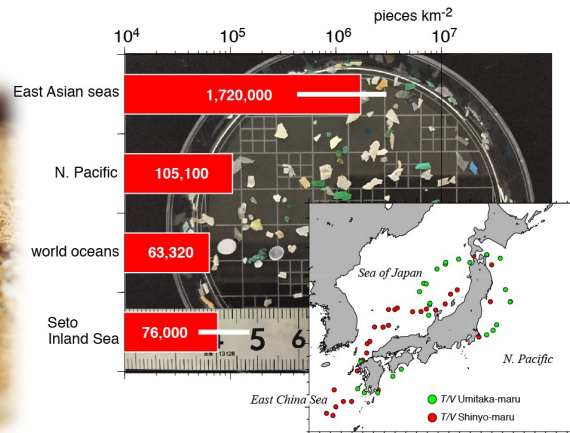


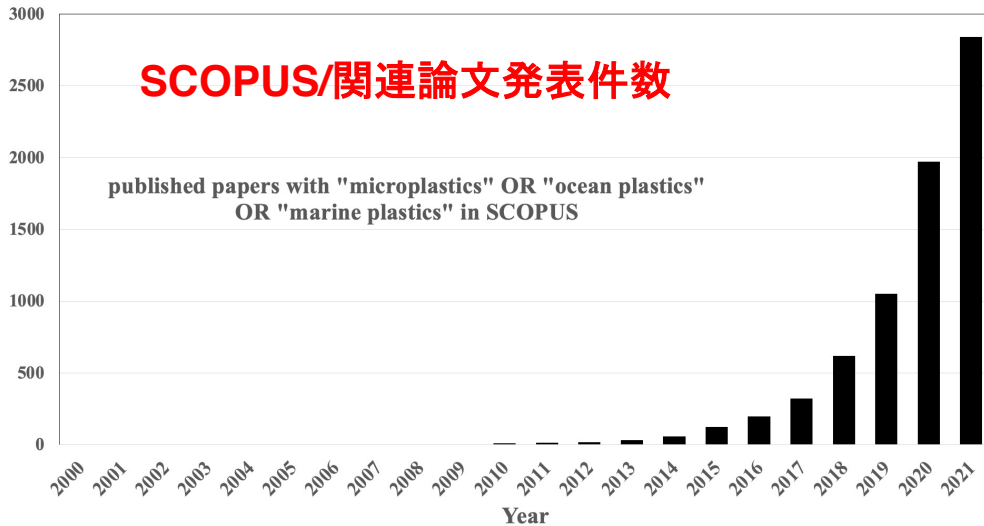
海洋プラスチックごみに係る動態・環境影響 の体系的解明と計測手法の高度化に係る研究

研究代表・テーマ1リーダー 磯辺篤彦 (九州大学)
テーマ2リーダー 高田秀重 (東京農工大学)
テーマ3リーダー 東海 正 (東京海洋大学)

研究の背景



マイクロプラスチックに象徴される“海洋プラスチック汚染”は、新たな、そして深刻な海洋環境問題としてクローズアップされている。2050年には海洋中の魚の存在量<浮遊プラスチックとの見積もりがある。プラスチックで満ちた海で海洋生態系に顕在化するリスクは？



海洋プラスチック汚染に対する危惧は、すでに科学者だけのものではない。各国科学アカデミーS20から当年G20サミットへの海洋プラスチックをテーマにした提言の手交(2019/03/06)。



S20 Japan 2019
Science 20

Threats to Coastal and Marine Ecosystems,
and Conservation of the Ocean Environment
– with Special Attention to Climate Change
and Marine Plastic Waste

SDGs14やG7サミット首脳宣言など国際的枠組みでの言及が続き、新聞・テレビなどでも多くの報道。

「海洋プラスチック汚染」は科学界のホット 이슈 となって、今は**約3時間に1編**の割合で、世界のどこかで関連論文が出版されている。

成果目標

全体目標

海洋プラスチック汚染の実態解明と地球規模での将来予測

全球プラスチック循環モデルを構築し、二世帯程度（～50年程度）将来のマイクロプラスチック浮遊量を推算する。これを参照しつつ、環境影響（ここでは主として、海洋生態系への影響）評価を実施する。モデルの精度検証や今後のモニタリングの高度化・加速化を可能とする、海洋プラスチックごみをモニタリング・計測する標準的な手法を提示する。

個別目標

- 数値海洋プラスチック循環モデルを構築し、二世帯程度（～50年程度）先における全球（極域を含む全海洋）でのマイクロプラスチックの浮遊濃度を予測する。
- 様々なサイズの海洋プラスチックごみ（漂着ごみ・漂流ごみ・海底ごみ）中の化学物質の濃度・存在特性及び吸脱着・溶出特性を明らかにする。さらに、プラスチックを媒介した有害化学物質の生物への移行・蓄積の規模を明らかにし、生物影響を評価する。
- 海洋中の各種プラスチックごみ（漂流・海底・漂着ごみ）をモニタリング・計測する標準的な手法を提示するとともに、海洋中に存在する数百～数十マイクロサイズのマイクロプラスチックの検出及び計測のための基礎技術を確立する。

