

## 九州地方沿岸域におけるマイクロプラスチック汚染の実態解明

阿草 哲郎, 金高 史佳

熊本県立大学環境共生学部

**概要** 近年, マイクロプラスチック(MP)による海洋生態系への影響について世界的に関心が高まっている。砂浜はUV や熱が十分にあるためプラスチックが劣化しやすく, また波や風によって砂と接触することでプラスチックが摩耗しやすい環境であることから, MP が最も発生しやすい場所と考えられている。しかしながら, 日本において砂浜における調査はほとんど実施されていない。また, 砂浜の形状や砂の性質によるMP生成・蓄積機構についてもよくわかっていない。そこで本研究は, 九州地方の沿岸域を対象に, MP汚染の実態と影響について調査した。また, 砂浜の砂質に焦点を当て, MPの生成要因について検証した。さらに, 化学分析を実施し, MPに吸着する重金属とその溶離性について考察した。

実際の沿岸域のMP汚染を明らかにするため, 2021年3月に八代海沿岸(6地点)の砂浜でフィールド調査を行った。その結果, 全ての地点からMPが検出された。とくに, 小さなサイズのMPほど砂浜中で濃度が高く, また地点間で顕著なMPの濃度差が認められた。MP濃度とプラスチックごみの濃度や砂のサイズ, 砂浜の勾配には有意な関係は得られなかったことから, 地形や海流などの別の要因がMP濃度に寄与していることが示唆された。

標準砂とポリエチレン(PE)ならびにポリプロピレン(PP)の球の振とう試験から, MPの生成度を検討した。その結果, 予想に反してPPについて振とう前と比べて有意に重量が増加した。このことから, プラスチック表面が摩耗し, その中に同じく砂同士で摩耗して細かくなった砂が入り込んでいるものと推察された。

MPが沿岸域の重金属汚染源となりうるのかどうか, 重金属を運ぶMPのベクターとしての機能性を検証するため, 重金属溶液で振とうしたPPとPEから重金属を硝酸抽出した。その結果, プラスチックから有意な重金属の溶出は認められなかった。このことは, PPとPEに重金属が吸着しなかった, あるいは溶出しなかった可能性が挙げられた。

### 1. 研究目的

マイクロプラスチック(MP)とは, 5 mm以下のサイズと定義される小さなプラスチックのことである<sup>1</sup>。MP自体は, 元々洗顔料などの製品中に含まれているものと, 環境中に流出したプラスチックごみが紫外線(UV)や波の力などによって徐々に劣化・破損していく過程で生成されるものと2種類ある。近年, このMPによる海洋生態系への影響について世界的に関心が高まっている。例えば, 目に見えないほどの小さなMPがプランクトンに取り込まれ, その生物自体へのダメージとその生物を基底とする食物連鎖への影響, すなわち生態系構造の崩壊が危惧されている<sup>2</sup>。さらにやっかいなことに, MPは有害化学物質を元々含有

しているだけでなく, 海洋環境中から吸着もするため, MPを摂取した生物に有害化学物質の生物濃縮と毒性影響が問題となる<sup>3,4</sup>。これらの問題は決して野生生物だけのものではない。我々人間も魚介類を摂取していることから, MPを蓄積した魚介類を介してヒトはMPに曝露することとなる。実際, 魚<sup>5</sup>や海水塩<sup>6</sup>からもMPが検出されている。また最近の研究では, ミネラルウォーターなどの飲用水<sup>7</sup>やティーバッグでこしたお茶<sup>8</sup>からもMPは検出されており, ヒトにおいて様々な媒体からのMPの取り込みとその健康影響が危惧されている。

このようにMPの問題は世界中で注目されている一方で, 日本における海洋生態系のMP汚染の調査はまだま

だ少ないのが現状である。とくに、砂浜は UV や熱が十分にあるためプラスチックが劣化しやすく、また波や風によって砂と接触することでプラスチックが摩耗しやすい環境であることから、MP が最も発生しやすい場所と考えられている<sup>9</sup>。しかしながら、日本において砂浜における調査はほとんど実施されていない。また、砂浜の形状や砂の性質による MP 生成・蓄積機構についてもよくわかっていない。

