Pick Up JAMSTEC

「かいれい」最後の出航。2022年2月4日、JAMSTEC横須賀本部岸壁。

24年間ありがとう！深海調査研究船「かいれい」

深海調査研究船「かいれい」が、2022年2月1日をもって運用を停止した。「かいれい」は、11,000m級無人探査機「かいこう」の支援母船として1997年に就航。1998年には、地球で最も深いマリアナ海溝チャレンジャー海淵（水深約10,900m）にて世界で初めて底棲生物の採取に成功した。また、マルチチャンネル反射法地震探査システムを搭載し、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の震源域にて海底地形の調査を行い地震前後の海底地形の変化の確認に成功。我が国の大深度深海調査と地殻構造探査の中心的役割を担い、24年間にわたり世界の海で活躍してきた「かいれい」は、2月4日、見送りに集まった人々からの「ありがとう」の声に汽笛で応え、JAMSTEC横須賀本部の岸壁を離れていった。

賛助会（寄付）会員名簿　2022年2月15日現在

国立研究開発法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。（アイウエオ順）

株式会社IHI
株式会社IHI原動機
株式会社アイケイエス
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社天野回漕店
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
いであ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
一般社団法人インダストリスパコン推進センター
株式会社INPEX
潮冷熱株式会社
株式会社宇津木計器
海のみらい静岡友の会
株式会社エス・イー・エイ
株式会社エスイーシー
株式会社SGKシステム技研
株式会社エヌエルシー
株式会社NTTデータCCS
株式会社江ノ島マリンコーポレーション
MOLマリン＆エンジニアリング株式会社
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
岡本硝子株式会社
株式会社オキシーテック
沖電気工業株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
海洋電子株式会社
株式会社化学分析コンサルタント
鹿島建設株式会社
株式会社カネカ
川崎近海汽船株式会社
川崎重工業株式会社
川崎地質株式会社
株式会社KANSOテクノス
株式会社キュービック・アイ
京セラ株式会社
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
共立管財株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんでん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
広和株式会社
株式会社COAST
国際ビルサービス株式会社
コスモス商事株式会社
株式会社コノエ
五洋建設株式会社
株式会社コンポン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー
株式会社JSP
JX石油開発株式会社
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JVCケンウッド
静岡市
シチズン時計株式会社
株式会社SIX VOICE
シナネン株式会社
清水建設株式会社
清水港振興株式会社
シモダフランジ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
鈴与株式会社
セイコーウオッチ株式会社
株式会社清友農材センター
株式会社関ケ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社
株式会社ソルトン
損害保険ジャパン株式会社
ダイキンMRエンジニアリング
大成建設株式会社
ダイハツディーゼル株式会社
大陽日酸株式会社
有限会社田浦中央食品
株式会社地球科学総合研究所
中国塗料株式会社
中部電力株式会社
株式会社鶴見精機
株式会社帝国機械製作所
株式会社テザック
寺崎電気産業株式会社
株式会社寺本鉄工所
東亜建設工業株式会社
東海交通株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社東京チタニウム
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクニカ
株式会社東和製作所
トーホーテック株式会社
トピー工業株式会社
株式会社NAT
西芝電機株式会社
株式会社ニシヤマ
日油技研工業株式会社
株式会社日産電機製作所
ニッスイマリン工業株式会社
日鉄エンジニアリング株式会社
日東電工株式会社
株式会社日放電子
株式会社日本インテリジェントビジネス
日本エヌ・ユー・エス株式会社
日本海工株式会社
日本海洋株式会社
株式会社日本海洋科学
日本海洋計画株式会社
日本海洋事業株式会社
一般社団法人日本ガス協会
日本軽金属株式会社
日本サルヴェージ株式会社
日本水産株式会社
日本電気株式会社
日本ペイントマリン株式会社
日本マントル・クエスト株式会社
日本無線株式会社
日本郵船株式会社
野村建設株式会社
株式会社ハイドロシステム開発
濱中製鎖工業株式会社
東日本タグボート株式会社
日立造船株式会社
株式会社風力エネルギー研究所
深田サルベージ建設株式会社
株式会社フグロジャパン
株式会社フジクラ
富士ソフト株式会社
富士通株式会社
富士電機株式会社
古河機械金属株式会社
古河電気工業株式会社
古野電気株式会社
松本徽章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社マルトー
三鈴マシナリー株式会社
株式会社三井E&Sマシナリー
三井住友海上火災保険株式会社
三菱重工業株式会社
三菱重工マリタイムシステムズ株式会社
三菱スペース・ソフトウエア株式会社
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機特機システム株式会社
株式会社森京介建築事務所
ヤンマーパワーテクノロジー株式会社
株式会社ユー・エス・イー
郵船商事株式会社
横河電機株式会社
株式会社落雷抑制システムズ
株式会社ラジアン
若築建設株式会社

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

リサイクル適性Ⓐ この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。
VEGETABLE OIL INK
R70 古紙パルプ配合率60%再生紙を使用

BlueEarth 169号　2022年3月発行（通巻169号）
編集・発行　国立研究開発法人海洋研究開発機構　海洋科学技術戦略部　広報課
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
制作・編集協力　有限会社フォトンクリエイト
デザイン　株式会社デザインコンビビア

ISSN 1346-0811
2022年3月発行
（通巻169号）

BlueEarth 169

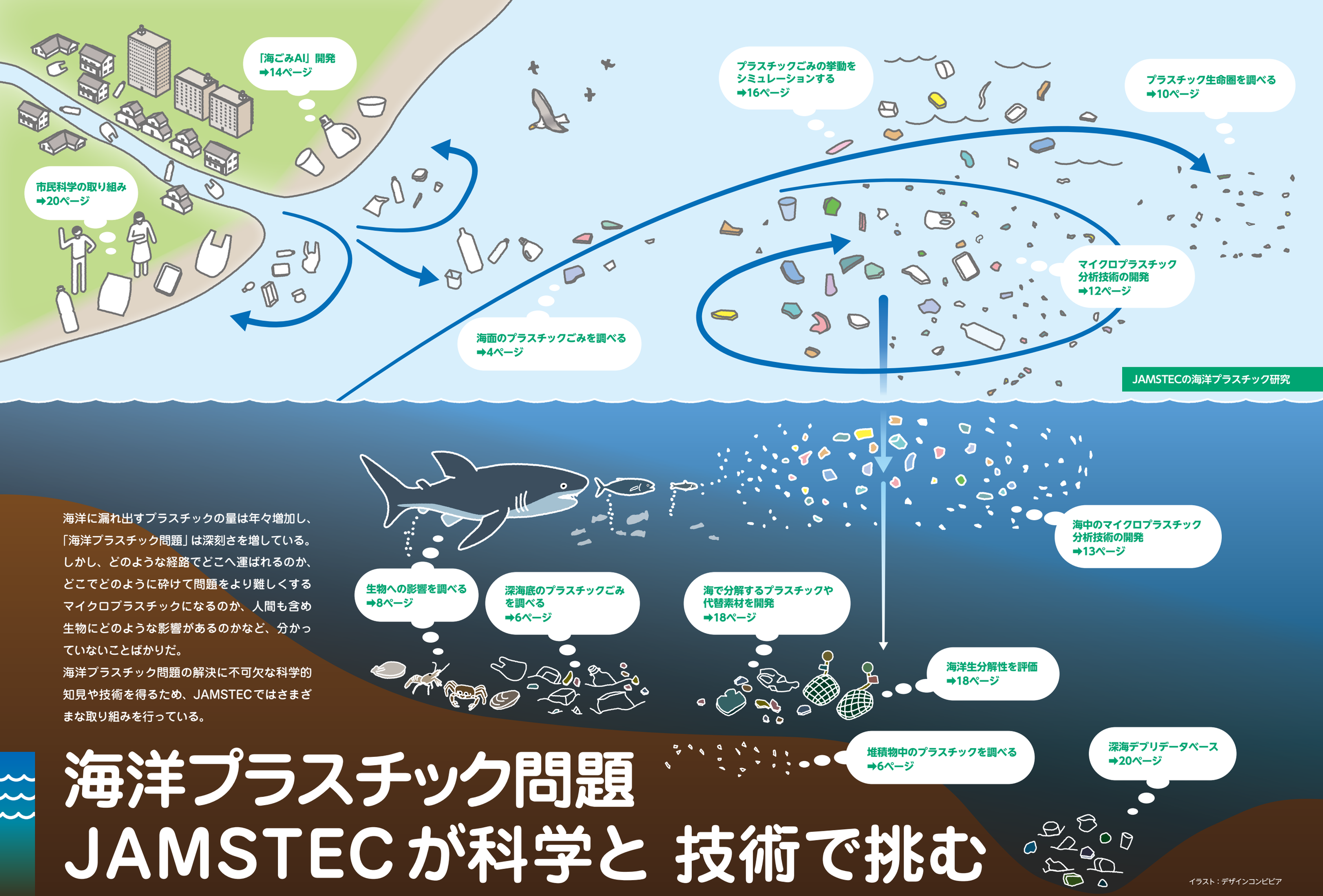
海と地球の情報誌

JAMSTEC

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

特集

海洋プラスチック問題 JAMSTECが科学と技術で挑む



海洋に漏れ出すプラスチックの量は年々増加し、「海洋プラスチック問題」は深刻さを増している。しかし、どのような経路でどこへ運ばれるのか、どこでどのように砕けて問題をより難しくするマイクロプラスチックになるのか、人間も含め生物にどのような影響があるのかなど、分かっていないことばかりだ。
海洋プラスチック問題の解決に不可欠な科学的知見や技術を得るため、JAMSTECではさまざまな取り組みを行っている。

海洋プラスチック問題 JAMSTECが科学と 技術で挑む

イラスト：デザインコンビビア

何が問題か？

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
藤倉克則 センター長

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー

漏れ出たごみは海へ

「調査航海をしていると、波間に漂うサンダルやペットボトルなどを見かけることがあります。陸から遠く離れた海にプラスチックごみがたくさん浮いているというのは、衝撃です」。そう話すのは、海洋生物環境影響研究センター海洋プラスチック動態研究グループのグループリーダー、中嶋亮太さんだ。しかし、自分はプラスチックを分別して捨てている、海に捨てたことはない、という人が大多数だろう。ではなぜ、海にたくさんのプラスチックごみが浮いているのだろうか。

