

2-5-2 下水道におけるマイクロプラスチック調査の動向について

施設管理部 環境管理課 高橋 昌史

1. マイクロプラスチックとは

1.1 はじめに

1970年代初頭より海洋を浮遊するプラスチックごみの存在が報告されていた。海洋プラスチックごみが環境に及ぼす影響について下記4点が考えられる。

第一に海洋生物への影響である。海洋生物に海洋プラスチックごみが絡まり、摂餌できなくなる障害が発生している。また、海洋プラスチックごみを海洋生物が餌と誤って捕食することにより、栄養失調や餓死に至る。

第二に海洋プラスチックごみ処理の問題である。プラスチックごみが海洋へ流出すると、回収不可能な場所へ流達することがある。また、海洋プラスチックごみを回収しても未分別で汚れが付着しているなど、リサイクル不可能な場合が多い。

第三に化学物質拡散の影響である。プラスチックには親油性があり、PCB等の化学物質を吸着しやすい。そのため、化学物質を吸着した海洋プラスチックごみが海洋を浮遊することで、広範囲に化学物質が拡散する。

第四に化学物質による海洋生物汚染の問題である。化学物質を吸着した海洋プラスチックごみを海洋生物が摂取することにより、化学物質が生物体内に取り込まれて蓄積し、影響が生じる。さらに、生態系を通じて化学物質の生物濃縮を引き起こす。

現在のところ、海洋プラスチックごみに化学物質が吸着し、海洋を浮遊していることは調査で明らかになっているが、吸着した化学物質による生物への影響等についてはまだ不明である。

1.2 G7等における海洋プラスチックごみへの対応

国際的に海洋プラスチックごみ問題が注目されるようになったのは2015年6月のG7エルマウ・サミット首脳宣言からである。その後、2018年5月G7シャルルボア・サミットにおいて採択された海洋プラスチック憲章を契機に、わが国でも海洋プラスチックごみのうちのマイクロプラスチックに関して問題意識を持つようになった。2019年6月のG20大阪・サミットにおいても「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」を共有し、世界的に海洋プラスチック対策に取り組んでいる。

1.3 マイクロプラスチックの定義

マイクロプラスチックとは、国連の海洋汚染専門家会議（GESAMP）において、1nm～5mmのプラスチックと定義されている¹⁾。このうち、5mm以下で製造されたものを「一次マイクロプラスチック」、5mm以上のプラスチック製品が破碎・細分化したものを「二次マイクロプラスチック」と分類している。

一次マイクロプラスチックは、研磨剤や化粧品、衛生用品等幅広い用途で使用されているが、非常に微細であるため、いったん環境中へ流出すると、回収が困難である。

二次マイクロプラスチックは、プラスチック製品が不法投棄や事故により河川や海洋、陸域に排出された後、波や風などの物理的作用や紫外線などの化学的作用を受けて劣化し、微細化することで発生する。二次マイクロプラスチックの発生抑制対策として、廃棄物管理やリサイクルの推進等に関する普及啓発が有効である。

1.4 国内外のマイクロプラスチック規制について

2015年のG7エルマウ・サミットを契機に、国外では中国や東南アジア諸国において廃プラスチック輸入が禁止された。また、かつては歯磨き粉等の日用品にマイクロプラスチックが含まれていたが、2016年頃より国内外の各メーカーが自主的に不使用としている。

国内では、2018年6月に海岸漂着物処理推進法^{※1}が改正され、日用品に含まれるマイクロプラスチックの使用抑制等に努めることとなった。また、東京都廃棄物審議会は2019年10月、当面、都が取り組むべきプラスチック対策として、使い捨てプラスチックの削減や廃プラスチックの適正な処理・有効利用を確保するための緊急的対応等を取りまとめた。

※1 美しく豊かな自然を保護するための海岸における良好な景観及び環境の保全に係る海岸漂着物等の処理等の推進に関する法律

2. マイクロプラスチック調査方法

海洋、河川、下水のマイクロプラスチック調査方法の概要は図1のとおりであり、詳細は各試料で異なるが、操作はほぼ同様である。

海洋におけるマイクロプラスチック調査方法は、日本海洋学会やアメリカ海洋大気局(NOAA)等が調査手法を提案しており、世界中で統一手法による調査が進められている。また、河川におけるマイクロプラスチック調査方法についても、現在、環境省が統一手法を検討している。