さらに注目すべき点は、海外に由来する MP である。沖縄や対馬のような島嶼部では、アジアから越境してきたプラスチックごみが問題となっており、これら海外からの越境ごみに由来の MP 汚染が懸念される。一方で、沖縄には亜熱帯固有の生態系、すなわちマングローブやサンゴ礁が存在するが、これらのフィールドにおける MP による生物相への影響が危惧される。近年の研究によると、サンゴも MP を蓄積していること、また本来の餌よりも MP を好んで取り込んでいることが報告されており<sup>10</sup>、サンゴの死滅およびそれに伴うサンゴ礁生態系の崩壊が危惧されている。

そこで本研究は、越境ごみの影響を受けやすい九州地方の沿岸域を対象に、MP 汚染の実態と影響について調査した。また、砂浜の砂質に焦点を当て、MP の生成要因について検証した。さらに、化学分析を実施し、MP に吸着している重金属とその溶離性について考察した。

## 2. 研究方法

### 2.1 沿岸域の MP 汚染調査

本研究では、まず実際の沿岸域の MP 汚染を明らかにするため、九州地方の沿岸域を調査対象とした。研究申請当初は、調査地点として、有明海、天草、八代海、野間岬、鹿児島湾、佐多岬、宮崎市、佐賀関、中津市、北九州市、糸島市、対馬、志賀島、平戸島、大村湾、樺島、石垣島、西表島を考えていたが、新型コロナウイルスの感染拡大に伴いフィールド調査が困難となってしまった。そこで、当初の計画を断念して調査規模を縮小し、2021年3月に八代海沿岸(08~13)の6地点の砂浜でフィールド調査を行った(Fig. 1)。

砂浜では、汀線に沿って 50 m x 1 m に区分した地点から砂を採取した。また、砂浜の勾配を測定するとともに、ドローンを用いて上空から砂浜の地形を撮影した。

採取した砂は乾燥させ、4.75 mm, 1 mm, 0.1 mm のふるいにかけて >4.75 mm, 1 - 4.5 mm, 0.1 - 1 mm, ≤0.1 mm の4つの画分に分け、重量を測定し、砂の粒径分布を求

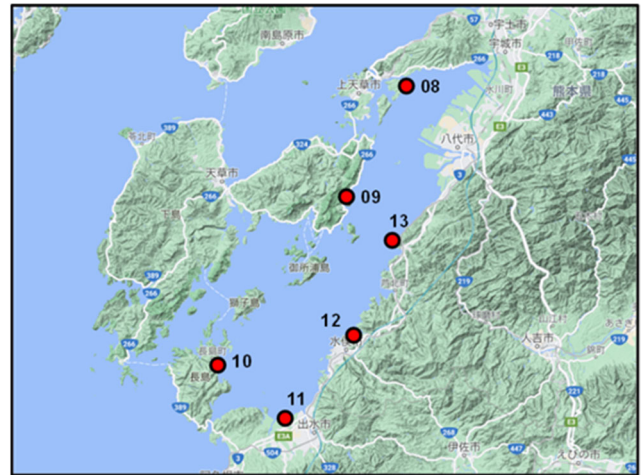


Fig. 1 Sampling location around Yatsushiro Sea

めた。ふるい分けした 1 - 4.5 mm と 0.1 - 1 mm の砂に 60% ヨウ化カリウム水溶液を入れ、比重分離後に浮遊した粒子を PTCE フィルター上に分取した。1 - 4.5 mm のサイズの浮遊粒子については、フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) でプラスチックかどうかを判定した。0.1 - 1 mm のサイズの浮遊粒子は過酸化水素で処理し、プラスチック以外の有機物を分解した後、1 µg/ml ナイルレッドで粒子を染色し、蛍光顕微鏡下で発光したものをプラスチックとして計数した。

