

環境研究総合推進費 革新型研究開発（若手枠）
【1RF-2102】（令和3～5年度）

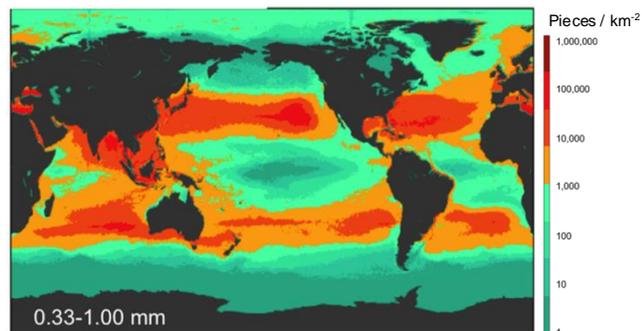
海洋プラスチックの劣化・微細化試験法の作成と、 含有化学物質による影響を含めた実態の解明

国立環境研究所 資源循環領域
田中 厚資
高橋 勇介

Introduction

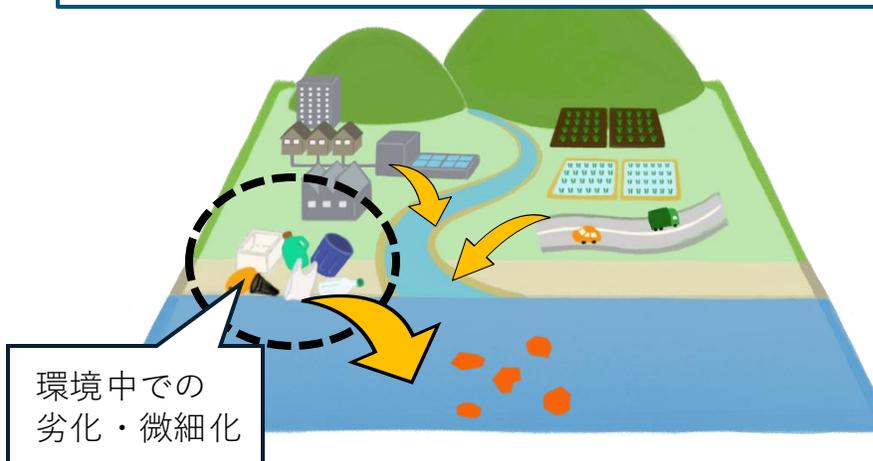
マイクロプラスチックによる海洋汚染

Eriksen et al. (2014) PLoS ONE 9(12): e111913.



Microplastics (MPs): plastic particles with a size of 1 μm –5 mm
 Nanoplastics (NPs): plastic particles with a size of 1 nm to 1 μm

MPs/NPsの発生源



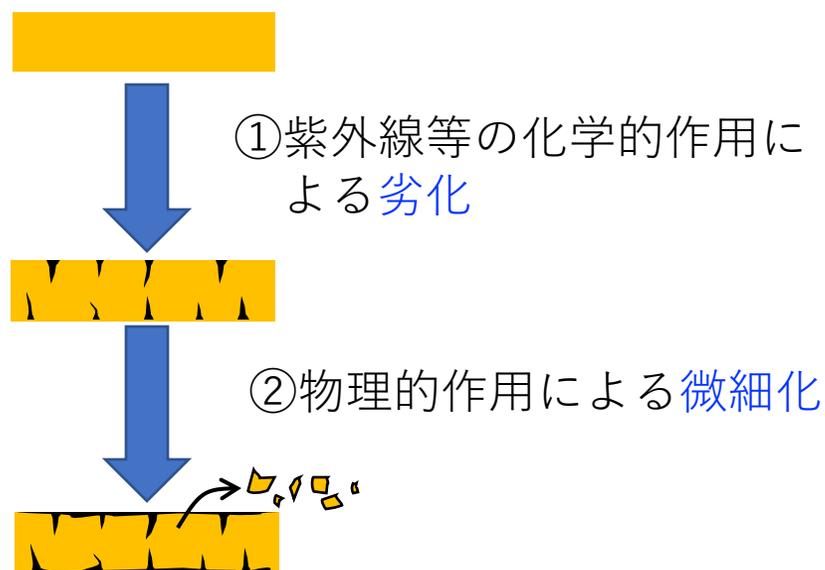
国際的な動向

- ◆大阪ブルー・オーシャン・ビジョン (G20, 2019)
 2050年までに追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す。
 →G7 気候・エネルギー・環境相会合 (2023)で目標を2040年に前倒し
- ◆プラスチック汚染に関する国際条約
 ライフサイクル全体にわたる持続可能な管理を議論

国内における対策

- ◆プラスチック資源循環戦略(2019)
- ◆プラスチック資源循環促進法(2022)
- ◆海洋プラスチックごみ対策アクションプラン
- ◆海岸漂着物処理推進法改正

課題1：微細化を評価するために
適当な試験手法がない。



課題2：添加剤による劣化抑制効果の
影響が考慮されていない。

・環境中プラでの検出例

添加剤	海洋プラでの検出頻度
酸化防止剤	ラジカル捕捉 (フェノール系等) 100% ⁽¹⁾
	過酸化分解 (リン系等) 47% ⁽²⁾
紫外線吸収剤	ベンゾトリアゾール系 20% ⁽³⁾
	ベンゾフェノン系 14% ⁽³⁾
多機能安定剤	ヒンダードアミン系 光安定剤 (HALS) -

