

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12307

研究課題名（和文）海洋マイクロプラスチックの生物作用を介した鉛直輸送過程の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the process of vertical transport of microplastics via marine biological interaction

研究代表者

山下 麗（YAMASHITA, Rei）

東京大学・大気海洋研究所・特任研究員

研究者番号：60599629

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）：海洋中におけるマイクロプラスチック（以降MPs）の動態を調べるために、海洋表層、水柱、海底堆積物、海洋生物中からMPs量、ポリマーの種類等を顕微FTIRを用いて分析した。顕微鏡観察下ではゲルトラップ中から2個検出でき、MPsが単体で沈降している様子が伺えた。トラップの係留時間が短いことと、沈降粒子が多いことから、今回の方法では十分にMPsを採取することができなかった。セジメントトラップの試料から、MPsの沈降量は7月が多く3月が少ない傾向であった。これは有機物の沈降量と同様の結果となっており、生物作用を介した鉛直輸送が一部解明された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋環境へ排出されたMPsは回収が困難であることから、正確な現状把握や影響予測、被害の拡大防止が急務である。本研究ではこれまで検出が難しかった試料からMPsを分析・検出することが可能になったことで海洋生態系におけるMPsの正確な現存量やMPsの挙動の一端を明らかにした。本研究結果から、具体的な政策に結び付けるための根拠といえる実態を提示することができた。

研究成果の概要（英文）：To investigate the dynamics of microplastics (hereafter referred to as MPs) in the ocean, we analyzed the amount of MPs and the type of polymer from the ocean surface, water column, seafloor sediment, and marine organisms using micro FTIR. Under microscopic observation, two MPs could be detected in the gel traps, indicating that MPs were settling on their own. Due to the short mooring time of the trap and the large number of sedimentation particles, it was not possible to collect enough MPs with this method. The sedimentation of MPs from the sediment trap samples tended to be higher in July and lower in March. This result was similar to that of the sedimentation of organic matter and partially elucidated the vertical transport via biological action.

研究分野：複合

キーワード：マイクロプラスチック 海洋汚染 セジメントトラップ ゲルトラップ 顕微FTIR

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

プラスチックは生産量の増加と不十分な廃棄物処理の結果、海洋へと流出し、紫外線や波などによってミリメートルやマイクロメートルサイズへと微細化される(マイクロプラスチック、以下 MPs)。このような MPs は、日常で使用する食塩 (Dongqi, et al. 2015 *ES&T* など) やカタクチイワシといった小型の魚類 (Tanaka and Takada 2016 *Scientific Reports*) から多数検出されているが、どのような過程を経て検出されるのかは未だよく分かっていないため、海洋環境中における MPs の挙動を知ることは重要である。

近年、海洋表層水中の 1mm 以下の小さなサイズの MPs が未知のプロセスによって水柱から除去されていることが明らかになり、海底堆積物が MPs のシンクであると考えられている (Cózar et al. 2014 *PNAS*, Isobe et al. 2015 *Marine Pollution Bulletin*)。海洋表層から海底堆積物への MPs の沈降過程には、沈降粒子の共凝集(マリンスノーによる絡まり) 付着生物(バイオフィーム)の形成、小型魚類や動物プランクトンによる摂食による糞粒へのパッキング、といった生物的過程を経ると想定されている。しかし、現場環境下において明らかにした例はまだない。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記の 3 つの過程について季節変化にも着目し、セジメントトラップおよびゲルトラップを用いて MPs の沈降過程を現場観測下で明らかにし、MPs の輸送量を見積もることを目的とした。

