

〈特集〉環境中に放出されたプラスチックごみの現状と課題

環境プラスチック問題の全容と課題および
大阪市立環境科学研究センターの啓発・研究活動

中尾賢志*・尾崎麻子**・榊元慶子*

(*大阪市立環境科学研究センター・**地方独立行政法人 大阪健康安全基盤研究所)

1. はじめに

大阪市立環境科学研究センターでは、筆者らを中心に現在は主に下水処理場におけるマイクロプラスチック(以下、MPs)の挙動に関する研究をおこなっている。MPsに関する研究は2015年度から開始し、当初は大阪市内河川中のMPsを検出する方法の模索から始めた。結果的には河川中からのMPs検出方法の確立には失敗したが、フーリエ変換赤外分光法—全反射測定法 (FTIR-ATR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy - Attenuated Total Reflection) や熱分解ガスクロマトグラフィーなどの方法が有効であろう、という感触を得ることができた。

2016年1月に水産庁が「干潟・藻場ビジョン」¹⁾を公表したことから、2016年度および2017年度は生物多様性の高い干潟に焦点を当て、MPsの存在実態および化学・生物学的影響の調査・研究をおこなった。最終的に大阪湾圏域の干潟泥中のMPs濃度の把握²⁾、および干潟に生息する生物体内からのMPsを検出することができた^{3), 4)}。ただ、干潟泥や生物から検出したMPsのサイズが海洋表層に浮遊しているものよりも小さく、検出数も少なかったことからMPsに吸着・吸収しているであろう化学物質の検出までにはいたらなかった。

2017年度からは、3年間の計画で下水処理場におけるMPsの挙動(収支)および、その処理の最適化を探る研究をおこなっている。下水処理場におけるMPsの研究報告は、2017年当時、海外ではまだ数例であり新規性のある研究であった。現在、下水処理および下水汚泥処理工程でのMPs濃度の把握に努めているところである^{5), 6), 7)}。

MPsについての詳細は後述するが、筆者らの考えでは「プラスチックごみ問題」と「MPs問題」は別の問題(最終的に主として海洋生態系に悪影響を与えるといった点で共通はしているが)と認識する方が課題や対策を考える際に分かりやすいと考えており本稿でもその立場で論を展開する。また「プラスチックごみ問題」と「MPs問題」の2問題を総称して「“環境”プラスチック問題」としている。一般メディアでは「“海洋”プラスチック問題

と呼称される本問題であるが、陸域でもプラスチックごみを起因とした陸域生態系への影響や大気中でもMPsの検出が確認されることから、筆者らは本問題を「“環境”プラスチック問題」とすべきであると提唱している⁸⁾。

本稿の構成であるが、まず「プラスチックごみ問題」と「MPs問題」を概観する。次に、当研究センターがおこなってきた「啓発活動」と「研究活動」について紹介する。最後に今後の啓発および研究活動を展望する。

2. 「プラスチックごみ問題」と「マイクロプラスチック問題」

2.1 プラスチックごみ問題とは

筆者らの考えでは「プラスチックごみ問題」は主に「海洋流出問題」、「製造過多問題」、「廃プラ問題」および「ポイ捨て(不法投棄)問題」の4種に分類される(図1)。以下、それぞれを解説する。

2.1.1 海洋流出問題

一般メディアに最も取り上げられる問題がこの「海洋流出問題」である。2016年1月の世界経済フォーラムで、2025年までに海洋のすべての魚介類の3分の1に当たる量(重量ベース)のプラスチックが海洋に流出し、2050年までには流出プラスチックの量が魚介類の量を超えると報告⁹⁾された。本報告が非常にショッキングでセンセーショナルであったため、世界中にMPsを含めた「環境プラスチック問題」が一気に認識されるに至り、国際的な取組とMPs研究が盛んになされるようになった。本問題の解決には「収集適正化施策」といった施策的な課題が考えられ、行政を中心とした対策が有効であると思われる。

2.1.2 製造過多問題

1950年代からプラスチックの大量生産が始まり安価で安定したプラスチックは消費者である我々の生活に欠かせないものとなった。しかし、使い捨てであるプラスチック製品が多く、その処理・処分が適正でなかったこと