本研究プロジェクトの全体構成

研究プロジェクトの総体的なアウトカム

各々が体系的な構造を持つ各テーマの組み合わせで、海洋プラスチックごみに由来する化学汚染物質の海域各セクターへの蓄積量、輸送量、海洋生態系への移行量、そして生態系への影響（リスク）を、体系的に検証・予測することができる。

推進費4-1502や環境省調査による浮遊マイクロプラスチックのデータセット・他海域における既存データ

モデル構成の基本設計・精度検証、影響評価実験に必要な浮遊密度データを提供

テーマ1 モデリング

- 海洋プラスチック循環モデルによる地球規模での多様な輸送過程のモデル化
 - 海流や波浪による輸送(大規模物理環境)
 - + 海岸-砕波帯-海洋輸送(局所的物理環境)
 - + sink項(沈降や生態系への取り込み等)
 - + source項(廃プラスチックの流出とマクロからマイクロプラスチックの生成過程)
- 海洋プラスチック循環に関する過去や現況から将来に至る経年変化のモデリング

モデル構成(サイズ組成、計算領域等)や再現性検証データを提供・更新

テーマ2 生物/生態影響評価

- 様々なサイズ・種類の海洋プラスチックごみが含有する、吸着物から添加剤に至る多様な有害化学物質(残留性有機汚染物質(POPs)等)の定量、吸脱着・溶出特性の評価
- 低次栄養段階(プランクトン・稚仔魚等)から高次栄養段階(二枚貝・海鳥等)に至る多様な海洋生態系への影響評価

影響評価実験に適正な、現況のマイクロプラスチック浮遊情報(密度、サイズ等)を提供・更新

影響評価実験に適正な、現況と将来のマイクロプラスチック浮遊情報(密度、サイズ等)を提供・更新

テーマ3 モニタリングの高度化

- 大型漂着ごみ(マクロプラスチック)から数百 μm の漂流マイクロプラスチック、さらにはこれまで検出が困難であった数十 μm のマイクロプラスチックを含めた、多段階サイズの分布のモニタリング
- 海岸・海表面から海中や海底質に至る、海洋の各セクターにおける分布のモニタリング

テーマ構成

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
- 【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
- 【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

テーマ2 海洋プラスチックごみ及びその含有化学物質による生態影響評価

- 【サブテーマ1】 海洋プラスチック及びその含有化学物質の海洋環境における分布と動態
- 【サブテーマ2】 マイクロプラスチックの生物影響評価
- 【サブテーマ3】 海洋プラスチック（マクロ及びマイクロプラスチック）の海洋生態系への影響評価

テーマ3 海洋プラスチックごみのモニタリング・計測手法等の高度化

- 【サブテーマ1】 各種技術等を活用した漂流ごみ等（マイクロプラスチックを含む）のモニタリング・計測手法の高度化
- 【サブテーマ2】 海底堆積物中のプラスチックごみの計測技術の高度化
- 【サブテーマ3】 漂着ごみ等のモニタリング・計測手法の高度化

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。

→二世代後(50年程度)の浮遊マイクロプラスチックの現存量を予測

素過程を探求しプラスチック循環モデルを構築

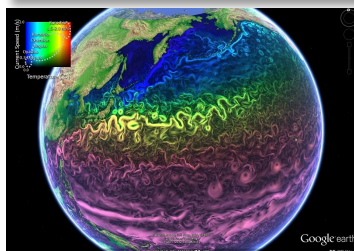
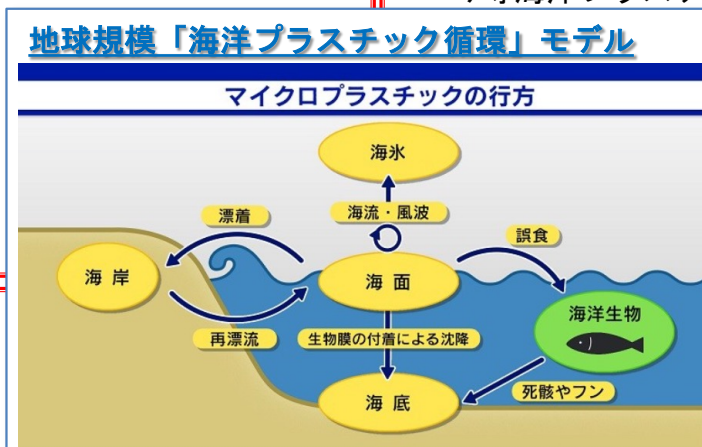
モデル対象海域を全球へ拡張

