

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12208

研究課題名(和文) マイクロプラスチック含有重量を簡便に測定する手法の開発

研究課題名(英文) Development of a simple method for measuring the weight of microplastic content

研究代表者

朝倉 宏 (Asakura, Hiroshi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授

研究者番号：00391061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：簡単な砂浜のマイクロプラスチック(MPs)調査方法の確からしさを評価した。重液を用いずとも89%のMPsを回収できた。砂の表層の採取であっても、MPsの含有量を説明できた。軽石混入の心配がなければ、MPsの過剰な見積もりは約1.5倍に収まった。簡易な実験器具によっても、MPsの定量下限値は13 mg-MPs/m²-砂が達成できた。

定点で定期的にMPsを採取測定することによって調査対象地へのMPs蓄積速度を測定した。ホットスポットおよび非ホットスポットにおけるMPs含有量を、それぞれの面積で重み付けすることによって、調査対象地全体におけるMPs存在量を平均値および誤差で示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

簡単な器具と方法におけるMPs調査の精度を表現できた。職業研究者だけでなく、高校生を巻き込むことによって環境中MPs存在量のデータが蓄積できれば、長期的なMPs動向を明らかにすることができるであろう。砂をふるいで排除して、ふるい上に残った試料を測定対象にする方法も考えられる。しかしながら、本研究での方法は、小粒径のMPsを排除していないという優位性がある。塩化カルシウムは海水の主要成分から構成されるため、海岸における選別作業において環境汚染のリスクが少ない。

研究成果の概要(英文)：The certainty of a simple beach microplastics (MPs) survey method was evaluated. We were able to recover 89% of MPs without the use of heavy liquids. The MPs content could be accounted for even when the surface layer of the sand was sampled. Without concern for pumice contamination, the over-estimation of MPs was about 1.5 times lower. Even with a simple laboratory apparatus, a lower limit of determination of MPs of 13 mg-MPs/m²-sand could be achieved. The rate of accumulation of MPs in the study area was determined by periodic collection and measurement of MPs at fixed points. By weighting the MPs content in hot spots and non-hot spots by their respective areas, the mean value and error of the MPs content in the entire surveyed area could be shown.

研究分野：廃棄物工学

キーワード：マイクロプラスチック 含有重量 測定方法 重液 蓄積速度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラスチックは軽量かつ耐久性を持つ特徴から、人々の生活に欠かせない素材となっており、生産量は増加の一途を辿っている。この大量生産の結果、世界的なプラスチック廃棄物汚染が発生している。2010年だけでも、陸上で発生したプラスチック廃棄物の400万から1200万トンが海洋環境に流入したと推定されており、2050年には累積120億メートルトンにまで増加すると予想されている。プラスチックは海洋廃棄物の主な成分である。一般的に使用されているプラスチックは生分解性ではないため、埋立地や自然環境では分解されずに蓄積されていく。したがって、プラスチック廃棄物による自然環境のほぼ永久的な汚染は、ますます大きな懸念となっている。太陽光のUVと波浪がプラスチック廃棄物の劣化を引き起こし、マイクロプラスチック(MPs)と呼ばれる小さな破片が発生する。このプラスチックの小さな破片は主要な海洋流域で発見されている。

プラスチック使用量削減に伴って長期的にMPsが減少していくという仮定を検証するならば、職業研究者によるコストのかかる調査結果だけを期待せず、市民でも実施できる調査方法を開発し、MPsのデータの蓄積速度を上げる必要があるのではないかと。研究代表者は、簡単な道具を用いて、測量、試料採取、MPs選別、MPs分析を行う手順を開発したい。研究代表者のオリジナルではない、既存の、そして誰でも発想する手法から構成されている。これらの簡単な調査方法は、どの位正しいのであろうか。

2. 研究の目的

本調査で設定する目的は以下のとおりである。海水や水道水での浮上選別でよいか確かめる。表層の砂だけ採ってよいか確かめる。目視選別の代わりに煮沸処理でよいか確かめる。この方法での定量下限値はいくらか確かめる。調査対象地へのMPs蓄積速度に、信頼できる代表値や明確な傾向が見られるか確かめる。調査対象地全体におけるMPs存在量を「平均値および誤差(mg-MPs/m²-砂)」という代表値とばらつきで示すことができるか確かめる。

3. 研究の方法

(1) 重液選別

水道水や海水で砂の中のMPsを浮上選別した後の砂には、密度1g/cm³を超えるプラスチックが残存しているだろうか。もし、水道水や海水でのMPs回収量に比べて、重液でのMPs回収量が無視量であれば、水道水や海水のみの浮上選別方法が正当化できる。

