

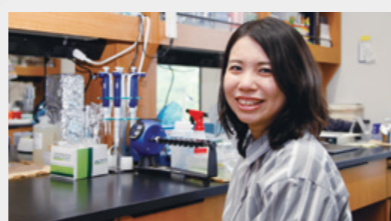
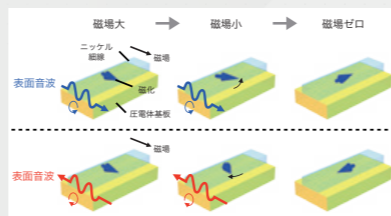
03

特集

## プラスチックごみ削減のために

04 海洋プラスチックの実態を解明  
科学的根拠に基づく政策立案へ

08 生分解性プラスチックを実用化  
多様な環境下での循環に挑む



12

世界を変える STORY

生活に溶け込む血糖センサー  
糖尿病の発症や重症化予防へ

14

NEWS & TOPICS

音波で磁石の向き制御に成功  
弾性波デバイスの高度化へ道 ほか

16

さきがける科学人

終わりなき探究心  
筑波大学 医学医療系 助教/  
筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構  
主任研究員 平野 有沙

JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に積極的に貢献していきます。



編集長：安孫子満広  
科学技術振興機構 (JST) 広報課  
制作：株式会社伝創社  
印刷・製本：株式会社丸井工文社

特集

# プラスチックごみ削減のために

軽くて丈夫という利便性から広く使われるようになったプラスチック。生産量は50年間で約20倍に増え、今や世界で年間約4億トンにもなる。用途の3割以上は包装容器などの使い捨て製品だ。投棄されて海に流出した「海洋プラスチック」は、優れた安定性ゆえに自然には分解されず、海流に乗って世界中に拡散されている。このままいけば2050年に、海は魚よりもごみの方が多くなるとも予測される。そこで環境中に流出しても、最終的に二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) に分解される「生分解性プラスチック」の需要が高まっている。今世界が手をたずさえて自然界に残留するプラスチックごみを減らし、環境負荷の少ない循環型社会の構築へと歩み始めている。



# 海洋プラスチックの実態を解明 科学的根拠に基づく政策立案へ

世界では年間約3000万トンのプラスチックごみが環境に流出し、そのうち200万トン前後が海に流れ出て、海洋プラスチックになっているとされる。生態系への悪影響が懸念されるが、海洋中の拡散経路や正確な浮遊量は不明なままだ。海洋プラスチックごみの主要な発生源の1つとされるタイと共同で、その実態解明に挑むのは、九州大学応用力学研究所附属大気海洋環境研究センターの磯辺篤彦教授だ。科学的な根拠に基づき、現地の人々も納得できるごみ削減に向けた政策の立案を目指す。

いそべ あつひこ  
**磯辺 篤彦**

九州大学 応用力学研究所 附属大気海洋環境研究センター 教授  
2019年よりSATREPS研究代表者

## 海流モデル使い発生源推測 島民とごみ拾いし結果検証

海洋プラスチック問題が大きく取り上げられるようになって久しいが、今も大量にプラスチックは製造され、毎年200万トン前後が川から海に流出し続けている。その8割は近年急速に発展を遂げるアジア諸国が排出源ともいわれる。中でも特に問題となっているのは0.5ミリメートル以下に砕けた「マイクロプラスチック (MP)」だ。軽く小さいが丈夫なために、どこまでも漂う性質があり、最近では人口密度が最も低い南極海でも発見された。もはや世界中の海が汚染されていることは疑いようもなく、海洋の生態系への影響や毒性に関する研究が世界中で盛んに行われている。

九州大学応用力学研究所附属大気海洋環境研究センターの磯辺篤彦教授は、いち早く海洋プラスチック問題に気づき、研究をリードしてきた第一人者だ。現在はJSTと国際協力機構 (JICA) が共同で運営する「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)」の支援を受け、タイと共同研究を行う (図1)。タイは1人当たりのプラスチックごみ排出量が世界第5位と急激に増え、主要産業である観光や漁業への影響が懸念されていた。磯辺さんら日本チームと共同で実証研究を行い、科学的なデータに基づいたごみ削減に向けた政策立案を目指している。

磯辺さんが海洋プラスチックを研究し始めたのは10数年前だ。元々、東シナ海や瀬戸内海などの比較的浅い海域

の海流を研究する海洋物理学者で、一見、海洋プラスチック研究とは縁遠いようにも見える。「きっかけは長崎県五島列島の美しい海岸に散乱した漂着ごみでした。ラベルを見ると海外の製品が多くあり、どこからどこへ流れていくのかを明らかにしたいと、2007年に研究を開始しました」と当時を振り返る。

