

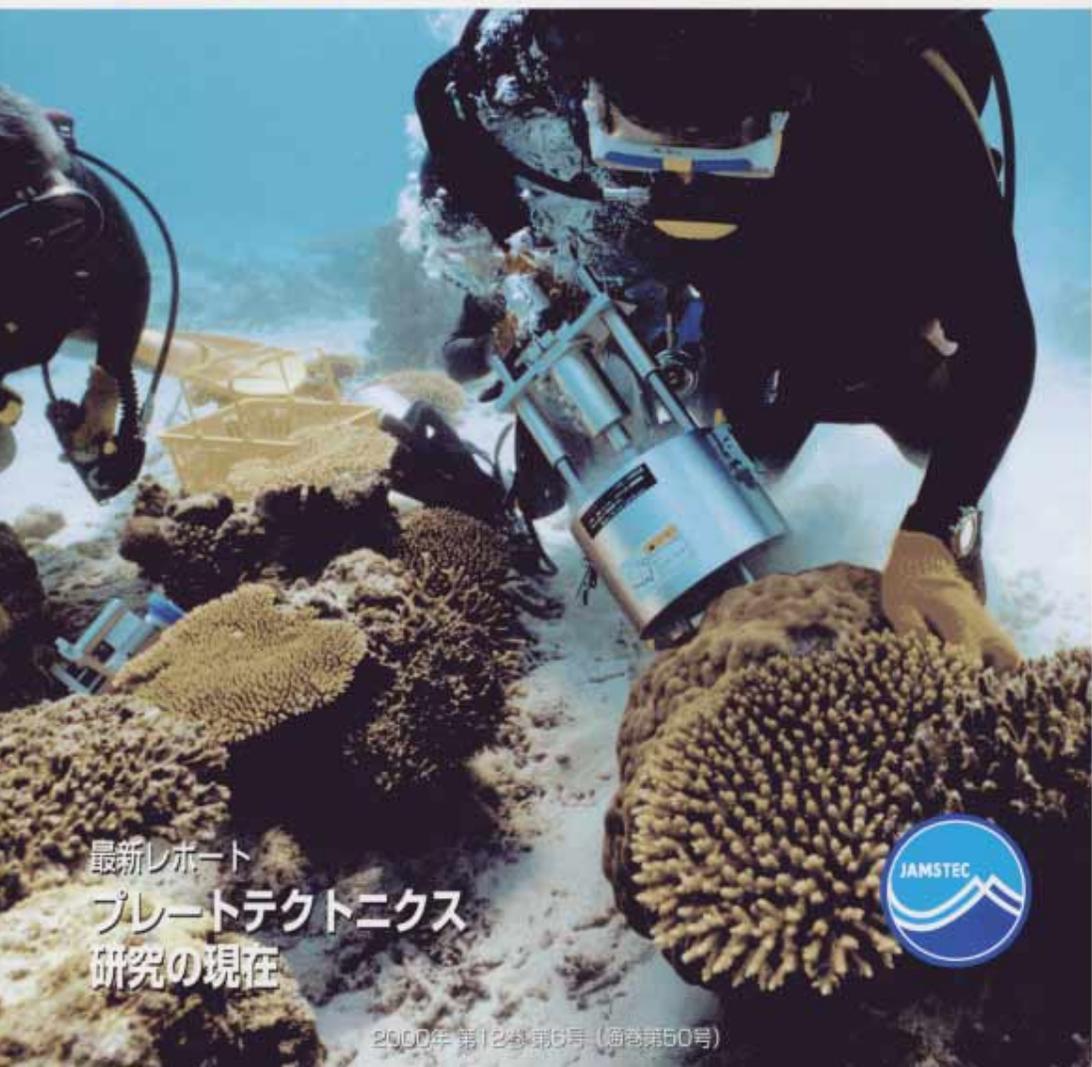
# Blue Earth

海と地球の情報誌

Japan Marine Science and Technology Center

特集  
最新テクノロジーが解明する  
海洋生物の世界

11・12月号  
2000



最新レポート  
プレートテクトニクス  
研究の現在



# Blue Earth

海と地球の情報誌 / Japan Marine Science and Technology Center

2000年 第12巻 第6号 (通巻第50号)



生きたサンゴからコアサンプルを取得するために開発されたマイクロボーリング装置。サンゴへの影響を最小限に抑える工夫がなされている。サンプルの年輪解析や元素分析を行うことによって、サンゴの過去の健康状態を知ることができる。

[ 表紙 ・ 裏表紙 ]

## 特集 最新テクノロジーが解明する海洋生物の世界

- 深海に生きる不思議な生物たち — 2
- 超高感度ハイビジョンカメラがとらえる深海の姿 — 12
- サンゴ礁研究と観測技術の開発 — 16

## REPORT

- プレートテクトニクス研究の現在 — 18

## MEMORIAL SHOT

- 深海底に眠る大自然のオブジェ — 22

## INTERVIEW

- 直井 純研究員 (情報管理室) — 24

## FACE

- 橋 光子さん (経理部 財務課 出納係長) — 28

## 30 — JAMSTEC JAM

- [NEWS] 氷海観測用小型漂流ブイ (J-CAD) データが示す北極海の海洋変動
- [NEWS] 音響トモグラフィーにより、ラ・ニーニャの終息時の海流変化を観測
- [NEWS] 北の海の研究拠点「むつ研究所」、10月より発足
- [INFORMATION] 情報管理室「資料室」の一般利用について
- [GOODS] オリジナルピンバッジ
- [BOOK] 「水と空気の100不思議」(左巻 健男 編著)

[ 編集後記 ]

# 深海に生きる不思議な生物たち

深海の厳しい生活環境に適応して暮らす  
多彩でユニークな海の生き物たち

取材協力者

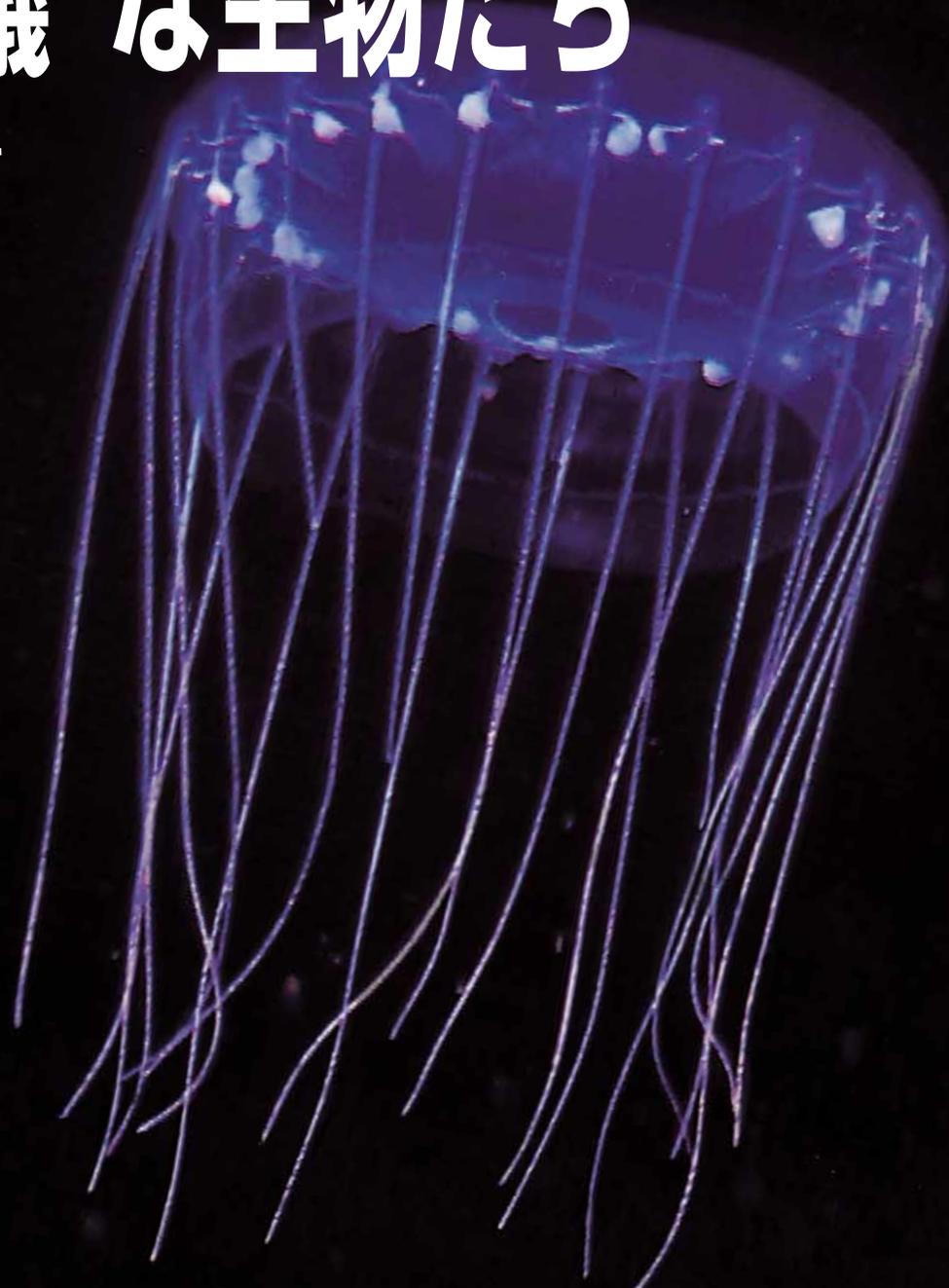
土田真二 研究員

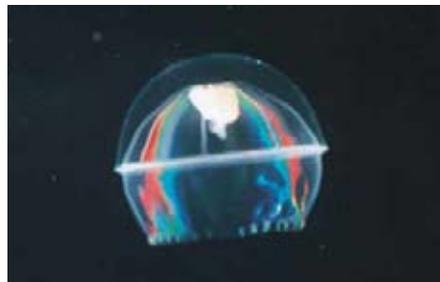
(海洋生態・環境研究部)

Dhugal J. Lindsay 特別研究員

(海洋生態・環境研究部)

深度200m以深の中層から深層の海洋は、太陽の光もほとんど届かない、暗闇と低温と高圧に支配された過酷な世界だ。だが、そうした厳しい環境のなかにも、その環境に適応しながら暮らす生き物たちがいる。さらに深海底では、メタンや硫化物から栄養素を生み出す化学合成細菌を生産者とする特異な生態系も形成され、私たちの暮らす陸上や、海洋の表層生態系とは栄養源も生態も大きく異なっている。今回はそうした中・深層から深海底に棲息する生き物たちの暮らしぶりを見つめていきたい。また、潜水調査の技術進歩は、これまで私たちが目にするのでできなかった、深海の生き物たちの様々な生態を次々に明らかにしてくれている。そうした多様性に溢れた海洋の生物たちを見つめる、最新のテクノロジーについても紹介する。





中・深層で見られる生き物たち。左はムラサキカムリクラゲ、上はヒゲクラゲ、下はゴカイの仲間 写真/James C. Hunt

## 中・深層は地球上で最も広大な生物圏 【中・深層の生物】

中・深層とは、深度200mよりも深いところから、海底より上部50mまでの範囲をさす（それ以上は海底と関わりが深い世界であり近底層として区分される）。地球の表面積の約70%は海洋であり、容積にして海洋の約90%を占めているのが、この中・深層であることを考えると、実に広大な生物圏であることが分かる。

深度200mまでの表層は、太陽光によって光合成を行う植物プランクトン（基礎生産者）の生息域であり、大きな生物生産力を持ち、生物相も豊富だ。しかし、深度200mより下は、波長の短い青色光はわずかに達するものの光はほとんど失われ、基礎生産者の存在しない世界が広がる。この中・深層の生き物たちは、マリンスノーと呼ばれる表層から降ってくる生物の死骸や糞などの有機物をエネルギー源としたり、自ら鉛直移動して表層で餌を獲ったり、さらに生物の密度が低い中・深層で様々な工夫をして餌を確保しながら生きている。

われわれから見れば、中・深層はエネルギー源を確保するのも難しく、その上、暗闇・低温・高圧という悪条件が揃った過酷な環境に思える。だが、見方を変えれば、深海は環境の変動幅が非常に少ない、地球上で最も安定

した世界ともいえる。また、中・深層の住人であるコウモリダコ（イカとタコの共通の祖先に近いものといわれる）の分布と海水の溶存酸素の関係を、カリフォルニア沖で調べた研究によれば、コウモリダコは溶存酸素濃度が0.2 ml/l以下のところにしか生存していなかったという。彼らはたくさんの酸素を必要とする捕食者から逃れるため、敢えて酸素の少ない貧酸素層に身を潜めていると考えられている。このように、厳しい環境は、そこに適応するものにとっては、安住の地なのだ。

