

〈特集〉

水環境中のマイクロプラスチック汚染の現状と課題

田中周平¹⁾, 垣田正樹²⁾, 牛島大志³⁾岡本萌巴美⁴⁾, 雪岡 聖⁵⁾¹⁾ 京都大学 地球環境学堂

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail: t-shuhe@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

²⁾ 京都大学 工学研究科

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail: kakita@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

³⁾ 京都大学 工学研究科

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail: ushijima@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

⁴⁾ 京都大学 工学研究科

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail: okamoto@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

⁵⁾ 京都大学 地球環境学堂

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail: yukioka@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

概要

私たちの身の回りにはプラスチック製品があふれている。本報では、水環境中のマイクロプラスチック汚染の現状と課題について、既往の研究を整理するとともに、海外、国内における関連動向について時系列で整理した。また、分析方法について、特に測定対象粒径とプラスチックの同定方法について現在の知見を整理し、添加回収試験の重要性を示した。表層水中のマイクロプラスチック個体数密度について最小測定対象粒径との関係を整理し、最小測定対象粒径が1桁小さくなると個体数密度が約3桁大きくなることや、測定方法別のData Gapを示した。

キーワード：マイクロプラスチック、水環境、規制の動向、表層水、Data Gap

原稿受付 2020.1.3

EICA: 24(4) 25-29

1. はじめに

1.1 マイクロプラスチックの概要

マイクロプラスチックとは微細なプラスチック片であり、定義については、NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) は5 mm未満のプラスチック片とし、RIVM (オランダ国立公衆健康環境研究所) は、合成材料で非分解性であり、水に不溶性な5 mm未満の固体粒子としている。

マイクロプラスチックはその起源から一次マイクロプラスチックと二次マイクロプラスチックに分類される。一次マイクロプラスチックには、プラスチック製品原料としてマイクロサイズで製造されたレジンペレットや、化粧品や洗顔剤などのパーソナルケア製品に含まれるマイクロビーズなどが含まれる。二次マイクロプラスチックには、環境中に流出したプラスチックが紫外線や波力などの化学・物理的作用により劣化し微細化したものや、洗濯などの人間生活から生じる化学繊維片などが含まれる。環境水中での化学物質の吸着や生体への取り込みの可能性が危惧されており、世界的に注目されている。

1.2 世界の動向

マイクロプラスチックに関する世界の動向をTable 1に示す。2014年に欧米においてマイクロプラスチック入り製品の販売や化粧品へのマイクロプラスチック使用を禁止する法案や声明の発表があり、以降世界の様々な国で、人々の生活に身近な製品に入る可能性のある一次マイクロプラスチックに対して規制などが実施されている。

海洋におけるプラスチック汚染やプラスチック片に関係する報告は1970年代になされ始め、近年では関連する報告が増えており、2015年にはプラスチックごみの2010年の海洋への排出量に関する報告として、中国やインドネシアといった急速な発展を遂げているアジアの国々が主要な排出源となっている可能性が指摘された。これらにより二次マイクロプラスチックの発生抑制につながる海洋ごみへの対策・規制も加速し、2015年のG7では海洋ごみ問題に対処するためのG7行動計画が示され、2018年のG7では海洋プラスチック憲章が示された。海外の民間企業での自主規制も近年活発化し、スターバックスの使い捨てストローの廃

