

<報文>

海洋マイクロプラスチックの海岸漂着特性 ～太平洋沿岸と日本海沿岸の比較～*

池貝隆宏**・菊池宏海**・三島聡子**

キーワード ①マイクロプラスチック ②海岸漂着 ③太平洋沿岸 ④日本海沿岸

要 旨

マイクロプラスチック (MP) の海岸漂着状況に及ぼす外洋の影響を比較するため、2018年11月に神奈川県の高浜台海岸と島根県の高浦海岸で漂着量調査を行った。その結果、高浜台海岸において今回初めて黒潮の影響とみられる漂着量の増加を確認した。相模湾沿岸では、時期により外洋の影響に差があり、漂着状況は黒潮分派流の湾内への流入状況によって変わると考えられた。一方、高浦海岸では高浜台海岸の94倍のMPの漂着が確認された。集水域に発生源がない樹脂ペレットが多数漂着していたこと及び先行研究との比較から、高浦海岸に漂着するMPは黄海から対馬海流で輸送されたものが主体であり、これに朝鮮半島や九州の都市域から流出したMPが上乘せされたものであると考えられた。

1. はじめに

SDGsのゴール14の達成に向けた喫緊の課題の一つに、海洋プラスチックごみの削減があげられる。世界中で800万トン以上のプラスチックが毎年海洋に流出しており、対策を講じなければ2050年までにその総重量が魚類を上回る¹⁾との試算もある。こうしたプラスチックごみは、5mm以下のプラスチック片²⁾であるマイクロプラスチック (MP) の起源の一つと考えられている。海洋中に微細なプラスチック片が漂流していることは1970年代から指摘されていたが³⁾、今世紀に入りMPが海水中の希薄なPCB等の残留性有機汚染物質を高濃度に吸着して遠隔地に輸送する性質を持ち⁴⁾、魚類によるMPの摂食も確認^{5,6)}されるなど、MPが持つ海洋生態系に対するリスクが明らかになってきた。こうした状況を踏まえ、2015年に開催されたG7エルマウサミット以降その対策が世界的に議論されている。

MPの海洋中の総量はおよそ5兆個⁷⁾と推計されているが、その分布には偏りがある。Isobe *et al.*⁸⁾によれば日本近海のMP漂流量は世界平均の27倍も高く、その起源は黄海や東シナ海と推定されている。Jambeck *et al.*⁹⁾は、2010年において海域から50km圏内の地域に居住する人口の93%に当たる192か国から海域に流出するプラ

スチックごみが480～1,270万トンあり、東シナ海に接する中国及び黒潮源流部が東方沖にあるフィリピンからの流出量はその33%を占めると推計している。この海域のMPを含む漂流プラスチックごみは黒潮及び対馬海流により日本近海に輸送されることになる。

筆者らは、2017年から相模湾沿岸を中心に海岸で満潮線のMP漂着状況調査を行っている。相模湾は、黒潮分派流の一部が湾内に入るため¹⁰⁾、フィリピン由来のMPの影響を受ける可能性が考えられるが、これまでの調査ではその影響は小さく、内陸から河川を通じて流出するMPの影響の方が大きいことを確認している¹¹⁾。MP削減に向けた対策立案の第一歩として、その由来が内陸か外洋かを判別することは極めて重要であり、その手段として海岸漂着MP調査は有効と考えられる。

本報では、外洋由来のMPの影響の違いを検討することを目的に、太平洋沿岸と日本海沿岸の各1地点で海岸漂着MP調査を行いその漂着特性を比較したので、その結果を報告する。

2. 方法

2.1 調査地点及び調査時期

調査地点を図1に示す。太平洋側の調査地点は従来か

*The stranding characteristics of beached marine microplastics on the coast - The comparison of coast between the Pacific Ocean and the Sea of Japan -

