

相模湾沿岸に漂着したマイクロプラスチックの実態調査

神奈川県環境科学センター

坂本広美, 三島聡子, 長谷部勇太, 菊池宏海, 難波あゆみ, 池貝隆宏*

(*現: 神奈川県湘南地域県政総合センター)

1. はじめに

本年6月に開催されたG20大阪サミットを契機とし、海洋プラスチックごみの問題は「解決しなければならない課題」という認識で、世界的に注目されている。この問題には、製品そのものに近いマクロプラスチックに関するものと、サイズが小さいマイクロプラスチック(MP)による汚染の問題が含まれている。海洋中のMPの存在については、比較的早い時期から確認されており、特にプラスチック原料の1種であるレジンペレットに関しては、2000年頃からプラスチックごみの問題であるとともに、これらが媒体となり、海中に広く薄く存在する残留性有機汚染物質(POPs)を吸着・濃縮後、遠隔地へ拡散させることが明らかになっている^{1,2)}。また、海洋生物がMPを実際に摂食している事例も複数確認されており^{3,4)}、海洋生態系に対する影響も懸念されている。

MPは、国連海洋汚染専門家会議(GESAMP)において、「5 mm以下のプラスチック」と定義されており、上述のレジンペレットあるいは化粧品等に含まれるマイクロビーズなど、もともと小さいものについては一次MP、プラスチック製品が破碎されて細くなったものについては、二次MPと呼んで区別されている。いずれにしても、これらMPの海洋中存在量は約5兆個とも推計されており、特に日本近海には、非常に高濃度で存在するとの指摘がある⁵⁾。しかしながら、沿岸、特に相模湾における漂着状況については、明確になっていない。そこで、今回相模湾におけるMPの漂着状況について、実態調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査方法⁶⁾

2.1 試料採取地点の設定

それぞれの海岸における漂着状況を比較するためには、海岸ごとにばらつきの少ない採取地点を設定する必要がある。そこで、まず初めに試料採取場所の選定について検討した。海岸ペレットの漂着量調査⁷⁾では、満潮線上にペレットが多く集積している場所を選定しているため、これを「最大ベース」の調査とした。一方、満潮線及びその上流側の潮上帯を等分したものを、「平均ベース」の調査とし、両者の比較を行った。

本調査は、①横須賀市久里浜、②藤沢市鶴沼及び③平塚市唐ヶ原の海岸で実施した。平均ベースの調査を2016年9月に①及び③で実施したが、③ではMPがほとんど採取出来なかったため、最大ベースの調査は、2017年5月9日に②で、5月25日に①で実施した。

2.2 採取方法

漂着したMPは、通常海岸の砂の表面に存在するため、採取地点に方形区画を設定し、区画内の砂を表面から約3 cm削り取り、MP分離用の砂試料とした。分離工程の作業量を勘案し、砂の体積を5,000 cm³程度とするため、区画の一辺を40 cmとした。採取時には、その場で4.75 mmメッシュを用いてふるい分けをした。ふるい分けした試料は実験室へ持ち帰り、砂の水分が多い場合には、無人の実験室でろ紙に広げて風乾した。乾燥させた砂試料は体積及び重量を計測した。

2.3 分離方法

砂試料からのMPの分離は、水による比重分離、ふるい分け及び目視選別を組みあわせて行った。採取方法と合わせて、一連の手順を図1に示した。この方法では、水より比重が小さいMPしか分離できないこと、また最終的には目視判断となるため、100 μm程度より小さいMPの採取は困難である。

2.4 材質判別方法

分離したMPは、OLYMPUS製実体顕微鏡SZ61を使用し、1個ずつ鏡検して色と形状を分類し、径として長軸長さを計測した。なお、形状はペレット(円盤)、ペレット(円筒)、球、角、棒、板、繊維、フィルム、フォーム、不定形の10種に区分した。サイズを測定したMPは、赤外吸収スペクトルにより、材質判別を行った。測定は、フーリエ変換赤外分光光度計(FT/IR 4600; 日本分光(株)製)TGS検出器を用いた全反射測定法(ATR法)を用いて行い、サイズが小さいMPの場合には、同装置に赤外顕微鏡(Irtron μ IRT-1000, MCT検出器付き)を装着した顕微反射法を併用した。