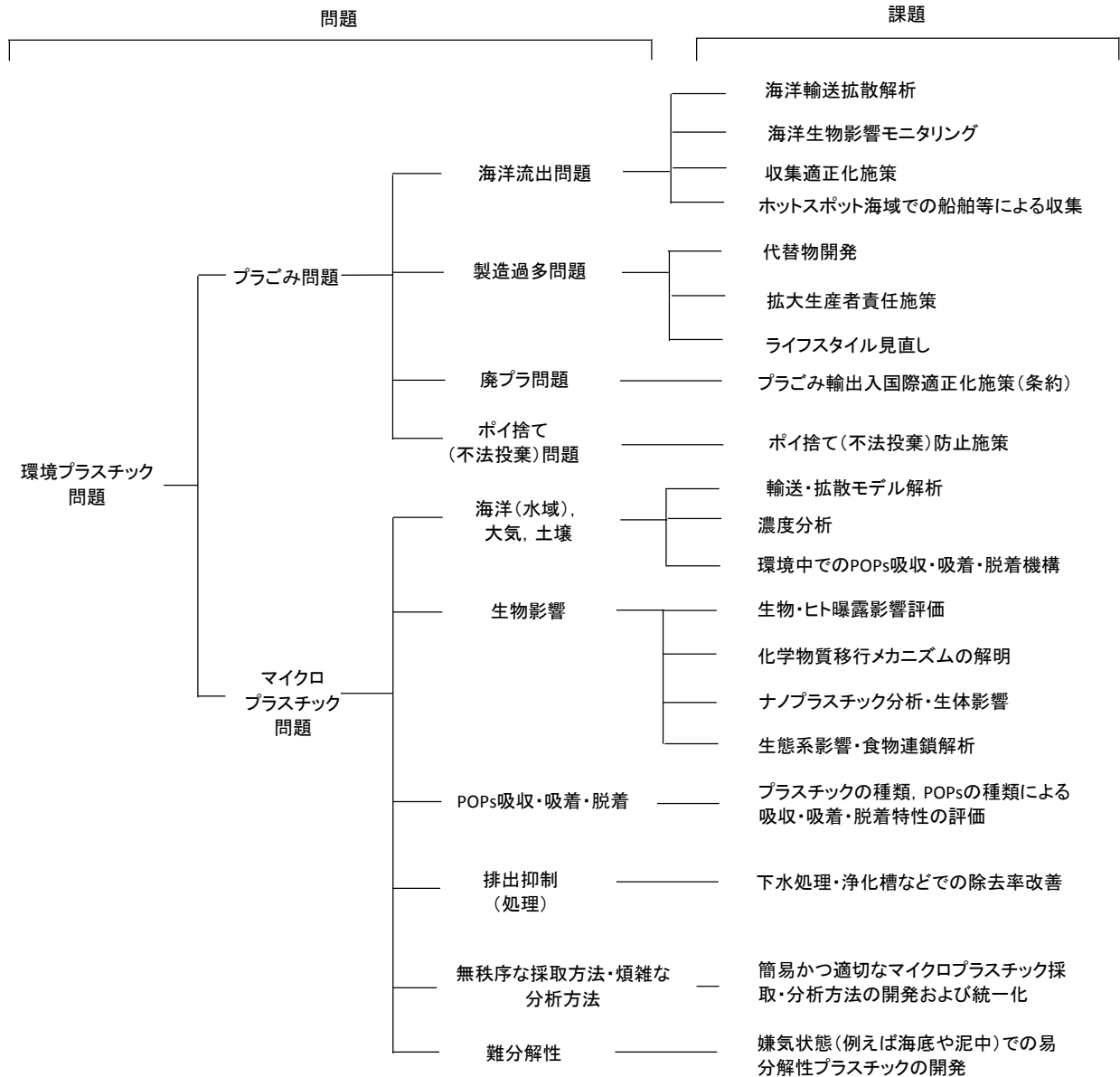


図1 環境プラスチック問題の全容と課題

から環境中にプラスチックごみが流出することとなった。本問題も行政施策的な面が強く、特に使い捨てプラスチックに対しては「拡大生産者責任」といった仕組みが必須になると考えられる。また、3R(Reduce, Reuse, Recycle (最近ではこれにRefuseを加えた4R))といった廃棄物対策が有効であると考えられている。

2.1.3 廃プラスチック問題

2019年5月にバーゼル条約が改正され、「汚れたプラスチックごみ」(廃プラスチック)の輸出規制が2021年から発効されることとなった。筆者らは「プラごみ輸出入国際適正化施策(条約)」といった施策の導入を予想していた⁸⁾が、それが現実化した。本問題も国際政策的な色

合いが濃い問題であるが、廃プラスチック輸出に一定の制限を設けることは非常に自然な流れであったといえる。

2.1.4 ポイ捨て(不法投棄)問題

「プラスチックごみ問題」のセミナーで特にごみ問題に特化した環境保護団体の方の話を伺うと、河川や海岸がペットボトルで埋め尽くされた写真が数多く紹介される。また大阪湾底のプラスチックごみ調査では食品包装類、ペットボトル、プラスチックバックの順に多いといった報道があった¹⁰⁾。これらのプラスチックごみ全てがポイ捨てを起因とするものであるといったデータはないが、自治体の収集網から漏れたプラスチックごみが海洋に流出し、湾底に沈んだことは明らかである。ポイ捨て

(不法投棄) 防止やごみ収集の徹底が求められている。

2.2 マイクロプラスチック問題とは

マイクロプラスチックは5 mm以下の微細なプラスチックである。ただ、その発生要因により「一次的マイクロプラスチック」(写真1)と「二次的マイクロプラスチック」(写真2)に分類される。前者は洗浄能力を高めるために洗顔料や歯磨き剤に封入された微細な球形のマイクロビーズを指すことが多い。近年は洗顔剤等への使用抑制やケイ酸カルシウム等の無機物といった代替物に切り替えることによりその数は減少していると考えられる。しかし、工業的に使用されるマイクロビーズや、例えば自動車の塗膜に使用されるある種の微細なプラスチック等は依然として使用されている¹¹⁾と考えられる。これらの「一次的マイクロプラスチック」は下水道や浄化槽に流入し、大部分は除去された後、最終的に海洋に流出していると思われる。

「二次的マイクロプラスチック」は主として沿岸域に漂着したプラスチックごみが紫外線や波浪といった物理的要因により微細化したもの、とされる。しかし、そうした微細なプラスチックは沿岸域だけでなく、陸域でも発生する。例えば回収しきれなかった家庭ごみ、ペットボトルで山積みになった飲料容器回収箱、道路工事が終わり回収されなかったカラーコーンなども沿岸部と同様に紫外線や風雨により微細化し、側溝や下水道を通じて海洋に流出すると考えられる。

ここでも筆者らの考えとしてMPs問題は「海洋(水域)、大気、土壌」、「生物影響」、「POPs (Persistent Organic Pollutants): 残留性有機汚染物質) 吸収・吸着・脱着」、「排出抑制(処理)」、「無秩序な採取方法・煩雑な分析方法」および「難分解性」の6種に分類した(図1)。以下、それぞれを解説する。

2.2.1 海洋(水域)、大気、土壌

近年急速に進んだMPs研究により、MPsの研究に携わっている研究者の共通認識として「(地殻内は別として)地球上にMPsが存在しない環境はない」という考えが定着しつつある。当初は海洋の表層環境が注目されたがその後の深海底での検出^(例えば12)、南極海での検出¹³⁾、陸水域での検出^(例えば14)、大気中から検出^(例えば15)、土壌からの検出^(例えば16)など次々と海洋表層以外からもMPsが検出された。筆者らがMPs研究を開始した頃(2015年頃)は、「MPsによる環境『汚染』」という表現、特に「汚染」という単語を使用することにやや抵抗があったが、現在では「地球環境はMPsに『汚染』されている」といった表現は決して誇張ではなく、逆に真実に近い表現であると思われる。

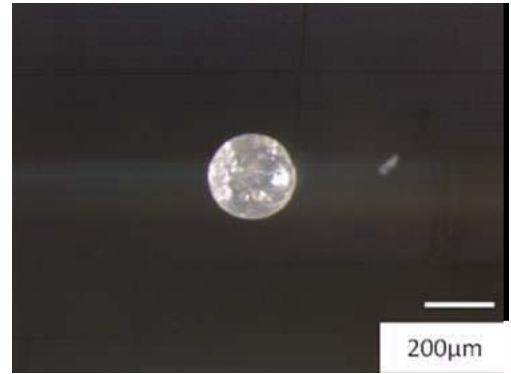


写真1 一次的マイクロプラスチック
(PE: ポリエチレン)

