

海と地球の情報誌

# BlueEarth

Japan Marine Science and Technology Center

7・8 2002  
月号

特集  
**海洋生態系の  
不思議に迫る**

JAMSTEC Report

梅雨期に集中豪雨をもたらす降水システムを解き明かす

Interview

海洋音響トモグラフィーの開発研究に取り組む

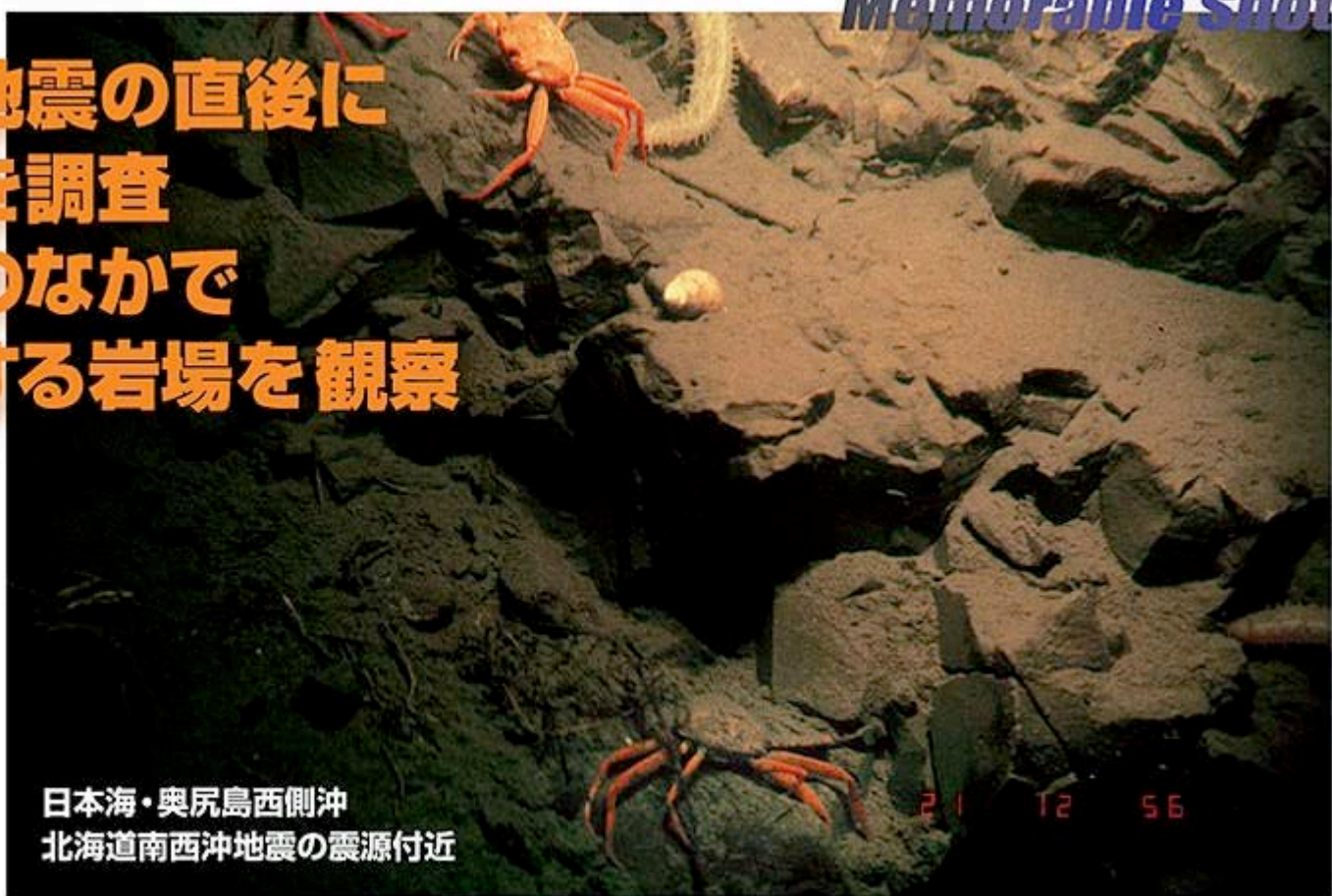
Museum

クラゲの傘内側からみつかったヤドリクラゲ

1993年8月

Memorable Shot

# 巨大地震の直後に 海底を調査 緊張のなかで 崩壊する岩場を観察



日本海・奥尻島西側沖  
北海道南西沖地震の震源付近

「しんかい2000」が潜航を開始して1時間半が経過した。「水深1,700mの海底に着底」と連絡が入った直後、母船「なつしま」の乗員たちは、突き上げるような衝撃を感じた。余震だ。船内に緊張が走った。すぐに「しんかい2000」に状況を問い合わせた。だが、「異常なし、衝撃は感じられなかった」との返事。乗員たちは胸をなでおろした。1993年7月12日、午後10時17分に発生した「93年北海道南西沖地震(M7.8)」は、死者・行方不明者200名以上を数え、奥尻島をはじめ北海道南西部に大きな被害をもたらした。地震発生直後の海底変動状況を把握することを目的に、震源付近の海域で「しんかい2000」が潜航調査を実施したのは、地震発生からわずか1ヵ月後のことだった。

潜航調査によって、地震による海底地滑りや崖崩れがいたる所でおきていることが確認された。斜面の崩壊に巻き込まれた生物も見られた。また、開口地割れ、噴砂跡、地形の盛り上がりなどの変動地形も数多く観察された。地震断層については明確に確認することはできなかったが、奥尻島西側斜面に断層面が走っているのではないかと推定された。



緊迫した雰囲気の中で、潜航調査は8日間に渡って行われた。そして、その期間中に、「しんかい2000」は700回目の潜航を迎えた。

## Blue Earth

7・8月号／2002

### Contents

#### 2 特集

海洋生態系の不思議に迫る

4 深海に暮らす生物たちの生き残るための多彩な戦略

10 深海底のオアシスに群がる“地球を食べる”生物たち

14 地球システムにおける海洋生態系の解明を目標に

海洋生物研究のフロンティアをめざす

17 横須賀本部・展示室の紹介

#### 18 Interview 研究者に聞く

藤森 英俊 研究員

海洋観測研究部

#### 22 Blue Earth Museum

クラゲの傘の内側に寄生するヤドリクラゲ

#### 24 JAMSTEC Report

梅雨期に集中豪雨をもたらす降水システム解明を

めざして高精度観測を実施

#### 28 JAMSTEC Report

飼育実験で明らかになった浮遊性有孔虫の生態

#### 32 OUR Ships

無人探査機「ドルフィン-3K」

#### 34 Face スタッフの横顔

iSASオフィス 江口暢久さん

#### 36 Marine Science Seminar

シロナガスクジラの遠距離通信とサウンドチャンネル

#### 38 BE Room

#### 40 Present／編集後記

賛助会会員名簿

表紙：ソコクラゲ

(撮影 海洋生態・環境研究部 三宅裕志特別研究員)

※ソコクラゲについての詳しい説明は裏表紙をご覧ください。

特集 海洋生態系の不思議に迫る

# 地球上で最も広大な“未知の生物圏” 深海に生息する 多様な生物たちの生態を 探る

中・深層から深海底まで  
複雑な海洋環境に適応する  
深海の生物たち

取材協力 海洋生態・環境研究部

太陽の光がほとんど届かない深度200m以深の海洋は、深い闇に支配された低温・高圧の世界だ。表層域では、太陽光を利用して光合成を行う植物プランクトンが基礎生産者となって、豊かな海洋生態系を支えている。だが、光が失われる中・深層及び深海底には、光を使って栄養分をつくり出す基礎生産者は存在しない。私たちから見れば、深海は非常に過酷で不毛な環境に思える。ところが、そうした中・深層から深海底にも、実は数多くの多様な生物群が生息していることが、次第に明らかになってきた。暗闇の世界にも、太陽光エネルギーによって生産された有機物が沈殿物として届き、また生物ポンプによって光合成生態系の環はつながっていた。さらに、深海底のプレート境界域等には、地球内部から供給される化学物質をエネルギー源として化学合成生産を行う、深海化学合成生態系が分布していたのだ。中・深層は、容積にすると海洋の約90%を占めている。地球上で最も広大な生物圏とされるが、その全容はまだまだ解明されていない。しかしながら、有人潜水調査船や無人探査機による調査・研究によって、深海という環境で、多くの生物たちがどのように生息しているのか、少しずつ解き明かされようとしている。



# 深海に暮らす生物たちの 生き残るための 多彩な戦略

## 潜水調査が明らかにした 中・深層生物のユニークな生き方



取材協力  
三宅裕志特別研究員  
海洋生態・環境研究部

深度200m以深(海底から上方約50mまでの近底層を除く)の中・深層域は、広大な容積を持つ一大生物圏だ。しかし、ここにどんな生物がどのように暮らしているのか、また、ほかの環境とどのようなつながりを持っているのかは、まだよくわかっていない。だが、これまで潜水調査船「しんかい2000」をはじめ、無人探査機等を活用した数多くの調査活動によって、少しずつその姿が明らかになろうとしている。中・深層にも、その環境に適応した数多くの生命が存在している。そして、彼らが生き延びるために獲得した様々な戦略は、私たちに大いに驚かせる。深海生物たちの不思議に満ちたユニークな生き方を紹介していくことにしよう!

### 深海は過酷だが安定した環境!?

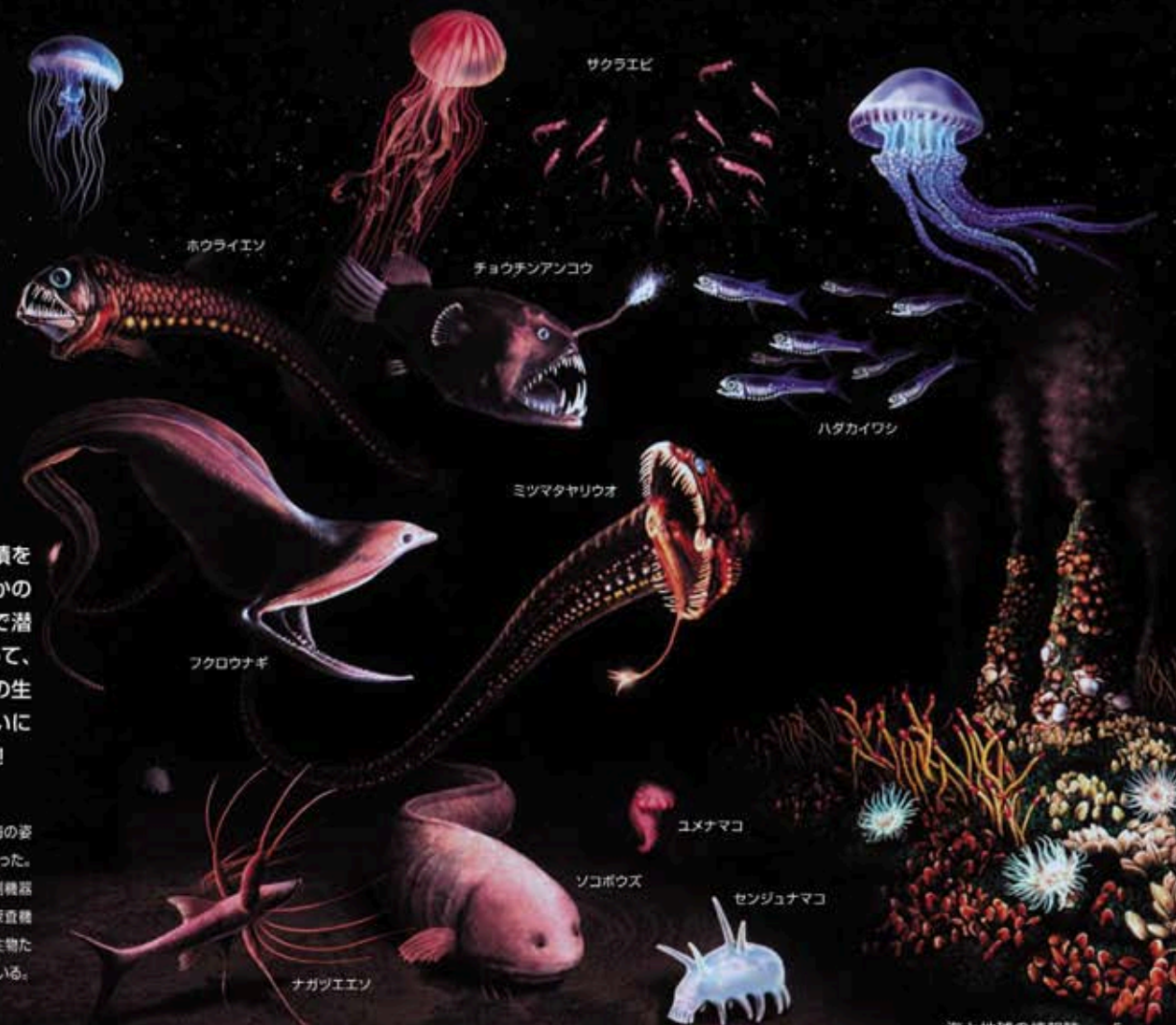
陸上に暮らす私たちにとって、海は身近でありながら、遠い未知の世界だ。海洋の平均深度は約3,800mあるが、通常、生身の人間が潜れるのはわずか数mにすぎない。スキューバなどの潜水

器具を用いても数十m、あらかじめ加圧室で高い水圧に体を慣らす飽和潜水という特殊な方法を用いても、深さ数百mしか潜ることはできない。海のなかには、呼吸の問題、そして水圧という大きな壁が立ちはだかっている。

こうした壁を超えて、私たちに深海の姿を垣間見せてくれたのが潜水調査船だった。また、高感度のテレビカメラや観測機器を装備した有人潜水調査船及び無人探査機の開発は、深海の環境やそこに生きる生物たちの姿を知る上で大きな成果をあげている。

深海(中・深層から近底層)に生息する主な生物たち

サクラエビなどのエビ類、オキアミ類、ハダカイワシの仲間などは、夜間にエサを求めて表層に上昇する日周鉛直移動を行い、結果的に表層の有機物を効果的に深海に運ぶ役割を果たす。ハダカイワシは体に多数の発光器を備え、自分の影を消したり、仲間(雌雄)の識別に利用している。同じ発光器でも、チョウチンアンコウやミツマタヤリウオの場合は、長く延びた擬態体に使われ、動物プランクトンなどのエサをおびき寄せるために利用している。深海の魚類にはフクロウナギやホウライエソのように大きな口と鋭い歯を持つものが多く見られ、大きな獲物も一度捕らえたら逃さず、確実に胃袋に収める。これもエサの少ない深海で生き延びるための戦略のひとつだ。深海底に近づくにつれて底生生物(ベントス)が現れる。ソコボウズなどの魚類をはじめ、貝類、ナマコの仲間、イソギンチャクの仲間、カニやエビの仲間など様々だ。イトヒキイワシの仲間ナガツエソは長く伸びた腕と尾で海底に立ち、船手のような腕で流れてくるエサを待ち受ける。

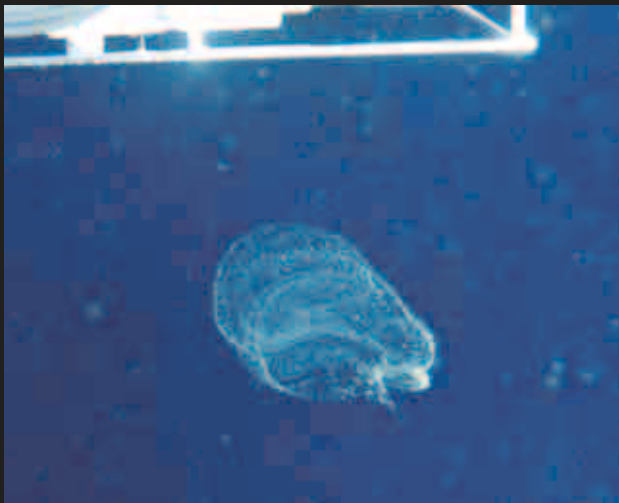




オヨギゴカイ



クシクラゲ



体のまわりを粘膜で包み込むオタマボヤ。



ボラリアクラゲの仲間

深度200m以深の中・深層はどのような世界なのだろうか。太陽光線は、海中に入ると波長の大きい光から徐々に減衰し、深度約200mでほとんど暗闇の世界となる。水温も低下する。深度400mで8~10°Cほどの水温は深くなるとともに低下し、およそ1~4°Cでほぼ安定する。水圧は深度10mにつき1気圧ずつ増していき、深度200mで20気圧、深度3,000mでは300気圧に達する。また、溶存酸素も表層の5分の1以下だ。

暗闇、低温、高圧、そして溶存酸素も少ないと聞くと、厳しく過酷な環境のように思える。しかし、見方を変えれば、表層のような変動幅が大きい環境に比べて、時間や季節などによる変動がほとんどない中・深層海域は、非常に安定し

た環境でもある。深海の環境条件に適応できた生物にとっては、とても棲みやすい世界といえる。たとえば、水圧が大きな問題となるのは、私たちの体に肺のような中空体があることが大きな原因のひとつ。深海生物にはこうした中空部分がなく、体の内外で圧力が釣り合っているため、ある程度の深さまでは、水圧によって体が潰されることはない。魚類にも浮力を調整するウキブクロがあるが、深海生物でウキブクロを持つものは、内部にガスではなくワックスが入っている。油で浮力調整を行っているのだ。余談だが、私たちの食卓にのぼる魚類のなかで、メルルーサやムツの仲間のように深海性の魚に脂っぽいのが多いのも、このことと関係している。

