

横浜市内のマイクロプラスチック調査（第4報） —野島海岸のマイクロプラスチック漂着量の季節変動—

蝦名紗衣、加藤美一、北代哲也、小倉智代（横浜市環境科学研究所）

Microplastic survey in Yokohama City (Part4) —Seasonal variation of microplastics washed ashore on the Nojima coast—

Sae Ebina, Yoshikazu Kato, Tetsuya Kitashiro, Tomoyo Ogura (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：マイクロプラスチック、東京湾、横浜、海洋環境、季節変動

要 旨

近年マイクロプラスチック（MP）による海洋汚染が国内外で注目を浴びており、汚染の実態把握が進められている。横浜市環境科学研究所では、2017年から市内の環境中のMPの存在状況を把握するため調査を行っている。2017年に市内の沿岸6地点に漂着しているMPの量を調査したところ、野島海岸において他より多くのMPが漂着していることが分かった¹⁾。2018年度は野島海岸で、海岸を12区画に区切り、地点内の偏りや季節変動を含めて2か月ごとにMPの分布量のモニタリングを行った。2018年3月～2019年3月のMP漂着量を調査したところ、12区画の合計値で5月及び7月に漂着量が比較的多い結果となった。また形状別・材質別の組成は季節による差がなく、形状では破片状のMPが70%以上を占めており、材質はPE・PP・PSが95%以上であった。

1. はじめに

近年、マイクロプラスチック（MP）及びプラスチックごみによる海洋汚染が国際的な問題となっている。2015年に採択された国連の持続可能な開発のための2030アジェンダ（SDGs）では海洋汚染の防止と大幅な削減が目標に掲げられており、2019年に開催されたG20大阪サミットでは日本が海洋プラスチックごみの対策実施枠組を提言した²⁾。

海洋に存在するプラスチックは、海を漂流しているもの、海底に沈降しているもの、海岸に漂着しているものなどが考えられるが、海岸に存在するプラスチックは海岸からの熱や紫外線の影響により劣化が進みやすく、細片化しやすい。そのため海岸がMPの生成の場となっている可能性が高いと考えられている³⁾。

横浜市環境科学研究所では、横浜市内の環境中に存在するMPの実態を詳細に把握するために、2017年度から調査を開始した。2017年に市内の沿岸6地点に漂着しているMPの量を調査したところ、他地点と比較して野島海岸において多くのMPが漂着していることが分かった。4月と12月に調査を行ったところ、観察された個数に差があったが、季節変動か地点内の偏りなのか原因については前回の調査だけでは判断ができなかった¹⁾。この結果を踏まえ、2018年度は野島海岸で追加調査を行った。長期的なモニタリング手法を検討するため、地点内の偏りや季節変動を含めてMPの漂着量の調査を2か月ごとに行った。また、同時にサンプリング手法の妥当性について検討した。本論文では2018年3月～2019年3月の野島海岸の調査結果について報告する。

2. 調査方法

2-1 調査概要

MPの定義は研究者によって異なるが、5mm以下のプラスチックを総称することが多く³⁾、本調査でも概ね5mm以下のものを対象とした。

今回の調査概要を図1に示す。調査は2か月ごとに行い、1回の調査で海岸を12区画に分けて各区画で表層の砂のサンプリングを行った。また2018年3月～9月にかけては、満潮線上でのサンプリングも行った。4.76mmの目開きのふるいで選り分けた。その後、比重分離によって水より軽いものを選別し、目視による分離と赤外分光光度計（FT-IR）による材質判定により、MPを特定した。最終的に各区分の砂に含まれるMPの個数及び材質・形状（破片・粒子・繊維・ペレット）別の組成を求めた。

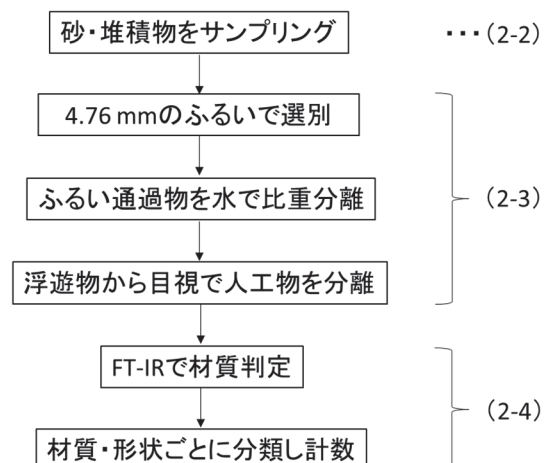


図1 調査概要

2-2 サンプリング

2018年3月～2019年3月の2か月ごとに横浜市金沢区の野島海岸でサンプリングを行った。野島海岸は横浜唯一の自然海岸で、東京湾の平潟湾内に位置している。野島海岸の地図及び写真を図2・図3に、調査日時について表1に示す。

