

JST news

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

プラスチックごみ削減のために

7

July 2021



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

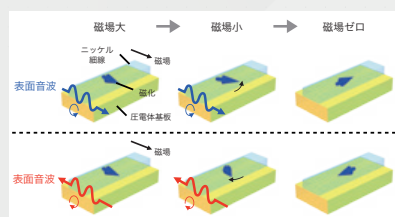
生活に溶け込む血糖センサー
糖尿病の発症や重症化予防へ



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

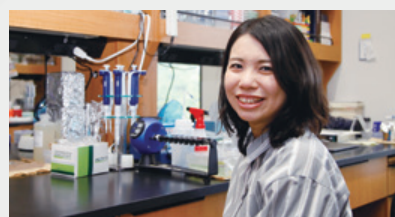


16

さがける科学人

終わりのなき探究心

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 (CO₂) 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った。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付き、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。

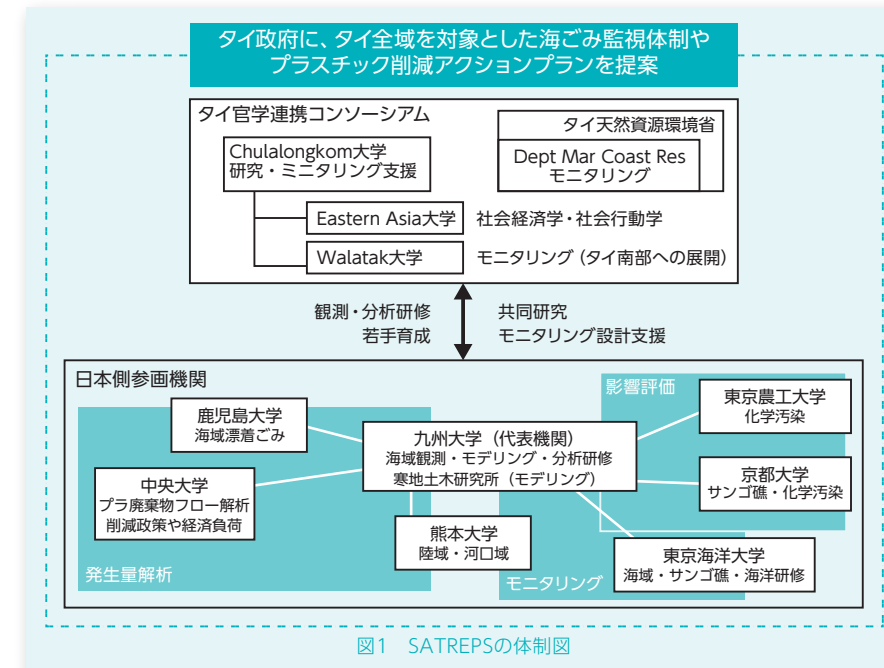


図1 SATREPSの体制図

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」と苦勞を語る。

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つずつ定めていった。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

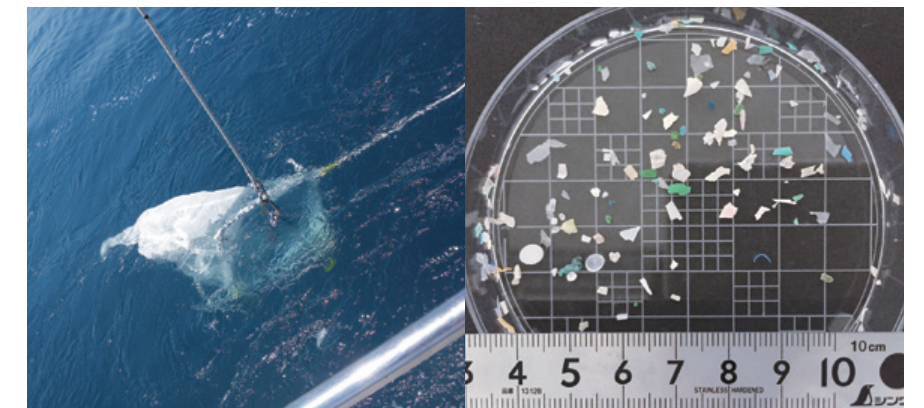


図3 ニューストン・ネットを曳いてMPを採取する様子(左)と採取されたMP(右)



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

量が増大したが、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提供するのではなく、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

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、現地の人たちが暮らす住宅街ではごみが処理しきれず、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

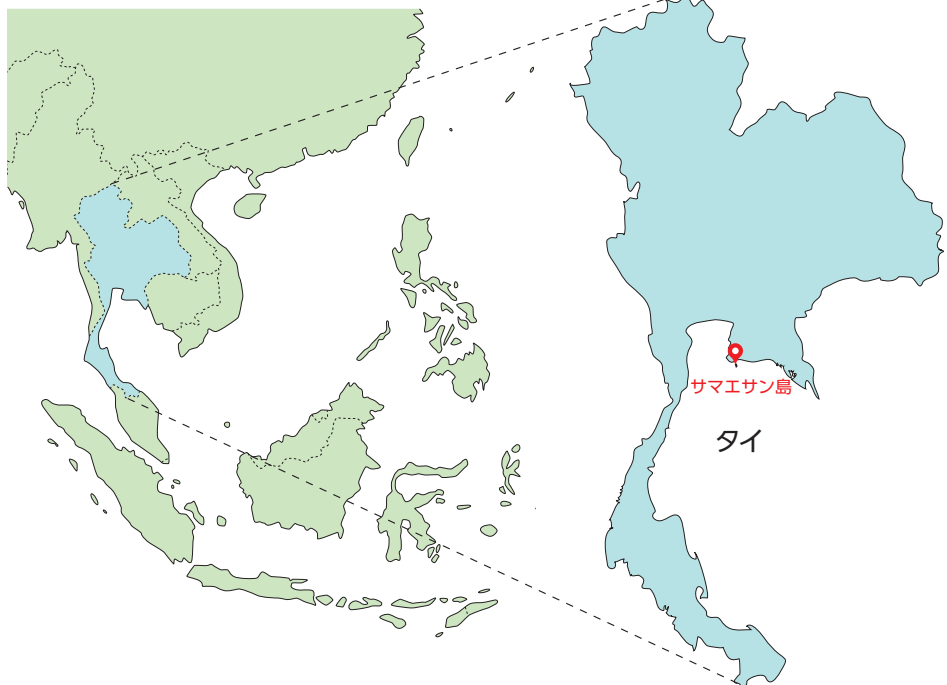


図5 調査が行われるタイのサマエサン島。観光ガイドブックでも、きれいな島として紹介されている。



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がわかる。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。

