

第37回全国環境研究所  
交流シンポジウム 予稿集

令和4年2月16・17日



# 第37回全国環境研究所交流シンポジウム 「全国の環境研究から見える未来」

2022（令和4）年2月16日（水）～2月17日（木）  
於 オンライン開催

司会：永島 達也（国立環境研究所 企画部）

2月16日（水）

13:20～13:25 開会挨拶

国立環境研究所 理事長 木本 昌秀

13:25～13:30 来賓挨拶

環境省大臣官房総合政策課 環境研究技術室長 加藤 学

座長：脇岡 靖明（国立環境研究所）

特別講演

- (1) 13:35～14:05 「IPCC 第6次評価報告書にみる気候科学の現在地」…………… 1  
○江守 正多（国立環境研究所）

一般発表

<気候変動適応>

- (2) 14:05～14:20 「埼玉県における気候変動対策の現状と課題」…………… 2  
○本城 慶多（埼玉県環境科学国際センター）
- (3) 14:20～14:35 「中部山岳域における1981～2015年の気候変化の詳細解析」…………… 4  
○栗林 正俊（長野県環境保全研究所）
- (4) 14:35～14:50 「大阪府内の暑熱環境のモニタリングと影響評価について」…………… 6  
○高井 雄一郎（地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所）

14:50～15:00（休憩）

<緊急時の有害物質>

座長：中島 大介（国立環境研究所）

- (5) 15:00～15:15 「福岡県保健環境研究所における緊急時環境調査への取り組み」…………… 8  
○古閑 豊和（福岡県保健環境研究所）
- (6) 15:15～15:30 「緊急時におけるリスク管理のための化学物質調査手法の活用」……………10  
○加藤 みか（公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所）
- (7) 15:30～15:45 「緊急時環境調査手法の開発と実装に向けた取り組み」……………11  
○中島 大介（国立環境研究所）

15:45～15:55（休憩）

<プラスチック>

座長：鈴木 剛（国立環境研究所）

- (8) 15:55～16:10 「マイクロプラスチックに吸着した多環芳香族炭化水素類の光分解反応」……………13  
○野呂 和嗣（地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所）

- (9) 16:10~16:25 「下水および下水汚泥処理工程におけるマイクロプラスチックの挙動」 ……16  
○中尾 賢志(大阪市立環境科学研究センター)
- (10) 16:25~16:40 「福岡県内河川におけるマイクロプラスチック調査」 ……19  
○古賀 智子(福岡県保健環境研究所)
- (11) 16:40~16:55 「廃プラスチックのフロー把握等に基づく処理体制の構築に向けた調査研究  
について」 ……21  
○小野 理(地独)北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所)
- (12) 16:55~17:10 「河川プラスチックごみの排出実態把握と排出抑制対策に資する研究～進捗状況  
と今後の課題について」 ……23  
○鈴木 剛(国立環境研究所)

2月17日(木)

<大気汚染>

座長：菅田 誠治 (国立環境研究所)

- (13) 9:15~9:30 「AI等を利用したオキシダント濃度予測への取り組み」 ……26  
○小田 祐一(静岡県環境衛生科学研究所)
- (14) 9:30~9:45 「地方環境研究所での大気シミュレーション活用について」 ……29  
○山村 由貴(福岡県保健環境研究所)
- (15) 9:45~10:00 「降雨時の市街地排水中の硝酸イオン濃度の季節変化」 ……32  
○横山 新紀(千葉県環境研究センター)
- (16) 10:00~10:15 「大気汚染シミュレーション支援システムの開発と今後」 ……34  
○菅田 誠治(国立環境研究所)

10:15~10:25 (休憩)

<海域・河川・湖沼・閉鎖的水域>

座長：牧 秀明 (国立環境研究所)

- (17) 10:25~10:40 「環境DNAを用いた魚類調査の実施とその活用について」 ……36  
○長谷部 勇太(神奈川県環境科学センター)
- (18) 10:40~10:55 「大阪湾海水の栄養塩と有機物分解速度について」 ……39  
○鈴木 元治(公益財団法人ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター)
- (19) 10:55~11:10 「干潟における有機物分解と窒素の遊離」 ……42  
○宮崎 一(公益財団法人ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター)
- (20) 11:10~11:25 「降雨時の湿地におけるCOD、窒素、リンの浄化機能」 ……44  
○横山 智子(千葉県環境研究センター)
- (21) 11:25~11:40 「サンゴ礁海域における赤土等堆積状況と生物の関係」 ……46  
○座間味 佳孝(沖縄県衛生環境研究所)
- (22) 11:40~11:55 「琵琶湖における易分解性・難分解性溶存有機物動態について」 ……48  
○霜鳥 孝一(国立環境研究所)

11:55~12:00 閉会挨拶

国立環境研究所 理事 森口 祐一

# IPCC 第 6 次評価報告書にみる気候科学の現在地

江守正多  
(国立環境研究所)

## 1. はじめに

国連の「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC) が 2021 年 8 月に、気候変動の科学的根拠に関する第 1 作業部会の第 6 次評価報告書を発表した。今回の報告書は、気候変動の様々な面において、科学の結論が従来よりもクリアな像を結んだことを示している。

## 2. 地球規模の気温変化についての理解の向上

人間活動が気候システムの温暖化をもたらしていることに「疑う余地はない」と結論された。前回 2013 年の第 5 次評価報告書で、人間活動が地球温暖化の主な原因である「可能性が極めて高い」(95% 以上の可能性) としていたのに対して、不確かさが消え去った。

また、地球の気温の上がりやすさの指標である「気候感度」(大気中の二酸化炭素濃度を倍増して十分に時間がたったときの世界平均気温の上昇量) は、前回報告書で「1.5℃~4.5℃の可能性が高い」とされていたのに対し、「2.5℃~4℃の可能性が高い」と推定幅を狭め、最良推定値を 3℃と明示した。これによって従来よく聞かれた「気候感度が低かったらそれほど対策をしなくてもいいじゃないか」という主張に、しっかりとくぎを刺したといえる。

## 3. 気候変動リスク評価に関わる知見

今回の報告書では、地域的な気候変動、特に極端現象(異常気象)の評価を従来よりも詳しく行っている。人間活動が引き起こした気候変動により、熱波、大雨、地域によっては干ばつ、山火事などの頻度や強度が世界的に上昇しており、これからもさらに上昇することが明確に述べられた。日本に関していえば、台風のうち強いものの割合が増え、しかも日本により接近したところで強さのピークを迎える傾向も示された。

海水の熱膨張と陸氷の減少により生じている海面上昇は今世紀末には最大 1m 程度だが、今後数百年から数千年にわたってさらに続き、2000 年後には数 m から十数 m に達する。最悪の場合には南極の氷床が不安定化し、海面上昇を加速するおそれもある。ほかにも海洋循環の急激な変化などの現象が、可能性は低い(あるいは不明だが)あり得ないとはいえないとされた。

## 4. 脱炭素化目標に関わる知見

パリ協定で世界が目指している、産業革命前からの世界平均気温の上昇を 1.5℃に抑えることに関しては、近未来(2021 年から 2040 年の平均)の気温上昇が 1.5℃を超える可能性が五分五分か、それより高いことが示された。これは 2018 年に IPCC が発表した「1.5℃特別報告書」の評価よりも早くなったように見えるが、評価方法が異なるので単純に比較できないとしている。いずれにせよ、地球温暖化が 1.5℃を超えないためには急速で持続的な温室効果ガスの排出削減が今すぐに必要ということに変わりはない。

## 5. おわりに—IPCC 報告書の信頼性

IPCC の報告書を信頼すべき理由は「権威があるから」ではない。世界の 66 国から集まった 200 人以上の専門家が、14,000 の論文を引用し、そして何よりも、途中の原稿に対して世界中から集まった 78,000 のコメントにすべて対応して報告書は完成した。コメントとそれへの対応もすべて公開される。この包括性、厳密性、透明性が IPCC 報告書の信頼性の最大の源泉である。

# 埼玉県における気候変動対策の現状と課題

本城慶多<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>埼玉県環境科学国際センター)

## 1. 背景

2020年10月に菅内閣総理大臣（当時）が2050年カーボンニュートラル達成を宣言して以来、地方自治体では気候変動緩和策を強化する動きが続いている。埼玉県では、2021年12月時点で全市町村のおよそ4割にあたる24市町が2050年カーボンニュートラルを表明している<sup>1)</sup>。埼玉県庁は同様の表明を行っていないものの、地方公共団体実行計画（以下「実行計画」という）の見直しを進めており、実現可能性に配慮しながら野心的な目標を模索している段階にある。このように、温室効果ガスの排出削減は地方行政の実務に組み込まれつつあるが、施策の立案と効果検証を行うための態勢が整っておらず、実行計画の策定及び進捗管理に苦慮している自治体は少なくない。本発表では、埼玉県の気候変動対策が直面している課題を整理するとともに、その解決方法について議論する。

## 2. 地域の気候変動対策が抱える課題

### ◆ データの不足

地方自治体の気候変動対策が直面している課題のひとつはデータの不足である。施策の立案と効果検証を行うには、域内の温室効果ガス排出量を正確に把握する必要がある。温室効果ガス排出量の算定方法は、環境省が公開しているマニュアル<sup>2)</sup>に詳しく記されているが、データの入手が難しいために算定対象から除外せざるを得ない温室効果ガスが少なからず存在する。とりわけ電力需要データの不足は深刻である。地域によって状況は異なるが、2016年の電力小売完全自由化以降、電力需要データを電気事業者から取得することが難しくなっている。都道府県の電力需要は、資源エネルギー庁が公開している「都道府県別エネルギー消費統計」から取得できるが、市町村については電力需要を把握する手段がなく、温室効果ガス排出量の算定に支障をきたしている。代替案として、都道府県の電力需要を人口等の活動量で按分する手法がしばしば用いられるが、そのような推計値が正当性をもつのは「単位活動量あたりの電力需要が自治体によらず一定」という仮定が成り立つ場合に限られる。一般に、按分法に基づく推計は、特定の市町村で実施された施策の効果が県内全域に分配されてしまうため、施策の効果検証には適さない。自治体はエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量の大幅削減につながる施策を打ち出す必要に迫られているものの、地域のエネルギー需要を詳しく把握できていないのが実情である。

### ◆ 専門人材の不足

地方自治体では専門人材の不足も課題となっている。気候変動対策は専門知識を必要とするため、大学、企業、行政等の現場で経験を積んだ上で実務にあたるのが望ましいが、そのような人材は希少である。自治体の内部でもノウハウの継承は行われているが、人事異動によって環境部局の人員が数年おきに入れ替わるため、気候変動問題の現状や温室効果ガス排出量の算定方法を熟知しない職員がいきなり実行計画の策定に携わるケースも珍しくない。専門人材の不足に悩む自治体の中には、自力での計画策定を断念し、コンサルティング会社に委託するところも多い。しかし、前述のとおりデータ不足という問題が生じているため、委託先も温室効果ガス排出量の算定や施策効果の推定に苦慮している状況がうかがえる。埼玉県では、地方環境研究所である環境科学国際センターが県庁のコンサルティング機能を担っており、関連分野に精通した研究員が実行計画の策定と進捗管理を支援しているが、県内の市町村に加えて、市町村の委託を受けたコンサルティング会社から助言を求められるケースもしばしば発生している。

#### ◆ 緩和策と適応策のトレードオフ

カーボンニュートラルを達成するには、あらゆる分野で温室効果ガスの排出削減を徹底しなければならないが、急進的な緩和策は他分野の施策と衝突する場合がある。たとえば、大規模太陽光発電施設（メガソーラー等）の設置に伴う景観の破壊、観光資源の喪失、土砂災害リスクの増大に対する懸念はすでに高まっており、条例やガイドラインを定めて独自の規制を設ける自治体が急増している<sup>3)</sup>。このようなトレードオフは、緩和策と適応策の間にも発生しうる。夏の暑さが厳しい埼玉県では、昼夜を問わずエアコンを利用して熱中症リスクを下げるのが望ましいが、火力発電に依存している現状ではCO<sub>2</sub>排出量の増加につながってしまう。一方、再エネの利用拡大に伴う賦課金の増加は、エアコンの利用控えを招き、熱中症リスクを間接的に上昇させるだろう。緩和と適応の担当者が十分に連携を取れないまま、それぞれの施策効果を最大化すると、かえって社会全体の便益を損なう可能性がある（社会的ジレンマ）。

### 3 課題の解決に向けた提案

地方自治体による実行計画の策定及び進捗管理を円滑化するには、(1) すべての自治体で算定対象とすべき温室効果ガス排出源の絞り込み、(2) 温室効果ガス排出量の算定に用いるデータを一括提供するシステムの構築、(3) エネルギー需要統計の充実、といった取組が必要である。現状では、算定対象とする温室効果ガス排出源の選定から算定用データの収集・加工に至るまで自治体の判断に委ねられているため、細部の異なる算定方法が乱立し、結果の相互比較が難しくなっている。少なくともエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量の算定については「共通規格」を定めるとともに、算定用データを一括取得できるシステムを構築することが望ましい。同時に、按分法の濫用から脱却するためにも、エネルギー需要統計の充実が不可欠である。電力需要については、スマートメーターで収集した時間・空間解像度の高い電力需要データをビジネスや行政の現場で活用する動きが起こっており<sup>4)</sup>、今後の展開に期待したい。

専門人材の不足については、人事異動のない専門職の創設や地方環境研究所の機能強化といった対策が考えられるが、多くの自治体にとって現実的な選択肢ではないだろう。代替案として、地理的・経済的な結びつきが強い複数の自治体が共同で実行計画の策定を行うアプローチを提案したい。たとえば、県と地方環境研究所による支援のもと、市町村が共通規格に従って計画を策定することで、ノウハウの共有や専門人材の有効活用が可能となる。また、県と市町村の実行計画が互いに整合し、県民が気候変動対策の全体像を把握しやすくなるというメリットも期待できる。

今後、自治体はカーボンニュートラルの達成に向けて大胆な施策を導入せざるを得ないが、温室効果ガスの排出削減を優先するあまり、社会全体の便益を損なうことがないように慎重な検討が求められる。特に、緩和策と適応策のトレードオフについてはほとんど議論が行われておらず、研究の余地が多く残されている。埼玉県の地域気候変動適応センターに位置づけられている環境科学国際センターでは、県内の市町村と連携しながら「エネルギー」「健康」「意思決定」をキーワードとして緩和策と適応策のトレードオフ（あるいはシナジー）を分析する予定である。

#### 参考文献

- 1) 環境省：地方公共団体における2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況。  
<https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>
- 2) 環境省：地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル（Ver. 1.1）。  
[https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/manual3.html](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/manual3.html)
- 3) 埼玉県：大規模太陽光発電施設（メガソーラー等）に関する情報について。  
<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0503/energy/reene/reene-megasolar.html>
- 4) グリッドデータバンク・ラボ。  
<https://www.gdb-lab.jp/>

# 中部山岳域における 1981～2015 年の気候変化の詳細解析

栗林正俊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>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、長野県は2019年4月に信州気候変動適応センターを設置するとともに、2021年6月に長野県ゼロカーボン戦略を策定し、緩和策と適応策を推進する体制を整えた。具体的な対策を講じる上では、多岐にわたる分野への詳細な影響評価が必要になるが、このためには様々な気象要素を含む高解像度の気候データが不可欠である。また、地域毎の気候変化の実態を観測に基づいて把握することと、高解像度の気候データの精度を検証することも、影響評価の精度を高める上で欠かせない。特に、長野県は中部山岳域の中心に位置し高山帯も広く分布していて、ここに降る雪は水資源、観光、生態系など幅広い分野において重要視されているので、高山帯も含めて気候変化の実態を詳細に解析することは重要な課題である。しかしながら、山岳域で高精度な気象観測を長期にわたり継続することは困難なため、標高1500 m以上の地域には気象庁の観測点が乏しく、富士山を除くと御嶽山(標高2195 m)、宮田高原(標高1660 m)、上高地(標高1510 m)にアメダスの雨量計が設置されているのみである。そこで、本研究では地域気候モデルを用いて1981～2015年の中部山岳域の気候を再現した計算結果を解析し、気象庁の観測値と比較して再現性を検証しつつ、各気象要素の経年変化の空間分布や標高依存性について明らかにすることを目的とする。

## 2. 調査方法と結果

気候再現計算は、気象庁55年長期再解析(JRA-55)を非静力学地域気候モデル(NHRCM)の初期値・境界値に用いて、2重ネストにより東アジアを20 km格子、本州・四国・九州をカバーする領域を5 km格子で実施された。この計算は、1年毎に前年7月末から8月末までの約1年1ヵ月間を連続積分され、1980～2015年の合計36年分実行された。解析には、1981～2015年の中部山岳域の結果を使用した。この計算値の再現性の検証には、気象庁による長野県内の観測値を利用する。本研究では、この観測値のうち気象観測統計指針の正常値と準正常値(資料数が全体の80%以上)に分類された値のみ解析に使用した。観測点の移転がある場合、移転前後の統計値の均質性については、気象観測統計指針に示されている条件に従った。気候変化の解析をする際、気温については各観測点や各モデル格子で単回帰分析して得られる回帰係数に100をかけた値(単位:℃/100年)として計算したのに対し、降水量や積雪深など降水に関係する気象要素については、各観測点や各モデル格子で単回帰分析して得られる回帰係数を解析対象期間で平均した値で割り、100をかけた値(単位:%/年)として計算した。

## 3. 結果

1981～2015年の年平均気温について、NHRCMは観測された年々変動を良く再現し、経年的な上昇傾向も再現したが、観測に比べて経年変化率を0.80～2.05 (℃/100年)過小評価した(表1)。NHRCMにより再現された気温の経年変化率は、中部山岳域全体としてほぼ2～3 (℃/100年)で一律であり、標高に応じた違いもほぼ見られなかった。

年降水量については、御嶽山(標高2195 m)の観測値が正常値として得られているのが1993年以降であることから、1993～2015年を対象に年変化率を評価した結果、標高の高い地点の方が低い地点に比べて年降水量の年変化率が小さい傾向が見られた。

表1 長野県の気象官署における1981～2015年の年平均気温の変化率に関する観測とモデルの比較

観測点	標高 (m a.s.l)	観測 (℃/100年)	モデル (℃/100年)
長野	418	3.07	2.27
松本	610	3.97	1.98
飯田	516	3.31	2.19
軽井沢	999	4.26	2.21
諏訪	760	3.50	2.00



NHRCMによる同期間の年降水量の年変化率にも同じ傾向が捉えられ、モデルは年降水量の年変化率と標高の関係をよく再現した。NHRCMで1981~2015年を対象に同じ解析をしても、同様の傾向が見られた(図1)。このNHRCMによる降水量を液体降水(降雨)と固体降水(降雪)に分けて解析した結果、降雨量に関してはより顕著に標高の高い地点の方が低い地点に比べて年変化率が小さい傾向が現れた(図2)。

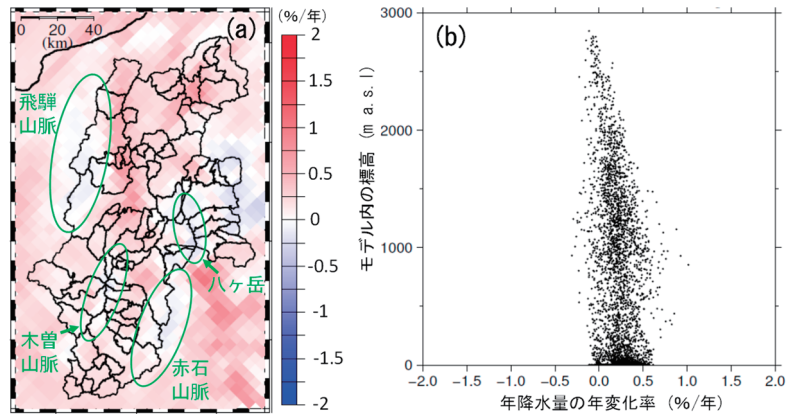


図1 モデルによる1981~2015年の年降水量の年変化率

一方、年降雪量の年変化率は、日本海型の低地で低く内陸域で高い傾向があり(図3a)、標高1000m以上の地域で概ね正であることが明らかになった(図3b)。標高1000m以下の地域における年降雪量の年変化率はばらつきが大きく、内陸の盆地と沿岸域の特徴の違いを反映していると考えられる(図3)。

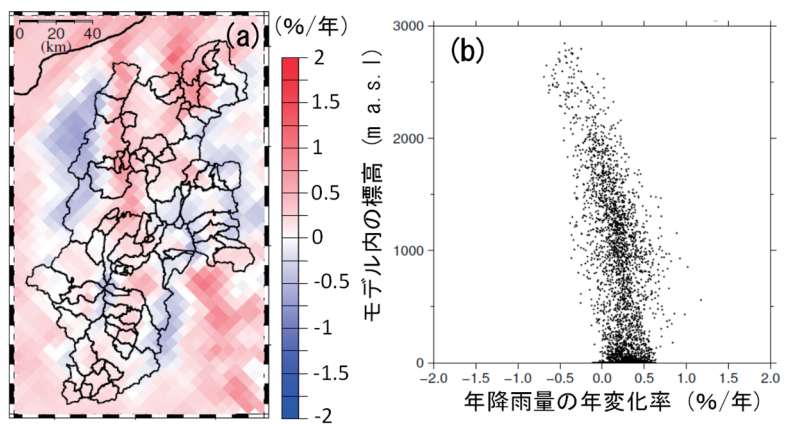


図2 モデルによる1981~2015年の年降雨量の年変化率

1981~2015年の年最深積雪の年変化率について、長野県の観測点の多くは±1(cm/年)の範囲にあり、NHRCMはこの傾向をよく再現した。NHRCMによる年最深積雪の年変化率は、年降雪量と類似した傾向を示し、日本海側の低地では負であるのに対し、標高1000m以上の地域では正であった。

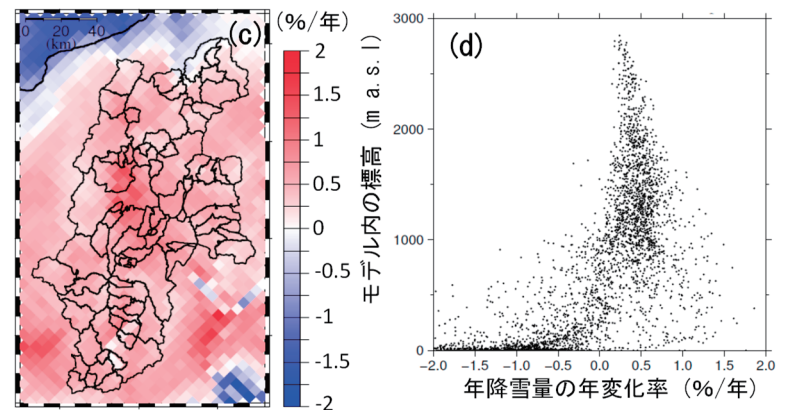


図3 モデルによる1981~2015年の年降雪量の年変化率

#### 4. 考察

日本海側の低地では、気温が上昇したことで雪が雨になり、降雪量が減少傾向にあると考えられる。一方、標高1000m以上

の地域では、気温が上昇しても冬季は0℃を下回る日が多いために降雪量は減少していないと考えられる。月別の解析では、12月の気温が低下傾向で、降雪量が顕著な増加傾向を示しており、標高1000m以上の地域での年最深積雪の増加傾向に大きく寄与していると考えられる。なお、降雨量の年変化率が、高標高域に比べて低標高域の方が高い理由は不明で、今後の課題である。

#### 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(体系的番号JPM EERF20192007)により実施した。

# 大阪府内の暑熱環境のモニタリングと影響評価について

○高井雄一郎<sup>1</sup>・奥村智憲<sup>1</sup>・今立高廉<sup>1</sup>・岡和孝<sup>2</sup>・奥勇一郎<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所・<sup>2</sup>国立環境研究所・<sup>3</sup>兵庫県立大学)

## 1. はじめに

近年、熱中症による緊急搬送者数は増加傾向にあり、ヒートアイランドや気候変動等の影響を考慮すると熱中症対策は重要な課題である。高まる熱中症リスクに対して、環境省と気象庁により「熱中症警戒アラート」が令和2年7月から関東甲信地方で試行的に、令和3年4月下旬からは全国を対象に運用が開始され、熱中症に関するデータが広く一般市民へも情報発信されている。このアラートの発令の基準となる暑さ指数（湿球黒球温度WBGT）は、①気温、②湿度、③日射・輻射（ふくしゃ）など周辺の熱環境を取り入れた指標である。①～③は、地理的条件以外にも建築物などの局所的な環境に影響を受けることから、熱中症リスクを把握するためには、きめ細かなモニタリングが必要である。そこで、既存の気象測定データおよび本研究で新たに設置した測定機器によるデータを用いて、大阪府内のWBGTの分布状況についてまとめたので報告する。

## 2. 調査

既存の気温データとして、気象庁のアメダス、環境省の大気汚染常時監視局、大阪市内の小学校の百葉箱の温度データ（1時間値または10分値、日平均値、日最高値、日最低値）を用いて、それらの変動を分析した（期間：令和3年7月20日～8月9日）。なお、各データの観測点についてFig. 1に示す。

また、既存のWBGTデータとして環境省の熱中症予防情報サイトからダウンロードしたデータと本研究で設置した測定機器のデータを用いて地域間の比較を行った（期間：令和3年7月20日～8月9日）。

