

海と地球の情報誌

Blue Earth

116

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811

2012年2月発行

隔月年6回発行

第23巻 第6号

(通巻116号)



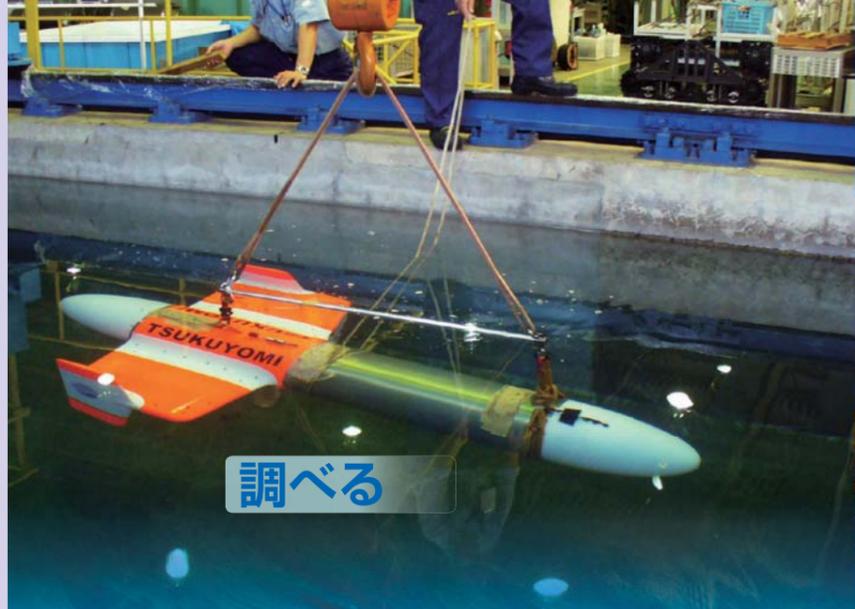
海洋・深海探査技術の最先端

海を拓く

温暖化した地球の海を探る

巨大海溝型地震の理解に向けて

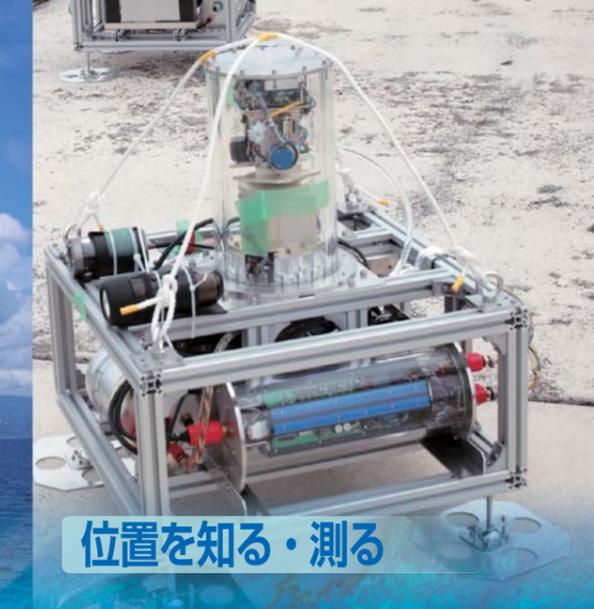
約27億年前
地球は酸素のある惑星に
変わり始めた



調べる



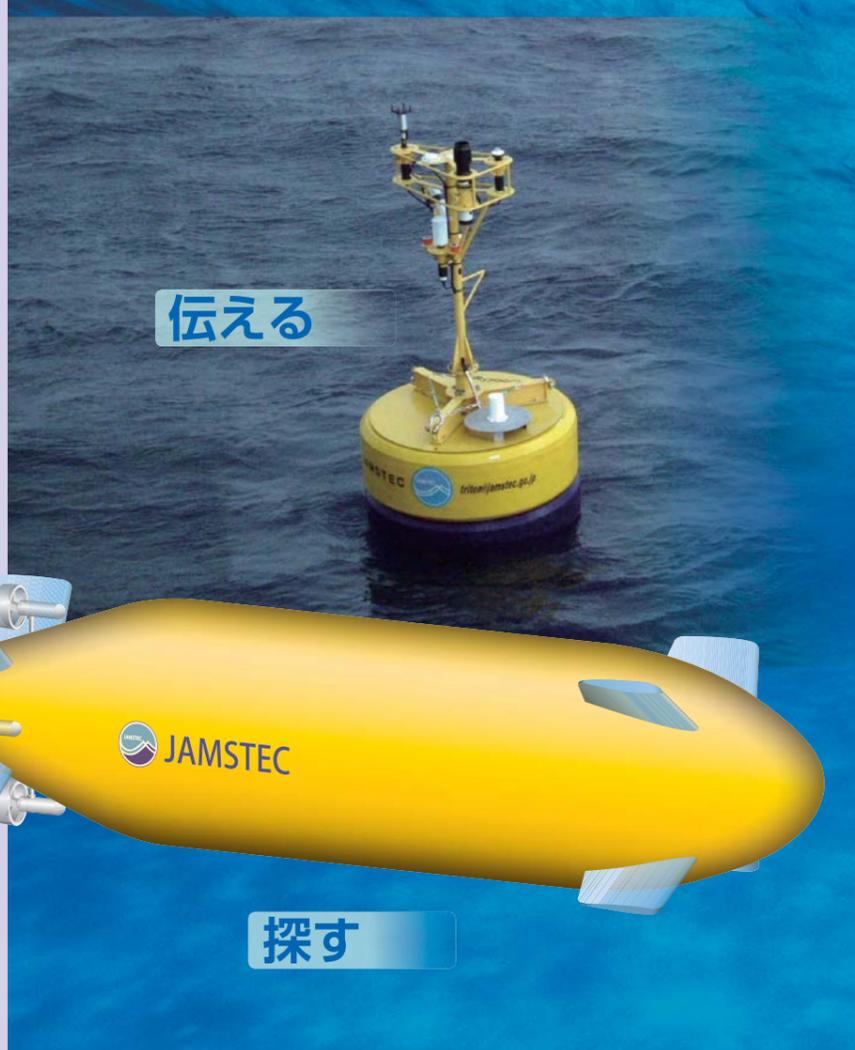
見る



位置を知る・測る

海を拓く

海洋・深海 探査技術の最先端



伝える

探す

いま、海が注目されている。
 社会の関心事である、気候変動、資源、エネルギー、地震・津波……。
 いずれも海が鍵を握っているからだ。海洋研究開発機構（JAMSTEC）へは、
 気候変動の観測、海底資源の探査、海洋エネルギーの利用、地震・津波による
 被害軽減など、社会からさまざまな要請がある。
 それらの要請に応えるべく、JAMSTECの海洋工学センターでは、
 約40年間にわたって培ってきた豊富な実績や経験、人材を活用して、
 最先端の海洋観測・深海探査技術を紹介しよう。

取材協力：

海洋工学センター

磯崎芳男 センター長 (2, 17ページ)

海洋技術開発部

浅川賢一 調査役 (5ページ)

海洋基盤技術グループ

中條秀彦 サブリーダー (15ページ)

宮崎 剛 技術研究副主幹 (16ページ)

探査機技術グループ

吉田 弘 グループリーダー (8, 13ページ)

百留忠洋 サブリーダー (12ページ)

澤 隆雄 技術研究主任 (6ページ)

石橋正二郎 技術研究主任 (8, 12, 15ページ)

長期観測技術グループ

石原靖久 グループリーダー (10ページ)

福田達也 技術副主任 (4ページ)

水中音響技術グループ

越智 寛 グループリーダー (10ページ)

志村拓也 サブリーダー (10ページ)

渡邊佳孝 技術研究主任 (9ページ)

先進計測技術グループ

中野善之 技術研究主任 (12ページ)

運航管理部

探査機運用グループ

渡辺耕二郎 技術副主幹 (14ページ)

小椋徹也 技術主任 (17ページ)

地球内部ダイナミクス領域

広域地下構造探査チーム

三浦誠一 チームリーダー (7ページ)

作業する



つくり出す・つなぐ

1 **特集**
海を拓く
 海洋・深海探査技術の最先端

18 **Aquarium Gallery**
 竹島水族館
 深海からの贈り物

20 **私が海を目指す理由**
温暖化した地球の海を探る
 坂本 天
 IPCC貢献地球環境予測プロジェクト
 近未来気候変動予測研究グループ
 特任研究員

24 **Blue Earth Time Travel**
 約27億年前
地球は酸素のある惑星に変わり始めた
 鈴木勝彦
 地球内部ダイナミクス領域 地球深部と表層との共進化研究チーム
 チームリーダー

28 **Marine Science Seminar**
巨大海溝型地震の理解に向けて
 地震発生帯の応力状態を解き明かす
 林 為人
 高知コア研究所 地震断層研究グループ
 グループリーダー

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 **JAMSTEC History 1971-2011**
 1995年3月24日
 「かいこう」マリアナ海溝
 チャレンジャー海淵到達

表紙 撮影：吉田 弘グループリーダー（海洋工学センター）

目指せ、世界のCOE (センター・オブ・エンジニアリング) !

「海は多くの人を引き付けてきました。私も海に魅せられた1人です」。そう語るのは、JAMSTEC海洋工学センターの磯崎芳男センター長である。「海は広く、深い。人類が調べることができたのは、海ほんの一部にすぎません」

深海は、太陽の光が届かず真っ暗、そして大きな水圧がかかっている。地上で通信に利用されている電波は、水中ですぐに減衰してしまうため、使用できない。ほかにも、海では陸上の常識が通用しないことがたくさんある。海を知るには、特殊で高度な技術が必要なのだ。

JAMSTECでは、1971年に海洋科学技術センターとして設立して以来、深海探査や海洋観測に必要な技術の研究開発を進めてきた。現在では、9隻の船舶

と多くの有人潜水船や無人探査機、さまざまな観測機器を有する。そして、それらを駆使して、大きな科学的成果を挙げている。

「海洋に関する科学と技術が連携して活動していることが、JAMSTECの大きな特徴です。両輪の一方、技術を担うのが、私たち海洋工学センターです」と磯崎センター長はいう。極寒の荒れる南大洋に表面ブイを設置したい、水深6,000mを超える海底に地震計を設置したい、長期間にわたって生物を定点観測したい……。海洋工学センターの技術者のもとには、JAMSTECのほかの部門の研究者からさまざまな難題が寄せられる。「研究者のニーズに応え科学研究に役立つ技術を開発することは、海洋工学センターの使命の1つです」。2009年には、研究系と技術系が

一体となった斬新な世界トップクラスの技術を開発することを目的に、「観測システム・技術開発アワード」を設置。採択されたテーマの1つ、南大洋表面ブイ観測システムは、2012年1月から南大洋での試験が始まっている。

「最近、海の重要性が再認識されてきています」と磯崎センター長。「JAMSTECにも、海底資源の探査、地震・津波による災害の防止・軽減、再生可能エネルギーの開発など、社会からの大きな要請があります。それに応えることが必要です。紀伊半島沖熊野灘に展開している地震・津波観測監視システム (DONET) は、2011年8月から本格運用を開始。海底資源探査用の自律型無人探査機「ゆめいるか」も2012年3月の完成を目指して開発中である。「JAMSTECは社会の役に立っているよね。そういわれたいですね」

そのためにも、「音響通信装置や電力源、慣性航法装置など、海洋に関する基盤技術の高度化が必要」と磯崎センター長は指摘する。「しかも、根幹となる

技術は国産にすべきです。ブラックボックスがあると、いざ研究者や社会から新しい観測システムや探査システム開発の要請があったときに対応できません」。もちろん、いつも新しいシステムをつくるのではなく、現在あるものを改良していくことも大切だ。そのよい例が有人潜水調査船「しんかい6500」である。「建造から22年。少しずつ改造し、いまま改造の最中です。今回の改造は外観も変わる大掛かりなものです。2012年4月には、パワーアップした姿をお披露目できる予定です」。どのように改造するのかは、後ほど紹介しよう。

海洋工学センターでは「目指せ、世界のCOE (センター・オブ・エンジニアリング)」をキャッチフレーズに、さまざまな技術開発を進めている。次のページからは、調べる、見る、位置を知る・測る、伝える、探す、作業する、つくり出す・つなぐ、をキーワードに、海洋・深海探査技術の最先端を紹介していこう。

航海を終え、JAMSTEC横須賀本部の潜水調査船整備場で整備を待つ「しんかい6500」。1990年完成。2011年11月時点の潜航回数は1,276回。現在改造中で、2012年3月に改造を終える予定

気候変動の鍵を握る南大洋。 荒れる極寒の海に、世界初の表面ブイを設置。

「南緯59.9度の南大洋（南極海）に表面ブイを設置します。誰もやったことのない大きな挑戦です」。そう語るのは、福田達也 技術副主任である。

なぜ南大洋なのか。南極大陸の周辺では海洋の方が大気より暖かいため、大気は海洋によって加熱され、熱を渡して冷たくなった海水は沈み込んで深層流が形成される。だが最近の深層流の観測によれば、この大気と海洋の間の熱移動が変化しているらしい。深層流の熱の変化は長い時間をかけて地球の環境に影響を与えるが、大気の変化は極域の大きな気温変化となり、大気循環を通じて速やかに地球全体に伝わる。南大洋において、大気と海洋の熱の移動量を観測することは、気候変動を捉える上でとても重要だ。

そうした観測に活躍するのが、重りとロープで海底に係留された表面ブイである。水中のロープに取り付けられたセンサーで水温、塩分、流速・流向を、ブイのタワー部分のセンサーで風向・風速、気温、降水量などを観測し、データは人工衛星を介して地上に送られる。JAMSTECはこれまでに太平洋やインド洋の赤道域にトライトンブイや小型のm-TRITONブイという表面ブイを設置し、エルニーニョ現象など気候変動の監視や予測に貢献してきた。しかし、南極周辺の南大

洋は低温、強風、降雪、荒波という過酷な環境のため、漂流ブイや水中ブイはあるものの表面ブイはなく、データの空白域となっている。

南大洋表面ブイの開発は、観測システム・技術開発アワードに採択されて2010年にスタート。「トライトンブイやm-TRITONブイの開発で培った技術を使えば簡単だと思いました。着氷も撥水スプレーをかけておけば大丈夫だろうと。南大洋を甘く見ていました」と福田技術副主任は苦笑い。着氷試験では、撥水スプレーはまったく役に立たず、ブイ上の機器やセンサーは氷漬けに。試行錯誤の末、ブイ上のセンサーをドームに入れた。ほかに風や波浪、低温の対策も施して北海道襟裳岬沖で試験を行い、南大洋の過酷な環境に耐えられるめどが立った。

そして2012年1月16日、南大洋表面ブイは、東京海洋大学の「海鷹丸」によって南緯59.9度、東経140度の位置に設置された*。南緯60度付近では世界初となる表面型係留ブイによる1年間連続観測であり、貴重な観測データが得られると期待されている。

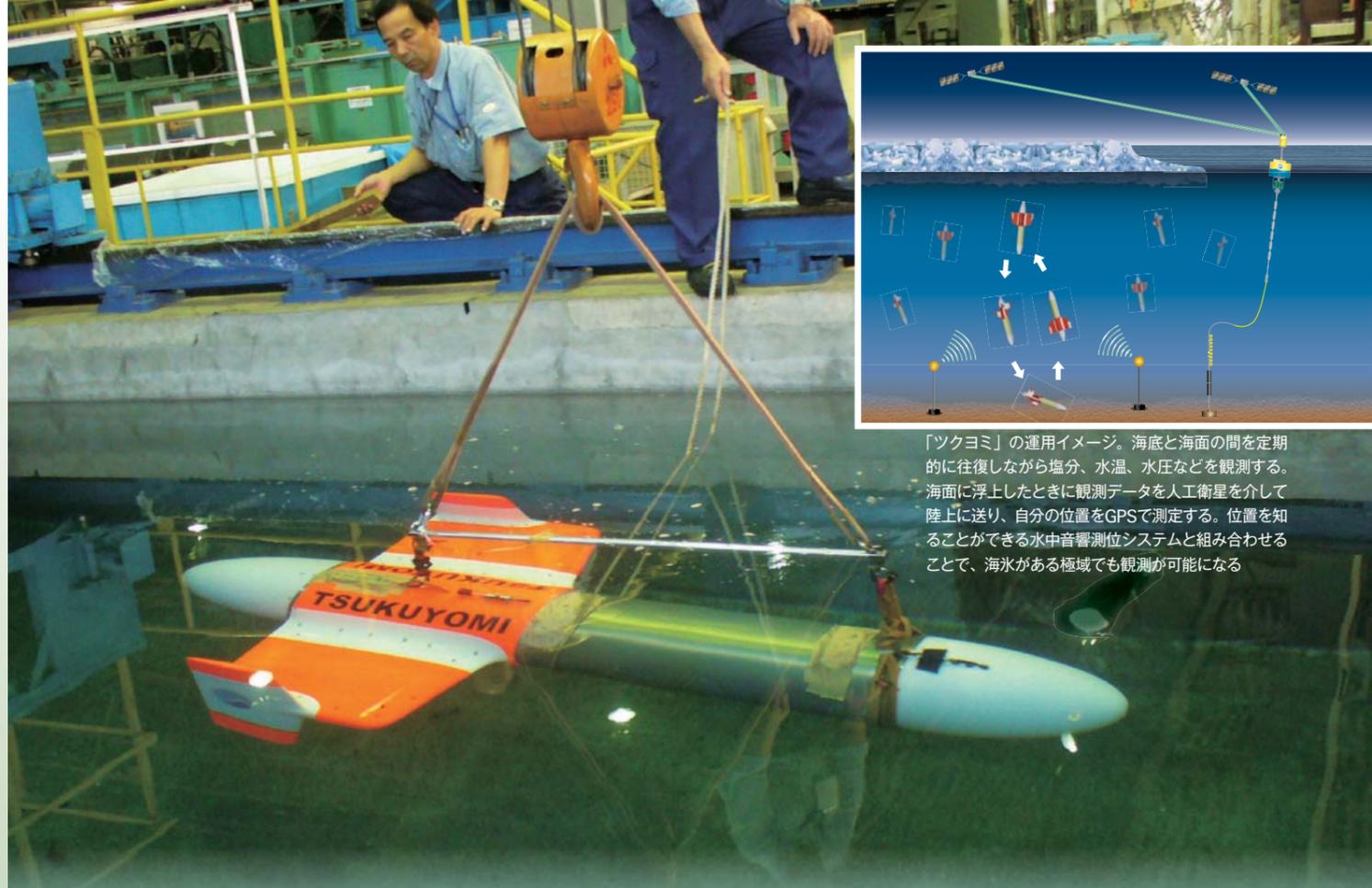
*日本南極地域観測事業の枠組みとの連携において、東京海洋大学と国立極地研究所の協力のもと設置された。

m-TRITONブイのタワー部分を用いた着氷試験の様子。防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所にて実施

