

Blue Earth

海と地球の情報誌

ISSN 1346-0811
2009年2月発行
隔月年6回発行
第21巻 第1号
(通巻99号)

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2009 1-2

コツメカワウソ

音波で探る海の下

約27億年前
大気中に酸素が
増え始めた



海に生きる

多様性、共生、そして
海洋酸性化の危機

1 **Close Up**

約27億年前、大気中に酸素が増え始めた直接的な証拠を発見

2 **特集**

海に生きる

生物の多様性、共生、そして海洋酸性化の危機

20 **Aquarium Gallery**

大阪・海遊館
東南アジアからの使者——コツメカワウソ

22 **私が海を目指す理由**

海底から海と地球を探る
小栗一将 地球内部変動研究センター 地質・地球物理研究グループ 技術研究主任

26 **Marine Science Seminar**

音波で探る海の下
「かいいい」構造探査システムの概要と成果
三浦誠一 地球内部変動研究センター 地殻構造解析研究グループ 技術研究副主任

30 **新日本八景 第8景**

相模湾八景 其の八 深海の歳時記
藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

32 **BE Room**

編集後記
「Blue Earth」定期購読のご案内
JAMSTEC メールマガジンのご案内



表紙写真：ハオリムシの仲間。管のような部分はハオリムシの体ではなく、自分の分泌物でつくった住み家。棲管と呼ばれる。棲管から出ている赤い部分は、ハオリムシの鰓。白い部分は、鰓を支え、外敵の侵入を防ぐための役目をしている。体に化学合成細菌が共生しており、地下から噴き出す熱水や湧水に含まれる硫化水素を酸化してエネルギーを獲得し、有機物をつくり出している。ハオリムシには口も消化管もなく、共生細菌がつくる有機物をもらって生きている。相模湾の湧水域で採集。体長約70cm。(撮影：藤原義弘)

Close Up

**約27億年前、
大気中に酸素が
増え始めた
直接的な証拠を発見**

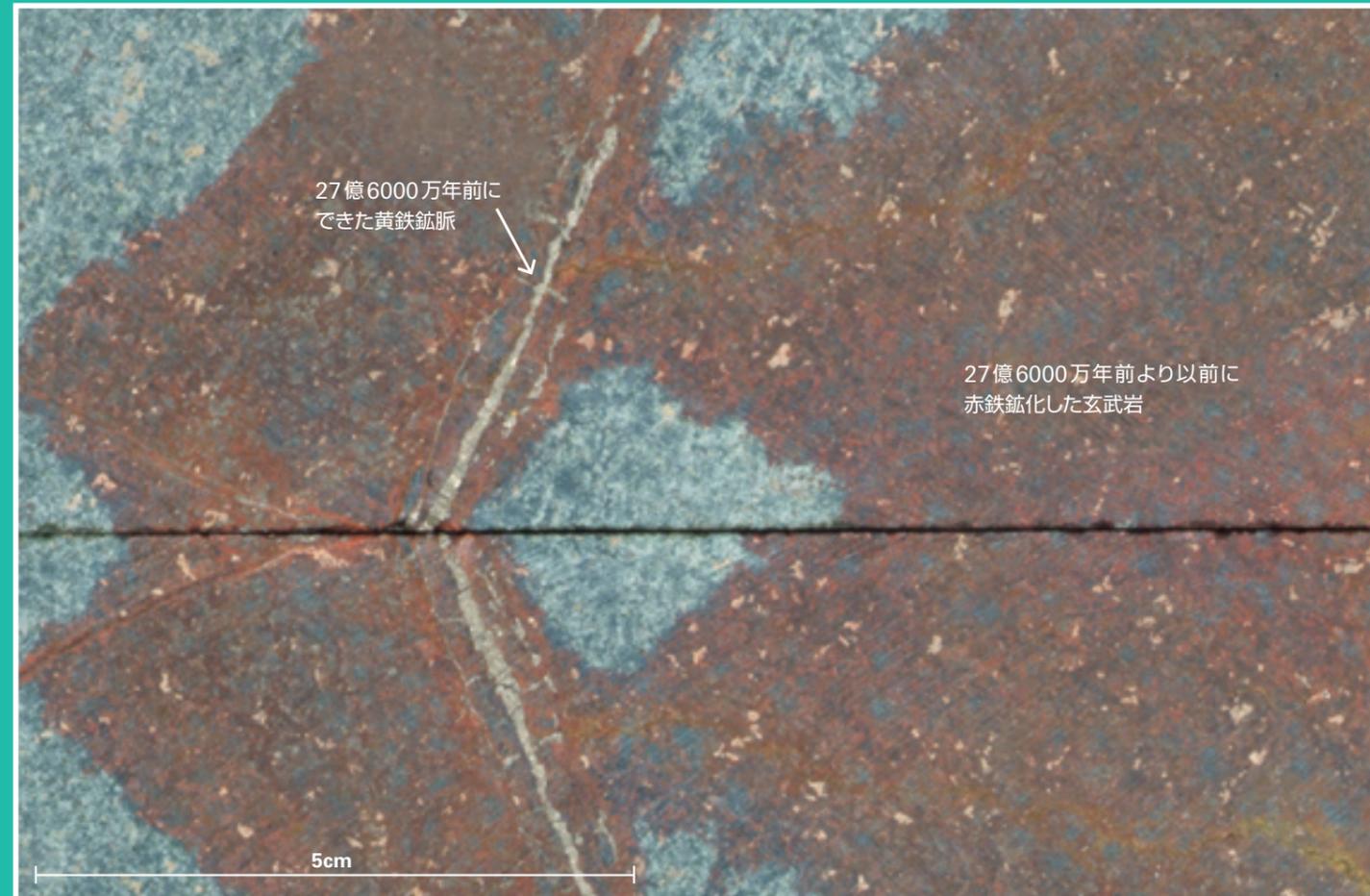
現在の地球の大気中の約21%は酸素である。しかし、原始の地球の大気中に酸素はなかった。その後、光合成によって酸素を生み出すシアノバクテリアが登場し、大気中に酸素が増え始めたと考えられている。

酸素が増え始めたのはいつか。2000年、カリフォルニア大学サンディエゴ校の研究者たちは、堆積岩中の硫黄の分析から、24億5000万年から23億2000万年前という説を発表した。ところが2008年、海洋研究開発機構と東京大学の研究グループは、それより3億年も早い27億6000万年前には大気中に酸素が増え始めていたことを示す直接的な証拠を発見した。

その証拠は、オーストラリア西部ピルバラのマーブルバー地域の地下から得られた。大気中の酸素を含んだ地下水が浸透することでできる赤鉄鉱化した玄武岩が見つかったのだ。研究グループが、赤鉄鉱化した後に入り込んだ黄鉄鉱脈を分析した結果、その黄鉄鉱脈は27億6000万年前にできたことを突き止めた。掘削地域の地殻変動を考えると、29億年から27億6000万年前に玄武岩の赤鉄鉱化が起きたと考えられる。このころ大気中に酸素が増え始めたのだ。当時の酸素濃度は現在の約1.5%だったと推定される。

なぜこの時期に酸素が増え始めたのか。27億年前ごろ、地球中心部の核が大きく対流し始めることで強い地磁気が生まれ、それが太陽から降り注ぐ有害な高エネルギー放射線のバリアとなり、シアノバクテリアが浅い海で光合成を活性にできるようになった、という説がある。光合成で酸素が増え始めたことにより、酸素を使って有機物を分解し効率的にエネルギーを生み出す酸素呼吸を行う生物が繁栄を始め、やがて真核生物、多細胞生物の誕生へつながったと考えられている。今回の発見により、地球進化と生命進化の関連を探る研究がさらに進展することだろう。

取材協力：鈴木勝彦
地球内部変動研究センター 地球内部試料データ分析解析プログラム 地球化学データ分析研究グループ グループリーダー
システム地球ラボ プレカンブリアンエコシステムラボユニット 主任研究員



27億6000万年前にできた黄鉄鉱脈

27億6000万年前より以前に赤鉄鉱化した玄武岩

5cm

赤鉄鉱化した玄武岩にできた黄鉄鉱脈。黄鉄鉱脈が赤鉄鉱化した玄武岩を切っていることから、黄鉄鉱脈は玄武岩が赤鉄鉱化した後にできたと考えられる



ウェスタンオーストラリア州ピルバラのマーブルバー地域の掘削。2003年、日本・米国・オーストラリアによる太古生代生物圏掘削プロジェクトの一環として行われた



地下211～218mから得られた赤鉄鉱化した玄武岩のコア試料



海に生きる

生物の多様性、共生、そして 海洋酸性化の危機

太陽の光が届くのは、海面から数十～数百mまでの表層だけ。その下は、真っ暗な世界だ。そんな深海にも、多種多様な生物たちがたくさん暮らしている。海洋研究開発機構（JAMSTEC）の有人潜水調査船や無人探査機による調査、さまざまな実験・研究によってようやく見えてきた、深海に生きる生物たちの姿や暮らしを紹介しよう。一方で、海洋生物たちに脅威が忍び寄っている。海洋酸性化だ。海洋酸性化とは何か、海洋生物にどのような影響があるのだろうか。

取材協力

藤原義弘

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 海洋生物進化研究グループ サブリーダー

ドゥーグル・リンズイー

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 海洋生態系変動研究グループ 技術研究主任

石田明生

地球環境フロンティア研究センター 生態系変動予測研究プログラム 海洋生態系モデル研究グループ 研究員
地球環境観測研究センター 気候変動観測研究プログラム 熱帯海洋気候グループ 研究員

アルビンガイの仲間ついに日本周辺で発見

Alviniconcha sp. (殻高約5cm)

2007年5月、伊豆・小笠原海域の水曜海山の熱水噴出域で、ある巻き貝が発見・採集された。その貝殻の表面には「毛」が密生している。これは、アルビンガイの特徴だ。アルビンガイは、鰓に化学合成細菌を共生させ、その細菌が熱水に含まれる硫化水素をエネルギー源にして合成する有機物を栄養としている。

“水曜アルビンガイ”も、鰓に化学合成細菌を共生させている。しかし、殻の高さが高いなど、これまでに報告されているアルビンガイとは異なる特徴もある。そこで遺伝子を調べてみると、2グループあるアルビンガイの共通の祖先に位置付けられることが分かった。

アルビンガイは、南太平洋のほかに、インド洋の熱水噴出域でも発見されている。日本周辺にもたくさんの熱水噴出域があるが、アルビンガイが国内で発見されたのは、“水曜アルビンガイ”が初めてだ。しかも1個体だけ。水曜海山の熱水噴出域は、これまで何度も調査されている。なぜいままで見つからなかったのだろうか。もしかしたら、水曜海山に漂ってきた幼生がたまたま生き残っただけなのかもしれない。“水曜アルビンガイ”の本当の住み家はどこなのだろうか。それを突き止めることは、アルビンガイがどのように世界中に広がっていったかを知る重要な手掛かりとなる。

JAMSTEC

「これは、いったい何なんだ」。2005年7月、鹿児島県野間岬沖に潜航した3,000m級無人探査機「ハイパードルフィン」からリアルタイムで送られてくる映像を船上で見ていた研究者たちは騒然となった。そこは、2002年にマッコウクジラの遺骸を沈めた場所。水深220~250m。クジラの遺骸を海底に固定しておくためのコンクリートやロープ、そして周辺の海底の石に、ウサギの耳のような奇妙なかたちの生物が多数付いていたのだ。

コトクラゲ。それが、この奇妙な生物の正体だった。1941年、江ノ島沖の相模湾、水深70mで発見され、新種として記載された。発見者は昭和天皇である。学名には、ラテン語で皇帝を意味する「imperatoris」が付けられている。64年ぶりの再発見だ。採集にも成功した。

コトクラゲは底生性のクシクラゲで、胴体の部分を石やロープに付着させている。潮の流れが速くなると、ウサギの耳にあたる腕の先端から触手が1本ずつ伸びてくる。触手をたなびかせ、餌が流れてくるのを待ち構えるのだ。餌が触手に触れると、強力な粘着物質を分泌し、確実にからめ捕る。

2008年の調査でも、野間岬沖の鯨骨周辺からコトクラゲが採集された。とても状態がいい個体だと喜んでいたら、突然ボロボロと壊れていった。飼育環境が合わなかったのだろう。壊れた体内からは、たくさんの卵が出てきた。なかには、発生が進んだ赤ちゃんコトクラゲもいた。その体の表面には、クシクラゲの特徴である「櫛板」がはっきり見えている。櫛板は、成体には見られない。幼生を何とか育てようと試みたが、かなわなかった。新種記載から68年。コトクラゲの研究は始まったばかりだ。

エンペラーの名を持つコトクラゲ

Lyrocteis imperatoris (高さ15cm)



コトクラゲの幼生 撮影：藤原義弘

これは、ズータムニウムという原生生物の群体である。1粒1粒が、1個の原生生物だ。白く見えるのは、細胞表面に共生している硫黄細菌の持つ色である。この細菌は硫黄化合物を酸化して得たエネルギーから有機物をつくり、ズータムニウムはその細菌を食べているらしい。

ズータムニウムは、JAMSTEC横須賀本部の岸壁前、水深約5mで発見された。そこは、2006年に藤原義弘サブリーダー（SL）たちがマッコウクジラの脊椎骨を設置した場所だ。鯨骨が腐るとき、メタンや硫化水素が出る。それらを酸化してエネルギーを得る化学合成細菌の上に成り立つ生態系は、「鯨骨生物群集」と呼ばれている。深海域での存在がよく知られるが、浅海域でどのような生物が出現するのかわかるために鯨骨を設置していた。

2007年8月、岸壁に潜ってクジラの骨を調べたものの、期待したような化学合成共生動物は見つからなかった。ところが骨を回収して水槽内で丹念に調べたところ、思いがけない生物が付着しているのに気が付いた。それは、藤原SLが半年前に出席した学会で偶然目にした、ズータムニウムそのものだった。ズータムニウムは、マングローブの葉や種子が堆積し、硫化物に富んだ環境で生息している。その分布はカリブ海や地中海であり、太平洋、しかも鯨骨上での出現はまったくの予想外だった。

遺伝子を解析すると、ズータムニウムも共生細菌も、地中海やカリブ海のものとはほぼ一致した。どこで生まれ、どのようにしてJAMSTECの岸壁にやって来たのだろうか。沖縄のマングローブ林にもいるのだろうか。水槽で飼育して生活環を詳しく調べよう……。ズータムニウムの美しい姿を見ながら、さまざまな構想が膨らむ。