一方、下水試料については、まだ統一した調査手法の検討がなされておらず、各研究者が独自の方法で調査している。

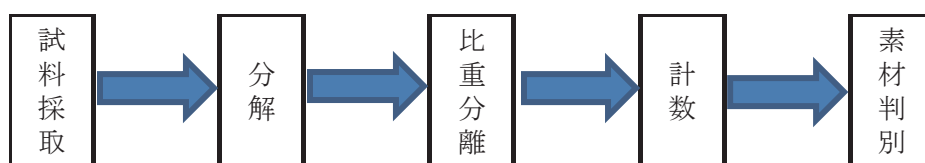


図1 マイクロプラスチック調査方法

2.1 試料採取

プランクトンネット等を用いて試料水をろ過し、水中のマイクロプラスチック粒子を捕集する。海洋における調査では、目開き300 μ mを使用し、数十～数千 m^3 の海水をろ過している。河川における調査でも、目開き300 μ mを用いた調査事例が多い。

一方、下水試料の調査では、目開き20～300 μ mと、研究者により異なっている。また、試料採取量も各研究者により異なり、流入水で数L～100L程度、放流水では数L～数十 m^3 程度である。

2.2 分解

海洋や河川の試料では、下水試料と比較して有機物が少ないので、分解操作を省いた調査事例が多い。

一方、下水試料はマイクロプラスチック以外の有機物（油分やタンパク質等）を多く含有するため、測定にあたり、これらの有機物を分解・除去することが必要である。一般的には、過酸化水素やフェントン試薬などの試薬を用いてマイクロプラスチック以外の有機

物のみを分解する。しかし、試薬の種類、分解温度や分解時間等は、各研究者で異なっている。

2.3 比重分離

分解後の試料中には微細な砂等が含まれるため、ヨウ化ナトリウム溶液等を用いてマイクロプラスチックを比重分離する（図2）。比重分離の手法については、海洋、河川、下水ともに操作手順がほぼ同じである。

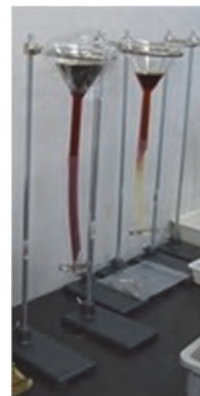


図2 比重分離

2.4 計数

顕微鏡（実体顕微鏡等）を用いて試料中粒子数を計数する。その際、粒子の形状、サイズも同時に計測する。計数の操作については、海洋、河川、下水ともに同じである。

2.5 素材判別

計数した粒子の素材は、FT-IR等を用いて判別する。素材判別の操作は、海洋、河川、下水試料でほぼ同じだが、測定対象となる試料粒子のサイズにより、使用する機器が異なる。

FT-IR（図3）は概ね300 μ m以上の粒子の素材を判別することが可能であり、海洋や河川等の調査ではFT-IRを用いて測定している。

近年、FT-IRに顕微鏡が附属した顕微FT-IR（図4）が製品化された。下水試料の調査では、目開き300 μ m以下で試料を採取しており、この機器を用いると、10 μ m程度以上の粒子の計数と素材判別を同時に行うことが可能である。1 μ m程度以上の粒子の測定にはラマン分光光度計（図5）を用いるが、調査事例がまだ少ない。

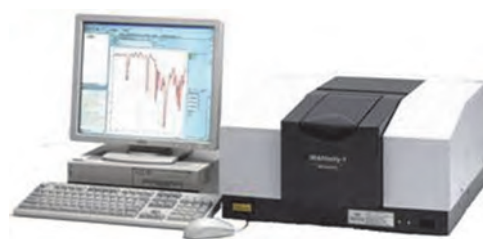


図3 FT-IRの例



図4 顕微FT-IRの例

図5 ラマン分光光度計の例

3. 下水試料中のマイクロプラスチック調査結果

3.1 マイクロプラスチック濃度

文献等から収集した下水処理場流入水及び放流水中のマイクロプラスチック測定結果を表1に示す。試料採取用ネットの目開きサイズにより調査結果は異なっており、目開きが小さくなるほど微小な粒子を補足するため、濃度が高くなる傾向にある。目開きが100 μ m程度以下の場合、下水処理における除去率は概ね95%以上であった

