

河川マイクロプラスチックの排出実態把握と排出抑制対策に向けて

Monitoring of actual status and emission control of river surface microplastics in Japan

鈴木 剛^{1*}・中尾 賢志²・比嘉 元紀³・谷脇 龍⁴・伊藤 彰⁵・宇野 悠介⁶・
佐藤 敬士⁷・宇智田 奈津代¹・田中 厚資¹・秋田 耕佑²・藤原 康博²・
倉持 秀敏¹・大迫 政浩¹

Go SUZUKI^{1*}, Satoshi NAKAO², Yukinori HIGA³, Ryo TANIWAKI⁴, Akira ITO⁵, Yusuke UNO⁶,
Hiroshi SATO⁷, Natsuyo UCHIDA¹, Kosuke TANAKA¹, Kohsuke AKITA², Yasuhiro FUJIWARA²,
Hidetoshi KURAMOCHI¹ and Masahiro OSAKO¹

¹ 国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環領域

² 大阪市立環境科学研究センター 調査研究グループ

³ 沖縄県環境衛生科学研究所 環境科学班

⁴ 高知県衛生環境研究所 環境科学課

⁵ 静岡県環境衛生科学研究所 環境科学部

⁶ 群馬県衛生環境研究所 水環境・温泉研究センター

⁷ 栃木県保健環境センター

¹ Material Cycles Division, National Institute for Environmental Studies

² Survey and Research Group, Osaka City Research Center of Environmental Science

³ Environmental Sciences Department, Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment

⁴ Environmental Science Division, Kochi Public Health and Environment Science Research Institute

⁵ Department of Environmental Science, Shizuoka Institute of Environment and Hygiene

⁶ Water Environment and Hot Springs Research Center,

Gunma Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences

⁷ Tochigi Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

摘 要

プラスチック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。河川は、海洋への主要な流出経路と考えられており、河川プラスチックごみの海洋流出の実態把握、排出抑制対策やその効果の検証は、海洋プラスチックごみ問題の解決に資する重要な課題と位置付けられる。国立環境研究所では、海洋プラスチックごみの削減に貢献することを目的として、地方環境研究機関との第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（2021～2023年度）」を開始した。本稿では、本研究の実施背景、研究体制と実施概要を説明し、実施内容として、環境省「河川マイクロプラスチック調査ガイドライン」に基づいて実施した調査方法の共通化の取組事例をまとめると共に、共通化手法による河川マイクロプラスチックの排出実態調査の結果と排出抑制対策に向けた試行的考察を紹介する。また、研究遂行を通じて得られた課題もとりまとめた。

キーワード：ガイドライン、河川、共通化、排出実態、マイクロプラスチック

Key words：guideline, river, harmonization, emission status, microplastics

1. はじめに

プラスチックは、食品の容器包装、自動車の部品、住宅用資材等の身のまわりの様々な製品に使用されており、保存性の向上、軽量化によるエネルギー効率の改善、プラスチック断熱材による省エネルギー化等に貢献している。しかしながら、そのライフサイクルをみると、世界全体では必ずしも適切に管理されておらず、不適切な処理を通じて膨大

な量のプラスチックごみが海洋に流出していると報告されている(Jambeck *et al.*, 2015; Lebreton *et al.*, 2017)。その結果として、海洋プラスチックごみによる生態系を含めた海洋環境の悪化や景観への悪影響等が懸念されており、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年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにすることが宣言された。2022年3月の国連環境

受付：2022年8月23日、受理：2022年11月25日

* 〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2, E-mail：g-suzuki@nies.go.jp

総会では、プラスチックごみ対策を求める条約等の国際的な取り決めを制定するための政府間交渉委員会を設けること、2024年までに条約内容の協議を終えることが合意されており、海洋プラスチックごみに関する国際的な枠組みが整備されつつある。国内では、プラスチックごみの排出抑制を意図して、2018年6月に改正海岸漂着物処理推進法が、2022年4月に改正瀬戸内海環境保全特別措置法とプラスチック資源循環促進法が施行されており、国や地方公共団体、事業者、消費者による海洋プラスチックごみ対策に向けた取組が期待される。

プラスチックごみ対策に向けては、素材代替や流出抑制対策の優先順位の検討に資する発生源や品目別の流出量の推計が重要である。国内では、国連環境計画等の先行事例(Hann *et al.*, 2018; Ryberg *et al.*, 2018)を参考にして、日本での実態に合わせて環境省による流出量の推計が進められている。流出量の推計は、想定される排出源や品目を対象として、販売量や使用量等の活動量や排出係数、環境流出経路、下水処理施設等における除去率が考慮されている。したがって、プラスチックごみ対策としては、流出量の多い排出源や品目について、活動量や排出係数を下げる取組を実施していくことになる。一方で、流出量が既存の知見に基づく推計値ということを考慮すると、実測ベースの流出インベントリに資する発生源情報の補完や排出抑制効果の検証等が必要である。

河川はプラスチックごみの主要な海洋流出経路(Lebreton *et al.*, 2017; Schmidt *et al.*, 2017)と考えられている。したがって、河川プラスチックごみの海洋流出の実態把握、排出抑制対策やその効果の検証は、海洋プラスチックごみ問題の解決に資する重要な課題と位置付けられる。国立環境研究所(以下、国環研)では、海洋プラスチックごみ削減に貢献することを目的として、地方環境研究機関(以下、地環研)との第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(2021~2023年度)」を開始した。本研究では、河川プラスチックごみの調査技術の向上や共通化を実施して、排出実態に関する基礎的な知見を取得・共有しつつ、排出源の把握、改正海岸漂着物処理推進法や改正瀬戸内海環境保全特別措置法による回収対策及びプラスチック資源循環促進法に基づく3R活動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環研の役割を検討している。

本稿では、はじめに本研究の研究体制と実施概要を説明し、2021年6月に環境省が発出した「河川マイクロプラスチック調査ガイドライン(河川ガイドライン)」(環境省, 2021)に基づいて実施した調査方法の共通化の取組と、排出抑制対策やその効果の検証に向けた共通化手法による河川マイクロプラスチックの排出実態調査を紹介する。

2. 研究体制と実施概要

本研究は、地環研31機関(北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所、青森県環境保健センター、岩手県環境保健研究センター、山形県環境科学研究センター、栃木県保健環境センター、群馬県衛生環境研究所、さいたま市健康科学研究センター、千葉県環境研究センター、神奈川県環境科学センター、長野県環境保全研究所、静岡県環境衛生科学研究所、愛知県環境調査センター、三重県保健環境研究所、大阪府立環境農林水産総合研究所、大阪市立環境科学研究センター [研究代表機関]、堺市衛生研究所、奈良県景観・環境総合センター、和歌山県環境衛生研究センター、鳥取県衛生環境研究所、岡山県環境保健センター、広島県立総合技術研究所保健環境センター、広島市衛生研究所、山口県環境保健センター、香川県環境保健研究センター、高知県衛生環境研究所、福岡県保健環境研究所、北九州市保健環境研究所、佐賀県環境センター、長崎県環境保健研究センター、熊本市環境総合センター、沖縄県衛生環境研究所)と共同して、サブテーマ1「河川プラスチックごみの調査方法の共通化と効率化」、サブテーマ2「河川プラスチックごみ調査による実態把握」、サブテーマ3「河川プラスチックごみの排出抑制効果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」に取り組んでいる。各サブテーマは、定期的に定例会合を開催して、進捗状況や課題を共有しながら進めている。また、キックオフ会合や年度末進捗報告会については、共同研究で得られる研究成果の最大化を意識して、環境省大気環境局水環境課、大学、非営利団体(NPO)を招待して開催した。

