

2023年12月2日(土)

令和5年度日本大学生産工学部公開講座

公開講座II



生産工学部によるSDGsへの挑戦

ー海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ?ー

日本大学 生産工学部

土木工学科

中村 倫明

自己紹介

指導教員：

中村 倫明 博士（工学）

ナカムラ トモアキ NAKAMURA Tomoaki 環境科学専攻

■社会活動

- ・土木学会海洋開発委員会 幹事
- ・土木学会論文集編集小委員会 委員
- ・海洋開発シンポジウム小委員会 委員
- ・土木学会人材企画委員会 委員
- ・土木学会質保証調査小委員会 幹事長

■社歴

- ・経済産業省
エネルギー資源庁電気・ガス事業部電力市場整備課
(非常勤国家公務員)
- ・東京電力グループ

■近年の取材 and 執筆依頼

- ・建設物価（未来を創る研究室）
- ・月刊下水道（海洋マイクロプラスチック汚染を下水道から防ぐ）
- ・CO₂の分離・回収・貯留の最新技術（CO₂海洋隔離における拡散解析手法）
- ・読売新聞2023（東京湾・三番瀬の砂浜、1平方メートルあたりの微細プラごみ8万個超...風などで流れ着く）
- ・東京新聞2023（児童が魚の生息学ぶ授業 君津市のSDGs つながる山・川・海）



海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ？

目次：

1. 背景：**マイクロプラスチックの社会的状況**
2. 現状：マイクロプラスチックはどこから？
 - ・海におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・生物への影響
3. 展望：**救世主は全員！**

- ・気候変動に関するもの **地球温暖化** **海面上昇** **森林火災** **砂漠化**
- ・汚染に関するもの 海洋プラスチック問題 水質汚染 土壌汚染
- ・生態系に関するもの **人口増加** **生物多様性**

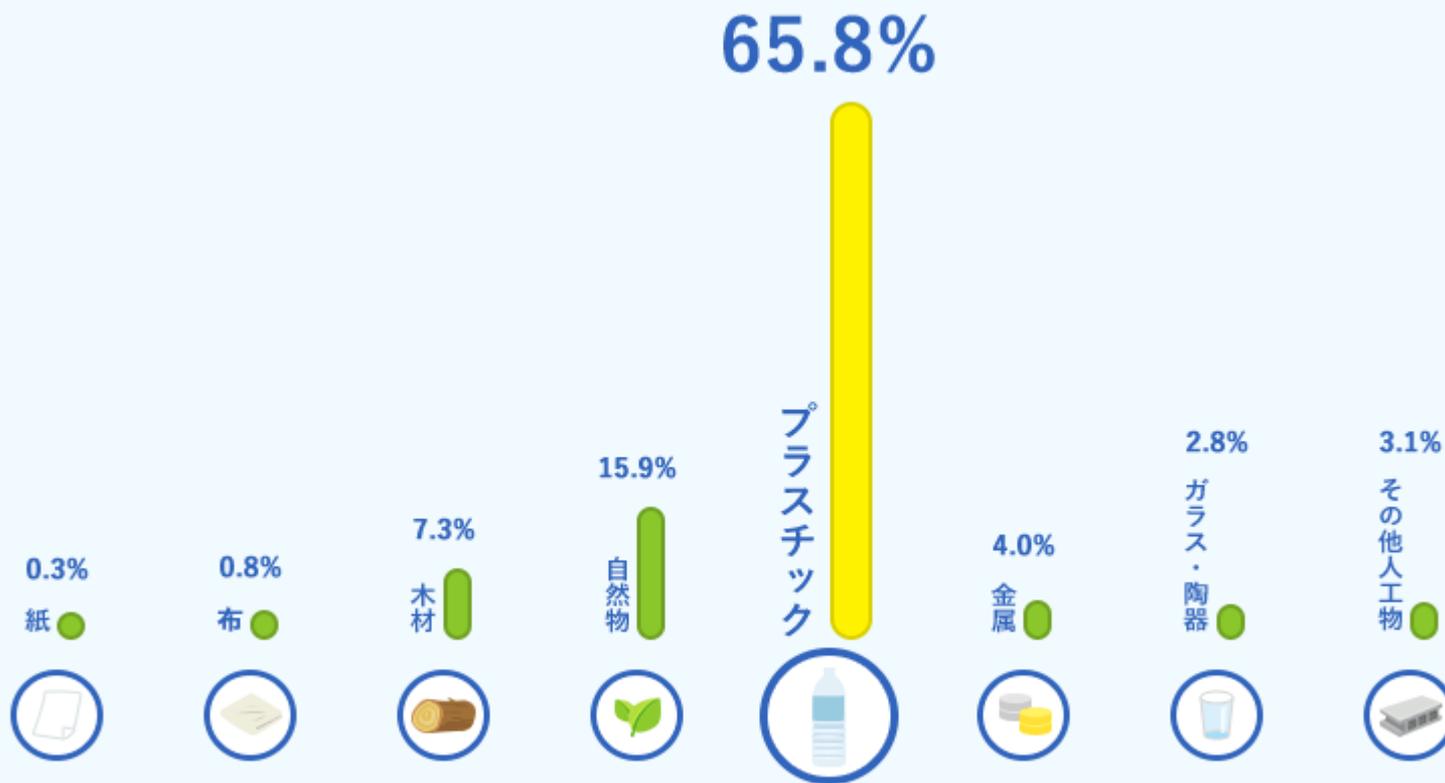
身近に感じるものはある??



いったい、誰の責任なの？

持続可能な開発目標



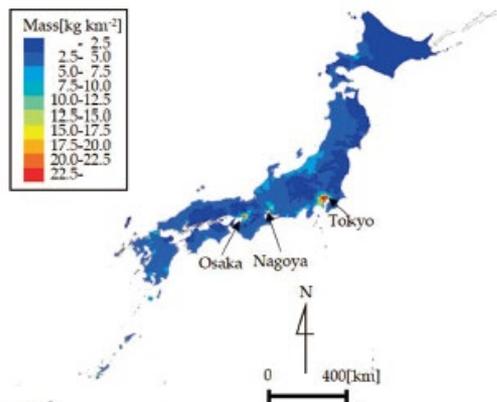


海洋ごみ 種類別の割合 (個数)

出典：環境省「海洋ごみをめぐる最近の動向」 (平成30年9月)

プラスチックの概要

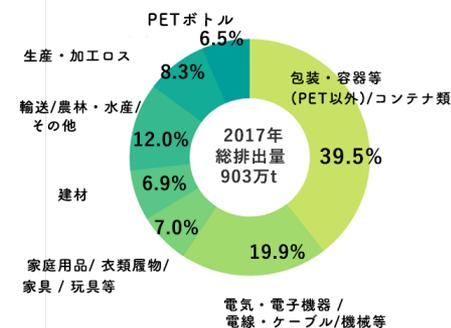
プラスチック	比重	特徴
ポリエチレン(PE)	0.91-0.965	用途：容器，包装材や玩具等 国内生産率：24.0%
ポリプロピレン(PP)	0.90-0.91	用途：電化製品，薬品包装材等 国内生産率：22.6%
ポリ塩化ビニル(PVC)	1.35-1.45	用途：衣類，ロープ 国内生産率：15.4%
ポリスチレン(PS)	1.04-1.09	用途：緩衝材，漁具等 国内生産率：7.0%
ポリエチレンテレフタレート(PET)	1.34-1.39	用途：飲料用ボトル等 国内生産率：3.8%



大塚ら(2021)

日本全国のプラスチックごみ排出量マップ

プラスチックごみの内訳



日本のプラスチックごみ内訳

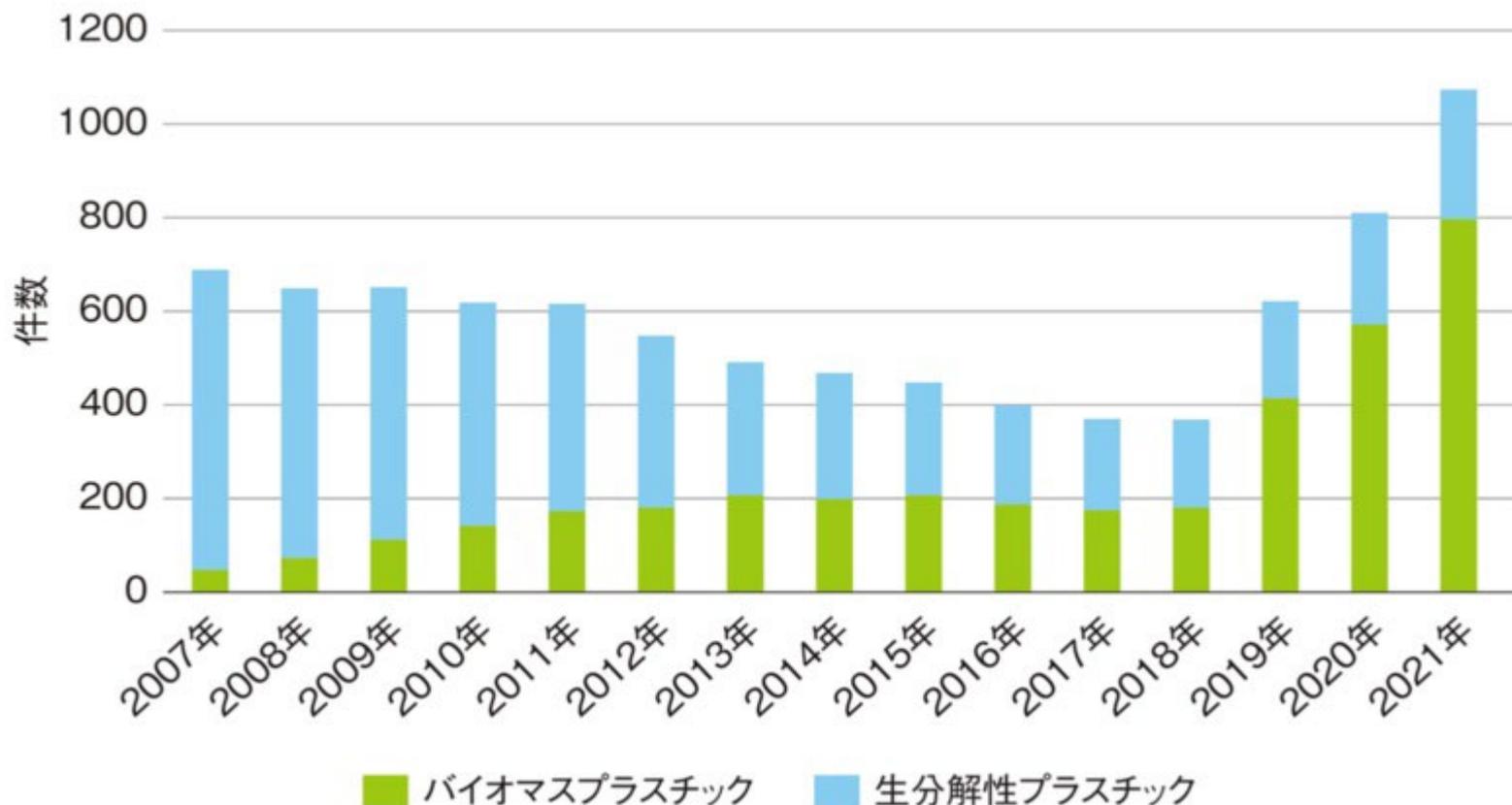
近年のトレンド??

