は処理工程の焼却等で概ね除去されており、第三種特定有害物質である農薬等は、原則として流入経路からの混入が少ないと考えられることから、第二種特定有害物質である重金属等に関して検討を行う必要がある。

今回は、ヒ素、セレン、カドミウム、鉛、六価クロム、総水銀を対象物質とした。

4 汚泥焼却灰の重金属溶出抑制技術の調査検討

下水道分野などにおける焼却灰中の重金属溶出抑制技術についての各都市における取り組み状況、研究開発状況等に係る文献調査、並びにメーカーヒアリング調査結果から、本市に適用可能と思われる技術の抽出を行った。抽出された技術の中から数案について、溶出抑制剤の添加・混合により重金属不溶化焼却灰の試験製造を行うとともに、薬品添加焼却灰からの重金属溶出試験を室内実験で行った。

なお、溶出抑制剤の添加・混合条件については、文献調査結果やメーカーヒアリング結果に基づき設定した。

5 実験対象重金属溶出抑制技術の抽出

溶出技術の抽出に当たっては、下記の点に留意した。

- ① 下水道分野における本技術の動向
- ② メーカーヒアリング結果
- ③ 経済的な処理
 - ・できるだけ低コスト（加熱する場合、焼却炉廃熱の利用可能な範囲）

6 重金属不溶化処理技術に関する実験

① 実験目的

本実験は、抽出された重金属不溶化処理技術(表-1)の本市焼却灰への適用性を実験室レベルで調べたものである。

なお、硫酸第一鉄+加熱(150℃、1hr)の法3については、硫酸第一鉄の添加率の影響についても確認するため3%、5%の2ケースで行った。

② 実験方法

重金属の含有量試験は焼却灰(原灰)について行い、試験方法は底質調査方法(昭和63年環水管第127号)と土壌含有量調査方法(平成15年環告第19号)の2方法(表-2)で行った。また、焼却灰(原灰)の溶出試験は、「環境庁告示46号」(平成3年8月23日)による方法、及び酸・アルカリ環境による溶出の課題を検討するために、(社)土壌環境センターにより提案された酸添加法Ⅱ・アルカリ添加法Ⅱにより行った。なお、pHについては溶出試験実施後に測定した。

③ 試験製造(図-1)

重金属不溶化焼却灰の試験製造は、焼却灰に薬品を添加して、混合した後、加熱する手順で行った。

④ 溶出試験

重金属不溶化灰の環境安全性(分析項目を表-3に示す)を確認するため、焼却灰(原灰)と同様に「環境庁告示46号法」による溶出試験及び酸性・アルカリ性条件下に長期間晒された場合を想定した安定性試験(酸・アルカリ添加溶出試験)を行った。(溶出基準を表-4に示す)

⑤ 実験結果(表-5, 図-2・3・4・5)及び考察

ヒ素、鉛、六価クロムについては、4つの方法とも不溶化技術として環境安全性が高いことを確認できた。また、鉛、六価クロムについては、原灰及び4つの方法のいずれにおいても溶出は起らなかった。

セレンについては、法3「硫酸第一鉄+加熱」における硫酸第一鉄の添加率が5%の場合はより高いセレン溶出の抑制効果があることが分かった。

カドミウムについては、法3「硫酸第一鉄+加熱」の不溶化灰は、環告46号法と酸添加法Ⅱによる溶出試験においてカドミウムの溶出が発生し、かつ、法3「硫酸第一鉄+加熱」における硫酸第一鉄の添加率が5%と高い場合は溶出量が多くなる傾向が見られる。これは硫酸第一鉄を添加して加熱した場合、溶けやすい形態である硫酸カドミウムが生成したためであると想定される。

総水銀については、法1「消石灰」では環告46号法と酸添加法Ⅱによる溶出試験で、法4「硫酸第一鉄+チオ硫酸ナトリウム+加熱」では酸添加法Ⅱによる溶出試験において水銀が溶出したのに対し、法2「消石灰+硫酸第一鉄」、法3「硫酸第一鉄+加熱」ではいずれの溶出試験においても水銀の溶出は起らなかった。

水銀の溶出は、原灰に含まれている水銀が比較的多いことと、不溶化方法が十分な効果を果たさなかったことによるものと考えられる。

表-1 重金属不溶化処理技術の抽出

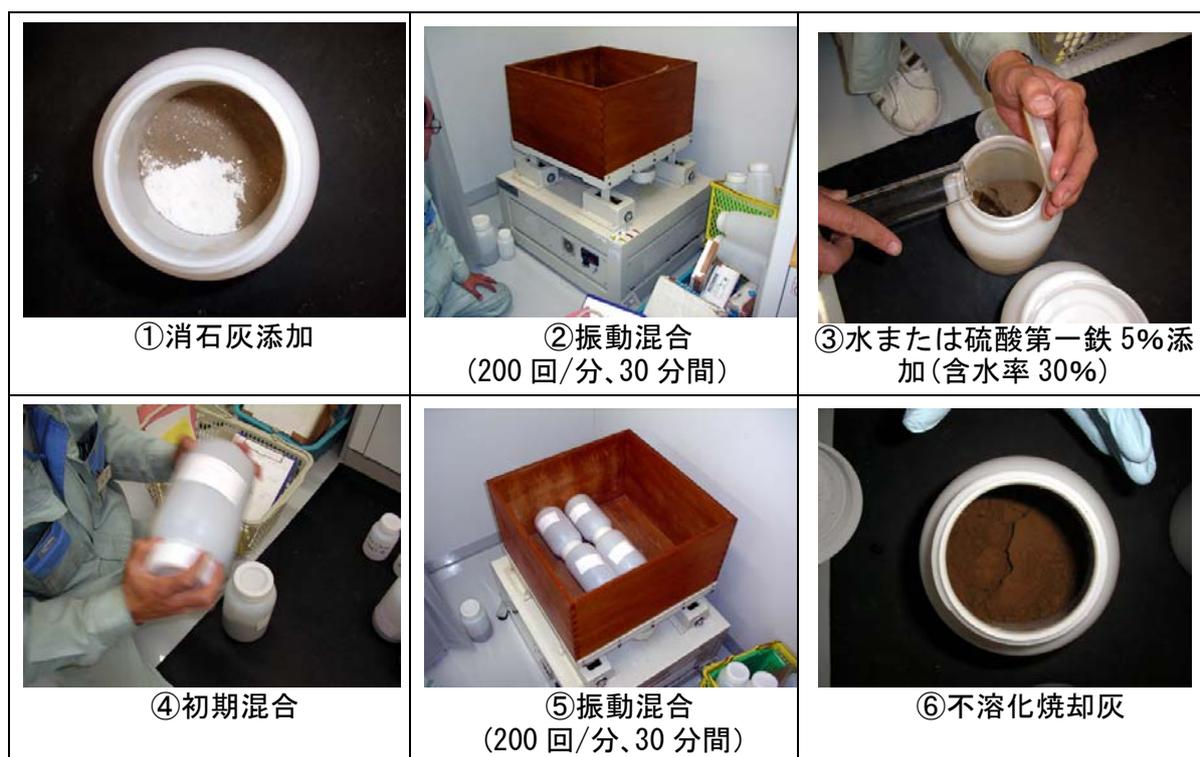
不溶化処理方法		消石灰	硫酸第一鉄	チオ硫酸ナトリウム	加熱
法1	従来法(消石灰)	3%	-	-	-
法2	従来法+薬剤添加	3%	5%	-	-
法3	薬剤添加+加熱処理(1)	-	3%	-	150℃、1hr
			5%		
法4	薬剤添加+加熱処理(2)	-	3%	1%	150℃、1hr

注:1)硫酸第一鉄の添加率は乾燥焼却灰に対して $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ とした添加量のパーセンテージである。

2)チオ硫酸ナトリウムの添加率は乾燥焼却灰に対して $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ とした添加量のパーセンテージである。

表-2 焼却灰(原灰)重金属含有量の試験結果

測定項目		焼却灰(原灰)		特定有害物質含有量基準
		底質調査方法	土壌含有量調査方法	
ヒ素	mg/kg	19	16	150
セレン	mg/kg	5.6	<5	150
カドミウム	mg/kg	4.9	5	150
鉛	mg/kg	100	67	150
六価クロム	mg/kg	<0.5	<5	250
総水銀	mg/kg	1.1	0.38	15
含水率	%	0.1		-



図－1 法1と法2による重金属不溶化灰の試験製造過程

表－3 不溶化灰溶出試験における分析項目

測定項目	法1 消石灰3%	法2 消石灰3% 硫酸第一鉄 5%	法3		法4 硫酸第一鉄3% チオ硫酸ナトリウム 1%
			硫酸第一鉄 3%	硫酸第一鉄 5%	
ヒ素	○	○	○	○	○
セレン	○	○	○	○	○
カドミウム	○	○	○	○	○
鉛	○	○	○	○	○
六価クロム	○	○	○	○	○
総水銀	○	○	○	○	○
pH	○	○	○	○	○

表－4 土壤汚染対策法及び廃掃法の溶出基準

法令等 物質名	土壌	汚泥・ばいじん等
	土壌環境基準 (土壌の汚染に係る環境基準)	埋立基準 (廃棄物の処理及び清掃に関する法律)
	溶出量 (mg/L)	溶出量 (mg/L)
ジクロロメタン	0.02	0.2
四塩化炭素	0.002	0.02
1,2-ジクロロエタン	0.004	0.04
1,1-ジクロロエチレン	0.02	0.2
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04	0.4
1,1,1-トリクロロエタン	1	3
1,1,2-トリクロロエタン	0.006	0.06
トリクロロエチレン	0.03	0.3
テトラクロロエチレン	0.01	0.1
1,3-ジクロロプロペン	0.002	0.02
ベンゼン	0.01	0.1
カドミウムおよびその化合物	0.01	0.3
六価クロム化合物	0.05	1.5
シアン化合物	ND	1
水銀およびその化合物 (アルキル水銀)	0.0005 ND	0.005 ND
セレンおよびその化合物	0.01	0.3
鉛およびその化合物	0.01	0.3
ヒ素およびその化合物	0.01	0.3
フッ素およびその化合物	0.8	
ホウ素およびその化合物	1.0	
チウラム	0.006	0.06
シマジン	0.003	0.03
チオベンカルブ	0.02	0.2
PCB	ND	0.003
有機リン化合物	ND	1