**Takahiro Ikegai, Hiromi Kikuchi, Satoko Mishima (神奈川県環境科学センター) Kanagawa Environmental Research Center

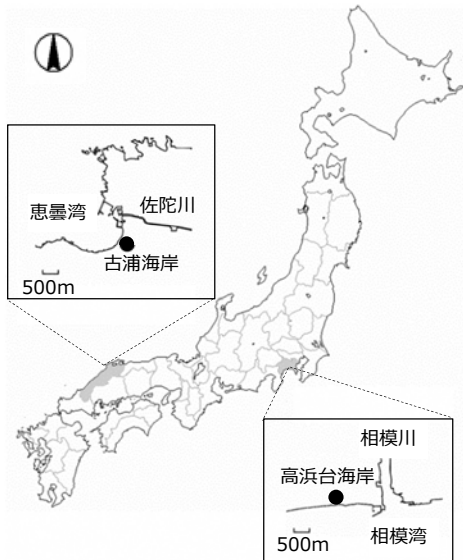


図1 調査地点図

ら調査を行っている神奈川県平塚市の高浜台海岸、日本海側の調査地点は島根県松江市鹿島町恵曇（えとも）の古浦海岸とした。高浜台海岸は、太平洋に対し南向きに約 80 km の海岸線を有する相模湾のほぼ中央部にある。神奈川県及び山梨県を流域とする一級河川相模川の河口右岸にあたり、東端の相模川河口には平塚漁港がある。相模湾沿岸は前述のとおり黒潮分派流の一部が三浦半島にぶつかって反時計回り西向きの潮流となるため¹⁰⁾、高浜台海岸は黒潮による外洋由来 MP と相模川を流下する内陸由来 MP の両方の影響を受ける位置にある。古浦海岸は島根半島の中央部の恵曇湾にある海浜であり、宍道湖と日本海をつなぐ運河である佐陀川の左岸、恵曇漁港のすぐ南側に位置する小規模な海岸である。恵曇湾は日本海に対して北西方向に開けており、西方向から流れる対馬海流の影響を直接受けると考えられる。

調査は、古浦海岸では 2018 年 11 月 16 日、高浜台海岸では 2018 年 11 月 21 日に行い、いずれも干潮時間帯に試料を採取した。

2.2 採取・分離・材質判別方法

試料は、既報の方法¹²⁾により採取及び分離を行った。試料の採取及び分離の手順を図 2 に示す。採取点は、満潮線上で 50m 以上離れた漂着物が多い 2 点を選び、砂堆積物を試料として採取した。分離は、篩分けと水道水による比重分離を併用した。高浜台海岸で採取した砂堆積物試料は、その全量から MP を分離したが、古浦海岸では後述するように漂着量が極めて多かったため、採取した砂堆積物試料の重量をあらかじめ量り、十分に攪拌混合したのち一部を分取し、分取試料から MP を分離した。

分離後、分離物をデシケータ中で乾燥した後、OLYMPUS 製実体顕微鏡 SZ61 を使用し長軸長さを計測した。その後、日本分光製赤外分光光度計 FT/IR-4600 (TGS 検出器) を用いた ATR 法で赤外線吸収スペクトルを測定し、材質を判別した。相模湾沿岸におけるこれまでの調査において、MP の材質はポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP) 及び発泡ポリスチレン (PS) の 3 種で 90%以上を占めたことから¹²⁾、本報においてもこの 3 種以外の材質をその他 (others) として整理した。材質ごとに選り分けた MP は、総量として重量を測定した。各海岸の漂着量は、採取した 2 点の平均とした。

3. 結果

3.1 材質・サイズ別漂着状況

各海岸の MP 漂着量を図 3 に示す。

高浜台海岸の MP 漂着量は 3,100 pieces/m²であり、材質は PS が多く、全体の 76%を占めた。次いで PE が 9%、PP が 7%であり、その他の材質は 8%であった。その他の材質のうち多かったものはエチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA, 49%)、次いでポリウレタン (PU, 36%) であった。MP のサイズは 1mm 以上 2mm 未満が一番多く全体の 24%、次いで 2mm 以上 3mm 未満が 20%であった。

