海と地球の情報誌

Blue Earth 156

ISSN 1346-0811
2018年8月発行
隔月年6回発行
第30巻 第4号
(通巻156号)

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

「海の“天気”予報」を社会に活かす

「ちきゅう」のことを伝えたい

誰でも試料の鏡面研磨ができる研磨板を開発

世界最深部への挑戦

Blue Earth 156
海と地球の情報誌
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1 **特集**
「海の“天気”予報」を社会に活かす

18 **Aquarium Gallery**
むろと廃校水族館
プールで泳ぐ——アカウミガメ

20 **私がIODPで解きたい謎**
「ちきゅう」のことを皆さんに伝えたい
地球深部探査センター アウトリーチチーム

24 **JAMSTEC生まれの種(シーズ)たち**
誰でも試料表面の鏡面研磨ができる研磨板
清水健二
高知コア研究所 同位体地球化学研究グループ 技術研究員

28 **Marine Science Seminar**
世界最深部への挑戦
村島 崇
海洋工学センター 海洋戦略技術研究開発部 次長

32 **BE Room**
南海トラフ地震発生帯へ「ちきゅう」が挑む!!
特設サイト開設

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
オマーンオフィオライトで採取した
モホ面を含むコアを「ちきゅう」船上で解析

表紙　撮影：後藤祐介／東京大学 大気海洋研究所

「海の“天気”予報」を社会に活かす

海に囲まれた日本では、漁業や海運、観光などさまざまな面で海が利用されており、海の状況を予測することは非常に重要だ。日本周辺の海には、黒潮などの海流や、大小たくさんの渦が存在している。それらの渦は、大気での高気圧や低気圧にあたるもので、海流の流れ方などにも影響している。JAMSTECアプリケーションラボでは独自に開発した数値モデルJCOPE（日本近海の海洋変動予測システム）で海流や渦を予測して海の“天気”予報を行い、研究に活用するとともに、漁業や海運、まちづくりなどに活かす試みを進めている。

取材協力　アプリケーションラボ

宮澤泰正
ラボ所長代理

美山 透
海洋・大気環境変動予測応用グループ 主任研究員

森岡優志
気候変動予測応用グループ 研究員

ユリン・チャン
海洋・大気環境変動予測応用グループ 研究員

石津美穂
海洋・大気環境変動予測応用グループ 特任研究員

滝川雅之
海洋・大気環境変動予測応用グループ 主任技術研究員

セルゲイ・ヴァーラモフ
海洋・大気環境変動予測応用グループ シニアスタッフ

日原 勉
海洋・大気環境変動予測応用グループ ポストドクトラル研究員

高知県の南西端にある宿毛湾。アプリケーションラボによる海の“天気”予報を活用している場所の1つである。©豆猫/PIXTA

観測データから現在の海を再現し、未来の 海流や渦を数値モデルで予測する

取材協力 **美山 透**
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ 主任研究員

空の天気は、高気圧や低気圧の配置や、ジェット気流の流れ方などによって決まる。北半球の地表付近では、高気圧からは風が時計回りに吹き出し、低気圧には風が反時計回りに吹き込む。

海にも、高気圧や低気圧に相当するものがある。大気では、空気が相対的にたくさんあって気圧の高くなっているところが高気圧、逆に空気が少なく気圧の低いところが低気圧だ。海では、水がたくさんあって海面高度の高くなっているところが“高気圧”（＝高水圧）、水が比較的少なくて海面高度の低くなっているところが“低気圧”（＝低水圧）にあたる。空の高気圧や低気圧と同じように、海の“高気圧”では水が時計回りに流れて渦になり、海の“低気圧”では反時計回りに水が流れ渦になる。またジェット気流にあたるのが、黒潮などの海流だ。

「海の“高気圧”と“低気圧”が海流を変化させます」と美山 透さんはいう。大小さまざまな渦は、一定の規模で一定の位置にあるわけではなく、常に激しく変化している。そしてそれらの渦の変化が、海流の方向や強さなどに影響を与えるのだ。そのような渦や海流の変化を予測するのが「海の“天気”予報」である。

「漁業はもちろん、海運やレジャーなどでも、海の流れを知り、予測することはとても重要です」と美山さん。漁業では、たとえばよい漁場を探すのに使うことができる。海運では、たとえば海流の流れに乗れば燃費がよくなる。

日本列島の南岸には、黒潮という強い海流が流れている。黒潮は、普段は沿岸に沿って流れているが、ときに紀伊半島あたりで岸から離れ、大きく蛇行することがある。2018年8月現在、この「黒潮大蛇行」が発生しているが、「黒潮大蛇行は大きな“低気圧”の渦が東海地方の沖に居座っていることが原因です」と美山さん。

アプリケーションラボでは、海流や渦を予測して海の“天気”予報を行うための数値モデル「JCOPE（日本近海の海洋変動予測システム）」を開発し、2001年12月から運用してきた。現在はバージョン2にあたるJCOPE2で予測を行っている。

JCOPEのような数値モデルでは、まず現在の海の状態をコンピュータ上で再現する。そしてある一定の領域を格子に区切り、水温や流速などの数値が時間とともにどのように変化するのかを、それぞれの格子ごとに、あらかじめ決められた式で計算していく。JCOPE2では、約9km四方の格子に区切って計算を行っている。

現在の海の状態を再現するには、観測データが必要である。人工衛星が計測した海面水温や海面高度のデータのほか、船やブイによる観測、また海中への浮沈を自動的に行うアルゴフロートという装置による観測など、さまざまなデータを組み合わせて、現在の海の状態が再現される。

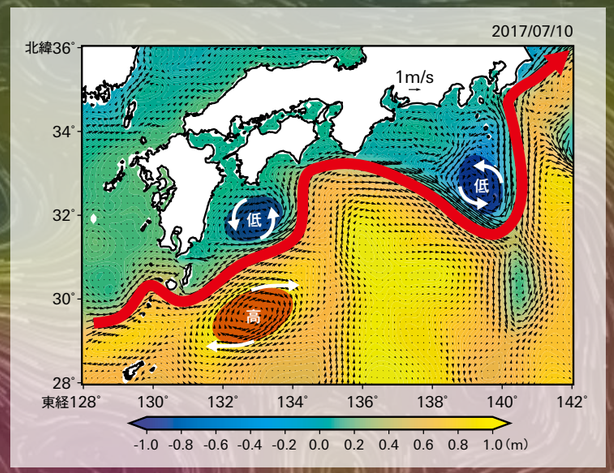
「現在の海の状態を初期値としてコンピュータで計算していき、ある程度時間が経過したところで観測データと比較して、ずれていたら補正してその時点の海の状態を再現してやります。そこからまた予測をして、時間経過によってずれたらまた補正して、ということを繰り返します。これは『データ同化』と呼ばれる手法で、天気予報でも利用されています」と美山さん。

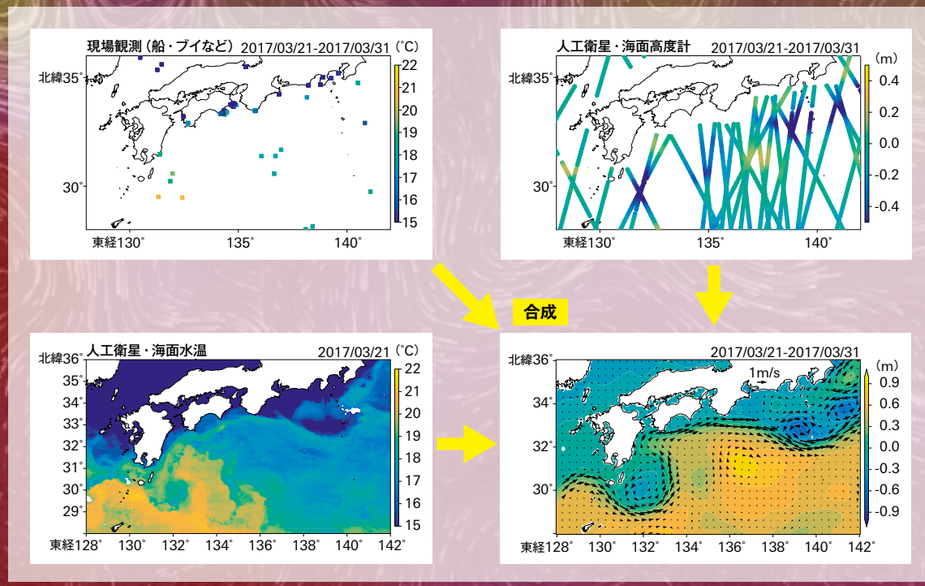
JCOPEでは現在、1週間に2回、データ同化を行いながら、2ヵ月先までの海流を予測している。「天気予報の場合は、変化が速く、また観測データもたくさんあるので、数時間ごとにデータ同化を行います。海の場合は変化が緩やかで、また観測データがそれほど豊富ではないこともあって、1週間に2回、データ同化を行っているのです」

JCOPEで行えるのは将来の予測だけではない。「過去の観測データを利用して、コンピュータのなかで過去の海の状態を再現できます」と美山さん。

「そのようなデータを『再解析データ』といいます。JCOPEでは、1993年以降の毎日の海の状態が再現されています」。このような再解析データは研究用としてJAMSTEC内外で広く利用されている。たとえば8ページで紹介するシラスウナギ関連の研究は、この再解析データを利用したものだ。

JCOPEで再現した日本付近の海の様子。赤線は黒潮で、その周囲に“高気圧”や“低気圧”に相当する渦がある。“高気圧”からは時計回りに水が流れ出し、“低気圧”には反時計回りに水が流れ込んでいる。





数値モデルでは、船やブイ、アルゴフロートなどによる現場観測（左上）、極軌道を回る人工衛星による海面高度（右上）、静止軌道の人工衛星による海面水温（左下）などの観測データを組み合わせて海の状態を再現し、コンピュータで計算して未来を予測する。

日本付近の海流（線）と海面高度（色）の様子。海面高度が高い赤っぽい部分にある渦は“高気圧”、海面高度が低い青っぽい部分にある渦は“低気圧”にあたる。OFES（超高解像度海洋大循環モデル）で表示した画像である。

海の“天気”予報をまちづくりに活かす

取材協力 **森岡優志**
アプリケーションラボ 気候変動予測応用グループ 研究員

アプリケーションラボでは、高知県南西端にある宿毛湾で、JCOPEによる海の“天気”予報をまちづくりに活かす取り組みを進めている。

宿毛湾の沖合には黒潮が流れている。その黒潮の影響を受けて、宿毛湾周辺は豊かな漁場となっており漁業が盛んだ。また湾内は穏やかで、養殖業も盛んである。水の透明度が高くサンゴ礁もあり、日本有数のダイビングスポットにもなっているほか、磯釣りも行われるなど、観光業にも力を入れている。「しかし近年では赤潮や磯焼けが発生するなど宿毛湾の海洋環境が変わりつつあり、それに伴って漁獲量も減少してきました」と語るのは、宿毛湾での取り組みを中心になって進めている森岡優志さんだ。

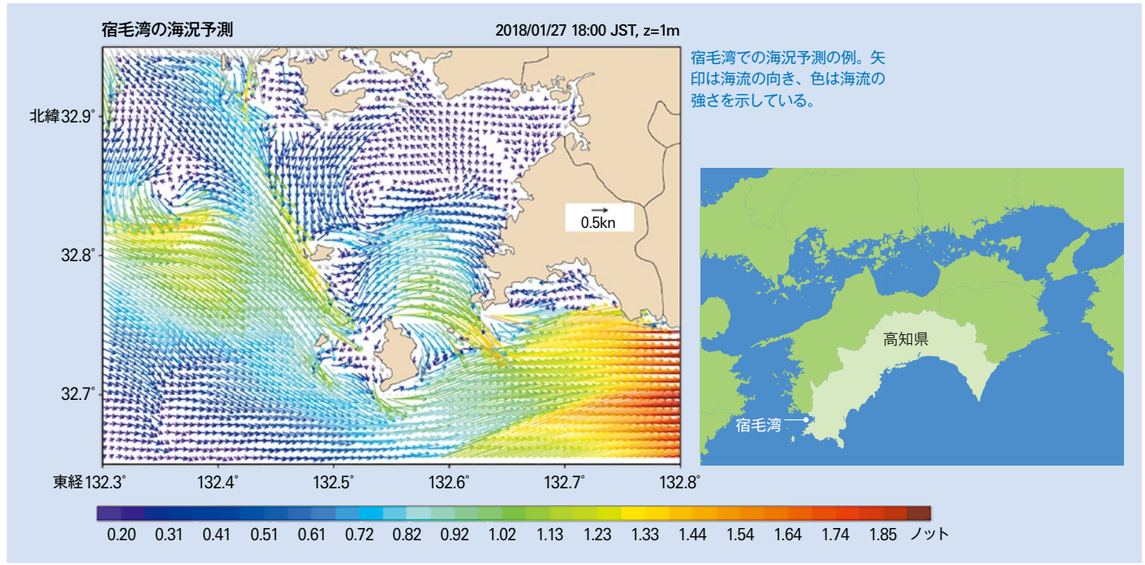
そのような問題に対応するため、宿毛湾に面する宿毛市と大月町では、笹川平和財団海洋政策研究所の支援を受け、2012年11月から宿毛湾の沿岸域総合管理研究会を開催してきた。アプリケーションラボは2014年12月からその研究会に参加し、地元自治体や漁業協同組合と協力しながら、宿毛湾の水温や流れに関して、JCOPEを利用した海況予測システムの開発を進めてきた。

「人為的な影響が少ないことも、宿毛湾を今回の取り組みの対象にした理由の1つです」と森岡さんはいう。「たとえば瀬戸内海などでは、河川から人為的な影響のある水が海に流入してきます。宿毛湾のように外洋に面していて、人為的な影響が少ないところの方が、たとえば黒潮の変動と漁獲量の関係などといったことを調べやすいのです」

前ページで紹介したように、JCOPE2では1辺9kmの格子で計算を行う。アプリケーションラボでは1辺3kmの高解像度で潮汐の効果も入れたJCOPE-T（詳しくは14ページ）も開発しているが、宿毛湾の海況予測システムの解像度はさらに細かい。「200mまで高解像度化して、1週間先まで1時間ごとに、水温や海流などについて、深さ方向も含めて予測しています」と森岡さん。

「200mは世界的にも最高レベルの解像度です。

高知県南西端にある宿毛湾。湾に浮かんでいるのは養殖いかだである。
撮影：森岡優志



宿毛湾での海況予測の例。矢印は海流の向き、色は海流の強さを示している。

これだけ細かいシミュレーションを行ったことはないので、予測が正しいかどうか分かりません。検証のために、予測がどれくらい合っていたかを漁に出たときに漁師さんにチェックしてもらっています。それとともに、漁船に取り付けられている装置で計測された水温や海流などの情報を送ってもらっています」と森岡さん。「チェックした結果や水温などの情報をもとに、漁師さんのリクエストにも応じながら、私たちもシステムの改善を行っています」

地域に根差した研究を進めるには、地元の関係者との信頼関係が大事だと森岡さんはいう。システムをつくり始めたばかりの2016年に、宿毛湾の近くの島のあたりで貨物船が座礁し、積み荷の石灰石が流出する事故が起きた。「そのときすぐに連絡をもらいました。事故は夜に発生しましたが、翌日の昼から数日先まで石灰石の流出に関する海流の予測情報を提供しました。このように速やかに対応できたのは、地元の皆さんと私たちとの間に信頼関係があったからです」と森岡さん。

「まずは漁業関係者にとって実用的なものになるように、予測の精度を上げることを目指しています」と森岡さん。「宿毛湾でこういった活動の成功例ができれば、いずれ豊後水道まで範囲を広げたり、さらにほかの地域に展開したりしていきたいと考えています」

日本国内だけでなく、東南アジアの国々に応用することも視野に入っている。東南アジアでは、漁業や海運、レジャーなど、海を利用した産業が盛んなところが多い。東南アジアの縁辺海に関しては、「SIMSEA（南・東アジアの縁辺海における持続可能性イニシアチブ）」という国際プログラムがある。縁辺海に見られる諸問題を海洋科学に基づいて総合的に管理することなどを目的として、2014年に発足したものだ。「そこでは科学者と地元関係者との協働作業が強調されており、私たちの宿毛湾での取り組みはその実践例といえます。私たちの取り組みを東南アジアへ広げていくことで、SIMSEAが掲げる持続可能な管理や開発にも貢献していきたいと考えています」

