

Blue Earth

海と地球の情報誌

143

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811
2016年7月発行
隔月年6回発行
第28巻 第3号
(通巻143号)



JAMSTEC 発 イノベーション

福島第一原子力
発電所事故と海
国際地学オリンピック
日本代表合宿



1 **特集**
JAMSTEC発イノベーション

24 **Aquarium Gallery**
地下水族科学館もぐらんぴあ
大きくなって戻ってきたカメ吉
——アオウミガメ

26 **社会とつながるJAMSTEC**
三重県で開催の
国際地学オリンピックに向け、
日本代表が合宿

28 **Marine Science Seminar**
福島第一原子力発電所事故と海
熊本雄一郎
地球環境観測研究開発センター
全球海洋化学・物理研究グループ 主任技術研究員

32 **BE Room**
編集後記
『Blue Earth』定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
海底広域研究船「かいめい」誕生



特集

Innovation

JAMSTEC発 イノベーション

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、
社会のニーズに基づいたイノベーションの創出を加速するために2015年7月、
海洋科学技術イノベーション推進本部を設置。平 朝彦 理事長が本部長として指揮を執っている。
将来のイノベーションにつなげるための取り組みの1つとして「JAMSTECイノベーションアワード」を創設し、
JAMSTEC内から提案を募った。アイデア段階だが飛躍的な知や技術をもたらすような
大きなポテンシャルを持っている提案や、これまでの実績をもとに早期の実用化が期待される提案が
多数寄せられた。採択された提案をいくつか紹介しよう。また、JAMSTEC発のイノベーションとは
どうあるべきか、平 理事長に聞いた。

JAMSTEC発のイノベーションとは

平 朝彦 理事長・海洋科学技術イノベーション推進本部長に聞く

JAMSTECの意思として
イノベーションを推進

——JAMSTECでは2015年7月に、平理事長を本部長とする海洋科学技術イノベーション推進本部が設置されました。設置の背景と目的は。

平：私は2012年4月に理事長に就任したときから常に、基礎研究から応用まで一貫通貫に考えなければいけない、といったきました。JAMSTECは国民の負託を受けて活動しているわけですから、自由な発想や好奇心に基づく研究開発を行うだけでなく、その成果を何らかのかたちで社会あるいは人の幸せのためにつなげていかなければならないのです。

これまでもJAMSTECでは、実用化促進プログラムやベンチャー支援などを通じて、研究開発成果のなかから社会に役立つようなシーズ（種）を探索・育成し、事業化をサポートしてきました。それをさらに促進させるには、理事長自ら先頭に立つて全所的・組織横断的に取り組む必要があると考え、海洋科学技術イノベーション推進本部を設置しました。

——JAMSTECは2015年4月に国立研究開発法人となりました。そうした変化とも関連があるのでしょうか。

平：内閣府に設置され科学技術政策の企画立案を行ってきた総合科学技術会議が、2014年5月に総合科学技術・イノベーション会議と改名されま

した。このことから政府がイノベーションの創出の促進を重視していることが分かります。総合科学技術・イノベーション会議が主導して毎年策定する「科学技術イノベーション総合戦略」では、2015年、そして2016年も、国立研究開発法人は産学官の垣根を越えたイノベーションの共創の場合、イノベーションハブの中核を担うことが期待されています。ですから、国立研究開発法人化と無関係ではありません。しかし重要なのは、そうした要請があるから組織を整備したのではなく、JAMSTEC自身の意思として研究開発の成果を将来のイノベーションにつなげるための取り組みを推進したいと考えたということです。

——社会への貢献の必要性を強く意識するようになったきっかけは。

平：2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震です。あのとき、地震・津波の被害を抑えるために本当に必要な研究や技術は何だったのか、それができていたのか強く問われました。私自身も深く考えました。そして、私たちがやろうとしている研究や技術開発は社会あるいは人に対してどういう貢献ができるのかを、常に意識していなければならないと考えるに至ったのです。

「JAMSTECイノベーション
アワード」創設

——海洋科学技術イノベーション推進本部では、どのような取り組みをしているのでしょうか。

平：まずはJAMSTECとして取り組むべき課題を検討し、海底空間の利活用、地震・津波の防災、海洋地球情報学の3つを挙げました。特に、二酸化炭素の貯蔵や二酸化炭素から微生物に有用な物質をつくらせることを目指す海底空間の利活用は、JAMSTECが大いに貢献できます。世界的なイノベーションハブとなれるように準備を進めているところです。

——「JAMSTECイノベーションアワード」を創設しました。これは、どのようなものですか。

平：これまでの研究開発促進アワードと実用化展開促進プログラムの枠組みを発展させたものです。「イノベーション萌芽研究プログラム」と「イノベーション促進プログラム」があり、2015年12

月と2016年2月にJAMSTEC内から提案を募集しました。このような公募の場合、複数の委員による多数決で採択を決めることが多いのですが、今回は海洋科学技術イノベーション推進本部のメンバーや外部有識者による審査を行った上で、本部長決定として私の感性で選びました。

——2つの違いは。

平：「萌芽」は、まだアイデア段階だが飛躍的な知や技術をもたらすような大きなポテンシャルを持っている提案を想定しています。「促進」は、これまでの実績をもとに企業やほかの研究機関と連携してもう一押しすれば実用化できると期待される提案です。いずれも実施期間は2016年度末までで、「萌芽」はアイデアの原理実証、「促進」は実用化を到達目標としています。

——イノベーション萌芽研究プログラムには21件の応募があり、6件採択されました。どういう視点で選んだのでしょうか。

平：先端的で将来の展望を感じさせるだけでなく、周りのコミュニティを巻き込んでいろいろな人と議論していくことで研究開発活動の活性化につながるような提案を選びました。「萌芽」の提案には、起爆剤のような役割も期待しています。たとえば、荒唐無稽ともいえるのが「バイオミネラリゼーション作用を利用した巨大地震津波制御システムの構築にむけた基盤研究」です（12～15ページ参照）。すぐに実現するとは思いますが、面白いアイデアとして選びました。多数決で決めたなら、選ばれないでしょうね。

——イノベーション促進プログラムは、15件の応募があり、5件採択されました。採択にあたって意識したことはありますか。

平：海洋科学技術とは一見関係がないのでは、と思われる提案も選んでいます。それが「水流に負けない鉄道軌道構造の設計シミュレータ」です（8～11ページ参照）。この技術は、土木、化学プラント設計、さらには医学にも応用できます。JAMSTECは海洋科学技術を中核としながらも広い分野に貢献できることを示す、絶好の例となると期待しています。

——「JAMSTECイノベーションアワード」は今後どのように展開していく計画でしょうか。

平：提案の採択は私の感性で決めましたが、応募いただいた提案はいずれも貴重なものです。採択されなかったものも含めすべての提案を発表する機会をつくり、部門を超えた研究者・技術者の活発な議論の場や、共同開発を行う企業とのマッチングの場を提供したいと思っています。また、募集回数を増やして年に数回行うことを検討してい

イノベーション萌芽研究プログラムの採択提案

提案アイデア名	提案者
人工筋肉で海底下探査手法に パラダイムシフトを起こす！	海洋工学センター 海洋技術開発部 吉田 弘
海底～海面を貫通する 海洋観測データの統合解析 ➡16～19ページ	地震津波海域観測研究開発センター 地震発生帯モニタリング研究グループ 有吉慶介
有人潜水船ワイドビジョン 実現のための技術開発 単結晶サファイアの深海環境特性を検証する	海洋工学センター 海洋技術開発部 長期観測技術グループ 渡 健介
非線形力学系理論を利用した 多数AUVの効率的同時運用法の 数理基盤構築とその実証	数理科学・先端技術研究分野 山本美希
バイオミネラリゼーション作用を 利用した巨大地震津波制御システムの 構築にむけた基盤研究 ➡12～15ページ	高知コア研究所 断層物性研究グループ 濱田洋平
海洋科学技術イノベーションの 萌芽を育むデータ駆動型 研究プラットフォームの構築	地球内部物質循環研究分野 桑谷 立

イノベーション促進プログラムの採択提案

提案アイデア名	提案者
網羅的RNAウイルス検出技術開発 ➡21ページ	海洋生命理工学研究開発センター 生命機能研究グループ 浦山俊一・布浦拓郎・出口 茂
次世代レーザー吸収分光計測技術の探索	生物地球化学研究分野 坂井三郎
超高速ラマンサイトメトリーの開発： 高速フローサイトメトリーと ラマン分光法の融合	高知コア研究所 地球深部生命研究グループ 諸野祐樹
水流に負けない鉄道軌道構造の 設計シミュレータ ➡8～11ページ	数理科学・先端技術研究分野 西浦泰介
遠隔操作海底サンプリングシステムの開発 “海のはやぶさ計画” ➡4～7ページ	海洋工学センター 海洋技術開発部 長期観測技術グループ 馬場尚一郎・門馬大和・ 古山裕喜・佐藤智紀・ 石原靖久・田村芳彦

く予定です。実用化にはスピードも重要ですから。

人を知るためのイノベーションを

——JAMSTECが創出すべきイノベーションとは、どのようなものだとお考えですか。

平：イノベーションは多くの場合、産業の創成や経済の活性化をもたらすものとして語られます。私たちは、もう1つ重要で大きな視点があると考えています。ポール・ゴーギャンの絵画『われわれはどこから来たのか われわれは何者か われわれはどこへ行くのか』のように、私たちははるか昔から自分自身を理解したいと思い続けてきました。人間を知ることができるイノベーション。究極的には、そういうイノベーションをJAMSTECから創出していきたいと考えています。



平 朝彦

海洋研究開発機構 理事長
海洋科学技術イノベーション推進本部 本部長

“海のはやぶさ”で危険海域から岩石を持ち帰る

取材協力

海洋工学センター 海洋技術開発部 長期観測技術グループ

馬場尚一郎 グループリーダー代理

母船

小型無人艇

水中カメラ

粘着式採岩器

グラブ式採岩器

ドレッジ式採岩器

噴火が続く西之島（小笠原諸島）に接近して、海底から岩石を採取する“海のはやぶさ”。海のはやぶさは、市販のさまざまな小型無人艇に搭載が可能な軽量・小型の採岩システムである。母船からの遠隔操作で危険海域の水深約50mの海底から噴出直後の岩石を持ち帰ることができる。

イラスト：矢田 明

2015年、西之島での悔しい思い

小笠原諸島の西之島の近海で2013年以降、海底火山の噴火により新しい島が生まれ、旧西之島と合体して拡大を続けた。西之島近海では、1973～74年にも海底火山の噴火があり、そのときに噴出した岩石は大陸地殻と同じ安山岩であることが知られている。この海域は、まさに大陸が生まれている場所なのだ。太陽系の天体のなかで大陸地殻が見つかったのは地球だけだ。大陸はどのように誕生したのか。その謎を探る上で、今回の噴火で噴出した直後の岩石は貴重な試料となる。

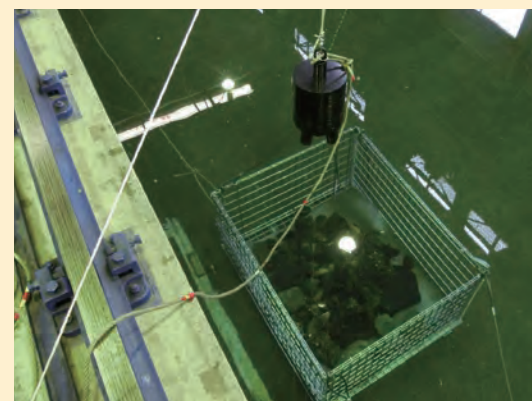
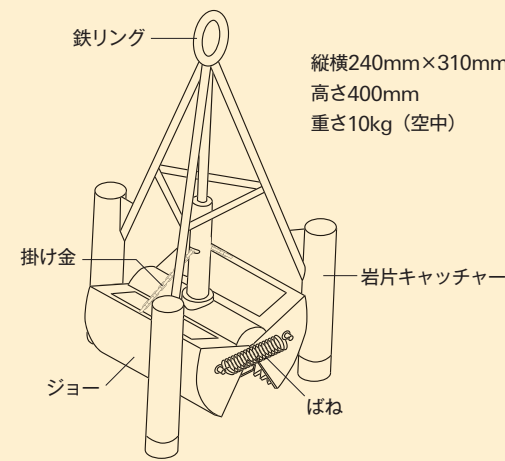
大陸誕生の謎に挑むJAMSTECの「たいりくプロジェクト」で、西之島の調査が計画された。噴出した直後の岩石を採取するには、人の立ち入りが禁止された海域の外側に母船を停泊させ、母船から無人艇を操縦して西之島に接近させて、遠隔操作で海底から岩石を採取して持ち帰る必要がある。馬場尚一郎 グループリーダー代理（GL代理）たちは、水深15m前後の海底から岩石を採取する遠隔操作システムを開発。そのシステムを東京海洋大学が無人艇に改造した電池推進船「らいちょうⅠ」に搭載して、噴出直後の岩石を採取する計画が進められた。

2015年6月、海洋調査船「なつしま」が西之島へ向かった。「しかし、その直前に東京海洋大学から『らいちょうⅠ』の使用延期の申し入れがあり、遠隔操作システムによる岩石採取は実現できませんでした」

当時、西之島から4km以内は立ち入り禁止海域に指定されていた。その外側の海域において「なつしま」で深海曳航調査システム「ディープ・トウ」を操作して、水深200～2,000mの海底から岩石の採取を行った。またNHKとの共同研究により、海洋調査船「第三開洋丸」から無人ヘリコプ

