

海岸マイクロプラスチックの実態解明に向けた調査手法の提案

上野 卓也* 伊藤 舞夜* 瀧 朔弥*

Field survey for understanding microplastics on beaches

Takuya UENO, Maaya ITO, Sakuya TAKI

ABSTRACT

This study proposes a new method for sampling microplastics (MPs) from coastal waters, focusing on Uozumi Beach in Akashi, Hyogo, Japan. MPs, typically sized between 0.3 - 5 mm, were collected using a plankton net, which is commonly employed for sampling microorganisms. The collected samples were analyzed visually and further examined under a microscope for identification. MPs with distinct colors, such as blue or red, were easier to identify, while items resembling plant matter or glass were more challenging to differentiate. The results indicated that weather conditions, particularly rainfall and wave activity, significantly influenced the density of MPs, with higher counts observed after rainfall. However, visual identification proved to be imprecise, with many samples mistakenly identified as MPs. The study confirmed that using a simplified and cost-effective sampling method like the handheld plankton net can effectively collect MPs in shallow coastal areas, but further improvements are needed for more accurate identification. Additionally, the results highlighted that MPs are unevenly distributed in coastal waters, influenced by environmental forces, suggesting the need for further research on the relationship between natural forces and MPs distribution in marine environments.

KEY WORDS: microplastics (MPs), field survey, sand beach, shoreline

1. 序論

廃棄プラスチックの問題は以前から指摘されており、特に近年は「マイクロプラスチック（以下、MPs）」が水環境分野における世界的な課題の一つと認識されている¹⁾。MPsに関する調査・研究²⁾は各地で実施されているものの、その多くは化学や環境生態学などの視点が多く、水域の波や流れなどの水理学的作用に着目した調査はあまり行われていない。また、MPsの計測手法は、①砂や海水など環境中からの試料採取、②MPsの分離と精製、③MPsの識別と同定、の3ステップで行われる場合が多い。②と③は、化学系の研究者により

分析手法^{3),4)}が確立されているが、海岸における試料採取は有効な手法が確立されておらず発展途上の段階にある。特に、水深の浅い海浜では船舶による曳網が困難であること、砂浜からの採取は計測結果に変動が大きいこと、など試料採取の段階に課題があり、海浜でのMPsに関する調査はあまり進んでいない。そのため、波・流れとMPsの関連性や海浜におけるMPsの海面分布など、未解明な点が数多く残されている。

そこで、本研究では海浜におけるMPsの採取法を新たに構築し、採取した試料からMPsを抽出・識別することで、本手法の有効性について明らかにする。

*都市システム工学科

2. 調査対象

本研究で提案する MPs の採取法を実施するにあたって、兵庫県明石市魚住町の魚住海岸 (34°41'18.4"N, 134°53'44.2"E 付近) を調査対象とした。図 1 に調査対象の場所を示す。魚住海岸は瀬戸内海に面した波が穏やかな海岸であり、年間の波浪変動も小さく MPs 調査を行う海岸に適している。

砂浜海岸の幅は 20 m 程度であり後浜には植生が繁茂しており、背後は住宅地となっている。魚住海岸の沖合には離岸堤が設置されており、西側には二見人工島が位置しているため、ポケットビーチのような状態となっている。また、対象海岸は二級河川の瀬戸川河口付近に位置しており、調査データを蓄積することで、河川水中と海水中の MPs について比較検討することが可能になると考える。

魚住海岸では、枯れ葉・木の枝・海藻など自然由来のゴミは数多く打ち上げられているものの、ペットボトルやビニール袋などその場で捨てられたと思われるゴミは少ない印象である。これは海水浴場などのレクリエーション活動としての利用が少ないためと考える。写真 1 に魚住海岸の現地で撮影した様子を示す。ドリフトライン上には、植物系のゴミが数多くある中で、漂流し打ち上げられたと思われるプラスチックゴミも確認された。写真 2 にその様子を示す。また、海水中にもゴミが漂っている様子はほとんど見られなかった。



図 1 魚住海岸の位置 (出典 Google map)