2.5 MP漂着量の調査地点及び調査時期⁸⁾

プラスチックごみの細片化への工程は、主に砂浜上で進行すると報告されているため⁹⁾、本調査では砂浜海岸

を対象として、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の海岸線がある。その砂浜海岸の中から、地点間の距離及び近傍の流入河川的位置を考慮に入れ、逗子海岸(逗子市)、鶴沼海岸(藤沢市)、高浜台海岸(平塚市)、山王網一色海岸(小田原市)の4地点と、比較参照のため、東京湾の久里浜海岸(横須賀市)を選定した(図2)。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¹⁰⁾、その影響を考慮して、試料採取地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月に観光客の影響のない春、秋及び冬の計4期実施した(表1)。秋期の調査では、年間最大と考えられる漂着状況を把握するため、

2017年に台風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るため、台風による漂着の状態を十分に現していると考えられた。これ以外の採取日は、前10日間に平均風速10 m/sを超え、時間雨量10 mmを超えの強風または強雨がない日を選択した。

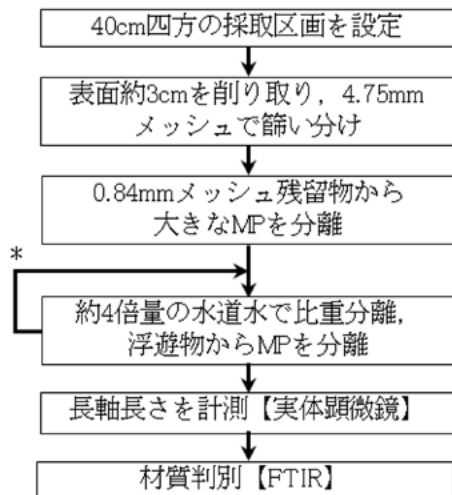
3. 結果及び考察

3.1 最大ベースと平均ベースにおける採取状況

両方の有効データがある久里浜海岸において、満潮線3地点のデータからMP総数の変動係数を求めると、平均ベースでは93 %であったのに対し、最大ベースでは、17 %であった。MPは、満潮線上に均質に存在するとは限らないため、平均ベースの方がMP偏在の影響を大きく受けるものと考えられた。このことから、海岸ごとの比較を行う場合には、ばらつきの少ない最大ベースの調査を行う方が適していると判断した。

3.2 採取点数の比較

試料採取点数を確認するため、最大ベースの測定結果から、3地点混合、任意の2地点混合及び1地点単独の各ケースにおけるMP総数に対する粒径別比率を算出した。その結果、3地点混合と任意の2地点混合の粒径別比率は、統計的にみてほぼ同じと見なすことが出来たため、2地点以上の採取点の平均を求めることにより、ばらつきの少ない測定結果が得られることが明らかになった。



* 浮遊物がなくなるまで繰り返す。

図1 MP分離分析手順



図2 調査地点図

表1 調査地点一覧

海岸名	近傍河川	浜幅	試料採取日
逗子 (逗子市)	田越川	50m	春;2017.5/25
			春;2017.5/22 [□]
鶴沼 (藤沢市)	引地川	80m	春;2017.5/9 [□] , 5/25 [■]
			秋;2017.9/22
			冬;2018.1/17 [□] 春;2018.5/22 [□]
高浜台 (平塚市)	相模川	80m	春;2017.5/31
			秋;2017.9/22
			冬;2018.1/30 [□] 春;2018.5/25 [□]
山王網一色 (小田原市)	酒匂川	120m	春;2017.5/31
			冬;2018.2/14 [□] 春;2018.5/25 [□]
久里浜 (横須賀市)	平作川	20m	春;2017.5/25
			春;2018.4/24 [□]

* 試料採取日の印は、[□]が満潮線のみ、[■]が潮上帯のみ、無印が満潮線・潮上帯ともに採取したことを示す。

3.3 大量漂着を除外した各海岸の漂着状況

各海岸において、代表性のあるMP漂着状況を比較するため、まず、特異的な大量漂着の結果と思われるものについて検討した。これ以外にも、従前から報告されている樹脂ペレットの漏出は、依然として定常的に続いていることも明らかになった。