増え続ける世界のプラスチック生産量



(出所)米カリフォルニア大のガイエル教授らの論文より作成

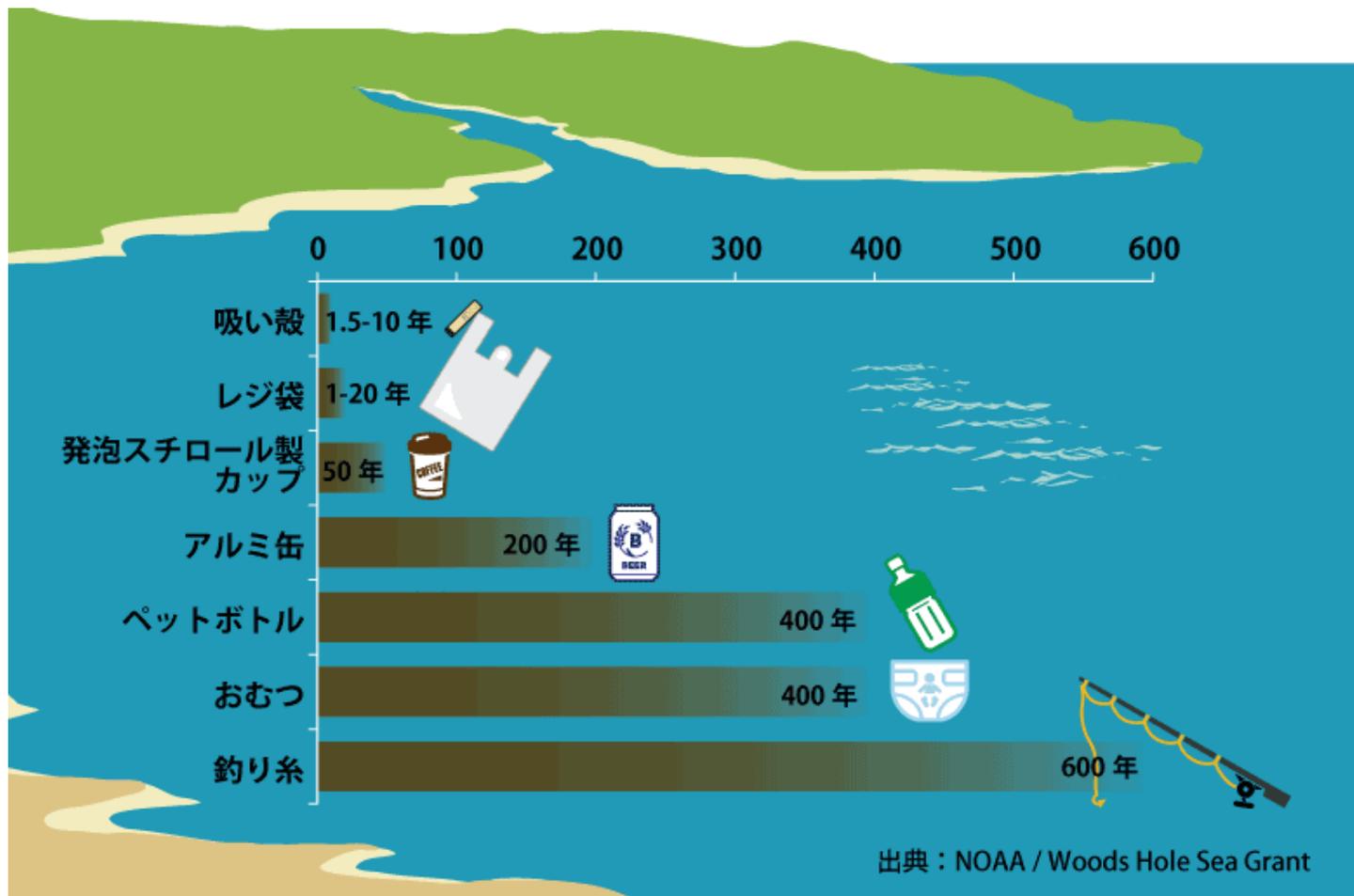
分解するプラスチック？



出展：日経クロステック

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02088/00015/>

人が出したゴミはどうなるのか？



NOAAの画像をWWFが加工

海洋ごみが分解されて細くなる年数。

MPsの研究動向

【日本周辺の分布に関するもの】

- ・日本周辺における外洋域でのMPs濃度分布を広範囲に渡り調査し日本海での濃度が高いことを示唆している(磯部, 2015).
- ・日本全国の河川におけるMPs濃度分布を調査しBOD, T-NやT-PとMPsとの間に正の相関関係があることを示している(片岡, 2019).
- ・台風時のプラスチックゴミの増加(NAKAJIMA et. al., 2021).

【生物への影響に関するもの】

- ・マイクロプラスチックは環境中の様々な生物(無脊椎動物、魚類、鳥類等)により摂取されている(SAPEA, 2019; ECHA, 2019).
- ・魚類については腸管クリアランスが著しいため、マイクロプラスチックの生物濃縮が低い(SAPEA, 2019).
- ・摂食障害, 成長障害がある(多数).

【家庭でのMPsに関するもの】

- ・ドラム式洗濯機によるフリース布洗濯でのマイクロプラスチックの排出(塩原, 2022)

海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ？

目次：

1. 背景：マイクロプラスチックの社会的状況
2. 現状：マイクロプラスチックはどこから？
 - ・海におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・生物への影響
3. 展望：救世主は全員！

河川からの流入

漂流ごみ

水面や水中に浮遊しているごみ。
風や海流、潮流によって遠くまで
運ばれることもある。

漂着ごみ

海岸にうちあげられた
ごみ。大きな木や海草
に交じって、生活ゴミ
や漁具などが漂着して
いる。

海表面

海底土

海底ごみ

海底に沈んでしまったごみ。
漁具や缶・瓶だけでなく、
レジ袋なども沈んでいる。



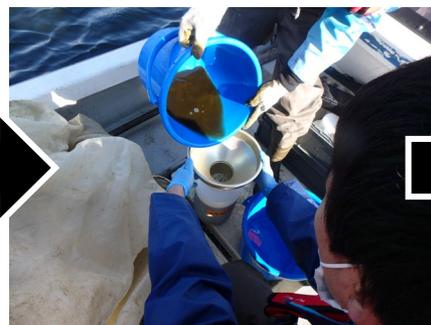
河川調査



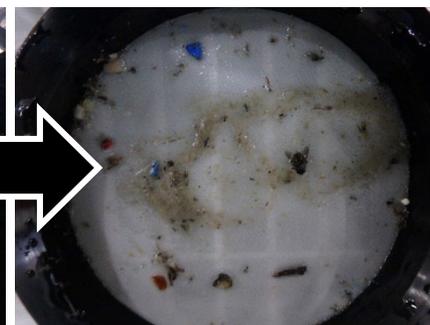
採泥器で泥を回収



ネットを固定し水質中のMPsを回収



内容物を濾過する



MPs分析(環境省及びNOAA)



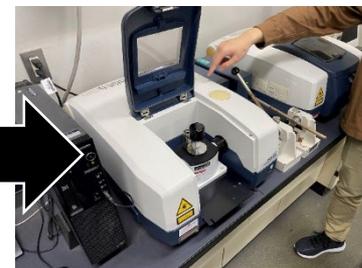
試料乾燥後，ヨウ化ナトリウム水溶液に浸透させ，超音波をかけながら攪拌する。



オーバーフロー法にて上澄みを回収し，ろ過する。



目視でプラスチックと木や石に分別。



FT-IRにて分析
Image Jにてサイズ、個数を測定



2020/10 八栄橋(PE)



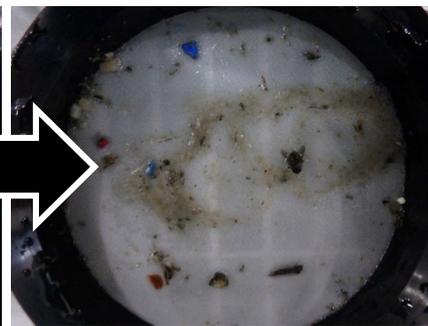
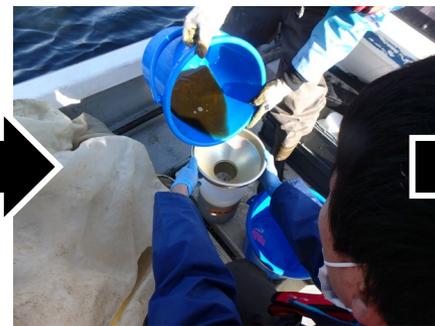
2022/4 北本町(ゴム)



2021/3 八千代橋(PVC)

- ・カラフルなプラスチック
- ・粒径が比較的大きい

海表層調査



プランクトンネットを一定速度(1~2not)で1地点10分間曳航する。

ろ水計の値を記録し

$$R = A \times P \times \frac{S}{S'} \times 10m \times 0.6$$

から流量を算出した

上水で洗浄しながらエンドコックに集める

内容物を5L容器に移し、ホルムアルデヒドで固定する

ろ過する。

②MPs分析(環境省及びNOAA)



試料乾燥後，ヨウ化ナトリウム水溶液に浸透させ，超音波をかけながら攪拌する。



オーバーフロー法にて上澄みを回収し，ろ過する。

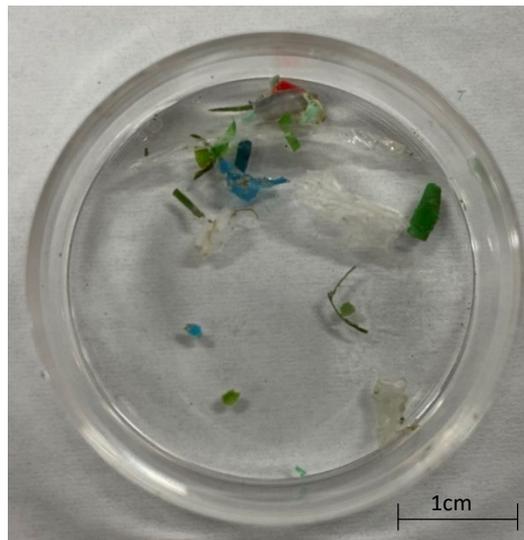
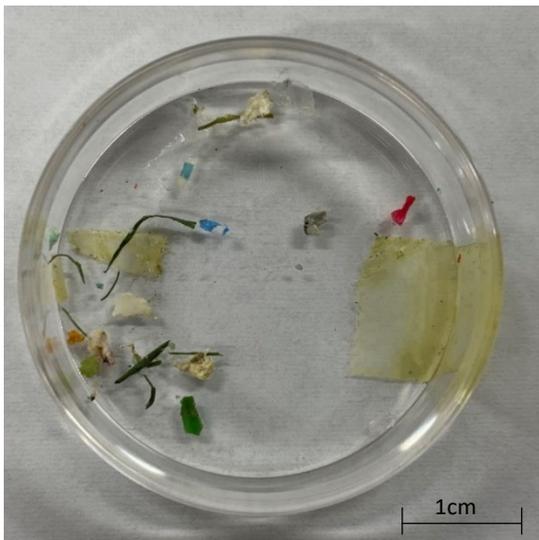