古浦海岸の MP 漂着量は 290,000 pieces/m²と非常に多く、高浜台海岸の 94 倍に達した。材質は PS が圧倒的に

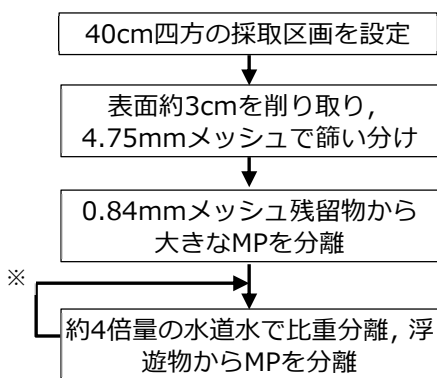


図2 採取・分離手順

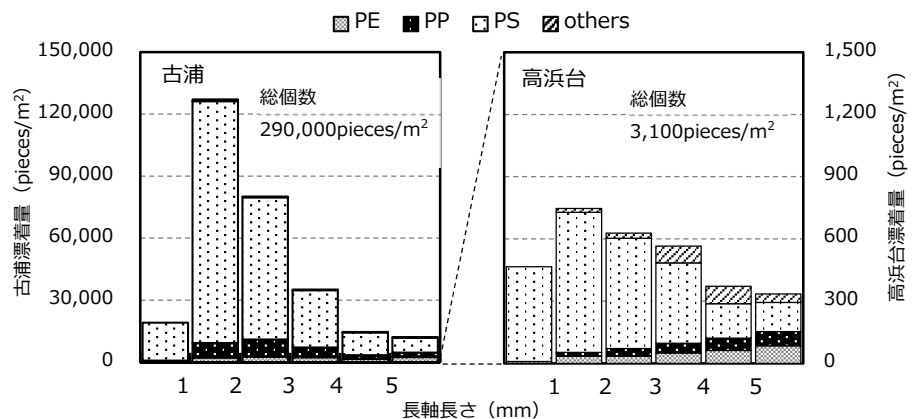


図3 各海岸のMP漂着量

表 1 特徴的形態の MP の漂着状況

	高浜台		古浦	
	漂着量 (pieces/m ²)	材質構成 (%)	漂着量 (pieces/m ²)	材質構成 (%)
樹脂ペレット	63 (2.0%)	PE 45, PP 40, EVA 15	860 (0.3%)	PE 57, PP 33, EVA 10
クッションビーズ	350 (11%)	PS 100	40 (<0.1%)	PS 100
人工芝破片	41 (1.3%)	PE 77, EVA 23	570 (0.2%)	PE 82, EVA 18
被覆肥料殻	140 (4.5%)	PU 51, EVA 49	21 (<0.1%)	PU 100

注) 漂着量の後の比率は、漂着率を表す。

多く全体の 87%を占め、次いで PP が 9%、PE が 4%であり、その他の材質は 1%に満たなかった。MP のサイズは高浜台海岸と同様に 1mm 以上 2mm 未満が 44%と一番多く、次いで 2mm 以上 3mm 未満が 28%であり、この上位 2 階級で 70%以上を占めており、高浜台海岸に比べて小サイズの MP の比率が高かった。

3.2 特徴的形態の MP の漂着状況

筆者らは、これまでの調査から相模湾沿岸では特徴的な形態を持つ次に示す 4 種の MP が漂着することを確認している¹³⁾。

- (1) 樹脂ペレット: 3~5mm の円筒又は円盤状のプラスチック成型原料(材質は主に PE, PP, 事業所からの漏出)
 - (2) クッションビーズ: 0.8~1.5mm の球状のクッション封入材(材質は PS, 製品廃棄時に漏出すると推定)
 - (3) 人工芝破片: 人工芝等の突起部が破断した破片(材質は PE, EVA, 屋外に散乱した破片が降雨時に流出すると推定)
 - (4) 被覆肥料殻: 3~5mm の中空球状の被膜(材質は EVA, PU, 水田の代掻き時に前年施肥の殻が流出すると推定)
- これら 4 種の MP の漂着状況を表 1 に示す。

いずれの海岸においてもこの 4 種の MP の漂着が確認されたが、漂着量は大きく異なっていた。高浜台海岸では、どの MP も総漂着量に対する比率(以下、「漂着率」として %オーダーで漂着が確認されたが、古浦海岸ではすべて 1%に満たなかった。二次 MP (上記 (1), (2), (4) 以外の MP) の占める比率は、高浜台海岸の 82%に対し、古浦海岸では 99%以上であり、古浦海岸では漂着する MP の大部分が二次 MP という状況であった。

これらの MP の高浜台海岸における漂着率をこれまでの調査¹³⁾の平均値と比較すると、樹脂ペレット(平均値 3.8%)及び人工芝破片(同 6.0%)はやや少なく、クッションビーズ(同 7.2%)はやや多かった。肥料殻は、漂着を確認した 2018 年 5 月(3.3%)に比べやや多かった。

