

海と地球の
情報誌

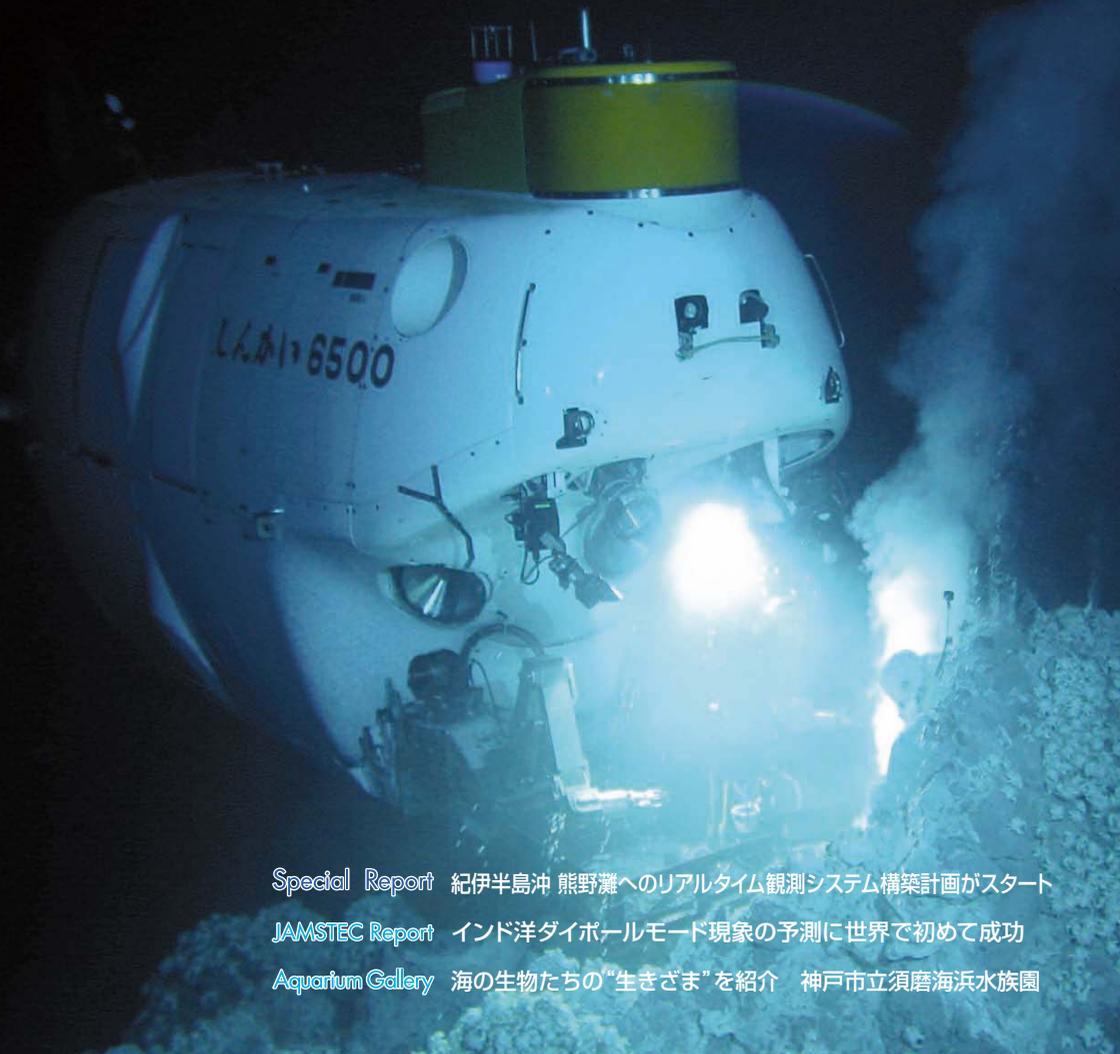
2007年
1-2月号

BlueEarth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

「しんかい6500」 特集 17年の軌跡

有人潜水調査船とともに切り拓く地球科学



Special Report 紀伊半島沖 熊野灘へのリアルタイム観測システム構築計画がスタート

JAMSTEC Report インド洋ダイポールモード現象の予測に世界で初めて成功

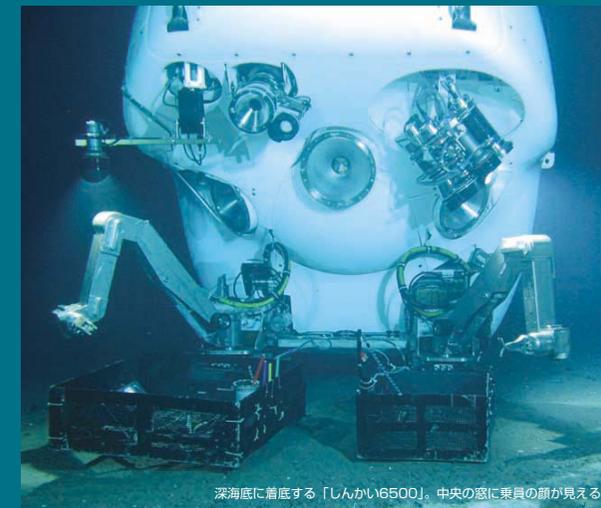
Aquarium Gallery 海の生物たちの“生きざま”を紹介 神戸市立須磨海浜水族園

有人潜水調査船「しんかい6500」 深海潜航中の雄姿を撮影

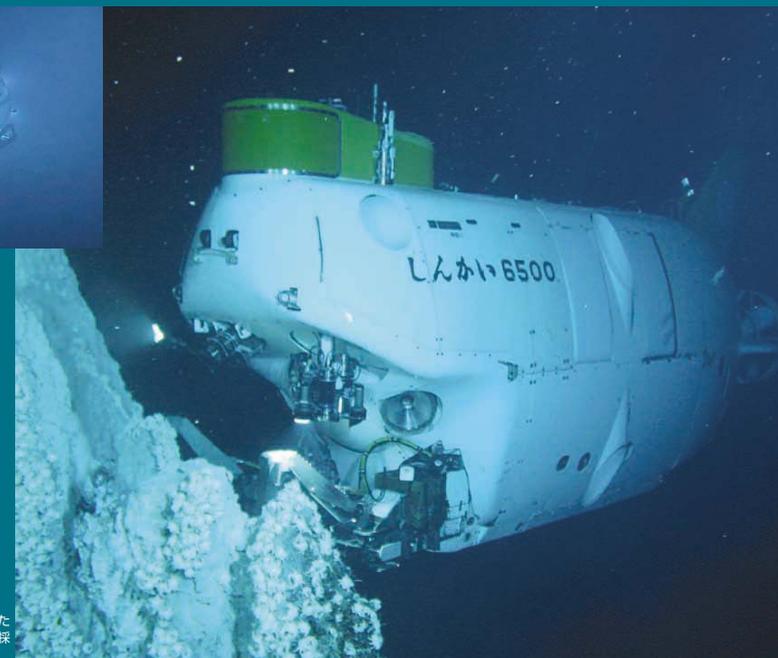
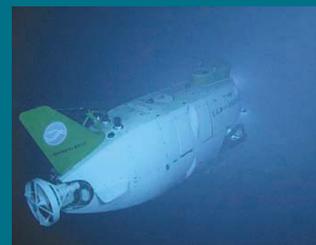
南西諸島鳩間海丘（水深1,480m）

2006年8月1日から4日間、沖縄・西表島北方約30kmの南西諸島海域に、海洋調査船「なつしま」、支援母船「よこすか」の2隻が集った。両船に搭載された無人探査機「ハイパードルフィン」と有人潜水調査船「しんかい6500」の“ジョイント・ダイブ”を実施するためだ。

撮影場所は、ビッグチムニーで知られる鳩間海丘。チムニーとは、海底から噴出する熱水に含まれる様々な成分によって形成された煙突状の地形だ。高さ40mに及ぶビッグチムニーの頂上部からは、現在も熱水が盛んに噴出している。そして、今回の“ジョイント・ダイブ”では、「ハイパードルフィン」に搭載された超高感度ハイビジョンテレビカメラ、デジタルスチルカメラによって、熱水噴出孔を調査する「しんかい6500」の姿が、鮮明に撮影された。太陽光がほとんど届かない漆黒の深海で活動する、「しんかい6500」の雄姿を記録した貴重な画像を紹介する。



深海底に着底する「しんかい6500」。中央の窓に乗員の顔が見える



鳩間海丘のビッグチムニーで、停止したまま熱水の温度を測定したり、試料の採取を行う「しんかい6500」

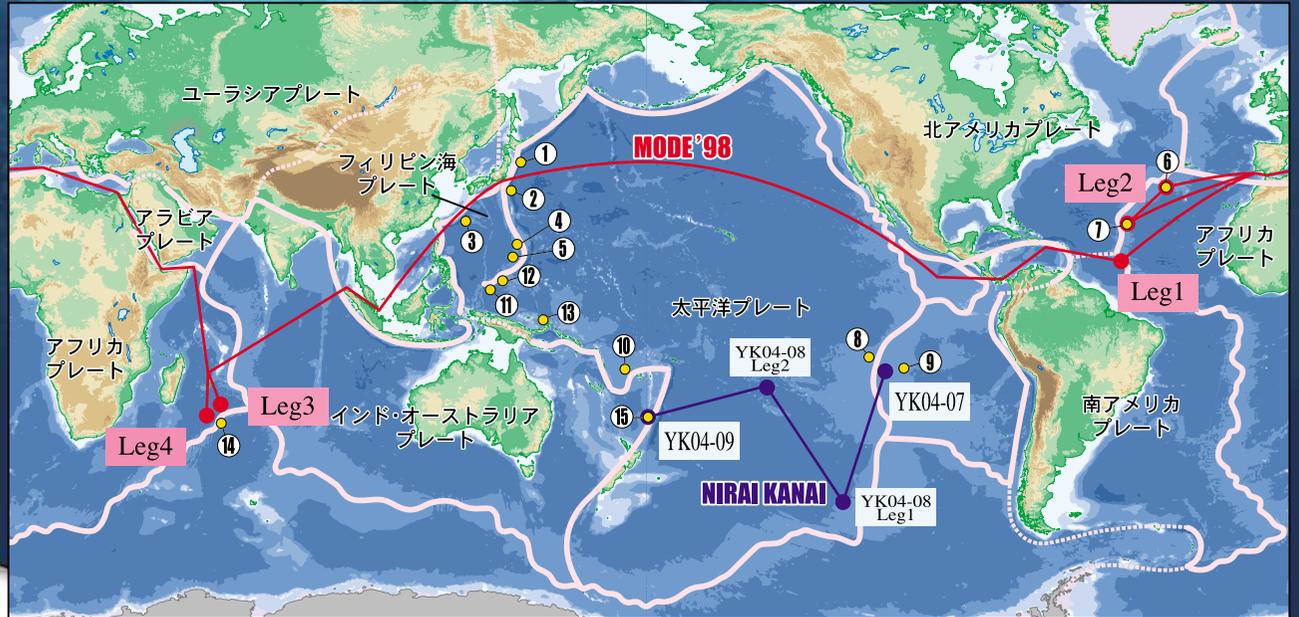
「しんかい6500」 特集 17年の軌跡

有人潜水調査船とともに 切り拓く地球科学

直径12センチの窓から伝え続ける、深海のフロンティア

取材協力：海洋工学センター

世界最深の潜航能力を誇る有人潜水調査船「しんかい6500」は、1990年の完成より17年目を迎えた今春、通算1,000回潜航を達成する。2002年、日本の有人潜水調査船のパイオニアであった「しんかい2000」が、惜しまれながらその運航を休止した。「しんかい6500」は、この「しんかい2000」で得られたノウハウや技術を活かして建造された。1991年に運航を開始し、さらなる機能更新を図りながら活躍を続け、これまでに800人余りの研究者を深海の世界へ安全に送り込み連れ戻している。そして、その小さな窓から、深海底の地殻変動の様子や中深層に生息する生物たちの生々しい姿を伝えてきた。さらに、支援母船「よこすか」の機動力を活かし、海外での深海調査も積極的に行ってきた。1994年の6ヵ月におよぶ大西洋・東太平洋の調査潜航 (MODE'94)、1998年の有人潜水船初となるインド洋潜航調査 (MODE'98)、2004年の南半球太平洋全域5ヵ月におよぶ調査航海 (NIRAI KANAI) などでは、国内はもちろん海外の研究者からも高い評価を得ている。この17年間、大きな事故もなく運航を続けてきたことは、「しんかい6500」の高い安全性と優れた潜航能力を示す何よりの証拠だ。しかし、深く広い深海の世界は、人類の前によくその姿を現し始めたばかりだ。海洋の全貌を解明するためにも、「しんかい6500」の一層の活躍が期待されている。



「しんかい6500」の主な潜航地点と海域
「しんかい6500」の主な潜航地点と、「インド洋潜航調査 MODE'98」(1998年)、「NIRAI KANAI」「しんかい6500」・「よこすか」太平洋大航海(2004年)の航路に、地球のプレートを重ね合わせてみた。プレートがせめぎ合う境界を集中的に調査していることが分かる

Blue Earth

CONTENTS

1-2月号/2007



表紙：「しんかい6500」

2 特集 「しんかい6500」17年の軌跡
有人潜水調査船とともに
切り拓く地球科学

4 有人潜水調査船
「しんかい6500」の誕生

6 「しんかい6500」
17年の軌跡をたどる

10 研究の現場からSpecial
年に1度の徹底的な
点検・整備で安全確保

14 1,000回潜航記念インタビュー
海洋工学センター
宮崎 武晃 センター長

日本海洋事業株式会社
今井 義司 司令

日本海洋事業株式会社
佐々木 義高 潜航長

極限環境生物圏研究センター
高井 研 プログラムディレクター

22 Special Report
紀伊半島沖 熊野灘へのリアルタイム
観測システム構築計画がスタート

26 Aquarium Gallery
海の生物たちの“生きざま”を紹介
神戸市立須磨海浜水族園

28 JAMSTEC Report
インド洋ダイポールモード現象の
予測に世界で初めて成功

32 MS Seminar
海から学ぶ ～生物圏を支える微生物～

36 BE ROOM
Topics
第5回深海バイオフォーラム
極限環境生物資源とその新たな可能性を探して

38 深海巡航探査機「うらしま」が
「今年のロボット」大賞2006」の優秀賞を受賞

39 海洋地球百科事典「マントルとは」

40 プレゼント
「Blue Earth」定期購読のご案内
JAMSTEC メールマガジンのご案内

賛助会会員名簿

地図中の潜航地点は以下の通り。

- ①日本海溝 ②伊豆・小笠原海溝 ③南西諸島海溝 ④マリアナトラフ ⑤南部マリアナトラフ
- ⑥大西洋中央海嶺 ⑦東太平洋海嶺 ⑧北フィジー海盆 ⑨パラオ海溝 ⑩ヤップ海溝
- ⑪マヌス海盆 ⑫インド洋 ⑬ケルマデック島弧



有人潜水調査船「しんかい6500」の誕生 世界に誇る高い安全性と潜航能力で、深海探査の世界をリードする

1980年代、未知の世界である深海に向け、各国は有人潜水船の開発を進めていた。米国の「シークリフ」、フランスの「ノチール」、そしてソ連（現ロシア）の「ミール」など、いずれもその目標水深は6,000m。6,000mの潜航能力があれば海洋のほぼ97%は探査できるというのがその理由だ。1970年代中頃から、わが国でも6,000m級の有人潜水調査船を建造する計画があった。しかし、一足飛びに6,000m級の有人潜水調査船を建造するには問題が多かったため、まずその第一歩として「しんかい2000」が建造され、1981年より運用開始した。「しんかい6500」は「しんかい2000」で得られたノウハウやチタン製耐圧殻の製造を始めとする技術の向上により、当初の目標であった6,000m級の有人潜水調査船として1990年に建造され運用開始した。水深6,500mでは約680気圧、これは指先に軽自動車1台が乗るほどの水圧である。それに耐える船体や浮力材、深海と海上をつなぐ水中通話機や条件の良い場所でも10mほどしか視程のない海底で障害物などを探査する目となる観測ソーナーなど、さまざまな先端技術が「しんかい6500」に結集された。

なぜ、「6,500m」をめざしたのか

1989年8月11日11時28分、三陸沖・日本海溝において「しんかい6500」は深度6,527mの記録を無事達成し、最大潜航深度潜航試験（建造後、建造メーカーによって実施された試験）を終了した。これは有人潜水調査船における世

界最深の潜航深度*でもあり、この記録は未だ破られていない。

日本初の6,000m級有人潜水船の開発が決まったとき、まず問題となったのがその最大潜航深度だ。当時の世界的な標準は6,000mであり、一般的な自然科学調査を目的とすれば十分な深

さであった。しかし、日本は世界有数の地震国であり、深海調査においても巨大地震の解明が重要課題のひとつとなっていた。そのためにはプレートのぶつかり合う海溝域、特に太平洋プレートが折れ曲がる水深6,200~6,300mの部分をぜひ調べる必要があり、議



完成直後のチタン耐圧殻



「よこすか」に格納された「しんかい6500」



「しんかい6500」は「よこすか」のAフレームに吊り下げ海上に降ろす

論の末、めざす深度は6,500mと決められた。その後「しんかい6500」は、1991年に日本海溝の6,366mの地点にプレートの沈み込みで生じたと思われる裂け目を世界で初めて確認。その能力をさっそく活かすこととなった。

素材にも宿る先端の技術

実際の建造では、まず深海の水圧から乗組員を保護する耐圧殻の製造が課題であった。素材は軽くて強く錆びにくいチタン合金を採用。「しんかい2000」建造時には叶わなかったチタン合金の加工が、ようやく国内で可能となったため実現した。耐圧殻の内径は「しんかい2000」より20cm小さい2.0m。内部空間そのものは狭くなったが、計器の小型化や主要装置の配置転換などにより、「しんかい2000」より広く感じられる仕上がりととなった。また、高い水圧下では少しのゆがみが殻の破壊につながるため、耐圧殻は可

能な限り真球に近づけることが求められた。その精度は、直径のどこを測っても0.5mm（真球度1.004）の誤差しか許されないという厳しいものだ。

全体で25.8トンもある船体を浮かせるための浮力材としては、シクタクティックホームが使用されている。ガラスマイクロバルーンという直径数十ミクロンの中空のガラス球（膜厚1~2ミクロン）をエポキシ系樹脂で固めたものだが、100ミクロン程度の球のすき間に40ミクロン程度のさらに小さな球を埋め込むことで充填率を高め、より耐圧力は強く比重は小さくすることに成功した。