目視でプラスチックと木や石に分別。



FT-IRにて分析
Image Jにてサイズ、個数を測定

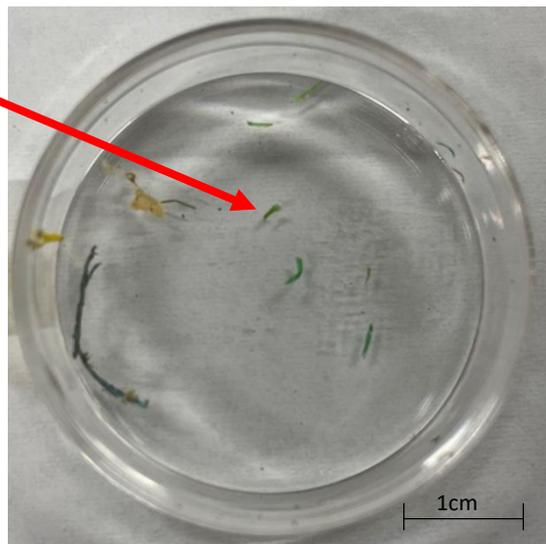
表層MPsについて



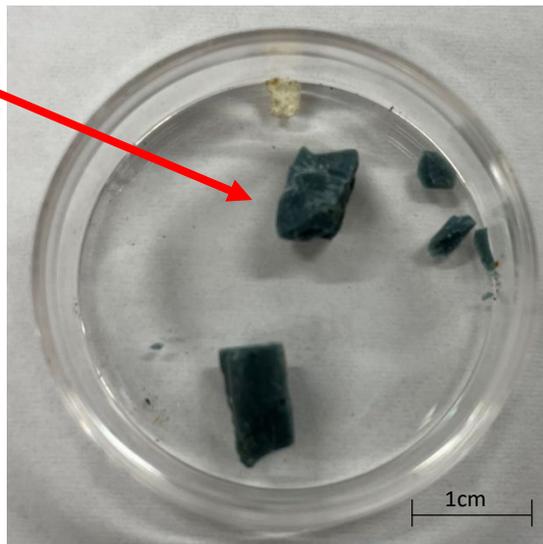
人工芝

PE (2021_8_船橋①)

PE (2021_8_船橋③)



ウレタン



PP (2021_8_船橋①)

PP (2021_8_船橋③)



東京湾へ流入する水系

①河川

海老川(総河川延長37.99km)

真間川(総河川延長2.97km)

②下水処理場

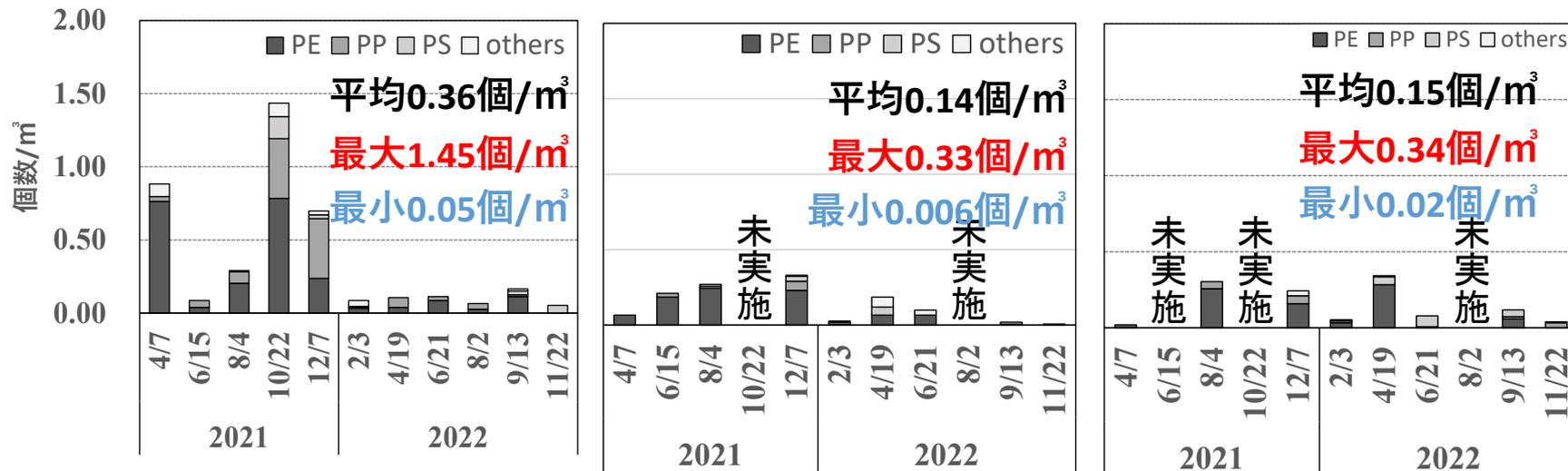
高瀬下水処理場 (分流式)

西浦下水処理場 (合流式)

船橋市沖合の調査地点

個数密度

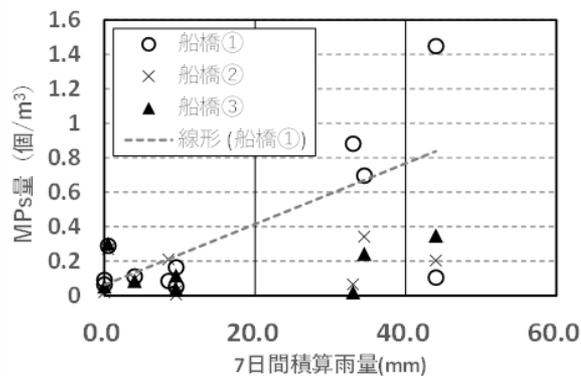
海表面のMPs個数密度と種類 (右: 船橋① 中: 船橋② 左: 船橋③)



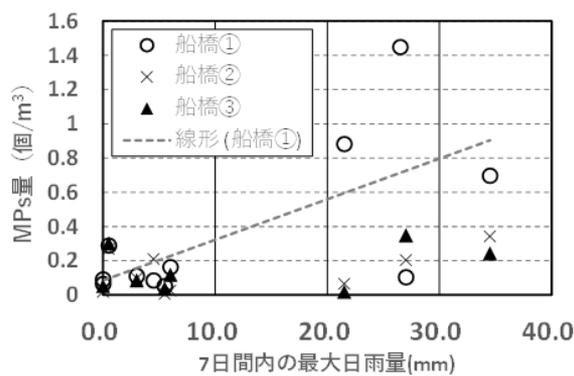
- ・年間を通じて変動幅が**大きい**
- ・比重の小さい**PE,PP**が優占する
- ・東京湾に流入したMPsが集積しやすい
- ・船橋①が平均個数が多い
- ・**流れ**の影響を受ける
- ・**雨量増加に伴い**個数密度が**増加**する。



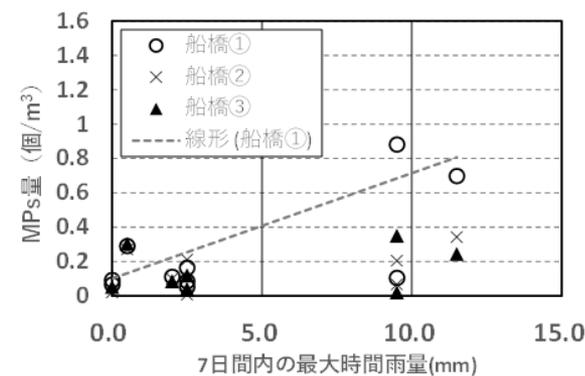
船橋①は海老川に船橋③は江戸川に起因する



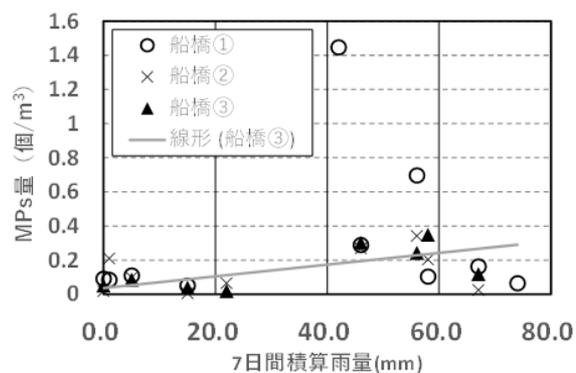
(a) 7日間累積雨量



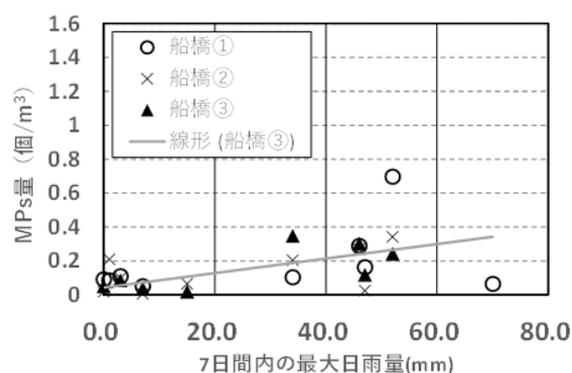
(b) 最大日雨量



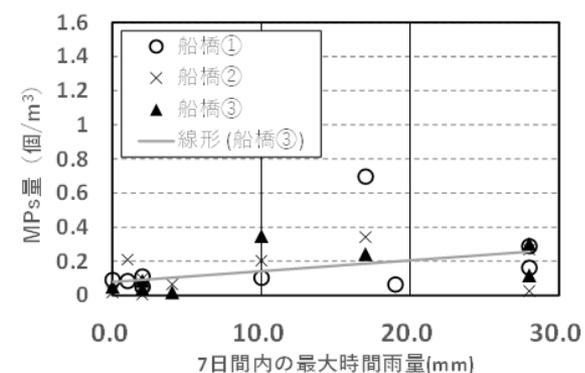
(c) 最大時間雨量



(a) 7日間累積雨量



(b) 最大日雨量



(c) 最大時間雨量

相関値は0.7で強い正の相関

雨量とMPs個数との比較 (上 ; 船橋, 下 ; 野々下)

