

論文 (Original)

相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性

池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海, 難波あゆみ, 小林幸文*
(調査研究部, *神奈川県環境科学センター)

The characteristics of drifting ashore about microplastics in the coastal area of Sagami Bay

Takahiro IKEGAI, Satoko MISHIMA, Hiromi KIKUCHI, Ayumi NAMBA, Yukifumi KOBAYASHI*
(Research Division, *Kanagawa Environmental Research Center)

Summary

In order to investigate the contamination status of microplastics in the coastal area of Sagami Bay, we surveyed the beached microplastics on the coast from May 2017 to May 2018 at 4 sites of Sagami Bay (Zushi, Kugenuma, Takahamadai and Sannou-Ami-Issiki) and 1 site of Tokyo bay (Kurihama). As a result, we confirmed the drifting ashore of 3 kinds of microplastics having characteristic shapes and estimated their sources. 2 of them were suspected of unsteady discharge, so we excluded them and determined the steady state of drift ashore of each coast. It was thought that part of the source of microplastics was industrial, agricultural and domestic use products, and the outdoor use plastic products turned out to be microplastics. Based on these circumstances, it is important to discuss comprehensive microplastics reduction measures from a broad perspective in order to realize a sustainable society.

Key Words : beached microplastics, amount of drift ashore, Sagami Bay, sources of microplastics

1 はじめに

あらたな海洋汚染問題として、マイクロプラスチック (MP) が近年注目を集めている。マイクロプラスチックはサイズが5 mm 以下のプラスチック¹⁾の総称であるが、材質や形態は多様である。MP は、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 に大別されるが、いずれもその原料は石油である。そのため、残留性有機汚染物質を吸着しやすいという特性を持ち、海洋中の PCB をおよそ10万倍に濃縮し、海面に浮いて遠隔地に輸送する働きがあることが明らかにされ²⁻⁴⁾、海洋生態系に対する脅威として認識されるようになった。

海中の MP の量は、プラスチックの流通量の増加とともに増大しており、現時点の海洋中の総量はおよそ5兆個⁵⁾といわれているが、これが均等に分布しているわけではない。日本近海ではその量が特に多く、全海洋平均値の27倍も

高い⁶⁾との指摘もある。2015年のエルマウサミット以降、MPの削減が国際的に議論されており、海外ではマイクロビーズの化粧品使用の禁止(米, 2015年)や使い捨てプラスチック容器の利用禁止(仏, 2016年)が法制化されるなどの対策が始まっている。こうした動きを背景に、海岸漂着物処理推進法の改正やプラスチック資源循環戦略の策定にむけた検討の開始など、国内でも削減に向けた取組が始まった。

MPは海流に乗って外洋から日本沿岸に運ばれてくるものもあるが、国内からも河川を通じてMPが海域へ流出している⁷⁾ことが報告されている。筆者らも神奈川県の南側に面した相模湾を対象に海岸に漂着したMP(以下、「漂着MP」という。)の調査を行い、海岸により漂着状況が異なっていることを確認し、その違いは内陸から湾内に流出したMP、すなわち内陸の発生源の違いが大きく影響している可能性が高いことを報告した⁸⁾。地域の特性に応じた国内対策を講じるには、こうした沿岸域のローカルなMP汚染状況を把握することが重要である。本研究では、相模湾沿岸に漂着したMPの

うち特徴的なものについて発生源の探索を行い、その漂着特性を検討した。

2 方法

2.1 漂着 MP 調査の考え方

MP による沿岸の汚染状態は、化学物質質量×分布量で表示できる。海洋環境に対するリスクを考える場合、この分布量は海域の漂流量として表示するのが基本と考えられるが、本研究では次に示す2つの理由により漂着 MP に着目し、分布量として海岸別の MP 漂着量を調査した。

1 点目は、湾内に漂流する MP の形成の場が海岸であると考えられることである。陸域近傍に漂流する MP は、サイズが数 mm 程度までは near-shore trapping により海岸漂着と流出を繰り返す⁹⁾、その過程で紫外線による光酸化分解により細片化が進行¹⁰⁾するが、数 mm 以下に破碎されると near-shore trapping が効かなくなり、沖合に広がる⁹⁾ことが知られている。漂着状況は漂流する MP を評価するうえで不可欠の情報といえる。

2 点目は、漂着状況は海岸線から 100 m 程度の陸域近傍の漂流状況を直接反映すると考えられることである。漂着量調査は、漂流量調査に比べて労力が少ないメリットがあるため、漂着状況＝陸域近傍の漂流状況のデータ蓄積により、湾内全般の漂流状況の推定の手がかりになると考えられる。

2.2 調査地点及び調査時期

MP 細片化の劣化反応は主に砂浜上で進行することから、本研究では砂浜海岸を対象に調査地点を選定した。相模湾は三浦半島の城ヶ島から真鶴岬まで約 80 km の海岸線を持ち、三浦半島の基部から西側に向けて比較的大きな砂浜海岸がある。その中から地点間の距離及び近傍の流入河川の位置を勘案し、東から逗子海岸（逗子市）、鶴沼海岸（藤沢市）、高浜台海岸（平塚市）及び山王網一色海岸（小田原市）の 4 地点、さらに比較のため東京湾側の久里浜海岸（横須賀市）を調査地点に選定した（Table 1 及び Fig.1）。相模湾では、黒潮分派流の一部が三浦半島の西岸を反時計回りに回るため¹¹⁾、その影響を考慮し試料採取点は近傍の流入河川の右岸側に設定した。

