

# テーマ1：海洋プラスチックごみの沿岸～地球規模での海洋中の分布状況及び動態に関する実態把握及びモデル化

## サブテーマ1 地球規模でのプラスチック循環モデルの構築と将来予測

磯辺篤彦(九州大学, 本日の報告者)

## サブテーマ2 海洋プラスチックごみの大洋内及び大洋間動態の物理過程のモデル化

升本順夫(東京大学/理学系研究科)

## サブテーマ3 海洋プラスチックごみの沿岸海洋における動態解明とモデル化

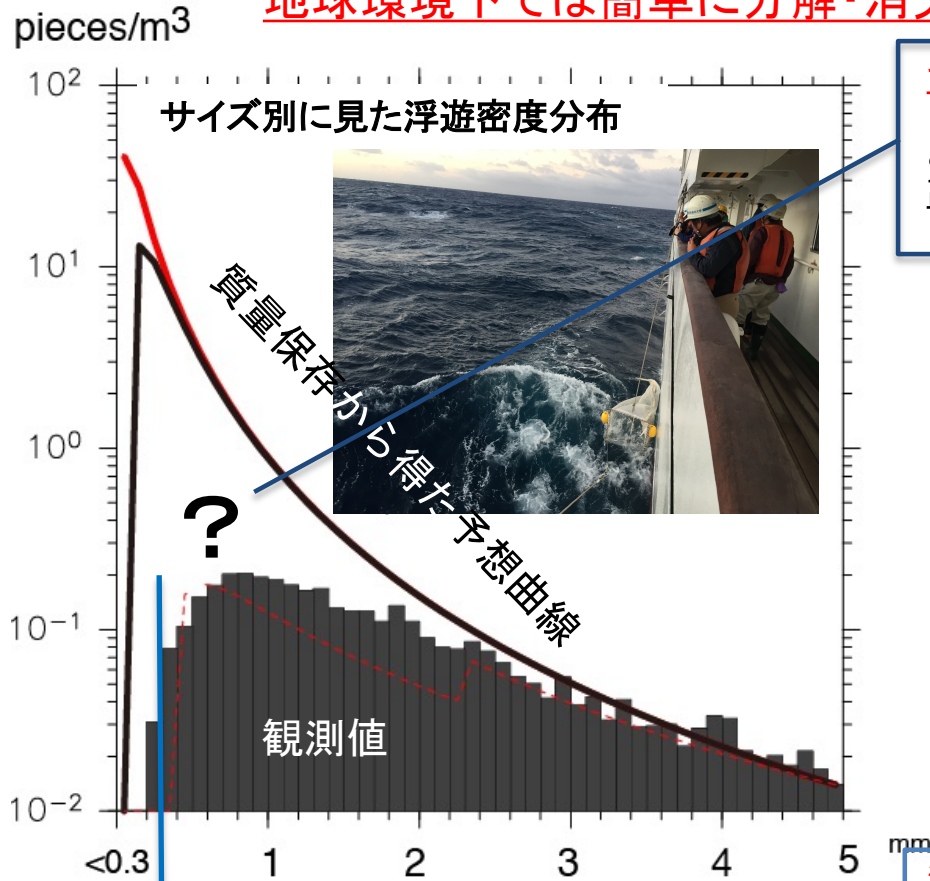
日向博文・河合慶有・郭新宇・畑田佳男(愛媛大学)

## サブテーマ4 海洋プラスチックごみの循環モデルに要するパラメタリゼーションの研究

小川浩史・福田秀樹・西部裕一郎(東京大学/大気海洋研究所)

# Missing Plastics

地球環境下では簡単に分解・消失しないはずのプラスチックが行方不明になる



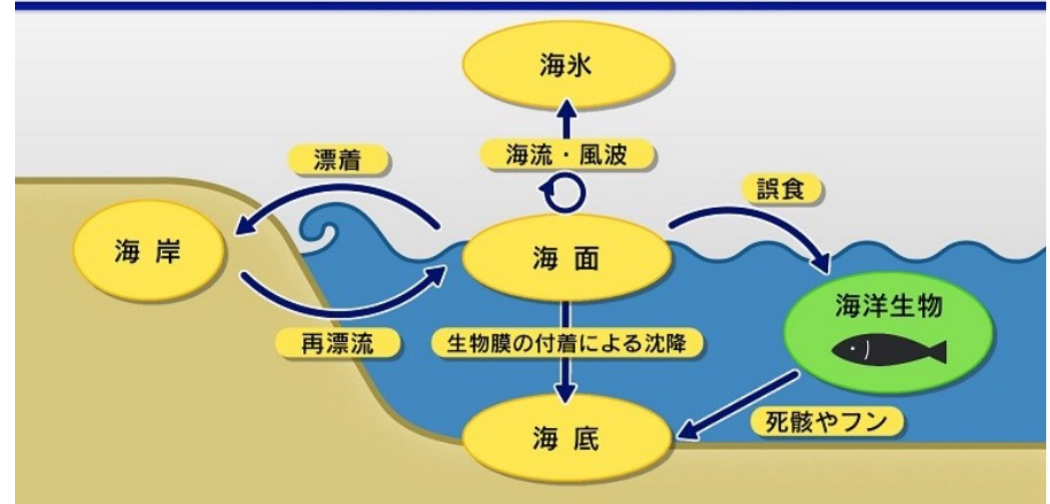
## マイクロプラスチック形成機構の解明

自然環境下でプラスチックは、どこまで細くなるのだろうか？ ナノプラスチック？  
どの程度の時間を要するのだろうか？

高分子化学研究者との連携:

旭化成(株)やマテリアルライフ学会WGとサブテーマ1が連携

## マイクロプラスチックの行方



## 海洋プラスチック循環の解明

海洋-海岸交換過程 サブテーマ3(愛媛大)

海底への沈降や生物への取り込み サブテーマ4(東大AORI)・サブテーマ3(愛媛大)

プラスチック循環モデルの構築 サブテーマ1(九大) & 2(東大/理学系研究科)

海底への堆積過程(古環境分野との研究連携)

## 微細マイクロプラスチック観測・監視技術の開発

数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ のサイズを観測する技術開発  
テーマ3

# テーマ1：海洋プラスチックごみの沿岸～地球規模での海洋中の分布状況及び動態に関する実態把握及びモデル化

## サブテーマ(1)：地球規模でのプラスチック循環モデルの構築と将来予測

- 海洋プラスチック循環の**missing sink**（生物付着による海底への沈降、海洋生物の誤食、デトリタスとしての沈降、海氷への取り込み等を可能な限り探求し、モデルに導入。

→二世後(50年程度)の浮遊マイクロプラスチックの現存量を予測する。

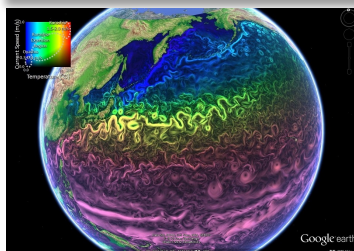
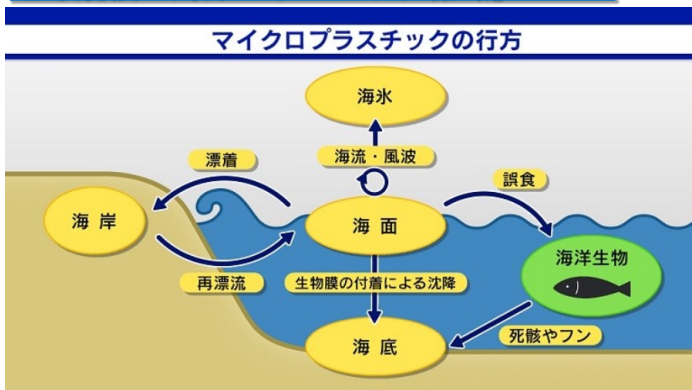
### 素過程を探求しプラスチック循環モデルを構築