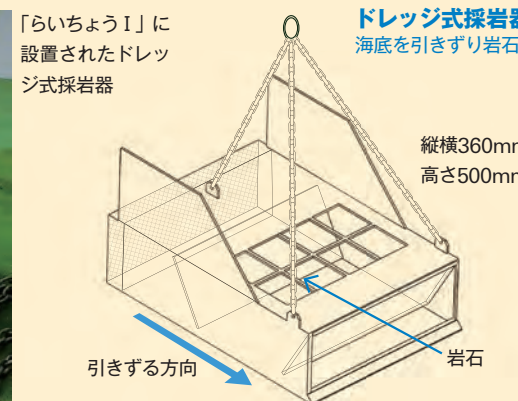
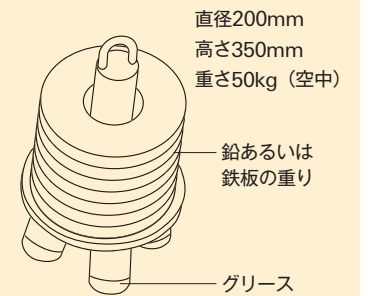
グラブ式採岩器

岩石が当たると、ばねの力でグラブが閉じて岩石をつかむ。



粘着式採岩器

大きな岩石を砕き、破片をグリースに粘着させる。



ターを飛ばし西之島の海岸から岩石を採取した。「今回は無人艇が使えず、無人ヘリコプターに先に岩石を採取され、たいへん悔しい思いをしました」

小型無人艇に搭載できる 軽量・小型システムに

「西之島の経験で、海底火山の噴火が起きてからサンプリングシステムを開発したのでは遅過ぎることを痛感しました」。そう語る馬場GL代理たちは、イノベーション促進プログラムに「遠隔操作海底サンプリングシステムの開発」を提案した。小惑星イトカワからサンプルを持ち帰ってきた小惑星探査機「はやぶさ」にあやかり、通称“海のはやぶさ計画”。市販のさまざまな小型無人艇に搭載が可能な軽量・小型のシステムを開発し、母船からの遠隔操作で危険海域の水深約50mの海底から岩石を採取することを目指している。不測の事態でシステムを失うことも想定して、安価なシステムとすることも目標だ。

「無人艇に搭載して遠隔操作で海底から試料を採取するシステムは世界的にもありません。数人で持ち運びができるように、電池やウインチ（巻き上げ機）、採岩器を含めたシステム全体の重量を70kg以下にします。『たいりくプロジェクト』での開発成果や既存技術を生かし、近隣の町工場と協力して、450万円の予算で2016年度中に“海のはやぶさ”

を完成させます」

馬場GL代理たちは「たいりくプロジェクト」において3種類の採取方式を開発していた。なだらかな海底ではドレッジ式採岩器を引きずって岩石を採取する。ごつごつとした海底では、グラブ式採岩器で岩石をつかむ。それらで採取できない大きな岩石は、重りを付けた粘着式採岩器を落として岩石を砕き、破片をグリースに粘着させて採取する。

「この3方式の水槽試験を行い、岩石を採取できることを確かめました。母船から指令を送る電波の状態がよいとは限りません。採岩器を海底に投下して、岩石を採取し、ウインチで巻き上げて格納するまでの一連の動作を、1回の指令でできるように工夫しました。“海のはやぶさ”には、海底の状態を観測して採取方式を選択するための水中カメラも搭載します。システムの軽量化だけでなく、ウインチの巻き上げ速度や、採取した岩石を確実に格納して持ち帰る方法などの改善も進めています。また新しい試みとして、あらゆる形状や傾斜の岩に取り付いて、単4乾電池ほどの大きさの試料を掘削して採取する装置のアイデアを練っているところです。将来は、さらに小型・軽量化を図り、小型無人飛行体にも搭載できるようにしたいと思います」

福島第一原発のデブリ取り出しに貢献する

“海のはやぶさ”には、危険海域だけでなく、も

う1つ重要な活躍の場が想定されている。「イノベーション促進プログラムの審査の際、福島第一原子力発電所のデブリの取り出しでも使えるのではないかと、アドバイスを受けました」

福島第一原発の1～3号機では、核燃料が溶けたデブリの多くが原子炉格納容器の底にたまっている。そのデブリの取り出しが廃炉における最大の難関だ。「原子炉格納容器の上から底まで約50m、底にたまったデブリは水に漬かった状態です。人が立ち入れない場所で、50m下の水中から物を持ち帰るという条件は、西之島と似ています」

馬場GL代理たちは、廃炉に関する研究開発を進めている国際廃炉研究開発機構と情報交換を始めた。「デブリにはかたい部分とやわらかい部分があると考えられ、複数の採取手法が必要となるでしょう。デブリの状態を調べるためのサンプル採取、その後の本格的な取り出しにおいて、“海のはやぶさ”が手法の1つとして採用されるように開発を進めていきます。また、JAMSTECが培ってきた掘削技術などもデブリの取り出しに貢献できると思います」

“海のはやぶさ”は、JAMSTECの技術を社会のさまざまな場で活用する実用例の1つになると期待される。「この記事の読者から、私たちが思いもよらない“海のはやぶさ”の用途をご提案いただけるとうれいですね」

「たいりくプロジェクト」で調査が行われた2015年6月中旬ごろの西之島（撮影・海上保安庁）



スイスの鉄道を水の流れから守る

取材協力

数理科学・先端技術研究分野

阪口 秀 分野長

西浦泰介 技術研究員

鉄道王国スイスが抱える問題

「鉄道バラスト軌道のシミュレーションと津波防潮堤のシミュレーションを融合できるかな?」。2016年1月、スイス出張から戻ったばかりの阪口秀^{ひで} 分野長から西浦泰介^{だいすけ} 技術研究員に、そんな問

い合わせがあった。「目的がまったく違うシミュレーションを融合してどうするんだろうと疑問に思いながらも、できるんじゃないですか、と答えました。それが、イノベーション促進プログラムに採択された『水流に負けない鉄道軌道構造の設計シミュレータ』の始まりです」と西浦技術研究員は振り返る。

阪口分野長は、スイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）を訪れていた。「私たちの研究開発活動として津波防潮堤シミュレーションなど、いく

つかの例を紹介しました。そのなかで、空港からの移動で世界一ともいわれるスイスの高度な鉄道技術を目の当たりにしたこともあって、私たちもこんなことをやっていますよ、と鉄道バラスト軌道のシミュレーションを出しました。すると、みんなが身を乗り出してきたのです。何事かと思いましたよ」と笑う。バラストとは、線路に敷かれている砂利のこと。地面にバラストを敷いてまくらぎを並べ、その上にレールを敷設した構造を、バラスト軌道と呼ぶ。

なぜそれほど関心を示したのか、事情を聞いた。スイスでは近年、地球温暖化の影響などにより、氷河の融解が進んだり、雪解け水が増えたり、局所的な豪雨が増加したりしている。その結果、鉄

道の線路が水没したり、バラストが水流で崩れたりして、安全な運行に支障が出ているというのだ。「EPFLの研究者たちは、鉄道バラスト軌道シミュレーションと津波防潮堤シミュレーションを組み合わせたら、水流に強いバラスト軌道を設計できるのではないか、ぜひその手法を開発してほしい、というのです。それで、西浦君に問い合わせたのです」

JAMSTECで鉄道の研究!?

そもそも、なぜJAMSTECで鉄道バラスト軌道のシミュレーションをやっているのだろうか。

阪口分野長は、対象物を粒子の集まりで表現してその挙動を計算する「粒子法シミュレーション」

鉄道バラスト軌道シミュレーション

津波防潮堤シミュレーション

列車走行時の衝撃荷重の伝搬シミュレーション。青から赤になるほど変位が大きいことを表す。列車が通過すると荷重がまくらぎに伝わり大きく変形し、その下のバラストも大きく動いていることが分かる。JAMSTECと鉄道総合技術研究所との共同研究。

津波による土砂移動のシミュレーション。土砂が混ざった水流が複雑な形状の構造物に衝突し、構造物内部に土砂が入り込む様子を再現している。

バラスト軌道

線路に敷かれている砂利をバラストという。バラストは、電車走行時の振動や騒音を吸収する。バラストの形状や大きさ、積み方によって安定性や衝撃吸収性能が変わることから、鉄道バラスト軌道シミュレーションによって最適条件を見つけることを目指している。

(撮影：阪口 秀、スイスにて)



の研究に取り組んできた。そして、1個の粒子の変形を扱うことができる画期的な計算手法を開発。それを学会で発表したところ、鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）の研究者から「バラスト軌道のシミュレーションに使えないだろうか」と阪口分野長に相談があったのだ。

線路に敷かれているバラストには、列車の荷重を分散させ、振動を抑えるなど重要な働きがある。しかし、列車が繰り返し通過すると、バラストが衝撃で変形したり摩耗したりして、沈下してしまう。それでは安全な運行に支障が出るため、バラストの定期的な交換など保守が欠かせない。そのため、保守の手間が少なく安全性が高いバラスト軌道の設計が切望されている。

実験を繰り返して最適な設計を探る方法もあるが、コストも労力も時間もかかり、詳細な解析も難しい。そこで、鉄道総研ではシミュレーションも取り入れていた。しかし、市販のソフトウェアを使っていたため、バラストは1個1個ではなく、まとめた連続体としてしか扱うことができない。計算速度も遅く、結果は現実とは程遠い。打開策はないかと探していたとき、阪口分野長の学会発表を聴いたのだ。そして、JAMSTECと鉄道総研の共同研究が始まった。

「バラスト軌道をシミュレーションするには、列車が通過する衝撃によってバラスト1個1個につい

て跳ね上がったり変形したりする様子を計算する必要があります。また、長時間かつ広範囲の現象を扱うため、高速化も必要です」と阪口分野長。

そこで、阪口分野長は複数の粒子の変形を扱うことができるように計算手法を改良し、それを西浦技術研究員がCPU（中央演算処理装置）より処理能力の高いGPU（グラフィックス演算処理装置）を搭載した計算機で計算できるようにした。さらに、複数のGPUを使って並列計算ができるようにして高速化を実現。

鉄道バラスト軌道シミュレーションでは現在、列車の加重がまくらぎに伝わって大きくたわんで下のバラストが動く様子を、まくらぎ4本分について計算することができている。スイスで紹介したのは、このシミュレーションだ。

世界初！ バラスト軌道と水流、2つのシミュレーションを融合

もう1つの津波防潮堤シミュレーションは、2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって多くの堤防が破壊され被害が拡大したことから、津波に強い防潮堤の設計を目指して開発された。従来の粒子と流体のシミュレーションを発展させたもので、水流によって土砂が浸食されたり、構造物と相互作用したりする様子を計算できる。「流体も粒子として扱っていることが大きな特徴で、それによって計算速度が大きく向上しています」と西浦技術研究員。

「鉄道バラスト軌道シミュレーションと津波防潮堤シミュレーションは、目的がまったく違います。それを融合させるなんて考えたこともありませんでした。でも2つを融合すれば、確かにスイスの鉄道が抱える問題を解決できそうです。そこでイノベーション促進プログラムに応募したのですが、JAMSTECらしくないテーマなので選ばれるのは難しいかなと思っていました」

実験のスイスEPFL

×シミュレーションのJAMSTEC

この課題は、EPFLの研究者との共同提案である。EPFLでは鉄道に関する研究が盛んで、最近シミュレーションも取り入れている。しかし市販の流体計算ソフトウェアを使っているため、できることが限られてしまう。たとえば、バラストは連続体としてしか扱えないため、バラストの隙間に水が入っていく様子や、水流によってバラストが崩れる様子など、知りたい現象を再現できないことが問題になっていた。

一方、EPFLでは実験が盛んで、室内にバラスト軌道をつくって水を流す大規模な実験も行っている。実験に強いEPFLと連携することは、JAMSTECにとっても大きなメリットだ。鉄道バラスト軌道シミュレーションと津波防潮堤シミュレーションを融合すれば、水流とバラストの相互作用を計算し、水流によってバラストが動いたり変形したりして崩れていく様子を再現できる。それだけでも世界初の革新的技術だが、その結果をEPFLの実験結果と比較しモデルを補正することでシミュレーションの信頼性が向上し、被害予測にも使える実用的な技術にまで高めることができるからだ。

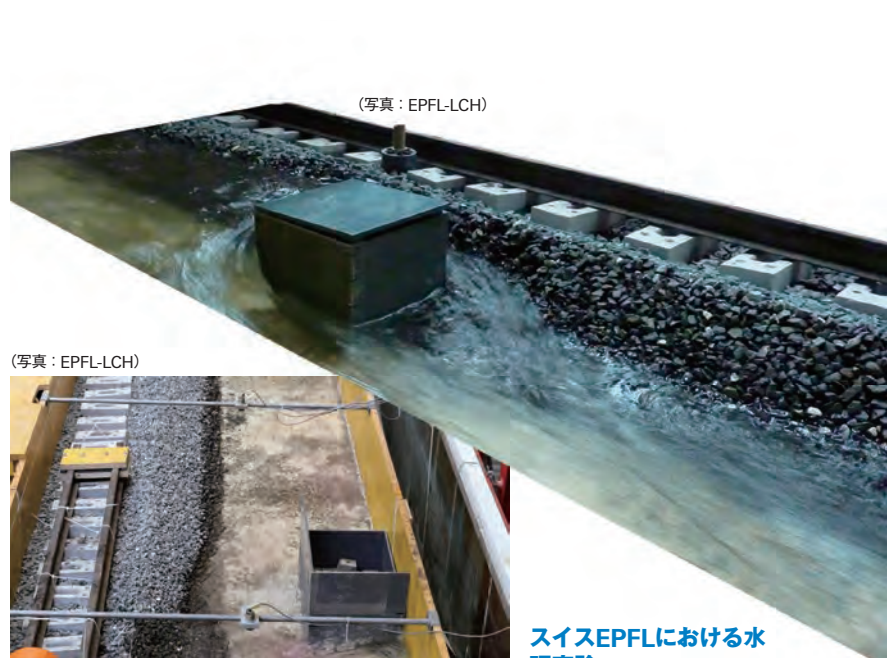
最も水流に強いバラスト軌道の構造を提案する

現在は、西浦技術研究員がシミュレーションの融合を行っているところだ。融合によって計算量は増えるが、GPUを搭載した並列計算機を用いることで、高速計算を実現する。もちろん、シミュレーションの融合は簡単なものではない。今回は、どちらも西浦技術研究員が開発に携わっていたからこそ、できることだ。