また、表層(大量濾過) 水柱(セジメントトラップおよびゲルトラップ) 堆積物を採取し、MPs の現存量を正確に把握することを目的とした。

### 3. 研究の方法

調査は岩手県大槌湾で行った。大槌湾では、春季・秋季ブルームがあり、夏にオタマボヤなどの尾虫類が発生するなど、生物量や種類が季節によって異なることが分かっているため、マイクロプラスチックの沈降量も変化すると考えられる。したがって、季節ごとにセジメントトラップとゲルトラップを係留し、マイクロプラスチックの沈降量の違いや沈降過程のプロセスの違いを観察した。表層マイクロプラスチック輸送量の見積もりにはセジメントトラップを用いた。セジメントトラップによる試料は輸送などの影響で塊状になってしまい、特にの小型生物の糞粒と沈降粒子との共凝集(マリンスノーによる絡まり) 生物付着(バイオフィーム)のプロセスを分離して検証することは難しい。そこでゲルトラップを用いてスナップショット的に観察することを試みた。ゲルトラップとは、セジメントトラップのカップの下にゲル状のアクリルアミドを入れたもので、沈降してくるものをそのままの状態でも保存することが可能である (Eberbach and Trull 2008 *Limnology & Oceanography*)。本研究ではプラスチック由来の物質をなるべく排除するため、水溶性グリコールレジン (Tissue Tek® O.T.C. Compound, SAKURA Fintek USA) を使用した。セジメントトラップの筒 8 本のうち半分をゲルトラップとして用いた。また、トラップは一昼夜、水深 10m のところに係留した。

ゲルトラップから得られた試料は、実体顕微鏡下で観察し、付着生物の種の分類を行った。セジメントトラップの試料の一部を使い、MPs の分析に供した。

調査の際に簡易 CTD を用いて水温・塩分・密度・クロロフィル a 濃度を測定した。

海洋表層の試料は、ステンレスバケツを用いて 100L 採水し、それらをステンレス製のフィルターホルダーと孔径 5  $\mu\text{m}$  の混合エステルフィルターを用いて濾過して実験室に持ち帰った。

セジメントトラップの試料は 5%ホルマリンで固定した後、実験室に持ち帰り、混合エステルフィルターを用いて濾過した。

フィルターごと水酸化カリウム溶液で有機物除去した後、塩酸で中和し、過酸化水素でさらに分解した。その後、1.8  $\text{g}/\text{cm}^3$  に調整したヨウ化ナトリウム水溶液で密度分離をし、上澄みを孔径 2  $\mu\text{m}$  の Anodisc フィルター(酸化アルミナフィルター)でろ過した後、顕微 FTIR で MPs のポリマーを同定・定量およびサイズ測定を行った。

堆積物は乾燥重量を測定するために試料の一部を採取した。乾燥重量換算の 10 g を使用し、ヨウ化ナトリウムで密度分離を行った後、水酸化ナトリウムと過酸化水素による有機物除去を行い、Anodisc フィルターでろ過し、顕微 FTIR で MPs の同定・定量を行った。

### 4. 研究成果

初年度の調査は岩手県大槌湾の湾中央部(水深 60 m)で行ったがニューストーンネットのプラスチック個数密度が少なかったため、大槌湾で複数の調査点を設け MPs が多い場所を特定し、沿岸近くに調査地点を変更した。2022 年 3 月は他調査が重なったため、2022 年 11 月、1 月の調査は天候が悪かったため欠測となった。海洋表層の MPs の検出に必要な量を当初 50 L で可能と考えたが、外洋での調査を考慮し、大量に濾過する方法も検討するために、100L へと変更した。

2022 年 7 月は表層で低塩分が見られ成層を示し(図 1 b2, b3) 2023 年 3 月は混合していた(図 1 c3)。クロロフィル a は 7 月で高く、3 月で低い値を示した(図 1 a4, b4, c4)。