海水浴場Aにおいて、海水を用いて砂表層(0.5cm深さ)中のMPsを回収した後、その砂入り海水に塩化カルシウム(TOKUYAMA, 融雪剤)を飽和するまで加え、密度約1.3~1.4g/cm³の重液を作成し、その時に初めて浮上したMPsを回収した。塩化カルシウム溶液の密度は、塩化ナトリウム溶液の密度(1.2g/cm³)を超える。12地点で実験を行った。液体の密度は、浮標(AS ONE, Polycarbonate density meter)で測定した。

(2) 深さ方向の分布

砂のMPs含有量を調査する際、深いところまで掘るのはかなりの重労働であるから表層の砂だけを採取したいし、MPsが表層に多く見られることからこの採取方法は正当化されうる。MPs調査のために表層の砂だけを採取することは適切だろうか。すなわち、深さ方向に複数層のMPs分布をとったとき、表層のMPsが全体のほとんどを占めるだろうか。

海水浴場Aにおいて、深さ方向に複数層(0~0.5cm, 0.5~5cm, 以後5cmおき)の砂を採取し、含有するMPsを測定した。10Lバケツ1個に厚さ5cmの砂が入るように、試料採取面は一辺

38 cm の正方形とした。3 地点で実験を行った。深さ 0 cm の目印として、紐を地表に張った。一辺 38 cm の正方形を持つ角柱の周りの砂をシャベルで掘り、またプラスチック板で角柱を削り出した。厚さ 5 cm の層は、同じプラスチック板ですくい出した。さらに、海水浴場 C および D において、試料採取面 1 m² の表層の砂 0.5 cm 深さ程度を採取した後に、その直下の層の砂 0.5 cm 深さ程度を採取して MPs を測定した。

(3) 煮沸による木くずの沈降

浮上物は MPs だけではなく、動植物や軽石などが含まれる。特に、木くずが多くみられる。木が乾燥しているため、真密度は高いものの、乾燥している木のかさ密度が低い(0.22 ~ 0.81 g/cm³) ために木が浮いていると考えた。木の湿潤を促すために煮沸すれば木が沈殿し、MPs だけが浮上するのではないかと考えた。木が煮沸によって沈殿することは、研究代表者らの MPs に関する失敗した実験から思いついた。このようにして、煮沸後の浮上物を MPs 含有量とみなせないだろうか。

プラスチックボトルやプラスチックバッグに入れて実験室に持ち帰った浮上物を海水ごとピーカー A に移し、時計皿を乗せてホットプレートで設定温度 140 で 3 時間煮沸した。煮沸後には浮上物と沈下物に分かれた。水道水を入れたピーカー B を用意する。煮沸後の浮上物をスプーンですくい出してピーカー B に入れてかき混ぜ、浮上物を洗浄する。ピーカー A に残った液体をデカントで捨てて水道水を入れてかき混ぜることを繰り返して沈下物を洗浄した。ステンレストレイに洗浄した浮上物および沈下物を移し、乾燥器で 80 で一晩以上乾燥した。乾燥物の重量を電子天秤で測定した。目視で MPs を取り出し、浮上プラスチック、浮上その他、沈下プラスチック、沈下その他に分けた。それぞれの重量を電子天秤で測定した。

(4) 定量下限値

MPs が確認できなくても、存在しない MPs を薬包紙に載せる動作をして秤量が終了する。このとき、MPs 重量は 0 mg となる。しかしながら、試料採取と測定をしている手続き上、定量下限値が存在する。測定値として 0 mg ではなく定量下限値を記して報告すべきであるし、低濃度の複数測定値の平均をとる際には、0 mg ではなく定量下限値を参考としたダミー値を用いたい。そのため、本研究で用いた、1 m² の砂をバケツに採取し、海水を用いた浮上選別で MPs を回収・測定する手法の定量下限値を求める。

推定される定量下限値を含む範囲で複数の設定重量の標準試料(MPs)を作成した。標準試料は、ポリプロピレン製の飲料ボトルキャップ(密度 0.93 g/cm³)をグラインダーで削った 1 mm 以下の粉を用いた。6 種類の同じ設定重量(約 8, 15, 22, 30, 37, 44 mg)の標準試料を 3 つずつ作成した。海水浴場 A の清浄な(MPs がごく少ないと思われる)1 m² の砂(0.5 cm 深さ)をバケツに採取し、標準試料を投入した。海水を用いた浮上選別で MPs を回収・煮沸・測定した。