Table 1 マイクロプラスチックに関する世界の動向

国・機関・研究者	年	内容
ニューヨーク州	2014	マイクロビーズを使った製品の販売を禁じる法案の提出を発表
EU 加盟国	2014	化粧品へのマイクロプラスチックの使用禁止の共同声明を発表
Jambeck, <i>et al.</i>	2015	2010年のプラスチックごみの海洋への排出量に関する報告
国際連合	2015	パーソナルケア製品中のマイクロビーズの排除・禁止を勧告
アメリカ	2015	マイクロビーズを含むパーソナルケア製品や化粧品の製造および販売を禁止する“マイクロビーズ除去海域法”を制定 2017/7～マイクロビーズ製造禁止 2018/7～販売を含め全面禁止
G7	2015	海洋ごみ問題へのG7行動計画を発表
台湾	2016	マイクロビーズ入りパーソナルケア製品の販売禁止の方針発表, 2018/7～輸入, 生産の禁止, 2020～販売の全面禁止
オーストラリア	2016	2017年からパーソナルケア製品へのMPsの使用禁止
イギリス	2016	2017年末までにマイクロビーズの使用を禁止する政策を発表
フランス	2016	マイクロビーズを含む化粧品を2018/1までに禁止することを欧州委員会に通知→2017/3に法令として公布
韓国	2016	マイクロビーズ入り化粧品の使用禁止を通知→2017/7から製造・輸入禁止, 2018/7から販売禁止
カナダ	2017	2018/1からマイクロビーズを含むパーソナルケア製品の製造・輸入の禁止。2018/7から販売禁止
欧州委員会	2017	環境中へのMPs放出を削減するための調査オプションを協議
国連環境計画	2017	使い捨てプラスチックや化粧品中のMPs削減などへのキャンペーン「#Clean Sea Campaign」を開始
ベルギー	2017	消費者製品中のMPs使用禁止の対象拡大を検討
ニュージーランド	2017	マイクロビーズを含むパーソナルケア製品の製造・販売を2018/7～禁止する法案を提出→2018/6/7から禁止に
民間企業	2018	マクドナルド, スターバックスなどがプラスチック製ストローを段階的に廃止することを発表
G7	2018	G7海洋プラスチック憲章が承認
イタリア	2018	2020年からMPs入り化粧品の製造・販売を禁止する計画を発表
カリフォルニア州	2018	製品中に50パーセント以上のポリエステル繊維を含む衣料品に, 洗濯の際に微小な繊維が発生することをラベルにて警告するよう義務付ける条例を発行
スウェーデン	2018	2018/7～MPs入りの化粧品などの販売禁止と海洋プラスチックごみ回収のための助成金の自治体への交付を発表

止が話題になった。他の企業も次々に自主規制の方針を発表している。

1.3 国内の動向

マイクロプラスチックに関する日本の動向をTable 2に示す。日本においては1993年に現経済産業省の監修により、「樹脂ペレット漏出防止マニュアル」が作成され、関連団体（日本プラスチック工業連

Table 2 マイクロプラスチックに関する国内の動向

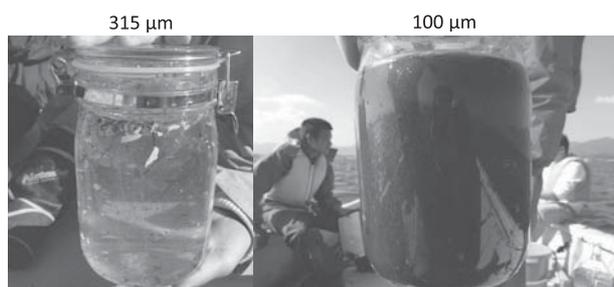
機関・研究者	年	内容
通商産業省	1993	樹脂ペレット漏出防止マニュアルの作成
日本化粧品工業連盟	2016	会員企業に対してスクラブ製品へのマイクロビーズ使用の自主規制を要求
日本プラスチック工業連盟	2017	プラスチック海洋ごみ問題の解決に向けた宣言活動を開始
国土交通省	2018	下水道に紙おむつを流すことを検討
環境省	2018	「プラスチック・スマート — for Sustainable Ocean —」キャンペーンの立ち上げ
日本政府	2018	プラスチック資源循環戦略を盛り込んだ第四次循環型社会形成推進基本計画の閣議決定
京都府亀岡市	2018	かめおか プラスチックごみゼロ宣言の発表
日本政府	2018	海岸漂着物処理推進法にマイクロプラスチック対策を盛り込む
神奈川県	2018	「かながわプラごみゼロ宣言」—クジラからのメッセージ—の発表
大阪市	2019	「おおさかプラスチックごみゼロ宣言」の発表