河川プラスチックごみは、環境省が発出している「漂流マイクロプラスチックのモニタリング手法調和ガイドライン(海洋ガイドライン)」(Michida *et al.*, 2019)と河川ガイドライン(環境省, 2021)で測定対象となっている1 mm以上5 mm未満のマイクロプラスチックと5 mm以上のマクロプラスチックを対象としている。1 mm未満のマイクロプラスチックは、海洋ガイドラインを作成する際に実施された、人工のマイクロプラスチックと堆積物成分(木片、二枚貝の貝殻、蟹殻、卵殻、動物プランクトンの粉砕物)から作製した模擬海水試料を用いた国際相互検定研究(Isobe *et al.*, 2019)において、海洋ガイドライン法に準じて測定(前処理と同定)を実施しても、取得結果の正確度が低いことが明らかとなっているため参考値扱いとなっており、本研究でも同様の取扱いとして本稿における報告・考察の対象外とした。

3. 河川マイクロプラスチック調査方法の共通化

3.1 はじめに

河川マイクロプラスチックは、これまでに多くの調査事例が報告されているが、試料採取に使用するネットの目合い、プラスチックと思われる粒子(プラスチック候補粒子)を抽出するための試料前処理方法、プラスチックの同定方法が統一されていない。そのため、濃度比較を行う際にはネットの目合いによって採取されるマイクロプラスチックが異なることに留意する必要がある。試料前処理を経て抽出したプラスチック候補粒子の数量によっては、抽出全量ではなく一部分取してプラスチックを同定しているが、その妥当性が検証されていないケースが多い。加えて、プラスチックの同定に使用する分析装置の特性によって、測定可能なマイクロプラスチックが異なることにも注意を要する。例えば、分析装置によって適切な粒子サイズが異なり、河川ガイドラインで用いられているフーリエ変換赤外分光分析法(FT-IR)の全反射測定法(ATR法)では粒子サイズ或いは厚みが100 μm 程度まで、顕微FT-IRでは10~100 μm 、ラマン分光法では1~10 μm 等といわれている(中嶋・山下, 2020; 中尾, 2019)。試料の切り出しや薄片化等の前処理によって測定可能になるケースもあれば、色素や添加物の存在で測定不能になるケースもあり、厳密に言えばプラスチック候補粒子のサイズや色をみて、適切なプラスチックの同定が行われているか判断しなければいけない。したがって、試料採取方法、試料前処理方法、分析装置が異なる研究間のデータ比較は容易ではない。加えて、Koelmans *et al.* (2019)が指摘するように、分析データの精度管理が十分ではない研究が多い。

2021年6月、環境省は、河川水中のマイクロプラスチックの分布実態を把握するための調査方法を定めた河川ガイドラインを発出した(環境省, 2021)。河川ガイドラインでは、目合い0.3 mm程度のプラクトンネットを用いる試料採取方法、マイクロプラスチック候補粒子を抽出するための酸化処理と比重分離といった試料前処理方法、プラスチック候補粒子の形態観察方法、FT-IR(ATR法)によるプラスチック同定方法を規定すると共に、データの品質保証・管理に資する取組事例等を示した。河川ガイドラインを用いることで、河川水の採取方法、採取した試料の前処理方法、前処理で抽出したマイクロプラスチック候補粒子の測定方法が統一され、調査研究間のデータ比較が容易になる。これにより、地方公共団体によるマイクロプラスチックの発生源対策が適切に推進されることが期待される。一方で、河川ガイドラインを参考にして河川マイクロプラスチック調査を実施することは、初心者にとって容易なことではない。そのため、本研究では、河川ガイドラインを正しく運用して、調査方法を適切に共通

化するための取組を、サブテーマ1において実施している。

3.2 河川マイクロプラスチック調査ガイドラインについて

本研究での共通化の取組について紹介する前に、河川ガイドラインの要点(二瓶ほか, 2022)を、(1)試料採取方法、(2)試料前処理方法、(3)FT-IR法によるプラスチック同定方法の3つに分けて説明する。

(1)試料採取方法では、先述の通り、1 mm以上5 mm未満の河川マイクロプラスチックを対象とした方法が記述されている。河川水中からのマイクロプラスチックの採取は、海洋ガイドライン(Michida *et al.*, 2019)と同様に、プランクトン採取用と同種のネットを用いる。ネットは、市販されている口径30 cmの短円錐型ネットであり、末端にゴムや底管がついており、ネット上に捕集した試料を回収できるようになっている。ネットの目合いは0.3 mm程度としている。ろ水計は、ネットの開口部に金属フレーム等で取り付け、プロペラの回転数によりろ水量を求める。ネット末端の底管に浮きを取り付け、通水時にネットが広がるようにする。ネットを河川水中に全没させて一定時間設置して通水させる。採取位置は、河川横断面における河川の流心(最も流れの速い場所)の水表面付近を選定する。河川ガイドラインでは、川幅が広い場合、3地点(流心、右岸側、左岸側等)での試料採取の実施を推奨している。所定のろ水量(10 m^3 以上)を満たしたら、ネットを引き上げてろ水計の計測を行い、ネット上捕集物を底管に集めて、ガラス容器に移す。ネットに採取されたマイクロプラスチックの数や質量を、通水量(ろ水量)で除すことで、河川水1 m^3 当たりのマイクロプラスチックの個数密度(個/ m^3)と質量濃度(mg/m^3)を算出する。通水方法は、自然通水と強制通水が挙げられるが、現行の河川ガイドラインでは自然通水を取りあげている。

(2)試料前処理方法では、ネット上に捕集した採取試料から夾雑物を取り除き、プラスチック候補粒子を効率的に分取する方法が記述されている。試料前処理方法は、ろ過に加えて、酸化処理や比重分離を組み合わせて実施する。ろ過では、採取用のネットの目合いより小さい目開き0.1 mmのネットを使用して、採取試料から固形物を分離する。分離した採取試料について、30%過酸化水素水による酸化処理を行って、マイクロプラスチックの表面付着物や有機物を除去する。これにより、プラスチック候補粒子が視認しやすくなり、分取の作業効率が上がる。30%過酸化水素水の添加と加温・静置を繰り返して有機物を除去し、目開き0.1 mmのネットを使用して酸化処理後の溶液から固形物を分離する。分離した酸化処理済み試料について、5.3 Mヨウ化ナトリウム水溶液(比重1.5 g/cm^3)による比重分離を行って、1.5 g/cm^3 と比較して比重が大きい粒子を

沈降させ、比重が小さい粒子を浮かせる。ポリエチレン(PE)やポリプロピレン(PP)を始めとしたほとんどのプラスチックは上層で回収され、アルキド樹脂や添加剤含有プラスチック等は下層で回収される。試料前処理操作は測定データの品質を保証・管理する上で重要な工程であることから、河川ガイドラインでは前処理操作を通じたコンタミネーションの確認や模擬マイクロプラスチックによる添加回収試験等のデータの品質保証・管理に係る取組の実施を推奨している。

(3)FT-IRによるプラスチック同定方法では、プラスチック候補粒子を分取して形態観察を行って、プラスチックを同定する方法が記述されている。プラスチック候補粒子の形態観察では、目視で行う場合と画像処理で行う場合に分けて記載されており、どちらにおいても少なくとも、長径、形状分類及び色分類の結果を粒子ごとに記録する。形状は、破片(フラグメント)、膜・シート状(フィルム)、ビーズ、発泡、円柱・球(ペレット)、繊維状、その他に分類する。色は、透明、白、赤、橙(オレンジ)、黄、緑、青、紫、黒、複合(混合色)、その他に分類する。河川ガイドラインでは、使用例が多いFT-IR(ATR法)によるプラスチックの同定法が記載されている。プラスチックの同定では、粒子のIRスペクトルについて、ライブラリのスペクトル検索によりプラスチック種別を同定する。

