

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

102

2009 7-8

完成から20年 深海探査の歴史を開拓し続ける 「しんかい6500」

「ちきゅう」、海洋科学掘削史上初のライザー掘削に挑戦

魚たちの華麗なマスゲーム
——マイワシの群泳

熱帯気象の主演 積乱雲

1 **Close Up**
「ちきゅう」、海洋科学掘削史上初のライザー掘削に挑戦

2 **特集**
完成から20年
深海探査の歴史を開拓し続ける「しんかい6500」

- 4 「しんかい6500」が光をあてた深海底の世界
- 8 20年間、進化し続けてきた「しんかい6500」
- 10 深海科学研究を支える「しんかい6500」の運航・安全技術
- 12 「しんかい6500」を見守る支援母船「よこすか」
- 14 臨場感の共有が研究の推進剤になる
竹内章 富山大学大学院工学研究部教授
- 16 「しんかい6500」の設備機器を一新、さらに「しんかい1万1000」時代の幕を上げたい
山根一真 ノンフィクション作家 獨協大学特任教授

18 **Aquarium Gallery**
横浜・八景島シーパラダイス アクアミュージアム
魚たちの華麗なマスゲーム——マイワシの群泳

20 **私が海を目指す理由**
個性豊かな氷河が
目に見える気候変動の指標となる
紺屋恵子 地球環境変動領域 水循環観測研究プログラム ポスドク研究員
サイエンスコミュニケーター

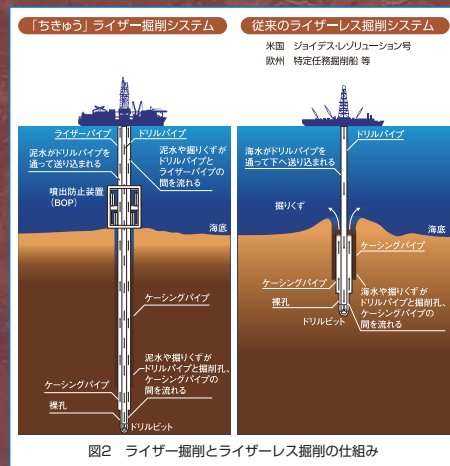
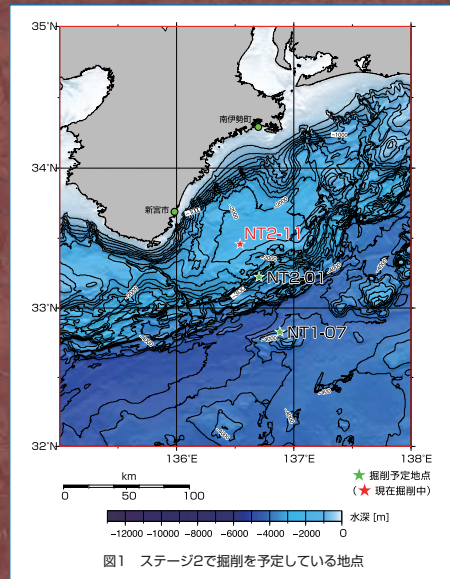
24 **もっと知りたい船の知識**
支援母船「よこすか」

26 **Marine Science Seminar**
熱帯気象の主演 積乱雲
吉崎 正憲 地球環境変動領域 熱帯気候変動プログラム 技術研究統括

30 **BE Room**
「深海の女王」と呼ばれる海洋生物学者
シルヴィア・A・アールさん、JAMSTEC来訪

32 **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

表紙：有人潜水調査船「しんかい6500」



▲ライザーパイプを降下する作業の様子

「ちきゅう」、海洋科学掘削史上初のライザー掘削に挑戦

地球深部探査船「ちきゅう」は、2009年5月12日に和歌山県の新宮港を出発し、IODP（統合国際深海掘削計画）ミッションの「南海トラフ地震発生帯掘削計画」ステージ2を開始した（図1）。この計画は、深海掘削によって南海トラフにおけるプレート沈み込み帯の発達過程を明らかにし、海溝型巨大地震・津波発生メカニズムの解明を目指すもので、07～08年に行われたステージ1では、海底下最大1,400mの掘削を成功させ（全体で33孔、約12,800mの掘削を実施）、世界で初めて巨大分岐断層帯のコア試料を直接採取するなど、大きな成果を挙げている。

09年のステージ2における最大のチャレンジは、海洋科学掘削史上初めてとなるライザー掘削の実施。ライザー掘削とは、掘削船と海底の掘削孔（孔口に噴出防止装置BOPを設置）を連結するライザーパイプのなかにドリルパイプを通して掘削を行う二重管構造の掘削方法だ。ドリルパイプ内に送り込む泥水と呼ばれる特殊な掘削流体が掘りくずを持ち上げ、ライザーパイプを通して船上に回収しながら掘削を行う（図2）。泥水が孔壁を保護し、地層圧力とのバランスを取ることにより、掘削が難しい場所でも、より深くまで安定した掘削が可能にする。

ライザー掘削が行われているのは、熊野灘の掘削地点NT2-11（紀伊半島沖約58km）。水深2,054mの海底から約1,600mの掘削を行う計画だ。地形調査をはじめ、ライザー掘削を行うための上部孔井設置、ライザーパイプやBOPの降下作業などを経て、6月25日からライザー掘削が始まった。掘削作業は、回収される掘りくずの分析を行いながら慎重に行われ、順調に掘り進められていった。深度1,510～



▶海中に降ろされるBOP



▶コア試料採取を喜ぶ研究者たち

1,593.9mの区間でコア試料の採取が行われ、コア試料を得ることに成功し、掘削深度は1,603.7mに達した（7月30日現在）。

掘削孔では孔径の拡張、孔内のケーシングを行い、今後予定されている長期孔内計測システム設置に向けた準備が行われている。また、今回成功したライザー掘削孔内に16台、海底に8台の地震計を設置し、海上から発振した音波の伝わり方でプレート境界や付加体の地質構造情報を得るための測定（孔内地震波探査VSP）などを行い、従来より高精度なデータを入手することに成功した。

BE

完成から20年

深海探査の歴史を開拓し続ける 「しんかい6500」

取材協力：藤岡 換太郎 (p.2~7)

事業推進部 特任上席研究員

小椋 徹也 (p.8~13)

海洋工学センター 応用技術部探査技術グループ

日本が世界に誇る有人潜水調査船「しんかい6500」が、建造から20年を迎えた。これまでの潜航回数はおよそ1,100回に及び、日本周辺海域はもちろん、世界最大級の熱水噴出域とされる大西洋中央海嶺TAGマウンドでの詳細な潜航調査(1994年、98年)をはじめ、インド洋では世界初の有人潜水船による潜航を記録する(1998年)など、世界の海洋で潜航調査を実施し、高い成果を挙げてきた。また、建造以来20年間無事故を続け、現存する有人潜水船のなかで世界一の潜航能力も未だに超えられていない。そして、深海研究のフロンティアを開拓し続けてきた「しんかい6500」への期待はまだ大きい。その声にこたえるべく、「しんかい6500」はこれからも進化し続け、深海に秘められた謎の解明にチャレンジしていく。

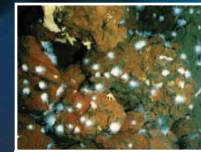


有人潜水調査船「しんかい6500」

全長9.5m、幅2.7m、高さ3.2m、空中重量約26トン。最大潜航能力は現役有人潜水船で世界一の6,500m。乗員は3名(パイロット2名、研究者1名)で、調査機器やサンプル採集のペイロードは150kg。ライフサポート時間は129時間。支援母船「よこすか」とともに行動する。遠洋国際の航行資格を有し、国内外を問わず世界中の海洋で潜航調査が可能。(左下は、TAGマウンドに接近する「しんかい6500」)



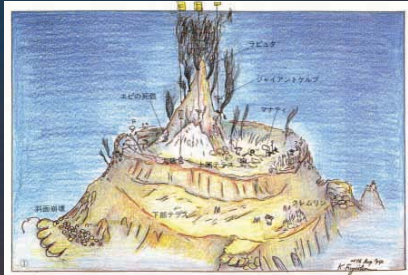
目のないエビの群れ



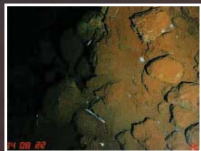
アナモネフィールド



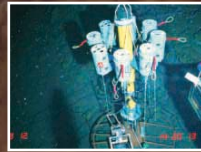
長期モニタリングシステム
(通称：マナティ)



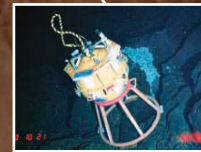
藤岡換太郎 特任上席研究員が描いた現場のスケッチ



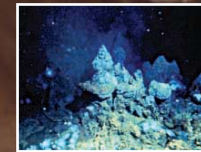
崩壊に巻き込まれた魚



長期熱流量観測装置8台設置
(通称：大仏)



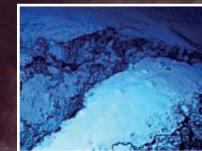
海底地震計



クレムリン



斜面崩壊



海底の亀裂

TAG熱水マウンド

大西洋中央海嶺の中軸谷の東、北緯26度に位置する世界最大級の熱水マウンド。水深3,670mの深海底から盛り上がった直径約250mのドーム型のマウンド上に巨大なチムニー群がそびえ立ち、黒色の熱水を噴き上げる。さらに、熱水噴出孔の周囲にはチューブワームやエビ、シンカイリバリガイなど、無数の化学合成生物群集が存在している。「しんかい6500」は、1994年、98年の2回にわたり、詳細な潜航調査を行っている。

「しんかい6500」が光をあてた 深海底の世界

日本近海から
北西太平洋

世界で最も複雑で深遠な日本周辺の深海底に挑む

世界有数の地震国である日本にとって、大地震を引き起こすプレート沈み込み帯の解明は重要課題だ。そのため、「しんかい6500」の最大潜航深度は、日本海溝で過去の大地震の震源域が分布する6,000~6,500mで調査が行えるよう6,500mに設定された。

日本は複数のプレート境界に位置し、周辺の海底地形も非常に複雑で、すぐ東には水深7,000~1万m（伊豆・小笠原海溝水深9,850m）の海溝が南北に連なっている。世界一の潜航深度を誇る「しんかい6500」は、その能力を遺憾なく発揮し、複雑かつ深遠な日本周辺の深海調査で大きな成果をもたらしてきた。ブチスポットと呼ばれる新たな火山形成過程や、巨大な蛇紋岩海山、鯨骨生物群集など世界的な発見も少なくない。熱水系や冷湧水帯でも数多くの潜航調査を実施し、日本の熱水鉱床や化学合成生物群集の研究を世界のトップレベルにまで押し上げた。



1 熱水生態系研究でも注目される海底温泉地帯 南西諸島海域

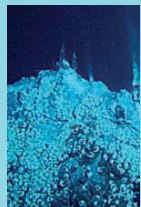
宮崎県東沖から南西諸島列島に沿うように台湾の東まで続く。水深は深いところでは7,000mを超える。海溝海側の斜面では海水中から沈殿したマンガン団塊や、まるで吹き付けたかのように厚いマンガンにおおわれた斜面が発見されている。また、周辺や沖縄トラフでは多数の熱水噴出孔が見つかった。また、先島諸島沖黒島海丘には冷湧水も数多く、二酸化炭素やメタンのガスハイドレートも見つかった。



ガスハイドレート



斜面をおおうマンガンクラスト



沖縄トラフ鳩間海丘

2 深海に残された白亜の壁 パラオ海溝~ヤップ海溝

1993年、「しんかい6500」はアユトラフの水深5,000m地点で殻を持たないヤドカリを見つけた。石灰質はおおよそ4,000~4,500mを超える深海では溶解してしまうため、ヤドカリも殻を見つけることができなかったのだろう。ところが、同じ年、パラオ海溝の水深6,500mの地点の潜航では、真っ白な石灰岩の壁が確認されている。サンゴ礁などからなる巨大な石灰岩地層が崩壊し、深海に運ばれたものと考えられる。その大きさが残っているのだ。一方、ヤップ海溝では、海底でプレートがめくれ上がり、マントル由来のカンラン岩や蛇紋岩がむき出しになっている様子が発見されている。



パラオ海溝の白い壁。黒い帯は深海でできた泥岩層

3 深海に残る地震のつめあと 日本海溝

海溝型地震の震源地であることから、「しんかい6500」にとっても重要な調査潜航海域であり、詳しい探査が行われている。陸側プレートの斜面崩壊や、化学合成生物群集である世界最深のシロウリガイ群集、海側プレートの屈曲に伴う亀裂など、過去の巨大地震による痕跡も発見されている。また、2005年の潜航では「ブチスポット」という新種の火山の存在も確認された。



日本海溝の亀裂



ブチスポット
による海底火山の溶岩



シロウリガイ

4 火山活動も盛んな海底山脈 伊豆・小笠原海域

フィリピン海プレートに太平洋プレートが沈み込む場所で、海溝軸と平行に比高1,000~2,000mの海山が連なる（前弧海山列）。マントル由来の蛇紋岩岩石でできた深海の山脈だ。1992年の潜航で遭遇した白いサイコロが並んだような鯨骨では、世界で2例のみという鯨骨生物群集が確認された。鯨の死骸の分解で発生するメタンに依存した生物群は、深海の生態系の謎に迫る大発見だった。