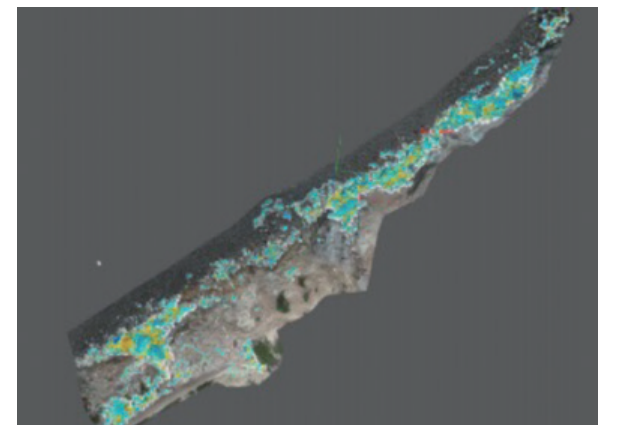


図7 大串海岸(長崎県奈留島)の解析結果
使用したドローンは2000万画素のカメラを搭載し、位置データも計測できる。漂着ごみを手作業で分類したデータをAIに学習させ、自動でごみを判別するモデルを構築した。色がついている場所(青・黄色・白)はAIがごみと判断した場所だ。(出典: Kako et al., 2020, Marine Pollution Bulletin, 155, 111127)

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

プラスチックは高い安定性と耐久性のために、自然界での分解は困難とされてきた。これに対し、微生物を使った「生分解性プラスチック」の実用化に成功したのは、理化学研究所の土肥義治名誉研究員だ。現在年間5000トン生産され、国内だけでなく欧州でも利用が進む。その研究を引き継いだのは、理化学研究所 環境資源科学研究センターの阿部英喜チームリーダーと平石知裕専任研究員だ。実環境での生分解機構を解明し、耐久性を保ちつつ、廃棄された時には自然界の多様な環境下で分解される新素材の開発に挑む。

どい よしはる
土肥 義治

理化学研究所 名誉研究員/
東京工業大学 名誉教授
2017年より未来社会創造事業領域運営会議委員



環境省が新基本計画策定 「入口」も「出口」も変える

日本では年間約1000万トンのプラスチックが製造され、広く使われているが、多くが化石燃料を原料としている。そのため化石燃料の大量消費によって大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度が徐々に増大し、地球環境への影響が懸念されている。また、環境中に出たプラスチックは分解されことなく海や川に残存し、長期間生態系へ影響を及ぼしている。昨今、これらの課題の解決策として「バイオプラスチック」が注目を集めている。

バイオプラスチックは、植物などのバイオマスを原料とする「バイオマスプラスチック」と、微生物により分解される「生分解性プラスチック」の総称である（図1）。バイオマスプラスチックは原料という「入口」に、生分解性プラスチックは生分解性という「出口」に着目した呼び名といえる。バイオマスプラスチッ

クが必ずしも生分解性を持っているわけではなく、同様に生分解性プラスチックであっても、化石燃料由来のプラスチックを含んでいることもある。

このようにプラスチック問題は「入口」も「出口」も変えなければ解決しないことから、国もバイオプラスチック

への転換を後押しする。2019年には環境省が「第4次循環型社会形成推進基本計画」を策定し、30年までに現在のプラスチックの年間生産量の20パーセントに当たる約200万トンのバイオマスプラスチックを日本で生産するとしている。

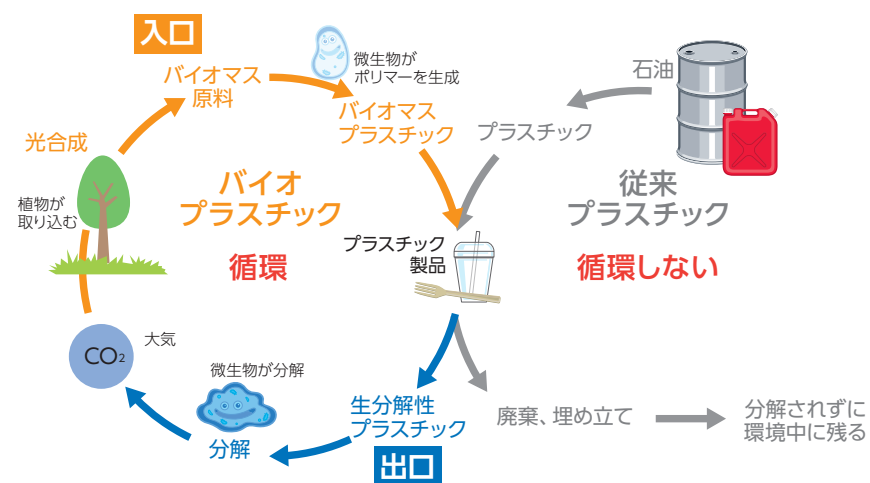


図1 バイオプラスチックの概略
バイオプラスチックにはバイオマスプラスチックと生分解性プラスチックの2種類がある。原料がバイオマスのプラスチックをバイオマスプラスチックといい、使用後に分解することができるプラスチックを生分解性プラスチックという。バイオマスを原料とした生分解性プラスチックを作ることができれば、入口から出口まで循環させることができ、より環境負荷を下げるができる。

