

海と地球の
情報誌

2007年
3-4月号

BlueEarth

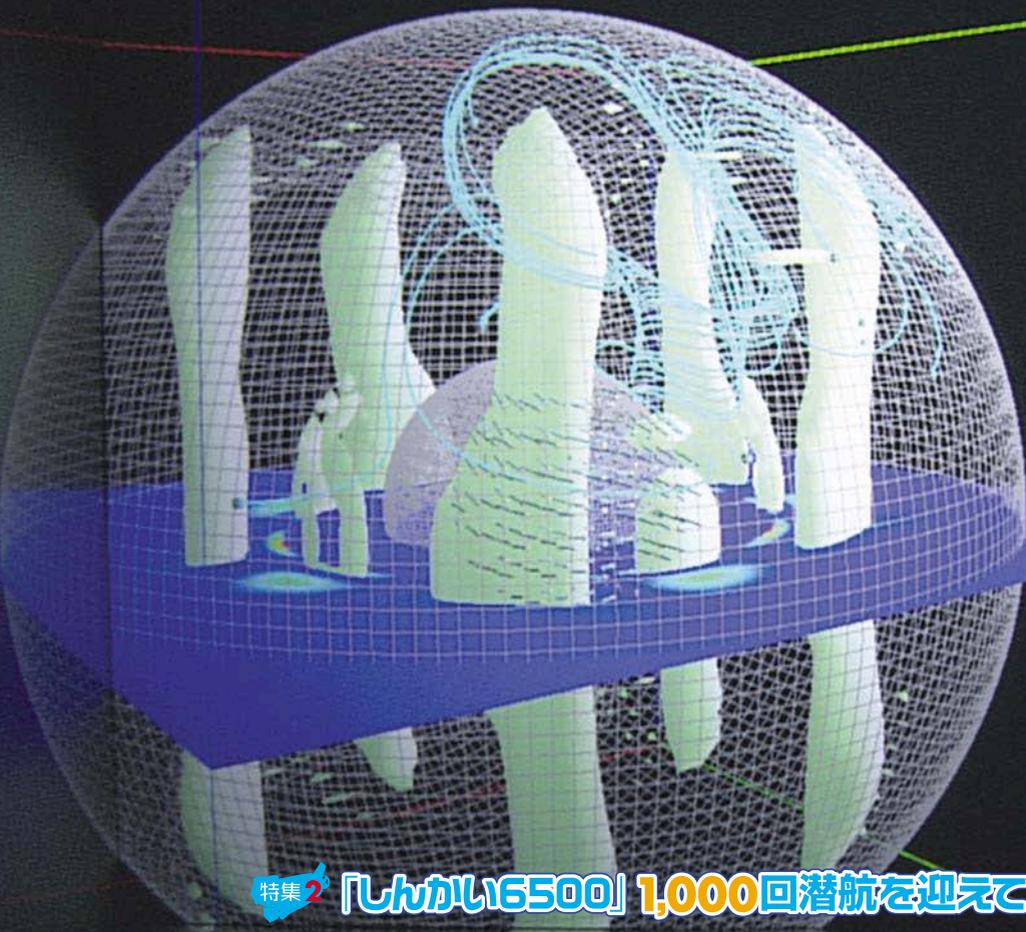
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

「地球シミュレータ」

特集 1

と可視化

シミュレーション研究と
可視化技術の現在



特集 2

「しんかい6500」1,000回潜航を迎えて

Aquarium Gallery 生活に馴染み深い魚の飼育にも挑戦 アクアマリンふくしま

新しい種類の火山活動 プチスポットを発見

三陸東方沖約800km (水深約5,900m)

取材協力: 阿部 なつ江 研究員
地球内部変動研究センター
地球内部構造研究プログラム
海洋底観測研究グループ

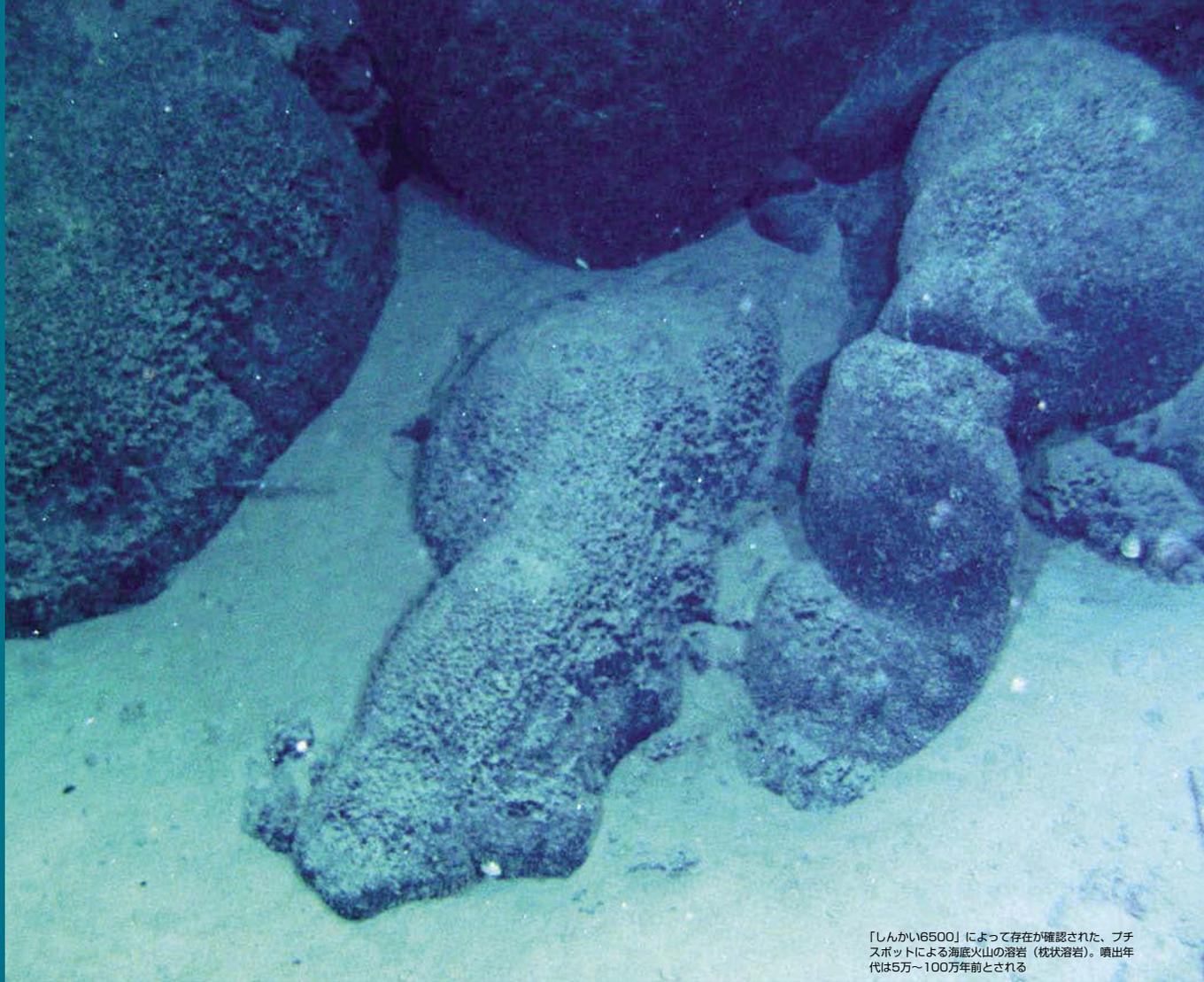
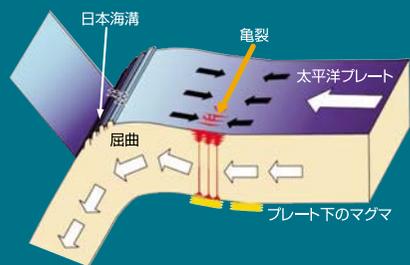
平野 直人 研究員
日本学術振興会 特別研究員 (ポスドク研究員)
カリフォルニア大学サンディエゴ校 スクリプス海洋研究所
地球惑星 物理学研究室

三陸沖で沈み込む太平洋プレート (海洋プレート) 上で、これまで分かっている火山活動とは異なる、新しいタイプの火山が発見された。

発見のきっかけは、1997年11月、日本海溝にほど近い太平洋プレートの調査で、約600万年前に噴出した溶岩 (玄武岩) を見つけたことだった。この一帯のプレートはおよそ1億3000万年前に形成されていることから、発見された溶岩はプレート形成時のものとは違う。研究グループは、この溶岩が噴出した場所をみつけるため、太平洋プレートの動きを600万年分さかのぼった地点で詳しい調査を行った (2003年)。太平洋プレートは、この付近では年間に10cm程度の速さで西北西方向に移動している。したがって、最初に溶岩が見つかった地点から東南東約600kmの海域で、噴火活動がおきていると予測した。予測は的中し、小規模な火山群が確認された (2004年)。海底面からの高さは50~100m、直径は1~2kmという小さな火山だったが、そこから新しい溶岩が採取され、2005年には、有人潜水調査船「しんかい6500」による潜航調査で、海底火山から噴出した新しい枕状溶岩や火山の周囲に点在する火山弾が確認された。

当初、なぜここで火山活動がおきたのか、その理由が分からなかった。これまで説明されている地球上の火山活動の、どのタイプにも当てはまらなかったためだ。「プチスポット」と名づけられたこの火山活動は、これ

