

海洋マイクロプラスチックはどこから来るのか？

神奈川県環境科学センター調査研究部長 池貝隆宏

1 はじめに

2018年8月5日、鎌倉の由比ガ浜に仔クジラの死骸が打ち上げられたというニュースをご記憶の方も多いと思う。日本では珍しいシロナガスクジラだったために話題になったのだが、その後気になる事実が判明した。胃の中からプラごみが出てきたのである。このプラごみは、のちにナイロンフィルムであることが分かったのだが、生後数か月でまだ母乳しか飲んでいない仔クジラの体内からプラごみが出てきたことは、日本近海の海洋プラごみ問題が相当深刻であることを物語っている。

海洋プラごみ問題の中でも最近特にマスメディアを騒がせ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5mm以下のプラスチック片の総称であるが、その小ささのため一旦環境に出てしまうと拾い集めることができないので厄介である。MPは世界の海洋中におよそ5兆個ある¹⁾といわれているが、均等に分布しているわけではない。日本近海は特にその量が多く、世界平均の27倍²⁾とのデータもある。プラスチックは石油から作られるためにPCBなどの残留性有機汚染物質との親和性が高く、MPは海水中にわずかに存在するこれらの有害物質をその表面に高濃度に吸着し、比重が軽いために海面に浮いて、海流に乗ってこの有害物質を遠隔地まで運んでいく³⁾。プランクトンを餌とする魚類は、餌と一緒にこのMPを捕食する。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⁴⁾。

2017年にイタリアのボローニャで開催されたG7環境大臣会合では、MPの漸進的削減を進めることが国際的に合意された。これ以降、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たのだが、その特効薬は残念ながら、というのが現状であろう。なぜなら、MPの発生源は無数に存在するからである。環境中のMPを回収することはできないので、これを減らすには元を断つしか方法はない。では、MPの元とは一体何なのであろうか？

2 相模湾の漂着マイクロプラスチック調査

冒頭に紹介した鎌倉の漂着仔クジラの一件を契機に、神奈川県では翌9月に「かながわプラごみゼロ宣言」を行った。MPの削減を目指してプラごみ全般を減らそうという取組である。削減対策を効果的に行うには、まず、MP汚染の現状を知っておく必要がある。

神奈川県環境科学センターでは、2017年から相模湾のMP汚染の調査を行っている。環境省でもMP調査を2015年から行っているが、対象は沖合に漂流しているMPなので、沿岸部の状況はわからない。そこで、ローカルな沿岸部の調査は地元の自治体が行うという方針のもと、調査に着手した。

相模湾の中のMPを調べるのだから、環境省の調査と同じように湾内に漂流しているMPを調べてもよいのだが、この調査ではそれを行わず、海岸に漂着しているMPを調べた。これには、沿岸部のMPの動きが深く関係している。海に浮いているプラスチック片は、潮汐と波の作用で陸と海を行き来する。この動きを沿岸トラッピング⁵⁾と呼ぶが、この間に紫外線や波の作用で破砕が進行し、MPが小さくなっていく。サイズが小さくなるほど沿岸トラッピングの効果は弱くなり、最終的にはMPは陸に戻らなくなって沖合に広がるという動きをする。つまり、海岸は沖合に漂流するMPの製造現場といえる。製造現場の状況がわかれば湾内の状況も概ねわかるはずなので、まずそこを押さえようという事で漂着MPに着目した調査を行っている。

漂着 MP 調査は、逗子、鶴沼（藤沢市）、高浜台（平塚市）、山王網一色（小田原市）の相模湾沿岸の4海岸に東京湾側の久里浜（横須賀市）を加えた5海岸を定点として調査している。海岸に行くと、満潮時の波打ち際の部分に漂着物が集積し、それが帯状に連なっている様子を見ることができる。これを満潮線というが、MP もこの中に漂着している。この満潮線上に40cm四方の採取区画を設定し、区画内の表面の砂堆積物をすくい取って、篩分けと比重分離を組み合わせることで砂堆積物からMPを分離している。比重分離とは、砂堆積物に水道水を加えて攪拌、静置後に水面に浮いたMPを目視で判別し、ピンセットで拾い上げる、というものである。肉眼による判別の限界は0.3mm程度であるため、それより小さなMPはこの方法では分離できない。例えば、数年前までパーソナルケア製品に含まれていたスクラブ剤のマイクロビーズは、サイズが0.2mm程度以下のため、肉眼による判別がほぼ不可能である。これまでに分離した最も小さなMPは、0.28mmの発泡ポリスチレン（PS）であった。一方、環境省などが行っている海洋中の漂流MP調査では、プランクトンネットが利用されるが、ネットの目合いのサイズは0.3mmのものが多い。したがって、本調査の対象となるMPのサイズ範囲は、多くの漂流MP調査とほぼ同じといえる。