## モデル対象海域を全球へ拡張

- 極域をモデル対象領域に含める。
- 地球シミュレータを用いた全球海洋循環モデル(OFES)を利用し、マイクロプラスチックを模した仮想粒子の追跡実験

→地球規模での輸送系を解明。  
→浮遊マイクロプラスチックの現存量を評価する海洋プラスチック循環モデルの基盤とする。

## 地球規模「海洋プラスチック循環」モデル



## サブテーマ(4)：海洋プラスチックごみの循環モデルに要するパラメタリゼーションの研究

- セジメントトラップによるマイクロプラスチックの沈降フラックスの実測等パラメタリゼーションに資する実験や観測を実施。
- 海洋生物への取り込み、デトリタスとしての沈降、海氷への取り込み等海洋プラスチック循環の**missing sink**の解明

### 海洋プラスチック循環のmissing sinkを解明



- 海洋と海岸の交換過程（マイクロプラスチックの海岸滞留時間として定量評価）をパラメタライズし、モデルに導入。

- 海岸はマイクロプラスチックのsinkであるとともに、劣化・破碎によるsourceでもある。そこで、マイクロプラスチックでの海岸生成過程も定量評価し、モデルに導入。

→ 生活圏(=廃プラスチックの供給源)に近い沿岸や陸棚域での浮遊現存量の計算精度を向上

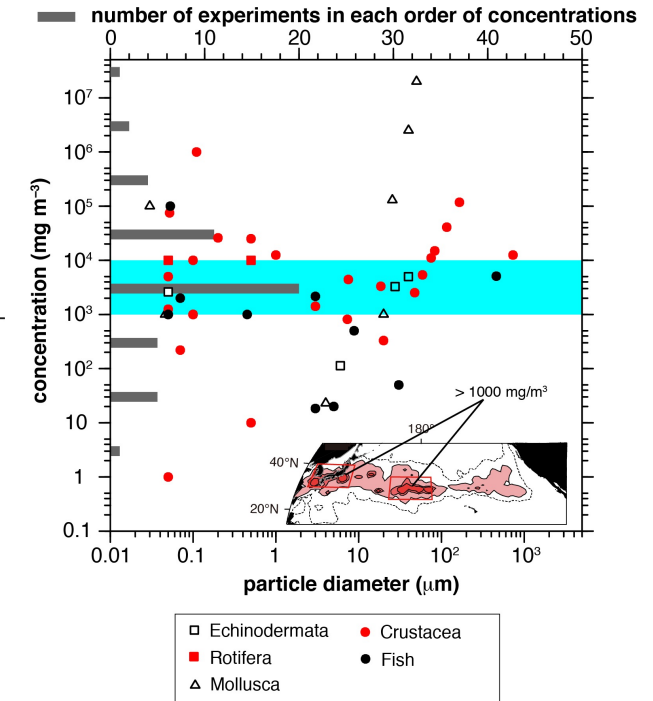
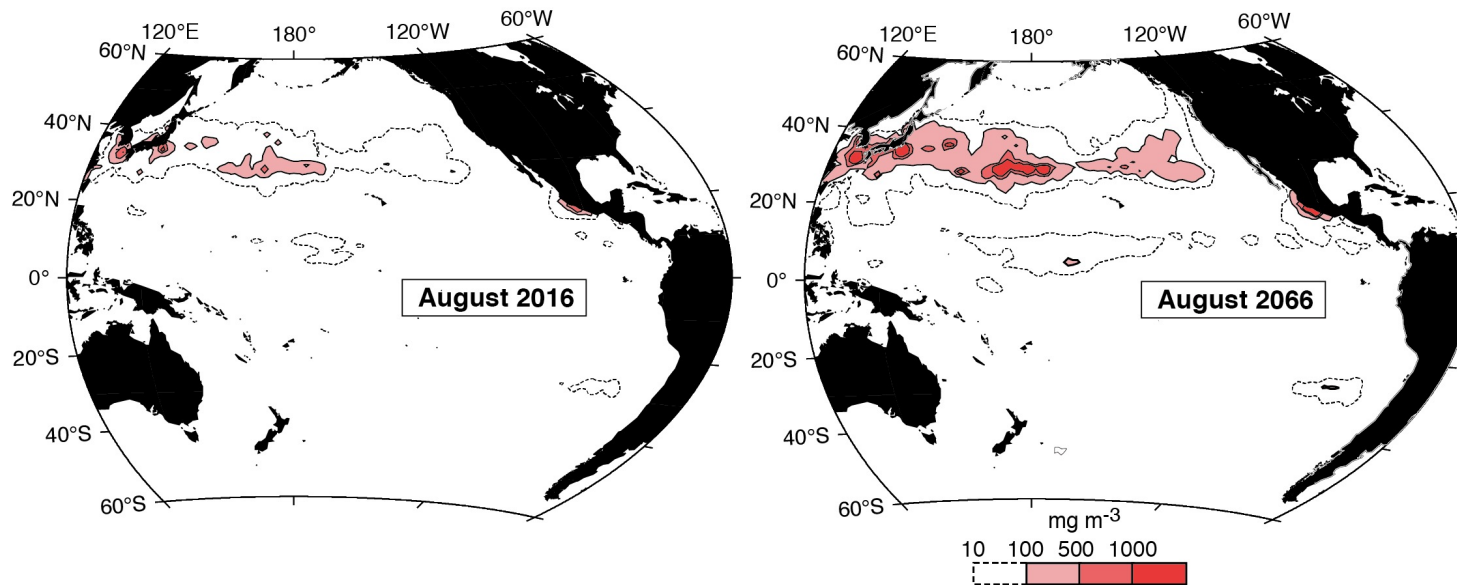
### 海洋と海岸の交換過程を表現



## サブテーマ(2)：海洋プラスチックごみの大洋内及び大洋間動態の物理過程のモデル化

## サブテーマ(3)：海洋プラスチックごみの沿岸海洋における動態解明とモデル化

太平洋の浮遊マイクロプラスチック現存量の再現モデルと50年予測  
 Isobe et al. (2019, Nature Communications)



- ✓ 南極海から日本までの太平洋縦断観測結果や、Goldstein et al (2012)が観測した10年規模変化と比較すれば、海面近く(< 1m)の浮遊マイクロプラスチックは3年程度の規模で消失しているらしい(沈降や生物への取り込み、観測できないほどの微細片化)
- ✓ 今後50年間のうちに、北太平洋西部や中央部でマイクロプラスチックの浮遊量は1.0mg/m<sup>3</sup>を超え、これは実験室で水棲生物にダメージが報告されている水準である。
- ✓ ただし、実験室と観測・モデルで取り扱うマイクロプラスチックには、サイズに関して大きなギャップがある。<sub>4</sub>