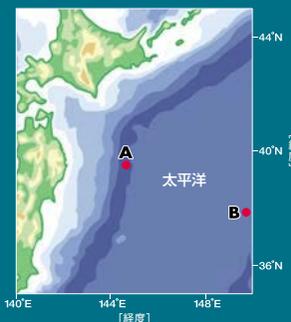
までの研究から、次のようにしておきると推測されている。海洋プレートは、厚さ約5~6kmの地殻とその下にあるマントル最上層 (厚さ数十km~100kmほど) からなる岩石圏で、その下にはアセノスフェアと呼ばれる粘性の低いマントルが存在する。太平洋プレートは、日本海溝に沈み込む (折れ曲がる) 際に、日本海溝の東側でわずかに盛り上がるように屈曲する。そのとき、沈み込む方向とは逆向き (圧縮力) が生まれ、プレートに亀裂が生じる。この亀裂に沿って、プレートの下に広がるアセノスフェアから少量のマグマがしみ出すように噴出し、海底火山が形成された (イラスト参照)。研究グループは、今後も様々な調査を続けることによって、プチスポットのメカニズム解明や活動の検証を行っていく予定だ。



「しんかい6500」によって存在が確認された、プチスポットによる海底火山の溶岩 (枕状溶岩)。噴出年代は5万~100万年前とされる



火山の周りに点在する火山弾。こうした岩石から太平洋プレート深部の岩石を内包する捕獲岩が見つかった



A : 1997年11月に玄武岩試料が採取された場所
B : 今回発見された新しい火山の場所



水深約5,900mの海底で岩石試料の採取を行う「しんかい6500」



採取された溶岩試料 (火山弾) から見つかった捕獲岩。捕獲岩は、マグマが地下深部から上昇する際に、通り道で破碎した地殻や上部マントルの岩石を取り込んで噴出したもので、海洋プレートの構造や発達史を理解する上で重要な情報を含んでいる。写真は溶岩 (濃い茶色の部分) に、太平洋プレート深部 (海底下40~50km) の物質 (オレンジ色・緑色の部分) を包有していると思われる

「地球シミュレータ」

特集 1

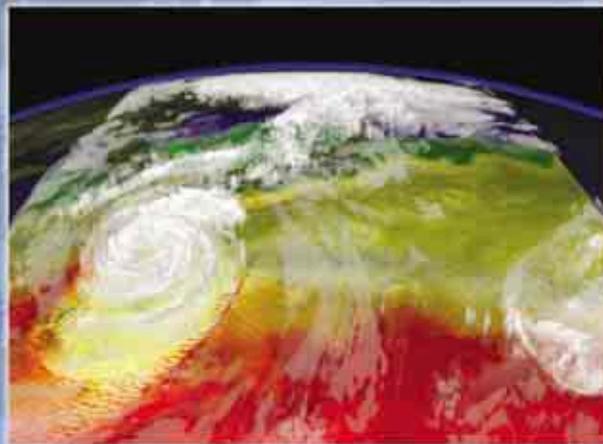
と可視化

シミュレーション研究と 可視化技術の現在

数値データから画像をつくる

「地球シミュレータ」の開発は、地球温暖化問題の解明を視野に入れ、地球規模で起きる気候変動や地球内部変動などの解明をめざした、高度なシミュレーション研究を行うことから始まった。海洋、大気、固体地球など、地球におけるさまざまな階層における変動、階層間の複雑な相互作用、さらにそれに影響を与える人為的行動や社会背景までを考慮した高度なシミュレーションは、いまや理論や実験を実証する単なる道具ではなく、新しい研究手法として確立されてきた。そして、その非常に複雑なシミュレーションで得られた予測結果には、私たちが目で見て感覚的に理解できるものも多い。これは、「地球シミュレータ」による予測結果をわかりやすく可視化してあるからだ。地球温暖化のような社会的問題では、可視化によって研究結果を広く社会に伝えることができる。同様に、研究の世界でも、シミュレーションによって得た予測結果をわかりやすく表現することは非常に重要だ。研究者がより感覚的に現象を理解することで、さらに研究は広がりを増し、多くの人と結果を共有することができる。今回は、2002年の誕生から5年を迎えた「地球シミュレータ」が、今後、私たちに見せてくれる世界と、それを可能にする可視化技術について紹介する。

台風の進路予測シミュレーション



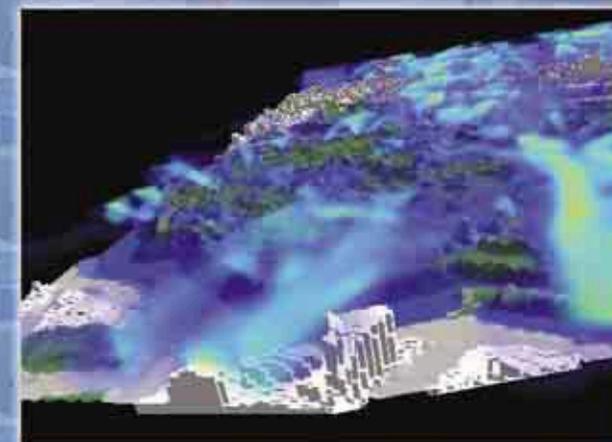
平成15年台風10号の進路予測シミュレーション。台風の目の動きによる海水温の変化が予測されている
(シミュレーションデータ：ESC複雑性シミュレーション研究グループ)



火山の噴煙シミュレーション

火山からあがる噴煙量や噴火の様子を再現したもの
(シミュレーションデータ：地球内部変動研究センター)

都市の気象予測シミュレーション



手前にあるのが大手町のビル群で、樹木の多い皇居、お堀を風が吹き抜ける様子が再現されている。色の明るい部分は風が強い
(シミュレーションデータ：ESC複雑性シミュレーション研究グループ)

Blue Earth

CONTENTS

3-4月号/2007



表紙：「BRAVE」で表示した地球の内部シミュレーション

- 2 特集-1「地球シミュレータ」と可視化シミュレーション研究と可視化技術の現在
- 4 「地球シミュレータ」によるシミュレーション科学の現在と未来
- 8 ビジュアリゼーションとはなにか
- 14 シミュレーション研究を支えるビジュアリゼーション

16 特集2「しんかい6500」1,000回潜航を迎えて

【座談会】
有人潜水調査船「しんかい6500」と日本の有人深海調査

22 研究の現場から Special さらなる進化をめざす 有人潜水調査船「しんかい6500」

24 1,000回潜航記念インタビュー
東京大学 海洋研究所
蒲生 俊敬 教授
東北大学大学院
藤本 博己 教授

28 Aquarium Gallery
生活に馴染み深い魚の飼育にも挑戦
アクアマリンふくしま

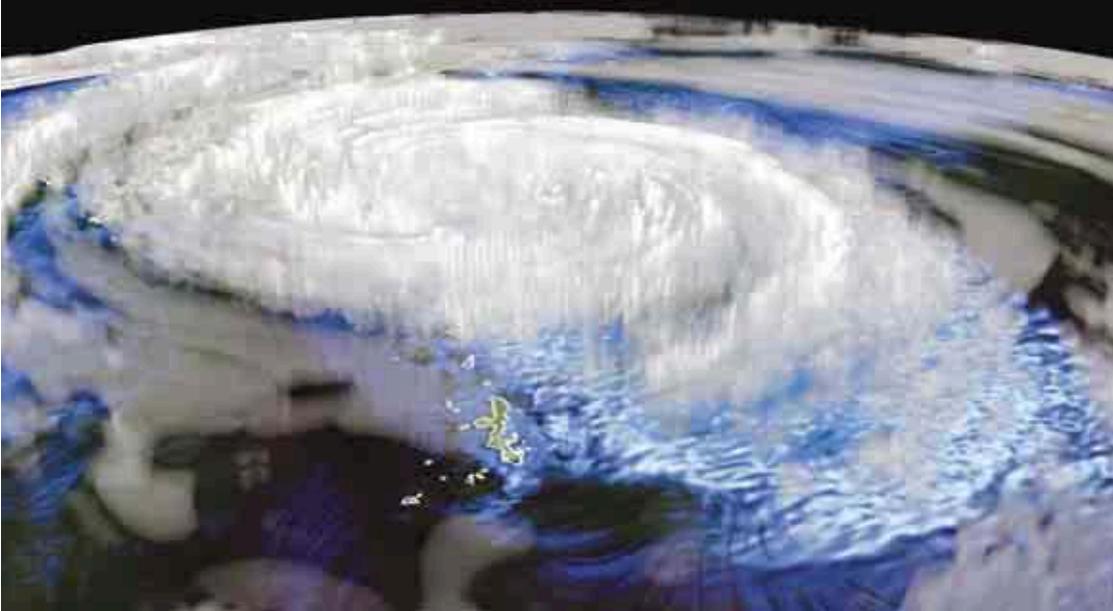
30 Marine Science Seminar
熱水噴出孔の謎にせまる
～極限環境の水「超臨界水」と生命の起源～

34 BE ROOM
Topics
科学雑誌「ニュートン」と共催で「深海研究室」を開催
36 新江ノ島水族館「相模湾大水槽」で水中探査機による水中生物追跡機能試験を実施
38 JAMSTEC BOOK『はじめての海の科学』を刊行
39 第9回「ハガキにかこう海洋の夢」入賞者決定

40 プレゼント
『Blue Earth』定期購読のご案内
JAMSTEC メールマガジンのご案内

賛助会会員名簿

台風10号の進路予測シミュレーション
平成15年台風10号が沖縄上空を通過する様子。台風のみと
その下の海の様子が再現されている
(シミュレーションデータ：ESG 複雑性シミュレーション研究グループ)



左図の台風10号を別の手法で可視化したもの。温かく湿った空気が山を越える時に冷やされ、雨を降らし、乾燥して山を越える様子を再現したものの、色で温度を表し、大きさで湿度を表している。球の色は温度を表わし、球の大きさは湿度を表わす。[赤(高温)～青(低温)、大(湿)～小(乾)]
(シミュレーションデータ：ESG 複雑性シミュレーション研究グループ)