相模湾沿岸においては、クッションビーズの漂着は不定期に発生する大量漂着の影響を大きく受け、漂着後少しづつ沖合に流出すると推察される¹³⁾が、今回の高浜台

海岸の漂着状況は大量漂着の影響が残った状態であったと考えられる。相模湾沿岸では、こうしたクッションビーズの大量漂着が散発的に確認されており、発生源対策の観点から重要度の高い MP の一つと考えられるが、今回の調査結果を見る限り、古浦海岸では漂着量、漂着率ともに低かったことから、日本海沿岸においてはクッションビーズの重要度は相模湾沿岸ほど高くないものと推察される。

一方、古浦海岸では、漂着率は低かったものの、漂着量で比べると樹脂ペレットと人工芝破片がともに高浜台海岸より 14 倍多かった。このことから、古浦海岸への漂着に影響を及ぼす MP の海域への流出という観点では、クッションビーズと被覆肥料殻より樹脂ペレットと人工芝破片の重要度が高いと考えられる。

4. 考察

4.1 高浜台海岸における外洋由来 MP の影響

これまでに行った漂着 MP 調査結果に基づく高浜台海岸の MP 漂着量と材質構成の推移を図 4 に示す。

高浜台海岸を含む相模湾沿岸の MP 漂着量は季節風の影響を受け、北風が卓越する冬期は陸域近傍に漂流する MP が沖合に運ばれるため、海岸への漂着量が減少する。

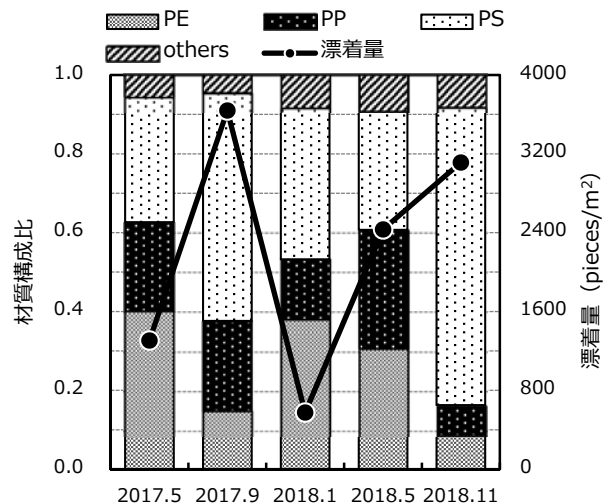


図4 高浜台海岸のMP漂着量と材質構成

調査は、2017.9は台風直後、それ以外は前10日間に平均風速 10m/s超、時間雨量10mm超の強風・強雨がない日に実施。

このため、図中 2018.1 (2018 年 1 月調査を表す。以下同じ。) の漂着量は年間を通じて一番少ない。今回調査時 (2018.11) には、すでに風向きが北寄りに変わっていることを考慮すると、漂着量は想定される量よりかなり多いと考えられる。調査日を含む 2018 年 11 月 9 日～11 月 22 日観測の海流概況図¹⁴⁾によると、この期間の黒潮は八丈島の北側を通過し、黒潮北縁は新島まで北上しており、大島の北を時計回りに流れる潮流が観測されている。このことから、この時期の相模湾は黒潮の影響を受けた可能性が大きい。一方、2018.5 以前は 4 期の調査のどの時期も伊豆諸島北部から相模湾にかけて冷水域があったため、相模湾は黒潮の影響をほとんど受けなかった¹³⁾。すなわち、この 4 期の漂着 MP は大部分が内陸からもたらされたものと考えられる。2017.9 の漂着量は台風直後の数値であるため、内陸由来 MP による最大漂着量に近いと考えられる。2018.11 は、平塚 AMeDAS による降水量が 24mm で平年値の 26% であることから、内陸由来 MP の影響は小さいと推察される。2018.11 は漂着量が減少する時期であるにもかかわらず、台風による内陸由来 MP の増分に近い量に相当する外洋由来の MP が上乘せされたため、漂着量が想定される量より多くなったと考えられる。PS の材質構成比が他の時期に比べて高いのも外洋由来 MP の影響を受けたことによるものと推察される。

相模湾沿岸では、黒潮分派流の流路によっては外洋由来 MP の影響を受け、台風による内陸由来 MP の増加量に匹敵する程度の MP 漂着量の増加をもたらすといえる。

