

マイクロプラスチックの淡水中でのバイオ汚染

物理 2 班 梅川萌 高橋佑宇 牟笑岩 渡辺宗太郎

指導教員 瀬々将吏



1 はじめに

マイクロプラスチックとは直径が 5mm 以下のプラスチックのことを指す。マイクロプラスチックには 2 種類あり、一つは製品や製品原料として初めから微小なサイズで制作された一次マイクロプラスチック、プラスチック製品が自然環境中で劣化し粉々になることで生じた二次マイクロプラスチックである。近年はプラスチックごみが海洋流出し、環境・生態系に悪影響を与えるなどマイクロプラスチックによる環境汚染が問題化している。

そこで私達は、海洋中ではバイオ汚染¹によるMPの沈降速度の変化が起こる²ことから、淡水中でもマイクロプラスチックはバイオ汚染による影響を受けるのかを疑問に思った。また、河川での浄化は、海に入るプラスチック廃棄物を減らす効果的な方法として国際的に認められている³。そのため、本研究では淡水中でのマイクロプラスチックについて実験を行った。

2 研究の目的

海中では、マイクロプラスチックの移動時間はバイオ汚染の影響を受けるとされている。そこで、私たちは淡水中でも海水中でも同じように、バイオ汚染によって移動時間が変化するかを検証することを目的とした。

また、本研究の成果はマイクロプラスチックの分布の実態の把握につながると考えている。そして、今後のマイクロプラスチックについての研究や、バイオ汚染がマイクロプラスチックに及ぼす影響についての研究に活かすことを本研究の意義としている。

3 実験方法

今回の実験で使うサンプルは、カッター等で 5 ミリ以下に細かく切ったポリプロピレン、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリエチレンテレフタラートの 4 種のプラスチックである。

沈降実験では淡水で満たした水槽に、ピンセットでサンプルを基準点まで沈めてから離して 10cm 移動する間の時間を記録する。移動時間は基準点より下に沈む場合はプラス、上に浮く場合はマイナスとする。

この操作を各プラスチックの汚染なし、汚染ありのそれぞれで 200 回ずつ行った。

汚染されたプラスチックのサンプルは次のようにして用意した。未汚染のサンプルを目の粗いネットに入れ、さらにそれをプラスチック製の虫かごに入れた。このカゴにロープをつなぎ、横手高校付近の沼（七日市沼）に投入した。投入は 2021 年 9 月 21 日に行った。その後、10 月 15 日にカゴを回収し、取り出したサンプルを「汚染あり」とした。

¹ 本研究では、マイクロプラスチックの表面への動物の糞便、藻類等の付着を指す。

² David Kaiser et al. 2017

³ 徐開欽 et al. 2020

4 結果と考察

【結果】

回収したサンプルには褐色の汚れが付着しており、目視では泥のように見えた。しかしながら付着物が何であるかは検証できなかった。微生物かどうかについても判定することができず、バイオ汚染の有無は判断できなかった。