試料採取(底質調査方法 平成24年8月)



港研式グラブ採泥器を用いて海底土表面から10cm程度を3回採取する

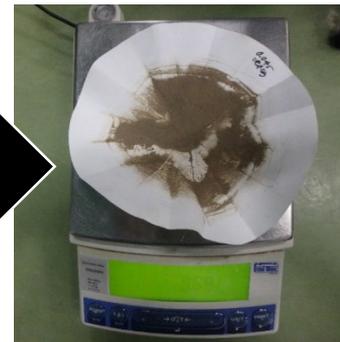


ステンレス製バットで混合したものを、
①粒度試験②MPs分析用に容器に入れて試料とした。

① 粒度試験(JIS A 1204(2020))



ふるい分けを行う
ふるい目
2mm, 850 μ m, 425 μ m,
250 μ m, 106 μ m, 75 μ m,
63 μ m, 45 μ m



乾燥後、試料の質量を測る

② MPs分析(環境省及びNOAA)



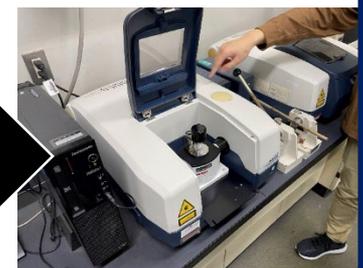
試料乾燥後、ヨウ化ナトリウム水溶液に浸透させ、超音波をかけながら攪拌する。



オーバーフロー法にて上澄みを回収し、ろ過する。



目視でプラスチックと木や石に分別。



FT-IRにて分析
Image Jにてサイズ、個数を測定

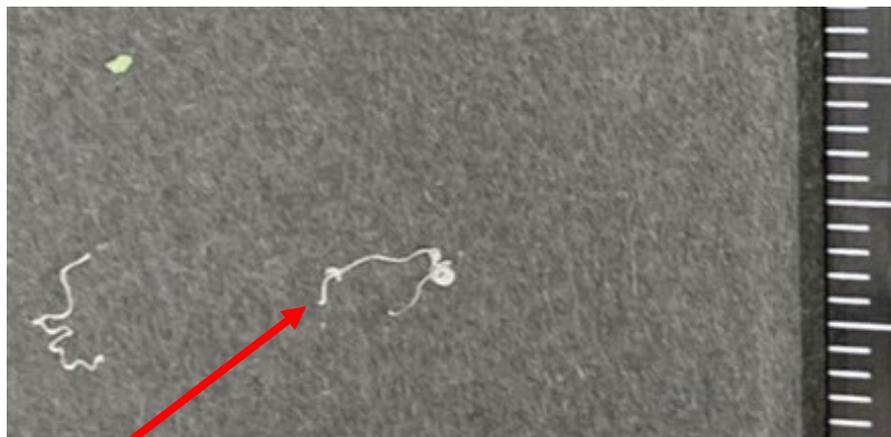


船橋①(2021年5月, PE)



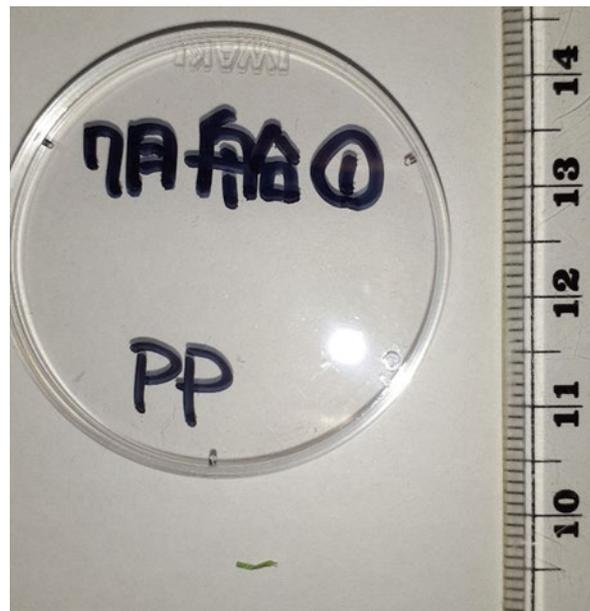
変色物

船橋③(2021年3月, PP)



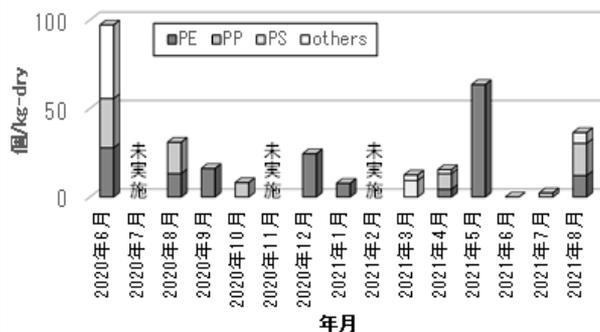
繊維

船橋①(2021年8月, PE)

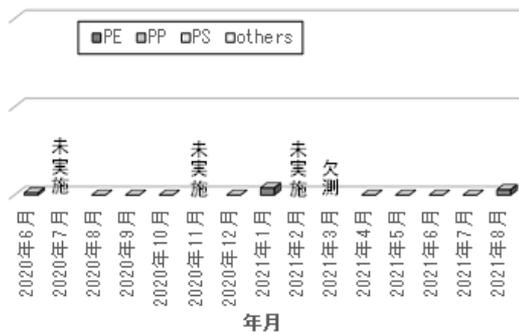


船橋①(2021年7月, PP)

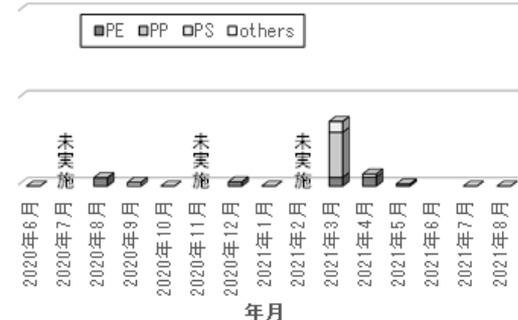
平均26.6個/kg-dry



平均0.77個/kg-dry



平均5.0個/kg-dry

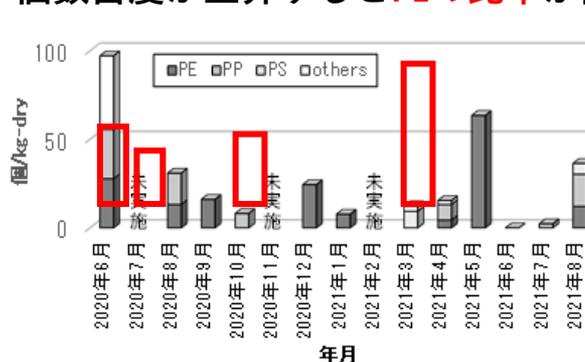


海底土表層のMPsの個数密度と種類 (左；船橋①，中；船橋②，右；船橋③)

- ・年間を通じて変動幅が**大きい**
- ・比重の小さい**PE,PP**が優占する
- ・東京湾に流入したMPsが集積しやすい
- ・船橋①が平均個数が多い
- ・MPsは**0.1~1mm程度**比較的小さいもので、粒子に吸着しやすいサイズであり**海底土への沈降・堆積が促進**された可能性がある
- ・水深が浅いと流速による掃流力も大きくなる

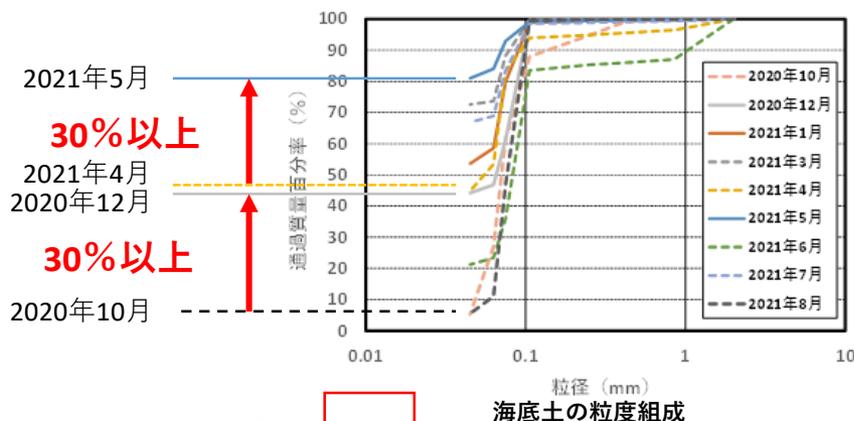
個数密度が上昇し、PEの比率が高くなる

調査日における天



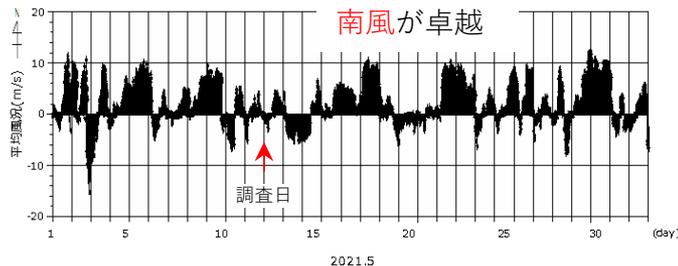
日付	2020年					2021年						
	6月2日	8月5日	9月1日	10月6日	12月1日	1月5日	3月18日	4月7日	5月12日	6月15日	7月21日	8月4日
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	快晴	晴れ	薄曇り	晴れ	晴れ	晴れ
水深 (m)	船橋①	13.3	13.5	11.4	10.5	11.7	11.5	10.7	10.9	9.3	10.8	10.5
	船橋②	8.2	6.8	7.5	8.0	7.9	8.4	7.9	8.5	6.6	7.7	7.1
	船橋③	2.3	1.2	3.0	2.2	1.8	2.6	1.9	2.3	2.5	4.8	2.0
潮位 (cm)	81	61	37	140	112	167	115	113	34	116	51	1
潮汐	若潮	大潮	大潮	中潮	大潮	小潮	中潮	若潮	大潮	中潮	中潮	大潮

海底土表層のMPsの個数密度と種類(船橋①)