4.2 古浦海岸における外洋由来 MP の影響

表 1 に示すように、古浦海岸では樹脂ペレットが高浜台海岸の 14 倍近く漂着した。そこで、古浦海岸の流入域における樹脂ペレットの発生源を次により確認した。

国土地理院の地理院地図 (電子国土 web)¹⁵⁾ を用いて古浦海岸の集水域を図上から求めたところ、集水域面積は 21.7km² であり、79% が山林、12% が農用地、建物用地及びその他用地が 9% であった。集水域が属する地区 (町丁・大字) は、松江市鹿島町の手結、恵曇、武代、佐陀本郷、名分、北講武、南講武、上講武、佐陀宮内及び古浦の 10 地区であった。この 10 地区の人口は、2018 年 11 月時点で 5,852 人¹⁶⁾ であり、これは神奈川県内の相模川本流に係る集水域の 6 市 2 町の人口の 0.3% に相当する。平成 26 年経済センサス基礎調査¹⁷⁾ によれば、この 10 地区に事業所が 230 件存在し、これは神奈川県内相模川集水域 6 市 2 町の事業所数の 0.2% にあたる。樹脂ペレット漏出防止マニュアル¹⁸⁾ は、樹脂ペレット漏出の関連産業を成型加工業等 8 区分としているが、これを日本標準産業分類の中分類に当てはめると、樹脂ペレット製造及び射出成型を行う製造業を主体とする 17 業種 (中分類 11, 14, 16,

18, 19, 24, 26, 27, 32, 42, 44, 45, 47, 48, 53, 71 及び 88) が該当した。上記 10 地区 230 件の事業所には、主たる排出源である化学工業 (中分類 16) 及びプラスチック製品製造業 (同 18) はなく、その他の事業所が 11 件該当した (金属製品製造業 (同 24) 1 件、生産用機械器具製造業 (同 26) 1 件、道路貨物運送業 (同 44) 3 件、倉庫業 (同 47) 1 件、運輸に付帯するサービス業 (同 48) 1 件、建築材料、鉱物・金属材料等卸売業 (同 53) 1 件、学術・開発研究機関 (同 71) 1 件、廃棄物処理業 (同 88) 2 件)。この 11 事業所の樹脂ペレット取扱い状況は不明だが、プラスチック製品製造業に比べその量は限定的と推察されることから、古浦海岸に漂着する樹脂ペレットは、ほとんどが潮流により海域から運ばれてきたと強く示唆される。

Kim *et al.*¹⁹⁾ は 2013 年 6 月に黄海上にある韓国ソヤ島 3 地点で漂着 MP を調査しており、黄海に面した 2 地点の漂着量は 118,000 及び 47,000pieces/m² であり、朝鮮半島に面した 1 地点の漂着量より 37~95 倍多かった。この 2 地点の材質は 99.0~99.7% が PS であり、その発生源は養殖施設のフロートとされている。一方、朝鮮半島に面した 1 地点は、内陸由来 MP の影響を受け、PS の比率は 86.8% と低く、本研究の古浦海岸の漂着率と同程度である。この調査から、黄海沖合の漂流 MP は PS が主体であると推察される。

黄海沖合の漂流 MP は対馬海流により日本海に輸送されることから、古浦海岸の漂着 MP のうち PS については黄海沖合の漂流 MP である可能性が高い。古浦海岸の漂着量はソヤ島の 2.5 倍以上多いが、Kim *et al.*¹⁹⁾ の数値は等間隔に並んだ 8~13 点で採取した試料の平均値であるのに対し、本研究の数値は最大ベース¹²⁾ であることを踏まえれば、この差は合理的なものといえ、本研究及び Kim *et al.*¹⁹⁾ の 2 つの調査における MP の起源はともに黄海由来であることが強く示唆される。この黄海由来の PS に朝鮮半島南岸の釜山や蔚山、北九州等の都市域由来の樹脂ペレットを含む非 PS の MP が加わり、古浦海岸に輸送されたものと推察される。このため、古浦海岸の非 PS の漂着率は朝鮮半島に面したソヤ島 1 地点の結果と同程度まで高くなったと考えられる。

日本国内でも瀬戸内海において養殖施設由来の MP が調査されている。Sagawa *et al.*²⁰⁾ が 2016 年 8~9 月に行った広島湾 6 地点の漂着 MP 調査では、MP 漂着量の範囲は 80~18,000pieces/m²、PS の漂着量が全体の 90% を占めた。広島湾に比べて古浦海岸の漂着量は 1 桁大きいことから、黄海における PS の発生量は瀬戸内海に比べて桁違いに多いと推察される。

