

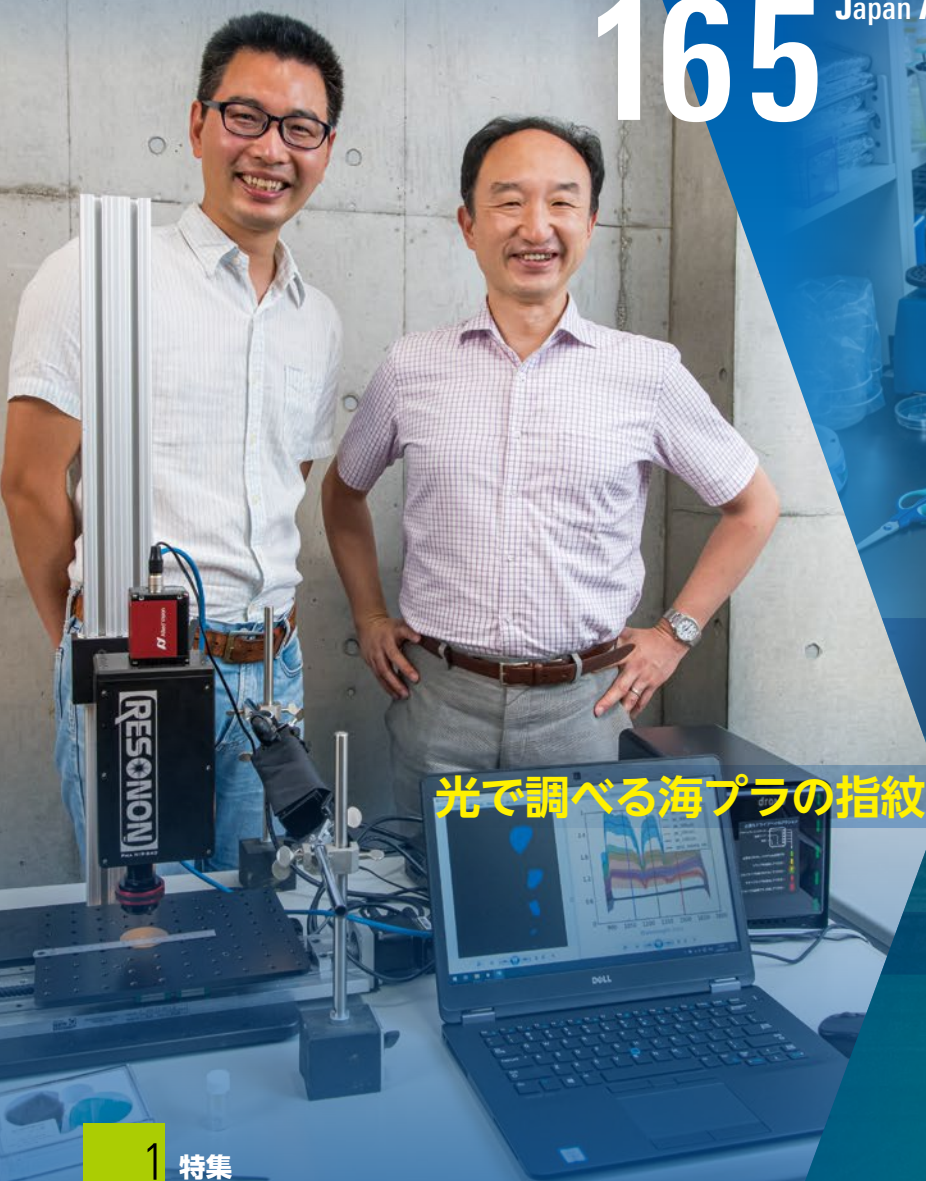
Blue Earth

海と地球の情報誌

165

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811
2020年11月発行
年4回発行
第32巻 第3号
(通巻165号)



光で調べる海プラの指紋

スーパータンパク質を
1日で見つける

海でもIoT

こんな技術が 欲しかった

1 特集

12 特別記事

1億年前の地層から生きた微生物を発見！

16 JAMSTECベンチャー

新しい海洋観測をより身近に

こんな技術が欲しかった

JAMSTECには「こんな技術が欲しい！」があふれている。
新しい技術は、不可能を可能にし、新しい発見をもたらし、
さらに新しい技術を生み出す。
そして、「欲しい」を「現実」にしてきた。
JAMSTECから生まれた最新技術を3つ紹介しよう。

デジタル・タンパク質スクリーニング・システムで用いるフェムトリットル・ドロプレット・アレイを手にする張翼さん。

撮影：STUDIO CAC

スーパータンパク質を1日で見つける

取材協力

張翼

超先鋭研究開発部門
超先鋭研究プログラム
研究員

性能の高いタンパク質ができれば、工業や医療などのさまざまな分野で役立つ。そこで、タンパク質の遺伝子に変異を導入することで高機能化を実現しようという試みが注目されている。しかし、候補となるたくさんの変異タンパク質の中から高機能化したものを見つけるには何年もかかってしまうことが課題になっていた。JAMSTECの張翼さんは、それをわずか1日で可能にする技術を開発した。

本特集で紹介している新技術やそのほかJAMSTECで開発された新技術について、お問い合わせなど下記をご参照ください。
知的財産情報 <http://www.jamstec.go.jp/ip/>

天然を超える高機能なタンパク質が欲しい

「私が持っているガラスを見てください。中央に白っぽい四角が見えるでしょう。ここで“スーパータンパク質”をつくり出します」と張さん。

タンパク質は、生物の体をつくるだけでなく、体内で化学反応を促すなど、さまざまな生命活動を担っている。そうしたタンパク質の働きを、私たちは生活の中でも利用している。

例えば、酵素配合と書かれた洗剤を見たことがあるだろう。酵素とはタンパク質の一種で、汚れを分解するタンパク質が加えられているのだ。納豆のような微生物の酵素の働きでつくられている伝統食品もある。

「タンパク質は工業や医療などさまざまな用途で使われています。しかし、酵素反応に時間がかかったり、使える温度の範囲が狭かったりします。もっと機能の高いものを使いたいのですが、天然のタンパク質では限界もあります。そこで、天然のタンパク質を超える高機能のタンパク質を人工的につくることを目指した研究が世界中で行われています」

広い海から1本の針をすくい上げるようなもの

高機能タンパク質をどのようにつくるのだろうか。「原理はそんなに難しくありません」と張さん。「タンパク質は、DNAの塩基配列に基づいてアミノ酸が連なってできています。タンパク質を構成している天然アミノ酸は20種類あるので、本来のアミノ酸を別のアミノ酸に置き換えれば、タンパク質の機能を変えることが可能です。DNAの塩基配列を変える技術は過去に確立されています。しかし、機能が向上したタンパク質を迅速に見つけるのは、とても難しいのです」

どのアミノ酸をどう変えれば機能が向上するのかは予測できないため、DNAの塩基配列をランダムに変えていく。いろいろな種類の変異タンパク質をつくれば、機能が向上したものが含まれている可能性が高まる。しかし、例えば5カ所のアミノ酸にランダムに変異を導入しようとなると、アミノ酸は20種類あるので20の5乗通り、つまり320万種類の変異タンパク質ができる。

「一般的なタンパク質は100～

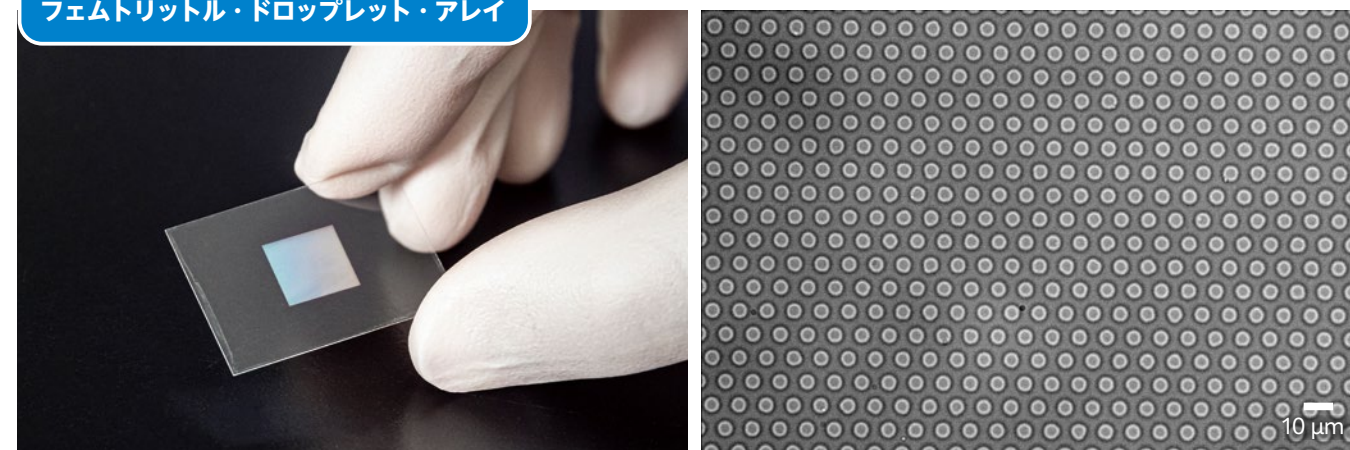
1,000個のアミノ酸で構成されています。変異タンパク質の数はさらに膨大になり、その中から機能が向上したものを見つけるのは大海撈針、海の底に落ちた1本の針をすくい上げるようなものです。何年もかかるし、機能が向上したものは1つもなかった、という悲しい結果もあり得ます。そこで私は、たくさんの変異タンパク質の中から機能が向上したものを速く簡単に見つけ出すことができる手法の開発に、東京大学（日本学術振興会 外国人特別研究員時代）などと共同で取り組みました。そして完成したのが、デジタル・タンパク質スクリーニング・システムです」