3.3.1 微小ポリスチレン(PS)球

粒径が0.8~1.5 mm程度のPS球(図3)の漂着が、逗子を除く4地点で確認された。その形状から、発生源として考えられたものは、ビーズクッションの封入材(図4)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へ漏出し、河川や雨水側溝を通じて海岸に到達した一次MPと推定された。調査期間におけるPS球の漂着状況を図5に示す。山王網一色及び久里浜では、'17年春の調査時に、PS球が大量に漂着していることが確認されたが、'18年春には大幅に減少し、山王網一色では前年のわずか9%、久里浜では6%となった。一方、鶴沼では'18年春には前年同時期の約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。これらの特徴よ

り、PS球の漂着は、不定期に発生する封入材漏出の影響を強く受けることが推測され、漏出後に一時的に漂着量が増大するが、次第に沖合に流出するため漂着量が減少するものと考えられた。PS球はサイズが小さいため、潮汐の影響から早期に逃れ、沖合へ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年秋には漂着量が増加したが、これは台風直後で全MPの漂着量が増えたためと考えられた。

3.3.2 中空球状MP

'18年春の山王網一色において、図6に示す中空球状MPの大量漂着が確認された。材質は、エチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)またはポリエーテルウレタン(Polyurethane)のいずれかであった。ほとんどがつぶれたボール状の形状であったが、一部球状を保持していたものが残っていたため、一次MPに判別した。県農業技術センターの協力により、被覆肥料の被膜殻と確認した。