鯨骨にはコシオリエビの仲間などが群がっていた

6 蛇紋岩フローは「地下深部からの手紙」 マリアナ海溝

世界で最も深い海溝であり、最深部のチャレンジャー海淵は水深10,911m。海溝軸近くには富士山より大きな蛇紋岩海山がいくつもそびえ立つ。蛇紋岩は上部マントルの岩石が変質して表出したもので、その組成に地下深部の情報を残す岩石だ。1993年、「しんかい6500」はコニカル海山の頂上部を調査して蛇紋岩のサンプリングを行い、最古の海底チャート（放散虫からなる堆積岩）も発見している。

蛇紋岩



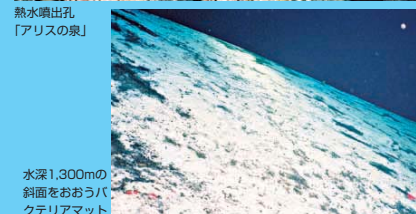
発見された最古の海底チャート

5 熱水を取り巻く深海生物の楽園 マリアナトラフ

マリアナトラフは「しんかい6500」が数多く潜航している海域のひとつ。たくさんの熱水噴出孔、海山を雪山のようにおおう真っ白なバクテリアマットやおびただしい化学合成生物群集が「しんかい6500」の潜航で確認されている。また、600万年前から背弧海盆の拡大が続いているマリアナトラフの北端では、花崗岩質岩の存在が明らかになり、大陸地殻が生まれる場所としても注目されている。



熱水噴出孔
「アリスの泉」



水深1,300mの
斜面をおおうバクテリアマット

「しんかい6500」が光をあてた 深海底の世界

世界の海洋

世界一の潜航能力で未知の深海底を探る

「しんかい6500」は、この20年間にハワイ諸島周辺をはじめ、東太平洋、大西洋、インド洋など、日本から遠く離れた世界の海で潜航調査を行い、地球の歴史やその変動、生命の誕生などにかかわる深海底に隠されたさまざまな謎の解明に、積極的に取り組んできた。

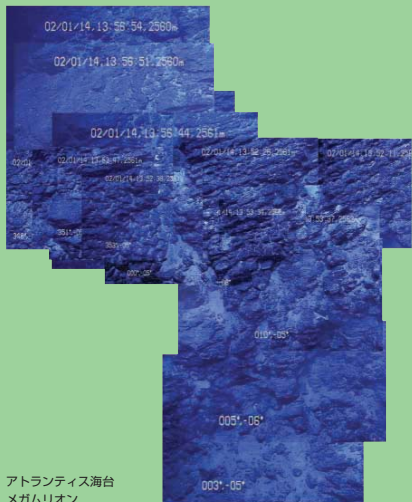
東太平洋海嶺、大西洋中央海嶺、インド洋中央海嶺などの大洋中央海嶺は、新たな海底（海洋プレート）を生み出す世界で最も火山活動が盛んなところだ。「しんかい6500」は、こうした海域に潜航して地形調査や物理探査、試料採取を行い、熱水活動の詳細を明らかにするとともに、熱水生態系に関する生物、微生物学的・地球化学的調査を行い、高い成果を挙げている。2000年の無人探査機「かいこう」による世界初のインド洋中央海嶺の熱水噴

出孔発見に結びつく南西インド洋海嶺での探査（1998年）、2004年の東太平洋海嶺での世界最大の溶岩流発見などは、その成果の一例だ。



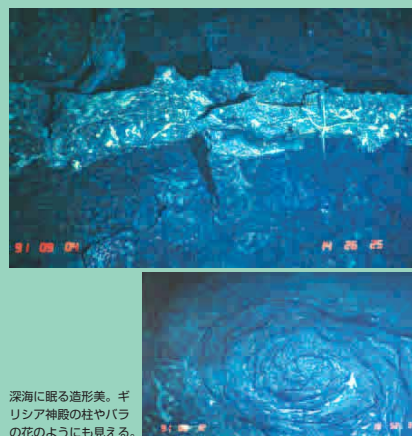
1 世界初潜航とメガマリオン発見 インド洋中央海嶺

1998年、「しんかい6500」はインド洋における人類初の潜航を達成した。インド洋中央海嶺は地球上で最も低速で拡大する拡大軸のひとつ。「しんかい6500」は、拡大軸の近くで格子状に盛り上がった畚が続くメガマリオンという地形を発見した（2002年）。断層の下側の地殻がもう一方の地殻に乗り上げ、地殻の深部やマントル上部を直に観察できる場所だ。



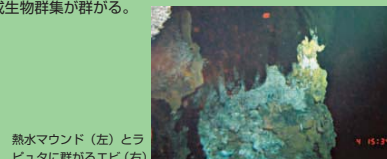
2 溶岩が生み出す造形美 太平洋 北フィジー海盆

現在も拡大を続ける活動的な背弧海盆のひとつ。海中に流れ出した大量の溶岩が生み出した見事な自然の造形美とともに、溶岩が「しんかい6500」のライトに照らされてキラキラと光り、誰もがその美しさに目をひかれる。これらの造形の成因はさまざまですが北フィジー海盆には多くの海底火山があり、そこから噴き出した溶岩などがめずらしい風景を生み出している。



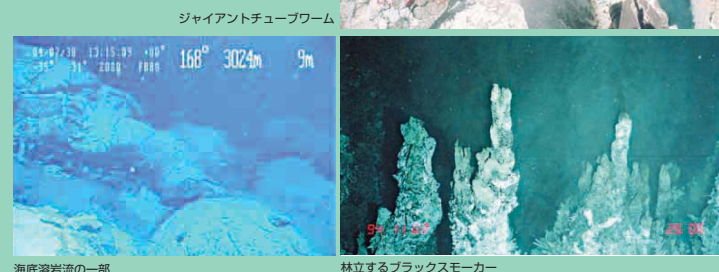
3 高さ50mの巨大熱水マウンド 大西洋中央海嶺 (TAG)

大西洋の中央部を南北に走る大洋中央海嶺の一部。1994年、98年に「しんかい6500」は、ここで巨大熱水マウンド（2〜3ページ参照）の詳細な調査を行った。底径約250m、高さ50m、その上にそびえ立つ高さ20mものチムニーは「ラビユタ」と呼ばれ、先端からは350℃の熱水が噴出し、膨大な数の化学合成生物群集が群がる。



4 膨大な溶岩流と林立するチムニー 東太平洋海嶺

マグマの活動が活発で熱水噴出孔も多い。「しんかい6500」は、世界初の長期観測機器の設置によって熱水活動の衰退や時間変化などを明らかにした。林立する熱水チムニーには、体長2m近いジャイアントチューブワームが群がる。北フィジー海盆と同様に、海底には溶岩流の跡が見られ、その規模は東京23区の約半分ともいわれるほどの膨大なものだ。



5 地球最大の火山が崩れる現場 ハワイ諸島

ハワイ周辺は水深5,000mと非常に深く、陸上では標高1,000m足らずの火山も実は比高6,000mを超える。1998〜99年、「しんかい6500」は海底に残る巨大な山体の崩壊現場を調査した。オアフ島北方海域に広がる最大の崩壊ブロックは横浜市ほどの面積で、崩れた現場は島の沖合約100kmにまで及ぶ。また、島の自重で直下の地殻が凹み（モート）、その影響で周囲が盛り上がる（アーチ）構造ができる現場も確認した。



20年間、進化し続けてきた「しんかい6500」

有人潜水調査船「しんかい6500」は建造から20年経過しているが、搭載機器は当時のままではない。技術が進むごとに機器を入れ替え、その時代に合わせて進化してきた。その一部を紹介する。

「しんかい6500」は、技術が進歩するたびに新しい機器を取り入れ、その性能を向上させてきた。建造当時よりも操作しやすくなり、ただ、まっすぐ走ることに集中させてきたところから、泥や熱水などの研究試料をいかに正確に採取できるかということにも意識を向けられるようになってきている。このあたりに、20年経ってもなお、世界一の有人潜水調査船として活躍している「しんかい6500」の秘密が隠れている。技術の進歩が進む以上、「しんかい6500」もさらに進化が要求される。現在、流れのある深海底で旋回性能の向上のため垂直尾翼を小さくすることが検討されている。尾翼が小さくなれば、観察対象をとらえながら旋回するときの姿勢が安定するからだ。

「しんかい6500」は現在でも優れた潜水船であることには変わらないが、システムを大きく見直すことで、性能が飛躍的に向上すると考えられている。海洋工学センター応用技術部 探査技術グループで「しんかい6500」のパイロットをしている小椋徹也さんは「これまで、こまごましたところは手は入れているのですが、根幹の部分はあまり触っていません。大きなスペースを占めている電源システムを一新すれば、船体が軽くなり、操縦性がより向上すると思います」と語る。 BE

前方障害物探知ソナー

1995年、2008年に交換

最初は純国産の技術だけでつくったため、大きくて重かった。新しい機器にかえて、小型化された。2008年にさらに小型の機器を導入した。解像度がよくなり、スキャンスピードが速くなっている。船内に置く機器もパソコン1台になったので容積が5分の1になった。

水中投光器

1994年に交換

太陽光の届かない深海での光源となるのが水中投光器。最初はハロゲンライトが使われていたがメタルハライドライトに変更した。メタルハライドライトは色温度が太陽光と同じ6500度なので、太陽光と同じような色合いに見える。投光器にはメタルハライドライトが7つ使われている。1つが車のヘッドライトの約6.5倍の明るさの400Wで、それが7つあるため、暗い海中をととても明るく照らすことができる。



マニピュレータ

1995年に交換

新しいものに取りかえたことで、力が強くなった。パイロットが思った通りに動かすことができるので、操作がしやすくなり、使いやすくなった。マニピュレータは深海調査ではとても重要な機器で、動きが遅いと、船の動きに合わせて動かすことができない。早く反応するマニピュレータにかえたことで、できることの幅も広がった。海底の泥を採取するとき、最近は層を壊さないように、返しのついでに腕の筒を刺して泥を取りたいという要望がある。これには、筒から泥が落ちないように、勢いよくバスケットまで移動させるだけのスピードが要求されるが、こういうこともできるようになった。



サンプルバスケット

1995年に増設

右側だけにしかついていなかったバスケットを、マニピュレータの交換に合わせて左側にもつけた。多くの調査機器やサンプルの搭載場所が大きく増えた上、両側についたことによって、両方のバスケットで、ものをさきこんで固定するといった、腕のような役割もできるようになった。また、バスケットは「しんかい6500」の前方についているので、海底で船体を固定したり、走行中に岩などにぶつかったときの衝撃吸収材がわりになったりすることもある。



船内照明灯

2001年に交換

電球からLEDに変更。1回の航海で、「しんかい6500」は10~20回潜航する。電球はすぐに切れるため、1年間に10個程度交換していた。LEDに変更したことで、交換回数が減っただけでなく、色味が変わり見た目の明るさも増した。



船内の様子

音響画像伝送装置

1997年新規搭載

潜航中、支援母船「よこすか」とのやり取りはすべて音波。建造当初は、深海の様子をすべて言葉で伝えなくてはならなかった。深海の様子を言葉だけで伝えるのはとても困難なことだ。何を発見したか名前はいえても、それがどんな姿でどのように存在しているのかまでは伝えることができなかった。しかし、音波でカラー画像を送る音響画像伝送装置が搭載されたおかげで、言葉では伝えきれない深海の様子を10秒毎に1枚の画像で伝えることができるようになった。



船首方位 カメラ方位 スーパ値 魚眼値

自動針路保持装置

1992年新規搭載

自動で潜水船の向きを一定に保つことができる装置。「しんかい6500」では、まっすぐ走るだけでも、絶えず針路を調整しなければいけなかったが、その役割を装置が担ってくれる。この装置がつかう前は、針路をまっすぐ保つことに集中していた意識を、ほかの操作に向けることができるようになった。

総合情報表示装置

1993年、2000年に交換

「しんかい6500」についているたくさんセンサーからのさまざまなデータを一括して表示、記録する装置。「しんかい6500」の深度、方位、高度、海水の水温、塩濃度、電池の電圧、電流、推進機の回転数など、すべてのデータが一元管理される。潜航中のデータはすべて記録に残しているが、建造当初の装置はバブルカセットという磁気メモリで記録していたため、潜航中にカセットを交換する手間がかかった。しかし、1993年に装置をノートパソコンに変更し、潜航中の記録をハードディスクに残せるようになった。さらに、「よこすか」に戻って潜航中のデータを取り出す作業も、現在では船上のLAN（ローカル・エリア・ネットワーク）を利用して、一気に取り出せる。

ビデオカセットレコーダー

2007年に交換

水中テレビカメラの画像を記録する装置。S-VHSからDV-CAMになって機器が小さくなった上に、テープ交換の回数も減った。現在はハードディスクでの記録装置も積んでいるが、それはあくまでもサブシステムの扱い。テープメディアの方が、テープが回っている様子が常に確認できるので安心感があるためだ。



主蓄電池

水中テレビカメラ

2003年に交換

ボディが小さくなって20kgほど軽量化できた。テレビカメラのうち、録画できるのは2台。主に研究者が操作するのは2番カメラ。2006年に、2番カメラの四隅にレーザーポインターを取りつけて、画面に赤い点を4つ表示できるようになった。これによって、撮影している物の寸法や傾きが分かりやすくなった。