地元の漁師さんに送ってもらっている手書きの情報。水温や潮流の流速・向きなどとともに、予測が合っているかどうかを○×で記入してもらっている。

予測に必要な海の情報を動物たちに提供 してもらう

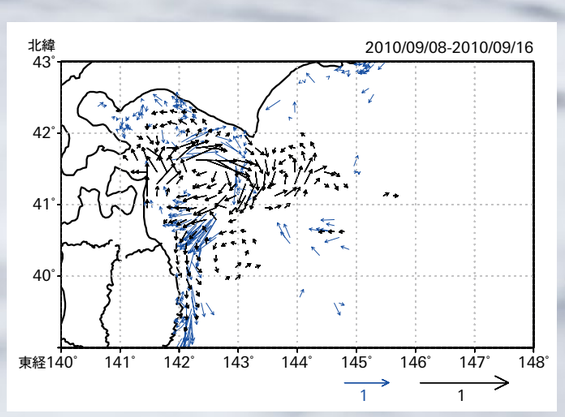
取材協力 **宮澤泰正**
アプリケーションラボ ラボ所長代理

海流予測のためには人工衛星による観測が重要だ。特に海面高度が分かれば黒潮や渦の位置を知ることができる。海面高度を計測するための人工衛星は、北極と南極の上空を通る軌道を回りながら観測を行う。そのような衛星を「極軌道衛星」と呼ぶが、極軌道衛星は衛星の通り道の真下しか海面高度を測ることができない。そのため、どうしても観測できない空隙ができてしまう。海の細かい渦の構造を知るには、精度が圧倒的に足りないのだ。また水深の浅い沿岸域では海面高度の計測精度が落ちるという問題もある。

「世界中で海の環境を知るための観測が進められていますが、特に観測が足りていないところが3つあります。深海と極域、そしてもう1つが沿岸域です」と語るのは宮澤泰正さんだ。「JAMSTECでは深海や極域に関する観測を積極的に進めています。これらはJAMSTECならではの観測です。ただ私たちが進めている海流予測には、沿岸域の観測データが必要です。しかしその観測は圧倒的に不足しているのが現状です」

そのように不足している沿岸域の情報を得るための新しい手段になり得ると宮澤さんが期待しているのが「バイオロギング」だ。もともとは動物行動学において、生態などを知るために動物に小型センサーを付けて情報を集める方法である。「気象予測に関しては、スマートフォンで計測された気圧などのデータを集めて利用しようという試みがあります。海に人はいませんが動物たちはいます。それらの動物たちにデータを提供してもらおうという発想です」と宮澤さんはいう。

「三陸沖には、季節的に時計回りの渦ができることが知られています。オオミズナギドリという水鳥の位置を観測することで、その三陸沖の渦を実際に観測できたという論文が、動物行動学の研究者から出されていました」と宮澤さん。「そこで同じ海域で漂流ブイの観測データを調べたところ、オオミズナギドリによる渦の観測が行われたのと同じ時期に、時計回りの渦が見られることが分かりました。



オオミズナギドリが海面を漂っているときは、海流のほかに風の影響も受けて流れていく（「偏流」と呼ぶ）。青い矢印はオオミズナギドリの偏流データである。黒い矢印は、偏流データ同化前後の海流表現の変化を示したもので、矢印が長いほどデータ同化による変化が大きいことを示している。

そのことから、オオミズナギドリの情報をデータ同化に利用できるのではないかと考えたのです」

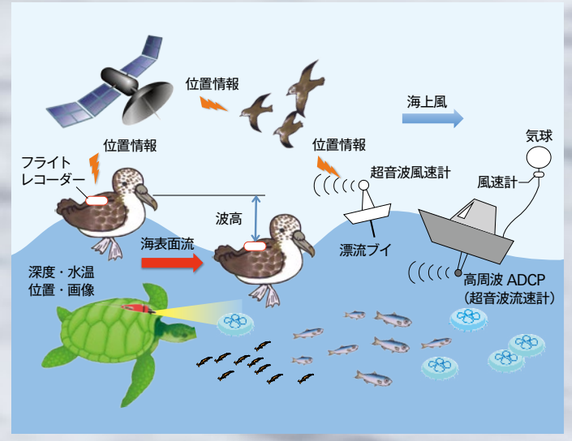
オオミズナギドリは、餌を捕ったり休息したりするために海面に降りたときは、泳いだりすることなく漂っている。そのときオオミズナギドリは基本的に海流に流されるので、GPSでオオミズナギドリの位置情報を捉えれば、海の流れを推定することができる。

実際にオオミズナギドリの観測データを使ってデータ同化を行ったところ、海流予測の計算結果が改善された。「同じ時期に行われた人工衛星による海面高度の観測と比較すると、衛星観測の空隙にあたる海域でオオミズナギドリによるデータが得られていることが分かりました。つまり衛星の解像度の限界を超えられる可能性があることが分かったのです」

最近では、ウミガメにセンサーを取り付けて得たデータをデータ同化に利用する試みも進めているという。「ただしバイオロギングで得られたデータが、現実の海の状況を反映したものなのかどうか、厳密に検証されているわけではありません。そこで、東京大学の佐藤克文教授を中心に『サイバーオーシャン』というプロジェクトが進められています」と宮澤さん。動物に取り付けたセンサーから得られたデータと、動物たちのすぐ近くで高精度の観測機器を使って計測したデータを比較して、検証しようという計画だ。

「このプロジェクトでは、動物行動学者の皆さんにウェブを通じてデータをアップロードしてもらうシステムを構築中です」と宮澤さん。バイオロギングによる観測データを広く収集するためだ。「観測者のプライオリティーを考慮して個体識別情報を削除することで、動物行動学の研究には使えないけれども、環境科学の研究には使うことができるようなかたちにしてデータを集めています。一方で私たちからは、頂いたデータを利用して計算した海流予測などを提供します。異分野で協力し、互いの研究のメリットになるような情報を、新たにつくり出そうという試みです」

データロガーを付けて海に向けて出発する直前のウミガメ。
撮影：木下千尋／東京大学 大気海洋研究所



今後の観測検証計画の概念図。科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST課題「サイバーオーシャン：次世代型海上ナビ機構」（代表：佐藤克文 東京大学大気海洋研究所教授）より。

データを記録する装置（データロガー）を取り付けて飛ぶオオミズナギドリ。
撮影：後藤祐介／東京大学 大気海洋研究所

シラスウナギの漁獲高の減少は、海流の　変化が原因の1つだった

取材協力　**ユリン・チャン**
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ 研究員

店頭で売られているウナギは、養殖されたものが多い。養殖といっても卵のふ化から行う完全養殖ではなく、稚魚であるシラスウナギを捕獲して育てたものだ。そのシラスウナギの漁獲量は、長期的に減少傾向が続いてきた。その原因としては、乱獲や環境の悪化、気候変動の影響などさまざまなことが考えられている。そのようななか、ユリン・チャンさんは、海流の変動がシラスウナギの漁獲量に影響していることを、JCOPE2を使ったシミュレーションから明らかにした。

ニホンウナギの産卵場所は、西太平洋のマリアナ諸島沖だと推定されている。そのあたりの海域には「北赤道海流」が西向きに流れている。北赤道海流はフィリピン諸島にぶつかって南北の二手に分かれ、北に向かう海流は黒潮となって日本付近に流れてくる。これまでの観測結果から、ウナギは5～7月を中心にふ化するとみられている。ふ化後、海流に乗って成長しながら、その年の冬から翌年春にかけてシラスウナギ（稚魚）となって日本近海へやって来る。

チャンさんは、JCOPE2による1993年から2013年までの20年間の再解析データを利用してシミュレーションを行った。毎年、一定数（1万8000個）の粒子を産卵域からスタートさせ、それに由来する仔魚や稚魚がどのように回遊していくかを調べたのだ。

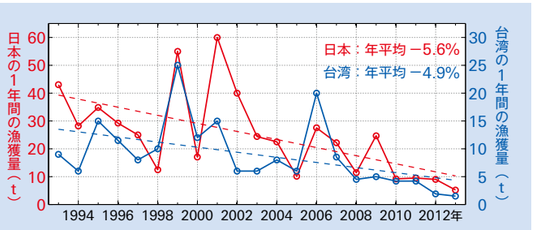
その際、「ウナギの仔稚魚の動きも考慮に入れました」とチャンさん。「仔稚魚の遊泳能力は成長するにつれて高くなっていきます。実験室での計測によると、平均して秒速3～4cmほどです」。たとえば黒潮の場合、流速は秒速100cmにもなる。海流に比べてウナギの仔稚魚の遊泳能力は微々たるものにも思えるが、今回の研究ではそれも考慮に入れたのだ。また「成長して泳げるようになると、捕食されることを避けるために昼間は水深200mほどまで潜り、夜になると海面付近まで浮上してきます。そのような鉛直方向の動きも考慮に入れてシミュレーションを行いました」

シミュレーションの結果、日本近海など東アジアにたどり着くシラスウナギの数は、実際の漁獲量の減少と同じように長期的な減少傾向が見られた。シミュレーションを行った20年間のうち、最初の5年間（1993～97年）と、最後の5年間（2009～13年）とで、それぞれ平均して比べてみても、シラスウナギが東アジアの海域で減少しているという結果になった。

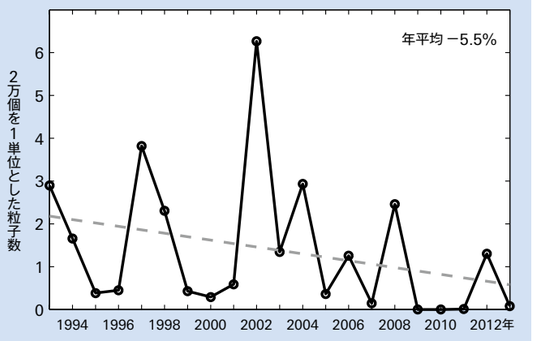
シミュレーションでは毎年同じ数の粒子からスタートしている。日本近海にやって来るシラスウナギが減ったなら、その減った分はどこへ行ったのだろうか。それは南の方へ行ったのだとチャンさんはいう。「北赤道海流の南側の海域に回遊していく数は、長期的な増加傾向を示していました。そのような結果になったのは、北赤道海流の変動が影響していると考えられます」

北赤道海流は平均すると西向きに流れているが、南北方向の流れの成分も存在している。最初の5年間（1993～97年）と最後の5年間（2009～13年）を比較してみると、北赤道海流は西向きの流れが弱くなると同時に、水深50mほどまでの上層では北向きの流れが弱くなり、水深50～250mほどの下層では南向きの流れが強くなっていることが分かった。海流のそのような変動のために、南の方へ行ったシラスウナギが多くなったのだ。

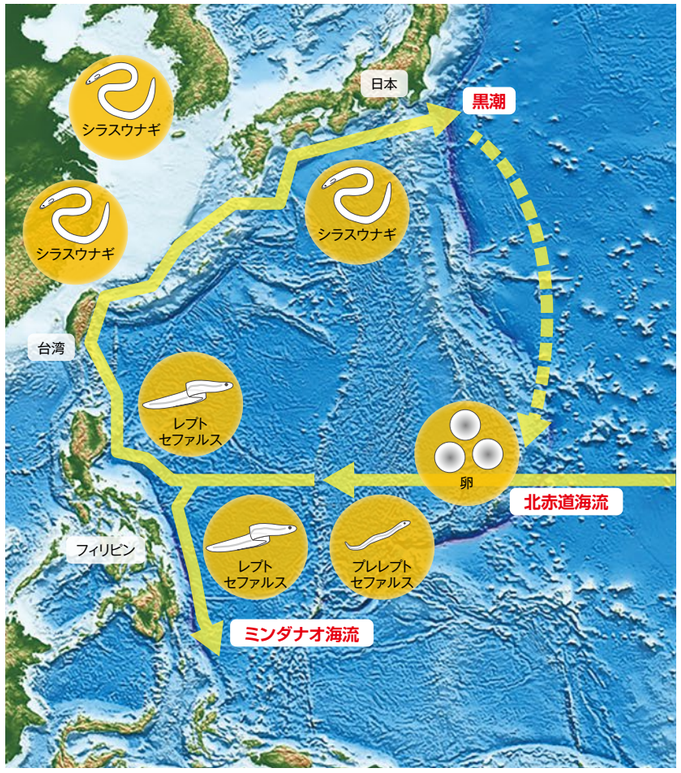
「海流は主に海上風がつくり出しています。北赤道海流が変動したのは、海流をつくり出す風が弱くなったことが原因だと考えられます。ただ、なぜ風が弱くなったのかについては、地球温暖化が原因とか、周期的な変動のためだとか、さまざまなことがいわれていますが、はっきりしたことは分かりません」とチャンさん。周期的な変動が原因だとしたら、将来的には風の吹き方が変わることで日本近海にやって来るシラスウナギの数が戻る可能性があるかもしれないという。「今回の研究では、仔稚魚が泳ぐ方向は海流の方向と同じとしましたが、それが正しいかどうかは分かりません。またマリンスノーが豊富にあると、仔稚魚はそれを食べるために泳ぐ方向を変える可能性があります」。そのようなパラメータを考慮した上でさらに精度を高めていくことを検討しているという。



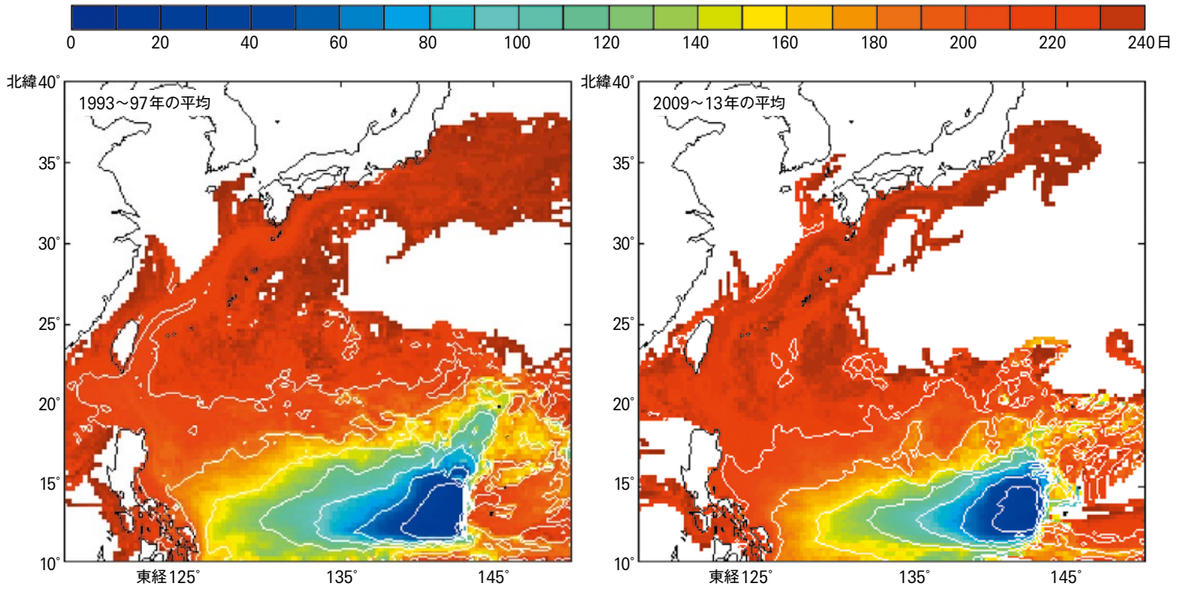
シラスウナギの漁獲量の推移（実線）。赤は日本（農林水産省の報告より）、青は台湾（台湾漁業庁年次報告より）での漁獲量。点線は長期変動の傾向を示している。



今回の実験によって得られた、日本南方海域へ入ってくるシラスウナギの数の変化の推移。実際の漁獲量の変動と似たような傾向を示している。



ニホンウナギはマリアナ諸島沖で卵を産む。ふ化したウナギは、プレレプトセファルス→レプトセファルス→シラスウナギへと成長しながら海流に乗って回遊していく。日本や台湾などの河川や湖などで成体に成長していく。成体のウナギが産卵場所にどのように行くのかはよく分かっていない。



