

第32回全国環境研究所
交流シンポジウム 予稿集

平成29年2月16日・17日



国立研究開発法人 国立環境研究所

第 32 回全国環境研究所交流シンポジウム

「多様化する地域の環境問題を知る・束ねる」

平成 29 年 2 月 16 日(木)～17 日(金)
於 国立環境研究所 大山記念ホール

2 月 16 日(木)

司会：青野 光子（国立環境研究所 企画部）

14:30～14:35 開会挨拶

国立環境研究所 理事長 住 明正

14:35～14:40 来賓挨拶

環境省総合環境政策局 環境研究技術室長 太田 志津子

セッション 1： 外来種の侵入実態の把握と対策の現状

座長：五箇 公一（国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター）

- (1)14:40～15:00 「国立環境研究所における外来生物対策研究」…………… 1
○五箇 公一
(国立環境研究所)
- (2)15:00～15:20 「京都府における外来種ミシシッピアカミミガメの定着と個体数の劇的な増加について」…………… 3
○多田 哲子・坂 雅宏
(京都府保健環境研究所)
- (3)15:20～15:40 「京都市伏見区におけるアルゼンチンアリの防除活動について」…………… 5
○坂田 裕介¹・中嶋 智子¹・分銅 絵美²・片山 哲郎¹・福浦 祐介¹
(¹京都府保健環境研究所・²京都市伏見区アルゼンチンアリ根絶協議会)
- (4)15:40～16:00 「福岡県侵略的外来種リスト(仮称)の作成と今後の課題」…………… 7
○金子 洋平・中島 淳・石間 妙子・須田 隆一
(福岡県保健環境研究所)

16:00～16:15 (休憩)

セッション 2: 都市域の環境問題の把握

座長: 一ノ瀬 俊明 (国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

- (1)16:15~16:35 「都市環境モニタリングから都市環境政策へ(都市大気・熱環境を例に)」…………… 9
○一ノ瀬 俊明
(国立環境研究所)
- (2)16:35~16:55 「横浜市における暑熱環境把握及び対策に向けた調査研究」…………… 11
○内藤 純一郎・関 浩二・松島 由佳・小倉 智代・石原 充也
(横浜市環境科学研究所)
- (3)16:55~17:15 「横浜市内の水環境における化学物質調査について」…………… 13
○酒井 学¹・小市 佳延¹・多田 満²・小神野 豊²
(¹横浜市環境科学研究所・²国立環境研究所)
- (4)17:15~17:35 「千葉県都市域における放射性セシウム動態調査」…………… 15
○市川 有二郎・中田 利明・行方 真優・飯村 晃・井上 智博
(千葉県環境研究センター)

17:35~17:50 総合討論

ファシリテーター: 高橋 潔 (国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

* * *

18:00~19:45 懇親会 (会場: 国立環境研究所 中会議室) ※事前希望者のみ

2月17日(金)

司会: 青野 光子 (国立環境研究所 企画部)

セッション 3: 大気環境の現状と今後の対策

座長: 高見 昭憲 (国立環境研究所 地域環境研究センター)

- (1)9:10~9:30 「大気汚染の現状とその削減の方向性について」…………… 17
○高見 昭憲
(国立環境研究所)
- (2)9:30~9:50 「三重県における微小粒子状物質(PM_{2.5})について(2012~2015年度)」…………… 19
○寺本 佳宏・阪本 晶子・西山 亨・佐藤 邦彦・岩崎 誠二・川合 行洋
(三重県保健環境研究所)
- (3)9:50~10:10 「WRF/CMAQにおける予報モデルの精度検証」…………… 21
○堀江 洋佑・中坪 良平・平木 隆年
(ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター)

- (4)10:10～10:30 「神奈川県における化学輸送モデルを用いたPM_{2.5}の発生源寄与解析」…………… 23
○小松 宏昭
(神奈川県環境科学センター)

10:30～10:45 (休憩)

セッション 4: 水銀汚染の現状とこれから

座長: 河合 徹 (国立環境研究所 環境リスク・健康研究センター)

- (1)10:45～11:05 「湖水における貧酸素水塊の形成と水銀濃度の増加」…………… 25
○武内 章記¹・大八木 英夫²・花町 優次¹
(¹国立環境研究所・²日本大学)
- (2)11:05～11:25 「水銀に関する水俣条約の有効性評価に向けた全球多媒体モデルの構築」… 27
○河合 徹・櫻井 健郎・鈴木 規之
(国立環境研究所)
- (3)11:25～11:45 「廃棄物埋立地における水銀モニタリング」…………… 29
○長森 正尚・長谷 隆仁・大塚 宜寿
(埼玉県環境科学国際センター)

11:45～12:00 総合討論

ファシリテーター: 高橋 潔 (国立環境研究所 社会環境システム研究センター)

12:00～12:10 閉会挨拶

国立環境研究所 理事 原澤 英夫

* * *

13:30～14:30 所内施設見学会 ※事前希望者のみ

国立環境研究所における外来生物対策研究

五箇 公一

(国立環境研究所)

外来生物の存在は決して新しいものではなく、人間が地球上に誕生して、分布拡大を始めたときより、その歴史が始まったと考えられる。古い時代には、人間そのものの移動能力や搬送能力には限界があり、外来生物の移動量も限られたものであったが、人間が化石燃料を手にしたときより、外来生物は爆発的に増加し、様々な生態影響をもたらし、いまや全世界で生物多様性を脅かす存在となっている。

環境省は、侵略的外来生物から日本の生態系を守る目的で、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）」を2005年に施行した。この法律では、上記のような重大な生態影響をもたらす外来生物を「特定外来生物」に指定して、国内への持ち込みや飼育、放逐は原則禁止で、違反者には重い罰則が適用される（個人で最高罰金額300万円）。さらに、既に野生化している特定外来生物は、政府や自治体が責任をもって駆除に当たらなくてはならないと明記されている。

本法律の登場により、一般の人々の間での外来生物に対する意識や認知度は高まり、外来生物の防除活動も広がりつつある。しかし、実際には、環境省の外来生物対策予算は、年間3億円余と極めて限られたものであり、外来生物対策は、ほとんど各地方の自治体に予算も活動も任されている。そのため、地方間の経済格差や、意識の違いなどから防除対策の進捗にも大きなばらつきがある。

何より、具体的な防除技術が開発されぬまま、法律での指定が進んだため、各地方自治体は、手探りで防除を進めるしかなく、成果の挙らない作業の連続に現場の士気は下がる一方で、いっそう外来生物の侵入・拡大に歯止めがかからなくなるという悪循環が続いた。

我々、国立環境研究所の侵入生物研究チームは、他の研究機関および行政とも共同で、外来生物の根絶を目指した即時実行可能な防除手法の開発をプロジェクト研究として進めている。例えば、本プロジェクトの成果として化学的防除手法によってアルゼンチンアリの定着個体群根絶に成功している。開発された手法はマニュアル化され、全国の都道府県で実装されつつある。

外来生物は、一旦定着して分布が拡大した後ではその防除には莫大な時間と労力とコストがかかり、実行が困難となる。アルゼンチンアリの防除が成功したのは、本種がまだ侵入してからの時間が浅く、個体群が局所的にしか分布していなかったことに大きく起因する。つまり侵入初期の早期防除こそが外来種防除の要と言っていい。

貿易の自由化が進む中、貿易大国である日本は、今後も外来生物の侵入は免れない。如何に有害な外来種を特定し、いち早くその侵入を察知し、早期に叩くという緊急防除の体制を常に維持することが、これ以上の外来生物の増加を防ぐ上で重要となる。

一方、すでに広域に分布が広がってしまった外来生物については、世界自然遺産に指定されたエリアや希少種が生息するエリア等、優先して保護すべき地域を選定して、そこに外来生物が侵入するのを防ぐ、もしくは侵入個体群を排除する、という部分根絶に限られた資材を投入することが実効性のある防除戦略となる。

我々研究者に科せられた責任も重大である。様々な専門知識を結集して、革新的な技術の開発と導入を急がなくてはならない。またコスト対効果の定量的評価や、防除の成功確率を導きだす再現性の高いモデリングも、防除事業推進のための科学的根拠として求められる。外来生物との闘いに勝つためにも理想論から現実論へ脱却し、産官学一体となつての防除戦略の構築が必要とされる。



図1 特定外来生物防除の優先的課題

京都府における外来種ミシシippアカミミガメの定着と個体数の劇的な増加について

○多田 哲子・坂 雅宏
(京都府保健環境研究所)

1. はじめに

北米のミシシipp川流域を原産とするミシシippアカミミガメ（以下、アカミミガメ）は、ペットとして世界各国へ輸出された個体が、飼い主による遺棄や逃走により野外に放出された結果、現在では日本を含むほぼ世界中で定着が確認されている¹⁾。アカミミガメは、その旺盛な生命力、食欲、繁殖力のために、在来種との競合や生態系への影響が危惧され、国際自然保護連合（IUCN）の種の保全委員会により、侵略的外来種ワースト 100 にリストアップされ、すでに、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、南アフリカ共和国、EU 諸国などで、輸入が規制されている。

我が国においては、2015 年 3 月 26 日、環境省と農水省により公表された「我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト」に、本種は対策の緊急性が高く、積極的な防除が必要とされる「緊急対策外来種」として記載された。その後、環境省が「アカミミガメ対策推進プロジェクト」を公表し、国を挙げての対策が本格的にスタートした。全国的にも自治体や市民団体等により、生息調査や野外からの防除活動、遺棄防止のための啓発活動などのとりくみが広がっている。

京都府内では、1999 年に中島ら²⁾が、府南部のため池において、餌付きトラップによる淡水ガメの捕獲調査を実施しており、当時、アカミミガメは稀に見つかる種（数個体、総個体数の 1%程度）であったことが報告されている。そこで、我々は、当時と同じ調査地において、同じ手法による調査を行い、1999 年の調査結果と比較することにより、種構成の変遷を考察した。

2. 材料と方法

京都府南部のため池群において、2015 年 6 月から 10 月まで、毎月、連続する 3 日間の捕獲調査を行った。すなわち、初日に、餌付きトラップを仕掛け、翌日にいったん回収し、餌を付け替えて、再び仕掛け、3 日目に回収した。捕獲したカメは、地点別、種別及び性別に記録し、年齢、背甲長及び体重を計測した後、在来種については、個体識別して捕獲地点に放流した。アカミミガメについては、持ち帰って安楽死させた。

3. 結果及び考察

今回の調査で、アカミミガメの個体数は、1999 年と比較して劇的に増加し、捕獲された淡水ガメの総個体数の約 40%を占めた。我が国において、野外でアカミミガメが目撃されるようになったのは、1960 年代後半とされている³⁾。近畿地方では、1980 年代に入って各地でアカミミガメの定着が確認されるようになり、1990 年代には、全国の都市河川や池沼で本種の定着と増加が問題視されるようになった。(財)日本自然保護協会が全国的に実施した「自然しらべ 2003 日本のカメさがし!」では、本種は淡水ガメ目撃数の 6 割を占め、すでに 2003 年の時点で、我が国で最も一般的に見られるカメとなっている。我々の調査地において、アカミミガメは 1999 年には稀に見られる種であったことから、本種の定着は 2000 年前後と考えられる。それからわずか 15 年ほどで最も多い種にまで増加した。さらに、アカミミガメの個体群構造は、在来種の個体群構造と比較すると、若い個体、雌個体への偏りを示していた。これらのことから、本調査地は本種が定着した初期段階にあり、有効な防除対策が講じられない場合、今後さらに加速的に増加すると予想された。

一方、在来の淡水ガメのうち、日本固有種であるニホンイシガメの個体数は著しく減少していることが判明し、外来種による在来種の個体増加度に対する負の影響が示唆された。さらに、在来の淡水ガメ、特にニホンイシガメにおいて、前肢または後肢が欠損している個体が頻繁に発見された(図 1)。

調査地周辺に残されたほ乳類の足跡や、近隣農家の目撃情報から、このような前後肢の欠損は、特定外来生物に指定されているアライグマの攻撃により生じた疑いが強い。すなわち、在来の淡水ガメにとって、アカミミガメとアライグマの2種の外来生物が大きな脅威となっている可能性が強く示唆された。

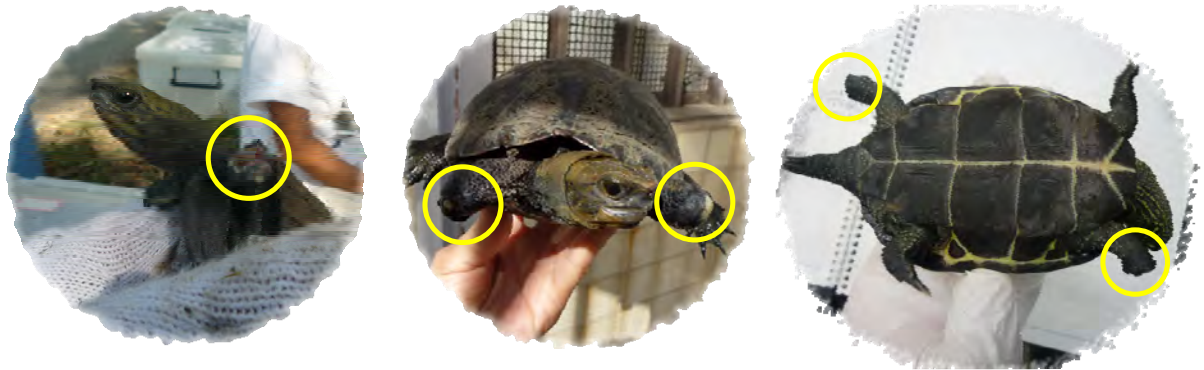


図1： 在来種、特にニホンイシガメにめだつ四肢の欠損

4. 今後の課題

我々は、1999年の調査データと我々の調査データを比較することにより、外来種のアカミミガメが、急激に増加し、在来種を凌駕したことを明らかにした。今後、適切な統計学的手法を用いて、本種を含む淡水ガメの個体数推定や将来予測を行う予定である。それにより、我が国における本種の増加予測や在来種への影響予測、個体群管理手法の開発などにつなげていきたい。

参考文献

- 1) Ernst, C. H., and J. E. Lovich. 2009. Turtles of the United States and Canada. Second edition. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 444-470.
- 2) 中島みどり, 中田兼介, 村上興正. 2000. 京都府京田辺市周辺の里山に生息するイシガメとクサガメの分布と年齢構造について. 関西自然保護機構会誌, 22, 91-103.
- 3) (独) 国立環境研究所 侵入生物データベース.
<https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/30050.html> (2016年1月15日)