わは数値解析だったのである。たとえば気候分野では、古くからの伝統である観測・理論研究の割合が大きく、シミュレーションは脇役の位置に甘んじていた。しかし現在、シミュレーションは地球温暖化から、エルニーニョのような年々変動、台風のようなスパンの小さなものまで予測できる唯一の研究手法として、研究の中心的役割を占める。「現在、『地球シミュレータ』を使って英国と共同研究が行われていますが、英国側が中心になって気候変動に対する予測シミュレーションのサマースクール開催計画が進められています。気象の研究者たち自らが積極的にシミュレーション気象学者を育てようとしている。それだけ『地球シミュレータ』のシミュレーションによる予測が現実味を帯びてきたということでしょう。また温暖化に対する各国の政策や、自然災害への取り組みに関する大きな指針ともなっています。そのインパクトは大きく、今後のスーパーコンピュータのあり方にも大きな影響を与えるでしょう」

「地球シミュレータ」は未来をのぞく望遠鏡

「地球シミュレータ」の登場で、人類はシミュレーションをもとに未来を具体的に予測することが可能となった。「シミュレーションは未来をのぞく望遠鏡である」というのが、地球シミュレータセンター(以下ESG)・佐藤センター長の持論でもある。

「この5年間『地球シミュレータ』はいろいろな形で報道されましたが、最近、本来の『地球シミュレータ』の役割がやっと浸透してきたという印象を受けます。温暖化予測などについても、学問の世界だけではなく一般社会からの評価も得ることができました。最初のころの取材者・見学者は、世界トップレベルの高速スパコンを見たいという、もの珍しさで来る人も多かったのですが、最近では『地球シミュレータ』で解きたい具体的な問題を携えての来訪者が目立ちます。たとえば損害保険会社からは、気候変動や自然災害のリスクをより正確に把握するために中期・短期の予測がほしいとお話があったりします。『地球シミュレータ』の社会への貢献度の高さを評価してくれていると感じますね。シミュレーションの本質を深くとらえた質問をくださる人も増えてきて、楽しみになってきました」

シミュレーションの本質とは、今まで科学の方法論で扱えなかった非常に複雑な現象をまるごと扱うことを可能にし、現実性の高い予測を行えるところにある。さらに適用対象も幅広い。固体地球分野など、数億年単位の時間スケールを扱う壮大な科学研究に力を発揮している一方で、新しい製品を開発生産していく上でも活用され、社会に役立つ道具であるということが実証されてきた。

しかし「地球シミュレータ」の登場までは、シミュレーションは観測や実験から自然界の法則を見出していくニュートン以来の理論研究の延長として、い

シミュレーションの本質とは、今まで科学の方法論で扱えなかった非常に複雑な現象をまるごと扱うことを可能にし、現実性の高い予測を行えるところにある。さらに適用対象も幅広い。固体地球分野など、数億年単位の時間スケールを扱う壮大な科学研究に力を発揮している一方で、新しい製品を開発生産していく上でも活用され、社会に役立つ道具であるということが実証されてきた。

そして今、ESGが力を注いでいるのは、データをより効率的に活用するために、単なる数字の羅列ではなく、3次元の画像あるいは動画として見えるようにする可視化(ビジュアルイゼーション)プログラムなど、「地球シミュレータ」の潜在力をとことん引き出すソフトウェア開発とその普及である。



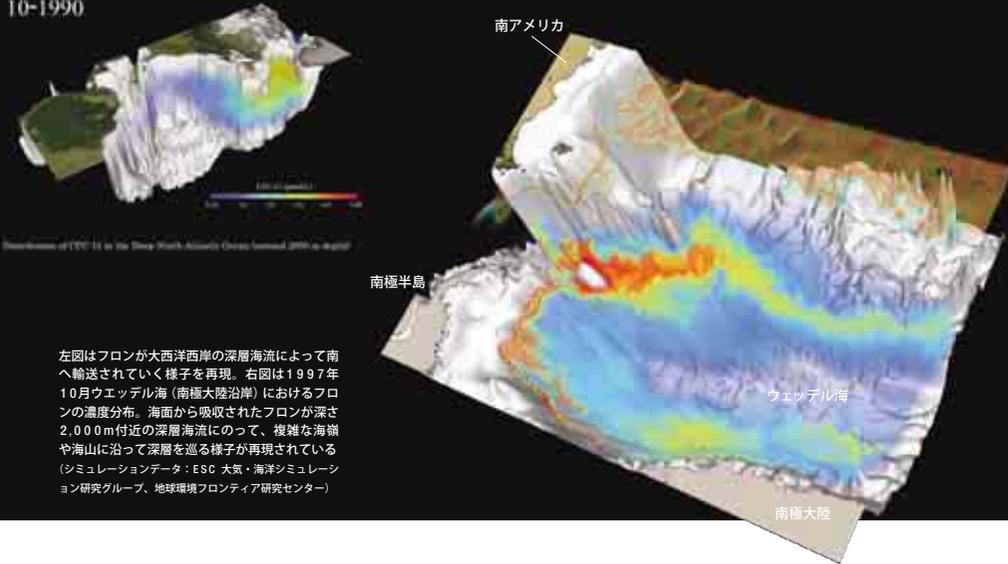
水が雲になっていく様子と、雲から雨になるまでを再現したシミュレーション。白は雲粒を表し、雨粒の成長過程を、青(小)～黄～橙色(大)で表している(シミュレーションデータ：ESG アルゴリズム研究グループ)

数値データをリアルに表現する「可視化」で新たな段階へと進む 「地球シミュレータ」による シミュレーション科学の現在と未来



取材協力：
佐藤 哲也 センター長
地球シミュレータセンター

地球シミュレータ計画が始まって5年。地球シミュレータセンター(ESG)では、その性能を最大限に活用し、より信頼性の高い研究が行えるよう、新たなシミュレーション手法やシミュレーションプログラム、可視化プログラムの開発を行ってきており、その成果は広範囲な分野で活用され始めている。また、可視化を進めることによって、研究結果を社会一般に、よりわかりやすく伝えることが可能になった。たとえば世界が直面している緊急課題である地球温暖化予測でも、シミュレーション研究の有効性と重要性を印象づける結果となっている。その成果を受けてのESGの現在の取り組みと、これから目指すべき目標とは何か、佐藤哲也センター長にお話を伺った。



左図はフロングが大西洋西岸の深層海流によって南へ輸送されていく様子を再現。右図は1997年10月ウエッデル海（南極大陸沿岸）におけるフロンの濃度分布。海面から吸収されたフロングが深さ2,000m付近の深層海流にのって、複雑な海嶺や海山に沿って深層を巡る様子が再現されている（シミュレーションデータ：ESC 大気・海洋シミュレーション研究グループ、地球環境フロンティア研究センター）

データは使える形でこそ価値がある—可視化への取り組み

たとえば「台風の進路予測」という研究テーマが決まると、水蒸気の蒸発や風の流れなど台風の勢力や進路に影響を与えるたくさんの現象を選び出す。それぞれの現象は、条件が変わるにつれてどのように変化していくのかを示す物理方程式を使ってシミュレーションプログラムをつくる。より現実に近い予測となるように、観測による実測値を初期状態としてプログラムに入れてシミュレーションを開始する。複雑な現象を取り扱うほど、考慮しなければならない現象が増え、計算すべき項目も増えていくことになる。そのため「地球シミュレータ」からは膨大なデータが日々生み出されるが、データはそのまま使えるわけではなく、データをいかに生み出しても、そこで何が起きているか人間がその意味を解釈しなければ、研究としては意味をなさないのである。膨大なデータのなかから「こういう現象が起きているのか」と理解できて初めて、研究が進むのだ。

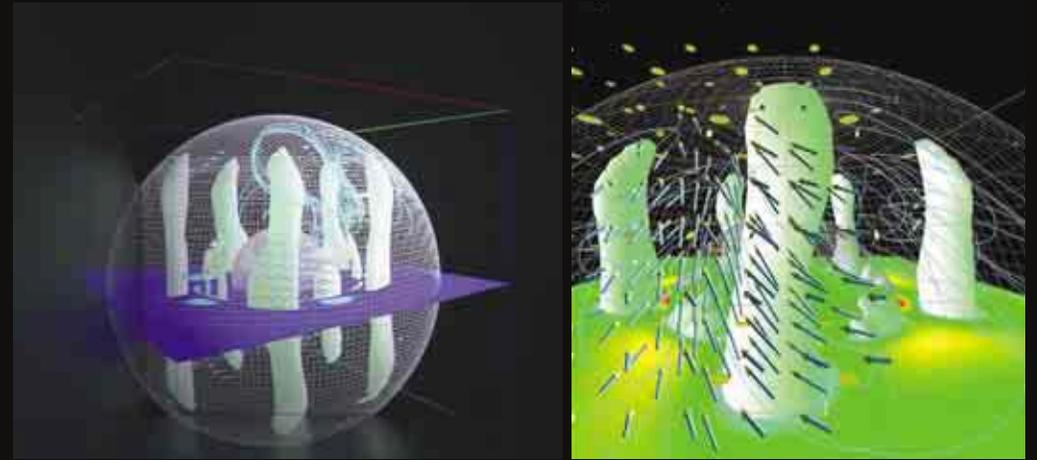
そこで、大量のデータをいかに迅速に、人間が理解できる形にしていけるかが重要になってくる。そのための手法の1