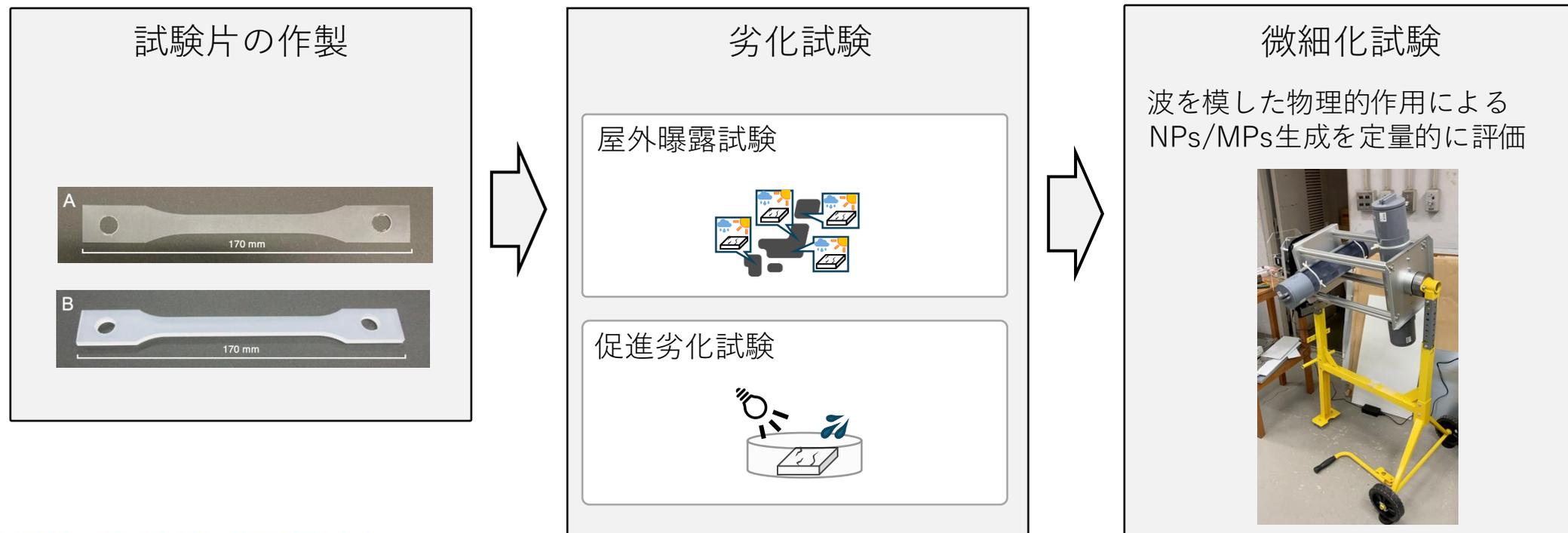
(1) Rani et al., (2017) Sci. Total Environ., 579 745-754, (2) Tanaka et al., (2019) Mar. Pollut. Bull., 145, 36-41, (3) Tanaka et al., (2020) Mar. Pollut. Bull., 150, 110732

Introduction

◆ 目的

海洋環境におけるプラスチックの劣化・微細化速度を求める試験方法を作成し、海洋プラスチックからのMPs/NPs生成速度について、添加剤による影響を含めた評価手法を提案すること

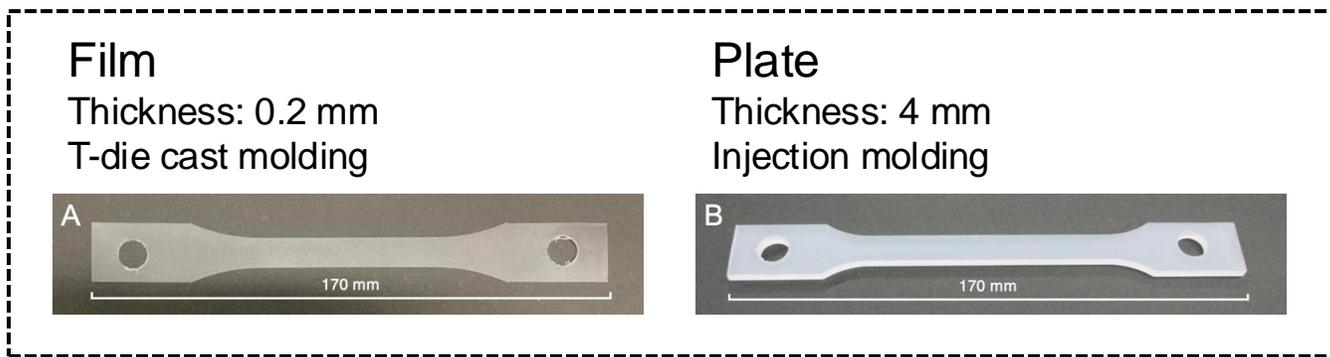
◆ 本研究の構成



◆試験片作製

鈴木ら. 環境研究総合推進費 環境問題対応型
1-2204 (2022~2024年度) と共同

工業連盟、工業会等と交渉することで、5大汎用樹脂の多様なグレードの原料を樹脂メーカーから直接的に入手。



Polypropylene (PP)

- Film
- Plate
- Plate(劣化抑制添加剤含有)

Polyethylene (PE)

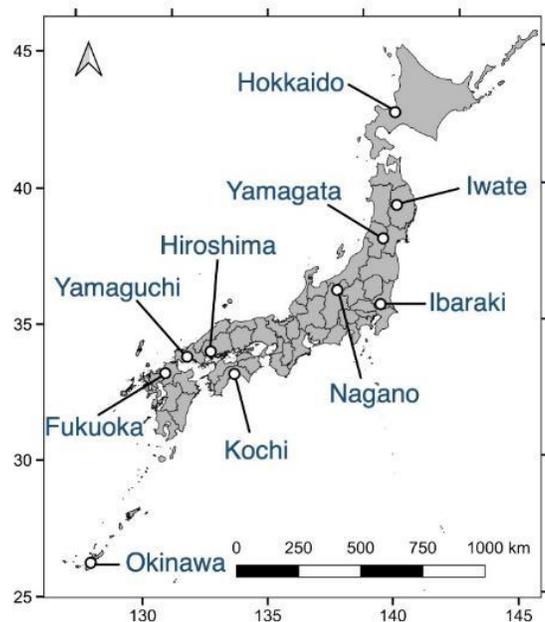
- Film
- Plate
- Plate(劣化抑制添加剤含有)

試験片中添加剤濃度 (µg/g-plastic).

		Polypropylene			Polyethylene (HDPE)		
		Film	Plate	Plate with stabilizers	Film	Plate	Plate with stabilizers
Antioxidant	Irgafos168	899	971	1061	-	-	112
	Irganox1010	1630	596	1328	-	-	515
Hindered Amine Light Stabilizers (HALS)	Tinuvin770	-	-	949	-	-	384
	TInuvin765	-	-	-	-	-	-
	TInuvin622	-	-	-	-	-	-
	CS119	-	-	-	-	-	-
	CS944	-	-	-	-	-	-