京都市伏見区におけるアルゼンチンアリの防除活動について

○坂田 裕介¹・中嶋 智子¹・分銅 絵美²・片山 哲郎¹・福浦 祐介¹
(¹京都市保健環境研究所・²京都市伏見区アルゼンチンアリ根絶協議会)

1. はじめに

特定外来生物のアルゼンチンアリ *Linepithema humile* は、1993 年に国内で初めて生息が確認（杉山, 2000）されて以来、生息域を拡大し、現在では 12 都府県で生息が確認されている。京都市内では、2008 年 12 月に、京都市伏見区で定着していることが確認（杉山・大西, 2009）され、2012 年 6 月には、生息域は約 52ha となり、住宅街や事業所等への侵入被害が多発していた。侵入地は、周囲を宇治川と人工水路に囲まれた島状の地形となっており、住宅街や学校、公園、工場など様々な建造物が立ち並び、交通量の多い幹線道路や鉄道線路が通る市街地である。2012 年 12 月から、侵入地とその周辺約 20m を含む約 69ha の範囲（以下「防除対象地域」という）を対象に、アルゼンチンアリの防除活動を住民協働で開始した。2013 年 5 月からは学識経験者、地元自治会、京都府、京都市からなる協議会を組織し、環境省生物多様性保全推進支援事業の交付を受け、防除活動を継続している。今回は、これまでの防除活動の成果と課題について報告する。

2. 方法

2. 1 薬剤散布

2. 1. 1 ベイト剤散布

2012 年 12 月から、毎月 1 回、防除対象地域の住宅街、鉄道敷、河川敷、学校、事業所、公園などを対象に、0.005%フィプロニル含有ベイト剤（フマキラー(株)、アルゼンチンアリ ウルトラ巣ごと退治®）を用いて、道路や敷地周囲などに 5m に 1 個の間隔で散布している。2014 年からは、アルゼンチンアリの地表活動が活発な時期を防除強化期間と定め、同期間中は、2.5m に 1 個もしくは 5m に 2 個の間隔でベイト剤を散布する防除強化地域を設けた。2012 年 12 月時点の総散布距離は約 23km、2016 年 12 月時点の総散布距離は約 21km で、防除対象地域へのフィプロニルの累積投与量は約 69g となっている。

2. 1. 2 液剤散布による補完的防除

市街地の補完的防除策として、ネオニコチノイド系化合物及び植物由来天然化合物含有フロアブル剤（シンジェンタジャパン株式会社、インパス SC®）の 1000 倍希釈液を用いて、2016 年 3 月、防除対象地域内の約 33ha を対象に、道路約 6.7km の両脇約 0.5m と敷地内散布の許可が得られた一部の個人住宅や集合住宅、公園、事業所などの敷地周囲等に約 5L/100 m²の割合で合計 1640L を散布した。併せて散布した住宅等の敷地周囲には、アルゼンチンアリが逃げ込むことを防ぐ目的で、毎月の定期散布以外に、ベイト剤の追加散布を行った。

2. 2 アリ類調査

調査は、毎月 1 回、30w/v%砂糖水浸漬脱脂綿（5cm×6cm）を 30 分間放置し、集まったアリ類を回収して実施した。調査範囲は防除対象地域とその周辺を含む約 110ha で、月平均の調査地点数は 319 地点であった。また、調査はベイト剤散布から 3 週間後の晴天の同日に行うことを基本とし、捕獲したアリ類は検索表や図鑑、データベースを用いて種まで同定・計数した。なお、地図の作成、距離及び面積の計測には京都府統合型 GIS を使用し、地図データ描画には伊藤徹 Graph-R Ver 2.33 を使用した。

3. 結果

2012 年から 2016 年までの調査地点ごとのアルゼンチンアリの平均捕獲数の年次推移を図 1 に示す。なお、2012 年は 11 月から 12 月までの 2 ヶ月間の平均である。

2012 年の防除開始時には、住宅街や事業所等への侵入被害が多発していたが、2013 年の平均捕獲数

は7.2個体と大きく減少し、家屋侵入被害はほぼ無くなり、生息域の拡大阻止にも成功した。しかし、生息密度の高い地点が存在していたことから、2014年から前述の防除強化期間と防除強化地域を設けた。その結果、2014年の平均捕獲数は0.91個体と顕著に減少した。2015年の平均捕獲数は0.64個体と更に減少し、生息域は断片化の傾向がみられた。しかし、侵入地域での生息域は縮小せず、ベイト剤のみによる防除では根絶は困難であると考えられた。2016年は、生息域の縮小をめざし、3月に液剤散布による補完的防除を実施したが、平均捕獲数は0.90個体となった。そこで、アルゼンチンアリが増加した地点を精査したところ、液剤散布をくまなく実施することのできた地区では、平均捕獲数が減少、もしくは捕獲されなくなっていたのに対し、液剤散布を実施することのできなかつた防除空白地を含む地区では、平均捕獲数が増加し、特に液剤散布区域との境界部で爆発的な増加がみられた地点があった。この結果から、2016年の平均捕獲数の増加は防除空白地への逃げ込み等で残存コロニーが大きくなり、その周辺で生息密度が高まった可能性があると考えられた。

防除対象地域は、市街地という性質上、所有者や管理者が不明の空き地や敷地境界部を多数含んでおり、防除空白地の多くは調査空白地でもある。根絶のためには、防除空白地の丁寧な洗い出しと残存コロニーをなくす綿密な防除が重要である。

4 謝辞

本研究の一部は、環境省生物多様性保全推進交付金事業により実施された。

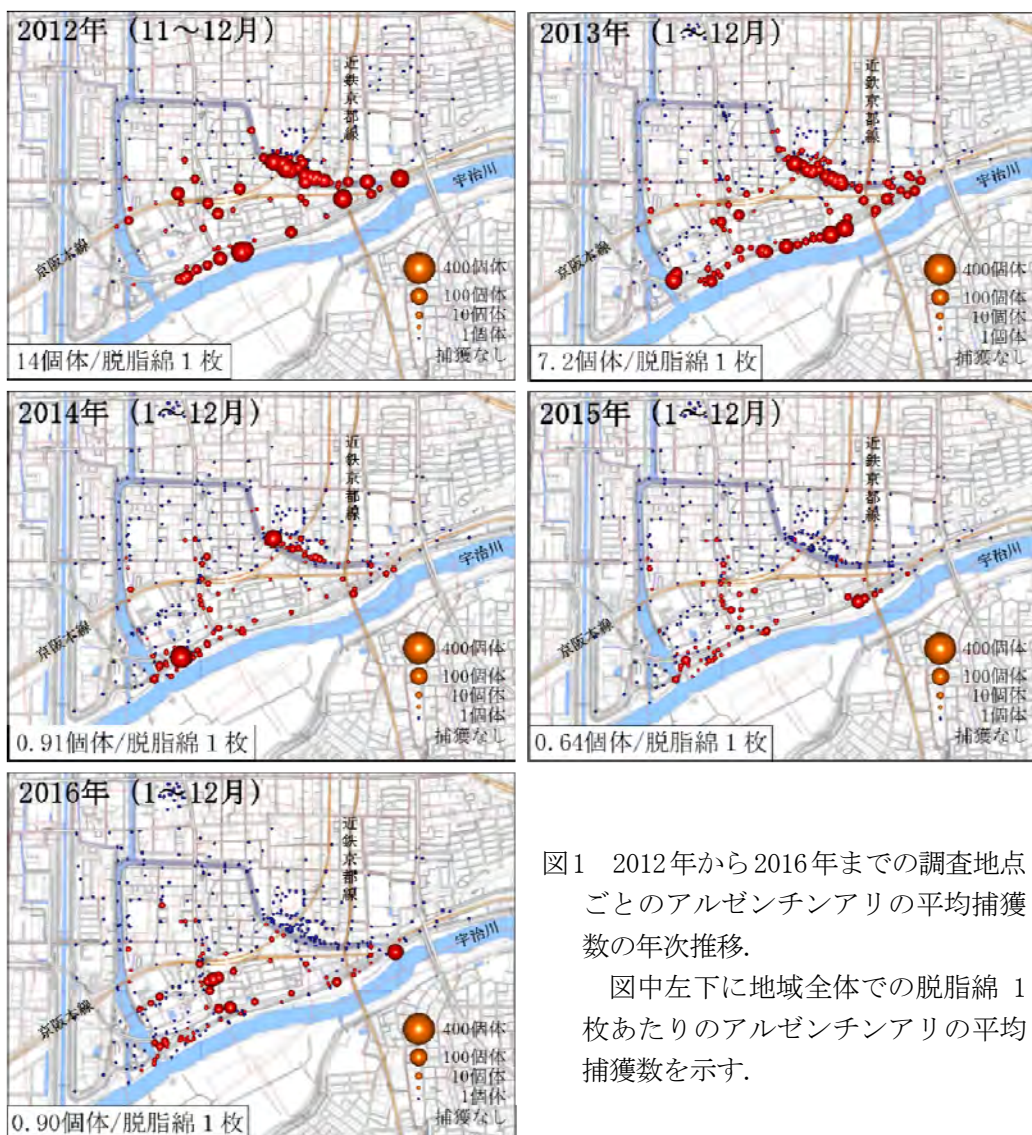


図1 2012年から2016年までの調査地点ごとのアルゼンチンアリの平均捕獲数の年次推移。

図中左下に地域全体での脱脂綿1枚あたりのアルゼンチンアリの平均捕獲数を示す。

福岡県侵略的外来種リスト（仮称）の作成と今後の課題

○金子 洋平・中島 淳・石間 妙子・須田 隆一
(福岡県保健環境研究所)

1. はじめに

外来種による生態系等への影響は、生物多様性にとって重大な脅威の一つに位置付けられている。福岡県においても、アライグマによる農作物被害の増加やセアカゴケグモによる咬傷事故、ブラジルチドメグサやホテイアオイによる通水阻害及び一斉枯死による悪臭発生など、外来種問題は深刻化してきている。しかし、県民の多くは、これらの問題について知らない場合が多く、十分な理解が得られているとは言い難いのが現状である。

このような背景のもと、福岡県では、2013年3月に策定した「福岡県生物多様性戦略」において、特に優先的に実行すべき取組（重点プロジェクト）の一つとして、「外来種ブラックリスト（侵略的外来種リスト）」の作成を明記した。

そこで、演者らは、2014年4月から本県の地域性や実情を踏まえ、優先的に対策が必要な侵略的外来種を明確化した本県独自の外来種リストの作成に取り組んできた。本リストは、関係機関や各種団体などが防除対策を行う上での基礎資料、また普及啓発資料として効果的に活用されることを意図し、リスト策定の目的や選定方法、リスト選定種の解説、注目すべき侵略的外来種の県内分布図を含めた冊子（A4判140ページ程度）の作成を予定している。本講演では、リストの作成に不可欠である外来種の侵略性評価、対策の必要性・実効性等を加味したカテゴリー区分とそれぞれの選定種数などに関して報告する。なお、本リストは現在作成中であり、以下に述べるカテゴリー区分の名称、選定種数等は今後変更される可能性がある。

2. 調査方法と結果

1) 福岡県に定着している外来種の侵略性評価

福岡県に定着している外来種を把握するために、外来種が侵入しやすい田園、里地里山、河川、島嶼において、外来種の生息状況調査を実施した。また、文献調査として、研究論文、福岡県植物誌等の書籍、国立環境研究所の侵入生物データベース、環境影響評価書、博物館の登録標本等から福岡県に記録がある外来種を抽出した。ただし、対象とする外来種は、人為により、福岡県内に江戸時代末期以降（本リストでは1800年以降と定義する）に導入され定着した外来種とした。その結果、福岡県に定着している外来種は634種（動物225種、植物409種）であった。

この中から侵略性が高い種を選定するために、動物、植物、それぞれ13の侵略性評価項目を設定し、侵略性のスコア化を行った。評価項目は、国の生態系被害防止外来種リスト（以下、国リストとする）で用いられた評価基準や海外で提唱されている侵略性の評価手法を参考に作成した。国リスト掲載の有無（二分変数）を侵略性の基準とし、各種のスコア値（連続変数）を用いてROC曲線（受信者動作特性曲線）による解析を行った結果、4点以上の種を侵略的外来種と判断することとした。その結果、福岡県に定着している外来種634種のうち、侵略性が高いと評価されたものは、263種（動物93種、植物170種）であった。

今回、福岡県侵略的外来種リスト（以下、県リストとする）には、これらの種に加えて、スコア値4点未満であっても国リストに掲載された12種（動物4種、植物8種）についても掲載することとし、県内に定着している侵略的外来種として、計275種（動物97種、植物178種）が抽出された。

2) 福岡県に未定着であるが、特に予防の観点から注意すべき侵略的外来種

福岡県に未定着であるが、今後県内に定着し、生態系等に大きな悪影響を及ぼす可能性が高い外来種については、予防の観点から県リストに掲載することとした。対象は、国リスト掲載種であり、福

岡県で単発的に捕獲されている、または近隣県に定着している種とした。定着予防が必要であると判断した外来種（定着予防外来種として区分）は、28種（動物20種、植物8種）であった。

3) 福岡県に定着している侵略的外来種における対策の優先度

福岡県に定着している侵略的外来種275種については、カテゴリー区分するために、対策の必要性（福岡県の重要地域における影響、人体や経済産業への甚大な被害の有無など）及び対策の実行可能性・実効性（市町村による防除対策の要望や実態、防除に係るコスト、効果的な防除手法の有無など）について評価を行った。その結果、重点対策外来種20種（動物、植物各10種）、要対策外来種136種（動物49種、植物87種）、要注意外来種119種（動物38種、植物81種）に区分された。

3. まとめ

県リストの掲載種は、定着・未定着あわせて303種（動物117種、植物186種）となった。このうち、重点対策外来種として選定された20種については、本県で積極的な防除が必要な外来種と位置付けたものであり、今後対策を取っていくことが重要である。

4. 今後の課題

今後の課題の一つとして県リストを効果的に活用するための普及啓発方法が挙げられる。県レッドデータブックと同様に、ホームページ開設による外来種情報の公開や防除事例の紹介なども必要であろう。また、一部の種については効果的な防除方法が確立されていないため、今後、防除手法の開発に関する研究が必要である。さらに、防除に係る予算の確保や実施体制の構築なども望まれる。