もちろん、餌の少ない中・深層で生きていくのはたいへんだ。中層には魚を食べる魚がいろいろいるが、彼らが餌をとるための戦略は非常に巧妙だ。チョウチンアンコウやシダアンコウのように、身体の一部が疑似餌（ルアー）の役割を果たし、まるで魚釣りのように餌をとるものや、クロボウズギス、フクロウナギのように大きく開く口や驚くほどよく伸びるお腹を持っていて、自分より大きな魚を食べることができるもの、ホウライエソのように牙状の歯を持つものや、目の回りの発光器から他の魚からは見えない光を出し、スポットライトのように餌を照らし出すものもいる。

逆に、そうした攻撃から身を守る戦略も様々だ。中・深層の魚の中には発光器を持つものが多いが、それが身



クシクラゲの仲間のホオズキクラゲ 写真/James C. Hunt

体の下部（腹面）に並んでいるものは、海面から届くわずかな光で自らの身体がシルエットになることを防ぎ、捕食者に狙われないようにしていると考えられる。また、ニジクラゲは、捕食者の気配を感じると、自ら触手を壊して切り離し、発光する触手に相手の注意を引きつけておき、その間に逃げる。クラゲのなかには、シダレザクラクラゲのように、身体は透明だが胃袋が黒いものがある。これは他の発光する餌を食べたとき、胃の中で発光されて捕食者に狙われることを防ぐためではないかといわれている。さらに、クラゲについてはこんな話もある。クラゲの体はすべてではなく、いろいろな突起物がある。それらが自分に当たった光を消し合い、照らされる光をぼやかし、身体の境界線をファジィにして、捕食者から発見されにくくしている。この仕組みが、軍用航空機などでレーダー探知を難しくするステルス技術開発に応用されているのだそうだ。

## 中・深層の生物の主役はクラゲ!?

中・深層の生物をネットを使って採集する調査は、以前から行われてきた。深度別に採集できるネットも40年ほど前から使われるようになり、これによって中・深層の生物の分布も少しずつ分かってきた。だが、ネット

で採集できるのは、多くが魚類や甲殻類など、“体のかたいもの”ばかりだった。したがって、潜水調査船やテレビカメラを搭載した無人探査機が調査に利用されるまで、中・深層では魚やエビなどの甲殻類が主役だと考えられていた。ところが、潜水調査船や無人探査機で実際の深海の様子が見られるようになると、そこで出会う生物の半分以上はクラゲであり、実は魚やエビなどの甲殻類は思っていたよりも少ないことが観察された。クラゲのようなゼラチン性の生物は、ネットでは壊れてしまい、それまでほとんど採集できていなかったのだ。以来、クラゲは表層ばかりではなく、中・深層にも数多く存在し、クラゲがたくさんのおキアミを食べていたり、逆にほかの生物の餌になるなど、中・深層の食物連鎖を考える上でも重要な存在であることが確認された。

また、調査が進むにつれて、その種類も数多く発見されるようになった。一般に世界最大の動物はシロナガスクジラだといわれるが、深海にいるクラゲのなかには、もっと長いものも存在する。それはクダクラゲで、体長40mを超えるものもいる。ただ、これは1匹の生物ではなく、あるものは泳ぐために、あるものは餌をとるために、あるものは繁殖を行うために、それぞれ機能に応じたいくつもの個体で構成される「群体」で、それがひと

●200

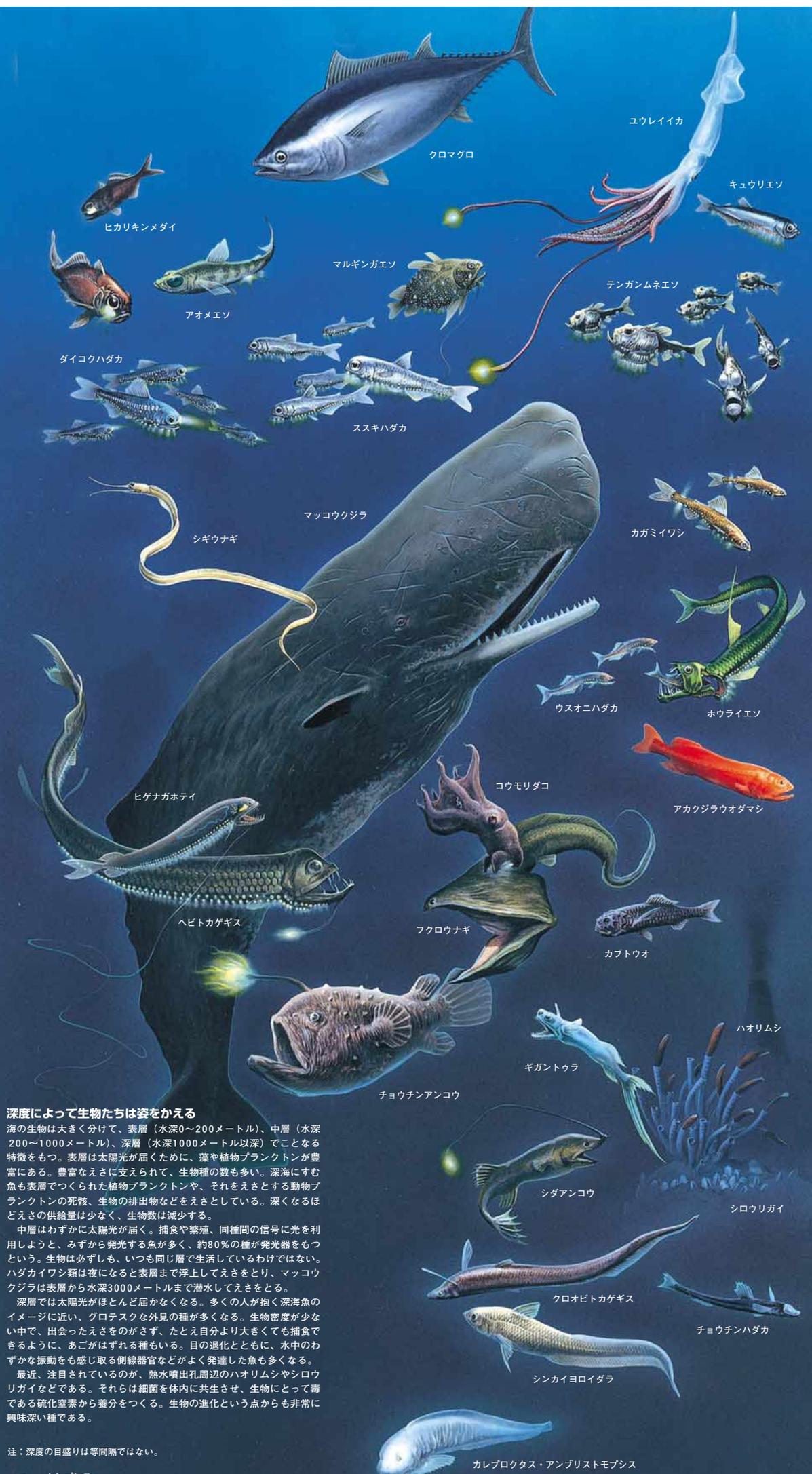
●1000

●2000

●3000

●6000

●8000



**深度によって生物たちは姿をかえる**

海の生物は大きく分けて、表層（水深0～200メートル）、中層（水深200～1000メートル）、深層（水深1000メートル以深）でことなる特徴をもつ。表層は太陽光が届くために、藻や植物プランクトンが豊富にある。豊富なえさに支えられて、生物種の数も多い。深海にすむ魚も表層でつくられた植物プランクトンや、それをえさとする動物プランクトンの死骸、生物の排出物などをえさとしている。深くなるほどえさの供給量は少なく、生物数は減少する。

中層はわずかに太陽光が届く。捕食や繁殖、同種間の信号に光を利用しようと、みずから発光する魚が多く、約80%の種が発光器をもつという。生物は必ずしも、いつも同じ層で生活しているわけではない。ハダカイワシ類は夜になると表層まで浮上してえさをとり、マッコウクジラは表層から水深3000メートルまで潜水してえさをとる。

深層では太陽光がほとんど届かなくなる。多くの人が抱く深海魚のイメージに近い、グロテスクな外見の種が多くなる。生物密度が少ない中で、出会ったえさをのがさず、たとえ自分より大きくても捕食できるように、あごがはずれる種もいる。目の退化とともに、水中のわずかな振動も感じ取る側線器官などがよく発達した魚も多くなる。

最近、注目されているのが、熱水噴出孔周辺のハオリムシやシロウリガイなどである。それらは細菌を体内に共生させ、生物にとって毒である硫化窒素から養分をつくる。生物の進化という点からも非常に興味深い種である。

注：深度の目盛りは等間隔ではない。

ニュートンプレス



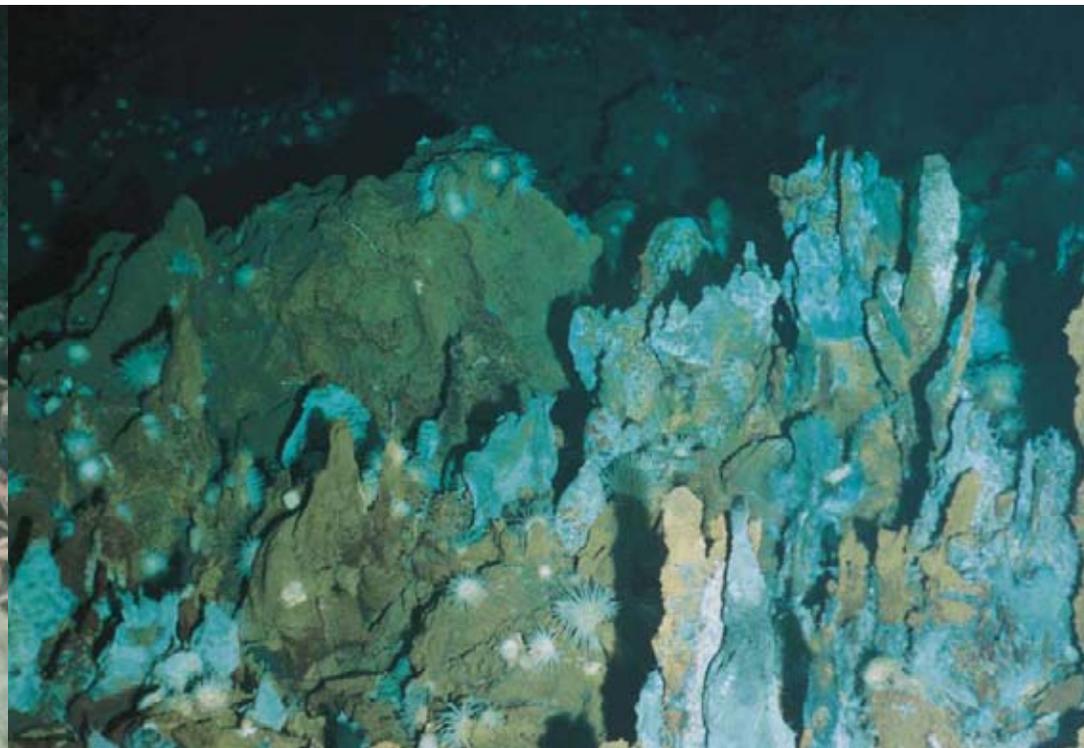
エゾイバラガニ（相模湾 水深1,000m）



エゾイバラガニの大群集（南海トラフ 水深1,000m）  
なぜこのような大群集を形成するのかは不明である。深海にはまだ知られていない多くの謎がある

つの個体のように運命を共にしながら生きているのだ。深海研究に潜水調査船や無人探査機が用いられるようになって、中・深層の生物学的な研究は、大きく進展した。それまで、同じ深度に生息すると思われていた種が、もっと細かい層に分かれて分布していたことが分かったり、逃げる力を持ちネットで採集できなかった生物も新たに発見された。たとえば、あるオタマボヤの仲間は、かつてのネットによる調査で、日本海溝では深度100～200m付近に多いことが分かっていたが、潜水調査船等の調査によって海水の物理的・化学的特性も含めて調査した結果、深度102mを中心に96mから106mというわずかに10mの層にしかないことが観察された。調べてみると、そこが一定の密度躍層になっており、餌となる物質が多く懸濁していたことが分かった。そのオタマボヤは、体のまわりを粘膜でつくった直径1～2mほどのハウスで包み込み、そこで餌になる物質をろ過して食べている。前に紹介したニジクラゲも、ずっと長い触手がないと

思われていた。ネットなどで採集するときに、危険を感じて長い触手を切り離してしまう行動が分かっていたためだ。潜水調査船で近づいたときに同様の行動が確認されて、ようやくニジクラゲの本当の姿が分かった。また、体がややかたく、以前からネットでも採集されていたムラサキカムリクラゲは十数本の触手を持っているが、そのうちの長い1本の触手だけを垂らすように泳ぐことが確認されていた。だが、つい最近まで、その長い触手がいったいどんな働きをするのかは分かっていた。研究者たちはスライスした触手を電子顕微鏡で調べたりして、身を守るためのものではないか、感覚器ではないかなど様々に推測した。だが、その疑問は潜水調査船による観察で、あっけなく解明された。ムラサキカムリクラゲが、シダレザクラクラゲをその長い触手で捕まえる様子が確認されたのだ。このように、潜水調査船等による調査は、クラゲをはじめ、中・深層生物の興味深い生態を次々に明らかにしつつある。