屋外曝露試験

全国10ヶ所でプラスチック試験片を屋外曝露して地域差を評価



屋外曝露試験地点



屋外曝露試験装置設置状況

これまでに、PP filmについては10地点全ての試料で微細化試験が完了、他の試験片については茨城のみ微細化試験が完了。

促進劣化試験

キセノンランプによる紫外線促進曝露によってプラスチック試験片の劣化を再現



キセノン耐候性試験機

試験条件

JIS K 7350-2に準拠

- 放射照度: 0.51 W/m² @340nm
- 温度 (BPT): 63° C
- 水曝露: 120分中18分

太陽露光量 [MJ/m²]は
2週間で屋外曝露約3ヶ月と同程度

微細化試験装置



劣化後の試験片を砂や水とともに筒の中に入れ、回転させることで物理的作用を加える。

Sample amount

- ・ Film: 0.2 g
- ・ Plate: 2 g

Test Conditions

- ・ 円筒のサイズ: 内径100mm × 長さ50cm
- ・ 回転速度: 30 rpm
- ・ 微細化時間: 48時間

国内の海における波の高さ、周期等から設定した条件※を参照

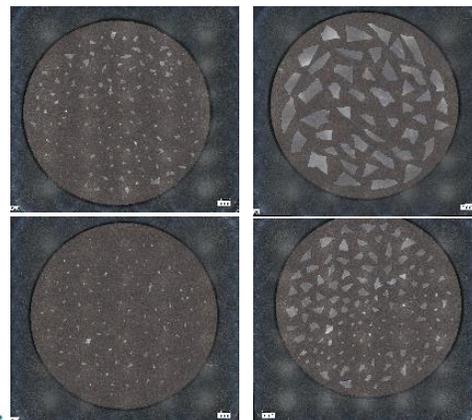
比重分離

NaClを投入し比重分離、泥を沈殿（沈降時間: 24時間程度）



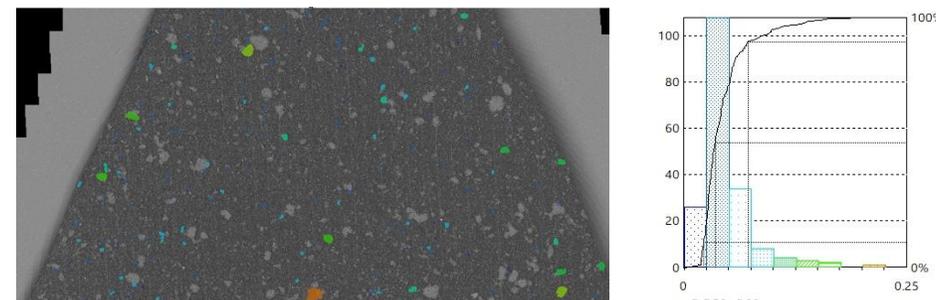
生成粒子 (>100 μm) の評価

・比重分離した上層液は
100 μmメッシュで回収
→実体顕微鏡で撮影し、画像解析



生成粒子 (1-100 μm) の評価

・メッシュのろ液から1 μmフィルタでMPを回収
・遠心分離で泥を除去した後、1 μmフィルタで捕集
→SEMで撮影して画像解析



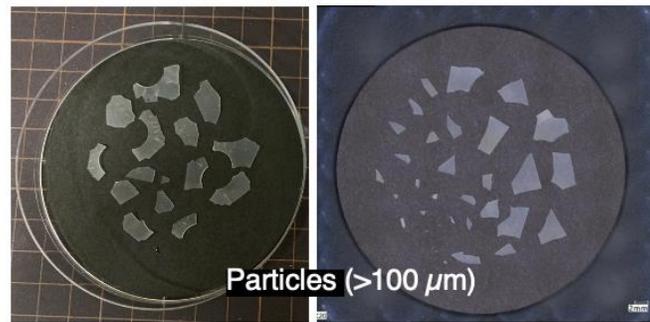
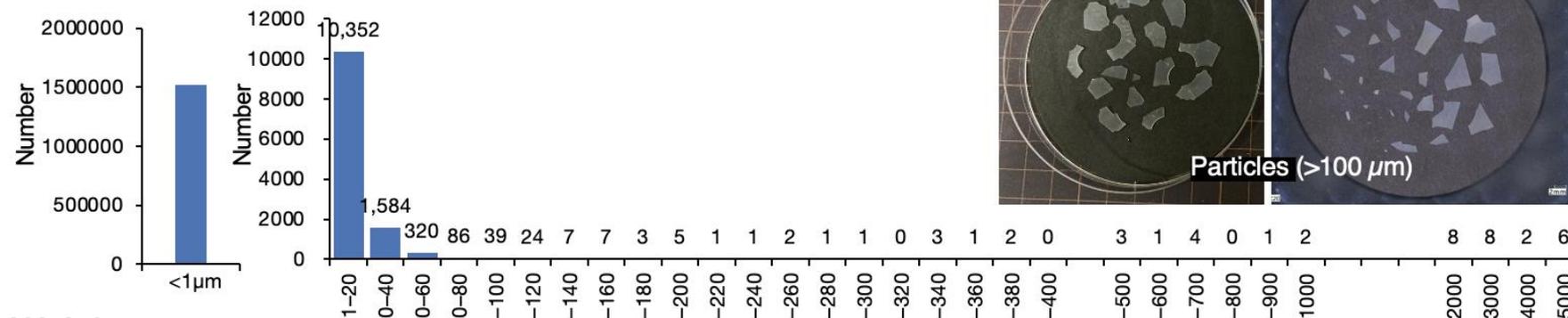
Figures: SEM image and the result of image analysis (WinROOF)



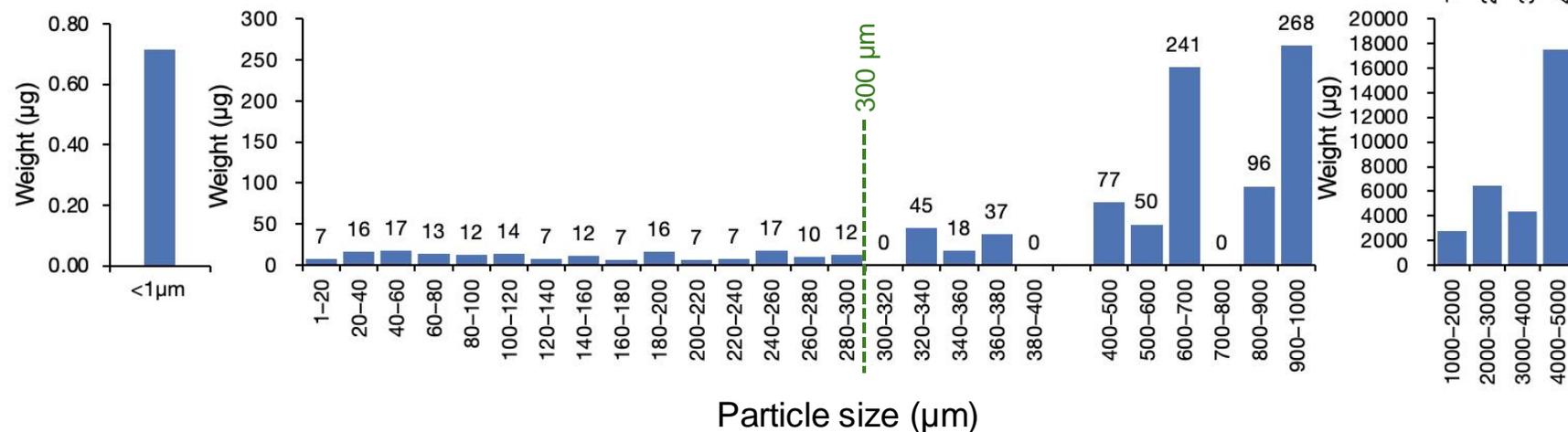
生成粒子 (<1 μm) の評価

・1 μmフィルタろ液から20 nmアルミナフィルタでNPsを回収
・フィルタを水、EtOHで洗浄後、NPsを適当な溶媒で溶出させ、py-GC/MS用カップへ回収
→py-GC/MSで定量