フェムトリットルの液滴100万個！

左ページの写真で張さんが持っているガラスを顕微鏡で観察すると、白っぽく見えている縦横1cmほどの領域に、小さなくぼみが無数にある。親水性のガラス基板上に撥水性のフッ素樹脂の薄膜を張り、微細加工技術で薄膜を削ってつくったくぼみだ。その数、なんと100万個。

「くぼみの体積はフェムトリットル

フェムトリットル・ドロプレット・アレイ



白く見える縦横1cmほどの領域に、100万個の小さなくぼみが並んでいる。くぼみの体積はフェムトリットル・オーダー。

のオーダー。1フェムトリットルは1リットルの1000兆分の1ですから、ものすごく小さいくぼみです。しかも体積を均一にするためには高度な微細加工技術が必要です。私は、北京大学と中国科学院でマイクロ流体デバイスの研究をしていました。そのときに身に付けた微細加工の技術が役立ちました」。このデバイスをフェムトリットル・ドロップレット・アレイと呼んでいる。

ランダムに変異を導入したDNA、DNAからタンパク質を合成するために必要な化学物質、タンパク質が働くと蛍光を発する試薬、それらを1本のマイクロチューブに混ぜる。その反応溶液をフェムトリットル・ドロップレット・アレイに流し込み(下のイラスト①)、特殊なオイルと界面活性剤で封をする(②)。作業時

間はわずか1分ほど。この封入技術も張さんが開発した。

それぞれのくぼみに入った液滴の中では、DNAからタンパク質がつくられ、働き始める(③)。蛍光顕微鏡で観察すると、活性のあるタンパク質が入っている液滴は蛍光を発している(④)。「たくさんの変異タンパク質について合成から機能の確認までを、この親指サイズのアレイ1枚でできるのです」

成功の鍵は 数理モデルにあり

しかし、この手法には一つ課題があった。強い蛍光を発している液滴があったら、その中に活性の高いタンパク質が入っていると考えてしまいがちだが、そうとも限らないのだ。

反応溶液を一気に流し込むため、それぞれの液滴に入るDNAの数はランダムに1本だったり3本だった

り、0本の場合もある。DNAの数が多ければ、タンパク質の量も多くなって蛍光が強くなりやすい。一方で、タンパク質の活性が高ければ、量が少なくても蛍光が強くなる。蛍光の強さだけでは、タンパク質がたくさんあるのか、タンパク質の活性が上がったのか、判別できないのだ。

その課題に気付いた張さんは解決策を模索し、試行錯誤の末たどり着いたのが、統計学に基づいた数理モデルだ。この数理モデルを用いると、液滴の数と溶液中のDNA濃度から1個の液滴に最大何本のDNAが入るかを求められる。

一方で張さんは、均一液滴中ではどのDNAも1本から一定量のタンパク質しかつくられないことを確かめていた。つまり、この数理モデルを用いると、1個の液滴中で最大何個のタンパク質がつくれるかが分かり、その個数から蛍光の最大強度も分かるのだ。最大蛍光強度を超え

た液滴があれば、その中に活性が上がった変異タンパク質が入っている可能性が極めて高い、と言える。

張さんは、毛細管現象を用いて微小な液滴からDNA 1分子を回収する技術も開発(⑤)。液滴からDNAを回収し、増幅してシーケンサーで塩基配列を読み取れば、変異部位が分かる(⑥)。「タンパク質の合成から機能確認、変異部位の同定まで、これまでは数カ月から数年かかっていました。私たちの手法では、最短で1日でできます」

1日で世界一高活性の 変異酵素を手中に

張さんは、デジタル・タンパク質スクリーニング・システムを用いて活性が向上した変異タンパク質を得られるか、モデル細菌由来のアルカリフォスファターゼで検証した。アルカリフォスファターゼはリン酸化合物を分解する酵素で、古くから研究されている。

その結果、酵素活性が向上したものが複数得られた。これまでの研究から活性向上にとって一番有効だといわれている部位が変異しているものに加え、まったく注目されていなかった部位が変異しているものもあり、しかもその変異体は酵素活性が20倍になっていた。

さらに、この手法を海洋性好冷菌由来のアルカリフォスファターゼに適用してみた。その酵素活性は、既知の微生物または哺乳類由来のアルカリフォスファターゼの中で最も高いとされてきたが、さらに活性が向上した、つまり世界一高活性のアルカリフォスファターゼをたった1日で獲得することができた。

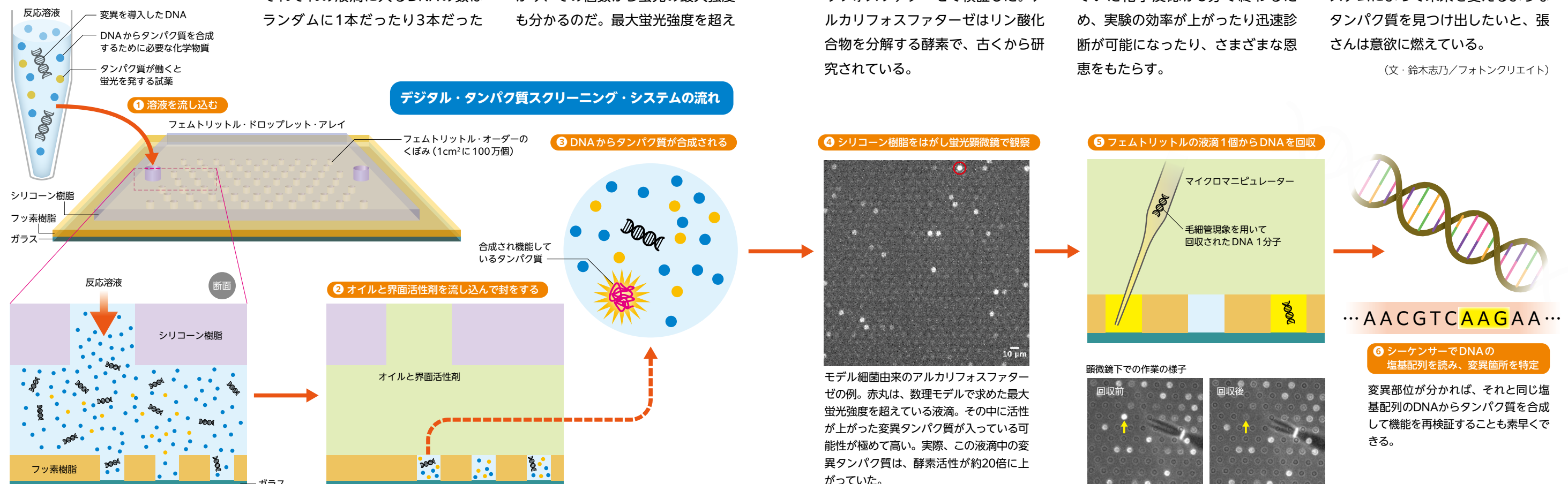
アルカリフォスファターゼは、遺伝子工学研究用の試薬や体外診断用の医薬品としても使われている。酵素活性が20倍になれば1時間かかっていた化学反応が3分で終わるため、実験の効率が上がったり迅速診断が可能になったり、さまざまな恩恵をもたらす。

タンパク質も オンデマンドの時代に

これらの成果を2019年に発表すると、日本だけでなく海外からも、そして産業界からも、使いたいという声が多数寄せられた。これほど簡単、低コストでありながら正確、そして速いタンパク質スクリーニング・システムは、ほかにない。

張さんは、「欲しいと思った高性能タンパク質が数日後には手元に届く“タンパク質オンデマンド作製”の時代が、目の前に来ています」と語る。生物資源から燃料を効率よくつくる酵素や、抗がん剤になる抗体など、天然のタンパク質の性能を超えるスーパータンパク質がすぐ手に入れば、ものづくりや医療をはじめ私たちの生活が大きく変わる。デジタル・タンパク質スクリーニング・システムによって未来を変えるようなタンパク質を見つけ出したいと、張さんは意欲に燃えている。

(文・鈴木志乃/フォトンクリエイト)



海でもIoT

水中ではWi-Fiの電波はせいぜい10cmしか届かないため、海中ロボットを無線で操作することは難しかった。そのため、現在の海中ロボットの多くは、母船とケーブルでつながれて操作されている。しかし、ケーブルが絡まったりするなど不都合が多い。澤 隆雄さんは、海中ロボットが捉えた映像を見ながら無線で操作できる水中光Wi-Fiシステムを実用化しようとしている。その技術は、全ての探査機や観測装置をインターネットへ接続する海におけるIoTの実現につながっていく。

(Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標です)

取材協力

澤 隆雄

研究プラットフォーム運用開発部門
技術開発部
海洋ロボティクス開発実装グループ
主任研究員

水中の無線通信は音から光へ

現在、水中の無線通信には音が使われている。音によって水中でも数km離れた相手と通信ができる。しかし、通信ができるデータ量が小さく、静止画がやっと送れる程度だ。

スマートフォンなどで使われている電波（周波数1GHz前後の電磁波）は水中ですぐに減衰してしまうが、可視光（ヒトの目に見える電磁波）ならば、100m離れた相手にハイビジョン動画など大容量のデータを送ることが原理的に可能だ。ただし、水中の光無線通信はいまだに普及が進んでいない。

「光無線通信では、光を高速に点滅させて情報を送ります。可視光の明るい光源は以前からありました。しかし電球や蛍光灯では高速の点滅ができません。高速に点滅できる明るい光源がなかったため、水中の光無線通信の実用化はこれまで難しかったのです」と澤さんは説明する。

そのような状況を打破る画期的な技術が日本で発明された。半導体による高輝度青色発光ダイオード（青色LED）だ。その発明により、赤崎 勇さん、天野 浩さん、中村修二さんが2014年のノーベル物理学賞を受賞した。今では、私たちの生活の至る所で、明るく省電力のLED照明が利用されている。「青色LEDの技術を応用した半導体の可視光レーザーの開発も進みました。そして5年ほど前から、水中光無線通信の送信器に必要な条件を備えた明るく高速点滅が可能な可視光半導体レーザーを利用できるようになったのです」