さらに進化を続ける「しんかい6500」

そのほか、海底でさまざまな作業を行う「腕」、マニピュレータも最新的方式を採用した。これは、マニピュレータでつかんだ力が操作にも伝わるた

め、生卵やワイングラスなども割らずにそっとつかむことができた。潜水調査船に装備されるのは世界初のことだった。完成から約1年後には、海底で撮影したビデオ画像を音響で母船に伝送し、静止画像として見ることもできる水中画像伝送システムも搭載された。それまではパイロットからの通話連絡だけを頼りにしていた母船での状況把握を、画像を見た多数の人間が共通してできるようになった画期的な出来事だった。

その後、当時は画期的であったマニピュレータも1995年にさらに能力が高く、軽量で塩害にも強いチタン合金を使用した、メンテナンス性の良いものに換装。2003年には主蓄電池としてリチウムイオン電池を搭載。続く2004年には水中スチルカメラもデジタル化に対応するなど、日々進歩する科学技術に応じ「しんかい6500」もたゆみない進化を続けている。



現在のマニピュレータ。左ページの写真では黒い旧型の「腕」だ



船内に椅子はなく、横になって窓を覗きながら操船する

「しんかい6500」 17年の軌跡をたどる

構成協力: 飯嶋 一樹 チーフ

海洋工学センター研究船運航部運航グループ海務チーム

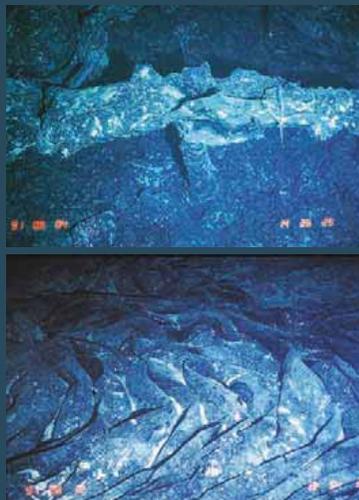
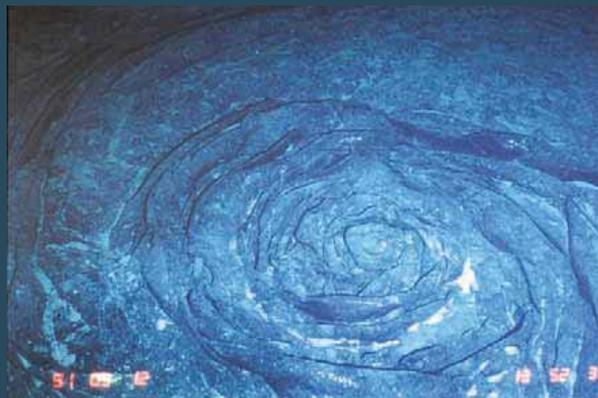
現在、6,000m級の有人潜水調査船は世界でも4隻しかない。そのなかで、最も深く潜れるのが有人潜水調査船「しんかい6500」だ。ほんの数十年前までは、生物もいない荒涼とした世界だと考えられていた深海底。しかし、「しんかい6500」の投光器は、私たちの目の前に深海の美しい風景や、そこに生息するさまざまな命を次々と照らし出してくれた。パイロットが見た深海の風景を見ながら、「しんかい6500」の17年間の行動をふり返ってみよう。

※YK00-00という航海名番号でJAMSTECのホームページの深海画像データベースの画像検索ができる。http://www.jamstec.go.jp/dsidb/

北フィジー海盆 1991年 2,730m YK91-04

深海に眠るギリシア遺跡？

「しんかい6500」が初めて日本周辺以外で潜航したのが北フィジー海盆だ。この一帯は海底から流れ出した溶岩流が固まり独特の景色をつくりだしている。ギリシア神殿の柱のように見えるのは、溜まった溶岩の表面が海水で冷やされ、その後軟らかい下部の溶岩が流れ去って溶岩柱と表面部が残されたもの(写真右上)。堆積物が少なく、黒っぽい溶岩の表面にできたガラス質がライトをキラキラと反射させる。どのパイロットも美しいと口を揃える名所だ。



マリアナトラフ熱水噴出域

1992年 3,604m YK92-07

黄金色のアルビン貝

1992年の初調査以来、マリアナトラフ「しんかい6500」が日本周辺以外で最も多く潜航している場所。600万年ほど前より現在までプレートが拡大を続けている活動的な場所で、噴出する熱水の周辺には化学合成生物群集が生息する。アルビン貝は熱水域で見られる黒っぽい巻き貝だが、マリアナトラフには熱水の成分のためか、黄金色のアルビン貝が見られた。



小笠原海域鳥島海山頂上

1992年 4,036m YK92-05

鯨骨に形成された生物群集

伊豆・小笠原海溝には、頂上が水深4,000m、比高1,000~2,000mという海山が並ぶ。海山はマントル由来の岩石でできており、その形成は謎であるが、この海山のひとつ、鳥島海山の調査中に白いブロックのようなクジラの骨が見つかった。後日の調査で鯨骨に依存する生物群集が確認され、熱水域の生物群集に続く深海の新たな生態系として研究が進められている。



東太平洋海膨 (EPR)

1994年 2,603m YK94-04

ユノハナガニの放卵

東太平洋海膨も熱水が噴出する活動的な場所。ユノハナガニは熱水噴出孔周辺に生息し、太陽光線が届かないため目は退化し色も白い。この潜航自体は地質目的の調査であったが、たまたま海底に群がるユノハナガニに遭遇し、写真のように腹部をあけて放卵している様子を観察できた。なかなか見ることができない深海生物の生態の貴重なワンショットだ。

| 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|------|------|------|-------------------------------|----------------|---|----------------------------|------|---|
| | | | ●建造メーカーによる公式試運転潜航で深度6,527mを記録 | ●6月 第1回潜航(相模湾) | ●調査潜航開始 ●7月 三陸沖日本海溝海側斜面にて海底の裂け目を発見(6,366m) 三陸沖日本海溝にてナギナタシロウリガイを発見 ●11月 通算100回潜航達成(北フィジー海盆) | ●10月 伊豆・小笠原の鳥島沖にて鯨骨生物群集を発見 | | ●5月 通算200回潜航達成(横須賀) ●6月~11月 大西洋中央海嶺と東太平洋海膨にて調査潜航(MODE94)実施 →予定していた60潜航を完遂 |

日本海溝 1991年 6,366m YK91-02

日本海溝で発見された新しい裂け目

6,500mの最大潜航深度を生かし、1991年にさっそく発見した地震によると思われる亀裂。ここは過去に、プレートそのものが切れて起こる「正断層型」の大地震が発生しており、この亀裂も正断層の現場と思われる。また、亀裂のひとつにマネキンの首が落ちていた(水深6,270m、写真右下)。深海に流れ着いた人間社会のゴミは意外に多く、研究者たちもショックを受ける。



水中画像伝送装置を新規搭載潜水船の撮影映像を静止画で母船へ送付可能に



大西洋中央海嶺 (TAG)

1994年 3,637m YK94-02

ブラックモーラーに群がるエビ

白く見えるのがエビで、黒く影のように見えるのが吹き出しているブラックモーラー。MODE94の調査におけるワンショット。





太平洋マヌス海盆

1995年 1,700m YK95-07

ホワイトスモーカーと黄金の塔

バブアニューギニア沖にあるマヌス海盆には多くの熱水噴出域があり、それぞれに特徴的な生物群集が存在する。バックマヌスサイトの熱水は黒く、pHは非常に低い(写真右)。そこから約20kmしか離れていない深度1,900mのデスマスサイトでは真っ白な熱水、ホワイトスモーカーが吹き出している(写真左)。熱水といっても、その成分によって色も環境もさまざま。



ハワイ諸島周辺

1999年 3,036m YK99-07

通算500回潜航達成

記念すべき通算500回潜航は、1999年8月19日。ハワイ諸島は、マントル部からマグマが吹き出すホットスポット上で形成された火山がプレートと共に移動してきた火山列。地球内部を理解する上でも重要な場所だ。「しんかい6500」は1998年、1999年の2回に渡りハワイ大学の研究者などその海域の地形や地質を調査した。

水中テレビカメラ換装
本体CCD方式→3CCD方式に。表示部も液晶に。主電源もリチウムイオン二次電池により、高電力、小型・軽量化



南西諸島

2003年 6,500m YK03-02

日本科学未来館 毛利館長、深海へ

毛利氏を乗せた「しんかい6500」は、水深6,500mの目標地点にピタリと着地した。現在、日本科学未来館の館長で宇宙飛行士に転じた毛利氏は、深海での体験を理科教育に役立てるために、この潜航で60項目にもおよぶ興味深い実験を行った。「真っ暗なのは同じだが、深海の暗さは宇宙の暗さとは質が違うと感じた」。宇宙と深海の両極を体験したからこそ見える、毛利氏の言葉だ。



先島群島第4与那国

2004年 18m YK04-05

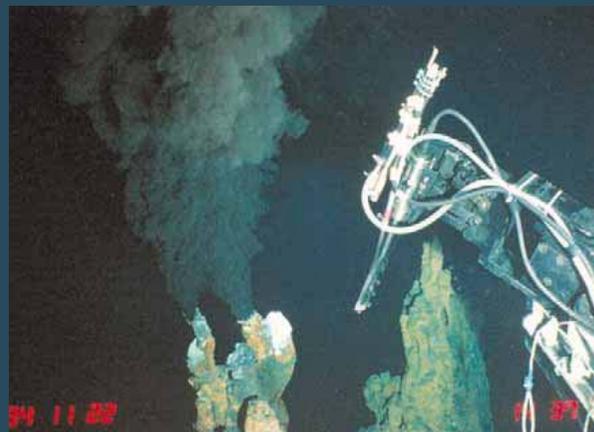
ガスハイドレートの泡のシャワー

この海域には、低温・高圧の環境でガスがシャベット状の結晶となるガスハイドレートがある。潜水調査船でこういった海底に着底すると、ガスを含んだ泥が着底脚内へ入り込み、海面付近では減圧と温度変化により結晶化していたガスが泡となってわき上がる。まるで「しんかい6500」が炭酸水の中を潜っているような状態になる。写真は、泡をまとったまま海面近くまで上がった機器の写真。

| 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-------------------------------|------|---|--|--------------------------------|------|---|--|--|--|----------------------------------|--|-------------------------|
| ●10月 通算300回潜航達成 (マヌス海盆) | | ●6月 三陸沖日本海溝にて多毛類生物を発見 (6,360m) ●10月 通算400回潜航達成 (南海トラフ) | ●6月~11月 大西洋中央海嶺と南西インド洋海嶺にて調査潜航(MODE'98)を実施 →インド洋で有人潜水船として初めて潜航を行ったリスボン海洋博に参加 ●11月 南西インド洋海嶺にて新種の巨大イカを発見 | ●8月 通算500回潜航達成 (ハワイ諸島周辺) | | ●3月 通算600回潜航達成 (南西諸島) ●12月 南西インド洋海嶺及びインド洋中央海嶺調査潜航実施 | ●7月~8月 ハワイ諸島周辺海底火山調査潜航実施 ●8月 通算700回潜航達成(ハワイ諸島周辺) ●10月 インドネシアジャワ島南沖調査潜航実施 地震の痕跡と思われる断層撮影(水深2,092~2,102m) インドネシア大統領メガワティ氏訪船 | ●3月 毛利衛氏、南西諸島にて潜航調査(第733回潜航) ●11月 通算800回潜航達成 (ハリスベラ海盆) | ●7~9月 太平洋大航海「NIRAI KANAI」にて調査の中心として活躍 | ●7月 通算900回潜航達成 (マリアナトラフ南部) | ●1月~2月 インド洋中央海嶺にてスケリーフットの生態を深海底の熱水活動環境において観察(水深2,424m~3,394m) | ●3月 通算1,000回潜航達成(予定) |

マニピュレータ換装
同時にサンプルバスケットも増設

水中ステルカメラ換装
フィルム方式からデジタル方式に



東太平洋海膨 (EPR)

1994年 2,606m YK94-04

巨大ブラックスモーカーとチューブワーム

東太平洋海膨では多数の機器を設置し世界初の深海長期観測を実施した。上はマニピュレータで熱水を採水している様子。右はハオリムシの群。大きく見えるのはガラバゴスハオリムシで、直径3~4cm、長さ2mにもなる。三脚魚の姿も見られた(写真右上)。



インド洋中央海嶺

2006年 2,443m

鉄のウロコを持つ巻貝「スケリーフット」を採取

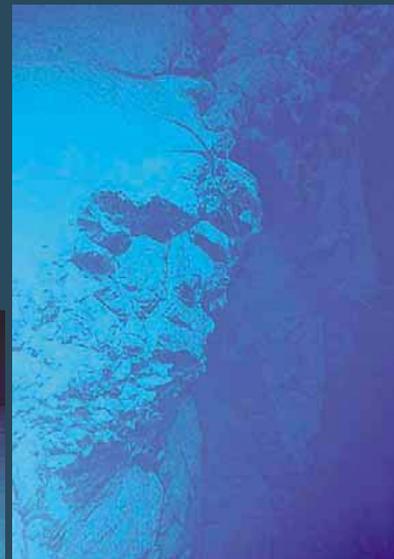
巨大なブラックスモーカーでも知られるこの海域で、硫化鉄のウロコを持つ貝、スケリーフットを採取。スケリーフットは、この航海中の調査では限定された場所でのみ確認されている。チムニーを覆っているアルビン貝などと共に、海底での生態観察もできた。

東太平洋海膨

2004年 2,765m YK04-07

世界最大の海底溶岩流を発見

「NIRAI KANAI」において発見された海底溶岩流は、シート状溶岩が形成した平坦地(写真左)が約342平方キロ(東京23区の約半分)も広がり、火口と流域が確認されたものとしては世界最大。むき出しの溶岩の上をうすらと堆積物が覆っている。右の写真はシート状溶岩が断ち切られた割れ目の部分。





耐圧殻とバラストタンクを残してほとんどの機器が外された「しんかい6500」

年に1度の徹底的な 点検・整備で安全確保

有人潜水調査船「しんかい6500」・支援母船「よこすか」

取材協力：株式会社川崎造船 日本海洋事業株式会社



点検・整備、部品等の交換（換装）、主要計器、観測機器の校正試験といった一般工事が行われるほか、船舶安全法などの法律に定められた船舶検査も受けなければならない。船舶検査は5年に1回の定期検査及び毎年の中間検査からなり、それぞれ検査ごとに、耐圧殻本体などの非破壊検査、電源装置の主配電盤やインバータ主回路部などの開放検査、応急安全装置の離脱ボルトや電線カッター（緊急時、船体に付属する重量物を切り離して浮上するための機器）などの性能検査、モールド電線や油漬電線の導通抵抗・絶縁抵抗の計測など、数多くの項目が定められている。

整備場に運ばれた「しんかい6500」は、事前検査・外観検査などが行われたのちに分解され、機器ごとに点検や整備が行われる。FRP製のカバーを取り外すと、ブロックパズルのように組み込まれたシタクティックフォームと呼ばれる特殊な浮力材が現れる。褐色のエポキシ系樹脂製のブロックには、直径数十ミクロンの中空耐圧ガラス球が無数に含まれている。深海の高い水压を受けても破壊・変形することがないこの浮力材（比重は約0.54）のおかげで、「しんかい6500」は海中を自由に動き回り、海面へ浮上することができる。工事では、まず船体の装置の間に隙間なく組み込まれた浮力材を外し、そして、フレームに固定されたたくさんの機器類が取り外され、点検・整備

【しんかい6500】

約3ヵ月間かけて
すべての機器を点検・整備

支援母船「よこすか」とともに2ヵ月に渡る南太平洋で993回目の調査潜航を行った有人潜水調査船「しんかい6500」は、2006年11月下旬に海洋研究開発機構（JAMSTEC）の横須賀本部に帰港すると、陸揚げされて、潜水調査船整備場に運び込まれた。

「しんかい6500」が再び海に出るのは、2007年3月。それまで、95日間に及ぶ徹底的な保守整備が行われる。この長期間の保守整備は、潜水調査船の安全確保と確実に高精度な探査を実施するための機能向上を図る目的で、毎年1回、欠かさず行われている。陸域

から遠く離れた海洋で実施される深海調査は、まさに孤立無援。万一機器に大きなトラブルが発生すれば、その調査航海が中止になるだけでなく、年間の研究計画もすべて見直しが必要となる。まして、有人潜水調査船には人命がかかっている。トラブルや故障は絶対に許されない。こうしたことから、JAMSTECでは、運用する研究船・有人潜水調査船の徹底的な保守整備を毎年行っている。「しんかい6500」は運用開始から17年間にわたって大きな事故を1度も起こしていない。入念な保守整備が「しんかい6500」の安全性と確実性を支えてきたと言っても過言ではない。

この保守整備期間中に、各種機器の



潜水調査船整備場で解体中の「しんかい6500」



油漬電線（写真中央）のホースも劣化が進む前に交換



垂直スラストスターの分解作業



3月には工事作業を終えて海上試験が実施される



川崎造船神戸工場の第4ドックに入る「よこすか」



船首側から見た「よこすか」

が行われる。電源装置の主配電盤や水中通話器など主な機器の点検や整備は整備場内で行われるが、特殊な機器類は製造したメーカーに送られ、点検・整備を受ける。その送り先は、神戸、長崎をはじめ、富山、長野、山口など全国各地に及び。

各機器の点検や整備は、およそ2ヵ月間かけて実施される。そして、機器ごとの絶縁検査や耐圧検査を経て、組み込み作業が行われる。このとき、古くなった部品の交換も行われる。たとえば、電線やシール材、油漬電線のホースなどは、劣化が進む前に交換される。さらに、建造からすでに17年が経過しているため、「しんかい6500」に搭載されている機器類やシステムは老朽化が進んでいる。毎年の保守整備の期間中に少しずつ機器の交換や新規搭載が行われてきた。最近では、無線機器（2000年度）や通