●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を実施。

→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。



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が可能）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

Isobe et al. (2019, Nature Communications)

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

ARTICLE

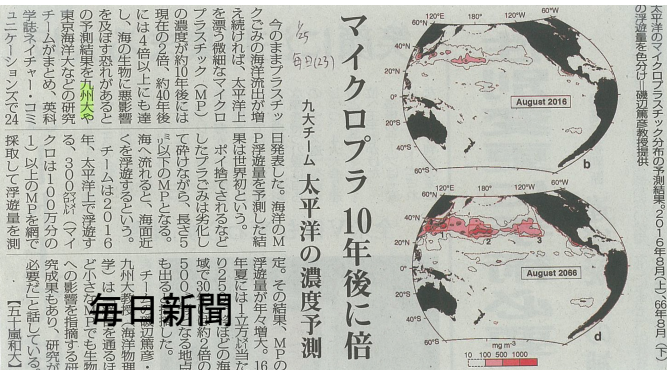
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-08316-9>

OPEN

Abundance of non-conservative microplastics in the upper ocean from 1957 to 2066

Atsuhiko Isobe¹, Shinsuke Iwasaki², Keiichi Uchida³ & Tadashi Tokai³

注: モデルの原型は前回推進費(H28-30:4-1502, 事後評価A+)で構築済み。SII-2で、Nature Communicationsの基準に合致するよう、モデルの改良・追加・生物影響評価手法の全面的見直しを図って、2019年1月末の掲載に至った。



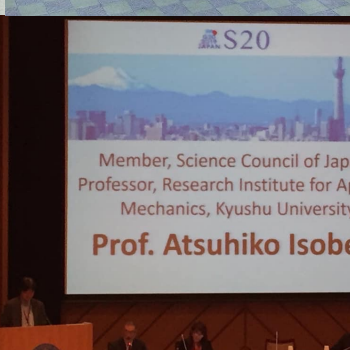
微小プラスチック「60年までに4倍」
海に流出したプラスチックが、50年以内に約4倍に増加する。九州大の海洋学は、2016年と比べて10年後には約2倍に増加する。果は世界初の「マイクログラ」を調査する。ボイラを燃やしたプラスチック(M.P.)の濃度は約10年後には、現在の約4倍に増加する。海面には4倍以上の濃度で、海面下には、海の生物に有害な濃度で残存する。九州大の海洋学は、2016年、太平洋上で浮遊するプラスチックの濃度を調査する。チームがまとめた、英科学雑誌「ネイチャー・コミュニケーションズ」に掲載された。必要に応じて、マイクロプラスチックの濃度を調査する。

太平洋の浮遊量を予測
九六・東京海洋大など
研究グループは、2016年と比べて10年後には約2倍に増加する。果は世界初の「マイクログラ」を調査する。ボイラを燃やしたプラスチック(M.P.)の濃度は約10年後には、現在の約4倍に増加する。海面には4倍以上の濃度で、海面下には、海の生物に有害な濃度で残存する。九州大の海洋学は、2016年、太平洋上で浮遊するプラスチックの濃度を調査する。チームがまとめた、英科学雑誌「ネイチャー・コミュニケーションズ」に掲載された。必要に応じて、マイクロプラスチックの濃度を調査する。

太平洋を漂うプラごみ
九州大の海洋学は、2016年と比べて10年後には約2倍に増加する。果は世界初の「マイクログラ」を調査する。ボイラを燃やしたプラスチック(M.P.)の濃度は約10年後には、現在の約4倍に増加する。海面には4倍以上の濃度で、海面下には、海の生物に有害な濃度で残存する。九州大の海洋学は、2016年、太平洋上で浮遊するプラスチックの濃度を調査する。チームがまとめた、英科学雑誌「ネイチャー・コミュニケーションズ」に掲載された。必要に応じて、マイクロプラスチックの濃度を調査する。

30年までに倍増
九州大の海洋学は、2016年と比べて10年後には約2倍に増加する。果は世界初の「マイクログラ」を調査する。ボイラを燃やしたプラスチック(M.P.)の濃度は約10年後には、現在の約4倍に増加する。海面には4倍以上の濃度で、海面下には、海の生物に有害な濃度で残存する。九州大の海洋学は、2016年、太平洋上で浮遊するプラスチックの濃度を調査する。チームがまとめた、英科学雑誌「ネイチャー・コミュニケーションズ」に掲載された。必要に応じて、マイクロプラスチックの濃度を調査する。