表－5 溶出試験における重金属類の溶出結果

測定項目	焼却灰 (原灰)	重金属不溶化灰				環境 基準		
		法1	法2	法3	法4			
消石灰添加	—	3%	3%	—	—	—		
硫酸第一鉄添加	—	—	5%	3%	5%	3%		
チオ硫酸ナトリウム添加	—	—	—	—	—	1%		
加熱	—	—	—	150℃、 1hr	150℃、 1hr	150℃、 1hr		
ヒ素 (mg/L)	環告46号法	0.12	0.003	<0.002	<0.002	<0.002	0.01	
	酸添加法Ⅱ	0.35	0.004	0.002	0.003	0.002		
	アルカリ添加法	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	—		<0.002
セレン (mg/L)	環告46号法	0.33	0.067	0.049	0.010	0.002	0.014	0.01
	酸添加法Ⅱ	0.38	0.080	0.076	0.010	0.002	0.025	
	アルカリ添加法	0.067	0.008	0.004	0.014	—	0.011	
カドミウム (mg/L)	環告46号法	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.013	0.004	0.01
	酸添加法Ⅱ	0.002	<0.001	<0.001	0.014	0.018	0.009	
	アルカリ添加法	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	<0.001	
鉛 (mg/L)	環告46号法	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
	酸添加法Ⅱ	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
	アルカリ添加法	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	—	<0.005	
六価 クロム (mg/L)	環告46号法	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05
	酸添加法Ⅱ	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	
	アルカリ添加法	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	—	<0.02	
総水銀 (mg/L)	環告46号法	0.0059	0.0020	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
	酸添加法Ⅱ	0.0045	0.0036	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0046	
	アルカリ添加法	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—	<0.0005	
pH (—)	環告46号法	7.0	9.8	9.0	6.0	4.3	4.6	—
	酸添加法Ⅱ	6.2	9.3	8.8	4.6	4.1	4.3	
	アルカリ添加法	12.4	12.2	12.1	10.7	—	10.7	

により網掛けされているデータは環境基準を超えている。

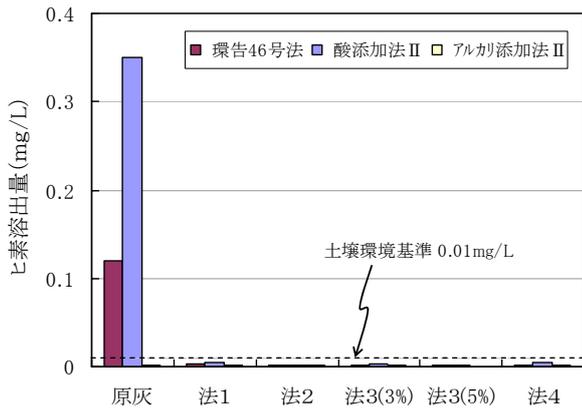


図-2 溶出試験におけるヒ素溶出量

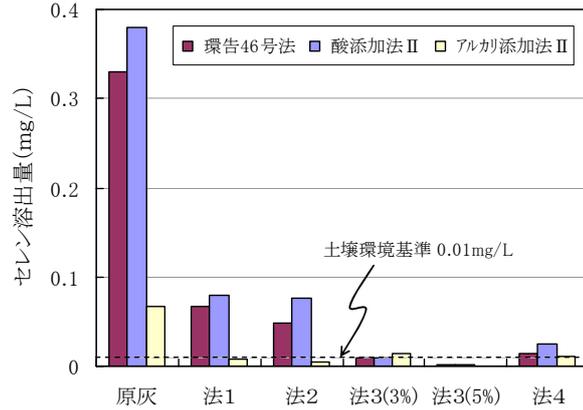


図-3 溶出試験におけるセレン溶出量

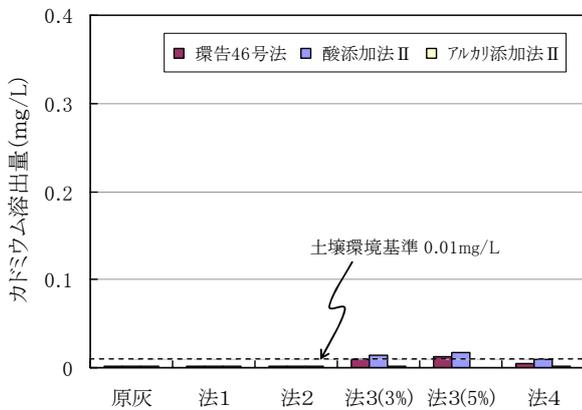


図-4 溶出試験におけるカドミウム溶出量

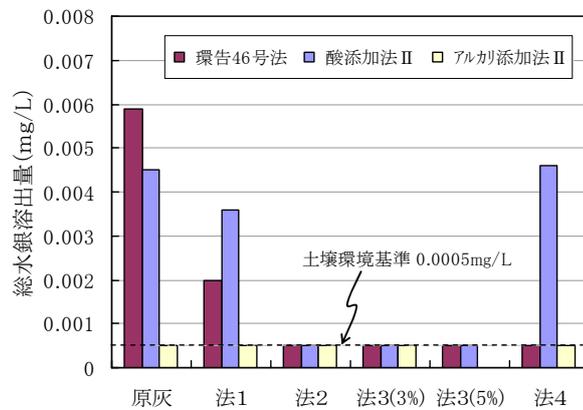


図-5 溶出試験における総水銀溶出量

7 重金属不溶化処理技術の評価

実験の結果、全ての物質に適応する方法がなかったが、基準適合の状況からは、法3「硫酸第一鉄+加熱」の方法が本市焼却灰への適用性が高いと考えられる。ただし、カドミウムの溶出を環境基準値以下にする為、今後、薬剤の添加率や加熱温度について、検証する必要がある。

また、重金属不溶化灰の新たな有効利用方法についても検討しなければならない。

8 資源化に向けた課題

重金属が固定された下水汚泥再資源化物を建設資材として利用する場合の課題として、次のような事柄がある。

① 重金属不溶化技術の必要性

焼却灰を建設資材などの原料として有効利用する場合、原料としての重金属溶出に関する明確な規制はない。しかし、焼却灰を土壌埋め戻し材等として有効利用する場合、安全性配慮から土壌環境基準（平成3年8月環告示46号）を準用し、さらには平成15年2月から土壌汚染対策法が施行され、重金属について溶出基準（環告18号）に加え含有量基準（環告19号）が定められており、これも準用することが望ましい。

② 廃棄物と有価物

遵守すべき法令は、当該物質が廃棄物か否かによりそれぞれ異なる。焼却灰の再利用に関しては、焼却灰の時点では「産業廃棄物」であり、廃掃法の適用を受けるものであるが、リサイクル製品として加工後は「有価物」となり、当該製品を管轄する法に基づくこととなる。すなわち、コンポスト等の場合は肥料取締法、土質改良材の場合は土壌汚染対策法の適用となる。

③ 再生処理の委託

焼却灰の再生処理を民間の事業者へ委託、あるいはPFI事業等で実施する場合、当該事業者は、産業廃棄物の中間処理業者の許可者である必要がある。また、再生処理施設までの運搬に当たっても、産業廃棄物収集運搬業者の許可者でなくてはならない。なお、下水道管理者が、下水処理の一環として自ら運搬・処理する場合は、許可は不要である。

④ 今後の課題

土壌汚染による健康被害等を未然に防ぐための、有害物質無害化・不溶化対策も重要であるが、焼却灰を資源化する時に、リスクが一定の基準以下となる場合には、溶出した場合の環境中への広がりをおおまかじめ防御する対策を講じ、継続的なモニタリングを行っていくことも一つの方策である。

高品質消化ガスの利用実証研究について

川井英夫、伊熊信男、片山尚樹（横浜市環境科学研究所）

A study of the proof burn of high-quality sludge digestion gas

Kawai Hideo, Ikuma Nobuo, Katayama Naoki (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：混焼、消化ガス、高品質化、高濃度化、メタンリッチ、都市ガス代替、有効利用

要旨

横浜市ではすでに様々な形で温暖化対策に取り組んでいるが、下水道施設より発生する貴重なエネルギーである消化ガスの有効利用について技術開発を行っている。平成 17 年度に行われた消化ガスの高品質化の共同研究では、メタン濃度 95%以上の高品質消化ガスを精製することに成功し、平成 18、19 年度には精製装置の耐久性試験を自主研究で行い、長期連続精製における消化ガスの精製品質はもちろんのこと、装置の安定性と低メンテナンス性も確認できた。しかし、高品質化された消化ガスを有効利用するさい、都市ガス(13A)（以下「都市ガス」という）の代替燃料としての利用が期待されるが、その評価が行われていない。

これらの経緯を踏まえ、この度の研究の結果、都市ガスとの混合燃焼性、混合比率の限界値及び排出ガスの性状を調べることにより、良好な代替燃料となりうることの知見を得ることができた。

1. はじめに

消化ガスはカーボンニュートラルで再生利用が可能なエネルギーであり、有効利用することによって地球温暖化防止に役立つ貴重なエネルギーである。本研究は、先だっで行った消化ガスの高品質化の研究¹⁾によって得られた高品質消化ガスの利用価値を実証し、有効利用を図る事を目的としている。

1-1 高品質消化ガスとは

原料の消化ガスから CO₂ 等を除去し、主成分のメタン濃度を高く（以下「メタンリッチ」という。）したものである。しかし、都市ガスと比較すると、カロリーが低いという欠点を有する（表 1 参照）。そのため、通常消化ガスを燃焼させるには専用に設計された燃焼機器を用い

表 1 都市ガスと高品質消化ガスのカロリー比較

ガス種類	熱量	備考
都市ガス	40.63MJ	13A
高品質消化ガス	34.22MJ	メタン 95%換算
通常消化ガス	21.61MJ	メタン 60%換算

※低位発熱量

る必要がある。しかし、高品質消化ガスはメタンリッチなため汎用ガス機器における利用が期待されるが、実際に試験が行われておらず、燃焼機器や排出ガスへの影響が把握されていない。そこで、高品質消化ガスの利用実証研究において、汎用ガス機器における都市ガスと高品質消化ガスとの混焼試験を行い、燃焼機器や排出ガスの性状を調べることにより、高品質消化ガスの実用性について知見を得たので報告する。

2. 試験設備

横浜市南部汚泥資源化センターに混焼試験装置を設置し、都市ガスと高品質消化ガスを用いた混焼試験を実施した。混焼試験設備の概略フローを図 1 に、写真を図 2 に示す。