光無線通信では、高速に点滅する光を受け取る技術も必要だ。「受信

器には、高感度で応答速度の速い光電子増倍管を利用することが出来ます」。日本の企業が開発した光電子増倍管は、ニュートリノという素粒子を観測した「カミオカンデ」「スーパーカミオカンデ」で使われ、2002年に小柴昌俊さん、2015年に梶田 隆章さんが、それぞれノーベル物理学賞を受賞したことで有名になった。「水中光無線通信は、日本発の技術によって実用化が可能になったといえます」と澤さん。

深海で100m超の高速双方向通信に成功

2017年、澤さんは島津製作所などと共同で、駿河湾口付近の水深700～800mの深海で、光無線通信の実証実験を実施。JAMSTECの無人探査機「かいこう」のランチャー（親機）とビーフル（子機）にそれぞれ光無線通信装置を搭載して、120m離れて20Mbpsの通信速度でデータをやりとりすることに成功した。

「5Mbpsの通信速度があれば、ハイビジョン画像をやりとりするには十分です。その4倍の通信速度を達成したのです。理論通りの通信速度を実証できました」

島津製作所は2020年、澤さんらとの共同研究の成果を生かして、10m以上の距離で95Mbps以上の通信速度で情報をやりとりできる、近距離用の水中光無線通信装置「MC100」を発売した。

「光の道」で海中ロボットを操作する

「2017年の実証実験の後、私たち

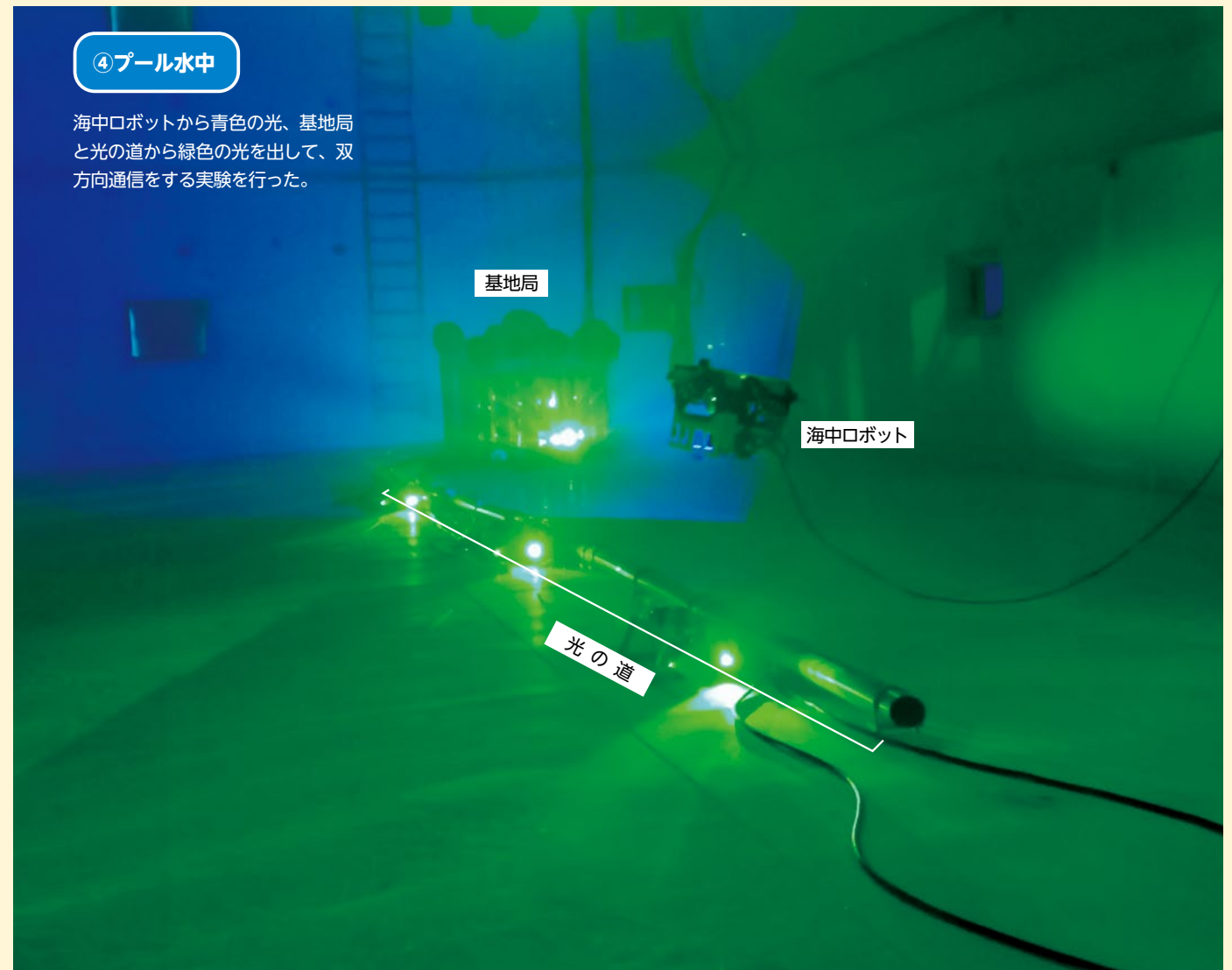
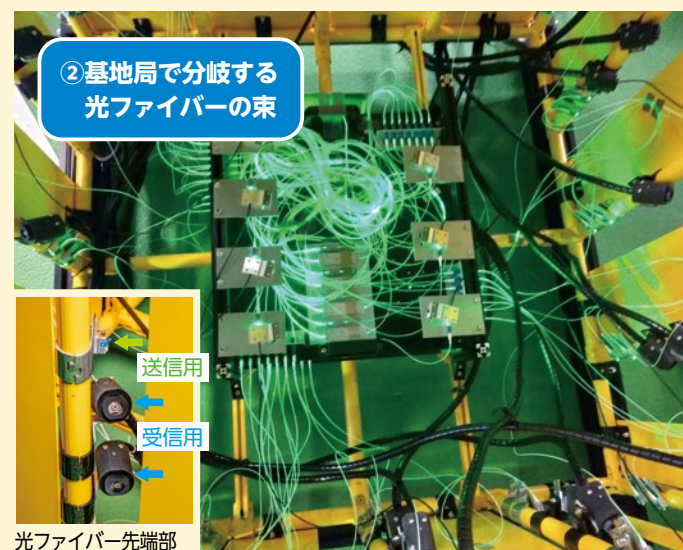
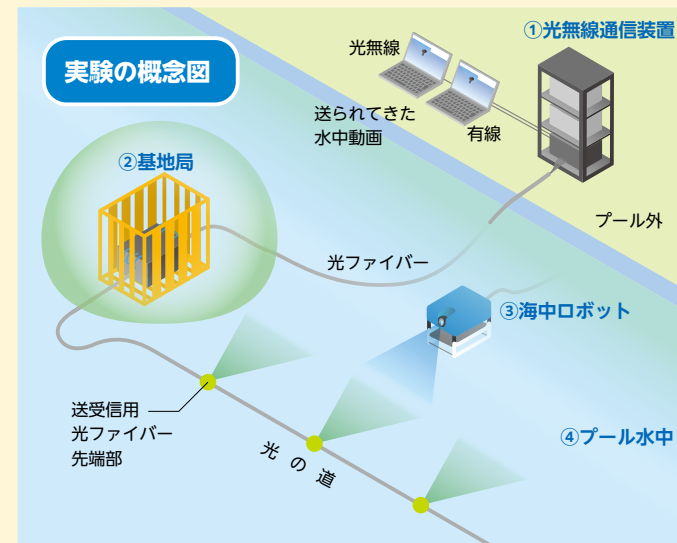
は水中光無線通信を応用した実用的なシステムをつくることを目指しました。その具体的な目標が、海中ロボットを無線で操作することです」

現在、海中ロボットが最も多く使われている現場の一つは、海底油田・ガス田だ。海底から石油や天然ガスをパイプラインで陸上、または海面上に運んでいる。そのパイプラインを点検・補修する作業に、たくさんの中口ロボットが活躍しているのだ。

「現在の海中ロボットのほとんどは、母船から遠隔操作を行うためのケーブルが付いています。ケーブルは潮流の強い力を受けるため大型の母船が必要で、海中ロボットによる作業には大きなコストと労力がかかっています。また、ケーブルがパイプライン周辺の装置に絡まってしまいう危険性もあります。そこで私たちは、家庭でWi-Fiにつないでインターネットを使うように、双方向で通信ができる環境を海底で実現する水中光Wi-Fiシステムをつくり、海中ロボットが捉えたパイプラインの映像を見ながら無線で操作することを目標に定めたのです」

2020年6月、澤さんらはJAMSTEC横須賀本部の多目的プールで、パイプラインでの作業を模した光Wi-Fiシステムの実験を行った（7ページの写真④）。海中ロボット側には、青色の光を出す光無線通信装置が搭載されている（6ページの写真③）。一方、親機に当たる固定設置側は、半導体レーザーと光電子増倍管から成る光無線通信装置の本体がプールの外にあり（①）、そこから水中の基地局へ光ファイバーが延びている。光ファイバーは基地局で分岐し、パイプに沿って敷かれ、緑色の光を出す送信

「光の道」プール実験の
基地局と澤 隆雄さん。
撮影：STUDIO CAC



用と、受信用の光ファイバー先端部が所々に取り付けられている（②）。光ファイバー先端部が光Wi-Fiのアンテナの役目をする。澤さんらは、それらを「光の道」と呼んでいる。

「光の道が、パイプに沿って作業を行う海中ロボットと双方向で通信するための光Wi-Fiのサービスエリアです。今回のプールでの実験では、海中ロボットとリアルタイムに動画を無線でやりとりすることができました（①左）。海中ロボットが捉えた映像を見ながら無線で操作することも問題なくできるはずです」