信配電盤（2001年度）が新しい機器に交換されたり、CTD（塩分・水温・深度計）、気圧計、深度計なども最新のものに換わっている。さらに、ビデオレコーダーが「DV-CAM」に変更されるなど、機能向上のための工事も行われる。2003年度には、主蓄電池が「銀-亜鉛電池」から、高電力・小型軽量化された「リチウムイオン電池」に交換された。これにより、潜航コストをそれまでの半分近くに削減することができ、メンテナンスの手間も軽減されることになった。今後も、調査や観測の機能向上として、ビデオカメラのハイビジョン化の検討、照明方法の改善工事、また、運動性能向上として、船尾翼の形状変更、スラスト一追加装備のための試験準備工事などが予定されている。

2007年2月中に組み込み作業を終えた「しんかい6500」は、総合作動確

認を行った上で「よこすか」に搭載され、3月には海上での沈没試験をはじめとする試験潜航（5潜航）が実施される。さらに、その後の訓練潜航（10潜航）において1,000回潜航を達成する見込みだ。そして、4月から再び本格的な調査潜航が始まる。

【よこすか】 ドライドックで 船底も入念にチェック

横須賀本部で「しんかい6500」の陸揚げを行った「よこすか」は、2006年11月末に川崎造船神戸工場へと向かった。約1ヵ月間の保守整備を行うためだ。

先に紹介した通り、安全確保と確実かつ高精度な調査・観測を実施するため、「よこすか」をはじめJAMSTECが運用する研究船は、毎年ドライアップしている。たとえば、「よこすか」には、



船尾側から見た「よこすか」



船底やプロペラ等にクラックや変形がないか入念にチェック



中央に水中通話器のソーナードームが見える



塗装を終えた船底。音響航法装置の送波器（写真手前の2つ）と水中通話器のソーナードーム（写真奥）が見える

船底部に音響航法装置や水中通話器、さらには海底地形の精密探査を実施するためのマルチビーム音響測深機付き送波器・受波器など、一般の船舶にはない特殊な装置が数多く装備されている。これらの機器の点検や整備、検査を行うためには、ドックに入り、船底に損傷がないかなど、詳細に確認する必要があるのだ。

入渠作業（ドックに船を入れる作業のこと。ちなみにドックから出す作業は出渠作業）は、前日の午後に準備を整えた長さ215m、幅33.5m、深さ約10mのドックに海水を注し、翌朝、「よこすか」をドック内に導き、所定の位置に留め

てからドック内の海水を排水。およそ2時間半で海水はすべて排水され、昼過ぎにドライアップし、「よこすか」の船底が露わになった。

5年に1回の定期検査では、プロペラの「軸抜き」が行われ、油圧装置など多項目の検査が行われる。今年は毎年行われる年次検査にあたるため、大掛かりな工事は行われなかったが、約20日間のドライドック期間中に、船底の確認やプロペラ、舵、海水を取り込む船外弁、アンカーチェーンのチェック、船底外板の塗装工事などが実施された。同時に、船内では各種機器の点検・整備に加え、安全に関わる機器の工事、

通信機器などの換装工事が進められた。さらに、新たに船内にコンテナ型のラボラトリーを設置するための電源や給排水設備を整える工事なども行われた。これは、多様化する船上での観測や調査に対応するためのもので、こうした研究船としての機能向上も、保守整備期間中に行われる。

「よこすか」の保守整備は1月10日に完了し、続いて2週間の試験航海。そして、2月に単独航海及び深海巡航探査機「うらしま」を搭載しての航海を行い、3月には保守整備を終えた「しんかい6500」の試験航海が実施される。

研究者のニーズに応える技術開発力と チームワークが「しんかい6500」を進化させる



海洋工学センターは、1971年に海洋研究開発機構(JAMSTEC)の前身の海洋科学技術センターが発足した当初から、海洋を探索するための基盤技術の研究開発と、研究者のサポートを行ってきた技術開発部を継承している。現在はさらに海洋研究に欠かせない7隻の海洋調査船や、有人潜水調査船「しんかい6500」、無人潜水探査機などの運航も担当している。新卒第一期生として海洋科学技術センターに入所し、初期の構想段階から「しんかい6500」を見守ってきた海洋工学センター・宮崎センター長に、まもなく1,000回目の潜航を迎える「しんかい6500」にかける想いと夢を聞いた。

取材協力：
宮崎 武晃 センター長
海洋工学センター

みやざき たけあき ●1945年 石川県生まれ。工学博士。1972年 海洋科学技術センター(現、海洋研究開発機構)に研究員として入所。海洋工ネルギーなどの業務に携わり、波力発電装置の研究開発を立ち上げ、世界一を達成。1987年 海域開発・利用研究部 研究主幹、1997年 研究業務部部長を経て、2006年 海洋工学センター センター長



技術と科学の両輪で進む 「しんかい6500」での研究

宮崎センター長がJAMSTECに入所したのは、「6,000m級の潜水調査船をつくる!」ということが、まだ夢として語られていた時代だった。いよいよ「しんかい6500」の前身「しんかい2000」に挑戦というとき、宮崎センター長は別のプロジェクトを担当しながらも、その開発を見守っていた。「当時、私たち技術開発者には、技術が科学をリードするのだという熱い想いがあったのです」

今となっては不思議だが、建造に先立って研究者に「『しんかい2000』でどういう研究がしたいですか」と聞いても、イメージがわからないのか、あまりニーズが出てこなかったという。「しかし、できたとなん、乗船して調査をしたいという研究者が続出しました。よく科学と技術は両輪といわれますが、その時々で引っ張る力の強いほうがリードし、お互いが前進するのだと思います」

「しんかい6500」は研究用の有人潜水船であるから、世界最深の圧力に耐えて安全に潜航するだけでなく、画像などの情報を確実に捉えて送り、ときには生物を捕獲し持ち帰らなければならない。耐圧や搭載キャパシティの制約をクリアしながら、別途道具の開発が必要なきももある。しかし、そんな工夫こそが面白いのだという。海中は普通の照明では散乱してうまく撮影できないので、横から光を当てることができるようにカニの爪のようなアームライトを開発したこともあった。

研究者の意外な要望に驚くこともあ

る。宮崎センター長は、深海での研究時間を十分確保するために、深いところにたどり着くのが少しでも速いほうがよいと思っていた。ところがクラゲなど中層の生物の研究者からは、「潜航途中で照明をつけてゆっくり観察したい」と要望されたのだ。「最初の設計がパーフェクトではなく、要望が出てきた時点で改良、改装も必要です。『しんかい6500』をとことんよいものにした。研究者のニーズが出るほど、やりがいがあります」

現在、「しんかい6500」の利用は公募制である。JAMSTECの研究者であっても競争に勝つ必要がある。「採択されるのは大変ですよ。1回潜するには1千万円以上のお金がかかりますから、乗ったからにはよい成果を出してもらいたいです。実際にこれまでも世界的な成果が出ており、私たちにとっても非常にうれしいことです。特に微生物の研究では、教科書を書きかえるような新しい発見が出ています。海のなかや海底下には、私たちが知らないことがまだまだ詰まっているのです。その発見がどのように人間の役に立っていくのかも、また楽しみです」

最高の機械も人の力なしでは機能しない

よい成果を出すには、機械の性能はもちろんだが、チームワークが大事だ。研究者に限られた時間のなかで最大の成果を出せるようにするためには、パイロット、母船のスタッフ、モニターする人、整備する人が持てる力を合わせ

なければならぬ。「特にパイロットは叩き上げて、第一線の研究者とともに潜航し、知識やノウハウを幅広く蓄えています。その人的なノウハウも、次の世代に伝えていきたい。ですから、ぜひ潜水船に乗りたいという若い人に来てもらいたいです。私自身、海が好きというだけでこの分野に入りました。興味と熱意があれば、一から教育します。そろそろ女性パイロットが出てほしいですね」

生物系の研究では、生物そのものを捕獲するのも大切だが、生息環境がどのようなものなのか、そのなかで生物が活動しているようすをくわしく知ることが重要である。そこで研究用の撮影器材や撮影ノウハウ向上にも力を注ぐ。「魚の背びれの1本1本までクリアに映れば、研究者がそれをもとに分類もできます。よい映像が撮れると、科学的知見はさらに進むのです。ですからJAMSTECでは映像関係の人も大歓迎です。熱意を持つ人たちにぜひ来てもらい、ともに次世代の潜水船計画を立てることができればうれしいです」

2007年3月頃に予定されている1,000回目の潜航では、著名人の乗船や、一般公開、講演会などのイベントを計画中だ。海が好き、そしてモノづくりが好きで若い人たちにも、ぜひ広く「しんかい6500」の存在をアピールしたいという。「人の後追いでではなく、世界で初めてのものを目指す若人よ来たれ、一緒にやろうじゃないか」というのが、宮崎センター長からのメッセージである。

世界最深まで潜る潜水船をつくる意義は それを可能にする技術を持つことにもある

今井義司 司令は1983年に有人潜水調査船「しんかい2000」の整備要員として入所。その後、「しんかい2000」で副司令までを務め、1999年4月に有人潜水調査船「しんかい6500」の3代目司令となった。以来、運航チームの長として、パイロット、コ・パイロット、整備班や航法管制班をまとめ、支援母船「よごすか」の船上から、さまざまな天候条件を見極めながら、安全かつ効率的な潜航のために細心の注意をはらってきた。間もなく1,000回を数える潜航を無事故で迎えることが何よりも嬉しいという。

取材協力:

今井 義司 司令

日本海洋事業株式会社
深海技術部「しんかい6500」

いまい・よしじ ● 1947年 新潟県生まれ。1983年海洋科学技術センター（現、海洋開発機構）へ入所。「しんかい2000」運航チーム配属。以来、潜水船業務に関わり、現在に至る。1994年「しんかい6500」運航チーム配属。1999年より「しんかい6500」運航チーム 司令



最も気を遣う、 潜航前後の作業

記念すべき「しんかい6500」の第1,000回目の潜航予定は、沖縄の南西諸島、鳩間海丘周辺。2007年3月中旬の予定だ。定期的に行われる「しんかい6500」の点検整備の直後ということで、潜航目的はスタッフのための訓練潜航となる。しばらく乗船していなかったパイロットの腕慣らしや新人の教育が目的だ。「特に、大きなイベントという感じではありませんね。1,000回という潜航数より、やはりそれまでの航海や潜航を順調にやってこれたことが一番です」

「しんかい6500」2006年最後の航海は、長期の外航だった。8月の中旬に出航し、帰ってきたのが11月中旬。パラオからマリアナ諸島周辺をまわり、最後に立ち寄ったのがタヒチ周辺だ。この時も、悪天候には苦労したという。南半球はちょうど春から夏の季節の変わり目で、風が強く、うねりが高い時期が続いた。「その航海は地質系の研究者の潜航で、溶岩の採取が目的でした。研究者の希望で3,000mくらいの水深を狙っていたんですが、毎日、3mから4mのうねりがあって、なかなか希望のポイントまで行けない。結局、調査海域の島々の周辺でうねりのない場所を探して1,500m程度のところで潜航するなどして、何とか予定の潜航回数だけはクリアしました」。深海調査というと、私たちは深いところへ潜る危険をまず想像するが、実際に一番トラブルが起きやすいのは潜水船の着水、揚収

といった海上での作業時だという。「潜水船は一度海面下に潜ってしまえば、少くも海上が荒れていても静かなんです。むしろ、天候に左右されるのは、船体を吊して着水するまでなんです。それに作業班のポートによる仕事もありますから。ですから、理想をいえば、海面下で潜水船を揚収できる母船があればいいんですけどね」。ロシアの潜水調査船「ミール」の母船などは、大きな船体で風をさえぎり揚収作業をしやすいよう工夫してあるというが、母船が大きすぎると、今度は小回りが利かなくなる。そのバランスはなかなか難しいようだ。

次世代の潜水船に望むこと

現在、有人潜水調査船としては世界で最も深くまで潜れる「しんかい6500」だが、建造から17年を経過した現在、老朽化の問題も気になるころだ。「老朽化という意味では、船体よりも電子部品などのパーツの方が問題です。ものによっては、古くてメーカーの在庫がないものもありますから、今後、そういう部分は考えていかなければなりません。でも、船体の方はまだ十分使えますよ」。今年度の整備でも、いくつかの機器が新規搭載される予定だといい、今後も深海から、よりリアルな情報を届けてくれると期待してよさそうだ。

では、さらに次世代の潜水船が目指すべきものは何なのだろう。さらなる展望を伺ってみた。「できれば“full depth”、海底の最深部まで到達できる11,000m級の船をつくってほしいと

思います。やはり、一番深くまで行ってみたいという欲望はあります。ただ、それ以上に、そこで技術が鍛えられるということが重要なんです。前人未踏の海底へ潜る技術は、ほかにはないわけですから。そういう意味でも、ぜひ挑戦してほしいですね。世界一深く潜れるという事は、それを成し遂げるための技術を持つということ。「しんかい6500」がこれまで果たしてきたその功績は、単に未知の世界の見聞を広めたことだけではないのだ。

海の現場が大好きだという今井司令だが、そこで積み上げてきた経験を、後進に伝えていくことも大事な役割のひとつだ。しかし、自分たちの経験を押しつけることだけはしたくないという。「若い人の視点から行ったことで、私たちと違った結果が出てくることもある。そして、それがいい場合もあるんです。もちろん、伝えなければいけない技術は、きちんと伝えていきますけどね」。海の研究は、地球環境問題などにも非常に深く関わる大事な分野だ。だからこそ、若い人たちはもっと海に目を向けてほしいと今井司令はいう。そして、そうした問題を解明するデータは、現場に出なければ手に入れることはできない。「そういう意味で、海洋科学の研究者ばかりでなく、技術者の方にも、もっと海に関心を持ってもらいたいと思うんですよ」

操船だけではパイロットは務まらない 幅広い好奇心が潜航と研究を充実させる

佐々木義高潜航長は1989年に有人潜水調査船「しんかい2000」の運航要員として入所した。その後、有人潜水調査船「しんかい6500」が完成し、1993年から「しんかい6500」の運航チームに配属される。整備士、航法管制士、潜航士など各職を経験し、現在は潜航長。これまで「しんかい2000」では76回、「しんかい6500」では149回の潜航経験を持つ。まだ誰も潜ったことのない場所で最初の目撃者となるのは、いまだに魅力的な体験だという。

取材協力:

佐々木 義高 潜航長

日本海洋事業株式会社
深海技術部
一等潜航士



■撮影 / 藤牧徹也

ささき よしたか ●1966年 宮城県生まれ。1989年 海洋科学技術センター(現、海洋研究開発機構)へ入所。「しんかい2000」運航チーム配属。潜水調査船の整備、潜航、音響測位業務に携わり日本近海の調査に参加。1993年「しんかい6500」運航チーム配属。大西洋、東太平洋、インド洋などの調査に参加。2004年海洋工学センター研究支援部 船舶運用グループ配属。2005年より「しんかい6500」運航チーム配属



潜水船の“足跡”頼りの潜航も

これまで経験した海域はどこも面白いという佐々木潜航長だが、やはり熱水噴出孔周辺はパイロットとしても楽しい場所だという。「大規模な熱水は大好きですね。海底一面にエビがいいたり、深い海のなかとは思えないくらい生物量が多くて、とにかくにぎやかです」。しかし、ときに熱水噴出孔は潜航技術を要する難所でもある。「地形が複雑で流れが速いんです。大西洋中央海嶺などでは、熱水が大量に吹き上げて、まわりから水を吸い込み、チムニーの周辺に大きな対流が起こる。温度を測ろうとマニピュレータを差し出すんですが、操船を誤るとそのまま対流に持ち上げられて、びゅーっと100m近く飛ばされることもあります」。ひどいときには、目的の作業を行うまでに2回も3回も飛ばされることがあるそうだ。また、高温の熱水は真っ黒で視界も奪う。「潜水船の水中投光器は1灯が自動車の強力なヘッドライト3個分くらいの明るさです。それを4灯使って照らしても、熱水に入ると墨汁のなかに放り込まれたように真っ暗なんです」。また、海底では長年の経験がものという場面も多い。「以前、潜った場所にもう一度行きたいといわれたとき、昔の位置情報が不確かだったりすると非常に苦労します。潜水船の視界はせいぜい10m。つまり、目的地に30mまで接近していても、気づかずに素通りしてしまうことがあるんです。もちろん、当時の潜航データを入手して周囲の状況も確認したうえで潜航するのだ

が、それでも見つからないことはあるという。そうすると、頼りは勘だ。たとえば、一度潜ったことのある場所には、潜水船の“足跡”が残ることがあるという。「潜水船は通常、海底から浮上して航走します。のぞき窓の高さが着底脚から1m50cmくらいですが、高度を2mくらいとると海底が見づらくなる。だから、海底を観察しようとギリギリまで降りたときに着底脚を引きずることがあります。堆積速度が遅いところなら5、6年後でもその痕跡が残っていたりするんです」。生物などの痕跡と、船の痕跡を見極めるには、やはり経験と勘が必要だ。ちなみに近年は、音響航法装置の精度も上がり、潜航位置の特定も以前ほど苦労はしなくなったそうだ。

800人の人々を無事 連れ帰ったことが最大の成果

海底には熱水噴出孔のような活的な場所もあるが、その多くは石と泥に覆われた単調な世界だ。「そんな景色でも、その成り立ちを知っていれば好奇心を満たすことができます。だから、パイロットでも生物や地質、地球物理など、できるだけ多くのものに興味を持つことは大事ですね。私たちはさまざまな分野の研究者と潜ります。つまり、その時々で一流の先生が隣にいるわけです。そこで聞いた知識を積み重ねながら、自分なりに勉強をしていくことが、潜航時に研究のアシストをしたり、的確な判断を下すのにも非常に役に立ってます」。特に、定員わずか3

名という潜水船では、研究に関わる試料のサンプリングや研究機器の設置などあらゆる仕事がパイロットとコ・パイロットに課せられる。潜水船の操船や機械的な知識だけではパイロットは務まらないのだ。

佐々木潜航長が「しんかい6500」に乗り始めたのは、第167回潜航からだが、年々、100回ごとのタイミングが短くなっている気がするという。「実際に達成期間も短くなっています。機械の改良などで潜航回数が増えたことでもあります。感覚的にもスタートから500回までより、500回から今まで(通算潜航回数993回)の方があっという間でした。いずれにしても、1,000回潜るということは訓練潜航などを差し引いても800人近い人を海の底まで連れて行った計算になりますね」。目で見える海底の景色は、どんなに性能のいいカメラで見るとよりも鮮明であり、生で見た質感は絶対に映像には残せないという。そして、その世界をより多くの人に伝えてくれる800人の人々たちを、無事連れて帰ってきたことが、自分たちの一番大きな成果だと佐々木潜航長は続ける。「『しんかい6500』がある限り、安全に最高の成果が上げられるように努力するのが私たちの責務です。だから、今後もこの仕事を続けていけるよう、「しんかい6500」にももっともっと頑張ってもらいたいですね」