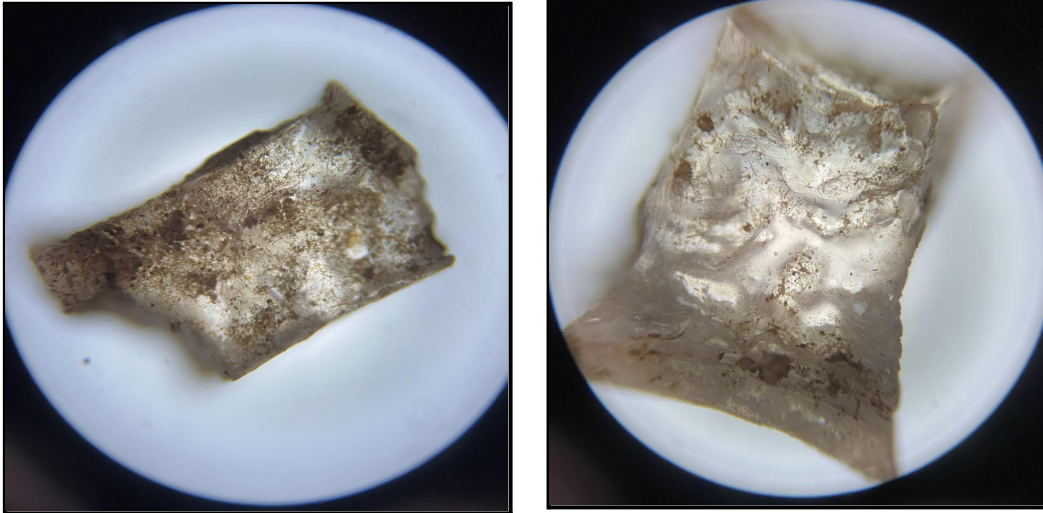


図1 汚染後のポリスチレン粒子。

汚染後のサンプルを用いて汚染前のサンプルと同様に水槽の実験を行い、水中での移動速度を比較した（図2、表1）。

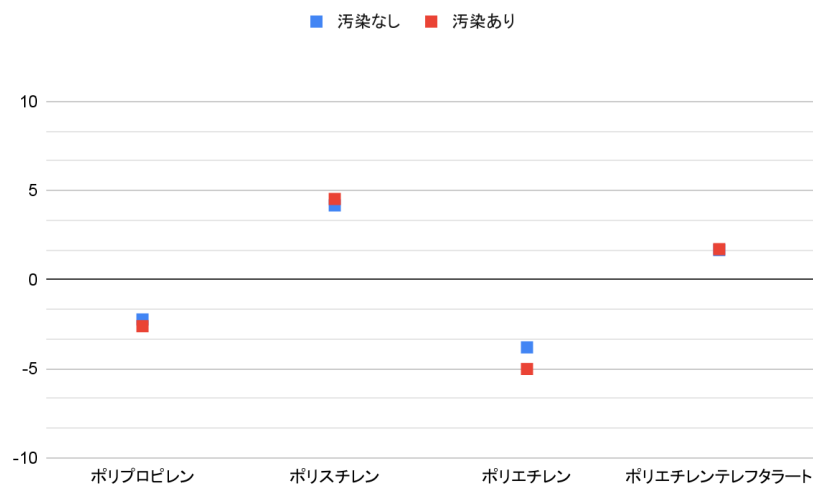


図2 汚染前、汚染後の各プラスチックの平均速度。+は沈み、-は浮いたことを表す

表1 MPが一定距離の落下に要した時間。

名前時間	汚染なし	汚染あり
ポリプロピレン	-2.23	-2.61
ポリスチレン	4.16	4.53
ポリエチレン	-3.80	-5.01
ポリエチレン テレフタラート	1.66	1.71

【考察】

各種検定を用いて結果を分析した。以下、有意水準を α 、帰無仮説を H_0 、対立仮説を H_1 と表記する。得られた p 値が有意水準を下回ると、帰無仮説を棄却し、対立仮説を採用できる。

(1) 2標本 t 検定⁴

$\alpha=0.05$

H_0 : 汚染前と汚染後で平均移動速度に有意差がない。

H_1 : 汚染前と汚染後で平均移動速度に有意差がある。

表2 t 検定の結果

プラスチック名	p 値
ポリプロピレン	0.50
ポリスチレン	0.50
ポリエチレン	0.50
ポリエチレンテレフタラート	0.48

【結果】

汚染前と汚染後で平均移動速度に有意差は見られなかった。

(2) シャピローウィルク検定⁵

$\alpha=0.05$

H_0 : 標本は正規分布に従う母集団から得られた。

H_1 : 標本は正規分布に従わない母集団から得られた。

⁴ 正規分布に従う母集団から抽出した標本の平均に差があるかどうかを調べる検定

⁵ 標本が正規分布に従う母集団から得られたのかを調べる検定

表3 シャピローウィルク検定の結果

汚染前	p 値	汚染後	p 値
ポリプロピレン	1.72×10^{-5}	ポリプロピレン	4.23×10^{-5}
ポリスチレン	8.65×10^{-9}	ポリスチレン	5.35×10^{-11}
ポリエチレン	0.78	ポリエチレン	2.88×10^{-4}
ポリエチレンテレフタラート	1.43×10^{-6}	ポリエチレンテレフタラート	2.88×10^{-4}

【結果】

汚染前ポリエチレン以外は正規分布に従うとは言えなかった。

(3) ウィルコクソンの順位和検定⁶

$\alpha=0.05$

H0 汚染前と汚染後で移動速度に有意差がない。

H1 汚染前と汚染後で移動速度に有意差がある。

表4 ウィルコクソンの順位和検定の結果

プラスチック名	p 値
ポリプロピレン	1.57×10^{-13}
ポリスチレン	3.30×10^{-3}
ポリエチレン	2.20×10^{-16}
ポリエチレンテレフタラート	6.50×10^{-3}

【結果】

4種すべてで汚染前と汚染後で移動速度に有意差があると言えた。

それぞれの汚染前と汚染後の平均速度から速度の変化の割合⁷を計算したところ、ポリエチレン>ポリプロピレン>ポリスチレン>ポリエチレンテレフタラートの順に変化の割合は大きくなった。

⁶ 正規分布に従わない2つのデータ間の代表値に差があるかどうかを調べる検定

⁷ $\{(V_2 - V_1) / V_1\} * 100$ (V_1 ...汚染前の平均速度, V_2 ...汚染後の平均速度)

表5 平均移動時間の変化率

ポリプロピレン	17%増加
ポリスチレン	9%増加
ポリエチレン	32%増加
ポリエチレンテレフタレート	3%増加

以上の結果から、4種のプラスチック全てで汚染前と汚染後で平均移動時間は増加した。

このことは、先行研究で述べられているバイオ汚染の性質⁸とは異なり、泥によって汚染させると平均移動時間は増加、すなわち平均移動速度が減少すると言える。そのため、上昇、沈降する場合はともに水面、水底近くの波を通り抜けられずに水中に留まりやすいと考えられる。