調査は、2017 年 5 月～2018 年 5 月に観光客

Table 1 List of survey point and sampling date

Beach (City Name)	Vicinity river	Beach width	Sampling date
Zushi (Zushi)	Tagoe Riv.	50 m	Spr.;5/25/2017
			Spr.;5/22/2018
Kugenuma (Fujisawa)	Hikiji Riv.	80 m	Spr.;5/9/2017
			Aut.;9/22/2017
			Wtr.;1/17/2018 Spr.;5/22/2018
Takahamadai (Hiratsuka)	Sagami Riv.	80 m	Spr.;5/31/2017
			Aut.;9/22/2017
			Wtr.;1/30/2018 Spr.;5/25/2018
Sannou-Ami-Issiki (Odawara)	Sakawa Riv.	120 m	Spr.;5/31/2017
			Wtr.;2/14/2018
			Spr.;5/25/2018
Kurihama (Yokosuka)	Hirasaku Riv.	20 m	Spr.;5/25/2017
			Spr.;4/24/2018

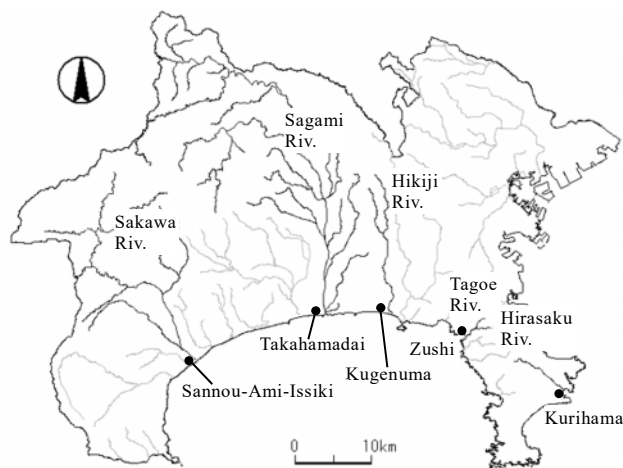


Fig.1 Sampling point.

の影響のない春、秋、冬に計 4 回実施した（Table 1）。秋期の調査は、出水期における年間最大と考えられる漂着状況を把握するため、2017 年台風 18 号が上陸し関東地方に最も接近した日（9 月 18 日）の 4 日後に行った。採取日は海岸清掃が行われる前であり、台風による漂着の状態を十分に保存していると考えられる。これ以外の試料採取日は、前 10 日間に平均風速 10 m/s 超、時間雨量 10 mm 超の強風、強雨がなかった日を選んだ。

2.3 試料採取、MP 分離及び分析方法

湾内に流出する砂浜上の MP は、潮汐と波の影響が直接及び満潮線上に存在することから、採取部位は原則として満潮線とした。試料採取から MP の材質判別までの手順を Fig.2 に示した。満潮線上の漂着物の多い部位を目視で 2 点

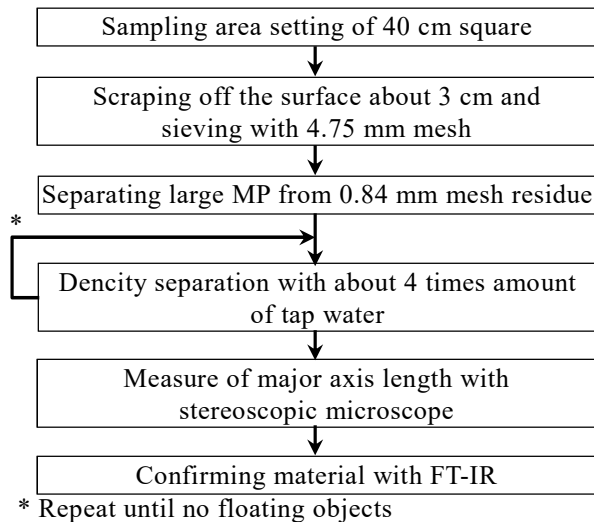


Fig.2 Procedure for separation and analysis of MP.