3.3 調査方法の共通化に向けた取組

サブテーマ1では、河川ガイドラインに基づいて調査方法を共通化するため、(1)試料採取用機材の貸し出し、(2)試料採取デモンストレーション(試料採取デモ)、(3)測定デモンストレーション(測定デモ)、(4)河川ガイドラインに基づく電子動画マニュアルの作成を実施した。

(1)試料採取用機材の貸し出しは、国環研で機材一式を揃えて実施した。機材は、試料採取に使用する口径30cmの短円錐型ネット、コンタミネーションを防ぐためのネット用布製袋とカバー、ろ水計、ステンレス製ろ水計固定具、ネットとろ水計とろ水計固定具を固定する金属部品、ネットとロープを固

定する三又ロープ、試料採取時に使用するロープ、濁度計を揃えており、必要に応じて一式を地環研に貸し出している。2021年7月以降現在(2022年7月時点)まで、延べ15機関が借り出しており、各地域での調査に活用されていると共に、機材調達の見直しも進んでいる。

(2)試料採取デモは、地環研の要望に応える形で、河川ガイドラインの試料採取方法に準じた試料採取経験のある地環研がホストとなった。2021年度は、新型コロナウイルス感染者数の落ち着いた11月に、福岡県保健環境研究所の協力のもと、福岡県御笠川で実施した。橋梁の上から試料採取器具を降下させて行う方法と河川低水路内に立ち入って行う方法について、福岡県保健環境研究所が試料採取の要点を説明しながらそれぞれ実演した。これらの実演は、リアルタイムで動画配信を実施して、現地に参加できなかった地環研10機関もオンラインで参加した。試料採取デモの後に、現地参加した地環研10機関13名による試料採取体験を行った(図1)。

(3)測定デモは、河川ガイドラインの試料前処理方法とFT-IR(ATR法)によるプラスチック同定方法に準じた測定について、国環研がホストとなって実施した。測定デモは、室内で実施するため、新型コロナウイルスの感染予防を行う上で重要な密閉・密集・密接の3密を避けることができないと判断して、オンラインで開催した。2021年度は、2022年2月に国環研で開催して、地環研26機関がオンラインで参加した。ネットによるろ過、30%過酸化水素水による酸化処理、ヨウ化ナトリウム溶液による比重分離の試料前処理と、マイクロプラスチック候補粒子の形態観察とFT-IR(ATR法)によるプラスチックの同定に分けて、国環研が予め編集した動画の配信と実験室からリアルタイムで質疑応答を行った(図2)。いずれの工程も、初心者から経験者まで幅広く質疑応答があり、共通化に向けて課題や対処方法を共有した。

(4)河川ガイドラインに基づく電子動画マニュアルは、試料採取デモや測定デモで撮影した動画を活用して、河川ガイドラインを補助するツールとして



図1 福岡県・御笠川で実施した試料採取デモンストレーションの様子(2011年11月)。
左側：橋梁の上からの試料採取体験をしているところ、右側：河川低水路内で試料採取体験をしているところ。



図2 国立環境研究所で実施した測定デモンストレーションの様子(2022年2月)。
左側：オンライン会議において、国環研が予め編集した動画を画面共有で再生しているところ、右側：動画再生の合間に実験室から質疑応答を実施し、測定時の作業環境、作業着、資機材について紹介しているところ。

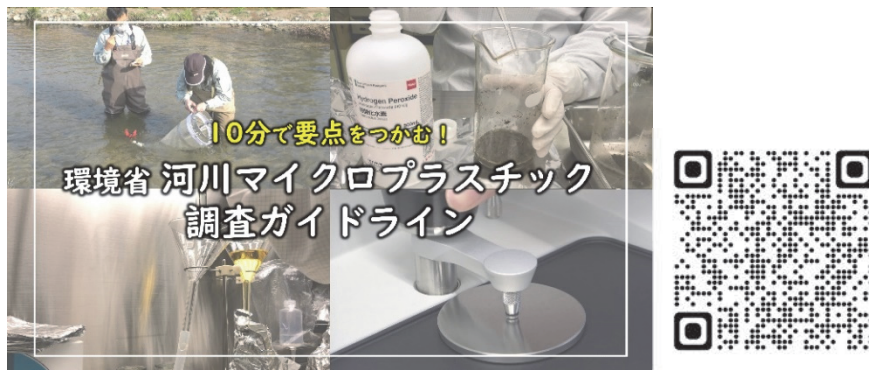


図3 河川マイクロプラスチック調査ガイドラインに基づく電子動画マニュアル。
左側：公開中の電子動画マニュアルのサムネイル、右側：QRコード。

作製した(図3)。河川ガイドラインのうち、特に動画による補助が有用と思われる「試料の採取：機材の紹介、採取方法、容器への移し替え、記録(4分半)」「前処理：ネットによるろ過、酸化処理、比重分離(3分半)」「プラスチック候補粒子の分取(1分)」「プラスチックの同定(1分)」についてとりあげており、「10分で要点をつかむ! 環境省 河川マイクロプラスチック調査ガイドライン」と題して、国環研ホームページ(国立環境研究所動画チャンネル<<https://www.youtube.com/user/nieschannel>>)や環境省ホームページ(海洋プラスチックごみに関する各種調査ガイドライン等について<https://www.env.go.jp/water/marine_litter/post_118.html>)で公表している。

4. 河川マイクロプラスチックの排出実態調査

4.1 はじめに

本研究では、サブテーマ1で河川マイクロプラスチック調査方法の共通化に取り組みつつ、サブテーマ2で共通化手法による各地域での排出実態調査を進めている。ここでは、サブテーマ2の調査事例のうち、栃木県、群馬県、静岡県、高知県、福岡県、沖縄県で実施した河川マイクロプラスチックの排出実態調査の結果を紹介し、排出実態把握に基づく排

出抑制対策に向けた試行的考察を実施した。

4.2 河川マイクロプラスチックの調査概要

前出の7県における試料採取地点を図4に示す。栃木県保健環境センターの調査では、栃木県日光市を水源とし、宇都宮市、上三川町、下野市、小山市を流れる田川を対象とした。田川では、宇都宮市内の上の島橋(上流)①と上御田橋(下流)②において、8月と11月に試料採取を実施した。群馬県衛生環境研究所の調査(宇野ら, 2022)では、新潟県と群馬県の県境にある大水上山を水源とし、群馬県を含む関東地方を北から東へ流れる利根川を対象とした。利根川では、利根郡みなかみ町の月夜野橋(上流)③、前橋市内の利根橋(中流)④、邑楽郡明和町の昭和橋(下流)⑤において、8月~9月と12月に試料採取を実施した。静岡県環境衛生科学研究所の調査では、静岡県東部・中部地区を流れる富士川、巴川、瀬戸川を対象とした。富士川は、山梨県と長野県の県境にある鋸岳を水源とし、長野県、山梨県、静岡県を流れる河川である。巴川は、静岡県文珠岳を水源とし、静岡県内を流れる河川である。瀬戸川は、静岡県高根山付近を水源とし、静岡県内を流れる河川である。富士川では富士宮市内の中流1地点(⑥)と下流2地点(富士宮市内(⑦)と富士市内(⑧))、巴川では静岡市内の中流1地点(⑨)と下流1地点(⑩)、瀬戸川では藤枝市内の中流1地点(⑪)と焼津市内の下