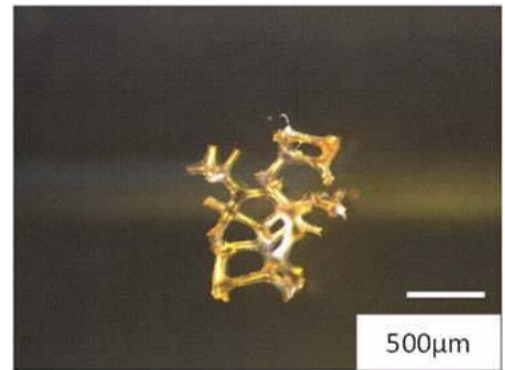


写真2 二次的マイクロプラスチック
(PU: ポリウレタン)

2.2.2 生物影響

MPsの生物からの検出は、海鳥を対象とした報告が多い^(例えば17)。室内実験ではあるが、二枚貝の組織からはMPs由来であるPOPsが検出されたという報告がある¹⁸⁾。その他、ゴカイ¹⁹⁾やミミズ²⁰⁾、サンゴ²¹⁾といった生物、さらにはヒトの糞便からも検出されたという報道もある²²⁾。挙げればキリがないが、環境中のMPsと同様に「(大きさにもよるが)MPsが検出されない生物はない」という共通認識がMPs研究に携わる研究者に定着しつつあることも否定できない。しかしながら、MPs由来のPOPsが生体内に蓄積しているとして、それが生体に具体的にどのような影響を与えているかは未だ判然としない。最近になって、ドイツや東京大学の研究チームがMPsのヒトの生体影響に本格的に取り組むといった報告²³⁾や報道²⁴⁾がなされている。これらの研究結果にもよるが、もしMPsが将来かなり高い確度で人類の脅威になり得ることが判明すれば、予見的な研究に留まっている現在のMPs研究がさらに進むと思われる。環境プラスチック問題に対する施策にも大きな影響を与えることが予想される。

2.2.3 POPs吸収・吸着・脱着

MPsはPOPsを吸着・吸収することから、それが生物の生体内に入り込んだ場合、脱着して器官に移行・蓄積され

ることが指摘されている^{例えは18)}。左記現象がヒトの体内で生じていないとは言い切れず、確たる証拠はない状況ではあるが、MPsは将来的に主として海洋生態系（陸域生態系に影響を与えない、という保障はない）に悪影響を与え、我々が摂取する魚介類中のPOPs濃度が上昇していくことが懸念されている。よって、まだまだ生体影響への度合いが不明なままではあるが、予見的に世界中でMPsの研究がおこなわれている、というのが現状である。

2.2.4 排出抑制（処理）

「一次的MPs」と「二次的MPs」のどちらに定義すべきか悩ましいのが、近年環境中のMPsのなかで最もその割合が高い「マイクロファイバー」^{例えは25)}（写真3）と呼ばれる主として合成繊維由来のMPsである（自然物由来のものと区別しない研究者も存在する）。「マイクロファイバー」は現在確固とした定義がなく、MPsの検出技術が発達したが故に新たに問題となった「新しい」MPsである。あえて定義するとすれば図2のようになろうか。例えば、洗濯機で合成繊維製のフリース1枚を洗濯すると1,900個のマイクロファイバーが発生するといった報告がある²⁶⁾。それらは下水処理場や浄化槽に流入し、除去率は100%ではないにしろ、高い除去率で処理されていると考えられる。しかしながら、例えば下水処理場でのマイクロファイバーの除去率が99%であったとしても、残り1%は公共用水域に排出されている。つまり、例えば、10億個のマイクロファイバーが流入したとすると1,000万個のマイクロファイバーが除去されずに排出されることになる。よって、下水処理場や浄化槽といった施設・設備でのMPs除去率の向上も課題となる。

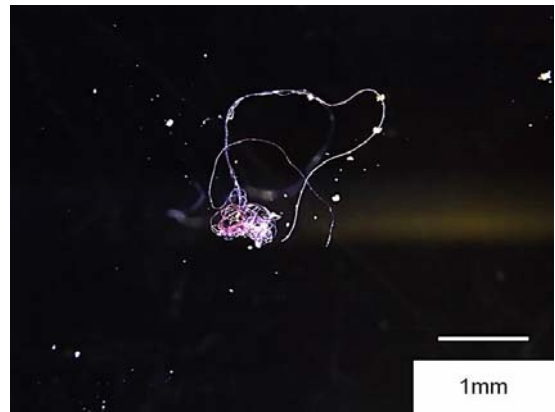


写真3 マイクロファイバー
（ポリエチレンテレフタレート）

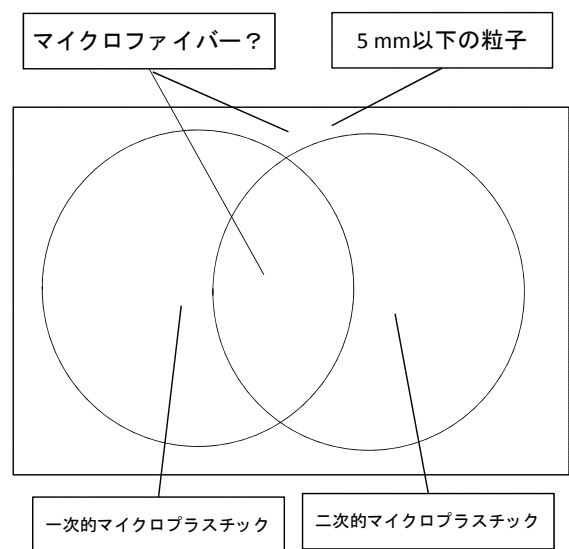


図2 マイクロファイバーの位置づけ

2.2.5 無秩序な採取方法・煩雑な分析方法

例えば海洋や湖沼表層でのMPsの採取はニューストンネットを用いることが推奨されつつあるが、国際的に決まった方法はない。プランクトンネットの目開きも300～350μmと幅があり、MPsの採取にはどの目開きが適正であるかといった決まりはない状況である。現在、環境省主導で海洋におけるMPsモニタリング手法の調和等に向けた検討業務がおこなわれており、国際的な採取方法の統一化に参画する動きがある。

MPsの分析方法についても統一化された方法はなく、筆者らは当初から実体顕微鏡とFTIR-ATRを用いているが、近年普及が進んでいる「顕微FTIR」は実体顕微鏡とFTIR-ATRによる検出方法よりもマイクロプラスチックの検出・同定下限サイズが小さく（10μm程度）、さらに検出・同定にかかる労力を省力化できる。実体顕微鏡とFTIR-ATRによる検出・同定方法では筆者らの経験上200