ズータムニウムの電子顕微鏡写真。細胞の表面に硫黄細菌が並んでいる 撮影：河戸 勝

原生生物たちがつくり出す造形美

ズータムニウム

Zoothamnium niveum (群体の大きさ数mm)



JAMSTEC

ナメクジウオは、温帯から熱帯の、水深100mより浅くきれいな水質のところにすんでいる。水質が少しでも悪くなると姿を消すことから、水質浄化の指標として使われているほどだ。ところが、2005年に野間岬沖で発見されたナメクジウオは違った。発見場所は、水深230mの海底。世界で最も深いところに暮らすナメクジウオだ。しかも、そこは汚く、臭い。なにしろ、コトクラゲのところで紹介したように、2002年にマッコウクジラの遺骸が沈められた場所である。鯨骨は腐り、周辺には硫化水素に富んだ環境が形成されている。こんな環境に暮らすナメクジウオは、これまでに知られていない。新種として記載され、ゲイコツナメクジウオと名付けられた。

ナメクジウオは、頭索動物の一種である。頭索動物は、ヒトなど背骨を持つ脊椎動物の祖先にあたることが知られている。最も早く出現した頭索動物はホヤかナメクジウオかという議論があったが、2008年、遺伝子の解析からナメクジウオこそが現存する最も古い脊椎動物であると結論が出た。ゲイコツナメクジウオは、ナメクジウオのなかで最も原始的な種であることが、遺伝子解析から分かっている。この常識外れのゲイコツナメクジウオを詳しく調べることで脊椎動物の起源と進化への理解がさらに進むのでは、と注目が集まっている。

常識を破ったゲイコツナメクジウオ

Asymmetron inferum (体長3cm)



撮影：藤原義弘

突然、こんな生物を見掛けたら、誰もがギョッとするに違いない。そんな奇妙な姿をしているのが、イトエラゴカイだ。太平洋の熱水噴出域に生息する多毛類である。日本周辺では、沖縄トラフや伊豆・小笠原弧の熱水噴出域で発見されている。先端に見えるのは鰓。ピンクの糸状のものは、餌を捕るときに出てくる触手だ。

驚くのは、その姿だけではない。イトエラゴカイは、熱水の噴き出し口のすぐ近くに、粘液で巣穴をつくってすんでいる。東太平洋海膨に生息するイトエラゴカイは、水温80℃でも生きていられるという。動物のなかで、最も高温の環境で暮らしている種である。

イトエラゴカイをはじめ、表紙に掲載したハオリムシなど、ゴカイの仲間には興味深いものが多い。次の機会には、『Blue Earth』で、さまざまなゴカイの仲間を紹介しよう。

熱水を浴びて生きる

マリアナイトエラゴカイ

Paralvinella hessleri (体長5cm)



巣穴から姿をのぞかせるマリアナイトエラゴカイ 撮影：藤原義弘



撮影：藤原義弘

撮影：藤原義弘



名前にたがわぬ姿ウミクワガタの仲間

Gnathia sp. (体長3mm)

大きな顎を持つ雄(左)の姿は、クワガタそのものだ。ウミクワガタは浅瀬から深海まで、世界中の海で見つかっているが、これは野間岬沖に設置された鯨骨の周辺で発見された新種である。雌(右)には大顎はなく、写真の個体は、おなかのなかの卵が見えている。

ウミクワガタの生態は面白い。卵からかえった幼生は、しばらく海底で過ごしているが、ある程度成長すると思わぬ行動に出る。海中に泳ぎ出し、手ごろな魚を見つけると口を突き刺し、魚の血を吸うのだ。そしておなかがいっぱいになると、魚から離れて海底に降り、脱皮する。しばらくするとまた魚の血を吸いに出掛け、ということを3回ほど繰り返して成体になる。成体になると餌は食べずに、幼生のときに蓄えた栄養だけで生きる。

鯨骨が設置されて最初の数年、ウミクワガタは見られなかった。設置から5年ほどたち、骨が朽ちてきたころから姿を見掛けるようになった。ウミクワガタは化学合成細菌を共生させているわけではない。クジラの骨には穴がたくさん開いているので絶好の住み家となること、周囲には魚がたくさんいて幼生の吸血相手に困らないことなどから、ここにすむようになったのではないかと推測される。鯨骨生物群集を構成する生物は、時間とともに移り変わる。それを知ること、重要な研究テーマの1つである。



撮影：藤原義弘

相模湾に潜ってみよう

ここまで、奇妙な姿や生き方をしている海の生物を写真で紹介してきた。そんな不思議な生物たちが暮らす海のなかとは、どのような世界なのだろうか。数多くの潜航調査を行っているドゥーグル・リンズィー技術研究主任の案内で、相模湾に潜ってみよう。

水深
0m



クダクラゲ クダクラゲは、たくさんの個虫がつながった群体。ときには数十mにもなる。個虫ごとに、泳ぐ、餌を捕まえる、生殖といった役割分担がある。イセエビ類のフィロソーマ幼生が付着している

50m



オビクラゲ 帯状の体をくねらせて泳ぐ。欧米では「ピーナスの首飾り」とも呼ばれている
撮影：ドゥーグル・リンズィー

100m



マリンスノー プランクトンの排せつ物や死骸、分泌物などの粒子。海中を沈んでいく様子が雪のように見えることから名付けられた

200m

フクロウミノミの仲間 目は非常に大きい。捕食者に見つけられてしまう目の色素の部分は非常に小さくなっている



ヤワラクラゲの仲間
オキアミ（写真中央下）を触手で捕らえ、まさに食べようとしている瞬間を撮影した



オキアミの仲間
体長2~3cm。いろいろな生物の餌になっている



400m

ハダカイワシの仲間 腹側に発光器を持っている。昼は水深数百mにいるが、夜になると表層に移動して餌を捕る種類が多い。うろこがはがれやすく、船の上に揚げられたときにはほとんどはがれてしまっていることから、ハダカイワシの名前が付いた



500m

ヨコエソ 成長するに伴って生息水域が深くなる。カイアシ類の仲間が背中に寄生している



700m

ニジクラゲ 傘の大きさは3~5cm。危険を感じると、発光している触手を切り離す。敵が触手に気を取られている間に逃げる

アカカブトクラゲ クシクラゲの仲間。大きな袖状突起で餌をくっつけて捕獲する



リンゴクラゲ 傘の大きさは10~25cm。東京湾などで大量発生するミスクラゲに近い仲間



800m

■水深1,000m

有人潜水調査船に乗っているときは、100%の集中力で窓の外を凝視しています。私が見損なったら、その情報を人類は二度と得られないのですから。相模湾では水深1,000mにもなると、ヒゲクラゲやクロクラゲ、等脚類のミズムシの仲間が多くなります。

900m



ヒゲクラゲ 捕食されそうになったら細かい触手を落として逃げる。魚の鰓などにくっついて、魚がそれに気を取られている間に逃げるのが想像できる



ミズムシの仲間 6本の長い脚と、泳ぐための4本の短い脚を持つ。長い脚で水中を歩く

1,000m

■近底層

相模湾の最深部は水深1,600mです。海底から上50mまでは「近底層」といって、中・深層とは区別しています。東京湾から流入する低層流に餌がたくさん含まれているため、相模湾の近底層にはたくさんの生物が生息しています。海底ぎりぎりのところには、ユメナマコなどが浮かんでいます。ユメナマコに付着しているアミの仲間を捕獲し、未記載種であれば、和名を「ダブツナムアミ」にしようかな……。

深度による生物の違いを見てみよう

相模湾で行われたプランクトンネット（19ページ参照）による調査で得られた試料。水深500mまでは、プランクトン（浮遊生物）や、オキアミなどのマイクロネクトン（小型遊泳生物）が中心である。水深500m以深になると、エビなどの大型甲殻類が入ってくる。水深600~650mに入っている魚類はハダカイワシ。



水深(m)
400~450 450~500 500~550 550~600 600~650 650~700

■水深300m

大型のクラゲやハダカイワシ、イカなど、いろいろな生物が姿を現します。私は、オキアミがいたら、注意深く周りを見るようにしています。クラゲが、すぐ近くにいたりするからです。あるときは、クラゲがオキアミを食べている瞬間の撮影にも成功しました。クラゲが何を食べているのか、ほとんど知られていないため、とても貴重な映像です。水深300mくらいになると、透明な生物は少なくなり、白っぽい色をしたものや、腹側に発光器を持つ発光生物が多くなります。海面はわずかに明るいため、捕食者が下から見上げると、上にいる生物の姿はシルエットになって浮かび上がってしまいます。捕食者に狙われないように、発光によってシルエットを消すのです。

■水深800m

発光器を持つ生物がほとんどなくなります。上から光が入ってこないため、自分のシルエットを消す必要がないからです。体の色が赤や黒の生物が多くなるのも、このあたりの深度からです。また、あまり動かない生物が増えます。餌が少ないので、泳ぎ回って餌を探すのは効率が悪いからでしょう。じっと待っていて、餌が近づいてきたら捕らえます。

ハナガサナマコ 浮遊するナマコ類に、ほかの生物が付着していることがよくある（矢印）。ヨコエビ類のワレカラの仲間やアミ類、クラゲのポリプ世代がその代表選手だ

ユメナマコ ユメナマコはひれをゆっくり動かして海底近くを漂っている。ナマコは最も深いところにも生息している生物の1つで、水深1万mを超える深海でも見つかっている



海に潜ってみれば…… そこはクラゲだらけだった

「え、こんなはずでは……」。有人潜水調査船「しんかい2000」で初めて中・深層の潜航調査を行ったとき、リンズィー技術研究主任は思わずつぶやいた。

オーストラリア生まれのリンズィー技術研究主任は、子どものころから海の生物が大好き。サンゴ礁で潜ったり、生物を採取してきては水槽で飼育したりしていた。大学で分子生物学と日本語を学び、交換留学生として日本にやって来た。海洋生物の研究を始めたのは日本で大学院に進んでからだ。エビや魚、カイアシ類などネットで採取できる生物が研究の対象だった。1997年、JAMSTECの研究員に。「しんかい2000」に乗船することになり、現場で魚や

エビを見ることができると喜んでいて。しかし、リンズィー技術研究主任の目に映ったのは、クラゲ、クラゲ、クラゲ……。

かつて海洋生物の調査は、ネットでの捕獲がほとんどだった。クラゲの体はゼラチン質で90%以上が水分なので、もろく、ネットを船の上に引き揚げたときには、原形をとどめていないものが多い。そのため、クラゲに関する情報は、ほとんどなかったのだ。調査で撮影したクラゲの種類を知りたくて海洋生物の専門家に問い合わせると、返ってくる言葉はいつも同じ。「初めて見た」。中・深層の主役がクラゲであるならば、それを知らなければ海の生物を語れない。そう考えたリンズィー技術研究主任は、クラゲの研究にのめり込んでいった。

クラゲのように水中を漂って生活する浮遊生物を「プランクトン」と呼ぶ。小型の甲殻類や魚類の幼生などもプランクトンだ。プランクトンは、体長が

1cmにも満たない小さなものや、透明なものが多いため、肉眼や従来のビデオ技術ではうまく観察ができない。そこで、リンズィー技術研究主任が考え出したのが、白黒で、投入前に設定した数値に合う対象物しか記録できなかった従来のビジュアルプランクトンレコーダー（VPR）を、カラー化してマリンスノーやクラゲの細い触手なども漏れなくきれいに録画できるように、また水深1,000mの水圧に耐えられるように改造することだ。正面から光を当てて撮影すると、透明なプランクトンは背景に溶け込んでしまうが、VPRの光源はプランクトンの周囲から照らし、輪郭が浮かび上がるようになっている。

VPRはさまざまな探査機に搭載可能だが、最も威力を発揮すると期待されているのが深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」への搭載である。PICASSOは、長さ2m、幅0.8m、高さ0.8m

と小型なので、大型の母船を必要としない。また母船とは直径1mmの通信用ケーブルでつながれているだけなので、海中で自由に動くことができ、しかも水深1,000mまで潜航可能だ。PICASSOにはVPRのほか、ハイビジョンカメラ、パノラマ式カメラシステムを搭載することができる。パノラマ式カメラシステムは3台のビデオカメラから構成され、立体映像を撮ることも可能だ。PICASSOという名前には、「画家のピカソのように、普段ものを見ている目ではなく、新しい目で周りを見る」という思いが込められている。

PICASSOはまだ開発中で、リンズィー技術研究主任たち研究者が十分に調査に使える段階ではない。それでも、20数回の海域試験で、これまで知られていなかったクラゲをはじめとするプランクトンの姿が見えてきた。



VPRを搭載したPICASSO
向かって右のアームに光源、左にカメラが付いている。1秒間に15枚の撮影が可能
撮影：峯水亮



VPRで撮影したクラゲなどのプランクトン
合成写真。縮尺は同じではない

クラゲは海の熱帯雨林。しかし相互依存に危険が潜んでいる

クラゲは多くが肉食である。しかし、何を食べているのか、ほとんど分かっていない。クラゲの胃の内容物を調べようにも、採取して船に揚げるまでに胃が破れたり飛び出してしまうたり、結局何も見つからないからだ。9 ページで紹介したクラゲがオキアミを食べる瞬間は、クラゲの食生活を垣間見ることができる貴重な画像だ。

一方でクラゲは、いろいろな生物に食べられているらしい。エビや魚の胃を調べると、クラゲの刺胞がたくさん見つかるのだ。クラゲの体はゼラチン質で90%以上が水分のため胃に残らないので、クラゲそのものが食べられているのか、刺胞が混ざった

クラゲの粘液が食べられているのかは分からない。リンズィー技術研究主任は現在、いろいろなクラゲの組織を採取し、DNA の配列を解読している。そのリストが整備されれば、胃に残されたクラゲの組織の DNA を調べ、どのクラゲのものか分かるようになるだろう。

クラゲは、たくさんのオキアミなどを食べ、たくさんの生物に食べられ、中・深層における食物連鎖の重要な位置を占めている。さらにクラゲは、ほかの生物に「住み家」も提供している。スキューバダイビングによる表層の調査から、クラゲにヨコエビが付着しているという報告は、以前からあった。深海にすむクラゲでも同じだろうと想像はできたが、付着している生物はクラゲを船に揚げるまでに外れてしまうため、確認できずにいた。ハイビジョンカメラなどによってその場で詳しい観察ができるよう

になり、クラゲとほかの生物とのかかわりが見えてきた。なんとクラゲには、ヨコエビだけでなく、ほかのクラゲの子ども、ウミグモなど、実にさまざまな生物が付着していたのである。クラゲは、豊かな生態系を育む、熱帯雨林のような存在だったのだ。