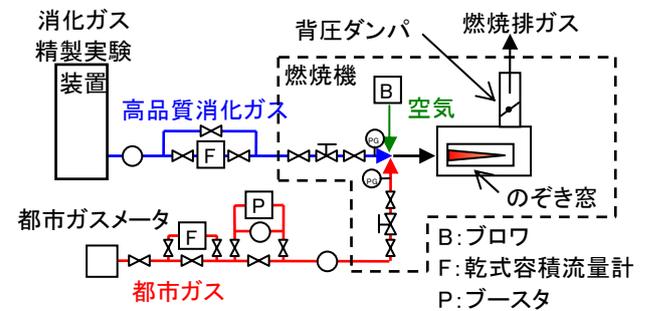


図 1 混焼試験設備の概略フロー

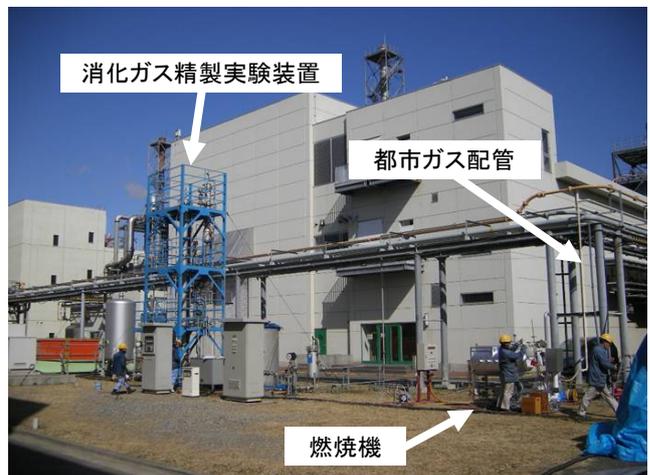


図 2 混焼試験設備の写真

混焼試験設備の主要機器リストを**表2**に、燃焼機の概略図と写真を**図3**に示す。燃焼機に投入する熱量は都市ガスで $1\text{m}^3/\text{h}$ 相当とした。ブロウ2は、適切な排ガス分析を行うために、煙道における排ガスの線速を確保し、排ガスの温度を十分に下げる役割を有する。

燃焼機には、過剰空気、過剰ガスおよび理論空気比において常に安定した燃焼性能が得られ、都市ガスやLPGの燃焼機器に多くの採用実績のある汎用バーナを採用した。**図4**に採用バーナの詳細図を示す。**図4**に示す空気噴出口の下流側(右側)ではガスと空気の急速混合が行われるが、上流側(左側)ではいかなる空気量においても常に燃料リッチな領域が形成される構造のため、相当量の過剰空気が流入した場合でも火炎が吹き消えることがない特長がある。また、高品質消化ガスを製造する消化ガス精製実験装置の概略フローを**図5**に示す。

表2 混焼試験設備の主要機器リスト

記号	P	B1	B2
名称	都市ガスブースタ	ブロウ1	ブロウ2
型式	ダイヤフラム式	2段ターボ	単段ターボ
容量	$60\text{L}/\text{min} \times 3.32\text{kPa}$	$12\text{m}^3/\text{min} \times 3.43\text{kPa}$	$17\text{m}^3/\text{min} \times 1.03\text{kPa}$
電動機	0.2kW	0.75kW	0.4kW
基数	1	1	1
備考	—	燃焼空気供給	排ガス冷却空気供給

3. 試験方法

3-1 混合燃焼試験

都市ガスと高品質消化ガスの混合燃焼が、汎用ガス機器を用いて燃焼可能であることを確認するため、次の手順で混合燃焼試験を行った。

- ①消化ガス精製設備を運転し、高品質ガス中の CO_2 濃度を5%程度に調整した定常状態で保持する
- ②都市ガス元栓を開け、都市ガスブースタを運転
- ③ブロウ1、ブロウ2を運転
- ④都市ガスを用いてパイロットバーナ着火し、ウルトラビジョンで確認
- ⑤都市ガスおよび高品質消化ガスをバーナに供給し、着火をバーナ部ピープサイトから目視で確認
- ⑥パイロットバーナ消火
- ⑦ガス流量を調整(都市ガス $0.60\text{m}^3/\text{h}$ 程度、高品質

消化ガス $0.56\text{m}^3/\text{h}$ 程度)

⑧バーナの燃焼が継続していることを確認

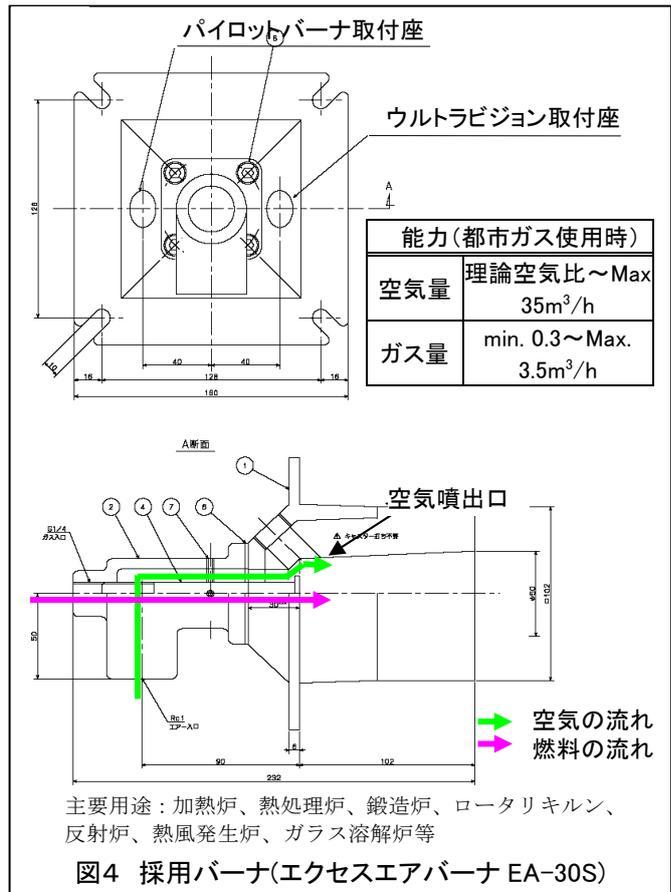


図4 採用バーナ(エクセスエアバーナ EA-30S)

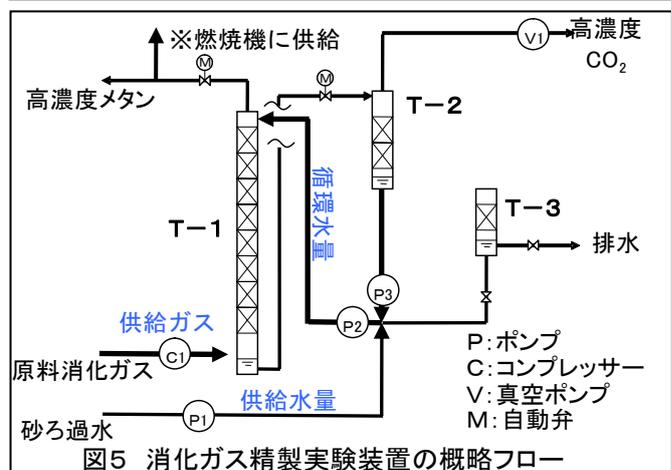
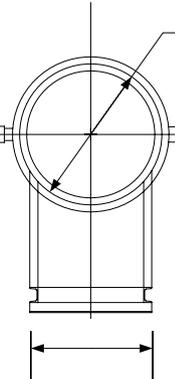
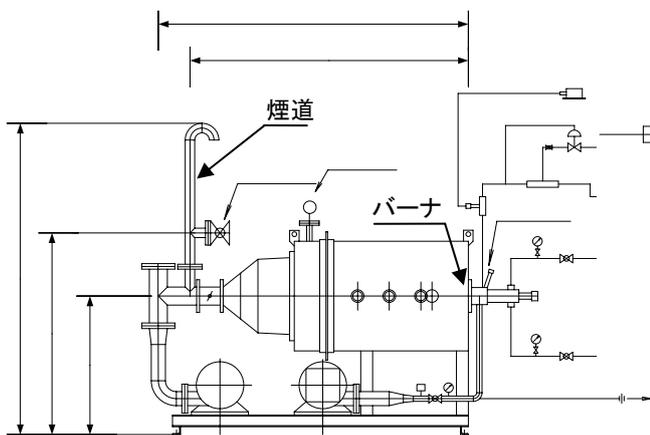


図5 消化ガス精製実験装置の概略フロー



注)ウルトラビジョン:火炎(紫外線)検出装置
ピープサイト:覗き見るところ(= peep sight)

図3 燃焼機の概略図と写真

混合燃焼試験における測定項目と測定方法を表3に示す。

表3 測定項目および測定方法

項目	測定方法	
消化ガス (原料ガス)	CO ₂ 濃度	ガステック検知管
	CH ₄ 濃度	計算値(100% - CO ₂ 濃度)
	H ₂ S濃度	ガステック検知管
	流量	フローセルマノメータ(消化ガス精製実験装置)
循環水	流量	電磁流量計(消化ガス精製実験装置)
	温度	棒状温度計
補給水	流量	電磁流量計(消化ガス精製実験装置)
高品質消化ガス	流量	乾式容積流量計※
	CH ₄ 濃度	GC-TCD
	CO ₂ 濃度	GC-TCD、ガステック検知管(現場での濃度確認)
都市ガス	流量	乾式容積流量計※
外気	気温	棒状温度計

※ガス流量は、図1に示す乾式容積流量計とストップウォッチを用い、単位時間あたりに流れたガス容積を測定することによって把握した。

3-2 燃焼安定性確認試験

都市ガスと高品質消化ガスの混合比率を変化させ、燃焼の安定性を確認するため、次の手順で燃焼安定性確認試験を行った。

- ①3-1の作業手順に準じて都市ガスをバーナで燃焼させる
- ②ガス流量を調整(都市ガス 1m³/h程度)
- ③次の操作をしながらバーナ部ピーブサイトから火炎を目視確認
 - ・都市ガス調整弁を徐々に閉 → 開度 0%
 - ・高品質消化ガス調整弁を徐々に開 → 1.2m³/h程度に調整
- ④次の操作をしながらバーナ部ピーブサイトから火炎を目視確認(③と逆の操作)
 - ・都市ガス調整弁を徐々に開 → 1.0m³/h程度に調整
 - ・高品質消化ガス調整弁を徐々に閉 → 開度 0%

分析項目および測定方法は「3-1 混合燃焼試験」に準じた。

3-3 排ガス測定試験

都市ガスと高品質消化ガスの混合比率が異なる条件で、燃焼排ガスを測定するため、次の手順で排ガス測定試験を行った。

- ①3-1の作業手順に準じて都市ガスと高品質消化ガスをバーナで燃焼させる
- ②各Runの条件にガス流量を調整(表4)

③燃焼機内の温度が定常になるまで待機

④排ガスの各成分を測定(表5)

各Runのガス流量条件を表4に示す。燃焼機への投入熱量が40.63MJ/h(都市ガス 1m³/h相当)となるように、都市ガスおよび高品質消化ガスの流量を調整した。

表4の各条件において、表5に示す排ガス組成を分析した。分析項目は横浜市の条例(「生活環境の保全等に関する条例」および「生活環境の保全等に関する条例施行規則」)に準拠し、表5に示す規制値と比較した。

