

第35回全国環境研究所  
交流シンポジウム 予稿集

令和2年2月13日・14日



国立研究開発法人 国立環境研究所



# 第35回全国環境研究所交流シンポジウム 「変わりゆく環境・生態系・人の関わりを考える」

令和2年2月13日(木)～14日(金)  
於 国立環境研究所 大山記念ホール

2月13日(木)

司会：岩崎 一弘(国立環境研究所)

14:30～14:35 開会挨拶

国立環境研究所 理事長 渡辺 知保

14:35～14:40 来賓挨拶

環境省大臣官房総合政策課 環境研究技術室長 関根 達郎

## セッション1：気候変動適応に関わる取り組み

座長：脇岡 靖明(国立環境研究所)

- (1)14:40～15:00 「気候変動適応法と国立環境研究所の役割」…………… 1  
○藤田 知弘  
(国立環境研究所)
- (2)15:00～15:20 「印旛沼流域における自然を活用した気候変動適応に向けた検討」…………… 2  
○西廣 淳  
(国立環境研究所)
- (3)15:20～15:35 「高解像度気温観測データによる熱中症リスクの地域性の検討」…………… 4  
○大和 広明  
(埼玉県環境科学国際センター)
- (4)15:35～15:50 「気候変動適応を推進するために必要な情報とは？」…………… 6  
○浜田 崇・井田 玲子  
(長野県環境保全研究所)
- (5)15:50～16:05 「長野県における気候変動・異常気象の詳細解析」…………… 8  
○栗林 正俊・山田 恭平  
(長野県環境保全研究所)

16:05～16:15 討論

16:15～16:25 (休憩)

## セッション 2: プラスチック問題と資源循環

座長: 大迫 政浩(国立環境研究所)

- (1)16:25~16:55 「環境中に放出されたプラスチックと廃棄物管理・資源循環分野の対応」…………… 10  
○石垣 智基  
(国立環境研究所)
- (2)16:55~17:10 「プラスチック資源循環とマイクロプラスチックを巡る化学物質管理に資する研究展  
開」…………… 14  
○鈴木 剛  
(国立環境研究所)
- (3)17:10~17:25 「海岸域におけるマイクロプラスチック等の実態調査について」…………… 16  
○伊藤 彰・岡田 裕史・岡 智也  
(静岡県環境衛生科学研究所)
- (4)17:25~17:40 「相模湾沿岸域における漂着マイクロプラスチックの実態調査結果」…………… 18  
○坂本 広美<sup>1</sup>・三島 聡子<sup>1</sup>・菊池 宏海<sup>1</sup>・難波 あゆみ<sup>1</sup>・池貝 隆宏<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>神奈川県環境科学センター・<sup>2</sup>神奈川県湘南地域県政総合センター)

17:40~17:50 討論

\*\*\*

18:10~19:45 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14日(金)

司会: 岩崎 一弘(国立環境研究所)

## セッション 3: 湖沼・閉鎖性水域

座長: 松崎 慎一郎(国立環境研究所)

- (1) 9:00~9:15 「複数の浅い湖沼での底層の貧酸素化  
—高頻度 DO ロガーデータから読み取れること—」…………… 20  
○高津 文人  
(国立環境研究所)
- (2)9:15~9:30 「浅い湖沼におけるメタン由来炭素の役割: 底生無脊椎動物から魚まで」…………… 22  
○土屋 健司・松崎 慎一郎・高津 文人  
(国立環境研究所)
- (3)9:30~9:45 「琵琶湖南湖における溶存態リンの動態とその変動要因について」…………… 24  
○霜鳥 孝一  
(国立環境研究所)
- (4)9:45~10:00 「印旛沼における連続水質調査について」…………… 26  
○星野 武司・丹澤 貴大・中田 利明・横山 新紀  
(千葉県環境研究センター)

(5)10:00～10:15 「湖山池の汽水化にともなう生態系の変化」…………… 28  
○安田 優<sup>1</sup>・前田 晃宏<sup>1</sup>・盛山 哲郎<sup>1</sup>・羽田 智栄<sup>1</sup>・成岡 朋弘<sup>1</sup>・岡本 将揮<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>鳥取県衛生環境研究所・<sup>2</sup>鳥取県水環境保全課)

10:15～10:25 討論

10:25～10:35 (休憩)

#### セッション 4: 地方環境研における活動

座長: 岩崎 一弘(国立環境研究所)

(1)10:35～10:50 「埼玉県における特定外来生物“クビアカツヤカミキリ”に関する被害の現状と取組」…………… 30

○三輪 誠  
(埼玉県環境科学国際センター)

(2)10:50～11:05 「GC/MS を用いた油種分析による火災原因調査の支援」…………… 32

○高村 範亮・八尾 裕樹・常松 順子  
(福岡市保健環境研究所)

(3)11:05～11:20 「オンボード実験による船舶排ガス由来 PM の特性評価」…………… 34

○中坪 良平<sup>1</sup>・松村 千里<sup>1</sup>・羽賀 雄紀<sup>1</sup>・平木 隆年<sup>1</sup>・今 吾一<sup>2</sup>・楠 将史<sup>2</sup>・  
吉田 明輝<sup>2</sup>・速水 健斗<sup>2</sup>・浅川 大地<sup>3</sup>・岡村 秀雄<sup>4</sup>  
(<sup>1</sup>ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター・<sup>2</sup>海技教育機構・<sup>3</sup>大阪市立環境  
科学研究センター・<sup>4</sup>神戸大学内海域環境教育研究センター)

(4)11:20～11:35 「中国東北部のバイオマス燃焼由来の PM<sub>2.5</sub> 越境汚染に関する大気質モデル解析  
—2019 年 3 月北海道における PM<sub>2.5</sub> 高濃度汚染事例—」…………… 36

○浦西 克維<sup>1,4</sup>・池盛 文数<sup>2</sup>・嶋寺 光<sup>1</sup>・近藤 明<sup>1</sup>・菅田 誠治<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>大阪大学・<sup>2</sup>名古屋市環境科学調査センター・<sup>3</sup>国立環境研究所・<sup>4</sup>奈良県景観・環境総合センター)

(5)11:35～11:50 「2019 年3月に北海道で生じた PM<sub>2.5</sub> 高濃度における時別有機トレーサー成分観測」…………… 38

○池盛 文数<sup>1</sup>・浦西 克維<sup>2,3</sup>・浅川 大地<sup>4</sup>・菅田 誠治<sup>5</sup>  
(<sup>1</sup>名古屋市環境科学調査センター・<sup>2</sup>大阪大学・<sup>3</sup>奈良県景観・環境総合センター・  
<sup>4</sup>大阪市立環境科学研究センター・<sup>5</sup>国立環境研究所)

11:50～12:00 討論

12:00～12:10 閉会挨拶

国立環境研究所 理事 森口 祐一

\*\*\*

13:30～14:30 所内施設見学会 ※事前希望者のみ



# 気候変動適応法と国立環境研究所の役割

藤田 知弘

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

平成 30 年 (2018 年) 12 月に「気候変動適応法」が施行された。気候変動適応法は国・地方公共団体において適応計画の策定や気候変動影響及び適応に関する情報の提供等を実施し、また事業者や個人の協力を得て、気候変動影響への適応を推進することを基本方針としている。本法では国立環境研究所に気候変動影響及び適応に関する情報の収集・整理・分析・提供、また、地方公共団体や地域気候変動適応センター (以下、「地域適応センター」) における気候変動適応に関する取組に対する技術的助言などを行う役割を定めている (図 1)。これらの役割や気候変動適応に関する研究を一体的に実施するための拠点として、国立環境研究所には平成 30 年 12 月に気候変動適応センター (以下「適応センター」) が設置された。本発表では国立環境研究所の役割のうち特に地方公共団体等への支援に関して紹介する。

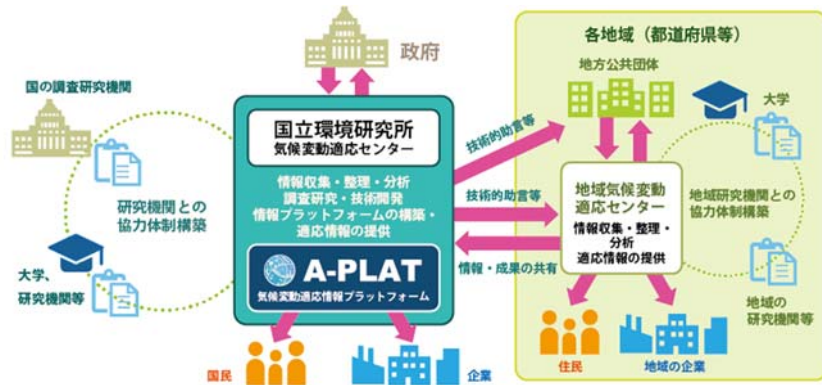


図 1 適応推進に向けた体制と国立環境研究所の役割

## 2. 支援内容の紹介

適応センターは地域支援としてこれまで、地方公共団体等との意見交換会や研修の企画・実施や、地方公共団体等が主催する講演会や勉強会等への講師や委員の派遣、気候変動適応広域協議会へアドバイザーとして参画し、情報提供や助言を実施してきた。

気候変動適応に関する情報基盤として「気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT)」を平成 26 年に立ち上げ、整備を進めている。例えば、気象観測データ (気象庁第 9 巻) や気候変動影響データ (S-8) などの科学的知見の提供や、地方公共団体等のインタビュー記事、適応策の事例、各種マニュアル、イベント情報を掲載するなど、地方公共団体や事業者、個人による取組の支援を目指している。また、同様の情報基盤を整備している各国が参加する「国際気候変動適応プラットフォーム会合」を開催するなど、海外での取組の最新動向を把握し、A-PLAT の一層の強化に努めている。

さらに適応センターでは地方公共団体への支援の一環とし、すべての地域適応センター (13 カ所) を訪問し、体制や課題・ニーズの聞き取りを行った。把握した課題・ニーズに応えるべく、国環研気候変動適応センターに支援チームを作り、現在様々な支援策の準備を進めており、例えば、地方公共団体の担当者が利用できる各種説明資料や気候変動情報データベース (都道府県の情報検索データベース) などを開発した。令和 2 年度以降、地域適応センターがさらに設置されることを踏まえ、今後はさらに支援策の充実化を図る予定である。

# 印旛沼流域における自然を活用した気候変動適応に向けた検討

西廣 淳

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

気候変動の進行に伴い、局所的な集中豪雨の増加や湖沼における水質の悪化など、社会にとって不利益をもたらす自然環境の変化が予測されている。一方、防災施設など気候変動の進行によりさらに重要性を増すインフラは、人口減少に伴い維持管理が徐々に困難になることが予測される。これらの背景の下、既存のインフラを最大限活用しつつ、自然の地形や生物を活かした社会基盤、すなわち **Green Infrastructure** (以下、グリーンインフラとする) を活用することの重要性が指摘されている。

グリーンインフラは、「自然が持つ多様な機能を賢く利用することで、持続可能な社会と経済の発展に寄与するインフラや土地利用計画」と説明されている。2015年8月に閣議決定された国土形成計画では「社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能(生物の生息・生育の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等)を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるグリーンインフラに関する取組を推進する」という文言が含まれ、今後の社会基盤形成における重要な理念・技術として位置づけられている。

## 2. 印旛沼流域での取り組み

地域の自然の特性を活かした効果的なグリーンインフラの計画を立案するためには、地形、地質、水文・水理学的特徴、生物群集の特性など複数の側面から対象地の特徴を把握することが不可欠である。また意義・実効性・持続性のある取り組みのためには、地域住民をはじめとする多様なステークホルダーとの連携が重要である。報告者らは印旛沼(千葉県)の流域を対象とし、かつて水田として利用され、現在では多くが耕作放棄地になっている「谷津」(台地面に刻まれた枝状の幅の狭い谷)に着目し、谷津の湿地としての維持・再生や、その流域の台地・斜面の草原や樹林の維持・再生によってもたらされうる多面的機能を評価する研究を進めている(図1)。研究は、環境研究総合推進費「湿地の多面的価値評価軸の開発と広域評価に向けた情報基盤形成」の研究の一環として進め、また研究成果に基づく社会実装を、「地域適応コンソーシアム事業」(2017~2019年度)における「気候変動による印旛沼とその流域への影響と流域管理方法の検討」の一環として進めている。

研究では、谷津の耕作放棄水田は湿地として維持することにより、水質浄化、生物多様性保全、治水に寄与するグリーンインフラとなることが明らかになりつつある<sup>1)</sup>。すなわち、谷底部を浅く水温の高い水域として維持することは、脱窒反応を通して下流への栄養塩負荷を軽減しうる(図2)。谷底部での湧水を保全するとともに水分を保持する畔状の構造に成形することで、絶滅危惧種を含む多様な生物の生息場となる湿地環境を生み出しうる。また雨水の流出抑制や浸透を通して治

水にも寄与する可能性がある(図3)。社会実装については、地域住民、NPO、土地改良区等と連携した湿地化の実践を進めるとともに、関係者が情報交換を行う「里山グリーンインフラ勉強会」という



図1 印旛沼流域の谷津の例。かつては水田耕作されていたが、いまはほとんどが耕作放棄地となっている。



場を月に一度開催し、湿地化の意義や手法を解説する手引書を作成するなどの活動を進めている。

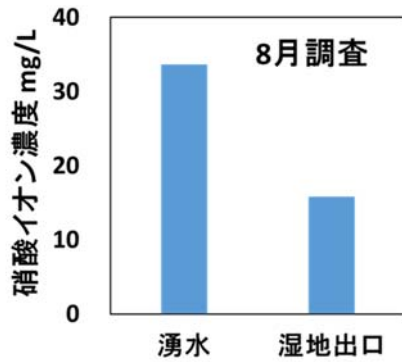


図2 耕作放棄水田に流入する湧水と、湿地化した耕作放棄水田の出口の水の硝酸イオン濃度の測定例。

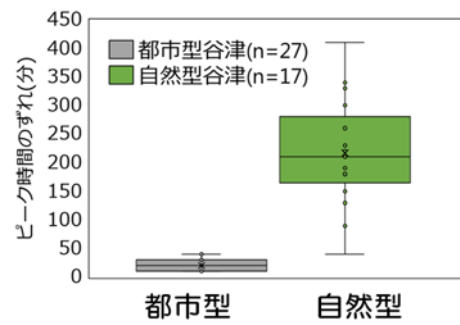


図3 周辺が都市化された谷津（都市型）と周辺に樹林や草原があるやつ（自然型）における、降雨のピークから流出のピークまでの時間差。

#### 参考文献

- 1) 西廣淳・大槻順朗・高津文人・加藤大輝・小笠原奨悟・佐竹康孝・東海林太郎・長谷川雅美・近藤昭彦：「里山グリーンインフラ」による気候変動適応：印旛沼流域における谷津の耕作放棄田の多面的活用の可能性. 応用生態工学, 印刷中.

# 高解像度気温観測データによる熱中症リスクの地域性の検討

大和 広明

(埼玉県環境科学国際センター)

## 1. はじめに

埼玉県では地球温暖化やヒートアイランド現象の影響により暑熱環境が悪化してきている。埼玉県北部に位置する熊谷地方気象台と東京の7・8月の平均気温の推移を比べると、東京では日平均気温の100年当たりの上昇量の方が、最高気温の上昇量よりも大きくなっている一方で、熊谷では日最高気温の上昇量の方が大きくなっている。2018年7月23日には日本最高気温となる41.1℃を熊谷で観測し、内陸に位置する熊谷では夏の暑熱環境が沿岸部の東京よりも悪化していると考えられる。また、典型的な夏型の気圧配置の時には相模湾や東京湾からの海風がヒートアイランド現象の影響で埼玉県へ到達するのが遅れ<sup>1)</sup>、海風の風下地域の埼玉県内陸部で気温が高くなることが指摘されている<sup>2)</sup>。

埼玉県内では2010年以降、毎年約3000人の方が熱中症で救急搬送されており、猛暑となった2018年では6000人以上が搬送された。熱中症の発症リスクを気象要素から推定する研究が多くあるが<sup>3)</sup>、その多くは各都道府県の代表1地点の気象データを用いて搬送者数の予測を行っている。しかし、埼玉県においては首都圏のヒートアイランド現象などの影響を受けて、気象条件には地域差が存在することから、熱中症発症リスクにも地域性が存在すると考えられる。そこで、本発表では高解像度の気温データと埼玉県内の熱中症による救急搬送者数を比較し、埼玉県内の熱中症発症リスクの地域性を検討する。

## 2. 使用データ

解析対象期間は、熱中症による救急搬送者数のデータが入手できた2016年～2018年の7・8月とした。高解像度の気温データとして広域METROSの気温データを用いた。広域METROSは研究者グループが独自に観測している気温観測網であり、百葉箱の中にT&D社製のおんどとり(RTR-502)を設置して気温の観測を10分毎に行っている。埼玉県内の熱中症による救急搬送者数は、県消防防災課を通して県内の27消防本部から熱中症による救急搬送者数のデータを収集した。搬送者数のデータの項目は、覚知日時時刻(入電時間)、性別、屋内外、傷病程度、出動消防署(本部)または出動場所の住所(大字)である。

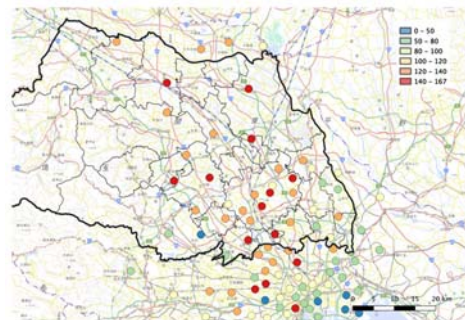


図1 35℃以上の累積時間数の分布

## 3. 結果

広域METROSのデータを使用して、解析期間中の35℃以上の時間数の分布図を作成した(図1)。埼玉県内では、県の中央部～北部で時間数が大きくなっており、JR高崎・宇都宮沿線の地域で時間数が大きくなっている。

県の北部で気温が高い時間が長いことに対応して、熱中症による救急搬送者数は、各年齢層とも県の北部で多い傾向がみられる(図2)。また、各年齢層の時間別搬送者数の割合(24時間の合計の搬送者数に対する割合)をみると、高齢者(65歳以上)と子供(15歳未満)では、

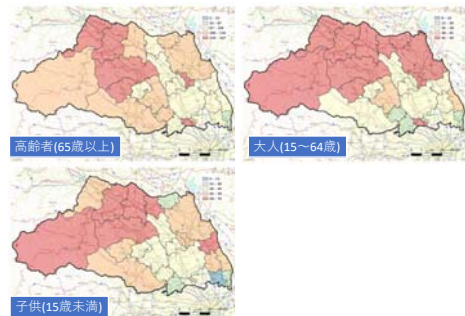


図2 10万人当たりの救急搬送者数の分布

午前中から 13 時までは、県の南部で割合が高く、14 時以降の午後から深夜にかけて県の北部で割合が大きくなっており、救急搬送者数の時間変動には地域性が認められた。次に、救急搬送者数に地域性が見られたことから、県内の代表的な地域ごとに日最高気温と救急搬送者数の対応関係を解析した。対象としたのは、県の北部（熊谷市、深谷市、羽生市など）、県中央部（さいたま市）、県南東部（三郷市、草加市、八潮市など）の 3 つの地域である。いずれの地域も 33℃ 以上の日最高気温で搬送者数が急増しているが、35℃ 以上でバラツキが県の南部ほど大きくなっていた（図 3）。