有人の深海調査を続けるためにも 「しんかい6500」による優れた研究成果を



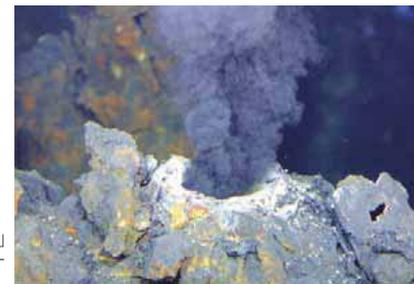
高井プログラムディレクター(PD)は、有人潜水調査船「しんかい6500」初乗船となった2002年のインド洋調査潜航で、熱水活動域に地球最古の生態系と非常によく似たハイバースライムを発見。さらに鉄の鱗を持つ巻貝、スクエリーフットを捕獲した。その後も積極的に「しんかい6500」を活用しており、公募後最多の15回潜航で、多くの研究成果をあげている。その背景には、有人潜水船ならではの、人間の目で深海を見る貴重な機会を守ろうとする、高井PDの強い思いがあったのである。

取材協力：
高井 研 プログラムディレクター

極限環境生物圏研究センター
地殻内微生物研究プログラム

■撮影／藤牧徹也

たかい・けん ●1969年 京都府生まれ。農学博士。1994年 米国ワシントン大学客員研究員、1997年 日本学術振興会、科学技術振興事業団 研究員、1999年 米国バシフィックノースウエスト国立研究所 博士研究員を経て、2000年 海洋科学技術センター(現、海洋研究開発機構)へ入所。その後、地殻内微生物研究領域 グルーリーターを経て現職。2002年 第1回JAMSTEC 環境微生物学会奨励賞、2004年 第1回JAMSTEC 分野横断研究アワード受賞



2004年の「NIRAI KANAI」で発見されたブラックスモーカー

有人潜航ならではの発見秘話

高井PDは、1998年の沖縄トラフ潜航以来、水深2,000mまでの潜航能力を持つ有人潜水調査船「しんかい2000」との縁が深かった。「もともと生物・微生物系の研究者は、熱水活動域や冷水水域のある日本近海の比較的浅い海域をターゲットに「しんかい2000」で調査を進め、「しんかい6500」はもっと深いところ、もしくは海外の調査という棲み分けができていました」

高井PDが初めて「しんかい6500」に乗船したのは、2002年のインド洋調査潜航に首席研究員として参加したときだ。同年11月「しんかい2000」が活動を休止。高井PDも2003年から、「しんかい6500」をフル活用し、多くの成果をあげてきた。

特に印象的だったのは、2004年、南太平洋での「NIRAI KANAI(ニライカナイ) 太平洋大航海*」中の出来事であるという。高井PDたちはラウ海盆の熱水活動域を調査し、新たに2つの熱水活動域を発見した。「ある日「しんかい6500」のパイロットが北と南を間違えて走ったときに偶然、真っ黒な煙に遭遇して熱水活動域を見つけることができました。パイロットは「自分の嗅覚で見つけた」といっていますが(笑)、とまかく、人間が潜ったからこそ見つかったというのは事実ですね。そのときハワイ大学も同じ場所をAUV(自律型無人潜水機)で探査していました。ハワイ大学のAUV「ABE(エイブ)」は高性能で、目覚しい業績をあげていますが、ラウ海盆の同じ場所ではついに新しい発見が生まれ

でした」。最新型のコンピュータ制御AUVに、有人潜水船が勝利した例となった。

研究を左右するパイロットの職人芸

「しんかい6500」は生物・微生物の研究者にとってはベストマッチではないと高井PDはいう。窓の配置が離れすぎていてパイロットと研究者の視界がずれるし、居住スペースが狭い。一方、「しんかい6500」が優れているのは、使用できる総電力が大きいこと、マニピュレータが2本あり、サンプルバスケットが大きいことだ。これはサンプリングのときに威力を発揮する。

「しんかい2000」の運航中、「しんかい6500」は地質など観察中心の研究者が乗船し、マニピュレータやサンプルバスケットでのサンプリングはそれほど多くなかった。しかし生物・微生物の研究者が乗船するようになると、パイロットには非常に細かい作業が要求されるようになった。「たとえば熱水孔の特定の場合に、サンプリング用の道具をこの角度で挿してほしいなど細かい要求をしますが、そんな要求にも対応してくれるし、それこそマニピュレータで審か持てるくらい、パイロットの腕がよいのです。そして研究者とパイロットの息が合わないと研究はうまく行かないということがよくわかりました。修練されたパイロットがやると作業効率が非常によく、研究が進みます」。高井PDは、ぜひこの優れた操作技術を伝承して欲しいという。

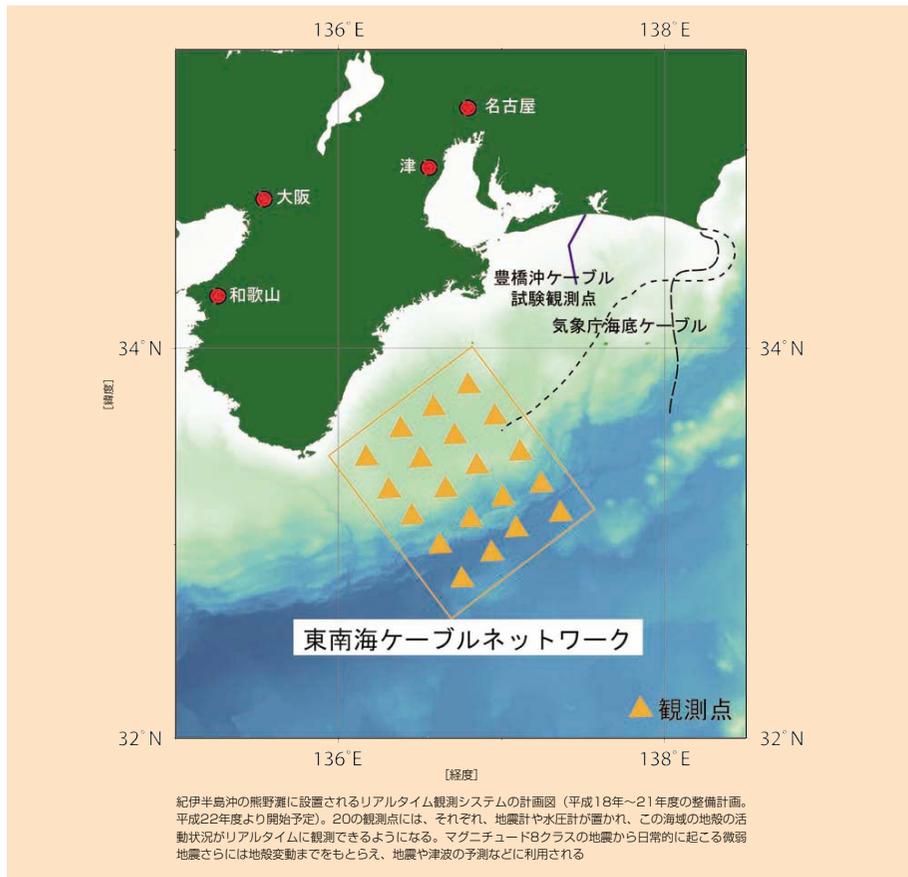
有人、無人、AUVの組み合わせで効率的な運用を

世界的には無人化の流れが進むなか、「しんかい6500」は稼働率が最も高い有人潜水船である。「有人潜水にはお金がかかるし、無人探査機にはよいところも多いです。ただ、実際に潜って見る海底の風景と、カメラが送ってきた風景はぜんぜん違います。狭いし、寒いし、緊張するし、たいへんですが、自分の目で見ることにはそれだけの価値があります」。その数値化できない価値を守るために、高井PDはあえて、「しんかい6500」を使って業績をあげることにこだわっている。

また、AUVや無人探査機と有人潜水船が連携して、それぞれの得意分野を生かすべきだと高井PDはいう。「カメラで見ると遠近感が分かりませんが、人間の目は3次元で把握しますから、一瞬見ただけでモノの位置がわかります。まずは24時間働くAUVで探査して、なにか見ついたら人の目で確かめたほうがいい。大量にサンプルを捕獲するのは無人探査機がやればよいのです。有人も含めて効率的な運用をすればよいのではないのでしょうか」

特に最近の海洋研究は、研究分野を超えて共同でひとつのターゲットを解明するという形になっている。それだけに、潜水船や母船の組み合わせ方や使い方もより多様になってきた。「しんかい6500」も、母船や無人探査機、AUVと最も研究効率の良い組み合わせで、フレキシブルに運用することが求められてきているのである。

*NIRAI KANAI(ニライカナイ) 太平洋大航海: Nippon Ridge Arc and Intra-plate Key processes Apprehension Navigational Initiativeの略文字をとったもの(ちなみにニライカナイは南方にある極楽浄土をさす)。「しんかい6500」と支援母船「よこすか」が、2004年に約5ヵ月間におたる長期航海で、南太平洋を横断しながら深海調査を行った。



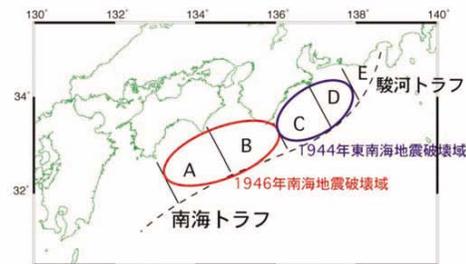
海溝型巨大地震や津波を早期検知し防災・減災に役立てる 紀伊半島沖 熊野灘への リアルタイム観測システム構築計画がスタート



取材協力：
金田 義行 部長
海洋工学センター
海底地震・津波ネットワーク開発部

2006年7月、海洋研究開発機構（JAMSTEC）海洋工学センターに海底地震・津波ネットワーク開発部が発足した。目的は、東海沖から九州南部にかけて形成されている南海トラフ周辺にリアルタイム観測ネットワークを整備することである。このネットワークを整備することがどのような意味をもつのか。海底地震・津波ネットワーク開発部の金田義行部長に聞いた。

| 西暦 | 破壊領域 | 発生間隔 |
|----------------|-----------------|---|
| 684 (天武) | A B C D E | ↑ 203年 209年 262年 137年 107年 102年 147年 90年 |
| 887 (仁和) | A B | |
| 1096/1099 (康和) | A B C D E | |
| 1361 (正平) | A B | |
| 1498 (明応) | A B C D E | |
| 1605 (慶長) | A B C D | |
| 1707 (宝永) | A B C D E | |
| 1854 (安政) | A B C D E | |
| 1944 (昭和) | C D | |
| 1946 (昭和) | A B | |
| | 南海地震 東南海地震 東海地震 | |



南海トラフ周辺で発生した歴史的な巨大地震。古文書などの文献を調査すると、南海トラフではマグニチュード8クラスの巨大地震がくり返し起こっていることが分かる

巨大地震発生の頻発地 南海トラフ

南海トラフは、ユーラシアプレートにフィリピン海プレートが沈み込むことによってできる窪地の部分である。南海トラフは海溝型巨大地震の巣として知られている。南海トラフ周辺では、東海沖で発生する東海地震、紀伊半島沖の東南海地震、四国沖の南海地震と、3つの巨大地震震源域が存在する。記録に残っているものだけでも、『日本書紀』に記された684年の白鳳の地震から9回も、マグニチュード8クラスの巨大地震が発生している。

最も最近起きた南海トラフ周辺での海溝型巨大地震は、1944年の東南海地震とそれに続いた1946年の南海地震で、以来60年間、巨大地震は発生していない。政府の地震調査委員会では、今後30年以内に巨大地震が発生する確率は東南海地震が60～70%、南海地震が50%と見積もっており、それほど南海トラフ周辺での巨大地震やそれに伴う津波が危惧されている。

巨大地震の震源域が多く存在する日本周辺にとって、地震や津波の観測・監視システムの整備や予測の高精度化は、国民が安全に暮らす社会をつくるうえにおいても重要な計画だ。そこで、文部科学省から委託を受けJAMSTECが中心となり、2006年から4年間かけて海底の地殻活動をリアルタイムでとらえる

観測システムを整備することになった。計画では、紀伊半島沖の熊野灘に20カ所の観測点を設置。各観測点は海底ケーブルでつながれ、それぞれの点で取ったデータがリアルタイムでJAMSTECをはじめとする研究機関に送られる。それによって、地震活動はもとより、日々少しずつ変化している海底の地殻変動をも長期的に観測していこうというものだ。

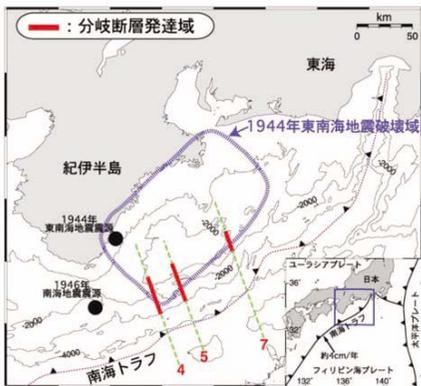
熊野灘は、東南海地震の想定震源域（紀伊半島・潮岬沖～浜名湖の沖合）のなかにある。また海底の構造調査やコンピュータを使ったシミュレーションなどの結果から、東海、東南海、南海の3つの地震がある時間スケールの範囲で連動していることが分かってきた。しかも、シミュレーションの結果や過去2回の地震では、東南海側が先に起こり南海側が続くパターンになっていた。巨大地震発生の予測モデルを構築し、防災に役立てるとして観測点から最も適した場所として、観測地に熊野灘が選ばれたのである。

世界初の観測計画

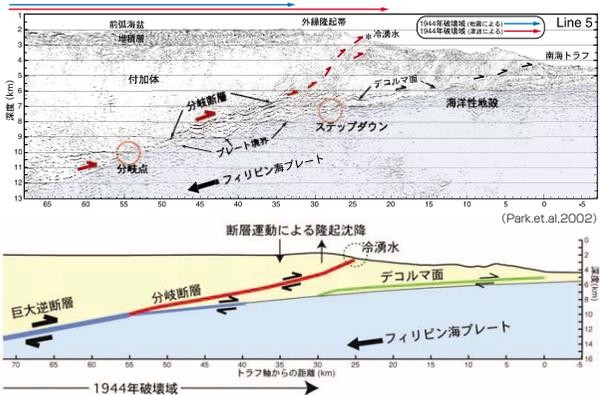
現在の計画では、およそ100km四方の海域に20カ所の観測点を設けることになっているが、このように観測点を集中的に設ける観測法は世界初の試みである。このリアルタイム観測システムには、(1)高精度な地震発生予測モデルの構築、(2)地震・津波発生の情報をいち早

く伝え防災・減災に役立てる、(3)地殻活動を観測し、地震発生直前に起こる特有の現象が発現した場合にこれをとらえる、という3つの目的がある。「この3つの目的を達成するためのシミュレーション研究、さらに震源域の掘削による物質科学研究が必要です。さらにいえば、このリアルタイム観測システムの構築によって、今までの研究から得られた知見を総動員し、南海トラフで巨大地震がどのようにして起こるのかという疑問の本質にさらに迫っていくことが重要です」と海底地震・津波ネットワーク開発部の金田部長は説明した。

シミュレーションからは、熊野灘周辺は東南海地震の震源となる可能性が高いことが示されている。この海域の地殻構造調査をしてみると、フィリピン海プレートの沈み込みに合わせて、海側から陸側に堆積物がたまっていく付加体ができていたり、プレート境界から分岐している断層（分岐断層）などの構造があることが分かってきた。付加体が成長したり、分岐断層が発生するシステムそのものが、東南海地震、ひいては南海トラフ全体の大きな地震の発生場を形成する役割を担っていると考えられている。さらに最近のシミュレーションなどからは、付加体の成長と分岐断層の形成が関連づけられることを示すような結果も得られている。この観測を20カ所規模の高密度で面的リアルタイム観測シ

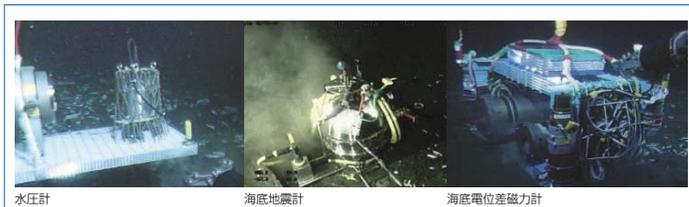


熊野灘周辺には分岐断層がたかく見られる(左上図の赤い部分)。中図は、この反射法を使って得られた表面部分の海底地形データ。ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界から枝分かれして、分岐断層が形成されているのがよく分かる。下図は、この結果を模式的にあらわしたものの



システムでできることによって、日常的なプレートの運動や海底の地殻がどのように変化していくのかが分かってくれば、シミュレーション結果と実際の観測結果を比較することができる。「これはデータ同化という手法です。実際に観測したデータをシミュレーションモデルに取り込むことによって、より精度の高いモデルをつくることのできるのです。天気予報など、毎日観測データが得られる分野

のシミュレーションでは、データ同化がよく使われます。しかし、地震の場合は頻繁に起きるわけではありません。長期間連続的に、しかも確実に様々な現象の変化を見るには地殻変動が有効です。現在、海底の地殻変動をリアルタイムに観測するシステムはないので、この観測システムができることで、地震の発生予測シミュレーションモデルにデータ同化の手法をより効果的に使うことができ