融合に成功したら、EPFLで行っている実験の条件を入力し、シミュレーションを実行する。そして、シミュレーション結果と実験結果を比較して再現性や信頼性を検証する。さらに2017年3月までにソフトウェアの実用化を目指す。「バラストの形状や水流の速度、地形などさまざまな条件を入力すると、最も水流に強いバラスト軌道の構造を提案してくれる。そんなソフトウェアをつくり、販売します」と西浦技術研究員。「私たちは、これまでさまざまなシミュレーション手法を開発し、それをソフトウェアとして実用化し、販売してきた実績があります。今回も確実にできるでしょう」

JAMSTEC発の鉄道技術が世界へ

世界には豪雨地帯や山岳地帯、海岸沿いを走る



(写真：EPFL-LCH)

(写真：EPFL-LCH)

スイスEPFLにおける水理実験

EPFLでは実験室に30分の1スケールのバラスト軌道をつくって水を流す実験を行っている。写真は、線路脇に構造物があることでバラスト軌道の浸食にどのような影響があるかを調べている様子。EPFLのウェブサイトでは実験の様子を動画で見ることができる (<http://actu.epfl.ch/news/fast-moving-floods-threaten-tgv-train-lines/>)。

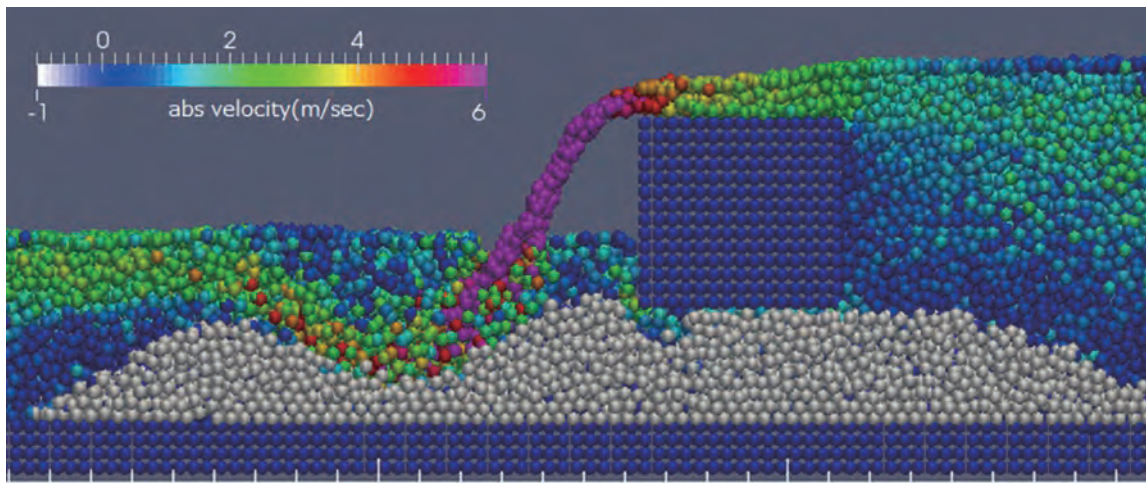
列車がたくさんあり、それらは水流によるバラスト軌道の崩壊というスイスと同じ問題を抱えている。さらに地球温暖化によって局所的な豪雨が発生しやすくなるという予測もあり、被害の増加が危惧されている。「水流に強いバラスト軌道を設計できるソフトウェアが開発されれば、使いたいと思う鉄道会社はたくさんあるでしょう。スイスを皮切りに、世界中の国に販路を広げていきたいですね」と西浦技術研究員は意気込む。

JAMSTECの研究対象として鉄道は異質だ。戸惑いはなかったのだろうか。西浦技術研究員は「私たちが開発しているのは基礎的な計算手法です。それはあらゆる分野に使えます。むしろ、予想外の分野で使ってもらって役に立てるのは、うれしいものです」という。

阪口分野長は、「イノベーションを起こすのは、技術をつくった人ではない。その技術を使ってくれる人であり、市場です。関連のない分野の人から声を掛けられたときに、専門ではないからと拒絶しないことも大切」と指摘する。「もし私たちが鉄道は専門外だからと共同研究を断っていたら、世界の鉄道に革新を起こすチャンスもなくなっていたことでしょう」

津波防潮堤シミュレーションの例

堤防を越えて流れ込んできた津波によって、堤防の基盤となっているマウンドが浸食される様子を表している。固体の土砂も液体の水も粒子で表現している。JAMSTECと東電設計㈱との共同研究。



微生物の力で巨大津波を抑える

取材協力

高知コア研究所 断層物性研究グループ

濱田洋平 研究員

微生物が生み出す物質を利用して 断層を固める

「突拍子もないアイデアですから、思い付いたとしても実際に研究しようとは誰もいい出さないのではないのでしょうか」。そう語るのは「バイオミネラリゼーション作用を利用した巨大地震津波制御システムの構築にむけた基盤研究」の提案者である、JAMSTEC高知コア研究所の濱田洋平 研究員だ。

「バイオミネラリゼーション」は、日本語では「生物鉱化作用」などと訳される。文字通り生物が鉱物をつくり出す作用のことだ。聞き慣れない言葉かもしれないが、実は身近なところでもその例は多く見られる。生物の骨や歯、貝殻などだ。

微生物のなかにも、鉱物をつくり出すものが多く存在することが知られている。ただし、微生物の場合は自分の体をつくるわけではない。微生物が周囲のpH(水素イオン指数)を上げることによって、水に溶けていた炭酸塩鉱物が沈殿するのだ。「炭酸塩鉱物は堆積物の隙間に沈着し固まる性質があります。そこで、微生物が生み出す炭酸カルシウムのようなセメント物質を使って地下の断層を固めることで、津波の高さを抑えることができるのではないかと考えています。今回の提案は、その実現に向けた基盤研究をしようというものです」

想定しているのは、 海溝型地震に伴う津波

濱田研究員が想定しているのは、プレート境界で起きる海溝型地震に伴う津波の制御だ。

日本周辺では、太平洋プレートやフィリピン海プレートなどの海側のプレート（海洋プレート）が、陸側のプレート（大陸プレート）の下にもぐ

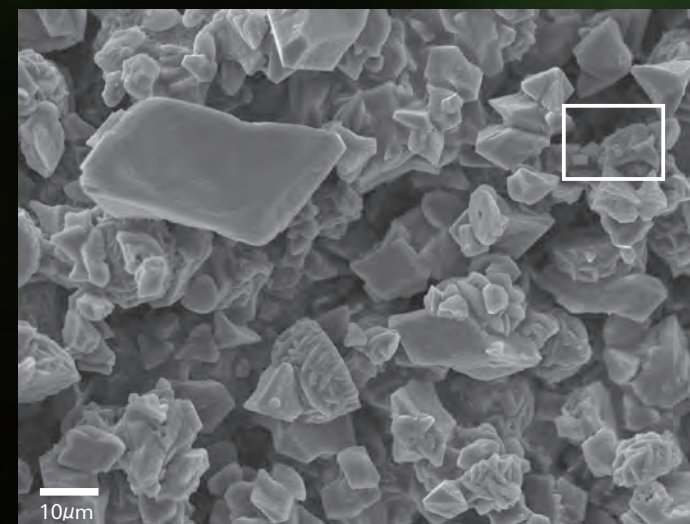
微生物（*Sporosarcina ureae*）がつくり出した炭酸カルシウムの蛍光顕微鏡写真。濱田研究員らが行った実験結果である。画像のなかで、線で指し示したような明るい部分は微生物で、雲のように広がっているのが微生物がつくり出した炭酸カルシウムである。

20μm

炭酸カルシウム

Sporosarcina ureae

微生物によってつくられ出された炭酸カルシウムの電子顕微鏡写真。角礫状、バラ状、ドーナツ状のかたちをした炭酸カルシウムがつくられていた。右は左の写真の枠内を拡大したもので、球形のものが微生物である。大きさは1μm程度。



10μm

*Sporosarcina ureae*

炭酸カルシウム

1μm

り込んでいる。大陸プレートの先端部分は、もぐり込んでいく海洋プレートに引きずられ、ひずみがたまっていく。ひずみが限界に達すると、大陸プレートはもとに戻る方向へすべるようにずれて地震が起き、場合によって隆起した海底が海水を押し上げて津波も発生する。2011年に東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震も海溝型であり、巨大な津波が発生し大きな被害をもたらした。将来発生すると考えられている南海トラフを震源とする地震でも巨大津波が危惧され、甚大な人的・経済的な被害が想定されている。

プレート境界は、とても巨大な断層だ。海溝型地震を詳しく見ると、まず地下10~20kmの深いところ（断層深部）ですべりが発生し、浅い方へ

とすべりが広がっていく。ほとんどの地震では、海溝に近い浅いところ（断層浅部）まではすべらないのだが、東北地方太平洋沖地震では断層浅部も大きくすべったことが分かっている。断層浅部が大きくすべらなければ、津波はあれほど巨大にはならなかったと考えられる。

濱田研究員が数値シミュレーションを行って見たところ、「やはり断層浅部のすべりを抑えると発生する津波の高さが低くなることが分かった」という。そこで、セメント物質をつくり出す微生物を溶液に混ぜ、その溶液を断層浅部に送り込んで断層を固めることで津波の高さを抑えてしまおうというのが、濱田研究員の考える将来的な目標だ。

微生物を使うことにはいくつかのメリットがあると濱田研究員はいう。その1つが、微生物を混ぜた溶液の粘性が低いことだ。一般的に工事などで使われるセメントはドロドロした状態、つまり粘性が非常に高い。粘性が高いと、断層の隙間に入っていくことが難しい。微生物を混ぜた溶液は、ほぼ水と同じ粘性だという。粘性が低ければ隙間にも入りやすい。「微生物なので、自己増殖しつつ広がって断層を広範囲に固めてくれるのではないかという希望も持っています」

1年間で、実現の可能性を検証する

将来的な目標に向け、すでに基盤研究に着手している。まずは断層を模した環境で、微生物が生存して鉱物を生成できるかどうかを調べる。12~13ページで紹介した写真は、その予備実験のときのものだ。微生物による鉱物生成が確認できれば、高知コア研究所にある高速摩擦試験機を使い、断層のすべりやすさが変化するかどうかを調べる実験を進める。高速摩擦試験機は、非常に大きな圧力をかけて海底下を再現しながら実験できる装置だ。

「断層部分は砂のような堆積物が緩く集まった状態になっています。その状態を再現した環境で実験を行います」と濱田研究員。具体的には、装置内に微生物を含んだ溶液と砂を入れておき、そこに微生物の餌となる養分を含んだ溶液を流しながら実験を行う。

加える力や微生物の種類、溶液の環境など条件をさまざまに変えながら実験が進められる。そして、実験で得られたデータをもとに数値シミュレーションを行い、津波の高さを軽減できるかどうかを解析する。実用化に向けた検討も含め、2017年3月までに行う予定になっている。「最終的には、断層のどの位置に微生物を入れれば効果的に津波を低くできるのか、まで検証したいと考えています」

分野を超えて最先端が集まることでイノベーションが生まれる

高知コア研究所には、濱田研究員が所属する断層物性研究グループのほか、地球深部生命研究グループ、同位体地球化学研究グループなどの部門があり、20人ほどの研究員が在籍している。今回の研究は、別の研究グループの研究員とも連携しながら進められる。「アイデアを思い付いて、ばかにされるかなと思いながらほかのグループの方にも話をしたら、みんな笑いながらもやってみようということになりました。これは壁で区切られることなく、研究者が同じ居室で作業をしている高知コア研究所ならではの風通しのよさがあるからだと思います」と濱田研究員。

研究の各段階で、それぞれの得意分野に応じて研究メンバーが一部入れ替わる。微生物の定着・鉱物生成実験では地球深部生命研究グループの星野辰彦 主任研究員や井尻 暁 主任研究員、次の段階の高速摩擦試験機を使った実験では断層物性研究グループの廣瀬文洋グループリーダー代理や谷川 亘 主任研究員が中心となり、最後の数値シミュレーション・解析は濱田研究員と2016年3月まで高知コア研究所に在籍していた林 為人 京都大学教授が中心となって進める計画だ。

このように分野の異なる研究者が集まることは、イノベーションを生み出すためには重要だろうと濱田研究員はいう。「1つの流れのなかで段階を上げていだけでイノベーションにたどり着くのは難しいでしょう。いろいろな分野でそれぞれ発展があり、各分野の先端が分野複合型で集まって、一気に跳び越えていくのがイノベーションだと思っています。JAMSTECには技術開発や生物研究など多くの部署があります。それぞれの知の最先端を組み合わせることができれば、イノベーションを生み出せるのではないのでしょうか」