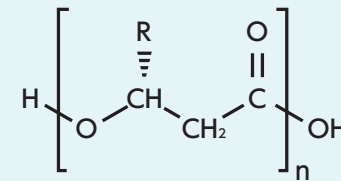


図2 PHAの化学構造式

きっかけは「忘れられたポリマー」 プラスチックを作る微生物を発見

今後さらに需要が高まると考えられる生分解性プラスチックのパイオニアの一人が、理化学研究所の土肥義治名誉研究員だ。1984年に東京工業大学化学環境工学専攻（当時）の助教授として就任した頃、世間ではすでにプラスチックごみが大きな社会問題となっていた。高分子の研究を環境問題に生かしたいとプラスチックのリサイクルを研究テーマに据えた。海釣りが趣味だったこともあり、日頃から自然界では分解されないプラスチックの釣り糸が海洋生物に害を与えていることに心を痛めていたことも要因の1つだった。

プラスチックのリサイクルを研究し始めた頃、化学繊維として知られるポリエステルを体内で合成する微生物が自然界にいることを知り、土肥さんは衝撃を受けた。「化学合成を専門としてきましたが、バイオマス由来の原料から微生物による生物学的合成ができ、生分解性も有するという入口と出口の両方をカバーするバイオマスプラスチックが実現できるかもしれないと考えました」と振り返る。土肥さんは生分解性プラスチックの研究へと大きくかじを切った。

さらに過去の文献を読み進める中で、土肥さんはPHA（ポリヒドロキシアルカン酸）という立体規則性ポリマーにたどり着いた（図2）。これは1920年代に微生物の中にあることがわかっていた「忘れられたポリマー」だった。これを足掛かりに研究を進め、1987年には硬いプラスチックから軟らかいゴムまで作る微生物を発見した。「新聞でも私たちの研究

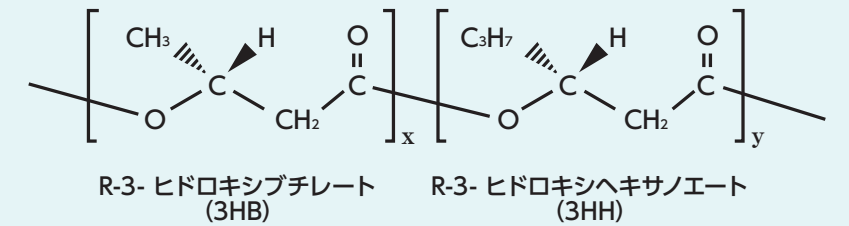


図3 PHBHの化学構造式

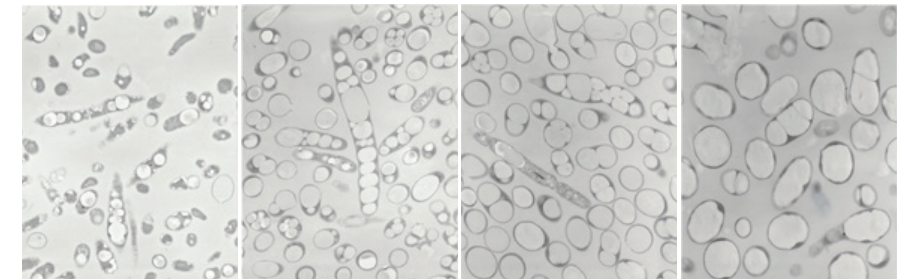


図4 微生物が体内にPHBHを蓄積していく過程を撮影した顕微鏡写真。微生物の細長い体内に、丸い粒のように見えるのがPHBHだ。飢餓状態に備えるために、栄養源としてプラスチックを体内にため込む。（画像提供:カネカ）

が紹介されるようになりました。それまでは学会で発表しても人はまばらで、ほとんど注目されていませんでした」と当時の様子を語る。

25年に及ぶ共同研究 PHBHの量産に成功

土肥さんは化学メーカーのカネカと、糖よりも生産性が高い植物油を原料に、高性能なPHAを作ることを目指して1989年に共同研究を開始した。まずカネカの植物油工場周辺の土壌から、PHAを合成する新規の微生物を探索した。「植物油やマーガリン、魚油などを扱う食品関係の事業部を持つカネカの敷地

なら、植物油を原料とする微生物もいるだろうという読みでした」という土肥さんの予測は的中し、1991年にカネカがPHBH（3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート共重合体）を作る新種の微生物を発見した（図3）。

PHBHはBH組成を変えることによって結晶化度が調整でき、成形しやすくなおかつ丈夫というプラスチックに適した性質を持っていることがわかり期待が高まったが、課題もあった。「微生物がポリマーを合成して体内にため込むのは、人間に例えると皮下脂肪をためるようなものです。そのため、菌体重量の30パーセント程度までが限界でした。これでは効率が悪く、実用化は



図5 カネカが開発しているPHBHの製品。今後ますます用途が広がると期待されている。（画像提供:カネカ）

とてもできないと思いました」と土肥さんは語る。理化学研究所に移籍後の1996年には遺伝子組み換え技術を使い、菌体重量の90パーセント近くまでPHBHを蓄積する微生物を作り出すことに成功した（前ページ図4）。

これがブレークスルーとなり、一時中断していたカネカとの共同研究が再開した。09年にはJSTの委託開発事業を利用し、実験室の10万倍の巨大な培養槽で微生物を培養する生産実証実験を行った。高分子技術による化学の力と発酵技術によるバイオテクノロジーの力を結集し、微生物からPHBHのみを分離し精製する工程を確立した。

そして11年にはPHBHの年間生産量1000トンを実現し、14年に実用化を果たした（前ページ図5）。「共同研究を始めてから25年の歳月を要しました。ここに至るまでには多くの困難がありました。カネカの方々が最後まで諦めなかったことに心から敬意を表します。現在は年間5000トンまで生産量を拡張しており、数年以内には年間2万トン、最終的には年間10万トンの生産を目指すということです」と今後の展開に期待を寄せる。

土肥さんとカネカが生み出したPHBHは、バイオマス由来の原料から微生物による生物学的合成ができ、生分解性も有するという「入口」と「出口」の両方をカバーするバイオマスプラスチックとして、海外での利用も進んでいる。これらの功績が認められ、19年には一般社団法人バイオインダストリー協会が主催する第3回バイオインダストリー大賞を受賞した。今後は日本でもPHBHで作られた製品を手にする機会が多くなるだろう。