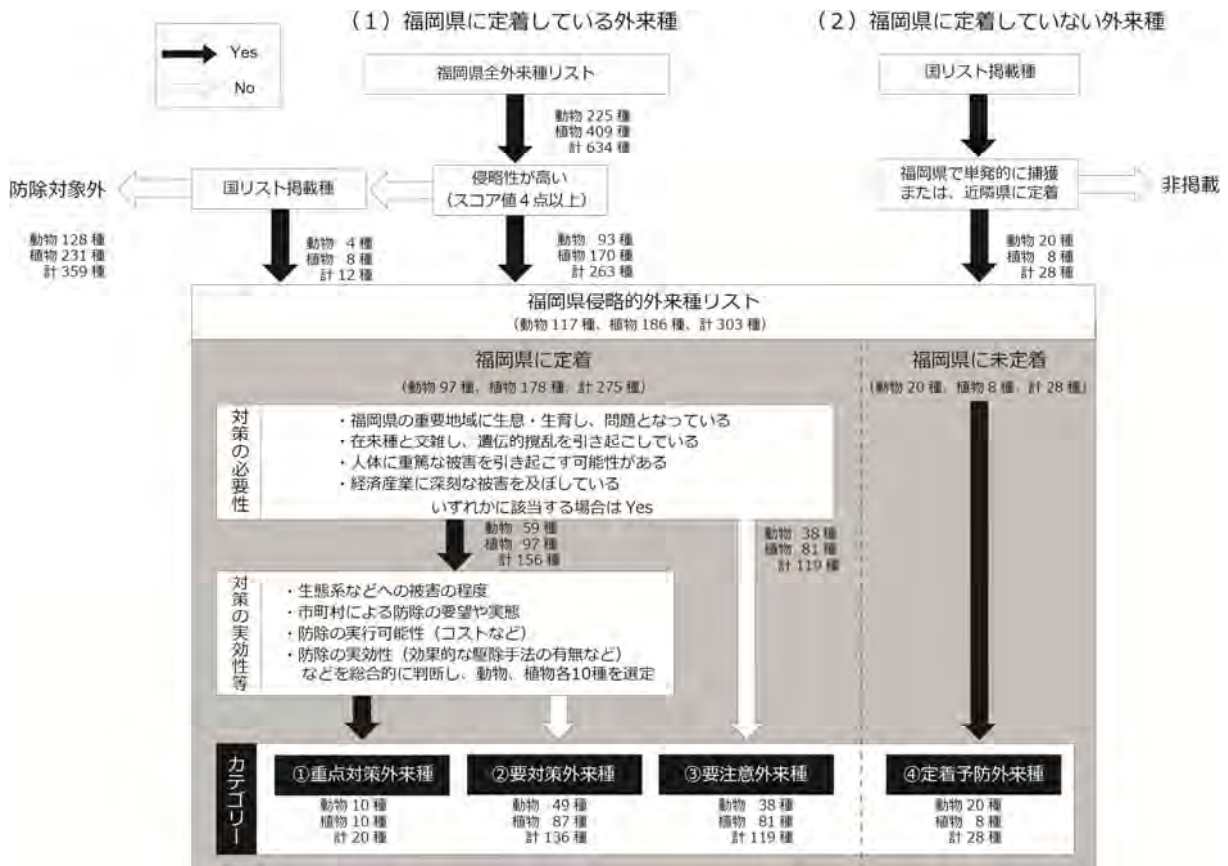


図1 福岡県侵略的外来種リスト掲載種選定の手順及びカテゴリー区分

都市環境モニタリングから都市環境政策へ（都市大気・熱環境を例に）

一ノ瀬 俊明
(国立環境研究所)

1. 気候を活かしたまちづくりの可能性

昨今わが国をはじめ世界の様々な都市で、涼しく快適な都市環境の実現、開発に伴う夏季の暑熱緩和に向けたまちづくりを進めるべく、開発の計画段階で都市気候や都市熱環境の知見を取り入れる取り組みがすすめられている。ドイツには、局地的な気候変化を防ぐための法的規制が存在し、いくつかの内陸中小都市においては、市街地における開発行為に際し、ローカルな気候や大気環境への悪影響を回避するために計画段階で都市気候・都市熱環境の知見を反映させるべく、専門家と政策担当者、市民が合意形成に向けた議論を行う際の基礎資料として各種の環境主題図（クリマアトラス）の作成が行われ、それがよりよい都市環境の実現のために活用されている。またそこでは、緑地の拡充や卓越風向に配慮した街路の設計など、具体的な市街地の整備プランが提案され、都市開発の方向性をマップの形にまとめる作業が行われる。しかしながらわが国では、実地において快適な都市環境の実現への効果が検証された機会に極めて乏しい。

一方、このような都市計画的なアプローチの対極にあるのが個別の対策技術開発であり、建物外皮および道路における対策としての「クールルーフ」、「クールペイブメント」などが有名である。これは建築物や舗装道路の表面への明色塗装、あるいは高反射性塗料の塗布によって、その表面温度を下げようという発想である²⁾。

2. 行政による都市環境モニタリング

環境省はヒートアイランド現象を熱による都市の大気汚染現象と位置付け、日本の地方自治体におけるヒートアイランド対策の体系化を目指してきたが、関連政策立案に必要な都市熱環境の詳細な時空間構造は、短期的な集中観測や数値計算によってしか知りえなかった。都市の街路空間における風通しの性能評価や、風通しの確保による屋外温熱快適性向上のための街区設計戦略立案といったニーズは、昨今このような研究開発動向につながっている。The World Urban Database and Access Portal Tools

(WUDAPT: <http://www.wudapt.org/>) は、世界の各都市を対象とした都市域土地被覆・建物構造データ収集・利活用ポータル構築の野心的試みである。この試みにより、CFD（計算流体力学）等都市気候数値モデル適用可能範囲のグローバルな展開が見込まれる。また、IoT技術を応用した新しい高密度（高頻度）観測網の研究³⁾も進んでおり、本講演では関連する演者らの最近の取り組み⁴⁾も紹介する。

3. 都市街区設計へ応用するための実験研究

都市温暖化の対策として、街路空間の材料や形状の改善が注目されているが、具体的な街区設計へ



風洞内部に設置された建物模型
模型に対する風向を床面パネルの回転で変えられる。
観測する鉛直断面の位置と断面を見る方向を白で表示。
風洞内で発生させる風向を表示。

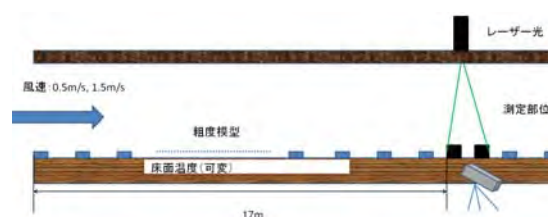


図1 風洞（気象庁気象研究所）の構造と実験の様子。

の応用が進んでいるとはいえない。よって演者らは、街路空間の材料や形状が気温や風の流れに与える影響を風洞実験で調べている（図1；図2）。屋外温熱快適性や省エネルギー・低炭素のための街区設計ガイドラインを作成するためには、屋上緑化や特殊表面素材の適用と街区デザイン（風向との関係）との賢い組み合わせの提示が必要である。屋上面を人工太陽光で加熱した条件下における特殊表面素材の風への影響を調べた結果、風速が小さい場合、風の流れは建物形状や浮力の影響を受けやすくなる。

4. これから必要な研究

従前、都市水面効果の物理メカニズム解明（観測）、リモートセンシングと CFD 計算の組み合わせ、都市計画のための評価ツール開発など、時空間スケールの小さな現象を対象とした、マンパワー（観測機材）や計算機資源フル活用の研究が数多く行われてきている。その一方で、人間活動への影響（適応研究）や政策とのつながりなど、人間次元のテーマがまだ弱いとの印象もある。10年前にくらべると政策ニーズは、「都市の気温低減」のようなセンスから「都市内クールスポットの創生による都市高温化への適応」のようなセンスにシフトしている。静止気象衛星ひまわり8号の運用が最近開始され、従来不可能であった高頻度の地表面熱画像データ取得も可能となり、地方自治体レベルでの都市計画や都市環境評価への応用可能性も広がりつつある。

参考文献

- 1) T. Ichinose, F. Matsumoto and K. Kataoka : Counteracting urban heat islands in Japan. In “P. Droege (Eds.) : Urban energy transition -From fossil fuels to renewable power”. Elsevier (2008).
- 2) L. Gartland : Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas. Earthscan (2008).
- 3) Y. Yamagata, D. Murakami, G.W. Peters and T. Matsui : A spatiotemporal analysis of participatory sensing data “tweets” and extreme climate events toward real-time urban risk management. Proc. 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (2015).
- 4) V. Likhvar and T. Ichinose : A development of mobile monitoring system for urban climatology. 土木学会環境システム研究論文発表会講演集, 43 (2015).
- 5) 林暉・一ノ瀬俊明 : ストリートキャニオンの構成が屋外熱環境と流れ場に与える影響に関する研究. 土木学会地球環境シンポジウム講演集, 23 (2015).

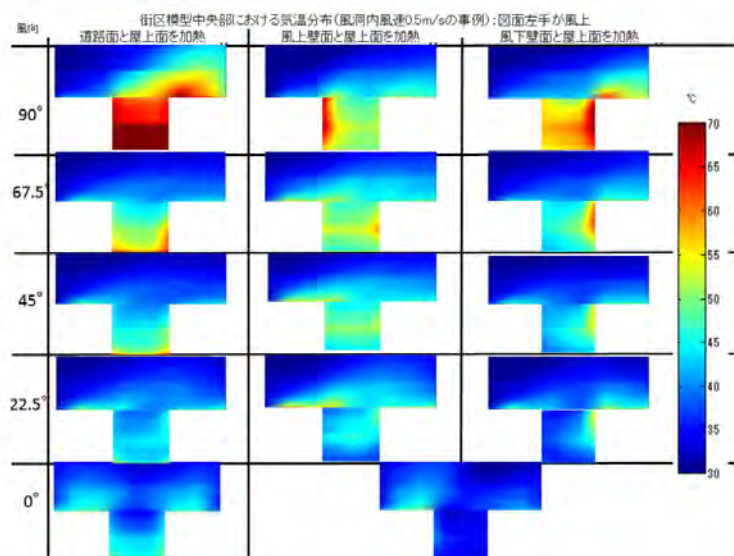


図2 風洞内写真（図1）における観測断面（街区模型中央部）を白い矢印の方向から見た場合の、加熱条件、風向（街路に対する角度）と気温分布（℃）の関係。

横浜市における暑熱環境把握及び対策に向けた調査研究

○内藤 純一郎・関 浩二・松島 由佳・小倉 智代・石原 充也
(横浜市環境科学研究所)

1. はじめに

近年、都市部では地球温暖化による全球的な気温上昇にヒートアイランド現象の影響が重なり、暑熱環境の悪化に伴う市民生活への影響が生じている。2015(平成27)年11月に策定された政府の「気候変動の影響への適応計画」では、「健康」分野における暑熱による生活への影響等について重大性・緊急性が高いと評価しており、ヒートアイランド現象の緩和のため、実行可能な対策を継続的に進めるとともに、短期的に効果が現れやすい対策(適応策)を併せて実施することとしている。

このように、暑熱化の影響に対する適応策の推進は、市民生活に直結する問題として、横浜市でも率先して対応していく必要がある。2005(平成17)年度に策定した「横浜市ヒートアイランド対策取組方針」は、市民の生活環境に視点を置き、夏の暑さの緩和をはじめとした「市民が安らいでくらせる街づくり」を目指すこととしている。また、2013(平成25)年度に改定された「横浜市地球温暖化対策実行計画」では、気候変動による環境変化への適応策として、モニタリングの実施や熱中症の防止・軽減に向けた取組を掲げている。

2. 横浜市内における気温の現況

環境科学研究所では、市内全域におけるヒートアイランド発生の状況や気温上昇の原因把握のため、2002(平成14)年度から気温観測調査を開始し、2016(平成28)年度は市内44地点で観測を実施した。継続的な観測の結果から、夏季における平均気温は、市北東部や臨海部で相対的に高温となる傾向がみられたほか、真夏日日数は市北東部、熱帯夜日数は臨海部において多い傾向があることが分かってきた(図1)。

このように、市内で地域によって気温に違いがみられるのは、ヒートアイランドの発生原因といわれる要素(人工排熱の増加や地表面被覆の人工化、都市形態の高密度化など)、のほか、東京湾・相模湾由来の海風や、内陸部に複数の河川が侵入し、凹凸の多い地形となっている等、横浜市特有の地勢が複合的に影響しているものと考えられる。今後は、観測の継続実施による暑熱環境の把握に加えて、蓄積したデータを活用し、局地的な高温・低温域の発生要因の解析等を行っていくため、観測項目・地点等の検討を行っていく。

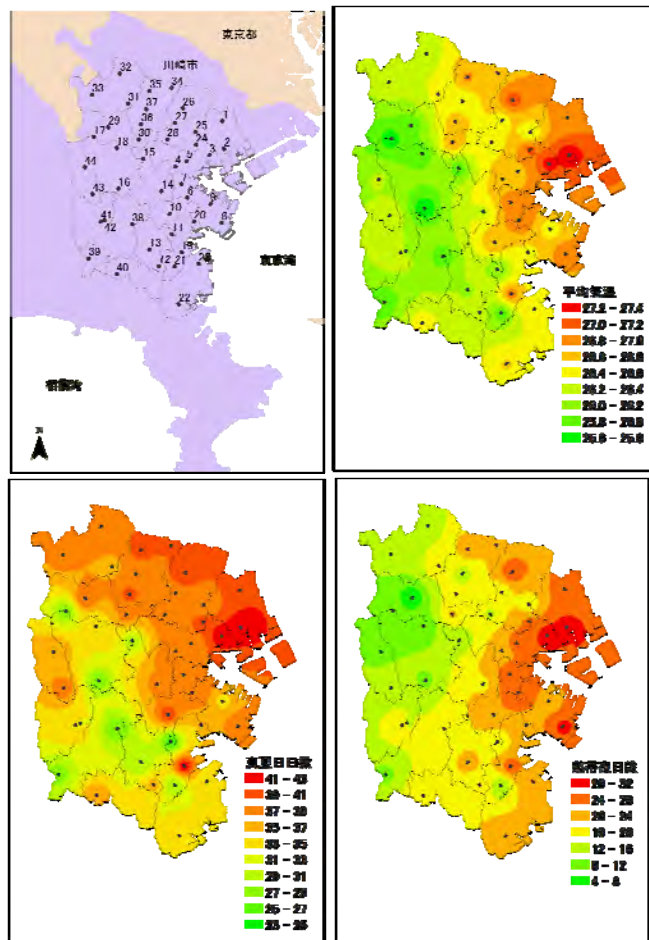


図1 横浜市内の気温等分布(2016年7~8月)

