

海と地球の情報誌

Blue Earth

134



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

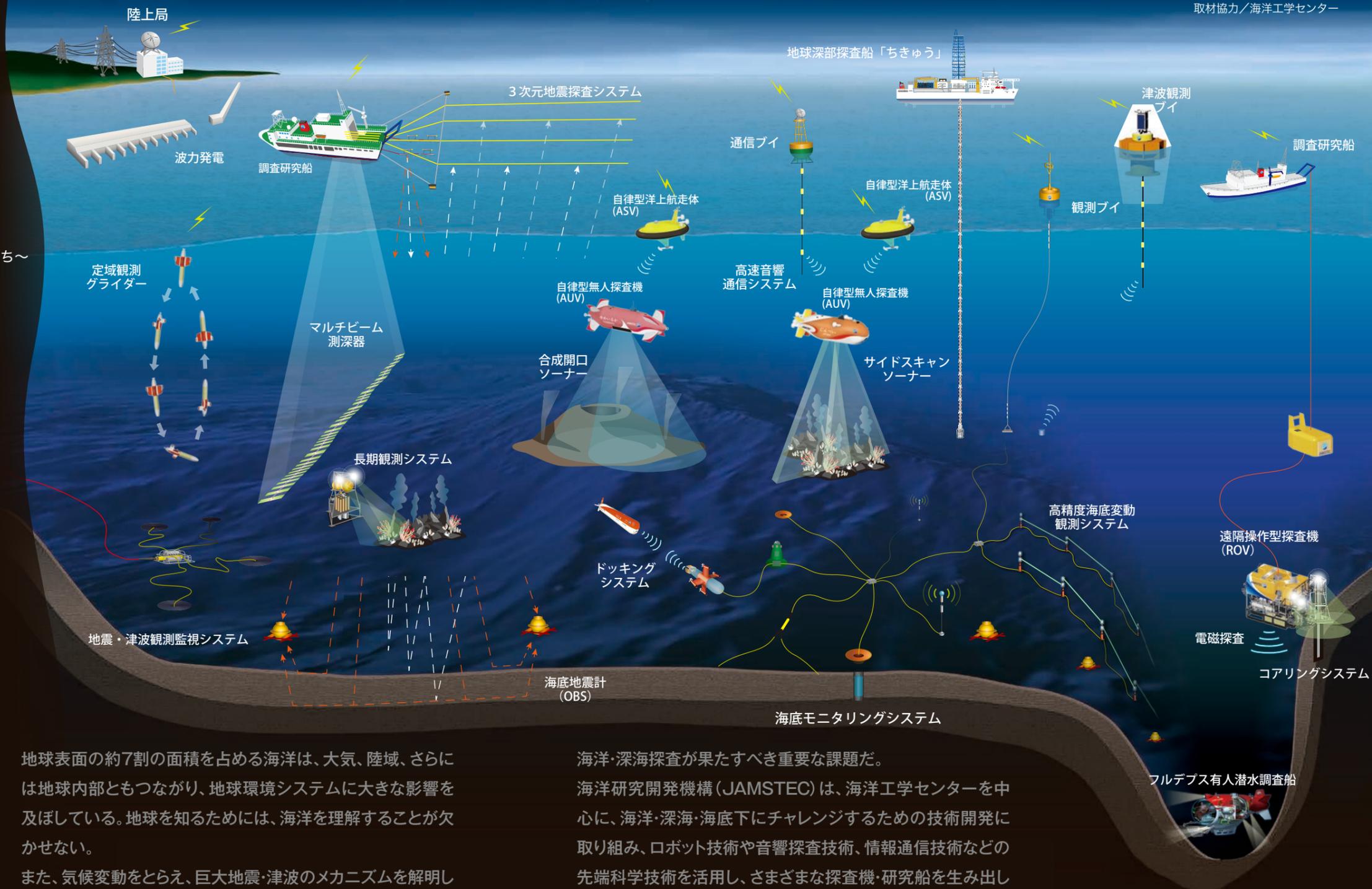
進化する海洋・深海探査技術 深海探査機・調査研究船の 最先端に迫る



- 抜群の機動性を誇る深海曳航調査システム
DeepTow
- 短期気候変動予測研究の次なるステージ

進化する海洋・深海探査技術 深海探査機・調査研究船の 最先端に迫る

取材協力/海洋工学センター



地球表面の約7割の面積を占める海洋は、大気、陸域、さらには地球内部ともつながり、地球環境システムに大きな影響を及ぼしている。地球を知るためには、海洋を理解することが欠かせない。また、気候変動をとらえ、巨大地震・津波のメカニズムを解明して防災・減災に役立てたり、海底下に眠る豊富な資源を探索したりすることによって、社会の持続的な発展に貢献することも、

海洋・深海探査が果たすべき重要な課題だ。海洋研究開発機構 (JAMSTEC) は、海洋工学センターを中心に、海洋・深海・海底下にチャレンジするための技術開発に取り組み、ロボット技術や音響探査技術、情報通信技術などの先端科学技術を活用し、さまざまな探査機・研究船を生み出してきた。海洋探査技術の進化を担うJAMSTECが開発・改良を重ねる探査機器や調査研究船とその未来を紹介する。

1 特集
 進化する海洋・深海探査技術
**深海探査機・調査研究船の
 最先端に迫る**

18 AQUARIUM GALLERY
 沖縄美ら海水族館
水槽生まれの元気な深海っ子

20 海拓者たちの肖像 Special
 TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～
**科学の力を被災地の
 漁業復興に役立てたい**
 木暮一啓
 東京大学大気海洋研究所教授
 同研究所東北マリンサイエンス拠点形成事業代表

24 JAMSTEC Technology
 抜群の機動性を誇る深海曳航調査システム
Deep Tow

28 Marine Science Seminar
**短期気候変動予測研究の
 次なるステージ**
 社会環境問題への応用について
 佐久間 弘文
 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

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

裏表紙 PICK UP JAMSTEC
**国際学会
 「AGU Fall Meeting」に出展**

JAMSTECが進める自律型無人探査機(AUV)戦略

深海は、今なお私たちの想像力をかきたてる未知の世界だが、探査技術の進歩によって少しずつその姿が明らかになり、深海底が資源の宝庫であることもわかってきた。

深海底やその下の地層には、エネルギー源として期待されるメタンハイドレートや、レアメタルと呼ばれる希少資源などが眠っている。また、地球温暖化を抑制するため、原因となる二酸化炭素を回収して海底下の地層に封じ込めようというCCS(carbon dioxide capture and storage)の研究も始まっている。深海を探索し、その環境や資源のありかを探ることは、私たちの未来を切り拓くことでもある。

光や電波が届きにくい深海を探索する手段として主役の座を占めてきたのは、母船とケーブルで繋がった遠隔操作型の無人探査機(remotely operated vehicle: ROV)だ。ROVはリアルタイムで送られてくる映像を確認しながら母船上で遠隔操作できる一方、ケーブルで繋がっているため行動の自由度が限られ、比較的狭い範囲しか探査できない。資源探査やCCSの研究では、広い海域を効率よく調べる必要がある。

そんな状況のもと、次世代の深海探査を担う探査機として

開発が進められているのが自律型無人探査機(autonomous underwater vehicle: AUV)である。内蔵するコンピュータの設定に従って自在に航行し、カメラやソナー、各種のセンサーなどを駆使して深海を詳しく調べる海洋ロボットと理解してもらえばいい。

JAMSTECは、2000年から初のAUVである深海巡航探査機「うらしま」の試験運用をスタートさせ、改良を重ねた現在の機体は、資源探査などに大活躍している(6~7ページ参照)。2012年には「じんべい」、「おとひめ」、「ゆめいるか」の3機を同時に発表した。この3機は、異なる外観からも推測されるように、目的も機能も運動性能もそれぞれ異なっている。その特徴は追って紹介するが、3機とも、より海底に近づいて詳細な探査ができるほか、小型でどの研究船にも載せて運ぶことができるなど、運用上のメリットも考慮して設計されている。得意技の異なる3機を組み合わせることで、より広く、より詳しく、多面的に海底を探索しようというねらいもある。



本格運用に向け、海域試験が行われている3機の自律型無人探査機「おとひめ」、「じんべい」、「ゆめいるか」(左から)。

新設計のCPUシステムと独自開発の慣性航法装置

AUVでは、スラスタ(スクリュウ)や舵の操作、位置・姿勢の制御、カメラ、ソナーによる調査などのミッションをCPU(中央処理装置=コンピュータの心臓部)システムに任せる必要がある。従来のシステムでは1つ、あるいは2つのCPUでこれらすべての制御を行ってきたが、「ゆめいるか」をはじめ新型AUVでは、6~8つのCPUに機能を分散させ、かつ扱う情報はすべて共有することで、仮に1つのCPUに不具合が起きても、他のCPUがカバーしてミッションを継続できるようになっている。

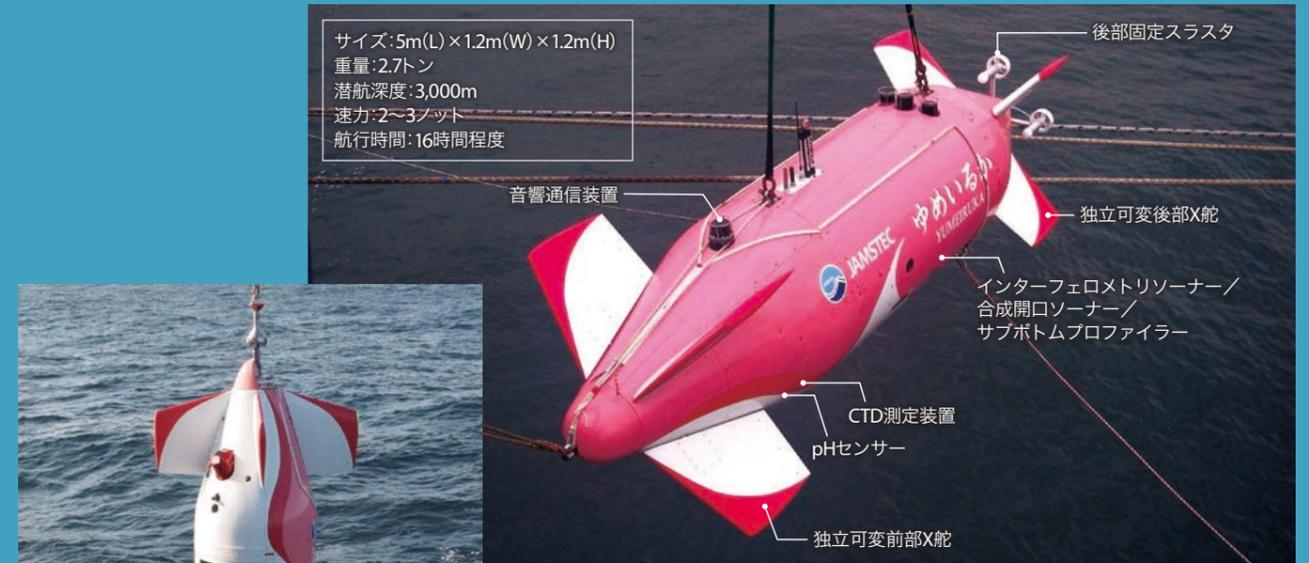
AUVでもう1つ欠かせないのが、位置や姿勢を把握するための慣性航法装置(inertial navigation system: INS)だ。海上を行く船はGPS(全地球測位システム)で自分の位置を正確に知

ることができるが、電磁波が減衰してしまう深海の探査機は、別の方法を用いなければならない。INSは、自分がどの方向にどれだけ進んでいるのかを加速度計とジャイロで刻々と検知し、計算によって出発点からの移動距離(緯度・経度)や方位、姿勢や方向を知ることができる。新型AUVには、JAMSTECが国内メーカーとともに共同開発した世界最高水準の性能をもつコンパクトなINSが搭載されている。さらに、どんなに優れたINSでも長く航行すると誤差が大きくなるので、ドップラー効果を利用して音波の反射波から対地・対水速度を求めるドップラー速度計(DVL)を併用することにより、その誤差を補正する仕組みが組み込まれている。



高性能小型慣性航法装置

取材協力/石橋正二郎 グループリーダー代理
海洋技術開発部探査機技術グループ



サイズ:5m(L)×1.2m(W)×1.2m(H)
重量:2.7トン
潜航深度:3,000m
速力:2~3ノット
航行時間:16時間程度

音響通信装置

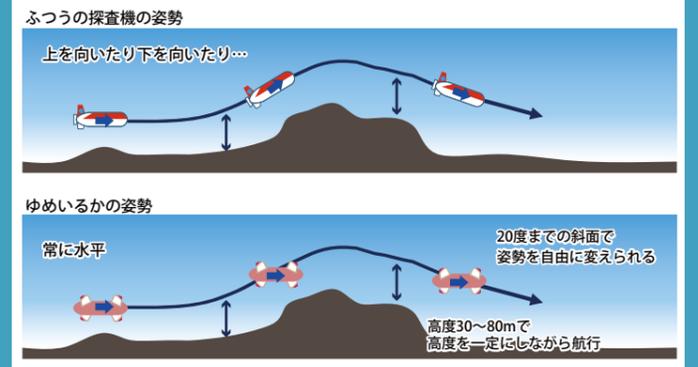
後部固定スラスタ

独立可変後部X舵

インターフェロメトリソナー/
合成開口ソナー/
サブトムプロファイラー

CTD測定装置
pHセンサー

独立可変前部X舵



一般的な探査機と「ゆめいるか」の潜航時の姿勢の違い。「ゆめいるか」は、常に水平を保ちながら航行することができる。

広い海底を精細に探査する長距離ランナー

自律型無人探査機「ゆめいるか」

広範囲の海底地形を詳しく探査

「ゆめいるか」は資源探査を目的として開発された。大容量のリチウムイオン電池を搭載して、連続16時間という長時間の探査が可能だ。その際、海底の地形や地下構造を調べる3種類の音響観測機器が活躍する。なかでも合成開口ソナーは、新たにJAMSTECが開発したもので、効率的かつ詳細な海底地形探査に大きく役立つことが期待される。一般的にソナーは音波を送って、その音波が反射して戻ってくるまでの時間や、その音波の強弱から海底の地形を探る仕組みだが、従来のソナーでは海底に近づかないと細かな様子を知ることができなかった。そのため、1回の潜航で調査できる範囲も限られた。

合成開口ソナーは、同じ場所に異なる位置から何度も音波を当てて情報をたくさん集めるので、海底からの高度が高いところからでも、その様子を高い解像度で鮮明にとらえる

ことができる。つまり、離れたところから一度に広い範囲を調べても、細部まで詳しく調べることが可能になるのだ。その精度は、従来の約5倍、1km先に野球ボールがいくつあるかを数えられるほどだという。その結果、詳しく探査できる範囲も広がり、長い航続距離も手伝って、「より効率的に海底地形や海底表面の底質が調べられるようになります」と海洋技術開発部探査機技術グループの石橋正二郎グループリーダー代理は話す。

もう1つ、「ゆめいるか」に与えられた優れた機能がある。機体の前後に4枚ずつX型に配置された8枚の舵は、どれも独立して動かすことができる。これらを連動させることで、機体が上昇するときも下降するときも、その角度が20度までの範囲なら常に機体を水平に保ったまま航行することができるのだ。これにより、合成開口ソナーをはじめとする各音響観測機器を常に一定の姿勢に保つことができるため、得られる情報の精度をより高めることが可能になった。



海底近くで海水の化学的な観測を行うスペシャリスト

自律型無人探査機「じんべい」
(潜航イメージ)

自律型無人探査機「じんべい」

資源探査に加え、 海底下二酸化炭素貯留研究への対応も

「じんべい」と「おとひめ」には、資源探査に加えてこの2機にしかできないミッションが想定されている。それは海底下二酸化炭素貯留（CCS）の研究調査に関連した、海水中の二酸化炭素（CO₂）濃度やpH（水素イオン濃度）の測定である。

JAMSTECでは、単に海底下にCO₂を閉じ込めるだけでなく、エネルギー再生・循環型の「パイオCCS」の研究を始めている。「パイオ」と接頭語を付けているのは、CO₂を海底下に貯留した後、海底下の地層に生息する微生物がCO₂をもとにメタンを合成し、そのメタンが長い年月の後にメタンハイドレートになり、それを再生可能エネルギーとして使い、発生したCO₂を再び海底下に貯留するという循環システムを目指しているからだ。

この研究を進めていくためには、海水中にCO₂がどのくらいの濃度で存在するのか、CO₂の影響によるpHの値はどの程度なのかなどについて、広い海域のさまざまな深度で調査する必要がある。こうした環境調査を、まずは巡航型の「じんべい」で行い、CO₂の貯留に適した候補地が見つかったら、作業型の「おとひめ」で海底付近をじっくり調べようというのだ。実際にCO₂の海底下貯留実験が始まったら、漏れ出るCO₂を監視する役割も担う。

そのための計測器として、JAMSTECと紀本電子工業が世界に先駆けて開発したpH・CO₂ハイブリッドセンサーが両機に

搭載されている。これを使えばpHとCO₂濃度を同時に測ることができる。

超低速で潜航しながらCO₂やpHを測定する

「じんべい」は、深度3,000mまで潜ってpHとCO₂濃度をその場で測ることができる。採取した海水のpHは短時間で分析が終わるが、CO₂濃度を分析するには、採取した微量の海水を気化させる必要があり、分析し終わるまでに3分近くかかる。そのため、「じんべい」が速く航行し過ぎると、CO₂濃度の分析結果が海水を採った地点から遠く離れたところで出るので、CO₂濃度に大きな変化があった場合、その場所を特定しにくくなってしまふ。そこで「じんべい」には、0.7ノット（1ノットは1.852km/時）という低速で航行させるための工夫がなされている。「じんべい」は、巡航型と呼ばれる筒型の形状をしている。こうした巡航型のAUVは、速度が時速1ノットを下回ると舵がきかなくなる。同じ形状の「うらしま」「ゆめいるか」の速力は、時速約2ノットだ。そこで「じんべい」には、低速でも進む方向をコントロールしやすくするためにスラスト（スクリュー）が機体の中央上部に取り付けられている。