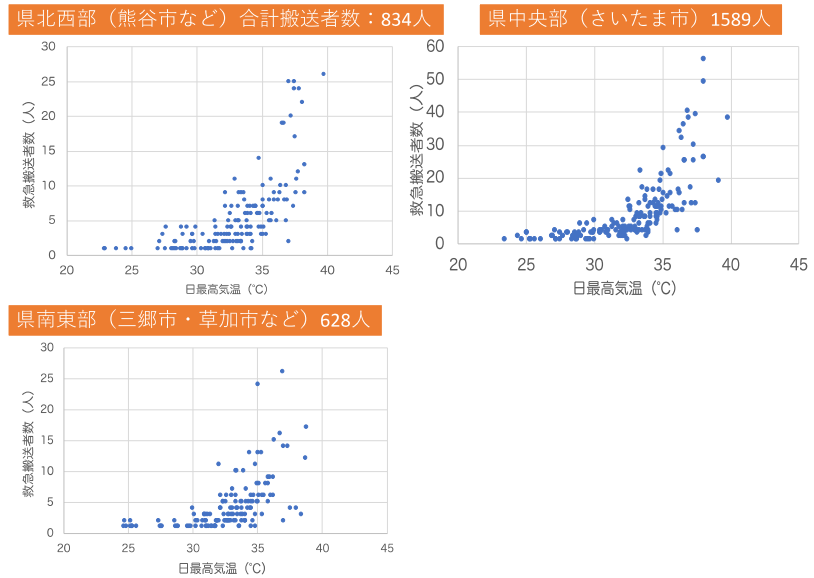


図 3 日最高気温と熱中症による救急搬送者数の関係

上の日最高気温で搬送者数が急増しているが、35℃ 以上でバラツキが県の南部ほど大きくなっていた（図 3）。

海風前線の海側と陸側では気温が顕著に変わり<sup>2)</sup>、陸側では顕著な高温と弱風により暑熱環境がかなり悪化していると考えられる。上空の一般風の風向風速の違いによって、海風前線の通過時間や海風前線の強さ（強さが異なると、前線付近の気温傾度が異なる）が異なる。県の南部ほど海風前線の通過時刻や強さが異なると、同じ日最高気温の日において、気温が高く暑熱環境が悪化している状態の継続時間にバラツキが生じる。そのため、35℃ 以上の日最高気温の日において、救急搬送者数のバラツキが大きくなったと考えられる。

#### 4. まとめ

高解像度の気温データと埼玉県内の熱中症による救急搬送者数を比較した結果、県の北部で気温が高い時間が長く、それに対応して熱中症による救急搬送者数が多い傾向が認められ、熱中症の発症リスクには地域性がみられた。また、この地域性と局地気象に関係があることが示唆された。今後は、より詳細に気象条件と熱中症による救急搬送者数の時空間変動を分析し、埼玉県内の熱中症の発症リスクの地域性を検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) Kusaka, H., F. Kimura, H. Hirakuchi, and M. Mizutori : The effects of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 78, 405-420 (2000).
- 2) Yamato, H., T. Mikami, and H. Takahashi : Impact of sea breeze penetration over urban areas on midsummer temperature distributions in the Tokyo Metropolitan area. *Int. J. Climatol.*, 37, 5154-5169 (2017).
- 3) 田村憲治・小野雅司・安藤 満・村上正孝：救急搬送データによる熱中症の発生と気温，日生気誌，32(2)，111-114 (1995).

# 気候変動適応を推進するために必要な情報とは？

○浜田 崇・井田 玲子  
(長野県環境保全研究所)

## 1. はじめに

2018年12月に「気候変動適応法」が施行され、地域の適応の強化が重要な柱となった。法律では、都道府県及び市町村に対して、地域の適応に関する情報収集・提供の体制（地域気候変動適応センター）の確保が努力義務とされた。地域の気候変動適応を推進するためには、気候変動の将来予測や影響に関する基礎的な情報がまず欠かせない。また具体的な適応策の検討にあたってはより詳細な情報やリスクに関する情報などが必要となろう。ここでは地域気候変動適応センターが地域の気候変動適応を推進するために必要な情報とは何か、という視点で情報収集や整理、分析に関する課題の整理を試みた。整理にあたっては、文部科学省のSI-CAT（気候変動適応技術社会実装プログラム）に参画する法政大学の調査結果<sup>1)</sup>および国立環境研究所気候変動適応センター収集の資料を使用した。また、地方自治体や地域気候変動適応センターへのヒアリングによる結果を参考にした。

## 2. 情報の種類と内容および課題

地域気候変動適応計画策定マニュアル<sup>2)</sup>のSTEPに沿って必要な情報の種類と内容を整理し、その情報が現在入手できるかどうか（情報の有無）とそれらの情報についての課題を整理した（表1）。

最も関心が高い情報（多くの自治体に共通の関心事といえる）は、将来影響（気候変動と各分野

への影響予測）であり、その課題は将来予測に対する不確実性への懸念とより詳細な空間スケール情報の提供の希望であった。この課題に対しては、不確実性に対するわかりやすい説明（表現）の工夫と1kmにダウンスケールされた気候予測や影響情報の整備が必要と考えられた。

表1 気候変動適応の推進に必要な情報の種類と課題

情報の種類	主な内容	情報の有無	課題
現状の把握	・区域の特徴 ・気候変動の状況と影響の実態	有り	・地域特性の把握
将来影響	・気候変動予測 ・分野毎の影響予測	有り（一部無し）	・不確実性問題 ・空間スケール（より詳細な情報）
影響評価	・リスク情報 ・適応策の効果 ・被害額	ほとんど無し	・リスクの特定 ・対策情報 ・優先度
適応策	・適応策事例 ・進捗指標 ・警戒システムなどモニタリング情報	一部有り	・進捗指標の設定が難しい

## 3. 今後の課題（情報デザイン）

今後は、今回整理した課題の解決（ユーザーが必要な情報の提供）のほかに、気候変動適応の推進に必要な情報の収集、整理、分析、提供に至る一連の流れをデザインすることも重要と考える。その際、影響評価に関する情報は現時点でほとんど無いため、その手法の確立とともに、ベースとなる地域の社会、経済に関する空間情報の整備が必要と考えられる。

## 謝辞

法政大学馬場健司教授ならびに国立環境研究所には自治体のニーズに関する資料をご提供いただいた。本研究は文部科学省のSI-CAT（気候変動適応技術社会実装プログラム）および（独）環境保全再生機構の環境研究総合推進費（2-1907）の支援によって行われた。

## 参考文献

- 1) 法政大学地域研究センター：地域気候変動適応白書2018年度版。（2019）。
- 2) 環境省：地域気候変動適応計画策定マニュアル-手順編-。（2018）

# *MEMO*



# 長野県における気候変動・異常気象の詳細解析

○栗林 正俊・山田 恭平  
(長野県環境保全研究所)

## 1. はじめに

2018年12月に気候変動適応法が施行され、長野県では2019年4月に信州気候変動適応センターを設置し、地域気候変動適応計画を2021年に改訂される長野県環境エネルギー戦略に盛り込む方針である。また、2019年12月に長野県は全国の都道府県で初めて気候非常事態を宣言し、県民一丸となって気候変動の緩和と適応に取り組む姿勢を示した。

信州気候変動適応センターが担う役割の1つに、長野県内の気候変動の実態や影響などの情報基盤を整備することがある。このためには、長期的な気象観測値の解析と併せて、近年、頻発している猛暑や豪雨などの異常気象についても解析を行う必要がある。特に、2019年10月に襲来した台風19号は、長野県の北部と東部を中心に甚大な災害をもたらし、豪雨の発生機構を明らかにすることは喫緊の課題である。この豪雨の発生機構について、気象庁は数値計算により台風北側の前線の形成や地形効果などの評価を行っているが、長野県に焦点を当てた詳細な解析は行われていない。そこで、本講演では、長野県の気候変動の実態と併せて、台風19号に伴う豪雨と周辺の山岳の関係について詳細な解析を行った結果の速報を紹介する。

## 2. 方法

長野県内の気候変動の解析には、気象庁の観測値で気象観測統計指針の正常値と準正常値に分類された値のみ使用した。台風19号に伴う豪雨と周辺の山岳の関係については、地域気候モデルWRF version 3.6を使用して、再現実験と地形改変実験を行い、両者の差分から山岳の効果を評価した。地形改変実験は、山岳の標高1200 m以上の部分を全て1200 mとした。各実験の初期値・境界値にはNCEP GFSを用い、鉛直座標系は地形追従型のイータ座標系で61層とし、図1のとおり3段ネスティングにより長野県周辺を水平解像度3.3 kmで計算した。

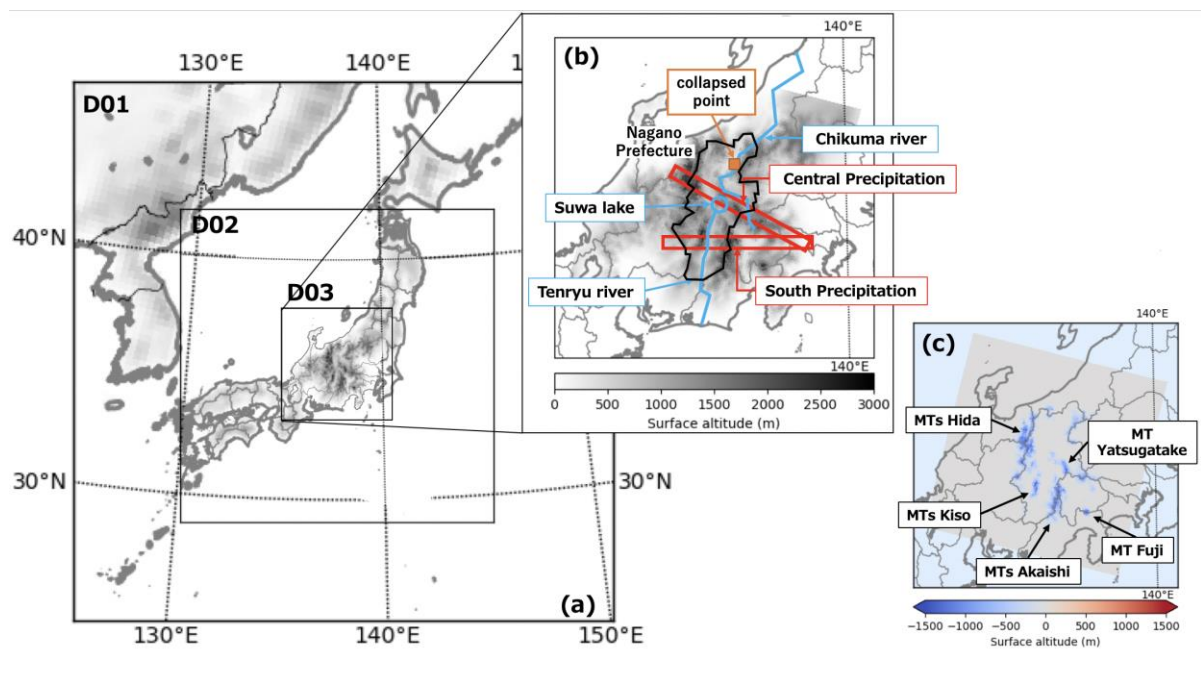


図1 (a)計算領域(水平解像度は、D01 : 30 km、D02 : 10 km、D03 : 3.3 km)。 (b)千曲川の流路と破堤点、天竜川の流路、および鉛直構造解析の診断面。 (c)再現実験と地形改変実験の標高差。

### 3. 結果と考察

気象庁の観測値を解析した結果、長野県においても気温は有意に上昇しており、長野地方気象台では1889～2018年の間に100年あたり1.21℃の割合で上昇した(図2)。一方、降水量や積雪深は有意な変化傾向が見られなかったが、気温に比べると年々変動が非常に大きい現象なので、気温と同じ統計解析に加え極端な事例に着目した解析も必要と考えられる。長野地方気象台における年最大日降水量に着目すると、2019年の台風19号が襲来した10月12日は132mmで観測史上最高を記録した。

2019年の台風19号襲来時の5日間積算降水量について、気象庁の観測値とWRFの再現計算値を比較した結果、WRFは大まかな降水量の分布を良く再現できていることが確認された(図3)。ただし、WRFでは八ヶ岳や赤石山脈、富士山の周辺で5日間積算降水量が600mmを超えているのに対して、観測値にこの雨域が現れていない。これは、山岳域に気象庁の雨量計がほとんど設置されていないことや、風の強い山岳域の雨量計は降水量を過小評価することが一因と考えられる<sup>2)</sup>。WRFの再現計算値によると、千曲川上流の八ヶ岳東麓域に多量の雨が降っており、千曲川の氾濫の誘因と考えられる。鉛直構造解析の結果、豪雨発生時、八ヶ岳に湿った東風がぶつかり、風上側(東麓)上空では強い上昇気流が発生し、これが活発な雨雲を生み出したことが明らかになった(図4)。

### 4. 今後の課題

WRFで再現された山岳の強雨域について、雨量計による地上観測だけでなく、レーダー解析雨量や衛星観測との比較により詳細なモデルの検証を行う必要がある。また、長野県の降水量と周辺の山岳との関係を定量的に評価して、長野県の防災機能強化に資する情報を提供していく必要がある。

### 5. 謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1907)により実施された。

### 参考文献

- 1) 気象庁：令和元年台風第19号に伴う大雨の要因について。  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yohokaisetu/T1919/mechanism.pdf> (2019).
- 2) 栗林正俊・大和広明・浜田崇：長野県における1979～2015年の夏季降水量の経年変化と標高依存性。地学雑誌, 128, 21-30(2019).

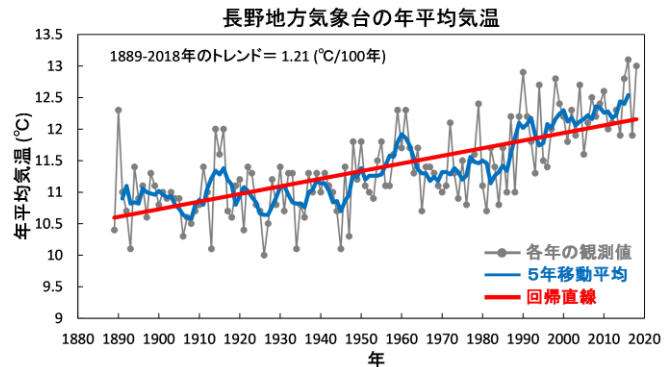


図2 長野地方気象台(418 m)の年平均気温の推移

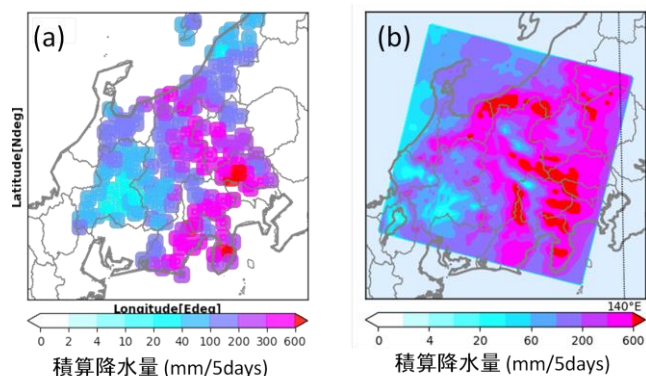


図3 2019年10月11～15日の積算降水量。  
(a)気象庁の観測値。(b)WRFの計算値。

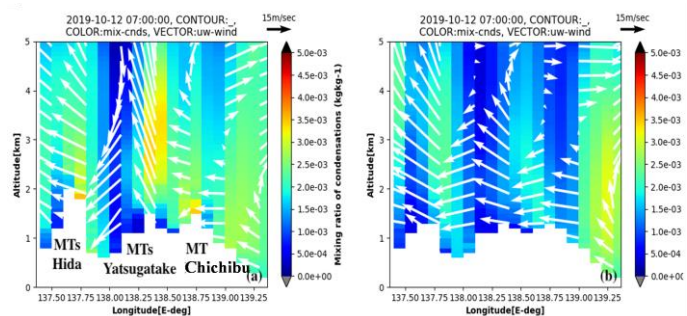


図4 2019年10月12日16時(JST)の診断面(図1bのCentral Precipitation)上の凝結物の混合比(カラー)と東西・鉛直風速(矢印)。鉛直風速は10倍。(a)再現実験。(b)地形改変実験。

# 環境中に放出されたプラスチックと廃棄物管理・資源循環分野の対応

石垣 智基

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

環境中に放出されたプラスチック類は、環境中に散乱し景観を損なうだけでなく、野生生物の捕捉や摂食による影響、水路や河川への流入による都市の排水機能の低下、さらには海洋流出による沿岸の漁業や観光資源への悪影響が懸念されている。また、環境中での移動過程でプラスチックが微小化し、いわゆるマイクロプラスチック（以下 MP）として環境中に拡散することも問題視されている。2050年までに海洋プラスチックごみ問題の追加的発生を食い止めるという宣言を含む「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」やその実効的な方策である「G20 海洋プラスチックごみ対策実施枠組」では、プラスチック流出防止のために取り得る重要な措置として廃棄物管理の改善を挙げている。我が国でもプラスチック対策の政策パッケージが「プラスチック資源循環戦略」としてまとめられたほか、海洋プラスチック削減のための国内実行計画「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン」や、途上国の対策支援に係る「MARINE イニシアチブ」においても、排出源としての廃棄物管理改善の重要性について言及している。一方で、環境中に放出されたプラスチック類が有するリスク要因については依然として不確定なものが多く、定性的な影響が印象論的に注目され、社会の不安を誘因している現状に懐疑的な意見も多く見られる。本稿では、プラスチックの環境放出の実態と環境中での挙動に関する国際的な状況と知見を整理する。

## 2. 環境中プラスチックの陸上排出源について

海洋中プラスチック廃棄物の主要な流出元としては海洋由来や沿岸経由ではなく、河川経由であることが種々のモデル研究や観測結果を基に推測されている<sup>1,2)</sup>。多いところではオランダ・アムステルダム水路中で10万片/m<sup>3</sup><sup>3)</sup>、韓国・昌原の河口で12万片/m<sup>3</sup><sup>4)</sup>のMPが検出されている。河川への流出源として考えられているのは、下排水処理施設、廃棄物埋立地および投棄地、廃棄物リサイクル施設である。ここでは、排出後にMPとなることも含めた主要な陸上排出源について述べる。