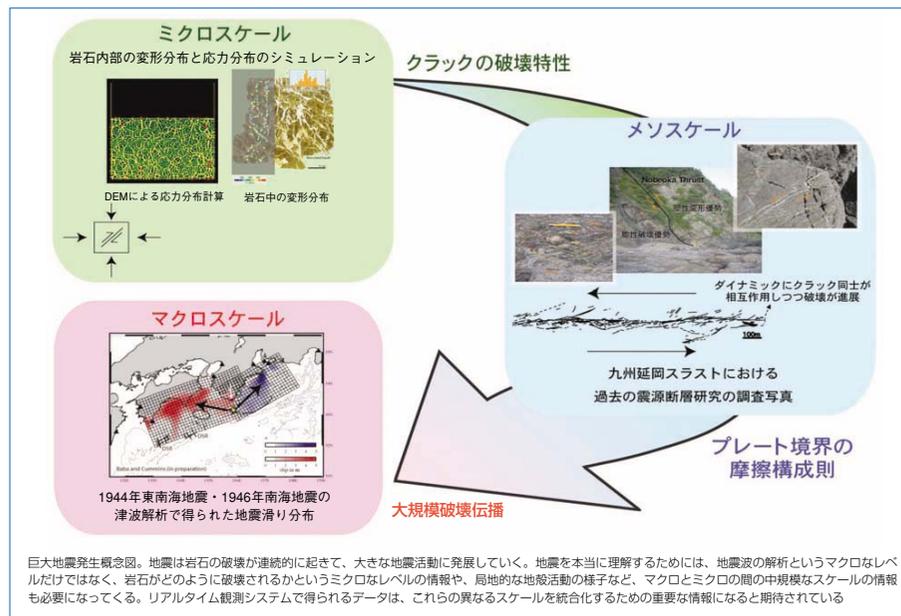
リアルタイム観測システムでは、マグニチュード8クラスの巨大地震から、日常的に起こるようなマグニチュード0~1クラスの微小地震、さらには最近、その存在が知られるようになってきた長周期地震など、さまざまなタイプの地震や地殻変動などを観測できるように、1つの観測点に複数の地震計や水圧計を設置するように計画している。設置する観測機器の開発、運送も進められている

るようになります」と金田部長は語る。

長期運用に備えるシステム開発

リアルタイム観測システムの構築は、すでに動き始めている。現在、全体のシステム設計や、観測点に設置する海底地震計や水圧計、そしてそれらをつなぎ合わせる海底ケーブル技術の開発を行っている。このシステムは設置後、数十年という長期に渡って運用されるものである。設置時点で最新の観測機器を使用しても、5年、10年と時が経つうちに老朽化していく。また、一部が破損することもある。これまでの海底観測システムは海底地震計などの観測機器がケーブルと一体となっていた。長期運用を考えたときに、ケーブルはそのまま観測機器だけを取り替えることができれば、最新の機器に更新したり、破損したものだけを取り替えることができるようになる。高い水圧がかかり、常に海水にさらされる厳しい環境で、取り外し可能な装置をつくることは、高い技術力が要求される。

ほかにも、どのようなルートでケーブルを巡らせて、どのような場所に観測機器を置いていくのかなども、今後検討していく。そのために必要な海底地形や海底の性質などの調査も同時に行っていく予定である。また、得られたデータをリアルタイムで配信するためには、観測機器からのデータを受け取り、JAMSTECなどへ送る陸上局を設置する必要がある。その陸上局をどこに置くのかということもこれから決めていく大切な要素の1つである。陸上局は、地震や津波が発生しても壊れずに観測



システムからの情報を安定的に研究機関に送り続けなくてはならない。そこで、安全で電力供給やデータ電送が確保できる場所を選定する必要があるのだ。

2010年から本当のスタート

今後の予定としては、システム設計や個々の技術開発を2008年まで続け、2009年には具体的に設置工事をしていく。そして、2010年にはシステムを稼働させ観測を開始する。「これはシステムをつくって終わりというものではありません。巨大地震の再来に備えて、数十年という長期間のスケールでの観測をしっかりとやっていくことに意味があります。巨大地震が起きる前に、いかに予測モデルの高度化ができるか、そして、実際に地震や津波が起きたときに、いかに迅速かつ正確に規模の評価ができて、防災や減災に役立てることができるか、そのときにこのシステムの真価が問われると思います」と金田部長が続けた。

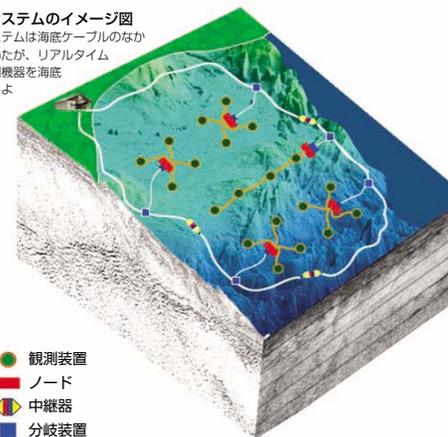
コンピュータの発達によりシミュレーションの技術が上がってきたとはい

え、気象にくらべてデータ量の少ない地震は、過去の地震発生サイクルのパターンとシミュレーション結果の整合性がおぼろげながら見えてきたという状態である。リアルタイム観測システムにより、数年、数十年という単位で海底の地殻の活動について細かいデータを得られるようになれば、その活動内容をより深く理解することができるだろう。「地

震や津波はいつやってくるか分からないから、発生してから対処しよう」という発想から、「いつ頃どの程度の規模でやってくるから、それまでにこのような準備をしておこう」という発想に転換できるようにするはずだ。さらに発生した場合には可能な限り早期に検知し、防災・減災に貢献していくことになるだろう。

リアルタイム観測システムのイメージ図

これまでの海底観測システムは海底ケーブルのなかに観測器を埋め込んでいたが、リアルタイム観測システムでは、観測機器を海底ケーブルから取り外せるようにする。そうすることで機器が壊れたりしてもその部分だけを交換することができる。また、新しい技術が入れ替えることも可能だ



展示の工夫で知的好奇心を刺激 海の生物たちの “生きざま”を紹介

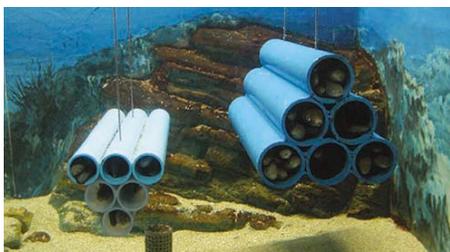


魚類展示グループの岩村文雄さん。「楽しみながら生き物に興味を持てる水族館に」と話す

取材協力: 神戸市立須磨海浜水族園



造波装置が20分おきに高さ50cmの波をおこす「波の大水槽」。外光を取り込んだ明るい水槽を約50種類の魚が泳ぎ回る



「昼の水槽」のアナゴは巣穴で身を寄せて夜を待つ

●神戸市立須磨海浜水族園(兵庫県・神戸市) ホームページ: <http://sumasui.jp/> 連絡先: 078-731-7301



クエの体表につく寄生虫を食べるホンソメワケベラ

エントランスホールにある大水槽の水面が激しく波立つ。海水が激しく揺さぶられ、サメやエイが波間で身をくねらせながら泳ぐ。静かな水槽で見る優雅な泳ぎとは確かに違う。1987年に世界で初めて大型水槽に造波装置を設置した「波の大水槽」は、うねりや潮の流れがある海で生きる魚たちの姿を、いきいきと感じさせてくれる。

神戸市立須磨海浜水族園は、海の生物の“生きざま”を見せることに徹底的にこだわ

った水族館だ。「夜・昼水槽」では、同じ魚を明るさの違う2つの水槽で展示する。昼夜が逆転した水槽で、昼と夜の行動の違いを見せている。そのほか、異なる生物が助け合う(共生)様子や「身を守るための工夫」を展示する水槽、さまざまな方法で捕食する魚を見せるコーナー(さかなライブ劇場)など、“生きざま”を紹介する盛りだくさんの展示が用意されている。

無脊椎動物(背骨をもたない生き物)の

展示が充実していることもこの水族園の特徴。20年前、他の水族館で展示されることが少なかった軟体動物(貝、イカ、タコなど)、節足動物(エビ、カニなど)、棘皮動物(ウニ、ナマコなど)の飼育展示に力を入れ、約70種類以上(現在は約50種)を展示してきた。

来年度は開館50周年を迎える。これを期に、もう一度“生きざま”を見直し、新しい生展示を準備中という。



海藻にまぎれて身を隠すリーフィードラゴン



岩と見分けがつかないオニオコゼ



体色を砂の色や模様に合わせて変化させるヒラメ



須磨のすぐ近くにある明石の洞は、タイなどの豊かな漁場として知られる。無脊椎動物の水槽(本館2階)に展示されるマダコもここでたくさん捕れる

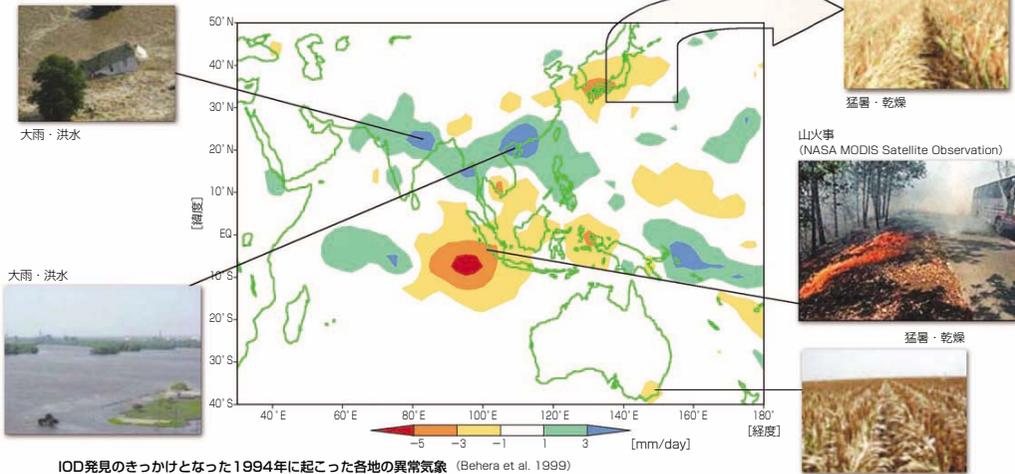


カブトクラゲ



タカアシガニ

魚類(本館1階)と無脊椎動物(2階)の間に展示される原素動物のホヤは、幼生のときのみ背骨に似た脊梁が見られる



IOD発見のきっかけとなった1999年に起こった各地の異常気象 (Behera et al. 1999)

世界各地に異常気象をもたらす インド洋ダイポールモード現象の 予測に世界で初めて成功

インド洋ダイポールモード (IOD) 現象は、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 地球環境フロンティア研究センター気候変動予測プログラムの山形俊男プログラムディレクターらによって1999年に発見された。以来、同プログラムではその発生メカニズムについて研究を進めてきた。今回、ヨーロッパとの共同研究で開発したシミュレーション・プログラム「先端的大気・海洋モデル (SINTEX-F1)」を用い、2006年秋のIODの発達を約一年前に予測することに成功した (これまでの研究により一般的には数ヶ月先からの予測が可能で、今回の1年先からの予測は特例である)。IODはエルニーニョとよく似た現象だが、インド洋の気候変動メカニズムはより複雑で、今まで誰もIODの予測に成功していなかった。IODの予測の成功によりIODの影響を強く受ける地域の自然災害の軽減に役立つと期待されている。



取材協力:
佐久間 弘文 グループリーダー
地球環境フロンティア研究センター
気候変動予測プログラム
気候変動予測可能性研究グループ



取材協力:
羅 京佳 研究員
地球環境フロンティア研究センター
気候変動予測プログラム
気候変動モデル研究グループ

世界中に影響を与える エルニーニョとIOD

エルニーニョは最初、南米ペルー沖の表面海水温度が上がる現象として知られていた。クリスマスのころに起こるので、スペイン語で「神の子イエス・キリスト」を意味する「エルニーニョ」と

いう名前がついた。80年代から大規模なエルニーニョが頻発し、普段乾燥しているカリフォルニアに雨が降るなど、北米にも大きな影響をおよぼすようになり、エルニーニョについての研究が促進され、ペルー沖に限られた現象ではなく熱帯太平洋全域にわたる現象である

事が明らかにされてきた。

エルニーニョ現象について簡単に説明しよう。赤道域の太平洋では、強い日射によって海表面近くの海水が暖められ、暖かい海水からは水蒸気が盛んに蒸発して、空気の対流を起こし、積雲が発達して雨を降らす。通常、熱

帯太平洋では東風 (貿易風) が吹き、表層の暖かい海水が西太平洋に吹き寄せられて溜まっているが、何らかのきっかけで逆の方向の風が吹くと、その直接的な影響や海洋独自の特殊な波の影響で暖かい表層水のかたまりが東に移動し、雨を降らす積雲も暖かい海水の移動にともなって東に移動することになる。このように海と大気はお互いに影響しあっており、それを大気と海洋の相互作用と呼ぶ。熱帯の積雲の成長は大きな熱放出を伴い、地球規模の大気の運動に大きな影響を与えている。積雲の活動位置がずれると、その影響が次々と連鎖してアジアやアメリカに伝搬し、いつもと違う気候をもたらす。大規模なエルニーニョが発生すると世界中の気候に影響をおよぼすことはよく知られているが、その理由を簡単に述べると以上ようになる。90年代から日米の協力により熱帯太平洋にパイによる観測網が整備され、多くのデータが収集できるようになった (本誌2002年11-12月号参照)。その結果予測研究も大きく進み、今ではエルニーニョの発生予測は約1~2年前から可能になっている。

一方、インド洋ダイポールモード (IOD) 現象の起こる仕組みも、大気と海洋の相互作用という点でエルニーニョとよく似ている。インド洋では通常、東側に暖かい水が溜まっているため、インド

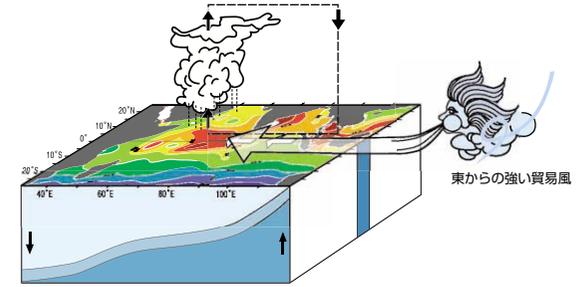


図1 タイポールモード現象の仕組み
インド洋では通常、東側に暖かい水が溜まっているが、東からの貿易風が強まると、暖かい水のかたまりが西側に移動し、通常とは逆に東側で海面水温が低く雨が少なくなり、西側で海面水温が高く雨が多くなる

ネシア周辺で積雲が立ち、雨が多くなる。しかし何らかの原因で普段よりも東からの貿易風が強まると、表層の暖かい水の塊はその影響で西側に移動し、移動した暖かい水塊を補うため下層にある冷たい海水が湧昇流となって表面に出てくることになり、通常とは逆に、東側で海面水温が低く雨が少なくなり、西側で海面水温が高く雨が多くなる二極構造 (正のダイポール) が起きる。これがIOD現象である。(正の) IODが発達すると、インド洋の西側にある東アフリカには大雨と洪水を、東側にあるインドネシアやオーストラリアには早魃をもたらす。さらにIODは夏のモンスーンにも影響を与えるため、インド北部からインドシナ半島、中国南部では大雨を、西日本と沖縄には猛暑と乾燥をもたらす。IODはエルニーニョと比較すると

エネルギーは小さいものの、その影響はアジア、ヨーロッパ、アメリカにまでおよぶ。

今回長期予測に成功したIODは、1994年の日本の記録的な猛暑をきっかけに発見された。同じように、よく異常気象の原因として報道される現象にエルニーニョがあるが、エルニーニョ現象とIODは、どちらも熱帯域の海洋で大気と海洋の相互作用の結果として起こり、世界中の気候に影響を与えるという点で非常に似た現象なのである。

1999年にIOD現象の発見が報告されるまでは、インド洋は長い間、単にエルニーニョの影響を受けるだけの存在だと思われていた。しかしインド洋にもIODという、太平洋とは違う独自の海洋と大気の相互作用があると分かったのだ。IODは毎年起こるわけでは

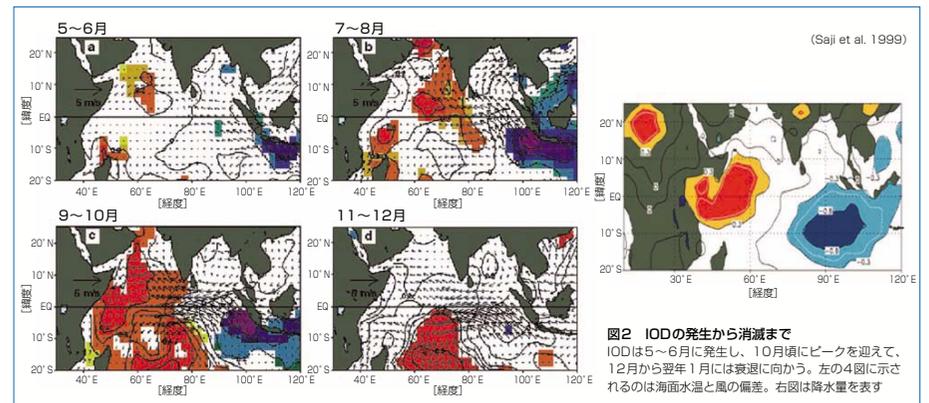


図2 IODの発生から消滅まで
IODは5~6月に発生し、10月頃にピークを迎えて、12月から翌年1月には衰退に向かう。左の4図に示されるのは海面水温と風の偏差。右図は降水量を表す

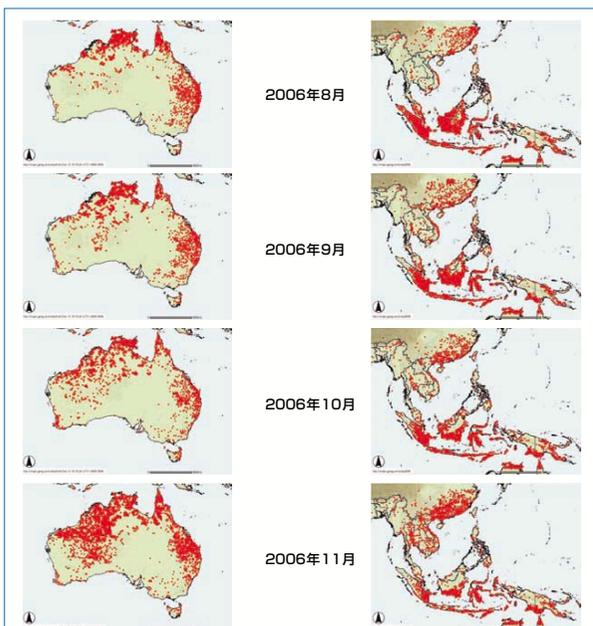


図3 IODによる乾燥が山火事を引き起こした
IODが発生すると、インドネシア周辺とオーストラリアは乾燥する。今回も山火事が多発し、さらに地球環境へ負荷を与えることになった。赤点が火事の発生日点