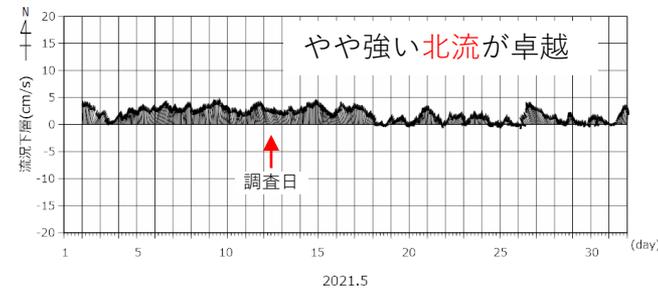


大きな底質移動があった

潮汐の影響を受けている



浦安沖における平均風速

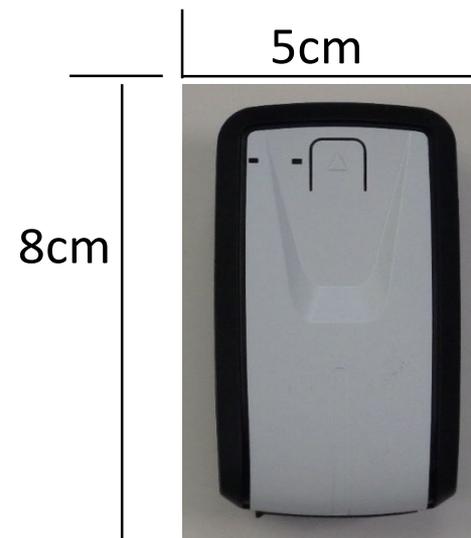


浦安沖における下層流動(25時間移動平均)

- ⇒他の沿岸域に流入したMPsが千葉県側で堆積し中長期的に影響を及ぼす可能性がある
- ⇒MPsが海底へ堆積する過程は起因する物理現象によってMPs個数密度の空間分布やポリマーに差が生じる可能性が高いことが分かる

漂流実験

1. GPS発信機をプラスチックの容器 (18cm × 10cm × 8cm) に入れ密封する
2. 花見川河口(美浜大橋)の中央から海に放流する
3. インターネット上でGPS発信機の位置情報を確認し、回収する



リアルタイムシステムズ社製
RT1050

7回実施

調査日

実験日		2016/11/17	2017/5/19	2017/6/16	2017/7/28	2017/9/22	2017/10/24	2017/12/1
開始時刻		11:00	13:40	11:17	12:19	12:07	11:51	11:12
満潮	時刻	10:03	9:37	8:14	7:35	17:59	6:53	14:54
	潮位	167	137	159	184	204	189	187
干潮	時刻	15:38	16:45	14:58	14:05	12:06	12:40	8:53
	潮位	71	67	57	58	56	91	80

下水，河川，海域まとめ

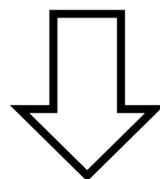
【海域表層】

- ・ MPsの個数密度は変動が大きく，**雨量増加に伴い個数密度が増加**する。
- ・ MPsの個数密度とサイズの関係は必ずしも明確ではないものの，**個数の増加に伴いサイズが減少**する傾向がある。
- ・ 使用されているポリマーにより，**微粒化に差が生じている**可能性がある。
- ・ 流入源の違いにより，地点によってMPs汚染に違いが生じている。

【海底土】

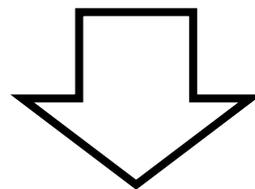
- ・ MPsの個数密度は変動が大きいが，雨量との関係はほとんどない。
- ・ 検出されたMPsは**0.1~1mm程度の比較的小さい**もので，粒子に吸着しやすいサイズであり**海底土への沈降・堆積が促進**された可能性がある
- ・ 船橋②③は，**他の河川，沿岸域**で流入したMPsが潮流などの影響により移動し堆積している可能性がある。
- ・ MPsの分布や海底土への堆積には**複数の流入源とプロセス**が影響しており，雨季や季節性のみで評価することは難しい。

船橋沖の表層：0.14個/m³

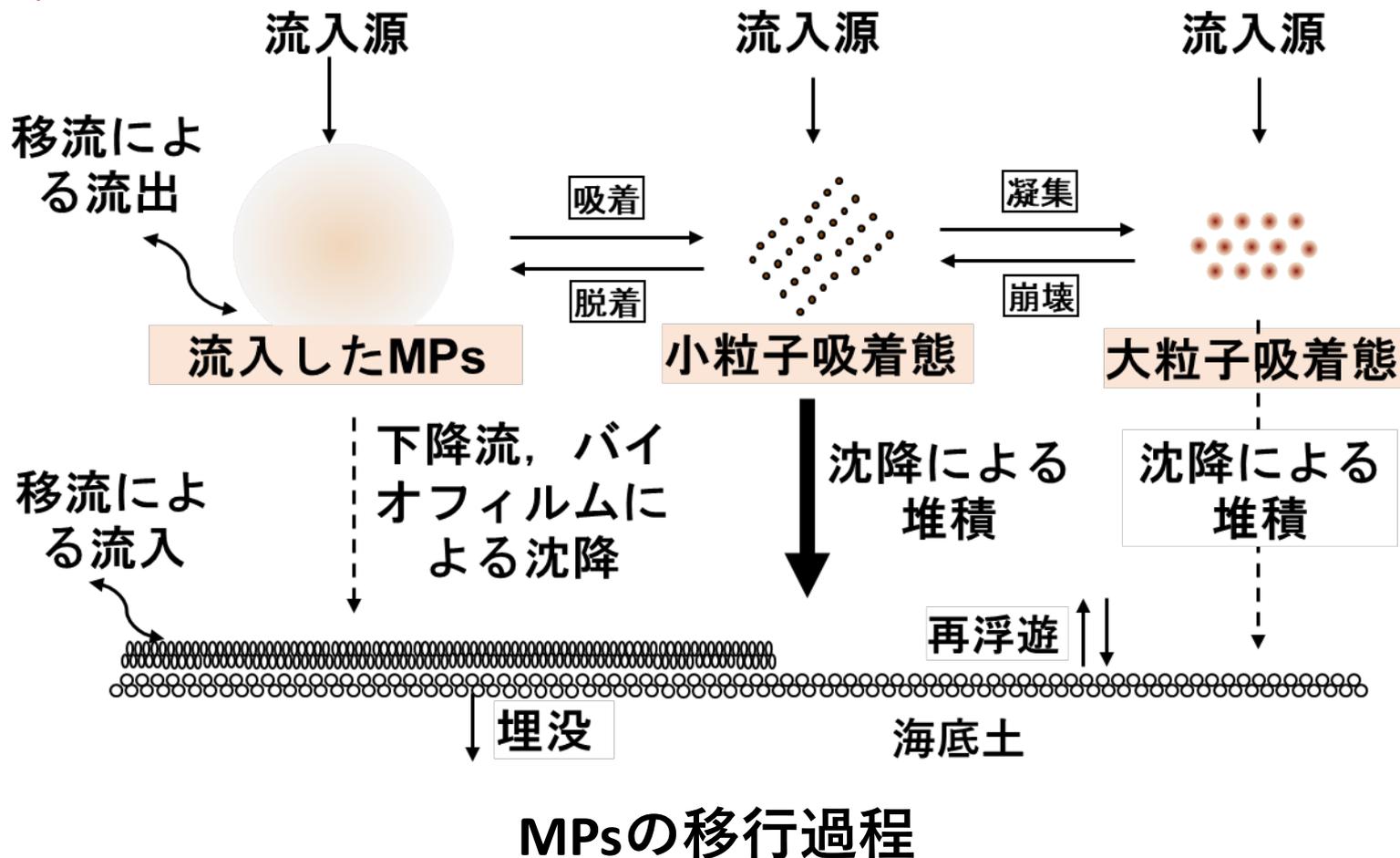


約25,700倍

船橋沖の底質：3600個/m³



海域の下層への沈降に対する評価と合わせた検討が今後
は必要である



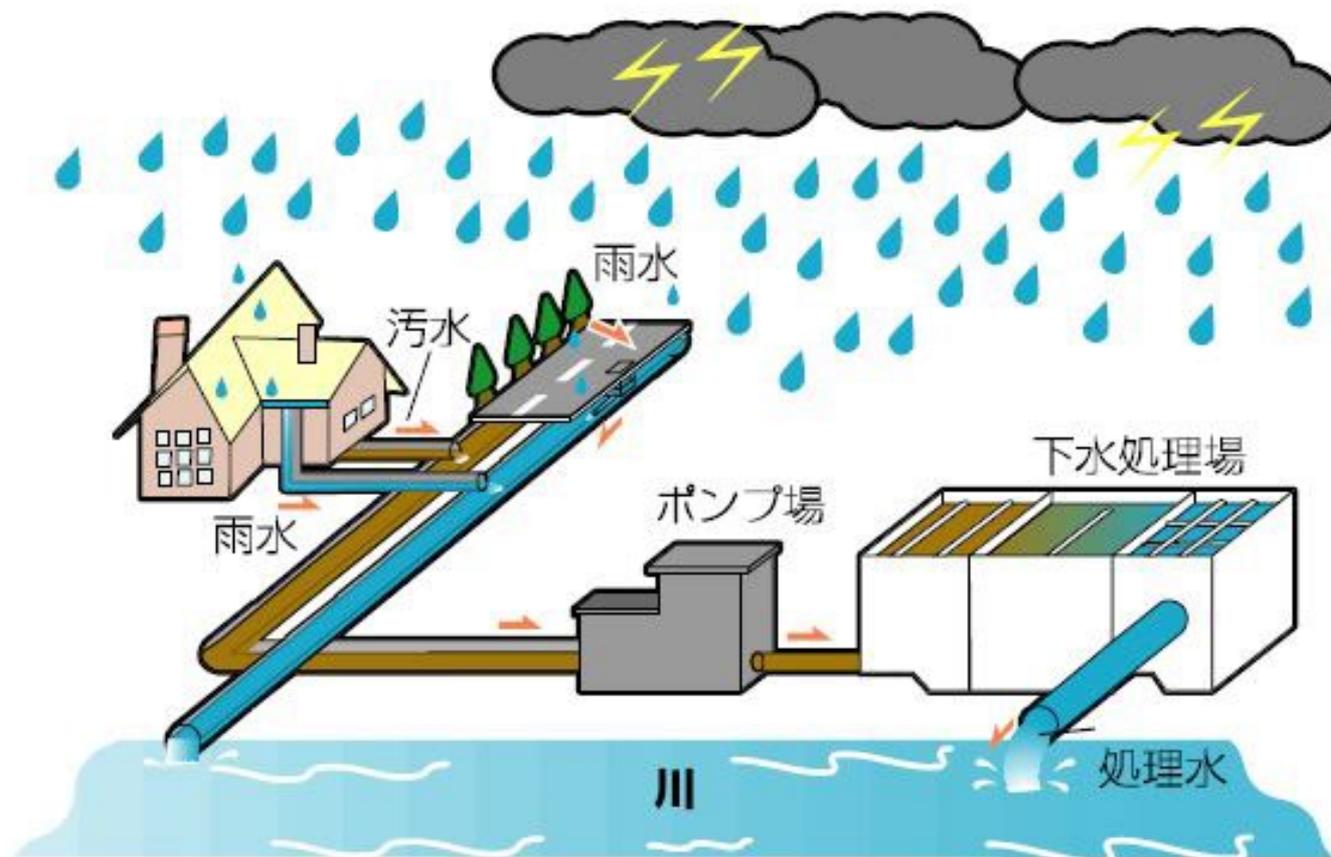
⇒海底土のMPs汚染は**中長期的**に影響を及ぼす可能性がある

海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ？

目次：

1. 背景：マイクロプラスチックの社会的状況
2. 現状：マイクロプラスチックはどこから？
 - ・海におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・生物への影響
3. 展望：救世主は全員！