リンズィー技術研究主任は、これまでにいくつもの新種を発見し、学名や和名の命名にかかわってきた。アカショウチンクラゲという和名の名付け親でもある。リンズィー技術研究主任が最近、有人潜水調査船や無人探査機で撮影された200時間近いビデオを分析した結果、生息数は少ないと考えられていたアカショウチンクラゲが日本海溝の水深500m 以深には多く生息していること、さまざまな生物に住み家を提供していることが分かってきた。また別の調査で、クラゲのプラヌラ幼生が付着し、そのまま育った無性生殖世代のクラゲのポリプがたくさん付着している翼足類という貝類が採取され

た。形態からどのクラゲのポリプか分からないときには、DNA を解析すれば、それがどのクラゲのものか分かるはずだ。別々の研究が思わぬところでつながる。それが研究の醍醐味の1つだと、リンズィー技術研究主任はいう。

アカショウチンクラゲの例でも分かるように、生物たちは相互に依存して生きている。しかしそれは、1種類の生物がいなくなったら、ほかの生物にも影響が及ぶことを意味する。アカショウチンクラゲのポリプが付着する翼足類は、「海洋酸性化」によって絶滅すると危惧されている。幼生が翼足類に付着して育つクラゲは、アカショウチンクラゲ以外に7種類も知られていることから、翼足類の絶滅がもたらす影響は広い範囲に及ぶだろう。

海洋酸性化とは何か。そして、海の生物に忍び寄る脅威について、次に解説していこう。



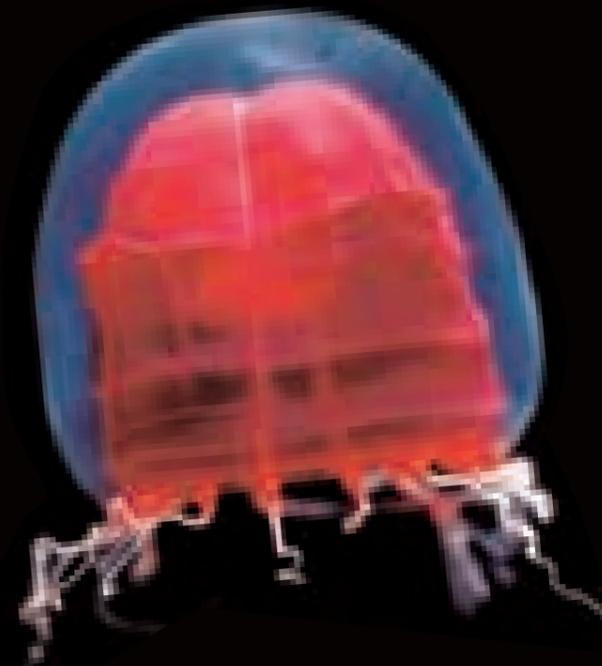
ヒカリボヤとサガミウキエビ
ヒカリボヤは個虫が集まった群体で、一端が開いた筒状をしている。普通は長さ10cmほどだが、ときには2mにもなる。発光バクテリアを共生させていると思われ、とても明るく発光する。サガミウキエビの未熟な個体をはじめ、さまざまな生物がヒカリボヤに住み家としている。サガミウキエビは体長2cmほどで、ヒカリボヤの体液を吸って生きているらしい
撮影：ドゥーグル・リンズィー



オワンクラゲに付着したヨコエビの仲間
ヨコエビの胃からもクラゲの刺胞がよく見つかる。ヨコエビは自分のホストを食べているのか、別のクラゲを食べているのか。クラゲのDNA配列の解析が進めば、明らかになってくるだろう
撮影：ドゥーグル・リンズィー



ショウクラゲに付着したオトガリスキンウミノミ
ショウクラゲは袖のように広がった部分を動かして羽ばたくように泳ぐ。オトガリスキンウミノミ（矢印）などのクラゲノミは、クラゲに付着し、クラゲの食べ残しやクラゲ自身を食べているらしい
撮影：ドゥーグル・リンズィー



アカショウチンクラゲに共生する生物
アカショウチンクラゲの傘にはヨコエビ（左）やウミグモ（中央）が付着している。また、傘の内部にはヤドリクラゲ科の一種が付着し、ここで成熟する（右）。アカショウチンクラゲの傘の直径は約10cm。全世界の水深450～900mに生息。日本海溝の水深500m以深に多く生息していることが分かった
撮影：ドゥーグル・リンズィー



二酸化炭素の増加がもたらす脅威「海洋酸性化」とは

海水は、酸性、アルカリ性、それとも中性か？ 溶液の酸性・アルカリ性の度合いは pH（水素イオン指数）で示される。中性は pH7 で、7 より大きいとアルカリ性、7 より小さいと酸性になる。現在の海水の pH は地域によって異なるが、およそ 8.0 ~ 8.3 で、弱アルカリ性だ。

産業革命以降、人類の化石燃料消費によって大量の二酸化炭素（CO₂）が大気中に放出されるようになり、その約 3 分の 1 が海洋に吸収された。その結果、現在の海水の pH は、産業革命以前と比べると 0.1 低下している。これが、海洋生物に忍び寄る脅威、「海洋酸性化」である。海水が酸性になるわけではないが、CO₂ が溶けて海水のアルカリ性が弱まるため、「酸性化」といわれる。

産業革命前の大気中の CO₂ 濃度は約 280ppm だった。それ以前については南極やグリーンラン

ドの氷床のデータから、過去 65 万年にわたって 180 ~ 300ppm の範囲内であったことが知られている。ところが、現在は 380ppm を超えている。わずか 250 年ほどの間に急上昇したのだ。CO₂ は地表から出た熱を吸収して地球の気温を上げる働きをし、地球の平均気温は 1906 ~ 2005 年の 100 年間で約 0.74℃ 上昇した。CO₂ の排出量の推移や経済活動のシナリオによって異なるが、21 世紀末までに気温はさらに 1.1 ~ 6.4℃ 上昇すると予測されている。大気中の CO₂ 濃度上昇は地球温暖化を進行させるため、「大気中に放出された CO₂ を海洋はどのくらい吸収するのか」は重要な問題であった。一方、CO₂ の吸収によって海水の酸性化が進むことは古くから知られていたが、「CO₂ を大量に吸収した海洋がどうなるのか」という問題意識は十分ではなかった。そうしたなか、海洋酸性化の将来予測を行い、その危険性を指摘したのが、石田明生研究員らが参加した「海洋炭素循環モデル相互比較研究計画（OCMIP）」である。

OCMIP は、日本、アメリカ、ヨーロッパ、オーストラリアから 13 グループが参加した国際プロ

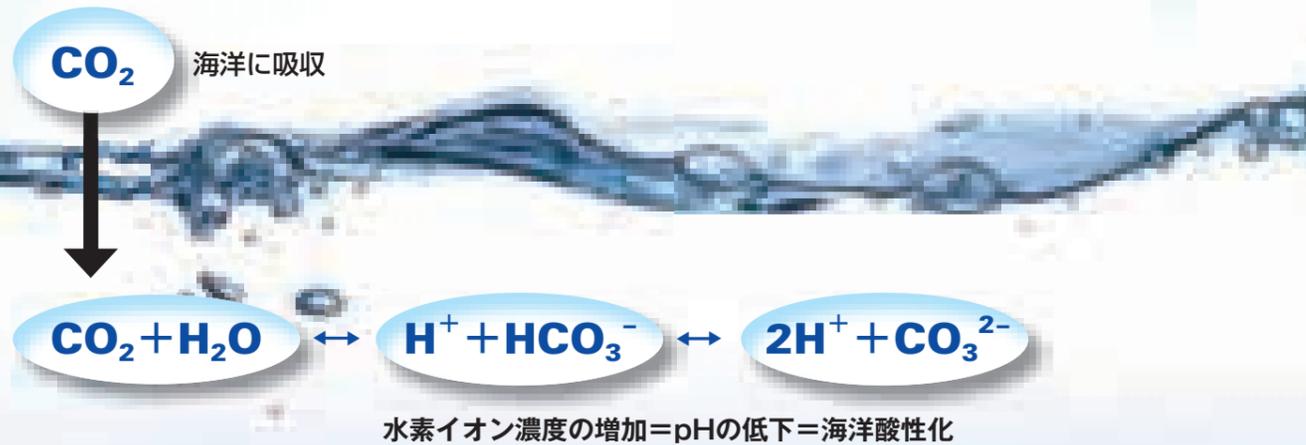
ジェクトだ。各グループでは、大気中の CO₂ がどこでどのくらい海洋に吸収され、どのように循環するかという、炭素循環モデルを開発している。しかし、現在の状況を再現し、将来の予測をすると、モデルによってばらつきが出る。そこで、各モデルを比較して改良し、精度を向上させようというのが、このプロジェクトの目的である。OCMIP では、さまざまなシナリオについて炭素循環の将来予測を行い、それをもとに酸性化する海域、時期を調べた。その結果、IS92a シナリオ（1992 年に IPCC [気候変動に関する政府間パネル] によって定められた 6 つのシナリオのうち中庸なもので、CO₂ やそのほかの温室効果ガスを含めて CO₂ 換算でほぼ年 1% ずつ増えるシナリオ）の場合、南極海、次に北太平洋亜寒帯域で、pH が現在より 0.3 下がる深刻な酸性化が起きることが明らかになった。

では、海洋酸性化の何が問題なのだろうか。CO₂ が水に溶けると重炭酸イオン（HCO₃⁻）と水素イオン（H⁺）に解離し、さらに炭酸イオン（CO₃²⁻）と水素イオンに解離する。海水の pH が下がるの

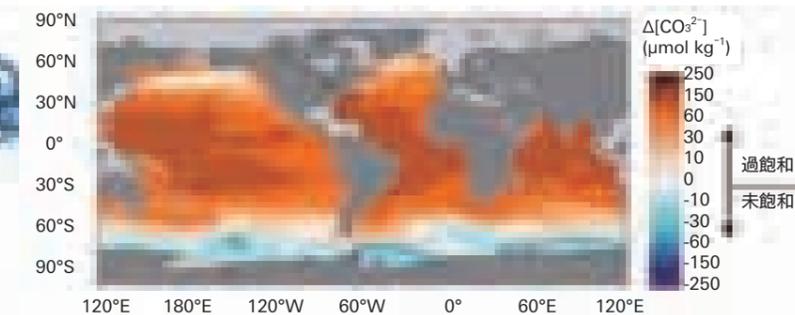
は、こうして水素イオン濃度が増加するからである。そして、弱アルカリ性から中性に向かうとき、炭酸イオンは水素イオンを受け取って重炭酸イオンとなる。この反応によって炭酸イオン濃度が減ることが、生物に深刻な影響を及ぼす。炭酸カルシウム（CaCO₃）の殻をつくる海洋生物や炭酸カルシウムの骨格を形成するサンゴにとっては、その形成が妨げられ、成長が困難になると考えられるからだ。（詳しい反応についてはコラム参照）

では、いつ、どこで海洋生物に影響が出てくるのだろうか。水温が低く海水に CO₂ が大量に溶けているところほど、また、もともと炭酸濃度が高いところほど、早く影響を受けやすい。大気中の CO₂ 濃度が 550 ~ 635ppm 程度になると、南極海の一部で影響が始めると予測されている。その CO₂ 濃度は、IS92a シナリオでは 2050 年から 2070 年ごろに達すると予測される値だ。さらに CO₂ 濃度が上昇すると、北太平洋亜寒帯域に影響が出ると予測されている。遠い未来のことではない。海洋酸性化による脅威は、すぐそこまで忍び寄っている。

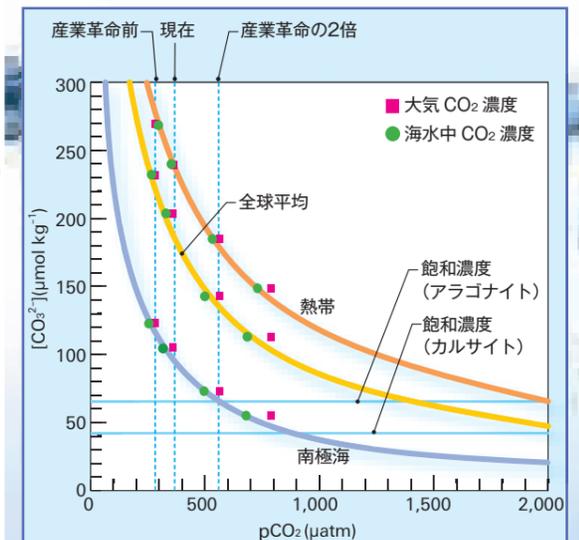
海水の二酸化炭素分圧と炭酸イオン濃度の変化
縦軸は炭酸イオン濃度、横軸は海水の CO₂ 濃度を示す CO₂ 分圧（pCO₂）。pCO₂ の上昇とともに炭酸イオン濃度が減少し、南極海では、海水の pCO₂ が産業革命前のほぼ 2 倍（560ppm）になったところで、炭酸カルシウムの一種であるアラゴナイトが未飽和となることが分かる。曲線は、大気と海洋の pCO₂ が等しい（大気の上昇に海洋はすぐ追従する）と仮定して、南極海、全球平均、熱帯海洋における平均的な水温、塩分などから熱力学法則により求めた関係。丸と四角は数値モデルから求めた値（飽和度についてはコラム参照、アラゴナイトとカルサイトについては 16 ページ参照）



海洋酸性化から炭酸カルシウム溶解までのプロセス



海洋酸性化による炭酸カルシウム（アラゴナイト）飽和度の予測
IS92a シナリオ（CO₂ 濃度がほぼ年 1% ずつ増えるシナリオ、点線）と S650 シナリオ（CO₂ 濃度を 650ppm で安定させるシナリオ、実線）に基づいて計算した炭酸イオン濃度の予測値と、炭酸カルシウムの一種であるアラゴナイトが飽和状態になる炭酸イオン濃度の差を示している。値がマイナス（青）のところは未飽和な海域。南極海では 2050 年ごろから未飽和となり、2100 年には北太平洋亜寒帯域でも未飽和の海域が現れる。水温が高く、炭酸イオン濃度が高い熱帯域や亜熱帯域は、酸性化による影響を受けにくい（炭酸カルシウムの飽和度についてはコラム参照）
(Orr et al. 2005, Nature)