つが可視化である。「私が最初にそれを意識したのは、核融合プラズマの研究をしているときでした。取り扱う情報の大きさや、計算を終えるまでの実行時間の長さ。それから、計算したデータを眠らせずに、そこからいかに埋もれた宝石を取り出してくるかというデータ処理の問題。その3つはシミュレーションにおいて対等の重みを持つものです。可視化をきちんとしないと、せっかくのデータが不良在庫としてホコリまみれのまま倉庫に眠ることになりかねません。情報は常に活用されるなら『地球シミュレータ』はデータの製造機械で、データという素材をさらに使いやすく加工して信頼性の高い製品にし、必要な人の元まで届ける必要があるのです。そこまでできてやっと、本当にシミュレーションが社会の役に立つことになりそうです」

データのなかからいち早く気になる部分を取り出し、研究につなげられるよう、ESCの取り組み可視化は、まず全体を大きな視点から見るものと、一部分を抜き取ってより細く見るものの2段階に分けられている。まず世界の気象の動きや深層海流のようすなど、

荒削りな状態ながら全体を3次元で直感的につかめるバーチャルリアリティ・システムが第1段階だ。その大まかな3次元のなかで、研究者が重要なプロセスや現象を見いだしたら、次にその部分を詳細に見ていくために第2段階の可視化が必要となる。この部分は個々の研究者が手元のパソコン画面上でいつでも自由に使える形にすることにした。この2段階を連続的なシステムとして構築中である。

第1段階の手法の1つで、全体をより直感的に把握できる新しいバーチャルリアリティ・システムがVFIVE（ブイファイブ）だ。VFIVEは人が3次元画像のなかに入って、見たいところを自由自在に動かせるシステムで、研究者が思いついたことをすぐ見られるよう、レスポンスを速くする方向で開発が進められている。現在、地中深くのマントルの流れを再現するシミュレーションを可視化し、ゴーグルをかけた研究者が3次元画像のなかに入って、見たい部分を操作できるようにする実験が行われている。時間スケールが大きいマントルの流れは、人間が実際に観測することは不可能で、シミュレーションが唯一の研究手段となっているため、可視化に



バーチャルリアリティシステムBRAVEで表示した地球の内部、深さ3,000mのシミュレーション。中央に見える小さな球は内核。内核の周囲には外核があり、その成分が対流している様子を再現している（シミュレーションデータ：ESC 固体地球シミュレーション研究グループ）

よる研究促進に大きな期待がかかっている。

一方、第2段階にあたる手法が、手元に置いて詳細を見ていくための可視化システムYYView*（ワイワイビュー）だ。これについてはテキサス大学のビジュアライゼーショングループと共同で開発を行っている。可視化装置の性能はシミュレーションの生み出すデータ量に追いついていない。そこで既存の可視化装置の能力のなかで大量のデータを扱えるソフトウェアを開発し、それをVFIVEやYYViewの体系の中に組み込んであるのだという。

性能の限界をソフトウェアで超える

「装置の能力が小さくても、ソフトウェアを工夫すれば、膨大なデータ処理能力をそのなかにつくり出すことができます。シミュレーションプログラムも同じで、コンピュータの特性をふまえて、その能力を最大限に引き出せるものが見つかるかどうか勝負です。『地球シミュレータ』は機械性能としては世界最速ではなくなりましたが、まだまだソフトウェアの力でその潜在力を何倍にも活用することができます。『地球シミュ

レータ』の性能は40テラフロップス*ですが、プログラムの実行スピードが10倍速くなれば、同じ処理が10分の1の4テラフロップス機械で可能になる。ハードウェアは同じでも、ソフト開発など人間の工夫で処理能力は段違いに上がるのです」

ESCでは、「地球シミュレータ」の能力を最大限に生かすプログラムを白紙の状態からつくっており、非常に速い、よいプログラムが出てきているという。「ESCの研究者は、方法論の変革で学問を飛躍的に推進させようという観点からもを見て、独自のプログラムやアルゴリズムで、『地球シミュレータ』をとことん使いこなすことを考えています」そうやって「地球シミュレータ」がフル活用され、たくさんのデータを生み出すほど、データを理解しやすい形にする可視化の重要性も増す。データをより早く、研究者が使いやすい形に加工できれば、さらに研究そのものもスピードアップする。さらに、可視化によってシミュレーション研究の成果そのものを一般社会の人たちに理解してもらいやすいという利点もある。ESCでは、これまで注力してきたVFIVE、YYView、データを入力すると自動的

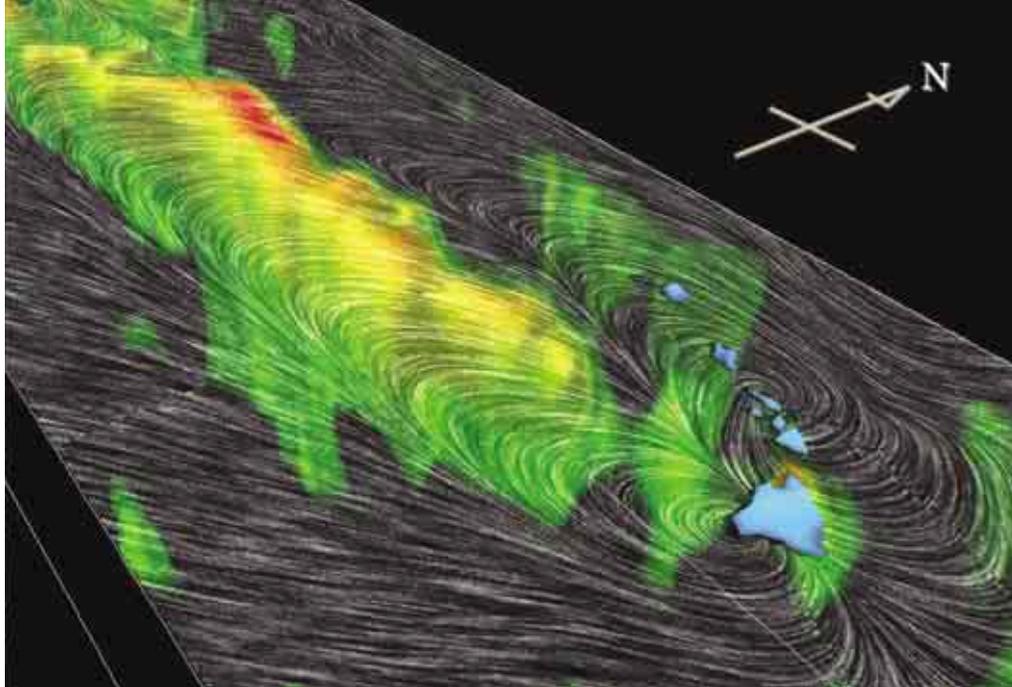
に可視処理するMovie Makerなどの可視化ソフトウェア開発がほぼ終了している。これからはさらに、誰もが使いやすいマニュアルづくりやより多くの研究者へ向けた普及広報活動に力を移していくとともに「地球シミュレータ」を徹底活用しながら、新たな飛躍に向けて用意する心積もりだという。

*YYView：VFIVEで視観した3次元構造の一部を自由に切り出して、各研究者がデスクトップパソコンで詳細に可視化するためのプログラム。
*テラフロップス（TFLOPS）：コンピュータの処理速度を表す単位の一つ。1秒間に1兆回の浮動小数点数演算（実数計算）を実行できることを意味する。



血流のマルチスケールシミュレーション。赤血球の変形から心臓のなかの流れまでを再現している

（大阪大学大学院基礎工学研究科・和田成生、中村匡徳／東北大学大学院工学研究科・北川義隆 提供）



ハワイ諸島の風の動きと海流のシミュレーション
東から吹く風がハワイ島にあたり、二手に分かれた風が西で1つになって再びハワイ島の方に吹いてくる様子が見える。この風の影響で、風の通り道の海面下の東西方向の海流が速くなっている
(シミュレーションデータ：ESC 大気・海洋シミュレーション研究グループ)

コンピュータと人間をつなぐ架け橋 ビジュアライゼーションとはなにか

「ビジュアライゼーション」という言葉を聞いたことがあるだろうか。日本語に訳すと「可視化」、つまり目に見えないものを見えるようにするということである。私たちは、日常生活のなかでさまざまなビジュアライゼーションに接している。地図は地形や河川、都市や道路などの情報を目に見えるようにしたものであるし、天気予報で使われる天気図は、目には見えない気圧や風向きを目に見えるようにしているといえる。コンピュータシミュレーションの世界では、ビジュアライゼーションがなくてはならない重要なものになっている。ビジュアライゼーションとは何なのか、それがコンピュータシミュレーションでどのように使われているのかを見てみよう。



取材協力：
荒木 文明 研究員
地球シミュレータセンター
シミュレーション高度化研究開発プログラム
高度計算表現法研究グループ

第三の研究手法

科学は、実験や観測といった実際に起こった現象から物理法則などを発見したり、また、理論に基づいて既知の現象のなぞを解明したり未知の現象を予言したりしながら発展してきた。しかし、理論、実験や観測ではまだ解明で

きていない現象も数多く存在している。地球の大気や海洋の変化はその典型的な例である。地球はとても広いので、地球全体で実験や観測をすることは不可能に近い。一部の限られた地域で実施するのがせいぜいである。最近は人工衛星による観測技術も発達してきた

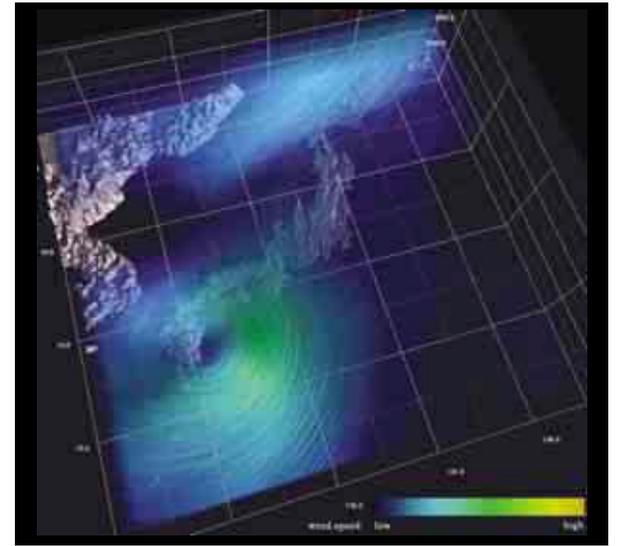
ので、地球規模でも詳細なデータは取れるようになってきた。係留観測ブイなどを使って海面下のデータも詳しく取れるようになってきた。しかし、人工衛星で観測できる場所は地球の表面付近で起きる出来事に限られている。海面下の様子もブイなどの観測機器が到