Number



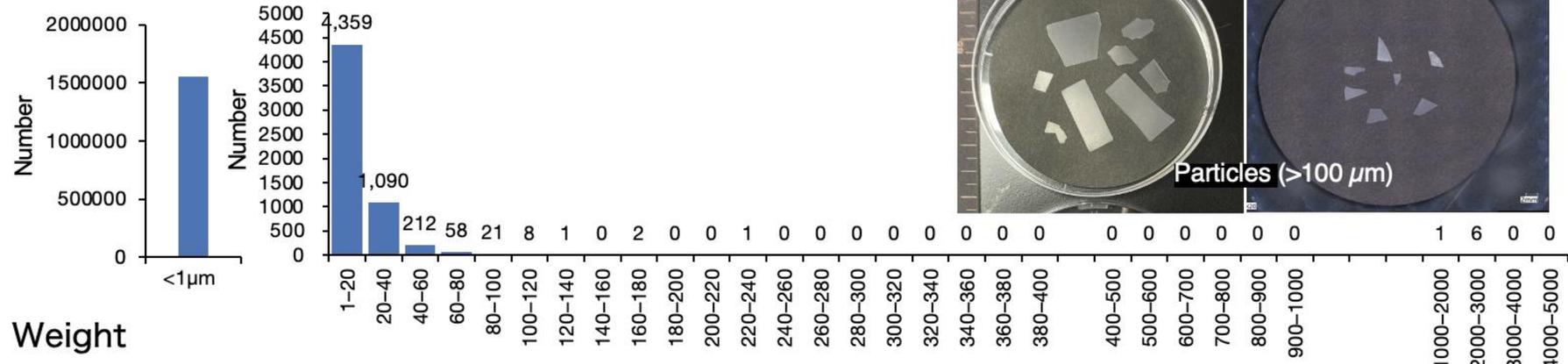
Weight



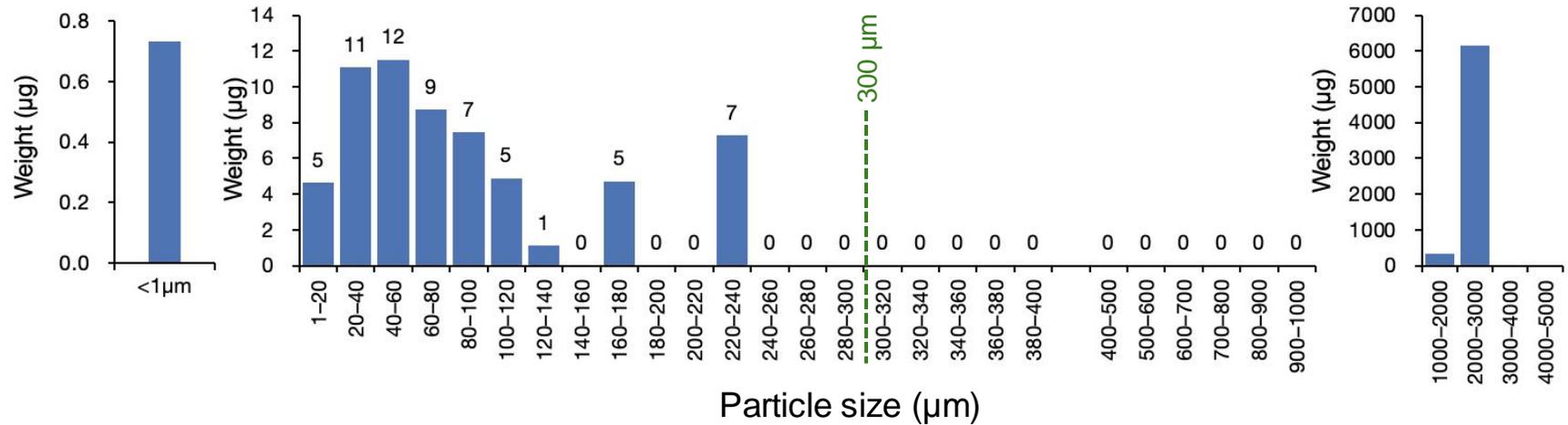
NP_s/MP_sへの変換割合：
16%

Filmでは、割れにより生成した300 µmより大きい粒子が重量ベースで主要

Number

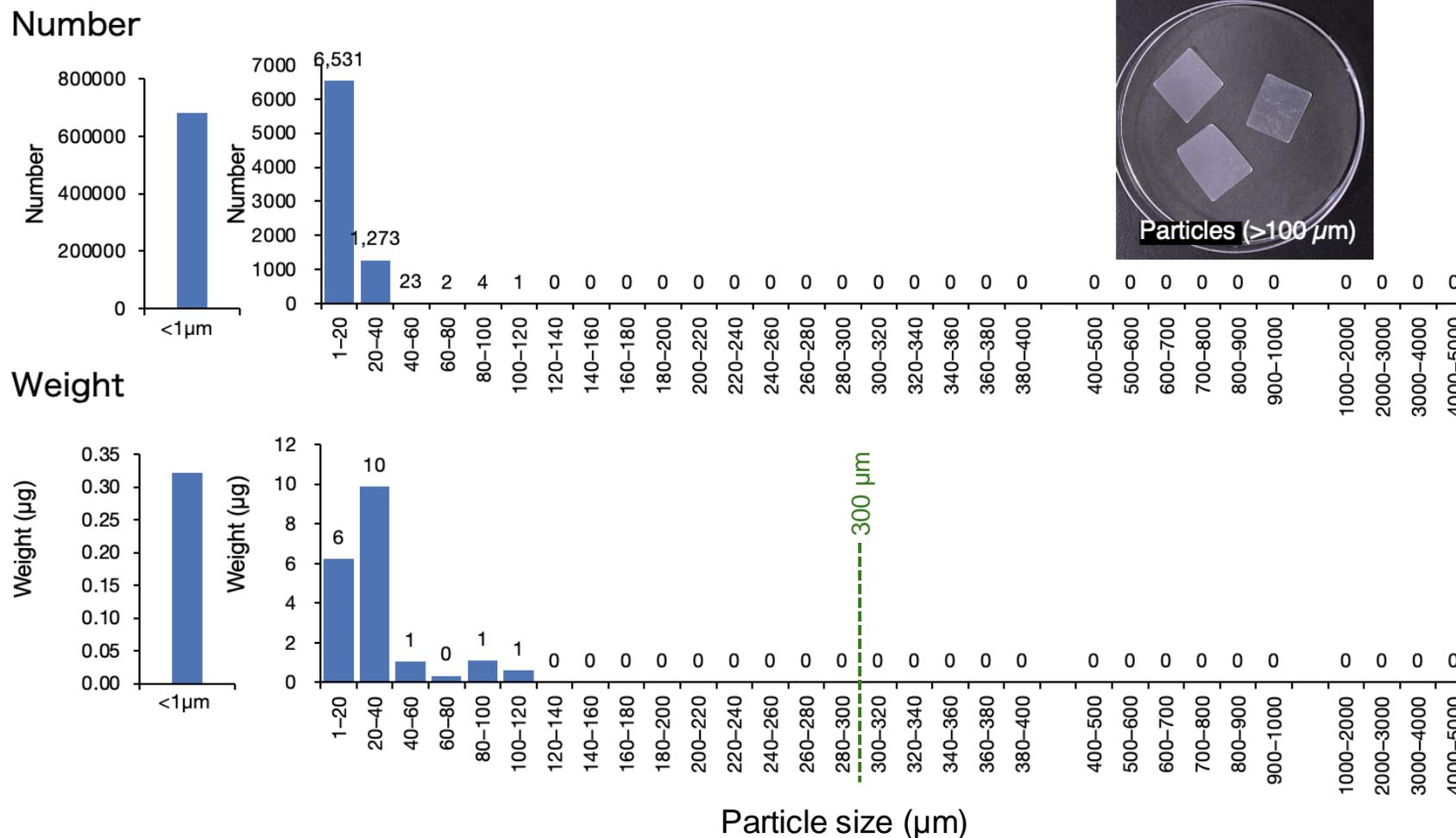


Weight



