

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間	2021～2025
課題番号	21H05058
研究課題名	微細マイクロプラスチックの動態を含む海洋プラスチック循環の包括的 解明
研究代表者氏名（ローマ字）	磯辺 篤彦（ISOBE Atsuhiko）
所属研究機関・部局・職	九州大学・応用力学研究所・教授
研究者番号	00281189

研究の概要：

本申請研究では、環境科学、地球物理学、そして高分子科学の研究者が協働することで、いま海洋環境での最終的な行方が不明であるマイクロプラスチックや、さらに破碎を重ねた微細マイクロプラスチック（サイズが1～2 mm以下で10 μmまで）の、発生と海洋輸送、そして消失といった諸過程を包括的に定量し、ミッシング・プラスチックのパラドクスを解明する

研究分野：環境動態解析

キーワード：海洋プラスチック汚染・微細マイクロプラスチック・ミッシングプラスチック

1．研究開始当初の背景

生活から河川を通じて海に流れ出たプラスチックごみは、自然環境下での劣化と度重なる破碎によって、マイクロプラスチック（以降、MP）と呼ばれる微細片となる。プラスチックごみの投棄が増加する現状では、海に浮遊するMPは今後も増え続けるだろう。誤食を介して海洋生態系へ侵入したMPの影響は、いまや学界のみならず広く社会の関心事である。ところが、このMPによる海洋生態系へのリスク評価には、いまだに大きな困難がある。深刻であるのは、リスクの洗い出しを担う環境毒性学や環境化学による実験的研究と、海洋での暴露量（現存量）を明らかにする海洋科学による観測（あるいはシミュレーション）との間にある、MPサイズのギャップである。いま技術的に確立された海域でのMP採取（浮遊MPを海面近くで曳網採取〔網目300 μm〕）や、その後の分析手法では、扱える粒子サイズの下限は数百 μmである。観測データで精度検証するため、シミュレーションで扱うMPもサイズの下限は数百 μmである。一方、室内水槽実験による毒性評価で生物に与えるプラスチックビーズのサイズは、その3～4桁ほど小さい。大きなビーズを摂食できる生物での実験が難しい事情による。観測やシミュレーションとはサイズのギャップが大きすぎて、現在は室内実験の結果を実海域に敷衍しづらい。この数百 μm以下の「微細MP」の現存量を把握し将来を予測することが、海洋プラスチック汚染研究の最前線である。微細MPを扱うにはミッシング・プラスチックのパラドクスに向き合わねばならない。サイズが1～2mmを下回る微細MPは、質量保存を保ちつつ破碎を繰り返したと仮定しても、実際の海域浮遊数が圧倒的に少ないのである。微細MPはどこに消えたのだろうか。

2．研究の目的

世界の海洋におけるプラスチック循環の全容解明が本申請研究の目的である。すなわち、河川から海に流入するプラスチックごみから始まって、発生から消失に至るMPや微細MPの海洋での行方を突き止め（ミッシング・プラスチックのパラドクスを解明）、これら海洋での動態を再現する数値シミュレーション・モデル（モデルは計算プログラムの意）を構築する。この海洋プラスチック循環モデルは、プラスチックごみによる海洋環境の変遷を定量的に評価できる。

3．研究の方法

[1] 海域分布の解明

東京海洋大学練習船「海鷹丸」を利用して、太平洋からインド洋にかけての航路で微細MPを採取する。船上で海水を漉して（写真）ネットごと研究室に持ち帰る。一度の航海で全ての採取を行うのではなく、毎年実施する練習航海の機会を利用して、各年で5～10測点ごとに分けて採取を行う。

[2] 発生機構の解明

MPや微細MP発生の機構解明と発生率（破碎進行速度）の定量を行う。実際に多くが採取されるポリプロピレンのペレットを実験試料とする。ウェザーメーターを用いて紫外線照射（50～600時間程度）したのち、ウェザリング前後の試料の表面構造と力学物性を解析し、既存調査や[1]で採取した実試料（熱帯から亜寒帯までの試料を収集）との類似性を検証する。

[3] 海洋生態系への移行と影響評価

室内水槽実験と薬物力学的解析によって、生物体内への微細（1 μm）MPの個体・食物連鎖・環境レベ

ル動態モデルの構築と生体影響評価を行う。特に、ベクター効果とエンドサイトーシスによる複合毒性を解明する。対象生物を用いて、蛍光 MP を水暴露後排泄させ、MP を 3D 蛍光顕微鏡で計測、体内取込とエンドサイトーシスを考慮した吸収排泄モデルを構築する。さらに本モデルを食物連鎖に組み込み、環境中 MP 濃度から食物連鎖を考慮したモデルに発展させる。腸管長さや体長との比較より、他生物の平均滞留時間も推算する