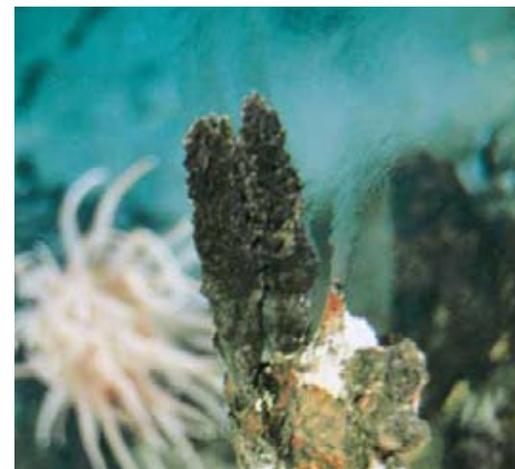
熱水噴出孔には化学合成生物群集による豊かな生態系が形成される（大西洋TAGサイト 水深3,600m）

だが、地球最大の生物圏である中・深層の生態系については、まだ分からないことがたくさんある。その多様性が確認されつつあるなかで、その生活史について、また、多くの種がどのように共存しているのかなどの調査はまだこれからだ。今後の調査・研究に大きな期待が寄せられている。

### 深海底で見つかった、もうひとつの楽園 【化学合成生物群集】

1977年、アメリカの潜水調査船「アルビン号」は、ガラバゴス沖水深2,500mの海底で、初めて熱水噴出孔を確認した。そして、その噴出孔の周囲に、豊富な生物群集が存在していることが発見された。そして、それらの生物群集は、噴出孔から供給されるメタンや硫化物を酸化し、そこから得られるエネルギーを活用しながら生きていることが分かった。

海底とその直上を含む近底層は、深海においても想像



チムニーから噴出する熱水（明神海丘 水深1,300m）



ラウシカイコシオリエビ (マヌス海盆 水深1,900m)



オハラエビとジゴクモエビ (伊平屋凹地 水深1,400m)



ユノハナガニ (海形海山 水深450m)



シチヨウシンカイヒバリガイ (水曜海山 水深1,400m)



ハオリムシの一種 (相模湾 水深1,200m)



シロウリガイ (相模湾 水深1,200m)

以上に豊富な生物量が存在することが確認されている。深海底付近では、ソコダラやヨコエビの仲間、クモヒトデ、センジュナマコなど様々な生物が見つまっている。そして、マリンスノーだけではなく、表層から落下してくるマグロやサメなどの大型の魚や、クジラ、イルカなどの死骸が、そうした近底層の生態系を支える重要なエネルギー源になっていると考えられる。つまり、これらの生物のエネルギー源は、根源をたどれば太陽エネルギーによって光合成を行う植物プランクトンが生み出した有機物に由来する。ところが、「アルビン号」によって、深海底には、太陽エネルギーを利用して生産された有機物以外のエネルギー源を得て生きる生物群集が存在することが明らかになったのだ。

火山活動が生じているプレート生成域や海底火山域にできる熱水噴出孔だけでなく、プレート沈み込み域の深海底で、イオウやメタンを含む間隙水がしみ出すようにわき出している冷水湧出帯にも同様の生態系が形成されており、これらは冷水湧出帯生物群集と呼ばれている。相模湾や日本海溝、南海トラフなど、日本周辺でも冷水湧出帯生物群集がいくつか確認されている。特殊な例と

しては、海底に沈んだクジラの死骸や沈没した穀物運搬船のまわりで、腐敗によってメタンや硫化物が発生し、そこに化学合成生態系ができることもある。

熱水噴出孔の周辺では、様々な生物が確認されている。代表的なのがハオリムシ（チューブワーム）だ。キチン質でできた棲管の中で生活し、見た目は植物のようにも見えるが、立派な動物だ。先端にえらがあり、その下に羽織状の筋肉がある。そして、その下の管のなかに、栄養体と呼ばれる閉じた袋状のものがある。他にも二枚貝のシロウリガイ類、シンカイヒバリガイ類、巻貝のアルビンガイ類などがある。さらに、甲殻類のシンカイコシオリエビ類、目が退化したユノハナガニ類、オハラエビ類、カンザシゴカイ科の多毛類、イソギンチャクの仲間、魚類ではゲンゲの仲間なども見つまっている。こうした生物群は、化学合成生物群集と呼ばれている。

この生物群を支える栄養源の生産者になっているのは、イオウ酸化細菌、メタン酸化細菌といった化学合成細菌であり、これらを中心に形成される食物網が化学合成生態系だ。ハオリムシ類はその栄養体のなかに化学合成細菌を共生させている。そ

の細菌が、海水に含まれる硫化水素などを使って有機物をつくり出し、それをハオリムシ類がエネルギー源として利用しているのだ。シロウリガイ類、シンカイヒバリガイ類などはえらに化学合成細菌を共生させて、同様にエネルギー源を得ている。シンカイコシオリエビ類やユノハナガニ類などは、こうしたシステムを持っていないが、捕食者としてこの生態系の一員となっている。おもしろいのは、細菌を共生させていないこれら甲殻類も、通常の海底には存在せずに、化学合成生物群集だけに特異的に現れることだ。硫化水素等は一般の生物にとって猛毒である。たとえば、私たち人間の場合、硫化水素は体内で血液中のヘモグロビンと結合してしまい、酸素が結合できなくなってしまう。だが、ハオリムシの血液は、硫化水素と酸素が共に結合できるシステムを持っている。このように、他の生物が生存しにくい環境を利用することができれば、その生物の繁栄にとって非常に有利であるといえる。こうしたことが、化学合成生態系の特異性に関係しているといえよう。

中・深層海洋も、化学合成生態系も、まさに生命の多様性と不思議に満ちた世界だ。海洋の多様な生物とその

生活が明らかにされるたびに、多くの生命を育む地球の大きさと奥深さを実感せずにはいられない。



熱水噴出孔には様々な生物が群がる

# 超高感度ハイビジョンカメラ がとらえる深海の姿

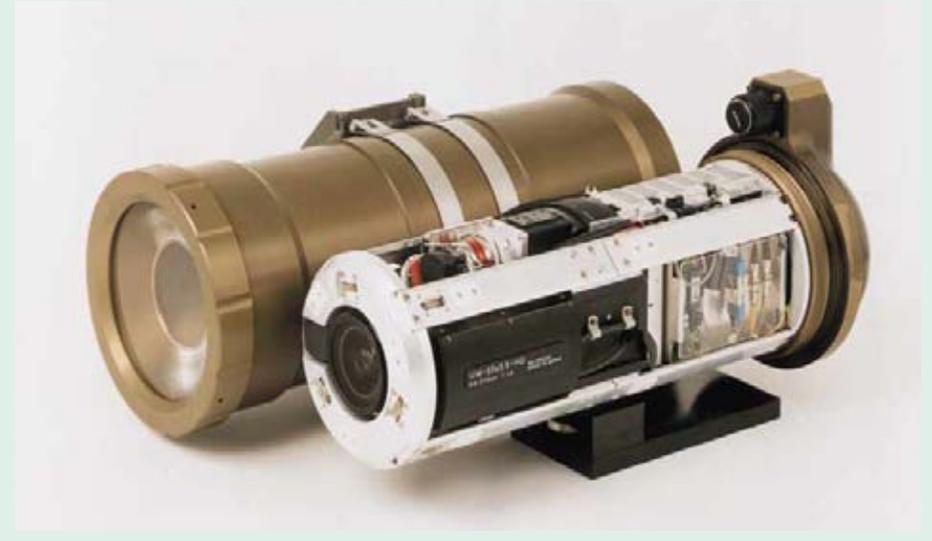


「ハイパードルフィン」が搭載するテレビカメラ

## 高性能テレビカメラを搭載する 無人探査機「ハイパードルフィン」

取材協力者  
内田徹夫 課長代理  
(研究業務部 船舶工務課)

昨年11月に完成し、今年の春から実海域試験が行われている無人探査機「ハイパードルフィン」。その最大の特徴は、深海用に新たに開発された超高感度ハイビジョンカメラの搭載だ。5月と7月に試験的に相模湾・駿河湾で撮影された深海生物の映像が、すでにイベント等で公開されているが、その臨場感溢れる鮮明な映像は、多くの人々に驚嘆の声をあげさせた。また、深海生物の研究者からも、「この映像だけでも生物の種の判別が可能なほどクリア」と好評だ。最新テクノロジーを結集してつくられた「ハイパードルフィン」の実用化によって、深海映像の世界が一変することは間違いない。



高性能かつコンパクトを実現した高感度ハイビジョンカメラ

## 世界初の超高感度 ハイビジョンカメラを装備

深度1,100m、駿河湾の海中に漂うわずか10cmほどのクラゲが、コントロールコンテナ内に設置された42インチ・プラズマディスプレイの大画面に映し出される。優雅に漂うクラゲの、傘の回りにある細い触手もライトに照らされてはっきり見える。驚くほどの鮮明さだ。息を呑む臨場感と、スチール写真にも負けないほど解像度の高い深海の映像を収録し、早くも活躍が期待されているのは、この春から慣熟訓練が行われ、平成13年度から本格的な運用が予定されている無人探査機「ハイパードルフィン」だ。

海洋科学技術センターには、すでに「かいこう」、「ドルフィン-3K」といった無人探査機があるが、「ハイパードルフィン」の最大の特徴は、超高感度ハイビジョンカメラを搭載している点だ。

「ハイパードルフィン」本体の製作とは別にプロジェクトを組み、開発されたこのテレビカメラは、これまで



深海の小さな生物も鮮明に映し出すことが可能



最大深度3,000mまで潜航可能な無人探査機「ハイバードルフィン」

現在、駿河湾で慣熟訓練が行われており、来年度から本格運用される予定だ

の潜水船や探査機に装備されている現行方式（NTSC）のテレビカメラの映像と比べて、格段に鮮明である。ハイビジョン映像では、解像度が増す一方で、原理的に被写界深度が半分になってしまう。このため、特に「ハイバードルフィン」のような無人探査機で、深海の中・深層に漂うクラゲ等を撮影する場合、ピント合わせ操作はとて難くなる。実際の撮影では、浮遊するクラゲとビークル（探査機）の距離は微妙に変化し、被写体をカメラの被写界深度の内に納めるためには、ビークルのパイロットは数センチの精度でビークルを操縦しなければならない。このような撮影条件を想定すると、ハイビジョン映像であっても、より被写界深度の深いカメラが理想となる。そこで、この問題を解決するため、超高感度という性能を利用することにした。感度を上げてレンズを絞り込む方法で、ハイビジョン化による被写界深度の低下を十分に補うことができる。ベースとなる高感度カメラは、ハイビジョンスーパーハープカメラとした。このハープ管は、感度を上げて画質の劣化がほとんどなく、海中での撮像性能もよい。結果的には、高感度化によりピンボケの映像を減らすことができ、また、同じ被写体を撮影しても、手前から後方まで、ピントの合った立体感のある映像が得られる。このことは、単に美しい映像を撮るということだけではなく、撮影した深海生物の種を判別する際にも、多くの情報量が得られるので有利である。

超高感度でハイビジョン、しかもF1.8、5倍ズームのレンズを持つこのカメラのサイズは、長さ639mm、外径216mmと、非常にコンパクトに設計されている。ここにも開発者たちの苦労が現れている。

さらに、この高性能テレビカメラの可能性を引き出すために、「ハイバードルフィン」本体にも工夫が凝らされている。そのひとつが可動式ライトブームだ。照明用のライトは前方に5灯、後方に1灯装備されているが、撮影時に被写体を照らす前方のライトは、左右観音開きに180度展開可動するライトブームと呼ばれるバーに固定されている。これは、テレビカメラの光軸とライトの照明の角度をなるべく大角度（つまり、なるべく横もしくは縦方向から当てる）とするための工夫だ。海中、特に深海には、マリンスノーなどが浮遊しているため、テレビカメラと同じ方向から被写体に強い光を当てると、その濁りが照明に照らされて目標とする被写体が、見えにくくなる現象が起こるからだ。また、カメラのパン・チルト装置を前方にスライドさせ、ビークルの直下も撮影可能にするなど、広い範囲を観察できる工夫もある。