NP_s/MP_sへの変換割合：
3.3%

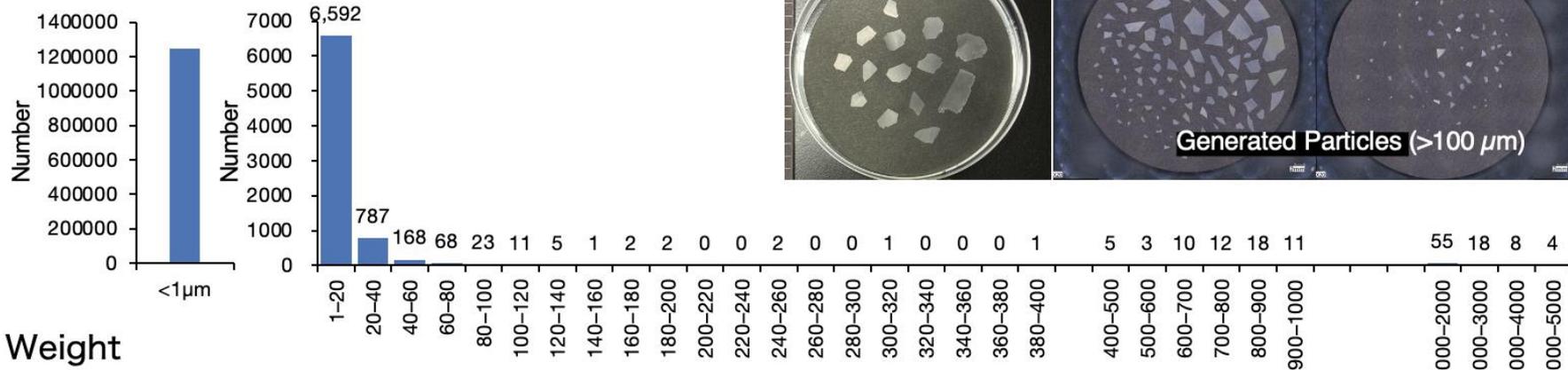
Results PP Film_屋外 (北海道) 3ヶ月



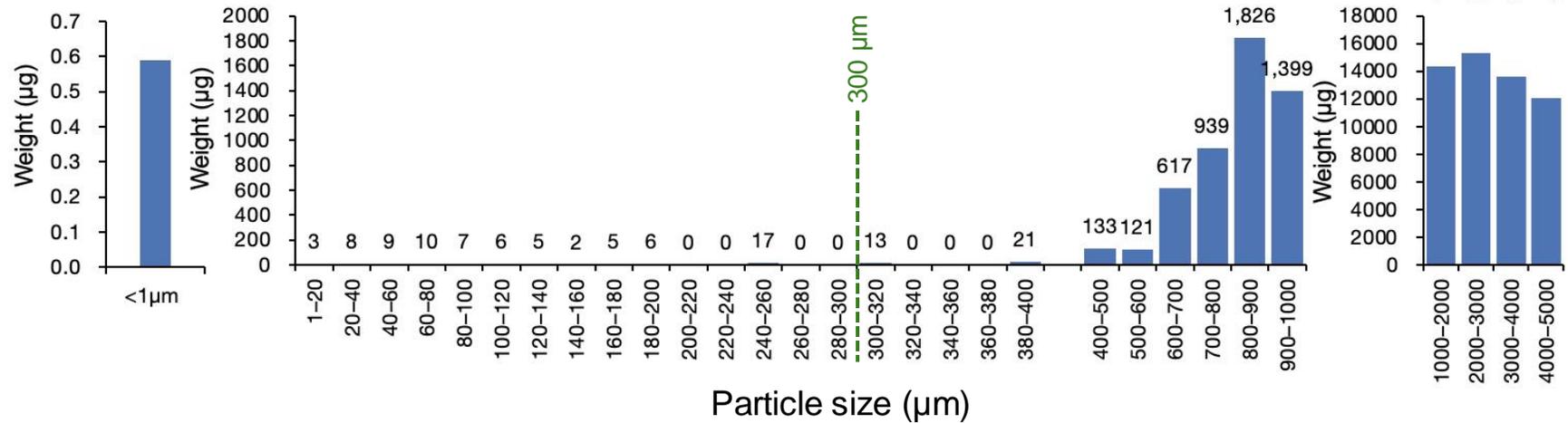
➔ NPs/MPsへの変換割合：
0.01 %

北海道、岩手のFilm試料では割れによる粒子生成は見られなかったが、
摩耗により300 μm以下の粒子のみが生成した。

