

海と地球の情報誌

Blue Earth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2008 3-4

ISSN 1346-0911

2008年3月発行

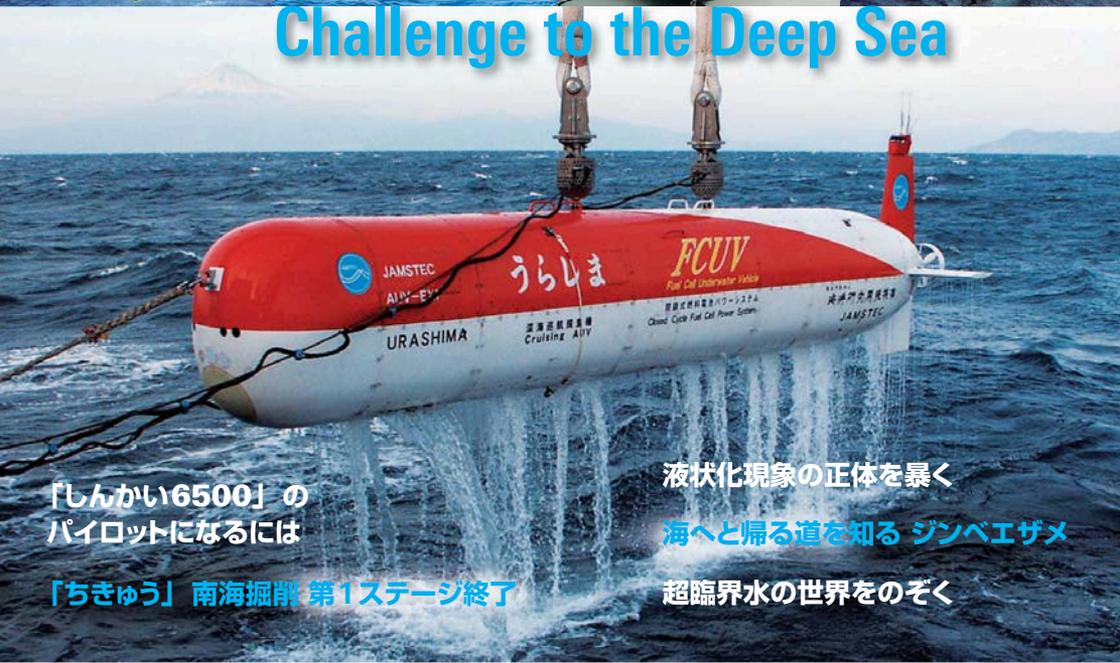
隔月刊8回発行

第20巻 第2号

(通巻94号)

深海に挑む

Challenge to the Deep Sea



「しんかい6500」の
パイロットになるには

「ちきゅう」南海掘削 第1ステージ終了

液状化現象の正体を暴く

海へと帰る道を知る ジンベエザメ

超臨界水の世界をのぞく

1 **Close Up**
「ちきゅう」がプレート境界の試料を手に入れた

2 **特集**
深海に挑む
Challenge to the Deep Sea

18 **Aquarium Gallery**
いおワールドかごしま水族館
海へと帰る道を知る——ジンベエザメ

20 **私が海を目指す理由**
「しんかい6500」のパイロットになるには
柳谷昌信 海洋工学センター 応用技術部 技術副主任

24 **研究の現場から**
超臨界水の世界をのぞく高温・高圧顕微鏡

26 **Marine Science Seminar**
砂上の楼閣は本当に危ないのか？
液状化現象の正体を暴く

30 **新日本八景 第3景**
相模湾八景 其の三 熱川沖の長大溶岩流
藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

32 **BE Room**
JAMSTEC BOOK 始めました
「Blue Earth」定期購読のご案内
JAMSTECメールマガジンのご案内

裏表紙 **Earth Watch**
「しんかい6500」の仕事を訪ねて

断層

Close Up

「ちきゅう」が プレート境界の 試料を手に入れた

紀伊半島沖の南海トラフでは、フィリピン海プレートが陸側のプレートを引きずりながら沈み込んでいる。地球深部探査船「ちきゅう」は、2007年9月21日から2008年2月5日までの138日間、その南海トラフで掘削を続けてきた。

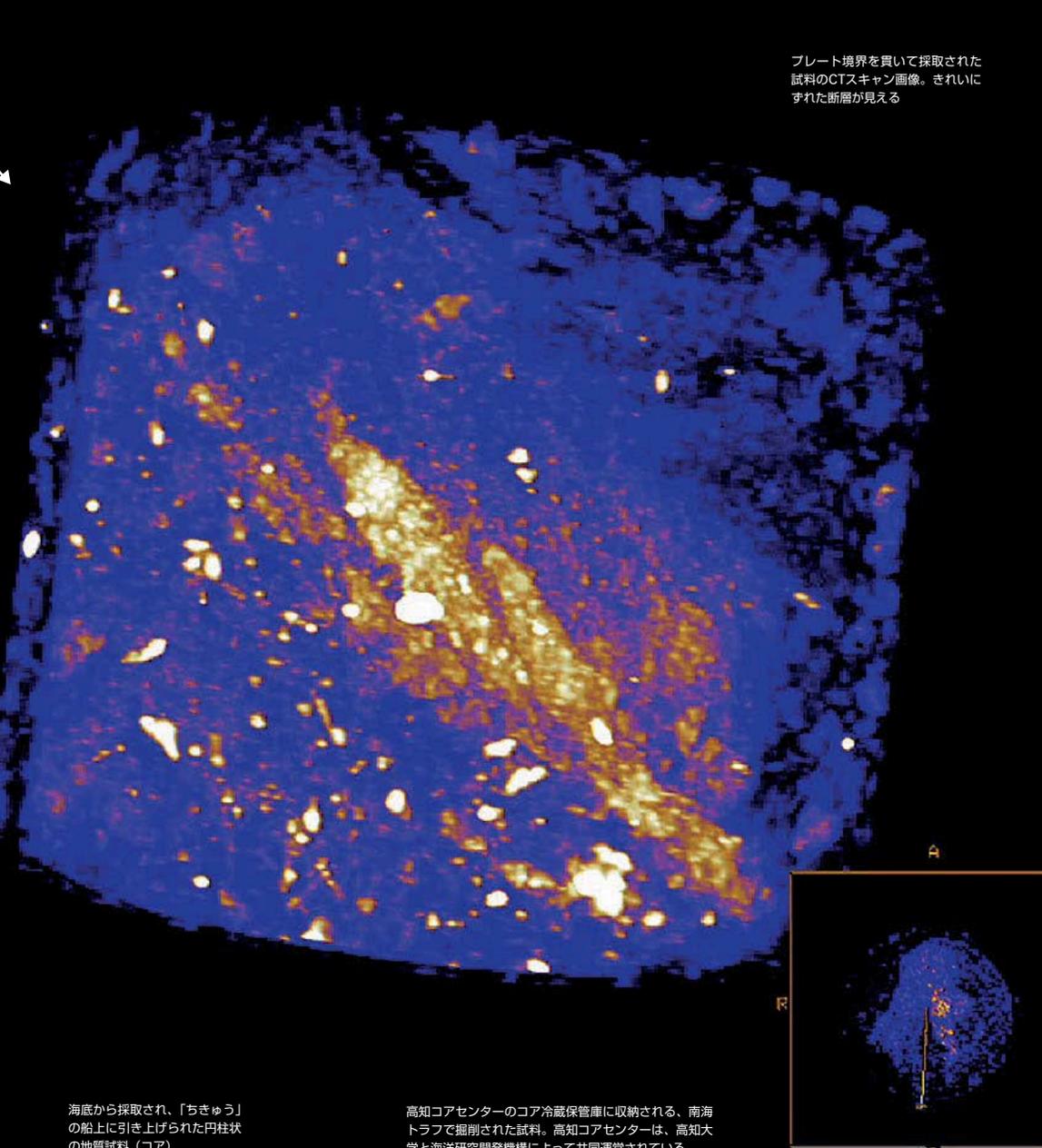
プレート境界では、次第にひずみがたまっていき、耐え切れなくなると一気に滑って巨大地震が発生する。海底約6,000mにある地震発生帯まで掘り進み、その試料を手にし、地震発生メカニズムを明らかにすること。それが、「ちきゅう」が行っている「南海トラフ地震発生帯掘削計画」（南海掘削）の目的だ。計画は5年以上に及び、4つのステージに分かれている。今回は第1ステージで、連続した3つの研究航海からなる。

第1次研究航海（9月21日～11月15日）では、8地点で浅い掘削を行った。その際、ドリルパイプの先端にセンサーを取り付け、掘削しながら地層の密度や音波が伝わる速度、温度などを調べた。より深くまで安全に掘削するためには、地質の状態を知ることは重要だ。第2次研究航海（11月16日～12月18日）では、最大1,057mまで掘削し、初めての試料採取が行われた。

そして第3次研究航海（12月19日～2月5日）で、浅いところにあるプレート境界を貫いて掘削し、試料を採取することに成功。試料が船上に引き上げられると、すぐにCTスキャンにかけられ、内部構造が調べられる。その結果、断層が浮かび上がってきた。プレート境界の試料を手にしたのは世界で4例目だが、これほどきれいにすれた断層が確認されたのは初めて。この試料を詳しく調べることで、どのくらい大きさ、方向の力が、いつ、どのような速度でかかったかが明らかになる。それは、地震の発生メカニズムを知る重要な情報だ。

「ちきゅう」は2月5日に和歌山県の新宮港に入港、船内などの一般公開も行われた。「ちきゅう」は休む間もなく、13日には高知新港に入港。採取した試料を高知コアセンターに運ぶためだ。合わせると長さ約2,200mにもなる試料は、コア冷蔵保管庫に収められた。4℃に保たれた部屋で、試料は自らに刻み込まれたメッセージが読み解かれる日を静かに待つ。

一方、高知新港を出た「ちきゅう」は、長崎県佐世保港に入り、船体の点検などを行う中間検査工事を受けている。そして予定では12月、再び南海トラフへ。



プレート境界を貫いて採取された試料のCTスキャン画像。きれいにすれた断層が見える

海底から採取され、「ちきゅう」の船上に引き上げられた円柱状の地質試料（コア）

高知コアセンターのコア冷蔵保管庫に収納される、南海トラフで掘削された試料。高知コアセンターは、高知大学と海洋研究開発機構によって共同運営されている



深海に挑む

Challenge to the Deep Sea

「深海は面白いだよ」

これは、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 海洋工学センターの宮崎武晃センター長の言葉。これまでに多くの人が海に魅せられ、深海を目指してきました。

しかし、深海に行き、そこで探査活動をするには、強大な水圧、暗黒、電波が使えないなど、さまざまな困難が立ちはだかっています。

人類はいかにして、その困難を克服してきたのでしょうか。

有人深海探査の歴史、JAMSTECが世界に誇る最先端の深海探査技術、そして深海に挑む人々の夢を紹介しましょう。



©Uniphoto Press

「バチスカーフ」(FNRS 3)

「バチスカーフ」(FNRS 2)は、物理学者オーギュスト・ピカールがベルギー国立学術研究財団 (FNRS) の支援で製作。1948年、最初の無人潜航後、海面でしけにより大破。同じ耐圧殻を使いフランス海軍が建造した「FNRS 3」により、1954年に4,050m潜航

著作権により不掲載

「バチスフェア」

生物学者ウィリアム・ビービ (左) と技術者オーティス・バートン (右) が製作。1930年に435m、1934年に923mの潜航。写真は1934年の潜航時のもの



出典：『新造船写真史』三菱重工株式会社横浜造船所 編

「西村式豆潜水艇2号」

実業家の西村一松が製作。1935年完成、最大潜航深度300m。マニピュレータ、観測窓、投光器、水中電話を装備



「トリエステ」

オーギュスト・ピカールと息子のジャックが製作。1960年1月23日、マリアナ海溝チャレンジャー海淵1万916mまで潜航。写真は、ジャックが1996年7月18日にJAMSTECを訪問した際、筆者がサインしてもらったもの。「トリエステ」の記録達成年を間違えて記入している

人類の挑戦はこうして始まった

執筆 田代省三 海洋地球情報部 広報課 課長

■パイオニア

紀元前300年ごろ、世界征服を成し遂げたアレキサンダー大王がガラスの樽に乗り、海中探検を行ったという伝説がありますが、一般的に最初の深海調査は、アメリカの生物学者ウィリアム・ビービの潜水球「バチスフェア」によるものといわれています。ビービは、1930年に435m、1934年に923mの潜航を行い、名著『Half Mile Down』をまとめました。

実は、世界初の深海探査が行われた前年の1929年、日本で画期的な潜水船が誕生していました。実業家・西村一松が私財を投じて建造した「西村式豆潜水艇」です。この潜水船は、母船からケーブルでぶら下げられていた「バチスフェア」とは違い、自航式潜水船です。最大潜航深度は200m。その後、1935年に、マニピュレータまで装備した「西村式豆潜水艇2号」を建造。最大潜航深度は300mで、本州と九州を結ぶ関門トンネル建設の地質調査などに活躍したという記録があります。

有人深海調査のパイオニアである「バチスフェア」と「西村式豆潜水艇」。どちらも偉大な潜水船ですが、特に「西村式豆潜水艇」は、その先進性において、そして日本人が深海調査のパイオニアであったことを証明する意味でも貴重な潜水船です。

■最深部へ

1931年、スイスの物理学者であるオーギュスト・ピカールは、宇宙線の研究のため、気密構造のゴンドラを持つ気球で1万5781mの成層圏まで行き、最高到達記録保持者となりました。1933年、米国シカゴで開催された万国博覧会では、ビービの「バチスフェア」とピカールのゴンドラが上下に並んで展示されました。博覧会を訪れたピカールは、「バチスフェア」を見て驚きました。「何と原始的な乗り物なんだ。私なら……」。これが、有名な有人潜水船「バチスカーフ」の誕生につながったといわれています。

気球を知り尽くしているピカールは、その原理をすべて海中に当てはめました。内圧を保つ構造のゴンドラは、強大な外圧に耐える耐圧殻になり、水素ガスを詰めた大きな風船は、海水より軽いガソリンのタンクになりました。基本構造にとどまらず、円錐形のアクリル製の窓、油漬け均圧構造の電池、モーターなど、現在の潜水船の基本技術は、すべてピカールの発明です。ピカールはこの潜水船を「バチスカーフ」と呼びましたが、正式には、資金を出したベルギー国立学術研究財団 (FNRS) にちなんで、「FNRS 2」(「FNRS 1」はピカールの気球) と名付けられました。「FNRS 2」は1948年、最初の無人潜航後、残念ながら海面でしけにより大破してしまいました。その後、フランス海軍によって「FNRS 3」として完成しています。

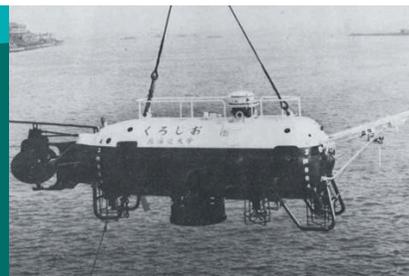
ピカールはまた、息子のジャックとともに「トリエステ」を新たに建造。「トリエステ」は1960年1月23日、アメリカ海軍のもとでマリアナ海溝チャレンジャー海淵1万916mの潜航に成功。ここに、深海への最深記録挑戦の時代は幕を閉じました。

人類の挑戦はこうして始まった

■日本発

海外の潜水船が地球上で最も深い場所への到達を競っていたころ、日本は大陸棚調査を考慮した実用潜水船を建造していました。1951年、北海道大学水産学部の井上直一教授は、ケーブルでぶら下げられた潜水探測機「くろしお号」を完成。最大潜航深度200mを記録しています。ちなみに、この「くろしお号」での調査で北海道大学の鈴木昇氏が海中の混濁物を「マリンスノー」と命名しました。