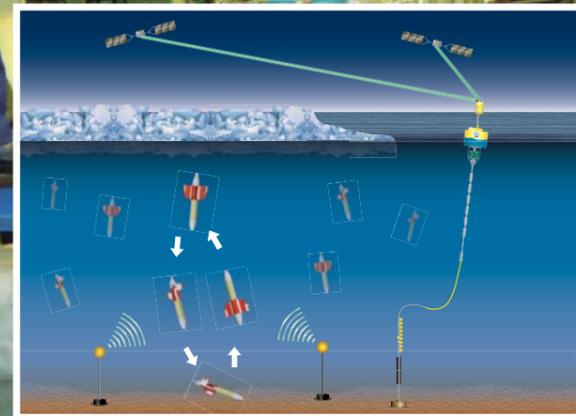


南大洋表面ブイの設置海域。ブイの設置は2012年1月16日に、JAMSTECと包括連携協定を結んでいる東京海洋大学の「海鷹丸」によって行われた

北海道襟裳岬沖に設置した試験機。m-TRITONブイをベースに開発し、中央の支柱に直径60cmのドームを取り付け、内部に温湿度計と大気圧計、外側に風向風速計や日射計を配置。着氷の様子を撮影するために監視カメラも取り付け



「ツクヨミ」試験機の水槽試験の様子。全長約2.5m。「ツクヨミ」とは、日本の神話に出てくる月を治める神



「ツクヨミ」の運用イメージ。海底と海面の間を定期的に往復しながら塩分、水温、水圧などを観測する。海面に浮上したときに観測データを人工衛星を介して陸上へ送り、自分の位置をGPSで測定する。位置を知ることができる水中音響測位システムと組み合わせることで、海水がある極域でも観測が可能になる

水中グライダー「ツクヨミ」で海面から海底まで、定域・長期の観測が可能に。

海水温が0.001℃上昇したと聞いても、取るに足りない変化だと思ふかもしれない。しかしその温度変化は、大気を1℃上昇させる熱量に相当する。海水温のわずかな変動を捉えることは、環境変動を予測する上でも重要である。現在、世界中の海に約3,500機のアルゴフロートが投入されている。アルゴフロートは、10日ごとに水深2,000mから海面までの水温や塩分を計測し、人工衛星経由でデータを地上に送信する。「アルゴフロートによって、私たちは世界中の海の変動を知ることができるようになりました。しかし、アルゴフロートは漂流してしまうため、特定の海域だけを観測することはできません」と浅川賢一 調査役は指摘する。「変化がいち早く現れる鍵となる海域について、海面から海底まで長期間観測できるシステムが欲しい。そんな研究者の声から水中グライダー「ツクヨミ」の開発が始まりました。「ツクヨミ」は観測システム・技術開発アワードの採択テーマである。

水中グライダーとは、プロペラなどの推進器を持たず、翼や重りの移動によって海のなかを自在に進む観測機である。「ツクヨミ」の潜航・浮上は、アルゴフ

ロートと同様、浮力エンジンを用いる。油が入ったゴム袋の体積を変えることで浮力を制御するのだ。「『ツクヨミ』には、アルゴフロートの深度版として開発中の『Deep NINJA』の浮力エンジンを使い、水深3,000mまで潜航が可能です。潜航・浮上中に翼や機体内の重りを移動させることで、その運動方向を制御して、一定の海域にとどまります」と浅川調査役。海底で一定時間スリーブすることで、電池の消耗を抑え、1年以上の長期観測を目指す。現在は、試験機を用いて水槽試験を行い、運動特性などを調べている。2012年3月には、海で試験を行う予定だ。

「水中グライダーは、省電力で長距離航行が可能のため広範囲の海洋観測に活躍していますが、定点観測ができるものはまだありません」と浅川調査役。「JAMSTECの強みは、技術者と研究者の距離が近いこと。だからこそ、世界初に挑戦できるのです」。最終的には、水深6,000mまで潜航できる水中グライダーの開発を目指す。それが実現すれば、世界の海の98%について海面から海底まで観測が可能になる。

“音で見る”合成開口ソナー。海底地形をより広くより詳細に探査する。

海底は真っ暗だ。地形を調べようにも、ライトがなければカメラでは撮影できないし、それでも写るのは光が届く数十mに限界だ。「海底の地形を調べるにはソナーを使います」と澤 隆雄 技術研究主任。ソナーは、音波を海底に向けて送り、海底で跳ね返ってきた音波を受ける装置である。音が返ってくるまでの時間や大きさから、海底の起伏や地質を知ることができる。音波を横方向に出すサイドスキャンソナーを搭載した深海巡航探査機「うらしま」が2006年、泥火山の微細な構造を捉えることに成功。ソナーが海底探査の強力なツールになることを示した。その後も、もっと広い範囲を、もっと詳細に探査したいと、ソナーの開発を進めてきた。

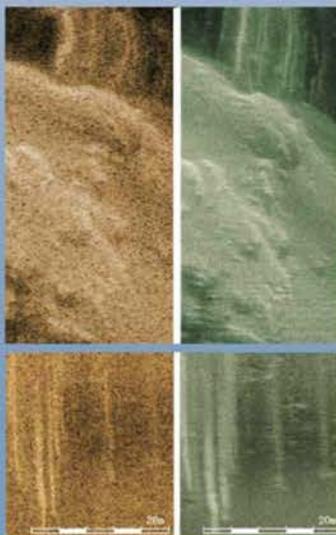
「ソナーを大きくしたり、目標に接近したりすれば解像度がよくなりますが、搭載する探査機も大きくしなければいけません。地形の分かっていない海底への接近は危険です。そこで、私たちが開発しているのが、合成開口ソナーです。ソナーを直線的に移動させながら同じ目標に違う位置から何度も音波を照射し、返ってきた情報をコンピュータ上で合成するというものだ。小さなソナーで、大きなソナーと同じ解像度を得ることができる。2009年には「うらしま」に搭載して

試験を行い、通常のソナーより鮮明な画像が得られることを世界で初めて確認。その後も性能向上のため、中性浮力曳航体に合成開口ソナーを搭載した観測システム「響電」で試験を重ねてきた。

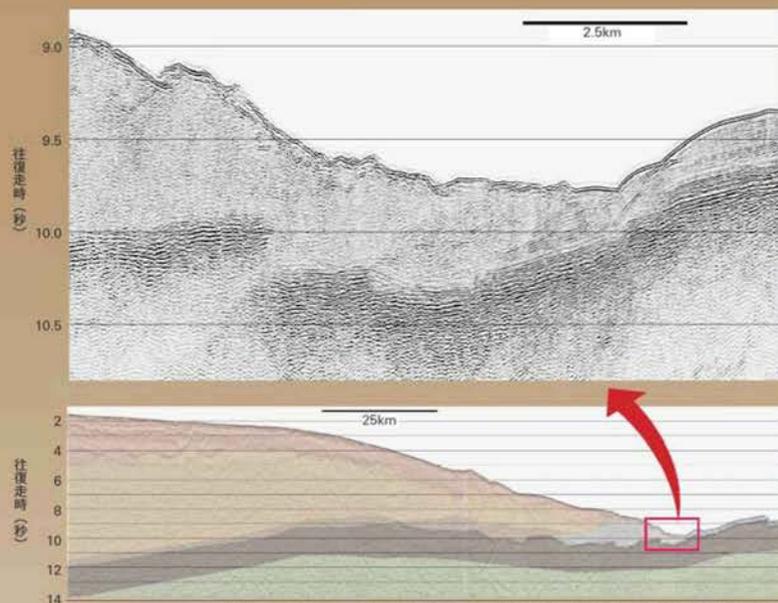
そして2011年2月、鹿児島湾で行った試験では、熱水が湧き上がる様子を鮮明に捉えることに成功。「温度差と海水に含まれる粒子の違いが見えています。実は、こんなにきれいに見えるとは思っていませんでした」と澤技術研究主任。通常のソナーと比べて約5倍も鮮明だ。

合成開口ソナーは、開発中の海底資源探査用の自律型無人探査機「ゆめいるか」に搭載する予定だ。広範囲を詳細に探査できる合成開口ソナーによって、広い海底から効率的に資源を見つけることが期待されている。「合成開口ソナーを海底を震源とする地震による地殻変動の調査にも役立てたい」と澤技術研究主任はいう。同じ場所を時間を置いて観測した2枚の画像をインターフェロメトリという手法で干渉させると、変化を知ることができるのだ。もっと広い範囲を、もっと詳細に。合成開口ソナーの進化は続く。

鹿児島湾の若草カルデラで、海底から噴き出す熱水を捉えた。右が合成開口ソナーの画像。左の普通のソナーの画像と比べ、解像度が約5倍上がっている。熱水までの距離は、上が130m前後、下が250m前後。熱水噴出域には鉱床があることも多いので、熱水は海底資源を探査する際の目印にもなる。



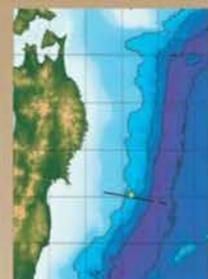
中性浮力曳航体に合成開口ソナーを搭載した観測システム「響電」、船とケーブルでつなぎ、時速5kmほどの速度で曳航しながら観測する。画像はリアルタイムで船上に送られ、見ることが可能。全長2.3m、全幅1.2m、総重量約100kg



可搬式マルチチャネル反射法探査システムによる東北地方太平洋沖地震の震源域の地下構造探査画像（上）。下の「かいいい」による画像と比べると、浅い場所についてより詳細なデータが得られている（画像作成：地球内部ダイナミクス領域 中村 尊之 技術研究主任）



音波を発生させるエアガン投入の様子。調査海域は水深7,000mと深い。北極海用に開発していたエアガンでは出力が不足。急ぎよ出力の大きなエアガンを用意した



「かいいい」による地下構造探査の測線。星印は東北地方太平洋沖地震の震源

どの船舶でも地下構造探査が可能に。可搬式マルチチャネル反射法探査システムを開発。

2011年10月下旬、海洋調査船「かいはる」は、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の震源域にいた。マルチチャネル反射法探査システムによって海底下の地下構造を探索するためである。エアガンによって海中で音波を発生させ、海底下の地層境界で反射した音波を、ストリーマケーブルに内蔵したセンサーで捉えることで、地下構造が分かる。地震発生直後の3月には、深海調査研究船「かいいい」がマルチチャネル反射法探査システムによって震源域の地下構造探査を行っている。

「今後、地球深部探査船「ちきゅう」による震源域の掘削調査が計画されています。掘削地点の決定には、詳細な地下構造データが必要」と、三浦誠一チームリーダー（TL）は語る。「かいいい」に搭載されているシステムは深部用です。今回は、私たちが浅部用に開発した可搬式マルチチャネル反射法探査システムを、急ぎよ「かいはる」に持ち込んで探査しました」

「かいいい」のシステムと可搬式システムの違いは、エアガンとストリーマケーブルの仕様だ。「かいいい」のシステムでは、総量128リットルの大規模チューンドエアガンレイと長さ6kmのストリーマケーブルによ

り、地下構造が深い場所まで分かります。一方、可搬式システムは、数リットルのコンパクトなエアガンクラスターとセンサー密度が倍の1.5km長ストリーマケーブルから成ります。浅い場所だけですが、より詳細な構造が分かります。現在解析中ですが、期待通りの詳細なデータが取れています。試験以外での使用は初めてだったので、成功してほっとしました。実は、このシステムは北極海の海底堆積物の探査という、別の目的のために開発していたのです」と三浦TL。

知りたいのは海底の堆積物なので、必ずしも深い場所まで探査できなくてよい。しかし、掘削で採取した試料と対応できるほど詳細なデータが欲しい。そして、北極海を航行できる海洋地球研究船「みらい」に搭載できなかったらならない。その条件を満たすように開発されたのが、可搬式マルチチャネル反射法探査システムである。「可搬式の名前の通り、どの船舶にも持ち込めます。さまざまな調査に使ってもらえたら、開発者としてうれしい」と三浦TL。「みらい」による北極海航路は2013年度の予定。その成果も楽しみです。

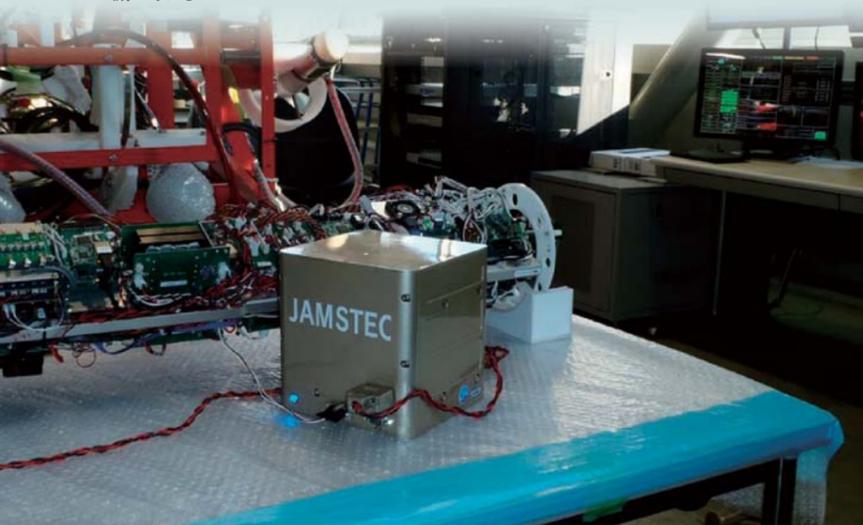
世界最高水準の 国産、小型慣性航法装置が完成。

小型慣性航法装置と探査機制御システムとの結合試験の様子。小型慣性航法装置の大きさは168.5mm×168.5mm×159.0mm以下、質量は6.4kg以下。探査機が1時間航走した場合、2008年の段階では目標地点との誤差が約1.3kmあった。それが約0.9kmに減っている

机に載っている1辺15cmほどの金色の立方体の箱。「これがないと自律型の無人探査機として成り立ちません。人でいえば方向感覚に相当する機能を持つ、慣性航法装置です」と石橋正二郎 技術研究主任はいう。慣性航法装置は、どれだけ移動したかを知るための加速度計と、姿勢を知るためのジャイロ스코ープで構成されている。それらの値から、出発点からどの方向にどれだけ移動したかを算出していくことで、現在位置が分かる。

「このサイズの慣性航法装置としては世界最高水準の性能です。そして、すべて国産の技術力でつくられていることも大きな特徴です」。小型高性能化を達成できたポイントは？「ジャイロ스코ープに光ファイバーではなくレーザーを使ったこと」と石橋技術研究主任。レーザーを使うと、より精度よく姿勢の変化を測ることができる。通常はレーザーを使うと装置自体が大きくなってしまっただが、共同開発をした日本航空電子工業(株)の技術力によって小型モジュール化に成功した。

この慣性航法装置は、現在開発中である自律型の海洋ロボットUnRE#1やUnRE#2、自律型無人探査機「ゆめいるか」、遠隔操作無人探査機NEPTUNEにそれぞれ搭載されることが決まっている。「特注でつくってJAMSTECの探査機に載せて終わり。それでは意味がない」と石橋技術研究主任は指摘する。「新しい技術が製品となって世に出てこそ、改良も進んで性能も向上します。これだけ小さいと、いままで搭載が難しかった小型探査機にも使えます。新技術に対する需要が高まり新しいマーケットができて、それによって日本の探査機技術がさらに向上し、企業も元気になることを期待しています」