「じんべい」は、海底の地形を調べるマルチビーム測深器やサイドスキャンソナーも装備している。他に海水の塩分・水温・圧力などを測るCTD、酸素濃度を測る溶存酸素計、海の濁りを測る蛍光濁度計も搭載されており、生物系の調査でも高い能力を発揮することが期待されている。

サイズ:4m(L)×1.1m(W)×1.0m(H)
重量:1.7トン
潜航深度:3,000m
速力:2ノット
航行時間:10時間程度



音響通信装置
CTD測定装置
マルチビーム測深器
pH・CO₂ハイブリッドセンサー
中央アジマススラスト
後部固定スラスト
サイドスキャンソナー
独立可変X舵
蛍光濁度計・溶存酸素計



「じんべい」の着水揚取の様子。

取材協力/百留忠洋 グループリーダー代理 海洋技術開発部探査機技術グループ
石橋正二郎 グループリーダー代理 海洋技術開発部探査機技術グループ



垂直翼
水平翼
全方位カメラ
作業型
pH・CO₂ハイブリッドセンサー
CTD測定装置
マニピュレータ
サイドスキャンソナー
ステレオ視カメラ
ハイビジョンカメラ



「じんべい」、「おとひめ」に搭載されているpH・CO₂ハイブリッドセンサー。上はポンプユニットで、銀色の筒の中にはポンプやバルブ、指示薬が入っている。下はメインユニットで、透明部分にはpHセンサーが、グレーの筒にはCO₂センサーが入っている。

サイズ:2.5m(L)×2.1m(W)×1.4m(H)
重量:850kg
潜航深度:3,000m
速力:0.5~1.5ノット
航行時間:8時間程度



自律型無人探査機「おとひめ」
(潜航イメージ)

海底に留まり観測や作業をこなす深海口ボット

自律型無人探査機「おとひめ」

3Dカメラやマニピュレータを持つAUV

巡航型・着底型・作業型の3つの運用形態を持つ「おとひめ」は、「じんべい」のように航行しながら調査を行ったり、1カ所に留まり、ときには着底してCO₂濃度やpHを測ったり、海底近くの様子をカメラで撮影したり、さらにはマニピュレータ（ロボットアーム）を使ってサンプル採取・センサー設置などの作業を行ったりと、マルチに活用できるようになっている。

機体の腹部には、海底を詳しく計測できる「ステレオ視カメラ」が付いている。2台の高性能デジタルカメラで異なる位置から撮影することにより、海底の地形などを三次元（3D）画像としてとらえることができる。また、写ったもののサイズをミリメートルオーダーの精度で明らかにすることも可能だ。

作業型にセッティングされた機体の前方には、5つの関節を持つ軽量・コンパクトなマニピュレータが装着される。「かいこうMk-4」（9ページ）や「しんかい6500」（14~15ページ）のマニピュレータは油圧式だが、「おとひめ」のそれは電動式。油圧式は大出力ではあるが騒音が大きく、重い。「おとひめ」は母船と音響通信しながら作業を行うことがあるため、

静かな電動式を選んだのだ。

「おとひめ」は、コンピュータの設定にしたがって自力で探査するだけでなく、母船からの遠隔操縦も可能だ。その方法は2つあり、1つは光ケーブルを母船とつないで行うもの。研究者は送られてくるハイビジョンカメラの映像を船上でリアルタイムに確認しながら、マニピュレータで生物や鉱物などのサンプルを集めることができる。もう1つは、高速音響通信による遠隔操作。ただし、音波では鮮明な映像を海上まで送ることが難しいため、映像を通信中継装置に音波で送り、そこから光ケーブルで船に送る。機体に光ケーブルが絡まる心配がないため、自由度の高い作業が可能だ。

「『おとひめ』には、JAMSTECが培ってきた技術の結晶が、数多く詰め込まれています」と、開発を担当した石橋正二郎グループリーダーは誇らしげだ。「他のAUVやROVは造船会社と共同で開発しましたが、『おとひめ』はJAMSTECのスタッフが開発・製作した手づくりの探査機です。装備を“着せ替え人形”のように柔軟に載せ替えるという発想も、そこから生まれました」。

技術者たちが機能性をとことん追求し、愛情を注いで誕生させたAUVなのだ。



日本のAUV技術開発のトビラを開いた 深海巡航探査機「うらしま」

東京大学生産技術研究所・浅田研究室の合成開口インターフェロメトリソナーを搭載した「うらしま」。

連続航走距離の世界記録を達成

「うらしま」は、JAMSTECが開発した最初の本格的な自律型無人探査機（AUV）だ。1998年に建造が始まり、2000年に機体が完成してから試験機として運用を開始し、2005年2月に、AUVの連続航走距離としては世界記録となる317kmを達成した。この時期の「うらしま」は動力源に燃料電池を搭載していたが、その後リチウムイオン電池に換えて、2009年からは試験機ではなく、深海調査研究のための探査機として利用されることになった。

2011年には、AUVの頭脳であるCPUシステムや位置・姿勢情報を取得するための慣性航法装置などを更新する大改造を行い、外観からはわからないが、まったく新しい機体に生まれ変わった。「うらしま」の母船は、有人潜水調査船「しんかい6500」と同じ「よこすか」。両機を同時に搭載することはできないため、どちらか一方が使われるときはもう一方は陸に上がるが、現在、同時搭載できるよう、「よこすか」と「うらしま」の船上架台を改良中だ。潜航回数は例年「しんかい6500」の方が多いが、近年、研究者の間で「うらしま」の人気が高まり、2014年度においては「うらしま」が逆転して年間約40回の潜航を行った。

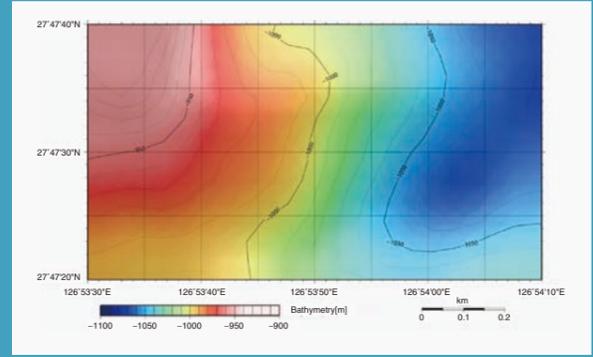
「うらしま」は資源探査や地震研究のための深海底調査、生物調査、海底付近の海洋物理・化学観測などに使用されるが、

最も多いのは資源探査だ。コバルトリッチクラスト、メタンハイドレートなどが多く含まれる熱水鉱床とその周辺地形を詳細に探索するための潜航を重ねている。海域としては、沖縄トラフの伊平屋北熱水活動域などが多い。

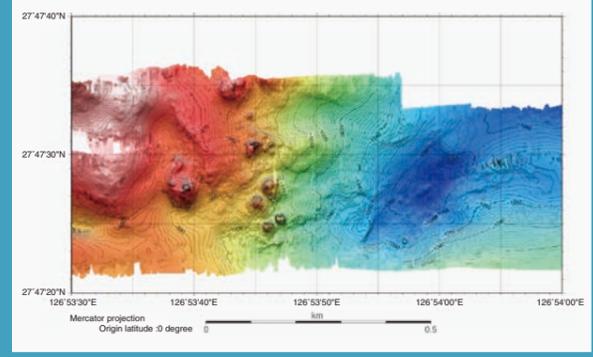
「うらしま」の全長は10.6mほどで、AUVとしては世界最大級の大きさを誇る。全長5mの「ゆめいるか」や同4mの「じんべい」と比べると、2倍以上も長い。潜航中の速度は最大で3ノット（1ノットは約1.852km/時）で、水深3,500mまで潜ることができ、通常は着水後8時間ほど潜航する（調査時間は約5時間）。「うらしま」をはじめ、JAMSTECのAUV群は自律航行をするものの、母船から遠く離れて走り回ることではなく、音響通信によって位置を確認・修正する必要があることから、母船が常にAUVのほぼ直上に位置するかたちで運用される。そして、万一異常などが発生して、母船と連絡がとれなくなったような場合には、自動的に潜航調査を終了して海面へ浮上する仕組みになっている。

大きな機体の“懐の深さ”が人気の秘密

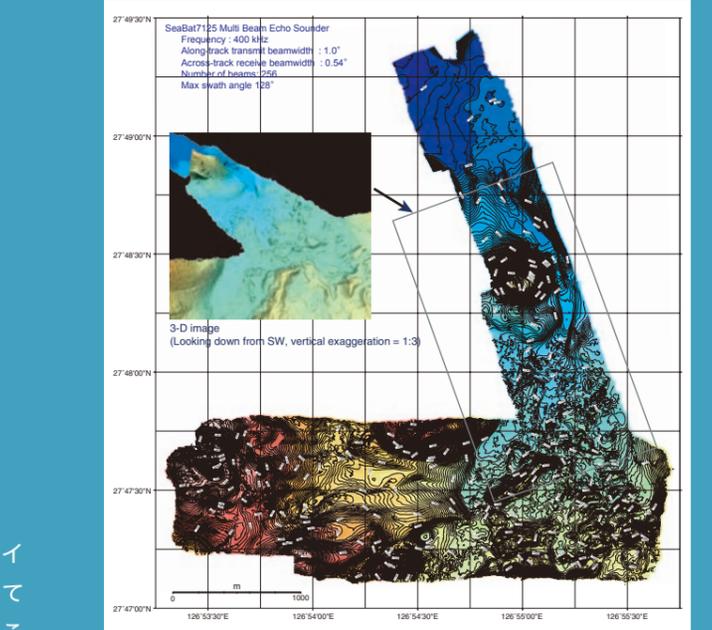
「うらしま」は、おおむね海底から80m～100mほどの高度を保ちながら航行し、サイドスキャンソナーやマルチビーム測深器によって海底の地形を探る。サイドスキャンソナーは海底の状態を画像化し、マルチビーム測深器は収集したデータから海底の凹凸を明らかにして、精細な海底地形図



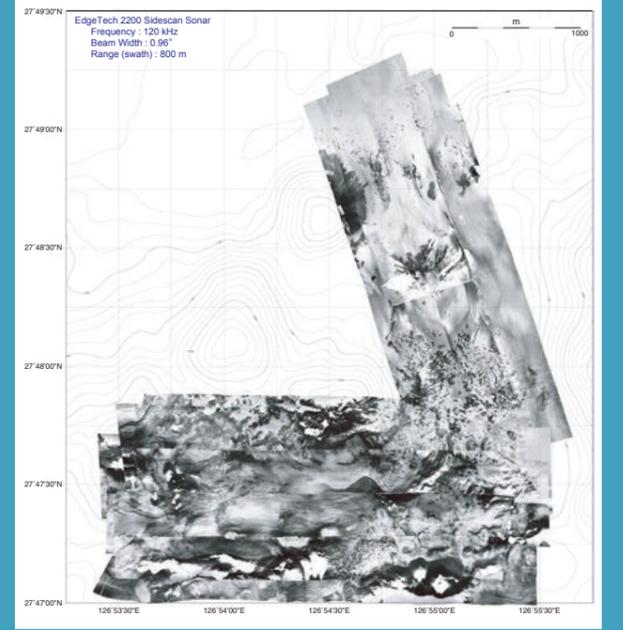
海洋調査船からの音波探査による海底地形図（上）と「うらしま」の音波探査による海底地形図（下）。海上からの探査に比べて、「うらしま」の方がはるかに精細であることがわかる。



取材協力/大美賀 忍 技術副主幹 運航管理部探査機運用グループ
吉梅 剛 技術副主幹 グループリーダー代理 運航管理部探査機運用グループ



「うらしま」に搭載されたマルチビーム測深器で得られた海底地形図（伊平屋北海丘）。



「うらしま」に搭載されたサイドスキャンソナーで得られた海底地形図（伊平屋北海丘）。

を描き出す。さらに「うらしま」にはサブボトムプロファイラーという観測機器も搭載されており、この装置によって「うらしま」が航走した直下（測線）の地層や地質を調べることができる。資源を探査する研究者は、「うらしま」に搭載されたこれらの観測装置によって得られるさまざまなデータを基に海底地形や底質を検討し、海底資源が眠っていそうな場所の目星をつける。それが明らかになったら次のステップとして、「しんかい6500」や無人探査機など、カメラあるいは人間が現場に向かうことで目視観察を行ったり、重要なサンプルを採集するなど、より踏み込んだ調査活動を行う。

「うらしま」はその大きな機体を生かして、研究者の要望に応じて持ち込み観測機器（ペイロード）を追加搭載することができる。機体前部のペイロード区画には、水中重量33kgまでの観測機器が搭載可能だ。これまでに資源探査では、解像度の高い海底地形図が得られる合成開口インターフェロメトリソナーや、海底下の鉱脈を探るための重力計、磁力計などをペイロードとして搭載してきた。機体の後ろに長いケーブルをつなぎ、そこから海底に向かって電流を流し、返ってきた受信波から鉱床を探る電磁探査なども行われている。深海の生物や海水の化学調査をする研究者が、採水器を搭載して深層水を採取することも多い。

大きな機体をもたらす“懐の深さ”が研究者に喜ばれ、それが「うらしま」の人気につながっている。

作業性能のさらなる向上を図り、フルデプス潜航への夢を追う

無人探査機の新たなチャレンジ



「かいこう」システム。手前からランチャー、「かいこうMk-IV」ブークル、「かいこう7000II」ブークル。

取材協力/大澤弘敬 次長 海洋技術開発部
南部喜信 グループリーダー代理 運航管理部探査機運用グループ

大深度海底で資源探査の重作業もこなす

無人探査機「かいこうMk-IV」

強力なマニピュレータと高解像度のカメラ群

「かいこう7000II」の後継機として開発が進んでいる「かいこうMk-IV」は、すべてを一新したブークルだ。最大潜航深度は7,000mと発表されているが、フルデプスを目指した基本設計がされており、最終的には11,000mまでの潜航も可能になる予定だ。現在はまだ運用試験中だが、すでに5,300mの潜航試験が行われ、今後は深度7,000mを経て、マリアナ海溝最深部の約11,000mへの潜航試験も視野に入っている。

装備として大きく進化したのは、大出力の油圧ユニット（油圧電動機）だ。これにより、マンガクラストなどの鉱物資源も採取できる最新のマニピュレータの装着が可能になった。腕を伸ばしきった状態で250kgまで持てる腕力は、「7000II」や初代「かいこう」と比べても大幅にアップしている。スラスト（スクリュ）もオイルの圧力によって作動する油圧モーターで回転し、前後、上下方向ともに最大で約600kgの推力が得られる。重たい鉱物サンプルを載せても、余裕を持って移動することができる。

搭載カメラの性能も大きく向上している。ハイビジョンテレビカメラに加えて、24,000画素/18,000画素取り替え可能な超高解像度スチルカメラ各1台、作業用テレビカメラ2台のほか、180度の視野をパノラマで見られる広角魚眼テレビカメラも備えている。大容量の画像データを伝送することが可能な光波長多重通信の技術が採用され、4Kカメラの画像を圧

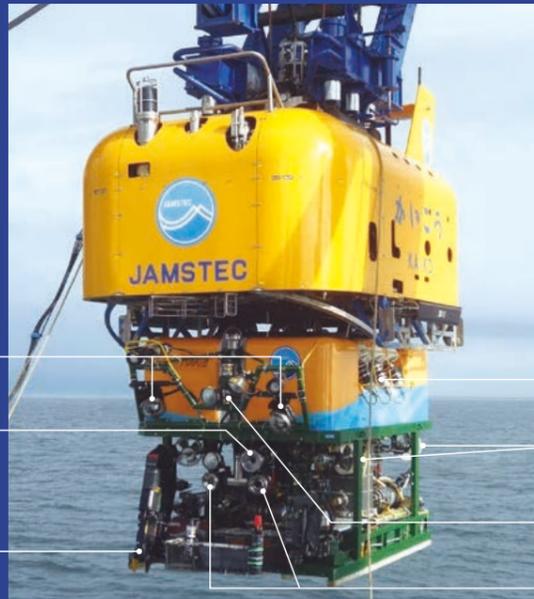
縮することなく、そのままリアルタイムで船上に送ることができる。

また、ROVでありながら、慣性航法装置（INS）とドップラー速度計（DVL）も搭載している。これにより自動的に調査中の位置情報が得られ、オペレーターの補助として決められた場所から場所へ最短距離で姿勢を制御しながら自動航行することもできるようになった。

音響探査のためのソナー類はブークルに標準装備されていないが、ペイロードに搭載可能であり、各種の音響探査もできる。さらに、標準装備されている機器類を取り外して、別のユニットに交換することも可能だ。開発を担当した海洋技術開発部海洋基盤技術グループのリーダーでもある大澤弘敬次長は、こうしたシステムを「着せ替えROV」と呼んでいる。「深度、ミッションによって浮力材やスラストを変えることもできるし、マニピュレータやカメラも載せ替えることができます。それぞれのユニットには、共通のコネクターがついているので、交換が容易に可能です」と話す。