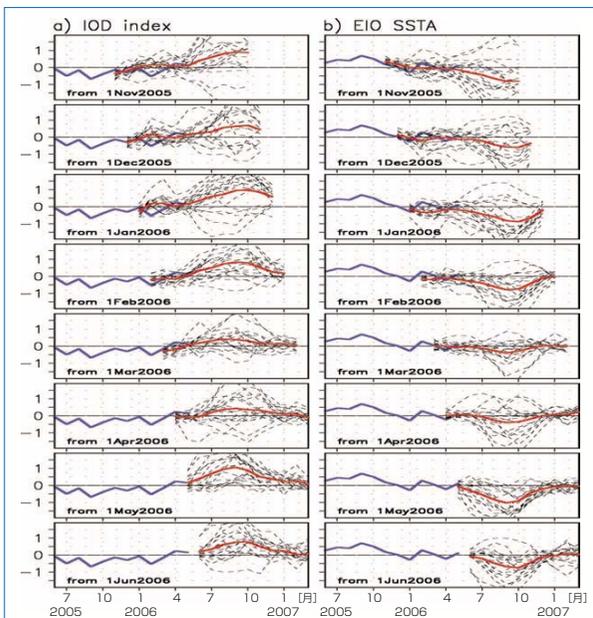


図4 SINTEX-F1を用いた予測結果
2005年11月1日から2006年6月1日まで1ヵ月ごとの予測を行った。左はIOD現象の強さを示す指数(西部と東部の平均海面水温の差)の予測で、プラスは正のIODを示す。青線は観測値、黒の点線はわずかな違いを与えた18種類の予測値、赤線が平均の予測値を示す

ないが、IODが起きた場合には、5~6月に発生し、10月頃にピークを迎えて、12月から翌年1月には衰退に向かうことが観測データから分かっている。

発見されて歴史が浅いIODの予測には、エルニーニョよりも困難な点が多い。まず、太平洋と異なり観測網が乏しいため、観測データそのものがない。これが予測を難しくしている。さらにIODはエルニーニョと比べると、他の様々な現象の影響を大きく受けている。北にヒマラヤ山脈を擁するユーラシア大陸と西にはアフリカ大陸が存在し、その海陸のコントラストで強い季節風が吹き、それが海流にも影響する。また、活発な積雲活動を伴う「季節内変動」と呼ばれる現象も存在し、それらが相互作用するため、さらに予測が難しくなっているのだ。

大気・海洋結合モデルによるIODの予測

JAMSTECは2005年から、「地球シミュレータ」を用いて、今まで誰もできなかったIODの長期予測に向けた実験を行ってきた。

コンピュータによる数値計算手法、すなわちシミュレーションを用いた予測の中でも、身近なのは天気予報だろう。天気予報は比較的短期間の予測であるため、大気のみでのシミュレーションで行うのが一般的だ。海は熱しにくく冷めにくいから、大気に比べ変化が非常にゆっくりで、3~4日くらいの予報なら計算に入れる必要がない。だが、大気と海の相互作用で起こるエルニーニョやIODの長期予報となると、大気のみでのシミュレーションでは予測できない。天気予報のシミュレーションとは異なり、大気の変化とともに海洋の変化も合わせて計算する手法「大気・海洋結合モデル」を用いる必要がある。現段階では、大気・海洋結合モデルで長期予測を行うことそのものが、難易度の高い研究課題でもあるのだ。

今回予測に使用したモデルは、EUとの共同研究で開発した先端の大気・海洋

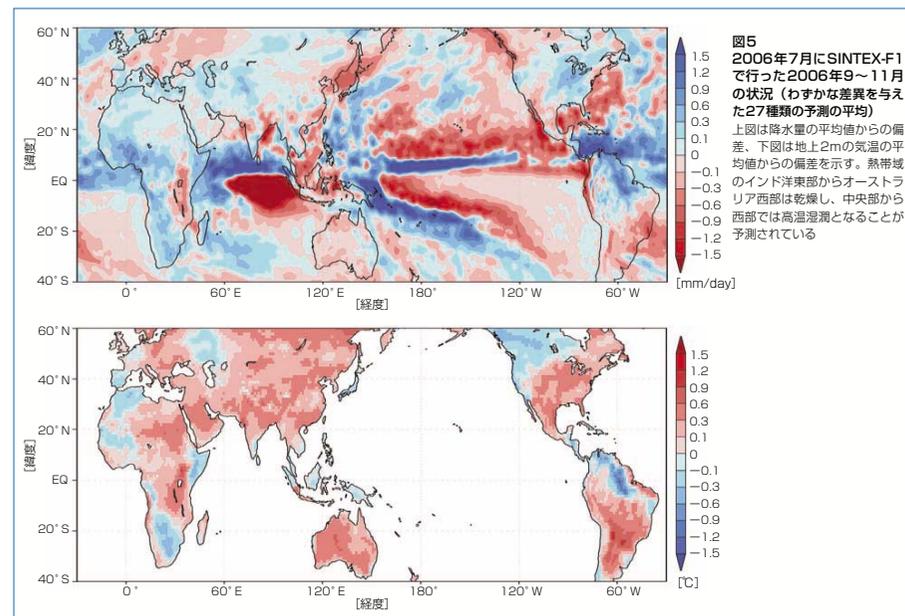


図5 2006年7月にSINTEX-F1で行った2006年9~11月の状況(わずかな差異を与えた27種類の予測の平均)

上図は降水量の平均値からの偏差、下図は地上2mの気温の平均値からの偏差を示す。熱帯域のインド洋東部からオーストラリア西部は乾燥し、中央部から西部では高温湿潤となることが予測されている

結合モデル(SINTEX-F1)である。SINTEX-F1はエルニーニョの予測でもよい結果を出して注目されている、最先端の結合モデルだ。SINTEXモデルはもともヨーロッパで開発されたものだが、F(フロンティアの頭文字)がFRONTIER/JAMSTECとの共同研究による改良版であることを示し、できるだけ高解像度で走らせるため「地球シミュレータ」で計算を行っている。

前述のように、インド洋では海洋の現場での観測データがほとんどない。大気・海洋結合モデルで予測を行うときには、海面のデータだけでなく海洋内部のデータ(初期条件)を入れることがたいへん重要であるが、海洋内部の観測データが非常に少ないため、今回の予測では人工衛星で観測した大気、海洋データを用いた。2005年の早い段階からSINTEX-F1による予測実験を開始し、2005年11月の時点で、2006年の秋にはIOD現象が発生することを予測。さらに2006年7月に行った予測実験でも、2006年9~11月にIODが発達することを予測した。

一般的に、気候予測では雨の降り方を予測するのは非常に難しく、早魃や洪水に早期に警笛を鳴らすのは困難とされていた。しかしこれまでのIODの研究から、東アフリカの洪水については非常に高い予測可能性があることが分かった。IODが発生すると、高い確率で東アフリカには大雨が降るからだ。2006年もIODの発生とともに、東アフリカでは深刻な洪水の被害が起きている。これまで、この地域の洪水もエルニーニョと関連付けて研究されてきたが、我々の研究によると、IODの影響の方がはるかに大きいことが分かった。

今後IODの長期予測によって、被害を最小限に抑える施策等も可能になると考えられる。

今後の課題と研究テーマ

今後は、結合モデルの高解像度化、衛星データの同化手法*の高度化など、さらにモデルの精度を上げていく予定である。また正確な予測には、初期条件として海洋内部のデータを採用する必要があるため、インド洋でもリアル

タイムの観測網を整備していくことが求められるだろう。長期予測によって災害に備えたり、農作物の作付けや保険関連への情報を提供するなど、経済活動への応用研究も大切である。

一方、エルニーニョもIODも、その予測で最も難しいのは、起きるきっかけとなるトリガー現象であり、それは気候変動より時間空間的な意味で小さな現象で、日々の天気現象や季節内変動等である。また、きっかけがあっても、成長するときもしないときもある。このようなトリガー現象までも早い段階で予測することは不可能であると思われるが、行すべき研究としては、高解像度SINTEX-F1によって、トリガー現象その他の小さなスケールを持つ現象との相互作用についての研究を進めることが重要であると思われる。人工衛星や海洋の現場の観測データ、シミュレーション精度の向上など地道な積み重ねが、正確な相互作用をモデルに反映させ、より正確な長期予測へとつながる道筋になるのである。

*同化手法: 複雑で大きなシステムのシミュレーションを行うときには、初期条件のわずかな誤差が、大きな結果のずれにつながってしまう。そこで人工衛星のデータやブイなどによる海洋観測データなど実際の観測値に基づいて、シミュレーションの初期条件を適切なものに調整し、より正確にシステムを再現するための方法をデータ同化という。気象学や海洋学の研究で多く用いられる

「海から学ぶ」 ～生物圏を支える微生物～

(2006年2月18日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第41回地球情報館公開セミナーより)

生物圏 (biosphere) という言葉は、1875年に地質学者のエドアルト・ジュース (1831-1914) が提唱し、1920年代に地球化学者ウラジミール・I・ベルナドスキー (1863-1945) が生態系の考えを取り入れた定義を生み出しました。生物圏では生物と環境の相互作用により生態系が動いています。生態系 (ecosystem) は生物圏という「家」の家計システムであり、生産・分解・再利用・循環という生態系の過程はまさに経済 (economy) そのものです。地球の生態系で動いている経済では、微生物が大きな原動力です。地球の歴史を振り返りながら、35億年前の深海底から始まり現在にいたるまで生物圏を支えてきた微生物についてお話します。



山本 啓之 グループリーダー
極限環境生物圏研究センター
海洋生態・環境研究プログラム

1983年に北海道大学大学院に海洋微生物の生態学で博士号を取得。その後、日本学術振興会の研究員、岐阜大学医学部助手、聖マリアンナ医科大学助教授を歴任。病原性細菌や温泉に生息する細菌などを研究。2002年に当機構に入所し、現在、極限環境生物圏研究センター海洋生態・環境研究プログラムグループリーダー

熱水噴出孔から始まる生物圏

地球が誕生したのは今から約46億年前、最初は熱でドロドロになった岩石の熱い塊でした。それが徐々に冷えて40億年くらい前に海ができたとされています。この時代の地層からは海が存在した痕跡が見つけれられています。その海から最初の生命が発生し、私たちにつながる生物

圏が形成されました。その後およそ30億年間は海洋が生物圏の中心でした。そこには微生物だけの世界が広がり、まだ多細胞生物は存在しませんでした(図1)。当時の生物圏の様子は、32億年前の堆積岩から発見された化石からも推測できます。発見された微小な化石は、太古の昔に生存していた生物体の炭素だけが

残されたものです。炭素を残すのは生物だけではありませんが、この炭素の安定同位体比率*を調べると、生物が体の中に取り込むときによく使う軽い炭素が多く含まれていました。さらに化石周辺の岩石にはたくさんの硫黄が含まれていたことなどから、この場所は当時水深2,000mの熱水噴出孔の近くであったことも明

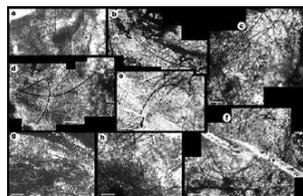
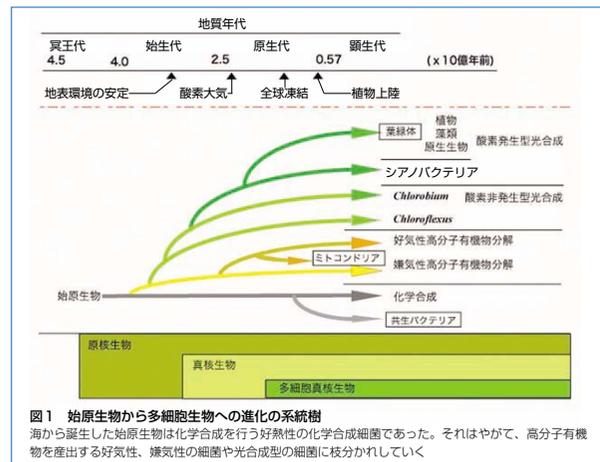


図2 最古の生物の化石
32億年前の微生物化石。黒く見える繊維が太古の微生物に含まれていた炭素
Rasmussen, B., 2000, Filamentous microfossils in a 3,235-million-year-old volcanic massive sulphide deposit. Nature, 405: 676-679

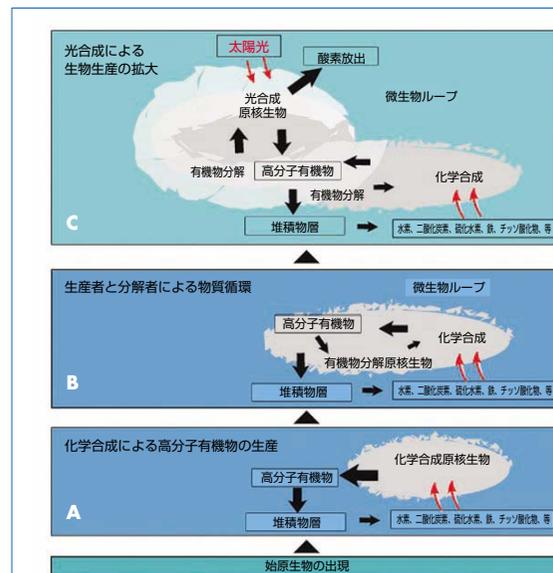


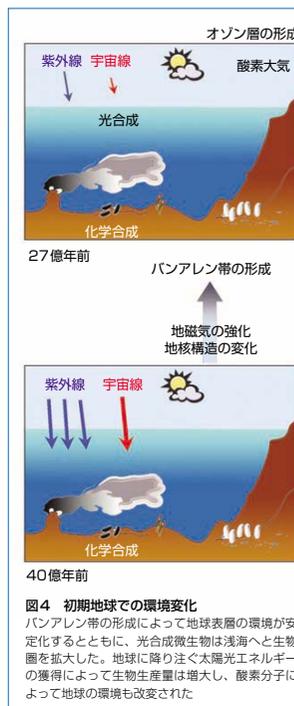
図3 エネルギー獲得の機能から見た生物の進化
生物はそのエネルギー獲得の手段の変化と共に生物圏を広げてきた。Aは地球内部のエネルギーと化学合成に依存する生物圏、Bは生産者と分解者という関係の中で循環する生物圏、Cは太陽からのエネルギーを利用した光合成による生物圏

らかにされました。これは現在知られている最古の生物化石のひとつです(図2)。

最初の生物圏が深海の熱水噴出孔に出現した第一の理由は、生息場所の安全性にあります。40億年前の地球では、太陽風の磁気を帯びた粒子、宇宙からの放射線(宇宙線)などが直に降り注ぎ、生命維持には厳しい環境でした。しかし、海底なら海水のシェルターで身を守ることができます。第二の理由は、安定したエネルギー源が確保できることです。それは、熱水に含まれている硫化水素や水素です。熱水噴出孔のまわりに生息した微生物(好熱性微生物)たちは、これらの物質をエネルギー源として利用する化学合成微生物でした。現在の生物から推定した分子進化系統樹をみると、最古の祖先に近い系統は、熱水や温泉などに生息する好熱性微生物ばかりです。このことから、私たちの祖先となる生物は熱水周辺で誕生した微生物だと考えられているのです。

エネルギー供給と生物圏の広がり

30~40億年前の生物圏に高分子の有機物は少なく、その代わりに地球の内部のマンツル対流が生み出す熱水活動が供給する様々な化学物質は豊富でした。これをエネルギー源として繁栄した化学合成微生物の生産物(細胞)は、やがて死骸となり有機物の堆積物となります。この堆積した高分子有機物は、次に出現した有機物を分解する新しい生物に利用されることとなります(図3-A)。生産者と分解者の出現、彼らには有機物を生産する生物とそれを分解する生物との間の循環システムを生物圏に持ち込みました。つまり、地球内部から一方的にエネルギーをもらい有機物を生産するだけの最初の化学合成生態系から、その有機物に蓄えられたエネルギーを他の生物が再利用するシステムへと進化したといえます(図3-B)。



次に現れたのは光合成による生物生産です(図3-C)。地球の生物圏は太陽光という地球外のエネルギーを使い始めます。光合成という二酸化炭素と水を原料に酸素を発生させる図式が浮かびますが、最初に出現したのは硫化水素などを使う光合成細菌で、彼らは酸素を出しません。この酸素をささない光合成細菌のなかで遺伝子伝播が起こり、新たな種類が出現しました。それが水を分解して酸素を放出する光合成細菌のシアノバクテリアです。これが27億年前ごろと考えられています。同じころ、地球内部の構造変化によって地磁気が強くなり、太陽風や放射線をはね返すパンアレン帯が地球の周りにつくられました。この磁場のシールドは、地表を安全な環境へと変え、光合成細菌の大増殖を後押ししました(図4)。この光合成細菌が大増殖した痕跡は、ストロマトライト化石や大理石また大規模

*安定同位体比率: C(炭素)は原子の重さによって¹¹C、¹²C、¹³C、¹⁴Cがある。このように原子番号が同じで質量の違う原子を同位体といい、そのうち安定な¹²Cと¹³Cの炭素の比率は化石の起源や物質の循環経路を知る手がかりとなる

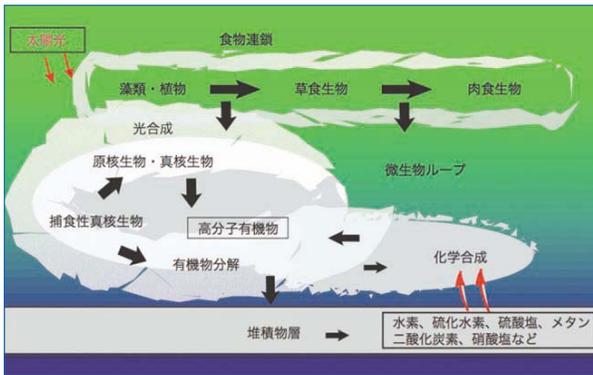


図5 食物連鎖と微生物ループ

海水や堆積物質に含まれる無機物を利用した化学合成細菌と、それを捕食する微生物たちの循環を微生物ループという。微生物ループは、一般的な生態系で見られる動物の食物連鎖（ループ）の基盤を作り上げてきた。体が大きく、寿命の長い多細胞生物（動物、植物）の出現は、生物体による物質を増加させ、炭素循環系における生物の影響が大きくなった