音を使った「音響測位」で、 海のなかで自分の位置を正確に知る。

「データや試料を取った位置をcmオーダーで正確に知りたい。そんな厳しいリクエストをよく耳にします」と渡邊佳孝 技術研究主任。

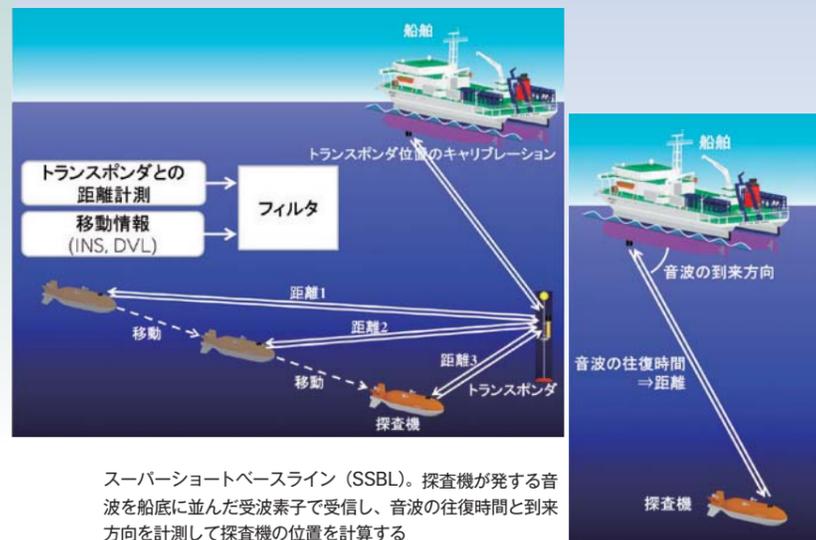
陸上では、人工衛星が発する電波を利用したGPS（全球測位システム）を使って自分の位置が数mの誤差で分かる。「海のなかでは電波がすぐに減衰してしまうので、GPSは使えません。代わりに、音波による音響測位を使います」。しかし、探査機が高精度の慣性航法装

置を搭載していれば自分の位置が分かるので、音響測位は必要ないのではないか。そんな疑問に対して渡邊技術研究主任は、「慣性航法装置で分かるのは出発点からの相対的な位置です。短時間の移動状況は高精度で分かりますが、長時間航行すると誤差が蓄積され、位置情報が少しずつずれていきます。探査機の正確な位置を知るには、その誤差を絶対位置を計測する音響測位によって補正する必要があります」と解説する。

海底に設置した3台以上のトランスポンダが発する音波を探査機が受信することで自分の位置を知る方法を、ロングベースライン（LBL）という。誤差1mという高精度で知ることができるが、トランスポンダの設置や位置合わせに手間と時間がかかってしまう。そこで、トランスポンダの設置が不要で、探査機が発する音波だけから船舶上で探査機の位置を計測するスーパーショートベースライン（SSBL）が使われることが多い。船舶と探査機との距離が離れるほど精度は落ちるが、簡便だ。

「目指しているのは、より簡便で高精度な測位」と渡邊技術研究主任。「トランスポンダを1台だけ使う新しい手法、バーチャルロングベースライン（VLBL）を開発中です。深海では、以前と同じ場所に行くことは簡単ではありません。数mあるいは数十cm以内の誤差で位置を求める技術の確立は、資源探査のためにも必要です」

バーチャルロングベースライン（VLBL）。トランスポンダを1台だけ使い、慣性航法装置（INS）やドップラー速度計（DVL）で得られる移動情報と組み合わせて位置を求める



スーパーショートベースライン（SSBL）。探査機が発する音波を船底に並んだ受波素子で受信し、音波の往復時間と到来方向を計測して探査機の位置を計算する

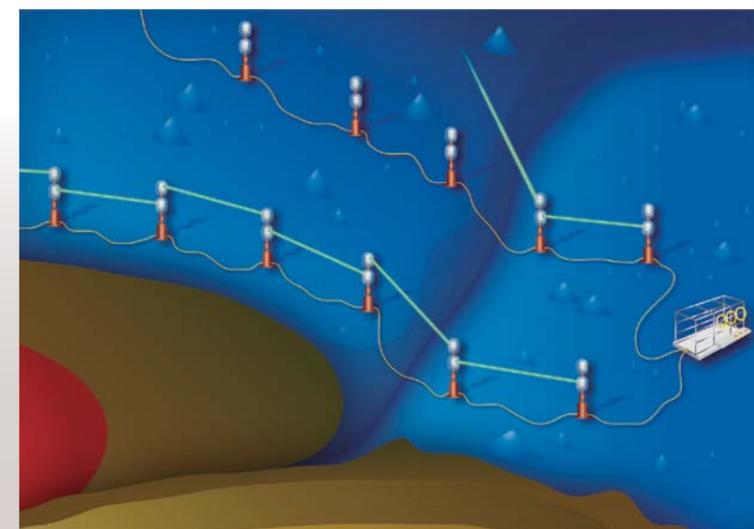
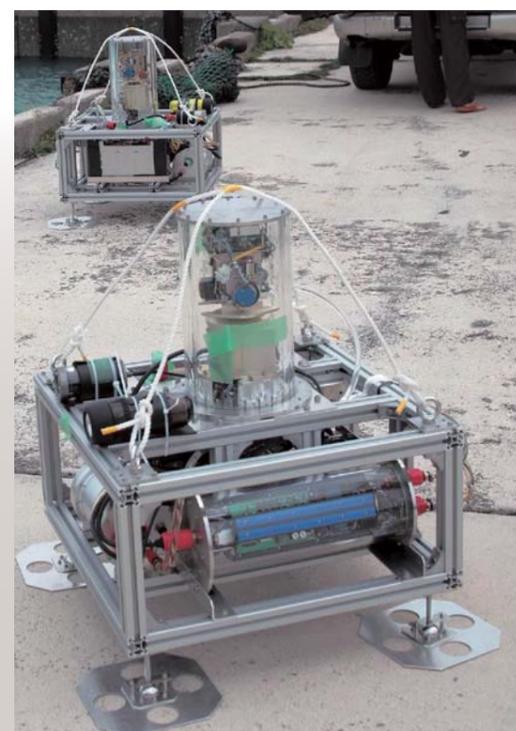
レーザー光を使って精度よく距離を測り、 海底の変位の監視へつなげる。

「距離をより精密に測るには、本当はレーザー光がよいのです」と吉田 弘グループリーダー（GL）はいう。レーザー測位では、送信機からレーザー光を出して受信機が受け取るまでの時間や位相の変化から距離を求める。電波や音波は広がりながら進むが、レーザー光は直進性がよいこと、また音波より水温や塩分などによる影響が少ないことから、精度の高い距離計測が可能となり、理論的な誤差は1mm程度である。「レーザー光は水中のプランクトンや浮遊物によって減衰してしまい距離測定には使えないと言われていました。しかし調べてみると、確かに表層では減衰が大きいけれども、水深100m以深では減衰が少ないことが分かりました。深海でならば距離計測に使えるのではないかと考えたのです」

レーザー光は太いほどプランクトンなどによる減衰

が少ないことも分かり、レーザー式海中距離システムを製作。2011年4月、沖縄の小浜島で試験を実施した。その結果、10mの距離測定に成功。「設計上の誤差は1cm以下でしたが、3~10cmの誤差が出ました。その原因を明らかにするなど課題がありますが、実用化へ向けて一歩踏み出すことができました」

吉田GLは、この技術を地殻変動などの研究にもつなげていきたいと考えている。「レーザー光の送受信機能を備えた装置を海底に100mほどの間隔でたくさん並べて定期的に距離を計測すれば、海底の変動を精度よく捉えることができるはずです」。海底の変位を精度よく観測できる装置は、現在ほとんどない。巨大地震につながる変動を捉えることができるかもしれないと期待され、地球内部ダイナミクス領域の研究者と共に、実用化を目指している。



レーザー海底変位計測システムのイメージ。レーザーの送受信機能を備えた複数の装置を設置し、定期的に距離を計測して海底の変位を検出する

レーザー式海中距離システムの送信機と受信機。海底に設置すると、送信機と受信機の光軸合わせを自動的に行う。送信機から受信機にレーザーを出し、レーザーの位相の変化から距離を計測する

音波による長距離通信を可能に。その鍵は、信号を時間反転する「位相共役波」。

「陸上であれば電波を使って大量の情報を速く、遠くまで送ることができます。しかし、海中ではすぐに減衰してしまう電波は使えず、代わりに音波を使います。すると、通信が急に難しくなってしまうのです」。そう語るのは、志村拓也サブリーダー（SL）である。

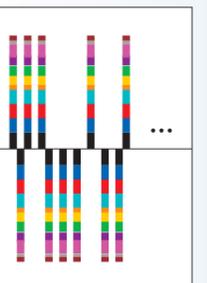
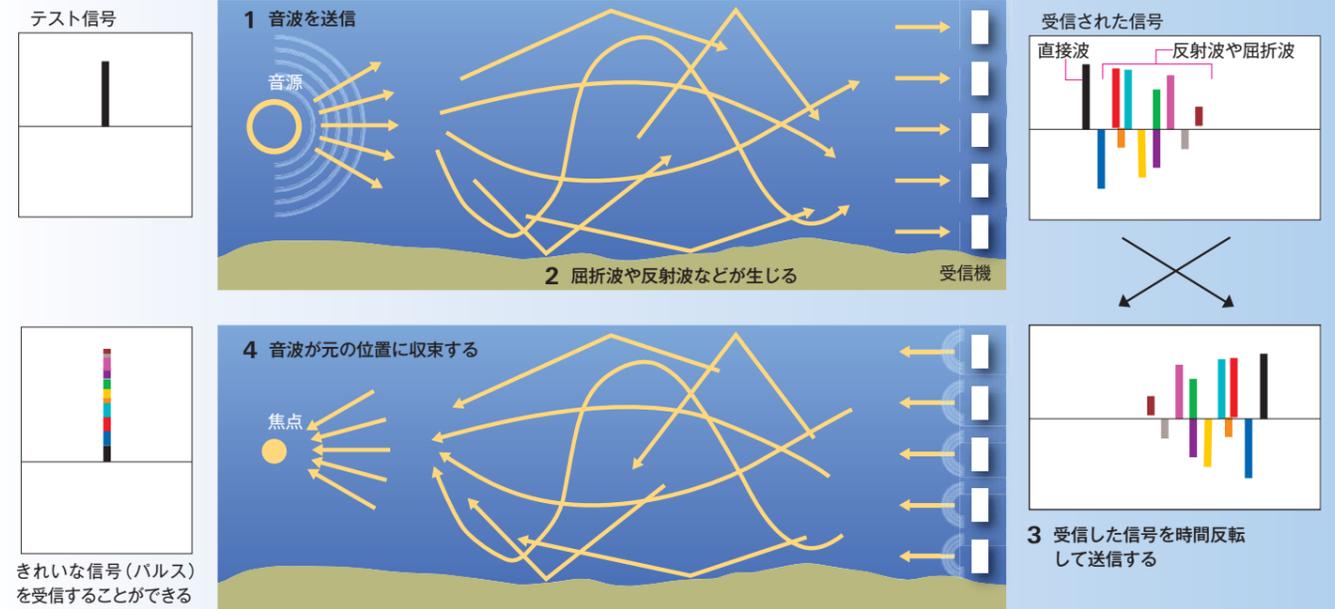
音波の伝わる速度は、電波の20万分の1と遅い。また、周波数の高い音波を使えば、多くの情報を送ることができるが、遠くまで届かない。周波数の低い音波を使うと、遠くまで届くが、少しの情報しか送ることができない。「音響通信では、短距離でよいのでいかにたくさんの情報を伝えるかと、情報は少なくてもよいのでいかに遠くまで伝えるか、この2つの方向で研究開発が進められています。私が取り組んでいるのは、後者です」

海中で信号を送ると、受信機には、直接伝わってきた波のほかに、途中で反射や屈折をした波がたくさん届く。しかも、反射波や屈折波が遅れて届くこともあるため、後に続く信号に重なってしまい、識別ができなくなってしまう。「長距離通信の問題を解決する方法として、位相共役波に注目しています」と志村SL。位相共役波とは、ビデオを逆再生するよ

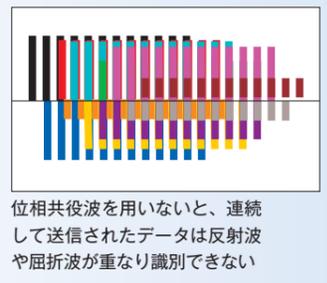
うに、時間を逆転させた波のこと。それを、どのように利用するのだろうか。

まず、探査機からテスト用の信号を出す。受信機には、反射波や屈折波が混ざった信号が届く。「受信機に届いた信号を時間逆転させた位相共役波をつくって探査機に向けて送ると、反射したり屈折したりしながら探査機に収束します。この性質を利用するのです」と志村SL。実際には、受信したテスト用信号を時間反転して位相共役信号を準備する。そして、探査機に送りたいデータをこの信号に載せて連続して送信する。すると、探査機に収束し、きれいな信号を取り出すことができる。「変化を見越した信号を送ることで、反射波や屈折波を利用するのです」

2010年、伊豆小笠原の水深4,000mの海域で、通信試験としては世界で初めて水平方向1,000kmの長距離通信に成功した。自律型無人探査機の航行を制御するには長距離の音響通信が不可欠であることから、位相共役波を用いた音響通信の実用化が待ち望まれている。今後、実験を重ねて、通信距離を伸ばし、また送ることができる情報量を増やしていく計画だ。



位相共役波を連続して送れば、データ(パルス)を連続して受信できる



位相共役波を利用した長距離音響通信の海域試験の様子。左は送信機、右は受信機アレイ

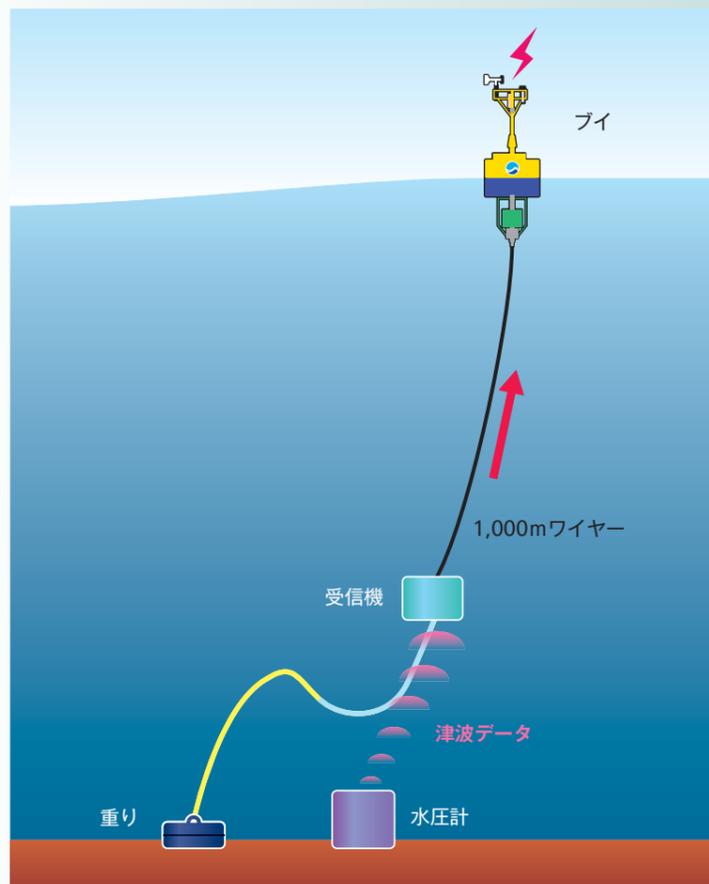
培ってきたブイと音響通信の技術を合わせ、ブイ形式津波警報システムを実現する。

れの速いインド洋に設置した実績がある。また、m-TRITONを改良したK-TRITONブイは、日本沿岸を離れて東に向かう黒潮の主流域に設置している。「いずれも、スラック係留といってケーブルをたるませることで、速い流れに伴う係留索の張力やブイの沈み込みをかわしました。m-TRITONブイをベースにさらに改良すれば、黒潮の流れにも耐えられるでしょう」と石原GL。

一方、音響通信が専門の越智 寛GLは、「スラック係留でやる必要があると聞き、頭を抱えました。ケーブルがたるんでいるためにブイが広く動き回るので、海底の水圧計とブイとの距離が大きくなり、データを送るのが難しいのです」という。相手は津波。確実な、実績のある通信方法を取りたい。そこでまず、音響通信受信機を、ブイ本体ではなくブイ直下に接続する長さ1,000mのワイヤの端に取り付けることに

した。ブイ本体よりは揺れが抑えられるし、通信距離も短くて済む。それでも左右45度の広い指向性を持った通信をしなければいけないので、簡単ではない。「水圧計の精度は1cmで、通常は15分ごと、地震が発生したり異常な変動を感知したら津波モードに切り替えて15秒ごとに計測します。それを、いかに正確に素早く送るかが課題です。設置後2年間観測できるようにする予定なので、消費電力を抑えることも重要です。計測数値をパルスの間隔に変換して送信する方法ならばいけそうです」と越智GL。

「津波はいつ、どこで発生するか分かりません。できるだけ早く実現する必要がある」と、石原GLと越智GLは声をそろえる。ブイ形式の津波警報システムの実現に向け、試験や検討を重ねながら、早ければ2013年度中の試験係留を目指す。



ブイを使って津波警報システムをつくり、太平洋沿岸に設置できないか。JAMSTECでは、東北地方太平洋沖地震の発生直後に検討を始めた。

ブイ形式の津波警報システムとは、海底に設置した水圧計で海面の変動を捉え、そのデータを音響通信で海面に浮かぶブイの下部に取り付けた受信機へ送り、人工衛星を介して地上に伝えるというものだ。アメリカやインドネシアでも実用化されている。しかし、「日本独自の難しさがある」と石原靖久 グループリーダー（GL）はいう。海底との安定した音響通信のために、海外のものは、緊張係留といってブイと海底を固定しているケーブルをピンと張っている。しかし、日本沿岸には流速の速い黒潮が流れているため、この緊張係留では潮に引っ張られてブイが沈み込んでしまうのだ。