### 2. 1 下排水路・排水処理施設で集積されたプラスチックの流出

下水・生活排水にはプラスチック廃棄物そのものあるいはMPが大量に含まれている。MPに限っても、数十万片/m<sup>3</sup>の規模で検出されることは珍しくない<sup>5)</sup>。密度の小さいポリエチレンや発泡ポリスチレンなど、一部のMPは放流水に浮遊したまま環境放出されるが、約9割は処理過程で除去され、汚泥へと移行することになる<sup>6)</sup>。農業集落排水や産業排水についても、業種によってMP含有実態は異なるが、同様に処理の過程において汚泥に移行すると考えられる。浮遊物質・汚泥の回収プロセスが正しく機能していない処理施設では、MPが直接的に流出することになるので、小規模施設を中心に運転状況の確認が必要である<sup>6,7)</sup>。

汚泥に移行したMPの挙動は、汚泥の管理方法によって異なってくる。汚泥の海洋投入処分が実施されているサイト周辺では大量のMPが検出されており<sup>8)</sup>、含有されていたプラスチック類の劣化も考慮すると、現在でも重要なMP発生拠点として位置づけられている。我が国では下排水汚泥の海洋投入処分はすでに実施されていないことから、下排水汚泥に含まれるMPは、陸上での管理における挙動が重要な検討項目となる。汚泥が溶融等の熱処理をされる場合には、含有されるMPも燃焼もしくは熱分解を受けることになる。汚泥が嫌気性消化や堆肥化処理をされた場合には、MPは残さに含まれて埋立処分（または投棄）および土壌投入されることになる。

途上国では廃棄物が原因で水路が閉塞し、排水能力の低下によって水路内水位の上昇・越流や内水



氾濫を引き起こしている。生活ごみや建設廃棄物の投棄に起因する水路内のプラスチック廃棄物は水路閉塞の主要因のひとつであり、同時に、越流によって河川流出することでMP発生源にもなり得る。気候変動の影響による極端気象の増加が、MP流出にも寄与することとなるため、水路管理や廃棄物投棄の防止対策が一層重要になってくると考えられる。

## 2. 2 廃棄物埋立地・投棄地からの流出

廃棄物埋立地や投棄地に搬入されたプラスチック廃棄物は、様々な経路で環境流出することが想定される。途上国のオープンダンプや覆土施工が不十分なサイトでは、プラスチック廃棄物が紫外線曝露により劣化したり、物理的な破断を受けて小片化しやすい状況にある。その場合、飛散や崩落による周辺環境への移動を通じた放出と、表面流出および浸出水を通じた水系への放出の可能性が考えられる。平常時の環境放出に加え、豪雨時の表面流出や埋立地の浸水によっても大規模な水系への流出が引き起こされる<sup>9)</sup>。一方で、適正管理の一環としてポリマー素材による被覆・覆蓋を実施する場合にも、やはり紫外線劣化による小片化・環境放出について検証する必要がある。覆土施工により埋立地内の嫌気化が進行すると、高分子が生物的な分解を受ける可能性があるほか、プラスチックに含まれる可塑剤等の埋立環境下での溶出<sup>10,11)</sup>を受けて、構造が脆化し自重圧密による破断を通じてMP化が進行することも考慮する必要がある。ボーリング孔中に集水された内部保有水において2,500-25,000片/m<sup>3</sup>程度のMPが検出された事例<sup>9)</sup>からも、埋立層内でMPが保有水とともに移動している実態が示唆される。埋立層から排出される浸出水からは高頻度でMPが確認されており、その環境流出防止のためには環境上適正な浸出水処理システムを構築することが重要である。浸出水を処理不十分で放流しているサイトや、設計を超える水量の発生により越流が生じる場合には、MPが直接環境中に流出していることになる。水処理施設の運転自体が適切に行われている場合でも、採用された技術や時期に応じてMPの除去効率は大きく異なる<sup>6,12,13)</sup>。下水・生活排水処理に比べて、浸出水処理では水量・水質の変動が大きいことや、処理施設の規模が小さいことなどに起因して、MPの除去効率が低下する要因となっていると考えられる。

## 2. 3 廃棄物の中間処理・リサイクルを通じた流出

プラスチック廃棄物の中間処理・リサイクル施設は重要な排出源である。剪断・破砕に伴うプラスチック片の飛散は直接的な環境流出であるが、洗浄水および湿式浮遊選別プロセスの排水に含まれて移動し、水処理施設での問題として報告されている<sup>9)</sup>。使用済み自動車のシュレッダーダスト、特に軽量破砕画分由来のプラスチック片は、重要なプラスチック排出源として認識されており<sup>14)</sup>、適正な管理が求められている。機械選別・生物処理で生じる残さの大部分は40mm以下の細粒分で構成されているが、やはり5-20%程度のプラスチック片が混入していること<sup>15)</sup>が報告されている。MBT残さの大部分は埋立処分されているが、コンポスト様有機物として土壌改良材や埋め戻し材に利用されている場合、適切な処理を受けずにMPが環境放出される可能性が高まることとなる。都市ごみを原料としたコンポストに容器包装由来のプラスチック片が混入する事例については枚挙にいとまがないが、コンポスト中のMPについてもやはり容器包装由来のポリエチレンやスチレン系ポリマーが大部分を占めている<sup>16)</sup>。コンポストは環境利用を前提としている製品であり、土壌投入後もMPが長期間残存すること<sup>17)</sup>などから、水分との接触を通じた水系への流出は避けられない。欧州では、事業系の食品廃棄物由来のコンポストには895片/kgでMPが含まれている一方で、家庭の生ごみ由来のコンポストは比較的少ない(20-24片/kg)こと<sup>16)</sup>も報告されている。これは発生源での生ごみ分別の徹底度に依存すると考えられるが、MPの流出源としてのコンポストを意識した生ごみ分別時のプラスチック混入防止、というのは訴求力が高い啓発活動となりうると考えられる。また、同様の廃棄物を原料とする嫌気性消化プロセスにおいては、処理過程においてMPの含有量が減少することが報告されている<sup>6,18)</sup>。これには、構成高分子の嫌氣的微生物分解が寄与していることが推測されているが、詳細なメカニズムについては不明である。嫌気性消化後の残さを再利用するか、コンポスト化するか、埋立処分

するかによって、環境流出リスクは異なってくるが、嫌気性消化による MP 化ポテンシャルの低下は、MP 海洋流出量の制御という観点からは興味深い知見である。逆に、建設汚泥等の固化・安定化目的で実施される石灰添加は、発熱による高分子構造への影響と攪拌による物理的な摩耗により小粒径の MP を増加させることも報告されている<sup>17)</sup>。

下排水処理汚泥とは異なり、建設汚泥や浚渫土砂については現在も海洋投入処分が行われている。我が国以外でも各種汚泥の海洋投入は依然としてゼロにはなっておらず、MP の直接的な排出源として懸念される。建設汚泥に混入するプラスチック類は割合的には多くないと考えられている一方で、浚渫土砂中におけるプラスチックの混入は、広く知られている<sup>19)</sup>。許可を受けた浚渫土砂の海洋投入量は世界全体で年間 3,000 万トン/年にも上っており<sup>20)</sup>、国際海事機関は、直接海洋投入処分されるプラスチック量が陸域からの流出量予測と比較しても無視できないと認識しており、廃棄物の海洋投入量削減を含めた包括的な対策を推進している。浚渫土砂は法的には廃棄物には分類されないものの、陸上活動の影響を強く受ける排出源として、海洋投入量削減の推進が期待される。

### 3. 廃棄物管理・資源循環分野における今後の対応の必要性

量的に主要な MP の排出経路は、国や地域によって異なるが、世界全体で見た場合には、海洋流出までにたどるプロセスが少ない経路が重点的に対策を検討すべきポイントであると考えられる。下排水路・水処理施設からの越流ならびに汚泥等の海洋投入はその最たるものとして挙げられるが、その他にも、不適正な埋立地や投棄地由来の MP は、プラスチック廃棄物が搬入されてから飛散・表面流出を経由して海洋に至るまでの、人為的管理の不作为が影響しており、対策が必要であることは間違いない。覆土の実施、浸出水の地下浸透の防止と集水、適切な水処理施設の設計と運転等、いわゆる最低限の衛生的な埋立地管理を実施することで、MP 排出可能性は大きく削減できると考えられる。廃棄物の処理処分に係る維持管理の適正化が MP 排出削減に寄与するという原則は、我が国においても同様に適用できるものであり、中小のリサイクル・中間処理事業所における適切な機器の運転と環境管理を徹底することが、結果的に二次 MP 排出量の削減につながることになる。

欧州の循環経済政策パッケージの公表に端を発したプラスチックのリサイクル促進や非リサイクル用途での利用禁止などの政策的後押しは、市場への新規のプラスチック投入量の削減には効果的であり、一次 MP の排出削減への貢献度は高いが、二次 MP の排出削減に効果を示すには時間が必要である。すなわち、プラスチック利用の回避と廃棄物の発生抑制を長期的なビジョンですすめつつ、当面発生するプラスチック廃棄物の流出を効果的に防止するという、二元的な対応をすすめる必要がある。そのためには、MP 流出量の多い経路やリスクの高い素材の排出に関するホットスポットを同定し、その対応に必要な技術と資金を適切に投入することが肝要である。また、既存のプラスチックの代替素材として、バイオプラスチック製品の導入が検討されているが、廃棄物管理ならびに河川・海洋流出の過程での劣化・分解挙動や安全性を評価した上で、新素材自体の MP 化や新たなリスク要因について慎重に検討する必要がある。海洋 MP の視点から廃棄物管理技術・システムを整理し再点検するのは、廃棄物処理業界にとどまらず、各種の環境産業および製造業にとって、新たなチャレンジ的な要素を多分に含むものであり、我が国のステークホルダーの積極的な関与が期待される。

#### 参考文献

- 1) Lebreton L.C.M., van der Zwet J., Damsteeg J.W., Slat B., Andrady A., Reisser J. (2017) River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8, 15611, 1-10
- 2) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (2016) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part two of a global assessment Reports and Studies of GESAMP 93, 220, International Maritime Organization.
- 3) Leslie H.A., Brandsma S.H., van Velzen M.J.M., Vethaak A.D. (2017) Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea

- sediments and biota. *Environment International*, 101, 133-142.
- 4) Song Y.K., Hong S.H., Jang M., Han G.M., Shim W.J. (2015) Occurrence and distribution of microplastics in the sea surface microlayer in Jinhae Bay, South Korea, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69, 279-287.
  - 5) Prata J.C. (2018) Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions, *Marine Pollution Bulletin*, 129, 262-265.
  - 6) Mahon A.M., Officer R., Nash R., O'Connor I. (2017) Scope, fate, risks and impacts of microplastic pollution in Irish freshwater systems, EPA Final Report 2014-HW-DS-2, Wexford, Ireland.
  - 7) Habib, D., Locke, D.C., Cannone, L.J. (1998) Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air, and Soil Pollution* 103, 1-8.
  - 8) Browne M.A., Crump P., Niven S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. (2011) Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks, *Environmental Science and Technology*, 45, 9175-9179.
  - 9) Pongpom A., Bhaktikul K., Wisawapipat W., Teartisup P. (2014) Spatial distribution of potentially toxic trace elements of agricultural soils in the lower central plain of Thailand after the 2011 Flood, *Environment and Natural Resources Journal*, 12, 68-79.
  - 10) Schwarzbauer J., Heim S., Brinker S., Littke R. (2002) Occurrence and alteration of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill, *Water Research*, 36, 2275-2287.
  - 11) Teuten E.L., Saquing J.M., Knappe D.R., Barlaz M.A., Jonsson S., Björn A., Rowland S.J., Thompson R.C., Galloway T.S., Yamashita R., Ochi D., Watanuki Y., Moore C., Viet P.H., Tana T.S., Prudente M., Boonyatumanond R., Zakaria M.P., Akkhang K., Ogata Y., Hirai H., Iwasa S., Mizukawa K., Hagino Y., Imamura A., Saha M., Takada H. (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, 364, 2027-2045.
  - 12) Sundt P. (2014) Sources of microplastics-pollution to the marine environment, Report M-321, Norwegian Environment Agency
  - 13) Juho K. (2016) Microplastics and harmful substances in urban runoffs and landfill leachates : possible emission sources to marine environment, Lahden Ammattikorkeakoulu.
  - 14) Magnusson K., Eliasson K., Fråne A., Haikonen K., Hultén J., Olshammar M., Stadmark J., Voisin A., (2016) Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment, Report C 183, Swedish Environmental Protection Agency
  - 15) Ochiai S., Ishigaki T., Wangyao K., Yamada M. (2015) Measurement of the potential heat and ash content of the residue from mechanical biological treatment in Thailand, Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management.
  - 16) Weithmann N., Möller J.N., Löder M.G.J., Piehl S., Laforsch C.2, Freitag R. (2018) Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment, *Science Advances*, 4, eaap8060.
  - 17) Zubris K.A.V., Richards B.K. (2005) Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution* 138, 201-211.
  - 18) Mahon A,M (2017) Microplastics in Sewage Sludge; Effects of treatment, *Environmental Science and Technology*, 51, 810-818.
  - 19) Office for the London Convention/Protocol and Ocean Affairs, International Maritime Organization (2016) Review of the current state of knowledge regarding marine litter in wastes dumped at sea under the London convention and protocol, Final Report.
  - 20) International Maritime Organization (2019) LC 41/7/1: First draft summary and overview of the number of dumping permits reported in 2017, 41st Consultative Meeting of Contracting Parties on London Convention 1972 and 14th Meeting of Contracting Parties on London Protocol 1996

# プラスチック資源循環とマイクロプラスチックを巡る化学物質管理に資する研究展開

鈴木 剛

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

プラスチックは、軽量且つ耐久性があり、加工しやすく断熱性に優れることから、食品の容器包装、家電製品、自動車、建材や医療用具など、様々な製品に使用されており、保存性の向上や輸送エネルギー効率の改善に貢献している。一方で、そのライフサイクルの下流に目を向けると、世界全体では必ずしも適切な処理やリサイクルが行われておらず、特に陸上から海洋へ流出した海洋プラスチックによる地球規模での環境汚染が懸念されている<sup>1)</sup>。

本発表では、世界や日本におけるプラスチックの生産量や廃プラスチックの排出・処理・リサイクルの現状を整理し、日本のプラスチック資源循環戦略とその策定の背景、廃プラスチックリサイクルとマイクロプラスチックの関連性を踏まえ、プラスチック資源循環におけるマイクロプラスチックを巡る化学物質管理の研究展開を紹介する。

## 2. プラスチックの生産量

PlasticsEurope がとりまとめた資料<sup>2,3)</sup>によると、2018年の世界のプラスチック生産量は3億5900万トンであり、10年前の2009年と比較して1億2900万トン増加している。2009年から2018年にかけての増加量は、アジアで8500万トンから1億8309万トン、北米で5290万トンから6462万トン、欧州で5500万トンから6180万トンと続き、アジアで2倍強に大きく伸びている。中でも中国の伸長が顕著である(3450万トンから1億77万トン)。日本については同程度で推移している(1121万トンから1067万トン)<sup>4)</sup>。プラスチック種類別の生産量上位3種は、世界(欧州、米国、中国、インド:2002年-2014年)<sup>5)</sup>および日本(2018年)<sup>3)</sup>共に、ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、塩化ビニル(PVC)が上位3種であり、60%以上を占めている。

## 3. 廃プラスチックの排出・処理・リサイクルの現状

Geyerらの推計<sup>6)</sup>によると、1950~2015年に世界で生産されたプラスチックは83億トンで再生プラを加えると88億トン、このうち、現在使用中のプラスチック製品は25億トン(30%)、リサイクルされた廃プラスチックが6億トン(9%)、エネルギー回収の有無によらず焼却されたものが8億トン(13%)となっており、生産量の78%に相当する49億トンが埋め立てや環境中へ流出したとされている。

世界(2015年)<sup>5)</sup>と日本(2018年)<sup>3)</sup>で試算されている廃プラスチックの年間排出量は、3億トンおよび893万トンであり、包装・容器等廃棄物がいずれも46%程度と大半を占め、世界では繊維等(13.9%)が、日本では電気・電子機器/電線・ケーブル/機械等(19.7%)がそれぞれ続いている。2018年の欧州<sup>2)</sup>と日本<sup>4)</sup>の廃プラスチックの排出先をみると、欧州では、回収した廃プラスチック2910万トンのうち、リサイクルされたものが946万トン(32.5%)、エネルギー回収されたものが1240万トン(42.6%)、埋め立てたものが725万トン(24.9%)となっている。日本では、廃プラスチック891万トンのうち、リサイクル(マテリアルリサイクル208万トン+ケミカルリサイクル39万トン)されたものが247万トン(27.7%)、エネルギー回収(サーマルリサイクル)されたものが502万トン(56.3%)、単純焼却および埋め立てたものが141万トン(15.8%)となっている。

## 4. プラスチック資源循環戦略とその策定の背景

日本は、プラスチック資源循環戦略を2019年5月に策定した。これにもとづいて、①使い捨て容器包装等のリデュースをはじめとして環境負荷の低減に資するプラスチック使用の削減、②未利用プラスチックを含む使用済プラスチックの徹底的かつ効果的・効率的な回収・再生利用、③バイオプラスチックの実用性向上と化石燃料由来プラスチックとの代替促進等を推進している。プラスチック資源循環戦略策定の背景には、廃プラスチックの有効利用率の低さやマイクロプラスチックを含む海洋プラスチックによる環境汚染が国際的な課題となっていること、中国や周辺国による廃プラスチック等廃棄物の禁輸措置に対応した国内資源循環体制の構築を課題としていたことが挙げられる。

現状の廃プラスチックの有効利用率は、世界平均と比較して欧州や日本で高い。国際的な動向を踏まえると、その他地域の有効利用率も向上していくと推測される。そのため、プラスチック資源循環戦略②で明示されているように、廃プラスチックのリサイクルが今後益々重要になると考えられる。

#### 5. 廃プラスチックのリサイクル

廃プラスチックのリサイクル方法は、大きく分けて3種類あり、マテリアルリサイクル（廃プラスチックから再生プラスチック）、ケミカルリサイクル（廃プラスチックから燃料等）、サーマルリサイクル（廃プラスチックからエネルギー）がある。このうち、マテリアルリサイクルは、廃プラスチックを物理的・機械的に加工して再生材料や再生製品にリサイクルするものであり、一般的には破碎、選別、洗浄、比重分離、脱水・乾燥、熔融・造粒・成形処理する方法が実用化されている。2018年の日本のマテリアルリサイクル量は、PETボトルで53万トン、包装用フィルムで24万トン、家電製品の筐体等で21万トン、農業用プラスチックで8万トン、電線被覆で7万トン、発泡スチロール梱包材で6万トン、コンテナ類で5万トン、自動車部品で4万トン等となっている<sup>4)</sup>。2018年の欧州では、容器包装系の廃プラスチック748万トンのほとんどがマテリアルリサイクルされている<sup>2)</sup>。東南アジアでも、PETボトル、家電製品の筐体等、コンテナ類、自動二輪部品といった廃プラスチックのマテリアルリサイクルが実施されていることを2017年と2019年に確認している。このように、現状では廃プラスチックのマテリアルリサイクルが国内外で広く実施されていることを示している。