な鉄鉱床として世界中に残されています。やがて、放出された酸素は生物圏の様子を大きく変えていきました。酸素大気中でオゾン層が形成され始めたことも生物圏の拡大に一役かっています。また酸素の存在は真核生物[※]の誕生にも大きな役割を果たしました。

細胞内共生と生物進化

微生物は、真核生物が出現する段階で重要な仕事をしました。それは、細胞内共生による生物進化です。普通、共生というと腸内に共生する細菌などを思い浮かべますが、それは細胞外共生です。細胞内共生では、宿主の細胞の中に別の生物が入り込み特定の機能を提供します。長期にわたり世代をかけて姿や機能を変えるのではなく、すでに環境に適応した微生物を体内に取り込んで自分のものとし、手っ取り早く適応する方法といえます。この細胞内共生には、現在の動植物と深く関係した例が2つあります。1つは葉緑体、もう1つはミトコンドリアです（図1）。これらは現存の動植物の細胞内小器官として存在し、すでに独立した生物としての機能も失われています。しかし、元をたどれば27億年前に誕生した光合成細菌のシアノバクテリアや酸素を利用する好気性細菌だったのです。こ

うした細菌の子孫が細胞内にあることで、私たちも酸素大気のなかで生きることが出来ます。

単細胞の原核生物から誕生した真核生物は、やがてカンブリア紀に多様な多細胞生物を生み出します。真核生物の特徴のひとつが、捕食能力です。この捕食生物の出現は食べる側と食べられる側という食物連鎖を生み出しました。この後の生物圏では、敵から逃げる、獲物を捕らえるという視点から体の構造を変化させ

ることが、進化の要となり始めます。また、体の大きな多細胞生物は、微生物の新しい生息環境として利用されることにもなります。

微生物が支える生物圏

微生物は生物進化に大きく関わるとともに、食物連鎖の底辺を支える生産者としての役割も果たしてきました。食物連鎖において「微生物＝分解者」といわれます。それは間違いではありませんが、微生物は同時に生産者としても主役の位置を占めています。私たちが住んでいる地球の生物圏では、動植物が関わる食物連鎖とそれを支える微生物ループがあり、様々なスケールでの物質循環と協調することで生態系が維持されています。（図5）。生物生産での光合成と化学合成、物質循環での分解と交換、そこには微生物がかならず仕事をしています。

現在のサンゴ礁生物群集と熱水や冷湧水の化学合成生物群集、一見かけ離れた生物群ですが生物生産には共通した特徴があります（図6）。サンゴは自分でエサも採りますが、体内に光合成を行う褐虫藻という藻類を共生させてそこからも栄養分を得ています。同様に、熱水や冷湧水周辺に生息する二枚貝は、共生した化

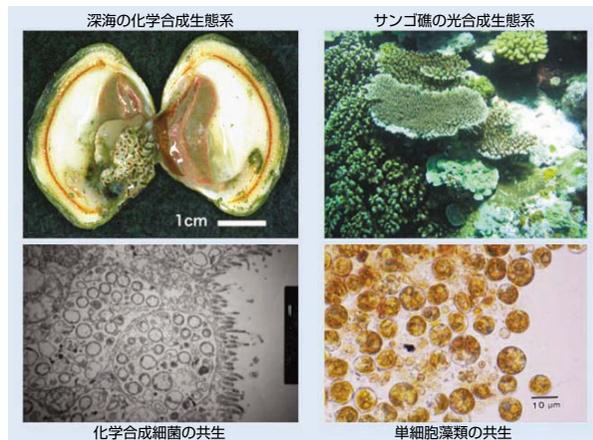


図6 異なる環境だがよく似た共生関係

左は深海の化学合成生物群集で見られるハナシガイという二枚貝と、そのエラに共生する化学合成細菌。右はサンゴ虫の細胞内に共生する褐虫藻

※真核生物：核膜に包まれた核を持つ細胞、真核細胞を持つ生物。←原核生物

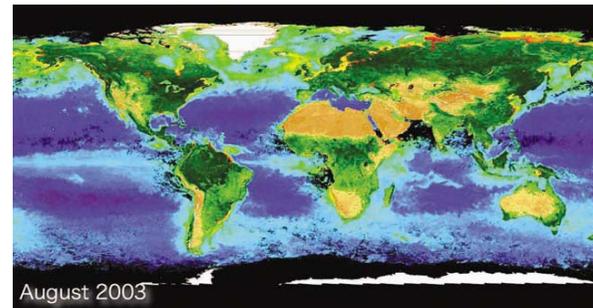


図7 海洋の光合成生産

人工衛星からみた2003年8月における海洋の光合成生産。北半球の極域や沿岸域の鮮紅色から緑色の海域ではクロロフィル量が多く光合成生産が活発である。太平洋や大西洋に広がる青色から藍色の海域では栄養塩類や微量元素が少なく光合成生産力が高い（NASA <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>）

学合成細菌により化学物質を栄養分として摂取することができます。どちらも、生息環境はまったく異なりますが、有機栄養に乏しいという環境条件は共通しています。効率のよいエネルギー獲得への試行錯誤の結果が、微生物との共生だったと考えられます。

海洋では、光合成生産の主役が単細胞植物プランクトンと海藻類です。太陽の光さえあれば地球上のどこでも光合成は可能ですが、実際には均等に生産されていません。人工衛星から見ると、光合成が活発なのは湧昇域や沿岸域であるこ

とがよく見えます（図7）。このような場所は栄養塩と呼ばれる光合成の原材料が豊富で、シアノバクテリアや珪藻など単細胞の植物性プランクトンが、光が到達する水深200mくらいまでの表層において光合成をしています（図8）。光合成によって生産された有機物は微生物に分解されながら海底へと落ちていきます（沈降フラックス）。その途中で動物に食べられて食物連鎖へ組み込まれます（生物ポンプ）。下まで落ちたものの一部は湧昇流などによって表層へと戻り再利用されます。海底にまで落下した物質は、堆

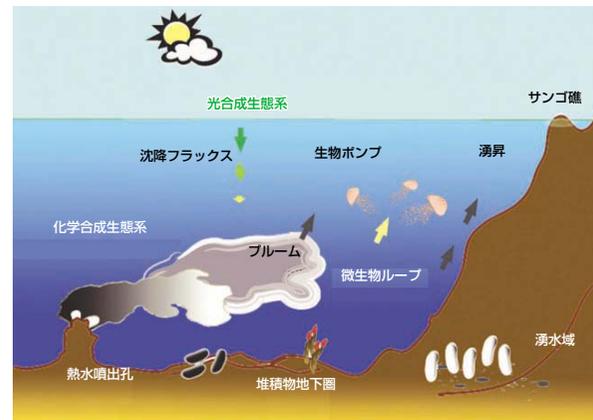


図8 海洋生態系の構造と物質の流れ

海洋の光合成生産物は重力に従い海底へと沈んでゆく。この下方への物質の流れを「沈降フラックス」と呼ぶ。「生物ポンプ」とは、沈降フラックスの過程で動物による捕食や微生物による分解などにより運び出される物質の流れを示す。生物が関与する過程では、食物連鎖や微生物ループなど、複数のメカニズムが働いている

積物層において長い時を経て分解され、やがては堆積岩へと姿を変え、マンテル対流へと沈み込みます。この沈み込んだ物質が生物圏へと戻るのはいく何千万年のサイクルかもしれません。微生物による日単位の周期から地球が生み出す何千万年の周期まで、長短様々なリズムが生物圏を動かしています。このシステムをすべて理解するには、まだ時間が必要です。

海から学ぶこと

私たち人間は、生物のなかで唯一、衣服や家を使って環境に適応することができます。しかし、様々な物質を消費して生息圏を広げすぎて環境に深刻な影響も与えています。悲しいことに水深6,000mの深海にも人間界のゴミがたくさん見つかります（図9）。目に見えるゴミだけでなく、目には見えない人工化学物質も海から検出されています。1992年に催された地球サミットで12歳の女の子がスピーチをしました。そのなかに「どうやって直すのかわからないもの（地球）を、こわしつづけるのはもうやめてください」という言葉がありました。私たちは、この少女の言葉を忘れることなく、海から多くを学ぶべく、研究を進めていきたいと思えます。



図9 深海底に吹きだまるゴミ
潜水調査船などで深海に潜ると、コンビニの袋や空き缶がたくさん見つかる（日本海溝・三陸沖 6,480m 1991年7月）

Topics

第5回深海バイオフィォーラム 極限環境生物資源とその新たな可能性を探して

長い間、温泉や地底、深海や海底下などは温度や圧力条件が厳しいため、生物は生息できないと考えられてきた。しかし、ここ10年そのような極限環境に生息する「極限環境生物」や有用な酵素を生産する微生物が次々に発見された。それら極限環境生物に関する研究成果を産業界へ橋渡しするために設立されたのが「深海バイオフィォーラム」である。

2006年11月8日、東京都港区の笹川記念会館で、「第5回深海バイオフィォーラム」(主催：海洋研究開発機構(JAMSTEC))が開催された。今回は、極限環境生物研究で活躍する6人の研究者の研究成果講演に加えて、2006年7月、日本学士会賞を受賞した極限環境生物圏研究センター(XBR)の掘越弘毅センター長の記念講演が盛り込まれた。

参加者は145人にのぼり、参加企業者数は56社から80人が参加した。分野としては、化学、バイオ、医療、食品業界が多数を占めるほか、機械、ベンチャー、飲料、コンピュータ、通信などの業界からの参加もあり、極限環境生物の注目の度合いが多岐にわたることが分かる。

極限環境微生物学の父「掘越弘毅」

今回のフォーラムで高い関心を集めたのは、掘越センター長による、「好アルカリ性微生物の発見とその生理および応用に関する研究」と題した日本学士会賞受賞記念講演であった。

この賞は、日本の学術賞の中で最も権威ある賞で、特にすぐれた論文や著書、研究業績に対して日本学士会が授賞するものである。掘越センター長は、カビの酵素や、pH10以上の高アルカリ性細菌を世界で初めて発見した。さらにアルカリセルラーゼが繊維の奥の汚れを落とす性質を持つということを発見し、それを使用した洗濯用洗剤の大ヒットにつながった。さらには、ねりわさびなどに用いられるに至ったシクロエキストラの工業化など多くの実績をあげ、「極限環境微生物学」の分野を開拓した第一人者として広く知られている。日本微生物学会を設立し、その初代会長を務め、1987年の紫綬褒章をはじめ多くの受賞歴を持つ。現在では、地殻内・深海生物にまで分野を広げて、人材育成にあたった。

そんな掘越センター長の大成功の陰には、理化学研究所の研究員時代に成果が出ずに苦しんだ時期があった。その頃、欧州へ渡



145名の参加で会場は満席となった

りフィレンツェの町並みを眺めながら東西の文化の違いのように、微生物にも異なる文化があってもおかしくないと感じたという。当時誰も試みなかったアルカリ性下での微生物の培養を思いつき、帰国後、理化学研究所の庭の泥のサンプルをとり、アルカリ下での培養を試みた。翌日にはすべてのサンプルに微生物が生えており、そのpHは10というとんでもない発見をしたと当時の様子を語った。その後、さまざまな泥から好アルカリ性細菌が発見され、ついには新規酵素を30種類以上も見つけたのである。

中部沖縄トラフ熱水活動における熱水孔微生物圏掘削や、地球外生命の可能性と生命の起源、海底の超臨界状態についてなど掘越センター長の次なる課題と興味はつきない。最後に、「人は進歩しているときは苦しむものだ」(ゲーテの言葉)として、「物事を考える際の最大の障害はそうあるはずだと思ひ込み、それを信じてしまうこと」(バズツールの言葉)をメッセージとして会場の参加者らに贈った。

極限環境微生物の新規性質と産業への可能性

XBR・極限環境生物展開研究プログラムの出口茂グループリーダー(GL)は「ナノ材料を用いた有用微生物資源の探索」と題し、超臨界水研究の過程で見出した新材料、特にフラーレンのナノ粒子化技術とナノ構造セルロースについて講演した。地球上で最大のバイオマスであるセルロースは、水に溶けず、分解されにくい、力学強度が高いなどの特性から、紙や建材に古くから利用されてきている。出口GLらは高温・高圧処理や微生物を利用して、セルロースから、いかに構成要素のグルコースを取り出すかに注



掘越弘毅センター長・記念講演の様子。金閣寺とルネサンスの建物を例に、東西の文化の違いのように、微生物にも異なる文化があってもおかしくないと感じたエピソードを語った

目。250気圧という圧力をかけた釜のなかでは、320~330℃でセルロースもお米のように炊くことができることや、微生物が食べやすいように細かく刻むことで、セルロース分解菌を効率よく探索できることが分かった。今後、このセルロース素材と深海微生物資源を組み合わせることにより、新規で強力なセルロース分解菌の取得が期待され、新たなバイオエタノール生産技術の確立に一役買えることができるかもしれない。

産業技術総合研究所・深部地質環境研究センターの鈴木庸平研究員は、「鉄の鱗をまとう深海熱水噴出孔巻貝(スケリーフット) - カンブリア大爆発との接点」について講演した。この巻貝は、足に強い磁性を持つ硫化鉄の鱗をもつ極めて珍しいもので、化学合成系生物である。この鱗は人間でいうツメのようなもので、物性強度測定により非常に固く弾力性のある外部骨格としての機能を有していることが明らかになった。この特徴が生物の進化の過程で最適化した理由や、カンブリア爆発との接点について述べた。この硫化鉄を構成する硫黄は、体内でバクテリアがエネルギー源として用いるほか、鱗として分泌していることが硫黄安定同位体組成から推察され、鉄のほうは外の熱水噴出孔から直接取り込んでいることが示唆された。

XBR・地殻内微生物研究プログラムの高井研プログラムディレクター(PD)は「熱水を通してみる深海-地殻内微生物の世界」について独自の仮説を論じた。1977年、米国の深海探査船「アルビン」が東太平洋の海底に生物群集を発見した。その後、海底下や地底、温泉などの極限環境に次々と生物が確認され、「生命は熱水から生まれた」と説く「地球を食べる生態系」説が唱えられた。

温泉やその生態系にも種類があるように熱水にも種類があることが分かっている。そこで高井PDは、我々の先祖につながる生命が誕生した熱水がどこなのかを探っており、近年、超マフィック岩-熱水活動-水系-ハイパースライムのつながりに着目した新しい仮説を構築した。超マフィック岩とは上部マントルにある岩石であり、ハイパースライムとは、「超好熱性地殻内化学合成独立栄養性微生物生態系」を意味するという。仮説を検証するため、これらの条件を満たす場を探していたところ、インド洋の「かいれいフィールド」にたどり着いた。40億年前の地球環境を実験室に再現する日も近いかもしれない。

XBR・地殻内微生物研究プログラムの稲垣史生サプリーダー(SL)は「地球内部の生命活動について-海底下生命圏研究の最前線」と題し、液体二酸化炭素プールの性質をはじめとする海底下生命科学に関する知見を紹介し、その地球科学的意義や今後の展開について述べた。深海の微生物はどのように二酸化炭素を食べているのか現場観測したいと稲垣SLは述べ、さらに火星の極冠にも二酸化炭素や氷が存在することから地球類似の微生物場所が形成されていてもおかしくないと考察する。また、IODPの3大重要科学目標の1つにもなっている「海底下生命科学」の分野は代謝や物質循環、エネルギーフラックス、遺伝子進化や伝播など未解明な課題が多く、IODPへの日本の積極的な参加と研究者人口の増強、そして基礎科学から応用科学への結びつきが肝心だと述べた。

XBR・深海バイオ事業化推進計画の小林徹プロジェクトディレクターは、「可能性を秘めた極限環境微生物たち」と題して、アルカリ塩湖由来のセルラーゼや深海由来のアルギン酸分解酵素、コンドロイチン硫酸分解酵素など具体的な酵素の特徴を紹介し、「ふるい分けの方法に工夫を加えれば微生物は応えてくれる。深海・地殻は宝の山だ」と述べた。現在、JAMSTECでは5,050種の微生物の分離菌を保存しており、企業からのニーズに合致した共同研究や試験研究を通じて産業界への支援や貢献を目指している。産業用酵素としては食品加工用、洗剤用の酵素が大きな市場を形成している。我々の気づかない所で生活に密着した有用な酵素が開発され、工業生産されている。

深海起源の酵素が我々の生活を豊かにし医療へも貢献するのは、10年前の我々には想像もつかなかったことである。今後の産業化でさらなる新しい世界が広がることに期待したい。

Topics

深海巡航探査機「うらしま」が『今年のロボット』大賞2006の優秀賞を受賞

ホームページ：<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/whatsnew/robotaward2006/index.html>

海洋研究開発機構（JAMSTEC）が開発している深海巡航探査機「うらしま」が、『今年のロボット』大賞2006の優秀賞に選ばれた。『今年のロボット』大賞2006は、経済産業省が今年度、新たに創設したもので、日本のロボット産業を世界をリードする新産業のひとつに成長させるための取り組みのひとつ。その年に活躍し、かつ、将来の市場創出への貢献度や期待度が高いと考えられるロボットやその部品に対して賞が与えられる。今回の応募総数は152件。優秀賞は異なる4つの部門から計10件が選出され、「うらしま」は「公共・フロンティアロボット部門」での受賞となった。

受賞理由としては、特にその慣性航法と音響航法を融合し深海での長時間潜航を実現した点、また、水素と酸素から発電する閉鎖式燃料電池の使用を深海ロボットとして初めて実用化した点があげられている。「うらしま」を開発した海洋工学センター海洋技術研究開発プログラム自律型無人探査機技術研究グループ岡 哲サプリーダによると、やはり開発で苦労したのはこの閉鎖式燃料電池だったという。水素と酸素を使って発電する燃料電池は自動車などでも実用化が進められている。しかし、海中では陸上と異なり水素と酸素を大気中に開放できず、燃料電池内部で生成される水や不純物の蓄積を避けるために構造が複雑になる。また、燃料の水素の貯蔵には、新たに開発された水素を吸蔵する性質のある新合金を使用したが、これは貯蔵した水素を温めることによって放出するため、深海の低温環境で使うために保温の問題も解決しなければならなかったようだ。