「背景にはプラスチックの大量生産と大量廃棄がある」と中嶋さんは指摘する。1950年ごろからプラスチックの大量生産が始まり、最近では全世界の生産量は年間４億トンにも達している。これは東京スカイツリー約１万個の重さに相当する。その半分近くが飲料ボトルやレジ袋、梱包材など使い捨てプラスチックであり、生産量の増加に伴って廃棄量も増え続けている。もちろん医療器具など使い捨てにしなければいけないものもある。

廃棄されたプラスチックの行方については、リサイクルはわずか9%で、焼却が12%、残りの79%が埋め立て地もしくは自然環境、という報告がある。埋め立て地といっても管理が不適切な場合、自然環境への廃棄と変わらない。中嶋さんはそうした状況を「環境に漏れ出る」と表現する。「環境に漏れ出たプラスチックが最終的に行き着く場所、それが海なのです」

プラスチックはなくならない

海洋プラスチック問題という言葉は見聞きするが、何が問題なのか実はよく分からない、という人もいるだろう。中嶋さんは「環境に漏れ出すごみが紙や天然繊維の布だったら、まだいいのです。いずれ微生物によって分解されてなくなりますから。しかしプラスチックは分解されず、なくならない。それが、海洋プラスチック問題の本質です」と説明する。

プラスチックは、熱や圧力を加えることで成形加工ができる高分子化合物の総称である。軽くて丈夫なプラスチックは、生活に欠かせないものになっている。しかし、大部分のプラスチックが石油を原料としており、それらは微生物によって分解されないのだ。

大量に海に漏れ続け、しかもなくならないため、海に存在するプラスチックの量は増加の一途をたどり、さまざまな問題を引き起こすようになった。釣り糸や漁網に絡まった海鳥やウミガメ、クジラの胃から出てきた大量のポリ袋の映像を見たことがあるだろう。プラスチックごみが船舶のスクリューを破損したり、海岸に漂着して景観を損なったりして、漁業や海運業や観光業など経済にも影響が出始めている。

マイクロプラスチックの問題

「海洋プラスチック問題が特に最近注目されるようになったのは、マイクロプラスチックが生態系に深刻な影響を与える可能性が指摘されるようになったことも大きい」と中嶋さん。

マイクロプラスチックとは、大きさが5mm以下の微細なものをいう。ベランダで長く使っていたプラスチック製の洗濯ばさみがパキンと割れてしまった経験があるだろう。プラスチックは紫外線や熱によって劣化してもろくなり、力がかかると砕ける。プラスチックは海岸に打ち上げられたり海面を漂ったりしている間に劣化して砕け、マイクロプラスチックになる。洗顔料や歯磨き剤に含まれているマイクロビーズや、香料や農薬などを入れるマイクロカプセルのように、もともと微細なものもある。マイクロプラスチックは小さいため、さまざまな生物が食べてしまう。すると、プラスチックに含有・付着している有害な化学物質などの影響を受け、その影響は食物連鎖によって広がり、人間にも及ぶ可能性がある。

JAMSTECの海洋プラスチック研究

海洋プラスチック問題が注目される一方で、プラスチックごみの挙動や生物への影響に関するデータは不足していて分かっていないことが多い。海洋生物環境影響研究センターのセンター長である藤倉克則さんは、「日本は使い捨てプラスチックの廃棄量が世界2位で、沖には東アジア・東南アジア諸国から漏れ出た大量のプラスチックごみを運んでくる黒潮が流れています。そういう特殊な立場・位置にある日本で海洋研究開発を行っているJAMSTECにとって、海洋プラスチック問題は今取り組まなければいけない重要な課題です」と語る。そうして2019年、海洋プラスチック動態研究グループが発足した。

「実は、海洋プラスチック研究に関して、JAMSTECは日本の中でも後発で、世界からは大きく出遅れています。しかし研究船や有人潜水調査船、無人探査機、スーパーコンピュータ『地球シミュレータ』などの設備を持ち、海や生物に関する知見と経験と技術を有しているJAMSTECだからこそできることがあります」と藤倉さん。

次ページからJAMSTECの海洋プラスチック研究を紹介していこう。

「公園でお弁当を食べているとき、風が吹いてポリ袋が飛んでいってしまった経験はありませんか？ 注意をしていても、プラスチックをたくさん使うほど、環境中に漏れ出すプラスチックは増えてしまいます。そのプラスチックは最終的に海に行き着きます」と中嶋さん。
©Marwood Jenkins/Getty Images

マイクロプラスチック。5mm以下のプラスチックをいう。

どこへ行く？

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー
土屋正史 グループリーダー代理

渦の中へ

「プラスチックの多くは軽いため、いったん海に漏れ出すと海流に乗って遠くへ運ばれていきます。マイクロプラスチックは、大波が立つと宙を舞い、風に乗って遠くへ飛ばされることもあります。プラスチックごみは、海だけでなく大気も含めた地球規模の問題なのです」と中嶋亮太さんは言う。

プラスチックごみは海に均一に散らばっているのではなく、パッチ状に分布しており、そのような場所を「ごみパッチ」と呼ぶ。大洋にはぐるりと循環する海流（環流）があり、外洋に流れ出たプラスチックごみは環流につかまってその内側に集まっていき、巨大ごみパッチが形成される。北太平洋環流の内側、アメリカ西海岸の沖合にある巨大太平洋（グレートパシフィック）ごみパッチは、世界最大のごみ集積所だ。海には小さなスケールの渦もたくさんあり、そこにもプラスチックごみは集まる。「どこに、どういうプラスチックごみが、どのくらいあるのか。まずは分布を把握することが重要」と中嶋さんは指摘する。

ごみ集積所を調べる

「房総半島沖に黒潮続流再循環域と呼ばれる海流の循環域があります。私たちは、2019年からその海域で海洋プラスチックの調査を行っています」。そう語るのは、海洋プラスチック動態研究グループのグループリーダー代理を務める土屋正史さんだ。

日本列島の太平洋側を北上してきた黒潮は、房総半島沖から東に向きを変えて流れていく。房総半島以東の流れを黒潮続流と呼ぶ。東アジア・東南アジア諸国からは大量のプラスチックごみが海に漏れ出しており、その一部は黒潮に乗って北上してくる。黒潮続流再循環域は、そうしたプラスチックごみが集まる場所で、西太平洋ごみパッチと呼ばれている。

調査航海では目視や採取によってプラスチックごみの種類や大きさや量を調べる。「調査地点の渦の状態や風向・風速なども詳細に記録し、海流の専門家やシミュレーションの専門家も加わって海の流れとプラスチックごみの分布の関係を解析します。分布を知るだけでなく、どこからどのように運ばれ、どのように集まるのか、そのメカニズムを明らかにしたいのです。それが分かれば、プラスチックごみの挙動を予測できるようになり、対策を立てる際の重要な情報になります」と土屋さんは言う。「海洋プラスチック研究には、さまざまな分野・対象の知見が必要です。さまざまな専門家が近くにいて緊密に連携しやすいというのは、JAMSTECの大きな特徴でしょう」

2019年9月には台風の通過前後に相模湾で調査を実施。通過直後の湾内のプラスチック量は、通過前に比べ数量換算で約250倍、重量換算で約1,300倍に増加していた。3日後には通過前の量に戻っていた。シミュレーションの結果、台風によって湾内に流入したプラスチックの大半は直ちに湾の外へ流出することが分かった。台風通過後に特に増加したのは発泡ポリスチレン粒子で、強風や波浪などを受けて野外に置かれていた発泡スチロール容器が飛ばされ砕け湾内へ流入したと考えられる。台風のようなイベントによって海に漏れ出すプラスチックについても把握し、対策を取る必要がある。

収支が合わない

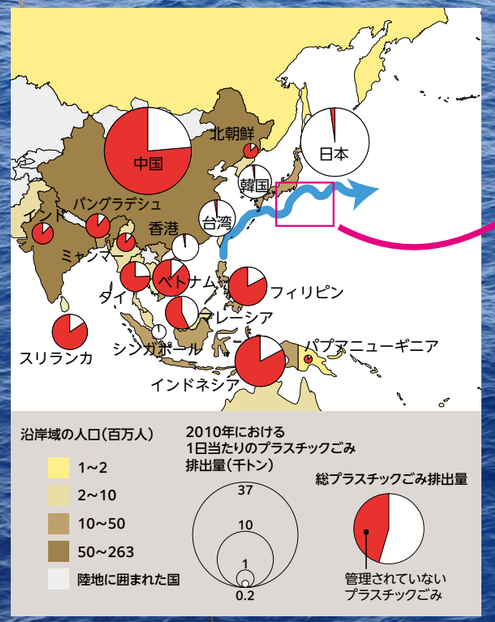
海洋プラスチックの調査が世界中で行われている。しかし調査の進展が、逆に謎を生んだ。「海に漏れ出したプラスチックの量に比べて、海面に浮かんでいる量が少な過ぎるのです」と中嶋さん。

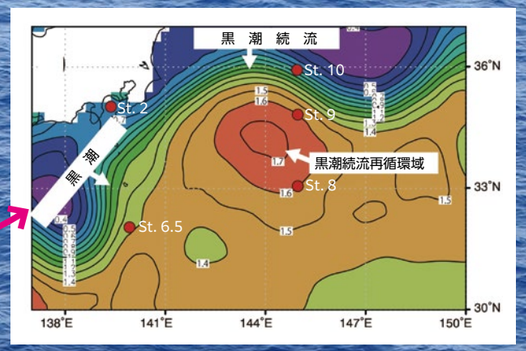
プラスチックの大量生産が始まった1950年代以降、海に漏れ出したプラスチックは少なく見積もっても1億5000万トンに上る。そのうち比重が海水より小さいものの割合、海岸にとどまる割合などを踏まえて計算すると、およそ4500万トンのプラスチックが広い外洋の海面に浮かんでいるはずだ。ところが、調査結果をもとに海面に浮かんでいる量を求めると、数十万トンにしかならない。4500万トンの1%にも満たない。プラスチックは分解されないので、なくなることはない。99%のプラスチックが海面から姿を消し、行方不明になっているのだ。これは「ミッシングプラスチック問題」と呼ばれている。

プラスチックはどこに行ったのだろうか。マイクロプラスチックの採取に使うニューストンネットの網目のサイズは300μmで、それより小さいものは擦り抜けてしまう。300μmより微細化したプラスチックが大量にあるのかもしれない。あるいは、ほとんど調査が行われていない海中にたくさんのプラスチックが漂っているのかもしれない。