JAMSTECでは、m-TRITONブイを開発し、流

ブイ形式津波警報システム。黒潮の強い流れをかわすため、ワイヤをたるませるスラック方式で係留する。将来的には、たとえば房総沖や茨城県沖などの太平洋沿岸9地点に、5台ずつ展開することを想定している。5台ずつ設置することで、津波を確実に捉え、また伝搬方向も分かる

低速航行できるUnRE#1、作業をするUnRE#2。 2機の海洋ロボットを開発。



■UnRE#1
全長：4m
最大潜航深度：3,000m
速力：0.7~3ノット
探査高度：30m程度
CTD計、pH-CO₂ハイブリッドセンサー、
サイドスキャンソナー、マルチビーム測深器などを搭載

JAMSTECでは、青森県下北半島東方沖の海底下の未熟な石炭層（褐炭層）に、大気中の増加した二酸化炭素（CO₂）を封じ込め、それをもとに微生物が作り出したメタンを利用しようという「持続的な炭素循環システム（ジオ・バイオリクター）構想」を進めている。「CO₂を地下に貯留する場合、事前に環境への影響を調査したり、貯留後も漏洩がないか監視したりする必要があります。そのために、UnRE#1とUnRE#2という開発コードネームの2機の海洋ロボットを開発しています」。そう語るのは、百留洋サブリーダー（SL）である。いずれも、動力源を内蔵し、あらかじめコンピュータにプログラムされたシナリオに従って自律的に航行する。

「UnRE#1は長さ4mで、海底から数十m離れて航行します。大きな特徴は、巡航型にもかかわらず0.7ノット（1ノットは時速1,852m）と低速航行もできることです。マグロと同じで、巡航型は低速で安定して航行することは苦手。そこで、機体の中央にある2機のスラストという推進器で、機体の動きを制御します。私たちにとって中央にスラストを持つ自律型の探査機の開発は初めてなので、苦労しました」と百留SLは解説する。

なぜ、低速で航行する必要があるのだろうか。「UnRE#1とUnRE#2には、pH-CO₂ハイブリッドセンサーなど化学センサーを搭載します。じっくり調査しながら航行するためです」

UnRE#1とUnRE#2に搭載するpH-CO₂ハイブリッドセンサーを開発しているのが、中野善之 技術研究主任である。「海水のCO₂濃度とpHを同時に、しかも水深3,000mでも計測できるものは、世界初。さらに、UnRE#1とセンサーは協調制御されます」。pHは数秒で計測できるが、ガス透過膜を使うCO₂の計測には速くても2~3分かかる。CO₂の値に異常があっても、それが分かったときにUnRE#1はずいぶん移



pH-CO₂ハイブリッドセンサー。CO₂濃度は、ガス透過膜を介して海水とpH指示薬をCO₂平衡状態にさせ、pH指示薬の色変化を光学的に測定することで求める。pHは電極法で測定。CO₂センサーとpHセンサーの耐圧容器を一体化することで、小型化に成功。センサー部の耐圧容器は、長さ60cm、直径8.4cm。UnRE#1とUnRE#2に搭載予定

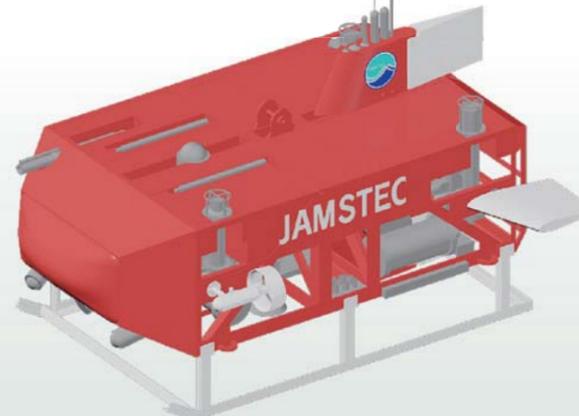
動しているの、異常な場所を特定することが難しいという問題がある。そこで、pHが大きく変化したとUnRE#1が判断すると、センサーに対して「海水を保持せよ」という指令を出す。これによって正確なCO₂濃度を計測することができ、異常な場所を特定しやすくなる。「海洋ロボットと化学センサーの協調制御も世界初。機体を開発している人とセンサーを開発している人が近くにいるからこそできること」と中野技術研究主任はいう。

もう一つの海洋ロボットUnRE#2は、長さ2.3mと小型だ。「UnRE#1によって特徴的な場所が見つかったら、UnRE#2で詳しく調べます。UnRE#2も化学センサーを搭載しているので、より近距離で海底環境を調べるとともに、海底に2mまで接近して低速で航行しながら写真を撮影し海底のモザイク写真を作成します。さらに着底して簡単な作業も行うことができます」と石橋正二郎 技術研究主任は解説する。

新たに開発した国産の電動式マニピュレータも搭載している。「マニピュレータ作業は船上で映像を見ながら人が遠隔操作して行うもの」という、これまでの常識を変えたい」と石橋技術研究主任。UnRE#2には、ほかにも最先端のシステムが搭載される。その1つがステレオ視カメラだ。2台のカメラで撮影することで、立体的な情報が得られる。「たとえば、海底地形の高さや容積、傾斜角なども分かる、ステレオ視によるモザイク写真を作成します。すでに確立された技術で探査機をつくり確実に運用することも重要ですが、先進的な技術を取り入れることも必要。それなしに、技術は進展しません」

UnRE#1は2012年2月、UnRE#2は2012年3月に初の海域試験を実施。「UnRE#1とUnRE#2は姉妹のようなもの」と百留SL。「異なった得意技を持つ2機を組み合わせることで、海底探査の幅が広がります」

■UnRE#2
全長：2.3m
最大潜航深度：3,000m
速力：0.5~1ノット
探査高度：2m程度
pH-CO₂ハイブリッドセンサー、
マニピュレータ、ステレオ視カメラ
などを搭載



ステレオ視カメラ（試作機）。2台のカメラで異なる位置から撮影することで、3次元位置や2点間の長さ、面積といった幾何学的な計測が可能になる。UnRE#2に搭載予定

■「ゆめいるか」
全長：5m
最大潜航深度：3,000m
速力：2~3ノット
探査高度：30m程度
CTD計、蛍光・濁度計、pHセンサー、
インターフェロメトリソナー、
合成開口ソナーなどを搭載

広い海を走り回り、海底資源を探す 自律型無人探査機「ゆめいるか」を開発

開口一番、「前代未聞ですよ」と吉田 弘グループリーダー（GL）。「いま、UnRE#1、UnRE#2に加えて、自律型無人探査機（AUV）も開発しているのです」。海洋ロボットとAUVの3機同時製作は、JAMSTEC 40年の歴史のなかでも初めてのこと。開発中のAUVは公募によって「ゆめいるか」と命名された。「ゆめいるか」は資源探査用に特化したAUVです。2~3ノットの高速で走り回り、海底資源を探します。なにしろ日本の排他的経済水域（EEZ）は世界第6位と広大ですから」と吉田GL。

「ゆめいるか」は長さ5mで、船尾には4機のスラストが付いている。このスラストで力強く進む。航続時間も16時間以上と長い。また、船首と船尾に翼が4枚ずつ付いている。「この翼を動かすことで姿勢を自由

に変え、高い運動性能を実現します。起伏に富んだ場所でも地形に沿って航行できるし、30度の傾斜までは速度を落とさずに安全に越えることができます」

海底資源を探すには「目」も重要だ。インターフェロメトリソナーや合成開口ソナーを搭載し、広い範囲の地形を鮮明に捉えることを目指す。

機体は2012年3月に完成し、さまざまな試験を行った後、2013年4月から運用に入る予定だ。「ゆめいるか」の開発に着手したのは2010年秋だから、開発から運用までわずか2年半。しかも海洋ロボットの2機もほぼ同時に開発・建造を行わなければならない。可能なのか？「可能でしょう」と吉田GLは即答する。「私たちに、さまざまな探査機の開発で蓄積してきたノウハウがありますから」

4,500m級へと進化したハイパードルフィンが、 繊細な重作業で地震・津波の防災・減災に貢献。

「地震・津波観測監視システム（DONET）の設置には、ハイパードルフィンが活躍しました」。そう語るのは渡辺耕二郎 技術副主幹である。DONETでは、海底作業として、基幹ケーブルから枝分かれした5つのノードから20ある各観測点までそれぞれ長さ10kmのケーブルを敷設し、観測装置を設置する必要がある。そうした重作業ができる遠隔操作無人探査機（ROV）として、ハイパードルフィンに白羽の矢が立った。「ハイパードルフィンは油圧式の大きな推進力を出せるスラスタ、力の強いマニピュレータを備えていて、繊細な重作業が可能だ。しかし、ケーブル敷設場所の最大水深は4,300m。ハイパードルフィンは3,000mまでしか潜航できません。地震や津波の防災・減災は切迫した命題ですから、最も早く対応できる方法として、2機あるハイパードルフィン的一方を4,500m級に改造することにしました」

すべての機器について水深4,500mの水圧に耐えられるかどうかを検証。浮力材、電子機器類が入っている主耐圧容器、ハイビジョンカメラなどを交換し、

DONET敷設用のケーブルを巻いたドラムを取り付けるなどの改造を行った。「4,500m級の改造はスムーズに進みました。私たちには、1万mまで潜航できる無人探査機『かいこう』などをつくってきた技術の蓄積がありますから」

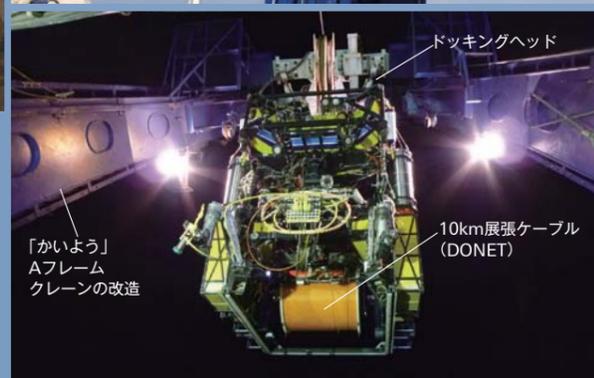
しかし、もう1つ問題があった。観測装置の設置時は、支援母船が定点に止まっている必要がある。ところが、紀伊半島沖は黒潮の流れが速いため、ハイパードルフィンの支援母船「なつしま」は定点に止まることが難しい。そこで、自動船位保持装置（DPS）を装備している「かいよう」を母船とすることにして、一部「かいよう」の改造も行った。

「ケーブルの展張は難しく、最初は苦労しました。でも20観測点の半分を過ぎたころには熟練し、ノウハウも蓄積されてきました。DONETの第2期では、一部の作業を自動化することも考えています」と渡辺技術副主幹。ハイパードルフィンは進化し続ける。

4,500m級ハイパードルフィンの改造点（一部、支援母船）



- 主浮力材を交換
- 主耐圧容器を交換
- ケーブル展張装置 (DONET)
- ハイビジョンカメラを交換
- 浮量調節装置 (DONET)



- ドッキングヘッド
- 10km展張ケーブル (DONET)
- 「かいよう」Aフレームクレーンの改造
- ・ストレージウインチのドラム改修とROVケーブルの長尺化（ケーブル長5,300m）
- ・スリップリングの交換（光通信ラインの増強）
- ・高圧変圧器の換装（ケーブル長尺化対策）
- ・ケーブル浮力材の交換

地震・津波観測監視システム（DONET）。東南海地震の震源域である紀伊半島沖熊野灘に設置。2011年8月から本格運用を開始した。20観測点に地震計や津波を感知する水圧計などを設置し、三重県尾鷲市の陸上局とケーブルでつながっている。海底の地震動や水圧変動のデータがリアルタイムで送られてくるため、防災や減災に役立つと期待されている。ハイパードルフィンは、ノードから観測点まで長さ10kmのケーブルを20本敷設した



大深度高機能ROV「NEPTUNE」のイメージイラスト。母船とつながったランチャーにケーブルをつなぐ方式と、母船に直接つなぐ方式の2種類で運用できる。試料を採取した位置をcmオーダーで正確に特定できるように、ドップラー速度計などとJAMSTECで開発された世界最高性能の慣性航法装置を組み合わせた測位システムを搭載する



広視野角映像システム。魚眼レンズ（右上）で撮影した映像（左）について、ゆがみを補正すると180度の画角の映像を得ることができる（上）

海底資源の試料採取も。重作業が可能な 遠隔操作無人探査機を開発。

「私たちJAMSTECが開発してきた技術を惜しみなく投入して、世界最高性能となる大深度高機能の遠隔操作無人探査機（ROV）をつくり上げようとしています」と中條秀彦サブリーダー（SL）はいう。開発コードネームはNEPTUNE。最大潜航深度は7,000mだ。

ROVは、母船とケーブルでつながっていて、母船から遠隔操作をする。電力は母船から供給され、ROVのカメラが撮影した画像をリアルタイムで見ながら操作できることから、海底での複雑な作業にも利用される。「NEPTUNEも第1の目的は資源探査のための試料採取です」と中條SL。

NEPTUNEには、JAMSTECでこれまでに開発されてきた高強度軽量ケーブルや高強度浮力材など、さまざまな新しい技術を採用する。なかでも注目は、広視野角映像システムだ。「ROVの操作には、死角がなく、まるでその場にいるような臨場感のある映像が必要です。高解像度のカメラに広角の魚眼レンズを用いて撮影し、ゆがみを補正することで、180度のパノラマビューが得られます。探査機の前後に付ければ360度見渡せるので、探査機の後ろを通り過ぎた魚だって見逃しません」と、このシステムを開発している

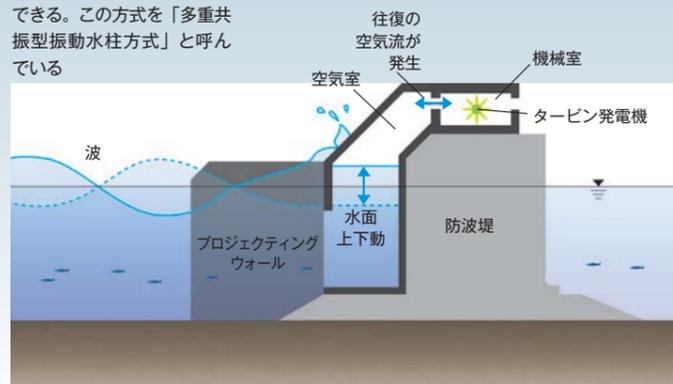
石橋正二郎 技術研究主任はいう。しかし、母船への通信に時間がかかってしまったのでは、意味がない。NEPTUNEには、高速かつ大容量の通信が可能な光通信システムを搭載する。「問題は照明です」と中條SLは指摘する。暗黒の深海では、照明がなければ光学カメラは役に立たない。「LEDをたくさん並べようと考えていますが、照明の開発は今後の課題です」

NEPTUNEのペイロード目標は空中重量300～400kg、ハイパードルフィンの3～4倍と大容量になるため、推進器として強力な油圧スラスタを複数付ける。また、ハイパードルフィンのマニピュレータが持ち上げられるのは最大68kg程度だが、NEPTUNEでは250kg。「調査対象として鉱物など重い試料が増えるので、どうしても力が必要だ」と中條SL。鉱床などを掘削して円柱試料を採取することも計画している。「機体は海中に浮いているので、着底後そのまま掘削ドリルを回すと、自分も回転してしまいます。しかも、鉱床はかたいはず。スラスタの推力で機体を海底面に押し付けるなどの対策が必要です。チャレンジですが、ぜひ成功させたいと思っています」。NEPTUNEの完成予定は、2013年3月だ。

波のエネルギーから電力をつくり出す。 受け継がれてきた技術が、もうすぐ花開く。

「波のエネルギーから電力をつくり出す波力発電が、いま再び注目されています」。そう語るのは、宮崎 剛 技術研究副主幹である。JAMSTECにおける波力発電の研究開発の歴史は長い。1978～1986年に「海明」、そして1998～2002年に「マイティーホエール」によって、実際に海での発電実験を行っている。しかし、技術開発の成果は残念ながら実用化にはつながらず、それ以降、JAMSTECでは波力発電の大きなプロジェクトはない。「再生可能エネルギーへの転換の機運が高まるなか、今度こそ波力発電の実用化につなげたい」と

振動水柱方式の波力発電装置の仕組み。振動水柱方式では、海面の上下動を空気の流りに換えてタービンを回して発電する。海中には可動部がないため、壊れにくいという利点もある。空気室の前に「プロジェクトイングウォール」という壁をつくることで、さまざまな周期の波のエネルギーを効率よく空気の流りに変換することができる。この方式を「多重共振型振動水柱方式」と呼んでいる



と宮崎技術研究副主幹。海に囲まれた日本にとって、波は格好のエネルギー源である。日本周辺の波エネルギーを合計すると、日本の電力消費量の3分の1に相当するという試算もある。