表1 各種検出方法によるMPsの検出サイズ

検出方法	検出サイズ
実体顕微鏡+FTIR-ATR	約200μm<
顕微FTIR	約10μm< [*]
ラマン分光法	約1μm< [*]

※日本分光(株)資料²⁷⁾および聞き取り

μm程度が検出下限サイズであるにもかかわらず、非常に労力がかかる。表1に各種検出方法による検出マイクロプラスチックのサイズを示した。近年報告が増えているラマン分光を用いた方法^{例えは28)}（ここでは「ラマン分光法」とする）は顕微FTIRよりもさらに微小なマイクロプラスチックの検出・同定が省労力で可能になる。

2.2.6 難分解性

MPs問題の深刻さが認識され始めると、にわかに環境中で分解する「生分解性プラスチック」に注目が集まるようになった。生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックは混同されることが多く、また、それらの定義と理解が研究者により異なることもあるが、ここでは恵谷²⁹⁾と加茂³⁰⁾の記述を基に生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックについて述べる。

恵谷によると「生分解性プラスチックは自然環境中の微生物の作用により分解して、好氣的条件下では水とCO₂に、嫌氣的条件下ではメタン(CH₄)になるプラスチックをいい、バイオマスを原料とするものと石油を原料とするものがある。また、バイオマスを原料とするプラスチックには非生分解性のものもあり、生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックを総称してバイオプラスチックといわれている」とある。

加茂は「植物由来プラスチックと生分解性プラスチック」について、理解しやすい図³⁰⁾を作成しており、その図を改変したものを示す(図3)。

プラスチックごみやMPsが海底に沈むと、安定し、力学的外乱が少ない海底環境では、プラスチックの分解がさらに遅くなると考えられる。高田³¹⁾によると「化学合成系の生分解性プラスチック」である「ポリカプロラクトン」は東京湾の海底でも分解されずに検出されており、例え環境中で分解しやすい生分解性プラスチックでも、その分解速度が遅ければ石油由来のプラスチックと同様の挙動を示し、POPsのベクターや生体内でのPOPs蓄積の原因となりうる。筆者の経験上も、「セロファン」が干潟の泥中やカニの体内から見つかったことがあり、セロファンでも分解が遅ければ環境中に残存し、もしPOPsを吸着する能力があれば生体により捕食され高次捕食者にPOPsが移行するといった食物連鎖が生じることは否定できない。

3. 当研究センターの啓発活動

3.1 プラスチックごみ問題の啓発活動

筆者らはMPsの研究から始めた経緯から、プラスチックごみ問題については研究をしてこなかった。しかしながら、MPsの講演や執筆依頼ではMPsとあわせてプラスチックごみ問題にも言及して欲しいといった要望が多く、講演や執筆をする際にはできるだけプラスチックごみ問題の現状を調べ、MPsと同様に扱うようにしている。また、講演会では講義だけするのではなく、プラスチックごみが徐々に小さくなっていく様子を実際のプラスチックごみを用いて観察して頂いている(写真4)。さらに、講義

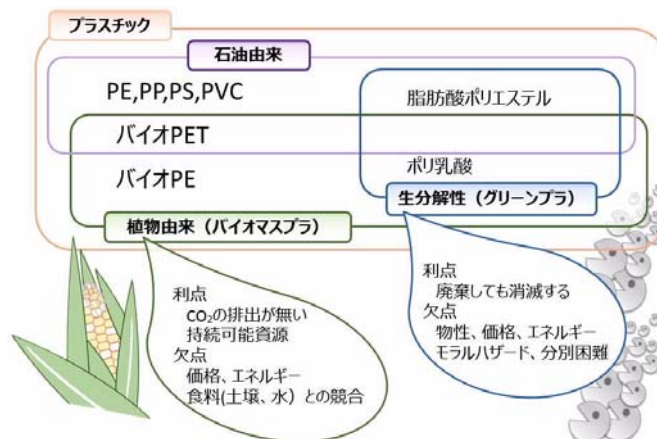


図3 植物由来プラスチックと生分解性プラスチック (加茂の図³⁰⁾を改変)

だけでは聴衆の興味を惹くにも限界があるので最近では「ワークショップ」と称し、図1の「問題」だけを提示し、どういった「課題」や「対策」が考えられるかを参加者自身で考えて頂くといった試みもおこなっている(写真5, 図4)。

3.2 マイクロプラスチック問題の啓発活動

MPs問題については2016年に市民等を対象とした啓発活動をおこなった(写真6)^{32), 33)}。それ以降も要望や機会があればMPsについての啓発活動を随時おこなっている。最近では、先に述べたようなワークショップにおいて携帯型顕微鏡で観察して頂いている(写真7)。

4. 当研究センターの研究活動

4.1 プラスチックごみ問題の研究活動



大 → 小

写真4 微細化するプラスチックの様子



写真5 ワークショップ



写真6 啓発活動

先にも述べたように講演・執筆依頼でプラスチックごみ問題を扱って欲しいという要望から、筆者らは文献等で日本や世界におけるプラスチックごみ問題の状況を調査している。以下に、例として日本のプラスチックごみ問題の状況を記す。

日本における2016年の廃プラスチック輸出量は152.7万トンであり³⁴⁾、同年の2016年の日本における廃プラスチック総排出量は899万トンで、有効利用量は759万トン、有効利用率は84%となっている³⁵⁾。それ以外の「リサイクル」されていないものの処理・処分方法は、2016年は単純焼却が約9%、埋立処理が約7%と推計されている³⁶⁾。3種の有効利用量である「マテリアルリサイクル(材料リサイクル)量」、「ケミカルリサイクル(化学的リ



写真7 携帯型顕微鏡でのMPsの観察

6. どうやったら解決するの? 解決へのヒント

- ・マイクロプラスチックの元は環境に排出されたプラスチックごみ
- ・いかにしてプラスチックごみを減らすかがポイント
- ・しかし、プラスチックやめられますか?
- ・プラスチックとうまく付き合っていく? それとも使わない?
- ・(Refuse: 拒否), Reduce: 減らす, Reuse: 再利用, Recycle: リサイクル

↓中尾が考える「環境」プラスチック問題」

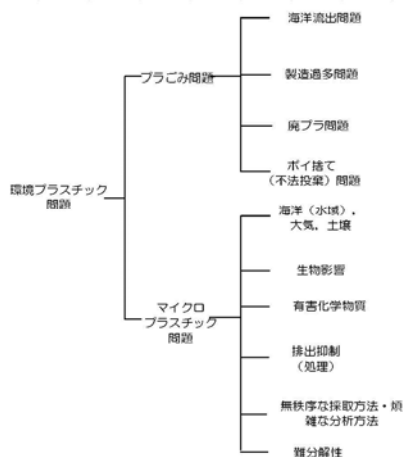


図4 ワークショップのレジユメの一部

—休憩—

7. マイクロプラスチックを顕微鏡で観察しよう!

