

環境研資料

No. 195

横浜市環境科学研究所報

第 41 号

ANNUAL REPORT OF
YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE
RESEARCH INSTITUTE
No.41

2017年3月

横浜市環境科学研究所

YOKOHAMA ENVIRONMENTAL SCIENCE RESEARCH INSTITUTE

はじめに

横浜市環境科学研究所は、行政部署の一員として、環境問題について科学的視点で調査研究し、横浜市の環境施策を支援する役割を担っています。

当研究所は、昭和51年に公害研究所として開所しました。開所当初に比べて、大気・水環境は格段に向上しましたが、健康被害の原因となるPM2.5や光化学オキシダント、アスベスト、あるいはヒートアイランド現象、さらには世界規模の課題として、地球温暖化の進展や生物多様性の減少など様々な環境問題に直面しています。

横浜市では、これらの環境問題に対して、2025年を見据えた「横浜市基本構造（長期ビジョン）」をはじめ、「横浜市中期4か年計画2014～2017」や環境行政の基本となる「横浜市環境管理計画」、生物多様性の保全を市民とともに推進していく「生物多様性横浜行動計画（bプラン）」を策定して、具体的な施策・取組を進めています。

横浜市環境科学研究所は、これら施策推進の一端を担い、環境中の有害化学物質や工場排水などの測定・分析をはじめ、気温測定や熱環境調査、陸域・水域の生物生息状況調査、海の水質浄化の取組、あるいは学校や市民向けの環境講座、市内地盤情報の提供など、様々な業務・研究に取り組んでいます。

この所報は、27年度に取り組んだ試験検査・調査研究の成果をとりまとめたものです。皆様方にご高覧いただき、ご指導、ご鞭撻いただければ幸いに存じます。

平成29年 3月

横浜市環境科学研究所長

中後 博

目 次

はじめに

I 業務報告編

業務報告	1
研究概要	2

II 調査研究編

報文

・ VOC測定におけるメソッドの改良	8
・ 横浜市内における揮発性有機化合物(VOC)調査(2013～2015年度)	15
・ 水質試料中の安息香酸ベンジルの分析について	21
・ 2013年～2015年夏季の横浜市内の気温観測結果 ―緑地による気温上昇緩和効果―	25
・ 新横浜公園における熱環境調査 ―遮熱性舗装や日射遮蔽による暑熱低減効果―	33
・ 横浜市内における2015年夏季の暑さ指数(WBGT)の調査	38
・ 横浜市内における外来性スジエビ近似種 <i>Palaemonetes sinensis</i> の確認状況について	45
・ 横浜市における明治期GIS植生図の改良と応用	50
・ 生物付着基盤の設置による生物生息環境の改善手法について(第2報)	55

III 資料編

1 人員及び組織	60
2 主要機器一覧表	61
3 学会等研究発表	62
4 雑誌等投稿	64
5 記者発表一覧	65
6 環境科学研究所発行資料目録	66
7 施設見学者等一覧	71
8 講師派遣一覧	71
9 イベント出展等一覧	72

編集後記	73
------------	----

I 業 務 報 告 編

業務報告

1 環境科学研究所の沿革

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

平成10年5月には複雑多様化する環境問題に柔軟に対応できるよう、今までの、大気や水質部門などの現象対応型組織から、ヒートアイランド対策研究や化学物質対策研究などの機能対応型組織とするため、研究調整、調査研究(基礎研究・プロジェクト研究)、試験検査などに組織を整備しました。

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

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

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

平成27年4月には、設立時から使用してきた研究所施設の老朽化に伴い、磯子区滝頭から神奈川区恵比須町の民間賃貸施設に移転しました。

2 試験検査業務

平成27年度の試験検査業務の概要は次のとおりです。

- ◇事業所排水等の試験検査
- ◇有害大気汚染物質のモニタリング調査
- ◇アスベスト分析
- ◇浮遊粒子状物質(PM_{2.5})調査
- ◇酸性雨モニタリング調査
- ◇化学物質の環境リスクに関する調査研究
- ◇放射能測定

3 調査研究業務

平成27年度の調査研究業務の概要は次のとおりです。

- ◇地盤・地下水水位観測および環境情報提供事業
- ◇生物多様性横浜行動計画推進事業
 - ・生物生息状況モニタリング調査 ー河川域生物相調査ー
 - ・生物生息状況モニタリング調査 ー陸域生物調査ー
 - ・市民協働による生き物調査
 - ・生物環境情報整備事業
 - ・多自然水・緑整備事業の環境への効果に関する研究
- ◇きれいな海づくり事業
 - ・沿岸域等の生物生息環境改善に関する共同研究

4 環境教育活動

4-1 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報告などを発表する「第11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することを目的として、教育委員会指導企画課と共催で実施しています。

平成27年度からは横浜市資源リサイクル事業協同組合主催の「環境未来都市・環境絵日記展」の中で「ステージ発表」と「ブース展示」を実施することとし、市内小中学校の児童生徒が身近な環境に関する発表やポスター展示を行っています。

期 日／平成27年11月1日(日)

会 場／横浜港大さん橋国際客船ターミナル

大さん橋ホール

内 容／ステージ発表(4校)、ブース展示(5校)

参加児童・生徒数／141人

4-2 第39回 環境研究合同発表会

横浜市環境科学研究所、神奈川県環境科学センター及び川崎市環境総合研究所で組織する神奈川県環境研究機関協議会主催による「第39回 環境研究合同発表会」を開催しました。

環境科学研究所からは、「みなとみらい21地区における『身近な緑』により形成される空間の快適性に関する多面的評価」及び「横浜市内止水域における外来種侵入状況について～2池における魚類、エビ・カニ類の変遷～」の研究発表を行いました。

期 日／平成27年6月17日(水)

会 場／横浜市技能文化会館 多目的ホール

内 容／研究発表(6編)、

特別講演：「外来種問題と私たちの生活」

五箇 公一(国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 主席研究員)

参加者／136人

4-3 施設見学、出前講座等

環境科学研究所施設公開を8月に開催し、多くの市民の方に研究所の研究業務や横浜の環境などを紹介することができました。

また、随時、学校や市民団体等の施設見学を受け入れ、研究業務、研究所施設の紹介を行いました。区役所、学校、市民団体等からの依頼を受けて、出前講座や自然観察会への講師派遣も行いました。

研究概要

事業名

試験検査・環境危機管理対策

1. 事業所排水等の試験検査

[目的]

安全で豊かな水辺環境の維持・回復のため、規制部局と連携し水質汚濁の防止に関する試験・検査を行う。

[方法]

- ・規制指導に必要な事業所排水の試験・検査を行う。
- ・ゴルフ場の農薬調査を行う。
- ・環境中のダイオキシン類の分析を行う。
- ・汚染井戸及びその周辺地域における水質調査を行う。
- ・事故検体等緊急時の対応を行う。
- ・外部精度管理調査へ参加し、精度管理を行う。

[結果]

平成 27 年度の試験・検査実績は次の表のとおり。

内 容	検体数
事業所等排水検査	443
ゴルフ場農薬調査	9
ダイオキシン類分析	48
汚染井戸調査	64
事故検体（生物試験検体含）	28
外部精度管理試料	1

- ・事故検体としては、河川の白濁、油浮遊事故、魚浮上事故等があった。
- ・外部精度管理調査に参加し、横浜市の分析結果（大気アルデヒド、底質フタル酸ジブチル）は平均値に近く、統計上の外れ値には該当しなかった。

2. 有害大気汚染物質モニタリング調査

[目的]

大気汚染防止法で規定される有害大気汚染物質の排出を抑制するため、大気環境の測定を実施する。

[方法]

- ・有害大気汚染物質（13 物質）について月 1 回 5 地点（鶴見区潮田交流プラザ、中区本牧、緑区三保小学校、戸塚区矢沢交差点、磯子区滝頭）で測定する（県下一斉）。

[結果]

- ・有害大気汚染物質の測定結果は環境省へ報告し、ホームページ（環境省、監視センター）で公表した。

3. 揮発性有機化合物（VOC）調査（東京都環境科学研究所との共同）

[目的]

光化学オキシダント及び PM2.5 の原因物質となる VOC の大気環境濃度の把握を行う。

[方法]

- ・VOC 約 100 成分について月 1 回 5 地点（鶴見区潮田交流プラザ、中区本牧、緑区三保小学校、戸塚区矢沢交差点、磯子区滝頭）で測定する。
- ・夏季の光化学オキシダント高濃度日に VOC 大気環境濃度の経時変化をみる。

[結果]

- ・東京より横浜の方がオゾン生成能の高い大気質であることがわかった。
 - ・横浜におけるオゾン生成能の高い物質は、芳香族とアルカン類であった。
- これらの結果は、大気環境学会年会で発表した。

4. アスベストモニタリング調査

[目的]

大気環境中アスベスト濃度の定期的モニタリングを継続し、市民への迅速な情報提供を行う。
横浜市所管公共建築物のアスベスト含有調査を行い、被害を未然に防ぐ。

[方法]

- ・市内測定局7地点（一般環境測定局6、自動車排ガス測定局1）で年4回のアスベスト濃度を測定する。
- ・公共建築物（横浜市所管）のアスベスト含有確認を行う。

[結果]

- ・市内測定局のアスベスト濃度は全て10本/L（*）を大幅に下回っており、濃度が急上昇するような地点・期間は見られなかった。一般環境測定局については記者発表を行った。
（*）WHOの環境保健クライテリアによると「世界都市部の一般環境中のアスベスト濃度は1本から10本程度であり、この程度であれば健康リスクは検出できないほど低い」とされている。
- ・横浜市所管公共建築物のアスベスト含有確認試験（27検体）を行った。

5. PM2.5（浮遊粒子状物質）調査

[目的]

PM2.5の実態について、広域連携して調査し、対策の検討に必要な情報を環境規制部局へ提供する。

[方法]

- ・神奈川県公害防止推進協議会PM2.5等対策検討部会（推進協PM2.5等対策検討部会）として、高濃度日（四季・連続5日）における気象・常時監視測定値等を用いて汚染気塊の移流・地域内汚染状況を共同調査する。
- ・関東地方大気環境対策推進連絡会浮遊粒子状物質調査会議（関東SPM調査会議）においては、参加17都県市で夏季の2週間、PM2.5（及びPM_(10-2.5)）質量濃度、成分濃度及びガス状物質濃度を一斉調査する。

[結果]

- ・推進協PM2.5等対策検討部会において、平成27年度調査結果の取りまとめを行っている。
- ・関東SPM調査会議については、各自治体の分析結果（質量濃度）の解析を分担し報告書を作成した。

6. 酸性雨モニタリング調査

[目的]

大気汚染による酸性雨の影響は、近年の東アジア地域における急速な工業化の進展により、広範囲に渡ると懸念されている。横浜は以前から都市・工業地帯の汚染の影響を受け、日本の中ではやや強いレベルの酸性雨となっていたが、平成12年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、急速に酸性度が強まり、世界で最も酸性雨が強い東欧、北米、中国重慶等の地域と同じレベルとなった。そこで、酸性雨のモニタリングを継続して現状の把握を行うとともに、基礎的な環境データとして蓄積を行う。

[方法]

- ・横浜市神奈川区（環境科学研究所屋上）にて、初期1mm降水及び一降水全量のpHと電気伝導度（EC）を測定する。

[結果]

- ・平成27年度の平均値（68回測定）は、初期1mm降水pHが5.20、一降水全量は5.35であった。
- ・火山ガス放出前10年間の平均pHは、初期1mm降水4.33、一降水全量4.73であったが、火山ガス放出後1年間の平均pHは、初期降水3.88、一降水全量4.31に降下した。
- ・その後、火山活動の沈静化に伴い、pHは徐々に回復傾向にあり、27年度の結果は26年度よりも改善された。これらのデータはホームページに掲載した。

7. 化学物質の環境リスクに関する調査研究

[目的]

未規制や残留性の高い化学物質の環境実態を調査し、環境汚染を未然防止し、環境影響評価の基礎資料を得る。

[方法]

環境省が実施する化学物質環境実態調査に参加する。

- ・分析法開発検討調査（底質・生物試料中の安息香酸ベンジルの分析法開発）を行う。
- ・初期・詳細環境調査（鶴見川、恵比須運河、横浜港の水質調査及び横浜港の底質調査）を行う。
- ・モニタリング調査（横浜港の水質・底質・生物調査、神奈川区の大気調査）を行う。

[結果]

- ・底質・生物試料を用いた再現性、定量下限の算出、添加回収試験による安息香酸ベンジル分析法の検討を行った。
 - ・水質・底質試料を用いて、未規制物質（21種類）調査を実施した。
 - ・精度管理試料、鶴見川・横浜港の水質試料を用いて、有機すずの分析を実施した。
 - ・大気試料を用いて、ジビニルベンゼン類等の調査を実施した。
 - ・横浜港の水質、底質、生物試料（横浜港：ムラサキガイ）、神奈川区大気試料を用いて、PCB類やクロロデン類等の残留性調査を実施した。
- 上記結果は環境省が取りまとめ、製本しホームページ上で公開している。

8. 放射能測定

[目的]

東日本大震災に起因する放射能の影響に対する市民の不安を解消し、より一層の安全・安心を確保するため、放射能測定装置を用いて、環境中の放射能濃度を測定する。

[方法]

放射能測定装置（ゲルマニウム半導体検出器）により、環境中の放射性物質を測定する。

[結果]

庁内で測定要望のあった下水汚泥焼却灰、下水流入水・処理水や横浜港内の海水などの測定を行った。

平成 27 年度の測定実績は次の表のとおり。

内 容	検体数
下水流入水・処理水、下水汚泥焼却灰等	218
横浜港海水	102
マイクロスポット汚泥等	39
合 計	359

事業名

ヒートアイランド対策に係る技術支援研究

[目的]

市内ヒートアイランド現象の原因・対策について、科学的手法を用いた現状把握・対策手法により、熱環境を緩和し、市民の快適環境の創出につながる施策の提示を行う。

[方法]

(1) 気温観測調査

市内 43 地点（小学校）で気温観測を行い、横浜市内の夏季（7、8月）の気温分布図を作成する。

(2) 熱環境測定

公園や道路等の人が集まる場所における人工物の熱環境緩和効果を WBGT 計等を使用して測定する。

(3) ヒートアイランド対策事業の効果測定・技術支援

各局区のヒートアイランド対策事業（緑のカーテン・打ち水等）に対して、赤外線サーモグラフィを使用した効果測定等の技術支援を行う。サーモグラフィ貸出・説明会、施設公開・見学会対応・イベント出展を行う。

(4) 熱中症注意情報

熱中症搬送者数を減少させるため、市内 18 区での WBGT の観測を行う。観測値を即時配信するシステムについて検討する。

(5) 風環境シミュレーション

横浜市立大学と共同研究（文部科学省「地（知）の拠点整備事業」平成 25～28 年）を行う。都市計画部門にヒアリングし、街区レベルでの風環境シミュレーションを実施する。

[結果]

(1) 気温観測調査

平成 27 年夏季は、前半が気温が高く後半は低くなり、全体としては平均的な夏の結果となった。日中は市内の北東部で高温となり、夜間は横浜港周辺が高温となるなど、過去数年と同様の傾向。観測結果は記者発表し、観測データは神奈川県、川崎市と情報共有している。

(2) 熱環境測定

新横浜公園（日産スタジアム）で調査を実施した。遮熱性舗装や庇による熱環境緩和効果を確認した。

(3) ヒートアイランド対策事業の効果測定・技術支援

各局区のヒートアイランド対策事業に赤外線サーモグラフィの貸出及び操作・解析方法の説明会を実施した。市営住宅改築による暑さ緩和効果の測定については tvk で放映された。

(4) 熱中症注意情報

18 地点・6 か月間調査を実施した。発信システムを検討したが、注意喚起を重点的に実施し、システム化は見送りとした。

(5) 風環境シミュレーション

関内地区における街区レベルシミュレーションから、再整備への環境配慮について施策への反映を視野に検討している。平成 28 年度に取りまとめの方向。

事業名

地盤環境の研究および環境情報提供事業

[目的]

地盤・地下水環境に関する情報を環境保全や各種公共事業に役立てるため、横浜市域の地質や地盤構造、地下水に関する調査研究を行う。

[方法]

- ・ 横浜市の各種事業で行われた地盤調査結果の集約、情報提供
- ・ 地盤沈下、地下水位のモニタリング

[結果]

- ・ 平成 27 年度に市内で実施した土質調査の報告書を集約（委託件数：24 件、柱状図本数：195 本）整理した。土質調査データは市内等の依頼に基づき、情報提供（件数：65 件、柱状図本数：201 本）した。地盤 View へのアクセス件数は 82,436 件、問合せ件数は 95 件だった。
- ・ 地盤沈下観測所（5 箇所）、地下水位観測井（15 箇所）のデータ回収および保守点検を行った。

事業名

生物多様性横浜行動計画推進事業

1. 生物生息状況モニタリング調査 —河川域生物相調査—

[目的]

環境に関する施策を立案、遂行、評価するための基礎資料として、市内水環境における生物生息状況調査を行う。横浜市では昭和 48 年以来 3～4 年毎に、市内河川および海域において生物生息状況のモニタリングを実施している。これらデータの蓄積は、横浜市の水環境における生物の変遷を記録する貴重な資料となっており、生物生息環境の変化や新しい問題点を把握するためにも重要である。

[方法]

平成 27 年度は次の要領で夏季の河川生物相調査を実施した。

調査地点：鶴見川（12 地点）、帷子川（4 地点）、大岡川（7 地点）、境川（13 地点）、宮川（2 地点）、侍従川（3 地点）の 6 水系における合計 41 地点

調査項目：魚類、底生動物（甲殻類を含む）、水草、付着藻類、水質（調査は水草調査の一部及び水質を除き、委託業務）

調査時期：8 月～10 月に 41 地点で 1 回

[結果]

魚類 53 種、底生動物 168 種、水草 27 種、付着藻類 132 種の合計 380 種が確認された。生物指標を用いた水質評価では、「大変きれい」26 地点、「きれい」13 地点、「やや汚れている」0 地点、「汚れている」2 地点、「評価できない」0 地点となった。海とのつながりを示す回遊魚では、遡上能力の高い小型のハゼ類が源・上流域まで遡上していた一方、アユやマルタなどの遊泳魚や遡上能力の低いカワアナゴやゴクラクハゼは中・下流域までの遡上にとどまった。380 種のうちレッドリスト等掲載種は 34 種、外来種は 40 種（国外外来種 28 種、国内外来種 9 種、品種 3 種）を確認した。セキショウモは神奈川県内の確実な産地が箱根芦ノ湖と鶴見区三ツ池の 2 か所のみとされ、神奈川県レッドデータブック 2006 で「絶滅危惧 I B 類」に指定されているが、今回の調査で鶴見川水系において、河川域生物相調査としては初めて確認された。

2. 生物生息状況モニタリング調査 —陸域生物調査—

[目的]

市域における陸域生物生息状況について調査を行い、環境変化や地域特性による生物相の違いについて、解析・検討を行う。生物多様性に関する科学的データは、政策決定や取組の出発点、基礎となることが生物多様性国家戦略 2012-2020 に謳われているところであるが、近年、陸域生物に関する広域調査は行われておらず、生物多様性横浜行動計画でも調査の必要性について触れられている。本調査は、平成 24 年度に開始したモニタリング調査である。

[方法]

市内 3 地域（境川流域）において、植物、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、昆虫類の調査を実施した。

[結果]

3 地域全体で、植物 831 種、動物 749 種、合計 1,580 種の生物を確認した。地域間で外来種やレッドリスト等掲載種の割合に違いが見られたほか、3 地域すべてにおいて確認された種、1 地域のみで確認された種などが抽出され、それぞれの地域の特性が明らかとなった。

3. 市内全域における小学生生き物調査

[目的]

ヨコハマbプラン（生物多様性横浜行動計画）では、次世代を担うこどもがメインターゲットとなっている。本調査は、市民協働の1つとして市内小学生を対象に、委託調査では難しい市内広域の生物生息状況を把握するとともに、調査の実施や結果の公表を通じて生物多様性の主流化を図る。

[方法]

市立小学校の主に5年生を対象に、生き物アンケート調査を実施した。

[結果]

小学生対象生き物アンケート調査に169校12,257名が参加した。庭先や公園の池などで繁殖するヒキガエルが市内都市部でも比較的多く確認されていることや、集団繁殖地が減少し、過年度調査でも減少傾向にあることが指摘されている白サギのなかまは市の南西部（柏尾川流域）や北部（鶴見川流域）で多く確認されていることがわかった。

4. 生物環境情報整備事業

[目的]

ヨコハマbプラン（生物多様性横浜行動計画）に掲げている、生き物情報に関するデータの蓄積・一元化に向け、市民、活動団体、企業、横浜市等が実施した様々な調査について、データや報告書の収集を行い、環境に関する基礎情報として活用する。

[方法]

- ・生物モニタリングの結果のうち、河川の魚類・底生動物、海域の魚類・海岸動物に関する生息情報のデータベースを承認申請方式により提供する。
- ・環境創造局内各部署において実施された生物関連調査の報告書（委託調査結果）等について、メタデータを収集し、庁内での共有化を行う。

[結果]

生息情報データベースや報告書等メタデータは随時更新し、提供、共有化を行った。今後の生物環境情報の一元化については、国の動向（環境省「いきものログ」）を踏まえながら進める。

5. 河川の多自然緑・水整備事業による事業効果に関する研究

[目的]

多自然河川整備、河川構造物の改変、魚道設置等の水・緑整備事業が多く展開されているが、より効果的な事業とするために、事業によって創出された環境について生物面から適切な評価を行い、新たな事業や効率的な管理に反映させるとともに、地域住民等に対して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。

[方法]

- ・帷子川を対象にアユの分布調査を行い、落差工、魚道等の河川構造物との関係について考察する。
- ・繁殖生態を明らかにするため、踏査によって産卵場を特定するとともに、物理的環境調査等によって産卵場選択条件を解析する。

[結果]

平成27年度の帷子川におけるアユの流程分布の上限は、鶴峰橋付近であり、産卵期の10月下旬には新橋より下流まで、11月下旬には平和橋より下流まで下降していた。

過年度までの調査で、本川におけるアユの産卵場は、淡水域末端の横浜新道下から両郡橋までの1.2kmの区間で確認されているが、平成27年度は横浜新道下とその100m上流の平和橋を調査した結果、横浜新道下で卵を確認した。

6. 赤潮モニタリング

[目的]

横浜市沿岸域の水質を把握する項目の一つとして赤潮に着目し、モニタリングを実施する。

[方法]

神奈川県水質測定計画に基づく海域7地点の水質測定において、現場で赤潮と判定された試料のプランクトンを計数した。また、鶴見航路において週1回の採水を行い、海の色と透明度を記録するとともに、クロロフィルaの測定とプランクトンの計数を行った。

[結果]

水質測定計画の調査地点である横浜港内において5、6、8月に、鶴見川河口先において5、8月に現場で赤潮を観測した。優占種はスケレトネマ属、キートセロス属、タラシオシラ属等の珪藻類であった。鶴見航路においては、6月中旬から8月中旬までは植物プランクトンが多い状態が続き、ほとんどは珪藻類が優占する赤潮であった。9月下旬のクロロフィルaが $230\mu\text{g/L}$ と高く、透明度も1mと低い赤潮では、珪藻類の他に渦鞭毛藻類のプロロセントラム トリエステイナムも多く確認された。

事業名

「きれいな海づくり」事業

[目的]

市民が親しみを持ち、生き物が多様で浄化能力の高い海の保全・再生・創造を推進するため、市民、企業と協働での海づくりを進める。

山下公園：都心臨海部の魅力づくりとして、山下公園前面海域における環境改善に取り組み、海が身近に感じられるよう施策を進める。

野島海岸：横浜に現存する唯一の自然海浜である野島海岸において活動する市民団体等と連携し、海に関する啓発活動を進める。

[方法]

山下公園：民間企業との共同研究による、水質浄化能力の回復を目的とした生物生息環境改善手法の検討を行う。4季のモニタリング調査を実施し、生物の生息環境の改善効果を検証する。また、世界トライアスロンシリーズ横浜大会関連イベントに出展し、市民に対して横浜の海への関心・環境意識向上のための普及啓発を実施する。

野島海岸：市民団体が主催する市民と野島海岸を学ぶためのイベントに出展し、横浜の海への関心・環境意識向上のための普及啓発を実施する。また、砂浜減少の状況等の調査結果をとりまとめる。

[結果]

山下公園：平成 25 年秋の基盤設置当初に比べ、生物の確認種類数の増加がみられた。平成 27 年夏には生物種類数の減少が見られたが、その後回復傾向にある。また、世界トライアスロンシリーズ横浜大会関連イベントへの出展を行った。

野島海岸：市民団体が主催するイベントへ出展し、砂浜調査の結果についてのパネル展示等を実施した。

Ⅱ 調 査 研 究 編

VOC 測定におけるメソッドの改良

小宇佐友香、福崎有希子（横浜市環境科学研究所）

Improvement of the method in the VOC measurement

Yuka Kousa, Yukiko Fukusaki
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：揮発性有機化合物、キャニスター採取 GC/MS 法、シリンジ法、圧希釈法

要 旨

大気中の揮発性有機化合物測定において測定・作業の効率化及び液体窒素使用量の削減を図るため、(1)三種混合メソッドの作成、(2)カラムの比較、(3)濃縮量変化による検量線の作成、(4)圧希釈法とシリンジ法の比較を行った。検討の結果、標準濃度試料の調整方法ではシリンジ法、検量線の作成では濃縮量変化を採用した。測定は対象物質の分離が良好であったカラムを使用した三種混合メソッドを採用した。結果として測定・作業の効率化及び、液体窒素使用量の削減につながった。一方、これらの方法では定量困難や検量線の精度に問題が出てくる物質もあり、今後の課題となった。

1. はじめに

大気汚染防止法第 22 条に基づく法定受託事務として、毎月市内 5ヶ所でサンプリングを行い優先取組物質の 14 成分を測定している（うち 1 成分はサンプリングを委託し、測定のみ行っている）。これに加えて光化学オキシダント調査のために数十種類の化学物質の濃度を調べており、大気中の揮発性有機化合物（以下、VOC）測定においては、アルカン 26 成分、アルケン 21 成分、芳香族 18 成分、植物起源 VOC 3 成分、含酸素化合物 1 成分、ハロゲン 32 成分、その他 1 成分（アクリロニトリル）の合計 102 物質の測定をキャニスター採取-GC/MS 法で行っている。

試料の調製や測定・解析に多くの時間を費やしており、測定・作業の効率化及び、液体窒素使用量の削減を図るために(1)有害大気汚染物質測定用標準ガス（以下、HAPs）・光化学スモッグモニタリングステーション用標準ガス（以下、PAMS）・アルケン類混合ガス（以下、アルケン類）の測定メソッドを 1 つにまとめた三種混合メソッドの作成、(2)カラムの比較、(3)試料濃縮装置による濃縮量を利用した検量線の作成、(4)圧希釈法とシリンジ法による検量線の比較について検討を行ったので報告する。

2. 分析方法

2-1 標準ガス

使用した標準ガスは以下の通りである。

- HAPs-J44 1ppm（住友精化製）
- PAMS-58 1ppm（高千穂化学工業製）
- アルケン類 18 種混合ガス 1ppm（高千穂化学工業製）
- d-8 トルエン 1ppm（太陽日酸製）

2-2 キャニスター

6L の Silico Can（フューズドシリカライニング処理）を使用した。

2-3 分析装置

試料濃縮・加熱脱着装置：AERO タワーシステム ACS-2100（GLサイエンス）

濃縮条件は以下に示す通りである。

【Trap1】40℃濃縮、220℃脱着

【Trap2】-100℃濃縮、-20℃ドライパージ、220℃脱着
GC/MS：GC2010/GCMS-QP2010plus（島津製作所）

カラム：

①InertCap Aquatic（GLサイエンス）

長さ 60m、内径 0.25mm、膜厚 1.00 μm 最高使用温度 200℃

②InertCap 624MS（GLサイエンス）

長さ 60m、内径 0.25mm、膜厚 1.4 μm 最高使用温度 300℃

※InertCap 624MS はカラムの検討のみ使用した。その他の検討は InertCap Aquatic で行った。

昇温条件は表 1 に示す通りである。

表 1 昇温条件

	Rate (°C/min)	Temp (°C)	Hold Time (min)
昇温条件1 (Aquatic)		40	10
	3.5	80	4
	15	200	15
昇温条件2 (624MS)		35	5
	3.5	60	0
	6	120	0
	12	300	6
昇温条件3 (624MS)		35	5
	2	60	0
	5	120	0
	11	300	6

2-4 測定・解析方法

分析は「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」¹⁾の容器採取-ガスクロマトグラフ質量分析法に準拠した。検量線は最小二乗法により求め、重み付けとして1/C (C:濃度)を用いた。

3. 検討内容

3-1 三種混合メソッドの作成

標準ガスの種類ごとに HAPs・PAMS・アルケン類それぞれの測定メソッドを作成し各測定メソッドで同じ検体を測定すると計3回になり、分析時間・液体窒素使用量が多くかかる。そこで HAPs・PAMS・アルケン類を同時分析できる三種混合メソッドの作成を試みた。

3-2 カラムの比較

試料の測定時間は全測定対象物質の保持時間以上の必要があり、測定対象物質の分離状態が良くなるようにカラムの昇温条件を設定することによって決まる。カラムの比較を行い、ピーク同士の分離が良く、測定時間が少なくなるものを選ぶことで測定時間の減少につながる。

2-3 分析装置に記載した最高使用温度の異なる2種類のカラムについて三種混合メソッドで三種混合試料を測定し、ピークの分離状態や測定時間の比較を行った。

3-3 濃縮量の変化による検量線作成

検量線を作成するために用意する標準濃度試料は通常、検量線の点数分用意する必要がある。例えば0、20、50、100、200、500、1000、2000、5000pptの9点検量線の場合、標準濃度試料は9本用意しなければならない。キャニスター採取 GC/MS 法では自動濃縮装置に取り付けたキャニスターからの導入量を変更することが可能である。これを利用すれば同じ検量線を作成する場合、0、20、200、2000、5000ppt を作成すれば良いため5本で済む。自動濃縮装置による濃縮で検量線を作成する場合、直線性に問題はないか確認のために以下のことを行った。

HAPs・アルケン類の混合試料と PAMS について、それぞれ2000pptの標準濃度試料を作成し、自動濃縮装置により50-400mLまで50mL刻みで濃縮量を変化させて測定した。この結果から250-2000pptまでの検量線を作成し、その直線性について検討した。

3-4 圧希釈法とシリンジ法による検量線の比較

標準濃度試料の主な調製方法には圧希釈法とシリンジ法がある。圧希釈法は内圧の値を確認しながら標準ガスを導入するため、正確な濃度になるが調製に時間がかかる。一方、シリンジ法では標準ガスをボンベからシリンジで直接必要な分量だけキャニスター内に注入するため短時間で調製できるが、全てのキャニスターの体積が6Lであると仮定して注入量を決定しているため圧希釈法よりも精度は損なわれる。シリンジ法への切替えを目指して圧希釈法とシリンジ法の比較として、標準濃度試料をそれぞれの方法で調製し、その検量線の比較を行った。調製した標準濃度試料は PAMS・アルケン類は0、20、200、2000、5000ppt、HAPsは0、20、200、2000pptである。

4. 結果及び考察

4-1 三種混合メソッドの作成

三種混合メソッドを作成する際に選択した定量・確認イオンを表2に示す。保持時間の近い物質に妨害されないものを選択した。また、同じような質量を持つイオンが近くに出てくる物質がある場合は昇温条件を変更して分離を試みた結果、表1の昇温条件1に決定した。このことによって、HAPs・PAMS・アルケン類すべてを測定できる三種混合メソッドが完成した。検体はこのメソッドで1回だけ測定すればよく、測定時間を25%、液体窒素使用量を30%削減できた。

一方で表2に示すように1-ブテンとイソブテン、2-メチル-1-ペンテンと1-ヘキセンのようにピークの分離が昇温条件や定量・確認イオンの選択では難しく定量困難である物質も存在した。

4-2 カラムの比較

使用した昇温条件は表1に示す通りである。Aquaticと624MS(昇温条件2、3)のスペクトルの一部を図1に示す。Aquaticと昇温条件2の624MSのスペクトルを比較すると、2,3-ジメチルブタンと2-メチルペンタン、cis-3-ヘキセンとcis-2-ヘキセン、m,p-エチルトルエンと1,3,5-トリメチルベンゼンはAquaticより624MSのほうがピーク同士の重なりが多い結果となった。2,3-ジメチルペンタンとスチレンでも同様の傾向が見られた。一方、2-メチル-1-ペンテンと1-ヘキセンに関してはAquaticでは完全に重なっていたものの、624MSではピークの重なりが緩和された。次に、624MSを昇温条件3にし、重なりの状態を確認した。温度の上昇レートを小さくしたことによって、昇温条件2に比べて昇温条件3のスペクトルは多少ピークの重なりが緩和された。しかし、Aquaticでの測定結果ほど重なりは小さくならなかった。一方で、Aquaticでもピークの重なりによって定量困難であった1-ブテンとイソブテンは624MSでも同様に重なりがあり定量困難であった。また、ピークの重なりはあるものの、定量可能である2-エチル-p-キシレンと4-エチル-m-キシレンはAquaticも624MSも重なり状態は変わらなかった。測定時間に関して、Aquaticは最高使用温度200℃、624MSは300℃であるため、624MSでは測定時間の減少につながることを期待したが、温度の上昇率を小さくしたことによって測定時間が長くなり、Aquaticの場合と変わらなくなった。ピークの分離状況と測定時間の観点から、Aquaticを採用した。

4-3 濃縮量の変化による検量線の作成

濃縮量を変化させて作成した検量線について各物質の傾き・切片・決定係数・相対感度係数(以下、RRF)の変動を表3に示す。この結果から3-クロロ-1-プロペン以外の物質は決定係数が0.995以上であり直線性は概ね良好であった。検量線の精度の目安となるRRFの変動についても全ての物質で目標値である30%以内²⁾に収まった。この結果から濃縮量を変化させて作成した検量線に問題がないことが確認されたため、濃縮による検量線測定に切り替えた。これにより作業時間を50%削減できた。

表2 物質ごとの定量・確認イオンの選択

物質名	定量イオン	確認イオン	保持時間	物質名	定量イオン	確認イオン	保持時間	物質名	定量イオン	確認イオン	保持時間
フロン12	85	87	5.33	2-メチル-1-ペンテン ※1	56	84	11.47	トルエン	91	92	26.48
フロン114	135	137	5.58	1-ヘキセン ※1	41	56	11.55	trans-1,3-ジクロロプロペン	75	77	27.20
i-ブタン	43	41	5.63	n-ヘキサン	57	56	11.75	1,1,2-トリクロロエタン	97	83	27.78
塩化メチル	50	52	5.74	cis-3-ヘキセン	41	84	12.37	テトラクロロエチレン	166	164	28.61
1-ブテン ※1	56	55	5.90	cis-2-ヘキセン	55	84	12.45	1,2-ジブプロモエタン	107	109	30.08
イソブテン ※1	41	56	5.94	1,1-ジクロロエタン	63	65	12.48	n-ノン	57	85	30.92
n-ブタン	42	58	5.96	cis-3-メチル-2-ペンテン	69	84	12.86	クロロベンゼン	112	114	31.10
塩化ビニル	62	64	5.99	trans-2-ヘキセン	55	84	13.08	エチルベンゼン	91	106	31.19
1,3-ブタジエン	54	53	6.08	2,4-ジメチルペンタン	57	56	13.37	m,p-キシレン	91	106	31.43
trans-2-ブテン	56	55	6.15	trans-3-メチル-2-ペンテン	69	84	13.53	o-キシレン	91	106	32.48
cis-2-ブテン	56	55	6.37	エチル-tert-ブチルエーテル	59	87	13.88	スチレン	104	103	32.65
3-メチル-1-ブテン	55	70	6.79	メチルシクロペンタン	56	69	14.06	α-ピネン	93	91	32.93
臭化メチル	94	96	6.86	cis-1,2-ジクロロエチレン	61	96	14.58	i-プロピルベンゼン	105	120	33.23
塩化エチル	64	66	6.97	クロホルム	83	85	15.23	1,1,2,2-テトラクロロエタン	83	85	33.73
i-ペンタン	57	56	7.05	2-メチルヘキサン	85	57	15.91	n-デカン	57	71	33.98
1-ペンテン	55	70	7.52	2,3-ジメチルペンタン	56	57	16.22	n-プロピルベンゼン	91	120	34.10
フロン11	101	103	7.58	1,1,1-トリクロロエタン	99	97	16.49	m,p-エチルトルエン	105	120	34.34
n-ペンタン	57	72	7.67	3-メチルヘキサン	71	57	16.56	β-ピネン	93	77	34.45
2-メチル-1-ブテン	55	70	7.74	シクロヘキサン	84	69	16.64	1,3,5-トリメチルベンゼン	105	120	34.50
trans-2-ペンテン	55	70	8.08	2,2,4-トリメチルペンタン	57	56	17.32	o-エチルトルエン	105	120	35.00
イソプレン	67	68	8.28	四塩化炭素	117	119	17.61	1,2,4-トリメチルベンゼン	105	120	35.30
cis-2-ペンテン	55	70	8.36	1-ヘプテン	56	70	18.00	m-ジクロロベンゼン	146	148	36.16
2-メチル-2-ブテン	55	70	8.50	n-ヘプタン	71	57	18.29	1,2,3-トリメチルベンゼン	105	120	36.28
フロン113	151	153	8.63	1,2-ジクロロエタン	62	64	18.35	n-ウンデカン	57	71	36.36
2,2-ジメチルブタン	57	71	8.71	ベンゼン	78	77	18.41	p-ジクロロベンゼン	146	111	36.42
1,1-ジクロロエチレン	61	96	8.94	トリクロロエチレン	130	132	20.63	m-ジエチルベンゼン	119	134	36.53
trans-1,3-ペンタジエン	67	68	9.02	メチルシクロヘキサン	83	55	20.76	ベンジルクロライド	126	128	36.65
cis-1,3-ペンタジエン	67	68	9.55	1,2-ジクロロプロパン	63	62	21.25	p-ジエチルベンゼン	119	134	36.70
2,3-ジメチルブタン	71	86	9.96	2,3,4-トリメチルペンタン	71	70	22.03	o-ジクロロベンゼン	146	148	37.17
3-クロロ-1-プロペン	76	78	9.99	2-メチルヘプタン	57	70	22.96	2-エチル-p-キシレン	119	134	37.28
2-メチルペンタン	71	57	10.08	3-メチルヘプタン	57	85	23.67	4-エチル-m-キシレン	119	134	37.35
ジクロロメタン	49	84	10.33	cis-1,3-ジクロロプロペン	75	77	24.84	1,2,3,5-テトラメチルベンゼン	119	134	38.53
シクロペンタン	55	70	10.60	n-オクタン	57	85	25.90	1,2,4-トリクロロベンゼン	180	182	40.97
3-メチルペンタン	57	56	10.86	d-トルエン ※2	98	100	26.14	ヘキサクロ-1,3-ブタジエン	225	227	41.17
アクリロニトリル	52	51	11.14								