波力発電にはいくつかの方式があるが、JAMSTECでは一貫して振動水柱方式を採用している。空気室に波が入ってくると、室内の水面が上下して空気が入り出す。その空気の流りでタービンを回して発電する。「課題は、海水面の上下動を空気の流りに換える変換効率を上げること。『マイティーホエール』終了後も、変換効率向上のための研究開発を地道に続けてきました。そして、たどり着いたのが、プロジェクトイングウォールを取り付けることです。一見すると空気室の前に壁をつけるだけなのですが、いろいろな周期の波のエネルギーを効率よく取り込むことができるようになります」。実際の海での発電実験を目指し、模型を使った水槽実験や数値実験を重ねているところだ。

「私は『海明』の時代は知りません」と宮崎技術研究副主幹。「でも、『海明』の技術や知見は受け継がれ、いまにつながっています。それがJAMSTECの強みです」

波力発電を組み込んだ防波堤のイメージ。「マイティーホエール」のように海に浮かべるより固定した方が、装置自体が動かないため海面の上下動を空気の流りに換える変換効率は高くなる。まずは、沿岸に振動水柱型の波力発電装置を設置することを想定している



改造中の「しんかい6500」



- 「しんかい6500」の主な改造点
- 垂直安定ひれを短くする
 - 後部水平スラスターを新設
 - 主推進装置を外す
 - 水平安定ひれを下へ移動
 - 主推進装置を左右に1個ずつ取り付ける

「しんかい6500」の運動性能がアップ。 そして、いまやらなければいけないこと。

有人潜水調査船「しんかい6500」もまた、JAMSTECが大切につなげてきたものである。「東北地方太平洋沖地震の震源域の調査でも活躍していますが、建造から20年たち、手に入らない部品が増えてきました。とうとう推進器を回転させるモーターも交換が必要になりました」と小椋徹也 技術主任はいう。「モーターを交換するのであれば、推進器も新しくして機能を向上させよう。ということで、2011年11月から「しんかい6500」の改造をしています」

どのように変わるのだろうか？「潜水船という名前の通り、「しんかい6500」は船の動き方をイメージしてつくられています。前進しながら舵を切ると、ゆっくり曲がる。それが船です。でも、深海探査の現場では、少し横に移動したい、というときがあります。現在の「しんかい6500」でもできますが、熟練したパイロットの技が必要です。そこで、今回の改造では推進器の位置や数を変えて、簡単に複雑な動きができるようにしました。大きく変わるのは、主推進器だ。現在は後ろに大きなプロペラが1個ついているが、小さなプロペラが2個、機体の左右につく。「外観がここまで変わる改造は初めて」と小椋技術主任。そのほか、複雑な操縦が直感的にできるように、コントローラにはジョイスティックも備えた。2012年4月には、新しい「しんかい6500」が姿を現す予定だ。

今回の改造では、いくつものメーカーに協力をいただいている。なかには、「しんかい6500」の仕事は建造のとき以来、というメーカーもある。「技術を伝承していくために、今回のような改造も重要です。しかし本当に必要なのは、新しい有人潜水船をつくること」。小椋技術主任は、そう指摘する。20年前、第一線で「しんかい6500」の建

造に携わった人たちは、もうすぐ定年を迎える。「いま新しい有人潜水船の建造に着手しないと、『しんかい2000』『しんかい6500』を通して日本が培ってきた技術やノウハウが失われてしまう危険があります。技術を未来につなげていかなければ」

JAMSTEC海洋工学センターでは、この特集で紹介した数々の例のように、研究者や社会からのニーズを把握し、それに応える技術を開発し続けている。しかし、「それだけでは不十分」と磯崎芳男センター長はいう。「逆に、技術者の新しい発想で画期的な技術を生み出し、それが研究者や社会の新しいニーズを引き出すことも狙うべきです。技術者にとっては、それこそ醍醐味でしょう」

そして、「技術を伝承していかなければならない」と磯崎センター長。特に、有人調査船の建造技術が途切れてしまうことを危惧し、「しんかい12000」の早期実現を強く訴えている。「いまなら、まだ間に合う」と。

新しい技術の創出、技術の伝承、そして海洋工学センターには任務がもう1つあるという。「人材育成です。ここで育った人が、大学や企業へ行き、あるいは自らベンチャー企業を興して、活躍する。裾野が広がることで海洋産業が発展し、日本の足腰の強化にもつながります」

新しい自律型無人探査機や海洋ロボット、遠隔操作無人探査機に加え、海洋研究船の建造にも着手している。これまで40年にわたって培ってきた技術やノウハウが、いま、一気に花開こうとしている。そして、新たな種をまくときでもある。

水深30～300mで暮らすタカアシガニ。世界最大級で、雄は脚を広げると最大3m程度、雌は1mくらいになる。とても気が強く、力も強いので、タッチングプールのカニはハサミをテープで留めてある

本州中部沿岸の水深200～600m付近で暮らすオオグソクムシ。大きさは5～6cm程度。アナゴ漁の筒のなかに入ってくる。せっかく採れたアナゴを食べてしまったりもする



東京湾から四国沿岸の水深150～400mで暮らすイガグリガニ。大きさは13cmくらい。カニという名を持ちながら、実はヤドカリの仲間、脚は8本しかない。カニは10本の脚を持つ



北海道南部から南西諸島の浅海から水深450mほどで暮らすナヌカザメ。体長1.2m程度。おとなしいサメで、触られても抵抗しない。とても丈夫で長生きする

タッチングプール「さわりんぶ〜」の様子。男の子がオオグソクムシをつかみ、見つめている。たくさんのおもたちがタッチングプールで歓声を上げる。水がぬるみ始める5月になると、タッチングプールの住人は磯の生きものたちに変わる



深夜12時、携帯電話が鳴った。急いで出ると、ハイテンションの声が耳元で響く。「今日はすごいのが入ったよ。たぶん新種だ。港まで取りに来て」。北風が吹き始めるころになると、深夜の電話が増える。地元の漁師さんからだ。

竹島水族館では、56年前のオープン当時から漁師さんたちが協力してくれている。特に毎年10月ごろから5月ごろまでは、珍しい深海の生きものが次々と水族館に届けられる。深海は太陽の光が到達できず、真っ暗で水温が低く陸上との温度差は大きい。この時期ならば、航海中や陸上での輸送時に水温が上昇して弱ってしまうことなく深海の生きものを移動できるからだ。とはいっても竹島水族館の背後に広がる三河湾は、平均水深がわずかに9.2mほど。深海の生きものは、漁師さんたちが三重沖や和歌山沖での漁のついでに捕獲して運んでくれる。竹島水族館で珍しい深海の生きものが見られ

るのは、ひとえに漁師さんたちの腕前のおかげだ。

深海生物の目玉はタカアシガニ。毎年大きくて美しい個体が入り、この竹島水族館から全国の水族館へと提供される。3年に一度ほどの割合で、脚を広げると3mほどにもなる特別大きな個体も入ってくる。

2011年には、深海の生きものたちを豊富に入手できる時期に合わせて、タッチングプールの“深海化”を始めた。水深200m以深で暮らす生きものにじかに触ることができる。単発や短期的な企画ではない、本格的な深海化タッチングプールは、日本初の試みだ。水温は13℃。冷たいそのプールに、子どもたちは躊躇なく手を伸ばす。脚の長いタカアシガニ、ざらざらとした背中とは裏腹に驚くほどやわらかいおなかをしたナヌカザメ、イガイガしたとげを持つイガグリガニ。なかでも人気はオオグソクムシだ。日本最大のダンゴムシの仲

間に、子どもたちはズイと手を伸ばし、むんずとつかんで不思議そうに見つめている。

タッチングプールの生きものたちは、大量に採れて丈夫なものが選ばれる。好奇心旺盛な子どもたちに負けることなく、元気に過ごす。バックヤードには交代要員も随時控えていて、定期的に入れ替えている。もともとの生きもいたためか、元気に泳ぎ回ってみたり、柵を越えようとするものもいたり、深海の生きものにしては意外と活動的だ。

地元の漁師さんたちは時折、子どもたちの姿を見に水族館を訪れる。自分の採ってきた生きものに子どもたちが驚き、喜んでいる、そんな姿を見るのがうれしいのだという。さらに、漁で珍しい生きものを見つければ、どんなに小さな生きものでも特別な水槽に入れて生きたまま上手に運んでくれる。図鑑を片手に種類を必死に特定しようとしている飼育

員を試すかのように、漁師さんがいたずらっぽい目をして背後から見つめている。それほど簡単に新種を発見できるだろうかと思いたくもなる一方で、こうして運び込まれたなかには実際に新種で、彼らの名前がついたものもいるのだから、その熱意と目利きのよさには脱帽してしまう。

真夜中に電話が鳴ると、温かい布団から出るのがおっくうだとは思いつつも、またあのいたずらっぽい目を見られるかもなど、今晚もつい支度を急いでしまうのだ。

取材協力：小林龍二／竹島水族館・学芸員
撮影：STUDIO CAC

■ Information: 竹島水族館

〒443-0031 愛知県蒲郡市竹島町1-6
TEL 0533-68-2059 FAX 0533-68-3720
URL <http://www.city.gamagori.lg.jp/site/takesui/>

温暖化した地球の海を探る

「自分が本当に楽しいと思う研究テーマがなかったら、研究者は魅力のない職業です」。そう語る坂本 天 特任研究員は、計算機のなかで表現された温暖化した地球の海で、黒潮がどのように変化するのか調べている。

坂本 天

IPCC 貢献地球環境予測プロジェクト
近未来気候変動予測研究グループ
特任研究員



坂本 天 (さかもと・たかし)
1971年、北海道生まれ。博士(理学)。
北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。2003年、海洋科学技術センター 地球フロンティア研究システム ポストドクトラル研究員。2007年より現職

大学院のとき、学術研究船「白鳳丸」にて



—ご出身はどちらですか。

坂本：北海道です。ニセコに近い山あいの町で育ちました。父は高校の国語の教師だったのですが、私は国語が嫌いで、読書もほとんどしませんでした。ただし、宮沢賢治だけは読みました。子どものころから理科は好きで、宮沢賢治の物語には理科の要素が入っていたので、興味を持ったのでしょうか。中学では、気象に関心を持つようになりました。

—何かきっかけがあったのですか。

坂本：中学2年生のとき、理科の授業で天気図について習いました。その直後に大学の共通一次試験の問題が新聞に載っていて、天気図の問題を解いてみたら、全問正解。うれしくて、これは面白そうだと感じたのです。

その後、小樽に下宿して高校に通い、地学部に入りました。地学部では、ラジオで気象情報を聴いて天気図を書くことが日課でした。小樽に吹く海陸風の観測をしたり、ときにはキャンプへ行って星を見たり化石を掘ったりしました。そして毎年10月になると、初雪がいつ降るか、みんなで予想し合いました。地学部の当時の仲間とはいまでも交流があり、北海道に帰ると、キャンプをしたり自転車ツーリングをしたりしています。

私は天文も好きで、市民サークルに入っていました。小学校の先生を退職された方が主宰されていて、ご自宅に自前の天文台をつくっていました。そこで望遠鏡をのぞき、木星や火星を観測してスケッチしたりしました。

気象から海へ

—海に興味を持つようになったのはいつからですか。

坂本：大学では、気象を学びたいと思い、北海道大学理学部に進学しました。学部3年生のときに海洋物理の授業を受けたことが、海に興味を持つきっかけになりました。大洋の西岸に黒潮のような海流ができる仕組みを学び、コンピュータを使って海流を再現する演習も行いました。風などの条件を変えると、計算機のなかで海流の様子が変わります。それがすごく面白く、楽しかったのです。

海洋物理の授業をしてくださった先生は、当時、30代前半で年齢も近くて話しやすく、パワフルな方で学生の面倒をよく見てくださいました。それまでは気象を学ぶつもりでしたが、4年生のときその先生が助教授を務めていた海洋物理の研究室に入り、大学院へ進学しました。

—大学院ではどのような研究を行ったのですか。

坂本：黒潮などの海洋の力学的な現象を計算機のなかで再現するシミュレーション研究です。

上司から届いた1行のメール

—博士号を取得後、2003年4月に海洋科学技術センター(現在の海洋研究開発機構)に入られました。

坂本：「人・自然・地球共生プロジェクト」という地球温暖化の研究計画で、海洋モデルを扱える研究者を公募していたのです。面接では「温暖化で黒潮がどう変化するのか研究したい」と主張し、そのおかげかどうかは分かりませんが採用されました。

当時、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」が動き始め、「MIROC」という温暖化を予測するための気候モデルを高解像度化する作業が進んでいま

た。ただし、海の状態をうまく再現できていませんでした。海の一部が干上がってしまったり非現実的な厚い海水ができてしまったりして、現実的な海を表現することができなかったのです。

私は、その原因を突き止めるチームに加わり、プログラムのバグ(欠陥)を探したり設定条件を変えたりして、うまくいかない原因をみんなで突き止めていきました。そして半年間くらいで、海の状態をうまく再現できるようになり始めました。

その後、突然、私はテストを受けることになりました。

—何のテストですか。

坂本：後から振り返ると、あれは上司が、私が「使える」かどうかを確認するテストだったのではないかと思います。

2003年9月、気候モデルの大きな学会がドイツで開催されました。そのための資料やポスターをつくる手伝いをして、学会に参加する上司たちを送り出しました。「これで、しばらくゆっくりできる」とほっと一息ついたときでした。ドイツの学会に参加していた上司から、「ハワイを取り除いた実験をしてください」という1行のメールが届いたのです。

—どういう意味ですか。

坂本：ハワイ西方に、海表面水温の高い海域があり、それに伴う海上風の分布や雲が多い領域が300km以上も伸びている現象が知られています。この現象はハワイ諸島の存在が引き起こしているという理論が発表されました。それを確認するために、高解像度版のMIROCを使ってハワイを取り除いたシミュレーション実験をしてみなさい、という意味でした。高解像度版のMIROCでは、ハワイ西方

その現象も再現されていたのです。

私は周囲の人に相談しながら、ハワイを取り除いた実験を行いました。すると、理論の通り、その現象は現れなくなったのです。この研究は、高解像度版MIROCの性能をアピールするものとなりました。

温暖化で黒潮が変化して、サンマが……？

坂本：高解像度版MIROCでは、現実に近いかたちで黒潮を表現することもできます。それまでの気候モデルで使われていた海洋モデルは、100km四方くらいに区切った解像度が一般的でした。黒潮の幅も100kmほどなので、その解像度で表現するのは無理です。

一方、高解像度版MIROCは20~30km四方の解像度でシミュレーションすることができるので、現実に近い黒潮を表現できるのです。

——温暖化すると黒潮はどうなるのですか。

坂本：2004年に私たちは、温室効果ガスである二酸化炭素の濃度が毎年1%の割合で増えていくというシミュレーション実験を行いました。すると80年後に二酸化炭素濃度が2倍強になり、高解像度版MIROCにおける地球の平均気温は約3°C上昇しました。その温暖化実験では、黒潮の流れが20~30%速くなりました。

——それにより、どのような影響が考えられますか。

坂本：南の海の温かい海水を黒潮がどんどん運んでくるので、日本周辺の海水温は上昇し、気候や海の生物に影響を与えらるはず。この研究は2005年に記者発表も行いました。そこでは、漁業への影響も紹介し、自分で泳ぐ能力の低い稚魚などが、黒潮に流されやすくなる可能性を指摘しました。具体的な魚の種類も紹介した方がよいと考え、たとえばサンマの稚魚も影響を受けるかもしれないと話したら、「将来、サンマが捕れなくなる」と、黒潮よりもサンマを前面に出して報道されてしまいました(笑)。

温暖化による漁獲量への影響を研究している専門家の方からは、「魚については素人なのに、安易なことをいってはいけない」と、大変なお叱りを受けました。大失敗でしたが、その後、その専門家の方々と共同研究を行うことができました。

温暖化と黒潮流路の変化

——現在、どのような研究をしているのですか。

坂本：私たちが地球シミュレータでMIROCを動かして行った温暖化の研究成果は、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)が2007年に発表した「第4次評価報告書」に反映され、大きな貢献を果たしました。私たちの黒潮の研究も一部盛り込まれました。

その後、「21世紀気候変動予測革新プログラム」に参加して、2013~14年に発

表予定の「IPCC第5次評価報告書」に向けて、MIROCを使った近未来気候予測の研究を進めています。そのなかで私は主に、大西洋における十年規模周期の気候変動の研究を行っているところです。

——黒潮の研究も続けているのですか。

坂本：地球シミュレータもMIROCもバージョンアップしましたが、解像度をさらに高くした海洋モデルで、温暖化と黒潮の流路変化の関係について明らかにできないか、模索しているところです。

黒潮は四国・本州南側での安定した流路として、沿岸を直進するモードと、沿岸から沖合へ迂回して再び沿岸に戻る蛇行モードが知られています。西岸の海流がこのような2つのモードを持つことは世界的に見ても珍しいので、専門家の関心を呼んできました。1970年代は蛇行モードの時期が多く、最近ほとんど直進モードになっています。