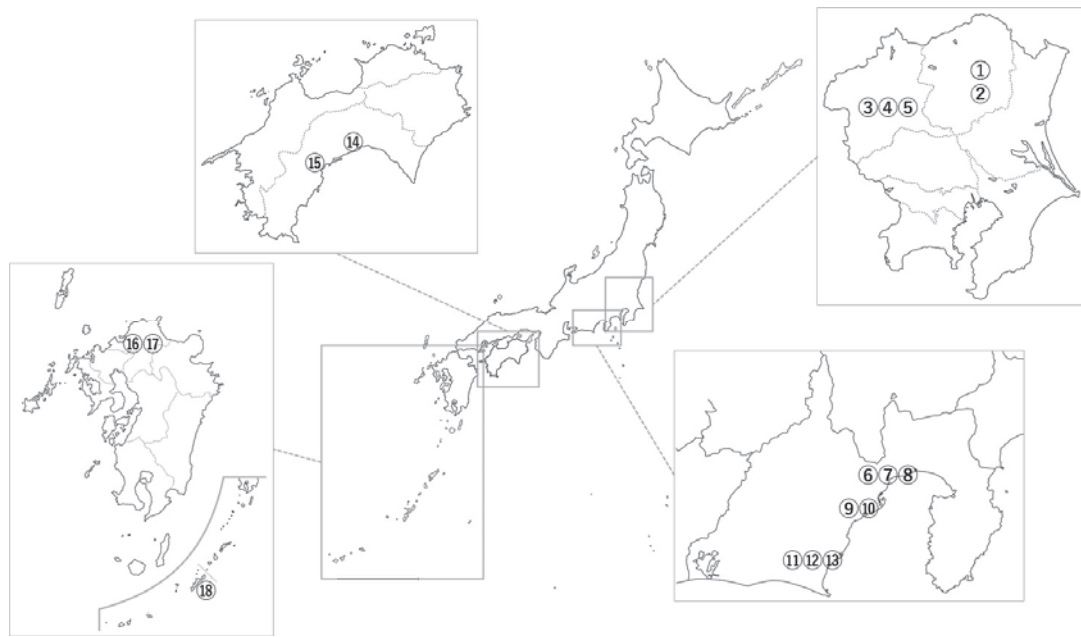


図4 II型共同研究における河川マイクロプラスチック調査地点(2022年1月時点).

①②栃木県・田川, ③④⑤群馬県・利根川, ⑥⑦⑧静岡県・富士川, ⑨⑩静岡県・巴川, ⑪⑫⑬静岡県・瀬戸川,
⑭高知県・鏡川, ⑮高知県・新荘川, ⑯⑰福岡県・御笠川, ⑱沖縄県・天願川.

流2地点(朝比奈川の合流前(⑫)・合流後(⑬))において、8月～9月に試料採取を実施した。高知県衛生環境研究所の調査では、鏡川と新荘川を対象とした。鏡川は、高知市土佐山を水源とし、高知市内を流れる河川である。新荘川は、高知県高岡郡津野町の鶴松森を水源とし、須崎市を流れる河川である。鏡川では、天神大橋(⑭)において、5月と8月と12月に試料採取を実施した。新荘川では、天神橋(⑮)において、9月に試料採取を実施した。国環研の調査(鈴木ほか, 2022)では、太宰府市の宝満山を水源とし、筑紫野市、太宰府市、大野城市、福岡市を流れる御笠川を対象とした。福岡県保健環境研究所の協力のもと、先述の測定デモンストレーションに合わせて太宰府市内の遠智合橋(⑯)近傍で、11月に試料採取を実施した。沖縄県環境衛生科学研究所の調査では、うるま市石川山城の読谷山岳を水源とし、うるま市を流れる天願川を対象とした。天願川では、中流域の1地点(⑰)において、2022年1月に試料採取を実施した。採取試料は、各機関において河川ガイドライン(環境省, 2021)に基づいて、マイクロプラスチック測定を実施した。

4.3 河川マイクロプラスチックの排出実態

河川マイクロプラスチックの測定結果を表1と図5に示す。表1では、同じ採取地点のデータは一緒にとりまとめているが、晴天時と雨天時のデータは別々にとりまとめた。また、FT-IR(ATR法)のデータを対象として、個数密度と最大長径のボックスプロットと、ポリマー組成、形状組成、色組成の円グラフを作成して、図5としてとりまとめた。

FT-IR(ATR法)による個数密度の中央値(範囲)は、1.0(0.065～2.7)個/m³(n=16)であり、最小値と

最大値で40倍程度の差であった(図5a)。個数密度は、雨天時の静岡県・巴川を除いて、栃木県・田川、群馬県・利根川、静岡県・富士川において、上流から下流に向けて高くなる傾向であった。粒子の最大長径の中央値(範囲)は、2,000(1,000～5,000)μm(n=291)であった(図5b)。最大長径は、同じ採取地点の採取時期間や同じ河川の採取地点間について、比較する2群の平均値(比較する2群が正規分布を示す場合)あるいは中央値(比較する2群のうち、どちらか1群もしくは2群共に正規分布を示さない場合)間の差が統計的に有意ではなかった(P<0.05)。一方で、河川間について、群馬県・利根川(上流+中流+下流)あるいは福岡県・御笠川の粒子の最大長径の中央値は、静岡県・富士川(中流+下流)や静岡県・巴川(中流+中流(雨)+下流(雨))と比較して、統計的に有意に小さかった(P<0.05)。ポリマー組成(n=291)は、PE, PP, ポリスチレン(PS), ポリエチレンテレフタレート(PET), ポリ塩化ビニル(PVC)の5大汎用プラスチックが全体の90%程度を占めており、PE(41%)とPP(34%)の寄与が高く、次いでPS(13%), PET(2.1%), PVC(0.34%)の順であった(図5c)。形状組成(n=291)は、フラグメント、繊維状、フィルム、発泡が全体の95%を占めており、フラグメント(45%)の寄与が高く、次いでフィルム(24%), 繊維状(16%), 発泡(9.6%)の順であった(図5d)。色組成(n=291)は、白、透明、黒、青、緑が全体の92%を占めており、白(57%)の寄与が高く、次いで透明(13%), 黒(7.6%), 青(7.6%), 緑(6.9%)の順であった(図5e)。

国環研と高知県衛生環境研究所では、顕微FT-IR(透過法)を用いてプラスチックの同定を実施した。

表1 第II型共同研究における河川マイクロプラスチックの測定結果.

都道府県 河川名	栃木県 田川	栃木県 田川	群馬県 利根川	群馬県 利根川	群馬県 利根川	静岡県 富士川	静岡県 富士川	静岡県 富士川	静岡県 巴川	静岡県 巴川	静岡県 巴川	静岡県 瀬戸川	静岡県 瀬戸川	静岡県 瀬戸川	高知県 鏡川	高知県 新荘川	福岡県 御笠川	福岡県 御笠川	沖縄県 天願川
ID	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦*	⑧**	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	
調査回数	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	2	2
測定法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	ATR法	透過法	透過法	ATR法	ATR/ 透過法	ATR法
個数密度(個/m ³)																			
平均値	1.6	2.6	0.15	0.85	1.5	0.55	0.48	0.83	1.4	2.7	2.2	0.065	0.22	0.29	0.71	0.92	2.4	17	1.2
最大長径(μm)																			
中央値	1550	2150	1947	1313	1514	2275	1940	1790	2060	2075	2510	1020	3930	2050	2112	2172	1440	1938	2450
最小値	1000	1000	1604	1005	1049	1270	1410	1120	1000	1050	1090	—	1420	1020	1015	1180	1013	1008	1100
最大値	5000	4500	4626	4701	3613	3560	3520	4420	4700	4580	4790	—	4060	3770	4094	3263	3305	5000	3700
ポリマー(%)																			
PE	70	35	33	57	27	42	71	58	52	30	23		67	67	7		42	7	83
PP	30	65	33	9	57	25	29	42	19	32	45		33	33	7	20	24	20	17
PS			33	9	17				24	36	26						6	1	
PET				4	13	8									18	60			52
PVC				4											4				
その他				17	3	8			5	2	6	100			64	20	28	21	
形状(%)																			
フラグメント	50	46	66	48	57	17	14	50	29	36	61	100		50	11	10	50	7	50
繊維状	40	4		30	37	25	29	25	14	12			67	50	89	90	2	86	33
フィルム	10	8		17	7	42	57	25	38	20	23		33				44	6	17
発泡				4		17			19	32	16								0.3
ビーズ		4																	
その他		38	33															4	1
色組成(%)																			
白	20	65		9	27	50	57	67	52	80	71		33	100	11		74	42	17
透明	10	12		22	27	25	29	8	24	10	3				7	10	4	31	17
青	20	12		4	10	8		17	10	6	3		33		32	30	2	4	17
黒	10		33	35	13	8	14	8		2	3				7	40	6	13	
緑	40	8		4	3				10	16			33		14	10	4	1	33
その他		4	67	26	20	8			4	2	3	100			29	10	10	10	17