No.1 テレビカメラ



No.2 テレビカメラ

スチルカメラ

2004年に交換

デジタルカメラに変更したので、どんな画像を撮ったのかがその場で確認できるようになった。画像は400枚ほど撮影できる。潜航後にすぐにデータを渡せるようになったので、研究者からの評判もよい。



ジャイロコンパス

2004年に交換

精密な機械式のコンパスから光ファイバーを使ったものに変更。機械式はそっと運ばないと壊れてしまうほど精密だったので、着水・揚収のときの激しい揺れでトラブルが起こりやすかった。光ファイバー式は、基本的に動く部分が一切ないため、整備もしやすくなり、信頼性も上がった。新しいジャイロコンパスは傾斜角度も計測できるので、2005年に傾斜計は撤去された。

深海科学研究を支える 「しんかい6500」の運航・安全技術

深海は危険と隣り合わせの過酷な世界だ。そのような環境で、研究者を目的地まで運び、観察や試料の採集などをサポートしているのが、パイロットをはじめとする運航チームだ。過去1000回以上も潜航を重ねているにもかかわらず「しんかい6500」は一度も事故を起こしたことがない。1回の潜航を成功させるために、彼らはどのようなことをしているのだろうか。

安全に運航するための日々の仕事

「しんかい6500」は3人乗りの潜水調査船だ。たいていの場合、パイロットと副パイロットと研究者が乗り込む。1回の潜航にかけられる時間は約8時間。この時間には目的の深さにまで沈む時間と海底から浮上する時間も含まれている。これらの時間を除くと、調査や観察にかけられる時間は3~4時間程度。この限られた時間のなかで、最大の成果を上げられるように、潜航当日までに運航チームと研究者は打ち合わせを重ねる。支援母船「よこすか」に乗り込む前、「よこすか」出航直後、潜航前日と少なくとも3回は打ち合わせをして、お

互いのコミュニケーションをはかっていく。

「しんかい6500」のパイロットである小椋徹也さんは「この船は3人で操縦しているといっても過言ではありません」と語る。深海に現れる生物や地層などを見て、何をするのか判断するのは研究者の役目で、その判断した内容を聞いて、パイロットが操作を担当する。そのためにも、打ち合わせを重ねて行き違いや思い違いがない状態しておく必要がある。

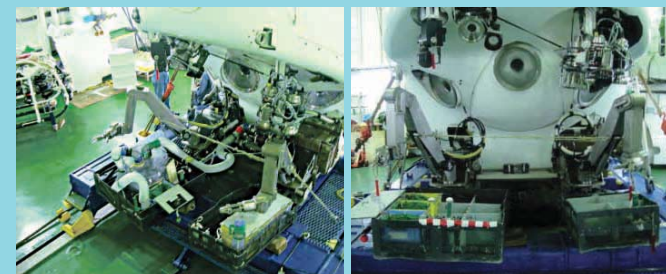
1回の航海で「しんかい6500」は10~20回の潜航を実施する。運航チームでは、まずパイロットと副パイロットのシフトを組んで、誰がいつ潜るのかを決める。だいたい3~4潜航に1回の割合で順番が回ってくる。急にパイロットの体調が悪くなったりしたというような緊急の場合は2回連続潜航することもあるが、基本的には連続で潜航することはない。というのも、潜航前日の準備をするのもパイロットたちの重要な仕事になっているからだ。

「しんかい6500」は朝10時からその日の潜航開始をすることが多い。「しんかい6500」を見送った後、翌日の担当になっているパイロットと副パイロットは同乗する研究者と最後の打ち合わせをして、次の日の潜航の内容を決める。この打ち合わせの結果、当日持っていく機材が決まる。副パイロットは装備の重量を計算し、鉄のおもりを用意し、その間、バ



調査対象の違いで変わるバスケットの中身

「しんかい6500」の調査対象は生物から地質まで幅広い。何を調査するかによってサンプルバスケットに準備する機材の内容が変わってくる。生物を採取するときは、水圧が低くなることで生物が死んでしまわないように加圧容器を用意したりして、大きな装置を積むことが多い。岩石を採取する場合は、バスケットをあらかじめ区別して場所や種類で分けられるようになっている。



生物採取（左）と岩石採取（右）のサンプルバスケット

火気厳禁 「しんかい6500」内での注意事項

「しんかい6500」に乗り込む研究者には、打ち合わせの場で、船内での注意事項やもしものときの対処の仕方が伝えられる。直径2mの耐圧殻の中で3人の人間が数時間を過ごすことになるので、潜航中はふだんの生活よりも、持ち物などに制限がかかる。このような閉鎖環境のなかで一番怖いのは火災だ。だから、乗組員は火災の原因になりそうな化粧品や整髪料、使い捨てカイロなどの持ち込みは禁止されている。



潜航時の服装



区別したサンプルバスケットのなかに採取した岩石を入れる。

整備士から始まるパイロットへの道

「しんかい6500」の機体整備は、パイロットをはじめとする運航チームの手で行われる。運転する人たちが自らの手で解体し、整備するのだ。「しんかい6500」のパイロットを目指すときに、最初の関門となるのが整備である。新人が運航チームに配属された場合、まず、整備士としての仕事が行っている。というのも、自分が動かす機械についてよく知らないとパイロットは務まらないからだ。

危険の多い深海の世界では、ちょっとスイッチを入れまちがっただけでも、命が危険にさらされることもあるし、洋上で不具合が起きたときに、その場で対処しないといけないこともある。それには知識と技量が必要だ。

パイロットに必要な知識と技術を身につける方法は、少し前までは現場の仕事を通して覚えていけただけだったが、いまはカリキュラムが整備され、システム化されてきた。パイロットになるための基準が明確に示され、20年間の積み上げられてきた運航ノウハウが、効率的に次世代に継承されるようになっている。

潜水船船長の基準

潜水船船長として潜水船に乗り組む運航要員は、下記の①~⑤に挙げる全ての条件を満たした者とする。

- ① 1級小型船舶操縦士免許を有すること。
- ② 潜水船の整備業務および航海管制業務を合わせた実務経験年数が3年以上あり、潜水船の故障やトラブル時に適切な対処がとれる十分な知識が備わっていること。
- ③ 船長補佐としての実務経験が2年以上もしくは、通算潜航時間が200時間以上を有していること。
- ④ 潜水船船長育成のための実海域訓練を60時間以上もしくは10潜航以上終了していること。
- ⑤ 潜水船船長教育訓練カリキュラム（4項）に定められた全ての教育課程を修了し、司令及び深海技術部長の審査により船長の基準に達したと判断された者。

BE

「しんかい6500」を見守る 支援母船「よこすか」



「よこすか」から海面に降ろされた「しんかい6500」

支援母船「よこすか」は、有人潜水調査船「しんかい6500」の母船として、その潜航調査を支援することを主な目的に計画・設計・建造された海洋調査船だ。潜航中の「しんかい6500」を見守る総合指令室、広い格納庫、着水・揚収のための大型Aフレームクレーン、深海調査によって得られたサンプルの分析・保管のためのラボラトリーなどが装備されている。さらに、「よこすか」には通常の乗組員に加えて18名の潜水船運航要員が乗船し、「しんかい6500」の整備・操船・航法管制を担当している。

“世界一静かな調査船”といわれた「よこすか」

「しんかい6500」を吊り下げたAフレームクレーンを「よこすか」の船尾から海側に振り出し、吊り揚げ索をゆっくりと巻き出しながら船体を海面に着水させる。作業艇に待機していたスィマーが海に飛び込み、潜水船を連結していた金具を外す。「よこすか」から完全に切り離されたことを確認すると、後部操舵室から「しんかい6500」に連絡が入る。

「各部異常なし。潜航用意よし」

この指令を受けて、パイロットは潜航を開始。「バント開！」の報告と同時に、「しんかい6500」は静かに海中へと沈んでいく。この瞬間から、「よこすか」船上では海洋音響機器による「しんかい6500」の航法管制が始まる。その位置を確認しながら、目的の海底へと誘導し、潜航計画に基づいた安全な航行と調査を見守るのだ。

「しんかい6500」には無線通信機も搭載されているが、一度

海中に入ってしまうと、電波は減衰が大きいため使用することができない。だが、潜水調査船が海上の母船とまったく切り離されて単独で潜航を行うのはあまりに危険だ。そのため深海探査には、電波の代わりに海中でも減衰が小さい音波を利用して通信を行い、潜航中の位置を知らせるといった海洋音響技術が不可欠だ。とはいえ、海中での音波のスピードは1秒間に約1.5kmと電波（1秒間に約30万km）の20万分の1でしかない。また、周波数範囲も限られてしまう。さらに、海のなかには雑音が多いためといったさまざまな問題があり、電波を使って陸上で当たり前に行われていることを、海のなかですべて音波に置き換えるのは、実はとてもたいへんなことだ。この音波をいかに効率よく有意義に活用していくかが、深海探査技術の重要なカギでもあった。JAMSTECでは、有人潜水調査船「しんかい2000」とその支援母船であった「なつしま」の建造時より、こうした海洋音響技術の開発に力を注ぎ、多くの問題を克服しながら、「しんかい6500」の安全な運航を支える「よこすか」の通信や航法管制の仕組みを確立してきた。

「よこすか」には、「しんかい6500」の潜航を支援する深海探査用のさまざまな海洋音響機器が装備されているが、忘れてはいけないのは、「よこすか」そのものの徹底した放射雑音低減対策だ。いくら優れた海洋音響機器を搭載していても、船舶の雑音対策が十分でなければ本来の効果を発揮することはできない。「よこすか」では、推進機関や発電機の防振支持・制振材の施工、防音カバーの取り付けをはじめ、機関室に吸音材による防音隔壁を設置したり、雑音発生を抑えるプロペラ（スラスタ）形状の改良を行ったり、雑音の少ない運転モードで操船するなどの対策を実施。さらに、船底に設置する音響



ブリッジ後方の総合指令室で、「しんかい6500」の行動を追う。



海底地形図に潜航位置が自動的に記録される。



格納庫でのメンテナンス作業の様子。



機関室にも放射雑音低減の対策が施されている。

機器は雑音の少ない場所に配置している。これにより「よこすか」は、建造当時、非軍事向けとしては「世界一静かな船」といわれた。

深海探査に欠かせない音響技術

有人潜水調査船による深海調査での支援母船の主な役割は、潜航海域の事前調査、潜航時の通信・航法管制、浮上・揚収後のメンテナンスと次の潜航へ向けての準備、採集したサンプル等の船上処理・保管、緊急時の救助などがあげられる。

事前調査として重要なのは、海底地形図の作成だ。「よこすか」には、マルチナロービーム音響測深機が装備されている。海底に向けて発振した音波ビームの反射波によって、深さを測定する装置だ。その測深能力は水深100～11,000m、分解能は1m（精度は水深の0.6%以下）で、これを用いて潜航海域の詳細な海底地形図を作成することができる。

潜航が開始されると、音波を用いた測位システムによる「しんかい6500」の位置測定（表示と記録）が行われる。潜航前にトランスポンダと呼ばれる「音の灯台」を海底に3本設置しておくLBL方式は測位精度が高く、「しんかい6500」自身でも測位可能だが、「しんかい6500」が発振する音波信号だけで測位するSSBL方式ではやや精度が落ち、母船上でしか測位できないため、「しんかい6500」が自らの位置を知りたい場合は、母船から連絡してもらわなければならない。母船上の航法管制担当者は、ブリッジ後方の総合指令室で、常に「しんかい6500」の位置を確認しながらその行動を見守る。

水中通話機は、「よこすか」と「しんかい6500」をつなぐ音波を使った音声通信機器で、深海で行われている調査の状況

や安全を確認するためにも重要な役割を果たしている。「しんかい」着底した。異常なし」というように、「しんかい6500」からは常に状況や行動が報告され、その会話の内容はすべて母船上で記録される。ただ、海中の音波の速度は非常に遅いため、深度6,000mの「しんかい6500」から「よこすか」に音声が届くのに4秒ほど時間がかかってしまう。そのため、会話は決してスムーズにはいかない。

水中通話機とともに、深海底の様子を伝える手段として重要な働きをしているのが音響画像伝送装置だ。「しんかい6500」に搭載されている水中テレビカメラのカラー映像を、静止画像として8秒に1回ずつ連続して送るこの装置は、深海底の活動を母船上で把握するだけにとどまらず、母船上の研究者たちと連携して調査をスムーズに進めていくことにも役立っている。

深海底での調査時間は、およそ3時間。調査を終えた「しんかい6500」は、約2時間半かけて海面へと浮上する。海面が近づいてくると、揚収作業に向けて「よこすか」船内にはわかに慌しくなる。スィマーを乗せた作業艇が降ろされ、「しんかい6500」の浮上予測位置に合わせて母船の位置や向きを調整するなど、段取りを整えて浮上を待つ。

「浮上した。異常なし」

「しんかい6500」からの連絡を受けて、「よこすか」は「しんかい6500」を引き寄せ、揚収作業を開始する。すでに母船の格納庫では翌日の潜航の準備が整っている。母船に吊り上げられて、台車に据えられ、海水を洗い流す清水洗浄が完了し、「しんかい6500」が格納庫に運ばれると、ただちにメンテナンスが行われ、次の潜航へ向けた作業が開始される。 BE