表4 排ガス測定時のガス流量条件

Run No.	混合ガスの低位発熱量※	混合ガス中の高品質消化ガス比率※
1	都市ガス(標準値) 40.63MJ/m ³ _N	0%
2	都市ガス(下限値) 38.96MJ/m ³ _N	26%
3	都市ガス12A相当 37.81MJ/m ³ _N	44%
4	メタン100%相当 36.02MJ/m ³ _N	72%
5	高品質消化ガス(メタン95%) 34.22MJ/m ³ _N	100%

※低位発熱量ベース(出典: JIS K 2301-1992)。

4. 試験結果および考察

各試験の結果および考察を述べる。

4-1 燃料性状

4-1-1 高品質消化ガス

混焼試験に用いた高品質消化ガスを消化ガス精製実験装置から供給した。各Runにおける高品質消化ガスの性状を表6に、消化ガス精製実験装置の運転条件を表7に示す。Run1は都市ガス100%であるため割愛した。混合燃焼試験および燃焼安定性確認試験はRun3の条件で行った。

高品質消化ガス中の水分量については次のように想定した。高品質消化ガスは、消化ガス精製装置のT-1出口(0.8MPaG、図5参照)において外気温で飽和した水

表6 高品質消化ガスの性状

Run No.	乾きガス換算濃度※1		水分量※2	低位発熱量	平均ガス温度
	CH ₄	CO ₂			
	%	%	g/m ³	MJ/m ³ _N	°C
2	96.2	3.8	1.22	34.10	21.2
3	96.0	4.0	1.10	34.09	21.6
4	95.9	4.1	1.35	33.93	16.9
5	96.5	3.5	0.99	34.32	15.1

※1 水分を含まない状態の組成。

※2 燃焼機に供給される高品質消化ガス中にCH₄とCO₂に加え水分が含まれていると想定。

表7 消化ガス精製装置の運転条件

Run No.	原料ガス流量	原料ガス組成			平均気温	循環水量	補給水量		断面積負荷	液ガス比
		CH ₄ ※1	CO ₂ ※1	H ₂ S			m ³ /h	%※2		
	m ³ /h	%	%	ppm	°C	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /m ² ・h	m ³ /m ³ _N	
2	9.7	61.5	38.5	3.0	12.8	1.52	0.29	19	48.4	0.156
3	9.7	62.0	38.0	4.5	11.1	1.49	0.29	19	47.4	0.153
4	9.8	61.7	38.3	3.0	14.4	1.53	0.29	19	48.7	0.157
5	9.6	62.0	38.0	12.5	9.5	1.56	0.28	18	49.7	0.163

※1 原料ガスのCO₂濃度を検知管にて測定し、メタン濃度は100%からCO₂濃度を引いて算出。

※2 循環水量に占める補給水量の割合

表5 測定項目および排出基準

項目	測定方法	定量限界値	規制値 ^{※1}
ばいじん	JIS-Z-8808 移動採取法	0.001g/m ³ _N	濃度規制 0.05g/m ³ _N ただし、 $C = (21 - O_n) / (21 - O_n) \times C_s$ C : ばいじん濃度[g/m ³ _N] O _n : 施設毎に定める数値 [%] O _s : 排出ガス中の酸素濃度[%] C _s : 排出ガス中の窒素酸化物濃度[g/m ³ _N]
SO _x	JIS-K-0103 イオンクロマトグラフ法	0.5ppm	総量規制 燃料 1kg の燃焼に伴い SO ₂ の量に換算して 10g まで
NO _x	JIS-K-0104 フェノールジスルホン酸 吸光光度法	1ppm	規制値なし ^{※2}
塩化水素	JIS-K-0106 ABTS法	3mg/m ³ _N	濃度規制 5ppm(5mg/m ³ _N)
塩素	JIS-K-0107 イオンクロマトグラフ法	0.3mg/m ³ _N	濃度規制 1ppm(3.17mg/m ³ _N)
フッ素、 弗化水素 及び弗化珪素	JIS-K-0105 ランタン-アリザリンコンプレキソン吸 光光度法	0.5mg/m ³ _N	濃度規制 2.5mg/m ³ _N
硫化水素	JIS-K-0108 メチレンブルー吸光光度法	0.1ppm	濃度規制 10ppm
アンモニア	JIS-K-0099 インドフェノール吸光光度法	0.05ppm	濃度規制 50ppm
カドミウム及び その化合物	JIS-K-0083 フレイム原子吸光法	0.05mg/m ³ _N	濃度規制 カドミウムとして 0.5mg/m ³ _N
鉛及び その化合物	JIS-K-0083 フレイム原子吸光法	0.005mg/m ³ _N	濃度規制 鉛として 10mg/m ³ _N
酸素	JIS-K-0301 オルザットガス分析	0.1%	規制値なし
二酸化炭素	JIS-K-0301 オルザットガス分析	0.1%	規制値なし
一酸化炭素	JIS-K-0301 オルザットガス分析	0.1%	規制値なし
窒素	JIS-K-0301 オルザットガス分析	0.1%	規制値なし

※1 規制値は O₂=0%基準。

※2 窒素酸化物の量の排出許容限度が適用される施設は、事業所に設置されるボイラーで伝熱面積が 10m² 以上又は燃料の燃焼能力が重油換算1時間当たり 50L以上の施設。なお、重油換算で 2,000L/h 未満の燃焼能力を有する場合、規制値は 60ppm。

蒸気量を含んでいると考えられる。高品質消化ガスは、燃焼機に供給される前にはほぼ大気圧にまで減圧（断熱膨張）され、供給する段階では水蒸気圧が変化している。そこで、飽和水蒸気量を下記の式で算出した。なお、燃焼機に供給される高品質消化ガスの圧力は簡易的に大気圧（絶対圧力で 0.1MPa）とした。

$$W = a \times 0.1 / (0.1 + 0.8)$$

ここで、

W : 燃焼機へ供給される水分量 [g/m³]

a : T-1 出口における飽和水蒸気量 [g/m³]

飽和水蒸気量は外気温（平均気温）で決定され、簡易的には次式（アントワンの式）²⁾で算出される。

$$a = 10^{(A-B/(C+t))}$$

ここで、

$$A = 7.07406$$

$$B = 1657.46$$

$$C = 227.02$$

$$t : \text{平均気温} [\text{ }^\circ\text{C}]$$

また、高品質消化ガスの低位発熱量は次式で算出した。

$$LHV_{\text{高品質ガス}} = LHV_{\text{CH}_4} \times \frac{C_{\text{CH}_4}}{100} \times \frac{(100-M)}{100}$$

$$M = \frac{M \times R \times (273.15 + t_g)}{18 \times P \times 1000} \times 100$$

ここで、

LHV_{高品質ガス} : 高品質消化ガスの低位発熱量

LHV_{CH₄} : CH₄ の低位発熱量 (36.02) [MJ/m³_N]

C_{CH₄} : 乾燥高品質消化ガス中の CH₄ 濃度 [%]

M : 高品質消化ガス中の水分濃度 [%]

t_g : 高品質消化ガス温度 [°C]

R : 気体定数 (8.31) [Pa・m³/k・mol]

P : 高品質消化ガス圧力 (101.3) [kPa]

表6より、Run2～Run5において、高品質消化ガスの発熱量が33.93～34.32[MJ/m³_N]となり、発熱量の誤差±1%以内の高品質消化ガスが燃焼機へ供給されたことが確認できた。

4-1-2 都市ガス

混合燃焼試験に使用した都市ガスの発熱量は次の通り。

高位発熱量：45.00MJ/m³_N

低位発熱量：40.63MJ/m³_N

(<http://www.tokyo-gas.co.jp/eco/faq.html>)

都市ガスの組成を表8に示す。

表8 都市ガスの組成

成分	(%)
CH ₄	89.6
C ₂ H ₆	5.62
C ₃ H ₈	3.43
C ₄ H ₁₀	1.35

(http://home.tokyo-gas.co.jp/userguide/userguide_06.html) 出典：東京ガスホームページ

4-2 試験結果

4-2-1 混合燃焼試験

都市ガスと高品質消化ガスを燃焼機に供給し、混合ガスが安定的に燃焼することを確認した。図6にバーナ部ピープサイトから確認できる火炎の写真を示す。棒状のものは燃焼機内に設置した温度計である。図7に、側面ピープサイトから確認した燃焼機内部の写真を示す。

4-2-1-1 火炎の見え方について

ここで、火炎の見え方について考察する。図8に、ガスバーナ火炎（不完全燃焼時および完全燃焼時）の写真を示す。図8から分かるように、ガスの燃焼において、



図6 火炎の写真(バーナ部ピープサイト)

左 (バーナ側)

中央

右 (温度計側)



図7 燃焼機内部の写真(側面ピープサイト)

不完全燃焼時の火炎

完全燃焼時の火炎

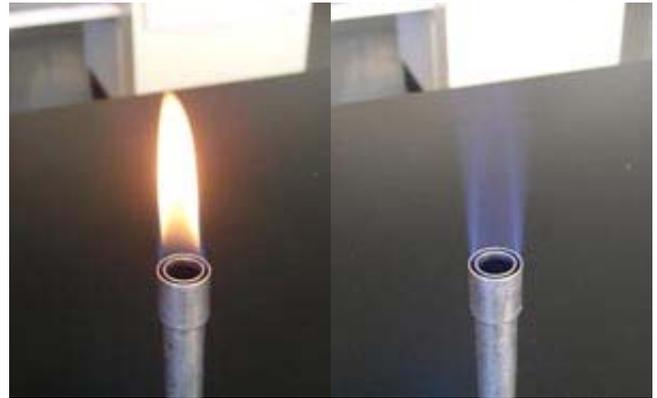


図8 ガスバーナ火炎の写真

空気比などが適切でない不完全燃焼時には火炎が赤く、完全燃焼時には青くなる。また、不完全燃焼時には火炎に輝きがあり、火炎の形状が明確に視認できるが、完全燃焼時はノズルから遠いほど火炎が透明になり、明確な視認が困難である。完全燃焼時の火炎はノズルに近いほど青色が濃いことから、火炎内部において燃料濃度の高い部分は視認性が高いと考えられる。

よって、図6から分かるように、バーナ側ピープサイトから燃焼機内部の青い火炎が確認できたことから、燃焼機内部では混合ガスが完全燃焼していると考えられる。また、図7から分かるように、燃焼機内部は炎に熱せられ、耐火材が赤色になっているが、側面からは火炎が全く確認できなかった。これは、完全燃焼していたために、バーナから離れている側面ピープサイトの視界では火炎が全く視認できなかったものと考えられる。なお、バーナ側ピープサイトから青い火炎が見えたのは、バーナ側からは燃焼部における燃料濃度の高い部分が見えていたためと考えられる。