(5) 定点調査による蓄積速度の計算

本研究では、A 海水浴場において、複数の定点を設置し、一定期間を開けて繰り返し MPs を測定することによって MPs 蓄積速度を算出した。蓄積速度データは一つでは信頼できない。複数の MPs 蓄積速度を得ることによって、平均値やレンジなどの代表値とばらつきが得られるだろう。コンクリート製の道路から海に向かって 4, 8, 12, 16, 20, 40 m の距離において MPs を採取・測定した。

(6) ホットスポット調査による調査対象地全体のマイクロプラスチック存在量の表現

砂浜に MPs が漂着したり、風などで MPs が吹き溜まりに集まったりする現象を想像すると、場所によって MPs 存在量が異なることが予想できる。MPs が多く存在することが目視で確認できる箇所を対象として MPs 存在量を測定し、その測定結果を調査対象地全体の MPs 存在量の代表値とばらつきとして用いる方法は、正確さが不十分であろう。恐らく、真の代表値に比べて高い値を提

示することになる。次に、MPs の存在量が少ない箇所も対象とする方法が考えられる。これによって MPs の高い方の値と低い方の値が提示できる。しかしながら、これらの値の重みづけができないので、単純な平均を代表値として用いることができない。

そこで、ある砂浜において、MPs が多く存在、また見当たらないことが目視で確認できる箇所をホットスポット(HS)および非ホットスポット(nHS)として、それぞれの区画の MPs 含有量を複数箇所($i = 1, 2, \dots, n$)測定して平均値を得た。またそれぞれの区画の面積を測定し、面積比で MPs 含有量を重みづけすることによって、その砂浜全体における MPs 存在量の代表値とばらつきを表現する方法を考えた。

4. 研究成果

(1) 海水では沈んでしまう MPs

砂に含まれる MPs のうち、海水(密度 1.03 g/cm^3)では回収できず、重液(最低密度 1.33 g/cm^3)によってのみ回収できる MPs は 11%であった。すなわち、海水のみであっても 89%の MPs を回収できた。したがって、省力化したければ海水のみによる MPs 回収でも構わないと言える。

ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリウレタン(PUR)、ポリスチレン(PS)およびポリエチレンテレフタレート(PET)が主要プラスチック6種類になる。世界の非繊維プラスチック生産で主要なカテゴリーは PE(36%)、PP(21%)、PVC(12%)で、次いで PET、ポリウレタン(PUR)、PS(それぞれ 10%未満)であった。これらのグループによって、プラスチック生産の 92%が占められる。非繊維プラスチックの約 42%が包装用として使用されており、PE、PP、PET が主体となっている。

PP、PE および PVC の密度は、それぞれ $0.90 - 0.92$ 、 $0.91 - 0.95$ 、 $1.16 - 1.30 \text{ g/cm}^3$ であるので、PP と PE は海水に浮く。生産されるプラスチックと海岸の MPs の内訳が一致する保証は無いが、砂浜の MPs は PP と PE が大部分を占めることが予想される。砂浜で見つかった MPs のうち、PP および PE が占める割合は、89%~57%と報告されている。すなわち、砂浜で見つかる MPs の大半は、海水に浮くものであることを裏付けている。

(2) 深さ方向の MPs 分布

A 海水浴場の 3 回の調査結果から、砂の表層 0.5 cm の採取による MPs 含有量調査であっても、その下 50 cm 程度まで採取したときの半分以上の MPs の含有量を説明できる。したがって、省力化したければ、表層のみの砂の採取でも構わないと言える。

(3) 煮沸後の浮上物を MPs と見なしたときの誤差

目視による MPs 選別と異なり、煮沸処理は経験と技術が必要ないので標準化しやすいと考える。したがって、煮沸後の浮上物を MPs とみなす方法(煮沸法)を提案したい。煮沸しても沈まない木くずと軽石の存在によって、煮沸法では真の MPs 量に比べて約 2 倍量を見積もってしまう。しかしながら、軽石の漂着は偶発的なトラブルである。軽石混入の心配がなければ、過剰な見積もりは約 1.5 倍に収まる。煮沸は 3 時間かかるが、複数のサンプルを同時に処理できる。この誤差を許容できれば、煮沸法は簡単な MPs 見積り方法となる。研究代表者らはもともと軽石などの浮上する無機物の存在を想定しており、最終的な MPs の重量測定方法として、浮上物の強熱減量を測定することを予定していた。しかしながら、個数の計測や材質判定を行う可能性を考えてサンプルを保管することにしたので、強熱処理を行わなかった。