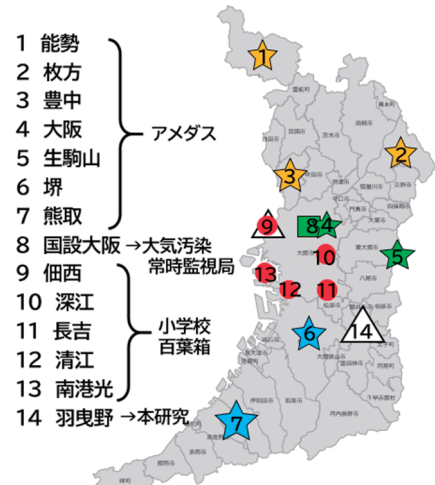


Fig. 1 各観測点の位置情報

## 3. 結果

### 3.1. 気温測定結果

気象庁のアメダス観測点（7地点）のうち、標高の高い能勢、生駒山の日最高気温は他地点よりも低く、また、枚方、豊中では、大阪市内のアメダス観測点である大阪（以下「アメダス大阪」）よりも高かった（Fig. 2）。なお、標高が大阪と同程度である熊取の日最高気温は大阪より低かった。次に、アメダス大阪と地理的条件が非常に類似した大気汚染常時監視局である国設大阪局とについて、日最高気温を比較した結果、アメダス大阪の方が高い傾向を示した（Fig. 3）。

さらに、大阪市内の小学校の百葉箱で観測された日最高気温は、大阪湾に近い南港光小学校、清江小学校はアメダス大阪より低く、また、内陸部にある長吉小学校、深江小学校はアメダス大阪より高かった。奥ら<sup>1)</sup>は、気温上昇の抑制に、大阪湾からの海風が影響するとしており、本研究のデータへも同様の要因が影響したと

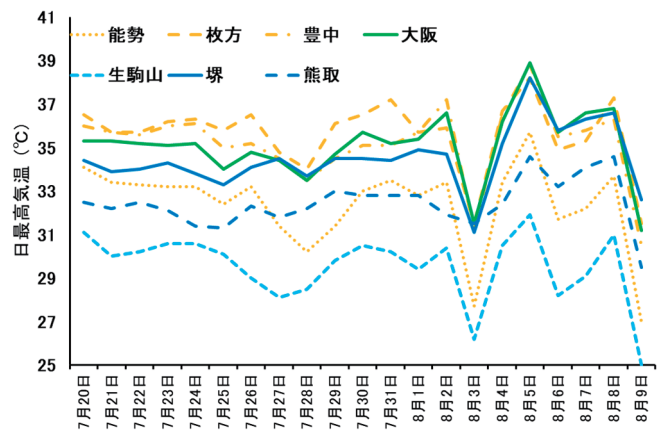


Fig. 2 アメダス観測点毎の日最高気温の変化

考えられる。以上のように、日最高気温と地理的条件や周辺環境との関係をきめ細やかに把握することで、WBGTを観測すべき熱中症リスクの高い地点の選定が可能となる。

### 3.2. WBGT 測定結果

環境省の熱中症予防情報サイト（6地点）のデータのうち、日最高気温が低い能勢および生駒山のWBGTは他地点よりも低く、また、日最高気温が高い枚方では、大阪市内のWBGT実測点である大阪での値（以下「大阪実測値」）よりも高かった（Fig. 4）ことから、WBGTの分布はおおむね気温の分布と近くなるものと考えられた。一方で、大阪よりも日最高気温が低い熊取の日最高WBGTが大阪に近づいている日もあった。従って、WBGTのきめ細かい把握のためには、日最高気温のみならず、湿度や風速といった気温以外の要因の地理的分布も把握する必要がある。次に、佃西小学校（大阪市）および大阪府立環境農林水産総合研究所（羽曳野市）に設置したWBGT測定器での値（それぞれ、以下「佃西実測値」および「羽曳野実測値」）と大阪実測値を比較したところ、佃西実測値は大阪実測値とは、ほぼ同様の変化を示したが、羽曳野実測値は大阪実測値よりも日最高WBGTが高い傾向がみられた（Fig. 5）。今後は、得られた測定データ等を活用して、将来の気温及びWBGTを推定のうえ、気候変動が大阪府内の熱中症リスクに及ぼす影響を評価する予定である。

（謝辞）本研究は、2021年度気候変動適応に関する地域気候変動適応センター等と国立環境研究所との共同研究「気候変動による暑熱・健康等への影響に関する研究」の支援および大阪市環境局の協力のもと、実施されました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

1) 奥勇一郎, 梶元慶子: 大阪市における夏と冬のヒートアイランド現象の違いに関する観測的研究. 日本ヒートアイランド学会論文集, 9, 1-12(2014).

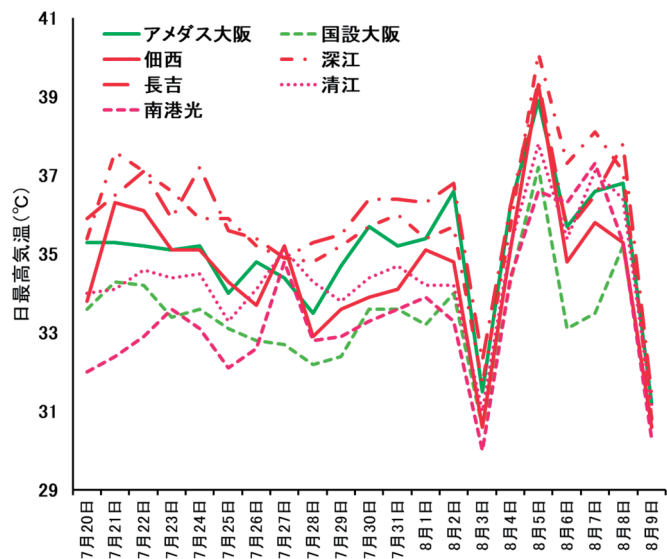


Fig. 3 国設大阪および小学校百葉箱の日最高気温の変化

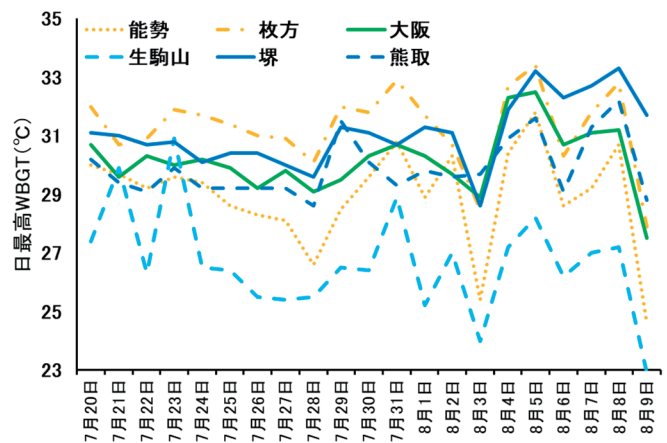


Fig. 4 熱中症予防情報サイトより提供された日最高 WBGT の変化

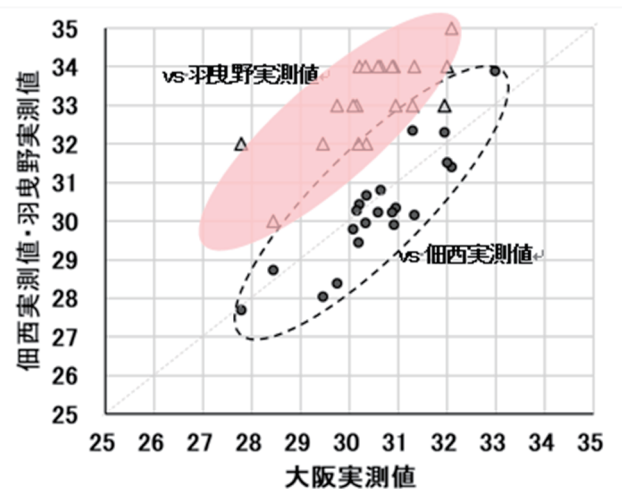


Fig. 5 日最高 WBGT に関する大阪実測値と佃西実測値および羽曳野実測値との関係

# 福岡県保健環境研究所における緊急時環境調査への取り組み

○古閑豊和<sup>1</sup>・石橋融子<sup>1</sup>・宮脇 崇<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>福岡県保健環境研究所・<sup>2</sup>北九州市立大学)

## 1. はじめに

豪雨や大型地震などの災害発生時には、河川氾濫や建物の倒壊により、有害化学物質の漏洩や流出が懸念される。このような「緊急時」には有害化学物質の汚染源の特定や汚染の範囲を速やかに調査し、地域住民の安心・安全確保を図る必要がある。しかし、災害時は平常時と異なる状況のため環境基準物質や規制物質のみを測定し安全性を評価するのは困難であるため、多成分の有機汚染物質を計測するスクリーニング手法が必要となる。近年、標準物質を使用せずに約1000種の化学物質を自動同定・定量する手法としてGC/MSデータベース法（以下、AIQS）が開発され、AIQSを活用した調査研究がⅡ型共同研究「災害時等の緊急調査を想定したGC/MSによる化学物質の網羅的簡易迅速測定法の開発」をはじめ、多くの機関で行われている<sup>1)</sup>。福岡県保健環境研究所では、これまでにAIQSを用いた有機汚染物質の網羅的測定法（以下、スクリーニング法）を複数開発し、緊急時環境調査の現場に用いてきた<sup>2)-4)</sup>。今回は福岡県保健環境研究所で取り組んできた実施例を紹介する。

## 2. 迅速スクリーニング法の開発

### 2-1. AIQSと迅速前処理カートリッジの活用

一般的にGC/MSを測定系とした水試料中の有機汚染物質の前処理は、固相抽出カートリッジを用いた固相抽出や有機溶媒による液液抽出を用いる。固相抽出法はカートリッジへの通水や乾燥操作並びに抽出液の濃縮操作を伴う場合がある。また、液液抽出においても抽出液の脱水操作や窒素ガスやロータリーエバポレーター等による濃縮操作が必要になり、作業時間が長期化する。緊急時には汚染の拡大や二次被害を防止する必要があり、スクリーニング法の迅速化は喫緊の課題である。そのため、「迅速前処理カートリッジ」に注目した。迅速前処理カートリッジはジーエルサイエンス株式会社から販売されており、有機溶媒による液液抽出を基本原理としているが、疎水性膜を用いることで数mL程度の有機溶媒で環境水中の有機汚染物質を抽出できるものである（図1）。当研究所では、この迅速前処理カートリッジとAIQSの網羅測定技術を組み合わせ、Log Powが0.78~7.05の物性を持つ有機汚染物質を約70分で測定可能なスクリーニング法を開発した<sup>2)</sup>。

### 2-2. 迅速前処理カートリッジの応用

熱に不安定な物質や親水性物質の網羅的測定にはGC/MSを測定系とするAIQSでは対応困難であるため、LC/MSを測定系（親水性物質スクリーニング法）とすることが望ましい。福岡県では将来的にLC-AIQSの導入と普及に備えて、親水性物質スクリーニング法における前処理の迅速化に関する研究を進めている。その一歩として、宮脇らが土壌用の抽出法として考案したアセトニトリル・水の二相系溶媒抽出法を迅速前処理カートリッジ（カートリッジ法）に応用した。検討した方法では疎水性膜を使用せず、塩析剤として塩化ナトリウムを用いることでアセトニトリルを分離した。そして、分離したアセトニトリルに内部標準物質を添加し、精製水を加えてLC-MS/MS測定に供した。カートリッジ法は前処理時間が10分程度で終了し、Log Powが-0.46~8.20の物性をもつ有機汚染物質に適用可能であった<sup>3)</sup>。

## 3. 豪雨災害時における緊急時環境調査へのAIQSの活用

福岡県では令和2年7月に「令和2年豪雨」と呼ばれる人的被害や物的被害を伴う豪雨災害が発生した。この豪雨災害では隣県の筑後川上流域河川沿いの農薬倉庫が倒壊し、保管されていた農薬の

一部が容器ごと流出したため、下流域において緊急時環境調査を実施した。2-1 と 2-2 項で開発したスクリーニング法による有機汚染物質測定では採水から結果報告まで 1 日以内で完了した<sup>4)</sup>。スクリーニング法は緊急時環境調査に非常に有効であることがわかったが、流出農薬の一部 (Iminocadine, Diquat, Paraquat) はスクリーニング法で対応できず、個別に分析した。また、流出農薬は検出されなかったが、水稻農薬をはじめ多くの物質が検出された。

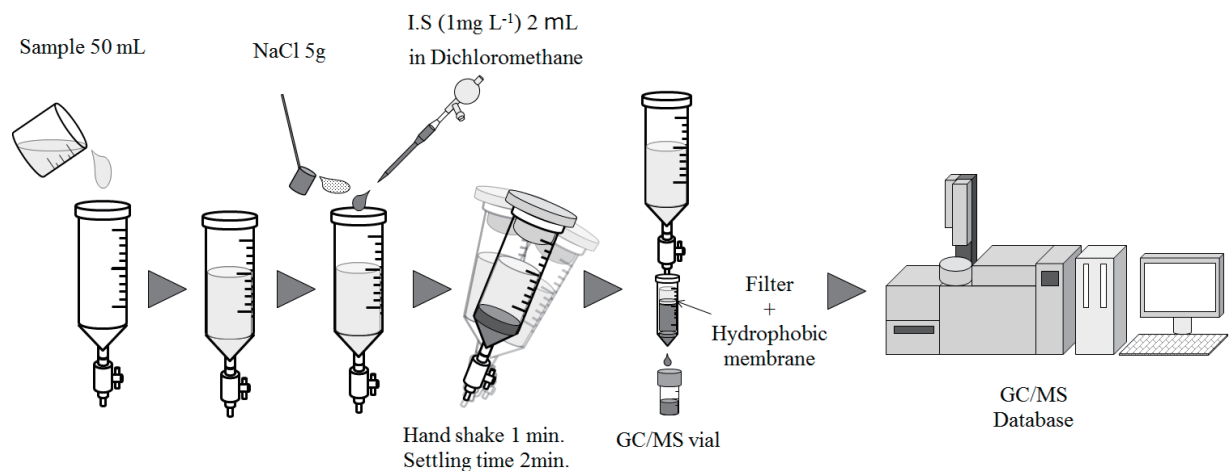
#### 4. 今後の展望

緊急時環境調査におけるスクリーニング法は多くの化学物質が検出されるだけでなく、サンプリングのタイミングや採水場所が重要である。そのため、災害発生時における基礎データとして定常時における常在物質や季節性物質のデータ蓄積と採水場所の選定方法などを検討しておく必要がある。また、開発したスクリーニング法で Iminocadine, Diquat, Paraquat の測定ができなかったことから、同様の物性を持つ有機汚染物質を調査し、それらのスクリーニング法の開発が必要である。

さらに、当研究所では化学物質の毒性を検知できる生物応答試験に注目し、スクリーニング法と生物応答試験を併用する研究にも着手している。これからも緊急時に関連する調査研究を通じて地域住民の安心・安全確保に努めていきたい。

#### 5. 謝辞

本研究の一部は II 型共同研究「災害時等の緊急調査を想定した GC/MS による化学物質の網羅的簡易迅速測定法の開発」、日本学術振興会科学研究費補助金「基盤研究 (C)」(19K12352) 及び公益財団法人河川財団の河川基金助成事業 (2020-5211-012) によって実施した。



出典：古閑豊和ら，分析化学，68， p.417-425 (2019)，p.419 の Fig.1 から転載

図 1. 迅速前処理カートリッジと AIQS を用いたスクリーニング法

- 1) 国立研究開発法人国立環境研究所：2021年度地方環境研究所等との共同研究応募課題一覧，URL <https://www.nies.go.jp/kenkyu/chikanken/kadai/r03.html> (2021年12月時点)
- 2) 古閑豊和・宮脇崇：迅速前処理カートリッジを用いた環境水中有機汚染物質のターゲットスクリーニング法の開発．分析化学，68，417(2019)．
- 3) 古閑豊和・宮脇崇：迅速前処理カートリッジを用いた環境水中有機汚染物質のターゲットスクリーニング法の開発 (2) -LC/MS/MS への応用-．分析化学，69，121(2020)．
- 4) 古閑豊和・石橋融子・宮脇崇：ターゲットスクリーニング分析と生物応答試験による豪雨災害時における河川水中有機汚染物質の調査．分析化学，70,10(2021)．

# 緊急時におけるリスク管理のための化学物質調査手法の活用

○加藤みか・西野貴裕・櫛島智恵子・星純也  
(公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所)

## 1. はじめに

災害・事故が生じた場合、事業所等からの化学物質の漏洩・流出リスクは増大し、さらに対応が遅れば、より甚大な環境被害に繋がる恐れもある。このような状況において、環境被害防止・軽減に向けた状況把握や緊急的対応手法の確立が必要とされている。そこで、災害時等に起こりうる環境汚染の状況把握や周辺地域のリスク管理を進めるために、緊急時における水・大気環境の化学物質調査手法に関する研究を進めている。ここでは、本手法の概要とその活用について紹介する。

## 2. 調査手法

図1に災害等で環境汚染が懸念された場合の緊急時における化学物質調査手法の流れを示す。発生源等の原因不明な環境汚染が発生または疑われた際に、多成分網羅分析やPRTRデータ等を活用したGIS情報を導入することで、原因物質の推定、濃度レベルの把握等の状況把握や詳細調査の地点検討等を迅速・効率的に行い、周辺地域の環境評価等、リスク管理を推進し、汚染拡大防止に役立てたいと考えている。

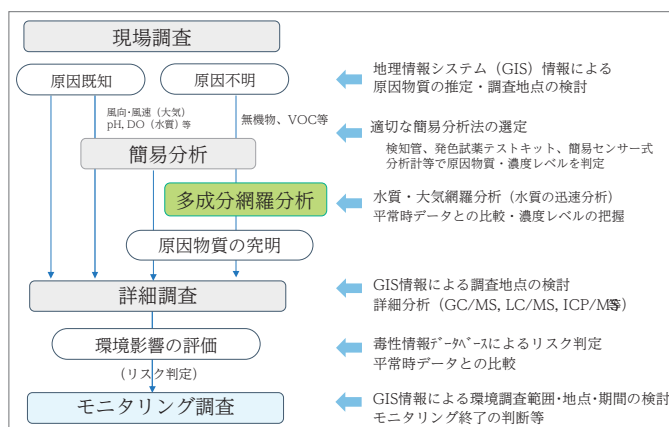


図1 緊急時における水・大気環境の化学物質調査手法

図2に水質試料の有機化合物の多成分網羅分析手法を示す。未知物質については、GC-MSの全自動同定・定量データベース(AIQS-DB, NAGINATA ver.2 (AXCEL) 西川計測)を用いて物質の同定・半定量を行い、GC-MSでは分析が困難な難揮発性有機化合物(NVOC)等は、LC-QTOFMSの精密質量等のデータベースにより物質の同定を行う。2017年度から都内公共用水域・大気の大気GC-MS(AIQS-DB)を用いた網羅分析を実施し、災害時等の原因物質の推定、収束時のモニタリング終了の判断等の環境リスク管理に活用するための平常時データの蓄積に努めている。また、事業所排水を調べることで、災害時等に汚染原因となり得る物質の把握を進めている。

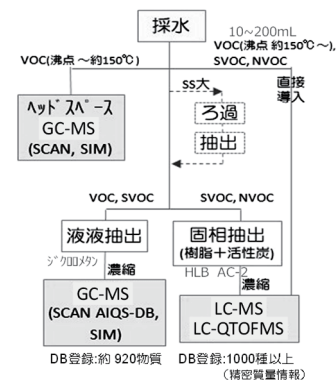


図2 水質試料の多成分網羅分析手法

## 3. 平常時の環境リスク管理への活用

本網羅分析は、緊急時のみならず、平常時の環境リスク管理にも活用可能である。例えば、著者らは、水試料の網羅分析と生態毒性情報等から優先的に調査すべき物質を選定し、これらのターゲット分析を行うことで都市域における水環境実態把握・リスク評価を効率的に進める手法を提案している<sup>1)</sup>。また、GC-MS(AIQS-DB)を用いた網羅分析から都内のPRTR対象物質等の環境実態を網羅的に把握し、排出量(予測濃度)との関係調査等を行っている<sup>2)</sup>。

## 4. 今後の課題

自然災害や化学物質の不適切な取扱いによる事故等、いつ起こるか分からない災害・事故対応は喫緊の課題である。より実効性のある緊急的対応手法の確立に向けて、国立環境研究所Ⅱ型共同研究等による地方環境研究所間の連携・協力関係の強化が望まれる。

謝辞 本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20 165002, JPMEERF19S20405, JPMEERF18S11720)により実施した。

参考文献 1)環境研究総合推進費 (JPMEERF20165002) 終了研究成果報告書 (2019)、2)加藤ら：環境科学学会年会講演要旨集 (2019)

# 緊急時環境調査手法の開発と実装に向けた取り組み

○中島大介  
(国立環境研究所)

## 1. はじめに

国立環境研究所では、東日本大震災を契機に災害環境研究という分野を立ち上げ、現在に至っている。こうした取り組みも10年が経過した。本講演では災害時における化学物質の漏洩事故等への取り組みの一つとして実施してきた国環研と地方環境研究所とのII型共同研究「災害時等の緊急調査を想定したGC/MSによる化学物質の網羅的簡易迅速測定法の開発」で実施している半揮発性物質の一斉分析法の開発とその実装に関する取組について紹介する。

## 2. AIQSとは

自動同定定量システム(AIQS)とは、測定装置を一定の条件に統一して維持することにより、あらかじめ測定しておいた標準物質の相対保持時間、質量スペクトル及び検量線情報をデータベース化して利用するものである。半揮発性物質を対象としたGC-MS版のAIQS-GCでは約1,000物質の情報に記載されたデータベースや解析ソフトが市販されている。この方法では1インジェクションで多種類の物質を同時に測定することが可能である。災害時に、どの物質で現場が汚染されているのかを網羅的に調査する際に有力な方法である。また逆に言えば、とにかく約1,000物質についてはこの方法で測定すれば値を出せることになり、漏洩物質が特定されている場合にも有力な方法である。

ところで通常の定量分析では、高感度化のためにSIM法が主に使われるのに対し、AIQSでは $m/z=33\sim600$ のスカン分析をしており、その質量スペクトルから物質の同定を行っている。この方式が実は重要な意味を持つのだが、それは5項で述べる。

## 3. AIQSの汎用化と災害対応化

市販のAIQS-GCには、以下の2つの改善点がある。ひとつは、市販AIQS-GCが島津製作所製とアジレント社製の装置にしか対応していない上に、両者は測定条件も記載データベースも異なり、互換性がないことである。ふたつめは、データベースに記載されている物質が平時の環境モニタリングを意識したものであることである。

これらの課題に対し、上述のII型共同研究においてそれぞれ改良を進めてきた。まず、どのメーカーの装置でも使える装置非依存型(MI-)AIQS-GCを作成した。従来の市販AIQSでは、キャリアガスの制御方式が線速度一定方式と、リテンションロック方式の2種類存在した。これをどの機種でも共通に使える流量一定モードに統一し、保持時間の判定は相対保持指標(RI)によるものとした。また定量値に影響を与える質量スペクトルのチューニング法はDFTPPチューニングが必須であるが、これに対応できない装置に対応するため、実測したDFTPPのスペクトルから定量値を補正する式を考案した。

2つめのデータ物質収載データについては、製造輸入量と毒性値を加味し、災害時に事故等で漏洩する可能性がある物質を優先順位付けし、これまでに約180物質の測定を実施してデータベースに登録した。さらに100物質程度を追加する準備を進めているところである。

## 4. AIQSの普及に向けて

AIQSという手法はJISに定められた検量線データベース法に基づく手法であるが、既存公定法に適用されていないこともあり、地方環境研究所等において導入と活用が進んでいない。そこで、II型共同研究を実施している41機関には、開発したMI-AIQS(スタンドアローン型NIAGINATA)

を配布し、実際に測定と解析の経験を積み重ねてきた。参加機関では「性能評価標準溶液（クライテリアサンプルと呼ぶ）」を測定し、そのデータを国環研で解析して実施元の GC-MS の状況の可否を判定している。多くの場合、最初は合格にならず、カラムのカット、注入口周りの洗浄、消耗品交換、真空状態の改善など様々な項目を改善してもらうことで合格に達する場合が多い。続いて約 100 種類の化合物が含まれている「チェックスタンダード」の測定に進み、合格した機関から AIQS 解析法へと進んでいる。

解析法の習得に関しては、共同研究機関の担当者を対象に 2019 年度に研修会を 2 回開催し、20 機関が参加した。さらに環境省環境調査研修所での問題解決型分析研修に「緊急時環境モニタリング」が取り上げられ、II 型共同研究に参加する 7 機関が参加した。2020 年度、2021 年度はオンラインでの勉強会を開催してきた。多くの機関がスキルアップしており、現在は機種間誤差、ラボ間誤差を確認するための共通実試料の測定に 20 機関が参加して取り組んでいる。

また 2021 年度には MI-AIQS のシステムをウェブ上に置き、解析ソフトを保有しなくても常に最新のソフト、最新のデータベースで解析可能な「web 版 AIQS」(図 1)を開発し、参加機関にはユーザー ID を配布して仮運用を開始した。

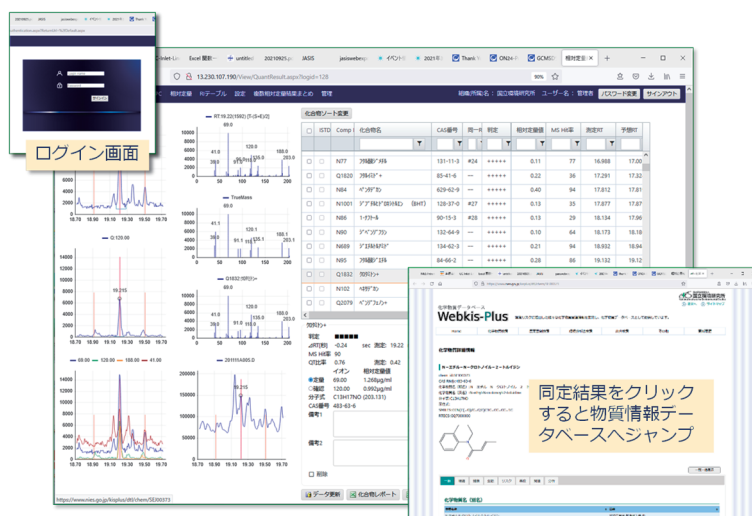


図 1 Web 版 AIQS

## 5. AIQS の今後の展開と展望

ここで AIQS の最大の魅力について述べたい。2 項で示した通り、AIQS ではスキャン分析が採用されている。即ち、測定時に測定対象物質以外のデータが捨てられていない。さらに、その測定データは装置が規格化された状態で得られたものである。ということは、後になってある物質について調べたい時には、データを再利用して同定定量が可能である。一種のデジタルアーカイブである。

