EVF. Environmental Veterans Firm

環境ベテランズファーム Webセミナー（２０２３年１月）

講演テーマ：深海にも広がるプラスチック

講師：海洋研究開発機構
　　海洋生物環境影響研究センター長　　藤倉 克則　様

講師略歴：

- 栃木県生まれ。東京水産大学（現 東京海洋大学）大学院修了、学術博士（水産学）。
- 1988年　海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）入所、チームリーダー、研究分野長などを経て2019年から海洋生物環境影響研究センター長。
- 日本大学非常勤講師、東京海洋大学連携大学院客員教授、東北大学連携大学院客員教授、東海大学非常勤教員など歴任。
- 専門は深海生物学。

2023年1月26日（金）14：30～16：00（60分講演+質疑応答）
環境ベテランズファーム EVFセミナー＠新宿NPO協働推進センター501会議室

深海にも広がるプラスチック

講演の機会をいただきありがとうございます。

藤倉 克則
fujikura@jamstec.go.jp

JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

東北地方太平洋沖地震の津波で流れ出て深海にたまったガレキ

国立研究開発法人 海洋研究開発機構
JAMSTEC：Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海洋・地球・生命の統合的理解への挑戦

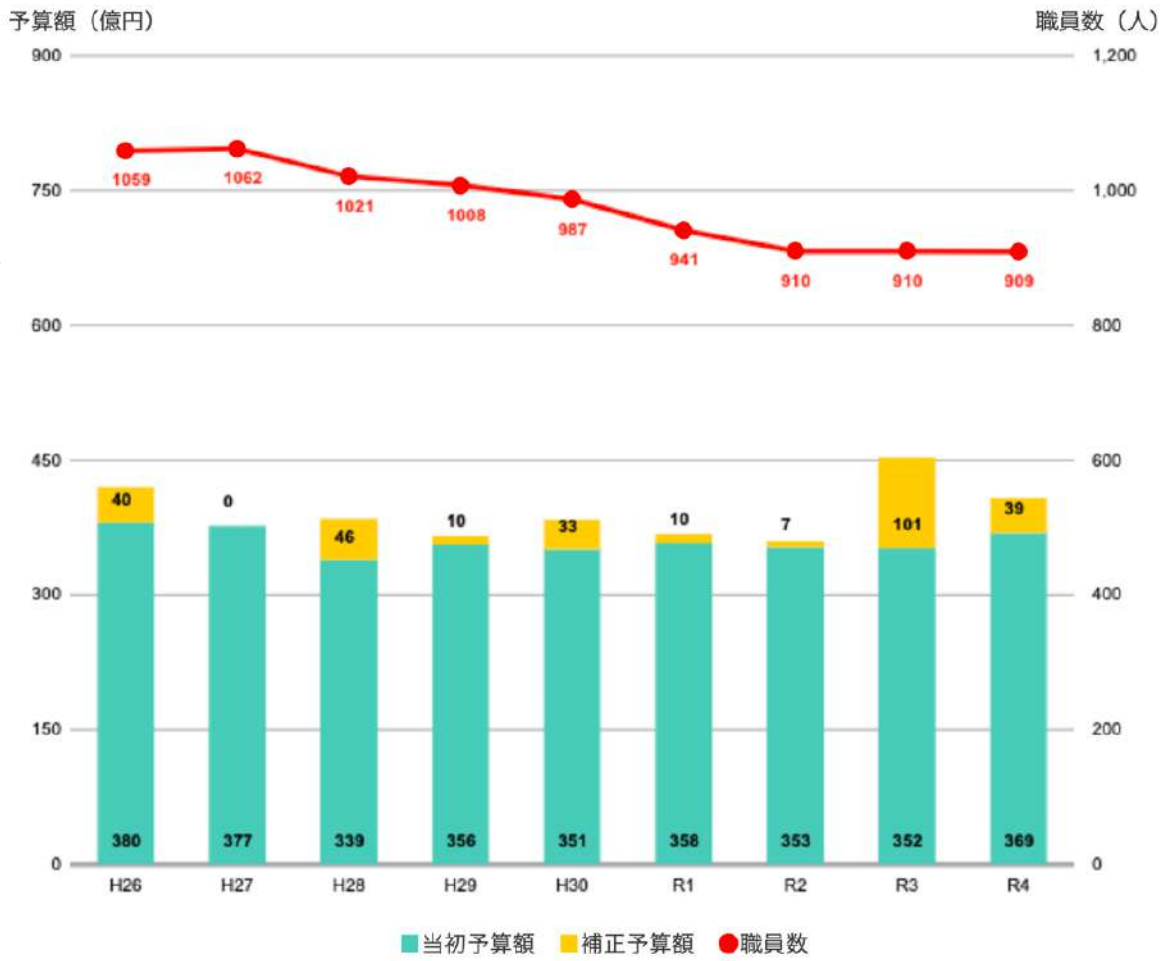
新たな科学技術で海洋立国日本の実現を支え、国民、人間社会、そして地球の持続的発展・維持に貢献する

○地球環境変動の統合的理解とその予測

○地球内部ダイナミクスの統一像の構築と地震・津波の防災研究

○生命の進化と海洋地球生命史

○資源研究・海洋地球生命工学の新たな展開



研究ファシリティ

https://www.jamstec.go.jp/mare3/j/mission/

「よこすか」
4,439トン／全長105m

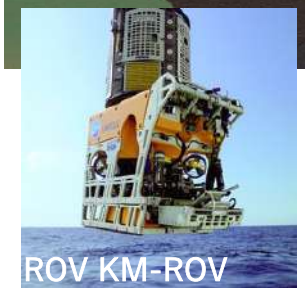
「かいめい」
5,747トン／全長100.5m

「みらい」
8,706トン／全長128m

地球深部探査船　「ちきゅう」
56,752トン／全長210m

「新青丸」
1,635トン／全長66m

学術研究船　「白鳳丸」
8,706トン／全長128m



ROV KM-ROV
深度3000m／全長2.9m

AUVうらしま
深度3500m／全長10m

ディープ・トウ
深度6000m／全長3.3m

研究ファシリティ

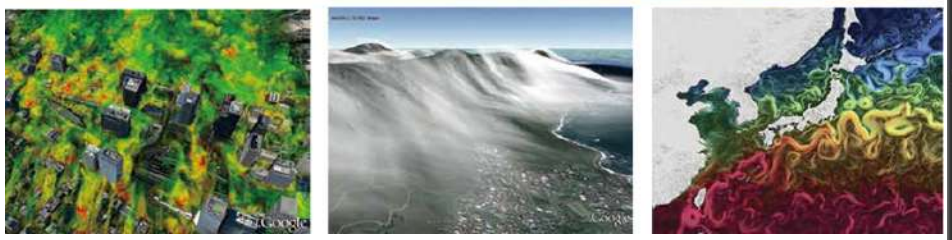
有人潜水調査船「しんかい6500」、「しんかい2000」

「しんかい6500」を乗せる「よこすか」

ロボット: 無人探査機ROV「ハイパードルフィン」

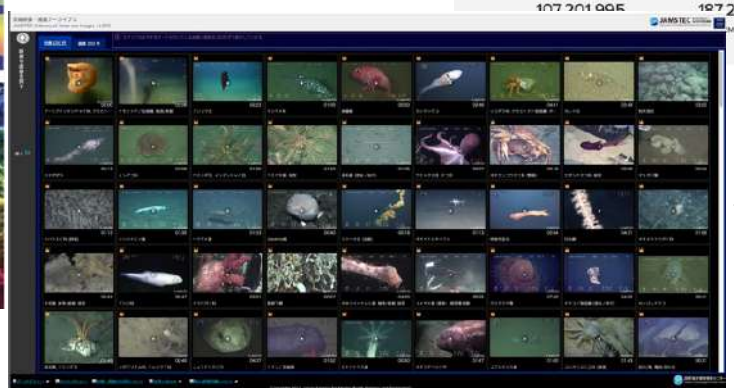
「ハイパードルフィン」を乗せる「新青丸」

研究ファシリティ



スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」

国際的な海洋生物データベースOBISの日本ノード



深海映像データベース

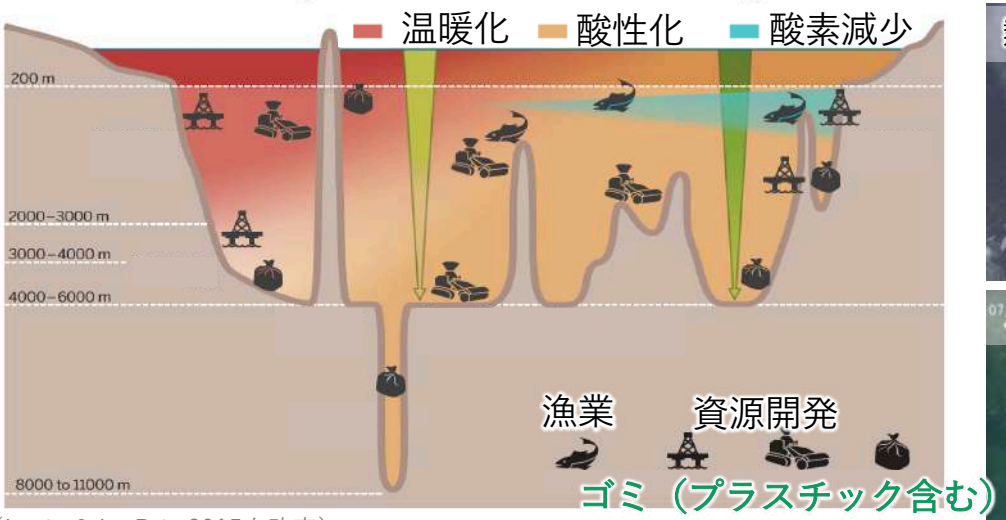
データベースいろいろ

なぜ海洋プラスチックや深海生物を研究するのか

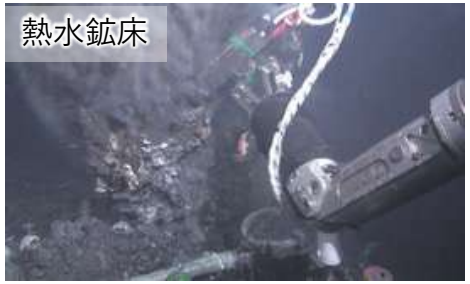
人は、ほかの生物を利用して生きている（生態系サービス）

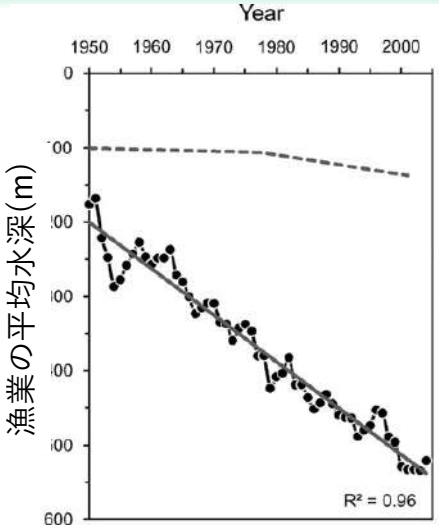
- 食べもの、水、材料、薬・・・
- きれいな水、気候の調整、災害を減らす・・・
- レクリエーションや観光・・・