漂着MP調査では5か所の海岸の漂着状況を比べるので、相互に比較可能なデータをとる必要がある。言い換えれば、長く延びる満潮線のどこを採ればよいのか、代表性のあるデータにするには採取点数をいくつにすればよいのか、を決める必要がある。検討の結果、満潮線上の漂着物が多いところを狙って2点採取し平均すれば、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⁶⁾。多いところを狙って採るので、比較可能な漂着量は「最大ベースの漂着量」ということになる。このようにして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し、赤外線吸収スペクトルを測定して材質を判別する。この作業を繰り返し、海岸ごとのMPの漂着状況を調べていく。

漂着MP調査は、観光客の影響で調査ができない夏を除き、春、秋、冬にこれまで延べ15回行った。大雨が降った後には海ごみの量が増えることはよく知られている。そこで、最大漂着の状況を調べるために秋の調査は台風直後に実施し、春と冬については平均的な漂着状況として静穏な天候が続いた後に調査を実施した。

MPは海流に乗って外洋から運ばれてくるといわれる。相模湾でもそのようなMPが多ければ、どこで調査しても似たようなデータが得られると考えられる。ところが、15回の調査から得られた結果は、そうはならなかった。図1に5海岸の代表的な漂着状況を示したが、漂着の特徴は海岸によって大きく異なっていた。このことは、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。