いくつかの可能性があるが、中嶋さんは「行方不明のプラスチックの大部分が深海底に沈んでいると考えています」と言う。黒潮続流再循環域に集まったプラスチックごみの挙動をシミュレーションしたところ、ほぼ真下に沈んでいくことを示していた。このシミュレーションでは、アルゴフロートという観測装置で得られた海中の流れのデータも使っている。プラスチックごみの挙動について、表層のシミュレーションはたくさんあるが、表層から海中まで扱ったものは少ない。

中嶋さんたちは、行方不明のプラスチックを探しに、黒潮続流再循環域の直下の深海底へ向かった。





左図はアジア諸国のプラスチックごみの排出量と黒潮。東アジア・東南アジア諸国から環境中に漏れ出したプラスチックごみの一部は、黒潮に乗って日本近海を北上し、黒潮続流再循環域にたまる（右図、色の濃淡は2018年の平均海面高度［m］を示す。赤丸は深海底の調査地点）。

左図出典：Marine Litter Vital Graphics, UNEP and GRID-Arendal (2016), p.10 "Plastic waste produced and mismanaged"を改変。

ニューストンネットを用いたマイクロプラスチック採取の様子

行方不明のプラスチックを探しに深海底へ

▲解説動画

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー

あっちにも、こっちにも

「『しんかい6500』が深海底を進んでいると突然、白いぼわっとしたものが現れて、びっくりしました。よく見ると、レジ袋なんです。少し進むと、またプラスチックごみが落ちている。あっちにも、こっちにも！ 房総半島から500kmも離れた、水深6,000mの深海底ですよ！」。中嶋亮太さんは、驚きを隠せない様子で話す。

2019年9月、有人潜水調査船「しんかい6500」によって房総半島沖にある黒潮続流再循環域の直下の深海底においてプラスチックごみの実態調査が実施された。潜航調査では、さまざまなごみが大量に確認され、その8割以上がポリ袋や食品包装などの使い捨てプラスチックだった。

「私が潜航したときには、昭和59年（1984年）製造と記された食品包装が見つかりました。回収時点で35年も前のものなのに、ほとんど傷もなく、印刷も鮮明でした。それを見て、深海に沈んだプラスチックは、100年は余裕でそのままの形をとどめているだろうと思いました」と中嶋さん。

行方不明のプラスチックを発見?

目視による観察と映像をもとにプラスチックごみの数を算出したところ、1km^{2}当たり平均4,561個となった。「これは従来の認識を覆す驚きの数」と中嶋さんは言う。

ごみは、海溝や海底谷などくぼ地にたまりやすく、勾配が緩やかな深海平原にはほとんどないと考えられていた。黒潮続流再循環域の直下は、深海平原である。1km^{2}当たり平均4,561個というごみの数は、過去の調査で報告されている深海平原における数と比べて2桁も高く、海溝や海底谷における平均値よりも高い。

この潜航調査によって、黒潮続流再循環域に集まったプラスチックごみの一部は沈降し、直下の深海底にごみだまりを形成していることが明らかになった。また、行方不明のプラスチックの一部は深海底の8割を占める深海平原に沈んでいることを示唆する結果である。

この潜航調査では、深海底の堆積物の採取も行っている。堆積物中に含まれるマイクロプラスチックの数や材質を分析中だ。そこからも行方不明になっているプラスチックの手掛かりが得られると期待される。

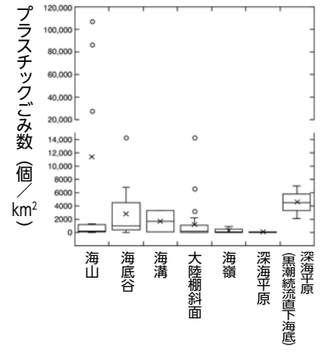
日本近海にはもう1つ、海流が渦を巻いているところがある。四国沖の黒潮再循環域だ。そこにもプラスチックごみが集積し、その直下の深海底には巨大なごみだまりが形成されていると考えられる。中嶋さんたちは、次は四国沖の黒潮再循環域へ行方不明のプラスチックを探しに行く。

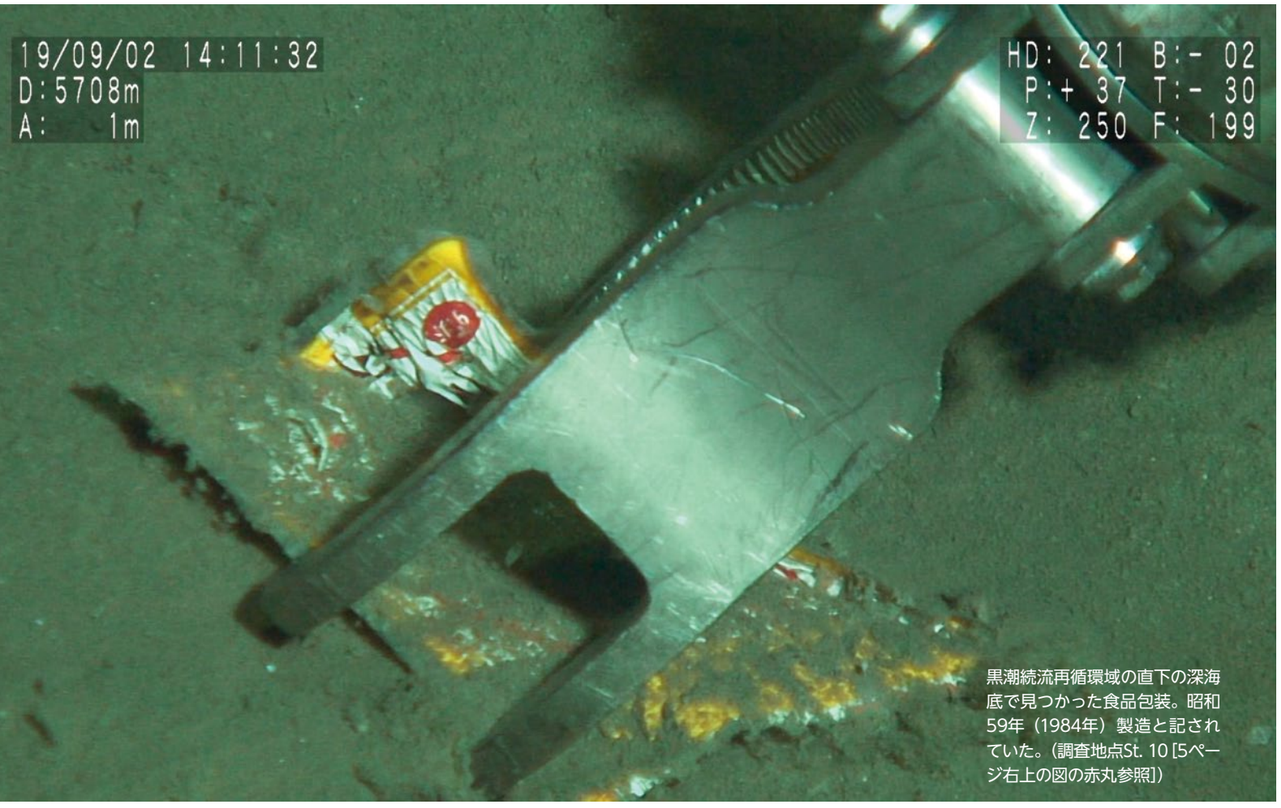
軽いプラスチックがなぜ沈む?

プラスチックは軽い。それがなぜ沈むのか。そう疑問に思った人もいるだろう。確かに、ポリエチレンやポリプロピレンのように海水より比重が小さいプラスチックは沈まない。しかし、それらが海面を漂っている間に生物が付着する。その結果、重くなり、沈んでいくのだ。

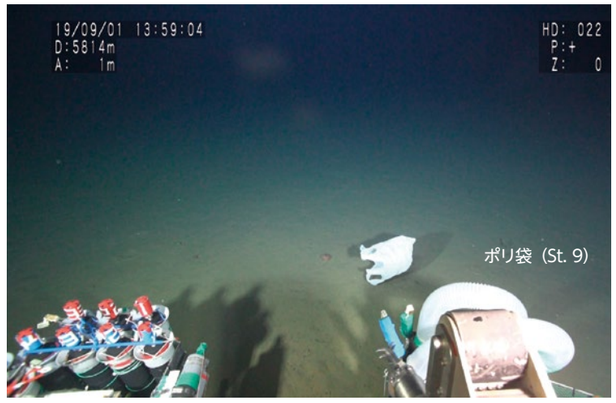
マイクロプラスチックも沈む。海にはクラゲなど粘液を分泌する生物がたくさんいる。マイクロプラスチックに粘液が付着すると、凝集しやすくなる。そうして重くなったマイクロプラスチックは沈んでいく。ただし、このプロセスには不明な点も多く、中嶋さんらが実験を行って詳しく調べているところだ。また、生物がマイクロプラスチックを食べることで深海に運ばれるプロセスもある。消化されずに排せつされ、ふんが付着したマイクロプラスチックは重くなり沈んでいく。中嶋さんは「今や、海にいる生物のほぼ全てがマイクロプラスチックを食べているのではないか」と言う。マイクロプラスチックが生物にどのような影響を及ぼすのかを知ることは、差し迫った重要な課題である。

世界の海底地形ごとのプラスチックごみ数の比較





黒潮続流再循環域の直下の深海底で見つかった食品包装。昭和59年（1984年）製造と記されていた。（調査地点St. 10 [5ページ右上の図の赤丸参照]）



ポリ袋（St. 9）

アルミ蒸着タイプの風船。アルミが腐食してなくなり、内側のプラスチックフィルムが残っている。（St. 9）

歯磨き粉のチューブ。パッケージデザインから14～15年前のものと推定された。（St. 10）

化繊の衣類と網（St. 8）

影響は生物に広がり蓄積されていく

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー

プラスチック自体がもたらす影響

「マイクロプラスチックは小さいので、餌を食べるときなどに一緒に取り込んでしまうのです。その結果、生物は物理的な影響や化学的な影響を受けます」と中嶋亮太さんは言う。

生物はプラスチックを消化できないため、取り込まれたマイクロプラスチックは基本的にはそのまま排出される。しかし、大量に取り込むと消化管に詰まったり、消化管の壁が傷ついたりする。これが物理的な影響だ。