Number

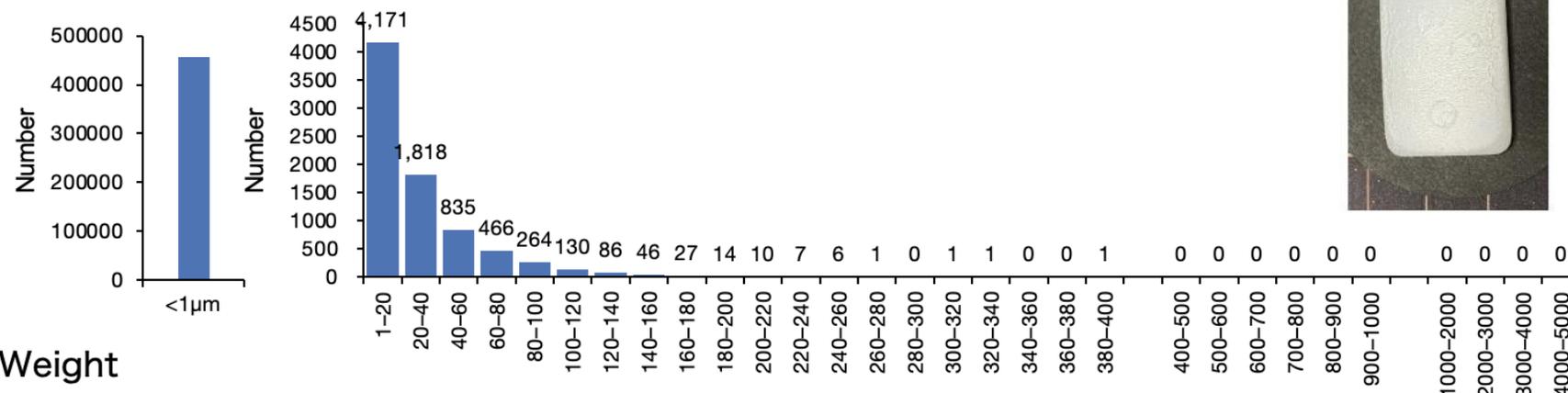


Weight

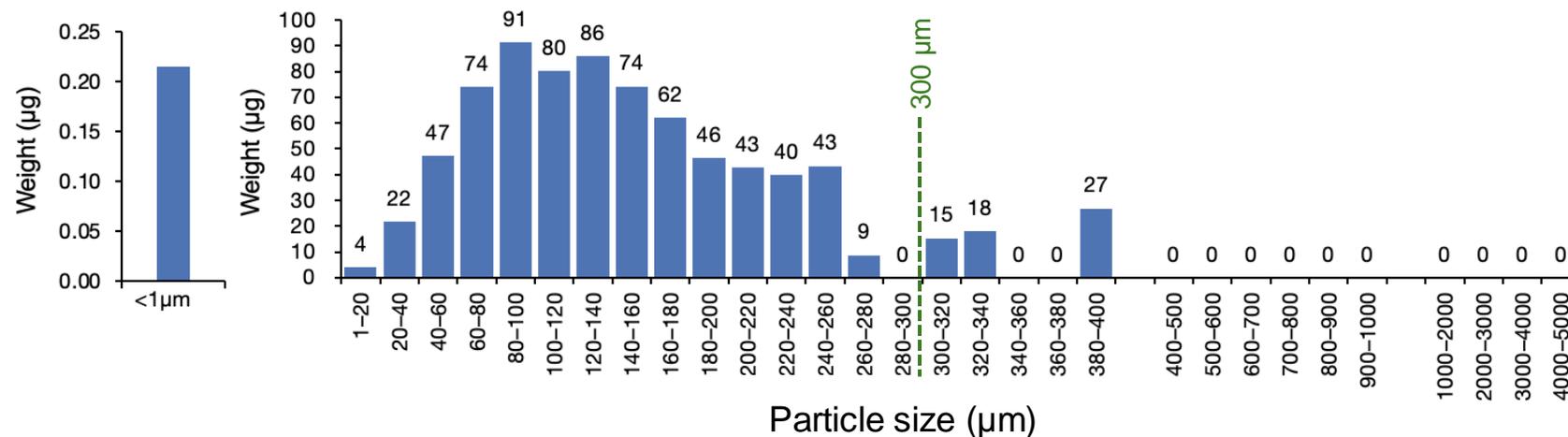


⇒ NPs/MPsへの変換割合：
30%

Number



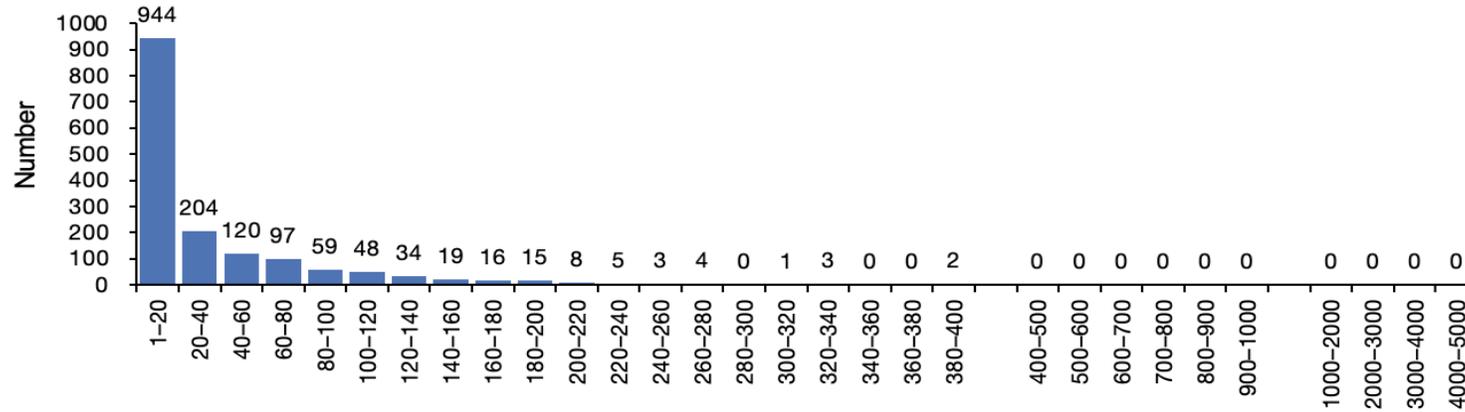
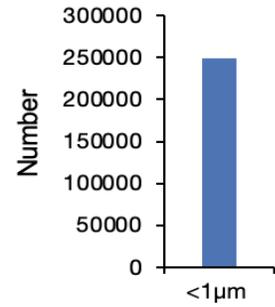
Weight