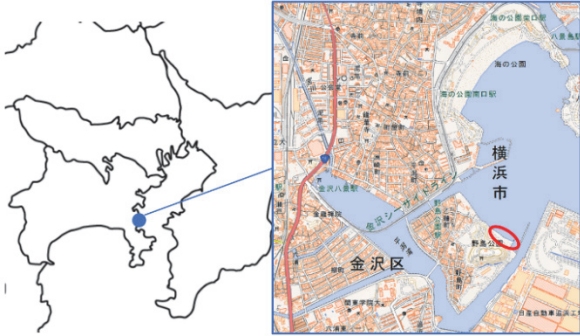


図2 野島海岸の地図（海岸を赤丸で示す）



図3 野島海岸の写真

表1 2018年3月～2019年3月の調査日時

調査日時	天候	潮位 [cm]	
2018/ 3/22 12:30～13:30	晴	50	下げ潮時
2018/ 5/24 9:25～10:15	晴	100	上げ潮時
2018/ 7/20 10:10～11:20	晴	140	下げ潮時
2018/ 9/28 13:10～14:30	晴	75	上げ潮時
2018/11/19 10:30～11:20	曇	110	上げ潮時
2019/ 1/28 12:40～13:50	晴	115	下げ潮時
2019/ 3/20 9:00～ 9:45	晴	85	下げ潮時

今回の調査では地点内の偏りを考慮し、始点から野島海岸を10m四方ごとに分画し、12区画の各中心部でそれぞれサンプリングを行った。サンプリング箇所を概略を図4に示す。海側の⑧～⑫の区画の中に満潮線が存在していた。また2018年3月～9月では、さらに満潮線上で10mごと（図4のa～e）にサンプリングを行った。

野島海岸の満潮線上は図5のように堆積物が多く、満潮線上及び、満潮線付近では砂が隠れている場合が多い。堆積物で覆われている箇所でのサンプリング方法の妥当性を評価するために、2018年3月の調査のみ、採取箇所が堆積物で覆われている場合は堆積物表層と、その下の砂両方を採取した。図4の⑫・a・dでは堆積物表層とそ

の下の砂表層を採取し、両者に含有するMPの差異を検討した。

2018年3月以外は、⑧～⑫の区画の中心部が堆積物で覆われている場合、区画内で位置をずらして砂が露出している部分でサンプリングを行った。

サンプリング地点で、図6のような円柱の採土器（φ5cm、高さ5cm）を用いて表層の砂を採取した。この採土器は通常土壌を採取するとき使用するもので、コドラートを用いた方法^リよりも、より正確に同じ体積の砂を採取することができる。