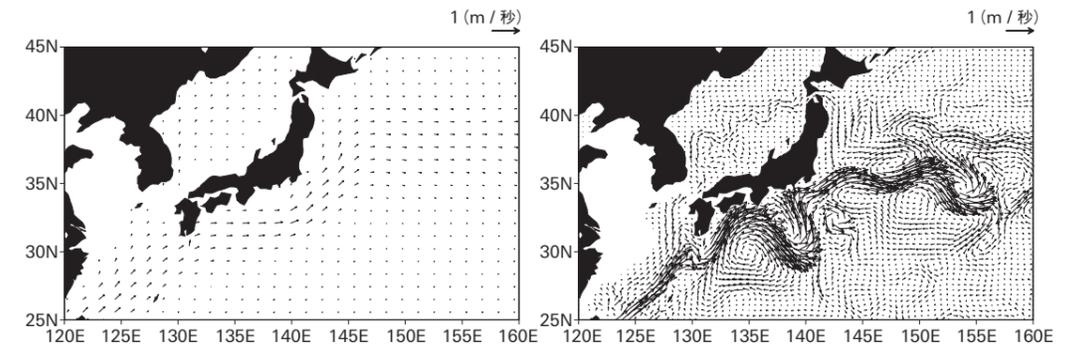
では、温暖化すると黒潮流路のモードはどうなっていくのか。実は高解像度版MIROCでもこうした現象を調べるには解像度が不十分だったので、より高解像度の海洋モデルを使ったシミュレーション実験で明らかにできないか調べているところです。

ジオ・エンジニアリングへの貢献

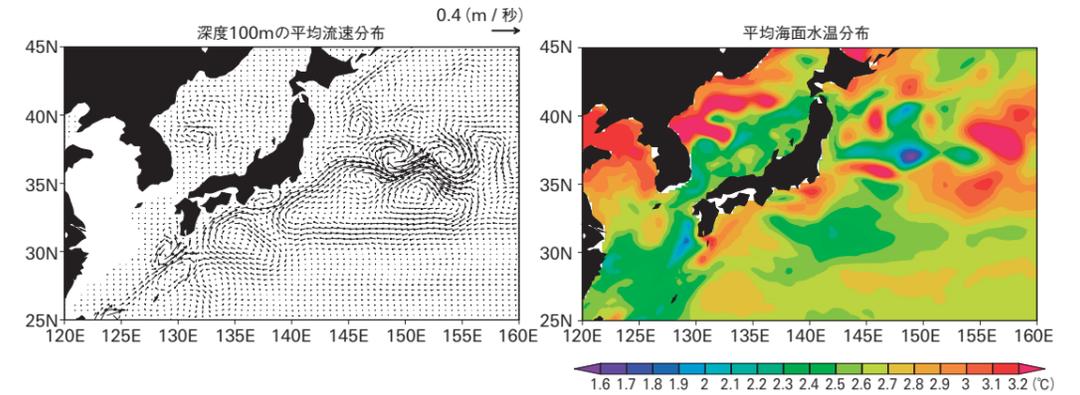
——今後、どのような研究をしていくつもりですか。

坂本：「ジオ・エンジニアリング(気候工学)」に関心があります。当面、地球

海洋モデルにおける黒潮の再現 約100km四方の解像度では、現実的な黒潮の流路や流速を表現することができない(左)。高解像度版MIROCに使われている約20km四方の解像度を持つ海洋モデルでは、現実に近い黒潮を表現することができる(右)



温暖化による黒潮の変化 (現在気候と温暖化した気候との差) 高解像度版MIROCを用いて、大気中の二酸化炭素濃度を現在の2倍強とした温暖化実験では、黒潮の流速は速くなり(左)、日本の南などの黒潮域で海面水温が周囲より高くなる(右)



温暖化は避けられないと考えられています。そこで、工学的に温暖化を緩和しようというのが、ジオ・エンジニアリングです。二酸化炭素を大気から回収して、地下などに閉じ込める取り組みも、ジオ・エンジニアリングの一種です。宇宙空間に大きな鏡を置いて、太陽光を反射させようという奇抜なアイデアもあります。

成層圏にたくさんのちりをまく案も検討されています。大きな火山噴火があると、噴煙が成層圏に達して太陽光を遮り、何年間か地球全体の気温が下がったことが知られています。同様なことを人工的に引き起こそうというものです。ただし、それを実施するには、事前に効果や副作用を調べる必要があります。たとえば、ちりをまいた影響で農作地帯の気温が大きく下がり、収穫量が落ちてしまったら大変です。

温暖化の緩和策を行ったとき、どのような影響が出るのか、気候モデルなどを用いたシミュレーション実験が主に海外で行われています。ただし、大気への影響を調べている研究者は多いのですが、海を調べている研究者はとても少ないのが現状です。私はそれを詳しく調べてみたいと思っています。

将来、気温は何°C上がるという温暖化予測だけでなく、温暖化の緩和策を講じるとどのような効果や副作用があるのか

を、社会に示していく必要があると思うのです。

研究者は面白くない？

——研究者という職業はいかがですか。

坂本：面白くないですね。

——えっ、そうなのですか？

坂本：私はいま大きなプロジェクトで働いているので、常に自分のやりたいことを自由にできるとは限りません。自分の本当にやりたいテーマの研究に割ける時間は、全体の1割ほどでしょうか。大部分はプロジェクトの成功に必要なテーマに取り組んでいますし、研究以外の仕事もあります。それに、好きなテーマに取り組んでも、成果が得られるまでは試行錯誤の繰り返しで、なかなかつらい作業が続きます。

しかし、ほかの職種では、本当にやりたいことをやっている人はとても少ないのではないのでしょうか。たとえ1割でも、楽しいと思えることを仕事にできるのは、かなり恵まれている方だと思います。

——研究者になる前に思い描いていた研究生活のイメージとは違いますか。

坂本：自分の好きなテーマにじっくりと取り組む研究生活を思い浮かべていたが、私の現状はかなり違います。現在、研究者の多くが私のような任期制のポストで働き、短期間に研究成果を挙げるこ

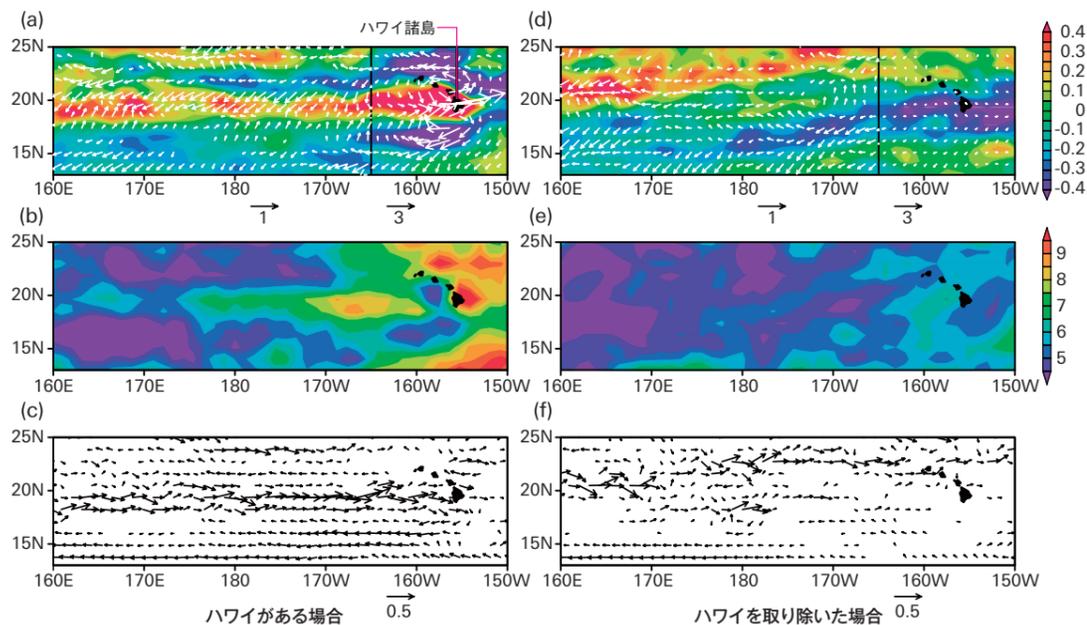
とを求められる傾向にあります。

——研究者を目指している『Blue Earth』の若い読者に、アドバイスをください。

坂本：私は英語も物理も数学も大の苦手です。それでも、海洋物理や気候を扱う研究者になったのは、興味のある研究テーマに取り組みたかったからです。英語も物理も数学もそのための道具にすぎない、と考えています。

そもそも、自分が本当に楽しいと思う研究テーマがなかったら、研究者というものとはまったく魅力のない職業ではないかと思えます。たとえ、すぐに手を付けられなくても、興味のあるテーマを抱き続けることが大切ではないでしょうか。私でいえば、黒潮やこれから目指すジオ・エンジニアリングです。また、研究分野全体に興味があることも必要です。私がいま携わっている温暖化研究は、とても重要で意義のある研究だと思っています。ただし、それに必要な個々の研究は、私にとって必ずしも興味があるテーマばかりではありません。

しかし興味のなかったテーマであっても、取り組んでみると違う世界が見えてくる場合があります。自分の興味の芯となるテーマを持ちつつ、興味の幅を限定せず視野を広く持つと、楽しい世界が開けるかもしれません。



ハワイを取り除いたシミュレーション実験 高解像度版MIROCでは、ハワイ西方の海面水温の高い海域と、それに伴う特徴的な海上風の分布や雲の多い領域が300km以上延びている様子が再現されている(a・b)。また、西からハワイへ向かう東向きの海流も再現されている(c)。このような現象が、ハワイを取り除くと現れなくなる(d・e・f)



約27億年前

地球は酸素のある惑星 に変わり始めた

約27億年前の地球にタイムトラベルした私たちには、酸素ボンベが必要だ。現在の大气中の酸素濃度は約21%だが、約27億年前には酸素がほとんど存在しなかったからだ。

さらにさかのぼると、約46億年前に誕生した原始地球の大气中には酸素がまったくなく、主成分は水蒸気や二酸化炭素、一酸化炭素、窒素だったと推定されている。では、地球に酸素をもたらしたものは何か――。

27億年前、海面に緑色の生物が漂っている。光合成によって酸素をつくり出すシアノバクテリアだ。そして海底は赤く染まった岩石で敷き詰められている。この海底に広がる岩石は、地球内部から上昇してきたマグマが海水で急に冷やされて枕のようなかたちになった「枕状溶岩」だ。それが赤い色をしているのは、この玄武岩質の岩石に含まれる鉄がシアノバクテリアのつくり出した酸素によって酸化され、赤鉄鉱化したためである。

大气や海に蓄積していった酸素は、やがて生命大進化や気候大変動をもたらした。

微量元素を分析して 地球深部と表層の共進化をひもとく

取材協力：鈴木勝彦

地球内部ダイナミクス領域
地球深部と表層との共進化研究チーム チームリーダー

定説に異論を突き付けた

1995年以降、太陽系外の惑星が次々と発見されている。最近では、地球と同じくらい大きさの岩石惑星も見つかり始めた。そこに生命は存在しているのだろうか。その指標となるのが、惑星の大気に酸素があるかどうかだ。酸素は生物が作り出したと考えられるからだ。

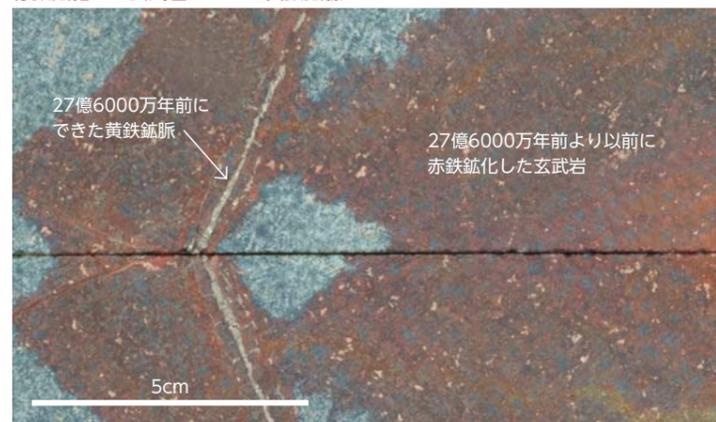
では、私たちの地球に酸素が増え始めたのはいつか。実はそれがよく分かっていない。これまでの定説は24億5000万年から23億2000万年前。これは2000年にカリフォルニア大学サンディエゴ校の研究者たちが、堆積岩中の硫黄の分析から導き出した

赤鉄鉱化した玄武岩の試料

ウエスタンオーストラリア州ビルバラのマーブルバー地域の地下211~218mから得られた



赤鉄鉱化した玄武岩にできた黄鉄鉱脈



数値だ。彼らは、約24億~20億年前に、酸素濃度がほとんどゼロの状態から現在の100分の1程度まで、一気に大気が酸化された、と考えている。これを「大酸化事変」と呼ぶ。

2008年、この定説に異論を突き付けたのが鈴木勝彦チームリーダー（TL）たちだ。「私たちは、少なくとも27億6000万年前に酸素が増え始めていた証拠を発見しました」

その証拠となる試料は、日本・米国・オーストラリアによる太古生代生物圏掘削プロジェクトの一環として、2003年に行われたオーストラリア西部の地下掘削により得られた。34億6000万年前に海底へ噴出した玄武岩が酸化して赤鉄鉱化していたのだ。

「相当な濃度の酸素がないと赤鉄鉱化は起きません。では、その赤鉄鉱化はいつ起きたのか。残念ながら、赤鉄鉱化した年代を直接調べる方法は存在しません。ただし幸運なことに、赤鉄鉱に黄鉄鉱脈が走っている試料が見つかりました。試料を観察すると、赤鉄鉱化した後に黄鉄鉱脈ができたと考えざるを得ません」

では、黄鉄鉱脈の年代はいつか。黄鉄鉱は鉄と硫黄が反応してできる硫化物の一種だ。「硫化物の年代を決めることのできる唯一の方法が、レニウム-オスミウム法です」

質量数187のレニウム（Re）は、一定の割合で質量数187のオスミウム（Os）に壊れていく。レニウム-オスミウム法は、それぞれの元素の同位体量を分析することで年代を測定する方法だ。ただし、岩石に含まれるレニウムやオスミウムはごく微量で、酸素に触れるとオスミウムは気体となって飛び散ってしまうなど、分析が極めて難しい。鈴木TLはオスミウムの分析法を確立したパイオニアの1人だ。

「オスミウムに加えて、ごく微量のレニウムを正確に分析できるのは、世界でも私たちだけです。レニウム-オスミウム法により、黄鉄鉱脈は27億6000万年前にできたことを突き止めました。従って、赤鉄鉱化はそれよりも前に起きたこととなります。ただし、地質学的な分析から、27億6000万年前より何億年も前だとは考えられません」

大酸化事変はなかった!?

「次に問題となるのは、赤鉄鉱化が起きた場所が、湖のようなごく限られた場所かどうかです。私たち

は赤鉄鉱の酸素同位体の分析から、その酸素は海水に含まれていたものと推定しています。もし赤鉄鉱化が起きた場所が海だとすると、定説よりも3億年も早い約27億年前に、全地球規模で酸素が存在し始めていたと考えるのが自然です」

では、大酸化事変はなかったのか。「赤鉄鉱化した玄武岩の化学組成の分析から、27億年前の酸素濃度は現在の100分の1ほどだったと推定しました。約24億~20億年前に酸素濃度の急増はあったかもしれませんが、ゼロの状態からの急上昇という意味での大酸化事変ではなかったと思います。27億年前ごろから増え始めた酸素は増減を何度か繰り返し、やがて一定以上の濃度に安定したのだらうと、私は考えています」

21億年前ごろ、動植物の祖先である真核生物が誕生したらしい。真核生物は酸素を使った呼吸をすることにより、効率よくエネルギーを生み出すことができる。ただし、酸素濃度が現在の100分の1以上でないと、真核生物は酸素呼吸ができず生存できないといわれている。一定以上の酸素濃度に安定した環境が、真核生物の誕生という生命の大進化をもたらしたと考えられる。

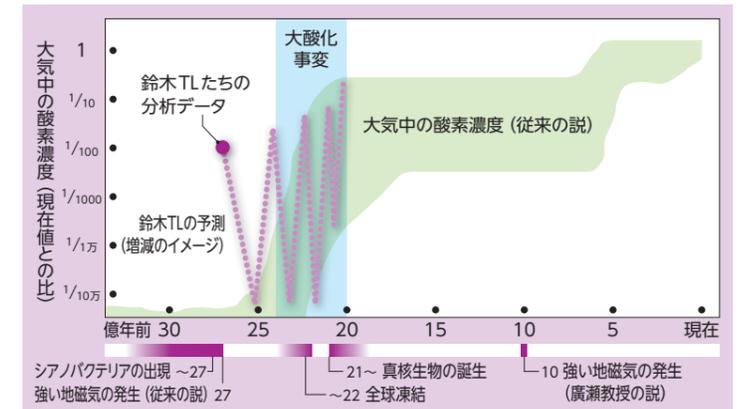
深まる全球凍結の謎

約24億~20億年前には、気候の大変動も起きていた可能性が指摘されている。地球表層がすべて氷に覆われる「全球凍結」だ。なぜ全球凍結は起きたのか。全球凍結が起きる前の大気は、高い温室効果を持つメタンの濃度が高かった。約24億~23億年前、シアノバクテリアが活発に光合成を行うようになり、温室効果を持つ二酸化炭素が消費され酸素が増え始めた。その酸素がメタンと反応することにより、大気中のメタン濃度が低下する。こうして二酸化炭素やメタンによる温室効果が大きく低下したため、22億年前ごろに全球凍結が起きた——このような説がこれまで考えられていた。

しかし、鈴木TLたちが示したように約27億年前にすでに酸素が増加し始めていたのなら、この説は、つじつまが合わなくなる。鈴木TLたちの研究は、全球凍結の研究にも一石を投じるものだ。「本当に地球表層全体が凍り付いたのかどうか異論もありますが、22億年前ごろに大氷河時代があったことは確かです。この時代の気候変動について、さらに研究を進めていく必要があります」