漂着量は季節変動するが、春は年間を通じた中間的な漂着量を示す。また、MPの中には後述するように特異的

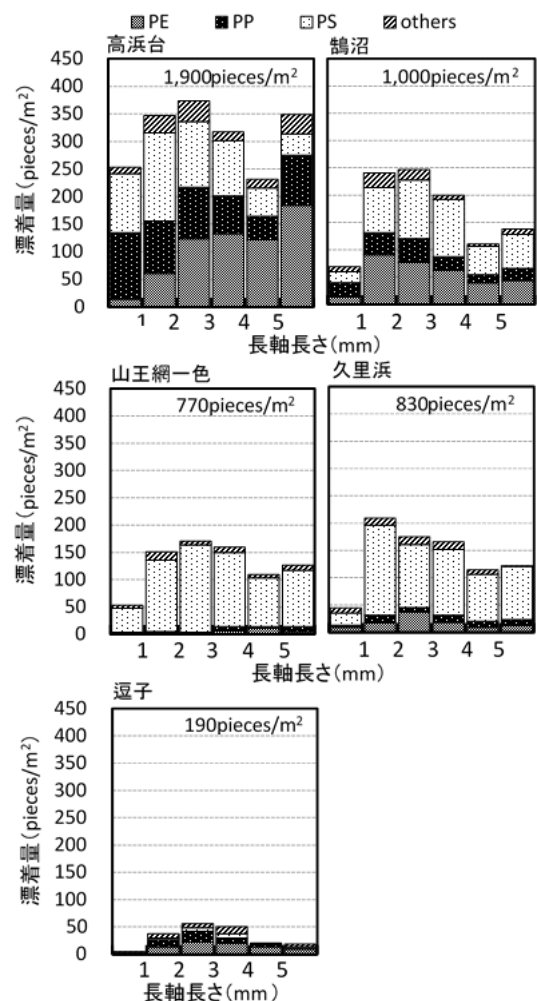


図1 代表的なMP漂着状況。図中の数値は総漂着量、PEはポリエチレン、PPはポリプロピレン、PSは発泡ポリスチレンを表す。

な大量漂着を示すものもある。図 1 はこうした大量漂着 MP を除外した春の平均的な漂着状況を示しているが、これを見ると漂着状況は 3 つに区分できることがわかる。ポリエチレン (PE) とポリプロピレン (PP) が多く漂着する高浜台と鶴沼、PE と PP に比べて PS の量が圧倒的に多い山王網一色と久里浜、漂着量がそもそも少ない逗子、の 3 つである。調査地点の東の端の久里浜と西の端の山王網一色は直線距離で約 50km 離れているが、同じような漂着状況を示しており興味深い。山王網一色と久里浜、高浜台と鶴沼は、それぞれ流域の MP 排出源の状況が類似している可能性がある。漂着量が最大の高浜台と最小の逗子では、10 倍の開きがある。高浜台に MP を供給する相模川に比べて逗子の田越川は流域面積がごく狭いことがその原因の一つと考えられるが、相模湾内の潮流も影響しているのではないかと考えている。相模湾には黒潮分派流の一部が三浦半島に沿って湾内に入るため、西向き（反時計回り）の潮流が発生する。調査では条件をそろえるため、近傍の流入河川の右岸側に試料採取点を設定した。つまり、河川を流れ出た MP がこの潮流によって右岸側の海岸に流れ着くことを想定している。一方、逗子を含む相模湾東部には大陸棚が発達していて水深が浅いため、この潮流が弱いか、逆向きの流れになることもある。そのため、田越川を出た MP が右岸側の海岸に流れ着かず、そのまま沖合に流された可能性もあると考えている。

このように、これまでの調査では、流域の発生源の分布状況や湾内の潮流の影響により、相模湾の MP の漂着状況は 3 つのパターンに分けることができた。調査地点数を増やせば、これ以外の漂着パターンを示す海岸が見つかるかもしれない。

3 マイクロプラスチックの由来

MP は、環境中に出てから受けた外的作用の有無によって、2 種類に大別される。一つは、もともと小さなサイズのプラスチックとして製造された製品で、外的作用をあまり受けておらず、元の形状を保っているもので、これを一次 MP という。先に例示したマイクロビーズや後述する樹脂ペレットがその典型である。もう一つは、紫外線や波の作用でプラスチック製品が細かく砕けた破片であり、これを二次 MP という。相模湾の海岸に定常的に漂着する MP の大部分は二次 MP である。二次 MP はほとんどの場合、元の製品の姿を留めていないので、よほどの特徴がない限り形状から発生源をたどることは難しい。一方、一次 MP は形状に特徴があるので、発生源の推定が比較的容易である。

これまでの調査で、特徴的な形状を有する MP が漂着しているのがいくつか見つかった。その形状をもとに発生源を推定したので、漂着の特徴とあわせて紹介する。

3.1 微小発泡ポリスチレン球

逗子を除く 4 つの海岸で、直径が 0.8~1.5mm の PS の小球体が季節を問わず漂着しているのを確認した。図 2 に示した写真は、山王網一色に漂着していたものである。表面が汚れて灰色から褐色を帯びたものが多いが、元は白い一次 MP と考えられた。形状から発泡スチロール製品の間接原料である発泡ビーズであることはほぼ間違いないが、通常の発泡ビーズに比べてサイズが明らかに小さく、特殊な用途に使用されるものと思われた。また、ビーズといっても前述のマイクロビーズよりはるかに大きい。この微小 PS 球の由来を調べたところ、ビー

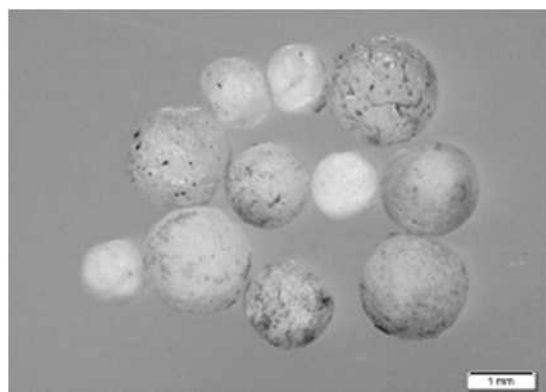


図 2 山王網一色に漂着した PS 球。
図中のスケールは 1mm.