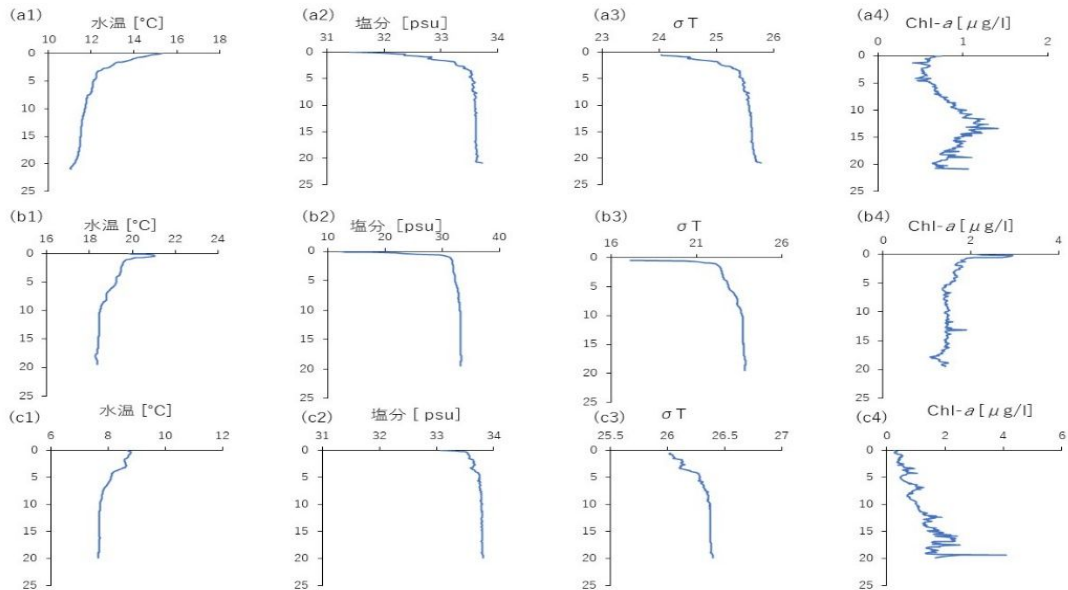


図 1 . 大槌湾の海洋構造 .(a) 2022 年 5 月 26 日 ,(b) 2022 年 7 月 25 日 ,(c) 2023 年 3 月 22 日.

表層 100L 中の MPs は 5 月に最も高く (2.7 pcs/L) 3 月には低い値 (0.04 pcs/L) を示し、何れの季節でもポリエチレンといった密度が軽いポリマーが 7 割を占めていた。この値は北太平洋亜熱帯循環域内の測点より 3 桁程度低い値を示し、人口密度が低いとはいえ沿岸である観測点でも外洋より低いことが明らかとなった。

ゲルトラップから得られた試料を顕微鏡下で観察したところ、5 月には動物プランクトンの糞粒が、7 月にはオタマボヤのハウス様のものが、3 月には魚類などの大型の生物の糞が検出された (図 2.) これらの結果は既存の研究と一致していた (西部ら 2017 水産学会誌)。ゲルトラップは一昼夜係留しただけであったが、鉱物粒子が多かったため、MPs を検出することが困難であったが (図 3a) 少ないながらも MPs2 個を顕微鏡下で観察できた (図 3b, c.) 検出が比較的可能であった MPs には付着物が見られなかったが (図 3b, c) これはトラップの係留時間が短いため、MPs に生物が付着するより早く沈降してトラップに補足された結果であると考えられ、ゲルトラップによる現在の方法では付着生物による沈降のプロセスについて捉えることが難しいことが分かった。また、MPs が検出されにくかった理由として、沈降粒子量が多いためと考え

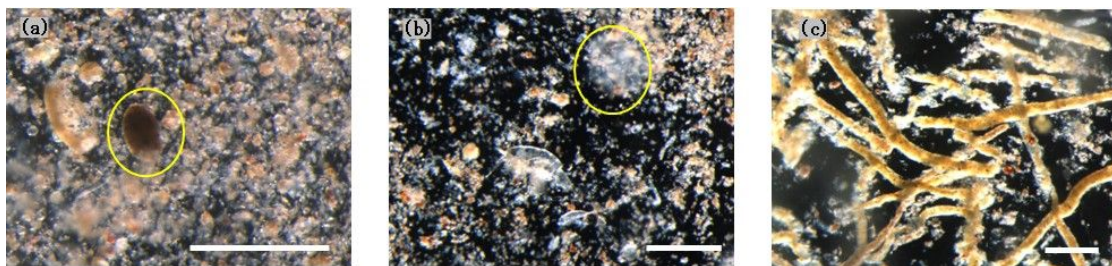


図 2. ゲルトラップ (a) 2022 年 5 月 . 丸で囲ったものは動物プランクトンの糞粒 . (b) 2022 年 7 月 . 丸で囲ったものはオタマボヤのハウス . (c) 2023 年 3 月 . 魚類或いは貝類の糞 . スケールは 500 µm を示す。

