

〈特集〉

相模湾沿岸及び流入河川のマイクロプラスチック汚染の実態及び有機フッ素化合物の吸着

三島 聡子¹⁾, 池貝 隆 宏²⁾¹⁾ 神奈川県環境科学センター 調査研究部
(〒 254-0014 平塚市四宮 1-3-39 E-mail: mishima.dtx@pref.kanagawa.jp)²⁾ 湘南地域県政総合センター 環境部
(〒 254-0073 平塚市西八幡 1-3-1 E-mail: ikegai.gt76@pref.kanagawa.jp
元 神奈川県環境科学センター 調査研究部)

概 要

相模湾の漂着マイクロプラスチック (MP) 漂着実態及び有機フッ素化合物の MP 吸着について調査を実施した。漂着状態はポリエチレン (PE) とポリプロピレン (PP) が比較的多く漂着する海岸, PE と PP に比べてポリスチレン (PS) の量が多い海岸, 漂着量が少ない海岸の 3 つに区分できた。また, ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) 濃度が高い引地川下流の鶴沼海岸に漂着した MP において PFOS 吸着量が高かった。相模湾の MP は, 漂着実態及び化学物質吸着実態により, 近傍に流出する河川の影響が大きいと推定した。

キーワード: マイクロプラスチック, 相模湾沿岸, 流入河川, 有機フッ素化合物

原稿受付 2019.12.20

EICA: 24(4) 40-44

1. はじめに

海洋プラスチックごみの中でも最近特に問題となっているのがマイクロプラスチック (MP) である。MP はサイズが 5 mm 以下のプラスチック片の総称であり, 工業原料の樹脂ペレットやスクラブ剤としてパーソナルケア製品に添加されるマイクロビーズなどの一次 MP と, プラスチック製品や化学繊維等がごみとして排出された後に環境中で細片化し破片となった二次 MP に大別される。MP の海洋中の総量はおよそ 5 兆個, 日本が面する北太平洋だけでも 2 兆個弱¹⁾といわれている。プラスチックは疎水性であるために PCB などの残留性有機汚染物質との親和性が高く, MP は海水中に微量に存在するこれらの有害物質をその表面に吸着し, 比重が軽いものは海面に浮いて, 海流に乗ってこの有害物質を遠隔地まで運んでいくという報告²⁻⁴⁾もある。魚類による捕食も確認^{5,6)}されており, 東京湾産のカタクチイワシのおよそ 8 割の消化管から MP が見つまっている。2017 年の G7 環境大臣会合等の国際会議から, MP の漸進的削減を進めることが国際的に合意され, MP を削減するための様々な取組が各国で行われるようになってきた。環境省でも MP 調査を 2015 年から行っているが, 主な対象は沖合に漂流している MP である。そこで, 神奈川県では, 2017 年から相模湾の漂着 MP 及び河川の流下 MP の調査を実施した。さらに, これまでの河川水調

査で高い濃度で検出された, 「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」(化審法) の第一種特定化学物質のペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) を含む有機フッ素化合物 (PFCs) を調査し, 漂着実態及び化学物質吸着実態により, 内陸からの MP の影響を推測した。

2. 調査方法

2.1 漂着マイクロプラスチックの調査地点及び採取方法

調査地点を Fig. 1 に示す。漂着 MP 調査は, 2017 年 5 月~2018 年 5 月にかけて, 田越川右岸の逗子海岸, 引地川右岸の鶴沼海岸, 相模川右岸の高浜台海岸, 酒匂川右岸の山王網一色海岸 (以下, 山王と称す) の相模湾沿岸の 4 海岸に東京湾側の平作川右岸の久里浜海岸を加えた 5 海岸を定点として調査した。満潮時の波打ち際の部分に漂着物が集積し, 帯状に連なっている満潮線の上に 40 cm 四方の採取区画を設定し, 区画内の表面の砂堆積物を約 3 cm の深さまで採取した。採取した砂堆積物は 4.75 mm メッシュで篩分けし, MP と思われるものをピンセットで採取し, 残った砂に水道水を加えて攪拌, 静置後に水面に浮いた MP と思われるものをピンセットで採取する比重分離を組み合わせて MP を分離した。検討の結果, MP 集積度の高い部分 (最大ベース) を採取し, 2 点を平均すれ