炭酸カルシウムの飽和度とは

$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}}$$

- Ω < 1 未飽和
- Ω = 1 飽和
- Ω > 1 過飽和

海洋酸性化によって炭酸イオン濃度がどこまで減少すると、炭酸カルシウムの形成が妨げられるのだろうか。その指標となるのが「炭酸カルシウムの飽和度（Ω）」である。飽和とは、物質を溶かしていったときにそれ以上溶けない状態をいう。炭酸カルシウムの飽和した水溶液における、カルシウムイオン濃度 [Ca²⁺] と炭酸イオン濃度 [CO₃²⁻] の積を「溶解度積（K_{sp}）」といい、水温や圧力などの条件によって決まる。各イオン濃度の積が溶解度積より大きくなれば「過飽和」となり、結晶が形成される。逆に、各イオン濃度の積が溶解度積より小さくなれば「未飽和」となり、結晶は形成されない。

現在の海水は、カルシウムイオン濃度と炭酸イオン濃度の積が溶解度積より大きく、炭酸カルシウムに対して過飽和状態になっている。だから、生物は炭酸カルシウムの殻や骨格をつくることのできるのだ。しかし、海洋の酸性化が進んで炭酸イオン濃度が減ってしまったら……。カルシウムイオン濃度と炭酸イオン濃度の積が溶解度積より小さくなり、海水は炭酸カルシウムに対して未飽和となる。その結果、炭酸カルシウムができにくくなり、すでに形成された炭酸カルシウムが溶解する可能性もある。

ただし、未飽和状態になったからといって、すぐに生物の殻や骨格を形成している炭酸カルシウムが溶け出すとは限らない。生物が形成する炭酸カルシウムは、実験室でつくるような純粋な結晶ではなく、しかも表面に有機物が覆っていると考えられるからだ。しかし、炭酸カルシウムが未飽和状態となるのが生物に大きな影響を与えることは確かだろう。

海洋酸性化によって生態系は大きな影響を受ける

海洋酸性化によって心配されるのは、炭酸イオン濃度の減少によって生物による炭酸カルシウムの形成が妨げられることである。生物がつくる炭酸カルシウムには、結晶構造の違いによってアラゴナイト（あられ石）とカルサイト（方解石）がある。アラゴナイトは、カルサイトより酸性化に弱く、溶けやすいことが知られている。（15ページの右図参照）

アラゴナイトの殻をつくる生物の代表が、ウシ

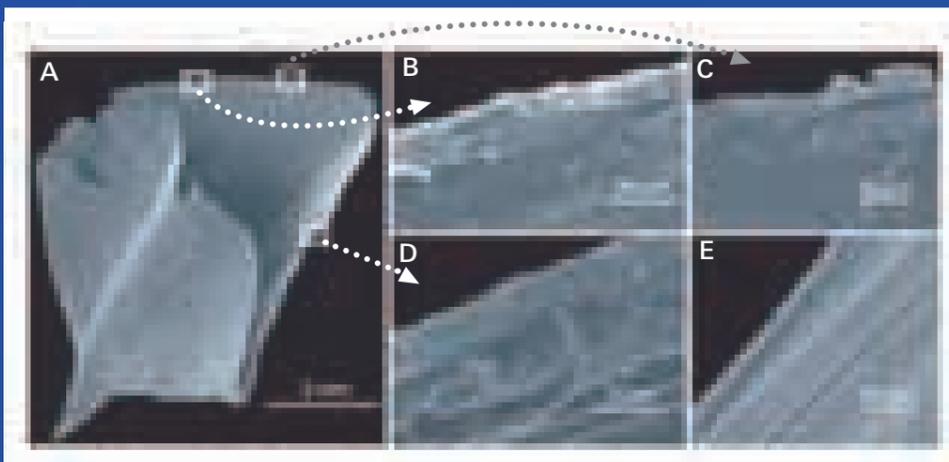
ビキガイなどの翼足類である。アラゴナイトでできた「翼足」と呼ばれる羽のような器官を用いて浮遊する。翼足類はあまりなじみがない生物なので、生態系に大きな影響はないのではないか、と思われるかもしれない。しかし、思い出してほしい。アカチョウチンクラゲの幼生は翼足類の殻に付着して成長し、その成体にはさまざまな生物が付着して暮らしている。翼足類が海洋酸性化によって絶滅してしまったら、アカチョウチンクラゲの幼生が成長できず、成体を住み家としている生物たちにも影響があるだろう。また、翼足類はさまざまな動物プランクトンや魚の餌になっているため、食物連鎖を通して私たちの食卓にまで影響が及ぶ可能性がある。

サンゴの骨格もアラゴナイトでできており、特に水温の低い海域に生息する冷水サンゴは海洋酸性化の影響を受けるだろう。サンゴは植物のように錯覚されることがあるが、イソギンチャクの仲間と刺胞動物に分類され、炭酸カルシウムの骨格を形成し、長い時間をかけてサンゴ礁をつくる。サンゴ礁では豊かな生態系がつくられている。サンゴが絶滅すれば、海洋生態系全体に影響を及ぼすことが危惧される。

カルサイトの殻をつくる生物には、植物プランクトンの円石藻や動物プランクトンの有孔虫などがある。カルサイトはアラゴナイトより溶けにくい結晶なので、アラゴナイトより数十年の猶予があるものの、やはり酸性化の影響を受けると考え

られる。円石藻や有孔虫など炭酸カルシウムを形成する生物の死骸は、ゆっくりと沈んでいく。それはマリンスノーと呼ばれ、圧力の高い深海では沈降する途中で溶けてしまうが、浅海では堆積し、海洋における炭素循環においてとても重要な役割を担っている。海洋酸性化は海底に運ばれる炭酸カルシウムの量を変化させ、炭素循環にも影響が出るだろう。

人間活動によって大気中に放出されたCO₂は、比較的短い時間に全球に広がり、世界中の海に吸収される。それは、海洋酸性化の影響が広範囲で起きることを意味している。海洋酸性化は、地球温暖化とは別の「もう一つの二酸化炭素問題」として注目され、研究が進められている。



ウシビキガイの溶解実験 翼足類のウシビキガイを、IPCCのIS92aシナリオにおいて2100年に予測される南極海の海水環境で48時間飼育した。ウシビキガイはアラゴナイトの殻を持つ (A)。通常環境にいるウシビキガイの殻は結晶がきれいに並んでいるが (E)、酸性化した海水で飼育するとわずか48時間で、ざさくれだったり (B)、めくれ上がったり (C)、溶解を始めた (D) (Orr et al. 2005, Nature)

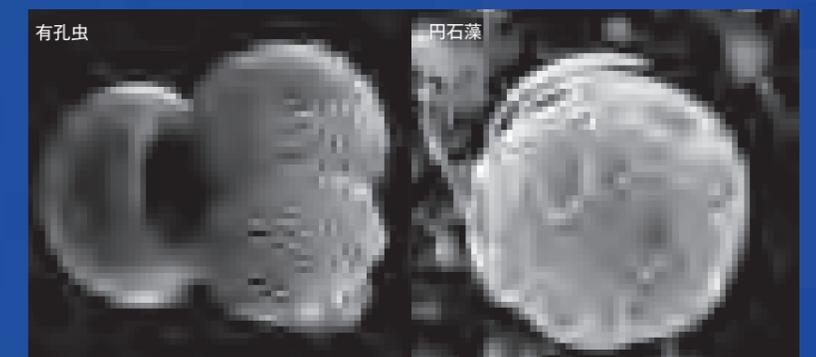
海洋酸性化により直接影響を受ける生物 生物がつくる炭酸カルシウムには、結晶構造の違いによってアラゴナイト（あられ石）とカルサイト（方解石）がある。アラゴナイトは、カルサイトより酸性化に弱く、先に影響を受けると考えられている

アラゴナイトをつくる生物



撮影：木元克典 (left), 古島靖夫 (right)

カルサイトをつくる生物



撮影：木元克典

クリオネ オホーツク海の妖精と呼ばれるクリオネも翼足類である。成体は殻を持たないが、幼生はアラゴナイトの殻を持つことから、海洋酸性化の影響を受けると危惧されている

世界の海を見なければ 海洋生物の現在も未来も分からない

「世界の海はつながっている」。リンズィー技術研究主任は海洋生物を調べれば調べるほど、そう感じるという。ハダカイワシは、昼は水深数百mにいて、夜は表層に移動して餌を捕る。生物の日周鉛直移動はよく知られているが、調査をしていると、“横”から入ってくる生物の多さに驚く。たとえば、南極海にしかない生物が相模湾で見つかるのだ。アカチョウチンクラゲは、南極と日本周辺で採集された個体の遺伝子を調べてみると完全に一致している。また、JAMSTEC 横須賀本部の岸壁に沈めた鯨骨から見つかったズータムニウムの遺伝子は、共生細菌まで地中海のものとはほぼ一致している。南極や地中海から、どこを通過して日本までやって来たのだろうか。

「世界中の海を調べたい」というのが、リンズィー技術研究主任の夢だ。海の世界は、場所によって大きく違っている。たとえば、日本海は水深2,000mでマイナス0.2℃だが、地中海やフィリピン沖のスルー海は水深5,000mで10℃を超える。またアフリカ東沖の中・深層は酸素濃度がとても低い。いろいろな場所を調査することで初めて、共通点や違い、何が重要なのかも見えてくる。

いま調べなければならない場所もある。その1つが北極海だ。地球温暖化によって、遠くない将来、夏の北極海には海水がなくなるといわれている。

幼生が海水に付着して成長するクラゲや、海水中で生育する藻類アイスアルジーを食べているオキアミがいる。もし北極の海水がなくなったら、それらの生物は姿を消してしまうかもしれない。そんな生態系消滅の危機にさらされている場所が、世界中にはたくさんある。そこで期待されているのが、開発中の深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」である。飛行機で送り現地で小型船を借りて調査できるシステムが欲しいという発想から始まったため、機動性には自信がある。しかも、水深1,000mまでの潜航が可能。そんなシステム、ほかにはない。

もう1つ、リンズィー技術研究主任が目をつけているのが「バイオリギング」である。魚やアザラシ、カメ、マンボウなどに、映像や深度、水温などを記録できる装置を取り付けて放し、自由に泳がせて調査する方法だ。有人潜水調査船や無人探査機が行けない場所の情報を得ることができる。現在は装置を付けた生物をもう一度捕獲したり、装置を遠隔操作で切り離して回収し、データを得ている。リンズィー技術研究主任にはとっておきのアイデアがある。現在世界中の海には3,000台を超

えるアルゴフロートが漂い、10日ごとに海水温などの情報を人工衛星経由で送ってくる。このアルゴフロートを使う。装置を付けた生物がアルゴフロートの近くを通ったらデータをアルゴフロートに送り、それを衛星経由で受け取ろうというのだ。また、装置を付けた生物同士が近づいたらデータを交換し合うようにすれば、データを効率的に集めることができるだろう。

また、リンズィー技術研究主任がぜひ調査したいと思っているのが、オーストラリアのグレートバリアリーフだ。亜南極前線で沈み込んだ海水は冷たく、たくさんのCO₂が海水中に溶け、pHが低くなっている。その海水が700～1,000mの深度でオーストラリアの東沖を通り、太平洋を北上していく。途中いくつか湧昇域があり、グレートバリアリーフ周辺でもpHの低い海水がわき上がっている。炭酸カルシウムの骨格をつくるサンゴに影響はないのか、ほかの海域と比べて南極性プランクトンも含み生物種に違いはあるか——それを知ることは、今後起きる海洋酸性化に備えるためにも重要である。

2050年ごろから南極海、続いて北太平洋亜寒帯域で海洋酸性化が進行し、生物への影響が出始めると予測されている。その予測シミュレーションにかかわった石田研究員は、海水のCO₂濃度を長期にわたって観測することの重要性を指摘している。海水のCO₂濃度は、塩分や水温の影響を受けるため、長期的な傾向をとらえることは非常に難しい。海水のCO₂濃度を観測している定点には、ハワイ沖のHOTや大西洋のBATSがあり、酸性化が進行していることが観測されている。酸性化の影響がいち早く現れる北太平洋亜寒帯域での継続観測は、今後より重要になってくるだろう。

また、海洋には、エルニーニョや太平洋10年振動など、季節から数十年周期の変動がある。海水のCO₂濃度はじわじわと増加していくが、そういう変動と重なったときに、酸性化の最初の影響が現れるかもしれない。石田研究員らは、酸性化の影響が出る時期、海域をより正確に予測するため、気候変動に伴う海洋変動を組み込んだシミュレーションにも着手している。

海洋生物について、私たちは、まだほんの少ししか知らない。しかも、地球温暖化や海洋酸性化が、海洋生物にどのような影響を与えるか、よく分かっていないことも多い。JAMSTECでは今日も、海洋生物学、海洋物理学、海洋化学、気候、計算機

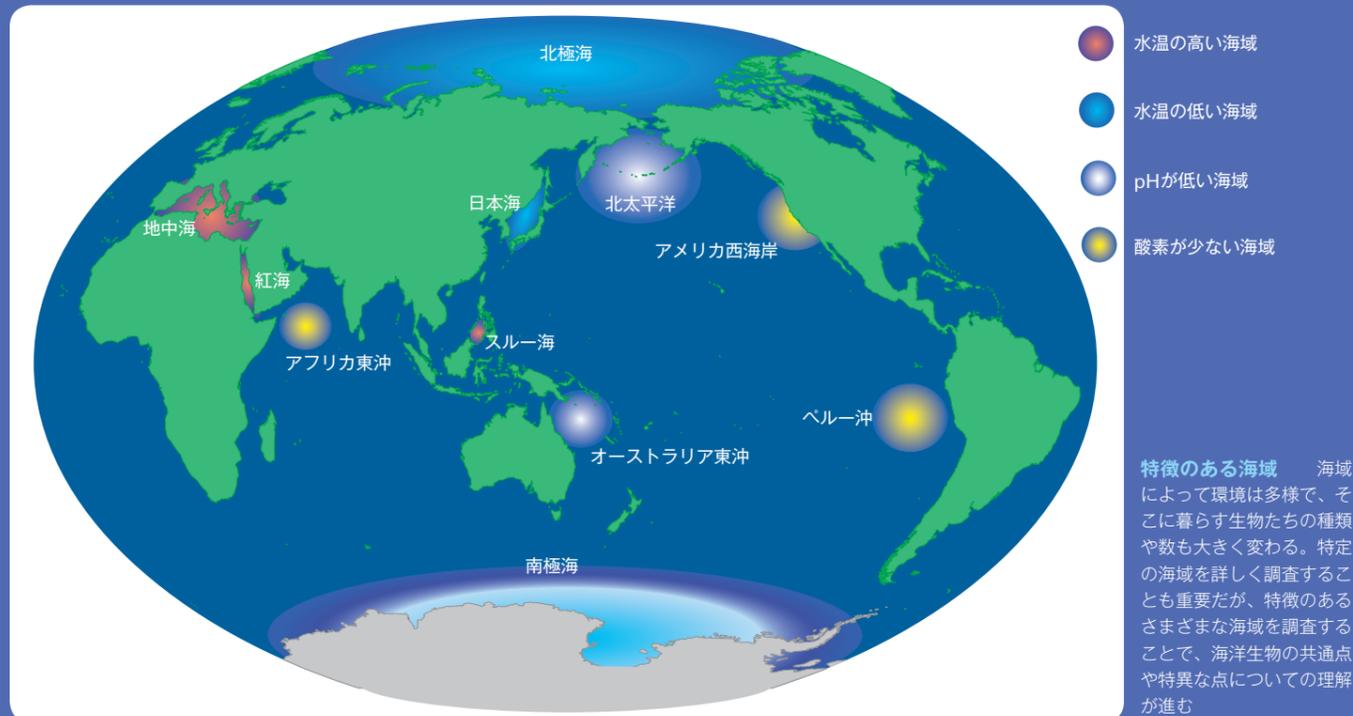


ハイビジョンカメラを搭載したPICASSO ハイビジョンカメラ、パノラマ式カメラシステム、小さく透明なプランクトンを撮影できるビジュアルプランクトンレコーダーをそれぞれ搭載した、複数のPICASSOを同時に使って調査できれば、より多くの情報が得られる。取得される映像は大量になるため、映像を自動的に解析し、重要なシーンを抜き出すシステムも開発中である。これまでに撮影された映像から、思わぬ発見があるかもしれない