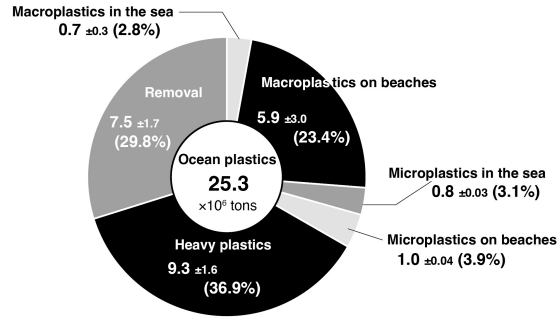
海洋汚染深刻に
九州大の海洋学は、2016年と比べて10年後には約2倍に増加する。果は世界初の「マイクログラ」を調査する。ボイラを燃やしたプラスチック(M.P.)の濃度は約10年後には、現在の約4倍に増加する。海面には4倍以上の濃度で、海面下には、海の生物に有害な濃度で残存する。九州大の海洋学は、2016年、太平洋上で浮遊するプラスチックの濃度を調査する。チームがまとめた、英科学雑誌「ネイチャー・コミュニケーションズ」に掲載された。必要に応じて、マイクロプラスチックの濃度を調査する。



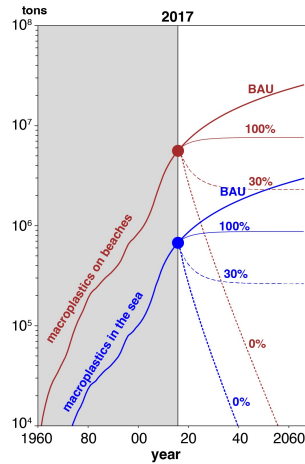
本研究成果は、G20に向けたサイエンス20ステートメントに反映され、安倍首相と原田環境大臣に手交された。サブテーマ1は、研究内容とステートメントの趣旨をS20シンポジウムで紹介。

新聞各紙やNHKをはじめとするテレビ各局で大きく報道され社会的反響

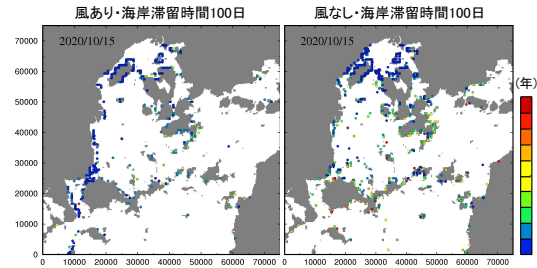
サブ1：全球プラスチック循環モデルの構築



1960年以降で海洋に流出したプラスチックごみの66%は破碎をへて海底に沈むなど海洋表層から姿を消す。50年後の予測。



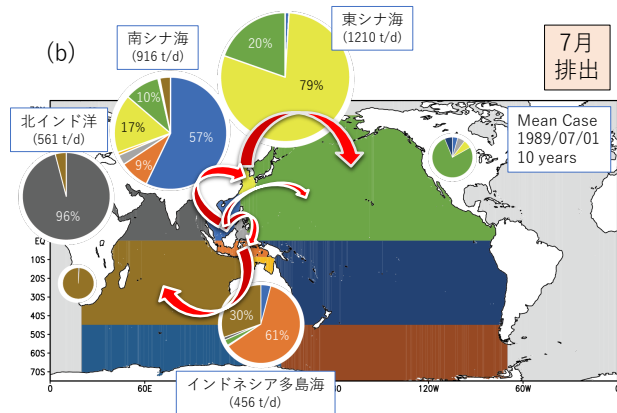
サブ3：沿岸海洋での動態解明



論文未発表図版のため非公開

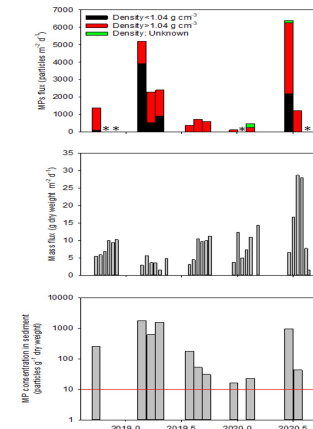
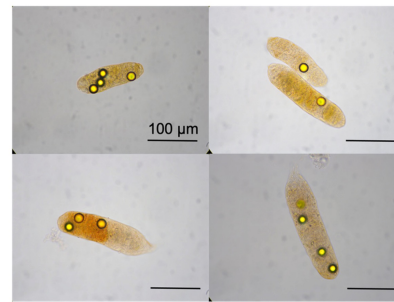
広島湾の粒子追跡実験。別府湾の海底コアから、PEなど「軽い」マイクロプラスチックを検出。生物生産の比例するプラスチック沈降フラックスの経年変化を発見