「しんかい6500」の将来

臨場感の共有が 研究の推進剤になる

竹内 章 富山大学大学院理工学研究部教授

潜航服を着た竹内章教授。
これから深海調査へと出か
けていく。(2008年6月)

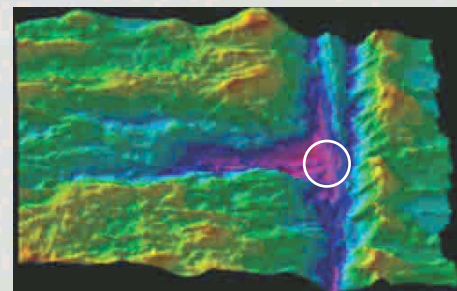


とても印象的だった大西洋の調査

私は、大地や海底がどんな地質構造になっているか、どのようにしてできたかということを研究しています。地質といっても地球が相手なので、陸上から海底まで幅が広く、私はさまざまな場所に出かけて、地層の性質や動きなどを調べています。水におおわれた海底を調査するには、潜水船がないと行けないわけです。ですから有人潜水調査船「しんかい2000」や「しんかい6500」を活用して、多くの調査を行ってきました。

私は「しんかい6500」には20回ほど乗船していますが、なかでも特に印象に残っているのは、1998年に大西洋の

中央海嶺とトランスフォーム断層の交わっている部分を調査した潜航です。中央海嶺では中軸の谷に沿って火山活動が起こっているのが、玄武岩の溶岩がたくさん見られます。逆にトランスフォーム断層では火山活動はなく、断層活動によってマントルで破碎された部分がしぼり出されてくるので、カンラン岩がたくさんあります。ではその交わっている部分はどうなっているのかと調査したわけですが、面白いことに、この部分は火山活動を示す玄武岩が、断層活動で切断されて階段状になっていたのです。ちょうど中央海嶺とトランスフォーム断層のそれぞれの特徴が交差した姿を示していました。



中央海嶺とトランスフォーム断層の交点

上図は1998年に竹内教授が調査した、中央海嶺とトランスフォーム断層の地形。画面の横方向に伸びる谷が中央海嶺の中軸。トランスフォーム断層は縦方向に伸びていて、中央海嶺と垂直に交わっている(白い○の部分)。右側の2点の写真は、中央海嶺とトランスフォーム断層の交点で撮影された海底写真。断層特有の段がついているが、岩石の種類は中央海嶺によく見られる玄武岩なので、両方の特徴が混在している。



私たちは何かを理解しようとするとき、海溝、中央海嶺、トランスフォーム断層というように、それぞれの部分を分けて理解しようと思いますが、本当はそれぞれが独立して存在しているわけではありません。これらの要素がお互いに調整しあって、地球という一つのシステムをつくっています。中央海嶺とトランスフォーム断層の交わる点は、地球全体の調整作用を明らかにする上でとても重要なポイントの一つです。機会があればまた調査してみたいと思います。

地震前につくった掘削孔を発見

また、日本近海では、「しんかい6500」を使って日本海東縁の海底にたびたび潜航しています。これは1993年の北海道南西沖地震による海底の変化を調べるためです。地震が発生した海域は、その直後の変化だけでなく、年月を経て海底がどのように変化していくかを調べることも大切です。積み重ねられたデータをもとに、ほかの海域を見ていけば、そこでは何年前に地震が起きて、次にいつ地震が起るのか予測することもできるようになるからです。

私たちのグループは、2008年5月から6月にかけて、再び日本海東縁の海底を調査しました。そのとき、国際深海掘削計画(ODP)のときにあけられた掘削孔を発見することに成功しました。1995年にも同じ掘削孔を探したのですが、そのときは見つかりませんでした。掘削時、位置は記録されていたのですが、測位の精度があまりよくなかったからです。2008年の調査では、失敗したときの教訓を生かして掘削孔を見つけることができました。

この掘削孔は北海道南西沖地震が発生する前の1989年に掘られたものです。ODPではこの海域に2つの孔が掘られていたのですが、発見できたのは1つだけでした。もう1つは地震が起きたときに埋まってしまったのでしょうか。発見した孔を観測すると、地震の影響がしっかりと刻まれています。地震の影響を物理的に調べられるという点でこの掘削孔の発見はとても大きいものでしたし、地盤がしっかりしていれば、海底の構造物も残ることが分かりました。

臨場感を共有したい

私が主に観測している日本海側の調査では、いまの「しんかい6500」の性能で十分満足しているのですが、太平洋側はもう少し深く潜れた方がよいと思います。なぜなら、太平洋側での活断層の調査となると、プレートの沈み込み部分の現象を直接観察したいからです。それには水深6,500mではちょっと足りない。それを歯がゆく感じます。せめて7,000m地点まで行くと、日本近海の重要な部分がかバーできるようになると思います。



2008年の日本海東縁の潜航調査で発見された掘削孔。

「しんかい6500」は非常によい船なのですが、1回の潜航で研究者が1人しか乗れないのが残念なところ。海底に断層ができたときは、その断層に沿って微生物が生息したり、地下水が湧き出たりしますので、地質だけでなく、生物や水など、広い分野の知識が必要になります。1人だけで深海に潜って、ほかの研究者に現場の臨場感を伝えるのは至難の業です。もともと臨場感というのは、行ってみたいと分からないという性質のもので。せめて、違う分野の研究者が2人で乗り込むことができれば、現場の臨場感を共有して調査や観測を進めることができるので、新しい発見にもつながってくると思います。

「しんかい6500」に研究者が1人しか乗れないのは安全面も考えてのことだと思います。そうであれば、もう1台、有人潜水調査船が欲しいですね。2台使うことができれば、2人同時に深海に行けるので、やはり深海で起こる現象がより立体的に明らかにできると思います。

あと、これは苦情ということではないのですが、サブボトムプロファイラーやサイドスキャンソナーなど、海洋調査では標準となっている観測機器は基本的に備えてほしいのです。2008年の調査では、私たちのグループがパイロードとして持ち込んだのですが、これらの機器は無人数探査船にも装備されているのですから、ぜひ、有人の「しんかい6500」にもつけていただきたいです。また、塩分・水温・深度計(CTD)のような基本的なセンサー類は、いま、「しんかい6500」の上部にしかついていませんが、研究者としては試料を採取する場所や海底面すれすれの情報が欲しいときがあります。センサーの数を増やしたり、船の下の方にもつけたりして、より良質の情報が入手できるようになるといいですね。

横浜・八景島シーパラダイス アクアミュージアム 魚たちの華麗なマ스ゲーム ——マイワシの群泳

取材協力：安部 奏・飼育技師

深さ8m、水量1,500トンの大型水槽のなかに、約5万尾のマイワシが銀色に輝きながら巨大な群れをつくって泳ぐ。その周囲には、約2,000尾のムロアジ、約1,000尾のサバ（マサバ、ゴマサバ）が、やはり群れとなって水槽内を回遊している。

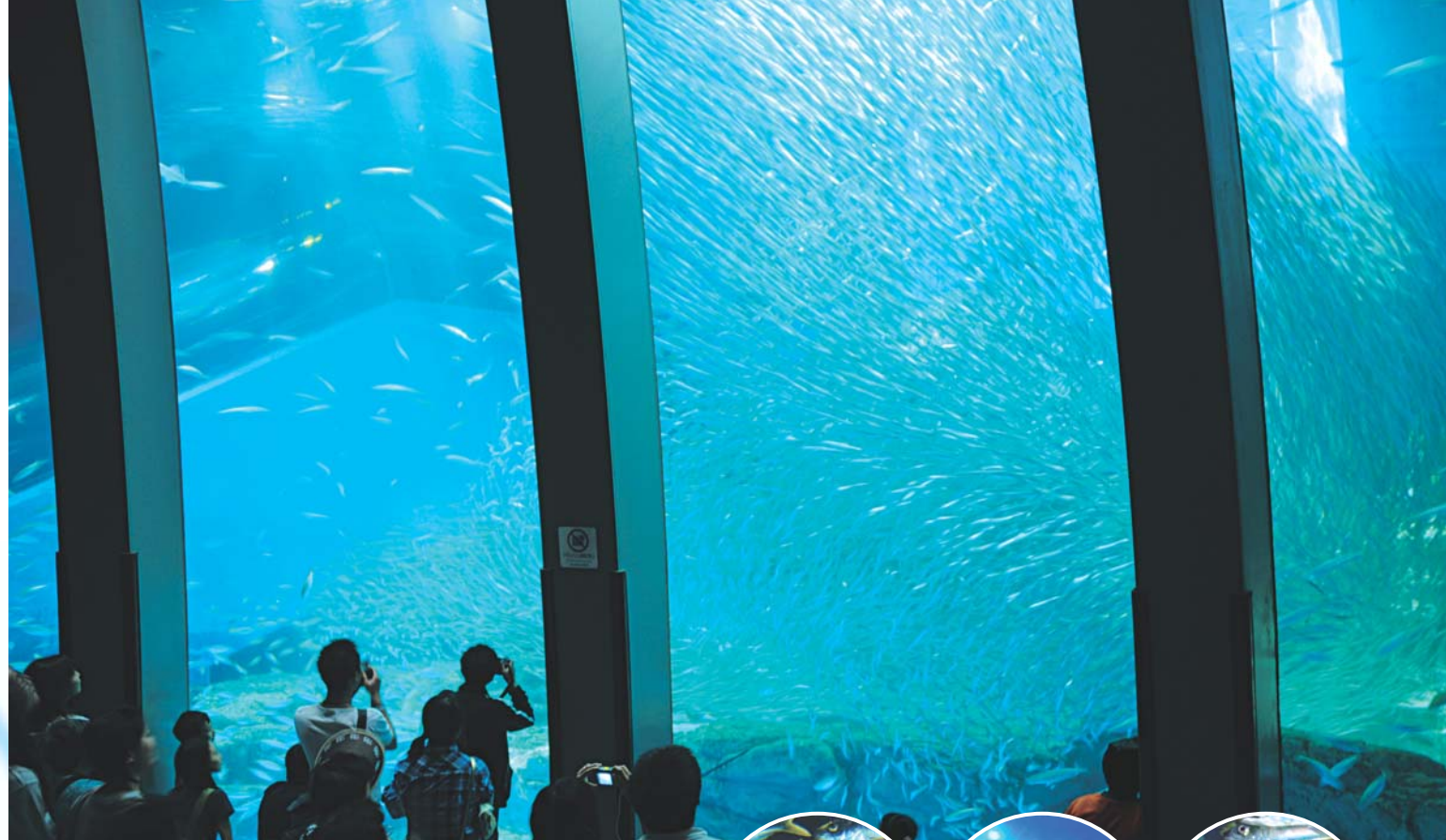
2009年3月に誕生した新展示水槽「群れと輝きの魚たち」は、三浦半島の近海で見かけるごく一般的な魚を集めた展示で、特に珍しい魚はいないが、何よりも魚たちの数の多さに圧倒される。特に密集するマイワシの群泳は壮観だ。サメ（シロワニ）、エイ（ホシエイ、ウシエイ）といった大型の捕食者をはじめ、アオリイカ、カスマアジ、イセゴイなどの動きに反応して、変幻自在に群れが一斉に動き出す様子は、まるで一つの生きもののものであり、一糸乱れぬマ스ゲームの隊列を思わせる。

イワシやアジ、サンマからカツオのような比較的大きなものまで、群れをつくる魚は数多い。繁殖のためにある時期だけ産卵場所に大きな群れをつくる魚もいるが、イワシをはじめ海の表層を広範囲に回遊する魚たちの多くは永続的に群れを維持する。一つの群れが同じ時期に生まれた、ほぼ同じサイズのもので構成されるのも特徴だ。

魚たちはなぜ群れをつくるのだろうか。「さまざまな理由が考えられています。一般的には、身の安全を守るためだろうといわれています」と飼育技師の安部 奏さん。「たくさんの仲間と一緒にいれば、仲間が食べられているうちに、ほかの大部分は逃げられますからね。強いものは群れのなかのより安全な位置に身を置こうとしているように見えます」と話す。集まっていれば捕食者にとって楽なように思えるが、群れをつくり、四方八方に逃げられると狙いをつけにくくなり、逆に捕らえにくくともいわれる。

この水槽には、展示の中心となるマイワシだけでなく、「彼らにとって脅威となる捕食者の魚を、あえて入れている」のだという。「ほかの生きものを捕らえて食べるという行動は生きものにとって重要な行動です。そうした生きもの本来の姿をこの展示で伝えていきたい」と安部さんは話す。運がよければ、アオリイカがイワシを捕らえる姿なども見られるそうだ。また、こうした捕食者と一緒に入れておくと、単独で飼育するよりもマイワシの健康状態がよいという。「マイワシだけだと、太り過ぎたり、骨が曲がって体型が崩れたりして、短命なものが多くなります。やはり、本来受けるべき刺激を受け、ある程度の緊張のなかで適度に運動した方がプロポーションもよくなり、健康に生きられるのかもかもしれません」と安部さん。もちろん、食べられてしまえば数は減ってしまう。5万尾を維持していくため、水槽にはおおよそ2ヵ月半に1回、1万尾のマイワシが補充されるといふ。