※1 分離が難しく定量困難 ※2 内部標準物質

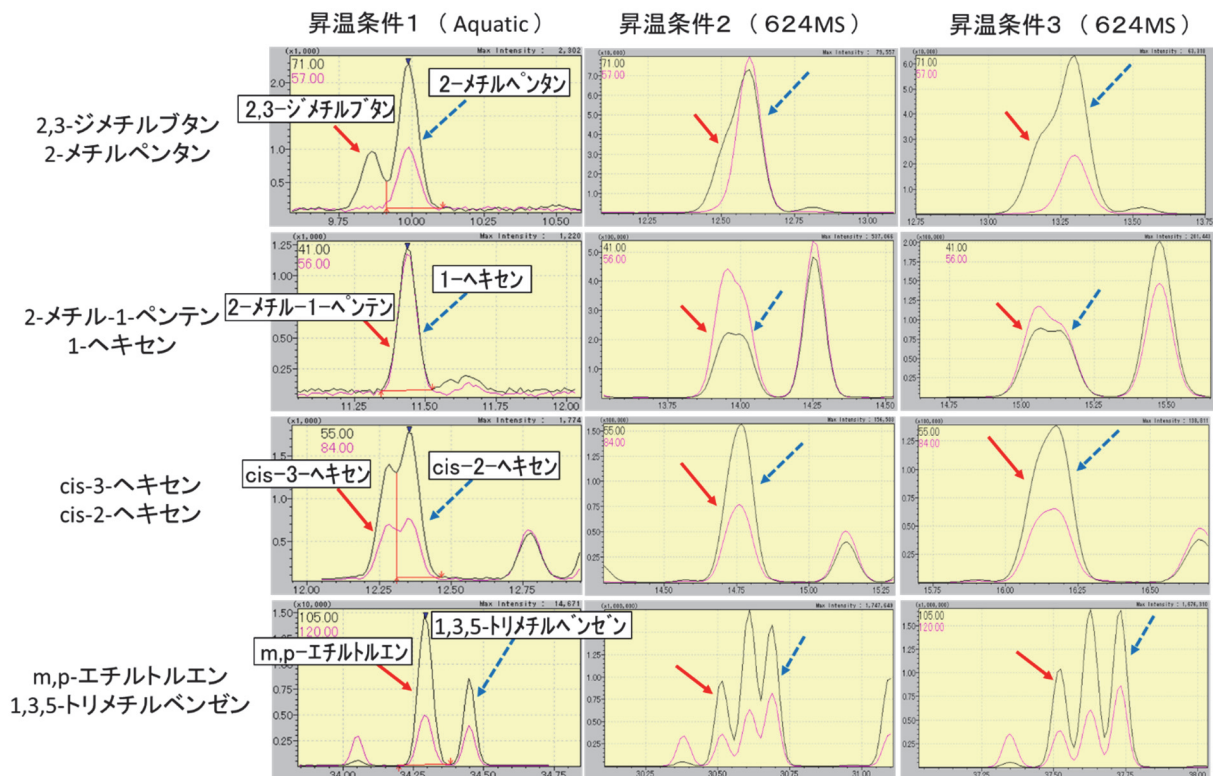


図1 カラム及び昇温条件変更によるピークの重なりの変化

表3 濃縮量変化による検量線情報及び相対感度係数（RRF）の変動

物質名	傾き	切片	決定係数	RRFの変動	物質名	傾き	切片	決定係数	RRFの変動
フロン12	5.4E-04	5.4E-03	0.999	1.2	シクロヘキサン	7.0E-04	5.0E-02	0.998	8.1
フロン114	5.5E-04	-9.6E-03	0.998	2.1	2,2,4-トリメチルペンタン	2.4E-03	2.3E-01	0.998	11
i-ブタン	8.1E-04	4.2E-02	0.999	5.8	四塩化炭素	5.3E-04	3.2E-02	0.998	7.0
塩化メチル	4.2E-04	4.1E-04	1.000	0.1	1-ヘプテン	6.5E-04	-7.9E-03	0.999	1.4
n-ブタン	1.6E-04	1.1E-02	0.999	7.5	n-ヘプタン	7.8E-04	-5.8E-03	1.000	0.9
塩化ビニル	5.0E-04	1.3E-02	1.000	3.0	1,2-ジクロロエタン	5.2E-04	1.5E-02	1.000	3.4
1,3-ブタジエン	3.9E-04	8.5E-03	1.000	2.5	ベンゼン	1.9E-03	3.9E-02	1.000	2.4
trans-2-ブテン	3.5E-04	1.5E-02	1.000	4.9	トリクロロエチレン	7.8E-04	5.9E-03	1.000	0.9
cis-2-ブテン	3.4E-04	1.6E-02	0.999	5.3	メチルシクロヘキサン	1.0E-03	3.7E-02	0.999	4.2
3-メチル-1-ブテン	6.4E-04	4.3E-02	0.999	7.4	1,2-ジクロロプロパン	6.9E-04	1.1E-02	1.000	1.8
臭化メチル	2.9E-04	9.6E-03	0.999	3.9	2,3,4-トリメチルペンタン	1.3E-03	7.7E-02	0.997	6.8
塩化エチル	1.9E-04	9.5E-03	0.998	5.8	2-メチルヘプタン	1.6E-03	2.1E-02	1.000	1.6
i-ペンタン	3.0E-04	2.1E-02	0.999	7.4	3-メチルヘプタン	1.0E-03	1.6E-02	1.000	1.9
1-ペンテン	4.8E-04	2.7E-02	0.999	6.4	cis-1,3-ジクロロプロパン	8.3E-04	-4.2E-02	0.999	6.0
フロン11	6.4E-04	4.4E-02	0.998	7.8	n-オクタン	7.0E-04	6.1E-03	1.000	1.0
n-ペンタン	1.4E-04	9.6E-03	0.999	7.4	トルエン	2.2E-03	6.4E-02	1.000	3.3
2-メチル-1-ブテン	7.7E-04	3.9E-02	1.000	5.7	trans-1,3-ジクロロプロパン	6.7E-04	-6.9E-02	0.998	13
trans-2-ペンテン	9.1E-04	4.2E-02	0.999	5.2	1,1,2-トリクロロエタン	7.1E-04	7.0E-03	1.000	1.1
イソブレン	6.7E-04	4.3E-02	0.998	7.4	テトラクロロエチレン	7.4E-04	1.0E-02	0.999	1.6
cis-2-ペンテン	8.3E-04	3.7E-02	0.999	5.2	1,2-ジプロモエタン	9.4E-04	-6.7E-03	1.000	0.8
2-メチル-2-ブテン	9.1E-04	3.1E-02	0.999	3.9	n-ノナン	1.7E-03	2.2E-02	0.999	1.5
フロン113	6.1E-04	1.8E-02	1.000	3.4	クロロベンゼン	1.5E-03	1.7E-02	1.000	1.3
2,2-ジメチルブタン	7.2E-04	2.7E-02	0.999	4.2	エチルベンゼン	2.5E-03	6.7E-02	1.000	3.0
1,1-ジクロロエチレン	6.5E-04	5.4E-02	0.997	9.5	m,p-キシレン	4.6E-03	1.7E-01	0.999	4.4
trans-1,3-ペンタジエン	6.3E-04	6.4E-03	1.000	1.2	o-キシレン	2.4E-03	4.3E-02	0.999	2.1
cis-1,3-ペンタジエン	5.7E-04	1.5E-02	0.999	3.0	スチレン	1.7E-03	2.5E-02	0.999	1.8
2,3-ジメチルブタン	2.3E-04	1.0E-02	0.999	5.2	α-ピネン	2.0E-03	7.2E-02	0.999	4.1
3-クロロ-1-プロパン	1.0E-04	1.2E-02	0.993	14	i-プロピルベンゼン	2.6E-03	7.9E-02	0.999	3.5
2-メチルペンタン	5.3E-04	1.5E-02	0.999	3.1	1,1,2,2-テトラクロロエタン	1.4E-03	3.6E-02	1.000	2.8
ジクロロメタン	5.1E-04	4.6E-02	0.996	10	n-デカン	2.3E-03	6.9E-02	0.998	3.5
シクロヘキサン	4.5E-04	3.1E-02	0.998	7.8	n-プロピルベンゼン	4.0E-03	1.1E-01	0.999	3.3
3-メチルペンタン	1.0E-03	4.9E-02	0.999	5.4	m,p-エチルトルエン	5.8E-03	2.8E-01	0.998	5.5
アクリロニトリル	2.9E-04	9.8E-03	0.996	4.0	β-ピネン	1.7E-03	-9.2E-03	1.000	0.6
n-ヘキサン	9.3E-04	1.9E-02	1.000	2.3	1,3,5-トリメチルベンゼン	2.8E-03	1.4E-01	0.998	6.1
cis-3-ヘキセン	4.6E-04	1.5E-02	0.997	3.6	o-エチルトルエン	3.0E-03	1.1E-01	0.999	4.2
cis-2-ヘキセン	7.4E-04	1.8E-02	0.997	2.8	1,2,4-トリメチルベンゼン	2.7E-03	1.0E-01	0.999	4.5
1,1-ジクロロエタン	8.6E-04	4.0E-02	0.999	5.2	m-ジクロロベンゼン	1.4E-03	1.8E-02	1.000	1.5
cis-3-メチル-2-ペンテン	6.7E-04	9.0E-03	1.000	1.5	1,2,3-トリメチルベンゼン	2.5E-03	7.0E-02	0.999	3.3
trans-2-ヘキセン	5.5E-04	2.7E-03	1.000	0.6	n-ウンデカン	2.7E-03	6.4E-02	0.998	2.9
2,4-ジメチルペンタン	1.0E-03	5.1E-02	0.999	5.7	p-ジクロロベンゼン	1.4E-03	1.4E-02	1.000	1.2
trans-3-メチル-2-ペンテン	7.8E-04	3.7E-03	1.000	0.5	m-ジエチルベンゼン	1.7E-03	5.8E-02	0.998	4.0
エチル-tert-ブチルエーテル	7.3E-04	1.4E-01	0.995	20	ベンジルクロライド	4.2E-04	-4.6E-02	0.997	14
メチルシクロペンタン	1.2E-03	4.2E-02	0.999	4.1	p-ジエチルベンゼン	1.8E-03	5.9E-02	0.998	3.9
cis-1,2-ジクロロエチレン	6.6E-04	1.7E-02	1.000	2.9	o-ジクロロベンゼン	1.3E-03	1.4E-02	1.000	1.2
クロロホルム	8.7E-04	2.6E-02	1.000	3.4	2-エチル-p-キシレン	1.5E-03	2.0E-03	0.999	0.1
2-メチルヘキサン	7.9E-04	9.4E-03	1.000	1.4	4-エチル-m-キシレン	1.8E-03	-6.7E-03	0.998	0.4
2,3-ジメチルペンタン	8.5E-04	5.7E-02	0.999	7.5	1,2,3,5-テトラメチルベンゼン	7.6E-04	-1.8E-02	0.998	2.8
1,1,1-トリクロロエタン	4.3E-04	3.2E-02	0.998	8.4	1,2,4-トリクロロベンゼン	6.1E-04	-8.5E-03	1.000	1.7
3-メチルヘキサン	7.2E-04	8.9E-03	1.000	1.4	ヘキサクロ-1,3-ブタジエン	9.4E-04	2.4E-02	1.000	2.9

決定係数が0.995に満たないもの

表4 圧希釈法とシリンジ法による検量線の比較

物質名	圧希釈法				シリンジ法				検量線による測定値の相違(%)
	傾き	切片	決定係数	RRFの変動	傾き	切片	決定係数	RRFの変動	
フロン12	8.9E-04	6.5E-03	1.000	2.2	3.4E-03	6.2E-03	0.996	8.2	4.0
フロン114	5.1E-04	5.3E-03	1.000	1.6	2.4E-03	4.8E-03	0.996	7.5	9.6
i-ブタン	2.4E-03	8.0E-04	0.998	3.8	2.5E-03	7.4E-04	0.998	2.7	8.5
塩化メチル	1.1E-03	3.7E-03	1.000	5.0	1.8E-03	4.3E-03	0.999	5.7	-15
n-ブタン	1.6E-03	1.6E-04	0.999	13	1.5E-03	1.4E-04	0.999	8.8	13
塩化ビニル	4.2E-04	4.8E-03	1.000	1.4	1.5E-03	5.0E-03	0.999	4.6	-4.1
1,3-ブタジエン	6.1E-04	3.7E-03	1.000	2.7	1.6E-03	4.5E-03	0.999	5.4	-18
trans-2-ブテン	3.3E-04	4.4E-04	1.000	1.2	3.7E-04	4.4E-04	1.000	1.2	-0.5
cis-2-ブテン	4.5E-04	4.3E-04	1.000	1.6	4.7E-04	4.3E-04	1.000	1.4	1.2
3-メチル-1-ブテン	6.0E-04	9.8E-04	0.999	0.9	8.3E-04	8.2E-04	0.996	1.4	20
臭化メチル	1.2E-04	2.6E-03	1.000	0.8	1.3E-03	2.4E-03	0.999	8.2	9.2
塩化エチル	1.8E-05	1.8E-03	1.000	0.2	8.6E-04	1.7E-03	0.999	6.7	5.0
i-ペンタン	9.6E-04	4.1E-04	0.999	3.6	2.0E-03	3.9E-04	0.999	4.7	5.4
1-ペンテン	6.1E-04	6.3E-04	0.999	1.7	7.4E-04	6.1E-04	0.999	1.8	2.9
フロン11	1.1E-03	8.2E-03	0.998	2.3	3.8E-03	8.3E-03	0.997	7.8	-1.1
n-ペンタン	7.4E-04	1.8E-04	0.999	7.1	7.1E-04	1.7E-04	0.999	5.3	3.8
2-メチル-1-ブテン	3.7E-04	1.1E-03	0.999	0.6	6.5E-04	1.0E-03	0.999	1.0	4.7
trans-2-ペンテン	1.8E-04	1.2E-03	0.999	0.3	6.3E-04	1.2E-03	0.999	0.8	2.8
イソブレン	4.4E-04	7.6E-04	0.999	1.0	5.8E-04	6.5E-04	0.998	1.2	17
cis-2-ペンテン	2.9E-04	1.1E-03	0.999	0.5	5.2E-04	1.0E-03	0.999	0.8	3.8
2-メチル-2-ブテン	2.9E-04	1.2E-03	0.999	0.4	1.1E-03	1.2E-03	0.999	1.5	7.8
フロン113	7.3E-04	6.2E-03	0.999	2.0	2.5E-03	6.1E-03	0.999	6.3	1.3
2,2-ジメチルブタン	4.0E-04	8.6E-04	1.000	0.7	5.8E-04	8.7E-04	0.999	0.9	-1.1
1,1-ジクロロエチレン	7.8E-04	7.8E-03	0.997	1.7	2.6E-03	8.2E-03	0.996	5.4	-4.7
trans-1,3-ペンタジエン	1.7E-04	7.4E-04	1.000	0.4	3.8E-04	6.0E-04	0.999	1.2	24
cis-1,3-ペンタジエン	-7.3E-05	7.1E-04	0.999	0.2	2.4E-05	5.6E-04	0.999	0.1	27
2,3-ジメチルブタン	2.3E-04	2.5E-04	1.000	1.3	4.9E-04	2.3E-04	0.999	2.7	8.8
3-クロロ-1-プロペン	-3.4E-04	9.4E-04	0.996	9.8	1.2E-04	1.3E-03	0.997	2.2	-25
2-メチルペンタン	3.0E-03	6.0E-04	1.000	7.3	3.1E-03	5.5E-04	0.999	6.5	10
ジクロロメタン	7.6E-04	4.7E-03	0.999	2.9	1.1E-03	5.5E-03	1.000	3.5	-15
シクロペンタン	2.6E-04	5.8E-04	0.998	0.7	2.1E-03	5.6E-04	0.999	5.4	3.0
3-メチルペンタン	3.3E-04	7.9E-05	0.999	6.1	5.3E-04	7.1E-05	0.999	11	11
アクリロニトリル	3.4E-04	5.5E-04	0.992	1.1	2.4E-04	4.7E-04	0.997	0.9	18
n-ヘキサン	3.1E-04	1.1E-03	1.000	0.5	4.8E-04	1.1E-03	1.000	0.7	-0.5
cis-3-ヘキセン	8.1E-04	5.8E-04	0.999	2.5	1.1E-04	5.1E-04	1.000	0.4	13
cis-2-ヘキセン	-1.7E-04	1.1E-03	1.000	0.3	-5.1E-06	1.1E-03	1.000	0.0	4.2
1,1-ジクロロエタン	2.2E-04	1.0E-02	1.000	0.4	8.2E-04	1.1E-02	0.999	1.3	-6.3
cis-3-メチル-2-ペンテン	2.1E-03	8.3E-04	1.000	4.7	2.1E-04	6.7E-04	1.000	0.6	23
trans-2-ヘキセン	-1.0E-04	7.6E-04	1.000	0.2	9.6E-05	7.2E-04	1.000	0.2	5.4
2,4-ジメチルペンタン	1.1E-04	1.2E-03	0.999	0.1	2.5E-04	1.2E-03	0.999	0.3	0.2
trans-3-メチル-2-ペンテン	7.2E-05	9.5E-04	1.000	0.1	1.2E-04	7.7E-04	1.000	0.3	22
エチル-tert-ブチルエーテル	9.9E-05	1.2E-03	0.997	0.2	1.3E-04	1.0E-03	0.995	0.2	16
メチルシクロペンタン	2.0E-03	1.4E-03	0.999	2.4	2.0E-03	1.4E-03	1.000	2.3	0.1
cis-1,2-ジクロロエチレン	2.4E-04	7.6E-03	1.000	0.5	-8.2E-05	8.1E-03	1.000	0.2	-6.4
クロホルム	1.2E-03	1.0E-02	1.000	1.9	1.6E-03	1.2E-02	0.999	2.3	-10
2-メチルヘキサン	-1.0E-04	9.0E-04	1.000	0.2	6.4E-05	9.0E-04	1.000	0.1	0.0
2,3-ジメチルペンタン	5.5E-06	1.1E-03	0.999	0.0	1.5E-04	1.1E-03	0.999	0.2	1.0
1,1,1-トリクロロエタン	2.9E-04	4.9E-03	0.998	1.0	4.5E-04	5.1E-03	0.999	1.5	-3.7
3-メチルヘキサン	1.3E-04	8.1E-04	1.000	0.3	2.5E-04	7.4E-04	0.999	0.5	9.4
シクロヘキサン	5.8E-04	8.4E-04	0.999	1.1	9.2E-04	8.2E-04	0.999	2.0	2.4
2,2,4-トリメチルペンタン	-5.8E-04	2.9E-03	0.998	0.4	-8.3E-05	2.9E-03	0.998	0.1	1.9

物質名	圧希釈法				シリンジ法				検量線による測定値の相違(%)
	傾き	切片	決定係数	RRFの変動	傾き	切片	決定係数	RRFの変動	
四塩化炭素	-1.0E-03	7.2E-03	0.998	2.6	-1.5E-03	7.2E-03	0.999	3.7	0.5
1-ヘプテン	2.4E-04	8.6E-04	0.999	0.5	-1.4E-04	8.3E-04	1.000	0.3	3.5
n-ヘプタン	3.1E-04	8.7E-04	1.000	0.6	4.5E-04	8.1E-04	1.000	0.9	8.2
1,2-ジクロロエタン	2.0E-04	6.8E-03	1.000	0.5	1.1E-03	6.8E-03	1.000	2.6	0.1
ベンゼン	1.9E-01	2.4E-03	0.985	34	2.4E-01	2.2E-03	1.000	35	4.8
トリクロロエチレン	3.7E-04	8.1E-03	1.000	0.7	-5.0E-04	8.3E-03	1.000	1.0	-1.9
メチルシクロヘキサン	3.0E-05	1.2E-03	0.999	0.0	1.9E-04	1.2E-03	0.999	0.3	-0.1
1,2-ジクロロプロパン	7.9E-05	7.1E-03	1.000	0.2	1.8E-04	7.6E-03	1.000	0.4	-6.6
2,3,4-トリメチルベンゼン	2.2E-06	1.6E-03	0.997	0.0	3.6E-04	1.5E-03	0.996	0.5	12
2-メチルヘプタン	-4.2E-04	1.8E-03	1.000	0.4	-1.2E-04	1.8E-03	1.000	0.1	-1.7
3-メチルヘプタン	-3.5E-05	1.2E-03	1.000	0.1	1.0E-04	1.2E-03	1.000	0.2	-2.3
cis-1,3-ジクロロプロパン	-3.2E-03	7.9E-03	0.997	7.3	-6.1E-03	8.9E-03	0.996	13	-11
n-オクタン	2.0E-04	8.0E-04	1.000	0.4	2.7E-04	8.2E-04	1.000	0.6	-2.5
トルエン	3.5E-02	2.3E-03	1.000	19	2.9E-02	2.3E-03	1.000	15	2.1
trans-1,3-ジクロロプロパン	-3.5E-03	4.8E-03	0.989	14	-5.7E-03	5.8E-03	0.992	24	-17
1,1,2-トリクロロエタン	-2.7E-05	7.0E-03	1.000	0.1	-5.8E-04	7.4E-03	1.000	1.4	-6.2
テトラクロロエチレン	1.1E-03	8.8E-03	0.999	1.9	-6.7E-05	8.1E-03	0.999	0.1	8.1
1,2-ジプロモエタン	-9.9E-04	1.0E-02	1.000	1.6	-3.3E-03	1.0E-02	0.999	5.9	2.7
n-ノナン	8.1E-04	1.9E-03	1.000	0.8	1.1E-03	1.9E-03	1.000	0.9	-4.6
クロロベンゼン	1.8E-04	1.9E-02	1.000	0.2	-3.3E-03	1.8E-02	0.999	3.3	5.6
エチルベンゼン	3.6E-02	2.7E-03	0.999	27	3.3E-02	2.6E-03	1.000	15	1.0
m,p-キシレン	2.0E-02	4.9E-03	1.000	7.2	1.7E-02	4.8E-03	1.000	5.2	1.7
o-キシレン	4.8E-03	2.5E-03	1.000	3.4	4.3E-03	2.5E-03	1.000	2.7	1.2
スチレン	6.4E-04	2.1E-03	0.999	0.6	5.9E-04	2.1E-03	0.999	0.6	0.7
α-ピネン	1.9E-04	2.3E-03	1.000	0.1	7.2E-04	2.3E-03	0.999	0.5	2.9
i-プロピルベンゼン	-6.5E-06	3.2E-03	1.000	0.0	1.1E-03	3.2E-03	0.999	0.6	0.9
1,1,2,2-テトラクロロエタン	-1.5E-03	1.5E-02	1.000	1.7	-2.0E-03	1.5E-02	0.999	2.3	-0.3
n-デカン	2.3E-03	2.5E-03	1.000	1.8	3.1E-03	2.6E-03	0.999	1.8	-6.8
n-プロピルベンゼン	2.5E-03	4.2E-03	1.000	1.0	2.7E-03	4.2E-03	0.999	1.0	0.1
m,p-エチルトルエン	1.0E-02	7.1E-03	0.999	2.6	1.2E-02	7.1E-03	0.997	2.8	-0.7
β-ピネン	2.2E-04	1.9E-03	0.999	0.2	2.2E-04	1.9E-03	0.999	0.2	-0.7
1,3,5-トリメチルベンゼン	3.2E-03	3.3E-03	0.999	1.7	4.3E-03	3.4E-03	0.997	2.0	-0.4
o-エチルトルエン	9.7E-04	3.6E-03	1.000	0.5	2.5E-03	3.7E-03	0.999	1.2	-1.7
1,2,4-トリメチルベンゼン	7.5E-03	3.2E-03	1.000	4.2	8.0E-03	3.3E-03	0.998	3.7	-2.5
m-ジクロロベンゼン	-1.6E-03	1.9E-02	1.000	1.5	-2.0E-03	1.6E-02	0.999	2.1	22
1,2,3-トリメチルベンゼン	7.8E-04	2.9E-03	1.000	0.5	2.3E-03	3.1E-03	0.998	1.2	-5.0
n-ウンデカン	1.1E-03	2.7E-03	1.000	0.8	3.9E-03	3.1E-03	0.999	1.6	-14
p-ジクロロベンゼン	-1.3E-03	1.9E-02	1.000	1.2	-2.1E-03	1.6E-02	0.998	2.2	21
m-ジエチルベンゼン	-6.5E-05	1.9E-03	1.000	0.1	3.8E-04	2.1E-03	0.999	0.3	-9.3
ベンジルクロライド	-6.0E-04	6.1E-04	0.988	2.7	1.3E-04	5.8E-04	0.993	0.4	4.5
p-ジエチルベンゼン	4.4E-04	2.0E-03	1.000	0.4	1.4E-03	2.2E-03	0.999	1.0	-10.1
o-ジクロロベンゼン	-1.7E-03	1.7E-02	1.000	1.7	-1.1E-03	1.4E-02	0.999	1.2	19.1
2-エチル-p-キシレン	1.5E-04	3.2E-03	0.999	0.1	-1.3E-03	3.3E-03	0.996	1.0	-3.1
4-エチル-m-キシレン	1.2E-03	3.5E-03	1.000	0.6	-2.0E-03	3.7E-03	0.997	1.4	-5.8
1,2,3,5-テトラメチルベンゼン	1.4E-03	2.8E-03	1.000	0.7	-1.6E-03	3.1E-03	0.996	1.3	-10
1,2,4-トリクロロベンゼン	-1.0E-03	6.4E-03	0.999	2.7	3.0E-03	6.2E-03	0.998	5.2	2.8
ヘキサクロ-1,3-ブタジエン	1.1E-03	1.3E-02	0.999	1.6	1.2E-02	1.1E-02	0.994	10	14

決定係数が0.995に満たないもの

RRFの変動が30%以上のもの

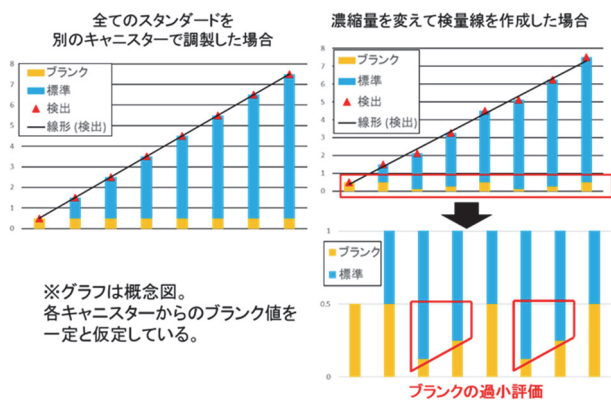


図2 濃縮量の変化によるブランクの影響

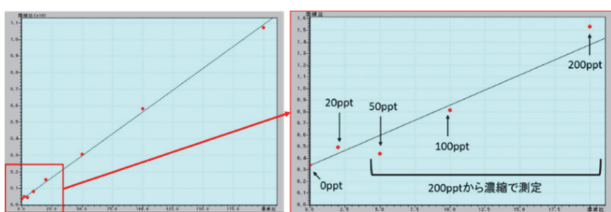


図3 濃縮量を変化させて測定したエチルトルエンの検量線（ブランクの影響がある場合）

しかし、この濃縮による検量線作成の方法では使用する室素やキャニスターにはじめから含まれる物質の量（以下、ブランク）が過小評価される可能性があり、測定対象物質による汚染（以下、コンタミネーション）の影響が検量線に表れることがわかった（図2）。実際に影響が出たときのエチルトルエンの検量線を図3に示す。コンタミネーションとしてキャニスターに入っていたエチルトルエンが50pptでは0、20、200pptに対して4分の1、100pptでは2分の1となるため、この減少分低く測定される。コンタミネーションとして含まれる濃度が低ければ影響はないが、高い場合に問題が出てくる。このように測定対象物質による汚染の状況によって直線性が悪くなるため使用するキャニスターの清浄状態、測定室内の環境、標準試料作成時の経路に注意が必要である。

4-4 圧希釈法とシリンジ法による検量線の比較

圧希釈法とシリンジ法それぞれの方法で作成した検量線の傾き・切片・決定係数・RRFの変動・同一サンプルを定量した場合の測定値の相違について表4に示す。決定係数に関して、圧希釈法ではアクリロニトリルとベンゼン、シリンジ法ではヘキサクロロ-1,3-ブタジエン、圧希釈法とシリンジ法のどちらもtrans-1,3-ジクロロプロペン、ベンジルククロライドが0.995を満たさなかった。RRFの変動についてはベンゼンがどちらの方法でも30%を超えた。表4の結果は0pptから5000pptの範囲について検量線を作成した際の値であり、実際に定量する際には検体試料の濃度に合わせて検量線の範囲を変更して

いる。そこで低濃度と高濃度の範囲にした検量線でRRFの変動を確認したところ、ベンゼンは低濃度範囲のみ30%を超えた。これはベンゼンが測定室内環境により汚染しやすいため、低濃度において検量線が不安定になると考えられ、今後コンタミネーションを少なくしていく必要がある。測定値の相違についてはどちらも30%以内に収まった。この結果から、シリンジ法のヘキサクロロ-1,3-ブタジエンの決定係数に問題が残るものの、その他の物質については圧希釈法とシリンジ法のどちらも大差ないことが確認された。検量線作成方法はシリンジ法のほうが作業時間を短縮できるため、シリンジ法を採用した。このことで作業時間を40%削減できた。

5. まとめ

VOC測定・作業の効率化を図るため、標準試料調製方法やメソッド作成方法などについて検討を行った。

VOC測定メソッドの改良として、HAPs・PAMS・アルケン類を1回で測定できるメソッドを作成した。このメソッドを使用することで測定時間を25%、液体窒素使用量を30%削減できた。

使用カラムの検討では測定時間とピークの分離について確認し、624MSより分離する物質が多く測定時間が変わらないAquaticを採用した。

標準濃度試料測定では濃縮量の変更を活用した際の検量線の直線性を確認し、濃縮量の変更による測定に切り替えた。これによって作業時間を50%削減できた。一方、キャニスター内のコンタミネーションの影響で検量線の直線性が悪くなることが判明したため測定環境への注意が必要であることがわかった。

標準濃度試料調製方法では圧希釈法とシリンジ法について比較を行い、ほとんどの物質で概ね大差なかったことからシリンジ法を採用した。このことで作業時間を40%削減できた。

一方で、これらの方法に変更したことで1-ブテン、イソブテン、2-メチル-1-ペンテン、1-ヘキセンは定量困難となり、ベンゼン、ヘキサクロロ-1,3-ブタジエン、trans-1,3-ジクロロプロペン、ベンジルククロライドは検量線の精度、ベンゼンは低濃度でのコンタミネーションの問題が示唆された。今後はこれらの物質について精度を上げていく必要がある。

文献

- 1) 環境省 水・大気環境局 大気環境課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル（2011）
- 2) U.S.EPA：Determination of Volatile Organic Compound (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). (TO-15), (1997)

横浜市内における揮発性有機化合物(VOC)調査(2013~2015年度)

福崎有希子、小森陽昇、志村徹(横浜市環境科学研究所)、
石倉淳士(東京都環境局)、星純也((公財)東京都環境公社東京都環境科学研究所)

Survey of volatile organic compounds in ambient air of Yokohama (2013-2015 fiscal year)

Yukiko Fukusaki, Akinori Komori, Toru Shimura (Yokohama Environmental Science Research Institute),
Atsushi Ishikura (Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government),
Junya Hoshi (Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection)

キーワード：VOC、PM2.5、MIR、オゾン生成能

要旨

揮発性有機化合物(以下、VOC)には、直接吸入することにより健康影響を及ぼす物質(有害大気汚染物質)もあれば、大気中で二次生成反応を起こし、光化学オキシダントやPM2.5に変化して健康影響を及ぼす物質もある。有害大気汚染物質に関しては濃度が年々減少傾向にあり、2007年以降、横浜市内では環境基準を達成しているが、光化学オキシダントやPM2.5に関しては未だ達成率の低い状態が続いている。光化学オキシダント及びPM2.5の原因物質であるVOCの横浜市内における成分組成やオゾン生成能の地域特性を把握するため、毎月1回VOC多成分モニタリング調査を行った。その結果、地域によってVOCの濃度及び組成割合が大きく異なることが分かった。特に地点間の差が顕著だったのはアルカン及びアルケンであり、これらは本牧・滝頭で高い傾向だった。

1. はじめに

VOCは、直接的または間接的に人の健康に影響を及ぼす。

呼吸などによって直接吸入することで健康影響を及ぼす物質は有害大気汚染物質と呼ばれ、中央環境審議会の答申において、現在248物質が指定されている。このうち、優先的に取り組むべき物質として23物質(優先取組物質)が指定されており、大気汚染防止法第22条において、常時監視することが規定されている。優先取組物質のうち、VOCに該当する13物質を横浜市環境科学研究所では毎月1回モニタリング調査を実施している。ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン及びジクロロメタンには環境基準が定められているが、いずれの物質も環境中濃度は減少傾向にあり、2007年以降、

環境基準を達成している。

一方、VOCには大気中に放出された後、太陽光線を受けて反応する物質がある。その結果、生成してくるのが光化学オキシダント及びPM2.5である。光化学オキシダントは高濃度化すると、人の目や喉といった粘膜を刺激し、健康影響を引き起こすことが知られている。また、PM2.5は肺の奥深くにまで入り込み、呼吸器系及び循環器系に健康影響を及ぼすと言われている。

光化学オキシダント及びPM2.5の原因物質となるVOC成分を把握するため、横浜市環境科学研究所では横浜市内において毎月1回多成分モニタリング調査を行っている。今回、2013年度から2015年度の結果について解析を行ったので報告する。



図1 調査地点

表1 調査地点周辺の概況

測定地点名	主要固定発生源の方位と距離		主要道路の方位と距離	
中区本牧	南	0.3kmに石油精製工場	南	200mに首都高速湾岸線および市道本牧170号線
緑区 三保小学校	特になし		特になし	
磯子区滝頭	南東	1kmに根岸湾工業地帯	東	5mに国道16号
戸塚区 矢沢交差点	特になし		東	6mに国道1号(横浜新道)
鶴見区 潮田交流プラザ	東~南西	0.5kmの京浜工業地帯	南南東	0.3kmに東京大師横浜線
			南南東	0.3kmに首都高速横浜羽田空港線

2. 調査方法

2-1 調査地点

調査地点は、中区本牧、緑区三保小学校、磯子区滝頭、戸塚区矢沢交差点及び鶴見区潮田交流プラザ（以下、本牧、三保、滝頭、矢沢、潮田という）の計5地点で実施した。調査地点を図1、調査地点の概要を表1¹⁾に示す。なお、鶴見区潮田交流プラザ、中区本牧及び緑区三保小学校が一般環境大気測定局、戸塚区矢沢交差点及び磯子区滝頭が自動車排出ガス測定局である。

2-2 調査期間

夏季と冬季で地点間による成分組成やオゾン生成能を比較するため、6~9月（夏季）と1~2月（冬季）に多成分分析を行った。調査を2013年6~9月（6月4~5日、7月9~10日、8月6~7日、9月3~4日）、2014年6~9月（6月10~11日、7月8~9日、8月5~6日、9月2~3日）、2015年1~2月（1月6~7日、2月3~4日）、2015年6~9月（6月9~10日、7月27~28日、8月4~5日、9月1~2日）、2016年1~2月（1月5~6日、2月2~3日）の期間において、毎月1回実施した。2013年度だけは夏季のみの分析とした。

2-3 測定対象物質

測定対象物質は、アルカン 28 成分、アルケン 23 成分、芳香族 20 成分、植物起源 VOC（以下、BVOC）5 成分、含酸素化合物 12 成分、ハロゲン 8 成分（2015 年度だけ 31 成分）、アルデヒド類 2 成分及びその他 2 成分（アクリロニトリル、アセチレン）の合計 123 成分とした。

2-4 分析方法

「有害大気汚染物質モニタリング測定方法マニュアル」²⁾の容器採取-ガスクロマトグラフ質量分析法（アルデヒド類以外）及び固相捕集-高速液体クロマトグラフ法（アルデヒド類）に準拠した。

なお、アルデヒド類については 2013~2014 年度は LC/MS、2015 年度は HPLC にて分析を行った。

低沸点 VOC を含む一部成分は東京都環境科学研究所で分析した。

2-5 測定装置

横浜市環境科学研究所では、試料濃縮・加熱脱着装置に AERO タワーシステム ACS-2100、GC/MS に Shimadzu GCMS-QP2010 Plus、LC/MS に waters 2695/Quattro Premier XE、HPLC に Agilent 1290 Infinity を用いた。一方、東京都環境科学研究所では、試料濃縮・加熱脱着装置に Entech7100A、GC/MS に Agilent 7890A/5975C (C2-4:FID、その他：MS) を用いた。

3. 結果と考察

3-1 オゾン生成能

VOC には様々な物質があるが、各 VOC によって光化学反応性は異なる。その指標として、MIR (Maximum Incremental Reactivity)³⁾がある。これは、大気中で各 VOC 濃度を増加させたときのオゾンの最大増加量を表している。今回の調査では、光化学反応に寄与している VOC 成分を把握するため、VOC 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に MIR 値 ($\mu\text{g}-\text{O}_3/\mu\text{g}-\text{VOC}$) をかけて算出したオゾン生成能 ($\mu\text{g}-\text{O}_3/\text{m}^3$) で比較を行った。

3-2 調査日の気象状況

調査日の風向風速を表2と表3に示す。

各調査地点における風向風速の算出には、横浜地方気象台の10分ごとのデータを使用した。サンプリング開始時間と終了時間の間のデータの16方位別の風向をカウントし、最も頻度の高かった風向を主風向とした。また、風速についてはサンプリング開始時間から終了時間の間の風速の平均値とした。

風向風速ともに地点間で大きな差はなく、風向は主に夏季は南風、冬季は北風であり、風速は2014年8月と2015年1月が強風（約7 m/s）であった。

3-3 地点間での比較

3-3-1 全体

年月別のオゾン生成能の総量を図2に示す。

5地点の中では、本牧と滝頭でオゾン生成能が高い傾向が見られた。また、風速が大きかった2014年8月と2015年1月は各地点でオゾン生成能が低い傾向が見られた。

表2 調査日の風向

	2013年度				2014年度				2015年度							
	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	1月	2月	6月	7月	8月	9月	1月	2月
本牧	南南西	南西	北	南南東	東南東	南西	南西	東南東	北	北	北	南西	南南西	南南西	北北東	北
三保	南南西	南西	北	南南東	南東	南西	南西	東南東	北	北	北	南西	南南西	南南西	北北東	北
滝頭	南南西	南西	北	南南東	東北東	南西	南西	東	北	北	北	南西	南南西	南南西	北北東	北
矢沢	南南西	南西	北	南南東	南東	南西	南西	東	北	北	北	南西	南南西	南南西	北北東	北
潮田	南南西	南西	北	南南東	東南東	南西	南西	東南東	北	北	北	南西	南南西	南南西	北北東	北

表3 調査日の風速(m/s)

	2013年度				2014年度				2015年度							
	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	1月	2月	6月	7月	8月	9月	1月	2月
本牧	3.7	3.3	2.7	3.0	2.2	2.7	7.7	2.6	7.1	3.0	2.1	3.2	4.2	4.0	1.9	3.9
三保	3.9	3.3	2.7	3.2	2.2	2.5	7.4	2.6	6.4	2.9	2.1	3.2	4.3	4.7	2.0	4.0
滝頭	4.0	3.3	2.7	3.3	2.2	2.4	7.3	2.6	5.9	2.9	2.1	3.2	4.2	4.1	2.0	3.9
矢沢	4.0	3.3	2.7	3.2	2.3	2.5	7.3	2.6	6.2	2.9	2.0	3.2	4.2	4.3	2.0	3.9
潮田	3.7	3.3	2.7	3.0	2.2	2.6	7.7	2.6	7.0	2.9	2.2	3.1	4.4	4.9	2.1	4.2