これだけの機能アップ、性能アップを実現させた「かいこうMk-IV」だが、その開発過程には、大きな課題があったという。「ランチャーや母船の台車、電動機、電源（電力）、母船の吊り荷重など、すでにある『かいこう』システムを使用するという制約のなか、限られた予算でこれだけの性能を出すのは、苦労の連続でした。ゼロからすべてをつくることができたら、どれほどラクだろうと何度思ったかしれません」。

「かいこうMk-IV」が世界最深部の深海から送ってくる、鮮明な深海の映像が見られる日も、そう遠くないはずだ。



現在活躍中の無人探査機「かいこう7000II」。



ランチャーとブークルで構成される「かいこう」のシステム。

- テレビカメラ
- デジタルスチルカメラ
- マニピュレータ
- 垂直スラスト
- 水平スラスト
- 前方障害物探査ソナー
- ハイビジョンカメラ

ランチャー サイズ:5.2m(L)×2.6m(W)×3.2m(H) 空中重量:5.8トン 最大潜航深度:11,000m	ブークル「かいこう7000II」 サイズ:3.0m(L)×2.0m(W)×2.1m(H) 空中重量:4.0トン 最大潜航深度:7,000m
--	--

世界最深11,000mの大深度潜航調査へ希望をつなぐ

無人探査機「かいこう7000II」

初代「かいこう」に代わって大深度調査に活躍

遠隔操作による無人探査機（ROV）「かいこう」のシステムは、母船と1次ケーブルで結ばれたランチャー、さらにランチャーから2次ケーブルでつながったブークルにより構成される。大深度では、母船とブークルを直接1本のケーブルで結ぶと潮流やケーブル自重の影響によりコントロールが難しくなるため、海底直上までランチャーを降ろし、そこから伸ばした250mの2次ケーブルの先にブークルをつなぐ中継方式を採用している。

1995年に建造された初代「かいこう」は、世界で最も深い海底に到達できる唯一の深海探査システムとして、数多くの成果をあげた。同年3月には、世界最深部のマリアナ海溝チャレンジャー海淵において水深10,911.4mへの潜航に成功し、海底で生物の映像を撮影するという快挙を成し遂げた。「かいこう」はその後もこの海域で数多くの潜航を行い、1996年には水深10,898mの海底から深海微生物を含む海底堆積物の採取

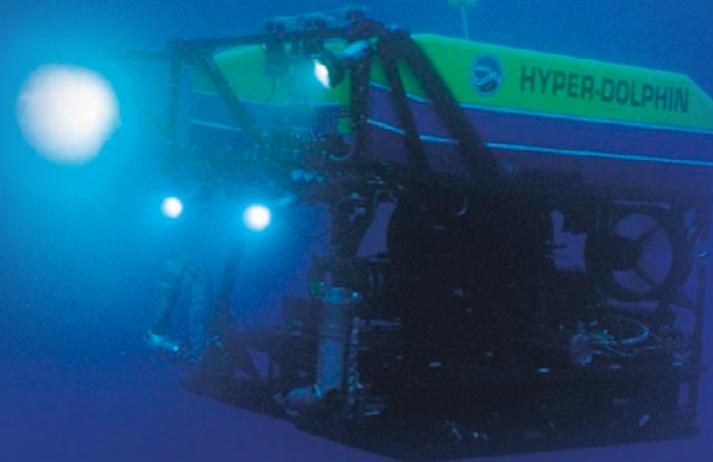
に成功。1998年には水深約10,900mの海底からエビの仲間カイコウオオソコエビ（体長約4.5cm）も採取している。いずれも世界初の成果だ。「かいこう」は生物調査だけでなく地震発生メカニズムの解明など、さまざまな学術研究に使用され、海洋科学・地球科学の進展に大きな貢献を果たしてきた。

水深11,000mのフルデプス潜航が可能な「かいこう」を、2003年の2次ケーブル破断事故によって失ったJAMSTECは、すぐに代替機の開発に着手した。ベースとなったのは、7,000m級の小型無人探査機「UROV7K」を「かいこう」のランチャーとペアを組めるように改造して、「かいこう7000」とした。その後、ブークルの大型化、マニピュレータの増設、推進力の増強などの改造が施され、2006年には「かいこう7000II」としての運用が始まった。7,000mという潜航深度は初代「かいこう」には及ばないものの、機能や性能も含めて世界トップクラスのROVとして、海底資源の探査や地震断層の調査などに活躍している。



運用試験中の無人探査機「かいこうMk-IV」。

サイズ:3.0m(L)×2.0m(W)×2.6m(H)
空中重量:6.0トン 最大潜航深度:7,000m



潜航中の無人探査機「ハイパードルフィン」

身軽さと高い運動性能で「DONET」の敷設にも大活躍

無人探査機「ハイパードルフィン」

ハイビジョンカメラで深海生物を鮮明に撮影

無人探査機 (ROV) 「ドルフィン-3K」の後継機として、1999年から運用されている「ハイパードルフィン」は、深度3,000mまでの深海調査を目的につくられている。深度7,000mまで潜れる「かいこう」システム (8~9ページ) に比べて、潜航深度では及ばないものの「ハイパードルフィン」は機動力に優れ、軽快な運動性能が大きな特徴だ。

「ハイパードルフィン」が導入された当時、JAMSTECはNHK放送技術研究所とともに、超高感度で鮮明な映像が得られるスーパーハープカメラを開発し、2000年から駿河湾・相模

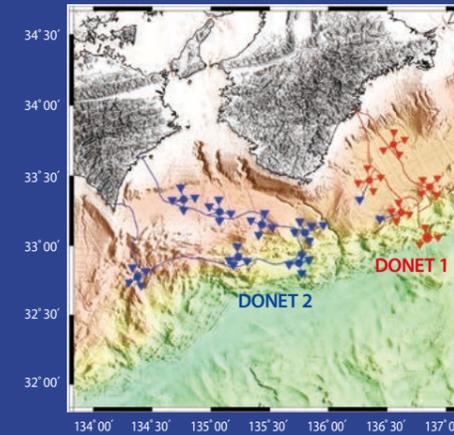
湾・三陸沖などさまざまな海域で深海生物を撮影していった。超高感度化の実現により、深い被写界深度が得られ、高画質で奥行き感や臨場感のある映像は、それまで映像だけで識別が困難といわれていた深海生物の詳細な形態を映し出すことを可能にした。これによって、テレビカメラ映像を用いた種の同定や詳しい生態観察を行うといった無人探査機による新たな生物研究手法の道が拓かれた。

「ハイパードルフィン」は深海の撮影や目視による調査を行えるほか、機体前部の2基のマニピュレータを使ってさまざまな作業をこなすことができる。マニピュレータは、機体の下部に設置したペイロードボックス (機器搭載スペース) やサンプルバスケットに積んだ海底堆積物を取る採泥装置や採水器などを操作するためにも欠かせない。

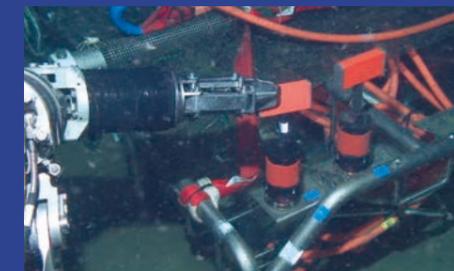
「ハイパードルフィン」の用途としては生物系の調査が比較的多く、資源探査の頻度も増しているが、幅広い研究者に人気が高く、潜航数はこれまでで1,700回を超えている。その理由の1つは固定した母船を持たない可搬式で、運用しやすいためという。通常は海洋調査船「なつしま」、「かいよう」に載せて稼働するが、東北海洋生態系調査研究船「新青丸」にも搭載できる。システムがシンプルなため着水と揚収が短時間で済み、調査時間を長くとれる利点もある。場合によっては、1日に2回潜航することも可能だ。搭載する観測機器 (ペイロード) のスペースが大きいことも研究者には好評だ。



「ハイパードルフィン」が日本近海で撮影した深海生物。左からユビアシクラゲ、ホオズキイカの仲間。



地震・津波観測監視システム「DONET」の展開イメージ。



「DONET」の中継ボックス回収作業。

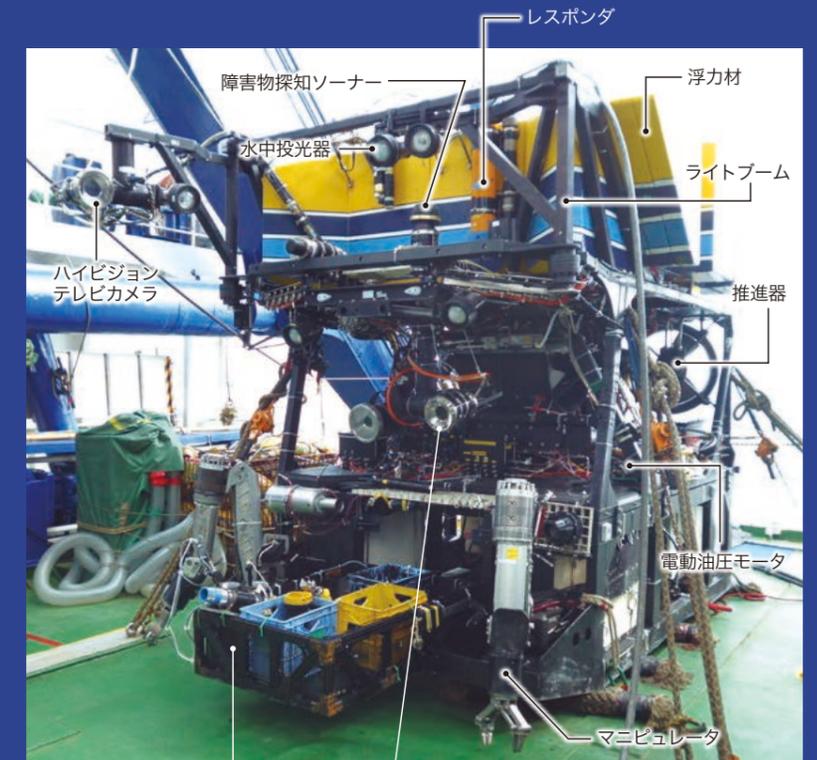


「ハイパードルフィン」と母船をつなぐケーブルのサンプル。

ケーブルを伸ばしながら潜航

ROVは着水したとき、機体の重さと浮力がほぼ釣り合い、浮きも沈みもしない平衡状態になっているので、下降用のスラスト (スクリュウ) を回転させながらゆっくり潜航していく。深度によって着底までの時間は異なるが、1,000mの海底につくのに30分ほどかかる。浮上にも同じくらいの時間がかかる。朝から夕方まで8時間の運用時間のうち、着水・揚収にかかる30分、下降と上昇に要する60分を引いた6.5時間が、海底での調査時間となる。

母船との通信および電力の供給は、直径約28mmのケーブルを介して行われる。鉄線二重鎧装によりケーブルの強度を保ち、内部に動力線とともに通信線が5本通っている。高速デジタル通信に用いられるのは直径約1.5mmの光ファイバーケーブルだ。現在、「ハイパードルフィン」にはスーパーハープカメラに替わって、新しい高性能ハイビジョンカメラが2台装備されているが、これらの映像は光ファイバーケーブルを通して母船に送られ、研究者はリアルタイムで海底の様子を観察することができる。



サンプルバスケット

ハイビジョンテレビカメラ

サイズ:3.0m(L)×2.0m(W)×2.6m(H)
空中重量:4.3トン
最大潜航深度:3,000m

海底のケーブル敷設現場で活躍する「ハイパードルフィン」

「ハイパードルフィン」は現在、主に地震・津波観測監視システム「DONET」の海底観測網を構築するための海中作業にも使われている。すでに熊野灘沖の東南海地震震源域直上に「DONET1」(観測点20カ所)が「ハイパードルフィン」によって設置され、現在は潮岬沖から室戸岬沖の南海地震震源域で「DONET2」(観測点31カ所)の敷設作業が進められている。

海中作業では、長さ10kmの展張ケーブルを「ハイパードルフィン」に搭載して潜航し、拡張用分岐装置 (ノード:観測装置接続用のハブ) と観測点の2点間にケーブルを敷設するなどの作業が行われた。巻いたケーブルを繰り出しながら敷設すると、機体は軽くなり、そのままではバランスを失ってしまう。そのため、「ハイパードルフィン」には姿勢を安定させる浮量調整装置を備え付けるなどの工夫がなされた。さらにさまざまな海中作業ロボット技術が開発され、ケーブル両端を各機器のコネクターにつないだり、センサーを海底の土中に埋めたりといった細かい作業も見事に成し遂げた。

「DONET1」は2011年8月に本格運用を開始し、海底で地震の兆候を監視し続けている。「DONET2」の敷設作業でも、「ハイパードルフィン」が活躍していることはいうまでもない。「DONET2」は、2015年度の運用開始を予定している。

最先端技術を搭載し海洋での研究活動を支える 最先端技術を搭載し海洋での研究活動を支える 新たな海洋調査研究船

東北海洋生態系調査研究船
「新青丸」

震災後の東北の海洋復興に貢献する

東北海洋生態系調査研究船「新青丸」

装備も観測機器も充実した最新鋭の調査研究船

2013年に誕生した東北海洋生態系調査研究船「新青丸」は、同年1月に退役した学術研究船「淡青丸」の後継船であるとともに、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震・津波によって激変した海洋環境を調査し、科学的な知見を東北沖の漁場復興に活用する目的で実施されている「東北マリンサイエンス拠点形成事業（TEAMS）」（20～23ページに関連記事）に必要な調査・研究を効果的に推進する目的で建造された。そのための最先端装備、研究設備を搭載した「新青丸」は、船舶関係者からも高く評価され、「シップ・オブ・ザ・イヤー2013 特殊船舶部門賞」に輝いている。

「新青丸」はディーゼルエンジンで発電し、インバータにより、推進力を制御する“オール電化”ともいえる船だ。船尾にある2基のアジマス推進器は水平方向に360度回転し、船首には左右方向の推進力を発生するトンネル式ハウラスタが付いており、海面を自由自在に動かすることができる。観測や調査でその場に留まり続けたいときも、自動定点保持装置により、風や潮流を感知しながら自動的に推進器の向きや回転数を判断して、正確に船位を保持してくれる。電気推進のため船内はとても静かで振動も小さく、マルチビーム測深器など音響を利用する観測機器への影響も最小限に抑えられている。

通信インフラとして、陸上との通信にはVSATを搭載し、自



360°C回転する「新青丸」船尾のアジマス推進器



同軸ケーブルウインチ。波やうねりによる船体の動揺を自動的に補正制御できる。



採取サンプルの一次処理などを行う第2研究室（ウェット区画）。



ブリッジの操船コンソール（制御機器）。

全長:66m 船幅:13m
計画満載喫水:4.5m
国際総トン数:1,629トン
航海速度:13.2ノット(時速約24km)
航続距離:約12,000km
定員:41名(船員26名/研究者等15名)

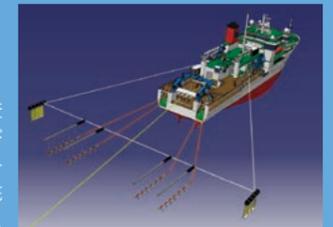


「海底広域研究船」(完成イメージ)

取材協力/牧哲司 調査役 海洋研究船建造室
前田和宏 技術主任 運航管理部運航・工務グループ
山本富士夫 調査役 海洋研究船建造室
前田洋作 技術副主任 海洋研究船建造室

全長:100m 船幅:19m
計画満載喫水:6.0m
国際総トン数:約5,800トン
航海速度:12.0ノット(時速約22km)
航続距離:約16,000km
定員:65名(船員27名/研究者等38名)

海底下の地殻構造を探索するため、エアガンおよび長さ12kmのストリーマーカーケーブルを曳航する「海底広域研究船」のイメージ図。



多種・多様な海洋調査・観測に対応し世界の海で活躍が期待される

「海底広域研究船」

海底下構造の3次元探査も可能な大型多目的研究船

2015年6月に進水命名式が予定されているこの船は、「海底広域」とあるように海底の海洋資源の分布等を効率よく広範囲に調査することなどを目的として建造が進められている。全長100m、国際総トン数約5,800トン。JAMSTECが運用する調査研究船のなかでは「かいらい」、「よこすか」より大きく、「みらい」に次ぐ大きさとなる（総トン数で比較）。「新青丸」と同様に電気推進船で、アジマス推進器をはじめ船内LANなどの通信インフラも、最先端システムが採用される。ひと足早く生まれた「新青丸」に採用された装備や機能をベースに、運用で明らかになった改良点を採り入れ、さらに高い性能を目指している。

「海底広域研究船」には、4つの大きなミッションが想定されている。

- ・海洋資源分布の広域調査、鉱物・鉱床の生成環境をとらえる総合的科学的調査
- ・海底下構造探査、地震・津波に対する防災・減災研究
- ・地球規模の気候変動に関わる大気および海洋環境の変化の把握や古環境変動の解明
- ・地震・津波観測監視システムの構築

これらを実現するため、この船には充実した装備が搭載されている。例えば、海底にパイプを突き刺して深さ40mまでの堆積物を採取する、大型のピストンコーラーを右舷に備えている。この最大使用水深は10,000m以上で計画している。また、海底に着座させて、海底の鉱物資源のサンプルを採取する海底設置型掘削装置も搭載される。「ゆめいるか」、「じんべい」、「おとひめ」などのAUVを複数搭載して、これらを同

時に運用することも可能になるほか、3,000mまで潜れるROVも常設する。各種音響観測装置や海水の物理・化学成分を調べるCTD採水装置なども、もちろん搭載される。研究施設に関しては、船内に合計400m²以上のラボを持つほか、15個以上の20フィート型コンテナラボが搭載可能になっている。