### 深度3,000mまで潜航可能 広範囲での活躍が期待される

「ハイバードルフィン」は、洋上の支援母船とケーブルで結ばれ、電力や遠隔操作のための信号は、すべて母船上から送られる。反対に、超高感度ハイビジョンカメラ



操縦コンテナ内には6台の大型テレビモニタが設置され、送られてくる映像を確認できる

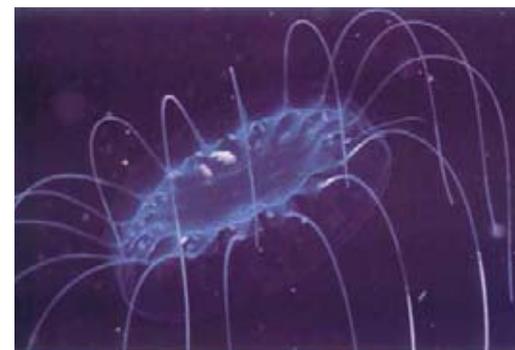
で撮影された映像は光ファイバーによってリアルタイムで母船上のコントロールコンテナに送られ大画面のプラズマディスプレイに表示され、ハイビジョンデジタルVTRに収録される。ビークルにはこのメインカメラの他に、カラーCCDテレビカメラ、後方監視用カメラ、AUXカメラなど合計4台のテレビカメラが搭載されており、母船上のコントロールコンテナ内に設置された6枚の大型プラズマディスプレイ画面に、その映像を自由に映し出すことができる。研究者やパイロットは、様々な角度からの鮮明な映像を見ながら、調査や観察、作業を行うことができるわけだ。

ビークルには75馬力の電動油圧モーターで駆動する6基の大型スラスト（スクリュウ）が装備されており、前進3ノット、横方向へも約2ノットで移動できる。この推力の大きさも「ハイバードルフィン」の特徴のひとつだ。

ビークル前部には重作業も行える7自由度マニピュレータ2基及び格納式サンプルバスケットが備え付けられており、深海での試料の採取、観測機器の設置・回収作業などにも対応できる。このマニピュレータが取り付けられているビークル下部のペイロードスキッド（桁）は、着脱が可能であり、他のユニット化された調査機材と交換することもできる。すでに海外の研究機関ではユニット化した調査機材の共通化の提案もあり、将来的には、そうした要請にも対応していきたい考えだ。

観測機器については、本格運用に向けてこれから研究者の要望を聞きながら充実させていく。現在は、前方監視用のソーナー、位置を求めるトランスポンダーなど基本的な装備に限っているが、追加装備機器に対応する豊富な電源・通信・油圧ポート等も準備されている。

今年度は、海洋調査船「かいよう」に搭載して、実海域でのシステムの作動確認、要員訓練が行われている。研究者のミッションを受けての本格運用は、平成13年度からだ。ハイビジョンの鮮明な映像という、これまでの無人探査機にない特徴を持つ「ハイバードルフィン」が、海洋調査・研究の新しい可能性を開拓してくれることが期待されている。



手前から奥までピントの合った立体感のある映像が得られる

# サンゴ礁研究と観測技術の開発

取材協力者  
岡本峰雄 主幹  
(海洋生態・環境研究部)

## 浅海域という制約のなかで 行われる調査の難しさ

地球環境変動の生物指標としてその重要性が指摘されるなど、サンゴ礁生態系は、近年ますます注目されるようになってきている。それに伴って、研究技術や観測機器の開発も進んでいる。石西礁湖をフィールドとしてサンゴ礁生態系の研究を続けているセンターでの新たな取り組みを紹介する。

米国キー・ラーゴでの調査で用いられた「呼吸動態計測装置」

海洋科学技術センターのサンゴ礁研究は、沖縄県南西部、石垣島と西表島の間に広がる日本最大のサンゴ礁海域・石西礁湖を中心に行われている。一般にサンゴ礁海域と聞くと、全体がサンゴで覆われているように思われるが、実際にサンゴ礁が広がっているのは面積にして10~20%、生きたサンゴが生息しているのは、海域全体の10%にも満たない。だが、そこには、サンゴが基礎生産を行うことによって支えられ、営まれているサンゴ礁生態系が存在する。地球上で最も多様で、総合的か

つ生産的な生態系のひとつといわれるサンゴ礁生態系だが、研究は始まったばかりで、まだまだ不明な点も多い。そこには数多くの研究課題が残されている。

センターが進めている研究のひとつは、生態学的な取り組みだ。サンゴの分類や個々のサンゴの生態といったレベルではなく、石西礁湖というサンゴ礁海域にどれだけのサンゴがどのように分布しているか(被覆度分布)を丹念に調査した上で、さらにプランクトンや魚類などの分布を調べ、サンゴ礁海域の総生産力等を、その変動



センターで開発された「マイクロボーリングマシン」。サンゴを殺さずにコアサンプルを取り出すことができる

に与える物理的・化学的諸要因を含めて全体的に数値化していこうというものだ。生産力等を数値化することができれば、海水温の上昇や海水汚染などの環境変動に対するサンゴ礁の変化を知り、将来的な予測も可能になる。サンゴ礁海域は、海洋生物の成長の場になるなど、全海洋の生物生産にとって重要な役割を果たしている。特に日本のサンゴ礁海域は、沿岸部に豊かな魚類等の生物資源を供給する黒潮の大元にあるため、数値化によってその変動を知るのは非常に重要といえる。

もうひとつの取り組みは、地球の環境変動に関連した研究だ。近年、サンゴ礁生態系は地球環境変動の生物指標として大いに注目されている。温暖化による海水温上昇、オゾン層減少による紫外線増加、開発による海洋汚染などは、生物の分布・生存に大きく影響する。移動できる生物は去っても、弱く動けないサンゴは何か堪え忍ぶか死ぬのみである。このため、サンゴとサンゴ礁生態系の構造変化は、環境変動の絶妙なセンサーとして利用できる。また、サンゴ礁生態系というサイクルのなかで、短期的・長期的に見てサンゴがどのように環境に関与しているかは、まだ解明されておらず、センターでは、そうした調査・研究についても進めている。さらに、塊状のサンゴの中には、何千年にもわたって生命が受け継がれ、年輪構造を形成しているものがある。こうしたサンゴのコアを調べることによって、過去のサンゴの健康状態や環境の変化を再現することができる。こうした研究も、地球環境変動の解明のための取り組みのひとつといえる。

サンゴ礁海域におけるフィールドワークを中心とした調査・研究とともに、センターが力を注いでいるのは、新しい計測装置や研究機器の開発だ。サンゴ礁生態系のデータセットをつくっていく上でも、生物量とその変化

や生物の様々な営みを計測し、数値化していく機器の開発はとても重要なことと考えられている。

昨年7月、米国NOAAの海中研究室「アクエリアス」を用い、フロリダ州のキー・ラーゴで実施されたサンゴの呼吸動態の昼夜計測では、センターが開発した「呼吸動態計測装置」が用いられた。この装置は、海中でサンゴを入れた容器内の海水を定期的に入れ替えながら、一定時間ごとの酸素量と光量を計測するもので、サンゴの呼吸によって減っていく酸素量と光合成によって放出される酸素量のバランスが計測できる。この装置によって得られたデータとサンゴ礁の光合成活性データ、環境データ、サンゴの被覆度などを組み合わせることによって、生産量データセットを求めることが可能になると期待されている。この調査では、機器類の総量が数百キロにおよぶため、観測には海中研究室などの施設利用が必要だったが、現在、機器の小型化が進められている。

塊状サンゴから、サンゴを殺さずにコアサンプル(直径2cm、長さ20cm)を取り出すために開発されたのは、「マイクロボーリングマシン」だ。小型のドリルを組み込んだこの装置を使用することで、サンゴに与える影響を極力小さくしながら、コアを取得できるようになった。コアを抜き取った跡は、水中ボンド等で補修し、サンゴの回復を助けている。

サンゴ礁は比較的浅い海域に存在するため、大型の船舶や装置類を持ち込むことが難しい。また深海研究と異なり、フィールド調査もレジャーダイバーと同等のスクーバ潜水しか活用できないため、海中での活動時間と深度の制限を大きく受けてしまう。このことが、サンゴ礁をはじめとする浅海域での調査・研究、および観測機器開発にとっての大きな問題になっている。観測機器の小型・軽量化を進める一方で、今後は海中研究室の建造が必要という声もあがっている。



サンゴ礁生態系を調べるために、サンゴの産卵・着床・生存の追跡も行われている。来年度からは、サンゴ礁の大規模な死滅が起きていた沖縄本島付近で、サンゴ礁回復実験も行われる予定だ



# プレートテクトニクス研究の現在

地球内部構造とそのダイナミクスは  
どこまで解明されたか

取材協力者  
富士原敏也 研究員  
(深海研究部)

前号の特集で、プレートテクトニクスに関する基本的な考え方を紹介した。だが、地球内部の構造やその力学についての研究は、観測技術の進歩とともに飛躍的に進んでいる。その全貌はまだ明らかではないが、プレート運動の原動力となるマンテルの対流や、その対流に関わる地球の熱輸送を担うブルームと呼ばれる高温のマンテル物質の上昇などについても徐々に明らかにされつつある。今回は、こうしたプレートテクトニクス研究の新しい動きについて、深海研究部・富士原敏也研究員に聞いた。

(聞き手：Blue Earth編集部)

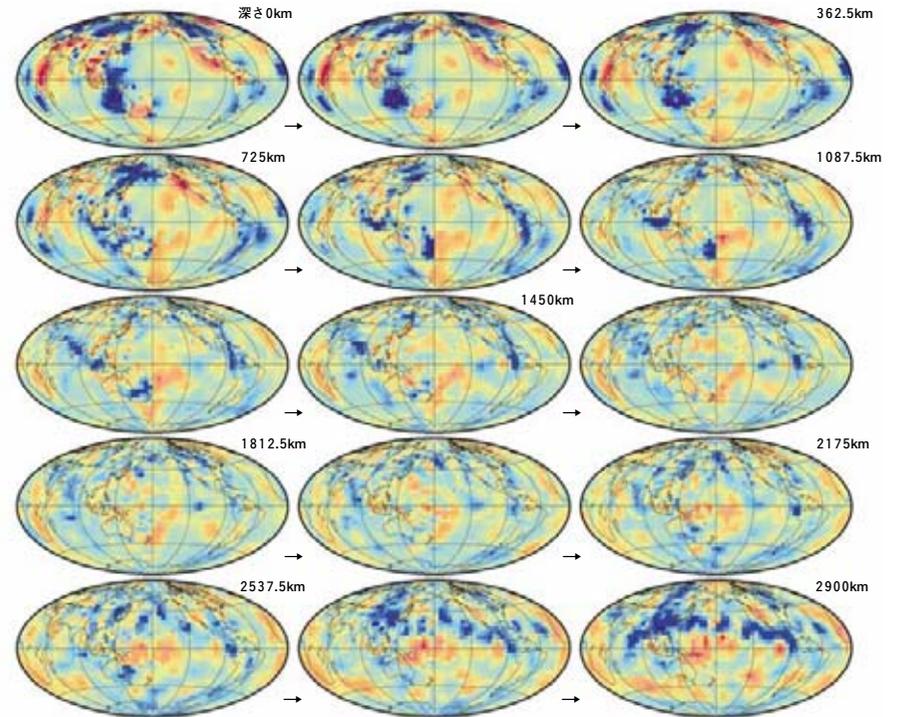


図1：ハーバード大学のグループによる地震波トモグラフィー。暖色系は地震波速度が平均より遅いところ、寒色系は速いところを示す (参照ホームページ：<http://www.seismology.harvard.edu>)

## 地球内部構造の研究を進展させた 地震波トモグラフィー

Blue Earth 編集部 (以下BE) 1980年代以降、プレートテクトニクス理論の研究は、どのように進んできたのですか。

富士原 80年代までの研究によって、プレートテクトニクスという理論の上で地球の表層の変動現象、つまり地震や火山噴火などが統一的に説明できるようになりました。しかし、マンテル層については分からないことが多く、表層のプレートの原動力、つまりどうしてプレートが動くのかということの説明は行われていませんでした。しかし、90年代に入ると、観測技術や解析技術の向上によって、プレートの下にあるマンテルの構造が、より高い精度で分かるようになり、「ブルームテクトニクス」という言葉も提唱されるようになりました。これは、地球のテクトニクス (構造地質) が、柱状に上昇したり下降したりするマンテルブルームの対流運動に支配

されているとする概念です。しかし、これについてはまだ十分に解明されておらず、模索している段階です。ただ、はっきりしてきたのは、細かく見れば見るほど、地球の内部が不均質であるということです。つまり、マンテルの密度や温度が均質でないために対流がおきるわけです。そして、マンテル対流がどのように動いているのか、また、もう少し小さなスケールでいえば、中央海嶺でどのようにマグマがわき上がって海洋プレートが形成されるのか、ホットスポットのマンテルはどのくらいの深さから上昇しているのか、サブダクション帯 (沈み込み帯) 付近ではどのようにしてマグマがつけられ、島弧 (サブダクション帯で火山活動によって形成される列島) が形成されるのか、といったことがおぼろげながら説明できるようになってきたというのが、現在の段階です。BE 観測技術の向上というのは、具体的にどのようなことですか。