選び、そこに採取区画を設定し、表面の砂をすくい取り、4.75 mm メッシュのふるい通過物を試料とした。試料採取点は、局所的な海浜流系の影響を受けないよう 50 m 以上離れた。この試料採取法は、漂着物の多い部分に採取区画を設定することで均一に漂着しているわけではない MP の採取数のばらつきを減らし、2 点採取の平均を求めることで調査地点の代表性のある粒度分布が得られ、最大ベースの MP 漂着量として調査地点間の比較ができることを確認したものである¹²⁾。試料には短軸長さ 4.75 mm 未満かつ長軸長さがそれ以上のプラスチック片も含まれるが、これらのプラスチック片も MP に含めた⁸⁾。次に、0.84 mm メッシュのふるい残留物からあらかじめ大きな MP を分離後、水道水を用いて比重分離により水面に浮上した細かい MP を分離した¹²⁾。MP の判別は目視によるため、分離できるものは概ね 0.3 mm 以上の MP に限られる。これは、プランクトンネットを用いた漂流 MP 調査^{6,13)}の対象サイズ範囲とも整合している。なお、マイクロビーズのサイズは平均が 0.254 mm¹⁴⁾であるため、この分離法では分離できない。パーソナルケア製品に添加されるマイクロビーズの材質はポリエチレン (PE) であるが¹⁴⁾、4 期の調査で分離できたビーズ状の PE は、'18 春に採取された高浜台の 1 個 (粒径 810 μm) 及び鶴沼の 1 個 (同 850 μm) のみであった。サイズから判断して、これらの由来はパーソナルケア製品ではないと考えられた。

分離した MP は、OLYMPUS 製実体顕微鏡 SZ61 を使用し、分離した MP を 1 個ずつ顕鏡

して形状と色を分類し、長軸長さを計測して写真撮影した。MP の材質は、赤外吸収スペクトルで判別した。赤外吸収スペクトルの測定は、日本分光製赤外分光光度計 FT/IR-4600 を用いた ATR 法 (TGS 検出器) または同装置に赤外顕微鏡 IrtronμIRT-1000 を装着した顕微反射法 (MCT 検出器) を使用した。漂着 MP の主要材質は、PE、ポリプロピレン (PP) 及び発泡ポリスチレン (PS) であったため、これ以外はすべて「その他」に区分した。材質を判別した MP は、材質ごとに分けて採取点別の総量として重量を測定した。

3 結果及び考察

3.1 特徴的形態を有する MP の漂着

4 回の試料採取により、特徴的な形態を有する 3 種の MP の漂着が複数の海岸で確認された。その形態から、このうち 2 種は一次 MP、残る 1 種が二次 MP であった。これらは、形態的特徴から由来の推定が可能と考えられたため、その探索を行った。また、過去に行われた調査¹⁷⁾でも漂着が確認されている樹脂ペレットが今回の調査でも確認されたことから、これを含めて漂着特性を検討した。

3.1.1 微小ポリスチレン小球

粒径 0.8~1.5 mm 程度の PS 球 (Fig.3-1) の漂着が逗子を除く 4 地点で確認された。その形状から、発生源はビーズクッションの封入材 (Fig.3-2) であり、製造工程からの漏出ではなく、製品の廃棄時に封入材が環境中に漏出し、河川や雨水側溝を通じて海域に到達した一次 MP と推定された⁸⁾。PS 球の 4 期分の漂着状況を Fig.4 に示した。

山王網一色と久里浜では、'17 春に PS 球が大量に漂着しているのが確認されたが、'18 春は大幅に減少し、山王網一色では'17 春の 9%、久里浜では 6%となった。一方、鶴沼では'18 春は前年同時期の約 7 倍に増加した。これらのケースでは、全 MP に占める PS 球の比が他の時期と比べて特異的に高かった。この特徴から、PS 球の漂着は不定期に発生する封入材の漏出の影響を強く受けており、漏出後に一時的に漂着量が大きく増加するが、次第に沖合に流出して漂着量が減少し、大量漂着の影響は減衰すると考えられた。PS 球はサイズが小さく、near-



Fig.3-1 Beached PS spherules on the coast. Sampling point of these spherules was Sanno-Ami-Issiki. Scale bar represents 1 mm.



Fig.3-2 PS spherules in the cushion. Scale bar represents 1 mm.

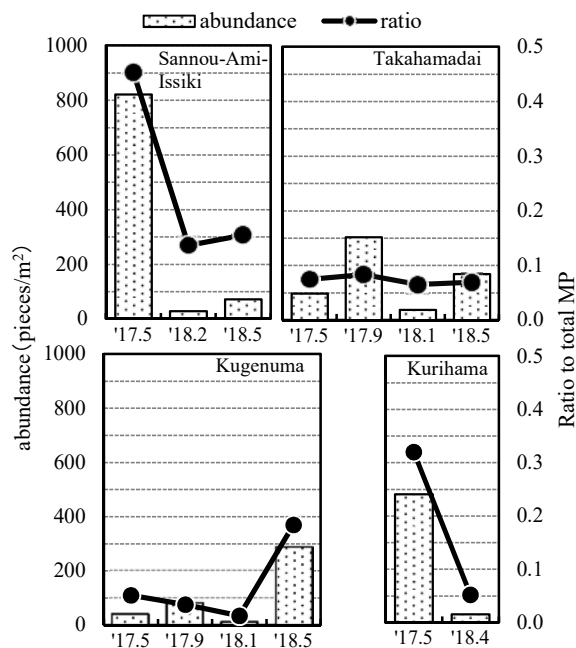


Fig.4 States of drifting ashore of PS spherules.