!注意! ガラス製のプレパラートで手を切らないように!

8. ワークショップ: みんなで考えよう! マイクロプラスチック問題の解決策

まず、じゃんけんをして一番勝った方が「発表者」、一番負けた方が「書記」になって頂きます。

前のページの図「環境プラスチック問題」の、「プラスチック問題」と「マイクロプラスチック問題」から1つ問題を選び、各班で解決策を15分間考えてください。その後、1班から発表して頂きます。

恥ずかしがらずに、皆さんの意見をどんどん出し合ってください。

9. 講評(中尾): 環境プラスチック問題の解決策

メモ

おわり

サイクル)量」, 「サーマルリサイクル(熱回収)量」は2016年時点でそれぞれ206万トン, 36万トン, 517万トンとなっている(表2)。廃プラスチックの輸出量は前述したとおり152.7万トンであり, 輸出量全てが「マテリアルリサイクル量」および「ケミカルリサイクル量」として把握されているとすれば, 輸出率は63.1%となり, 自国で「マテリアルリサイクル」および「ケミカルリサイクル」している量は40%にも満たない。さらに, 「サーマルリサイクル」率は総有効利用量に対して68.1%になっており, 日本における廃プラスチックの有効利用率の約7割が「熱回収」されていることになる。「熱回収」とは廃プラスチックを焼却し, 発生した熱を用いての発電や廃プラスチックを固形燃料化等によることである。2016年における日本の廃プラスチックの有効利用率は84%と高いが, OECD(経済協力開発機構)の報告書³⁷⁾では20%強にとどまる。原因は「サーマルリサイクル」の扱いで, 日本では約7割を占めるが, 欧米では二酸化炭素を排出して環境負荷を高めるとして「サーマルリサイクル」はリサイクル率に算入されないからである³⁸⁾。

以上から, 日本における廃プラスチックのリサイクル率は国際的にみて決して高くはなく, 「サーマルリサイクル」以外の「マテリアルリサイクル」および「ケミカルリサイクル」も約6割を海外に頼っていたことになる。海洋に流出するプラスチックの量が多い国として中国や東南アジアが挙げられることが多いが, 実は, その海洋に流出していたプラスチックは日本から輸出されたものも含まれていた可能性がある。つまり, 日本は間接的に他国からプラスチックごみを海洋に流出させていたのかもしれないのである。今後プラスチックのリサイクルを自国内で完結させることを義務付ける条約が新たに批准される可能性もあり, 「サーマルリサイクル」の取扱いの是非も含めて議論する時が来ている。

4.2 マイクロプラスチック問題の研究活動

先に述べたように筆者らは主に大阪湾圏内の干潟にお

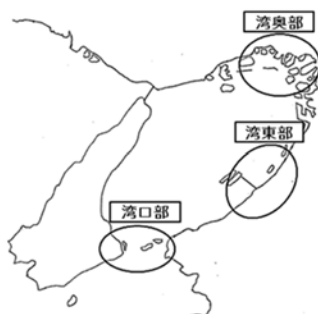


図5 大阪湾圏内の干潟3箇所

表2 日本におけるプラスチックの有効利用量(2016年)

廃プラ総排出量		899
有効利用量	マテリアルリサイクル量	206
	ケミカルリサイクル量	36
	サーマルリサイクル量	517
	合計	759
有効利用率(%)		84

単位=万t

けるMPs研究および下水処理場におけるMPs研究をおこなってきた。以下にそれぞれの研究についての詳細を述べる。

4.2.1 大阪湾圏内の干潟^{2), 3), 4)}

大阪湾圏内の干潟3箇所(図5)について干潟泥中のMPsおよび干潟1箇所(図6)については貝やカニ, 鳥類といった生物の生体中のMPsについて調査をおこなった(検出MPsの下限サイズは300 μ m)。

その結果, 大阪湾奥部の干潟泥中のMPs濃度が高いことが明らかとなった(図7)。また, 有機分が高い泥はMPsを保持しやすく, 有機分が低く砂分が多い泥にはMPsが保持されにくいことが推測された。

次に, 30検体のヤマトシジミ体内のMPsを調べた結果, 3検体からMPsが1個ずつ検出された(例えば写真8)(検出率10%)。また, 30検体中21検体から1個~複数個の人工物とみられる繊維状の物体が検出された(例えば写真9)(検出率70%)。これらは繊維状のためFTIR-ATRでは同定できず, プラスチックであるという確証は得られなかった。

30検体のクロベンケイガニ体内のMPsを調べた結果, 2検体から1個と2個のMPsがそれぞれ検出された(例えば写真10)(検出率約7%)。また, 3検体からセロファンが1個ず

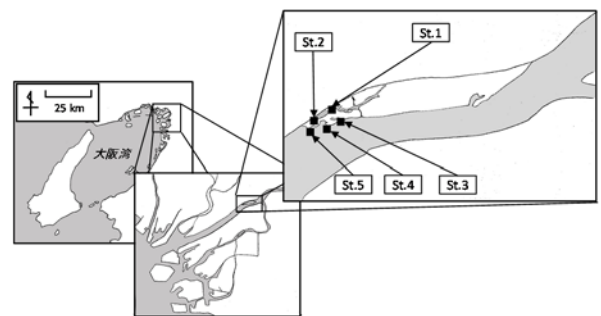


図6 生物を採取した干潟

つ検出された(例えば写真11)(検出率10%)。セロファンはセルロースから作られる膜状の物質であるが、干潟泥中からも検出された。セロファンはセルロースからできているため、自然分解しやすいと考えられるが、干潟泥やクロベンケイガニから検出されたことから、自然界での分解速度はそれほど速くないと考えられる。

1検体のキンクロハジロ胃内容物からは8個のMPsが検出された(例えば写真12)。キンクロハジロ胃内容物から二枚貝の殻や巻貝の殻が見つかることから、低次捕食者から高次捕食者へのMPsの移行の可能性が示唆された。

4.2.2 下水処理場での挙動^{5), 6), 7)}

近畿地方の下水処理場の協力を得て、下水処理場内でのMPsの挙動を調査した(検出MPsの下限サイズは90 μ m)。具体的には流入下水と最初沈殿池、反応タンク流入水、最終沈殿池流出水、急速ろ過流出水の浮遊物質