これまでにない地震対策研究が持つ可能性

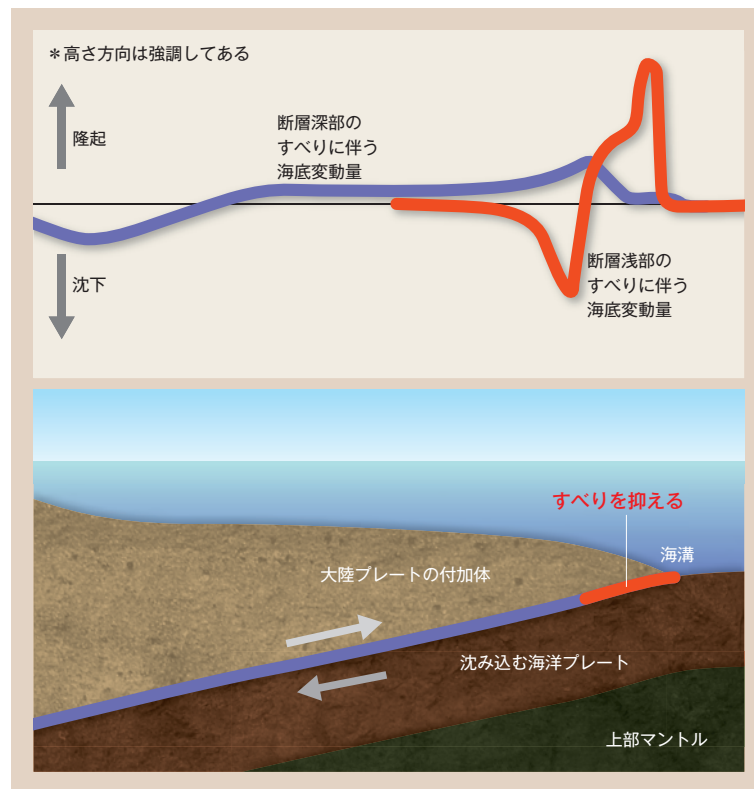
濱田研究員は、地震防災の空白を埋めたいと考えている。「たとえば町中の急斜面をコンクリートで固めたり、火事への対策として燃えにくいカーテンを開発したりと、危険因子を減らすタイプの防災対策があります。しかし地震に関しては、そのようなタイプの防災対策はありません。これまでの地震防災は、予測をして対応を考えるか、地震が起きても壊れないようにするかの2択でした。今回の研究は、急斜面を固めるように断層を固めて、巨大な地震津波そのものを直接的に制御してしまおうという、いわば“積極的な防災”です」



試料を入れた海水に微生物を加えると（右）、試料の表面に白い沈殿物（炭酸カルシウム）が形成された。12~13ページの写真は、この試料を顕微鏡で観察したものである。左は微生物を加えずに対照実験として行った結果で、沈殿物はほとんど見られない。



高速摩擦試験機。プレート境界断層を模擬した環境で実験を行うことができる。



断層浅部まですべった場合

断層浅部のすべりを抑えた場合

断層浅部のすべりと津波の高さの数値シミュレーション。上は断層浅部まですべった場合。下は断層浅部のすべりを抑えた場合で、津波の高さが低くなっている。

地球温暖化への対策として、二酸化炭素の回収・貯留（CCS）の研究が進んでいるが、今回の提案はCCSを効率よく進めることにもつながる可能性があるという。「微生物と二酸化炭素を掘削孔へ流し込むことで、微生物の働きによって二酸化炭素を炭酸塩鉱物として固定できます。二酸化炭素を貯留しながら地盤を固めることもできるという一石二鳥の効果を狙えますし、従来の方法より長期間貯蔵できると考えられます」

また「今回の研究から得られる技術はほかの分野にも応用できる」と濱田研究員はいう。「地盤そのものを固めるので液状化や崩落などの対策としても使え、しかも安価です。そういった用途への応用も視野に入れて、巨大津波の発生を抑えるという最終的な目的を目指していきたいと考えています」

自ら「突拍子もない」と語る今回の提案だが、実現できれば巨大津波によって失われる人命、財産を減らせるなど、社会に与えるインパクトは非常に大きいだろう。

海底から海面を貫通する統合解析で 地震・海洋科学にパラダイムシフトを起こす

取材協力

地震津波海域観測研究開発センター
地震発生帯モニタリング研究グループ

有吉慶介 研究員

地球環境観測研究開発センター
海洋大気戦略観測研究グループ

永野 憲 主任研究員

長谷川拓也 主任研究員

地球深部探査センター
科学支援部 地質評価グループ

青池 寛 グループリーダー

南海トラフで進められている観測・調査活動

DONETで南海トラフ 巨大地震の予兆を捉える

南海トラフでは、近い将来に巨大地震が発生する可能性がある。フィリピン海プレート（海洋プレート）が陸側のプレートの下に沈み込んでいる南海トラフでは、約100～150年周期でマグニチュード（M）8クラスの地震が繰り返し起きてきた。1944年にM7.9の昭和東南海地震、2年後の1946年にM8.0の昭和南海地震が発生。それから70年が経過し、次の巨大地震・津波の発生が警戒されている。その規模は最大でM9.1、犠牲者は最悪のケースで33万人に達すると予測されている。

「南海トラフのような海洋プレートが沈み込む海溝で起きる巨大地震とスロー地震の関係が注目されています」と有吉慶介 研究員は指摘する。海溝で巨大地震が発生するのは、海底下10～20km付近のプレート同士がぴったりとくっついた固着域だ。海洋プレートの沈み込みによって固着域にひずみが蓄積され、あるときプレート境界の断層が一気にすべって巨大地震が発生する。そこよりも浅い領域や深い領域ではプレート同士は固着しておらず、海洋プレートの沈み込みによって引きずり込まれた陸側のプレートが、普段からときどきゆっくりすべってもとに戻る「スロー地震」が起きていることが分かってきた。

「特に浅い領域でスロー地震が起きていることが分かったのは最近のことです。巨大地震が発生する前にもスロー地震が起きる可能性があります。実際に、2011年3月11日に日本海溝で起きた東北地方太平洋沖地震では、本震発生の1ヵ月前からスロー地震が起きていたと指摘されています。ただ

し海底での観測データが少なく、詳しいことは分かっていません」

スロー地震により海底が隆起すると、水深が浅くなり海底の水圧は低くなる。京都大学などの国際共同研究グループは2016年5月、ニュージーランドの北島東方沖でスロー地震を観測したと発表した。2週間弱の間に1.5～5.4cmという海底の隆起を、海底圧力計（水圧計）で観測することに成功したのだ。

JAMSTECでは、南海地震と東南海地震の震源域の海底に地震計と海底圧力計を設置し、ケーブルで陸上と結んでリアルタイムで観測を行う「地震・津波観測監視システム（DONET）」を整備し、2011年8月から本格的な観測を開始している。その後、2015年度にDONETの整備が終了。これを機に2016年度から防災科学技術研究所にDONETは移管されたが、データの高度利用などについてはJAMSTECは防災科学技術研究所との連携の

南海トラフ掘削時における
流向流速深度剖面
ファイルの取得

衛星やブイによる
海面高度観測

衛星通信による
リアルタイム
データ配信

「ちきゅう」

「みらい」

船舶搭載CTDの
データ活用

船舶搭載ADCP
による流速観測

アルゴ型フロートによる
海洋内部の水温・
塩分変化の検出

データ配信

DONET

孔内観測による
湧水・間隙圧の
評価

陸側プレート

スロー地震

フィリピン海プレート

海溝型巨大地震が発生
する固着域

イラスト：吉原成行

将来構想

海底音響測深器と
流速計の開発

DONET

ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler
音響式ドップラー多層流速計
CTD：Conductivity Temperature Depth
電気伝導度（塩分）水温水深計

と、共同で研究開発を行っている。

「私は南海トラフで起きるスロー地震をDONETの海底圧力計で観測することができるかどうか調べるために、コンピュータ・シミュレーションを行いました。南海トラフはフィリピン海プレートが沈み込む角度が浅いため、スロー地震が起きても海底の隆起は小さく年間数mmほど、巨大地震の前に起きると考えられるスロー地震でも数日間に数mm程度という結果になりました」と有吉研究員。

このようなゆっくりとしたわずかな海底の隆起を、海底圧力計で捉えることは難しい。海底の水圧を変化させる要因は、海底の隆起・沈降だけではないからだ。海底の上に載る海水の高さの変化（海面の隆起）と海面から海底までの密度変化によっても海底の水圧は変化する。海水の塩分が高いほど密度は高くなり、水温が高いほど密度は低くなる。しかも南海トラフは、世界有数の強い海流である黒潮の流路だ。黒潮の流路や流速の変動は海面の高さと海水の密度を変化させ、海底の水圧が変化する。「海底圧力計のデータは、海面から海底までの影響をすべて含んでいます。スロー地震を観測するには、海底圧力計のデータから海洋の変動成分を取り除き、海底の変動成分だけを分離する必要があります。それにはどうすればよいのか。行き詰まった私は、JAMSTECの海洋科学の研究者たちに相談することにしました」と有吉研究員は振り返る。

さまざまな分野でDONETを活用する

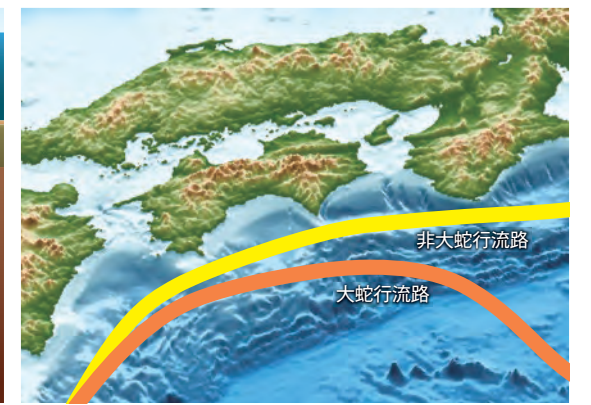
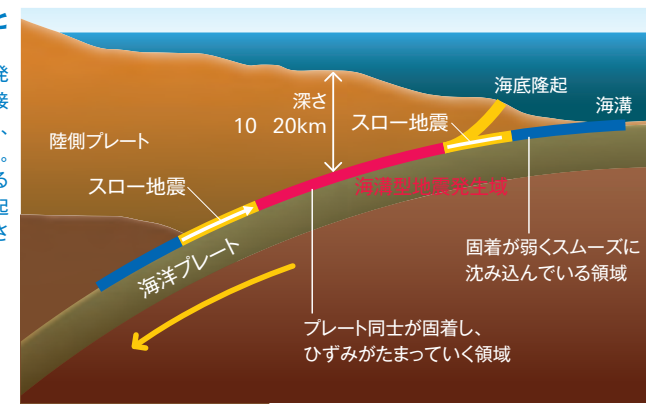
DONETの海底圧力計のデータに海洋変動の成分が含まれているという有吉研究員の話に、さまざまな分野の研究者が興味を示した。永野 憲 主任研究員は亜熱帯循環の研究をしている。黒潮は亜熱帯循環の一部（西岸境界流）である。「黒潮は南海トラフに沿って進む流路（非大蛇行流路）と、南側へ大きく蛇行する流路（大蛇行流路）があります。なぜ黒潮が大蛇行するのか大きな謎です。

蛇行するときの表層の観測は進んできましたが、中層から海底付近の状態は分かっていません。大蛇行流路のメカニズム解明に海底圧力計のデータが役立つかもしれないと思いました」

黒潮の流路は気候や水産資源の分布に大きな影響を与える。また、船舶の運航にとっても黒潮の影響は大きい。黒潮流路の予測精度が向上すると、船舶は黒潮を上手に利用したより低燃費の運航ルートを積極的に選択できるようになる。さらに、地球深部探査船「ちきゅう」にとっても黒潮の変動は重要だと青池 寛グループリーダー（GL）はいう。「南海トラフの掘削では、非常に不安定な地層のほかに流速5ノットを超えることもある黒潮とも関わらなければなりません。安全に掘削を遂行する上で、黒潮の動きは常に注視しなければならない対象です。私たちはこれまで黒潮に関して、係留系による掘削地点付近の長期観測や、『ちきゅう』や支援船による掘削中のリアルタイム観測を行ってきました。南海トラフの掘削はまだ途上であり、今後も観測データは蓄積されていきます。これらの観測データは、有吉さんたちのスロー地震の解析にも大いに役立つだろうと思います。また、今後DONETの観測データが黒潮の変動解析にも取り入れられ、変動予測がこれまでより高い精度でできるようになるとすれば、南海トラフの掘削にとっても大きなメリットになります」

長谷川拓也 主任研究員は、黒潮の南方に位置する熱帯太平洋の海洋気候変動の研究を進めている。「DONETのデータを活用した分野横断型研究の成果を、熱帯海洋研究に将来活用することができるかもしれません。たとえば、将来フィリピン海などに海底観測網が整備されれば、海面や海洋表層を主に観測している現在の熱帯大気海洋観測網などと連携することによって、エルニーニョ発生に関係するフィリピン海の暖水移動のメカニズムの理解に寄与できる可能性があります。私たちは、それぞれの分野にメリットがあると考え、有吉さ

海溝型巨大地震とスロー地震
海溝型巨大地震が発生する固着域に隣接した領域（黄色）で、スロー地震が起きる。巨大地震が発生する前にスロー地震が起きる可能性が指摘されている。



南海トラフ付近の黒潮の流路
黒潮は南海トラフに沿ったルート（非大蛇行流路）と、南側に蛇行するルート（大蛇行流路）がある。

んの話に興味を持ちました」

「JAMSTECでは、南海トラフにおいて多くの研究者がさまざまな分野の観測を行っていることが分かりました。海底から海面までの3次元の観測データをかき集めて統合解析することで、DONETの海底圧力計のデータからスロー地震や黒潮の変動などを分離することができそうです」。そう語る有吉研究員たちは、イノベーション萌芽研究プログラムに、「海底～海面を貫通する海洋観測データの統合解析」を提案した。

3次元リアルタイム観測で巨大地震を予測する

海底圧力計のデータから必要な情報を取り出すには、機器ドリフトの問題も解決する必要がある。機器ドリフトとは、計測値が真の圧力値からゆっくりと持続的にずれていく現象だ。高めあるいは低めにずれていくこともある。「海底圧力計に加え水圧変動と密接な関連を持つ流速を計測する流速計を取り付けた海底音響測深器の開発も視野に入れています。それにより、海底圧力計のデータが機器ドリフトによってどれくらいずれているのかを評価することができます。また、流速計のデータは黒潮の研究にも役立ちます」と有吉研究員。