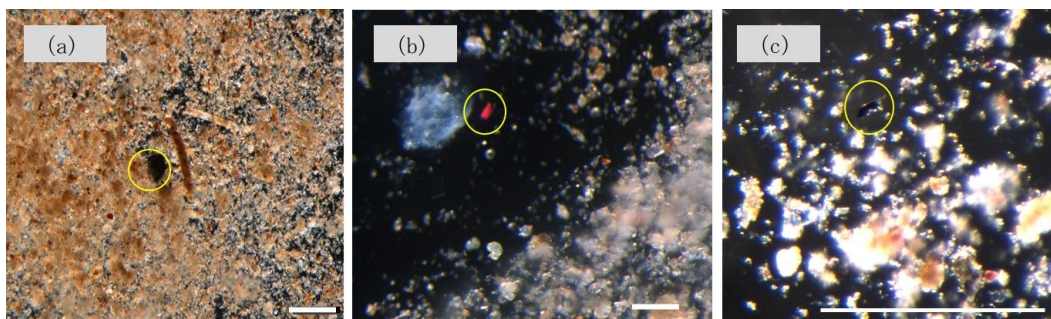


図 3. ゲルトラップから観察できた MPs . (a) 黒色の MP (b) 赤色の MP . (c) 黒色の MP . (a) 2022 年 7 月採取 , (b) および (c) は 2022 年 5 月採取 . バーは 500 µm を示す .

られ、係留時間と粒子の沈降量とのバランスを考慮しなければならないことが分かった。

セジトラップ内の MPs のポリマーは PMMA (アクリル樹脂) が多く検出されたが、トラップの素材がアクリルであるため、結果から除外した。セジメントトラップ内で検出された MPs のポリマーはポリエチレンとなり、表層と同様の結果となった。比較的比重が重い、ポリ塩化ビニルやポリウレタン、アルキド樹脂も各調査期間で検出されたが 1 割未満であった。セジメントトラップ内の沈降粒子量は、7 月が最も多く、3 月が最も少ない結果となった。また、前述したように水柱内のクロロフィル *a* 濃度も同様の結果を示していた。MPs の沈降量は 7 月が多く (5032 pcs/m<sup>2</sup>/day)、3 月が最も少ない結果となった (1572 pcs/m<sup>2</sup>/day)。セジメントトラップ内の有機物の沈降量と同様の結果となり、生物作用を介した鉛直輸送の一端が明らかになった。

#### 参考資料

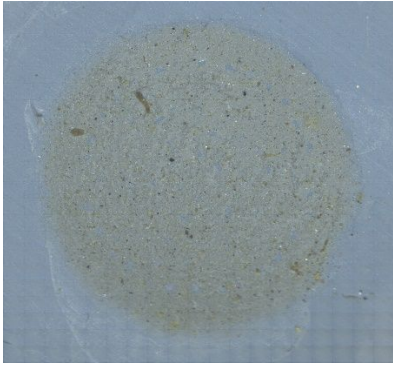


図 S1. 2022 年 7 月 27 日に揚収したセジメントトラップ試料 .Anodisc フィルターで濾過後、顕微 FTIR で分析前の状態 .