プランクトンネット (IONESS) による調査 中・深層の生物についての情報はとても少ない。プランクトンネット (IONESS) にハイビジョンカメラやビジュアルプランクトンレコーダーを取り付けて、生物の採取と現場観察を同時に行うことで、生物量や生物同士のかかわりについての情報を得ようとしている。IONESSには複数のネットが設置されており、調査船上からの操作によってネットを開閉し、複数の深度で試料を採取できる。プランクトンなど小型の生物は、ネットの先端に取り付けた容量4リットルほどのサンプルホルダーに収められて、船上に引き揚げられる

シミュレーションなどさまざまな分野の研究者が協力し、海洋生物の現在、そして未来を知るための研究調査を行っている。 **BE**



大阪・海遊館

東南アジアからの使者——コツメカワウソ

取材協力：藤田かおり・海獣環境展示課 課長代理

コウメが子どもを産んだのは、これで3度目のことだ。コウメは海遊館にいるほかのコツメカワウソの雌に比べて乳の出がよく、子どもたちを大きく育てることができる。産んだ子どもたちはみな丈夫で、運動能力がとて高い。これも、コウメの生い立ちのせいかな、と思う。

2003年夏、日本動物園水族館協会の「カワウソ類別調整者」から海遊館へ、関西国際空港でコツメカワウソの子どもが保護されたので見に来てほしい、との連絡が入った。東南アジアからの密輸だ。当時、エキゾチックアニマルなどという、珍しい生きものを飼うことが流行し始めた時期だった。密輸業者たちは目も開かないような子どもたちを、身に着けたり、鞆の底に押し込んだりして連れてくる。ひどいときには空港のごみ箱に死がいが捨てられる。コウメのときも、一緒に連れてこられた10頭のうち、生き残っていたのはコウメとその姉妹の2頭だけだった。

コウメは1ヵ月ほど保護されていた。その間、通関業者の方々が見守り続けてくれた。私が初めて出会ったときには、すでに目は開いていて、人に慣れきっていた。海遊館へ連れていくために1頭になると、姉妹で離ればなれになったことが心細かったのか、ずっと鳴き続けた。コツメカワウソはとて寂しがり屋だ。

海遊館では必要がない限り、人工飼育はしない。人間に慣れ過ぎてしまうと、仲間との関係で支障が出る場合があるからだ。しかし、コウメは目の開かないうちから保護されていたため、人工飼育に近い状態になった。コウメは仲間を受け入れられるだろうか。そんな心配をよそにコウメはちゃんと繁殖し、子どもを育ててきた。

2008年3月27日、コウメの3度目の出産。出産には丸1日かかった。コツメカワウソは夫婦仲がよく、ほ乳類には珍しく一夫一婦で子育てをする。陣痛の間、コウメは夫のオリーブにつかみかかって鳴いたりしている。夫は意に介していないのか、普通にぐうぐう眠り、ご飯をむさぼる。

しかし、子どもが産まれるとまったく違っていった。何に関しても比較的子どもの自由にさせているコウメに比べて、オリーブはとて心配性だ。子どもが歩きだすようになると、巣穴から出ていく子どもたちを慌てて連れ戻す。体重測定や離乳のために、子どもを親から離していると、父のオリーブは半狂乱で子どもを早く返せとわめいている。オリーブはコウメ以上に子どもたちの世話を焼いている。人慣れたコウメは私が見に行くと、どうぞと子どもたちを見せてくれる。オリーブはそのことについていつも機嫌斜めの様子だ。産まれた子どもたち、ナツ、ハチ、キク、テマリ、イロハは、そんな両親のもとで伸びやかに成長した。

コウメの子どもたちの優れた跳躍力などを見るたび、コウメに流れる東南アジアの野性の血を見た気がする。豊穡の森に流れる黒々とした川で暮らしていただろうコウメの家族。

日本でも、東南アジアでも、森も川も豊かでないカワウソたちは暮らせない。日本にいたニホンカワウソは、環境変化のためか、おそらく絶滅したのだろう。もう30年近く目撃例がない。絶滅したニホンカワウソの代わりに、海遊館では「日本の森」という展示にコツメカワウソたちがいる。豊かな森が、海や生きものをはぐむというコンセプトの展示だ。カワウソ家族が安全に暮らせる世界であってほしいと、コウメとオリーブの家族を見ながら、いつも、願う。

■ Information: 大阪・海遊館
〒552-0022 大阪府大阪市港区海岸通1
TEL 06-6576-5501
URL <http://www.kaiyukan.com/index.html>



コウメの一家。母・コウメの乳を吸う新しく誕生した5頭の子どもたちと、外の様子を不安そうにうかがう父・オリーブ



40日目・乳を飲む



45日目・離乳食開始



40日目・乳は4つ。父は不安



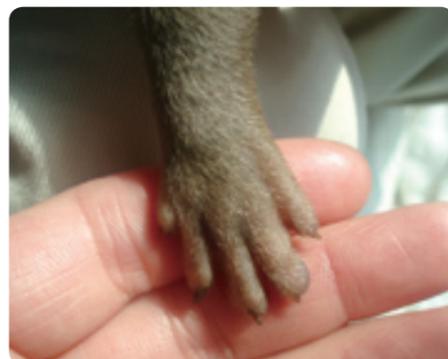
3日目・大集合



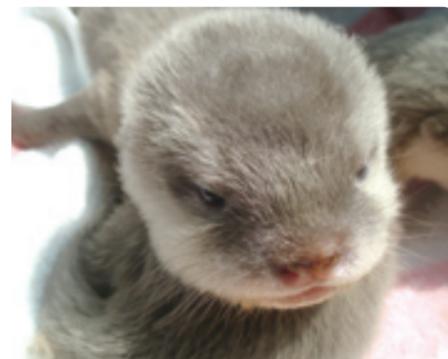
3日目・手のひらサイズ



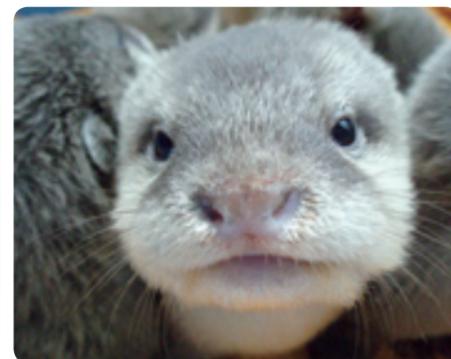
11日目・就寝中



24日目・子どもには小さな爪がある



24日目・目が開いた!



40日目・浮世を見つめる



50日目・ひとり残されて不安に



50日目・ナツ、ハチ、キク、テマリ、イロハ

海底から海と地球を探る

小栗一将 地球内部変動研究センター
地質・地球物理研究グループ
技術研究主任



海底の堆積物には、海や地球の変動の歴史が刻み込まれている。過去の環境変動を知ることは、未来の環境変動を予測するのに役立つ。「しかし、海底にどのようなものがたまっていくのか、海底で何が起きているのか、まだ分からないことが多いんです」。こう語る小栗一将 技術研究主任は、独自のセンサーを開発して、海底を化学的に分析する研究を進めている。「いつも目の前のことに熱中してきました」という小栗主任に、海底研究の世界を案内してもらおう。

開発した酸素センサーの色素フィルムに光を当てて、リン光を発光させている様子

小栗一将 (おぐり・かずまさ)
1971年、愛知県生まれ。理学博士。名古屋大学大学院理学研究科博士課程大気水圏科学専攻修了。2001年、海洋科学技術センター技術研究員。2007年より現職

ラジオ少年、地学にはまる

——子どものころ、ラジオづくりに熱中されたそうですね。

小栗：小学校の4～5年生のころ、友だちのお兄さんがラジオをつくっていると聞いて、びっくりしました。メーカーでしかつくれないと思っていたラジオを、素人が自作できることに衝撃を受けたのです。早速、家の工具箱からはんだごてを持ち出して、自分でつくってみることにしました。部品を買えるお小遣いがなかったので、親の知り合いから、要らなくなった電子基板を譲ってもらい、そこからはが

したものを使いました。

しかし、教えてくれる人も相談できる友だちもいなかったもので、とても苦労しました。10個くらいつくってみましたが、まったく鳴りません。1年くらいかかって、やっとイヤホンからNHKラジオが聞こえてきた日のことは、いまでもよく覚えています。それ以来、電子工作が趣味になり、高校時代はアマチュア無線に熱中しました。最近では、ステレオ装置をつくって音楽を楽しんでいます。

——地学に興味を持ったきっかけは何ですか。

小栗：最初に興味を持ったのは、子どものころに読んだ、加古里子さんが描いた『海』『地球—その中をさぐる』『宇宙—そのひろがりを通して』という絵本からです。とても細かいところまで描き込まれた絵本で、海のこと、海底の地形について、地層の成り立ち、地球の中身、地球から飛び出すために必要なこと、そして太陽系の構成などが分かりやすく描かれていました。

また、私が中高生のころは、地学関係のテレビ番組が多かったのです。『日本列島 動く大地の物語』というNHKの番組を見て、日本列島の成り立ちに興味を持ちました。その後、NHK特集『地球大紀行』で紹介された地球の46億年の歴史に圧倒されました。特に、いん石衝突によって恐竜が絶滅したという説に驚きました。

それまで、大学では工学に進むつもりでしたが、地学を学びたいと考えるようになりました。岩石や地層に刻まれた情報から地球の歴史が分かることがすごいと思ったし、そういったものを見方はラジオ工作とは違って、一人では身に付かないと思ったからです。

不思議な池の底から恐竜の時代を知る

——現在は、海底の研究をされているそうですね。

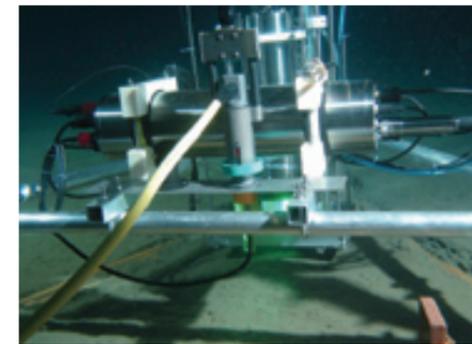
小栗：大学の学部のあるとき、湖底や海底の堆積物に海や地球の環境変動の歴史が刻み込まれていることを学びました。では、湖底や海底にはどのような情報が記録として刻み込まれていくのか。湖や海の底にもものが堆積していく過程に興味を持ち、研究を続けてきました。

JAMSTECでは、鹿児島県の甌島列島にある貝池という不思議な池を調査しました。この池の水深約5mより深い場所は、1年を通して湖水に酸素がまったく溶けていない環境です。そして、酸素を含む水と無酸素の水が接する境界には、紅色硫黄細菌という細菌が密集しており、この部分の湖水は紫色をしています。こんなに細菌が密集している環境は、日本ではほかにありません。

実は、恐竜のいた白亜紀の一時期、1億数千万年前ごろの地球でも、水中のある深さから下は酸素がなく、細菌が密集した海が広がっていたと考えられています。酸素のない海が広範囲に広がった現象は「海洋無酸素事変」と呼ばれて

います。海洋無酸素事変は白亜紀以前にも何回か発生したと考えられていて、石油の生成や生物の大量絶滅と関係があるという説があります。

貝池の湖底では、どのような堆積物がつくられていくかを調べることで、海洋無酸素事変が起きていた海洋の環境を探る手掛かりを得られると考えています。



船上で酸素センサー（二次元酸素濃度測定装置）の最終調整をする小栗技術研究主任。装置は「ランダーシステム」と呼ばれる水中エレベーターに搭載され、海底に投入される

海底に設置された酸素センサー。この装置は、相模湾初島沖にある「深海底総合観測ステーション」からの電源ケーブルと接続して、継続的に海底の酸素濃度の測定を行っている

貝池の底を調べた結果、湖底にはたくさんの細菌の死がい（シミア）が沈んで、とてもきれいな特徴的な縞模様（シミア）の堆積層をつくっていることが分かりました。普通の湖底や海底のすぐ上の水には酸素が溶けているので、そこには大きな生物がすんでいて、堆積層を乱しています。しかし、酸素のない環境では海底をかき混ぜる大

きな生物はすめないの、貝池ではきれいな堆積層ができるのです。海洋無酸素事変が起きた白亜紀の1億数千万年前ごろの地層にも、細かい縞模様が残されています。ひょっとしたら、バクテリアが沈降した結果、縞模様が形成されたのかもしれない。

海底の環境を化学的に分析する

——現在は、どのような研究テーマに取り組んでいるのですか。

小栗：海底にどのようなものがたまるのかを研究してきたのですが、これまでは目で観察する方法が主でした。たとえば、地球温暖化に関係する炭素が海底にどのくらい固定されたり、あるいは二酸化炭素として放出されたりするかなど、もっと化学的な分析を行い数値化しないと、海底が海や地球の環境にどのような影響を与えているのかを探るなど、研究を進展させていくことができません。海底で起きている化学的な現象を数値化できれば、海底の堆積物から古い時代の海洋や地球の環境変動を探る研究にも大きな貢献をすることができるでしょう。しかし日本には海底を化学的な視点でとらえる研究者は多くありません。