統合解析により水温・塩分の時間変化が分かれば、海底音響GPSによりプレートの沈み込みも詳しく調べることができるようになる。海底音響GPSは、海底から海面まで情報を音波で伝える。音波は水温や塩分に大きく影響を受けるため、位置の測定精度が高くない。水温・塩分の時間変化が分かれば、音波がどれくらい影響を受けたかを評価して、海底の位置を高い精度で決めることができるのだ。「海溝を挟んで海洋プレートと陸側のプレートの複数の場所に海底音響GPSを設置して高い精度で測定すれば、沈み込みの速度や方向がほかとは異なる場所が明らかになり、地震予測に最適な場所が分かるでしょう」

最終的には、DONETの海底2次元観測網や孔内

観測データに加えて、海面から海底までの水温・塩分・流速をリアルタイムで捉える新しい観測システムを築くことを目指している。「そのような3次元リアルタイム観測を地震予測に最適な場所で行い、南海トラフで起きる次の巨大地震の発生を高い精度で予測することを目指します」と有吉研究員。3次元リアルタイム観測システムは、地震予測だけでなく、黒潮の変動予測、高潮・波浪に対する防災、海洋や気候変動の予測など、さまざまな分野に大きく貢献するはずだ。

分野横断のコミュニティで新しい科学を拓く

「海底～海面を貫通する海洋観測データの統合解析」の実現に向けて、有吉研究員たちはまず、異分野との交流を拡大していく。「2016年度中に、まずJAMSTEC内部で数回の勉強会を開きます。夏には『ちきゅう』船内で開催します。JAMSTECのなかにも、科学掘削から遠い分野にいる研究者にとっては『ちきゅう』もそこで取得されるデータも遠い存在になっていると思われます。勉強会がデータを十分に活用するきっかけになることを期待します。さらに、日本地球惑星科学連合と米国地球物理学連合の共同大会（JpGU-AGU）などで新しいセッションを開催したり、研究成果を国際的な学術雑誌に発表したりしたいと考えています。JAMSTECの内外からプロジェクトに賛同する研究者に参加してもらい、組織や分野を超えた体制で取り組んでいく計画です」と有吉研究員。

海底～海面を貫通する海洋観測は、西部北太平洋の亜熱帯定点S1や亜寒帯定点K2などにおいて、海洋生物・化学分野でも行われている。永野主任研究員は、「地震・海洋科学に分野を横断した新しいコミュニティができることで、予想もつかない発展が起きることに最も期待しています」と語る。このプロジェクトは、地震・津波の防災という枠を超えて、海洋科学に大きな変革をもたらす可能性を秘めている。

地震・津波観測監視システム（DONET）



生命の起源の研究から生まれた ナノテクノロジー

取材協力

海洋生命理工学研究開発センター

出口 茂 研究開発センター長

JAMSTECでは、研究開発活動によって生み出されてきた成果をもとに多くの特許が取得されている。企業などと共同で実用化されているものもある。そのようなJAMSTEC発イノベーションの代表例の1つが、ナノエマルジョンの製造方法である。

ナノエマルジョンとは

「ナノエマルジョン」は、あまりなじみのない言葉かもしれない。エマルジョンとは、互いに溶け合わない液体の一方が、もう一方の液体中に微粒子として分散している状態をいう。日本語では「乳化物」だ。エマルジョンは身近にたくさんある。たとえば牛乳。牛乳は、水のなかに乳脂肪の微粒子が分散している。マヨネーズやインクもエマルジョンだ。微粒子の直径がおおよそ100nm（1nmは1mmの100万分の1）以下のものをナノエマルジョンと呼ぶ。

JAMSTECは2013年、ナノエマルジョンをわずか10秒で製造できる技術を開発。その技術を用いた

ナノエマルジョン製造装置を、高温・高圧機器専門メーカーの(株)AKICOと共同開発し、2016年3月より販売を開始した。技術のシーズ（種）を見つけ、育ててきた出口 茂 研究開発センター長は、「エマルジョンの世界を大きく変えてしまう。そんな画期的な技術です」と声を弾ませる。

MAGIQ：水に油を溶かしてからナノエマルジョンをつくる

エマルジョンはこれまで、ドレッシングの要領でつくられていた。激しくかき混ぜて油のかたまりを引きちぎり、小さな油滴にするのだ。エマルジョンは食品や医薬品、化粧品、農業などさまざまな産業分野で利用されているが、近年は油滴の微細化が進んでいる。ナノエマルジョンは通常のエマルジョンには見られない性質が現れ、健康機能食品や機能性化粧品などへの利用が期待されるからだ。しかし、大きな油滴を細かくしていくトップダウン方式では100nmまで微細化することは難しいことから、まったく新しい技術が切望されていた。

「私たちが開発したのは、油を水に溶かし、分子から油滴を組み上げるというボトムアップ方式です」。しかし、水と油は溶け合わないはずではないか。「通常の水は、油と混ざり合いません。しかし、高温・高圧の超臨界状態にある水は、通常の水とはまったく性質が異なり、水と油が分子レベルで完全に混ざり合って均一な溶液になるのです」と出口研究開発センター長は解説する。

具体的な方法はこうだ。250気圧で加熱して超臨界状態にした水に油を混ぜ、さらに加熱する。337℃くらいになると、水と油が完全に混ざり合っ

て下げると、油の分子が集合して油滴ができていくのだ。毎秒200℃を超える速さで急冷すると、わずか10秒で直径が61nmのサイズがそろった高品質なナノエマルジョンができる。「この魔法のようなナノエマルジョン製造技術をMAGIQと名付けました」

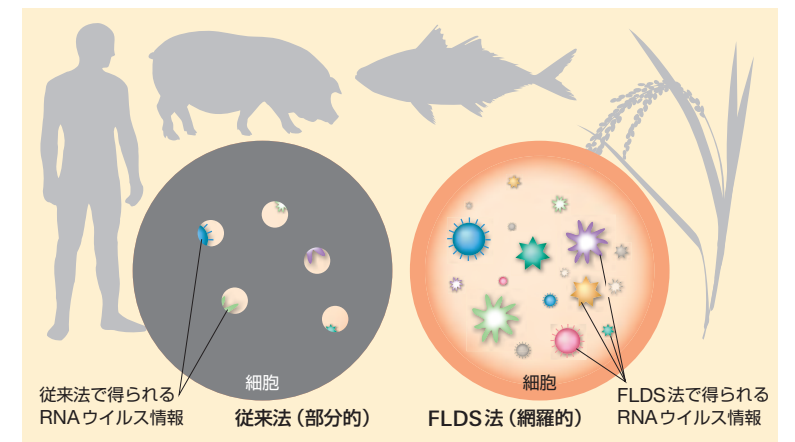
製造装置の販売開始後、多くの問い合わせがある。しかし出口研究開発センター長は、「装置をつくって販売することがゴールなどではありません。この装置をつくったのは、MAGIQを多くの人に使うため。このようなオープンイノベーション体制によってMAGIQを使った新素材を生み出すことこそがゴールです。実際の産業利用には製造量を増やすスケールアップも必要で、やるべきことはまだあります」と表情を引き締める。「ナノサイズの油滴が生成されるメカニズムの解明にも取り組んでいます。それは基礎研究ですが、MAGIQが進歩し、技術の高度化につながります。基礎研究と産業応用はまったく別なものではなく、同じものを表と裏から見ているにすぎないのです」

始まりは生命起源の研究

「MAGIQは生命の起源の研究から生まれたイノベーションです」と出口研究開発センター長。「私は1999年からJAMSTECで研究を始め、最初の仕事は高温・高圧の水のなかで起きる現象を観察できる光学顕微鏡をつくることでした。深海底には地下で温められた熱水が噴き出している場所があります。熱水噴出孔は、生命誕生の場の最有力候補です。高温・高圧である深海の熱水環境を実験室に再現し観察することで、生命の起源に迫ろうとしたのです」

装置の製作は困難を極めた。高圧にするためには金属製の容器に隙間ができないようにしなければいけないのだが、温度を上げていくと金属が膨張してひずみ、隙間ができて水が漏れてしまう。さらに、のぞき窓が必要なので天然ダイヤモンドをはめ込んだが、金属と膨張率が違うため大きくひずみ、ダイヤモンドにひびが入ってしまった。「漏れては直し、漏れては直しを繰り返し、1年かけてようやく高温・高圧顕微鏡が完成しました」。ナノエマルジョン製造装置を共同開発したAKICOとは、このときからの付き合いだ。

この顕微鏡は0.002mmの物を見分ける分解能がある。これほどの高分解能を持つ高温・高圧顕微鏡は、世界に例がない。「見るということとはとても大切



網羅的RNAウイルス検出技術FLDS法のイメージ

従来の検出技術では、既知のRNAウイルスを部分的にしか検出できない。FLDS法は、細胞に含まれるRNAウイルスを効果的・網羅的に検出できる。検出精度は世界最高で、多くの生物や環境試料に適用できる。

なんです。超臨界状態の水と油は分子レベルで均一に混ざり合うことは知られていましたが、実際にその様子を見たのは私が初めてでしょう。新しいものを見ると、新しい展開を思い付くものです」

出口研究開発センター長の脳裏には、深海底にある熱水噴出孔の姿が浮かび上がった。「噴き出す熱水は高温ですが、周りの海水は2℃くらいです。熱水に巻き込まれた物質は超臨界状態まで加熱されますが、熱水から外れれば一瞬で冷却されます。このとき面白い現象が起きるのではないかと考えました」。そこで、高温・高圧にした後に急冷できる装置を開発。それがMAGIQにつながった。「ナノエマルジョンという結果だけが注目されがちですが、一番重要なのは、私たちが高温・高圧の環境を再現して研究するためのさまざまな技術を持っていること。これはJAMSTEC発のイノベーションを考える上で、非常に重要なことです」

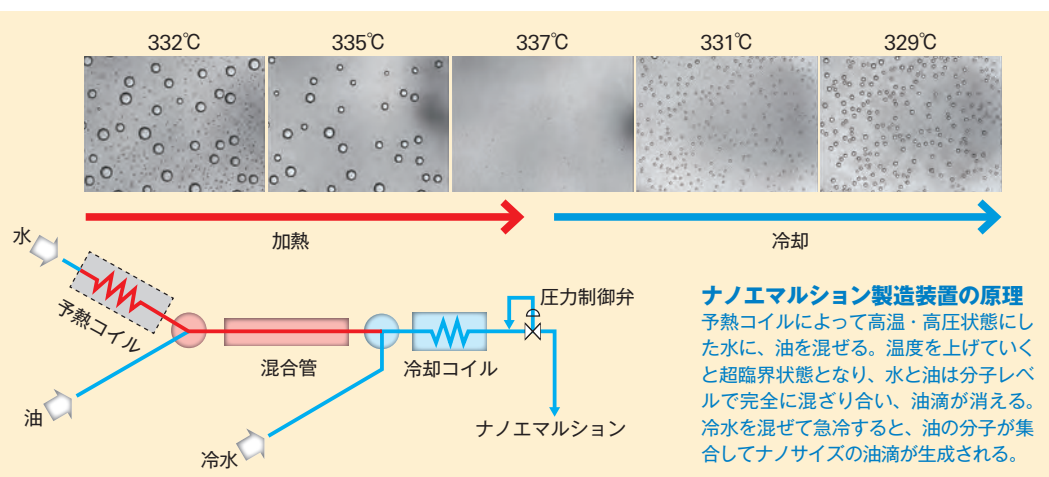
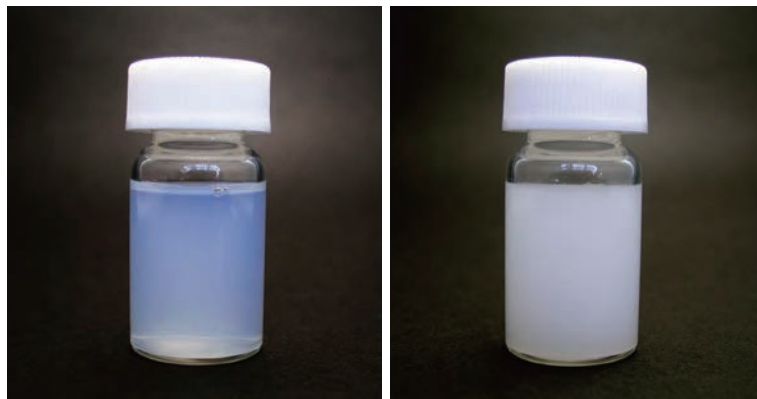
海だけでなく、陸にも人にも貢献

新しいシーズも育っている。出口研究開発センター長は生命機能研究グループ（布浦拓郎グループリーダー）の浦山俊一ポストドクトラル研究員らと、イノベーション促進プログラムに「網羅的RNAウイルス検出技術開発」を提案し、採択された。

生物には、さまざまなウイルスが感染しているが、現在の技術では既知のわずかなウイルスしか検出できないことが問題になっていた。そうしたなか、浦山ポストドクトラル研究員は、海洋生物中のRNAウイルス（ゲノムとしてRNAを持つウイルス）を効率的かつ網羅的に検出する技術「FLDS法」を開発。「未知のウイルスも検出できる画期的な技術です。この技術を医療や農作物・家畜へと展開すれば、画期的なイノベーションを生み出せる可能性があります」と出口研究開発センター長。「JAMSTECだからといって海に閉じるのではなく、その技術によって解決できる課題があるのならば、対象が陸の生物でも、さらには人でも、どんどんやるべきです」

MAGIQで生成したナノエマルジョン

左はMAGIQで得られた、直径61nmのサイズがそろった油滴から成るナノエマルジョン。油滴がナノサイズなので、光の反射が抑えられて透明度が高くなる。右は直径数μmの油滴から成る通常のエマルジョン。白濁している。



ナノエマルジョン製造装置

JAMSTECでは、研究開発活動の成果を社会に還元するため、産業界や大学・研究機関との連携に積極的に取り組んでいます。JAMSTECの研究開発活動の成果を知っていただき、共同研究や共同開発、ライセンス契約などを通して実用化につなげるため、特許の一部を「シーズ集」として公開しています。関心のあるシーズがございましたら、お気軽にお問い合わせください。

JAMSTEC生まれのイノベーションのシーズを公開中!