富士原 最も革命的だったのは、地震波トモグラフィー

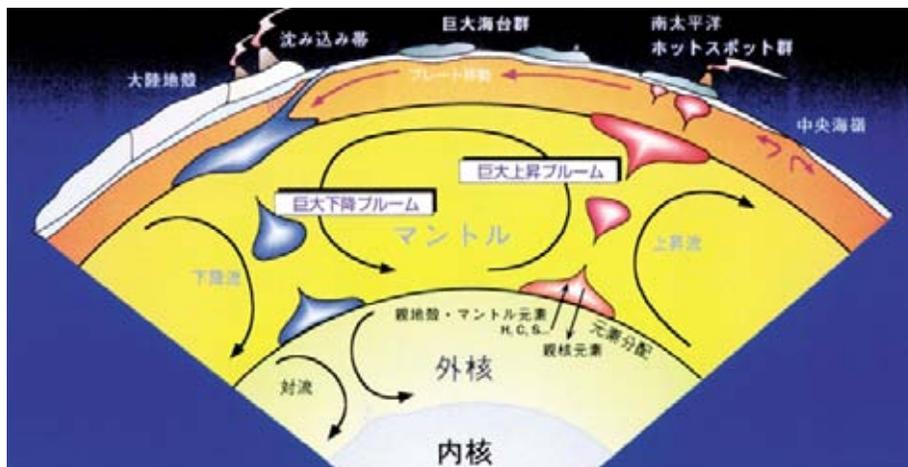


図2：ブルームの上昇と下降によって、地球内部では1～4億年のサイクルで地球規模的な対流がおこっている（原図は、科学技術振興調整費総合研究課題「地球ダイナミクス」パンフレットより）

（サイスミック・トモグラフィー）という手法の確立です。簡単にいってしまえばCTスキャンのようなもので、地震がおきたとき、地球の内部を通して地震計に記録された地震波の伝わり方の違いを利用して、地球内部の構造を解明しようとするものです。地震が伝わる時、地球内部の密度や温度などの違いによってその速度などが変わってきます。こうした地震波の伝わり方の変化を、たくさんの地震で、また世界中にあるたくさんの地震計で調べることによって、地球内部構造がどのように不均質であるかが分かってきたわけです。この地震波トモグラフィーによって地球内部を調べる方法が、1980年代にアメリカのグループによって現実的なものとなり、さらに多くの改良を重ねながら、今日まで進められています。オリジナルは、アメリカ・ハーバード大学のジボンスキーという研究者ですが、その改良に関しては、地震研究が進んでいる日本の研究者も多大な貢献を果たしてきたといえるでしょう。

BE この地震波トモグラフィーによって、これまでどのようなことが分かってきたのですか。

富士原 図1 (P.19) は、ハーバード大学のグループがインターネットで公開している、地球の深さごとの地震波速度です。密度が高く冷たい所では地震波は速く伝わり、密度が低く温度が高い所では遅くなることを利用してシミュレーションされたもので、タマネギの皮をむいていくように、地球内部の温度の分布が示されています。この図で顕著なのは、ハワイです。ハワイ諸島は、代表的なホットスポット火山として知られていますが、図を見ると、ハワイの下はずっと高温領域が続いている

ことが分かります。一方、東太平洋には大きな海嶺があります。ここでは1年に約10cm、私たちの爪がのびるくらいの速さで海洋プレートを生産しているのですが、その下というのは、実はそれほど高温ではないということが分かります。確かに表層を見る限りでは、マントル物質が上昇する海嶺は高温で、プレートが沈み込む西太平洋のサブダクション帯は低温領域になっています。しかし、深層まで見ていくと、地表に噴出するマグマの量は海嶺に比べて非常に少ないのですが、実はハワイの下には深くまで高温領域があって、ここがマントルの上昇域であることが分かります。こうして地震波トモグラフィーによって地球の全マントルを見ると、地球の運動を支配しているマントル上昇域は、海嶺ではなくホットスポットであることも分かります。ハワイを例にあげましたが、図を見ても分かるように、いま最も大きなブルームは、南太平洋とアフリカの下にあります。この南太平洋の高温領域は、白亜紀に大陸を割ったブルームの跡ではないかと考えられています。そして、もうひとつのアフリカの下ホットリージョンは、やがてアフリカ大陸を割って陸地の分布を変えるブルームといわれています。高温のブルームが下から突き上げる力によって、アフリカ東部の地表に大地溝帯が生まれているわけです。

### 地球の全体像を理解するためには表層のより詳しい観測と研究が必要

BE マントル内のどこで、どのようにブルームの対流がおきているかという図も描けるまでになったのですか。  
富士原 様々な試みは行われていますが、なかなかでき

ないのです。どうしてかという、先ほど温度構造と密度構造を一意的にとらえるようないい方をしましたが、実際の地球はもっと複雑です。たとえば、大陸地殻は冷たいけれど軽いのです。海洋プレートは玄武岩質でできていて、大陸地殻はそれよりも軽い花崗岩質でできています。大陸は何億年も地表に浮かんでいて冷たいわけですが、海洋プレートより重くなれないのです。また、海洋プレートの方も、その下のマントルに比べると軽い。海嶺の浅い部分では、重い物質は下へ落ちて、軽いものだけが上昇してプレートを構成するためです。プレートは冷たいから重いわけですが、同じ温度ではその下のマントルより軽いのです。現在、温度構造を密度に変換してマントル対流を計算する試みは行われていますが、冷たいけれど軽い大陸地殻や海洋プレートをどのように計算に取り込むかということが、まだうまくいかないのです。したがって、地球内部でどのような対流がおきているかは、まだ正確には再現できていないわけです。こうしたことには、現在、地震の観測点が陸上にしかないことも大きな制約になっています。海底下0キロから1,000キロくらいまでの分解能が低く、海洋の下の速度構造を変換した温度構造や密度構造が、よく分かっていないのです。そのため、表層までも含めて説明し得るような地球モデルに到達できていません。こうした部分に、今後、海洋科学技術センターがやっていたいかなければいけない課題があると思います。

BE 海底地震計の設置ということですか。

富士原 それだけではなく、海底磁力計などによる地磁気の観測も行う必要があります。また、深いところを調べるには、浅いところをきれいに剥いていかないと見えません。そのためには、精密な海底地形と重力地磁気データの得て、浅い部分の構造をしっかり把握することが大切なのです。表層の構造をもっと知りたい理由は他にもあります。現在、地震波トモグラフィーやマントル対流のモデル計算で、地球内部の大きな対流については、ある程度説明がつくようになったのですが、それと表層でおきる現象との関係がまだつかめていません。おそらく海嶺で熱を捨てることが地球にとって最も効率的であるためにこうしたシステムができあがったのでしょうが、なぜ海嶺システムが生まれたのか、なぜプレートテクトニクスが存在するのかは、解明されていません。サブダクション帯というものも非常に特殊なシステムです。表層で冷やされて固くなったプレートは、実はモデル計算上では、強度的に考えると全然沈み込めないのです。この固いプレートが折れ曲がって、地球内部に帰っていくというメカニズムも解明されていません。教科書

的には、軽い大陸地殻の下に重いプレートが沈み込むと説明されますが、実際はそれほどシンプルではありません。サブダクション帯に、海洋プレートの強度を弱らせるメカニズムが存在すると考えられますが、まだよく分かっていません。

BE 地球の表層でおきる地学的な変動現象を説明しようとして生まれたプレートテクトニクス研究は、地球内部の構造に注目し、そしていま、再び表層に目を向けはじめているということですか。

富士原 地震波トモグラフィーという手法で、地球内部の不均質が分かり、グローバルなスケールでの運動が理由付けできるようになりました。さらにコンピュータによる解析技術の進歩に伴って、より大きなシミュレーションも可能となり、内部構造が大枠で理解できるまでになった。そして、今度は地球の進化や地球の全体像を理解するために、再び表層に戻ってきたというのが、ここ10年ほどの大きな流れといえるでしょう。現在、地震波トモグラフィーにおいては今データが不十分な浅い部分、つまり上部マントル付近の構造を明らかにしようとか、表層のプレートテクトニクスとブルームテクトニクスの接点にある海嶺現象やサブダクション帯の構造、島弧でおきるマグマ活動などを説明しようということになってきていると思います。海洋科学技術センターでも、深海研究部と海底下深部構造フロンティアにおいて、ここ数年、多くの観測を、サブダクション帯で行っています。海底下深部構造フロンティアは地震研究を主眼においた観測が中心ですが、サブダクション帯で何が起きているのかということは、地球の進化という視点からも非常に興味深いテーマです。今後、プレートテクトニクス研究においても、サブダクション帯は大きな研究対象になっていくと思います。



# 深海底に眠る 大自然のオブジェ

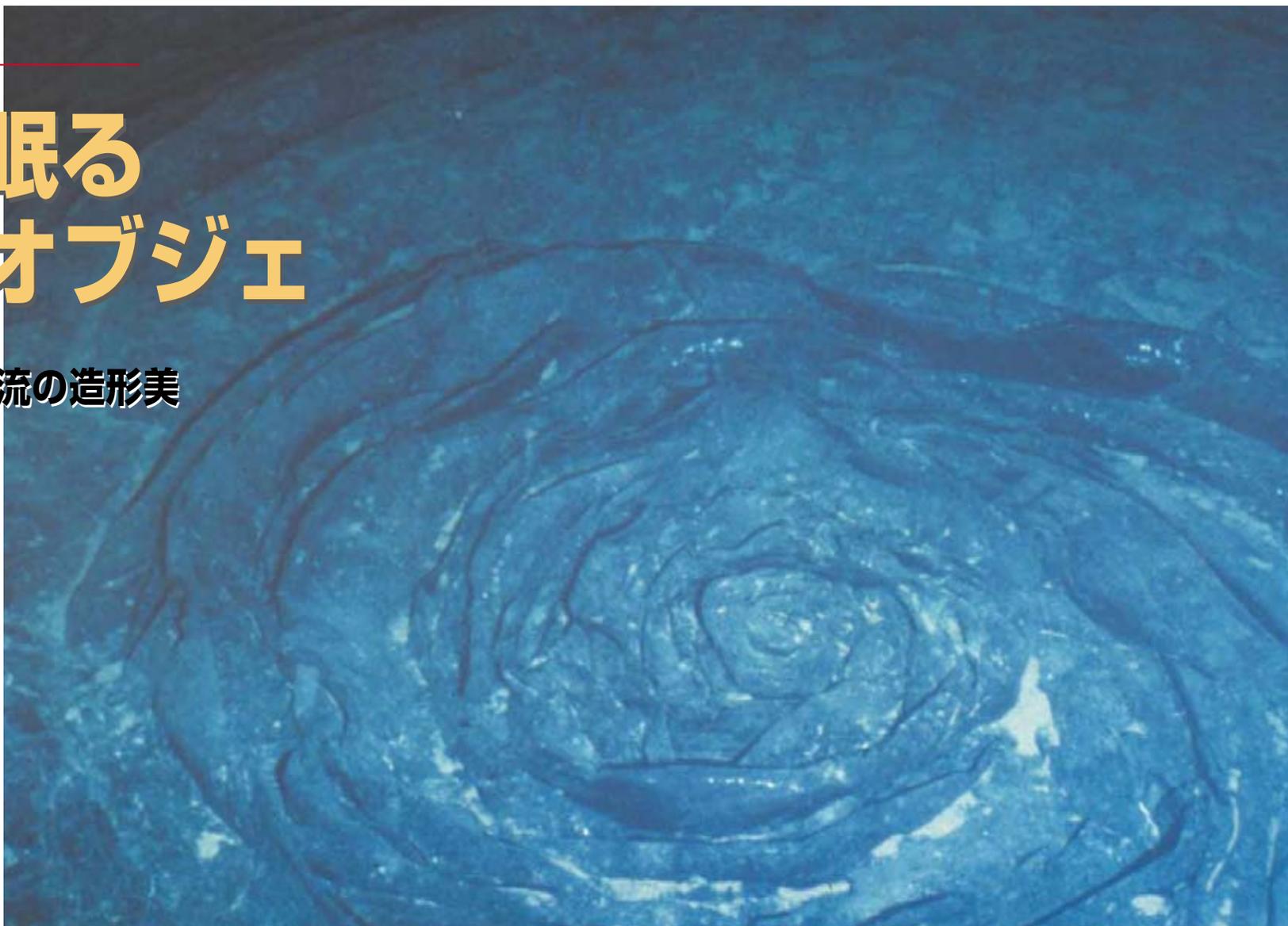
## 海中で噴出した、溶岩流の造形美

取材協力者  
**赤澤克文** 課長代理  
(研究業務部 海務課)  
**仲二郎** 副主幹  
(深海研究部)

太平洋西部の北フィジー海盆、水深3,000m。潜水調査船「しんかい6500」の前に横たわる漆黒の間の中から姿を現したのは、照らし出すライトに反射してキラキラと光る岩の渦巻き。海底から流れ出した溶岩が造り出した不思議な模様だ。