(4) 本研究で紹介する MPs 測定方法の定量下限値

変動係数 $y = 10\%$ もしくは 20% を許容するなら、最小の MPs 投入量 x は、それぞれ 22 および 13 mg である。この実験では、砂浜の 1 m^2 の表層の砂に MPs を添加回収しているので、そのまま

22 および 13 mg-MPs/m²-砂が面積当たりの定量下限値となる。また、この実験で 1 m² から採取した砂の平均乾燥重量は 5.4 kg-砂/m²-砂であるので、これで除すると、4 および 2 mg-MPs/kg-砂が重量当たりの定量下限値となる。今回は、MPs 調査方法開発の初期段階であることから、甘い基準(変動係数 20%)を許容することとして、13 mg-MPs/m²-砂および 2 mg-MPs/kg-砂を定量下限値とみなした。本研究では、定量下限値未満の測定値は、定量下限値で代替した。

(5) マイクロプラスチック蓄積速度

A 海水浴場での定点調査における MPs 蓄積速度を、図 1 に示す。平均は、1.7 mg-MPs/(m²-sand·d)であった。蓄積速度を表す縦軸は、対数軸であるにもかかわらず上下に大きな幅があり、信頼できる代表値や明確な傾向は得られなかった。道路から 12 m の位置での蓄積速度は比較的安定している。ただし、この位置が当該調査対象地を代表しているわけではない。蓄積速度の特性を把握するためには、継続的な調査を行う必要がある。

(6) 調査対象地全体のマイクロプラスチック存在量の表現

D 海水浴場での MPs は、4090 ± 3709 mg-MPs/m²-砂であり、誤差は平均値と同じ程度になるほどに大きい(D-1)。D 海水浴場は、ある地点を境に明確に HS における MPs 存在量が異なった。これは、D 海水浴場の HS の平均値の上下に MPs 含有量が分かれていることから分かる。そこで、HS を HS1(高い)と HS2(低い)に分けた。その結果 4084 ± 2243 mg-MPs/m²-砂となり、誤差が小さくなった。このように、HS を強度に応じていくつかに分ける必要もあるだろう。また、表 1 に B, C, D 海水浴場の面積当たりの MPs 含有量を示す。平均値±誤差の形式で示すと、298 ± 144 mg-MPs/m²-砂、1115 ± 518 mg-MPs/m²-砂および 4084 ± 2243 mg-MPs/m²-砂であった。本研究では、調査対象地間の比較を目的としていないため、地域間の数値の大小に意味づけを行わない。HS の面積は、全面積の 11 から 33%であった。

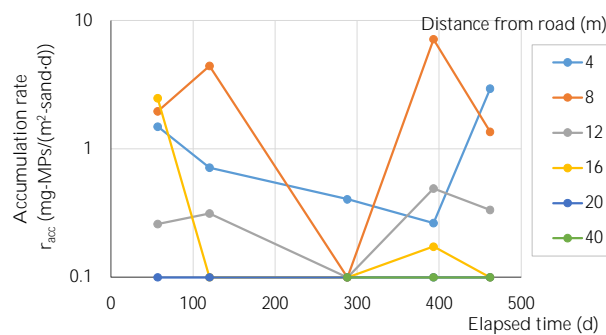


図 1. マイクロプラスチックの蓄積速度

表 1. 面積当たりのマイクロプラスチック含有量

	Average	Error
	C_{all_ave}	δC_{all_ave}
B	298	144
C	1115	518
D	4084	2243
	mg-MPs/m ² -sand	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Asakura Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Plastic Bottles for Sorting Floating Microplastics in Sediment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 390 ~ 390
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jmse10030390	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Asakura Hiroshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Accuracy of a Simple Microplastics Investigation Method on Sandy Beaches	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Microplastics	6. 最初と最後の頁 304 ~ 321
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/microplastics2030024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Asakura Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Representation of investigation results of microplastics on sandy beaches -accumulation rate and abundance in the entire study site	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 e17207 ~ e17207
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7717/peerj.17207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 朝倉 宏
2. 発表標題 海岸底質中マイクロプラスチックの簡易な調査方法の確からしさ
3. 学会等名 令和4年度海洋プラスチックごみ学術シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 朝倉 宏
2. 発表標題 プラネタリーヘルスへの取り組み～海洋マイクロプラスチックの含有重量測定に関する新たな手法の開発～
3. 学会等名 海洋教育フォーラム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------