「くろしお号」は1960年に耐圧殻の拡張を行い、自航式の研究用潜水艇「くろしおⅡ号」に進化しました。「くろしおⅡ号」は、初代同様にケーブルでつながれてはいましたが、電源供給と通信用だけの細いケーブルなので、中性浮力（船体が浮きも沈みもしない状態）になって水中を自由に動くことができました。井上教授の回顧録には、



「くろしおⅡ号」

北海道大学。1960年完成、最大潜航深度200m。水中を自由に動けるアンビリカル（へその緒）ケーブルを使用

「海底を航走するのは障害を伴うのではないかと疑問視する人もいる。（中略）この“へその緒”式の潜水艇は、少なくとも大陸棚以浅の調査研究には最適といえよう」と記されています。

現在の無人探査機の基礎技術であるアンビリカル（へその緒）ケーブルが日本人の発明である点は、特筆に値します。

■4強時代到来

1964年、アメリカのウッズホール海洋研究所は、「バチスカーフ」のガソリンに換えて新しい浮力材シタクティックフォームを使った潜水船「アルビン」を完成させました。ガソリンの比重は約0.75ですが、シタクティックフォームは約0.5なので、飛躍的に小型化することができました。「アルビン」は、「しんかい6500」にも通じる“近代潜水船の祖”であり、また、その後の改造を経て現在でも活躍しています。最大潜航深度は、当初1,829m、現在は4,500mです。

1980年代、世界の深海を目指す国々は、6,000mを目標に潜水船の開発を行いました。まず1984年、フランスの「ノチール」が完成。アメリカは1985年、「シーグリフ」を6,096mまで潜航可能な潜水船に改造（1999年に退役）。ロシアは1987年、「ミールⅠ&Ⅱ」を完成させました。そして1989年、日本は最大潜航深度6,500mの「しんかい6500」を完成。世界の海に6,000m級有人潜水船が5隻も活躍することになりました。

■次世代へ

戦後の日本の主な潜水船は、1951年の「くろしお号」に始まり、1960年に自航式に改造された「くろしおⅡ号」、1964年「よみうり号」（最大潜航深度300m）、1969年「しんかい」（同600m）、1971年「はくよう」（同300m）と続きます。そして1981年には、日本で初めてシタクティックフォームを使った潜水調査船「しんかい2000」（同2,000m）をJAMSTECが建造。その技術を基礎に1989年、「しんかい6500」が完成しました。このように日本は戦後、およそ10年以内の間隔で新しい潜水船をつくってきました。

深海潜水船の建造は、日本人がバイオニアです。そして、「しんかい6500」に代表される世界一の技術力を持つに至りました。私たち日本人には、偉大な先達の熱意と努力に感謝するとともに、この世界一の技術を次の世代に伝える義務があります。

「しんかい6500」は完成後、はや18年を迎えました。

参考文献：
「潜水艇くろしお号」
井上直一教授退官記念誌
「Manned Submersibles」
R. Frank Busby
「驚異の深海海」
日下実男

船名	アルビン	ノチール	ミールⅠ&Ⅱ	しんかい6500	船名
完成年	1964	1984	1987	1989	完成年
船籍	アメリカ	フランス	ロシア	日本	船籍
最大潜航深度 (m)	4,500	6,000	6,000	6,500	最大潜航深度 (m)
重量 (トン)	17	19.5	18.6	26.0	重量 (トン)
全長×全幅×高さ (m)	7.1×2.6×3.7	8.0×2.7×3.81	7.8×3.6×3.0	9.5×2.7×3.2	全長×全幅×高さ (m)
定員(パイロット+オブザーバー)	1+2	2+1	2+1 (1+2)	2+1	定員(パイロット+オブザーバー)
耐圧殻 材質	Ti-6Al-2Cb-1Ta-0.8Mo	Ti-6Al-4V	Maraging鋼	Ti-6Al-4V Eli (Extra Low Interstitial: 極低不純物)	耐圧殻 材質
内径 (m)	2.1	2.1	2.1	2.0	内径 (m)
接合方式	赤道溶接	半球スリング留め	半球ボルト留め	赤道溶接 (電子ビーム溶接)	接合方式
電池方式	鉛電池	鉛電池	ニッカド電池 (100kWh)	リチウムイオン電池	電池方式
推定容量	480Ah	390Ah	(100kWh)	800Ah	推定容量
海水ポンプ	有	無	有 10リットル / 分	有 6リットル / 分	海水ポンプ
ライフサポート	216時間 (72時間 / 人)	360時間+ (120時間 / 人)	246時間 (82時間 / 人)	387時間 (129時間 / 人)	ライフサポート
特徴	ブラシレスモーター駆動の小型スラストを6基装備	縦長の独特な形状	2船で行動 ウォーターパラスト 大型の窓 (直径200mm)	リチウムイオン電池	特徴
利点など	小型で運動性能は最もよい 現代の潜水船の元祖	下降・上昇の抵抗が少ない	いざというときの救難機 他方の潜水船を海中で撮影可 投光器用アームを装備 省エネルギー、長時間の潜航を実施	耐圧殻は世界一 (真球度1.004) カラーの水中画像伝送装置を装備	利点など

早わかり！ JAMSTECの深海探査機と活動の現場

■有人潜水調査船 (HOV: Human Occupied Vehicle)

人が搭乗して深海を探索します。JAMSTECでは、2,000mまで潜ることができる「しんかい2000」が1981年に完成しました。1,411回の潜航を行い、2004年3月に引退。現在は、1989年に完成した「しんかい6500」が活躍しています。

有人潜水調査船「しんかい6500」

1989年に潜航深度6,527mを達成（建造メーカーによる公式試運転潜航）。現存する有人潜水船のなかで、最も深くまで潜ることができます。2007年3月6日、1,000回潜航を達成。これまでに延べ800人を超える研究者が乗船し、写真21万枚、ビデオ3,700本以上の撮影を行っています。



日本海溝海側斜面で海底の 裂け目を発見

三陸沖の日本海溝では、太平洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいて、ひずみがたまるとう巨大地震が発生します。この亀裂は、まさに地震が起きた現場だと考えられています。1991年、水深6,270mで撮影。



硫化鉄のうろこを持つ巻貝を採取

インド洋中央海嶺の巨大なブラックスモーカー近くで、硫化鉄のうろこを持つ巻貝「スケリーフット」を採取。2006年、水深2,443mで撮影。有人潜水船として初めてインド洋で潜航調査を行ったのも「しんかい6500」です。1998年のこと。

HOV

ROV



無人探査機「かいこう7000 II」

2003年にビークルを失った1万m級無人探査機「かいこう」のランチャーと、7,000m級細径光ファイバー式無人探査機「UROV7K」を一体化して「かいこう7000」が誕生。マニピュレータの増設や推進力の増強などの改造を行い、2006年から「かいこう7000 II」として運用しています。世界トップレベルの7,000mまで潜航可能。



世界最深部に到達、泥を採取

初代の「かいこう」は1996年2月、水深1万898mのマリアナ海溝チャレンジャー海淵で微生物を含む海底堆積物の採取に成功。1万mを超える深海底から堆積物を採取したのは世界で初めて。

深海生物をクリアに撮影

超高感度ハイビジョンカメラにより、深海生物の映像を高画質で多数撮影しています。撮影されたハイビジョン画像は光ファイバーを通してリアルタイムで伝送することができます。写真はカプトクラゲの仲間。



3,000m級無人探査機「ハイバードルフィン」

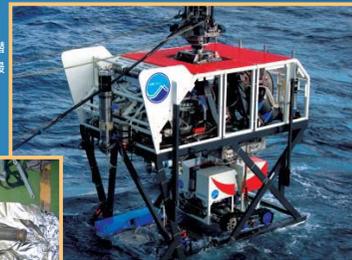
超高感度ハイビジョンカメラを搭載し、海底からサンプルを採取できるマニピュレータ2基を備えています。3,000mまでの潜航が可能。

大深度小型無人探査機「ABISMO」

2007年12月9日、伊豆・小笠原海溝において試験潜航を行い、潜航深度9,707mを達成。現在、世界で最も深くまで潜航できる探査機です。

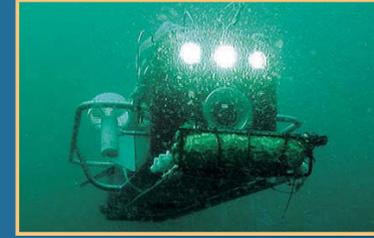
深海底からの 堆積物採取も可能に

「ABISMO」は、大深度でも海底の堆積物を円柱状に採泥することができます。写真は、伊豆小笠原海溝水深9,760mの海底から採取された海底堆積物。



■無人探査機

無人で深海を探索します。母船とケーブルでつながっていて遠隔操作によって航行する「遠隔操作型」(ROV: Remotely Operated Vehicle)と、動力源を内蔵し探査機に搭載したコンピュータによって自律的に航行する「自律型」(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)に大きく分けられます。ROVには、「かいこう7000 II」「ハイバードルフィン」「ディーブ・トウ」「ABISMO」「PICASSO」などがあります。AUVには「うらしま」や「MR-X1」などがあります。



深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」

ハイビジョンカメラや深海現場調査用実体顕微鏡（ビジュアル・プランクトン・レコーダー：VPR）、高輝度ライトなどを搭載することができます。プランクトンなどの深海生物を高解像度で撮影します。小型船舶にも搭載できるので、機動性に優れています。

小さく透明なプランクトンも鮮明に撮影。プランクトンはセラチン質のものも多く、ネットなどで採取すると体が壊れてしまうため、研究ができていません。ビジュアル・プランクトンレコーダーによって、透明なプランクトンも水中ではっきりと撮影することが可能に。



AUV

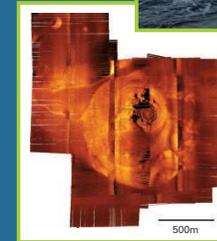


深海巡航探査機「うらしま」

機体に内蔵したコンピュータにあらかじめ入力したシナリオに従って、自分の位置を計算しながら航走します。2005年2月28日には、閉鎖式燃料電池システムを用いて連続航走距離317kmを達成。これは、現在でも巡航探査機の世界記録です。

海底を効率的に探査して地図を作成

熊野トラフにある泥火山について首尾探査を行い、詳細な地形図を作成。泥火山の山頂部分付近に噴出などの特徴とされる微細地形を発見しました。



「しんかい6500」の耐压殻に秘められた“技”を公開

取材協力 **山内 裕** ㈱MHIシーテック 社長
前田俊夫 三菱重工業㈱ 神戸造船所 潜水艦部 部長
井上和也 三菱重工業㈱ 神戸造船所 潜水艦部 次長

有人潜水調査船「しんかい6500」の定員は3人。直径2mの球形をした耐压殻たいあつこくに乗り込みます。水深6,500mでは、約680気圧に相当する水圧がかかります。これは、指先に軽自動車が1台載っているようなもの。耐压殻は、その強大な水圧に打ち勝ち、乗組員の命を守らなければならないのです。単に、潜って上がってくるだけ

なら、耐压殻をとにかく頑丈につくればいいので、それほど難しくありません。ところが、深海で探査活動をするためには、水中を自由に動き回らなければならない。そのために要求されるのが、軽くてコンパクトなこと。「頑丈」と「軽くてコンパクト」という、相反する要求を、バランスよく実現するのが非常に難しいのです。「しんかい6500」の耐压殻はいかにして、その難題を解決したのでしょうか。「しんかい6500」の建造に携わった方々に、その秘密を教えてくださいました。

有人か無人かという議論が折りに触れなされますが、両方必要なのです。自律型の無人探査艇に、必要なときだけ有人用の耐压殻をつける——そんな新しいかたちがあってもいいかもしれません。(前田)

技術にはいろいろな“島”があります。その島をつなぐことで、「しんかい6500」ができたのです。次期の有人潜水船をつくることで、島をどれだけ強つなぐことができるか。日本の真の技術力が試されます。でも、いまでもやらなければ、島ごとなくなってしまう。(山内)

“フルデプス”の有人潜水船をつくれる自信はあります。新しいことをやっていると、必ず学習せぬことが起ります。でも、そこで新しい知識を吸収し、技術レベルも上がったと実感できる。その達成感を、ぜひ多くの人に味わってほしいですね。(井上)



撮影：蓮見敦子/STUDIO CAC

有人潜水調査船「しんかい6500」

1989年建造。1990年から調査潜航を開始し、2008年3月末時点での潜航回数は1,005回、延べ800人以上の研究者を深海に運んでいます。1989年8月11日、三陸沖の日本海溝で行われた公式試運転において水深6,527mを記録。これは現有潜水船で世界一の記録です。そのとき、山内 裕氏も三菱重工業の設計責任者として乗船していました。写真は、点検・整備のために耐压殻とバラスト以外ほとんどの機器を外した「しんかい6500」。

■チタン合金で強く、軽く

「しんかい2000」の耐压殻は鉄製。「しんかい6500」では潜航深度が約3倍になるので、水圧に耐えるためには耐压殻を3倍ほど厚く、大きくする必要があります。しかし、運用の利便性から、「しんかい2000」と同じ規模にすることが求められました。鉄は無理です。そこで、当時はまだ新しい材料だったチタン合金を採用。チタン合金は、鉄より軽くて強いに、曲げたり溶接したりといった加工にも耐えられる柔軟性を持っています。耐压殻の厚さは73.5mm。

■内径はわずか2.0m

チタン合金を使用することで小型・軽量化が可能となり、耐压殻の内容を「しんかい2000」より20cmも小さくすることができました。しかし、内径2mの球に大人3人が入っている様子を想像してみてください。相当窮屈です。壁には計器類が取り付けられているので、乗組員が動けるスペースは、さらに狭くなります。次期の有人潜水船では、居住性の向上も大きな課題です。

■真球度は1.004

外からかかる圧力に最も強い形状が球形です。しかし、少しでもゆがみがあると、1点に圧力が集中し、壊れやすくなります。「しんかい6500」の耐压殻の真球度は1.004とほとんど真球に製作されており、世界最高レベルです。耐压殻には、乗組員が出入りするハッチ、観測するためののぞき窓、電線を通す穴などがあります。それらの凹凸も含めて全体が真球として扱えるように、精密な設計がなされています。



■電子ビーム溶接を採用

6,000級有人潜水船でも、「ノズル」や「ミール」は耐压殻の半球同士をボルトで留めています。「しんかい6500」は、当時最先端の技術であった電子ビーム溶接を採用しました。ボルトを使わない分軽くなり、ボルトを留めるための環り出しが必要なので耐压殻をより真球に近づけることができます。溶接後、3次元機械加工という技術によって耐压殻を仕上げます。

■信頼を勝ち取る耐压試験

耐压殻は乗組員の命を預かるので、絶対の信頼がなければなりません。実物の3分の1のサイズの耐压殻を製作し、JAMSTECの高圧実験水槽で耐压試験を行いました。水深6,500mに相当する水圧を1,500mかけても異常がないことを確認。その後、破壊するまで水圧を加える圧壊試験も行いました。耐压殻は、水深1万3000mに相当する水圧で壊れました。実物の耐压殻は、完成後アメリカの海軍の施設で、7,150mに相当する水圧をかける耐压試験を行っています。

「しんかい6500」の耐压殻ができるまで

●チタン合金の圧延板

チタン合金のなかで最も安定しているチタン6アルミニウム4バナジウム ELI (Ti-6Al-4V ELI) を使用。チタン合金を圧延し、厚さ125mm、直径3,180mm、重量4.4トンの板を2枚製作。国内で唯一、チタン合金を扱える技術を持っていたのが(株)神戸製鋼所である

●内面荒切加工

チタン合金の板を一気にプレスして半球をつくる。プレス後、熱処理によってチタン合金の性能を確保するため、温度管理は厳しく制御される。プレスによって生じた凹凸は削って表面を滑らかに仕上げる