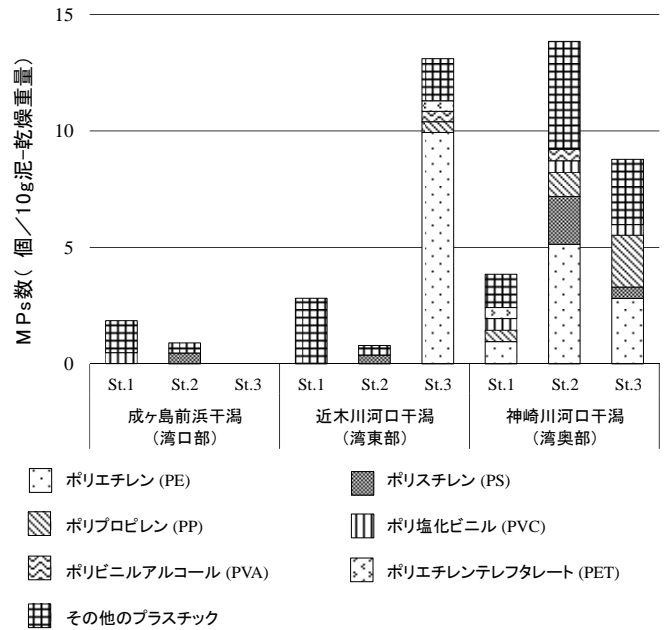


図7 大阪湾口、湾東、湾奥部の干潟泥中のMPs数

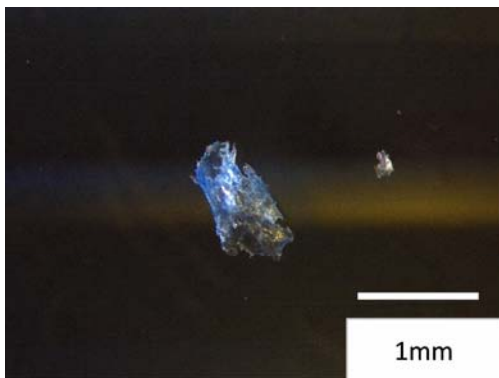


写真8 ヤマトシジミから検出されたMPs

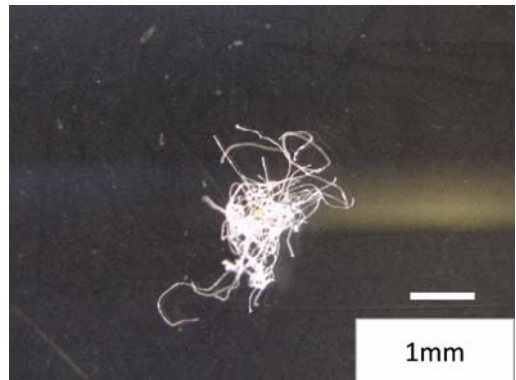


写真10 クロベンケイガニから検出されたMPs (ポリエチレンテレフタレート)

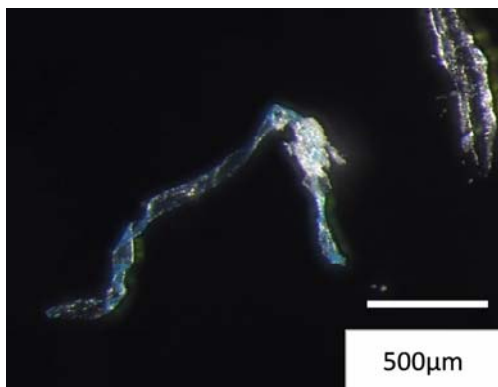


写真9 ヤマトシジミから検出された繊維状物体

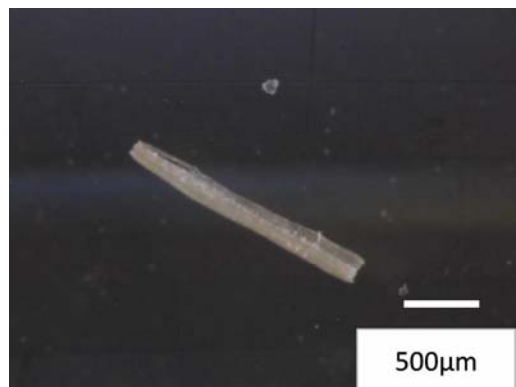


写真11 クロベンケイガニから検出されたセロファン

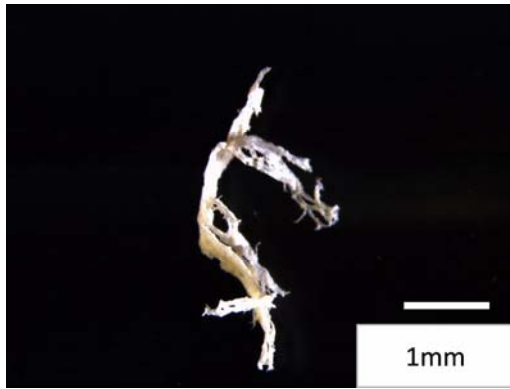


写真12 キンクロハジロ胃内容物から検出されたMPs (ポリエチレン)

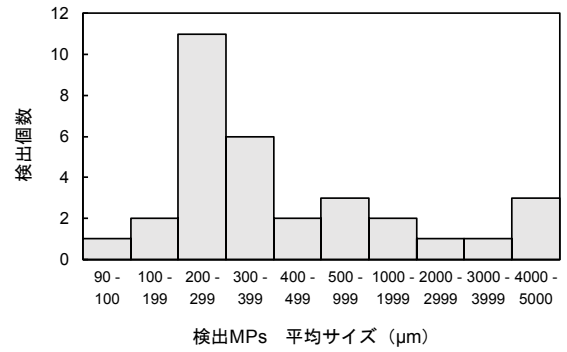


図8 検出MPsのサイズ分布

(Suspended Solid : SS) と活性汚泥浮遊物質 (Mixed Liquor Suspended Solids : MLSS) を測定し、単位SS, MLSS 当たりのMPsの数を各工程で算出し、各処理工程の日当たりの流量を乗じてMPs負荷量とした。

調査した全工程のMPsのサイズ分布を図8に示す。サイズは長径と短径の平均値とした。200～299 μmのサイズが最も多かった。200 μm未満ものはFTIR-ATRの検出感度不足により同定が困難であったケースや、微小さゆえに分析中に逸失するといったこともあった。