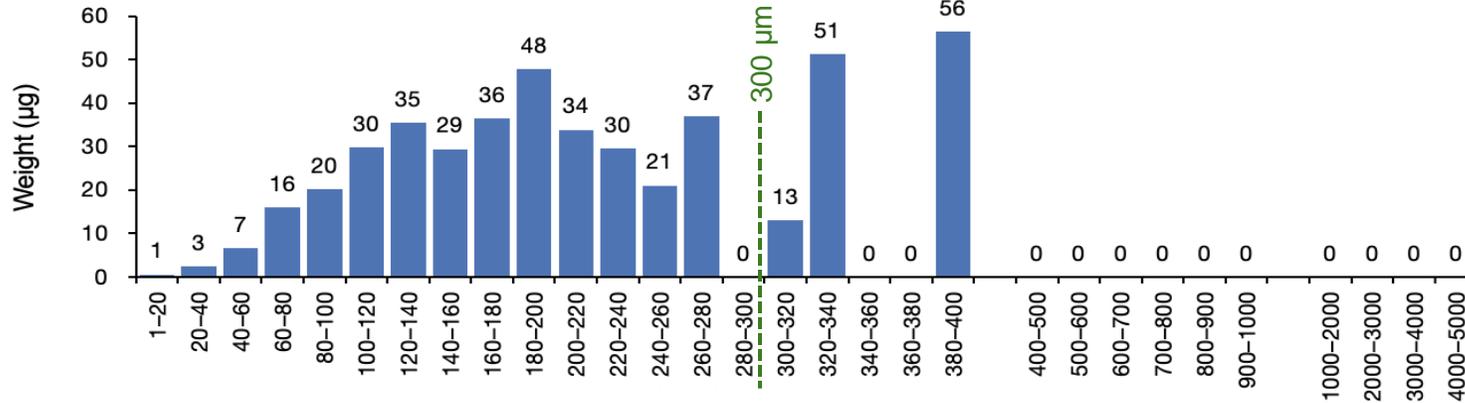
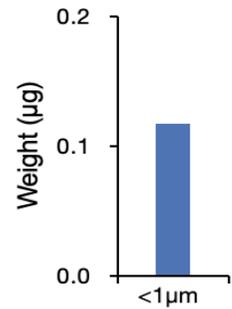
NP/MPsへの変換割合：
0.05%

Plate試料からは主に300 µm以下の粒子が摩耗によって生成した。

Number



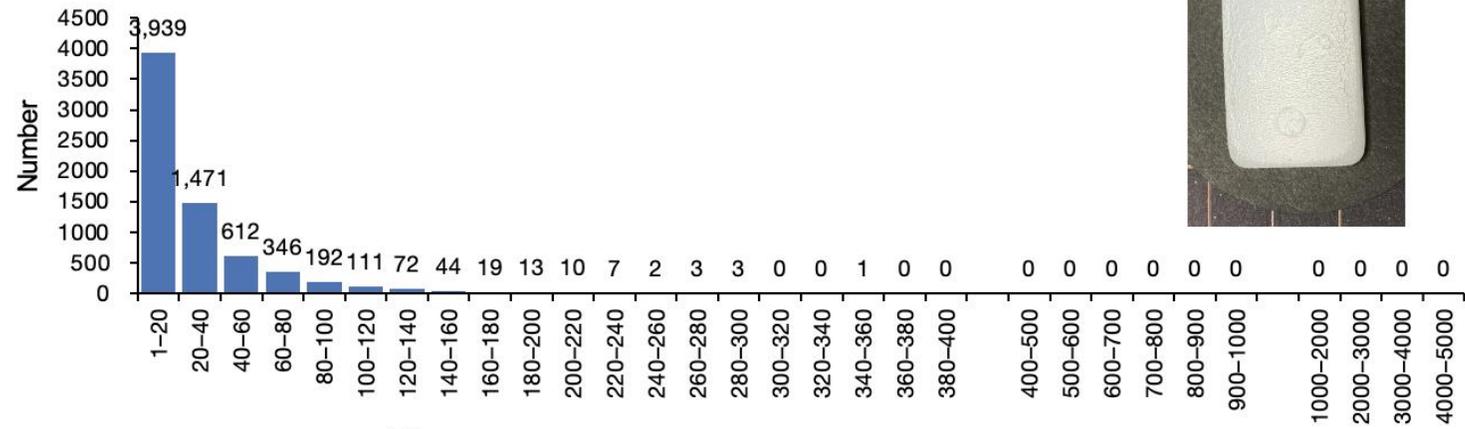
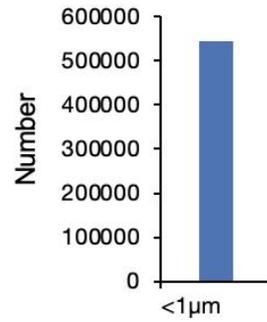
Weight



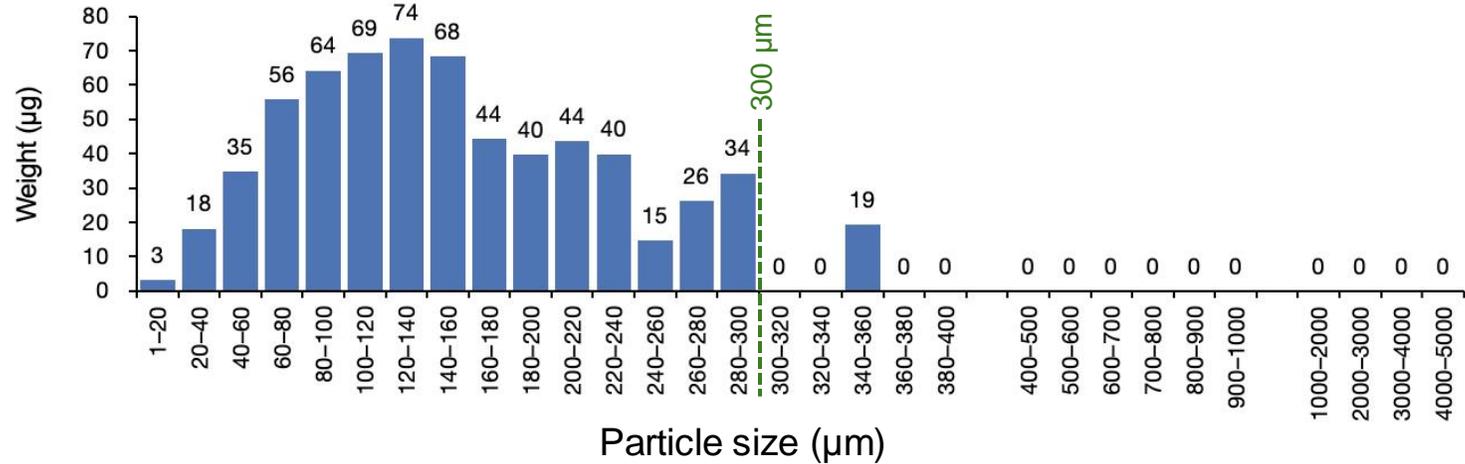
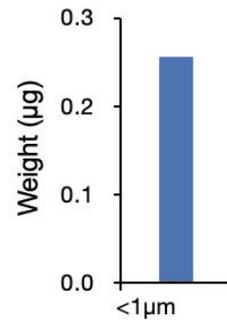
Particle size (µm)