#### 6. プラスチック資源循環とマイクロプラスチック

廃プラスチックのマテリアルリサイクルは、破碎工程で微細なプラスチック粒子（マイクロプラスチック）が生成し、洗浄・比重分離や脱水工程でマイクロプラスチックを含む排水が生じる。発表者らは、最近の施設調査を通じて、国内のリサイクル事業者が実施している廃プラスチックのマテリアルリサイクルでマイクロプラスチックが生成することを確認し、発生した排水の処理・管理状況を調査している。東南アジアでも、廃プラスチックのマテリアルリサイクルの現場でマイクロプラスチックの生成や管理状況を評価中である。マイクロプラスチックは、比重や粒子サイズ等に依存して、発生源から環境中に移動し、河川や海洋中でPCBsやDDTsといった残留性有機汚染物質（POPs）を吸着するといわれている<sup>6)</sup>。その有害性は、マイクロプラスチックが粒子として示す毒性影響と、含有・吸着化学物質が示す毒性影響が懸念される<sup>7)</sup>。その程度には、前者には粒子サイズが、後者には前出のPCBsやDDT等の吸着化学物質に加えて同じくPOPsのPBDEsやビスフェノールA等プラスチック添加剤の含有化学物質が、大きく関わると考えられる。

国内外でマテリアルリサイクルされている廃プラスチックは、先述の通り由来製品が多様であり、それを反映してプラスチックの種類や含有プラスチック添加剤も多様である。従って、関連するマイクロプラスチックは、排出源からの排出量と共に、樹脂の種類、粒子サイズ、想定される含有化学物質、懸念される吸着化学物質、化学物質混合物が有する有害性等を含めて排出実態を包括的に把握した上で、低減対策や環境動態・影響を考察して環境上適正な管理に繋げる必要がある。排出実態調査は全ての種類の廃プラスチックのマテリアルリサイクルを対象とすることが理想的であるが、その実施は費用と効果を考慮すると必ずしも現実的でない。廃プラスチックの処理量や動向、プラスチックの種類や使用されているプラスチック添加剤等に関する情報を整理し、優先度リストを作成して実施していくことが望ましい。このような観点のもと、国内外の当該工程からの排出実態や管理状況の把握を進めていき、プラスチック資源循環におけるマイクロプラスチックを巡る化学物質管理のあり方を提案したい。

#### 参考文献

- 1) Jambeck, J.R., et al.: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 6223., 2) PlasticEurope: Plastics – the Fact 2019. (2019)., 3) PlasticEurope: Plastics – the Fact 2010. (2010)., 4) (一社) プラスチック循環利用協会: ー2018年ープラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 (2019)., 5) Geyer, R., et al.: Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3, e1700782 (2017)., 6) Mato, Y., et al.: Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environ. Sci. Technol.* 35(2), 318 (2001), 7) Worm, B., et al.: Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 42, 1 (2017).

# 海岸域におけるマイクロプラスチックの実態調査について

○伊藤 彰・岡田 裕史・岡 智也  
(静岡県環境衛生科学研究所)

## 1. はじめに

プラスチックは世界で年間3億トンが生産・消費され、そのうち800万トンが海洋に流出していると推計されている。海洋に流出したプラスチックは、海洋を漂流、又は海岸に漂着している間に紫外線や熱等により劣化し、微細化され、その破片はマイクロプラスチック（以下MPという。）と呼ばれている。MPは、長期間環境中に残存するため、世界中の海に拡散し、深刻な海洋汚染を引き起こすとともに、海洋生物に摂取され、生態系に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

環境省が実施した海洋MPの調査結果では、駿河湾を含め様々な沖合海域でMPの分布を確認している。また、MP汚染は世界中で問題になっており、プラスチック製品の製造、流通を抑制するための法規制が各国で進んでいる状況となっている。このような海洋のMP汚染の拡大を防ぐため、その発生源となるプラスチックごみの流出防止対策は重要な課題となっている。

そこで当県では、地域におけるMPの発生状況等を把握し、効果的な発生抑制や不法投棄の未然防止対策に繋げるため、海岸域におけるMP汚染の実態調査を実施した。本年度は、静岡県東部・伊豆地域を対象に調査を実施したので、その内容について紹介する。

## 2. 調査方法

### (1) 試料採取

静岡県東部・伊豆地域の海岸5地点（図1）において、海岸域の砂及び海水に含まれるMPを採取した。砂は、満潮線上及び潮上帯（図2）から50cm四方（0.25m<sup>2</sup>）、深さ1cmの約2500mlを採取した。海水は、水深約1mの海表面からポンプを用いて1m<sup>3</sup>汲み上げ、目合い20μmのプランクトンネットで海水をろ過し、プランクトンネットに残ったものを試料した。

### (2) MPの分離・回収

砂からのMPの分離には、比重による分離方法を用いた。密度が大きく（3.67g/cm<sup>3</sup>）、水への溶解度が高い（184g/100ml）ヨウ化ナトリウム溶液を用い、その比重はプラスチックの中でも比重が大きく、かつ生産量が多いPET\*（1.34～1.39）、PVC\*（1.35～1.45）よりも大きくなるよう約47%溶液（1.525）とした。試料に47%ヨウ化ナトリウム溶液を加え、攪拌と超音波振動による処理を行い、浮遊したプラスチックをオーバーフロー法で分離した後、30%過酸化水素溶液で有機物を分解し、ろ過により回収した。

海水からの採取物については、10%水酸化カリウム溶液、次いで30%過酸化水素溶液で有機物を分解した後、47%ヨウ化ナトリウム溶液を用いたオーバーフロー法で分離・回収を行った。

### (3) MPの同定

回収したMPは、FT-IR（フーリエ変換赤外分光分析）で同定を行った。



図1 調査地点



図2 海岸の砂試料採取場所



### 3. 結果及び考察

#### (1) 満潮線上のMP分布

各海岸の満潮線上の結果を表1及び表2に示す。MPの分離・回収では、採取した砂(0.25m<sup>2</sup>)のうち、約8分の1の量を用いて実施したため、表は約0.031m<sup>2</sup>当たりの個数で表記した。MPの個数は、長浜が特に多く、2048個/m<sup>2</sup>となり、次いで白浜大浜が640個/m<sup>2</sup>であった。島郷、松崎は、160個/m<sup>2</sup>と少なく、大田子はMPの存在が確認できなかつた。

#### (2) 潮上帯のMP分布

潮上帯にも風等の作用で漂着したMPが分布していると考えられるため、満潮線上とのMP分布を比較した。各海岸の潮上帯の結果を表3及び4に示す。樹脂の種類は、満潮線上と比較し、PS<sup>\*</sup>の割合が多くを占めた。また、満潮線上のMPが特に多かった長浜では、潮上帯ではほとんどMPが確認できなかったが、満潮線上のMPが少なかった島郷、大田子では、それぞれ672個/m<sup>2</sup>、608個/m<sup>2</sup>と比較的多くのMPが確認された。この理由として、長浜は、潮上帯の面積が広く、海岸構造が平坦であることから風等の影響を受け、広く散乱するが、島郷、大田子は陸にかけて傾斜がありMPが溜まりやすい場所があるためと考えられる。

#### (3) 海水中のMP分布

各海岸の海水中のMP分布を表5に示す。海水中のMPの種類は、主にPE<sup>\*</sup>、PP<sup>\*</sup>、PS<sup>\*</sup>、PE&PP<sup>\*</sup>コポリマーが確認された。満潮線上のMP分布と比較すると特にMPの多かった長浜では、海水中のMPも多い結果となった。

### 4. 今後の予定

今後、県内全域のMP汚染の実態を明らかにし、削減対策の検討や啓発情報の発信のデータとして活用していく。

※プラスチックの種類( )内は比重を示す。

PP:ポリプロピレン(0.90~0.91)、PE:ポリエチレン(0.91~0.96)、

ABS:アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン(1.01~1.05)、PS:ポリスチレン(1.04~1.09)、

PC:ポリカーボネート(1.2)、PET:ポリエチレンテレフタレート(1.34~1.39)、PVC:ポリ塩化ビニル(1.35~1.45)

海岸名	採取量(個)	種類別個数(個)					
		PE	PP	PS	PE&PPコポリマー	その他	
島郷	5(160個/m <sup>2</sup> )	2	0	0	2	0	1
長浜	64(2048個/m <sup>2</sup> )	17	13	32	2	0	0
白浜	20(640個/m <sup>2</sup> )	4	4	12	0	0	0
大田子	0(0個/m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
松崎	5(160個/m <sup>2</sup> )	0	0	5	0	0	0
その他はPC <sup>*</sup>							

海岸名	採取量(個)	粒径別個数(個)					
		<1.0mm	1.0mm~	2.0mm~	3.0mm~	4.0mm~	5.0mm≥
島郷	5	0	1	0	3	1	0
長浜	64	3	10	17	10	13	11
白浜大浜	20	1	4	4	6	4	1
大田子	0	0	0	0	0	0	0
松崎	5	1	1	1	0	0	2

海岸名	採取量(個)	種類別個数(個)					
		PE	PP	PS	PE&PPコポリマー	その他	
島郷	21(672個/m <sup>2</sup> )	1	2	12	4	2	
長浜	1(32個/m <sup>2</sup> )	0	0	1	0	0	
白浜	30(960個/m <sup>2</sup> )	1	4	24	1	0	
大田子	19(608個/m <sup>2</sup> )	3	0	15	1	0	
松崎	4(128個/m <sup>2</sup> )	1	0	3	0	0	
その他はABS <sup>*</sup> とPVC <sup>*</sup>							

海岸名	採取量(個)	粒径別個数(個)					
		<1.0mm	1.0mm~	2.0mm~	3.0mm~	4.0mm~	5.0mm≥
島郷	21	0	5	1	8	3	4
長浜	1	0	0	0	0	0	1
白浜	30	6	1	6	12	2	3
大田子	19	1	2	5	3	3	5
松崎	4	0	2	2	0	0	0

海岸名	採取量(個/m <sup>3</sup> )	種類別個数(個/m <sup>3</sup> )					
		PE	PP	PS	PE&PPコポリマー	その他	
島郷	2	2	0	0	0	0	
長浜	16	0	0	6	8	2	
白浜	1	0	0	0	0	1	
大田子	4	1	2	1	0	0	
松崎	3	2	1	0	0	0	
その他は3個ともPVC <sup>*</sup>							





響によるものである。つまり、降雨により陸からの出水が増加すれば漂着量も増加すると考えられ、台風の影響を除外したとしても、出水期である秋期の漂着量は、春期より増えると推測された。

一方、材質構成は4期を通じてあまり大きな変化は見られなかった。つまり、発生源の種類や構成が大きく変化しなければ、漂着MPの材質構成も比較的長期間にわたり変動しないものと推察された。材質別では、生産量が最も多いPE及びポリプロピレン（PP）の2大樹脂に加えて発泡ポリスチレン（PS）が大部分を占めていた。これらの結果から、沿岸のMPの漂着状況を比較するために、非定常排出を除外した春期2期分の平均を代表的な漂着状況とし、これを求めた結果を図3に示した。漂着状況の特徴は、①PEとPPの漂着が多い「高浜台」・「鵜沼」、②PSの漂着が大部分を占める「山王網一色」・「久里浜」及び③漂着量が少なく、PSの比率が低い「逗子」の3つに区分された。地域ごとに異なる結果が得られたことから、結論として、相模湾に漂着するMPは、主に内陸由来である可能性が高いと考えられた。

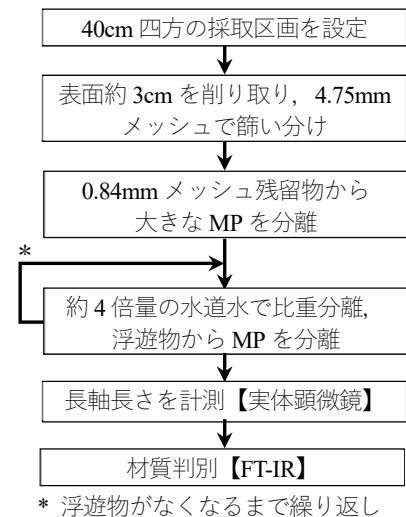


図2 MP分離分析手順

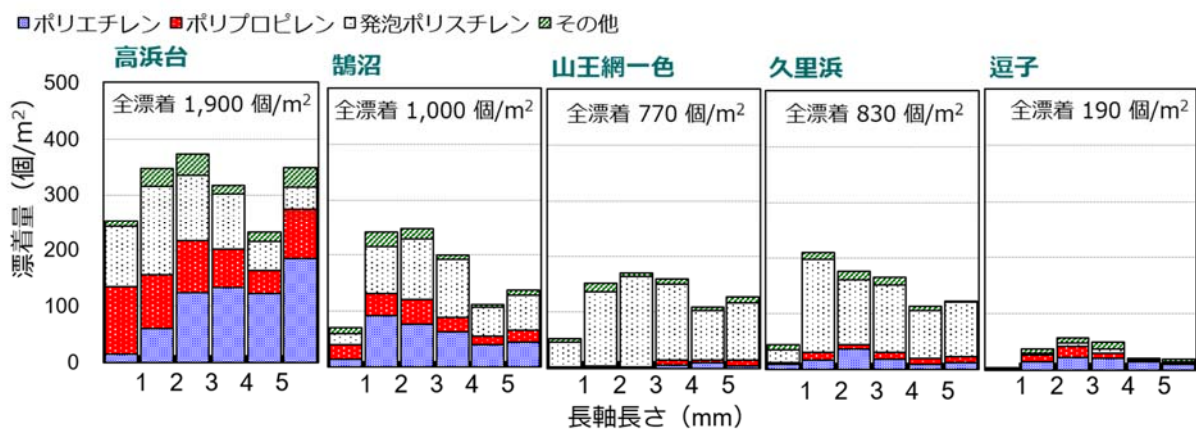


図3 各海岸の代表的なMP漂着状況

#### 4. 今後の対応

現在、海岸の上流側となる河川及び路上散乱物の調査を定期的実施しており、特徴的なMPを確認することで、発生源対策につなげて行くことが重要と考えている。

#### 参考文献

- 1) Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T. : Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment, Environ. Sci. Technol., 35(2), 318-324, 2001
- 2) Rochman C. M., Tahir A., Williams S. L., Baxa D. V., Lam R., Miller J. T., Teh F. C., Werorilangi S., Teh S. J. : Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. Sci. Rep., 5, 14340, 2015
- 3) Tanaka K., Takada H. : Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. Sci. Rep., 6, 34351, 2016
- 4) 池貝隆宏ら：海岸漂着量の評価のためのマイクロプラスチック採取方法, 全国環境研会誌, 42(4), 197-202, 2017
- 5) 松山優治ら：相模湾における流れの観測, 沿岸海洋研究ノート, 18(1), 9-17, 1980

# 複数の浅い湖沼での底層の貧酸素化 —高頻度 DO ロガーデータから読み取れること—

高津 文人

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

湖沼の底層の溶存酸素濃度（底層 DO）に関しては、水が滞留し高水温で光合成生産の起きにくい暗い環境で DO が低下するため、気候変動に伴う気温上昇等により、湖沼底層の貧酸素化が最も深刻化する問題と考えられている。折しも H28 年に水質環境基準の生活環境項目に底層 DO が新たに設定され、湖沼においても底層 DO のモニタリングが開始されている。一般的に、底層 DO の確保は、底質からの内部負荷を抑制するとともに、魚類をはじめ生態系を駆動する生物の多くが酸素を必要とするため生態系監視・保全の観点からも重要である。

底層 DO は、短期的には風の影響を強く受ける一方、浅い湖沼では水の混合が起きやすく、長期間の貧酸素化は起きにくく、その影響は軽微と考えられてきた。しかし近年、水草帯での長期にわたる貧酸素化（例：印旛沼）やワカサギの大量死（例：諏訪湖）等の事例が報告されてきた。我々の研究グループは過去 2 年間で 8 湖沼の夏季に高頻度 DO データを表層と底層で取得しており、浅い湖沼や沿岸帯の貧酸素化が夏季に頻繁に起こること、貧栄養な湖沼であっても起きる現象であることなどを確認した。貧酸素化の直接の要因は湖沼によって大きく異なるが、いずれの要因も 2 種類の貧酸素化プロセスのどちらかに分類しうることが明らかとなったので紹介する。

## 2. 調査方法と結果

### DO ロガーによるデータ取得方法

DO ロガー（琵琶湖以外では HOBO CO-U26-001、琵琶湖では MiniDOT を使用）を湖底から 0.5-1m の水深に春季から夏季にかけて設置し、10-15 分間隔でその場の DO と水温データを記録させ、水温が 20℃以下に低下する秋季に回収し、データを解析した。DO ロガーデータを取得した湖沼は、八郎湖、猪苗代湖北岸、湯の湖、西浦、琵琶湖南湖の複数湖沼にまたがり、設置期間も夏季を中心に湖沼ごと 1 か月から 6 か月間と異なった。ロガー設置地点近傍の気象庁の気象データと合わせて水温および底層 DO を解析した。場所によっては表層 DO も取得し、解析に供した。

### 底層 DO の解析方法

10-15 分間隔で取得された底層 DO は時間ごとの平均値とした後、日の出日の入り時刻により、日中と夜間のいずれかの期間に分類した。時間ごとの底層 DO 平均値は同じく時間ごとの気象パラメータ（気温、降水量、風速）や水温と同じ時間軸上でその動態を解析した。特に注目したのは 1) 台風や大風等の気象イベントとの関係、2) 表層水温と底層水温との水温差との関係、の 2 点である。

一方、表層 DO と底層 DO の両データのある湖沼に関しては、湖水柱の DO 量の夜間の時間変化から生態系呼吸量（ER）を、日中の時間変化から生態系純生産量（NPP）を酸素換算で算出した。また、ER と NPP を足したものとして生態系総生産量（GPP）を見積もった。ER、NPP、GPP は種々の流動過程を反映して時間ごとに大きな変動を示したことから、夜間の ER の平均値をその日の ER とし、日中の NPP の平均値にその日の ER を足したものを同日の GPP とすることで、安定した酸素代謝のパラメータとすることができ、それらと気象や水温パラメータとの関連性を解析した。

### 時間ごとの底層 DO の変動と底層の貧酸素化の出現パターン

時間ごとの底層 DO 平均値の変化の多くは表層 DO の変化で説明することができたが、大きくは以下の 2 つのパターンに分けることができた。すなわち、1) 表層 DO が低くなるにつれて底層 DO も低くなる場合、2) 表層 DO が高くなるにつれて底層 DO が低下する場合、であった。高水温で比較的風のある夜間や台風襲来後にはパターン 1 が良く見られるのに対し、高水温の微風時や日中表層水が暖められた夜間、地下水流入影響が顕著な湖沼や期間ではパターン 2 がみられた。いずれのパター