他の研究船にはない探査機能としては、全長12kmという長いストリーマーカーケーブルを使用するマルチチャンネル反射法探査システムが1つに挙げられる。圧縮空気を一気に放出するエアガンという装置で人工的に地震波を発生させ、海底下の地層境界面からの反射波を、多数のハイドロフォン（受振機）を内蔵したストリーマーカーケーブルで受振することによって海底下の構造を可視化するシステムだ。ストリーマーカーケーブルは3kmずつ4台のウインチに巻かれており、広域を3次元的に調べる際は3km×4本、大深度を調べる場合は12km×1本、浅層を高解像度で3次元的に調べる場合は200m×20本というように、目的に応じて曳航パターンを変えることができる。これら3つの構造探査モードにおける測位、制御、データ処理・収録システム等は同一機器で対応可能だ。広範囲の海底下地殻構造を精度よく効率的に把握するためには3次元の構造探査システムが欠かせない。また、「ちぎゅう」が目指すマンツールの掘削の実現には、掘削深度までの大深度地殻構造を調べておく必要がある。そのためにも、新たな調査研究船に高度な地震波構造探査システムを搭載することが求められた。

「海底広域研究船」は、資源探査を含め、これからの海洋研究に求められるさまざまな調査・観測を、より効率的・効果的に推進していくことを考え抜いて設計された“海に浮かぶ研究所”だ。完成は2015年度末の予定である。

人の五感で深海を探る 有人潜水調査船のさらなる可能性を拓く



有人潜水調査船
「しんかい6500」

深海での有人調査をリードし、未来への夢をつなぐ

有人潜水調査船「しんかい6500」

2012年の大改造で性能アップ

1989年に誕生した有人潜水調査船「しんかい6500」は、パイロット2名と研究者1名を乗せて深度6,500mまで潜ることができる世界有数の有人調査船だ。日本近海だけでなく世界の海で潜航調査を行い、数々の深海の謎を解き明かしてきたことから、その知名度と人気は国民的といえるほど高い。

建造から20年以上を経た2012年、「しんかい6500」に建造以来最大の改良が施された。もちろん、これまでも技術の進歩に伴って、さまざまな改良が行われてきた。1990年代には、音波でカラー画像を母船に送信する音響画像伝送装置や自動進路保持装置の新規搭載をはじめ、水中投光器やマニピュレータなども高性能のものに交換された。2000年代には水中テレビカメラの小型化やフィルム式のスチルカメラからデジタルスチルカメラへの交換、ジャイロコンパスの交換、さらに潜水船の船内で使われる照明灯は電球からLEDに、主蓄電池もリチウムイオン電池に交換された。2010年には、水中テレビカメラにハイビジョンカメラが採用された。そして2012年、推進器や操縦システムを新しくして、性能も使い勝手も大幅にアップさせることを決めたのだ。

最も大きな改造は、船尾に1基あった旋回式（左右に曲がるときにプロペラを左右に振る）の大型主推進器（スラスト）を、固定式の中型推進器2台に変更し、機体後部の左右に配

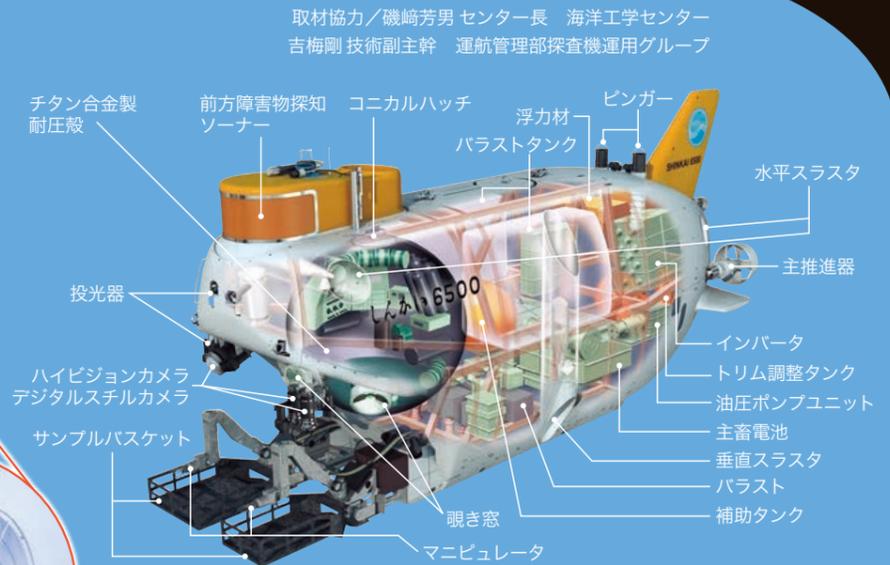
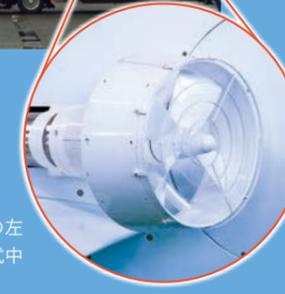
置したことだ。また、これまでの機体前部の水平スラスト、中央左右の垂直スラストに加えて、新たな水平スラストが後部に1台増設された。

スラストはすべて「ドライバー」と呼ばれる装置で制御され、パイロットは推進操縦用コントローラーを操作することで、潜水船を360度あらゆる方向へスムーズに移動させることが可能になり、機動性が格段に向上した。さらに、スラストを回転させるモーターは、交流から直流に変わった。直流モーターはこれまでの交流モーターに比べコントローラーで指令した回転数まで短時間でモーターの回転数を上げることができるので、モーターの起動や停止に要する時間が短くなった。当然ながら、潜水船には車のようなブレーキはない。停止したいときにはスラストを逆回転させないと止まることはできない。直流モーターを採用したことで、止まりたいときにすぐ止まれ、発進したいときにすぐ発進できるようになった。動きが俊敏になり、横や斜め方向への移動も容易になったことで、調査ポイント間を移動するための時間が短縮され、その分サンプル採取や観察に充てる時間が増えたという。通常、「しんかい6500」の潜航時間は8時間であり、深度6,500mまで下降する時間や調査終了後に海面まで上昇するために必要な時間を差し引くと、深海底に滞在できるのは3時間ほど。それを考えると、操縦・運動性能向上による移動時間の短縮という効果は大きい。

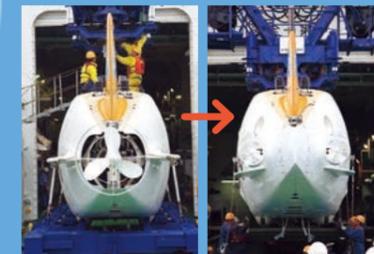


推進器の変更とともに、垂直尾翼がわずかに短くなり、水平尾翼の位置もやや下がった。

主推進器に換わって船体の左右後部に設置された固定式中型推進器（写真）。



取材協力/磯崎芳男 センター長 海洋工学センター
吉梅剛 技術副主幹 運航管理部探査機運用グループ



全長:9.7m 幅:2.8m 高さ:4.1m
空中重量:26.7トン 潜航深度:6,500m
乗員数:3名(パイロット2名/研究者1名)
最大速度:2.7ノット 潜航時間:8時間

2012年の改造で外見上最も大きく変わったのは船尾のスラストだ。大型の1基から中型の2基になった。

改良されたのは推進器や操縦システムだけではない。2010年に搭載されたハイビジョンカメラの映像は、これまで船外の耐圧容器に収められた録画装置に記録され、リモコンで操作していた。ハイビジョンカメラ (HDTV) の普及に伴い、「しんかい6500」を利用する研究者から「より高画質な映像を取得できるカメラへの換装」を熱望されていたが、すぐにHDTVを「しんかい6500」へ搭載することはできなかった。膨大な画像データを潜水船内に送信するためには光ケーブルが必要になるが、耐圧殻に新たに光ケーブル用の穴を開けることができないためだ。そこで大改造に伴って、光ケーブルを耐圧殻の内部に引き込むためのコネクタを新開発し、耐圧殻の中で高精細なテレビ映像をリアルタイムで確認し録画できるようにした。こうした細部の改良は、2012年以降も行われている。2014年度は、さらに高画質なデジタルスチルカメラへの交換や電力消費量を抑える目的で水中投光器をLED化するためのテストなどが実施されている。

フルデプス有人潜水調査船「しんかい12000」への夢

世界屈指の性能を誇る「しんかい6500」は、改良を重ねながら活躍しているが、建造から四半世紀が過ぎたこともあり、さらに高度化した新たな有人潜水船を待望する声も聞かれる。有人潜水船の建造技術の伝承が途切れることを危惧する磯崎芳男海洋工学センター長はこう力説する。

『しんかい6500』の潜航回数は、2014年末時点で「しんかい2000」の通算潜航記録に並び、1,411回に達しました。何よ

り素晴らしいのは、運航開始から25年の間、一度も大きな事故を起こしていないことです。JAMSTECは『しんかい6500』という優れた有人潜水船をつくっただけでなく、安全に配慮した運用を続けてきました。ただ、私が心配しているのは、この『しんかい6500』を生み出した技術者たちが、そろそろ引退する時期を迎えようとしていることです。今ならまだ『しんかい2000』、『しんかい6500』の建造を通して日本が培ってきた知恵と技術が残っています。これを、是非とも次世代に伝えなければなりません。

「しんかい6500」の後継機となる新たな有人潜水船を建造する具体的な計画はまだないが、磯崎センター長をはじめ、JAMSTECの技術者たちは、その実現に向けて大きな夢をふくらませている。そんな技術者たちを代表して、磯崎センター長に世界最深度への到達を目指す有人潜水調査船について語ってもらった。

「開発に取り組んでから完成までに10年かかるでしょう。それから30年使うとすると40年先を目指すことになります。世界の海洋の最深度は、マリアナ海溝チャレンジャー海淵の10,911mですが、そのころには10,911mよりもっと深いところが見つかるかも知れないし、生きている地球の変動によってもっと深くなっているかも知れません。ですから、新しい有人潜水調査船の潜航深度は次世代への余裕を加えて、12,000m。名前は『しんかい12000』です」と話す磯崎センター長が想い描く「夢の新型有人船」のイメージイラストを、次のページに掲載する。

磯崎芳男センター長に聞く 海洋工学センターの近未来ビジョン

システムを統合的に活用し 海洋・地球をより効率的に調査する

広く、深く、長く、高く、小さく

私たちの仕事は、技術によって海洋・地球の研究をサポートすることです。そのため、開発する技術の到達範囲を「広く」、「深く」し、研究のフィールドが拡大できるようにしていきたいと思っています。日頃、技術者たちには今ある技術範囲をお釈迦様の手のひらにたとえる気概を持つようにと話しています。不遜かもしれませんが、孫悟空、つまり研究者が世界の果てに到達したと感じても、それは「既存の技術の枠の中」に過ぎません。私たちが努力して手のひらをさらに広げることができれば、孫悟空が活躍できるステージも広がります。有人潜水船が深度6,500mまでしか潜れなければ、研究者は6,500mまでしか行けません。新しい技術で1万mまで行ける潜水船をつくったら、研究者は深度1万mの世界と出会い、新しい発見も遂げることができるわけです。

「広く」、「深く」、そして「長く」も重要です。わずかな時間しか調べることができなかつた領域で、より長い時間をかけて調べることができるなら、それだけ新たな発見のチャンスが広がることにつながります。また、一時的な現象だけではなく、長期間に亘ってその変化を調べることも重要だと思います。距離的な「長さ」も大切です。私たちは音響による水中の長距離通信技術の開発を進めていますが、距離が延びれば海洋の調査研究に大きなプラスになります。さらに、高い機能や高いパフォーマンスを目指すという意味を込めて、「高く」というキーワードも挙げておきましょう。

技術開発においては、「小さく」というキーワードも大事です。どのように優れた機器でも、大きくて取り扱いに苦労するようでは、手間もかかり、使いにくいものになってしまいます。さらに付け加えるなら、「安く」も外せません。どんなによいものでも、できるだけ安価につくれないと普及していきません。

ニーズに応えるだけでなく、 新たなシーズを創り出すことも重要

「こういうものをつくってください」という研究者のニーズに応える技術開発は、それはそれで簡単なことではありません。しかし、ニーズに応える技術開発だけで満足してはいけ

視野をできるだけ広くするため、「しんかい12000」の耐压殻には透明球を採用したい。この有力候補であるガラスは、強度はあるものの壊れる機構が十分に解明されていない。現時点では人の命を託すには信頼性が足りないが、技術がそれを克服すると信じたい。

透明球とチタン合金球の2つの耐压殻を備え、複数の研究者を乗せられるようなアイデアを持っている。現在の「しんかい6500」は日没前に浮上しなければならないが、「しんかい12000」は海底に1~2日程度は滞在できるようにしたい。そのため、後方の耐压殻には、パイロットや研究者が休息するレストルームの役割をもたせ、簡易トイレも設置したい。

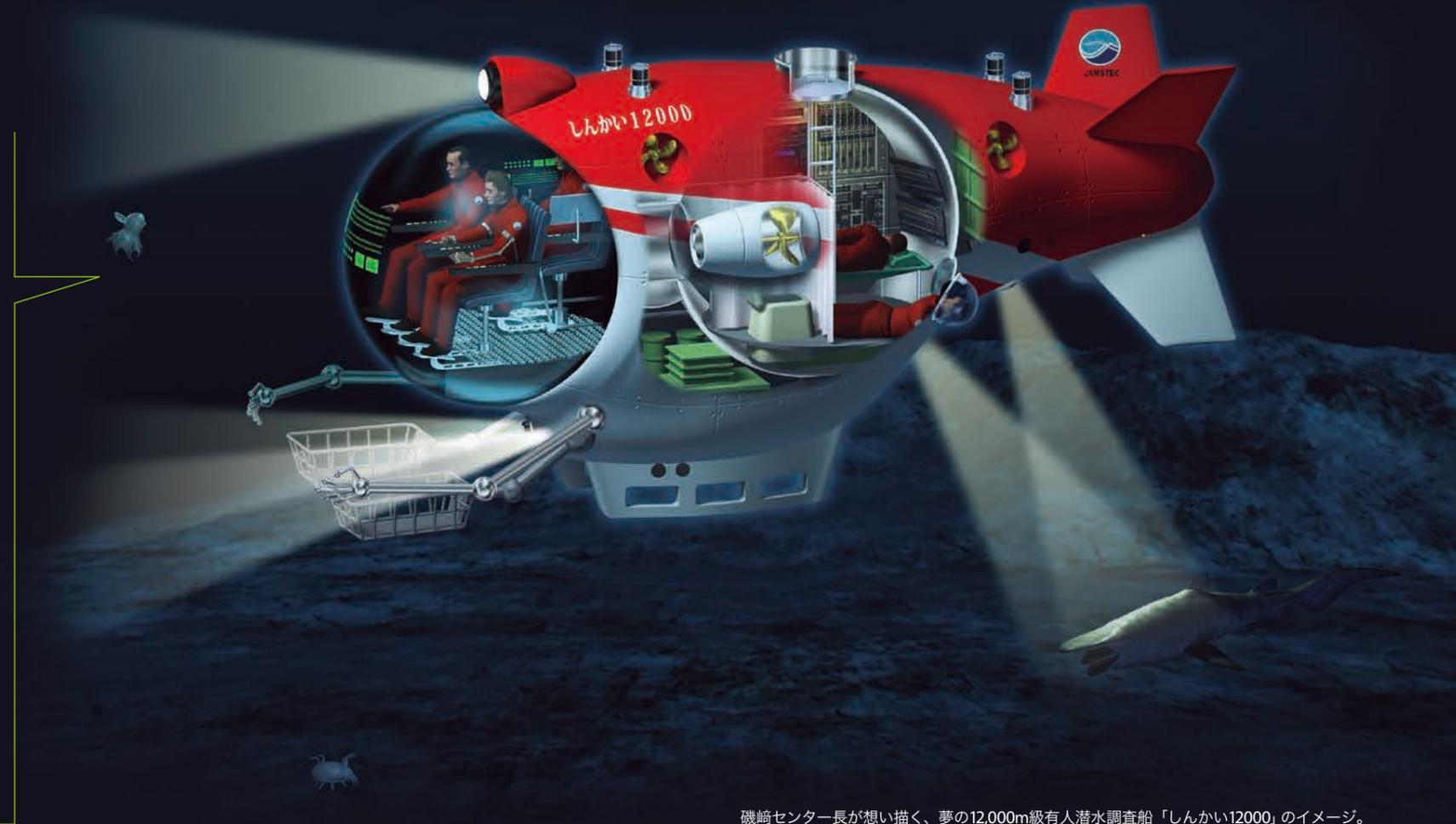
ロボット技術やウェアラブル端末など、幅広い分野の最先端技術を投入し、より高度な機能性を実現することができるだろう。たとえば、グローブをつけた研究者が指を動かすと、ロボットアームが連動して細かい動きまで再現したり、アームに圧力センサや温度センサを付けて、感知した触覚や温度まで指先に感じることができる——そんな仕組みも実現するだろう。

さらに、「しんかい6500」は、着水・揚収時にスイマーが海に入るなど、運用に多くの制約を伴う。これを大幅に軽減するため、母船の中央にムーンプールを設けて、そこから船底に下ろす。水面下からリリースすることになるので海面が少々荒れていても、着水・揚収がスムーズにできるはずだ。

(磯崎センター長談)

ないと考えています。次世代の科学技術を拓いていくためにも、われわれ自身が新しい種を蒔いていかねばなりません。研究者たちの新たなニーズを引き出すためのシーズとなる、今までなかった技術を創り出すということです。それを繰り返していかないと、技術は進歩しないでしょう。