達できる範囲に限られる。深海やさらに地球内部の変化の様子を調べるとなると、測定手段が極めて限られているというのが現実である。

このような現状において、注目を集めているのがコンピュータシミュレーションである。「地球シミュレータ」の登場によって、大規模なシミュレーションができるようになり、地球全体で起こる現象の変化を計算できるようになってきた。今やシミュレーションは、理論、観測（実験）と並ぶ第三の研究手法として確立されてきた。そのシミュレーション研究になくてはならない技術の1つにビジュアライゼーションがある。

数値データを画像に変える

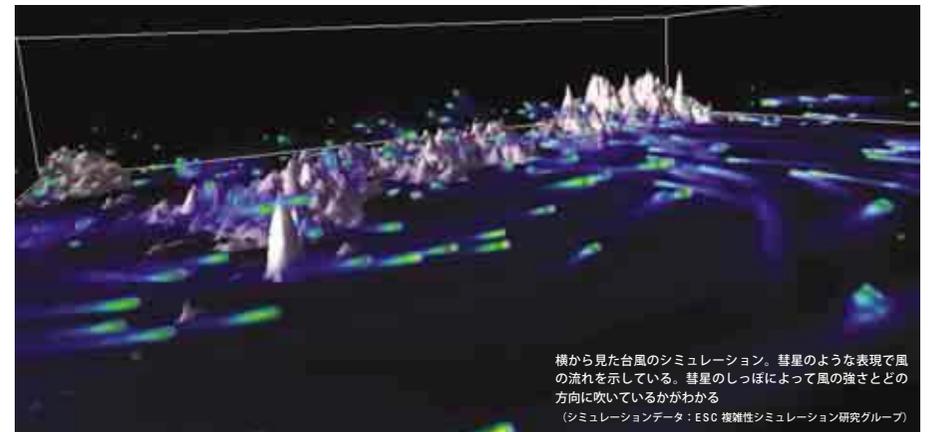
コンピュータシミュレーションというと、私たちは、美しいコンピュータグラフィックスで表現された画像を思い浮かべる。しかし、その考え方は、実は直接的なものではない。シミュレーション結果を画像として目に見える形にする、それがビジュアライゼーション、すなわち可視化の役割である。海洋研究開発機構（JAMSTEC）地球シミュレータセンター（ESC）では、高度計算表現法研究グループがビジュアライゼーション技術の研究を進めている。その一員である荒木研究員はシミュレーションとビジュアライゼーションの関係をこう



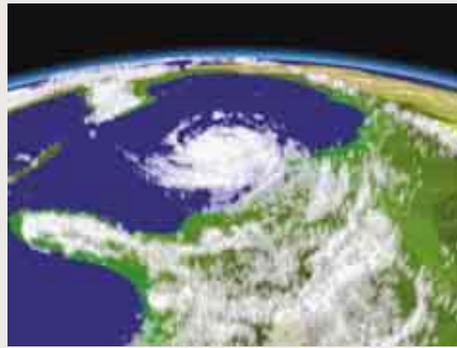
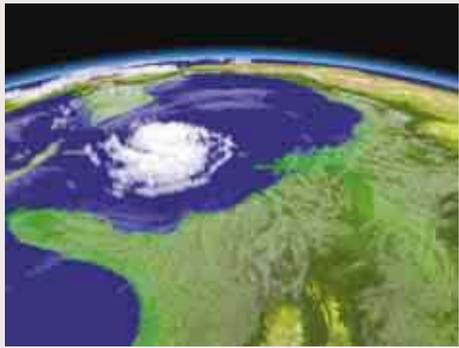
台風シミュレーション画像。すじになっているのは風の流れを表しており、青い部分よりも緑色の部分の方が速い
(シミュレーションデータ：ESC 複雑性シミュレーション研究グループ)

語る。「地球科学の現象を扱っているシミュレーションは、地球上をいくつもの点で区切り、その各点でどのように現象が変化していくかを計算していきます。そして、シミュレーションの最終的な結果は数値データとして出力されます。シミュレーションによって領域のすみずみまで自然現象を再現する精緻な数値データを得ることはできま

るかどうかは別の話です。ビジュアライゼーション技術がなければシミュレーション結果を理解することはできませんし、結果が理解不能ならばそもそもシミュレーションの意義がなくなってしまいます。結局、ビジュアライゼーション技術はシミュレーション研究にとって必要不可欠な手段なのです」
シミュレーションの結果は、いくつもの数値データがただ並べられている



横から見た台風シミュレーション。彗星のような表現で風の流れを示している。彗星のしっぽによって風の強さなどの方向に吹いているかがわかる
(シミュレーションデータ：ESC 複雑性シミュレーション研究グループ)



ハリケーン・カトリナの模様をシミュレーションした連続画像
2005年8月にアメリカ南東部を襲った大型ハリケーン・カトリナをシミュレーションによって再現したもの。カリブ海からアメリカへ発達しながら上陸していった様子がわかる
(シミュレーションデータ：ESC 複雑性シミュレーション研究グループ)

見たり、ビジュアライゼーションした範囲から外れた部分を見たりしたいときもある。その場合は、必要に応じて、フィルタリングやマッピングの工程に戻ってデータを処理しなおし、再び画像を描いていく。この作業を何回もくり返して、ようやく目的の結果が得られるのである。

ビジュアライゼーションの流れは以上の通りであるが、どの時点でビジュアライゼーションを実行するのかは、シミュレーション方法や目的によって違ってくる。たとえば、シミュレーションのプログラムのなかにビジュアライゼーションのプログラムもあらかじめ組み込んでしまっただけで、シミュレーションと同時にビジュアライゼーションもやってしまえば、直接には人間が理解できないシミュレーションデータを出力せずに、人間が目で見えてわかる画像データだけを出力することができるようになる。このようにすると膨大なシミュレーションデータを蓄えておくためのディスク容量を節約することができる。しかし、「地球シミュレータ」でシミュレーションをする場合、シミュレーションとビジュアライゼーションは分けておこな

状態でコンピュータから出力される。数値データが並んだものをいくら眺めたところで、結果がどのようなことを意味するのかは、研究者であっても理解することは難しい。

たとえば、日本上空の大気の動きをシミュレーションした場合、ある地点における気圧、風速や風向きなどの情報がすべて数値として出てくる。私たちは1つの地点での気圧や風速などは数値で理解できる。しかし1つの地点だけの変化を追うのではなく、いくつもの地点の変化を追わなければ、日本上空の大気がどのように動いているのかはわからない。結果として出てきた数値をただ読み上げて、それがどのような意味をもっているのかを理解するのは至難の業である。

しかし、風向きのように流れる方向を表しているものは矢印にして、しかも

数値が大きくなると矢印を長くすると、温度を表すデータは、同じ温度の場所を結んで色をつけるといったように、数値データはある規則にしたがって加工していくと、画像として表現できるようになる。このように、数値データを画像に変換する作業がビジュアライゼーションである。人間は感覚情報の80%以上を視覚からの情報に頼っているといわれている。ビジュアライゼーションによって計算結果を画像に変換するのは、人間がシミュレーション結果を把握するうえで一番取得しやすい情報の形式だからなのだ。

ビジュアライゼーションの工程

ビジュアライゼーションはどのような流れで行われるのだろうか。1990年代前半から今日まで広く採られているビジュアライゼーションの枠組み(パラダ

イム)によれば、多くの場合、「データ生成」「フィルタリング」「マッピング」「レンダリング」の4つの工程に分けて考えることができるという。このうちデータ生成は、ここではシミュレーションがその役割を担うので、今の場合ビジュアライゼーションとは切り離して考えてもよい。

データができたら次に行われるのがフィルタリングである。フィルタリングは、データ量が多くなりすぎて可視化しにくくなる場合にデータ量を減らしたり、データに無駄に含まれるノイズを取り除いたり、またはデータ全体からある特定の現象の特徴を表す情報を抽出したりするデータ処理の工程である。シミュレーションの規模が大きくなると、得られるデータ量も多くなるので、可視化に使うコンピュータの処理能力などに合わせてデータを間引い

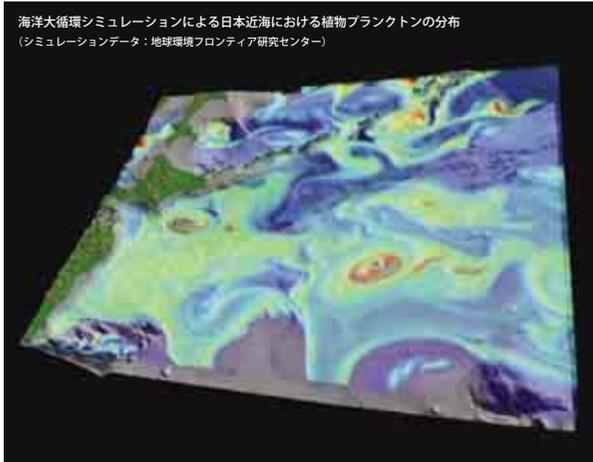
たり、ある領域のデータを切り出すなどのフィルタリング処理を実行することが多い。

マッピングは、データの特徴に合わせて、画像の元になる線分や多角形(ポリゴン)のような形状情報や色などを空間に配置していく作業である。風の速度を矢印で表したいのであれば、どの座標から矢印を描き始めるのか、矢印の太さはどのくらいか、色はどの色を塗るのかを、それぞれ指定していく。雲などを描く場合は、雲水量のデータのなかからあらかじめ指定した雲水量のある値を持つ無数の点を探し出し、近い点同士を線でつないで小さな三角形をつくる。このようにすると、無数の小さな三角形の各面が全体として雲の形状、構造を表す曲面になる。さらに色や透明度、そして光の当たり方をもとに陰影を表現するための情報を、