*富士宮市内、**富士市内。透過法：プラスチック候補粒子を一部細断して、KBrプレートで挟み潰したものについて、顕微FT-IR(透過法)で測定。ATR/透過法：FT-IR(ATR法)で測定できなかった繊維状について、顕微FT-IR(透過法)で測定。

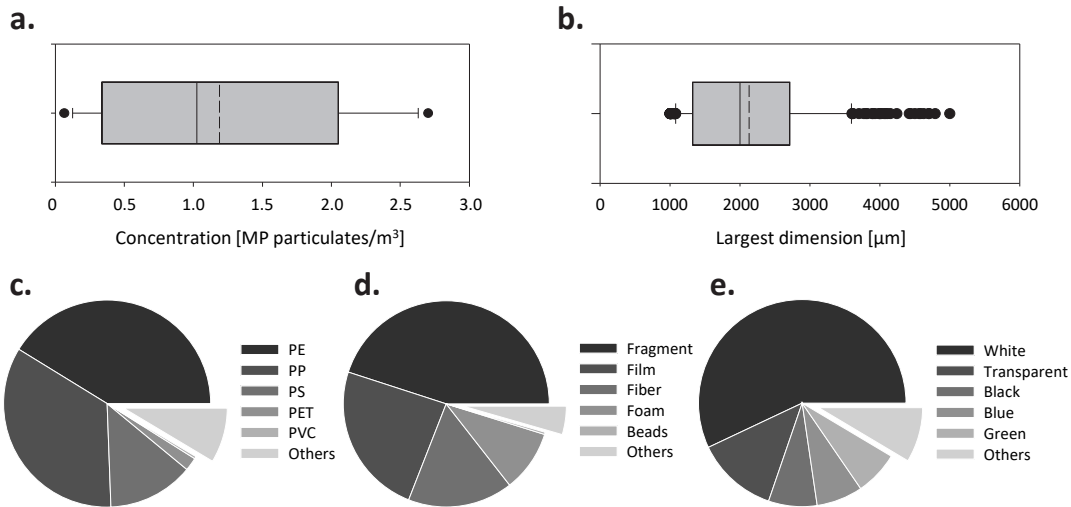


図5 FT-IR(ATR法)による河川マイクロプラスチックの測定結果.

ボックスプロットは、ゼロに最も近いボックスの境界線が25%タイル値、実線が中央値、点線が平均値、ゼロから最も遠いボックスの境界が75%タイル値、ボックスの左と右にあるWhiskers(ひげ)が90%タイル値と10%タイル値を示す。

a. 個数密度(n=16), b. 最大長径(n=291), c. ポリマー組成(n=291), d. 形状組成(n=291), e. 色組成(n=291).

国環研では、FT-IR(ATR法)で測定できなかった繊維状粒子について、顕微FT-IR(透過法)で測定した。高知県衛生環境研究所では、プラスチック候補粒子を一部細断して、KBrプレートで挟み潰したものについて、顕微FT-IR(透過法)で測定した。表1に示す顕微FT-IR(透過法)で測定したデータ(高知県・鏡川, 高知県・新荘川, 福岡県・御笠川(ATR法+透過法))は、図5に示すFT-IR(ATR法)と比較して、ポリマー組成についてPE, PP, PSの寄与が低く、形状組成について繊維状(86%~96%)の寄

与が著しく高かった。福岡県・御笠川(ATR法+透過法)の個数密度は、福岡県・御笠川(ATR法)と比較して、繊維状のマイクロプラスチックが検出されることで7倍程度高くなった。

4.4 河川マイクロプラスチックの排出実態に基づく排出抑制対策に向けた試行的考察

河川マイクロプラスチックの排出実態を理解するため、取得結果を河川(Kataoka *et al.*, 2019; Nihei *et al.*, 2020; Cordova *et al.*, 2022; Suzuki *et al.*, 2022; Roweczyk *et al.*, 2022; Zeri *et al.*, 2021)・湾・河口

(Chen *et al.*, 2018; Cheung *et al.*, 2018; Ruangpanupan *et al.*, 2022)・海洋(Isobe *et al.*, 2014, 2015; Chen *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020)の先行研究と比較した(表2)。先行研究は、試料採取に使用したネットの目合いが記載されていること、FT-IR(ATR法)でプラスチックを同定していること/その可能性が高いこと、分析データの精度管理に取り組んでいること/その可能性が高いこと、これらの基準を満たしているものを取りあげた。本研究の個数密度は、河川の先行研究と比較すると、日本(Kataoka *et al.*, 2019; Nihei *et al.*, 2020)やインドネシア(Cordova *et al.*, 2022)と同程度であり、ベトナム(Suzuki *et al.*, 2022)、カナダ(Rowenczyk *et al.*, 2022)、ギリシャ(Zeri *et al.*, 2021)と同程度、あるいは低かった。また、湾・河口(Cheung *et al.*, 2018; Ruangpanupan *et al.*, 2022)や海洋(Isobe *et al.*, 2014, 2015; Chen *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020)と比較すると高い傾向であった。個数密度に基づく、国内の河川マイクロプラスチックは、国外と比較して個数密度が低い傾向であるもの、海洋マイクロプラスチックの流出元となっていると考えられた。ポリマー組成比をみると、本研究で組成比が高いPE, PP, PSは、先行研究(表2参照)でも組成比が高く、河川から湾・河口や海洋において存在量が多いポリマーであった。形状組成をみると、フラグメント、繊維状、フィルム、発泡の組成比は、本研究と先行研究(表2参照)において共通して高かった。色組成は先行研究の評価事例が少ないが、本研究では白、透明、青、黒、緑が高いのに対して、先行研究(Suzuki *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2018, 2022; Ruangpanupan *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020)で

は、白、透明、緑が高い傾向であった。ポリマー組成、形状組成、色組成といった形態的特徴は、本研究と先行研究で共通するものが多くあり、これを指標とした考察が一般性を持つ排出抑制に繋がる可能性があると考えられた。

河川マイクロプラスチックの形態的特徴を踏まえて、河川から海洋への排出抑制対策について考察した。まずは、色組成の緑に着目した。緑は、全体の組成比が6.9% (20/291)であり、5番目に多い色である(図5e)。20個のうち、形状はフラグメントが15個、フィルムが2個、繊維状が3個であった。ポリマーは、PEあるいはPPであった。ポリマー、形状、色を考慮すると、緑のPPあるいはPEのフラグメントは、劣化した人工芝であると考えられた(図6a)(ピリカ, 2020)。人工芝由来と考えられるマイクロプラスチックの組成比は、栃木県・田川、群馬県・利根川、静岡県・巴川、福岡県・御笠川、沖縄県・天願川において3.3%~33%であった。次に、形状組成の発泡に着目した。発泡は、全体の組成比が9.6% (24/291)であり、4番目に多い形状である(図5d)。28個のうち、色は全てが白、ポリマーは27個がPSであった。ポリマー、形状、色を考慮すると、白の発泡のPSは、発泡スチロールであると考えられた(図6b)。発泡スチロール由来と考えられるマイクロプラスチックの組成比は、静岡県・巴川、静岡県・富士川において13%~32%であった。静岡県・巴川では、晴天時と比較して、雨天時において、数も組成比も高くなっていた(表1)。人工芝や発泡スチロールを由来とするマイクロプラスチックは、組成比に占める割合が高い地点があり、流出