海底に噴出する溶岩がどういう形を造るのかは、さまざまな要因によって大きく変わってくる。たとえば、単位面積当たりの流量が多ければ溶岩は平滑に広がり、少なければ枕状となる。また、溶岩の組成、すなわち二酸化ケイ素に対する鉄やマグネシウムなどの含有量の割合や、溶岩が流れ出す地形などによっても、溶岩の形状は変わってくる。さらに、溶岩の温度と周囲の水温の関係は、溶岩が固まるまでの時間に影響する。つまり、海底で溶岩が生み出す形状は、どんな性質の溶岩が、どんな環境のもと、どんな地形に、どれぐらい流れ出すかによって決まる。この北フィジー海盆の渦巻き状の溶岩は、二酸化ケイ素を多く含んだ溶岩が大量に流れ出し、その流れが渦を生み、そのまま冷え、固まったものらしい。

光さえ届かない静かな海の底で、時の流れをそのまま止めてしまったかのような、この光景。自然の営みが造り出した不思議な美しさは、壮大なスケールを持って見る者の胸に迫ってくる。



潜水船：しんかい6500 潜航番号：[0081] 1991.09.12

### 深海画像データベース

潜水調査船「しんかい6500」「しんかい2000」、無人探査機「ドルフィン-3K」「かいこう」などで撮影した、膨大な深海底の映像資料をデータベース化したものが「深海画像データベース」です。

その登録画像数は、約20万枚（平成12年9月現在）に及び、このうち取得後2年を経過した画像がインターネットによって自由に検索でき、広く世界に向けて公開されています。

### アクセス方法

JAMSTECのホームページ (<http://www.jamstec.go.jp/>) から、「日本語ページ→情報検索サービス→深海画像データベース」の順に選択してください。

■海域地図からの検索：トップページで、見たい海域をマウスで選択します。

■海域一覧からの検索：トップページで「海域一覧から検索」をクリックし、検索したい海域を指定してください。

■検索条件の指定：潜水調査機器、検索年月などを指定し、「検索実行」をクリックします。画面下側に検索結果（航海名、潜水船、潜航番号、アルバム名）が表示されるので、希望のアルバム名をクリックしてください（該当するデータがない場合は、検索条件、検索海域を変更して、再度検索してください）。

■一覧表示画面：見たい画像をクリックすると、詳細画面が表示されます。あらかじめ検索したい航海名、または潜航番号がわかっている場合は、これらを直接指定して検索することもできます。



## 集められた観測データを管理し より快適にデータを使うことができる 情報環境の実現を目指す

なおいじゅん  
直井 純 研究員  
(情報管理室)

世界各地の研究者の報告や、おびただしい出版物。海洋調査船や潜水船などが収集する膨大な観測データ。それらの個々の情報は、正確に管理され統合されてこそ、現在、そして未来に向けての大きな財産となっていく。また、国際的な連携も要求される海洋観測の世界ではデータの品質と即時性が問われる。研究者にとって使いやすいデータとは、どのようなものか。一般の人にとって見やすいデータとは、どのようなものか。インターネット時代を迎えて、情報管理室がセンター内外に発信していく情報は、ますます重要性を増してきている。海洋科学技術センターの“総合情報センター”の一員として、直井研究員は、より品質の高いデータ管理のあり方を模索し続けている。

(聞き手：Blue Earth 編集部)

## 管理部門としての性格と 研究部門としての性格の バランスを取りながら業 務にあたる

Blue Earth 編集部（以下BE） まず、情報管理室が現在行っている業務について教えてください。  
直井 情報管理室というのは、大きく3つの仕事を扱っています。それは、情報業務とデータ管理業務、数理解析業務です。まず、情報業務ですが、ここでは国際機関や研究機関の刊行物をはじめ、海洋科学技術に関する図書など、最新の情報を収集して、管理し、研究者の方々に提供していく仕事をしています。また、インターネットのホームページ制作や刊行物の出版などを通して、最



海洋科学技術センターのホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>



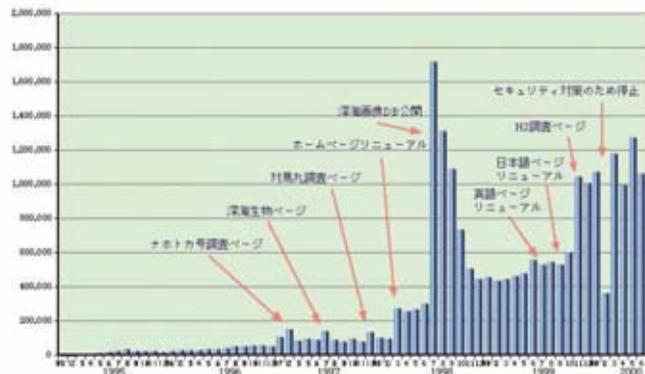
情報検索サービスでは、深海画像データベース、トライトンブイデータ、「みらい」データWeb、海底ケーブルデータセンターなどのテーマから、情報を検索、閲覧することができる

<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/data.html>

新情報をセンターから外部へ提供したり、海洋科学技術に関する相談窓口といったことも行います。次に、データ管理業務においては、調査船などから集まってくる情報を、きちんとデータが取られているか、フォーマット通りであるかというようなチェックをして、データの品質を管理したり、公開するデータをわかりやすい形に加工したりといった仕事をしています。また、ここではさまざまな情報や画像をデータベース化することも行います。最後に、数理解析業務は、スーパーコンピュータSX-4を運用したり、構内ネットワークを構築して管理する仕事をしています。平成4年度末に接続したインターネットによる各種サービスの提供や、平成6年度から導入されている通信衛星を用いた船舶とのメールシステムの運用なども、数理解析業務としての仕事ですね。それと、最近はハッカーによるホームページ書き換えなどの問題も発生していますから、防護システムであるファイアウォールの構築や運用といったセキュリティにも力を入れています。ですから、簡単にいうと、情報管理室というセクションは、海洋科学技術センターにおける“総合情報センター”としての役割を担っていると考えていただければいいと思います。

BE 非常に幅広い情報管理室の業務のなかで、直井さんご自身はどういった仕事をなさっていますか。  
直井 主に、ネットワーク構築やコンピュータ、データベースに関わることですね。もともと私はコンピュータ、

## Web server access count



海洋科学技術センターのホームページへのアクセス件数の推移



とくに画像解析の方を専門にやっていたこともあって、平成4年にセンターに入所した時は電子計算機室の所属だったんです。当時はまだ構内ネットワークも一部しか整備されていなかったの、それを構築したり、インターネットにつなげて最初のホームページを作ったりしていました。それが後に数理解析技術室に改編され、さらに平成10年には情報室と統合されて、現在の情報管理室となりました。ですから、どうしてもコンピュータに関わること、なかでも今は、データベース作りをはじめとするデータ管理業務が、私の仕事の中心になっています。

**BE** データ管理業務を行う上で、難しいところや、苦労されている点はありますか。

**直井** これはデータ管理業務だけに限ったことではありませんが、情報管理室の仕事には、当然、管理部門としての要素が求められますけれど、データベースの開発や、ネットワークの構築では、研究的要素も強いんです。ですから、管理部門としての性格と研究部門としての性格を、上手くバランスを取りながらやっていかなければなりません。今は研究者もネットワークを使って当然という時代です。そんななかでデータは増える一方ですし、端末のスピードもどんどん速くなっています。また、研究者から寄せられる要望も、多岐に渡ります。そうすると、ネットワークも作りっぱなしで後は管理しているだけというわけにはいきません。研究者に、より快適にデータを使っていたくためには、システムやデータを高い水準で管理するというだけでなく、どういう風にデータを統合すればより使いやすいものになるのかという研究が重要になってくるのです。

### 実際の観測データと数理解析的なものを、どれだけ上手く組み合わせたいけるかが課題

**BE** 研究者的な性格の部分について、もう少し詳しく教えてください。

**直井** 研究といっても、海洋そのものの研究ではないのでわかりにくいのですが、たとえば、生物やコアのデータなどが持ち込まれた時に、どのようにデータベース化すれば、より見やすく、使いやすいものになるのかといったことなどは研究的要素が強い部分ですね。また、モデルのデータベース化の研究が進めば、ある瞬間のデータを入力して、再計算させることによって、より正確なモデル作りができるようになりますよね。具体的な例でいうと、1997年、ロシアのナホトカ号の重油流出事故がありましたよね。あの時は、周辺海域の海流などの詳しいデータがなくて、重油流出のシミュレーションなどが、なかなかできなかったんです。ああいった事故が起きた時に、その海域の海流がきちんとデータベース化されていれば、ある一点にデータを入れて計算をしなおせば、重油流出モデルのシミュレーションができますし、被害予測なども、より正確な予測が可能になっていきます。

**BE** そういえば、ナホトカ号の事故では、海洋科学技術センターで映像を撮られたと聞きました。

**直井** はい。あの事故では、ナホトカ号は半分に折れて、前の方は座礁して、後ろの方は沈みましたよね。で、その沈んだ方を調べに行きました。海上保安庁ではどこに船があるかといった現場海域の特定はしていたのですが、実際に目で見てみると、それが本当にナホトカ号なのか、どれぐらい重油が流出しているのかということ

はわからないですからね。そこで、実際に無人探査機「ドルフィン-3K」や「ディープ・トウ」を使って映像を撮りました。あの時は「なつしま」が現地に行ったのですが、当時の「なつしま」には、まだ船舶メールシステムが搭載されていなかったんです。「それでは困る。なにしろ画像を送れ」ということで、急速やれと言われて（笑）、私が神戸から機器を持ち込んで乗り込み、回航中にシステムを構築しながら、現場海域まで行きました。荒れた冬の日本海で2週間、船上でモニターをにらみっぱなしでしたから、かなり疲れましたが、とても印象的な仕事でした。

**BE** 近年、インターネットが急速に普及してきましたが、データの見せ方という点では、より難しくなっているのではないですか。

**直井** そうですね。1998年に深海画像データベースを公開した時は、月間に160万件以上のアクセスがあるなど、海洋観測データに対する関心は高まっています。ところが、海洋観測データベースというものは、もともとは具体的な目的を持ってアクセスする研究者を対象に作られていたので、ただ画像が見たいといった一般目的で使うには不便な点もあるんです。でも、最近は、教科書にしたいから画像を貸して欲しいとか、授業にしたいからデータを貸して欲しいといった、研究目的以外の問い合わせも増えてきています。そうすると、公開しているデータは一般の人が見てもわかりやすいものでないと困りますよね。ですから、検索方法を簡単にしたり、データや情報の効果的な見せ方を考えなければいけません。たとえば、研究者にとっては意味がなくても、3次元的な図表を作って見せるというようなことですね。また、「みらい」のデータWebでは、公開から8カ月くらいで海外、国内を含めて2万4000件のアクセスがあるなど、データも国際的に注目されるものになっ

てきています。ですから、外から見ても恥ずかしくないように、また、データの品質のレベルで海外のものに負けないように、世界海洋循環実験（WOCE）などの基準にかなうようなものにしようと努力しています。

**BE** すると、今後の課題も多いですね。

**直井** はい（笑）。データ管理的な仕事としては、特に動画をどう扱っていくかですね。「しんかい2000」などが動き出してからビデオが7千〜8千本ほどありますが、それらを全てデータベース化しなければいけない状況にあります。現在は、古い規格であるUmaticをデジタルに変換する作業が進行中ですが、「ハイパードルフィン」ではハイビジョンも導入されていますので、どれだけ早く、品質の高い画像データベースを作れるかということが、今後の大きな課題のひとつですね。それと、研究部門としての仕事では、今までは計算科学技術やOSも含めたシステムの開発などは海洋科学技術センターの仕事ではないと考えられていたのですが、2001年度末からの運用が予定されている地球シミュレータにも関連して、それらの業務もセンターの仕事になりつつあります。こういった数理解析的なものを、どれだけ上手く実際の観測データと組み合わせ、どれだけ上手く研究者に使ってもらおうかといったことも、今後の大きな研究課題です。

**BE** では、最後に、これからご自分自身でやっていきたいことはありますか。

**直井** 今までもそうだったのですが、これからも、いかに研究者にとって使いやすいネットワーク環境を構築していくか、いかに一般の人たちにも使いやすいデータベースを作るか、どれだけデータ品質を高めていけるか、ということが目標になりますね。もちろん、自分自身の研究者としての仕事も大事にしなければいけないんですが、なんとか上手くバランスを取りながら、研究者の要望にも応えていきたいですね。



## 気を遣うのは、支払いが遅れないこと そのお金が、大事な研究を進めてくれるのですから



### センター創設時代から 研究者の活動を支え続ける

たちばな みつあき

橋 光子さん（経理部 財務課 出納係長）

海洋科学技術センターが経団連の要請によって設立されたのは、昭和46年。世界では、IOC（政府間海洋学委員会）のGIPME（世界海洋環境汚染委員会）が発足し、アメリカの2,000m級潜水調査船「ディープスター」が完成した年だ。橋さんがセンターに入所したのはその翌年。女性職員としては最も長い、創設時代からの勤続となる。