サブ2：主たる発生源における輸送モデル



海洋プラスチック現存量の変化は、海流の季節的な変化より排出量の季節性に律速される。マイクロプラスチックの状態では南極海には到達できない

サブ4：微細片化・生物吸収・沈降過程の研究



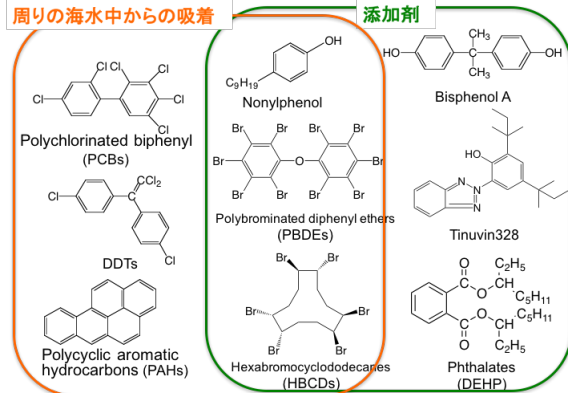
カイアシ類へのマイクロビーズ取り込み実験

大槌湾のセジメント・トラップ観測。海洋懸濁物濃度とマイクロプラスチック沈降フラックスの創刊を発見 (サブ3と整合的)

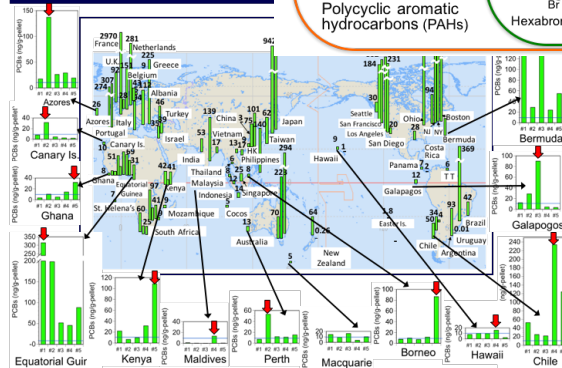
テーマ2：海洋プラスチックごみ及びその含有化学物質による生態影響評価

サブテーマ(1)：海洋プラスチック及びその含有化学物質の海洋環境における分布と動態

●レジ袋やペットボトルの蓋も含めてポイ捨てされやすい使い捨てプラスチックにも配合される紫外線吸収剤や酸化防止剤も含めて、多種の添加剤のマイクロプラスチック中での化学物質の分布やその水及び消化液への溶出特性等を明らかにする。



Sporadic high concentrations of PCBs
 Microplastics carry contam

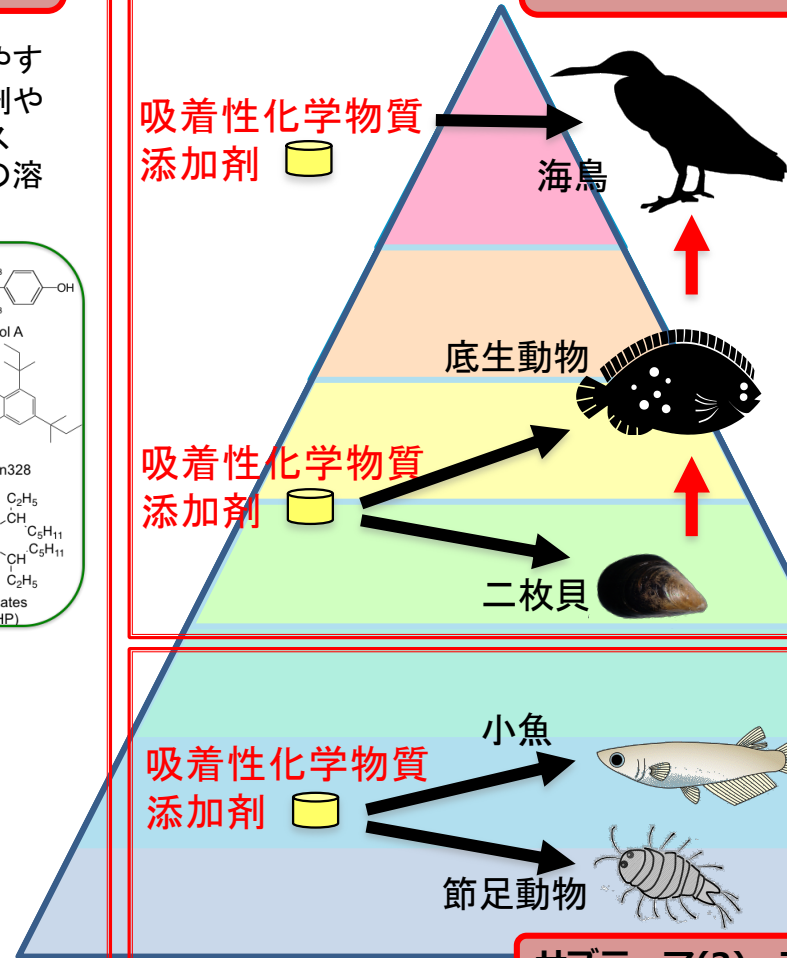


サブテーマ(3)：海洋プラスチック（マクロ及びマイクロプラスチック）の海洋生態系への影響評価

吸着性化学物質
 添加剤

吸着性化学物質
 添加剤

吸着性化学物質
 添加剤



●食物網内でのマイクロプラスチックと有害化学物質の栄養段階間での移行・蓄積に力点を置き、二枚貝、甲殻類、底生生物及び海鳥等の比較的栄養段階の高い生物を対象に屋外施設での飼育実験を中心に実施し、生物組織への化学物質の移行・蓄積による影響を調べる。