深海生物にとって最も過酷なのは、いかにして栄養源となる食物を確保するかということだ。太陽光がほとんど届かないということは、視覚的な影響だけでなく、光合成を行う基礎生産者、植物プランクトンが存在できないことを意味する。深海生物は、どのようにして食物を手に入れているのだろうか。その食物のひとつとなっているのが、「マリンスノー」と呼ばれる沈降物。表層の植物プランクトンや動物プランクトンの遺骸、動物プランクトンなどの糞といった有機物がくっつき合い、綿ぼこりようになってゆっくり沈んでいく。これをバクテリアやカイアシ類が食べる。また、深海生物のなかには、自ら上昇して表層へ食物を獲りにいくものもいる。昼間は

深い海中に身を潜め、夜間に上昇して表層の植物プランクトン等を食するという行動で、「日周鉛直移動」と呼ばれる。一昼夜で数百mから1,000mを超えて上昇・下降するものもある。オキアミ類などの動物プランクトンやハダカイワシなどがこれを行う。深海には、当然、これらを待ち受けて獲物にする生物がいる。こうした食物連鎖によって、表層で生産された有機物は、より効率的に深海へと運ばれる。

とはいえ、中・深層にもたらされる有機物の量は限られており、表層と比較すると生物の密度は低いと考えられている。中・深層の生物には力強く泳ぎ回ってエサを探すというより、漂うように移動する柔軟でくねくねとした体を持つものが多いが、これもエネルギーの消費を減らす深海適応のひとつかもしれない。また、深海の魚類には、フクロウナギ、ホウライエソのように大きな口、鋭い歯を持つものが多い。一度出会ったエサを確実に捕らえるための戦略なのだろう。

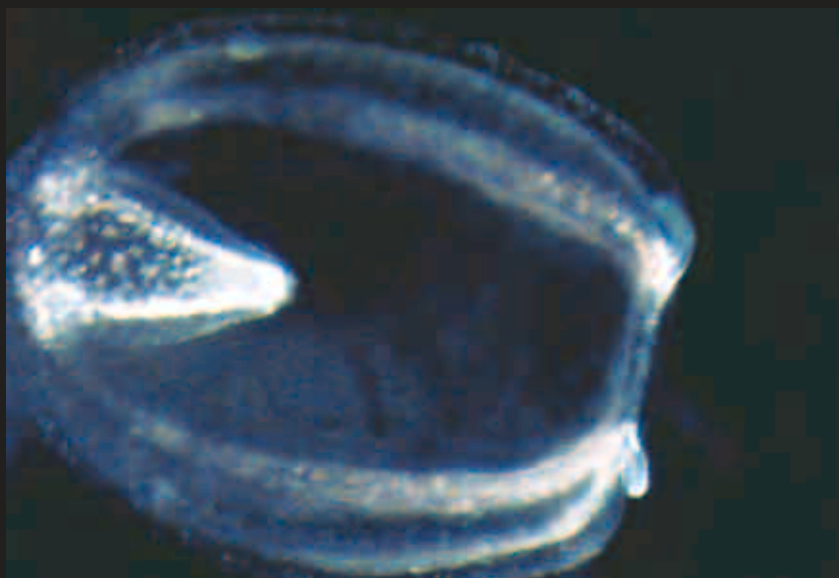
厳しい生存競争を勝ち抜くために、深海生物には襲う戦略とともに、襲われないための様々な工夫も見られる。その一つが発光だ。深海生物には発光器を持つものが数多い。ハダカイワシなどを見ると、体の下方に発光器が並んでいる。太陽光は中・深層にはほとんど届かないが、波長の小さい青色光は、海域等によっては約1,000mまで透過することがあるといわれる。深海生物のなかには、このわずかな光をとらえる発達した視覚器官を持つものもある。ハダカイワシの発光器は、そうした捕食者から自分のシルエットを消す役割を果たしている(カウンター・シェード・エフェクト)。ムネエソの仲間は、体を垂直に立てるようにして、やはり発光器を下方に向けている。これも自分の影を消すためと考えられている。また、ニジクラゲは、その触手が発光する。捕食者に狙われたとき、触手を自ら切り離し、発光する触手に捕食者の注意を向けさせておき、その隙に逃げるといふ。



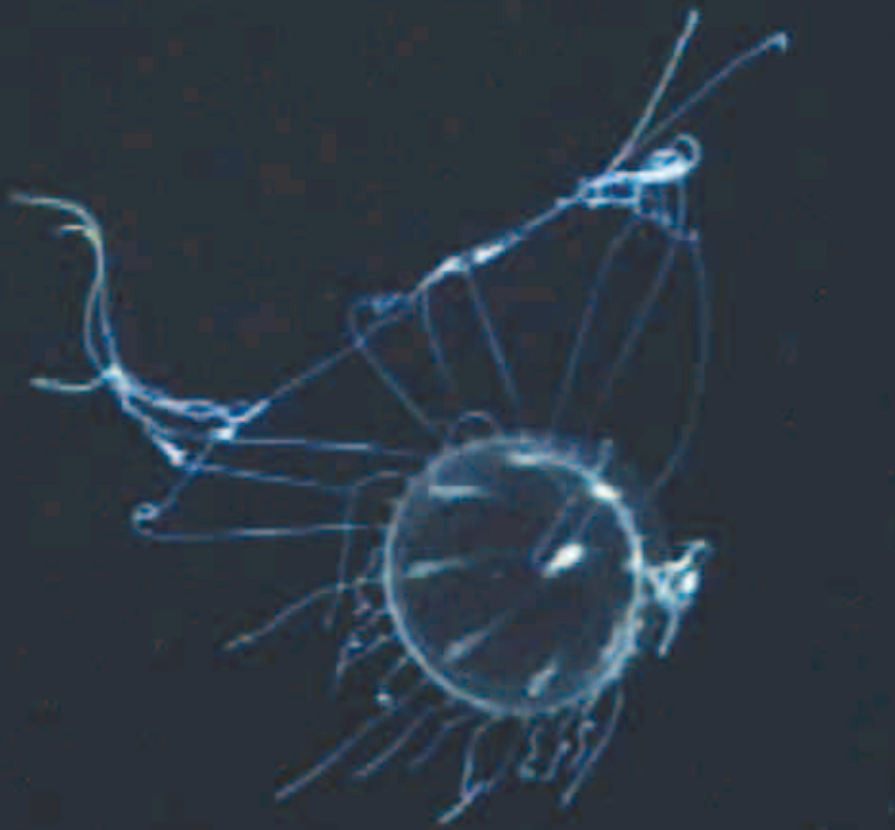
ヒゲクラゲ



ヒゲクラゲのクラゲ芽。透明な部分からクラゲが誕生する。



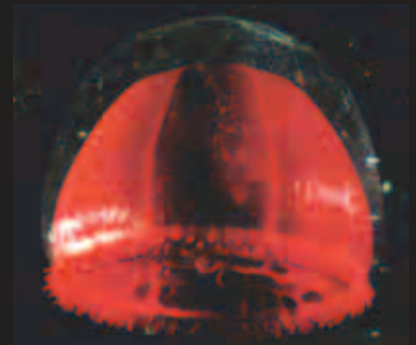
クラゲ芽から成長し、遊離したクラゲ。



触手を切り離し、敵の気をそらして逃げるニジクラゲ。



カッパクラゲ



クロクラゲの仲間

中・深層の環境に適応したクラゲ  
潜水調査船で中・深層を探索しているときに、研究者が最も頻繁に出会う生物はクラゲだ。もっとも、魚類などは潜水調査船をいち早く察知し、逃げてしまった可能性もあるため、これだけでクラゲが最も多いとはいえない。だが、たくさんのクラゲがそこに存在することは間違いない。かつてネットを使用して中・深層の生物を採集していたころ、捕らえられるのは硬い体を持つ魚類や甲殻類等に限られていた。クラゲなどは崩れてしまい、存在することはわかっていても、どんなクラゲがどのくらいいるのかは、まったくわからなかった。そのため、クラゲは中・深層に存在する生物のうちの10%程度ではないかと推察されていた。ところが、実際に潜水調査船で潜ってみるとクラゲは想像以上に多く、中・深層の生態系において重要な役割を担っていることがわかってきた。激しい風波もなく、水温や塩分等の変化もほとんどない中・深層の安定した環境は、海中に漂いながら生きるクラゲ

にとっても暮らしやすい環境といえるかもしれない(表層で生きるクラゲも、風波がひどくなったり、降雨で塩分濃度が低下すると沈んで避難する)。  
クラゲは、ゼラチン質のプランクトン(浮遊生物)、つまり水中で漂い流されながら生きている生物の仲間であり、分類上は刺胞動物門・ヒドロ虫類、鉢虫類箱虫類の浮遊生活世代、有櫛動物門・クシクラゲ類の総称とされる。日本近海では約200種のクラゲが確認されているが、中・深層にはまだ名前もなく、その生態もよくわかっていないクラゲが数多く存在しており、まだ不明な部分が多い。  
クラゲの体は90~99%が水分で、上皮、筋肉、神経、袋状の胃などの組織を形成している有機物(たんぱく質、糖質など)はごくわずかではない。まさに“生きた水”ともいえるクラゲだが、食物が少ない中・深層では、有機物をたくさん使わずに自分の体を維持し、体を大きくすることで食物と出会う確率を高めるといえるクラゲの戦略は成功しているといえるだろう。ヒドロクラ



スグリクラゲの仲間

ゲ、鉢クラゲの仲間は触手の刺胞で刺してエサを捕らえ、クシクラゲの仲間は触手の粘着細胞でエサをからめ捕る。捕らえたエサは口から胃に運ばれ、消化後のカスは再び口から排出される(クシクラゲ類は別に排出口を持っている)。エサとなるのはクラゲを含む動物プランクトンから小さな魚類まで様々であり、中・深層の食物連鎖において



深海性ヒドロ虫のコロニー。Aは栄養個員、Bは指状個員、Cはクラゲ芽を形成している栄養個員。



キタミズクラゲのポリプ。無性生殖で増殖する。



キタミズクラゲ

は、魚類と同様に頂点に近い位置にいると考えられている。

一般に、海中で私たちが目にするクラゲは、その生活史のなかの一面でしかないことはよく知られている。受精卵から発生したクラゲの幼生は、岩などの基盤に付着し、ポリプとなる。ポリプは分裂や出芽を行い、その個体数を増やしたり、無性生殖的にクラゲを増殖させる(クシ

クラゲ類にはポリプ世代はない)。だが、天井も床もない中・深層にはこの付着基盤となる岩がない。そこで、中・深層に生きるクラゲたちは、他の生物の体を借りてポリプとなったり、ポリプ世代をなくしたり、クラゲが直接クラゲの芽を形成するなどして、柔軟に生息環境に適応している。また、クダクラゲは、エサを獲る個体、繁殖を行う個体などいくつも

の個体がひとつになって動き回る「群体」を形成する。場合によっては数十mにもなることもあり、まるで延縄漁のように触手を垂らして獲物を捕らえる。

深海の安定した環境とともに、クラゲそのものの生命力の強さや適応能力の高さが、中・深層の生態系において、クラゲが重要な位置を占めている理由といえるかもしれない。



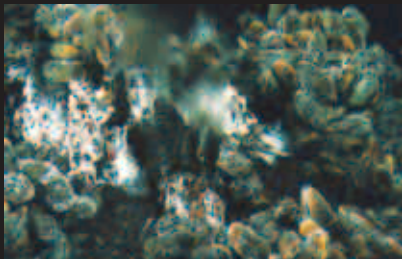
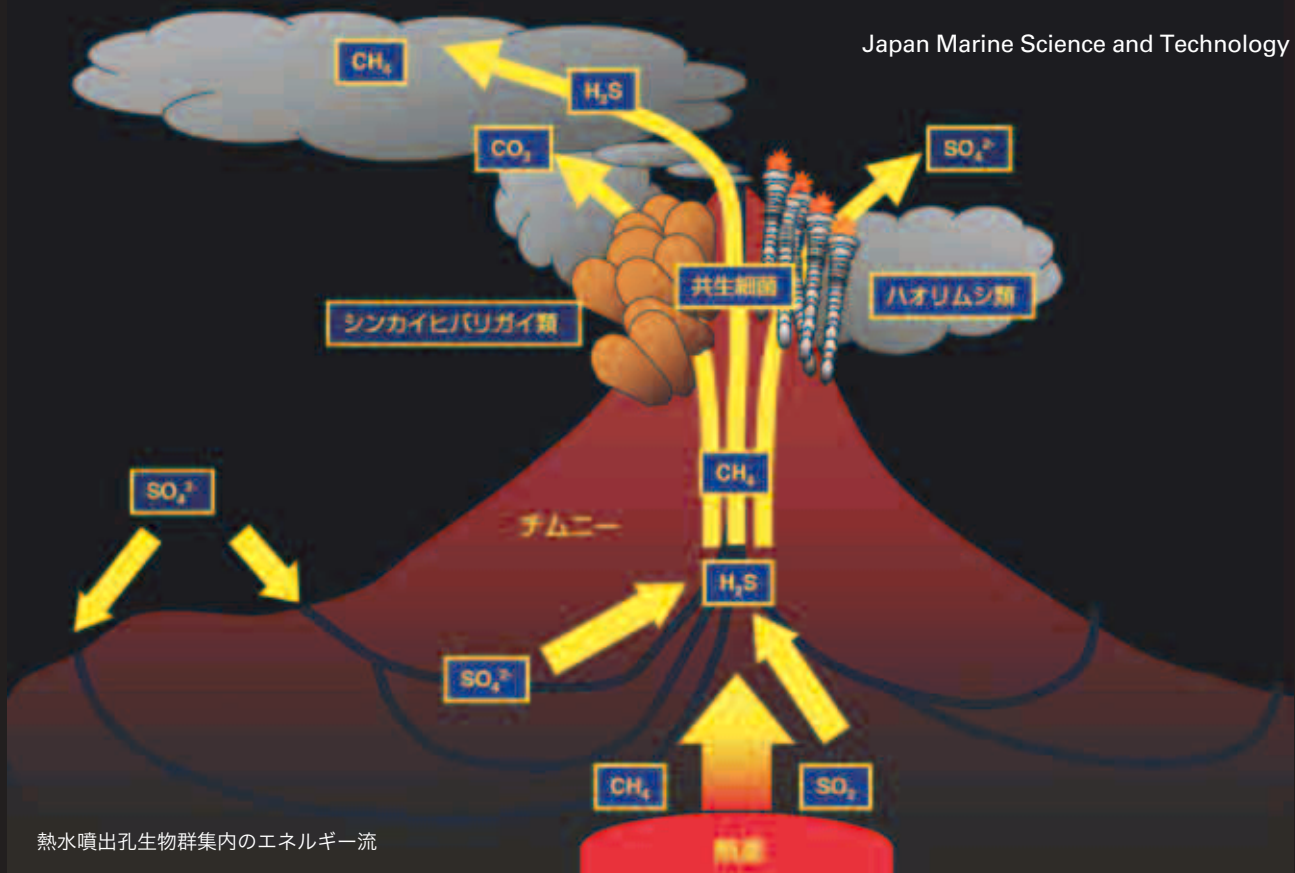
# 深海底のオアシスに群がる “地球を食べる”生物たち

## 多くの謎に満ちた 化学合成系生物の生き方

取材協力 藤原義弘 研究員

海洋生態・環境研究部

地球上のほとんどすべての生き物は太陽光の恵みによって生きている、長い間そう考えられてきた。光合成によって植物が作り出した有機物から食物連鎖が始まり、生物はその環のなかに生きていると思われていた。ところが、いまから25年ほど前、深海底の熱水噴出孔周辺で、この環から外れた、もうひとつの生態系が発見された。熱水などに含まれる化学成分を用いて生物生産を行い、そこから食物連鎖が始まる化学合成系生物たちの世界が見つかったのだ。地球内部からもたらされる物質をもとに栄養源を生み出す、つまり“地球を食べる”生物たちの、興味深い生き方を紹介する。



熱水噴出孔生物群集



冷水湧出帯生物群集



鯨骨生物群集

## 硫化水素やメタンから 有機物をつくるバクテリア

植物プランクトンによって海洋の表層で生産された有機物のうち、海底に到達するのはごくわずかであり、100分の1とも1000分の1ともいわれている。栄養物が少ないことが、深海で生物の密度が低い理由のひとつだ。ところが、そんな深海底に生物が群をなしている場所が次々に見つかっている。東太平洋や中部大西洋などの深海底にある海嶺と呼ばれるプレート生成域や海底火山域などの熱水噴出孔、プレート沈み込み域の海底で間隙水がしみ出すように湧く冷水湧出帯など、“地球の割れ目”ともいえる場所に、生物たちのオアシスが形成されているのだ。日本周辺では、1984年に相模湾初島沖の冷水

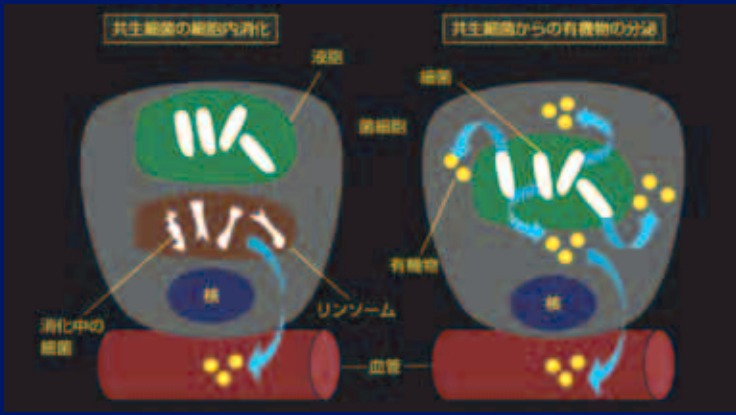
湧出帯(深度1,000~1,130m)で初めてシロウリガイ群集が見つかり、その後の調査によって、奥尻海嶺、日本海溝、相模湾、駿河湾、南海トラフ等の冷水湧出帯、フィリピン海プレート東端の火山フロント、沖縄トラフ、鹿児島湾等の熱水噴出孔など、およそ40ヶ所でこうした生物群集が確認されている。