3. 暑さへの適応に向けた調査研究

人が感じる「暑さ」は、気温や湿度に加えて、気流や熱放射等、多くの要素によって影響を受けるといわれている（図2）。そのため、体感としての「暑さ」を効果的に軽減するためには、場所ごとに周囲から受ける熱環境要素の影響について正確に把握したうえで対策を取る必要がある。環境科学研究所では、市内各所における局所的な「暑さ」の評価や、各種対策の効果検証のため、熱放射成分も加味した熱環境の測定を行っている（図3）。

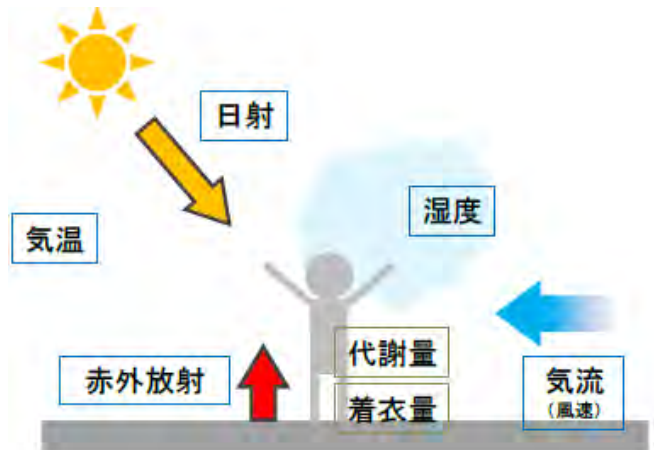


図2 体感に関わる環境要素

出典：環境省「ヒートアイランド対策マニュアル」

4. 今後の展望、課題

都市における暑熱環境の悪化は、都市スケール、街区スケールでそれぞれ様々な要因によって引き起こされており、その対策も多岐に渡る。暑さに対する適応という視点で考えると、都市形態の改善（風の道の形成等）や地表面の改良（特殊舗装の敷設、緑化等）といったハードウェア面の整備は、時間・コスト的な制約が大きいうえ、実施可能な場所は限られるため、早急に取り得る対策としては、市民に向けた暑さ対策に関する意識啓発や情報提供を推進するなど、個人の意識や行動を変化させていくことが有効である。

横浜市においても、環境変化（暑さ）への適応策として、熱中症に関する基礎知識・予防対策の情報提供や、高齢者世帯への見守り体制の充実等、熱中症の防止・軽減に向けた取組のほか、熱環境のモニタリングが掲げられ、その中で、夏季の気温観測等をはじめとした調査に取り組むこととしている。今後、暑熱に対する適応策の推進に向け、都市計画や開発行為等が街なかの熱環境へ与える影響の予測評価や、より効果的な対策方法の提示など、施策決定に貢献する調査・研究を行っていく。



図3 放射熱環境観測（左：測定機器 右上：公園内の遮熱舗装が敷設された園路 右下：水田）

横浜市内の水環境における化学物質調査について

○酒井 学¹・小市 佳延¹・多田 満²・小神野 豊²

(¹横浜市環境科学研究所・²国立環境研究所)

1. はじめに

横浜市は、人口が370万人を超え、工業、商業活動が認められる一方、農業活動も活発であり、様々な化学物質の使用や流通が考えられる。そこで環境省の化学物質環境実態調査の初期環境調査及び詳細環境調査に参加し、環境リスクが懸念される化学物質の実態把握に努めている。更に、平成25、26年には横浜市内の河川において、国立環境研究所と共同でオオミジンコ(*Daphnia magna*)による毒性試験やガスクロマトグラフ質量分析装置(GC/MS)による農薬分析から、生態系へのリスクに関する検討をしたので、今回結果について報告を行う。

2. 調査

2-1 化学物質環境実態調査

横浜市は、環境中に多様な化学物質の存在が考えられることから、環境省の化学物質に係る全国調査(化学物質環境実態調査)に参加、協力しており、平成26年度は、水質試料の場合、初期環境調査(鶴見川、横浜港で8物質)及び詳細環境調査(鶴見川、横浜港、磯子沖で13物質)を実施した(表1)。

表1 化学物質環境実態調査(初期環境調査及び詳細環境調査)における対象物質

初期環境調査	詳細環境調査
1 6-アセチル-1,1,2,4,4,7-ヘキサメチルテトラリン	1 アクリル酸
2 エリスロマイシン他マクロライド化合物	2 2-アミノエタノール
3 オキシテトラサイクリン他テトラサイクリン化合物	3 クロロベンゼン
4 トリクロサン	4 4-クロロ-2-メチルフェノール
5 1,2-ジクロロ-4-ニトロベンゼン	5 シクロヘキサン
6 2,4-ジメチルアニリン	6 2,4-D
7 スルファメトキサゾール類	7 ポリ(オキシエチレン)=ノニルフェニルエーテル類
8 2,2',4,4'-テトラヒドロキシベンゾフェノン	8 ノニルフェノール類
	9 ビス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジル)セバケート
	10 4-(2-フェニルプロパン-2-イル)フェノール
	11 ビスフェノールA
	12 ポリ(オキシエチレン)=オクチルフェニルエーテル類
	13 モルホリン

2-2 河川リスク調査

平成25、26年度、夏季及び冬季、横浜市内の河川(鶴見川、帷子川、大岡川、境川、柏尾川、宮川等、図1)で、オオミジンコ(*D. magna*)を用いた21日間繁殖試験(OECD-211 Guidelines for Testing of Chemicals)を実施するとともに、GC/MSを用いて河川水中の81種類の農薬(除草剤35種類、殺菌剤18種類、殺虫剤27種類、成長調整剤1種類)のスクリーニング調査を行った。

3. 結果

3-1 化学物質環境実態調査

鶴見川及び横浜港では、初期環境調査において6-アセチル-1,1,2,4,4,7-ヘキサメチルテトラリン等4物質が検出された。この中で、鶴見川の亀の子橋(図2)のクラリスロマイシン、スルファメト

キサゾール等は今回の調査地点の中で最も高い濃度となった。図4に、スルファメトキサゾール（主な用途：抗菌薬）の結果を示した。十勝川（北海道）では不検出、隅田川河口（東京都）では34 ng/Lであったが、鶴見川 亀の子橋の濃度は、190 ng/Lとなった。また、詳細環境調査において、鶴見川 亀の子橋のアクリル酸（主な用途：凝集剤、分散剤、樹脂等の原料）の濃度は3,200 ng/Lとなり、隅田川河口（790 ng/L）のおよそ4倍の濃度で、調査地点の中で最も高い濃度であった。

鶴見川流域の下水道普及率は90%を超えているものの、住宅地、事業所、農地、下水道施設、緑地、公園等が混在しており、化学物質の発生源等については、今回の調査では明らかでなかった。

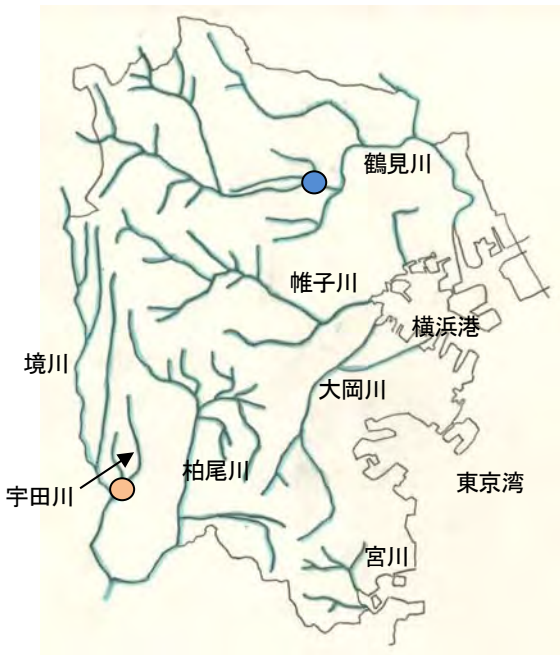


図1 横浜市内の調査地点
● 鶴見川 亀の子橋、○ 宇田川 宇田川橋

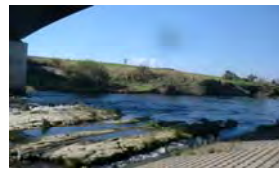


図2 鶴見川 亀の子橋



図3 宇田川 宇田川橋

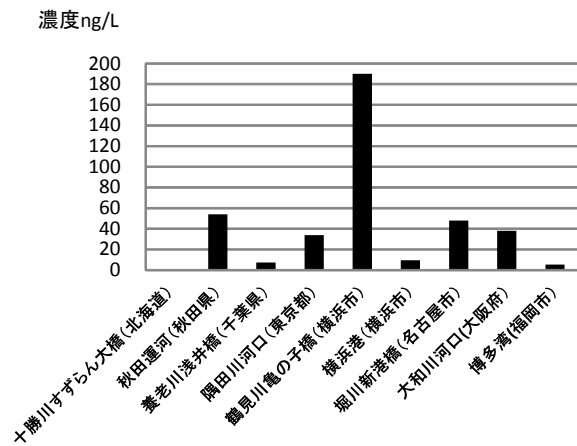


図4 スルファメトキサゾールの結果

3-2 河川リスク調査

横浜市内の河川でミジンコ繁殖試験を実施した結果、鶴見川 亀の子橋をはじめ、ほとんどの地点で影響が認められなかった。ただし、平成26年7月の宇田川 宇田川橋(図1、3)の試料では、オオミジンコが産仔する前に死亡した。GC/MSで農薬を分析した結果、殺虫剤のフェニトロチオンが $9.8 \mu\text{g/L}$ 、除草剤のプロマシルが $0.19 \mu\text{g/L}$ 検出され、河川水中の農薬(殺虫剤)が原因の一つと考えられた。なお、平成27年2月、平成28年9月の宇田川 宇田川橋を測定したところフェニトロチオンは $0.1 \mu\text{g/L}$ 未満であり、平成26年7月は、殺虫剤使用に伴い、一時的に濃度が高くなったのではないかと推察された。

4. まとめ

横浜市内の河川は下水道の整備に伴い、有機性汚濁の改善が進んでいるが、未だに河川水中には多くの化学物質が含まれ、全国平均濃度より高くなる例が多い。オオミジンコを用いた繁殖試験を適用したところ、鶴見川 亀の子橋では影響が認められなかった。しかし、化学物質に対する感受性は生物種によって異なる可能性があること、長期的暴露の影響等、明らかでない部分も残されていることから、今後も化学物質の実態には注意を払う必要が高いと考えられた。

また、宇田川 宇田川橋では、オオミジンコへの影響も観察されており、生きものにやさしい街づくりを進める上では、化学物質の適正な使用・管理を進めることが重要である。

千葉県都市域における放射性セシウム動態調査

○市川 有二郎・中田 利明・行方 真優・飯村 晃・井上 智博
(千葉県環境研究センター)

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所(以下、「福島原発」とする。)事故により放射性物質が一般環境に放出され、重大な環境汚染をもたらした。国からの委託事業として(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)が中心となり多くの大学や研究機関との共同調査(以下、「分布状況等調査」とする。)を継続的に行っている。分布状況等調査では、放射性物質の沈着量分布や環境中での移行メカニズムの把握、将来予想モデルの開発などを行っており、これまでの調査結果は報告書としてまとめられている(<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>)。しかしながら、分布状況等調査では、福島県内での調査が中心であり、その近隣県等での知見はわずかであることから、千葉県内における放射性物質(以下、本報では放射性物質の代表として ^{137}Cs のみを解析に取扱う)の環境動態と分布状況を把握するための調査研究を計画した。

福島原発から約200 km離れた千葉県北西部の東葛飾地域である柏市、松戸市、野田市、流山市、我孫子市は国から汚染状況重点調査地域として指定を受けた。当該地域は東京都心部から約20~40 km圏内に含まれ、鉄道や道路等の交通網が発達し、首都圏への通勤や通学の利便性も高いことから都市化が進んだ地域(以下、「都市域」とする。)である。このような都市域では、分布状況等調査で実施されている福島県内の調査地(以下、比較のため「非都市域」とする。)に比べてまちづくりの形態や土地利用状況が異なるため、 ^{137}Cs の移行特性も異なる可能性がある。

環境省や千葉県が手賀沼とその周辺河川で実施している放射能モニタリング調査結果によると、底泥から依然として1000 Bq/kgを超える放射性セシウム濃度($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$)が確認されており、その上流域にフォールアウトした放射性セシウムが福島原発事故から5年以上が経つ現在においても下流域へ移行している可能性がある。本センターでは2013年度より手賀沼を流末とする柏市内の調整池を調査地とし、調整池への ^{137}Cs の蓄積・消長を定量評価することで、周辺環境(後背地)から調整池への ^{137}Cs の移行状況及び調整池からの流出状況の推定を目的に調査研究を進めている。

2. 調査方法

本調査は、2013年度に開始され2016年度現在まで継続的に行われている。2013年度調査は、降水による ^{137}Cs の移行状況を確認するために梅雨期前後、大型台風通過直後、台風の発生が終結する時期以降の計4回の調査を行った。2014年度以降の調査については、各年度の11~12月に調査時期を設定し各年度1回の調査を行ったが、2015年度については大型台風が関東地方を通過した直後の調査も補足的に行った。

福島原発よりフォールアウトした ^{137}Cs は、水や土壌など様々な環境媒体中に存在する。各媒体中の ^{137}Cs 濃度が比較的低くても非常に広範囲に拡散しているため、その動態を把握するためには多面的な検討が必要である。チェルノブイリ原発事故後や福島原発事故後に、汚染地域の環境放射能に関する報告は多数あるが、都市域の同一調査地にて多面的に調査研究を行った事例は我々が知る限り例がない。本研究は、都市域の同一調査地で以下に示す複数の調査項目から ^{137}Cs の環境動態と分布状況を検証することを念頭に置いている。なお、 ^{137}Cs の定量分析は数種類の標準線源が含まれた試料によって校正されたゲルマニウム半導体検出器で行った。

2. 1 空間線量率

調整池と集水域である後背地の汚染実態を把握するために可搬型空間線量率測定器(CsI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ、測定高さは地上部から1 m)による走行サーベイ(手段:自動車、