1μm以下のナノプラスチックによる物理的な影響も危惧されている。マイクロプラスチックは消化管にとどまるが、ナノプラスチックは血管に入ってしまう。そして血液の流れに乗って脳にも達する。脳にナノプラスチックが蓄積した魚は食べるのが遅くなったという報告もある。しかしナノプラスチックは小さ過ぎて、どこにどれだけあるか調べることも難しく、その影響はほとんど分かっていない。

有害物質が生体内へ

化学的な影響は、マイクロプラスチックと共に生体内に取り込まれた有害な化学物質によって引き起こされる。プラスチック製品には、紫外線による劣化を防ぐ紫外線吸収剤や燃えにくくする難燃剤など、さまざまな化学物質が添加されている。添加剤はマイクロプラスチックになっても残る。またプラスチックは、化学物質を吸着しやすいという特徴を持つ。マイクロプラスチックと共に生体内に取り込まれた化学物質は脂肪に移行し、ホルモン異常やがんなどを引き起こすものもある。有害であることが分かった化学物質は生産・使用の禁止や制限の措置が取られるが、分解されにくいものも多く、いったん環境中に出てしまうと、影響は長期間そして広範囲に及ぶ。

「化学的な影響はマイクロプラスチックを取り込んだ個体だけで終わらないことも大きな問題」と中嶋さんは指摘する。動物プランクトンがマイクロプラスチックを取り込むと、有害物質が体内に蓄積する。それを小さな魚が食べ、それを大きな魚が食べ、と食物連鎖を通じて有害物質は移行していく。その結果、食物連鎖の上位の生物の体内には有害物質が高濃度で蓄積されてしまうのだ。

中嶋さんらは、深海の食物連鎖の頂点に位置するサメについてポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDE）の含有量を分析し、その結果を論文に発表したばかりだ。PBDEは難燃剤としてプラスチックに添加されていたが、生物毒性が認められている。水にはわずかしか溶けないため、マイクロプラスチックなどの粒子に残留・付着して深海まで運ばれ生物の体内に取り込まれると考えられる。食物連鎖のさまざまな段階の生物についてプラスチック由来の有害物質の含有量を調べることで、プラスチック汚染の広がりを知る手掛かりの一助となる。

化学合成生態系も汚染

深海には、海底下から湧き出る硫化水素やメタンをエネルギー源に有機物を合成する細菌を生産者とした化学合成生態系が形成されている。化学合成生態系の生物について、有害物質やマイクロプラスチックの情報はほとんどない。そこで海洋プラスチック動態研究グループ研究員の生田哲朗さんたちは、相模湾初島沖と伊豆・小笠原海域明神海丘で採取した化学合成生態系を構成する二枚貝について、PBDEとポリ塩化ビフェニル（PCB）の含有量を分析した。その結果、PBDEは検出限界以下かごくわずかだったが、PCBは全ての試料から検出された。PCBは絶縁体として電気変圧器などに多用されていたが、強い生物毒性を持つことが明らかになっている。

一般的な二枚貝は、海水中の懸濁物をえらでろ過して食べる。その際にマイクロプラスチックが取り込まれ、有害物質が蓄積する例は知られている。しかしシロウリガイ類とシンカイヒバリガイ類は、えらの細胞に共生する化学合成細菌が合成する有機物に依存しており、海水中から直接餌を取ることはほぼない。そのためPCBやPBDEが残留・付着した粒子（おそらくマイクロプラスチックを含む）が体表から取り込まれた可能性がある。この研究にも参加している中嶋さんは「汚染はここまで広がっているのかと驚きました」と言う。

JAMSTECでは今後、深海における汚染の実態を把握するとともに、マイクロプラスチックが生体内にどのように取り込まれるか、そして生物への影響を明らかにしていく計画だ。

伊豆・小笠原海域の明神海丘に形成されている化学合成生態系。シンカイヒバリガイ類からPCBが検出された。ただし魚介類で設定されている暫定的規制値は下回っている。

プラスチックと有害な化学物質。プラスチック製品をつくるときに加えられた添加剤には、難燃剤のPBDEや可塑剤のフタル酸エステル類など、生物毒性を持つものがある。添加剤は、海洋環境で一部は溶出するが、PBDEのように疎水性の高い添加剤はプラスチックに長期間残っている。また海水や堆積物には、PCBや殺虫剤のDDTのような自然に分解されにくく生物濃縮性があって生物に害を及ぼす化学物質（残留性有機汚染物質、POPs）が存在しており、プラスチックはPOPsをスポンジのように吸着する。

「プラスチック生命圏」が出現

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー
土屋正史 グループリーダー代理

プラスチックに乗って

中嶋亮太さんは「プラスチックごみのない海はない」と言う。プラスチックごみが増えたことで、生物たちの暮らしぶりにも変化が見られる。

例えば生物の移動。軽いプラスチックは、海面に浮いたまま漂流する。そのプラスチックに付着していれば、生物は一緒に遠くまで移動できる。2011年の東北地方太平洋沖地震では津波によってさまざまなものが海に運ばれ、一部は北アメリカの西海岸に流れ着いた。漂着物の多くはプラスチックで、300種近い生物が付着していたという報告がある。生息域の拡大につながるのだから、その生物にとっては良いことかもしれない。しかし、その地域には生息していない生物の場合は外来種となり、もとの生態系に影響を与えてしまうという問題がある。日本からの漂着物にも北アメリカの西海岸には生息していない生物が含まれていた。

プラスチックは病原菌も運ぶ。例えばサンゴは、プラスチックごみが引っ掛かって傷つくと、一部は病気になってしまう。これは、プラスチックに付着している病原菌が傷口から入ってしまうためである。

海底にプラスチックが増えると

海底に生息している生物の中には、イソギンチャクなどのように何かに付着して生きているものがいる。海底にプラスチックごみが増えると、それらのすみかが増え、個体数が増加する。そうした変化は、東北地方太平洋沖地震後のプラスチックごみが増えた海底でも確認されている。これも一見、プラスチックが良い影響を与えているように思える。しかし、特定の生物種だけ個体数が増加すると、生態系のバランスが崩れ、さまざまな問題が生じる。

土屋正史さんは、専門の有孔虫について危惧していることがある。砂質有孔虫というグループは、周囲の堆積物の粒子を集めて殻をつくる。堆積物中にマイクロプラスチックがあれば、有孔虫の殻にも取り込まれる。「問題は、プラスチックは鉱物粒子より比重が小さいことです。殻に軽いマイクロプラスチックが増えた場合、その有孔虫は堆積物の中を今までと同じように移動できるのだろうか。堆積物の中に潜りたいけれども潜れない、ということが生じるかもしれません」と土屋さんは言う。

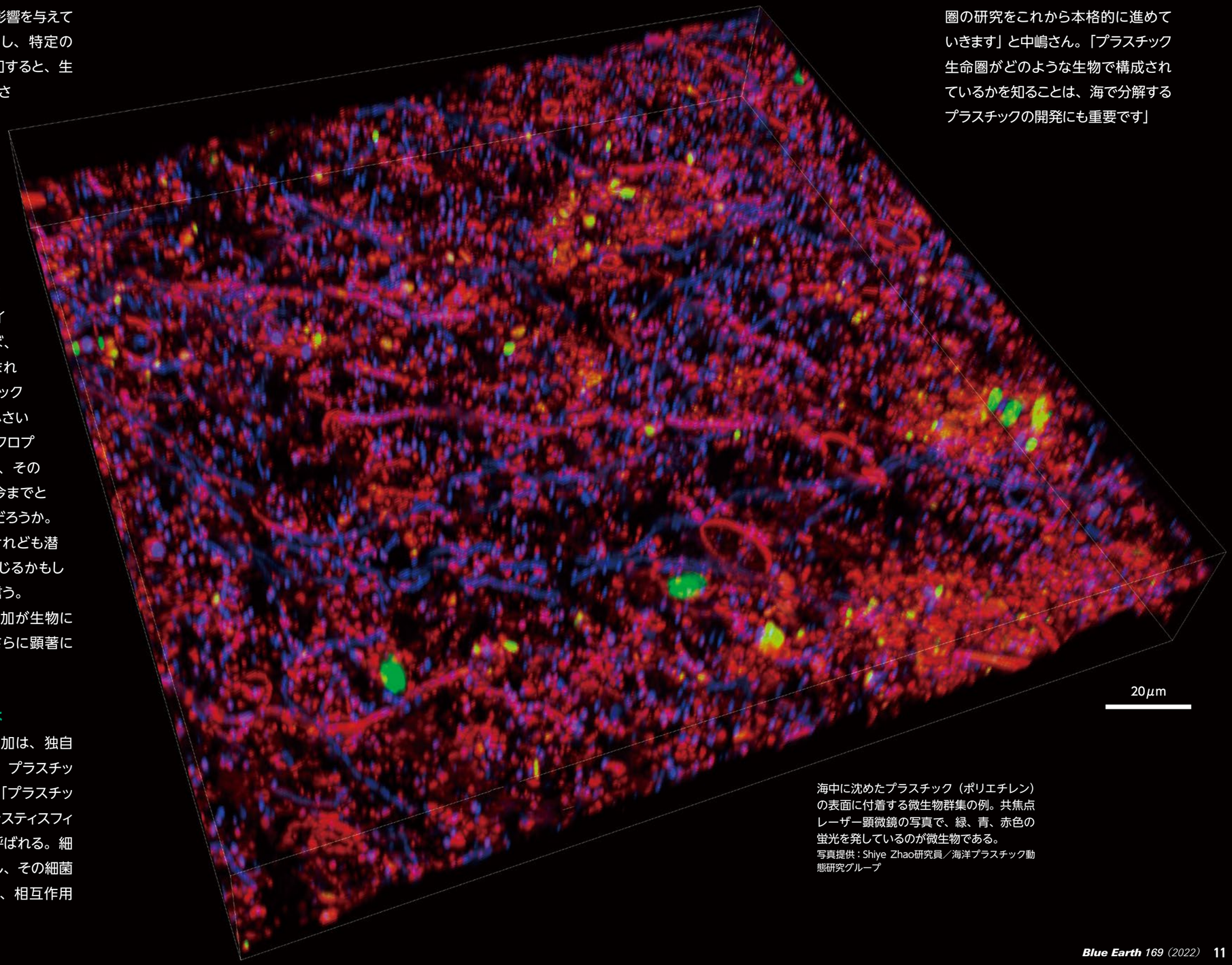
海洋プラスチックの増加が生物にもたらす変化は、今後さらに顕著になってくるだろう。