●赤道線ぎ手の電子ビーム溶接

耐压殻を真空のチャンパー（部屋）のなかに入れ、電子ビームを照射し、発生した熱で溶接する。当時最先端の技術で、三菱重工業は電子ビーム溶接ができる数少ない企業だった

●半球完成

ハッチ、のぞき窓、電線貫通部などを開け、開口部の増厚補強を行い、半球の完成

●のぞき窓の取り付け

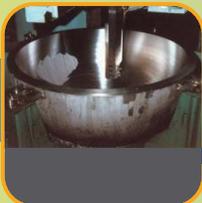
のぞき窓はメタクリル樹脂で、圧力がかかると内側へ押し込まれて密着するように円錐形になっている。内径は12cmで、耐压殻の前方と左右に計3個ある

●完成直後の耐压殻

アメリカの海軍の試験場に持ち込み、水深6,500mの1.1倍にあたる水深7,150mの水圧をかける耐压試験を行った

●耐压殻の内装

たくさんの計器類を耐压殻に取付ベースで溶接しボルトで留めると、真球度が低下するため、また耐水殻は水深6,500mで数mm幅なので、鳥かごのような枠をつくって並べる



「ABISMO」は世界最深部を狙い、「PICASSO」はプランクトンを追う

取材協力 **澤 隆雄** 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 高性能無人探査機技術研究グループ 技術研究主任
百留忠洋 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 巡航探査機技術研究グループ 技術研究主任
石橋正二郎 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 巡航探査機技術研究グループ 技術研究副主任
石渡隼也 海洋工学センター 応用技術部 探査技術グループ 技術主事

世界で一番深いところまで行きたい——JAMSTECでは、その夢をかかなるため、無人探査機を開発してきました。ここでは、JAMSTECが世界に誇る最新の無人探査機を支えるテクノロジーの数々を紹介します。

母船とケーブルでつながっている無人探査機は、「ROV」(遠隔操作型)と呼ばれます。ケーブルを介して電力が供給され、探査機は母船から遠隔操作されます。JAMSTECのROVといえば、1995年に水深1万911.4mのマリアナ海溝チャ

レンジャー海淵に到達した「かいこう」が有名です。「かいこう」の開発で培われた技術と、その開発に携わった多くの人々が失敗を繰り返しながら蓄積してきた知見から生まれたのが、大深度小型無人機「ABISMO」です。

一方、深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」は、「プランクトンを水中で鮮明に撮影したい」という一人の研究者の熱意から生まれました。

大深度小型無人機「ABISMO」

■小さく、軽く、安く

従来の深海探査機より小さく、軽く。それが「ABISMO」開発時の課題でした。強大な水圧がかかっても正常に機能することが確認できたものは耐圧容器を使わずに油漬けにするなど、部品一つ一つまで検討し、改良を加えたことで、ランチャーが飛躍的に小さく軽くなりました。探査機が小型化・軽量化することで、運用がしやすくなります。さらに、従来の大深度探査機の開発費と比べ大幅なコストダウンを実現。

■水深9,707mへ到達

2007年12月9日、伊豆・小笠原海溝で水深9,707mまでの潜航に成功。「ABISMO」は現在、世界で最も深くまで潜ることができる探査機です。



■泥の柱状試料の採取が可能に

国内外を問わずこれまでの大深度探査機にない機能。「ABISMO」に付けようと考えていたところ、最も要望が高かったのが、泥を採取する専用装置でした。「かいこう」が1996年にマリアナ海溝で泥を採取してみると、新種の微生物がたくさん見つかりました。それをきっかけに、泥の採取が重要視されるようになったのです。「ABISMO」では、80mの高さから金属製のパイプを落下させて海底に突き刺し、長さ1mの柱状の試料を採取できます。現在は、シャベルのような装置やマニピュレータを使って表層の泥を採取できるようにする計画です。

■海底をクローラーで移動

「ABISMO」のピークルには、クローラー(無限軌道)が装備されています。多くの深海探査機はスラスタ(プロペラ推進器)を使って移動しますが、平行移動は苦手です。クローラーを使うと、安定して海底を移動することができます。また、着底したピークルの姿勢が安定するので、マニピュレータなどを使った作業がやりやすくなるという利点もあります。

■中空ガラス球体 エポキシ樹脂



■浮力材を新たに開発

深海を動き回って探査するには、探査機の重量と浮力が釣り合った「中性浮力」の状態になっていなければなりません。浮力を生み出すには浮力材が使われますが、水圧に耐えられる強度が必要です。「かいこう」には、水深1万1000mの水圧にも耐えられる浮力材が使われていました。しかし、その浮力材は、製造過程で発がん性物質が発生するため、現在は製造中止になっています。そのため今回、浮力材を新たに開発。「ABISMO」に使用されている浮力材は、直径100分の数mmの中空ガラス球体をエポキシ樹脂で固めた複合材です。

■いよいよ、マリアナ海溝へ

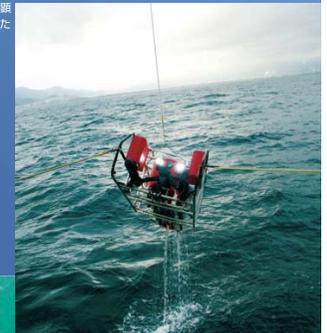
「ABISMO」開発チームの合言葉は「マリアナ海溝への挑戦!」。2003年に事故で失われた「かいこう」に代わり、世界最深部を目指すことができる探査機が欲しい。その想いでつくられたのが「ABISMO」です。2008年5月、「ABISMO」はマリアナ海溝で潜航試験を行う予定です。



深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」

■画家ピカソのように新しい見方で周りを見る

水深200~1,000mの深淵には、さまざまなプランクトンが生息しています。そのなかでもクラゲなどゼラチン質プランクトンは、体が1cmにも満たず透明で、しかも体も柔らかいため、水中で観察することもネットで捕獲することも難しく、研究が進んでいませんでした。プランクトンやマリンスノーを深海の“その場”で、高解像度で撮影できる探査機が欲しい。極限環境生物圏研究センターのドゥーグル・リンズィー研究員のそんなリクエストから、「PICASSO」は誕生しました。



深海現場調査用実体顕微鏡(VPR)を搭載した「PICASSO」

■小型で軽量

長さ2m×幅0.8m×高さ0.8m、空中での重さが200kgと、小型・軽量です。小型船舶にも搭載できるため、運用経費を減らし、その分調査の回数を増やすことができます。「PICASSO」は調査の目的に応じて、ハイビジョンカメラ、12bitデジタルカメラ、深海現場調査用実体顕微鏡、立体ハイビジョンシステムなど、搭載する観測機器を変えることができます。



■プランクトンを撮影する水中顕微鏡

「PICASSO」の注目すべき観測機器の一つが、深海現場調査用実体顕微鏡(ビジュアル・プランクトン・レコーダー:VPR)です。2本のアームの先端に光源とカメラが付いています。光がプランクトンを周囲から照らすため、透明なプランクトンの輪郭が浮かび上がります。これまで水中での撮影が難しかったプランクトンやマリンスノーを、高解像度で撮影できるようになりました。

ハイビジョンカメラを搭載した「PICASSO」

■ハイビジョンテレビカメラを搭載

小型の探査機では珍しく、ハイビジョンテレビカメラを搭載。機体が小さく、かつ母船とは直径1mmの細いケーブルでつながれているだけなので、生物を追跡しながら撮影することもできます。機体ごと動くのではなく、カメラだけが対象の生物を追跡するシステムも開発中。

■編隊観測も

小型で機動性が高いため、新しく開発した要素技術の試験機としても使えると期待されています。「PICASSO」を複数使い、編隊を組んで探査することなども考えられています。

■将来はAUVとしても

「PICASSO」は、バッテリーを探査機本体に搭載しています。母船とつながったケーブルは直径1mmほどの細い光ファイバーで、指令や映像など情報やりとりだけを行います。将来は、母船とケーブルでつながっていないAUVとしても運用する計画です。

「うらしま」は世界最長の航行距離を目指し、「MR-X1」は機動性を磨く

取材協力 澤 隆雄 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 高性能無人探査機技術研究グループ 技術研究主任
 百留忠洋 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 巡航探査機技術研究グループ 技術研究主任
 石橋正二郎 海洋工学センター 先端技術研究プログラム 巡航探査機技術研究グループ 技術研究副主任
 石渡隼也 海洋工学センター 応用技術部 探査技術グループ 技術主事

無人探査機のうち、母船とケーブルでつながれていないのが「AUV」（自律型）です。動力源と、頭脳となるコンピュータを機体に搭載し、あらかじめ入力したシナリオ通りに、自律的に航行・探査を行います。「うらしま」

は、317kmという無人探査機による連続航走距離を達成している、世界一のAUVです。そして、JAMSTECでは「MR-X1」という小型AUVなどの開発も進めています。



■世界初、閉鎖式燃料電池システムを開発

「深いところまで行きたい」と同じように、「長い距離を航行したい」という要望もあります。それを可能にするのが、ケーブルから解放されたAUVです。しかし、通常の動力源を搭載したのでは、機体が大きく重くなってしまいます。そこでJAMSTECが目指したのは、水素と酸素からエネルギーを取り出す燃料電池でした。1998年から5年の歳月をかけ、水中用としては例のない閉鎖式燃料電池システムを開発。2005年には、連続航走56時間、317kmの世界記録を達成しました。

■位置を知る高い能力

あらかじめ入力されたシナリオ通りに航行するには、AUVが常に自分の位置を正確に知っていなければなりません。「うらしま」はロケットにも使われている慣性航法装置を搭載しています。短時間ならば、わずかな誤差で自分の位置を検出することが可能です。しか

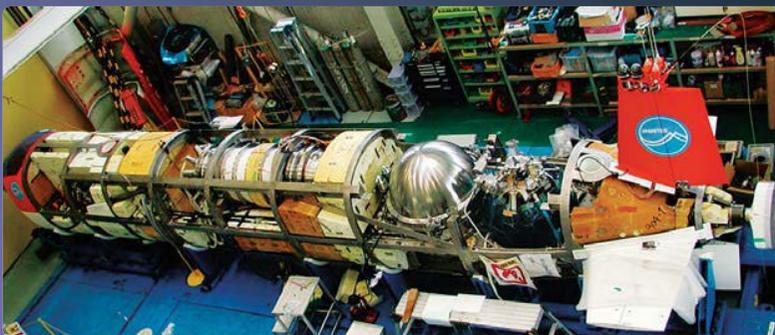
し、「うらしま」のように何十時間、何百kmと航行する場合、慣性航法だけでは誤差が大きくなってしまいます。そこで、海底にあらかじめ設置した音響灯台と通信して誤差を修正しています。慣性航法と音響航法の組み合わせが、「うらしま」の長距離航行を可能にしたのです。



深海巡航探査機「うらしま」

■夢は北極海横断

地球温暖化の影響が最も早く現れるといわれる北極海の氷の下を横断して探査したい——それが、「うらしま」開発チームの夢の1つです。それには最低でも3,000kmの航行能力が必要ですが、現在の慣性航法と音響航法を組み合わせただけでは精度が足らず、氷の下で迷子になってしまいます。そこで、慣性航法装置を回転させることによって、時間がつたにつれて蓄積していく誤差を軽減させる方式を開発中です。大幅な慣性航法の精度向上が期待されています。



■リチウムイオン電池を耐圧容器の外へ

「うらしま」は燃料電池を取り外し、リチウムイオン電池を搭載することも可能です。リチウムイオン電池はエネルギー密度（電池重量当たりの電力容量）が大きいだけでなく、メンテナンスが簡易、長寿命といった利点があります。JAMSTECでは、耐圧容器を使わずに油漬けで使用できるリチウムイオン電池を世界で初めて開発。耐圧容器はチタンなど高価な材料が必要で、加工費も高いため、コストダウンにも貢献しました。

■合成開口ソナーで地形をより詳細に

「うらしま」は、音波を斜め下に出して、海底に当たって反射してきた信号から海底表面とその起伏を調べます。しかし、現在の解像度は1m程度。音波の送受信を連続して行いつなぎ合わせる「合成開口」という方式を採用することで、解像度を10倍から100倍高くできると期待されています。前年の調査では何もなかった場所に断崖ができて、海底に1cmの段差が生じている、といったわずかな変化も知ることができるようになるでしょう。

■小回りが利く

「MR-X1」はマンボウのようなかたちをしています。細長い「うらしま」は小回りが利きませんが、機体が短くスラスラも動いている「MR-X1」は、向きを簡単に変えることができます。4,000mまで潜航可能で、海底面を精密にぐまなく探査したり、海底で作業したりすることを狙っています。

■技術検証に便利

小型で扱いやすいため、開発中の技術を「MR-X1」に搭載して機能を検証する、そんな使い方も向いている「MR-X1」は、向きを簡単に動かすマニピュレータも、まず「MR-X1」に搭載して検証する予定です。

■AUVにもUROVにも

AUVでは、音波を使ってすべての情報をやりとりしています。しかし、送ることができる情報は限られてしまいます。大容量情報のやりとりもできるような光ファイバーで母船とつながれた無人探査機を「UROV」といいます。「うらしま」や「MR-X1」そして「PICASO」はUROVとしての機能も備えています。

マリンロボット「MR-X1」



■2010年度から運用開始

「うらしま」はいままで試験開発段階にありましたが、いよいよ2010年度から運用段階に進む予定です。「うらしま」は広範囲の海底を精密に探査できるため、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削の事前準備、海底地震活動や海底資源の調査に使いたいという要望が寄せられています。

夢の探査機は？

取材にご協力いただいた皆さんに聞いてみました。

●探査機を船に積むのではなく、船の一部にしたいんです。深海探査で最も危険なのは、探査機の着水と回収です。船体が外れてそのまま潜航していく探査機なら、海が荒れていても探査ができます。皆さんにたくさん使ってもらえる探査機をつくりたいのです。（澤）

●「本日14時、JAMSTEC 横須賀本部の岸壁からAUVが北極海探査に出発します。」という放送が流れ、みんなが「いってらっしゃい」と手を振るなか、AUVが潜航を開始。あとは数カ月後の帰港を待つだけ……。そんなAUVも実現できるかなあ。（百留）

●自分で目的の作業場所を探して航行していき、作業内容を理解し、自分の判断で作業を遂行する——そんな自律航行能力と自律型のマニピュレータを持った新しい作業型AUVですね。これは夢ではなく、つくってみせますよ。（石橋）

●航行中に不具合が出たら、故障箇所を自分で探し出し、別な装置に代替させたり自分で修理までしてしまう。運用に携わる私の仕事は何もない（笑）。それが、究極のAUVですね。（石渡）

聞く、見る、送る、位置を知る。深海の主演は“音”

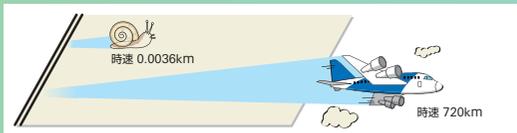
執筆 土屋利雄 海洋地球情報部 部長

海のなかは電波が使えない“音の世界”

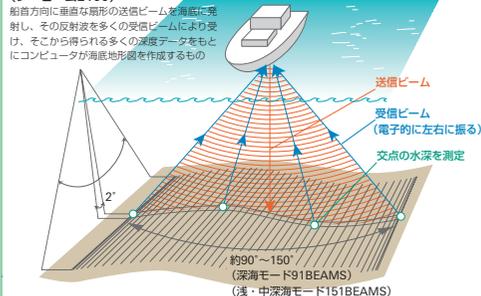
私はいま、日本の神奈川県横浜市金沢区昭和町にあるJAMSTEC横浜研究所の管理棟4階で、デスクのパソコンに向かってこの文章を打っています。陸上ではこのように、簡単な説明で自分の位置を伝えることができます。もし、あなたが車で東京都内から初めて私のところに訪ねてくることになっても、カーナビに横浜研究所の住所を入力し、その指示通りに走れば、近くまで来ることができます。もし、迷ったとしても、携帯電話で連絡すれば道案内をしてもらえます。これらのことが簡単にできるのは、陸上では電波が自由に使えるからにはかきません。