ンが優先するかは、モニタリング時期、湖沼形状、湖内の空間的異質性、濁水イベント等に依存していた。底層 DO が 4 mgL<sup>-1</sup> 以下となる期間は多くのモニタリング湖沼で夏季に数回以上あり、長く続く場合は数日以上継続していた。

#### 日平均酸素代謝パラメータと水温および気象パラメータとの関連性

日平均 ER は多くの湖沼で GPP の 50-60% であることから、酸素消費プロセスとして重要な ER を減らすためには GPP の管理が重要であることが分かった。また、ER と底層 DO の間に必ずしも強い負の相関関係があるわけではなく、高 ER 時には高 GPP であり、日中の酸素生成量も多くなることが関係していると考えられた。

一方、気温や水温とこれら酸素代謝パラメータとの関係性に着目すると、水温 25°C 以上で高い ER となりうることが分かったが、底層の貧酸素化が生じるにはさらに、湖水柱の水の上下混合の阻害が生じ、前節のパターン 2 のような状況が必要となることが明らかであった。台風襲来時には濁水により GPP が低下し、ER も低下したが、湖水柱全体での酸素生成量の低下が著しく、霞ヶ浦のケースでは 25°C 以下の水温でも貧酸素化の生じることが明らかとなった。

### 3. 結論

風の影響を受けやすい浅い湖沼や大型湖沼の沿岸では、これまで底層の貧酸素化はごく限られた空間や時間に生じていると考えられることが多かった。しかしながら、実際の底層 DO の高頻度モニタリングデータの結果を見る限り、多くの湖沼で底層の貧酸素化は頻繁に、かつ数日以上持続することも珍しくないことが分かった。また、貧酸素化は湖水柱の酸素消費速度の大きな富栄養化湖沼で起きうる現象と考えることが多かったが、猪苗代湖の北岸の水草帯や山地のダム湖でも生じることがあり、湖水柱の上下混合の阻害や濁水流入といった気象条件に依存する部分も大きいことが明らかとなった(表 1)。

表 1 浅い湖沼の底層の貧酸素化要因

湖沼名	湖沼ごと異なる個別要因 (対策可能)			どの湖沼にも生じうる要因 (対策困難)			
	硫化水素を含む湧水	ハス等による被覆	海水流入	湖底に冷水塊	高水温	無風	濁水流入
瀬の湖	○			○	○		
琵琶湖 南湖		○				○	
西浦					○		○
津沢ダム ・八郎湖				○	○		
長沼 ハス帯		○			○	○	
児島湖			○		○	○	
猪苗代湖 水草帯		○			○		○

### 4. 今後の課題

底層の貧酸素化は湖沼の水質・底質環境の観点から重要であり、気候変動の影響を強く受けやすく、今後重点的にモニタリングしていく必要がある。一方、その予測を精度よく行うには、各種流動モデルの精緻化に加えて、湖水柱の混合を阻害する仕組みについての理解を深める必要があり、高頻度の水温と DO のモニタリングがますます重要になると考えている。

### 参考文献

- 1) P. A. Staehr, D. Bade, M. C. de Bogett, G. R. Koch, C. Williamson, P. Hanson, J. J. Cole and T. Kratz (2010) Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the science. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 8, 628-644.

### 謝辞

秋田県健康環境センター、宮城県保健環境センター、福島県環境創造センター、茨城県霞ヶ浦環境科学センター、栃木県保健環境センター、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、岡山県環境保健センターの皆様には、DO センサーロガーの設置及び回収作業等で大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

# 浅い湖沼におけるメタン由来炭素の役割：底生無脊椎動物から魚まで

○土屋 健司・松崎 慎一郎・高津 文人  
(国立環境研究所)

## 1. はじめに

湖沼の還元的な底泥はメタンの主要な供給源である<sup>1)</sup>。一方で、酸化的環境下では、メタンはメタン酸化細菌(MOB)によって酸化・資化されるが、この過程は湖沼から大気へのメタン放出を抑制する重要な機能である。生物起源メタンの炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )は非常に軽く(-80~-60‰)、MOBによるメタン資化は最大で-20‰程度の同位体分別を起こすため、MOBの $\delta^{13}\text{C}$ 値は更に低くなる。そのため、非常に低い $\delta^{13}\text{C}$ 値をもつ低次・高次捕食者はMOBの摂餌、すなわちメタン由来炭素(Methane-derived carbon; MDC)の同化が示唆される。この捕食者による同化は、MDCを湖内へ貯留するという役割を果たしており、メタンの生物地球化学的循環を見積もる上で重要なプロセスと考えられる。そこで本研究では $\delta^{13}\text{C}$ をMDC寄与のプロキシとして、富栄養湖である霞ヶ浦において底生無脊椎動物および魚へのMDC寄与を見積もることを目的とした。

## 2. 材料と方法

底生無脊椎動物としてオオユスリカ幼虫および貧毛類を2017年~2018年に、魚類としてニホンウナギ、オオクチバス、コイ、ゼゼラ、ツチフキ、ワカサギなどを2006年~2017年に採集し、 $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。MDC寄与率の推定には2餌資源1同位体混合モデルを用い、懸濁態有機物とMOBを餌資源と仮定した。MDC寄与率推定に用いる懸濁態有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は、底生無脊椎動物には毎月の値を、魚類には2014年~2018年の平均値を用いた。MOBの $\delta^{13}\text{C}$ は、霞ヶ浦底泥中メタンの実測値(-69.7±4.5‰)<sup>2)</sup>と、メタン資化に伴うMOBの同位体分別(-16‰)<sup>3)</sup>を用いて計算した( $\delta^{13}\text{C}_{\text{MOB}} = -85.7\text{‰}$ )。また、底生動物の同位体分別係数を+0.8‰<sup>4)</sup>、魚類の同位体分別係数は栄養段階が二つ上がると仮定して+1.6‰とした。餌資源に占めるMOBの割合をMDC寄与率とした。

## 3. 結果と考察

オオユスリカに対するMDC寄与率は、0~38%の範囲で変動した。また、これまで知見が限られていた貧毛類も0~32%のMDC寄与率を示し、MDC動態において重要な役割を果たすことが示唆された。魚類については全体で0~22%のMDC寄与率を示した。中央値が0%より大きい、すなわち採集個体の50%以上についてMDC寄与が見られた主要な魚類として、ニホンウナギ、ゼゼラ、ツチフキなどが挙げられた。特に、ニホンウナギについては小さい個体で高いMDC寄与率を示す傾向が見られ、MDCは本種の成長初期段階における重要な餌資源となる可能性が示唆された。魚種間のMDC寄与率の違いについて、生息場所や食性の違いに着目して、今後解析を進める予定である。

## 参考文献

- 1) Bastviken D, Cole J, Pace M, Tranvik L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global biogeochemical cycles*. 18 (2004).
- 2) 高津・今井. MRI 画像解析と同位体解析による栄養塩や温室効果ガスの底泥からのフラックス予測. 国立環境研究所研究プロジェクト報告. 第110号 (2015).
- 3) Summons RE, Jahnke LL, Roksandic Z. Carbon isotopic fractionation in lipids from methanotrophic bacteria: relevance for interpretation of the geochemical record of biomarkers. *Geochim Cosmochim Acta*. 58(13):2853-63 (1994)
- 4) DeNiro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*. 45:341-51 (1981).

# *MEMO*

# 琵琶湖南湖における溶存態リンの動態とその変動要因について

霜鳥 孝一

(国立環境研究所)

## 1. はじめに

琵琶湖の水環境は栄養塩類の負荷削減対策を通じ改善されてきたが、現在、必ずしも健全な状態にあるとはいえず、漁獲量の減少、水草や大型緑藻の繁茂などの栄養塩類の供給バランス変化に端を発すると考えられる生態系の変調が生じている。このように、琵琶湖の健全な水質、生態系の保全・再生・管理を考える上で栄養塩類のバランスが大きなキーとなる。琵琶湖は琵琶湖大橋を境として北湖と南湖に分けられ、その水質は大きく異なる。南湖(面積 52km<sup>2</sup>, 平均水深約 4m)は琵琶湖全体面積の約1割と大きさは小さいものの、栄養塩類(全リン、全窒素)濃度は北湖に比べて高く、夏季を中心にアオコの発生や水草の異常繁茂等が観測されている。栄養塩類の中でも、特にリンは植物プランクトンを中心とした微生物活動に最も大きな影響を与えるためその動態把握が必要である。植物プランクトンの光合成はリンによって制限を受けていることが指摘されている。とりわけ、微生物が利用しやすい形態である溶存態リンの動態は、微生物活動への直結性から重要である。しかし、琵琶湖は北湖、南湖とも溶存態リンの濃度が極めて低くモリブデンブルー法では定量下限となることもしばしばあるため、溶存態リンの詳細な動態把握が課題であった。

本研究では、トリプル四重極型誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)を用いて、 $\mu\text{g/L}$ オーダーの溶存態リンを定量した。加えて、湖沼におけるリンの供給源であるリンの底泥溶出と関連性の高い金属元素の動態や、微生物活動を反映すると考えられる溶存有機物(DOM)の腐植様蛍光特性の調査を行った。本発表では、南湖の溶存態リンの詳細な分布を紹介するとともに、湖水の金属元素濃度や蛍光から南湖の水質特性に関する考察を行った。

## 2. 調査方法

採水と前処理: 2019年1月~12月にかけて、瀬田川1地点(図1: 2)、琵琶湖南湖17地点(図1: 3、4A、4A'、4B、5A、5B、6A、6B、6C、8A、8B、8C、168、9A、9B、9C、新浜地先)において表層水を採水した。採水した表層水は孔径0.2 $\mu\text{m}$ のシリンジフィルター(日本ポール、IC Acrodisc)でろ過し、ろ液を分析試料とした。三次元励起蛍光スペクトル(EEM)測定: EEMは蛍光分光光度計(Horiba、Aqualog)を用いて測定した。EEMはブランク補正、inner filter effectの補正を行い、蛍光強度はLawaetz & Stedmon (2009)<sup>1)</sup>に従いラマンユニット(R.U.)に変換した。EEMについてはparallel factor analysisをMATLAB上でdrEEM toolbox (Murphy et al.2013)<sup>2)</sup>を使用して行い、分離された蛍光成分から腐植様蛍光強度(励起/蛍光波長 = 315/408 nm)を求めた。元素分析: 溶存態リン(DTP)、溶存鉄(DTFe)、溶存マンガン(DTMn)の測定はトリプル四重極型ICP-MS (Agilent、8800)を用いた。DTPはリアクションガスに酸素を使用し、リンを「<sup>31</sup>P<sup>16</sup>O」<sup>3)</sup>として測定した。DTFeとマンガンの測定はコリジョンガスにヘリウムを使用し測定を行った。

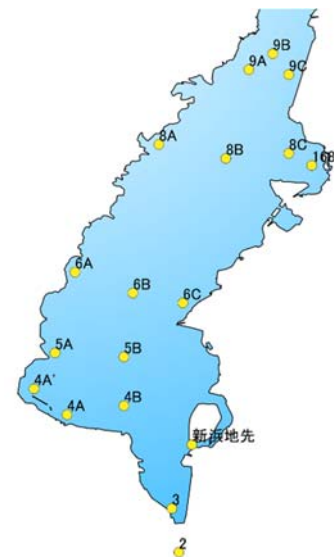


図1 琵琶湖南湖の調査地点

## 3. 結果と考察

琵琶湖南湖のDTP、DTFe、DTMn、腐植様蛍光は調査地点で大きく異なっており、閉鎖性の高い



エリア（168、8C、新浜地先）で夏から秋にかけて高い値が見られた。その一例として2019年8月のDTP、DTFe、DTMn、腐植様蛍光の分布を図2に示す。168と8Cは内湾である赤野井湾に位置しており、特に168は防波堤内のため閉鎖性が強い。また、新浜地先も、矢橋帰帆島を取り巻く水路では水の停滞が生じるため、水質もその影響を強く受けるものと考えられる。このため、これらの地点は水中の溶存酸素の低下を招き、底泥からのリン等の栄養塩類の溶出が起りやすいと推察される。本調査でも、DTPの高い値が見られた168、8C、新浜地先では、底泥溶出に付随して溶出するMnやFeも同様に高い値が観測されていたことから、赤野井湾においてリンの底泥溶出が活発に起こっている可能性が示された。また、DTPの分布から、その影響が東岸に広がっている可能性が示唆された。腐植様蛍光強度は、難分解性DOMと推定される分子サイズ数千ダルトン以下のDOMと極めて高い相関があることが分かっている。図2の腐植様蛍光強度の分布より、閉鎖性の高いエリアではCOD増加の原因である難分解性DOMが高濃度で存在していることが伺える。難分解性DOMの主要な起源として、バクテリアの代謝産物が挙げられる。そのため、高強度の腐植様蛍光が観測されるエリアでは活発な微生物活動が起こっている可能性があり、「溶存酸素の低下、底泥溶出の促進」という水質にとっての負のスパイラルが生じている懸念が推察される。

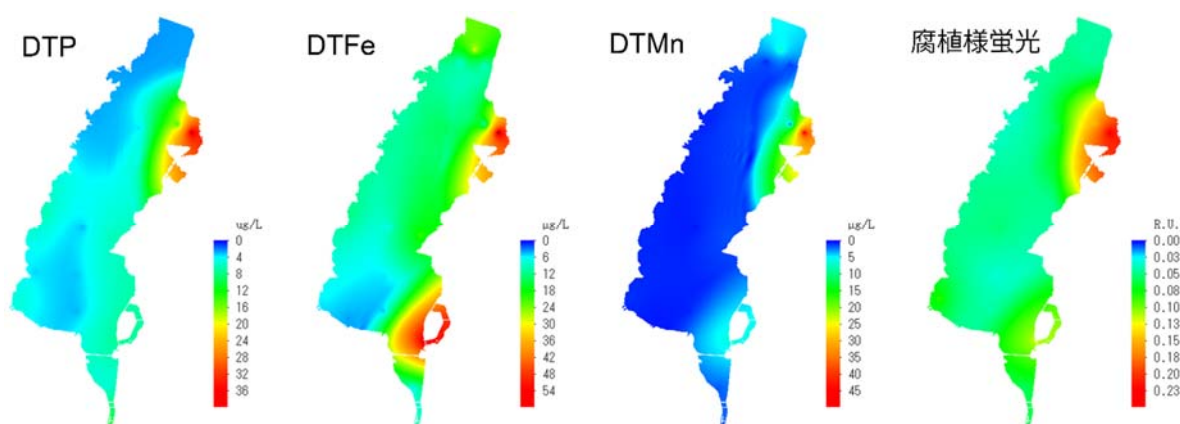


図2 2019年8月の琵琶湖南湖のDTP、DTFe、DTMn、腐植様蛍光の濃度分布

#### 4. まとめ

2018年度の北湖深水層への全層循環未到達に見られるように、気候変動に伴う湖沼の環境評価の重要性は増していくものと考えられる。琵琶湖南湖のような浅い湖沼では、夏季の水温上昇に伴い栄養塩類の底泥溶出のリスクも高まっていくと推察される。そのような状況を把握する上で、本研究で用いたICP-MSとEEMによる環境評価手法は、試料の前処理や測定の簡便性からも一つの有効な手段となりうると考えられる。

#### 参考文献

- 1) Murphy et al., 2013, *Analytical Methods* 5, 6557-6566.
- 2) Lawaetz & Stedmon, 2009, *Applied Spectroscopy* 63, 936-940.

謝辞：滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所の皆様には採水等で大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

# 印旛沼における連続水質調査について

○星野 武司・丹澤 貴大・中田 利明・横山 新紀  
(千葉県環境研究センター)

## 1. はじめに

千葉県の北部に位置する印旛沼(図1)は、湖沼水質特別措置法に基づく指定湖沼であり、昭和60年度の指定以来、現在までに7期にわたり湖沼水質保全計画を策定し総合的な施策を実施している。

しかしながら、水質の有機汚濁を示す指標である化学的酸素要求量(COD)は、近年停滞もしくは悪化の傾向を示している。

その要因については不明な点が多く、効果的な施策の立案が困難な状況である。

今回、その汚濁メカニズムの詳細について明らかにすることを目的に、沼内の1地点に水質計を設置し連続的な測定を行った。また、調査地点周辺の詳細な流況及び気象についても調査するため、流向流速計及び気象計をそれぞれ設置し連続的な調査を併せて実施した。

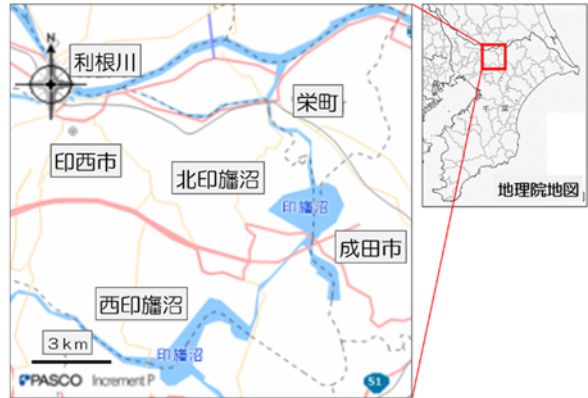


図1 印旛沼の位置

## 2. 調査方法

### (1) 水質調査

環境基準点の「上水道取水口下」(図2)を調査地点とし、底面から75cmの地点に、2019年4月10日から多項目水質計を設置した。水質計は、定期的なメンテナンスを実施するため、2台用意し、およそ2週間ごとに交換した。

#### 【測定項目】

水温、pH、溶存酸素(DO)、電気伝導度(EC)、濁度、クロロフィルa(Chl.a)(多項目水質計2台のうち1台のみ)

### (2) 流況調査

水質調査地点における流況について調査を実施するため、流向流速計を水質調査地点と同地点に底面から50cmの地点に設置した。

設置期間は、2019年5月、7月、9月、2020年1月の年4回、各28日程度計測を行っている。

#### 【測定項目】 流向、流速

### (3) 気象調査

水質調査地点の南岸の千葉県企業局印旛取水場内において、2019年4月8日から気象計を設置した。

#### 【測定項目】 気温、湿度、風向、風速、降水量、日射量



図2 水質等調査地点



### 3. 調査結果及び考察

#### (1) 気象と流況の関係

5月13日～6月10日において、24時間内非降雨時は、南、南西、西の方角に向かう流れの出現頻度が高く（図3左）、降雨24時間後は北、北東の方角が高頻度で出現した（図3右）。