気候変動や人の影響が深海にせまる危機



（Levin & Le Bris 2015を改変）





漁船漁業の平均水深は500 mを超える
（Watson & Morato 2013）

https://wwf.panda.org/wwf_news

人の繁栄には、海洋生態系を理解した上で「守ること」と「利用」のバランスを取る必要がある

プラスチックは必要なもの、しかし・・・

使えなくなったら今のような生活はできない

- 1950年　プラスチックの大量生産開始
- 1950年　世界人口約25億人→今 約80億人
- 1960年　1950年 日本人平均寿命約60歳→今 約84歳

例えば、医療や食品生産・流通に欠かせない

- プラスチックによる悪影響が海洋生物や人の生活に出はじめている
- 今よりプラスチックの量は増える
- プラスチックは分解しにくい
- 海からプラスチックは取り去るのは難しい。特に小さなマイクロプラスチック（5 mm以下）は無理

私の家の近くの海

これ以上プラスチックによる汚染が進むと生態系や人への影響が深刻になる

手遅れになる前に対策を！

持続可能な開発目標 SDGs

14番目：海の豊かさを守ろう

14.1　海洋ゴミなどの海洋汚染を防止・削減（2025年）

14.2　海洋及び沿岸の生態系の回復（2020年）

14.3　海洋酸性化の影響を最小限化

14.4　過剰漁業や違法・無報告・無規制漁業の撲滅（2020年）

14.5　沿岸域及び海域の10％を保全（2020年）

14.6　過剰漁業や違法・無報告・無規制漁業につながる漁業補助金を禁止（2020年）

14.7　小島嶼開発途上国及び後発開発途上国の海洋資源利用による経済的便益の増大(2030年)

14.a　科学的知識の増進、研究能力の向上、海洋技術の移転

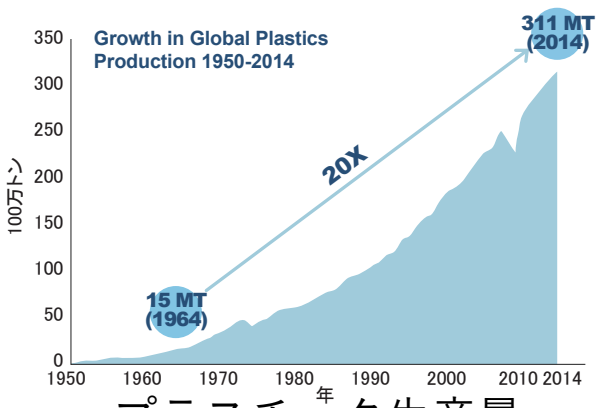
14.b　小規模・沿岸漁業者に対し、海洋資源・市場へのアクセスを提供

14.c　国際法の施行による海洋とその資源の保全と持続可能な利用

科学的根拠が必要

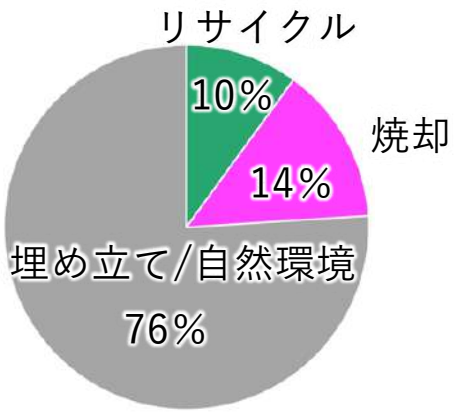
プラスチックの量と処理

- 2017年：世界プラスチック生産量 4億3800万トン
  - 全人類より重い：世界人口80億、一人あたりの体重50 kgとしたら4億トン
- 1950年代～2017年の合計生産量は92億トン
  - プラスチック生産量は1964-2014年で20倍以上増
- いままでに捨てたプラスチックは70億トン
  - リサイクル10％（紙58％、鉄70-90％）
  - 日本：822万トンのプラゴミ発生：70％焼却、6％埋め立て、24％リサイクル（16 ％海外へ、8 ％国内リサイクル）

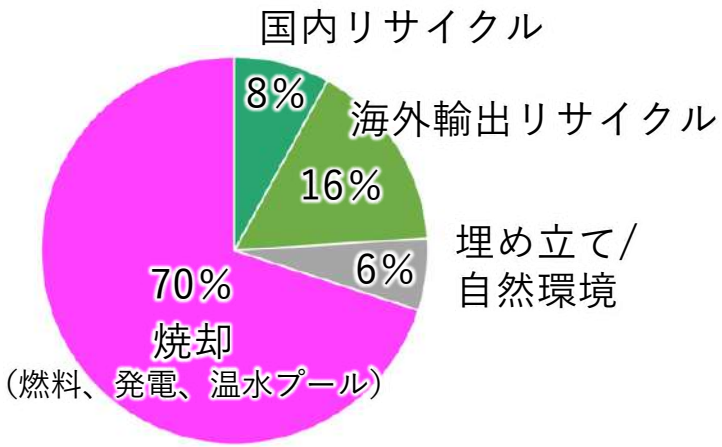


プラスチック生産量

（World Economic Forum 2016）

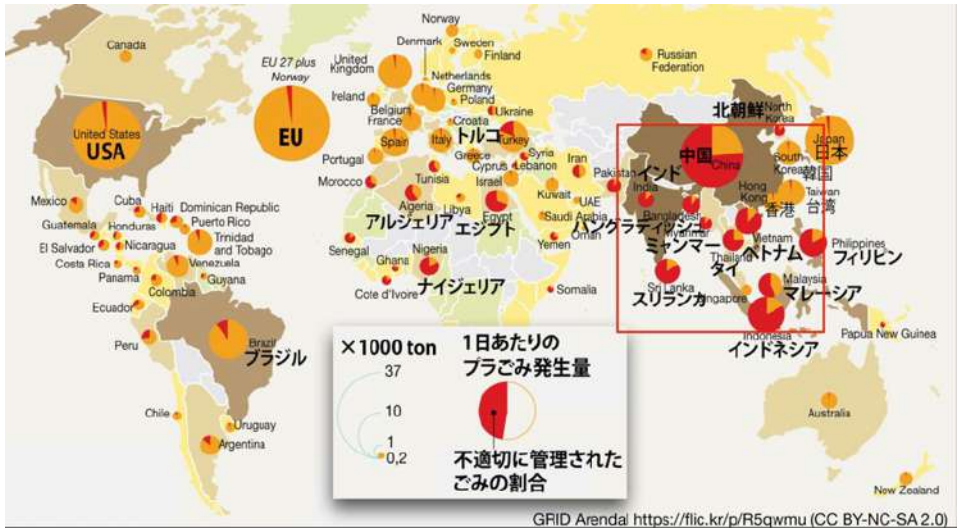


世界のプラスチック処理

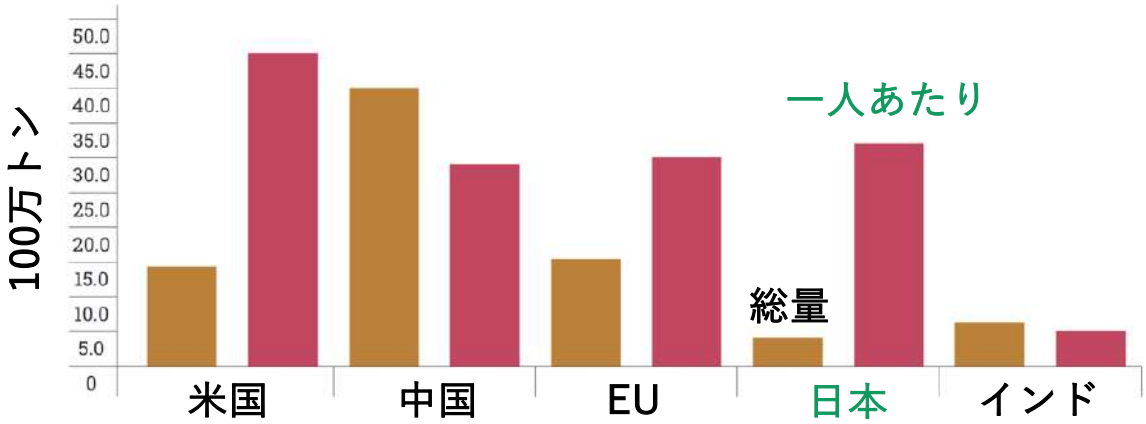


日本のプラスチック処理

一人あたりの使い捨てプラスチック使用量は世界2位



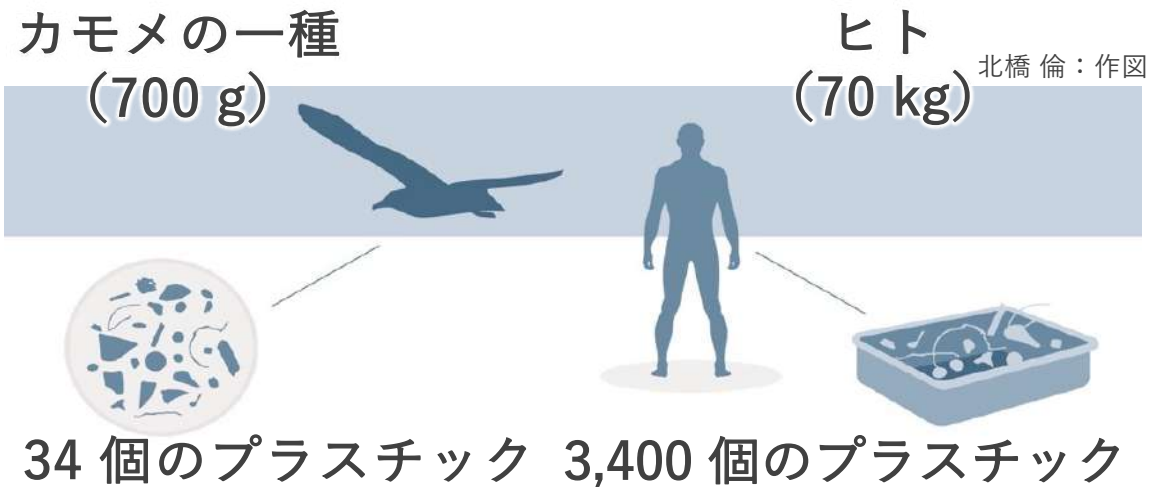
世界のプラごみの50％はアジアから



一人あたりのプラスチック包装容器廃棄量。アメリカ1位、日本2位 Single-use plastics, UNEP (2018)