これまでにない画期的な技術は、そう簡単には創り出せません。今まで先輩たちが培ってきた技術を地道に改良・応用・高度化していくだけでなく、広い視野でものごとを考え、知識を吸収し、新しい発想を生み出すことによって、それが可能になるのだと思います。海洋技術開発部では、若い人たちからアイデアを募って、彼らの斬新な発想や創造力を育てていく取り組みにも力を注いでいます。それによって新しい時代を切り拓くイノベーションが生まれてくることを楽しみにしています。



磯崎センター長が想い描く、夢の12,000m級有人潜水調査船「しんかい12000」のイメージ。

社会的なニーズにどう応えていくか

日本近海の海洋資源探査という社会的な要請が高まっています。こうしたニーズに応えるため、JAMSTECは運用する探査機や研究船、観測機器など、個々のシステムを統合的に活用し、効果的な調査を進めています。たとえば、まず最初に研究船を使って広範囲に効率よく調査を行います。そして、ターゲットが絞らば、AUVなどを用いてより海底に近づいて海底面・海底下の構造を詳しく探査します。さらにそこで何かが見つかったら、採泥機器やROV、「しんかい6500」などを使ってサンプルを採取するという具合です。システムを統合的・複合的に動かすことによって、「1+1」が「2」以上の成果を生み出してくれるでしょう。

海溝型の巨大地震のメカニズムを解明して防災・減災に結

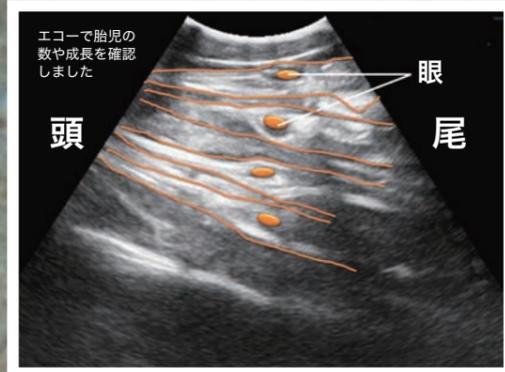
びつけることも、大きな社会的ニーズの1つです。それに応えるためにも、私たちには日本周辺の海溝域で何が起きているのか、これから何が起きようとしているのか、きちんと調査するための技術を構築していくことが求められています。日本海溝の最深部は水深8,020m、伊豆・小笠原海溝の最深部は9,780mです。私は、深海を研究するためには、研究者が実際に深海に行き、五感+ α を生かして現場で体感することが大事だと考えています。「しんかい12000」をつくるという夢の実現は、世界に誇る日本の技術を次世代に伝えていくということだけでなく、海溝型巨大地震のメカニズム解明など、海洋研究の未来を開拓することにも大きな貢献を果たすはずだ。 (談)

BE



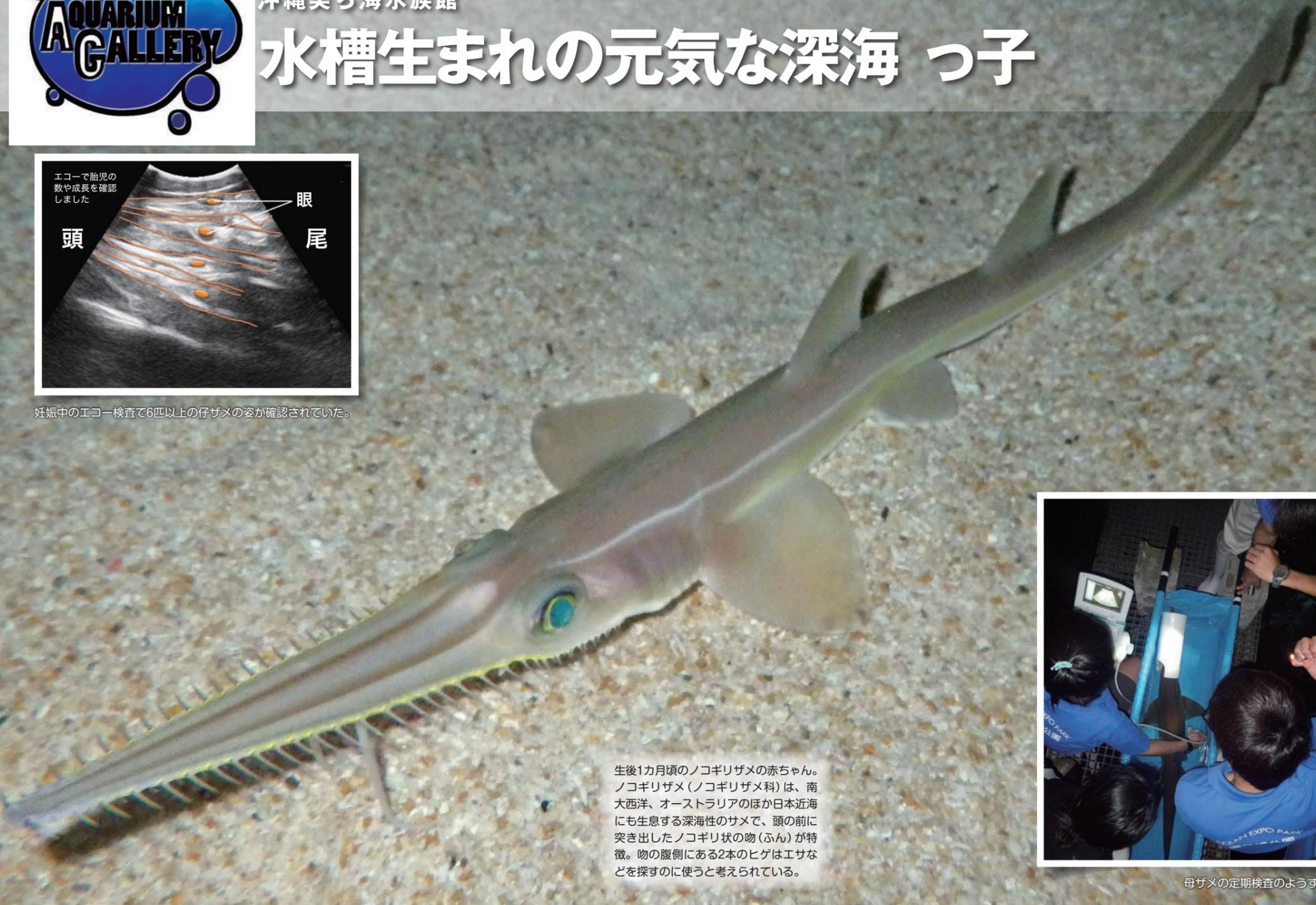
沖縄美ら海水族館

水槽生まれの元気な深海っ子



エコーで胎児の数や成長を確認しました

妊娠中のエコー検査で6匹以上の仔サメの姿が確認されていた。



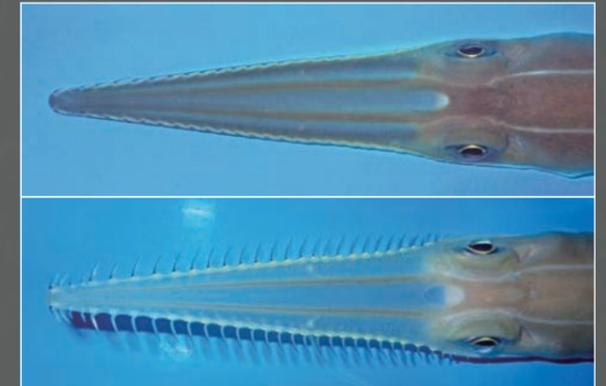
生後1カ月頃のノコギリザメの赤ちゃん。ノコギリザメ(ノコギリザメ科)は、南大西洋、オーストラリアのほか日本近海にも生息する深海性のサメで、頭の前につき出したノコギリ状の吻(ぶん)が特徴。吻の腹側にある2本のヒゲはエサなどを探すのに使うと考えられている。



母ザメの定期検査のようす。

Information
 沖縄美ら海水族館
 〒905-0206 沖縄県国頭郡本部町字石川424 (海洋公園内)
 TEL 0980-48-3748
 URL <http://oki-churaumi.jp>

取材協力：魚類チーム 主任 高岡博子さん



ノコギリザメは胎生であるが、交尾行動や妊娠期間など、まだ未解明のことが多い。仔サメが産まれるときは棘(きょく：ノコギリの刃にあたる部分)を眼の側に向けて折りたたみ(写真上)、母体を傷つけないように頭から産まれてくる。棘は産まれた直後から徐々に立ち上がり24時間ほどでまっすぐになる(写真下)。

けではないが、うっかり指を出すと痛い目にあう。エサをやると、その匂いに反応してすうっと上にあがってくる。そしてエサが近くに来るとノコギリをぶんぶん振り始める。「この行動は産まれて間もないころから見られました。サメは嗅覚で獲物を察知します。そして、ノコギリを振り、傷ついて弱った魚を食べたりすると言われていますが、赤ちゃんザメもエサの匂いを嗅ぐと本能的にノコギリを振ってしまうんでしょうね」。

ノコギリザメは、沖縄周辺では水深200~600mの深海で底生生活をしている。見た目は勇ましいが、ふだんは海底でじっとしているおとなしい性格で、産まれたときの美しい青い眼は大人になっても変わらない。これは、網膜の後ろにあるタペータムという銀色の反射板が光の具合で青や緑に見えるからで、深海の少ない光で物を見るための深海魚ならではの目の構造だ。

沖縄美ら海水族館の「深海への旅」エリアには、水温13~14℃に保たれた冷たく暗い「深層の海」水槽があり、ノコギリザメをはじめ、ハマダイ、ヒゲツノザメ、イモリザメやタカアシガニなど貴重な深海性の生き物たちが飼育されている。4匹の赤ちゃんも「深海への旅 個水槽」のコーナーで展示され、深海エリアの新たな人気者になっているそうだ。

深海の生き物は良い状態の個体を入手することも、それを飼育する環境を整えることも難しい。「館では深海魚の繁殖にも力を入れているので、ノコギリザメの赤ちゃんが元気に育ってくれて本当に嬉しいです」と高岡さん。ノコギリザメの赤ちゃんをきっかけに深海の生き物にもっと興味を持ってもらえればということだ。

BE

2014年4月30日、沖縄美ら海水族館に新しい命が誕生した。ノコギリザメの赤ちゃんだ。頭の先端の吻は、小さくするどいげで縁取られ、まるでノコギリのように見える。同館にはメス2匹、オス1匹のノコギリザメが飼育されているが、その中のペアが交尾して授かった赤ちゃんだという。ノコギリザメの飼育は難しく、すでにお腹に子どもを宿した母ザメが捕獲されて出産した例は過去にもあるが、水族館の中での繁殖は日本初の快挙だ。

産まれた赤ちゃんは全部で12匹。館では母ザメを別の水槽へ移動し、胴回りの計測やエコー検査を行いながら出産の時

期をうかがっていた。「エコー検査で確認した仔ザメの大きさや、母ザメのエサへの反応などから出産が近いことは明らかでした。母ザメの様子が急変したのは30日の夜。宿直スタッフから最初の仔ザメが産まれたとの電話を受け、現場に駆けつけました」と語るのは飼育担当の高岡博子さん。「仔ザメの状態を確認して母ザメに傷つけないよう別の水槽に移し、2匹目が産まれるのを待ちましたが、その日は産まれず。その後、ゆっくりと間隔をとりながら1匹、また1匹と出産は続きました」。そんな調子で、12匹の赤ちゃんが出揃うまでにかかった日数はなんと8日間。母ザメは出産前後の約1カ月

間、エサも食べずに頑張ったそうだ。

無事赤ちゃんが産まれてからも手探りの飼育は続いた。仔ザメにエサを与え始める時期が早すぎると、消化しきれないエサがお腹の中で腐ってしまうこともある。オキアミのむき身、イカ、魚の切り身などを頻度や量を変えて与えながら、少しずつ嗜好性を探っていった。約半年たった現在では、まるのままのオキアミや、魚を細かく刻んだものを食べている。36cmほどだった全長も45cmまで成長した。

体こそ小さいが、仔ザメの「ノコギリ」はすでに一人前。親と同じくらい硬くてとがっているそうだ。決して獰猛なわ

TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～

科学の力を被災地の 漁業復興に役立てたい



東北地方太平洋沖地震の被災地の復興を支援するため、2012年1月に始まった「東北マリンサイエンス拠点形成事業『海洋生態系の調査研究』(TEAMS)」。

東北大学、東京大学大気海洋研究所、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が中心となって、岩手県、宮城県の沿岸域から沖合域の海洋生態系に関する調査・研究を行い、被災地の復興への貢献を目指している。TEAMSに取り組む研究者たちへのインタビュー連載、第2回は東京大学の研究グループを率いる、木暮一啓・大気海洋研究所教授に話を聞いた。

木暮 一啓

東京大学大気海洋研究所教授
同研究所東北マリンサイエンス拠点形成事業代表

木暮 一啓 (こぐれ・かずひろ)
1952年生まれ。東京都出身。1975年、東京大学農学部水産学科卒業。1980年、同大学院農学研究科博士課程水産学専攻修了。博士(農学)。1983年、同大学海洋研究所助手、1993年、同研究所助教授を経て、2002年より教授。専門分野は海洋微生物学。趣味はスキー、テニス、現代美術鑑賞。

十分な研究機材が揃わない 震災の2カ月後から調査を開始

—TEAMSが始まる以前から、岩手県の大槌湾を中心に海洋調査を行っていたようかっています。

木暮：震災以前から大槌湾には東京大学大気海洋研究所の国際沿岸海洋研究センター(以下、センター)があって、周辺海域での調査を行っていました。大槌湾は非常に興味深い海域で、親潮の影響から北の海の特徴を持ちつつも、黒潮や津軽海峡を抜けて南下してきた対馬暖流の海水も流れ込んでいます。湾内には岩場や藻場、砂浜などもあり、生物を調査するにも、海洋物理・化学的な観測をするのにも、適度な広さの海域ですから、センター設置以降、大槌湾を中心に、その周辺海域の調査が続けられてきました。しかし、東北地方太平洋沖地震と津波によって、大槌湾は大きな攪乱を受けました。どのような影響があったのかを調べる必要があると考え、2011年5月にプランクトンの研究グループと栄養塩類の研究グループが大槌湾に向き、調査を開始しました。

東京大学大気海洋研究所附属国際沿岸海洋研究センターは、沿岸海洋に関する基礎研究を行う全国共同利用施設として、1973年に大槌臨海研究センターとして設置され、地元では「赤浜の東大」の名で知られた。2003年から現在の名称となり、日本の沿岸海洋研究の拠点として国内外の多くの研究者・学生に活用されてきた。2011年3月の地震・津波により壊滅的な被害を受けたが、被災後

も、修復した建物の3階部分に沿岸生態分野、沿岸保安分野、地域連携分野、生物資源再生分野の4つの研究室を置き、教育研究活動を続けている。

—2011年5月という、震災から2カ月しか経っていません。すぐに調査は行えたのですか。

木暮：センターも大きな被害を受けました。センター3階まで津波が達して、研究機材はすべて使えなくなりました。しかも、震災直後はすべてのライフラインが寸断されて、電気を使用することもできません。たとえば海洋調査では、採取した海水の濾過は重要な作業ですが、電動の濾過装置は使えず、手作業で行わざるを得ませんでした。もちろん現場での分析はできないので、採取された試料はすべて千葉県柏市にある大気海洋研究所に運んで分析していました。

—なぜ、そこまでして調査を急がねばならなかったのですか。

木暮：巨大津波によって東北地方の太平洋沿岸の環境は大きく変わってしまいました。多くの生物が流され、場所によっては地形すら変わってしまいました。ただ、津波によって攪乱された海が、そのままではありません。震災以前にいた生物が津波で流されたなら、空いた場所を埋めるべく生物が入ってくるでしょう。震災以前と同じ種が戻ってくるのか、違う種が侵入してくるのかは調べなければわかりません。十分な設備が揃わないからといって、時間が経ってしまったら、震災後の環境の変化を明らかにするために不可欠なデータは得られません。ですから、できるだけ早く調査を



開始したのです。

—今回のような大きな自然災害の後、海がどう変化していくかを明らかにした研究報告は過去になかったのですか。

木暮：2004年に発生したスマトラ沖地震でも、インド洋の広い地域の沿岸に津波が押し寄せましたが、直後に広域な科学的調査が行われたという話は聞いていません。2014年にスペインのバルセロナで開催されたIOC(Intergovernmental Oceanographic Commission: 政府間海洋学委員会)の会合で、TEAMSにおける東京大学の研究グループの活動を紹介してきたのですが、会場から「世界的にも前例のない研究だ。期待している」と励まされましたから、自然災害で攪乱された後の再生過程を海域で研究した事例はほとんどなかったのでしょうか。だからこそ、震災後の海の変化をしっかりと調査していかなければならないと考えています。

リアルタイムの海況情報を 漁業者の携帯電話に配信

—TEAMSにはどのような経緯から参画されたのですか。

木暮：大槌湾とその周辺海域の調査は行っていますが、津波の影響は太平洋沿岸の広い範囲に及んでいます。大槌湾で起きている現象が特異的なものなのか、東北一帯で普遍的に起こっていることなのかは、大槌湾以外の海域と比較しなければ明らかにできません。そのため2011年の夏ころから、東北大学の木島明博先生と「一緒に研究できないか」という話をしていました。また、ガレキの流出を考えれば理解できるように、沿岸への影響はさらに沖合にも広がっていると