■ Information：横浜・八景島シーパラダイス アクアミュージアム
〒236-0006 神奈川県横浜市金沢区八景島
TEL 045-788-8888
URL <http://www.seaparadise.co.jp>



イワシやアジ、サバの群れに加えてシロワニなどを入れ、自然界の海を再現。

1日に数回、大魚群がダイナミックに乱舞するパフォーマンスが繰り広げられる。マイワシに餌（配合飼料）を与えているのだが、ものすごい速さで餌に群がるマイワシの大量は、まさにパニック状態。これにほかの魚たちも反応して泳ぎが加速され、巨大な水槽全体が渦潮のようだった中のような状態になる。



マイワシ



ムロアジ



マサバ



マイワシ（左）はお互いがぶつかりそうなほど密集した群れをつくるのに対して、ムロアジやマサバ（右）は、やや間隔を取りながら群れをつくる。

個性豊かな氷河が目に見える気候変動の指標となる

紺屋恵子 地球環境変動領域 水循環観測研究プログラム ポスドク研究員
サイエンスコミュニケーター



大気中の水蒸気は、雨や雪となって地上に降り注ぎ、河川や海の水、地下水、地上や海上の雪氷とさまざまな形を変えながら、また蒸発して大気中に戻っていく。その水循環は、気候と深くかかわっているのだ。紺屋恵子ポスドク研究員は、寒冷圏の水循環を研究するグループに属し、氷河の観測と研究を行っている。素人目にはほとんど静止しているかのように思える氷河だが、研究者の目から見れば、日々絶えることなく変化を続けているのだという。それはどのようなものなのだろうか。

モンゴルでの調査 2008年

Profile

こんや・けいこ
東京都生まれ。博士（地球環境科学）。
東北大学理学部地圏環境科学科卒業。北
海道大学地球環境科学研究科博士後期課
程修了。北海道大学低温科学研究所学術
研究員などを経て、2007年より現職。
2008年中台宇宙科学奨励賞受賞、専
門は、雪氷気象学。

氷河の残した地形から実際の氷河へ
——なぜ研究の対象として、氷河を選
ばれたのですか？

紺屋：特に劇的なきっかけというの
はないのです。中学生のときに、父親が飛行
機の機内誌をお土産に持ち帰り、たまた
まそこに「宇宙飛行士募集のお知らせ」
が載っていて「宇宙飛行士になりたい
」と思ったのです。天文学の研究者な

ら、宇宙や星にかかわれるのではない
かと考え、天文学科などを受験、最終
的には天文に比較的近い地学系の地理
学科に進学しました。入学後、高校生
のころから登山をしていたので、大学
でも山のサークルに入りました。

地理学科では、大学3年で人文地理
と自然地理のどちらかを選択できるの
ですが、山が好きで、自然系を勉強したか



修士1年、カム
チャツカで初め
ての氷河観測。
気象観測ステー
ションでメンテ
ナンスの合間に
ケーキを食べ
る。



スウェーデンの
氷河で、ドク
ター論文のため
の観測。赤いジャ
ケットがヘルバ
ーをしてくれた
スイスからの学
生。

ったので、自然地理で地形学を専攻し
ました。卒業論文は山の地形をテーマ
にし、北アルプスの剣沢で調査をし
ました。これは氷河地形という分野で
す。実は日本にも昔、氷河があったの
ですが、いつ、どのような形の氷河
があったのか、さまざまな場所で調
査をします。ところが調査を始めてみ
ると、その場に立っても氷河をうまく
思い描くことができませんでした。そ
のとき「実際の氷河を見てみたい」と
思いました。

当時、氷河研究専攻は大学院生から
で、学部生では氷河に行けるチャン
スはありませんでした。そこで北海
道大学の大学院に進学し、雪氷学の
研究室に入りました。そこでようやく
氷河の研究としての生活がスタート
したわけです。当時、修士課程で氷
河を研究できるのは、北海道大学と
名古屋大学だけでした。私は神奈
川県で育ったので雪が身近ではな
く、北海道に行って日ごろから雪
や氷に触れ、その性質に慣れること
ができたのは、結果的によかったと
思っています。

簡単には行けない現地調査

——初めて氷河に行ったのは、大
学院のときなのですね

紺屋：修士課程1年のときにカム
チャツカプロジェクトに参加し、気
象観測をする装置のメンテナンスの
ほか、氷河の研究では一番基本的な
「氷河が一日にどれくらいとけるか」
を測るといった観測

をしました。

カムチャツカの氷河は人里から離
れており、まず氷河の下流までヘリ
コプターで行き、そこにキャンプを
張って、そこからテクテクと徒歩で
登りました。クレバスがたくさんあ
って、滑って転んだらそこに落ちて
しまいそうでした。アイゼンを履い
て氷の上を歩くのも初めてだったので、
本当に怖かったです。

氷河の調査はお金も時間もかかる
ため、観測できるチャンスはそれほど
ありません。その後、研究室が縮小
となり、観測できる機会を自分で探
さなければいけなくなりました。博
士課程1年のときはさまざまなサマ
ースクールに参加して勉強し、2年
のとき観測に行ったのがスウェー
デンのストール氷河です。このとき
は自分のドクター論文を執筆するた
めの観測だったので、一人で行き
ました。その氷河は観測の歴史が長
く、観測小屋をストックホルム大
学が管理しており、決まった観測
メニューのほか、国内外の研究者
が自分のテーマを持って参加でき
る形になっています。少ない自分
の研究費だけで、背水の陣でぞ
みました。

幸い、ストックホルム大学の教員
の人が面倒見のよい人で、「この観
測小屋で働きたい」といっているス
イスの学生がいるから、彼女をあ
なたのヘルパーにすればちょうど
いい」と、その人が観測小屋で働
いた分を、私の費用と相殺するこ
とにしてくれたのです。すごラッキ

でした。

ドクターを卒業してからも1年間
北海道大学にいて、バタゴニアの氷
河に調査に行きました。海洋研究開
発機構（JAMSTEC）ではモンゴル
やシベリアを研究する寒冷圏水循
環グループに所属し、モンゴルの氷
河を調査しています。モンゴルの一
番西、中国とロシア、モンゴルが
接する、まさに国境の上に氷河が
ある標高約3,000mの場所です。

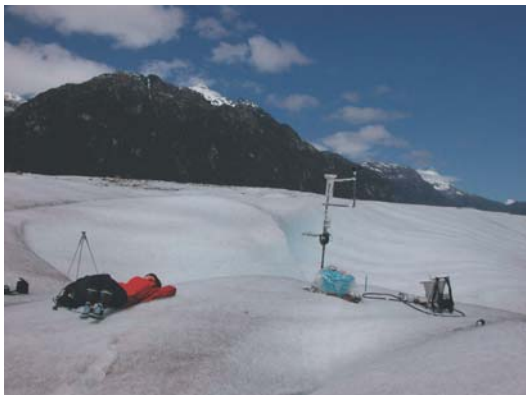
氷河の「個性」を形作るもの

——どのような調査や研究を行う
のですか。

紺屋：氷河は上から下へゆっく
りと流れていて、標高が高いところ
では雪が降って氷が供給され、低い
ところでは周囲の気候の影響を受け
てとけていきます。氷河はある程
度の面積を持っているので、同じ氷
河のなかでも場所によってとける
量が違います。気温や日の当たり
方によってとける量がかわるため
、実際の気象観測の値をもとにそ
れを計算していこうというの



学会の帰りにスイスのアレツジ氷河で。



パタゴニアにて。観測待ちの間に氷河の上でお昼寝。



パタゴニアの氷河付近の川にて流量観測。



パタゴニア・エクスポラドールス氷河の観測生活風景。

が、ドクター論文のときの一番大きなテーマでした。

そのとき調査の対象にした氷河の周囲にも、いくつか氷河がありました。大きささまざまな氷河があり、それぞれにとけ方が違います。一つ一つの氷河の個性のようなものがすぐ出ていて、それが面白いと思いました。

氷河の個性には、たくさん要素がかかっています。なかでも大きい要素は、もともと地形や、氷河の流れている向きです。向きによって雪の降り方や溜まり方が変わってきますし、地形によって流れる速さも変わります。氷河の個性は、その変化の個性でもあります。

もちろん大きさや表面の色など見た目の個性もあります。パキスタンやネパールは氷河上流の岩が崩れやすく、茶色い泥をかぶったまま流れてきますから、あまり氷河に来た感じがしません。でもやはり、氷河学的に見ると、流れる速さやとけ方の違いなど個性が大きいですね。とけやすいかどうかは氷河の大きさより、周りの気候の影響が大きいです。

——氷河のとけ方は、地域ごとにかなり違うのですか。

紺屋：全然違います。カムチャツカとパタゴニアは海の近くにある氷河です。海側から吹いてくる湿った空気で雪がたくさん降ります。そのかわり、夏はけっこう暖かくなるので大量にとけるという特徴があります。いま調査

しているモンゴルの氷河は内陸にあり、それほどとけず雪も降らないので、変化が少ないです。

氷河をとける理由には、「日射」「気温」「氷から水になる相変化」という3種類の熱が関係します。

標高が高いと日射量がやや大きくなることはありますが、曇ってばかりの地域は別として、日射量はある程度どこでも同じです。しかし、気温や相変化はその場所の気候に依存するので、その熱量がかなり違ってくるのです。それが海洋性のカムチャツカやパタゴニアではかなり大きく、内陸性の氷河ではすごく小さい。ですから、ある程度その場所の気候が分かれば、大まかな計算で氷河のとけ方を推測することができます。

気候変動との関係

——氷河は気候変動の影響を受けるのでしょうか。特に、今研究されているモンゴルの氷河はどうでしょう。

紺屋：モンゴルの氷河はモンスーンの影響で夏に降水量が多い地域にあります。氷河の上流では夏も寒く雪が降るため氷河の体積が増えて、下流では夏に気温が高くなってとけるというタイプの氷河です。100年前程の写真と比べても、また私の所属する寒冷圏水循環グループの研究者が行っている衛星画像を使っ

た研究結果を見ても、最近数十年でどんどん減って、明らかに氷河の形が小さくなっていることが分かります。それはなぜかという、氷河近くで観測された、ここ50年くらいの気温が、全地球規模での気温の上昇とほぼ同じペースで高くなっているからです。気温が高くなると雪が雨に変わってしまい、雪が積もる量は減り、とける量が多くなります。その両方の原因で小さくなっていると考えています。

以前も氷河は下流のほうでとけて減ってはいたのですが、上流から雪によって氷河が供給されていたために、それほど長さは変わりませんでした。ところが近年では供給量がどんどん減ってきたため、氷河は減るばかりという状態です。

世界のほかの地域の氷河も、だいたいはモンゴルと同じように気温が上昇していますが、スカンジナビアの氷河は違う変動をしています。他地域の氷河が減少しているときに、氷河の体積が増えて注目されていたのです。それでも一時、スカンジナビアの氷河もとけていたのですが、先の学会でノルウェーの氷河を

研究している人に聞いたら「いや、また増えている。何だかよく分からないんですよ」といっていました。エルニーニョや北極振動によって気圧の変化が周期的に起こると、いつもと違う地域で大雪になるなど、局所的な現象が起こります。聞いた話では、それと類似の現象に北大西洋振動というのがあって、スカンジナビアにはその影響があるようです。——逆に、氷河の変動は気候に影響を与えるのですか？

紺屋：同じ地域に存在する雪や氷である積雪や凍土は気候に大きな影響を与えますが、氷河はほとんど影響を与えません。スノーボールアース(全球凍結)といった、氷河が地球上のかなりの面積を占めていた時代には、氷河の変化が気候に影響を与えたこともあるようですが、現在の規模ではほとんどありません。気候変化が起こってから、それが氷河に伝わり、氷河が変化します。そういう意味で、氷河は気候変動を示す、目に見える指標であるといえるでしょう。

ですが、実際の研究はとても地道です。大きなプロジェクトはともかく、個々の研究だけでは、あまり大きな現象は説明できないのです。そこで氷河研究のコミュニティでは、それぞれの研究結果をつなげて、全地球的な気候の変化や局所的な気候の変化がどのように氷河に影響を与えているかという検証もされています。各国の氷河学者がいろいろな場所の氷河を研究して調査結果を報告し、それをまとめる人がいて、それをもとに世界的な傾向、地域的や大陸ごとの傾向、もっと小さい地域で見た場合のばらつきについて研究をしている人がいます。

ですから一つ一つの氷河のデータが



書店ビルのロビーで行ったCoSTEP主催のサイエンスカフェに、スタッフとして参加。



2007年 モンゴルの氷河の上に立つ観測隊一行



キャンプで腕相撲に興じる紺屋研究員。

重要です。みんなで集めてデータベース化すれば、それを個々の研究者が参照して、自分が研究している氷河について考えるというフィードバック的な効果もあります。やはり自分の研究だけでは分からないことも、他と比較するとよく分かるということがあるのです。

——今後の調査研究の方向は？

紺屋：プロジェクト自体は北に移行しつつあり、シベリアの調査を始めようかという話になっています。グループとしても氷河の南北方向の違いを見るという目的があります。いま調査している氷河は緯度的に真ん中あたりなので、北と南を見て比較してみたいと考えています。