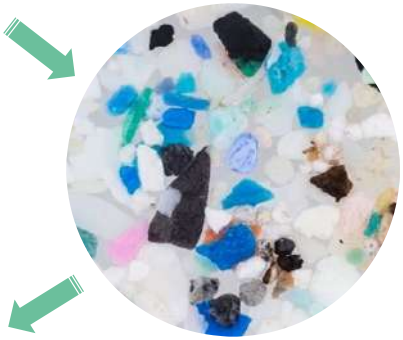
プラスチックによる影響

- 誤食
  - 栄養失調
  - 化学物質汚染
- 漁具へのからまり
- 生息地改変
- 外来種を運ぶ
- 人の住み場所をよごす
- 観光地が美しくなくなる
- 船が走れなくなる　など



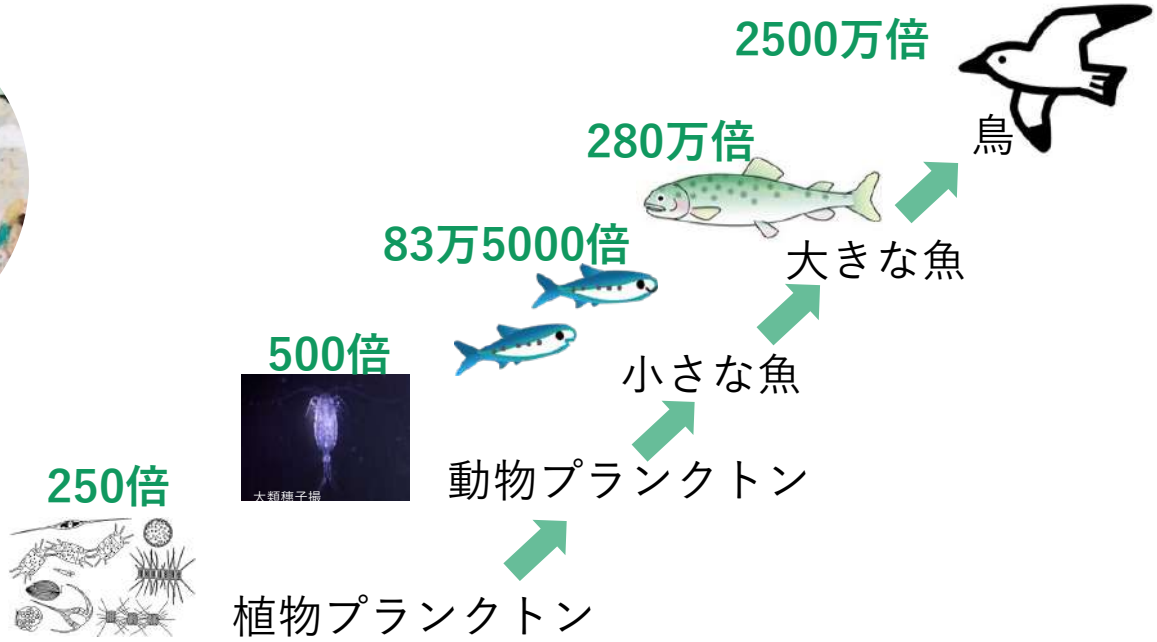
プラスチックによる化学物質汚染

- **海水中の化学物質を吸収**
  - PCB, DDT（昔、人が作り出した有害物質）



- **製品にするときに添加剤**（ポリ臭化ジフェニルエーテルPBDEs、ビスフェノールＡなど）を加える
  - 熱で溶けにくくする薬品
  - 柔らかくする薬品
  - 紫外線で分解しにくくする薬品　など
- その化学物質がとけ出る

食物連鎖の上にいくほど化学物質は多くなる



食物連鎖におけるPCBの生物濃縮

マイクロプラスチック（5 mm以下）が問題

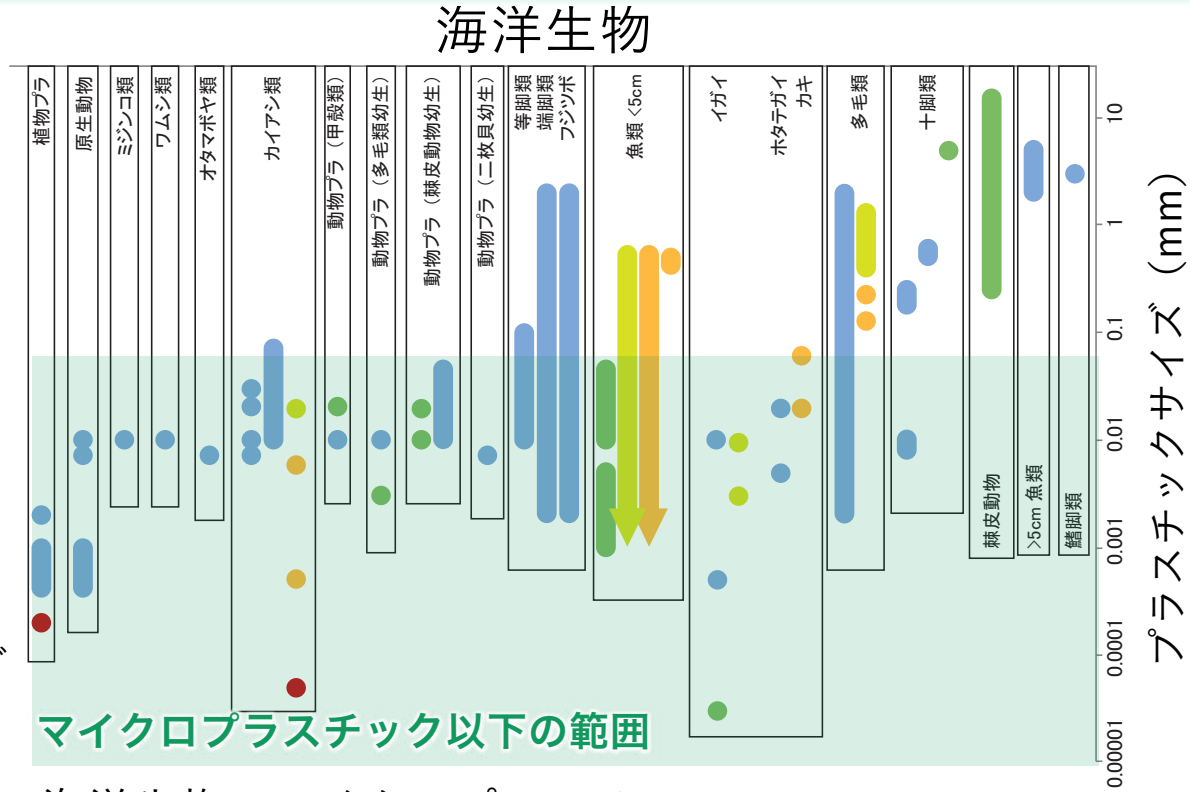
- 大きなプラスチックは波、太陽光などで細かくなる
- 小さくなるほど多くの生物へ影響を与えそう

海洋生物は水中の粒子を食物にしているものが多い

二枚貝

サンゴ

「海の米」と呼ばれるカイアシ類（動物プランクトン）



海洋生物にマイクロプラスチックを与えた実験（GESAMP 2016）

- 極めて重大な影響あり
- 重大な影響あり
- 限定的な影響あり
- わずかな影響あり
- 影響未検出

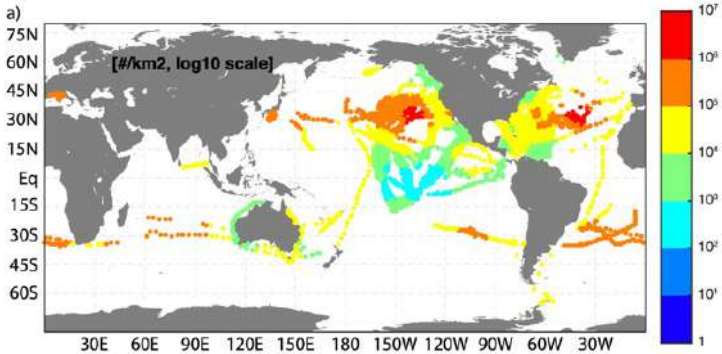
行方不明のプラスチック

これまで海に流れ出た量：少なくとも2500万トン Isobe & Iwasaki (2022)

- 実際の調査とコンピュータシミュレーションで推定した全球の海表面に浮かぶプラスチックの量：**26万トン**
  Eriksen et al. (2014)
- わずか**1%しか説明できない**

行方不明のプラスチック：The Missing Plastics

- **深海／まだ調査していない海域にある可能性大！**
- 小さくなりすぎて見つからない可能性も



Van Sebille et al. (2015)

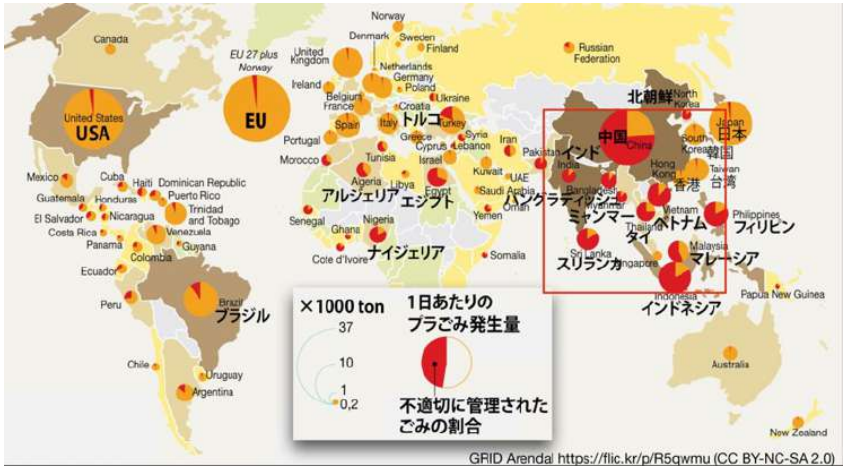
海洋プラスチック問題解決に向けた科学的な情報や技術開発

- **プラスチックの分布（どこに、どのような材質のものが、どれだけ）**
- **生物への影響**
- **プラスチックを簡単に正確に測る**
- 分布予測
- 代わりの材料