環境により異なる分解性能 新たな循環システム構築へ

現在、土肥さんの研究を引き継いでいるのは、理化学研究所環境資源科学研究センターの阿部英喜チームリーダーが率いるバイオプラスチック研究チームだ。阿部さんらは、植物バイオマスから化学的・生物学的手法を用いて新しい機能性バイオマスポリマーの合成に取り組んでいる。その研究の1つとして、多様な環境に適した生分解性プラスチックの開発に挑んでいるのが、チームメンバーの平石知裕専任研究員だ。個別の環境下で狙った通りに分解できるプラスチックを作ることで、生分解性プラスチックを軸とした新たな循環システムを構築しようというのだ。生分解性プラスチックは、微生物により最終的にはCO₂に完全に分解され、自然に戻る。CO₂は光合成により植物に取り込まれ、その植物を使ってバイオマスプラスチックを作るという循環が生まれる。

そのためにはまず、プラスチックがさまざまな環境でどのように分解されるのかを明らかにする必要がある。一口に「生分解性が高い」と言っても、環境やプラスチックの種類によってその度合いは大きく異なる。特に海水中で高い生分解性を示すプラスチックは、現在のところPHBHなどごく一部しかない（図6）。「生分解性プラスチックは、土壌や河川、海などの自然環境中に存在する微生物が分泌する酵素によって分解されます。どのプラスチックがそれぞれの環境下でどのようなメカニズムで分解されるのかを明らかにで



ひらいし ともひろ
平石 知裕
理化学研究所 環境資源科学研究センター
専任研究員
2019年より未来社会創造事業研究開発代表者

あべ ひでき
阿部 英喜
理化学研究所 環境資源科学研究センター
バイオプラスチック研究チーム
チームリーダー

ければ、環境に適した生分解性を持つプラスチックが設計できます」と平石さんは語る。

酵素との反応に着目 メカニズムを推定

従来は、微生物がプラスチックを分解するときに消費する酸素量（BOD）の測定や核磁気共鳴装置などを使い、残存プラスチックの構造解析を行う。これらの方法では、実際に微生物や酵素が分解する様子を直接観察することはできない。分解酵素が生分解性の鍵を握ると考えた阿部さんや平石さんら

であっても、酵素による分解性能と自然環境での分解性能が必ずしも一致しないこともわかった。

予想されるプラスチックの生分解のプロセスは6段階に分かれている（図7）。はじめにプラスチックの表面に微生物が付着する。微生物が分泌した酵素によってプラスチックが分解される。微生物は分解されてできた生産物を栄養源にして増殖し、コロニーを作る。そこに新たにプラスチックを分解しない菌も付着して、より大きなコロニーができるとともに、コロニーを覆うバイオフィルムを形成するという流れだ。

単にプラスチックと分解酵素の反応メカニズムのみに着目しているだけでは不十分だと、平石さんは強調する。「実際の自然環境において、何が引き金になって生分解性を発現させるのかなどを詳しく分析する必要があります」。

リアルタイム解析の手法確立 漁業用具に適した素材開発も

そこで新たに取り組み始めたのが、生分解のプロセスを従来のように個別に解析するのではなく、自然環境と同じ状態でリアルタイムに観測する手法の開発だ。各プロセスでどのような微生物がどのような酵素で分解反応を行っているのかを網羅的に調べるオミックス解析や、代謝産物が微生物によってどのように利用されているかを

測定する同位体ラベル法などを新たに導入して、全プロセスのリアルタイム計測を進めている。「この測定法で自然環境下での生分解のメカニズムを解明できれば、より適切に生分解性を評価できるようになります。プラスチックの設計にも生かしていきたいです」平石さんは力強く語る。

現在、阿部さんたちは海洋汚染で問題となっている釣り糸や漁網用に、安定性と生分解性を併せ持った生分解性プラスチックの開発も進めている。「使用している間は耐久性が高く、一定時間が経過したり、環境が変化したりした時に一気に生分解が進むという性質が求められます。一方で生分解性を高めることは材料の安定性を下げるトレードオフの関係です」と開発の難しさを説明する。例えば塩分濃度や温度、圧力、酸性度などが変化した時にだけ生分解が始まるといった、何らかのスイッチ機能を持つ生分解性プラスチックを作り出す研究も現在進めている。

生分解性プラスチックの研究がスタートしてから約40年が経とうとしている。土肥さんから始まり、阿部さん、平石さんに受け継がれてきた研究は、世界の潮流も相まって、今大きく花開こうとしている。基礎と応用の両面から進められてきた研究は、今後もさまざまな循環型生分解性プラスチックを生み出していこう。低炭素社会の実現に向けて、3人はこれからも着実に歩み続ける。