このことは、調査地点の南方には上水道の取水口が、南南西には工業用水の取水口があるため、非降雨時には取水口に向かう流れがあるものと考えられた。

一方、降雨時には西印旛沼から北印旛沼を経由し、利根川に向かう流れが卓越したと推測された。

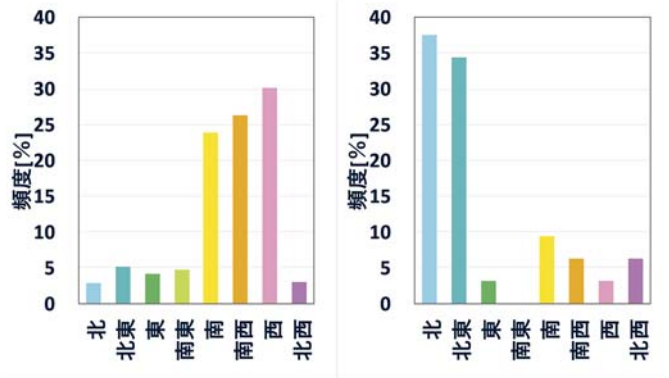


図3 流向の出現頻度

#### (2) 水質と気象の関係

一例として4月10日～5月13日の連続水質調査結果を図4に示す。

pH、DOについては、ともに日中に値が上昇し、夜間に下降する日間変動を示していた。これは、植物プランクトンによる光合成が日中に行われることによるものと推定された。

一方で、濁度は、風速が大きくなるほど、高くなる傾向を示していた。また、5月の大型連休に田植えによるものと推測される高値を示す等、人為的な影響についても確認された。

#### 4. 今後について

水質計・流向流速計・気象計を用いた連続調査を実施し、水質の時系列データを得ることができた。また、流況が水質に与える影響について明らかにするために、西印旛沼内の多地点で水質調査を現在実施している。

これらの結果を詳細に解析することにより、印旛沼における汚濁メカニズムの解明につながるものが期待される。

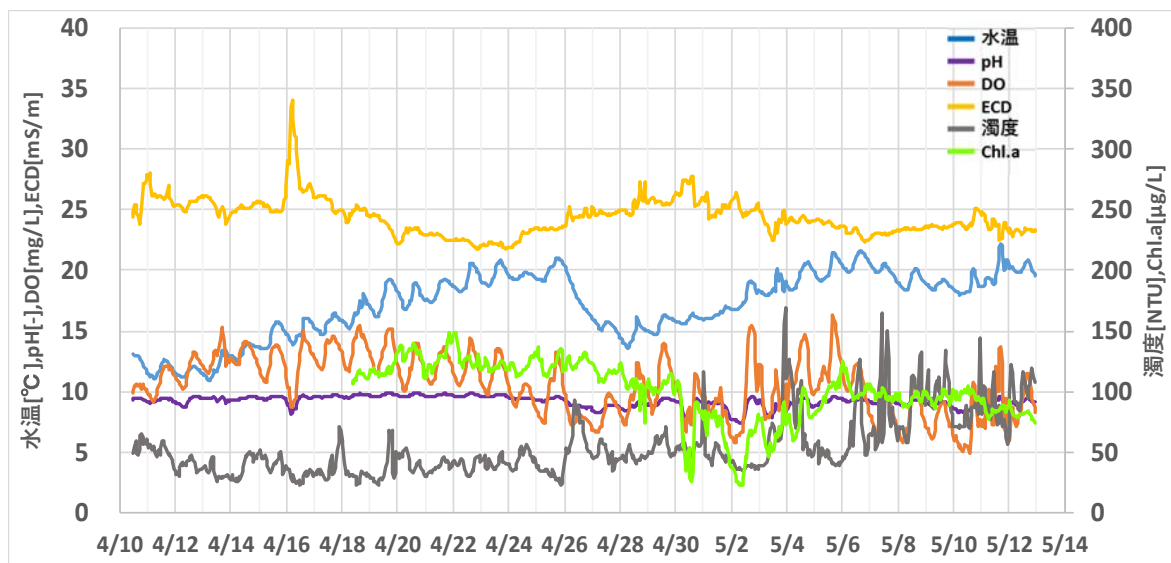


図4 2019年4月10日から5月13日における多項目水質計による連続水質調査結果

## 湖山池の汽水化にともなう生態系の変化

○安田 優<sup>1</sup>・前田 晃宏<sup>1</sup>・盛山 哲郎<sup>1</sup>・羽田 智栄<sup>1</sup>・成岡 朋弘<sup>1</sup>・岡本 将揮<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>鳥取県衛生環境研究所・<sup>2</sup>鳥取県水環境保全課)

### 1. はじめに

鳥取県鳥取市にある湖山池では、1960年代中ごろから、夏から秋にかけて、*Microcystis* 属や *Anabaena* 属などの藍藻類が増殖してアオコを形成する様子がしばしばみられ、景観悪化の原因となっていた。

また、2004年頃からヒシの生育範囲の急激な広がりがみられ、同年には約15haの生育範囲であったが、2008年には約60ha(湖面の約9%)まで拡大した。腐った葉や茎などが悪臭の原因となり、周辺住民の生活環境が悪化していた。

さらに、2006年頃にはカビ臭を発生する藍藻類(*Planktothrix raciborskii*)が出現、増殖し、水産資源であるシラウオ等にカビ臭が付着するなどの漁業被害が生じていた。

このような中、鳥取県と鳥取市は、海水の流入を制限していた湖山川水門を2012年3月から開放し、汽水湖としての再生を目指す取組み(以下、「汽水化」という。)を開始した。この取組みの要は、湖水の塩分濃度を海水の1/10から1/4程度(塩化物イオン濃度で2,000から5,000mg/L)にコントロールすることである。

鳥取県と鳥取市は、汽水化が環境にどのような影響を与えたかを知るため、水質、植物プランクトン、水生植物等のモニタリングを行ってきた。

このたび、汽水化前から現在に至るまでの環境変化を評価する一環として、モニタリングによって得られたデータの一部を整理・解析したので、その結果を報告する。



図1 湖山池周辺概略図

### 2. 調査方法

月に1回、池の中央部で上層及び下層の水を採取し、塩化物イオン濃度を測定した。

植物プランクトンは、2006年4月から2018年3月まで毎月1回、中央部上層で採取したサンプルから計数した結果を、高次分類群(綱)毎の構成割合として整理した。

水生植物は、2012年から2018年まで毎年1回、池の周辺で陸上観察、船上観察及び潜水を行い、その状況を記録した。汽水化以前の水生植物の状況は、既往の文献を参照した。

### 3. 結果

#### (1) 塩化物イオン濃度

汽水化が始まる直前の数年間は300から1,000mg/L程度で管理されていた。

2012年3月に汽水化が始まり、同年11月にかけて8,000mg/L程度まで上昇した。その後、2013年3月にかけて4,000から5,000mg/L程度まで下降したが、同年8月にかけて、再び8,000から9,000mg/L程度まで上昇した。このように、汽水化開始後2年間(2012年から2013年)は遡上海水を制御する手法が確立していなかったこともあり、夏季を中心に目標の上限値を超過することとなった。その後、2014年4月にかけて2,000mg/L程度まで下降し、以降は概ね2,000から5,000mg/Lの範囲内で推移している。

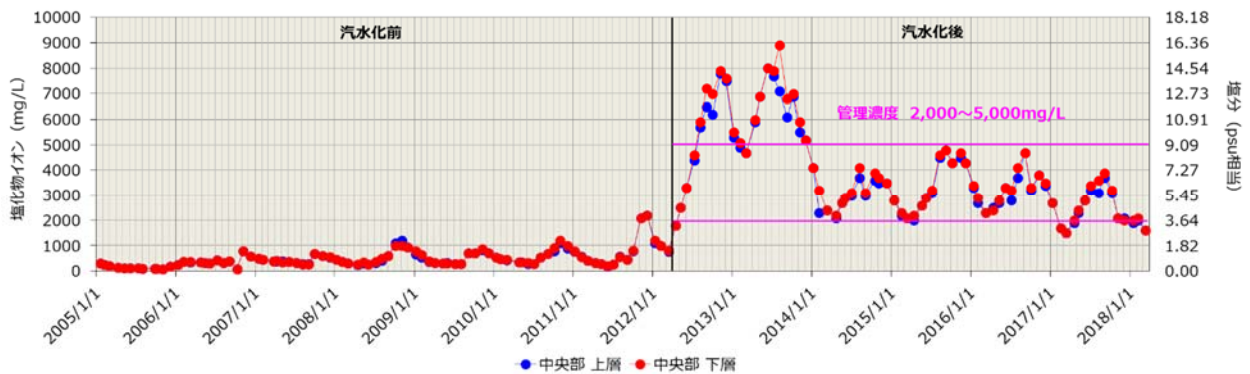


図2 塩化物イオン濃度の推移（湖山池中央部）

(2) 植物プランクトン

汽水化の前後で生じた植物プランクトン相の最も大きな変化は、夏季の優占種の変化であった。汽水化以前の湖山池では、夏季を中心に *Microcystis* 属、*Anabaena* 属、*Aphanizomenon* 属、*Planktothrix* 属等の藍藻類が大量発生し、アオコを形成する様子がしばしば見られた。

汽水化後はアオコの発生は見られなくなり、渦鞭毛藻やクリプト藻が優占するようになった。赤潮も発生するようになり、麻痺性貝毒の原因となる渦鞭毛藻 (*Alexandrium ostenfeldii*) を含む赤潮が見られることもあった。

冬季は汽水化の前後で変わらず、珪藻が優占している。

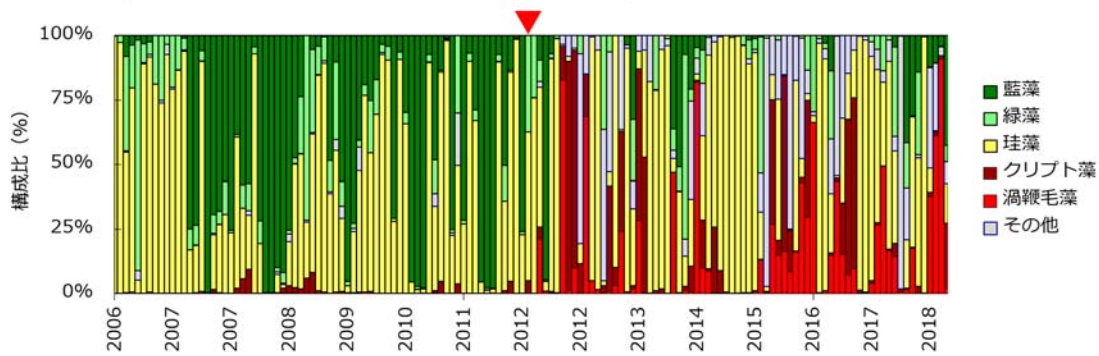


図3 植物プランクトン相の変化（横軸上の▼は汽水化の開始を示す。）

(3) 水生植物

汽水化以前の水生植物は、沈水植物 16 種、浮葉・浮遊植物 13 種、抽水植物 5 種の記録がある。このうち、ヒシは 2004 年頃から急激に生育範囲を広げていた。

汽水化以降、ヒシを含む淡水種の沈水植物、浮葉・浮遊植物は、池内には全くみられなくなった。湖岸には一部の抽水植物が残っているが、その生育範囲は縮小した。

汽水域や海域にみられる水生植物が定着する様子は今のところ確認されていない。

4. おわりに

湖山池の汽水化は生態系に影響を与えたが、懸案であったアオコは抑制され、ヒシ帯も消滅したことで、景観や悪臭など周辺住民の生活環境は劇的に改善した。

近年、市民と協働して取り組んでいる湖山池の勉強会や意見交換会の場では、観光や周辺の整備状況等に関する意見や要望が多く聞かれており、傾向として、周辺住民の関心の対象が環境の悪化から利活用へと変化しつつあることがうかがわれる。憩いの場としての利用者数も増えていることから、今後は利活用に関する施設整備、情報発信の要望がさらに高まると思われる。



# 埼玉県における特定外来生物“クビアカツヤカミキリ”に関する被害の現状と取組

三輪 誠

(埼玉県環境科学国際センター)

## 1. はじめに

クビアカツヤカミキリ (*Aromia bungii*) (図1) は、カミキリムシ科ジャコウカミキリ属に属する昆虫で、平成 30 年 1 月に特定外来生物に指定された。自然分布は、中国、モンゴル、朝鮮半島、ベトナムなどである。日本国内へは、輸入木材や梱包用木材、輸送用パレットなどの資材に、幼虫または成虫が潜んだまま運ばれ、国内で繁殖した可能性が高いと考えられている。サクラ、モモ、スモモ、ウメなどの主にバラ科樹木を好み、幼虫 (図2) はその生木を摂食・加害する。被害を受けた樹木からは、幼虫が排出したフラス (糞と木くずが混ざったもの) が大量に放出される (図3)。

国内での被害は、平成 24 年に愛知県、平成 25 年に埼玉県、平成 27 年に群馬県、東京都、大阪府、徳島県、平成 28 年に栃木県、令和元年に奈良県、三重県、茨城県、和歌山県で、それぞれ初めて確認された。このように、全国各地で徐々にクビアカツヤカミキリの被害が拡大しており、繁殖力が強いが故に、更なる被害の拡大が懸念される。

ここでは、埼玉県内に着目し、クビアカツヤカミキリの被害の現状と取組について概説する。



図1 クビアカツヤカミキリのオス (左) とメス (右) の成虫



図2 クビアカツヤカミキリの幼虫



図3 被害を受けたサクラの根元に散乱する大量のフラス

## 2. 埼玉県におけるクビアカツヤカミキリ被害

埼玉県では、平成 25 年に、県南東部の草加市と八潮市で、クビアカツヤカミキリによるサクラの被害が初めて確認された。その翌年、八潮市のサクラで被害が確認されたものの、その後、しばらく

被害の報告はなかった。平成 29 年になって、県南東部の越谷市、県北部の羽生市、行田市、熊谷市、深谷市および加須市の主にサクラで、新たな被害がにわかに確認され、県内で被害が発生した市町村数は突如として 8 市に拡大した。

この状況を受けて、埼玉県環境科学国際センターでは、県内の被害状況を把握するため、平成 30 年 6 月から県民参加による“クビアカツヤカミキリ発見大調査”を実施した。この調査は、県民が県内におけるクビアカツヤカミキリによるサクラ被害の有無を調査し、その情報を当センターに報告するものである。なお、寄せられた情報は集計して地図化し、当センターホームページ上の“クビアカツヤカミキリ情報”サイト

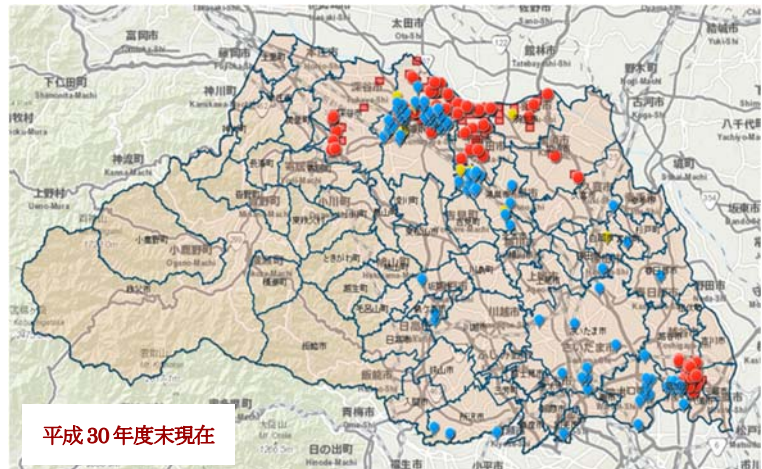


図 4 クビアカツヤカミキリ調査地点マップ

赤丸：被害報告地点、赤四角：被害報告三次メッシュ  
青丸：被害未発生報告地点、黄丸：経過観察地点

( <https://www.pref.saitama.lg.jp/cess/center/kubiaka.html> ) で公開している (図 4)。この調査により、平成 30 年度に被害が発生した市町村数は、平成 29 年度までに被害が発生した 8 市を超えることはなかったものの、県内 128 カ所で被害が発生したことが分かった (図 4)。また、この調査は令和元年度にも実施し、現在データの集計中であるが、被害発生市町村数は平成 30 年度よりも 3 市 1 町増え、11 市 1 町となる見込みである。このように、埼玉県内では、クビアカツヤカミキリによる被害が徐々に拡大しつつある現状にある。

### 3. クビアカツヤカミキリの被害防止に関する取組

平成 29 年の突然の被害拡大を受けて、埼玉県環境科学国際センターでは、平成 30 年 1 月から、クビアカツヤカミキリの被害防止に関する 3 つの取組を開始した。一つ目の取組は、「サクラの外来害虫“クビアカツヤカミキリ”被害防止の手引」(図 5) の作成と配布である。この手引は、クビアカツヤカミキリの生態、被害実態、被害の確認ポイント、防除の方法などを解説したもので、これまでに県内の全市町村、学校、サクラ保全団体、環境保全団体などに広く配布し、被害防止と対策を呼びかけた。なお、この手引きは、先に挙げた“クビアカツヤカミキリ情報”サイトからのダウンロードが可能となっている。二つ目の取組は、被害防止と対策に関する講習会の開催である。講習会では、県民、市町村、サクラ保全団体・管理者、事業者などを対象に、作成した手引を用いて、県内各地でクビアカツヤカミキリの被害防止と対策について説明した。三つ目の取組は、先にも述べたが、平成 30 年 6 月から開始した県民参加による“クビアカツヤカミキリ発見大調査”である。この調査により、多くの被害情報を得ることができ、県内における被害範囲の把握などが可能となった。



図 5 作成した手引

### 4. まとめ

埼玉県では、クビアカツヤカミキリによる被害範囲が拡大しつつある。埼玉県環境科学国際センターでは、今後も県民や市町村などの支援を仰ぎながら、引き続きクビアカツヤカミキリの被害防止に向けた取組を実施し、被害の早期発見と防除を推進していきたいと考えている。

# GC/MS を用いた油種分析による火災原因調査の支援

○高村 範亮・八児 裕樹・常松 順子  
(福岡市保健環境研究所)

## 1. はじめに

当研究所では、環境中にガソリン等の燃料油が流出した際にガスクロマトグラフィー/質量分析法（以下、GC/MS という。）で油種分析を行っている。GC/MS は物質の質量情報が得られるため、油種によって特徴が分かる直鎖型脂肪族炭化水素（以下、アルカンという。）や芳香族炭化水素、硫黄化合物等の確認ができ、油種の識別が容易になるという利点がある。また、当研究所では消防局による火災原因調査の支援として、環境試料だけでなく、火災現場に残された焼損物の油種分析も行っている。しかし、火災の高温下で残った焼損物は環境試料と比べて油種の識別が困難な場合もある。そこで、今回は当研究所で行っている焼損物の油種分析について、識別が困難であった事例も含めて紹介する。