災害時の環境モニタリングである物質が検出されたとき、それが被災により発生したのか、被災前から存在したのか、は重大な視点だ。しかしほとんどの場合、平時データは存在せず、その測定の意味が失われる。平時データは決定的に重要だ。とはいえ被災前には汚染される物質がわからないのだから、前もって測定しておくことは無理な話だった。だが AIQS で測定しておけば、何を調べるかは解析の段階で決定できる。とにかく試料中に含まれる全データを測定して保存できるのだ。各機関が通常業務で環境媒体の測定を行う際に、その試料の一部を AIQS 測定してデータを保存しておく、可能であればデータセンターを作って集中的に管理する等の方策を検討してはどうだろうか。

## 6. おわりに

災害時の化学物質モニタリングに AIQS が実用的と考えて、その汎用化と研修を進めてきました。全地環研の約 6 割にあたる機関に参加をいただき、学び合いの中が進んでいます。国環研では引き続き技術的な支援を行います。2022 年度からは更に収載データの精緻化と実装に向けた演習等を含め、新たな II 型研究を予定しています。多くの機関の参加を期待します。

## 謝辞

本研究は、国立環境研究所と地方環境研究所との II 型共同研究、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF18S11711) の支援により実施しました。



# マイクロプラスチックに吸着した多環芳香族炭化水素類の光分解反応

○野呂和嗣・矢吹芳教

(地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所)

## 1. はじめに

マイクロプラスチック(MPs)は、海洋生物に摂取され、食物網を通じて上位の捕食者にまで移行することが知られている。そのため、MPsに吸着した化学物質(MPs吸着物質)が海洋生物に蓄積し濃縮されることが懸念されている。MPs吸着物質の環境中でのリスク評価には、MPs吸着物質の動態の解明が必要であり、先駆的な研究として、MPsに吸着した多環芳香族炭化水素類(PAHs)<sup>(1)</sup>やポリ塩化ビフェニルの光分解反応<sup>(2)</sup>が報告されている。しかしながら、これらの研究では、MPsの種類や粒径、温度、共存物質など、多くのパラメータによる影響は明らかにされていない。

我々は、MPsの種類と、共存する硝酸イオンに着目し、MPsに吸着したPAHsの光分解反応について、人工太陽光を用いた室内試験を行なったので、その結果について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 MPsサンプルの調製

低密度ポリエチレン(LDPE)、高密度ポリエチレン(HDPE)、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリアクリロニトリル(PAN)、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリスチレン(PS)の微粒子(50 mg)に、16種のPAH混合標準液(5 mg L<sup>-1</sup>、50 μL)を滴下し、乾燥させてMPsサンプルとした。PAHsと略記をTable 1に示す。本研究では、16種のPAHsから、Nap、Acy、Aceを除いた13種について検討した。

Table 1 PAHs とその略記

PAHs	略記	PAHs	略記
Naphthalene	Nap	Benzo[ <i>a</i> ]anthracene	BaA
Acenaphthylene	Acy	Chrysene	Chr
Acenaphthene	Ace	Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthene	BbF
Fluorene	Fle	Benzo[ <i>k</i> ]fluoranthene	BkF
Phenanthrene	Phe	Benzo[ <i>a</i> ]pyrene	BaP
Anthracene	Ant	Indeno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyrene	IcdP
Fluoranthene	Flu	Dibenz[ <i>a,h</i> ]anthracene	DBaH
Pyrene	Pyr	Benzo[ <i>ghi</i> ]perylene	BghiPE

### 2.2 MPsサンプルへの光照射試験

超純水(100 mL)とMPsサンプル(50 mg)を、恒温槽内(17°C)に設置した石英ガラス窓付きステンレス容器内で攪拌した。このステンレス容器に、人工太陽光(SOLAX 100W、SERIC Ltd.)を1、3、6、9 h照射した(Fig. 1)。照射後MPsサンプルを回収し、PAHsの残存量を分析した。並行して、暗条件で試験を行った(9 h)。また、硝酸塩溶液(0.05, 0.2, 1 mg L<sup>-1</sup>)を用いて、同様の試験を行った。

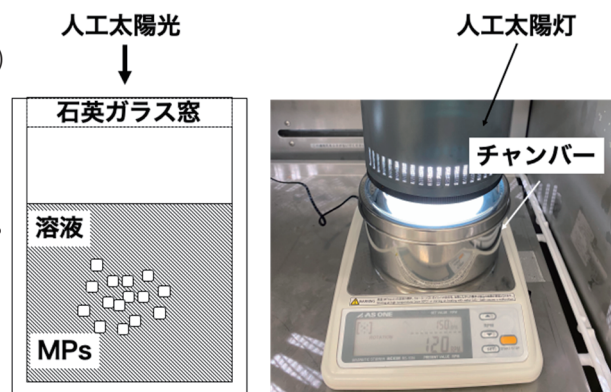


Fig. 1 光照射試験の様子

### 2.3 溶存態 PAHsへの光照射試験

PAHs溶液(100 mL、 $2.5 \mu\text{g L}^{-1}$ )に、MPsサンプルと同じ条件で光照射した。光照射後、溶液に内標準( $2 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{L}$ )を加え、InerSep Slim-J RP-1 カートリッジ(GL Sciences)に通水した( $2 \text{ mL min}^{-1}$ )。カートリッジを窒素ガスで乾燥し、アセトン ( $1 \text{ mL min}^{-1}$ 、20 min)で抽出した。

### 2.4 PAHs の抽出と分析

MPsサンプルを溶媒で抽出した( $1 \text{ mL min}^{-1}$ 、20 min)。MPsと溶媒の組み合わせを Table 2に示す。抽出液に内標準( $2 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{L}$ )を加え、1 mLに濃縮し、ガスクロマトグラフ質量分析装置で分析した。

Table 2 MPsと有機溶媒の組み合わせ

LDPE	アセトン、ヘキサン混合溶媒
HDPE	アセトン、ヘキサン混合溶媒
PET	アセトン
PAN	アセトン
PVC	ヘキサン、トルエン混合溶媒
PS	ヘキサン

### 2.5 一次反応速度定数と半減期の算出

光照射試験で、MPsおよび溶液中に残存した PAHs量を一次反応速度式にフィッティングし、光分解速度定数を算出した。超純水中の試験は eq.1、硝酸塩溶液中の試験は eq.2、溶存態PAHsの試験は eq.3を適用した。

$$\text{Ln} \left( \frac{C}{C_0} \right) = -k \times I \dots (\text{eq. 1}), \quad \text{Ln} \left( \frac{C}{C_0} \right) = -k_{app} \times I \dots (\text{eq. 2}),$$

$$\text{Ln} \left( \frac{C_{sol}}{C_{sol,0}} \right) = -k_{sol} \times I \dots (\text{eq. 3})$$

C (ng)はMPsに残存した PAHs量、 $C_0$  (ng)は暗条件の C、 $k$  ( $\text{m}^2 \text{MJ}^{-1}$ )は光分解速度定数、 $I$  ( $\text{MJ m}^{-2}$ )は光強度である(eq.1)。 $k_{app}$  ( $\text{m}^2 \text{MJ}^{-1}$ )は見かけの光分解速度定数である(eq.2)。 $C_{sol}$  (ng)は、残存した溶存態 PAHs量、 $C_{sol,0}$  (ng)は暗条件の  $C_{sol}$ 、 $k_{sol}$ は溶存態 PAHsの光分解速度定数である(eq.3)。

MPsに吸着した PAHsの、太陽光照射下における半減期を算出した(eq.4)。

$$t_{1/2} = \frac{0.69}{k \times I_{ave}} \dots (\text{eq. 4})$$

$I_{ave}$  ( $\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$ )は、太陽光の平均強度である。本研究では、夏期の北緯 40度における平均日射量 ( $0.021 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$ )<sup>(3)</sup>を用いた。

## 3. 結果と考察

MPsと PAHsの 73通りの組み合わせのうち、56通りで  $k/k_{sol}$ 比が 1よりも低く、溶存態と比べて、MPsに吸着した PAHsの光分解が抑制されていることが示唆された(Fig. 2)。つまり、PAHsはMPsに吸着することで光分解反応に対して安定化され、MPsとともに長距離輸送されている可能性がある。Chx、IcdPなどの、一部の PAHsは、MPsに吸着することで、光分解が促進されていた。

$k/k_{sol}$ 比は、MPsの種類に依存する傾向が見られ、HDPEや PANへの吸着により  $k/k_{sol}$ 比は小さく

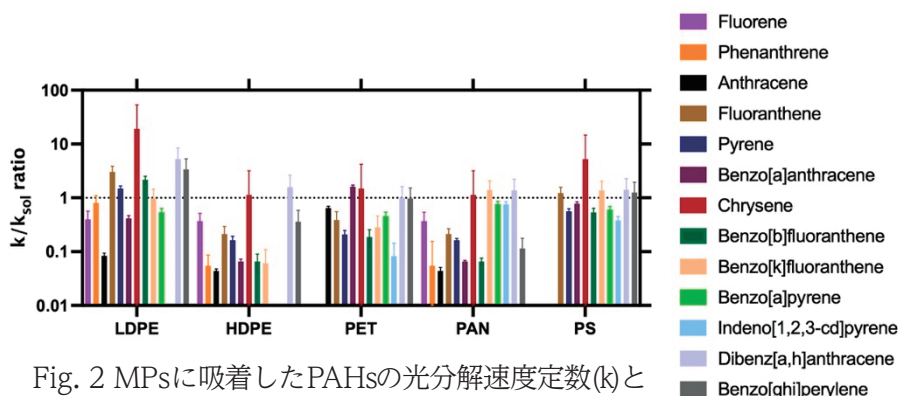


Fig. 2 MPsに吸着したPAHsの光分解速度定数(k)と溶存態 PAHsの光分解速度定数( $k_{sol}$ )の比

なったが、PSでは $k/k_{sol}$ 比は1に近い値となった(Fig. 2)。PSは光照射によってラジカルを生成することから、ラジカルがPAHsを分解し、比較的高い $k/k_{sol}$ 比が得られた可能性がある。

硝酸ナトリウム溶液中で、LDPE-MPsに吸着したPAHsの光分解が促進された(Fig. 3)。硝酸イオンの光分解によって生成したOHラジカルによって酸化分解反応が生じることが知られていることから、照射光による直接的な分解に加えて、硝酸イオンの光分解に由来するOHラジカルがPAHsを分解したため、 $k_{app}$ 値が $k$ 値よりも高くなったと推察された。この傾向はHDPE、PET、PVCでも見られたが、PET、PS、溶存態PAHsでは見られなかったことから、詳細なメカニズムの解明が必要であるものの、外洋と比べると硝酸イオン濃度の高い内湾では、LDPE、HDPE、PAN、PVCなどに吸着したPAHsの光分解が促進されている可能性が示唆された。

MPsに吸着したPAHsの半減期は、LDPE; 2.0(Pyr)-18.5(Fle) h、HDPE; 6.8(DBahA)-173.5(Phe) h、PET; 0.8(Ant)-52.6(Phe) h、PAN; 1.5(Ant)-152.0(BkF) h、PS; 2.1(Ant)-20.2(Fle) hだった。また、溶存態PAHsの半減期は0.5(Ant)-63.8(Chr) hだった。MPsの海洋での滞留時間は3年程度と推定されていることから、MPsに吸着したPAHsは光分解の影響を受けていると考えられる。PVCに吸着したPAHsでは、光分解が観測されなかった。これは、PAHsのPVCへの吸着力が比較的弱く、PAHsがMPsから脱着した影響で、光分解が観測されなかったと考えられる。

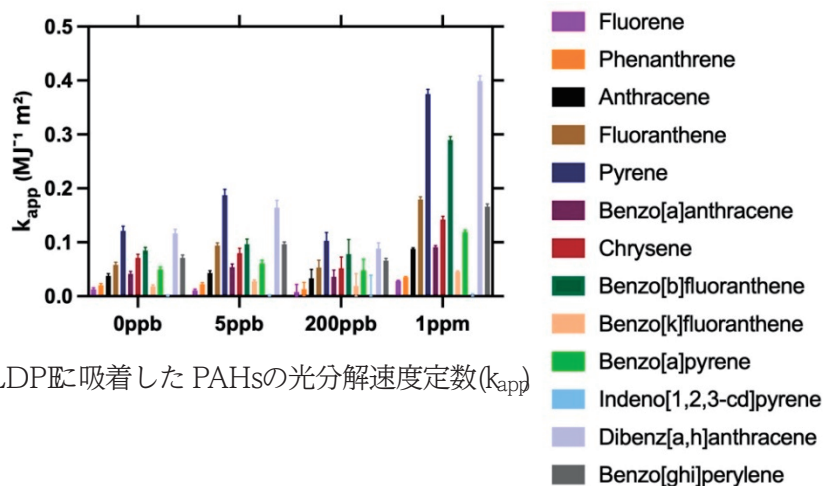


Fig. 3 LDPEに吸着したPAHsの光分解速度定数( $k_{app}$ )

#### 4. 今後の課題

MPsに吸着したPAHsの光分解速度が算出され、PAHsはMPsに吸着することで安定化され、光分解が抑制されることが明らかとなった。また、MPsとPAHsの組み合わせによって、PAHsの光分解速度が変化した。しかし、MPsに吸着したPAHsの光分解の抑制・促進のメカニズムは明らかにされていない。また、LDPE、HDPE、PAN、PVCに吸着したPAHsは、硝酸イオンの光分解で生成したOHラジカルによって分解されたが、PET、PSに吸着したPAHsと溶存態PAHsではこの現象は観測されなかった。MPsの種類によるOHラジカルの影響の変化についても、今後の検討課題である。

#### 5. 謝辞

本研究は科研費(21K17905)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) K. Noro, and Y. Yabuki : Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on polyethylene microplastics, *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112561 (2021).
- 2) M. Wu, W. Cao, R. Qu, D. Zhou, C. Sun, and Z. Wang : Photochemical transformation of decachlorobiphenyl (PCB-209) on the surface of microplastics in aqueous solution, *Chemical Engineering Journal*, 420(1), 129813 (2021).
- 3) CONCAWE : Assessment of photochemical processes in environmental risk assessment of PAHs, (2020).

# 下水および下水汚泥処理工程におけるマイクロプラスチックの挙動

○中尾賢志<sup>1</sup>・秋田耕佑<sup>1</sup>・尾崎麻子<sup>2</sup>・榊元慶子<sup>3</sup>・奥田哲士<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>大阪市立環境科学研究センター・<sup>2</sup>大阪健康安全基盤研究所・<sup>3</sup>大阪市立大学・<sup>4</sup>龍谷大学)

## 1. はじめに

世界的な環境中のマイクロプラスチック（以下、MPs）についての関心の高まりから下水処理場での MPs 除去に関する報告が相次ぎ発表されている（例えば Talvitie et al. 2017<sup>1)</sup>）。MPs は疎水性のため、様々な有機化学物質（例えば POPs (Persistent Organic Pollutants: 残留性有機汚染物質)）を吸着・吸収することから主に海洋生態系や魚介類を介した人体への影響が懸念されている。筆者らはこれまで下水および下水汚泥処理（以下、汚泥処理）工程における 20 $\mu$ m 以上の MPs の挙動調査をおこなってきた<sup>2), 3), 4)</sup>。その結果、下水および汚泥処理工程全体の MPs の収支図を作成し、各処理工程における MPs の挙動について若干の知見を得たので報告する。

## 2. 調査方法と結果

集水面積が約 30 km<sup>2</sup>の関西圏の都市部に位置する下水処理場（合流式、日処理水量約 20 万 m<sup>3</sup>）の下水処理工程の試料として、流入下水、最初沈殿池流入水、反応タンク流入水、最終沈殿池流出水および急速ろ過設備流出水を工程別に採取した。汚泥処理工程の試料として、反応タンク活性汚泥、最初沈殿池引抜汚泥、余剰汚泥、濃縮引抜汚泥、濃縮分離液、他処理場から脱水工程に供給される汚泥、脱水供給汚泥、脱水ケーキ、脱水分離液、炭化炉スクラバ排水および溶融炉スクラバ排水を採取した。流入下水と最初沈殿池流入水、反応タンク流入水はコンポジット採水であり、その他の試料はスポット採水（1 回による採水）であった。水試料は有機物分解に必要な 30% 過酸化水素量を反応させ、反応が終了した検体を目開き 20 $\mu$ m のニッケル製円形フィルター（直径 8 mm）で桐山ロートおよびアスピレーターを用いて吸引ろ過し、フィルターに捕捉した。フィルターを自然乾燥したのち、顕微 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: フーリエ変換赤外分光光度計) (Thermo Scientific 製 Nicolet iN10 MX) (反射法) で分析し、観察された粒子の写真と赤外スペクトルを記録した。記録した赤外スペクトルをライブラリー（データベース）と照合し、プラスチックの赤外スペクトルとの一致率が 60% 以上になるものをプラスチックと同定した<sup>5)</sup> (写真 1)。汚泥試料は過酸化水素処理後に目開き 20 $\mu$ m のプランクトンネットにて捕捉した粒子を分離し、5.3 M ヨウ化ナトリウム溶液に懸濁させ、比重分離をおこなった。以上の操作を各検体についておこない、各水処理工程での MPs の負荷量を算出した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 下水および下水汚泥処理工程における MPs の挙動

MPs 濃度と流量を乗じて MPs の負荷量（個/日）を算出し、流入下水中の MPs 負荷量を 100% としたときの各処理工程での相対負荷量を示した（図 1）。注目したいのは返流水を構成する濃縮分離液で

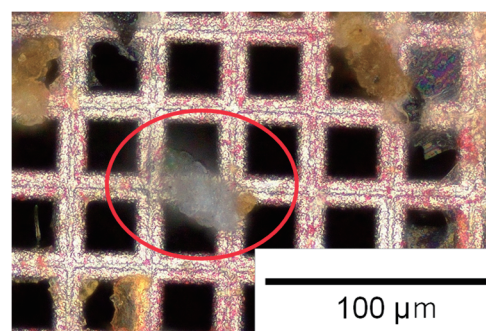


写真 1 顕微 FTIR で検出した MPs (ポリスチレン)

※共焦点顕微鏡で撮影

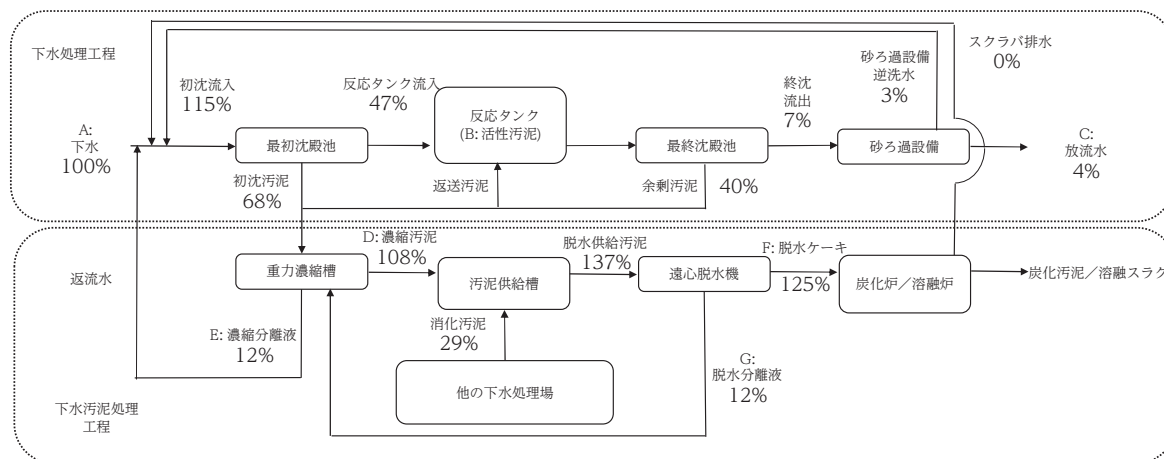


図1 下水および汚泥処理工程におけるMPsの収支図  
(流入下水を100%として比率で示した)

12%のMPsが下水処理系に戻ることである。この割合を減らすことにより、処理場全体のMPs除去率を向上させることができると考える。

下水処理工程の負荷量は実測値であるMPs濃度(個/L)と流量(m<sup>3</sup>/日)を単純に乗じて計算したが、汚泥処理工程の負荷量は、下水試料と汚泥試料の分析精度の違いを考慮して推計した。例えば、下水処理工程内の最初沈殿池引抜汚泥中のMPs負荷量は「最初沈殿池流入MPs負荷量-反応タンク流入MPs負荷量」を正とした。余剰汚泥はMPs実測値に「最初沈殿池流入MPs負荷量-反応タンク流入MPs負荷量」を最初沈殿池汚泥のMPs実測値で除した値2.36を乗じて余剰汚泥中のMPs濃度を推計し、負荷量を推計した。こうした推計を各工程でおこなった。

### 3.2 各工程におけるMPsの種類

各処理工程の代表的な工程で検出されたMPsの種類を示す(図2)。A:流入下水とC:放流水を比較すると処理が進むにつれて比重の軽いポリエチレン(PE)やポリプロピレン(PP)が優占するようになった。これは比重の重いMPsは最初沈殿池や最終沈殿池で沈降しやすいからだと考えられる。B:活性汚泥にポリエチレンテレフタレート(PET)が優占する理由は、PETのMPsはMFsが多く、形状的に細長いいため、活性汚泥に絡みやすいからだと考えられる。

濃縮工程におけるD:濃縮汚泥もB:活性汚泥と同じくMPsが多いPETが優占する結果と

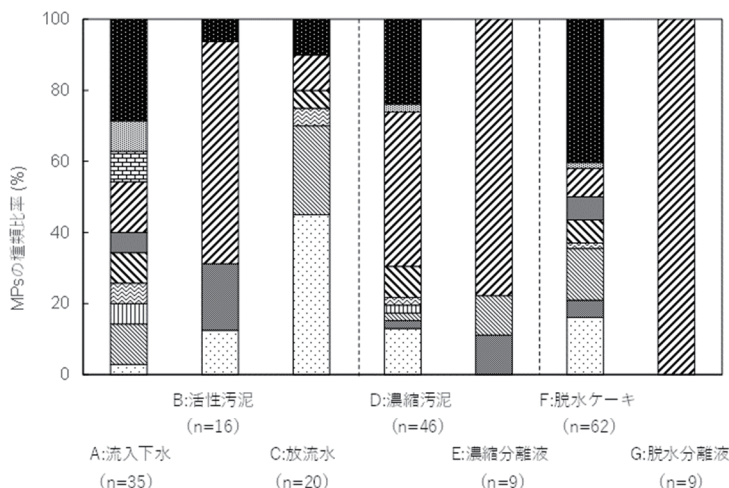


図2 各処理工程の代表的な工程で検出されたMPsの種類(nはMPs検出個数)

※凡例の括弧内は比重を表す。

- ポリエチレン(0.9), ● ポリプロピレン(0.9)
- ポリエチレン-ポリプロピレン共重合体(0.9)
- ▨ ポリスチレン(1.1), ▨ ポリウレタン(1.2)
- ▩ アルキド樹脂(1.2), ▩ アクリル系ポリマー(1.2)
- ▧ ポリエチレンテレフタレート(1.3), ▧ ポリビニルアルコール(1.3)
- ▦ ポリ塩化ビニル(1.4), ▦ その他

なり、また、濃縮分離液では約8割がPETという結果になった。この濃縮分離液は水処理系統に返流水として戻ることから、PETを主とした濃縮分離液が下水処理工程に戻ることになる。そして、それが再び活性汚泥に捕捉され、また汚泥処理工程に移行するという、MFsは下水と汚泥処理工程を循環するような挙動をしていると考える。

脱水工程では濃縮工程とは異なり脱水ケーキ中のPETの割合は低い反面、脱水分離液から検出

されたMPsの全てがPETであった。この理由として、MFsの割合が高いPETの形状は細長い繊維状であり、遠心脱水機中では見かけ比重が低くなり分離液に移行すると考えた。

### 3.3 各工程におけるMPsの大きさ

各処理工程の代表的な工程で検出されたMPsの大きさ（長軸と短軸の算術平均値）を示す（図3）。A：流入下水中のMPs平均粒径の中央値は59（23～430） $\mu\text{m}$ 、B：活性汚泥は250（46～1600） $\mu\text{m}$ 、C：放流水は60（24～170） $\mu\text{m}$ であった。水処理工程を進むにつれてMPsの平均粒径は小さくなる傾向にあったが、最初沈殿池流入水のMPs平均粒径は大きくなった。これは汚泥処理系からの返流水中のMPsによる影響であると考えられる。また、反応タンク内のB：活性汚泥のMPsも比較的大きいが、これは長軸が長い繊維状のMFsが活性汚泥に吸着されているからだと考えられる。

濃縮工程から出ていくD：濃縮汚泥のMPs平均粒径の中央値は86（33～1500） $\mu\text{m}$ 、E：濃縮分離液は380（160～910） $\mu\text{m}$ となった。D：濃縮汚泥よりもE：濃縮分離液のMPsの平均粒径が大きいのは、脱水工程から濃縮工程に戻ってくるG：脱水分離液の全てのMPsがMFsであったことが関係している可能性がある。

脱水工程から出ていくF：脱水ケーキのMPs平均粒径の中央値は87（36～790） $\mu\text{m}$ 、G：脱水分離液は490（290～1100） $\mu\text{m}$ となった。脱水ケーキよりも脱水分離液のMPsの平均粒径が大きいのは、濃縮工程と同じくMFsの比率が高かったためと推測される。

## 4. 結論

- 1) 汚泥処理工程から下水処理工程に戻る濃縮分離液中のMPs負荷は12%であった。
- 2) 活性汚泥にPETが優占する理由は、細長いため活性汚泥に絡みやすいからだと考えられる。
- 3) MFs（約8割はPET）は下水および汚泥処理工程内を循環している。

## 参考文献

- 1) Talvitie, J. et al., Solutions to microplastic pollution - Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced waste water treatment technologies, *Wat. Res.* 123, 401-407, 2017.
- 2) 中尾賢志ほか、下水処理場に流入するマイクロプラスチックの挙動解析（第2報）、第57回下水道研究発表会講演集、454-456、2020.
- 3) 中尾賢志ほか、顕微FTIRによるマイクロプラスチック分析の試みと課題、*用水と廃水*、62(9)、649-655、2020.
- 4) Nakao, S., Akita, K., Ozaki, A., Masumoto, K., Okuda, T.: Circulation of fibrous microplastic (microfiber) in sewage and sewage sludge treatment processes, *Science of The Total Environment*, 795, 2021.
- 5) Matsuguma, Y. et al., Microplastics in Sediment Cores from Asia and Africa as Indicators of Temporal Trends in Plastic Pollution, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 73, 230-239, 2017.

