

第4回 ERCA 環境研究シンポジウム・第2回環境化学物質3学会合同大会

環境研究総合推進費による マイクロプラスチック問題の 現状と研究について

あわぎんホール及びオンライン同時配信 (Zoom Webinar) による開催

徳島県徳島市藍場町2丁目14番地 徳島県郷土文化会館 1階大ホール

令和5年 **5月29日**(月)

13:00~16:05



13:00 ~ 13:05	開会挨拶 環境研究総合推進費の説明	環境再生保全機構
13:05 ~ 13:20	マイクロプラスチック問題の現状と対策 環境省 水・大気環境局 水環境課海洋プラスチック汚染対策室	長谷 代子
13:20 ~ 13:40	微細なマイクロプラスチック濃度の計測	東京海洋大学 荒川 久幸
13:40 ~ 14:00	海に浮遊するマイクロプラスチックの現状と将来の見通し	九州大学 磯辺 篤彦
14:00 ~ 14:20	海洋マイクロプラスチックによる化学物質汚染	東京農工大学 高田 秀重
14:20 ~ 14:30	休憩	
14:30 ~ 14:50	大気中マイクロプラスチックの実態解明と健康影響 (AM Φプロジェクト)	早稲田大学 大河内 博
14:50 ~ 15:10	マイクロプラスチックによる魚類への影響とそのベクター効果	九州大学 大嶋 雄治
15:10 ~ 15:30	ライフサイクル思考で見るプラスチック資源循環	東京大学 中谷 隼
15:30 ~ 16:00	【総合討論】今後の研究の方向性 ・コーディネーター: 高田 秀重 ・パネリスト: 長谷 代子、荒川 久幸、磯辺 篤彦、大河内 博、大嶋 雄治、中谷 隼 小山 次朗 (環境研究総合推進費プログラムオフィサー)	
16:00 ~ 16:05	閉会挨拶 田尾 博明	(第2回環境化学物質3学会合同大会会長)



独立行政法人環境再生保全機構

一般社団法人日本環境化学会

日本環境毒性学会 日本内分泌攪乱物質学会



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。



微細なマイクロプラスチック濃度の計測

東京海洋大学 荒川 久幸

プラスチックは年間数百万トンが海域へ流出しており、これらは経年的に細片化され、微細な粒子となり、漂っている。海洋に存在する直径 5 mm 以下のプラスチックは海洋マイクロプラスチック（以下 MPs）とよばれ、海洋生態系へ様々な影響を及ぼすことが懸念され、世界中で調査が進められている。従前からの MPs の調査は、主に目開き 350 μm 程度のネットで粒子を捕集し、手作業で 1 粒子ずつ取り出し、赤外分光分析計を使用するため、多大な労力と時間が必要である。現状では目開き 350 μm 程度のネットを使用することから、このサイズ以下の微細な MPs（以下 SMPs）の濃度情報はほとんど得られていない。海洋の MPs 汚染の実態把握のためには SMPs 濃度分布の把握が不可欠である。

SMPs の分析については、顕微赤外分光分析法（顕微 FTIR 使用）により、解析する手法が提案されているが、手順が煩雑でいまだ確立された定量的な手法には至っていない。また FTIR で解析するには、SMPs をフィルターなどで捕集し、乾燥して計測する必要がある。すなわち、SMPs の把握の問題点は SMPs の採取と分析にある。

本報告では、(1) ネットを使った採取で SMPs 濃度を把握した結果および (2) 最新のラマン分光分析法を用いた分析システムの開発状況を紹介する。

(1) SMPs の採取法は主に微細なメッシュサイズ（孔径）

のネット（フィルター）を用いて行われる。このとき微細なメッシュ（目開き：50 μm ）のネットでは少量の海水で目詰まりするため、多量の海水を処理することができない。微細なメッシュのネットでは SMPs の粒子サイズ分布を把握できるが従来のネットを使った結果と不連続となる。このことを解決するため 2 重のネットを作った。2 重ネットで得られた MPs と SMPs の濃度は東海沖で 0.04-0.06 個 / m^3 と 1028-5901 個 / m^3 であり、東京湾で 2.4-20.5 個 / m^3 と 3060-3220 個 / m^3 であった。