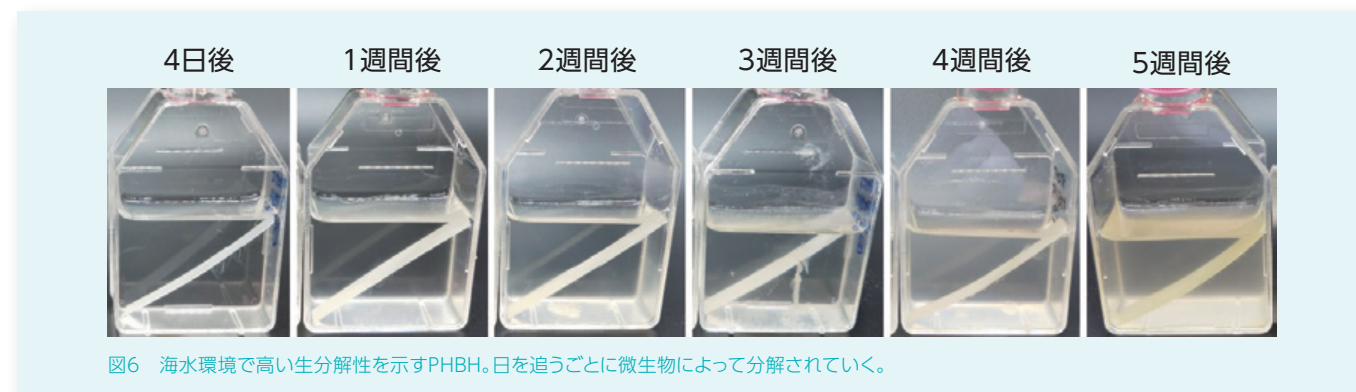


図6 海水環境で高い生分解性を示すPHBH。日を追うごとに微生物によって分解されていく。

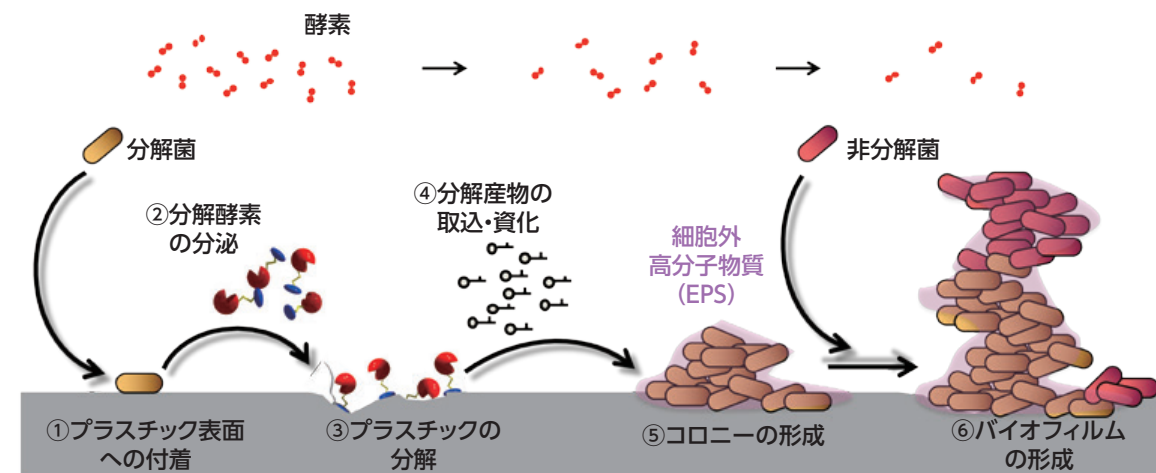


図7 プラスチックの生分解のプロセスは大まかに6つのステップで起こっていると考えられる。①プラスチックの表面に微生物（分解菌）が付着する。②微生物が分解酵素を分泌する。③酵素がプラスチックを分解する。④微生物は分解産物を栄養源として取り込み増殖する。⑤微生物が集合したコロニーを作る。⑥コロニーに他の非分解菌などが付着し、コロニーの表面を覆うバイオフィルムが形成される。

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

現在世界には約4億2200万人の糖尿病患者がいるとされている。完治は今のところ難しく、生涯にわたって血糖値をコントロールしながら生活する必要がある。しかし患者自身が血糖コントロールの努力の成果を的確に評価・実感できるのは、主に通院して血液検査をした時に限られていた。そこでPROVIGATE(東京都文京区)は血糖値を安価で手軽に家庭で測定できる、血糖センサーの開発を進めている。在宅で血糖コントロールの成果を数値で確認し、日常療養のモチベーションを喚起して無理なく続けることで、糖尿病の発症や重症化を防ぐ狙いだ。この血糖センサーが糖尿病との付き合い方を変える新たな一歩を切り開く。

1週間単位の小テストで 努力成果を実感しやすく

私たちは食事をすると、グルコースなどの糖が腸から吸収され、体内でエネルギー源として使われる。膵臓から出るホルモンのインスリンは、糖が細胞に取り込まれるのを助け、血液中の糖の割合を一定の範囲に収める役割を果たす。糖尿病ではこのインスリンがうまく働かず、慢性的に血糖値が高い状態になる疾患だ。血糖値が高いまま放置すると血管が傷つき、やがて腎症や網膜症、神経症、脳梗塞、心筋梗塞といった重篤な合併症を発症することもある。

しかし糖尿病患者の多くを占める2型糖尿病は、進行が緩やかで症状を自覚しにくく、最初の受診が遅れがちだ。また糖尿病であっても適切な食事や運

動、服薬の療養を行えば、糖尿病ではない人と変わらない生活ができるが、この努力を継続できるかは患者次第だ。そのため医療機関を受診していても、重症化するケースも多い。PROVIGATEの関水康伸CEOは、現在の医療の構造的な限界を指摘する。「患者さんの多くは受診が1〜3カ月に1回しかなく、療養の成果を血液検査でしか振り返ることができません。また大半の方は自己血糖測定器を持っていないので、日々の状態も把握できません。孤独に努力しても血糖改善の結果が数値で確かめられなければ、適切な療養を継続することは難しいでしょう」と語る。

PROVIGATEで開発を手がけるのは、経済的にも肉体的にも負担が少なく誰でも血糖を手軽に把握できるセンサーと、これに連動した予防や療養支援のアプリケーションだ(図1)。バイオ

マーカーは、血中タンパク質の1つであるアルブミンにグルコースが結合したグリコアルブミン(GA)だ。GAは1〜2週間の平均血糖値を間接的に示す、非常に優れた代替血糖マーカーだ。1日に何度も採血が必要な一般的な自己血糖測定器と異なり、週に1度の測定で直近の平均血糖がわかる。

医師にとっても、次の検査までの状態を適切に把握でき、患者の生活に合わせた療養プログラムを提供できるようになる。「病院での検査はいわば数カ月に1度の期末試験です。しっかり準備しなければ成果はでません。一方、私たちのセンサーは直近の努力をこまめに確認する小テストです。今週はバランスよく食べて運動したという努力が、そのまま数値に表れます。記憶が新たなうちに、1週間単位で数値の振り返りができます」と利点を語る。