#### [4] 海岸 海洋輸送系の解明

海岸 - 海洋間での微細 MP の交換率の算定と、海岸吸収率の推算を行う。あるいは微細 MP の海岸吸収率を推定する。

#### [5] 海洋 海底輸送系の解明

海洋から海底への MP/微細 MP の堆積率(堆積速度)を推定する。グラビティコアラを用いて、まず海底堆積物の「タイムカプセル」である西瀬戸内海の別府湾において、海底面以下 1m 深までの海底泥の柱状サンプリングを行う。

#### [6] 分担研究を統合する海洋プラスチック循環モデルの構築

MP の発生、生態系や海岸・海底といった各セクターへの吸収を統合する数値シミュレーション・モデルを構築する。過去 70 年間のプラスチックごみの海洋流入量をモデルに与え、MP や微細 MP の発生量や、各セクターへの吸収量を定量化する。海洋上層(有光層)に浮遊する微細 MP の将来濃度を予測し、生物へのダメージが顕在する海域や時期を算定する。すなわち、全分担研究を統合することで、ミッシング・プラスチックのパラドクスに対する解を含めて、ここに本申請の目的が全て達成される。

### 4 . これまでの成果

微細 MP を現場海域で採取し、試料を実験室に持ち帰り、さらにポリマータイプごとに個数を定量する観測・分析プロトコルを作成した。大きさが数百  $\mu\text{m}$  以下である微細 MP の観測・分析には、周辺からのコンタミによる過大評価(浮遊する化学繊維以外にも、観測・分析に用いる全てのプラスチック製品がコンタミ源である)、分析途中での欠損による過小評価(すりガラス容器の凹凸にさえ捕捉される)、そして破損による過大評価(劣化した微細 MP は容易に破碎される)を克服する工夫が、従前の MP 観測とは次元を超えて必要である。我々が構築した観測・分析系では、系の全体でコンタミ個数を 5 粒程度まで抑え、欠損率・破損率を求め、ともに 15% 以下まで向上させた。また、これらの数値を利用して、真の浮遊現存量を推定する換算式も提案し、論文投稿に至った(Takashima et al., 投稿中)。

別府湾における海底コアを解析することにより、1940 年から 2015 年までの MP(300 $\mu\text{m}$ -5mm)の堆積フラックスの経年変化を明らかにした(Hinata et al., 2023, *Sci. Total Environ.*)。本研究は、MP の海底堆積フラックスは 20 年周期で増減を繰り返し、これと有意な正の相関を持つ変動パターンをクロロフィル a の堆積フラックスにも確認した発見である。本成果は別府湾の新人世/標準模式地選定を支援する。

発生機構の解明や、海洋生態系への移行と影響評価についても、前述の通りに成果は着々と上がっている。発生機構の解明は微細 MP の全球フローを扱う本研究課題にとって「入口」としての位置づけであり、一方で海洋生態系への影響評価は「出口」として重要である。後半の 3 年間で、これら全てを組み込んだ包括的な微細 MP の環境影響評価の達成を確信している。

### 5 . 今後の計画

MP の発生[2]、生態系[3]や海岸[4]・海底[5]といった各セクターへの吸収を統合する数値シミュレーション・モデルを構築を進めていく。[1]が実海域で観測した分布を再現することで精度を担保する。過去 70 年間のプラスチックごみの海洋流入量(Lebreton et al., 2017, *Nature Comm.*)をモデルに与え、MP や微細 MP の発生量や、各セクターへの吸収量を定量化する。海洋上層(有光層)に浮遊する微細 MP の将来濃度を予測し、生物へのダメージが顕在する海域や時期を算定する。すなわち、全分担研究を統合することで、ミッシング・プラスチックのパラドクス解明を含めて、ここに本申請の目的が全て達成される。

### 6 . これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

Hinata, H., Kuwae, M., Tsugeki, N., Masumoto, I., Tani, Y., Hatada, Y., Kawamata, H., Mase, A., Sukenaga, K., Suzuki, Y. "A 75-year history of microplastic fragment accumulation rates in a semi-enclosed hypoxic basin" *Science of The Total Environment*, 854, 158751, 2023. 査読あり

Isobe, A. and S. Iwasaki "The fate of missing ocean plastics: Are they just a marine environmental problem?" *Science of the Total Environment*, 825, 153935, 2022. 査読あり

2023 年 日本水産学会水産学技術賞 (磯辺/共同受賞) 浮遊 MP データベースの構築

### 7 . ホームページ等

<https://research-project-for-small-microplastics.jimdosite.com/>