このようなたくさんの三角形の各頂点に対してそれぞれ与えていく。

レンダリングは、実際に画像を描いていく作業だ。マッピングによって配置された矢印や雲を表す曲面の形状データ、色や透明度データ、光の当たり方、そしてカメラの位置、方向、画角などをもとにして、2次元の面にそれらを投影して最終的な画像を生成する。このような工程を経て画像を作成し、シミュレーションデータの内容を人間が視覚で把握できるようにしていくのである。

シミュレーションをおこなった研究者はできあがった画像を見て、シミュレーション結果の評価をする。つくった画像が自分の知りたいある現象の特徴をそのまま表現している場合はいいのだが、違う色や透明度で描きなおしたり、他の図種を用いて表現したり、別の角度で見たり、ある部分を細かく



海洋大循環シミュレーションによる日本近海における植物プランクトンの分布
(シミュレーションデータ：地球環境フロンティア研究センター)

シミュレーションでは、計算時間が数時間から数10時間というようにとても長くかかることもありますから、1つのシミュレーションデータからいろいろなことを調べたい場合には、この膨大な計算時間に無頓着でいることはできません。特に、見る角度を微妙に変えたいだけのためにシミュレーションを最初からやりなおして何時間も費やすのは計算時間の無駄使いです。そのため、シミュレーションと可視化を分けてやった方が効率的なことが多いのです

大規模データのビジュアルイゼーションを手軽に実現

高度計算表現法研究グループは、効率的でしかもわかりやすく大規模データを可視化する方法を中心に研究している。そのために、現在、2つのビジュアルイゼーションソフトウェアを開発している。

1つは「YYView (ワイワイビュー)」。

このソフトウェアは、大規模なシミュレーションデータをできるだけ短時間に、しかも簡単な操作で可視化するためのもの。現在、パソコンで使える使い勝手のいいソフトウェアはたくさん市販されている。しかしそれらのソフトウェアは、「地球シミュレータ」で実施されるようなシミュレーションの

規模を想定してつくられてはいないので、それを使ってデータを手軽に可視化することはできない。大規模データを短時間に可視化するには、たくさんのCPUをもった並列コンピュータを使う必要がある。YYViewは並列コンピュータで可視化することを前提につくられているので、メモリ容量が十分にある並列コンピュータがあれば、大学、企業、研究機関を問わず、大規模シミュレーションのデータを可視化することができる。可視化に必要なすべての機能を持つのはもちろんのこと、作りだした画像を動画として再生するプレーヤーとしての機能も備えている。「並列コンピュータで可視化できればデータを間引いたりする必要が少なくなり、1枚1枚は解像度の高いきれいな画像をつくり出すことができます。しかし、せっかくなきれいな連番画像をつくっても、そのままの解像度で再生することができなければ意味がありません。画像を動画にするために圧縮をかけることは、再生段階でデータを間引いているのと同じだからです。画像生成から再生までの一連の機能をすべて取りそろえ、大規模データビジュアルイゼーションに必要な環境を提供するのがYYViewなのです」と荒木研究員はいう。

3次元画像で可視化する

そして、もう1つが「VFIVE (ブイファイブ)」と呼ばれるソフトウェアである。自然現象は、3次元空間のなかで起きている。そして、シミュレーションも3次元空間で自然現象を模擬して計算される。しかし、数値データ上は3次元空間での結果が示されているのにもかかわらず、解析するときには画像という2次元の空間のなかでしかその様子を調べることができない。画像で表現することは、3次元空間の出来事をカメラで撮影するようなものである。3次元空間のなかでいろいろな変化が起きている、カメラから見る視点でしかものが見られないように、シミュレーションで再現された現象のある1つの側面しか画像には投影されない。そのためその方向から見て何かに隠れてしまうものは見ることはできない。結局、3次元のシミュレーションデータを2次元の画像にする過程で1次元分のデータが活用されずに捨てられてしまうことになる。もし3次元のデータを3次元のまま画像で再現することができれば、より直感的でわかりやすく可視化することができるようになるだろう。これを実現するためには、バーチャルリアリティ技術が必要である。

高度計算表現法研究グループでは、そのようなバーチャルリアリティを実現するシステムとして、「BRAVE (ブレイブ)」と呼ばれる装置を導入している。BRAVEは正面、左右の側面の計3枚のスクリーンと床面に立体画像を表示し、実際に人間が入りこむことができるバーチャルリアリティ空間をつくり出す



YYViewを使ったビジュアルイゼーションの様子



バーチャルリアリティシステムBRAVEとバーチャルリアリティ可視化ソフトウェアVFIVE BRAVEを使って、VFIVEで作成したシミュレーション画像を操作している様子(左)。BRAVEは1990年代にアメリカ・イリノイ大学で開発されたCAVEシステムをもとに、ビジュアルイゼーションに応用した装置。3つの壁面と床面に1辺3mのスクリーンでできており、4方向から立体画像を表示する。右上はBRAVEの外観。右下のようにセンサーのついた立体メガネとコントローラを身につけることで、映像をいろいろな方向から調べることができる



装置である。また、それにあわせてバーチャルリアリティ可視化ソフトウェアVFIVEを開発している。VFIVEはBRAVEがつくり出すバーチャルリアリティ空間のなかで、シミュレーションデータを立体的に可視化し解析できるソフトウェアである。VFIVEは、ただ単にシミュレーションデータの立体的な画像を表示するだけではなく、研究者が無線コントローラを使って可視化されたデータに直接操作を加えることを可能にしている。つまり、立体画像を眺めるだけでなく直接手を伸ばして立体画像に触るような感覚で、データのすみずみまでくまなく調べることができる。さらに、研究者がシミュレーション結果をより手軽に、より深く理解できるように、VFIVEはBRAVEの位置・方向捕捉システムと連動している。たとえば、目の前にリンゴが置いてある立体画像がつくられたとしても、ふつうの立体画像では見る方向をその場で変えることができない。自分がリンゴの横にまわりこんでも、コンピュータはあいかわらずリンゴの正面しか表示していないから、そのままではリ

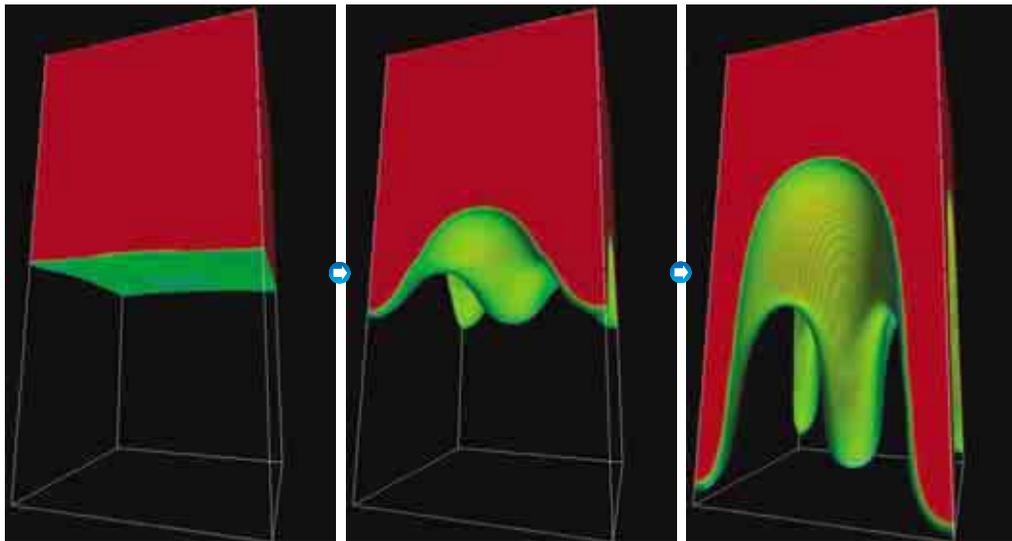
ンゴの側面を見ることはできないのである。しかし、位置・方向捕捉システムと連動させて自分の頭の位置と視線方向を常にコンピュータに知らせることで、自分が動いた位置から見えるシーン(リンゴの側面)をコンピュータにリアルタイムに再描画させることができるようになる。つまり、のぞき込むというような普段何気なくしている自然な行動でシミュレーションデータのすみずみまで調べることができるのである。

新しいビジュアルイゼーションに向けて

今日的なビジュアルイゼーションの考え方の枠組みは、1990年代初頭に確立したものであるが、当時から今に至るまでおおそ変わっていないといえる。また、等圧線のように同じ数値を示すポイントを線で結んで色を付けたり、風向きや水の流れといった表現、そして温度の高低を色のグラデーションで表すといった表現方法にも大きな変化はない。これらの表現方法は、情報を理解しやすいからこそ長い間使われ続け