表 1 下水試料中のマイクロプラスチック濃度

地域・国	目開き [μm]	マイクロプラスチック濃度 [個/L]		除去率 ^{※2} [%]	備考
		流入水	放流水		
横浜市 ²⁾	300	0.014	0.006	57.1	
関西地方 ³⁾	100	0.60	0.029	95.1	砂ろ過
カナダ ⁴⁾	64	31.1	0.5	98.4	
イタリア ⁵⁾	63	2.5	0.4	84.0	砂ろ過
アメリカ ⁶⁾	60	57.6	1.0	98.3	
アメリカ ⁷⁾	20	113.5	4.3	96.2	二次処理
アメリカ ⁷⁾	20	83.3	0.5	99.4	MBR
フィンランド ⁸⁾	20	640	0.6	99.9	生物膜ろ過

※2 流入水に対する放流水の除去率

3.2 マイクロプラスチックの粒径分布等

フィンランドの下水処理場において、各処理工程のマイクロプラスチック負荷量、粒径分布、形状を調査した事例を以下に示す。

調査対象の処理場では、最終沈殿池流出水を生物膜ろ過処理し、放流している。また、最初沈殿池汚泥、余剰汚泥は消化処理した後に脱水し、脱水汚泥を処理場外へ搬出している。

下水処理場におけるマイクロプラスチック負荷量を図 6 に示す。

流入水量：270,000m³/日

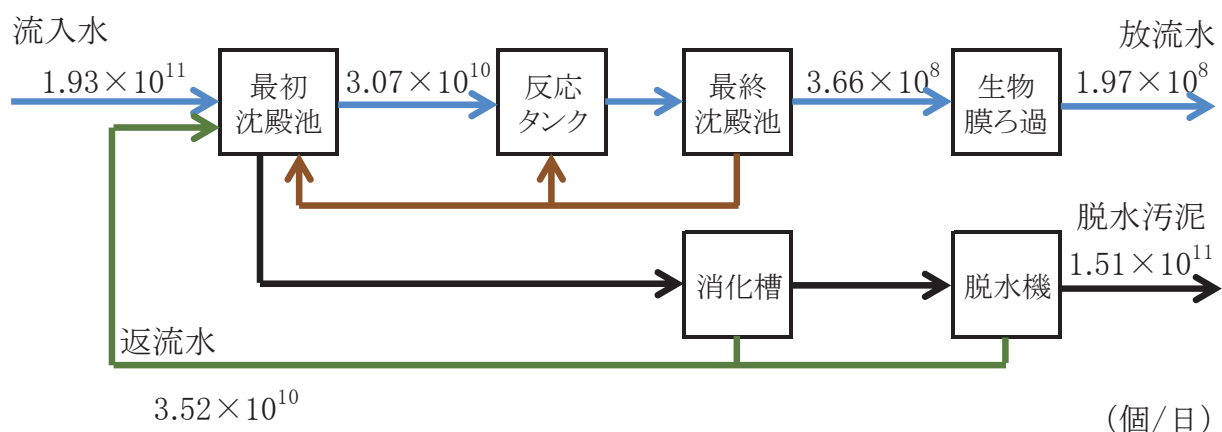


図 6 マイクロプラスチック負荷量

返流水中に含まれて最初沈殿池へ戻る負荷量が大きいが、流入水及び返流水中のマイクロプラスチックの約 85%が最初沈殿池で除去されていた。また、最終沈殿池流出水では、最初沈殿池流出水中マイクロプラスチックの約 99%が除去されていた。

下水試料中のマイクロプラスチックの粒径分布、形状を図 7、図 8 に示す。

下水試料中のマイクロプラスチックの粒径分布について、流入水では 300 μm 以上の粒子も 20%程度含まれていたが、最初沈殿池流出水以降では 100 μm 以下の粒子が 70~80%

を占めていた。また、形状については、流入水では繊維状が約 70%を占めていたが、最初沈殿池流出水以降では 30~50%まで低下する一方、破片状の割合が増加していた。