プラスチック生命圏とは

海洋プラスチックの増加は、独自の生命圏もつくり出した。プラスチックに形成されることから「プラスチック生命圏」あるいは「プラスティスフィア（Plastisphere）」と呼ばれる。細菌がプラスチックに付着し、その細菌を捕食する生物が集まり、相互作用しながら生きている。

海洋表層にくらす植物プランクトンや動物プランクトンの死骸や排せつ物などが凝集しマリンスノーとなって沈んでいき、それが深海の生物の餌となっている。同じように、マイクロプラスチックの表面に付着した細菌や藻類がマイクロプラスチックと共に沈んでいき、その細菌や藻類を深海の生物が食べている可能性もある。そうしてつながっている深海の生物たちも、プラスチック生命圏の一員だ。土屋さんは、「マイクロプラスチックの表面に付着した細菌や藻類が深海の生物の栄養源としてどの程度貢献しているかは、まだ不明です。新たな物質循環の経路としてマイクロプラスチックを捉え、海洋生態系における物質循環を考える必要があるかもしれません」と指摘する。

「JAMSTECではプラスチック生命圏の研究をこれから本格的に進めていきます」と中嶋さん。「プラスチック生命圏がどのような生物で構成されているかを知ることは、海で分解するプラスチックの開発にも重要です」



海中に沈めたプラスチック（ポリエチレン）の表面に付着する微生物群集の例。共焦点レーザー顕微鏡の写真で、緑、青、赤色の蛍光を発しているのが微生物である。
写真提供：Shiye Zhao研究員／海洋プラスチック動態研究グループ

分析技術に革新を

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
土屋正史 グループリーダー代理

超先鋭研究開発部門 超先鋭技術開発プログラム
髙橋朋子 JAMSTEC Young Research Fellow

1個1個拾い出して分析へ

「マイクロプラスチックの分析には手間と時間がかかる」と土屋正史さん。知りたいのは、数、大きさ、形、材質だ。特に材質が分かると、起源を推定する重要な情報になる。材質によって沈みやすさなどが変わるため、挙動や生物への影響の予測にも役立つ。現在、材質の識別に広く使われているのがフーリエ変換赤外分光という手法だ。物質ごとに特定の波長の赤外線が吸収されることを利用して、マイクロプラスチックの材質を識別する。

しかしこの手法は、土屋さんが嘆くように時間と手間がかかる。採取した海水や堆積物から密度差などを利用してほかの粒子を大まかに取り除いた後、肉眼や顕微鏡で見ながらマイクロプラスチックを1個1個ピンセットで拾い出し、装置にセットしなければならないのだ。木片を誤って拾ってしまったり、取りこぼしもある。拾い出すことが難しい微小なものは、フィルターでろ過して残った粒子を顕微鏡と組み合わせて分析するのだが、フィルター全体をスキャンするのにとても時間がかかってしまう。

「マイクロプラスチックの分布や生物への影響を把握するには、多くの地点で試料を採取し分析する必要があります。しかし現在の方法では、分析が間に合いません。そこで私たちは、簡単に素早くたくさんのマイクロプラスチックを分析できる手法の開発に取り組んでいます」と土屋さん。

速さは約100倍

その1つがハイパースペクトル画像診断である。物質に光を照射して反射してくる光を、ハイパースペクトルカメラで多くの波長に分解して撮影する。物質によって吸収・反射する光の波長が違うため、波長ごとの強さを表したスペクトルのパターンも変わる。それをもとにプラスチックの材質を識別するという手法だ。1個1個拾い出す必要はなく、試料をろ過してフィルター上に残ったマイクロプラスチックを分析する。フィルター上の1cm四方をスキャンするのに要する時間は約10秒。これはフーリエ変換赤外分光法の約100倍の速さだ。

くみ上げた海水をフィルターでろ過し、マイクロプラスチックが載ったフィルターをカメラの下まで移動させ、連続的に自動で分析を行うシステムも開発している。これは、自動販売機などで使われているペーパードリップコーヒーマシンを応用したものだ。連続自動分析システムの実用化によって、さらなる高速化が期待できる。

数、大きさ、形を簡単に自動で

JAMSTECでは、数、大きさ、形を高精度で簡単に分析するシステムの開発にも取り組んでいる。

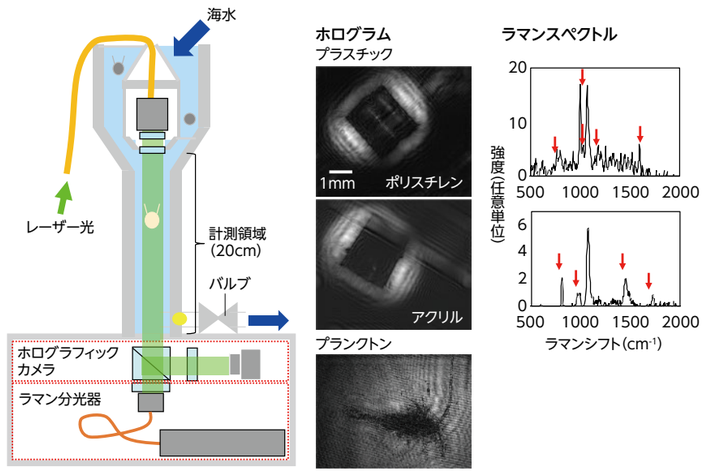
このシステムでは、採取した海水や堆積物から密度差を利用してほかの粒子を取り除いた後、プラスチックが染まる蛍光色素を加える。その試料をガラス製の細いチューブに流しながら、蛍光顕微鏡で動画を撮影。そして、動画から光っている粒子つまりマイクロプラスチックを判別し、長径を計測、さらに粒子状か繊維状か形を人工知能（AI）で判定し、集計する。材質は分からなくても、数、大きさ、形を簡単に計測できるようになればマイクロプラスチックの実態把握に大いに役立つ。

海の中で分析する

「海面や堆積物中のマイクロプラスチックを回収して分析する手法の開発が進んでいますが、海の中を漂うマイクロプラスチックを広範囲で調べることはまだ難しいのが現状です。そこで私たちは、海の中でマイクロプラスチックを分析できる、そんな装置の開発を目指しています」。そう語るのは、超先鋭技術開発プログラムJAMSTEC Young Research Fellowの髙橋朋子さんだ。

開発中の装置は「RamaCam」という。「ラマン分光分析装置とホログラム撮影装置を組み合わせているのが、大きな特徴です」と髙橋さん。ラマン分光は、フーリエ変換赤外分光と同様に材質を識別できることから、回収したマイクロプラスチックの分析によく使われている。フーリエ変換赤外分光で物質に照射する赤外線は水中ですぐ減衰してしまうが、ラマン分光ではレーザー光を照射し、それは水中でも遠くまで届く。だからラマン分光を使う。ただし、海中にはプランクトンもたくさんいて、装置に入ってきてしまう。そこで、レーザー光を使ってホログラムを撮影する。鞭毛や脚が写っていればプランクトンと分かり、ラマン分光とホログラムの情報を組み合わせることで海中でのマイクロプラスチックの分析が可能になる。

RamaCamの開発は、JAMSTEC、東京大学、イギリスのサウサンプトン大学とアバディーン大学の共同で進められている。すでに試作機で実海域試験を行い動作することが確認されている。「将来的には、装置を海中に係留して長期のモニタリングができるようにしたい」と髙橋さんは言う。海の中にプラスチックがどれだけあるか分かれば、ミッシングプラスチック問題の答えが見つかるかもしれない。



深海粒子の現場計測カメラRamaCam。ラマン分光分析装置とホログラム撮影装置を組み合わせたもので、装置全体を海中に沈めて計測する（左）。計測領域はレーザー光で常に照らされていて、粒子が入ってくるとホログラムを撮影し（中央列）、またラマンスペクトルを測定する。ホログラムからマイクロプラスチックとプランクトンを区別し、マイクロプラスチックについてはラマンスペクトルから材質を識別する（右列）。

写真から自動で分析「海ごみAI」

取材協力

付加価値情報創生部門
情報エンジニアリングプログラム
松岡大祐 副主任研究員
杉山大祐 准研究副主任
日髙弥子 臨時研究補助員

海ごみAIとは

「家の前は海。そういう環境で育ったので、子どものころから海ごみは身近な問題でした。学生時代は、深海クラゲの研究をしていました。水中ロボットが撮影した画像をひたすら見てクラゲに関する情報を取り出すのですが、あまりにも大変で、人工知能（AI）を使って自動化できたらいいのにと思っていました。その2つがつながって今、『海ごみAI』を開発しています」。そう語るのは情報エンジニアリングプログラム臨時研究補助員の日髙弥子さんだ。

海ごみAIとは？「今、私たちが開発している海ごみAIは、海岸の写真からごみの種類と量を自動で分析できる技術です」と日髙さん。海岸の写真を入力すると、自然のごみ（木、草、海藻など）、人工のごみ（プラスチック、ガラス、陶器、金属、加工木材など）、空、海、砂浜など8種類に塗り分けた画像が出力される。

AIは海岸ごみの分類は苦手

JAMSTECで海ごみAIの開発が始まったのは2019年である。准研究副主任の杉山大祐さんは「ちょうど2019年春、AIによる画像認識技術に進展がありました」と言う。画像認識の1つに対象物を分類して塗り分ける「セマンティック・セグメンテーション」という手法がある。しかし、対象物がフレームの中央にある大きいものならば精度よく分類できるが、端の方にある小さなものの分類は苦手だった。そこに、小さな被写体でも推定ができる技術が出てきたのだ。「海岸の写真の場合、大小さまざまなごみがフレームの中央にも端にも写っています。そういう従来の手法が苦手とする写真でも、その技術を使えば、ごみを1個1個分類できるのではないかと考えました」。杉山さんと副主任研究員の松岡大祐さんは、地震や台風、気象などさまざまな分野でAIを用いた解析手法を開発している。その経験も大いに役立った。

AIによる画像認識では、大量の写真を使って機械学習を繰り返していく。海ごみAIの開発で用意した海岸の写真は3,500枚。それを人が1枚1枚見て、写っているものを分類し塗り分け、正解ラベルと呼ばれるデータを作成。そのうち約2,800枚を使ってAIに学習させた。そして残りの約700枚でテストを実施。画像認識の精度はいろいろな指標があるが、海ごみAIが塗り分けた結果を正解ラベルで答え合わせした正解率は68%となった。自然のごみと人工のごみの識別が難しく、ごみを自然か人工かを区別しない場合の正解率は80%以上になる。松岡さんは「実用に耐え得る精度」と胸を張る。もちろん、精度向上の取り組みは続けている。