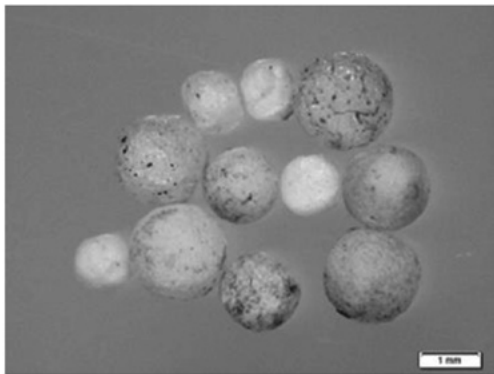


図3 山王網一色海岸で採取した微小PS球

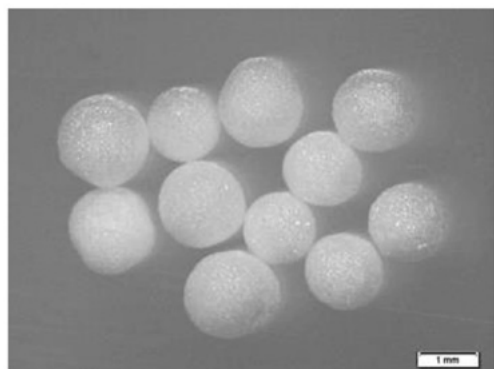


図4 ビーズクッションの封入材

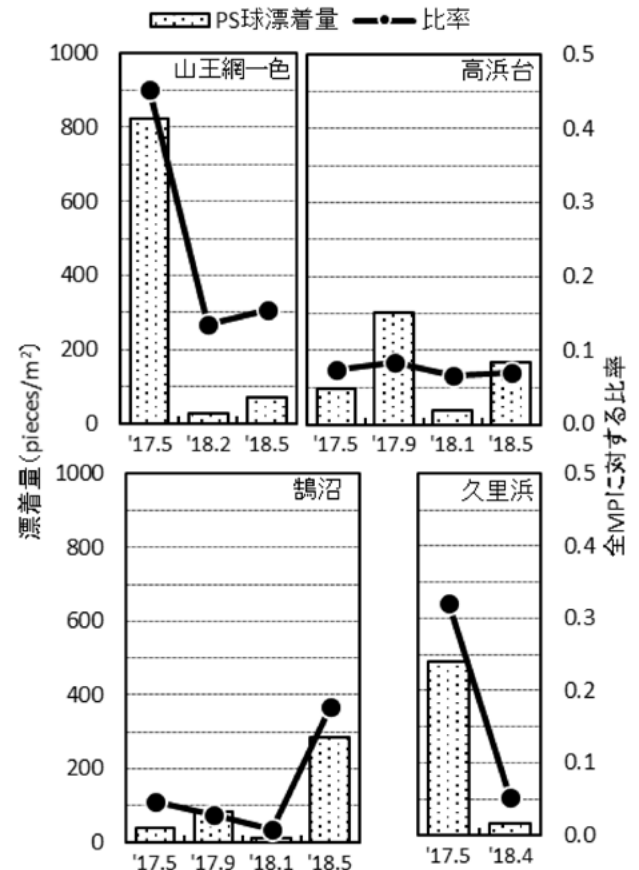


図5 微小PS球の漂着特性

この被膜殻の'17年春の調査における5地点の漂着状況を図7に示す。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。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用されるが、県内では水稲栽培での使用が大部分とされている。'18年の施肥のタイミングは、試料採取日より後であったため、今回漂着したMPは、前年に施肥したものが代掻きの作業で流出したものと考えられた。また、近傍の河川及び相模湾内の西向きの沿岸流から考えると、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察された。

被覆肥料のコーティング材料には、ポリオレフィン系樹脂、アルキド樹脂、ウレタン樹脂などが使用されており、生物分解性あるいは光崩壊性を促進する加工により、肥料溶出が制御されるような設計がなされている¹¹⁾。今回の結果では、少なくとも1年程度は、被膜材の劣化が進行せず、ほぼ元の形状のまま環境中に残留するものと考えられた。

県内流域市町村の水田面積を比較すると、酒匂川流域が12.1 km²なのに対し、相模川流域は27.9 km²であり¹²⁾、単純に水田面積を比べると、相模川流域の方が約2倍多かった。このため、漂着量の差は樹脂系被覆肥料の使用量の地域差によるものと推測された。県内の水稲用被覆肥料の出荷量について、県の関係部局を通じて調べたところ、酒匂川流域を所管するJAかながわ西湘への出荷量が、'16年度で133.58 kg(全県分350.98 kg)であり、県内の出荷先JAの中で最も多かったことから、現在の主な発生源は、酒匂川流域の水田であると推測された。

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・地域的に偏りがあることが明らかになった。

3.3.3 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、前述の特異的な漂着量を除外して算出することにした。除外対象とするのは、(1)大量漂着の影響によるPS球の増加分、(2)樹脂系被覆肥料由来の中空球状MPの全漂着分である。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に伴って変動すると考えられた。図5に示した大量漂着の影響がなくなっ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年冬の鶴沼の0.02、最大値は'18年春の山王網一色の0.15であり、平均値は0.07となった。このことから、(1)については、全MPに対する比が0.07を超える分を大量漂着によるものとみなし、これに該当する'17年春の久里浜、山王網一色及び'18年春の鶴沼の3ケースについては、大量漂着による増加分を除外した。

大量漂着分を除外した海岸ごとの漂着状況を図8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、全漂着量は秋に増加・冬に減少・春に再び増加というN字型の変動パターンを示した。

河川で実施している公共用水域水質測定における調査月の流量測定値は、鶴沼近傍の引地川、高浜台近傍の相模川及び山王網一色近傍の酒匂川のいずれにおいても、流量は異なるものの、春期と冬期で顕著な差は見られなかった。また、アメダスによる辻堂と小田原における調査実施月の日平均風速データを比べたところ、辻堂と小田原において、春期と冬期では顕著な差がみられなかった。つまり、漂着したMPが風によって除去されたとし