5. まとめ

MP の海岸漂着状況に及ぼす外洋の影響を比較するた

め、2018年11月に太平洋沿岸の神奈川県平塚市の高浜台海岸と日本海沿岸の島根県松江市の古浦海岸でMP漂着量を調査した。2017年5月から調査を行っている高浜台海岸では、これまで外洋由来MPの影響が小さい状況が続いていたが、黒潮分派流の影響とみられる漂着量の増加を今回初めて確認した。外洋由来MPを含む総漂着量は、季節風に伴う漂着量の減少期にあつて内陸由来MPの最大漂着量に近い量であった。相模湾沿岸では、時期によって外洋の影響に差があり、その状況は黒潮分派流の相模湾内への流入状況によって変わると考えられた。

一方、古浦海岸ではPSの漂着量が極めて多く、その量は今回の調査ではMP総漂着量として高浜台海岸の94倍に達した。樹脂ペレットの漂着量も高浜台海岸の14倍多かったが、古浦海岸の集水域には発生源はなかったことから、樹脂ペレットについてはそのすべてが海域から潮流により海岸にもたらされたものであることが分かった。先行研究との比較から、古浦海岸に漂着するPSは黄海から対馬海流で輸送されたものであり、これに朝鮮半島や九州の都市域から流出したMPが上乗せされたものであると考えられた。

今回の調査結果から、漂着量の観点ではMP汚染の深刻度が高いのは日本海沿岸といえるが、漂着MPの大部分が外洋由来であるため、その削減には国際的な対策が不可欠である。一方、相模湾のMP汚染は日本海沿岸に比べれば漂着量は少ないものの、内陸由来の比率が高いことから、自治体レベルでも有効な対策が講じられる可能性が高いといえる。太平洋側でも、黒潮の影響を直接受けたり接近する可能性がある伊豆諸島や房総半島などでは、相模湾沿岸とは異なりMP漂着状況が日本海沿岸に近いものになる可能性がある。MP削減対策の検討にあたり、地域のMP漂着状況をきめ細かく把握することが重要になると考えられる。

本研究は、平成30年度神奈川県シーズ探求型研究推進事業費により実施した。

6. 引用文献

- 1) World Economic Forum: The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics, pp.7, World Economic Forum, Geneva, 2016
- 2) GESAMP: Reports and Studies 90 "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: a Global Assessment", pp.14-29, International Marine Organization, London, 2015
- 3) Carpenter E. J., Anderson S. J., Harvey G. R., Miklas H. P., Peck B. B.: Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science*, **178**, 749-750, 1972
- 4) 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**, 318-324, 2001

- 5) 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
- 6) Tanaka K., Takada H.: Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Sci. Rep.*, **6**, 34351, 2016
- 7) 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
- 8) Isobe A., Uchida K., Tokai T. and Iwasaki S.: East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics, *Mar. Pollut. Bull.*, **101**, 618-623, 2015
- 9) Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K. L.: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, **347**, 768-771, 2015
- 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) 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
- 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**, 197-202, 2017
- 13) 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
- 14) 第三管区海上保安本部海洋情報部: 三管区海洋速報海流概況図, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN3/kaisyoo/kaikyo/sokuho/baukNo.htm> (2019.4.10 アクセス)
- 15) 国土地理院: 地理院地図(電子国土web), <https://map.s.gsi.go.jp/> (2019.1.21 アクセス)
- 16) 松江市: 松江市統計情報データベース 長丁別世帯数・人口調査(2018年11月), <http://ntoukei.city.matsue.shimane.jp/> (2019.4.10 アクセス)
- 17) 政府統計の総合窓口 e-Stat: 平成26年経済センサス基礎調査 町丁・大字別集計, <https://www.e-stat.go.jp/> (2019.4.10 アクセス)
- 18) 日本プラスチック工業連盟: 樹脂ペレット漏出防止マニュアル, 1993

- 19) Kim I., Chae D., Kim S. and Choi S.: Factors Influencing the Spatial Variation of Microplastics on High-Tidal Coastal Beaches in Korea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **69**, 299-309, 2015
- 20) Sagawa N, Kawasaki K and Hinata H: Abundance and size of microplastics in a coastal sea: Comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water. *Mar. Pollut. Bull.*, **133**, 532-542, 2018