太陽光の届かない深海底(鹿児島湾は深度約80mで世界最浅)に、どうして多くの生物たちが息できるのか。多くの生物学者たちがこの謎に取り組んだ。そして、湧き出る海水に含まれる化学成分、それを利用して有機物をつくるバクテリアの存在が、謎を解き明かすための鍵を握っていることがわかった。

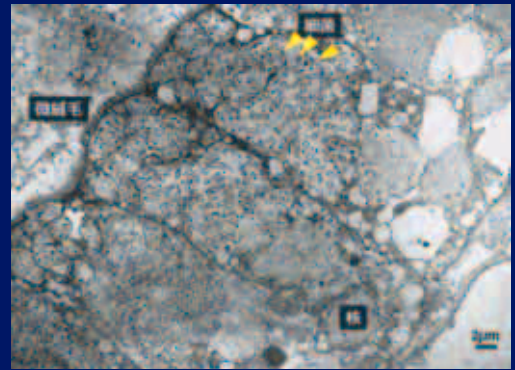
海底から湧き出す熱水や冷水には、重金属類をはじめ様々な物質が含まれ

ている。硫化水素、メタンなどもそのひとつだ。そして、噴出孔の周辺には、イオウやメタンを利用して有機物をつくる硫黄バクテリア、メタン酸化バクテリアなどの化学合成バクテリアが大量に存在している。このバクテリアが一次生産者となって豊かな生物群集を支え、深海底に化学合成生態系が形成されていたのだ。

化学合成バクテリアが有機物をつくる仕組みは、植物が太陽光エネルギーを利用して有機物をつくる仕組みとよく似ている。ただし、有機物を生合成するためのエネルギーとして使われるは、硫化水素やメタンが酸化するときを生じる化学エネルギーだ。化学合成バクテリアは、このエネルギーを使って有機物をつくり出していた。



共生バクテリアから宿主への有機物の受け渡し方法



ナラクハナシガイのエラ上皮を電子顕微鏡で見た写真。核に近づくにつれて、細菌(共生バクテリア)が壊され消化されていく様子が確認できる。

熱水噴出孔の周辺には、一般の深海底とは比較にならないほどの豊かな生物量が存在するが、そこに集まる生物は、概ね限られている。ゴカイに近縁といわれるハオリムシ類をはじめ、シロウリガイ、シンカイヒバリガイなどの二枚貝類、アルビンガイなどの巻貝類、オハラエビなどのエビ類、ユノハナガニなどのカニ類、他に原始的なフジツボ類やイソギンチャク類などが、化学合成生物群集を構成する主な生物たちだ。場所が変わっても、これらのグループに属する生物たちが生物群集のほとんどを占めている。これは熱水に含まれる硫化水素などの成分が大きく影響していると考えられている。硫化水素は一般の生物にとっては猛毒だ。私たちの血液にあるヘモグロビンは酸素を運搬する役目を担っているが、硫化

水素は酸素よりもこのヘモグロビンと結合しやすく、酸素の運搬を妨害してしまう。ところが、化学合成生物群集の一員であるハオリムシの血液中のヘモグロビンは、酸素と硫化水素とを別々に結合させることができる。化学合成生物群集に含まれる他の生物たちの多くが、この硫化水素の毒性をなくするための特別な物質やシステムを持っているといわれている。もちろん、熱水噴出孔周辺には、エゾイバラガニ、ソコダラなど、一般の底生生物たちも時折姿を見せ、エサを獲る様子が確認されている。だが、そこでずっと生きることはないようだ。熱水噴出孔や冷水湧出帯周辺は、こうした特殊な環境に適応した能力を持っている生物たちがその恵みによって繁栄できる、特殊なオアシスといえるかもしれない。

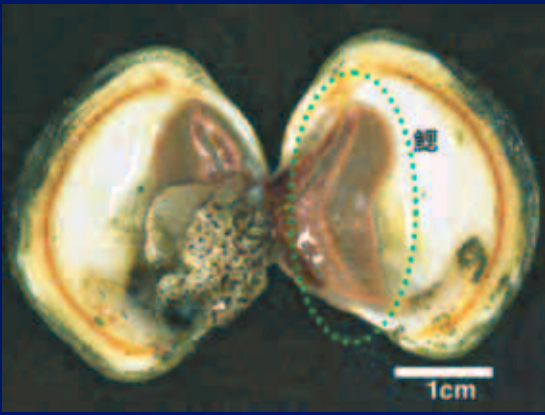
化学合成生態系の個性的な生物たち  
化学合成生物群集の代表的な生物といえば、まずハオリムシだ。キチン質でできたチューブ状の管(棲管)のなかに栄養体と呼ばれる閉じた袋状の部分があり、その上部に羽織り状の筋肉がついている。そして、その先にあるピロード状のエラをチューブの先端から出している。驚くことに、このハオリムシには口も消化管もない。いったいどのようにして栄養分を得ているのだろうか。ハオリムシは、体内に化学合成バクテリアを共生させており、そのバクテリアが作り出した有機物を栄養にしていたのだ。シロウリガイ、シンカイヒバリガイなどの貝類も、同じように化学合成バクテリアを自分のエラの上皮細胞内に共生させて、有機物を獲得している。ただし、貝類については、口、消化器官、排泄器官を持っており、ある程度は通常の貝



ハオリムシの仲間



日本海溝で発見された共生バクテリアを持つ二枚貝



ナラクハナシガイ

類のように過摂食を行うこともできるといわれる。実際に、実験室で硫化水素やメタンのない状態でシンカイヒバリガイを飼育しても、長いもので1年近く生きていたことが観察されている。

貝類の共生バクテリアから宿主への有機物の受け渡し方法については、バクテリアが分泌する有機物を宿主がもらい受けるタイプと、有機物を含むバクテリアそのものを細胞内で消化して(食べて)しまうタイプがあることがわかっている。だが、バクテリアとの共生関係については、細胞内のバクテリアの量をどのようにコントロールしているのかなど、まだわかっていないことが多い。

また、シロウリガイでは、細胞内共生しているバクテリアが親から子へと受け継がれるといわれているが、ハオリムシでは、幼生のころには共生バクテリアを持っておらず、環境から取り込んでいるといわれている。外部から取り込むということは、バクテリアそのものが一つの生物として自立していることを意味するが、親から子へと受け継がれる場合、植物細胞の葉緑体、動物細胞のミトコンドリアのように、もしかしたらバクテリアが自らの遺伝子の一部を宿主の細胞に渡している可能性もあり得る。ゲノム解析を含む今後の研究によっては、生物の進化と多様化の過程を解明する大きな発見があるかもしれない。

さらに、日本海溝の深度7,300~7,400mという超深海域から見つかったナラクハナシガイを調べると、エラの

なかに、通常の硫黄バクテリアと酸素濃度が低いところでも効率的に有機物を生産できる別の硫黄バクテリアという2種類のバクテリアを共生させていることがわかった。二枚貝の殻は主に炭酸カルシウムでできているが、4,000mを超えるような深海では、高水圧の影響で炭酸カルシウムの溶解

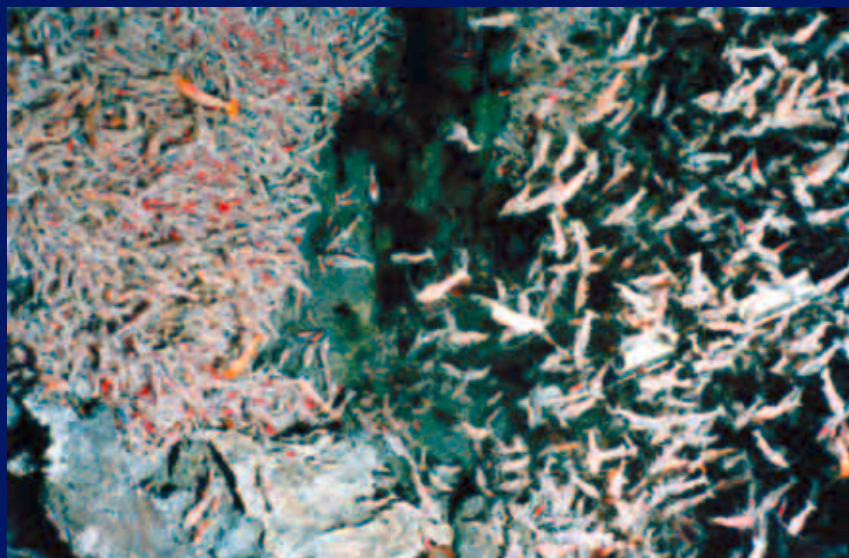
速度が飛躍的に増加し、貝殻がどんどん溶けてしまう。ナラクハナシガイは貝殻に穴が開かないように、内側から新しい貝殻をつくって補強しなければならない

い。そのため、2種類の共生バクテリアから効率よく栄養を得なければ生き延びることができないと考えられる。また、別の研究では、シンカイヒバリガイは熱水噴出孔から供給される化学成分に応じて、共生させる硫黄バクテリアとメタン酸化バクテリアを使い分けているといわれる。

化学合成系生物と共生バクテリアとの関係だけでなく、化学合成生態系に含まれるエビ類やカニ類についても、なぜこうした環境だけに見られるのかなど、まだ明らかにされていない事柄がたくさんある。地球の割れ目にできた深海底のオアシスは、まさに生命の不思議に満ちた世界だ。



ユノハナガニの仲間



オハラエビの仲間

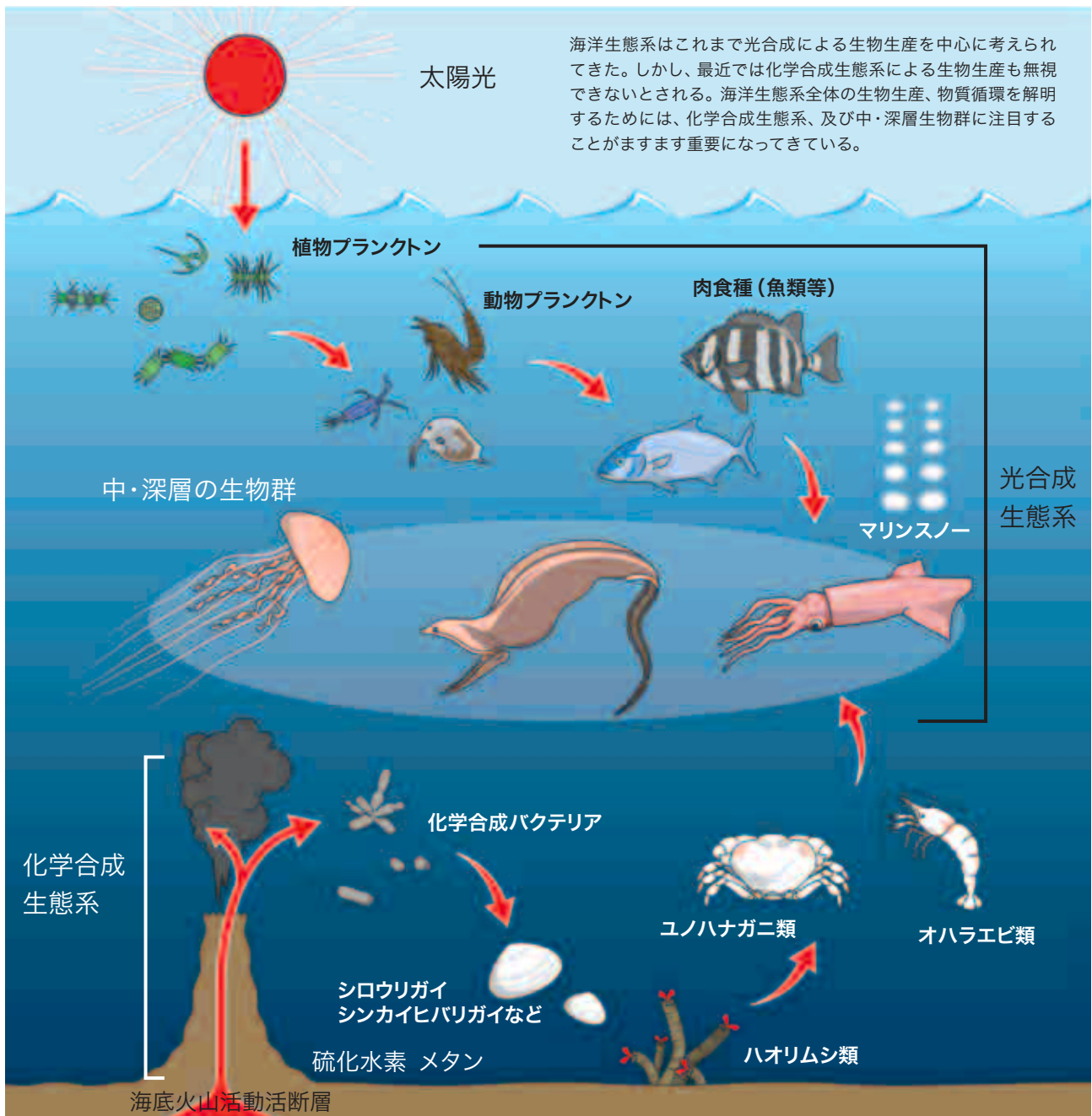
# 地球システムにおける 海洋生態系の解明を目標に 海洋生物研究の フロンティアをめざす

海洋科学技術センター  
海洋生態・環境研究部の新たな取り組み

1983年、潜水調査船「しんかい2000」の本格的調査潜航開始とともに、海洋科学技術センターの深海生物研究がスタートした。当初は水産資源生物に主眼をおいた調査研究が進められ、ズワイガニ、ハタハタなどの分布や資源量等の調査が行われた。そして、1984年、相模湾初島沖で調査を行っていた「しんかい2000」が、日本で初めて化学合成系生物群集を発見。これを契機に、1986年以降、本格的な深海生物研究が始まり、化学合成生態系に関する調査は、その中心的な研究対象となった。さらに、無人探査機「ドルフィン・3K」、潜水調査船「しんかい6500」、無人探査機「かいこう」、同「ハイパードルフィン」が次々に完成し、調査研究の領域・手法は飛躍的に拡大していった。そうしたなか、1998年からは、「深海調査研究」から独立して深海生物研究が実施されるなど、深海、特に中・深層生態系に関する研究が推進され、日本近海の中・深層生物相の把握、生物の分布と環境因子との関連などについての研究が行われてきた。そして、海洋生態・環境研究部ではまもなく「地球システムにおける海洋生態系の構造と役割の解明」を目標にかかげ、海洋生物の進化や多様性に関する研究、海洋生態系の生物生産と物質循環に関する研究など、センターの特徴を活かしながら海洋生物学の最先端を開拓することをめざして、新たな取り組みをスタートさせる。



取材協力  
加藤千明研究主幹  
藤倉克則研究員  
海洋生態・環境研究部



### 海洋生物研究の最前線をめざす

これまで、海洋生態系の生物生産は、浅海域や海洋表層において太陽光線をエネルギー源とする光合成生物生産を中心に見積もられてきた。光合成による生物生産は非常に高効率であり、海洋生態系における物質寄与のほとんどを占めていると考えられていた。ところが、1977年、アメリカの潜水調査船「アルビン号」が、ガラパゴス沖深度2,500mの海底において熱水噴出孔を確認。また2年後には、メキシコ沖東太平洋海膨深度2,600mの海底で、より活発に活動する熱水噴出孔を発見した。そして、これらの

噴出孔周辺で豊富な生物群が見つかり、その生物たちは、噴出孔から供給されるメタンや硫化水素等を酸化し、それによって得られるエネルギーを利用して生きていることもわかった。

この深海底の化学合成生態系の発見は、「自然史における20世紀最大の発見」といわれている。光合成生態系とは別に、地球内部から供給される化学物質をエネルギー源とする独立した生態系の存在が明らかにされたためだ。しかも、その生物量(バイオマス)は非常に多く、普通の深海底の数万倍ともいわれる。それでも、当時は化学合成による生物生産は、多く

見積もっても光合成を含めた全体の1%にも満たないわずかな量にすぎないと考えられていた。しかし、その後もプレート境界域にある火山域や沈み込み域などで、次々に熱水噴出孔、冷水湧出帯周辺に形成された化学合成生物群集が見つかり、さらには海底下の地殻内にも地球内部の化学物質によって生きるバクテリアが存在していることが確認され、化学合成による生物生産は無視できない存在になりつつある。

十数年前、イギリスのある生物学者は、深海底掘削によって得られたコア・サンプル内に存在するバクテリアの総数を、



**DNA染色**という手法を使って数えるという研究を行った。その結果、海底面の表層には**1グラム当たり100億**、海底下**1,000m**の地殻内にも**100万**ものバクテリアがいると発表した。もちろん、限られた場所での調査であり、どの海底でも同じように存在するとは限らないが、それでも海底地殻の内部というわれわれが認知していなかった領域(しかも光がまったく届かない場所)に、地上に匹敵するか、もしくはそれ以上の生物量が存在するという結果が出たのだ。研究者のなかには、化学合成による生物生産は、光合成によるそれと同じくらいではないかと推測する意見もある。

海底の海洋生態系と海底下の地殻内生態系はどのように物質のやり取りをしているのか、また、化学合成による生物生産は海洋生態系にどの程度寄与しているのか、こうした疑問が、いま海洋生物学の大きな課題として浮かび上がっている。