もし、あなたが車ではなく潜水調査船に乗って、横浜から数十km南西の相模湾、深さ1,000mの海底にいたとしたら、簡単に自分のいる位置を確認できるでしょうか？ また、携帯で道案内をもらうことが可能でしょうか？ 海中での状況は、陸上とはまったく異なっています。海中で携帯電話を使ったとしても、その電波は数mも届きません。もちろん、カーナビに必要な衛星からの電波も受信できません。これは、陸上や海上で遠くまで届く電波も、海のなかでは、一気に弱くなってしまからです。

音速と光速の違い
光のスピードを飛行機だとすると……



マルチナロービーム音響測深機の原理 (シービーム2100)



そこで、海のなかでは、電波の代わりにあまり弱くならない音波が使われます。音波は、あまり遠くまで届かないのでは？という疑問をお持ちかもしれませんが、空気中でも気象条件などがそろえば、火山の爆発音などは数百kmも伝わるし、海中では、条件次第で地球を半周もすることが知られています。「それなら、電波を音波に置き換えてしまえばいいじゃないか」と思うかもしれませんが、しかし、音波の物理的な性質が電波とは大きく違っているので、簡単に置き換えることができません。最も大きな違いは、音波の伝わるスピードが遅いことです。海中での音波のスピードは、およそ1秒間に1.5kmですから、電波のスピード(1秒間に30万km)と比べると、何と20万分の1です。例えるなら、カタツムリとジェット旅客機くらいの違いがあることになります。

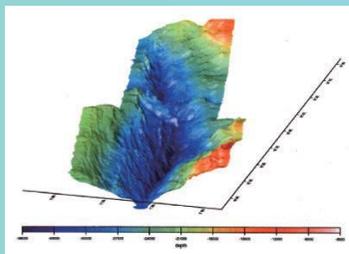
また、使う周波数が高くなる(波長が短くなる)と急激に信号が弱くなってしまうのも、海中音波の特徴です。海中で使われる音波の実用的な周波数範囲は、電波に置き換えれば、わずかにAMラジオ放送帯くらいの周波数範囲(約1MHz)しかありません。ですから、一般に使われる携帯電話の周波数(最大2,000MHzくらい)と比べると送れる情報量はとても少なくなります。さらに、電波の雑音を出す生物はいませんが、海中にはクジラ類やさまざまな魚、エビなど、音波の雑音を発生する生物がたくさんいます。また、波や風、船舶なども大きな雑音を出しています。

このように、多くのデメリットがあるとしても、海中では音波に代わるものがなく、潜水調査船システムに欠かすことができません。音波は海中でどのように使われているか、お話ししたいと思います。

音で距離を測る——海底地形図の作成

まず、海底の地形を調べる装置の話です。潜水調査船が潜航調査を行う前には、必ず海底地形を調べなければなりません。現在、海底地形図を作成するために使われているのが、母船に搭載されたマルチナロービーム音響測深機です。

海底地形図は、1920年代から「音響測深機」という装置によって得られた観測船の直下の測深情報をもとに作成されてきました。昔は音響測深機から短い音波(パルス)のビームを海底



マリアナ海溝の観測図
マルチナロービーム音響測深機のデータから作成
(観測図とは陸上の鳥瞰図に当たる) (Fujioka et al., 2004)

に向けて発射し、海底に当たって戻ってくる音を観測員が聞き取り、発射してから戻ってくるまでの時間をストップウォッチで計ります。その時間の半分(片道分)に海中の音速(約1,500m)をかけると、深さを計算することができます(音速が遅いことから、昔でも時間を正確に計ることができました。これも音の利点の1つです)。

マルチナロービーム音響測深機は、名前の通り、マルチ(たくさんの)ナロー(狭い)音波のビームを海底に向かって発射し、コンピュータが自動的に計算して一度に水深の約80%の海底地形図を描くことができます。

海中の通信——音声やカラー画像を送る

潜水調査船と支援母船との通信は、調査状況や安全のためにとても大切なものです。音波による海中通信は、電波ではなく、うなれば糸の部分

が海水に置き換わった糸電話のようなものです。海中の音の速度は遅いため、深さ6,000mにいる潜水船と通信するには往復8秒もの時間がかかり、電話のように「もしもし」「はいはい」などという受け答えが簡単にはできません。海中の通話では、一方的に必要なことを送信し、その後に戻ってくる相手の話を聞き、返事を返すという、まるでこしいことをしなければなりません。映画「日本沈没」では母船の田所博士と潜水船「わだつみ」との間で待ち時間なしで通話している場面が出てきますが、現実の水中通話器では、相当の時間待たなければ相手の返事が返ってきません。また、複雑な地形や大きな岩などがたくさんある場所では、音波がいろいろなところから反射してくるので、カラオケで強いエコーをかけたように、とても聞きにくいことがあります。

「しんかい6500」の運航を始めてみると、音声による通信だけでは作業状況や海底の様子を伝えるのはとても困難なことがわかりました。そこで、



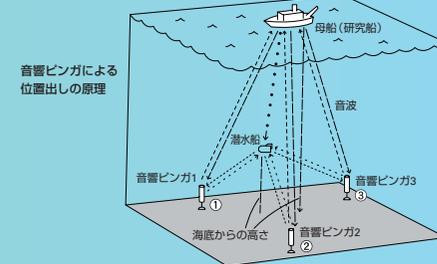
「しんかい6500」から伝送された画像
左: 太平洋マリアナトラフの潜航調査で撮影された伝送画像
右: 海上の母船で受信した画像

テレビ画像を送る画期的な装置がJAMSTECによって実用化されました。当時としては最新のデジタル通信方式が採用され、家庭用のビデオくらいのカラー画像を8秒に1枚ずつ連続して母船に送ることができるようになり、海底の作業がとてもやりやすくなりました。

音波で位置を知る——海中のカーナビ

陸上や海上で自分がいまどこにいるかを調べる方法として、現在ではGPSが最もよく使われています。これは、地球の周りを回るたくさんの人工衛星を利用して、地球上(球面上)での位置をわずか数mの誤差で計算します。

海中の潜水船の位置を出す場合も、原理的にはGPSと似ていますが、「しんかい6500」では、人工衛星の代わりに数km離れて海底に設置した3台以上の「音響ピング」という装置を使います。音響ピングには、潜水船や母船の時計とシンクロしているとても正確なクォーツ時計が組み込まれており、正確に一定の間隔で音波を発射します。潜水調査船や母船では、海中を伝わってくる音波を受けて、手持ちの時計と比較すると信号の遅れ時間が分かります。この時間に正確な音速をかけて、音響ピングと潜水船(または潜水船から母船)までの距離を計算し、三角測量の原理で位置を出すことができるわけです。



海は絶対面白い——世界の技術によって新しい出会いと発見を

海洋工学センター 宮崎武晃センター長が語る



「しんかい6500」の前で
撮影：村上 圭一

新しい技術が世界を変える

——海洋工学センターはどういう活動をしているのですか。

宮崎：海洋にかかわる基盤技術の研究開発が主ですが、船舶や観測機器、研究施設などの運用・管理の仕事も大きな割合を占めています。

JAMSTECのホームページなどには、熱水を噴き出すチムニーや不思議な姿をした生物など、深海の写真や映像があふれています。そういうものを見ると、海のことはずいぶん分かっているんだなと思われるかもしれませんが、しかし、人類が行ったことがある場所は、広い海のほんの一部です。撮影されている深海生物やチムニーも、その多くが偶然出会い、探査したにすぎないのです。

海のなかには、暗くて圧力が高く、私たちが入っていくのを拒んでいます。だから私たちは、深海に行くことを可能にする無人探査機や有人潜水船をつくるのです。しかも、私たちは、誰もやったことがない新しいことしかやらない、世界のどこにもないのしかつからない、そのくらの意気込みで技術開発に取り組んでいます。

——海洋研究開発機構の前身は、海洋科学“技術”センターです。英文名には現在でも“Technology”が入っています。

宮崎：十数年前までJAMSTECでは、技術が科学を先導してきました。例えば、6,000m級の有人潜水船をつくりたいと声を上げたのは、技術者たちです。当時、「6,000mまで潜れる有人潜水船ができたなら、どう研究をしますか？」と研究者に聞いても、反応はほとんどありませんでした。しかし、6,000m級の前にまず「しんかい2000」ができた途端、あそこに潜ってみたい、こういう研究に使ってみたいという声が殺到しました。

新しい技術を手にして、いままでできなかったことができるようになると、新しい出会い、新しい発見が必ずある。すると、さらなる要望が生まれ、もっと新しい技術が生まれる。JAMSTECの深海探査技術は、そうやって発展してきました。

——センター長の頭の中には、新しい技術のアイデアがたくさん詰まっていますか。

宮崎：私は、何でも見てみたい、どこにでも行ってみたいんですよ。だから、新しい技術を考える。ほかの人の何歩も前を歩いて、みんなが考えもしない新しい技術を示して、「面白いものがあるよ。私だったらこういうように使うんだけど、いかがですか？」と回りたいのです。世界一の技術を提供し、それを使った研究者が世界一の成果を出してくれることが、私たち技術者の喜びです。

海洋探査技術の進むべき方向

——JAMSTECの技術は、世界のなかでどのレベルにありますか。

宮崎：昔は、外国のまねをするしかありませんでした。それでも、外国よりも少しだけでもよいものをつくらうと努力してきました。日本人の気質ですね。そうしたら、いつの間にか一部で外国を追い越していました。いまでは、JAMSTECにしかない世界一の技術がたくさん生まれています。「しんかい6500」「うらしま」、音響通信技術……。挙げたら切りがありません。

立地もよかったです。日本列島のすぐそばには、日本海溝があります。自分の庭に深いところがあったら、そこに行ってみたくないですか。

——技術開発では、海ならではの難しさもありますか。

宮崎：水圧の問題もありますが、それ以前に、陸上で使っているほとんどの装置は、海に入れたら終わり(笑)。でも最近、思うのです。陸上では使えないが、海では優れた性能を発揮する材料や技術があるはずだと。陸上の技術を改良して海で使うだけでなく、そろそろ、そういう材料や技術が出てきていくころだと期待しているのですが。

——海洋探査技術が進むべき方向は？

宮崎：「Google Earth」ってありますよね。地球上の好きな一点を選ぶと、その場所の衛星航空写真を見ることができます。実は、海底地形もある一点については、「Google Earth」に負けないほど詳しく分かっています。しかし、点と点の間の地形がどうなっているかは分からないんです。これからは、点から線へ、線から面へと情報を増やしていかなければなりません。そのために、広範囲を効率よく調査できる無人探査機や音響技術の重要性が高まるでしょう。

——では、無人探査機に欲しい機能は？

宮崎：映像技術や伝送技術が進歩して、無人探査機からは鮮明な映像がリアルタイムで船上に送られてきます。映像を見ていると、つい触りたくなる。人間ってそういうものですね。触感センサーを備えたマニピュレータがあったらいいですね。

硫化物などを感知するセンサーを備え、熱水鉱床を自動で探し出すことができる無人探査機も必要になるかもしれません。海底の資源探査は、今後ますます重要になってくるテーマです。

——有人探査については？

宮崎：JAMSTECでは、圧力と温度を変えずに、深海から微生物を持ち帰ることができる装置を開発しています。それは画期的な装置ですが、本音をいえば、研究者は“その場”で研究したいはず。私がJAMSTECに入った1970年代初め、「シートピア計画」として長期の海中作業を可能にする居住実験が行われていました。研究者が海底に滞在して調査研究ができる「海底ラボ」があったらいいでしょう。スペースシャトルが国際宇宙ステーションに宇宙飛行士を運ぶように、「しんかい6500」を海底ラボに研究者を送り届ける輸送機として使う。そんな時代が来るかもしれません。

——海洋工学センターがこれから取り組むべき課題は？

宮崎：リスクの大きい技術開発を、安全にやり遂げたいと思っています。民間や大学は、リスクの大きいものには手が出せません。私たちがやらなければならないのです。リスクの大きいものほど、うまくいったときの成果は大きいもの。チャレンジする価値があります。

技術者へ、研究者へ、若い人へ

——深海生物追跡調査ロボットシステム「PICASSO」は研究者からの要望でつくられたと聞きました。

宮崎：そうです。プランクトンを水中で撮影したいと目的がはっきりしていたので、つくりやすかったですね。でも、「PICASSO」は私たちにとっての完成形ではありません。「PICASSO」をつかったことで研



宮崎センター長は、1970年代から波力エネルギーを利用して発電を行う「波力発電」の研究開発を進めてきた。コストが高いなどの問題があり停滞していたが、最近ではアメリカやイギリスで実用化に向けた動きがある。「ようやく芽が出てきました。私たちが乗り越えました」と笑う。写真は、マイナーホールエネルギー発電装置。実用化を目指したプロトタイプとして、1988年から2002年まで三重県の五ヶ所湾の沖合に設置され、発電を行った。

究者の想像力がアップして、次の要望が出てくるのを期待しているのです。人間って、要望が1つ満たされると、次の要望が出てくるものですよ。

JAMSTECでは、研究する人と技術を開発する人が近くにいます。研究者が「こんなつくてよ」と要望を出すと、「任せろ、すぐにつくてやるよ」と技術者が応える。これは、恵まれた環境だと思います。最近では、センター間の連携に対して予算的な支援があります。研究者と技術者のコラボレーションがもっと多くなるといいですね。さらにもっと広げて、JAMSTECとほかの研究機関、あるいは経済産業省、農林水産省などとコラボレーションできるようになったら面白いですよ。

——研究者へ一言。

宮崎：最近の研究者は現実的ですね。もともとつもない夢を語って、私たちに難しい要望を出してください。

——では、技術者へ一言。

宮崎：研究者の要望の先を行く、まったく新しい技術を提案してほしいですね。

——最後に、若い読者にメッセージをお願いします。

宮崎：「ハガキにこころ海洋の夢絵画コンテスト」には、とても面白い、斬新なアイデアが描かれています。こういうことができたらいいに、こんな装置があればいいのに……。若い人たちには、大きな夢を抱き、それを実現するんだというモチベーションを持ち続けてほしいですね。もちろん、皆さんが技術者や研究者になる前に、その夢が実現されてしまうこともあるでしょう。そうしたら、もっと先の夢を考えて、チャレンジしてください。最近、大学の学部名から「海洋」という名前がどんどん消えていきます。海を目指す人が少なくなっているのは、とても残念なことです。

海は面白いですよ。未知のことがたくさんある。たとえば、少し前の教科書には、生物はすべて光合成に依存して生きていると書いてありました。しかし、深海底には光合成によらない生物群集がいることがわかりました。しかも、その生物たちこそ、生命の起源に近いのではないかとわれています。そんな教科書を書き換えるようなことが、深海にはまだまだたくさんあるでしょう。海は絶対面白い。私は自信を持ってお勧めします。 **BE**

*JAMSTECが毎年開催する絵画コンテスト
<http://www.jamstec.go.jp/ikids/hagaki/index.html>

いおワールドかごしま水族館

海へと帰る道を知る—ジンベエザメ

これまでに4頭のジンベエザメに出会い、3回の旅立ちを見守った。あまり知られていないが、鹿児島周辺の定置網には、毎年10頭近くのジンベエザメがかかる。岸からすぐ近くまでジンベエザメがやって来る貴重な場所なのだ。水族館の主題である鹿児島島の豊かな海を知ってもらうのに、ジンベエザメは欠かせない存在だ。そこで、いおワールドかごしま水族館は「かごしま方式」を考案した。小さめのジンベエザメを入手し、水槽が窮屈になる前の全長5.5mになったら海へ返す。名前もユウユウという名を代々継承している。

定置網にジンベエザメがかかると、漁師さんから水族館に連絡が入る。「入ってるけど、どうするね？」すぐさま大きさを確認し、あまりに大きければその場で放流してもらう。4m前後までのジンベエザメがかかれば、水族館から先発隊が確認へ急ぐ。

漁師さんからの連絡はいつも早朝だ。2005年6月に受けた電話で確認したサイズは4m前後。ちょうどよいサイズだ。現場に行ってみると、初めてのメスだった。サメは外部生殖器を見れば、雌雄を一目で判断できる。2000年から飼育開始、2002年に放流した1代目ユウユウも、2002年から飼育始めた2代目ユウユウもオスだった。

メスは暴れるとも聞いていた。ちょっと怖い、と思いつつながら定置網に入り、測定をする。4m40cm。人間の与える餌や、水槽の壁に慣らすために海に設置した20m×20mの大型いけすまで運び、約1ヵ月のトレーニングの後、水族館の水槽へ搬入した。

しかし飼育始めてから、これまでのユウユウたちと少し違うことに気が付いた。1代目、2代目ともある種のリズムを持っていた。そのリズムさえとらえられれば、その日の体調が分かる。リズムが変わら、餌の量や薬などを調整して、体調管理をしてきた。ところが雌のユウユウには、そんな決まったリズムがない。最後までよく分からないまま5m40cmまで育った3代目ユウユウは、2007年7月に大海岸へと帰っていった。振り返ってみれば、3代目は最も手のかからないユウユウだったのかもしれない。

いま水族館にいるのは4代目だ。2005年7月早朝に連絡をもらった。聞けばサイズは1mちょっとという。いつも冗談ばかりいっているあの漁師さんのこと、きっと別のサメに違いない。そう思いながら現場へ向かう。

小さい。現地へ行って計測すると、サイズはわずか1m36cm。1m台のジンベエザメなんてこれまでの国からも報告がない。計測のために潜っていても、あまりの小ささに遠近感がつかめない。相手がとても深いところを泳いでいるように錯覚してしまうのだ。水族館の水槽で手探り状態で飼育すること約2年。3代目ユウユウが海に戻ったその月に、4代目ユウユウとして黒潮大水槽の主役を引き継ぐこととなった。

海へ戻す前に、ジンベエザメは南さつま市にある20m×20mの海に浮かんだいけすで、野生に戻るための訓練を行う。水族館で食べ慣れたオキアミから、鹿児島周辺の海にいるシラス(カタクチイワシの幼魚)に餌を換えたり、自然海水の水質に慣らしたりする。2~3週間の訓練を積んで、放流のために大型容器に入れて沖まで船で引っ張っていく。するとどうだろう、これまで放流した3代とも、沖に行くにつれ、大型容器の中で力強く尾びれを振りだす。そして、沖で放流すると、真っすぐに泳ぎだした。決して躊躇することはない。あれほど小さかった4代目も数年後には同じようにこの大海岸へと旅立つのだろう。まるで海へと帰る道を確認しているかのよう、力強く。

(取材協力：中畑勝見/いおワールドかごしま水族館)



4代目のユウユウ。定置網にかかった当時は1m36cmしかなかった。ジンベエザメは全長12m、一説によれば20mにもなるという。1m台のジンベエザメはこれまで世界中で記録されたことがない。このユウユウは、先代と違って、ちよこまかと餌を食べていた。最初は左回りにしか泳ぐこともできなかった。訓練の成果か、成長するにつれ右回りもできるようになり、3.4mに達したいまでは、先代たちと変わらずゆったりと泳ぐようになった

■Information: いおワールドかごしま水族館
〒892-0814 鹿児島県鹿児島市本港新町3番地1
TEL 099-226-2233
URL <http://www.ioworld.jp/>

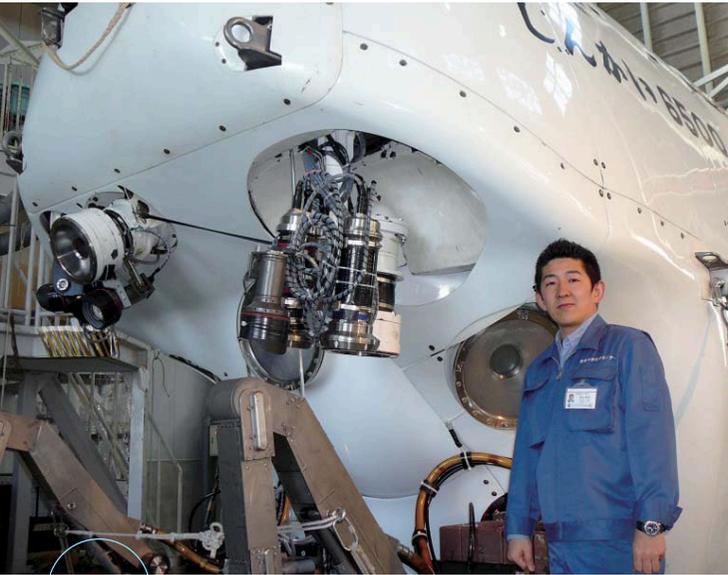


ジンベエザメの生態は、よく分かっていない。30歳7~8mくらいで生殖能力を持つといわれる。卵胎生で、卵は母の胎内でふ化し、稚魚は60cmくらいに育って生まれると考えられている。フィリピン付近や、カリブ海周辺に繁殖の場があり、ジンベエザメが集まるともいわれるが、調査のために取り付けられた発信器は2~3ヵ月で外れてしまったために、そうした証拠を得ることはできなかった。九州沿岸、沖縄、東シナ海とぼらぼらに回遊しているかに見えるジンベエザメが、いったいどこで繁殖の相手を見つけるのか、謎は深まるばかりだ

写真はジンベエザメの2代目ユウユウ。2代目は放流から2ヵ月たって、愛媛県で職員と再会した。定置網にかかったユウユウには、水族館で取り付けた発信器のかけらが残っていたため、2代目と確認できた。丸々と太った姿を確認し、放流の訓練がうまくいっていることを初めて確認できた。水族館では飼育したジンベエザメと、2002~2004年に鹿児島周辺で定置網にかかった野生のジンベエザメに発信器を付けて、回遊の追跡調査を行った。ジンベエザメは鹿児島県からあらゆる方向へと回遊し、黒潮に乗って東上、あるいは黒潮に逆らって南下するのではといった予想を裏切るかのように、ある種回遊の法則らしきものをとらえることはできなかった

「しんかい6500」の パイロットになるには

柳谷昌信 海洋工学センター 応用技術部
探査技術グループ 技術副主任



柳谷昌信 技術副主任は、有人潜水調査船「しんかい6500」のパイロット経験者だ。世界的に見ると、深海を調査する潜水調査船のパイロットの数は、宇宙飛行士よりもはるかに少ない。「深海のパイロット」という職業は極めて狭き門。そこに果敢に挑み、夢をかなえた柳谷副主任。どのようにして夢をかなえたのか。そして、「しんかい6500」のパイロットは、深海で何を考え、どのような体験をしているのか。

柳谷昌信 (やなぎたに・まさのぶ)
1973年、奈良県生まれ。神戸商船大学商船学
研究科修士課程修了。1999年、海洋科学技術
センター「しんかい6500」運航チーム配属。2002
年より4年間、「しんかい6500」のコパイロットおよ
びパイロットとして活躍。2006年より現職

船乗りになりたい

—子どものころから海が好きだったのですか。

柳谷：はい。父の影響だと思います。海がない奈良県で育ったのですが、休日になると海に連れていってくれました。ヨットやプレジャーボートに乗ったり、釣りをしたり。小さいころから、海は私にとってとても身近な存在でした。

自然と、船乗りになりたいと思うようになりました。大きな外航船の船長になって、いろいろな国へ行くことにあこがれました。高校に入学したころには、迷うことなく、船乗りの道へ進もうと決めていましたね。大学は、神戸商船大学(2003年に神戸大学と統合)を受験することにしました。そのとき、

船乗りへの適性を調べる身体検査を受け、私には色覚異常があって、船を操船する航海士や船長にはなれないことが分かったんです。

海洋観測の現場を体験

—それでも、神戸商船大学に入学されたのですか。

柳谷：船のことを学び、船乗りとは違う道で海を目指すと思っていました。学部では機械工学、修士課程では船舶工学を専攻しました。しかし就職を前に、どうしても船乗りになりたいという気持ちを捨て切れませんでした。それは、研究生のときに海洋研究開発機構(JAMSTEC)の海洋調査船「かいよう」でアルバイトをしたときの印象が強かったからです。



「しんかい6500」耐压殻内で、マニピュレータを、マスターアームと呼ばれるリモコンで操作する柳谷副主任。「マニピュレータでブラックスモーカーから熱水を採水するときは、温度計を見ながら、煙に隠れて見えない数cmの熱水孔に、採水口をセットします」

—どのような仕事だったのですか。

柳谷：マーシャル諸島から赤道域周辺を調査する約1ヵ月にわたる航海で、海洋観測などのお手伝いをする仕事でした。たまたま大学にアルバイトの募集が来ていたので。それまで、大学の練習船で1週間くらいの航海は経験していたのですが、「かいよう」のような大型調査船に乗って、海洋観測の第一線の現場を味わったのは、そのときが初めてでした。航海士やデッキで作業する人たちがとても格好良かったですね。現場の人たちが、観測に使える時間を最大限に有効活用して、どうしたらいい観測データが得られるかを絶えず考えながら働いている姿にも感銘を受けました。現場の雰囲気がとても気に入り、絶対にJAMSTECに就職したいと思いました。

パイロットの募集はなかった

—「しんかい6500」のパイロットを目指すようになった理由は何ですか。

柳谷：やはり、どうしても自分自身で船を動かしたいという気持ちがありました。JAMSTECだったら、やはり有人では世界最深まで潜ることができる「しんかい6500」が魅力的です。深海は分かっていないのだらけ。「しんかい6500」のパイロットになれば、私でも何らかの発見に貢献できるのではないかという思いがありました。

「かいよう」でアルバイトをしたとき、神戸商船大学のOBに、「しんかい2000」や「しんかい6500」のパイロットをされていた方がいると聞きました。田代省三さん(現・海洋地球情報部 広報課)です。面識のない先輩ですが、思い切って電話をかけました。そして「どうしても「しんかい6500」に乗りたいんです。何とかJAMSTECを見学させていただく機会を頂けませんか」とお願いしました。すると田代さんは、快く見学を受け入れてくださり、とても丁寧に接してくださいました。横須賀本部を訪ねて、田代さんのお話を伺ったり施設を見学させてい

ただき、ますますJAMSTECで働きたいという思いが強まりました。

実は、そのときパイロットの募集はなかったのです。しかし、何とかありませんかと何度も田代さんにお願いました。

—ずいぶん強引ですね。

柳谷：そうですね(笑)。その年は、事務職の募集しかありませんでした。「しんかい6500」に乗れるかどうか分からないけれど、それでもいいのだたら受けてみたら」と田代さんにいわれました。事務職なので、どこに配属されるのか分かりません。それでも夢を追いかけてみようと思い、就職試験を受けました。

—面接では、どのようなことをアピールしたのですか。

柳谷：何とか目立ってやろうと思い、神戸商船大学の制服を着ていきました。夏だったので白い制服です。周りはみんな紺色のリクルートスーツでした。まずJAMSTECに入るのが第一目標でしたので、「かいよう」



1997年、「かいよう」でのアルバイト



「しんかい6500」運航チームへ
配属されたときの辞令



「しんかい6500」のデジタルスチールカメラの整備。「スチールカメラ時代から担当して
いた機器なので愛着があります」

でアルバイトをした経験話を話して、私は海洋観測の現場を経験しています、ぜひここで働きたい、とアピールしました。

パイロットへの道

—JAMSTECに入り、最初の配属先はどこだったのですか。

柳谷：それが、「しんかい6500」運航チームだったのです！ 田代さんには運次第だと言われていました。

—パイロットになるには、どのような訓練を受けるのですか。

柳谷：最初の3年間は整備士として働き、「しんかい6500」の搭載機器について肌で感じ取りながら勉強します。何しろ、初めて見る特殊な機械ばかり。最初は、先輩が整備するときいつも横に付いて、見て、体で感じて、覚えました。

チームに配属されたのが1999年4月。翌

5月には、支援母船「よこすか」に乗船して日本海溝へ1ヶ月の調査航海に行きました。「しんかい6500」がとらえた深海の映像を見て、早く自分の目で深海を見てみたいと強く思いました。

—つらかったことは？

柳谷：最初の航海は本当に船酔いがつらかったですね。「よこすか」は結構揺れるんですよ。でも1週間くらいで船酔いにも慣れ、その後は毎日が初めて経験することばかりで、面白くて仕方ありませんでした。

—初めて「しんかい6500」で潜航したのはいつですか。

柳谷：2000年3月の訓練潜航のときです。場所は南西諸島海溝でした。「しんかい6500」の定員は3名。パイロット（船長）とコパイロット（船長補佐）、そして普段は研究者です。そのときは訓練潜航なので、私が観察者として潜航しました。

海面から水深30mくらいまでは波の影響があるのですが、それより深くなると、本当に穏やかな世界です。振動もないので、潜航しているかどうかさえ分かりません。初めて潜航したとき、私はのぞき窓に張り付いて、ひたすら外を見ていました。だんだん光がなくなり、マリンスノーが見えてきます。それが上へ流れていくので、潜航しているのが分かります。海底はもちろん真っ暗です。本当に誰もいないとても静かな世界でした。

実は、一緒に乗ったパイロットに後でいわれました。「本当は、パイロットやコパイロットがやっていることを、よく見ておくべきだったんだ。でも、最初だから許してあげよう」

いよいよデビュー

—実際に「しんかい6500」を動かす訓練もするのですか。

柳谷：整備士としての期間中に、潜航する前と後に、1人で乗り込んですべての機器を動かして作動確認を行う機会があります。そのような経験を積んで、“そろそろだな”という言葉で司令や潜航長から頂いたのが2002年です。5月26日、いよいよコパイロットとしてデビューすることになりました。場所は日本海溝でした。

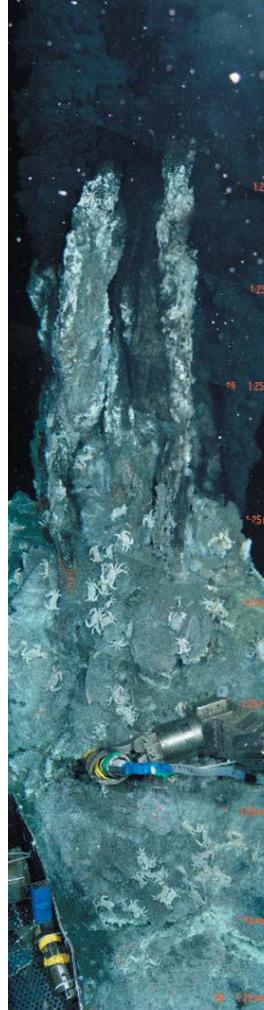
—すぐにマンビュレータによるサンプル採取などを担当するのですか。

柳谷：2～3回潜航した後、パイロットから“やってみろ”と替わってもらいました。いまから思うと、最初のころは研究者の方々へずいぶんご迷惑をおかけしたと思います。パイロットならば1～2分でできる作業に、5分くらいかかってしまいます。それでも、研究者の方々へ、暖かい目で見守っていただきました。

マンビュレータを動かす海中での訓練は、毎年3月の訓練潜航のときにしかできません。普段は、陸上の作動確認のときに動かしますが、海中では光の屈折率の違いで、空気中とは見え方が違います。先輩パイロットの操り方を見て、そして自分でやってみて、コツをつかんでいくしかありません。

—先輩からやり方を具体的に指示されることはあるのですか。

柳谷：ないんですよ(笑)。マンビュレータに限らずすべてにおいて、“自分で学んで、分からないことがあったら聞け”というのが、私のときの運航チームの教育方針だったので。



2005年、マリアナトラフ南部、水深3,001mで発見した高さ約3mのチムニー（熱水が噴き出す煙突状の岩）。上部からは黒い熱水、根元からは透明な熱水が噴出している。黒い熱水の最高温度は343℃



チムニーのサンプリング。「チムニーは非常にもろいため、マンビュレータで崩さないように慎重に採取します」

ことができてほっとしました。「しんかい6500」のライトで見える範囲はせいぜい10m。もし、それ以上ずれて航走していたら、ブラックスモーカーは発見できなかったかもしれません。

—発見するコツはあるのですか。

柳谷：変色した岩石、生物などの形跡、そんな“におい”をかき分けて探し出します。パイロットはそのような“嗅覚”をみんな持っていますね。

—ブラックスモーカーの周囲から、マンビュレータでサンプルを採取するのは難しいのですか。

柳谷：サンプル採取では、採取しやすい位置に潜水船を着底させることがとても重要です。それが一番難しいんです。地形の起伏が激しかったり、潮流や熱水の影響もあって、なかなか思った位置に潜水船を着底させられないときもあります。しかし、マリアナトラフのときは、ちょうどよい位置に潜水船を着底させることができ、サンプル採取もうまくいきました。ほんと、サンプル採取の成功の鍵は、着底作業なんですよ。

2003年、南西諸島海溝6,500mに宇宙飛行士でもある毛利 衛さんと潜航。「潜航中、スペースシャトルと潜水船の共通点など、機器の話たくさん聞くことができました」



—ブラックスモーカーを実際に見たときの印象は？

柳谷：言葉で表現するのは難しいのですが、海底からすごい勢いで煙がモクモクと噴き出していて、地球は生きている！という感じでしょうか？ 皆さんも映像ではご覧になったことがあると思います。しかし、実際に自分の目で見たときの立体感や沸騰した熱水が噴き出している臨場感は、映像では伝わりません。人間の五感に勝るセンサーはないと思います。これからも、実際に人間が深海に行き、見て、感じるものが、絶対に必要だと思います。

志を持って主張する

—これから「しんかい6500」のパイロットになるには、どのようなルートがありますか。

柳谷：2004年度から「しんかい6500」の運航は、日本海洋事業(株)に委託されています。現在の運航チームは、日本海洋事業の運航チームと、JAMSTECからの出向者で構成されています。ですから、日本海洋事業に入社してパイロットを目指す道があります。JAMSTECに入って、運よくパイロットになれるというルートもないわけではないです。

実はいま、私は「しんかい6500」運航チームから離れていますが、また「しんかい6500」のパイロットとして深海探査の現場へ戻る予定です。

新しいパイロットの募集予定は今のところありません。しかし、皆さんもあきらめないでください。自分は何をやりたいのか、志を持って、それを主張し続けることが大切です。

BE

ブラックスモーカーとの出会い

—印象に残っている潜航調査を教えてください。

柳谷：やはり、熱水噴出孔の調査が印象に残りますね。私は2005年にパイロットになりました。その年にちょうどマリアナトラフ南部で熱水の噴出を探し出す調査がありました。

このときは、海底に着いて急なげき登っていくと、いきなり目の前に真っ黒な煙、ブラックスモーカーが現れたんです。びっくりしました。やった！と思うと同時に、見つかる

超臨界水の世界をのぞく高温・高圧顕微鏡

取材協力：
出口 茂

極限環境生物圏研究センター
深海環境研究グループ グループリーダー

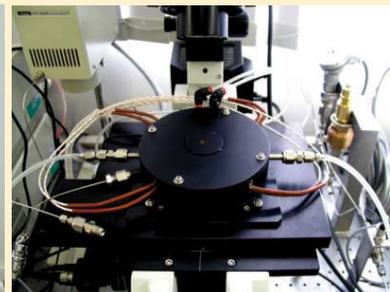
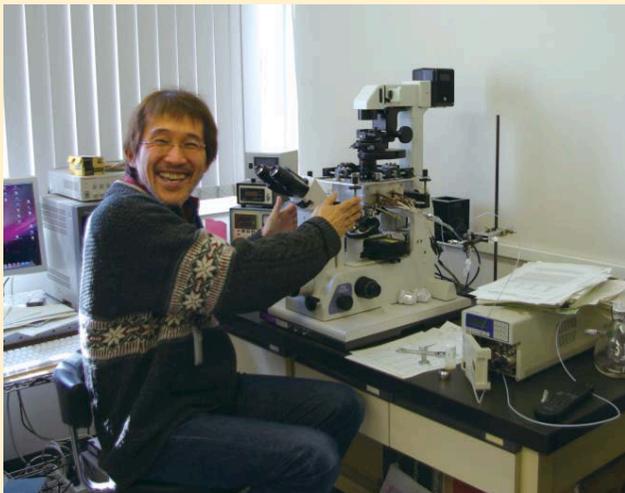
海に深く潜るほど水圧が高くなり、水の沸点は高くなる。水深100m(10気圧)で180℃、水深1,000m(100気圧)では312℃にならないと水は沸騰しない。「それでは質問です。世界最深处1万1000m(1,100気圧)の深海底では、水は何℃で沸騰するでしょう？ 実は大学の先生でも、600℃などと答える人がいます。“沸騰しない”が正解なんです」と出口 茂グループリーダー(GL)は笑う。水に218気圧以上の圧力が加かると、いくら温度を上げても沸騰せず、374℃以上になると「超臨界流体」という状態になる。これは「超臨界水」と呼ばれ、“普通の水”とはまったく異なる性質を示す。

ただし、地球上において218気圧以上という水圧は、決して特殊な環境ではないと出口GLは指摘する。「218気圧は水深約2,200mでの水圧です。海の平均的な深さは3,800m。海水の半分以上は218気圧以上の水圧がかかった状態です。また、深海底には地下で温められた熱水が噴き出す熱水噴出孔という場所があります。その熱水の温度は374℃以上になる場合があります。超臨界水が実現するような高温・高圧の状態は特殊ではない。むしろ私たちが住んでいる1気圧の世界こそ、地球のごく表層部でのみ実現している特殊な環境だといえます」

工学部高分子化学科出身の出口GLが超臨界水の研究を始めたのは、1999年にJAMSTECに入ってからだ。「当時、私の上司だった辻井 薫さん(現・北海道大学教授)は、(株)花王で洗剤などの研究をしていた化学者です。辻井さんは1998年にJAMSTECへ移るとき、深海の研究をするならば超臨界水が面白いと、堀越弘毅 先生(極限環境生物圏研究センター長)に提案しようと考えていました。ところが、辻井さんに会うやいなや“超臨界水はどうか”と堀越先生の方がいったそうです。堀越先生は微生物の専門家。逆に提案されるとは想像もしていません。とても感銘を受け、長年勤めた花王を辞めてJAMSTECへ移る決心をしたそうです」

超臨界流体の研究や利用は、主に二酸化炭素で行われてきた。二酸化炭素は約30℃・70気圧ほどで超臨界流体になるので、扱いやすいからだ。374℃・218気圧という高温・高圧を必要とする超臨界水は、ダイオキシンなどの有害物質を分解して無害化するなど、応用化学の研究は進められてきたが、そのなかで起きる化学反応を解明する基礎化学の研究は進んでいなかった。

「辻井さんに“まず、超臨界水のなかで起きている現象を光学



高温・高圧顕微鏡2号機。のぞき窓には人工ダイヤモンドを使用。2号機は漏れるトラブルもなく最初からうまく動きました。1号機でさんざん苦労したので、こんなにうまくいくこともあるのかと、拍子抜けするくらいでした。(出口GL)

出口GLと高温・高圧顕微鏡1号機。1号機の開発過程では、のぞき窓に使用した厚さ約2mm、0.5カラットの天然ダイヤモンドにひびが入ってしまったこともあった

顕微鏡で見てみよう」といわれました。“そういう装置があるんですか”と聞いたら、“あるわけないだろう。これからつくるんだよ”と。いまでもはっきり覚えていますが、JAMSTECに入ってから2～3日後に、装置を製造するメーカーとの打ち合わせに出席しました。図面を見ながら説明を受けたのですが、チンプンカンプン(笑)。それまで私は、装置はカタログを見て注文するものだと思っていましたから」

使用する光学顕微鏡は、レンズから2cm離れたところに観察対象が来たときにピントが合うものだった。出口GLたちは、374℃・218気圧以上の状態を生み出す密封容器の一部に透明な材料で薄い窓をつくり、光学顕微鏡でなかをのぞくことを目指した。「私たちが望む仕様を伝えたら、メーカーの人は最初、“絶対にできない”と聞いていました」

高圧にするには丈夫な容器で密封しなければならない。しかし温度を上げると物質は膨張する。容器と同じ金属材料でつくるならば、均一に膨張するのですき間はできにくい。しかし薄いので窓の部分には、金属以外の透明で丈夫な材料を用いざるを得ない。出口GLたちは、透明でしかも強度の高いダイヤモンドを使用することにした。ただし、金属とダイヤモンドは膨張

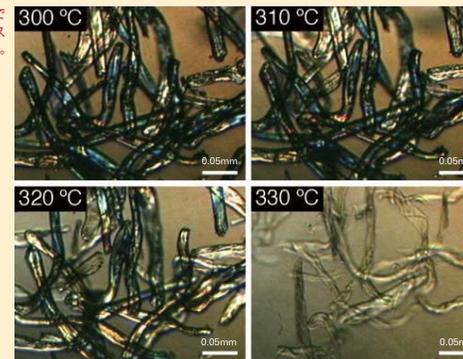
率が違うので、すき間ができて超臨界水が漏れてしまいがち。

「温度を上げたときにだけすき間ができるので、問題の箇所を見つけて改良することが難しいという問題もあります。漏れたら、分解して組み立て直すしかないのです。漏れると“ブシュー”という大きな音がします。“また漏れました”とメーカーに電話すると、持ち帰って組み立て直し、工場でもテストして“今度こそ大丈夫です”と持ってきます。しかし、実験室にセットアップして温度を上げると、ブシュー。“また、持って帰ります”。その繰り返しで1年間くらい続きました。本当にできるのかなと思いましたが、やがてブシューがなくなりました。なぜ漏れなくなったのか、よく分かりません」

完成した高温・高圧顕微鏡は、0.002mmの物を見分ける分解能がある。「これまでも超臨界水のなかの反応を観察する装置はあったのですが、分解能はせいぜい0.1mmのレベル。私たちの装置の分解能は圧倒的です」

この高温・高圧顕微鏡によってどんな現象が見えてきたのか。「セルロースが“炊ける”様子を見たのが、最近の一番のヒットです」。セルロースは植物の主成分で、バイオ燃料の材料

高温・高圧顕微鏡でとらえたセルロースが炊けていく様子。圧力は250気圧



になると期待されている。現在のバイオ燃料は、食糧となるトウモロコシやサトウキビに含まれるデンプンからつくられている。雑草や稲わら、廃材などに大量に含まれるセルロースからバイオ燃料をつくるのができれば、食糧と競合せず、エネルギー問題や地球温暖化問題の解決に大いに役立つ。

バイオ燃料にするには、まずセルロースを糖に分解する必要がある。しかしセルロースは糖同士がしっかりと結び付いていて分解しにくい。「デンプンも糖からできていますが、セルロースほどかたく結び付いていません。お米が炊けた状態では、米粒中のデンプンをつくる糖がほどこけています。炊けると糖を容易に取り出せます。しかし、セルロースは普通の熱水では炊けません」

そこで超臨界水に期待が掛かる。「超臨界水を使うと0.1秒くらいでセルロースを分解できます。しかしなぜそんなに速く分解されるのか分かっていませんでした。百聞は一見にしかず。顕微鏡で見てみたところ、300℃近い高温・高圧水のなかでは、セルロースもデンプンと同じように炊けてしまうことを発見しました」

出口GLたちはその画像を掲載した論文を、アメリカ化学学会に投稿した。「これは絶対に面白いと思って、投稿しました。でも、査読にすら回らなかった。へこみましたね。もしかししたら、自分たちがやってきた研究は面白くないものかもしれない…。とても不安になりました。あきらめ切れずイギリスの王立化学学会に送ったら、今度は大絶賛です。こんなにも評価が違うのかと驚きました」

出口GLたちは、高温・高圧顕微鏡でさらに興味深い現象を発見した。「超臨界水のなかで微粒子が、理論の予測より約10倍も速く動き回るのです。いったい何が起きているのか分かりません。研究をしていて最も楽しいのは、このように“なんじゃ、これは？”と頭を抱えてしまう現象に出合ったときです」

出口GLたちは、さらに高圧を実現できる装置の開発も検討している。「現在の装置は400気圧くらいまで加圧が可能ですが、1,000気圧の超臨界水を観察できる装置をつくりたいと思っています。その新しい装置は、さらに頭を抱える面白い現象を見せてくれるに違いない。」

砂上の楼閣は本当に危ないのか？ 液状化現象の正体を暴く

(2007年8月18日 第69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
地殻ダイナミクス
研究グループ
グループリーダー

阪口 秀

さかくち・ひで。1962年、東京都生まれ。農学博士。京都大学大学院農学研究科農業工学専攻修了。1991年神戸大学農学部助手。2000年オーストラリアCSIRO Exploration and Mining上級研究員などを経て、2003年より現職。数値粒子シミュレーションなどを用いて粉粒体の力学を研究している

1995年の阪神・淡路大震災では、高速道路や六甲アイランドなど、多くの場所が液状化による被害を受けました。地震に関する教科書のほとんどでは、液状化のメカニズムが地盤と水の関係で説明されています。しかし、液状化は水がなくても起こるのです。今回は液状化のメカニズムを紹介します。液状化のメカニズムを理解し、あなたの家や財産を守る方法を考えてみましょう。

1964年6月16日、新潟県粟島南方沖を震源とするマグニチュード(M)7.5の地震が発生しました。このとき、信濃川沿いの川岸町に建てられていた、堅牢なはずのコンクリートづくりのアパートがドミノ倒しになりました(図1)。そのアパートは砂地盤の上に建てていました。当時の日本の土木技術の知識では、木造建築より十分重いコンクリートのアパートは、構造物自体の重さによって地盤の安定性を得るために十分に大きな圧力がかかるので、転倒など起きるはずがないと考えられていたのです。その後、アメリカの土木研究者によって調査が行われ、アパートの倒壊は砂地盤が液状化を起こしたことが原因だと結論づけられました。つまり、川岸町のアパートは、いわば“砂上の楼閣”だったのです。

兵庫県南部地震の記録

砂の上の本当の危険性を知るために、まずは地震について考えてみたいと思います。皆さんは大地震で被災したことがありますか。不幸なことに、私にはあるのです。1995年に起きた兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)のとき、私は神戸大学農学部の助手として4年目を迎えるようしていました。

その1年前の1994年に、京都大学時代の先輩から地震研究への誘いがあり、関

西全域に地震計を置こうという計画に参加しないかと声が掛かりました。関西地震観測研究協議会(関震協)の計画で、その中心になっていたのは、現在京都大学総長を務める尾池和夫先生です。尾池先生は、関西で近いうちに大地震が起こる可能性があるから調べなければならないと、兵庫県南部地震の前におっしゃっていました。

地震計を設置する候補地の1つに神戸大学の敷地が選ばれました。ところが神戸大学は、地震計など置いては困る、電気代は誰が払うのか、と首を縦に振りません。当時、関西地域において、地震に対する意識がいかに低かったかを物語っています。尾池先生の大地震を予見した言葉も、一般の人々に伝わることはありませんでした。

そこで、この計画のメンバーでもあり、神戸大学の職員でもある私に、地震計設置に関して大学を説得するという役目が回ってきました。大学と話し合った結果、週2~3回行う計測時に私が重いバッテリーとノートパソコンを担いでいき、オフラインで定期的にデータを収集するという、いまでは考えられない条件で、何とか地震計は設置されました。

神戸大学の敷地の地下には、裏六甲から六甲アイランドへ、埋め立て用の土砂を運ぶベルトコンベヤーを通したトンネ

ルがありました。地震計は、そのかたい岩盤の上に設置されました。保守・計測のため週に2~3回、おそろしく重いバッテリーを背負い、漆黒の空間を階段で降りて真っ暗な長いトンネルを歩き、データを吸い上げに行ったものです。

この計測は1994年4月ごろから始めましたが、兵庫県南部地震が起こる前日まで、目立った地震はほとんど計測されませんでした。データを関震協に提出すると、微動だにしていない数値を見て、私が保守や計測をさぼっているのではないかとあらぬ疑いをかけられるほどでした。震災の1週間前には和歌山と山口で震度1の地震があったのですが、神戸大学では、ほとんど揺れは記録されていませんでした。そこで感度を少し高くする調整を、兵庫県南部地震発生の前々日に行いました。

そして、当日。私が体力仕事で面倒を見た地震計は見事に地震波を計測し、そのデータは世界中で引用されました(図2)。ところが、前々日に感度を調整したため、肝心の最高値は振り切ってしまい、関係者に責め立てられるという何とも苦い経験もしました。

やわらかい地盤はかなり危険

ところで地面が揺れるのは、地殻のどこかで急激なずれ運動が生じるからです。ゆっくりとしたずれ運動の場合には、あまり揺れることはありません。では、やわらかい地盤とかたい地盤では、どちらがより揺れるでしょうか。答えはやわらかい地盤です。これは、脂肪たっぶり



図1 液状化によって傾いたアパート

1964年の新潟地震によって、新潟市川岸町で起きたコンクリートづくりのアパートの倒壊の様子。震源地は粟島南方沖で、M7.5の大地震だった。川岸町は川のそばにある砂地盤の地域で、これこそまさに砂上の楼閣が傾いた実例といえる

のタブタブのおなかと筋骨隆々の縮まったおなかを比べるとよく分かります。とにかく、やわらかい地盤はよく揺れるのです。逆に、かたい岩盤は揺れにくいのです。これは、やわらかい地盤では、地震で起きた揺れが増幅されて大きな揺れをもたらすからです。だからやわらかい地盤上では、被害が大きくなる場合が多いのです。このことは、ぜひ覚えておいてもらいたいと思います。

では、砂地と粘土ではどちらがやわらかいのでしょうか。砂地盤と粘土地盤を比べると、地表においては一般的に粘土地盤の方が軟弱です。砂粒の大きさは75μmから2mm、一方の粘土は、板状のものが集まった凝集体の大きさが5μm程度です(図3)。1,000枚くらいの板が集まって5μm程度ですから、電子顕微鏡を使っても粘土板1枚をはっきりととらえることは簡単ではありません。そのごく薄い粘土板と粘土板の間に水が蓄えられています。この水の存在が粘土板間の滑りを促進し、粘土地盤の揺れを大きくする原因となっています。また、粘土は簡単には水を放手しません。しかし、長時間圧縮していると水はじわじわ染み出て、粘土は縮みます。大阪湾の粘土地盤の上に埋め立てて建設された関西国際空港の地盤

が沈下するのは、それが原因です。

余談ですが、危険性が高い軟弱地盤には、過去に水田だった土地も当てはまります。50年くらい前の地図で、そこが水田だったら、軟弱地盤である可能性を疑うべきです。

砂地盤で起こる液状化のメカニズム

粘土に比べて粒子サイズがずっと大きな砂は、光学顕微鏡でも、ときには肉眼でも粒子のかたちを見ることができます。粒が大きいため、粒子間に水を保つ力は、同じ体積の粘土に比べて極端に劣ります。

では、砂地盤は本当に揺れにくいのでしょうか。砂上は安全なのでしょうか。実は、砂地盤は静荷重にはめっぽう強いのです。「静荷重」とは読んで字のごとく、じっとしている変化しない荷重、たとえば、漬物石の荷重のようなものです。1964年の新潟地震で倒れたコンクリートのアパート(図1)を設計した土木技術者が想定していた力は、静荷重だったのです。だから、砂上の楼閣も、楼閣の重さだけなら安全なのです。

しかし、砂地盤が強固であるためには、地盤を囲む周辺が十分にかたいという条件が必要です。地盤の周囲がしっかりしているとき、砂粒子は互いの接触点の摩

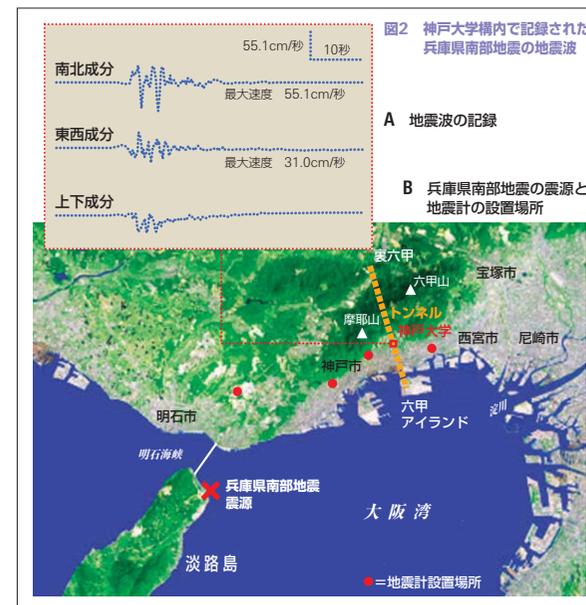


図2 神戸大学構内で記録された兵庫県南部地震の地震波

A 地震波の記録

B 兵庫県南部地震の震源と地震計の設置場所

擦力によって支えられます。たとえば、側壁が十分強い箱のなかに砂を敷き詰めて上から静荷重をかけると、粒子間には「クーロンの摩擦力」がかかります。上から押す力に比例して、摩擦抵抗力が増えるため、2つの力の関係はたちごっこになり、粒子がつぶれてしまわない限り、どんなに大きな静荷重をかけても沈下しません。つまり、砂地盤に重いコンクリートづくりのアパートを建ててよいとした土木技術者の判断は、ある意味では正しかったのです。

しかし、実際に新潟地震でコンクリートづくりのアパートは倒れています。ここからが液状化を理解するポイントにな

ります。砂粒をしっかりと充填した箱で、上から棒で押すという実験をします。すると、砂のなかに黒い線が走ります(図4)。砂のなかに現れた黒い線は、粒子と粒子を押し付ける力の度合いを表しています。一方、白いところには力が全然かかっていないのです。つまり、外力に対して力がよく伝わっている砂粒と、そうでない砂粒が混在しています。砂地盤では、黒い線のように鎖状に力が伝わり(力の鎖)、そのすぐ近くには、まったく力の働いていない場所ができます。

この砂地盤の力の伝わり方をより詳しく知るために、1粒ずつの砂にかかる力と粒子の運動をコンピュータでシミュレ

ーションしてみましょう。シミュレーションでは、まず上にふたをし、そのふたに垂直方向の力をかけ、次に横から押しています。図5では線は粒子の間に働く力を表し、図4とは逆に、黒は力が働いていないところ、白になるにつれて大きな力がかかっていることを示します。上から押しただけの状態では、何本かの青い線と少し赤い線が入る状態になります。ここに横からの力を与えると、ある特定の方向に柱構造の発達していた力の鎖が、あるときパキッと折れて、別の粒子に力を渡すようになります。

実際にこれを実験で行ってみると、たった数本の柱で全体の荷重を受け持つメカニズムが見えます(図6)。もう一度、シミュレーションに戻って、横から押して、さらに上から押すと、ちょうど真ん中あたりが斜めに折れてきます。もともと力の伝達が不均質だったところに異方的に力が加わると、この力の鎖はさらに不均質になり、ある特定の粒子にのみ力が集中するようなメカニズムが、砂のような材料には常にあるのです。

この力の鎖は局部的には1次元の柱のような構造で、柱の軸の方向に圧縮されると粒子間の摩擦力も大きくなり、より強固な状態になります。しかし、それ以外の方向の力が加わると、簡単に壊れてしまいます。つまり砂地盤は、静荷重のようなある特定の方向の力には強いのですが、それ以外の力には弱いのです。

しかし、地震は決して特定方向の静荷重ではありません。地震は、上下左右のさまざまな成分を含んだ力を地盤に与えます。すると、一方向だけに強かった力の鎖構造は簡単に崩壊し、粒子同士を支えていた摩擦抵抗力を一瞬にして失ってしまいます。すると砂粒子は自由に動きだし、そのために一番動きやすい場所などで陥没が起きたりします。これがいわゆる砂地盤の液状化現象で、ひとたび発生すると食い止めることはできません。

つまり液状化の正体は、砂地盤に振動が加わることにより、特定の方向だけに強かった構造が消失することで、砂粒子が液体のように流れてしまうことです。その原因は、そもそもの力の分布が不均一で、1次元的な柱からなる鎖構造だったことです。液状化というと、多くの教科書で水の問題を取り上げています。確

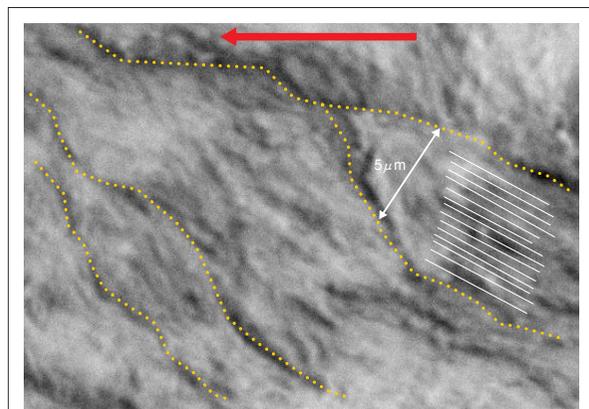


図3 粘土と砂粒子

上はカオリン粘土で、2,000倍の電子顕微鏡写真。5 μ mの間に1,000枚ほどの粘土板が重なっているが、電子顕微鏡写真でも確認することはできない。白線は板状の粘土粒子1枚か、数枚の集団を示している。点線は横方向の力(赤い矢印)を与えたときにできる粘土板の集団間のすき間。右は砂粒子の光学顕微鏡写真で、1粒の大きさは約100 μ m

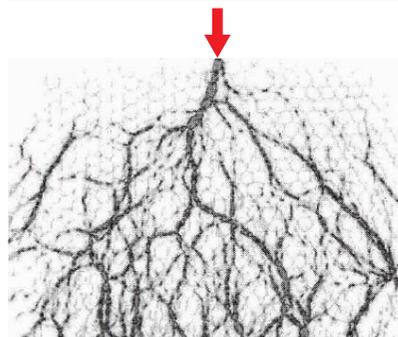


図4 砂地盤への1点からの力のかり方

砂地盤に力がかかるとどのような応力が生じるかを光弾性実験で再現した。矢印のところから力がかかると、黒い筋が走る。この筋に力がかかっており、白いところには力がまったくかかっていない

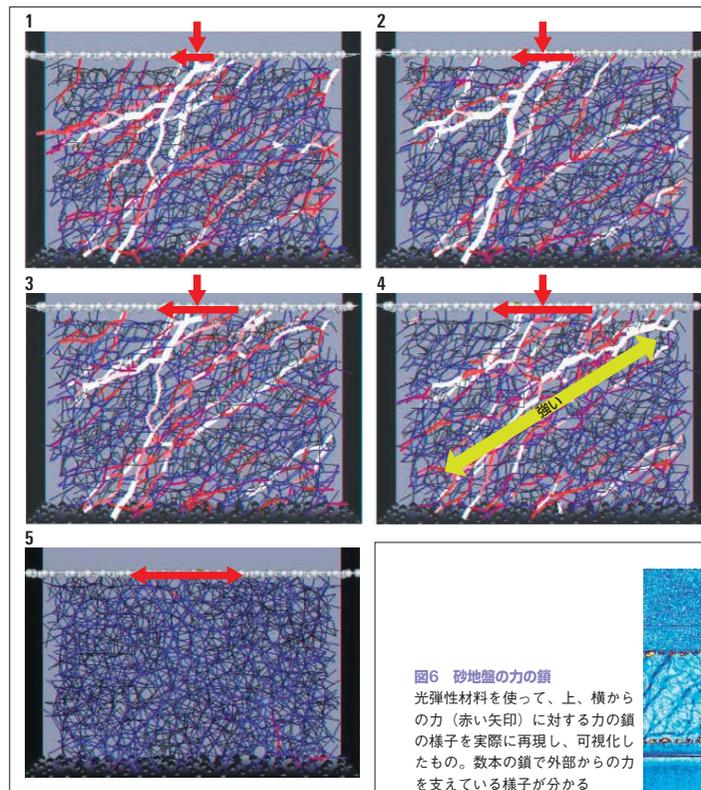
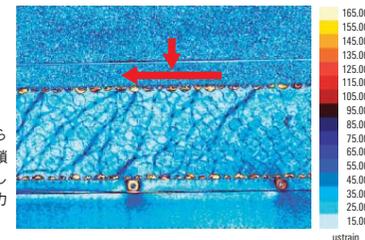


図5 砂地盤への2方向からの力のかり方

砂粒1個1個への力のかり方をコンピュータでシミュレーションした。まず上方から、その後、横方向から力を加えた(赤い矢印)。黒は力がかかっていないところを、白は強い力がかかっているところを示している。(1)~(4)では横方向からの力を次第に強く与えていく静荷重の場合である。(1)では力のかかる鎖状の構造が生じていることが分かる。この力の鎖が走る方向にかかる力には強いが、ほかの方向からかかる力には弱い。また、この力の鎖も力を与え続けると、あるときパキッと折れて別の粒子に力を渡す(特に(3)~(4))。(5)は、ほかからの力として振動を与えた場合。鎖状の構造はあつという間になくなり、それぞれの粒子が自由に動きだす様子、つまり液状化の状態を示している

図6 砂地盤の力の鎖

光弾性材料を使って、上、横からの力(赤い矢印)に対する力の鎖の様子を実際に再現し、可視化したもの。数本の鎖で外部からの力を支えている様子分かる



かに水の存在は液状化を促進させますが、液状化の本質とは異なります。水はなくても液状化は起こるのです。

一般的に液状化が水と結び付けて話されるのは、水によって液状化が起きやすい状況が生まれるからです。砂粒子自体は、水を持つことはできません。しかし、川沿いや海沿いなどで水没していれば、川沿いや海沿いなどで水没していれば、粒子間に水があります。その水圧が何らかの理由で上がると、水圧には方向性がなく等方的に作用するので、それまで押さえつけてきた力とは違う方向からの力が生じ、粒子間の摩擦力がたちまち失われて液状化が起こるのです。つまり、水際では、水圧の変化のせいであるいろいろな方向の力が作用する条件が起きやすく、それによって液状化の起こる状況が生じやすいということなのです。

液状化は防げるのか

液状化を防ぐ方法はあるのでしょうか。

1つは力の鎖構造をより小さく緻密にできれば、いろいろな方向からの力に耐えることができるようになります。それには、たとえば、よく沿岸の工事現場などで、重りをガンガン落として地面をたたいてみるだけに見える作業があります。あれは砂地盤を密に固め、緻密な力の鎖をつくる作業なのです。

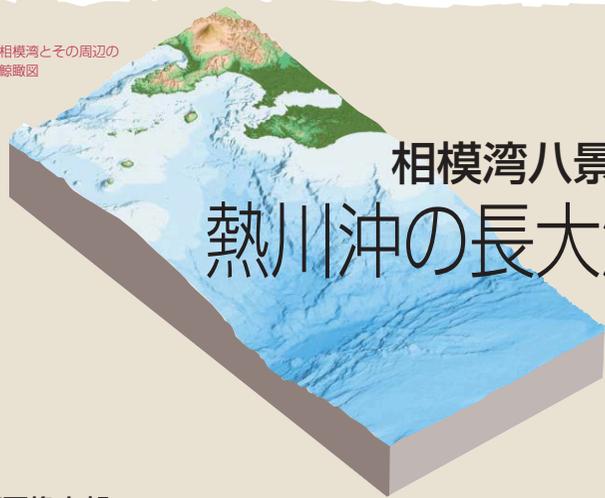
次に側方流動をなくすこと。砂地盤の上に家を建てるなら、周囲に矢板と呼ばれる板を打ち、できるだけ砂の流動性を低くします。また、万が一粒子間の摩擦を失っても砂粒子が動かないように、砂同士のすき間を粘着物質で埋める方法もあります。セメントミルクと呼ばれる、セメントを薄く溶いた粘着物質を砂地盤に流しておく効果があるのは、本当の話です。

また、水圧のかからない場所であること。川の真横や海のそばは景色がよいので家を建てたくなりますが、とにかくよ

ろしくありません。一度液状化した地盤は前よりよく締まって安全だという話がありますが、それはまったくの間違いです。川岸や岸壁といった水の流れるそばにある場所では、水圧変化によって砂の強度はすぐ失われます。また、岸に近いほど側方流動も起きやすく、矢板も曲がっていきます。最後の手段は、揺れない岩盤まで深く杭を打ち込んで、その上に家を建てることです。

結局、砂上の楼閣は普段は安定していても、地震が来ると危ないのです。貴重な財産や家族を守るために、軟弱地盤の上には住まない、粘土地盤だったら何らかの方法で地盤改良をする、川や海のそばに家を買わないことです。昔、水田だったところにも住まないことです。液状化を防ぐ方策がないわけではありません。しかし、最善の策は、危険性の高いところを見極め、それらを避けることです。

相模湾とその周辺の
縮図図



相模湾八景 其三 熱川沖の長大溶岩流

藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

ふじおか・かんたろう。1946年、京都市生まれ。理学博士。東京大学理学系大学院修士課程地質学専攻修了。東京大学海洋研究所、海洋科学技術センター-深海研究所、ウッズホール海洋研究所、極限環境フロンティア研究システム、(株)グローバル・オーシャン デベロップメント、固体地球統合フロンティア研究システムを経て2007年より現職。有人の潜水調査船を使った「深海底生物学」の提唱者。MODE'94やMODE'98の主席を務め、1998年潜水船で人類初のインド洋潜航。大西洋、太平洋、インド洋の三大洋潜航を初めて達成した科学者。現在までに59回潜航。専門は地質学。論文多数。主な著書に『深海底の科学-日本列島を潜ってみれば』NHK出版、『深海のパイロット』光文社新書、『伊豆・小笠原弧の衝突』有隣堂新書などがある。

相模湾八景のその3として、伊豆半島・熱川の東沖で見つかった、とてつもなく長い距離を流れた溶岩「長大溶岩流」をお届けします。

相模湾のなかにプレートの境界や火山フロントが存在することは、すでに述べてきました。火山フロントとは、火山が分布する最も海溝側の線（これより海溝に近いところには火山が出てこない）、日本列島のような島弧の火山は火山フロントに沿って多く見られます。東北日本では恐山や十和田火山、関東では男体山などがそうです。

伊豆・小笠原弧は、北は八ヶ岳から南は硫黄島まで全長1,200kmにもわたって連なる島弧です。北には箱根、南には大島などの火山があることから、相模湾のなかでは現在もまた過去にも火山活動があったに違いない、と誰しもが思うところです。相模湾のなかにある初島にも玄武岩（高温のマグマが地表に流れ出し急速に冷え固まった火山岩の一種）の露頭が存在しており、ここでも過去に火山活動があったことが分かります。

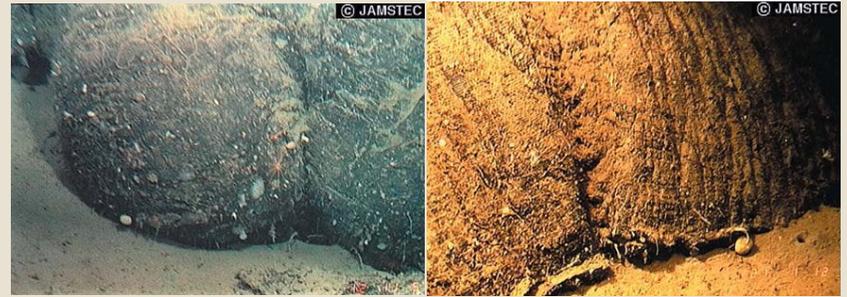
火山活動には、1986年に起きた大島三原山の噴火のようにじわじわ流れる玄武岩質の比較的静穏な噴火から、十和田カルデラをつくったような流紋岩質の爆

発的な噴火まで、いろいろあります。1984年、JAMSTECの曳航体によって、地震の跡の海底調査が行われました。その折、サイドスキャンソナーによって、伊豆半島熱川の東の沖に火山岩らしい反射の強い地形が見つかっていました。サイドスキャンソナーとは、曳航体から横方向に音を出して海底の起伏や反射の強弱を見るもので、海底の微細地形や底質の解析に有用です。もちろんカメラを搭載していれば、海底の観察や物探しをすることができます。

1985年6月11日と12日、「しんかい2000」による第173、第174潜航で、サイドスキャンソナーによって見つかった強い反射の場所を調査していた田中武男氏は、パイロットの田代省三氏、内田徹夫氏、コパイロットの桜井利明氏とともに、何とも長い溶岩流を発見しました。これは「熱川沖の長大溶岩流」として知られています。この溶岩流は、部分的には枕状溶岩になっていました。そして海底のリッジ状の高まりを形成していたのです。

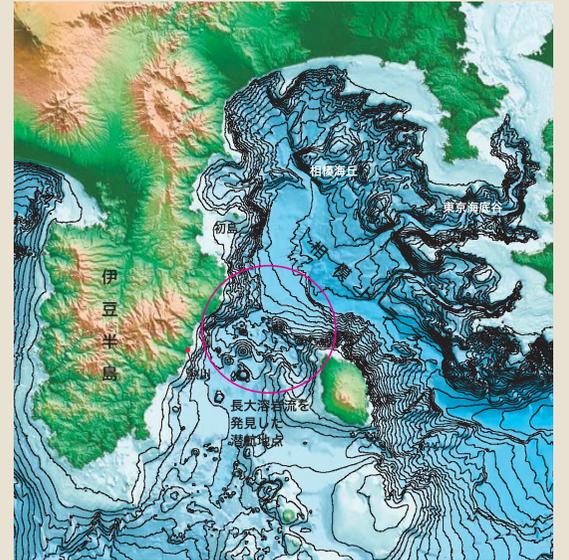
ハワイ島のプー・オーという火口から噴き出した溶岩が陸上を流れ下って海に入っていく姿を、テレビなどで見た人は多いと思います。最近では、マリアナ諸島のロタ島近くで海底火山の噴火の現場が目撃されています。また、東太平洋海溝で極めて新しい溶岩が池のような地形をつくっていたり、表面が陥没していたりする様は、潜水調査船などによって目視されていますが、海底を溶岩が流れる姿を見た人はまだいません。大西洋中央海嶺などでも、たくさんの枕状溶岩が見られます。このような溶岩は、どのようにして海底を流れたのでしょうか？

熱川沖の溶岩流は、潜航や地形調査などによって最大16kmもあることが分かりました。この海域への潜航



「しんかい2000」第174潜航の水深1,243m（左）と第218潜航の水深1,335m（右）で見つかった「熱川沖の長大溶岩流」の露頭

関東海域の海底地形図



は10回ほど行われており、溶岩の上流、中流、下流の様子が調べられています。先端は海底の泥のなかに突っ込んでいて、専門的にはペレライトという泥と玄武岩が混ざった岩石になっています。このような長い距離を流れる溶岩ができるためには、溶岩のもとになったマグマの粘性が極めて低くなければなりません。日本の火山では、粘性の低いマグマは極めて珍しいのです。相模湾では、このような溶岩流はいまのところ1枚しか見つかっていませんが、よく調べればまだまだあるのではないかと気がします。

海底を流れる溶岩は、最初は1,000℃にも達する高温の玄武岩質マグマとして海底に出てきます。マグマが冷たい海水に接すると、急冷して表面をガラス質な岩石で囲まれた枕のような断面構造をつくります。このような溶岩を「枕状溶岩」と呼んでいます。これは、斜面を流れるときには細長いチューブのようなかたちになります。表面にガラス質の皮ができて内部はまだ熱いので、マグマは表面の皮を突き破って斜面を流れ下ります。このような機構が何回も繰り返して起これば、長い溶岩流ができるのでしょう。長い溶岩流ができるためには、同じ場所から大量のマグマが出てくる必要があります。

大島の溶岩については、東京大学地震研究所の故中村一明氏によって陸上の調査や多くのボーリング調査が行われ、過去1万年にもわたる詳しい噴火活動が明らかにされています。しかし、そのように粘性の低いものはありませんでした。大島の多数の火山岩の化学成分は、どれも似たり寄ったりです。そして面白いことに、熱川沖の長大溶岩流の化学成分は、大島の火山の溶岩とまったく同じなのです。つまり、熱川沖の

長大溶岩流の起源は、化学成分や地理的な分布から大島らしいことが分かりました。ただし、大島では1万年以上前から多数の噴火が起きています。そのうちのどれが、熱川沖の長大溶岩流に相当するのかわかりませんが、今後の課題です。火山の年代が新しく過ぎて、年代を決める方法がないのです。

日本の神話の「八叉の大蛇」は、夜に輝いて見える溶岩の流れだという説があります。そうだとすれば、この海底の溶岩流は、まさに海底の八叉の大蛇、ということになるのではないのでしょうか。冷えた巨大な八叉の大蛇を見てみましょう。

BE

おしまの
わきをながる
ながくながれて
みねと谷りけり
まくまがわ
熱川沖

JAMSTEC BOOK 始めました。

全国書店、オンライン書店にてお買い求めください。

*JAMSTEC BOOKとは、JAMSTECが発信する海洋地球科学に関する書籍です。

はじめての海の科学 JAMSTEC Blue Earth 編集委員会 編



私たちの住む地球、その表面の約70%が海です。この海について、いったいどれだけのことを、私たちは知っているのでしょうか？「海の大きさはどれくらい？」といった素朴な疑問から、「地球シミュレータ」による地球温暖化の予測まで、この一冊で海の科学を手軽に知ることができます。JAMSTECならではの、貴重な深海の写真や美しいイラストが満載。中学・高校の理科の教材にも最適です。

第1章 海洋の基礎知識	定価 1,680円(税込)
第2章 極限環境に生きる生物	体裁 B5判・114ページ・オールカラー
第3章 海洋研究の先端技術	出版社 創英社/三省堂書店
第4章 海洋とくらし	発行日 2008年4月1日
	ISBN 978-4-904226-00-1



『Blue Earth』定期購読のご案内

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

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、右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、請求書をお送り致しますので、請求書に従ってご入金をお願いします。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。

○銀行振り込み
当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報館2階 図書室
請求書をご持参ください。手数料は必要ありません。請求書発行日の翌月末までの平日(年末年始などの休館日を除く)に限りです。

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■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。左記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は、『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。

海と地球の情報誌『Blue Earth』第20巻 第2号(通巻94号)2008年3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 有限会社フォントクリエイト

取材・執筆・編集 立山 晃(p20-25)/鈴木志乃(p11-17, p30-31, 裏表紙)/坂元志歩(p18-19, p26-29)

デザイン 株式会社デザインコンヒビア(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。

賛助会(寄付)会員名簿 平成20年4月14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	国際警備株式会社	帝国石油株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
株式会社アイ・エイチ・アイリユニテッド	国際石油開発株式会社	株式会社テザック	深田サルベージ建設株式会社
アイブ印刷株式会社	国際ビルサービス株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
株式会社アクト	五洋建設株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	相模運輸倉庫株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
朝日航洋株式会社	佐世保重工業株式会社	東海交通株式会社	富士通株式会社
アジア海洋株式会社	三建設工業株式会社	海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
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東京海上日動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
アレック電子株式会社	財団法人塩業センター	東京製綱繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
東産業株式会社	東産業株式会社	有限会社システム技研	古河電気工業株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	シナネン株式会社	東洋建設株式会社	古野電気株式会社
エヌケーシーレス鋼管株式会社	清水建設株式会社	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	シユルンベルジュ株式会社	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	株式会社商船三井	有限会社長澤工務店	株式会社マン・ワーク・ジャパン
株式会社江ノ島マリナーコーポレーション	昭和ペトロリウム株式会社	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	社団法人信託協会	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	新日鉄エンジニアリング株式会社	西松建設株式会社	株式会社マルトール
株式会社OCC	新日本海事株式会社	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	須賀工業株式会社	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	鈴鹿建設株式会社	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	スプリングエイトサービス株式会社	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	住友電気工業株式会社	日本SGI株式会社	日本造船株式会社
鹿島建設株式会社	清進建設株式会社	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	石油資源開発株式会社	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	セナーアンドバーンス株式会社	日本海洋掘削株式会社	株式会社明電舎
株式会社関電工	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本海洋計画株式会社	株式会社森森建築事務所
株式会社キュービック・アイ	株式会社総合企画アンド建築設計	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・フローカース株式会社	株式会社損害保険ジャパン	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	第一設備工業株式会社	日本興亜損害保険株式会社	郵船ナブテック株式会社
極東貿易株式会社	大成建設株式会社	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	大日本土木株式会社	社団法人日本産業機械工業会	株式会社星屋社
株式会社熊谷組	ダイハツディーゼル株式会社	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
株式会社クロスワークス	太陽日酸株式会社	日本電気株式会社	
株式会社グローバルソリューションズ	有限会社田浦中央食品	日本ヒューレット・パッカート株式会社	
京浜急行電鉄株式会社	高砂熱学工業株式会社	日本無線株式会社	
KDDI株式会社	株式会社竹中工務店	日本郵船株式会社	
株式会社ケンウッド	株式会社竹中土木	株式会社間組	
株式会社構造計画研究所	株式会社地球科学総合研究所	濱中製鋼工業株式会社	
神戸ベント株式会社	中国塗料株式会社	東日本タグポート株式会社	
国際気象海洋株式会社	株式会社鶴見機構	株式会社日立製作所	

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)
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 〒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)
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)
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

「しんかい6500」の 仕事場を訪ねて

この写真は、有人潜水調査船「しんかい6500」が深海で探査を行う様子を捉えた、非常に貴重なもの。「しんかい6500」と3,000m級無人探査機「ハイバードルフィン」の2機を一緒に潜航させる“ジョイントダイブ”によって実現した。

撮影されたのは、2006年8月3日、石垣島の北西約50km、沖縄トラフ鳩間海丘の深度1,500m付近。海底から熱水が噴き出し、熱水に含まれる成分が煙突状に堆積してきた“ビッグチムニー”がそびえ立つ。チムニーに群がっている無数の白い生物は、ゴエモンコシオリエビだ。「しんかい6500」は、ビッグチムニーにぎりぎりまで近づき、水中で停止したまま熱水の温度を計測し、マニピュレータを使って試料を採取する。

「しんかい6500」の探査活動は、乗組員3人の命を守る耐圧殻、水中で自由に動き回れるように浮力を生み出す浮力材、自らの位置を知り母船と情報のやりとりを行う音響通信など、さまざまな技術によって支えられている。(2-17ページに関連記事)