自転車)を行った。後背地の走行サーベイについては、計測許可の得られていない私有地等には立ち入らず、市道等のアスファルト舗装された道路上で測定を行った。

2. 2 水試料

各調整池の流入出口付近と中心部の調査地点で、ひしゃくまたは紐付きポリバケツを用いて池底の底泥を巻き上げないように注意しながら表層水のみを採水した。水中の¹³⁷Csは、水に溶け込んだ形態(溶存態)や懸濁物質に付着した形態(懸濁態)で存在している。形態別の¹³⁷Cs濃度を求めるために、孔径1 μmのガラス繊維ろ紙で水試料を減圧ろ過し、ろ紙に捕捉された懸濁物質とろ液を分離した。懸濁物質は105℃で24時間乾燥後、約100 mLのポリプロピレン製容器(以下、「U-8容器」とする)に封入し分析試料とした。ろ液についてはホットプレートで濃縮後、U-8容器に封入し分析試料とした。

2. 3 底泥試料

各調整池の流入出口付近と中心部の調査地点で、小型スコップまたはエクマンバージ採泥器を使用し、底泥表層から約3 cm深さまでの底泥を採取した。前処理として2 mmメッシュのテフロン製ふるいで湿式ふるい分けを行い、105℃で24時間以上乾燥した。乾燥した底泥は、以下4つの測定項目に供試した:(1)全炭素含有量、(2)強熱減量、(3)粒径分布、(4)¹³⁷Csの定量。

2. 4 土壌試料

各調整池の除染作業が実施されていない100 m²程度の区域を土壌採取地点に選定した。土壌中¹³⁷Cs濃度の深度分布を調べるために、円柱状に採取した土壌を地表面から0~1 cm、1~2 cm、2~3 cm、3~4 cm、4~5 cm、5~7 cm、7~10 cmの層に切り分け、105℃で24時間乾燥させた。その後、2 mmメッシュのステンレス製篩に通過させて得た土壌を充分混合し、U-8容器に隙間無く充填し分析用試料とした。深度別¹³⁷Cs濃度の測定が完了した後に、各調整池で採取した土壌試料0~5 cmまでの層を充分混合し振動式ふるい機を用いた乾式ふるい法で以下の幅で分画し、各々の¹³⁷Cs濃度を測定した。2.0 mm以上(礫)、2.0 mm~1.0 mm(極粗砂)、1.0 mm~500 μm(粗砂)、500 μm~250 μm(中砂)、250 μm~125 μm(細砂)、125 μm~63 μm(極細砂)、63 μm以下(シルト・粘土)。

3. 結果

本調査で得られた調査結果の一部を以下のとおり箇条書きで示す。

- 1) 空間線量率(車道中心)については、放射能除染をする際の基準値0.23 μSv/hを下回っていることが確認されている。
- 2) 水試料中¹³⁷Cs濃度(mBq/L)は減少傾向を示しているが、台風などの豪雨後に懸濁態中¹³⁷Cs濃度(Bq/kg)の上昇が確認されている。
- 3) 平水時における溶存態と懸濁態¹³⁷Cs濃度(mBq/L)を比較すると、溶存態¹³⁷Cs濃度の存在割合は全体平均で61.5%となり、懸濁態の38.5%よりも高い傾向にある。これは、分布状況等調査で福島県内の阿武隈川支流の河川で実施している調査と異なる結果であり、都市域と非都市域の土地利用状況等の違いが起因している可能性があるが、明確なことは分かっておらず検証する必要がある。
- 4) 除染未実施区域で採取した土壌では表層から5 cmまでに90%以上の¹³⁷Csが検出されている。
- 5) 底泥、土壌の両試料において¹³⁷Cs濃度と粒子径に相関は確認されなかった。一方で、¹³⁷Cs濃度と有機物含有量の指標となる全炭素含有量および強熱減量との相関関係を調べたところ、前者はR=0.75(n=36)、後者はR=0.56(n=36)となり、粒子径よりも良い相関性が認められた。本解析結果についても、分布状況等調査で福島県内の阿武隈川支流の河川で実施している調査とは異なる結果であり、都市域と非都市域の土地利用状況等の違いが起因している可能性がある。

4. 参考文献

- ・ Ichikawa et al., *RADIOISOTOPES*, **65**, 221-235 (2016).
- ・ 市川ら, *RADIOISOTOPES*, **64**, 521-533 (2015).

大気汚染の現状とその削減の方向性について

高見 昭憲

(国立環境研究所)

1. はじめに

近年二酸化硫黄、二酸化窒素については、環境基準はほぼ達成されており、浮遊粒子状物質も年平均濃度は低減傾向にあり、平成 24 年度は環境基準をほぼ達成している¹⁾。一方で、微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の平成 24 年度の環境基準達成率は、一般局で 43.3%、自排局で 33.3%であり、西日本において環境基準達成率が低いのが現状である¹⁾。光化学オキシダントについては、環境基準達成率は 1% 以下の水準にとどまっている¹⁾。このように、PM_{2.5}、光化学オキシダントについては、環境基準達成率が低く対策が必要とされている。

環境省がホームページなどで公開している資料に基づき、PM_{2.5}と光化学オキシダントについての現状と、その削減対策の方向性について紹介する。

2. 調査方法と結果

大気汚染状況については環境省のホームページ内に「大気汚染状況」というページがあり、そこに二酸化窒素、浮遊粒子状物質、光化学オキシダント、二酸化硫黄、一酸化炭素、PM_{2.5}の濃度が年度ごとに掲載されている²⁾。最新の報告は平成 26 年度の状況である。また、「平成 27 年度光化学オキシダント調査検討会の検討結果」³⁾や、「微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について中間取りまとめ (平成 27 年 3 月)」¹⁾も公開されている。

「大気汚染状況」によると²⁾、光化学オキシダントについては、昼間日最高 1 時間値の年平均値が漸増しており (図 1)、注意報発令地域の広域化がみられている。また、PM_{2.5}の年平均濃度はおおむね減少傾向にあるが、環境基準達成率は低い (図 2)。

光化学オキシダントについては、改良された大気質モデルを用いた検討結果が報告されている³⁾。「越境大気汚染の影響」は九州地区で大きく、「前駆物質濃度の影響」では、窒素酸化物と揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOC) の排出量変化によりオゾン濃度の変動が地域により異なることが示され、「固定蒸発 VOC 削減対策」では、関東地域全域でオゾン濃度の低下がみられたことが報告された³⁾。PM_{2.5}については越境大気汚染とともに国内の排出対策が重要という提言がなされ、今後の課題として

- ✓ 二次生成粒子 (特に有機) の生成能に関する知見の集積
- ✓ 固定発生源からの凝縮性ダストを考慮した測定法の検討
- ✓ 発生源情報の整備と寄与割合の高い発生源の推定による効果的な対策が重要という報告がなされている¹⁾。

3. 結論

国内の大気汚染の状況はかなり改善されているが、光化学オキシダント、PM_{2.5}に関しては環境基準達成率が低く、大気質改善が必要である。そのためには、発生源情報の整備、大気質モデルの改良、大気中の反応プロセスの理解、国内外の発生源寄与の推計が重要である¹⁾。さらに、現象の理解やモデルの定量的な検証のためにも実験・観測が必要である¹⁾。

参考文献

- 1) 微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について 中間取りまとめ (平成 27 年 3 月)
環境省 微小粒子状物質等専門委員会 (第 7 回) 議事次第・配付資料

<http://www.env.go.jp/council/07air-noise/y078-07a.html>

2) 環境省 大気汚染状況 <http://www.env.go.jp/air/osen/>

3) 平成27年度光化学オキシダント調査検討会の検討結果

<https://www.env.go.jp/council/07air-noise/y078-07/mat04.pdf>

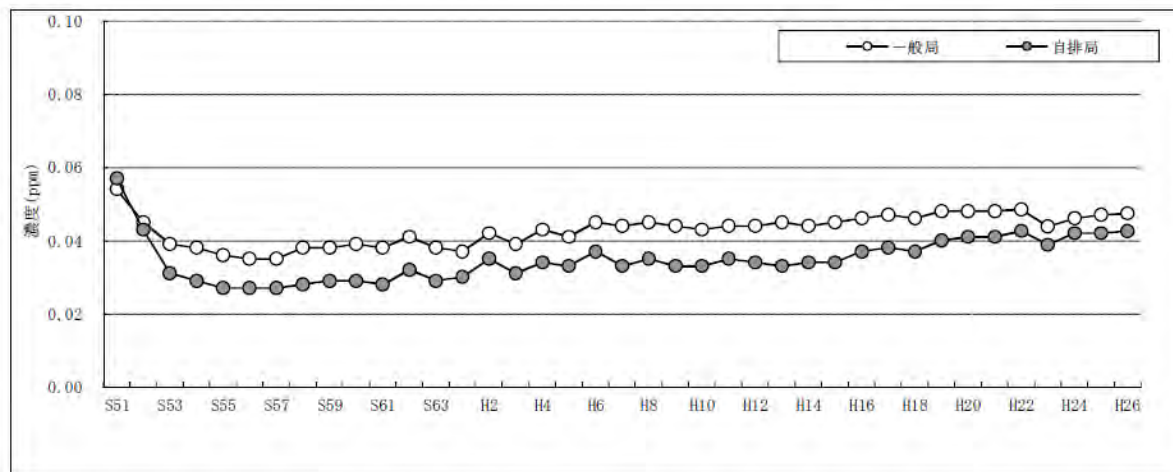


図1 光化学オキシダント（昼間の日最高1時間値）の年平均値の推移

出典：環境省 大気汚染状況 全体版 P10 図 3-2



図2 一般局における環境基準達成状況の推移

出典：環境省 大気汚染状況 全体版 P17 図 6-2

三重県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) について (2012~2015 年度)

○寺本 佳宏・阪本 晶子・西山 亨・佐藤 邦彦・岩崎 誠二・川合 行洋
(三重県保健環境研究所)

1. はじめに

2013年1月に中国における大気汚染が話題となり、PM_{2.5}が国民の関心を大きく集めた。本県では一般環境測定局（一般局）と自動車排出ガス測定局（自排局）において2010年度からPM_{2.5}の測定を始め、2016年12月現在それぞれ20局と4局において、24時間連続で測定・監視している。また当研究所では、2011年度秋季から、県内2地点（2011年度のみ4地点）において、各季節約2週間ずつ、炭素、イオン、無機元素などの内容成分測定を行っている。

今回は、当県における2012年度から2015年度のPM_{2.5}の測定結果について、報告する。

2. 調査方法

1) 一般局常時監視データ

- ・日平均濃度（1時から24時の1時間値の平均）を使用。ただし、年度データが250日未満のものは年度単位で除外。

2) 内容成分測定データ

- ・調査期間は、環境省が示す各年度毎の統一調査期間（14日間）を基本とした。
- ・調査地点は2地点、うち1地点は県南部清浄地域の尾鷲県職員公舎を毎年度固定とし、他の1地点は2012年度と2015年度は県北部にある川越南小学校、2013年度は県西部にある伊賀緑ヶ丘中学校、2014年度は県東部にある津立成小学校と地点を移動して調査を実施した。
- ・検体の採取は、2013年度までは9時から翌9時、2014年度からは10時から翌10時の24時間連続で実施した。
- ・その他の採取方法および成分分析方法は、環境省マニュアル¹⁾およびガイドライン²⁾に従った。



図1 一般環境測定局（三重県）
(PM_{2.5}を測定している局)

3. 結果

表1に環境基準の長期基準の判断基準となる年度平均濃度を、表2に短期基準の判断基準となる高濃度（1日平均35μg/m³超）が発生した日の比率を示す。

長期基準は多くの地点で達成しているが、短期基準は、2013年度は、ほぼすべての地点で、2014年度は、三重県の北勢、中勢で達成できていない地点が多くみられた。

表1 PM_{2.5}濃度の推移（一般局）
(単位：μg/m³)

測定局	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度
桑名上野	14.5	15.8	15.1	13.6
大安中学校	13.1	14.7	13.8	
川越南小学校	14.0	15.1	14.8	13.1
四日市商業			14.1	12.8
三浜				13.3
鈴鹿算所保育所	13.8	15.4	15.1	13.6
亀山みなみ保育園	13.1	14.0	13.9	12.2
津西が丘小学校	12.6	13.5	13.9	12.5
津立成小学校	15.4	16.8	15.9	14.5
林業研究所		13.2	13.6	12.2
松阪第五小学校	14.0	14.7	14.4	13.2
明星小学校		14.3	14.8	12.6
伊勢厚生中学校	13.1	14.1	13.8	12.4
鳥羽高校	12.5	13.5		11.8
鵜方	11.9	13.1	13.3	
伊賀柘植			13.3	12.1
伊賀緑ヶ丘中学校	13.4	14.4	13.8	12.4
名張小学校	15.9	16.0	13.6	12.5
尾鷲県職員公舎	10.5	11.5	10.8	9.6
熊野木本中学校	11.2	12.1	11.1	10.2

※赤字は長期基準非達成

表2 高濃度発生日の比率
(単位：%)

測定局	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度
桑名上野	2.7	4.4	3.6	1.6
大安中学校	2.2	3.0	2.2	
川越南小学校	1.9	3.0	2.7	1.6
四日市商業			2.5	0.8
三浜				0.8
鈴鹿算所保育所	1.6	4.4	3.3	1.6
亀山みなみ保育園	1.4	2.7	2.2	1.1
津西が丘小学校	1.4	2.2	2.5	0.8
津立成小学校	3.3	4.9	3.3	2.7
林業研究所		2.5	2.5	1.1
松阪第五小学校	3.3	3.8	1.9	1.4
明星小学校		3.6	1.6	1.1
伊勢厚生中学校	1.4	3.0	1.6	1.1
鳥羽高校	1.6	3.0		0.8
鵜方	1.1	3.0	1.4	
伊賀柘植			1.9	0.5
伊賀緑ヶ丘中学校	1.6	2.7	1.6	1.4
名張小学校	4.4	4.9	1.4	1.1
尾鷲県職員公舎	0.8	0.8	1.1	0.3
熊野木本中学校	1.6	2.5	1.4	0.5