センターでは、これまで潜水調査船、無人探査機を活用し、化学合成生態系に関する様々なフィールドワークを行ってきた。今後も、光合成生態系に比べてデータが不足している深海底の化学合成生態系、及び化学合成生態系とも密接に結びついていると考えられる中・深層生態系を対象にして、食物連鎖などの群集構造、その生産力と物質循環等の定量化といった調査研究を行い、海洋生態系全体の生物生産や物質循環を解明していく考えだ。

海洋生物の進化と多様性の解明に取り組む

生物研究の重要なテーマとなっているのが、生命の起源と進化の解明だ。この大きな謎を解くための糸口を、海洋生物、とりわけ熱水域に生息する生物に見出すことができる。たとえば、すべての生物のなかで、原始生命にいちばん近いといわれている生物は超好熱菌だ。ある遺伝子を指標にしてすべての生物の進化系統樹を描いていくと、その最も根元に近いところ、つまり生物の共通の祖先であり、原始生命体に最も近いところに存在したのは、熱水のなかで生育する超好熱菌(90℃以上の高い温度を好む微生物)だった。熱水鉱床にはこうした超好熱性の生物が存在している。これらを調べることによって、生命の起源に迫ることができる可能性がある。

また、生物の進化を考える上で非常に重要なのが、共生という生物間の相互作用だ。簡単にいうと、2種類の異なった生き方をしている生物が、お互いに下心を持って共同生活を始めること、これが共生だ。最初の生命が誕生してから長い時間をかけて、生物たちはミクロの世界で様々な相互作用を繰り返し、その結果、共生という方法で進化を手に入れてきた。細胞外共生は、生物同士と一緒に生活することによって互いにメリットを分け与える緩やかな共生関係だ。これに対して、ある生物を細胞内に取り込んでしまうのが細胞内共生だ。さらに進むと、細胞内で独

立した生物であったものが、次第に自分の持っていたゲノムを宿主に分け与えてしまい、自分が相手の一部になってしまうという現象もおきる。動物細胞や植物細胞の元となる細胞も、こうした細胞内共生から生まれたと考えられている。つまり、嫌気性細菌に好気性細菌が入り込み、好気性細菌がミトコンドリアに変身してその一部となり、酸素を使って細胞のエネルギー源となる物質をつくるようになったのが動物細胞の原型であり、また、光合成を行うシアノバクテリアが原子植物の細胞内に取り込まれ、光合成を行う葉緑体となって、今日の植物が生まれたというものだ。

こうした共生による進化のメカニズムを解明する上で注目すべき生物が、深海の化学合成生物群集のなかに存在している。化学合成バクテリアを自らのエラに共生させているシンカイヒバリガイ類、シロウリガイ類などだ。これらの生物は、細胞内共生(絶対共生)がまさに始まったばかりの状態にあると考えられている。

センターでは、これまで積み重ねてきた化学合成生態系の調査研究をもとに、さらにゲノム解析、生理学実験を実施し、共生に関わる遺伝子の同定、共生バクテリアの制御メカニズム、エネルギー代謝の相互依存のメカニズムなどに関する研究を実施し、共生関係がどのように進行して生物の多様化を生み出したのか、また、真核細胞の起源など生物の進化にどのような役割を果たしたのかなどについて、研究を進めていく考えだ。

# 海洋科学技術センター内の展示室で 深海生物の不思議と深海研究の 最先端技術を知る

海洋科学技術センター横須賀本部内にある「海洋科学技術館」には、どなたでも自由に見学できる「展示室」が設置されています。深海底から採集された生きたユノハナガニやサツマハオリムシを観察できるほか、深海生物の展示、無人探査機「ハイパー・ドルフィン」のハイビジョンカメラがとらえた深海生物の美しい映像などが楽しめます。また、潜水調査船「しんかい6500」の実物大模型、北極域の観測で活躍する「J-CAD」

ブイの実機、地球深部探査船「ちきゅう」、無人探査機「かいこう」の模型なども展示されており、海洋研究の最先端技術について理解を深めることができます。

- 入館無料
- 開館：9:00～17:00（平日のみ開館）
- 問い合わせ：TEL0468-67-9066  
（普及・広報課）

\*見学を希望される方は、事前に普及・広報課にご連絡いただければ、交通等、詳しくご説明いたします。



展示室は海洋科学技術館の1階に。



シロウリガイ、オオコシオリエビ等の標本が並ぶ。



1m以上もあるムネダラの標本。



生きたユノハナガニ(左奥)、サツマハオリムシ(中央奥)も展示されている。



# Interview

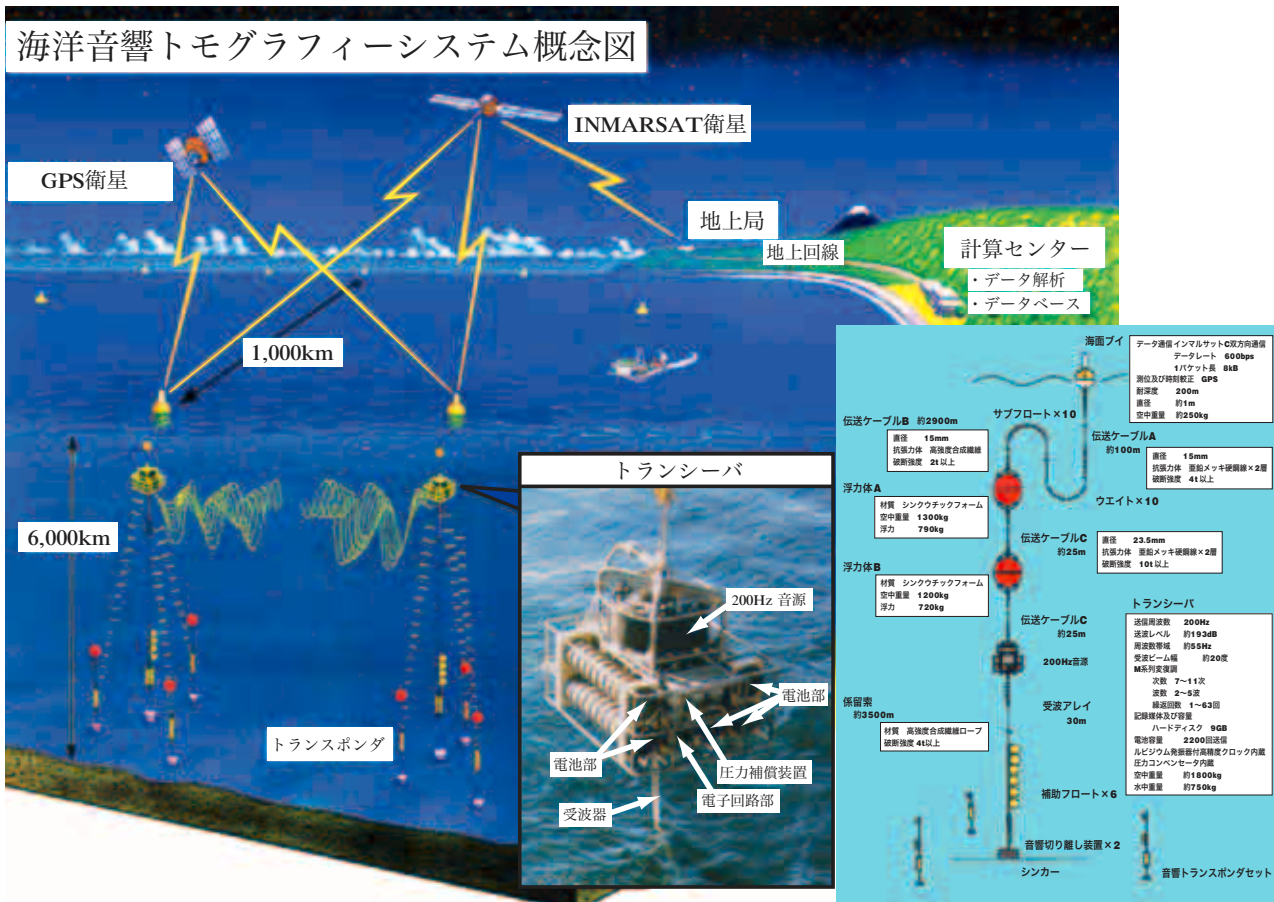
研究者に聞く

## 海洋音響の研究をベースに 海洋学への興味を さらに深めていきたい

藤森英俊 研究員

海洋観測研究部

海洋音響トモグラフィーは、音波を使って1,000km四方という広域な海洋の水温や流速など、海の内部を計測する海洋観測システム。医療用に用いられるX線CT(コンピュータ断層撮影技術を用いたX線検査)と同様の原理で、X線の代わりに音波を使い、海の中の様子を知ることができるというもの。1980年代初頭に行われた米国の実験で、海洋観測技術における革新性とポテンシャルの高さが認識され、海洋科学技術センターでも1988年から本格的な研究開発がスタートした。約10年に渡ってこの海洋音響トモグラフィーの技術開発と実用観測に携わってきた藤森英俊研究員にお話をうかがった。



**海洋の広域立体観測を可能にする  
海洋音響トモグラフィシステム  
Blue Earth編集部 (以下BE) これまで  
開発研究を続けてこられた海洋音響  
トモグラフィシステムとは、どのよう  
なものですか。**

藤森 X線CTスキャナーをイメージしてもらおうとわかりやすいと思います。CTは人体に多方向からX線を照射し、透過したX線の量をコンピュータで解析して体の内部の様子を二次元、もしくは三次元の画像(断層像)として再構成するものです。同様に、音響トモグラフィは、音波を使い、海中での音波の伝わり方の変化をコンピュータで解析して、水温分布や海流速度など、海のなかの構造を見ていく海洋観測システムです。この海洋音響トモグラフィでは、音を出す送波器(スピーカーに相当)と音を受けるハイドロフォン(マイクに相当)を備えたトランシーバ複数台を使って、一定の海域を囲み、お互いに音を送受信し合います。送波器から送られた音波は、海中の様々な経路を通過して受波器(ハイドロフォ

ン)に到達するため、ひとつの信号は様々な経路をたどった複数の信号として記録されます。音波は水温が高いほど早く伝わり、低いと遅くなります。また、海流と同じ方向に進むと音波の速度は速くなり、逆方向では遅くなります。海洋のどこかに変化があると、変化に関連した経路で信号の伝わる時間が変わります。こうした伝搬時間の変化をコンピュータを使って解析し、海のなかでどのような変化がおきているかを知ることができるのです。

**BE どのくらいの海域を観測することができるのですか。**

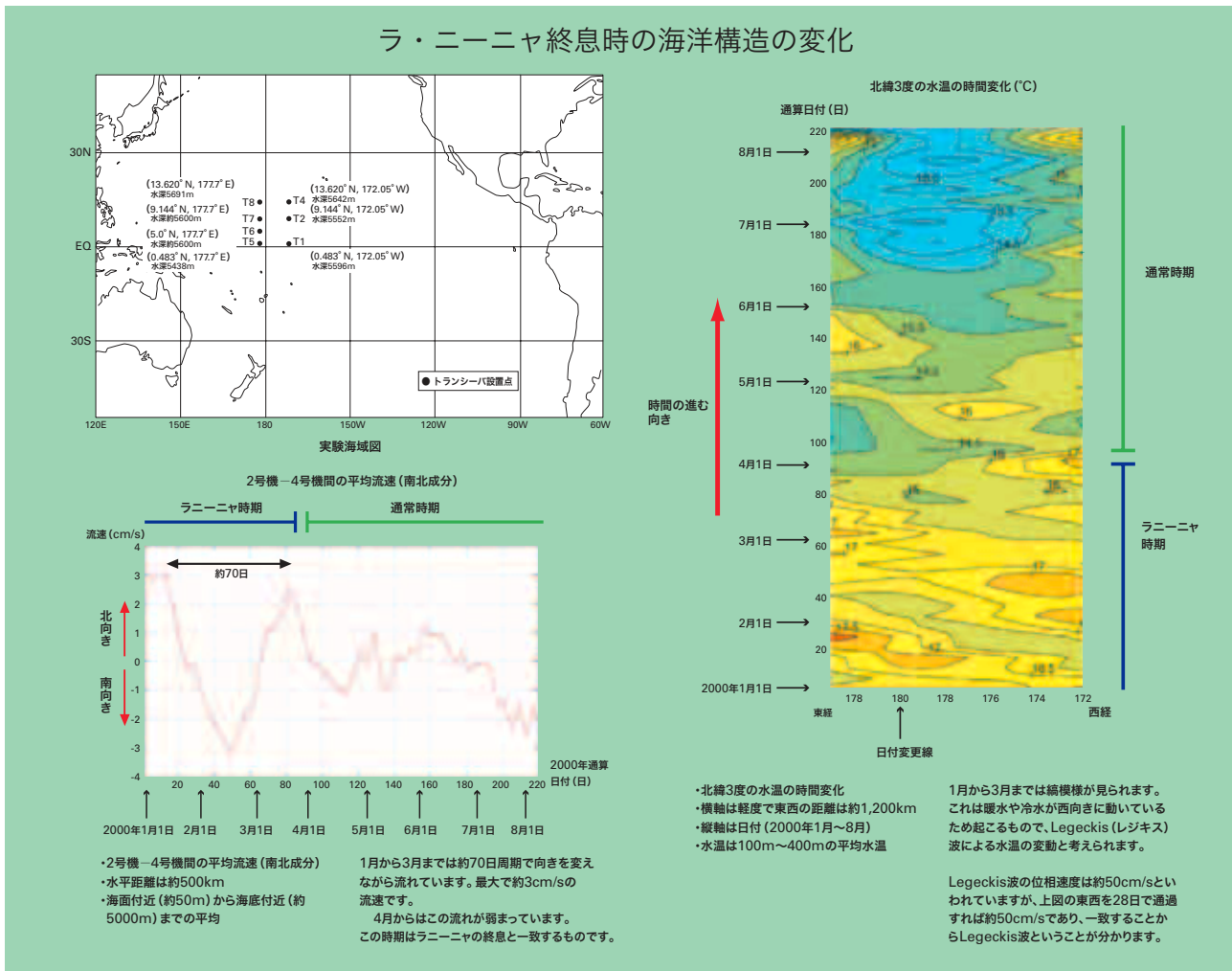
藤森 それぞれのトランシーバ間の距離で1,000kmは十分にカバーできます。一般的な海洋観測は、目的の場所まで船で行き、1点ずつの観測を行うか、1点で係留しての観測ですが、海洋音響トモグラフィシステムでは、一度数台のトランシーバを海中に係留しておけば、たとえば1,000km四方の海域全体を長期間に渡って観測し続けることができます。もちろん、観測船を使えば、観測点ごとの非常に高精度なデー

タを取ることができます。たとえば水温にしても0.001°Cといったレベルで計測することができますが、この場合は、1点ずつ計測しなければなりません。一方、広範囲の観測という意味では、人工衛星を使えば、地球のあらゆる海表面を短時間で観測することができます。しかし、人工衛星では表面水温など限られたものとなります。このふたつのギャップはとても大きい。そこで、このふたつの観測の中間的な位置を埋めるものとして海洋音響トモグラフィシステムを使うことができると思います。たとえば、ある注目する海域があったら、そ



海洋音響トモグラフィを海中に係留するための船上での作業

ラ・ニーニャ終息時の海洋構造の変化



ここにトモグラフィーを設置して継続的に観測し、人工衛星で広範囲に全体を見ながら、さらに必要に応じて観測船で詳細な観測を行う、というように、それぞれのメリットをうまく組み合わせながら総合的に観測を行っていくのがよいと思います。

**BE** 実際にこのシステムを使ってどのような観測が行われてきたのですか。

藤森 2000年は、7基のトランシーバを中部熱帯太平洋に展開し、1年間にわたって観測実験を行いました。このときには水温や流速の解析から、ラ・ニーニャ終息時の海洋構造の変化を捕らえることができました。2001年には、日本の東方海域に6基を係留し、黒潮統流域の集中観測を行いました。黒潮は、本州の南側を流れ、さらに東方へ進んでいきます。この統流域では、黒潮は蛇行したり、渦をつくりながら様々に変化しています。ここに海洋音響トモグラフィーの網をかけることによって、黒潮統流の動きや変化をとらえることができるわけです。97

年にも同じ海域で黒潮統流の蛇行やそれに付随する冷水渦の消長などを観測していますが、今回は、水温変動を詳しく見ながら、黒潮統流の熱輸送や、黒潮と親潮の間の熱交換等の仕組みについて、衛星データや他の集中観測データなどと比較しつつ、現在も解析を行っているところです。

**音響トモグラフィー開発とともに歩んできた10年間の研究活動**

**BE** 海洋音響トモグラフィーとの出会いは、海洋科学技術センターに入ってからですか。

藤森 大学では原子物理学をやっていましたが、もっと広いフィールドの研究をしてみようと、大学院では総合理工学研究科で大気海洋環境システム学を専攻しました。

そこにトモグラフィーをやっておられる先生がいらした。トモグラフィーを初めて知ったのはこのときです。大学院でも音波伝搬の解析をやったり、1992年に

センターが試作した200ヘルツ音源の性能確認試験を行ったときには、まだ大学院生でしたが、試験の手伝いとして乗船もしました。

**BE** センターに入られたころは、ちょうど海洋音響トモグラフィーの観測機器そのものの開発から実用観測システムの開発に移ろうとするところですね。

藤森 もともと理学系でしたが、センターに入ってから解析だけでなく、観測機器そのものの開発にも係わることになりました。ただ、実際に解析するにしても、データがどのようにして得られるのかということや、観測装置の構造がよくわかっていないと、いろいろな見落としが出てしまうこともあります。その意味ではたいへん勉強になったと思います。また、海洋観測には共通していると思いますが、装置そのものが持つ特有の誤差や偏差を知る必要があります。この点はよいが、こちらは気をつけなければいけないというのがあ