また、現地では海ごみ(プラスチック・金属・ガラス・流木・その他)も採取し、ラベルなどの文字を確認し、越境由来か確認した。

### 2.2 砂を用いた MP 生成試験

2種類の粒径の標準砂(4.25 mm と 8.5 mm)を用いて、ポリエチレン(PE)ならびにポリプロピレン(PP)の球(直径 3.2 mm)からの MP の生成度を検討した。具体的には、各種の砂を 750 度の高温処理で全ての有機物を加熱分解し、一定量を取った後、秤量したプラスチック球と共に遠沈管に入れ、振とう処理(250 rpm)を 30 日間行った。その後、プラスチック球を回収し、重量を測ることで摩耗度(MP の生成度)を求めた。

### 2.3 MP における重金属の吸脱着試験

MP における重金属の吸着性と溶脱性を化学分析で評価し、MP が沿岸域の重金属汚染源となりうるのかどうか、重金属を運ぶ MP のベクターとしての機能性を検証する。PE と PP のプラスチック球を 10 µg/g の重金属混合溶液

(V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, U)に7日間、250 rpm で振とう・浸漬させた。その後、プラスチック球を回収し、超純水で洗浄した後、1 mol/Lの硝酸で抽出した重金属を誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)で定量した。操作ブランクとして、PE と PP を超純水で同様の方法で振とうし、重金属を分析した。

### 3. 研究結果と考察

#### 3.1 沿岸域のMP 汚染調査

本研究で調査した八代海沿岸(08~13)の6地点におけるMPの分布について、サイズごとに Figs. 2 and 3 に示す。4.5 mm より大きいサイズのプラスチックはいずれの地点からも検出されなかった。1 mm より大きく4.5 mm 以下のサイズのMP(MP1-4.5)では、地点11と9で60個/kgと高く、次いで地点8で30個/kgとなったが、地点10と12、13からは検出されなかった。一方、0.1 mm より大きく1 mm 以下のサイズのMP(MP0.1-1)は、全ての地点から検出され、他のサイズのMPよりも高い濃度を示した。地点間の差をみると、地点11で最も高く、地点13で最低値となった。これらのことから、本研究で調査した八代海の中では地点11でMPの汚染が最も著しいことが明らかになった。しかしながら、我々が2018年に調査した天草の八代海側での結果<sup>11</sup>と比較すると、本研究の結果は全体的に低い傾向を示した。これについては、可能性として、近年のプラスチックごみに対する取り組みの成果、あるいは現在の新型コロナウイルスの蔓延下における人間活動の低下が影響しているかもしれない。

次に砂浜に漂着したプラスチックごみの結果について Fig. 4 に示す。プラスチックごみは、地点10で単位面積当たり最も多かった。プラスチックごみとMP(MP1-4.5 と MP0.1-1 およびその合計)濃度の関係には有意な相関は認められなかった。このことから、本研究の調査地点において、MPの発生状況にはプラスチックごみの数は関係ないことが示唆された。なお、本研究で収集したプラスチックごみからは、海外に由来するものは見つからなかった。我々の先行研究においても、天草の東シナ海側で海外由来のプラスチックごみが多く見られたが、八代海側では検出されなかった<sup>11</sup>。内海である八代海において、越境由来の海ごみの影響は少ないものと考えられた。