※赤字は短期基準非達成

図2に各年度で全測定地点に対するPM_{2.5}が高濃度となった地点の比率の推移を示す。2013年度は、半数以上の地点で高濃度となった日が13日と多く、逆に2015年度は、すべての地点で高濃度となった日は1日もなかった。2012年度と2014年度は4月から5月にかけて、2013年度は7月から8月と2月から3月にかけて、広範囲で高濃度となった日が多かった。また9月から1月にかけては、どの年度も広範囲で高濃度となった日はほとんどなく、高濃度期間もほとんどが1日と短期的であった。

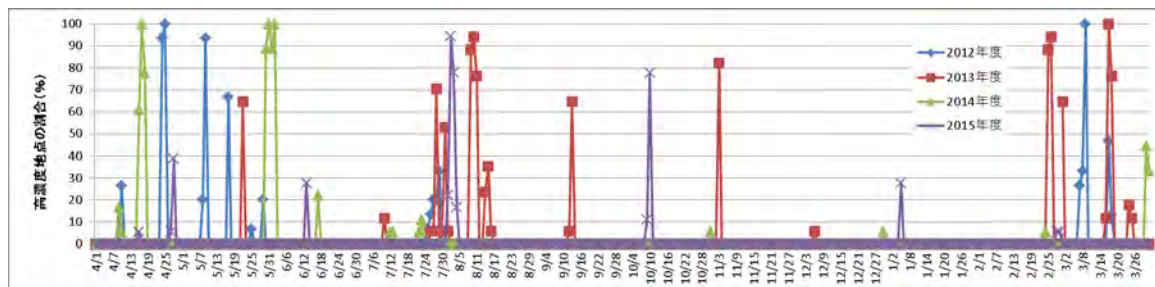


図2 全測定地点に対するPM_{2.5}が高濃度となった地点の比率の推移

環境基準非達成地点が最も多く、広域で高濃度となった日が最も多かった2013年度で、内容成分調査を実施した期間と重なっている高濃度事例（7月28日、31日、11月3日の3日間）のうち、既報（11月3日）³⁾以外の7月28日と31日の事例について、報告する。

図3に内容成分調査の結果を示す。7月28日のPM_{2.5}濃度が一般環境測定局のデータと異なり低い理由は、内容成分調査の採取単位が9時から翌9時で常時監視データ（0時から24時）と異なるためである。

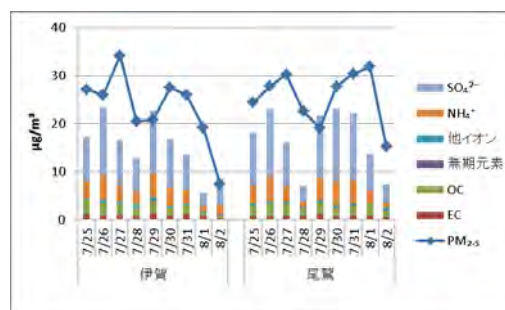


図3 内容成分調査の結果(2013年度)

伊賀局および尾鷲局の主要な成分は、SO₄²⁻、NH₄⁺、OCであった。PM_{2.5}濃度の変動に合わせて、SO₄²⁻とNH₄⁺が変動したが、OCとECはあまり変動しなかった。

7月28日の後方流跡線解析（NOAA HYSPLITMODEL⁴⁾）により、7月28日と31日両日ともに大陸からの気団の移流が確認できた（図4）。

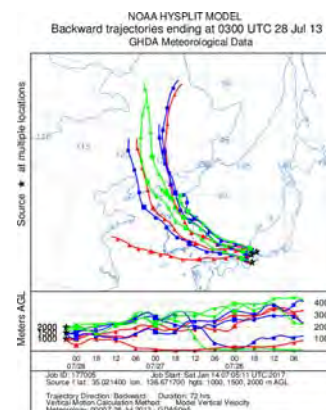


図4 PM_{2.5}高濃度日の後方流跡線（2013年7月28日）

4. 今後の課題

PM_{2.5}の発生源は多岐にわたるため、効果的に対策を行うためには、発生源を特定することが必須である。これまでにPMF解析を実施したが、データ数が十分でないため、適切な解を導くことができなかった。今後、さらにデータの蓄積と解析により、発生源を特定し、効果的なPM_{2.5}対策に役立てたい。

参考文献

- 1) 大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）成分測定マニュアル(平成24年4月環境省水・大気環境局)。
- 2) 「微小粒子状物質（PM_{2.5}）の成分分析ガイドライン」(平成23年7月環境省水・大気環境局)。
- 3) 寺本佳宏，高士昇吾，西木美紗子，佐来栄治，岩崎誠二，秋永克三，西中隆道：三重県におけるPM_{2.5}環境濃度測定の結果について（2013年度），第55回大気環境学会年会講演要旨集 p262(2014.9.17-19 愛媛県松山市)。
- 4) NOAA;http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_pubs.php

WRF/CMAQにおける予報モデルの精度検証

○堀江 洋佑・中坪 良平・平木 隆年
(ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター)

1. はじめに

兵庫県では微小粒子状物質 (PM_{2.5}) による健康影響の可能性が懸念される場合 (日平均 70 μg/m³ 超) に、環境省の定めた判断指針に基づき、注意喚起を 2013 年 3 月 9 日から実施しており、発令精度の向上のための方策の一つとして、予報モデルの活用に関する検討を行っている。今回は構築した予報モデルによる大気中 PM_{2.5} 及び O₃ 濃度の計算精度検証結果を発表する。

2. 調査方法と結果

予報モデルには、気象モデルである WRFv3.6.1 (Weather Research and Forecasting Model) と大気質モデルである CMAQv5.0.2 (Community Multi-scale Air Quality Modeling System) を使用した。WRF により気象場を再現し、WRF の計算結果及び各種大気汚染物質の排出量を CMAQ にインプットすることにより大気中 PM_{2.5} および O₃ 濃度を計算した。

計算領域は図 1 に示すとおり、東アジア域 (D1, 64km メッシュ)、日本域 (D2, 16km メッシュ)、近畿 (D3, 4km メッシュ) とした。使用した気象データは、表 1 に示すとおり、米国環境予測センター (NCEP) の最終解析値 (NCEP.FNL) 及び全球数値予報 (GFS)、気象庁メソ数値予報モデルの客観解析値 (GPV.MSM) 及び気象庁局地数値予報モデル (GPV.LFM) の 4 種類のデータを使用した。

WRF の結果比較には神戸地方気象台の観測結果を、CMAQ の結果比較には神戸須磨局の観測結果を用いた。計算結果の評価には統計指標として、平均誤差 (Mean Bias Error, MBE, 式 (1)), 相関係数 (R), 平均絶対誤差 (Mean Absolute Error, MAE, 式 (2)), 平均二乗誤差 (Root Mean Square Error, RMSE, 式 (3)) を用いた。

$$MBE = Model - Obs \quad (1) \quad , \quad MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Model_i - Obs_i| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Model_i - Obs_i)^2} \quad (3)$$

3. 計算スケジュール

計算は 2 日前から 2 日先までの 5 日間の計算を行った。気象データの取得を前日 19 時から開始し、WRF による気象場の予測、CMAQ による大気中濃度計算、CMAQ 計算結果の後処理を順次行い、午前 8 時頃に結果が出力される。

計算の比較対象期間は 2016 年 5 月 1 日から 2017 年 1 月 10 日までとした。なお、WRF の計算結

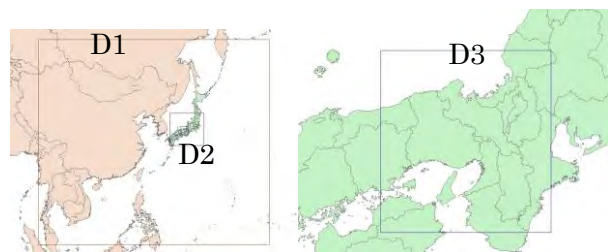


図 1 モデルの計算領域

表 1 気象データ概要

気象データ	地上格子間隔	予報時間
NCEP.FNL	1° × 1°	なし
GFS		384 時間
GPV.MSM	0.05° × 0.0625°	39 時間
GPV.LFM	0.02° × 0.025°	9 時間

果比較は期間全体を対象としたが、CMAQはモデルの設定変更等により計算を行っていない期間があり、結果比較には2日前から2日先までの5日間の計算結果が存在する場合のみを用いている。

4. 気象計算結果

WRFによる計算結果（2日前の確定値）と観測結果との比較を図2および表2に示す。気温の再現性は良好であったが、風速は観測値と若干のバラツキがあった。今後は、神戸だけではなく多地点での比較を行うとともに、あわせて予報計算結果による気象結果比較を行うこととする。

5. 大気濃度計算結果

CMAQによる計算結果と観測結果との比較を図3および表3に示す。PM_{2.5}質量濃度について、モデルの計算結果は過小評価ではあるが、概ね変動を再現した。2日前、1日前、当日に関しては大きな相関係数の変化がなかったが、1日先、2日先と先の計算になるにつれて相関係数が低くなっており、気象の計算結果がPM_{2.5}の計算精度に影響を及ぼすことが示唆された。計算当日まではGPV.MSMを主に用いた結果となっているが、1日先からはメッシュの粗いGFSを使用した計算となっていることが、1日先から計算精度が悪くなっている要因の一つとして考えられる。

O₃濃度について、モデルの計算結果は過大評価であり、特に夜間においてモデルが過大評価となっていた。その一方、1日先及び2日先において相関係数の低下は小さかった。今後はO₃以外の大気汚染物質及びWRFの計算結果を踏まえた解析を行い、過大評価となった要因を調べることにより、計算精度の向上を目指す。

6. 今後の課題

GFS以外の気象予測データ使用の検討や各種排出量データの更新、観測値によるデータ同化手法の検討等を進めることにより、計算精度の向上を図る。また、今回の計算期間にはPM_{2.5}やO₃の極端な高濃度イベントが出現しなかったが、今後高濃度イベントが現れた際に良好に再現できるよう、モデルの検証・開発を進めるものとする。

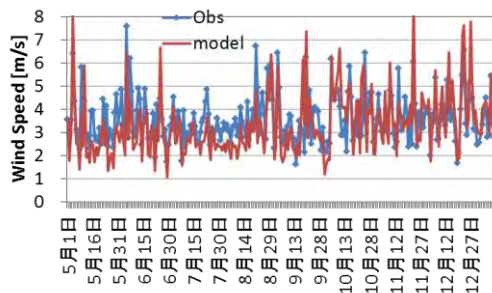


図2 風速比較結果（日平均）

表2 気温及び風速の比較結果（時間値）

	Mean (Obs)	Mean (Model)	MBE	R	MAE	RMSE
Temperature (°C)	21.0	20.7	-0.31	0.99	0.75	0.87
Wind Speed (m/s)	3.57	3.33	-0.24	0.62	1.31	1.14

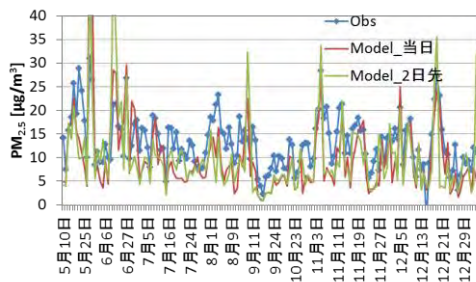


図3 PM_{2.5}質量濃度比較結果（日平均）

表3 PM_{2.5}質量濃度及びO₃濃度の比較結果（日平均）

	day	Mean (Obs)	Mean (Model)	MBE	R	MAE	RMSE
PM _{2.5} (µg/m ³)	2日前		9.60	-3.46	0.77	4.79	5.84
	1日前		9.58	-3.48	0.77	4.75	5.86
	当日	13.06	9.96	-3.09	0.75	4.84	6.19
	1日先		10.30	-2.76	0.69	4.92	6.41
O ₃ (ppb)	2日先		10.07	-2.98	0.63	5.29	6.96
	2日前		36.47	11.96	0.68	13.72	16.79
	1日前		36.58	12.07	0.67	14.05	17.04
	当日	24.50	37.80	13.30	0.66	15.11	18.36
	1日先		37.05	12.55	0.64	14.89	18.00
	2日先		35.59	11.09	0.64	14.18	16.81

神奈川県における化学輸送モデルを用いた PM_{2.5} の発生源寄与解析

小松 宏昭

(神奈川県環境科学センター)

1. はじめに

神奈川県は 2011 年から PM_{2.5} の質量濃度のモニタリングと成分分析を実施しており、環境科学センターでは、これまで県内で観測される PM_{2.5} の季節変動や高濃度時の成分特徴などを中心に検討してきた。一方、PM_{2.5} は複数の成分から構成され発生源も多岐にわたることから、PM_{2.5} の低減対策を検討するには発生源の種類や地域の寄与割合を把握することが重要である。

化学輸送モデルは、発生源からの大気汚染物質の排出量を変更することによって、目的とする成分の大気中濃度の変化(寄与程度)を把握することが可能である。そこで今回、化学輸送モデルを用いて神奈川県内で観測される PM_{2.5} の生成に影響を及ぼす発生源地域を推計したので、その結果を報告する。

2. 解析方法

気象モデルとして WRFv3.5.1、化学輸送モデルとして CMAQv5.0.1 を用いて PM_{2.5} 濃度のシミュレーションを行った。

計算領域は東アジア域 (D1、60 km)、日本域 (D2、15 km)、関東域 (D3、5 km) とし、鉛直方向は地表～100 hPa を 34 層に区分した(図 1)。

気象データは米国環境予測センターの気象解析データ (NCEP-FNL) を使用した。

排出量データは森野らが作成したデータ (自然起源: MEGANv2.10、バイオマス燃焼: GFEDv3.1、人為起源: REASv2.1、JATOP インベントリなど) を利用した¹⁾。

計算期間は 2013 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までとし、計算期間前の 1 ヶ月間をスピナップ期間とした。

発生源の対象地域は 3 地域(神奈川県、東京湾、関東域)を設定して検討した(図 2)。

発生源寄与割合は、各地域からの排出量を 50%削減した条件で計算した結果と通常排出量による計算結果との濃度差を 2 倍することで、各地域の寄与割合を推定した²⁾。

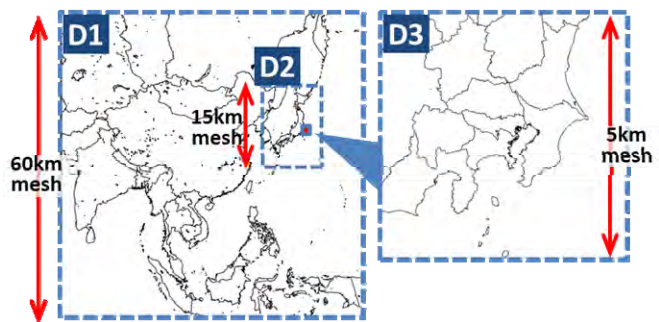


図 1 計算領域(D1～3)