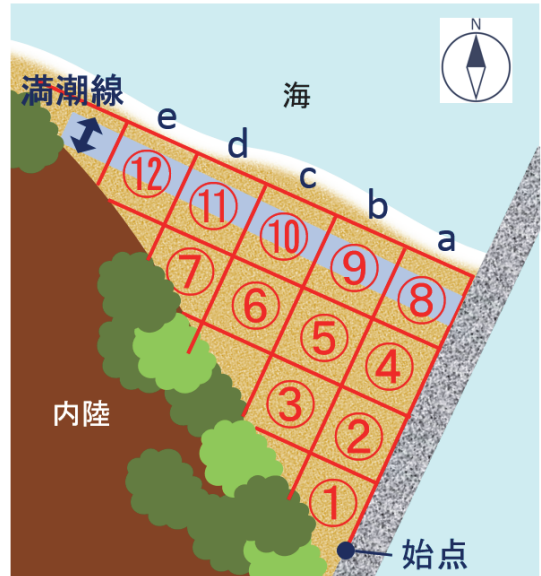


図4 サンプリング箇所の概略図



図5 野島海岸の満潮線の様子

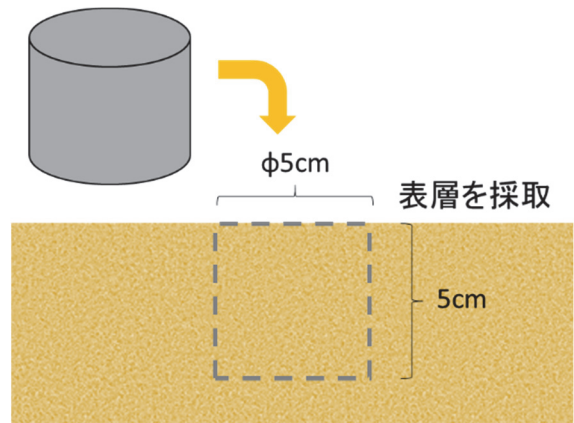


図6 採土器の概略図

2-3 分離

サンプリングした砂・堆積物を、目開き 4.76 mm のふるいでふるった。

その後比重分離をするため、ふるい通過物を水道水で攪拌し、10 分ほど静置した後、浮遊物を目開きが 0.30 mm 以下のふるいで濾しとった。この工程では水より軽いものと、水より重い砂などを分離することができる。浮遊物がなくなるまで(2~5回)、この作業を繰り返した。水より軽いプラスチックが雨に流されて海を漂流すると考えられるため、2017年度の調査¹⁾と同様、水より軽いものを対象とした。

分離した浮遊物を乾燥させ、目視で人工物のみピンセットで分取した。目視で確認できるサイズ(概ね数百μm以上)のMPを対象とした。

2-4 MP の分類

分離した浮遊物をFT-IRにかけて、材質判定を行った。FT-IRは、Thermo Fisher製のNicolet 380を使用した。調査日・区画ごとのMPの個数、並びに材質及び形状(破片・粒子・繊維・ペレット)ごとの組成を求めた。また、元製品が推定できるものや、多く観察される特徴的なMPについては、その割合を算出した。

3. 結果と考察

3-1 満潮線上の砂に含まれるMP個数

2018年3月~9月は①~⑫に加えて満潮線上で10mおき(a~e)に砂を採取した。結果を表2に示す。9月のb~dは満潮線が堆積物で覆われており、表層の砂の採取ができなかった。3-2でも述べるように、野島海岸では満潮線上での砂の採取が常にできるわけではないため、満潮線上での長期的なモニタリングは難しいと判断した。

表2 満潮線上の砂に含まれるMP個数

調査日	a	b	c	d	e	合計
2018/ 3/22	11	4	18	71	99	203
2018/ 5/24	30	1	1	0	3	35
2018/ 7/20	1	2	2	0	0	5
2018/ 9/28	482	-	-	-	29	511

3-2 堆積物の表層と砂に含まれるMPの比較

2018年3月の調査では⑫(満潮線より内陸)・a(満潮線)・d(満潮線)において、サンプリング箇所が堆積物で覆われていたため、堆積物の表層とその下にある砂の表層をそれぞれ採取し、含有するMPの個数を比較した。結果を表3に示す。両者を比較すると、3箇所において堆積物表層の方が多くのMPを含有しており、どちらを採取するかで結果が大きく変わることが分かった。表層を採取するという目的では、堆積物の採取が適していると考えられるが、堆積物は図7のように木の枝などが多く嵩張りがあったため、正確な体積を採取することができなかった。一定の体積を採取するには、採取物がある程度小さいものでないと困難である。

海岸のMP調査において、満潮線上で表層数cmの砂を採取する方法が主流であるが⁴⁾、野島海岸は漂着物が多く満潮線上では砂が堆積物でほとんど覆われており、採取が困難な場合が多い。そのため、野島海岸で長期的なモニタリングを目的とするためには、満潮線上に拘らず、区画を設定して砂を採取する方法が適していると考えた。

表3 堆積物表層と砂に含有するMP個数

採取箇所	MP個数	備考
⑫(堆積物表層)	385	満潮線より 内陸側
⑫(砂表層)	4	
a(堆積物表層)	606	満潮線上
a(砂表層)	11	
d(堆積物表層)	95	満潮線上
d(砂表層)	71	