各地点の砂浜の砂質をみると、地点間で大きな差が認

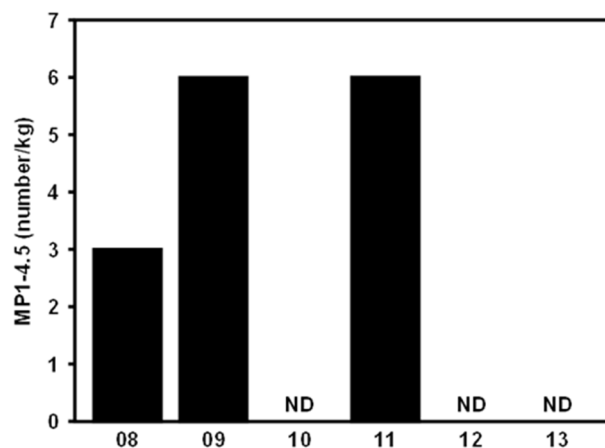


Fig. 2 MP1-4.5 in beach sand around YatsushiroSea. ND means not detected

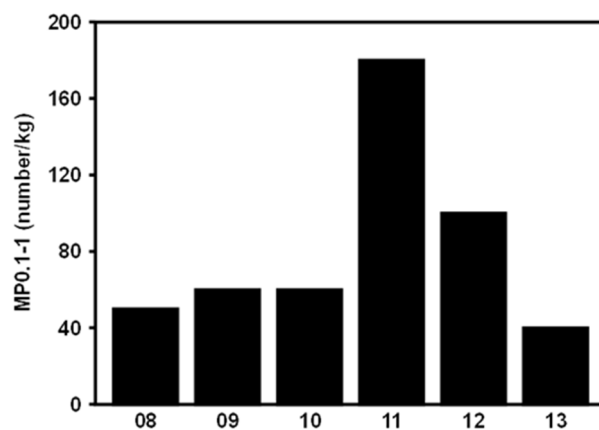


Fig. 3 MP0.1-1 in beach sand around Yatsushiro Sea

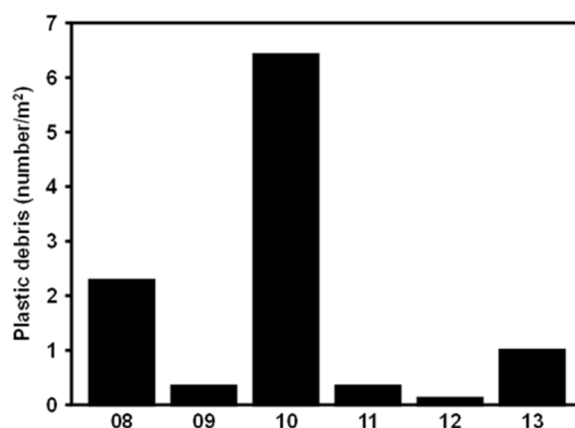


Fig. 4 Plastic debris in beach around Yatsushiro Sea

められた (Fig. 5)。すなわち、地点 8 と 12, 13 では、1 - 4.5 mm の画分が最も多く、逆に地点 9 と 10 では、0.1 - 1 mm の画分が多く、細砂の多い砂浜であった。地点 11 では、>4.5 mm の画分も多く、礫が含まれていた。これら砂の粒径と MP (MP1-4.5 と MP0.1-1 およびその合計) 濃度の間に統計的に有意な関係はみられなかった。また、各地点の砂浜の勾配は、3.0 - 8.2 度の開きがあった (Fig. 6) が、MP (MP1-4.5 と MP0.1-1 およびその合計) 濃度との相関は認められなかった。以上のことから、砂浜の砂質や勾配は MP の発生や蓄積に関係しないものと考えられた。本研究において、MP 濃度の地点間の差には、地形や海流などの別の要因の関与が示唆された。

### 3. 2 砂を用いた MP 生成試験

砂とプラスチック球の振とう試験の結果、8.5 mm サイズの砂と振とうした PP についてのみ、振とう前と比べて有意な重量の増加が認められた (Fig. 7)。また、有意ではなかったが、両サイズの砂で振とうした PE でも重量が増加傾向であった。当初は、プラスチックが摩耗することによって、重量が減少することを想定したが、逆の結果となった。このことから、プラスチック表面が摩耗し、その中におそらく同じく砂同士で摩耗して細くなった砂が入り込んでいるものと推察された。今後は、電子顕微鏡を用いてプラスチック表面を観察することにより、この仮説について検証していきたい。

### 3. 3 MP における重金属の吸脱着試験

重金属溶液で振とうした PP と PE から重金属を硝酸抽出した結果、今回分析した 19 種の重金属については、対象とした超純水との結果と有意な差は認められなかった。このことは、PP と PE に重金属が吸着しなかった、あるいは溶出しなかった可能性が挙げられた。Holmes et al. (2012) は、バージンペレットよりも、砂浜で劣化したペレットの方が顕著な重金属の吸着がみられたことを報告している<sup>4</sup>。本実験では、本来は実験 2 の「砂を用いた MP 生成試験」で砂によって摩耗したプラスチック球も使用する予定であったが、砂がプラスチック球に入り込んでいる可能性があったため、砂自体からの重金属溶出の影響を考え、使用しなかった。この点については、プラスチック球に入り込んだ砂を超音波などで取り除く方法や、プラスチック球の表面を摩耗させる別の方法を検証していきたい。