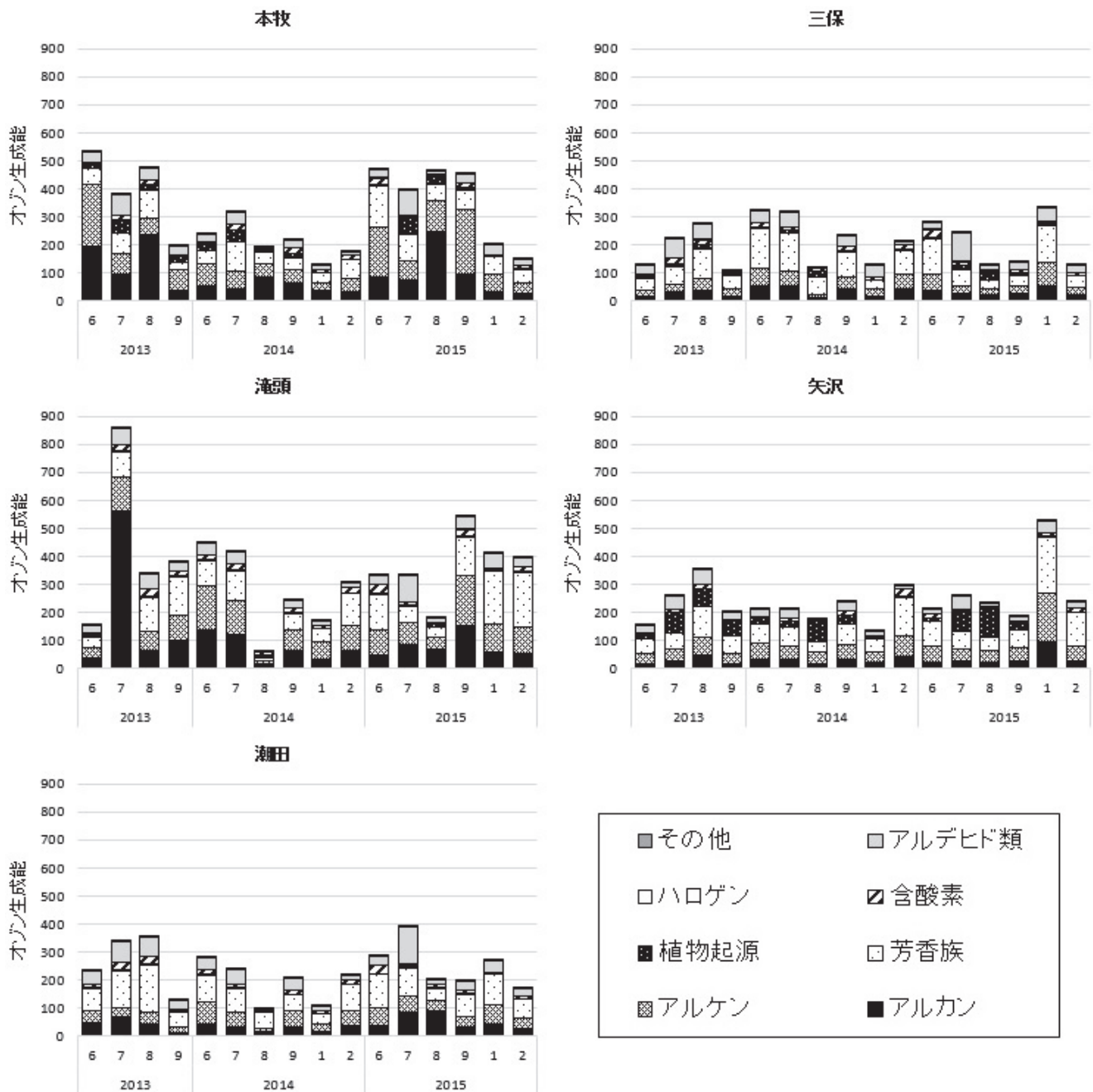


図2 各地点のオゾン生成能(年月別)

本牧では、夏季にアルカン及びアルケンの割合が高い一方、冬季はアルカン及びアルケンの割合が低くなる傾向が見られた。芳香族の割合は、夏季も冬季も高い傾向だった。

三保では、芳香族の割合が高い傾向が見られた。

滝頭では、アルカン、アルケン及び芳香族の割合が高い傾向が見られた。

矢沢では、夏季にBVOCの割合が他地点と比較して高く、冬季に芳香族の割合が高くなる傾向が見られた。

潮田では、芳香族の割合が高い傾向が得られた。

続いて、3年平均値を用いて、VOC種別ごとのオゾン生成能の地点間における差を確認した(図3)。

アルカン及びアルケンについては、本牧、滝頭でオゾン生成能が特に高い傾向が見られた。また、BVOCは矢沢でオゾン生成能が高い傾向が見られた。

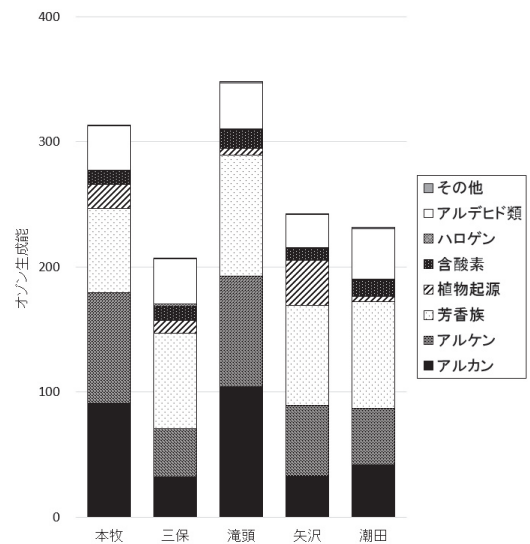


図3 各地点のオゾン生成能(3年平均値)

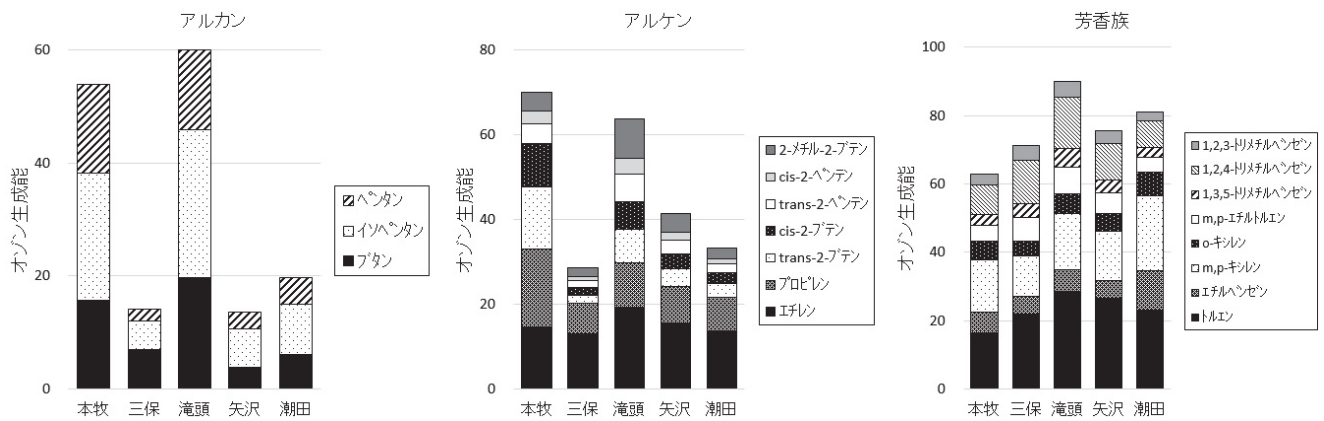


図4 VOC主要成分の各地点間の比較

3-3-2 VOC 個別成分

アルカン、アルケン及び芳香族の中でオゾン生成能の高かった物質の地点間での比較を行った(図4)。

アルカンは、いずれの地点においてもブタン、イソペンタン及びペンタンの割合が高く、3成分でアルカン全体の4~6割を占めた。本牧、滝頭では他地点と比較すると2~3倍ほどになった。

アルケンは、いずれの地点においてもエチレン及びプロピレンの割合が高く、アルカン同様、本牧と滝頭で他地点と比較して高い傾向が見られた。

芳香族は、各地点でトルエン、m,p-キシレン及び1,2,4-トリメチルベンゼンの順に割合が高い傾向が見られたが、各地点でのオゾン生成能に大きな差は見られなかった。

3-4 夏季と冬季の比較

3-4-1 全体

夏季・冬季別の3年平均値を用いて、各地点のオゾン生成能を比較した(図5)。アルデヒド類では各地点で夏季よりも冬季の方がオゾン生成能が低いという共通した傾向が見られた。

本牧では、冬季と比較して夏季のオゾン生成能は2倍以上高く、5地点の中でこの差が最も顕著であった。特に、アルカン及びアルケンのオゾン生成能の差が大きい結果となった。

三保では、夏季と冬季で大きな差は見られなかった。

滝頭では、夏季に比べて冬季はアルカンのオゾン生成能が低く、芳香族のオゾン生成能が高い傾向が見られた。

矢沢では、唯一、夏季よりも冬季のオゾン生成能の方が高かった。夏季に比べて冬季にアルカン、アルケン及び芳香族のオゾン生成能が高く、BVOCのオゾン生成能が低い傾向が見られた。

潮田では、夏季に比べて冬季のアルカン及びアルデヒド類のオゾン生成能が低い傾向が見られた。

3-4-2 VOC 個別成分

三保以外の各地点において、夏季と冬季でオゾン生成能の濃度変動が大きかった個別成分を調べた。

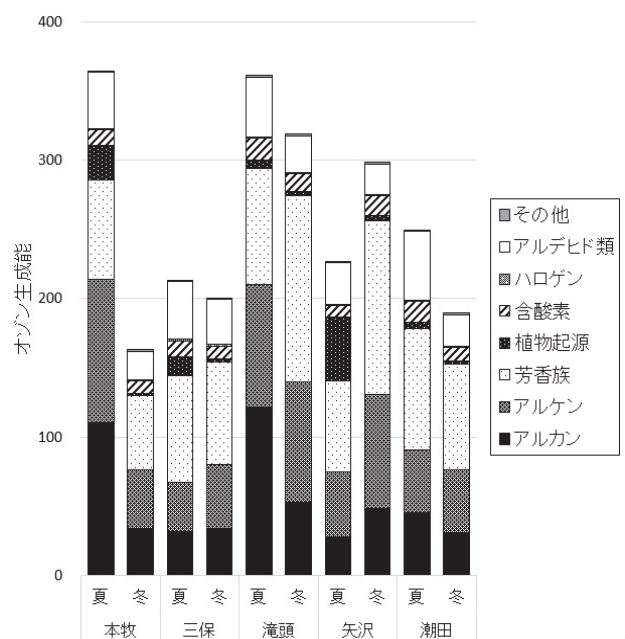


図5 夏季・冬季別の各地点のオゾン生成能(3年平均値)

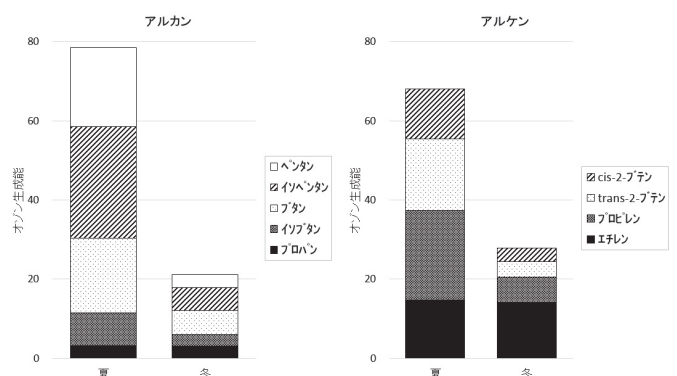


図6 VOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能(本牧)

3-4-2-1 本牧

本牧のVOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能の比較を図6に示す。

アルカンではブタン、ペンタン及びイソペンタンの差が大きかった。アルケンではプロピレン、trans-2-ブテン及びcis-2-ブテンの差が大きかった。プロパン及びエチレンのオゾン生成能差はほとんど見られなかった。

3-4-2-2 滝頭

滝頭のVOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能の比較を図7に示す。

アルカンでは、特にブタン、イソペンタン及びペンタンのオゾン生成能が冬季に低くなった。芳香族では、トルエン、m,p-キシレン及び1,2,4-トリメチルベンゼンのオゾン生成能が冬季に高くなった。

3-4-2-3 矢沢

矢沢のVOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能の比較を図8に示す。

アルカン、アルケン及び芳香族では、主要成分のすべてが夏季と比較して冬季に高くなった。また、BVOCでは特にイソプレンが冬季に低くなった。

3-4-2-4 潮田

潮田のVOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能の比較を図9に示す。

アルカンでは、特にペンタン及びイソペンタンのオゾン生成能が冬季に低くなり、アルデヒド類ではホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドのオゾン生成能が大きく低下した。

アルデヒド類については、5地点とも夏季と比べて冬季に低い傾向があったが、潮田でもっとも減少率が大きかった。

4. まとめ

調査地点5地点の主要成分はすべて共通しており、アルカンではブタン、ペンタン及びイソペンタン、アルケンではエチレン及びプロピレン、芳香族ではトルエン、m,p-キシレン及び1,2,4-トリメチルベンゼンのオゾン生成能が高い傾向が得られた。

夏季と冬季では、矢沢を除いて、夏季のオゾン生成能の方が高く、特に本牧でその差が顕著だった。

3年平均値による地点間の比較では、本牧及び滝頭のオゾン生成能が高い傾向が見られた。地点間で差が大きかった種別はアルカン及びアルケンであり、これらは本牧及び滝頭で濃度が高い傾向だった。特に、アルカンのペンタン及びイソペンタンの濃度差が顕著だった。一方、芳香族は地点間による差があまり見られなかった。

横浜市内においても、地域によって濃度及び組成割合が大きく異なることが分かった。これは近傍の発生源の

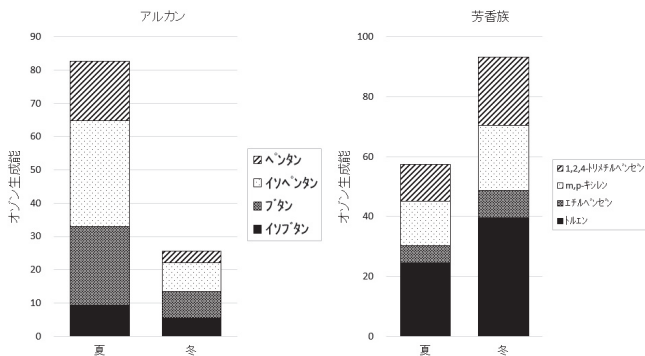


図7 VOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能 (滝頭)

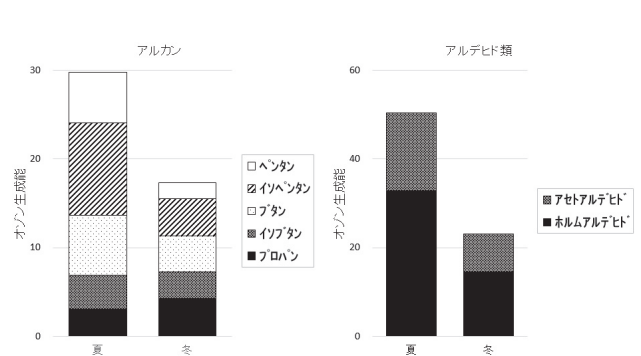


図9 VOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能 (潮田)

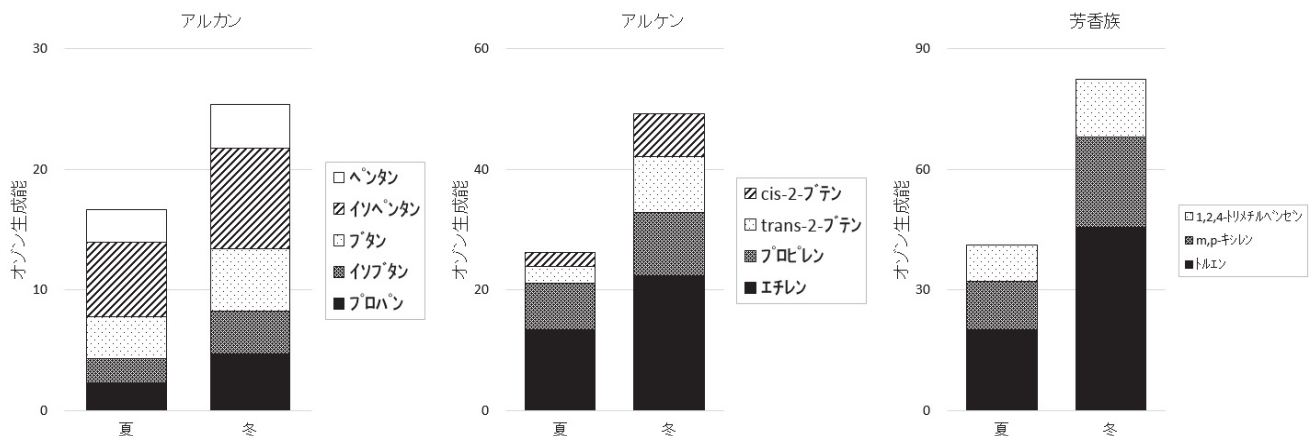


図8 VOC主要成分の夏季・冬季別オゾン生成能 (矢沢)

影響を大きく受けていると考えられる。今後も引き続き多成分モニタリング調査を行っていく。

文 献

- 1) 横浜市環境創造局：横浜市大気汚染調査報告書第 55 報、2-3 (2011)
- 2) 環境省水・大気環境局大気環境課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル、43-63、155-163 (2011)
- 3) California Environmental Protection Agency Air Resources Board：Amendments to the Tables of Maximum Incremental Reactivity (MIR) Values (2010)

水質試料中の安息香酸ベンジルの分析について

酒井 学 (横浜市環境科学研究所)

Determination of benzyl benzoate in aqueous samples

Manabu Sakai (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：安息香酸ベンジル、水質、GC/MS

要 旨

優先評価物質に位置付けられ、環境モニタリングの必要性の高い安息香酸ベンジルについて、分析法を開発し、環境試料への適用を行った。今回開発した分析手法は、水質試料を弱酸性で保管した後、ヘキサン抽出からシリカゲルカートリッジによる前処理を行い、ガスクロマトグラフ質量分析装置 (GC/MS) を用いて測定するものであり、この方法による検出下限値は、4.4 ng/L、定量下限値は、11 ng/Lであった。また、横浜市内の河川 (鶴見川・亀の子橋) 及び海域 (恵比須運河) の水質試料をこの方法で測定した結果、安息香酸ベンジルはいずれの地点からも検出されなかった。

1. はじめに

安息香酸ベンジル (図1) は、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」において、優先評価物質に位置付けられている上に、環境モニタリングのデータも少なく、化学物質の環境リスクを評価する上で、実態把握の必要性が高い化学物質の一つである。しかし、水環境中の安息香酸ベンジルを測定する適切な分析方法が認められないことから、環境省・化学物質環境実態調査の一環として、分析方法の開発検討を行うこととした。

安息香酸ベンジルの物理化学的性質を表1に示す。蒸気圧が0.000224 mmHg (25°C) であり、気化させることが可能と考えられたので、検出にはガスクロマトグラフ質量分析装置 (GC/MS) を用いることとした。また、分配係数 (log Pow) が3.97と極性溶媒よりも非極性溶媒に溶けやすいことから、水試料からの抽出は、有機溶媒 (ヘキサン) による抽出とした。更に、サロゲート物質 (安息香酸ベンジル- d_{12}) が市販されていることから、分析精度を高めるためにサロゲートを使用する方法を検討した。

次に、実際の環境試料への適用例として、横浜市内の河川及び海域の水質試料について分析を行った。

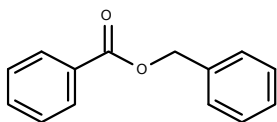


図1 安息香酸ベンジル (C₁₄H₁₂O₂)

表1 安息香酸ベンジルの物理化学的性質

融点 (°C) ¹⁾	沸点 (°C) ²⁾	蒸気圧 (mmHg) ²⁾	水溶解度 (mg/L) ²⁾	log Pow ³⁾
21	323- 324	0.000224 (25°C)	15.4 (25°C)	3.97

2. 分析

2-1 試薬類

ヘキサン、酢酸エチル、アセトン、和光純薬工業製の残留農薬・PCB試験用、硫酸ナトリウム (無水) は、関東化学製の残留農薬試験用、*p*-テルフェニル- d_{14} は和光純薬工業製の環境分析用を使用した。

安息香酸ベンジルは、和光純薬工業製の特級、安息香酸ベンジル- d_{12} は、C/D/N Isotopes製を使用した。

また、シリカゲルカートリッジは、スペルクリン LC-Si SPE (1 g、スペルコ製) を使用した。

2-2 分析機器及びGC/MS条件

島津製作所製のGC/MS QP-2010 Plusを用い、装置の分析条件を表2に示す。安息香酸ベンジルの定量は、選択イオンモニタリング (SIM) で行い、マススペクトルの測定は、スキャンで測定を行った。

表2 GC/MSの測定条件

使用カラム	: SGE Analytical Science製 BPX50 0.25 mm×30 m×0.25 μm
カラム温度	: 60°C(1min)→20°C/min→120°C(5min)→10°C/min→250°C(2min) →20°C/min→280°C(5min)→20°C/min→300°C(1min)
注入口温度	: 230°C
試料導入方法	: スプリットレス (パージ開始時間1 min)
試料注入量	: 1 μL
ヘッド圧	: 193 kPa 0~0.8 min、89.6 kPa 0.8 min以降
キャリアーガス	: He
インターフェース温度	: 250°C
イオン源温度	: 210°C
イオン化電圧	: 70eV
検出モード	: SIM (定量m/z:194、204、244)

2-3 安息香酸ベンジルの抽出及び前処理

水質試料 200 mL にヘキサン 20 mL、安息香酸ベンジル- d_{12} 25 ng を加えて、分液ロートを用いてヘキサン抽出を行い (2 回)、最初及び 2 回めに抽出したヘキサン溶液を併せてから硫酸ナトリウム (無水) で脱水後、窒素ガス吹付けで 5 mL に濃縮した。あらかじめヘキサン 5 mL で洗浄したシリカゲルカートリッジにヘキサン抽出液を負荷し、ヘキサン 5 mL を流して捨て、酢酸エチル/ヘキサン (2:98) 8 mL で溶出した分画を集めた。

溶出液を窒素ガス吹付けで 1.0 mL に濃縮した後、シリンジスパイクの p -テルフェニル- d_4 を 50 ng 添加し、分析用の試料とした。

2-4 検量線及び検出下限値

安息香酸ベンジルの濃度 (4.00~100 ng/mL) の標準液各 1.0 mL に対して安息香酸ベンジル- d_{12} を 25 ng、 p -テルフェニル- d_4 を 50 ng 加えた後、GC/MS を用いて分析を行った。検量線は、50.0 ng/mL までの低濃度領域用と、100 ng/mL までの高濃度領域用の 2 種類を作成した⁴⁾。

分析方法の検出下限値 (MDL) の算出は、横浜市内の河川水 (平戸永谷川・渡戸橋) 200 mL に安息香酸ベンジル 4.00 ng を添加した試料の GC/MS 測定 (n=7) の標準偏差より算出した⁴⁾。

2-5 空試験

精製水を用いて、試料同様に抽出、濃縮操作の後、GC/MS 測定を行った。

2-6 保存性試験

化学物質環境実態調査実施の手引⁴⁾に従い、河川水 (鶴見川・亀の子橋) 及び海水 (恵比須運河) に安息香酸ベンジルを加えてから冷暗所に保存し、7 日後に残存率の測定を行った。

2-7 添加回収試験

河川水及び海水に安息香酸ベンジルを加えた後、抽出及び前処理を行ってから安息香酸ベンジル濃度を調べ、回収率 (=検出量/添加量×100) を求めた。

2-8 環境試料の測定

平成 27 年 10 月、あらかじめリン酸二水素カリウム 4 g を入れた 1 L のガラス瓶に河川水 (鶴見川・亀の子橋) 及び海水 (恵比須運河) を採水し、速やかに測定を行った。

3. 結果

3-1 安息香酸ベンジルのマススペクトル

安息香酸ベンジルのマススペクトルを図 2 に安息香酸ベンジル- d_{12} のマススペクトルを図 3 に示す。定量イオンの選択は、(m/z=212 と 224) と (m/z=194 と 204) の組合せが考えられるが、m/z=224 は、バイアルのセプタム等に由来するピークが現れることがあるため、定量イオンには、安息香酸ベンジル (m/z=194)、安息香酸ベンジル- d_{12} (m/z=204) の組合せを用いた。

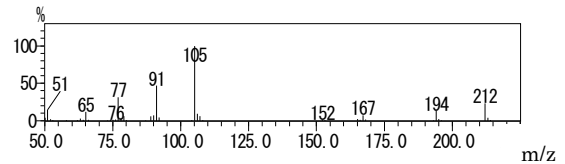


図 2 安息香酸ベンジルのマススペクトル

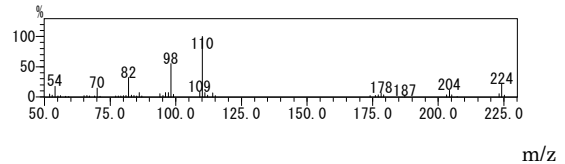


図 3 安息香酸ベンジル- d_{12} のマススペクトル

3-2 検量線

今回の分析条件で標準液を測定したところ、安息香酸ベンジルは、保持時間 19.6 分に、安息香酸ベンジル- d_{12} は保持時間 19.5 分にピークが認められた。図 4 に標準液 (4.0 ng/mL) の GC/MS クロマトグラムを示す。

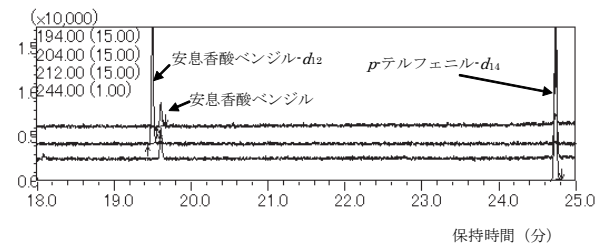


図 4 標準液の GC/MS クロマトグラム

次に、安息香酸ベンジル (m/z=194) と安息香酸ベンジル- d_{12} (m/z=204) の濃度比及び面積比より検量線を作成した。検量線 (図 5 及び図 6) は、いずれも r^2 (相関係数の 2 乗) > 0.99 の直線を示した。

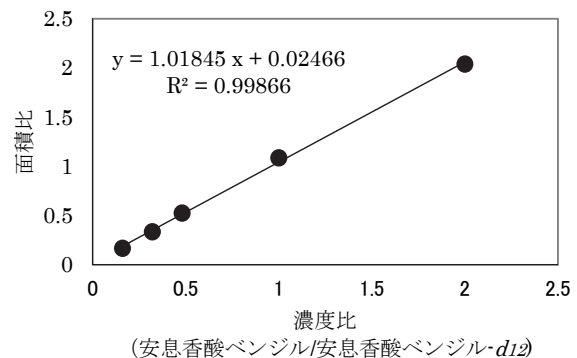


図 5 低濃度領域の検量線 (対象物質濃度 4.00~50.0 ng/mL)

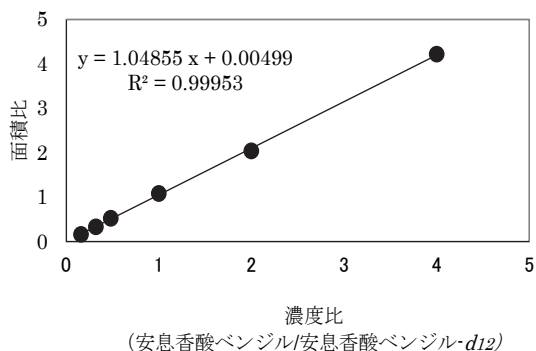


図6 高濃度領域の検量線
(対象物質濃度 4~100 ng/mL)

3-3 MDL 及び MQL

MDL (検出下限値) 及び MQL (定量下限値) の結果を表 3 に示す。今回の方法による MDL は 4.4 ng/L、MQL は 11 ng/L となった⁴⁾。

表 3 MDL 及び MQL の算出

対象物質名	安息香酸ベンジル	サロゲート 回収率(%)
試料	河川水	
試料量 (mL)	200	
標準添加量 (ng)	4.00	
試料換算濃度 (ng/L)	20.0	
最終液量 (mL)	1.0	
注入液濃度 (ng/mL)	4.00	
装置注入量 (μL)	1	
操作ブランク平均 (ng/L)*1	<4.4	94
無添加平均 (ng/L)*2	<4.4	94
結果 1 (ng/L)	20.9	86
結果 2 (ng/L)	19.4	95
結果 3 (ng/L)	20.3	92
結果 4 (ng/L)	19.3	87
結果 5 (ng/L)	18.5	98
結果 6 (ng/L)	17.8	98
結果 7 (ng/L)	18.2	97
平均値 (ng/L)	19.21	93.2
標準偏差 (ng/L)	1.13	
MDL (ng/L)*3	4.4	
MQL (ng/L)*4	11	
S/N 比	7	
CV (%)	5.9	

*1 操作ブランク平均: 試料マトリクスのみがない状態で他と同様の操作を行い測定した値(n=2)

*2 無添加平均: MDL 算出用試料に標準を添加していない状態で含まれる濃度(n=2)

*3 $MDL = (n-1, 0.05) \times \sigma_{n-1} \times 2$

*4 $MQL = \sigma_{n-1} \times 10$

*5 結果の濃度はサロゲート補正後の値

3-4 空試験

空試験の結果、安息香酸ベンジル及び安息香酸ベンジル-d₂ の保持時間付近にはピークが検出されなかった。

3-5 添加回収試験

添加回収試験の結果、安息香酸ベンジルの回収率及びサロゲートの回収率は 80% を超えており、回収率は河川水、海水いずれも良好であった。図 7 に無添加の海水試料、図 8 に海水 200 mL に安息香酸ベンジルの 10 ng 添加した試料の GC/MS クロマトグラムを示す。無添加の海水試料では、安息香酸ベンジルのピークが認められないが、標準を添加した試料では、安息香酸ベンジルのピークが認められ、海水の場合の回収率は 101% であった。

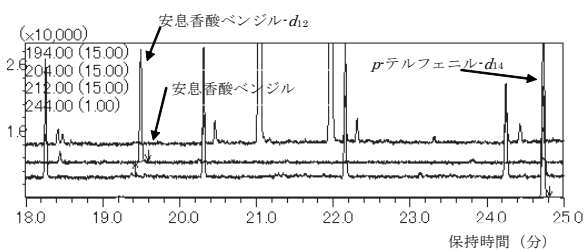


図 7 無添加試料 (海水) のクロマトグラム

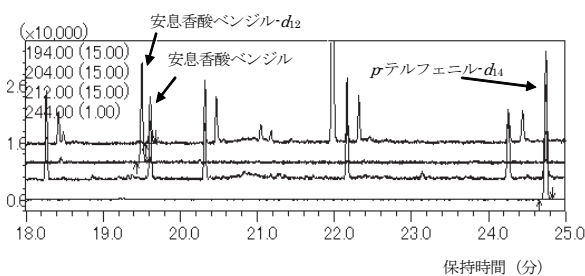


図 8 標準添加した試料 (海水) のクロマトグラム

3-6 保存性試験

河川水及び海水を用いて、安息香酸ベンジルの添加した試料に関する保存性試験を行った。その結果、河川水及び海水の場合、そのまま冷暗所保存で 7 日後の残存率が 50% 以下となったが、あらかじめリン酸二水素カリウムを加えた容器に試料を採取して研究所に持ち帰り、所内で pH5 に調整した試料では、河川水、海水いずれも 7 日後の残存率が 70% を超えていた。そこで、環境試料の調査に際しては、あらかじめリン酸二水素カリウム 4 g を入れたガラス瓶に試料 1000 mL を採取してから、クーラーボックス等を用いて保冷状態で運搬し、分析まで冷暗所に保管するものとした。また、弱酸性下でも分解が認められることから、分析 (抽出) はできるだけ速やかに行うこととした (表 4)

表 4 保存性試験の結果

試料名	試料数	調製濃度 ($\mu\text{g/L}$)	検出濃度 ($\mu\text{g/L}$)* ¹ (残存率 (%))* ²		
			7日後	14日後	1ヶ月後
河川水	2	0.045	0.021(47)	-	-
海水	2	0.046	0.005(10)	-	-
河川水(pH5)	2	0.05	0.037(73)	-	-
海水(pH5)	2	0.05	0.039(79)	-	-
海水粗抽出液	2	10	-	10.6(106)	-
標準液	2	10	-	-	9.4(94)

*1: 検出濃度はサロゲート補正後の値

*2: 調製濃度に対する残存率

3-7 環境試料の分析

鶴見川及び恵比須運河の水質試料を分析したが、いずれも検出されなかった。図 9 は、鶴見川の試料を分析した際のクロマトグラムを示す。安息香酸ベンジル- d_{12} 及び p -テルフェニル- d_{14} のピークは認められるものの、安息香酸ベンジルのピークは認められなかった。

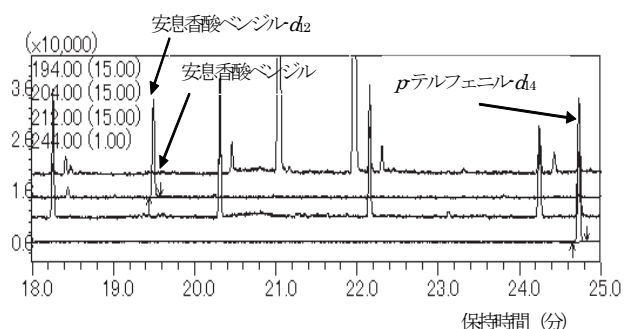


図 9 河川水試料の GC/MS クロマトグラム

4. まとめ

水質試料中の安息香酸ベンジルは、試料をそのまま冷暗所に保存した場合、7 日後には残存率が 50%以下となることが認められた。そこで、採取した水試料を弱酸性で保存してから、サロゲート物質(安息香酸ベンジル- d_{12})を添加し、ヘキサン抽出を行うこととした。前処理には、市販のシリカゲルカートリッジを用い、溶出には酢酸エチル/ヘキサン=2:98 の混合溶液 8 mL を用いた。溶出液を濃縮してから、GC/MS を用いた分析により、検出下限値 4.4 ng/L、定量下限値 11 ng/L が得られた。分析方法を確認するため、添加回収試験として、安息香酸ベンジルを河川水及び海水に添加して回収率を求めたところ、いずれも 80%を超えており、回収率は良好であった。そして、今回の方法を用いて横浜市内の河川水及び海水を測定したところ、安息香酸ベンジルは検出されなかった。

5. 補足

今回の分析法の検討、開発については、環境省化学物質環境実態調査の一環として実施したものであり、環境省の報告書⁵⁾から要点等を記したものである。

文献

- 1) Budavari, S. (ed.): The Merck Index Ver 12.2. (1996)
- 2) Philip H. Howard, William M. Meylan: Handbook of Physical Properties of Organic Chemicals (1996)
- 3) Lide, D.R. (ed.): CRC Handbook of Chemistry and Physics 84th Edition (2003)
- 4) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課: 化学物質環境実態調査実施の手引き(平成 27 年度版) (2016)
- 5) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課: 平成 27 年度化学物質分析法開発調査報告書、26-45 (2016)

2013年～2015年夏季の横浜市内の気温観測結果

－緑地による気温上昇緩和効果について－

松島由佳、小倉智代、山下理絵、内藤純一郎、関浩二（横浜市環境科学研究所）

Results of air temperature in the summer of 2013-2015 in Yokohama

-Mitigation effect on rise in air temperature by greenery area-

Yuka Matsushima, Tomoyo Ogura, Rie Yamashita, Junichiro Naito, Koji Seki
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、気温分布、熱帯夜、真夏日、緑被率

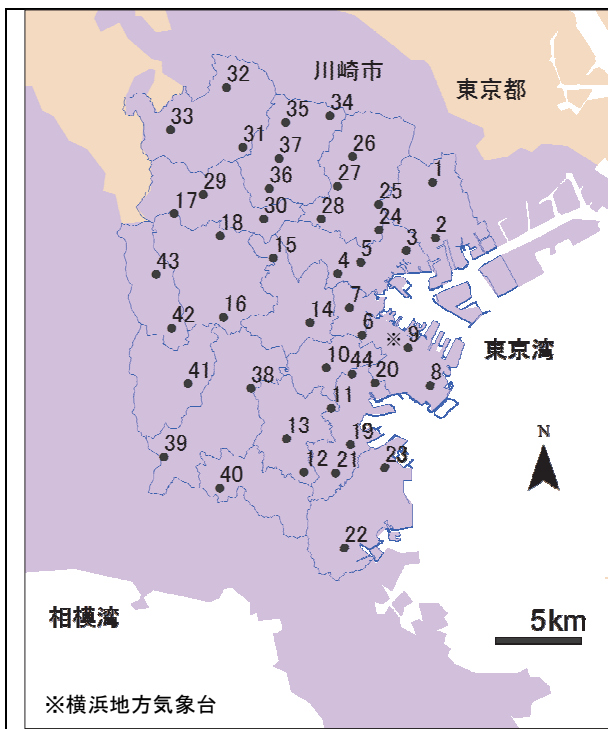
要 旨

横浜市内の暑さの実態を把握するため、市内43地点で2013年～2015年夏季（7月～8月）に気温観測を行った。この結果、日中においては市内北東部、夜間においては市内東部（横浜港周辺）で高温となっていることが確認され、これらの傾向はいずれの年においても同様であった。これより、いずれの年も市内北東部及び東部において夏季に高温域となるヒートアイランド現象が生じているものと考えられた。また、市内観測地点周辺の緑地の割合と平均気温には負の相関がみられ、緑地には周辺の気温上昇を抑える働きがあることが示唆された。また、緑地による気温上昇緩和効果は、日中よりも夜間においてより大きくなっている可能性が示唆された。

1. はじめに

1931年～2015年の横浜地方気象台での観測結果から、最近100年あたりの横浜の平均気温上昇率は2.8℃となっており、都市化の影響が小さい中小都市の1.5℃と比べて大きくなっている¹⁾。これは、地球温暖化現象の影

響に加えて、ヒートアイランド現象の影響があるためと考えられている¹⁾。これらの影響によって、横浜の真夏日日数及び熱帯夜日数は増加傾向にあり、横浜市内の熱中症患者数も増加していることから、夏の暑さによる市民生活への影響が懸念されている^{1), 2)}。そこで、横浜市