図7 2018年3月の調査で採取した堆積物

3-3 区画ごとのMPの個数

各調査日において、①~⑫の区画で採取した砂に含まれるMPの個数と、全調査日の平均を求めた結果を表4に示す。また、区画ごとの平均値を図8に示す。

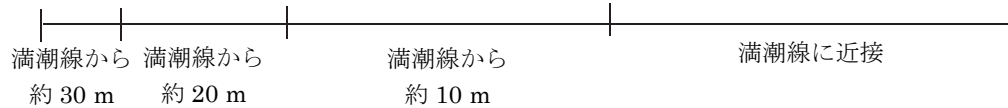
①~③はMPの個数が比較的少なかった。通常潮が入ってくる⑧~⑫から距離が離れているため、MPの分布が少なかったと考えられる。

④~⑦の区画は満潮線が存在する⑧~⑫よりもMPの個数が多く、漂着したMPの多くが風で飛ばされて潮上帯(満潮時の水位よりも高いところ)に移動していることが示唆された。12区画で地点差があり、特に全調査日の平均値を見ると⑦における分布が多かった。図4の「内陸」の部分は階段状になっており、⑦の南西部が壁になっているため、漂着物の吹き溜まりとなっている可能性がある。

神奈川県調査において、鵜沼海岸では満潮線よりも潮上帯の方がMPの漂着量が多く、久里浜海岸では満潮線よりも潮上帯の方が少ないことが報告されている⁵⁾。また、イタリアの湖岸の調査では、water line(水際)よりもdrift line(満潮線)やhigh-water line(満潮線よりも水位が上の場所)の方が多くのMPが分布しており⁶⁾、水際からの距離によってMPの分布量が異なっているという報告がある。また、モルディブやブラジルの海岸の調査では、同一海岸内でも沿岸方向での採取箇所の違いによってMPの個数に大きな差があり、沿岸方向にも

表4 区画ごとの砂に含まれるMPの個数と平均値(2018年3月~2019年3月)

調査日	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	合計
2018/3/22	2	5	1	4	27	5	18	8	24	13	7	4	118
2018/5/24	3	3	4	2	26	19	387	1	1	5	31	7	489
2018/7/20	1	0	2	74	34	291	82	6	1	2	0	0	493
2018/9/28	2	2	8	7	16	5	108	12	21	0	2	1	184
2018/11/19	0	42	4	20	1	24	3	58	31	11	34	3	231
2019/1/28	0	15	7	19	2	20	31	41	19	6	119	1	280
2019/3/20	1	4	3	26	7	31	16	82	24	29	3	0	226
平均	1.3	10	4.1	22	16	56	92	30	17	9.4	28	2.3	290



MPが偏在していることが報告されている^{7),8)}。一方でオランダの海岸調査では、潮間帯・満潮線・潮上帯のそれぞれ10地点で表層の砂に含まれるMPを調査したところ、場所による偏りはほとんどなかったという結果が報告されており⁹⁾、MPの分布の傾向は海岸の形状や方位によっても異なってくると推察される。

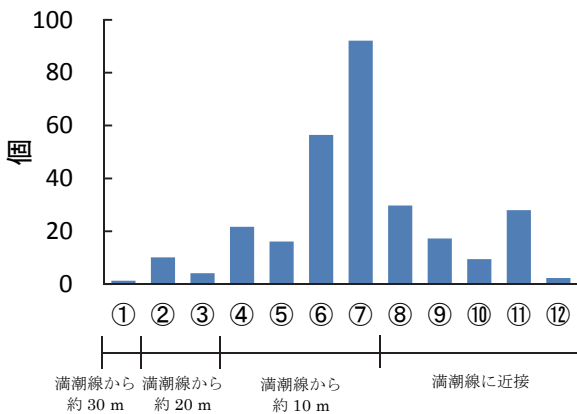


図8 区画ごとのMP個数平均値(2018年3月~2019年3月)

3-4 12区画の合計個数の季節変動

調査日ごとの①~⑫のMPの合計値を図9に示す。

合計値を見ると、5月及び7月においてMPの漂着量が多いことが分かる。稲垣らの野島海岸付近の表層流の測定結果(1996年7月2日)によると、下げ潮時に東京湾の海水が金沢湾に入り込み、八景島の周りに還流を形成することが分かっている(図10)¹⁰⁾。そのため、野島海岸の漂着物は東京湾の潮流の影響を受けることが分かる。東京湾環境情報センターが公開している、2018年~2019年の東京湾の表層の月平均残差流を図11に示す。5月と7月は東京湾を滞留する流れであるが、3月と9月と11月については湾口へ向かう強い流れがあることが分かる(2019年1月はデータなし)¹¹⁾。片岡らの調査では、粒子追跡のシミュレーションと清掃船のごみの回収