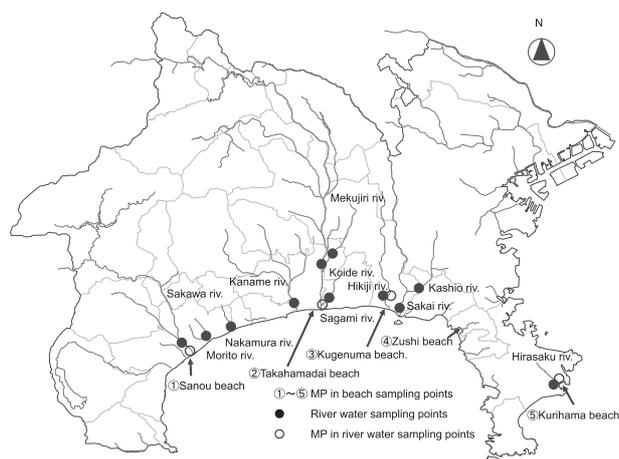


Fig. 1 Sampling points

ば、その海岸の代表性のあるデータが得られることが分かった⁷⁾。採取した砂堆積物から分離したMPは、1個ずつサイズを計測及び形態を確認し、赤外線吸収スペクトルを測定して材質を判別した。漂着MPの主要材質は、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP) 及びポリスチレン (PS) であったため、これ以外はすべて「その他」に区分した。PSについては、樹脂状のものと発泡したフォーム状のものに区分した。吸着したPFCsを分析するためのMPについては、4.75 mmメッシュのふるいを通し、2 mmのふるいの上に残った粒を試料とし、2017年の10月下旬から11月上旬の秋季、2018年の1月下旬から2月上旬の冬季、4月の春季及び6月下旬から7月上旬の夏季に採取した。

2.2 河川を流下するマイクロプラスチックの調査地点及び採取方法

Fig. 1に本研究における河川の流下MP採取地点を示す。高浜台海岸、鶴沼海岸及び久里浜海岸付近に流出する河川の、相模川馬入橋、引地川富士見橋及び平作川森崎橋で採取した。2018年の8月下旬から2019年の3月にかけて各地点とも4回採取した。

MP採取に当たっては、試料採取は、工藤らの方法⁸⁾に準じて目合300 μm のプランクトンネット（以下、ネットと称す。）を用いて流下する河川水を定位置で通水する方法を用いた。橋上から河川水に、ネットを下して、表層付近で5分間固定し、MPの採集を行った。通水量が少なく、ろ水計の精度範囲外となる場合には、橋上を往復することにより通水量をかさ増しする方法をとった。ネット中の採取物は、目合200 μm のふるいでろ過した河川水で洗い流しながらステンレス製の目合300 μm のふるい上に移した。

ネット中の採取物は、ふるいごと60°Cで12–24時間乾燥した。乾燥した採取物はシャーレに移して重量測定した後、MPと思われるものとその他に分け、前

者は漂着MPと同様にサイズ計測と材質判別を行った。材質を判別したMPは、材質ごとに重さを測った。

2.3 河川水中の有機フッ素化合物の調査地点

本研究で行った河川水等調査の地点をFig. 1に示す。県内の代表的な11河川の河川水について、2017年11月下旬から2019年の6月下旬にかけて、11月下旬の冬季及び6月下旬の夏季に調査を行った。地点については、取水堰、下流域又は本川合流点の手前の地点を選定した。