はじめにコンピューター上で再現した海流モデルを逆再生することで、ごみの発生源を推測した。得られた結果を検証するために、実際に海岸に打ち上げられたごみの調査も行った。五島列島の島民を研究費で雇用し、2年半にわたって1、2カ月に1回のペースで海岸の漂着ごみを全て回収、分類していった (図2)。ラベルの文字から国を特定して、シミュレーションの精度が高かったことを確かめた。

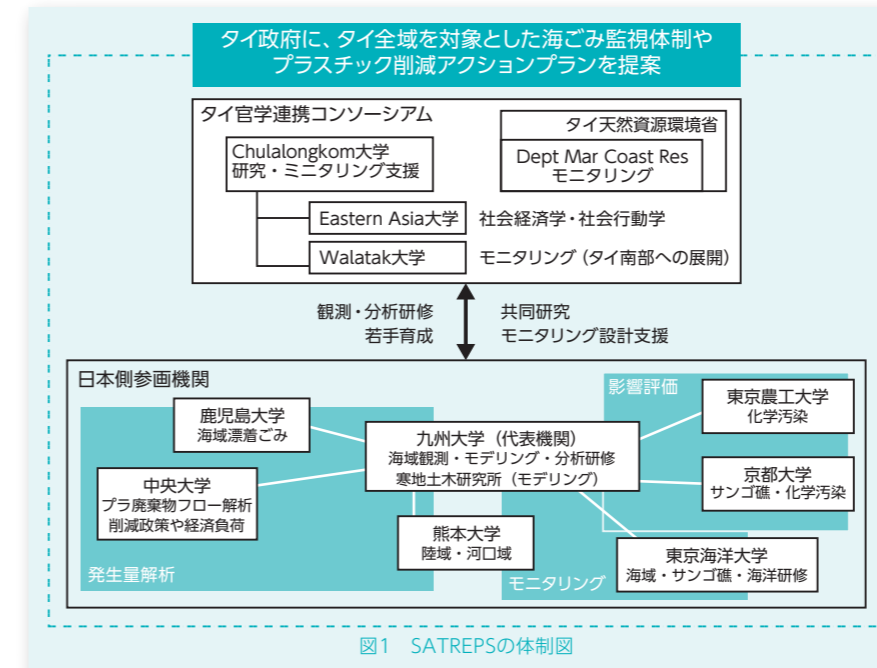


図1 SATREPSの体制図

## 東アジアはホットスポット 調査手法を確立し標準化

調査の過程で磯辺さんはあることに気付いたという。「細かなプラスチック片をたくさん見つけました。今でこそMPとして問題視されていますが、当時は名前もありませんでした。研究報告もほとんどなく、がぜん興味が湧きました」と語る。10年から当時所属していた愛媛大学で、九州大学に移った14年以降は東京海洋大学、長崎大学、鹿児島大学、北海道大学の協力も得て、海洋調査を続けてきた。

14年の調査では、主に日本海を中心とした東アジア域のMPの浮遊密度が、世界の他の海域に比べて27倍と非常に高い「ホットスポット」であることを報告した。17年の調査では、世界

で初めて南極周辺にまでMPが達していることも明らかにした (図3)。

磯辺さんは海洋調査を進めながら、調査手法も改良を重ねた。研究を始めた10年以前は論文も少なく、調査手法が記載されていても、内容は曖昧なものが多かったためだ。「どの海域にどれくらいMPがあるのか、実態調査をしたかったのですが、過去の調査データがほとんどありません。試行錯誤しながら調査手法を確立するところから始めなければいけません」と苦労を語る。

例えばMPの汚染状況の調査手法は「船で10分間、網を引いた」と記すだけでは不十分だ。海流の流れに逆らって引いたのか、沿って引いたのかでは、採取する海水の量が異なるからだ。この採水量がわからなければ

密度が算出できず、汚染の程度を評価することができないのだ。そこで、ニューストンネットとよばれる浮遊生物を捕獲するための網で海面近くを採取する手法や、流量計を網に取り付けて採取する手法を1つずつ決めていった。10年代半ばから、確立した調査手法を国内外の研究者と共に取りまとめ、19年に環境省発行のガイドラインとして公開した。

このガイドラインは採集後の分析にも及ぶ。以前はさまざまな浮遊物が混ざる海水から、ピンセットを使って手作業でプラスチックをより分けていた (次ページ図4)。しかし、目視観察によってプラスチックかどうかを判断するのは決して簡単なことではない。そこでフーリエ変換赤外線分光光度計 (FTIR) という分析装置を使ってプラスチックかどうかの判別を行う手法を取り入れ、調査の効率化を図った。「現在では、世界中の研究者がこのガイドラインにのっとって調査を行うようになっています。逆に従っていない場合には、論文が認められなくなってきました。試行錯誤しながら確立した手法が、世界の基準になりつつあります」と胸を張る。