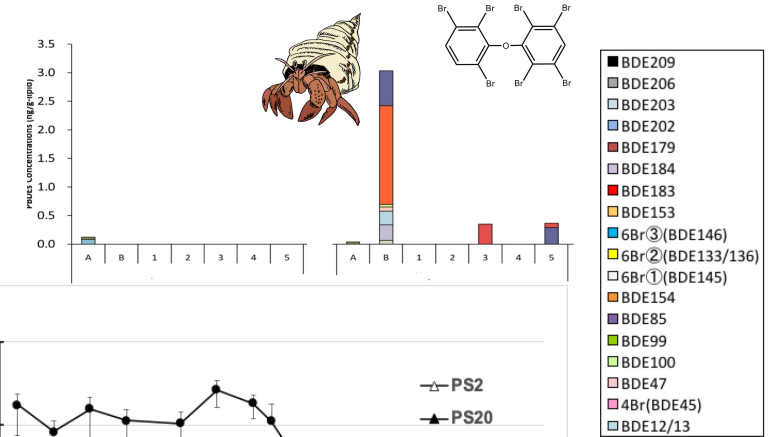
●野生の生物においてプラスチックの影響を受けやすい生物は海鳥と報告されていることを踏まえ、プラスチックを媒介した海鳥への化学物質曝露による遺伝子レベルでの異常を捉えることを主眼に調査を行う。

●プラスチックを曝露させた生物への直接的な影響に力点を置き、動物プランクトン、小魚や節足動物等の比較的低下栄養段階の生物を対象にした室内実験により、生物への影響を調べる。

サブテーマ(2)：マイクロプラスチックの生物影響評価

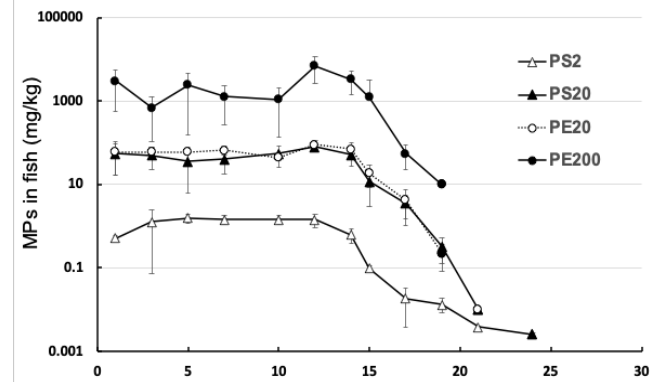
サブ1

- ✓ 漂着MPや製品中の吸着性POPsおよび添加剤分布の解明
- ✓ プラスチック由来の添加剤に注目し、海鳥への移行・蓄積を定量
- ✓ 実際の海浜で、魚介類におけるMP由来の添加剤および吸着性POPsの蓄積を発見