世界に先駆け 海域実験へ

澤さんらの光Wi-Fiシステムの特徴は、光ファイバーを駆使している点だ。「水中光無線通信では、何らかの原因で外部から強い光が受信器に当たると、光を受信できなくなることが大きな課題となっています。私たちのシステムは光ファイバーを多数分岐させた先端部で受信するので、1カ所で受信できなくなっても、ほかの先端部で光を受信することができます。また、光ファイバーを分岐させることで、送信用・受信用の

光ファイバー先端部を用途に合わせて自在に配置して必要な方向に指向することが、容易にできます」

海外の企業も海中ロボットを光無線通信で操作するシステムの開発を進めている。「しかしまだ、うまくいったという例は発表されていません。私たちは、海外企業にも十分に對抗できます」

公益財団法人日本財団は、世界の主要なエネルギー企業が参加する海洋技術開発のコンソーシアムDeepStarと連携し、2030年に向けて海洋石油・天然ガス分野の技術開発を促進するためプログラムを立

ち上げている。海中ロボットを無線で操作する水中光Wi-Fiシステムの開発は、そのプログラムのもとで、島津製作所と共同で行われてきた。

「システムの開発はすでに完了し、海域実験に進む段階です。近い将来、DeepStarに参加している企業の海底石油・ガス施設で実験を行うことになるでしょう」

海中からSNS発信も 海のIoT実現へ

水中光無線通信によって可能になるのは、海中ロボットの無線操作だ

けではない。例えば、観測データの回収だ。これまで海底地震計などの観測データを回収するには、装置を海面に浮上させて行ってきた。水中光無線通信を用いれば、海面に浮上させなくても観測データの回収が可能になる。すでに澤さんらは2019年、無人探査機を用いて、海底の観測装置から大容量の観測データを光無線通信により回収する海域実験に成功している。

澤さんは「“海のIoT”を実現したい」と力強く語る。IoTとは、さまざまなモノにセンサー類と通信機能を搭載し、取得したデータをインター

ネットを介してやりとりする仕組みをいう。IoTの普及によって、デジタル端末を用いて外出先から自宅の家電を操作できるなど、私たちの生活は便利になってきている。海でも全ての探査機や観測機器などをインターネットに接続してデータをやりとりできるようになれば、研究はもちろん、産業さらにはレジャーも便利になる。そうした海洋の未来を、澤さんたちは光無線通信で拓こうとしている。

（文・立山 晃／フォトクリエイト）

光で調べる海プラの指紋

直径5mm以下のとても小さな「マイクロプラスチック」が世界の海で大きな環境問題になっている。しかし海洋マイクロプラスチック（海プラ）の分布や量などはよく分かっていないのが実情だ。

JAMSTECの朱 春茂さんと金谷有剛さんは、マイクロプラスチックを従来の方法より高速に、しかもより小さなものまで検出・分類できる方法を開発した。

取材協力

金谷有剛

地球環境部門
地球表層システム研究センター
上席研究員

朱 春茂

地球環境部門
地球表層システム研究センター
研究員



海のマイクロプラスチックは 詳細不明

私たちの暮らしの中で、プラスチックはさまざまな場面で使われている。捨てられたプラスチックは紫外線などの影響で細くなっていく。大きさが5mm以下の小さなプラスチック粒子は「マイクロプラスチック」と呼ばれている。海に流入してしまうと回収することが難しい上に、生物が食べてしまうなど生態系に与える影響も大きく、世界的にも海のマイクロプラスチック汚染が問題視されている。

対策を考えるためには、まず現状を把握することが必要だ。発生源を特定するためには、プラスチックの種類も知りたい。しかし海のマイクロプラスチックの分布や量などについてはよく分かっていないのが実情だ。

海のマイクロプラスチックの収集は現在、プランクトンなどを採集するニューストネットを主に使って行われている。網目が300μmのため、それより小さな粒子は目を擦り抜けてしまい採集できない。また収集したプラスチックの種類を分析するには、1粒ずつ手作業で拾い出してから分析するのが一般的で、時間と手間がかかっていた。

JAMSTECの朱さんと金谷さんは、これまでの方法よりも高速に、より小さな100μmまでのプラスチックの種類を調べる方法を開発した。「ハイパースペクトル画像診断」という技術を利用する方法だ。

朱 春茂さん（左）と金谷有剛さん（右）。手前にあるのは、今回の研究開発で使用された装置。

8、10ページ撮影：STUDIO CAC

プラスチックにも “指紋”がある

赤い折り紙を見て赤く見えるのは、折り紙の表面で反射された赤い波長の光が私たちの目に届くからだ。赤以外の波長の光は紙に吸収される。ハイパースペクトル画像診断技術も、原理的にはそれと似ている。

ハイパースペクトル画像診断では、対象物に光を当て、反射して戻ってきた光を数百もの波長に分けて撮影することで、波長ごとの強さの分布（スペクトル）を知ることができる。波長をとても細かく分けて撮影できることから、「ハイパースペクトル」と名付けられた。どの波長の光を吸収したり反射したりするのは、物質によって異なる。それを利用して、スペクトルから対象物の材質などを識別することができる。個人を特定できる指紋のようなものであることから、「指紋スペクトル」とも呼ばれる。

朱さんたちは今回、プラスチックの種類を判別するために、波長900～1,700nmの近赤外線を撮影できるハイパースペクトルカメラを使用した。あらかじめポリエチレンやポ

リプロピレンなど、問題になっているプラスチックのスペクトルを大きな試料で取得して、見本となるデータをつくっておく。そして小さなプラスチックを撮影してスペクトルを取得し、見本のデータと比べることで種類を判別する。

「プラスチックが小さくなるほど反射する光が弱くなるため、スペクトルを見分けにくくなります」と朱さんは言う。「そこで、撮影方法や照明の当て方などを調整し、できるだけ小さいものまでスペクトルを取得できるようにしました」。その結果、100μmのプラスチックまで種類を識別できるようになった。

ハイパースペクトルカメラを使った計測は、従来に比べてスピードが速いことも特徴だ。「1cm×1cmの面積を計測する時間は10秒ほどです。従来の手法と比べて100分の1ほどしかかかりません」と朱さんは言う。

小さなものまで！ 速く！簡単に！

今回の研究で使ったカメラは、市販品を改良したものだ。市販品では、



マイクロプラスチック

神奈川県葉山の海岸で採取したもの。大きさ比較のために1円硬貨に載せた。
写真提供：中嶋亮太/JAMSTEC

カメラと試料の間に照明が配置されていた。「小さなプラスチックを撮影するには近接撮影する必要がありますが、照明がもとの配置のままでは

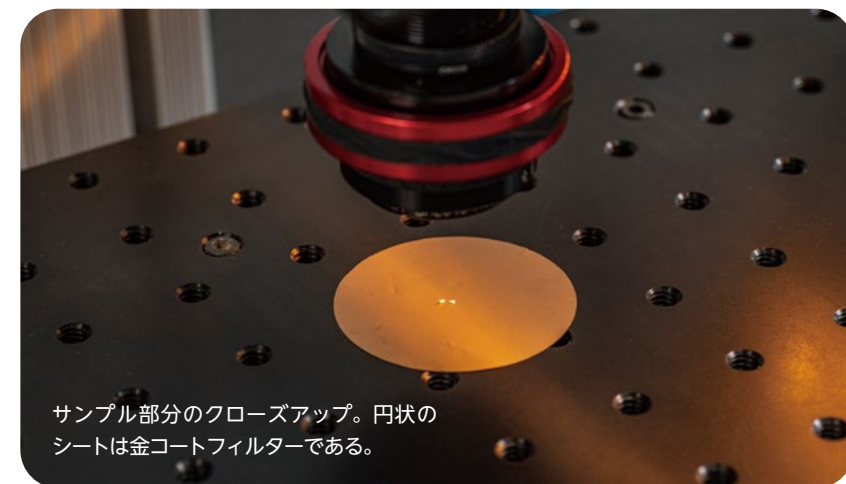
近接撮影ができなかったため位置を変更しました。また不必要な可視光も発してサンプルが熱変形しやすかったため、計測するラインに近赤

外線的光を効率的に集めることができる別の照明に変更しました」と朱さん。最短撮影距離を短くするため、レンズの手前にエクステンション・チューブを付ける改良も行った。小さな昆虫などを近接撮影するときの手法を応用したものだ。

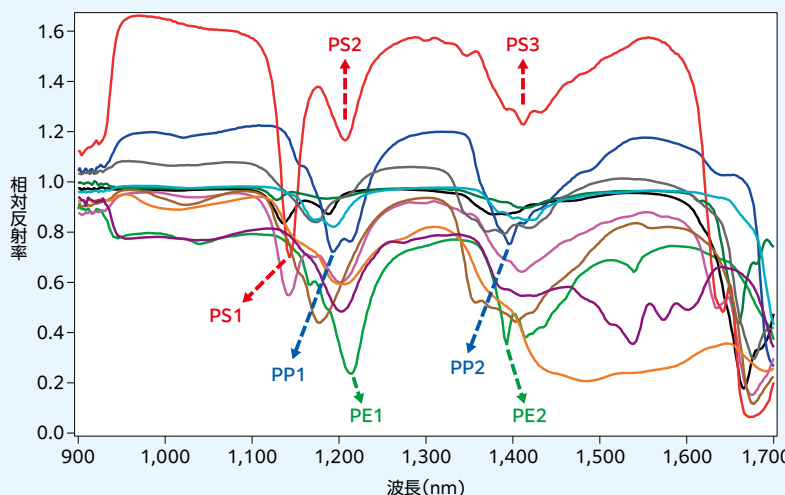
「顕微鏡を使うなど、より小さなもので計測するための工夫はあり得ると思います」と金谷さん。しかしそれでは広い面をカバーしにくい。「顕微鏡などを使わずに近接撮影で計測することで、スピードも速く、また比較的簡単に検出できることを目指しました」