4-2-2 燃焼安定性確認試験

バーナ部ピープサイトから火炎を目視しながらガスの燃焼中に高品質消化ガスの調整弁と都市ガスの調整弁を開閉したところ、青い火炎の大きさ（火炎の勢い）が変化した。失火はおこらず、火炎を保持するだけの燃料を投入している範囲において任意の開度に調整が可能であった。火炎の大きさが変化したのは、調整弁を開閉する中で、目標投入熱量（都市ガス 1m³N/h 程度）から逸脱したためと考えられる。図9にバーナ部ピープサイトから確認した火炎の写真を、図10に側面ピープサイトから確認した燃焼機内部の写真を示す。

高品質消化ガスと都市ガスの調整弁をそれぞれ0～100%の開度変化をさせたとき、安定的な燃焼を継続し、

ガス投入量や混合比率が任意であったことから、高品質消化ガスと都市ガスには相互の混合限界がないといえる。よって、高品質消化ガスは都市ガスの代替燃料として好適といえる。

4-2-3 排ガス測定試験

排ガス測定試験における各 Run の運転状況を表 9 に示す。表 9 に示すように、燃焼機への供給熱量を 40.31～40.83[MJ/h]となり、発熱量の誤差±1%以内の混合ガスが燃焼機へ供給されたことを確認できた。

表 10 に排ガス分析結果を示す。表 10 に示すように、排ガス組成のうち、規制値が設けられている項目については、全て規制値を大きく下回る結果が得られた。規制値がない組成についても、都市ガスと高品質消化ガスの混合比に関わらず、概ね同等の結果が得られた。混合比の影響が現れたと思われる項目として、「塩素」及び「ふっ素及びその化合物」が挙げられる。

「塩素」については、都市ガスの混合比が高いほど数値が高い傾向がある。都市ガスに塩素源が含まれているのではないかと推察されるが、一般的に都市ガスの付臭剤として知られている物質には塩素が含まれていない。

「ふっ素及びその化合物」については、高品質消化ガスの混合比が高いほど数値が高い傾向がある。これは、高品質消化ガスにふっ素を有する有機物が含まれていたためと考えられる。並行して実施されている消化ガス精製試験において、吸収水として使用している砂ろ過水から微量有機成分がガス側に移行していると思われるデータが得られている。ただし、ガス分析においては F (ふっ素) を有する化合物は検出されていない。

しかし、各項目とも上述のように規制値を大きく下回る範囲での挙動であり、燃料としての価値を左右するも

表 9 燃焼機の運転状況

Run No.	都市ガス(平均値)			高品質消化ガス(平均値)			供給熱量	高品質ガス比率
	流量(測定)	温度	流量(計算)	流量(測定)	温度	流量(計算)		
	m ³ /h	°C	m ³ _N /h	m ³ /h	°C	m ³ _N /h	MJ/h	%
1	1.073	21.1	0.996	0	—	0	40.47	0
2	0.791	18.4	0.741	0.334	21.2	0.310	40.69	26
3	0.599	17.4	0.563	0.562	21.6	0.521	40.65	44
4	0.301	17.2	0.283	0.900	16.9	0.848	40.31	73
5	0	—	0	1.255	15.1	1.189	40.83	100

のではないといえる。

4-2-3-1 NOx (窒素酸化物) について

ここで、直接的な規制値が適用されなかった排ガス中の NOx (窒素酸化物) について考察する。燃焼機の投入熱量が十分に小さいため、今回採用したバーナは条例上の規制値が適用されないことを前提に設計され、幅広い分野で使用されている。参考値としては、規制値が適用される最も能力が小さいバーナの場合、46ppm 程度(酸素 5%換算)が挙げられる。

表 10 の「窒素酸化物 O₂ 5%換算値」と比較すると、測定結果は規制値(参考値)を十分に満足していないが、都市ガス 100% (Run1) においても同様であることから、上述のように規制値が適用されないことを前提にバーナが設計されているためといえる。

- バーナを大型化すると、低 NOx 型化が必要となるが、
- ・ 火炎温度の低下
 - ・ 酸素濃度の低下
 - ・ 高温での滞留時間の短縮

により、NOx を十分に低減できることが都市ガスなどで確認されており、実用的には、空気多段燃焼、燃料多段燃焼、自己排ガス再循環、などの機構が組み合わされたバーナが使用されている。³⁾

排ガス組成の各項目において、都市ガスと高品質消化ガスの混合比による影響がほとんど見られなかったことから、都市ガスで使用されている低 NOx 型バーナに高品質消化ガスや混合ガスを適用した場合、都市ガスと同様の排ガス組成が得られると考えられ、高品質消化ガスは NOx 規制の観点からも、都市ガスを代替する優良な燃料といえる。



図 9 火炎の写真(バーナ部ピープサイト)

左(バーナ側)

中央

右(温度計側)

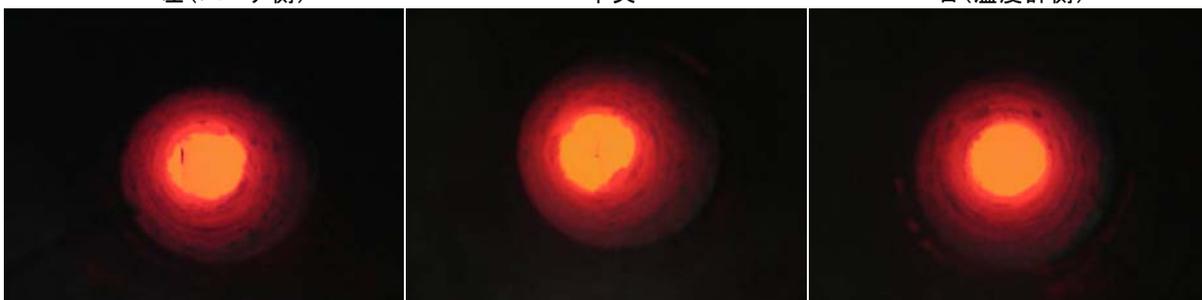


図 10 燃焼機内部の写真(側面ピープサイト)

表 10 排ガス分析結果

測定項目	単位	測定結果					規制値	
		Run1	Run2	Run3	Run4	Run5		
混合ガス中の高品質消化ガス比率	%	0	26	44	73	100	—	
試料採取月日		2/29	2/28	2/27	3/1	2/25	—	
ばいじん	g/m ³ _N	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	—	
ばいじん O ₂ 5%換算値	g/m ³ _N	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.05	
硫黄酸化物	vol ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	—	
硫黄酸化物排出量換算値 ^{※1}	g/kg	<0.044	<0.044	<0.044	<0.059	<0.044	10	
窒素酸化物	vol ppm	21	19	22	21	18	—	
窒素酸化物 O ₂ 5%換算値	vol ppm	49	45	51	73	45	—	
塩化水素	mg/m ³ _N	<3	<3	<3	<3	<3	8	
塩素	mg/m ³ _N	1.1	1.2	1.0	0.87	<0.3	3.17	
ふっ素及びその化合物	mg/m ³ _N	<0.5	<0.5	<0.5	0.55	0.9	2.5	
硫化水素	vol ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	10	
アンモニア	vol ppm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	50	
カドミウム及びその化合物	mg/m ³ _N	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.5	
鉛及びその化合物	mg/m ³ _N	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	10	
湿り排ガス流量	m ³ _N /h	33.5	33.4	33.6	44.0	33.6	—	
乾き排ガス流量	m ³ _N /h	31.5	31.3	31.6	41.9	31.5	—	
排ガス流速	m/sec	8.39	8.22	9.46	10.5	9.17	—	
排ガス温度	°C	287	259	335	237	323	—	
排ガス水分量	vol %	6.0	6.4	6.0	4.8	6.3	—	
排ガス組成	酸素	vol %	14.2	14.0	14.2	16.4	14.6	—
	二酸化炭素	vol %	3.9	4.1	3.8	2.6	3.6	—
	一酸化炭素	vol %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—
	窒素	vol %	81.9	81.9	82.0	81.0	81.8	—

※1 燃料 1kg 当たりの数値に換算。

5. まとめ

横浜市南部汚泥資源化センターに燃焼機を設置し、都市ガスとメタン 95%程度の高品質消化ガスとを任意の混合比で燃焼させる試験を実施した。

第一に、着火時に使用するパイロットバーナを消火しても、混合ガスが良好に燃焼しつづけることを確認した。バーナ側パイプサイトから青い火炎が視認でき、側面パイプサイトから火炎が(透明で)視認できないことから、良好な完全燃焼が行われていると考えられる。

第二に、パイロットバーナを消火した状態で、混合ガスを燃焼中に各々のガス流量を調整し、混合比率を変化させても問題なく燃焼可能であることを確認した。青い火炎の大きさ(火炎の勢い)が変化したが失火はおこらず、火炎を保持するだけの燃料を投入している範囲において任意の混合比率に調整が可能であった。

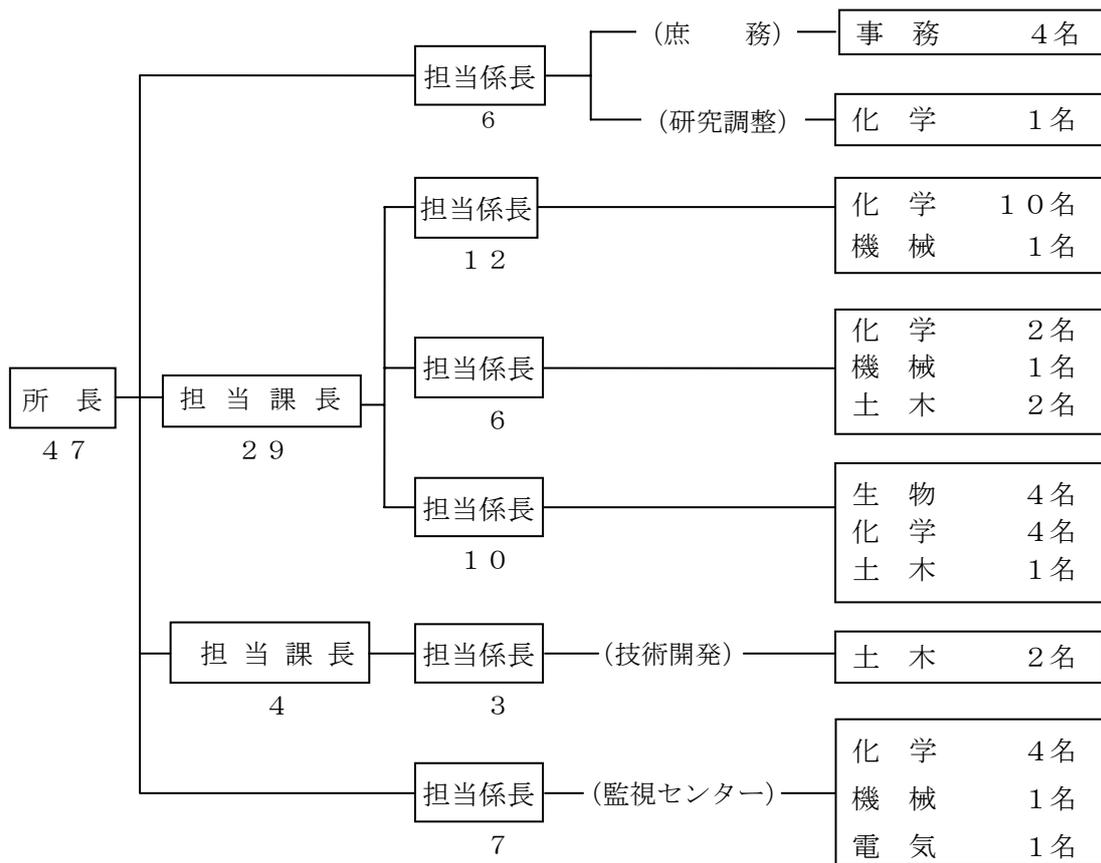
第三に、混合比率の異なる運転条件で排ガス組成を分析した。その結果、規制値(「生活環境の保全等に関する条例」および「生活環境の保全等に関する条例施行規則」に準拠)が存在する全ての項目で分析結果は規制値を大きく下回った。その他の項目についても高品質消化ガスと都市ガスの混合比から顕著な差異は認められなかった。