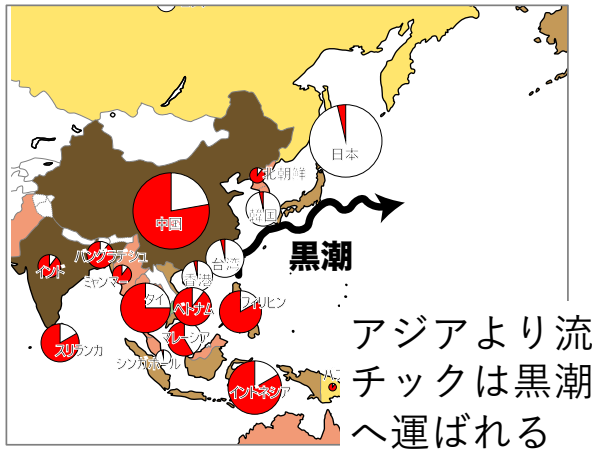
  など

プラスチックの分布
（どこに、どのような材質のものが、どれだけあるか）

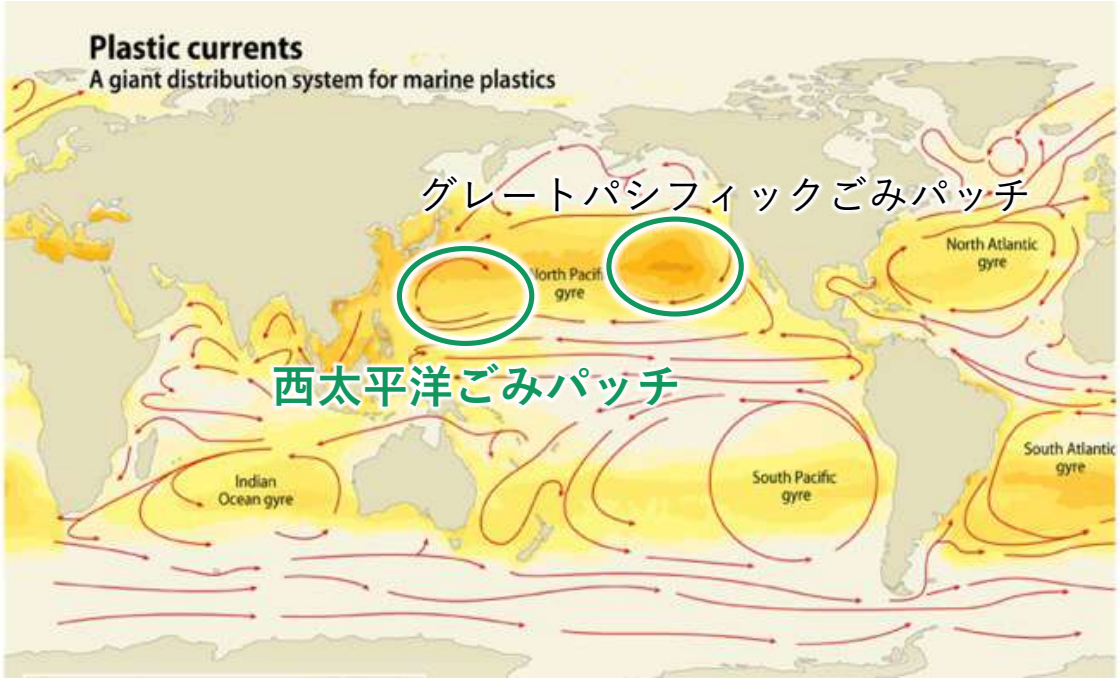
日本のまわりにもプラスチックごみが集まりそう



世界のプラごみの50%はアジアから

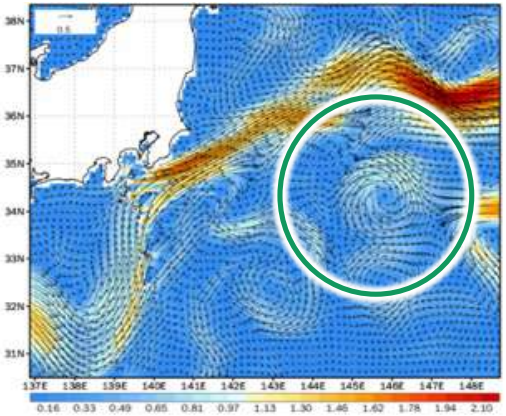


アジアより流入したプラスチックは黒潮に乗って日本へ運ばれる

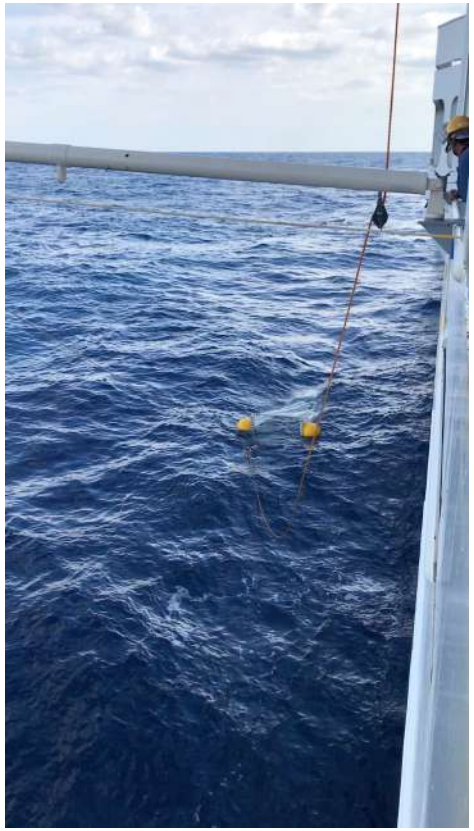


日本の沖にごみが集まる場所「**西太平洋ごみパッチ**」がありそう

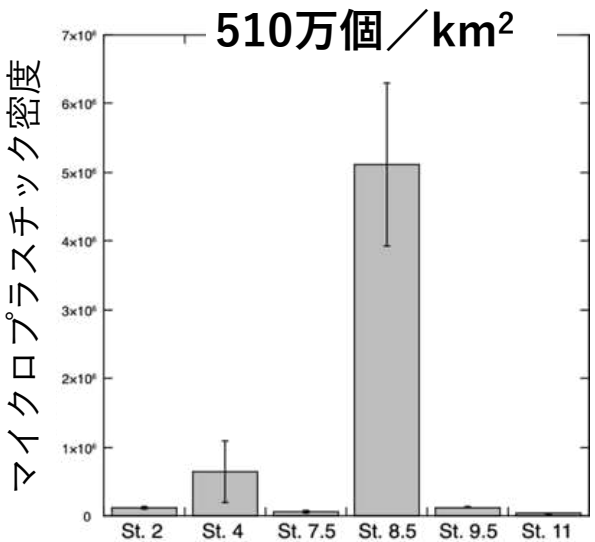
西太平洋ごみパッチ：表層マイクロプラスチックの調査



大きな「うず」がある場所



表層でネットをひく



表層のマイクロプラスチック量

- グレートパシフィックごみパッチのマイクロプラスチック密度より一桁高い
- **西太平洋ごみパッチがある**

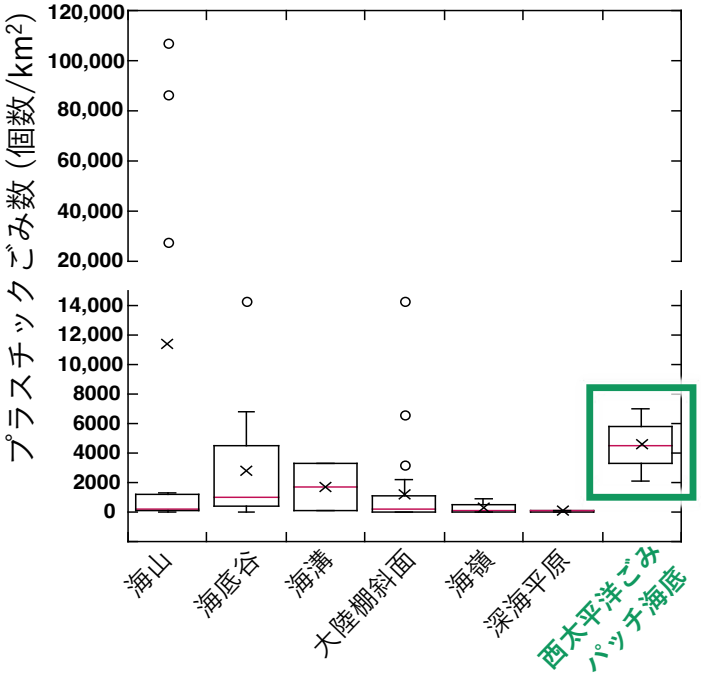
Nakajima et al. (2021)