ているのであるが、そこから先の表現にはあまり進化していないといえる。

世界中のビジュアルイゼーション研究者は、現在、新しいビジュアルイゼーション技術のありかたを模索している。大規模シミュレーションを扱うYYViewやバーチャルリアリティシステムを取りこんだVFIVEは、このようなビジュアルイゼーション技術に対する意欲的な試みなのである。荒木研究員は、「ビジュアルイゼーションは用途によって求められる方法が違います。研究者の場合はその場所で何が起きているのかができるだけ高速にできるだけ正確に表現したいと思っていますし、一般の方々には、本物そっくりリアルでわかりやすい表現を好みます。そしてこのようなニーズの多様化は近年ますます広範囲に広がってきています。これからのビジュアルイゼーションには、このような多様性に対する革新的な技術の開拓が必要とされてくると思います。ビジュアルイゼーション研究をおし進めながら、将来のビジュアルイゼーションパラダイムのあるべき姿を追い求めていきたいと思っています」と語った。



マントル・プレート統合シミュレーションに向けて開発している計算手法
上に硬くて重い物質、下に軟らかくて軽い物質を配置し、重い物質に振動を与えたときに、重い物質がどのように下の物質を混ぜり合うのかをシミュレーションしている。マントルは軟らかく、プレートは硬いので軟らかい物質と硬い物質を同時に扱えるように開発している

研究の理解・評価はビジュアライゼーションによって初めてできる シミュレーション研究を支えるビジュアライゼーション

シミュレーションを使っている研究者たちは、ビジュアライゼーションをどのようにとらえているのだろうか。計算地球科学研究開発プログラム固体地球シミュレーション研究グループで、マントルとプレートの動きを一緒にシミュレーションする方法を開発している古市幹人研究員に話を伺った。



取材協力：
古市 幹人 研究員
地球シミュレータセンター
計算地球科学研究開発プログラム
固体地球シミュレーション研究グループ

地球内部の活動に挑む

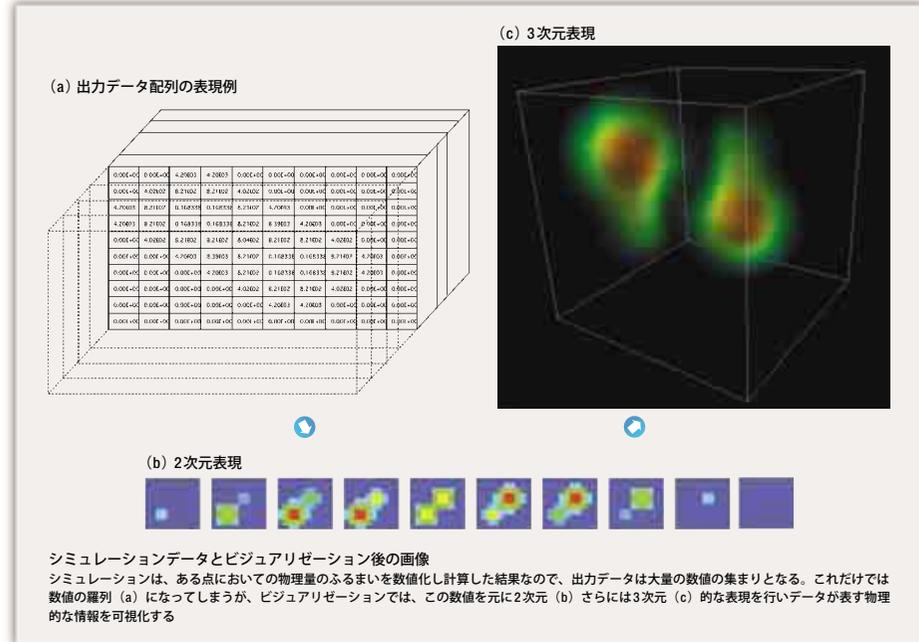
私たちが地球について知っている知識のほとんどは、地球の表面についてのものだ。地球表面を覆う海洋および大陸地殻の下には、約2,900kmもの厚さをもつ岩石の層としてマントルが存在し、さらにその下では鉄を主成分とする核が地球の中心部分をなしている。マントルは地球内部からの熱により、1年間に最大で10cm程度変形し動くため、1億年で約1万kmも移動できると考えられている。よってマントル自体は固体であるが、固体地球科学的な地球が進化してきた時間スケールから見れば、流体として熱対流運動をしているとみなせるのだ。一方、私たちがいる地球の表層はプレートと呼ばれるブロックに分断されており、それぞれのプレートが下のマントルの熱対流によって独自の運動をしている。このようなプレートの運動をプレ

ートテクトニクスと呼ぶ。

しかし、マントルの熱対流運動とそれに伴うプレートテクトニクスが、具体的にどのような関係性をもち、運動をしているのかはよくわかっていない。なぜならば、マントルや沈み込んだプレートが存在する地球深部は、地球の表面とは違い直接観測することも、実験室に同じ環境を再現して実験することも難しいためである。

この問題に、シミュレーションを使って挑んでいるのが、地球シミュレータセンターの計算地球科学研究開発プログラム 固体地球シミュレーション研究グループである。

グループメンバーの1人である古市研究員は、これまで様々な時間スケールでシミュレーションされてきたマントルとプレートと一緒に扱えるようなシミュレーション手法を開発している。「マント



ルとプレートは、構成する成分がほとんど同じなのですが、マントルは軟らかい
のに対して、プレートは非常に硬く、さら
に變形するしくみが流体的な流れで
表現できるマントルと、固体的な破壊で
記述されるプレートではまったく違いま
す。これまでのマントル対流シミュレ
ーションの手法では、このような性質が大
きく異なるものをシミュレーションで一
緒に取り扱くと、境界の部分などで誤差
が大きくなったり、物理モデルが複雑に
なり、解くのが困難なため、うまく結果
を出すことができませんでした」

これまで、シミュレーションにおける
プレートについての研究は、たとえばプレ
ートの一部分に衝撃を与えたときにそ
の力がどのように伝わるかというよう
な、短い時間スケールでの地震学的な研
究が主であった。マントルとプレートを
統一してシミュレーションで扱うことに
より、まだ誰も知らないプレートテクト
ニクスの固体地球科学的に長い時間ス
ケールでの性質を明らかにできるかも
しれないのである。

**必要不可欠な
ビジュアライゼーション**

シミュレーションプログラムを開発す
るにあたって重要なのが、組んだプログ
ラムがねらい通りに計算をしているか
どうかチェックすることである。このチ
ェックにもビジュアライゼーションが欠か
せない。「研究者なら、シミュレシ
ョンの数値データを見れば、その内容が理
解できると思う人もいるかも知れませ
んが、数値データを見ただけでは、研究
者本人にもシミュレーションでどのよう
なことが起きているのかわかりませ
ん。やはり、ビジュアライゼーションを通
して画像にしないと、十分にシミュレ
ーションの評価ができないのです」と古
市研究員は語る。ビジュアライゼーションは、
自分が何をやっているのかを見極めて、
シミュレーションが精度よく動いている
のかどうかを理解するうえで欠かせない
ものとなっている。

「地球シミュレータ」の登場により、実
施できるシミュレーションの規模はとて
も大きくなった。だからこそ、地球内部

の変動という複雑で大規模な現象をシ
ミュレーションで扱えるようになったの
である。しかし、シミュレーションの大
規模化は、研究者にとっては莫大な数値
データの処理というやっかいな問題を
生みだしている。極端に言えば、実は研
究者にとって最終的に必要なものは、シ
ミュレーションで何が再現されたのか
を把握するための画像や結果の特徴を
表す数値だけである。そこで画像を何
枚かつくり、いくつかの指標となるべき
数値さえ計算すれば、大きなデータその
ものは保存するのでも大変なので捨て
てしまうこともあるという。古市研究員も、
データの処理などに頭を悩ませている1
人だという。「シミュレーションで得ら
れる膨大なデータをそのつど保存して、
後で可視化するのには手間がかかるので、
将来、シミュレーションを行えば、同時
に直接何通りもの希望する枚数の画像
が出力され、画像をつくるためだけに
データを保存することがなくなるよう
な、システムができればいいなと思っ
ています」と希望を語ってくれた。



【座談会】

有人潜水調査船「しんかい6500」と日本の有人深海調査

「しんかい6500」の土台を作ったオペレーターたちの語る、深海底調査の世界

取材協力:

井田 正比古 所長代理 今井 義司 司令 田代 省三 グループリーダー

小倉 訓 課長代理 鈴木 晋一 課長代理 櫻井 利明 副司令

司会:

柴田 桂 課長



1990年6月5日、伊豆伊東沖で最初の潜航を開始してから17年目を迎える2007年3月、有人潜水調査船「しんかい6500」は、いよいよ通算1,000回潜航を迎えることとなる。優れた潜航能力とそれを活かしたさまざまな発見は、わが国はもちろん、世界の深海調査に大きな貢献をしてきた。その間、ひとつの事故もなく、800人ちかくの研究者たちを海底に送り届けた実績も誇るべきものである。今回は、その運航開始の時代を知る「しんかい6500」運航チームの方々にお集まりいただき、当時の思い出から今後の有人潜水調査船のあり方で語り合っていたいた。

「しんかい2000」から「しんかい6500」へ

柴田:「しんかい6500」の17年をふり返るに当たって、まずは、どうしても「しんかい2000」の話抜きには語りにくいところがあると思うのですが。

井田:やっぱり、「しんかい6500」は「しんかい2000」があつてのものなんです。すべてのベースは「しんかい2000」で作られたといつていいと思いますね。当時、日本には「しんかい」という600m級の海上保安庁の潜水調査船があつたんです。だから、いよいよ日本でも2,000m級の潜水調査船「しんかい2000」を建造するとなつたとき、それは海上保安庁がやるんだろうと誰もが考えていた。ところが、技術開発とオペレーションのノウハウを蓄積するという大義名分で、JAMSTECが一切を担当することになった。そこで「しんかい」の司令だった加藤洋さんに来ていただいて、彼を中心に準備が始まつたんです。とにかく、「しんかい2000」のような船は日本でも初めてでしたから、先生も教科書もない。手探り状態のなか、みんなで潜水調査船のハードを覚え、オペレーションも考えました。そのすべてが、現在の「しんかい6500」の体制の基礎となつたんです。