# サブテーマ1

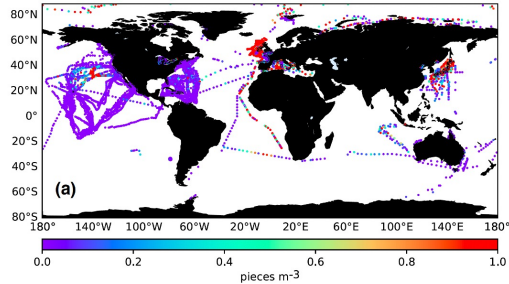
## マイクロプラ浮遊量データセットを作成し、掲載誌よりダウンロード Isobe et al. (2021) 日米欧の共有データセットへ(IMDOS構想)

RESEARCH ARTICLE

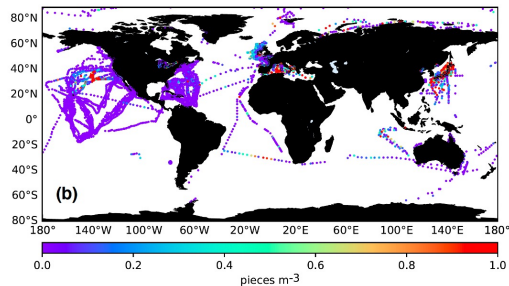
Open Access

### A multilevel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes

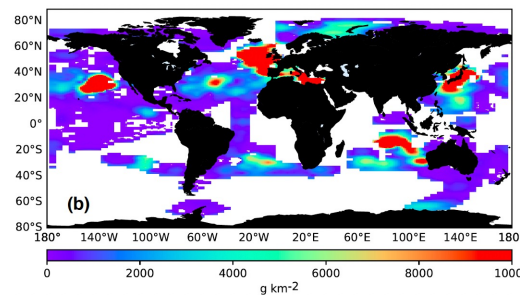
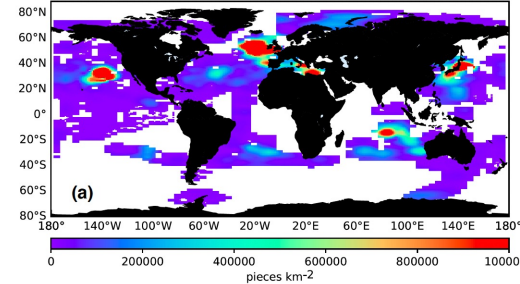
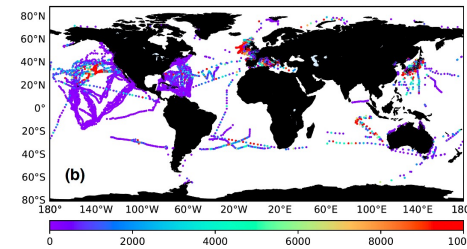
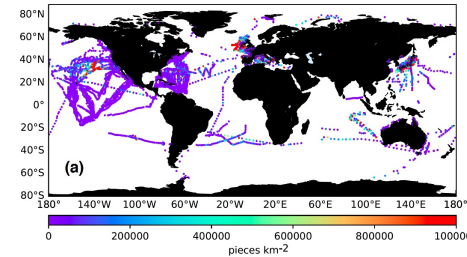
Atsuhiko Isobe<sup>1\*</sup>, Takafumi Azuma<sup>2</sup>, Muhammad Reza Cordova<sup>3</sup>, Andrés Cózar<sup>4</sup>, Francois Galgani<sup>5</sup>, Ryuichi Hagita<sup>6</sup>, La Daana Kanhai<sup>7</sup>, Keiri Imai<sup>8</sup>, Shinsuke Iwasaki<sup>9</sup>, Shin'ichiro Kako<sup>10</sup>, Nikolai Kozlovskii<sup>11</sup>, Amy L. Lusher<sup>12,13</sup>, Sherri A. Mason<sup>14</sup>, Yutaka Michida<sup>15</sup>, Takahisa Mituhashi<sup>2</sup>, Yasuhiro Morii<sup>16</sup>, Tohru Mukai<sup>17</sup>, Anna Popova<sup>11</sup>, Kenichi Shimizu<sup>18</sup>, Tadashi Tokai<sup>19</sup>, Keiichi Uchida<sup>19</sup>, Mitsuharu Yagi<sup>18</sup> and Weiwei Zhang<sup>20</sup>



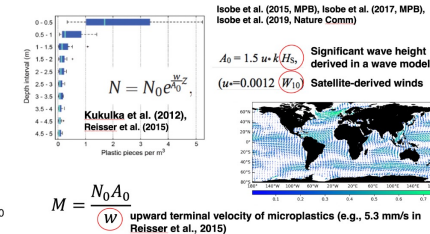
particle count per unit volume  
**LEVEL 0**



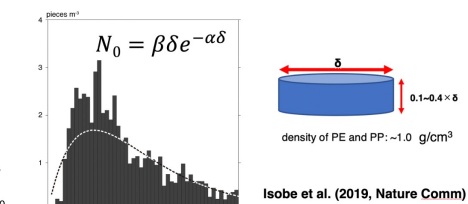
without fibrous microplastics  
**LEVEL 1**



#### particle count per unit area **LEVEL 2p**



#### weight per unit area **LEVEL 2w**



#### particle count per unit area **LEVEL 3p**

Optimum Interpolation Method (Kako et al., 2011)

$$A_g = B_g + \sum_{i=1}^N (O_i - B_i) W_i$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (\mu_{ij}^B + \mu_{ij}^O) W_i = \mu_{ig}^B$$

$$\mu^B = e^{-\left(\frac{r_m^2}{L_m^2} - \frac{r_g^2}{L_g^2}\right)}$$

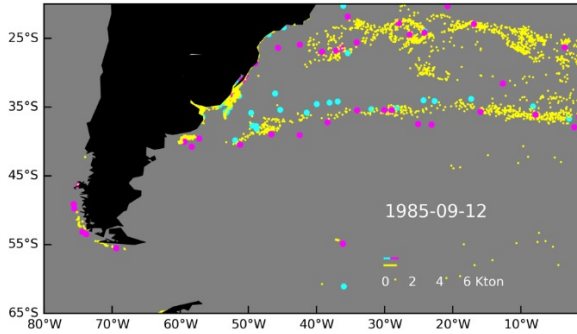
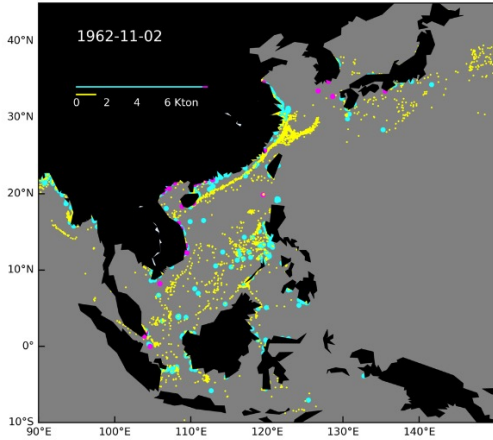
#### weight per unit area **LEVEL 3w**

1000 km × 500 km

- 環境省のデータベースとして、データの更新と公開 (次年度末に公開予定)