藤森英俊研究員

るものです。特にトモグラフィーはいろいろなところに気をつけておかないと、データ解析のときに混乱しやすい。たとえば、時計です。1基が音を出し、他の装置が受けるので、お互いの時計が合っていないと、受け側の時計が遅れたりすると、水温がどんどん低くなってしまいうように間違えて解釈してしまう可能性もあります。また、海中に装置を係留しておくわけですから、どうしても動揺します。そうした成分を除去するシステムも用意しておかなければ正確なデータは得られません。

**BE 観測装置の開発にも、いろいろと難しい問題がありましたか。**

藤森 低周波の音を出すために超磁歪材といわれる特殊な材料を使ったり、音をより遠くまで届かせるために内側から出る音

を打ち消す空気室があるのですが、水圧でこの空気室がつぶれないようにガスを供給する装置をつけるなど、システムの仕組みは非常に複雑です。また、音を出して受信するだけではなく、衛星通信を使ってデータを送り、逆にこちらからの指示を受ける、自分の位置を確認する、時計をGPSで修正するということに、様々な仕事をしてもらわなければなりません。さらに、海のなかですから、一度係留したら、そう簡単には手が出せません。複雑でありながら、全体の信頼性が高いことが重要になります。こうした問題をクリアして、装置が正確に作動してくれると、やはり嬉しいですね。

**BE そうした装置開発のおもしろさとともに、やはりデータをどのように解析するかというおもしろさもあると思いますが。**

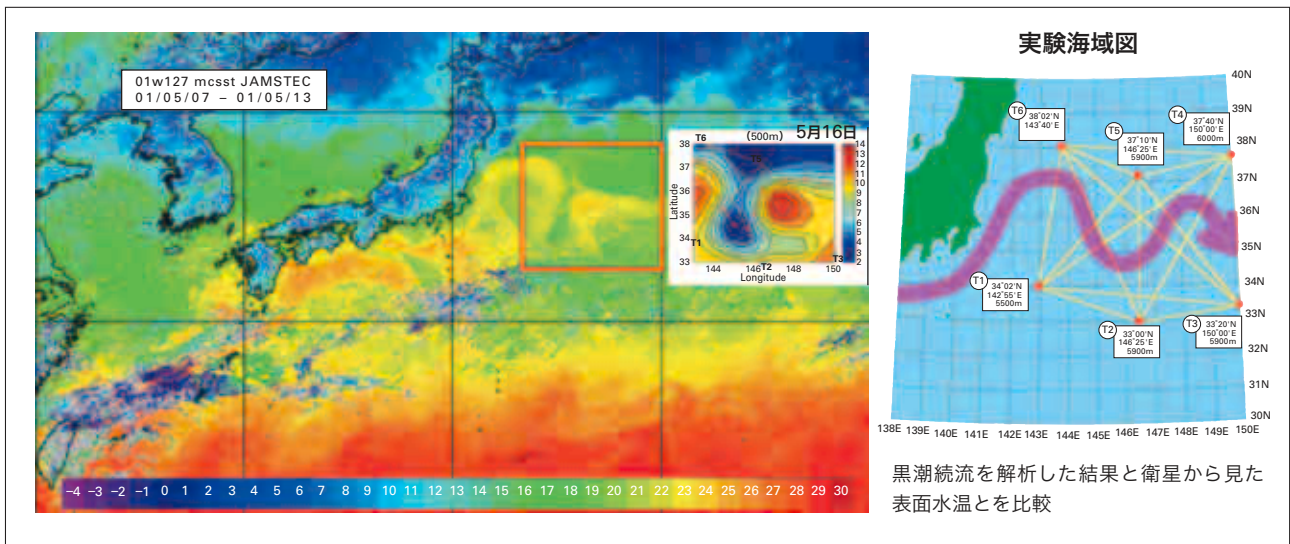
藤森 もちろんです。トモグラフィーから得られるのは、音波伝搬のデータではありません。これをいかに水温の分布などに変換していくかが重要です。そして、解析を行う部分にもたくさんのパラメーターがあり、それがうまく合っていないときちんとした解析になりません。トモグラフィーは一面で実測ですが、ある面では推定が入っています。そこでひとつひとつ検証して解析を積み上げていき、他の観測を横目でらみながらトモグラフィーとしての結果を出していく。それは誰ひとりとして見たことのない宝の山のようなもので、それを扱うのはやはり嬉しい。そこにいちばんのおもしろさがあります。

**BE この海洋音響トモグラフィーシステムを使って、今後、どのような観測研究が可能でしょうか。**

藤森 トモグラフィーは三次元マップの時系列が基本です。ですから、目標となる海域や現象を絞って、そのプロセスなどを追求するのがトモグラフィーの性能を発揮する観測になると思います。それから、水温や流速のある程度の距離の積分値(平均値)がわかりますから、その海域のベースとなる変化を読みとってみるのはおもしろいと思います。また、もっと小型のシステムで、たとえば、湾内の流れをモニターするというのもできると思います。

**BE ご自分としては、これからどのような研究をやりたいと思われませんか。**

藤森 海洋音響トモグラフィーについていえば、次のレベルとしては、音波伝搬のデータにどこまでの現象の情報を含んでいるか、そこを見極めていきたいと思っています。また、音波伝搬そのものの研究にしても、まだまだ奥深い世界が広がっています。こうしたベースとしての研究を進めていくことがひとつにはありますが、私個人としては、海洋観測の自動化ということに関心を持っています。また、これまで海洋音響をベースにやってきましたが、それだけでなく、海洋そのものがどうなっているのか、これからどのような変動を見せるのかという、自分の本来の興味である海洋学そのものについて、もっと深めていきたいと考えています。



黒潮続流を解析した結果と衛星から見た表面水温とを比較

採集したクラゲのなかから、  
別のクラゲが現れた!?

## クラゲの傘の内側に 寄生するヤドリクラゲ

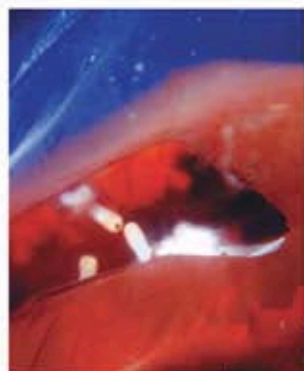
取材協力  
三宅裕志特別研究員  
海洋生態・環境研究部



北海道東沖広尾海底谷の深度680mでパンディア (Pandea) の仲間とされるクラゲが採集された。クラゲを詳しく観察すると、採集時についた傘の切れ目のなかから直径10mm弱のクラゲの芽がみつかった。最初はそのクラゲの子ども(エフィラ)かと思われたが、どうやら寄生性のヤドリクラゲのポリプであるらしい。ポリプは、一般に海藻や岩などに固着し、無性生殖によってその数を増やすクラゲの生活史のなかの一時期のこと。だが、中・深層の海中には固着する岩はない。そのため、エサを同じくし、浮遊するクラゲの体を宿主として選んだのだろうか。

ポリプはクラゲの傘の内側に、まるでブドウの房のように付着していた。その数は100以上。無性生殖でその数を増やしていったに違いない。ひとつひとつをよく見ると、キノコのように中心に柄があるものや、その柄が短くなったもの、さらに傘から触手が伸びているものなどが確認された。

適切なエサが見つからず、飼育することはできなかったが、おそらくカッパクラゲの仲間ではないかと考えられている。



JAMSTEC

## Report

# 梅雨期に集中豪雨をもたらす降水システム解明をめざして高精度観測を実施！

中国・長江下流域で、豪雨の源となる梅雨前線上の低気圧の発達過程をとらえることに成功

取材協力  
上田博グループリーダー  
地球観測フロンティア研究システム・  
水循環観測研究領域 貴・降水過程グループ



九州、四国、中国地方をはじめ各地で、毎年のように梅雨期の大雨による洪水や土砂崩れなどの災害が発生している。だが、梅雨前線に伴う豪雨がどのようにもたらされるのか、そのメカニズムについては、これまでよくわかっていなかった。そこで、地球観測フロンティア研究システム水循環観測研究領域の上田博グループリーダーをはじめ、耿驥(ゲン・ピャオ)サブリーダー、山田広幸研究員、クリシュナ・レディ研究員は、日本に豪雨をもたらす梅雨前線の降水システム形成過程を解明するため、昨年と今年の2年に渡って、梅雨期に発生源と思われる中国・長江下流域において高精度の観測を実施。その結果、降水システムの立体構造と、その発達過程を観測網によってとらえることに成功した。

## 中国・長江下流域に高精度の観測網を設置

梅雨前線に伴う豪雨については、ラジオゾンデ(気球に気圧・気温・湿度などを測定する機器を吊り下げて飛ばさせる高層大気観測機器)、ドップラーレーダー(反射電波の周波数がドップラー効果によって変化することを利用して、雲や降水粒子を目標に大気の運動を感知する観測機器)を使った観測をはじめ、これまで様々な観測が行われてきた



中国蘇州市周辺において、高精度の気象観測網を構築した。

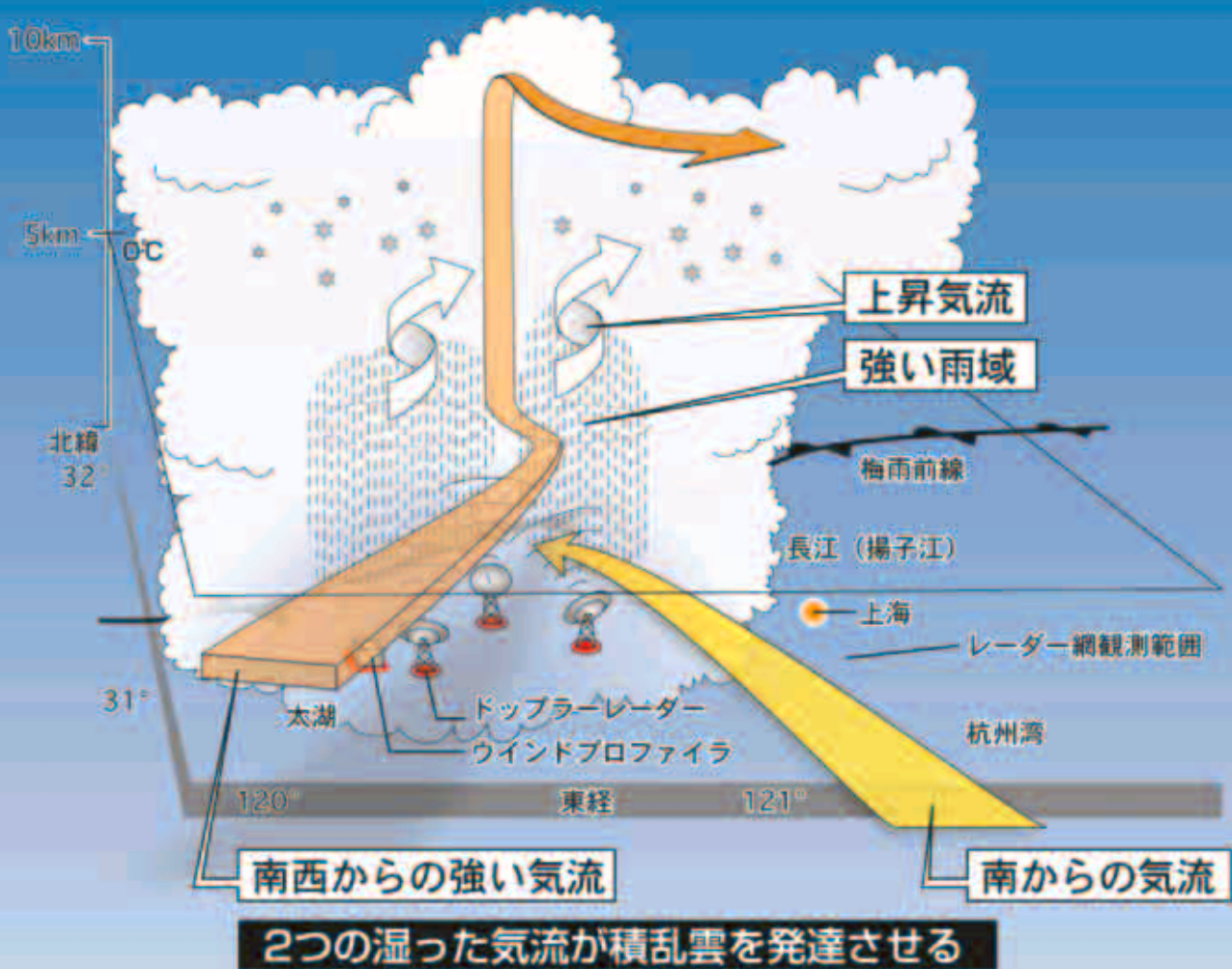
が、そのメカニズムについてはまだ解明されていない。これまで気象衛星を用いた研究などによって、その降水システムの発生源の多くは、風上側に位置する中国東海岸周辺であることが明らかになっており、梅雨前線の発生と降水システムの形成過程には、密接な関係があることも知られている。しかし、梅雨前線上の降水システム発生メカニズムを解明するためには、これまでのデータだけでは十分ではなく、発達過程における降水システム内の雨と風の空間分布を高分解能で観測して、その立体構造を明らかにする必要がある。

上田グループリーダーらは以前から、中国の長江下流域付近で発生する雲のかたまりに注目し、それが降水システムの形成過程に、重要な働きをしているのではないかと考えた。そこで、今回(昨年と今年)、中国の協力を得て、長江下流域・蘇州市近郊において、梅雨前線の降水システムを狙った高精度立体観測が実施されることとなった。

観測地には、降水システムの発達過程を詳細に観測するために、様々な観測機

器が設置された。降水の強度を立体的に観測するとともに、降水雲内の気流を観測するドップラーレーダー(3基)、その精度を上げるために用いられるバイスタティックレーダー(2基)、電波を用いて全天候で上空の水平風向・風速、鉛直風速を観測するとともに、音波を用いて上空の気温を観測するウインドプロファイラー、さらに、地上の気温・湿度・降水量・風向・風速・気圧・放射を自動的に観測する自動観測ステーション(3基)も用意した。ドップラーレーダーは半径64kmの範囲で観測できるが、2基のドップラーレーダーを使うことで、ベクトル合成によって風を三次元的にとらえることができたため、3台を数十kmずつ離して設置した。

こうした高精度の観測網を準備し、昨年の6~7月に集中観測が行われ、今年も同様のシステムによって観測が行われている。気象現象は年ごとの変動が非常に大きいため、2年間に渡って調査が行われることとなった。さらに、現在、中国が独自に長江沿いにドップラーレーダー網を構築しつつあり、今後の協力体制についても検討されている。



発生期の低気圧にともなう降水システム(立体構造)

### 緻密な観測網がとらえた 降水システムの発達過程

昨年の6月中旬、中国の長江付近にのびることの多い梅雨前線はやや南方に位置し、観測網でとらえることのできる最大の範囲のところにかかっていた。

6月19日夕方から20日にかけて、大陸上の梅雨前線帯で低気圧が急速に発生した。そして低気圧は東に進み、西日本から東海地方にかけて豪雨をもたらした。福岡、愛媛、和歌山などでは、24時間降水量が260～330mmを記録し、過去最大を更新した観測所もあった。

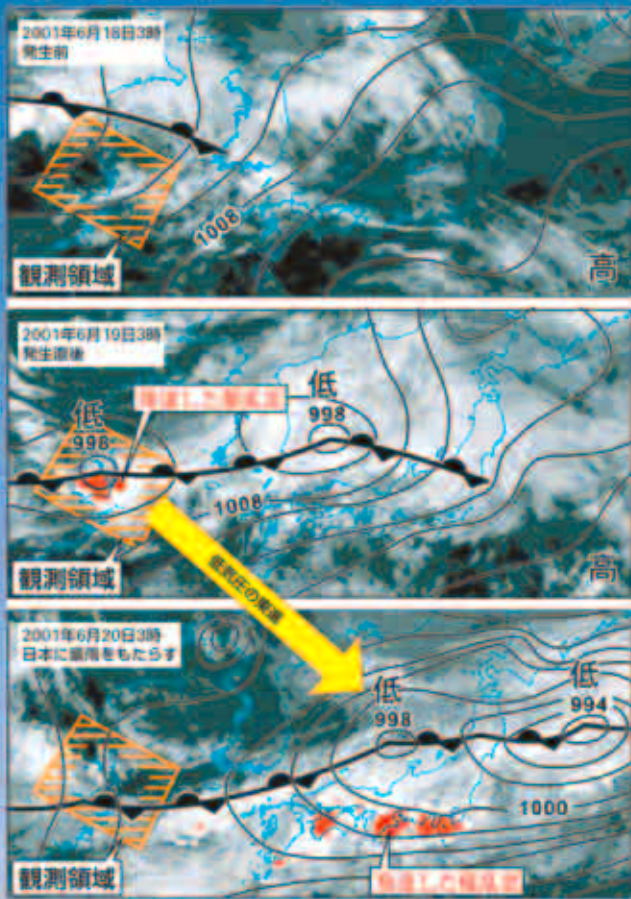
さらに、この豪雨によって死者1名、負傷者16名の人的被害があったほか、

住家被害も1,323棟(ほとんどは床下浸水)に達した。

このとき、蘇州市近郊の観測地では、この豪雨をもたらした低気圧の発生期における降水システムの立体構造とその発達過程を高精度観測網がしっかりとらえていた。観測によって得られたデータが示す降水システムの発達過程は、次のようなものである。