また、泥の付着によってプラスチックの質量が増加したのにも関わらず、沈みにくくなっていることについては、沈む場合には泥による汚染がバイオ汚染よりもプラスチックに浮力を与えると考えれば説明できる。浮く場合については、沈む場合と同様に浮力が強く与えられると考え、平均移動速度が減少していることに矛盾してしまうため、まだ有効な説明はできていない。

5 今後の課題

①各プラスチックの密度を正確に測定する。

密度の増加は移動速度の変化に大きな影響を与えると考えられる。より正確な密度の計測を目指す。

(下表は電子てんびんとメスシリンダーを用いて計測した各プラスチックの密度)

表6 各プラスチックの密度

プラスチック名	密度(g/cm ³)
ポリプロピレン	0.69
ポリスチレン	1.95
ポリエチレン	0.99
ポリエチレンテレフタレート	1.23

⁸ David Kaiser et al. 2017 によるとバイオ汚染された物質は質量が増加するため、沈降速度が増加するとされている。

②各プラスチックの表面の状態や、それぞれの違いについて観察する。

このことは各プラスチックごとに平均移動時間の変化の割合が大きく異なることに関係があると考えられる。表面の状態によって、プラスチックの汚染されやすさが異なると考えられるため、表面の状態を明らかにする必要がある。

③泥による汚染とバイオ汚染が平均移動速度に与える影響を明確にする。

考察でも述べたように、泥による汚染とバイオ汚染の違いについてはまだ明らかにできなかった。移動速度の変化に大きな影響を与えるため、明らかにしていきたい。MPの移動速度に影響を与える要因として、浮力と抵抗の2つが考えられる。密度が小さくなるほど浮力の影響を受けやすくなるが、その反面、体積が増加することにより抵抗が増す。例えば、MPを理想的な球面とすればこの効果は計算できるのではないかと考えている。さらにそれを付着物に模したモデルに拡張することにより、今回の結果が説明できると考えている。

④泥による汚染とバイオ汚染が環境に与える影響を明確にする。

本研究は、淡水環境中で実際に採取されたMPサンプルと同様の条件で行われているかどうかは明らかでない。淡水のMPについての研究成果がまだまだ少ないため、環境中でどのようなことが問題になっているのかを明確に知ることができなかった。実際にMPの採取に挑む、文献調査を徹底的に行うなどして、淡水におけるMPの実態を把握し、それを反映したモデルで実験を行うことが重要と考えている。

6 謝辞

本研究を行うに当たり、丁寧にご指導いただいた瀬々将吏先生をはじめ、相談にのっていただいた秋田県立大学システム科学技術学部 堺栄一先生、実験場所を快く提供していただいた横手市様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

7 引用・参考文献

1. 環境省 (2020) 海洋プラスチックごみに関する既往研究と今後の重点課題 (生物・生態系影響と実態).令和 2 年 6 月環境省水・大気環境局水環境課海洋プラスチック汚染対策室
2. Merel Kooi, Egbert H. van Nes, Marten Scheffer, and Albert A. Koelmans. (2017). Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on

Vertical Transport of Microplastics, Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 14, 7963–7971

3. Matthew Cole, Penelope K. Lindeque, Elaine Fileman, James Clark, Ceri Lewis, Claudia Halsband, and Tamara S. Galloway, Microplastics Alter the Properties and Sinking Rates of Zooplankton Faecal Pellets, Environ. Sci. Technol. 2016, 50, 6, 3239–3246
4. David Kaiser, Nicole Kowalski and Joanna J Waniek (2017), Effects of biofouling on the sinking behavior of microplastics, Environ. Res. Lett. 12 124003
5. Julia Reisser, Boyan Slat, Kimberly Denise Noble, Katherine Du Plessis, Mere Epp, Maria Carneiro Proietti, Jan de Sonnevile, T Becker, and Charitha Pattiaratchi, The vertical distribution of buoyant plastics at sea: An observational study in the North Atlantic Gyre, Biogeosciences, 12, 1249–1256
6. 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 日向博文, 島崎穂波, 馬場大樹 (2017) 「日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討」 (2017), 土木学会論文集B1, 73 巻 4 号 p. I_1225-I_1230
7. 久保田商事株式会社 「遠心分離 ～遠心力～」 2013年11月2日
<https://jsmcwm.or.jp/wastest-group/files/2013/11/5f730210e1b3276f2bbe0789aa3e4a38.pdf>
8. 徐開欽 陳曉晨 王俊傑 劉憲華 (2020) 中国におけるマイクロプラスチック汚染の現状と課題, 用水と排水 62 11 809-822
9. 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 北浦郁弥, (2019) 平常時・出水時河川のマイクロプラスチック濃度の時間変動特性と年間輸送量評価, 74, 4, 529-534