量から2008年度の東京湾の月末のごみの滞留量を推計しており(図12)、滞留量は4月から8月にかけて増加し、9月から減少している。月末滞留量の季節変動は東京湾における残渣流動場の季節変動を反映しており、4月から8月中旬は湾奥近くに循環流が発生して漂流ごみを捕捉し

たため、増加したと考察している¹²⁾。同様に、東京湾を漂流するMPも潮流との関係により5月と7月において増加し、その影響で野島海岸に漂着したMPが多かった可能性がある。

海岸のMP分布量の季節変動については他の研究機関でも調査を行っている。香港の海岸調査では、降雨量が多い季節(2014年7月7日~9月16日)と降雨量が少ない季節(2015年1月16日~3月21日)のMP漂着量を25カ所で比較したところ、降雨量が多い季節でMPの漂着量が多かったという報告がある¹³⁾。またインドの海岸調査では、2か月ごとに調査を行ったところ、海岸を訪れる人が多い5月に最も多く漂着していたと報告されている¹⁴⁾。一方で、ドイツの海岸調査では、2014年3月~7月にMP漂着量の季節変動を4箇所で観察したところ、規則的な季節変動や場所によるばらつきは見られなかったと報告されている¹⁵⁾。

野島海岸におけるMPの漂着量の季節変動については、データの信頼性を含め慎重にモニタリングしていく。

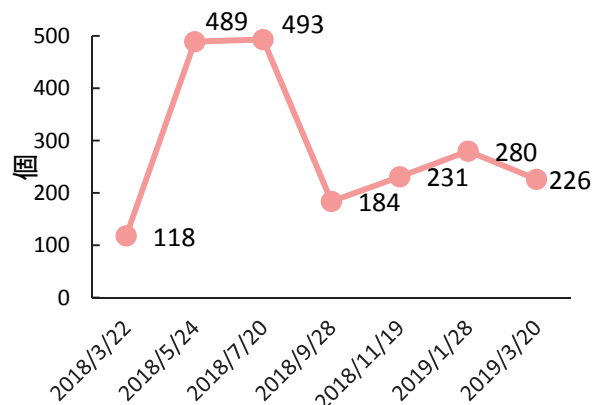


図9 12区画の合計個数の季節変動

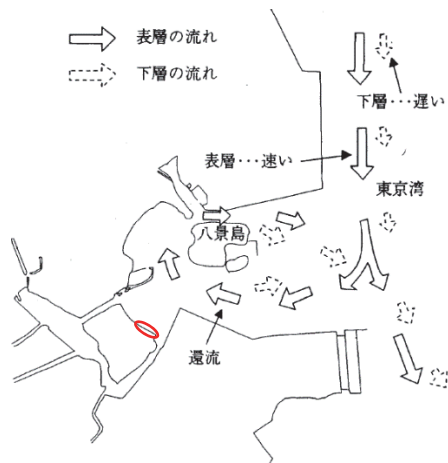


図10 金沢湾表層の還流の形成¹⁰⁾
(野島海岸は赤丸で示している)