No.	区	設置施設	No.	区	設置施設
1	鶴見	末吉小学校	23	金沢	並木第一小学校
2		生麦小学校	24	港北	港北小学校
3	子安小学校	25	菊名小学校		
4	神奈川	三ツ沢小学校	26		新吉田小学校
5		斎藤分小学校	27		新羽小学校
6	西	東小学校	28	小机小学校	
7		平沼小学校	29	緑	新治小学校
8	中	本牧南小学校	30		緑小学校
9		北方小学校	31	青葉	東市ケ尾小学校
10	南	大岡小学校	32		荻子田小学校
11		上大岡小学校	33		恩田小学校
12	港南	港南台第一小学校	34	都筑	山田小学校
13		野庭すずかけ小学校	35		都筑小学校
14	保土ヶ谷	桜台小学校	36		都田西小学校
15		上菅田小学校	37		茅ヶ崎台小学校
16	旭	万騎が原小学校	38	戸塚	柏尾小学校
17		若葉台小学校	39		俣野小学校
18		四季の森小学校	40	栄	笠間小学校
19	磯子	杉田小学校	41	泉	東中田小学校
20		根岸小学校	42	瀬谷	原小学校
21		さわの里小学校	43		相沢小学校
22	金沢	六浦小学校	44	磯子	環境科学研究所

図1 観測地点

環境科学研究所では、夏の暑さの実態を把握するため、2002年から市内全域での気温観測を進めており、2013年～2015年においては、市内43地点で気温観測を行った。ここでは2013年～2015年夏季（7月～8月）の気温観測結果について報告する。

また、ヒートアイランド現象の主な原因には、人工排熱の増加、地表面被覆の人工化、都市形態の高密度化の3つが挙げられる。緑地が減り、アスファルトやコンクリート等の人工的な被覆面が増えることにより、地表面の温度が上昇するといわれている²⁾。一方、まとまった緑地には、都市を冷やす冷熱源としての効果があるといわれていることから^{3)、4)}、本報では、気温観測結果を用いて、緑地による気温上昇緩和効果について考察した。

2. 観測方法

2-1 観測場所と期間

気温観測は、市内の小学校43地点（図1）の百葉箱内で行った。なお、北方小学校は2015年のみ、環境科学研究所は2013年～2014年のみ測定した。観測期間は、2013年～2015年の各年で7月1日0時～8月31日23時までの1488時間ずつ行った。なお、2015年の杉田小学校については、機器不良のため1点（1時間分）を欠測とした。

2-2 観測機器

観測は、株式会社ティアンドデイ社製サーミスタ温度計TR-52iを百葉箱内に設置して行った。なお、測定は1時間ごとに行っており、測定値は毎正時の気温の瞬間値である。なお、温度計は設置時及びデータ回収時にアスマン標準温度計との比較・確認を行った。

2-3 解析手法

GISソフト（Arc GIS 10.2）を用いて、平均気温、真夏日及び熱帯夜日数について、最小二乗法（Kriging法）を用いて空間予測による補間処理を行い、市域における分布図を作成した。

3. 観測結果

本報では、直近5年間のうち、過去の結果と比較して顕著な高低がみられず平均的と思われる2015年の結果を中心として、記録的暑さを記録した2013年、比較的涼しかった2014年と比較することとした。

3-1 2015年夏の気象特徴

梅雨明け以降の7月下旬～8月上旬にかけて気温は平年（1981年～2010年）よりかなり高かったが、8月中旬から前線や低気圧の影響で曇りや雨の日が多くなり、8月下旬の気温は平年より低くまたはかなり低くなった。そのため、7月～8月の平均としてみると、過去の結果と比較して顕著な高低はみられなかった。2015年の各地点の観測結果を表1に、2013年～2015年の最高気温、真夏日日数、熱帯夜日数、平均気温については表2、観測結果から作成した各種分布図は図2にまとめた。

3-2 最高気温

2015年の全地点の最高値である最高気温は、都筑区長坂で8月7日14時に38.0℃が観測された。2013年～2015年では2013年8月11日14時に同地点で39.9℃が観測され、ここ数年最高気温は40℃近い値となっている。

3-3 真夏日日数

2015年の真夏日日数は、神奈川区三ツ沢中町、中区本牧元町、南区大橋町、港北区小机町で最も多い40日、旭区若葉台で最も少ない31日を観測し、観測地点間で最大9日の差があった。2013年～2015年で比較すると、2015年の真夏日日数は2013年と2014年の中間程度である。2013年～2015年の真夏日日数は26日～50日となっており、涼しいところでも7月～8月の半数近く、多いところでは8割近くの日数で真夏日が観測されていることになる。また、2015年の真夏日日数分布図（図2）によると、市内北東部（鶴見区、港北区、都筑区、神奈川区、西区、中区等）で真夏日が多く観測されており、これらの地域では、日中に高温となっているものと思われる。なお、この傾向は2013年～2014年においても同様にみられた。

3-4 熱帯夜日数

2015年の熱帯夜日数は、神奈川区新子安、西区平沼、港北区菊名で最も多い40日、緑区新治町で最も少ない11日を観測し、観測地点間で最大29日の差があった。2013年～2015年で比較すると、2015年の最大地点は40日であり、平均気温の高かった2013年の最大値39日とほぼ同等となっている。これより、平均気温の高低にかかわらず、夜間高温となっている地点が存在することがわかる。また、2015年の熱帯夜日数分布図（図2）においては市内東部である横浜港周辺（鶴見区、神奈川区、西区、中区、南区等）で多く観測されており、同地域は、夜になっても気温が下がりにくく、高温となっているものと思われる。なお、この傾向は2013年～2014年においても同様にみられた。

3-5 平均気温

2015年の平均気温は、港北区新吉田東ほかで最も高い27.2℃、旭区大池町、旭区若葉台で最も低い25.8℃を観測し、観測地点間で最大1.4℃の差がみられた。2013年～2015年で比較すると、平均気温の最大地点と最小地点の差は各年とも1.4℃～1.6℃とほぼ同様であった。

2015年の平均気温分布図（図2）をみると、市北部及び横浜港周辺（港北区、鶴見区、神奈川区、西区、中区、南区）で平均気温が高い傾向がみられた。一方、市内南部及び西部（港南区、旭区、緑区等）では、相対的に低温となっていた。この傾向は、2013年～2014年においても同様であった。

3-6 日中と夜間の平均気温

真夏日日数及び熱帯夜日数について市内における地域的違いがみられたことから、日中と夜間における各平均気温を算出した。なお、気象庁定義により、日中は午前9時～夕方18時、夜間は夕方18時～翌朝6時とした。この結果を図3に示す。この結果、日中の平均気温は、真夏日日数と同様に、市内北東部で高くなっており、これらの地域では日中に高温となっていると考えられる。一方、夜間の平均気温は、熱帯夜日数と同様に、市内東部である横浜港周辺で高くなっており、同地域は夜になっても気温が下がりにくく、高温となっているものと考えられる。なお、日中及び夜間のこれらの傾向は、2013年～2015年のいずれの年においても同様であった。

表1 各地点の観測結果 (2015年7月~8月)

No.	区	設置施設	最高気温(°C)	真夏日日数(日)	熱帯夜日数(日)	平均気温(°C)
1	鶴見	末吉小学校	36.8	37	37	27.0
2		生麦小学校	36.9	38	38	27.2
3	神奈川	子安小学校	37.2	37	40	27.2
4		三ツ沢小学校	36.9	40	38	26.9
5		斎藤分小学校	35.6	35	37	26.6
6	西	東小学校	37.0	36	38	26.8
7		平沼小学校	36.7	38	40	27.2
8	中	本牧南小学校	36.0	40	38	27.0
9		北方小学校	35.1	34	38	26.8
10	南	大岡小学校	36.6	40	39	27.1
11	港南	上大岡小学校	34.9	33	30	26.1
12		港南台第一小学校	34.5	33	26	25.9
13		野庭すずかけ小学校	35.2	33	32	26.1
14	保土ヶ谷	桜台小学校	37.0	38	34	26.7
15		上菅田小学校	35.6	34	30	26.4
16	旭	万騎が原小学校	34.6	33	25	25.8
17		若葉台小学校	34.5	31	23	25.8
18		四季の森小学校	36.0	35	23	26.1
19	磯子	杉田小学校	37.4	39	39	26.8
20		根岸小学校	35.7	37	37	26.8
21		さわの里小学校	35.7	36	22	26.0
22	金沢	六浦小学校	35.0	35	36	26.4
23		並木第一小学校	35.4	34	37	26.7
24	港北	港北小学校	37.0	38	40	27.1
25		菊名小学校	35.9	36	32	26.5
26		新吉田小学校	37.4	39	38	27.2
27		新羽小学校	37.1	37	29	26.5
28		小机小学校	36.8	40	30	26.6
29	緑	新治小学校	36.9	38	11	26.3
30		緑小学校	36.6	38	37	26.9
31	青葉	東市ヶ尾小学校	37.8	36	32	26.5
32		荏子田小学校	37.9	37	30	26.6
33		恩田小学校	37.5	36	27	26.4
34	都筑	山田小学校	37.6	37	32	26.7
35		都筑小学校	36.9	38	32	26.7
36		都田西小学校	37.2	36	31	26.7
37		茅ヶ崎台小学校	38.0	39	32	26.8
38	戸塚	柏尾小学校	34.4	32	34	26.2
39		俣野小学校	34.4	34	26	26.1
40	栄	笠間小学校	36.3	35	37	26.6
41	泉	東中田小学校	36.2	35	35	26.5
42	瀬谷	原小学校	36.8	36	27	26.6
43		相沢小学校	36.8	36	19	26.2
43地点の平均値			36.3	36	32	26.6
最低(最少)地点			34.4	31	11	25.8
最高(最多)地点			38.0	40	40	27.2

表2 2013年~2015年(7月~8月)の各地点の観測結果

観測年	2013年	2014年	2015年
最高気温	39.9 °C	37.0 °C	38.0 °C
真夏日日数	37~50 日	26~41 日	31~40 日
熱帯夜日数	16~39 日	7~31 日	11~40 日
平均気温	26.7~28.3 °C	25.7~27.1 °C	25.8~27.2 °C

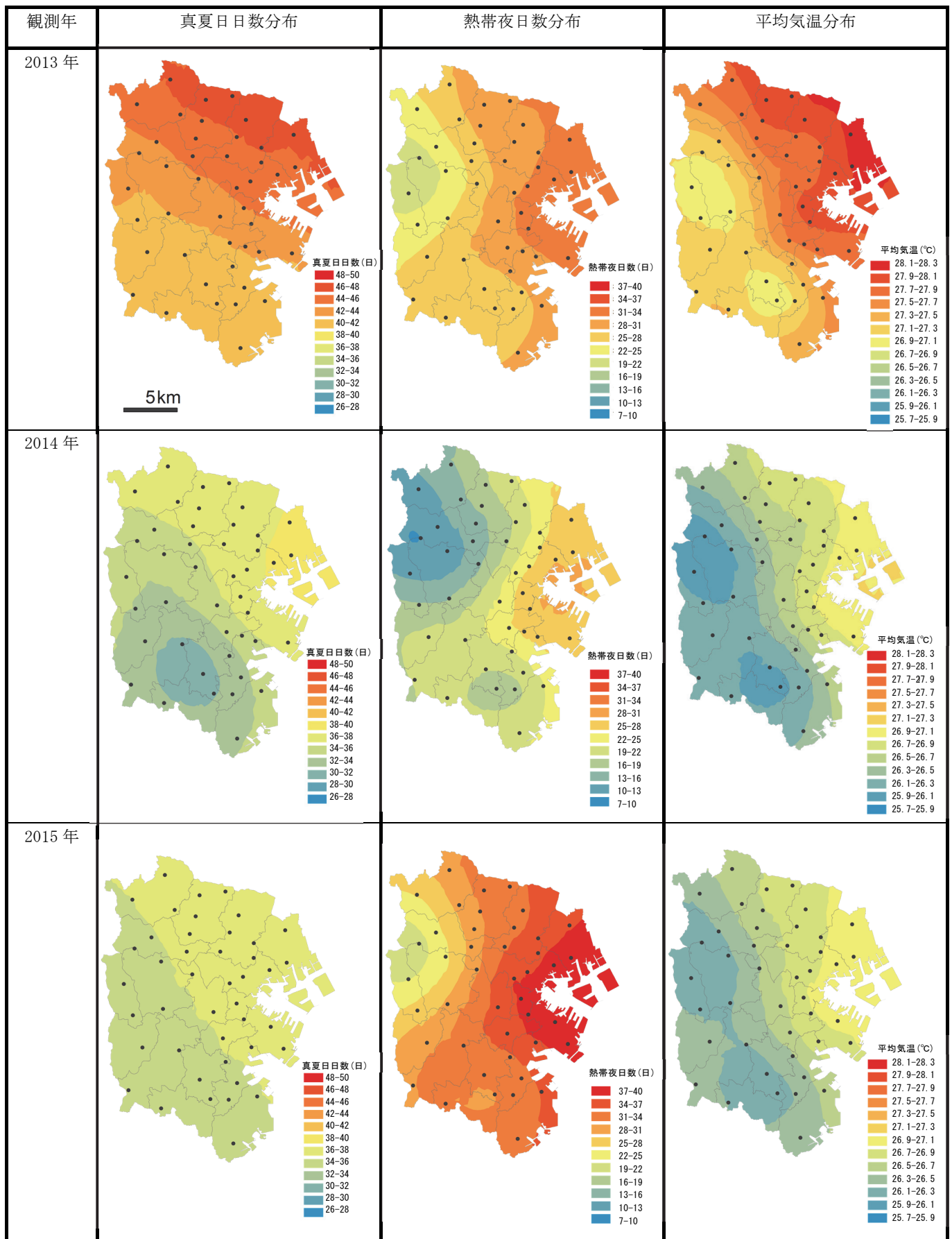


図2 各種分布図(2013年~2015年)

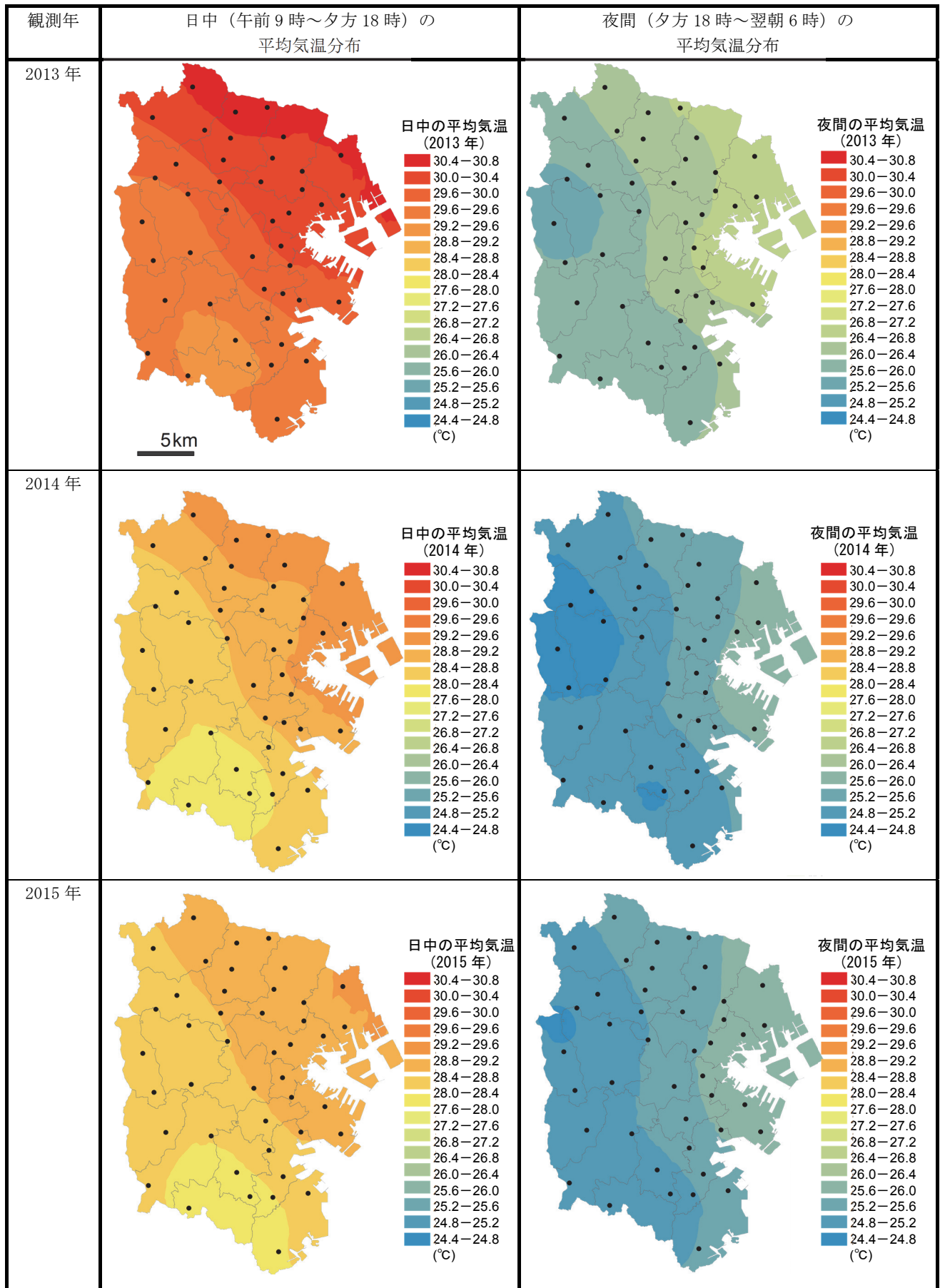


図3 日中と夜間の平均気温分布図(2013年～2015年)

4. 緑地による気温上昇緩和効果についての考察

市内の気温観測結果より、気温は地域によって大きく異なり、その傾向は年度間においても概ね同様であることが分かった。このような気候の地域差を生じる要因として、海岸と内陸といった水陸分布、海拔高度の差、斜面の方位、盆地、山、谷、丘陵等の地形、森林・田園・都市等の地被の影響、都市における人口熱や大気汚染等の人間活動等が重要と言われている⁵⁾。このうち、都市特有の気温上昇としてヒートアイランド現象が考えられ、この主な原因としては、人工排熱の増加（建物や工場、自動車等の排熱）、地表面被覆の人工化（緑地の減少とアスファルトやコンクリート面等の拡大）、都市形態の高密度化（密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下）の3つが挙げられる³⁾。これらヒートアイランド対策の一つと考えられている緑地の効果について、多数の研究者が緑地には気温上昇の緩和効果があるという研究結果を報告している^{6)~8)}。そこで、本報では、市内の緑地と平均気温の相関について考察することとした。

4-1 市内の緑地分布

市ではまとまりのある緑地の総量の推移を中長期的に把握することを目的として、概ね5年ごとに、緑被率を調査している⁹⁾。分布図は航空写真から300m²以上のまとまりのある緑地を抽出して作製している。2014年に調査された300m²以上の緑地の分布図を図4に示す。

緑地は、市内西部に比較的多く分布しており、気温分布（図2）と緑地分布（図4）とを比較すると、まとまった緑地の多い地域で気温上昇が抑えられている傾向がみられる。

4-2 観測地点周辺の緑地分布

緑地が気温上昇に与える影響を定量的に考察するため、観測地点周辺の緑地の割合（以下、「緑地割合」という。）を求めることとした。環境省が行った皇居周辺での気温等の観測結果によると、緑地による気温低下の影響は、250m~350m程度の範囲であるとの報告¹⁰⁾がある。そこで、本報では、観測地点から半径300m以内の300m²以上の緑地割合を、観測地点周辺の緑地割合と定義した。2015年観測地点の半径300m円を図5に示す。

この結果、2015年の各観測地点から半径300mでの緑地割合は3~75%と観測地点によりかなり幅広く、全地点の平均は23%であった。

4-3 平均気温と観測地点周辺の緑地分布

4-2で算出した観測地点周辺の緑地割合と2015年7月~8月の平均気温の関係を図6に示した。

この結果から、観測地点周辺の緑地割合が大きいほど、平均気温が下がる傾向があることが示唆される。なお、この傾向は2015年単年のみの傾向なのかを確認するため、2013年及び2014年においても、同様に観測地点周辺の緑地割合と平均気温の関係を求めた。この結果を図7~図8に示す。この結果から、いずれの年においても、観測地点周辺の緑地割合が大きいほど、平均気温が下がる傾向がみられた。なお、2013年~2015年の近似曲線の傾きは、-0.017~-0.016とほぼ一致していた。これより、まとまった緑地には周辺の気温上昇を抑える働きがある可能性が示唆される。

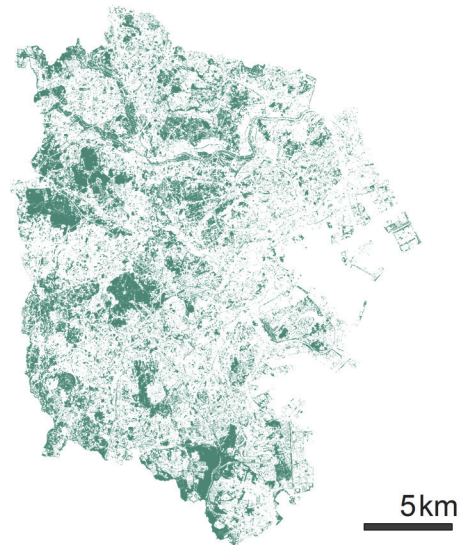


図4 市内の緑地分布（300m²以上の緑地）

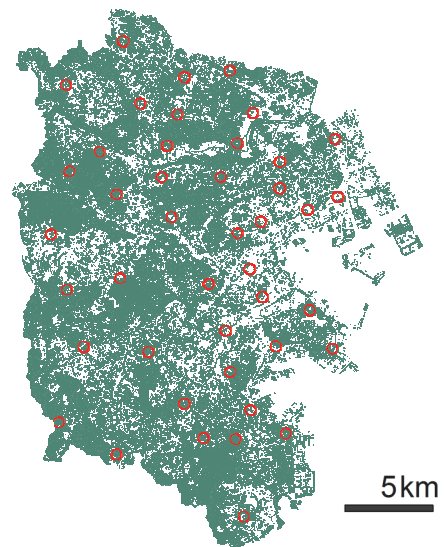


図5 観測地点半径300mの円と緑地分布（2015年）

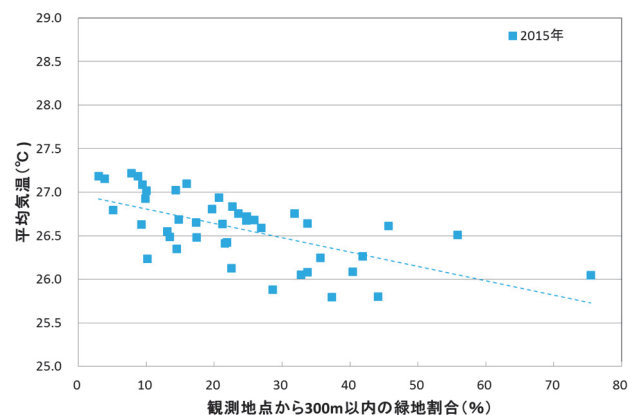


図6 平均気温と緑地割合の関係（2015年）

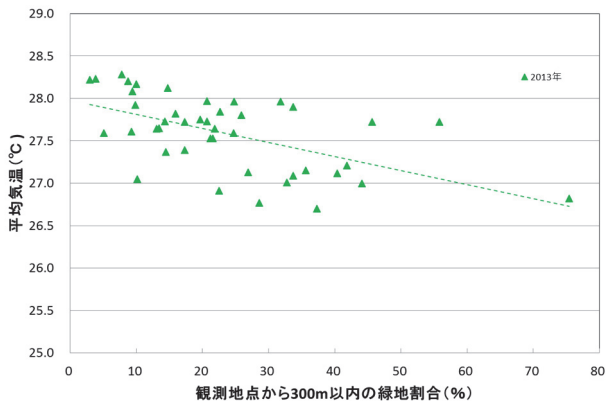


図7 平均気温と緑地割合の関係 (2013年)

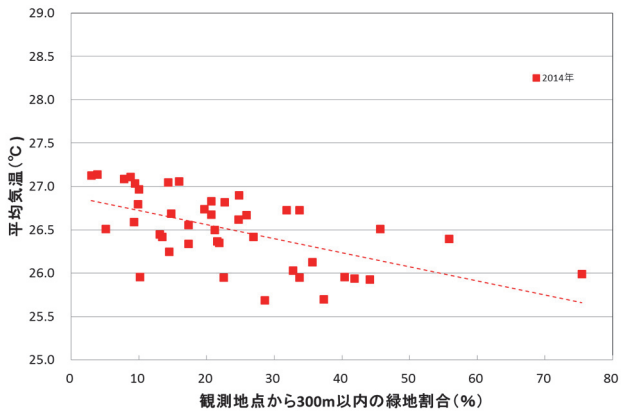


図8 平均気温と緑地割合の関係 (2014年)

4-4 日中及び夜間の平均気温と緑地割合

3-3~3-6において、日中高温になる地域と夜間高温になる地域に違いがみられたことから、日中と夜間の気温への緑地の影響を調べることにした。

そこで、2015年7月~8月の全日(0時~23時)の平均気温に加えて、日中(午前9時~夕方18時)と夜間(夕方18時~翌朝6時)の平均気温について、緑地割合との関係を図9に示した。

この結果、全日の平均気温の近似曲線の傾き-0.017に比べて、日中の近似曲線の傾きは-0.015とやや緩く、夜間では-0.019とやや大きい。また、相関係数は全日の0.63に比べて、日中では0.48と小さいが、夜間では0.67と大きくなっている。

なお、2013年及び2014年においても、2015年と同様に、観測地点周辺の緑地割合と全日、日中及び夜間の平均気温との関係を求めた。この結果を図10~図11に示す。

2013年~2015年の近似曲線の傾きは、全日では-0.017~-0.016、日中では-0.015~-0.013、夜間では-0.021~-0.019であり、ほぼ年によらず、一致していた。また、相関係数については、各年とも、全日は0.56~0.63、日中は0.33~0.48、夜間は0.65~0.69となった。

これより、緑地割合と平均気温の相関は、日中よりも夜間でより高くなっており、また、緑地が周辺の気温上昇を抑える働きは、市内においては日中よりも夜間においてより大きくなっている可能性が示唆される。

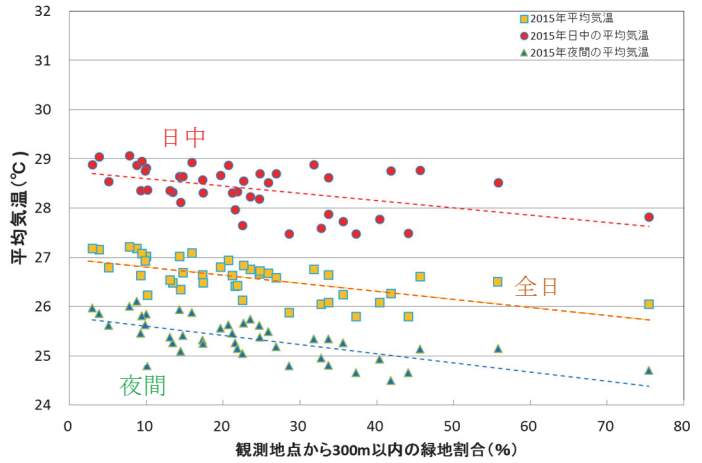


図9 全日、日中及び夜間の平均気温と緑地割合の関係 (2015年)

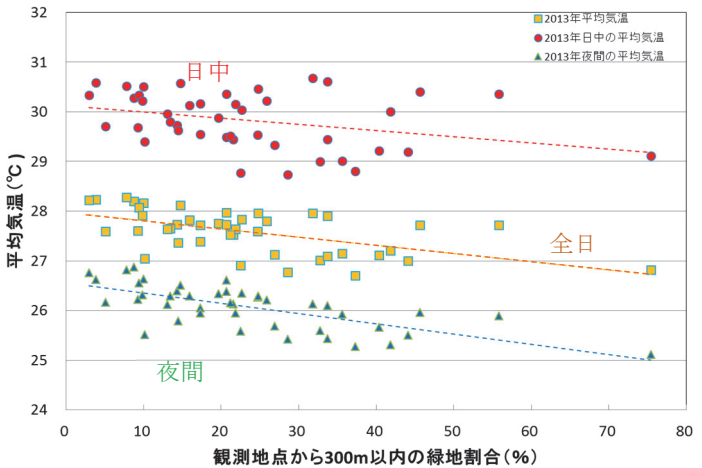


図10 全日、日中及び夜間の平均気温と緑地割合の関係 (2013年)

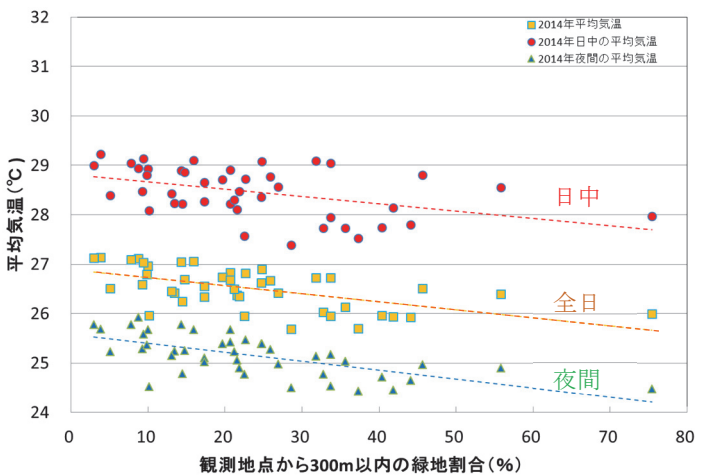


図11 全日、日中及び夜間の平均気温と緑地割合の関係 (2014年)

4-5 緑地以外の気候影響因子

ここまで見てきた平均気温と緑地割合との近似曲線において、近似曲線と平均気温のプロットは完全には一致しておらず、近似曲線とやや離れているプロットもみられる。このため、近似曲線と平均値との差を残差とし、各観測地点での 2013 年～2015 年における残差の 3 年間の平均値を算出した。残差イメージを図 12、残差のプラス側及びマイナス側に大きかった各 5 地点を表 3 に示す。

この結果、緑地割合から予想されるよりも平均気温の低い地点（残差マイナス側）と緑地割合から予想されるよりも平均気温が高くなっている地点（残差プラス側）とが存在していることがわかる。このように、平均気温の違いには、緑地割合だけでは説明しきれない影響因子があり、平均気温を押し上げる因子と平均気温を押し下げる因子が緑地以外に存在していることを示唆している。このため、市内で平均気温に地域差がみられた原因として、前述したような緑地以外の地形、地被の影響、人間活動等複数の因子が気温にどのような影響を与えているのかについて、今後考えていく必要があるものと考えられる。

5. おわりに

横浜市内の暑さの実態を把握するため、市内 43 地点で 2013 年～2015 年夏季（7 月～8 月）の気温観測を行った。これらの観測結果から、最高気温、真夏日日数、熱帯夜日数、平均気温、日中（午前 9 時～夕方 18 時）と夜間（夕方 18 時～翌朝 6 時）の平均気温、観測地点周辺の緑地割合を解析した結果、次の知見が得られた。

- 1) 各年の市内の真夏日日数分布、熱帯夜日数分布、平均気温分布をみると、市内の夏季の気温は、年によって大きく異なっていることが確認された。
- 2) 真夏日日数分布及び日中の平均気温から、日中においては市内北東部で高温となっていることが確認され、これらの傾向はいずれの年においても同様であった。一方、熱帯夜日数分布及び夜間の平均気温から、夜間においては市内東部（横浜港周辺）で高温となっていることが確認され、これらの傾向はいずれの年においても同様であった。これより、いずれの年も市内北東部及び東部において夏季に高温域となるヒートアイランド現象が生じているものと考えられる。このため、今後も引き続き気温のモニタリングを行っていく必要があるものと思われる。
- 3) 市内の緑地割合と平均気温には負の相関がみられ、緑地には、周辺の気温上昇を抑える働きがあることが示唆された。また、日中と夜間とを比べると、緑地による気温上昇緩和効果は、市内においては、夜間により大きい可能性が示唆された。
- 4) 本報では、緑地による気温への影響について考察したが、気温の地域差発生への影響因子としては、水陸分布、海拔高度の差、斜面の方位、盆地、山、谷、丘陵等の地形、森林・田園・都市等の地被の影響、都市における人口熱や大気汚染等の人間活動等といった複数の気候影響因子が考えられる。今後、緑地以外の気候影響因子についても引き続き、調査・研究していきたい。

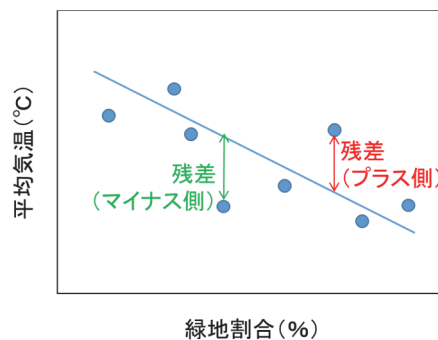


図 12 平均気温と緑地割合の残差イメージ

表 3 平均気温と緑地割合の残差上位 5 地点
(2013 年～2015 年の平均)

No.	観測地点名	残差の平均
43	相沢小学校	-0.70
12	港南台第一小学校	-0.70
16	万騎が原小学校	-0.60
13	野庭すずかけ小学校	-0.58
15	上菅田小学校	-0.38
32	荻子田小学校	0.36
26	新吉田小学校	0.38
37	茅ヶ崎台小学校	0.39
28	小机小学校	0.42
27	新羽小学校	0.51

謝 辞

本調査を行うにあたり、市内小学校 43 校に百葉箱内への気温計の設置の御協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

文 献

- 1) 気象庁：ヒートアイランド監視報告（2015）
- 2) 国立環境研究所：熱中症患者速報平成 27 年度報告書（2016）
- 3) 環境省：ヒートアイランド対策ガイドライン（2012）
- 4) 菅原広史、成田健一、三上岳彦、本條毅、石井康一郎、都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性、天気、53、3-14（2006）
- 5) 気象ハンドブック編集委員会：気象ハンドブック、1979 年版、133（1979）
- 6) 福岡義隆、高橋日出男、開発一郎：都市気候環境の創造における水と緑の役割、日生気誌、29、101-106（1992）
- 7) 山田宏之：埼玉県栗橋町における都市気温分布と緑地の夏季の気温低減効果について、造園雑誌、56、331-336（1993）
- 8) 大和田道雄、中川由雅、岩田充弘、櫻井麻里、梅田佳子：名古屋市における熱帯夜の分布と緑地効果について、愛知教育大学研究報告、56、19-24（2007）
- 9) 横浜市：第 10 次緑地環境診断調査（平成 26 年度）
- 10) 環境省：皇居におけるクールアイランド効果の観測結果について、報道発表資料、2007 年 10 月

新横浜公園における熱環境調査

— 遮熱性舗装や日射遮蔽による暑熱低減効果 —

内藤純一郎、小倉智代、関浩二、松島由佳（横浜市環境科学研究所）

Research on thermal environment in Shin-Yokohama Park

-Mitigation effect on thermal radiation by heat shield pavement and solar radiation shielding-

Junichiro Naito, Tomoyo Ogura, Koji Seki, Yuka Matsushima (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、適応策、暑さ対策、熱放射、サーモグラフィ

要 旨

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園における暑さ対策技術や日射遮蔽による暑熱低減効果を明らかにするため、2015年の夏季に熱環境調査（気温、熱放射成分等）を行った。その結果、園内で実施されている暑さ対策技術の一つである遮熱性舗装の上において、日射の高反射化に伴う路面温度上昇の抑制が確認された。また、園内の日射遮蔽空間（日陰）では、屋外に比べて気温の低下や熱放射成分の抑制が認められ、「暑さ」が軽減された空間が形成されていることが確認された。

1. はじめに

地球温暖化や都市のヒートアイランド現象などの影響による気温上昇が、夏季の屋外での活動時における熱中症患者数の増加など、人の健康に与える影響が懸念されている。屋外における夏の暑さによる身体へのストレス（以下、「暑熱ストレス」という。）を低減させるためには、人が感じる暑さや涼しさのメカニズムを理解し、その上で適切な対策を取ることが重要である。

2013年に「ヒートアイランド対策大綱」が改定され、ヒートアイランド現象の対策の推進として、従来からの取組である「人工排熱の低減」、「地表面被覆の改善」、「都市形態の改善」、「ライフスタイルの改善」の4つの柱に加え、「人の健康への影響等を軽減する適応策の推進」が新たに追加された¹⁾。さらに、環境省が2016年に「まちなかの暑さ対策ガイドライン」を策定し、屋外などで局所的に暑熱ストレスを低減させる暑さ対策技術の種類、効果及び導入の際の留意事項などを整理している²⁾。この中で、具体的な暑さ対策技術の例として、日射の低減（樹木等による緑陰、人工日除け等）、地表面・壁面等の高温化抑制・冷却（路面の遮熱性舗装・保水性舗装等）、空気の冷却（微細ミスト噴霧等）などを紹介している。

また、都市において、公園は緑とオープンスペースを確保し、良好な都市環境を提供する場の一つとして機能している。横浜市では、「横浜市水と緑の基本計画」において、横浜らしい魅力ある水と緑をつくり、まもり、育てるために、公園の整備、維持管理、活用を図るとしている³⁾。

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園（港北区

小机町）には、日産スタジアム（横浜国際総合競技場）をはじめとした様々なスポーツ施設があり、市民が憩い、スポーツ等の活動を行う場として利用されている。スポーツ利用以外にも、スポーツ観戦、コンサート、フリーマーケット等の大規模なイベントがたびたび開催されており、夏季にも多くの来場者が長時間滞在する。

日産スタジアムは、2019年のラグビーワールドカップの決勝戦の会場に決定しており、2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会でのサッカー競技の開催も予定されている。開催期間中には、日産スタジアムを含む新横浜公園全体に多くの来園者が予想される。特に、2020年は、オリンピック（7月24日～8月9日）、パラリンピック（8月25日～9月6日）ともに夏季の開催であるため、夏季の暑さ対策がますます重要になると考えられる。

新横浜公園では、これまでも様々な熱中症対策の取組が積極的に導入されている⁴⁾。暑さ対策技術としての園内の一部の舗装面（約2,650m²）への遮熱塗料の塗装（以下、「遮熱性舗装」という。）やミストシャワーの設置に加えて、「熱中症注意」や「水分をとろう！」などの熱中症予防を呼びかけるパネルの掲示を通して、公園利用者への注意喚起も行っている。

また、日産スタジアムを囲う一周930mの外周路（以下、「リング通路」という。）は、1～2階部分の大半が日陰（以下、「日射遮蔽空間」という。）であり、夏季の日射による暑熱ストレスを低減する効果があると考えられる。

今回、新横浜公園内の遮熱性舗装及び日射遮蔽空間において熱環境調査を行い、暑熱ストレスの低減効果につ

いて定量的な把握を試みた。本稿では、その調査結果について報告する。

2. 調査方法

2-1 調査日時及び調査地点

2015年8月14日、18日、19日及び9月11日の4日間に、新横浜公園の園路内の遮熱性舗装の上（以下、「調査地点1」という。）、園路内の通常舗装の上（以下、「調査地点2」という。）、リング通路内の日射遮蔽空間（以下、「調査地点3」という。）の3地点で熱環境調査を実施した。各調査日の調査時間帯及び気象概況を表1に示す。また、調査地点の位置を図1に示す。