——海外では研究が行われているのですか。

小栗：ヨーロッパでとても進んでいます。ただ、私が調べたい海底環境は、酸素濃度が比較的低い場所が多く、こういった環境の酸素濃度分布を詳しく調べられるセンサーは、ヨーロッパにもありませんでした。

海底に降り積もったプランクトンの死

がいなどの有機物は、分解を起しますが、そのとき酸素を消費して二酸化炭素を発生します。これを「好気分解」と呼びます。たとえば私が調査をしている相模湾では水深が1,000m以上あって、水中には酸素が少し溶けていますが、海底で酸素があるのは表面からわずか6mmまでで、それより深いところは好気分解によって堆積物中の酸素が消費された無酸素環境となります。水深1,000mに対して海底に酸素が浸透する深さはわずか6mm。このように、酸素が分布するとても薄い層の酸素濃度分布や、その時間変動をきれいに可視化するセンサーがなかったのです。

——海底下の酸素濃度分布はどうやって可視化するのですか。

小栗：特殊な色素を塗ったフィルムを使います。その色素フィルムの部分を海底の断面にそっと突き刺して、光を当てます。すると色素が「リン光」を発します。リン光が光っている時間や強さは、酸素濃度と反比例します。酸素濃度が低いほど長く明るく光るのです。ですから、フィルムが発するリン光の発光時間をカメラでとらえると、フィルム面、つまり海底断面の酸素濃度分布を可視化することができます。さらに、一定の間隔で測定を繰り返すことで濃度分布の時間変動を追うこともできます。ただし、これまで使われていた色素では、相模湾の海底のように酸素があまり溶けていない環境で、酸素濃度分布を詳しく測定できる感度がなかったのです。

——新しい色素を探したのですか。

小栗：そうです。成層圏を高速で飛ぶ飛行機の開発を行っている日本の研究グループが、酸素への感度が高い色素を使って機体にかかる圧力分布を可視化する実験を行っていました。実は、その飛行高度の環境は、酸素濃度が低いという点で私たちが調べたい海底の環境とよく似ていました。フィルムにその色素を使い、装置を改良することで、酸素の乏しい海底の酸素濃度の分布を詳しく調べられるセンサーを開発できたのです。

——その酸素センサーでどのようなことが分かってきましたか。

小栗：海底の酸素濃度分布は、水流や底生生物の活動によって変動していることが分かりました。これは、海底は、これまで考えられてきたような何の変化もない静かな世界ではなく、もっと活動的な環境であることを意味しています。また、酸素が検出されない層でも、「メイオセントス」と呼ばれる小さな底生生物が動き回っていることも分かってきました。予想外の結果です。海底には、未知の現象がまだたくさん潜んでいます。

偶然のできごとから簡便な装置を開発

——現在、簡便な酸素センサー装置を開発しているそうですね。

小栗：これまでの酸素センサーはとても複雑な装置でした。自分でつくった装置なのに、操作方法を忘れてしまうくらいです(笑)。また大掛かりな装置なので、船上での組み立てや調整、運用に多くの時間や人手が必要です。色素が発するリン光だけをとらえるための特殊なカメラやコンピュータプログラムの設定が複雑で大掛かりなのです。

簡便な装置のアイデアは偶然見つけました。学会でポスター発表するために、実験室に設置した酸素センサー装置をデジタルカメラで撮りました。それから半年くらいして、その写真を見ていて気が付いたんです。写真には、酸素濃度の分布がはっきりと写っていたのです。デジタルカメラでも酸素濃度の分布を映し出すことができるのです。精度は少し落ちてても、簡便な装置ができれば、いままでできなかったさまざまな観測が可能になります。

——どのような観測が考えられますか。

小栗：従来の装置は電力消費も大きいので、



航海中に酸素センサーの調整を行う小栗技術研究主任。「市販品がなければつくってしまえ、ということで、カメラやコンピュータにかかわる部分以外は、ソフトウェアも含めすべて手づくりの装置です。海上でトラブルが起きたら、すべて自分で修理や調整を行わなければなりません。センサーの開発には電気的知識も要求されます」



酸素センサーの色素フィルムがはられた部分。この部分を海底に突き刺して、海底の酸素濃度分布を測定する

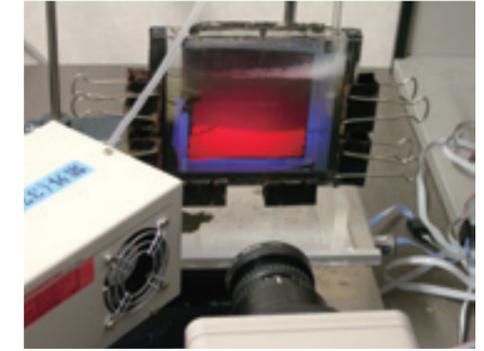
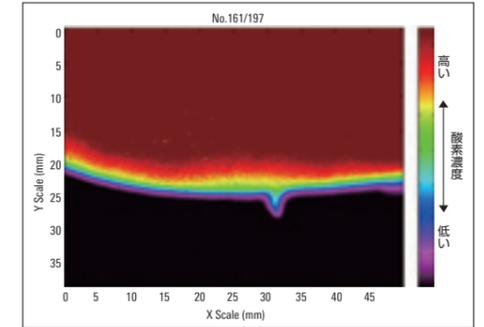
1時間くらい観測すると電池が切れてしまいます。デジタルカメラを用いれば、さまざまな海底に長時間設置して、季節変化をとらえることもできるでしょう。海底の断層のすぐ上に設置すれば、地殻変動に伴って海底から酸素のない間隙水が絞り出されるような現象をとらえて、断層の活動を知ることもできるかもしれません。

簡便で低コストの装置ができれば、海底の観測以外にも用途は大きく広がると思います。たとえば汚泥を浄化する微生物は、酸素濃度によって働き方が変わります。どのような酸素濃度にすれば微生物が最も活発に働いて浄化が進むのか。私たちは開発中の簡便な装置を使って共同実験を進める準備をしています。海外では、皮膚がんの発見に酸素センサーが



小栗技術研究主任が自作したゲルマラジオ。「仕事の息抜きにつくりました。CD-Rの空きケースにコイルを巻いてあります。ゲルマラジオは電子工作の最も基本的なもので、アンテナとアースをつなげることで、電池を使わずにラジオ放送を受信できます」

海底下の酸素濃度分布の測定例。生物によって海水がもたらされる場所には、酸素が深くまで浸透する



簡便な装置開発のヒントとなった、デジタルカメラで撮影した写真。「水槽の壁面にはった色素フィルムに、酸素濃度の違いがくっきりと写っています」

イルムを利用しようという研究が進んでいます。がん細胞は酸素をたくさん消費するので、皮膚表面の酸素濃度を調べることで皮膚がんを発見できるのです。それ以外にも、私が思いもよらない分野で応用することがきっとできるでしょう。

目の前のことに熱中する

——今後、何を目指しますか。

小栗：酸素センサーで海底を化学的に分析する研究を進めるとともに、地球温暖化の研究にも役立つ二酸化炭素センサーをつくってみたいですね。海底で二酸化炭素濃度を測るよい方法がまだありません。海水にはさまざまな成分が溶け込んでいます。ある成分を調べたいと思っても、それ以外のさまざまな成分が邪魔をしてしまいます。淡水では使えても、海水では使えないセンサーもあります。海で使うセンサーには独自の難しさがあるのです。二酸化炭素センサーの開発も、化学などさまざまな分野の研究者との共同研究が必要だと思います。

——研究で楽しいと感じるのは、どんなときですか。

小栗：私は研究で楽しいと思ったことは

一度もありません。研究は大変な仕事なんですよ(笑)。研究は誰もやったことのない初めてのことにチャレンジするわけですから、失敗や予期しない結果など、思い通りにいかないことばかりです。つらい、早くこの研究を終わらせたい、いつも思います。しかし、ある研究をやり遂げて、しばらくすると、じわじわと喜びが込み上げてきます。

まず何かに強く興味を持てる人。そして、つらくても集中できる人、興味を持ち続けられるモチベーションのある人なら、研究者はお勧めの職業だと思います。——どうしたら、興味のあることを探し出せるのでしょうか。

小栗：本当に興味が持てることをすぐに見つけられなくても、目の前にあることに熱中すれば、必ず道は拓けると思います。私はいま、海底を化学的に調べるといって研究テーマを、本当に興味を持って進めています。このテーマに巡り合うまで、何年もかかりました。しかし電子工作などの趣味を含めて、その時々熱中したこと無駄になったものはありません。『Blue Earth』の若い読者の皆さんにも、目の前にあることに熱中してほしいですね。 **BE**

音波で探る海の下 「かいいい」構造探査システムの概要と成果

(2008年10月18日 第88回地球情報館公開セミナーより)



地球内部変動研究センター
地殻構造解析研究グループ
技術研究副主任
三浦誠一

みうら・せいいち。1969年、神奈川県生まれ。1998年、千葉大学大学院自然科学研究科博士課程修了。理学博士。1998年、海洋科学技術センター海底下深部構造フロンティア研究員。2007年より現職

巨大地震は海底の下で起きます。私たちは、巨大地震がなぜ起きるのかを知りたくて、音波で海の下を探っています。光が伝わりにくい水中や海底下を探るには、音波が適しているからです。海洋研究開発機構（JAMSTEC）では深海調査研究船「かいいい」などにより、地震が繰り返し起きていた日本海溝や南海トラフの地下構造探査を精力的に行ってきました。また、大陸の地殻がどのようにしてできるのかを探るために、伊豆・小笠原・マリアナ海域の地下構造探査も行ってきました。それらの探査から何ができてきたのか、お話ししたいと思います。2008年3月に更新した「かいいい」の構造探査システムについてもご紹介します。

音波でものを探る

私たちは身近なところで、音波を使ってものを調べています。たとえば、おいしいスイカを見分けるために、たたいて調べますね。ボンボンと高い音のするスイカはまだ熟れていません。食べごろは、ボンボンと低い音がします。そして熟れ過ぎたスイカは、空洞ができてドンと鈍い音になります。

音波は医療の分野でも使われています。お医者さんは、体をトントンとたたいて診察します。また、音波を体に当てるエコーと呼ばれる装置で内臓の様子や胎児の診察を行います。動物も音波を使っています。イルカやクジラは水中で音波を発生して障害物を探知することができます。

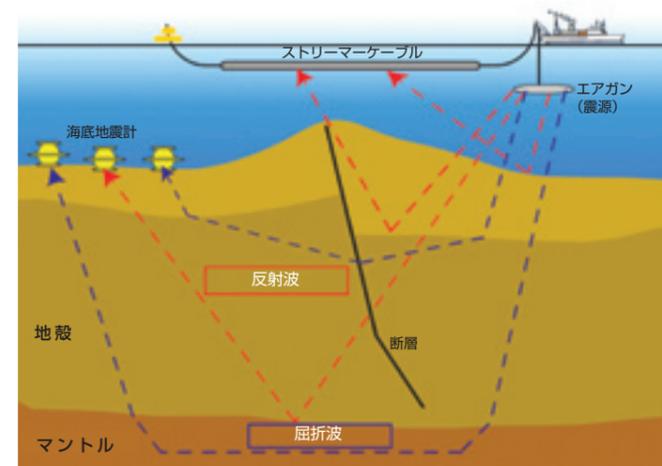


図1 マルチチャンネル反射法探査システムと海底地震計屈折法探査システム

ます。コウモリも音波を使って、暗闇でも自由に飛び回ることができます。

このように、音波を発生して、音波の戻り方の違いによって物体を探知したり、その構造を知ることができるのです。

音波で地震の巣に迫る

海底下の構造を音波でどのようにして探るのか、紹介しましょう。音波を出す装置はエアガンです。海中で空気を一気に発射することにより、音波を発生させます。短い波長を用いるほど、細かい構造を知ることができます。たとえば音波で魚の群れを探る魚群探知機では、短い波長の音波が使われます。しかし、短い波長の音波は、海底下の深部にまで伝わ

りません。そこで地下構造探査では、比較的長い波長の音波を使います。

エアガンで発生させた音波は海底下へ伝わり、各地層の境界に当たって反射して海面に戻ってきます。その音波を、マイクを内蔵したストリーマーカーケーブルで受信します。このようにして各地層の境界面の位置やかたちを明らかにする方法を「マルチチャンネル反射法探査システム」と呼び、海底下十数kmを詳細に調べることができます(図1)。

一方、各地層の境界面で屈折・反射した音波を海底に設置した地震計でとらえて、各地層の境界面の位置やかたち・やわらかさを調べる方法を「海底地震計屈折法探査システム」と呼びます。この方法では、海底下数十kmの深部を探査することができます。JAMSTECでは、深海調査研究船「かいいい」などにより、100台以上の海底地震計を使った大規模な地下構造探査を行い、地震のメカニズムを探る研究を続けてきました。

巨大地震はなぜ起きるのか

ここで、地震のメカニズムについて簡単に説明しましょう。日本列島は世界的にも地震の多い場所です。それは、4つのプレートがひしめき合う場所に日本列島が位置しているからです。

地球は、殻・白味・黄身からなる卵の

ような構造をしています。殻にあたる表層は地殻に覆われています。その下の白味にあたる部分はマントルという岩石質の層です。黄身にあたる中心部には金属からなる核と呼ばれる構造があります。プレートとは、表層から約100kmのかたい岩板を指し、地殻と上部マントルからなります。地球は数十枚のプレートで覆われています。

海洋プレートは海嶺と呼ばれる海底山脈で生まれ、移動し、海溝で大陸を載せた大陸プレートの下に沈み込みます。この海洋プレートの沈み込みに伴い、大陸プレートが引きずられ、ひずみがたまり、そしてあるときに、ひずみに耐え切れなくなって、大陸プレートが一気に戻ったり海洋プレートに断層が生じたりして、巨大地震が発生します。このとき、海底面が上下に変動すると海水が持ち上げられ、津波が発生する場合があります。日本列島の周囲には、日本海溝や南海トラフと呼ばれる海溝があり、そこでは繰り返し巨大地震が起きています。