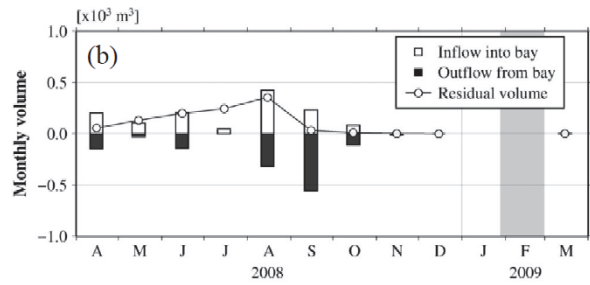


図12 東京湾の月末のごみ滞留量推計¹²⁾

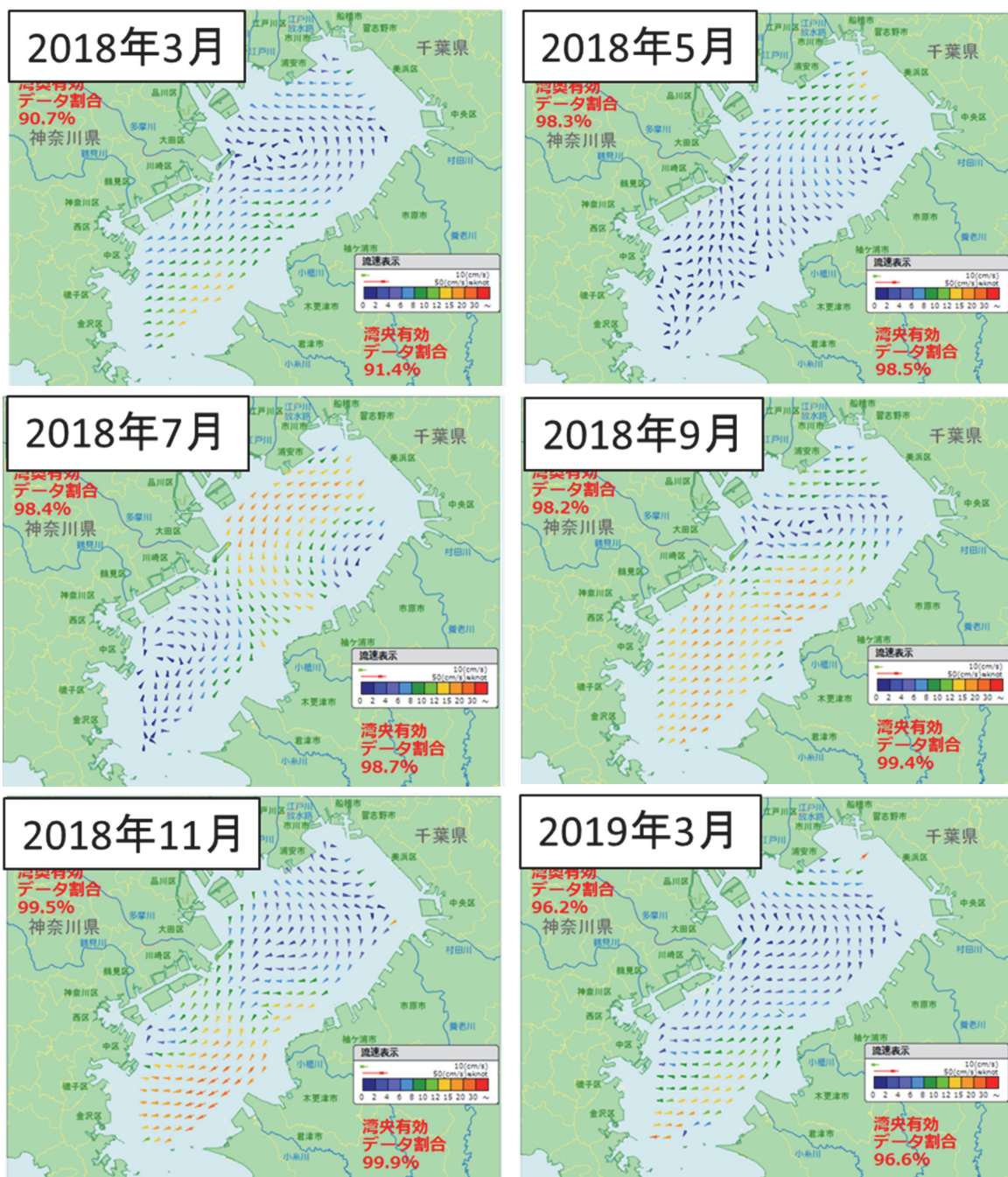


図11 東京湾の表層の月平均残渣流¹¹⁾

3-5 MP の種類の内訳

各調査日の12区画の合計について、観察されたMPの形状(破片・粒子・ペレット・繊維)別の割合・材質別の割合をグラフにしたものを図13・14に示す。どの調査日でも破片状のものが70%以上を占めていた。2017年度の調査結果¹⁾と比較しても同様の結果が得られた。また、材質別の組成では、ポリエチレン(PE)・ポリプロピレン(PP)・ポリスチレン(PS)が95%以上を占めていた。