「私がセンターに入所したのは、本当にちょっとしたご縁ですね。もともとは銀行に勤めておりましたが、その後仕事を辞めて家にいたんです。その時、新聞で宇宙開発事業団がアルバイトの募集をしているのを見つけまして、短期間のアルバイトで採用されました。2ヵ月の契約期間が終わって、しばらくすると、そこ的人事の方からお電話をいただき、『今度新しくできた、海洋科学

技術センターというところに就職する気はないですか』というんです。当時、センターの事務所は新橋にありました。訪ねてみたらビルの7階の本当に狭いところで、宇宙開発事業団とはイメージが全然違うので、どうしようかと迷ったんですが、せっかくのお誘いだったので、仲間に加えていただきました。それからもう27年が経ちます」

当時のセンターは横須賀の米が浜通りに研究部を置き、新橋の烏森口に事務所を構えていた。設立時の職員定員数は30名、初年度予算が7億円。科学技術庁によって、国の海洋研究の中核機関として立ち上げられたばかり。昭和47年には、シートピア計画で注目を浴び、夏島に施設ができたのがその翌年のことだ。

「私の仕事は当初から経理でした。特に出納が主務となります。皆さんの給与を袋詰めしたり、物品購入の代金処理など、支払い業務がほとんどです。もともとセンターは会社ではございませんので、収入はあまりないんですね。民間企業の賛助会員の方々から会費をいただくくらいで、あとは国からの補助金と出資金という予算です。補助金では、原則として、職員の給与や必要な諸経費を賄います。もちろん、職員の雇用体系にもいろいろありますので、一概にはいえませんが。そのほかの研究業務に応じた支出は、研究費として出資金の中からお支払いしています」

センターの規模が大きくなるにつれて、その経理業務も当然のことながら増加してくる。平成12年度現在、センターの職員定員数は設立時の約8倍の233名、予算は50倍の354億円に増えた。これまでセンターの経理部は、経理課と契約課の2課だったが、この10月から財務課が新設された。財務課には、決算係、物品係、そして出納係がおかれることになり、橋さんも財務課へ異動となった。

「先日、新しい財務課長の歓迎会があったんです。その方は以前、センターの経理課課長代理で、一度科学技術庁に帰り、また戻っていらしたんですが、その方が『自分が課長代理の時には、国の出資金が設立時からの累計でやっと1,000億になったねと話していたのに、今回こちらにきてみたら、去年の予算は400億を超えている。膨大に増えてるなあ』とおっしゃっていました。本当にそう思います。もちろん、建物の工事や、新しい研究テーマについた補正予算なども含めてではあります。ここ数年間で、研究者や技術者の方も大幅に増えています。予算も着実に増えているんですが、事務職員はそれほど増やせません。どうやって人手を使わないで仕事を消化していくかが一番の課題になっています」

そうした状況に応じて、センターの経理システムも昨年度から一新された。これまで経理関係のデータは担当の職員以外は操作できない部分が大きかったが、昨年度より採用された新しいシステムは、センターのコンピュータネットワークに連動するなど、より効率的なものとなった。今後は各研究部とのネットワークも利用し、各部からの要求書の打ち込みも、直接それぞれの部署から行えるようにしたいそう。ペーパーレスになるのはま



だ先のことになるが、その第一歩を構築しはじめている。しかし、業務のペーパーレス化をはかる一方で、橋さんはこうも語る。

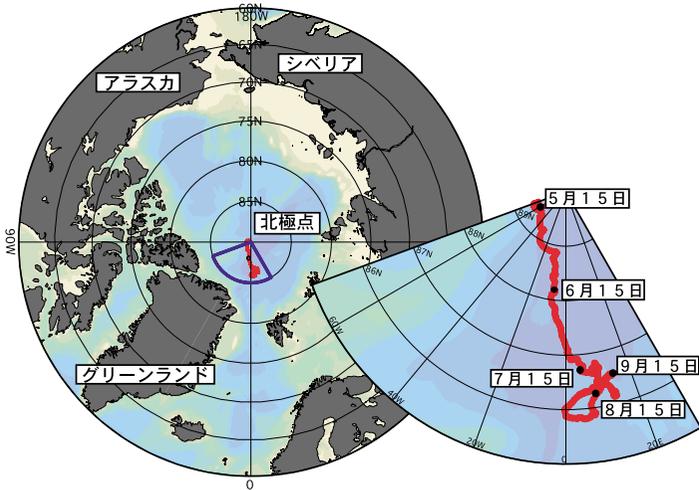
「ふつう、私たちのような業務の職員は研究者の方との接点は少ないと思うんです。でも、ここでは、すぐそばに研究者の方がいらして、いろいろな要望などをお聞きすることができます。それに、私は以前、海洋開発研究部の事務のお手伝いも7年間ほどさせていただきました。だから研究者の方が望んでいることも、比較的理解できるようになったんです。気さくで楽しい方がたくさんいますし、ひとつのことに情熱を持ってやってきた方たちが、注目されて認められていくのを見ると、よかったですなあと思います。私たちがお手伝いできるのは、その方たちの使うお金を代わりにお支払いすることですが、それで部材がきて、初めて研究したり技術を開発したりできるんですね。だからこそ、お支払いが滞ることのないよう、きちんとやりたいと思います」

今ではセンターもかなり人が増え、名前を聞いてもすぐにはわからないことが多くなった。しかし、その中で特に女性の職員が増えてきたことは、同性としても嬉しいという。

「女性のために、といってしまうと語弊があるんですが、でも大いに活躍していただきたいと思います。プロパーで採用されて、前途有望な方も多いんです。私が入所した時にも、すでに女性がふたりほどいらしたんですが、皆さん辞めてしまわれました。結婚や出産、育児とかいろいろあると思うんですが、ぜひ頑張ってくださいたいです」

「本当に、辞めずに仕事を続けてきて良かった」といい切る橋さん。ご本人もセンター勤務のご主人と結婚し、今ではお子さんも高校生。これからも、センターのお財布と職員たちをしっかりと見守っていただけることだろう。

# 氷海観測用小型漂流ブイ(J-CAD)データが示す北極海の海洋変動



**図1：J-CAD 1号機の漂流軌跡**  
J-CAD 1号機は北極点から大西洋へ海水とともに漂流しながら海洋構造・海流の様子を観測している



北極点に設置した氷海観測用小型漂流ブイ(J-CAD) 1号機

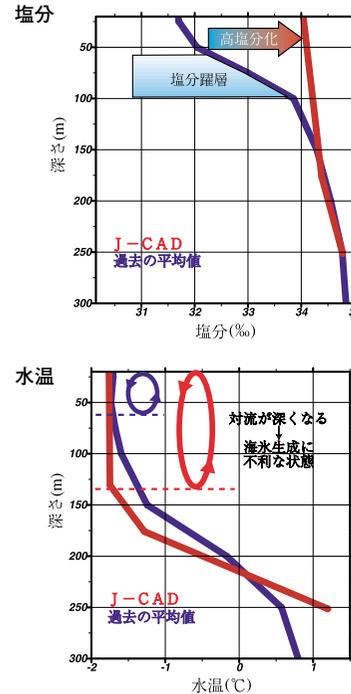
2000年8月19日付のニューヨーク・タイムズ紙にひとつの記事が掲載された。それは、8月上旬にロシアの砕氷船が北極点に到着した際、航路上の海水が著しく薄くなっていて、通常は海水に覆われているはずの北極点に大きな海水面が見られた、というものだった。これを受けて、日本でも新聞やテレビなどで「北極点の水が融けている」といった報道が相次ぎ、話題となった。この記事は、国連の気象変動に関する調査グループの共同責任者を務めるジェームズ・マッカーシー博士（ハーバード大学）の調査に基づいたもので、博士はその現象を地球温暖化の影響によるものと発表し、世界的な注目を集めた。

このような状況の中、現在の北極海海水下の海洋状況を継続的に確認できるデータは、海洋科学技術センターが2000年4月24日に北極点に設置した氷海観測用小型漂流ブイ（J-CAD）しかないことから、数多く寄せられた問い合わせに対して、海洋科学技術センター・海洋観測研究部は、J-CAD観測データをもとにした最新の解釈として、以下のように発表した。

まず、P.31の図2は、北極海の塩分・水温の鉛直構造を、過去（1948～93年）の平均的観測データと、J-CAD観測データ（2000年7月）を比較して示したものである。

平均値（青）を見ると、水深50mから100mの間で急激に塩分が増加している。このような塩分の鉛直構造は北極海塩分躍層と呼ばれ、北極海での海水形成・維持に重要な役割を果たしてきた。それは、強い塩分躍層が存在していれば、海面付近の塩分の低い海水を冷却しても塩分躍層より深いところにある塩分の高い海水よりも重くなるのが困難となり、冷却の影響が表層の数10mまでしか及ばないからだ。そのため、過去の北極海においては、表層の水が結氷温度にまで冷やされれば、すぐに海水が成長しはじめていた。

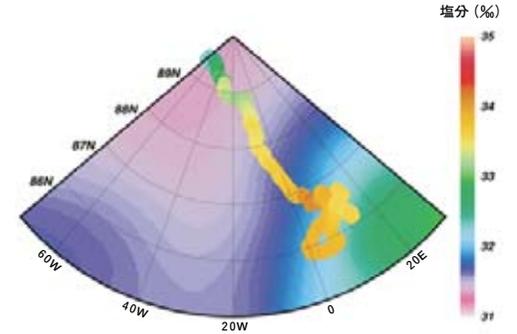
しかし、J-CADデータ（赤）では海面付近の水深20mでの塩分が平均値と比べて非常に高くなっているうえに、その値は水深200m以深の水と1%以下の差しかなく、塩分躍層の構造がほとんど消滅していることがわかる。また、水温の鉛直構造を平均値と比べてみると、平均値では水深50mから深くなるにつれて水温が上昇し



**図2：過去の平均値とJ-CADデータの比較**  
青：過去（1948～93年）の平均値  
（位置：北緯86度49分、東経8度8分）  
赤：J-CADデータ（観測日及び位置：2000年7月16日、北緯86度51分、東経4度13分）

ているのに対して、J-CADデータでは水深130mまで水温に変化は見られず、ほぼ結氷水温（ $-1.8^{\circ}\text{C}$ ）となっている。これは、過去の北極海においては水深50mまでの水を冷やせば海水が成長していた状況が、現在では水深130mまでの水を冷やしきらなければ海水が成長しづらい状況へと変化していることを示している。

図2のデータで海面付近の塩分が高くなっていることや、図3を見るとわかるように過去の平均値よりも広い範囲で塩分が高くなっていることから、北極点で海水面が現れた原因が、海水の融解によるものとは考えにくい。もしも、海水が融解していれば、ほぼ真水に近い融解水の影響で海面付近の塩分は減少していなければならない



**図3：水深20mにおける塩分の空間分布**  
漂流軌跡上のJ-CADデータは、過去の平均値（背景）よりも塩分が高いことを示している

からである。では、どうして北極点に海水面が出現しているのだろうか？ もともと北極海には極点付近でも10%程度の海水面が存在している。海水は風によって常に動いているので、たまたま北極点に海水面が存在するからといって驚くにはあたらない。むしろ海水全体が薄くなっていること、つまり北極海で海水が成長しにくい状況になっていることの方が、より重要である。

なぜなら、北極海の水は、海水と大気を直接接触させないことで海から大気への熱輸送を1/100に減少させたり、太陽光線を海面よりも多く反射させたりして、地球温暖化に歯止めをかけているだけでなく、海水ができるときに高塩分の水を作り出して、底層水の主要な起源となるなど、地球全体の気象システムを安定させるのに極めて大きな役割を果たしているからだ。

北極海の水が薄くなっている原因については、塩分が高い大西洋の海水が、北極海の中にこれまで以上の勢いで広がっているからではないかと考えられているが、まだ断定的なことはいえない。海洋科学技術センターでは、2000年9月に6台のCTDを持つJ-CAD2号機をポーフート海域に設置、さらに2001年4月には3号機を再び北極点に設置する予定で、今後も観測点を増やしながら、より緻密なデータを積み重ねていく計画だ。現在、北極海の海洋状況、とくに海流まで含めて観測できるのは、世界でJ-CADが唯一のものだけに、今後のJ-CADの観測データに対する国際的な注目と期待が高まっている。