2.4 MPに吸着した有機フッ素化合物の抽出方法

材質及び形態を区分したMPのPFCs分析は、既報⁹⁾に示す方法で行った。また、既報⁴⁾にならい、5個を1組にして重量を測った後にPFCsを分析し、最大5組の中央値を値とした。各組について、0.1%アンモニア/メタノール溶液3 mLで、15分間超音波抽出を3回繰り返し、抽出液は、窒素吹き付けで0.5 mLに濃縮し、20 mL超純水の入ったガラス注射筒に加え、ギ酸を一滴加えた後、サロゲートを0.1 ng添加し、Presep PFC-IIに通液後、3000 min^{-1} で15分間の遠心分離、2分間の窒素ガス乾燥をした。その後、Presep PFC-IIの下にクリーンナップカートリッジInertSep GCを連結させ、0.1%アンモニア/メタノール溶液2 mLで溶出、4 mLの0.1%アンモニア/メタノール溶液で固相抽出に使用したガラス注射筒を洗浄した溶液も通液して合わせ、窒素吹き付けで0.1 mLに濃縮し、LC/MS/MSで分析した。

河川を流下するMPは、材質ごとに組にして、0.1%アンモニア/メタノール溶液3 mLで、15分間超音波抽出を3回繰り返し、抽出液は、窒素吹き付けで2 mLに濃縮し、サロゲート内標準物質を0.1 ng添加した後、クリーンナップカートリッジInertSep GCに通してクリーンナップした。また、4 mLの0.1%アンモニア/メタノール溶液でガラス容器を洗浄した溶液も通液して合わせ、窒素吹き付けで0.1 mLに濃縮し、LC/MS/MSで分析した。

2.5 水質中の有機フッ素化合物の分析方法

河川水等における有機フッ素化合物の分析は既報¹⁰⁾に準じて行った。試料500 mLにギ酸を加えpHを約3.5に調整した後、サロゲート内標準物質を5 ng添加し、Presep PFC-IIに通液後、0.1%アンモニア/メタノール溶液2 mLで溶出した。また、4 mLの0.1%アンモニア/メタノール溶液で固相抽出に使用したガラス容器を洗浄した溶液も通液して合わせた。溶出液が着色している場合は、クリーンナップカートリッジInertSep GC（ジーエルサイエンス(株)製）に通してク

リーンナップした。溶出液は、窒素吹きつけで 1 mL に濃縮し、LC/MS/MS で定量した。

3. 結 果

3.1 調査海岸の漂着マイクロプラスチックの状況

2017 年 5 月～2018 年 5 月にかけての各地点の春秋冬の MP 調査結果から、その地点の平均的な状況には、台風などの出水の影響が大きい秋及び北風の影響が大きい冬を除いた春の結果を用いることが適当であることが分かった¹¹⁾。2017 年 5 月及び 2018 年 5 月の結果を **Fig. 2** に示す。単位面積当たりの個数単位の漂着状況は、PE と PP が比較的多く漂着する高浜台と鶴沼、PE と PP に比べて PS の量が多い山王と久里浜、漂着量がそもそも少ない逗子、の 3 つに区分できた。海岸漂着 MP の種類や量に差異があることは、相模湾においては、外洋から運ばれてくる MP よりも、河川を通じて内陸から海岸に流れ出てくる MP の影響の方が大きいことを意味していると考えられる。また、全ての海岸において、材質は比重が 1 以下の PE、PP 及びフォーム状の水に浮く PS の合計で 7 割以上を占めた。単位面積当たりの重量単位の漂着状況については、5 つの海岸共に PE と PP の合計が多い傾向であった。