(2) 赤外分光法では SMPs を乾燥状態で計測する必要がある。一方、ラマン分光分析法は、可視域のレーザーを使用するため、水中にある粒子を直接観測することが可能である。そこで、海からポンプアップされた海水から SMPs を選別・濃縮し、その粒子を顕微ラマン光度計により計測するシステムを構築している。本システムは① SMPs の選別・濃縮部および②顕微ラマン光度計による検出部で構成されている（図 1）。①は、金属メッシュによる濃縮、粒径選別、SMPs 選別を行うシステムである。②は、顕微ラマン光度計および SMPs を送出する定量ポンプである。システムの完成に向けて個々の技術開発を進め、現場海域での連続計測を実施する予定である。

小池義和（芝浦工業大学）

開発システムの完成イメージと最終結果

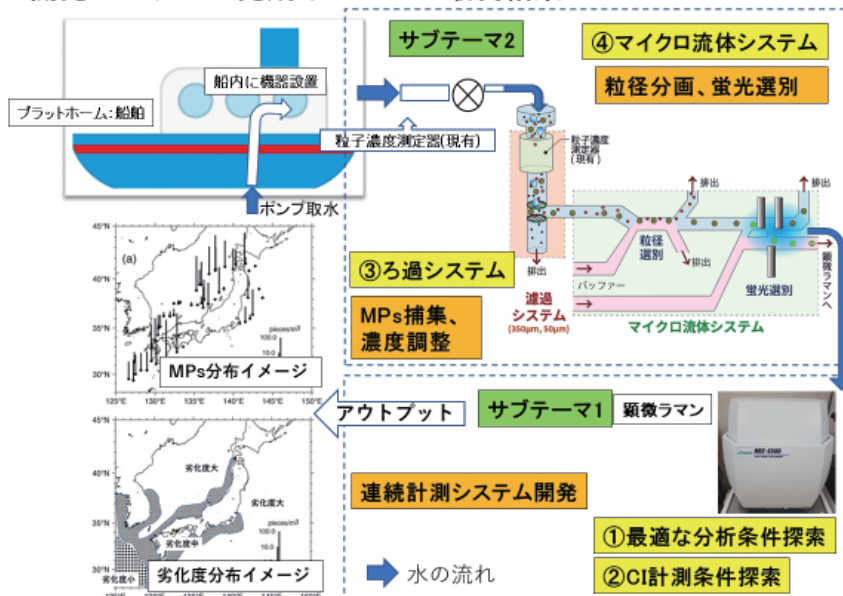


図 1 顕微ラマン光度計を用いた SMPs の連続計測システムの概要

海に浮遊するマイクロプラスチックの現状と将来の見通し

九州大学 磯辺 篤彦

世界で環境に漏れるプラスチックごみの量は年間で3000万トン程度に上る。このうち河川から海には年間で200万トン前後の流出が見積もられている (Lebreton et al., 2017, Nat. Comm)。以上は2010年の推計であるが、これに世界のGDP推移を按分することで、プラスチックの使用が始まった1960年代から現在までの環境漏出量を推算してみよう。これによれば、1960年代から現在までの約60年間で、世界中で約5億トンが環境中に漏れ、うち2500万トンが海に出たとされる (Isobe & Iwasaki, 2022, STOTEN; 図1)。2500万トンのうち、街中で捨てられ川を経て海に流れていったものが80%で、残り20%は漁業によって海で捨てられたものである (Morales-Caselles et al., 2021, Nat. Sus.)。すなわち、海のプラスチックごみの大半は、私たちの日常から環境に漏れたものである。プラスチックの難分解性 (他の生物が利用できるような無機態に容易に転換しない) によって、これら環境中に漏れたプラスチックは、地球のどこかに蓄積されているはずである。