図 2 発生源の削減対象地域(左: 神奈川県、中央: 東京湾、右: 関東域)

3. 解析結果

(1) 計算結果の再現性

大和市役所測定局(一般局)を対象として、自動濃度測定機による質量濃度(年間の日平均値)や成分分析結果(4季節、各季14日間)と計算値とを比較した。質量濃度は測定値(Obs.)と計算値(Sim.)とで概ね同様な日変動を示したが、高濃度日(3、7、8月)の再現性は十分でなかった(図3)。成分別にみると、硫酸イオンは冬季の再現性がやや悪いものの概ね良好な再現性を示した(図4)。硝酸イオンは特に夏から秋にかけて過大評価の傾向にあり、有機エアロゾル(OA)は全ての季節で過小評価される傾向を示した。

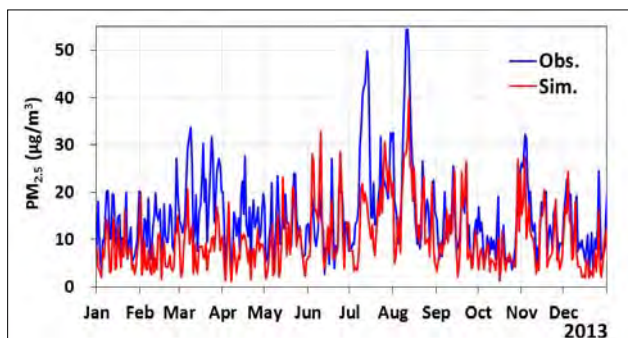


図3 PM_{2.5}質量濃度の比較(2013年)

(2) 発生源寄与割合の推計(2013年平均値)

PM_{2.5}の質量濃度は関東域内の寄与割合が約6割を占めた(図5)。各成分で寄与割合は大きく異なり、硫酸イオンは関東域外の割合が約8割と高いが、硝酸イオンや元素状炭素(EC)は関東域内の割合が9割以上を占めた。アンモニウムイオンや有機エアロゾル(OA)は関東域内の割合が6割程度であった。

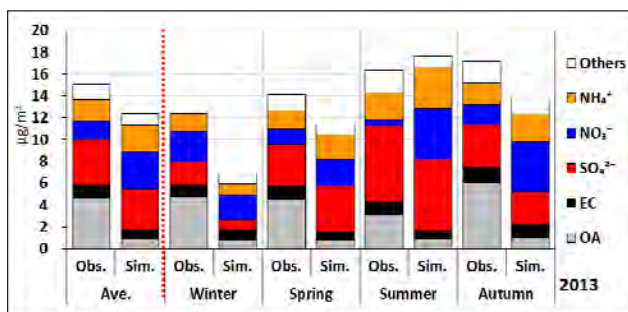


図4 PM_{2.5}成分濃度の比較(大和市役所)

4. まとめと今後の課題

シミュレーションを用いた解析によって、硫酸イオンは関東域外の寄与割合が高く、硝酸イオンは地域内の寄与割合が高い結果が得られており、低減対策を検討するうえで、広域的な対策と地域内で連携した対策の双方からのアプローチが重要であることが示された。

一方、今回の解析では越境汚染の寄与割合や発生源種類別の寄与割合などが把握できておらず、計算再現性の向上とともに、さらなる検討が必要である。

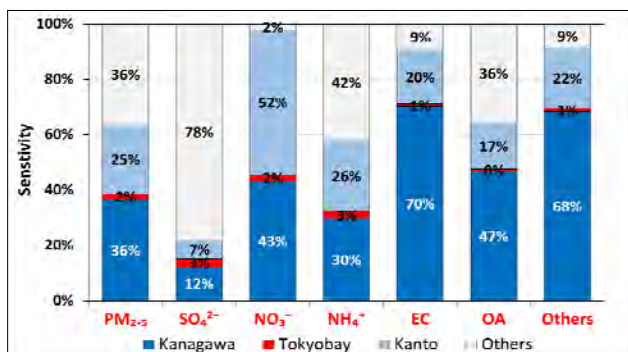


図5 地域別の発生源寄与解析(大和市役所)

謝辞

本研究は国立環境研究所と地方環境研究所によるⅡ型共同研究の一部として国立環境研究所が保有するスカラ計算機を用いて実施しました。排出量データは国立環境研究所の森野悠氏、野口幸良氏に作成いただきました。計算再現性の確認及び結果の解析には国立環境研究所の菅田誠治氏、曾我稔氏にご協力いただきました。また、CMAQの実行および入出力データ処理は大阪大学大学院工学研究科 嶋寺光助教にご協力いただきました。

参考文献

- 1) 森野ら, 第55回大気環境学会年会, 3D1115, 2014.
- 2) 小松ら, 第57回大気環境学会年会, 1D1000, 2016.

湖水における貧酸素水塊の形成と水銀濃度の増加

○武内 章記¹・大八木 英夫²・花町 優次¹
(¹国立環境研究所・²日本大学)

1. はじめに

近年、水銀は地球環境汚染物質と対策および研究が進められている。特に水環境では、生物地球化学的反応によって水俣病の原因となったメチル水銀が生成されており、環境変化による水銀挙動と動態への影響を明らかにすることは重要な課題である¹⁾。そこで、高感度な水銀定量分析技術を用いて、富士北麓に位置する河口湖と山中湖の湖心の水質と水中水銀濃度の鉛直分布を四半期毎に調査した。

2. 調査・分析方法

調査は2015年9月、2016年3月、5月、9月、そして12月に実施した。水質はJFEアドバンテック(株)製のRINKO-Profilerを用いて、深度、水温、電気伝導度、溶存酸素飽和度、クロロフィル濃度、そして濁度を計測した。水銀分析用の水サンプルは、奇数深度(n=8)で微量金属分析用の採水器を使用して約400mL採水した。採取した水は当日内に濾過を施し、高純度塩酸を適量添加して、冷蔵保存した。水試料の水銀濃度は、US EPA Method 1631に準拠した方法で分析した²⁾。本研究での検出下限値は0.5–0.8 pgであった。

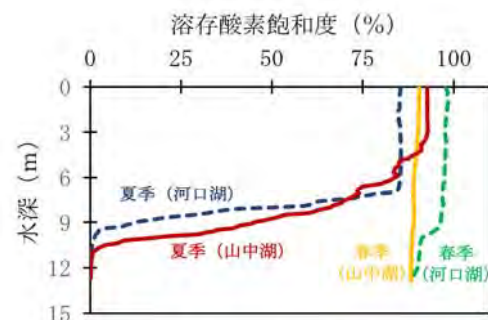


図1 春季と夏季の溶存酸素飽和度の変化

3. 結果と考察

いずれの湖も水質の鉛直分布は季節毎に変化した。特に夏季水温の鉛直分布の変化に応じて、底層水の溶存酸素飽和度が減少し(図1 & 表1)、それに伴い、電気伝導度の増加が見られた。水中水銀濃度はいずれの時期も環境基準値以下であった(表2)。調査した期間では、冬季の水中水銀濃度が一番低く、夏季が一番高かった(表2)。

	2015年9月	2016年3月	5月	9月	12月
河口湖	55.4 ± 35.8	95.7 ± 3.2	86.7 ± 13.6	56.3 ± 37.3	81.7 ± 0.2
山中湖	70.7 ± 30.3	89.3 ± 0.8	85.7 ± 9.9	62.0 ± 35.5	79.3 ± 0.2

表1 水中の平均溶存酸素飽和度(%)の四半期変動

	2015年9月	2016年3月	5月	9月	12月
河口湖	0.15 ± 0.08	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.05	0.14 ± 0.05	0.04 ± 0.01
山中湖	0.10 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.05 ± 0.01

表2 水中の平均水銀濃度(ng/L)の四半期変動

一般的に陸水の水銀濃度は低く、0.2–50 ng/Lという報告がある³⁾。本研究で調査した両湖ともそれよりも低い水銀濃度であった。我が国は高度経済成長期に水銀汚染を経験して、それ以降脱水銀社会形成に向けた取り組みを推進してきた。両湖とも過去の水中水銀濃度の記録が無いために、経年変化は不明だが、現在、周辺に水銀排出源は無く、一般環境からの水銀の影響も極めて低いと考えられ

る。

一方、夏季の水銀濃度の増加は、底層の貧酸素水塊の形成に伴って濃度が増加していると考えられる(図1 & 表2)。両湖の底質中水銀濃度は不明だが、一般的に湖底質の水銀濃度は10–1,000 ng/gという報告があり³⁾、湖水よりも濃度が200倍以上高い。酸化還元反応によって化学形態が変化する水銀は、こうした貧酸素の環境下では、湖底の酸化還元環境の変化によって底質から溶出することが知られている^{4) & 5)}。そのため本研究で調査した湖は、夏季のみ形成される貧酸素水塊の影響によって水銀濃度が増加していると考えられる。

湖水中の水銀濃度は貧酸素水塊の形成に伴い夏季に増加する一方、冬季には最も低い濃度に下がっていた(表2)。水銀は粒子やプランクトン等へ吸着しやすい微量金属として知られているのと同時に、光還元反応によって水中の酸化態水銀やメチル水銀はガス状水銀になることが知られている¹⁾。調査をした両湖とも、2015年9月から2016年3月と、2016年9月から12月の期間に、湖内の水銀循環によって湖底に堆積したり、湖水の全循環とともに底層から溶存態水銀が表層部へと移動することで、湖面からガス状水銀として放出したりして、4–7割が減少していると考えられる。

4. 結論

本研究では、湖水環境の季節変動による水中水銀濃度への影響を調査した。富士北麓に位置する河口湖と山中湖の水中水銀濃度は年間を通して環境基準値以下であった。水中水銀濃度の四半期毎の調査によって、9月が一番高く、12月が一番低いことが明らかになった。9月の湖水中水銀濃度の増加は、同時期の底層に貧酸素水塊が形成されていたことから、酸化還元環境の変化に伴う底質からの水銀溶出が要因だと考えられる。またその3ヶ月後には濃度が低くなっていることから、湖内の物質循環や光化学反応によって濃度が減少していると考えられる。湖水環境は季節変動の影響以外にも、気候変動や周辺の人間活動の影響によっても変化している。今後、そうした影響による湖内環境の変化に伴う水銀挙動と動態を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) C.T. Driscoll, R.P. Mason, H.M. Chan, D.J. Jacob, and N. Pirrone: Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 4967 (2013).
- 2) US EPA Method 1631 Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry, Washington, D.C., p.45, (2002).
- 3) B.K. Lasorsa, G.A. Gill, and M. Horvat: Analytical methods for measuring mercury in water, sediment, and biota. Eds M.S. Bank: *Mercury in the Environment* p.27 (2012).
- 4) J.M. Small and H. Hintelmann: Sulfide and mercury species profiles in two Ontario boreal shields lakes. *Chemosphere*, 111, 96 (2014).
- 5) M. Beutel, S. Dent, B. Reed, P. Marshall, S. Gebremariam, B. Moore, B. Cross, P. Gantzer, and E. Shallenberger: Effects of hypolimnetic oxygen addition on mercury bioaccumulation in Twin Lakes, Washington, USA. *Sci. Total. Environ.* 496, 688 (2014).

水銀に関する水俣条約の有効性評価に向けた全球多媒体モデルの構築

○河合 徹・櫻井 健郎・鈴木 規之
(国立環境研究所)

1. はじめに

水銀に関する水俣条約が採択・署名され、近日中に発効される見込みになっている。これに伴い、人為的な排出量の削減に向けた様々な取り組みがなされていくことになる。これが環境中や生物中の水銀濃度にどのように応答するのか(条約の有効性)を定量的に評価するためには、数値モデルを用いたアプローチが有効である。これまでに開発されている広域水銀モデルは大気大循環モデル、または大気質モデルをベースに開発が進められており、大気-海陸面間の輸送は2次排出として取り扱われる場合が多い。すなわち、大気単媒体での動態研究が主流である。また、物質循環の推定に主眼が置かれることが多く、存在比率が比較的小さい有機水銀が陽的に取り扱われていない。より曝露リスクの評価につながるモデル研究を進める必要がある。そこで、我々は、海洋におけるメチル水銀の生成と生物への移行を考慮し、水銀の大気-海洋-陸域-生物圏に亘る循環を推定する全球多媒体モデル(FATE-Hg)の開発を進めてきた。本報ではFATE-Hgの概要、モデル検証、全球収支の推定を行った結果を紹介する。

2. 全球多媒体モデルの概要

水銀は人為的に、また地質より排出され、環境中において、元素状(Hg^0)、酸化態(Hg^{II})、有機体(MMHg, DMHg)の形態を取りながら循環する。最も有害な水銀形態であるメチル水銀は水環境中において嫌気性の微生物によって生成される。その後、プランクトンに取り込まれ、一部は生物学的に駆動される炭素循環に伴い深海底へと除去され、一部は食物連鎖によって、人への曝露経路となる魚類等の水産資源に蓄積する。このような水銀プロセスをモデル化し、我々が開発した全球多媒体モデルに導入した(図1)。大気-雲水-海水-表層堆積物中における形態変化、沈着による大気から海洋への輸送、拡散による大気-海洋間の輸送、プランクトンへの生物濃縮と生物ポンプに伴う深海への輸送、魚類への食物網蓄積等が考慮されている。海洋生物の生態系特性(存在量、粒子沈降フラックス、栄養構造等)は全て、衛星データと経験モデルを用いて推定している。また、大気-海洋結合化学輸送モデルをベースにしており、大気-海洋における越境輸送が計算される。特に、海水中におけるメチル水銀の生成と、深海まで含めた海洋における物理輸送を考慮し、生物移行を取り扱うための衛星データベースの生態系モデルが導入されているところが我々のモデルの特徴である。