研究する面白さ、伝える楽しさ

——紺屋さんは研究者であるだけでなく、サイエンスコミュニケーターでもあるのですか。

紺屋：私は北海道大学科学技術コミュニケーション養成ユニット(CoSTEP)の一期生です。そのころは学芸員を目指しており、将来、役に立つと思って受講しました。期間が半年しかなく、ドクター論文の執筆と重なったので、実

質的には修了してから1年間、修了生と一緒に札幌でサイエンスカフェを行っていました。会場全体に一体感ができるようにセッティングを工夫するなど、熱心に活動しました。マニアックなテーマのほうが意外と好評だったり、面白かったです。いまは忙しくて、なかなか自分でサイエンスカフェが企画できないのが残念です。

——これから研究者を目指したい人に一言アドバイスをお願いします。

紺屋：私が研究者になって一番よかったと思うのは、自分がやりたいと思ったことを自由にできることです。そのかわり、できなかったときは自分の責任として跳ね返ってきますが、それでもとても楽しいですね。特に氷河でのフィールドワークは、私にとっても非日常で、仕事兼遊びのような感覚です。調査の面白さが日ごろの地道なデータ解析等の作業を支えています。「フィールドに行けるなら、仕方がないからこの作業もがんばろう」という感じです。

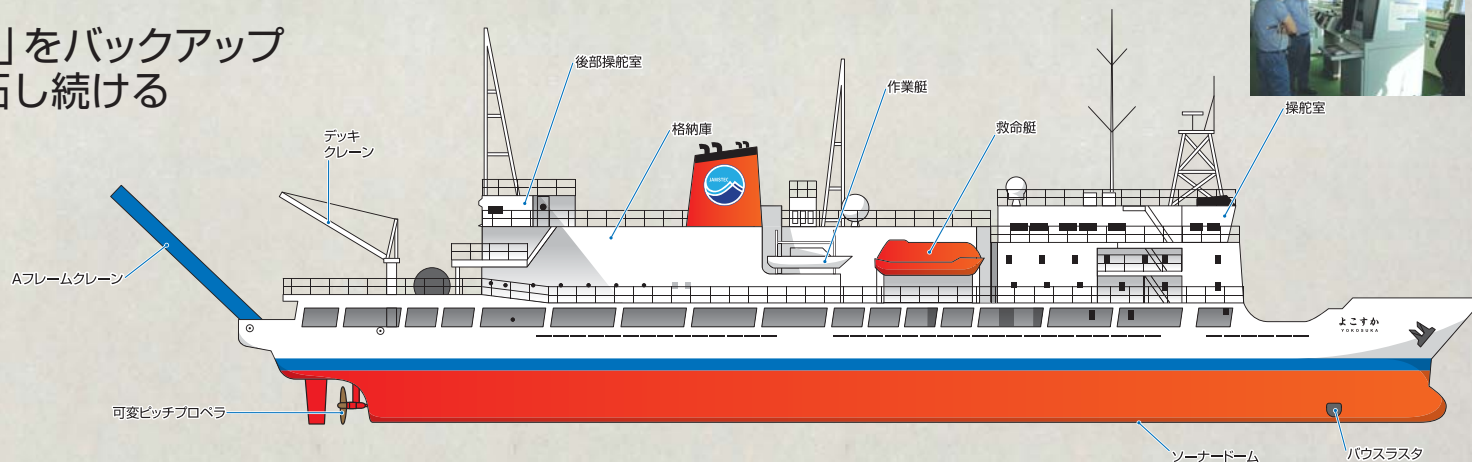
これまでいろいろな氷河を見てきたおかげで、学部生のときは日本の地形を見てまるで氷河がイメージできなかったのが、いまでは「大体こんな形の氷河があったのだな」と思い描くことができるようになりました。

研究の世界に関心を持っている人は、ぜひそちらに進んでほしいです。現段階で興味が続いていなくても、とりあえず何か始めてみることです。研究する力がついてくれば、後からいくらでもテーマは変更できますので、何でもいから自分の好きなことをやったらいいと思います。

最新の音響機器で「しんかい6500」をバックアップ
世界の海で深海探査の最先端を開拓し続ける

支援母船 「よこすか」

Support Vessel YOKOSUKA



「しんかい6500」の活動を 支える大型母船

「よこすか」は1990年に完成し、翌1991年から有人潜水調査船「しんかい6500」の支援母船として調査活動を開始した。最大潜航深度が6,500mの「しんかい6500」は、陸地から遠く離れた海域での行動が多く、海が荒れることも少なくない。そうした状況下でも安全確実に潜水調査船の着水・揚収できるように、また世界各地の海へ長期の航海ができるように、「よこすか」は「しんかい

2000」の母船として建造された「なつしま」に比べて格段に大きい。そして、船の後部には「しんかい6500」運搬・整備のための広い格納庫、重さ約26トンの「しんかい6500」を吊り下げることができる大型のAフレームクレーンが備わっている。潜航前に海底の地形を詳細に把握するためのマルチナロービーム音響測深装置をはじめ、自動的に潜航地点を記録する機器、交信を行うための水中通話機、深海から送られてきたカラー静止画像を映し出す音響画像伝送装置など、

「しんかい6500」の深海調査を支援するための機器類も数多く搭載されている。「よこすか」は、こうした機器を駆使して、深海底で活動する「しんかい6500」の行動を見守る海上の指令室としての役割を果たしている。

「しんかい6500」だけでなく、「よこすか」は1995～97年には10,000m級無人探査機「かいこう」の母船としても活躍した。今日では、深海巡航探査機「うらしま」の母船としても運用されている。さらに、船上に重力計、三成分磁力計、



深海巡航探査機「うらしま」

プロトン磁力計などの観測機器を搭載する「よこすか」は、支援母船としてだけでなく海洋調査船としても重要な役割を担っている。

世界の海洋で深海調査に活躍

1994年の「MODE'94」、98年の「MODE'98」、2004年の「NIRAI KANAI」と、これまで「よこすか」は「しんかい6500」とともに世界の海洋で深海調査を実施し、優れた成果を達成してきた。

大西洋では活弁熱水噴出域（TAG熱水マウンド）の活動を詳しく調査し、インド洋では世界で初めて有人潜水調査船による潜航調査を行い、太平洋の東太平洋海影では、世界最大の海底溶岩流を発見している。もちろん、日本の近海においても、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、

南西諸島海溝などの深海調査で多くの成果を挙げている。

世界一の有人潜水調査船「しんかい6500」、さらに「うらしま」の活動を支える「よこすか」には、いまだ明らかにされていない深海の不思議を解明するための大きな使命が託されている。

■ 船体データ

全長	105.2m
幅	16.0m
深さ	7.3m
喫水	4.5m
総トン数	4,439トン
航海速度	約16ノット
航海距離	約9,500マイル
定員	60名（乗組員27名、「しんかい6500」運航要員18名、研究者等15名）
主推進機関	ディーゼル機関（2,206kW×2基）
主推進方式	可変ピッチプロペラ×2軸

■ 主な研究設備

「しんかい6500」「うらしま」の運航支援システム、曳航式深海底調査システム「ディープ・トウ」の潜航支援システム、マルチナロービーム音響測深装置などの深海調査機器を搭載。



重さ約26トンの「しんかい6500」を吊り上げる巨大なAフレームクレーン



「しんかい6500」を収容する格納庫



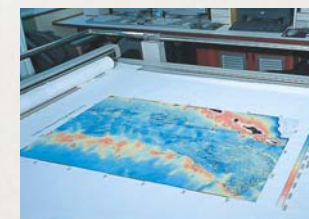
「しんかい6500」との交信に使われる水中通話機



船底部の音響航法装置の送波器（手前の2つ）と水中通話機の格納式のソナードーム



音響画像伝送装置により、「しんかい6500」のカメラがとらえた映像が静止画として船上に送られる



マルチナロービーム音響測深装置のデータからつくられた海底地形図

熱帯気象の主演 積乱雲

(2009年3月21日 第93回地球情報館公開セミナーより)



図1 積乱雲

積乱雲は「日本の夏の風物詩」ともいえるほど、私たちにはなじみ深い気象現象です。しかし、それがどうやって発生するのか、夕立や集中豪雨はどうして起こるのかといった質問にすぐに答えられる人は少ないでしょう。積乱雲は非常にダイナミックな対流運動であり、急速に成長し大量の雨をもたらす消滅してしまうたった1時間程度の現象です。しかし、ときには雲群をつくって熱帯大気の大規模運動や地球環境変動までも左右する重要な役割を担っています。ふだん見慣れた雲が、実は局地的な気象から地球規模の気候にまで影響を与えているという、自然の奥深い仕組みについてお話しします。

大気の運動を決める対流という現象

図1は、ある日、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 横須賀本部から見た積乱雲のスナップ写真です。積乱雲というと「モクモク立ち上がる」イメージがすぐに浮かびます。しかし、その運動エネルギーの元は何かと考えると、これはなかなか難しい問題です。

まず、積乱雲のお話をする前に、その仕組みの基本となる対流について説明しましょう。たとえば、水を入れた鍋を火にかけて、上下の温度差が小さい場合には熱伝導で熱が伝わり運動は生じませんが、温度差がある値以上になると鍋のなかで水は運動を起こします。静止状態であった流体がつくるこのような運動を対流といいます。対流は、上下の温度差が大きくなり状態が不安定となった時に、液体でも気体でも共通に発生します。

対流の様子を視覚的に確認できる面白い実験があります(図2a)。シリコンオイルにアルミ粉を混ぜて下から熱すると、対流によって六角形のセルのような規則的なパターンが現れ、セルの中心部では上昇流、境界部分では下降流が起こります。この現象は発見した研究者ベナールにちなみ「ベナール対流」と呼ばれ、基本的な対流のパターンです(図2b)。このベナール対流の痕跡は自然のなかにも見つけることができます。たとえば、神奈川県にあ

る「生命の星・地球博物館」のポスターにあった写真に、砂漠の乾燥した地面に見事な六角形のパターンがありました。そこは、昔、水をたたえた池のような場所で、六角形のパターンは夜間の放射冷却によって起きた水のなかの対流であったと想像されます(図3)。

乾いた空気と湿った空気での異なる対流

地球大気では太陽の熱エネルギーを駆動力として対流が起こります。太陽から地球へと注がれる熱エネルギーのうち約30%は地球に反射されて宇宙に戻りますが、約半分は大気を素通りして地表に吸収され地表を暖めます。これによって、大気は常に下から暖められることとなります。やがて、暖められた大気は対流を起こし不安定な状態を解消しようとする。これが地球大気に対流が見られる大きな要因となります。

大気は高度が高くなると気圧が下がり、同時に膨張を起こして温度が下がる性質があります。地上が30℃以上の真夏日でも富士山頂が涼しいのはそのためです。この高度とともに気温が下がる割合を「温度減率」といいます。

地球大気は乾燥大気と湿潤大気の二つの側面を持ちます。乾燥大気は、常温・常圧では相変化しない、窒素・酸素・アルゴ



図2a 実験で見るベナール対流

金属の容器にアルミ粉を混ぜたシリコンオイルを入れる。大きい容器に台を置いて重ね、お湯を注いで下部を温めてしばらく置くと六角形のセルが観察できる。



図2b ベナール対流の写真

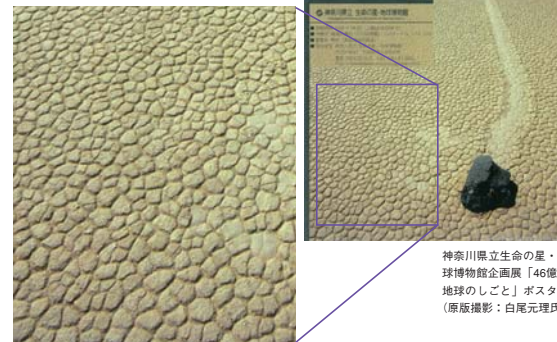


図3 ベナール対流の痕跡

六角形のパターンは、かつてここが池であり対流が生じた跡だと考えられる。

神奈川県立生命・地球博物館企画展「46億年地球のしごと」ポスター (原稿撮影:白尾元理氏)

ンなど大気のほとんどを占める気体からなります。一方、湿潤大気は乾燥大気に常温・常圧で相変化する水蒸気を含んだ大気からなり、相変化によって熱の出入りが空気塊内で起こります。この場合、空気塊が上昇(下降)するとそこに含まれる水蒸気は過飽和(未飽和)となり凝結(蒸発)して凝結熱(蒸発熱)を発生します。そこで仮想的に、乾燥大気で外から熱の出入りのない断熱状態の空気塊を動かすことを考えてみます。すると、空気塊の温度は1km上昇することに約10℃下がります。この温度減率を「乾燥断熱減率」といいます。それに対して湿潤大気では、上昇時に発生する凝結熱の分だけ温度減率は小さくなるため、空気塊は1km上昇することに約4~6℃下がることとなります。

これを「湿潤断熱減率」といいます。

地球大気は湿潤大気ですが雲が発生しないようなときは乾燥大気の性質を示しますので、乾燥断熱減率と湿潤断熱減率の2つの臨界断熱減率から、地球大気の温度成層は、絶対不安定、条件付不安定、絶対安定の3通りの成層となる可能性があります。観測される中緯度帯の平均的な温度成層は1km上昇すると約6.5℃下がりますので、地球大気は条件付不安定な成層といえます(図4)。