## 2. 調査方法

火災現場で採取した焼損物 50 g 程度を栓付き三角フラスコに分取し、ペンタン 100 mL で 5 分間振とう抽出した。得られた抽出液を分液ろ紙で脱水し、ろ液をナシ型フラスコに取った。この操作を 2 回繰り返して得られたろ液を合わせたのち、ロータリーエバポレーターや窒素ガス吹付により適宜濃縮したものを試験液とした。この試験液を表 1 に示す GC/MS 条件で分析した。また、ガソリン、灯油、軽油、A 重油及び C 重油などの燃料油は、ペンタンで適宜希釈したものを GC/MS で分析した。マスプロマトグラムの確認は当研究所の既報<sup>1)</sup>に従い、アルカンは  $m/z=71$  と 85、芳香族炭化水素は  $m/z=92$  と 106 で行った。

表 1 GC/MS 条件

機種	GC ; Agilent製 6890N, MS ; Agilent製 5975
使用カラム	Agilent製 HP-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)
カラム温度	40°C(2 min) → 10°C / min → 320°C(2 min)
注入口温度	250°C
試料導入方法	スプリットレス
試料注入量	2.0 μL
MSモード	scan(30-550)

## 3. 調査事例

### (1)事例 1 : ガソリンと灯油の成分を含む焼損物

火災原因調査においては放火等に用いられる可能性が高いガソリン及び灯油の識別が特に重要であると考えられる。本件においては、火災現場には鉄製携行缶とポリタンクが残されており、それぞれガソリンと灯油が入っていたと思われた。ガソリン、灯油及び本件における焼損物を GC/MS で分析した時の  $m/z=71$  のマスプロマトグラムを図 1 に示す。焼損物のマスプロマトグラムでは、灯油と同程度の炭素数の範囲までのアルカンが確認できたが、ガソリンのアルカンについては不明確であった。また、 $m/z=85$ 、 $92$ 、 $106$  のマスプロマトグラムにおいてもガソリンの有無については確認できなかった。しかし、現場の状況からはガソリンも使用された可能性が高い。ガソリンはオクタン価を高めるために製造工程で芳香族炭化水素の割合が高いものを混合し

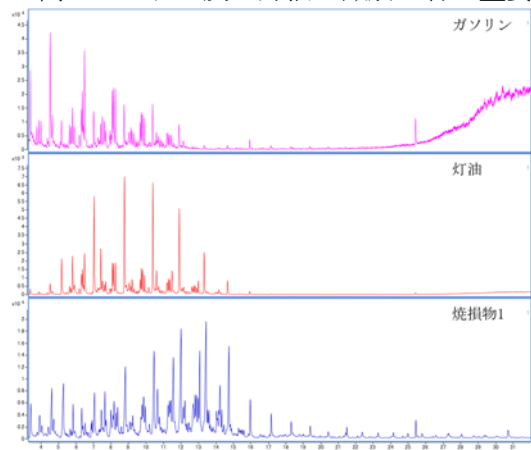


図 1 ガソリン、灯油及び焼損物の  $m/z=71$  におけるマスプロマトグラム



ている一方、灯油は煤の発生を抑えるために芳香族炭化水素量が低く抑えられている<sup>2)</sup>。しかし、単環芳香族炭化水素に由来する  $m/z = 92$  と  $106$  のマスクロマトグラムの確認では識別できなかった。そこで、多環芳香族炭化水素のナフタレン( $C_{10}H_8$ ) 及びメチルナフタレン( $C_{11}H_{10}$ )を、それぞれ  $m/z = 128$  と  $m/z = 142$  のマスクロマトグラムで確認した。このマスクロマトグラムはそれぞれアルカンのノナン( $C_9H_{20}$ ) とデカン( $C_{10}H_{22}$ )も同時に確認することができる。ガソリン、灯油及び本件の焼損物の  $m/z = 128$  のマスクロマトグラムを図 2 に示す。ガソリンではナフタレンのピークが強く検出され、灯油ではノナンのピークが強く検出された。一方、焼損物からは両方のピークが強く検出された。 $m/z = 142$  においても、ガソリンではメチルナフタレン、灯油ではデカン、焼損物では両方のピークが強く検出された。そのため、本件ではガソリンと灯油の両方が使用されたものと推定した。

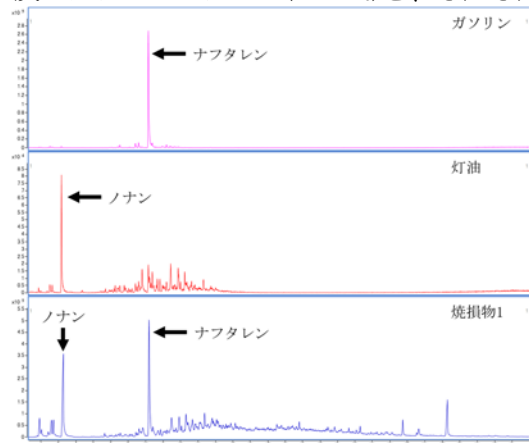


図 2 ガソリン、灯油及び焼損物の  $m/z = 128$  におけるマスクロマトグラム

#### (2)事例 2：ポリマー素材の分解物を含む焼損物

プラスチック製品などポリマー素材を原料とする製品が焼損物に含まれている場合、ポリマー素材の分解物に含まれるアルカンが検出され、アルカンの炭素数の範囲を確認する識別方法では油種の識別が困難になることがある。燃料油及び本件の焼損物を GC/MS で分析した時の  $m/z = 71$  のマスクロマトグラムを図 3 に示す。本件の焼損物は壁等の建築材を含んでいたため、ポリマー素材の分解物に由来するアルカンが燃料油、特に C 重油のアルカンの炭素数の範囲に重なって妨害となり、また、 $m/z = 85$ 、 $92$ 、 $106$  のピークも検出されたため、油種の識別ができなかった。ポリマー素材の分解物を含むマスクロマトグラムは炭素数が大きい高沸点のアルカンが検出されるなど燃料油とは異なる特徴があり、燃料油と見分けるためには高沸点のアルカンまでマスクロマトグラムを確認する必要がある。また、焼損物の油種分析を行う際には、焼損物にプラスチック製品などポリマー素材を原料とする製品が含まれていないかを確認することも重要である。

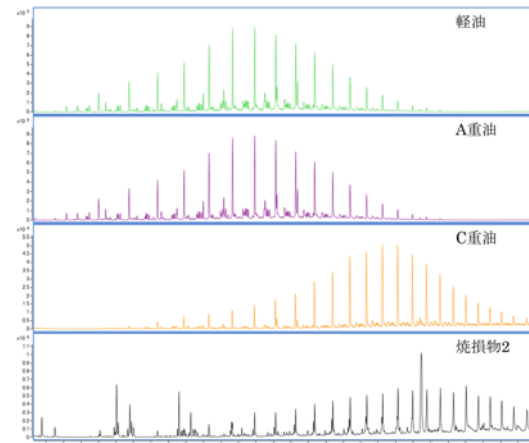


図 3 燃料油及び焼損物の  $m/z = 71$  におけるマスクロマトグラム

#### 4. 今後の課題

焼損物の油種分析においては、定性能力が高い

GC/MS を用いることによって、さまざまな視点から油種の識別を行うことができる。一方で、焼損物という高温の環境下で生成した試料について、油種分析で得られた結果を正確に解釈するためには、火災現場の情報も考慮する必要がある。今後は火災現場の情報について、現場で活動する消防隊員と綿密に情報共有できる体制を築いていくことが重要になっていくと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 中原亜紀子・川越かおる・中牟田啓子：溶媒抽出及び加熱脱着ガスクロマトグラフィー/質量分析法による火災原因鉱物油鑑定方法の検討。分析化学、54、837(2005)。
- 2) 柴田康行：石油成分の分析について。環境化学、7、577(1997)。

## オンボード実験による船舶排ガス由来 PM の特性評価

○中坪 良平<sup>1</sup>・松村 千里<sup>1</sup>・羽賀 雄紀<sup>1</sup>・平木 隆年<sup>1</sup>・今 吾一<sup>2</sup>・楠 将史<sup>2</sup>・吉田 明輝<sup>2</sup>・  
速水 健斗<sup>2</sup>・浅川 大地<sup>3</sup>・岡村 秀雄<sup>4</sup>  
(<sup>1</sup>兵庫県環境研究センター・<sup>2</sup>海技教育機構・<sup>3</sup>大阪市立環境科学研究センター・  
<sup>4</sup>神戸大学内海域環境教育研究センター)

### 1. はじめに

我が国の大気中微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) の環境基準達成率は近年改善傾向がみられるが、未だ環境基準を達成できていない高濃度測定局が瀬戸内海沿岸部に存在しており、瀬戸内海を航行する船舶の影響等が懸念されている<sup>1)</sup>。船舶から排出される大気汚染物質は、海洋汚染防止条約 (MARPOL 条約) で規制されており、2020年1月から、燃料油中の硫黄分濃度の上限値が0.5%に強化される。この規制強化により、船舶から排出される粒子状物質 (PM) の特性は大きく変化すると予想され、瀬戸内海周辺のPM<sub>2.5</sub>濃度も低下する可能性がある。

本研究では、規制強化に伴う船舶影響の変化を詳細に把握するため、燃料転換の前後で船舶排ガス中のPMを実船による洋上実験 (オンボード実験) により捕集し、その成分特性の変化を調べることを目的とする。本発表では、燃料転換前の船舶から排出されるPMの主要成分の特徴を報告する。

### 2. 方法

オンボード実験は、2018年12月に、船用2ストロークディーゼル機関を搭載した海技教育機構所有の練習船「銀河丸」で実施した。実験時の使用燃料油はC重油 (硫黄分2.47%) である。PMの捕集は、JIS-B8008-1:2009 (以下、JIS法) に準じ、部分捕集方式の分流希釈システムにより行った。排ガスをエジェクター式の希釈装置で約20倍に希釈し、捕集部の温度が42~52°Cになるようヒーターで加熱して、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) フィルター (47mmφ, Pall社, Teflo) 及び石英繊維フィルター (47mmφ, Pall社, 2500QAT-UP, 使用前に600°Cで6時間加熱) に、流速15L/minで20分間ずつPMを捕集した。排ガスの希釈前後でCO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>濃度を測定し (HORIBA, PG-300)、希釈前後のCO<sub>2</sub>濃度から排ガスの希釈率を求めた。直線航路上で機関負荷率を段階的に変化させ、各機関負荷率で3回ずつPMを捕集した。PMを捕集したPTFEフィルターを、JIS法の秤量条件 (温度22±3°C, 相対湿度45±8%) で秤量してPM捕集量を求めた。秤量後のPTFEフィルターの半量を超純水で抽出し、イオンクロマトグラフィー (Thermo社, ICS-2100) により水溶性イオン成分を分析した。残りの半量をマイクロウェーブにより加圧酸分解し、ICP-MS法 (Thermo社, X SERIES II) により無機元素成分を分析した。また、石英繊維フィルターの一部をくり抜き、カーボン分析計 (Sunset社, Labモデル) を用いた熱分離光学補正法 (IMPROVE\_Aプロトコル, 反射光補正) により、有機炭素 (OC) と元素状炭素 (EC) を分析した。

### 3. 結果及び考察

図1に、各機関負荷率におけるPM及び主要成分の排出率 [g/kWh] の平均値 (n=3) を示す。PM排出率は、機関負荷率50%で最も低く、90%で最も高かった。主要な成分は硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) とOCであり、ECやSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>以外のイオン成分、無機元素成分は少なかった。PM排出率と測定成分の排出率との差が大きいが、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の結合水をSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の1.3倍<sup>2)</sup>として推算すると、その差をほぼ説明できた。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、概ね機関負荷率が高いほど排出率が高くなる傾向がみられた。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の起源は燃料油中の硫黄分であり、硫黄分のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>への変換率は負荷率の上昇とともに増加すると報告されている<sup>3)</sup>。本実験で測定した各機関負荷率の排ガス中のCO濃度の平均値は、機関負荷率25%で260ppm、50%で200ppm、75%で80ppm、90%で78ppmであり、低負荷率時 (25%及び50%) にはCO濃度が高く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>への酸化に必要なO<sub>2</sub>が不足していた可能性がある。硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) については、本研究におけるPM捕集部の温度が42~52°Cと高いため、大部分が揮散して捕集されていない可能性が



ある。また、排ガス中のPMのイオンバランスからSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の対イオンはH<sup>+</sup>と考えられ、その強い酸性度のため硝酸塩がガス化した可能性もある。ただし、低硫黄燃料使用時には、高硫黄燃料使用時と比べてNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の排出率が高くなったとの報告もあるため<sup>4)</sup>、燃料転換後のNO<sub>3</sub>排出率の変化には注意が必要である。

OCの起源は、潤滑油や未燃の燃料と考えられる。大型低速機関は、燃焼に必要な時間と空間とが十分あるため、不完全燃焼によって生成するECは少ない。一方、低速がゆえに、シリンダライナに付着した潤滑油等が、高温の燃焼排ガスに長時間曝されるため、その蒸発量が増え、OCの排出率は高いと考えられる<sup>5)</sup>。また、OCの排出率を各機関負荷率でみると25%で最も高かった。実験中に測定した各機関負荷率の排ガス温度は、25%で最も低かったことから、低負荷率時は高負荷率時に比べてシリンダ内の温度が低く、燃料が燃え切らず、相対的に蒸発量が多かったと推測される。

図2に、無機元素成分のうちバナジウム(V)とニッケル(Ni)の排出率と、機関負荷率ごとのそれらの比(V/Ni比)を示す。V/Ni比は、機関負荷率の変動によらず一定(2.3)であった。蛍光X線分析法で簡易分析した使用燃料油中のV/Ni比(1.7~2.3程度)と概ね一致したことから、PM中のV/Ni比は、使用燃料の組成に依存していると考えられた。

#### 4. おわりに

銀河丸の使用燃料は、規制強化後にはA重油等の低硫黄燃料へと転換される。そのため、燃料転換後に再度オンボード実験を行い、C重油使用時の実験結果との比較を行う予定である。

#### 【謝辞】

PMの捕集方法については、水産大学校の前田和幸名誉教授にご助言頂きました。オンボード実験では、銀河丸乗組員の皆様に多大なご協力を頂きました。ここに記して深謝します。

#### 【参考文献】

- 1) Nakatsubo, R., Y. Oshita, M. Aikawa, M. Takimoto, T. Kubo, C. Matsumura, Y. Takaishi and T. Hiraki:  
Influence of marine vessel emissions on the atmospheric PM<sub>2.5</sub> in Japan's around the congested sea areas, Science of the Total Environment, 702, 134744, 2020.
- 2) 大橋厚人, 井亀優, 石村恵以子, 西尾澄人, 高木正英, 徐芝徳, 排気希釈システム内のサルフェート損失の定量評価, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 45(3), 127-132, 2010.
- 3) 塚本達郎, 船用ディーゼル機関におけるPMの排出特性, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 41(3), 71-77, 2006.
- 4) 大橋厚人, 城田英之, 中村真由子, 益田晶子, 船用ディーゼル機関から排出されるPMの分析事例 — 大気質シミュレーションへの適用, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52(6), 87-96, 2017.
- 5) 日本マリンエンジニアリング学会, 船舶排出大気汚染物質削減技術検討調査報告書, 2009.

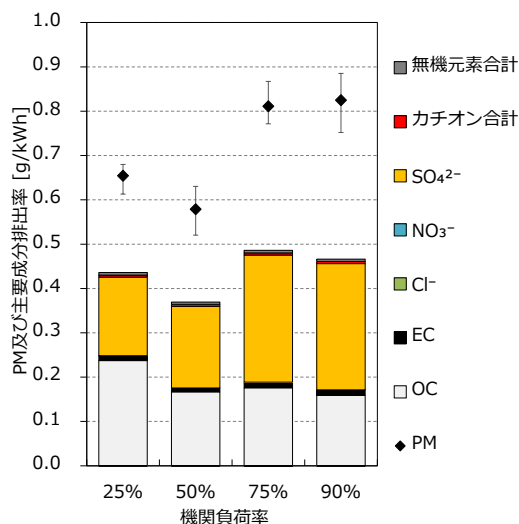


図1 PM及び主要成分の排出率 (n=3)

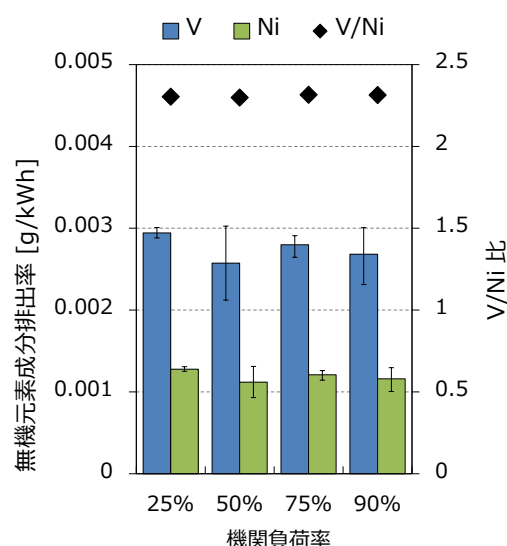


図2 VとNiの排出率及び機関負荷率ごとのV/Ni比 (n=3)

# 中国東北部のバイオマス燃焼由来の PM<sub>2.5</sub> 越境汚染に関する大気質モデル解析

## —2019年3月北海道における PM<sub>2.5</sub> 高濃度汚染事例—

○浦西 克維<sup>1,4</sup>・池盛 文数<sup>2</sup>・嶋寺 光<sup>1</sup>・近藤 明<sup>1</sup>・菅田 誠治<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>大阪大学・<sup>2</sup>名古屋市環境科学調査センター・<sup>3</sup>国立環境研究所・<sup>4</sup>奈良県景観・環境総合センター)

### 1. はじめに

2019年2月27日頃から北海道内各地で PM<sub>2.5</sub> 濃度が上昇し、3月2日には旭川市、釧路市および北見市において注意喚起が発令されるに至った事例(北海道 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事例)は、衛星観測によるホットスポットの分布、後方流跡線解析等から、シベリア地域東部のバイオマス燃焼(BB)だけでなく中国東北部で発生したBBが北海道へ移流した可能性が高いと指摘されている(北海道, 2019)。そこで、PM<sub>2.5</sub> 高濃度汚染の要因を解明するため、同時期に中国東北部で大規模発生したバイオマス燃焼(BB)に注目し、大気質モデルCMAQを用いた感度解析を実施した。

### 2. 方法

気象場の計算にはWRF v3.8.1、汚染物質濃度の計算にはCMAQ v5.0.2を用いた。CMAQの計算領域(図1)は、Uranishi et al. (2019)と同じ東アジア域(D1, 45 km 格子)および日本域(D2, 15 km 格子)を用いた。国外のBB由来の排出量には、公開されているBB排出インベントリのうち、2019年の日別排出量データが利用可能なGFAS v1.2を用いた。計算期間は、2019年1月を助走期間として設け、2019年2月1日～3月31日を評価対象期間とした。また、北海道でPM<sub>2.5</sub> 高濃度事例が発生した2019年3月1日の前後約2週間(2019年2月14日～3月16日)を重点解析期間とし、北海道でのPM<sub>2.5</sub> 高濃度事例を発生させた要因について解析をおこなった。計算条件の詳細については、Uranishi et al. (2020)を参照されたい。CMAQによるPM<sub>2.5</sub> 濃度の再現性評価には、中国国内342地点(うち中国東北部37地点)、北海道地方19地点、東北地方68地点の観測値を用いた(図1)。