約60年間で海に流れ出た2500万トンのプラスチック

くごみの行方を考えてみよう。全地球の海洋を対象としたコンピュータ・シミュレーション結果である (Isobe & Iwasaki, 2022)。シミュレーションの精度は、これまで世界の研究者によって行われた海岸漂着プラスチックごみ重量の調査や、世界のマイクロプラスチック浮遊量のデータベース (Isobe et al., 2019, Micropl & Naniopl.) を用いて検証している。観測現存量の再現性の良さから、少なくとも2500万トンというプラスチックごみの海洋流出量は、概ね確からしい数値であると考えられた。2500万トンのプラスチックごみのうち、23.4% (600万トン) はプラスチックごみとして海岸に漂着しており、3%弱の約70万トンは海を漂流している。また、約7% (175万トン) はマイクロプラスチックに破碎されたのうち、いまま世界の海で漂流と漂着を繰り返している。そして残りは、マイクロプラスチックに破碎したのち海水より重い素材のため海底に沈むか (36.9%)、たとえ海水より軽い素材であっても、生物付着などを経て重くなり海洋表層から姿を消したと推計された (23.4%)。

いま世界の研究者が標準的に採用している海表面近くの曳網調査では、この残りの約67% (1650万トン) は観測できない。採取できないほど細かく破碎が進んでのち、なお海面近くを浮いているか、浮力を失って海底に沈んだか、あるいは海岸砂に吸収されたか、いずれにせよ、これら「ミッシング・プラスチック」の蓄積量は、これからも世界の海域のどこかで増え続け、この海のミッシング・プラスチックや、陸で行方不明となったプラスチックの行方と環境影響は今後の研究課題である。