## タイとの共同研究が始動 ごみ削減プランを実証へ

海洋プラスチックの汚染実態がだんだん明らかになるにつれ、主な発生源とされるアジア諸国へ対策を求める声は高まっている。中国や東南アジア諸国は急速な経済発展に伴い生産



図2 五島列島で漂着ごみを調査する様子

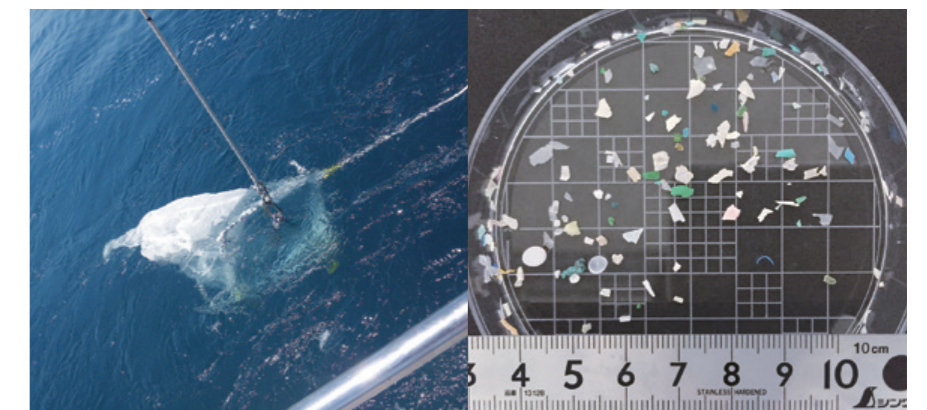


図3 ニューストン・ネットを曳いてMPを採取する様子 (左) と採取されたMP (右)





図4 採取した海洋プラスチックを手作業で分類する様子

量が增大したが、ごみの焼却施設が足りないのだ。しかし磯辺さんは施設整備だけでは不十分だと指摘する。施設があっても、使用者がごみを適切に分別し、施設まで運ぶシステムがなければ機能しないからだ。「そもそもなぜプラスチックが使われているのかも、考えなければいけません。安くて、丈夫で、衛生的だからです。もしプラスチック使用を全面禁止にするといった無茶な対策をとれば、より弱い立場の人たちが一方的に不利益を被ることになりかねません」と対策の難しさを説明する。

磯辺さんはこれまでの研究成果を社会課題解決のために生かしたいと考えていた時、SATREPS事業の募集を知ったという。国際連携プログラムの中でも、一方的に相手国に技術を供与するのではなく、相手国と共同研究で共に成果を出すのが特徴だ。「タイでは海洋プラスチックのサンゴへの影響を報告した論文が出ており、この分野の研究者がいました。国も国民も海洋プラスチックへの関心が高いと聞きました。理想的なパートナーだと思いました」と経緯を語る。

タイのチュラロンコン大学理学部海洋科学科のヴォラノップ・ヴィヤカーン准教授らをパートナーにし、共同研究が始まった。排出されたプラスチックごみが海洋プラスチックになるまでの過程を明らかにする実態調

査を行った後、現地の人の生活様式に合ったごみ削減プランを作る。実証実験を行い、最終的には政策提言まで行う計画だ。その舞台となるのは、首都バンコクから南へ180キロメートルほど離れた所に位置するサマエサン島だ(図5)。

この島は、美しい海岸のある観光地と中規模の町が共存する島で、ごみを出す人もいれば、近隣からのごみが流れ着く海岸もある。発生経過を追うのに適しているだろうと、タイ側から推薦された。実際に磯辺さんも島を訪



図5 調査が行われるタイのサマエサン島。観光ガイドブックでも、きれいな島として紹介されている。

れて視察した際、観光エリアはきれいに清掃されてごみ1つないが、現地の人が暮らす住宅街ではごみが処理できず、あふれている様子を見て回った。「東南アジアによくあるタイプの町だと思いました。島全体で研究に協力する体制を作ってもらえたことも大きいです。ここでごみを減らす取り組みが成功すれば、タイだけでなく東南アジア諸国の多くの町でも実現可能なプランになるでしょう」と磯辺さんは自信を見せる。

### ドローン撮影で総量算出 効率的な広域調査可能に

サマエサン島で調査を開始しようとした矢先、新型コロナウイルスによる感染症が広がった。研究の中断を余儀なくされた磯辺さんは、日本でプラスチックごみの広域調査に向けた技術開発を先行して進めることに決めた。「プラスチックごみの行方を人が目視で観察するだけでは、到底全容を把握することはできません。またこういった調査は地道ですが、定期的に継続し続けてこそ意味があります。そのため、人手やお金をかけずに広範囲を調査し続けられる手法の開