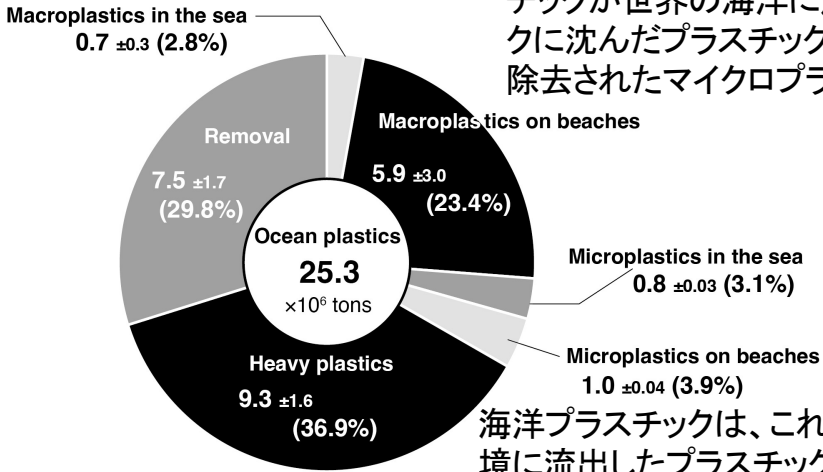
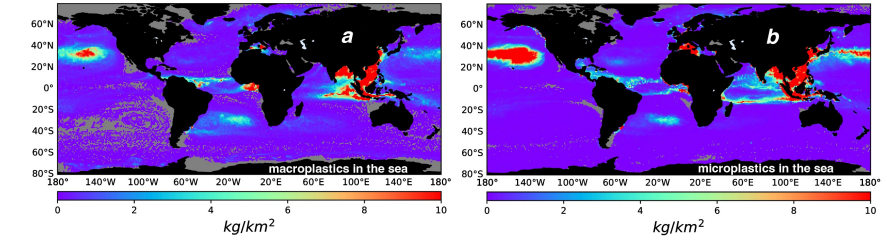
# 質量保存する4種の粒子追跡モデルによる全球プラスチック循環モデル

## サブテーマ1



(Isobe & Iwasaki, 2022)

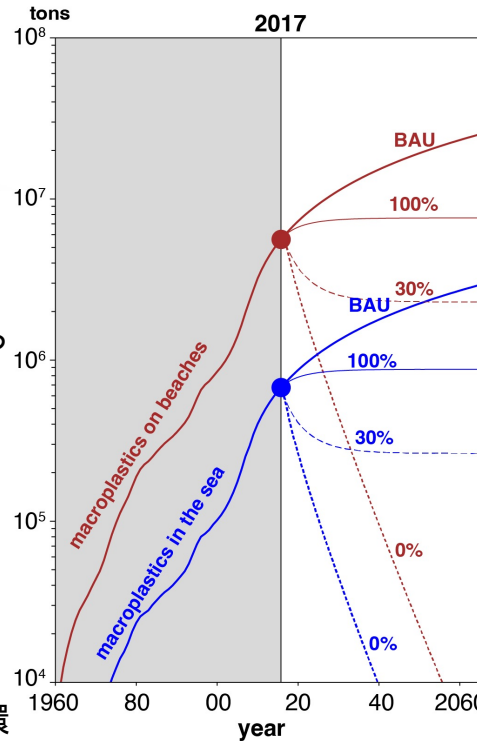
河川起源(青)と漁業起源(赤)のプラごみ、破碎後のマイクロプラ(黄)



1961年から2017年までに25.3 百万トンのプラスチックが世界の海洋に放出され、重くプラスチックに沈んだプラスチックと、上層海域や海岸から除去されたマイクロプラスチックが66%を占める

海洋プラスチックは、これまでに世界で発生した環境に流出したプラスチック廃棄物のわずか4.7%

1960年以降に流出した海洋プラスチックの行方)



BAUの場合に2060年代には漂着・漂流マクロプラスチックは現在の4倍前後になると予想される。

海域流出量を30%にまで減じた場合、2030年代には漂着・漂流量とも現状の1/3程度の平衡状態に落ち着く。

たとえ海域投入量を0にしても、それまで蓄積した海洋プラスチックが海洋上層から姿を消すには時間がかかる。漂着ごみが現状の10%にまで減じるのは2030年代以降

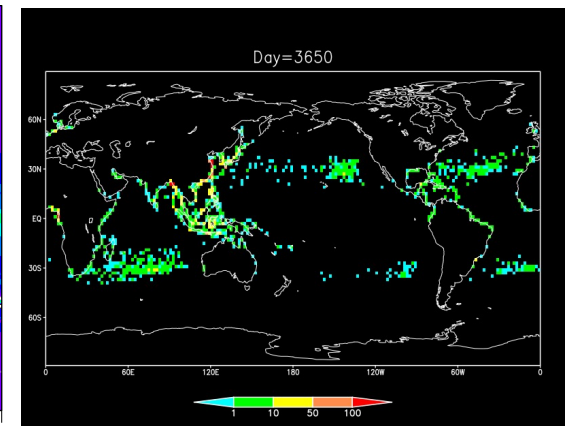
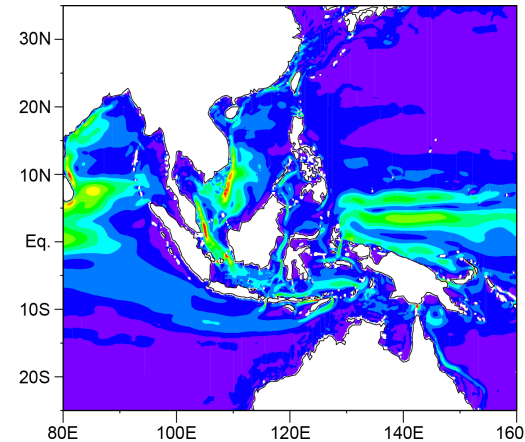
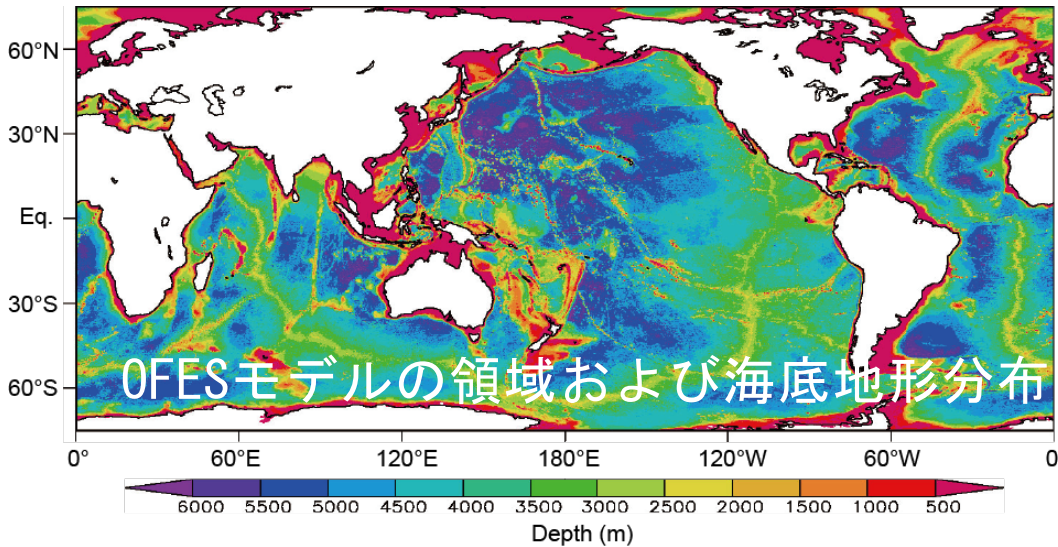
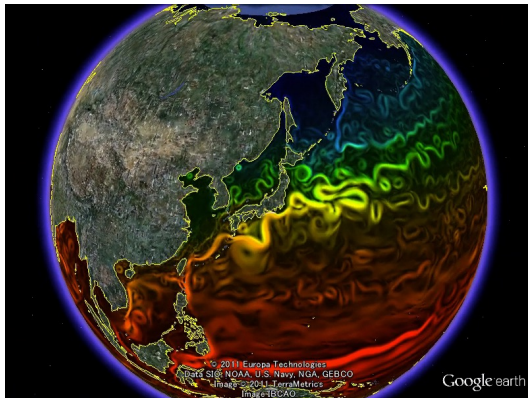
Isobe & Iwasaki, (2022, STOTEN)