盟, 石油化学工業協会, 塩化ビニル工業協会, 日本ビニル工業会, 社団法人プラスチック処理促進協会, 日本プラスチック機械工業会) に対して, 海域, 河川, 湖沼へのプラスチックの漏出に対する注意喚起, マニュアルの周知徹底, 実行が開始された。2016年には日本化粧品工業連合会が会員企業に対して, 洗い流しのスクラブ製品におけるマイクロビーズの使用中止に向けた自主規制要求の文書を発信した。2017年には日本プラスチック工業連盟がプラスチックごみ問題への自主的な取り組み対象を樹脂ペレットからプラスチック製品にまで広げた「プラスチック海洋ごみ問題の解決に向けた宣言活動」を開始し2018年12月時点で49の企業・団体が参加している。ここまで一次マイクロプラスチックに対する規制は企業や団体による自主規制主体で進展してきたが, 2018年からは環境省による「プラスチック・スマート — for Sustainable Ocean —」キャンペーンの立ち上げや, プラスチック資源循環の推進を目指したプラスチック資源循環戦略が盛り込まれた第四次循環型社会形成推進基本計画の閣議決定など, 国の機関主体でプラスチック問題への対策が始まりつつある。また地方自治体でも取り組みが始まりつつあり, 2018年12月に京都府亀岡市では2030年までに使い捨てプラスチックごみゼロのまちを目指した「かめおかプラスチックごみゼロ宣言」が発表された。今後, 法整備や規制, 対策が国や企業, 団体においてそれぞれ進められていくと予想される。

2. 調査および分析方法の現状と課題

2.1 水環境中の調査および分析方法の現状

2016年11月16日に琵琶湖北湖で2種類の目開き



琵琶湖北湖において2016年11月16日に採取

Fig.1 プランクトンネットの目開きの違いによる試料の違い

(315 μm と 100 μm) のプランクトンネットを引いた後、内側に残存した試料を Fig.1 に示す。左の写真は 315 μm メッシュのネットの試料であり、上部に浮遊している 5 mm 未満のプラスチック片がマイクロプラスチックである。右の写真は 100 μm メッシュのネットの試料である。緑色に濁っており、その大部分は植物プランクトンで動物プランクトンである。これらはマイクロプラスチックの分析において夾雑物となる。海洋の多くの研究者が目開き 300 μm のネットを使用しているのは、これらの夾雑物質を省くためである。著者らは過酸化水素水やフェントン反応、比重分離などを行うことで、プラスチックを残した状態でこれらの夾雑物質を効率的に取り除く方法を検討してきた。その結果、環境水、底泥中や魚の消化管の中にある 10 μm レベルのマイクロプラスチックについての挙動を報告している。また、下水流入水、放流水についても 10 μm レベルのマイクロプラスチックの挙動について報告している。現在は、より小さな 1 μm レベルのマイクロプラスチックの前処理、分析方法を検討しており、水道水中のマイクロプラスチックの挙動を分析中である。

2.2 調査および分析方法の課題

試料別に適切な前処理を施すことで添加回収試験の回収率が上がる。添加する標準品についても、白色や透明なものを添加するよりも、カラー粒子や蛍光発色する粒子を添加した方が回収率が高くなる傾向にある。今後はどのような標準物質を添加することを標準の試験法とするかなどの検討が必要になる。

成分の同定については、自動化による分析時間の短縮が課題である。現在、FTIR (フーリエ変換赤外分光光度計) -ATR (全反射測定法) によるマニュアル分析が主流であり、1 検体あたりにかかる分析時間が長くなる傾向にある。また、目視できないサイズ (数十 μm レベル) については、顕微 FTIR によるマッピング機能を用いてマニュアル分析、イメージングによる自動分析などが行われている。

顕微 FTIR による分析の長所は、個々の成分同定が明確である点である。一方で短所としては、1 検体あ

たりにかかる分析時間が長くなる傾向が挙げられる。イメージングによる分析の長所は、1 検体あたりにかかる分析時間が短いことが挙げられる。一方で夾雑物が多い試料を対象とするとスペクトルが弱いため成分同定が難しくなることが多い。両手法の長所を取り合わせた分析方法がイメージング FTIR による分析方法である。適切な前処理を合わせた迅速な自動分析方法の開発が求められており、各マニュアル分析方法の結果と、自動分析方法の結果を相互比較することで、各自動分析方法の欠点を補う前処理方法を開発する必要がある。その際、添加回収試験により定量的な評価を行うことが重要である。

3. 水環境中の汚染の現状

表層水中のマイクロプラスチック汚染の現状について Fig.2 に整理する。表層水試料を対象とした文献 37 報のうち、川を対象としたものが 12 報、湖が 7 報、ダムが 2 報、海が 17 報、北極の氷が 1 報であった。川や湖などの淡水域の文献は比較的年代の新しいものが多くみられた。またヨーロッパを調査地点とした文献は 11 報、北アメリカ 5 報、南アメリカ 1 報、アジア 9 報、オーストラリア 1 報、太平洋海域 5 報、大西洋海域 4 報、地中海 2 報、北極海 2 報、その他諸海域 5 報であった。