3. 研究方法

3・1 試料の採取方法

MPs 調査においては自然環境中から試料を採取する必要がある、水中から採取する方法と砂礫中から採取する方法に大別される。現在、海浜を対象とした調査では砂礫中から採取する方法が行われているものの、調査結果にバラつきが大きい課題がある⁵⁾。また、砂礫中の MPs は波が繰り返し打ち上げられることで堆積したものと考えられ、調査結果を考察するにあたっては、波浪の履歴性を考慮しなければならない点に複雑さがある。そこで、本研究では河川での MPs 調査方法のガイドライン⁴⁾を基に、海岸で海水中からの MPs 採取方法を提案する。また、サンプル数を増やすことができるように、分析に必要となる手順を簡略化することに努めた。

まず、海水中から MPs を含む試料を採取する。この際には、水中の MPs を採取する方法として一般的な手法であるプランクトンネットを使用する (写真 3)。プランクトンネットとは、本来は水中の微生物を採取するためのネットであり、本研究では網目が 0.3 mm のものを使用している。他の研究でも、頻繁に利用されているように、プランクトンネットを使用する最大のメリットは、誰でも簡単に試料を採取できる点である。ただし、0.3 mm 以下の MPs を捕捉できない欠点もあるが、微小過ぎる MPs は採取後の識別過程をより困難に



写真 2 海岸に漂流したプラスチック片の様子



写真 1 現地の様子 (2024 年 9 月 5 日撮影)



写真 3 試料採取の様子

するため、本研究では 5 mm～0.3 mm のサイズを調査対象とした。

本研究では、汀線付近の水深 50 cm 程度の場所で試料を採取した。これはプランクトンネットを水没させた状態で試料を採取するためである。将来的には、海水中の MPs について、鉛直方向分布や平面分布を検討する必要があると考える。

また、海岸における流れは河川とは異なり、一定方向に流れておらず、試料を採取するためにはネットを動かす必要がある。沖合の調査では、船舶による引網が行われる場合が一般的であるが、水深の浅い水域では採取できない点や費用・手間が掛かる点に課題がある。そこで、本研究では、簡易的かつ低コストに調査できるように持ち手付のプランクトンネットで MPs 採取を試みた。

プランクトンネットの移動量によって、ネットを通過する濾水量が決定されるが、本研究では試行錯誤的に 1 m³ と設定した。濾水量に関しては、水中の浮遊物質の密度により濾水量を増減することで、対象水域に応じて容易に調整することが可能であり、精度と効率のバランスよく調査を行うことができる。

次に、プランクトンネットにより採取した MPs を含む試料をサンプルボトルに入れる (写真 4)。この作業では、試料がサンプルボトルから零れるなどの明らか

なヒューマンエラーがない限り、誤差が生じるような要因は極めて小さいと考える。また、ネットやピーカー等に試料の付着がないか確認し、洗浄瓶等により洗い流す必要がある。

3・2 MPs の抽出と識別

サンプルボトルを実験室に持ち帰り、試料をピーカーやバット等に移して目視で MPs を確認する (写真 5)。その後、ピンセットで MPs と思われる試料をシャーレ等に抽出する。なお、MPs を抽出する過程で分割されたものについては 1 個と数えている。後に、顕微鏡で抽出物を判断するため、ここでは疑われる試料はすべて取り出す。プランクトンネットで採取できるサイズ (0.3 mm 以上) であればプラスチック素材であるか判断することは困難であるが、抽出することは目視でも十分に行うことができると確認された。

次に、目視で抽出した MPs と思われる試料を顕微鏡で識別する (写真 6)。本研究では、500 倍まで拡大できるデジタル顕微鏡を用いた。MPs の識別においては、自然界には存在しないような青色や赤色など色付きの MPs は判断が容易であった。一方で、植物片に近い緑色や白色の MPs は、色による判断が困難であり、フチの状態や葉脈の有無など視覚的特徴および試料の硬さ・弾力性など触覚的特徴から総合的に判断した。



写真 4 サンプルボトルへの移動



写真 5 採取した試料



写真 6 デジタル顕微鏡

4. 結果と考察

顕微鏡で識別された MPs の一例を写真 7 に示す。プランクトンネットで採取可能な 0.3 mm 以上の MPs であれば顕微鏡で拡大することで、十分に判断可能である。特に、表面の質感やフチの様子からプラスチック素材であることがよく分かる。写真 7 に示すように、採取された MPs は、透明・赤・青・緑など様々な色が確認された。また、形状に着目すると、2 次マイクロプラスチックである可能性が高いと考える。沿岸部、特に遡上部ではプラスチック片が波や流れの作用で破断しマイクロ化するものと考えられており、本研究の調査結果でも沿岸部でマイクロ化した MPs を採取できたと考える。