2-2 熱環境調査の測定項目

各調査地点（3地点）において、気温、相対湿度、黒球温度、風向風速、日射量、赤外放射量、及び地表面（舗装面）温度の測定を行った。測定項目、使用した測定機器の型式及び測定点の高さを表2に示す。また、測定機器の設置風景の例を図2に示す。地表面温度以外の測定は5分間隔で行った。赤外放射量については、鉛直方向の上向き成分（以下、「上向きの赤外放射量」という。）の測定を行った。日射量については、鉛直方向の上向き及び下向き成分（以下、「上向きの日射量」及び「下向きの日射量」という。）の測定を行った。

3. 調査結果

3-1 気温、相対湿度及び黒球温度

8月14日、18日及び19日に、各調査地点（3地点）での気温、相対湿度及び黒球温度の測定を行った。また、9月11日に調査地点2（通常舗装）での気温及び相対湿度の測定を行った。例として、8月14日の各調査地点での気温、相対湿度及び黒球温度の測定結果を図3～5に示す。



図1 調査地点の位置

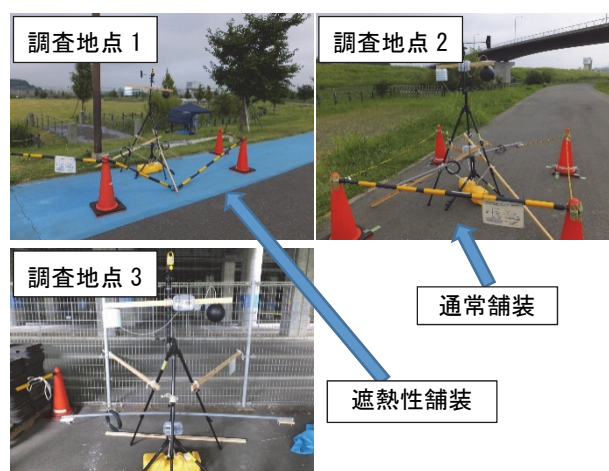


図2 測定機器の設置風景

表1 各調査日の調査時間帯及び気象概況

調査日 (平成27年)	調査時間	気象概況(横浜地方気象台)					
		天気概況		日最高気温 (°C)	日最低気温 (°C)	日最大 平均風速 (m/s)	日照時間 (h)
		昼 (6:00~18:00)	夜 (18:00~翌日6:00)				
8月14日	9:00~19:50	晴一時曇	曇一時雨	33.3	25.5	2.9	8.3
8月18日	8:00~20:00	曇時々晴一時雨	曇時々晴	29.9	26.1	4.7	2.3
8月19日	8:00~20:00	曇一時晴	曇後一時雨	30.4	26.3	2.8	3.3
9月11日	10:00~15:00	晴	晴	28.2	20.4	2.6	9.2

表2 測定項目、測定機器の型式及び測定点の高さ

測定項目	測定機器の型式	測定点の高さ
気温	TR-52i(T&D製)	1.5m
相対湿度	TR-72Ui(T&D製)	1.5m
黒球温度	黒球: 直径15cm銅球(安藤計器製工所製) 温度計: TR-52i(T&D製)	1.5m
風向風速	Kestrel 4500(NIELSEN-KELLERMAN Co.製)	2m
日射量(上向き)	LP02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製)	0.5m
日射量(下向き)	LP02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製)	1.5m
赤外放射量	IR02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製)	0.5m
地表面温度	H2630(日本アビオニクス製)	—

3-2 風向風速

8月14日及び18日に、調査地点1及び調査地点2での風向風速の測定を行った。また、8月19日に調査地点1及び調査地点3での風向風速の測定を行った。例として、8月19日の調査地点1及び3での風向風速の測定結果を図6に示す。

3-3 日射量

8月14日、18日及び19日に、各調査地点(3地点)での上向きの日射量の測定を行った。また、9月11日に調査地点1及び調査地点2での上向きの日射量と、調査地点2での下向きの日射量の測定を行った。

例として、8月14日の各調査地点での上向きの日射量の測定結果を図7に示す。また、9月11日の調査地点1及び2での上向きの日射量と調査地点2での下向きの日射量の測定結果を図8に示す。

ここで、調査地点1と調査地点2はごく近傍(約30mの距離)に位置するため、本調査では、調査地点1と調査地点2での下向きの日射量が等しいと考えた。9月11日の調査地点1及び2での、太陽光からの下向きの日射量に対する地表面からの上向きの日射量の割合(アルベド)の計算結果を図9に示す。調査時間中(9月11日10:00~15:00)のアルベドの平均値は、調査地点1では0.23、調査地点2では0.13であり、遮熱性舗装では通常舗装に比べて日射の反射率が約1.8倍であった。

3-4 赤外放射量

8月14日、18日及び19日に、調査地点2及び調査地点3での上向き赤外放射量の測定を行った。また、9月11日に調査地点1及び調査地点2での上向き赤外放射量の測定を行った。

例として、9月11日の調査地点1及び2での上向き赤外放射量の測定結果を図10に示す。また、8月14日の調査地点2及び3での上向き赤外放射量の測定結果を図11に示す。

3-5 地表面温度

8月14日の午前11時頃に、各調査地点(3地点)での地表面温度の測定を行った。8月14日の各調査地点での地表面温度の測定結果を図12に示す。

4. 考察

4-1 遮熱性舗装による暑熱低減効果

新横浜公園の園路内の遮熱性舗装の上(調査地点1)と通常舗装の上(調査地点2)での測定結果の比較から、遮熱性舗装による暑熱低減効果について考察する。

8月14日の気温及び相対湿度の測定結果(図3~4)からは、遮熱性舗装と通常舗装での気温及び相対湿度には大きな差は見られなかった。また、同日(8月14日)の黒球温度の測定結果(図5)からは、午前11時頃には遮熱性舗装での黒球温度が通常舗装の場合よりも約3℃低くなる一方で、午後3時頃には遮熱性舗装での黒球温度が通常舗装の場合よりも約2℃高くなっており、遮熱性舗装と通常舗装の黒球温度に明確な差は見られなかった。

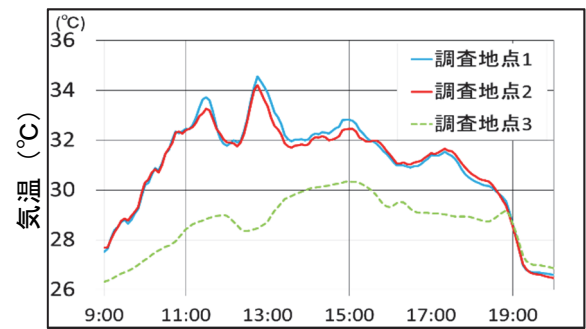


図3 気温の測定結果(8月14日)

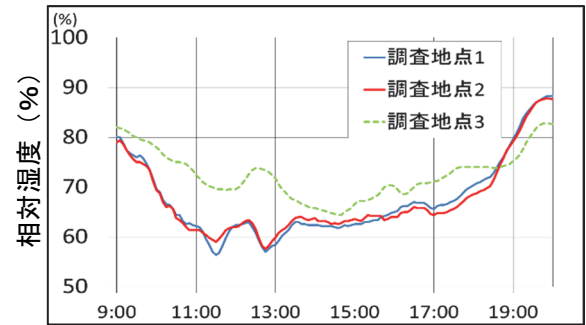


図4 相対湿度の測定結果(8月14日)

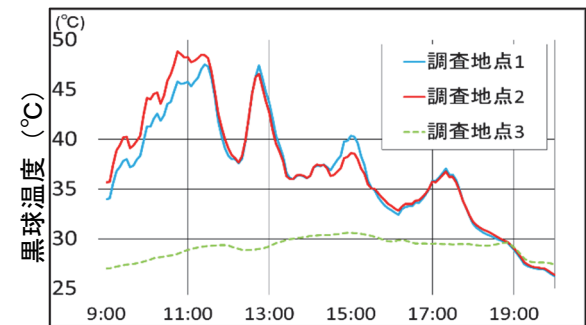


図5 黒球温度の測定結果(8月14日)

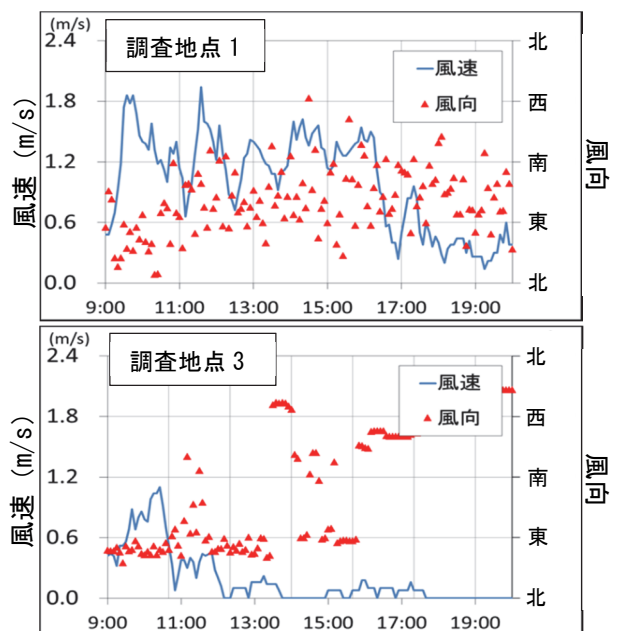


図6 風向風速の測定結果(8月19日)

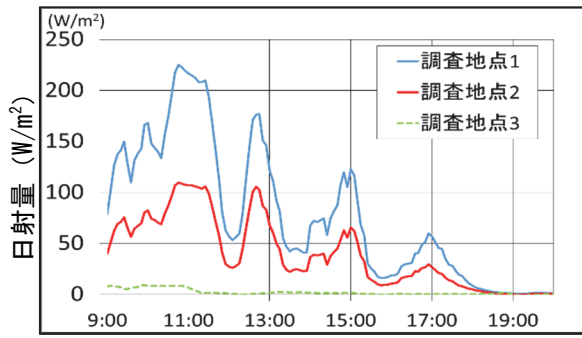


図7 上向きの日射量の測定結果 (8月14日)

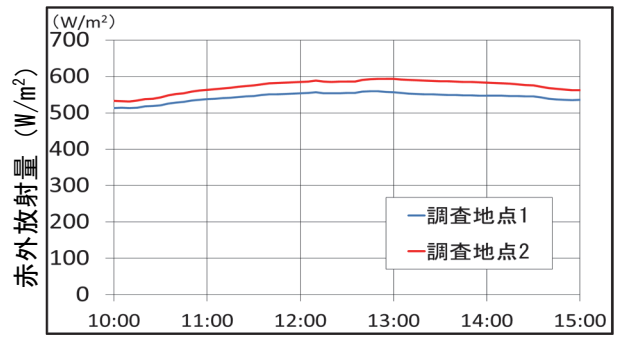


図10 上向きの赤外放射量の測定結果 (9月11日)

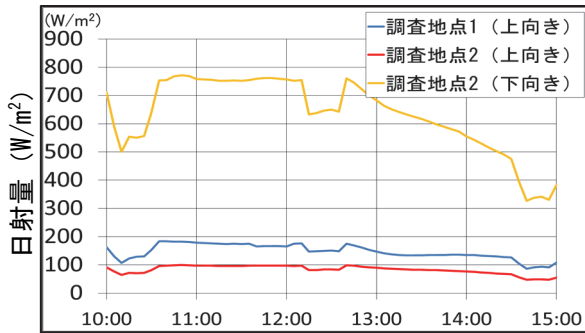


図8 日射量の測定結果 (9月11日)

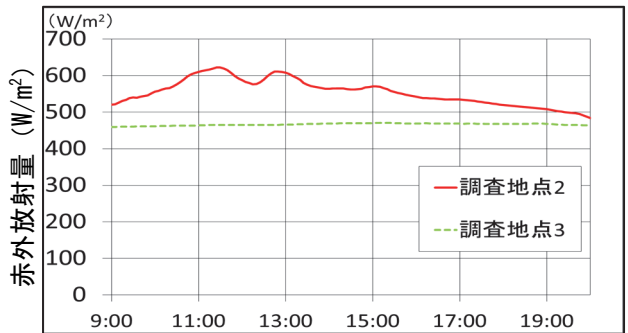


図11 上向きの赤外放射量の測定結果 (8月14日)

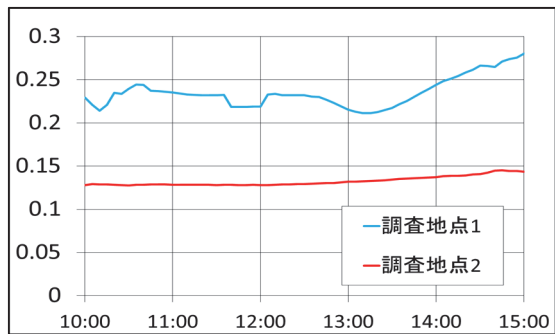


図9 アルベドの計算結果 (9月11日)

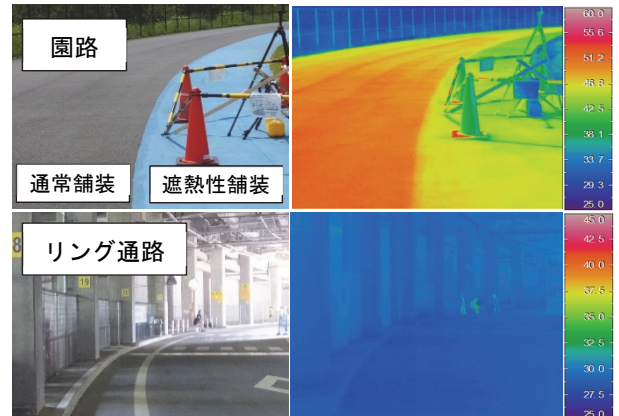


図12 地表面温度 (8月14日 11時頃)

9月11日の上向きの日射量の測定結果(図8)からは、遮熱性舗装での上向きの日射量が通常舗装の場合よりも大きく、最大で約 87W/m^2 (90%) 増加していた。一方、同日(9月11日)の上向きの赤外放射量の測定結果(図10)から、遮熱性舗装での上向きの赤外放射量が通常舗装の場合よりも小さく、最大で約 37W/m^2 (6%) 低減していた。また、8月14日の地表面温度の測定結果(図12)から、遮熱性舗装の表面温度(約 48°C)が通常舗装の場合(約 52°C)よりも約 4°C 低くなっていた。

これらのことから、遮熱性舗装では通常舗装に比べて日射の反射性が高いために、遮熱性舗装では通常舗装よりも地表面(舗装面)の日射の吸収量が小さくなる結果、上向きの日射量が増加する一方で、地表面温度が低くなり、上向きの赤外放射量が低減していると考えられる。

さらに、遮熱性舗装と通常舗装での人が感じる熱放射量について、日中と夜間の時間帯別で考察する。

日中に人が感じる熱放射量は、太陽光からの下向きの日射量、地表面からの上向きの日射量(太陽光の反射光)、地表面からの上向きの赤外放射量(地表面からの熱放射)

の3つの成分が主要要素である。遮熱性舗装と通常舗装がごく近傍に位置する場合、日中は太陽光からの下向きの日射量が等しいと考えて良いため、人が感じる熱放射量の比較を行うには、上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和と比較することが適切と考えられる。

9月11日の調査地点1(遮熱性舗装)及び調査地点2(通常舗装)での、上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和の計算結果を図13に示す。遮熱性舗装での上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和が通常舗装の場合よりも大きく、最大で約 65W/m^2 (10%) 増加していた。日中には、地表面温度が低くなり、上向きの赤外放射量が低減する一方で、上向きの日射量が増加し、場合によっては歩行者が感じる熱放射量(日射量と赤外放射量の和)を増加させる可能性があると言える。

このことは、既往研究でも言及されている⁵⁾。ただし、本調査及び既往研究における遮熱性舗装及び通常舗装での上向きの日射量の観測の高さは地表数十センチ程度で

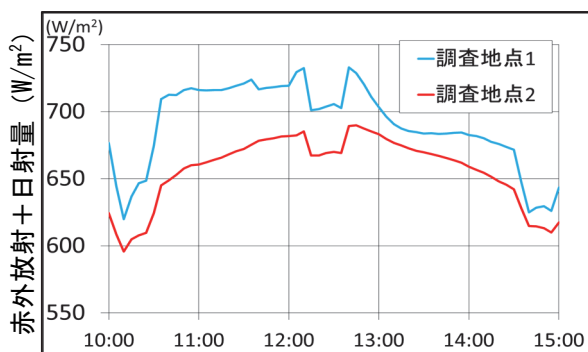


図13 赤外放射量と日射量の和の計算結果
(上向き、9月11日)

あり、それ以上の高さでは、影響はより小さくなると考えられる。

一方、夜間には太陽光からの日射がないため、夜間人が感じる熱放射量は、地表面からの上向きの赤外放射量が主な要素となる。そのため、夜間は遮熱性舗装において人が感じる熱放射量が低減していると考えられる。

4-2 日射遮蔽による暑熱低減効果

新横浜公園のリング通路内の日射遮蔽空間（調査地点3）と園路内の通常舗装の上（調査地点2）での測定結果の比較から、日射遮蔽による暑熱低減効果について考察する。

8月14日の気温の測定結果（図3）からは、日射遮蔽空間での気温は、園路内の通常舗装に比べて、日中に最大で約6℃低下していた。このことから、日射遮蔽空間では日射の遮蔽によって気温が低下し、暑さが低減されると考えられる。また、同日（8月14日）の黒球温度の測定結果（図5）からは、日射遮蔽空間での黒球温度は通常舗装に比べて最大約20℃低くなっていた。

同日（8月14日）の上向きの日射量の測定結果（図7）から、日射遮蔽空間では、一日を通して日射が遮られており、日射量はほぼ0に近い値であった。一方、同日（8月14日）の上向きの赤外放射量の測定結果（図11）から、日射遮蔽空間での上向きの赤外放射量は通常舗装の場合よりも小さく、最大で約158W/m²（25%）低減していた。また、同日（8月14日）の地表面温度の測定結果（図12）から、日射遮蔽空間の表面温度（約28℃）が通常舗装の場合（約52℃）よりも約24℃低くなっていた。

夏季の日射（太陽放射）のエネルギーは非常に大きく、快晴日の正午頃には、約1,000W/m²が地表に到達し、地表面や建物、人体に直接入射するとされている⁷⁾。日

射遮蔽空間では、特に夏季の日中において、日射を遮断することで熱環境の改善に大きく寄与し、人が受ける熱放射が大きく軽減されるため、快適な空間となっていると考えられる。

5. おわりに

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園において、園内における暑さ対策技術や日射遮蔽による暑熱低減効果を明らかにするため、2015年の夏季に気温、熱放射成分等の実測調査を行った。本調査の結果、新横浜公園で実施されている暑さ対策の一つである遮熱性舗装の暑熱低減効果や、園内の日射遮蔽空間での熱環境の改善効果について定量的に把握できた。

市内の運動公園などの市民利用施設において、今後も、公園利用者の動線や滞留状況を考慮したうえで、効果的な暑さ対策を講じていくことが重要であると考えられる。市内の各施設が暑さ対策の実施を検討する際の判断材料を提供できるよう、環境科学研究所では今後も各種の暑さ対策技術の暑熱低減効果の定量化・見える化や、暑さ対策技術の導入方法等の検討を行っていく予定である。

謝 辞

本調査の実施にあたり、横浜市環境創造局公園緑地管理課、新横浜公園の指定管理者である横浜市体育協会・管理JV共同事業体に調査場所の提供や調査実施の協力等について多大な御協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

文 献

- 1) ヒートアイランド対策推進会議：ヒートアイランド対策大綱、21pp.（2013）
- 2) 環境省：まちなかの暑さ対策ガイドライン、58pp.（2016）
- 3) 横浜市：横浜市水と緑の基本計画、163pp.（2016）
- 4) （公財）横浜市体育協会：熱中症対策について | 新横浜公園（日産スタジアムの）社会貢献活動、<http://www.nissan-stadium.jp/csr/safety02.php>（2017年3月時点）
- 5) 赤川宏幸、竹林英樹、森山正和：湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果に関する実験的研究、日本建築学会環境系論文集、73(623)、85-91（2008）
- 6) 近藤純正：地表面に近い大気の科学—理解と応用—、東京大学出版会、324pp.（2000）

横浜市内における2015年夏季の暑さ指数(WBGT)の調査

関浩二、小倉智代、内藤純一郎、山下理絵、岩崎満（横浜市環境科学研究所）

Research on Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) in the summer of 2015 in Yokohama

Koji Seki, Tomoyo Ogura, Junichiro Naito, Rie Yamashita, Mitsuru Iwasaki
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、暑さ指数、WBGT、熱中症

要旨

横浜市内の平均気温は長期的に上昇傾向にあり、熱中症患者数の増加など人の健康への悪影響が懸念されている。熱中症予防に有効な指標として用いられている暑さ指数(WBGT)について、現在、横浜市内では横浜地方気象台でのみ観測が行われている。本調査では、横浜市内の各地域で暑さ指数にどの程度の差があるかを定量的に把握するため、市内17地点で2015年6月2日から9月30日まで暑さ指数の調査を行った。その結果、調査期間中の暑さ指数の平均値には、地点間で最大で0.6℃の差があった。また、この17地点と横浜地方気象台での暑さ指数の比較の結果、横浜地方気象台での暑さ指数は市内の暑さ指数を全体的に捉えられていることが分かった。さらに、暑さ指数の調査結果を用いた分析から、暑さ指数が高くなるにつれて1時間あたりの熱中症による救急搬送人員数が増える関係があることが分かった。

1. はじめに

横浜市を含む都市部の平均気温は長期的に上昇傾向にあり、熱中症患者数の増加など人の健康への悪影響が懸念されている。環境省では、2006年に熱中症予防情報サイト¹⁾を開設し、毎年、暑さ指数(WBGT(湿球黒球温度):Wet Bulb Globe Temperature)の情報を提供している。2015年は5月13日から10月16日まで、全国841地点の暑さ指数の予測値(翌々日まで3時間毎)及び実況値(1時間毎)の情報提供を実施している。

また、横浜市総務局では、横浜市防災情報Eメール²⁾の配信項目の一つとして、2012年から、希望者に対して6月から9月まで熱中症予防情報を提供している。横浜市域での暑さ指数(WBGT)が31℃以上に達した場合にメール配信による注意喚起を行っている。

一方、横浜市環境科学研究所では、2002年から横浜市内での夏季の気温観測を実施しており、観測結果からは市内の地域間での気温差が見られている³⁾。例として、2014年7~8月の市内の平均気温の分布図を図1に示す。観測地点(市内43地点)のうち、平均気温が一番高い地点(鶴見区生麦での27.1℃)と一番低い地点(港南区港南台での25.7℃)では平均気温に1.4℃の差があった。

このことから、市内の地域間では暑さ指数にも差が生じていると予想される。また、環境省等が提供している横浜の暑さ指数の情報は横浜地方気象台の観測データ⁴⁾を基にしているため、市内の各地域と横浜地方気象台での暑さ指数にどの程度の差があるかを定量的に把握することも、熱中症予防を効果的に推進する上で重要と考えられる。本調査では、市内の各地域での暑さ指数を調査し、地域間での暑さ指数の差などについて分析を行った。

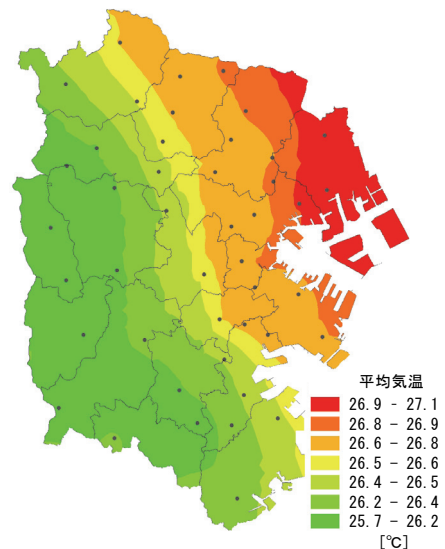


図1 横浜市内の平均気温の分布図
(2014年7~8月)

2. 調査方法

2-1 調査地点及び調査期間

市内の17地点(以下、「調査地点」という。)において、2015年6月2日から9月30日までの121日間(以下、「調査期間」という。)、1時間間隔で暑さ指数の調査を行った。調査地点の施設名及び所在地を表1に、調査地点の位置を図2に示す。当初、市内の全区(18区)で1地点ずつの調査を計画していたが、栄区では他の調査地点との比較が可能な地点での調査を実施できなかったため、栄区以外の17区で調査を行った。

表1 調査地点（17地点）の施設名・所在地

番号	施設名	所在地
1	鶴見土木事務所	鶴見区鶴見中央 3-28-1
2	神奈川土木事務所	神奈川区神大寺 2-28-22
3	西土木事務所	西区浜松町 12-6
4	中部水再生センター	中区本牧十二天 1-1
5	南土木事務所	南区別所 1-7-24
6	港南土木事務所	港南区丸山台 1-9-10
7	保土ヶ谷土木事務所	保土ヶ谷区神戸町 61
8	旭土木事務所	旭区今宿東町 1555
9	磯子土木事務所	磯子区磯子 3-14-45
10	金沢土木事務所	金沢区寺前 1-9-26
11	港北土木事務所	港北区大倉山 7-39-1
12	緑土木事務所	緑区十日市場町 876-13
13	青葉土木事務所	青葉区市ヶ尾町 31-1
14	都筑水再生センター	都筑区佐江戸町 25
15	戸塚土木事務所	戸塚区戸塚町 2974-1
16	泉土木事務所	泉区和泉町 4623
17	瀬谷土木事務所	瀬谷区三ツ境 153-7

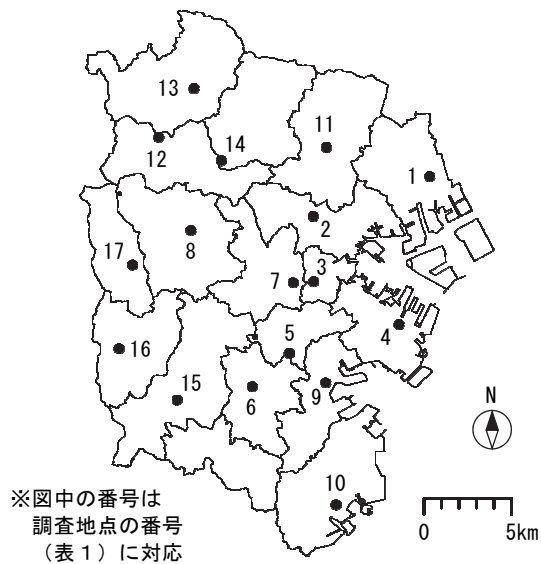


図2 調査地点の位置

2-2 測定項目及び測定方法

暑さ指数の算出のために、調査地点（17地点）において、気温（以下、「乾球温度」という。）、相対湿度及び黒球温度の3項目を測定した。本調査に使用した測定器の型式及び仕様を表2に示す。乾球温度及び相対湿度の測定では、測定器のセンサーを自作のシェルターに格納し、気象庁での温度計設置の基準⁵⁾に準拠して、屋上の床面から高さ約1.5mの位置で測定を行った。黒球温度の測定では、センサー部を直径約15cmの黒球（(株)安藤計器製工所製CK-150）に格納し、屋上の床面から高さ約1.5mの位置で測定を行った。例として、都筑水再生センターでの測定器の設置風景を図3に示す。

表2 測定に使用した測定器の型式・仕様

測定項目	気温 (乾球温度)	相対湿度	黒球温度
メーカー	(株)ティアンドデイ		
型式	TR-72wf		TR-52i
測定範囲	0~55℃	10~95% RH	-60~155℃
測定精度	±0.5℃	±5% RH (25℃、 50% RH において)	±0.3℃ (-20~ 80℃ において)
測定分解能	0.1℃	1% RH	0.1℃



図3 測定器の設置風景（都筑水再生センター）

2-3 暑さ指数の算出

暑さ指数（WBGT）は、熱中症を予防することを目的として、1957年にYaglouとMinard⁶⁾によって提案された指標である。この指標は人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・輻射などの周辺の熱環境、気温の3つを取り入れたものである。

暑さ指数（WBGT）は労働環境や運動環境の指針として有効であると考えられている。例として、日本生気象学会が2013年に公表した「日常生活における熱中症予防指針（Ver.3）」⁷⁾を表3に示す。この他に、運動に関する指針として、(公財)日本体育協会が「熱中症予防運動指針」⁸⁾を公表している。また、労働環境における暑さ指数（WBGT）について、国際的にはISO 7243⁹⁾、国内ではJIS Z8504¹⁰⁾として規格化されている。

屋外での暑さ指数（WBGT）[℃]は、湿球温度を t_w [℃]、黒球温度を t_g [℃]、乾球温度を t_d [℃]とすると、式(1)で与えられる。

$$WBGT = 0.7 t_w + 0.2 t_g + 0.1 t_d \quad (1)$$

本調査では、乾球温度 t_d 及び黒球温度 t_g については実測値、湿球温度 t_w については乾球温度及び相対湿度から算出した計算値を用いて、暑さ指数を算出した。

表3 日常生活における熱中症予防指針 (Ver. 3)

温度基準 (WBGT)	注意すべき生活活動の目安	注意事項
危険 (31℃以上)	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
嚴重警戒 (28℃以上 31℃未満)		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25℃以上 28℃未満)	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休息を取り入れる。
注意 (25℃未満)	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

ここで、本調査における湿球温度 t_w の算出方法について述べる。乾球温度 t_d における水の飽和蒸気圧を E [hPa]、相対湿度を RH [%] とすると、蒸気圧 e [hPa] は式(2)で与えられる。

$$e = E \times \frac{RH}{100} \quad (2)$$

一方、湿球温度 t_w における水の飽和蒸気圧を E' [hPa]、気圧を P [hPa] とすると、蒸気圧 e は Sprung の式¹¹⁾を用いて、式(3)で与えられる。なお、本調査では、気圧 P のデータとして、気象庁が提供する横浜地方気象台の気象データ⁴⁾を使用した。

$$e = E' - 0.000662 \times P(t_d - t_w) \quad (3)$$

また、本調査では水の飽和蒸気圧の近似式として、Tetens のパラメータ値¹²⁾による August-Roche-Magnus の式^{13), 14)}を使用した。この近似式による飽和蒸気圧の相対誤差が 0~50℃の範囲では 1%未満¹⁵⁾であることから、本調査においては無視できる程度の誤差と考えられる。この近似式では、乾球温度 t_d と湿球温度 t_w における水の飽和蒸気圧 E 及び E' は、それぞれ、式(4)、式(5)で表される。

$$E = 6.11 \times 10^{\frac{7.5 t_d}{t_d + 237.3}} \quad (4)$$

$$E' = 6.11 \times 10^{\frac{7.5 t_w}{t_w + 237.3}} \quad (5)$$

本調査では、式(2)~(5)から湿球温度 t_w の計算値を算出した上で、式(1)から暑さ指数 (WBGT) を算出した。

3. 結果と考察

3-1 各区での暑さ指数の時間数の分布

各調査地点 (17 地点) において、調査期間 (2015 年 6 月 2 日から 9 月 30 日まで) に測定した乾球温度、相対湿度及び黒球温度から、調査期間内の 1 時間間隔の暑さ

指数を算出した。

例として、鶴見土木事務所 (調査地点 1) での暑さ指数 (1℃間隔) 毎の時間数の分布を図 4 に示す。また、各調査地点について、調査期間中の暑さ指数の平均値及び暑さ指数 (WBGT) が 4 つの温度基準 (注意、警戒、嚴重警戒、危険。表 3 参照) の場合毎の時間数の割合を表 4 に示す。

調査期間中の暑さ指数の平均値は、全調査地点の中で、西区及び港南区での値 (23.6℃) が一番高く、旭区での値 (23.0℃) が一番低かった。調査期間中の暑さ指数の平均値には、調査地点 (17 地点) 間で最大で 0.6℃の差があった。

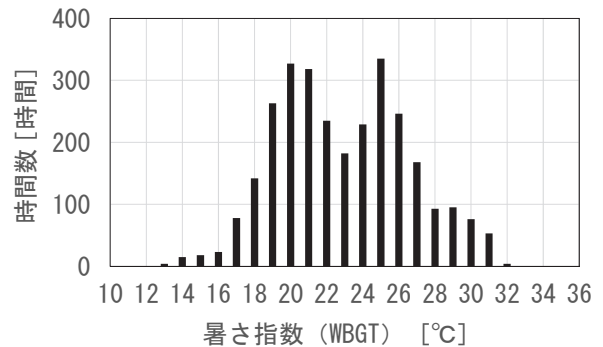


図4 鶴見土木事務所での暑さ指数 (1℃間隔) 毎の時間数の分布

表4 各調査地点での調査期間中の暑さ指数の平均値・時間数の割合

調査地点の区名	平均値 [°C]	時間数の割合 [%] (注1)			
		注意 (25℃未満)	警戒 (25℃以上 28℃未満)	嚴重警戒 (28℃以上 31℃未満)	危険 (31℃以上)
鶴見	23.4	63.2	25.8	9.1	2.0
神奈川	23.2	66.0	23.8	8.4	1.8
西	23.6	62.5	24.8	9.0	3.7
中	23.5	63.1	24.4	9.8	2.7
南	23.4	63.6	24.8	9.6	2.0
港南	23.6	62.2	24.5	9.5	3.8
保土ヶ谷	23.3	65.7	22.1	9.4	2.8
旭	23.0	68.8	20.5	8.5	2.1
磯子	23.5	62.6	25.4	9.0	3.1
金沢	23.4	64.1	24.7	9.9	1.3
港北	23.3	64.6	24.3	8.6	2.5
緑	23.1	67.6	22.1	8.4	1.9
青葉	23.1	67.4	22.3	8.6	1.7
都筑	23.4	64.3	23.7	9.6	2.4
戸塚	23.4	64.9	22.1	9.5	3.5
泉	23.2	66.7	22.4	9.0	1.8
瀬谷	23.1	67.4	22.2	8.5	1.9
平均	23.3	65.0	23.5	9.1	2.4

(注1) 小数点第二位で四捨五入しているため合計が必ずしも 100%となっていない。

3-2 各調査地点と横浜地方気象台での暑さ指数の差

本調査で算出した各調査地点（17 地点）における調査期間内の 1 時間間隔の暑さ指数と、環境省が熱中症予防情報サイト¹⁾で提供する横浜地方気象台での同時刻の暑さ指数の実況推定値（速報版）（以下、「横浜地方気象台での暑さ指数」という。）との比較を行った。

例として、鶴見土木事務所（調査地点 1）での暑さ指数から横浜地方気象台での暑さ指数を引いた差（0.2℃間隔）毎の時間数の分布を図 5 に示す。調査期間中の平均値では、鶴見土木事務所での暑さ指数は、横浜地方気象台での暑さ指数よりも 0.21℃高かった。

各調査地点での暑さ指数から横浜地方気象台での暑さ指数を引いた差の調査期間中の平均値、標準偏差及び 1℃以上の差がある時間数の割合を表 5 に示す。調査地点の暑さ指数の平均値が一番高い港南区では横浜地方気象台での暑さ指数よりも約 0.4℃高く、調査地点の暑さ指数の平均値が一番低い旭区では横浜地方気象台での暑さ指数よりも約 0.2℃低かった。また、17 地点の平均の暑さ指数と横浜地方気象台での暑さ指数の差は、調査期間中の平均値では約 0.1℃の差であった。以上から、横浜地方気象台での暑さ指数は、横浜市内の暑さ指数を全体的に捉えられていると考えられる。また、各調査地点と横浜地方気象台での暑さ指数に 1℃以上の差がある時間数の割合は、17 地点の平均では 14.6%であった。

一方、各調査地点と横浜地方気象台での暑さ指数に 1℃以上の差がある時間数の割合を、6 時間毎の時間帯別に集計した結果を表 6 に示す。17 地点の平均値で見ると、夜間（18 時～5 時）では暑さ指数に 1℃以上の差がある時間数が 5%未満であったのに対して、朝から夕方（6 時～17 時）では 25%程度と大きく、日中の方が夜間に比べて市内の各地域と横浜地方気象台での暑さ指数の差が大きいことが分かった。このことから、今後、市内の各地域で熱中症予防の取組を効果的に進めていくためには、日中において、夜間に比べて、市内の各地域と横浜地方気象台での暑さ指数の差を考慮に入れた方が良いと考えられる。

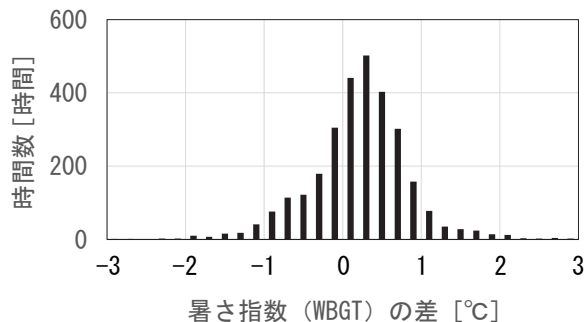


図 5 鶴見土木事務所での暑さ指数から横浜地方気象台での暑さ指数を引いた差（0.2℃間隔）毎の時間数の分布

表 5 各調査地点での暑さ指数から横浜地方気象台での暑さ指数を引いた差の調査期間中の平均値・標準偏差・1℃以上の差がある時間数の割合

調査地点の区名	平均値 [°C]	標準偏差 [°C]	1℃以上の差がある時間数の割合 [%]
鶴見	0.21	0.63	10.4
神奈川	-0.02	0.67	11.7
西	0.36	0.77	15.6
中	0.34	0.55	9.1
南	0.22	0.61	9.5
港南	0.38	0.74	16.4
保土ヶ谷	0.11	0.66	12.1
旭	-0.23	0.78	18.2
磯子	0.31	0.67	12.9
金沢	0.18	0.65	11.3
港北	0.11	0.73	13.9
緑	-0.11	0.82	18.5
青葉	-0.10	0.82	18.0
都筑	0.22	0.80	18.3
戸塚	0.20	0.79	17.2
泉	-0.03	0.79	17.1
瀬谷	-0.14	0.80	17.6
平均	0.12	0.72	14.6

表 6 各調査地点と横浜地方気象台での暑さ指数に 1℃以上の差がある時間数の割合（時間帯別）

調査地点の区名	調査地点と横浜地方気象台の暑さ指数に 1℃以上の差がある時間数の割合 [%]			
	0 時～5 時	6 時～11 時	12 時～17 時	18 時～23 時
鶴見	1.4	17.4	16.1	6.6
神奈川	2.2	21.7	20.4	2.6
西	0.7	34.2	25.6	1.8
中	0.3	20.0	13.9	2.1
南	0.4	17.4	15.7	4.6
港南	0.8	28.7	28.9	7.0
保土ヶ谷	1.4	24.8	20.4	1.7
旭	10.3	30.3	27.8	4.3
磯子	0.3	23.8	23.9	3.6
金沢	1.2	20.0	19.4	4.7
港北	2.1	25.3	22.9	5.2
緑	6.2	30.6	31.0	6.2
青葉	8.5	27.7	28.2	7.7
都筑	5.1	30.3	24.7	13.0
戸塚	2.5	31.3	31.8	3.2
泉	8.5	27.7	27.4	4.8
瀬谷	6.3	30.2	29.3	4.4
平均	3.4	26.0	24.0	4.9