卵からかえった場所（青い部分）から、ウナギに見立てた粒子が日数とともに拡散していく様子。20年間のシミュレーションを行い、左が最初の5年間（1993～97年）、右が最後の5年間（2009～13年）の平均。

JCOPEに生物の活動を組み込んで、海洋 酸性化を予測する

海洋酸性化が進行すると、サンゴや貝類などの成長に影響を及ぼす恐れがある。©iStock.com/Kamei Yuki

取材協力 **石津美穂**
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ 特任研究員
宮澤泰正
アプリケーションラボ ラボ所長代理

工場などから大気中に排出される二酸化炭素は、地球温暖化の原因となっている。増え過ぎた二酸化炭素がもたらす問題は地球温暖化だけではない。海洋酸性化も懸念されている問題の1つだ。

海は大気中の二酸化炭素を吸収したり、逆に海から二酸化炭素が大気中に放出されたりしている。大気中の二酸化炭素が増えると、海に吸収される二酸化炭素の量が増える。海に吸収された二酸化炭素は、酸性の性質を持つようになる。海水はもともと弱アルカリ性なのだが、二酸化炭素がたくさん溶け込むと、アルカリ性が弱まって中性に近づいていく。海水が酸性側に近づいていくことから、このような現象は「海洋酸性化」と呼ばれている。

海洋酸性化が進むと、貝やサンゴなどが炭酸カルシウムの殻や骨格をつくりにくくなるなど、生態系にさまざまな悪影響があると考えられている。

「産業革命以降、海の平均の酸性度は、pH（水素イオン指数）で0.1ほど下がりました。二酸化炭素の排出がこのまま進むと、今世紀末までにpHはさらに0.3下がると予想されています」と石津美穂さんはいう。石津さんはJCOPE2をベースにして、日本近海での海洋酸性化を予測するシステムの開発を進めている。これは笹川平和財団海洋政策研究所の委託研究として、海洋酸性化の進行状況や社会影響を検討するために行われているものだ。

「pHは、全炭酸濃度や全アルカリ度などから計算されます。全炭酸濃度には生物の活動が深く関わっているので、海洋酸性化の予測モデルをつくるには、生物に関するパラメータを考える必要があります」と石津さんはいう。二酸化炭素は海に溶けると、その多くが炭酸イオンや炭酸水素イオンになる。全炭酸濃度とは、二酸化炭素と炭酸イオン、炭酸水素イオンのすべてを合わせた濃度のことだ。たとえば植物プランクトンが呼吸したり光合成したりすることによって全炭酸濃度は変化する。「海洋酸性化の予測モデルでは、たとえば、植物プランクトンによる光合成で全炭酸濃度が減ったり、有機物粒子の再無機化で全炭酸濃度が増えたりすることなどを考える必要があります。海洋酸性化の予測モデルは8～9km四方に区切ったJCOPE2をベースにしていますが、格子の1つ1つで、そのような生態系プロセスを考える計算を逐一行う必要があるのです。複雑に絡み合っているそれらのパラメータの調整に最も手間がかかります」と石津さん。

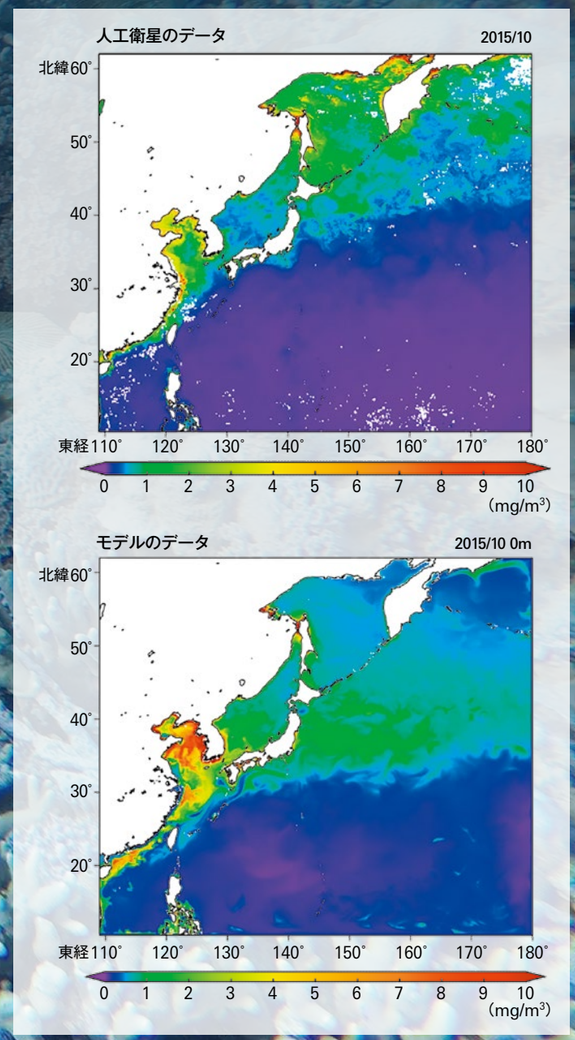
「海洋政策研究所が運用する『海洋危機ウォッチ』というウェブページで、海洋酸性化の予測モデルの仮運用がすでに行われています」と石津さん。ただ改良の余地はまだ多いという。

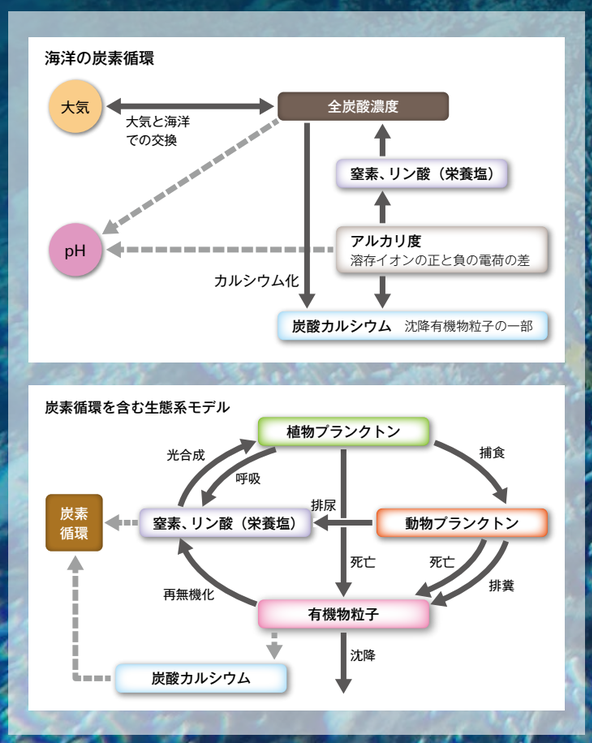
pHはその場で計測しないと正確な値が分からないのだが、外洋の場合は船による現場観測自体が少ないのが現状だ。人工衛星ではpHを直接測ることはできないが、クロロフィルaという植物プランクトンに含まれる葉緑素を面的に観測することができる。そこで、船などによるpHやクロロフィルaの観測データを利用しつつ、クロロフィルについて予測モデルの計算結果を人工衛星の観測データと比較しながら、パラメータの調整を行っている。

「最近では東京と苫小牧を結ぶ内航貨物船「ひまわり8」（詳しくは16ページ）が、航路上で海水のpHの値を観測しています。今後、それらのデータとの比較も行って、モデルの精度向上に役立てていこうと考えています」と石津さん。

海洋酸性化の予測モデルの基本部分をつくった宮澤泰正さんは、「日本周辺での海洋酸性化がどのようになっているのかはよく分かっていません。それを目に見えるかたちで一般の方にお知らせすることには大きな意義があると考えています」という。「JCOPEはこれまで海流の予測を行っていました。生物的な要素を組み込むことは、JCOPEとして新しいチャレンジです。海流予測を、より一般化させるための第一歩として重要な取り組みです。生物の活動と海流との関係など、ほとんど分かっていません。科学的な面からも、新しい発見が期待できます」

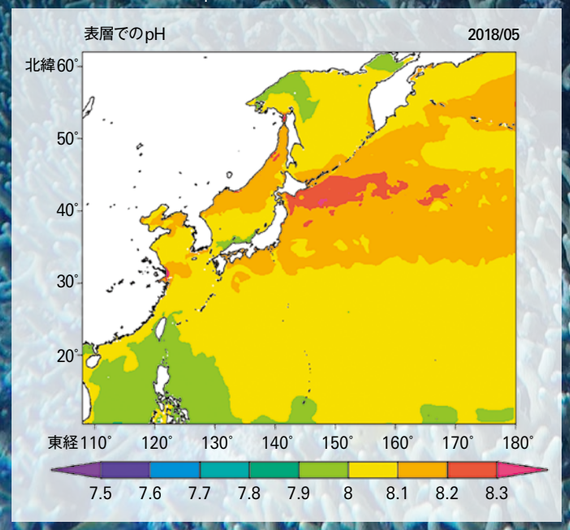
人工衛星で取得されたクロロフィルのデータ（上）と、予測モデルで得られたクロロフィルのデータ（下）の比較（2015年10月）。



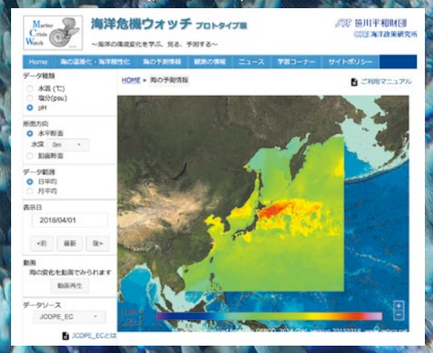


海洋の炭素循環と、炭素循環を含む生態系モデル。海洋酸性化の予測モデルでは、生物の活動や炭素循環を計算する必要がある。海流予測に比べるとパラメータが多く複雑である。

海洋酸性化予測モデルによるpHの予測の例



「海洋危機ウォッチ」でpHを表示したところ。https://www.marinecrisiswatch.jp/mcwatch/prediction/index.html



汚染物質の輸送を計算し、大気汚染や海 の生態系への影響を予測する

取材協力 **滝川雅之**
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ 主任技術研究員

大気中には、オゾンや窒素化合物、一酸化炭素など、さまざまな化学物質が漂っている。それらの化学物質は大気汚染の原因にもなり、私たちの健康や生活に悪影響を及ぼすことがある。滝川雅之さんは大気中の化学物質の輸送などを計算する「化学天気予報」のシステムをつくって研究を進めてきた。

「数年前ごろまでは、大都市での光化学オキシダント（いわゆる光化学スモッグ）や、中国大陸からの越境汚染などが大きな問題になっていました。それらの問題が解決したわけではありませんが、やや落ち着いてきたこともあって、最近では別の地域に焦点を当てた研究を進めています」と滝川さんはいう。その1つが北極、もう1つが南アジアだ。

「北極に関しては、ブラックカーボンと呼ばれる、すすのような黒っぽい微粒子が注目されています」と滝川さん。ブラックカーボンが北極の雪や海氷の上に落ちると、表面が白から黒に変化して反射率が低下する。すると日射を吸収し気温が上昇することから、ブラックカーボンは大気汚染のみならず、地球温暖化の面からも注目されているという。「ブラックカーボンの影響を評価するため、ArCS（北極域研究推進プロジェクト）などにも参画し、海洋地球研究船『みらい』でも2014年から北極航海中に大気汚染成分を計測しています。私たちは観測支援などのためのモデル計算を行いました」と滝川さん。

2016年9月には、シベリアのバイカル湖付近で大規模な森林火災が発生した。そのとき、ベーリング海を航海中の「みらい」でも、大気汚染物質が観測された。「森林火災がある場合とない場合をモデルで計算してみても、数千km離れた『みらい』の海域まで汚染物質が届く可能性があることが示されました」

一方、南アジアのなかでも近年特に大気汚染の悪化が進んでいるのがインドだという。「ニューデリーに焦点を当て、そこの大気汚染がどのようにして発生しているかの研究を行っています」と滝川さん。インドでは10～11月が小麦の収穫時期だ。刈り取った麦わらなどは、以前は再利用していたのだが、現在では燃やしてしまうことが多く、そのとき大量の汚染物質が生じる。また祭りの際に使われる花火によって大量の汚染物質が増加することもある。「このような新興国における大気汚染について、物質輸送の観点から化学天気予報を進めようとしているところです」

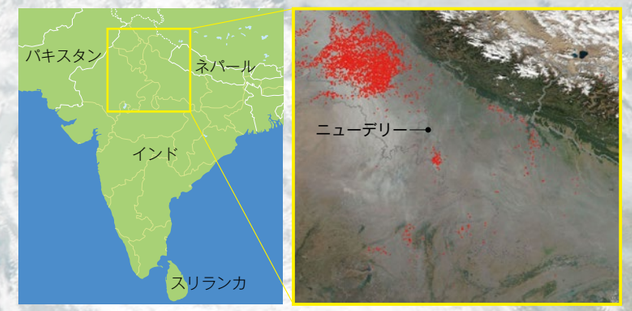
大気によって運ばれた物質は海の生物にも影響する。たとえば日射量や温度のほか、鉄や窒素などの栄養塩の量によって、植物プランクトンの量は変化する。「海に栄養塩が供給されるルートとしては、河川からの流入や大気からの降下などがあります。このうち大気から降下してくるものとしては、黄砂に含まれる鉄、そして排気ガス（特に硝酸エアロゾル）に含まれる窒素の2つが、海の生態系にとっては非常に重要です」

「それらの栄養塩が大気から海洋に取り込まれるのは主に湿性沈着によります」と滝川さん。湿性沈着とは、雨によって大気中から物質が除去されることだ。硝酸エアロゾルは、上空で雲粒の凝集核になる。雲粒が集まるなどして雨粒となり、やがて雨になって落ちてくる。また雨粒によって大気中の粒子がたたき落とされることもある。

海のなかでは、栄養塩が海流や渦によって運ばれたり、生物の死骸が重力によって落ちていったりする。「栄養塩の輸送は、総量からいうと海洋自体が運んでいるケースがほとんどです。ただ森林火災が起きたような場合は、大気による遠方への輸送が非常に重要であることが分かってきました」と滝川さんはいう。

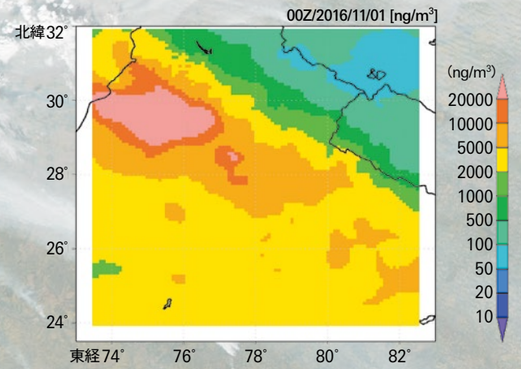
大気から海への栄養塩供給は植物プランクトンの分布にも影響するので、漁をする場所の予測につながるかもしれない、と滝川さん。また海の生態系に関する予測精度が向上すれば、ゆくゆくは10ページで紹介した海洋酸性化の予測モデルにも貢献することになるだろう。

ただ湿性沈着の過程については、よく分かっていないことが多いと滝川さんはいう。「これまでは観測自体があまり多くありませんでした。観測と連携しながら、海への栄養塩供給のモデルを精緻化していきたいと思っています」



右の人工衛星画像とモデル図はどちらも上の地図の枠内の同じ領域を示している。

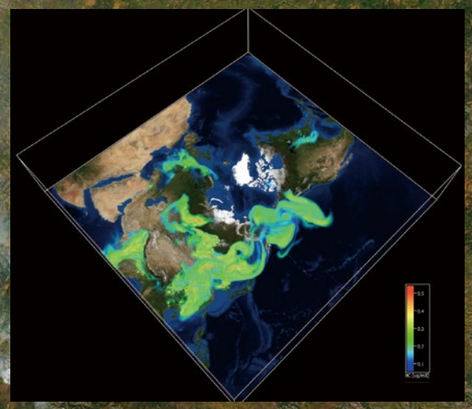
人工衛星が捉えたインド・パンジャブ州での森林火災（赤丸）とそこから広がる煙。画像はNASA Worldview（https://worldview.earthdata.nasa.gov/）より。