西太平洋ごみパッチ直下の深海底調査

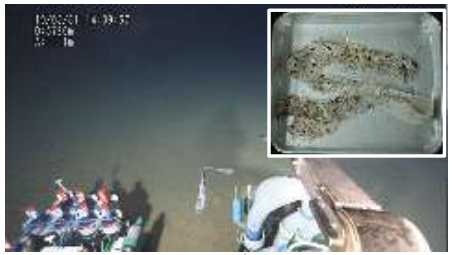
西太平洋ゴミパッチの水深6000 m付近の海底には大量のプラスチックごみ

これまでに知られている深海のプラスチックごみ数よりも**桁違いに多い**

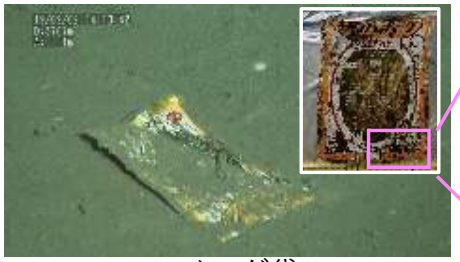
深海底の大きなプラスチック



ポリ袋


ポリ袋

プラスチック風船


ハンバーグ袋

製造年月日は昭和59年9月
（**回収時で35年前**）

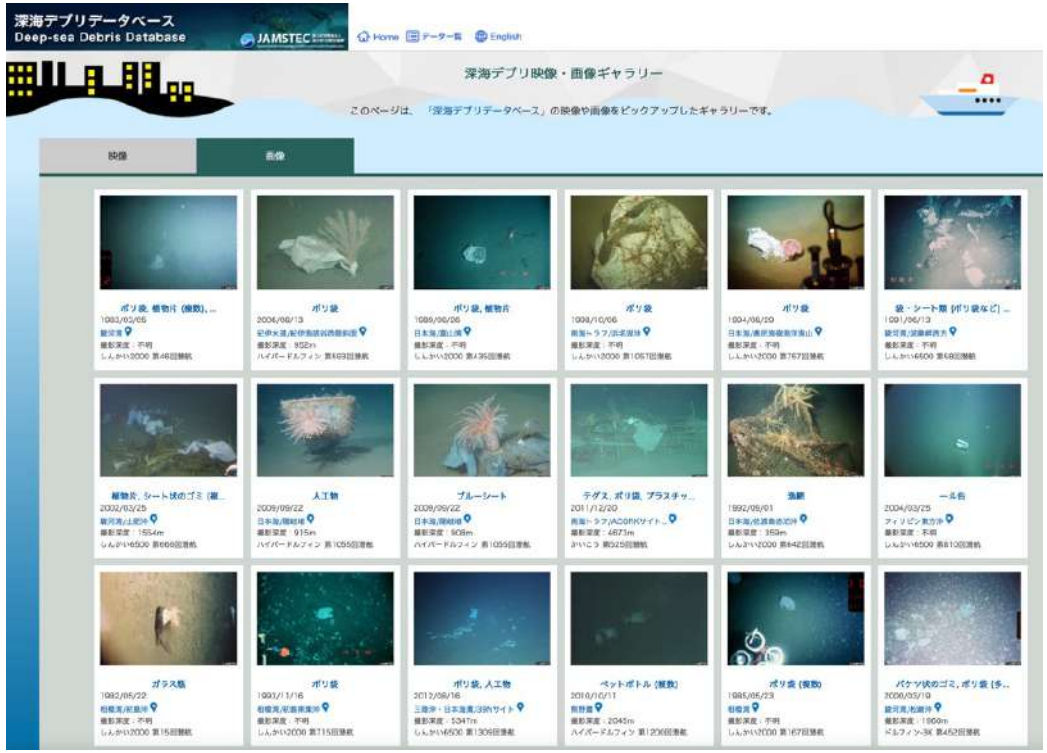
歯みがき粉（**回収時で14-15年前**）

見つかったプラスチックごみの一例。ほとんどが使い捨てプラスチック

Nakajima et al. (2021)

30年以上前から日本の深海にはプラスチックゴミ

1988年、1999年、駿河湾・相模湾の水深
1344～1386m

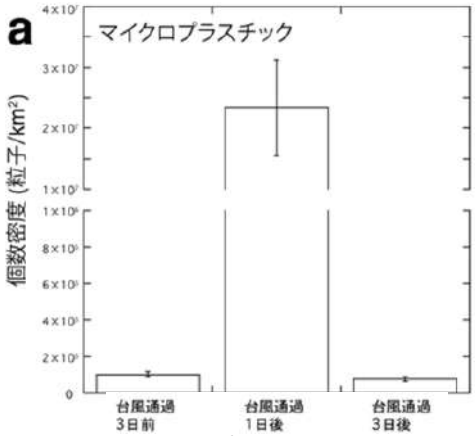


JAMSTEC深海デブリデータベース
http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/dsdebris/j/

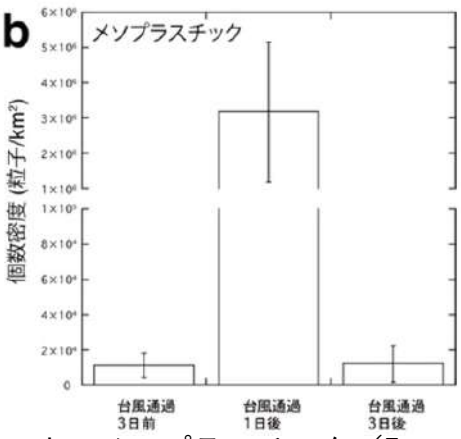
日本周辺・深海がプラスチックのホットスポットになっている可能性大

台風は大量のプラスチックを海に運ぶ

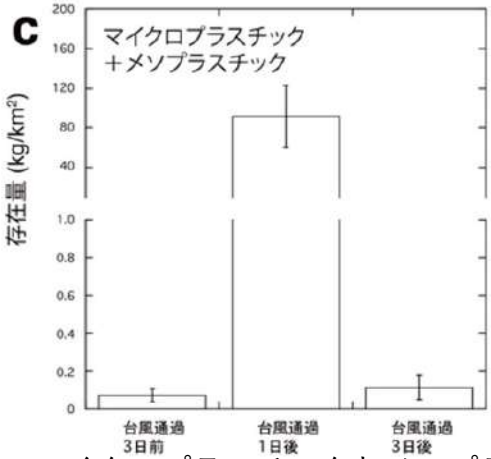
- 2019年に関東地方に上陸した台風15号の通過前後に、相模湾で海表面のプラスチック量を調査
- 通過直後のプラスチック量は、通過前に比べ数量で約250倍、重量で約1,300倍に増加
- 台風によって湾内に流入したプラスチックの多くはただちに湾外（外洋）へ流出
- 海洋プラスチック量の推定には、台風のようなイベントを考慮することも重要



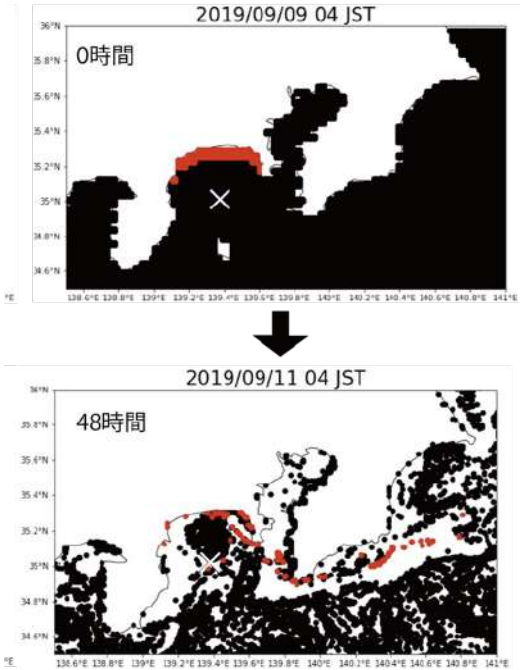
a：マイクロプラスチック密度の変化



b：メソプラスチック（5mm～5cm）密度の変化



c：マイクロプラスチックとメソプラスチックを合わせた存在量の変化



粒子追跡シミュレーション。台風通過直後に配置した仮想プラスチック粒子（赤点）の0時間から48時間後の変化

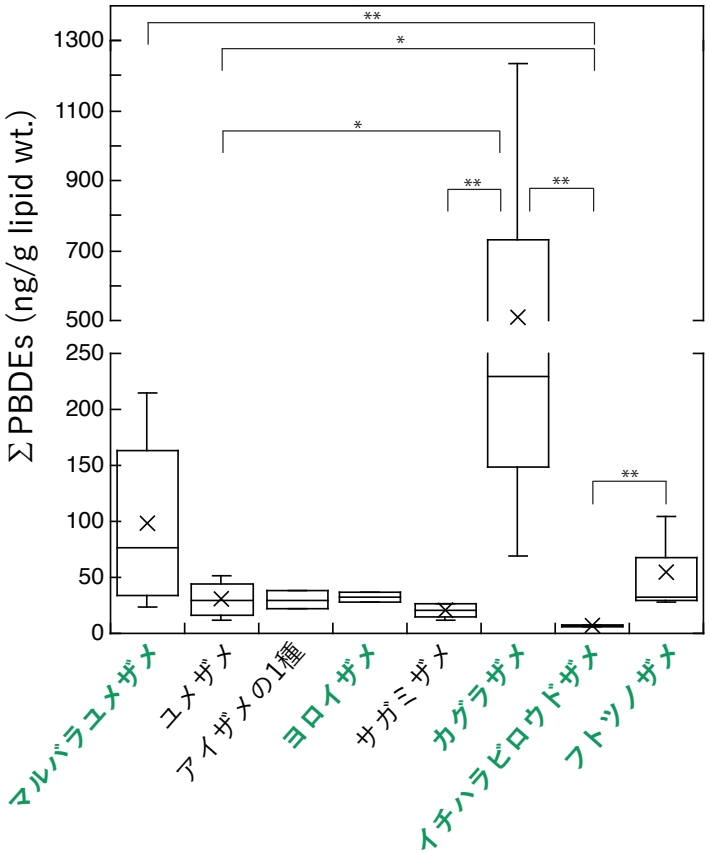
台風通過前と通過1日後の試料。左が台風通過3日前、右が通過1日後。通過前は動物プランクトンが大部分を占めるが、通過後はプラスチックと木屑が大部分を占める

Nakajima et al. (2022)

深海生物への影響

深海のサメ類にもプラスチック汚染は広がっている

プラスチック添加剤PBDEsの分析に用いた
駿河湾（水深300-1100 m）の深海サメ類8種
緑枠の5種は絶滅のおそれがある種



深海サメ8種のPBDEs濃度

- **全てからPBDEsを検出**
- カグラザメ、マルバラユメザメの濃度が高いのは、PBDEsを高濃度に蓄積するイカ類や鯨類の死骸を食べるため
- **IUCNレッドリスト記載種**
  フトツノザメ、イチハラビロウドザメ、マルバラユメザメ、ヨロイザメ、カグラザメへの汚染も確認

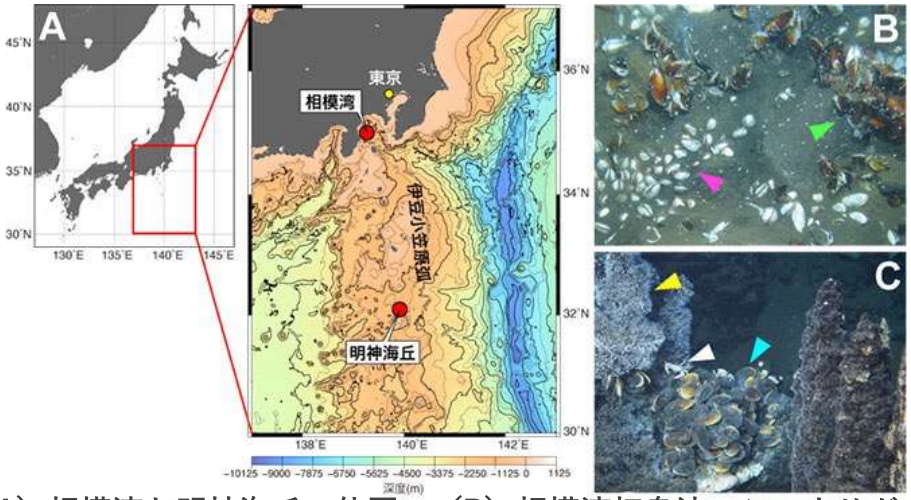
Nakajima et al. (2022)