3-3 暑さ指数毎の熱中症による救急搬送人員数

横浜市消防局では、熱中症関連情報¹⁶⁾の一環として熱中症発生状況を調査している。本調査では、暑さ指数と熱中症による救急搬送人員数の関連を調べるため、調査地点のある17区での調査期間内の熱中症による救急搬送人員数(計867人)について、本調査で算出した暑さ指数毎に救急搬送人員数を集計した。

例として、鶴見土木事務所(調査地点1)での暑さ指数(1℃間隔)毎の、鶴見区内での熱中症による救急搬送人員数の分布を図6に示す。この図において、暑さ指数が32℃の場合の熱中症による救急搬送人員数(1人)が、31℃の場合の救急搬送人員数(8人)よりも少なくなっている原因としては、図4に示すように、暑さ指数が32℃の時間数(4時間)が31℃の時間数(53時間)よりも大幅に少なくなっている影響が含まれている。

また、全調査地点(17地点)での暑さ指数(1℃間隔)毎の、17区での熱中症による救急搬送人員数の分布を図7に示す。

さらに、暑さ指数(WBGT)が4つの温度基準(注意、警戒、嚴重警戒、危険。表3参照)の場合毎の、17区での熱中症による救急搬送人員数の集計結果を表7に示す。

表7 熱中症による救急搬送人員数の集計結果

地点 (区)	熱中症による救急搬送人員数 [人]				合計
	注意 (25℃ 未満)	警戒 (25℃以上 28℃未満)	嚴重 警戒 (28℃以上 31℃未満)	危険 (31℃ 以上)	
鶴見	6	20	31	9	66
神奈川	6	15	17	11	49
西	3	8	13	13	37
中	5	25	39	19	88
南	1	17	35	6	59
港南	1	9	14	13	37
保土ヶ谷	1	8	15	26	50
旭	8	21	21	14	64
磯子	0	5	21	10	36
金沢	0	11	29	10	50
港北	6	16	30	20	72
緑	1	9	14	7	31
青葉	1	16	32	11	60
都筑	3	6	15	12	36
戸塚	7	14	17	18	56
泉	5	12	13	7	37
瀬谷	4	13	17	5	39
合計	58	225	373	211	867

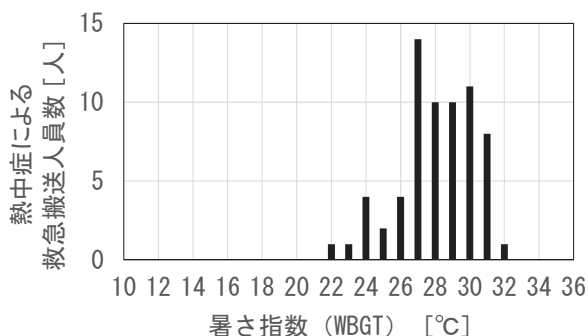


図6 暑さ指数(1℃間隔)毎の鶴見区内での熱中症による救急搬送人員数の分布

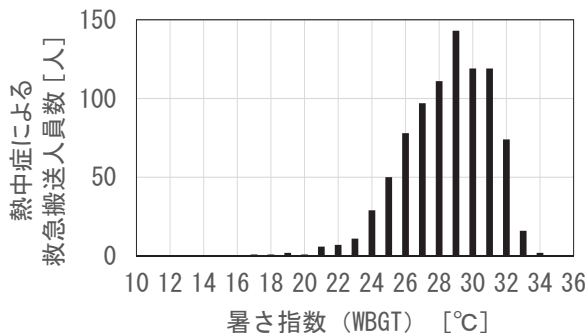


図7 暑さ指数(1℃間隔)毎の17区での熱中症による救急搬送人員数の分布

3-4 暑さ指数と単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の関係

3-1で求めた各調査地点での暑さ指数(1℃間隔)毎の時間数の分布と、3-3で求めた暑さ指数(1℃間隔)毎の熱中症による救急搬送人員数の分布から、暑さ指数(1℃間隔)毎に単位時間(1時間)あたりの救急搬送人員数を計算した。例として、鶴見土木事務所(調査地点1)での暑さ指数(1℃間隔)毎の、鶴見区内での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布を図8に示す。

各調査地点について、暑さ指数(1℃間隔)毎の単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布に対して、最小二乗法を用いた線形近似による分析を行った。なお、線形近似の際には、各調査地点での暑さ指数(1℃間隔)毎のデータのうち、調査期間内の暑さ指数の時間数が10時間未満のデータ及び調査期間内の熱中症による救急搬送人員数が4人未満のデータについては、データに含まれる誤差が大きいと考え、線形近似を行う対象から除いた。

例として、鶴見土木事務所(調査地点1)での暑さ指数(1℃間隔)毎の、鶴見区内での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の線形近似結果を図9に示す。

線形近似直線の決定係数(R^2)が0.90と高い値を示しており、暑さ指数が高くなるにつれて単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数が増える関係が見られた。この線形近似直線の傾きから、鶴見区では暑さ指数が1℃高くなるにつれて、熱中症による救急搬送人員数が単位時間(1時間)あたり0.022人増えると推測される。

同様の方法で、各調査地点について、暑さ指数（1℃間隔）毎の、単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数を線形近似した際の、線形近似直線の傾き、決定係数（R²）及び近似に用いた暑さ指数の範囲を表 8 に示す。各調査地点での線形近似直線の決定係数（R²）は、決定係数が低い地点（南区、戸塚区）でも 0.5 以上、決定係数が高い地点（中区、青葉区）では 0.95 以上となっており、全体的に、暑さ指数が高くなるにつれて単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数が増える関係が見られた。

一方、全調査地点（17 地点）での暑さ指数（1℃間隔）毎の、17 区での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布を図 10 に示す。また、全調査地点（17 地点）での暑さ指数（1℃間隔）毎の、17 区での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布に対して線形近似を行った結果を図 11 に示す。

ここでも線形近似直線の決定係数（R²）が 0.92 と高い値を示しており、暑さ指数が高くなるにつれて単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数が増える関係が見られた。なお、線形近似の際には、暑さ指数（1℃間隔）毎のデータのうち、全調査地点（17 地点）での調査期間内の暑さ指数の時間数が 170 時間未満のデータ及び 17 区での調査期間内の熱中症による救急搬送人員数が 68 人未満のデータについては、データに含まれる誤差が大きいと考え、線形近似を行う対象から除いた。

表 8 各調査地点で単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数を線形近似した際の線形近似直線の傾き・決定係数等

地点（区）	傾き [人/ 時間・℃]	決定係数 R ²	近似に用いた暑さ指数の範囲 [℃]
鶴見	0.022	0.90	24、26～31
神奈川	0.019	0.83	24～26、28～31
西	0.016	0.70	27～28、30～31
中	0.042	0.96	26～32
南	0.026	0.55	26～31
港南	0.018	0.72	26～28、30～31
保土ヶ谷	0.082	0.72	27～28、30～32
旭	0.043	0.62	25～31
磯子	0.020	0.68	27～32
金沢	0.040	0.79	26～31
港北	0.046	0.79	26～32
緑	0.018	0.65	25、29～31
青葉	0.042	0.97	26～31
都筑	0.046	0.78	28～30、32
戸塚	0.029	0.52	24、26～27、 29～32
泉	0.012	0.93	24～26、29～31
瀬谷	0.016	0.88	25、27～29、31

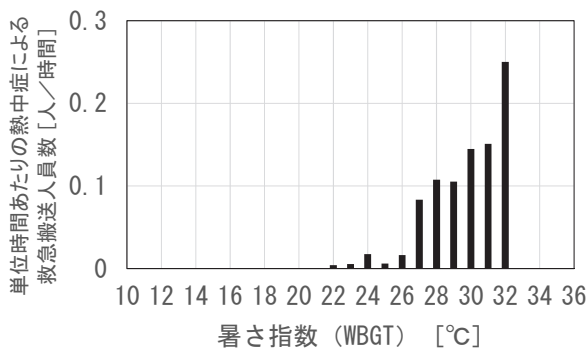


図 8 暑さ指数（1℃間隔）毎の鶴見区内での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布

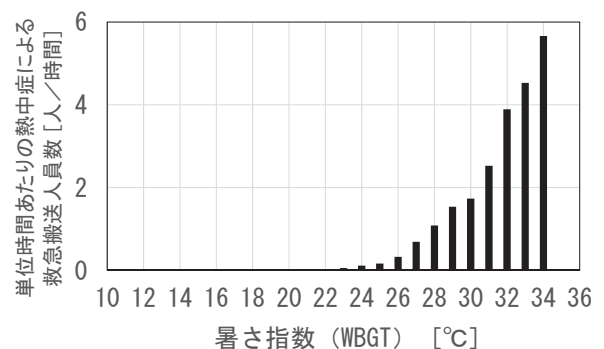


図 10 暑さ指数（1℃間隔）毎の 17 区での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の分布

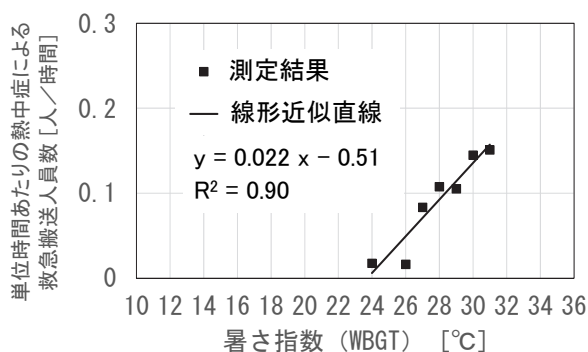


図 9 線形近似結果（鶴見区内での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数）

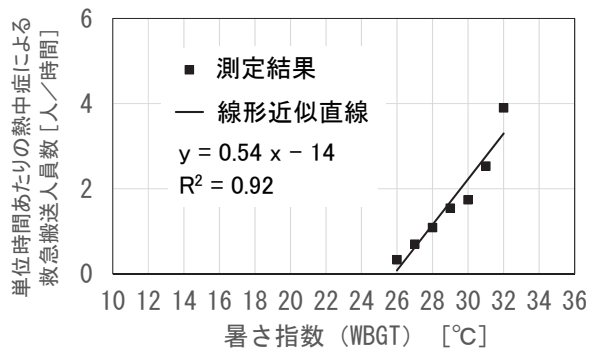


図 11 線形近似結果（全調査地点での単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数）

4. おわりに

横浜市内での熱中症予防を効果的に進めていくために、市内の地域間で暑さ指数にどの程度の差があるかを定量的に把握することを目的として、市内 17 地点で 2015 年 6 月 2 日から 9 月 30 日まで暑さ指数の調査を行った。

本調査の結果、調査期間中の暑さ指数の平均値は、全調査地点の中で、西区及び港南区での値 (23.6℃) が一番高く、旭区での値 (23.0℃) が一番低く、最大で 0.6℃ の差があった。

また、17 地点の平均の暑さ指数と横浜地方気象台での暑さ指数の差は、調査期間中の平均値では約 0.1℃ の差であり、横浜地方気象台での暑さ指数は、横浜市内の暑さ指数を全体的に捉えられていることが分かった。

一方、各調査地点と横浜地方気象台での暑さ指数の差を 6 時間毎の時間帯別に集計したところ、17 地点の平均値で見ると、夜間 (18 時～5 時) では暑さ指数に 1℃ 以上の差がある時間数が 5% 未満であったのに対して、朝から夕方 (6 時～17 時) では 25% 程度と大きいことが分かった。このことから、今後、市内の各地域で熱中症予防の取組を効果的に進めていくためには、日中において、夜間に比べて、市内の各地域と横浜地方気象台での暑さ指数の差を考慮に入れた方が良いと考えられる。

さらに、本調査で得られた暑さ指数と単位時間 (1 時間) あたりの熱中症による救急搬送人員数の関係を分析したところ、暑さ指数が高くなるにつれて単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数が増える関係があることが分かった。

本調査で得られた市内の地域間での暑さ指数の差の傾向や、暑さ指数と単位時間あたりの熱中症による救急搬送人員数の関係は、今後、市内の地域毎の熱中症予防の取組の推進や、市内の地域毎の熱中症リスクの予測などに活用できると考えられる。

謝 辞

本調査の実施に当たり、横浜市内の各区の土木事務所、中部水再生センター及び都筑水再生センターに暑さ指数の調査場所を提供いただきました。横浜市消防局救急課から横浜市内の熱中症による救急搬送人員数のデータを提供いただきました。横浜市健康福祉局衛生研究所感染症・疫学情報課からデータ分析についての助言をいただきました。横浜市環境創造局政策課及び横浜市温暖化対策統括本部調整課から暑さ指数の調査結果の活用方法等について助言と協力をいただきました。この場を借りて皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 環境省：熱中症予防情報サイト、<http://www.wbgt.env.go.jp/> (2017 年 3 月時点)
- 2) 横浜市：防災情報 E メール、<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/email/> (2017 年 3 月時点)
- 3) 横浜市記者発表資料：平成 26 年夏の気温観測結果をお知らせします～今年の横浜の夏、過去 4 年と比べて暑くなかった夏、<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/kisha/h26/140926-5.html> (2017 年 3 月時点)
- 4) 気象庁：過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2017 年 3 月時点)
- 5) 気象庁：気象観測の手引き、81pp. (1998)
- 6) C. P. Yaglou and D. Minard : Control of heat casualties at military training centers, *A. M. A. Arch. Ind. Health*, **16**, 302-316 (1957)
- 7) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3 確定版、<http://seikishou.jp/pdf/news/shishin.pdf> (2017 年 3 月時点)
- 8) 公益財団法人日本体育協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック (平成 25 年度改定版)、52pp. (2013)
- 9) International Organization for Standardization : ISO 7243:1989 Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (1989)
- 10) 日本工業規格：JIS Z 8504:1999 人間工学—WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境 (1999)
- 11) 日本工業規格：JIS Z 8806:2001 湿度—測定方法 (2001)
- 12) O. Tetens:Über einige meteorologische Begriffe, *Z. Geophys.*, **6**, 297-309 (1930)
- 13) O. A. Alduchov and R. E. Eskridge : Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure, *J. Appl. Meteor.*, **35**, 601-609 (1996)
- 14) M. G. Lawrence : The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 225-233 (2005)
- 15) 菅原広史、近藤純正：飽和水蒸気圧の計算誤差、水文・水資源学会誌、**7** (1)、440-443 (1994)
- 16) 横浜市：熱中症関連情報、<http://www.city.yokohama.lg.jp/shobo/qq/sonota/nettusyo.html> (2017 年 3 月時点)

横浜市内における外来性スジエビ近似種 *Palaemonetes sinensis* の確認状況について

七里浩志、渾川直子、市川竜也（横浜市環境科学研究所）、樋口文夫（元・横浜市環境科学研究所）

Records of alien shrimp, *Palaemonetes sinensis* recently found in Yokohama City,
Kanagawa Prefecture, Japan

Hiroshi Shichiri, Naoko Nigorikawa, Tatsuya Ichikawa (Yokohama Environmental Science Research Institute),
Fumio Higuchi (former staff of Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：外来種、淡水性、止水域、スジエビ、*Palaemonetes sinensis*

要 旨

近年、在来種であるスジエビ *Palaemon paucidens* とよく似た外来性スジエビ近似種 *Palaemonetes sinensis* が横浜市内でも確認されている。形態的に酷似した2種は、区別されることなく、スジエビとして同定されてきた可能性があるため、これまで市内で採集されたスジエビ類について再検証を行なった。その結果、新たに1地点で外来性スジエビ近似種が確認され、市内での確認地点は3地点となった。一度野外に侵入すると、外来性スジエビ近似種のみを選択的に防除することは難しいことが考えられ、本種の生態解明や生息状況把握を行うとともに、侵入防止に努めることが重要と考えられる。

1. はじめに

スジエビ *Palaemon paucidens* (以下、在来スジエビ) は、横浜市内の流水域、止水域で広く確認される在来のエビである。この種には、幼生期を海で過ごす両側回遊型と、一生を淡水で過ごす陸封型が知られ¹⁾、両者には、亜種レベルの遺伝的な差異がある^{2)、3)}。また、形態的には、額角の歯数^{2)、3)}や模様³⁾、体サイズ³⁾や卵サイズ^{2)、3)}などに違いがみられるが、生時のみに見られる模様は変異も大きく、識別はなかなか難しい。

一方、近年、国内においてスジエビとよく似た外来性スジエビ近似種 *Palaemonetes sinensis* (以下、外来スジエビ) が確認されるようになり⁴⁾、市内でも2例の確認報告がある^{5)、6)}。1例は、横浜市道路局の河川魚類等生息調査⁵⁾によるもので、市内13河川56地点での調査において黒須田川の鶴見川合流点付近(青葉区)の1地点で1個体(2014年11月採集; 図1)が確認されている(在来スジエビは21地点133個体)。もう1例は、横浜市環境科学研究所の第14回河川生物相調査⁶⁾によるもので、市内40地点での調査において、鶴見川落合橋付近(都筑区・緑区境界)の1地点で1個体(2015年1月採集; 図2)が確認されている(在来スジエビは14地点41個体)。

在来スジエビと外来スジエビの形態的な識別点は、額角先端の歯の有無^{4)、6)、7)}、大顎の触鬚の有無^{3)、4)、7)}、頭胸甲側面の模様^{6)、8)}、眼の大きさ^{7)、8)}、尾扇の模様⁶⁾、尾節の棘の位置^{3)、8)}などが挙げられるが、前述のように在来スジエビにもさまざまな模様があるなかで両種は酷

似していると言える。さらに、外来スジエビが国内で初めて確認されたのは2005年(報告は2010年)と比較的最近であり⁴⁾、認知度はまだ低いと思われることを考慮すると、両種は区別されることなく、在来スジエビとして同定されてきた可能性がある。



図1 黒須田川で確認された外来スジエビ
(文献5より転載)



図2 鶴見川で確認された外来スジエビ
(文献6より転載)

また、近年、市内止水域でのエビ類調査の事例⁹⁾は少なく、淡水性⁴⁾とされ、海との連続性が乏しい公園池などでも生息可能と推察される外来スジエビの生息状況把握は十分とは言えない状況である。

そこで、本稿では、これまで市内で採集されたスジエビ類（本稿では、在来スジエビおよび外来スジエビの2種の総称として用いる）について、液浸標本や生時の写真などを再検証し、可能な限り種の同定（在来スジエビ、外来スジエビの識別）を行った結果を報告する。また、市内の在来スジエビの特徴およびそれに基づく外来スジエビとの識別点について、若干の検討を行う。

2. 調査方法

横浜市環境科学研究所職員らが1992年から2016年までに市内で採集したスジエビ類について、液浸標本、生時の写真および採集当時の記録を再検証し、可能な限り種の同定を行った。検証に用いたスジエビ類の採集状況を表1に、今回、スジエビ類検証に用いた識別点を表2に示す。

また、採集当時の状況を示す資料として、スジエビ類と一緒に採集された生物の確認状況、周辺環境の情報などについても結果の項に記す。

表1 検証に用いたスジエビ類

採集地	採集地水系 (所在区)	採集数	液浸 標本数	採集日
境川 遊水地橋付近	境川 (戸塚区)	34	34	2011/10/13
舞岡公園 さくらなみ池	境川 (戸塚区)	7	7	2012/3/27
横浜自然観察の森 ミズスマシの池	境川 (栄区)	7	1	2016/11/16
横浜自然観察の森 杉の木橋上流	境川 (栄区)	5	0	2016/11/16
大場第一2号 雨水調整池	鶴見川 (青葉区)	8	0	2014/8/26
二ツ池	鶴見川 (鶴見区)	5	2	2003/6~ 2004/2
二ツ池 駒岡池	鶴見川 (鶴見区)	48	0	2014/9/10
竹山団地 竹山池	鶴見川 (緑区)	140	0	2015/12/5
竹山団地 竹山池	鶴見川 (緑区)	多数	0	2016/11/23
こども自然公園	帷子川 (旭区)	3		1992/2/17
こども自然公園 ハス池・水田脇水路	帷子川 (旭区)	22	7	2015/10/15
こども自然公園 ハス池	帷子川 (旭区)	68	0	2015/10/20
鶴見川 落合橋付近	鶴見川 (都筑区・緑区)	5		1993/7/29
恩田川 堀の内橋付近	鶴見川 (青葉区・緑区)	1		1993/7/30
篠原池	鶴見川 (港北区)	95	2	1996/5/15
江川 半助橋下付近	鶴見川 (都筑区)	1		2003/1/29
久良岐公園 池	大岡川 (磯子区)	4		1993/11/21
帷子川 柳橋付近	帷子川 (保土ヶ谷区)	5		1994/8/30
瀬上市民の森 瀬上池	境川 (栄区)	1	1	2015/12/12
柏尾川 朝日橋下流	境川 (戸塚区)	1	0	2016/9/25

表2 検証に用いた識別点

識別点	在来スジエビ	外来スジエビ
① 額角上縁 先端付近の歯	1~2個ある	ない
② 尾扇の模様	外肢、内肢の 中央部に模様 が入ることが 多い	模様は少なく 内肢外縁が 黒く縁どられ 筋状に見える ことが多い
③ 大顎の触鬚	ある	ない
④ 眼の大きさ	より大きい (太く短い)	より小さい (細長い)

※番号①~④は、本文中の①~④に対応。

3. 結果

3-1 境川遊水地橋付近

34個体の液浸標本（エタノール）を検証した結果、15個体を在来スジエビと同定した（識別点①、④）。残り19個体については、額角先端に歯（識別点①）が無かったが、眼（識別点④）は大きめであった。そのうち2個体の大顎を確認したところ、触鬚があり、在来スジエビと判断した（図3）。残り17個体については大顎を確認していないが在来スジエビの可能性が高いと思われる。なお、生体写真（背面）からは、34個体のうち少なくとも7個体については、在来スジエビ（識別点②）と同定できた。

スジエビ類の他に確認された生物は、両側回遊性のミナミテナガエビ *Macrobrachium formosense*、ヒラテナガエビ *Macrobrachium japonicum* などであった。

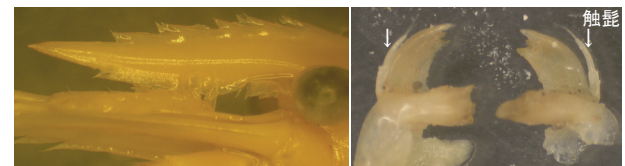


図3 遊水地橋で確認された在来スジエビ
(左：先端に歯のない額角 右：触鬚のある大顎)

3-2 舞岡公園さくらなみ池

7個体の液浸標本（10%ホルマリン）および、そのうち1個体の生体写真（背面、側面）を検証した結果、4個体を在来スジエビ、3個体を外来スジエビと同定した。

同定根拠の内訳は、在来スジエビのうち1個体が識別点①、④、1個体が識別点①、③、④、2個体が識別点③、④によるもので、外来スジエビのうち1個体（図4）が識別点①、②、④、1個体（図5）が識別点①、③、④、1個体が識別点①、④によるものであった。

識別点①の額角については、先端が折れた個体、折れた後に再生したと考えられる個体があり、識別点として利用できないことがあった。

他に確認された生物は、カワリヌマエビ属 *Neocaridina* spp.、アメリカザリガニ *Procambarus clarkii*、モツゴ *Pseudorasbora parva* などであった。



図4 舞岡公園で確認された外来スジエビ
(上：背面 下：側面)

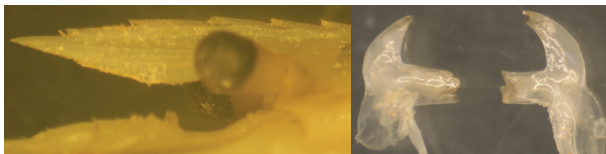


図5 舞岡公園で確認された外来スジエビ
(左：先端に歯のない額角 右：触鬚のない大顎)

3-3 横浜自然観察の森

ミズスマシの池の7個体のうち、1個体の生体を確認した結果、在来スジエビ（識別点①、②、④）と同定できた。また、その下流にあたる杉の木橋上流では、5個体全ての生体写真（背面）を検証した結果、いずれも在来スジエビと同定できた（識別点②、④）。

他に確認された生物は、ミズスマシの池でカワリヌマエビ属2個体、ヌカエビ *Paratya compressa improvisa* 80個体、アメリカザリガニ5個体など、杉の木橋上流でカワリヌマエビ属59個体、ヌカエビ29個体などであった。

杉の木橋上流では、1979年以降、2015年までに3、4年に1度の頻度で河川生物相調査を行ってきたが、カワリヌマエビ属が確認されたのは2015年調査が初めてである。

また、横浜自然観察の森の環境管理・環境調査を受託している（公財）日本野鳥の会職員によると、スジエビ（類）は、ミズスマシの池やその上流のミズキの谷の池ではここ数年のうちに見られるようになった生物とのことである。

3-4 大場第一2号雨水調整池

8個体の生体写真（背面）を検証した結果、全て在来スジエビ（識別点②、④）と同定できた（図6）。そのう

ち、1個体（図6右から4番目）については、識別点②である尾扇の様子が薄く、識別点④である目の大きさが小さめであったが、背面からうかがえる頭胸甲側面の模様などの特徴から総合的に判断し、在来スジエビとした。

他に確認された生物は、カワリヌマエビ属、アメリカザリガニ、ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*、カワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* などであった。



図6 青葉区調整池で確認されたスジエビ類

3-5 ニツ池

ニツ池は、駒岡池、獅子ヶ谷池の2つの池で構成されている。2014年に駒岡池で採集された48個体のうち、数個体については、採集時に現地において、額角先端の歯（識別点①）を確認し、在来スジエビと同定した。また、生体写真（背面）を検証した結果、少なくとも13個体については、在来スジエビ（識別点②）と同定できた。

他に確認された生物は、テナガエビ *Macrobrachium nipponense* 6個体、モツゴ、ブルーギル *Lepomis macrochirus macrochirus*、オオクチバス *Micropterus salmoides*、ヌマチチブ *Tridentiger brevispinis* などであった。

2014年は、駒岡池に隣接する獅子ヶ谷池でも、採集を行ったが、スジエビ類は捕獲されなかった。ただし、捕獲努力量が少ないことによるものである可能性がある。

ニツ池では1996年、2003年度、2010年度などにエビ類等の調査が行われているが¹⁰⁾、2池合わせたスジエビ類確認数は、1996年が0個体、2003年度が5個体、2010年度が94個体となっており、捕獲努力量に違いはあるものの、以前はスジエビ類が生息していなかった可能性がある。2003年度に確認された5個体のうち、保存されていた2個体の液浸標本（ホルマリン）を検証したところ、在来スジエビ（識別点①、④）と同定できた。

3-6 竹山団地竹山池

2015年12月および2016年11月に池の水位を減らして外来種の防除が行われたが、その際に多数のスジエビ類が確認された。少なくとも2016年に採集された数個体については、額角先端の歯（識別点①）を確認し、在来スジエビと同定したが、全容は不明である。

他に確認された生物は、コイ *Cyprinus carpio*、モツゴ、ブルーギル、ヨシノボリ類 *Rhinogobius* sp. などであった。

3-7 こども自然公園

1992年の3個体の液浸標本(エタノール)を検証した結果、いずれも在来スジエビと同定できた(識別点①、④)。

2015年10月15日の22個体については、眼の小さな個体(識別点④)はおらず、全て在来スジエビと判断した。そのうち、7個体は液浸標本(エタノール)を検証した結果、在来スジエビ(識別点①、④)と同定できた。

同年10月20日の68個体は現地にて、数個体について額角先端の歯(識別点①)を確認し、在来スジエビと同定した。また、眼の小さな個体(識別点④)はおらず、全て在来スジエビと判断した。後日、生体写真(背面)を検証した結果、少なくとも24個体については在来スジエビ(識別点②)と同定できた。

10月20日はトラップによる採集であり、他に確認された生物は、カワリヌマエビ属3個体、ヌカエビ8個体、アメリカザリガニ6個体、モツゴ、メダカ類 *Oryzias* sp. などであった。

同公園では、2010年に大池および中池で32個体、水田脇の水路で6個体のスジエビ類が捕獲されている¹¹⁾。報告に添付された1個体の生体写真(側面)は、頭胸甲側面の模様から在来スジエビと考えられるが、その他は不明である。

3-8 その他の地点

その他、表1に示した鶴見川落合橋付近の5個体(1993年)、恩田川堀の内橋付近の1個体(1993年)、篠原池の1個体(1996年)、江川の1個体(2003年)、久良岐公園の池の4個体(1993年)、帷子川柳橋付近の5個体(1994年)、瀬上池の1個体(2015年)については、全て液浸標本(ホルマリンまたはエタノール)を用いて検証した。額角先端が折れた帷子川柳橋付近の1個体は識別点④から、額角先端の歯が痕跡的であった久良岐公園の池の1個体は識別点③、④から、それ以外は識別点①、④から在来スジエビと同定した。なお、鶴見川落合橋付近は2015年に外来スジエビが確認された地点である。

また、柏尾川朝日橋下流の1個体(2016年)は、生体写真(側面)を検証した結果、識別点①から在来スジエビと同定した。

4. 考察

4-1 確認地点と時期

本調査に用いた1992年から2016年までのスジエビ類確認地点と既往の外来スジエビ確認地点を図7に示す。

横浜市内において、外来スジエビは黒須田川鶴見川合流点(2014年)と鶴見川落合橋付近(2015年)の2地点で確認されていたが、本報告により舞岡公園の1地点が追加され、3地点となった。また、確認時期は3年近くさかのぼり、2012年となった。これまでの2地点は、北部の鶴見川水系であったが、今回明らかになった舞岡公園は、南部の境川(柏尾川)水系に位置する。2つの水系で確認された集団の関係性は不明であるが、前述のとおり、外来スジエビが淡水性⁴⁾で海を介した移動はないものと思われることを踏まえると、市内への持ち込み(移

入)は複数ルートであることも考えられる。

外来スジエビは、同じく淡水性の外来種であるカワリヌマエビ属同様、釣り餌や観賞用として、生体が輸入され、商品として流通していることが知られている¹²⁾。そのなかで、市内で初めてカワリヌマエビ属が確認されたのは、1999年の入江川(鶴見区および神奈川区)であり¹³⁾、舞岡公園では、市内広域に拡散する前の2007年に確認されている¹³⁾。これらのことから、舞岡公園で確認された外来スジエビも比較的早い時期に、人為的に持ち込まれた可能性がある。

舞岡公園での外来スジエビ採集時は、同所的に在来スジエビも見られたが、今後の個体数の変動や他の生物への影響の有無が注目される。なお、国内で初めて外来スジエビが確認された静岡県浜松市では、手網による採集で、外来スジエビが在来スジエビより多く捕獲された事例⁴⁾がある。外来種の生態については、不明な点も多く、近似種との関係も把握されていないことから、今後、生態学的観点からの調査研究が必要と思われる。

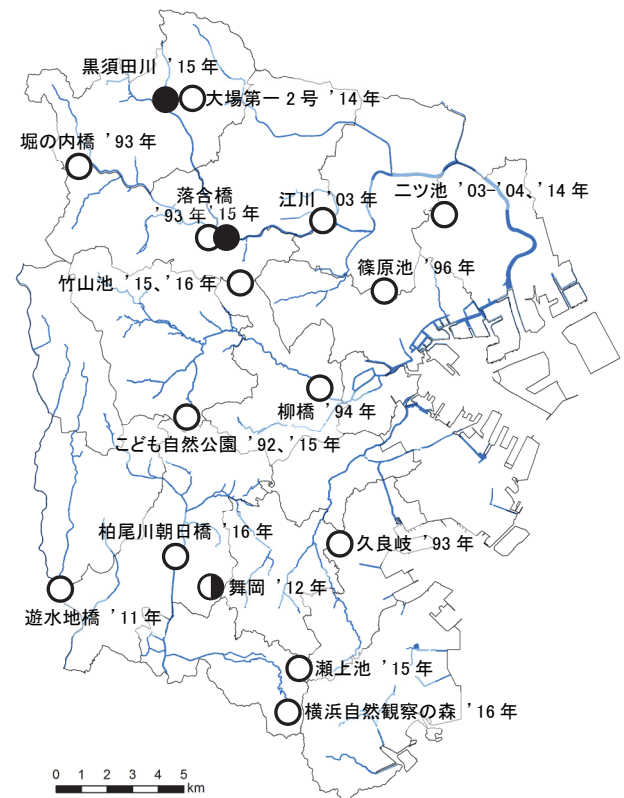


図7 スジエビ類確認地点
(●: 外来スジエビ ○: 在来スジエビ)

4-2 検証に用いた識別点

今回、同定するための識別点を額角上縁先端付近の歯の有無、尾扇の模様、大顎の触鬚の有無、眼の大きさとした(表2)。ここでは、主要な項目についての問題点と他の識別点について検討する。

識別点①の額角の先端の歯の有無は、観察しやすい部位であり、個体を損傷させずにルーペ等で観察できることから、非常に有用な項目と言える。しかし、額角先端が折れた個体、折れた後に再生したと考えられる個体に

は適用できないことがあった。また、Imai, Oonuki⁷⁾ は、西日本で採集した在来スジエビ 33 個体のうち、33%は額角先端に歯が無かったことを報告している。本調査でも境川遊水地橋付近の 34 個体のうち、56%は額角先端に歯が無かった。

識別点③の大顎の触鬚の有無は、外観からは確認できず、確認には口器の取り出しが必要である。貴重な標本試料を破損させることとなり、時間も要する。

額角の歯と同様に生時でも死亡後でも検証可能な識別点として、尾節の形状が挙げられる。豊田、関³⁾ は、スジエビ類の識別点の 1 つを尾節の棘の位置としている。また、長谷川ら⁸⁾ は、宮城県で採集されたスジエビ類の識別点の 1 つとして尾節末端の形状を挙げ、在来スジエビの尾節中央先端は丸く、両側に 2 本の棘があり、外来スジエビは 2 本の棘の間が尖っているとしている。

今回、検証に用いたスジエビ類のうち、液浸標本のあつる 73 個体全てについて、尾節中央先端部を確認したところ、在来スジエビ、外来スジエビいずれも 2 対の棘があり、中央部は尖っていた (図 8)。在来スジエビ 70 個体は、中央部の尖りが細く、内側の 1 対の棘の間隔が狭かった (全ての棘が痕跡的であるもの、棘 1 本が欠損していたもの 11 個体を含む)。それに対し、外来スジエビ 3 個体は、中央部の尖りの基部が太く、内側の 1 対の棘の間隔が広がった。これらの特徴については、地理的変異等も考えられることから、さらに、サンプル数を増やして検討していく必要がある。

以上から、在来スジエビ、外来スジエビの識別には、額角以外の識別点も合わせ総合的に判断することが必要であるとともに、横浜市内に生息する在来スジエビ集団の形態的特徴の把握が必要と言える。

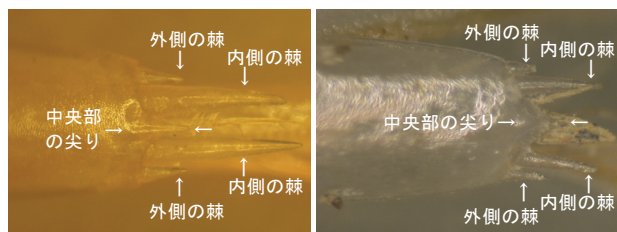


図 8 スジエビ類の尾節先端
(左：在来スジエビ【こども自然公園 1992 年】
右：外来スジエビ【舞岡公園 2012 年】)

5. おわりに

外来スジエビが野外に侵入した際、在来スジエビや他の生物に対し、どの程度の影響があるかは十分に解明されていない。しかし、一度侵入すると、外来スジエビのみを選択的に防除することは難しいことが考えられ、本種の生態解明や生息状況把握を行うとともに、侵入防止に努めることが重要と考えられる。

また、在来スジエビの中でも特に陸封型は、本来、地域間の遺伝的交流が乏しく、それぞれ固有の個体群が見られると考えられる。他地域への人為的な移動は、地域の固有性を失うことにつながる可能性があり、地域個体群の保全に向けた知見の蓄積が重要と考えられる。

謝 辞

対象生物の採集にあたって敷地内立入りの許認可、捕獲等にご協力いただいた皆様、市内外のスジエビ類の特徴や識別点についてご助言いただいた小林紀雄氏 ((有)河川生物研究所) に、心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) Seinen Chow, Yoshihisa Fujio: Biochemical Evidence of two types in the Fresh Water Shrimp *Palaemon paucidens* Inhabiting the Same Water System, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 1451-1460 (1985)
- 2) Lucia Fidhiany, Akihiro Kijima, Yoshihisa Fujio: Genetic Divergence between Two Types in *Palaemon paucidens*, *Tohoku J. Agr. Res.*, **39**, 39-45 (1988)
- 3) 豊田幸詞、関慎太郎: 日本産淡水性・汽水性甲殻類 102 種 日本の淡水性エビ・カニ、誠文堂新光社、96-98 (2014)
- 4) 大貫貴清、鈴木伸洋、秋山信彦: 静岡県浜松市の溜池で新たに発見された移入種 *Palaemonetes sinensis* の雌の生殖周期、水産増殖、**58** (4)、509-516 (2010)
- 5) ユーロフィン日本環境株式会社: 平成 26 年度横浜市内河川魚類等生息調査委託報告書(本編)、113pp. (2015)
- 6) 横浜市環境科学研究所: 横浜の川と海の生物 (第 14 報・河川編)、459pp. (2016)
- 7) Tadashi Imai, Takakiyo Oonuki: Records of Chinese grass shrimps, *Palaemonetes sinensis*, (Sollaud, 1911) from western Japan and simple differentiation method with native freshwater shrimp, *Palaemon paucidens* De Haan, 1844 using eye size and carapace color pattern, *BioInvasions records*, **3**, 163-168 (2014)
- 8) 長谷川政智、森 晃、藤本泰文: 淡水エビのスジエビ *Palaemon paucidens* に酷似した外来淡水エビ *Palaemonetes sinensis* の宮城県における初確認、伊豆沼・内沼研究報告、**10**、59-66 (2016)
- 9) 樋口文夫、水尾寛己、福嶋悟、前川渡、阿久津卓、梅田孝: 横浜市内の池における水環境と魚類相、甲殻類(十脚目)相の調査報告、横浜市環境科学研究所報、**26**、22-37 (2002)
- 10) 七里浩志、市川竜也、渾川直子、堀美智子、村岡麻衣子、岩崎美佳、本田昌幸: 横浜市内止水域における外来種侵入状況について～2 池における魚類、エビ・カニ類の変遷～、第 40 回環境合同研究発表会講演要旨集、21-24 (2015)
- 11) 横浜市環境科学研究所: 横浜の池の生物、203pp. (2011)
- 12) 丹羽信彰: 外来輸入エビ、カワリヌマエビ属エビ (*Neocaridina* spp.) および *Palaemonidae* spp. の輸入実態と国内の流通ルート、*CANCER*, **19**、75-80 (2010)
- 13) 福嶋悟、樋口文夫、小市佳延、下村光一郎、神保健次、中村明世: 小雀公園の水域生態系 -公園管理のための基礎資料-、横浜市環境科学研究所報、**32**、73-78 (2008)

横浜市における明治期 GIS 植生図の改良と応用

小森昌史、潮田健太郎（横浜市環境科学研究所）

The improvement and application of GIS vegetation map of Meiji era in city of Yokohama.