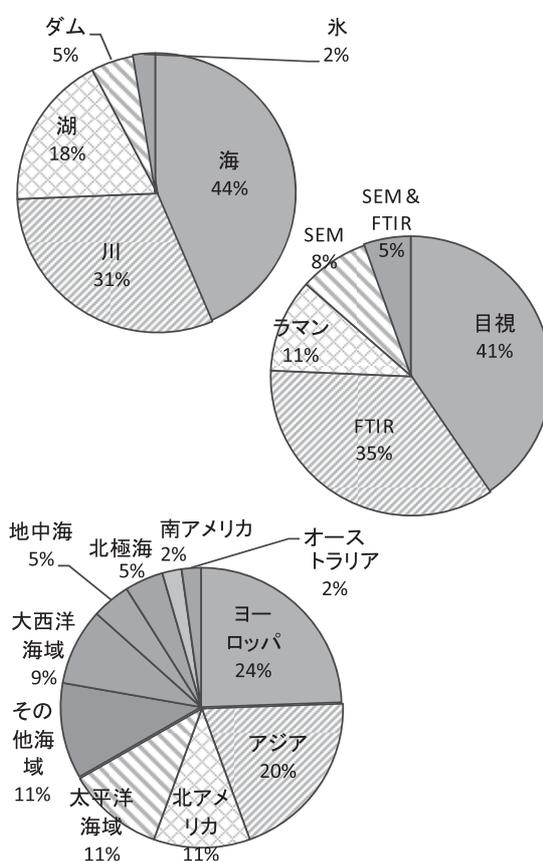


Fig.2 表層水中のマイクロプラスチックに関する文献のまとめ

マイクロプラスチックの個体数密度の単位について、“MPs 個/m³”とマイクロプラスチックの個数を容積当たりで算出しているものと、“個/km²”と面積当たりで算出しているものと大きく2分された。マイクロプラスチックの形状については11報で報告されており、主に“fiber”、“fragment”、“film”、“foam”、“granule”に分類されていた。マイクロプラスチックの成分は、主に顕微鏡を用いた目視、SEM（走査型電子顕微鏡）、FTIR、ラマン分光光度計などによってそれぞれ判別されていた。そのうち目視による文献が15報、SEMによるものが3報、FTIRによるものが13報、ラマンによるものが4報、SEMとFTIRを組み合わせているものが2報であった。測定した粒子を化学的手法でプラスチックであると判定していたのは、約51%の文献のみであった。

表層水中のマイクロプラスチック個体数密度をFig. 3に示す。表層水を対象にし、かつ個体数密度単位を個/m³で示していた文献を対象とした。最小測定対象粒径が調査によって異なり、10~1,000 μmであった。最小測定大量粒径が1,000 μmの結果は0.02, 0.03 個/m³であった。最小測定対象粒径が1桁小さくなるに伴い、マイクロプラスチックの個体数密度が約3桁大きくなる傾向が示された。Leslie, H. A., *et al.*¹⁸⁾はオランダの河川と運河で最小10 μmのマイクロプラスチックを計測し、100,000 個/m³であったと報告している。