NP/MPsへの変換割合 : 0.03%

Number



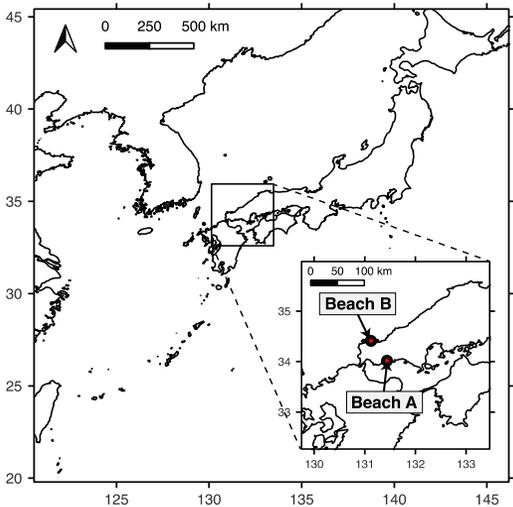
Weight



⇒ NPs/MPsへの変換割合：0.03%

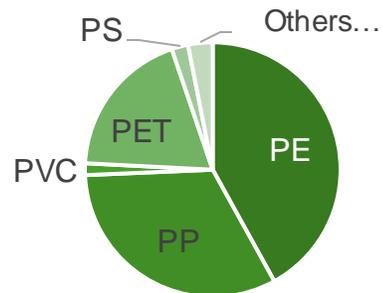
◆ Sampling point

山口県の2海岸で海岸プラを採取

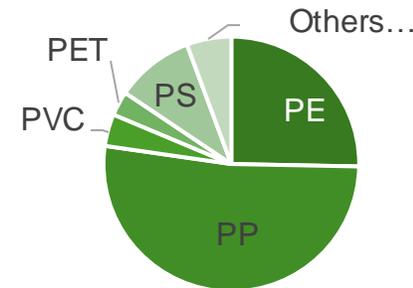


◆ ポリマー種類の組成

Beach A $n = 76$



Beach B $n = 65$

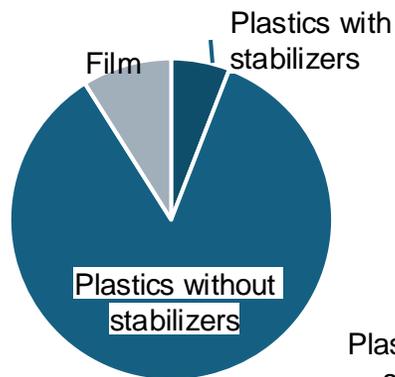


◆ 形状と添加剤含有状況に基づく海岸プラごみの組成 (重量ベース)

Beach A

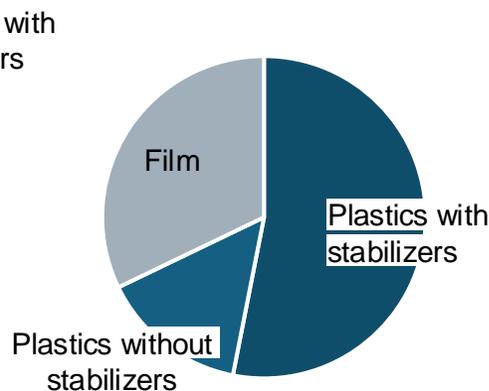
PP

Total weight: 552 g
 $n = 25$



PE

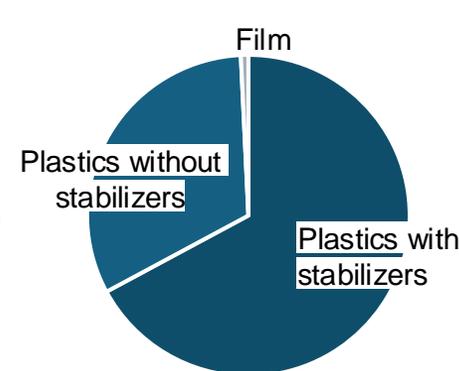
Total weight: 717 g
 $n = 24$



Beach B

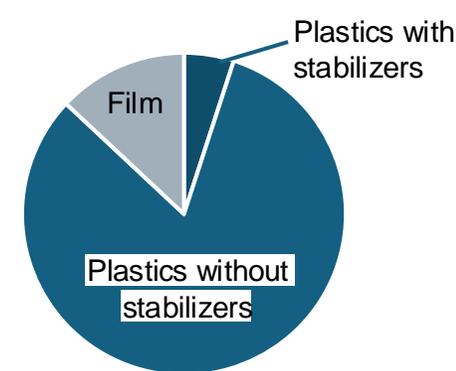
PP

Total weight: 2245 g
 $n = 30$



PE

Total weight: 1093 g
 $n = 21$



*Stabilizers: UV stabilizers and Hindered Amine Light Stabilizers (HALS)

Conclusion

- プラスチックの形状 (film/plate) によって、劣化微細化で生成するNPs/MPsの粒径分布は異なるパターンを示す。
 - プラスチックに含まれる劣化抑制添加剤は、 NPs/MPs 生成を抑制する。
 - 実際の2海岸でのプラごみからのNPs/MPs生成速度を見積もり、月あたりにPP、PEの数%程度がMPs/MPsへ変換されていることが示唆された。
 - プラスチックの形状、劣化抑制添加剤の含有の有無が、 NPs/MPs生成速度における重要因子であることが示された。
- ◆ 今後の研究
- より長期のUV曝露、あるいはUV曝露と物理作用を繰り返し与えた場合のNPs/MPs生成速度について、検証する必要がある。
 - 環境中の添加剤の含有状況についての情報は限られており、今後も継続した調査が必要である。加えて、全体的な見積もりのために、添加剤含有状況の情報を海岸ごみの分類組成に関連付けて整理していくことが実際的な手法として考えられる。

Acknowledgements

- ◆本研究は、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20211R02）により実施した。
- ◆屋外曝露試験は、全国9か所の地方環境研究所のご協力のもと実施した。
 - ・北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部エネルギー・環境・地質研究所
 - ・岩手県環境保健研究センター
 - ・山形県環境科学研究所
 - ・長野県環境保全研究所
 - ・広島県立総合技術研究所保健環境センター
 - ・山口県環境保健センター
 - ・高知県衛生環境研究所
 - ・福岡県保健環境研究所
 - ・沖縄県衛生環境研究所
- ◆微細化試験装置の作製にあたっては、九州大学応用力学研究所 磯辺篤彦教授らのご協力を頂いた。
- ◆実験実施および実験装置の製作については、国立環境研究所の富田弘美氏、橋本誠一氏、清水明氏のご協力を頂いた。