ズクッションの封入材であることが分かった。ビーズクッションは近年家庭用品として広く利用されるようになってきており、PC 作業時の腕置きに使うような小さなものは 100 円ショップでも販売されている。こうした封入材を製造している事業所は、関東地方にはないことが分かった。つまり、海岸に漂着した微小 PS 球は事業所からではなく、製品から漏れ出た可能性が高いことが分かった。

この微小 PS 球の漂着状況を調べたところ、漂着量は調査のタイミングによって大きく変動することが分かった。2017 年春の山王網一色と久里浜、2018 年春の鶴沼では大量漂着しているのを確認した。特に、2017 年春の山王網一色では、漂着 MP 全体の 45%がこの微小 PS 球であった。大量漂着がこのように散発的に発生するのは、不定期に発生するクッションからの封入材の漏れ出しの影響を強く受けているためではないかと考えている。そして、こうした大量漂着は、ビーズクッションの廃棄によって引き起こされるのではないかと推定している。不要になったビーズクッションを廃棄したとき、その収集、運搬又は処分の過程で外皮が破れれば、中身の封入材は環境中に漏れ出す。例えば、廃棄クッションをごみ収集のパッカー車に投入すれば、外皮が破れることは想像に難くない。前述の PC 作業腕置き用のミニクッションは、大きさが 15cm くらいのもが多いが、この中に封入材は約 50 万個入っている。これが一気に外に飛び出すことになる。こうして環境中に漏れ出た封入材は、雨水側溝等を通じて最終的には海岸に到達する、と考えられる。こうしたクッションは、生ごみのように毎日廃棄されるわけではないため、封入材の漏れ出しも散発的に発生するのではないかと考えられる。ビーズクッションのごみ出し方法は、自治体によって可燃ごみか不燃ごみかの扱いは様々である。ユーザーは自治体の処分方法に従ってきちんとごみ出ししたつもりでも、その後の処分の方法によっては漏れ出しが発生しているケースがあるのではないかと考えている。

3.2 緑色へら状 MP

片面が曲面、裏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。）の緑色の破片が山王網一色を除く 4 つの海岸に漂着しているのを確認した。図 3 にこの MP が細片化していく様子を示したが、劣化が進むと短軸方向に割れが入り、破碎が進行する傾向が見られた。二次 MP ではあるが、図 3 の左の破片のように劣化があまり進行していない形状から、元の製品は人工芝ではないかと推定した。屋外の使用が前提である人工芝は、紫外線を直接浴びるため、設置場所によっては劣化の進行も速くなる。人工芝の突起部はこの劣化によって脆くなり、やがて突起部の根元から破断すると考えられる。同様の形態を持つ製品として玄関マットも見逃せない。玄関マットはその突起部を靴底で擦るという使い方をするので、破断も起こりやすいと考えられる。使用中の玄関マットをよく観察すると、マットの周囲に破断した突起部の破片が散らばっているものを見かける。こうした破片が降雨時に雨水側溝に流れ込み、最終的には海に出ていくと考えられる。ここで注目しておきたいのは、緑色へら状 MP の元はごみではなく現在使用中の製品、ということである。MP の元はプラごみだけではない、ということを知っておくことが重要と考える。

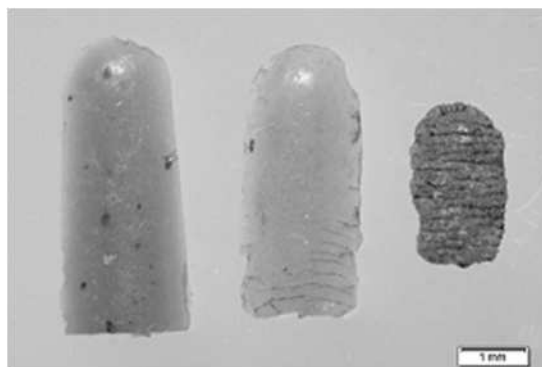


図 3 緑色へら状 MP の破碎過程。

図中のスケールは 1mm.