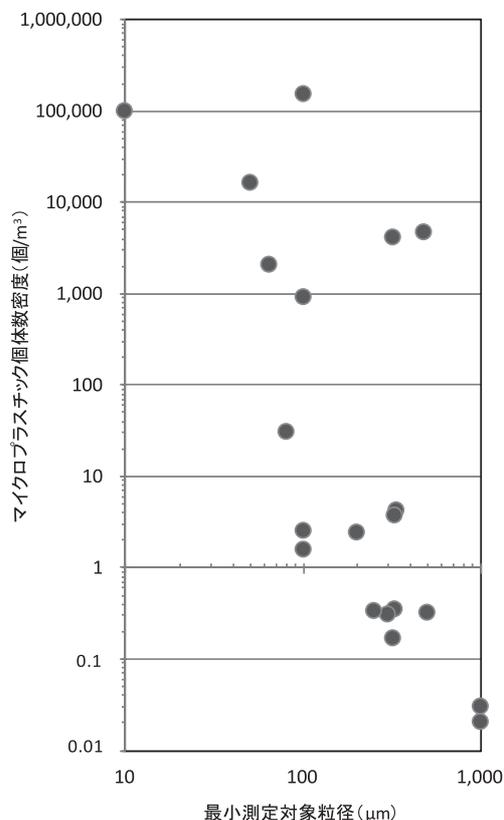


Fig. 3 表層水中のマイクロプラスチック個体数密度と最小測定対象粒径との関係

100 μm を最小測定対象粒径として調査した例は4つあり、1.6 個/m³ (日本河川)¹³⁾、2.6 個/m³ (アメリカ河川)¹²⁾、910 個/m³ (アメリカ河川)¹²⁾、152,000 個/m³ (北海)¹⁴⁾であった。このように同じ最小測定対象粒径の調査結果であっても、データのばらつきが大きく、“Data Gap”と呼んでいる。4つの調査の中で、北海の調査では目視でマイクロプラスチックの判別が行われており、同定方法が異なったことがData Gapを生んだ一つの要因と考えられるが、その他にも、前処理方法の違いや回収率の違い、100 μm よりも小さな粒径を対象とする場合は、クリーンルームの有無なども結果に影響してくる。これらを含めた統一した測定方法の確立が求められている。

今回は表層水中のマイクロプラスチック汚染の現状と課題を記した。測定対象が底泥、下水、下水汚泥、生物などと異なると、それぞれに分析前処理方法の開発が必要となる。

参考文献

- 1) Sadri, S. S., Thompson, R. C., 2014. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Mar. Pollut. Bull.* 81, 55-60.
- 2) Carson, H. S., Nerheim, M. S., Carroll, K. A., Eriksen, M., 2013. The plastic-associated microorganisms of the North Pacific Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 75 (1), 126-132.
- 3) Lechner, Aaron, *et al.* “The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river.” *Environmental Pollution*, 188 (2014) : 177-181.
- 4) Di, Mingxiao, and Jun Wang. “Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China.” *Science of The Total Environment*, 616 (2018) : 1620-1627.
- 5) Baldwin, Austin K., Steven R. Corsi, and Sherri A. Mason. “Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology.” *Environmental science & technology*, 50. 19 (2016) : 10377-10385.
- 6) Dris, Rachid, *et al.* “Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris.” *Environmental Chemistry* 12. 5 (2015) : 592-599.
- 7) Isobe, Atsuhiko, *et al.* “East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics.” *Marine pollution bulletin*, 101. 2 (2015) : 618-623.
- 8) Zhao, Shiye, *et al.* “Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: first observations on occurrence, distribution.” *Marine pollution bulletin*, 86. 1-2 (2014) : 562-568.
- 9) Lima, A. R. A., M. F. Costa, and M. Barletta. “Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary.” *Environmental Research*, 132 (2014) : 146-155.
- 10) Lusher, Amy L., *et al.* “Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples.” *Scientific reports*, 5 (2015) : 14947.
- 11) Lusher, A. L., Burke, A., O’Connor, I., Officer, R., 2014. Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Mar. Pollut. Bull.* 88 (1-2), 325-333.

- 12) Kapp, Kirsten J., and Ellen Yeatman. "Microplastic hotspots in the Snake and Lower Columbia rivers: A journey from the greater Yellowstone ecosystem to the Pacific Ocean." *Environmental Pollution*, (2018).
- 13) Kataoka, Tomoya, *et al.* "Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan." *Environmental Pollution*, 244 (2019) : 958-965.
- 14) Dubaish, Fatehi, and Gerd Liebezeit. "Suspended microplastics and black carbon particles in the Jade system, southern North Sea." *Water, Air, & Soil Pollution*, 224. 2 (2013) : 1352.
- 15) Dris, Rachid, *et al.* "Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris." *Environmental Chemistry* 12. 5 (2015) : 592-599.
- 16) Desforges, J. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P. S., 2014. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 79, 94-99.
- 17) Song, Y. K., Hong, S. H., Kang, J. H., Kwon, O. Y., Jang, M., Han, G. M., *et al.*, 2014. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. *Environ. Sci. Technol.* 48 (16), 9014-9021.
- 18) Leslie, H. A., *et al.* "Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota." *Environment international*, 101 (2017) : 133-142.