ハイパースペクトルカメラ

画面右上にある照明から近赤外線を当て、サンプルのプラスチックに当たって反射する光を、上側にあるカメラで数百もの波長に分けて撮影する。



サンプル部分のクローズアップ。円状のシートは金コートフィルターである。

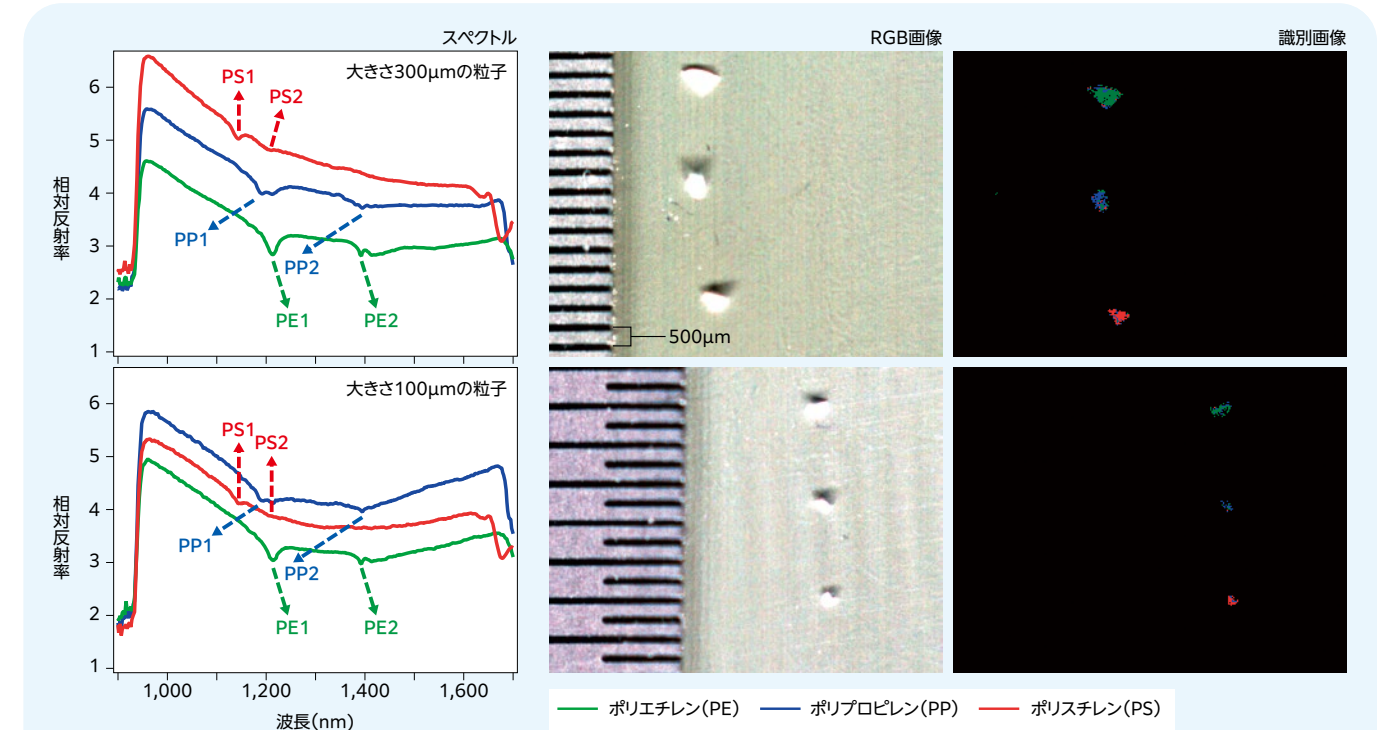


ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) など、11種類の身近なプラスチックの近赤外波長範囲 (900~1,700nm) での反射スペクトル。比較的大きなプラスチックで計測したもの。「PS1」「PP1」などで示した箇所のように、プラスチックの材質ごとに反射率が低下する (光が吸収される) 波長帯がある。

ろ過と背景。2役をこなすフィルターとは？

今回の研究は、文部科学省の委託を受けてJAMSTECが進めている「ハイパースペクトルカメラによるマイクロプラスチックの自動分析手法の開発」の一環として行われたものだ。このプロジェクトでは、海から採った海水をそのままろ過してフィルターに残っているプラスチックを

さまざまなプラスチックの指紋スペクトル



プラスチックの識別の例

金コートフィルターに載せた大きさ約300μm (上) と約100μm (下) のポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンの粒子を、ハイパースペクトル画像診断技術で識別した例。10ページの図に見られる各プラスチックの反射スペクトルに固有のパターンが100μmの粒子からも検出され、その類似性から材質が判別された。

直接計測することを目指している。目の細かいフィルターを使えば、ニューストネットを擦り抜ける300μm以下のプラスチックを採集することもできる。また、フィルターの材質選びも重要だ。見たいもの (プラスチック) の邪魔にならないような背景 (フィルター) が望ましい。

「鉄や布なども含めて、合計16種類のフィルターを試しました」と朱さんは言う。その中で最適だったのは金の粒子でコートしたフィルターだった。金コートフィルターは、100μmの粒子も捕集可能で、さらに今回使った近赤外線の波長域で特定の波長を大きく吸収したり反射したりすることがないため、プラスチックのスペクトルを見やすいのである。

朱さんと金谷さんは、普段は人工衛星のデータなどを使って地球温暖

化や大気中の物質についての研究を行っている。分光に関する技術と知識を持っていることもあり、プラスチックを研究するグループと共同で研究することになった。金コートフィルターも大気中の粒子を計測するために使ったことがあり、プラスチックに応用できるのではないかと考えたという。

ただし金は高価なため、ほかのフィルターでも試したところ、ガラスフィルターでも代替できることが確認されている。

次は海水で。海プラの現状を知る大きな一歩

JAMSTECでは前述のプロジェクトに関連する研究を、いくつかのグループに分かれて進めている。

「海水をろ過したときにはプラスチックだけでなくプランクトンなども残ります。そのようなプランクトンを前もって除去した方がよいかなど、撮影の前処理について研究しているグループもあります。また、カメラの視野にプラスチックをどうやって送り込むかについて研究しているグループもあります。それらを組み合わせて全体のシステムをつくらうとしています」と金谷さん。

「私たちは次の段階として、実際の海水をろ過してフィルターに残ったプラスチックを測定する予定です」と金谷さん。試験的に行ってみたところ、プラスチックの種類の識別はできたという。「問題点を精査しながら、実海洋サンプルに応用できる技術を開発していきます」

(文・岡本典明/ブックブライツ)

1億年前の地層から 生きた微生物を発見！

南太平洋の海底から約1億年前に堆積した地層試料を採取し、
餌を染み込ませて培養したところ、それを食べ、増殖を始めた微生物がいた。
微生物は、栄養に乏しい環境で1億年もの間、
生命活動を極端に抑えて生き延びてきたと考えられる。
地層試料の採取から10年。発見までの道のり、
そして次の挑戦を紹介しよう。

取材協力

諸野祐樹

超先鋭研究開発部門 高知コア研究所
地球微生物学研究グループ
主任研究員

1億年前に堆積した海底下
の地層で生き延びていた
微生物。微生物のDNAを
蛍光色素で染色してある。



▶ #JAMSTECに関連記事

なぜ世界で最も美しい海へ？

2010年10月、諸野さんは陸地から遠く離れた南太平洋の真ん中にいた。IODP（統合国際深海掘削計画）第329次研究航海「南太平洋環流域生命探査」のためアメリカの掘削船「ジョイデス・レゾリューション」に乗船していたのだ。航海は52日間。「2006年にJAMSTECに来てから研究船には何度も乗船していましたが、掘削船、そして2カ月という長い航海は初めてでした。ビクビクしていたことを覚えています」と諸野さんは振り返る。

航海名にある「環流」とは、大きな円を描くように流れている海流のこと。その海流によって陸から運ばれてくる栄養塩の供給が遮られてしまうため、環流の内側は植物プランクトンによる有機物の生産量が低く、海水の透明度が高くなるのだ。南太平洋環流の内側は、地球上で最もきれいな海として知られている。なぜ地下生命探査に、この場所を選んだのだろうか。

超低栄養の環境でも微生物はいるのか？

海底下生命の研究が本格的に始まったのは1980年代後半である。「1990年代になると、海底下の奥深くにも微生物がいることが明らかになってきました。しかし、それまで調べてきたのは主に、陸に近い場所でした」と諸野さんは言う。

陸に近い海は、陸から栄養塩がたくさん運ばれてくるため、植物プランクトンによる有機物の生産量が高い。そして海底下の堆積物はプランクトンの排せつ物や死骸などが降り積もったものであるため、微生物の餌になる有機物が多く含まれている。一方、植物プランクトンによる有機物の生産量が低い南太平洋環流の内側の場合、堆積物中の有機物はとても少ない。

「超低栄養の環境でも微生物はいるのか？ その微生物は生きているのだろうか？ それを明らかにするために、南太平洋環流域で深海掘削を行ったのです」

「生きている」を調べる方法

深海掘削では、船の上から海底までパイプを下ろし、先端に取り付けた強靱な刃で海底を掘り進み、堆積物を円柱状にくり抜いたコアを採取する。この航海では、7地点で掘削を行った。諸野さんが研究に使ったのは、そのうち3地点の海底下1.6～74.5mから採取した堆積物である。それは430万～1億150万年前に形成されたことが、地層に残された化学物質の濃度などから明らかになっている。

堆積物中に微生物が存在しているかどうかは、微生物が持つDNAを染色する蛍光色素を加えて顕微鏡で観察すれば分かる。しかし、その方法では生きている微生物と死んでいる微生物を区別できない。「微生物が生きていた