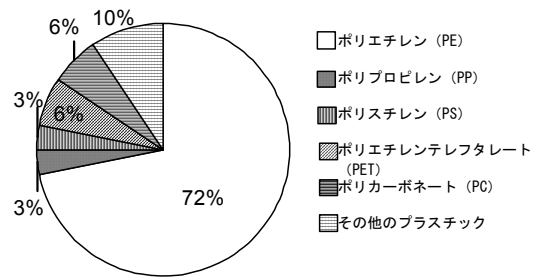


図9 検出MPsの種類

図9に各処理工程全体で検出されたMPsの種類の割合を示す。ポリエチレン (PE) が72%と最も高い割合を示した。日本での2017年のPE生産量は全プラスチック生産量全体の24%³⁹⁾であった。当初、我々は下水処理場に存在するMPsの種類の割合はプラスチック種類別生産割合と一致すると考えていたが、分析の結果、実際は異なることがわかり、家庭・工場排水および道路塵埃由来のMPsの種類はPEが優先すると考えられた。また、琵琶湖・大阪湾における表層中のMPsの73～93%がPEであった⁴⁰⁾、といった報告があり、今後その関連性を調査する必要があると考える。

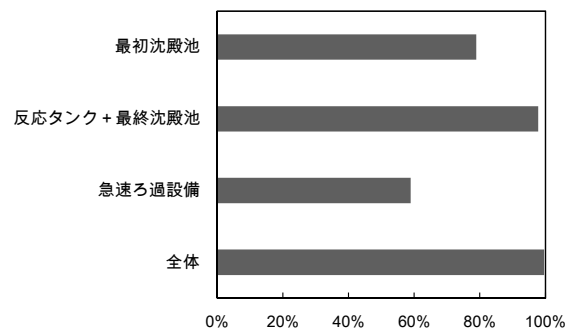


図10 各水処理工程におけるMPsの除去率

各水処理工程のMPs濃度は、流入下水中のMPs濃度が約0.05個/mg-SS (約2.9個/L)、最初沈殿池流入水が約0.28個/mg-SS (約23.4個/L)、反応タンク流入水が約0.15個/mg-SS (約5.0個/L)、活性汚泥中が約0.01個/mg-MLSS (約25.3個/L) となった。流入下水よりも最初沈殿池流入水のMPs濃度が高いのは本処理場では最初沈殿池に汚泥処理工程から発生する返流水が流入することが原因であると考えられた。返流水中のMPs濃度は約0.21個/mg-SS (約540個/L) であると推測され、非常に多いMPsが汚泥処理工程から水処理工程に戻されていると考えられた。活性汚泥中のMPs濃度である約0.01個/mg-MLSSを最終沈殿池および急速ろ過流出水のSSに乗じることにより、二

次処理水中のMPsおよび三次処理水中のMPsの量を推算した。その結果、二次処理水中のMPs濃度は約0.02個/L、三次処理水中のMPs濃度は約0.01個/Lとなった。

図10に各水処理工程のMPs除去率を示す。それによると最初沈殿池での除去率は78.9%、反応タンク+最終沈殿池での除去率は97.8%、急速ろ過設備での除去率は58.9%であり、全体での除去率は99.6%となった。MPsの下水処理場流入負荷量と最初沈殿池入口負荷量を比較すると後者が突出して多く、内部水である最初沈殿池に流入する汚泥処理工程からの返流水負荷量が多いことが推測された。返流水のMPs負荷量が多い理由は汚泥濃縮工程からの分離液中にMPsが多いからだと考えられ、汚泥濃縮工

程でいかに分離液中のMPs負荷量を減少させるかが重要であると思われた。

5. 今後の啓発および研究活動の展開

大阪市の環境施策として環境プラスチック問題は小学生や中学生の環境副読本「おおさか環境科」で取り上げられるなど、次代を担う若い世代への啓発がなされている。今後も大阪市の環境施策に沿う形で我々研究セクターでの啓発活動もより充実したものにしていきたいと考えている。また、関西でのMPs研究者はまだ少なく、今後も大学等の研究機関と共同して関西圏内でMPs研究者のネットワークを拡充していき、より広域的な研究をおこなえる体制を構築していきたい。当研究センターとしては、海洋環境や生物体内、排出抑制としての下水処理場での対策だけでなく、今後は大気中MPsがどういった環境中での挙動を示し、マイクロファイバーといったMPsがヒトの呼吸器系疾患にどういった影響を与えているかの疫学的研究の基礎データを収集したいと考えている。MPsの研究は欧米諸国に遅れをとっている状況であり、我が国での研究の余地はまだ残されている。予見的研究が主であるMPs研究について市民・国民からの理解と支持を得るためにも、今後も啓発活動を中心とし、活発な研究活動をおこなっていきたい。

6. 謝辞

本稿は平成28・29年度「大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成制度」（研究課題番号：280006, 290008）およびJSPS科研費17K06628（平成29～31年度（予定））からの研究助成がなければ執筆できなかったものであり、ここにこれらの研究助成に対して謝意を示す。

7. 引用文献

- 1) 水産庁：藻場・干潟ビジョン，
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/keikaku/pdf/160120-02.pdf> (2019. 10. 21アクセス)
- 2) 中尾賢志，尾崎麻子，山崎一夫，榎元慶子，山田浩二：大阪湾圏域の干潟におけるマイクロプラスチック分布の実態把握。第51回日本水環境学会年会講演集，1-B-16-1，105，2017
- 3) 中尾賢志，尾崎麻子，山崎一夫，中谷正，先山孝則，榎元慶子：淀川河口干潟に生息する生物体内からのマイクロプラスチックの検出。第18回環境技術学会年次大会講演集，10，2018
- 4) Nakao, S., Ozaki, A., Masumoto, K., Yamazaki, K., Nakatani, T., Sakiyama, T., Microplastics contamination in tidelands of the Osaka bay area in western Japan, *Water and Environment Journal* (in press : DOI:10.1111/wej.12541)
- 5) 中尾賢志，尾崎麻子，榎元慶子：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1報），第56回下水道研究発表会講演集，530-532，2019
- 6) 中尾賢志，尾崎麻子，榎元慶子：下水処理場におけるマイクロプラスチックの除去。ケミカルエンジニアリング，**64**(9)，7-12，2019
- 7) Nakao, S., Ozaki, A., Masumoto, K., Fate of Microplastics in a Japanese Wastewater Treatment Plant and Optimization of Microplastics Treatment, 8th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, Smart Solution for Water Resilience 31 October to 2 November 2019, Hong Kong, E-proceedings, 412-414, 2019
- 8) 中尾賢志：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)，54-61，2019
- 9) World Economic Forum, The New Plastics Economy Rethinking the Future of Plastics, Industry Agenda, 7, 2016
- 10) 毎日新聞，大阪湾底 レジ袋300万枚，2019年5月31日付夕刊（大阪本社）
- 11) JFE テクノリサーチ株式会社，平成28年度化学物質安全対策（マイクロプラスチック国内排出実態調査）報告書（平成28年度経済産業省 委託調査報告書），https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000116.pdf (2019. 10. 22アクセス)
- 12) Cauwenberghe, L.V., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C. R., Microplastic pollution in deep-sea sediments, *Environmental Pollution*, **182**, 495-499, 2013
- 13) Isobe, A., Uchiyama-Matsumoto, K., Uchida, K., Tokai, T., Microplastics in the Southern Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, **114**, (1), 15, 623-626, 2017
- 14) 牛島大志，田中周平，鈴木裕識，雪岡聖，王夢澤，鍋谷佳希，藤井滋穂，高田秀重：日本内湾および琵琶湖における摂食方法別にみた魚類消化管中のマイクロプラスチックの存在実態，*水環境学会誌*，**41** (4) 107～113，2018
- 15) Dris, R., Gasperi, J., MohamedSaad, M., Mirande, C., Tassin, B., Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?, *Marine Pollution Bulletin*, **104**, (1-2), 15, 290-293, 2016
- 16) He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Lei, L., Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks,