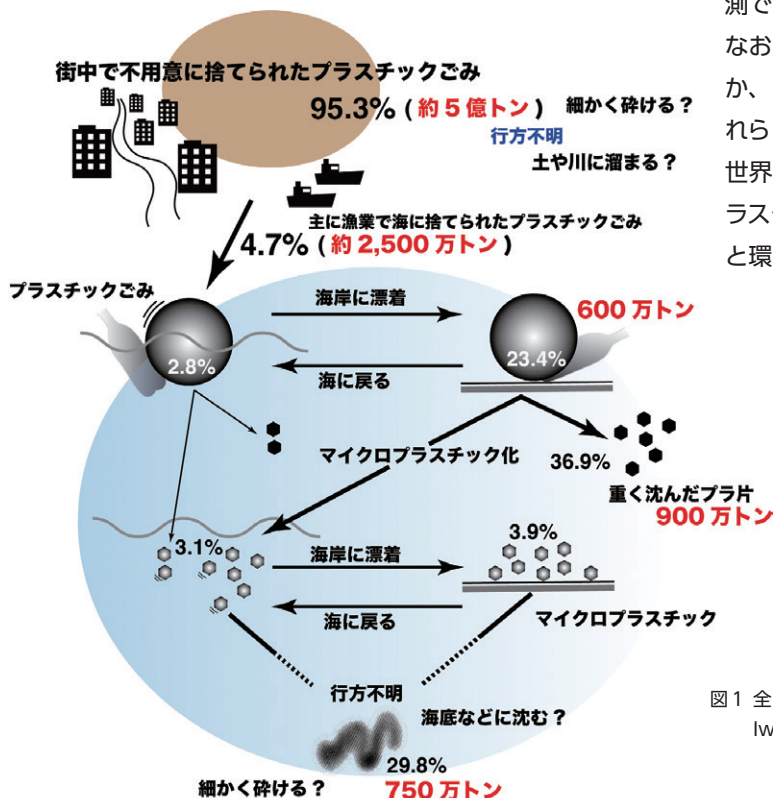


図1 全球モデリングで推算されたプラスチックごみの行方 (Isobe & Iwasaki, 2022)。原典の Graphic Abstract を元に作成

海洋マイクロプラスチックによる化学物質汚染

東京農工大学 高田 秀重

プラスチック条約（プラスチック汚染を終わらせる：法的拘束力のある国際約束）の政府間交渉に向けて、International Panel on Chemical Pollution (IPCP) や Scientists' Coalition for an Effective Plastics Treaty などの世界の科学者グループが、声明や提言を出している。その一つとして、今年 2023 年 3 月に ANNALS OF GLOBAL HEALTH 誌にプラスチック問題について膨大なレビューが掲載された (<https://doi.org/10.5334/aogh.4056>)。医学研究者の呼びかけで、世界の 40 人の研究者が集まり 1 年かけて、1000 報以上の論文を精査した 200 ページに渡るレポートである。レポートでは「プラスチックは人の健康に悪影響を与える。特に、プラスチックに関連する数百の化学物質が人への悪影響の原因である」と結論づけた。また、「プラスチックのリサイクルは難しく、無理にリサイクルすればエネルギーを消費するので、温暖化を加速する」と締めている。解決策として、「リサイクルよりプラスチックの生産削減を」、「プラスチック条約で、期限と数値目標をつけて、プラスチックの生産量の削減を行うべきである」、「人の健康を守るためには、海ごみという視点を越えて、プラスチックに関わる数百の化学物質の影響を考慮すべきだ」と提案している。

プラスチック製品、特に食器等に配合される添加剤については、これまでも規制が行われてきている。しかし、そ

の規制では飲食に伴うプラスチック製品からの直接の曝露が基になっており、図に示す「マイクロプラスチックを介した間接的な曝露」は考慮されてこなかった。「マイクロプラスチックを介した間接的な曝露」とは、プラスチック製品が廃棄され環境に漏出し、微細化し、それが海洋生物に取り込まれ、海洋生物に添加剤が蓄積し、食物連鎖を通じた添加剤のヒトへの曝露が増えるというプロセスであり、マイクロプラスチックが提起した新たな化学物質曝露経路である。この曝露には、プラスチックの微細化、微細化したプラスチック中の添加剤の残留 / 溶出、海洋生物による微細プラスチックの摂食・取込、海洋生物消化管内での微細プラスチックから添加剤の溶出、添加剤の生物濃縮、添加剤の代謝と生物増幅、等様々なプロセスが関与している。中でも、海洋生物消化管内での微細プラスチックから添加剤の溶出（生物利用性）は疎水性の高い添加剤について議論的であった。しかし、環境研究総合推進費で行った研究（溶出実験、摂食実験）により、油分や界面活性剤の共存やプラスチックの微細化により生物利用性が高まることを示し、それをサポートする実環境での観測結果も得られている。プラスチック条約を通して環境研究総合推進費で行った研究が活かされることが望まれる。

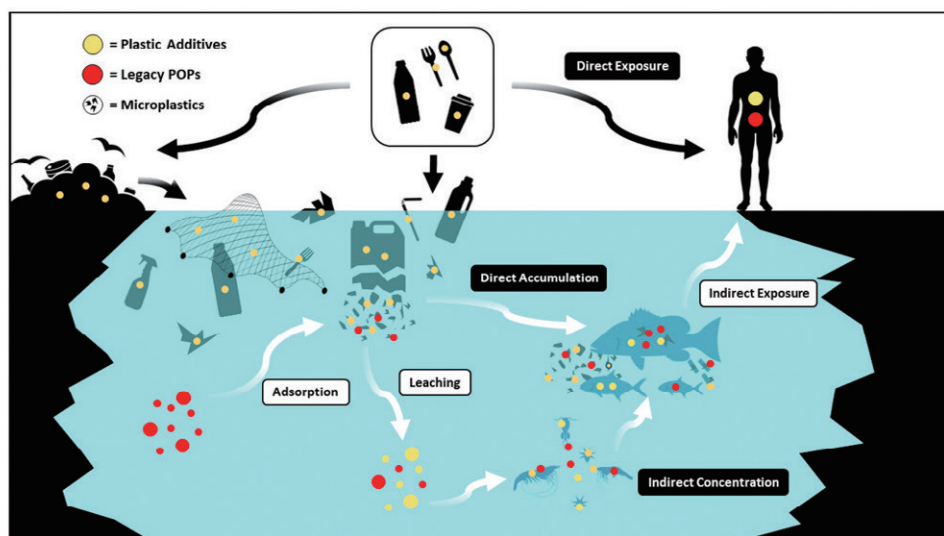


図 プラスチック添加剤の人間への曝露ルート
(Landrigan et al., 2023; Figure 3.4. (クレジット: 高田秀重, Manuel Brunner))