2011年3月11日、津波により2階まで冠水したセンター本館(左)。



被災直後のセンター本館の様子。海側の鉄製扉をはじめ窓ガラスなど、2階部分まで完全に破壊された(右)。

予想されます。そこで、私たちが大槌湾とその周辺を、東北大学が女川湾とその周辺を、沖合域をJAMSTECが担当する形で文部科学省の公募に応募して採択され、TEAMSとして参画することになりました。

——木暮先生たちの研究は、どのように被災地の復興に役立てられるのでしょうか。

木暮：それがとても難しい課題でした。というのも、私たちはこれまで基礎的な研究を中心にやってきました。大槌町の漁業関係者と交流はしていましたが、研究機材を海に設置する際にお手伝いいただくようなことばかり。私たちの研究成果を直接的に漁業に役立てていただくことは、ほとんどありませんでした。ただ、それにはずっと疑問を感じていたのも事実です。学者は純粋な研究の重要性を説きますが、現実には起こっているのは、大学への運営費交付金の減少です。いろいろな形を通じてもっと社会に大学の存在意義を認めてもらわない限り、この事態は改善されないでしょう。今回のような大きな震災では、科学の力で漁業復興の

お手伝いをするのは我々科学をする者の責務と考え、その手始めとして、大槌湾に設置した自動観測機器が計測した水温・波浪・栄養塩濃度といった海況情報を、漁業者の携帯電話に配信するサービスを開始しました。これまで漁業者は経験や勘に基づいて、どこに網を入れれば魚が獲れるのか、養殖いかだはどこに設置すればいいのかを判断していました。科学的なデータに頼らなくても漁業をしていたわけですが、震災の影響で海は大きく変わりました。漁業を行う上で重要な潮の流れが変化したところもあり、これまでの経験だけでは的確な判断ができません。そこで、リアルタイムの海況情報を役立ててもらおうと考えているのです。

調査結果次第では漁獲規制の必要も

——科学での漁業復興支援というと、魚介類をより多く獲るための技術を期待されるではありませんか。研究者と漁業者の間で意識のズレが生じることはあり

ませんか。

木暮：私たちは、研究活動で漁業復興のお役に立ちたいと考えていますが、漁獲量を増やすための技術だけを求められてしまうと、期待に添えないでしょう。というのも、調査結果次第では、漁業行為に待ったをかけないといけないケースもあり得るからです。たとえば、漁獲規制を考えなければいけないのがアワビです。実は震災後も大槌湾ではアワビがよく獲れているのですが、懸念される研究成果が出ています。大槌湾のアワビの生息状況を調べたところ、大きなものは多く見つかるのに、小型から中型のものが少なかったのです。震災当時、稚貝だったアワビが津波で流されてしまった影響が、今なお残っているのでしょう。

アワビは、主にコンブ・ワカメ・アラメなどの褐藻類をエサとしているが、藻類が密生した藻場で生息しているのは大型の個体だけで、小さな若齢個体は藻場の周辺に暮らしている。大型のアワビは強い力で岩礁に吸着でき、藻場の緩衝作

用によって津波が弱められ、流されることはなかったが、吸着力が弱い上に直接津波を受けた若齢個体の多くは流されてしまった。大型個体が獲れるからといって、安易にアワビ漁を続ければ、近い将来、大槌湾のアワビ資源は壊滅してしまうかもしれない。

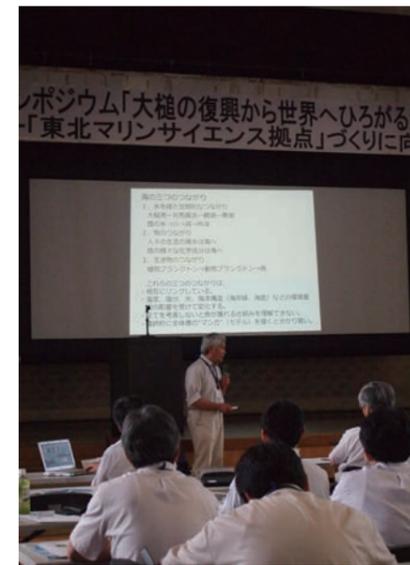
——早急にアワビ漁を規制すべきでしょうか。

木暮：状況を説明すれば、漁業者は漁獲規制の必要性を理解してくれるでしょう。ただ、一方ではアワビの密漁が大きな問題になっています。アワビ資源を守るために禁漁にしても、密漁されるのではないかという意見も聞かれます。持続的なアワビ漁を行うために、まずは漁業者との対話が必要です。

津波から人命を守る防潮堤が漁業の復興に影響する？

——陸上の復興も進める必要がありますが、ビルや住宅の建設で海に土砂が流入することも起こり得るのではないのでしょうか。

木暮：その心配があるので、TEAMSにおける東京大学の研究グループでは、環境汚染物質の流入実態を明らかにするなか、課題を設置しました。当初は津波で流され、今なお海底に沈む自動車などからの有害物質や、陸上に保管されていたPCBなどの危険な物質が海に流れ込むのではないかと心配して、環境汚染物質を監視していたのですが、これまでのところ全国のさまざまな沿岸域と比較しても大槌湾での汚染物質の問題はないと考えています。震災から3年以上が経ち、現在は建設作業による土砂の流入を監視しています。今のところ大規模な土砂の流入は確認されていませんが、次に心配されるのは防潮堤の建設による影響です。これから建設される防潮堤の影響を明確に示すことはできませんが、大槌湾の海況を大きく変える可能性があります。たとえば、防潮堤によって潮の流れが大きく変わることになれば、ようやく復活しつつある湾奥のアマモ場に悪影響を与えかねません。



左の写真は、活動を理解してもらうために開催されたTEAMSシンポジウム、右は、岩手県の水産業に関する勉強会の様子。

アマモは、岩に着生するコンブやワカメなどの藻類と異なり、砂地の海底に根を張って生育する。海底の砂は陸上から河川を通じて供給されるとともに、潮の流れで沖合に流出する量との均衡がとれて維持されるため、防潮堤の建設で潮の流れが変化すると、これまでアマモを育んできた砂が失われる可能性もある。アマモが群生するアマモ場は「海のゆりかご」と呼ばれ、稚魚の育成の場として重要な役割を担っている。津波によって大槌湾のアマモ場は壊滅的な打撃を受けてしまったが、徐々に復活しつつあるだけに、これから建設が始まる防潮堤の影響が心配されている。

——防潮堤は、アマモ場に悪影響を与えるからといって建設を中止するわけにはいきませんか。

木暮：我々は建設の是非を決める立場にいないわけではありません。周辺の住民を含めた地域社会が、最終的にその判断をすべきでしょう。ただし、判断する上で必要な情報、つまり、今、海はどうなっているのかは、防潮堤の建設によって何が起きるのかは、しっかり情報発信していかなければならないと考えています。そのためにも、広報を専門に担当するスタッフを雇用し、情報発信に取り組んでいます。より多くの人に理解してもらうために、研究プロジェクトに「プロジェクト・グランメーユ」(フランス語で「プロジェ

は「プロジェクト」、「グランメーユ」は「大きな木槌」を意味する)という愛称を付け、大槌湾のひょうたん島をかたどった「メーユ」というマスコットキャラクターをつくりました。情報発信のためのウェブサイトの開設はもちろん、研究成果を紹介するパンフレットの発行や大槌町で公開シンポジウムも開催してきました。

——最後にこれからのTEAMSにおける研究活動の展望をお聞かせください。

木暮：今回の震災は、多くの尊い命が失われるなど、本当に不幸な出来事でしたが、破壊された東北地方の太平洋沿岸の復興を支援するため、多様な分野の研究者が集まりました。東京大学の研究グループだけを見ても、生物・化学・物理などの幅広い分野から専門家が参加しています。海洋科学、水産学の研究プロジェクトでは、過去に例がない布陣といえるでしょう。しかも、研究者だけの閉じたプロジェクトではなく、地元の漁業者とともに震災からの復興を実現しようとしています。TEAMSは2012年から10年間という期間を区切った取り組みですが、これだけ多くの人々に関わる体制が整ったのですから、TEAMS終了後も継続して海を研究し、地域の漁業に役立てていくとともに、科学者と社会との接点を築くという視点から、今回の事業が持つ意味を明確にしていきたいと考えています。

大槌湾海洋環境モニタリング リアルタイム中継



東京大学大気海洋研究所は、研究拠点である国際沿岸海洋研究センターと大槌湾でさまざまな自動観測機器を用いた海洋環境のモニタリングを実施し、そのうちの主要なデータをほぼリアルタイムで公開している。

抜群の機動性を誇る 深海曳航調査システム

DeepTow

ディーブ・トウ

新しい「眼」と「耳」を同時に搭載した 「Super Deep Tow」に進化中

海底を音波で探るソナーやカメラを搭載した曳航体を全長数千mのケーブルの先に取り付け、母船で引っ張りながら海底近くを調査するシステム——それが「ディーブ・トウ」だ。JAMSTECの深海探査機器のなかで最も長い歴史をもち、数々の実績を上げてきたこのシステムの特徴と、まもなく誕生する最新機を紹介しよう。

●母船で探査機を引っ張るシステム「ディーブ・トウ」

深海底の様子を調べる際に最も手がからないのは、海上から船に搭載した観測機器や船底に装備した音波センサーなどを用いる方法だ。ただし、これでは大まかなことしかわからない。より詳しいことが知りたければ、海中深くまで観測機器を潜らせる必要がある。そこで用いられる無人探査の手段は、大きく3つに分けられる。

- (1) カメラやソナーを搭載した探査機器を母船とケーブルでつないで深海に降ろし、曳航しながら調べる。
- (2) 母船からケーブルを介してスラストで移動が可能な無人探査機 (ROV) を潜航させて調べる。
- (3) 搭載したコンピュータの設定にしたがって自力で潜航・調査する自律型無人探査機 (AUV) を使って調べる。

今回紹介する「ディーブ・トウ」は (1) のタイプである。「トウ (tow)」は、「綱や鎖で引っ張る」という意味の英語。その名の通り、海上の母船で引っ張りながら深海を調査する曳航体システムだ。曳航調査中、曳航体を目的のポイントや深度に正確に送り込めるかどうかは、母船を操縦する船長の腕に大きく依存している。3つの中では基本の仕組みが一番原始的だが、短時間で広範囲の調査ができ、やや荒れた海況でも運用可能なため、「ディーブ・トウ」の活躍する機会は多く、JAMSTECの調査・観測システムで欠かすことのできないものとして、ROVやAUVが進化した今日も利用され続けている。

▼開発が進められている次世代型「スーパー・ディーブ・トウ」のイメージ図。LEDライトが照射した海底を2台のハイビジョンカメラで撮影している。側面下部にある黒く細長い機器はサイドスキャンソナー。「ディーブ・トウ」の両側面から海底面に音波を発信して、海底面の凹凸や底質 (泥質か岩石かなど) を調べる。サイドスキャンソナーの周波数は、左舷38kHz、右舷42kHzを使用しており、一般に海底から50~100mの高度から音波を発信するので、この絵のように海底に間近なところでカメラと同時に使われることはない。

【取材協力】

海洋工学センター

山本富士夫 調査役 海洋研究船建造室

村島 崇 室長 企画調整室

小椋 徹也 技術副主幹
日本海洋事業株式会社深海技術部

●1970年代から開発され輝かしい実績を重ねる

はじめに「ディーブ・トウ」の歴史を簡単にふり返ってみよう。

「ディーブ・トウ」の開発が始まったのは1970年代だ。当時の日本には、深海を調査する技術も機器も全くなかったので、米国のスクリプス海洋研究所が実用化していた米国版「ディーブ・トウ」を輸入し、JAMSTECの技術者たちが少しずつ改良を重ねながら、独自のシステムに育て上げていった。

JAMSTECの「ディーブ・トウ」が実用化されたのは1981年だ。有人潜水調査船「しんかい2000」と支援母船「なつしま」の運用が開始され、その調査海域の事前調査に使われることになった。1983年には、水深5,700mに沈めた200リットル (直径60cm、長さ90cm) のドラム缶を、搭載したソナーとカメラで探し出す実験に成功した。この実験は、水深3,800mの海底に沈んだタイタニック号の発見よりも2年早い。水深約6,000mの深海底で、沈没船よりもはるかに小さな目標物を発見できることを実証した意義は非常に大きく、「ディーブ・トウ」を開発した技術陣にとっても大きな自信となった。その後、「ディーブ・トウ」は、深海の探査で

数々の実績を積み上げていく。1988年の小笠原や沖縄トラフにおける熱水噴出孔生物群集の発見、1999年の小笠原諸島海域に沈む「H-IIロケット8号機」のメインエンジン発見 (26~27ページ上



▲「4Kカメラ」ディープ・トウ
 ・全長 3.5m ・幅 1.0m ・高さ 1.5m
 ・重量 約1,000kg (空中)、700kg (水中)
 ・最大運用水深 4,000m



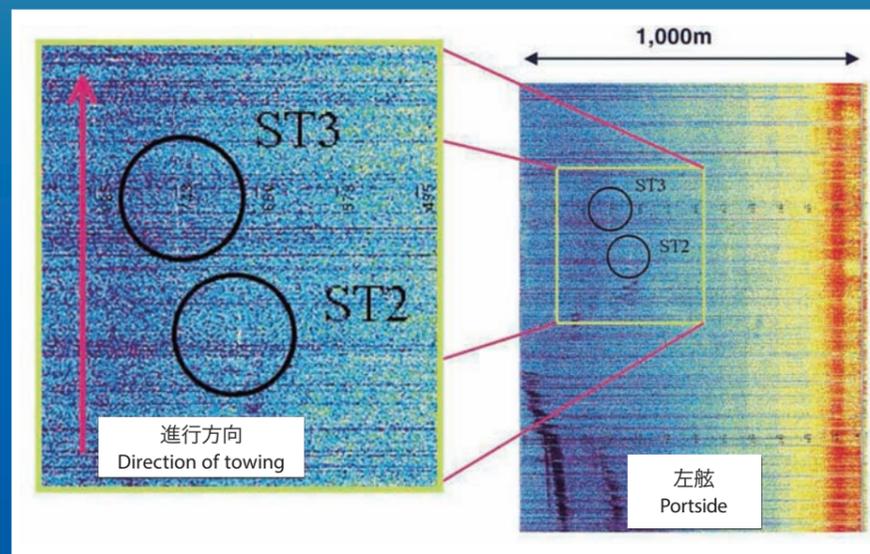
▲「6Kソナー」ディープ・トウ
 ・全長 3.3m ・幅 1.5m ・高さ 1.2m
 ・重量 約1,200kg (空中) ・最大運用水深
 6,000m (「よこすか」搭載時は4,500m)



▲「4Kソナー」ディープ・トウ
 ・全長 3.3m ・幅 1.5m ・高さ 1.2m
 ・重量 約1,350kg (空中)、760kg (水中)
 ・最大運用水深 4,000m



▲「よこすか」ディープ・トウ
 ・全長 3.0m ・幅 1.2m ・高さ 1.2m
 ・重量 約650kg (空中)、400kg (水中)
 ・最大運用水深 4,500m

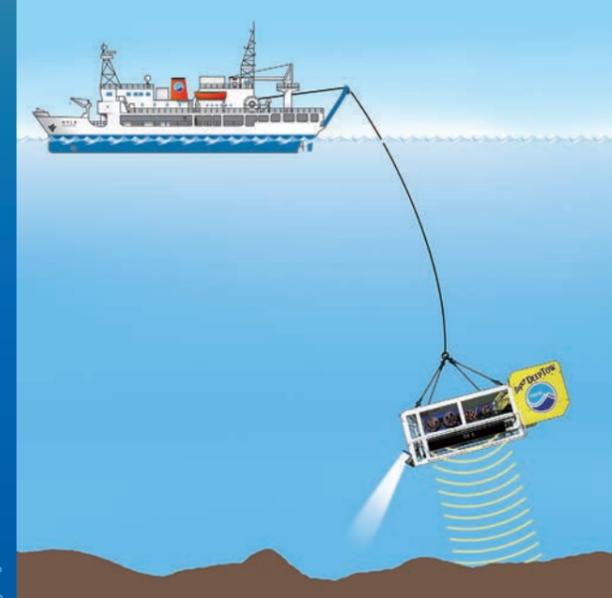


▲「H-IIロケット8号機」探査の成果
 1999年に行われた「H-IIロケット8号機」第1段ロケットの第2次調査で「ディープ・トウ(4kソナー)」のサイドスキャンソナーがとらえたロケットエンジン(黒丸)。



▲ソナーによる調査結果をもとに「ディープ・トウ(4kカメラ)」が発見したエンジン本体(水深: 2,914m)。この後、エンジンはNASDAにより回収された。

▶母船に曳航される「ディープ・トウ」のイメージ図。船で曳航するときの角度は約15度とほぼ鉛直に近い。



中央にソナー画像、27ページ上中にカメラ画像)、2008年に起きた海上自衛隊の護衛艦「あたご」と漁船「清徳丸」の衝突事故海域の調査などは、新聞やテレビで大きく報道されたので、覚えている人も多いだろう。その現場で活躍していたのが、「ディープ・トウ」だった。

●4つのタイプがある「ディープ・トウ」

「ディープ・トウ」は、鉄製のフレームにカメラやソナーを搭載した曳航体だ。現在は、上のような4つのタイプが運用されているが、さらに今回紹介する次世代型の「スーパー・ディープ・トウ」の開発も進められている。

曳航速度は、時速0.6~1ノット(1ノットは1.852km/時)と人が歩くよりも遅い。カメラを装備した「ディープ・トウ」は、海底から3~5mくらいを、高度を一定に保ちながら移動する。真っ暗な深海では、このくらい近づかないとライトを照射しても撮影できないからだ。撮影できる幅は最大5m程度なので、0.6ノットの速度で6時間撮影したとすると約3.3万m²の面積を観察できる。