地表付近でのブラックカーボンの大気中質量濃度のシミュレーション

2016年9月にロシアのバイカル湖近くで発生した森林火災を人工衛星が捉えた画像。
©NASA's Earth Observatory

2016年9月24日のブラックカーボン濃度の広域分布。中国などの人為起源のものと、バイカル湖周辺の森林火災起源のものが、ベーリング海やアラスカの方にまで到達していることが分かる。



高解像度化し、潮汐の効果も組み込んだ 最新モデル「JCOPE-T」

取材協力 **宮澤泰正**
アプリケーションラボ ラボ所長代理
セルゲイ・ヴァーラモフ
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ シニアスタッフ
日原 勉
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ ポストドクトラル研究員

アプリケーションラボでは、セルゲイ・ヴァーラモフさんを中心に、JCOPEの最新モデル「JCOPE-T」の開発を進めてきた。JCOPE-Tの「T」は潮汐を意味する「Tide」の頭文字だ。JCOPE-Tは、JCOPE2に潮汐の効果を組み込んだ上で、格子を3km四方まで高解像度化したモデルである。

JCOPE-Tによる予測は、以前から行われていた。しかしそれは真の高解像度化ではなかったと宮澤泰正さんはいう。「これまでは粗いモデルであるJCOPE2に観測データを入力し、JCOPE-Tでの計算を粗いモデルに近づける操作を行っていました。せっかく3kmまで高解像度化したのですが、粗いモデルで出現する渦しかJCOPE-Tでも出てこない状態だったのです。しかし改良を加えることで、観測データをJCOPE-Tに直接入力することができるようになり、粗いモデルには現れないより細かい渦も表現されるようになりました」

JCOPE-Tを使った計算結果は、すでにいくつかの場面で実際に活用されている。その1つが、地球深部探査船「ちきゅう」へのデータ提供だ。「ちきゅう」では船からパイプを下ろして深海底を掘削する。そのときに海流の強さや変化などの情報が不可欠で、JCOPE-Tの計算結果も使っている。

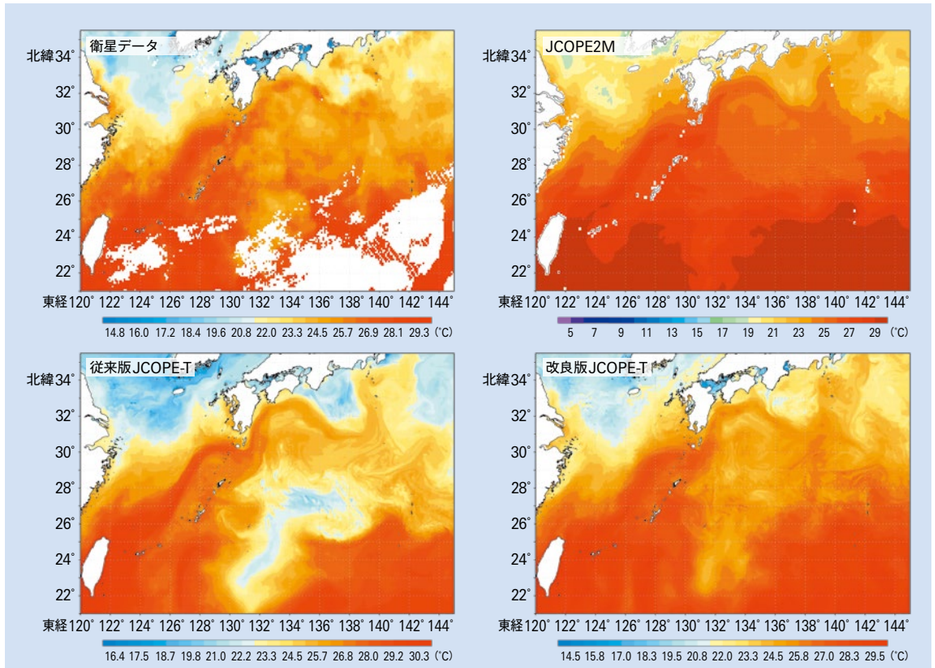
計算結果は漁業関係者にも提供されている。4ページで紹介した宿毛湾のほか、小笠原や千葉の漁業関係者にもデータを提供している。「そのほかにもトカラ列島での海流発電に向けた試験のためにデータを提供したり、JAMSTECのほかのグループによる観測のために伊豆諸島の最南端にある孀婦(そうふ)岩周辺のデータを提供したりもしています。特定の場所をズームアップしたり、場合によっては宿毛湾のように解像度を非常に細かくしたりしつつ提供する試みを行っています」と宮澤さん。

JCOPE-Tでは現在、気象衛星「ひまわり8号」の海面水温データを利用してデータ同化を行っている。「ひまわり8号」は2014年に打ち上げられた、稼働中の人工衛星だ。「『ひまわり8号』の打ち上げによって、JCOPEでも技術的な飛躍がありました」と語るのは日原 勉さんだ。「ひまわり8号」の海面水温データは宇宙航空研究開発機構（JAXA）が作成して提供している。JAXAからの委託研究により、日原さんはそのデータを自動でダウンロードし、JCOPEに同化するためにデータを変換するシステムをつくり上げた。

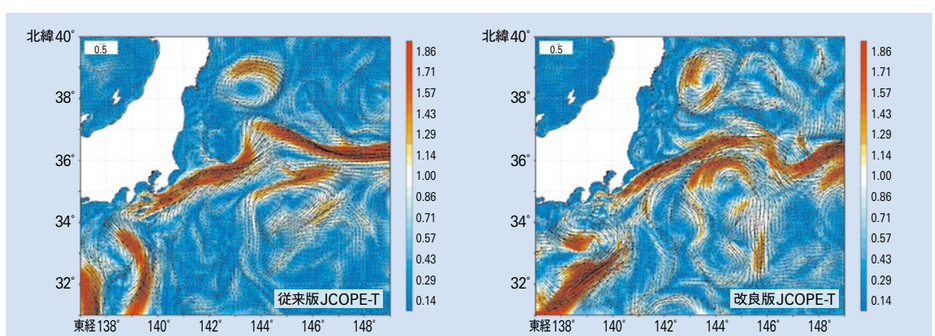
海面水温に関する従来の衛星データは極軌道衛星によるものだった。極軌道衛星では、同じ地点を1日に最大2回しか観測できない。しかし、静止衛星である「ひまわり8号」は、日本付近の海面水温を高頻度に観測することができる。「『ひまわり8号』によって、日本付近の海面水温のデータをたくさん得ることができるようになりました」と日原さん。「まず現在の状況をできるだけ正確に再現できた方が、より正確に将来を予測できます。その意味でも、より多くのデータを同化することは重要です。『ひまわり8号』の海面水温のデータを同化することで、モデルの計算結果を従来よりも現実に近づけることができるようになったのです」

「ひまわり8号」には「可視赤外放射計」という観測機器が搭載されている。可視赤外放射計は空間解像度が高く、高度3万6000kmという静止軌道から観測を行う「ひまわり8号」でも、2～3kmほどの解像度で海面水温の情報を得ることができる。「可視赤外放射計は雲の下の海面水温を観測できません。しかし、『ひまわり8号』などの静止衛星は常に同じ場所を観測しているので、1時間ごとに海面水温のデータを取得できます。時間がたつにつれて雲は動いていくので、1日の平均値を計算すると、ほぼ欠測のない空間分布が得られます」と日原さん。そのようにして得られたデータを、JCOPEでのデータ同化に利用している。

「『ひまわり8号』のデータは、JAXAの協力のもとで得ています。このようにJAXAと協力し、宇宙・海洋連携を進めていくことも重要です」と宮澤さんは語る。「人工衛星のデータを社会に役立てることを通じて、人工衛星の技術を維持・発展させていくことにも貢献できると考えています」



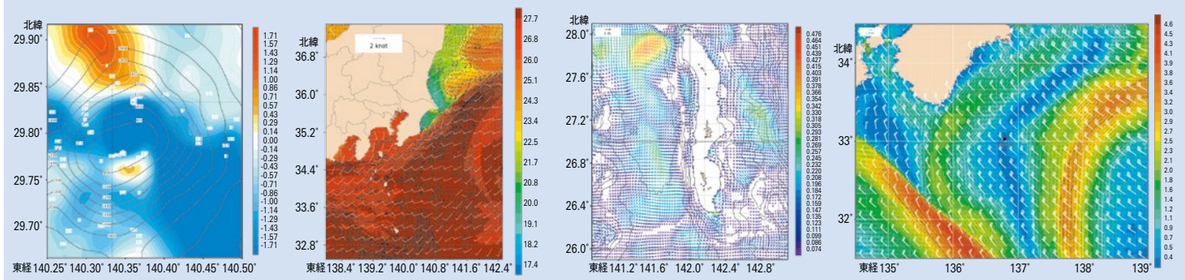
衛星データ（左上）とJCOPE2M（右上）、従来版JCOPE-T（左下）、改良版JCOPE-T（右下）の比較。従来版JCOPE-Tでは海面水温の低過ぎる部分（青っぽい部分）があるが、改良版JCOPE-Tではそれがなくなっている。なおJCOPE2Mは、「ひまわり8号」のデータを利用できるようにJCOPE2を改良したモデルである。



従来版JCOPE-T（左）と改良版JCOPE-T（右）の比較。細かい渦が再現されるようになっている。

気象衛星「ひまわり8号」。矢印の部分が可視赤外放射計である。
イラスト：気象庁提供

さまざまな現場で利用されているJCOPE-Tによる予測情報



海洋生物観測支援（伊豆諸島最南端の孀婦岩周辺）
千葉県水産試験場
東京都水産試験場小笠原支所（図は父島、母島周辺）
「ちきゅう」支援（2018年、熊野灘）

社会と連携することで、より高精度な予測 を目指す

取材協力 **宮澤泰正**
アプリケーションラボ ラボ所長代理
美山 透
アプリケーションラボ 海洋・大気環境変動予測応用グループ 主任研究員

4ページで紹介した宿毛湾の例では、海況予測を漁師さんに評価してもらっている。そのようなフィードバックは非常に重要だと宮澤泰正さんはいう。

海で実際に観測したデータはあまり多くないが、データを集めるためだけに船を出すのは手間やコストがかかるため現実的ではない。6ページで紹介したバイオロギングは、データを集めるための新しい方法の1つだ。そのほかにも貨物船などの航行中に水温や塩分などを計測してもらう「シップロギング」と呼ばれる方法がある。

日本通運株式会社が運用する内航貨物船「ひまわり8」は、東京と苫小牧の間を数日ごとに定期的に往復している。この「ひまわり8」には、JCOPEで予測した海流情報が、日本気象協会の内航船向け最適航海計画支援システム「ECoRO（エコロ）」を通じて提供されている。

大型の貨物船では、海水を取り込んでエンジンなどを冷却する。「ひまわり8」では、特定非営利活動法人ヴォース・ニッポンが海水取り込み系統部にセンサーを導入し、2017年10月から水温と塩分の観測を開始した。「ひまわり8」など一般船舶によるこのような観測は「篤志船観測」とも呼ばれ、現在では海洋観測において重要な一翼を担っている。「『ひまわり8』のデータはリアルタイムで取得することが可能です」と宮澤さん。「『ひまわり8』は常に数日ごとに観測を行いますから、その航路にあたる海域に関しては、データの密度が非常に高くなりました」

アプリケーションラボでは、「ひまわり8」のデータをモデルの精度向上に役立てている。「『ひまわり8』の観測データを、私たちのモデルの予測結果と比較したところ、両者の間でずれがありました。そこで観測データをもとにモデルを改良することで、予測結果がより現実に近づきました」と宮澤さん。利用者に観測をしてもらい、その観測データをもとにモデルを改良する。そして改良したモデルによる予測結果を利用者に還元する。このような観測と予測の相互連携は非常に重要だと宮澤さんは強調する。

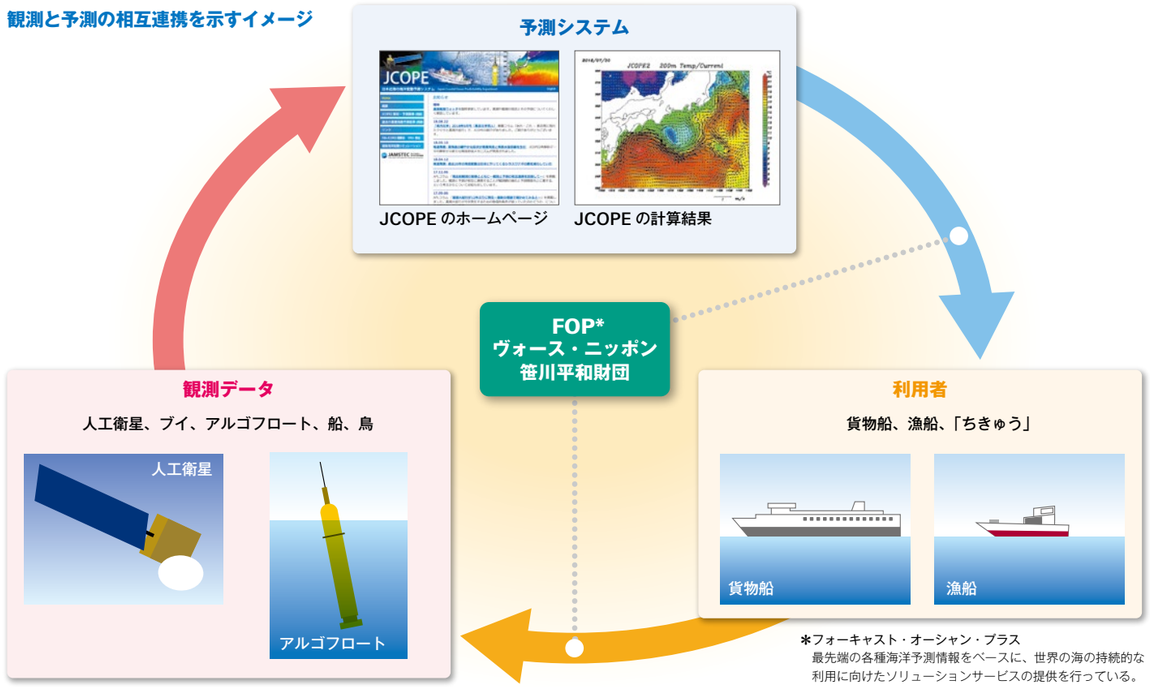
そのような連携は、アプリケーションラボだけでできるものではない。産業利用のための海流予測情報の発信は、JAMSTEC発のベンチャー企業である株式会社フォーキャスト・オーシャン・プラスを通じて行われており、船でのデータ取得にはヴォース・ニッポンが重要な役割を果たしている。仲立ちをする法人があってこそ、観測と予測の相互連携が成り立つのだ。

海流予測の精度が上がることのメリットは、社会生活に役立つことにとどまらない。8ページで紹介したシラスウナギの研究のように、学術研究においてもJCOPEが利用されている。「社会と連携することで観測が充実すれば、モデルの予測精度が上がります。それによって学術の発展に貢献していくことにもつながるのです」と宮澤さん。

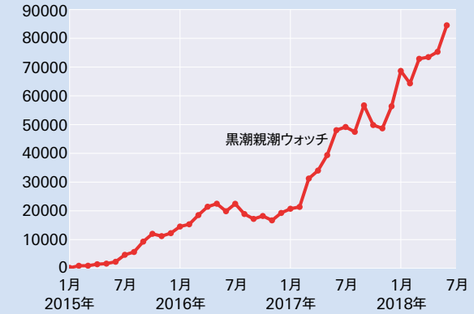
アプリケーションラボでは、社会への情報発信にも力を入れている。海洋・大気環境変動予測応用グループでは、2015年から「黒潮親潮ウォッチ」というウェブサイトを公開し、毎週1回更新している。JCOPEを使った海流の予測情報を、解説付きで紹介するものだ。

「JCOPEによる海流予測自体は、2002年からホームページで公開していました。解説などは特に付けずに予測の図だけを掲載していたのですが、それでは普及に限界があると考えて始めたのが黒潮親潮ウォッチです」と美山 透さんはいう。黒潮親潮ウォッチでは、黒潮大蛇行などそのときどきで起きている現象にまつわる解説のほか、アプリケーションラボの研究成果の解説なども掲載されている。