知的財産情報

<https://www.jamstec.go.jp/j/about/patent/index.html>



問い合わせ先 イノベーション・事業推進部 イノベーション推進課
TEL 046-867-9246 FAX 046-867-9195 E-mail chizai@jamstec.go.jp

JAMSTECが所有している施設や設備、機器のなかには、ほかには類のない高性能のものや、非常に珍しいものもあります。科学技術に関する研究開発や学術研究などを行う外部の方々に使っていただくことができる施設・設備・機器を紹介します。

外部の人も利用できるJAMSTECの施設・設備・機器

共用施設・設備



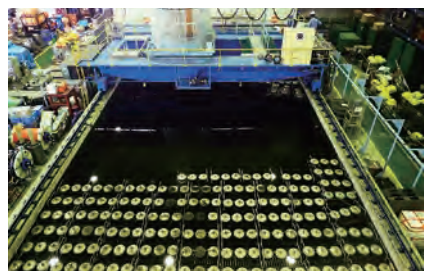
高圧実験水槽装置
水深約1万4000mに相当する圧力まで再現できる装置。深海機器や材料に対する疲労試験、耐圧試験、作動試験を行うことが可能で、信頼性の高い深海用の機器・材料の開発に役立つ。内径1.4m×高さ3m（有効容積4.61m³）。



中型高圧実験水槽装置
水深約1万4000mに相当する圧力まで再現できる装置。深海機器や材料に対する疲労試験、耐圧試験、作動試験を行うことが可能で、信頼性の高い深海用の機器・材料の開発に役立つ。内径0.6m×高さ1.6m（有効容積0.49m³）。



多目的実験水槽
大型の水中機器などの開発や性能試験を行うための水槽。片側側面に1m四方の観測窓が5個あり、水中の実験模型の挙動を観測できる。計測台車に模型などを取り付け、水中を任意の速度で動かして運動特性を計測することも可能。長さ40m×幅4m×深さ2m（一部2.3m）。



超音波水槽装置
ソナーやデータ通信、水中通話機、音響測位装置など音波を使った水中機器の計測・試験を行うための施設。長さ9m×幅9m×深さ9m。



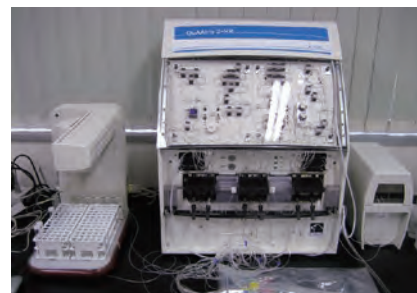
多目的プール施設
潜水機器・水中機器の開発、性能試験、潜水技術者の訓練などを行う施設。一辺が21mのほぼ正方形で、深さは3.3mと1.5mの2段階になっている。深さ3.3m部分の周囲には、水面下を観察する観察窓がある。高所からの入水用の飛び込み台もあり、いろいろな訓練に使用できる。

問い合わせ先
海洋研究開発機構 総務部 施設課
TEL 046-867-9902
FAX 046-867-9025
E-mail facilities@jamstec.go.jp
<http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/yokosuka/>

外部共用機器



全炭酸測定装置
海水中の溶存無機炭酸濃度（全炭酸濃度）を電量滴定法で測定



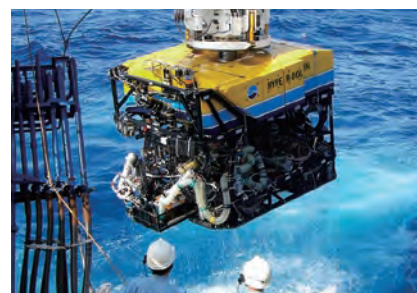
栄養塩分析装置
海水中の栄養塩濃度を連続流液方式で測定



蛍光光度計
海中クロロフィルaを蛍光法で測定



ピストンコアサンプラー
海底の堆積物を柱状に採取するための機器。採取できる堆積物の長さは最大20m。



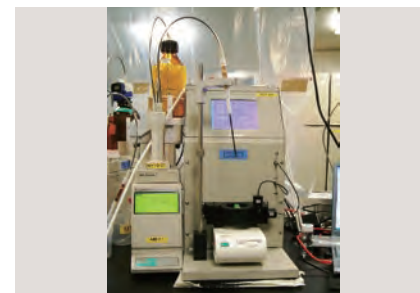
無人探査機「ハイパードルフィン」
3,000mまでの潜航が可能な無人探査機。超高感度ハイビジョンカメラや、海底からサンプルを採取できるマニピュレータ2基を備えている。



ドラフトチャンバー
局所排気装置。揮発性の薬品や飛散しやすい試薬などを扱う際に使用し、実験室や人体への暴露を防止する。



分光吸光度計
植物色素標準液の濃度の決定などに用いられる。



溶存酸素測定装置
海水中に溶存している酸素量をウィンクラー法で測定



CTD採水システム
海洋中の水温、塩分の鉛直分布を測定。任意の水深で採水できる。



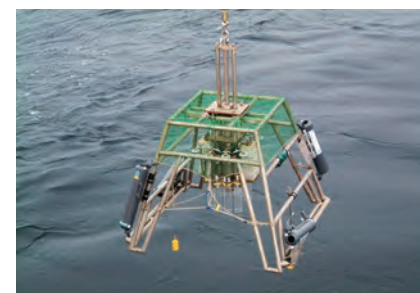
深海曳航調査システム「ディープ・トウ」(6Kカメラ)
深度6,000mまでの曳航観測が可能。各種カメラによる海底観察や、切り離し装置を用いた機器やケーブルの設置に使用。ペイロードに小型ドレッジや採泥器、採水器を搭載することで試料採取も可能。



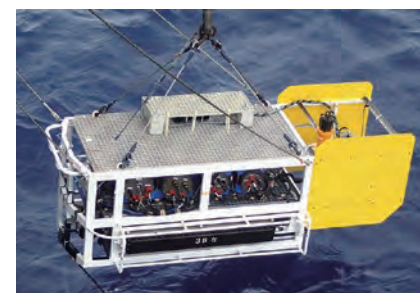
液体クロマトグラフ測定装置
多成分を同時に分離・定量することが可能



海洋観測用ウインチ
ケーブルの巻き上げ装置



マルチプルコアラー
海底表層約30cmまでの堆積物や底生生物を採取できる。



深海曳航調査システム「ディープ・トウ」(6Kソナー)
深度6,000mまでの曳航観測が可能。サイドスキャンソナーによる微細な海底地形調査に使用。地形調査と同時にカメラによる海底観察もできる。

大きくなって戻ってきたカメ吉 ——アオウミガメ



2016年3月21日に青森県の八戸市水産科学館マリエントから戻ってきたカメ吉をトンネル水槽に入れる。震災前は1人で運んでいたが、5年の歳月によって二回りも大きく重くなり、4人がかりでなければ持ち上げられない。このときも、カメ吉の重さで水槽に落ちないように、後ろで支えている。

2016年4月23日、「もぐらぴあ」再開の日、帰ってきたカメ吉の姿に子どもたちは歓喜した。一回りも二回りも大きくなったカメ吉は、そんなみんなの喜びを受け止めてか、トンネル水槽のなかを悠々と泳いでいる。

あれから5年だ。2011年3月11日、東北地方は未曾有の大災害に襲われた。マグニチュード9.0という巨大地震、それに続いた津波。岩手県久慈市にある地下水族科学館「もぐらぴあ」も甚大な被害に遭った。地震後、初めて水族館のなかに入れたのは2週間後のことだった。国家石油備蓄基地の作業坑を利用してつくられた「もぐらぴあ」は、奥に行くほど地下深くになっていく。そのため、館内は途中から津波の影響で浸水していた。ポンプで水をくみ出し、さらに奥へと進む。

不幸中の幸い、といってよいだろうか。「もぐらぴあ」の名物であるトンネル水槽の外観は無事だった。ただし、ポンプやろ過装置が壊れ、また停電で水温調節ができなかったため、生きものたちは壊滅的な被害を受けていた。腐臭も漂う。

そのときだ。カメ吉が腐った魚をくわえて泳いでいるのを発見したのは。水が汚れ、酸素を十分供給できない水槽でも、肺呼吸をするアオウミガメのカメ吉は水面まで上がって息継ぎすることが幸いしたのだろう。なんとか生き残ってくれていた。汚れた水槽から救い出し、ほかに生き残った数少ない生きものたちと一緒に青森県の八戸市水産科学館マリエントに運び、預かってもらった。240種類3,000個体ほどいた生きものたちは、震災直後には8種類21個体ほどになっていた。

マリエントに着いたカメ吉は1週間ほど餌を食べなかったそう。大好物のイカにも口をつけなかった。それでもなんとか少しずつ新しい環境にも慣れていき、約5年もの間、お世話になった。

カメ吉が「もぐらぴあ」に戻ってきたのは、2016年3月21日。震災前はゆっくりと泳ぐばかりだったが、いまでは時折驚くほどの速さで泳ぐようになった。5年でカメ吉も成長したのだ。

再開した水族館でカメ吉は大人気だ。全国的にも、これほど人気のカメはいないだろう。その巡り合わせを不思議に感じる。戻ってきたときのずっしりとしたカメ吉の重み、力強く泳ぐカメ吉を見ていると、生きていてよかったと、しみじみ思うのだ。

BE

取材協力：関合雅敬／地下水族科学館もぐらぴあ 飼育員

2016年4月23日、5年ぶりに再開した「もぐらぴあ」のトンネル水槽で泳ぐアオウミガメのカメ吉と、歓迎する子どもたち。

◆ **Information:** 地下水族科学館もぐらぴあ
〒028-7801 岩手県久慈市侍浜町字麦生1-43-7
TEL 0194-75-3551
URL http://www.city.kuji.iwate.jp/syoukouka/kankoubusan-g/moguranpia_saikai.html

埼玉県秩父市の「取方の大露頭」で、地層を観察している高校生たち。彼らは、第10回国際地学オリンピックの日本代表選手である。国際地学オリンピックは、世界の高校生たちが筆記と実技で地学の知識や思考力を競い合い、交流を深めることを目的としたもので、今年は8月20～27日に三重県で開催される。日本開催は初めてだ。日本大会組織委員会の委員長は海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の平 朝彦 理事長が務めている。JAMSTECでは、地学の教育普及や理解増進を目指して地学オリンピックの活動を応援しており、『Blue Earth』でも何度か紹介してきた。今回は、5月に秩父地方で行われた日本代表選手の合宿の様子を紹介しよう。

三重県で開催の国際地学オリンピックに向け、日本代表が合宿



取方の大露頭。クリノメーターで地層の走向・傾斜を測定。



クリノメーター実習



石の声に耳を澄ます。



地質図学の演習



赤平川沿いの露頭を観察しながら歩く。



測定値や気付いたことは、すぐに野帳に記録。



左から、坂部さん、廣木さん、笠見さん。



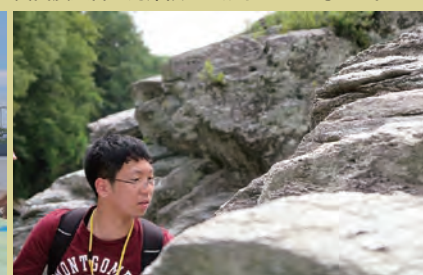
天体望遠鏡実習。木星、土星、火星を観測。



箕山展望台で河岸段丘の成り立ちを考える。



地図を見て地形をイメージできることも重要。



長瀬。見て触れて考えることの大切さを学ぶ。

日本大会に参加する日本代表選手4人が決定したのは2016年3月。1,748人の参加者から選ばれた精鋭たちだ。通信研修と2回の合宿研修などで準備を整え、8月の大会に臨む。1回目の合宿研修は5月27～29日に埼玉県の秩父地方で行われた。

代表選手たちは、学校の授業後、それぞれ広島、愛知、東京から秩父へ。中学の登山部での活動から天気や気象が好きになり、高校1年で気象予報士試験に合格したという笠見京平さん（広島学院高等学校3年）。宇宙など自然科学全般が好きで、合宿では地層など本物を見て感動したいという坂部圭哉さん（海陽中等教育学校5年）。中学から地学部で活動し、この合宿で地質についてもっと学びたいという廣木颯太郎さん（海城高等学校3年）の3人が参加。神原祐樹さん（大阪府立北野高等学校3年）は、学校行事のため残

念ながら欠席だった。

21時すぎ、地層の走向・傾斜を測定するクリノメーターの実習が始まった。新品のクリノメーターを渡され、気分も高まる。講師の谷口英嗣さん（城西大学）は、「科学では測ることはとても重要な行為」と話す。大会までに使い込むこと、という宿題も出た。

2日目はまず、基底礫岩を観察できる岩殿沢へ。基底礫岩とは、陸で侵食を受けた後に再び沈降して海底となった地層の上に堆積した礫岩層で、さまざまな礫が含まれている。「礫の声を聞くんだよ。1個1個の礫が、この地層が堆積した時代の周辺の地質を語ってくれるから」と講師の高橋雅紀さん（産業技術総合研究所）。OBの富永紘平さん（2009年台湾大会日本代表選手）からハンマーの使い方を教えてもらい、礫岩を割って観察。その目は真剣だ。その後、

おがの化石館に移動して地質図学の演習を行った。「使える情報を総動員して地球の歴史を再現する。その面白さと難しさを味わってほしい」と高橋さん。

午後は、赤平川を遡上しながら、地質調査の基本を学ぶ。秩父盆地は地殻変動をあまり受けていないため、堆積構造など地質学の基礎を学ぶのに適しているという。しかし、褶曲が大きいところではクリノメーターをどう当てたらいいか、戸惑う姿も。初めは目の前の地層だけを凝視していたが、「見えない地層のつながりを思い浮かべて」という高橋さんのアドバイスを受けて、次第に周囲を見渡すように。夕方には、クリノメーターの扱いも様になってきた。夕食後は、天体望遠鏡実習。「組み立て終わりました」と報告するものの、「ねじが残っているけれど……」という講師の川村教一さん（秋田大学）