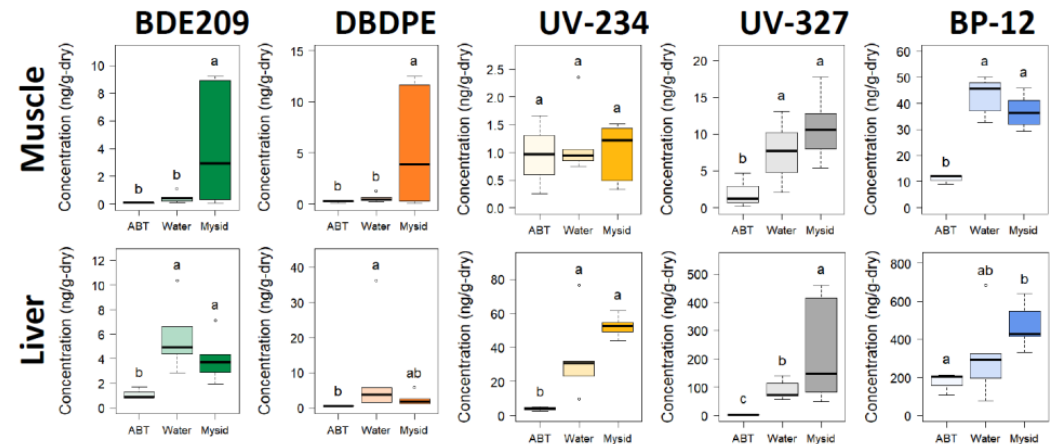
サブ2

- ✓ メダカをMPに暴露する実験。ベクター効果を確認。MPによる遺伝子発現変動
- ✓ 2 μ m程度の大きさであれば体内に長期滞留(>20日)する事実を発見



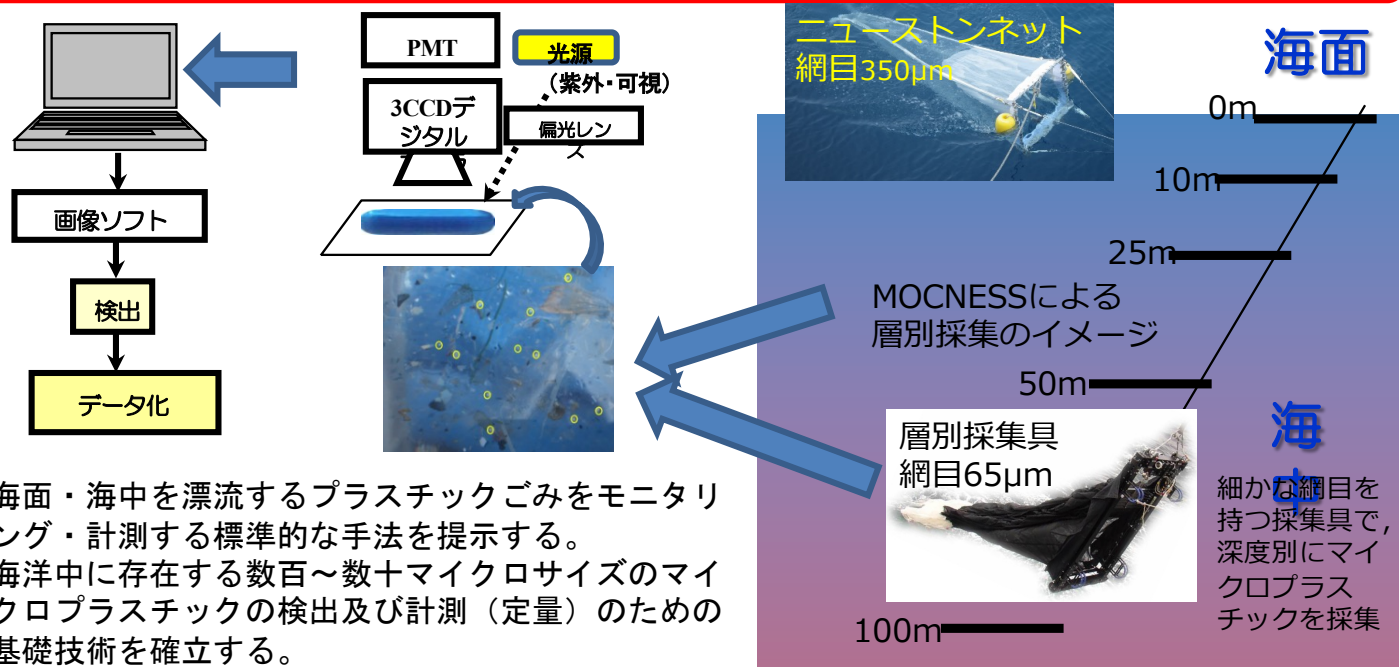
サブ3

- ✓ 被捕食者(エゾイサザアミ)ー捕食者(シモフリカジカ)間のMP生物濃縮(8~11倍)を確認
- ✓ MPの取り込みの伴う魚類や鳥類への有害化学物質の移行・蓄積を確認



テーマ3：海洋プラスチックごみのモニタリング・計測手法等の高度化

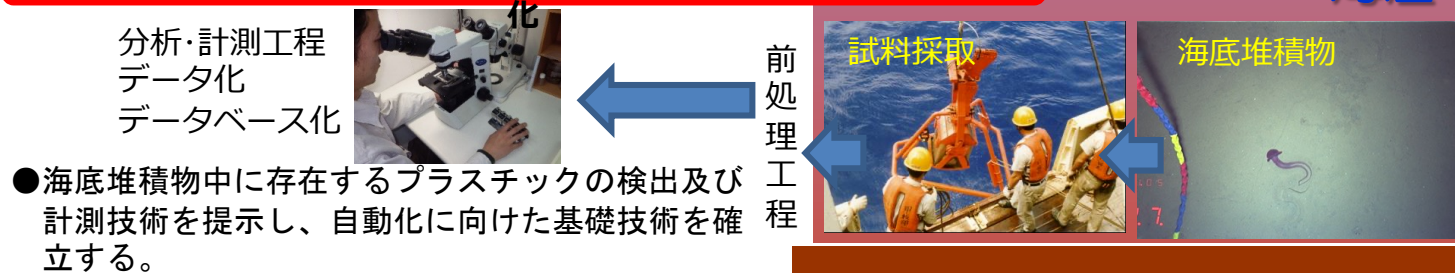
サブテーマ(1)：各種技術等を活用した漂流ごみ等（マイクロプラスチックを含む）のモニタリング・計測手法の高度化