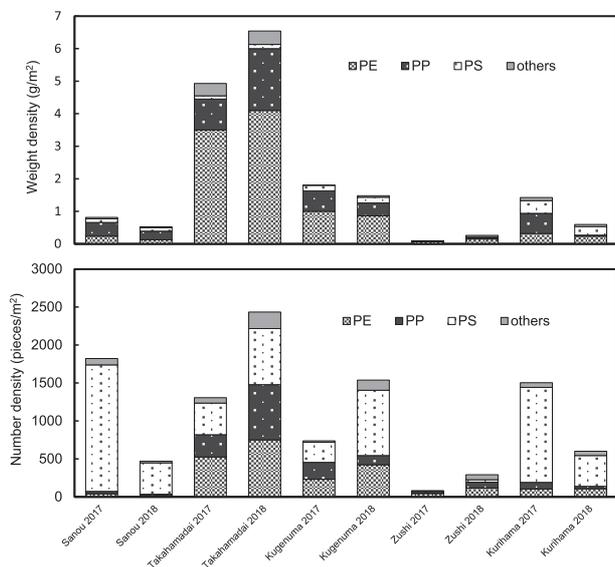


Fig. 2 MP in Sagami bay

3.2 河川を流下するマイクロプラスチックの状況

河川の流下 MP 量は日時によって変動しており、流下 MP 量は試料採取のタイミングに大きく左右された。各河川の流下 MP 量の通水量による加重平均値を求めると (n=4) 相模川 2.8 個/m³、引地川 2.7 個/m³、酒匂川 0.18 個/m³、平作川 1.3 個/m³となった。国内 29 河川を調査した Kataoka ら¹²⁾によれば、

MP 流下量は最大値 12 個/m³、最小値 0.0 個/m³、平均値 1.6 個/m³、中央値 7.9 個/m³である。本研究で得られた MP 流下量は、それらの値と比較して、平作川が平均的なレベル、相模川及び引地川は約 2 倍に相当するといえる。なお、相模川の流下 MP 量は、Kataoka らの先行研究¹²⁾では 0.30 個/m³であるが、試料採取点は相模大橋 (河口からの距離 14.5 km) であるのに対し、本研究の調査地点である馬入橋は河口付近にあり、市街地を流れる支川である玉川、永池川、目久尻川の合流点より下流に位置している。この流入支川の影響を受けたため、流下 MP 量が相模大橋より増加したものと考えられる。調査を行った 4 河川の中で流下 MP 量が最小となったのは酒匂川であり、相模川の 1/15 ほどであった。酒匂川は他の河川に比べて流域の人口や産業の集積度が低いいため、河川に流入する MP 量が少ないと考えられる。

対象河川の流下 MP の材質構成を **Fig. 3** に示す。材質別流下個数の状況は、4 河川とも比重が 1 以下の PE 及び PP が多く、約 6 割以上を占めた。海岸漂着 MP でも、比重が 1 以下の PE、PP 及びフォーム状の水に浮く PS の合計で 7 割以上を占めていた。MP の比重が水による MP の移動に影響し、MP 分布に違いが表れるものと考えられた。

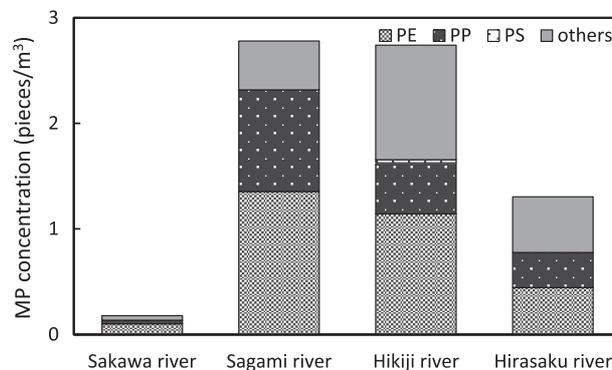


Fig. 3 MP in river water

3.3 マイクロプラスチックに吸着した有機フッ素化合物量及び河川水中の有機フッ素化合物濃度

各季節の各海岸の PE、PP、樹脂状 PS 及びフォーム状 PS への PFCs 吸着について、海岸により特徴がみられた PFOS の結果を **Fig. 4** に示す。樹脂状の PS は、高浜台海岸で秋、春、夏に、鶴沼海岸で冬、春、夏に採取できず、フォーム状 PS は鶴沼海岸で夏に採取できなかった。採取できなかったものについては、図中に※で示した。同一地点では、材質による PFOS の吸着の違いは明確に現れなかった。形態については、表面積が大きいフォーム状のものは樹脂状のものに比べて PFOS 濃度が高かった。各地点の同じ材質及び形態の濃度を比較すると、PE、PP、樹脂状 PS 及び