ソナーを装備した「ディープ・トウ」は、海底50~100mの高度から海底面を観察する。ソナーは音波を海底に向けて発信し、その跳ね返りの音波を受振して海底の凹凸や底質を知る。跳ね返りの時間から海底までの距離がわかり、跳ね返りの音波の強弱からは、海底が柔らかい泥質か、硬い岩石質かといった底質を知ることができる。ソナーは海底からの高度で探査する幅が変わるが、高度50~100mだと、最大幅3kmほどを一度にマッピングすることができる。1ノットの速度で6時間曳航すると、約33km²の面積を調査することができる。

海底からの高度は、搭載された高度計から送られてくる

データを船上で確認できるほか、カメラの場合はリアルタイムで送られてくる映像からも変化を知ることができる。母船と結ばれた直径17.4mmの同軸ケーブル(中心の導体、絶縁体、外部導体、被覆の断面が樹木の年輪のような層構造になったケーブル)のなかに、電力線と信号線が入っている。現在、信号線は大容量の通信が可能な光ケーブルに替わっている。それによって、ハイビジョンテレビカメラの搭載が可能になった。

●こんなにある! 「ディープ・トウ」の優れた点

冒頭に3つの無人探査の手段を挙げたが、「ディープ・トウ」はROVやAUVと比べて何が優れているのだろうか。

一番に挙げられるのは、身軽で機動性に優れていることだ。「ディープ・トウ」は載せる調査船を選ぶことなく、空いている船があれば搭載して直ちに現場に向かうことができる。海洋工学センター企画調整室の村島崇室長は、「2008年のイージス艦『あたご』と漁船『清徳丸』の衝突事故の調査は、要請を受けてから数日で準備して出港しました。『ディープ・トウ』以外では、これほどスピーディーに出動することは難しい」と胸を張る。さらに日本海洋事業株式会社深海技術部の小椋徹也技術副主幹は、その身軽さについて次のように付け加える。「スラスト(スクリュウ)もマニピュレータ(ロボットアーム)もないので、電力ケーブルを細くできます。ケーブルを繰り出したり巻いたりするウインチも小さくてよいので、船上装置もコンパクトです。ROVやAUVでは大規模な着水・揚収用の装置が必要ですが、『ディープ・トウ』はウインチさえあれば、すぐに海底の探索ができます。回収して、またすぐに潜らせることも容易で、1日に何回も潜れます。操作は、船を動かす人とウインチを操作する人がいれば何とかな

るので、3人のチームでオペレーションが可能です。

2つ目に挙げられるのは、海況の変化にも比較的強いという点である。支援母船「よこすか」に搭載された「ディープ・トウ」は、有人潜水調査船「しんかい6500」の事前調査を目的に開発されたが、海が荒れたときには、代わりに潜って調査することもある。

3つ目は、使用目的の幅が広いという点である。船体を覆うフェアリング(カバー)がなくフレームだけであることから、多種多様なセンサーを搭載しやすい。自己記録式の濁度計、溶存酸素を計測するセンサーなどを追加搭載して、潜航中にデータを取ることも容易だ。

これだけ長所があるなら、ROVやAUVに代わって「もっと利用できるのでは?」と思うかもしれないが、「ディープ・トウ」が取って代われないことがいくつかある。何より制限されるのは行動性能だ。「ディープ・トウ」は自力走行の動力装置を持っていないので、急に方向転換することができない。また、曳航される速度と水の抵抗が釣り合うところで安定した深度と姿勢を保つようにつくられているので、行動中に停止したり、マニピュレータで何かをつかむような作業もできない。海底に留まって、詳しく調査する仕事には向いていないのだ。

●進化し続ける「ディープ・トウ」

「ディープ・トウ」は、カメラを載せるフレーム、ソナーを載せるフレームに分かれていたが、新たに1つのフレームにカメラとソナーを同時に載せるシステムが開発されている。開発チームのリーダーである海洋研究船建造室の山本富士夫調査役は、このシステムを「スーパー・ディープ・トウ」と名付け、従来のシステムとの違いをこう説明する。

「これまでは、まずソナーで調査して、特異点があったときは一度、曳航体を船上に回収し、より詳しく見るためにカメラを搭載した曳航体を潜航させて調べるという方法がとられてきました。開発中の「スーパー・ディープ・トウ」は6,000mまで潜ることができ、ソナーによる調査で科学的に

気になる場所があったとき、回収することなく、そのまま再接近してカメラによる映像を確認することができます。1回の潜航で2種類の調査を続けて行うことができるのです。カメラや制御機器の小型化、性能アップによって『ディープ・トウ』の機動性や探査能力が大きく向上したのです」。

2014年12月には、「スーパー・ディープ・トウ」の新フレームを潜水させる試験が行われた。2015年2月には、サイドスキャンソナーに加えて新しいカメラを搭載した試験航海が予定されている。

進化するのはカメラや制御機器だけではない。「ウインチの改良も射程に入っている」と前出の村島企画調整室長はいう。「母船は波の影響を受けて上下するので、それがケーブルを通じて曳航体に伝わり、海底での姿勢が安定しないことがあります。これを気にして、『ディープ・トウ』よりROVやAUVを使いたいという研究者が多かったのです。しかし、船が揺れてもケーブルのテンションを自動調節するウインチが開発されているので、今後はこの問題も改善され、安定性はより向上するはずだ」。

深海調査というと、有人の「しんかい6500」や自律航行するAUVが目がいきがちだが、深海調査の切り札として決して外せない「仕事人」ディープ・トウからも目が離せない。B



▲2014年12月に行われた「スーパー・ディープ・トウ」の潜水試験の様子。

短期気候変動予測研究の次なるステージ

社会環境問題への応用について ● 地球情報館公開セミナー第170回 2013年9月21日開催

佐久間 弘文

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



● さくま・ひろふみ。1952年東京都生まれ。UCLAにて理学博士取得。1997年よりJAMSTECが関わった地球環境フロンティア研究システムや地球シミュレータプロジェクトにグループリーダーとして参入。2006年より基礎的成果の社会応用研究の立ち上げを目指し、特に農作物生産予測に焦点を当てて応用研究を推進。

近年、地球温暖化と関連していると思われる気象/気候災害の多発などにより、数十年から百年先の温暖化の評価研究と同時に、季節予測も含む短期気候変動予測の研究とその社会応用が注目されています。

日々の天気と比べゆっくりにした時間スケールで変化する気候は、JAMSTECが主たる研究対象とする海の変動が大きく関わっています。地球環境フロンティア研究システムにおける短期気候変動研究は、そのような意味において海に関するフロンティア研究の名に恥じない、正に世界をリードする研究を基礎研究とシミュレーションによる予測研究の双方において推進して来ました。特に、気象/気候の科学的予測は、この分野の研究コミュニティが一世紀程前に描いた「大きな夢」で、百年後のいま、その夢は確かに実現されたといえます。地球環境フロンティア研究システムの活動もそのような長い時の流れの視点から見れば、夢の実現という時代を画する出来事に大きく貢献したものと位置付けられると思います。今回は、そのような側面に焦点を当て、JAMSTECの研究活動を簡単に紹介すると共に、今後の方向性と課題を探ります。

気候を予測するという事は、少し先の未来をのぞくということでもあります。人々は昔から、未来を“見る”ことに大きな関心があり、そのためにどうすればよ

いかが重要な問題となります。古来より、限られた人が持つ超能力やひらめきといったものが使われたことは事実であると思いますが、現在では、万人に理解可能な科学的手法として、統計的なアプローチと力学的なアプローチが知られていますので、ここではこの後者についてお話しします。

自然科学の言語としての数学

現在の気候変動予測の歴史は19世紀の終わりから20世紀にかけて始まります。18、19世紀に科学が発達するなかで主流となったものに「機械論的自然観」というものがあります。それは、世界は機械のようなはっきりとした因果関係のみで動いているという考え方です。もし、本当に世界がそのようなできているのなら、世界の一部である人間の自由意思はどうなるのかという大問題が当然出て来ることになりますが、これは本題から大きく逸れることとなりますので、ここでは立ち入りません。しかし、なぜこのような「機械論的自然観」が現れて来たのかという理由を一言付け加えると、それは天体力学におけるニュートンの理論の

大成功によっていて、科学的予測の原点はここから始まっているといえます。以下、その歴史を概観しましょう。

既に名前を出してしまいましたが、科学の歴史において誰もがよく知っているのはアイザック・ニュートンですね。ニュートンの生涯は1642～1727年ですからちょうど江戸時代に当たります。ニュートンといえば万有引力の法則が真っ先に思い浮かびますが、「自然現象の因果関係（因果律）を表現する言語としての数学、微分学を発明した」ことも非常に重要です。フランス文学を理解するためにはフランス語が、ドイツ文学にはドイツ語が必要であるように、科学と呼ばれる西洋から起こったこの学問を理解するためには言語が必要で、その言語が数学だと思ってください。

ニュートン以降、その志を継ぐような数学者、物理学者が言語としての数学を発達させていきます。特に有名なのはスイスの大数学者レオンハルト・オイラーで、今日大気や海洋の流れを研究する上で必須となっている流体力学の基礎方程式を導きました。この式は、流体がどう運動するのかというその因果律を数学的

に表現したものになっていますが、「因果律を数学で表現する」と聞いても非常に抽象的でなんのことかわかり難いので、ここで簡単に説明しましょう。たとえば運動している物体があるとき、何も力が働いてないと初期状態のまま動き続けますが、何か力が作用するとその先の動きが少し変化します。ニュートンは、周りからさまざまな力が加わることで、どのように運動が連続的に変化していくかということ、人類史上初めて数学という言語=数式で表したのです。その式は初期状態から少し先の未来がどうなるかを示して、原理的には、少し先の予測を数多く繰り返すことで近未来の予測が可能という形になっています。

いまお話ししたのは1つの物体の動きですが、気象/気候予測に関係する大気や海洋は連続的に広がっており、予測は相互作用する無限の数の物体が理論的にどのように運動するかという非常に難しい問題になります。このような流体の動きを数式で表したのがオイラーです。

気象学の発達と天気予報の始まり

19世紀末には、ノルウェーの物理学者、ヴィルヘルム・ビヤークネスが、流体力学の知見を組み合わせれば、日食や月食を予測できるように大気や海洋の運動も予測できるのではないかと夢をもち、気象学のグループを立ち上げました。これが気象学及び天気予報研究の始まりです。その志を引き継いだ英国のルイス・フライ・リチャードソンは天気予測に必要な物理法則を数式で示し、1920年頃に手計算で数値天気予報をしようとしたが、当時はまだ知見も不足しており、失敗に終わっています。

20世紀には、ジョン・フォン・ノイマンという数学者が現れました。20世紀の科学史のあちこちに登場する重要人物で、原子爆弾開発のためのマンハッタン計画にも携わっています。ノイマンは第二次世界大戦後、コンピュータ開発のプロジェクトを成功させ、それを数値天気予報へ応用しました。このときノイマンが中心となり立ち上げた気象学のプロジェクトに、ジュール・グレゴリー・チャーニーという若い理論気象学者が参加します。チャーニーは大気の運動をよい近似で表すことのできる簡易型の数式を導くことに成功し、当時の性能の低い計算機でも、大まかな予測ができるようになりました。

図1は、1950年頃にノイマンらが行った、世界で初めての天気予報です。高度5,000mの気圧場の変化についての12時間予測でした。その後、コンピュータの性能が飛躍的によくなり、現在では図2のような3次元メッシュ上に数式を適用し、たとえば地球全体の温度分布図なども簡単に得られるようになってきました。

なぜ長期予測は難しいのか

ところで、天気は3日先の予報が限界だとか、エルニーニョの予測なら1年先までなどといわれているのですが、それはなぜでしょうか。

多少、初期値が違っていても結果が大きく変わらない運動を安定的な運動といえます。これに対し、初期値が少しずれると結果が大きく変わる、不安定なカオスと呼ばれる現象があります。カオス現象では、初期値を非常に正確に与えないと、いくら計算式を正確に解いても予測できません。このようなカオス的な現象に

ついては19世紀末に、フランスの数学者アンリ・ポアンカレが言及していましたが、当時はカオスの複雑性を具体的に表現する手段も無いこともあって、カオスは極一部の研究者の関心に留まっていた。

20世紀後半になってコンピュータによりカオス運動の複雑性が誰の目にも明らかかな形で再現されるようになると、カオス理論は一躍、脚光を浴び、1980年代には天気予報の基本的な理論の一つとなりました。天気予報に用いる温度や風などの初期値は計測した値で、どうしても誤差が生じるため、予測には理論的な限界があることとなります。

たとえば天気予報について見てみると、毎日モデルに初期値を入れて3日先の予測データを求めたりします。現実の世界はビッグバンのはるか昔から続いているわけですが、現代科学の知識ではカオス現象の予測には限界がありますから、3日後は、また現実世界からの初期値を入力しないと意味ある予測はできません。宇宙論ではビッグバンにおける初期値がどうしてそうなのか不思議であるというような議論を耳にしますが、数値モデルにおける初期値も、その役割を考えればビッグバンの初期値と同じようなもので数値モデルそのものからは決して得られないものです。科学的には予測不可能な世界が過去から連続と続いていることは、よく考えてみると不思議で、私たちが理解したと思っていることは現実世界の皮相に過ぎないのではという想いもします。

ニュートンの有名な言葉に「私は浜辺で気晴らしに通常より滑らかな小石やきれいな貝殻を探し回す子どものようなものに過ぎなかったと思われる。浜辺の向

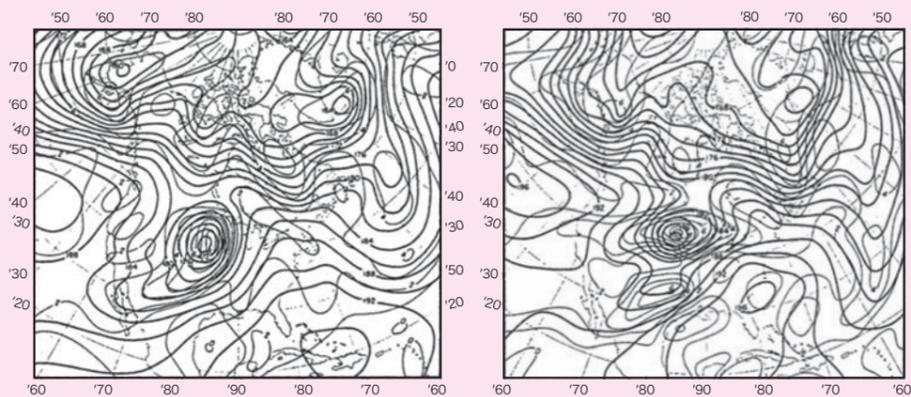


図1 1949年にENIACで試験的に行われた世界初の天気予報実験
左は1月5日午前3時(世界時)における500hPaの高度及び渦度場(実線)の初期値、右は24時間後の予報。

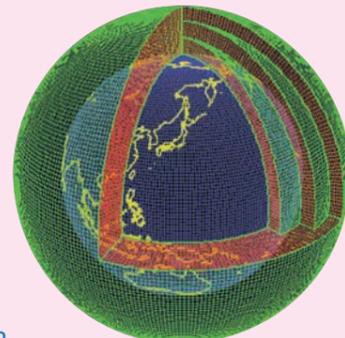


図2 地球全域をカバーするモデルで用いる格子点配置
温度や風、湿度などの物理量がこの格子点上に配置され、モデル化された式に基づき、その時間変化が計算される。

こうには、いまだ知られていない真理を秘めた広大な海が横たわっていたのだ」というものがありますが、その意味ではこのニュートンの言葉は現代でもそのまま当てはまるのではないかというのが、私の印象です。

「地球シミュレータ」の登場

最近の話をしますと、1990年には気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第1次評価報告書が発表され、第2回世界気候会議がありました。92年には地球サミットで気候変動枠組条約が採択され、95年に第1回締約国会議（COP1）が開催されています。97年にはCOP3が開催され、京都議定書が採択されました。こうした気候変動に関する国際的な動向と相まって大気・海洋結合モデルの高

解像度化の機運が高まるなか、日本政府は1997年に地球環境フロンティア研究システム、地球シミュレータ計画を立ち上げました。その大きな目的の一つが、温暖化も含めた気候変動予測でした。

JAMSTECもこのプロジェクトに大きな貢献をしています。2002年、当時世界一のスーパーコンピュータシステムだった「地球シミュレータ」の運用が始まり、我々は世界で初めての高解像度海洋シミュレーションを実現しました（図3）。

海洋に注目すると、特に太陽エネルギーを最も多く吸収する熱帯で世界の気候に大きな影響を与えるいろいろな現象が起こっています。エルニーニョ現象はその代表例です。JAMSTECは欧州連合（EU）と連携して高解像度大気海洋結合モデルSINTEX-Fを開発し、エルニー

ニョ現象予測について研究しています。エルニーニョ現象の影響は、大気中で波のような特有の 패턴を持つ現象を通して世界に伝搬して社会的な影響を与えます。1997～98年に起きたものは過去最大の規模で、アメリカに25億ドルの被害をもたらし、そのうちの10%が農業の被害でした。このように、エルニーニョ現象が起きたら世界はどうなるかという情報は非常に重要なのです。

また、図4のインド洋に示されたダイポールモード現象（IOD）は、我々の研究グループ（APL）の所長である山形俊男先生らが99年に提唱したもので、近年、広く注目されています。