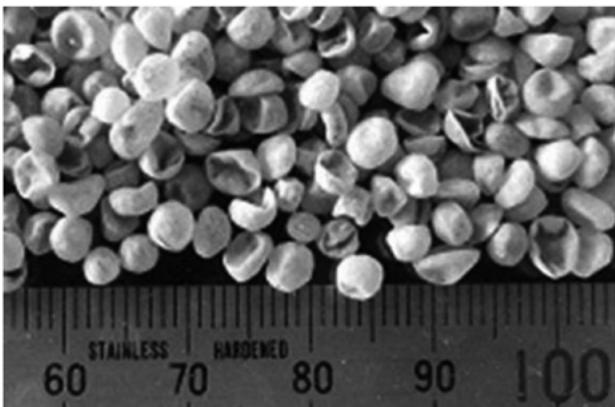


図6 山王網一色海岸で採取した中空球状MP

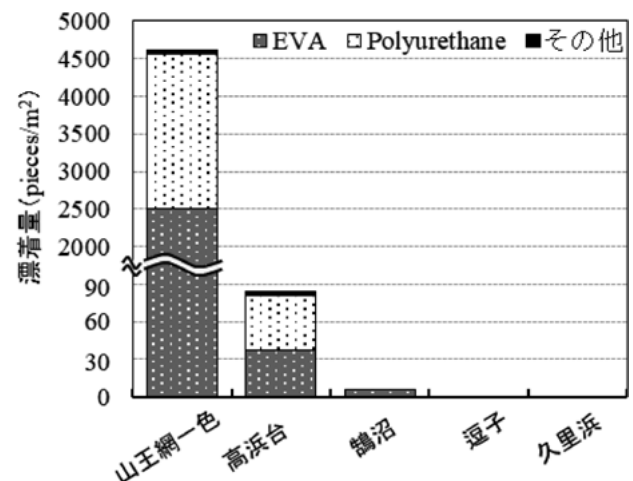


図7 2017年春期中空球状MPの漂着状況

でも、その影響は春期と冬期で同程度と推測された。一方、最多風向を比べると、南東～南西風の頻度は、春期が辻堂で71 %、小田原で48 %、冬期が辻堂で16 %、小田原で3 %であり、鶴沼、高浜台及び山王網一色の3海岸では、沖合に漂流するMPが陸域近傍へ輸送される南寄りの風向は、いずれの観測点とも春期が卓越していた。北東～北西風の頻度は、春期が辻堂で29 %、小田原で32 %、冬期が辻堂で77 %、小田原で45 %であり、陸域近傍に漂流するMPを沖合へ運び去る北寄りの風向は、いずれの観測点とも冬期が卓越していた。これらを総合すると、東西に延びる海岸線を有する相模湾沿岸においては、季節風の影響により、冬期は春期より陸域近傍に漂流するMPの密度が低いと推測され、結果として冬期の漂着量が減少した可能性が考えられた。'17年秋の漂着量は、'17年春の3倍に増加しているが、これは前述のように台風の影響によるものである。つまり、降雨により陸域からの出水が増加すれば、漂着量も増加する

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、春期より増えるものと推測された。

一方、材質構成は4期を通じてあまり大きな変化は見られなかった。つまり、発生源の種類や構成が大きく変化しなければ、結果として漂着MPの材質構成も比較的長期間にわたり大きく変動しないものと推察された。材質別では、生産量が最も多いPE及びポリプロピレン (PP) の2大樹脂に加えてPSが大部分を占めていた。樹脂生産量が比較的多い塩化ビニル及びPET樹脂については、比重が水より重いため、今回はほとんど検出されなかった。

以上の季節変動を考慮すると、同一地点における一年を通じた代表的な漂着状況には、北寄りの風の影響が少なくなり、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。