以上により、メタン 95%以上の高品質消化ガスは都市ガスの代替となる良好な燃料といえる。

文献

- 1) 横浜市環境科学研究所: 消化ガスの高品質化と高濃度 CO₂ の有効利用の研究について、小菅博明、伊熊信男、片山尚樹; 所報 第 31 号 p125~129 (2007 年 3 月)
- 2) 化学工学会: 化学工学便覧 第五版 (1992)
- 3) (財)省エネルギーセンター: ガス燃焼の理論と実際、吉田ら、p129~140 (2000)

1. 人員及び組織



(平成 20 年4月現在)

2. 主要機器一覧表

品名	規格	数量	配置
ガスクロマトグラフ質量分析計 (ダイオキシン分析)	JEOL JMS-800 D	1式	ダイオキシン等分析室
走査型電子顕微鏡	日立 S-4800	1式	電子顕微鏡室
同上用 X線分析装置	EDAX Genesis 2000	1式	電子顕微鏡室
分光光度計	日立 U2000	1式	液クロマト室
全有機炭素分析計	ベックマン MODEL915-B	1台	液クロマト室
水銀分析計	日本インスツルメンツ RA-3	1式	液クロマト室
高速液体クロマトグラフ (農薬分析)	アジレントテクノロジー 1100	1式	液クロマト室
原子吸光光度計	バリアン SPECTR AA-220P	1式	原子吸光室
高周波プラズマ質量分析装置	パーキンエルマー ELAN DRC-e	1式	原子吸光室
高周波プラズマ発光分光分析装置	パーキンエルマー Optima5300DV	1式	原子吸光室
慢性毒性試験装置 (魚用)	関東工機製作所製	1式	生物研究室
電気マッフル炉	アドバンテック東洋 FUL232FA	1台	分解室 (3F)
自動測定器校正・標準ガス調製装置	ダイレック製	1式	標準ガス調製室
標準ガス精密希釈装置	製鉄化学工業 SDS-401	1式	標準ガス調製室
石英ガラスチャンバー	ダイレック製	1台	標準ガス調製室
パーソナル・ダストモニタリングシステム	柴田科学 PDS-1	1台	標準ガス調製室
液体クロマトグラフ	島津製作所 LC-6A	2式	元素分析室
同上用蛍光モニター	日立 F-1150	1台	元素分析室

品 名	規 格	数 量	配 置
炭素・水素・窒素（CHN）分析計	柳本CHNコーダー MT-3型	1台	元素分析室
同上用オートサンプラー	ヤナコ MTA-5	1台	元素分析室
揮発成分混合ガス発生装置	紀本電子工業 SS-1002	1式	元素分析室
高速液体クロマトグラフ質量分析装置	ウォーターズ Quattro Premier	1式	ガスマス室
ガスクロマトグラフ質量分析計（水中揮発性成分分析）	島津製作所 GCMS-QP2010	1式	ガスマス室
マイクロウェルプレート測定用吸光光度計	ナルジエスインターナショナル イムニ NJ-2300	1式	実験室（4F）
オートアナライザー（HPLC分析装置）	ダイオネクス DX-120	1式	実験準備室
ガスクロマトグラフ（FID）	島津製作所 GC-14A外	3式	ガスクロマトグラフ室
ガスクロマトグラフ（FPD）	アジレントテクノロジー 6890N	1式	ガスクロマトグラフ室
ガスクロマトグラフ（ECD）	ヒューレットパッカード HP6890	1式	ガスクロマトグラフ室
ガスクロマトグラフ質量分析計（農薬分析）	島津製作所 GCMS-QP2010 Plus	1式	ガスクロマトグラフ室
サーマルデソープションガスクロマトグラフ	パーキンエルマー ATD-400	1式	ガスクロマトグラフ室
イオンクロマトグラフ	ダイオネクス DX-320	1台	都市環境研究室
高速液体クロマトグラフ	ヒューレットパッカード HP1090	1式	都市環境研究室
分光光度計	日本分光 V-550	1式	大気試験室
科学技術計算システム	富士通 GRANPOWER 5000	1台	中央データ処理室
薬品管理システム	関東化学 IASO 2000	1式	中央データ処理室
ガスクロマトグラフ質量分析計（微量ガス分析）	島津製作所 GCMS-QP2010 Plus	1式	微量ガス分析室
光透過式スモークメーター	堀場製作所 MEXA-130S-BZ	1台	器材庫（5F）
直挿型NO _x 分析計	堀場製作所 MEXA-120 NO _x	1台	器材庫（5F）
高精度オゾン計	紀本電子工業製	1台	器材庫（5F）
自動雨水採取装置	小笠原計器製作所 US-330+300型	1式	屋 上
風向風速計	海上電機 WA-200外	1式	屋 上

(平成20年10月現在)

3. 学会等研究発表

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
日本珪藻学会第28回大会	2007.5	横浜市における藻類指標の改訂	○福嶋 悟
第31回 環境・公害研究 合同発表会 (1県2市)	2007.6	横浜の源流域環境	○加藤良昭・樋口文夫・福嶋 悟
〃	〃	消化ガスの高品質化と高濃度CO ₂ の有効利用 の研究	○片山尚樹・小菅博明・伊熊信男
第44回下水道研究発表会	2007.7	消化汚泥の燃料化技術への適用性について	○米山利行・小菅博明・伊熊信男
平成19年度第4回環境創 造局職員業務研究発表会	2007.8	「第2回こどもエコフォーラム」～児童生徒の 環境活動交流の場～ (開催事例報告)	○前田裕行
〃	〃	まち・生き物・自然が融合する環境づくりに関 する研究 (第2報)	○西高幸作
〃	〃	消化汚泥の燃料化技術への適用性について	○米山利行・伊熊信男
〃	〃	区役所とのコラボレーションによる壁面緑化の 温度観察	○佐俣満夫・井上友博・白砂裕一郎 下村光一郎
〃	〃	横浜の湧水調査結果	○加藤良昭
〃	〃	魚たちは谷戸水路をどのように利用しているの か―鶴見川流域からの報告―	○樋口文夫・福嶋 悟
〃	〃	豊かな湧き水に育つカワモズクの分布と生育環 境	○福嶋 悟・樋口文夫・下村光一郎
〃	〃	活性汚泥モデルの構築と活用について	○片山尚樹・伊熊信男 浅野卓哉(環境創造局)
〃	〃	大気中アルデヒド測定における湿度影響につい て	○安達理文
〃	〃	横浜市水域における油流出事故について (第2 報)	○二宮勝幸
〃	〃	第11回 海の生物相調査の概要	○水尾寛己
〃	〃	視覚障害者のオリエンテーリング実験	○鹿島教昭、田村明弘・太田篤史 (横浜国大大学院)
〃	〃	鶴見川における農薬調査について	○酒井 学
〃	〃	カキなどの浄化による赤潮の発生しない系	○水尾寛己・下村光一郎・小市佳延
応用生態工学会 第11回 研究発表会	2007.9	河川の不快糸状緑藻類対策に大気暴露ほどの程 度の効果があるか	○福嶋悟、皆川朋子(土木研・自然共生 研究センター)
平成19年度全国環境研協 議会関東甲信静支部水質 専門部会	2007.10	鶴見川の農薬調査について	○酒井 学
2007年度日本魚類学会	2007.10	谷戸水路におけるホトケドジョウ <i>Lefua echigonia</i> の産卵場条件	○樋口文夫
日本珪藻学会第27回研究 集会	2007.11	都市小河川における水質の回復と珪藻群集の変 化	○福嶋悟、ランムゾー(武蔵工業大学)
第5回 横浜・海の森つ くりフォーラム「海辺の 自然再生に向けたパネル 展示」	2007.12	横浜市の岸壁、干潟などに見られた生物―平成 18年度「横浜の海の生物」調査結果から―	○水尾寛己

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
第23回全国環境研究所交流シンポジウム	2008.3	横浜市が取り組んできた沿岸海域調査研究と今後の課題	○水尾寛己

4. 雑誌等投稿

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
土木技術資料第49巻8号	2007.8	皆川朋子(土木研・自然共生研究センター), 福嶋悟, 萱場祐一(土木研・自然共生研究センター)	ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流

[要旨] フラッシュ放流による河床付着膜の掃流効果は河川形態により異なることを藻類の付着形態や構造から示し、放流効果について景観およびアユの餌資源の観点から評価した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
春夏秋冬(第36号)	2007.11	西高幸作・市川治道	都市部における生態系健全度簡易評価手法—市民協働生物調査の仕組みづくりにおける検討から—

[要旨] 横浜市陸域生物相・生態系調査検討委員会における市民協働生物相調査の仕組みづくりの経緯と、生物相調査の結果から調査地系内における種間の多様性、並びに生態系の健全度を簡易に評価する目的で開発された「生態系健全度簡易評価法」(SEEM:Simple Ecosystem Evaluation Method)について紹介した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
春夏秋冬(第36号)	2007.11	石川孝之	中国・天山山地の水質調査結果

[要旨] 中華人民共和国新疆ウイグル自治区にある天山山脈の天池やイリ川周辺の水質調査を行った。調査結果から日本地下水学会タリム盆地調査団が作成した天山山脈南側のタリム盆地を対象とした模式図は、天山山脈北西側のイリ川水系、天山山脈北側の三工河水系にも適応できることが示された。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
応用生態工学第10巻2号	2007.12	福嶋 悟・皆川朋子(土木研・自然共生研究センター)	大気暴露が人工水路の付着藻類群集に及ぼす影響