培養容器の作製手順



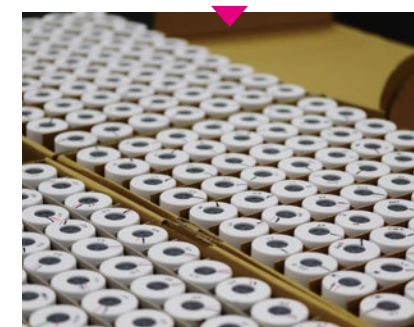
コアに先端を切ったプラスチックの注射器の筒を突き刺し、培養する試料を円柱状に取り出す。



冷蔵倉庫での作業の様子



ガラス容器に円柱状の試料を入れ、餌となる物質を溶かした溶液を垂らす。窒素を充填し、酸素を少し加えて、ふたを閉める。



1,000本もの培養容器を作製。「どの容器をどの作業までやったか分からなくなるので、ふたに印を付けてチェックしていました」（諸野さん）

ら、餌を食べるはずです。そこで、堆積物に餌を浸み込ませて培養し、それを食べた微生物がいるかどうかを調べることにしました」

まず、直径6.5cmほどのコアに先端を切ったプラスチックの注射器の筒を刺し、堆積物を円柱状に少しずつ取り分ける。それをガラス容器に入れ、餌を溶かした液を垂らす。有機物が少ない堆積物の場合、微生物の生命活動が低いため酸素が消費されずに岩盤まで浸透している。その環境に合わせるため窒素を充填した後、酸素を少し加えて密閉する。

餌は、重炭酸、酢酸、グルコース、アミノ酸混合物、ピルビン酸、アンモニアの6種類を用意。生きている微生物がいたとして、どのくらいの早さで餌を食べるか分からない。培養期間を21日～1年半と幅を持たせるため、1種類の餌に対して4本ずつ、いろいろな深さごとにつくった。

「培養容器は1,000本にもなりました。その大変な作業を船の一番下の階にある冷蔵倉庫で、独り黙々とやらなければいけないのです。最初は楽しいんですよ。でもだんだん『なんで、こんなことをやろうと思ったんだ!』と、実験を計画した自分を呪い始めました」と諸野さんは笑う。

泥の中から微生物を取り出す新技術を開発

掘削航海は2010年だから、1年半培養しても2012年だ。今回の発表までさらに8年もかかったのはなぜか。「当時はまだ海底下微生物を解析する技術が十分ではありませんでした。海底下微生物の試料はとても貴重ですから、きちんと解析できる自信がなければ手を出してはいけません。だから、培養した試料をホルマリンで固定しておき、解析技術の開発を進めたのです。特に必要だったのが、微生物だけを取り出す技術です」

微生物の数より泥の粒子の数の方が圧倒的に多いため、正確に解析するには微生物だけを取り出さなければいけない。当時も微生物を取り出す方法はあった。それは、密度の異なる2種類の溶液を重ね、微生物を含む堆積物を溶かした泥水を加える、という方法だ。泥の粒子は重いので沈み、微生物は軽いので浮くことを利用して、微生物を取り出す。しかし実際は、微生物が泥の粒子に引きずられて沈んでしまい、1割くらいの微生物しか取り出せなかった。

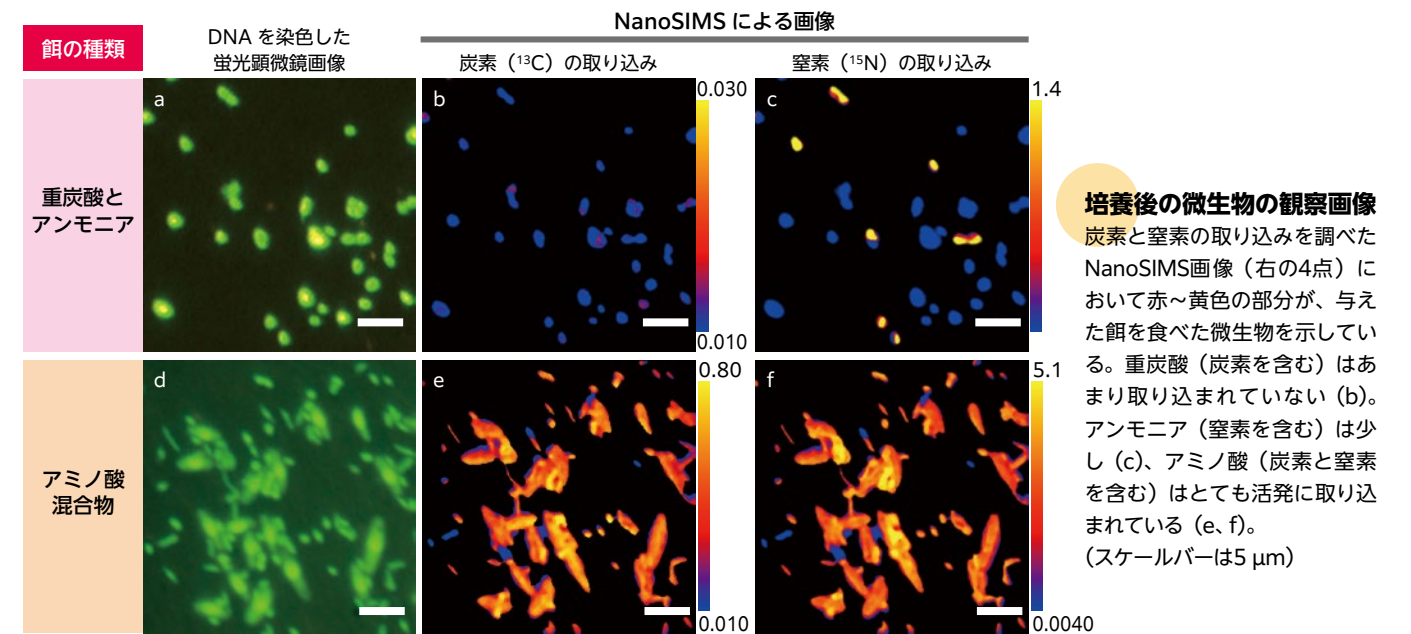
諸野さんは、密度が異なる溶液を4種類にする方法を開発。微生物が引きずられて沈んでしまっても、次の密度の境界で泥の粒子と離れるため、微生物を取り出せる割合が大きく向上した。ただし、密度の違いを利用した分別ではまだいろいろな微粒子が混ざっているため、さらにセルソーターという装置にかけて、微生物を取り分ける。こうして微生物が餌を食べたかどうかを調べる準備が整った。

微生物は餌を食べた？

微生物が餌を食べたかどうかを調べるために使ったのは、超高空間分解能二次イオン質量分析計（NanoSIMS）である。細く絞ったイオンビームを試料に当てると、試料の表面が壊れて原子がイオンとなって飛び出してくる。1個1個のイオンを質量ごとに分け、それぞれがどの領域からどれだけ飛び出してきたかが分かる特殊な装置だ。

培養時に与えた餌には、目印を付けてある。餌を構成する炭素原子と窒素原子を、基本的な性質は変わらないが質量が重い安定同位体（質量数13の炭素原子と15の窒素原子）に置き換えてあるのだ。微生物が餌を食べれば、NanoSIMSで質量が重い炭素原子と窒素原子が検出される。

分析結果は？「どの深さの堆積物に含まれていた微生物



からも重い炭素原子と窒素原子が検出されました。微生物は餌を食べた、つまり生きていたのです」と、諸野さんは声を弾ませる。培養開始から21日目にはすでに餌を食べていて、68日目には多いものでは培養前と比べて1万倍以上に増殖していた。

1億年もの間、微生物はそこにいた

1億年前の地層では、もともと堆積物中に存在していた微生物のうち99.1%が餌を食べ増殖できる状態であったことも分かった。「南太平洋環流内の海底下の堆積物は、遠洋性粘土という細かい粒子で構成され、みっちり詰まっています。そういう環境では、1,000分の1mmほどしかない小さな微生物であっても、堆積物中を動き回ったり、水の流れに乗って移動したりすることはできません。1億年前に形成された地層にいる微生物は、1億年前からずっと、そこに閉じ込められていたと考えられます」

この発見を2020年8月に発表すると、たくさんの新聞やウェブメディア、テレビなどで取り上げられた。報道された記事へのコメント欄には、「今回の発見が新たな感染症につながるのではないかな」というものもあった。

その指摘に対して諸野さんは、こう答える。「陸から遠く離れた海底下には、人間やその類縁の動物など、つまり感染相手となる生き物がいません。そのため、人間に感染したり病気を引き起こしたりする微生物が存在している可能性は極めて低い、と科学的に広く認識されています。そ

れでもリスクが完全にゼロというわけではありませんので、微生物が外に漏れ出さないように厳重な管理のもと実験を行っています」

「生きている」って何だろう？

今後の展望を尋ねると、「微生物のゲノムを詳しく解析したい」と返ってきた。「1億年前というと中生代白亜紀で、恐竜が繁栄していた時代です。微生物はとても長い時間、生命活動を極限的に低下させて生き延びてきました。

生きるか死ぬかの瀬戸際ですから、エネルギーが必要な分裂も、ほとんどしていないでしょう。ということは、ほとんど進化していないかもしれません。1億年前の地層に生きていた微生物のゲノムと、陸上にいる似た微生物のゲノムを比較することで、海底下の微生物が進化的にどのくらい置いていかれたのかを明らかにしたいですね」