Masashi Komori, Kentarou Ushioda (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：植生図、過去の植生、明治期、GIS、横浜市

要 旨

環境科学研究所では明治期植生図の GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) 化を進めてきたが、これまでに作成された植生図データは現在の地図と重なり合わず、ずれが生じてしまうという課題があった。そこで我々は、現在の地図に重なり合うように位置が補正された明治期の地図を用いて既存データの改良を行った。改良の結果、既存の植生図では最大 400 m 程度と推定されていた位置の誤差を 100 m 程度まで低減することができたと考えられる。また応用として、旭区の善部町特別緑地保全地区周辺及び鶴見区の東寺尾ふれあいの樹林周辺をモデルケースとして、作成した GIS データの位置精度の検証を行い、さらに当該地域の明治期から平成期にかけての植生の変遷を比較し、考察を行った。今後は植生図のさらなる精度向上と、データを広く公開することを目指していく。

1. はじめに

横浜市は 1859 年の開港以来、都市化の影響で緑被率が減少し、また、植生を大きく変化させてきた。近年ではヒートアイランド現象対策や生物多様性保全といった観点から、緑地の再生や保全に関する取組が重要視されるようになり、過去の植生がどのようなであったかを知ること重要になってきている。環境科学研究所ではそうしたニーズに応えるべく、平成 20、21、23 年度の延べ 3 か年に渡る横浜国立大学との共同研究により、明治期の植生図を作成し GIS データ化を進めることで、いくつかの地域について明治期から昭和期、平成期にかけての植生の変遷を調査してきた^{1)、2)、3)}。植生図を GIS 化する(位置情報を付加する)ことは、目的地域の植生の特定や経年変化の比較が容易に行えることや、面積比較などの定量的な分析が容易に行えるようになるといったメリットがある。

上述した共同研究において井上らは、原田らが作成した横浜市の明治期植生図(未発表、紙媒体)を用いて横浜市全域の GIS データの作成を行い¹⁾、また共同研究の成果として「明治中期横浜の植生図」⁴⁾(紙媒体)を発表した。以下では、井上らが作成した明治期の植生図の GIS データを「明治期 GIS 植生図(旧)」(一部公開)とするが、現状ではそのデータには課題があり、使用する際には注意を要する。

明治期 GIS 植生図(旧)の基になったのは、明治 15(1882)年測量の「第一軍管地方 2 万分 1 迅速測図」、通称「迅速測図」と呼ばれる地図と、その原図となった「迅速測図原図」である。これらの地図には現在一般に使わ

れている投影法が適用されておらず、また、当時の測量精度の低さから、現在の地図と比べると地図にずれが生じた状態となってしまう。当然それらを基準にした明治期 GIS 植生図(旧)にもずれが存在し、ある地点の位置を合わせると他の地点の位置が合わないといった不都合が生じることがある。そのため、ずれが許容できる狭い範囲においてのみ、調査対象地域ごとに現在の地形と照らし合わせ、位置補正を行ってから使用しているというのが現状であった。

図 1 は明治期 GIS 植生図(旧)を、現在の行政界に重ねたものである。当時から存在していた 3 つの池、鶴見区の三ツ池、港北区の菊名池及び栄区の瀬上池の位置を参照して位置合わせをしている。図 1 を見ると市域の、特に北西側において明治期 GIS 植生図(旧)での市境にあたる地形と、現在の市境にずれが生じていることがわかる。また、この図からは確認できないが、他にも現在の地図や地形と照らし合わせると、ずれが生じて不自然になっている植生が多く見られた。これらの地図のずれは、確認した範囲において最大で 400 m 程度あり、また、単純に拡大・縮小、平行移動、回転といった補正を行うだけでは解消できない歪みも存在するということがわかっている。

こうしたずれや歪みが存在するため、現状では、植生データの GIS 化のメリットを享受しきれていない。そこで、我々は明治期 GIS 植生図(旧)のずれや歪みを補正し、現在の地図と位置の対応が正しくついた新たな明治期 GIS 植生図を作成することを目指した。また、その応用として、2 つの地域について過去から現在までの植生

変化を調べた。

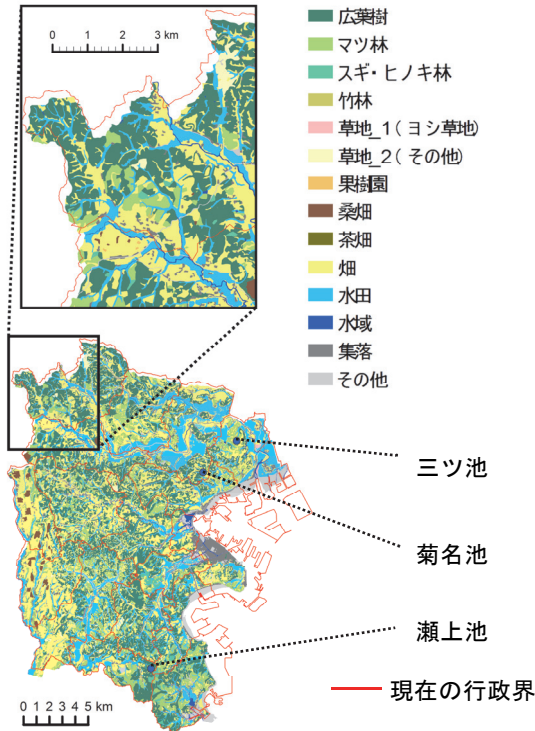


図1 明治期 GIS 植生図(旧)のずれ

2. 手法

ずれや歪みのある地図の補正方法としては、正しい地図上のある点と、それに対応する補正前の地図の地点を特定し、それらを重ねるように補正する方法が一般的である。しかし、明治期と現代では土地利用が大きく異なっていることから、共通するランドマークを大量に探すには膨大な手間がかかる。

そこで我々は、現在の投影法に合わせるように、既に位置補正がされている迅速測図を入手し、それを基準に植生図の位置補正作業を行うことにした。位置補正された迅速測図は国立研究開発法人農業環境技術研究所が運営する WEB サイト「歴史的農業環境閲覧システム」⁵⁾及び、そこで使用されている地図の画像のダウンロードが行える国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の「Find.jp」タイル配信サービス⁶⁾から入手した。

「Find.jp」では Web 上にあるタイル地図を配信し表示させるサービス WMTS (Web Map Tile Service)⁷⁾を提供しており、作業はそのサービスを利用して ArcGIS の Ver. 10.2 上に補正済み迅速測図を表示させて行った(図2)。この地図も完全に位置情報が正確というわけではないが、歴史的農業景観閲覧システム FAQ⁸⁾及び Sprague *et al.* の報告⁹⁾から、誤差は最大でも 100 m 程度と推定され、また特定の地域でずれや歪みが他と比べて大きくなるといった偏りは少ないと考えられる。したがって、これを基準に明治期 GIS 植生図(旧)の補正を行うことで、植生図の位置精度の大幅な向上が期待される。

明治期 GIS 植生図(旧)は、前述したように当時の地図作製技術の問題から生じる歪みのため、拡大・縮小、平行移動、回転といった1次の変換によっては現在の地図に重ねることはできない。そこで本研究では ArcGIS の

Ver. 10.2 において、補正済み迅速測図と明治期 GIS 植生図(旧)で対応する点を結び、幾何学的な歪みを、2 次以上の高次変換式を用いて補正するラバーシートと呼ばれる処理を行った。

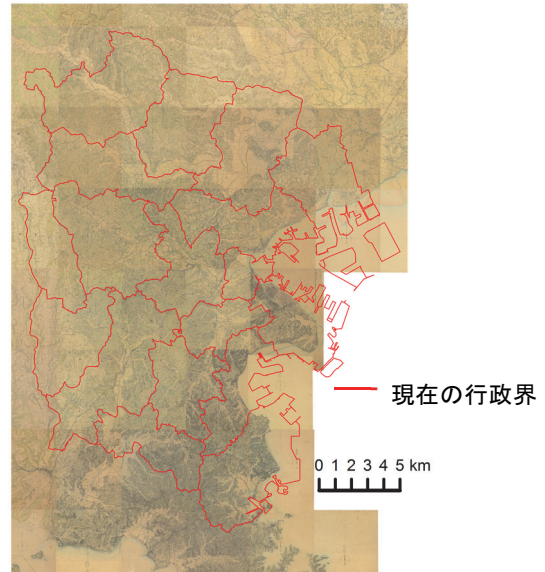


図2 位置補正済みの迅速測図

3. 結果

3-1 市全域の植生図

前述した手法で明治期の植生図(旧)の位置補正を行い、補正後のデータとしてシェープファイルを作成した。以降では新たに作成した植生図を明治期 GIS 植生図(新)とし、図3に示した。補正前にはずれの大きかった北西部においても、市境にあたる地形と現在の市境のずれが減少し、ほぼ一致している。

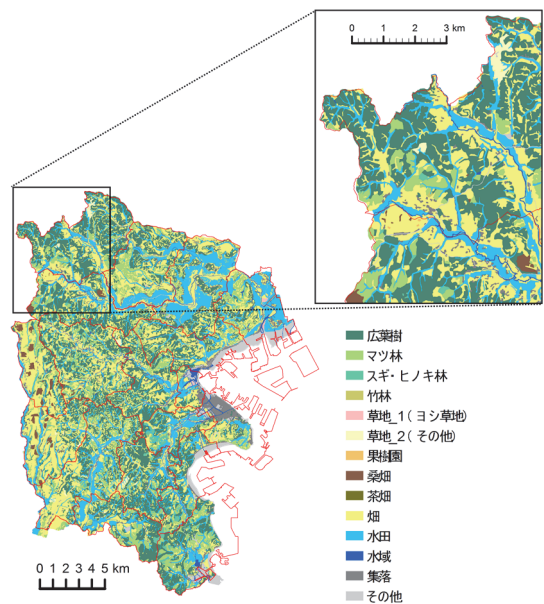


図3 明治期 GIS 植生図(新)

また、補正前後でどの程度ずれや歪みが修正されたかわかるよう、横浜市域に約 1 km 四方のグリッドを描写し、植生図の補正と同様の処理を施した前後で、グリ

ッドがどのように変化したかを図4に示した。市の北西部でずれの補正が大きく、また、南東部では直線のグリッドが曲線になっていることから、歪みの補正が大きいことがわかる。

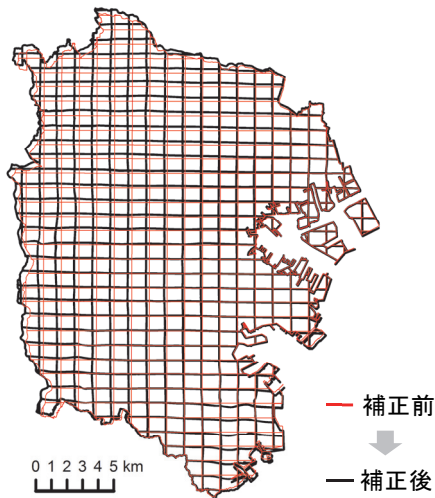


図4 補正処理前後のグリッド変化

3-2 応用例

3-2-1 概要

作成した明治期 GIS 植生図（新）の中から、旭区にある善部町特別緑地保全地区及び、鶴見区にある東寺尾ふれあいの樹林の2地域周辺に着目し、現在の地形と比較してずれ等がないかを検証した。対象としたのは図5に示した2領域で、ともに1 km 四方である。現在の地形データとして、国土地理院が公開している基盤地図情報数値標高モデルの5 mメッシュの標高DEMデータを加工して、凹凸等を判別しやすいようにした地形図を使用した。埋立地や大きな山の切り崩しがあった地域を除き、明治期から現在までに標高に大きな変化はないという前提で比較を行った。



図5 対象とした2領域

また、対象とした2領域における明治期（1882年）から昭和期（1971年）、平成期（1997年）¹⁰⁾にかけての植生の変化についても考察を行った。昭和期の植生に関しては、宮脇らが作成した紙媒体の「横浜市現存植生図」¹¹⁾を使用し、該当地域のみGIS化を行った。

3-2-2 善部町特別緑地保全地区周辺

図6(a)～(d)に善部町特別緑地保全地区周辺における現在の地形図と、明治期から平成期にかけての植生図を示した。地形図は色が黒いほど標高が低く、赤いほど傾斜が急であることを表している。植生図の凡例はキャプションのとおりであるが、全年代を同じ凡例で比較するため、図1及び図3とは若干分類や色が異なっており注意が必要である。

図6(b)明治期の植生図における領域の西側中央から北東部に分布している水田と、図6(a)の地形図における谷戸地形の位置が一致している。また明治期にあった水田が形を残して一部昭和期にも存在していることがわかる。これらのことから善部町付近において明治期GIS植生図（新）のずれが許容できる程度に小さいことがわかる。

周辺地域の緑被率は明治期から昭和期、平成期にかけて、98.6%、61.2%、29.1%と減少している。善部町特別緑地保全地区に関しては、明治期には広葉樹、マツ林だったが、昭和期には草地2（その他）、広葉樹、スギ・ヒノキ・サワラ林となり、平成期には再び広葉樹、マツ林となった。昭和期に植林などの影響でスギ等が増加したが、平成期には再びマツ林が現れている。

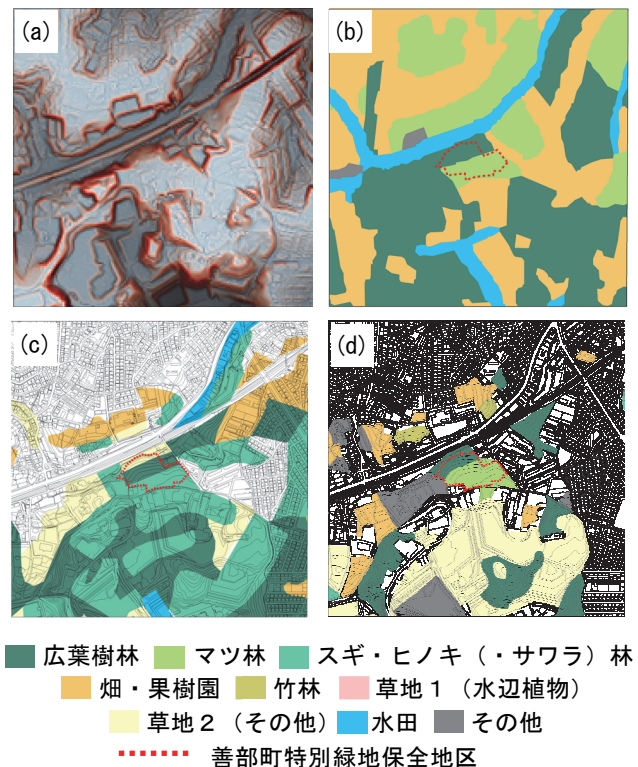


図6 善部町特別緑地保全地区周辺の地形と植生図
(a)地形図 (b)明治期植生図
(c)昭和期植生図 (d)平成期植生図

3-2-3 東寺尾ふれあいの樹林周辺

図 7(a)～(d)に、東寺尾ふれあいの樹林周辺における現在の地形図と、明治期から平成期にかけての植生図を示す。図 7(a)と図 7(b)を比較すると、標高の低い地域に水田が広がり、高い地域にはマツ林や広葉樹林が広がっていて、その境界がほぼ一致している。東寺尾ふれあいの樹林周辺においても明治期の植生図の位置精度は高いと考えられる。

周辺地域の緑被率は明治期から昭和期、平成期にかけて 96.2%、42.2%、10.5%と大幅に減少している。東寺尾ふれあいの樹林では、明治期においてはほとんどがマツ林であったが、昭和期ではスギ・ヒノキ（・サワラ）林、平成期では広葉樹と一部明治期に見られたマツ林が再び見られた。

2 領域とも明治期から平成期にかけて緑被率が大きく減少しているが、昭和期に一度スギなどの植林があった後に明治期の植生の一部が再び現れるという共通点があった。

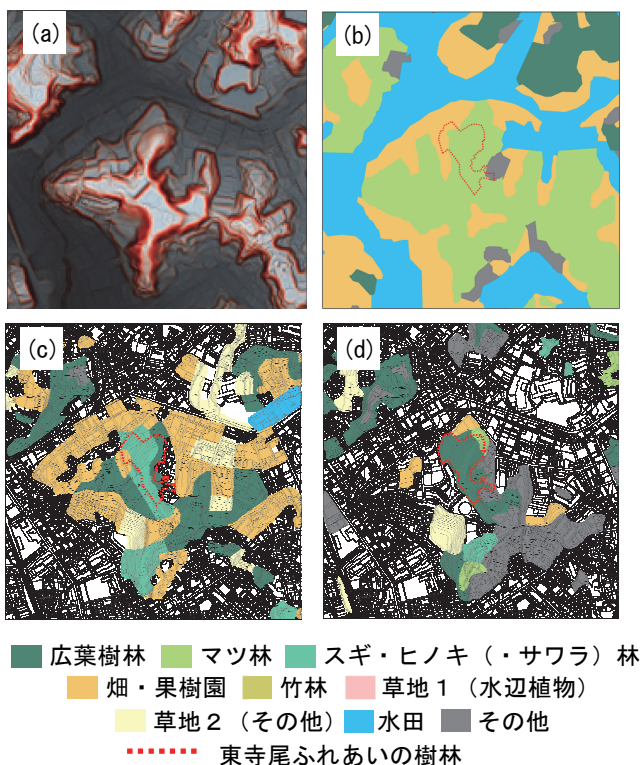


図 7 東寺尾ふれあいの樹林周辺の地形と植生図
(a)地形図 (b)明治期植生図
(c)昭和期植生図 (d)平成期植生図

4. まとめと今後の課題

モデルケースとして取り上げた2つの地域において、植生図が現在の地形とよく一致していたことから示唆されたように、我々が新たに作成した明治期 GIS 植生図（新）の位置精度は、明治期 GIS 植生図（旧）と比べて大きく向上したと考えられる。しかし、横浜市区は広く、確認できていない他の地点では、位置のずれが許容できない程度生じている可能性がある。今後、植生図のさらなる位置精度向上のためには、基準とする地図の精度向上と、基準地図に対する植生図の位置再現性が重要な

課題である。今回、基準地図として用いた迅速測図は最大で 100 m 程度の位置誤差があるとされているが、現状では、これ以上に正確な位置情報を持った明治期の地図を入手することは難しい。しかし明治期から現代にかけて、変化が少ないと考えられる標高データなどを用いて、基準地図の位置精度を検証し、補正を行うことは可能であると考えられる。一方、植生図の、基準地図への位置再現性については、改良の余地が大きい。横浜市区は広大で、基準となる地図に完全に重なるように補正を行うためには、膨大な数の点を対応付けする必要があり、現状のデータは不完全となっている。しかし、ラバーシート処理による位置補正は、対応づけする点の数が多ければ多いほど元の地図の位置を再現できるため、作業量を多くすることで基準地図への再現性を高めることができると考えられる。

改良した GIS データは、紙媒体のデータと比べて、今後の修正作業を容易に行うことができるというメリットがある。今後は一層精度を高めたうえで、誰もが閲覧・解析できる形での公開を目指していく。

謝 辞

迅速測図を読み解き、明治期の植生図を作成した横浜国立大学の原田洋教授ら、またそれらの地図を GIS データ化した元環境科学研究所職員の井上智氏、市川治道氏、西川幸作氏、石川孝之氏らの膨大な努力と成果の上に本研究は成り立っています。この場を借りて御礼申し上げます。

文 献

- 1) 井上智、石川孝之：横浜東部地域における GIS を活用した明治前期の植生図化と植生の変遷、横浜市環境科学研究所報、34、9-15 (2010)
- 2) 井上智、石川孝之：横浜市緑区新治地区における明治期から平成期にかけての植生の変遷、横浜市環境科学研究所報、35、7-14 (2011)
- 3) 井上智、石川孝之：明治期の平潟湾周辺のマツ利用に関する一考察、横浜市環境科学研究所報、36、46-49 (2012)
- 4) 原田洋、原田敦子、井上智：明治中期横浜の植生図、(2012)
- 5) 農業環境技術研究所：歴史的農業環境閲覧システム、<http://habs.dc.affrc.go.jp/> (2017年3月時点)
- 6) 農業・食品産業技術総合研究機構：Find.jp タイル地図キャッシュサービス、<http://www.finds.jp/tmc/index.html> (2017年3月時点)
- 7) 農業・食品産業技術総合研究機構：WMTS サーバー、<http://www.finds.jp/ws/tmc/1.0.0/WMTSCapabilities.xml> (2017年3月時点)、レイヤー名：Kanto Rapid-900913
- 8) 農業環境技術研究所：歴史的農業景観閲覧システム FAQ、http://habs.dc.affrc.go.jp/habs_faq.html (2017年3月時点)
- 9) D. S. Sprague, N. Iwasaki, S. Takahashi: Measuring rice paddy persistence spanning a

century with Japan's oldest topographic maps:
georeferencing the Rapid Survey Maps for GIS
analysis, *International Journal of Geographical
Information Science*, 21(1), 83-95 (2007)

- 10) 横浜市環境保全局：横浜市地域環境特性図、第3版
(2000)
- 11) 宮脇昭、井上香世子、古谷マサ子、大野啓一、梶山
三千男、藤原一絵、藤間ひろ子、佐々木寧、鈴木邦雄、
原田洋：横浜市現存植生図 (1971)

生物付着基盤の設置による生物生息環境の改善手法について（第2報）

堀美智子、市川竜也、浦垣直子（横浜市環境科学研究所）
松本剛、宮田康人（JFE スチール株式会社）

The recreation of habitat with installation of stones for biofouling in the sea area in front of Yamashita Park (Part 2)

Michiko Hori, Tatsuya Ichikawa, Naoko Uragaki (Yokohama Environmental Science Research Institute)
Takeshi Matsumoto, Yasuhito Miyata (JFE Steel Corporation)

キーワード：山下公園、貧酸素、生物付着基盤、再生資材、生物生息環境

要 旨

横浜市と JFE スチール株式会社は、横浜港の山下公園前海域において、平成 25 年 9 月から共同研究を実施している。海中に生物付着基盤（生物のすみか・逃げ場など）としての効果が期待される鉄鋼スラグ製品を配置し、生物の生息環境改善と生物による水質浄化能力の回復についての検証を行っている。

平成 27 年の夏季に水深の深い場所において、生物付着基盤に付着した生物が減少する傾向が見られた。その後回復が見られているが、今後もモニタリングを行い注意深く見ていく必要があると考えられる。

1. はじめに

横浜港の水質汚濁は、昭和 45 年から昭和 50 年頃までと比較して公共下水道の整備や工場排水の規制により改善されたが、近年は横ばい傾向にあり、赤潮発生や降雨に伴う水質悪化という課題が残されている。横浜港の水質を更に向上させるためには、流入汚濁負荷量の削減や底質の改善を行うとともに、海域生物の水質浄化能力を利用できる環境の修復・創出が重要であることがこれまでの調査から分かっている^{1), 2)}。

横浜市と JFE スチール株式会社は、平成 25 年 9 月に協定を締結し、平成 30 年 3 月 31 日までの期間で『山下公園前海域における水質浄化能力の回復に向けた生物生息環境の改善手法』に関する共同研究』を進めている。本共同研究は、横浜港の沿岸域に生物付着基盤や底質改善の効果が期待される鉄鋼スラグ製品を配置し、生物の生息環境改善と生物による水質浄化能力の回復について検討することを目的としている。

本報では前報³⁾に続き、平成 28 年 1 月までの調査結果について報告する。

2. 共同研究概要

2-1 実験海域

実験場所の山下公園前海域は起伏が激しく、護岸から数十メートル離れると水深は 5m よりも深くなり、過去の調査結果⁴⁾から、その海底では夏季には溶存酸素が少ない状況になっていることが分っている。

また、海中環境の現状、船舶の航行、海面の利用状況、海域浄化資材の設置作業及び事後調査等の作業性等を考慮し氷川丸左舷側の海域を実験場所とした（図 1）。

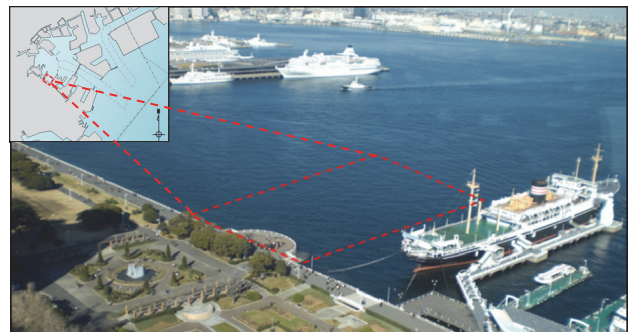


図 1 実験海域

2-2 研究内容

鉄鋼スラグを原料とする再生資材製品及びその対照物（自然石・山砂）を生物付着基盤として用い、浅場造成を行った。使用した生物付着基盤の概要を表 1 に示す。その後、生物生息状況の経時的な変動を見るため、年 4 回の定期的なモニタリング調査を行い、生物の生息環境改善効果を検証した。

表 1 使用した生物付着基盤

製品名	鉄鋼スラグの炭酸固定体 (マリソブロック®)	鉄鋼スラグの水和固定体 (マリソロック®)	鉄鋼スラグの調整調整 (マリソストーン®)	自然石	山砂	
形状	ブロック状	破砕物(岩石状)	岩石状	砂利状	自然石	山砂
寸法	1m×1m×0.5m	φ100mm~	φ100mm~	φ30mm~80mm	φ100mm~	中央粒径0.3mm以上
比重	2.0~2.4	2.0~2.4	2.4~2.6	2.0~		

2-3 各エリアのゾーニング

試験区A~Cに図2のように生物付着基盤を配置した。それぞれ同等の水深となっている場所に対照区を設け、比較対象とした。

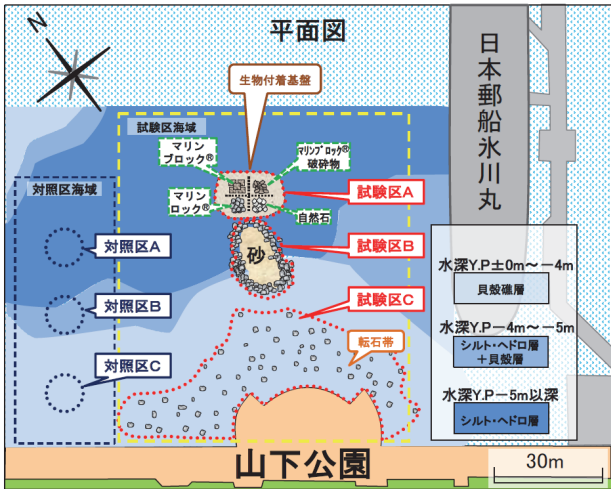


図2 平面図

2-4 調査実施日及び方法

生物付着基盤設置前の事前調査及び生物付着基盤設置後に四季での調査(年4回)を実施した。調査実施日を表2に示す。生物調査は試験区A、B、C及び対照区A、B、Cにおいて、生物付着基盤に付着した生物、蟄集したネクトン(魚類等)について潜水士による目視観察を行った。その他、水質調査を実施している。

表2 調査実施日

調査回	生物調査	水質調査		
事前調査	平成25年10月10日	平成25年10月15日	-	
モニタリング調査	第1回	平成25年11月28日	平成25年11月29日	秋
	第2回	平成26年2月13日	平成26年2月12日	冬
	第3回	平成26年5月28日	平成26年5月29日	春
	第4回	平成26年8月27日	平成26年8月26日	夏
	第5回	平成26年11月28日	平成26年11月27日	秋
	第6回	平成27年2月12日	平成27年2月13日	冬
	第7回	平成27年5月28日	平成27年5月29日	春
	第8回	平成27年8月24日	平成27年8月25日	夏
	第9回	平成27年11月27日	平成27年11月30日	秋
	第10回	平成28年1月15日	平成28年1月14日	冬

3. 結果

3-1 試験区A及び対照区A

試験区Aの生物確認種類数の変化を図3に、被度の変化を図4に示す。生物付着基盤の種類による顕著な差は見られていないため、ここでは自然石を含む試験区A全体について計数した結果を示す。

第1回調査以降、生物確認種類数の増加が見られ、第7回調査では26種類まで増加したが、平成27年8月に実施した第8回調査においては15種類に減少した。第8回調査時の生物付着基盤の様子を写真1に示す。海中は赤潮が発生しているためか赤みがかっており、濁りも強く、水深3~4mでは照明を使用してもおよそ1m先が視認できる程度であり、水深5m以深では50cm程度しか視認できない状況であった。

その後、生物確認種類数は第9回調査で21種類に増加

し、第10回調査でも横ばいとなっている。

一方、被度においては第7回、第8回調査において減少が見られた。第9回調査で増加しているが、第10回調査で再び減少している。

夏季における付着生物の減少は海底の溶存酸素の低下が原因と推察されるが、生物調査の翌日に実施した水質の測定結果(多項目水質計による計測)からは、生物の生息に影響があるほどの海底の溶存酸素の低下は確認されなかった(図5)。水質調査日以前に海底の溶存酸素の著しい低下があった可能性も考えられる。

対照区Aについても同様に生物確認種類数と被度を記録しているが、生物種類数は0~4種、被度は0~10%で推移していた。

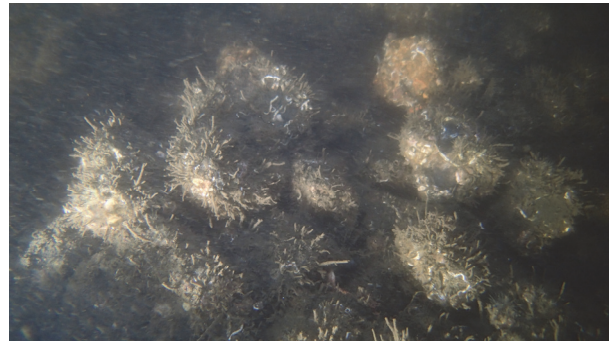


写真1 第8回調査時の試験区Aの様子

3-2 試験区B及び対照区B

試験区Bの生物付着基盤別の生物確認種類数の変化を図6に、被度の変化を図7に示す。

試験区Bにおいては、砂の流出を予防するために潜堤として配置したマリンロックに付着生物が多く確認されている。砂にもハゼ科の魚類等が見られてはいるが、イガイ科の貝類やホヤ類等の付着性動物や岩場を好むヒトデ等が少なく、種類数、被度が比較的少なくなっている。

被度については、試験区Aと同様に第7回、第8回で減少が見られている。

対照区Bについては、生物種類数は0~6種、被度は0~14%で推移していた。

3-3 試験区C及び対照区C

試験区Cの生物付着基盤別の生物確認種類数の変化を図8に、被度の変化を図9に示す。

試験区Cは水深(Y.P)3mよりも浅い転石帯で、生物付着基盤設置前から生物が比較的多く生息する良好な環境であった。試験区Cにおいては、試験区A、Bに見られたような夏季における生物の減少は見られていない。

被度の高い生物はムラサキガイ(軟体動物門)であった。第6回、第7回調査でこれが減少し、第8回調査で再び増加、第9回調査以降さらに急激に増加している。ムラサキガイは面的に急激に増える傾向があり、その後それが何らかの原因により一気に脱落するなどしたことが、急激な増減に表れている可能性がある。

対照区Cについては、生物種類数9~23種、被度は2~20%で推移していた。

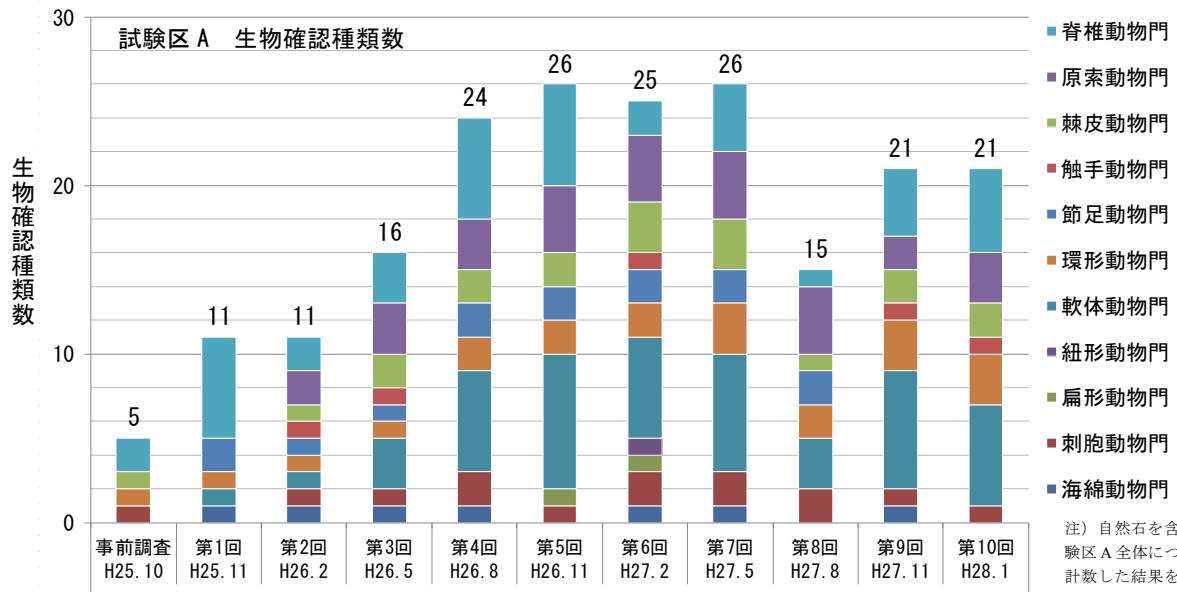


図3 試験区 A の生物確認種類数

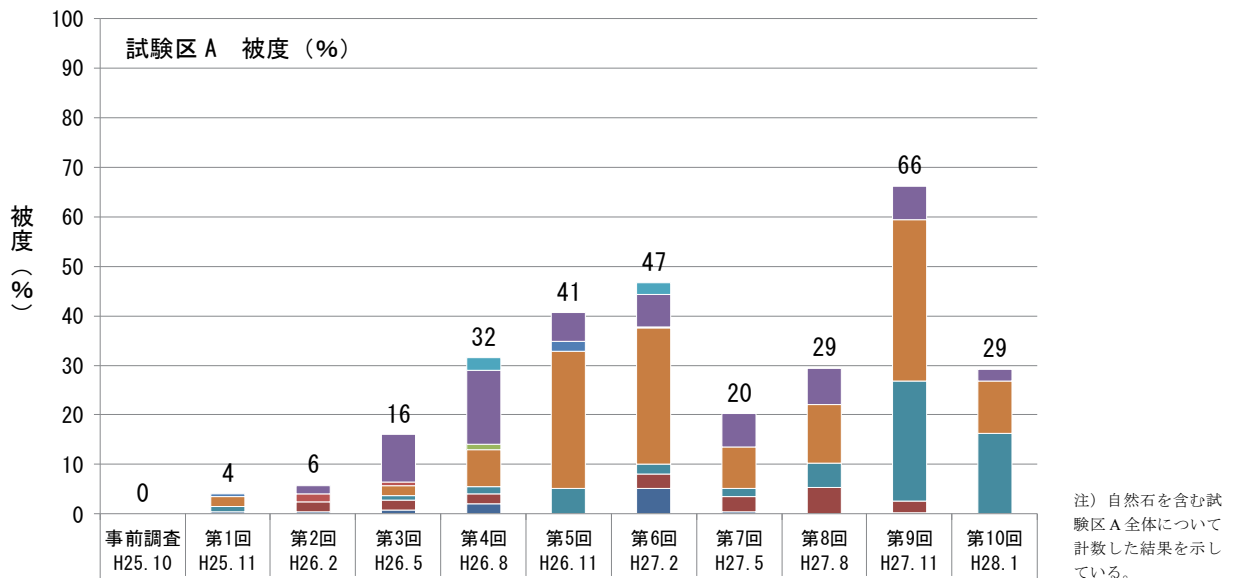


図4 試験区 A の被度

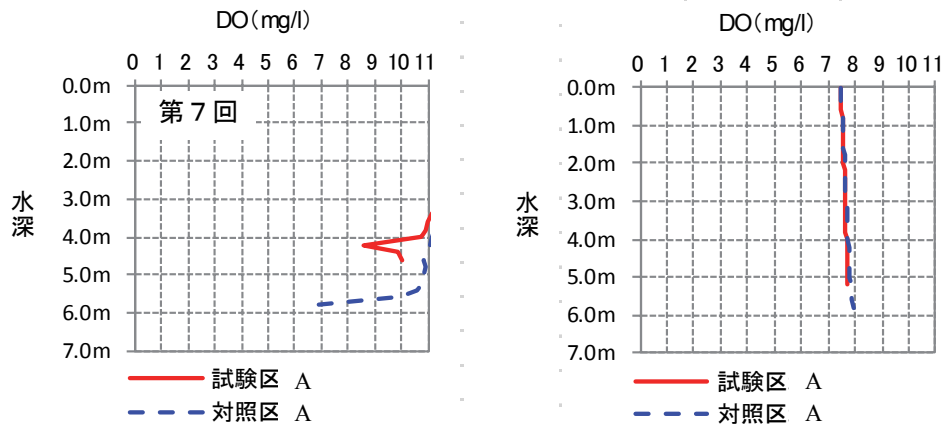


図5 第7回、第8回調査における溶存酸素量

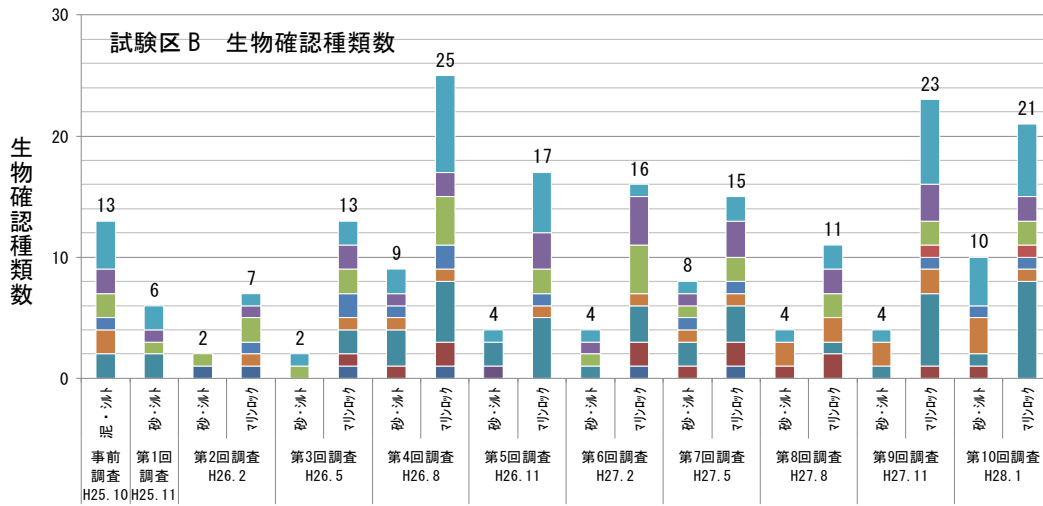


図6 試験区 B の生物付着基盤別の生物確認種類数

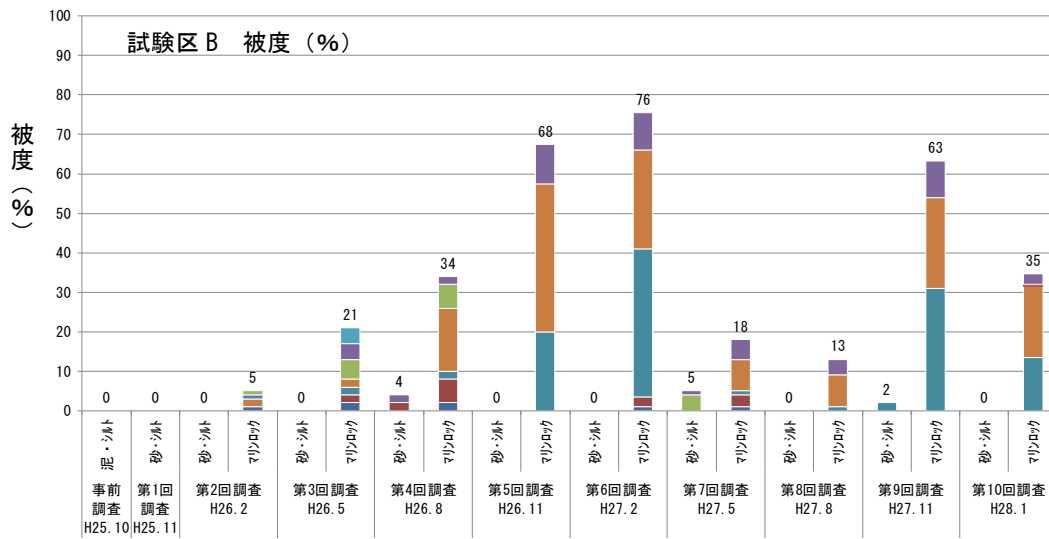


図7 試験区 B の被度

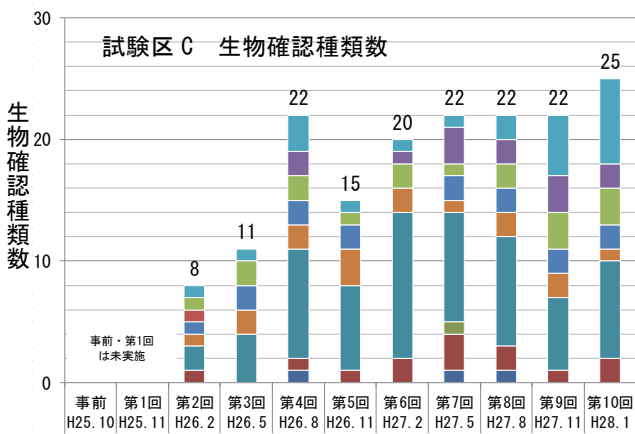


図8 試験区 C の生物確認種類数

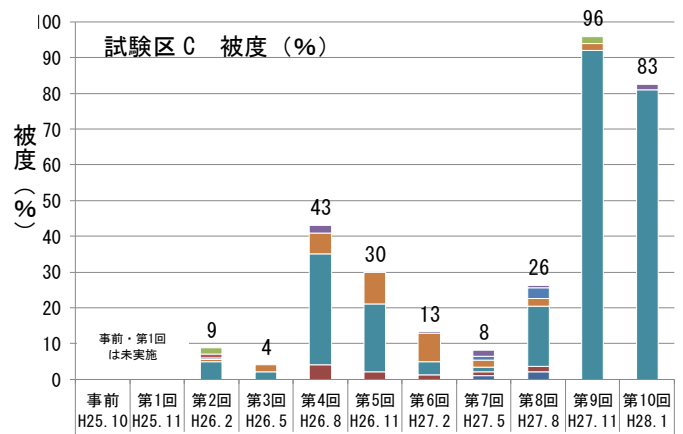


図9 試験区 C の被度

4. まとめ

前報³⁾でも述べているように、試験区A、Bでは対照区A、Bと比較して生物の増加が見られており、もともと多様な生物が生息していた試験区Cに設置した生物付着基盤にも生物の増加が見られたことから、設置した生物付着基盤が生物生息環境の改善に有効であることがわかった。