# 海洋プラスチックごみの大洋内及び大洋間動態の物理過程 のモデル化

## サブテーマ2

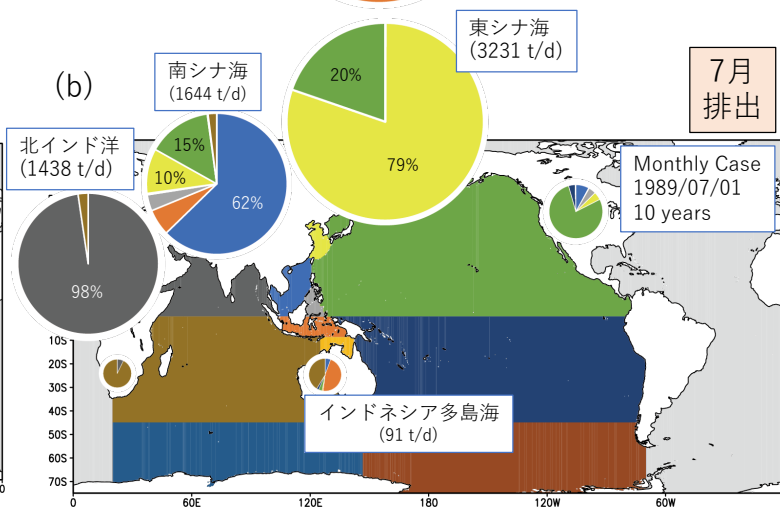
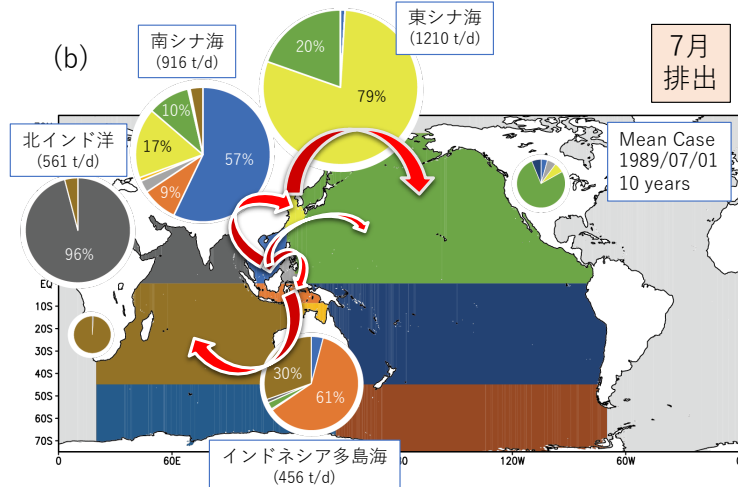
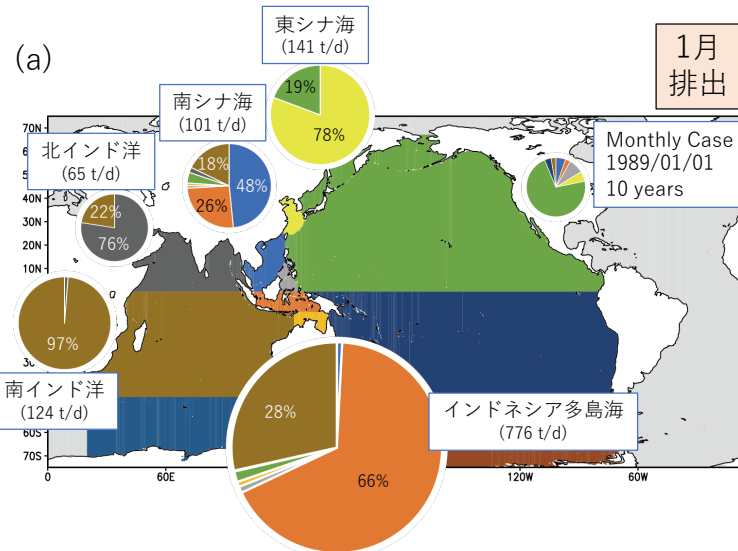
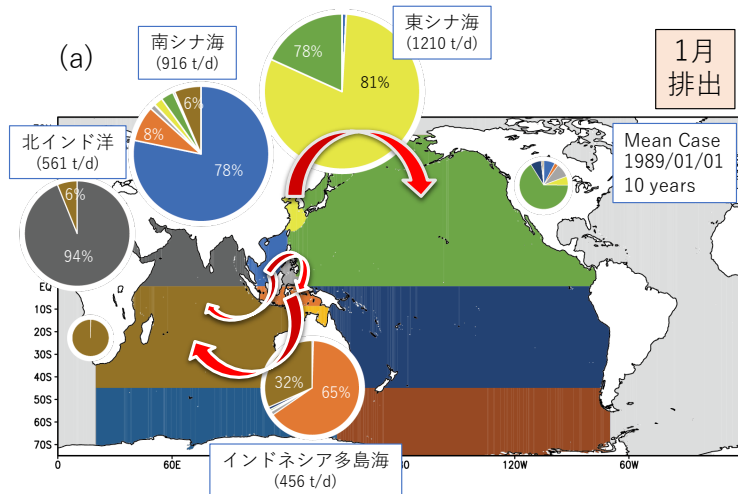
目的: グローバルな高精度海洋循環モデル結果(OFES)と海洋プラスチックごみの輸送モデルを組み合わせ、海洋プラスチックごみの移動と全球分布の把握に重要な**物理過程の理解**とモデルの高度化

- インドネシア多島海のような複雑地形や中規模渦を解像できる高精度モデル
- 海表面の海流やストークスドリフトによる仮想粒子の輸送を粒子追跡計算
- 1月と7月に河川から投入して粒子の10年間を計算した基本的な輸送場による分布結果をサブテーマ1と比較



インドネシア多島海の解像(左)と7月に排出された海洋プラスチックごみの10年後の分布。初期排出分布はLebreton et al. (2017)による主要河川からの流入量の年平均値を使用

## サブテーマ2



特定の海域に起源を持つ粒子の10年後の行方(河川から一定量の粒子を与え続けた場合が左で、季節性を与えたものが右)

- 多くの海洋プラスチックごみは排出された海域内、あるいは排出海域近傍に留まる。
- 特に排出量の多い東シナ海や南シナ海では80%程度が同一海域内に留まっている。流出が顕著と予想されるインドネシア多島海域でも61~65%が留まることが分かった。
- 南シナ海に排出される海洋プラスチックごみに関しては流れ場の影響も無視できないものの、多くの海域では排出量の季節的な変動が支配的な要素となっている。
- 南極海に行く粒子は稀。この事実は、海面にストークスドリフトの有無に依存しない。この点はサブテーマ1や観測とは一致しない。大型プラスチックとしての輸送、生物輸送など本モデル以外の要因が示唆
- 本モデルで50年予想流速分布を作成