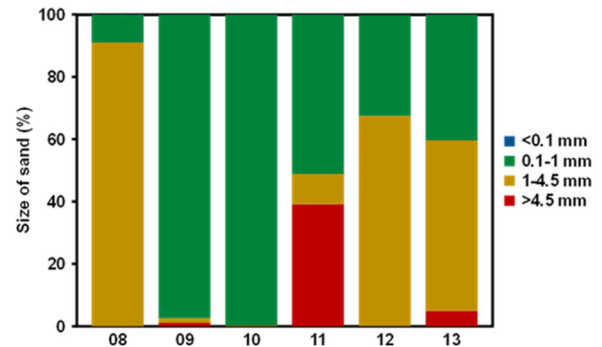


Fig. 5 Size of beach sand around Yatsushiro Sea

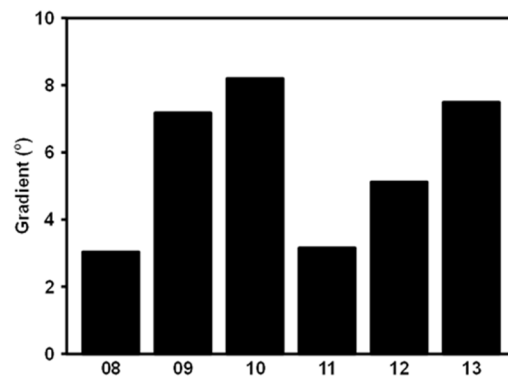


Fig. 6 Gradient of beach around Yatsushiro Sea

## 4. 今後の課題

本研究の結果、八代海沿岸で MP 汚染が広がっていること、とくに地点 11 で汚染の程度が相対的に高いことが明らかとなった。今回わかった MP 汚染の地域差の原因については説明できていないため、今後は砂浜の地形や海流などの自然科学的な影響や、地域のごみ清掃活動による影響を検証していきたい。とくに、前者については、ドローンによる上空からの解析がまだ完了していないので、引き続き検証していく予定である。

砂による MP の生成試験では、プラスチックは摩耗するが、その摩耗した隙間に砂の粒子が入り込んでいる可能性が示唆された。このことが自然環境中においても起きているのであれば、プラスチックが海水より重くなり、海底に沈むというメカニズムの一端を説明するかもしれない。今回の結果と照らし合わせ、海底に堆積しているプラスチックの特徴についても検証する意義がある。MP における重金属の吸脱着試験においても、生成試験と同様に再度検討するとともに、実際の環境サンプルからの重金属の溶出についても明らかにしていければと考えている。