分流式下水道のしくみ



出典) 大阪府 下水道の仕組み

https://www.pref.osaka.lg.jp/gesui_jigyo/point/gesui_shikumi.html

家庭からのMPsとなりうるもの



掃除用具（スポンジなど）



トレー（食材梱包など）

衣類繊維（フリースなど）



船橋市は東京湾奥部で流動性が弱く、千葉県内で**2番目**に人口が多い。
市内の**85%以上**を西浦下水処理場、高瀬下水処理場で処理している。

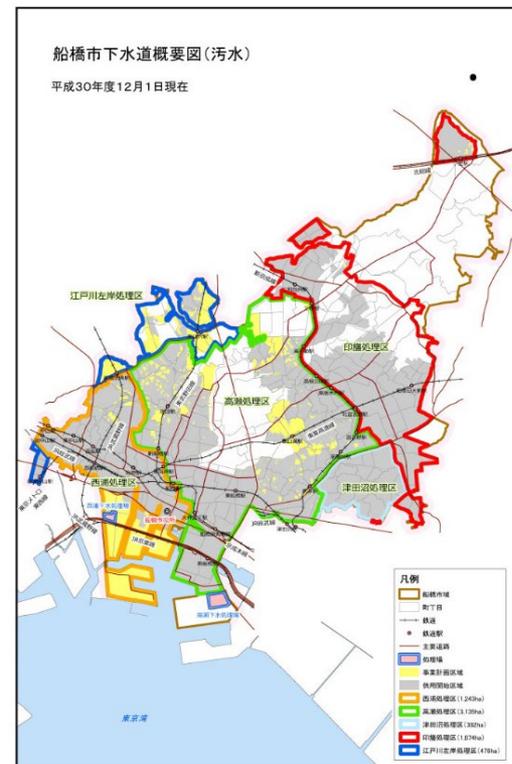
西浦下水処理場

方式：合流式
 処理人口：119,794人
 汚水量(晴)：81,000m³/日
 汚水量(雨)：769,000m³/日
 処理方式：凝集剤併用型
 循環式硝化脱窒法
 放流先：二俣川



高瀬下水処理場

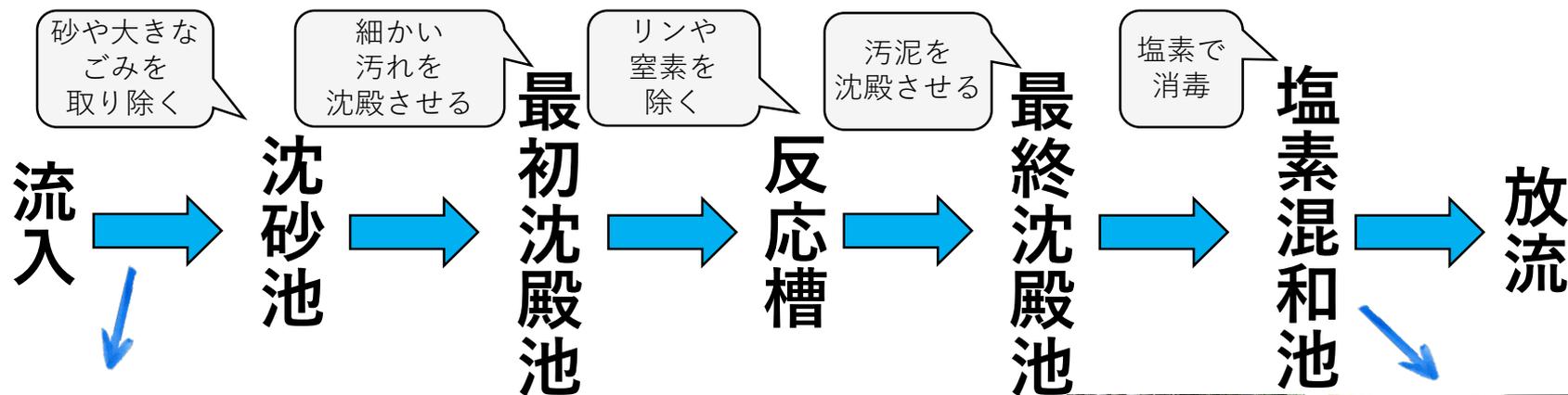
方式：分流式(一部合流)
 処理人口：262,576人
 汚水量(晴)：102,000m³/日
 汚水量(雨)：414,100m³/日
 処理方式：嫌気無酸素好気法
 放流先：東京湾



船橋市下水道概要図 (汚水)

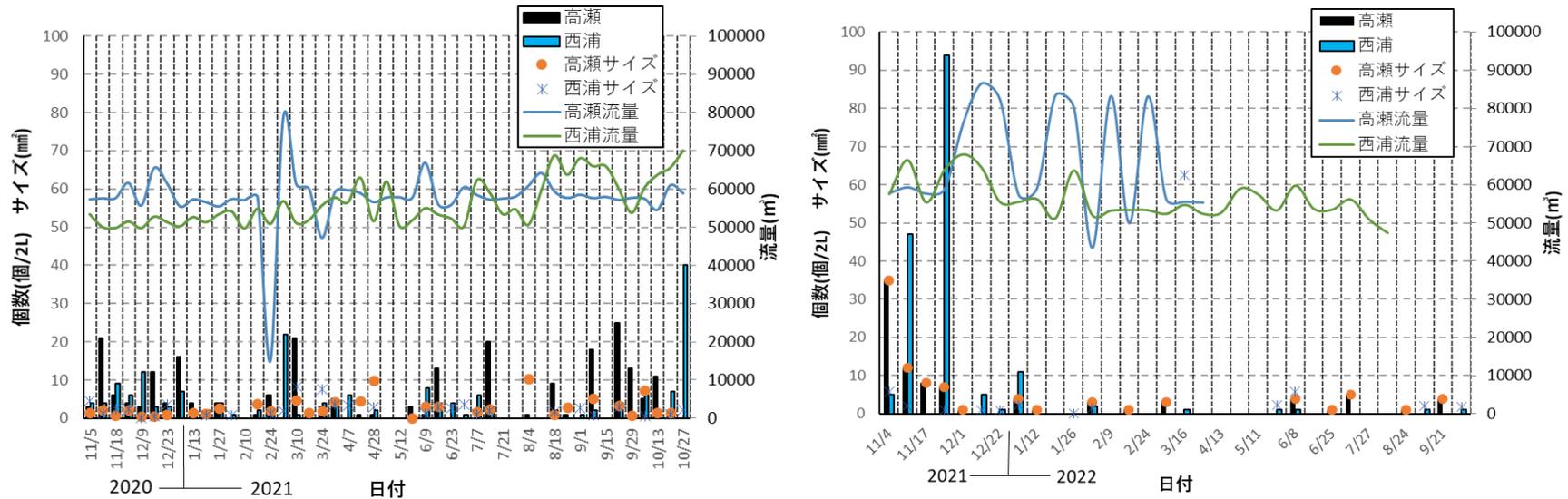
- 一連のフローでは**25mm**と**1mm**のスクリーンによりゴミを除去。
- MPsを除去する施設ではない。
- 上澄みが次のフローへ進んでいく

下水処理場の処理フロー



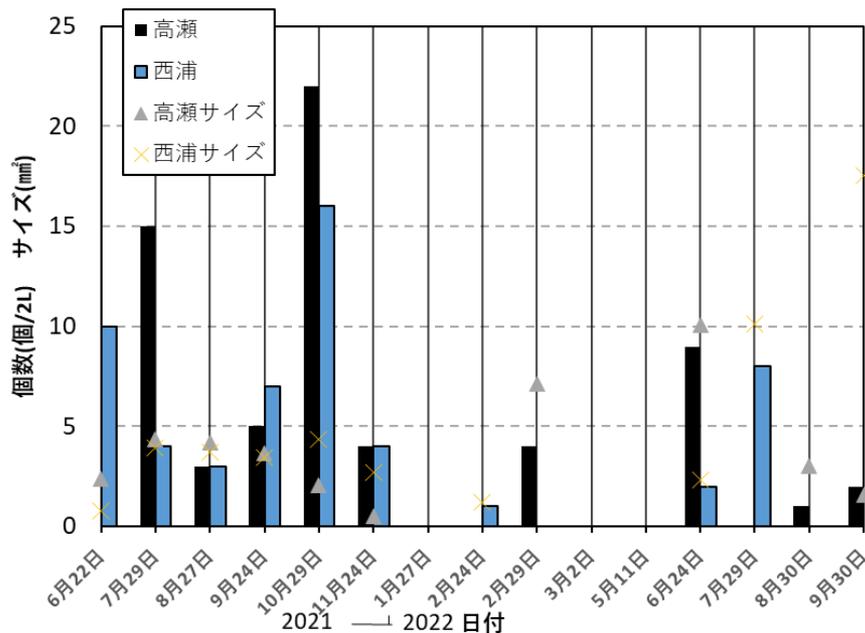
流入水2L,放流水2Lを毎週水曜日に採水し
MPsを分析した。
放流水2,000Lを月に1回現地にて濾過し
MPsを分析した。





流入水中のMPs分析結果

- 下水中(流入)マイクロプラスチックの出現は**季節変動がある**
- 高瀬と西浦で個数変動に**共通点は少ない**
- 高瀬(**中央値2,000個/m³**)と西浦(**中央値1,500個/m³**)で琵琶湖周辺の下水【田中ら(2019)の値(**中央値533個/m³**)】より高い河川水中【工藤ら(2017)の値(**0.11個/m³**)】より高い
- 処理人口では,高瀬(**中央値0.006個/m³/人**)と西浦(**中央値0.013個/m³/人**)
- 海外より少ない (例えば, 韓国**13,865個/m³**)

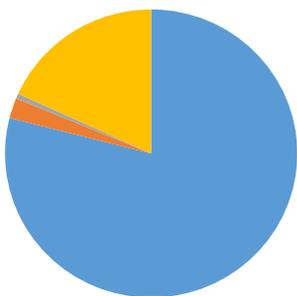


放流水(2000L)から検出されたMPsの分析結果

- 下水中(放流)マイクロプラスチックの出現は**時間変動が大きい**
- 高瀬と西浦で個数変動に**共通点**も見られる
- 高瀬(**中央値2.5個/m³**)と西浦(**中央値3.5個/m³**)で琵琶湖周辺の下流水【田中ら(2019)の値(**最大2.2個/m³**)】と同程度
河川水中【工藤ら(2017)の値(**0.11個/m³**)】より大きい
 - 海外より少ない (例えば, 韓国**140個/m³**)