表2 本研究と先行研究のマイクロプラスチック調査結果*

参考文献	試料	採取地点	採取年	個数密度(個/m ³)			ネット (μm)	粒径に関する 特記事項	ポリマー	形状	色	
				中央値	平均値	最小値						
本研究	河川水	日本・7河川	2021~2022	1.0	1.2	0.065	2.7	300	1 mm 以上 5 mm 未満	PE>PP>PS	フラグメント、フィルム	白、透明
Kataoka <i>et al.</i> (2019)	河川水	日本・36河川	2015~2018	0.79	1.6	0	12	335	60%が1 mm 以上	PE>PP>PS	フラグメント	-
Nihei <i>et al.</i> (2020)	河川水	日本・70河川	2015~2019	1.51	4.34	0.03	63.89	335	平均サイズが1~2 mm	PE>PP>PS	-	-
Cordova <i>et al.</i> (2022)	河川水	インドネシア・9河川	2020	-	9.02	4.29	23.49	300	33%が1 mm 以上	PP>PE>PS>PVC	フラグメント、発泡、繊維状	-
Cordova <i>et al.</i> (2022)	河川水	インドネシア・1河川	2018~2020	-	3.35	-	-	300	7%が1 mm 以上	PET>PS	-	-
Suzuki <i>et al.</i> (2022)	河川水	ベトナム・3河川	2019	31000	23000	8500	61000	315	23%が1 mm 以上	PP>PE>PET	フラグメント、繊維状	白、透明
Rowenczyk <i>et al.</i> (2022)	河川水	カナダ・1河川	2019	-	9.9	0.7	31.9	300	-	PE>PE>Nylon	フラグメント、フィルム、繊維状	-
Zeri <i>et al.</i> (2021)	河川水	ギリシャ・1河川	2018~2019	5.03	9.89	1.77	27.73	330	60%程度が1.2 mm	PE>PVA>PP	フィルム、繊維状、フラグメント	-
Chen <i>et al.</i> (2018)	湾内水	中国・Xiangshan 湾	2017	-	8.9	4.6	20.1	330	-	PE>PET>PP	発泡、ネット、フィルム	緑、透明
Cheung <i>et al.</i> (2018)	河口水	中国・珠江デルタ	2015	0.424	3.973	0.017	29.697	355	20%が0.71 mm 以上	PP/PE>PE>PP	発泡、フラグメント、繊維状	-
Ruangpanupan <i>et al.</i> (2022)	湾内水	タイ・バンドン湾	2019	0.09	0.14	0.04	0.33	300	65%が1 mm 以上	PP>PE>PS	フラグメント、発泡、繊維状、フィルム	白、青、緑
Isobe <i>et al.</i> (2014; 2015)	海洋水	日本近海	2014	0.74	3.74	0.03	491	300	-	PP>PE	フラグメント	-
Chen <i>et al.</i> (2022)	海洋水	南シナ海	2019	0.65	1.12	0.1	5.4	300	64%が1 mm 以上	PP>PE>PET>PS	フィルム、フラグメント、繊維状	透明、白
Zhang <i>et al.</i> (2020)	海洋水	渤海	2016~2017	0.315	0.345	0.22	0.53	330	-	PE>PP>PS>PET	ライン、フラグメント、発泡、繊維状	白、透明

*試料採取に使用したネット目合いが記載されていること、FT-IR(ATR法)でプラスチックを同定していること/その可能性が高いこと、分析データの精度管理に取り組んでいること/その可能性が高いこと、これらの基準を満たしている先行研究を取りあげた。

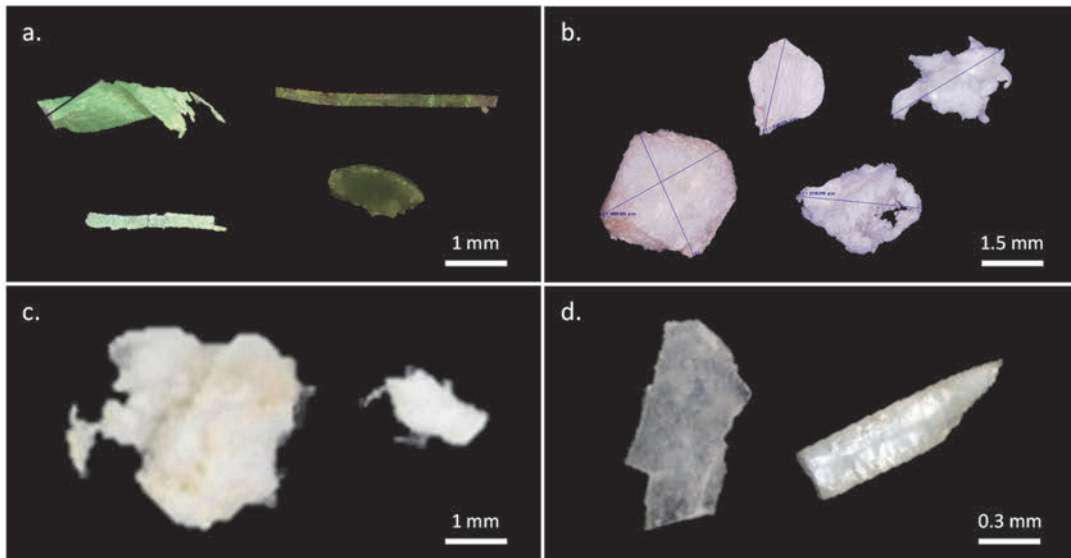


図6 形状や色が特徴的な河川マイクロプラスチック。

a. 人工芝由来と考えられるマイクロプラスチック(ポリマー:PEやPP), b. 発泡スチロール由来と考えられるマイクロプラスチック(PS), c. 繊維状の塊のマイクロプラスチック(PP), d. 表面が粗く酸化劣化指標のカルボニル基の発生が観察されたマイクロプラスチック(PEやPP).

抑制対策を検討する意義があると考えられた。

由来が分からないものの、採取地点で特徴的に検出されるマイクロプラスチックが存在した。栃木県・田川では、8月と11月に上流と下流で調査を実施しており、様々な色のPPが検出された(表1)。形状をみると、フラグメントと繊維状は上流と下流で検出されているが、その他に分類した繊維状の塊が11月に下流でのみ検出された(図6c)。繊維状の塊の組成比は、11月採取時において59% (10/17)となっていた。この特徴的なマイクロプラスチックの検出の一般性を評価しつつ、形状に着目して由来を把握することが期待される。次いで、ポリマー、形状、色で検出率の高い、PEとPP(両方で組成比75%)、フラグメントとフィルム(69%)、白と透明(70%)のマイクロプラスチックに着目した。福岡県・御笠川のマイクロプラスチックは、この条件に当てはまると共に、粒子の最大長径が小さい。PEの白のフラグメントと透明のフィルムを図6dに一例として示す。一部のマイクロプラスチックについては表面が粗いものやクラック(ひび)が観察されており、加えてPEやPPのIRスペクトルにおいて紫外線や熱による酸化劣化で生じるカルボニル基由来のピークが観察されている。FT-IR(ATR法)による測定では劣化が進んでいる表面と劣化が進んでいない内部を一緒に測定することになるため、カルボニル基由来のピーク(1,650~1,800 cm^{-1})による解析(例えば、カルボニルインデックス)は定性的な評価に留まる。また、プラスチックは、劣化と微細化の関係が必ずしも明確でない。例えば、劣化が進んでいるものが、それに伴って必ず微細化すると言えない。しかしながら、福岡県・御笠川を例として、劣化が進んでいるマイクロプラスチックが多数観察されており、劣化に着目して排出源にアプローチする