## 謝辞

本研究は「JSPS科研費17K06628」の助成を受けたものである。本研究への助成に対して感謝申し上げます。

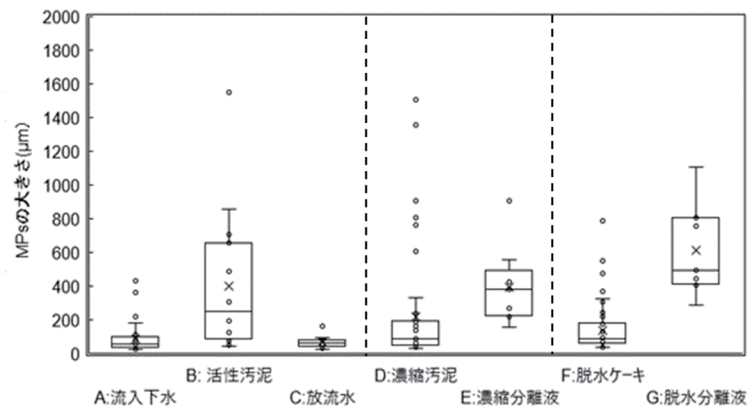


図3 各処理工程の代表的な工程で検出されたMPsの大きさ

# 福岡県内河川におけるマイクロプラスチック調査

古賀智子・藤川和浩・中村和宏・古賀敬興・板垣成泰・鳥羽峰樹・石橋融子  
(福岡県保健環境研究所)

## 1. はじめに

近年、海洋におけるプラスチック汚染が問題となっている。2015年に国連で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」の中で掲げられたSDGs(持続可能な開発目標)において、「2025年までに、海洋ごみや富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する。(目標14)」ことが示された。また2019年のG20大阪サミットでは「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」が提案され、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指すことが掲げられた。このビジョンは2021年5月までに87の国と地域が共有している<sup>1)</sup>。

一方で、日本は一人当たりのプラスチックごみ排出量がアメリカ合衆国に次いで世界で2番目に多い<sup>2)</sup>。これらプラスチックごみはこれまで中国や東南アジアに輸出していたが、相次ぐ輸入規制により国内での廃プラスチック処理量が増加している<sup>3)</sup>。また、2021年にはリサイクルに適さない汚れたプラスチックごみがバーゼル条約の規制対象となった<sup>4)</sup>。さらに、新型コロナウイルス感染症による外出機会の減少によりフードデリバリーやテイクアウトの増加に伴う使い捨て容器の増加や、感染対策としてのマスクや医療用手袋等のプラスチック製品も増加している。これらの増加したプラスチックごみの一部は適切に処理されずに海や川へ流出する危険性を孕んでいる。

このようなプラスチックごみの中でも、5mm以下のプラスチックはマイクロプラスチック(MP)と呼ばれ、主に2つの側面による生態系への影響が危惧されている。一つは、MPの粒子毒性に起因する物理的影響である。もう一つはプラスチックにもともと含まれている添加剤や、環境中でPCB等の疎水性有機汚染物質を吸着しそれを生物が摂食することによる化学的影響である。MPの調査研究は河川や陸域より海域が先んじており、日本近海(東アジア海域)のMP調査では世界の海洋における平均値の約27倍のMPが検出され、日本近海はMPのホットスポットとされている<sup>5)</sup>。

MPの発生源として河川や陸域も考えられるが、海洋に比して調査研究が少ないのが現状である。そこで現在、当所では福岡県内の河川においてMPの採取調査を実施し、河川からの排出実態の把握に努めている。MP採取の個数密度を把握すると同時に水質分析を行い、MPとの関連性の有無を調べた。また、都市域を流れる河川と農業地帯を流れる河川のMPの特徴を比較した。

## 2. 調査方法

調査期間は2020年2月から2021年8月までで、3か月に1回の頻度で実施した。調査地点は福岡県内の二級河川で、都市域を流れる2河川と農業地帯を流れる2河川の計4河川4地点を選定した。MP採取は、3地点では目合い0.1mmのプランクトンネットにろ水計を取り付け自然通水で採取し、1地点は流れがないため水中ポンプを用いて動力通水で採取した。

前処理は、まず30%過酸化水素水に浸漬し、酸化処理を行ってプラスチック表面の有機物を分解した。次に比重1.78に調製したヨウ化ナトリウム溶液による比重分離を実施した。測定は、試料に含まれるプラスチック様の粒子をピックアップし、形状や色、長径等を記録・写真撮影した後、フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR、アジレント製Cary660または日本分光製FT/IR-4600)を用いてプラスチックの同定を行った。

水質分析項目は、水温、pH、DO、EC、TOC、COD、BOD、SS、全窒素、全リン、LAS、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、硝酸態窒素、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、B、Al、Cu、Zn、全鉄、全マンガン、溶解性鉄、溶解性マンガン进行分析した。

### 3. 結果

MP 個数密度推移を図 1 に示す。季節による特徴はあまりみられなかった。調査日によるばらつきが大きいいため、MP 採取調査は 1 度ではなく複数回実施した上で、その河川の個数密度を推定する必要があることが分かった。4 河川全体の平均個数密度は 4.15 個/m<sup>3</sup>で、先行研究<sup>5)</sup> (1.6 個/m<sup>3</sup>) より高い値を示した。

MP 個数密度と水質項目の相関分析はスピアマンの順位相関係数を用い、有意水準 5%とした。図 2 に示すように、個数密度と採水時の水温に有意な正の相関関係があり ( $p < 0.01$ )、水温が高いときに MP 個数密度が高くなる傾向があることが示唆された。

水質汚濁の指標である BOD と高い正の相関関係が認められた ( $p < 0.01$ ) ほか、pH、DO、EC、TOC、COD、SS、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、B、Cu、全マンガンとの相関係数が 5%水準で有意であった。また、都市域河川と農業地帯河川は平均個数密度がそれぞれ 5.53 個/m<sup>3</sup>、2.77 個/m<sup>3</sup>で、都市域河川の方が農業地帯河川より 2 倍高い値であった。これらの結果から水質汚濁の程度が高く人為的な活動が多く行われている地域の河川ほど MP の個数密度が高いと考えられた。

また都市域河川の MP 材質出現率はポリプロピレン (PP) 36%、ポリエチレン (PE) 35%と同程度の割合であったのに対し、農業地帯河川は PE 48%、PP 17%で PE の割合が高かった。また、MP の色別出現率はどちらも青が 3 割程度で最も多かったが、都市部では緑の MP も 3 割を占めた。このように材質や色の地域性がみられた。この要因については今後も調査を継続し検討することとする。

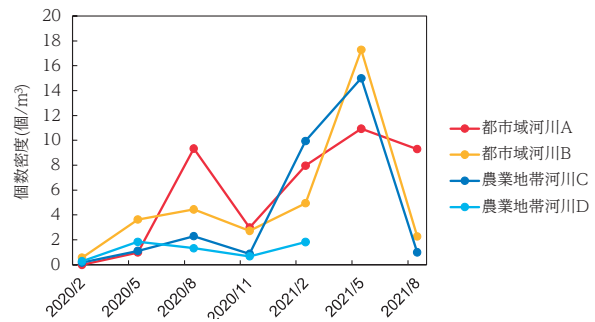
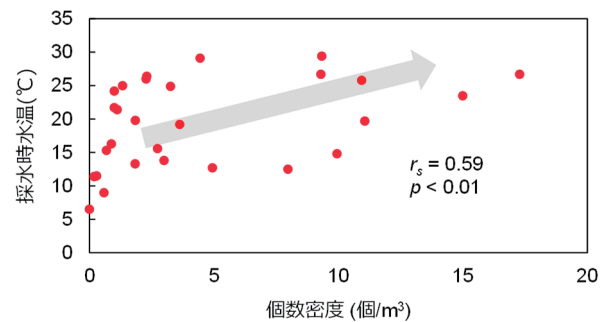


図 1 個数密度推移

vs. 採水時水温



vs. BOD

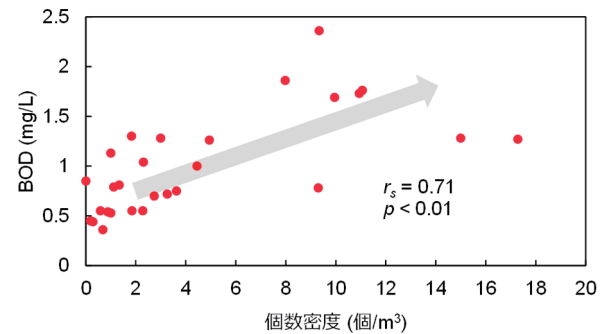


図 2 個数密度と水質項目との関係

(上：採水時水温、下：BOD)

### 参考文献

- 1) [http://www.env.go.jp/water/post\\_75.html](http://www.env.go.jp/water/post_75.html): 2021年 12月 16日アクセス
- 2) UNEP: Single-use Plastics: A roadmap for Sustainability. (2018).
- 3) 日本貿易振興機構: 行き場を失う日本の廃プラスチック, 2019年 1月 10日
- 4) 朝日新聞: 汚れた廃プラ、条約の規制対象に 日本からの輸出、困難, 2019年 5月 11日
- 5) A. Isobe, K. Uchida, T Tokai and S Iwasaki: East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics. Mar. Pollut. Bull. 101, 618-623, (2015)
- 6) T. Kataoka, Y. Nihei, K. Kudou and H. Hinata: Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. Environ. Pollut. 244, 958-965, (2019)



# 廃プラスチックのフロー把握等に基づく処理体制の構築に向けた調査研究について

○小野理<sup>1</sup>・丹羽忍<sup>1</sup>・阿賀裕英<sup>1</sup>・山口勝透<sup>1</sup>・朝倉賢<sup>1</sup>・福田陽一朗<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>(地独)北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所)

## 1. はじめに

国際的に海洋プラスチック等による環境汚染が注目される一方、中国ほかの使用済プラスチック等の輸入禁止措置により、廃プラスチック類（以下、「廃プラ」という。）が国内で滞留し、環境省から通知(2019.05.20)が発出されるなど、処理等を含む廃プラの対策が課題となっている。

廃プラの滞留が続けば、最終処分量の増加や、不適正処理等に起因する環境への流出増加も懸念され、今後は環境流出対策のみならず、国内処理への転換、リサイクルの推進が必要となっている。

(地独)北海道立総合研究機構では、2020年春の機構改正で新たに「エネルギー・環境・地質研究所」（以下、「当所」という。）を発足させ、「循環資源部」を設けて未利用資源の利用促進や廃棄物の適正処理など、循環資源利用のための研究開発・技術支援にあたっている。

北海道内では、廃プラの埋立処分量が多い一方で、処理に至るフローなど処理体制の詳細な実態が把握できておらず、持続可能で環境負荷の少ない処理体制の再構築に向け、課題抽出や検討を行うために必要な情報が著しく不足している。そのため当所では、2020年度から5年の計画で、北海道からの補助を受けて、「廃プラスチックのフロー把握等に基づく処理体制の構築に向けた調査研究」（以下、「本研究」という。）を実施することとした。

## 2. 本研究の位置づけと目的

プラスチックの使用から処理、環境への流出の全体の模式図を図1に示した。プラスチック資源の循環利用促進のためには、処理体制を整えて滞留を防止し、リサイクルに回る割合を増やして最終処分量を減らしていくことが先決と考え、図1の黄緑色部分の過程の実態把握を第一に進めるべきと考えた。保管中の飛散や不適正処理が生じると環境への流出を助長すると考えられること、流出したものを回収した場合には処理ルートに乗せる必要が生じることなどから、将来的に環境への流出対策を検討するうえでも必要な情報と考えられる。

そこで本研究では、北海道内の産廃を中心にして、廃プラの詳細なフローや施設の処理余力などの処理体制の実態把握、リサイクルの推進や埋立処分の減少に対する課題抽出、さらには道外から搬入される廃プラの動向と影響も可能な範囲で考慮した上で、処理コストなども踏まえた循環産業のあり方の検討を行い、廃プラの最終処分量の低減につながる持続可能で環境負荷の少ない処理体制の再構築に向けた提案を行うことを目的とする。今回は、研究開始から2年弱の間に得られた結果について報告する。

## 3. 調査方法と結果

### (1) 関連報告書等に基づく フロー整理

中国ほかの使用済プラ禁輸前後の年度（2016, 2018, 2019）を対象に、道内の産廃の「処理実績報告書」を基本的に全数、入力してデータを整理した。これは、処理側からのデータ積み上げによる実

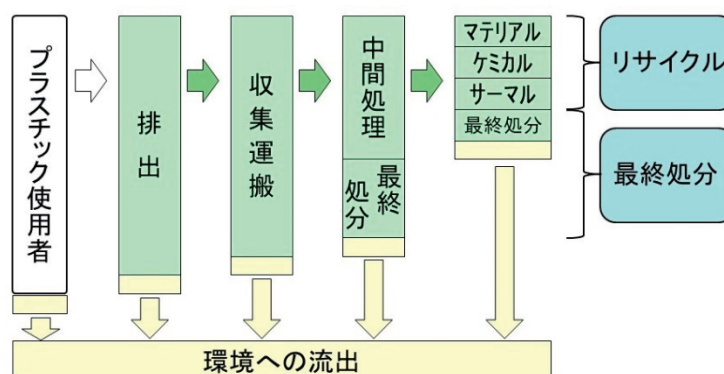


図1 プラスチックの使用・処理・環境流出全体の模式図

態把握と言えるものである。現在、重複等の報告書記載不備への対応、排出と中間処理の識別、報告様式の変更に伴う年度間の差異調整など、データ精査を進めている段階にある。そのため、排出量などの量的な確定はできないが、排出を100%としてフローを仮集計し、図2のようにサンキー図を作成すると、比率ベースでの比較を行うことができる。なお、一般廃棄物については、統計資料の整理及び市町村からの聞き取りを進めている途中であり、集計には至っていない。

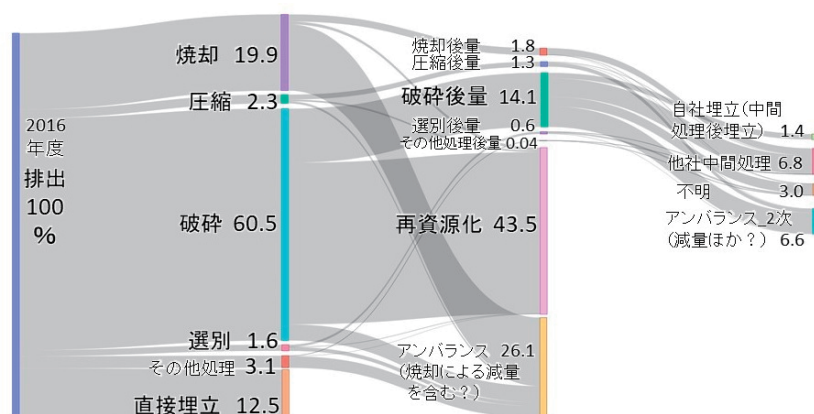


図2 北海道内の産業廃棄物・廃プラスチックフロー (2016年度の処理実績報告書の仮集計。比率ベース)

### (2) アンケート・聞き取りによるフローの実態把握

上記(1)の関連報告書等のデータのみでは、詳細が不明な部分が多々ある。そのため、行政機関・事業者等へのアンケート・聞き取り調査により実態把握を掘り下げることとし、2020年度は多量排出事業者のうち廃プラ排出が多い製造業と建設業の事業者を対象に、2021年度は市町村を対象に廃プラ各種の処理・再商品化状況等に関するアンケート調査を実施した。多量排出事業者の調査では、製造業から出る埋立は、製紙業の古紙かすが大半を占めることが判明し、この削減には何らかの技術開発が必要となることが示唆されるなど、知見が得られつつある。

これは、排出側からのデータ積み上げによる実態把握を試みたものであるが、排出者に応じて把握すべき内容が異なり、アンケート調査で画一的に把握できる内容は限られる。このことから、聞き取りによる掘り下げが必要となるが、聞き取りは対面での実施が基本となることから、これまで感染症対策の観点から実施を一部のみ控えている状況にある。

### (3) フローのマクロ分析・課題抽出

上記(1)(2)で得られた情報に基づき、「何が」「どこからどこへ」運ばれ「どのように」処理されているかを整理し、マクロ分析を行うことで課題抽出を行い、持続可能で環境負荷の少ない廃プラ処理体制に向けた提案を行うこととしている。この点については、手法検討の段階にある。

## 4. 今後の課題

今後は、データ精査等を踏まえて調査を継続し、聞き取り調査を本格的に実施することでフローの詳細を把握する。その上で、マクロ分析に基づき様々な課題を抽出していく。

本研究開始後の情勢変化に伴う新たな課題としては、次の点が挙げられる。

- ① 新型コロナウイルス感染症の流行拡大以降、感染対策グッズの販売増加やライフスタイルの変化等により、廃プラの排出状況に変化が生じていると考えられ、これらをどう実態把握に盛り込むか。また、プラスチック問題全体への対応に向けた課題としては、次の点が挙げられる。
- ② 廃棄物処理施設の整備に対して北海道で実施している補助事業に向け、補助対象の検討に役立つ提言に結びつくようなデータ解析や考察をいかに進めるか。
- ③ 廃プラフローのマクロ分析等の成果を、環境流出対策等にどのように結び付けていくか。
- ④ プラスチック問題全体へ対応するために必要な調査研究は非常に幅広く、地方環境研究機関としては、どの部分に重点を置いて対応していくか。

このような課題について、今後、参加機関の皆さまと協力して検討を深められれば幸いである。

# 河川プラスチックごみの排出実態把握と排出抑制対策に資する研究

## ～進捗状況と今後の課題について～

○鈴木 剛<sup>1</sup>・中尾賢志<sup>2</sup>・田中厚資<sup>1</sup>・秋田耕佑<sup>2</sup>・藤原康博<sup>2</sup>・大迫政浩<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>国立環境研究所資源循環領域・<sup>2</sup>大阪市立環境科学研究センター)

### 1. はじめに

5 mm 未満のマイクロプラスチックを含むプラスチックごみ（プラごみ）による海洋汚染は、国際社会で対処すべき喫緊の課題となっている。2019年6月のG20大阪サミットでは2050年までに海洋プラごみによる追加的な汚染をゼロにすることが合意され、2021年7月のG20ナポリ環境相会合では海洋プラごみ削減の国際条約策定に向けて議論していくことが合意された。現在、2022年4月に開かれる国連環境総会で条約づくりの委員会を設ける方向で議論が進められている。

海洋プラごみは陸域から河川を通じた海洋流出が主要なルートと考えられている<sup>1)</sup>。国内においても、海洋プラごみの流出元の視点で、大学<sup>2,3)</sup>、地方公共団体や非営利組織（NPO）等が個別に調査を実施しており、国内の河川を通じた排出実態や海洋流出量の把握が進められている。今後は、国の動向を踏まえて、統一した調査方法による河川プラごみ調査を通じて、実態把握に加えて海洋プラごみ削減に資する排出源対策にアプローチすることが望ましい。

このような背景のもと、国立環境研究所（国環研）と地方環境研究機関（地環研）は、Ⅱ型実施共同研究（B）「河川プラスチックごみの排出実態把握と排出抑制対策に資する研究（令和3年度～令和5年度）」を開始した。本研究では、海洋プラごみ削減へ貢献することを終局的な目的として、国環研と地環研で共同して調査方法の共通化や効率化を図りつつ、河川プラごみの排出実態に関する基礎的な知見を得る。また、排出源の把握及び3R活動や回収対策等の排出抑制効果の検証に資するモニタリングのあり方やそこでの地方環境研究機関の役割を検討・提案する。本発表では、本研究の参加機関、研究計画と進捗状況を紹介する。

### 2. 参加機関

令和4年1月時点の参加機関を表1に示す。

表1 Ⅱ型共同研究「河川プラスチックごみの排出実態把握と排出抑制対策に資する研究」参加機関一覧

機関名		
北海道立総合研究機構	愛知県環境調査センター	山口県環境保健センター
青森県環境保健センター	三重県保健環境研究所	香川県環境保健研究センター
岩手県環境保健研究センター	大阪府立環境農林水産総合研究所	高知県衛生環境研究所
山形県環境科学研究センター	大阪市立環境科学研究センター*	福岡県保健環境研究所
栃木県保健環境センター	堺市衛生研究所	北九州市保健環境研究所
群馬県衛生環境研究所	奈良県景観・環境総合センター	佐賀県環境センター
さいたま市健康科学研究センター	和歌山県環境衛生研究センター	長崎県環境保健研究センター
千葉県環境研究センター	鳥取県衛生環境研究所	熊本市環境総合センター
神奈川県環境科学センター	岡山県環境保健センター	沖縄県衛生環境研究所
長野県環境保全研究所	広島県立総合技術研究所保健環境センター	
静岡県環境衛生科学研究所	広島市衛生研究所	

\*研究代表機関

### 3. 研究計画

本研究は、研究目的を達成するため、次の3つのサブテーマから構成する。

#### サブ1：河川プラごみの調査方法の共通化と効率化

河川プラごみ調査に関する環境省発出の調査ガイドラインや調査参考事例集、先行研究をベースとして、調査方法の共通化や効率化を実施する。

#### サブ2：河川プラごみ調査による実態把握

サブ1で共通化した調査方法を用いて、点源や面源、土地利用形態や季節変動等を考慮した河川プラごみ調査を実施し、取得結果と排出源との関連性を評価して、排出抑制対策について考察する。

#### サブ3：河川プラごみの排出抑制対策効果の検証のための方法論とモニタリング体制のあり方の検討

いくつかの地域で排出抑制対策効果の検証に関するケーススタディを実施し、調査結果を踏まえた排出抑制対策効果の検証のための方法論の基本的な考え方をまとめ、全国の地環研や自治体行政と共有する。

### 3. 進捗状況

令和3年度は、地環研 29機関と本研究を開始し、年度途中で2機関が加わった。キックオフ会合は、4月に開催して、環境省、大学、自治体行政、NPOを含む40機関と研究目的や研究計画を共有した。定例会合は、サブ1と2について4回、サブ3について3回実施して、全体と各機関の進捗状況に対する認識の共有を行った。各サブテーマの進捗状況を以下に示す。

#### サブ1：河川プラごみの調査方法の共通化と効率化

サブ1では、河川マイクロプラスチックを対象として、環境省発出の調査ガイドライン<sup>4)</sup>をベースとして調査方法の共通化を実施した。具体的には、7月に国環研で試料採取器具一式を用意して必要な機関への貸し出しを開始、11月に河川マイクロプラスチック採取デモンストレーションを福岡県御笠川で実施（福岡県保健環境研究所がホスト。現地参加：9機関、オンライン参加：10機関、録画共有：全機関。）（図1）、12月にFT-IR 測定支援の開始、精度管理用試料の配布等を行った。また、2月に測定デモンストレーションのオンライン開催（国立環境研究所がホスト。）、3月に河川マイクロプラスチック調査ガイドラインに準じた電子動画マニュアルの公開等を予定している。



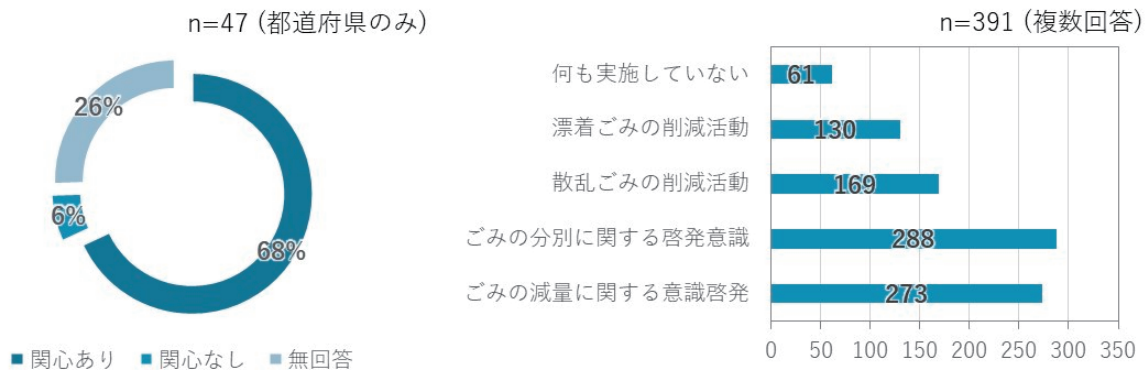
図1 福岡県御笠川で実施した河川マイクロプラスチック採取デモンストレーションの様子

#### サブ2：河川プラごみ調査による実態把握

サブ2では、環境省河川マイクロプラスチック調査ガイドラインに準じた、地環研による実態把握調査の実施を推進した。結果として、サブ1の進捗に合わせて、河川マイクロプラスチック調査を実施する機関の増加に繋がった。具体的には、調査実施中及び調査計画中の機関は、キックオフ会合時点（令和3年4月）で4機関及び9機関であったのが、現時点（令和4年1月）で11機関及び14機関に増加している。今後、参加機関によって、共通化した調査方法を用いて河川マイクロプラスチックの排出実態が把握されていく予定である。