shore trapping の作用が強く働かないため、河川等から海域に出た後に一度は海岸に漂着するものの、比較的短時間のうちに沖合に運ばれたものと考えられた。

高浜台では全期間を通じて全 MP に占める PS 球の比がほぼ一定していた。'17 年秋は漂着量が多かったが、これは台風直後で全 MP の漂着量が春の約 3 倍に増加し、PS 球の漂着量も同じ割合で増加したことによるものと考えられた。'17 年秋の高浜台の漂着量は大量漂着によるものではなく、他の時期と同様に大量漂着の影響が減衰した状態にあたりと考えられた。

3.1.2 中空球状 MP

'18 春の山王網一色において、Fig.5 に示す中空球状 MP の大量漂着が確認された。その材質は、エチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) 又はポリエーテルウレタン (Polyurethane) のいずれかであった。量のごくわずかながら球体の形状を保持したものがあつたため、もとの製品の形状は球体と考えられたが、大部分は内容物を放出したために、Fig.5 に示したように空気が抜けてつぶれたボールのような形状を呈していた。しかし、破碎した形跡が見られないため、一次 MP と判別した。その形状から、この MP は樹脂系被覆肥料の被膜殻と推定し、神奈川県農業技術センターの協力によりこれを確認した。

この MP の'18 春の 5 地点の漂着状況を Fig.6 に示した。高浜台でも漂着は確認されたが、その量は山王網一色のわずか 2%であった。逗子と久里浜では漂着が確認されなかった。EVA の比率は、山王網一色が 54%、高浜台が 45%であった。Table 1 に示したように、'18 春の試料



Fig.5 Hollow spherical MPs. These MPs were sampled at Sanno-Ami-Issiki in May 25, 2017.

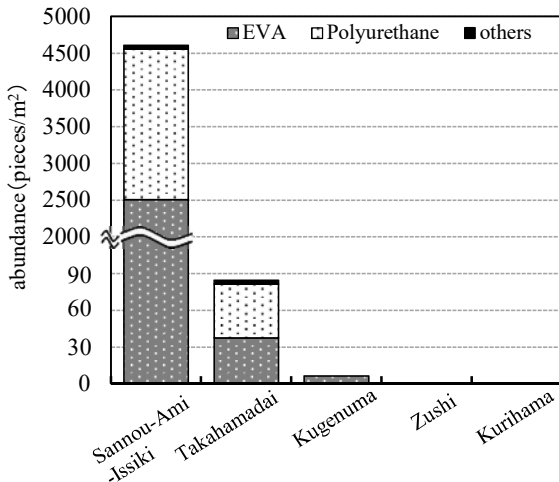


Fig.6 States of drifting ashore of hollow spherical MPs. Sampling time was spring 2017.

採取日は5月25日、'17春は5月31日と同時期であるが、'17春はどの海岸でも漂着は確認できなかった。神奈川県農業技術センターによれば、樹脂系被覆肥料は野菜栽培にも使われるが、神奈川県内では水稲栽培での使用が大部分とされる。2018年の施肥のタイミングは試料採取日より後になることから、漂着したMPは前年施肥の水田中残留物が代掻きの作業で流出したものと考えられた。近傍河川及び西向きの沿岸の潮流の状況から考えて、山王網一色は酒匂川、高浜台は相模川から流出したものが漂着したと推定された。'17春に漂着が見られなかったのは、試料採取とこの流出のタイミングのずれによるものと考えられた。

被膜殻の材質判別結果から、EVAはポリオレフィン系、Polyurethaneはポリウレタン系の樹脂系被覆肥料であると推定された。肥料成分溶出後の被膜材は圃場外への流出を抑えるため、生分解性や光崩壊性を高めた被膜材の利用が行われているとされるが¹⁵⁾、この調査結果からは、少なくとも1年間は被膜材の劣化がほとんど進行せずにもとの製品の形状が損なわれることなく環境中に蓄積しうると推定された。

神奈川県内の流域市町村の水田面積を比較すると、酒匂川流域の12.1 km²に対し、相模川流域は27.9 km²であり¹⁶⁾、水田面積は相模川流域が酒匂川流域の2倍以上ある。試料採取時点における漂着量を考えた場合、神奈川県内の場合代掻きのタイミングに大きな地域差はないと考えられることから、漂着量に差が見られたことは、樹脂系被覆肥料の利用地域に差があるこ

とを示唆しており、現在の主たる発生源は酒匂川流域の水田であると推定された。樹脂系被覆肥料は施肥の省力化が可能であるが、コストが高いため、県内の普及率はあまり高くないことから、施用地域に偏りが生じているものと考えられる。

以上のことから、樹脂系被覆肥料の被膜殻である中空球状MPの漂着は、時期的及び地域に大きな偏りがある特異的な漂着と考えられた。

3.1.3 緑色へら状MP

片面が曲面、裏側が平面状で細長く短軸側の一端がR形状（本稿では、これをへら状という。）の二次MPである緑色の破片が多く、海岸に漂着していた。Fig.7-1に示すように、劣化によって短軸方向に割れが入り細片化する傾向が見られ、元の形状がへら状と推定される破片もこれに含まれた。

劣化があまり進行していない破片の形状から、元の製品を家庭用人工芝や玄関マットと推定し



Fig.7-1 Green spatula MPs. Scale bar represents 1 mm.



Fig.7-2 Example of household artificial grass product.