食べ物を食べない深海の二枚貝にもプラスチック汚染は広がっている

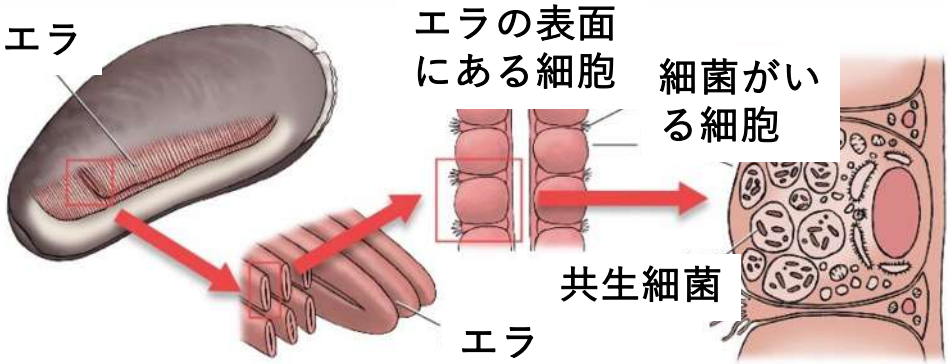
- 深海の化学合成生物群集にいる二枚貝
- 相模湾（水深800-1300 m）と明神海丘（水深1200-1400 m）
- シロウリガイ・シンカイヒバリガイ
- エラの共生バクテリアから栄養もらい普通の二枚貝のように粒子を食べ物にしない
- PCBとPBDEの濃度計測

ヘモグロビン系の赤い血液をもつシロウリガイ

シンカイヒバリガイ



（A）相模湾と明神海丘の位置。（B）相模湾初島沖のシロウリガイ類とシンカイヒバリガイ類の生息状況。シロウリガイ類（ピンク矢頭）は堆積物にもぐり、シンカイヒバリガイ類（緑矢頭）は海底の岩に付着。（C）明神海丘のシンカイヒバリガイ類（水色矢頭）。熱水チムニーの近くにコロニーを形成

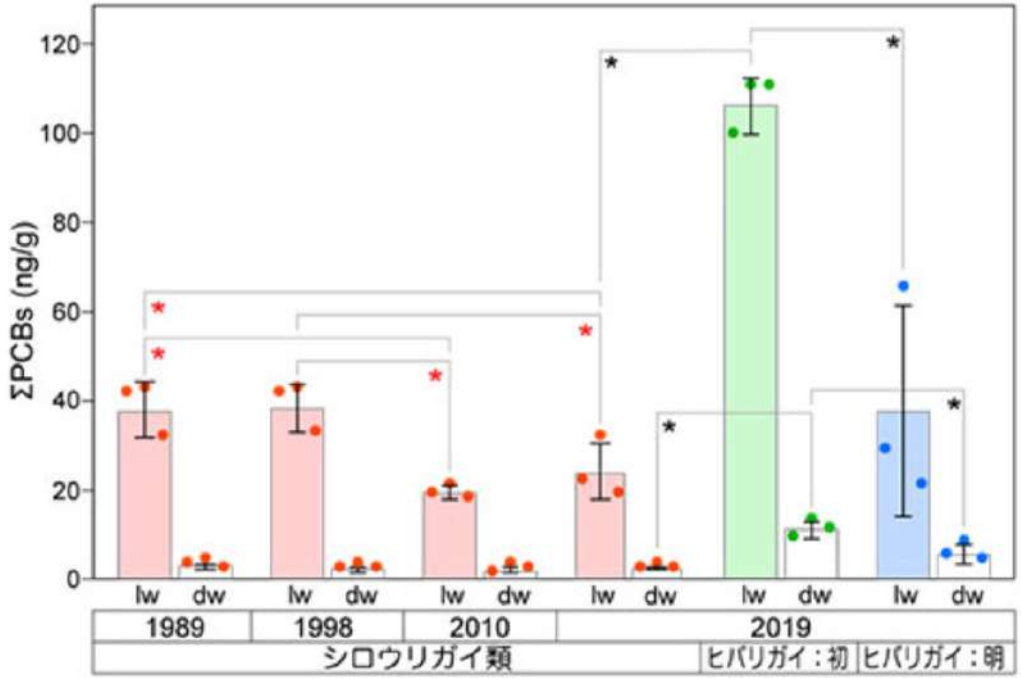


Ikuta et al. 2021

食べ物を食べない深海の二枚貝にもプラスチック汚染は広がっている

シロウリガイ・シンカイヒバリガイからPCBを検出

- シロウリガイ類は、過去30年分の汚染の経年変化を解析
- プラスチック製品の添加剤に使われるPBDEの量は検出限界以下か、ごく僅か
- シロウリガイ類のPCBは経時的に減少傾向。対策の効果か？
- 明神海丘のシンカイヒバリガイ類にも汚染拡大
- プラスチック由来のPCBだけではない可能性もあり



各年代における二枚貝のPCB濃度。赤：シロウリガイ類（相模湾）、緑：シンカイヒバリガイ類（相模湾）、青：シンカイヒバリガイ類（明神海丘）の脂肪重量あたりの濃度。白は乾燥重量あたりの濃度

Ikuta et al. 2021

プラスチックを簡単に正確に測る

マイクロプラスチックを測る

- 大きさ・形・数・重さ・**材質**
  - 浮くものと沈むものがある
  - 添加剤（化学物質）が異なる

プラスチックの密度（中嶋2019より）

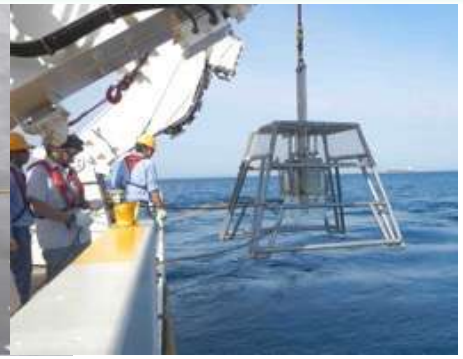
プラスチックの**材質**	密度（g/ml）	用途の例
発泡スチロール	0.02	梱包緩衝材・食品トレー
ポリプロピレン	0.85-0.92	ペットボトルキャップ・食品容器
低密度ポリエチレン	0.89-0.93	レジ袋・農業用フィルム 牛乳パック内側コーティング
ポリスチレン	**1.04-1.08**	CDケース・食品容器
ポリ塩化ビニル	**1.16-1.41**	水道管・壁紙・おもちゃ・合皮
PET	**1.38-1.41**	ペットボトル・食品容器
海水	1.02-1.03	

プラスチック**材質**毎の化学物質
（GESAMP 2015）

化学物質	プラスチック材質
PCBs	ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン
ヘキサクロロベンゼン	ポリエチレン、ポリプロピレン
ビスフェノールA	ポリエチレン、ポリプロピレン
ヘキサブロモシクロドデカン	ポリスチレン
ベンゼンヘキサクロリド	ポリエチレン

マイクロプラスチックは測るのが大変

ネットを使った表層のサンプリング

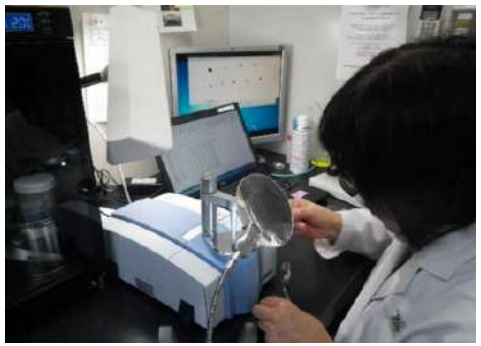


マルチプルコアラを使った海底泥のサンプリング

比重で分ける

薬品でプラ以外を溶かす

顕微鏡で拾い出しサイズ・形計測



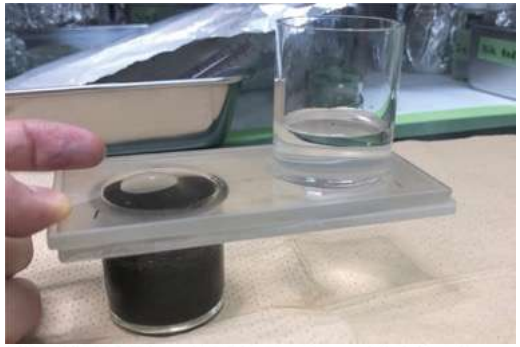
フーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）材質計測

- 異物混入（コンタミネーション）
- サンプルロスト
- まちがい多い
- 分析に時間と手間がかかる（非効率）

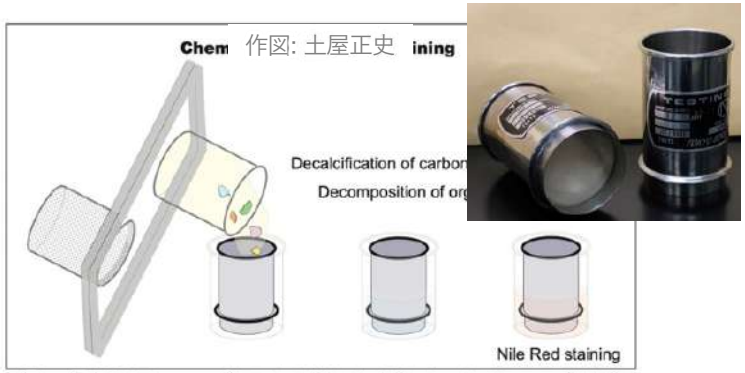
http://www.env.go.jp/en/water/marine_litter/guidelines/guidelines.pdf