海ごみAIは進化中

日髙さんは「海ごみAIをもっと進化させていきたい」と言う。杉山さんは「画像から人工ごみが海岸を被覆している面積を算出できます。さらに、海岸の清潔さの決定や、より難しいごみの容積の推定に取り組んでいく予定です」と語る。

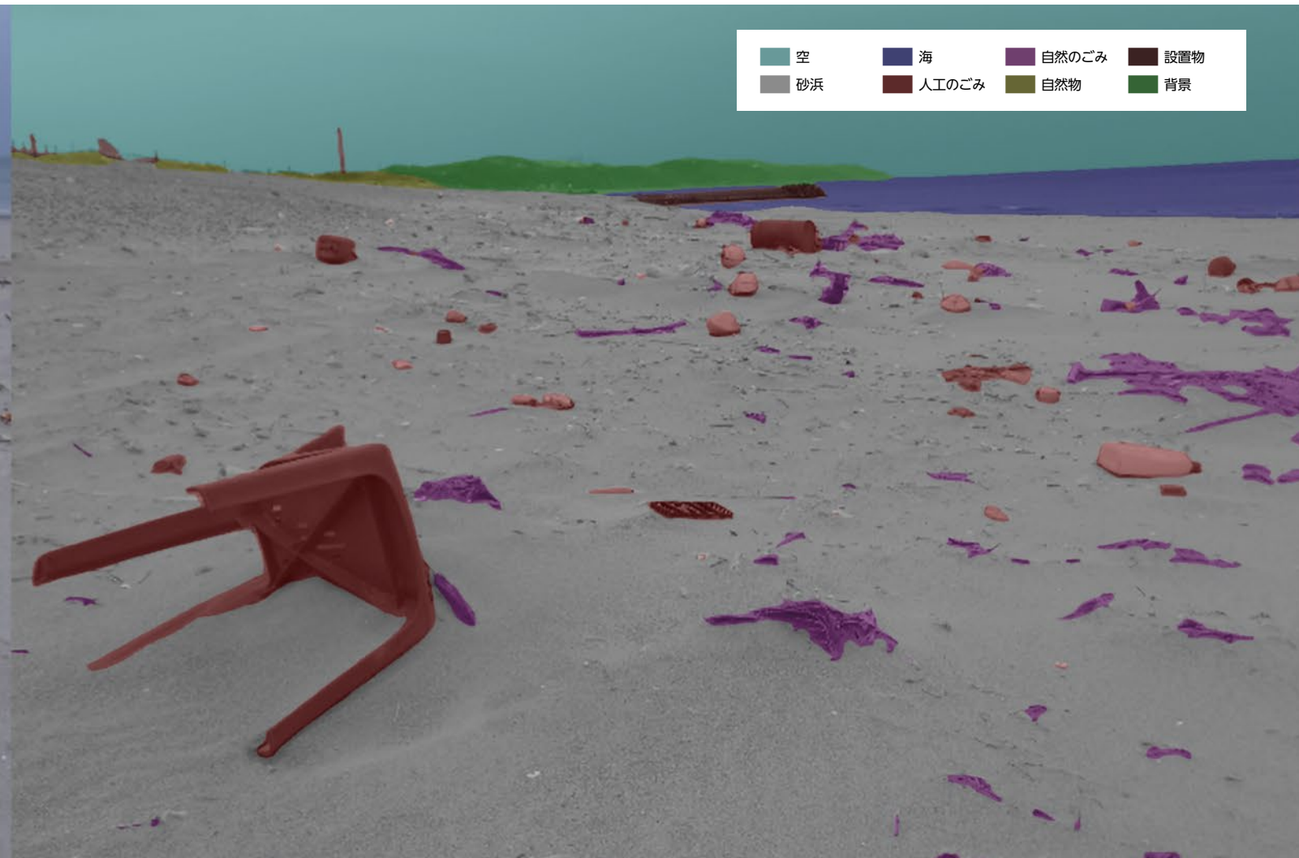
ごみの種類を細かく分類することも課題の1つだ。材質を調べるには特殊な装置が必要だが、ペットボトルかバケツかといった種類ならば写真から識別可能だ。種類が分かれば、ペットボトルはポリエチレンテレフタレート、バケツはポリエチレンというように、だいたいの材質も分かる。

杉山さんも、海ごみAIを進化させる新しい技術はないかとアンテナを張っている。「今注目しているのは、写真のようなリアルな質感を持った画像を作成できるフォトリアル3DCGです。さまざまなごみが落ちている海岸の画像を大量につくり、それをAIに学習させるのです。今は人が正解ラベルをつくっているので、正解が誤っていることもあります。フォトリアル3DCGでつくった画像ならばその心配はなく、正解率の向上にも役立つでしょう。ごみの被覆面積の算出も簡単になるはずです」

スマートフォンで使えるように

海岸のプラスチックごみは太陽の光にさらされてもろくなり、波に砕かれて海に運ばれていく。海岸はマイクロプラスチックがつくられる場所である。だから、海岸ごみの種類や量を知ることは重要だ。さらに日髙さんは、「ごみが海に流れ出てしまうと、回収することはほぼ不可能です。海岸はごみを回収できる最後の場所なのです。だからこそ、多くの人に海岸のごみに関心を持ってもらいたい」と言う。スマートフォンで海岸の写真を撮影すると、ごみの種類や量を分析できる。海ごみAIを、そういう誰でも使えるアプリにすることを目指している。

「この技術は海岸に限らず街なかなどどこでも使えます。世界中のごみの情報がJAMSTECに集まってきて、そのデータを使って世界中の人がごみ問題の解決に取り組む。そういう流れをつくっていきたいと思っています」と松岡さんは語る。



「海ごみAI」による海岸の写真の解析。左は海岸で撮影された写真。右は「海ごみAI」が8種類に識別し色を塗り分けた結果。

どのように壊れ、どこへ行く？

取材協力

付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ
環境変動予測情報創生グループ
青木邦弘 研究員

どのように広がっていくか

「より現実に近い海洋プラスチックの分散シミュレーションを実現したい」。そう語るのは、アプリケーションラボ環境変動予測情報創生グループ研究員の青木邦弘さんだ。

青木さんは、「海面に浮いているプラスチックがどのように広がっていくかという分散シミュレーションは、海の流れが分かればそれほど難しくありません」と言う。JAMSTECでは、風による流れの駆動、大気との熱のやりとり、塩分、海底地形などを考慮して、物理法則に基づいて海の状態を計算する「OFES」という海洋モデルを開発している。プラスチックを粒子と見なし、OFESを用いて海流に乗って移動する粒子の運動を計算することで、プラスチックがどのように広がっていくかを全球でシミュレーションできる。「JCOPE」という別の海洋モデルを用いると、湾内など日本沿岸での広がりをシミュレーションすることも可能だ。「JCOPEとOFESによって、プラスチックがどのように日本の沿岸から外洋に出て世界中に広がっていくかを連続的に見ることができるのは、JAMSTECのシミュレーションの大きな特徴です」

破壊のプロセスが抜けている

しかし青木さんは「まだ海洋プラスチックの分散を本当にシミュレーションできているとは言えない」と指摘する。「シミュレーション（simulation）は、似る・まねるという意味のラテン語similに由来しているそうです。しかし、シミュレーションで海面を漂流しているとされるプラスチックの量に対して、観測されているプラスチックの量が少な過ぎるという問題もあります。それから、特に重要なプロセスが抜けています。それは破壊です」

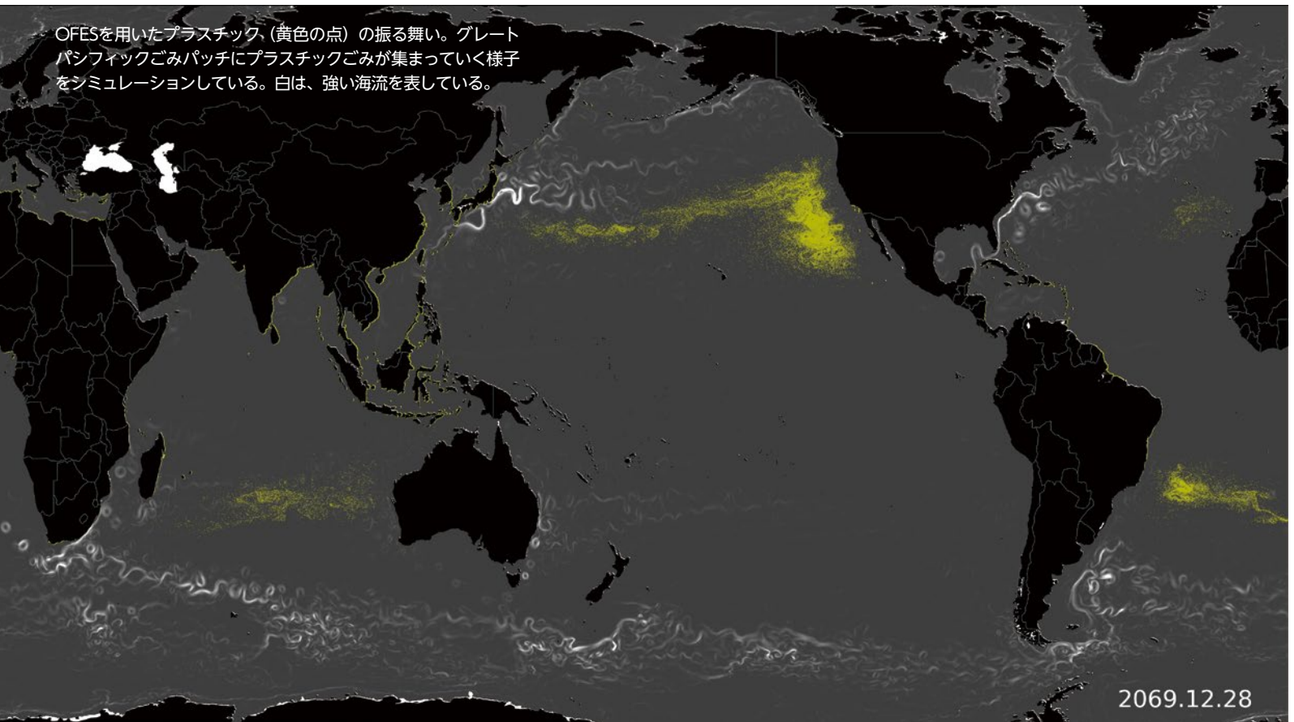
プラスチックは紫外線や熱によって劣化してもろくなり波などの衝撃で破壊される、と前に述べた。青木さんは「その現象自体は正しい」と断った上で続ける。「紫外線や熱によってどこの構造がどう変わるのか、波の衝撃とはどのような力なのか、どのくらいの衝撃が加わるとどのサイズの破片がどのくらいの数できるのかなど、破壊については分かっていないことだらけです。破壊のプロセスを理解し数式として書けるようにならなければ、シミュレーションはできません」