次に、JAMSTECの地下構造探査によって何ができてきたのか、紹介していきましょう。

日本海溝——大地震がよく起きる場所と起きにくい場所

まず、太平洋プレートが沈み込む日本

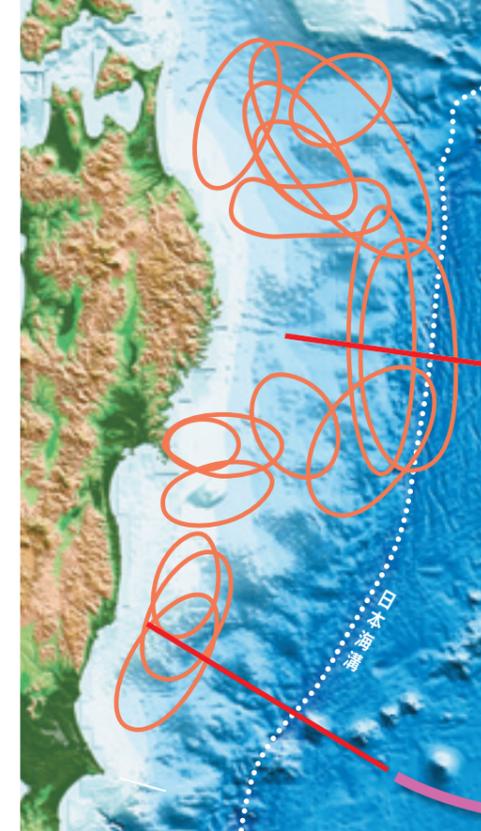


図2 日本海溝におけるM7級の震源分布
【地震調査研究推進本部(2002)より】
出典: http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02ju_sanriku/f05.htm

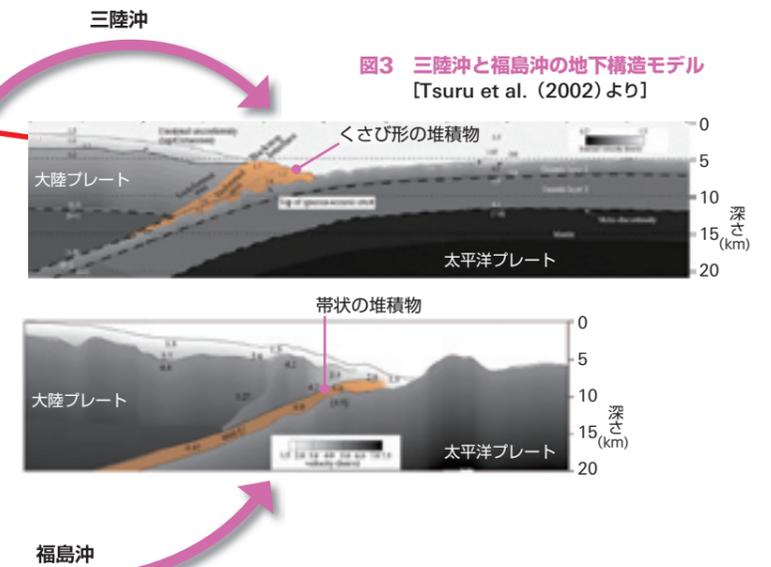


図3 三陸沖と福島沖の地下構造モデル
【Tsuru et al. (2002)より】

海溝です。この海域ではマグニチュード(M)7級の大地震が数十年ごとに発生しています。しかし日本海溝でも地震の起き方は一様ではありません。たとえば三陸沖は大地震が繰り返し起きています。一方、福島沖では、M7級の大地震は1938年に起きたもの以外は歴史的に知られていません(図2)。同じ日本海溝でも、なぜ大地震がよく起きる場所と起きにくい場所があるのでしょうか。

構造探査により、三陸沖では沈み込む太平洋プレート上が洗濯板のように凸凹していること、海溝の入り口部分にやわらかい堆積層がくさび形に分布していることが分かりました(図3上)。

一方、福島沖では、大陸プレートと太平洋プレートの間には深部まで帯状に厚い堆積層が挟まっていることが分かりました。太平洋プレート上には大きな海山も見られます(図3下)。また、沈み込んだ太平洋プレートと接する大陸プレートのマントル部分が、福島沖ではやわらかいことが分かりました。このような構造により、福島沖では大きな地震が起きにくいのだと考えられます。

南海トラフ——連動地震を予測する

次は、フィリピン海プレートが沈み込む南海トラフです。ここではM8級の巨大地震が90~150年間隔で繰り返し発生

してきました。1944年にはM7.9の昭和東南海地震、その2年後の1946年にM8.0の昭和南海地震が発生しました。その約90年前の1854年には、安政東海地震と安政南海地震（共にM8.4）が1日半の時間差で起きています。そのさらに147年前の1707年には、M8.6の宝永地震が起きています。この地震は東海沖から四国沖まで駿河トラフ・南海トラフ帯のプレート境界が一気に滑る巨大な「連動地震」だったと推定されています。いまの日本で東海・東南海・南海地震が連動して起きた場合、死者2万4700人、被害額は最大81兆円に上ると、政府の中央防災会議は予測しています。

JAMSTECでは、この南海トラフの地下構造探査を続けてきました。そして、東海沖ではフィリピンプレート上の海嶺が大陸プレートの下に繰り返し沈み込んでいること、四国の室戸岬沖では富士山級の巨大な海山が沈み込んでいることを発見しました。

また、東南海地震と南海地震の震源がある紀伊半島・熊野灘沖では、直径数十kmの重い物体が重りのようにフィリピンプレートの上に載っていること、さらに、その海側には地震波が伝わりにくい地殻の裂け目があることを発見しました（図4）。ここに重い物体や裂け目があることにより、東南海地震と南海地震は

別々に起きる場合があります。ただし、フィリピン海プレートが重い物体ごと滑るときには、東南海地震と南海地震が連動して発生するのだと考えられます。

このように、地下構造によって地震の発生間隔や地震が起きる範囲、連動地震が起きるかどうかが決まされているのです。JAMSTECの堀 高峰 研究員が、地下構造探査のデータを組み込んでコンピュータ・シミュレーションを行ったところ、南海トラフで起きる地震の発生パターンをほぼ再現することに成功しました（『Blue Earth』2007年5-6月号24～27ページ参照）。

伊豆・小笠原海溝——大陸地殻の形成

私たちは伊豆・小笠原海域の地下構造探査も続けてきました。ここでの主な研究テーマは、大陸地殻です。地球表層を覆う地殻には、海洋地殻と大陸地殻があります。海洋地殻の厚さは7kmほどで、黒っぽくて重い玄武岩質からなります。一方、大陸地殻は約30kmと厚く、玄武岩質の層の上に白っぽくて軽い花崗岩質の層が載っています。実はこの花崗岩質は、太陽系のほかの惑星や衛星には見られない地球の特徴だと考えられています。

ただし、約46億年前、誕生して間もない地球に広がっていた溶岩の海「マグマオーシャン」が冷えて固まったときに

は、海洋地殻しかできなかったはずで、その後、大陸地殻が形成されたのは、主に19億年前以降だと考えられています、しかし、その形成過程はよく分かっていませんでした。

伊豆・小笠原海溝は、フィリピン海プレートの下に太平洋プレートが沈み込む、海洋プレート同士による沈み込み帯です。沈み込みに伴う火山活動により島が弧状に並んだ「島弧」と呼ばれる地形が作られています。実はこのような場所で、大陸地殻が作られてきたと考えられています。

伊豆・小笠原海域、さらにその南に位置するマリアナ海域では、海洋プレートのなかで島弧の部分の地殻だけが20～30kmと厚くなっています。そこには花崗岩質の大陸性の地殻があります。そしてJAMSTECの地下構造探査により、地殻の一番下には、マントルとしてはやわらかく、地殻としては重い構造があることが初めて明らかになりました。

この発見により、沈み込む海洋地殻から上昇してきたマグマと島弧の地殻が反応し、軽い成分が分化して大陸性の地殻ができ、残った重い成分がマントルへと戻っていくという、海洋地殻から大陸地殻への地殻の進化の過程が明らかになりました。

伊豆・小笠原の島弧はフィリピン海プレートとともに北上しており、北端の伊豆半島で日本列島と衝突しています。島弧の衝突は、日本列島の成り立ちや大陸のでき方を知る上でも重要です。

私たちの調査により、伊豆・小笠原海域には大陸性の地殻が広く分布していることがわかりました。この成果は、日本の大陸棚がどこまで続いているかを調べる大陸棚画定にも大きな貢献を果たしました（『Blue Earth』2008年11-12月号10～13ページ参照）。

構造探査の高精度化により、他分野との融合を図る

さて、地震の研究に話題を戻しましょう。地震の巣を探るには、地下構造探査以外にも、地震の巣まで掘り進めてセンサーを埋め込んだり、岩石を採ってきて直接調べる方法があります。しかし海溝で起きる巨大地震の巣は、海底下6～30kmほどにあり、そこまで

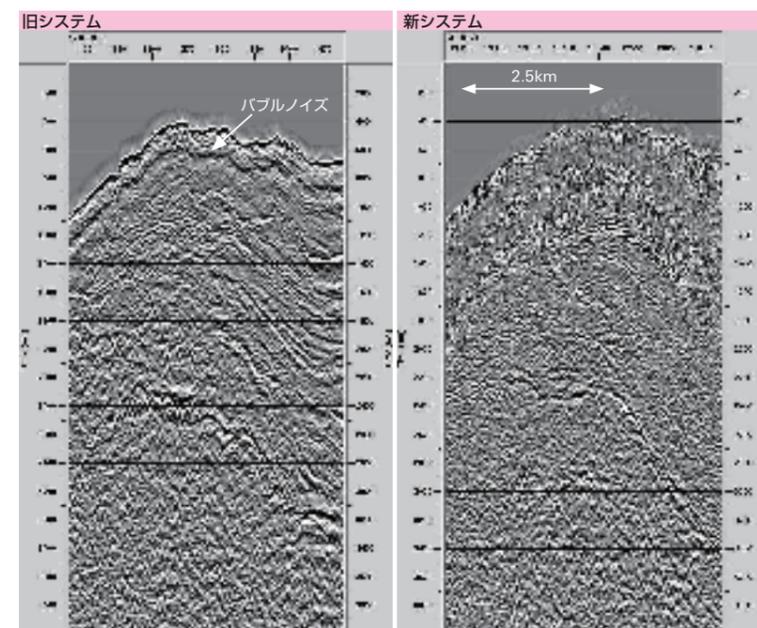


図5 新旧システムの構造探査データ
新システムではノイズが抑制され、細かい構造や深いところの構造もはっきりと描き出されている



図7 新旧システムの観測波形
新システムではノイズが抑えられ、振幅（音の大きさ）が約2倍になっていることが確認された



図6 エアガンの投入 [三浦 (2008) より]
8台×4列の計32台のエアガンに海に投入するため、「かいいい」の改造を行い、スロープを増設した

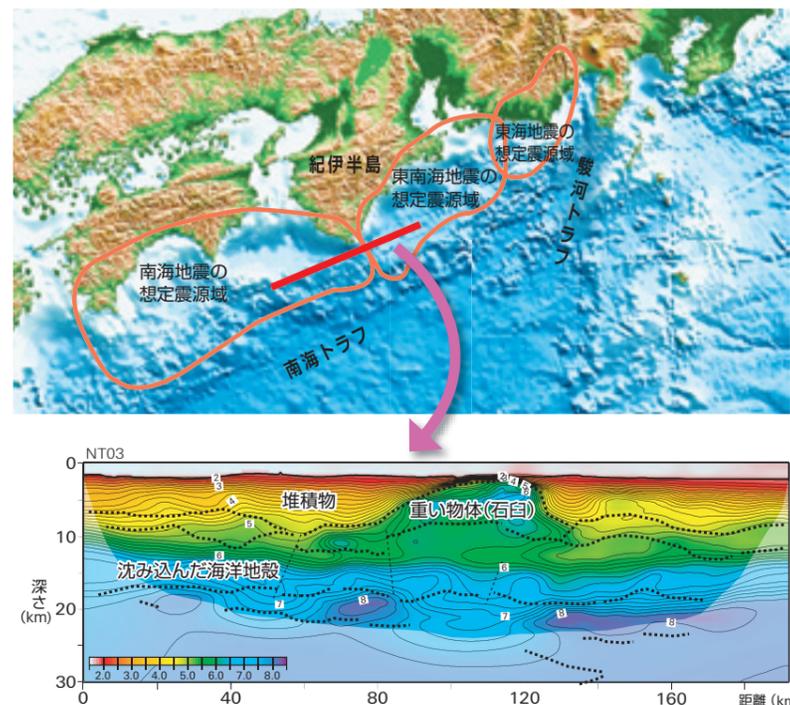


図4 紀伊半島沖の地下構造

掘り進めることがこれまでできませんでした。

現在、JAMSTECの地球深部探査船「ちきゅう」は、熊野灘沖の東南海地震と南海地震の震源近くで、史上初めて地震の巣を掘削するプロジェクトを進めています。また、過去の地震の巣が地殻変動で隆起して地上に現れている場所を直接調査する研究も行われています。

これらの直接的な方法では、数mm以下の細かい分解能で地震の巣の物性を調べることが可能です。一方、これまでの地下構造探査の分解能は100mからkm単位のスケールです。地下構造探査のデータを直接的な方法による研究成果と結び付けるには、地下構造探査の分解能をさらに高める必要があります。また、「ちきゅう」によってどこを掘り進めれば大きな成果を得られるかを調べるためにも、地下構造探査の高精度化が不可欠です。

新しい地下構造探査システム

私たちは、「かいいい」の構造探査システムを更新して高精度化することに取り組みました。旧システムのエアガンから発射された空気は、海上に上がって

く間に膨張と収縮を繰り返し、そのときに発生する音波がノイズとなります。それは地下構造データにもノイズとして現れます（図5左）（『Blue Earth』2008年7-8月号28～29ページ参照）。

旧システムでは、送り出す空気の容量が1種類のエアガン8台からなります。しかし容量が1種類のエアガンシステムでは、ノイズの発生を抑えられません。私たちは、容量の異なる6種類のエアガンを組み合わせ合わせた32台からなるシステムにより、ノイズ同士を干渉させるなどの方法でノイズを抑制しました（図6・図7）。

また旧システムでは、地下の深い場所に伝わりやすい長い波長の音波を発生させる大容量のエアガンを用いていました。新しいシステムでは、容量の異なる6種類のエアガンにより、短い波長から長い波長までをバランスよく含む音波を発生させることにより、海底下の浅いところから深部まで、高精度で構造を調べることができるようになりました。