本研究では、透明の MPs が比較的少ない結果となった。透明なガラスなどは確認されていることから、抽出や識別の段階で見逃している可能性は低いと考えるが、一般的には透明なプラスチック製品が多く流通している点を考慮すると、透明な MPs がより多く採取されると推察される。この点については、プラスチックの材質や密度などの要素とマイクロ化の過程、ゴミ分別やリサイクルなどの社会的要因、など多くの要因が関連するため、原因を特定することは困難であるが浮遊や沈殿などプラスチックの移動形態による影響が大きいと考える。

写真 8 に MPs 以外の素材と判断された試料の一例を示す。写真 8 のように、顕微鏡で拡大することでプラスチック素材でないことは明らかであるが、目視で抽出している段階では、MPs と区別することは困難である。中嶋ら⁹⁾の研究では、目視で判断した MPs のうち

実際にプラスチックであった割合は 20～70%であったと報告されている。これは、後述する本研究の結果とも整合する内容である。

本手法で頻繁に採取されるものとして、①海藻などの緑色の植物、②落ち葉や木材などの茶色の植物、③ガラス、④貝殻がある。これは、調査日の気象海象条件によって大きく変化し、荒天により波高が高い状態や雨天により河川流量が増加した場合には、水中に海藻などゴミが数多く漂っている状態となり、MPs 以外の試料も多く採取された。

本研究においては、5 mm 以上の大きなプラスチック片は全く採取されなかった。対象海岸の特性、試料採取の場所、などの要因が考えられるが、明確な原因を特定するには至っていない。現地調査を継続して、原因を解明したいと考える。

図 2 に調査日毎の MPs 個数密度の推移を示す。MPs 個数密度は、プランクトンネットの濾水量 1 m³ あたりに採取された MPs の個数を表している。現地調査は月に 1 回の頻度で行っており、2024 年 5 月から 9 月までの期間に計 4 回の調査が実施されている。調査日毎に 2～6 回の試料採取を行っている。7 月 8 日の結果を除くと、調査日毎のばらつきは小さく、季節的な変化傾向や海岸毎の特徴を把握する程度の精度は担保できると考える。プラスチックは水中に溶解する物質ではないため、必ずしも海水中に均等に分布しているものではない。そのため、自然環境の特性として、試料採取の場所や時間がわずかに異なるだけであっても、同一日の調査結果であってもバラつきがある。

また、採取者による影響を考慮するために、3 名で試



写真 7 MPs と判定された試料の一例



写真 8 MPs 以外の素材と判定された試料の一例

料採取を行っており、図中の×, ▲, ■ はそれぞれの採取者による結果を表している。採取者の違いによる偏りは見られず人為的な差異は小さく、他の研究への活用を検討するにあたって再現性の高い調査方法であると考えられる。

調査結果の中で、極端に MPs 個数密度が大きい 7 月 8 日については、直前の大雨によって河川の流出量が増大していたため、多くのプラスチックが海岸に流失したと考えられる。一方で、MPs 個数密度が 3~5 個/m³ の調査結果が 3 ケースあり、海水中での MPs 分布が不均一な状態であったことが確認できる。

調査結果では、高波浪時には MPs 個数密度は小さく、降雨後には MPs 個数密度が大きい結果となった。これらの結果は、高波浪時には MPs が沖合に流出することや砂浜に打ち上げられるなどの作用により、MPs 密度が低下したと考えられる。自然外力による強く影響が表れており、自然外力の影響を検討する必要がある。

図 3 に目視で抽出した試料の MPs 割合を示す。つまり、MPs と思われる物体を目視で抽出し、その後、顕微鏡で確認し MPs であった割合を表している。ただし、本研究では目視での抽出後に顕微鏡で確認することを

前提に、MPs らしき物体はすべて抽出している点に注意されたい。MPs 割合は 40~80% 程度で推移しており、抽出された個数密度との関連性は小さいと考える。これは既往研究と整合する結果であり、目視による MPs の判断は精度が悪く、誤検出の可能性が高いことが確認された。