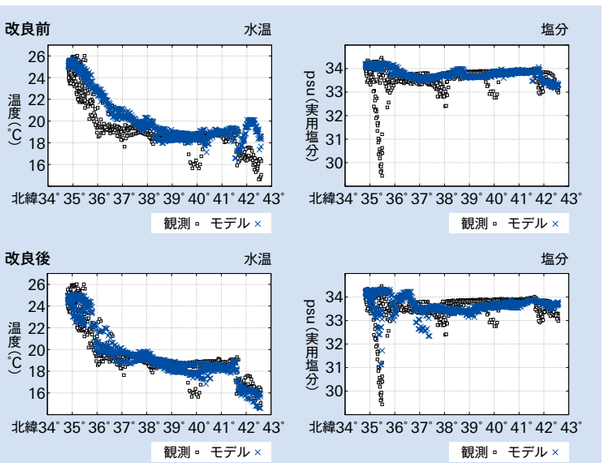
「解説を付けたことで、ウェブサイトへのアクセス数も大きく伸びました」と美山さん。2016年にはTwitterによる情報発信も始めたところ、さらにアクセス数が伸びたという。「海流の予測情報を求めている人はいたのですが、以前はそういう人たちに届いていなかったのだと思います」。情報を出すことにより、メディアからの取材依頼も増えたと美山さん。社会への情報発信が、さらなる広報にもつながっているのだ。 BE



黒潮親潮ウォッチ
http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/kowatch/



黒潮親潮ウォッチのアクセス数の推移



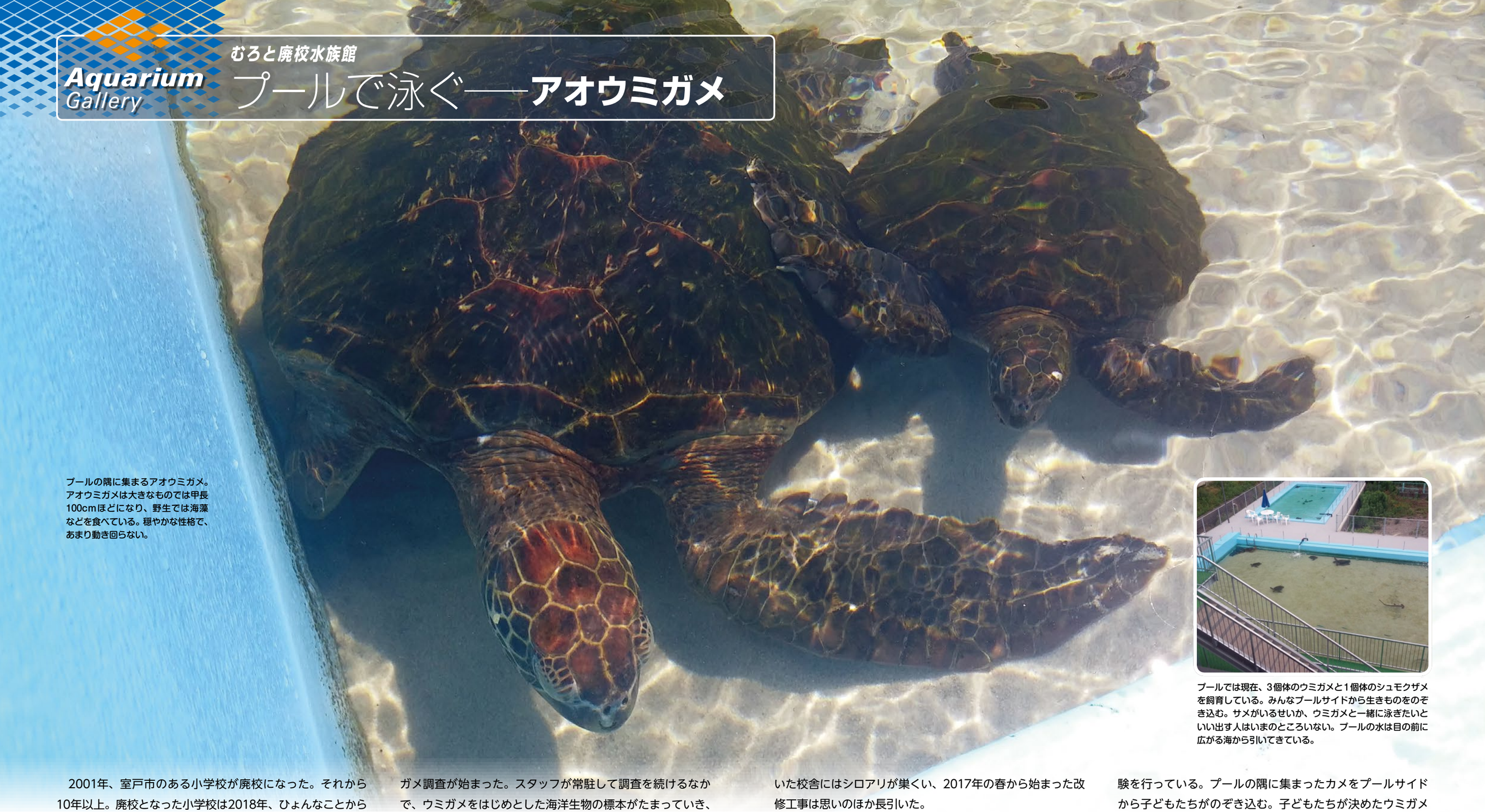
東京と苫小牧を結ぶ内航貨物船「ひまわり8」の観測データと、モデルによる予測データの比較。左が水温で右が塩分のデータである。上は改良前のもので、北に行くにつれての水温の下がり方などが観測からずれている。「ひまわり8」のデータをもとにモデルを改良した結果（下）、そのずれが小さくなった。

内航貨物船「ひまわり8」
写真提供：日本通運株式会社

Aquarium Gallery

むろと廃校水族館

プールで泳ぐ――アオウミガメ



プールの隅に集まるアオウミガメ。アオウミガメは大きなものでは甲長100cmほどになり、野生では海藻などを食べている。穏やかな性格で、あまり動き回らない。

プールでは現在、3個体のウミガメと1個体のシュモクザメを飼育している。みんなプールサイドから生きものをのぞき込む。サメがいるせいか、ウミガメと一緒に泳ぎたいといい出す人はいまのところいない。プールの水は目の前に広がる海から引いてきている。

2001年、室戸市のある小学校が廃校になった。それから10年以上。廃校となった小学校は2018年、ひょんなことから「むろと廃校水族館」として生まれ変わった。

きっかけはウミガメ調査だ。冬の太平洋ではウミガメは見られないと、長い間いわれていた。ところが、ウミガメ調査を行っていたNPO法人「日本ウミガメ協議会」の職員が、室戸市には年中ウミガメがやって来るという情報を漁師さんから教えてもらった。そこで室戸市に通い詰め、三津、高岡、椎名の3地区でウミガメが年中定置網に入ってきてしまうことを確認した。

そこから、日本ウミガメ協議会の室戸市での本格的なウミガメ調査が始まった。スタッフが常駐して調査を続けるなかで、ウミガメをはじめとした海洋生物の標本がたまっていき、次第に置き場所に困るようになっていた。

そんなある日、若月元樹さん（現・水族館館長）が、すでに廃校となった旧椎名小学校の利用についての募集を見つけた。若月さんが室戸市長に標本を置かせてほしいこと、さらにプールを水槽にしてウミガメが泳いでいたら面白いですねと伝えたところ、市長から「水族館をつくってみたらどうか」という思いがけない回答が返ってきた。こうして廃校を水族館にしようという前代未聞のプロジェクトが始まった。

しかし、ここからが大変だった。10年以上も廃校になっていた校舎にはシロアリが巣くい、2017年の春から始まった改修工事は思いのほか長引いた。

それでも2018年4月26日にはオープンを迎え、いまでは70種類ほどの生きものが所狭しと展示されている。廃校を利用した水族館は大人気だ。

展示のほとんどが、地元の漁師さんからもらったものや、職員が海で釣ってきたもの。プールを泳ぐウミガメは、地元の定置網にかかったものをもらってくる。水族館という拠点ができたおかげで、けがをしたウミガメを保護したり、珍しい生きものを蓄養できるようになった。

高知県内の小中学校から希望があれば、ウミガメの放流体験を行っている。プールの隅に集まったカメをプールサイドから子どもたちがのぞき込む。子どもたちが決めたウミガメを海へ放流する。子どもたちは不思議と、大きなサイズのウミガメを海へと返したがる。BE

取材協力：田中優衣／むろと廃校水族館 主任学芸員

Information： むろと廃校水族館
〒781-7101　高知県室戸市室戸岬町533番地2
TEL　0887-22-0815
URL　https://twitter.com/murosui_kochi

私が
IODPで
解きたい謎

「ちきゅう」のことを皆さんに伝えたい

国際深海科学掘削計画（IODP）の主力船として活躍する地球深部探査船「ちきゅう」の運航管理を担っている地球深部探査センター（CDEX）には、海洋科学掘削や「ちきゅう」について広報活動を行うアウトリーチチームがある。アウトリーチチームの活動は、ウェブサイトのコンテンツ制作やSNSを利用した情報発信、船舶・施設の一般公開、博物館や科学館の展示協力、学会でのブース展示、ポスターやパンフレット・映像の制作など、多岐にわたる。メンバー 8人に、アウトリーチチームの取り組み、広報活動の難しさ、そして目指していることを語っていただいた。

CDEX アウトリーチチーム

相原佳帆　安蒜孝政　川渕桃子
佐藤亮子　島田由香　中村太成
馬場千尋　増子美里

CDEXアウトリーチチームのメンバー。左から佐藤亮子さん、増子美里さん、島田由香さん、安蒜孝政さん、中村太成さん、川渕桃子さん、相原佳帆さん、馬場千尋さん。右はCDEXアウトリーチチームを率いる科学支援部の江口暢久部長。

広報活動は、みんなでやる

――CDEXには、広報活動を行うアウトリーチチームがあるそうですね。

安蒜：はい。ただし、アウトリーチチームという部署があるのではなく、CDEXの企画調整室と科学支援部に所属する10人で構成されています。CDEXでは、「広報活動はみんなでやる」という方針を掲げています。そのため、アウトリーチチームが中心になり、運用部や技術部にも協力をいただきながら、CDEXのみんなで広報活動を行っています。

CDEXと「ちきゅう」のウェブサイトをリニューアル

――2018年6月、CDEXと「ちきゅう」のウェブサイトがリニューアルされました。どのような点を変えたのでしょうか。

安蒜：これまでのウェブサイトは、階層が複雑で、どこにどの情報があるのかが分かりにくく、欲しい情報にたどり着くのが大変でした。ひと言でいうと、使いづらかった。そこで、全体を再構成して、情報を新しくし、見やすい、便利なものにすることを目指しました。

私たちが管理しているウェブサイトには、CDEXのウェブサイトと「ちきゅう」のウェブサイトがあるのですが、区別がはっきりしていませんでした。そこで、デザインは統一しつつ、CDEXサイトはオレンジ、「ちきゅう」サイトは青とテーマカラーを決めて一目で区別できるようにしています。「ちきゅう」サイトは幅広い年齢層の方が見ることを想定して平易に、CDEXサイトは少し専門的な内容になっています。

相原：最も気を付けたのは、サイト内で迷わないようにすることです。実は、いまあるコンテンツを入れ替えれば済むだろうと軽く考えていたのですが、とんでもなかった（笑）。今回のリニューアルではモバイル端末への対応も進めているのですが、これも苦労しました。画面サイズや操作方法の違いから、ほぼ新規に作成しています。

――お薦めのコンテンツを紹介してください。

安蒜：CDEXサイトの「広報活動」「ポートフォリオ」「制作物」と進んだページに、船舶や施設の一般公開用に制作したポスターを掲載しています。CDEXでは一般市民向けの講演会や学校への出前授業を行っているのですが、事前学習のために資料が欲しいという問い合わせが多くあります。高解像度のPDFデータもダウンロードできるので、印刷して活用してもらえたら、うれしいですね。

佐藤：CDEXでは、以前からポスターを制作していました。しかし、毎回ポスターの制作者が異なり難易度やデザインが違っていたため、「ちきゅう」の一般公開などで並べたときに見にくく、説明しにくいという問題がありました。そこで、アウトリーチチームができた2016年くらいから、島田さんと協力して新しいポスターシリーズをつくり始めました。

島田：研究成果の紹介は難しくなりがちですが、文章を分かりやすく短めにして図を多めに入れ、親しみやすいよう心掛けています。デザインに統一感を持たせることにも注意しました。

相原：私のお薦めは、CDEXサイトの「科学支援」にある「研究区画」のページです。ラボの様子を360度カメラで撮影した動画を公開しています。研究航海中に撮影したものなので、研究者や技術者が忙しく働いている様子を見ることができます。一般公開では入れないラボの動画もあるので、ぜひ見ていただきたいですね。

気軽に「ちきゅう」の情報に触れてほしい

――Twitterでも情報発信をしています。

増子：「ちきゅう」の公式Twitterアカウントは2009年に登録し、研究航海の情報などを発信しています。研究航海が行われている期間は頻繁に発信しているのですが、研究航海のない時期は静かになってしまいがちです。これではいけないと、過去の研究航海の紹介、CDEXが関係するイベントや番組放送、雑誌掲載などのお知らせも発信するようにしています。頻繁に発信すると、「いいね！」やリツイートなど反応も多くなるので、うれしいですね。ただし、ネタ探しにはいつも頭を悩ませています。

――Twitterでの情報発信の難しさや今後の課題はありますか。

増子：Twitterでは、気軽に「ちきゅう」の情報に触れてもらえるようにウェブサイトより少しくだけた表現にしていますが、もとの内容が専門的なのでくずし加減が難しいですね。現在、フォロワー数はおよそ2万8000。もっと多くの人に興

「ちきゅう」一般公開

味を持ってもらうことが、今後の課題です。JAMSTECでは広報課や有人潜水調査船「しんかい6500」も公式Twitterアカウントで情報発信をしています。それらのアカウントや、ほかの研究機関のアカウントなどとTwitter上でやりとりをしてみたいですね。ほかのアカウントをきっかけに「ちきゅう」を知ってもらうことを期待しています。英語で発信してほしいという要望も多く、英語化も今後の課題です。

一般公開での見どころ

――「ちきゅう」の一般公開は、人気が高いと聞いています。

中村：最近では2017年12月に静岡県の清水港で一般公開を行いましたが、申し込み開始から数時間で定員に達してしまいました。多くの人にご参加いただきたいのですが、「ちきゅう」は外航船が入るような港でなければ入港できず、一般公開の場所や回数も限られてしまうのです。

――一般公開ではどのような苦労がありますか。

中村：「ちきゅう」は大きく、また掘削や研究の機材があちらこちらにあるため、安全面には特に気を使います。CDEX以外の部署からも応援に来ていただきますし、綿密な打ち合わせが欠かせません。無事にできるだろうかと、数日前からドキドキですよ。皆さんが下船して片付けを終え、「おつかれさまでした！」といった瞬間、初めて心が落ち着きます。

――一般公開に参加できた際のお薦めポイントは？

中村：科学に興味がある人であれば、最先端の機器が並ぶラボがお薦めですね。研究成果が分かりやすく解説されたポスターも豊富です。機械に興味がある人は、デリック（やぐら）や掘削設備をできるだけ近くで見たいですよね。残念ながら、安全管理上どうしても制限があります。それでも皆さんの要望にもできるだけ応えられるような見学ルートを設定し、大迫力のポイントもあるので、楽しんでいただければと思います。

川渕：「ちきゅう」は、普通の船ではありません。それが「ちきゅう」の魅力だと思います。船に乗って仕事をしていた中村さんには到底かないませんが、私は商船大学出身で船舶免許を持っていて、船についての基本的なことは知っています。そんな私が「ちきゅう」を初めて見たとき、船という印象がありませんでした。船は動いて物を運ぶのが仕事ですが、「ちきゅう」は航海の大半の期間、動きません。「ちきゅう」は、まるで工場です。