3. 結果と考察

モデル検証を行うために、まず、文献の図表等より海水と海洋上大気中の水銀濃度のモニタリング結果を参照し、データベー

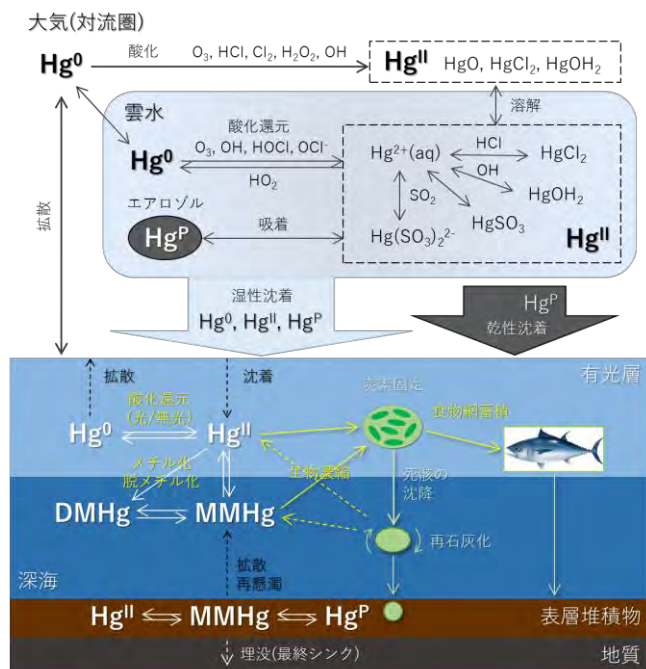


図1 全球多媒体モデルで考慮されている大気-海洋-底質-生物中の水銀プロセス

スを作成した。図2は全球モデルより推定された大気-海洋表層における元素水銀濃度をモニタリングデータと比較した結果の一例である。海水中の水銀濃度まで推定できる広域モデルは少なく、また、陸上の大気濃度に比べると再現性も悪い。これらの先行研究と比べると、濃度レベル、分布ともに比較的良く再現できている。

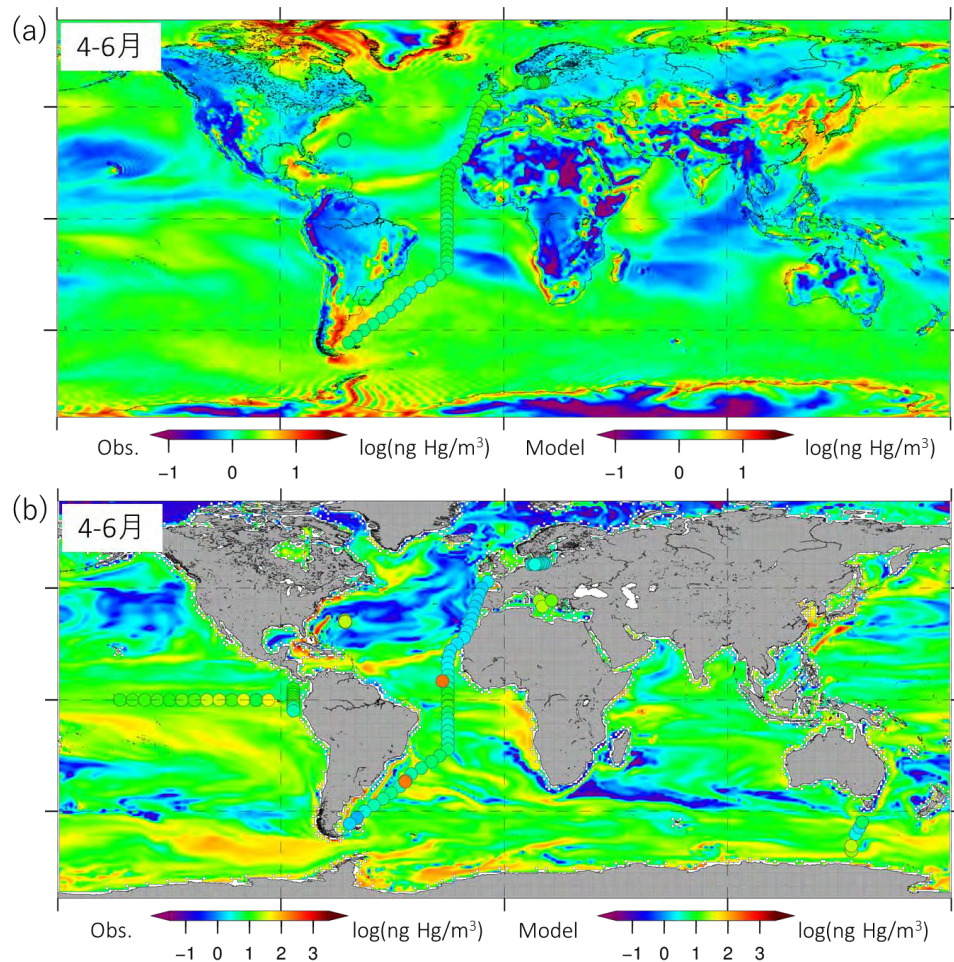


図2 (a) 海洋直上の大気中ガス状元素水銀濃度と (b) 海洋表層の溶存態元素水銀濃度 (3 ヶ月平均値) の推定結果とモニタリングデータ (プロット) の比較

次に、我々のモデルを用いて総水銀の全球収支を推定した。この結果、人為的な排出量 (2000 トン/年) と比べて、大気から海への沈着量 (4340 トン/年) と海から大気への再排出量 (4090 トン/年) は約 2 倍、粒子の沈降に伴う海洋表層から深海への除去量 (1440 トン/年) はおおよそ同程度になると推定された。海は地球規模の水銀循環を考える上で重要な役割を担っていると考えられるが、一方、海水中の形態変化とプランクトンへの生物濃縮に関する情報は少なく、モデルパラメーターの不確実性が大きい。そこで、現在、国立水俣病総合研究センターと連携し、遠洋におけるメチル水銀の生成等の形態変化とプランクトンへの移行動態に関するデータを取得している。今後はこれらデータを活用し、海洋と生物移行動態に関するプロセスモデルの高精度化を進める予定である。講演会では、我々の研究体制と今後の取り組みについても紹介する。

謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費 5-1405 と JSPS 科研費 16K00524 の助成を受けたものです。

廃棄物埋立地における水銀モニタリング

○長森 正尚・長谷 隆仁・大塚 宜寿
(埼玉県環境科学国際センター)

1. はじめに

水銀に関する水俣条約の円滑な実施のため廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）等が改正された。水俣条約上の水銀廃棄物とは一定量以上の水銀を含む廃金属水銀及びその化合物、水銀汚染物、水銀添加廃製品と定義されるが、廃掃法上は特別管理廃棄物（廃水銀等）に指定され、固型化し遮断型処分場で処分、または埋立判定基準を満たせば管理型処分場で処分できる。管理型処分場に埋め立てられる水銀含有廃棄物として焼却飛灰が代表的であるが、キレート剤由来を含めた過剰な硫化物イオンが存在し、高 pH 下で、硫化水銀が二硫化水銀イオンとして再溶解する可能性もある。

他方、過去には水銀を含有する廃棄物が最終処分されていた。乾電池を例に挙げると、水銀ゼロ使用表示のない乾電池の調査では、40 mg/kg（2009 年度）、16 mg/kg（2012 年度）と濃度低下していた¹⁾。さらに、水銀ゼロ使用表示の単 3 乾電池 28 検体の水銀含有量は、18 検体が 1 µg/kg 未満、10 検体が 2～110 µg/kg と極低濃度であった²⁾。他方、埋立地の研究事例³⁾では、水銀は系外へ 0.02 % 以下の排出率であるがその大部分が大気拡散のため、埋立地ガス中の水銀濃度を実際に調査することは重要である。日本の水銀大気排出インベントリで埋立地の推定値はないが、東京都が平成 2～14 年に発生ガスを調査しており、0.05～19 g/m³N という結果が出ている⁴⁾。なお、環境大気中水銀ガスの指針値は 40 ng/m³N であり、当時の埋立地からのガス状水銀の発生量は多かったと推察される。

そこで、埋立地ガス中の水銀の捕集条件を検討し、埋立時期や埋立廃棄物の違いによる排出実態を把握することとした。なお、調査結果が文献値よりも大幅に上回る場合には、水銀の発生源を追及して、対象廃棄物の受け入れも検討しなければならない。本研究では、①現在埋め立てられている廃棄物の水銀含有量、②埋立地の場内観測井内ガス状水銀濃度を把握することとした。本報では、実際のガス状水銀が極低濃度であったため、定量下限や妨害物質対策の検討を始めたのでその一端を述べる。

2. 方法

(1) 埋立廃棄物中の総水銀の含有量測定

対象廃棄物は、一般廃棄物 21 検体（焼却灰 7、焼却飛灰 1、熔融スラグ 1、不燃物 12）、産業廃棄物 5 検体（燃えがら 2、廃プラ 2、ガラス・陶磁器くず 1）とした。総水銀は、約 50～290mg の試料をマーキュリー SP-3D（日本インスツルメンツ社製）で測定した。

(2) 埋立地ガス採取の条件検討

ガス状水銀は、各種ガスを 0.5 L/分で 120 L 通気させた金アマルガム捕集管（以下、捕集管）を気中水銀測定装置 WA-5A（日本インスツルメンツ社製）で測定した。妨害物質が捕集管の水銀吸着を破過させる恐れを考慮し、水蒸気（H₂O）及び二酸化炭素ガス（CO₂）もソーダライム管（SL 管）⁵⁾のブランク試験を実施した。しかし、SL 管によるブランク試験がばらついたため、水銀フリーの窒素を約 1 L/分で通気させながら 300°C、4 時間再加熱した SL 管（再加熱 SL 管）も試験した。また、水蒸気は蒸留水入りの遮光したインピンジャーを通気させ発生させたが、30 分以上バブリング⁶⁾した後には測定を開始した。なお、標準添加回収試験においては、水銀蒸気飽和ガスを 30 µL 添加した。

3. 調査結果

(1) 埋立廃棄物中の総水銀の含有量測定

廃棄物中の水銀含有量を図 1 に示す。焼却灰は 1～128 µg/kg（中央値 5 µg/kg）、熔融スラグが 18 µg/kg であったのに対して、飛灰固化物が 5700 µg/kg、不燃物が 86～6080 µg/kg（中央値 2860 µg/kg）

と比較的高濃度に水銀を含有していた。焼却灰の水銀含有量は低く、乾電池（水銀ゼロ使用）と同レベルであることが分かった。不燃物はばらつきが大きいものの、水銀含有量が飛灰固化物を超える試料もみられた。

(2) 埋立地ガス採取の条件検討

ガス状水銀捕集のブランク試験と回収率を図2に示す。各条件の定量下限値は得られなかったが、操作ブランクが約 0.025 ng (約 0.2 ng/m³N) と比較的高かった。一般大気の 24 時間採取に対して 4 時間と短いことが要因であるが、発生量の少ない埋立地ガスを 120 L 採取することも容易ではない。SL 管のブランクの平均値は操作ブランクと同程度であったが、ばらつきが大きかった。他方、再加熱 SL 管でブランク値が、操作ブランクよりも小さい値となった。次に、加湿させた空気を通気させる条件では、SL 管を使用しないと若干低い値になったことから、除湿により水銀の捕集能力が向上することが分かった。CO₂を通気させる条件で SL 管を用いると、ガス状水銀濃度が平均値で 0.085 ng から 0.079 ng に低下する結果となった。このことから、CO₂による水銀吸着の破瓜はないと推察されるが、捕集管に吸着した CO₂が吸光度を上昇させ、ガス状水銀濃度を見かけ上高く見積もることが分かった。なお、添加回収試験の結果は良好であったが、CO₂の通気に SL 管を用いたときに回収率 88% となった。これは、SL 管で除去された CO₂分の吸光度の低下も一因と考えられる。

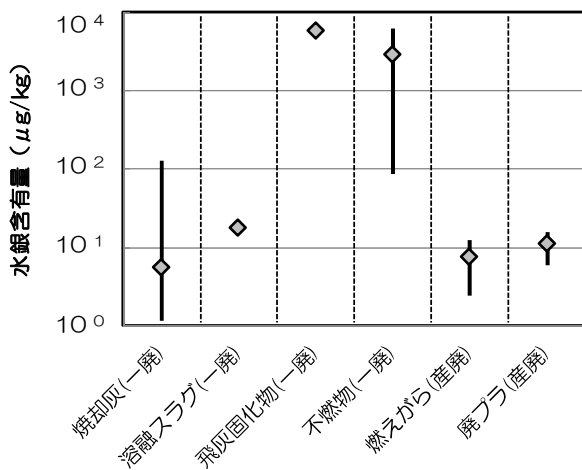


図1 廃棄物中の水銀含有量

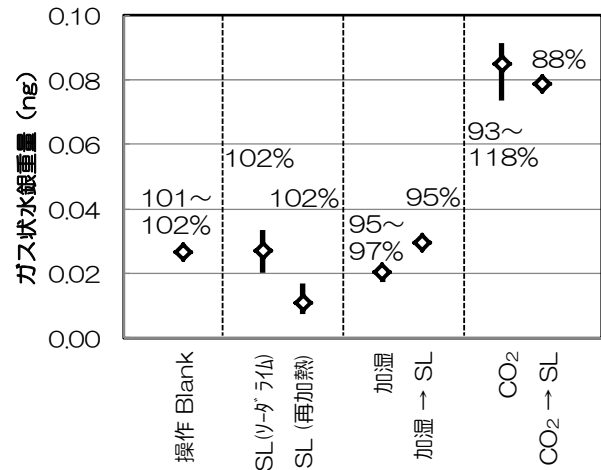


図2 ガス状水銀捕集のブランク試験と回収率

4. 今後

ガス状水銀の捕集条件をさらに検討し、埋立時期や埋立廃棄物の違いによる埋立地ガス中の水銀濃度を調査し、さらに排出実態の把握のためフラックス調査も試みる予定である。

参考文献

- 1) 入佐亜紀子：水銀条約と使用済み乾電池廃棄物の水銀実態調査。第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 197-199 (2014)。
- 2) 清水辰人・長森正尚：最終処分場における乾電池の取り扱い見直しのための水銀含有量調査。第36回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 90-91 (2015)。
- 3) 柳瀬龍二・平田修・松藤康司・花嶋正孝：使用済み乾電池の埋立処分に伴う埋立20年間の水銀の挙動。廃棄物資源循環学会論文誌, 20, 12-23 (2009)。
- 4) 高橋昌史・中浦久雄・溝入茂・庄司匡範：中防外側処分場における水銀の挙動。東京都環境科学研究所年報, 165-171 (2004)。
- 5) 丸本幸治・今井祥子・竹田一彦・佐久川弘：揮散損失を低減した溶存揮発性水銀捕集用海水サンプラー開発と揮散損失が水銀放出フラックスの見積りに与える影響。分析化学, 61, 1063-1072 (2012)。