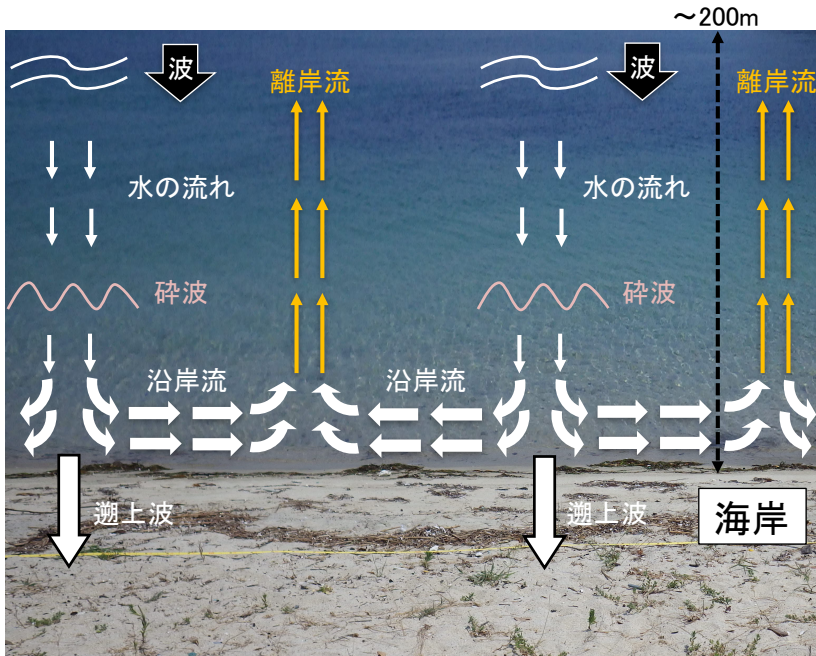
漂着—再漂流条件を、普遍化するモデル構築を目標とする

### サブテーマ3

粒子追跡実験に組み込み(仮想粒子の海岸から海に向かう(あるいは逆の)時間規模を設定)

→ サブテーマ1が導入

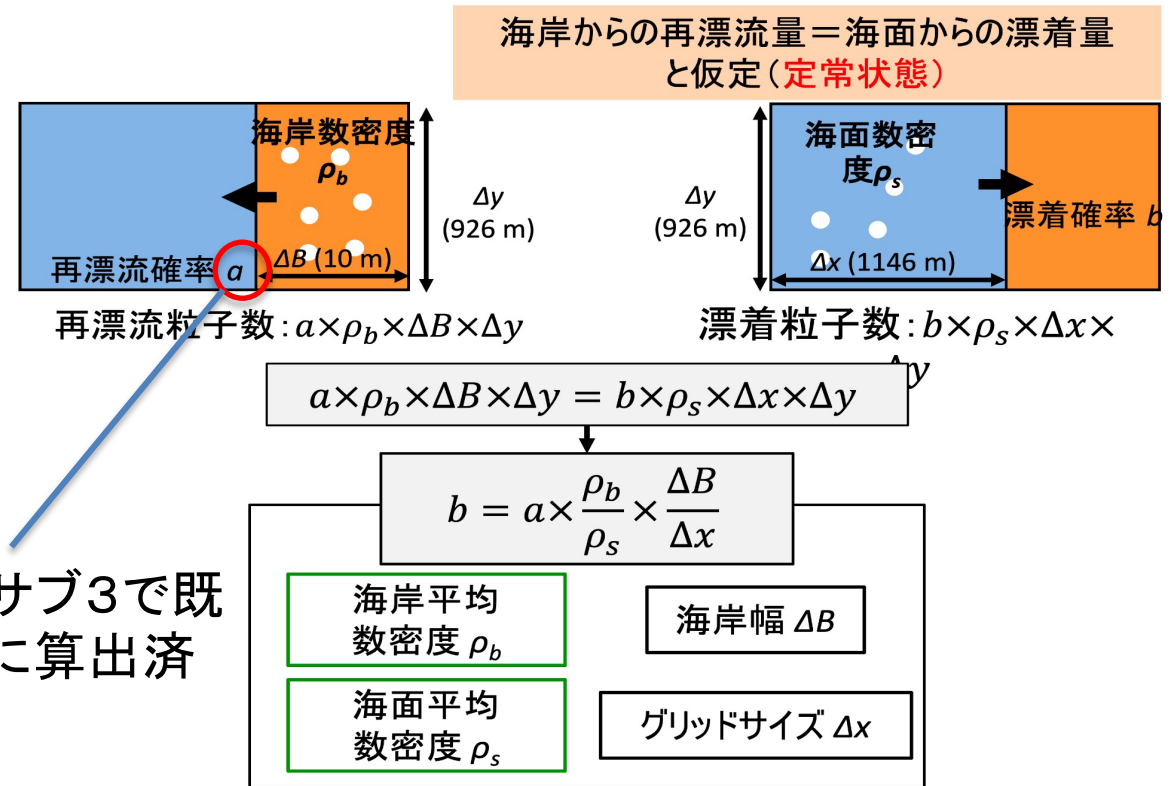
トレーサー実験では、粒子に個別に与える時間規模ではなく、「拡散係数」で表現



海岸付近の複雑な流れによるMiPs海岸過程

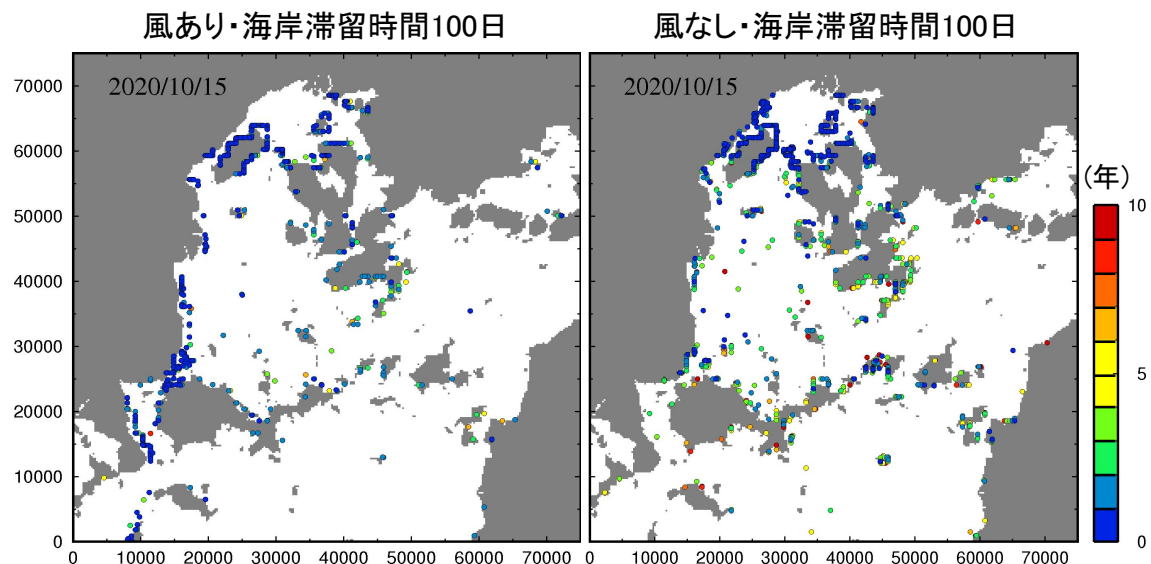


漂着—再漂流確率を導入することでモデル化



## サブテーマ3

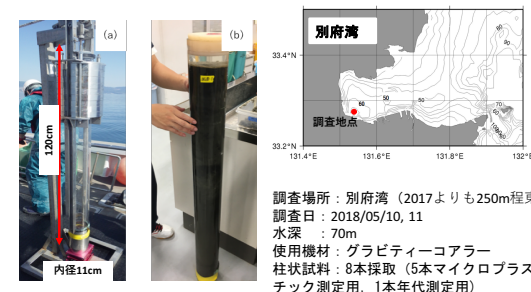
多島海である瀬戸内海で、観測MP分布をモデル結果と比較し、  
海岸—海洋交換モデルの妥当性を評価