私のお薦めポイントは、ブリッジ（操舵室）です。普通の船の場合、ブリッジに上がると視界が開けます。ところが「ちきゅう」の場合、ヘリデッキが張り出しているので上方の視界が遮られます。普通の船ではない「ちきゅう」の面白さも楽しんでいただきたいですね。

「深海2017」で伝えたかったこと

――博物館や科学館、水族館の展示協力もされています。

馬場：2017年夏に国立科学博物館で開催された特別展「深海2017 ～最深研究でせまる“生命”と“地球”～」では、東北地方太平洋沖地震において大津波を引き起こした地震断層を「ちきゅう」で掘削したJFASTというプロジェクトについて展示しました。

――JFASTの展示では、どのようなことにこだわりましたか。

馬場：JFASTは、未曽有の災害に対して科学に何ができるだろうかという研究者の思いから始まりました。地震ですべったと考えられる断層までは水深と海底下深度を合わせると約8,000mで、富士山2つ分以上に相当し、掘削作業はチャレンジの連続でした。今回の展示では科学的な成果だけではなく、それを得るまでの過程も伝えることを目指しました。

また、JFASTの成果には科学的な意義に加え、防災につながるという社会的な意義があります。大津波がなぜ起きたのか、掘削によって明らかになったことを伝えるために、いろいろな試みをしました。その1つが、津波を発生させた断層の地質試料（コア）の現物展示です。高知コア研究所からの輸送、展示中の温度・湿度の管理など関係者の皆さんの協力によって、初めて展示が実現しました。現物だからこそ、伝わることもあったのではないでしょうか。

掘削現場の臨場感を実感していただきたいと、映像も駆使しました。これまでの研究航海を撮影した映像があったからこそ実現できた展示です。映像や写真として記録を残すことも、広報活動の重要な仕事であることをあらためて認識しました。2018年10月から「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の総仕上げとして地震発生帯の断層まで掘削することを目指した研究航海が、6ヵ月間の計画で行われます。しっかり記録し、皆さんに伝えていきたいと思います。

「深海2017」JFAST関連の展示

海洋科学掘削の研究者人口を増やすきっかけに

――博物館や科学館の展示は一般の方が対象です。研究者を対象としたものとしては、どのような広報活動をしているのでしょうか。

安蒜：日本地球惑星科学連合（JpGU）やアメリカ地球物理学連合（AGU）など、海洋科学掘削に関連する研究者が集まる国内外の学会では、「ちきゅう」のブースを展示しています。たくさんのブースが並ぶなか、「ちきゅう」のブースに入ってもらうには、模型やパネルの展示、パンフレット配布に加え、グッズも重要なんです。毎年、島田さんが趣向を凝らして新作をつくってくれます。

島田：アウトリーチチームで何をつくるかを議論して決め、皆さんからアイデアをもらって、私がデザインしています。海外では和風のものが人気なので、2017年のAGUでは手拭いを配布しました。1種類は、浮世絵風の波をあしらった「ちきゅう」の柄。もう1種類は、「ちきゅう」に搭載されている丸いものを図案化して並べた、分かる人には分かるマニアックな柄にしました。

相原：手拭いはAGUの会場で大好評でした。並べるとすぐになくなってしまうので、配布時間を区切り、小出しにしていたくらいです。ほかの時間は「ちきゅう」の絵をあしらったトートバッグを配布したのですが、これも人気でした。各ブースでたくさん資料を配るので、トートバッグがあると便利なんです。それを持ち歩いてくれるので、「ちきゅう」のよいPRになりました。

一方で、「ちきゅう」を知らない人も多いことを痛感しました。AGUは気象学、海洋学、固体地球物理学、宇宙科学など広範囲にわたるので仕方がない面もありますが、「ちきゅう」とは何をする船で、どのような成果が上がっているか、そしてその意義と重要性を多くの人に知っていただくことは、海洋科学掘削プロジェクトを続けていく上でとても重要です。学会には大学生や大学院生も参加していて、どうしたら「ちきゅう」に乗船できますか、という質問を受けることもあります。学会でのブース展示は、海洋科学掘削分野の研究者人口が増えるきっかけにもなる重要な広報活動です。

「ちきゅう」のことを伝えたい

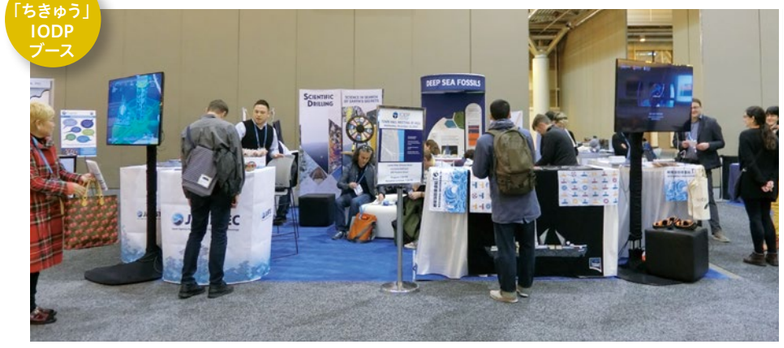
――川渕さんは商船大学出身、中村さんは船舶に関わる仕事をされていたとのこと。ほかの方のバックグラウンドは？

馬場：佐藤さんは海洋物理が専門で、理学の博士号をお持ちです。安蒜さん、相原さん、私は文系です。

相原：実は、JAMSTECに入った時点で「ちきゅう」を知りませんでした。そんな私がCDEXに異動になって困ったのが用語です。CDEXでは専門用語やアルファベット3文字の略語がとても多く、会議に出席しても何を話しているのか分からない。そこで、用語を覚えることから始めました。用語を覚えると話の内容が分かるようになり、仕事がだんだん楽しくなりました。ウェブサイトのリニューアルでは、本文の下に用語解説を付けています。それは、自分の経験によるものです。

馬場：私が理解できれば多くの人が理解でき、私が理解できなければ多くの人が理解できない。科学の専門的な教育を受けていない分、一般向けに難易度が適当かを判断する目安になれるのではないかと思っています。CDEXには“「ちきゅう」ラブ”な人が多いんです。好きな「ちきゅう」のことを皆さんに伝えたい！というのが、私たちの広報活動のモチベーションです。 BE

学会の「ちきゅう」IODPブース



CDEXオリジナルグッズ

JAMSTEC 生まれの種たち（シーズ）

誰でも試料表面の鏡面研磨ができる研磨板

**研磨は、地球科学研究における岩石試料の組織観察や分析に不可欠な工程である。
しかし、従来の方法では時間と手間がかかり、また熟練の技が必要だった。
そうしたなか、JAMSTEC高知コア研究所の清水健二さんは、研磨フィルム用の研磨板を開発。
この研磨板を使うと、誰でも簡単に、速く、平滑に、岩石試料の表面研磨ができる。
半導体や電池などを扱う材料分野でも、研磨は必須である。
開発した研磨板は、地球科学や材料科学をはじめ、
固体を扱うさまざまな分野に役立つと期待されている。**

取材協力

清水健二
高知コア研究所 同位体地球化学研究グループ
技術研究員

研磨フィルム用研磨板
ステンレス製で、直径20cm、厚さ2mm。表面は、正六角形の島を残すようにエッチング処理をしてある。正六角形の島の大きさの違いで研磨板は2種類ある。約2cm以上の試料は正六角形が大きい方、約2cm以下の試料は正六角形が小さい方の研磨板を使う。市販の研磨シートを張り、グラインダーに磁石で取り付けて自動回転させながら研磨を行う。

「岩石の研磨は、ものすごく難しいんです。でも、研磨の仕上がりによって、よいデータが取れるかどうかが決まってしまう。だから、誰でも簡単に、速く、平滑に、岩石試料の表面研磨ができるようにしたいと思い、この研磨板を開発しました」

そういって清水さんが見せてくれたのは、直径20cmほどの丸いステンレスの板だ。表面には正六角形の模様が浮き上がっている。「単なる板じゃないか、と思ったでしょう。でもこの研磨板は、これまで研磨が抱えていた問題を一気に解決できる優れものなんですよ。私の名前を取って“しみけんマジックプレート”と呼んでくれる人もいます」と笑う。

メルト包有物や深海底ガラスから水の情報を読み取るために

清水さんの専門は、地球科学、特に地球化学である。「地球の水の起源や、地球表層と深部を巡る水循環に興味があります。地球の水の起源や循環を読み解く鍵となるのが、鉱物中のメルト包有物や深海底火山ガラスに含まれる水であり、それを調べるには岩石の研磨が不可欠なのです」

地球の表面は、十数枚のプレートと呼ばれる厚い岩板で覆われている。プレートは移動していて、互いに擦れ違ったり、別なプレートの下に沈み込んだりしている。プレートが沈み込むとき、水も一緒に地球深部へ運ばれていく。水は、岩石と反応して含水鉱物となり、さらに深部へ運ばれていく。しかし、水が入っていくことができる深さには限界がある。深くなるほど温度と圧力が上昇するため、ある深さで含水鉱物が分解し、沈み込むプレートから水が絞り出されるのだ。すると、水が加わったことで周囲の岩石の融点が下がって溶け、マグマになる。マグマは上昇して、地表に噴出する。このマグマには地球表層から深部へ運ばれた水や地球形成初期に閉じ込められた水が含まれているが、地表に噴出した瞬間に揮発してしまうため、地表に噴出したマグマから水の情報を得ることはできない。

一方、地球の深部で鉱物が結晶化するとき、周りのマグマを結晶内に取り込むことがある。それが地表に噴出して急冷されると、マグマの部分がガラス化する。それが、メルト包有物だ。メルトとは溶けるという意味で、岩石が溶けたマグマを意味する。メルト包有物は鉱物というカプセルに守られ、マグマが取り込まれた圧力に保持されているため、マグマに含まれていた水が揮発してしまうことはない。

また、深海底火山ガラスとは、深海底に噴出したマグマが海水によって急冷されてできたものである。水深2,000m以上の深海底では高い水圧によって、水がマグマから抜けずに残る。

「水を含むマグマがガラス化したメルト包有物や深海底火山ガラスを分析することで、地球深部に運び込まれた水の情報を読み取ることができるのです。その分析に、私は二次イオン質量分析法を使っています」と清水さん。

ビーム状のイオン（一次イオン）を試料に当てると、試料表面が壊れて、電子や中性子、イオンなどの粒子が飛び出してくる。そのなかからイオン（二次イオン）だけを取り出して磁場のなかを通過させる。イオンの質量に応じて軌道の曲がり方が違うことを利用してイオンを質量ごとに分け、それぞれの数を検出する。これが、二次イオン質量分析法である。

「一次イオンを試料表面に常に同じ入射角度で当てた方が分析精度が高く、また表面に傷があると試料の準備中に水などが入り込んで正しい分析ができません。そのため、二次イオン質量分析法で高精度な分析をするには、試料を研磨して、表面が鏡のように平滑で傷がない状態に、いつも仕上げる必要があるのです」。二次イオン質量分析法だけでなく、表面電離質量分析法や誘導結合プラズマ質量分析法での分析、透過型電子顕微鏡での観察など、表面を分析・観察する場合、表面研磨は必須である。

たかが研磨、されど研磨

岩石試料の表面を平らに研磨するには、ダイヤモンドやアルミナなどかたくて細かい砥粒（とりゅう）をプラスチックフィルム上に接着剤で固定した研磨フィルムなどを用いる。研磨フィルムの上で試料を動かし、表面を平らにしていくのだ。

しかし岩石には、硬度の違うさまざまな鉱物が含まれている。やわらかい鉱物は削れやすく、かたい鉱物は削れにくい。そのため普通に研磨すると、やわらかい鉱物の部分だけが削れ、試料の表面が凸凹になってしまう。削られずに飛び出しているかたい鉱物の周囲が斜めになる“縁だれ”という状態も生じる。特にメルト包有物の場合は、かたい鉱物にやわらかいガラスが含まれているため、メルト包有物の部分がへこんでしまう。そのような表面状態の試料では、一次イオンが一定の入射角度で当たらないため、精度の高い分析ができない。

清水さんは、「これまでの研磨方法でも岩石試料の表面を平滑に仕上げることはできます。しかし、時間と手間、そして熟練した技が必要です」

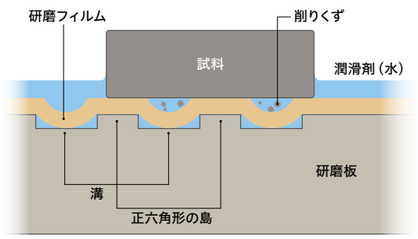
と指摘する。「私は常々、試料準備にかかる時間がもったいないと思っていました。分析やデータ解析に時間を使いたい。そこで、誰でも簡単に速く、表面を平滑に研磨できる方法がないか、いろいろな方法を試していました」

JAMSTECの地球内部ダイナミクス領域に所属していた清水さんは、2011年から1年間、アメリカのウッズホール海洋研究所で研究を行った。メルト包有物中の水など揮発性物質の分析で世界をリードしている研究所だ。「ほかの研究者がやっている研磨方法を教えてもらい、すぐに試し、優れたところは取り入れました。それで分かったのは、みんな研磨には苦労しているということ。ならば、新しい研磨方法を自分で開発するしかない、と思い始めました」

日本に戻ってしばらくしたころ、清水さんは、JAMSTEC高知コア研究所に高解像度高感度二次イオン質量分析装置（HR-SIMS）が導入される、という話を耳にした。SIMSでは、数μmという微小領域の元素濃度や同位体比を高感度で測定できる。「メルト包有物はとても小さく、そこに含まれる水は微量です。地球の水の起源や地球表層と深部の水循環を解き明かすために、SIMSをぜひ使いたい。そう思い、高知コア研究所に移ってきました。しかしSIMSで分析するには、いままで以上に表面が平滑な試料が必要になります。そこで、研磨方法の開発に本腰を入れたのです」

研磨フィルム用研磨板の断面図

研磨板は正六角形の島の周囲に深さ200μmの溝がある。研磨フィルムを張ると、溝の部分がたわむ。試料と研磨フィルムが張り付かず、また削りくずはたわんだ部分を通って流されるため試料を傷付けない。



正六角形の島と溝が鍵

清水さんが調べてみると、ガラス板に平行な溝を形成した研磨板があり、「仕上研磨用定盤」という名前で産業技術総合研究所が特許を取得していた（特許第5317095号）。

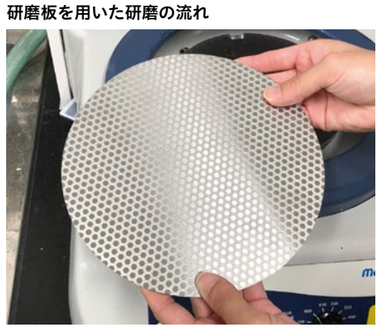
従来は、かたい平らな板の上に薄い研磨フィルムを置き、試料を手で動かして研磨する。しかし、力を入れ過ぎると試料が研磨フィルムに張り付いてしまうという問題があった。無理に動かすと、フィルムがしわになったり、間に挟まった削りかすで試料が傷付いたりしてしまう。

「ガラス板に溝があると、溝の部分の研磨フィルムが少したわみます。研磨フィルムと試料の間に隙間ができ、試料が張り付かなくなるのです。これがヒントになりました」と清水さん。しかし、この溝付きガラス板は、試料を手動で一方向に往復させて研磨するため、表面を平滑に磨くにはやはり時間と熟練を要する。そこで、誰でも簡単に、速く、平滑に、岩石試料の表面研磨ができるようになることを目指して清水さんが開発したのが、冒頭で紹介した研磨板である。

開発した研磨板は、直径20cm、厚さ2mmほどのステンレスの円盤だ。表面は、正六角形の島を残すようにエッチング処理をしてある。正六角形の周りの溝の深さは、約200μmだ。「島のかたちは丸にしようと考えていました。しかしそれでは、溝の太さが変わってしまう。溝の幅が均等になることから、正六角形を採用しました」と清水さん。