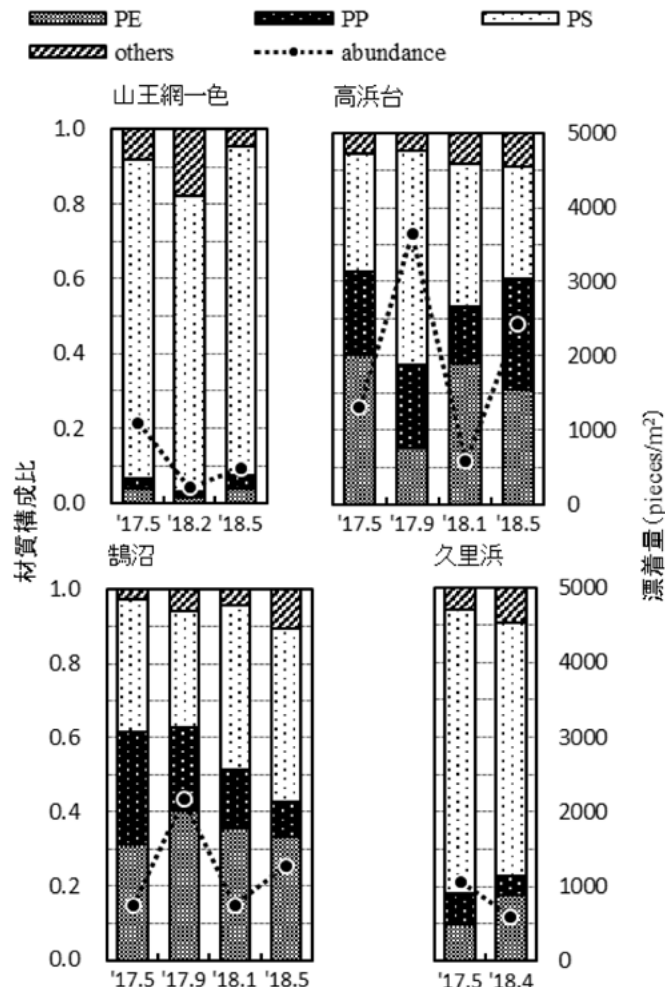


図8 各海岸の代表的なMP漂着状況

3.3.4 各海岸の代表的な漂着状況

前項の検討結果から、沿岸のMPの実態を把握するための代表性のある漂着状況として、非定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図9に示す。

漂着状況の特徴は、以下の3つに分類された。すなわち、①PEとPPの漂着が多い「高浜台」と「鶴沼」、②PSの漂着が大部分を占める「山王網一色」と「久里浜」及び③漂着量が少なく、PSの比率が低い「逗子」である。

東アジアの海域に漂流するMPは、黄海や東シナ海が起源であり、これが海流により日本近海に輸送されるといわれている¹³⁾。本研究で採取したMPも海流により外洋から輸送されたものが多いとすれば、黒潮の影響を直接受ける相模湾の4地点ではMPの漂着状況は類似する

と推測される。県水産技術センターの観測によれば、調査を行った'17年5月、9月、'18年1~2月は伊豆諸島北部から相模湾にかけて冷水域があり、平年に比べて黒潮系の海流の相模湾への流入は少なく、相模湾への黒潮の影響は平年より弱かった。したがって、海岸による漂着状況の違いは、黒潮によって湾内に流入する外洋由来のMPより、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と考えられた。

相模湾の東部の三浦半島側では大陸棚が発達しており、西部に比べて海底が浅く海底構造が異なる。このため、前述のとおり相模湾の潮流は反時計回りが主体であるが¹⁰⁾、東部では逆向きの流れに変わることも知られている¹⁴⁾。今回、逗子においてMPがほとんど確認できなかった原因の一つが、この潮流の違いではないかと推測された。