Fig.7-3 Status of the entrance mat where the protrusions were broken. Fragments of protrusions is scattered in the white circle.



Fig.7-4 Comparison of green spatula MP immediately after breaking and after drifting ashore. The left is scattered fragment on the street and the right is beached fragment on the coast. Scale bar represents 1 mm.

た。発生源と考えられる家庭用人工芝製品の一例を Fig.7-2 に示した。この製品のへら状突起部には芝面上の物体の荷重によりせん断応力がかかるため、経年劣化により根元からの破断が発生すると考えられた。また、靴底の泥や砂を掻き落とす玄関マットにも同様の劣化が起ると考えられた。Fig.7-3 に実際の使用状況下で破断が発生している玄関マットの状況を示したが、破断したへら状突起部の破片が路面に散乱しているのが確認できる。このように破断した破片が降雨時に道路側溝に入り、雨水管を通じて河川に流入し、最終的に海岸に流出したと考えられた。Fig.7-4 に、Fig.7-3 に示した破片（左側）と海岸に漂着した破片（右側）を並べて示したが、形状がほぼ同じである。Fig.7-4

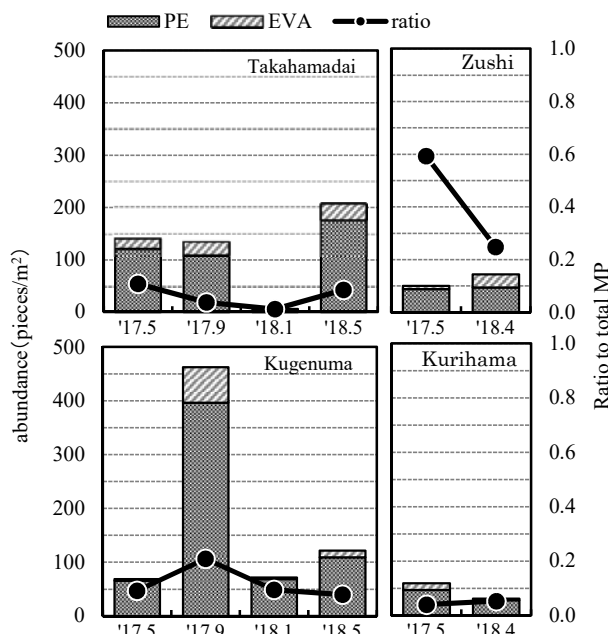


Fig.8 States of drifting ashore of green spatula MPs.

は、緑色へら状 MP の由来が人工芝や玄関マットであることを強く示唆している。

この MP の材質は、採取した破片全体の 86% が PE、残りが EVA であった。EVA 製の人工芝は PE 製に比べて数倍程度価格が高いため、MP の比率もこれを反映したものとなっていると考えられた。

緑色へら状 MP の 4 期分の漂着状況を Fig.8 に示した。山王網一色では漂着が見られなかった。逗子は MP 全体の漂着数が極めて少ないうえに PS の漂着も少ないため、全 MP に対する比が他の地点より高かった。'17 秋の鶴沼の漂着数は他の時期に比べて突出して高いが、これは台風直後で、全 MP の漂着数も'17 春に比べて約 3 倍に増加していたことによるもので⁸⁾、採取条件が特異的であり他の時期と条件が異なっている。これを除けば、高浜台の'18 冬の漂着数が少ないものの漂着が確認される海岸では概ね一定の漂着が確認できる状態にあるとみなすことができる。このことから、緑色へら状 MP の漂着は、PS 球や中空球状 MP のような特異的な大量漂着の影響が小さい、と推定された。

3.1.4 樹脂ペレット

一次 MP である樹脂ペレットは、主に高浜台と鶴沼で漂着が確認された。逗子では漂着が確認できなかった。Fig.9-1 に漂着樹脂ペレットのうち材質が PE のものを示した。樹脂ペレ



Fig.9-1 Beached PE pellets on the coast. Scale bar represents 2 mm.



Fig.9-2 Virgin PE pellets. Scale bar represents 2 mm.

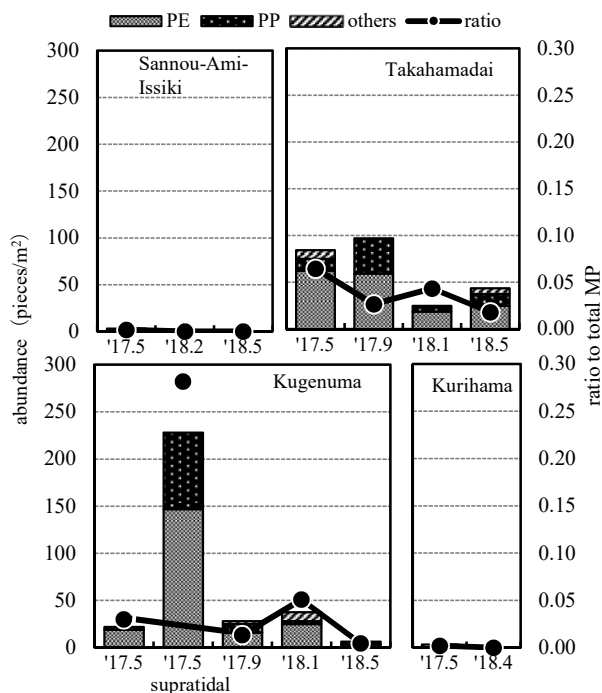


Fig.10 States of drifting ashore of pellets.