ことは有用と考えられた。

5. まとめ

本稿では、海洋プラスチックごみの削減に貢献することを目的として、国環研と地環研で実施中の第II型共同研究について、実施背景、概要、進捗状況を紹介した。2021年度は、主として、サブテーマ1で河川マイクロプラスチック調査方法の共通化の取組と、サブテーマ2で共通化手法による河川マイクロプラスチックの排出実態調査を実施した。共通化の取組では、試料採取に用いる機材の貸し出し、試料採取デモンストレーション、測定デモンストレーション、河川ガイドラインに基づく電子動画マニュアルの作成を通じて、調査方法の共通化と排出実態調査を推進した。これを受けて、河川マイクロプラスチック調査を実施している地環研は、2021年4月のキックオフ会合時点で4機関であったのが、2022年6月時点で21機関であり、増えている状況にある。共通化手法による排出実態調査では、結果を取りまとめて先行研究と比較したところ、個数密度やポリマー組成、形態的特徴(最大長径、形状、色)から、河川が湾・河口や海洋のマイクロプラスチックの流出元となっていることが示唆された。これに加えて、粒子のポリマーの種類と形態的特徴を把握することは、その地域における排出実態の特徴の理解に繋がり、その地域に応じた流出抑制対策にアプローチできると考えられた。様々な地域で得られるデータを統合して、採取地点や時期によるデータの共通性や特有性の理解を進め、サブテーマ3の排出抑制対策効果の検証のあり方やそのモニタリング体制の検討に活かしたい。

6. 今後の課題

河川ガイドラインによる研究遂行を通じて得られた今後の課題として、次の4つを挙げる。1つ目は、低流速の河川での試料採取方法である。河川ガイドラインでは、0.3 m/s以上の流速が確保できる地点を調査対象としているが、河口域、市街地や工場地帯等では、勾配が緩く流速を確保できないケースがある。河川を通じた海洋への流出量の評価や発生源の同定では、低流速での河川で試料採取をする可能性が高く、現行の自然通水だけでなく、強制通水による試料採取法(例えば、ポンプ法)が必要である。2つ目は、流出抑制対策にアプローチする河川マイクロプラスチックの管理基準値の設定である。全ての河川で流出抑制対策を実施することが望ましいが、人的資源やコストの観点から現実的ではない。したがって、個数密度の高い(或いは流出量の多い)河川を選定して、流出抑制対策にアプローチする必要がある。この時の個数密度は、河川が流入する湾・河口や海洋の個数密度や、粒子の形態的特徴の考察ができる粒子数の確保等を考慮する必要がある。3つ目は、マイクロプラスチックの質量評価である。河川ガイドラインでは、測定結果のとりまとめに際して、排出実態や施策効果の把握に有効であるにも拘らず、質量や質量濃度を必須項目(プラスチック種別、長径、形状分類、色分類、顕微鏡観察画像、FT-IR測定でのヒットクオリティ、IRスペクトルデータ)ではなく推奨項目として取り扱っている。これは汎用型の電子天秤でマイクロプラスチックの質量を個別に測定することが難しいことに起因しており、河川ガイドラインではFT-IR(ATR法)で測定したマイクロプラスチックを回収してまとめて質量を測定することを推奨している。しかしながら、FT-IR(ATR法)では試料を押し潰して測定するため回収することが難しいケースがある。また、参考として紹介されているウルトラマイクロ天秤は高価な装置であり導入設置が難しい。これらに替わる質量測定法(例えば、粒子径に基づく質量推計法(Suzuki *et al.*, 2022; Simon *et al.*, 2018))が必要である。4つ目は、繊維状マイクロプラスチックの取扱いである。河川ガイドラインでは、プラスチック片だけでなく繊維状も調査対象としている。一方で、繊維状は、最大長径が1 mm以上であっても、厚みが100 μm 以下のものが多数あり、FT-IR(ATR法)による測定に適さないものが多い。実際、本研究ではFT-IR(ATR法)と顕微FT-IR(透過法)の測定結果に大きな差が出ており、顕微FT-IR(透過法)はFT-IR(ATR法)と比較して繊維状の検出率が高くなり、それにより個数密度も高くなると考えられる(表1)。したがって、形状によって測定方法の最適化を検討する必要がある。これら課題については、本研究において共有して、解決に向けた取組を実施していき

たい。

謝 辞

本研究の推進に際しては、地環研の実施担当者として国環研の柴沼尚子氏の協力を得た。本研究の実施に際しては、東京理科大学の二瓶泰雄教授から助言を得た。本研究の立ち上げでは、環境管理センターの金子紋子氏と長谷川亮氏の支援を得た。試料採取及び測定デモでは、国環研広報室の成田正司氏の支援を得た。試料採取に使用するろ水計固定具の製作は、国環研施設課の橋本誠一氏の協力を得た。本研究は、国環研第II型共同研究Bの助成を受けて実施した。

引用文献

- Chen, H., Wang, S., Guo, H. Huo, Y., Lin, H. and Zhang, Y. (2022) The abundance, characteristics and diversity of microplastics in the South China Sea: Observation around three remote islands. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16, 9.
- Chen, M., Jin, M., Tao, P., Wang, Z., Xie, W., Yu, X. and Wang, K. (2018) Assessment of microplastics derived from mariculture in Xiangshan Bay, China. *Environmental Pollution*, 242 (Pt B), 1146–1156.
- Cheung, P. K., Fok, L., Hung, P. L. and Cheung, L. (2018) Spatio-temporal comparison of neustonic microplastic density in Hong Kong waters under the influence of the Pearl River Estuary. *The Science of the Total Environment*, 628–629, 731–739.
- Cordova, M. R., Nurhati, I. S., Shiimoto, A., Hatanaka, K., Saville, R. and Riani, E. (2022) Spatiotemporal macro debris and microplastic variations linked to domestic waste and textile industry in the supercritical Citarum River, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113338.
- Cordova, M. R., Ulumuddin, Y. I., Purbonegoro, T., Puspitasari, R., Afianti, N. F., Rositasari, R., Yogaswara, D., Hafizt, M., Iswari, M. Y., Fitriya, N., Widayastuti, E., Harmesa, Lestari, Kampono, I., Kaisupy, M. T., Wibowo, S., Subandi, R., Sani, S. Y., Sulistyowati, L., Nurhasanah, Muhtadi, A., Riani, E. and Cragg, S. M. (2022) Seasonal heterogeneity and a link to precipitation in the release of microplastic during COVID-19 outbreak from the Greater Jakarta area to Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113926.
- Hann, S., Kershaw, P., Sherrington, C., Bapasola, A., Jamieson, O., Cole, G. and Hickman, M. (2018) Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by