20世紀初めのインドでは、いまでいうエルニーニョ現象とモンスーンが相関係数0.9と、非常に高い確率で連動していました。ところが、20世紀の後半になると、この相関が非常に悪くなったのです。IODが多発するようになり、気候変動の 패턴が変化してきました。気候研究において、過去データに基づく統計の重要性は言を俟たないものですが、温暖化により気候のベースが変化している近年、力学的な因果関係を数学で表したモデルの重要性が増している背景にはこの

ような事実があります。

北半球の夏から秋にかけてIODが起きるとどうなるかを表したのが図4左です。日本付近を見ると暖かいですね。ところがエルニーニョ現象が起きると冷夏傾向になります（図4右）。2006年にはエルニーニョとIODが同時に起き、インド洋の西側に当たるアフリカ東海岸に大洪水をもたらす一方、反対側では乾燥しインドネシアでは山火事、オーストラリアでは干ばつが起こりました。実際に、オーストラリアの小麦の生産量が落ち込んだ年を調べると、エルニーニョ現象とIODのどちらか、または両方が起こっていました。このようなリスクに備える際に重要なのは、30年先、100年先の予測ではなく、今年の夏はどうなるかといった情報です。地球環境フロンティア研究システムから続く我々の研究も、季節予報、短期気候変動予測にシフトしています。

主要穀物の豊凶予測に挑む

現在、JAMSTECでは統計的及び生育過程をモデル化したprocess-basedなモデルを併用した地球規模の食糧供給に関する早期警戒システム構築に向けての基礎研究を、農業環境技術研究所（農環研）とともに進めています。農業はローカルな産業であり、このようなシステムは、これまで地域単位で構築されてきました。しかしグローバル化に伴い農業経営が大規模化し、特に小麦や大豆といった主要穀物は生産地域、輸出国が非常に偏っています。そこに気候変動が襲って生産が落ち込むと、価格が暴騰して輸入国、

特に貧しい国は飢餓に陥りかねません。

実際、国際連合食糧農業機関（FAO）が発表している穀物価格をみると、変動が非常に大きくなっています。人為的、政治的な思惑などもありますが、農業生産に与える自然の影響はやはり大きいので、農環研と共同で農業生産のデータと短期気候予測を連動させた全球的な収量予測の可能性について検証しました。

収穫日までの3カ月の、気温と土壌水分の観測値を使って前年との収量比を分析したのが図5左です。一方、観測値ではなく短期予測データを使ったものが図5右で、青い部分は観測値では推定できたが予測データでは基準に達しなかった地域です。トウモロコシ、大豆、米、小麦について検証したところ、米と小麦でよい結果が得られました。

まだ始まったばかりの研究で改善点はたくさんありますが、この結果は気候の影響による大規模生産国における小麦などの収量予測を数カ月前から行うことができる可能性を示しています。

こうした予測技術を確立し、FAOなどが運用している食糧動向の監視システムに組み込んで情報提供できれば、各国は備蓄量の調節や輸入先の選択、緊急援助の申請などについて効果的に対応できるようになります。我々の研究はこの分野のはじめの一歩で、2013年には『Nature』に掲載されました。

広域作物モデル構築の試み

また、新たな挑戦として、広域作物モデルの開発にも、農環研とともに取り組

んでいます。

気候モデルの水平解像度は100km単位です。一方、作物の生育過程のモデル化は数十m単位です。これを広域的に重要な作物に絞って再度モデル化し直し、全世界をカバーしようという試みです。ベイズ統計という手法でさまざまなパラメータを計算します。

たとえば図6はこの手法を用いて青森県の米の出穂日と収量について再現性を示したもので、狭い範囲だと精度の高いモデルが構築できます。グローバルな予測についてはこの段階には至っていませんが、農業統計データと気候変動予測をリンクさせて、日々の気象変動が作物の生長に与える影響を考慮した作物モデルの構築を目指しています。

21世紀の本当の課題とは

2009年に開催された第3回世界気候会議では、水問題、農業、漁業、健康、交通、観光、エネルギーといったさまざまな社会経済分野への気候情報の提供を推進するという基本路線が打ち出されました。JAMSTECの取り組みも、この方針に沿うものでもあります。

ただ、予測に関しては主に数学と物理の話でしたが、社会への応用となると、人間や生物も含めた環境を扱うこととなります。生物や環境は、物理法則のようなすっきりしたモデル化はできていないので、ここが難しいところでは。

また、導入部分で「機械論的自然観」の話をしました。本当の世界は機械じゃない限り、ほとんど意味がありません。温暖化防止に関するCO₂の排出規制などの問題は政治的な問題で、機械的な世界観とは全く異質の人間の内面が大きく関わる問題であることは明らかで、20世紀に発達した科学技術と人間の内的な活動をどう繋げていくのかということこそが21世紀の本当の挑戦的な課題ではないかと私は考えています。[E]

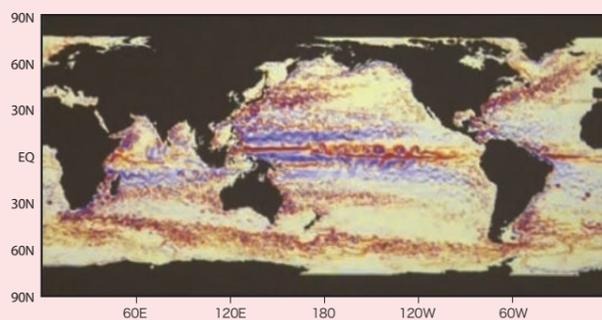


図3 世界で初めての高解像度海洋シミュレーション
深さ100mでの海流の分布を示している。解像度は水平10km。海流の流れを知るために重要な小さな渦まで把握できる。当時アメリカでは同様の計算に3年程度かかっていたが、「地球シミュレータ」は3カ月で計算した。

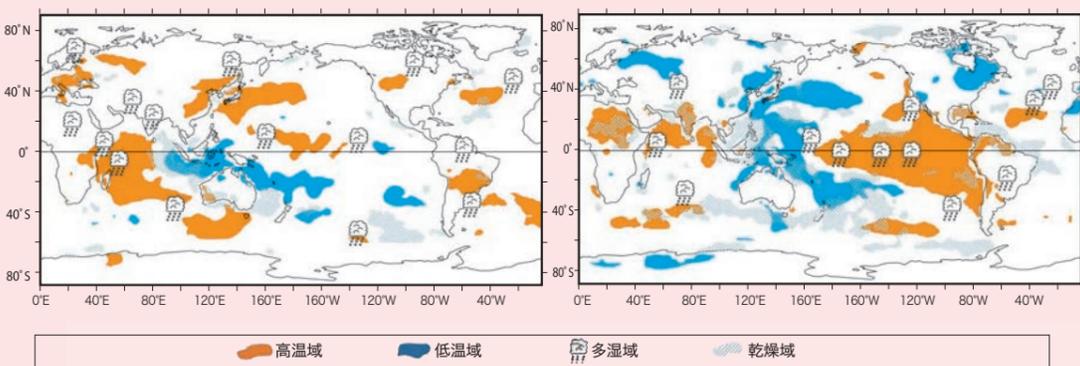


図4 北半球の夏から秋におけるIODの影響(左)とエルニーニョ現象の影響(右)
日本付近の海水温はエルニーニョ現象が発生すると平年より低くなるが、インド洋ダイポールモード現象(IOD)が発生すると高くなる。両方が発生するとどうなるかという研究も進められている。

(Saji and Yamagata, 2003, Clim. Res.)

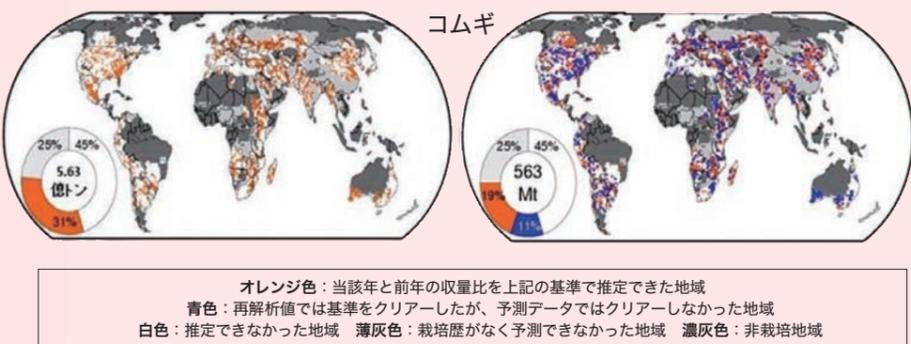


図5 観測された気象条件からの豊凶の推定(左)と季節予測からの豊凶の再現(右)

左図は収穫日までの3カ月の気温と土壌水分量の前年差と、当該年の収量と前年の収量の比を重回帰分析したもの。米では世界の栽培面積の33%、小麦では同30%で収量変動を精度よく推定できた。右はJAMSTECモデルで予測された気温と土壌水分量により不作を再現したもの。再現できた地域がオレンジ、観測値では推定できたが季節予測ではできなかった地域が青で示されている。米では世界の栽培面積の19%、小麦では18%、不作が再現できた

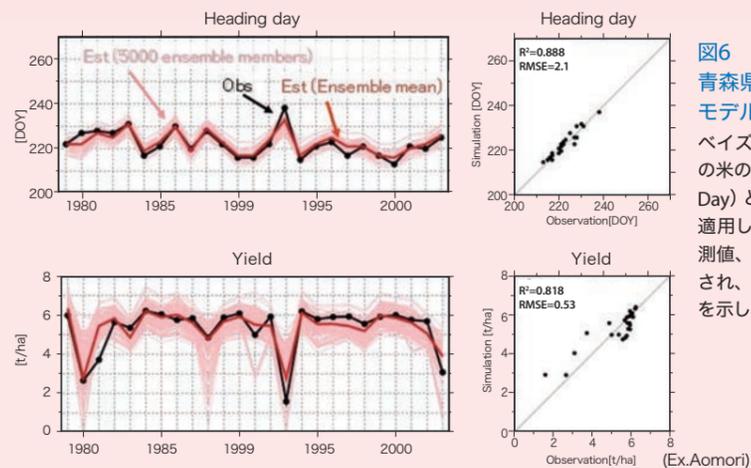


図6 青森県の米の作物モデル
ベイズ統計を青森県での米の出穂日(Heading Day)と収量(Yield)に適用したもの。黒が観測値、赤が推定値で表され、両者は高い相関を示している。

編集後記

特集「進化する海洋・深海探査技術 深海探査機・調査研究船の最先端に迫る」は、いかがだったでしょうか？ 深海探査機器などまったく存在しなかった1978年ごろにJAMSTECが米国から深海テレビカメラやサイドスキャンソナーを購入、我が国最初の深海探査システム（Deep Towの原型）を製作し、深海底の低解像度の白黒テレビ画像を映し出してから40年近くたちました。その後、JAMSTECだけではなく、さまざまな国の施策や多くの民間会社の努力などが功を奏し、我が国は今回の特集でとり上げたように世界でもトップクラスの能力を持つ深海探査機器を数多く保有できるまでになり、技術者のスキルも格段に向上しました。しかしながら、今回の特集でも次世代の有人潜水調査船「しんかい12000」の建造計画に言及されていますが、「しんかい6500」の運用を開始してから既に四半世紀が経過し、潜水船の建造や周辺機器の製造技術が継承されないという不安が広がっていることも否めません。

そんななか、2015年2月6日に日本経済新聞電子版で「乗船せず海洋資源探査 研究者、衛星使い遠隔操作」という記事が配信されてきました。何でも、政府が「海洋資源調査を効率的にするため、人工衛星を使って無人探査機を陸上から遠隔操作する技術の開発に乗り出し、2018年度の実用化を目指す」と打ち出したということです。確かに、これが実現すれば、研究者が長期間、調査船に乗り込む負担や経費を減らすとともに、陸上の研究拠点で幅広い分野の研究者が調査データを共有して分析作業を効率的にできるようになるかもしれません。しかし、この技術開発によって乗船研究者の負担が軽減されたとしても、逆に調査機器を円滑に運用するための熟練した技術者が不足し、人材の確保がますます困難になることも危惧されます。今後JAMSTECは、新しい技術開発に取り組むことも重要ですが、現在の深海調査機器の円滑な運用を行うための次世代の人材育成を進めていくのも重要な使命であり、広く民間会社など外部人材の有効活用も含め真剣に取り組まれることを希望しています。(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冊本体286円+税+送料が必要となります。

■ 支払い方法

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

■ お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課
TEL.045-778-5378 FAX.045-778-5498
Eメール info@jamstec.go.jp
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。

*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（136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、『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。

Book 紹介



優れた科学読み物に与えられる講談社科学出版賞を受賞した、大河内直彦（JAMSTEC 生物地球化学研究分野 分野長）著『チェンジング・ブルー 気候変動の謎に迫る』が文庫化されました。（岩波現代文庫 1,240円+税）

海と地球の情報誌 Blue Earth

第26巻 第6号（通巻134号）2015年2月発行

発行人 鷲尾幸久 独立行政法人海洋研究開発機構 広報部
編集人 廣瀬重之 独立行政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 株式会社ミュール
アートディレクション 前田和則
取材・執筆 上浪春海 (p.18-24・26)、山崎玲子 (p.18-19)、斉藤勝司 (p.20-23)、寺田千恵 (p.28-31)
編集・制作 滝田よしひろ、柏原羽美
デザイン 山田浩之、三橋理恵子、木元優介、高塩由香

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27年2月10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	オフショアエンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	海洋エンジニアリング株式会社
株式会社アイケイエス	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイワエンタープライズ	海洋電子株式会社
株式会社アクト	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アサツディ・ケイ	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎重工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	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
株式会社エスイーシー	極東貿易株式会社
株式会社SGKシステム技研	株式会社きんでん
株式会社エヌエルシー	株式会社熊谷組
株式会社NTTデータ	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータCCS	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NTTファシリティーズ	株式会社KSP
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	京浜急行電鉄株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	KDDI株式会社
株式会社OCC	鉱研工業株式会社
株式会社オキシーテック	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	セイコーウオッチ株式会社
国際気象海洋株式会社	清進電設株式会社
国際石油開発帝石株式会社	石油資源開発株式会社
国際ビルサービス株式会社	セコム株式会社
株式会社コベルコ科研	セナーアンドバーンズ株式会社
五洋建設株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
株式会社コンボン研究所	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
相模運輸倉庫株式会社	第一設備工業株式会社
佐世保重工業株式会社	大成建設株式会社
三建設工業株式会社	大日本土木株式会社
三洋テクノマリン株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	大陽日酸株式会社
JFEアドバンテック株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社JVCケンウッド	高砂熱学工業株式会社
公益財団法人塩事業センター	株式会社竹中工務店
シチズン時計株式会社	株式会社竹中土木
シナノン株式会社	株式会社地球科学総合研究所
シーフロアーコントロール	中国塗料株式会社
清水建設株式会社	中部電力株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	株式会社鶴見精機
シュルンベルジェ株式会社	株式会社テザック
株式会社昌新	寺崎電気産業株式会社
株式会社商船三井	電気事業連合会
一般社団法人信託協会	東亜建設工業株式会社
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	東海交通株式会社
須賀工業株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
鈴鹿建設株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
住友電気工業株式会社	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	深田サルベージ建設株式会社
東洋建設株式会社	株式会社フジクラ
株式会社東陽テクニカ	株式会社フジタ
トビー工業株式会社	富士通株式会社
新潟原動機株式会社	富士電機株式会社
西芝電機株式会社	古河機械金属株式会社
西松建設株式会社	古河電気工業株式会社
株式会社ニシヤマ	古野電気株式会社
日油技研工業株式会社	株式会社ベッツ
株式会社日産クリエイティブサービス	株式会社マックスラジアン
株式会社日産電機製作所	松本徽章株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本SGI株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海洋株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
日本海洋掘削株式会社	株式会社マルトー
日本海洋計画株式会社	三鈴マシナリー株式会社
日本海洋事業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三井造船株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱重工業株式会社
日本水産株式会社	三菱電機特機システム株式会社
日本電気株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本ヒューレット・パカード株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本マントル・クレスト株式会社	八洲電機株式会社
日本無線株式会社	郵船商事株式会社
日本郵船株式会社	郵船ナブテック株式会社
済中製鎖工業株式会社	ヨコハマコム・マリン&エアロスペース株式会社
東日本タグボート株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
株式会社日立製作所	
日立造船株式会社	

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

PICK UP
JAMSTEC

国際学会「AGU Fall Meeting」に出展

毎年12月、クリスマスに浮き立つサンフランシスコの街でAGU Fall Meetingは開催される。AGU(American Geophysical Union)とは、「アメリカ地球物理連合」のことで、地球物理分野では世界最大の学会だ。期間中は大会の参加証を首から下げた研究者やポスター発表の筒をかかえた2万人を超える研究者で街はあふれかえる。不思議なことにそういった目印がなくても研究者の格好はどこか似通っていて、一目で何となく、この人はAGU参加者だなと感じさせる。

JAMSTECでは、一昨年から、この巨大会にブースを出展し活動を紹介している。ちなみに会場となっているモスコーンセンターはAppleの新製品紹介で使用される場所で、私たちにもテレビでおなじみの場所だ。

ブースではJAMSTECの研究者が外国の研究者と談笑する姿がよく見られ、世界をまたにかけて活躍する彼らの日常を伺い知ることができる。そしてなぜか、グッズとして配布しているふぐの紙風船(写真参照)が大人気なのだ。「How cute!」と目を輝かせて、子どもだけでなく大の大人たちが群がる様は、完全にこちらの想定を超えた光景である。国際学会のブースとは、そんな異文化交流も生まれる場所なのだ。

(今村仙子 研究推進部研究推進第2課)