- 高瀬の流入では**81%**がPE, **17%**がその他
- 西浦の流入では**92%**がPE, **5%**がその他
- 高瀬の放流では**48%**がPE, **42%**がPP
- 西浦の放流では**43%**がPE, **35%**がPP, **23%**がその他

合流・分流方式による差？

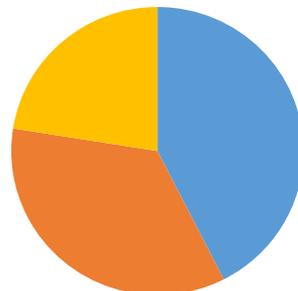
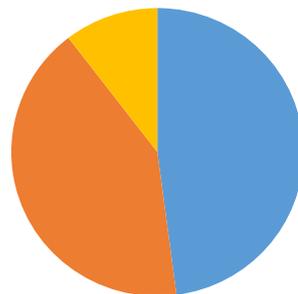


PPは除去率が低い？



PPは細かくなる？

処理方式による差？



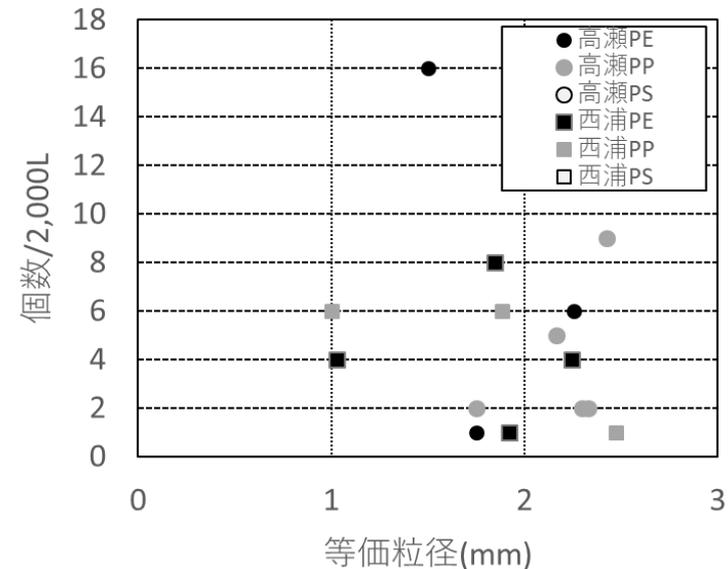
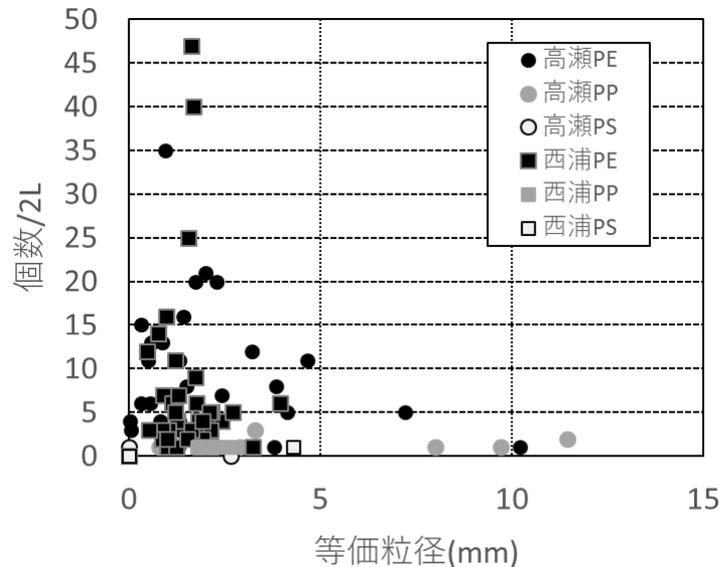
■ PE ■ PP ■ PS ■ その他

■ PE ■ PP ■ PS ■ その他

下水（流入水）におけるMPsの種類
（上；高瀬，下；西浦）

下水（放流水）におけるMPsの種類
（上；高瀬，下；西浦）

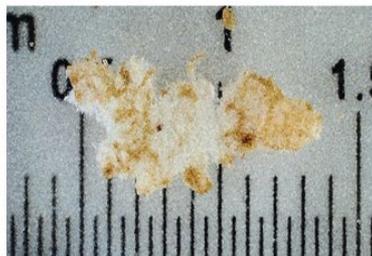
- 高瀬の除去率は**99.9%**，西浦の除去率は**99.7%**
⇒イギリスやアメリカなど(**97.8%~99.9%**)と比較して同程度
- 個数が増えると、ややサイズが小さくなる傾向
⇒下水管雨水管や下水処理場内で、**細粒化**が進む可能性



MPsの個数密度とサイズとの関係 (左；流入水, 右；放流水)



プラスチック破片



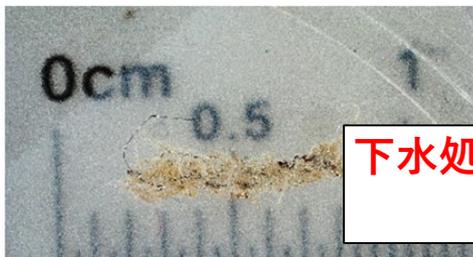
発泡スチレン



人工芝

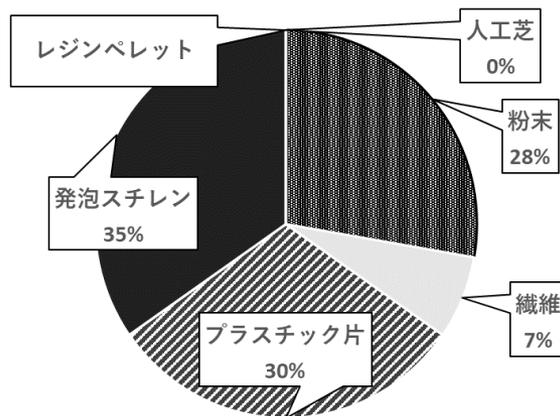


粉末

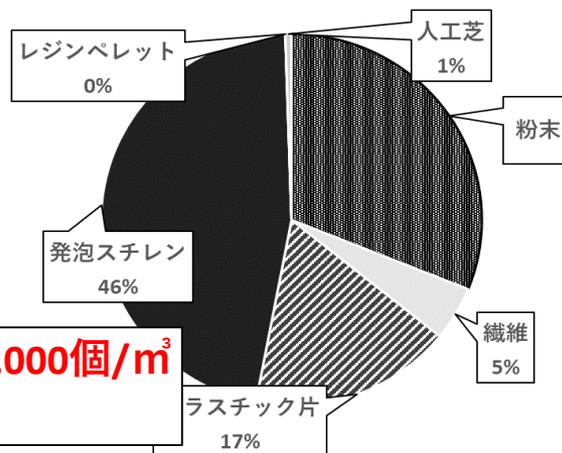


繊維プラスチック

下水処理場：雨量増加時に2,000個/m³
(中村, 2023)



■粉末 ■繊維 ▨プラスチック片 ■発泡スチレン ■レジンペレット ■人工芝



■粉末 ■繊維 ▨プラスチック片 ■発泡スチレン ■レジンペレット ■人工芝

船橋市下水処理場から検出されたMPs (2021~2022)

海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ？

目次：

1. 背景：マイクロプラスチックの社会的状況
2. 現状：マイクロプラスチックはどこから？
 - ・ 海におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・ 下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・ 生物への影響
3. 展望：救世主は全員！

生物への影響範囲を知るために

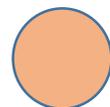
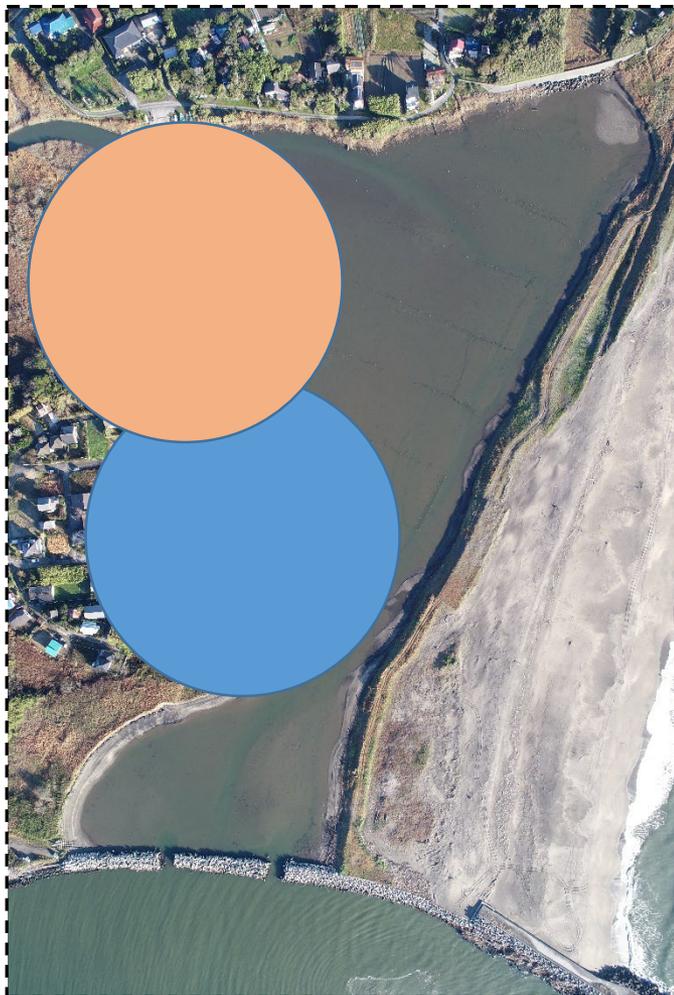