この大気の成層状態を、山や谷のあるところにボールを置いたたとえて考えてみましょう(図4i~iii)。絶対安定とは、谷底にあるボールが安定して1カ所にとどまる状態で、揺らしてもすぐもとの位置に戻ります。一方、山の頂上に置いたボ

ールは少し揺らすと勢いよく転がっていきます。これは絶対不安定に相当します。これらは乾燥対流の2つの状態に相当します。湿潤対流の場合は、上で述べた2つの状態に加えて、条件付不安定という状態も起きます。これは山が2つある間の谷にあるボールにたとえられます。ボールは小さな揺れに対しては安定ですが、山を越えるような大きな揺れになると不安定になります。地球大気の条件付不安定な成層では、雲ができない限り安定ですが、雲ができる不安定という状態となります。つまり、晴れていれば安定であっても、ひとたび凝結(=雲)が起こるとたちまち不安定となり、大きなエネルギーが放出されて、爆発的な運動が起こります。これが積乱雲にあたるわけです。

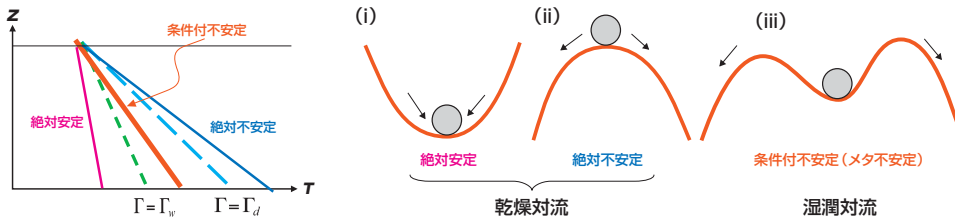


図4 温度-高度の温度成層と、乾燥大気と湿潤大気のアナロジー

大気の安定度は温度減率によって表す。温度減率が臨界減率より小さければ安定、大きければ不安定となる。地球大気には乾燥断熱減率と湿潤断熱減率の2つの臨界減率(Γd、Γw)があるため、地球大気の温度成層は、絶対不安定、条件付不安定、絶対安定の3通りになる。

※縦軸Z=高度 横軸T=温度 温度減率: $\Gamma = -\frac{\Delta T}{\Delta Z}$ 乾燥断熱減率: Γ_d 湿潤断熱減率: Γ_w



地球環境変動領域
熱帯気候変動プログラム
技術研究統括

吉崎 正憲

よしざき まさのり。1948年、長崎県生まれ。1973年、東京大学大学院理学系研究科地球物理学研究修士課程修了。理学博士。東京大学海洋研究所、イリノイ大学、気象庁気象研究所を経て、2006年より海洋研究開発機構・地球環境観測研究センターに移る。専門は大気力学、メソ気象学、熱帯気象。

降雨をもたらす自己破滅する積乱雲

積乱雲の内部では大気の流れ(鉛直方向)と雲水が雨水やあられなどに変わる水物質の成長とは同期しています。積乱雲が発生すると、最初に直径数十マイクロメートルの小さな雲粒ができます。雲粒同士は衝突・併合を繰り返し加速度的に成長し、やがて大きな雨水やあられへと成長して、重力に耐えきれなくなると落下を始め下降流をつくります。これが地上に達すると降雨となるのです。この段階が積乱雲の最盛期です。しかし、雨水は落下しながら蒸発するなどして下層部の大気を冷やし、その結果、大気の流れは小さくなり、積乱雲は約1時間で短い寿命を終えるのです。このように、積乱雲は自らが生み出した降水のせいでつぶれてしまう自己破滅的な振る舞いをします。

では、雨は地球上の気象にどのような役割を果たしているのか、コンピュータによる仮想実験で考えてみましょう。海面温度を一定とし、大気は一定の割合で冷却するという常に不安定な環境のモデルで、

雲物理の条件は気相の水蒸気、落下しない液相の雲粒、落下する液相の雨水だけとします(図5)。まずAの実験は、水蒸気と雲粒だけで雨水の生成率をゼロにした場合です。このように雨水がつかれない場合には、上昇流域と下降流域が水平方向に同じような大きさに並び、ベナール対流と同じようなパターンになります。この場合、空全体を雲が被う状態で、濃い雲であればきつと暗黒の世界となるでしょう。それに対して、BとCではAの実験に雨水の効果を加えます。Bでは雨水は生成されたらただちに落下する設定、Cでは実際のなパラメータを使い下降流を起こしながら雨水が降る設定とします。すると、Bの場合では非常に狭い上昇流域と領域一杯に広がる下降流域が形成され、しかもこのパターンは安定して継続します。一方、CはBの結果と似ていますが、上昇流域の下には雨水の蒸発による冷却が起こり、実際の気象現象と非常に近い時間変動が見られます。これから分かるのは、雨水の形成によって狭い雲域と広

い晴天域のコントラストがつけられるということです。夏の青い空にモクモクと入道雲が立ち上がるあの景色は、雨水が降ることによって生まれるのです。

中緯度帯の集中豪雨を引き起こす積乱雲群

次に中緯度帯の集中豪雨の話をしていきます。積乱雲は、数kmからせいぜい10km以下の水平スケールで、時間としては1時間程度の寿命を持つ大気の大規模現象でした。それに対して、100kmスケールで起きるメソ対流系という現象があります。これは、積乱雲が集まった雲群(積乱雲群)で、集中豪雨をもたらします。

実際の積乱雲を取り巻く環境場では、メソ対流系を形成するさまざまな要因があります。その一つとして、風速や風向が高度によって変化する水平風場(=鉛直シアがある場。シアとは流速や流れの方向が急激に変化する風のこと)があります。その環境場では、既存の積乱雲が下降流をつくると、雲底より下では

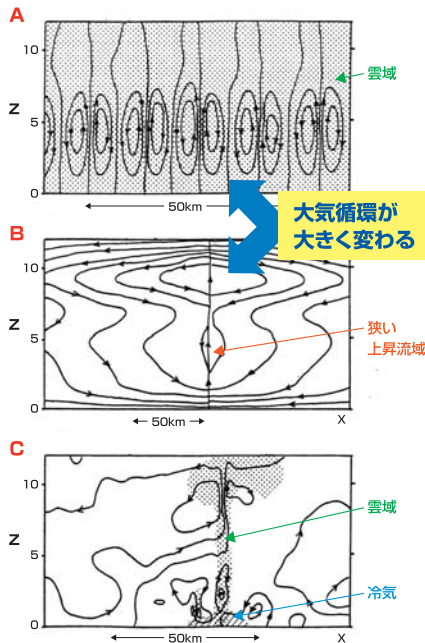


図5 積乱雲内部のプロセス

雲物理の条件として、Aは水蒸気と雲粒だけ、BとCは雨水を加えた。Bでは雨水はすぐに落下する設定、Cでは落下速度が有限のために下降流を起こしながら雨水が降る設定とした結果、降水の有無により大気の流れに大きな変化が見られる。

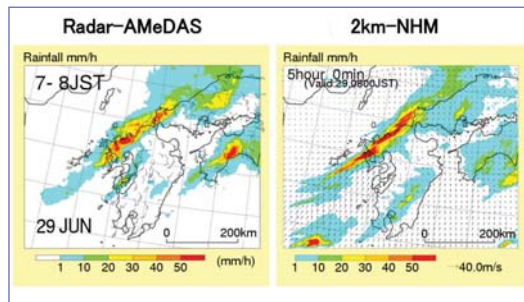


図6 福岡豪雨の実況とシミュレーションによる降水分布

レーダーアメダスで観測された降水分布(左)と解像度2kmの雲解像モデルによる降水分布の結果(右)、1時間あたり50ミリ以上という豪雨時の降水強度が再現された。

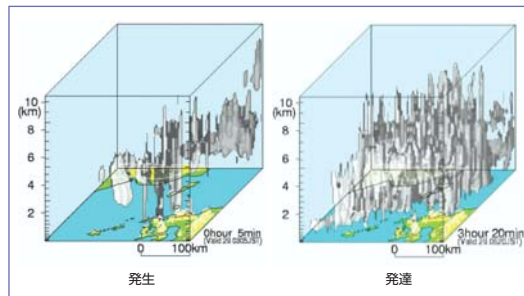


図7 福岡豪雨のシミュレーションによる雲のスナップショット

セルの内部では積乱雲が発生・発達・衰退を繰り返す様子が再現できた。

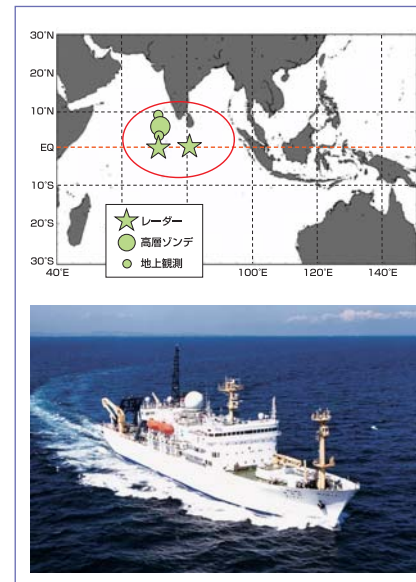


図8 MISMOプロジェクト

インド洋における世界初のMJO集中観測。海洋地球研究船「みらい」とモルディブ共和国に設置した観測機器によって行われた。

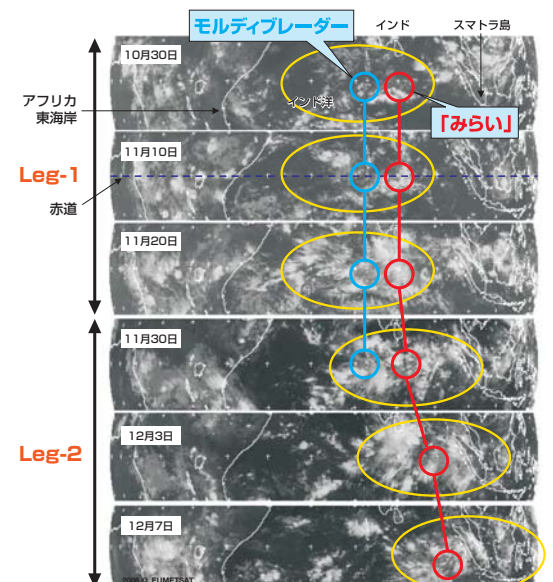


図9 MISMO観測時における衛星写真とレーダーの位置

赤は「みらい」、青は「モルディブレーダー」の位置。黄色で囲った雲域がMJOに相当し、それが東進するのがはっきり分かる。

雨水の蒸発により冷たい空気が水平に広がり、まわりの水平風と衝突して暖かい空気を押し上げて新しい雲をつくります。これによって複数の積乱雲群、すなわちメソ対流系が形成されます。この様子を数値実験で再現してみると、100kmほどのスケールでは時間的に準定常な状態で停滞しているように見えますが、その内部では積乱雲が移動しながら発生・発達・消滅を繰り返しているのが分かります。

1999年6月29日の福岡豪雨では、1時間あたり50ミリもの大量の雨が降り大きな被害を出しました。このときの天気図を見ると、梅雨前線が東西にあり低気圧が九州地方に近づいていました。当時の20kmメッシュの気象庁のモデルでも、低気圧に伴う寒冷前線は再現されましたが、降水強度は1時間あたり10ミリ以下という結果で豪雨はうまく再現できませんでした。そこで同じデータをもとにモデルの解像度を2kmに上げ、雲粒、雨水、雪などの雲物理過程を入れた雲解像モデルで再現してみると、降水強度は1時間あたり50ミリ以上と、豪雨時に観測された降水強度を見事に再現することができました(図6)。この前線の内部を南西方向から眺めた雲

分布で見ると、10kmスケールで針状のものが発生・発達・減衰を繰り返しているのが分かります(図7)。これが再現された積乱雲で、福岡豪雨をもたらした犯人なのです。
熱帯域の大規模積乱雲群
—マッデン・ジュリアン振動(MJO)

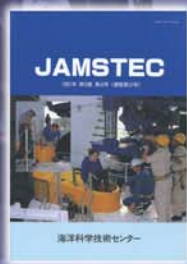
最後に、熱帯域のマッデン・ジュリアン振動(MJO)についてお話します。MJOは40~50日周期で起きる熱帯域の大規模な積乱雲群です。東西数千kmの大きさでインド洋上から太平洋上へとゆっくり東へ移動していきます。熱帯に豪雨災害をもたらすほか、熱帯低気圧の発生やモンスーン、エルニーニョなど、世界の気象・気候にも重要な役割を果たしています。しかし、その発生のプロセスはこれまでよく分かっていませんでした。

そこで2006年にJAMSTECが中心となって、海洋地球研究船「みらい」を使ったMISMOプロジェクトという集中観測を行いました(図8)。観測された衛星写真を数日間にわたって並べてみると、MJOが東進している様子が分かります(図9)。またこの観測で、「みらい」はまさにMJO

の真ん中を通過するという幸運に恵まれ、「みらい」の約300kmレンジのレーダー画像から、MJO内部はメソスケールの積乱雲群やたくさんの積乱雲によって構成される多層構造であることが確認されました。しかし、その詳しいメカニズムの解明はこれからの課題です。