大気中マイクロプラスチックの実態解明と

健康影響評価 (AM Φプロジェクト) 早稲田大学 大河内 博

プラスチックゴミの終着点は海洋と考えられてきたが、海洋-大気間でのマイクロおよびナノプラスチック輸送の重要性が指摘されている (Allen et al., 2020, 2022)。陸域でも都市部から大気を通じて山間部への長距離輸送が報告されており (Allen et al., 2019, 2021; Evangeliou et al., 2020)、大気を通じたプラスチックによる環境汚染が広域的に起きている。しかし、大気中マイクロおよびナノプラスチック (Airborne Micro- and NanoPlastics; AM/NPs) の観測は限られており、その実態は明らかになっていない。

AM/NPs が健康や環境に対する影響は未解明である。図 1 に想定される影響をまとめた。ヒトの肺 (Amato-Lourenço, 2021; Jenner et al., 2022)、胎盤 (Ragusa et al., 2021)、痰 (Huang et al., 2022)、血液 (Leslie et al., 2022) からマイクロおよびナノプラスチックが検出されている。どのような経路でこれらが体内に摂取され、どのような臓器に蓄積し、健康にどのような影響を及ぼすのかを解明することは喫緊の課題である。モデル研究に

よると、経気道吸収がマイクロおよびナノプラスチックの最大体内摂取経路と考えられており (Nor et al., 2021)、AM/NPs の実態解明は喫緊の課題である。また、気候変動リスクとしてメタンなどの温室効果ガスの放出 (地球温暖化を促進)、直接放射効果ととともに雲形成を介した間接放射効果 (地球温暖化を抑制)、水循環への影響 (洪水や干ばつ) が挙げられるが、研究はほとんど進んでいない。ここでは、環境研究総合推進費「大気中マイクロプラスチックの実態解明と健康影響評価」(令和 3 年から 5 年) (JPMEERF20215003, 略称: AM Φプロジェクト) で得られた成果のうち、大気中マイクロプラスチックの実態と呼吸系影響について紹介したい。

速水洋 (早稲田大学)、竹内政樹 (徳島大学)
反町篤行 (東洋大学)、藤井佑介 (大阪公立大学)
梶野瑞生 (気象研究所)、足立光司 (気象研究所)
石原康宏 (広島大学)、岩本洋子 (広島大学)