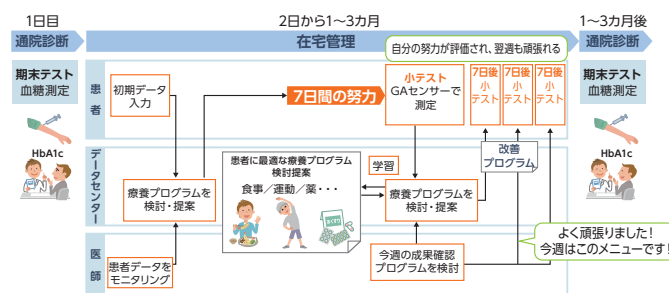


図1 PROVIGATEは定期検診や通院の合間に家庭で血糖値を把握することで、患者が療養を継続しやすくすることを目指す。いずれは医師と連携しながら、AIが患者の生活スタイルに合った療養メニューを自動で作成するサービスも視野に入れている。

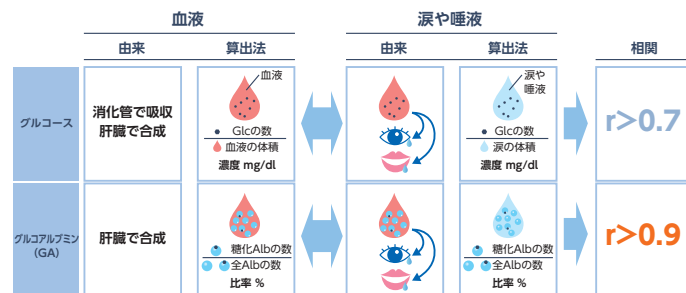


図2 GAの計測では、サンプルに含まれる全アルブミンの中で、GAがどのくらい含まれるかを濃度ではなく分子内比率のGAパーセント(GA%)として計測する。涙や唾液から得られたGA%と血液から得られたGA%には極めて高い相関があることから、将来的には血液の代わりに、涙や唾液を使ったモニタリングも目指している。



半導体をバイオセンサーに 試作品で効果実証し量産へ

開発のきっかけは、2008年に東京大学大学院工学系研究科の坂田利弥准教授が開発したバイオセンサーだ。測定サンプルと半導体センサーの界面を細工すると、さまざまな成分を分析できることから、グルコースモニタリングとして実用化したいと考えていたという。関水さんは14年、STARTの支援を受けて事業化に向けて動き始めていた坂田さんと出会った。「話を聞いてみると、コア技術が非常に素晴らしく、さまざまなバイオマーカーの測定にもつながる大きな可能性を感じました。15年に坂田先生らとPROVIGATEを起業しました」と振り返る。

創業当初は、涙糖センサーの開発を進めていたが、涙の成分分析を行ったところ、アルブミンが含まれていることに気付いた。糖が結合したGAの割合は、血糖値とも極めて高い相関があることが明らかになった(図2)。涙糖で血糖のおおよその値を測定するよりも、週1回の微量採血で正確に測定できる方が臨床有用性は高いと判断し、バイオマーカーをGAに変更した。

既に試作品での検証が終わり、現在は量産体制の確立に向け動き出している。開発の指揮を執るのは、世界で初

めて間質液連続グルコースモニタリングを実証し、さらに家庭用のデジタル尿糖計を上市した経験を持つ伊藤成史CTOだ。「実験室で原理検証しただけでは、製品になりません。高精度のセンサーを産業的に大量に作るには、経験知に基づく製造技術が必要です。論文や特許の条件をまねるだけでは、精度や安定性は実現できません。PROVIGATEには分野ごとに開発経験のあるエンジニアが集まり、急所を押えた開発を効率よく進めています」と自信を見せる。

寡占市場で特許網を構築 開発者の熱意こそ推進力

日本で成功した医療機器ベンチャーが少ない中、PROVIGATEは実用化を照準に捉えている。関水さんはその要因の1つに事業特性に合わせた知財構築を挙げる。「独占市場の治療薬と異なり、診断薬や診断用医療機器は基本的に技術的、特許的な独占の難しい寡占市場ですが、製造技術によって息の長いビジネスができます。世界の競合と渡り合うためには、十分なノウハウと特許網を構築し、維持してたたかに進める必要があります」。

伊藤さんは開発者の熱意こそが推進力だと付け加える。「医療では事故が起きないよう、規制やルールがあります。これを遵守するのが基本ですが、その中で新しいものを世に出すのは困難の連続です。技術を最も理解している開発者の実用化したいという熱い思いが、苦難を乗り越える力になるのです」。

GAセンサーは23年をめどに医療機関向けの測定システムとして薬事承認取得を目指し、その後家庭向け医療機器へと展開していく予定だ。国際糖尿病連合によれば、糖尿病人口の4分の3は、低・中所得の国に集中している。家庭でも安価で安全に血糖値を把握できれば、多くの患者や家族、また予備群の人々にとって大きな助けとなるはずだ。PROVIGATEのGAセンサーが世界の糖尿病医療の在り方を変えようとしている。

HISTORY

2008年

CREST「半導体バイオセンシング技術による1チップゲノム解析」(08〜11年度)で東京大学坂田利弥准教授が半導体によるバイオセンシング技術を確立。



2012年

START「非侵襲型診断医療に向けた半導体バイオセンシングの実用開発研究」(12〜14年度)で「涙糖センサー」の実用化に向けた開発を開始。

2015年

PROVIGATEを設立。

2017年

未来社会創造事業「半導体バイオセンサ技術によるヘルスマニタリングサービスの実現」(17〜18年度)で汗や涙、唾液などから疾病の予兆を捉える検査手法の開発に挑む。

2020年

SUCCESS(20年度〜)の出資を受けるなどし、試作品を完成させ、量産条件を検討するためのパイロットラインを立ち上げる。



研究者は研究成果を公開する前に、まずは起業家のネットワークにアプローチし、自分の研究の面白さを伝えることを考えてみてください。良い研究であれば、研究費獲得や事業化に必ずつながります。

研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ
研究領域「トポロジカル材料科学と革新的機能創出」
研究課題「トポロジカルフォノニクスと革新的な音波・熱物性の開拓」