- TrAC Trends in Analytical Chemistry, **109**, 163-172, 2018
- 17) 山下麗, 田中厚資, 高田秀重: 海洋プラスチック汚染: 海洋生態系におけるプラスチックの動態と生物への影響, 日本生態学会誌, **66**, 1, 2016
- 18) 水川薫子, 櫻井滯, 太田百音, 仲岡雅裕, 高田秀重: マイクロプラスチックを介した残留性有機汚染物質 (POPs) の二枚貝への曝露実験, 第28回環境化学討論会, 3A-04, 2019
- 19) Gomiero, A., Strafella, P., Pellini, G., Salvalaggio, V., Fabi, G., Comparative Effects of Ingested PVC Micro Particles With and Without Adsorbed Benzo(a)pyrene vs. Spiked Sediments on the Cellular and Sub Cellular Processes of the Benthic Organism *Hediste diversicolor*, *Frontiers in Marine Science*, **5**, 2018
- 20) Rillig, M. C., Ziersch, L., Hempel, H., Microplastic transport in soil by earthworms, *Scientific Reports*, **7**, 1362, 2017
- 21) Beur, L. L., Henry, L-A., Kazanidis, G., Hennige, S., McDonald, A., Shaver M. P., Roberts, J. M., Baseline assessment of marine litter and microplastic ingestion by cold-water coral reef benthos at the East Mingulay Marine Protected Area (Sea of the Hebrides, western Scotland), *Frontiers in Marine Science*, **5**, 2019
- 22) 日本経済新聞, 人の体内に微小プラ粒子 日本含む8カ国, 便で検出, 2018年10月24日付電子版
- 23) Lampen, A., Microplastics in food/food contact materials: Oral uptake, toxicology and initial aspects of risk assessment, 8th International Akademie Fresenius Conference "Residues of Food Contact Materials in Food", 2019
- 24) 日本経済新聞, 海洋のプラごみ, 生体への影響調査, 2019年5月20日付電子版
- 25) Waite, H. R., Donnelly, M. J. Walters L. J., Quantity and types of microplastics in the organic tissues of the eastern oyster *Crassostrea virginica* and Atlantic mud crab *Panopeus herbstii* from a Florida estuary, *Marine Pollution Bulletin*, **129** (1), 179-185, 2018
- 26) Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, **45**, 9175-9179, 2011
- 27) 日本分光株式会社: 赤外顕微鏡を用いたマイクロプラスチックの分析, FT/IR application data, 100-MT-0256, 2018
- 28) Zada, L., Leslie, H. A., Vethaak, A. D., Tinnevelt, G. H., Jansen, J. J., Boer, J. F. de; Ariese, F.: Fast microplastics identification with stimulated Raman scattering microscopy, *Journal of Raman Spectroscopy*, **49** (7) 1136-1144, 2018
- 29) 恵谷浩: 海洋マイクロプラスチック汚染は生分解性プラスチック普及拡大の好機, ケミカルエンジニアリング, **64**(9), 631-636, 2019
- 30) 加茂徹: 廃プラスチックのリサイクルの現状と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方, 廃棄物資源循環学会関西支部主催 第15回廃棄物法制度に関するセミナー (資料集), 52, 2019
- 31) 高田秀重: マイクロプラスチック汚染の概要, マイクロプラスチックの計測と環境影響 講演要旨集, JASIS委員会, 10, 2019
- 32) 中尾賢志, 尾崎麻子, 山崎一夫, 榎元慶子, 大阪湾圏域の干潟におけるマイクロプラスチック研究 — マイクロプラスチックに関する市民の意識 —, 平成28年度「瀬戸内海研究フォーラムin愛媛」要旨集, 32, 2016
- 33) 中尾賢志, 榎元慶子: マイクロプラスチックについての啓発活動とマイクロビーズに関する市民意識, 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演集, A4-7P, 2018
- 34) 渡邊敬士: 東南アジア諸国が廃プラスチック輸入規制を強化、日本の輸出量は減少 — 輸出国側にも規制、求められる国内処理 —, 日本貿易振興機構 海外ビジネス情報 地域・分析レポート 2019年6月18日, 2019
- 35) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会: プラスチックリサイクルの基礎知識 2019, <https://www.pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf> (2019. 10. 21 アクセス)
- 36) 環境省: 平成30年版 環境・循環型社会・生物多様性白書 (PDF版), 167, 2018
- 37) OECD, Improving Plastics Management Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade, **8**, 2018
- 38) 日本経済新聞, プラスチック再利用、揺らぐ優等生ニッポン, 2019年4月10日付電子版
- 39) 塩ビ工業・環境協会: プラスチックの種類別生産量, http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_4.html, (2019. 10. 21 アクセス)
- 40) 鍋谷佳希, 田中周平, 鈴木裕識, 雪岡聖, 藤井滋徳, 高田秀重: 琵琶湖・大阪湾におけるマイクロプラスチックへのペルフルオロ化合物類および多環芳香族炭化水素類の吸着特性, 土木学会論文集G (環境), **73**(7), III_1 - III_8, 2017