サブテーマ(3)：漂着ごみ等のモニタリング・計測手法の高度化

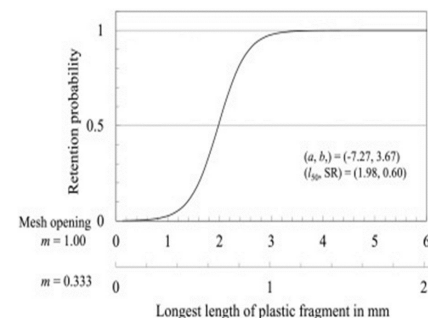


サブテーマ(2)：海底堆積物中のプラスチックごみの計測技術の高度化



サブ1

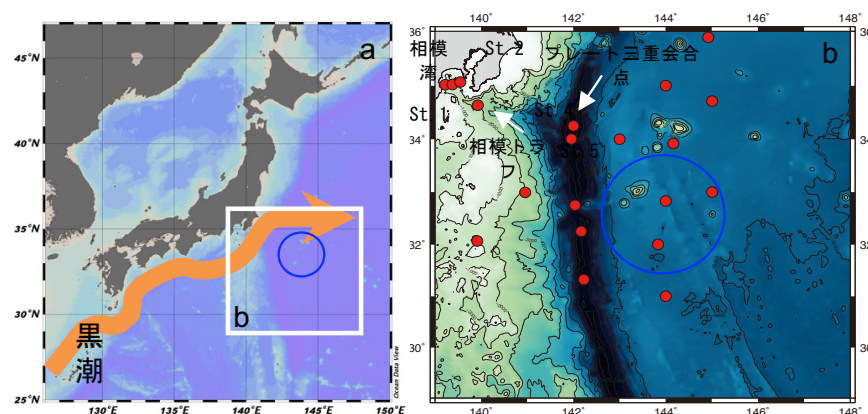
- ✓ 亜表層 (< 200 m) に浮遊する微細MPの発見
- ✓ 微細MP (< 100 μm) の検出手法を構築
- ✓ 曳網調査による「MPの漏れ」を定量化



MOCNESS (Multiple Opening/Closing Net and Environmental Sensing System)

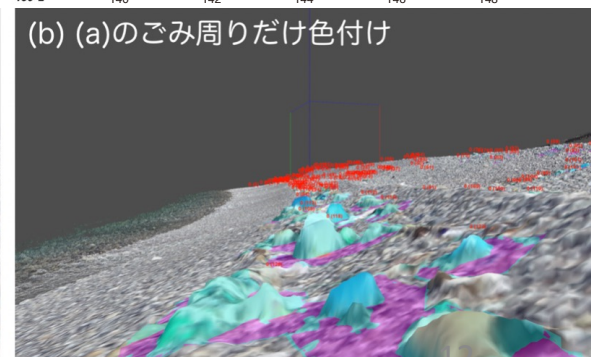
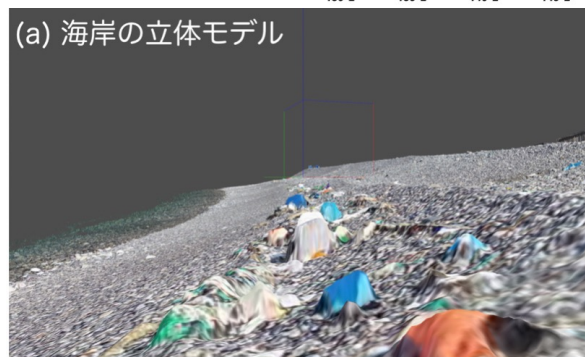
サブ2

- ✓ 底泥からのMP抽出技術の確立
- ✓ 駿河湾深海底 (990m) の底泥からMP (PE) を検出成功
- ✓ 駿河湾や東北沖で底泥中約100個/ m^3 を検出



サブ3

- ✓ ドローンを用いて、海岸漂着ごみから、プラスチックのみを抽出し、総体積を定量する技術を確認
- ✓ 要素技術利用してスマホアプリによる市民調査として展開



テーマ1, 2, 3のアウトプット

●査読付き国際誌への掲載論文 **33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), Tanaka et al. (2020, Curr. Biol), Tokai et al. (2021, MPB)など**17編**

●国内外の学会口頭発表 **100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 **256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) **276件**

●受賞 **13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
日本有機地球化学会 学会賞 2019/9
日中韓環境協力功労者表彰 2019/11
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

一般向けの啓発書を単著で出版
(岩波科学ライブラリー)