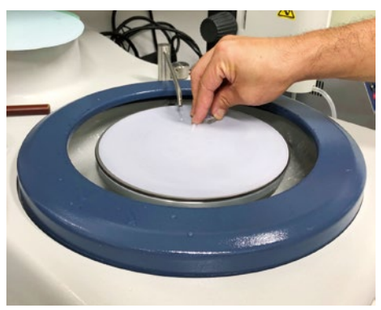
研磨板の上に研磨フィルムを張り、グラインダー（回転式研磨装置）に磁石で固定する。グラインダーを自動回転させ、水を流しながら試料を研磨フィルムに当てる。研磨板の溝部分の研磨フィルムはたわんでいるため、試料が張り付かない。また、削りくずは研磨フィルムがたわんだところを流れていくので、削りくずによって試料が傷付くこともない。「研磨をやったことがない人でも少し教えれば、表面が平滑で、傷がない試料が簡単にできます」と清水さんは胸を張る。これまで岩石試料の研磨は仕上げまで2時間くらいかかっていたが、この研磨板を使えば10分だ。

研磨板を用いた研磨の流れ

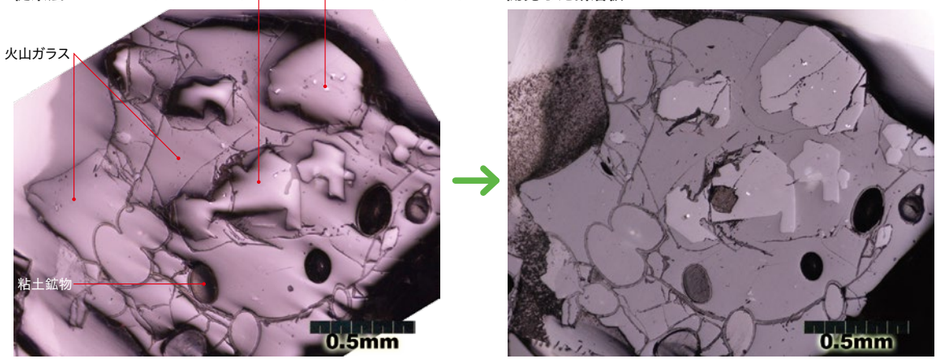


試料の大きさによって研磨板を選ぶ。

研磨板に研磨フィルムを張る。研磨フィルムは砥粒の大きさによって十数種類あり、使い分ける。

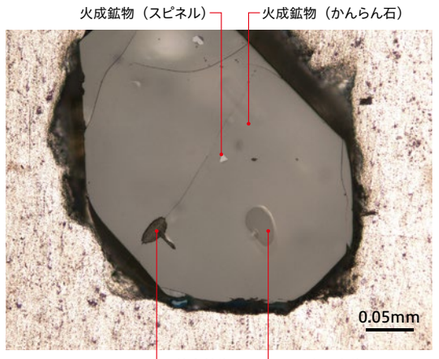


研磨板をグラインダーに磁石で固定して、自動回転させる。水を流しながら、手に持った試料を研磨フィルムに当てて研磨する。



従来法と開発した研磨板を用いた場合の試料表面の比較

硬度が異なる鉱物とガラスから成る火山岩試料の研磨を行った。粘土鉱物、火山ガラス、火成鉱物（かんらん石、スピネル）の順で硬度が高くなる。従来法（砥粒径0.3μmのアルミナペーストによる研磨）では、やわらかい部分は削れ、かたい部分は残り、表面が凸凹している。飛び出しているかたい部分の周囲が斜めに削れていく、縁だれも起きている。この試料を、開発した研磨板を用いて研磨すると（砥粒径3μmの研磨フィルムを張った研磨板をグラインダーに装着し毎分300回転で1分間、砥粒径0.5μmの研磨フィルムで2分間）、やわらかい部分もかたい部分も同じように削れ、表面は平滑になっている。



開発した研磨板を用いて研磨したメルト包有物を含む試料

粘土鉱物、メルト包有物、火成鉱物（かんらん石、スピネル）の順で硬度が高くなる。従来の研磨方法では、かたいスピネルが飛び出して、やわらかい粘土鉱物がへこんでしまう。開発した研磨板を用いると、すべての鉱物がほぼ同じ高さになるように仕上がる。

半導体や電池など材料の研磨にも

2016年に特許出願。清水さんは当初、特許出願は考えていなかったという。「ちょっとした工夫なので、特許になるとは思っていませんでした。しかし特許出願したおかげで、いくつかの研磨機のメーカーに関心を持っていただいています」

研磨がうまくいかない試料がある、と悩んでいる研究者からの問い合わせも多い。高知に来てもらい、研磨板の使い方を教えている。「皆さん、研磨の難しさを知っているだけに、仕上がりにびっくりされますね。自分が楽をするためにつくったものが、ほかの人のニーズと合ってみんなが使ってくれる。こんなにうれしいことはありません」

特許が取得できれば、研磨機メーカーから製品化され、より多くの人がこの研磨板を使えるようになると期待されている。「材料分野でも研磨の難しさが問題になっているそうです。この研磨板は半導体や電池などさまざまな材料にも使えます。いろいろな分野で使ってもらえたら、さらにうれしいですね」

さらに微量の水を測りたい

「きれいな鏡面研磨ができると、見える世界が変わります」と清水さん。「また、予想と違うデータが出たとき、これまでは研磨が悪かったことによるエラーではないかという疑念をぬぐうことができませんでした。しかし、この研磨板を使って研磨したのならば、その疑念はなく、データは真実であると自信を持っていえます」

以前は、分析対象とするメルト包有物の含水量は0.1%（1,000ppm）以上だった。この研磨板を用いて試料表面を平滑にし、SIMSで計測することで、現在は、2桁以上小さい10ppm以下の水も計測できるようになっている。世界最高レベルの精度だ。またSIMSでは、水だけでなく、フッ素や塩素、硫黄、二酸化炭素など、さまざまな揮発性物質も計測できる。「これまで不可能だったより微量の水を分析できるようにして、またフッ素などほかの揮発性物質との関係を探ることで、地球の水の起源や地球深部での水の挙動を見たいですね」と清水さんは展望する。 BE

特許情報

- 仕上研磨用定盤、仕上研磨装置（特願2016-026048）

【問い合わせ先】
JAMSTEC イノベーション推進課
chizai@jamstec.go.jp

【JAMSTECシーズ集】
JAMSTECの最先端の研究や技術開発から生まれた、さまざまな分野に及ぶ特許を下記のWEBサイトで紹介しています。

Marine Science Seminar

世界最深部への挑戦

地球情報館公開セミナー 第213回（2017年9月16日開催）

村島 崇 海洋工学センター 海洋戦略技術研究開発部 次長

世界で一番深い海底（世界最深部）は、グアム島の近くにある
マリアナ海溝チャレンジャー海淵の水深約10,920mです。
そこへ到達した探査機はJAMSTECの2機を含めて、5機しかありませんでした。
JAMSTECは、NHK（日本放送協会）と共同で高精細の撮影ができる
4Kカメラを搭載した無人探査機「UROV11K」を開発し、
2017年5月に世界最深部へ挑みました。

むらしま・たかし。1963年、茨城県生まれ。電気通信大学電気通信学部電波通信学科卒業。電機メーカーを経て1996年、海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）入所。2017年より現職。

世界最深部って、どんなところ？

海の深い場所は世界のどこにあるのでしょうか。第3位はフィリピン海溝の水深10,057m、第2位はトンガ海溝の水深10,800m、そして第1位がマリアナ海溝チャレンジャー海淵の水深10,920mです。

日本の周りにも、深い海はたくさんあります。南西諸島（琉球）海溝の水深7,460m、日本海溝の水深8,020m、千島・カムチャツカ海溝の水深9,550mなどです。そして日本の周りで一番深い海は、伊豆・小笠原海溝の水深9,780mです。

世界最深部に到達できれば、世界や日本のどこの海底でも探査することができます。では、世界最深部はどのような環境でしょうか。とにかくすごい水圧です。私たちがいる地上は約1気圧ですが、世界最深部では約1,000気圧、1cm²あたり1トンを超える水圧がかかります。

深海は暗黒・低温の世界です。人間が見える可視光のなかで青い光が一番深くまで届きますが、それでも水深200mくらいまでです。また海の表層水温は季節や場所によって異なりますが、水深2,000mより深くなると、どこでも約2℃ほどの低温です。

それらの環境に加えて、探査機を開発する上で課題となるのが、海中では電波による無線通信ができないことです。電波は海水中では、減衰が大きいからです。また、海中で機械や装置を動かす動力源をどうするのかも重要です。

深海環境への対策

探査機の深海環境への対策を簡単に紹介しましょう。まずは水圧です。水圧がかかると壊れてしまう電子機器などは、水圧がかかっても内部は1気圧を保つ耐圧容器に入れます。モーターのように金属で構成され水圧を受けても壊れない機器は、油で満たした油漬け均圧容器に入れます。薄いビニール袋でも、なかを油で満たせば均圧容器となり、世界最深部の水圧でも破裂しません。

暗黒の深海で観察したり、映像や写真を撮ったりするには、ライトが必要です。また低温でも動作する電子機器を用います。ただし、母船上では気温が30～40℃になる海域があるため、そのような温度変化でも壊れない電子機器を用いる必要があります。

探査機には、マニピュレータなど油圧で動く機器があります。その作動油が深海の低温環境で粘性が高くなってしまうと、機器の動作が遅くなったり動かなくなったりします。低温でも性質の変わらない作動油を用いる必要があります。

海中での通信には、電波の代わりに音波を使います。音波で伝えることができる情報量は電波よりも少ないので高速大容量通信はできません。ただし、音波は遠い距離まで到達するので、海中では、いろいろなことに利用されています。

動力源の供給には、大きく分けると2つの方法があります。1つは、母船とケーブルでつながれていない無索の探査機で使用されている、電池を搭載する方法です。もう1つは、ケーブルにつながれた有索の探査機で行われている、母船からケーブルを介して探査機に電力を送る方法です。

探査機は大きく3種類に分類できます。1つ目はJAMSTECの「しんかい6500」のような有人潜水船です。無索で探査機に電池を搭載し、人が耐圧殻に乗り込んで操縦するタイプです。

2つ目は、母船とケーブルでつながれた有索無人探査機（ROV）です。ケーブルには、通信を行うための光ファイバーケーブルと電力を供給する電線が入っていることが一般的で、船上で操縦者が遠隔操作します。

3つ目は、母船とケーブルでつながれていない無人探査機（AUV）です。電池を搭載して指定したコースを航行します。ただし海底に未知の障害物などがあった場合には、AUVが自分で認識・判断してそれを避ける機能が必要です。そこがAUV開発の難しいところです。

これら3種類の探査機はいずれも推進器が付いていて、動き回りながら観測を行います。

推進器が付いていないランダー（係留系）と呼ばれる装置もあります。錘（おもり）を付けて海底へ投入し、長期間観測した後に、錘を切り離して浮上させて回収します。JAMSTECではランダーと探査機を組み合わせた深海の探査も行われています。

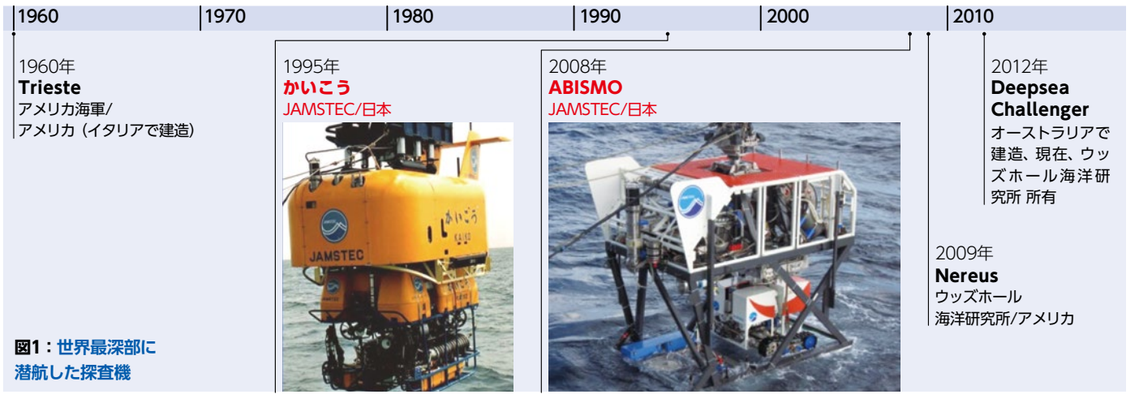


図1：世界最深部に潜航した探査機

世界最深部に潜航した探査機

世界最深部へ潜航した探査機は、これまで5機しかありませんでした（図1）。最初は1960年、イタリアで建造されたアメリカ海軍の有人潜水船「Trieste」により、2人が世界最深部に到達しました。

次の潜航はそれから35年もたった1995年、JAMSTECの無人探査機「かいこう」によるものです。JAMSTECでは、大深度小型無人探査機「ABISMO」でも2008年に世界最深部へ到達しました。

2009年にはアメリカ・ウッズホール海洋研究所の無人探査機「Nereus」、そして2012年には有人潜水船「Deepsea Challenger」に映画監督のジェームズ・キャメロンさんが乗り込み、世界最深部に到達しました。

これまでに世界最深部を肉眼で見た人は、「Trieste」の2人とキャメロンさんの3人しかいないのです。

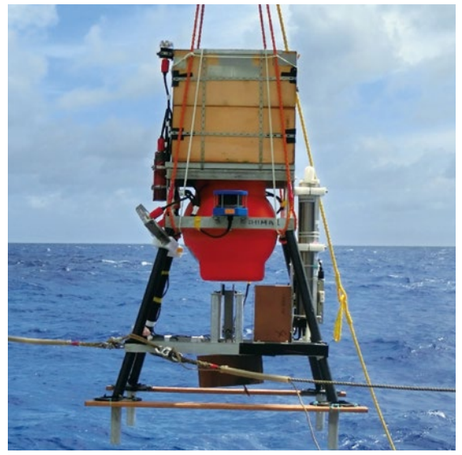


図2：世界最深の魚類を探査したランダー

オレンジ色のカバーが付いた耐圧ガラス球のなかに4Kカメラが搭載されている。

図3：水深8,178mで撮影された魚類

ランダーの4Kカメラにより、1匹のシンカイクサウオの仲間の映像を捉えることに成功した。

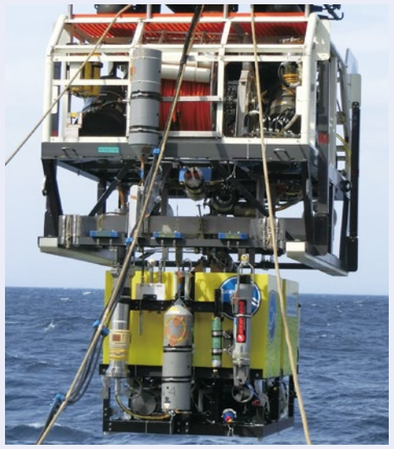
This research cruise was conducted under a Special Use Permit (#12541-17001) issued by the Mariana Trench National Wildlife Refuge, U.S. Fish and Wildlife Service, Department of the Interior.