### サブ3：河川プラスチックの排出抑制対策効果の検証のための方法論とモニタリング体制のあり方の検討

サブ3では、自治体行政や地域のプラスチック削減団体の実施しているプラスチック排出抑制対策との連携のあり方の検討を開始した。具体的には、9月と11月に都道府県・市町村行政への「海洋プラスチックごみ問題対策に資するアンケート」を実施し、II型実施共同研究の実施内容への関心や各自治体の所管地域で実施されているプラスチック削減活動を把握した（図2）。現在、プラスチック削減活動団体へのアンケートを実施している。



II型実施共同研究の実施内容への関心 各自治体の所管地域で実施されているプラスチック削減活動

図2 自治体行政対象の「海洋プラスチックごみ問題対策に資するアンケート」調査結果（一部抜粋）

#### 4. 今後の課題

全体としては、参加機関による排出実態把握に資する調査研究の推進と参加機関を増やしていくための成果発信・広報活動の効率的な実施が、引き続き取り組むべき課題として挙げられる。

サブ1と2では、河川マイクロプラスチック調査と同様に、河川マクロプラスチックや河川敷散乱ごみを対象として、調査方法の共通化や効率化を進め、各地域における排出実態調査を推進していく必要がある。河川マクロプラスチックや河川敷散乱ごみ調査については、調査経験を有している地環研が少ない中で、どのように進めていくかが課題である。

サブ3では、地環研による排出実態調査の実施状況と、自治体行政やプラスチック削減活動団体対象のアンケート調査結果に基づいて、排出抑制効果の検証に資するケーススタディを実施する地域等を選定予定である。自治体行政による海岸漂着物地域対策推進事業やプラスチック削減活動団体による市民活動、各種の環境学習との効果的なリンクを進める上での課題を検討・抽出していく必要がある。

#### 5. 謝辞

本研究の実施に際して、国立環境研究所資源循環領域の柴沼尚子氏（事務管理）及び宇智田奈津代氏（採取測定）、企画部の成田正司氏（撮影編集）、総務部の橋本誠一氏（装置作製）の協力を得た。

#### 6. 参考文献

- 1) L.C.M. Lebreton, J. van der Zwet, J.W. Damsteeg, B. Slat, A. Andrady, and J. Reisser: River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Comm.*, 8, 15611 (2017).
- 2) T. Kataoka, Y. Nihei, K. Kudou, and H. Hinata: Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environ. Poll.*, 244, 958 (2019).
- 3) Y. Nihei, T. Yoshida, T. Kataoka, and R. Ogata: High-Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea. *Water*. 12, 951 (2020).
- 4) 環境省水・大気環境局水環境課：河川マイクロプラスチック調査ガイドライン (2021)

# AI等を利用したオキシダント濃度予測への取組み

小田祐一  
(静岡県環境衛生科学研究所)

## 1. はじめに

大気汚染物質である光化学オキシダント(以下、Ox)は、大気中の窒素酸化物(以下、NOx)や非メタン炭化水素(以下、NMHC)等の揮発性有機化合物が紫外線による光化学反応を起こすことにより生成し、ヒトへの健康被害等を引き起こす。本県を含めた全国の多くの自治体では、県民へのOx予測情報提供のため、Ox濃度が高くなりやすい初夏から早秋にかけて、当日のOx濃度予測が行われている。今年度の研究で、このOx濃度予測を自動化、予測精度の向上を目的に、「Ox濃度予測」を行う人工知能(AI)をプログラミングによって自作し、プロトタイプまで試作した。

本研究では、AI開発に汎用されるプログラミング言語のPython及び統計解析に特化したR言語(以下、R)の2言語を用いているが、本稿では、Rによるアルゴリズム選定及びデータセットの要素検討の過程を報告する。

## 2. 方法

### (1)開発環境マシンスペック

PythonによるAI開発並びにRによるアルゴリズム選定及びデータセット中の要素検討に用いたPCは、CPU: Intel(R)Core(TM)i7-10510U(定格クロック周波数1.80GHz、最大クロック周波数4.90GHz)、メモリ:16GB、OS: windows10 Home 64bit、外部GPUなしを使用した。

### (2)AIの予測に用いるデータセット構築

大気中Oxの生成には、原因物質であるNOx、NMHC等の大気汚染物質濃度と、日射量、日照時間、温度、気圧、風向及び風速等の気象条件が関係する。

今回、AIによる学習精度向上のため、不要となり得る項目を削減することを目的に、3つの統計解析手法を用いて高濃度Ox生成に寄与するファクターの解析を行った。なお、解析に用いたデータセットは、Oxの他地域からの移流が少ない静岡市常盤公園の一般環境測定局の大気常時監視データ及び静岡気象台の気象データを用いて構築した。解析対象期間は2016年から2020年の間の5月から9月までとし、基本データは1時間値とした。以下、相関行列の作成及び主成分分析による解析には、R(4.0.3)を用いた。

### ア Oxパーセンタイル区間と各要素の関連

Ox濃度と、NOx、NMHC、温度、日射量、風速、大気圧との関連性を調べるために、各要素の5時から18時までの1時間値の平均値を、10パーセンタイル区間毎に区分けし、その平均値を求めた。

この際、Ox日最高値に対応するNOx、NMHC、温度、日射量、風速、大気圧の平均値を求め、2次元平面にプロットした<sup>1)</sup>。

### イ 相関行列

Ox日最高値と、NOx、NMHC、温度、日射量、日照時間、風速、海陸風の有無、大気圧についての関連性を、相関係数を用いて数値化した。データは、5時から18時までの1時間値の積算値とした。ここで、海陸風の有無を検討したのは、一般に、Ox高濃度日は海陸風の出現が認められる知見によった<sup>2),3)</sup>。

### ウ 主成分分析

イで検討した大気汚染物質及び気象データと、Ox濃度のランクとの関連性を調べるため、主成分分析を行った。ここでは、Ox高濃度を日最高値90ppb以上とし、「A」と表記し、それより低値日を「B」と表記した。主成分分析は、多変量データを少ない変数に縮約してデータを分析する手法で、今回は2変数に縮約して解析を行った。

## 3. 機械学習アルゴリズムの選定

AIは、深層ニューラルネットワークを用いたディープラーニングによるものと、その他の機械学習手法がある。本研究では、いずれの方法でもアプローチを図っているが、本稿では、後者の手法として、50程度の少ないデータセットで最も予測精度が高い「サポートベクターマシン: Support Vector Machine(SVM)」の解析結果について言及する。本アルゴリズムで、与えられた複数要素のデータから、Ox濃度が「高くなるか」「低くなるか」のクラス識別が可能となる。SVMの中にも、カーネル法(クラス分類に用いるパターン認識手法)が複数あり、本稿では、「線形カーネル」「多項式カーネル」「ガウシアンカーネル」の3手法の精度を比較した。データは方法2と同様に、5時から18時までの1時間値の積算値とした。実際の当日予測は、午前10時の時点で行うため、気象データは天気予報の数値データを代入、常時監視データはAIによる時系列予測値代入を想定した。現行のOx濃度予測は、100ppb以上を高値としている。Ox日最高値は、80ppb以上または90ppb以上をAとした場合の2通りで検討し、いずれもデータセット数は50とした。また、データセットの要素数は、方法2までの検討結果で不要と思われた項目を削減して、予測精度の推移を比較した。学習方法は、データの75%を学習用、25%を検証用として、学習回数は5回に設定した。本解析にも方法2と同様に、R(4.0.3)を用いた。

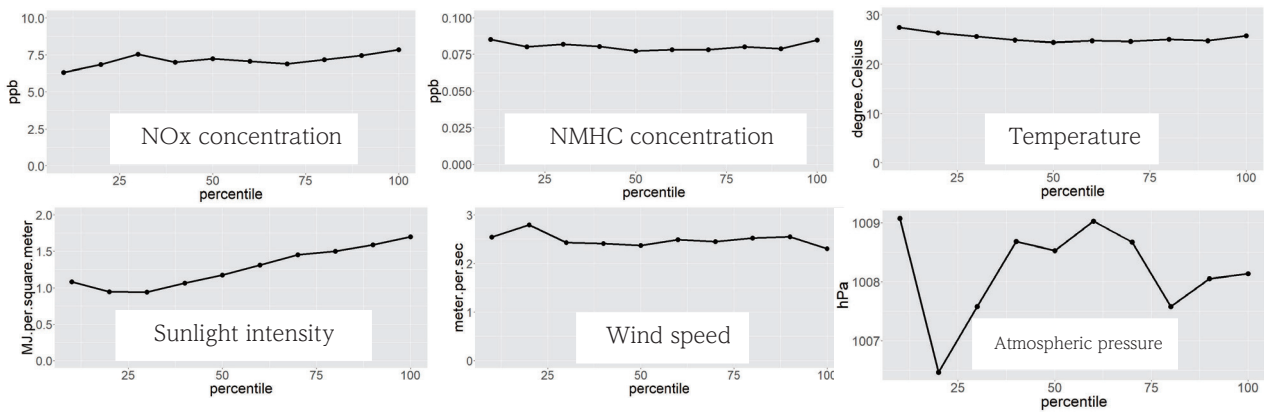


図1 Oxパーセンタイル区間と各要素の関連

#### 4. 結果

(1)Oxパーセンタイル区間と各要素の関連  
 本解析で検討した、NOx、NMHC、温度、日射量、風速、大気圧のうち、日射量はOx濃度が高パーセンタイル領域になるにしたがい対応する日射量の数値も増加する傾向がみられ、NOxも同様に緩やかな増加傾向にあった。気温、風速は高パーセンタイル領域で若干の数値の低下がみられたが、NMHC、大気圧とOx濃度パーセンタイル間で関連性は見られなかった(図1)。

#### (2)相関行列

本解析でOx日最高値と各要素の相関は、日射量及び日照時間との相関係数がそれぞれ 0.33 と 0.3 であり、弱い相関がみられた。現地気圧及びNMHCは相関係数がそれぞれ0と0.01であり、極めて低い値であった(図2)。

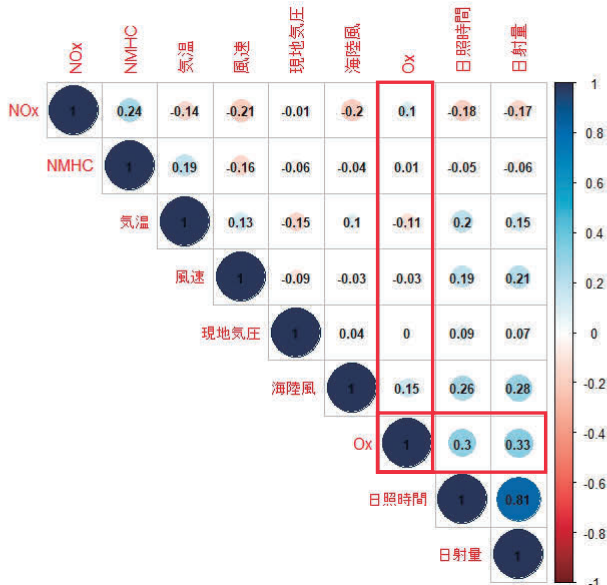


図2 Oxと各要素の相関係数比較

#### (3)主成分分析

本解析の結果、第一主成分(PC1)と第二主成分

(PC2)の寄与率がそれぞれ32.8%と17.4%であり、これらはそれぞれ、データ全体を32.8%、17.4%説明できることを意味する。第一主成分中、「日射量」「日照時間」「海陸風の有無」に関するベクトル方向と、Ox高濃度日である「A」のクラスターとの位置関係から、これら要素がOx高濃に影響している可能性がうかがえた(図3)。

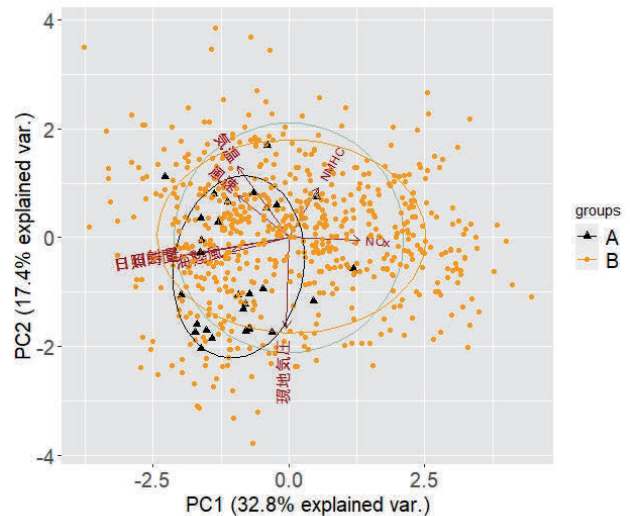


図3 主成分分析の結果

#### (4)機械学習アルゴリズムの選定

今回検討の、「線形カーネル」「多項式カーネル」「ガウシアンカーネル」3手法についてAIによる予測精度を比較した(表1)。要素数は結果3までのデータから、表1下に記した項目とした。まず、80ppb以上をAとした場合、3つのカーネル法とデータの要素数を検討した。要素数を8項目から5項目に漸減させたところ、6項目における精度が最も高かった。要素数6のデータを多項式カーネルで分類した際、Aの的中率は92%であり、Bと予測して実際はAであったデータは1つのみで、より安全性の高い予測結果となった。次に、90ppb

以上をAとした場合、Aの的中率が0%から100%とばらつきが極めて大きかった(データ割愛)。

表1 80ppb以上をAとした場合の予測的中率  
(全データ:Aが25data、Bが25data)

	8要素	7要素	6要素	5要素
線形	79%(77%)	88%(84%)	75%(88%)	62%(58%)
多項式	79%(73%)	75%(69%)	92%(92%)	58%(55%)
ガウシアン	67%(66%)	75%(69%)	75%(88%)	75%(69%)

※全体的中率(Aの的中率)

8要素:NOx,NMHC,気温,日照時間,風速,現地気圧,日射量,海陸風

7要素:NOx,NMHC,気温,日照時間,風速,日射量,海陸風

6要素:NOx,気温,日照時間,風速,日射量,海陸風

5要素:NOx,気温,風速,日射量,海陸風

## 5. 考察

### (1)AIの予測に用いるデータセット構築

一般に、AIによる学習・予測を行う際には、「訓練データ」で学習し、「テストデータ」で予測を行う。この際、訓練データに必要な特徴量が十分あり、無関係な特徴量を極力含めない必要がある(特徴量選択)。

今回検討した要素のうち、大気汚染物質のデータはNOxとNMHCであったが、NMHCはOxパーセント区間との関連、相関係数、主成分分析いずれの解析手法でも、Ox日最高値と関連があるとはいえなかった。Ox生成には、人為由来のものより、反応性の高い植物由来の揮発性有機化合物が相当寄与していることが知られている<sup>4)</sup>。このような、既存機器で検知できていない揮発性有機化合物の影響を考慮できていないことが、本結果の一因であると考えられた。

気象データの中で、大気圧の要素を検討した理由は、大気汚染物質の滞留に影響し得る評価地点での大気安定度を反映することを期待したからであったが、Ox日最高値との相関係数は0であり、他の解析手法でも関連性はみられなかった。しかしながら、大気安定度は大気汚染物質の局地的な生成要因として非常に重要である。現在、既存の気象データのうち、風速と日射量のデータで大気安定度を分類できる手法として、英国気象局で採用されていた「パスキルの大気安定度」をデータセットに反映させるよう試みているが、「安定度の適切な数値化」が課題である。今後、継続検討したい。その他、気象データのうち、日射量と日照時間は主成分分析の結果、類似性の高い要素であることがわかったため、日照時間の要素を割愛した。

### (2)機械学習アルゴリズムの選定

本解析の結果、データセット構築時の要素数削

減が有効であり、予測的中率からも、採用したアルゴリズムも適切であると考えられた。しかし、90ppb以上の分類では、全データ数に対するAの割合が非常に低いことに起因し、的中率のばらつきが大きかったため評価不能であった。これは、SVMによる予測の欠点である。今後、採用するデータの範囲を時間的にさらに遡り、Aの母数を増やすことで改善を図りたい。

## 6. まとめ及び今後の展望

今回行った、データセットの要素数検討及びカーネル法選定結果の範囲では、NOx、気温、風速、日射量、日照時間、海陸風6要素で構築したデータセットを多項式カーネルによるSVMで予測することが最も精度が高いことがわかった。しかし一般的に、大気汚染物質のような時系列データはディープラーニングによる予測も有効である。現在、ディープラーニングによるアルゴリズムの実装も完了しているが、予測精度向上のため、課題は山積している。

今回開発したAIを実用化するにあたり、実際の当日予測では、気象データ及び常時監視データの予測値代入が必要である。適切な予測値算出手法の確立を膨大な統計データ処理により解決したい。また、予測地域を本県西部、東部、伊豆に拡大するにあたり、新たに、他地域からの大気汚染物質移流も考慮しなくてはならない。本稿で行ったような、地域特性の再解析が必要である。また、これら他地域では得られる気象データに制約があるため、データの入手方法確保も大きな課題である。研究成果の一刻も早い社会還元のため、今後も開発を急ぎたい。

1 神成陽容:関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第2報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証, 大気環境学会誌, 41, 220-233(2006)

2 大平俊男 「光化学スモッグー東京の光化学反応による大気汚染ー」(講談社、1973)

3 Nakane,H.:Sasano,Y.:Structure of a sea-breeze front revealed by a scanning lidar observation, J.Metreool. Soc. Japan, 64, 787・492 (1986).

4 井上和也ら:関東地方における夏季地表オゾン濃度のNOx,NMHC排出量に対する感度の地理分布 第1報 大小2種類の植物起源NMHC排出量推定値を入力した場合の数値シミュレーションによる推定, 大気環境学会誌, 45, 183-194(2010)



# 地方環境研究所での大気シミュレーション活用について

山村由貴<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>福岡県保健環境研究所)

## 1. はじめに

PM<sub>2.5</sub>や光化学オキシダント等の大気汚染物質が高濃度となった際、問い合わせへの対応や発生源対策の検討を行うためにも、その主要な発生源や濃度上昇機構を解明することは非常に重要である。大気シミュレーションは、計算に用いる排出量データを調整することで、任意の大気汚染物質に対する各発生源の寄与を試算することが可能である。大気シミュレーションを用いた発生源解析は、これまで大学や国立環境研究所などを中心に行われてきた。しかし、主要な発生源や高濃度事例が発生する条件は、立地や地形に依存するため、地域によって大きく異なる。そのため、各地方自治体が自ら大気モデルを用いてシミュレーションを行い、それぞれが抱える問題に対して主要因の解明や対策の検討を行うことが望ましい。福岡県保健環境研究所では、平成29年度からワークステーションを導入し、気象/大気質モデルWRF/CMAQを用いたシミュレーションにより、発生源推定や濃度上昇機構の解明を行ってきた。本講演では、福岡県でこれまでに行った解析事例について紹介する。

## 2. 大気シミュレーションの活用例

本講演では、九州を中心に度々観測される夏季の高濃度PM<sub>2.5</sub>を対象に、大気シミュレーションを主要発生源および生成機構の解明に用いた事例を紹介する。また、福岡県内の光化学オキシダント(オゾン)を対象に、濃度上昇機構の解明および発生源対策効果の試算に用いた事例も紹介する。

### 2. 1. 高濃度PM<sub>2.5</sub>の発生源・生成機構解明

2020年8月上旬に、九州を中心に広域で煙霧が観測され、大きな話題となった。この事例はその後、シミュレーションを含む様々な解析により、火山が主要因であることが推測された。夏季に火山が原因でPM<sub>2.5</sub>が高濃度となる同様の現象は、過去にも観測されている。

太平洋高気圧に覆われ、猛暑日が続いた2018年7月16日から21日、九州地方から北陸にかけて、PM<sub>2.5</sub>日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える測定局が複数観測された。環境省により設置された、国設五島酸性雨測定所(五島)、福岡大学(福岡)、国設隠岐酸性雨測定所(隠岐)、赤穂市役所(赤穂)、国設新潟巻酸性雨測定所(巻)におけるACSA-14によるPM<sub>2.5</sub>成分測定結果を図1に示す。いずれの日、地点においても、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が約30~50%と高い割合を占めていたことが分かる。このSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の生成に関して、CMAQを用い、国内火山から噴出したSO<sub>2</sub>と国外人為発生源の寄与率を計算した結果を図2に示す。図2(a)においては100%に近いほど火山由来SO<sub>2</sub>の影響が大きく、図2(b)においては100%に近いほど国外汚染の影響が大きいことを意味する。図2から、国外汚染の影響は低く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

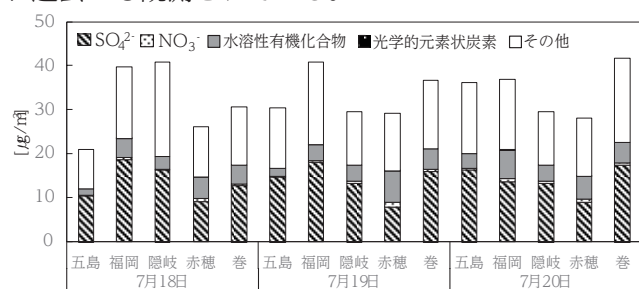


図1 ACSA-14によるPM<sub>2.5</sub>成分分析データ

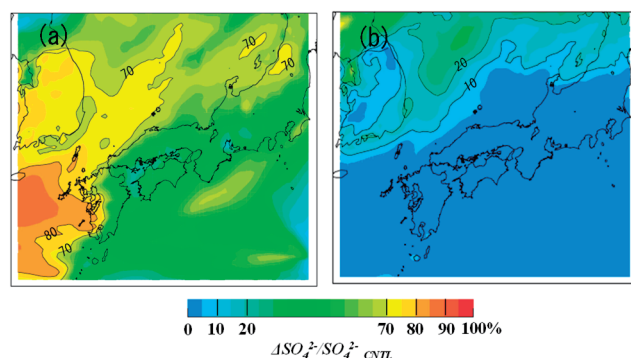


図2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度への寄与割合

は主に火山由来  $\text{SO}_2$  から生成していたことが分かった。CMAQで計算した  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度分布を図3に示す。始めに、九州の西海上で濃度が上昇していたことが分かる (図3(a))。これは、桜島等の九州南部の火山から噴出した  $\text{SO}_2$  が南東の風で海上へ輸送され、気相・液相反応によって  $\text{SO}_4^{2-}$  を生成したためと考えられる。この気塊が九州西側に存在する高気圧性循環によって停滞したことで長期間高濃度を維持した後、北部九州に流れ込んだ (図3(b))。また、気塊は太平洋高気圧の縁辺流に沿って高濃度を維持したまま日本海上を北東進し (図3(c))、日中、海陸風が海よりの風向となったときに、山陰および北陸地方へ流入した (図3(d))。沈着速度の遅い海上を進んだことで、移動中も高濃度が維持されたと考えられる。2020年8月上旬の高濃度事例においても、類似したプロセスで  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が上昇していたことから、夏季に風向や日射等の気象条件が揃うと、火山由来  $\text{SO}_2$  から高濃度  $\text{PM}_{2.5}$  が生成され得ることが示唆された。

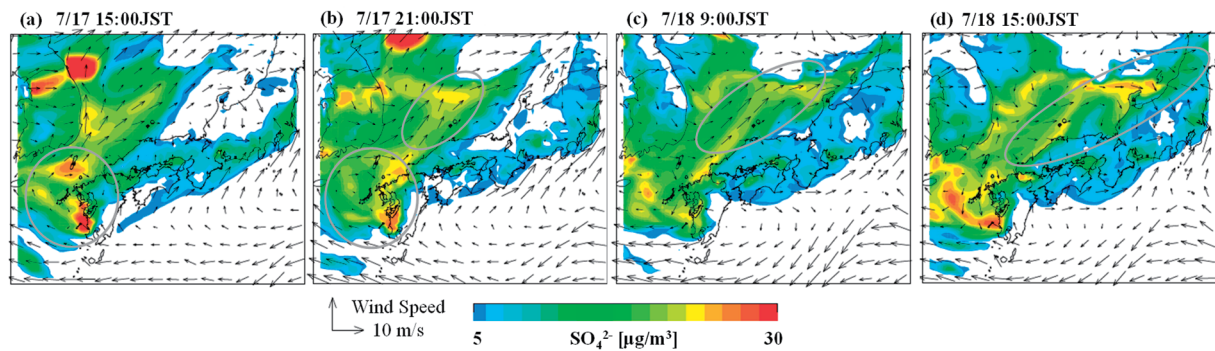


図3  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度と風向風速の水平分布

## 2. 2. 光化学オキシダント濃度上昇機構の解明および発生源対策効果の試算

2018年6~8月を対象に、福岡県内の大気常時監視局である苅田局、長尾局、小郡局、橘局 (位置は図4中に示す) のいずれかの局のオゾン濃度が80ppbを超えた日を抽出し、オゾン濃度の時間変化を平均した。なお、九州エリアで生成したオゾンを対象とするため、九州外から流入したオゾン濃度が高いと考えられる日は除外した。以下、時間平均したこの日を高濃度日と定義する。北部九州の  $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$  排出量分布を図4に示す。福岡県内で排出量が多いのは、主に北九州エリアと福岡市エリア (図4(a) 中黒丸エリア) である。北九州エリアは工業地帯を有している。一方、福岡市エリアは商業都市であり、自動車交通量が多い特徴を有する。CMAQで計算した高濃度日の、オゾン濃度と風向風速の水平分布の時間変化を図5に示す