[要旨] 人工水路に生育した珪藻群集に対する大気暴露の影響について検討した。晴天時における5時間の大気暴露で現存量が明瞭に減少しその効果が持続すること、曇天時における大気暴露の効果はほとんどないことが示された。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
横浜の川と海の生物(第11報・河川編)	2008.3	福嶋 悟	付着藻類

[要旨] 2007年の夏季と冬季の横浜市内全河川を対象とした藻類モニタリング調査結果から、熱帯性種の分布が下水処理水の流入する河川以外にも拡大していること、冷水性種の分布が拡大しているがその範囲は主に下水処理水が流入しない河川であることを示した。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
横浜の川と海の生物(第11報・河川編)	2008.3	福嶋 悟・樋口文夫・水尾寛己・阿久津卓	水質環境

[要旨] 横浜市内の河川水質は1990年代から回復傾向が見られ、その傾向は中・下流域に比べて源・上流域で大きかった。また2002年に比べて2005年の調査時における水質の明瞭な変化は認められなかった。

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
神奈川自然誌資料(29)	2008.3	西栄二郎(横浜国大)・坂本昭夫(海をつくる会)・水尾寛己・小市佳延・下村光一	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

		郎	
--	--	---	--

[要 旨] 1990年代に東京湾奥で発見された外来種ホンビノスガイを横浜港内、みなとみらい 21 新港地区および大岡川で確認したので、底質環境と合せて報告した。

雑 誌 名 等	発行年月	執 筆 者	題 名
横浜の川と海の生物（第11報・河川編）	2008.3	樋口文夫・水尾寛己	魚類

[要 旨] 2007年（夏季、冬季）の横浜市内全河川を対象とした魚類モニタリング調査結果から、全体で14科51種が確認され、前回の42種に比して増加していた。生活環区分では通し回遊魚が増加していた。水系別では境川が多く出現した。

5. 記者発表一覧

■ 平成19年度 環境科学研究所

発表日	発表内容
平成19年7月6日	平成18年度 源流域水環境基礎調査(円海山周辺)結果
平成19年7月13日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成19年度春季調査結果)
平成19年7月20日	平成18年度の大気汚染状況について
平成19年7月20日	平成18年度の交通騒音等の状況について
平成19年7月20日	平成18年度の水質汚濁及び地盤沈下の状況について
平成19年10月5日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成19年度夏季調査結果)
平成19年10月10日	平成19年夏のヒートアイランド観測結果
平成20年1月11日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成19年度秋季調査結果)
平成20年1月15日	帷子川でアユが誕生～よこはまで初確認～
平成20年2月21日	第3回こどもエコフォーラム開催のお知らせ
平成20年3月25日	大気環境中のアスベスト濃度について(平成19年度調査結果)

6. 環境科学研究所発行資料目録

資料番号	件名	発行年月	体裁等
	明日の都市を照らす	1977. 3	A4. 16頁 (パンフレット)
No. 1	窒素酸化物特殊発生源調査報告書(環境庁大気保全局委託調査)	1977. 3	B5. 49頁
2	横浜市公害研究所報創刊号	1977. 11	B5. 56頁
3	公募論文・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1977. 11	B5. 136頁
4	第1回公害セミナー会議録・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1978. 3	B5. 96頁
5	昭和52年度環境庁委託業務結果報告書 非特定重大障害物質発生源等対策調査(アスベスト発生施設)	1978. 3	B5. 36頁
6	横浜市公害研究所報第2号	1978. 8	B5. 236頁
7	中間報告横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1978. 8	B5. 195頁
8	横浜市公害研究所報第3号	1978. 12	B5. 156頁
9	第2回公害セミナー会議録・合成洗剤	1979. 3	B5. 89頁
10	自動車公害に関する意識調査 —国道一号線三ツ沢・松本地区, 1978年3月実施 単純集計結果(第1報)—	1979. 3	B5. 112頁
11	大気中の炭化水素濃度調査及び各種発生源施設からの排出実態調査結果	1979. 3	B5. 66頁
12	第3回公害セミナー論文集・川, よこはまに水辺をもとめて	1979. 8	B5. 85頁
13	横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1979. 9	B5. 201頁
14	横浜市公害研究所報第4号	1980. 3	B5. 204頁
14	第3回公害セミナー会議録・川, よこはまに水辺をもとめて	1980. 5	B5. 72頁
15	横浜市地域環境大気調査報告書(昭和54年度環境庁委託調査)	1980. 3	B5. 72頁
16	非特定重大障害物質発生源等対策調査(ベンゼン取扱施設)	1980. 3	B5. 31頁
17	沿道環境整備対策のための基礎調査報告書—三ツ沢地区対象—	1980. 12	B5. 84頁
18	魚類の健康評価に関する研究(1)(昭和53年度)	1981. 2	B5. 20頁
19	魚類の健康評価に関する研究(2)(昭和54年度)	1981. 2	B5. 51頁
20	横浜市公害研究所報第5号	1980. 12	B5. 236頁
21	帯水層層序確定のための地質調査	1981. 3	B5. 32頁 付図4枚
22	第4回公害セミナー資料提言要旨	1981. 3	B5. 18頁
23	第4回公害セミナー資料・調査研究事業のあらまし	1981. 3	B5. 41頁
24	—		
25	地域交通環境に関する意識調査 —金沢4区, 1980年11月実施—	1981. 3	B5. 46頁
26	第4回公害セミナー会議録・80年代の環境対策の課題	1981. 3	B5. 115頁
27	低周波空気振動実態調査報告書	1981. 3	B5. 163頁
28	有機ハロゲン化合物の分解と消長 —有機塩素化合物特にPCBの環境中における動態について—	1981. 3	B5. 98頁
29	第5回公害セミナー公募論文集・よこはまに自然をもとめて	1981. 8	B5. 150頁
30	横浜市公害研究所報第6号	1981. 12	B5. 211頁
31	横浜市自動車問題研究会第二報告書 —横浜の物流と自動車公害に対する調査研究—	1981. 12	B5. 227頁
32	排水処理技術維持管理マニュアル—凝集処理編—	1982. 3	B5. 116頁
33	固定発生源から排出されるばいじん(粒度分布)調査報告書	1982. 3	B5. 133頁
34	第5回公害セミナー会議録・よこはまに自然をもとめて	1982. 3	B5. 123頁
35	魚類の健康評価に関する研究(3)	1982. 3	B5. 34頁
36	魚類指標による排水評価のための技術要領	1982. 3	B5. 30頁
37	横浜市深層地下水調査中間報告書	1982. 3	B5. 44頁 付図2枚
38	横浜市自動車問題研究会第一報告書—地域交通環境とまちづくり—	1982. 3	B5. 124頁
39	横浜市緑区及び戸塚区における道路交通騒音と交通量調査報告書	1982. 3	B5. 440頁
40	会下谷の雑木林の生物相とその季節変化(横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 3	B5. 11頁
41	自動車騒音公害対策模型実験—車線内遮音壁—	1982. 7	B5. 87頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
42	第6回公害セミナー資料 大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－	1982. 8	B5. 31頁
43	会下谷の雑木林の生物相とその季節変化 (横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 11	B5. 143頁
44	横浜市公害研究所報第7号	1982. 11	B5. 105頁
45	第6回公害セミナー会議録 大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－	1983. 1	B5. 99頁
46	浮遊粉じん・ばいじんに関する総合調査報告書	1983. 1	B5. 187頁
47	南関東地域での光化学大気汚染に関する総合調査報告書	1983. 2	B5. 177頁
48	こども自然公園環境調査報告書	1983. 2	B5. 155頁 付図4枚
49	道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的騒音効果に関する研究 －中間報告－	1983. 3	B5. 106頁
50	横浜市南部沿岸地域の軟弱地盤調査図 付図1-5	1983. 3	B2.
51	調査研究事業のあらまし	1983. 3	B5. 34頁
52	都市自然に関する社会科学研究	1983. 11	B5. 226頁
53	第7回公害セミナー公募論文集 身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－	1983. 11	B5 149頁
54	横浜市公害研究所報第8号	1983. 12	B5. 157頁
55	排水処理技術維持管理マニュアル－生物処理編－	1983. 12	B5. 132頁
56	魚類の健康評価に関する研究(4)	1984. 1	B5. 67頁
57	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書	1984. 2	B5. 183頁
58	第7回公害セミナー会議録 身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－	1984. 2	B5. 135頁
59	横浜市南部沿岸地域軟弱地盤調査報告書	1984. 2	B5. 56頁 付図6枚
60	横浜のホタル生息地(1983年度版)	1984. 3	B5. 49頁
61	第8回公害セミナー公募論文集 いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－	1984. 11	B5. 105頁
62	横浜市公害研究所報第9号	1984. 12	B5. 193頁
63	横浜市南部丘陵 舞岡川流域の水分調査	1984. 12	B5. 120頁
64	排水処理施設維持管理マニュアル－イオン交換処理編－	1985. 3	B5. 134頁
65	第8回公害セミナー会議録 いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－	1985. 1	B5. 133頁
66	道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的減音効果に関する研究 －総合報告－	1985. 3	B5. 173頁
67	横浜市公害研究所報第10号	1985. 12	B5. 190頁
68	平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告	1986. 3	B5. 149頁
69	魚類指標による工場排水規制手法に関する研究	1986. 2	B5. 192頁
70	第9回公害セミナー会議録 静かなまちづくりをめざして－道路緑化と騒音－	1986. 2	B5. 179頁
71	ホテルの生息環境づくり～技術マニュアル試案～	1986. 2	B5. 121頁
72	第10回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち……－	1986. 11	B5. 174頁
73	横浜市公害研究所報第11号	1987. 3	B5. 216頁
74	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第2報	1987. 3	B5. 275頁
75	排水処理施設維持管理マニュアル－汚泥処理編－	1987. 3	B5. 132頁
76	10年のあゆみ・横浜市公害研究所設立10周年記念誌	1987. 3	B5. 203頁
77	第10回公害セミナー会議録 調べてみよう、身近な環境－水、みどり、まち……－	1987. 3	B5. 127頁
78	横浜市軟弱地盤層調査報告書(土地質試験データ図) 横浜市地盤環境図 横浜市地盤環境図	1987. 3	B5. 217頁 B2. (付図1) A0. (付図2-10)
79	横浜市公害研究所資料室図書目録	1987. 3	B5. 328頁
80	第11回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち……－	1987. 11	B5. 89頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁
82	第11回公害セミナー会議録 調べてみよう、身近な環境－水、みどり、まち…	1988. 3	B5. 139頁
83	横浜市軟弱地盤層調査報告書（軟弱地盤構造と地盤沈下特性）	1988. 3	B5. 103頁
84	横浜市軟弱地盤層調査報告書（縦断面地質柱状図、水準点変動図集）	1988. 3	B5. 162頁
85	植樹帯による歩道環境改善効果に関する調査研究 －横浜市磯子区産業道路沿道植樹帯設置事業のケーススタディー	1988. 3	B5. 148頁
86	第12回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1988. 11	B5. 133頁
87	横浜市公害研究所報第13号	1989. 3	B5. 210頁
88	水域生物指標に関する研究報告	1989. 3	B5. 348頁
89	浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書	1989. 3	B5. 195頁
90	第12回公害セミナー会議録 調べてみよう、身近な環境－水、みどり、まち…	1989. 3	B5. 39頁
91	魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書	1989. 3	B5. 125頁
92	第13回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1989. 12	B5. 137頁
93	横浜市公害研究所報第14号	1990. 3	B5. 212頁
94	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第3報	1990. 3	B5. 166頁
95	第14回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1990. 11	B5. 102頁
96	横浜市公害研究所報第15号	1991. 3	B5. 226頁
97	自然観察ワークシート～横浜の都市自然を調べる～	1991. 3	B5. 115頁
98	トンボ生息環境づくり調査報告書	1991. 3	B5. 210頁
99	第15回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1991. 11	B5. 174頁
100	横浜市環境科学研究所報第16号	1992. 3	B5. 164頁
101	環境科学研究所業務案内リーフレット	1992. 2	B5. 4頁
102	横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書	1992. 3	B5. 133頁
103	第16回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1992. 12	B5. 108頁
104	横浜市環境科学研究所報第17号	1993. 3	B5. 232頁
105	横浜市の陸域生物による環境モニタリング調査報告書	1993. 3	B5. 77頁
106	鶴見川・帷子川水系生態調査報告書	1993. 3	B5. 268頁
107	酸性雨に関する調査研究報告書	1993. 3	B5. 218頁
108	第17回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1993. 12	A4. 105頁
109	横浜市環境科学研究所報第18号	1994. 3	A4. 164頁
110	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究	1994. 3	A4. 118頁
111	キショウブによる水質浄化法－実験報告書－	1994. 3	A4. 121頁
112	第18回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1994. 12	A4. 71頁
113	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究 パートII	1994. 12	A4. 175頁
114	横浜市環境科学研究所報第19号	1995. 3	A4. 153頁
115	横浜市民の音環境に関する意識調査	1995. 3	A4. 136頁
116	横浜港、生物と環境の変遷－底質柱状試料中の生物化石調査－	1995. 3	A4. 87頁
117	東京湾の富栄養化に関する調査報告書	1995. 3	A4. 133頁
118	第2回陸域生物による環境モニタリング調査	1995. 3	A4. 55頁
119	第19回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…	1995. 12	A4. 117頁
120	横浜市環境科学研究所報第20号	1996. 3	A4. 83頁
121	エコロジカルライフスタイルの政策科学的研究（III）	1996. 3	A4. 84頁
122	多環芳香族炭化水素（PAHs）に関する調査研究報告書	1996. 3	A4. 130頁
123	大岡川・境川水系生態調査報告書	1996. 3	A4. 200頁
124	横浜の酸性雨－よりよい環境をめざして－	1996. 6	A4. 6頁
125	酸性雨のはなし	1996. 12	A4. 8頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
126	第20回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち－	1996. 12	A4. 91頁
127	横浜市環境科学研究所報第21号	1997. 3	A4. 141頁
128	短期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO _x 、NO ₂ 及びSO ₂ 濃度の測定方法 (YERI METHOD - 1996)	1997. 3	A4. 13頁
129	酸性雨に関する調査研究報告書 (II) -酸性雨による器物影響-	1997. 3	A4. 88頁
130	長期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO _x 、NO ₂ 及びSO ₂ 濃度の測定方法 (YERI METHOD - 1997-1)	1997. 7	A4.
131	有害大気汚染物質の沿道実態調査報告書 -環境庁委託報告書-	1997. 3	A4. 60頁
132	第21回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	1998. 1	A4. 109頁
133	横浜市環境科学研究所報第22号	1998. 3	A4. 115頁
134	第22回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	1999. 1	A4. 104頁
135	酸性雨に関する調査研究報告書 (II) -酸性雨による器物影響- (改訂版)	1998. 12	A4. 142頁
136	横浜市環境科学研究所報第23号	1999. 3	A4. 65頁
137	エコシティ研究報告書	1999. 3	A4. 頁
138	第23回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2000. 1	A4. 76頁
139	横浜市環境科学研究所報第24号	2000. 3	A4. 116頁
140	揮発性有機塩素化合物による地下水汚染に関する調査研究報告書	2000. 3	A4. 98頁
141	第24回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2001. 1	A4. 112頁
142	横浜市環境科学研究所報第25号	2001. 3	A4. 110頁
143	新騒音低減技術の適用研究	2001. 3	A4. 66頁
144	第25回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2002. 1	A4. 135頁
145	横浜市環境科学研究所報第26号	2002. 3	A4. 192頁
146	横浜型エコシティ研究	2002. 3	A4. 118頁
147	第26回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2003. 1	A4. 141頁
148	横浜市環境科学研究所報第27号	2003. 3	A4. 90頁
149	環境ホルモンに関する環境調査報告書 横浜市地盤環境調査報告書 (ボーリング柱状図集、地質断面図・土質試験データ・地下水位観測データ集、ボーリング調査位置及び軟弱地盤分布図、地形地質図)	2003. 3	A4. 550頁 A4. 243頁 A0. 2枚
150	第27回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2004. 2	A4. 114頁
151	横浜市環境科学研究所報第28号	2004. 3	A4. 87頁
152	第28回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち・・・・	2005. 2	A4. 141頁
153	横浜市環境科学研究所報第29号	2005. 3	A4. 153頁
154	横浜市環境科学研究所報第30号	2006. 3	A4. 86頁
155	第1回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	2006. 2	A4. 83頁
156	第2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	2007. 2	A4. 72頁
157	横浜市環境科学研究所報第31号	2007. 3	A4. 155頁
158	横浜市環境科学研究所報第32号	2008. 3	A4. 150頁
159	第3回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