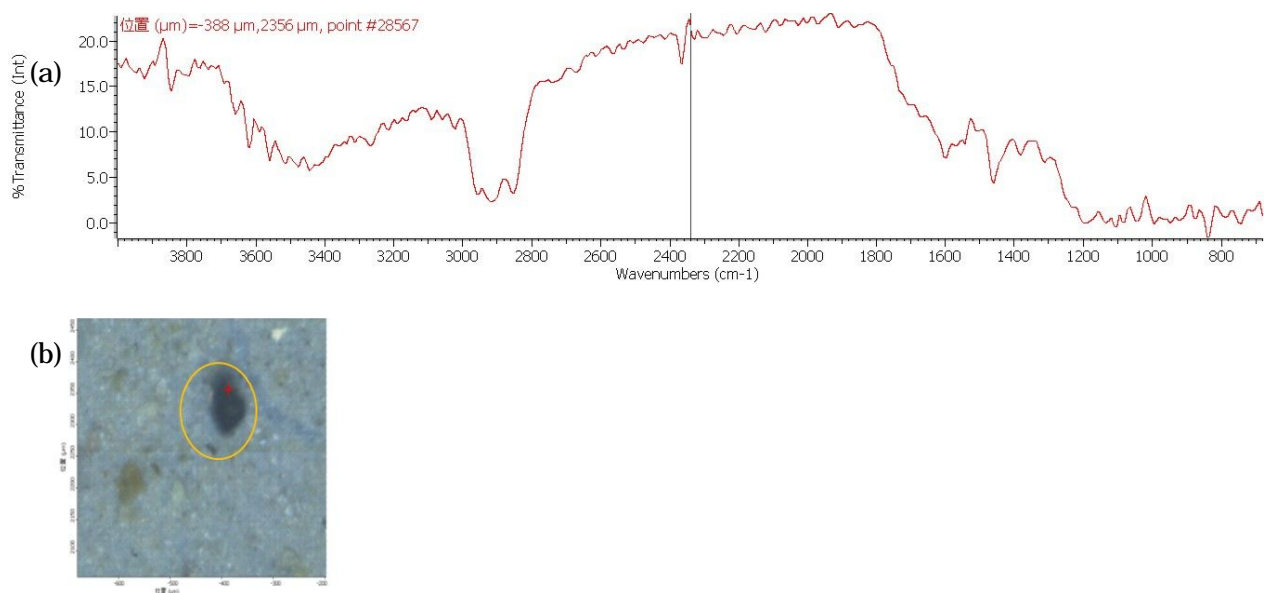


図 S2.2022 年 7 月 27 日に揚収したセジメントトラップ試料 . (a)ポリエチレン・プロピレン (一致率 87.21%) のスペクトル(a)と MP 写真(b) .



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 伊藤進一、道田豊、山下麗、松村義正	4. 巻 32
2. 論文標題 海洋マイクロプラスチック実態把握研究の動向	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 海洋調査技術	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中嶋亮太 山下麗	4. 巻 29(5)
2. 論文標題 海洋マイクロプラスチックの採取・前処理・定量方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 海の研究	6. 最初と最後の頁 129-151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5928/kaiyou.29.5_129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J.F.Provencher, M.Liboiron, S.B.Borrellec, A.L.Bond, C.Rochman, J.L.Lavers, S.Avery-Gommg, R.Yamashita, P.G.Ryan, A.L.Lusher, S.Hammer, H.Bradshaw, J.KhanaM. L.Mallory	4. 巻 733
2. 論文標題 A Horizon Scan of research priorities to inform policies aimed at reducing the harm of plastic pollution to biota	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of the Total Environment	6. 最初と最後の頁 139381
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2020.139381	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 該当する
1. 著者名 Bee Geok Yeo, Hideshige Takada, Rei Yamashita, Yohei Okazaki, Keiich iUchida, Tadashi Tokai, Kosuke Tanaka, Nicole Trenholm	4. 巻 151
2. 論文標題 PCBs and PBDEs in microplastic particles and zooplankton in open water in the Pacific Ocean and around the coast of Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 110806
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marpolbul.2019.110806	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 該当する

1. 著者名 Miyazono, K., Yamashita, R., Miyamoto, H., Ishak, N. H. A., Tadokoro, K., Shimizu, Y., & Takahashi, K.	4. 巻 170
2. 論文標題 Large-scale distribution and composition of floating plastic debris in the transition region of the North Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 112631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2021.112631	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 該当する

1. 著者名 Thushari, G. G. N., Miyazono, K., Sato, T., Yamashita, R., Takasuka, A., Watai, M., Yasuda, T., Kuroda, H., Takahashi, K.	4. 巻 188
2. 論文標題 Floating plastic accumulation and distribution around Kuroshio Current, western North Pacific	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 114604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2023.114604	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 該当する

1. 著者名 Wang, Y., Yamashita, R., Matsumura, Y., Ito, S. I., & Komatsu, K.	4. 巻 62
2. 論文標題 Dynamics of microplastic transport and accumulation in a rural coastal area: Insights from the Otsuchi Bay, a small ria in Sanriku, Japan.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Regional Studies in Marine Science	6. 最初と最後の頁 102964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rsma.2023.102964	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 該当する

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 山下麗、小川浩史、伊藤進一、松村義正、津田敦
2. 発表標題 対馬周辺のマイクロプラスチック
3. 学会等名 日本プランクトン学会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 山下麗
2. 発表標題 海洋マイクロプラスチック分布実態に関する研究の最前線
3. 学会等名 海洋工学パネルプログラム
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 山下麗
2. 発表標題 MP計測の現場から
3. 学会等名 第2回海中海底フォーラム・ZERO
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., Ito, S. I., & Komatsu, K.
2. 発表標題 Spatiotemporal distribution of microplastics in sediments of Otsuchi Bay, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会（国際学会）
4. 発表年 2022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
研究分担者	福田 秀樹 (Fukuda Hideki) (30451892)	東京大学・大気海洋研究所・准教授  (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	西部 裕一郎  (Nishibe Yuichiro)  (50403861)	東京大学・大気海洋研究所・准教授     (12601)	

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