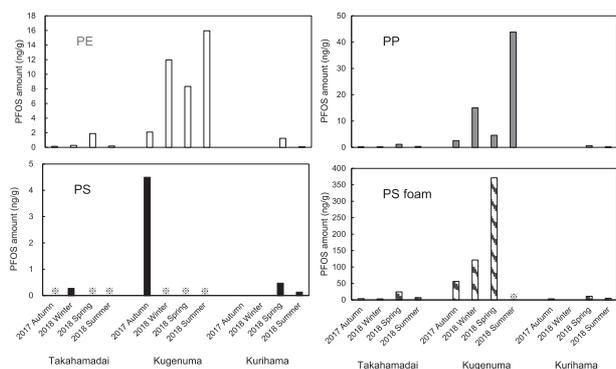


Fig. 4 PFOS amount on MP in Sagami Bay

フォーム状 PS のいずれも 鶴沼海岸が高かった。各地点の PFOS 濃度は、雨量の多い秋季のものが他の季節より低い傾向があった。

河川を流下する MP に吸着した PFOS については、採水日による明らかな違いがなかった。得られた値の中央値を Fig. 5 に示す。採取できなかったものについては、図中に※で示した。河川を流下する MP も、同一地点では、材質による PFOS の吸着の違いは明確に現れなかった。形態については、フォーム状 PS が採取できなかったため、PFOS の吸着の違いを比較できなかった。各地点の同じ材質及び形態の濃度を比較すると、PE, PP のいずれも引地川の富士見橋が高かった。

河川水の PFOS 濃度について Fig. 6 に示す。鶴沼海岸の近傍に流出する引地川は、調査した県内のほとんどの河川と比較して PFOS 濃度が 1 オーダー以上高い結果が得られた。相模湾の MP は、近傍に流出する河川の影響が大きいと考えられた。