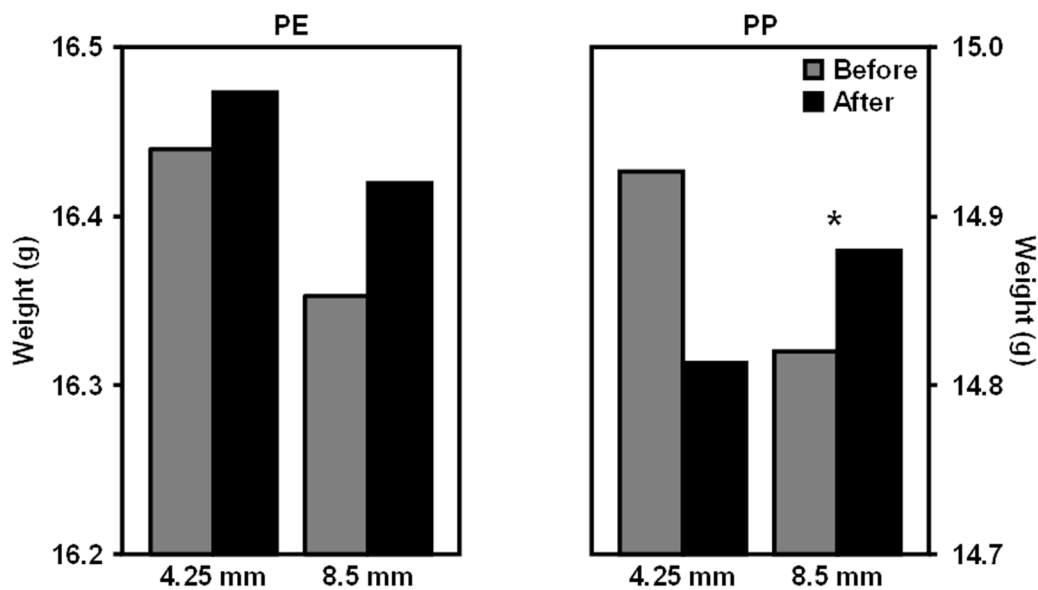


Fig. 7. Weight of plastics before and after sand abrasion. \* means significant difference at  $p < 0.01$

## 6. 文献

- GESAMP, 2016. Assessment of microplastics and associated chemicals in marine environments. II.
- Desforges, J.-P.W., Galbraith, M., Ross, P.S., 2015. Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69, 320-330.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T., 2001. Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environmental Science & Technology* 35, 318-324.
- Holmes, L.A., Turner, A., Thompson, R.C., 2012. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution* 160, 42-48.
- Collard, F., Gilbert, B., Compère, P., Eppe, G., Das, K., Jauniaux, T., Parmentier, E., 2017. Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). *Environmental Pollution* 229, 1000-1005.
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T.S., Salamatinia, B., 2017. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports* 7, 46173.
- Koelmans, A.A., Mohamed Nor, N.H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., De France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research* 155, 410-422.
- Hernandez, L.M., Xu, E.G., Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., Tufenkji, N., 2019. Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science and Technology* 53, 12300-12310.
- UNEP, 2016. MARINE PLASTIC DEBRIS AND MICROPLASTICS: GLOBAL LESSONS AND RESEARCH TO INSPIRE ACTION AND GUIDE POLICY CHANGE.
- Rotjan, R.D., Sharp, K.H., Gauthier, A.E., Yelton, R., Lopez, E.M.B., Carilli, J., Kagan, J.C., Urban-Rich, J., 2019. Patterns, dynamics and consequences of microplastic ingestion by the temperate coral, *Astrangia poculata*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286, 20190726.
- 阿草哲郎, 下田優里, 網田有彩, 松本遙加, 石橋美奈子, 児玉亜佑美, 2019. 熊本県天草沿岸における海ごみおよびマイクロプラスチック汚染の実態. 第 28 回環境化学討論会, 埼玉, 要旨集, P118, p.552-553.

## Pollution by Microplastics in Coastal Areas around Kyushu Region

Tetsuro Agusa, Fumika Kanetaka

Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto

### Summary

Recently, effects by microplastic (MP) in marine ecosystem have been drawing increasing attention in the world. In marine beaches, due to abundant UV and high temperatures, plastic is easily degraded and due to contact with sand by sea wave and wind, plastic is easily abraded. Therefore, it is considered that beaches are the most MP productive area. However, there are few studies of MP in beaches around Japan. In addition, the mechanism of MP production and accumulation in beach geography and the sand character is still unknown. This study investigated MP pollution and its effects in coastal area around Kyushu. We also assessed whether sand character affects MP production. Finally, dissociation of heavy metals adsorbed on MP is evaluated by chemical analysis.

In March 2021, beaches (six locations) around Yatsushiro Sea were investigated to understand MP pollution in the coastal areas of Japan. In general, concentration of smaller MP in beach sand was higher than the larger MP and a significant region-specific difference was observed. Concentrations of MP were not significantly associated with plastic debris concentration, sand size, and beach gradient.

Results of shaking experiment on polyethylene (PE) and polypropylene (PP) balls with standard sand showed significant increase of weight for PP balls against expectations. This indicates that surface of plastic was abraded and then smaller sand particles produced by abrasion might have penetrated parts of plastic.

To evaluate the MP function as a pollution source and vector of heavy metals, PP and PE were shaken in heavy metal solution and the adsorbed metals in plastic surface were extracted by nitric acid. However, significant dissociation of heavy metals was not detected from both PP and PE, suggesting that heavy metals are not absorbed in plastic or not released from plastic.