7. 施設見学者等一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H19. 5. 10	山形市立第四中学校	水環境に関する研究	5
H19. 5. 24	横浜市医師会看護専門学校	市の環境の現状と汚染対策	40
H19. 6. 7	横浜市医師会看護専門学校	市の環境の現状と汚染対策	41
H19. 6. 8	横浜国大人間教育学部1年生見学研修	横浜市の環境調査・研究について	51
H19. 6. 14	環境科学研究所施設公開	研究所業務概要、ヒートアイランド研究等	95
H19. 7. 5	市立滝頭小学校2年生	身近なまち探検（ヒート、川の生きもの）	7
H19. 8. 17	磯子区小学校理科研究会見学・研修	南極の氷、酸性雨、川の生きもの、ヒートアイランド	15
H19. 8. 31	中学生自由研究	酸性雨調査研究について	1
H19. 9. 26	高校生自由研究	環境ホルモン調査研究について	1
H19. 9. 27	平成19年度局転入職員、新採用職員研修	研究所業務概要他	63
H19. 10. 22	（独法）国際協力機構からの研修	大気汚染モニタリングについて	4
H19. 11. 8	横浜上海友好交流（環境保護局）	概要、アスベスト、生物相、ヒートアイランド	5
H19. 12. 4	平成20年度採用予定者職場見学	概要、試験検査業務等	1
H20. 1. 4	早稲田大学創造理工学部	大気エアロゾル中のEC、OCの分析	2
H20. 1. 25	市立岡村中学校2年生職業体験学習	ヒートアイランド、騒音、水生生物、化学物質等	9
H20. 2. 7	保土ヶ谷区保健活動推進委員	ヒートアイランド、アスベスト、ダイオキシン	40
H20. 2. 28	市立岡村中学校1年生職業インタビュー	研究所の研究業務	4
合計	17		384

8. 環境教室等講師派遣一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H19. 5. 26	神奈川大学法学部講義	環境行政特論「公害対策と未然防止」	200
H19. 6. 23	神奈川大学法学部講義	環境行政特論「成長段階にある環境アセスメント」	200
H19. 6. 29	横浜市大 地球環境と生命総合講義	横浜の川・生物多様性の保全と再生	130
H19. 7. 28	事業調整課依頼講義	舞岡川市民協働生き物調査	28
H19. 7. 28	横浜国立大学教育人間科学部集中講義 (7月28日、29日)	地球環境学特論 I B (2日間)	50
H19. 8. 22	市役所見学会「子どもアドベンチャー2007」	8月22, 23日 酸性雨で銅像が溶ける?	317
H19. 8. 24	瀬谷土木事務所依頼講義	瀬谷区こどもアドベンチャー2007	300
H19. 9. 25	緑のカーテン出前授業	希望ヶ丘小学校4年生	120
H19. 9. 26	緑のカーテン出前授業	白根小学校6年生	130
H19. 10. 10	環境活動支援センターでの講演	公園緑地技術研修「現場のシゴトを学ぼう」	40
H19. 10. 27	横浜国際フェスタ(10月27日, 28日) 環境創造局ブース	業務紹介パネル展示・説明等(2日間)	2500
H19. 10. 30	緑のカーテン出前授業	左近山小高小学校5年生	40
H19. 11. 6	原小学校(5年3組)	和泉川と生きものたち(特別授業)	38
H19. 11. 7	市立南舞岡小学校4年生	舞岡公園の池と川の水質検査等	49
H19. 11. 15	緑事業課依頼講義	小菅ヶ谷北公園生物保全市民協働調査	20
H19. 6. 14	出前講座(東中田小5年)	暑くなる街、横浜の今	101
H19. 6. 18	出前講座(桜岡小5年)	暑くなる街、横浜の今	121
H19. 7. 3	出前講座(平沼小5年)	暑くなる街、横浜の今	69
H19. 6. 22	出前講座(神橋小6年)	化学物質と水の中の生きもの	62
H19. 10. 27	出前講座(三保小5年)	化学物質と水の中の生きもの	153
H19. 11. 14	出前講座(綱島東小5年)	化学物質と水の中の生きもの	107
H20. 1. 22	出前講座(洋光台第三小5年)	化学物質と水の中の生きもの	54
H20. 1. 17	出前講座(新羽小6年)	大気のごれはどこから	76
H20. 1. 22	出前講座(瀬ヶ崎小5年)	大気のごれはどこから	85
H20. 2. 5	出前講座(芹が谷南小5年)	大気のごれはどこから	67
	23		5,057

◇編集後記◇

横浜市環境科学研究所報第33号を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祈りながら、原稿の整理や編集を行いました。

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、社会現象に対応した調査研究が求められています。また、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を改めて認識することもできました。

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たいと考えています。

所報第33号編集委員会

伊熊 信夫
石井 彰
杉山 未来
小市 佳延
西高 幸作
二宮 勝幸
小倉 智代
平野 耕一郎
井上 友博
米山 利行
若林 信夫