# 音響トモグラフィーにより、 ラ・ニーニャの終息時の海流変化を観測



図1：海洋音響トモグラフィー実験海域

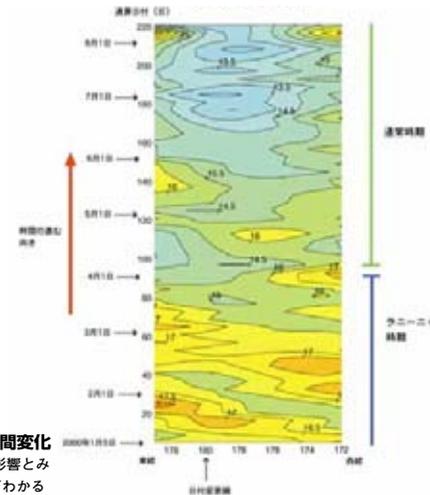


図2：北緯3度における水温の時間変化

横軸は経度。縦軸は日付。ラ・ニーニャ時期には、レジキス波の影響とみられる縞模様が見られ、暖水や冷水が西向きに移動していることがわかる

海洋科学技術センターは、中部熱帯太平洋海域において、海洋音響トモグラフィー（音波を使い1,000m四方の海域の3次元の水温分布や流れの様子を捉えるシステム）により初めてラ・ニーニャ終息時の海流変化を観測した。この観測実験は平成11年1月から行われており、太平洋に設置した音波トランスバのデータは、衛星を使って随時センターへ送られている。今回の報告は、そのうち平成12年1月から8月までのデータ解析によるもので、この結果は9月に行われた日本海洋学会秋期大会でも発表された。

エル・ニーニョおよびラ・ニーニャは、気候環境に大きな影響を与える現象として、交互に繰り返しが知られているが、発生周期は一定ではない。その原因のひとつに、亜熱帯域から熱帯域に流れ込む

海流の影響が考えられている。今回の計測実験の主目的は、この流入量を計測することであったが、同時にラ・ニーニャ時に赤道のレジキス波（赤道不安定波動）の影響で暖水と冷水が交互にあらわれ、水温に顕著な変化が起きる現象も観測することができた。レジキス波とは、赤道の北と南を東西相反する方向に流れる海流の境界に起きる波動のことで、これまで人工衛星のデータからその現象は知られていたが、実際に音響トモグラフィーによる計測結果を得たのはこれが初めて。今回得た水温データの解析によると、レジキス波は西向きに50cm/s程度の速さで伝わっている。この波動現象は、本年4月以降は弱まっており、ラ・ニーニャの終息時期にほぼ重なっている。

主目的であった亜熱帯から熱帯への海流の流入については、本年1月

から3月までは約70日周期で南北に流れの向きを変動させながら、全体としては南方へ流れており、最大で約3cm/sの流速であった。この変動も4月以降は弱まっており、やはりラ・ニーニャ終息時期と重なっている。最終的な流入量は、今年12月末までの計測結果をもとに検証されることとなる。また、今回計測された周期についても、その原因は明らかになっておらず、引き続き今後の課題として研究を続けていく。

エル・ニーニョやラ・ニーニャのメカニズムは、人工衛星による海洋水温の観測などからも研究が進められているが、海中の水温や流れといった詳しいデータはこうした観測では得られない。音響トモグラフィーを使った3次元的なデータは、今後のさらなる真相解明へ向けてその貢献が期待されている。

# 北の海の研究拠点「むつ研究所」、 10月より発足



むつ研究所の試料分析棟外観



試料分析棟内の海水前処理システム。海中の放射性炭素を測定するために、海水から二酸化炭素を取り出し、グラファイト粉末処理を行うことができる。このほか、様々な分析、実験が行える設備が整えられている

海洋科学技術センターは、平成7年に開設された青森県むつ市のむつ事務所を、この平成12年10月1日より「海洋科学技術センターむつ研究所」と改称した。研究所長は長谷川康明氏。この改称にあたり、組織にも新たに研究員5名からなる研究グループを発足。「北の海」の研究拠点として活用していく。

これまでに当事業所は、海洋地球研究船「みらい」の母港として、その運航管理と試料やデータの分析・解析などの研究支援を行ってきた。また、「みらい」に搭載するトライトンブイをはじめとする海洋観測機器の保守・整備も行っている。こうした実績を踏まえて、今後は研究分野に力を入れた活動を行っていくことになる。

研究の大きなテーマは「海洋環境変遷および堆積物の変質過程の解明」、「海洋の物質（炭素）循環の解明」等。「海洋環境変遷および堆積物の変質過程の解明」では、海底堆積物の化学組成や、微化石（堆積物に含まれる微小な動物植物の化石）などを分析することにより、地球が経てきた数十万年前の環境変動の歴史を高精度で復元し、そのメカニズムを解明していく。一方、「海洋の物質循環の解明」は、地球温暖化等の気候変動を解明するため、炭素循環過程の把握を中心に行われる研究である。大気中から海水中に溶けた二酸化炭素が、植物プランクトンに取り込まれ、沈降して深海底に堆積したり、海流によって移動している。そのため、海洋は二酸化炭素などの温

室効果ガスの主要な吸収源として注目されており、メカニズムの解明が待たれている。これらは横須賀本部の地球観測フロンティア研究システムとも連動した研究活動となる。

地球規模での気候変動現象の解明は世界的にも重要な研究課題のひとつであるが、海洋の炭素循環過程における二酸化炭素などの変動は、とりわけ北西太平洋において顕著に見られることができる。むつ研究所はこうした海域に近いという立地条件と、世界最大級の海洋地球研究船「みらい」および当研究所の持つ最先端の技術と設備によって、さらなる研究成果が期待されている。将来は、海外の研究者なども招いて研究交流の場としても活用していきたいと考えた。

## 情報管理室「資料室」の一般利用について 海洋に関する蔵書、約2万冊が利用できます



海洋科学技術センター情報管理室では、センター内

の研究開発活動等を支援するための情報活動を展開するとともに、外部に対しても海洋科学技術情報に関する専門センターとしての役割を果たすため、出版活動、海洋情報データベースの構築をはじめ様々な活動を行っています。そのなかの情報業務の一環として、「資料室」では、収集・管理する海洋関連の図書・雑誌・

技術レポート等（蔵書数約2万冊、所蔵雑誌約840種）の一般の方々への閲覧及び貸し出し、レファレンスサービスも行われています。利用方法は以下の通りです。

- 開館時間：月～金曜日 9：30～12：00、13：30～16：30
- 休館日：土・日曜日、祝日、年末年始（12月29日～1月4日）、創立記念日（10月第3水曜日）
- 利用資格：特になし
- 閲覧手続き：資料室カウンターにお申し出の上、外部利用者名簿にご記入ください
- 貸し出し：1週間、3冊まで。カウンターでお申し出ください（ただし、新着図書、雑誌は貸し出しできません）
- 返却：基本的にはカウンターへご返却いただきますが、郵送による返却も可能です
- コピーサービス：有料（利用料金1回250円+1枚につき60円）
- 資料室利用に関する問い合わせ先：(0468) 67-5525（情報管理室）  
E-mail：info@jamstec.go.jp

## 『水と空気の100不思議』



「水と空気の100不思議」  
左巻健男 編著  
東京書籍 刊  
1,300円（本体価格）

### パソコン通信が生んだ100の不思議の解決本

これはパソコン通信の化学のフォーラムのなから生まれた本だ。まず、執筆陣がユニークである。36名もの執筆陣のプロフィールを見て、若い現場の先生たちや企業人などが多いことに驚かされる。それもそのはず、執筆陣はそのフォーラムのメンバーで、自ら手をあげて本づくりに参加した人々たちなのである。フォーラムのなかで、本の企画が提案され、チャットや掲示板を通して内容をまとめていったという。パソコン通信で、このようなコミュニケーションがとれるのだという意味でも、とても面白い。本文を読ん

でも、どこか書いている人たちの楽しそうな様子が伝わってくる。編著者の左巻氏も、巻頭で読者に「あなたも参加しませんか？」と呼びかけている。メールでのやりとりは、とすると無味乾燥で人間味に欠けると捉えられがちだが、この本はメールの利便性とリベラルさをうまく使った良い例だろう。本文は大きく5つの章に分けられている。「おいしい水、からだにいい水」、「水と地球環境」、「水とはどんな物質か」、「空気をつかむ」、「空気と地球環境」。これらがすべて見開き2ページで解説される100の不思議

## 海洋科学技術センターオリジナルピンバッジ



海洋科学技術センター・グッズのニューフェイス、OD21のオリジナルピンバッジ。七宝風に仕上げたピンバッジには、世界初のライザー掘削船のイラストが描かれています。同じシリーズで「しんかい6500」のタイプもあります（海洋科学技術センターにて販売）。 **価格300円**

- オリジナルグッズに関するお問い合わせ  
日本海洋事業株式会社 センターグッズ係  
〒238-0004 神奈川県横須賀市小川町14-1  
TEL：0468-24-4611  
FAX：0468-24-6577

### オリジナルピンバッジを「Blue Earth」読者のなかから抽選で5名様にプレゼント!!

#### 【応募方法】

官製はがきに「オリジナルピンバッジ希望」と記入し、郵便番号、住所、氏名（ふりがな）、年齢、職業（学年）、電話番号、いちばん興味を持った記事、『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、2000年12月29日（金）当日消印有効。当選者の発表は、52号で行います。

#### 【応募先】

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15  
海洋科学技術センター 情報管理室 プレゼント係

### 【48号「キャップ」当選者】

七島武雄様 岸 富雄様 小澤 真様 神崎洋一様 松下誉久様

で構成されている。ひとつひとつは基本的な知識だが、学校の先生らしく（？）話題の作り方にひと工夫しているものも多く、そのこぼれ話が意外と雑学として楽しめたりもする。おそらく、ここに登場した先生たちは、子どもたちの前でも一生懸命知恵を絞って、楽しい授業づくりに精を出しているにちがいない。「灘の名酒と伏見の名酒はどちらが辛口？」「アルカリイオン水は本当にからだによいのか」「ガラパゴス諸島にペンギンが住めるわけ」「現代の海の航路を決めたフランクリンの発見とは？」「1リットルの水+1リットルのアル

コール＝何リットル？」「アルゴンはなまけものな気体」「酸素は有毒？」…。専門家には一笑に付されてしまいかもしれないが、子どもたちへの説明や、お酒の席での話題に披露すると、ちょっと感心してもらえるような知識が満載だ。気軽に読み飛ばしていきうちに、“知っているつもりで知らなかったこと”が解決できて、すっきりするかもしれない。海についても、原始地球の誕生から、深海の話、気候と海の関係など、押さえるべきテーマはきちんと取り入れられ、「しんかい6500」や「つぶれたラーメンカップ」も登場して

いる。ではここで、海洋科学技術センターに関連したこぼれ話をひとつ。「しんかい2000」が海底1300mで発見した白いなぞの物体とは？。1回目の採取では途中で物体が消失。研究者たちが万全を期して2回目の採取まで行ったが、その結果は…？というエピソードだ。このシリーズは科学をテーマに他にも十数冊出ているが、“森”や“木”に関連するものがその大部分。残念ながら“海”をテーマにしたものはまだ出ていない。フォーラム参加者で“海”の企画を提案してくれる人はいないものだろうか。

## 編集後記

この編集後記を書き始めたとき、筑波大学の白川英樹名誉教授が日本人として9人目のノーベル賞受賞が決まったという、うれしいニュースが飛び込んできました。受賞理由は、「伝導性ポリマー」と呼ばれるプラスチック研究の基礎を築き、物理、化学の両分野で重要な研究領域に発展させたとのこと。白川教授は、インタビューの中で、「今の若い人の理科離れは残念です。今はいろいろ恵まれている時代。チャンスをもっと広げることができれば、いいと思う」とコメントされていました。くしくも『Blue Earth』誌の刊行目的の一つが「青少年の理科離れをいらかでもくい止める」ということであったため、ノーベル賞学者のコメントを聞いて編集者一同さらに良い紙面づくりをせねば、と気を引き締めています。

さて、今回は、深海生物分野の特集を組みました。深海生物の多様性の一端を垣間見ることができればと考えています。インタビューは、インターネットの発展とともに観測データの管理と公開がますます重要になってきている情報管理室のスタッフを取り上げました。また、FACEでは、重要でありながら登場することの少ない経理部のスタッフを取り上げましたが、今後とも研究を側面から支えている様々な部署の人たちを取り上げていく予定です。

(情報管理室 土屋)

『Blue Earth』誌に関するご意見、ご要望は、メールアドレスinfo@jamstec.go.jpまでお願い致します。

## Blue Earth (旧JAMSTEC) 第12巻 第6号 (通巻第50号)

2000年11月 発行

編集人 海洋科学技術センター 情報管理室 吉村 悟  
発行人 海洋科学技術センター 情報管理室 土屋 利雄  
本 部 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15  
TEL (0468) 66-3811 (代表)  
FAX (0468) 66-6169 (情報管理室)  
むつ事務所 〒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)  
東京連絡所 〒105-6791 東京都港区芝浦1丁目2番1号  
シーバンスN館7階  
TEL (03) 5765-7101 (代表)  
ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>  
制 作 株式会社 ニュートンプレス

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。



海洋科学技術センター  
Japan Marine Science and Technology Center