対象海岸の西側に隣接する瀬戸川の河口砂州の様子を写真 9 に示す。河口の左岸側に魚住海岸が位置しており、沿岸漂砂により左岸側から河口砂州が発達していると考えられる。河口砂州の形状は、河川流量による影響が大きく、流量が多い時期(写真 9a)には川幅の中央部付近まで発達し、流量が少ない時期(写真 9b)には右岸側まで発達し河口閉塞に近い状態となる。

河口砂州の状態や河川流量によって、河川から海岸へと流出するプラスチック片の量は大きく変化すると考えられるが、本研究で行った調査では河川水からの MPs があまり採取されず、両者の関連性を結論付けるには至らなかった。引き続き、調査が必要であるものの、連続した河川と海岸の MPs 個数密度を比較すると海水中の方がより多く、海岸でマイクロ化している可能性が示唆される。

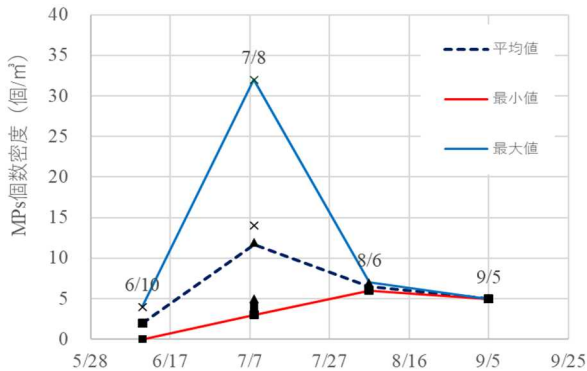


図 2 調査日毎の MPs の個数の推移
(×, ▲, ■ は各採取結果を表す)

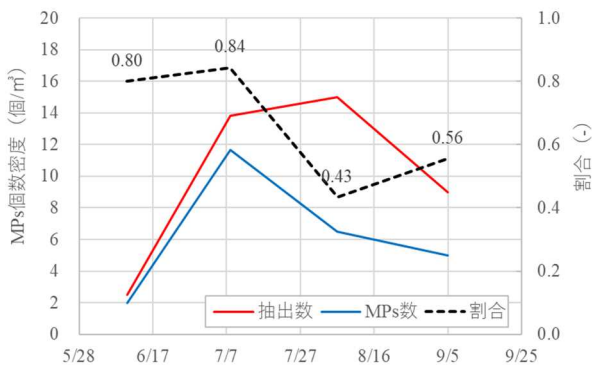


図 3 目視で抽出した試料の MPs 割合



写真 9 河口砂州の様子

5. 結論

本研究で提案する手法では、1つのサンプルを採取するために要する時間は5分程度であり、そのサンプルからMPsを抽出・識別するために要する時間は30分程度であった。また、試料採取からMPs識別までの一連の手順は、1人でも作業を容易に行うことができる。海岸における簡便なMPs調査手法を構築することができたと考える。

プランクトンネットで採取した0.3 mm程度の試料であっても目視で抽出することができ、顕微鏡で識別できることが確認された。また、目視で抽出した試料は、40～80%程度はMPsであるが、植物などプラスチック以外の素材も多く含まれている。そのため、目視による判断だけでは不十分であり、少なくとも顕微鏡による確認は必要である。特に、より小さいMPsについては、その必要性が高い。

本調査手法は、調査日毎のMPs個数密度の変化を捉えており、海岸毎の比較や季節変化を検討する程度の精度は十分に担保できる水準であることが示された。しかしながら、海水中のMPs個数密度は自然外力による影響を強く受けるため、調査日の気象海象条件を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 磯辺篤彦：海洋プラスチック汚染の現状と今後の研究課題，日本船舶海洋工学会誌 KANRIN(咸臨)，Vol.102, No.2-5, 2022.
- 2) 宇野宏司，藤本みのり：兵庫県南部沿岸におけるマイクロプラスチックごみの実態把握調査，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.78, No.2, pp. I_931-I_936, 2022.
- 3) GESAMP: Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean, Rep. Stud. GESAMP, 99, 130p, 2019.
- 4) 環境省：河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン，2023.
- 5) 鈴木崇之，宮崎黎，比嘉紘士，中村由行：藤沢海岸片瀬西浜地区におけるマイクロプラスチックの分布特性とその回収方法の基礎的実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 76, No. 2, pp. I_1171-I_1176, 2020.
- 6) 中嶋亮太，山下麗：海洋マイクロプラスチックの採取・前処理・定量方法，海の研究，29: 5, pp.129-151, 2020.