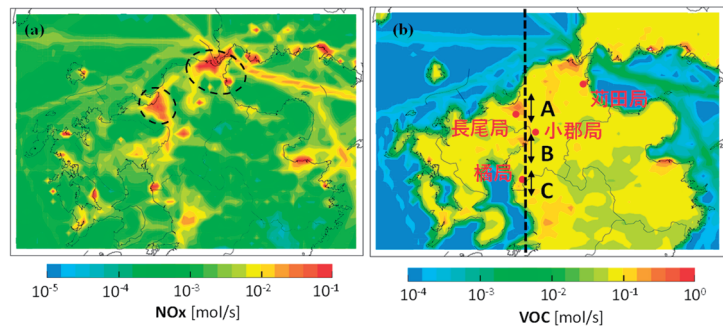


図4 北部九州の  $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$  排出量の水平分布

(JATOP、EAGrid 調査データを基に水平分布を作成)。図中の網掛部は

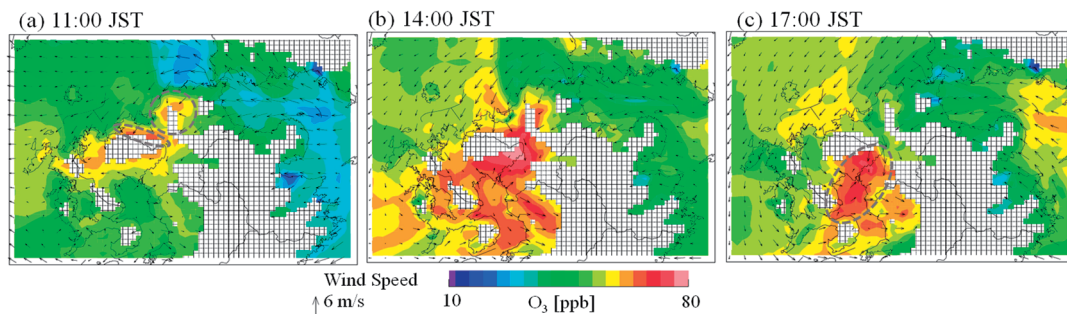


図5 オゾン濃度と風向風速の水平分布

標高 200m以上のエリアである。図 5 から、11:00 に北九州エリアと福岡市エリア（長尾局付近、図 5(a) 灰丸部）の風下で濃度が上昇し始めていることが判る。その後、14:00 から 17:00 にかけて、海風の侵入に伴い、高濃度オゾンは小郡市（小郡局付近）を経て大牟田市（橋局付近）へと流れた。高濃度日における、図 4 中の黒点線方向に沿った断面図の経時変化の計算結果を図 6 に示す。図 6 中には、オゾン濃度（カラーコンター）、温位（コンター線）、風向を示している。図 6 から、11:00 から 17:00 にかけて、福岡市の上空（図 4 中エリア A、長尾局付近）の高度 500~2000m 付近で濃度が上昇していたことが分かる。一方、地上付近は上空ほど濃度が上昇していなかった。これは、NO<sub>x</sub> 排出量の多い福岡市付近において、上空では光化学反応によるオゾン生成が起きていたが、地上付近では NO との反応等によってオゾンが消滅していたためと考えられる。また、14:00、17:00 には海風の侵入に伴い、福岡市上空のオゾンが小郡局から橋局付近（図 4 中エリア B、C）まで輸送されていた。福岡市付近に比べて NO<sub>x</sub> 排出量が少ない小郡局、橋局付近では、上空から地上までオゾンが高濃度となっていた。以上から、福岡県では、都市部上空で生成した高濃度のオゾンが、海風によって南の郊外エリアへ運ばれていたことが推測された。

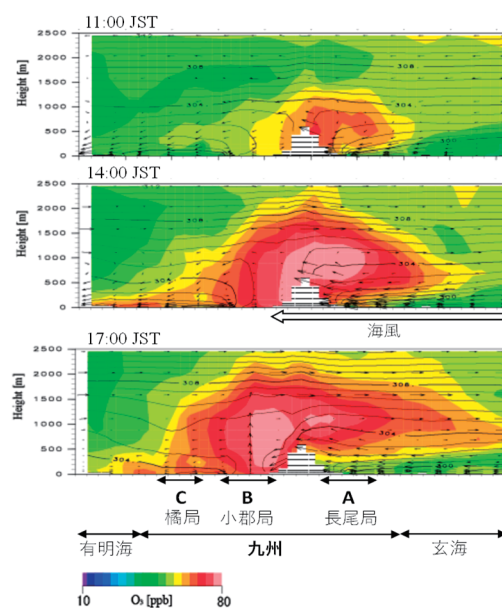


図 6 オゾン濃度の垂直分布

全排出量を含む標準計算に加え、九州の NO<sub>x</sub> または VOC 排出量を 3 割削減した計算も実施した。オゾンが高濃度となる 11:00~17:00 の平均値について、九州の NO<sub>x</sub>、VOC 排出量を削減した計算と標準計算との差をそれぞれ図 7(a)、(b) に示す。図 7(a)、(b) は、オゾン濃度の変化量を表し、NO<sub>x</sub>、VOC 削減によってオゾンが減少した場合は負（寒色）、増加した場合は正（暖色）を示す。オゾン濃度が増加したのは、苅田局を含む北九州エリアや長尾局を含む福岡市エリアといった、NO<sub>x</sub> 排出量の多いエリアであることが分かる。これは、NO<sub>x</sub> が減少することで、地上付近で NO との反応等によって消滅するオゾンの量が減少したためと考えられる。対して、NO<sub>x</sub> 削減によりオゾンが減少した福岡市エリアより南（小郡局、橋局を含む）は、福岡市上空で生成したオゾンが輸送されていたエリアである。これは、福岡市付近では、NO<sub>x</sub> 排出量削減により、地上付近で消滅するオゾンの量が減少したが、同時に上空で光化学反応によって生成するオゾンの量も減少したことで、福岡市上空から南へ輸送されるオゾン濃度が減少したためと考えられる。また、図 7(b) から、VOC 排出量を削減した場合は、福岡県全域でオゾン濃度が減少していたが、その減少濃度は最大で 3ppb 程度であり、NO<sub>x</sub> に比べて VOC の影響は小さいことが示された。

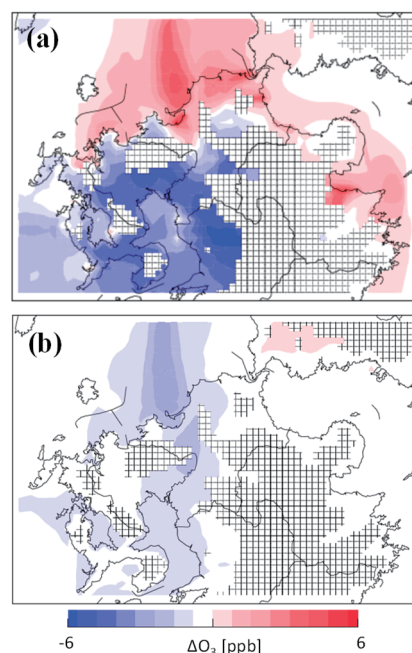


図 7 オゾン濃度の変化量

### 3. 今後の展望

過去の事例解析を通して、大気シミュレーションは地方環境研究所においても、発生源推定や施策の検討を行う上で非常に有益であることが分かった。今後は、大気シミュレーションを、発生源解析や排出量削減効果の試算を含む汚染物質濃度の予報に活用したいと考えている。

# 降雨時の市街地排水中の硝酸イオン濃度の季節変化

○横山新紀

(千葉県環境研究センター)

## 1. はじめに

千葉県の印旛沼は県北部に位置し、流域は都市化が進み市街地等割合が 40 % を超える。流入負荷量は市街地由来が大きく全窒素の約 25 % を占める。今回、印旛沼流域で市街地排水・道路排水調査を行い、市街地排水中の $\text{NO}_3^-$ 濃度の季節変化について検討を行った。

## 2. 調査方法

図 1 に調査地点を示した。市街地排水調査は流域西部の船橋市習志野台団地調整池の雨水流入口で実施した。この地区は分流式の下水道が完備しており、市街地排水は雨水由来である。また道路排水調査を約 20km 離れた流域東部の北千葉道路の橋梁部で実施した。

採水は、市街地排水は 2021 年 3 月から自動採水機により行った。なお、2020 年 6 月以降暫定的にこの調整池に接続する排水路でバケツ採水（概ね降雨開始 1、2 時間後）を行った。道路排水は 2019 年 6 月以降、自動採水機で橋梁部の排水管出口で実施し、バケツ採水（概ね降雨開始 1 時間後）も併用した。採水後の試料はクロマトディスク(0.2 $\mu\text{m}$ )でろ過後、イオンクロマトグラフ（東ソーIC-2010）で分析した。解析では県酸性雨調査結果（佐倉）、気象庁降水量データ（船橋、佐倉）も使用した。

## 3. 結果と考察

図 2、3 に市街地排水、道路排水の降雨開始からの累積降水量と $\text{NO}_3^-$ 濃度の推移を示した。降雨開始直後は道路排水濃度が最高 30 mg/L、市街地排水 14mg/L と道路排水濃度が高い。累積降雨では道路排水が 12mm で濃度は 0.3 mg/L でほぼ平衡となるのに対し、市街地排水は 25mm で 1 mg/L で平衡となっており、道路排水の濃度が



図 1 調査地点

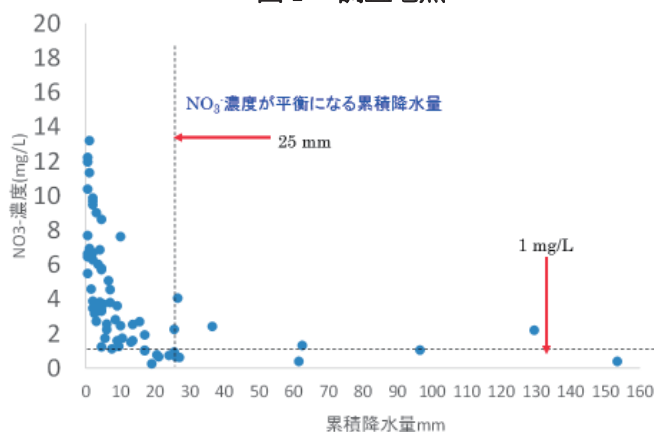


図 2 累積降水量と $\text{NO}_3^-$ 濃度の推移（市街地排水）

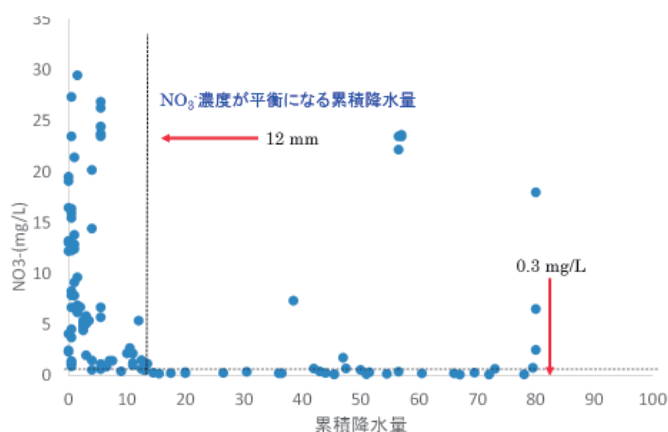


図 3 累積降水量と $\text{NO}_3^-$ 濃度の推移（道路排水）

平衡に達する時間が短く濃度も低下した。

図4に市街地排水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度推移(自動採水機は降雨開始後概ね1時間後の値、無降水時も併記)を示した。降水時は0.6~27 mg/Lの範囲で、6月~11月では1~5 mg/L程度だったが、12月以降翌5月にかけて5~10 mg/L前後が多く、1月末に27 mg/Lが観測された。その後7月には2 mg/L程度に低下した。無降水日は5~12 mg/Lだった。

また図5に市街地排水と道路排水(自動採水機は降雨開始後概ね1時間後の値)を併せた濃度推移を示した。道路排水濃度は6月から12月は10 mg/L以下で1 mg/L程度も多かったが、1月以降10 mg/Lを超えることが多く、1月下旬に33 mg/Lも出現した。5月以降は濃度の低下が見られた。道路排水の冬~初夏の濃度増加傾向は市街地排水と似ている。

図6に2019年からの道路排水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度推移と県酸性雨調査結果による佐倉の大气由来窒素沈着量(湿性(降水)及び乾性沈着(ガス及び粒子)の窒素合計値)の推移を示した。道路排水濃度は2020年4~6月頃も30 mg/Lと高濃度が出現しており、2021年の1月末、4~5月と合わせて冬~初夏に濃度が増加した。大气由来窒素沈着量も2020年4~6月頃、2021年にも4月以降上昇し、道路排水濃度の上昇時期と概ね一致した。大气由来窒素沈着量の変動は、市街地排水濃度・道路排水濃度の季節変化に影響を与えている可能性が示唆される。

図7に千葉県内のFP法によるNO<sub>3</sub><sup>-</sup>粒子濃度の推移を示した。各地点とも2020年ころに濃度低下が見られる。濃度変化が全県に及ぶ広域的であること、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度等も大きく低下したことから、同時期に発生した新型コロナウイルス対策により工業活動が停止したため、大陸からの越境汚染が変化した影響を受けたと想定される。こうした大气濃度の変化は、気候変動によるものを併せ大气由来窒素沈着量の変動に影響し、市街地排水など面源負荷を変化させると考えられる。

謝辞

本研究の一部は(独)環境再生保全機構「環境研究総合推進費」(JPMEERF20202001)により実施した。

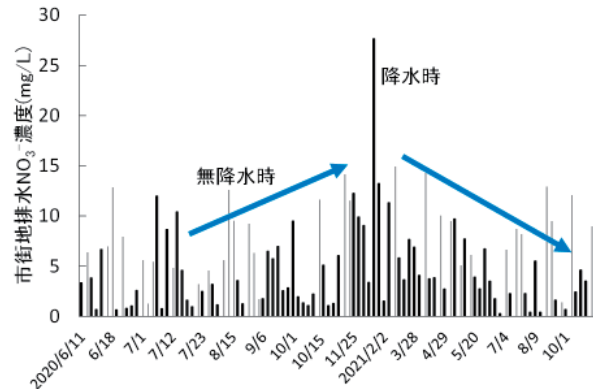


図4 市街地排水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度推移

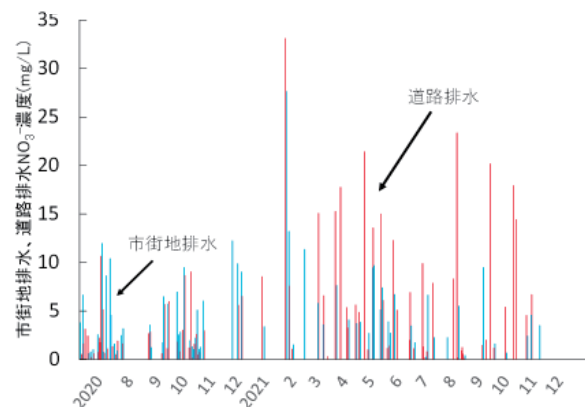


図5 市街地排水、道路排水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度推移

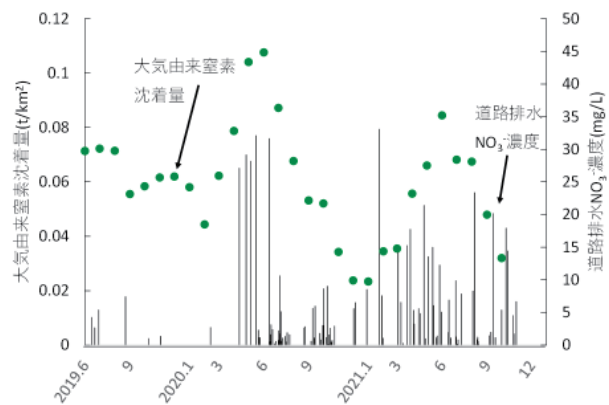


図6 道路排水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度、大气由来窒素沈着量の推移

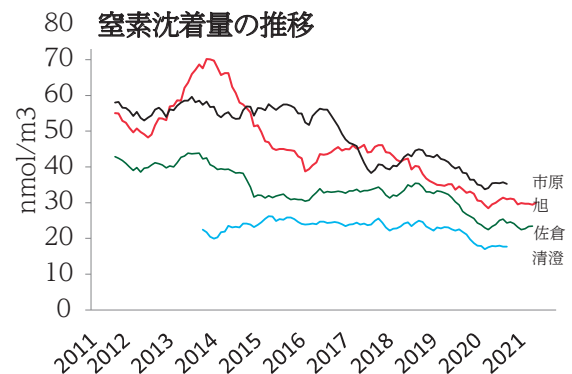


図7 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>粒子濃度(FP法)の推移

# 大気汚染シミュレーション支援システムの開発と今後

菅田誠治

(国立環境研究所)

## 1. 背景と目的

近年、光化学オキシダント（以下、Ox）は環境基準達成率が全国でほぼゼロである状況が続いている。また、PM2.5は年平均濃度が2014年度以降減少してはいるが世界的な環境基準値の厳格化の流れがあり、また、西日本や関東の一部には環境基準未達成局が残っていることから、OxとPM2.5の両者への対策は強く求められている。PM2.5の高濃度分布は強い地域性を示しており、また、Oxの濃度低減に必要な対策も強い地域性を持つと考えられることから、地方公共団体等による状況に応じた地域毎の検討が必要である。また、気候変動適応法に伴い、気候変動が大気汚染に及ぼす影響についても地域毎の検討が求められている。

これらの検討に役立つ手法の一つが数値シミュレーションである。大気汚染に係るシミュレーションについては、これまでに複数の環境研究総合推進費（以下「推進費」）等により精度改良の取組みの蓄積があり、また、規範的な大気質モデルの利用法に関する知見等も集積されている。また、環境省の委託調査によって排出インベントリ等のデータ整備が進められてきている。しかし、これらの成果は地方公共団体等が簡便に利用できる形としては整備されておらず、シミュレーションに至るまでには幾つかの障壁がある。

本研究では、これらの蓄積を生かしつつ、大気汚染シミュレーション支援システム（以下「支援システム」）を開発し、地方公共団体の担当者等がそれぞれの地域における大気汚染問題を解決するために、多数の施策オプションの総合的・継続的な検討を、より簡便に数値シミュレーションを活用することで可能にすることを目的とする推進費5-1903「大気汚染対策効果評価のためのシミュレーション支援システムの研究開発」（2019-2021）を中心とした取組について紹介する。

## 2. 開発状況

開発中の支援システムについて説明する。支援システムはWindows10上の簡易なユーザーインターフェースで操作し、作成された各種ファイル・データをLinux 計算機にコピーしてシミュレーションを実施する仕様とした。気象モデルとしてはWeather Research and Forecasting Model (WRF) v3.9.1、大気質モデルとしてはCommunity Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ) 5.1を主たる対象として開発した。開発言語はvb.net2017である。また、地図描画にはハワイ大学マノア校が開発するGMT (the Generic Mapping Tools)を用いている。

支援システムは、地図上で視覚的に計算領域の設定・変更を行い、気象モデルや大気質モデルに必要な設定ファイルや入力ファイル等をそれぞれ生成することが出来る。また、排出量変換システムに必要な設定ファイルを生成し、その際に簡易に地域別物質別等の削減率を設定することが出来る。これらの設定は保存と読込が出来る。

支援システムの一部を構成する排出量変換システムについては、推進費5-1601で開発された排出量データ変換ツールに、有料ツールを使わない水平分解係数生成機能の開発、植物起源排出量推計への対応、OCEANファイルへの対応等についての自動化、成長係数から修整係数（主に削減率設定に用いられる）の分離等の改良を加えた上で用いた。



図1 支援システムにおいて排出量の削減率を設定する画面

場所	部門	成分	削減係数
14???	ALL-ALL-0487	CO	0.5
14???	ALL-ALL-0487	NOX	0.5
14???	ALL-ALL-0487	SOX	0.5
14???	ALL-ALL-0486	CO	0.5
14???	ALL-ALL-0486	NOX	0.5
14???	ALL-ALL-0486	SOX	0.5
14???	ALL-ALL-0484	CO	0.5
14???	ALL-ALL-0484	NOX	0.5
14???	ALL-ALL-0484	SOX	0.5
14???	ALL-ALL-0483	CO	0.5
14???	ALL-ALL-0483	NOX	0.5
14???	ALL-ALL-0483	SOX	0.5
14???	ALL-ALL-0481	CO	0.5
14???	ALL-ALL-0481	NOX	0.5
14???	ALL-ALL-0481	SOX	0.5
13???	ALL-ALL-0487	CO	0.5
13???	ALL-ALL-0487	NOX	0.5
13???	ALL-ALL-0487	SOX	0.5

図2 図1を用いて生成される修整係数ファイルの内容の一例

支援システムの機能の一例として、排出量を任意の削減率で設定する画面を図1に示す。

それぞれの排出源において、地域、業種、施設種、燃料種、物質を指定しつつ、各物質の削減率を設定することで、排出量変換システムで用いられる設定ファイル(図2)を生成でき、簡易に排出量削減実験のための排出量ファイルの作成を行うことができる。

### 3. 今後の課題と展開

上述のように支援システムが開発でき、地方公共団体を主たる対象に説明・講習会を2022年2月17日午後(本発表当日)に行う予定である。

今後多くの方に使って頂く中で、様々な改良が求められ、また、シミュレーションに用いる数値モデルのバージョン更新等への対応も必要になると考えられる。一方で、推進費5-1903は本年度で終了する。このジレンマを解消するために、推進費終了後の受け皿として、国立環境研の中長期計画(今年度開始)にて始まった政策対応研究の枠組みの一つで、今後の支援システムの更新・維持・管理や地方公共団体等への講習会・サポートを継続することとした。年一回以上の講習会開催を継続しつつ、ユーザーの声も伺いつつ、より役立つツールとするべく改良を続ける。

### 4. まとめ

数値シミュレーションの参入障壁を大きく軽減すべく、ユーザーフレンドリーなインターフェースを介した簡便な選択や指定に基づいて気象モデル、大気質モデル、排出量変換システムが必要とする設定ファイル・入力ファイルを半自動生成するシミュレーション支援システムを開発し、現在も改良中である。本発表が行われる同日の午後に地方公共団体等に向けた支援システムの講習会の第一回を開催する。

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20195003)、国立環境研究所政策対応研究(地域・大気)、および、国環研と地環研等とのII型共同研究「光化学オキシダントおよびPM2.5汚染の地域的・気象的要因の解明」により実施している。排出量変換システムを担当する茶谷聡氏や、支援システムのツール開発部分を担当する曾我稔氏をはじめ所内外関係者の皆様に深く感謝する。

# 環境 DNA を用いた魚類調査の実施とその活用について

長谷部勇太<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>神奈川県環境科学センター)

## 1. はじめに

神奈川県を流れる相模川及び酒匂川の 2つの水系は、県内の水道水の約 9割を賄っており、県民の重要な水源となっている。しかし、両水系の現状を見ると、ダム湖上流の森林荒廃による水源涵養機能の低下や生活排水対策の遅れによるダム湖(特に相模湖)の水質汚濁、また、中下流においては河川の護岸コンクリート化による自然浄化機能の低下(水や土砂の自然な流れの阻害)が懸念されている。

このため県では、相模川及び酒匂川の上流域において、水源涵養機能の向上を図るための森林の整備や水質向上のための生活排水対策の事業等(以下「水源事業」という。)に取り組んでいる。その事業効果の把握や両河川の基礎的な生物相データや水質情報の収集を目的として、動植物や水質に関するモニタリング調査を、相模川では 2008年から、酒匂川では 2009年から 5年間隔で実施している。

このような中、近年新たな生物調査手法として環境 DNA 調査手法が注目を集めるようになってきた。環境 DNA 調査手法とは生物から放出され、環境中を漂う細胞片等から DNA を抽出し、リアルタイム PCR や次世代シーケンサーで分析することにより間接的にその水域等に生息する生物を把握する手法である。捕獲調査に比べて効率的かつ精度の高い調査が可能とされており、従来の調査を代替することができれば調査費用の削減や調査精度の向上が期待できる。

そこで本研究では、魚類の捕獲調査と環境 DNA 調査を同時に実施し、その結果を比較することにより環境 DNA 調査の課題を整理し、将来的な環境 DNA 調査の導入及び捕獲調査の代替にあたっての基礎的な知見を得ることを目的とする。

また、研究結果を踏まえた本県での環境 DNA 調査の活用事例についても併せて紹介する。

## 2. 調査方法

### 2. 1 調査地点と調査時期

調査地点は図 1 のとおり、県内を流れる相模川水系 38 地点と酒匂川水系 39 地点を選定した。

相模川水系は 2018年 7月 11日～27日にかけて、酒匂川水系は 2019年 7月 18日～8月 6日にかけて魚類の捕獲調査と環境 DNA 調査を同時に実施した。

### 2. 2 捕獲調査

捕獲調査は電気ショッカーとたも網、投網を用いた。捕獲した魚は 50 個体まで体長、重量を測定した。

### 2. 3 環境 DNA 調査

環境 DNA 調査は原則として、環境 DNA 学会発行の「環境 DNA 調査・実験マニュアル」に基づき実施した。分析手法としては Mifhsh プライマーを用いたメタバーコーディングを採用した。なお、酒匂川における調査ではスナヤツメ類に対応したプライマーを等量混合する等、一部マニュアルを改変して実験を行った。

環境 DNA 調査により得られた魚種データについては、以下のとおりグループ分けを行った。

○ グループ 1

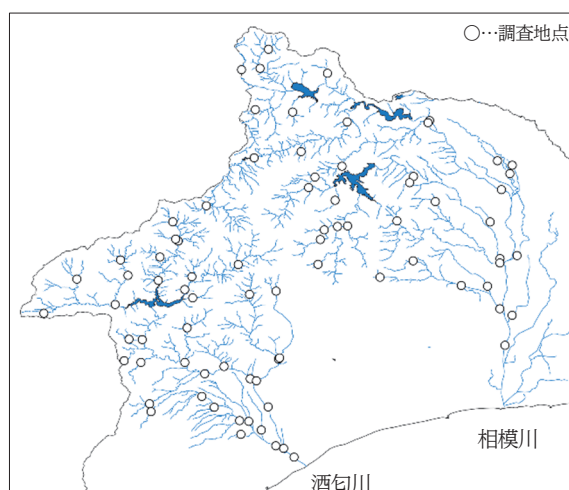


図 1 調査地点図



本研究の当該地点の捕獲調査において確認された種

○ グループ 2

グループ 1 に該当しない種のうち、当該地点で過去あるいは本研究での調査後に実施した捕獲調査(相模川においては 2008 年夏冬、2013 年夏冬、2018 年冬、酒匂川においては 2009 年夏冬、2014 年夏冬、2019 年冬にそれぞれ調査を実施)で確認されている種。