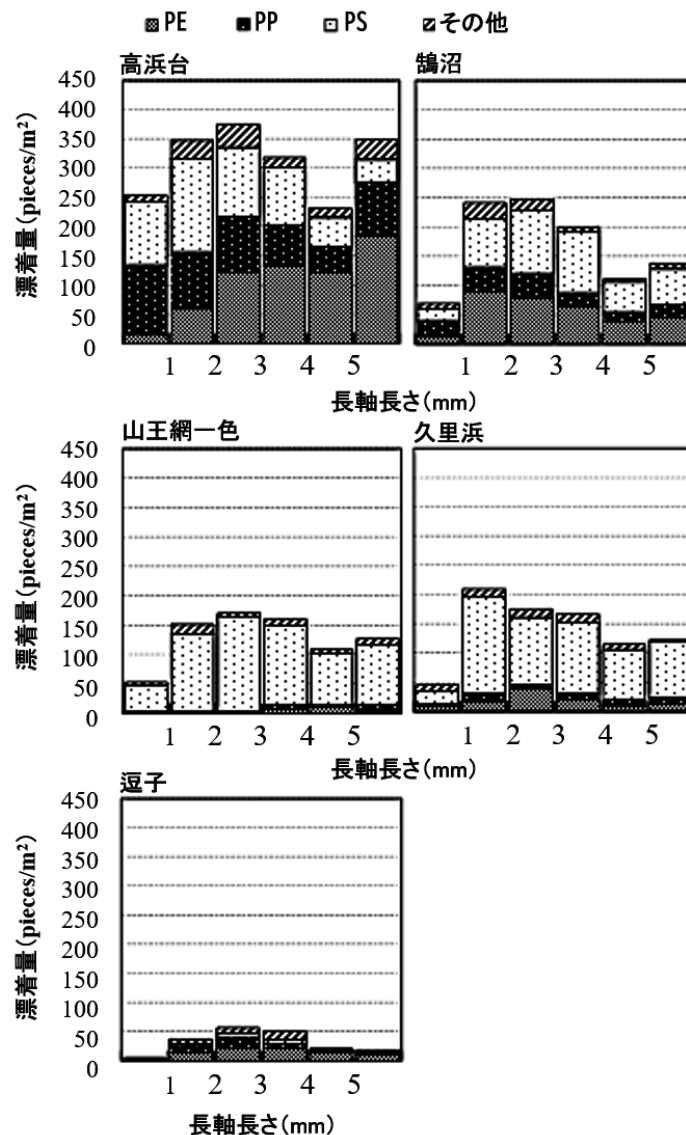


図9 各海岸の代表的なMP漂着状況

4. まとめ

相模湾を対象として、沿岸のMP漂着状況を把握するため、まず初めに調査手法を検討した。その結果、漂着物が多い満潮線において、2点以上を選択し、その地点で40 cm四方の方形区画内の砂を採取してMPを分離し、その平均値を出すことで、海岸別の代表性があるデータとして採用可能であることが明らかになった。

次に、この調査手法を用いて、相模湾の4地点及び対照として東京湾の1地点において、4期にわたり調査を行ったところ、以前から報告されている樹脂ペレット以外にも、PS製のビーズあるいは樹脂製被覆肥料殻など、いくつかの特徴的なMPの漂着を確認した。

さらに、これらの一時的な大量漂着を除いて、海岸ごとの漂着量の比較を行ったところ、相模湾では春期に漂着量が増えること、海岸ごとに漂着特性が異なり、3つのパターンがあることが確認された。

今回の結果から、相模湾に漂着するMPは、主に内陸由来であることが明らかになった。今後は、河川及び路上における実態調査を積み重ね、発生源対策につなげて行きたい。

〈参考文献〉

- 1) 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
- 2) 間藤ゆき枝, 高田秀重, モハマド パウジ ザカリア, 栗山雄司, 兼広春之: 海岸漂着プラスチック粒(レジンペレット)中の有機汚染物質-汚染物質含有量の地域差と樹脂種による相違-, *環境科学会誌*, 15, 415-423, 2001
- 3) Rochman C. M., Tahir A., Williams S. L., Baxa D. V., Lam R., Miller J. T., Teh F. C., Werorilangi S., Teh S. J.: Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.*, 5, 14340, 2015
- 4) Tanaka K., Takada H.: Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Sci. Rep.*, 6, 34351, 2016
- 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) 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
- 7) 栗山雄司, 小西和美, 兼広春之, 大竹千代子, 神沼二真, 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
- 8) 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*, 41, 1-10, 2018
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 神奈川県: 県政要覧2017, 34-35, 2018
- 13) Isobe A., Uchida K., Tokai T., Iwasaki S.: East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics, *Mar. Pollut. Bull.*, 101, 618-623, 2015
- 14) Iwata S., Matsuyama M.: Surface Circulation in Sagami Bay: the Response to Variations of the Kuroshio Axis, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 45, 310-320, 1989

■執筆者

坂本広美

神奈川県環境科学センター 調査研究部

〒254-0014 平塚市四之宮1-3-39

TEL: 0463(24)3311 FAX: 0463(24)3300