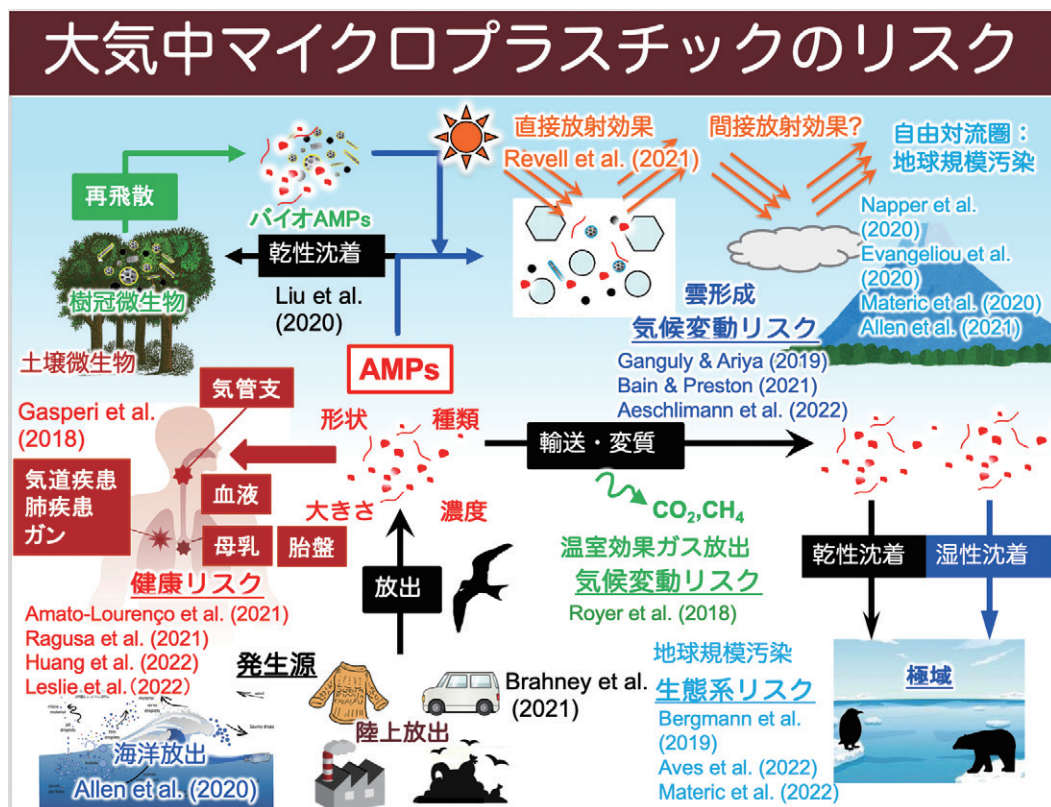


図 1 大気中マイクロおよびナノプラスチックの想定される健康および環境リスク

マイクロプラスチックによる魚類への影響とベクター効果

九州大学 大嶋 雄治



プラスチックおよびその細粒化したマイクロプラスチック (MP, 粒径 5 mm 以下) による水圏汚染および生物への影響は緊急に解明しなければならない問題である。我々はメダカ (*Oryzias latipes*) 産卵ペアに 2 μ m ポリスチレン MP 粒子 (PS-MP, 0.04 mg/L) を 2 週間曝露した結果、産卵と胚の生存には影響を与えなかった¹⁾。次に、20 μ m PS-MP (4 mg/L)、20 μ m ポリエチレン (PE) -MP (4 mg/L)、200- μ m PE-MP (40 mg/L) をメダカに曝露し体内動態を解析した結果、体内に取り込まれた MP は、迅速に取り込みかつ排泄され、その生物蓄積は 100 倍程度であると推定した。しかし 2 μ m PS-MP (0.004 mg/L) に曝露した場合、排泄は遅く一部は消化管内に 1 週間以上残留することが明らかとなった²⁾。また、2- μ m PS-MP (0.1 mg/L) 3 週間曝露により、メダカの社会性行動が変化し、同時に脳および腸のアセチルコリンエステラーゼ活性が変動し、腸内細菌叢も変化していた。よって MP の曝露が脳腸相関を介して行動に影響を与えた可能性が考えられた。(論文投稿準備中)

また、MP の影響として化学物質に対する取り込み促進効果 (ベクター効果) が懸念されている。アントラセン (ANT, 0.1 mg/L) を用い 58- μ m 粒状未劣化 PE-MP (100 mg/L) との共曝露の結果、MP は ANT に対してベクター効果があることを示した³⁾。また、抗うつ剤ジアゼパム (DZP, 0.3 mg/L) と 2- μ m 粒状 PS-MP (0.04 mg/L) を共曝露した結果、群れ形成行動が有意に減少し、その影響は曝露中止 5 日後も複合区で継続していた⁴⁾。ジャワメダカに ANT (0.1 mg/L) と 2, 10- μ m 粒状 PS-MP (0.1 mg/L) を共曝露した結果、体内濃度が 2 倍以上に上昇し、その行動に悪影響を及ぼした⁵⁾。しかしクロルベンゼンではベクター効果は確認できなかった⁶⁾。ANT および MP 共曝露ベクター効果モデルを試行的に構築しシミュレーションを行った結果、現在の環境中の ANT および MP 濃度で、MP のベクター効果による影響は起こりにくい。しかし、将来 MP 濃度が上昇した場合、さらに種々の複合汚染を考慮するとその影響が危惧される。

Reference

- 1) Assas, M., et. al., 2020. Bioaccumulation and reproductive effects of fluorescent microplastics in medaka fish. Mar. Pollut. Bull. 158, 111446.
- 2) Liu, Y., et. al., 2021. Uptake and depuration kinetics of microplastics with different polymer types and particle sizes in Japanese medaka (*Oryzias latipes*). Ecotoxicol. Environ. Saf. 212, 112007.
- 3) Qiu, X., et. al., 2020. Quantifying the vector effects of polyethylene microplastics on the accumulation of anthracene to Japanese medaka (*Oryzias latipes*). Aquat. Toxicol. 228, 105643.
- 4) Takai, Y. et. al., 2022. Combined effect of diazepam and polystyrene microplastics on the social behavior of medaka (*Oryzias latipes*). Chemosphere 299, 134403.
- 5) Takai Y., et. al., Size effect of polystyrene microplastics on the accumulation of anthracene for Java medaka (*Oryzias javanicus*). Chemosphere (査読中)
- 6) Takai Y., et. al., Combined effect of anthracene and polyethylene microplastics on Java medaka (*Oryzias javanicus*). Ecotoxicology (投稿中)

高井優生 (九州大学)、島崎洋平 (九州大学)

ライフサイクル思考で見るプラスチック資源循環

東京大学 中谷 隼

まず本講演では、海洋プラスチック問題の解決がプラスチック資源循環の目的になるのか明確にする。プラスチックは焼却されると、その炭素分は二酸化炭素 (CO₂) になり、少なくとも海洋プラスチックとなることはない。すなわち、海洋プラスチック問題の解決のためにリサイクルに代表される資源循環は必ずしも必要なく、確実に焼却処理すれば十分ということになる。一方で、気候変動や化石資源枯渇といった従来からの問題に視点を戻した場合、焼却処理すれば良いという結論にはならない。海洋プラスチック問題は資源循環ではなく適正回収と適正処理の問題であり、プラスチック資源循環の目的は CO₂ などの環境負荷を削減し化石資源の消費を抑制することにある。バイオマスプラスチックも同様であり、その目的は CO₂ 排出と化石資源消費の削減にあり、バイオマスを原料としていること自体は海洋プラスチックとは無関係である。プラスチックに関わる様々な対策と解決すべき問題の関係を整理および理解することが、生産的な議論には欠かせない (図 1)。

次に本講演では、脱炭素化に貢献するプラスチック資源循環とは何か、ライフサイクル評価 (LCA) が依拠するライフサイクル思考によって方向性を示す。プラスチック資

源循環は、欧州サーキュラーエコノミーのプラスチック戦略に明記されているように、ループが「内側」であるほど優先されるべきと信じられている。エネルギー回収については、欧州ではリサイクルの範囲外であり、過渡期的手段に限定されるという認識もある。一方、容器包装のような混合プラスチックの場合、LCA によってリサイクルやエネルギー回収のオプションを比較評価すると、マテリアルリサイクルや「循環型」と呼ばれるケミカルリサイクルよりも、より「外側」のループと見なされるケミカルリサイクルや高効率なエネルギー回収の方が CO₂ 排出の削減効果が大きくなることもある。こうした結果は、脱炭素化を目的としたとき、内側のループを優先するべきという理念を否定しているとも言える。すなわち、どういったリサイクルまたはエネルギー回収を推し進めるかの論拠は、「ループが内側だから」といった観念的な理由ではなく、どのオプションの代替相手の炭素強度が将来的にも高いままである蓋然性が高いかという現実的な理由であるべきである。プラスチック資源循環は炭素循環フロー全体の視点から設計されるべきであり、それが関わる様々な動脈産業の脱炭素化との調和が鍵になる。