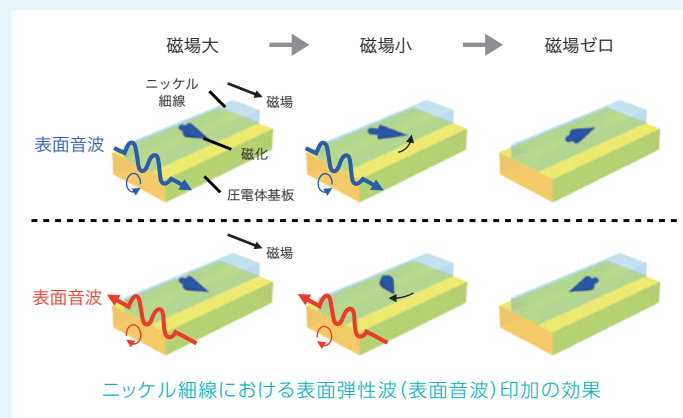
音波で磁石の向き制御に成功 弾性波デバイスの高度化へ道

磁石の向き「NS」や「SN」は、コンピュータの磁気記憶媒体で情報保持に利用されています。そのため向きの効率的な制御は非常に重要で、さまざまな研究がなされてきました。その代表例としては、電子がもつ磁石としての性質を使って、電流でS極とN極の向きを制御する手法が知られています。

空気や物質の振動が波として伝わる音波は、物質の表面を伝わる場合は「表面弾性波」と呼ばれ振動方向が回転しながら伝わっていく性質があります。東北大学金属材料研究所の新居陽一助教らの研究グループは、音波の振動方向の回転を電子の自転であるスピンに移すことにより、磁石の向きを制御することに成功しました。

研究では、圧電体基板上に表面弾性波を発生するくし型電極を作製し、音波の通り道にニッケル細線を配しました。ニッケル細線の磁石の向きは細線と平行な状態が安定です。ここに細線と垂直に強い磁場を印加して強制的に垂直方向に変えたのち、表面弾性波をニッケル細線に伝えながら磁場を弱めると、細線と平行に戻った磁石の向きは、表面弾性波の進行方向によって決まることがわかりました。

表面弾性波は、特定の周波数領域のみを透過する高精度のバンドパスフィルターとして携帯電話などに活用されています。すぐれた記録素子として既に広く使われる磁性との融合により、今後のデバイス高度化への道が期待できます。



研究成果

センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム
東京大学 自分で守る健康社会拠点

免疫疾患の「遺伝子多型」同定に寄与 日本発、大規模なデータベースを作成

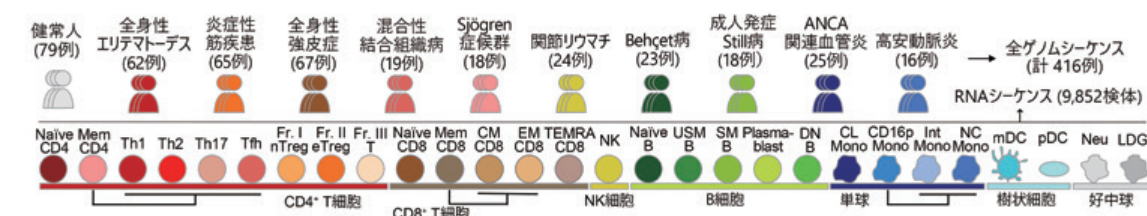
免疫細胞が関わる病態は、免疫疾患、感染症、がんや動脈硬化など多岐にわたります。これまで疾患の発症と関わる多くの遺伝子多型が同定されてきましたが、多型がどのように疾患の発症に関わっているのかを解明するには、細胞の遺伝子発現とゲノム配列を組み合わせた大規模なデータベースが必要でした。

そこで、東京大学大学院医学系研究

科の太田峰人特任助教、藤尾圭志教授らの研究チームは、416例の末梢血から分取した28種類の免疫細胞の9,852に及ぶサンプルを解析し、過去の報告を大きく上回る規模の遺伝子発現データベースを構築しました。さらに、ゲノム配列との関連を解析し、遺伝子多型の機能カタログを作成。このデータを既報のGWASデータと組み合わせ、さまざまな免疫疾

患と関連する細胞種や遺伝子を明らかにしました。

ゲノム機能のデータベースは、これまで欧米人主体に作成されてきましたが、本研究により日本発のカタログが作成され、今後はアジア人を対象としたゲノム研究の発展や、欧米人のデータとの統合解析によるゲノム機能の詳細な解明などの点において注目されています。



解析したデータセット。各症例の末梢血よりセルソーターを用いて免疫細胞を分取し、RNAシーケンスおよび全ゲノムシーケンスを行い、各細胞における遺伝子多型の機能について解析した。

研究成果

研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)
研究課題「新規免疫活性化剤の先端農業への適用基盤の構築」

メントールから免疫活性化剤を開発 安心で安全な農作物栽培に利用可能

ハーブとしてよく知られるミントは、植物にとって害虫や病原体防御に必要な植物特化代謝物である香気成分メントールを含みます。東京理科大学先進工学部の有村源一郎教授らの研究グループは、このメントールが近くに生息する別の品種の防御応答も誘導することに着目し、農作物の免疫力を大幅に活性化する安心で安全な化合物を開発しました。

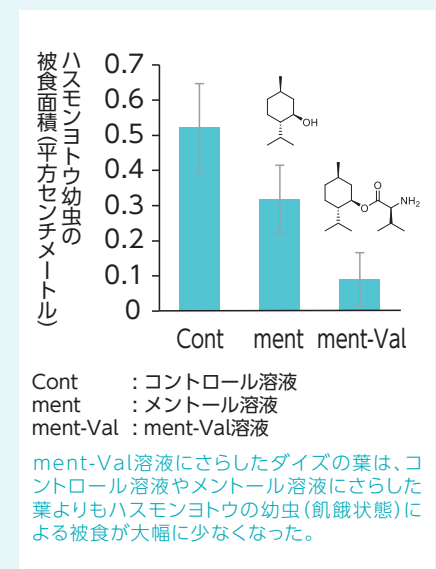
研究グループはより優れた免疫促進能を検証するため、メントールをバリンなど6種類のアミノ酸それぞれと反応させた化合物を合成し、これらの水溶液にさらした葉物野菜などの害虫に対する防御応答を観察しました。