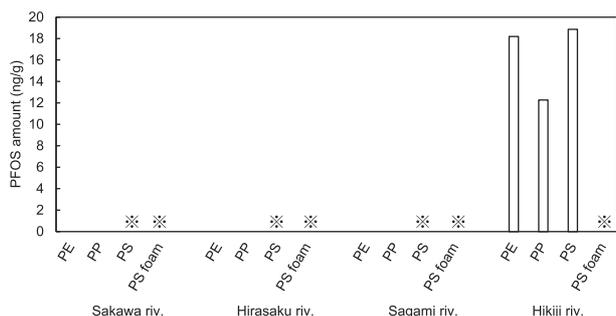


Fig. 5 PFOS amount on MP in river water

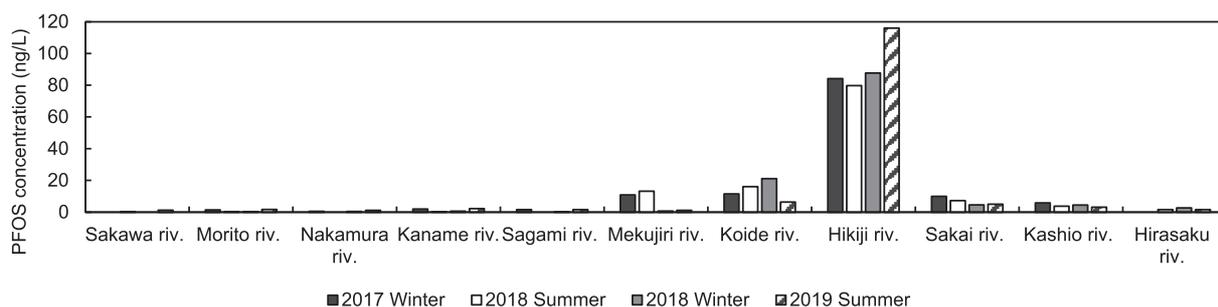


Fig. 6 PFOS concentration in river water

4. おわりに

相模湾の漂着 MP と河川の流下 MP の調査及び MP 吸着 PFCs の調査を実施した。漂着実態は 3 つに区分でき、PFOS 濃度が高い引地川下流の鶴沼海岸の MP の PFOS 吸着量が高いことから、相模湾漂着 MP では内陸からの MP の影響が大きいと推測した。

文 献

- 1) M. Eriksen, L. C. M. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, J. C. Borerro, F. Galgani and P. G. Ryan : Plastic Pollution in the World's Oceans : More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighting over 250,000 Tons Afloat at Sea, PLoS ONE, 9 (10 Dec.) e111913 (2014)
- 2) Y. Mato, T. Isobe, H. Takada, H. Kanehiro, C. Ohtake and T. Kamimura : T. Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment, Environ. Sci. Technol., Vol. 35, No. 2, pp. 318-324 (2001)
- 3) S. Endo, R. Takizawa, K. Okda, H. Takada, K. Chiba, H. Kanehiro, H. Ogi, R. Yamashita and T. Date : Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets : Variability among individual particles and regional differences, Mar. Pollut. Bull., Vol. 50, No. 10, pp. 1103-1114 (2005)
- 4) Y. Ogata, H. Tagata, K. Mizukawa, H. Hirai, S. Iwasa, S. Endo, Y. Mato, M. Saha, K. Okuda, A. Nakashima, M. Murakami, N. Zurcher, R. Booyatumanondo, P. Z. Mohamad, L. Q. Dung, M. Gordon, C. Miguez, S. Suzuki, C. Moore, H. K. Karapanagioti, S. Weets, T. McClurg, E. Burres, W. Smith, M. V. Velkenburg, J. S. Lang, R. C. Lang, D. Laursen, B. Danner, N. Stewardson and R. C. Thompson : International Pellet Watch : Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs, Mar. Pollut. Bull., Vol. 58, No. 10, pp. 1437-1446(2009)
- 5) C. M. Rochman, A. Tahir, S. L. Williams, D. V. Baxa, R. Lam, J. T. Miller, F. C. Teh, S. Werorilangi and S. J. Teh : Anthropogenic debris in seafood : Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. Sci. Rep., Vol. 5, 24 Sep., 14340 (2015)
- 6) K. Tanaka and H. Takada : Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. Sci. Rep., Vol. 6, 30 Sep. 34351 (2016)
- 7) 池貝隆宏, 長谷部勇太, 三島聡子, 小林幸文 : 海岸漂着量の評価のためのマイクロプラスチック採取方法, 全国環境研会誌, Vol. 42, No. 4, pp. 54-59, (2017)
- 8) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 日向博文, 島崎穂波, 馬場

- 大樹：日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 73, No. 4, pp. I1225-I1230 (2017)
- 9) 三島聡子：マイクロプラスチックに吸着した有機フッ素化合物の分析，神奈川県環境科学センター研究報告，Vol. 41, No. 1, pp. 23-30 (2018)
- 10) 三島聡子：神奈川県内の河川における有機フッ素化合物の実態，神奈川県環境科学センター研究報告，Vol. 39, No. 1, pp. 11-18(2016)
- 11) 池貝隆宏，三島聡子，菊池宏海，難波あゆみ，小林幸文：相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性，神奈川県環境科学センター研究報告，Vol. 41, No. 1, pp. 1-10, (2018)
- 12) T. Kataoka, Y. Nihei, K. Kudou and H. Hinata: Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan, Environ. Pollut., Vol. 244 (January 2019), pp. 958-965 (2019)