コメツキガニ



コメツキガニ巣穴

- カニが一度体内に入れた可能性がある。
⇒砂団子からPEとPSが検出された



ゴミが溜まりやすいエリア



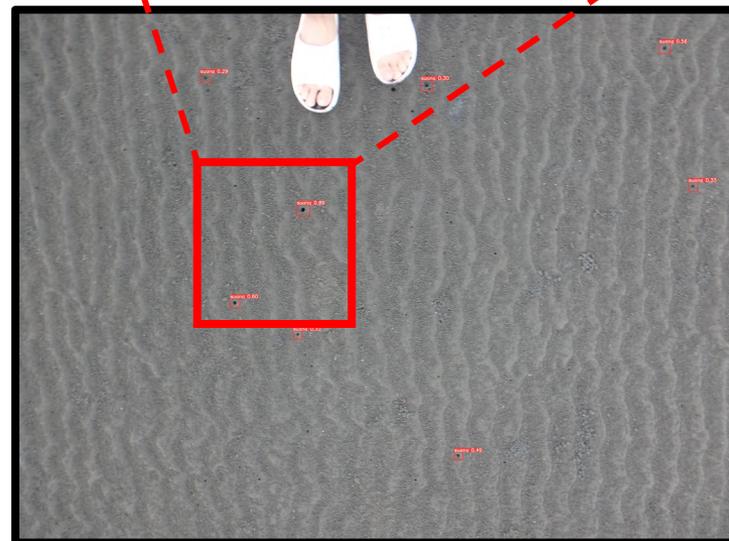
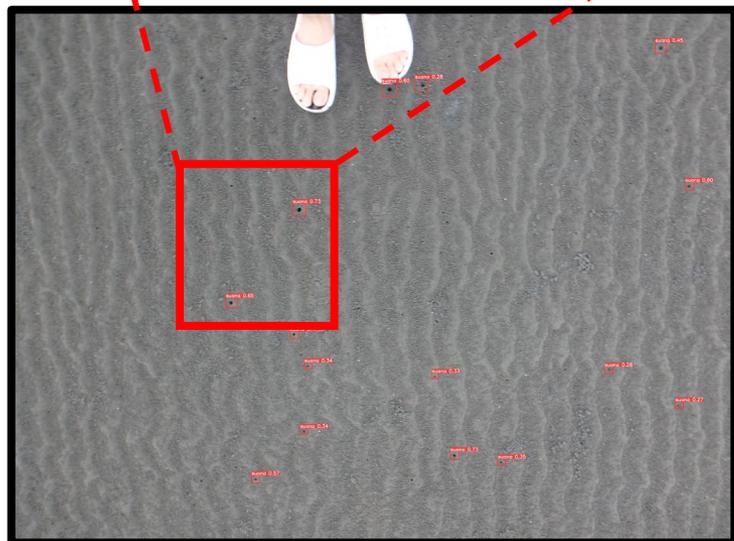
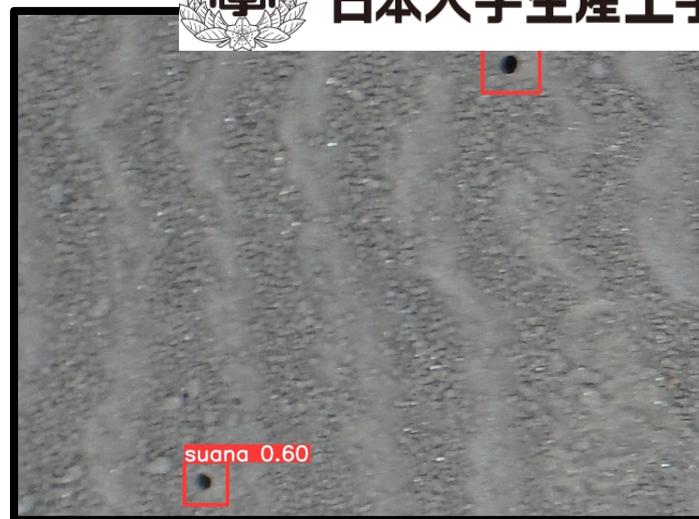
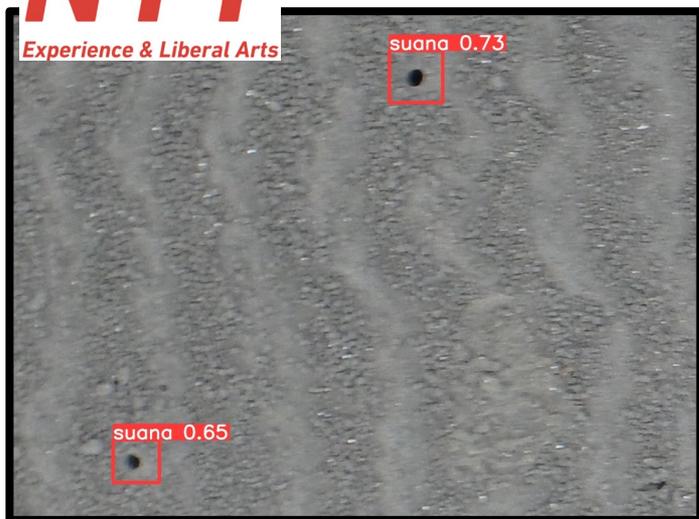
カニが生息するエリア



広くて人が目で見るとは大変！



ドローンで自動で判別



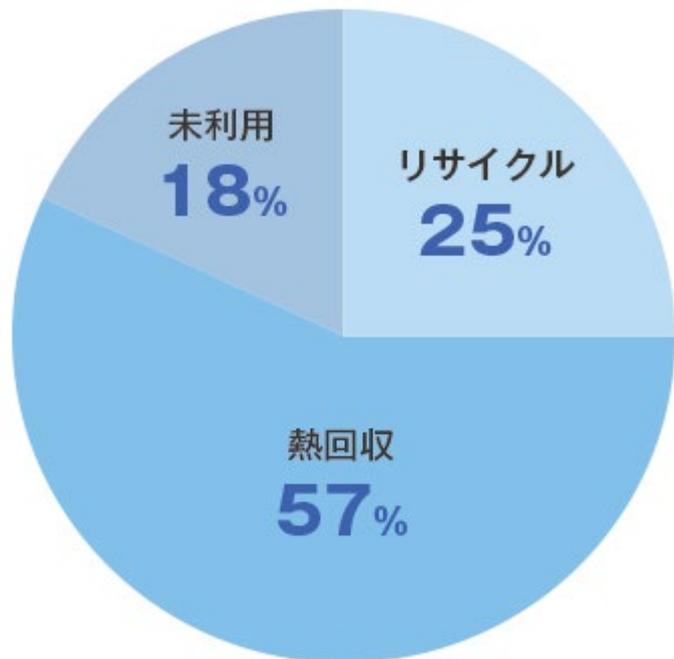
データ 1

データ 2

海洋マイクロプラスチックの救世主はダシ？

目次：

1. 背景：マイクロプラスチックの社会的状況
2. 現状：マイクロプラスチックはどこから？
 - ・海におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染現状把握
 - ・生物への影響
3. 展望：**救世主は全員！**



プラスチックのリサイクルと処理

1. 廃プラスチック輸出の限界

廃プラスチック輸入国の禁止措置により、国外へ輸出することは難しくなっている。

2. 材料・ケミカルリサイクルの限界

廃プラスチックの汚れや混入された異物を取り除く必要があり、コストや品質の面で難しい

3. 熱回収（サーマルリサイクル）の限界

廃棄物を単に焼却するのではなく、燃やしたその熱量を利用する

削減対策のヒント？

プラスチックの流入は非意図的！

タイヤのゴムはプラスチック
じゃないと思っていないか？



洗濯機から流出する可
能性を知っているか？



+ α の手カラで削減効果！

今あるもの（こと）を上手く利用しよう！

- 市民参加のマイクロプラスチック削減
- 削減効果の見える化
- 伝える努力から身に着く努力へ！

80%以上が陸域起源と言われる海洋プラスチックごみ。

⇒継続的な削減には、**見える化**が大切
意識する から 当たり前になるように。

- 目標の設定
- 努力の成果
- 地域ネットワーク



可視, 浸透

◎教育

◎アンケート



地元を愛す！ 異分野との共同！

船橋でも行われている食育。
市として行う方向性に、区分は必要ない。

Ⅲ. 地域や関係者がつながる食育

家族，食事

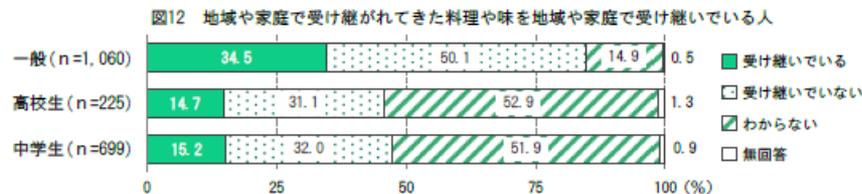
◎働き方改革

◎高齢者との関り

問. 地域や家庭で受け継がれてきた料理や味を地域や家庭で受け継いでいる人？



・地域や家庭で受け継がれてきた料理や味を地域や家庭で受け継いでいる人の割合は、一般 34.5%、高校生 14.7%、中学生 15.2%となっています。(図 12)



- ・ 地域教育
- ・ 問題を俯瞰する
- ・ 地域ネットワーク

船橋市 食育推進計画



本研究チームの展望

市民への啓発活動



ららぽーとTOKYOBAYでのSDGs未来らぼ



読売新聞での成果報告記事



市長との成果報告

小学校での海洋教育

子どもたちが地元自然環境やそこに息づく産業に目を向けながらSDGsを学ぶ「きみつSDGs×つながる山・川・海学習プログラム」が、君津市で本年度行われている。7日は、市立周西小学校（同市）

君津市のSDGs つながる山・川・海



児童が魚の生息学ぶ授業

子どもたちが地元自然環境やそこに息づく産業に目を向けながらSDGsを学ぶ「きみつSDGs×つながる山・川・海学習プログラム」が、君津市で本年度行われている。7日は、市立周西小学校（同市）で、校庭のすぐ南を流れる小糸川と年息する魚について学ぶ授業があった。授業には5年生78人が参加。市農政課の奥倉康裕さんが、オイカワ、ウグイなど8種類の魚が小糸川にいることを説明し、ペットボトルに入れた川の水と水道水を見分けるクイズを実施。続けて、「川を汚すのは簡単だが、きれいに戻すのに時間がかかる」と魚たちは死んでしまう」と言いながら川の水のボトルに墨汁を垂らすと、実際の川をイメージして見ていた児童らから「やだ」「やめて」と声が上がった。予定していた小糸川漁業協同組合の協力によるフナの放流は、朝からの風雨で中止となったが、準備されたフナを網ですくって観察する子どもたちは君津市立周西小学校で



君津市教育委員会を通じて（2023年度採択）で模擬講義

成果を公開しています

- ・ 中村倫明・鷺見浩一・小田晃：東京湾表層におけるマイクロプラスチック動態解析，環境アセスメント学会誌，投稿中.
- ・ 中村倫明・有山尚吾・木村悠二・鷺見浩一・小田晃・武村武・箕輪響・落合実：船橋市沖合の海表面におけるマイクロプラスチック漂流分布の季節変化，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.79, No.2, in press, 2023.
- ・ 中村倫明・木村悠二・鷺見浩一・小田晃：下水処理場におけるマイクロプラスチック汚染の実態，環境アセスメント学会誌，21巻，1号，pp.66-72，2023.
- ・ 中村倫明・木村悠二・有山尚吾・鷺見浩一・小田晃・武村武・箕輪響・落合実，船橋市沖合の海底土におけるマイクロプラスチック汚染実態の把握，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.78, No.2, pp. I_817- I_822, 2022.
- ・ 中村倫明：海洋マイクロプラスチック汚染を下水道から防ぐ，～船橋市と日本大学の取組み～，月刊下水道，2021.
- ・ 中村倫明：都市部の下水処理場におけるマイクロプラスチック流入及び回収の実態，令和3年度海洋プラスチックごみ学術シンポジウム，2021.

本日はありがとうございました