新たなマイクロプラスチックの取り方・測り方

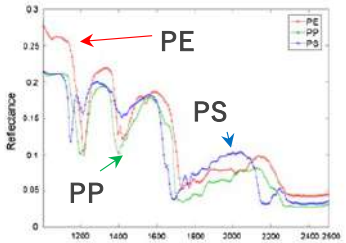
①採取時の混入（コンタミネーション）低減

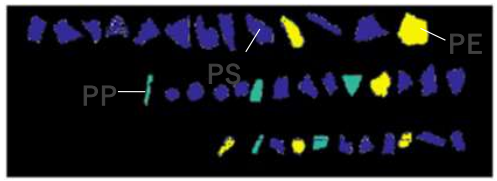


②「比重で分ける」の効率化・サンプルロスト低減 Nakajima et al. 2019b



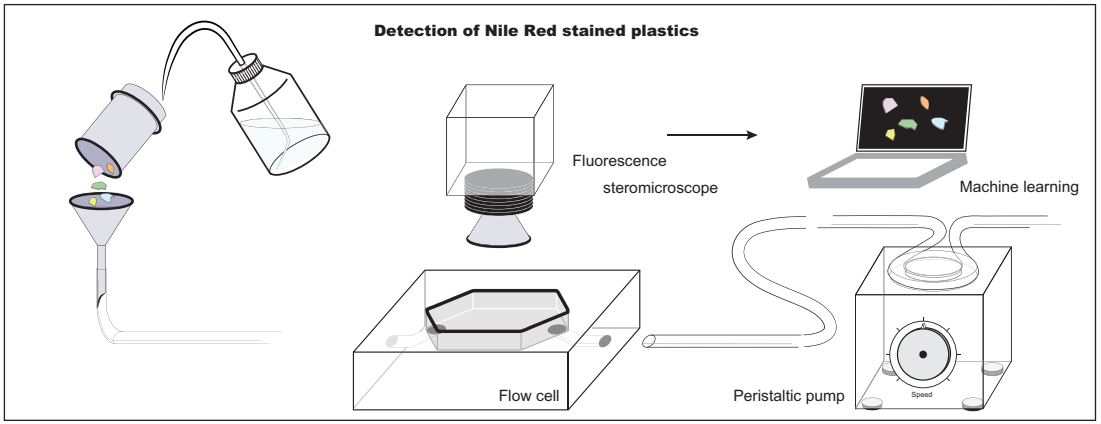
③「薬品でプラ以外を溶かす」の効率化・サンプルロスト低減 Nakajima et al. 2019a





④ハイパースペクトルカメラによる検出: サンプルロスト低減・エラー低減・分析効率化

作図: 土屋正史



染色・蛍光顕微鏡による検出（分析効率化）

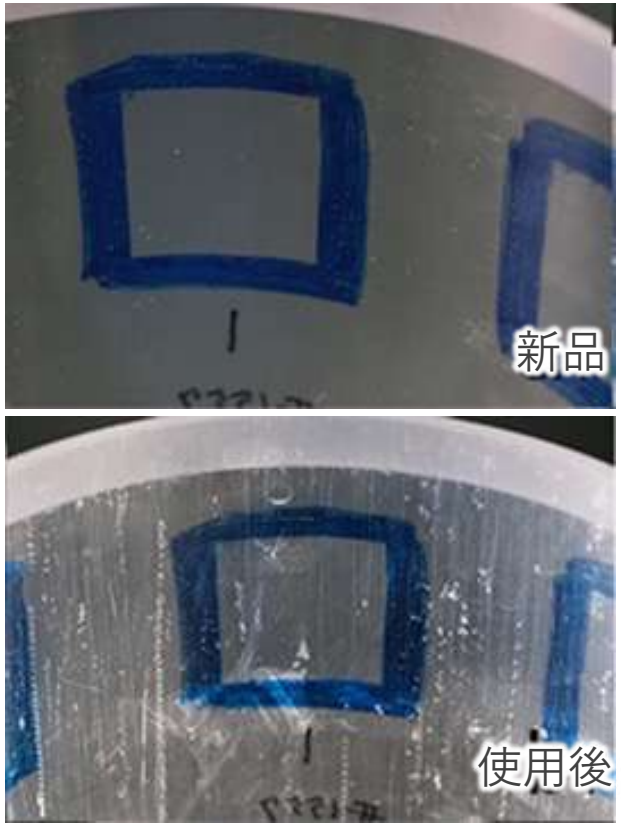
異物混入（コンタミネーション）を防ぐ

アルミ製コアチューブによる試料採取

A: アルミ製コアチューブ

B: 従来使うポリカーボネート製のコアチューブ

Tsuchiya et al. (2019)



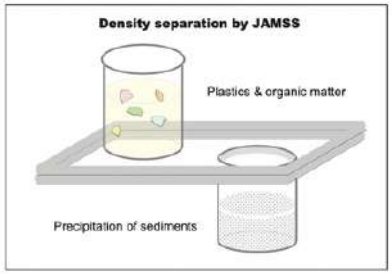
新品と堆積物採取後のポリカーボネート製のコアチューブの内壁面の違い。1回使用で傷が付くため混入の要因となる

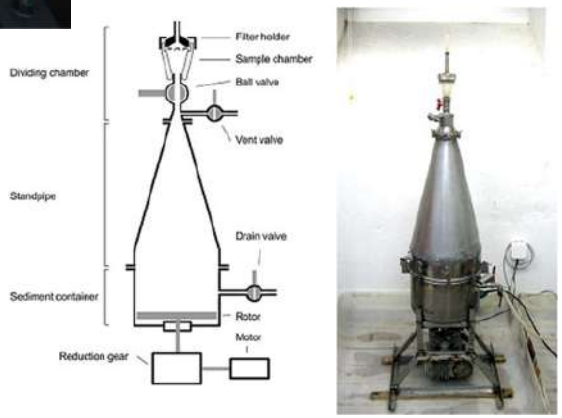
「しんかい6500」でアルミ製コアチューブを用い堆積物を採取

他にも
- ラボでの分析時は化繊着用禁止
- 器具はガラス製/金属製

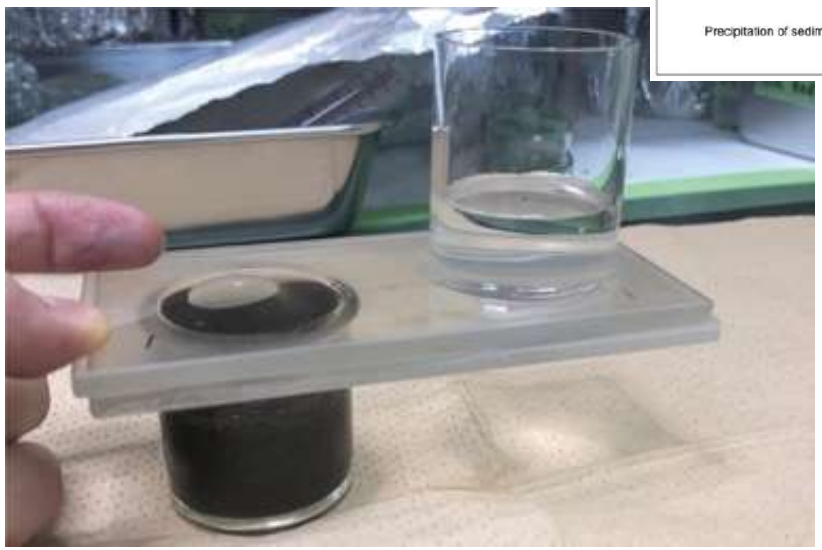
密度分離の効率化・サンプルロスト低減

安価・簡便・再懸濁しない前処理装置





Munich Plastic Sediment Separator (Zobkov and Esiukova 2017)



JAMSTEC microplastic-sediment separator (JAMSS). 上板と下板から構成され、上板は底のない円筒、下板はビーカーを取り付けたようなもの。上下板をスライドさせ処理。

Nakajima et al. (2019a)