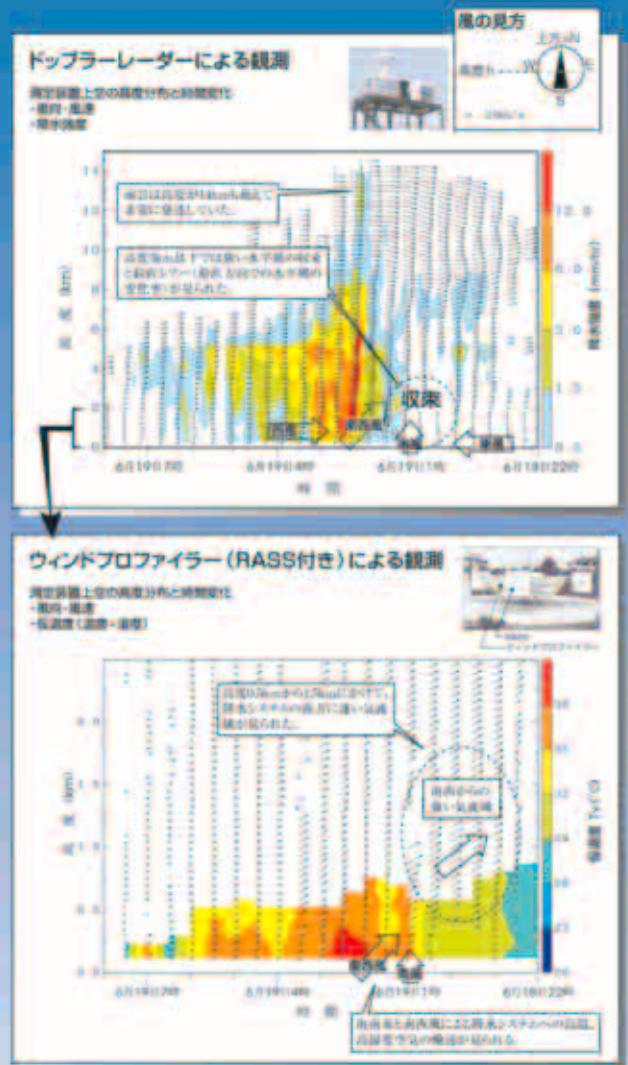
長江下流域付近、高度1kmより低いところに、東シナ海からの湿った南東の気流が流入する。さらにその上部には、南西から強い湿った気流が流れ込んでいる。これは太平洋高気圧の縁をまわる気流といわれるものである。どちら

も海からの湿気を含んだ暖かい気流であるか、これが長江下流域に位置する梅雨前線帯で、北側のやや冷たく乾燥した気流と衝突する。南北の気流がぶつかり、行きどころを失った暖かい気流は上方に上がって行く。暖かい気流は大量の水蒸気を含んでいるため、上昇することになり冷やされて雲が形成される。2方向から湿った暖かい気流は流れ込んでいるため、雲は急激に成長し、やがて大量の雨に変わる。研究グループの当初の予測では、南西の気流についてはある程度予見されていたが、南東から入ってくる気流については予想していなかった。



地上天気図と衛星雲画像の時間変化

6月19日の未明に長江下流域で発生した梅雨前線上の中小規模低気圧が、発達しながら東に移動している。20日に低気圧が日本海中部に進み、その中心から近畿・中国・九州地方の北岸に沿って梅雨前線が南西に伸びている。この低気圧にともなう活発な積乱雲が西日本から東海地方にかけて大雨を降らせ、深刻な災害をもたらした。



水蒸気が雲が変わるとき、大気中に熱が放出される。これによって空気は暖められ、行きどころを失って押し上げられた気流は、さらに暖められることによって自ら上昇していく。そして、上昇により含んでいた水蒸気が雲に変わり、熱を出す。これを繰り返すことで強い上昇流が生まれ、発達した雨雲（積乱雲）が形成される。低気圧はこうして生まれる。

1日前、わずかに梅雨前線がかかる程度だったが、翌日には急速に発達した積乱雲が現れ、中小規模の低気圧が生まれ、さらに発達しながら東に移動していく様子が天気図と衛星雲画像を組み

合わせた上の図にはっきりと現れている。そして、6月20日未明、低気圧の南側に再び積乱雲が発達し、四国や本州南岸に豪雨をもたらした。

積乱雲そのものは、長くても7～8時間で弱まるが、低気圧は残る。その低気圧が日本付近で湿った空気を集め、日本に豪雨をもたらしたと推測される。つまり、長江下流域では、日本に豪雨をもたらす雲そのものを形成しているのではなく、豪雨の雲をつくる低気圧がつくられていることがわかる。

長江下流域で生まれる低気圧は、初期段階においてはそれほど大規模なものでないケースが多い。それだけに、

天気予報などに用いられる数値モデル等では、発達するまでなかなかとらえきれないということも、今回の観測で判明した。

観測は今年も順調に行われている。2年に渡る観測で得られたデータは、梅雨前線とそれに伴う降水システムを再現する気候変動予測モデルの精度を向上させていくための貴重なデータとして活用される。さらに、観測によって豪雨発生メカニズムが解明され、事前に豪雨が予測できれば、日本の防災に大いに役立てることができると期待されている。





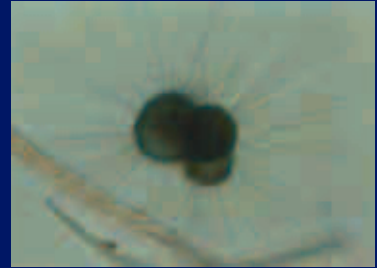
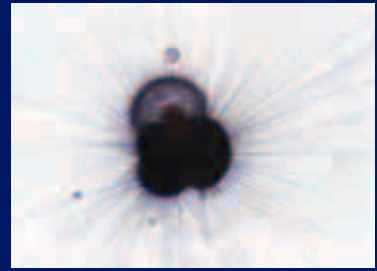
# 飼育実験で明らかになった 浮遊性有孔虫の生態

## 古環境解析で注目される有孔虫を飼育する

有孔虫はアメーバに近い原生動物の一種。サンゴや貝と同じように炭酸カルシウムの殻を形成する。有孔虫は、先カンブリア時代と呼ばれる5億7千万年前に誕生したといわれ、時代とともに少しずつ殻の形態を変えながら、幾度の地球環境の激変に耐えぬき、現在も世界の海洋で生き続けている。頑丈な殻は、それらが生息していた時代の環境（海水）に関する情報を保持しているため、海洋および地球の古環境を推定する上で欠かせない生物であるが、その生態には謎も多い。海洋科学技術センター・むつ研究所では、有孔虫の生態と海洋環境との関係をより詳しく理解することを目的に、有孔虫の飼育実験を開始した。研究はスタートして間もないが、すでに興味深い様々な生態が観察されている。**0.1~0.5mm**ほどの小さな殻に壮大な海洋の歴史を記録する有孔虫が、実験室で垣間見せてくれた不思議な生態の一端を紹介する。



取材協力  
木元克典研究員  
むつ研究所 第1研究グループ



今回飼育された4種類の有孔虫のうち2種。

採取した有孔虫は直径2.5 cm、高さ7 cmの円柱形のガラス管に入れて飼育された。

## 有孔虫は海洋の歴史を記録するタイムカプセル

海底の堆積物を顕微鏡で観察すると、ポップコーンのような白い小さな粒子が数多く見つかる。有孔虫の遺骸だ。体の軟体部(原形質)はすぐに分解されてしまうが、炭酸カルシウムの頑丈な殻は堆積物のなかに残される。そして、この殻には、有孔虫が生息していた時代の海水の水温、塩分、海水中の成分など、環境因子に関する様々な情報が、その形態や化学成分の違いとして間接的に記録されている。したがって、深海底から地層を採取し、そこに含まれる有孔虫の化石を分析することによって、彼らが生きていた時代の海洋環境を復元することができる。つまり、有孔虫の化石は海洋の歴史を記録するタイムカプセルなのだ。

このタイムカプセルに記録された情報をより正しく読み解くことを目的として、海洋科学技術センター・むつ研究所第1研究グループの木元克典研究員らは、実験室内での有孔虫の飼育実験に取り組んでいる。浮遊性有孔虫を飼育している研究機関は、国内ではむつ研究所以外には例がなく、極めて独自

性の高い研究テーマである。

有孔虫は、海底堆積物の表層に生息し、主に泥のなかに含まれる有機物やバクテリアなどを食べる底生有孔虫と、海洋の表層数百メートルの水深で浮遊しながら動物プランクトンや珪藻などの植物プランクトンを食べる浮遊性有孔虫とに大別される。その生活様式の違いから、前者が海底の海洋環境を、後者が表層の海洋環境をそれぞれ反映していると考えられる。現在、木元研究員をはじめとする研究グループが飼育実験を進めているのは、浮遊性有孔虫だ。浮遊性有孔虫の生態、殻の形質や化学組成と、周囲の海水の様々な物理・化学的パラメータがどのように対応しているのかは、まだまだ情報が不足している。

特に同研究グループがめざしている、高緯度における過去数十万年間の海洋古環境の復元には、これらの情報が必要不可欠である。こうしたことから、研究グループは、研究所に隣接する関根浜港の北方約6 kmの海域で、表層(深

度約5 m)に生息する浮遊性有孔虫を採取し、飼育実験を開始した。

## 飼育管のなかで見せた有孔虫の不思議な行動

2002年4月にプランクトンネットを使って浮遊性有孔虫の採取が行われた。有孔虫は非常にデリケートであり、生体のダメージを最小限にするため、ネット採取から2時間以内に分離できた27個体のみを飼育実験に用いた。採取された浮遊性有孔虫は、どれも寒冷な環境に生息する代表的な種であり、4種類が同定された。そのうちの2種は、浮遊するときにスパインと呼ばれる炭酸カルシウムの棘を形成する種で、このスパ



飼育用の水槽は恒温装置で常に一定温度に保たれている。

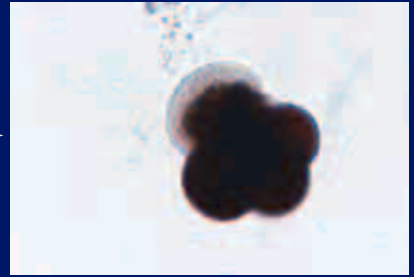
## チャンバーの形成



チャンバー形成の初期段階。原形質が殻から脱出し、放射状に広がる



中期。おおまかな殻の輪郭ができる。



後期。石炭化がすすみ、原形質が新しいチャンパー内に進入する。

## 捕食



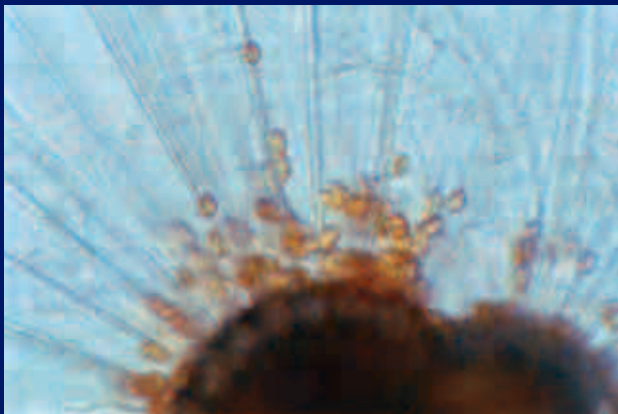
自分よりも大きな珪藻を捕らえた有孔虫。仮足で植物プランクトンの体組織を吸収する。



コペポダを捕らえた有孔虫。体組織は吸収され、ほとんど空に。仮足は粘り気が非常に強く、一度絡まったら脱出はほぼ不可能。



## 共生藻類



浮遊性有孔虫の中には、殻の内側および細胞内に藻類(渦鞭毛藻など)を共生させるものがある。黄色い粒が共生藻。

インはときには体長の数倍の長さになる。だが、スパインはとても折れやすく、化石にはほとんど残らない。

顕微鏡で観察すると、中心部に赤く影のように見える球形の部分がある。これが殻であり、有孔虫は成長とともに螺旋状に殻室(チャンパー)を増やしていく。赤く見えるのは、内部に軟体部が詰まっているためだ。軟体部は殻の外側をも

覆っており、海水に接している。また、有孔虫は仮足と呼ばれる原形質が変形した糸状の“足”を放射状に出す。この流動性のある仮足は、伸縮・変形自在で粘着性が非常に高く、これを用いて有孔虫は捕食を行う。飼育実験では、有孔虫が仮足を使ってカイアシ類などの動物プランクトンや珪藻などの植物プランクトンを捕食するところも観察された。その

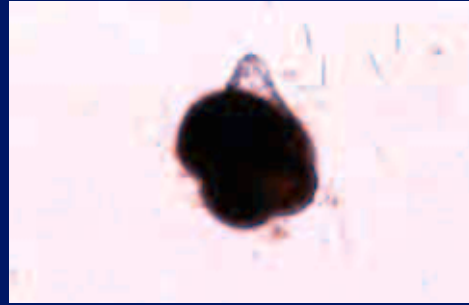
光景は、クモが昆虫を捕食する様子によく似ている。仮足は、それ以外にも移動や付着、排泄の機能を持っている。

この仮足とともに、浮遊性有孔虫で非常に興味深いのは、殻中に共生藻を持つ種がいることだ。多くは渦鞭毛藻という植物プランクトン的一种である。顕微鏡観察のために光を当てていると殻のなかから共生藻が仮足やスパイン

## 異常なチャンバーの形成



異常なチャンバーを形成した有孔虫。本来できるべき場所の反対側にチャンバーができてしまった。下は電子顕微鏡写真。



上にとび出ている部分が異常なチャンバー。本来は丸い形になるはずだが・・・。



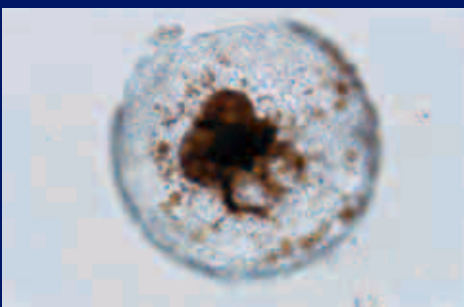
## 有孔虫の不可思議な行動



スパインを折って飼育管の底に付着する有孔虫。浮遊をやめ、沈降するための行動か？



最後につくった殻を外している。理由は不明。



球形の殻を自ら溶解させている。



上と同様に最後の殻を外している。

の上に乗るようにして出てくる様子も観察されている。この共生関係がどのように役に立っているのかについてはまだ不明な点が多い。

飼育個体のうち、およそ半数が飼育開始から1ヶ月以上も生存し、そのうちの数個体については4ヶ月を過ぎても生き続けている。一般にほとんどの浮遊性有孔虫が、ひと月程度の寿命である

と考えられているが、これをはるかに上回る驚異的な記録である。だが、そのなかで不可思議な現象も観察されている。飼育期間中に10個体以上が自然の状態ではごくまれにしか見られない奇形のチャンバーを形成した。さらに、一度形成したチャンバーを切り離してしまったり、溶解させたり、スパインを自ら折ってしまうといった行動も確認された。こ

れらの現象は生活サイクルの一部なのか、飼育時の環境ストレスに帰因するのかは現在のところわかっていない。

研究グループは、今後も飼育実験を継続しながら、より安定した飼育手順を確立させ、複数の異なった環境パラメータでの対照実験に着手する予定である。浮遊性有孔虫の生態と環境因子に関する新たな発見が期待される。

# Our Ships

船長によるJAMSTEC船の紹介

日本で初めての  
深海用遠隔操作型  
ビークル

無人探査機

「ドルフィン-3K」

取材協力

柴田裕之 運航長

日本海洋事業株式会社所属

無人探査機「ドルフィン-3K」は、当初、潜水調査船「しんかい2000」がトラブル等によって浮上することが困難になった場合、救難の手助けをすることを想定して開発されたケーブル方式のROV（遠隔操作型ビークル）だ。最大潜航深度は3,300mで、日本で初めての大深度用無人探査機でもある。また、1997年に日本海で沈没したロシア船籍の石油タンカー「ナホトカ号」の探索、1999年に小笠原海域に落下した「H-II ロケット8号機」の探索などにおいて、「ドルフィン-3K」が活躍したことも記憶に新しい。

無人探査機「ドルフィン-3K」には前進・後進用2基、横移動用2基、上昇・下降用2基の合計6基のスラスター（推進器）が装備されている。パイロットは、3



母船「なつしま」から海上に下ろされる「ドルフィン-3K」。

台のテレビカメラから送られてくる映像等を確認しながら、支援母船「なつしま」の操縦室で「ドルフィン-3K」を遠隔操作する。その動きは有人潜水調査船に比べて格段に細やかだ。有人船では、目的の位置に持っていこうとしてもなかなかスムーズにいかないが、「ドルフィン-3K」は、6基のスラスターをフル活用して一気に目的地に到達させることができる。何と云っても、小回りがきくことがこの探査機の大きな特徴だ。もちろん、マニピュレータを使った操作や、観測機器の操作も、潜水調査船「しんかい2000」と同じように行うことができる。

高感度・高品質のカメラ映像や前方障害物探査ソナーの画像をリアルタイムで母船上に送り、また細やかな操縦、操作の命令を伝達する上で大きな役割を果たしているのは、母船と「ドルフィン-3K」を結ぶケーブルに組み込まれた光ファイバーだ。「ドルフィン-3K」開発当時、世界の無人潜水機のほとんどは通信線に同軸ケーブルを使用しており、光ファイバーを使用したものはまだ2~3機ほど、それもアナログ通信であった。伝送速度は約400Mbpsであったものの、「ドルフィン-3K」は、高速光デジタル通信を採用した最初の無人潜水機だった。