音波を受信するストリーマーも更新しました。内蔵するマイクのグループ間隔を25mから12.5mと倍の密度にしたのです。

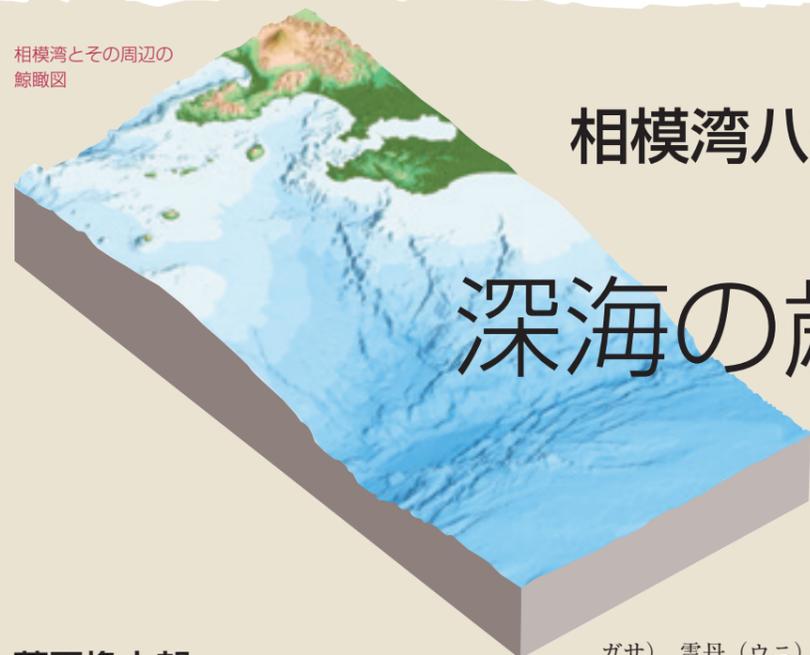
このようなシステムの更新を2008年1

～3月に行い、その後の試験により、想定した性能を実際に発揮することを確認しました（図5右）。今後、この新しいシステムを駆使して、いままで見えなかった断層を発見したり、「ちきゅう」の掘削地点を詳細に絞り込む調査を行う予定です。また、新しいシステムは従来よりも深い場所の構造を調べられる可能性があり、巨大地震が発生するプレート同士の境界を高い分解能で調査することができると期待されています。

高精度の地下構造探査を広い範囲で進め、「ちきゅう」などによる直接的な方法による研究との融合を図ります。そうして得られた新しい知見をコンピュータ・シミュレーションに導入することにより、過去に起きた地震をよりよく再現し、未来に起きる地震を詳細に予測して、防災に役立てることができそうです。BE

引用文献：
地震調査研究推進本部（2002）、三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について
三浦（2008）、「かいいい」の新構造探査システム、日本深海技術協会会報2008年4号
Tsuru T., J.-O. Park, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kido and T. Hayashi (2008), Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling, J. Geophys. Res., 107 (B12), 2357, doi:10.1029/2001JB001664.

相模湾とその周辺の
鯨瞰図



相模湾八景 其の八 最終回

深海の歳時記

藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

深海底に季節はあるのでしょうか。光のまったく届かない恐るべき水圧の世界に生息する生物でも、何らかの方法で季節を知っているかもしれません。たとえば、海洋潮汐や地球潮汐は、少なくとも水深3,600mの深海にまで影響を及ぼしていることが分かっています。

相模湾八景のその8として、相模湾に生息する生物をお届けします。題して「深海の歳時記」です。取り上げる生物は、乙姫の花笠（オトヒメノハナガサ）

ガサ）、雲丹（ウニ）、海鼠（ナマコ）、そして蝦夷茨蟹（エゾイバラガニ）です。

春——乙姫の花笠（オトヒメノハナガサ）

相模湾の北岸には急斜面が発達しています。この斜面は陸上の酒匂川から連続的につながっていて、水深1,000mの平坦面まで続きます。斜面の上には、まことにかわいい花が咲いています。名前はオトヒメノハナガサ。一見ユリの花のように見えますが、実は動物で、ヒドロ虫の仲間なのです。この生物が初めて発見されたのは、イギリスの海洋調査船「チャレンジャー号」が日本にきた1875年11月17日のことでした。横須賀の造船場で点検の後、出港してハワイへ向かう途中、房総半島野島崎の沖、南東80kmほどの水深3,430mで、トロールによって採取されました。「チャレンジャー号」の委員会の1人であったエンジンバラ大学のオールマン博士が、新種として記載し、*Branchiocerianthus imperator*という学名を付けました。

1890年元日、三浦半島の東京大学三崎臨海実験所にヒドロ虫が持ち込まれました。東京大学の動物教室の第3代教授で、三崎臨海実験所の創立者でもある箕作佳吉は、持ち込まれた生物を学生の宮島幹之助に研究させました。「乙姫の花笠」という和名を付けたのは箕作教授でした。

オトヒメノハナガサを最初に現場観察したのは、サクラエビの研究で有名な東京水産大学助教授（当時）の大森信で、1985年6月21日のことです。有人潜水調査船「しんかい2000」による第179潜航で、小田原沖の水深580mのところでした。

一般的にオトヒメノハナガサは、海山や大陸斜面などの斜面の上部に生息しています。下流に花

びらを向けて、上流の触手の周りに渦ができるように配置しています。斜面には下から上へと湧昇流が卓越しています。その触手で小さな栄養物質を引っ掛けて餌としているようです。花びらのような触手は135本あり、長いものは15cmもあったと報告されています。オトヒメノハナガサは日本海溝や千島海溝のカデ海山の頂上などに見られ、茎の長さが4~5mにもなる巨大なものもあります。

夏——雲丹（ウニ）

海底の泥の上にウニの軍団が見えてきました。なんと数の多いことでしょう。これだけのウニを養うには、ものすごい量の栄養が必要でしょう。ウニもナマコも海底に生息する生物ですが、泥の表面にうっすらとたまっている栄養を取ります。そのため、海底の堆積物の表面に、その跡が残ります。ウニの仲間のブンブクがはった跡は化石にもなっています。それは特徴的な曲がりくねったトレイルで、地層の表面に残されています。これらの生物はカンブリア紀から存在するようです。

秋——海鼠（ナマコ）

グアム島のビーチで泳いでいると、黒っぽいでっかいナマコがうじゃうじゃいます。最近ではそうでもないのですが、昔私が行ったころにはビーチの至るところにナマコがいました。こんな現象は浅い海に限ったことだと思っていたのですが、なんと深海底にもナマコがうじゃうじゃいたのです。30cmほどもある大きな白いナマコがいっぱいいるさまは、何とも不気味です。ナマコは悪食で、海底の泥をそのまま飲み込んで栄養になるものだけを吸収すると、泥をそのまま出します。ナマコが通った跡には、彼らの排せつ物すなわち泥が規則正しく並んでいます。

冬——蝦夷茨蟹（エゾイバラガニ）

冬は、山陰地方など日本海側ではベニズワイガニの季節です。刺し身で、ゆでて、焼いて、甲羅酒……。おいしいカニは酒のつまみに欠かせません。カニの漁期は冬が多いようですが、深海には一年中生息しているようです。初島沖のシロウリガイのコロニーに出回っているエゾイバラガニは、ふんだんにある貝のコロニーを餌場にして生息しています。よく見ると、コロニーそのものより一段浅いテラスにもものすごい量が生息しているのが分かります。これだけのカニを養う栄養は、いったいどこから来るのでしょうか？ これも化学合成



ナマハゲフクロウニ（相模湾、水深464m、「しんかい2000」第25潜航、1982年）



ハゲナマコ（相模湾、水深1,199m、「しんかい2000」第582潜航、1991年）



エゾイバラガニ（相模湾、水深1,000m、「しんかい2000」）

生物群集なのでしょうか？

相模湾にはばく大な量の生物が群がって生息しています。そもそも生物はなぜ群れるのでしょうか？ 一般に弱い生物は群れをつくることによって外的から身を守ります。ある程度食われたとしても、生き残るものも多いわけです。深海の場合もそうでしょうか？ 外敵から身を守る前に、集団を支える餌がなければならぬでしょう。相模湾はそういう意味合いからも、なぜか餌に事欠かない、あるいは餌が極めて多い場所ということになります。このことは、またあらためて考えてみたいと思います。 **BE**

オトヒメノハナガサ（相模湾、水深580m、「しんかい2000」第179潜航、1985年）



はろばると また尋ねては見む
棲みし 貝らを さねさしの 相模の淵に



編集後記

読者の皆さま、特集「海に生きる」に登場する数々の不思議な生物をご覧になって、どのような感想をお持ちになったでしょうか？

私がJAMSTECで研究開発を始めてすぐ（30年くらい前）に、現在の深海曳航調査システム「ディープ・トウ」のTVシステム（「Blue Earth」2008年11-12月号参照）のもとになる曳航探査機を開発するために、唯一の市販製品だった米国製の深海TVカメラの導入に携わりました。最初のころはとにかくトラブルが多かったのですが、ようやくともに映るようになって、実海域実験を行いました。TVカメラを先端に付けた長いケーブルを巻いたウインチをゆっくり降ろしながら、海底を目指していきました。深度数百mに達しヨウ化タリウムライトを点灯すると、すぐモニターに、大量のマリンスノーに混じって何やら得体の知れないやわらかい大きなものがたくさん映りました。もちろん画像は白黒で、現在のTVカメラに比べて分解能も高くなかったのですが、明らかに浮遊生物（クラゲ?）と思われるものが、どこの海域でもたくさん見えました。ここで、私が当時の海洋学の本で仕入れた「中・深層では大きな生物が非常に少ない」という先入概念が崩れてしまいました。また、海底に着底してから見えたのは、期待に反してエビやソコダラの仲間などわずかな種類で、むしろごみの方が目に付くありさまでした。

しばらくして、この話を海洋生物の研究者にしたことがあります。その答えは、「クラゲのようにやわらかい生物は、プランクトンネットで採取するとゼラチンを網でこしたように崩れるので、生物かどうかも分からなくなってしまう。たぶん、実際の生物の量は、TVカメラで見た方が正しいと思う」というものでした。特集の文中（10ページ）でドゥーグル・リンズィー技術研究主任がいつているように、今後の生物研究を進めるためには、潜水調査船や深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」のような数多くの探査機が、どうしても必要になると思います。

現在、多くの惑星探査機によって何億km彼方の木星や土星のいくつかの衛星で大量の水の存在が分かり、海のなかに生物すら生息しているのでは、ともいわれています。しかし、振り返って私たちの足元のわずか数百m下では、写真さえ撮られていない生物が多数存在することも、紛れもない事実です。

「しんかい2000」は退役してからすでに7年がたち、わが国の有人潜水船は「しんかい6500」だけとなりました。しかし、その潜航スケジュールはとてもタイトで、わが国の研究者の需要に十分応えられていません。お隣の中国では今年、7,000m級の潜水調査船の運航が予定されていますが、どのような活動をするかはまだ謎のままです。折しも今年、「しんかい6500」が運航を始めてちょうど20周年の節目の年になります。今後、生物研究以外にも新しい資源探査や環境調査など、潜水調査船の活躍する場は増加する一方であると思います。これを機会に、新しい潜水調査船についてよりいっそう議論を深めていただければと、編集者一同期待しています。（T. T.）

海と地球の情報誌 『Blue Earth』 第21巻 第1号（通巻99号）2009年2月発行

編集人 田代省三 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課
 発行人 土屋利雄 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

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
 取材・執筆・編集 立山 晃 (p1, p22-29) / 鈴木志乃 (p2-19, p30-31) / 坂元志歩 (p20-21)
 デザイン 株式会社デザインコンピビア (AD 堀木一男/岡野祐三/ほか)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/> Eメールアドレス info@jamstec.go.jp
 *本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

『Blue Earth』 定期購読のご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

- ①郵便番号・住所 ②氏名 ③所属機関名（学生の方は学年）
 ④TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤Blue Earthの定期購読申し込み
 *購読には、1冊300円+送料が必要となります。

■支払い方法

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

■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
 海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課
 TEL.045-778-5406 FAX.045-778-5498
 Eメール info@jamstec.go.jp
 ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号（3-4月号）までとさせていただきます。
 バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。
バックナンバーのご紹介
 URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

*お預かりした個人情報、[Blue Earth]の発送や確認のご連絡などに利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

JAMSTEC メールマガジンのご案内

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

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

賛助会（寄付）会員名簿 平成21年1月31日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。（アイウエオ順）

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

独立行政法人 海洋研究開発機構

横須賀本部 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15 TEL.046-866-3811 (代表)	東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目2番9号 日比谷セントラルビル6階 TEL.03-5157-3900 (代表)
横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25 TEL.045-778-3811 (代表)	国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市字豊原224番地3 TEL.0980-50-0111 (代表)
むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL.0175-25-3811 (代表)	Washington D.C. Office 1120 20th street, NW, Suite 700, Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300
高知コア研究所 〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL.088-864-6705 (代表)	

第10回 全国児童

「ハガキにかこう 海洋の夢絵画コンテスト」

入賞作品介绍

海洋への関心が高まっている今日、未来を担う子どもたちが持つ海洋への夢やあこがれ、興味をさらに高めるために、海洋研究開発機構では全国の児童を対象とした絵画コンテストを、文部科学省などの後援により開催しています。作品募集は、毎年11月下旬から1月末ごろです。詳しくは <http://www.jamstec.go.jp/kids/hagaki/index.html> をご覧ください。

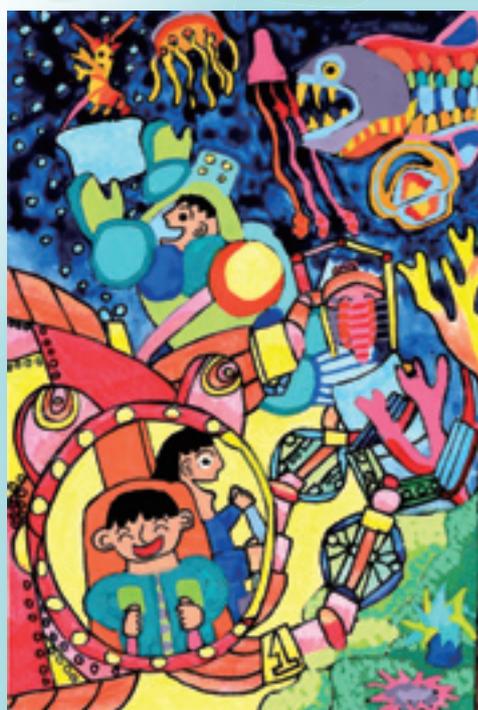
● 日本理科美術協会賞 海の中の遊園地

広島県安田学園安田小学校2年
堀江真子



● 横浜市教育委員会教育長賞 海中都市

神奈川県横須賀市立明浜小学校かもめ学級
村井亮良



● ChEss賞 深海調査隊

北海道旭川市立愛宕東小学校6年
藤田大地



独立行政法人 海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>



古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

定価300円 (税込)