の声に焦る。苦労した分、木星が見えたときには歓声が上がった。

3日目は、秩父盆地を一望できる箕山（美の山）の展望台へ。河岸段丘、さらには日本列島の成り立ちを考えた。埼玉県立自然の博物館を見学後、「日本地質学発祥の地」といわれる長瀬で三波川変成岩を観察し、2泊3日の合宿を終えた。感想を聞くと、「本物を見てたくさんのことを学んだ。復習しなければ」「実技の弱さをあらためて感じた」「地層の空間的な広がりを実感できるようになった」といった声が返ってきた。

日本大会の参加国・地域は26を上回り過去最多となる予定で、4人ずつの代表選手が三重に集結する。廣木さんは「地学好きの海外の選手との交流が楽しみ」と笑顔で語る。大会での日本代表選手たちの活躍は今後の『Blue Earth』で紹介していく。

福島第一 原子力発電所事故と海

地球情報館公開セミナー 第191回
(2015年7月18日開催)

熊本雄一郎 地球環境観測研究開発センター
全球海洋化学・物理研究グループ 主任技術研究員

放射性物質とは？ ベクレルとは？

初めに言葉を整理しておきましょう。放射性物質とは、放射能を持つ物質です。では、放射能とは何でしょうか。放射性の元素が放射性崩壊を起こして別の元素になってしまう能力、性質を放射能といいます。放射性崩壊のときに放出される粒子または電磁波を放射線といいます。放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線、X線、中性子線があり、それぞれ物体を透過する力が違います。

放射能の強さは1秒間に放射線が何回出るかで表し、単位はベクレル (Bq) を使います。シーベルト (Sv) は、放射線によって人体がどれだけ影響を受けるかを表す単位です。この記事は物理化学の話が中心なのでBqを使います。値が大きいときは、ペタベクレル (PBq) で表します。ペタは10の15乗(1000兆)を意味し、1PBqは1000兆Bqです。

福島第一原子力発電所から 放出された放射性物質

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う巨大津波によって東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）で事故が発生し、さまざまな放射性物質が環境中に放出されました。3月11日から4月5日までに一番多く放出されたのはヨウ素131で、全体の約75%を占めます（図2左。ただし大気中で速やかに拡散する希ガスのキセノン133とクリプトン85は除く）。以下、セシウム134、セシウム137、アンチモン127、テルル129、バリウム140、ランタン140、ストロンチウム89と続きま

す。元素名の後ろの数字は質量数で、原子の原子核を構成する陽子の数と中性子の数の合計です。セシウム134とセシウム137のように同じ元素で質量数が異なるものを、同位体といいます。

3月11日から4月5日までに放出された放射性物質の合計は210PBqと推定されています。そのなかで環境への影響が最も懸念されているのは、セシウム134とセシウム137です。なぜでしょうか。

放射性セシウムに注目する理由

放射性物質は、放射性崩壊によってほかの物質になって減少していきます。もとの半分の量になるまでにかかる時間を半減期といいます。ヨウ素131の半減期は約8日なので、環境中からすぐに

なくなります。アンチモン127、テルル129、バリウム140、ランタン140も半減期が短いため、どんどん減少していきます。一方、セシウム134は約2年、セシウム137は約30年と半減期が長いいため、環境中に長く残ります。福島第一原発由来の放射性物質は2016年7月時点で16PBqまで減少し、その大半がセシウム134とセシウム137です（図2右）。またセシウムは、元素周期表でナトリウムやカリウムと同じ列、第1族に位置しています。同じ族に属する元素は、化学的性質が似ています。ナトリウムやカリウムは生物の体内に取り込まれやすい性質を持ちます。セシウムも同様に生物の体内に取り込まれやすく、その結果、内部被ばくを起こします。



図1：事故直後に行われた放射性物質の海域モニタリング調査の様子

①架台に掛けられている3本の筒が採水器。1本で約12リットルの海水を目的の深度で採取できる。②多関節クレーンを用いて、採水器を海面からゆっくり海洋深部に下ろしていく。白い作業服の人は国際原子力機関 (IAEA) の視察員。③採水器に採取された海水を、透明なプラスチック容器に移し替える。

2011年3月11日、日本海溝付近を震源とするマグニチュード9.0の超巨大地震と巨大津波が発生しました。この地震と津波に伴って東京電力の福島第一原子力発電所で発生した事故によって、大量の放射性物質が環境中に放出されました。海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、どのくらいの放射性物質が海に放出されたのか、放出された放射性物質はどのように広がっていくのか、などについて調査・研究を継続して行っています（図1）。その結果、福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウムは、海水循環によって希釈されながら北太平洋全体に広がりがつつあることなどが分かってきました。



くもと・ゆういちろう。1967年、広島県生まれ。広島大学大学院生物圏科学研究科修了。博士（学術）。日本学術振興会特別研究員を経て、1997年よりJAMSTEC海洋観測研究部研究員。2014年より現職。専門は化学海洋学。海洋観測による海洋循環研究に携わる。

ストロンチウム90も半減期が約29年と長いことなどから環境への影響が懸念されています。ただし放出されたストロンチウム90の量は、セシウム134やセシウム137の40分の1程度と推定されています（少量のため図2には表示されていない）。

放出された量が多いこと、環境中に長く残ること、体内に取り込まれやすいこと、これらの理由から、私たちはセシウム134とセシウム137に注目して調査・研究を行っています。

2つの放出経路：大気と汚染水

福島第一原発から放射性物質が放出された経路には2つあります（図3）。

1つは大気への放出です。大気中に放出されたセシウム137は、雨に溶けたり粉じんとして落ちてきます。航空機や地上での測定から、陸に落ちたセシウム137は約3～6PBqと推定されています。大気中に放出されたセシウム137は、海にも落ちます。北太平洋を航行する貨物船にご協力いただいて2011年

3～5月に表面海水中のセシウム137濃度を測定した貴重なデータがあります。その測定データと、大気モデルによって求めた値を組み合わせ、約12～15PBqのセシウム137が北太平洋に落ちたと推定されています。

ここで注意していただきたいことがあります。福島第一原発からは、セシウム137とほぼ同量のセシウム134が放出されました。セシウム137の放出量だけを示していることがありますが、セシウム134も同じ量が放出されています。逆も同様です。ただし半減期が異なるため、時間経過とともに環境中に残っている量には違いが出てきます。

陸に落ちた量と海に落ちた量から、大気中に放出されたセシウム134とセシウム137はそれぞれ15～20PBqと見積もられています。

もう1つの放出経路が、汚染水の流出です。2011年4月2日に、福島第一原発2号機の取水口付近にあるコンクリート製の立て坑に放射性物質を含む水がたまっていて、その水が海に流れ出てい

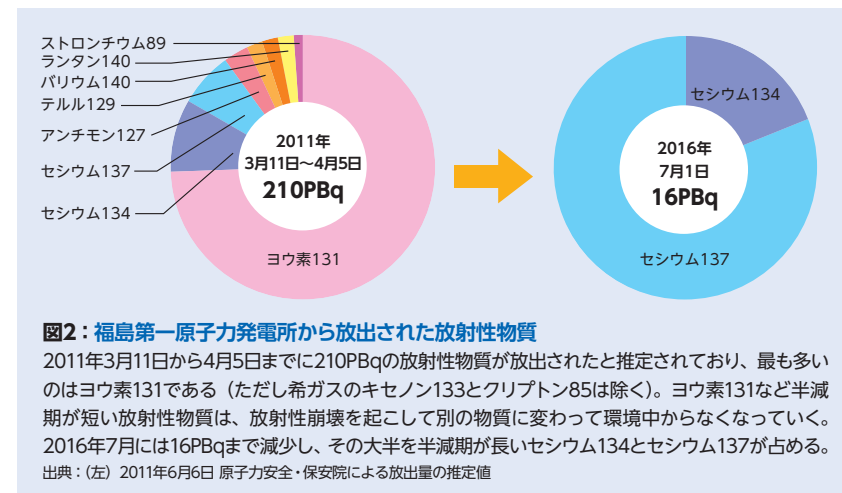
ることが発見されました。汚染水の流出は4月6日まで続きました。福島第一原発近傍で測定された表面海水中のセシウム137濃度から、汚染水によって放出されたセシウム137は約4PBqと見積もられています。

ちなみに1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故で放出されたセシウム134は48PBq、セシウム137は89PBqで、合計137PBqといわれています。そのほとんどが陸に落ちました。福島第一原発からの放出量はセシウム134とセシウム137を合わせて38～48PBqですから、チェルノブイリ原発事故と比べると多くはなかったと考えられます。

放出されたセシウム137の 約70%が北太平洋へ

大気経由で12～15PBq、汚染水流出で4PBq、合計15～18PBqのセシウム137が北太平洋に移行したと推定されています。この量は、福島第一原発から放出されたセシウム137の約70%に相当します。大気中に放出され陸に落ちた放射性物質の一部は河川や地下水を通じて海に流入すると考えられていますが、その量を正確に把握することは難しく、実態はよく分かっていません。

北太平洋には福島第一原発の事故以前から放射性セシウムが存在していました。1950～60年代にアメリカや旧ソ連などが行った核実験によって大気中に放出され、海に落ちたものです。2000年代に測定された北太平洋の表面海水中のセシウム137濃度は1.5～2.0Bq/m³でした。それらの観測値から、2002年に北太平洋に存在していたセシウム137は約85PBqと見積もられていま