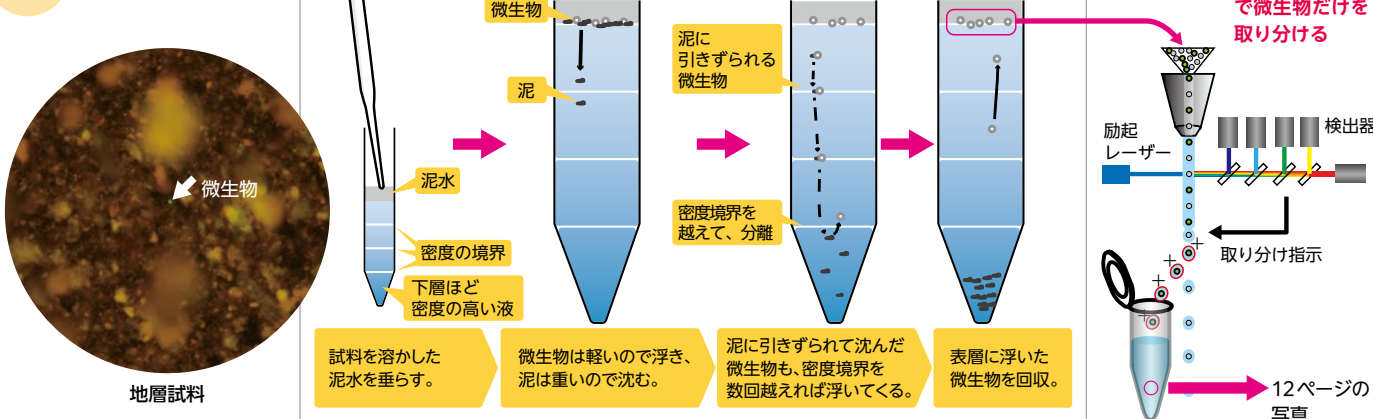
さらに続ける。「私は今、生きているとは何か、ということにとっても興味があります。この

微生物たちは1億年もの間、どのように生きてきたのでしょうか？ 微生物は話すことができませんから、微生物のことを調べる技術が必要です。今回見つかった微生物は数が少ないので、ゲノム解析にも新しい技術が必要かもしれません。技術開発を並行させながら、海底下微生物の研究を通して、生きているとは何か、その答えを見つけたいと思っています」

BE

（文・鈴木志乃／フotonクリエイト、15ページイラスト・山田純一／デザインコンビピア）

微生物を取り出す方法



新しい海洋観測をより身近に

JAMSTECベンチャー 合同会社オフショアテクノロジーズ

JAMSTECではさまざまな研究成果や技術が蓄積されている。それらを社会に広く普及・還元するため、JAMSTECの知的財産を活用して事業活動を行う企業や個人を支援する「JAMSTECベンチャー支援制度」がある。オフショアテクノロジーズは、その制度で認定されたベンチャー企業で、海洋観測用のプラットフォームやセンサーなどの開発を行っている。製品の特長、起業してよかったこと、オフショアテクノロジーズが目指すものなどについて、会社を立ち上げた渡 健介さんと杉本文孝さんの2人に話を聞いた。

取材協力

渡 健介

合同会社オフショアテクノロジーズ 代表社員

杉本文孝

合同会社オフショアテクノロジーズ 代表社員



潜航中の水中グライダー
提供：オフショアテクノロジーズ

●手軽に使える海洋観測機器

——オフショアテクノロジーでは、どのような事業を行っているのでしょうか。

渡：海洋関連の観測機器の開発、製造、販売と、観測機器のコンサルティング、また関連機器の開発の受託、製造販売などを行っています。オフショアには「沿岸の」という意味があります。身近な沿岸域での環境や漁業のモニタリング、科学研究などに手軽に使える観測機器を中心に手掛けています。

——オフショアテクノロジーの製品の特長は？

杉本：私たちの主な製品群は、自動で海の中を観測するプラットフォームと、それらに搭載するセンサーの2つです。

1つ目の製品群であるプラットフォームでは、観測フロート「MOF」と水中グライダー「MOG」を手掛けています。フロートは、決められた深度まで沈降し、その後、浮上しながらセンサーで水温や塩分などを自動計測します。観測データは、衛星通信を利用して指定したメールアドレスに送られます。

水中グライダーは、フロートより少し大型

投入直後の観測フロート「MOF」。全長94cm、重量7.8kg。



提供：オフショアテクノロジー

ですが、流れに乗って漂流してしまうフロートとは異なり、決まった位置を維持する定点保持機能を持ち、水平方向の移動も可能です。観測する海域の環境に合わせて、プラットフォームを使い分けることができます。

2つ目の製品群であるセンサーの代表は塩分・水温・水深を計測するCTDセンサーで、プラットフォームに取り付けて使うだけでなく、単体でも使用できるように設計されています。そのほか、ライトとカメラが一体となったライト付きカメラも開発中です。暗い深海での撮影はカメラに加えてライトも用意する必要がありますが、一体型なので手軽に使っていただけたと思います。

渡：私たちの製品は、海洋観測用としては比較的小型です。既存の機材を使って既存のシステムに当てはめようとすると、大容量の電源が必要になるなど、大きく使いづらくなってしまうことがあります。私たちは、ユーザーのニーズに合わせて電源基板などの開発から行って最適化されたシステムをつくるため、小型・軽量化や省電力化が可能になります。また、海洋観測では海外製の機器がよく使われていますが、それらは高価なものが多いです。私たちの製品は、必要な機能に絞っている分、比較的低価格で提供できるという特長もあります。

●JAMSTECで開発された技術をより身近に

——それらの製品は、JAMSTECのどのような技術がベースになっているのですか。

渡：JAMSTECではトライトンブイという海中と海上気象を観測できるプラットフォームを開発し、1998年から観測網を築いてきました。エルニーニョ現象など気候変動現象のモニターや発生メカニズムの理解、発生予測に役立っています。しかしトライトンブイは大きく、またワイヤと重りで海底に係留されているため、運用には特殊な設備が必要で、大きな費用がかかります。そのため、トライトンブイを補完し、より低コストかつ柔軟に観測網を構築できるプラットフォームが求められるようになりました。

そこで、海中を浮き沈みしながらデータを



©JAMSTEC

JAMSTECで開発された北極海氷下観測用小型AUV「RAIV」。2016年に北極海で行われた試験観測の様子。

取得する小型の観測フロートや、波の力で浮きながらデータを取得するウェーブグライダー、海中で水平方向に移動したり定点にとどまって観測できる水中グライダーなどの開発が進められてきました。フロートについては世界最小・最軽量を目指し、またフロートのシステムを拡張して北極海の海氷下を観測するための小型AUV（自律型無人観測探査機）も開発しています。

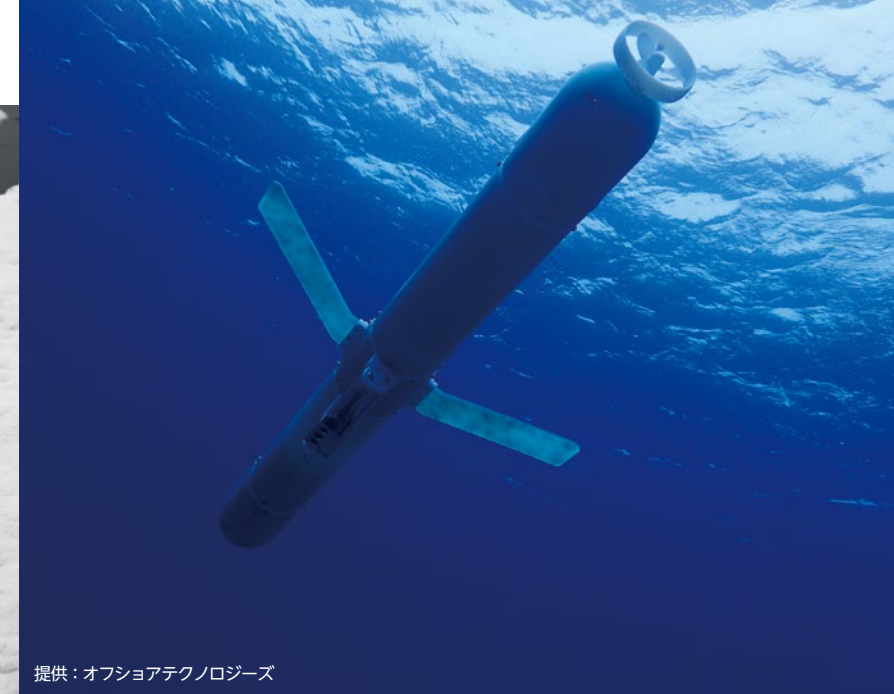
私たちの製品は、JAMSTECで開発されたそういった技術がベースになっています。

——渡さんと杉本さんはJAMSTECでも一緒に仕事をしていたのですか。

杉本：所属は別の課でしたが、2016年に北極海の海氷下を観測する小型AUV開発のために所属の枠を超えて人員が集められたとき、同じチームになりました。海洋地球研究船「みらい」による北極航海で小型AUVの試験観測を行い、その航海でも一緒に乗船していました。翌年に始まった水中グライダーの開発も一緒に取り組みました。

——2018年4月、渡さんと杉本さんはオフショアテクノロジーを設立されました。起業までの経緯を教えてください。

渡：フロートや北極海用の小型AUV、水中グライダーなどの開発をする中で、それらを自分たちが使うだけでなく社会に普及させることで、環境問題の解決にもっと貢献でき



提供：オフショアテクノロジー

観測中の水中グライダー「MOG」。全長120cm、重量12kg。この観測ではCTDセンサーを機体の下部に取り付けている。

JAMSTEC の研究成果を広く社会に普及・還元するため、JAMSTEC の知的財産などを利用して事業を行う JAMSTEC 職員が参画している企業に優遇措置を講じて事業活動の支援を行う制度。2006 年に発足し、これまでは 2009 年に設立された株式会社フォーキャスト・オーシャン・プラスのみが JAMSTEC ベンチャーに認定されていた。合同会社オフショアテクノロジーが 2 社目の JAMSTEC ベンチャーである。

JAMSTEC ベンチャー制度では、JAMSTEC の有する知的財産やファシリティ（施設・設備など）を無償あるいは廉価で使える優遇措置がある。事務所スペースや通信インフラも含まれるので、特に会社を立ち上げる際の初期費用を抑えることが可能だ。