数値実験の結果、風あり・海岸滞留時間100日 ( $w = 0.058$ ,  $\tau = 100d$ ) の場合、  
計算領域内の分配率(海岸で存在量/海での存在量)が  $P = 3400$  となり観測  
結果(3050)に最も近い値となった。また、広島湾奥部と周防大島北部海域  
間のマイクロプラスチック数密度比についても概ね再現できた(観測:2.4, 計  
算:6.8)。風の影響を調べるために、風なし・海岸滞留時間100日 ( $w = 0.0$ ,  $\tau$   
 $= 100 d$ )との比較を行った。(Hinata et al., 2020)

漂流—漂着を粒子の滞留時間で制御する仮想粒子追跡実験手法を確立

### 堆積フラックスの見積もり 海底コアサンプリング2018



別府湾で採取した海底  
コア中に含まれるマイク  
ロプラスチック(上)で数  
年刻みの存在量を分析  
したところ、クロロフィル  
の存在量(生物生産の  
指標:下)と一致した。

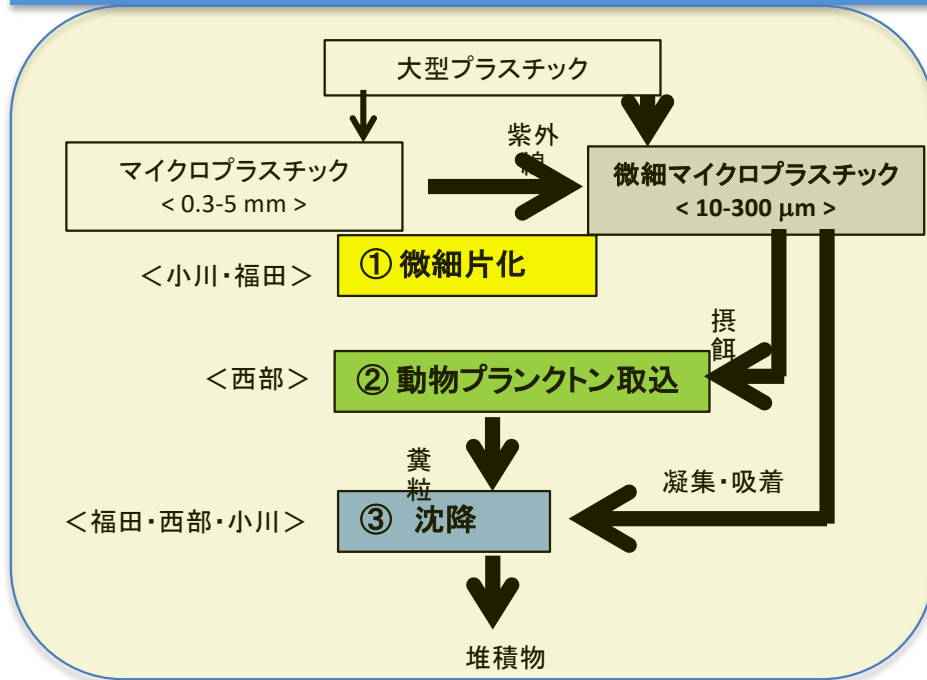
論文未発表図版のため  
非公開

このことは、海洋生態系  
が、海水より軽く浮き続  
けるはずのマイクロプラ  
スチックを生物生産性  
の低い海底に沈めてる  
**レジリエンスを示唆**。

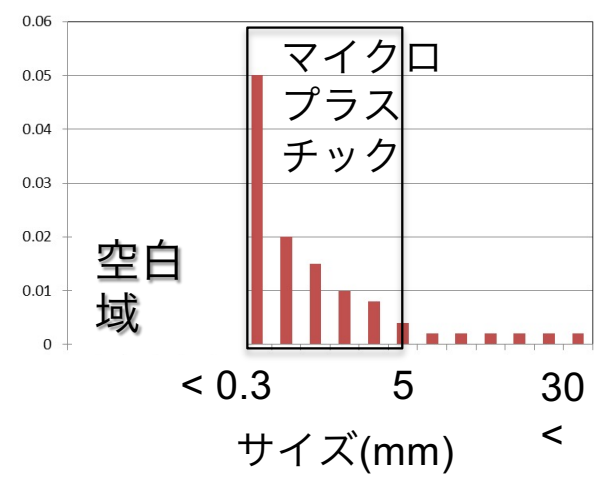
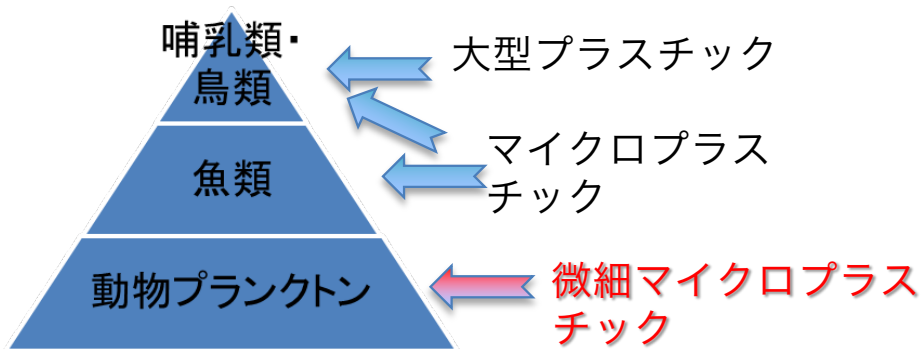
**エクストラ・サクセス!**  
(Hinata et al., 投稿中)

# Missing plasticsをもたらし海洋過程の探求

サブテーマ  
4

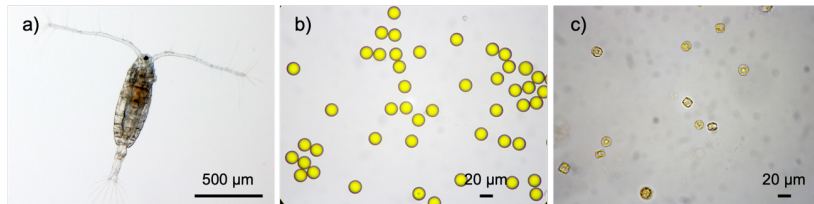


	現場観測	室内実験
①	微細マイクロプラスチックのサイズ分布	太陽光照射実験
②	消化管内容物解析	摂食実験
③	堆積物試料解析・セディメントトラップ実験	植物プランクトン凝集物への吸着実験