トは劣化により黄変が進行する³⁾が、Fig.9-2に示した新品樹脂ペレットに近いものから黄変したものでさまざまな状態のものが漂着して

いた。PPペレットも同様の状況であった。

樹脂ペレットの4期分の漂着状況をFig.10に示した。鵜沼では、満潮線より潮上帯に分布する樹脂ペレットの量が多いことがわかっている⁸⁾。Fig.10には'17春に鵜沼の潮上帯で行った調査結果を合わせて表示しているが、その分布量は満潮線上の漂着量のおよそ10倍であった。満潮線上の漂着樹脂ペレットの量は、鵜沼、高浜台ともに全MPの10%以下であったが、鵜沼の潮上帯の量は28%と高く、樹脂ペレットが特異的に集積する傾向が見られた。高浜台では同様の状況は発生しておらず、鵜沼に特有の現象であった。鵜沼には砂丘が発達しており、潮上帯の樹脂ペレットはこの斜面に吹き溜まっていたが、高浜台には発達した砂丘はない。潮上帯の分布状況の差はこうした海岸構造の違いに起因すると考えられるが⁸⁾、樹脂ペレットだけが吹き溜まる理由は現時点で不明である。

鵜沼周辺では、過去に樹脂ペレットの分布状況を栗山ら¹⁷⁾が1998年1月～1999年12月にかけて調べている。採取方法が異なるために単純な比較はできないが、この時の鵜沼の分布量は500 pieces/m²超であった。この調査は満潮線に限った試料採取ではなく、目視で分布が多い場所を調査した結果であるため、本研究のデータと比較しうるものは潮上帯の分布量が該当する。鵜沼の潮上帯の分布量は230 pieces/m²であり、栗山らの結果の半分以下に減少していた。樹脂ペレットの発生源は輸送途上の積み替えに伴うこぼれやプラスチック成型事業所からの漏出が主なものと考えられるが、近年ではその対策が取られるようになってきている。栗山らの調査から数年後の2001年には、日本プラスチック工業連盟による関連事業所に対するペレットの漏出防止対策指導が始まっている¹⁸⁾。しかし、現時点でもFig.9-1に示したように新品に近い樹脂ペレットの漂着があり、海岸における分布量も2001年以前の数値から減少しているとはいえ、依然として相当量の漂着があることから、趣旨ペレットは環境への漏出が続いていると考えざるを得ない状況といえる。

3.2 大量漂着を除外した漂着状況の季節変動

各海岸における代表性のあるMP漂着状況として、前述の特異的な大量漂着の影響を除外し

た漂着状況を算出した。除外の対象とする漂着は、(1) 大量漂着の影響による PS 球の漂着の増分、(2) 樹脂系被覆肥料由来の中空球状 MP の全漂着、とした。

PS 球の漂着量は、散発的に発生する封入材の漏出に伴う大量漂着の発生間隔に応じて変動すると考えられる。大量漂着の間隔が狭ければ漂着量が減衰する前に次の大量漂着による増分が上乘せされ、間隔が広ければ沖合への流出により漂着量はゼロに近くなると考えられる。

Fig.4 に示した大量漂着の影響が減衰した後と考えられる漂着量は全部で 10 ケースあり、全 MP に対する比の最小値は'18 冬の鶴沼の 0.02、最大値は'18 春の山王網一色の 0.15 であり、平均値は 0.07 であった。このことから、(1) は全 MP に対する比が 0.07 を超える分の漂着に相当するとみなした。そして、これに該当する'17 春の久里浜、'17 春の山王網一色、'18 春の鶴沼の 3 ケースについて大量漂着による漂着量の増分の除外を行った。

大量漂着分を除外した海岸ごとの漂着状況の季節変動を Fig.11 に示した。

4 期すべての調査を行った高浜台と鶴沼のデータを見ると、漂着量は秋期に増加、冬期に減少、春期に再び増加という N 字型の変動パターンを示した。'17 秋の漂着量が'17 春の 3 倍

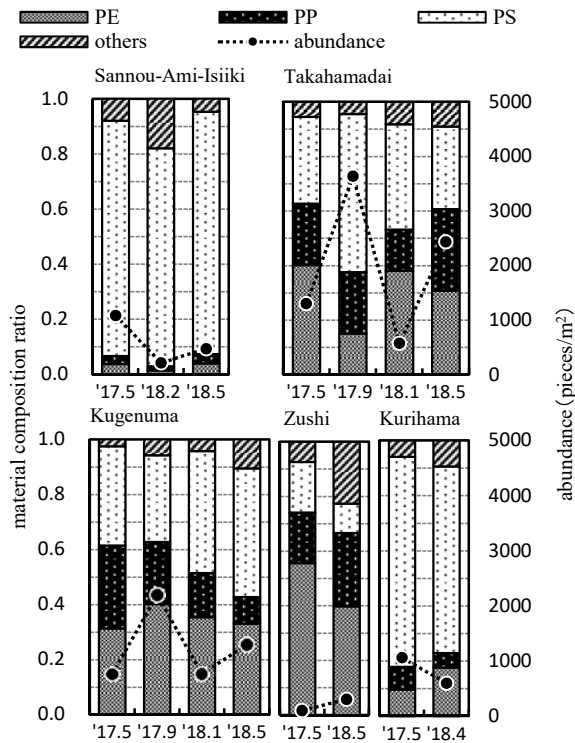


Fig.11 Seasonal fluctuation of beached MP excluding unsteady discharge.