このグループに属する種は、当該調査地点周辺に生息している可能性が高いと考えられる種群である。

○ グループ 3

グループ 1、2 に該当しない種のうち、当該地点の環境と生息環境が異なる種。

このグループに属する種は、採水場所での人為的な排水や上流の異なる水域からの流れ込み、実験工程における混入によるコンタミネーションと考えられる種群である。

○ グループ 4

グループ 1 から 3 まで該当しなかった種。

このグループに属する種はグループ 2 に比べて当該調査地点周辺に生息している可能性は低いと考えられる種群である。

### 3. 結果

#### 3. 1 捕獲調査の結果と環境 DNA での検出

相模川水系の捕獲調査では 38 地点で 42 種の魚種が確認された。これらのうち環境 DNA で検出されたのは 41 種であり、スナヤツメ類のみが検出されなかった。

酒匂川水系の捕獲調査では 39 地点で 32 種の魚種が確認された。これらのうち環境 DNA で検出されたのは 31 種であり、マハゼのみが検出されなかった。

次に捕獲個体数と検出率の関係を整理したところ、図 2 のとおり捕獲個体数が少ない、すなわち生息密度が低いほど、検出率が低くなることが明らかとなった。

また、捕獲個体数が多いにもかかわらず、環境 DNA が検出されなかった種としてはアユが挙げられる。その原因としては Mifhsh プライマーの配列とのミスマッチ、つまり F プライマーで 3 塩基の不一致があることが考えられた。同様のミスマッチはスナヤツメ類、ワカサギ、ミナミメダカ、カワアナゴでも確認されたが、このうちスナヤツメ類については酒匂川の調査において改良したプライマーを等量混合したところスナヤツメ(北方種)の環境 DNA が検出されている。

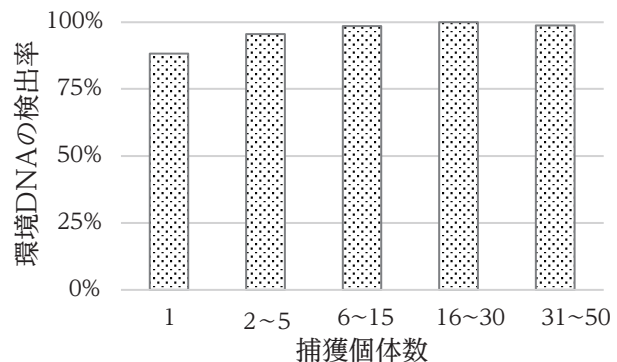


図 2 捕獲個体数と環境 DNA 検出率の関係

#### 3. 2 環境 DNA 調査の結果

相模川水系の環境 DNA 調査では 38 地点で 86 種の魚種が検出され、酒匂川水系では 39 地点で計 82 種が検出された。

各調査地点で検出された魚種データ (n=1102) をそれぞれグループ 1 から 4 に分類し、グループ毎の割合を算出したところ図 3 のとおりとなった。

グループ 1 と 2 に属するデータが過半数を占めるものの、4 割以上のデータは当該水域の生物相を反映していない可能性のあるデータが含まれている。

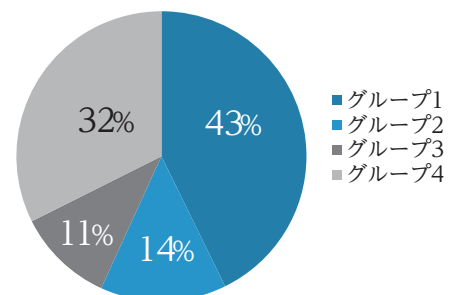


図 3 環境 DNA 調査のグループ比率

調査した水域の生物相を正確に評価するためには、可能な限りグループ3、4に該当するデータを除外することが望ましい。

グループ3のデータについては生息条件等から除外することは可能であるが、グループ4については調査地点から離れた水域からの流れ込みなどが考えられるものの、生息条件等から除外することは難しいデータが多い。

そこで、各地点における魚種毎のリード数(※)を当該地点の全魚種の合計リード数で除することで各地点における種毎のリード数比率(以下「eDNA%」という。)を算出した。各グループのeDNA%の分布を図4に示す。図のとおりグループ1、2に属する魚種はeDNA%が高くなる傾向が確認

され、逆にグループ3、4についてはeDNA%が低くなる傾向が確認された。このため、eDNA%が一定の値以下のデータを除外することで調査水域の生物相を正確に把握することが可能と考えられた。データを除外するための値をどのように設定するかについては、データの利用方法(希少種調査、捕獲調査との比較)等によるので一律な設定はできないが、概ね1%から0.1%程度が目安になると考えられた。

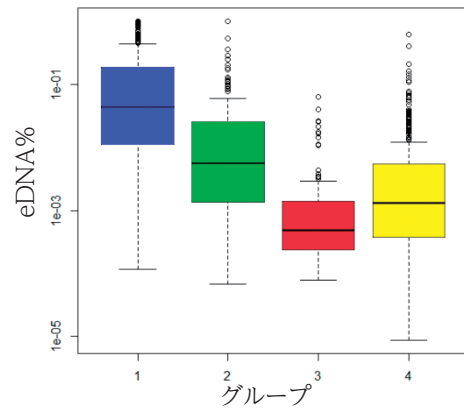


図4 各グループのeDNA%の分布

※リード数とは、次世代シーケンサーで読まれたDNA断片の数を意味しており、分析に用いた試料中のDNA断片の量が多い種ほどリード数が多くなる傾向がある。

#### 4. 環境DNA調査の活用事例

##### 4.1 県民ボランティアによる調査への導入

水源事業においては5年間隔でのモニタリング調査の他、ボランティアによる調査員を毎年度公募し、相模川・酒匂川での生物調査(以下「県民調査」という。)を実施している。県民調査では毎年度新たな調査員の参加があり、調査精度の確保が課題となっていたが、環境DNA調査を導入することにより、精度の向上と調査が簡便なことによる調査地点の増加が期待されている。既に令和3年度に試行的に導入を進めており、令和4年度から本格的に導入することとしている。

##### 4.2 水源事業実施個所における高頻度調査による生物相変化の評価

水源事業においては河川水質の向上を目的として、生態系による自然浄化機能を高める効果のある手法を用いた整備を行っている。

例として、図5のように従来はコンクリート3面張りであった河川について瀬や淵ができるような整備を行い、生物の生息空間を確保し、生態系を多様化させることにより自然浄化機能を向上させている。

これらの事業効果を検証するには、事業実施前から実施後にかけて生物相がどのように変化したかを高頻度でモニタリングすることが有効であるが、捕獲調査を高頻度で実施することは現実的には実施困難であった。このため環境DNA調査を活用して高頻度の調査を実現し、生物相の変化を定量的に評価可能か、検証を開始する予定としている。

この結果についても、機会があれば報告したい。



図5 水源事業実施河川の例

# 大阪湾海水の栄養塩と有機物分解速度について

○鈴木元治<sup>1</sup>・古賀佑太郎<sup>1</sup>・宮崎一<sup>1</sup>・藤原建紀<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (公財) ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター・<sup>2</sup> 京都大学名誉教授)

## 1. はじめに

瀬戸内海等の内湾では、富栄養化対策として栄養塩類（窒素・りん）の削減が行われてきたが、その結果、低栄養となった海水中有機物は、量が減少するよりも質が変わった<sup>1,2)</sup>。質の変化は、炭素：窒素モル比（C:N比）が増大するという形で現れている。一般的に、C:N比の大きい有機物は微生物による分解を受け難い。その理由として、微生物が活動するのに必要な窒素をエサとなる有機物から得ることが出来ない<sup>3)</sup>、ということが考えられる。排水処理では、セルロース等のC:N比が大きい難分解の有機物を処理する際には、栄養塩（無機態窒素・りん）を添加し、微生物の活性を上げて処理されている。（最適な重量比はBOD: N: P = 100: 5: 1）。同じ理由で、BOD測定における希釈液にも栄養塩が添加されている<sup>4)</sup>。

海水中有機物が分解され難くなると、微生物による再生生産が弱まり、生態系における物質フローが減少し、生態系全体にその影響が及ぶことが懸念される。

本講演では、大阪湾の海水中有機物の分解特性について、C:N比と長期間 BOD(培養最大 60 日間)により把握し、栄養塩を添加することで有機物分解が促進するかどうかを調査した結果を報告する。

## 2. 調査方法

大阪湾北部の海水（表層水）を図 1 の常時監視測点から表 1 のとおり採取し、200 mL フラン瓶に入れて、一定の条件下（20℃、暗所、静置）に最大 60 日間置いた。この長期間 BOD 試験は各測点 3 本実施した。DO は、非破壊酸素計（Fibox4）を用いて 1 日 1 回以上の頻度でフラン瓶外から測定した。長期間 BOD は、0 日目と 15 日目又は 50 日目の DO からそれぞれ算出した（BOD<sub>15</sub>、BOD<sub>50</sub>）。なお、20 日目あたりから NH<sub>4</sub>-N の硝化による DO 消費（N-BOD）がみられたため、BOD<sub>50</sub> は N-BOD 分を差し引いた。

試験の開始時と終了時には、全有機炭素（TOC）、溶存有機炭素（DOC）、窒素・りんの各態濃度を測定した。海水のろ過には GF/F ろ紙を用いた。3 次元蛍光スペクトルはろ液を測定した。

上記の試験を、採水した海水に栄養塩（NH<sub>4</sub>-N 及び PO<sub>4</sub>-P）を添加した場合についても実施した。栄養塩の添加量は、微生物が有機物分解を行うのに十分な量となるように調整した。

## 3. 結果

DO 変化の一例として、6 月 9 日採水の Stn.1 及び Stn.7 の結果を図 2 に示す。DO は、生海水と栄養塩添加海水のいずれも経時的に減少した。栄養塩添加海水は、NH<sub>4</sub>-N の硝化による DO 消費が 20 日目あたりからみられ、この DO 減少のパターンが多くの測点で見られた。試験開始時と終了時の

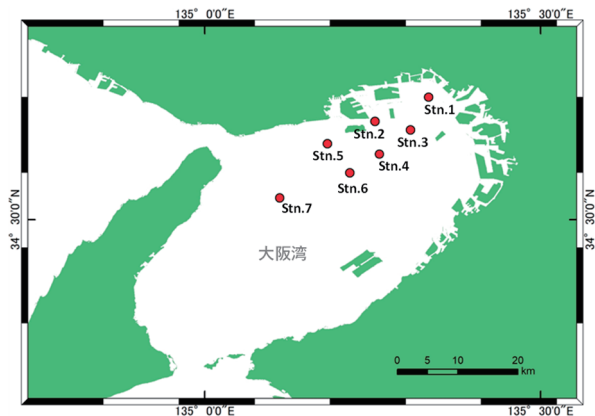


図 1 採水地点（測点）

表 1 有機物分解試験に供した海水

採水年月日	採水地点
2020年 6月 9日	Stn.1, 4, 7
2020年 7月 8日	Stn.1, 2, 3, 5, 6, 7
2020年 8月 11日	Stn.1, 4, 5, 7

栄養塩添加海水の NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N から算出した Stn.1 及び Stn.7 の N-BODは、1.6 mg/L及び 2.4 mg/Lであり、これを除いた 0.86 mg/L及び 0.21 mg/Lがそれぞれ有機物分解に使われた DOと考えられる。

生海水の BOD<sub>15</sub>は、図3のとおり TOC:TN比が小さいほど低下する傾向がみられた(決定係数 R<sup>2</sup>=0.457)。栄養塩添加による BOD<sub>15</sub>と BOD<sub>50</sub>の変化率は、それぞれ各測点の生海水と栄養塩添加海水の平均値から算出した(図4)。なお、7月の全測点及び8月の Stn.1 は、50日目までに DOがゼロとなったため、BOD<sub>15</sub>のみである。図4から、BOD<sub>15</sub>は 91%~130%、BOD<sub>50</sub>は 99%~130%に変化し、海水によって違いがみられたものの、BOD<sub>15</sub>は 13海水中 11海水、BOD<sub>50</sub>は 6海水中 5海水が 100%よりも大きくなった。

なお、TOC及び DOCについては、栄養塩添加による明瞭な濃度の減少はみられなかったが、これは、試験中にも生産される有機物(微生物の増殖)があることが原因と考えられる。つまり、TOCや DOCからは、分解量だけを評価することができない。

3次元蛍光スペクトル測定の結果、全ての海水から、2つのタンパク質様ピーク(Ex/Em = 230/340、280/340)と1つの腐植物質様ピーク(Ex/Em = 230/400)が検出された。これらは、海水でよく検出されるピークである。生海水でも DO減少が大きく、試験期間中の DOがゼロとなった7月の測点は、これらの3つのピーク強度に栄養塩添加による明確な差異はみられなかったが、6月と8月では、栄養塩添加によってピーク強度が 1.2%~30%減少した。

#### 4. 結論

大阪湾北部では、TOC:TN比が大きい海域ほど BOD<sub>15</sub>が小さかったことから、海水中有機物が難分解の傾向であることが示唆された。海水に栄養塩を添加すると、BOD<sub>15</sub>及び BOD<sub>50</sub>が大きくなり、タンパク質様と腐植物質様の溶存有機物量が減少し、有機物分解が促進した。ただし、有機物分解の促進の程度は最大でも BOD<sub>15</sub>及び BOD<sub>50</sub>で 30%であり、ほとんど促進されない海水もみられたことから、海水中の

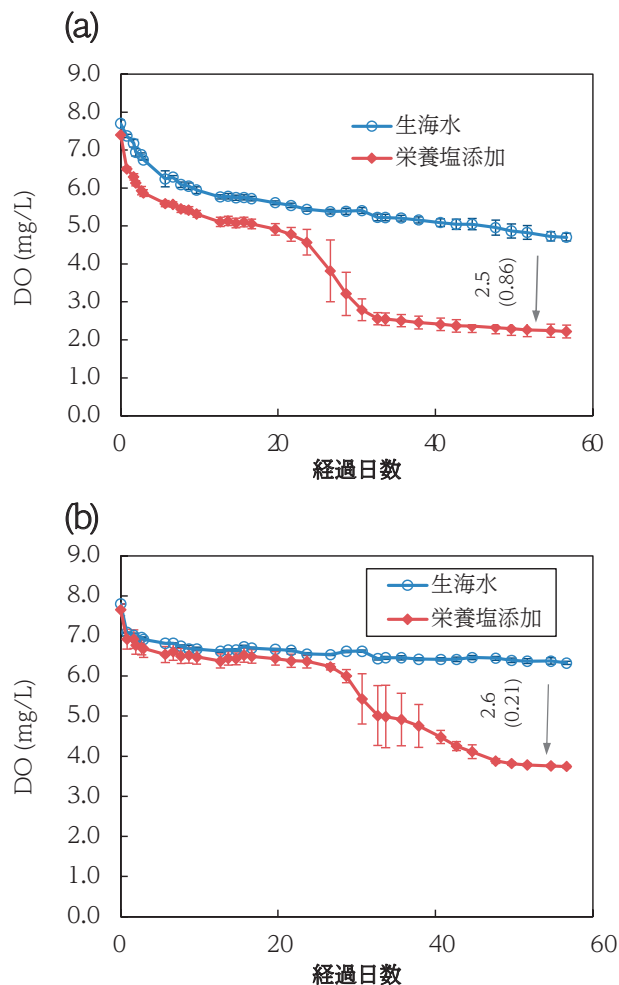


図2 長期間 BOD 試験中の(a)6月の Stn.1、(b)6月の Stn.7 の DO 変化

図中の数値は栄養塩添加海水と生海水の差分。括弧内の数値は N-BOD を除いた差分。エラーバーは標準偏差。

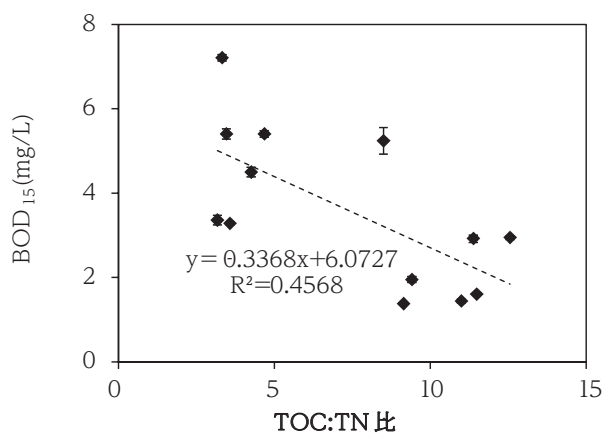


図3 生海水の BOD<sub>15</sub> と TOC:TN 比  
エラーバーは標準偏差。

有機物は、栄養塩が十分にあっても分解し難い分子構造のものが多い可能性が考えられる。

#### 謝 辞

本研究は、Ⅱ型共同研究「里海里湖流域圏が形成する生態系機能・サービスとその環境価値に関する研究」の一環として実施しました。また、東京都環境科学研究所の石井裕一氏にご協力頂きました。

#### 参考文献

- 1) 藤原建紀・鈴木元治・大久保慧・永尾謙太郎：窒素・リン削減が海域の有機物量（CODおよびTOC）に及ぼす影響：削減の効果とその作用機構. 水環境学会誌, 44(6), 185-193(2021).
- 2) 藤原建紀・鈴木元治・大久保慧・永尾謙太郎：窒素・リン削減が海域の有機物量（CODおよびTOC）に及ぼす影響. 水環境学会誌, 44(5), 135-148(2021).
- 3) 独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校 基盤整備センター（編），土・肥料及び作業法（改訂版）. 一般財団法人職業訓練教材研究会，東京(2011).
- 4) 浦瀬太郎著，明解水質環境学(2011).

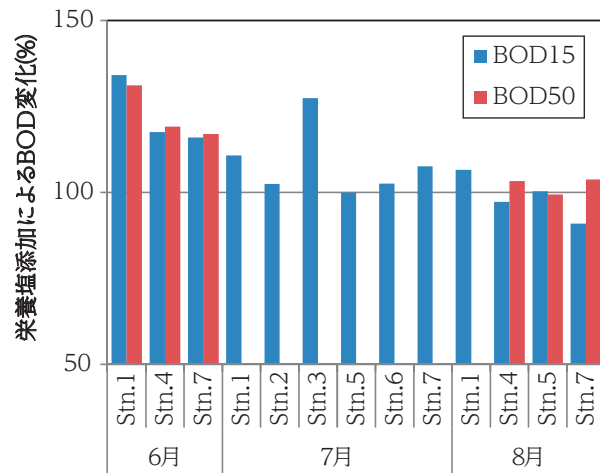


図4 栄養塩添加によるBOD<sub>15</sub>及びBOD<sub>50</sub>の変化率

# 干潟における有機物分解と窒素の遊離

○宮崎 一・古賀佑太郎・鈴木元治・藤森一男  
((公財) 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

兵庫県が面する播磨灘においては、近年、栄養塩濃度の低下が懸念されている。兵庫県では下水処理施設の季節別管理運転やため池のかいぼりを行い、令和元年には全窒素及び全りんの水質目標値（下限値；全窒素 0.2mg/L、全りん0.02mg/L）を播磨灘北部と大阪湾西部に設定して対応しているが、栄養塩濃度の適正化は未だ途に就いたばかりであり、多様な方策の検討が望まれる。

「浅海域の底質中の微生物は複雑な有機化合物の酸化分解や一次生産に不可欠な窒素・りんが無機化再生に重要な役割を果たしている。」<sup>1)</sup>とされることから、当センターでは干潟における有機物分解から始まる有機態窒素及びりんが無機化、それに続く栄養塩の遊離（再生産）を有望な方策として考え、窒素について検討した結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2-1 有機物分解実験

大阪湾奥及び播磨灘に位置する 3 干潟の底質を利用して有機物分解力を検討した(図 1)。分解対象有機物として比較的難分解性であるセルロース（粉末 和光 1 級 38 $\mu$ m(400mesh) 富士フィルム和光純薬（株）製）を使用し 図 2 に示す手順で実験を行った。



図 1 底質を採取した干潟 (▲)

### 2-2 DIN (溶存性無機窒素) 遊離実験

御前浜の底質を利用して図 3 の手順により底質からの DIN 遊離を検討した。

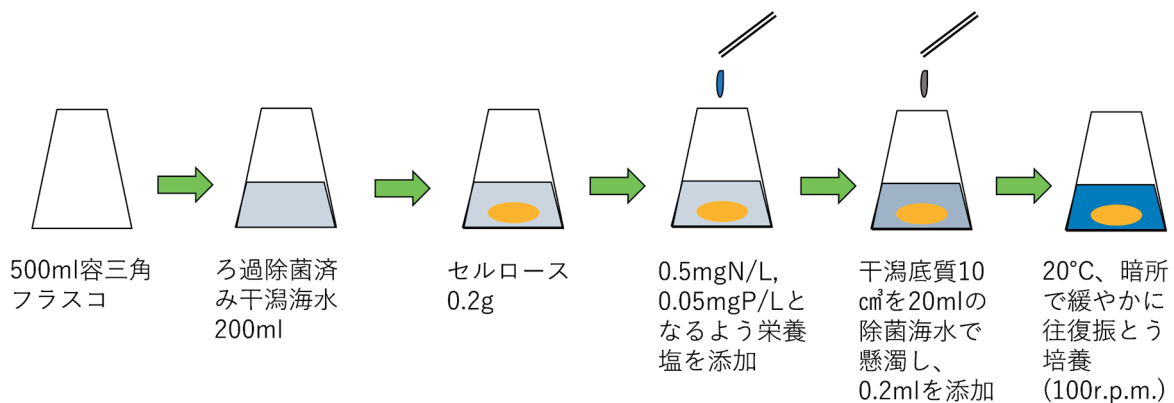


図 2 有機物分解実験操作手順

## 3. 結果と考察

有機物分解実験について、最も高い分解率を得た御前浜の結果を図 4 に示す。御前浜では操作 Blank と比較して分解期間が 7 日間では 34~41%、24 日間では 45~52%の分解が認められた(甲子園浜 23~32%(7日間)；高砂海浜公園 23~41%(35日間))。DIN 遊離実験においては、DIN の濃度が 2 週間後に実験開始時の 2.5 倍を超え、DIN の遊離が認められた。また、泥分と IL (強熱減量) が多い干潟

の方が DIN の遊離量が多いことが示唆された。

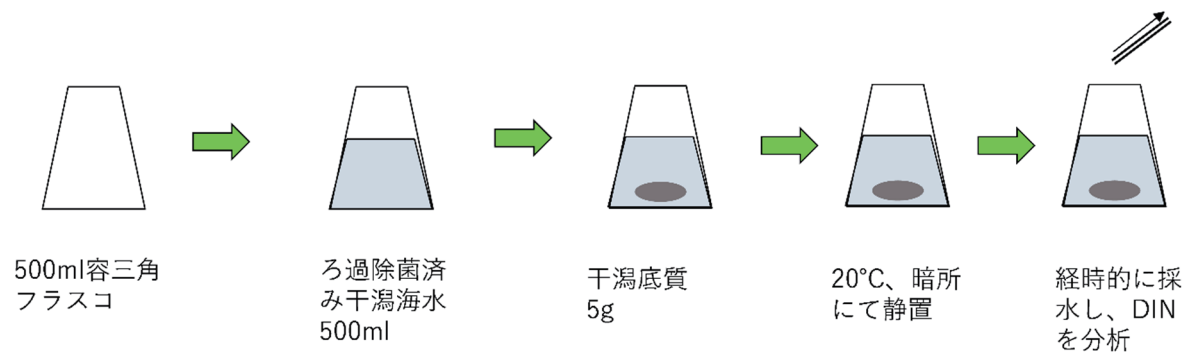


図3 底質からの DIN 遊離実験操作手順

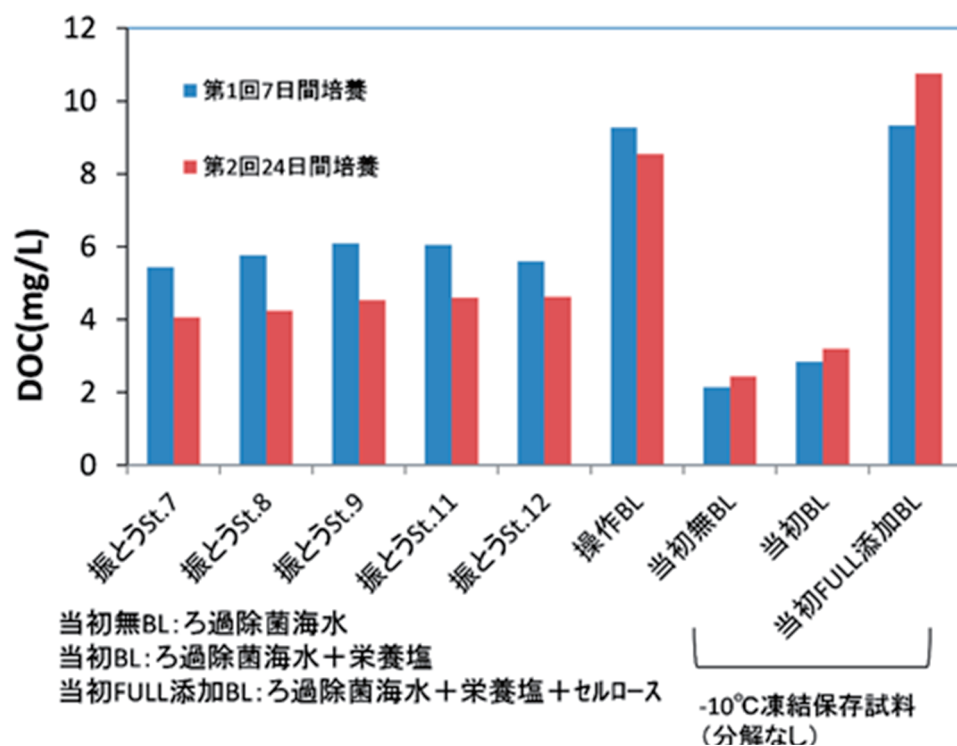


図4 有機物分解実験結果

今後は、干潟底質中の微生物による環境中の含窒素有機物の分解と窒素供給の関係、干潟の性状及び水質、泥分、水温等の環境条件がこの分解と窒素供給に与える影響の検討を行う。