この MP の漂着状況を調べたところ、前述の微小 PS 球のような散発的な大量漂着はみられず、漂着がある海岸では漂着 MP 全体の 3~10%に相当する量の漂着がいつ行っても確認できるという状況で

あった。鵜沼では、台風直後にはこの MP の漂着量が他の季節のおよそ 7 倍に増加した。これは、屋外に散乱する破片が台風の雨により一気に洗い流されたためではないかと考えられる。また、これまでの調査で分離した緑色へら状 MP の材質の 86% は PE であり、残りは EVA 樹脂（エチレン酢酸ビニル共重合樹脂）であった。人工芝の店頭の販売状況を見ると、EVA 製の製品は PE 製のものより価格が数倍高い。漂着していた破片の比率もこの価格差を反映しているものと考えられる。

3.3 中空球状 MP

2018 年春の調査において、山王網一色に図 4 に示した褐色を帯びたつぶれたボールのような形状の MP が大量に漂着しているのを確認した。大きさは 3~5mm、材質は EVA 樹脂とポリウレタンがほぼ半々であった。この特徴的な形状と材質から、この MP は樹脂系被覆肥料の被膜殻であることが分かった。樹脂系被覆肥料とは、このボールの中に肥料が入っており、ボールの被膜を通してその成分が少しずつ外側へ溶け出していくように工夫された肥料の一種である。施用回数が年 1 回で済むため、作業の省力化が可能な農業資材として、近年使用量が増えている。畑にも水田にも使われるが、神奈川県内では水田で使われるケースが多いようである。

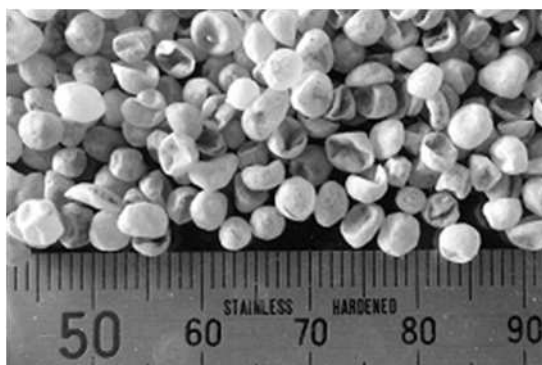


図 4 山王網一色に漂着した中空球状 MP.

この 2018 年春の山王網一色の大量漂着では、漂着 MP の 91% をこの中空球状 MP が占めていた。試料採取を行ったのは 5 月の下旬であったが、この時にはまだ今年の肥料は施用していない。したがって、海岸に漂着していたのは一年前に施用した肥料の残骸、ということになる。前年の田植え後、水田にまいた肥料が水田土壌中に残留し、今年田植え前に代掻きを行ったとき、この残留した肥料の被膜殻が水路を通じて酒匂川に流出し、これが海岸に流れ着いたのではないかと考えられる。一方、前年の 2017 年にもほぼ同時期に調査を行っているが、この時には漂着が確認できなかった。これは、試料採取と代掻きのタイミングのずれによるものと考えられる。メーカーのホームページによれば、樹脂系被覆肥料の被膜は微生物分解性や光崩壊性を高めた素材で作られているとされるが、1 年間はほとんど劣化することなく水田土壌中に残留することがわかった。

2018 年春の調査では、山王網一色のほかに相模川河口近くの高浜台でもこの中空球状 MP の漂着が確認された。しかし、その量は山王網一色のわずか 2% であり、そのほかの海岸ではほとんど漂着が確認できなかった。前述の緑色へら状 MP とは異なり、中空球状 MP は漂着の地域と時期に大きな偏りがある MP であるといえる。相模川流域の水田面積は、酒匂川流域の 2 倍以上あるにもかかわらず、漂着量が極めて少なかったことは、この肥料の使用にかなりの地域差があることを示唆している。

3.4 樹脂ペレット

樹脂ペレットは、MP の中でも研究が最も進んでいるものであり、20 年ほど前から海岸への漂着が指摘されている。射出成型によってプラスチック製品を作るときの原料であり、図 5 に示したように大きさが 3~5mm、材質は PE と PP が大部分であり、円盤状や円筒状の形態をもつ。環境に出てからの時間が長くなると、褐色に変色するものが多い。発生源は、プラスチック成型事業所やペレットの輸送過程でのこぼれが原因であることが既に分かっている。日本プラスチック工業連盟では 2001 年から関係事業所に対するペレットの漏出防止を指導しているが、海岸への漂着は残念ながら根絶できて