コンテナハウス内に設置された操縦室。

「ドルフィン-3K」に使われているケーブルは、太さ30mmで、なかには電力を供給するための電線が5本、通信用の光ケーブルが4本組み込まれている。さらに、ケーブルの強度を確保するために、ケブラーという高強度アラミド繊維を編んでつくられたテンションメンバーが加えられており、ケーブルは空中で重さ16トンまで支える強度を持ってい



光ファイバーが組み込まれている「ドルフィン-3K」のケーブル。

る。「しかし、このケーブルがあるために動きの制約を受けたり、トラブルがおきたりするケースもあるんですよ」と「ドルフィン-3K」の運航長である柴田裕之さんはいう。

潜航中に「ドルフィン-3K」が長距離移動する場合、移動する方向等はあらかじめ決め

られており、母船も同じように移動する。だが、風や潮の影響を受けて、母船は思っているような位置がとれないこともある。

「母船と『ドルフィン-3K』の位置関係が大きく崩れると、ケーブルに損傷を与える恐れがあります。そのため、両方の位置関係、そしてケーブルの長さの調節、こうしたところが最も気を使うところです。ケーブルの長さには余裕がないと、引っ張られてビークルが動けませんし、長く出しすぎると、岩や海底を擦るなどして、ポロポロに剥けてしまうこともあります。とにかく『ドルフィン-3K』が潜航している間は緊張の連続です」無人探査機にとって、ケーブルはまさに“諸刃の剣”というわけだ。

現在、「ドルフィン-3K」の主なミッションは、「しんかい2000」等の調査の潜航ポイントを決めるための事前調査だが、このほかに、深海生物資源の調査をはじめ、海底鉱物資源の調査、海洋物理、海底地形の調査、海洋構造物（観測機器

等）の設置や状況調査など幅広い分野に活用されている。

「これまで、最も緊張したのは、海底掘削孔を利用した観測ステーションの保守・整備のための潜航でした。海底直上2mでの作業は母船ビークルとともに同じ位置を保持する必要があるんです。前方のサンプルバスケットを少しだけプラットフォームに引っかけて、あとはずっとその場でホバリングの状態のまま、何時間も作業しなければなりません。操作したパイロットはもちろんですが、私も相当に神経を使いました」と柴田さんは話す。

「ドルフィン-3K」が竣工してから15年になろうとしている。その間、センターでは、「ドルフィン-3K」の開発によって得た経験を活かし、「かいこう」、「ハイパードルフィン」、「UR0V-7K」といった無人探査機を生み出してきた。そして、現在、ケーブルを使用しない自律型の深海巡航探査機「うらしま」の開発が進んでいる。こうした日本の無人潜水機開発の原点として、「ドルフィン-3K」が果たした功績は非常に大きいといえよう。

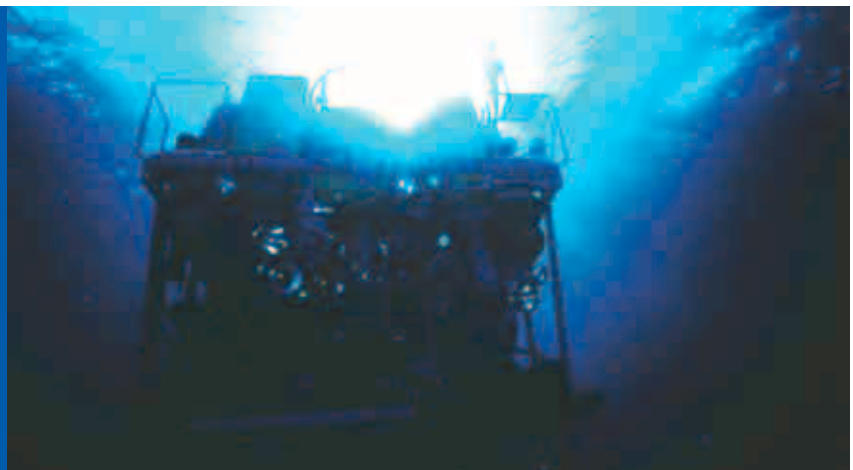


もとぶ  
沖縄・本部港の一般公開で地元テレビ局の取材を受ける柴田運航長。

#### 無人探査機「ドルフィン-3K」

1982年に開発が始まり、1988年竣工。「なつしま」を母船として運用されている。

- 全長：3.0m
- 幅：2.0m
- 高さ：2.0m
- 空中重量：3.7トン
- 最大潜航深度：3,300m
- ペイロード：150kg（空中重量）
- 水中速力：3.0ノット（前進）、1.5ノット（横進）、2.0ノット（後進）、約1.0ノット（上昇・下降）
- 観測装置等：放送局級カラーTVカメラ（1台）、スーパーハープカラーTVカメラ（1台）、後方白黒TVカメラ（1台）、35mmスチールカメラ（1台）、温度計（1台）、照明灯、航海装置等
- 作業機器：マニピュレータ（7自由度 1基）、グラバ（5自由度 1基）
- ケーブル：光・電力複合ケーブル（直径30mm×4,000m）



# Face

Staffの横顔

コーディネーション業務に、  
研究者の視点を  
活かしていきたい

**IODP** (統合国際深海掘削計画) 正式発足を前に設置された  
暫定科学アドバイス組織 (**iSAS**) の活動を支援する

えぐち のぶひさ  
江口 暢久 さん

iSASオフィス サイエンスコーディネーター 理学博士

1985年に米国の主導で開始された**ODP** (国際深海掘削計画) は、深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」を使い、海洋掘削という手法による地球科学、生命科学分野の様々な研究を推進してきた。この**ODP**が2003年に終了することを踏まえ、その後の新たな国際協力計画として、**IODP** (統合国際深海掘削計画) がスタートする。**IODP**では、現在日本が建造を進めている地球深部探査船「ちきゅう」と、米国が新たに提供する掘削船及びそれ以外の掘削船を活用して、さらに科学的意義のある深海掘削による研究が行われる。

**ODP**では、研究者や研究グループから提出された科学掘削提案書(プロポーザル)を検討・評価するための組織として**ODP**科学アドバイス組織 (**ODP SAS**) が設置されている。そして、**IODP**正式発足までの間、これと同様の活動を行う暫定的な科学アドバイス組織 (**iSAS**) の設置が、2000年の夏に決まった。**iSAS**オフィスは、この**iSAS**の活動を支援することを目的として設けられ、昨年6月、海洋科学技術センター(横須賀本部)内に事務所がおかれた。今回は、**iSAS**オフィスでサイエンス・コーディネーターとして業務にあたる江口暢久さんを訪ねた。



アシスタントと打ち合わせをする江口さん。

「現在、IODPを立ち上げるために、IODPに参加を表明している国または機関の代表が集まる組織である国際ワーキンググループ(IWG)が、お金の問題も含めた計画全体について議論を行っています。この下に、暫定科学アドバイス組織(iSAS)がおかれています。これは完全にサイエンスに特化した組織であり、多くの研究者、研究グループから提案されたプロポーザルについて、計画の妥当性や、それによってどのような科学目標が達成できるかといったことを検討・評価します。iSASのなかには、パネルと呼ばれる、いってみれば専門部会のようなグループが6つあり、その上にパネルを統括する委員会(iPC)があります」

各パネルは、サイエンスそのものを評価する、サイエンスを達成する場所を評価する、その場所で掘削を行って安全かどうかを評価する、掘削に伴って使用する計測機器等を評価する、技術的なアドバイスを行う、そして、企業と協力して研究ができるかどうかを評価するといったそれぞれの役割を持っている。提出されたプロポーザルは、これらの各パネルからのアドバイスを受け、さらに何度もやり取りを繰り返しながら、実際の掘削プログラムへと育成されていくわけだ。

iSASの組織図には、iSEPs(暫定科学立案評価パネル)、iSSP(暫定掘削点調査パネル)、iSciMP(暫定科学計測パネル)、iPPSP(暫定汚染防止安全パネル)といった、各パネル名が略語で並んでいる。

「なにしろ略語ばかりの世界でして、非常にややこしいんですけど、まずはこれを覚えることから、この仕事は始まるわけです(笑)。iSASオフィスは、簡単にいうと、こうしたiSAS全体のお世話をするのが仕事です」と江口さん。具体的には次のような役割を担っているという。

- 科学提案書の募集から受け付け、検討、評価、公表に到るまでの工程管理。
- iSASの各委員会・専門部会の運営支援。
- ODPからIODPへの円滑な業務移行。
- IODPの広報活動。

## 海洋科学の最先端に幅広く関われるのが魅力

現在、85件のプロポーザルが提出され、iSASで検討されているようだ。もちろん、そのなかには、ODPから移行されたプロポーザルも数多い。全体のうちの60数件がそうしたプロポーザルであり、これに新たにiSASに提出されたプロポーザルが加わり、IODPへ引き継がれる。もちろん、IODPがどのような組織で運営されるかについては、まだ明確ではない。だが、スタートした時点で、しっかりしたプロポーザルが用意されている必要がある。そのため、“暫定的”に、ODP/JOIDESのやり方になって進められているという。

「ただし、業務を進めていく上で、改善が必要なのところもあります。そうしたものについては、この暫定期間の間に変えていこうと、各専門部会をはじめ、コーディネーションする私たちも、手続きやシステムを検討し直し、いろいろと取り組んでいます。たとえば、ODP/JOIDESでは、プロポーザルはすべてハードコピーで提出してもらい、各パネルの委員たちにもハードコピーで送っていました。そういう習慣があったわけですが、私たちはこれをデジタルファイルに替えていこうとしています。変革のタイミングとしてはちょうどいいと思います。ただ、プロポーザルをすでに提出している研究者たちには、提出し直してもらわなければならないわけで、申し訳ないと思います。でも、暫定期であるいまが替えるチャンスではないかと思っています」

江口さんは、琉球大学の海洋学科で修士課程

を修了したのちに、東京大学海洋研究所で理学博士号をとり、iSASオフィスに移る前は高知大学海洋コア研究センターで助手を務めていた。専門は古海洋学だ。

「iSASオフィスではサイエンスコーディネーターとして、提出されるプロポーザルのフォーマットを整えたり、研究目的の仕分けなど、パネルに提出するためのサポート業務や、自分が担当している4つのパネルの運営といった仕事をしています。もちろん研究は大好きです。でも、現在のコーディネーション業務、マネジメント業務も、自分の性に合っていると思います。また、研究をやっていると、どうしても自分の専門のことばかりを見てしまいがちですが、この仕事では最先端の海洋科学の幅広い分野に接することができます」

いろいろな人に会えるおもしろさもあるという。

「各パネルには15名ほどのメンバーがいて、自分が担当するパネルのメンバーとは常にコンタクトを取っています。また、プロポーザルを提出する研究者たちとも連絡を取っています。この仕事を始めてから、本当にたくさんの人たちと知り合うことができました」

プロポーザルの締め切りは4月1日と10月1日の年2回。締め切りが近づくと、提出者からの質問に追われる日々が続く。

「締め切り間際にならないとやらないのは万国共通ですね(笑)。その後はプロポーザルを整理してパネルの委員たちに回さなければなりません。ですから、締め切りの前後はけっこうバタバタしています」

夏が過ぎると、再び江口さんにとって忙しい季節がやって来る。



多くの委員によってプロポーザルが評価される。江口さんは前列左。



# Marine Science Seminar

マリンサイエンスへの招待

## 海のなかには音の世界 シロナガスクジラの遠距離通信と サウンドチャンネル

海のなかには静けさに満ちた世界だと思っている人がいるかもしれませんが、ところが、音波は海中でもよく伝わります。そして、クジラやイルカなどの生物の鳴き声や波の砕ける音といった自然音、船が航行する音や観測装置からの人工音と、海のなかには様々な音があふれています。今回は、そんな海中の音の不思議を探ってみましょう。

### クジラは海中で会話している!

最近、各地でホエール・ウォッチングが盛んに行われています。クジラの群れを見つけたとき、船から水中マイク(ハイドロフォン)を海中に投げ入れると、クジラたちの声を聞くことができます。「フォー、フォー」、「ジジジジ…」、それは、まるで会話を楽しんでいるように聞こえます。なぜ、クジラたちは海中で音を使うのでしょうか。海のなかでは光が吸収されるため、わずか数十メートル先の物を見ることも困難になります。どんなに透明度の高いところでも、陸上のように遠くまで見通すことができません。でも、海中で発せられた音は、なかなか弱くならず遠くまで届きます。しかも、1秒間に約1,500mもの速度で伝わります。これは、陸上より4.5倍も速いのです。音を使って意志疎通することは、海中という環境で生き抜くためにクジラたちが獲得した能力と考えられています。たとえば、世界中の海域に広く分布しているシロナガスクジラ(Blue Whale、地球上で生息する生物のなかで最大、体長は25m以上、体重は100トン

以上注1)は、世界中の海に分布していますが、その巨体を維持するため毎日数トンもの餌を必要とします。そのために彼らは、夏の間大量に発生するオキアミや小魚を求めて南極や北極近海に集まります。そして、冬になると子供を産み育てるため赤道近くの暖かい海に戻る大移動を開始します。クジラたちは、広い海洋で仲間と再会するため、遠く数千kmを隔てて、お互いに通信をしているといわれています。

実は、クジラのコミュニケーションの研究が始まったのは、皮肉なことに1960年代から本格化した米ソ冷戦における軍拡競争がきっかけでした。冷戦時代、米国は敵の原子力潜水艦を探知するためソーサス(SOSUS)と呼ばれる水中マイク(ハイドロフォン)を多数ならべた装置(アレー)を様々な海域に設置しました。そのソーサスにシロナガスクジラの声が無数に受信されていました。最初は、敵のスクリー音と間違えられたこともありましたが、冷戦が終わって、施設を研究者が利用できるようになり、それがクジラたちの声ということが分かり、研究が始まりました。その結果、彼らの声(歌声のようにも聞こえます)には、多くのパターンが規則的に何度も繰り返されており、いろいろなメッセージが含まれているのではと考えられるようになりました。



図1は、シロナガスクジラの声のパターン例を示しています。横軸は発音している時間(秒)、縦軸は周波数(上ほど高音)を表しています。図のなかのパターンは、青から赤、さらに白になるにつれて声が大きくなっていることを示しています。この図から、シロナガスクジラは、ほぼ10から40ヘルツ(人の耳に聞こえるか聞こえないほどの低い周波数)に変化する1分近くにもわたるパターンを、ほぼ1分ごとに繰り返していることがわかります。

### 海中に音を遠くへ伝える層がある

驚くべきことに、ハワイの近海でとらえられた彼らの声のなかには、南極近くの海からやってきたものも混ざっていました。まさかと思われるかもしれませんが、実はこのような低い音波は、数千km以上も遠くまで届くことができるのです。この現象を説明するためには、海洋における深海サウンドチャンネルのことを理解していただく必要があります。

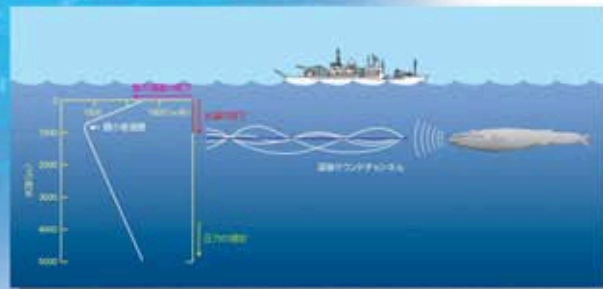


図2 クジラの声は深海サウンドチャンネルを伝わり、数百から数千キロ離れた仲間とのコミュニケーションに活用されるという。

図2を見てください。ここでは、日本近海のような中緯度海域では、海面から深度が深くなるにつれ、水温が低くなるため音の速度が小さくなります(注2)。中緯度海域では、1,000m付近(ほぼ2°C)まで水温が下がりにくいため、音速は水深900~1,000mで最小になります。これをチャンネルの軸とします。さらに水深が深くなると、水温が一定のままでも圧力が増加するため、音速が再び増加します。チャンネルの軸付近で発せられた音波は、音速が大きくなるにつれ少しずつ曲がる性質があります。この性質によって音波は、チャンネル軸を中心に上下に海底や海面に当たることなしに遠くまで伝わるすることができます。実は、シロナガスクジラのような低い周波数の音波は、海底や海面に当たるとエネルギーが奪われますが、水のなかだけを進むときは何千km先まで到達することができるのです。

ここで、クジラがチャンネル軸のある1,000mまで深く潜って音を出せるのだろうかという疑問が生じます。シロナガスクジラは200mくらいしか潜ることができません。しかし、このチャンネル軸は傾斜が高くなるほど浅くなってき

て、北極や南極に近い海域では海面付近になるのです。これは、極地方では、水温の変化が水面から深海までほとんど同じになるためにおこる現象です。そうすると南極近海の海面近くにいるクジラが発する声は、サウンドチャンネルのなかを通過してはるか遠くまで到達することができます。クジラの仲間(イルカやシャチも含む)は、水中の音を聞く能力がとも発達しています。彼らの耳の穴は水が入らないようにふさがれていて、人間のように直接鼓膜によって音を聞くことはできません。そのかわり、彼らは水中の音波を受信する効率的な方法を獲得しました。海水中を伝わってきた音波は、音波を透過しやすい皮膚を通して頭蓋骨を振動させます。そして、耳骨と呼ばれる音を良く伝える骨によって、聴覚神経に直接伝えられます。しかも、彼らの発達した脳は、遠方から伝達してくる微弱な仲間たちの音声パターンを認識していると考えられています。

これは、われわれが水中マイクで受信した音をコンピュータによって処理しているのと似ています。数十ヘルツの音波の場合、サウンドチャンネルの軸から少しずつ測れてくるので、赤道付近のシ