なぜ地球は酸素のある惑星となったのか

そもそも地球はどのようにして酸素のある惑星になったのか。生命は約38億年前までに誕生したと考えられている。そして酸素をつくり出すシアノバクテリアは約35億年前に現れた、と以前は考えられていた。その時代の地層にシアノバクテリアの化



大気中の酸素濃度の推移と地球史上のできごと

従来の定説では、酸素濃度がほとんどゼロの状態から、約24億~20億年前の「大酸化事変」で、現在の100分の1程度の濃度まで一気に大気が酸化した、と考えられていた。鈴木TLたちは、すでに約27億年前に酸素濃度が現在の100分の1程度に達していたことを突き止めた。その後、酸素濃度は増減を繰り返し、やがて一定以上の濃度に安定したのではないか、と鈴木TLは考えている

石らしいものが見つかったからだ。しかし、その後の研究により、それはシアノバクテリアの化石ではないとの反論が出され、その出現時期は未解明のまま。[大気に酸素が増え始めた時期についても、27億年前をどれくらいさかのぼるのか、確かな証拠が得られていません]

もし酸素が約27億年前に増え始めたとしたら、なぜその時期だったのか。ちょうどこの時期に強い地磁気生まれ、それが太陽から降り注ぐ高エネルギー放射線のバリアとなり、シアノバクテリアが浅い海で活発に光合成を行うことを可能にした、という説がある。

ただし、この説についても最近、異論が出されている。地磁気は地球中心部の核（コア）が発生源だ。東京工業大学の廣瀬 敬 教授（JAMSTEC地球ダイナミクス領域 上席研究員）たちは、独自の手法により地球内部の高温高压状態を実験室で再現して、地球内部の物質の性質を調べる研究から、強い地磁気が発生するようになったのは約10億年前だと推定している。

「廣瀬さんたちの説を多くの研究者が支持し始めています。地球はどのようにして酸素のある惑星になったのか、研究の進展により謎は深まっている状況です」

その謎を解くことは、太陽系外の惑星と生命進化を探る上でも重要だ。「地球深部の活動と地球表層の気候変動や生物進化は密接に関連していると考えられます。27億年前には、活発なマグマ活動があったことが知られています。それと酸素が増え始めたことに何らかの関連がある可能性があります。私たちは微量元素の分析技術などを駆使することで、地球史を通じた地球深部と表層との共進化を解明することを目指して研究を続けています」

新しい手法を用いた研究の進展により、従来の定説が覆され新たな謎が浮上する——地球科学はいま、とても興味深い時代に突入している。その先にきっと、新しい地球観・生命観が築かれるはずだ。 **BE**

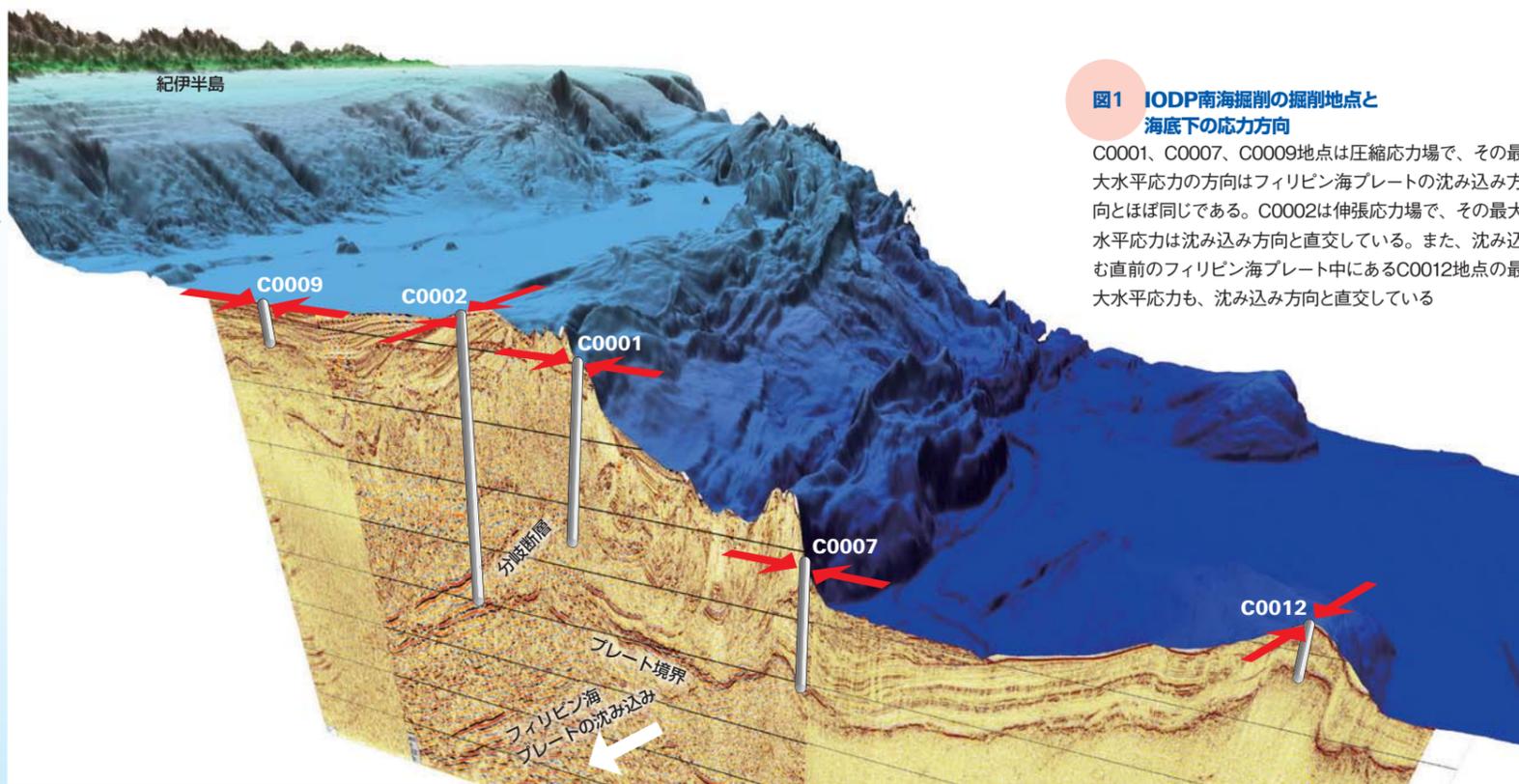


図1 IODP南海掘削の掘削地点と海底下の応力方向

C0001、C0007、C0009地点は圧縮応力場で、その最大水平応力の方向はフィリピン海プレートの沈み込み方向とほぼ同じである。C0002は伸張応力場で、その最大水平応力は沈み込み方向と直交している。また、沈み込む直前のフィリピン海プレート中にあるC0012地点の最大水平応力も、沈み込み方向と直交している

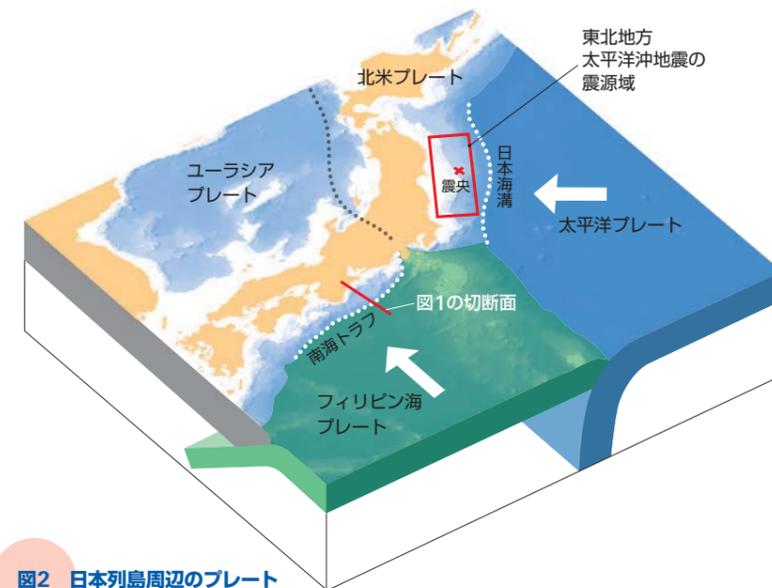
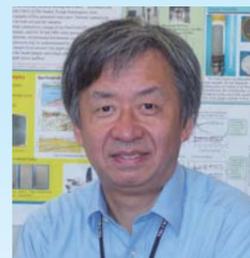


図2 日本列島周辺のプレート

日本海溝では太平洋プレートが東日本を載せた北米プレートの下に沈み込み、南海トラフではフィリピン海プレートが西南日本を載せたユーラシアプレートの下に沈み込んでいる。東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートと北米プレートの境界で発生した

巨大海溝型地震の理解に向けて 地震発生帯の応力状態を解き明かす

2011年9月17日 第131回地球情報館公開セミナーより



高知コア研究所
地震断層研究グループ
グループリーダー
林 為人

リン・ウエイレン。1962年、中国黒龍江省双鴨山市生まれ。博士(工学)。1992年、東北大学大学院工学研究科博士課程修了。2003年、海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)深海研究部に入所。IODP南海掘削の第319次研究航海に参加。掘削試料を用いて地震断層の応力状態や物性を研究する。専門は地球物理、岩石力学

2011年、永遠に忘れられないことが起こりました。3月11日に発生した、マグニチュード(M) 9.0の東北地方太平洋沖地震です。私は地震に関わる研究をしている1人として、巨大海溝型地震発生の仕組みの理解に向けて全力を尽くさなければならぬと、決意を新たにしました。

私は、地震が発生する場所の応力の状態を研究しています。応力とは、物体に外から力が加わったときにその物体の内部に生じる、押し合ったり引っ張り合ったりする力をいいます。

地球の表層は、「プレート」と呼ばれる十数枚のかたい岩板で覆われています。プレートはそれぞれの方向に動いていて、日本海溝では太平洋プレートが東日本を載せた北米プレートの下に沈み込んでいます(図2)。太平洋プレートが沈み込むにつれて、北米プレートも一緒に引きずり込まれてひずみがたまり、応力が大きくなっていきます。応力が限界を超えると、

プレート境界が破壊されて一気に大きく滑ります。それが海溝型地震です。また、北米プレートが跳ね上がり、海水を持ち上げて津波を発生させます。

応力は、プレート境界や断層を動かす、つまり地震を起こす原動力です。応力の大きさと方向を知ることが、地震が発生する仕組みを理解する上で不可欠なのです。

巨大な津波が発生した理由

宮城県沖では繰り返し地震が発生し、2011年1月から30年以内にM7.5~8.0程度の地震が発生する確率は99%と予測されていました。しかし東北地方太平洋沖地震では、宮城県沖だけでなく、三陸沖、福島県沖、茨城県沖まで長さ約500kmもの領域が連動して滑りました。さらに、海溝寄りの領域が三陸沖北部から房総沖まで滑り、巨大な津波が発生しました。

三陸沖の海底に設置されていた圧力センサーが、そのときの海面の変動を捉えて

地震が発生する仕組みを理解するには、地下の岩石にどの方向からどのくらいの力がかかっているのか、その応力状態を知ることが不可欠です。地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフでの掘削によって、地震発生帯の応力状態についての新しい知見が次々と得られています。東北地方太平洋沖地震の震源域についても、過去の掘削データを再解析することで、地震発生前の応力状態を知ることができました。掘削が明らかにする地震発生帯研究の最前線を紹介します。

いました。それによれば、地震発生後、海面は徐々に高くなっていき、2mほど高くなったところで、わずかに下がりました。これで終わってれば、典型的な中規模の津波だったのです。ところが、海面は再び上昇し、急激に5mも盛り上がりました。このような2段階の津波の波形は特異で、日本海溝寄りの浅いプレート境界が大きく滑ったと考えなければ説明できません。

しかし、海溝型地震は深さ10~数十kmで発生し、浅い海溝寄りでは地震性の高速滑りが起きないと考えられていました。浅いところの岩石は速く滑るとかたくなって抵抗が大きくなる性質があり、地震のときはブレーキの役割を果たすからです。また、浅いところには大きな応力は蓄積しないと考えられてきました。しかし今回は、浅い海溝付近が滑って巨大な津波を引き起こしたのです。その理由を理解するには、地震の原動力である応力状態を調べる必要があります。そのために

は、日本海溝の掘削調査が不可欠です。

南海トラフ地震発生帯を掘る

深海掘削調査では、船からパイプを海底まで下ろし、ドリルビットで地下を掘り進め、「コア」と呼ばれる柱状の試料を採取します。岩石の物理的・化学的な性質は、コアから比較的精度よく測定できます。しかし、岩石の応力状態は、地下の環境に依存するので、コアを掘り出した途端に失われてしまいます。

岩石の応力状態を知る最も望ましい方法は、現場で測定することです。どのように応力を測定するのか、2007年から始まった統合国際深海掘削計画(IODP)の南海トラフ地震発生帯掘削計画(南海掘削)の成果を例に紹介しましょう(図1)。

フィリピン海プレートは1年に4~5cmずつ、西南日本を載せたユーラシアプレートの下に沈み込んでいます。その沈み込み帯が南海トラフです。トラフとは、浅

い海溝のことです。南海トラフでは、100~200年の間隔で東海地震や東南海地震、南海地震が起きています。最近では、1944年にM7.9の昭和東南海地震、その2年後の1946年にM8.0の昭和南海地震が発生しました。それからすでに60年以上が経過しており、次の南海、東南海地震が近づいています。さらに南海、東南海、東海の3つの地震が連動する可能性もあり、その場合にはM9クラスになると予測されています。

IODPの南海掘削は、南海トラフにおける地震発生の仕組みの解明を目指したプロジェクトで、「ちきゅう」によって海底まで掘削し、コアを採取したり、掘削孔内でさまざまな測定や実験を行ったりしています。プレート境界に達する海底下深度7,000mまで掘削し、巨大地震の発生現場の試料を採取します。さらに掘削孔内に観測機器を設置し、常時監視を行う計画です。

掘削孔の壁から応力を推定

私たちは2007年、南海トラフの3つの掘削地点C0001とC0002、C0007などにおいて、「ブレイクアウト」と「DITF(Drilling Induced Tensile Fracture)」という2つの現象を利用して岩石の応力状態を測定しました。

掘削孔の周りに水平方向の押し合う応力がかかっていると、最も大きな応力(最



図3 ブレークアウトとDITF

掘削孔を上から見た様子。孔壁にブレークアウトやDITFが見つければ、最大水平応力の方向が分かる

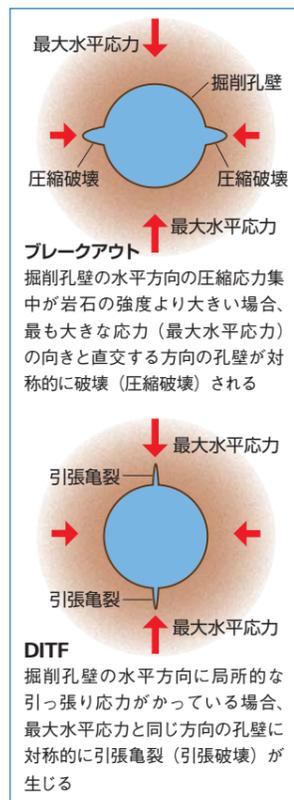
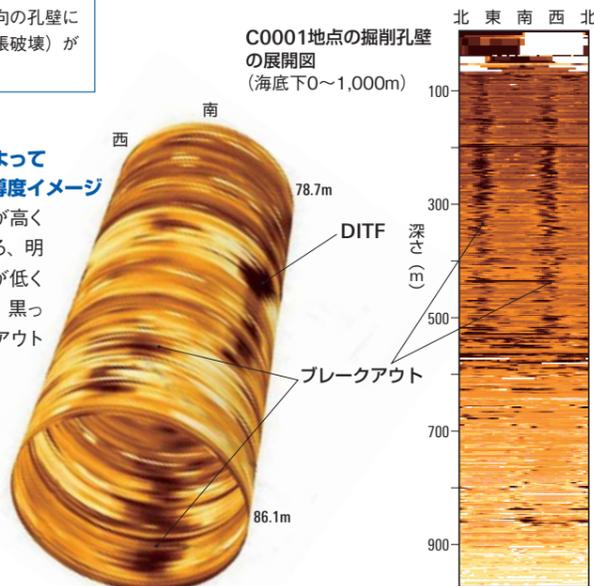


図4 掘削同時検層によって測定した電気伝導度イメージ

暗い部分は電気伝導度が高く電気を通しやすいところ、明るい部分は電気伝導度が低く電気を通しにくいところ。黒っぽい部分が、ブレークアウトやDITFである

C0001地点の掘削孔壁 (海底下78.7~86.1m)



大水平応力)の向きと直交する方向の孔壁で圧縮応力が集中して大きくなります。その結果、孔壁が対称的に破壊されます(図3上)。この現象を「ブレークアウト」と呼びます。ブレークアウトが見つければ、最大水平応力の方向を知ることができます。

孔内水圧の働きにより、孔壁に局所的な引っ張り合う応力がかかることがあります。その場合、最大水平応力と同じ方向の孔壁に働く引っ張る力が最大となり、そこで対称的に亀裂が生じます(図3下)。この現象を「DITF」と呼び、やはり最大水平応力の方向を知ることができます。