### 3. 結果と考察

NASA FIRMSが提供する衛星観測データによるホットスポット分布(図1)から、これまで北海道PM<sub>2.5</sub> 高濃度事例の原因とされたロシア地域東部だけでなく、中国東北部により多くのBBが発生していた。同衛星観測データを基に排出量が推計されるGFAS v1.2においても、日別PM<sub>2.5</sub> 排出量の挙動は2019年と過去4年(2015年～2018年)で異なり、2019年2月27日等で他の年次の10倍程度のPM<sub>2.5</sub> 排出量が推計されていた(図2)。中国東北部の都市ハルビン日平均気温の挙動も、2019年2月18日～3月11日において他の4年の日平均気温よりも10℃前後高い状態(0℃前後)が続いていた(図2)。このため、寒冷地である中国東北部周辺でも、例年より早い雪解けが発生し、森林火災や農地での作物残渣等の焼却(野焼き)といったBBが発生する条件が整っていたと考えられた。

既存BB排出インベントリには、中国東北部における野焼き由来の大気汚染物質排出量を過小評価している可能性があるため(Uranishi et al., 2019)、通常の計算条件(①標準ケース)に加えて、BB由来

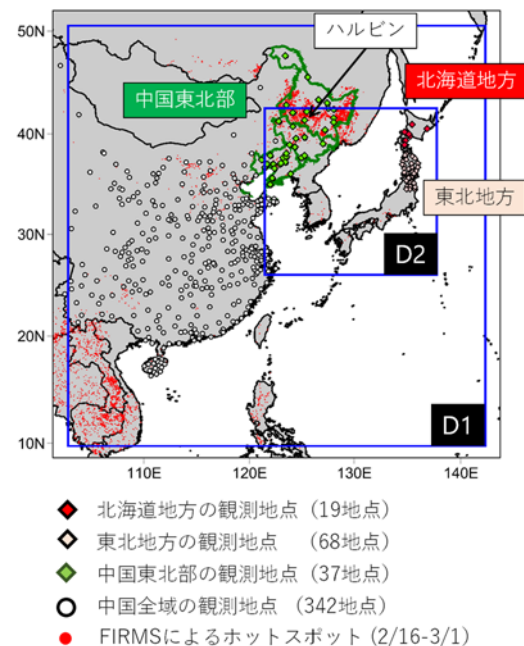


図1 CMAQの計算領域、PM<sub>2.5</sub> 観測地点とホットスポット分布図(2019/2/26～3/1)

の大気汚染物質排出量を増加させた複数のケース (②BB 由来の大気汚染物質排出量を全領域で増加したケース、③BB 由来の大気汚染物質排出量を中国東北部の農耕地に限ったケース) についても計算を実施した。CMAQ による各地域の PM<sub>2.5</sub> 濃度再現性を比較した結果を図3に示す。①では3地域共通して、CMAQは、2月27日～3月2日のPM<sub>2.5</sub>濃度を過小評価した。②は、上記期間では、①より観測値との乖離が減少していたものの、他期間において、北海道、東北地方のPM<sub>2.5</sub>濃度を著しく過大評価した(図3b, c)。③では、3地域共通して重点解析期間中のPM<sub>2.5</sub>再現性が最も良好であった。

②でCMAQがPM<sub>2.5</sub>濃度を著しく過大評価した日の前日～2日前は、中国東北部周囲の森林地域、特に、中国東北部の東側のロシア領内にPM<sub>2.5</sub>排出量が集中していたことから、中国東北部の外側に分布する森林地域のPM<sub>2.5</sub>排出量を増加させる(②)と、CMAQは移流先である日本(北海道地方、東北地方)のPM<sub>2.5</sub>濃度を過大評価することが判明した。また、中国東北部の農耕地由来のBB排出量を増加させることにより、CMAQはローカル汚染(中国東北部内の各都市のPM<sub>2.5</sub>濃度)、および移流先(北海道、東北地方)のPM<sub>2.5</sub>濃度を良好に再現することが明らかとなった。③では、移流先の日平均PM<sub>2.5</sub>濃度が中国東北部の農耕地のBBの影響を最大20 μg/m<sup>3</sup>程度受けていると推計されており、今後、冬季に同規模のBBが中国東北部で発生し、北西からの風が吹く等の気象条件が重なった場合には、北海道地方等で同様のPM<sub>2.5</sub>高濃度汚染が再発するおそれがある。

【謝辞】

本研究は、国立環境研究所と地方環境研究所による第Ⅱ型共同研究として、国立環境研究所が保有するスカラ計算機を利用しました。

【参考文献】

- 1) 北海道: 平成31年3月2日の道内におけるPM<sub>2.5</sub>(微小粒子状物質)注意喚起に係る高濃度現象の要因について(2019), <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/jss/khz/310302kaiseki.pdf> (2019.10.1 アクセス).
- 2) Uranishi, K., Ikemori, F., Shimadera, H., Kondo, A., Sugata, S.: Impact of Field Biomass Burning on Local Pollution and Long-Range Transport of PM<sub>2.5</sub> in Northeast Asia, *Environ. Pollut.*, **244**, 414–422 (2019).
- 3) Uranishi, K., Ikemori, F., Shimadera, H., Kondo, A., Sugata, S.: Air quality simulation of PM<sub>2.5</sub> transboundary pollution over Northeast Asia caused by biomass burning in Northeast China: A case study in Hokkaido, Japan in early spring 2019, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, in press (2020) [in Japanese].

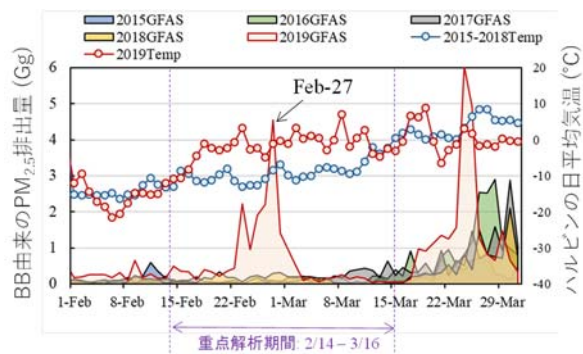


図2 2015～2019年の中国東北部におけるBB由来の日平均PM<sub>2.5</sub>排出量とハルビンの日平均気温の推移

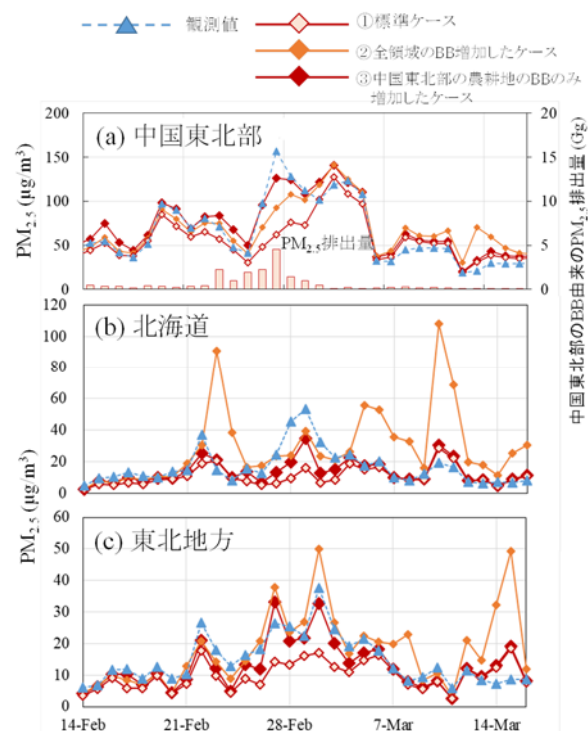


図3 2019年2～3月における計算条件別の日平均PM<sub>2.5</sub>濃度、BB由来のPM<sub>2.5</sub>排出量の推移の比較: (a) 中国東北部、(b) 北海道地方、(c) 東北地方



# 2019年3月に北海道で生じたPM<sub>2.5</sub>高濃度における時別有機トレーサー成分観測

○池盛 文数<sup>1</sup>・浦西 克維<sup>2,3</sup>・浅川 大地<sup>4</sup>・菅田 誠治<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>名古屋市環境科学調査センター・<sup>2</sup>大阪大学・<sup>3</sup>奈良県景観・環境総合センター・

<sup>4</sup>大阪市立環境科学研究センター・<sup>5</sup>国立環境研究所)

## 1. はじめに

近年、PM<sub>2.5</sub>は日本各地で環境基準を下回り改善傾向にあるが、地域によっては極端な高濃度現象が見られることがある。その一例として、2019年3月上旬に、北海道や東北地方北部でPM<sub>2.5</sub>の1時間値が100 µg/m<sup>3</sup>を超過し、また1日平均の環境基準値である35 µg/m<sup>3</sup>を超える高濃度イベントが見られた。特に札幌市内では、1時間値の最大値が150 µg/m<sup>3</sup>を超えるなど、非常に高濃度であった。この高濃度イベントを解明するためには、高濃度時のPM<sub>2.5</sub>を成分分析し、その濃度上昇要因を解析する必要があるが、常時、成分分析のためにPM<sub>2.5</sub>を捕集している自治体はごく少数である。

近年、自治体のPM<sub>2.5</sub>やSPM質量濃度の常時監視で用いられる質量濃度測定装置のテープろ紙に捕集された大気粒子が、大気環境研究に利用されている。一部の装置から得られるテープろ紙には、1時間ごとの粒子が捕集されているため、これを用いることで予期せず生じた高濃度事例の成分分析を行うことができる。本講演では、2019年3月のPM<sub>2.5</sub>高濃度期間を含む、2019年2月26日から3月7日における札幌市内のPM<sub>2.5</sub>質量濃度測定機のテープろ紙を用いて、発生源指標となる有機物(有機トレーサー成分)を時間値分析しPM<sub>2.5</sub>高濃度要因を考察したので報告する。

## 2. 方法

有機トレーサー成分の測定には、札幌市の北一条局(自排局)のPM<sub>2.5</sub>質量濃度測定機(FPM-377、東亜 DKK)のテープろ紙上に捕集されたPM<sub>2.5</sub>試料を用いた。環境省より公開された大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置(ACSA、国設札幌酸性雨測定所)のPM<sub>2.5</sub>、水溶性有機炭素(WSOC)を参考にし、これらの時間変動を追跡できるように、1から6時間分を一つの測定試料(n=76)とした。有機トレーサー成分は、ジクロロメタンとメタノールの混合溶液(2:1、3 mL)中に超音波抽出した。抽出溶液の一部を分取し、窒素吹き付けで乾固し、シリル化反応を行った。反応後、希釈し、GC-MSで有機トレーサー成分を測定した<sup>1)</sup>。

## 3. 結果と考察

PM<sub>2.5</sub>質量濃度は、3月1日18時に国設利尻酸性雨局で230 µg/m<sup>3</sup>、同日22時前後には札幌市内の測定局で150 µg/m<sup>3</sup>を超過した。WSOCや硫酸イオン濃度も同時刻にピークが見られた(図1)。特にWSOCは50 µg/m<sup>3</sup>を超過しており、非常に高濃度であった。その後、3月2日にはPM<sub>2.5</sub>高濃度域が東北北部に移動した。NASAが公開している衛星データから、同時期に、中国東北部や極東の中国とロシア国境付近で火災発生を示すファイアースポットが確認でき、衛星画像から火災で発生した煙が北海道に輸送されていることを確認した。

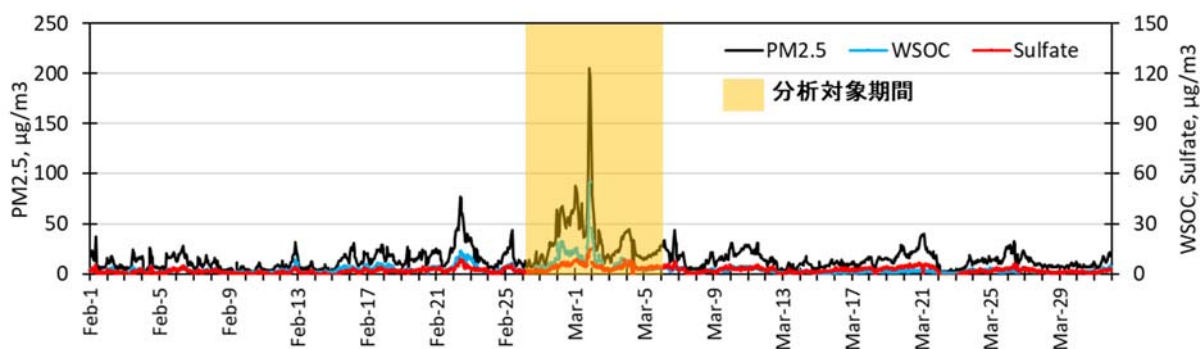


図1 国設札幌酸性雨測定所のACSAで測定されたPM<sub>2.5</sub>、WSOC、硫酸イオンの変動

続いて、有機トレーサー成分について、これまでに発表者が報告した名古屋およびその近傍のデータに比べて特に高濃度であった成分<sup>1)</sup><sup>2)</sup>を図2に示す。多くの有機トレーサー成分は、PM<sub>2.5</sub>と同様に3月1日22時に最高濃度であった。特にバイオマス燃焼の指標のレボグルコサン (LEV) は、5000 ng/m<sup>3</sup>と国内の観測例と比べても非常に高濃度であった(図2(a))。LEVの構造異性体であるマンノサン (MAN)、ガラクトサン (GLA) の時間変動もLEVと同じであった(図2(a))。LEV/MAN比 (L/M比) は、LEVが高濃度の時に40前後、濃度低下すると10程度まで減少した。燃焼粒子のL/M比は、おおそ針葉樹が3-10、広葉樹が15-25、作物残渣で40以上と報告されており、LEV高濃度時のL/M比は植物残渣燃焼の値に近かった。

リグニン分解物として知られている、4-ヒドロキシ安息香酸 (4HBA)、バニリン酸 (VA)、シリング酸 (SYA) の時間変動もLEVと同様であったが、特に4HBAが高濃度であった(図2(b))。針葉樹はVA、広葉樹はSYAとVA、草本植物はSYAとVAと4HBAを、それぞれのリグニンが骨格として含んでいる。L/M比の結果も踏まえると、PM<sub>2.5</sub>高濃度化に起因するバイオマス燃焼は、木質よりは草本植物に由来していると考えられる。

二次生成有機粒子の指標と考えられているジカルボン酸類、人為起源VOCの二次生成の指標と考えられているフタル酸 (PHA)、4-メチルフタル酸 (4PHA) と2,3-ジヒドロキシ-4-オキソペンタン酸 (DHOPA) も、バイオマス燃焼の有機トレーサー成分と同様に、3月1日22時に最高濃度を示した(図2-c, d)。特にジカルボン酸類中でもマロン酸 (DCA3)、コハク酸 (DCA4)、アゼライン酸 (DCA9)、リンゴ酸 (MLA) の最高濃度は100 ng/m<sup>3</sup>を超える高濃度であった(図2-(c))。

以上のように、北海道で観測された3月1日のPM<sub>2.5</sub>高濃度は、バイオマス燃焼の越境輸送に加え二次生成の影響を受けていると考えられる。

#### 【謝辞】

PM<sub>2.5</sub> テープろ紙は、札幌市環境局よりご提供いただいた。また本研究は、国立環境研究所と地方環境研究所のⅡ型共同研究により実施した。

#### 【参考文献】

- 1) 池盛文数, 山神真紀子, 久恒邦裕, 長田和雄, PM<sub>2.5</sub>高濃度イベント時のエアロゾル粒子中有機トレーサー成分: β線自動測定機のテープろ紙を用いた高時間分解能解析, 大気環境学会誌, 52, 118-128, 2017.
- 2) 池盛文数, 山神真紀子, 久恒邦裕, 長田和雄, 濃尾平野の港湾部, 内陸部における有機トレーサー成分の特別測定 -冬季のPM<sub>2.5</sub>高濃度事例について-, 第58回大気環境学会年会, 2C0930, 2017.
- 3) 池盛文数, 飯島明宏, 齊藤伸治, 菅田誠治, 2019年5月のPM<sub>2.5</sub>及び光化学オキシダント高濃度事例におけるPM<sub>2.5</sub>中SOAトレーサー成分とOCの特別観測, 第60回大気環境学会年会, P23, 2019.

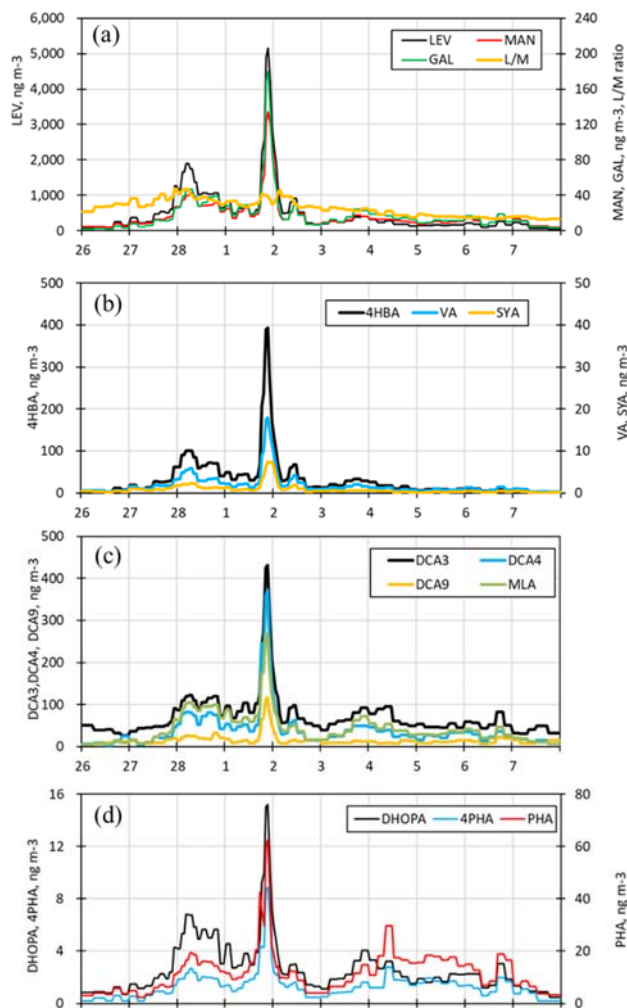


図2 有機トレーサー成分の時間変動 (a) バイオマス燃焼、(b) バイオマス燃焼 (リグニン分解)、(c) 二次生成 (ジカルボン酸類)、(d) 人為起源二次生成