ダイズの葉では、バリンとメントールとの化合物「ment-Val」に対してのみ

防御遺伝子の転写レベルが大幅に上昇しました。エンドウ、カブ、タバコ、レタス、トウモロコシでも同様の効果が見られました。これはマメ科、ナス科、キク科、イネ科という幅広い植物の品種すべてについて、ment-Valの免疫活性化剤としての汎用性を示すものです。また植食者のハスモンヨトウ幼虫による葉の被食面積をダイズで確かめると、ment-Val溶液の場合は比較対照のためのコントロール溶液の5分の1程度に抑えられていました。

環境にやさしい農作物の栽培方法や安全性の高い生産技術は、生態系保護に対する関心の高まりとともに、食生活や健康にもかかわる課題となっています。さまざまな品種に対し植物本来の免疫力を高められる

ment-Valは、これに応え植物工場や園芸農場などで利用可能な免疫活性化剤として有望です。



研究成果

センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム
東北大学 さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する自助と共助の社会創生拠点

3D印刷でプロトン伝導膜を成形 電池やキャパシタの基盤技術に

3Dプリンティングによるデバイス作製技術は、オンデマンドによるデバイスの作製や小型～大型のデバイス設計を可能にし、インクの原料にさまざまな機能性物質を用いることで任意のデバイスを作製できることから、幅広い分野より注目を集める技術の1つです。東北大学多元物質科学研究所の本間格教授らの研究グループは、燃えにくく安全性に優れたプロトン(水素イオン)伝導性イオン液体と無機ナノ粒子、光硬化樹脂を混合したインクを作製し、3Dプリンティングはもちろん、固体蓄電デバイスにも応用できるプロトン伝導膜(プロトンが伝導する絶縁体。電池やキャパシタの電解質材料として使用できる)の開発に成功しました。

本研究では、「イオン液体に無機ナノ

粒子を混合するとイオンの粘度が変化し、ゲル状になる」という現象に着目。吐出されたインクは紫外線ランプを照射することで光硬化樹脂が固まり、形状を維持できるという特性を生かし、プロトン伝導膜を使用した疑似固体電気化学キャパシタ(コンデンサ)の作製

も行われています。

多様なイオン液体や無機材料を出発原料とした柔軟性の高い取り組みや手法は、活発に開発が進められているウェアラブルデバイスやフレキシブルデバイスの作製基盤技術として、さらなる発展が見込まれています。



図 3Dプリントが可能なプロトン伝導性インクの開発

さがける 科学人

vol.105

戦略的創造研究推進事業さがけ

哺乳類の非オプシン型青色光受容体CRYの機能の再検証とその光遺伝学的応用

Profile

東京都出身。2013年東京大学大学院理学系研究科博士後期課程修了。博士(理学)。同研究科特任助教、日本学術振興会海外特別研究員、カリフォルニア大学サンフランシスコ校 博士研究員、筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構助教を経て、19年より現職。18年よりさがけ研究者。

終わりは
探究心

Hirano Arisa
平野 有沙

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

Q1. 研究者を志した理由は？

A1. 遺伝子に対する興味から

子どもの頃から科学に興味があり、動物のドキュメンタリーや科学の番組が大好きでした。番組の中で研究者の方々がとても楽しそうに話したり実験したりしているのを見て、憧れを抱きました。本格的に研究者を志したきっかけは、遺伝子のわずかな変異が体や行動に影響を与えると知り、興味を持ったことでした。

大学の専攻は生物化学です。遺伝子変異の行動への影響を学びたいと思い、深田吉孝先生の研究室に入りました。以来、睡眠や覚醒といった約1日周期で繰り返す概日時計を研究しています。「なぜこうなっているのだろう？」という疑問が1つ解決すると、また新たな疑問が生まれることの繰り返しで、終わりがありません。それが次のテー

マにつながることも。こうした探究心を糧に、研究を続けていきたいですね。

Q2. 研究内容と今後の展望は？

A2. 体内時計の機能の解明を目指す

体内時計のリズムの制御に関わるCRYというたんぱく質を研究しています。CRYは光を受容して体内時計の時刻合わせをする役割を担っているのですが、これまで哺乳類にその機能はないとされてきました。ところが、近年の研究で哺乳類でもCRYが光受容体としての機能を持っていることがわかりました。今はその仕組みの解明に取り組んでいるところです。どの神経回路を通して時間の情報が伝達され、生理リズムが変化するかを調べるために、神経活動を操作する光遺伝学ツールも開発しています。

将来的には体内時計をより広い視

野で捉えて、総合的に理解したいと考えています。また、私自身が深田先生に研究者として一人前に育てていただいたように、次世代を担う人材の育成にも力を注ぎ、研究者として必要なことを伝えていきたいです。

Q3. 日々の過ごし方は？

A3. 育児と研究で充実した毎日

さがけに採択された直後に出産したため、半年遅れで研究を開始しました。ライフイベントに合わせた柔軟な対応に感謝しています。今は2歳半になる子どもの育児と研究で、1日があっという間に過ぎていきますが、充実した毎日です。体内時計を研究していても、寝かしつけには苦労しました。今では良い思い出です。

趣味は旅行です。カリフォルニア大学に留学していた頃は、夫と一緒に各地を訪ねました。グランドキャニオンなどを堪能しましたが、今思えばもっといろいろな場所に行っておけば良かったですね。最近は新型コロナウイルスの影響でなかなか外出できませんが、落ち着いたら家族3人で出掛けたいと思っています。



リサイクル適性(A)
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

R70

古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

JSTnews

July 2021

発行日／令和3年7月1日
編集発行／国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)総務部広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3サイエンスプラザ
電話／03-5214-8404 FAX／03-5214-8432
E-mail／jstnews@jst.go.jp JSTnews／https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー