

Blue Earth

海と地球の情報誌

ISSN 1346-0811
2016年12月発行
隔月年6回発行
第28巻 第6号
(通巻146号)



146

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Blue Earthに 潜ってみたら



独自手法で海底下の微生物の
生き様を見たい

北の海で起きている海洋酸性化

RNAウイルスを網羅的に
検出する技術を開発

1 **特集**
Blue Earthに潜ってみたら
国際海洋環境情報センター (GODAC)

20 **私がIODPで解きたい謎**
独自手法で海底下の
微生物の生き様を見たい
諸野祐樹
高知コア研究所 地球深部生命研究グループ
グループリーダー代理

24 **JAMSTEC発イノベーション**
RNAウイルスを網羅的に
検出する技術を開発する
浦山俊一
海洋生命理工学研究開発センター
生命機能研究グループ PD研究員
布浦拓郎
海洋生命理工学研究開発センター
研究開発センター長代理

28 **Marine Science Seminar**
北の海で起きている海洋酸性化!
—その進行と影響—
脇田昌英
むつ研究所 陸域周辺海域海洋環境変動研究グループ
技術研究員

32 **BE Room**
『Blue Earth』定期購読のご案内

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
北極海で海氷下の
自律航走と撮影に成功

Blue Earthに 潜ってみたら

地表の70%を占める海。

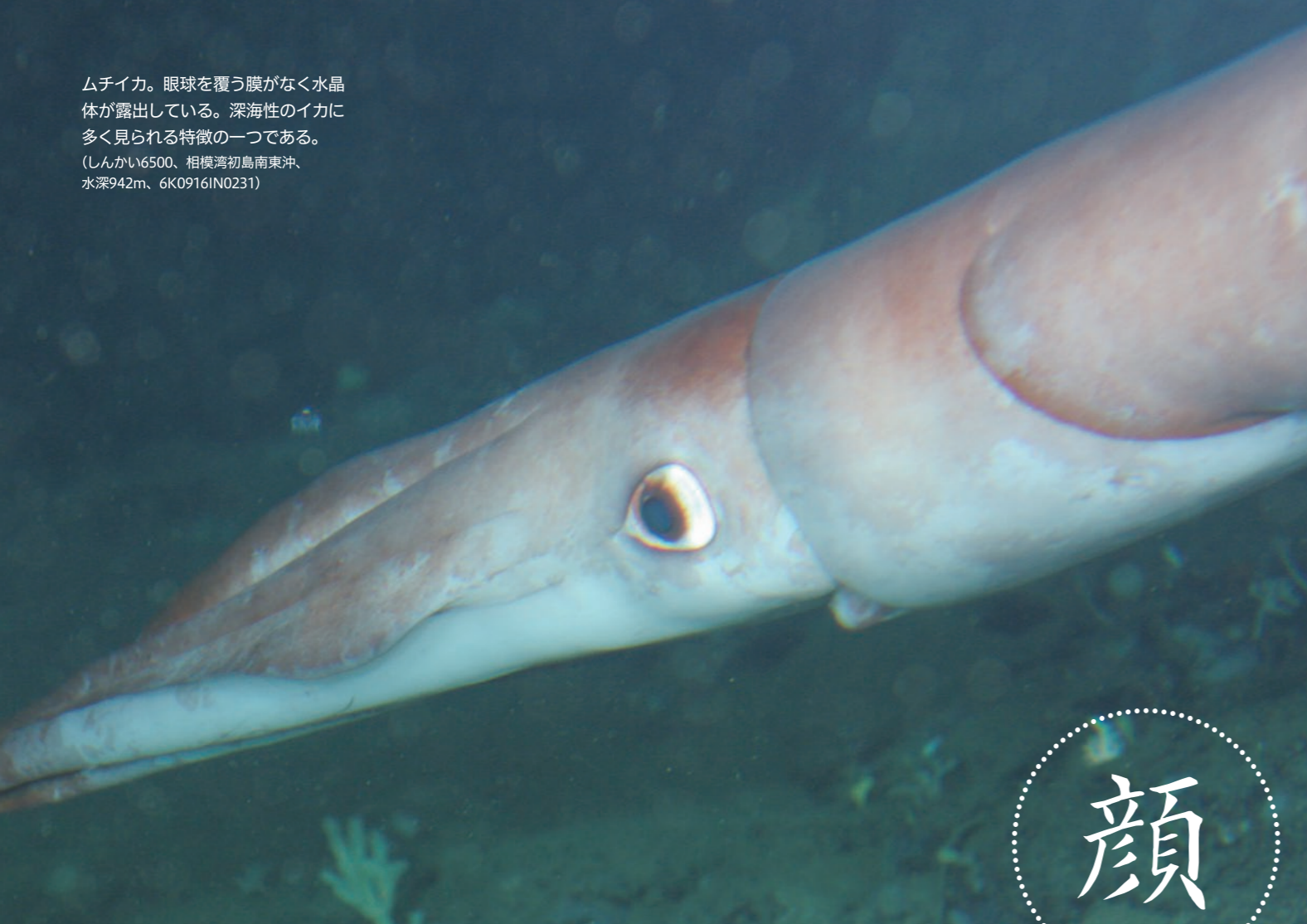
数百メートルも潜れば、光も届かない真っ暗な世界だ。
そこには、どんな生物たちがくらしているのだろうか。
海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の有人潜水調査船や
無人探査機が捉えた生物たちの姿を紹介しよう。

協力：国際海洋環境情報センター (GODAC)

舞

ヒゲナガダコ。全長1mくらいになる。胴体にあたる外套膜に耳のような大きなひれがあり、8本の腕は傘膜と呼ばれる膜でつながっている。腕を開閉させ、ひれを動かして泳ぐ。
(ハイパードルフィン、伊豆・小笠原弧水曜海山、HPD0681OUT0133)

ムチイカ。眼球を覆う膜がなく水晶体が露出している。深海性のイカに多く見られる特徴の一つである。
(しんかい6500、相模湾初島南東沖、水深942m、6K0916IN0231)



顔

オキノシマウツボ。大きな口には鋭い歯が並ぶ。
(ハイバードルフィン、伊豆大島南方大室ダシ、HPD1492HDTV0667)



ソコダラ科。深海性だが大きな目を持つ。
(ハイバードルフィン、相模湾東京海底谷、水深1,178m、HPD1177HDTV0934)



ガンギエイ目。目は背側に、鼻と口は腹側にある。
(ハイバードルフィン、日本海奥尻海嶺後志海山、HPD0556OUT0019)



タラバガニ科。名前にカニと付いているが、ヤドカリの仲間。
(ハイバードルフィン、相模湾初島沖、HPD1240OUT0080)

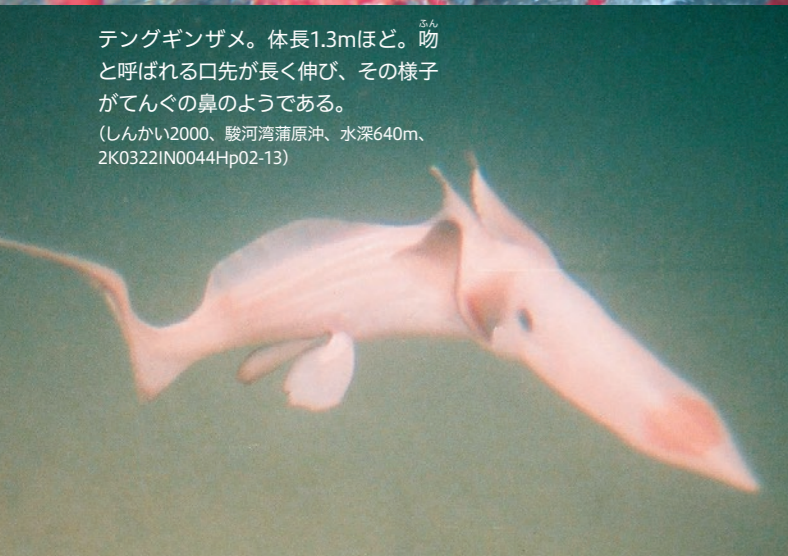
ソコボウス。1mを超すこともある大型魚。深海底に生息し、頭部が滑らかであることから、「底坊主」の名前が付いたともいわれる。嗅覚が発達していて、鼻孔も大きい。
(しんかい6500、南海トラフ遠州灘沖御前崎南方、水深2,660m、6K0020IN0039Hp02-04)



ジュウモンジダコ属。胴体にあたる外套膜に耳のような大きなひれがある。耳をパタパタさせて泳ぐ様子から英名は「Dumbo octopus (ダンボオクトパス)」と名付けられている。
(しんかい6500、マリアナ前弧セレスティアル海山、水深1,987m、6K0782IN0054)



テングギンザメ。体長1.3mほど。^{ぶん}吻と呼ばれる口先が長く伸び、その様子がてんぐの鼻のようである。
(しんかい2000、駿河湾蒲原沖、水深640m、2K0322IN0044Hp02-13)



ヒメアンコウ属。大きな口の上には獲物をおびき寄せる誘引突起がある。驚いたのか、膨らんでいる。
(ハイバードルフィン、マリアナ弧アグリガン周辺海域、HPD1531HDTV0829)



腕

Stygiomedusa gigantea、ミズクラゲ科。口の周囲にある腕状の突起（口腕）の長さが1~2mになる。口腕は4本で、この個体は1本が途中でちぎれている。長く幅の広い口腕で獲物を捕らえる。
(ハイバードルフィン、伊豆・小笠原弧明神海丘、水深884m、HPD0313HDTV0153)

リングクラゲ属。赤い色は目立つように思うが、光の届かない深海では黒っぽく見えるため外敵から見つかりにくい。

(しんかい2000、相模湾初島南東沖、2K1409IN0132)



赤

フクロウニ目。とげの間に細長い袋状の突起があるが、その機能はよく分かっていない。

(しんかい2000、南海トラフ第二天竜海丘南西、水深1,768m、2K0823IN0004Hp01-04)

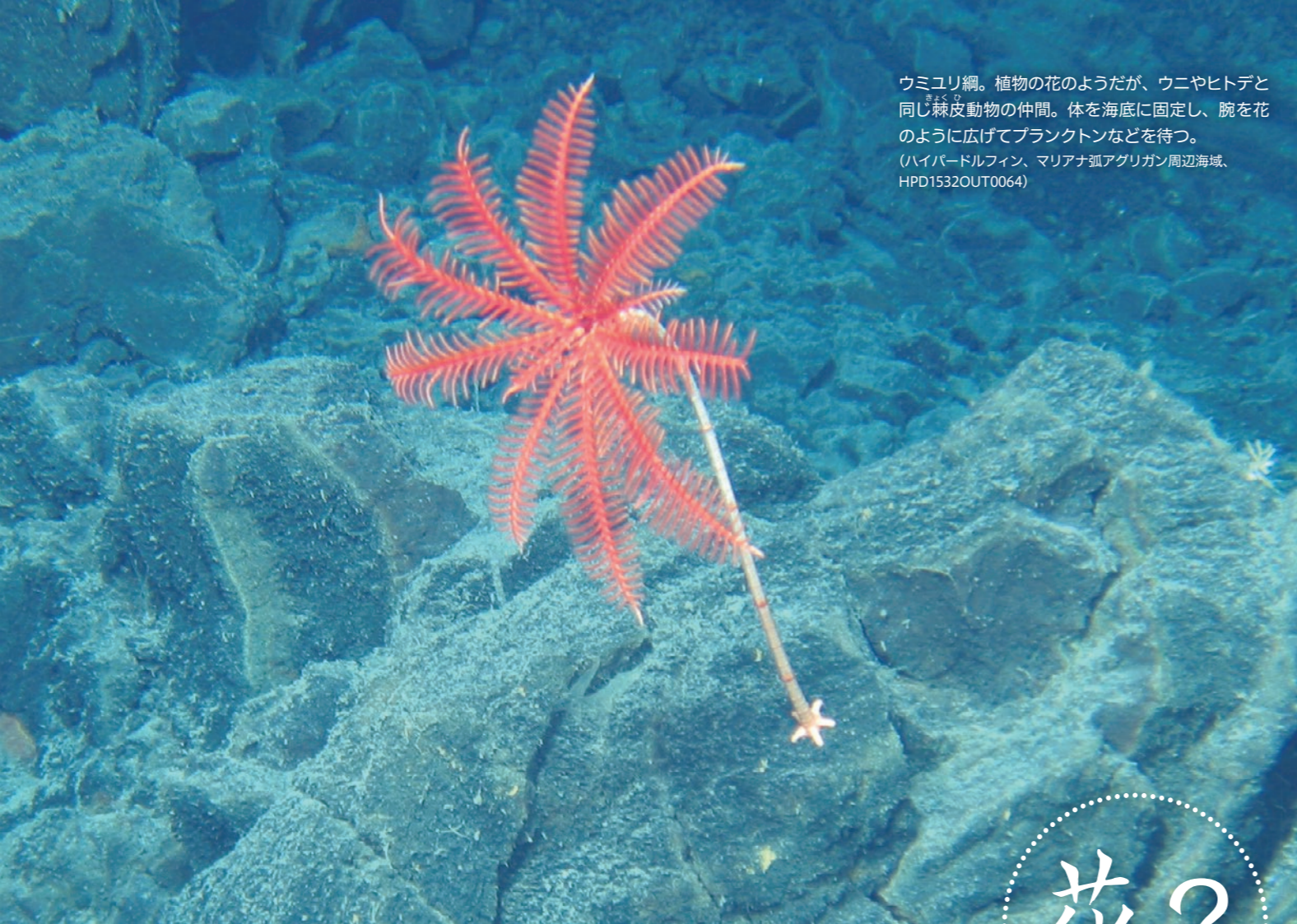


ユメナマコ。頭部にある帆のような部分をゆっくり動かして漂っている。帆は、十数本のいぼ足という器官が膜でつながったもの。体は半透明で、チューブのような腸が透けて見えている。

(しんかい2000、相模湾初島南東沖、水深1,136m、2K0835IN0006Hp01-06)



十脚目。赤い体色は餌の色素に由来するものもある。
(しんかい6500、トンガ海溝ホライゾン海淵海側斜面、6K1370IN0035)



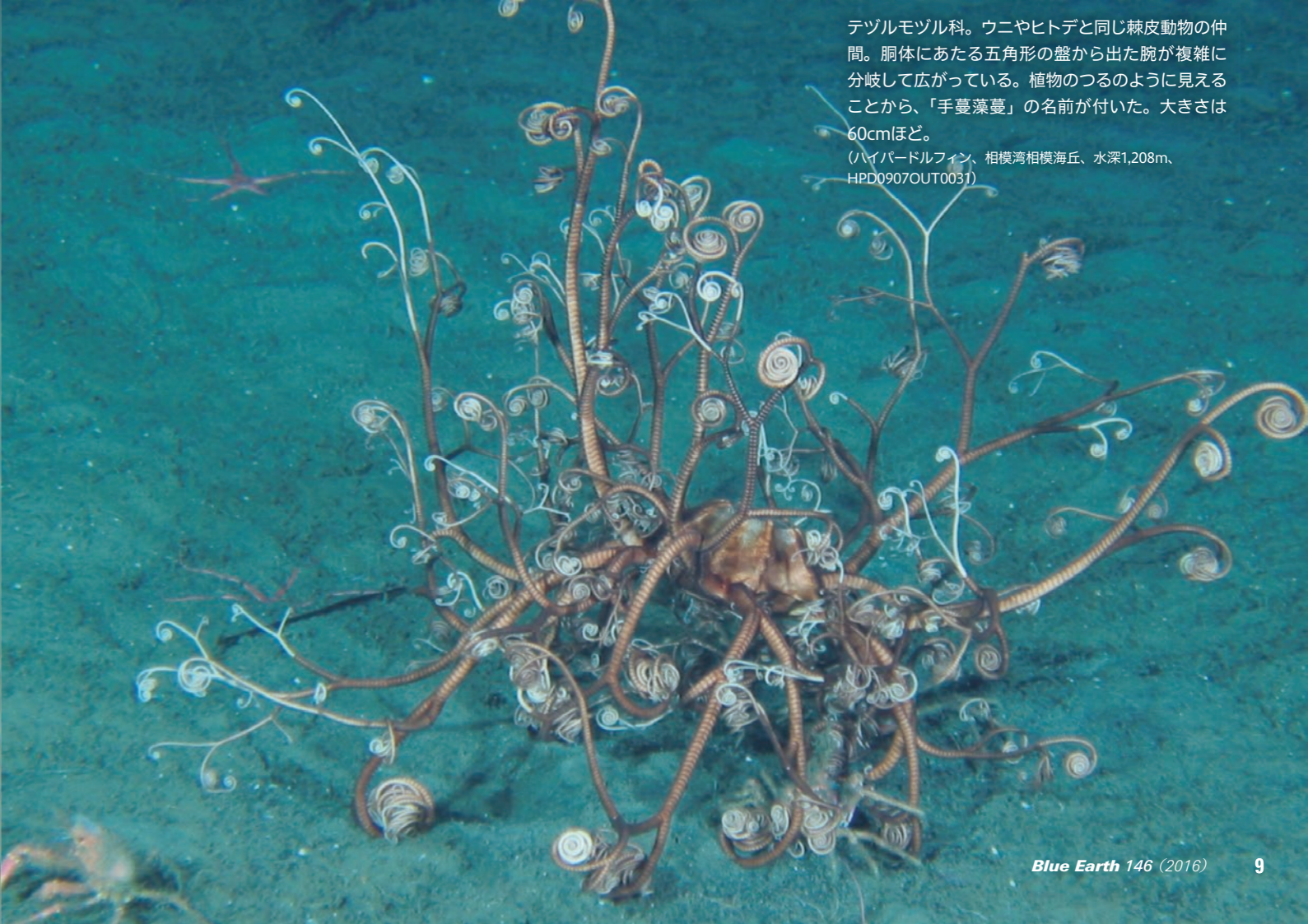
ウミユリ綱。植物の花のようだが、ウニやヒトデと同じ棘皮動物の仲間。体を海底に固定し、腕を花のように広げてプランクトンなどを待つ。
(ハイバードルフィン、マリアナ弧アグリガン周辺海域、HPD1532OUT0064)

花?

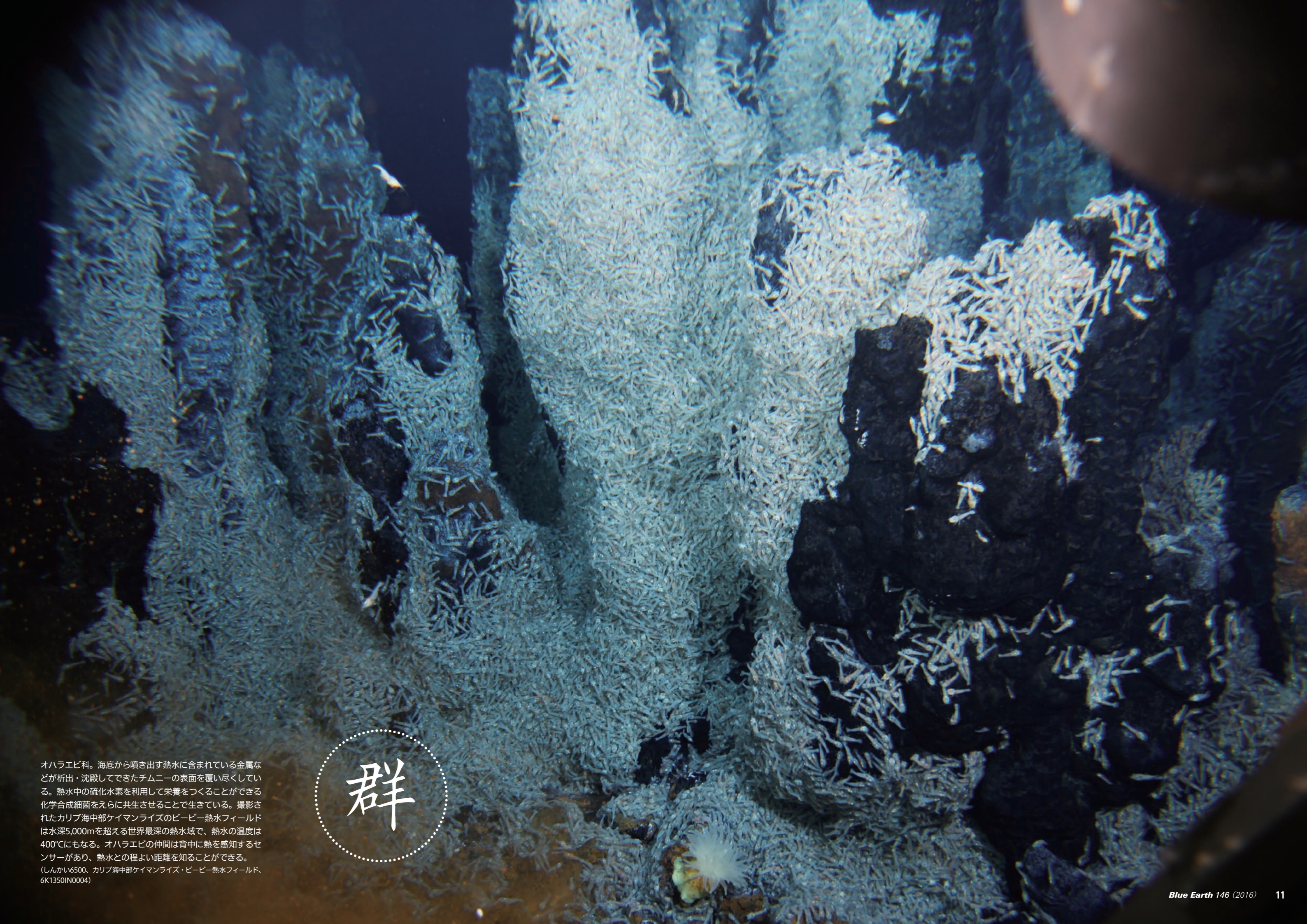
オトヒメノハナガサ。漢字で書くと「乙姫の花笠」。クダクラゲと同じヒドロ虫の仲間。2mを超えるものもある。クダクラゲは個体が集まって群体をつくるが、オトヒメノハナガサは1個体である。
(しんかい6500、釧路海底谷下流、水深3,898m、6K1033IN0188)



ダーリアイソギンチャク科。ダリアの花のように見えることから名付けられた。多くのイソギンチャクのように岩などに付着せず、潮の流れに乗って海底を転がって移動する。
(ハイバードルフィン、富山湾観音崎沖、水深818m、HPD1045OUT0010)



テヅルモヅル科。ウニやヒトデと同じ棘皮動物の仲間。胴体にあたる五角形の盤から出た腕が複雑に分岐して広がっている。植物のつるのように見えることから、「手蔓藻蔓」の名前が付いた。大きさは60cmほど。
(ハイバードルフィン、相模湾相模海丘、水深1,208m、HPD0907OUT0031)

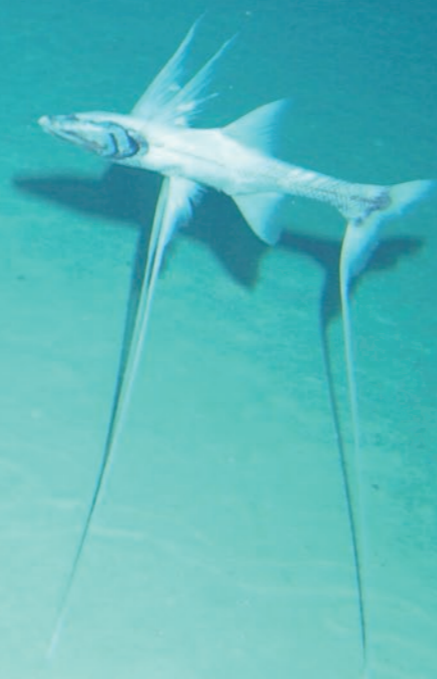


群

オハラエビ科。海底から噴き出す熱水に含まれている金属などが析出・沈殿してできたチムニーの表面を覆い尽くしている。熱水中の硫化水素を利用して栄養をつくることのできる化学合成細菌をえらに共生させることで生きている。撮影されたカリブ海中部ケイマンライズのビービー熱水フィールドは水深5,000mを超える世界最深の熱水域で、熱水の温度は400°Cにもなる。オハラエビの仲間は背中に熱を感知するセンサーがあり、熱水との程よい距離を知ることができる。
(しんかい6500、カリブ海中部ケイマンライズ・ビービー熱水フィールド、6K1350IN0004)

食

オオイトヒキイワシ。長く伸びた2本の腹びれと1本の尾びれで海底に立ち、獲物を待つ。その姿から三脚魚とも呼ばれる。
(しんかい6500、ブラジル沖海域サンパウロ海台、6K1348OUT0068)



ホラアナゴ属。腹部にこぶのような盛り上がりがあるのが特徴で、大きな獲物を丸のみしたためと考えられる。
(しんかい6500、相模湾初島南東沖、6K0740IN0005)

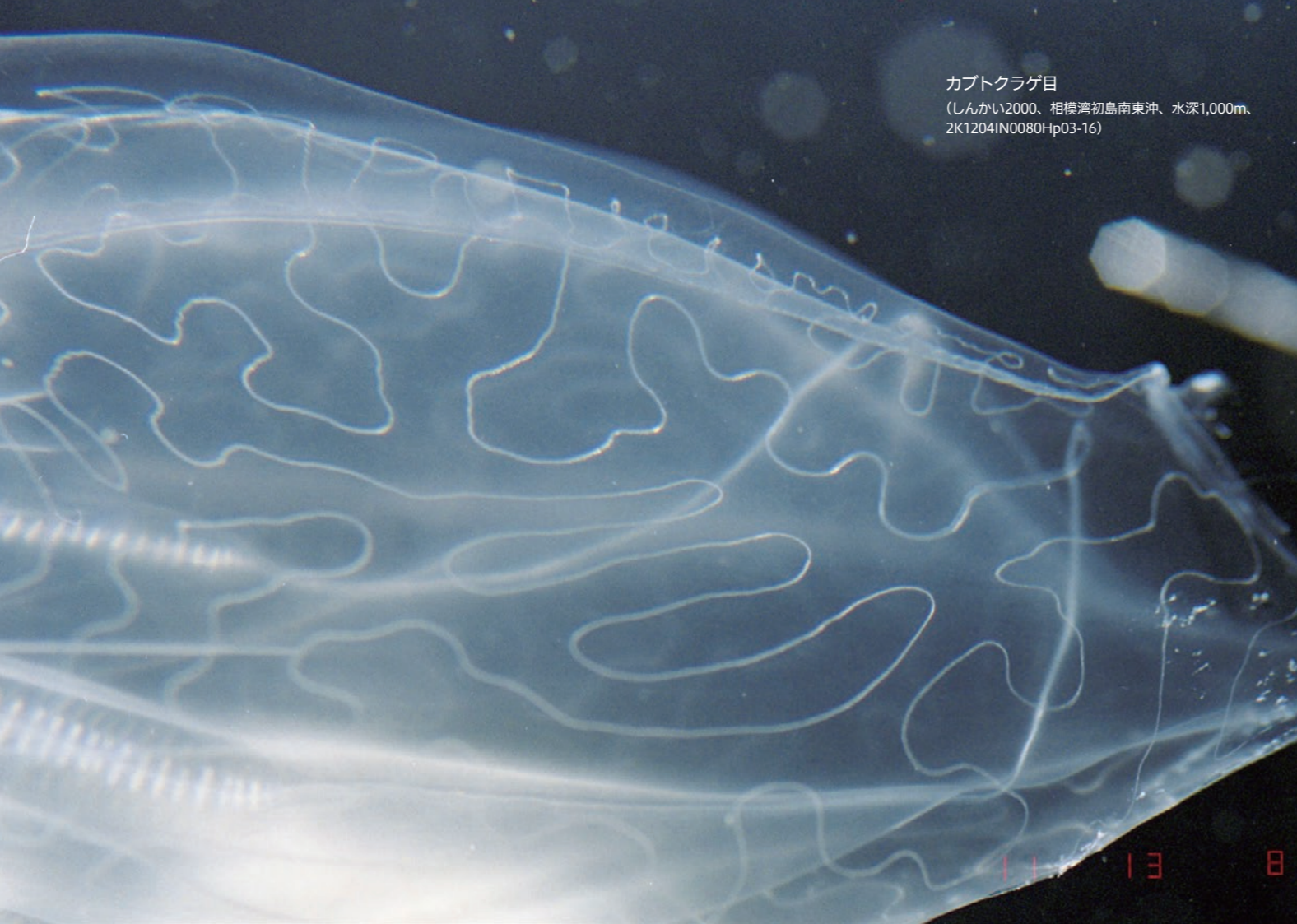


シロウリガイを捕食しているエゾイバラガニ。相模湾初島沖は断層からメタンや硫化水素を含む海水が湧出している。シロウリガイは化学合成細菌をえらの細胞内に共生させ、その細菌がメタンや硫化水素からつくる栄養をもらって生きている。化学合成細菌を一次生産者とする生態系を化学合成生態系と呼ぶ。
(ハイパードルフィン、相模湾初島南東沖、水深1,186m、HPD0525HDTV0460)



シダアンコウ科の一種。腹を上に向けた逆さまの状態、頭部にある長い突起を垂らしながら漂っている。海底にいる生き物をおびき寄せて捕らえる。
(しんかい6500、西部北太平洋・北緯30度、6K1267IN0196)

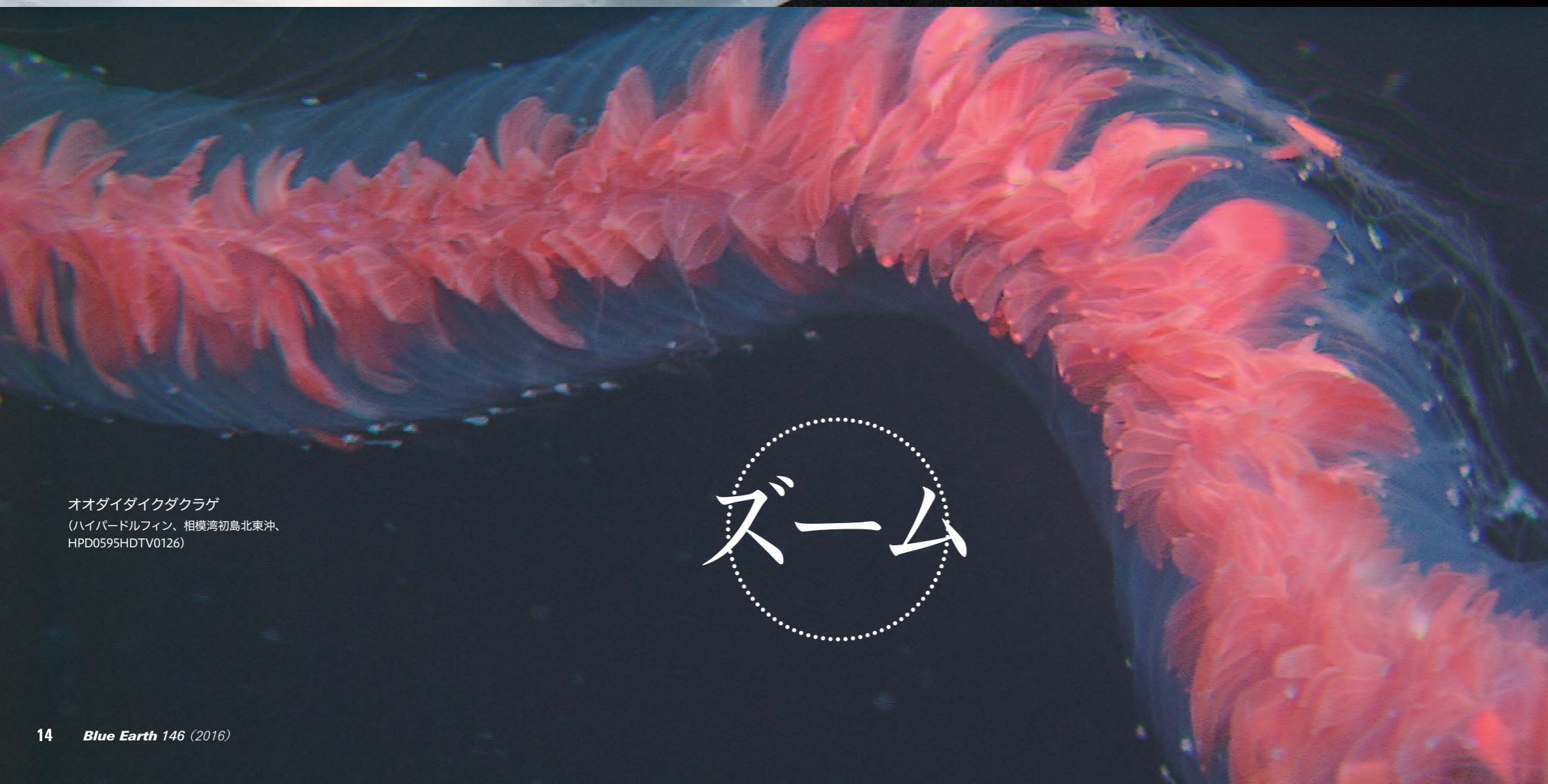




カプトクラゲ目
(しんかい2000、相模湾初島南東沖、水深1,000m、
2K1204IN0080Hp03-16)



有触毛亜目
(しんかい6500、ブラジル沖海域サンパウロ海台、
6K1343IN0129)

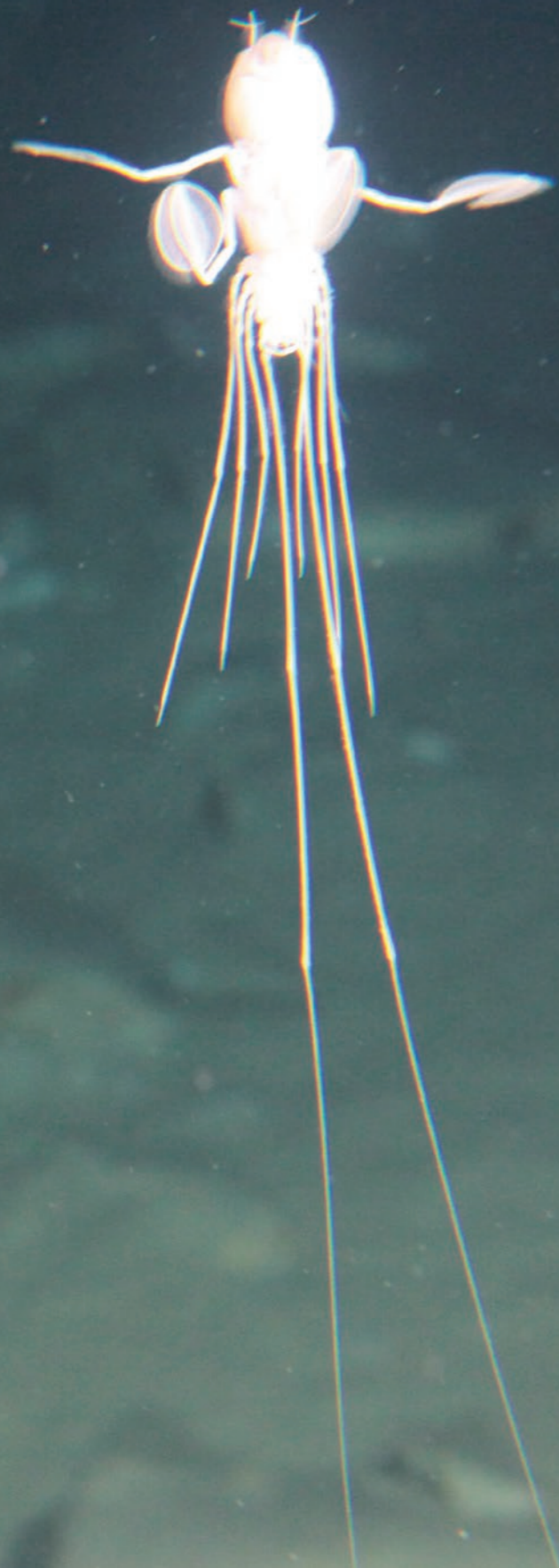


オオダイダイクダクラゲ
(ハイパードルフィン、相模湾初島北東沖、
HPD0595HDTV0126)

ズーム



海綿動物門
(しんかい6500、ブラジル沖海域サンパウロ海台、
6K1343OUT0159)



ミズムシ亜目。甲殻類の一種で、ダンゴムシなどに近い仲間。長く伸びている2本は触角。体の前の方にある脚は長く、後ろの方にある脚は先端が平べったくなっている。後部にある脚を動かして泳ぐ。
(しんかい6500、三陸沖海域、6K1255IN0061)



ホンヤドカリ上科。自分の体より大きなスナギンチャク目の一種を背負っている。スナギンチャクはヤドカリが背負っている貝殻に乗っている場合や、貝殻を溶かしてしまってヤドカリに直接乗っている場合などがある。
(しんかい6500、沖縄トラフ粟国海丘、6K0961OUT0047)

オオグチボヤ。岩盤や沈木に固着し、流れに向かって大きな口を開けている。口のように見える部分は入水孔と呼ばれ、ここから海水を吸い込んで、海水と一緒に入ってきたプランクトンなどをこし取って食べる。
(ハイパードルフィン、富山湾七尾湾沖北海域、水深713m、HPD0433OUT0106)



連

ヒノオビクラゲ。たくさんの個体がつながった群体である。群体のなかで役割分担があり、個体はそれぞれ役割に応じた形状、機能を持つ。コップのようなものが並んでいる部分は泳鐘部^{えいしょうぶ}といい、これが収縮して水を押し出すことで遊泳する。泳鐘をつなぐ幹、その先端には浮き袋の働きをする気泡体がある。長く伸びるのは、獲物を捕まえて消化吸収する栄養体である。

(しんかい2000、相模湾初島南東沖、2K1338IN0365)

深海映像・画像アーカイブス(J-EDI)

JAMSTEC E-library of Deep-sea Images
<http://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/>



JAMSTECの有人潜水調査船や無人探査機で撮影された深海の映像や画像を「深海映像・画像アーカイブス(J-EDI)」で公開しています。公開している映像は3万2000時間、画像は130万枚にも上ります。この特集で紹介した写真もJ-EDIで公開されているもので、説明の文末の英数字は画像IDです。

J-EDIは、キーワードや生物分類などのアイコン、潜水船名、海域、IDなどで、映像や画像を検索できます。ユーザー登録すれば、お気に入りの映像・画像を「マイライブラリ」に追加したり、オリジナルサイズの深海画像をダウンロードしたりすることもできます。ぜひ、J-EDIを使い、深海の世界を楽しんでください。

※ J-EDIで公開されている映像・画像は、学術研究および著作権法の認める教育活動・私的利用を目的とした範囲において、無償でご利用いただけます。営利目的での利用については有償となります。詳しくは、J-EDIの「映像・画像の利用について」をご確認ください。

私が
IODPで
解きたい謎

諸野祐樹

高知コア研究所
地球深部生命研究グループ
グループリーダー代理

もろの・ゆうき。1976年、福井県生まれ。博士(工学)。東京工業大学大学院生命理工学研究科生物プロセス専攻博士課程修了。産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門生物資源情報基盤研究グループ 博士研究員を経て、2006年、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 高知コア研究所 地下生命圏研究グループ研究員。2014年より現職。

2015年10~12月に行われたIODP第357次研究航海において、イギリスの海洋調査船「ジェームス・クック」船上で実験を行う諸野祐樹さん。
©Yuki Morono

なぜ生物はつくれないのか？

—子どものころ、どんなことに興味がありましたか。

諸野：工作が大好きでした。小学生のとき目覚まし時計を分解して、戻せなくなったりしました。ものが動く仕組みを知りたかったのです。工作だけでなく、理科全般が好きでした。

—大学で生物を専攻した理由は？

諸野：機械は一から組み立てられますし、壊れたり分解したとしても頑張れば修理したり組み立て直したりして再び動かすことができます。でも、生物はばらばらな部品からは組み立てられませんし、死

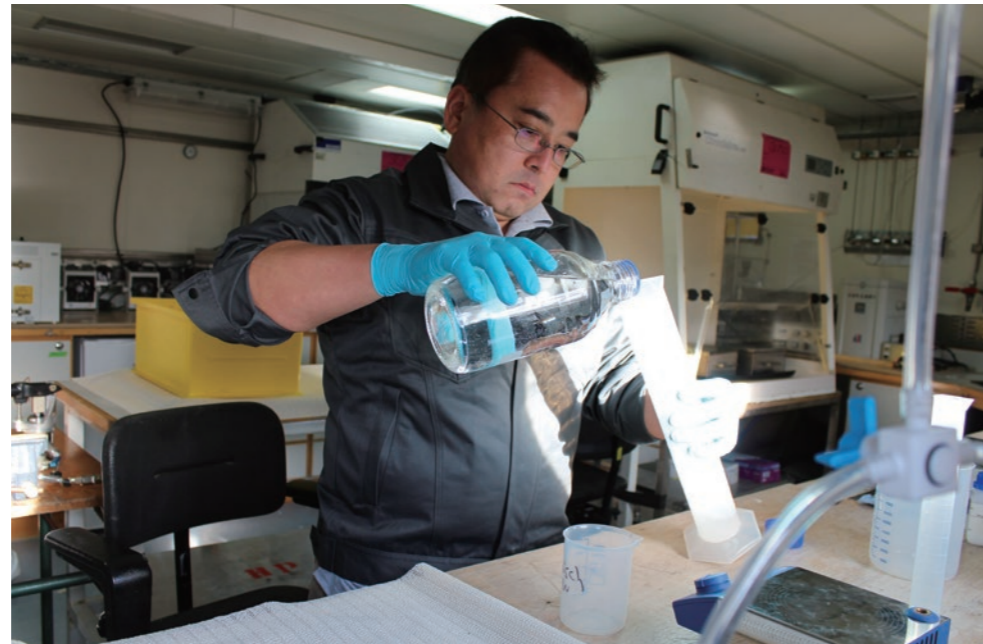
独自手法で 海底下の微生物の 生き様を見たい

「生命圏の限界を見定める航海には、すべて参加したいですね」

そう語る諸野祐樹さんは、海底下を掘削した地質試料から微生物を高い精度で検出し、それが生きていのかどうかを確かめる独自技術を開発して、海底下生命圏の探査を行っている。

現在、2016年9~11月の国際深海科学掘削計画 (IODP) 第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査 (T-リミット)」で掘削されたコアの分析を続け、微生物は最高何℃まで生息することができるのか、生命圏の温度限界を調べる実験を行っている。

諸野さんがIODPで解きたい謎とは？



んだら生き返ることもありません。機械と生物は何が違うのか、なぜ生物はつくることができないのか、それを知りたいと思ったのです。私は東京工業大学生命理工学部で生物学を学び始めました。

壁にぶつかる

—大学院ではどのような研究を進めたのですか。

諸野：微生物による環境浄化の技術を開発している研究室に入りました。単純な微生物ならばつくれるかもしれない、役に立つ微生物をつくってみたい、と思ったのです。しかしそのために微生物

の仕組みを調べるような基礎研究を進め、環境浄化の機能向上にはすぐには結び付かないことを経験し、ジレンマを感じました。

—学位を取得後、産業技術総合研究所 (産総研) で研究者としてのスタートを切りました。

諸野：遺伝子組み換え微生物を検出する手法を開発するプロジェクトのメンバーになりました。遺伝子組み換え微生物は実験室の外に出ないように厳重に管理されていますが、万が一、外に出ても検出できるようにしておく必要があります。そのための新しい手法の開発に取り



IODP第357次研究航海では、北大西洋中央海嶺アトランティス岩体において強いアルカリ性水が染み出ている海底を掘削して、海底下の微生物の調査が行われた。
©Yuki Morono

組みました。ただし、遺伝子組み換え微生物を検出する手法は、すでに多くの人たちが開発を進め、さまざまな技術が確立されていました。そのなかで、私は従来技術にはない特徴を持つ検出法の開発を進めましたが、研究分野に大きなインパクトを与えられる成果を出すことが難しく、悩んでいたこともありました。

その任期が終わるころ、JAMSTECの稲垣史生さん (現 高知コア研究所 地球深部生命研究グループ グループリーダー) が、新しい研究グループを立ち上げるので一緒にやらないか、と声を掛けてくれました。

JAMSTECはすごくて、怖いところだった！

—稲垣さんとはいつ知り合ったのですか。

諸野：修士課程の大学院生だった2000年ごろ、微生物群集の種類を調べる遺伝子解析技術を、JAMSTEC横須賀本部に通って習いました。そこで稲垣さんや高井 研さん (深海・地殻内生物圏研究分野 分野長) にお世話になりました。高井さんや稲垣さんたちが所属していた研究グループが、とても高いレベルの研

究をしていることは、大学院生だった私にも分かりました。同時に、こんなに恐ろしいところがあるんだ！とびっくりしました。学生が研究を発表する場では、研究グループのメンバーたちから厳しいコメントを浴びせられ、泣きだす学生もいました。私は怖くてその発表の場には立てませんでした。

産総研で所属していた研究グループは高井さんと交流があり、私は高井さんの微生物培養実験のお手伝いをしました。それで、高井さんが稲垣さんに私のことを推薦してくれたようです。当時、海のことをよく知っているわけではありませんでした。面白い研究ができるかもしれないと期待して、JAMSTECに入りました。

泥と微生物を見分けて数える

—JAMSTECでは、どのような研究を始めたのですか。

諸野：稲垣さんたちは、海底下を掘削して微生物を調べるといった新しい研究分野の研究を進めていました。「まず、八戸沖で掘削した地質試料 (コア) のなかの微生物を数えてくれ」と頼まれました。微生物の細胞内のDNAに付着して光

る核酸染色剤で試料を処理し、蛍光顕微鏡をのぞきながら微生物を数えるのですが、とても大変な作業です。ひとまずいままでの微生物実験で経験したやり方で数えてみたのですが、それまでの推定の100倍の密度で微生物がいるという結果になりました。明らかにおかしい。調べてみると、泥の粒子にも核酸染色剤が付着して光り、それもカウントしていたのです。

泥の粒子と微生物を見分けて数えるために、いろいろな方法を試しました。あるとき、たまたま高い濃度の核酸染色剤で処理した試料を蛍光顕微鏡で観察していると、微生物は緑色で強く光り、泥の粒子は赤色が混じった黄色で光っていることに気がきました。

—ということは、緑色で強く光るものだけを数えればいいことになります。そのためには、緑色だけを通すフィルターと、赤色だけを通すフィルターをかけて画像を撮影し、ソフトウェアを使って2枚の画像の“割り算”をすれば、緑色で強く光るものだけが現れます。こうして微生物だけを抽出して、コンピュータで自動的に数えることができるようになりました。それが「諸野メソッド-1」です。—微生物と泥の粒子で蛍光の色が異なることに、それまで誰も気付かなかったのですか。

諸野：気付いていた人もいたようです。しかし、それを利用して微生物だけを抽出して数える手法を開発したのは私が初めてでした。私はコンピュータが好きで、画像同士の引き算や割り算を行うソフトウェアがあることを知っていたのです。これで、夜通し試料を顕微鏡で観察して微生物を数えなくても済むようになりました。

泥と微生物を分離して、生きていことを確かめる

—IODPの研究航海に初めて参加したのはいつですか。

諸野：2010年10~12月に行われたIODP第329次研究航海「南太平洋環流域生命探査」です。アメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」に乗り込みました。

IODPの航海には、世界各国からさまざまな分野の研究者が乗船して、1つの

コアをいろいろな手法で分析して、あらゆる情報を引き出します。ほかの分野の研究者がどのような分析をしているのか目の前で見る事ができ、統合的にコアを見る目が養われます。そんな貴重な経験ができるのは、さまざまな科学プロジェクトのなかでもIODP航海だけではないでしょうか。航海の2ヵ月間は濃密な時間です。航海を共にした研究者や技術スタッフとは生涯の友になります。

——第329次研究航海の目的は？

諸野：栄養源が極めて少ない極限環境の海底下で微生物が息しているかどうかを調べることでした。私はコアから微生物を取り出して、栄養源を取り込むかどうか超高解像度二次イオン質量分析計(NanoSIMS)を使って調べました。ただし、そこに泥が混じっていると分析のノイズになります。

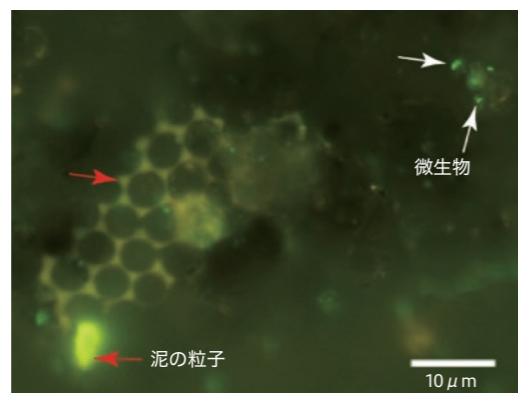
泥のなかから微生物だけを分離する必要があります。密度の高い溶液と試料を混ぜて遠心分離器にかけると、軽い微生物は浮き、重い泥の粒子は沈みます。その原理を使って分離する手法を、私はドイツの研究者から習いました。ただしその手法では、試料中の微生物の半分以上しか分離できません。残りは泥の粒子が巻き起こす乱流に絡み取られて沈んでしまうのです。

私は、密度の異なる液を積み重ねた溶媒を用いることで、試料中の8~9割の微生物を泥から分離することに成功しました。それが「諸野メソッド-2」です。その手法により、栄養源が極めて少ない海底下にも、微生物が息していることを確かめました。この手法の開発では、鳥人間コンテストに挑んだ大学時代のサークルでの経験が役立ちました。私は人力飛行機のプロペラをつくる班のリーダーになり、どうしたら性能の高いプロペラをつくる事ができるか試行錯誤しました。そのときなどに学んだ流体力学が、微生物が乱流に絡み取られにくい分離法の実現に役立ちました。

生命圏の限界を探る

——青森県八戸港に停泊していた地球深部探査船「ちきゅう」の船上で東日本大震災を経験したそうですね。

諸野：IODP第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」で使用する実

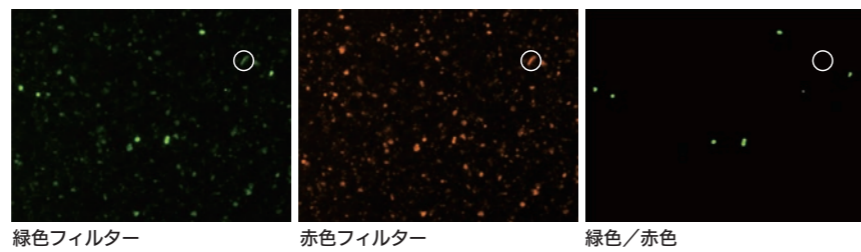


試料を核酸染色剤で処理して撮影した蛍光顕微鏡画像

泥と微生物を見分けて数える

微生物は緑色で強く光り、泥の粒子は赤色が混じった黄色で光る。緑色ないし赤色の光だけを通すフィルターを用いてそれぞれ撮影した2枚の画像の割り算をすることで、緑色で強く光る微生物だけを抽出して数えることができる。丸で囲んだ領域は泥の粒子であり、割り算した画像(右下)では消えている。

(Morono et al. 2009. *ISME J.* 3: 503-511. DOI:10.1038/ismej.2009.1)



緑色フィルター

赤色フィルター

緑色/赤色

験装置を設置しているときでした。その後3日間は下船できず、みんなで「ちきゅう」のペーパークラフトをつくったりしながら過ごしました。

その研究航海は2012年7~9月に実施され、海底下2,466mまで掘削して、そこにも微生物がいることを確かめました。それまでの海底下生命圏の深度記録を500m以上更新する成果です。

微生物の数は、海底下1,200mより深い場所では、1cm³あたり100個以下になりました。微生物のサイズは1μm(1,000分の1mm)ほどです。微生物がパチンコ玉の大きさだとしたら、1cm³は東京ドームほどのサイズに相当します。東京ドームのなかに泥が詰まっています、そこ

に埋もれている100個のパチンコ玉を探すと、といった難しい分析を行いました。

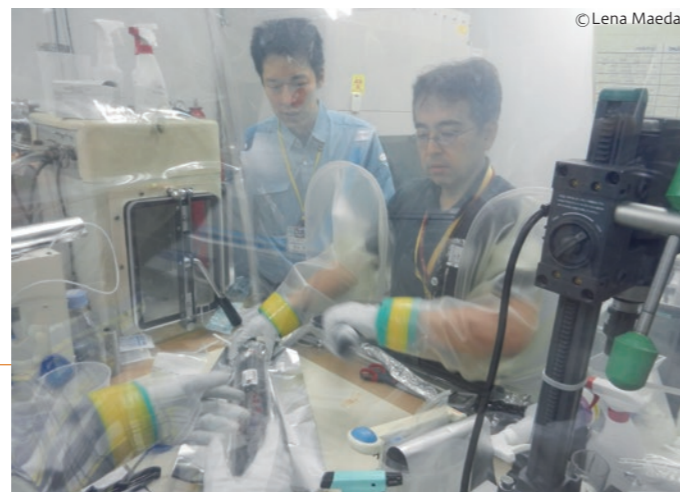
現在、クリーンルームがある実験室で諸野メソッドを使えば、1cm³あたり微生物の細胞が数~10個程度あれば、探し出して数えることができます。その検出精度は世界最高レベルです。

泥に埋もれた微生物を高精度で検出したり、泥と微生物を高効率で分離したりする手法は、海底下生命圏の探査だけでなく、火星など地球外での生命探査にも役立つはずで

「ちきゅう」での海底下の生命探査には、さらに難題があります。「ちきゅう」の掘削パイプは二重構造になっていて、泥水を循環させて掘削の削りかすを取り

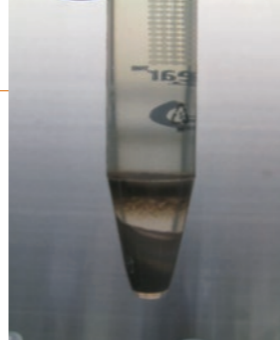
生命圏の温度限界を探る

IODP第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査(T-リミット)」で「ちきゅう」からヘリコプターで高知コア研究所に運ばれてきたコアを処理する諸野さん。酸素のない海底下の深部に息する微生物は、空気に触れないように嫌気グローブボックスのなかで処理を行う必要がある。



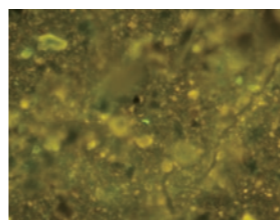
諸野さんたちが開発した高温高圧培養装置(写真は作製の途中段階)。T-リミットで掘削した室戸沖の海底下の圧力(約550~600気圧)を再現して、80°Cから140°Cまで5段階の温度帯でコアに含まれる微生物の培養実験を行い、温度限界を探る実験を進めている。

©Lena Maeda

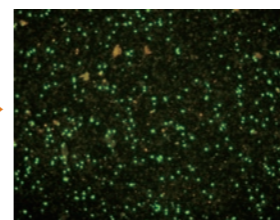


泥と微生物を分離して生きていることを確かめる

密度の異なる液を積み重ねた溶媒に試料を溶かして遠心分離にかけると、軽い微生物は浮き、泥の粒子は沈む。試料中の8~9割の微生物を分離することができる。



分離前



分離後

栄養分(グルコース)を取り込んだ海底下の微生物のNanoSIMS画像。八戸沖の海底下219m、46万年前に堆積した地層のコアをNanoSIMSで分析することで、そこにすむ微生物の大半が栄養分を取り込み、生きていることが分かった。

©Yuki Morono

が染み出ています。アルカリ性が強過ぎるとタンパク質のかたちが変わってしまうため、生物にとって過酷な環境です。海底下を80mほど掘削したコアを調べたところ、そこにも微生物がいることが分かりました。

2016年9~11月、「ちきゅう」を使って行われたIODP第370次研究航海「室戸沖限界生命圏掘削調査(T-リミット)」は、微生物はどれくらい高い温度で生息できるのか、温度限界を探ることが目的でした。現在、そのコアを分析しているところです。

“生きている”とは何か？

——IODPで解きたい謎とは？

諸野：さまざまな極限環境の海底下を掘削して生命圏の限界を探るとともに、なぜそのような極限環境でも生息できるのか、海底下のどこに、どれくらい、どんな微生物がいるのか。それらはどのように生きているのか、生き様を知りたいですね。

そのために私は、海底下の微生物の遺伝子断片を効率よく大腸菌に導入する手法を開発して、その機能を調べる実験も進めています。その手法には、産総研のときに学んだ遺伝子組み換えの経験も役立っています。

——栄養源が限られた海底下に生息する微生物は、細胞分裂の速度も遅いそ

うですね。

諸野：千年から1万年に1回しか細胞分裂しない微生物があると推定されています。なかには1億年に1回しか分裂しない微生物もいるかもしれません。細胞分裂の速度が遅ければ、進化する速度もゆっくりでしょう。海底下生命圏には、進化的に古い微生物が生き残っている可能性があります。IODPは生命進化をさかのぼるタイムトンネルを掘っているようなものです。

海底下の微生物を地上に引き上げてきて栄養を与えると、多くの微生物が栄養を取り込みますが、なかには取り込まないものもいます。取り込むものと取り込まないものの違いは何か、取り込まないものはすべて死んでいるのか、分かっていません。

——そのような海底下の微生物の生き様を探るには、どのような手法の開発が必要になりますか。

諸野：生存に厳しい環境になると、外部との物質のやりとりを制限してダメージを受けにくい胞子という状態になる微生物がいることが知られています。胞子は細胞分裂もしません。2012年、デンマークの研究者が、海底下には、胞子状態の微生物が、細胞分裂する状態の微生物と同数以上存在しているかもしれないと発表しました。胞子の一部には、核酸染色剤が細胞内にうまく入り込まず、染色がうまくいかないものがあることが分かってきました。これまで調べた場所にも、見過ごしていた微生物がいるかもしれません。胞子状態の微生物も検出できる新しい手法を開発して、いままで見えていなかった微生物の生き様を見てみたいですね。

海底下の微生物の研究を続けてきた私はいま、“生きている”とは何か？に強い関心があります。どのような手法でその答えに近づけるのか分かりませんが、海底下の微生物の生き様を見ることで、そのヒントが得られると期待しています。——なぜ生物はつくりえないのか？という謎の解明にもつながりますか。

諸野：人工生物をつくる合成生物学という研究分野が進展しています。海底下生命圏の探査によって、合成生物学にも重要な示唆を与えることができるかもしれません。



RNAウイルスを 網羅的に検出する技術 を開発する

新連載「JAMSTEC発イノベーション」では、社会に革新をもたらす可能性を持つJAMSTEC発の知や技術を紹介していく。

今回紹介するのは、画期的なウイルス検出法だ。現在あるウイルス検出方法では、病状などの情報をもとに、事前にウイルスの種類を絞り込んだりしておく必要がある。

それに対してJAMSTECで開発された「FLDS法」では、事前情報がなくてもRNAウイルスを網羅的に検出することができる。未知のRNAウイルスも検出可能だ。

FLDS法はもともと、海の環境中のウイルスを知りたいという

JAMSTECのニーズから生まれた技術だ。

ウイルスはあらゆる場所に存在しており、FLDS法は海洋にとどまらず、医療や農業などほかの分野でも役立つ可能性を秘めている。



取材協力
海洋生命工学研究開発センター
生命機能研究グループ
浦山俊一 PD研究員

海洋生命工学研究開発センター
布浦拓郎 研究開発センター長代理

従来の手法は、狙ったウイルスしか
検出できない

寒い季節、急な高熱などの症状があり医療機関を受診したときに、鼻の奥などに綿棒を入れて粘膜を採取されることがある。これは、粘膜にインフルエンザの原因となるウイルスがいるかどうかを調べる検査だ。短時間のうちにインフルエンザウイルスに感染しているかどうか分かる。

ウイルスに感染しているかどうかを調べる方法には、もう1つある。ウイルスの遺伝子であるDNA（デオキシリボ核酸）やRNA（リボ核酸）を検出する方法だ。ただし、どちらの方法も病状などからウイルスの種類を絞り込んでおかないと、ウイルスを同定することは難しい。「既存のウイルス検出技術は、特定の狙ったウイルスしか検出できません」と浦山俊一さんはいう。そのような状況のなかで、病状などの事前情報がなくてもRNAウイルスを網羅的に検出できる「FLDS法」という画期的な手法を浦山さんらは開発した。

浦山さんらは、それをいち早く実用化しようと、2015年度に創設された「JAMSTECイノベーションアワード」の「イノベーション促進プログラム」に「網羅的RNAウイルス検出技術開発」として応募し採択された。促進プログラムは、これまでの実績をもとに、企業やほかの研究機関と連携してもう一押しすれば実用化できると期待される技術が対象だ。

細胞内に本来は存在しない
2本鎖RNAを捉える

ウイルスの構造は、遺伝子の本体であるDNAやRNAなどの核酸が殻に覆われただけの単純なものだ。ウイルスは自分が増えるための設計図は持っているのだが、実際に増殖するための機能を持っていない。そのため動植物に感染して、それらの細胞が持つ機能を利用しながら増えていく。

ウイルスのうち、DNAを持っているものを「DNAウイルス」、RNAを持っているものを「RNAウイルス」と呼ぶ。DNAやRNAは、ヌクレオチドという物質が鎖のように連なっているのが基本的な構造だ。動植物の細胞の核のなかにあるDNAは、2本の鎖が二重らせん構造をしている。RNAウイルスが持つRNAは、1本鎖のものもあれば、2本の鎖が対になっているものもある。

FLDS法が検出対象とするのは、ウイルス性急性感染症の大部分を占めるRNAウイルスだ。「ウイルスに感染していない細胞には2本鎖DNAと1本鎖RNAがあるだけで、（正確には“長い”）2本鎖RNAは存在しません。しかしRNAウイルスに感染

地球上のあらゆる生物や環境中には、さまざまなウイルスが潜んでいると考えられているが、そのほとんどはまだ知られていない。FLDS法が実用化すれば、潜んでいるさまざまなウイルスを見いだすことができるようになる可能性がある。そうすると、たとえば野生動物などにおいて病原ウイルスの有無をモニタリングできるようになるかもしれない。
背景写真：Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center

すると、細胞内に2本鎖RNAが生じます」と浦山さん。2本鎖RNAウイルスが感染すると、細胞内にはウイルスの2本鎖RNAが含まれるようになる。また1本鎖RNAウイルスが感染した場合でも、細胞内で自らのRNAを複製する際、一時的に1本鎖RNAウイルス由来の2本鎖RNAが現れる。「FLDS法は、そのような細胞内の2本鎖RNAを捉えることでウイルスだけを効率的に検出する技術です」

そのとき、病状などの事前情報はまったく必要がない。未知のRNAウイルスも検出できる。ただし、RNAウイルスのうち「レトロウイルス」と呼ばれる種類のものはFLDS法では検出できない。レトロウイルスは1本鎖RNAウイルスだが、増殖

の過程で2本鎖RNAが出現することがないからだ。

実は、2本鎖RNAを捉えることで、従来手法よりも格段に高い効率でウイルスを検出できることは、以前から提唱されていた。しかし集めた2本鎖RNAを解読する技術が十分ではなく、広く利用される手法となっていなかった。「FLDS法では、新たな原理を導入することで、従来得られなかった高品質な情報を感度よく得られるところがポイントです」

浦山さんは、浜辺で海藻などを採取して、RNAウイルスに感染しているかどうかを調べた。すると、多くの生物に2本鎖RNAが存在することが分かったという。「RNAウイルスはさまざまなところに存在しているけれども、これまでは調べる方法がなかったために気付かなかっただけではないかということが見え始めてきました」と浦山さん。従来からある手法では100年間で190種の2本鎖RNAウイルスが同定されてきたが、FLDS法では21種の新規RNAウイルス全長ゲノムが同定できたという。

なぜJAMSTECでこのような技術が生まれたのか

浦山さんは学生時代、海とは関係のない農学分野で2本鎖RNAウイルスの研究を進めていた。海のウイルスに関わるようになったのはJAMSTECに来てからだ。

浦山さんがJAMSTECに来た2014年ごろ、環境ウイルス研究分野では、DNAウイルスに比べてRNAウイルスの研究は遅れている状況だったという。「そもそも海にRNAウイルスがたくさんいるのかどうか不明でした。海のRNAウイルスについては試料が貴重で、宿主生物もほとんど培養できない状況だったため、それを解明するには高感度で、しかも病気の兆候に依存しないようなウイルスの探査技術が必要とされていました」と浦山さん。「そこで2本鎖RNAに着目しました。2本鎖RNAは、私自身も出身研究室で扱ってきたもので、農学分野ではウイルス探索への利用実績もあります。解析技術に革新を起こせば海のRNAウイルスをきちんと同定できる手法になると考えました」

JAMSTECには環境を対象とした生物研究の専門家が幅広く在籍しているため、行き詰まったときの相談相手には事欠かない。また最先端のシーケンス技術を内部で運用しているので小回りが利き、きめ細やかな支援を受けることもできる。そのような環境のなかで、浦山さんが始めた海のRNAウイルスに関する研究が、FLDS法へとつながることになった。

感染症の病原ウイルスを特定するための基盤情報を提供できる可能性

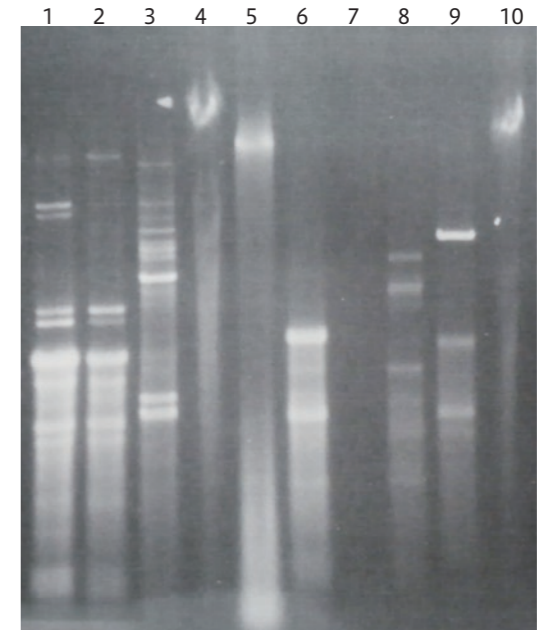
「FLDS法は、病原体の正体を突き止めるための基盤情報を提供できる可能性がある技術です」と語るのは布浦拓郎さんだ。「この技術はまだ“迅速性”の面で大きな課題を抱えているため、いわゆる診断に近い方での利用は難しいと考えています。まずは病原ウイルスに限らず、ほとんどが未知ともいわれる、地球上のあらゆるRNAウイルスをカタログ化することがこの技術の生かしどころでしょう。これができれば、迅速にウイルスを検出できるマイクロアレイなどの手法に必要なウイルスの配列情報が提供できるようになるでしょう」

ヒトの感染症ウイルスのうち、80%が人獣共通感染症のウイルスだ。エボラウイルスがヒトとコウモリの間で感染したり、デング熱ウイルスのように蚊が媒介したりするものもある。コウモリなどはウイルスに感染しても死ぬわけではなく、いわば飛び石になっているだけだ。「ヒトも含めて、生物の種類を越えてウイルスが行き来しています。従来の技術では、特定のウイルスについてのみしかこの動きを見ることはできませんが、FLDS法を使うことでかなり多くのウイルスの動きが見えるようになる可能性があります」と布浦さん。「それぞれのウイルスごとに検出のための製品開発を行うことは、疫学的に重要なウイルス以外ではコストの面で見合わないため、FLDS法のような網羅的な検出技術には大きなアドバンテージがあると考えています」

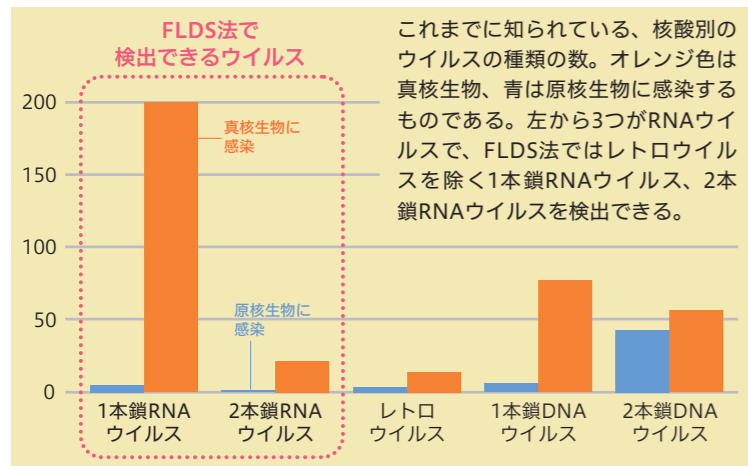
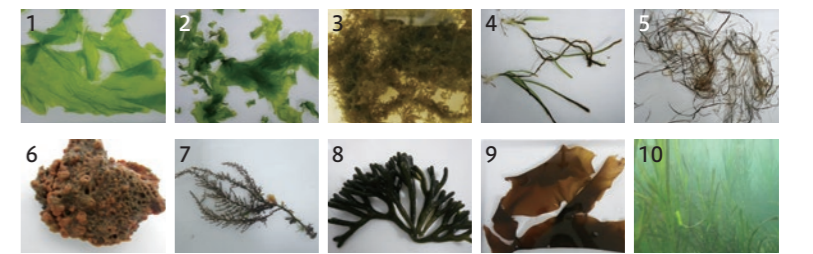
将来的には医療面だけでなく、農林水産業や畜産業などでも役立つ可能性があるという。「医療と違い、農林水産や畜産ではウイルス検出の目的は被害を拡大させないことに重点が置かれます。そのため、迅速性に加えコストの面でも多くの課題を解決しなければなりません。原因不明の症例を解決する手段や、モニタリングの基礎情報となるウイルスリストの作成手段として利用できる可能性はあります」

動物で実際に使えることを示すための共同研究

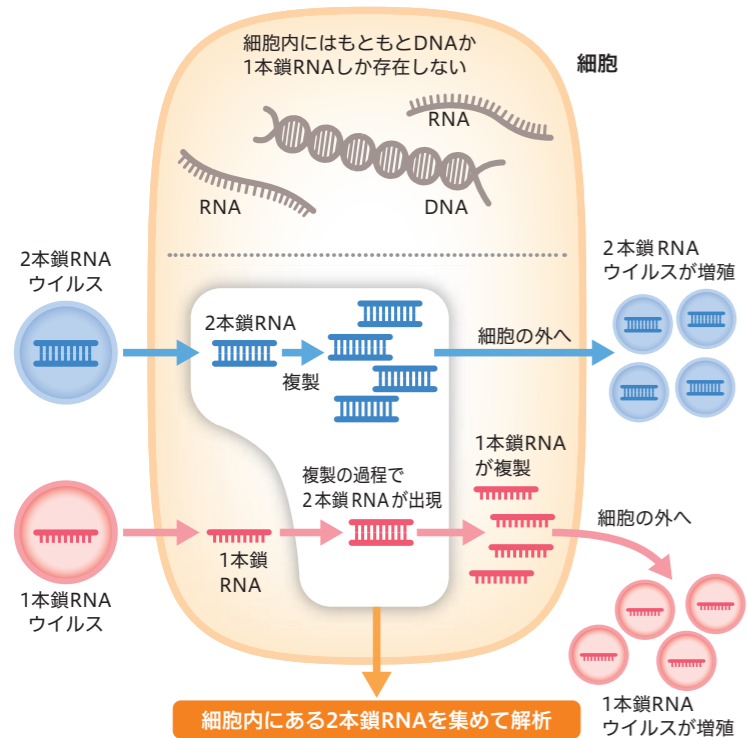
植物やカビ、昆虫などでは、FLDS法を用いてウイルスを検出できることがすでに分かっているという。「次は、動物の臓器でもウイルスを検出できるか検証することが大事だと考えています」と浦山さん。「FLDS法の技術はJAMSTECにあります。有効性を検証するための試料がJAMSTECにはないので、京都大学や東京農工大学などと共同で研究を進め



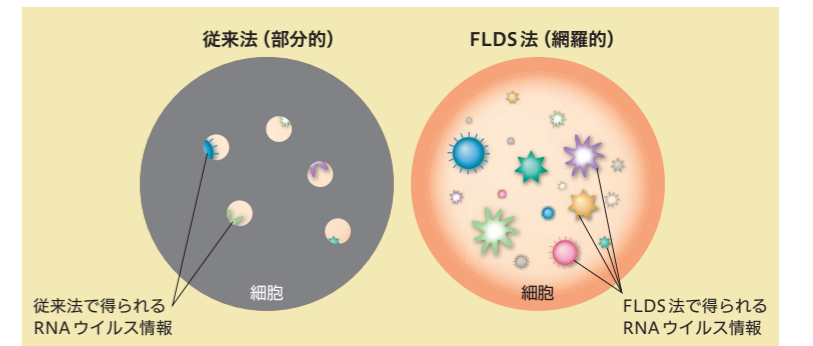
見た目などではRNAウイルスに感染しているかどうか分からない10種類の海藻のサンプルから、2本鎖RNAだけを取り出して電気泳動で分析した。その結果、画像に見られるように白いラインが多く現れた。これは各サンプルにウイルス由来の2本鎖RNAが多く含まれていることを示している。



これまでに知られている、核酸別のウイルスの種類の数。オレンジ色は真核生物、青は原核生物に感染するものである。左から3つがRNAウイルスで、FLDS法ではレトロウイルスを除く1本鎖RNAウイルス、2本鎖RNAウイルスを検出できる。



ウイルスは、感染した宿主の細胞内で増殖して細胞外へ出ていく。RNAウイルスが感染していなければ、細胞内にはDNAと1本鎖RNAしか存在しない。FLDS法では、2本鎖RNAウイルス由来の2本鎖RNAと、1本鎖RNAウイルスの複製の過程で生じる2本鎖RNAを集めて解析する。



網羅的RNAウイルス検出手法の比較。従来の方法では、細胞内のウイルスRNAの情報を部分的にしか検出できない。FLDS法では、そのようなRNAウイルスを、効率的に検出することができる。

す。原理的にFLDS法は、どんな生物でも使えるはずですが、しかしそれぞれの試料に特有の問題が生じる可能性があります。そういったことも確認しつつ、FLDS法が実際に使える手法であることを示すのが当面の目標です」

キノコのなかには、ウイルスが感染すると色やカタチが変わり、ウイルスがなくなるともとに戻るようなものがあると浦山さんはいう。FLDS法の研究を進めていくことで「そこら中に存在しているウイルスが、病気の原因となるだけでなく、実はさまざまな機能を持っていることが分かるのではないかと期待しています。ウイルスに対する皆さんのイメージを変えることにつなげていきたいですね」



北の海で起きている海洋酸性化！ ——その進行と影響——

地球情報館公開セミナー 第195回
(2015年12月19日開催)

脇田昌英 むつ研究所 陸域周辺海域海洋環境変動研究グループ
技術研究員

海水の化学的な性質が変化

いま、海水の化学的な性質が変化しています。たとえば、太平洋の真ん中に位置するハワイ島沖の観測点ALOHAでは、海水のpH（水素イオン指数）が1990年からの20年間で約0.04低下しました。pHは水溶液の性質を表す指標の1つです。0から14まであり、pH7が中性、7より大きいとアルカリ性、7より小さいと酸性です。海水のpHが下がることを「海洋酸性化」と呼びます。

海水のpHは7.5～8.5くらいです。20年間での低下が0.04ですから、中性には近づきませんが、7以下の酸性になってしまうわけではありません。それでも生物にさまざまな影響があるといわれています。まず、なぜ海洋酸性化が起きるのかをお話ししましょう。

原因は大気中の二酸化炭素の増加

2013年に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の「第5次評価報告書」では、20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高いと述べられています。二酸化炭素（CO₂）をはじめとする温室効果ガスは、熱を吸収して地球温暖化を引き起こします。大気中のCO₂濃度は280ppmでほぼ一定でしたが、18世紀半ばの産業革命以降、急激に増加してきました。1958年から観測を続けているハワイ島のマウナロアでは、2013年に400ppmを超えました。

大気と海洋の間では濃度差に応じて気体交換が行われており、人間活動で大気中に放出されたCO₂の約30%が海洋に吸収されたと見積もられています。CO₂が

海水に溶解すると、水素イオン（H⁺）を分離し、炭酸水素イオン（HCO₃⁻）と炭酸イオン（CO₃²⁻）の間で化学平衡の状態になります（図1）。その存在量は、HCO₃⁻が一番多く（約90%）、CO₃²⁻（約9%）、CO₂（1%以下）の順となります。産業革命以降、大気中のCO₂が増えると海水に溶けるCO₂も増え、図1の赤の矢印の反応が進み、H⁺が増加します。H⁺が増加すると、pHは低下します。pHは、水素イオン濃度の逆数の対数で定義されたものだからです。つまり、大気中のCO₂濃度の増加は、地球温暖化だけでなく、海洋酸性化も引き起こすのです。

海洋酸性化はすでに起きている

太平洋の真ん中のハワイ島沖、北大西洋のバミュダ沖、東大西洋のカナリア諸島沖での観測によれば、海水中のCO₂濃度は年1.8～1.9ppmの速さで増加しています。大気中のCO₂濃度の増加は年

1.7ppmですから、ほぼ同じ速さです。海水のpHは、年0.002の速さで低下しています。

日本周辺では紀伊半島沖で、酸性化に関する観測が気象庁と気象研究所により行われています。大気中のCO₂濃度は年1.7ppm、海水中のCO₂濃度は年1.5ppmの速さで増加し、海水のpHは年0.002の速さで低下しています。

海洋酸性化は、すでに起きているのです。

炭酸カルシウムの殻がつかれなくなる

海洋酸性化が起きると、どのような問題があるのでしょうか。

CO₂が海水に溶けて海洋酸性化が進行すると、H⁺とHCO₃⁻ができます。しかし、この酸性化の進行はCO₃²⁻によって制限されています。新たにできたH⁺と結合して、CO₃²⁻がHCO₃⁻になるからです（図1）。従って、海洋が酸性化すると、

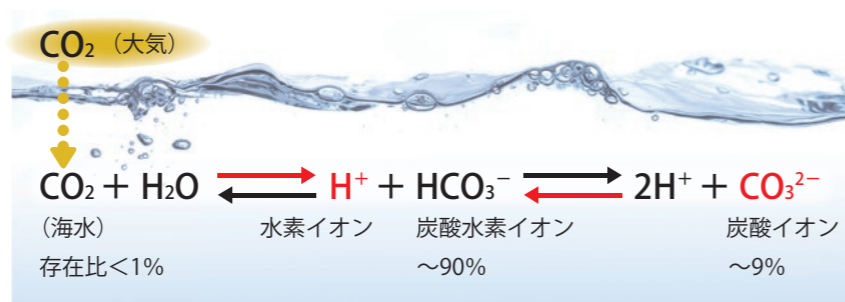
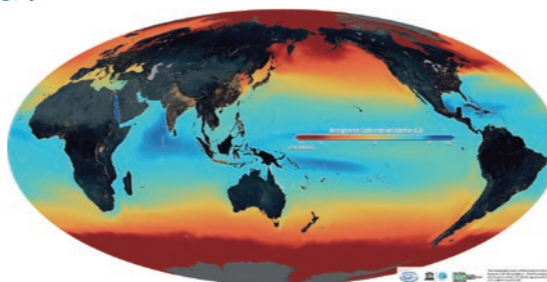


図1：海洋酸性化に関わる化学反応式

図2：2100年におけるアラゴナイト飽和度の分布予測

大気中の二酸化炭素濃度が640ppmになった場合の予測。濃い赤は飽和度が1以下になる海域で、生物はアラゴナイトの殻や骨格をつくることができなくなる。

出典：IGBP、IOC、SCOR (2013)



大気中の二酸化炭素濃度が高くなると、地球温暖化だけでなく、海洋酸性化が起こります。海洋酸性化によって炭酸カルシウムの殻や骨格を持つ海洋生物が生育しづらくなると危惧されていますが、その影響を実海域において定量的に示した例はほとんどありません。

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、西部北太平洋亜寒帯域で1997年から年数回、また津軽海峡に面しているむつ研究所では2014年から毎週1回、

酸性化に関わる項目などの観測を行っています。それらの観測から分かってきた海洋酸性化の進行とその影響を解説します。

CO₃²⁻濃度も低下するのです。

貝類の殻やサンゴの骨格は炭酸カルシウム（CaCO₃）からできています。CaCO₃は、カルシウムイオン（Ca²⁺）とCO₃²⁻が結合したものです。海水中のCO₃²⁻濃度が低下すると、CaCO₃が溶けやすくなります。そのためCaCO₃の殻や骨格を持つ生物は生育が阻害されたり、生息域が減少したりすると危惧されています。

では、CO₃²⁻濃度がどこまで低下すると、CaCO₃の殻がつかりにくくなっていくのでしょうか。その指標が「炭酸カルシウムの飽和度（Ω）」です。飽和とは、液体に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います。CaCO₃が飽和状態になる濃度は、海水の温度、塩分、圧力から求められます。実際のCO₃²⁻濃度を飽和CO₃²⁻濃度で割った値が、おおよそCaCO₃の飽和度になります。

飽和度が1より大きければ、海水中にCO₃²⁻が十分にある状態なので、CaCO₃の殻をつくれます。1より小さければ、海水中にCO₃²⁻が不足していてCO₃²⁻が溶けやすい状態なので、CaCO₃の殻をつくることができただけでなく、溶解し始めてしまいます。

北の海が最初に酸性化の影響を受ける

生物がつくるCaCO₃には、結晶構造の違いによってアラゴナイトとカルサイトがあります。アラゴナイトは、カルサイトより飽和濃度が低いいため、酸性化の影響を受けやすくなっています。図2は、2100年に大気中のCO₂濃度が640ppmになるというシナリオに基づいてアラゴナイトの飽和度の分布を予測したものです。濃い赤は飽和度が1以下、つまり殻

をつくることのできない海域です。

アラゴナイトの殻をつくる生物には、ウキビシガイやミジンウキマイマイなどの翼足類がいます。サンゴの骨格もアラゴナイトです。カルサイトの殻をつくる生物には、動物プランクトンの有孔虫や、植物プランクトンの円石藻がいます。あまりなじみのない生物かもしれま

せんが、それらは食物連鎖の始まりの方に位置していたり、ほかの生物にすまかを提供していたりします。そのため、それらの生物の生育が阻害され、生息域が減少すると、影響が海洋生態系全体に及ぶ可能性もあります。

図2の予測を見ると、北極海と南極海、そして北大西洋と北太平洋の亜寒帯域



わきた・まさひろ。1975年、大阪府生まれ。博士（地球環境科学）。北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程修了。2003年、海洋科学技術センター（現 海洋研究開発機構）特別研究員。むつ研究所研究員、技術研究副主任を経て、2014年より現職。専門は化学海洋学、炭素循環。

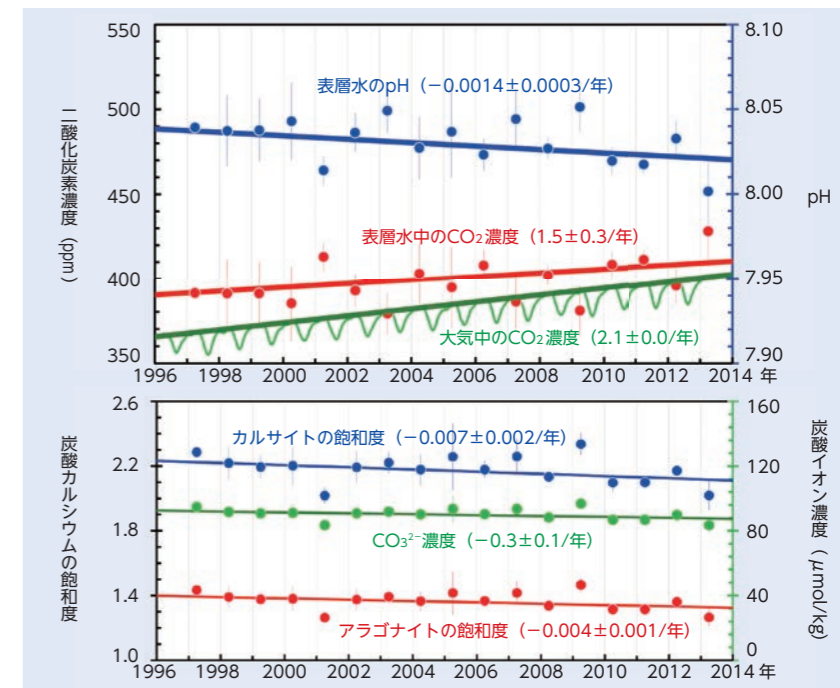


図3：西部北太平洋亜寒帯域の冬季における観測

海水中の二酸化炭素濃度が増加して、pHが低下していることから、酸性化が進行していることが分かる。炭酸イオン濃度の低下と、炭酸カルシウムの飽和度の低下も観測されている。

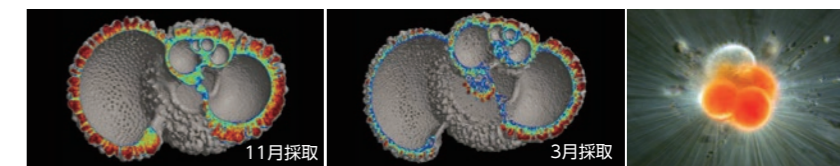


図4：有孔虫の殻の骨格密度の変化

浮遊性有孔虫のグロビゲリナ・プロイデスはカルサイトの殻を持つ。K2のセグメントトラップで採取した殻をマイクロフォーカスX線CTスキャナで解析し、骨格密度を計測した。赤いほど密度が高く、青いほど密度が低い。3月に採取された有孔虫の骨格密度は、11月に採取された有孔虫の骨格密度と比べて顕著に低下している。右は生きている有孔虫の姿。

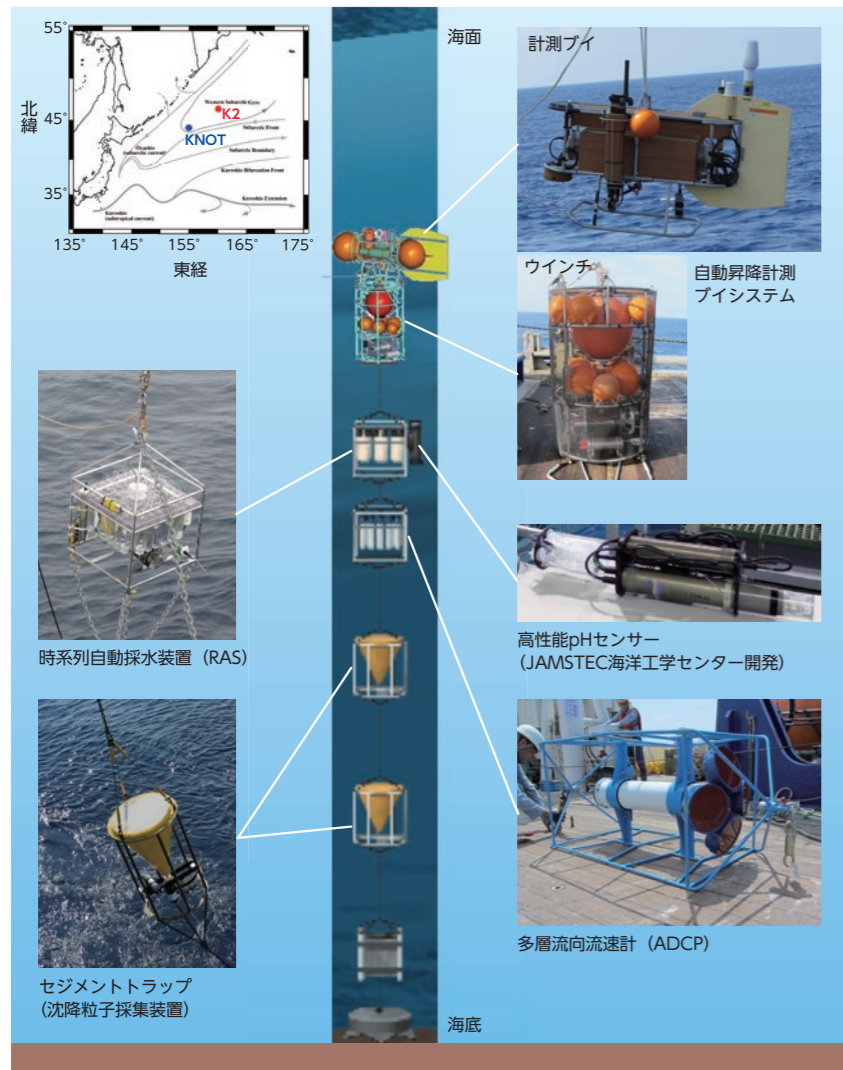


図5：ハイブリッド係留系

2015年7月にK2に設置し、観測を行っている。

データを見ると、海水中のCO₂濃度は年1.5ppmの速さで増加し、pHは年0.0014、CO₃²⁻濃度は年0.3μmol/kgの速さで低下しています(図3)。冬季の西部北太平洋亜寒帯海域では酸性化が進行していることが分かります。

アラゴナイトとカルサイトそれぞれの飽和度が1になる水深についても調べています。アラゴナイトは、1997年から変化が見られません。カルサイトは、飽和度が1になる水深が年々浅くなっています。1997年は水深200mくらいでしたが、年3mくらいの速さで浅くなり、いまでは水深150mくらいで飽和度が1になっています。CaCO₃の殻を持つ生物の生息に適した場所が少なくなっているのです。

有孔虫の殻の骨格密度が低下

JAMSTEC地球環境観測研究開発センター海洋生態系動態変動研究グループ主任技術研究員の木元克典さんとの共同研究で、酸性化が生物に及ぼす影響を調べています。浮遊性有孔虫のグロビゲリナ・プロイデスは0.4mmほどで、カルサイトの殻を持ち、100mより浅いところに生息しています。水深150m、550m、1,000mにセジメントトラップという装置を設置して、死んで沈んでくるこの有孔虫を採取しました。セジメントトラップとは、ふたの付いた大きなじょうごのようなもので、沈降してくる粒子を期間ごとに分別して採取することができます。

採取した有孔虫の殻をマイクロフォーカスX線CTスキャナで解析して、骨格密度を計測しました。すると、1~4月に採取された有孔虫の骨格密度は、ほかの時期に採取された有孔虫と比べて顕著に低



例年の冬



2014年冬の異常低温時

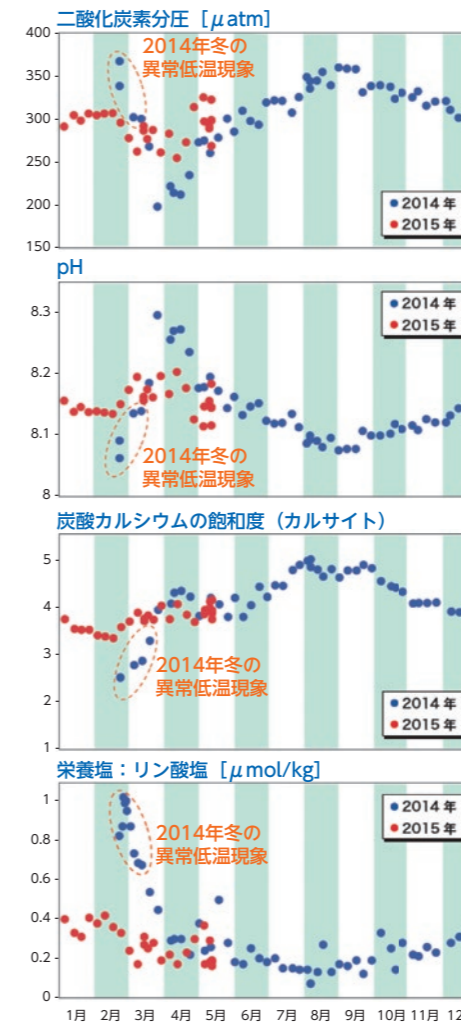


図6：2014年冬の津軽海峡の異常低温と酸性化

沿岸親潮が例年より津軽海峡の奥に入り、また津軽暖流が弱く流れていた。2014年冬と2015年冬に採取した海水を比べると、二酸化炭素濃度が高く、pHと炭酸カルシウムの飽和度が低下していることから、この海域が突発的に酸性化された環境下にあったと考えられる。

ニズムははっきりしませんが、北から来る沿岸親潮が例年より津軽海峡の奥に入ってきたためです(図6左)。

この異常低温を機に、海水中のCO₂濃度やpH、CaCO₃の飽和度の観測を週1回の頻度で開始しました。2015年冬のデータを平年値と仮定すると、2014年冬の異常低温時はCO₂濃度が高く、pHとCaCO₃の飽和度が低下していました(図6右)。2014年冬に接岸した海水は、例年の津軽暖流の海水に比べて酸性度が進んだ海水だったことになります。これは、この海域が突発的に酸性化された環境下にあったことを意味しています。ただし、観測データが不足しているため、経年的な酸性化を検出するには至っていません。今後も観測を継続することが必要です。

2014年はホタテやアンコウなど底生生物が不作でした。低水温の影響が大きいと思われるが、pHとCaCO₃の飽和度の低下の影響がないともいえません。しかし豊富な栄養分を含む沿岸親潮が入ってきたことで栄養塩は増加し、生物生産は高くなっている可能性もあることから、そう単純ではないかもしれません。木元さんとの共同研究で、マイクロフォーカスX線CTによってホタテの殻の骨格密度を計測して酸性化との関連を明らかにしようという試みも進めています。

酸性化の進行や生物への影響を正しく捉えるには継続した観測が必要です。西部北太平洋亜寒帯海域のK2とKNOTは酸性化研究の国際観測ネットワークGOA-ONに、むつ研究所の観測点は日本沿岸酸性化モニタリングネットワークに登録されています。それらの観測によって海洋酸性化の進行とその影響の把握に貢献していきたいと思っています。BE

で、アラゴナイトの飽和度が1以下になっています。これらの海域は、水温が低く、もともとCO₃²⁻濃度が低いため、早く影響を受けやすいのです。しかし、これまでの観測はハワイ沖やバミューダ沖、カナリア諸島沖など亜熱帯海域が中心で、海洋酸性化の影響を真っ先に受ける亜寒帯海域ではほとんど行われていませんでした。

注視すべきは冬季の北太平洋

海洋酸性化の状態や生物への影響を捉えるには、いち早く影響を受ける亜寒帯域での観測が不可欠です。そこで私は、北海道大学の学生だった1997年から北太平洋の西部亜寒帯循環と呼ばれる海域で観測を行っています。そこは世界有数の生物生産の高い海域で、私たちの食卓に上がるサンマやサケもこの海域を回遊して成長します。水産資源の面からも重要な海域です。

この海域には、「KNOT」と「K2」と

いう2つの観測点があります(図5)。観測船で行き、採水して水温、塩分、溶存酸素、栄養塩、全溶存無機炭素、アルカリ度、pH、CaCO₃の飽和度などを測定します。

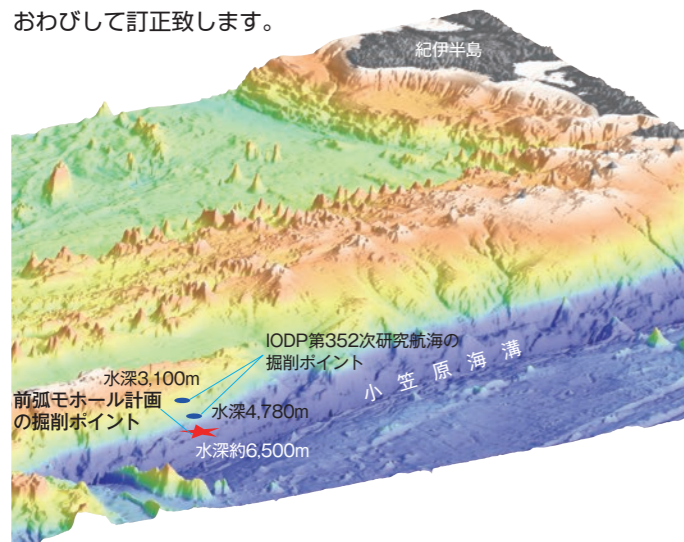
それらの表層の値には季節変化があります。西部北太平洋亜寒帯海域の場合、春季には生物の活動が活発になり、光合成のために海水中のCO₂を取り入れます。その結果、海水のCO₂濃度は低くなり、pHは上がります。

冬季には、低い気温と強い風によって表層の海水が冷却され、密度が大きくなって深くまで沈み込みます。それに伴って深いところの海水が湧き上がり、鉛直混合が起きます。深いところにある海水は、CO₂濃度が高くなっています。それが上がってくるので表層の海水のCO₂濃度は高くなり、pHが低くなります。そのため、亜寒帯域では冬季が酸性化の影響を最も受けやすい時期になります

1997年から2013年までの冬季の観測

おわびと訂正

『Blue Earth』145号、11ページ下図「小笠原海溝の前弧モホル計画の掘削ポイント」に示した掘削ポイントに誤りがありました。おわびして訂正致します。



『Blue Earth』定期購読のご案内

<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メールまたは電話でお申し込みください。
Eメールの場合は、①～⑥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(フリガナ) ③ 所属機関名(学生の方は学年) ④ TEL・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
*購読には、1冊本体286円+税+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けます)。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 広報部 広報課
TEL.045-778-5378 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(148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案内

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



*お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、国立研究開発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。

賛助会(寄付) 会員名簿 2016年12月9日現在

国立研究開発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	オフショアエンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	海洋エンジニアリング株式会社
株式会社アイケイエス	海洋電子株式会社
株式会社アイフエンタープライズ	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アクト	鹿島建設株式会社
朝日航洋株式会社	川崎汽船株式会社
アジア海洋株式会社	川崎近海汽船株式会社
株式会社天野回漕店	川崎重工業株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタント	川崎地質株式会社
株式会社安藤・間	株式会社環境総合テクノス
泉産業株式会社	株式会社キュービック・アイ
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立インシュアランス・ブローカーズ
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	株式会社
潮冷熱株式会社	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東貿易株式会社
株式会社エスイーシー	株式会社きんでん
株式会社SGKシステム技研	株式会社熊谷組
株式会社工ヌエルシー	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社グローバルオーシャン
株式会社NTTデータCCS	ティベロップメント
株式会社NTTファシリティーズ	株式会社KSP
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	KDDI株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	京浜急行電鉄株式会社
株式会社OCC	鉱研工業株式会社
株式会社オキシテック	株式会社構造計画研究所
沖電気工業株式会社	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
国際石油開発帝石株式会社	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
国際ビルサービス株式会社	第一設備工業株式会社
コスモス商事株式会社	大成建設株式会社
株式会社コノエ	大日本土木株式会社
株式会社コベルコ科研	ダイハツディーゼル株式会社
五洋建設株式会社	太陽日酸株式会社
株式会社コンボン研究所	有限会社田浦中央食品
相模運輸倉庫株式会社	高砂熱学工業株式会社
佐世保重工業株式会社	株式会社竹中工務店
三建設工業株式会社	株式会社地球科学総合研究所
三洋テクノマリン株式会社	中国塗料株式会社
JFEアドバンテック株式会社	中部電力株式会社
株式会社JVCケンウッド	千代田化工建設株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ	株式会社鶴見精機
シチズン時計株式会社	株式会社テザック
シナネン株式会社	寺崎電気産業株式会社
株式会社シーフロアーコントロール	電気事業連合会
清水建設株式会社	東亜建設工業株式会社
シモダフランチ株式会社	東海交通株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
シュルンベルジェ株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
株式会社昌新	東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社商船三井	株式会社東京チタニウム
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	東北環境科学サービス株式会社
須賀工業株式会社	東洋建設株式会社
鈴与株式会社	株式会社東陽テクニカ
セイコーウオッチ株式会社	トビー工業株式会社
石油資源開発株式会社	新潟原動機株式会社
セコム株式会社	西芝電機株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社	株式会社ニシヤマ

日油技研工業株式会社	古河機械金属株式会社
株式会社日産電機製作所	古河電気工業株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	古野電気株式会社
株式会社日放電子	株式会社ベッツ
日本アキュムレータ株式会社	松本徽章株式会社
日本SGI株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本エヌ・ユー・エス株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海工株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
日本海洋株式会社	株式会社マルトー
日本海洋掘削株式会社	三鈴マシナリー株式会社
日本海洋計画株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
日本海洋事業株式会社	三井造船株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三菱重工業株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱スぺース・ソフトウェア株式会社
日本水産株式会社	三菱電機株式会社
株式会社日本製鋼所	三菱電機特機システム株式会社
日本電気株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本マントル・クレスト株式会社	株式会社モンベル
日本無線株式会社	八洲電機株式会社
日本郵船株式会社	ヤンマー株式会社
株式会社ハイドロシステム開発	郵船商事株式会社
濱中製鋼工業株式会社	郵船ナブテック株式会社
ハリマ化成株式会社	株式会社ユー・エス・イー
東日本タグボート株式会社	ヨコハマゴム・マリン&
日立造船株式会社	エアロスペース株式会社
深田サルベージ建設株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
株式会社フグロジャパン	株式会社ラジアン
株式会社フジクラ	
富士ソフト株式会社	
富士電機株式会社	

国立研究開発法人海洋研究開発機構の事業所

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)
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)
むつ研究所	〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL. 0175-25-3811 (代表)
高知コア研究所	〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL. 088-864-6705 (代表)
東京事務所	〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル23階 TEL. 03-5157-3900 (代表)
国際海洋環境情報センター	〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111 (代表)

海と地球の情報誌 Blue Earth

第28巻 第6号(通巻146号) 2016年12月発行

発行人 田代省三 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
編集人 松井宏泰 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
Blue Earth 編集委員会

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(p20-23)、鈴木志乃(p1-19、p28-31、裏表紙)
岡本典明/ブックブライツ(p24-27)
デザイン 株式会社デザインコンビビア
(飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三)

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。

小型自律型無人潜水機の試作機「RAIV」(左)と、自律航走中に撮影された海氷下の様子。RAIVは全長約1.9m、重量27kg程度で、2人で投入・回収ができる。最大潜航深度は200m、航走可能時間は最大9日間。

Pick Up
JAMSTEC

北極海で海氷下の自律航走と撮影に成功

この神秘的な写真は、北極海の海氷の下を撮影したものだ。海氷の裏側の複雑な形状やクシクラゲの姿が捉えられている。撮影したのは、海洋研究開発機構（JAMSTEC）北極環境変動総合研究センターが開発した小型自律型無人潜水機の試作機「RAIV」である。

北極は地球温暖化の影響が最も顕著に表れる地域であり、その変化は地球全体の気候変動に影響を与える。そのため、北極に起きている変化をいち早く捉え、そのメカニズムを理解し将来を予測することが、人類の緊急かつ重要な課題になっている。そこでJAMSTECでは、海氷に覆われた海域での観測が可能な自律型無人潜水機（AUV）の実現を目指し、2015年10月から試作機の開発に着手。そして国内の10社以上の協力を得てRAIVを開発し、2016年8～10月に行われた海洋地球研究船「みらい」による北極海における研究航海において試験観測を実施した。

RAIVは、海氷が漂う北極海において、あらかじめ設定したシナリオに沿って自律航走して戻ってくることに成功。航走中には塩分・水温・深度などの観測データを取得し、海氷下の映像の撮影にも成功した。いずれも日本初の成果である。

試験観測で得られた知見を生かし、また明らかになった課題の解決を図り、本格的な海氷下観測が可能なAUVの開発を進めていく。

RAIVが航走中に撮影した映像をJAMSTECのウェブサイトで見ることができます。

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161124/



JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY



定価 本体286円+税