また特徴的に多く観察されたMPについて、緑のPEの人工芝由来の破片(図15)、発泡スチロール由来の破片(図16)、1mm程度のPS粒子(図17)、ペレット(図18)があった。それぞれが占める割合を算出した結果を図19に示す。これらは2017年度の横浜市内沿岸の調査¹⁾でも観察されている。緑の人工芝破片や、発泡スチロール破片は神奈川県⁵⁾や、国外の海岸のMP調査でも多く観察されており^{13), 15), 16)}、使用用途や形状から細片化しやすいものであるため、MPとして環境中に流出しやすいと推察される。PS粒子は神奈川県⁵⁾の海岸調査でも多く観察され、クッション等の充填剤に使用されている予備発泡ビーズである可能性が指摘されている⁵⁾。白いペレットは環境中に長期間曝されると黄変する性質があるが¹⁷⁾、野島海岸では黄変度が異なるペレットが観察され、環境中に出て日が浅いものや長期間経っているものが混在していると考えられる。

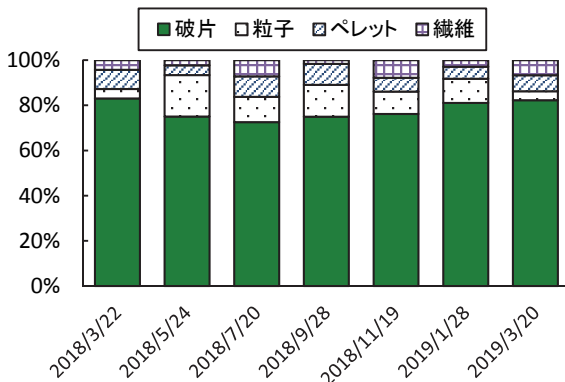


図13 形状別の割合

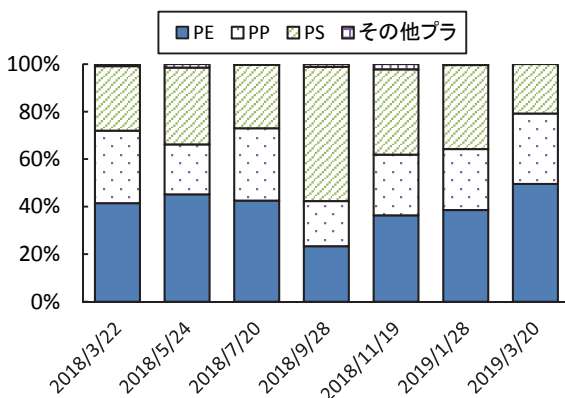


図14 材質別の割合

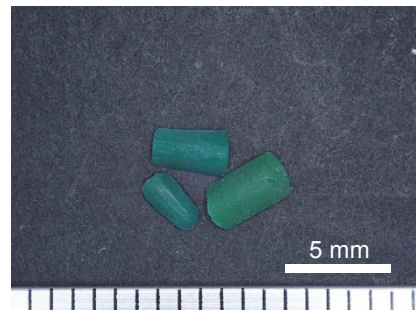


図15 人工芝破片



図16 発泡スチロール破片

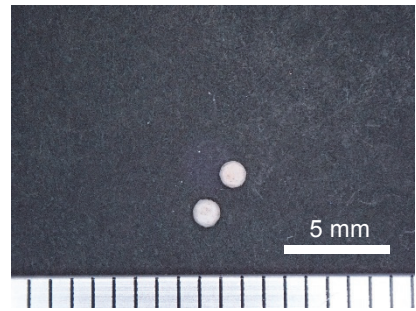


図17 PS粒子



図18 ペレット

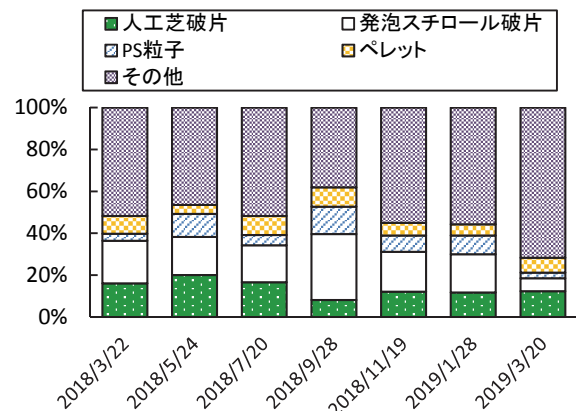


図19 特徴的なMPの割合

4. まとめ

2018年3月～2019年3月において、2か月ごとに野島海岸で採取方法の検討及びMP漂着量のモニタリングを行った。

野島海岸は漂着物が多く満潮線上では砂が堆積物でほとんど覆われており、採取が困難な場合が多いため、長期的なモニタリングを目的とするためには、満潮線上に拘らず、区画を設定して砂を採取する方法が適していると考えた。