地球温暖化のような大きな気候変動を解明するためには、大気の動きだけではなく、海洋・陸域における力学、化学、生態系などを総合的に考え、スーパーコンピュータを使ったシミュレーションを駆使する必要があります。そうしたなかで、今回の話題の積乱雲は1時間足らずの寿命を持つ小さな存在のような気がしますが、いまで見たように、積乱雲は100kmスケールのメソ対流系、大規模なMJOのような積乱雲群などを形成し、大気循環をつくり出しているのです。この自然の奥深い仕組みを知って改めて空に浮かぶ雲や雨を見上げると、いままでと違う感慨を持たれるのではないのでしょうか。 [E]

「深海の女王」と呼ばれる海洋生物学者 シルヴィア・A・アールさん、JAMSTEC来訪



▲アールさんが「しんかい6500」に乗船する様子を紹介した当時の機関誌。



▲「しんかい6500」をはじめ、さまざまな深海探査機器を熱心に見学。



▲ビジュアル・プランクトン・レコーダーを搭載する「PICASSO」の前では、予定時間を越えて開発研究者に詳しい説明を求めた場面も。



▲見学後に行われた職員向けのセミナーでは、今日の海洋環境の厳しい状況を訴えた。アールさんの隣はグーグル社のジョン・ハンキさん。

1991年7月23日、有人潜水調査船「しんかい6500」に、初めて女性研究者が乗船した。当時米国海洋大気庁（NOAA）の首席研究者だった海洋生物学者シルヴィア・A・アールさんだ。このとき「しんかい6500」は南海トラフ東部、深度約4,000mの深海に潜航し、光増幅機能を持つ暗視スコープを用いて、生物発光だけで深海生物の観察を行うという実験を行った。

アールさんは、デューク大学で理学博士号を取得し、ハーバード大学研究員として海洋植物を中心とした海の生態系に関する研究を行う一方で、1970年に女性だけのアクアノーブプロジェクト「テクタイト計画」の初代メンバーになったり、耐圧服で381mの潜航に成功するなどアクティブに活動し、米国では「深海の女王」のニックネームで広く知られている。また、1998年には「TIME」誌の「地球のヒーロー」にも選ばれた著名な海洋学者だ。スキューバダイビング、海底居住実験、有人潜水船などで、現在までに7,000時間以上の潜水経験を持ち、70歳を超えた現在もナショナルジオグラフィック協会所属の探検家として活動し、「いまでも少しずつ潜水時間は増えている」と話す。

「しんかい6500」乗船から18年を経た2009年7月17日、アールさんが海洋研究開発機構（JAMSTEC）横須賀本部を訪れた。来訪の目的の一つは、アールさんが顧問を務めるナショナルジオグラフィック協会も協力のグーグル社のアプリケーション「グーグル・オーシャン」についての説明とJAMSTECへの協力要請だ。「グーグル・オーシャン」は、2009年2月に発表した「グーグル・アース」最新版に含まれる機能の一つで、海洋生物の映像や海底火山の姿など「いまでは一部の研究者しか見ることができなかった海のなかの様子を誰もが見られるようにしたい」（グーグル社プロダクト最高責任者ジョン・ハンキさん）と開発を進めている。米国では、NOAAをはじめ、スクリッps海洋研究所、モンレー湾水族館研究所などの研究機関からも協力を得ているという。

アールさんは、JAMSTEC内で行われたセミナーにおいて、「海の世界はこの数十年間で大きな危機に直面しています。何より大きな問題は、多くの人たちが、そのことを知らないことです。海について多くの人たちに知ってもらうことはとても重要なことです。「知る」ことが、いまの状況をよい方向に「変える」ことにつながるからです。海を理解するための研究に率先して取り組んできたJAMSTECの皆さんの力をぜひ貸してください」と訴えた。

アールさんがJAMSTECを訪れたもう一つの目的が、深海探査機器の見学だった。アールさんは、1980年代に自ら潜水機器の開発・運航を行うディープ・オーシャン・エンジニアリング社を設立しており、深海探査技術にも強い関心を持っている。職員の家内で「しんかい6500」をはじめ、無人探査機「かいこう7000 II」、深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」の実機、さらには停泊中の深海調査研究船「かいかい」を見学する間、開発担当者へ熱心に質問する場面もあった。

懐かしい思い出のある「しんかい6500」の前では、「マイ・オールド・フレンド！」と笑顔で記念写真を撮影。「潜航中に、パイロットが「ホテル・カリフォルニア」という曲を流してくれたの。私がカリフォルニア出身ということを知ってね。嬉しいサプライズだったわ」などと潜航当時のいろいろな思い出をにこやかに話しながら、久々の「しんかい6500」との対面を楽しんでいた。BE



アールさんにとって思い出深い「しんかい6500」。

*次号では、シルヴィア・A・アールさんの特別インタビュー記事を掲載します。お楽しみに。

編集後記

「しんかい6500」の特集は、いかがだったでしょうか。「しんかい2000」の退役後、わが国唯一の深海潜水調査船として長年にわたり孤軍奮闘している健気な姿を見ていると、開発に携わった技術者の一員として非常に感慨深いものがあります。建造後大きな事故もなく、多くのニーズに応えられているのは、当初の設計思想がキチンとしていたことはもちろんですが、何よりも運航チームのみなさんの血のにじむような努力の賜物であると心から感謝しております。

思い起こせば、30数年前に、深海潜水調査船のニーズ調査を行っていたときに、なかなか研究者の理解を得ることができませんでした。アンケート調査結果には、「なぜ、6,500mも潜る必要があるんだ」などは良い方で、なかには「高価な装置を建造するから他の研究費が削られるのだ」というものまであり、積極的に推進すべきというのは少数派で、大勢の応援団を期待した目論見は、見事に裏切られました。その後、紆余曲折がありましたが、悪戦苦闘の末に建造された「しんかい6500」の行った新発見の数々は、われわれの想像をはるかに超えるものでした。この建造にかかわって感じたことは、必ずしもニーズを待ってからの作りを始めたら既に遅いということと、逆にその時点で新しいことにチャレンジすることによって、新たなニーズが生まれるようなことも多々あるのだということでした。

折しも、8月30日の朝日新聞に「JAMSTECがレアメタル資源を探るために専用ロボットの開発に着手」という記事が載っていました。確かに、レアメタルの争奪戦は今まさにホットな話題であり、その調査に無人探査機を使うのは当然のようにいわれます。しかし、深海巡航探査機「うらしま」の開発を開始した当時、開発担当者は、「この機械を何に使うのか」という説明資料をしつこく求められ、とても苦労していました。しかし、「うらしま」のような高度な技術の積み重ね（成功も失敗も…）があったればこそ、新たなニーズが出てきたときに直ぐに技術的な対応が可能であると思います。

最近、無駄（だと思込む？）なものは何でも排除するという風潮がありますが、科学や技術は、無駄と失敗の積み重ねにより初めて有用なものが生まれてくるということを、忘れないでほしいと切望してやみません。(T.T)

海と地球の情報誌「Blue Earth」 第21巻 第4号（通巻102号） 2009年8月発行

発行人 他谷康 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 田代省三 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 株式会社ミュール
 デレクション 前田和則
 取材・執筆・編集 滝田よしひろ／山崎玲子／荒船良孝／秋谷美也子／柏原羽美
 デザイン 山田浩之／木元優介

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

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

「Blue Earth」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）
 - ④TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤Blue 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きます）。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

■お問い合わせ・申込先

〒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.045-778-5406 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（3-4月号）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。

賛助会（寄付）会員名簿 平成21年8月31日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究機関につきましては、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HII	神戸ペイント株式会社	株式会社鶴見精機	深田サルベージ建設株式会社
株式会社アイ・エイチ・アイマリユニテッド	広和株式会社	株式会社テザック	株式会社フジクラ
株式会社アイケイエス	国際気象海洋株式会社	崎崎電気産業株式会社	富士ゼロックス株式会社
アイワ印刷株式会社	国際警備株式会社	電気事業連合会	株式会社フジタ
株式会社アクト	国際石油開発帝石株式会社	東亜建設工業株式会社	富士通株式会社
株式会社アサソー ディー・ケイ	国際ビルサービス株式会社	東海交通株式会社	富士電機システムズ株式会社
朝日航洋株式会社	五洋建設株式会社	洞海マリンスシステムズ株式会社	物産不動産株式会社
アジア海洋株式会社	相模運輸倉庫株式会社	東京海上日動火災保険株式会社	古河総合設備株式会社
株式会社アルファウォーターコンサルタンツ	佐世保重工業株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社	古河電気工業株式会社
泉産業株式会社	三建設備工業株式会社	東北環境科学サービス株式会社	古野電気株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東洋建設株式会社	松本徽章株式会社
株式会社エス・イー・エイ	JFEアレック株式会社	株式会社東陽テクニカ	マリメックス・ジャパン株式会社
エヌケーケーゲームレス鋼管株式会社	財団法人塩事業センター	東洋熱工業株式会社	株式会社オリン・ワーク・ジャパン
株式会社NTTデータ	有限会社システム技研	有限会社長澤工務店	株式会社丸川建築設計事務所
株式会社NTTデータCCS	シナノン株式会社	株式会社中村鉄工所	株式会社マルタン
株式会社NTTファシリティーズ	清水建設株式会社	西芝電機株式会社	株式会社マルトール
株式会社江ノ島マリナーコーポレーション	シュルンベルグ株式会社	西松建設株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	株式会社商船三井	日油技研工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	社団法人信託協会	株式会社日産クリエイティブサービス	三井石油開発株式会社
株式会社OCC	新日鉄エンジニアリング株式会社	ニッセイマリノ工業株式会社	三井造船株式会社
沖電気工業株式会社	新日本海事株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	三菱重工業株式会社
株式会社海洋総合研究所	須賀工業株式会社	日本SGI株式会社	株式会社三菱総合研究所
海洋電子株式会社	鈴鹿建設株式会社	日本海洋株式会社	株式会社森京介建築事務所
株式会社化学分析コンサルタント	スプリングイトサービス株式会社	日本海洋掘削株式会社	八洲電機株式会社
鹿島建設株式会社	住友電気工業株式会社	日本海洋計画株式会社	郵船商事株式会社
株式会社川崎造船	清進電設株式会社	日本海洋事業株式会社	郵船ナブテック株式会社
株式会社環境総合テクノス	石油資源開発株式会社	社団法人日本ガス協会	ユニバーサル造船株式会社
株式会社関電工	セナーアンドバーンス株式会社	日本興亜損害保険株式会社	レコードマネジメントテクノロジー株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社損害保険ジャパン	日本サルヴェージ株式会社	
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	第一設備工業株式会社	社団法人日本産業機械工業会	
共立管財株式会社	大成建設株式会社	日本水産株式会社	
極東貿易株式会社	大日本土木株式会社	日本電気株式会社	
株式会社きんでん	ダイハツディーゼル株式会社	日本ヒューレット・パッカード株式会社	
株式会社熊谷組	太陽日酸株式会社	日本無線株式会社	
クローパテック株式会社	有限会社田浦中央食品	日本郵船株式会社	
株式会社グローバルオーシャンデバイスメント	高砂熱学工業株式会社	株式会社間組	
京浜急行電鉄株式会社	株式会社竹中工務店	濱中製鋼工業株式会社	
KDD株式会社	株式会社竹中土木	東日本タグボート株式会社	
株式会社ケンウッド	株式会社地球科学総合研究所	株式会社日立製作所	
株式会社構造計画研究所	中国塗料株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー	

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)	東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目2番9号 日比谷セントラルビル6階 TEL.03-5157-3900 (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)	国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224番地3 TEL.0980-50-0111 (代表)
むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字間根字北間根690番地 TEL.0175-25-3811 (代表)	Washington D.C. Office 1120 20th street, NW, Suite 700, Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300
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)	

第11回全国児童

「ハガキにかこう
海洋の夢絵画コンテスト」

海洋への関心が高まる今日、未来を担う子どもたちの海洋への夢や憧れ、興味をさらに高めるため、海洋研究開発機構(JAMSTEC)では毎年、全国の児童を対象にした絵画コンテストを、文部科学省などの後援により開催しています(作品募集は、毎年11月下旬~1月末ころ)。第11回コンテストには、全国から2万4280点の応募があり、70点が入賞作品に選ばれました。前号に続き、その入賞作品のなかから、子どもたちの夢あふれる優れた作品を部門別に紹介します。

●絵画部門●



むつ市長賞

深海魚 五十三次 日本橋

姫路市立網干西小学校 4年
三枝 弘典

●CG部門●



CG-ARTS協会賞

忘れられた海の街

むつ市立菅生小学校 6年
対馬 真鈴

●アイデア部門●



海洋の夢賞

動くさんごしょう

横浜市立金沢小学校 4年
永橋 七海架

エコアイデア!

サンゴは水温が高くなると死んでしまい、そこに住んでいる魚たちもいなくなって、さみしい海になってしまうので、魚たちといっしょに動けるサンゴしょうがあるといいなと思いました。

コンテストに関する詳しい情報やその他の入賞作品などは、JAMSTECホームページをご覧ください。

<http://www.jamstec.go.jp/j/kids/hagaki/index.html>