ロナガスクジラたちも数百m潜水することによって、遠方の仲間とコミュニケーションをとることができると考えられています。しかし、もし3,000kmの距離を隔ててお互いにコミュニケーションをとるとなると、一方の呼びかけに対して仲間の返事が戻るのに4,000秒、すなわち1時間以上も待たなくてはなりません。クジラたちはわれわれ人間と異なる時間スケールで生活しているために、あまり気にしないのかもしれませんが、

人類がサウンドチャンネルの存在を知り、利用をはじめたのは、せいぜい60年ほど前の第二次世界大戦中です。近年、サウンドチャンネルを利用した海洋音響トモグラフィー観測などの研究が進められていますが、音波の遠距離伝搬現象に関しては、まだまだ分からないことがたくさんあり、各国で解明のための努力が続けられています。一方、シロナガスクジラは、数千万年も前からこのサウンドチャンネルを利用してきた音響コミュニケーションの大先輩です。音響の研究者のひとりとして、彼らの意見をぜひ聞いてみたいものです。

執筆:土屋利雄(財団法人地球科学技術総合推進機構 研究推進部長 工学博士)

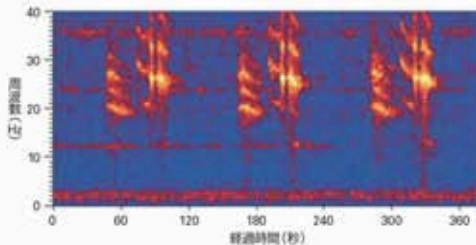


図1 シロナガスクジラの声のパターン例

■注1 シロナガスクジラは、1965年に再完全に保護されていますが、それでも生息数は推定6千~1万4千頭と少なく、絶滅が危惧されています。

■注2 音も波ですから、波の速度は媒質が液体(ここでは海水)を通過する割合とすることができます。水の物理的性質が空気と異なるので、通常、音の速度は空気(約340m/秒)のなかり、水(約1,500m/秒)のなかの方がはるかに速くなります。音速は水温や塩分(塩の割合)によって変わります。ちなみに、音速は、1°C水温が上が

るとおおよそ4m/秒速く、塩分が0.1パーセント濃くなるとおおよそ1m/秒速くなり、水深が100m深くなると約1.7m/秒速くなります。音の波長は、音速を周波数で割ったものですから、20Hzの音波の波長は、水中(1500/20=75)では長さ75mです。しかし、空気中では17m(340/20=17)と短くなります。

■クジラなどが海中で出す声、ホームページで聞くことができます。  
[http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics/specs\\_whales.html](http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics/specs_whales.html)



## Report

センター施設一般公開に**3,500**名が来場

「海と地球を君の手に!」をテーマに、海洋科学技術センター横須賀本部において施設の一般公開が行われた。5月11日(土)、空は厚い雲におおわれていたが、心配された雨もあがり、センター施設は家族連れをはじめ多くの来場者で賑わった。

今回は、センター職員が解説を交えながら案内する「見学ツアー」(4回、約1時間)や「海の実験教室」、「高圧環境実

験」など、新しいプログラムも数多く実施された。従来の展示・解説を中心としたものだけでなく、たとえば小型水中ロボットの実験や、クイズを解きながら地球の歴史への興味を深めてもらうといった、体験型・参加型のプログラムもさらに増え、子どもたちをはじめ訪れた人々に好評だった。

見学ツアーに参加した中高年のご夫婦は、「幅広い内容で、全部回るのはいへん。ポイントを絞り込んで案内してもらえる見学会ツアーはありがたい」と感想を語った。

また、エル・ニーニョ、海洋深層水、深海生物といった一般にも関心の高い事柄や、センターで建造・開発を進めている深海巡航探査機「うらしま」、地球深部探査船「ちきゅう」について専門の研究者が解説する「研究者による講演会」も新規プログラムとして実施され、数多くの聴衆を集めた。

「非常にわかりやすく解説してもらい、エル・ニーニョがどういうものかよくわかった。自分たちの生活と科学との結びつ



来場者を迎えるスタッフも気合い十分!



センター職員が案内する見学ツアー



海洋調査船「かいよう」の体験乗船も実施



横浜・八景島シーパラダイスの協力で「タッチプール」も

きを実感できた気がします」講演会場から出てきた聴衆のひとり、そう話した。

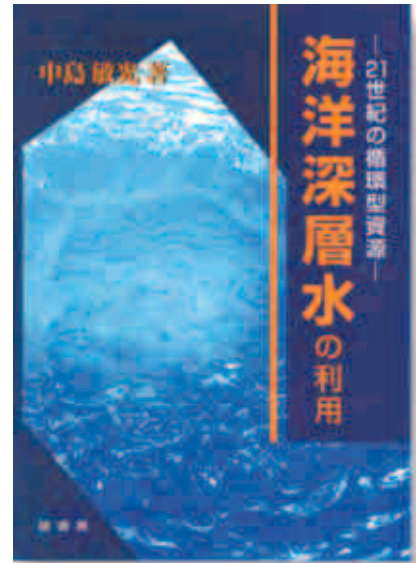
このほか、海洋調査船「かいよう」の体験乗船(事前にハガキによる応募が必要)、潜水調査船「しんかい6500」と一緒に撮影した写真を貼るメモリーカレンダーのプレゼント、記念品がもらえる海洋スタンプラリーなど、盛りだくさんの企画が用意され、来場者は思い思いに会場を巡り、楽しみながら海洋科学・地球科学とふれあう1日を過ごした。

## Book

## 『海洋深層水の利用～21世紀の循環型資源～』 中島 敏光 著 緑書房 刊 6,400円(本体価格)

数年前から海洋深層水を利用した様々な商品が人気を集め、その知名度はすっかり高まった。いまでも多くの企業が商品開発に向けて熱いまなざしをおくり、また自治体も地域振興の新たな切り札として関心を寄せている。これほどまでに注目されたのは、海洋深層水がクリーンな“自然の恵み”そのものであることと無縁ではない。自然が次々と失われ、環境問題がクローズアップされるなか、人々は自然の大切さ、自然の豊かさを身をもって実感しつつある。そうした価値観の変化が、海洋深層水への共感をもたらしたといえよう。

著者の中島敏光氏は、1970年代半ば、日本で海洋深層水が注目された当初から研究に取り組んでこられた第一人者だ。本書では、利用研究の歴史的な経緯、利用技術の開発や様々な取り組みに関する専門的で実践的な内容も詳細に綴られているが、加えて海洋深層水とはどのようなものか、自然と人類の関係のなかで海洋深層水はどのような価値をもつのかといったことについても、わかりやすく解説している。海洋深層水を通して、この本は海洋とは、資源とは何か、そして、私たちは自然とどのようにつきあっていけばよいのかを問いかけている。



## JAMSTEC関連の Homepage

## 国際海洋環境情報センター

<http://www.godac.jp>

国際海洋環境情報センター(GODAC)は、海洋科学技術センターが保有する膨大な量の深海映像や海洋情報をはじめ、国際的な海洋・地球環境等に関するデータを集積し、さらに、そうした情報をデジタル化、可視化処理などによって利用しやすく加工し、研究者をはじめ、教育現場や一般に広く提供している。GODACのホームページは、最も重要な情報提供(発信)の窓口であり、今後、一層充実させていく考えだ。すでに、「地球環境ポータル」サイトでは、豊富な動画や書誌情報が楽しめるコンテンツが用意されている。



## 『Blue Earth』 定期購読のご案内



発行日にお手元に届く便利な年間定期購読をご利用ください。定期購読を申し込まれる方は、以下の内容をハガキかEメールにてお送りください。購読するためには、定価+送料+振込手数料がかかります。

郵便番号・住所・氏名・機関名・所属(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』)

## 支払方法

- ・1年間一括(1年分6冊の代金を一括でお振り込みいただけます)
- ・1誌毎(毎号送付する際に請求書を同封いたします。その都度振込手数料がかかります)

## 送り先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25  
海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務部 情報業務課  
『Blue Earth』編集室

## 送信先

info@jamstec.go.jp

## お問い合わせ

海洋科学技術センター 横浜研究所 情報業務部 情報業務課  
TEL: 045-778-5350  
FAX: 045-778-5424  
E-mail: info@jamstec.go.jp



の最大潜行深度である水深6,500mの水圧は約650気圧。鉄やアルミの小型ボンベが簡単に潰れてしまうほどの大きな力がかかります。また、発泡スチロール製のカップ麺容器に、水深6,500mの水圧をかけると、空気層が潰れて、上の写真のように小さくなってしまいます。今回は、実際に「高圧実験水槽」で圧力をかけて作った、センター特製の小さなカップ麺容器を、抽選で10名様にプレゼントいたします。

海洋科学技術センターには、深海用機器や材料の耐圧試験を行うため、最高で水深15,600m相当の圧力環境を再現できる「高圧実験水槽」が設置されています。潜水調査船「しんかい6500」

びでカニや貝類、藻類などの観察をした時代からは想像もできないような世界です。いかにもひ弱で、神秘的に見えるこれらの生態は、過酷な深海の環境のなかでもたくましく生きています。まさに技術が進歩したことによって知ることができた多様な生態の世界です。

編集後記

暑い夏をいかがお過ごしでしょうか。この季節、子供のころ夏休みに野山での昆虫採集、海辺での磯遊びを思い出す読者も多いことと思います。今号は海洋生態系を特集しました。最近になって、無人探査機に搭載したスーパーハープ・ハイビジョンカメラを深海に持ち込めるようになって、初めて今回ご紹介したような中深層の生物たちの生態が明らかになってきました。かつて磯遊

このような「生物の多様性」の認識は1992年にリオデジャネイロで開催されたいわゆる地球サミットにあわせ採択された「生物多様性に関する条約」から深まりました。この条約は翌年わが国も締結し発効しました。

先日の日経新聞のコラム「春秋」につぎのような文章が掲載されていました。「動物の中でいちばん凶悪なのは、人間ではないか。そんな話をよく聞くことに同じ種の内部に向けた攻撃性と

いう点では、人間の行動は群を抜いて陰惨・過酷だという。信じたくはないが、現実はその通りだ。」

応募方法  
官製ハガキに、1.プレゼント名、2.氏名、3.住所、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、以上を明記の上、下記までご応募ください。応募締め切りは、9月17日(火)当日消印有効です。

応募先  
〒236-0001  
神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25  
海洋科学技術センター 横浜研究所  
情報業務部 情報業務課  
『Blue Earth』編集室プレゼント係

第58号 当選者発表

第58号「地球深部探査船『ちきゅう』の  
下敷きとピンパッチ」当選者

千葉県市川市 大場 健一 様  
東京都港区 酒井 浩 様

ほか8名様の方が当選いたしました。

これは人間同士の争いのことを指摘しているのですが、さらに地球上の他の生物や地球環境そのものに対する人間のどう猛さをも示唆しています。

地球環境問題に取り組むことはまさに人間の尊厳にかかわるテーマと言えましょう。

さて、8月5日海洋科学技術センター横浜研究所が正式に開所しました。今後は、本誌の出版やホームページの充実はもとより、当センターが推進する地球環境問題への取り組みなどの各種研究開発の成果や情報発信の拠点として機能します。これからもよろしくお願ひ申し上げます。

(M.K)

Blue Earth 第14巻第4号(通巻第60号)2002年8月 発行  
編集人 海洋科学技術センター 横浜研究所情報業務部 情報業務課 才善主門  
発行人 海洋科学技術センター 横浜研究所情報業務部 加藤美志彦  
本部……………〒237-0061 神奈川県横浜須賀町2番地15 TEL.0468-66-3811(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)  
国際海洋環境情報センター ……〒905-2172 沖縄県名護市豊原224番地3 TEL.0980-50-0111(代表)  
Washington Office……………1132 21st Street, NW, Suite 400, Washington, DC 20036 USA TEL.+1-202-872-0000(代表) FAX.+1-202-872-8300  
Seattle Office……………810 Third Avenue, Suite 632, Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543(代表) FAX.+1-206-957-0546  
東京連絡所……………〒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)  
ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/> Eメールアドレス [info@jamstec.go.jp](mailto:info@jamstec.go.jp)  
制作 横浜研究所情報業務部 情報業務課

※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

海洋科学技術センター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14年7月現在

あいおい損害保険株式会社	新菱冷熱工業株式会社	社団法人日本ガス協会
アイウ印刷株式会社	須賀工業株式会社	株式会社日本環境調査研究所
株式会社浅沼組	鈴鹿建設株式会社	日本興亜損害保険株式会社
アジア海洋株式会社	スプリングエイトサービス株式会社	日本鋼管株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	住友金属鉱山株式会社	日本サルヴェージ株式会社
石川島播磨重工業株式会社	住友重機械工業株式会社	社団法人日本産業機械工業会
泉産業株式会社	住友電気工業株式会社	日本酸素株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	清進電設株式会社	日本水産株式会社
栄光電設株式会社	セナー株式会社	日本電気株式会社
株式会社エス・イー・エイ	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本電子計算機株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社総合企画アンド建築設計	日本電池株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ	第一設備工業株式会社	日本飛行機株式会社
株式会社エムテーエス雪氷研究所	第一電子工業株式会社	日本無線株式会社
株式会社OCC	株式会社大氣社	日本郵船株式会社
オートマックス株式会社	大成建設株式会社	株式会社間組
沖電気工業株式会社	大成設備株式会社	株式会社ハナサン
株式会社化学分析コンサルタント	大成電機株式会社	濱中製鎖工業株式会社
鹿島建設株式会社	大日本土木株式会社	東日本タグボート株式会社
神奈川合同企業株式会社	ダイハツディーゼル株式会社	氷川商事株式会社
カヤバ工業株式会社	有限会社田浦中央食品	株式会社日立製作所
川崎重工業株式会社	高砂熱学工業株式会社	日立造船株式会社
川崎設備工業株式会社	株式会社竹中工務店	日立電線株式会社
川本工業株式会社	株式会社竹中土木	日立プラント建設株式会社
株式会社関西総合環境センター	株式会社地球科学総合研究所	日比谷総合設備株式会社
株式会社関電工	中国塗料株式会社	深田サルベージ建設株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社鶴見精機	株式会社フジクラ
共栄冷機工業株式会社	株式会社テザック	藤沢薬品工業株式会社
共立管財株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジタ
株式会社きんでん	電気事業連合会	富士通株式会社
株式会社熊谷組	東亜建設工業株式会社	富士電機株式会社
株式会社グローバル・オーシャン・ディベロップメント	東京海上火災保険株式会社	不動建設株式会社
京浜急行電鉄株式会社	東京製網織維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
ケー・エンジニアリング株式会社	東京美化株式会社	古河電気工業株式会社
KDDI株式会社	東光電気工事株式会社	古野電気株式会社
神戸ペイント株式会社	東北ニュークリア株式会社	株式会社松田平田
国際気象海洋株式会社	東洋建設株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
国際石油開発株式会社	東洋通信機株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
国際ビルサービス株式会社	株式会社東陽テクニカ	株式会社マルタン
国光施設工業株式会社	東洋熱工業株式会社	株式会社みずほ銀行
五洋建設株式会社	同和工営株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
コンパックコンピュータ株式会社	戸田建設株式会社	三井建設株式会社
佐藤工業株式会社	凸版印刷株式会社	株式会社三井住友銀行
三機工業株式会社	飛鳥建設株式会社	三井造船株式会社
三建設備工業株式会社	株式会社中村鉄工所	三菱重工業株式会社
株式会社三晃空調	奈良建設株式会社	株式会社三菱総合研究所
三幸建設工業株式会社	西芝電機株式会社	株式会社明電舎
三洋テクノマリン株式会社	西松建設株式会社	株式会社森京介建築事務所
財団法人塩事業センター	日動火災海上保険株式会社	有限会社やすだ
有限会社システム技研	日南石油株式会社	安田火災海上保険株式会社
シナネン株式会社	日油技研工業株式会社	山岸建設株式会社
シバタ工業株式会社	日鉱金属株式会社	株式会社ユアサコーポレーション
清水建設株式会社	日産火災海上保険株式会社	株式会社ユアテック
株式会社商船三井	日新火災海上保険株式会社	郵船ナブテック株式会社
株式会社湘南	ニッスイ・エンジニアリング株式会社	横浜ゴム株式会社
昭和高分子株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社リプロ
株式会社白石	日本海洋株式会社	株式会社緑星社
社団法人信託協会	株式会社日本海洋科学	ワールドウェイ株式会社
新日本海事株式会社	日本海洋掘削株式会社	若築建設株式会社
新日本製鐵株式会社	日本海洋事業株式会社	



【表紙解説】

### ソコクラゲ (仮称)

*Ptychogastria* sp.

取材協力 海洋生物 調査研究班  
三宅邦夫特任研究員

寒冷地方の深海底(深度400~500m)の岩場に暮らすクラゲ。北海道近海で採取された。多くのクラゲは海中に浮遊しているが、ソコクラゲは岩場などに付着したまま生活している。下方に伸びる触手は岩に取り付くためのもので、上に向けている触手がエサを捕らえるために使われる。その生活史についてはほとんど知られていないが、卵も岩場に産み付けられるとされる。一般的に、クラゲは固着生活を行うポブ形と浮遊生活を行うクラゲ形のふたつの生活形をとるものが多い。だが、ソコクラゲのように、クラゲ形でも付着しながら生活するものは、特に深海ではほかにほとんどみつからない。また、なぜソコクラゲが岩に付着する生活を選んだのかもわかっていない。

ほかに、浅い海で見られるハイクラゲなども、海底の水草などに付着して暮らしている。ソコクラゲは泳ぐこともできるが、ハイクラゲはその傘も小さく、触手を使って這うように移動する。

クラゲの生態については、まだまだわからないことが多くある。

(上の写真は、クラゲの観察を行う三宅研究員)

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

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

定価300円(税込)