では、どのようにしてブレークアウトやDITFを見つけるのでしょうか。その方法が「孔内検層」です。コアを取り出した後、掘削孔の底まで計測装置を下ろして引き上げながら、孔壁のイメージとともに温度や圧力、電気伝導度、密度などを計測します。ドリルパイプの先端近くに計測装置を取り付け、掘り進みながら計測する場合は、「掘削同時検層(LWD)」といいます。

図4はC0001地点で行ったLWDの結果です。暗い部分は電気伝導度が高く電気を通しやすいところ、明るい部分は電気伝導度が低く電気を通しにくいところです。孔壁は岩石なので、電気伝導度は低く、明るくなります。ブレークアウトやDITFがあると、その部分は岩石ではなく、掘削孔を満たしている泥水になります。泥水は電気伝導度が大きいため、ブレークアウトやDITFの部分は暗くなるのです。LWDのデータを詳細に解析してブレークアウト

やDITFを見つけ、応力状態を調べました。その結果は、意外なものでした。

南海トラフではフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいるため、どの地点も圧縮応力がかかり、その方向はプレートの沈み込みと同じだと予想されていました。実際、C0001地点とC0007地点は圧縮応力で、その方向は沈み込み方向とほぼ同じでした(図1)。しかし、C0002地点だけは伸張応力場で、その最大水平応力の方向は沈み込み方向とほぼ直交していたのです。この結果に、多くの科学者が驚きました。

岩石の応力状態は「非弾性ひずみ回復法(ASR)」によっても知ることができます。地下の岩石は、応力によってひずんでいきます。それをコアとして取り出すと、応力が失われて弾性ひずみが急激に回復し、その後、非弾性ひずみが数日から数ヶ月かけて少しずつ回復していきます。その過程を精密に測定すると、地下での応力状態を推定することができるのです。

このASRでC0002地点のコアを調べました(図5)。ひずみの回復はコアを掘り出した瞬間から始まるので、コアを船上で待ち受け、急いでセンサーをコアの表面に取り付けて、ひずみを測定しました。ASRの測定結果は、孔内検層の結果と整合するものでした。

複数の手法で挑む

ブレークアウトとDITFから分かるのは、水平面内の二次元応力だけですが、ASRは三次元の応力状態が分かるという利点があります。しかし、ASRを測定できるのは1つの掘削孔で数個のコアだけです。一方ブレークアウトとDITFは、掘削孔全体の孔内検層でデータを取ることで、深度による応力状態の変化を連続的に知ることができます。地下の岩石の応力状態を高精度で測定できる完璧な手法は存在しません。そのため、複数の手法を組み合わせる必要があります。

ブレークアウトやDITF解析、ASRは、応力の方向を測定することが得意です。応力の絶対値(大きさ)を直接測定できるのは、現在、MDTというツールを用いた水圧破砕法だけです。水圧をかけて孔壁に亀裂をつくることで、応力の絶対値を測定します。南海掘削では2009年、C0009地点においてMDTによる応力状

態の測定に成功しました。MDTの成功は、海洋科学掘削史上初です。

こうしたさまざまな計測から、C0012地点は、沈み込み方向と直交する圧縮応力がかかっていることも分かりました(図1)。C0012地点は沈み込み直前の海洋プレートであり、そのような応力状態なのはプレートが湾曲するためだと考えられています。

応力状態は深度によって変化することも明らかになりました。浅部では伸張応力場、深部では圧縮応力もしくは横ずれを起こす応力が働いています。C0002地点はプレート境界から分かれている分岐断層の真上にあっています。C0002地点の応力方向の“異常”は分岐断層などと関連していると考えられていますが、さらに深部の応力状態も調べなければ結論は出せません。C0002地点では今後、分岐断層を貫いて、深さ7,000mのプレート境界まで掘削を行います。それによって南海トラフ地震発生帯の応力分布が明らかになり、地震発生の仕組みの理解に大きく近づけることでしょう。

地震による応力状態の変化

応力状態は、時間経過によっても変化します。プレート境界では沈み込みに伴って応力は徐々に大きくなり、地震が発生すると応力が解放されます。それを繰り返しますが、応力の変化率やピークの高さ、地震発生の間隔はさまざまです。海溝型地震の発生の仕組みを理解するには、地震の前と後、さらに地震と地震の間の応力変化も知る必要があります。

東北地方太平洋沖地震が起きた日本海溝周辺では、1999年に掘削調査が行われていました。そのデータを再度解析したところ、ブレークアウトやDITFが見つかり、応力の水平方向を正確に知ることができました(図6)。

掘削地点は、三陸沖の水深約2,500mにある1150と1151です。いずれも圧縮応力がかかっていましたが、1151地点の最大主応力方向はプレートの沈み込み方向とほぼ同じだったのに対し、1150地点では約30度傾いていました。1150地点の付近は小さな地震がたくさん起きていたこと、プレート同士の固着が弱いことが影響していたと考えられています。

東北地方太平洋沖地震の後、海洋研究開発機構(JAMSTEC)は深海調査研

図5 非弾性ひずみ回復法(ASR)

コアの表面にセンサーを取り付け、ひずんだ岩石が回復する様子を計測する。そのデータから、地下での応力状態を推定する。写真は、C0002地点の海底下912mから採取したコア

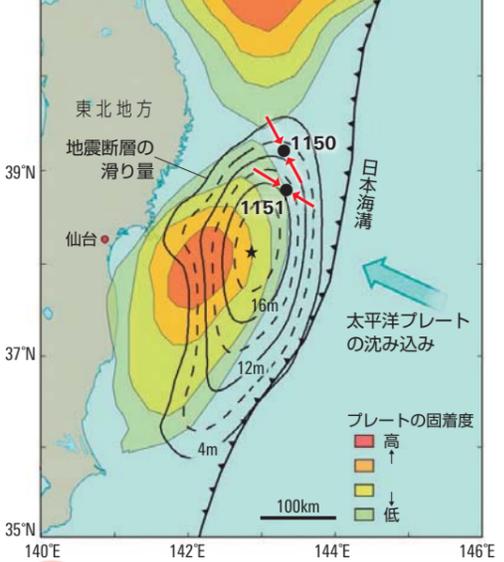


図6 東北地方太平洋沖地震前の応力方向

地震前の1999年に1150と1151の地点を掘削したデータから、その地点は圧縮応力場で、方向はプレートの沈み込みとほぼ同じであることが分かった。1150地点の応力方向は、沈み込み方向から約30度傾いている。これは、付近の地震活動やプレート同士の固着度の影響だと考えられている。星印は、東北地方太平洋沖地震の震央

究船「かいらい」で海底を調査し、海底地形の変化を調べました。1999年の調査結果と比較して、日本海溝の海溝軸が水平に約50m移動したことが明らかになりました。海上保安庁の海底基準局のデータからは、震源のほぼ真上の場所が約24m東南東に移動したと、国土地理院の陸上のGPS電子基準点のデータからは、東北地方の太平洋沿岸地域が最大5.3m東南東に移動したことが分かっています。

さらに2011年8月、有人潜水調査船「しんかい6500」で震源域の海底を調査したところ、幅、深さともに1mで、80mも続く亀裂を発見しました。2006年に同じ場所を調査したときには亀裂はなかったことから、今回の地震で生じた可能性が高いと考えられます。亀裂が開口性で、かつ東側が高くなっていることから、断層が両側から引っ張られたことが分かります。

これらのことから、地震前はプレートの沈み込みによって圧縮応力がかかっていたが、地震後は伸張応力場に変化したと考えられます。掘削調査で地震後の応力状態を明らかにしたいと思っています。

掘削調査からは、地震時の応力を知ることできます。地震時に岩石が高速で滑ると、摩擦熱が発生します。その摩擦熱による断層の温度異常を調べると、最大何℃になったかが分かります。その値から、断層が滑ったときにかかっていた応力の絶

対値を推定できるのです。摩擦熱は時間とともに消散していきます。近いうちに掘削できれば、摩擦熱による温度の上昇を実際に捉えることができるかもしれません。

日本海溝と南海トラフの違い

日本海溝と南海トラフでは、どちらも海溝型巨大地震が発生しています。しかし掘削調査とモデル解析から、両者の応力状態が異なっていることが分かってきました。

日本海溝では、掘削した2地点とも圧縮応力がかかっていた。これは、沈み込む太平洋プレートが古く冷たいために、プレート同士が広く固着しているからだと考えられています。一方、南海トラフでは伸張応力場がかかっている地点もあります。これは、沈み込むフィリピン海プレートが比較的若く暖かいために、固着範囲が狭いからだと考えられます。そのほか、応力測定のタイミングが地震サイクルのどの時期にあたるのか、その違いによる影響もあると考えられます。

そうした応力状態の違いを詳しく調べることで、日本海溝と南海トラフの地震発生の仕組みの違いや共通点を明らかにしていきたいと思っています。そのためには、日本海溝の掘削が必要です。すでにIODPに掘削計画の提案書を提出しており、採択可否の判断を待っているところです。BE

編集後記

特集「海を拓く」は、いかがだったでしょうか。一般にCOEとはCenter of Excellence (中核的研究拠点)を指しますが、海洋研究開発機構(JAMSTEC)海洋工学センターでは、世界の海洋工学の開発拠点となるべく頑張っていることを示すために、あえてExcellenceをEngineeringに置き換えてみました(2ページ)。海洋工学、特に深海探査における技術開発はとてモッチな世界であり、ITのような華やかな技術分野とは違い、数ヶ月で劇的な技術革新がもたらされることはありません。それでも、技術者のたゆまぬ地道な努力によって少しずつ進歩していることが、今回の特集でご理解いただけたのではないかと思います。

最近、生物や資源や震源域の調査などにおける活躍が数多く報じられたためか、有人潜水調査船「しんかい6500」がいろいろな分野で取り上げられています。「レゴブロック化」に引き続き、2011年末から2012年初めにかけてハセガワとバンダイから相次いで精巧なプラモデルが発売になりました。また、「しんかい6500」の女性パイロットたちの活躍を描いた小説『海に降る』(矢野婦子 著・幻冬舎)が出版されました。科学小説としてではなく、青春・恋愛小説として読んでも楽しい内容でした。これらは、特にJAMSTECが企画したわけではなく、一般の方々の興味の対象として取り上げられたものであり、これには『Blue Earth』もいくらか貢献しているのではないかと自負しています。

編集者の1人がバンダイのプラモデルを組み立ててみました。耐压殻内の計器類までもが精巧に再現されていますが、残念なことに、17ページにあるように今回の改造で船尾のスラスターなどの形状が大きく変わってしまいます。今後、バージョンアップの部品が追加されることを期待したいものです。(T.T.)

『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メールかFAX、はがきに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 ③ 所属機関名(学生の方は学年)
 - ④ TEL・FAX・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300円+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 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
 海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部 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(118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、独立行政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23巻 第6号(通巻116号) 2012年2月発行

発行人 山西恒義 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部
 編集人 満澤巨彦 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部 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(p20-27)/鈴木志乃(p1-17、裏表紙)/坂元志歩(p18-19)
 佐藤ひとみ(p28-31)
 デザイン 株式会社デザインコンビビア
 (AD 堀木一男/岡野祐三/飛鳥井羊右ほか)

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。

賛助会(寄付) 会員名簿 平成24年2月29日現在

独立行政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	株式会社カイショー
株式会社アイ・エイチ・アイマリンユナイテッド	株式会社海洋総合研究所
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	海洋電子株式会社
株式会社アイケイエス	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アイワエンタープライズ	鹿島建設株式会社
株式会社アクト	川崎汽船株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	川崎重工業株式会社
朝日航洋株式会社	株式会社環境総合テクノス
アジア海洋株式会社	株式会社関電工
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
泉産業株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東製薬工業株式会社
株式会社SGKシステム技研	極東貿易株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社きんでん
株式会社NTTデータCCS	株式会社熊谷組
株式会社NTTファシリティーズ	クローバテック株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	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MTS雪氷研究所	KDDI株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	京浜急行電鉄株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	セコム株式会社
国際気象海洋株式会社	セナーアンドバーンス株式会社
国際警備株式会社	株式会社損害保険ジャパン
国際石油開発帝石株式会社	第一設備工業株式会社
国際ビルサービス株式会社	大成建設株式会社
五洋建設株式会社	大日本土木株式会社
株式会社コンボン研究所	ダイハツディーゼル株式会社
相模運輸倉庫株式会社	太陽日酸株式会社
佐世保重工業株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社サノヤス・ヒシノ明昌	高砂熱学工業株式会社
三建設備工業株式会社	株式会社竹中工務店
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ	株式会社竹中土木
JFEアドバンテック株式会社	株式会社地球科学総合研究所
株式会社JVCケンウッド	中国塗料株式会社
財団法人塩事業センター	株式会社鶴見精機
シナネン株式会社	株式会社テザック
清水建設株式会社	寺崎電気産業株式会社
シュルンベルジェ株式会社	電気事業連合会
株式会社商船三井	東亜建設工業株式会社
社団法人信託協会	東海交通株式会社
新日鉄エンジニアリング株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
新日本海事株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
須賀工業株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
鈴鹿建設株式会社	東北環境科学サービス株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	東洋建設株式会社
住友電気工業株式会社	株式会社東陽テクノカ
清進電設株式会社	東洋熱工業株式会社
石油資源開発株式会社	トビー工業株式会社

株式会社中村鉄工所	株式会社フジクラ
西芝電機株式会社	富士ゼロックス株式会社
西松建設株式会社	株式会社フジタ
日油技研工業株式会社	富士通株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	富士電機株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	物産不動産株式会社
日本SGI株式会社	古河電気工業株式会社
日本海洋株式会社	古野電気株式会社
日本海洋掘削株式会社	松本徽章株式会社
日本海洋計画株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本海洋事業株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
社団法人日本ガス協会	株式会社丸川建築設計事務所
日本興亜損害保険株式会社	株式会社マルト
日本サルヴェージ株式会社	三鈴マシナリー株式会社
社団法人日本産業機械工業会	三井住友海上火災保険株式会社
日本水産株式会社	三井造船株式会社
日本電気株式会社	三菱重工業株式会社
日本ビューレット・パカード株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本マントル・クレスト株式会社	株式会社森京建築事務所
日本無線株式会社	八洲電機株式会社
日本郵船株式会社	郵船商事株式会社
株式会社間組	郵船ナブテック株式会社
濱中製鎖工業株式会社	ユニバーサル造船株式会社
東日本タグボート株式会社	ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社
株式会社日立製作所	
日立造船株式会社	
株式会社日立プラントテクノロジー	
深田サルベージ建設株式会社	

独立行政法人 海洋研究開発機構の研究機関

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 沖縄県名護市宇豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111(代表)



1万m級無人探査機「かいこう」

1995年 3月24日「かいこう」 マリアナ海溝チャレンジャー海淵到達

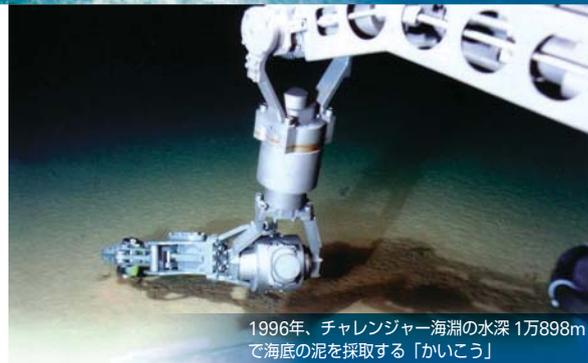
地球上で最も深い場所に到達したい——それを実現したのが、1万m級無人探査機「かいこう」です。

世界最深部は、太平洋グアム島南西沖のマリアナ海溝チャレンジャー海淵で、水深約1万900mです。1960年にアメリカの有人潜水船「トリエステ」が到達し、生物がいたことを報告していますが、標本採取などはできませんでした。

「かいこう」は1995年、チャレンジャー海淵の水深1万911.4mに到達。ゴカイや端脚類の映像を撮影することに成功しました。1万911.4mは、現在でも世界最深記録です。

1996年には、チャレンジャー海淵の水深1万898mに到達し、海底の泥の採取に成功。そのなかからは、800気圧で最もよく増殖する好圧性細菌など、約180種類の微生物が分離・同定されています。

「かいこう」は、支援母船とケーブルでつながれたランチャーと、ランチャーと細いケーブルでつながれたピークルから成ります。ランチャーとピークルが合体した状態で潜航し、深海底に到達すると、ピークルが分離されて探査を行います。世界唯一の水深1万mまで潜航可能な無人探査機として活躍していましたが、



1996年、チャレンジャー海淵の水深1万898mで海底の泥を採取する「かいこう」

2003年に四国沖でケーブルの破断事故によりピークルを失ってしまいました。2005年からは7,000m級細径光ファイバー式無人探査機「UROV7K」を改良してランチャーとした「かいこう7000」として、2006年からはマニピュレータの増設、推進力の増強を行った「かいこう7000Ⅱ」として運用しています。

日本周辺には水深7,000mを超える海溝があり、そこで地震が発生しています。地震の発生メカニズムを理解し、防災・減災に役立てるためには、1万m級の探査機が不可欠です。そうした背景から開発されたのが、大深度小型無人探査機「ABISMO」です。2008年には、チャレンジャー海淵の水深1万350mに到達し、海底の堆積物を長さ約1.6mの柱状に採取することにも成功しました。さらに、世界最深部を有人で探査できる「しんかい12000」の実現を目指そう、という声が高まっています。