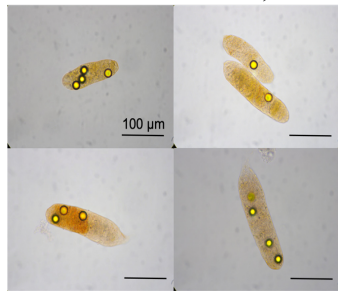


- 海中の微細マイクロプラスチックの抽出  
限外濾過装置の開発, 海水試料を1000倍濃縮で懸濁粒子を抽出する
- 微細化実験
- 動物プランクトンによるマイクロプラスチックの接食実験

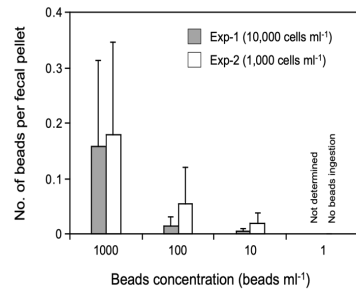
- セジメント・トラップによるマイクロプラスチック沈降フラックスの算定



摂食実験に用いた a) カイアシ類 *Acartia hudsonica*、b) ポリスチレンビーズおよび c) 珪藻類 *Thalassiosira weissflogii*



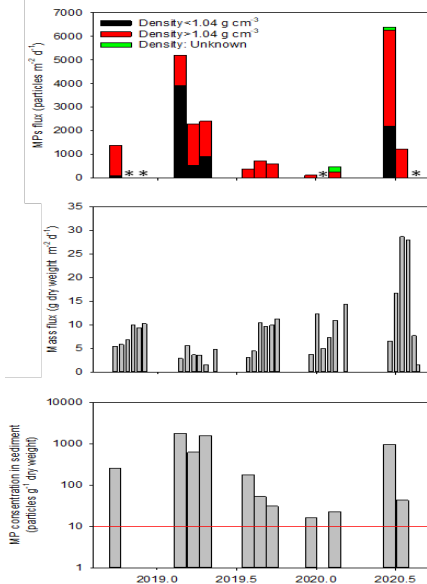
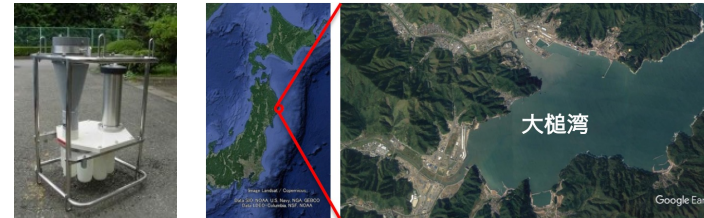
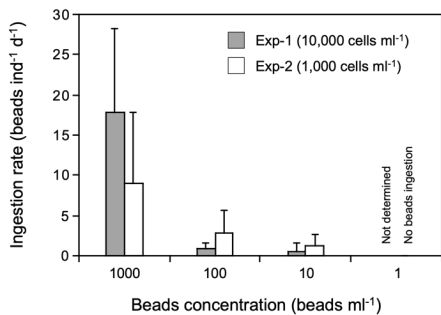
ポリスチレンビーズを内包した *Acartia hudsonica* の糞粒



*Acartia hudsonica* の糞粒1個あたりに含まれていたポリスチレンビーズ数

*Acartia hudsonica* の1日あたりのポリスチレンビーズ摂食速度

本実験のようにマイクロプラスチック濃度が非常に高い海域ではカイアシ類の摂餌は一定程度機能していると思われる。一方、カイアシ類によるマイクロプラスチック摂食が密度依存的な“誤食”であると考え、これより低濃度な環境でのカイアシ類の摂食速度は極めて低い可能性がある。



(上段) マイクロプラスチックの沈降フラックス、(中段) 質量フラックス、(下段) 単位乾燥重量当たりのマイクロプラスチック数の経時変化。赤線は堆積物表層 (0~1 cm) での単位乾燥重量当たりのマイクロプラスチック数。

マイクロプラスチックの沈降フラックスは、沈降物中にマイクロプラスチックが検出されなかったケースを除き、120~2400 particles m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>の範囲で変動した。マイクロプラスチックの沈降フラックスが比較的高い値 (>1500 particles m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) となった2019年2月~4月は親潮の流入が見られ、クロロフィル濃度が高い水準にあった。、親潮流入期は透明度が低くなる季節であり (Fukuda et al., 2016<sup>13</sup>)、この結果は懸濁物の濃度の増加がマイクロプラスチックの沈降過程を促進していることを示唆している。サブテーマ3との整合性。

## 環境政策への貢献

- 1 2019年大阪G20サミットにおいて日本学術会議から内閣総理大臣に手交された**サイエンス20ステートメント**に、Marine plastic debrisの項が設けられ、本テーマリーダーが執筆に参加した。
- 2 2019年に策定された**プラスチック資源循環戦略**には、本研究課題で取り組んでいる地球規模のモニタリングの重要性について言及された。
- 3 海洋プラスチックについて法的拘束力のある政府間交渉委員会を議決した国際交渉会議第5回国連環境総会再会セッション(**UNEA5.2**)において、これに科学的助言を与える科学者諮問委員会(2020年2月ナイロビUNEP本部)に本テーマリーダーが招聘された。本委員会が発行した国連環境計画レポート(From Pollution to Solution)には、本課題の成果であるIsobe et al. (2019)を含む本課題参画研究者の4編の主著論文が引用されている。



UNEA5.2のため招集された科学者諮問会議(2020/2,ナイロビ)  
前列中央がテーマリーダー

## 環境政策への活用が見込まれる成果

1. 浮遊マイクロプラスチックの統合データセット(Isobe et al., 2021)について、2023年までに環境省ではインタラクティブなウェブサイトでの公開する予定である。本ウェブサイトは研究者のみならず政策決定者など広いユーザーを想定している。また、本データセットは、米国待機海洋局やEUで公開が予定されている類似のデータセットと相互に連携し、地域性を補完することで、世界的な**統合データセットへと拡張**される見込みである。
2. 本研究課題が中核になって作成した**浮遊マイクロプラスチックの観測分析ガイドライン**は更新を重ねており、今後も世界の海洋プラスチック研究者の指針となる。本ガイドラインは世界の関連論文に数多く引用されることが確実(前述のFrom Pollution to Solutionにも引用)で、海洋プラスチック問題に取り組む世界の中で我が国に一定のプレゼンスを与える

## テーマ1のアウトプット

### ●査読付き国際誌への掲載論文 14編

うち (本プロジェクト成果は国際的に高く評価)

被引用件数 **top1%以内** (SCOPUS): Isobe et al. (2019, Nat. Comm), van Sebbile..Isobe..(2020)の**2編**

被引用件数 **top10%以内** (SCOPUS): Isobe et al., (2019, MPB), Sagawa et al. (2018, MPB)など**8編**

### ●国内外の学会口頭発表

**22件**

(本プロジェクト成果は社会的にも注目)

### ●一般・企業向け講演

**94件**

### ●新聞テレビなどメディアでの紹介(ル・モンドなど海外紙も含む)

**57件**

### ●受賞

**6件**

環境大臣賞(環境保全功労者表彰) 2018/6  
内閣総理大臣賞 海洋立国推進功労者表彰 2019/8  
文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門) 2020/4  
など



一般向けの啓発書を単著で出版  
(化学同人DOJIN選書)

2022年4月現在で第6版  
2022年岩手県読書感想文コンクール  
課題図書選定  
2022年韓国語版の出版