#### 4. 参考文献

1) FEMS Microbiology Reviews 23(1999)563-590

#### 5. 謝辞

本研究の実行においては、国立研究開発法人国立環境研究所と地方公共団体環境研究機関等の共同研究である「沿岸海域における新水質環境基準としての底層溶存酸素（貧酸素水塊）と気候変動の及ぼす影響把握に関する研究」および「里海里湖流域圏が形成する生態系機能・生態系サービスとその環境価値に関する研究」から有益な助言を得ました。

# 降雨時の湿地における COD、窒素、りんの浄化機能

○横山智子<sup>1</sup>・横山新紀<sup>1</sup>・高津文人<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>千葉県環境研究センター・<sup>2</sup>国立環境研究所)

## 1. はじめに

千葉県北西部に位置する印旛沼<sup>1)</sup>(図1)は指定湖沼であり、水質改善に向けた施策が進められているが、近年CODは高止まりしており、より効果的な対策が求められている。種々の対策により、生活排水や事業場排水といった特定汚染源の負荷が減少し、非特定汚染源(以下、面源)の寄与割合が増加している(図2)<sup>2)</sup>。これまでの調査から、面源負荷の実態が明らかになりつつある<sup>3)</sup>一方で、面源への対策は今後の検討課題である。



図1 印旛沼の位置図

(出典：地理院タイル<sup>1)</sup>一部加工)

印旛沼流入河川の上流域には、谷津と呼ばれる谷地形が数多く存在する<sup>4)</sup>。谷津の谷底面の多くは、かつて水田利用され、現在は耕作放棄地となっている。既存研究で、この谷津を湿地として維持・再生し、多面的機能をもたせることで、水質浄化にも寄与すると報告されているが、その多くは、平常時の谷津の脱窒効果による窒素低減に着目したものである<sup>4)</sup>。そこで、本研究では、降雨時のCOD、窒素及びりんの流出に対して湿地として維持されている谷津がどのように作用するか検討した。

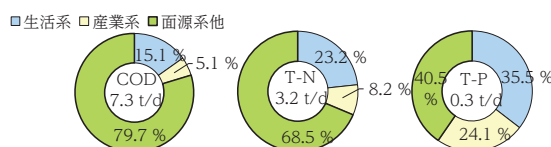


図2 流入負荷量の割合(R01 年度)<sup>2)</sup>

## 2. 調査概要

### 2. 1 調査場所

調査は、印旛沼流域に位置する富里市の「大谷津」と呼ばれる谷津の谷底部にある湿地(図3、湿地面積約1300 m<sup>2</sup>)で行った。本調査地区は里山グリーンインフラ<sup>4)</sup>活用の市民活動として、「おしどりの里を育む会」を中心とする地域の方々が整備し、一部を湿地にしている場所である。



図3 大谷津の湿地

(出典：地理院タイル<sup>1)</sup>一部加工)

### 2. 2 調査日及び調査方法

降雨諸元を表1に示す。調査は、2021年9月30日から10月1日の台風16号時の降雨及び11月8日から9日の降雨時に行った。水質は、降雨時に湿地に流入する水(以下、流入水)と湿地から流出する水(以下、流出水)をそれぞれ自動採水器により採水し(図4)、実験室に持ち帰って分析した。分析項目は、pH、COD、T-N、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-P、EC及びSSである。分析法はJISに準拠して行った。また、流入水採水地点に水位計、流出水採水地点に直角三角堰と水位計を設置した。流量は流出水側で直角三角堰と水位計から算出した。流量の算出はJISの方法にしたがって行った。

なお、降水量は気象庁佐倉観測所<sup>5)</sup>のデータを使用した。

表1 降雨諸元

	総雨量 (mm)	平均降雨 (mm h <sup>-1</sup> )	最大降雨 (mm h <sup>-1</sup> )	継続時間 (h)
2021年				
9/30-10/1	80.5	3.0	10.5	27
11/8-11/9	58.0	1.9	18.5	30



図4 自動採水器による採水



### 3. 結果

図5に台風16号時の流入水及び流出水の経時変化を示す。降雨開始後に流入水の濃度上昇が見られ、COD、T-N、SSは最も高い値となった。T-Pは降雨開始直後よりも、降雨が6.5~9.5 mm/hに強まった10月1日の9~11時に最も高い値となった。一方、流出水のCOD及びT-N濃度はほとんど変わらなかった。流出水のT-P及びSS濃度は、10月1日の10~13時に上昇したが、流入水ほど濃度は上昇せず、ピークカットされていることがわかる。また、流出水のT-P及びSSの濃度上昇は、流入水のT-P及びSSの濃度上昇から1時間程度遅れて観測された。

流域の水田は、休耕田や一時的転作田であっても、畦畔が維持されていれば、いわゆるプール形状のために十分な雨水貯留機能を果たすと言われている<sup>6)7)</sup>が、湿地化された谷津についても同様に流出抑制機能が期待されている<sup>4)</sup>。図5で、流入水より流出水のSS濃度が低下していることや、T-P及びSS濃度のピークが遅延していることから、湿地化された谷津の流出抑制機能により、降雨に伴う濁水中の懸濁態が沈降し、濃度上昇が抑えられたと考えられる。

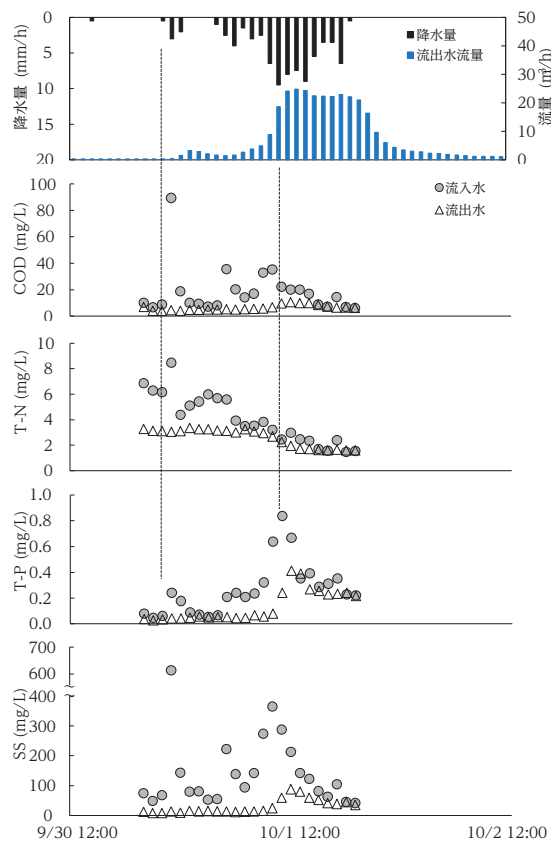


図5 谷津の流入水及び流出水の経時変化

### 4. まとめと今後の課題

湿地化された谷津では、降雨時のCOD、T-N、T-Pの流出を抑制できる機能があることがわかり、今後、面源対策の一つとして活用できる可能性が示された。しかしながら、沈降量や流出抑制できる量には限界があるため、今後も調査を継続し、流入負荷量、湿地面積、総降雨量、降雨強度の関係などから流出限界となる閾値を検討していきたい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院, 2021. 地理院タイル一覧.  
URL. <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (2021年12月時点).
- 2) 印旛沼水質保全協議会: 印旛沼について. URL. <http://www.insuikyo.jp/> (2021年12月時点).
- 3) 横山智子, 星野武司, 横山新紀, 2021, 第36回全環研交流シンポジウム予稿集, 10-11.
- 4) 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, 2020, 「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 22(2), 175-185.
- 5) 気象庁, 2021, 過去の気象データ.  
URL. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021年12月時点).
- 6) 志村博康, 1982, 水田・畑の治水機能評価. 農業土木学会誌, 50(1), 25-29.
- 7) 原田守博, 大森美喜夫, 森富雄, 藤澤悟, 2008, 水田貯留による雨水の流出抑制効果とその強化方策に関する現地実験. 水工学論文集, 52, 469-474.

### 謝辞

本研究の一部は、(独)環境再生保全機構「環境研究総合推進費」(JPMEERF20202001)及び2021年度気候変動適応に関する地域機構変動適応センター等と国立環境研究所との共同研究により実施した。

# サンゴ礁海域における赤土等堆積状況と生物の関係

○座間味佳孝<sup>1</sup>・熊谷直喜<sup>2</sup>・糸洲昌子<sup>1</sup>・比嘉彩也香<sup>1</sup>・久保弘文<sup>1</sup>・山野博哉<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>沖縄県衛生環境研究所・<sup>2</sup>国立環境研究所)

## 1. はじめに

沖縄県はサンゴ礁が発達しており、生態系サービス、観光、漁業等において様々な恩恵を受けている。しかしながら、陸域の土壌が海域に流出することで、サンゴ礁生態系に被害をもたらす「赤土等※流出」が問題となっている（※沖縄県の土壌は、亜熱帯地域特有の赤茶色の土壌が多いことから、沖縄県の土壌を総称して赤土等と呼んでいる）。そのため、本県では2012年に「沖縄県赤土等流出防止対策基本計画」を策定し、赤土等流出防止対策に取り組むと共に、海域の赤土等堆積状況や生物生息状況等をモニタリングしてきた。

今回は 2012年から2020年までに得られた海域のモニタリングのデータから、赤土等がサンゴや底生生物に与える影響を解析したので報告する。

## 2. 調査・解析方法

沖縄県赤土等流出防止海域モニタリング事業で行われた 2012~2020年度の SPSS (海域底質中の懸濁物質質量 (kg/m<sup>3</sup>)) データ、水質データ、生物データを用いた。水質データは年 3 回 (6~7 月、10 月~12 月、1 月~2 月)、生物データは年 1 回 (10 月~12 月) に調査が行われた。サンゴは決められた地点の直径約 20 m の範囲をスポットチェック法により調査した。表在性の底生生物は、サンゴと同じ範囲でスポットチェック法により、埋在性の底生生物は 50×50×20 cm のコドラートを設置して調査した。サンゴは種毎に被度 (%) で記録されており、底生生物は、種毎の出現数を 0~5 のカテゴリ値として記録されている (表 1)。

表 1. 底生生物調査結果の記録方法

カテゴリ値	出現数
0	0
1	1~5
2	6~10
3	11~20
4	21~100
5	101~

これらの調査結果をデータベース化し、統計分析フリーソフト「R」により解析を行った。

## 3. 結果・考察

### サンゴ

サンゴ被度 (%) と SPSS の関係を分位点回帰により示した (図 1)。サンゴ被度は、様々な環境要因による攪乱を受ける。そのため今回は分位点を 95% として、赤土等の堆積以外の要因がなければ最大でどれだけのサンゴ被度になることが見込めるのかを示した。環境省で実施されているモニタリングサイト 1000 によるサンゴ調査では、サンゴ被度 50% 以上から「良」としている。今回の解析結果では、SPSS が 41 kg/m<sup>3</sup> を超えるとサンゴ被度 50% 以上となる確率が 5% 未満になることが確認された。沖縄県では SPSS 30 kg/m<sup>3</sup> を目指して赤土等流出防止に関する施策を行っていることから、現在の施策を続けることで、サンゴ被度が健全な状況に近づくことが示唆された。

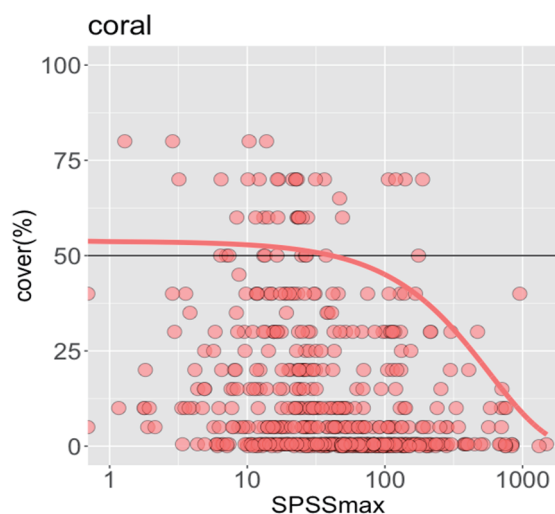


図 1. SPSS (kg/m<sup>3</sup>) vs.サンゴ被度 (%)  
(横軸は対数表示、赤線は 95% 分位点を示す)

## 底生生物

地点毎に底生生物の多様性の指標となる RI 指数を算出し、SPSS との関係を図 2 により示した (図 2)。ここで、RI 指数は右に示した式により表され、多様性が増加すると RI 指数も増加する<sup>1)</sup>。

$$RI = \sum R_i / \{S / (M-1)\}$$

S : 種数

$R_i$  :  $i$  番目の種の個体数ランク

M : 個体数ランクの段階数

図 2 (左) では、サンゴが存在する状況 (サンゴ被度 5%以上)、存在しない状況 (同 5%未満) における RI 指数を、図 2 (右) では、サンゴ被度 50%以上を保つことが出来る SPSS 41 kg/m<sup>3</sup>以上、41 kg/m<sup>3</sup>未満の地点における RI 指数の違いを図 2 により示した。図 2 より、サンゴが存在する状況、SPSS 41 kg/m<sup>3</sup>未満の場合でいずれも底生生物の RI 指数が大きくなることが確認された (t検定、 $p < 0.005$ )。よって、底生生物の多様性を保つためにサンゴを保全すること、SPSS を低い水準に保つことが重要であり、現在の施策を続けることで底生生物の多様性も上昇することが示唆された。

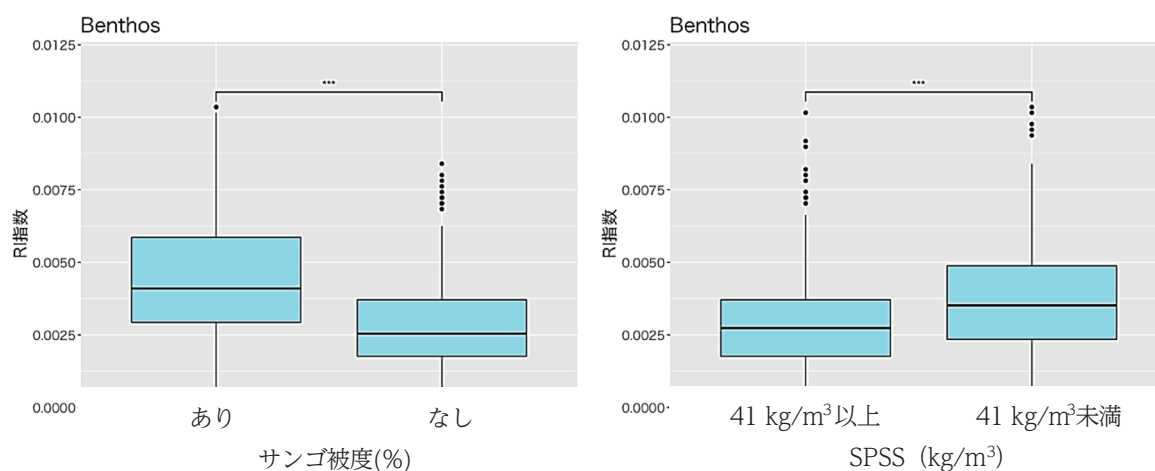


図 2. サンゴ被度 5%以上、5%未満における底生生物の RI 指数 (左)  
SPSS 41 kg/m<sup>3</sup> 以上、41 kg/m<sup>3</sup>未満における底生生物の RI 指数 (右)

## 4. 今後の課題

サンゴ礁生態系は赤土等だけではなく、様々な要因により変化するため、今後は水温等気候変動による影響がどの程度あるのか、底生生物に関しては赤土等汚染の指標となる生物種があるのかなど、解析を進めていきたい。

## 謝辞

国立環境研究所 I 型共同研究「沖縄県における赤土流出削減効果に関する研究」および 2021年度気候変動適応に関する地域気候変動適応センター等との共同研究「沖縄県のサンゴ礁生態系への気候変動・地域環境複合影響を軽減するための赤土流出削減指標策定」により実施された。

## 参考文献

1) 中村寛志・豊嶋弘：チョウの分布から見た環境評価. 環動昆, 7, 1-12(1995).

# 琵琶湖における易分解性・難分解性溶存有機物動態について

○霜鳥孝一<sup>1</sup>・今井章雄<sup>1</sup>・岡本高弘<sup>2</sup>・山田健太<sup>2</sup>・尾原禎幸<sup>2</sup>・山本春樹<sup>2</sup>・  
石崎陽平<sup>2</sup>・七里将一<sup>2</sup>・中村光穂<sup>2</sup>・藤原直樹<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>国立環境研究所・<sup>2</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

## 1. はじめに

溶存有機物 (DOM) は、生物分解が高い易分解の画分と生物分解性が極めて低い難分解性の画分に大別される。前者は微生物の炭素源として湖沼生態系を支え、主に分子サイズ 10k ダルトン (Da) 以上の高分子で構成される。一方、後者は炭素の貯留に関与し、主に分子サイズ数千 Da の低分子で占められている。ゆえに、DOMの分子サイズに係る知見は湖沼の炭素循環の理解に不可欠である。また、DOMの一部は、タンパク質様蛍光と腐植様蛍光に代表される蛍光特性を示す。腐植様蛍光を示す DOMについては、生物分解に耐性を示す難分解 DOMであると考えられている。加えて、DOM蛍光特性は成因を反映するため起源推定にも用いられる。よって、DOMの生物分解性や動態を紐解く上で、分子サイズ同様に蛍光特性についても着目する必要がある。本発表では、琵琶湖の北湖と南湖における DOMの分子サイズや蛍光特性を紹介する。

## 2. 材料と方法

採水と前処理：2018年11月～2020年11月に北湖の今津沖中央（水深約88m）の0.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 85m層および底泥直上1m付近の採水を行った。南湖（平均水深約4m）においては、2018年12月～2019年10月に、南湖18地点の表層水を採取した。湖水は孔径0.2 $\mu$ mのフィルターでろ過し、ろ液を分析試料とした。

DOMの分子サイズ分析：DOMの分子サイズ分析は島津製作所と国立環境研究所が共同開発した全有機炭素検出器を接続したサイズ排除クロマトグラフを用いて行った。ポリスチレンスルホン酸ナトリウム塩（184-63,900Da）の校正曲線から、重量平均分子量（Mw）を算出した。

三次元励起蛍光スペクトル (EEM) 測定と parallel factor analysis (PARAFAC)：EEMは蛍光分光光度計で測定した。EEMはブランク、インナーフィルター効果を補正し、蛍光強度は Lawaetz and Stedmon (2009) に従いラマンユニットに変換した。PARAFACには drEEM toolbox<sup>2)</sup>を用いた。

クラスター分析：PARAFAC解析によって得られた蛍光成分を変数として、ワード法により南湖の各調査地点のクラスター分析を行った。クラスター数は k-means法による残差平方和および Calinski-Harabasz indexを求め決定した。

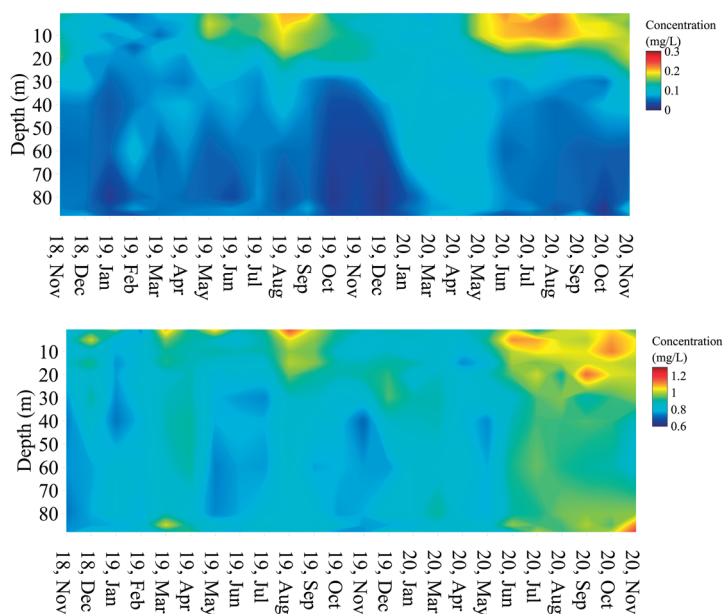


図1 北湖（今津沖中央）の高分子 DOM（上）と低分子 DOM（下）の動態

## 3. 結果と考察

北湖の DOMの分子サイズ分布は

Mw 十数万 Da の高分子 DOM と数千 Da の低分子 DOM で構成されていた。北湖では夏季に表層の高分子 DOM と低分子 DOM 濃度が高くなる傾向が見られた (図 1 上)。湖における高分子 DOM の起源の一つとして植物プランクトンの光合成産物が報告されている<sup>3)</sup>。北湖において、植物プランクトンが光合成を行うことが可能な有光層は水深 30m 以浅である。加えて、光合成が活発となる夏季に高分子 DOM の増加が顕著であることから、植物プランクトンの光合成産物が高分子 DOM の動態の支配要因の一つであることが推察される。低分子 DOM については、表層以外の中深層でも濃度が高くなる傾向が見られた (図 1 下)。低分子 DOM と同様に、難分解性 DOM の構成成分である腐植様蛍光成分も、表層および水深 40~60m の中深層で濃度が高くなっていた。バクテリアの代謝産物由来の DOM は腐植様蛍光を有することを考慮すれば、北湖における難分解性 DOM の動態には分子サイズ数千 Da のバクテリア代謝産物が大きく寄与していると考えられる。

南湖の DOM の分子サイズ分布は、Mw 十数万 Da の高分子 DOM と数千 Da の低分子 DOM で構成されており、北湖と南湖で DOM の分子サイズ構成について顕著な違いは見られなかった。EEM の PARAFAC の結果についても、6 つの蛍光成分 (Comp 1-6) が得られ (図 2)、北湖でも同様の傾向が見られた。DOM の分子サイズ測定の結果から、腐植様蛍光を示す Comp 2 と Comp 5 は Mw 数千 Da の低分子のみで構成され、タンパク様蛍光を示す Comp 4 と Comp 6 については Mw 十数万 Da の高分子と数千 Da の低分子が存在することが明らかとなった。これら 6 つの蛍光成分を変数としてクラスター分析を行った結果、南湖の DOM は「沿岸帯」、「沖帯」、「瀬田川」、「閉鎖性の強いエリア」に分かれていることが明らかとなった。

以上の結果は、分子サイズと EEM の PARAFAC を組み合わせる手法が環境水中の DOM の起源や分解過程推定等の動態解析に有用であることを示している。

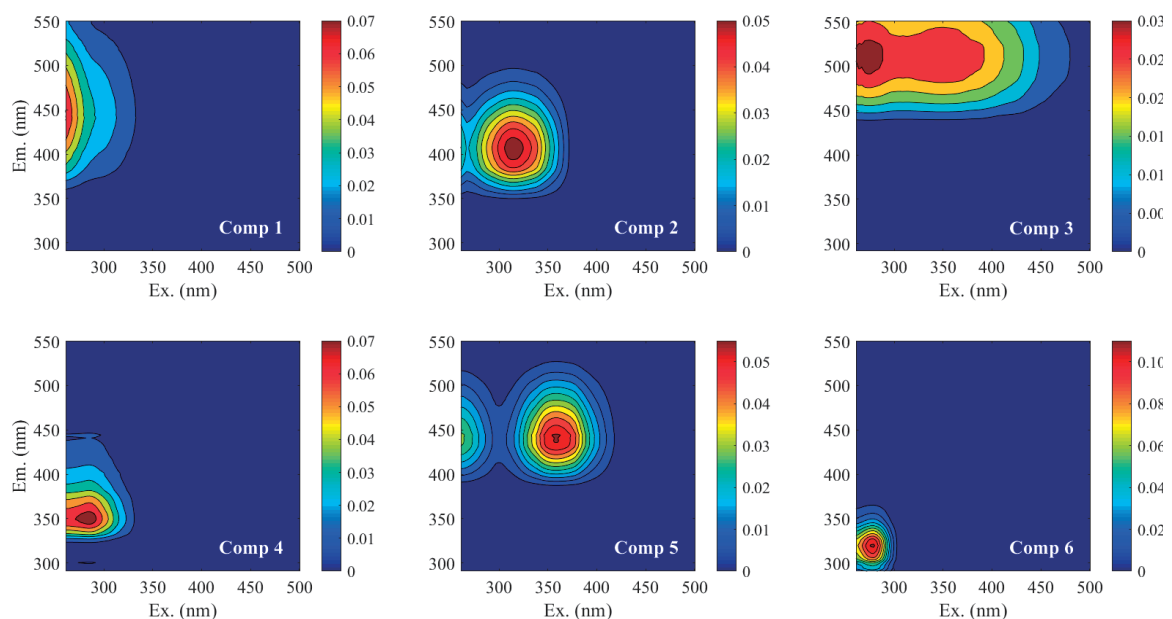


図 2 琵琶湖南湖の EEM の PARAFAC 結果

#### 参考文献

- 1) A. J. Lawaetz and C. A. Stedmon: Fluorescence Intensity Calibration Using the Raman Scatter Peak of Water. *Appl. Spectrosc.*, 63, 936-940 (2009).
- 2) K. R. Murphy, C. A. Stedmon, D. Graeber and R. Bro: Fluorescence spectroscopy and multi-way techniques. PARAFAC. *Anal. Methods* 5, 6557-656 (2013).
- 3) T. Hama, K. Yanagi, and J. Hama: Decrease in molecular weight of photosynthetic products of marine phytoplankton during early diagenesis. *Limnol. Oceanogr.* 49, 471-481 (2004).