に増加しているが、これは前述のように台風の影響によるものである。これは、陸域からの出水の増加によって漂着量が増加することを意味していると考えられ、台風の影響を除外したとしても、出水期である秋期の漂着量は春期より多くなると推定される。冬期に減少した漂着量は春期以降再び増加する傾向がみられる。この漂着量の変動パターンを考慮すると、同一地点における一年を通じた代表的な漂着状況には、降水量が増加し始める梅雨入り前の春期のデータを用いることが適当と考えられた。

3.3 各海岸の代表的な漂着状況

3.2 の結果から、沿岸の MP 汚染状態を把握するための代表性のある漂着状況として、非常排出を除外した春期 2 期分の平均を用いることが適当と考えられた。各海岸の代表的な漂着状況としてこれを求めた結果を Fig.12 に示した。既報⁸⁾において、PS 球の特異的な大量漂

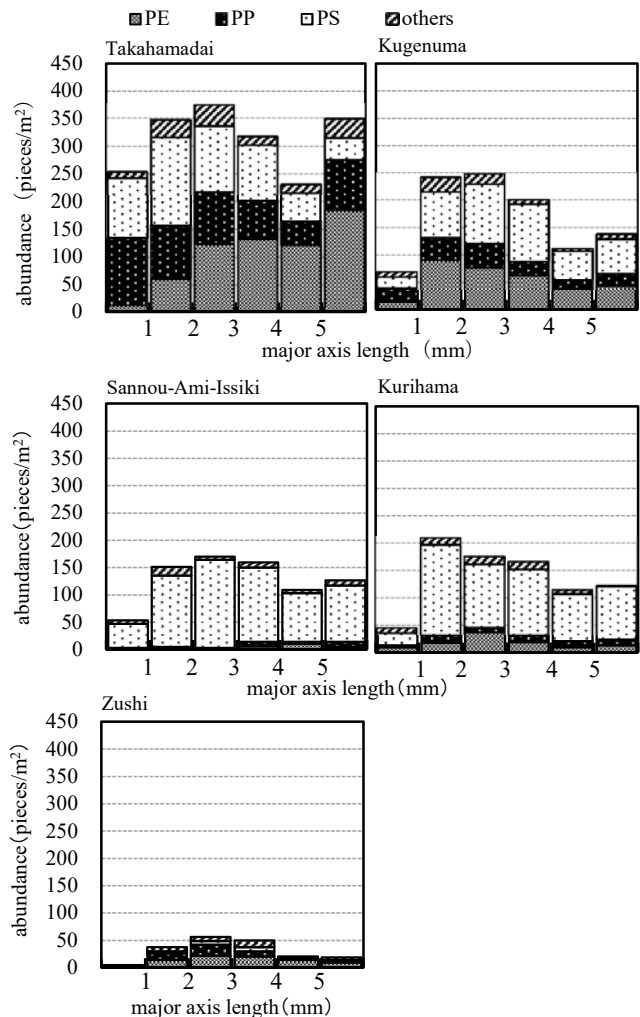


Fig.12 Representative beached MPs situation at each coast.

Table 2 Material weight of beached MPs

Coast	abundance (pieces/m ²)	Material weight (mg/m ²)			
		PE	PP	PS	others
Takahamadai	1,900	4,100	1,900	130	410
Kugenuma	1,000	860	400	170	51
Sannou-Ami-Issiki	770	130	260	110	28
Kurihama	830	240	30	260	66
Zushi	190	150	50	7	53

着分を含めた 5 か所の海岸の MP 漂着状況の特徴を

- ① PE と PP の漂着が多い「高浜台」と「鶴沼」
- ② PS の漂着が大部分を占める「山王網一色」と「久里浜」

③漂着量が少なく、PS の比率が低い「逗子」の 3 類型に分類したが、**Fig.12** から、この傾向は非定常排出を除外しても変わらず、その傾向は 1 年間にわたり変化していなかった。したがって、この漂着状況が現在の神奈川県沿岸の漂着状況と考えられた。この結果から求めた MP の材質別重量を **Table 2** に示した。

4 まとめ

本研究では、相模湾を対象に沿岸の MP 汚染状況を把握するために必要となる MP 分布量として、海岸の漂着量を 2017 年 5 月から 2018 年 5 月の 4 期にわたり調査した。その結果、いくつかの特徴的な MP の漂着を確認し、その特性を踏まえ海岸別の代表性のある漂着状況を推定した。