深海巡航探査機「うらしま」は2005年2月26日から28日にかけて実施した連続航走試験で、航続距離の世界記録を達成した

「うらしま」は1998年からJAMSTECが開発を続けている自律型の深海探査ロボットで、機体に内蔵したコンピュータにあらかじめ設定されたシナリオに従って、自分の位置を計算しながら航走することができる。2005年2月28日には、世界で初めて燃料電池を搭載した自律型無人機として、世界記録となる連続航走距離317kmを達成した。その後、「うらしま」は科学調査の期待に応えるために地球内部変動研究センター、極限環境生物圏研究センター、地球深部探査センター、東京大学海洋研究所、産業技術総合研究所の研究者と協力して三重県沖の熊野トラフの泥火山や相模湾の深海底の調査を試験的に実施している。その結果、海底下のメタンハイドレートや海底表面の地形探査などに有効なデータを取得しており、今後の活躍が期待されている。

今回の受賞で、国立科学博物館「MONODZUKURI EXHIBITION(ものづくり展)」(2007年1月16日～2月18日開催)でも「うらしま」の模型が展示された。



燃料電池はチタン合金製の容器に格納され「うらしま」に搭載されている



開発者を代表して『今年のロボット』大賞優秀賞の表彰を受ける月岡サプリーダ

海洋地球百科事典

●ハイパー海洋地球百科事典：
<http://www.jamstec.go.jp/opedia/index.html>

マントルとは

取材協力：
亀山 真典 研究員
地球シミュレーションセンター
計算地球科学研究開発プログラム
固体地球シミュレーション研究グループ

人間は地球の表面に暮らしているが、我々の足の下に広がる地球の内側はどのようなになっているのだろうか。地球の内部は、地表から地殻、マントル、コアと呼ばれる3つの領域に分かれている。ニワトリの卵になぞらえれば、殻が地殻、マントルが白身、コアが黄身の部分に相当する。

マントルは地表から、平均して深さ30～2,900kmの間にあり、地球全体の体積の約80%以上を占める。マントルは主に「かんらん石」というオリブ色の岩石から構成されている。岩石だから固体なのだが、非常にゆっくりとしたスピードで、絶えず流れている。固体が流れるという、おかしな感じがするかもしれないが、非常に長い時間スケールでみると、固体も液体のように流れる状態、つまり「流体」になり得るのだ。たとえば、高緯度域にある「氷河」では、文字通り固体の水が、長い時間をかけてゆっくりと流れている。

よくマントルはマグマと同じものと誤解されるが、マグマはマントルの一部が融けて液体となったものだ。海底や地表に噴出し、冷えて固まると玄武岩となる。マグマは液体なので、流れ方もマントルとは比較にならないほど速い。マントルが流れるときの粘り気の強さは、マグマと比べて10兆倍をはるかに超えるほど粘り気が強い。マントルはあくまでも固体のまま、人間の時間では把握できないくらい非常にゆっくりと動いている。数百万年スケールの時間を縮めて見ることができれば、マントルの流れを目にすることができるだろう。

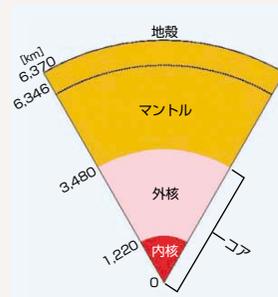
マントルが流れるのは、地球内部に蓄えられた熱が、地表から冷たい宇宙空間に放出されるため、そこに「対流」が起きるからである。ちょうどやかんでお湯を沸かすと、やかんの中の水が上下に対流するのと同じ原理だ。やかんの水を熱する熱源に当たるのが、地球内部の熱だ。そのうち8割はマントルそのものによる発熱（内部発熱）で、残る2割は地球が誕生した時に生じた熱と考えられている。マントルの温度は3,000～4,000℃と見積もられているから、非常に熱い岩石である。

ところで、マントルの動きはゆっくりすぎて、人間の目ではとうてい捉えられないのに、対流しているとなぜ分かるのだろうか。その間接的な証拠となるのが、地球表面のプレート運動だ。地球表面は数十枚のプレート（硬い岩盤）で覆われており、お互いに違う方向に動いている。そしてプレートがぶつかり合ったり、すれ違ったりするところで、地震や火山活動が起きる。このプレート運動が、マントル対流の地表への現れなのだ。GPS等の最新技術を用いて直接計測した結果、プレート運動のスピードは、最も速いところでも年間約10cmくらいであり、マントルの流れる速度も、これとほぼ同じであると考えられている。

また、地震波で地球の内部を観測すると、日本列島の下にプレートの沈み込んだ残骸らしきものや、ハワイ島やタヒチ島の下にマントルの上昇流を思わせる特徴がみられ、マントルの内部で起こっている対流の様子の一部が推測できる。し

かし、実際にどのような対流をしているのか、特に深さ2,900kmというマントルの底部分での動きがどのようなものなのかについては、まだほとんど分かっていない。

現在、数値シミュレーションを活用し（裏表紙に関連記事）、マントル対流の研究が進行中だ。今後、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削で、上部マントルを構成する岩石を採取する計画もある。そこで得られた新たなデータを使ってシミュレーションを行うことで、マントルの全体像解明へとさらに近づくことが期待されている。



地球内部は、地殻、マントル、コアからなる



マントルは主にかんらん石と呼ばれる緑色の岩石できている
■撮影/阿部なつ江（地球内部変動研究センター）

プレゼント Present



JAMSTEC オリジナルカレンダー (2007年度版)

ご好評をいただいている「JAMSTECオリジナルカレンダー(2007年版)」ができました。いよいよ活動を開始した地球深部探査船「ちきゅう」、インド洋で採取された鉄のウロコを持つ貝「スケリーフット」、地球シミュレータによるシミュレーション画像、今号でもご紹介した「しんかい6500」の深海調査の様子など、JAMSTECならではの美しい写真が12枚。お部屋のアクセントにもなる大きく見やすいB4サイズです。今回はこの「JAMSTECオリジナルカレンダー(2007年版)」を抽選で5名様にプレゼントいたします。

■応募方法 ハガキ、メールどちらも、1. プレゼントの品名、2. 氏名、3. 住所(郵便番号含む)、4. 年齢、5. 職業(学生の方は学年)、6. 電話番号、7. いちばん興味を持った記事、8. 「Blue Earth」へのご意見・ご希望を明記の上、下記までご応募ください。応募締め切りは、2007年2月28日(水)です(ハガキの場合は当日消印有効)。なお、当選者発表は、発送をもってかえさせていただきます。

〈ハガキ〉
〒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
海洋地球情報部 広報課
「Blue Earth」編集室プレゼント係
〈メール〉
info@jamstec.go.jp
「Blue Earth」編集室プレゼント係

※お預かりした個人情報、プレゼントの発送または確認のご連絡のために利用し、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。

「Blue Earth」定期購読のご案内

定期購読のご案内 URL:
<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/publication/order.html>

定期的にお手元に届く「定期購読」をご利用ください。お申し込みは、以下の内容を明記のうえEメールかFAX、もしくはハガキにてお願い致します。購読するためには、定価(1冊300円)+送料(実費)が必要となります。(当機構指定口座への振込の場合は、その手数料もご負担いただきます)

● 支払方法

お申し込み後、請求書をお送りいたしますので、請求書に従ってご入金をお願いします。ご入金を確認次第、商品をお送りいたします。(請求書発行日の翌月末までの平日に限り、横浜図書館でも請求書持参のうえでお支払いいただけます。その際は手数料は必要ありません。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 海洋地球情報部 広報課 「Blue Earth」編集室
TEL: 045-778-5440 FAX: 045-778-5484
E-mail: info@jamstec.go.jp

※定期購読は申込日より発行される号から年度最終号の3-4月号までとさせていただきます。申込日以前に発行されたバックナンバーの購読をご希望の方はあらかじめお問い合わせください。
バックナンバー参照URL: <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/publication/index.html>
※1年度あたり6回発行
※お預かりした個人情報、Blue Earth の発送や確認のご連絡等に利用し、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。

郵便番号・住所・氏名・所属機関名(学生の方は学年)・TEL・FAX・E-mailアドレス・定期購読を希望する刊行物名(海と地球の情報誌「Blue Earth」)



JAMSTECメールマガジンのご案内

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

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

海と地球の情報誌「Blue Earth」第19巻第1号(通巻第87号)2007年1月 発行
編集人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課 柴田 桂
発行人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 瀬澤 隆俊
アートディレクター 前田和則(株式会社ミュール)
表紙: 本文デザイン 山田浩之(株式会社ミュール)
編集協力 滝田よしひろ/山崎玲子/秋谷美也子/荒船良孝/森洋子/新井真由美/柏原羽美(株式会社ミュール)
制作 株式会社ミュール

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀野町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3173-25 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2-200 TEL.088-864-6705(代表)
東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900(代表)
国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県糸満市豊原224番地3 TEL.0980-50-0111(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
Seattle Office 810 Third Avenue Suite 730 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543 FAX.+1-206-957-0546

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

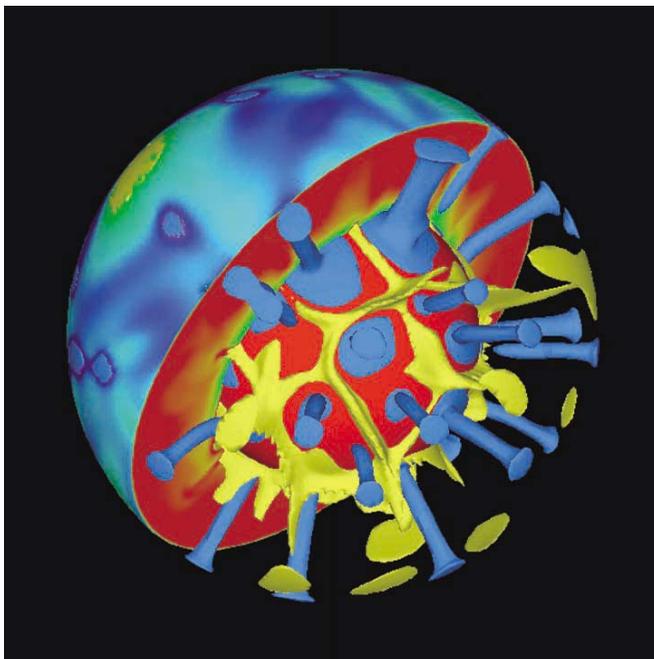
※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

賛助会(寄付) 会員名簿

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、寄付をいただき、支援していただいております。(アイウエオ順)

平成18年12月末現在

| | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 株式会社 アイ・エイチ・アイマリンコナインテッド | 財団法人 塩事業センター | 日本海洋株式会社 |
| アイウ印刷株式会社 | 有限会社 システム技研 | 株式会社 日本海洋科学 |
| 株式会社 アクト | シナナ株式会社 | 日本海洋掘削株式会社 |
| 株式会社 アサツデー・ケイ | 清水建設株式会社 | 日本海洋計画株式会社 |
| 株式会社 浅沼組 | 株式会社 商船三井 | 日本海洋事業株式会社 |
| アジア海洋株式会社 | 昭和ベトリウム株式会社 | 社団法人 日本ガス協会 |
| 石川島播磨重工業株式会社 | 社団法人 信託協会 | 日本興亜損害保険株式会社 |
| 泉産業株式会社 | 新日鉄エンジニアリング株式会社 | 日本サルヴェージ株式会社 |
| 株式会社 伊藤高屋瓦斯容器製造所 | 新日本海事株式会社 | 社団法人 日本産業機械工業会 |
| 栄光電設株式会社 | 須賀工業株式会社 | 日本水産株式会社 |
| エヌケーケーシステムレス鋼管株式会社 | 鈴鹿建設株式会社 | 日本電気株式会社 |
| 株式会社 江ノ島マリンコーポレーション | スプリングエイトサービス株式会社 | 日本飛行機株式会社 |
| 株式会社 NTTデータ | 住友電気工業株式会社 | 日本ヒューレット・パカード株式会社 |
| 株式会社 エヌ・ティ・ティファシリティーズ | 清道建設株式会社 | 日本無線株式会社 |
| 株式会社 MTS 雪氷研究所 | セナーアンドバーズ株式会社 | 日本郵船株式会社 |
| 株式会社 OCC | セントラル・コンピュータ・サービス株式会社 | 株式会社 間組 |
| オートマックス株式会社 | 株式会社 総合企画アンド建築設計 | 株式会社 ハナサン |
| 沖電気工業株式会社 | 株式会社 損害保険ジャパン | 濱中製鋼工業株式会社 |
| 株式会社 オークービーリアルティシステム | 第一設備工業株式会社 | 東日本クボポート株式会社 |
| 株式会社 海洋総合研究所 | 大成建設株式会社 | 株式会社 日立製作所 |
| 海洋電子株式会社 | 大日本土木株式会社 | 株式会社 日立プラントテクノロジー |
| 株式会社 化学分析コンサルタント | ダイハツディーゼル株式会社 | 深田サルマージ建設株式会社 |
| 鹿島建設株式会社 | 太陽日酸株式会社 | 株式会社 フジクラ |
| カナダ株式会社 | カナダ株式会社 | 富士ゼロックス株式会社 |
| カヤバシステム マシナリー株式会社 | 川崎設備工業株式会社 | 株式会社 フジタ |
| 川崎設備工業株式会社 | 株式会社 川崎造船 | 富士通株式会社 |
| 株式会社 環境総合テクノス | 株式会社 環境総合テクノス | 株式会社 竹中土木 |
| 株式会社 関電工 | 株式会社 キュービック・アイ | 株式会社 地球科学総合研究所 |
| 株式会社 キュービック・アイ | 共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社 | 中国塗料株式会社 |
| 共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社 | 共立管財株式会社 | 株式会社 館見精機 |
| 極東貿易株式会社 | 株式会社 きんでん | 株式会社 テザック |
| 株式会社 きんでん | 株式会社 熊谷組 | 寺崎電気産業株式会社 |
| 株式会社 熊谷組 | 株式会社 クロスワークス | 電気事業連合会 |
| 株式会社 クロスワークス | 株式会社 グローバルオーシャンディベロップメント | 東亜建設工業株式会社 |
| 株式会社 グローバルオーシャンディベロップメント | ケイジーケイ株式会社 | 東海交通株式会社 |
| ケイジーケイ株式会社 | 京浜急行電鉄株式会社 | 洞海マリンシステムズ株式会社 |
| 京浜急行電鉄株式会社 | ケー・エンジニアリング株式会社 | 東京海上日動火災保険株式会社 |
| ケー・エンジニアリング株式会社 | KDDI株式会社 | 東京繊維繊維ロープ株式会社 |
| KDDI株式会社 | 株式会社 ケンウッド | 東北環境科学サービス株式会社 |
| 株式会社 ケンウッド | 神戸ペイント株式会社 | 東洋建設株式会社 |
| 神戸ペイント株式会社 | 国際気象海洋株式会社 | 株式会社 東陽テクニカ |
| 国際気象海洋株式会社 | 国際警備株式会社 | 東洋熱工業株式会社 |
| 国際警備株式会社 | 国際石油開発株式会社 | 飛鳥建設株式会社 |
| 国際石油開発株式会社 | 国際ビルサービス株式会社 | 有限会社 長澤工務店 |
| 国際ビルサービス株式会社 | 小倉興産株式会社 | 株式会社 中村鉄工所 |
| 小倉興産株式会社 | 五洋建設株式会社 | 西芝電機株式会社 |
| 五洋建設株式会社 | 相模運輸倉庫株式会社 | 西松建設株式会社 |
| 相模運輸倉庫株式会社 | 三建設工業株式会社 | 日南石油株式会社 |
| 三建設工業株式会社 | 株式会社 ジー・エス・ユアサ テクノロジー | 日油技研工業株式会社 |
| 株式会社 ジー・エス・ユアサ テクノロジー | | 株式会社 日産クリエティブサービス |
| | | ニッスイマリン工業株式会社 |
| | | ニッセイ 同和損害保険株式会社 |
| | | 日本SGI株式会社 |



マンテル内の対流運動シミュレーション
中心の赤い球は外核の表面を示す
(地球シミュレーションセンター 固体地球シミュレーション研究グループ 提供)

複雑極まりないマンテル対流の謎に数値実験で迫る

地球内部のマンテルの動きを把握するのは非常に難しい。地球を輪切りにはできないし、マンテルの流れる速度がゆっくりすぎて、人間の時間スケールでは観測できない。室内実験での再現も困難である。尋常ではない粘り気の強さ、内部加熱という、きわめて特殊な性質があるからだ。さらにマンテルは、温度と圧力によって物質の結晶構造が変化する。これを「相転移」^{*1}という。地球内部へ向かうにつれて、マンテルの主成分であるかんらん石は、固体のまま何度か相転移を起こす。相転移を起こすとマンテルの密度が変わり、浮力も変わって流れ方も変化する。このように流体として極めて複雑な性質を持つマンテルの対流運動を解明するには、数値シミュレーションが唯一の手段なのだ。

上の画像は、内部加熱のある対流モデルのシミュレーションである。黄色は周囲のマンテル（その深さでの平均温度）よりも温度が高くマンテルが上昇している部分、青は温度が低くマンテルが下降している部分を示す。上昇流が面的につながっているのに対し、下降流は円筒状に落ちている。実際の地球ではおしる冷やされたプレートが板状に上から沈み込み、高温のブルーム^{*2}が円筒状に上がってくるのだが、内部加熱だけのモデルではそれを再現できていない。もう一つ、相転移のみを入れたモデルのシミュレーションも行われている。このように、マンテルの性質から予想される複雑な諸条件をひとつずつ入れたモデルを作り、それらの条件がどのように影響するかを解明中だ。これは、全部の条件を重ね合わせたシミュレーションを将来可能にするための、大事な過程である。

*1 相転移：温度、圧力など外的な変化によって、物質の組成はそのままであっても結晶構造が変化する。上部マンテルの主成分、かんらん石は地球深部へいくにつれて、スピネル型、ペロブスカイト型、ポスト・ペロブスカイト型へと構造が変わる

*2 高温のブルーム：ホットブルームとも呼ばれる。この図では、深さ約2,900kmのマンテルと核の境目から発生する、高温になったマンテル成分の上昇のことをいう

(取材協力：亀山 真典 研究員 地球シミュレーションセンター 計算地球科学開発プログラム 固体地球シミュレーション研究グループ)