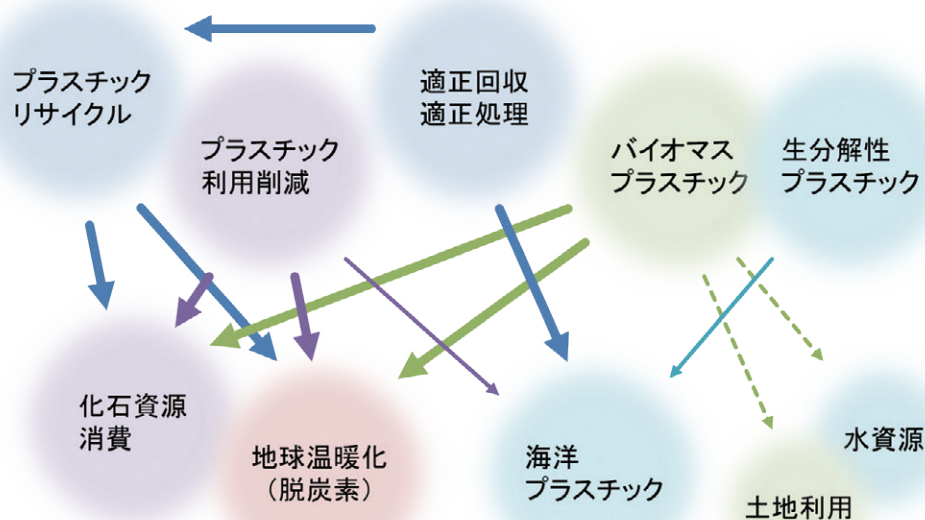


図1 プラスチックに関わる対策（上段）と解決すべき問題（下段）の関係

マイクロプラスチック問題の現状と対策

環境省 水・大気環境局 水環境課海洋プラスチック汚染対策室 長谷 代子

プラスチックの海洋等の環境中流出は 1960 年代から報告されており、プラスチック廃棄物の不適正管理、添加されている化学物質等による、生物・生態系を含めた環境影響、船舶航行への障害、観光・漁業への影響、沿岸域居住環境への影響等、様々な問題が指摘されてきている。環境中に流出したプラスチックのうち、約 1 割が 5mm 未満のプラスチック（マイクロプラスチック（MP）と総称される）、9 割がそれ以上の大きなプラスチックとの報告がある。MP は当初からマイクロサイズのもの、大きなプラスチックが自然環境中ないし流出過程で破砕・細分化されるものとに分類されるが、特定の例外地域をのぞき、後者が多いと推測されている。このため、MP の問題においても、大きなプラスチックを視野に入れて対策を考える必要がある。

我が国は、2009 年に策定した海岸漂着物等の処理に係る法律を 2018 年に法改正し、MP の海洋環境への影響を考慮し、海岸漂着物であるプラスチック類の円滑な処理等の対策、事業者による製品の使用抑制と、廃プラスチック類の排出抑制等の努力義務を定め、また 2021 年には、瀬戸内海を取り囲む地域全体で海洋プラスチックごみの発生抑制を推進等に盛込んだ瀬戸内海環境保全特

別措置法の一部改正法律、及びプラスチックの製造・使用・管理・廃棄の各段階を含むライフサイクルを通じた対策のため、プラスチック資源循環促進法を新たに策定した（2022 年施行）。

国際場裏においては、2019 年に G20 で「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」を提唱し国際的な連携による対策を呼びかけるとともに、国連環境総会の決議に基づき 2022 年より開始された、プラスチック汚染を終わらせるための国際文書の策定交渉において、多くの国が参加する実行性のあるものを目指し議論を行っている。

プラスチック汚染に関する科学的知見は未解明な部分が多いとされているが、各種の対策や交渉の基盤となるものであり、その集約・共有はとりわけ重要である。海洋を中心に、プラスチックごみの量・分布、発生源・経路、破砕・細分化過程等の実態把握、及び添加・吸着した化学物質を含む MP の生物へ生態影響評価などの科学的知見の集約や、流出量インベントリの策定等に関する研究支援や検討を行っていく。

環境研究総合推進費は環境政策への貢献・反映を目的とした競争的研究費です

環境研究総合推進費は、気候変動問題への対応、循環型社会の実現、自然環境との共生、環境リスク管理等による安全の確保など、持続可能な社会構築のための環境政策の推進にとって不可欠な科学的知見の集積及び技術開発の促進を目的として、環境分野のほぼ全領域にわたる研究開発を実施しています。研究者より応募された研究課

題候補は外部有識者等による審査に付し、①必要性（環境行政上の意義、科学的・技術的意義）、②効率性（研究体制・研究計画の妥当性・研究経費の妥当性）、③有効性（研究目標の達成可能性、環境政策等への貢献度、成果の波及効果）の 3 つの観点から評価し、競争的に選定・採択しています。



独立行政法人 環境再生保全機構

環境研究総合推進部

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町 1310 番 ミューザ川崎セントラルタワー 9 階
TEL: 044-520-9509 FAX: 044-520-9660