破片のサイズと数の関係

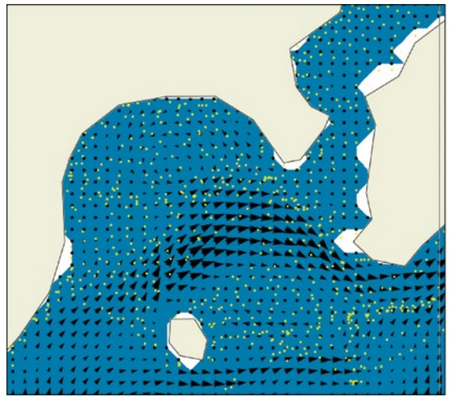
物が破壊されると、小さな破片ができる。破片のサイズが小さくなるほど、数は増える。これは、皆さんも実感できることだろう。プラスチックについても破壊され続けるならば、そのサイズはどんどん小さくなり、小さいものほど数が多くなるはずだ。しかし、実際に表層で観測されたマイクロプラスチックのサイズと数の関係を見ると、サイズが小さくなるにつれて数が多くなっていくが、1mmあたりで最大となった後、急激に少なくなっていく。なぜ小さいサイズのマイクロプラスチックが少ないのだろうか。

まず考えられるのは、小さいサイズのマイクロプラスチックは沈んだり生物に食べられたりしたのではないか、ということだ。一方で青木さんは「小さい破片ができるには大きなエネルギーが必要なのではないか?」と考えた。そして破壊力学と統計力学の観点からマイクロプラスチックのサイズと数の関係を数式で表した理論モデルを作成し、最近発表した。「この理論モデルのポイントは、サイズと数の関係を破壊エネルギーと関連付けた点にあります。表層を漂うマイクロプラスチックは実際にはもっと多いのではないかという指摘もありますが、だとするとプラスチックがより大きなエネルギーを受けたことがこの理論から定量的に推定できます」

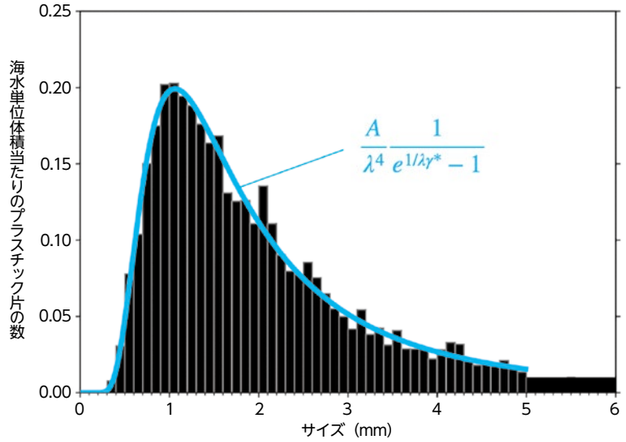
藤元 明「陸の海ごみ」展で作成した図を転載



OFESを用いたプラスチック（黄色の点）の振る舞い。グレートパシフィックごみパッチにプラスチックごみが集まっていく様子をシミュレーションしている。白は、強い海流を表している。



JCOPEを用いた相模湾における海洋プラスチック拡散シミュレーション。矢印は、各場所の流れの強さと向きを示す。プラスチックを粒子として（黄色い点）、流れに乗ってどのように移動していくかを計算している。



マイクロプラスチックのサイズ分布。棒グラフは観測値。水色の線は青木さんらが作成した理論モデルから導いた理論曲線。

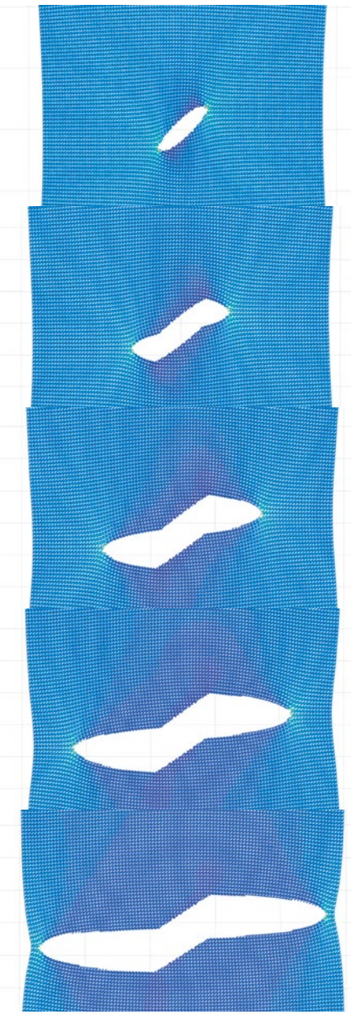
そして、こう続ける。「この理論モデルによって、破壊が起きる場所の波の強さなどの情報から、どのサイズのマイクロプラスチックがどのくらいの数できるかを予測できる可能性があります。そうした破壊のプロセスを入れた海洋プラスチックの分散シミュレーションに取り組んでいます。それはまだ誰もやっていません」

生態系への取り込みまで

青木さんは、その先も見据えている。今回の理論モデルでは、十分劣化した物がどのように破壊されるかを考えている。さらにプラスチックが劣化するプロセスも入れるため、実験を行う準備を進めている。

ナノプラスチックの破壊に今回の理論モデルが適用できるかも検証すべき問題だ。ナノプラスチックのサイズになると、物理的な衝撃ではなく化学的な要因で破壊が起きるかもしれないからだ。プラスチックが生態系に取り込まれるプロセスも重要だ。

「劣化、破壊、沈降はもちろん、生態系への取り込みまで、あらゆるプロセスを入れた分散シミュレーションの実現を目指しています」



破壊の広がりのシミュレーションの例。共同研究者のEttore Barbieri主任研究員(付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センター）より提供。

海で分解されるプラスチックを開発

取材協力

超先鋭研究開発部門 超先鋭研究プログラム
野牧秀隆 主任研究員

海洋機能利用部門 生物地球化学センター
有機分子研究グループ
磯部紀之 研究員

海で分解されるプラスチックを

「一度つくったものは牛乳瓶のように繰り返し使い続けるというのが理想です。しかしプラスチックは、リサイクルすることが難しいのです」と生物地球化学センター有機分子研究グループ研究員の磯部紀之さんは言う。多くのプラスチック製品は数種類の材質を組み合わせているため、リサイクルするには材質ごとに分ける工程が必要になり、コストがかかり過ぎるのだ。また、どんなにリサイクルを推進しても、台風などの自然現象によってもプラスチックは海に漏れ出てしまう。「意図せず海に漏れ出してしまったときでも微生物などの作用によって分解される、生分解性プラスチックの開発が急がれています」

生分解性プラスチックはもうあるのでは? と思った人もいるだろう。「従来の生分解性プラスチックは陸上の環境を想定したもので、低温で光も当たらず生物が少ない深海の環境では分解が進みません。海の環境で分解する海洋生分解性プラスチックの開発が必要です」と磯部さんは力説する。

深海底で生分解性を検証

JAMSTECは、海洋生分解性プラスチックに関わるさまざまなプロジェクトに以前から参画しており、現在も複数が進行中だ。「JAMSTECには特に、深海における生分解性の検証と評価が求められています。それは、海洋に関するさまざまな知見があり、深海にアクセスできる探査機を持ち、深海底現場実験のノウハウを有しているJAMSTECでなければできないことです」と超先鋭研究プログラム主任研究員の野牧秀隆さんは言う。

現在、相模湾初島沖の水深約850mの深海底や南鳥島沖の水深約5,000mの深海底など複数の地点に試料を設置し、生分解性の検証実験を行っている。設置しているのは、研究機関や大学などが開発した新規海洋生分解性プラスチックと、対照用の通常のプラスチックである。試料を定期的に回収し、どのくらい重量が減っているのか、どのような生物が付着しているのか、化学構造に変化があるかなどを調べ、生分解性を評価する。「生分解性プラスチックを深海底に設置して実験を行ったのは、世界で初めてでしょう」と磯部さん。

試料の近くには、温度や塩分を測定・記録する装置を設置。また、堆積物の酸素濃度や酸化還元電位なども計測する。それらの値によっても生息する微生物の種類が変わる。野牧さんは、「生分解性を評価するだけでなく、深海のどのような環境で生分解が進むのか、あるいは進まないのかを知ることも重要です。そうした情報を開発にフィードバックします」と語る。海洋生分解性に関する評価手法を確立し、国際標準規格としての承認も目指している。

木からつくった透明な板紙はプラスチックのような見た目で(左写真)、しなやかで、複雑な形にも容易に加工できる。牛乳パックのようにコップの表面にフィルムを貼れば、熱いコーヒーを注ぐこともできる(右写真)。

生分解を開始するスイッチ

JAMSTECは、生分解開始スイッチ機能を有する海洋生分解性プラスチックの研究開発プロジェクトにも参画している。それは、使っている間は分解されず、使用後しかも海に漏れ出してしまった場合に生分解が始まるプラスチックである。「海洋環境が分からないと、どういうスイッチを持たせればよいのか分かりません。私たちがこれまで培ってきた海のさまざまな環境についての知見を材料開発の研究者に提供しています」と野牧さん。例えば、海底の堆積物に埋もれたら生分解が始まるようにするのであれば、酸化還元電位がスイッチとして使えそうだ。JAMSTECはプラスチックごみの分布調査をしているので、どういう場所にどのようなプラスチックがたまりやすいかも知っている。