- (but not Intentionally added in) products. *Report for DG Environment of the European Commission*, ICF and Eunomia Research & Consulting Ltd.
- Isobe, A., Buenaventura, N. T., Chastain, S., Chavanich, S., Cózar, A., DeLorenzo, M., Hagmann, P., Hinata, H., Kozlovskii, N., Lusher, A. L., Martí, E., Michida, Y., Mu, J., Ohno, M., Potter, G., Ross, P. S., Sagawa, N., Shim, W. J., Song, Y. K., Takada, H., Tokai, T., Torii, T., Uchida, K., Vassillenko, K., Viyakarn, V. and Zhang, W. (2019) An interlaboratory comparison exercise for the determination of microplastics in standard sample bottles. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 831-837.
- Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Kako, S., Nakashima, E. and Fujii, N. (2014) Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 89(1-2), 324-330.
- Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T. and Iwasaki, S. (2015) East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 101(2), 618-623.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K. L. (2015) Marine pollution. plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K. and Hinata, H. (2019) Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental Pollution*, 244, 958-965.
- 環境省(2021)河川マイクロプラスチック調査ガイドライン.
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M. and De France, J. (2019) Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410-422.
- Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A. and Reisser, J. (2017) River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8, 15611.
- Michida, Y., Chavanich, S., Cabañas, A. C., Hagmann, P., Hinata, H., Isobe, A., Kershaw, P., Kozlovskii, N., Li, D., Lusher, A. L., Mart, Í. E., Mason, S. A., Mu, J., Saito, H., Shim, W. J., Syakti, A. D., Takada, H., Thompson, R., Tokai, T., Uchida, K., Vasilenko, K. and Wang, J. (2019) Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods. Ministry of the Environment Japan.
- 中嶋亮太・山下 麗(2020)海洋マイクロプラスチックの採取・前処理・定量方法. 海の研究, 29(5), 129-151.
- 中尾賢志(2019)マイクロプラスチック問題の本質と課題. 用水と廃水, 61(6), 424-431.
- 二瓶泰雄・田中周平・鈴木 剛・富野正弘・高橋和輝(2022)河川マイクロプラスチック調査ガイドラインの要点と課題. ぶんせき, 8, 275-281.
- Nihei, Y., Yoshida, T., Kataoka, T., and Ogata, R. S. (2020) High-resolution mapping of Japanese microplastic and macroplastic emissions from the land into the sea. *Water*, 12(4), 951.
- 株式会社/一般社団法人ピリカ(2020)日本の河川・港湾・湖におけるマイクロプラスチック浮遊状況調査及び人工芝の流出源調査レポート. https://drive.google.com/file/d/1fRtR3nHFQleBlowAevXn_bWsn7CoWjRx/view(2022年8月3日確認)
- Roweczyk, L., Cai, H., Nguyen, B., Sirois, M., Côté-Laurin, M. C., Toupoint, N., Ismail, A. and Tufenkji, N. (2022) From freshwaters to bivalves: Microplastic distribution along the Saint-Lawrence river-to-sea continuum. *Journal of Hazardous Materials*, 435, 128977.
- Ruangpanupan, N., Ussawarujikulchai, A., Prapagdee, B. and Chavanich, S. (2022) Microplastics in the surface seawater of Bandon Bay, Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113664.
- Ryberg, M., Laurent, A. and Hauschild, M. (2018) Mapping of Global Plastics Value Chain and Plastics Losses to the Environment (With a Particular Focus on Marine Environment), United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Schmidt, C., Krauth, T. and Wagner, S. (2017) Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental Science and Technology*, 51(21), 12246-12253.
- Simon, M., van Alst, N. and Vollertsen, J. (2018) Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA) - based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 142, 1-9.
- 鈴木 剛・宇智田奈津代・古賀智子・田中厚資・倉持秀敏・大迫政浩(2022)河川マイクロプラスチック採取方法の基礎的検討: ガイドライン法とポンプ法の比較. 環境化学物質3学会合同大会要旨集, 695-696.
- Suzuki, G., Uchida, N., Tuyen, L. H., Tanaka, K., Matsukami, H., Kunisue, T., Takahashi, S., Viet, P. H., Kuramochi, H. and Osako, M. (2022) Mechanical recycling of plastic waste as a point source of microplastic pollution. *Environmental Pollution*, 303, 119114.
- 宇野悠介・田子 博・梅澤真一(2022)利根川における河川水中マイクロプラスチックの調査. 群馬県衛生環境研究所年報第54号, 34-39.

Zeri, C., Adamopoulou, A., Koi, A., Koutsikos, N., Lytras, E. and Dimitriou, E. (2021) Rivers and



鈴木 剛 / Go SUZUKI

国立環境研究所 資源循環領域 主幹研究員。環境省 プラスチックごみの海洋への流出実態把握検討会委員、海洋プラスチックごみによる生物・生態系影響把握等業務リスク評価検討委員会委員・ばく露等評価分科会委員等。プラスチック廃棄物循環過程におけるプラスチック微小粒子と関連化学物質の実態把握とリスク管理に資する研究課題に従事。



中尾 賢志 / Satoshi NAKAO

大阪市立環境科学研究センター 研究員。大阪府 令和3・4年度 環境・エネルギー技術シーズ調査・普及啓発業務事業有識者検討会委員(海洋プラスチック対策技術分野)。上下水汚泥からの資源リサイクル、都市環境システムにおけるマイクロプラスチックの動態解析に関する研究課題に従事。



比嘉 元紀 / Yukinori HIGA

沖縄県衛生環境研究所 環境科学班 主任研究員。県内周辺環境の調査・研究業務、河川水中のマイクロプラスチック調査に従事。



谷脇 龍 / Ryo TANIWAKI

高知県衛生環境研究所 環境科学課 主任研究員。県内のプラスチック微小粒子の実態把握や河川水質事故等の健康危機事象への対応を担当。



伊藤 彰 / Akira ITO

静岡県環境衛生科学研究所 環境科学部 主査(現在 静岡県工業技術研究所富士工業技術支援センター製紙科 上席研究員)。2022年3月まで、県内の海岸に散乱するプラスチックごみの実態把握や河川水中のマイクロプラスチック調査等の研究課題に従事。



宇野 悠介 / Yusuke UNO

群馬県衛生環境研究所 水環境係 主任。県内河川水中のマイクロプラスチックの実態把握とそれを題材とした環境教育に関する研究に従事。



佐藤 敬士 / Hiroshi SATO

栃木県保健環境センター 化学部 主任(現在 栃木県県土整備部都市整備課)。2022年3月まで、県内の陸域や河岸・河川敷に散乱するプラスチックごみの実態把握や河川への流入調査等の研究課題に従事。

wastewater-treatment plants as microplastic pathways to Eastern mediterranean waters: first records for the aegean sea, greece. *Sustainability*, 13, 5328.

Zhang, W., Zhang, S., Zhao, Q., Qu, L., Ma, D. and Wang, J. (2020) Spatio-temporal distribution of plastic and microplastic debris in the surface water of the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111343.



宇智田 奈津代 / Natsuyo UCHIDA

国立環境研究所 資源循環領域 高度技能専門員。プラスチック微小粒子と関連化学物質の分析に従事。



田中 厚資 / Kosuke TANAKA

国立環境研究所 資源循環領域 研究員。環境省 海洋プラスチックごみによる生物・生態系影響把握等業務ばく露等評価分科会委員。プラスチックの資源循環過程、環境中劣化・微細化過程での微小プラスチック生成及び関連化学物質の挙動解明に資する研究に従事。



秋田 耕佑 / Kohsuke AKITA

大阪市立環境科学研究センター 研究員。両生爬虫類の生態、系統地理に関する研究課題に取り組む他、大阪府域における生物相調査や衛生動物の発生状況調査等に従事。



藤原 康博 / Yasuhiro FUJIWARA

大阪市立環境科学研究センター 研究副主幹。焼却工場排水、埋立処分場浸出水の処理に関する研究課題に従事。



倉持 秀敏 / Hidetoshi KURAMOCHI

国立環境研究所 資源循環領域 副領域長。プラスチック等のリサイクル施設における環境汚染物質の動態把握及び物理化学特性に基づく動態の解析や予測に関する研究課題に従事。



大迫 政浩 / Masahiro OSAKO

国立環境研究所 資源循環領域 領域長。環境省 ローカル・ブルー・オーシャン・ビジョン推進事業検討会委員等。長年にわたり、資源循環・廃棄物管理に関する幅広い研究に従事。福島を中心に放射能汚染廃棄物の適正処理に関する政策形成を支援。