一方、平成28年1月までの調査で、試験区A、Bにおいては生物付着基盤設置により増加していた生物が、平成27年の夏季に減少する様子が確認された。平成23年9月8日に実施された過去の調査⁴⁾では、山下公園前海域の溶存酸素は水深約3m以深において、3mg/L以下となっていた。同調査では「水産用水基準」（平成12年12月 社団法人日本水産資源保護協会）を参考に、最低限確保すべき溶存酸素量を3mg/Lとしている。今後、溶存酸素量の連続測定等により、山下公園前の海域において生物の生存に影響する程度の溶存酸素量の低下が起きることがあるのかどうか継続時間、生物の生存状況を含めて確認したい。また、溶存酸素量の低下が生物の減少の原因である場合、これをすぐに解決することは困難である。夏季にこのような現象が起きることを想定しておき、必要に応じて維持管理していく必要があると考えられる。平成27年秋季以降、回復の傾向もみられるが、被度については再び減少している様子もあり、今後も生物確認種類数、被度の推移について注意深く見ていきたい。

試験区Cは、水深が浅いことから海底でも酸素量が比較的低下しにくい場所である。試験区Cでは夏季に生物の減少が見られていないことから、できる限り水深が浅い場所に生物付着基盤を設置することも重要と考えられる。

謝 辞

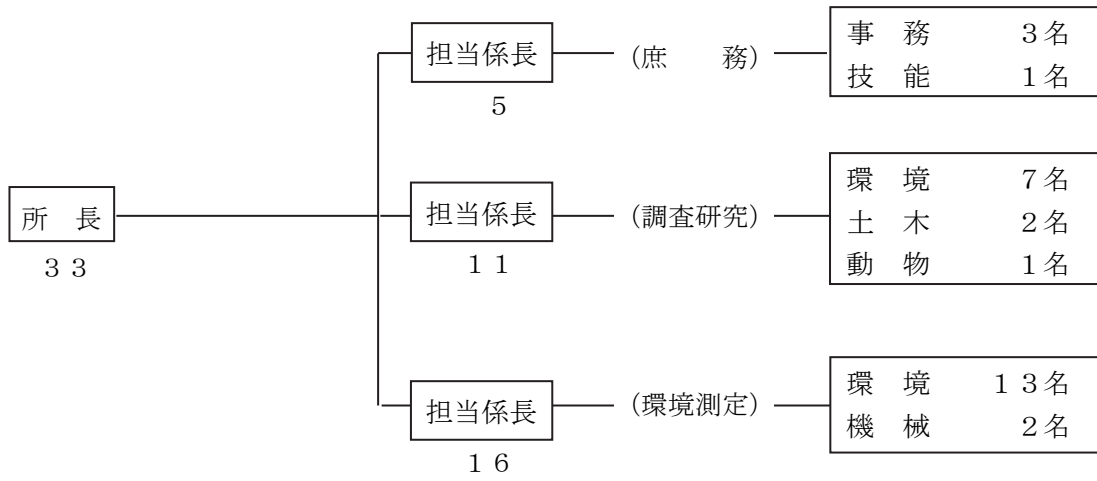
本研究を進めるにあたり、様々な視点からご助言を頂きました。横浜国立大学大学院環境情報研究院・臨海環境センター・理工学部 菊池知彦教授、横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 中村由行教授並びに国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ長 桑江朝比呂氏に心から感謝いたします。

文 献

- 1) 横浜市環境科学研究所：平成20年度山下公園前海域等における水質浄化実験業務委託（海域の部分浄化実験）報告書（2009）
- 2) 横浜市環境科学研究所：平成21年度きれいな海づくり事業（山下公園前海域における水質浄化実験）報告書（2010）
- 3) 浦垣直子、市川竜也、堀美智子、山下理絵、松本剛、小山田久美、宮田康人：生物付着基盤の設置による生物生息環境の改善手法について（第1報）、横浜市環境科学研究所報、40、30-34（2016）
- 4) 横浜市環境科学研究所：山下公園前における水質測定業務委託報告書（2012）

III 資料編

1. 人員及び組織



(平成 28 年3月現在)

2. 主要機器一覧表

品名	規格	数量
ガスクロマトグラフ質量分析計	JEOL製 JMS-800 D	1式
走査型電子顕微鏡	日立 S-4800	1式
同上用 X線分析装置	EDAX	1式
水銀分析計	日本インスツルメンズ RA-3	1式
水素化物原子吸光光度計	バリアンスペクトラ 220	1式
高周波プラズマ発光分光分析装置	PerkinElmer Optima8300	1式
ガスクロマトグラフ質量分析計	島津 GC/MS-QP2010 ultra	1式
電気光度計	ADVANTEC FUL232FA 外	2台
分光光度計	島津 UV-1800	1式
液体クロマトグラフ質量分析計	Waters 2695 Quattro Premier XE	1式
ガスクロマトグラフ質量分析計	島津 GCMS-QP2010 Plus	1式
イオンクロマトグラフ	DIONEX ICS-1600	1台
大気 VOC 分析装置	GCMS-QD2010 Plus	1式
ゲルマニウム半導体検出器	セイコーEG&G GEMZS-70	1式
高速液体クロマトグラフ	Agilent 1260 Infinity	1式
超純水製造装置	Milli-Q Int. 3	1式
自動雨水採取装置	小笠原計器製作所 US-330+300 型	1式
水銀分析計	日本インスツルメンズ RA4300	1台
純水製造装置	ADVANTEC RFS432PC	1台
遠心沈降式粒度分布測定装置	島津 SA-CP3L	1台
ガスクロマトグラフ分析装置	日立 263-30	1台
ガスクロマトグラフ分析装置	島津 GC-2014	1台

(平成 28 年3月現在)

3. 学会等研究発表

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
第39回（平成27年度）環境研究合同発表会（神奈川県・横浜市・川崎市）	2015.6	みなとみらい21地区における「身近な緑」により形成される空間の快適性に関する多面的評価	○内藤純一郎、七里浩志、山下理絵、小倉智代、千木良泰彦（環境創造局公園緑地整備課）
	〃	横浜市内止水域における外来種侵入状況について	○七里浩志、市川竜也、渾川直子、堀美智子、村岡麻衣子、岩崎美佳（環境創造局大気・音環境課）、本田昌幸（環境創造局全国都市緑化フェア推進課）
第21回日本環境毒性学会	2015.9	殺虫剤の大気からの沈着とミジンコを用いた試験について	○酒井学、多田満・小神野豊（国立環境研究所）
第56回大気環境学会年会	2015.9	横浜市と東京都における2014年夏季のVOC同時観測調査(1)-地点別のVOC濃度等の推移とその特徴-	○福崎有希子、石倉淳士（（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所）、志村徹、小森陽昇、星純也・松永壮（（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所）、島田幸治郎（（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所、東京農工大学）、上野広行（（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所）
		神奈川県内におけるPM2.5高濃度エピソード	○福崎有希子、小松宏昭・武田麻由子（神奈川県環境科学センター）、鈴木義浩（川崎市環境総合研究所）、平山学（川崎市環境局環境対策部大気環境課）、志村徹、白砂裕一郎・小澤宏樹（環境創造局環境管理課監視センター）

学会大会名	年月	題名	発表者・共同研究者
平成27年度環境創造局業務研究改善事例発表会	2015. 10	山下公園前海域におけるきれいな海づくりに向けた取り組み	○上原直子、市川竜也、堀美智子、松本剛・小山田久美(JFEスチール)
		住民相談案件に係る浮遊粉じんの由来調査	○永井敬祐、松島由佳、加藤美一
		殺虫剤の 대기からの沈着とオオミジンコを用いた試験について	○酒井学、多田満・小神野豊(国立環境研究所)
		横浜市における有害大気モニタリング調査2011～2014年度の調査結果	○小森陽昇、福崎有希子、志村徹
		熱中症注意情報システムの検討	○小倉智代、内藤純一郎、岩崎満
		新横浜公園における熱環境実測調査	○内藤純一郎、小倉智代、川田攻、岩崎満
		横浜市と東京都における2014年夏季のVOC同時観測調査	○福崎有希子、小森陽昇、志村徹
		横浜市におけるヌカエビ(在来種)とカワリヌマエビ(外来種)の生息	○渾川直子、川田攻、村岡麻衣子、七里浩志、堀美智子、市川竜也
		環境科学研究所の移転について	○田邊孝二、加藤美一
		熱中症指数調査機材のコスト低減検討	○岩崎満、小倉智代、内藤純一郎
		PM2.5高濃度時の解析について	○志村徹、福崎有希子、小森陽昇
		化学物質環境実態調査(モニタリング調査)における生物試料中の化学物質について	○酒井学、小市佳延
		平成27年夏の気温観測結果～横浜市のヒートアイランド状況～	○内藤純一郎、小倉智代、小森昌史
山下公園前海域におけるきれいな海づくりに向けた取り組み	○堀美智子、市川竜也、浦垣直子、松本剛・小山田久美(JFEスチール)		

4. 雑誌等投稿

雑誌名等	発行年月	執筆者	題名
月刊むし 2016年1月 539号	H28.1	七里浩志、野口賢次（（株）日立製作所 情報・通信システム社）、濱塚康広（（株）日立製作所 研究開発グループ）、山崎慶太（（株）竹中工務店 技術研究所）	神奈川県秦野市でムネアカハラビロカマキリを確認
<p>[要旨]</p> <p>2015年6月および9月に神奈川県内では初記録となると思われるムネアカハラビロカマキリ（外来種）を、秦野市千村にて確認、採集したのでその確認状況を報告した。</p>			

5. 記者発表一覧

発表日	発表内容
平成27年5月22日	「第39回 環境研究合同発表会」を開催します！ ～身近な環境問題や環境技術をテーマに研究成果を発表～
平成27年7月1日	横浜市環境科学研究所 施設公開
平成27年9月28日	平成27年夏の気温観測結果をお知らせします
平成27年12月17日	小学生12,000人超が市内全域生き物調査に参加しました！ ～こども「いきいき」生き物調査2015 調査結果のお知らせ～

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
公害研資料 No.	明日の都市を照らす	1977. 3	A4. 16頁 (パンフレット)
	1 窒素酸化物特殊発生源調査報告書(環境庁大気保全局委託調査)	1977. 3	B5. 49頁
	2 横浜市公害研究所報創刊号	1977. 11	B5. 56頁
	3 公募論文・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1977. 11	B5. 136頁
	4 第1回公害セミナー会議録・クルマ社会をどうするか —明日の都市環境を考える—	1978. 3	B5. 96頁
	5 昭和52年度環境庁委託業務結果報告書 非特定重大障害物質発生源等対策調査(アスベスト発生施設)	1978. 3	B5. 36頁
	6 横浜市公害研究所報第2号	1978. 8	B5. 236頁
	7 中間報告横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1978. 8	B5. 195頁
	8 横浜市公害研究所報第3号	1978. 12	B5. 156頁
	9 第2回公害セミナー会議録・合成洗剤	1979. 3	B5. 89頁
	10 自動車公害に関する意識調査 —国道一号線三ツ沢・松本地区, 1978年3月実施 単純集計結果(第1報)—	1979. 3	B5. 112頁
	11 大気中の炭化水素濃度調査及び各種発生源施設からの排出実態調査結果	1979. 3	B5. 66頁
	12 第3回公害セミナー論文集・川, よこはまに水辺をもとめて	1979. 8	B5. 85頁
	13 横浜市における自動車公害に関する基礎研究	1979. 9	B5. 201頁
	14 横浜市公害研究所報第4号	1980. 3	B5. 204頁
	14 第3回公害セミナー会議録・川, よこはまに水辺をもとめて	1980. 5	B5. 72頁
	15 横浜市地域環境大気調査報告書(昭和54年度環境庁委託調査)	1980. 3	B5. 72頁
	16 非特定重大障害物質発生源等対策調査(ベンゼン取扱施設)	1980. 3	B5. 31頁
	17 沿道環境整備対策のための基礎調査報告書—三ツ沢地区対象—	1980. 12	B5. 84頁
	18 魚類の健康評価に関する研究(1)(昭和53年度)	1981. 2	B5. 20頁
	19 魚類の健康評価に関する研究(2)(昭和54年度)	1981. 2	B5. 51頁
	20 横浜市公害研究所報第5号	1980. 12	B5. 236頁
	21 帯水層層序確定のための地質調査	1981. 3	B5. 32頁 付図4枚
	22 第4回公害セミナー資料提言要旨	1981. 3	B5. 18頁
	23 第4回公害セミナー資料・調査研究事業のあらまし	1981. 3	B5. 41頁
	24 —		
	25 地域交通環境に関する意識調査 —金沢4区, 1980年11月実施—	1981. 3	B5. 46頁
	26 第4回公害セミナー会議録・80年代の環境対策の課題	1981. 3	B5. 115頁
	27 低周波空気振動実態調査報告書	1981. 3	B5. 163頁
	28 有機ハロゲン化合物の分解と消長 —有機塩素化合物特にPCBの環境中における動態について—	1981. 3	B5. 98頁
	29 第5回公害セミナー公募論文集・よこはまに自然をもとめて	1981. 8	B5. 150頁
	30 横浜市公害研究所報第6号	1981. 12	B5. 211頁
	31 横浜市自動車問題研究会第二報告書 —横浜の物流と自動車公害に対する調査研究—	1981. 12	B5. 227頁
	32 排水処理技術維持管理マニュアル—凝集処理編—	1982. 3	B5. 116頁
	33 固定発生源から排出されるばいじん(粒度分布)調査報告書	1982. 3	B5. 133頁
	34 第5回公害セミナー会議録・よこはまに自然をもとめて	1982. 3	B5. 123頁
	35 魚類の健康評価に関する研究(3)	1982. 3	B5. 34頁
	36 魚類指標による排水評価のための技術要領	1982. 3	B5. 30頁
	37 横浜市深層地下水調査中間報告書	1982. 3	B5. 44頁 付図2枚
	38 横浜市自動車問題研究会第一報告書—地域交通環境とまちづくり—	1982. 3	B5. 124頁
39 横浜市緑区及び戸塚区における道路交通騒音と交通量調査報告書	1982. 3	B5. 440頁	
40 会下谷の雑木林の生物相とその季節変化(横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 3	B5. 11頁	

資料番号	件名	発行年月	体裁等
公害研資料			
No. 41	自動車騒音公害対策模型実験－車線内遮音壁－	1982. 7	B5. 87 頁
42	第 6 回公害セミナー資料 大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－	1982. 8	B5. 31 頁
43	会下谷の雑木林の生物相とその季節変化 (横浜の旧市街に残る小雑木林)	1982. 12	B5. 143 頁
44	横浜市公害研究所報第 7 号	1982. 11	B5. 105 頁
45	第 6 回公害セミナー会議録 大気汚染－青空はよみがえったか、この横浜に－	1983. 1	B5. 99 頁
46	浮遊粉じん・ばいじんに関する総合調査報告書	1983. 1	B5. 187 頁
47	南関東地域での光化学大気汚染に関する総合調査報告書	1983. 2	B5. 177 頁
48	こども自然公園環境調査報告書	1983. 2	B5. 155 頁 付図 4 枚
49	道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的騒音効果に関する研究 －中間報告－	1983. 3	B5. 106 頁
50	横浜市南部沿岸地域の軟弱地盤調査図 付図 1-5	1983. 3	B2.
51	調査研究事業のあらまし	1983. 3	B5. 34 頁
52	都市自然に関する社会科学研究 よこはま「都市自然」行動計画	1983. 11	B5. 226 頁
53	第 7 回公害セミナー公募論文集 身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－	1983. 11	B5 149 頁
54	横浜市公害研究所報第 8 号	1983. 12	B5. 157 頁
55	排水処理技術維持管理マニュアル－生物処理編－	1983. 12	B5. 132 頁
56	魚類の健康評価に関する研究(4)	1984. 1	B5. 67 頁
57	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書	1984. 2	B5. 183 頁
58	第 7 回公害セミナー会議録 身近な水辺とまちづくり－「よこはまの川と池」再発見－	1984. 2	B5. 135 頁
59	横浜市南部沿岸地域軟弱地盤調査報告書	1984. 2	B5. 56 頁 付図 6 枚
60	横浜のホタル生息地(1983 年度版)	1984. 3	B5. 49 頁
61	第 8 回公害セミナー公募論文集 いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－	1984. 11	B5. 105 頁
62	横浜市公害研究所報第 9 号	1984. 12	B5. 193 頁
63	横浜市南部丘陵 舞岡川源流域の水分調査	1984. 12	B5. 120 頁
64	排水処理施設維持管理マニュアル－イオン交換処理編－	1985. 3	B5. 134 頁
65	第 8 回公害セミナー会議録 いま 横浜の海は－水質、生物、水ぎわ……－	1985. 1	B5. 133 頁
66	道路周辺の植樹帯による物理的及び心理的減音効果に関する研究 －総合報告－	1985. 3	B5. 173 頁
67	横浜市公害研究所報第 10 号	1985. 12	B5. 190 頁
68	平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告	1986. 3	B5. 149 頁
69	魚類指標による工場排水規制手法に関する研究	1986. 2	B5. 192 頁
70	第 9 回公害セミナー会議録 静かなまちづくりをめざして－道路緑化と騒音－	1986. 2	B5. 179 頁
71	ホテルの生息環境づくり～技術マニュアル試案～	1986. 2	B5. 121 頁
72	第 10 回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち……－	1986. 11	B5. 174 頁
73	横浜市公害研究所報第 11 号	1987. 3	B5. 216 頁
74	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第 2 報	1987. 3	B5. 275 頁
75	排水処理施設維持管理マニュアル－汚泥処理編－	1987. 3	B5. 132 頁
76	10 年のあゆみ・横浜市公害研究所設立 10 周年記念誌	1987. 3	B5. 203 頁
77	第 10 回公害セミナー会議録 調べてみよう、身近な環境－水、みどり、まち……－	1987. 3	B5. 127 頁
78	横浜市軟弱地盤層調査報告書(土地質試験データ図) 横浜市地盤環境図 横浜市地盤環境図	1987. 3	B5. 217 頁 B2. (付図 1) A0. (付図 2-10)
79	横浜市公害研究所資料室図書目録	1987. 3	B5. 328 頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
公害研資料 No. 80	第11回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1987. 11	B5. 89頁
81	横浜市公害研究所報第12号	1988. 3	B5. 161頁
82	第11回公害セミナー会議録 調べてみよう, 身近な環境－水, みどり, まち…－	1988. 3	B5. 139頁
83	横浜市軟弱地盤層調査報告書(軟弱地盤構造と地盤沈下特性)	1988. 3	B5. 103頁
84	横浜市軟弱地盤層調査報告書(縦断面地質柱状図, 水準点変動図集)	1988. 3	B5. 162頁
85	植樹帯による歩道環境改善効果に関する調査研究 －横浜市磯子区産業道路沿道植樹帯設置事業のケーススタディー－	1988. 3	B5. 148頁
86	第12回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1988. 11	B5. 133頁
87	横浜市公害研究所報第13号	1989. 3	B5. 210頁
88	水域生物指標に関する研究報告	1989. 3	B5. 348頁
89	浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書	1989. 3	B5. 195頁
90	第12回公害セミナー会議録 調べてみよう, 身近な環境－水, みどり, まち…－	1989. 3	B5. 39頁
91	魚の死亡事故の原因究明に関する研究報告書	1989. 3	B5. 125頁
92	第13回公害セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1989. 12	B5. 137頁
93	横浜市公害研究所報第14号	1990. 3	B5. 212頁
94	円海山・港北ニュータウン地区生態調査報告書・第3報	1990. 3	B5. 166頁
95	第14回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1990. 11	B5. 102頁
96	横浜市公害研究所報第15号	1991. 3	B5. 226頁
97	自然観察ワークシート～横浜の都市自然を調べる～	1991. 3	B5. 115頁
98	トンボ生息環境づくり調査報告書	1991. 3	B5. 210頁
99	第15回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1991. 11	B5. 174頁
環境研資料 No. 100	横浜市環境科学研究所報第16号	1992. 3	B5. 164頁
101	環境科学研究所業務案内リーフレット	1992. 2	B5. 4頁
102	横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書	1992. 3	B5. 133頁
103	第16回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1992. 12	B5. 108頁
104	横浜市環境科学研究所報第17号	1993. 3	B5. 232頁
105	横浜市の陸域生物による環境モニタリング調査報告書	1993. 3	B5. 77頁
106	鶴見川・帷子川水系生態調査報告書	1993. 3	B5. 268頁
107	酸性雨に関する調査研究報告書	1993. 3	B5. 218頁
108	第17回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1993. 12	A4. 105頁
109	横浜市環境科学研究所報第18号	1994. 3	A4. 164頁
110	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究	1994. 3	A4. 118頁
111	キショウブによる水質浄化法－実験報告書－	1994. 3	A4. 121頁
112	第18回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1994. 12	A4. 71頁
113	エコロジカル・ライフスタイルの政策科学的研究 パートII	1994. 12	A4. 175頁
114	横浜市環境科学研究所報第19号	1995. 3	A4. 153頁
115	横浜市民の音環境に関する意識調査	1995. 3	A4. 136頁
116	横浜港, 生物と環境の変遷－底質柱状試料中の生物化石調査－	1995. 3	A4. 87頁
117	東京湾の富栄養化に関する調査報告書	1995. 3	A4. 133頁
118	第2回陸域生物による環境モニタリング調査	1995. 3	A4. 55頁
119	第19回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境－水・みどり・まち…－	1995. 12	A4. 117頁
120	横浜市環境科学研究所報第20号	1996. 3	A4. 83頁
121	エコロジカルライフスタイルの政策科学的研究(III)	1995. 3	A4. 84頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
環境研資料			
No. 122	多環芳香族炭化水素（PAHs）に関する調査研究報告書	1996. 3	A4. 130 頁
123	大岡川・境川水系生態調査報告書	1996. 3	A4. 200 頁
124	横浜の酸性雨 ーよりよい環境をめざしてー	1996. 6	A4. 6 頁
125	酸性雨のはなし	1996. 12	A4. 8 頁
126	第 20 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まちー	1996. 12	A4. 91 頁
127	横浜市環境科学研究所報第 21 号	1997. 3	A4. 141 頁
128	短期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中の NO, NO2 及び SO2 濃度の測定方法（YERI METHOD - 1996）	1997. 3	A4. 13 頁
129	酸性雨に関する調査研究報告書（II）ー酸性雨による器物影響ー	1997. 3	A4. 88 頁
130	長期曝露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中の NO, NO2 及び SO2 濃度の測定方法（YERI METHOD - 1997-1）	1997. 7	A4.
131	有害大気汚染物質の沿道実態調査報告書 ー環境庁委託報告書ー	1996. 3	A4. 60 頁
132	第 21 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	1997. 1	A4. 109 頁
133	横浜市環境科学研究所報第 22 号	1998. 3	A4. 115 頁
134	第 22 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	1999. 1	A4. 104 頁
135	酸性雨に関する調査研究報告書（II） ー酸性雨による器物影響ー（改訂版）	1998. 12	A4. 142 頁
136	横浜市環境科学研究所報第 23 号	1999. 3	A4. 65 頁
137	エコシティ研究報告書	1999. 3	A4. 頁
138	第 23 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2000. 1	A4. 76 頁
139	横浜市環境科学研究所報第 24 号	2000. 3	A4. 116 頁
140	揮発性有機塩素化合物による地下水汚染に関する調査研究報告書	2000. 3	A4. 98 頁
141	第 24 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2001. 1	A4. 112 頁
142	横浜市環境科学研究所報第 25 号	2001. 3	A4. 110 頁
143	新騒音化技術の適用研究	2001. 3	A4. 66 頁
144	第 25 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2002. 1	A4. 135 頁
145	横浜市環境科学研究所報第 26 号	2002. 3	A4. 192 頁
146	横浜型エコシティ研究報告書 花鳥風月のまちづくり	2002. 3	A4. 118 頁
147	第 26 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2003. 1	A4. 141 頁
148	横浜市環境科学研究所報第 27 号	2003. 3	A4. 90 頁
149	環境ホルモンに関する環境調査報告書 横浜市地盤環境調査報告書（ボーリング柱状図集、地質断面図・土質試験データ・地下水位観測データ集、ボーリング調査位置及び軟弱地盤分布図、地形地質図）	2003. 3	A4. 550 頁 A4. 243 頁 A0. 2 枚
150	第 27 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2004. 2	A4. 114 頁
151	横浜市環境科学研究所報第 28 号	2004. 3	A4. 87 頁
152	第 28 回環境セミナー公募作品集 調べてみよう身近な環境ー水・みどり・まち・・・ー	2005. 2	A4. 141 頁
153	横浜市環境科学研究所報第 29 号	2005. 3	A4. 153 頁
154	横浜市環境科学研究所報第 30 号	2006. 3	A4. 86 頁
155	第 1 回子どもエコフォーラム公募作品集 ーつなごう!広げよう!環境を守る力ー	2006. 2	A4. 83 頁
156	第 2 回子どもエコフォーラム公募作品集 ーつなごう!広げよう!環境を守る力ー	2007. 2	A4. 72 頁
157	横浜市環境科学研究所報第 31 号	2007. 3	A4. 155 頁
158	横浜市環境科学研究所報第 32 号	2008. 3	A4. 150 頁

資料番号	件名	発行年月	体裁等
環境研資料 No. 159	第3回こどもエコフォーラム公募作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2008. 2	A4. 49頁
160	第4回こどもエコフォーラム公募作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2009. 2	A4. 50頁
161	横浜市環境科学研究所報第33号	2009. 3	A4. 116頁
162	横浜の源流域環境	2009. 3	A4. 140頁
162-2	横浜の源流域環境 概要版	2009. 3	A4. 12頁
163	第5回こどもエコフォーラム公募作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2010. 2	A4. 56頁
164	第6回こどもエコフォーラム公募作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2011. 2	A4. 45頁
165	第7回こどもエコフォーラム作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2012. 2	A4. 52頁
166	壁面緑化マニュアル	2005. 3	A4. 54頁
167	横浜の川と海の生物(第11報・河川編)	2006. 3	A4. 200頁
168	短期暴露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO、NO ₂ 、SO ₂ 、O ₃ およびNH ₃ 濃度の測定方法(マニュアル)	2010. 8	A4. 21頁
169	平成16年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(鶴見川)	2005. 12	A4. 27頁
170	平成17年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(帷子川)	2006. 3	A4. 27頁
171	平成18年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(円海山)	2007. 3	A4. 27頁
172	平潟湾の干潟域の生物相調査(平成9年度～平成15年度の経年変化) 総括報告書	2005. 3	A4. 6頁
173	横浜の川と海の生物(第11報・海域編)	2006. 3	A4. 188頁
173-2	横浜の川と海の生物(第11報・海域編)概要版	2006. 3	A4. 34頁
174	平成19年度源流域水環境基礎調査報告書概要版(舞岡・野庭)	2008. 3	A4. 10頁
175	地球観測衛星データを利用した東京湾の水質モニタリング手法開発に関する共同研究 成果報告書	2001. 7	A4. 88頁
177	横浜の川と海の生物(第12報・河川編)	2009. 2	A4. 91頁
177-2	横浜の川と海の生物(第12報・河川編)概要版	2009. 2	33頁
178	横浜の川と海の生物(第12報・海域編)	2010. 3	A4. 188頁
178-2	横浜の川と海の生物(第12報・海域編)概要版	2010. 3	A4. 19頁
179	横浜市環境科学研究所報第34号	2010. 3	A4. 88頁
180-2	横浜の池の生物 概要版	2011. 3	A4. 23頁
181	横浜市環境科学研究所報第35号	2012. 3	A4. 63頁
182	横浜市環境科学研究所報第36号	2012. 3	A4. 63頁
183	横浜の川と海の生物(第13報・河川編)	2012. 3	A4. 287頁
183-2	横浜の川と海の生物(第13報・河川編)概要版	2012. 3	A4. 40頁
184	横浜市環境科学研究所報第37号	2012. 10	A4. 79頁
185	横浜市河川冷気マップ	2012. 12	A1. 1枚
186	第8回こどもエコフォーラム作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2013. 2	A4. 45頁
187	横浜市インナーハーバー地区海岸風冷気マップ	2013. 3	A3. 1枚
188	第9回こどもエコフォーラム作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2014. 2	A4. 46頁
189	横浜市環境科学研究所報第38号	2014. 2	A4. 42頁
190	横浜の川と海の生物(第13報・海域編)	2014. 1	A4. 266頁
190-2	横浜の川と海の生物(第13報・海域編)概要版	2014. 1	A4. 43頁
191	第10回こどもエコフォーラム作品集 一つなごう!広げよう!環境を守るカー	2015. 2	A4. 40頁
192	横浜市環境科学研究所報第39号	2015. 3	A4. 42頁
193	横浜市環境科学研究所報第40号	2016. 3	A4. 51頁
194	横浜の川と海の生物(第14報・河川編)	2016. 3	A4. 459頁
194-2	横浜の川と海の生物(第14報・河川編)概要版	2016. 3	A4. 43頁
195	横浜市環境科学研究所報第41号	2017. 3	A4. 73頁

7. 施設見学者等一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H27. 6. 30	環境創造局転入職員・新採用職員	研究所紹介、ヒートアイランド、横浜の水生生物、きれいな海づくり、測定分析エリア見学	33
H27. 7. 9	横浜国立大学教育人間科学部	研究所紹介、海域生物相調査、河川生物相調査、横浜の川に住む生物、こども「いきいき」いきもの調査、きれいな海づくり、放射能測定業務、測定機器について	16
H27. 7. 16	環境創造局改革推進委員会	研究所紹介、大気分析、きれいな海づくり、電子顕微鏡等装置紹介、その他測定分析エリア見学	34
H27. 8. 2	環境科学研究所施設公開	横浜の陸の生き物について、海のプランクトンを見てみよう、すず風舗装を感じてみよう、ドライブシュミレーターを体験しよう、分析装置紹介 等	289
H27. 9. 2	NECグループ関係会社環境経営交流会	研究所紹介、横浜の生物（海・川）、ヒートアイランド、地盤・地下水、測定分析エリア見学	10
H27. 9. 18	工学院大学工学部	研究所紹介、大気分析、化学物質分析、生物相調査、測定分析エリア見学	14
H27. 10. 20	海上自衛隊	環境における空気質分析（大気分析）	3
H27. 11. 13	東京都市大学（意見交換会）	研究所紹介（意見交換会の中で研究所業務を紹介）	12
H27. 11. 17	京浜臨海部活性化協議会 環境・エネルギー部会	研究所紹介（部会議題の中で研究所業務を紹介）	25
H27. 12. 15	今井町・新桜ヶ丘環境対策協議会	研究所紹介、生物相調査、放射能・アスベスト分析、ヒートアイランド、きれいな海づくり、測定分析エリア見学	17
H28. 2. 23	東北大学環境科学研究科	水質分析、アスベスト分析、放射能分析、化学物質分析	3
合 計			456

8. 講師派遣一覧

日付	団体名等	内 容	人数
H27. 6. 29	矢上小学校	こども「いきいき」生き物調査！	101
H27. 7. 20	桜並木プロムナード水辺愛護会	今井川の水質や生きものについて	26
H27. 7. 26	阿久和川生き物観察会	生物多様性：生きもの観察、化学物質：水質調査調査	10
H27. 9. 11	雨水調整池ピオトープ観察会	生物多様性：パワーポイントによる雨水調整池の生き物紹介、現地（調整池）での生き物解説	50
H27. 9. 13	柏尾川魅力づくりフォーラム イベント「一緒に遊ぼう！柏尾川で」	生物多様性：魚捕りの指導・補助、捕まえた魚の説明	約50
H27. 10. 11	港北こども学習会	きれいな海づくり：横浜の海ってどんな海？	15
H27. 12. 5	竹山池「生き物捕獲大作戦」（かいぼり）	生物多様性：竹山池の生物の同定	約60
H27. 12. 12	瀬上池 かいぼり	生物多様性：瀬上池の生物の同定	254
H27. 12. 14	オープンセミナー「これから重要になる企業緑地における生物多様性」	生物多様性：横浜市の所管している雨水調整池ピオトープの事例	40
H27. 12. 16	本宿小学校	環境中の化学物質について	118
H27. 12. 18	横浜市立大学 環境保全学講義	きれいな海づくり：横浜の海ってどんな海？	11
合 計			735

9. イベント出展等一覧

日付	イベント名	内 容	人数
H27. 4. 10～12	よこはま花と緑のスプリングフェア 2015	ヒートアイランド、化学物質 生物多様性：こども「いきいき」生き物調査、海域生物相調査（朝どれワカメの展示） きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！	1,350
H27. 4. 18	2015 世界トライアスロンシリーズ横浜大会1か月前プレイベント「Green Triathlon」	きれいな海づくり：水中実況中継、二枚貝による水質浄化	5,000
H27. 5. 8～6. 14	知ろう！伝えよう！生きもののつながりキャンペーン（中央図書館 パネル展示）	海の生物相調査、こども「いきいき」生き物調査、きれいな海づくり、ヒートアイランド、化学物質	4,800
H27. 5. 16～17	2015 世界トライアスロンシリーズ横浜大会	きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！、二枚貝による水質浄化	273,200
H27. 6. 25～7. 1	知ろう！伝えよう！生きもののつながりキャンペーン（クロスパティオ パネル展示）	こども「いきいき」生き物調査、きれいな海づくり、ヒートアイランド、化学物質	-
H27. 7. 25	東京湾クリーンアップ大作戦	きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！	100
H27. 8. 3	平成27年度「水の週間イベント」	生物多様性：帷子川のアユなどの魚類紹介 ヒートアイランド：ヒートアイランドってなんだろう？	2,800
H27. 8. 4～16	都筑図書館 展示「生きもののつながり（生物多様性）展」	生物多様性：外来種に関するパネル、外国産カブトムシ・クワガタムシ標本展示	-
H27. 8. 18～19	子どもアドベンチャー2015	ヒートアイランドってなんだろう？、環境中の化学物質（18日のみ） 来て・見て・わかる！横浜の環境（19日のみ）	684 629
H27. 9. 5～30	旭図書館 展示「生きもののつながり（生物多様性）展」	生物多様性：外来種に関するパネル、外国産カブトムシ・クワガタムシ標本展示	-
H27. 9. 28	第21回 金沢水の日・野島海岸を知ろう！	きれいな海づくり：野島の取組、貝合わせをつくろう！	582
H27. 10. 4	日産YYまつり	ヒートアイランド：ヒートアイランドってなんだろう？ きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！	5,074
H27. 10. 24～25	東京湾大感謝祭	きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！	88,000
H28. 1. 13～2. 14	山内図書館 展示「生きもののつながり（生物多様性）展」	生物多様性：外来種に関するパネル、カミツキガメ剥製展示、外国産カブトムシ・クワガタムシ標本展示	-
H28. 3. 12	第11回動物たちのSOS展	きれいな海づくり：横浜の魚を釣ってみよう！ 生物多様性：増える外来種～横浜在来種からのSOS	-
合 計			382,219

◇編集後記◇

ここに、横浜市環境科学研究所報第41号を無事とりまとめることができました。掲載した研究成果が環境の保全や創造に貢献することを期待しながら、原稿の編集を行いました。

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

今後も、環境科学研究所の研究成果を伝える手段として所報の充実を図り、積極的に情報発信を行い、皆さんに活用していただける所報を編集していきたいと考えております。

所報第41号編集委員会

田邊 孝二

金子 隆行

橋本 あゆみ

岩崎 満

小市 佳延

関 浩二

福崎 有希子

川上 進

七里 浩志

横浜市環境科学研究所報・第41号

2017年3月

編集・発行 横浜市環境科学研究所

〒221-0024 横浜市神奈川区恵比須町1
澁澤ABCビルディング1号館5階

電話 045-453-2550

FAX 045-453-2560

Eメール ks-kanken@city.yokohama.jp

<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/mamoru/kenkyu/>