漂着量は海岸内12区画の合計値で2018年5月及び2018年7月に漂着量が多い結果となった。また形状別・材質別の組成は季節による差がなく、形状では破片状のMPが70%以上を占めており、材質はPE・PP・PSが95%以上であった。また、人工芝破片、発泡スチロール破片、PS粒子、ペレットなど特徴的なMPが定常的に観察された。今後も引き続き野島海岸の調査を行い、季節変動等、データの信頼性を含め慎重に検討していく。

また得られた調査結果については市民への啓発へ活用する。

文献

- 1) 蝦名紗衣、加藤美一、堀美智子：横浜市内のマイクロプラスチック調査（第1報）－沿岸のマイクロプラスチックの漂着状況－、横浜市環境科学研究所報、**43**、26-30（2019）
- 2) 環境省：G20 海洋プラスチックごみ対策実施枠組（仮訳）、<https://www.env.go.jp/press/files/jp/111827.pdf>（2019年7月時点）
- 3) Andrady, A.L. : Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, **62**, 1596-1605（2011）
- 4) Valeria H. R., Lars G., Richard C. T., Martin T. : Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, *Environ. Sci. Technol.*, **46**, 3060-3075（2012）
- 5) 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、**42(4)**、54-59（2017）
- 6) Hannes K. Imhof, Alexandra C. Wiesheu, Philipp M. Anger, Reinhard Niessner, Natalia P. Ivleva, Christian Laforsch : Variation in plastic abundance at different lake beach zones - A case study, *Science of the Total Environment*, **613-614**, 530-537（2018）
- 7) Hannes K. Imhof, Robert Sigl, Emilia Brauer, Sabine Feyl, Philipp Giesemann, Saskia Klink, Kathrin Leupolz, Martin G. J. Loder, Lena A. Loschel, Jan Missun, Sarah Muszynski, Anja F. R. M. Ramsperger, Isabella Schrank, Susan Speck, Sebastian Steibl, Benjamin Trotter, Isabel Winter, Christian Laforsch : Spatial and temporal variation of macro-, meso- and microplastic abundance on a remote coral island of the Maldives, Indian Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, **116**, 340-347（2017）
- 8) Aiken B., Martina G. V., Paul B., Thijs B. : A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand, *Marine Pollution Bulletin*, **114**, 77-83（2016）
- 9) Alexander Turra, Aruana B. Manzano, Rodolfo Jasao S. Dias, Michel M. Mahiques, Lucas Barbosa, Danilo Balthazar-Silva & Fabiana T. Moreira : Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms, *Sci. Rep.*, **4(4435)**, 1-7（2014）
- 10) 稲垣聡、田中昌宏、秋山真吾、棚瀬信夫、林文慶：閉鎖性海域の流動・密度構造に関する現地観測－神奈川県金沢八景海域を対象として－、海岸工学論文集、**44**、376-380（1997）
- 11) 東京湾環境情報センター：月平均残渣流表示、http://www.tbeic.go.jp/Radar_TBEIC/Residuals/（2019年9月時点）
- 12) 片岡智哉、日向博文、二瓶泰雄：河川から東京湾へ流入する漂流ゴミ量の逆推定、国土技術政策総合研究所報告、**53**、1-24（2013）
- 13) Pui K. C., Lewis T. O. C., Lincoln F. : Seasonal variation in the abundance of marine plastic debris in the estuary of a subtropical macro-scale drainage basin in South China, *Science of the Total Environment*, **562**, 658-665（2016）
- 14) H. B. Jayasiri, C. S. Purushothaman, A. Vennila : Quantitative analysis of plastic debris on recreational beaches in Mumbai, India, *Marine Pollution Bulletin*, **77**, 107-112（2013）
- 15) Andrea S., Stefan F., Gunnar G., Hendrik S. : Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast, *Marine Pollution Bulletin*, **99**, 216-229（2015）
- 16) In-Sung K., Doo-Hyeon C., Seung-Kyu K., SooBong C., Seung-Bum W. : Factors Influencing the Spatial Variation of Microplastics in High-Tidal Coastal Beaches in Korea, *Arch Environ Contam Toxicol*, **69**, 299-309（2015）
- 17) Chelsea M. R., Eunha H., Brian T. H., Shawn K. : Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris, *Environ. Sci. Technol.*, **47(3)**, 1646-1654（2013）