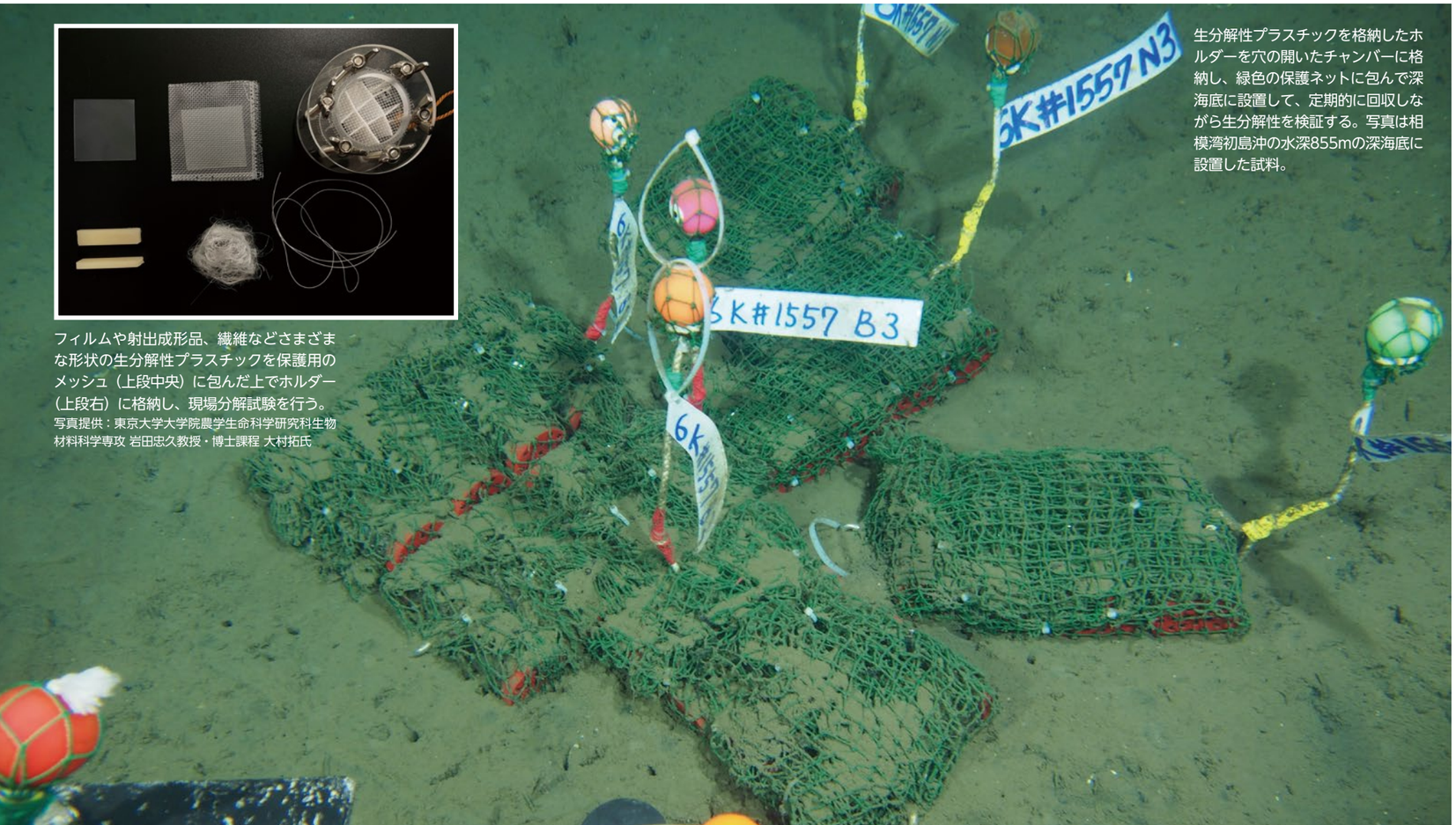
「『しんかい6500』で試料の設置・回収を行うときは、材料開発の研究者にも乗船して深海の現場を見てもらうようにしています」と野牧さん。材料開発の研究者でもある磯部さんが続ける。「深海に行くと、あの低温で生物も少ない環境で分解できるようにするには相当頑張らなければいけないと、認識が変わります。また実際に海底に落ちているプラスチックごみを見ると、分解できるものをつくらなければ駄目だと強く感じます」

木から透明な板紙をつくる

磯部さんは、異なるアプローチでも海洋プラスチック問題に挑んでいる。「自然にあるものを材料につくった素材ならば海に優しいのではないかと考え、木からプラスチックの代わりになる素材をつくろうとしています」

木からつくる素材といえば紙だが、紙でつくった容器は中が見えない。そこで、木から透明な板紙をつくることを目指した。そして試行錯誤の末、ついに成功。透明なプラスチックのポリプロピレン、ポリカーボネートと並べても見分けがつかない。複雑な形にも簡単に加工できる。現在、特許申請をしながら、コスト減のための製造過程の簡素化と成形加工性の向上を進めている。また製品化を目指し、連携してくれる企業を探しているところだ。

磯部さんは、「今は、どういう素材をつくればいいか、世界中の人がいろいろなアイデアを出してコンテストをしている状態」と言う。「皆さんにはぜひ商品を買うとき、どういう素材でできているのかを考えて選んでいただきたいと思います。コンテストの審査委員は皆さんです」



生分解性プラスチックを格納したホルダーを穴の開いたチャンバーに格納し、緑色の保護ネットに包んで深海底に設置して、定期的に回収しながら生分解性を検証する。写真は相模湾初島沖の水深855mの深海底に設置した試料。

フィルムや射出成形品、繊維などさまざまな形状の生分解性プラスチックを保護用のメッシュ(上段中央)に包んだ上でホルダー(上段右)に格納し、現場分解試験を行う。
写真提供:東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻 岩田忠久教授・博士課程 大村拓氏

皆さんと協力して海洋プラスチック問題の解決へ

取材協力

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
藤倉克則 センター長

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター
海洋プラスチック動態研究グループ
中嶋亮太 グループリーダー

世界中の海を航走する船と連携

海洋プラスチック問題の解決に向けたJAMSTECの取り組みを紹介してきたが、藤倉克則さんは「海は広く、私たち研究機関で調査できる海は限られています」と言う。「コンテナ船やタンカーやフェリーなど、とてもたくさんの船が世界中の海を航走しています。そうした船に協力していただくことができれば、海洋プラスチックの実態の理解が大きく進みます」

JAMSTECでは、2019年12月から翌年1月に行われた「日本―パラオ親善ヨットレース」において関係機関の協力のもと、マイクロプラスチックの調査を実施。また2020年11月から翌年2月に開催された単独無寄港無補給世界一周ヨットレース「ヴァンデ・グローブ」において、プロセーラーで海洋冒険家の白石康次郎さんがマイクロプラスチックの採集を行い、その試料をJAMSTECで分析した。特に船舶の航行が少ない南極海で採取した試料は貴重だ。

中嶋亮太さんも「海洋プラスチックの調査には民間の船の協力が必要」と言う。2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」の目標14は「海の豊かさを守ろう」で、そのターゲット1に「2025年までに、海洋ごみや富栄養化など特に陸上の人間の活動によるものを含めあらゆる海の汚染を防ぎ、大きく減らす」が掲げられている。「目標達成のためにさまざまな取り組みが行われています。その効果を検証し必要な対策を取るためにも、たくさんの観測点で定期的なモニタリングが不可欠です。しかし、研究者だけのマンパワーでは到底足りません。調査船のような精密なデータでなくても、広くたくさんのデータを取ることが重要です」。民間の船でも調査ができるように小型で操作が簡単な採集装置の開発も課題だ。

深海の実態を見て

海に漏れ出てしまったプラスチックを回収することは不可能だ。また廃棄の際にきちんと管理をしていても100%の回収・処理はできず、絶対量が多いと一部は漏れ出してしまう。中嶋さんは「海洋プラスチック問題の根本の解決には、プラスチックの使用量を減らす以外に方法はありません」ときっぱり言う。そして「まずは知ることが重要」と指摘する。「なぜレジ袋を減らさなければいけないの？と思う方がいるかもしれません。私は、陸地から離れた水深6,000mもの深海で、たくさんのレジ袋が沈んでいるのを見ました。その実態を知れば、レジ袋を減らすことの重要性も分かり、行動に移せるのではないでしょうか。しかし、深海に沈んでしまったごみは見えません。見えないと、人は忘れます。深海にアクセスする手段を持っている私たちJAMSTECには、皆さんが深海の実態を見ることができるようにする責任があります。そのために行っていることの1つが『深海デブリデータベース』です」。潜水調査船や無人探査機によって撮影された深海のごみ（深海デブリ）の映像や画像を公開している世界初のデータベースで、誰でも見ることができる。

市民科学に期待

JAMSTECでは、海洋プラスチック問題に関する講演や体験型の企画も実施している。2021年5月には、JAMSTECの拠点がある4つの県の海岸（神奈川県の逗子海岸、青森県下北半島の北部海岸、高知県の住吉海岸、沖縄県の国頭村安田区の海岸）において、関係機関の協力のもと参加者の皆さんとビーチクリーンを行い、拾ったごみの種類と数を国際的なデータベースに登録するという活動を行った。また、新型コロナウイルスの感染拡大防止のためJAMSTECの有志だけでの実施になったが、マイクロプラスチックを砂の中から見つけ出すという実験も行った。

このように市民の方に研究活動に参画していただく市民科学は、今後ますます重要になってくるだろう。例えば、海ごみAIの開発では機械学習にたくさんの写真が必要になるため、横須賀海洋クラブの小中学生の皆さんにも研究協力をいただいている。

今やらなければいけない

海洋プラスチック問題の解決に必要な科学的な知見や技術は、まだまだ不足している。海洋プラスチックの分布もまだ把握できていない。マイクロプラスチックより小さいナノプラスチックを採取し分析する技術も必要だ。生物への影響、とりわけ人間への影響はほとんど分かっていない。

中嶋さんは「昨年までは平気だったのに、急に花粉症になる人がいます。同じように、プラスチックの影響がある日突然、私たちの体に表れる可能性もある」と話す。藤倉センター長も言う。「手の打ちようがなくなる前に、私たちは今、この海洋プラスチック問題に立ち向かっていきます」 BE

（文・鈴木志乃／フォトンクリエイト）

JAMSTEC 50周年記念行事「ビーチ×サイエンス企画」の一つとして、海岸でごみを拾い、分類しアプリに記録する活動を2021年5月に一般の方と一緒に行った。写真は、海岸に落ちていたプラスチックごみでかたどったJAMSTECのロゴ。