他の調査事例においても、各処理工程におけるマイクロプラスチックの除去率や粒径分布等は、同様の傾向を示していた。

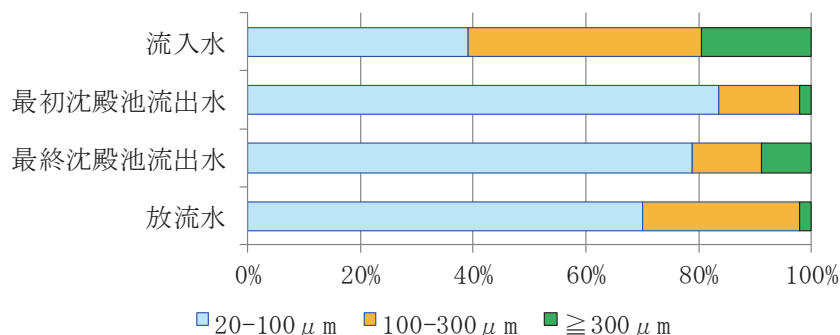


図 7 マイクロプラスチックの粒径分布

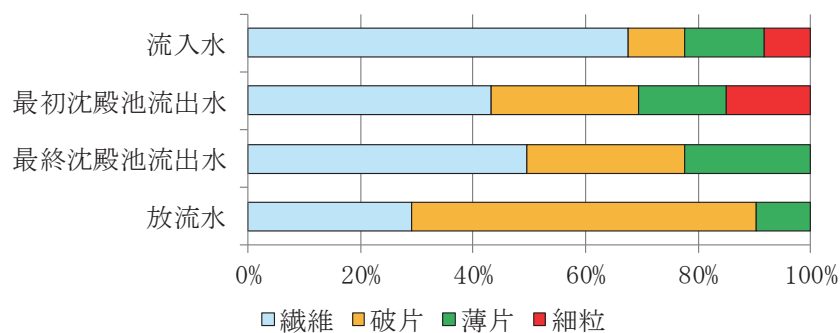


図 8 マイクロプラスチックの形状

4. 当局におけるマイクロプラスチックへの今後の対応

現在、海洋における調査手法は確立されているが、下水試料の調査手法はまだ確立されていない。特に、試料採取に使用するネットの目開きサイズが各研究者で異なるため、得られた測定結果の比較が不可能である。国土交通省は、2018年度より情報収集や下水処理場における実態調査に着手し、基礎的知見の把握に努めている。

当局では、引き続きマイクロプラスチックに関する国内外の情報収集に努める。

参考文献

- 1) GESAMP, Reports and Studies 90 "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: a Global Assessment", pp.14-29, International Marine Organization, London, 2015
- 2) 小橋江里, 石田隆二, 下水道におけるマイクロプラスチックの基礎的調査, 第 56 回下水道研究発表会講演要旨集, 2019
- 3) 田中周平, 垣田正樹, 雪岡聖, 藤井滋穂, 鈴木裕識, 高田秀重, 下水処理工程におけるマイクロプラスチックの挙動と負荷量の推定, 水環境学会講演要旨集, 2019
- 4) Esther A., Gies, Jessica L. LeNoble, Marie Noël, Anahita Etemadifar, Farida

- Bishay, Eric R. Hall, Peter S. Ross, Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 553-561, 2018
- 5) Stefano Magri, Andrea Binelli, Lucia Pittura, Carlo G. Avio, Camilla D. Torre, Camilla G. Parenti, Stefania Gorbi, Francesco Regoli, The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant, *Science of the Total Environment*, 652, 602-610, 2019
- 6) Kenda Conley, Allan Clum, Jistine Deepe, Haven Lane, Barbara Beckingham, Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year, *Water Research X*, 3, 100030, 2019
- 7) Marlies R. Michielssen, Elien R. Michielssen, Jonathan Ni, Melissa B. Duhaime, Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed, *Environmental Science : Water Research & Technology*, 2, 1064-1073, 2016
- 8) Julia Talvitie, Anna Mikola, Outi Setälä, Mari Heinonen, Arto Koistinen, How well is microlitter purified from wastewater?-A detailed study on the stepwise removal of microliter in a tertiary level wastewater treatment plant, *Water Research*, 109, 164-172, 2017