魚類の世界最深記録を更新！

さて、私たちが2017年5月に行ったマリアナ海溝での研究航海についてお話をしましょう。

この研究航海では、2種類の探査を行

図4：新方式による「UROV11K」システム
母船「かいれい」から水深7,000mの「ABISMO」ランチャーまでは一次ケーブルで、「ABISMO」ランチャーから「UROV11K」ビークルまでの4,000mは光ファイバーケーブルで結び、水深約10,920mの世界最深部を探査した。



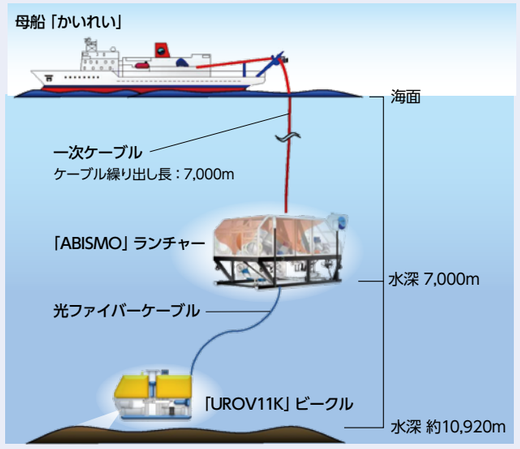


図5：「UROV11K」で撮影した世界最深部
クマナマコ科の一種（矢印）が捉えられている。

いました。1つは、新方式の無人探査機による世界最深部への挑戦。もう1つがランダーによる世界最深の魚類の探査です。

まずランダー編です。どれくらい深い水深まで魚類は生息できるのか、過去の記録をひもとくと、1970年に大西洋のプエルトリコ海溝の水深8,370mで魚類を捕獲したという報告があります。ただし、その水深まで網を下ろして捕獲したもので、捕獲された地点の正確な水深をセンサーで測ったわけではなく、映像も撮影されていません。

近年の研究によれば、魚類の生息限界は水深8,200mだという仮説があります。その仮説を提唱したイギリスとアメリカの共同研究チームは2016年、マリアナ海溝の水深8,145mで魚類を撮影することに成功しました。さらに2017年4月には、中国科学院の研究者たちがマリアナ海溝の水深8,152mで魚類の撮影に成功したと発表しました。なお魚類以外では、水深約10,920mの世界最深部に生息している生物が確認されています。

私たちは、耐圧ガラス球に4Kカメラを搭載したランダーを開発しました（図2）。そのランダーは世界最深部にも投入できるのですが、今回は魚類の生息限界を調べるために水深8,200m前後の海底に設置する必要があります。マリアナ海溝の水深7,498mと8,178mの2ヵ所の海底にランダーを投入しました。

ランダーの4Kカメラの前には、生物をおびき寄せるための餌としてサバを取り付けました。水深7,498mでは、まずヨコエビが餌に群がってきました。そしてランダー着底から3時間37分後、魚類であるシンカイクサウオの仲間の1匹が現れ、その後、複数の個体の姿が捉えられました。

さて、水深8,178mでは、どうだったでしょうか。こちらでもまず餌にヨコエビが集まってきました。水深7,498mでは、ダイダラボッチという全長10cmを超える巨大なヨコエビも出現しましたが、こちらでは全長数cmのヨコエビだけです。そしてランダー着底から17時間37分後、やっと1匹のシンカイクサウオの仲間が現れました（図3）。センサーで水深を正確に測ったものとしては、中国科学院の水深8,152mを26m上回り、魚類の映像を捉えた世界最深記録です。結局、この水深では魚類はその1匹しか現れませんでした。

新方式「UROV11K」システムを開発

次に世界最深部への挑戦編です。その前に、JAMSTECの探査機の状況を説明します。

1995年に世界最深部へ到達した「かいこう」は、ランチャー方式を採用しています。これは探査機がランチャーとビークルに分かれているタイプです。それらが合体した状態で母船から一次ケーブルを1万m以上繰り出して、海底から高さ約100mの位置まで下ろします。そこでランチャーからビークルを切り離します。ランチャーと短い二次ケーブル（長さ約250m）でつながったビークルが海底を動き回って探査する方式です。

JAMSTECには、3,000m級無人探査機「ハイパードルフィン」という別のタイプのROVもあります。これは母船と1本のケーブルでつながれた探査機が海底を探査する方式です。潮流によりケーブルが抵抗を受けるので、ケーブルの先で探査機が動き回るには大きなパワーが必要です。「ハイパードルフィン」のケーブルは3,000mですが、「かいこう」の一次ケーブルは1万m以上もあり、その先で探査機を動かすのは大変です。ランチャーとつながれた二次ケーブルは約250mなので、ビークルは自由に動き回ることができるのです。

ところが2003年、その二次ケーブルが切れてしまい、「かいこう」ビークルを亡失してしまいました。その後、「UROV7K」という別の探査機を「かいこう」ビークルに改造して7,000m級無人探査機「かいこう7000」を開発しました。その後、機体、スラスタ（推進器）、マニピュレータなどを改造し、「かいこう7000Ⅱ」として運用しました。2013年には「かいこうMk-Ⅳ」という新しいビークルを開発して現在に至ります。

ただし現在では、老朽化により一次ケーブルの強度が低下し、5,700mくらいまでしか「かいこう」ランチャーを下降させることができません。

JAMSTECでは、「UROV」という新しい方式のROVを考案して運用しています。「かいこう」や「ハイパードルフィン」のケーブルの直径は数cmありますが、UROV方式は母船と探査機を約1mmの細い光ファイバーケーブルで結びます。動力源は探査機に積まれた電池です。UROV方式でも世界最深部へ到達できる可能性がありますが、1万mを超える細い光ファイバーケーブルを繰り出すので、下降中に切れてしまう危険性があります。

そこで今回、私たちが考え出したのが、ランチャーとUROVを組み合わせた新方式です。「かいこう」ランチャーは水中重量が3トンあるので約5,700mまでしか老朽化した一次ケーブルでは下ろせませんが、小型の「ABISMO」ランチャーは水中重量約2トンなので、約7,000mまで下降させることができます。そこから約4,000mは光ファイバーケーブルでランチャーとビークルをつなぎます。そのために「ABISMO」ランチャーを改造し、機能を絞り込んだ小型ビークルを新しく開発しました。それが「UROV11K」システムです（図4）。

「UROV11K」ビークルには4Kカメラを搭載し、光ファイバーケーブルを介した遠隔操作で海底を自由に動き回り、リアルタイムで映像を取得できます。

世界最深部に到達！

2017年5月14日、「UROV11K」で世界最深部への潜航を行いました。早朝4時18分に着水し、7時15分に水深7,000mに到達。ビークル切り離し前の作動確認など行い、7時57分に「ABISMO」ランチャーから「UROV11K」ビークルを切り離しました。そして10時53分にチャレンジャー海淵の海底にビークルが到達、最大潜航記録は水深10,901mでした。

海底での約30分間の観察の間に、30匹以上のナマコと7匹のヨコエビの仲間の映像を取得することに成功しました（図5）。その映像はNHKスペシャル『ディープ・オーシャン』や、国立科学博物館で開催された特別展『深海2017』で上映されました。

『深海2017』では「ABISMO」ランチャーを展示したのですが、「UROV11K」ビークルは展示できませんでした。それはなぜかというと……。

11時22分にビークルの錘を切り離し、光ファイバーを切断して浮上させました。ところが水深5,320mで上昇が停止し、行方不明になってしまいました。捜索しましたが、結局、回収することはできませんでした。

図6：「かいこうMk-Ⅳ」
重作業が可能な「かいこうMk-Ⅳ」を改造することにより、数年後に再び世界最深部に潜航し、本格的な探査を行う計画である。

数年後、再び世界最深部へ

世界最深部に潜航した探査機のその後を見ると、水深1万mへ恒常的に潜航するのは難しいことが分かります。

「かいこう」は水深1万mを超える海底に20回近く潜航した唯一の探査機です。しかし先ほど紹介した通り、2003年にランチャーを亡失しました。

「Nereus」は2014年にケルマデック海溝を潜航中に亡失してしまい、「Deepsea Challenger」はキャメロン監督が世界最深部に到達した後、ウッズホール海洋研究所に寄贈されましたが、2015年、輸送中に火災に遭い、修理中です。

今後の計画について私が調べた範囲では、中国が世界最深部を探査する無人探査機を建造中です。その後に有人潜水船で探査する計画も発表しています。

JAMSTECでは、「かいこうMk-Ⅳ」を用いる計画です（図6）。その基本部分は水深約10,920mまで到達できる仕様になっており、改造を加えることで世界最深部へ潜航できます。「かいこうMk-Ⅳ」は「UROV11K」ビークルに比べてサイズが大きく重作業が可能で、本格的な探査ができます。老朽化した一次ケーブルを更新し、数年後には新生「かいこう」で再び世界最深部を目指します。BE

BE Room Information

南海トラフ地震発生帯へ「ちきゅう」が挑む !! 特設サイト開設

国際深海科学掘削計画（IODP）の「南海トラフ地震発生帯掘削計画」が、地球深部探査船「ちきゅう」によって2007年から行われています。そしていよいよ、海底下約5,200mまで掘り進み、南海トラフ巨大地震発生帯の地質試料（コア）の採取を目指す第358次研究航海が2018年10月に始まります。人類初の挑戦について、「ちきゅう」ウェブサイトの特設ページで詳しく紹介しています。また、次号の『Blue Earth』157号では「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の大特集を予定しています。ぜひご覧ください。

http://www.jamstec.go.jp/chikyu/j/nantroseize/

『Blue Earth』定期購読のご案内

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きます）。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

〒237-0061　神奈川県横須賀市夏島町2番地15
海洋研究開発機構 横須賀本部 広報部 広報課
TEL.046-867-9052
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（160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

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。

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）

賛助会（寄付）会員名簿　2018年8月31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
株式会社天野回漕店
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
潮冷熱株式会社
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ンコーポレーション
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
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
川崎重工業株式会社
川崎地質株式会社
株式会社環境総合テクノス
株式会社キュービック・アイ
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
共立管財株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんでん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
鉱研工業株式会社
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
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
株式会社COAST
コスモス商事株式会社
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
株式会社コンポン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクノマリン株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JSP
株式会社JVCケンウッド
シチズン時計株式会社
シナネン株式会社
株式会社シーフロアーコントロール
清水建設株式会社
清水港振興株式会社
シモダフランジ株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
新日鉄住金エンジニアリング株式会社
須賀工業株式会社
鈴与株式会社
セイコーウオッチ株式会社
株式会社清友農材センター
株式会社関ケ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セコム株式会社
セナーアン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
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
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
電気事業連合会
東亜建設工業株式会社
東海交通株式会社
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社東京チタニウム
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクニカ
株式会社東和製作所
トピー工業株式会社
トーホーテック株式会社
新潟原動機株式会社
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
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・クエスト株式会社
日本無線株式会社
日本郵船株式会社
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
東日本タグボート株式会社
日立造船株式会社
深田サルベージ建設株式会社
株式会社フグロジャパン
株式会社フジクラ
富士ソフト株式会社
富士通株式会社
富士電機株式会社
古河機械金属株式会社
古河電気工業株式会社
古野電気株式会社
株式会社ベッツ
松本徽章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社マルトー
三鈴マシナリー株式会社
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・ソフトウエア株式会社
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機特機システム株式会社
株式会社森京介建築事務所
八洲電機株式会社
ヤンマー株式会社
郵船商事株式会社
郵船ナブテック株式会社
株式会社ユー・エス・イー
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

海と地球の情報誌 Blue Earth
第30巻 第4号（通巻156号）2018年8月発行

発行人　村田範之　国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
編集人　田村貴正　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（p28-31）、鈴木志乃（p20-27、裏表紙）
岡本典明／ブックブライト（p1-17）、坂元志歩（p18-19）
デザイン　株式会社デザインコンビビア
（飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三）

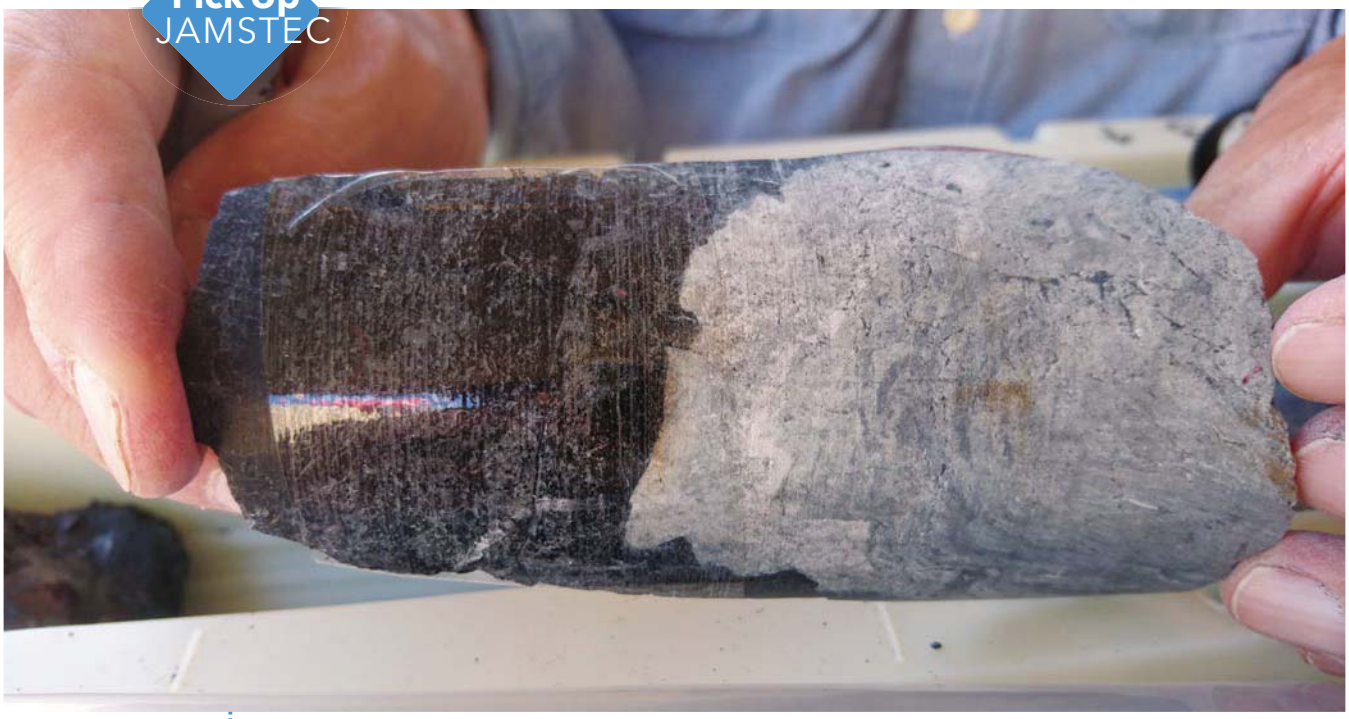
ホームページ **http://www.jamstec.go.jp/**
Eメールアドレス **info@jamstec.go.jp**

＊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。

Blue Earth 156号

Pick Up JAMSTEC

オマーンオフィオライトの地殻－マントル境界付近のコア試料。下部地殻を代表する斑れい岩（白）と最上部マントル試料のダナイト（かんらん岩、黒）が接している。
提供：高澤栄一（JAMSTEC／新潟大学）



オマーンオフィオライトで採取した モホ面を含むコアを「ちきゅう」船上で解析

アラビア半島の東端には、「オマーンオフィオライト」という地層が広がっている。それは、1億年前にテーチス海でつくられ、8000万年前に陸上に乗り上げた海洋プレートの“化石”である。

このオマーンオフィオライトを複数地点で掘削する「オマーン掘削プロジェクト」が、国際陸上科学掘削計画（ICDP）のもとで実施された。第1期掘削（2016年12月～2017年3月）で採取された全長1,500mに達する岩石試料（コア）は日本に運ばれ、2017年7月から2ヵ月間、地球深部探査船「ちきゅう」の船上ラボ設備で、ICDPと国際深海科学掘削計画（IODP）の連携のもと解析が行われた。

第2期掘削（2017年11月～2018年3月）で採取されたコアも日本に運ばれ、「ちきゅう」での解析が2018年7月5日に開始された。今回は、アメリカ、ヨーロッパ、オマーン、日本などから80人以上の研究者が参加。2つのグループに分かれ、静岡県の清水港に停泊中の「ちきゅう」に1ヵ月ずつ乗船し、24時間体制で集中的に解析する。

写真は、オマーンオフィオライトで採取された地殻－マントル境界付近のコアである。下部地殻を代表する斑れい岩（白）と地殻－マントル遷移部の蛇紋岩化したダナイト（かんらん岩、黒）が接しているのが分かる。今回解析するコアは全長1,700mにもなり、当時のモホロビチッチ不連続面（モホ面）を含む。モホ面は、地下深部において地震波の速度が急激に変化する面で、地殻とマントルの境界だと考えられてきた。「ちきゅう」船上ラボの最先端の分析機器を用いてコアを詳細に解析することで、モホ面の岩石学的実態が分かり、モホ面が本当に地殻とマントルの境界なのかが明らかになると期待されている。

2018年8月発行　隔月年6回発行　第30巻　第4号（通巻156号）
編集・発行　国立研究開発法人海洋研究開発機構　横浜研究所　広報部　広報課
〒236-0001　神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

リサイクル適性Ⓐ
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。
VEGETABLE OIL INK
R70 古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

定価 本体286円＋税