いない。漂着ペレットの中には、着色していない新しいものも多数含まれていることから、漏出が続いていると考えられる。

樹脂ペレットの漂着が多い海岸は、鵜沼と高浜台であった。これは、引地川と相模川流域に発生源となるプラスチック成型事業所が多く存在しているためと考えられる。緑色へら状 MP と同様に特異的な大量漂着はなく、漂着した MP の 3%程度の量が定常的に漂着していた。

鵜沼では、他の海岸には見られない特徴的な分布状況を示すこともわかった。鵜沼では、砂防林の海岸側に砂丘が発達しているが、ここに樹脂ペレットが吹き溜まっていた。その量は、満潮線の漂着量の 10 倍に達した。砂丘には通常の状態では海水が届かないため、満潮線上に漂着した樹脂ペレットがおそらく海風により内陸側に運ばれたものと考えられるが、こうした状況は高浜台では確認できなかった。台風の強風時にはその量が増加するのではないかと考えたが、強風時は吹き飛ばされ、むしろ量は減少していた。ほかの MP ではこのような吹き溜まりは確認できていない。なぜ、鵜沼で、樹脂ペレットに限ってこのような分布を示すのか、現時点で理由は不明である。

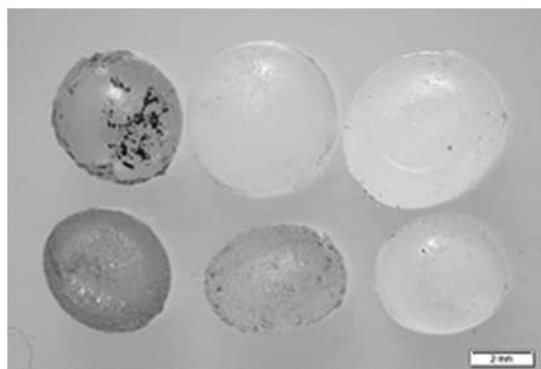


図5 漂着した樹脂ペレット。
図中のスケールは 2mm.

4 おわりに

MP のもとは何か、という問いに対し、多くの人は「プラごみ」と答えるだろう。MP 調査を行っている著者らも、最初はそのように考えていた。しかし、実際に調査をしてみると、MP のもとはプラごみだけではないことがわかってきた。

最近、MP 対策としてプラ製ストローを削減する動きが活発である。プラ製ストローは大部分が PP 製なので、これが MP になったら PP のフィルム状破片になるはずである。そこで、その比率を調べてみたところ、平均でわずか 0.1%しかなかった。プラ製ストロー削減は、プラごみ全般を減らすという意味で一定の効果があるので、この動きを否定するつもりはないが、少なくとも相模湾沿岸においてはプラ製ストロー対策を行っても MP を減らすことはできないと考える。

人工芝のように、MP は現在使用中の製品から日々生成しているものも多い。誰もこれをごみとは認識していないので、ごみ対策では問題は解決しない。ビーズクッションの封入材のように、きちんごみ出ししたとしても、思いもよらない経路から MP が環境中に出ているケースもある。MP を削減するには、SDGs の「つくる責任、使う責任」に基づき、プラスチック製品の生産者、ユーザー、処理者などあらゆる主体のパラダイムシフトと全員参加による総合的な取組がぜひとも必要と考える。

参考文献

- 1) Eriksen M. *et al.*, PLoS ONE, 9, e111913 (2014)
- 2) Isobe A. *et al.*, Mar. Pollut. Bull., 101, 618-623 (2015)
- 3) Mato Y. *et al.*, Environ. Sci. Technol., 35 (2), 318-324 (2001)
- 4) Tanaka K. *et al.*, Sci. Rep., 6, 34351 (2016)
- 5) Isobe A. *et al.*, Mar. Pollut. Bull., 89, 324-330 (2014)
- 6) 池貝ら, 全国環境研会誌, 42 (4), 197-202 (2017)