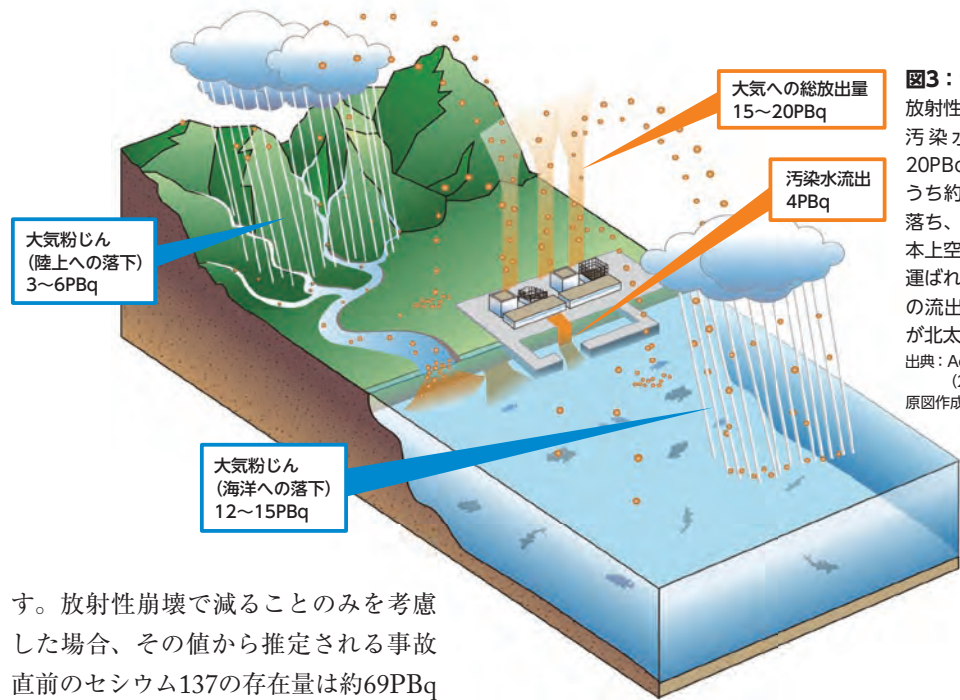


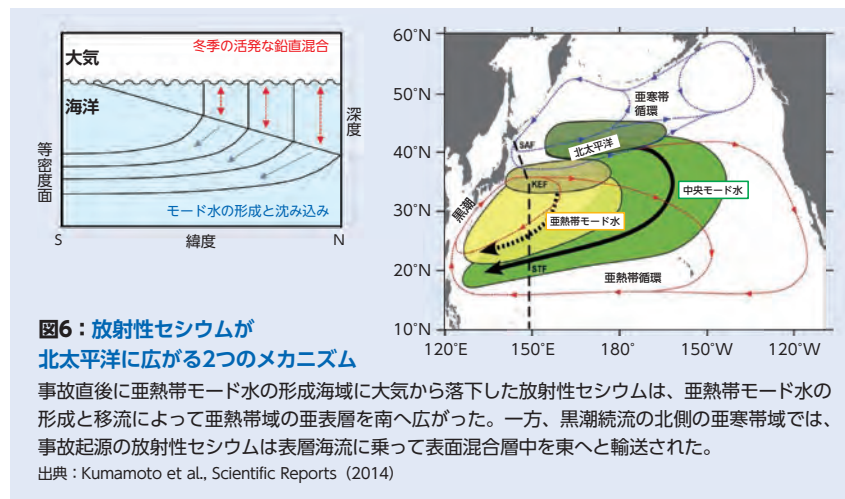
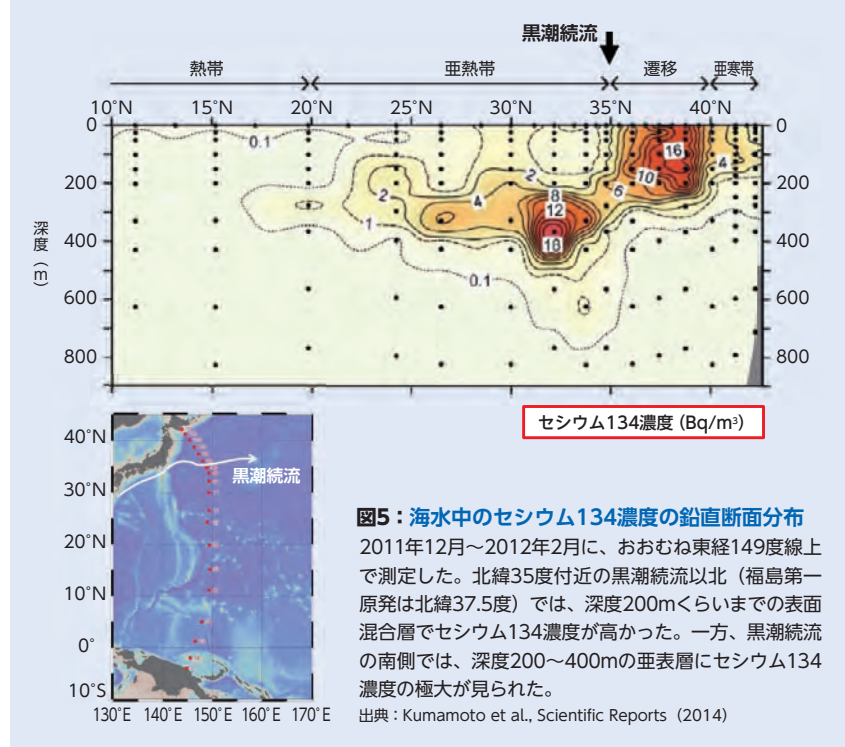
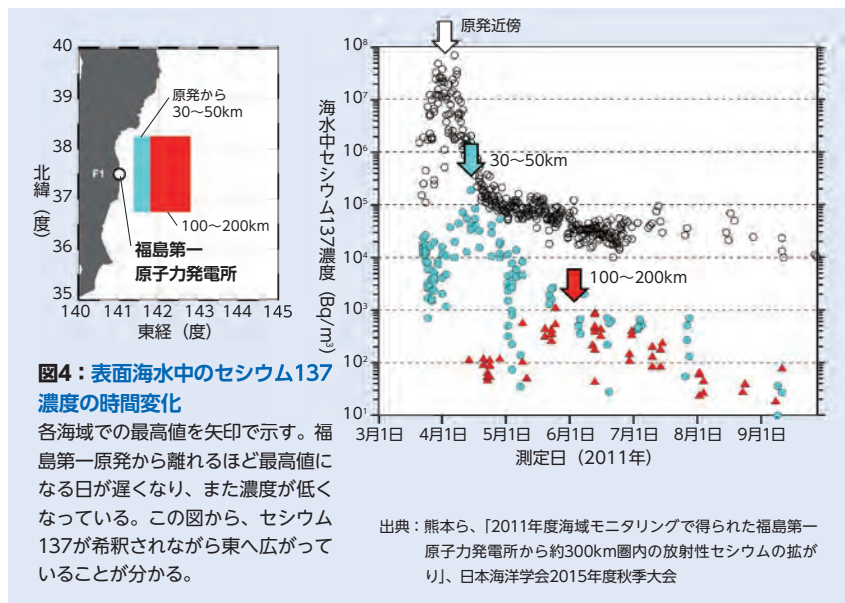
図3：セシウム137の収支
放射性物質の放出経路には、大気経由と汚染水の流出がある。大気に15～20PBqのセシウム137が放出され、そのうち約30%にあたる3～6PBqが陸上へ落ち、約70%にあたる12～15PBqが日本上空を流れている偏西風に乗って東へ運ばれ北太平洋へ落ちた。また、汚染水の流出によって約4PBqのセシウム137が北太平洋に放出された。
出典：Aoyama et al., Journal of Oceanography (2015)
原図作成：東京大学理学部 升本順夫 教授

積されにくいことを示しています。

放射性セシウムは北太平洋を東へと広がっている

表面海水中のセシウム137濃度の時間変化を、福島第一原発からの距離ごとに見てみましょう（図4）。福島第一原発近傍（白丸）では、汚染水の流出に伴って濃度が上昇し、流出が止まった4月6日が最高値になっています。福島第一原発から30～50kmの海域（水色丸）における最高値は、その約2週間後に記録されています。100～200kmの海域（赤三角）における最高値は、約2ヵ月後の5月下旬です。また最高値は、福島第一原発から離れるほど低くなっています。これらから、時間経過とともにセシウム137が西から東へ希釈されながら広がっていることが分かります。

2012年8～12月に測定した表面海水中のセシウム134濃度の分布を見ると、高



濃度の海水が経度180度線付近に観測されました。福島第一原発から放出されたセシウム134が約1年半後に経度180度線付近まで到達したのです。速度を求めると秒速5cmほどです。これは北太平洋の海流の速度とほぼ一致していることから、汚染水に含まれていた放射性セシウムと原発のごく近傍に落下した放射性セシウムは、海流に乗って北太平洋を西から東に移動していることが分かります。

アメリカの研究者も、放出された放射性物質がいつ北米大陸の西海岸に到達するか、注意深く監視しています。事故から3年4ヵ月後の2014年7月、北緯50度、西経145度の海域でセシウム134とセシウム137の濃度が急に高くなったことが報告されました。2012年に経度180度線付近にあった放射性セシウムが海流に乗って運ばれていったと考えられていま

す。さらに2015年2月には、北米大陸の西海岸で初めてセシウム134が検出されました。

放射性セシウムは南へも運ばれていく

2012年2月、私たちの研究グループは北海道からニューギニア島まで観測航海を行い、海水中のセシウム134濃度の鉛直分布を測定しました（図5）。北緯35度付近には黒潮が日本沿岸から離れて東に向かう黒潮主流があり、北太平洋を北と南に分けています。福島第一原発沖にあたる黒潮主流の北側では、深度200mくらいまでセシウム134濃度が高くなっています。その深さまでは表面混合層と呼ばれ、セシウム134を含む海水がかき混ぜられているためです。

一方、黒潮主流の南側では、表層のセシウム134濃度は低く、深度200～

400mの亜表層で高濃度になっていました。黒潮主流域にはフロントと呼ばれる境界が形成されており、フロントを越えた南北方向の海水混合は強く制限されています。では、このセシウム134はどこから来たのでしょうか。

日本沿岸の北太平洋では、冬になると大陸からの冷たい季節風によって海面が冷やされます。すると表面水の密度が大きくなり沈み込みを始めます。これをモード水の形成と呼びます（図6左）。モード水は同じ密度の面まで沈み込むと、その面を通して南へ流れていきます。事故直後、黒潮主流のすぐ南側に位置する亜熱帯モード水の形成海域に大気から落下した放射性セシウムは、亜熱帯モード水の形成と移流によって深度200～400mの亜表層を南へ広がったと考えられます（図6右）。

福島第一原発から北太平洋に流出した放射性セシウムは、反時計回りの亜寒帯循環と時計回りの亜熱帯循環の海流に乗って東に運ばれるだけでなく、冬季のモード水の形成と沈み込みによって南にも運ばれ、北太平洋全体に広がっていることが分かってきました。

北米大陸西海岸に到達した放射性物質は、亜熱帯循環に乗って南を回って、また亜寒帯循環に乗って北を回って、数十年後には日本に戻ってきます。そのときにはとても希釈されているので検出できるかどうかは分かりませんが、福島第一原発由来の放射性物質は北太平洋全体をぐるぐる回りながら広がっていくのです。

私たちは、これからも福島第一原発から放出された放射性物質の挙動について調査・研究を行っていきます。 **BE**

特集「JAMSTEC発イノベーション」は、いかがだったでしょうか？「JAMSTECイノベーションアワード」に選ばれた課題のなかには、一見すると海洋研究とはまったく関係がないのでは、と思われる提案もあります。「水流に負けない鉄道軌道構造の設計シミュレータ」は、その典型だと思います。これはJAMSTECが以前から研究していた粒子法シミュレーションを応用した目的の違うシミュレーション手法を組み合わせるもので、実にイノベーション促進にぴったりのテーマだと思います。『Blue Earth』では、そのほかのテーマも含め今後の研究の発展を見守っていきたいと思います。

さて、本誌22～23ページに外部の人も利用できる施設・設備・機器を紹介しています。ほかの機関では見られない高性能のものや、非常に珍しいものもあります。特に超音波水槽は水中音響の研究を行うためには不可欠な設備ですが、建造からすでに40年以上たちます。さすがに計測設備はどんどん更新されていますが、水槽本体はほぼ当時のままです。実は、この設備の建造が、私のJAMSTECに入所して最初の仕事でした。大学で水中音響学は学びましたが、超音波水槽の知識など皆無で、インターネットもない時代に調べるすべもありませんでした。結局、横須賀市内にあった水中音響の研究を行っている唯一の公的機関である防衛庁（当時）の技術研究本部第5研究所に教えを請いました。そして、所長さんをはじめ多くの研究者に親切に対応していただいたおかげで、当時最も先進的な設備をつくることができました。

いまでもこそJAMSTECは海洋工学分野の最先端にいますが、今後新たに海洋観測機器の開発を目指している会社や大学がこれらの設備を活用できるように協力していきたいと考えています。（T. T.）

賛助会（寄付）会員名簿

2016年7月1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	海洋電子株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アイケイエス	鹿島建設株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	川崎汽船株式会社
株式会社アクト	川崎重工業株式会社
朝日航洋株式会社	川崎地質株式会社
アジア海洋株式会社	株式会社環境総合テクノス
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社キュービック・アイ
株式会社安藤ハガマ	共立インシュアランス・ブローカーズ
泉産業株式会社	株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	極東貿易株式会社
株式会社エス・イー・エイ	株式会社きんでん
株式会社エスイーシー	株式会社熊谷組
株式会社SGKシステム技研	クローバテック株式会社
株式会社エヌエルシー	株式会社グローバルオーシャン
株式会社NTTデータ	ディベロップメント
株式会社NTTデータCCS	株式会社KSP
株式会社NTTファシリティーズ	KDDI 株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	京浜急行電鉄株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	鉱研工業株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
株式会社オキシーテック	神戸ペイント株式会社
沖電気工業株式会社	広和株式会社
オブショアエンジニアリング株式会社	国際石油開発帝石株式会社
海洋エンジニアリング株式会社	国際ビルサービス株式会社

『Blue Earth』定期購読のご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■ 申し込み方法

Eメールまたは電話でお申し込みください。
Eメールの場合は、①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。
① 郵便番号・住所 ② 氏名（フリガナ） ③ 所属機関名（学生の方は学年） ④ TEL・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
＊購読には、1冊本体286円＋税＋送料が必要となります。

■ 支払い方法

お申し込み後、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします（振込手数料をご負担いただけます）。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。
平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■ お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市区金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課
TEL.045-778-5378 FAX.045-778-5498
Eメール info@jamstec.go.jp
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。
＊定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（148号）までとさせていただきます。
バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。

■ バックナンバーのご紹介

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>



＊お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、国立研究開発法人 海洋研究開発機構 個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

JAMSTEC メールマガジンのご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/mailmagazine/>

JAMSTECでは、ご登録いただいた方を対象に「JAMSTECメールマガジン」を配信しております。イベント情報や最新情報などを毎月10日と25日（休日の場合はその次の平日）にお届けします。登録は無料です。登録方法など詳細については上記URLをご覧ください。

海と地球の情報誌 Blue Earth

第28巻 第3号（通巻143号）2016年7月発行

発行人 田代省三 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 広報部

編集人 松井宏泰 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 広報部 広報課

Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
取材・執筆・編集 立山 晃 (p4-7, p16-19)、鈴木志乃 (p1-3, p8-11, p20-23, p26-31、裏表紙)
岡本典明／ブックブライト (p12-15)、坂元志歩 (p24-25)
デザイン 株式会社デザインコンビリア
(飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三)
イラスト 矢田 明 (p4-5)、吉原成行 (p16-17)
撮影 鈴木志乃 (p26-27)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

＊本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

国立研究開発法人 海洋研究開発機構の事業所

横須賀本部	〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15 TEL. 046-866-3811（代表）
横浜研究所	〒236-0001 神奈川県横浜市区金沢区昭和町3173番25 TEL. 045-778-3811（代表）
むつ研究所	〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL. 0175-25-3811（代表）
高知コア研究所	〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL. 088-864-6705（代表）
東京事務所	〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル23階 TEL. 03-5157-3900（代表）
国際海洋環境情報センター	〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111（代表）

「かいめい」は、全長100.5m、幅20.5m、定員65人（乗組員27人、研究者など38人）。アジマス推進器と昇降旋回式バウスラスターを装備し、風や海流があっても同じ場所にとどまることができる。

Pick Up
JAMSTEC

海底広域研究船「かいめい」誕生

JAMSTECに新しい研究船が加わった。その名は、海底広域研究船「かいめい」。一般公募を行い、多くの提案のなかから選ばれた船名である。海洋研究開発の新しい時代を切り拓き、深海底を調査しその謎を解明する——そういう思いが込められている。

「かいめい」の主目的は、海底を広域にわたって精密に調査して海底資源の分布などを明らかにするとともに、鉱物や鉱床がどのような環境で生成されるのか科学的調査を行うことである。そのために、海底下の地殻構造を三次元で可視化できる最新鋭の地震探査システムを備えている。また、海底下の試料を採取するための海底設置型掘削装置や、水深3,000mまで潜航可能で海底の映像撮影、生物や岩石などの試料採取を行う無人探査機（ROV）を装備。採取した試料を新鮮な状態で分析・解析できる洋上ラボ機能も有する。目的に応じて機器を載せ替えることが可能なため、気候変動研究や、地震・津波に対する防災・減災研究への貢献も期待されている。

「かいめい」は、2016年3月30日にJAMSTECに引き渡され、4月6日に母港である横須賀本部に初入港した。現在、操船・操縦、調査観測機器の試験や訓練を行っている。2017年度から本格的な調査研究航海を行う計画だ。



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(A)
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。



定価 本体286円＋税