JAMSTEC ベンチャー支援制度

JAMSTEC では 2020 年 2 月にベンチャーに関する規程を改正し 3 月から施行した。それにより JAMSTEC の業務とベンチャーの業務を両立しやすいように、兼業に関する規程が大幅に緩和された。JAMSTEC 職員と他大学の教員を兼ねている研究者や技術者はこれまでに多く存在していたが、そういったケースでの兼業と同様の扱いでベンチャー業務を行えるようになった。

「ほかの大学や研究機関と比較しても、格段に自由度が高いものになっており、チャレンジしたい職員を応援するという思いを込めた規程改正だと認識しています」と JAMSTEC ベンチャー支援制度に携わる海洋科学技術戦略部対外戦略課の杉山真人さんは言う。「勤務時間の面でもそうですが、ベンチャー従事者を見る周囲の目が大きく変わっていくことを期待しています。制度や周囲の目が変わることで、オフショアテクノロジーの渡さん、杉本さんに続く人たちがどんどん増えてほしいと考えています」

るのではないかと考え始めました。しかし、JAMSTECで開発された技術は高度で特殊なものも多く、開発した私たちが使う分にはよいのですが、いろいろな人に使ってもらうには汎用性を持たせる必要があります。杉本さんと時間を見つけては、「こうした方が使いやすいかな」「こうしたら売れるのではないかな」といった話をしていました。

杉本：私も渡さんもメーカーに在籍していたことがあるため、開発して、評価して、改良を重ねて完成度を高め、ユーザー目線で検証して、といった製品化までの流れが分かっています。それは、起業する上で大きな利点となりました。

渡：JAMSTECで開発された技術を社会に普及させていくにはどのようなアプローチがあるのかについても、2人で相談を重ねました。そして、ベンチャー支援制度を利用するのがよいだろう、ということになったのです。

——JAMSTECベンチャー支援制度を利用するメリットには、どのようなことがありますか。



養殖いけすで観測を行う小型CTDセンサー



水槽でテスト中のライト付きカメラ

渡：試験を行うとき、JAMSTECのプールや高圧実験水槽などを無償または廉価で使うことができます。横須賀本部にある岸壁も使用できます。海はさまざまな権利関係が複雑に絡み合っていて、海で試験を行うのはハードルが高いのです。ベンチャー支援制度を利用して水槽や岸壁などJAMSTECならではの施設を活用できることは、非常に大きなメリットです。

——起業してよかったと思うことは？

渡：「オフショアテクノロジーに仕事を頼んでよかった」「あの製品がとてもよかった」といった声が、最近ようやく届き始めました。ユーザーに喜んでもらえるとうれいだし、手応えを感じます。ユーザーが研究者の場合で、論文の謝辞に社名を掲載していただいたときもうれしいですね。

杉本：ユーザーごとにニーズが違うため、さまざまな技術を使う必要があります。この環境は、技術者としてとても面白いですね。以前は意識していなかったことも考えるようになり、JAMSTECの仕事にも良い影響が出ていると思います。

●「あ、これ便利！」 そんな新しい海洋観測を実現

——今後はどのように業務を展開していこうとお考えですか。

杉本：これまでは、こういうデータを取ることができる機器が欲しいという依頼を受けて開発するケースがほとんどでした。起業からの2年間で、ユーザーがどういう点で困っているのかが見えてきました。今後は、こうしたのもっと良くなるというアイデアを私たちが提案し、「あ、これ便利！」と言っていただけの製品を開発、提供していきたいと考えています。

渡：日本国内だけでは市場が狭いので、海外との取引も含めてさまざまな事業展開を考えています。販売した製品のアフターサービスはとても大切です。海外の場合、直接訪問して修理やサポートをすることが難しいので、故障しないようにまず品質レベルを上げ、その後、海外に拠点を持つ代理店を通して販売するといった形を取っていければと考えています。

渡 健介さん（左）と杉本文孝さん（右）。オフショアテクノロジーのオフィスにて。2人で書いた設計図をもとに観測機器などをこのオフィス内で組み立てている。テーブルに置いてあるのはオフショアテクノロジーの製品群で、左から水中グライダー、ライト付きカメラ、CTDセンサー、観測フロート、水中ネットワークカメラ。

撮影：STUDIO CAC

●さまざまな社会問題の解決に 貢献できる会社へ

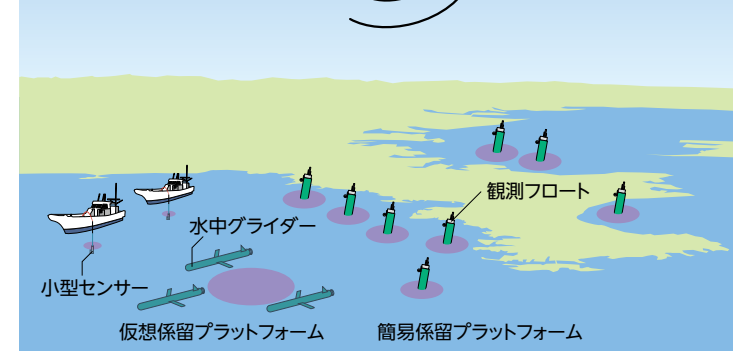
——オフショアテクノロジーが目指していることは？

渡：私たちは、「激変する地球環境を技術の力で捉える」ことをミッションとしています。温暖化に代表される地球環境問題を解決するには、現状を正確に把握する必要があります。しかし人工衛星で観測できない海の中のデータは不足していて、今後はいかに観測データを増やしていくかが重要です。そのために観測の自動化を推進していきます。

海洋観測はまだ専門的な分野で、観測ができる人や設備は限られています。しかし、小さく、使いやすく、さらには自動で観測できる機器を開発、普及させることで、特殊な設備やノウハウがなくても海洋観測ができるようになるでしょう。センサーは釣りざおやサーフボードにも取り付けられるので、釣りのついでに海洋観測、サーフィンをしながら海洋観測、なんていうこともできるようになります。

杉本：また私たちは、人材の育成を行う会社を目指していきます。技術者の育成では、若いころからいきなり大きな仕事に参加するより、いくつかの小さな仕事を通じて下地をつ

オフショアテクノロジー が目指す沿岸域の海洋観測ネットワーク



小さく、使いやすく、自動で観測できるプラットフォームやセンサーなどを用いて、特別な設備が不要な観測網を構築する。得られたデータを漁業や環境のモニタリング、科学研究などに利用していく。

くり、その上で大きな仕事に関わる方がよいと思っています。JAMSTECでは、大きなプロジェクトが多く、1つの仕事を数年がかりで行うこともあります。一方、ベンチャーの仕事は比較的規模が小さく、回転が速い。その特徴を活かし、人材育成につながる開発環境を学生や若い技術者に提供していきたいと考えています。

渡：海の自動観測の推進が貢献できるのは、環境問題だけではなく。オフショアテクノロジーは、環境問題をはじめ、食料問題や高齢化、人手不足などさまざまな社会問題の解決に貢献し、人々の営みをより良く変えていくことを目指します。

BE

Pick Up
JAMSTEC

ご支援のお願い



JAMSTECでは若手人材育成プロジェクトの一環として、2019年に『『深海研究のガチンコファイト』を体感せよ!』(通称、ガチンコファイト航海)を実施しました。大学1~3年相当の7人が「よこすか」に研究者として乗船し、3人が有人潜水調査船「しんかい6500」の観察者として深海研究調査を体験しました。この航海を通じて、参加学生のキャリア選択・進路選択だけでなく、科学研究の意義や役割といった科学リテラシーに大きな影響を与えることができたと考えています。

人材育成の取り組みは、継続していくことが何よりも重要です。第2回の実施に向けて、皆さまからの温かいご支援を何とぞよろしくお願い申し上げます。

応募期間：2020年12月31日まで

JAMSTEC 創立 50 周年記念 寄附金支援のお願い

JAMSTECは2021年10月1日に創立50周年を迎えます。JAMSTECは、これまでの活動を礎に、今後いっそう研究開発成果を社会へ還元すべく、職員が一丸となって未来へ発展してまいります。

JAMSTECでは、50周年を契機として、さらなる発展につなげるための寄附金を募集いたします。これから50年のJAMSTECを、私たちと一緒に作りませんか？皆さまの温かいご支援を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

応募期間：2022年3月まで

▶詳しくは、QRコードあるいは
JAMSTECホームページ右上
「支援のお願い」からご覧ください。



賛助会 (寄付) 会員名簿 2020年9月10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
株式会社アイワエンタープライズ
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社天野回酒店
株式会社アルファワークコンサルティング
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
伊藤テクノソリューションズ
株式会社
潮冷熱株式会社
株式会社宇津木計器
海のめらい 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NTTファシリティーズ
株式会社江ノ島マリナーコーポレーション
株式会社MOLマリン
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

川崎汽船株式会社
川崎近海汽船株式会社
川崎重工株式会社
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
株式会社さんでん
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
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
コスモ商事株式会社
株式会社コノエ
株式会社コベルコ科研
五洋建設株式会社
株式会社コンボン研究所
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

株式会社シーフロアコントロール
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
シモダフレンジ株式会社
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
株式会社関ヶ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セコム株式会社
セナードバーンズ株式会社
株式会社ソリッド・ソリューションズ
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
株式会社竹中工務店
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
電気興業株式会社
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
JFEアドバンテック株式会社
東京製綱織維ロープ株式会社
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
株式会社東陽テクノカ
株式会社東和製作所
トーヨーテック株式会社
トビー工業株式会社
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
日本アキュムレータ株式会社
日本アドバンステクノロジー株式会社
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
日本海洋掘削株式会社
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・クレスト株式会社
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
ハリマ化成株式会社
東日本タグポート株式会社
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
株式会社フクロジャパン
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
松本徹章株式会社
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
三鈴マシナリー株式会社
三井E&S造船株式会社
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
三菱スペース・ソフトウェア株式会社
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
株式会社ロボット
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



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。



占幅1/16型配合率80%以上紙を使用