図6 模擬ごみをつかった実験の様子  
海岸に配置した模擬プラスチックごみをドローンで撮影した写真(左)からAIがプラスチックだけを赤色に着色して示した(右)。プラスチックの多様な形状を的確に見分けて特定する。体積は立体に再構成した時の底面積と高さの推測値から、算出する。(出典:Kako et al., 2020, Marine Pollution Bulletin, 155, 111127)

発が必要でした」と語る。

開発に当たったのは鹿児島大学の加古真一郎准教授を中心としたチームだ。重視したのは、広範な海岸を短時間で計測できる機動性、海の多様なごみからプラスチックを正確に判定できる客観性、そしてどこでも利用できる汎用性の3点だ。ドローンを使うことで、100メートル四方をわずか20分で測定が可能だ。自動飛行やリアルタイムで位置情報を取得できるモデルを使えば、誰でも計測を行うことができる。また自然物と異なり、プラスチックは色や形が特徴的なことから、模擬ごみを使ってAIに繰り返しプラスチックごみの特徴を学習させ、自動で判定が可能になった(図6)。

プラスチックはビニールのように厚みのない形状から、発泡スチロールのような立体物まで多様だが、さまざまな角度から撮った写真から立体構造を再現し、体積まで算出できるようにした。実際に長崎県の大串海岸で計測を行った際には、推測値と実測値の誤差は5パーセント以内だった(図7)。石が多い場所では若干精度は落ちるものの、上空17メートルから撮影すると、500ミリリットルのペットボトルも逃さず検出できるという。「この技術を使えば、できるだけ手間をかけずに、長期間の定点観測を行えるでしょう。今後は多様な環境で野外計測を行い、さらに精度を高めていきたいです」と磯辺さんは笑顔を見せる。

### 経済発展と環境対策を両立 日本も無関係ではられない

ドローンに組み込まれたシステムをスマートフォンのアプリとして利用することも検討している。街中で市民がごみを見つけたらその場で撮影し、データセンターで情報を集積すれば、海岸だけでなく陸域のプラスチックごみも把握でき、どのような種類のごみがどこで多く排出されるのかわかる。市民自らが調査に参加することで、一層ごみ問題に意識が向くようになることも期待できる。こうした取り組みを積み重ねていけば、サマエサン島での海洋プラスチックの発生経路も明らかになり、海洋プラスチックの対策が進むだろう。

しかし、すぐさま事態が改善していくわけではない。「有効な対策が見えてきたからといって、いきなり日本人の私たちが現地政府に提案してもうまくいかないでしょう。その国の暮らしに合った政策を、その国の人たちがきちんと議論しながら決めるべきです。私たち科学者は、判断の根拠となる科学データを提示することが大事です」と磯辺さんは続ける。SATREPSではチュラロンコン大学に研究者として滞在経験もあり、タイ

の環境政策にも精通する中央大学経済学部の佐々木創教授が加わっている。佐々木さんの研究パートナーにも協力してもらい、タイ政府に提案する道筋をつけていく考えだ。

サマエサン島での取り組みが功を奏せば、経済発展と環境対策を両立したモデルとして、東南アジア諸国や中南米、アフリカといった一層の経済発展が見込まれる国々でも生かされるだろう。「今世界は脱プラスチック、脱使い捨てに向けて進んでいます。日本もこの流れと無関係ではられません。レジ袋有料化は始まりに過ぎません。1人1人がプラスチックの使用量を減らすことが求められています」と強調する。世界が海洋プラスチック問題の解決に向けて歩み出せるよう、磯辺さんはこれからも科学的根拠を積み上げていく。

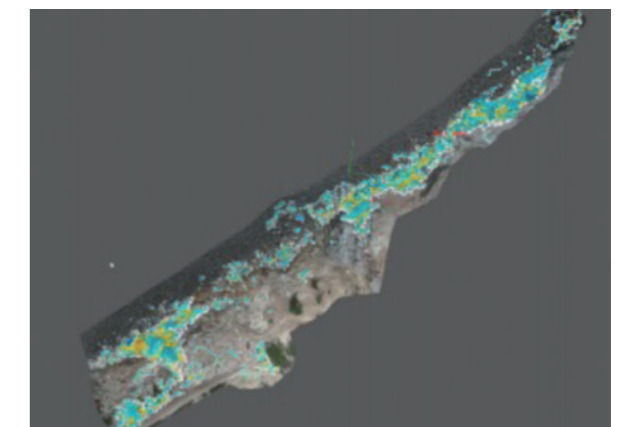


図7 大串海岸(長崎県奈留島)の解析結果  
使用したドローンは2000万画素のカメラを搭載し、位置データも計測できる。漂着ごみを手作業で分類したデータをAIに学習させ、自動でごみを判別するモデルを構築した。色がついている場所(青・黄色・白)はAIがごみと判断した場所だ。(出典: Kako et al., 2020, Marine Pollution Bulletin, 155, 111127)