由来と漂着特性が判明した特徴的な MP は、次の 4 種である。

家庭用品として近年販売量が増加しているビーズクッションの封入材である PS 球の漂着が確認された。地域や時期による漂着量の変動が顕著であり、特異的に発生する漏出の影響を大きく受けることが明らかとなった。

水稻耕作等で使用される樹脂系被覆肥料の被膜殻が MP となって海域へ流出していることを確認した。前年施肥の水田中残留物が水田土壌中でほとんど分解されないまま、農作業のタイミングで翌年に流出しているものと推定された。

家庭用人工芝や玄関マットの破片が広範囲に漂着していることを確認した。漂着が確認できる海岸では時期を問わず漂着が見られ、定常的に内陸から海域へ流出していることが明らかとなった。

従前から海岸への漂着が指摘されている樹脂

ペレットは、依然として漏出が続いている状況が明らかとなった。

上記 4 種の MP の発生源は、家庭系、農業系及び工業系と多岐にわたっている。近年、MP 削減対策として、ストローなど使い捨てのプラスチック製品の使用自粛や規制に注目が集まっているが、発生源はそれだけではないことが本研究で判明した。人工芝、玄関マット、肥料など屋外で使用されることを前提とした製品が MP の発生源となっていると推定された。また、ビーズクッション封入材のように使用部材が MP として想定外の経路で環境中に漏出する可能性があることも判明した。こうした製品と MP 汚染の関連はこれまで指摘されていない。SDGs 12 番目の目標「つくる責任つかう責任」とも深く関連する問題であり、こうした製品の製造、流通、使用及び廃棄に至るライフサイクルを MP 発生の観点から再検証することが必要ではないかと考えられる。持続可能な社会を実現させるために、幅広い視点で総合的な MP 削減対策を議論していくことが重要である。

謝辞

樹脂系被覆肥料に関する貴重な情報を提供していただいた神奈川県農業技術センターの関係各位に感謝の意を表します。

なお、本研究は、神奈川県シーズ探求型研究推進事業費（平成 29～30 年度）の助成により実施しました。

参考文献

- 1) GESAMP : Reports and Studies 90 "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment, a Global Assessment", 14 - 15, International Marine Organization (2015)
- 2) Mato, Y. , Isobe, T. , Takada, H. , Kanehiro, H. , Ohtake, C. , Kaminuma, T. : Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment, Environ. Sci. Technol., 35 (2), 318-324 (2001)
- 3) Endo, S. , Takizawa, R. , Okda, K. , Tahada, H. , Chiba, K. , Kanehiro, H. , Ogi, H. , Yamashita, R. , Date, T. : Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and

- regional differences, *Mar. Pollut. Bull.*, 50, 1103–1114 (2005)
- 4) Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Zakaria, M. P., Le, Q. D., Gordon, M., Miguez, C., Siziki, S., Moore, C., Karapanagioti, H. K., Weerts, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., Van Velkenburg, M., Lang, J. S., Lang, R. C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N., Tompson, R. C. : 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.*, 58, 1437–1446 (2009)
- 5) Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G. : Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighting over 250,000 Tons Afloat at Sea, *PLoS ONE*, 9, e111913 (2014)
- 6) Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T., Iwasaki, S. : East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics, *Mar. Pollut. Bull.*, 101, 618–623 (2015)
- 7) 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)*, 73 (4), I1225–I1230 (2017)
- 8) 池貝隆宏, 三島聡子 : 相模湾沿岸に漂着するマイクロプラスチック, 第 45 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集, 64–65 (2018)
- 9) Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Kako, S., Nakashima, E., Fujii, N. : Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters, *Mar. Pollut. Bull.*, 89, 324–330 (2014)
- 10) Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T. S. : Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Mar. Pollut. Bull.*, 62, 2588–2597 (2011)
- 11) 松山優治, 岩田静夫, 細田昌広 : 相模湾における流れの観測, 沿岸海洋研究ノート, 18 (1), 9–17 (1980)
- 12) 池貝隆宏, 三島聡子, 長谷部勇太, 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*, 42 (4), 197–202 (2017)
- 13) Hialgo-Ruz, H., Gutow, L., Thompson, R. C., Thiel, M. : Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, *Environ. Sci. Technol.*, 46 (6), 3060–3075 (2012)
- 14) 田中周平 : 下水処理過程におけるマイクロプラスチックの除去過程, *用水と廃水*, 60 (1), 41–47 (2018)
- 15) 郡司掛則昭 : 樹脂系被覆肥料による革新的な施肥技術の開発と今後の展望 3. 野菜に対する樹脂系被覆肥料の高度利用技術と今後の課題, *日本土壌肥料学雑誌*, 86 (3), 219–225 (2015)
- 16) 神奈川県 : 県勢要覧 2017, 34–35 (2018)
- 17) 栗山雄司, 小西和美, 兼広春之, 大竹千代子, 神沼二眞, 間藤ゆき枝, 高田秀重, 小島あずさ : 東京湾ならびに相模湾におけるレジンペレットによる海域汚染の実態とその起源, *日本水産学会誌*, 68 (2), 164–171 (2002)
- 18) 岸村小太郎 : プラスチック海洋ごみ問題への取組, *水環境学会誌*, 40 (10), 366–369 (2017)