問題点

- 再懸濁しやすい
- 処理量が少ない
- 重く分解洗浄が大変
- プラスチック製のため化学分析に不向き

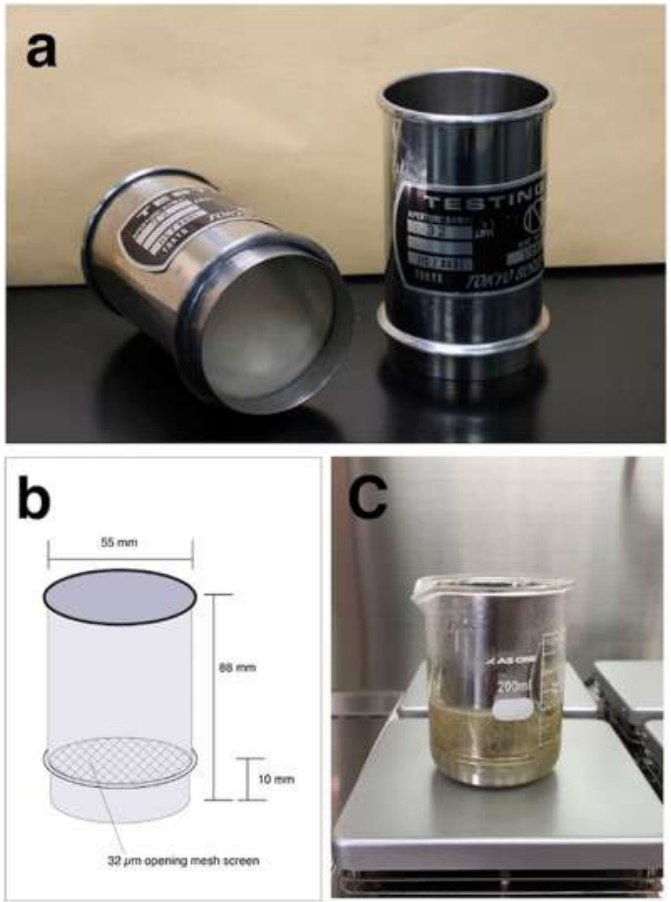
混入物溶解の効率化・サンプルロスト低減

薬品でプラ以外のものを溶解

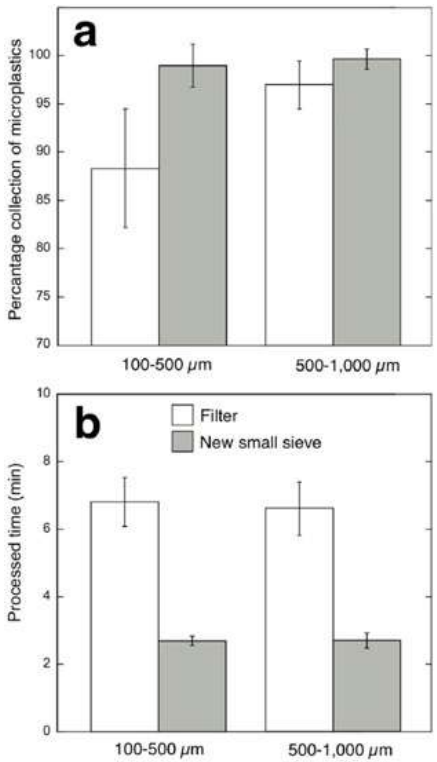
問題点

- 手間かかる
- サンプルロスト

プラ以外のものを溶解させる複数工程を一つの小型フルイで行うことで、回収率の高度化、前処理時間を短縮



ビーカーサイズに最適化したフルイ。(a、b）フルイの外観、（c） 200 ml ビーカーに入れ薬品による前処理



フィルター捕集とフルイの（a）MPの回収率、（b）処理時間の比較。サンプルロスト量が少なくなり、処理時間も短縮。

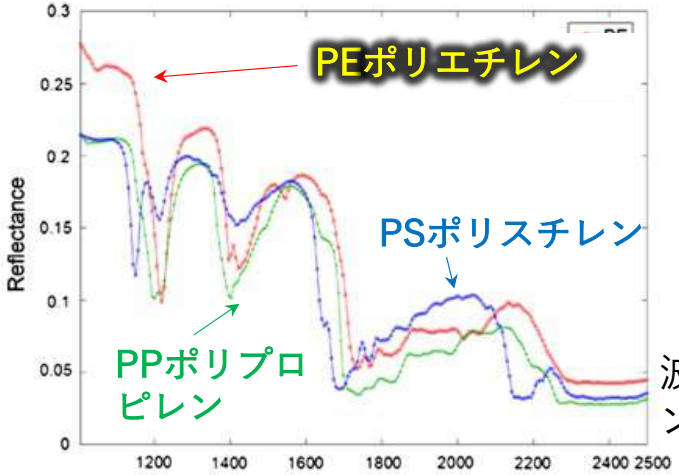
Nakajima et al. (2019b)

ハイパースペクトルカメラ HSC による検出:
サンプルロスト低減・エラー低減・分析効率化

FT-IRの問題点

- 分析に時間と手間がかかる

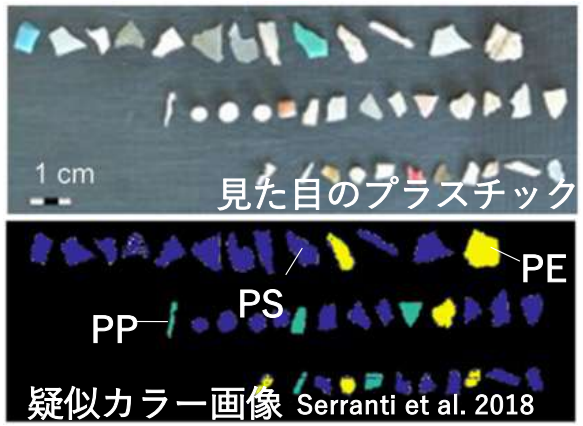
HSCで材質、数、サイズ、形を簡単かつできるだけ自動的に分析する



波長のパターンで材質区別

ハイパースペクトルカメラHSC

- 近赤外/短波長赤外で材質測る
- 小型で少し安くなってきた



材質ごとに数、サイズ、形を測る

ヨットコミュニティとの共同

白石康次郎氏のHPより https://kojiro.jp/news/

日本パラオ親善ヨットレース 2019-2020 年

「トレッキー」

練習帆船「みらいへ」

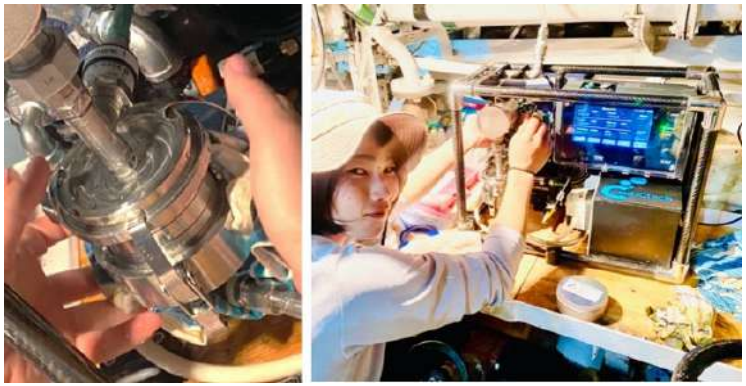
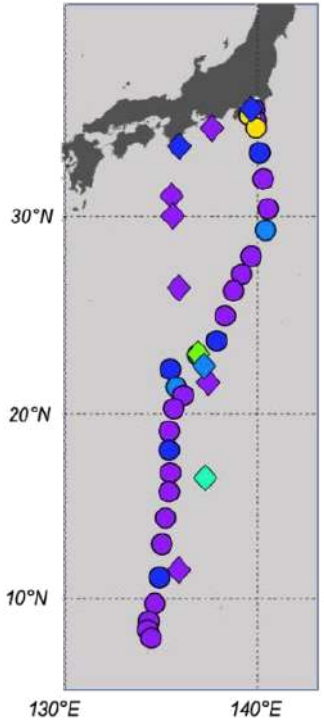
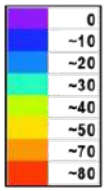


写真: 千葉早苗

マイクロプラスチックサンプラー（SubCTech Co.)。海水中のマイクロプラスチックは300、100、30 μmのフィルター上に捕集





個数/m^3

○「みらいへ」
◇「トレッキー」

作図: 千葉早苗

マイクロプラスチックサンプラーで採集した表層マイクロプラスチックの密度（個数/m^3)分布

お高い！

ヴァンデ・グローブヨットレース 2020-2021年での調査

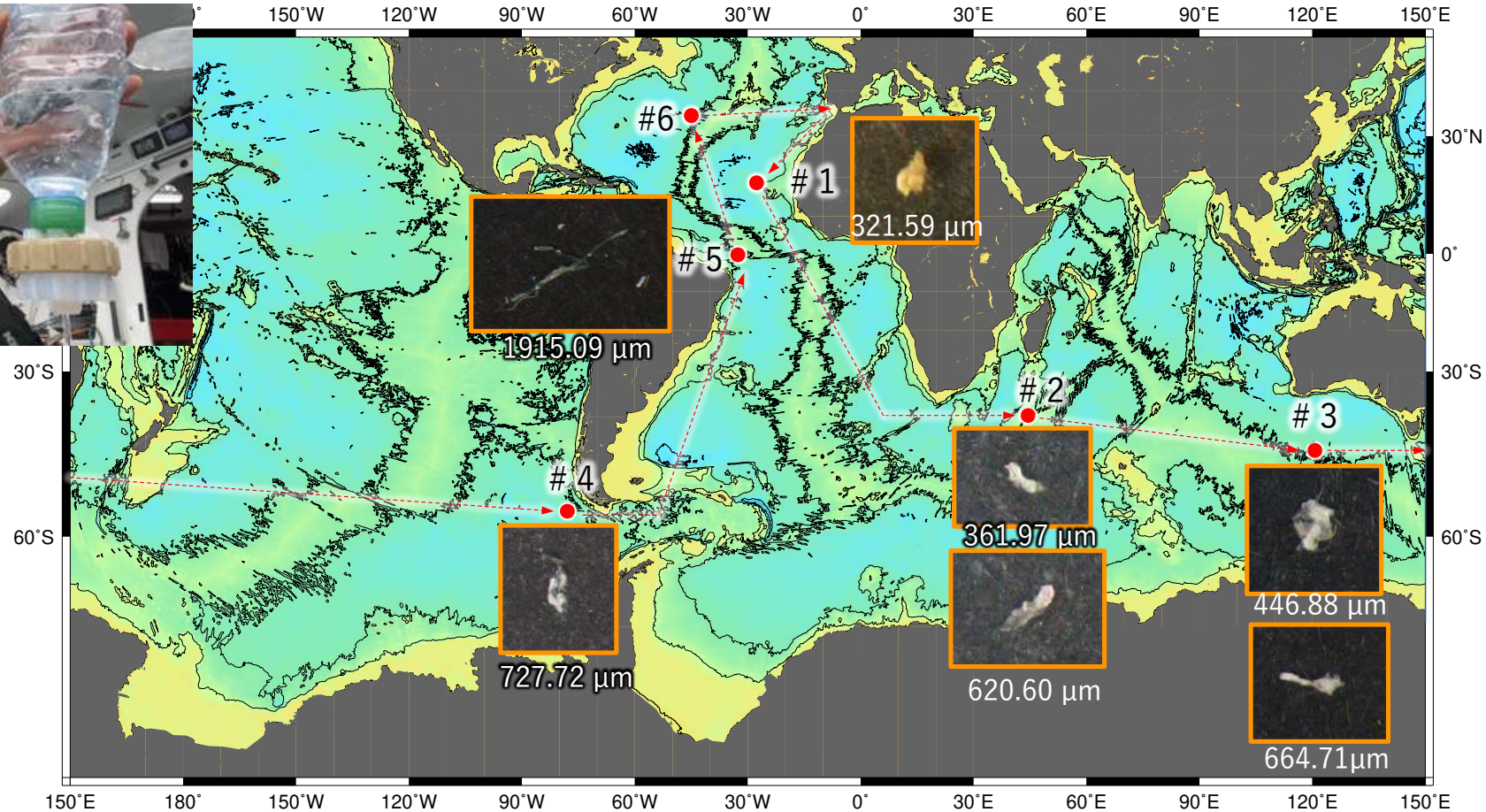
- 白石康次郎チームとの協同
- 世界一過酷なヨットレース
- 無寄港、無補給、単独で3ヶ月

Vendée Globe の航走ルート https://www.yachtingworld.com/races/how-to-follow-the-vendee-globe-2020-128321

白石康次郎氏のHPより https://kojiro.jp/news/

ヴァンデ・グローブヨットレース 2020-2021年での調査

安く、簡単な採集方法



採集されたマイクロプラスチック

海洋プラスチック研究から教えられたこと

- 日本のまわりはプラスチック多い
- 深海が行き着く先になる
- 深海生物へも影響

- 地球温暖化と同じ
  - 便利さの副作用
- 将来に向けた取り組みが大切！

- 科学技術も重要な役割

EVF. Environmental Veterans Firm

環境ベテランズファーム Webセミナー

Q & A

EVF. Environmental Veterans Firm

環境ベテランズファーム Webセミナー

以上でEVF Webセミナーを終了いたします

このセミナーにご質問・ご意見のある方はEVFのＨＰから質問内容・ご意見を送信お願いします。
今月末までに寄せられたご質問は講師に取りまとめてお取次ぎし、後日、セミナー報告の中の主要な質疑応答に集約してHPに掲載いたします。