鈴木:「しんかい2000」が運航を始めたころはダイビング経験のないクルーもいましたから、井田さんにスイマー技術から体得させられましたね。私もずいぶんプールでござかれました(笑)。その後は、ドックで整備作業をみっちり教えていただいて、船に乗れたのはその翌年からです。みんなでゼロから作りあ



あらゆる意味で「しんかい6500」の基礎を築いた「しんかい2000」だが、2004年で退役した



1991年、北フィジー海盆で最初の海外調査潜航時の「しんかい6500」運航チーム。写真中央の薄いブルーのシャツが井田副司令(当時)、左から2番目が田代潜航長(当時)、その右が小倉潜航士・整備士(当時)

げていく感じでした。

田代:「しんかい2000」の完成は1981年ですが、その4年前、1977年にアメリカのウッズホール海洋研究所の潜水調査船「アルビン」が東太平洋海膨のガラバゴス沖で熱水生物群集を見つけ、翌年にはブラックスモーカーも発見して、ちょうど深海調査が本格的になつたばかりのころでした。でも、当時、日本の研究者は全く海外の潜水調査船には乗せてもらえなかつた。ところが、「しんかい2000」ができれば海外の研究者が乗りたいたいやって来て、そこで初めて日本の研究者にも向こうの潜水調査船に乗る機会をくれるようになった。「しんかい2000」の完成は、日本の研究者が海外の深海調査に出ていきかけにもなつたんです。

今井:「しんかい2000」を作るときに、

研究者に何を調査したいか意見を聞いたそうですが、なかなかいい反応がなかつたらしいです。ところが、船ができあがつたら、とたんにいろいろな提案や要望が出てきたそうですよ。船ができあがつたことで、研究テーマが見えてきた部分もあるでしょうね。

井田:だけど、「しんかい2000」を動かし始めたころは、潜航航海が2週間持たなかつた。とにかく故障が多い。女房に2週間乗って来るといつて出てきたのに、その翌日にコネクターが故障して帰港。かっこ悪くて家に帰れないから、今井さんと母船の「なつしま」に泊まったこともあつた。おまけに、あのころはローテーションを組んで運航するだけの十分な人もいなかつたし、いろんな意味で、みなさんにはずいぶん苦労をかけた。ただ、自分たちで作り上げるぞつていう雰囲気、フロンティア精神はあつたね。

田代:ハードな労働環境と安月給でこき使われても、文句も言わず楽しいと思つてた(笑)。今井:酒を飲んでも夢を語って、前向きな話ばかりだね。

田代:「しんかい2000」を立ち上げたときに海外の潜水船運航チームのやり方を真似しなかつたのが幸しいたよな。だから、みんなクリエイティブなんだ。



1994年、初の外洋遠征となつた大西洋中央海嶺(TAG)の調査で観測したブラックスモーカー



いだ まさひこ
井田 正比古
むつ研究所 所長代理

1981年～1988年「しんかい2000」運航チーム・潜航長、1988年～1993年「しんかい6500」運航チーム・副司令、1993年～1999年同・司令



たしろ しょうぞう
田代 省三
地球深部探査センター
運航管理グループ グループリーダー

1981年～1989年「しんかい2000」運航チーム・潜航士、1989年～1995年「しんかい6500」運航チーム・潜航長



いまい よしじ
今井 義司
日本海洋事業株式会社
深海技術部「しんかい6500」司令

1983年～1994年「しんかい2000」運航チーム・整備士、1994年～1999年「しんかい6500」運航チーム・整備長、副司令、1999年～同・司令



おくら さとし
小倉 訓
経理部 契約第1課 課長代理

1983年～1989年「しんかい2000」運航チーム・整備士、1989年～1997年「しんかい6500」運航チーム・整備士、潜航士、1997年～2000年同・整備長、潜航士



「しんかい6500」の耐圧殻内。座席はなく、丸い窓から外を見ながらコントローラーで操船する。定員は3人

もっと変えよう、というモチベーションが高い。もし、最初からマニュアル通りに「アルビン」の物真似をしていたら、現在の「しんかい6500」のオペレーションは全く変わっていたかもしれません。井田：組織として考えれば、技量のある人間が揃ったところでローテーションを組んで運航していく方法もあったんです。でもそのやり方だと、あるレベルまでは行っても、それ以上には絶対ならない。それははっきりいえます。とにかく毎日、いっぱいいっぱい、気持ちの余裕はなかったけど、「しんかい2000」を動かすというひとつの目標で、みんながまとまってきたんだね。

海外で認められた「しんかい6500」の「仕事」

柴田：そうした苦労の後、いよいよわが国にも世界に誇る6,500m級の潜水調査船が完成したわけですね。



しばた かつら
柴田 桂
海洋地球情報部 広報課 課長

1981年～1989年「しんかい2000」運航チーム・航法管制士、1989年～1993年同・航法管制長

井田：「しんかい6500」は、世界一、世界一、とまわりからいわれて、実は心苦しかったんですよ。確かに船は世界一深く潜れるけど、われわれは世界一の仕事を初めて評価されるわけだから。それを、ちゃんとやろうぜって、酒を飲みながらいつも話していました。そして、忘れもしない1994年の初めての大西洋遠征(MODE 94)で、「アルビン」のフィールドでダイブをしたり、世界的に権威のある研究者たちを「しんかい6500」に乗せて、われわれの実力を認めてもらった。「アルビン」といえば、われわれの大先輩で大きな実績を上げている潜水調査船だし、あの時は、やっと俺たちもそのレベルになれたんだと本当に嬉しかった。

今井：日本に帰ってきたら「しんかい6500」が熱水で「ヤケド」だらけで、造船所の人たちがびくつきしてましたよね、「ここまでやるのか」って。

田代：大西洋調査の前に「アルビン」のクルーに「真っ白できれいな船だね」ってバカにされてムツとしてね。それで無理やり焦がしたわけじゃないですけどね(笑)。

柴田：「アルビン」といえば、海外の潜水調査船は比較的クルーの回転が早いんですよね。以前、「アルビン」チームに「何年目？」って訊かれて十数年やってるといったら、そんなにやってるのかと驚かれました。

田代：「アルビン」の労働条件は悪いからね。

井田：でも、「アルビン」はステイタスになる。次の職場で優遇されるから給料が安くても人が集まるんだ。残念ながら「しんかい6500」に乗っていたからって、ヘッドハンティングされた人はいないけれど、「船だし、背景もわれわれと違えば海軍の船だし、背景もわれわれとは違うから一概に比較はできないんだけれど、「しんかい6500」は何かというところ海外の潜水調査船と比較される。冗談じゃないですよ。おまけに、経済状態が悪くなるとコストのことを言われる。「しんかい6500」の部品は、ほとんどが研究開発した特注の一点物ばかりでしょう。それなのに、コストの面ばかり強調されるんですよ。

小倉：たとえばボルトひとつとっても、当時はすごく貴重だったチタン合金製の特注品。8mm径1本で数千円もした。シール用のパッキンだって、普通の材質じゃ深海の低温だと固くなって役に立たなかった。新しい機器の組み込みも、狭い耐圧殻だと市販のものじゃうまく納まらないから、新たにセッティングし直したりしましたよね。故障等に備えて部品はスベアも必要ですからね。

鈴木：そういう人たちは訓練潜航しか見えていないんですよ。あれは仕事じゃないから暇なんです。それなのに「この程度か」と思って、人を減らせという。訓練潜航でペイロード(観測機器)の組み立てなんてしませんからね。

小倉：調査潜航って単純に同じ事の繰り返しじゃないしね。潜航は海底の状況

や研究者の目的などで微妙に毎回違うから、昨日と同じ事を今日やってもダメなんです。上手い、下手ではなくて、潮やアプローチが変われば作業も手順もその都度変わるんです。昨日、潜ってダメだったことも、今日の潜航ではうまくいくりするし、その逆もありますからね。

今井：ペイロードなんかも、航海中に何かあったら自分たちで材料を探してきて作るくらいのはしますよ。1週間かけて出かけていったのに、ちょっとしたトラブルのために3日で帰ってくる、なんてわけにはいきませんからね。何年も待って、やっと船に乗れた研究者だっているのに。

田代：だから、現場での司令の責任はすごく重いんです。何かあったときに、それが大きなトラブルになる前できたくい止めるか。その場で航海を終わらせないためにも、その場で瞬時に判断しなきゃならない。

井田：マニュアル通りに運航するなら誰でもできる。方が一の事態に備えて、現場でできる限り対応できるように準備もして、われわれの技術で何とかなるなら、と頑張る。それがオペレーターの心意気ですよ。

人間のセンサーが導く未知の世界

柴田：ここであらためて伺いますが、現在、有人潜水調査船としての「しんかい6500」の意義は何でしょう。

井田：やはり、人間が直接そのフィールドに行けるという事でしょう。特に、若い人たちは現場に出て、自分で感じることが絶対必要です。無人機を否定するわけじゃないけれど、全く別ものなんです。無人機で行くというのは、まず人間がいるんなら経験をして技術を蓄積した上で、この程度なら人間が行かなくても済みますねという話なんです。残念ながら、無人機は人間をリードできない。田代：機械は「これを計測しよう」と決めて潜ったら、それしか計測しませんが、でも、人間が行けば、いろいろなもの「におう」んですよ。なんかおかし、いつもと違うなど、現場に行かなければ感じられないものがあるんです。井田：人間の感覚、それ以上のセンサーはありませんからね。自分の目で見て、システムの音を聞き、耐圧殻の壁を通して水の冷たさを感じ、微妙な懸濁物の流

れで水の動きや海底地形の様子を察知する。残念ながら、母船でどんなに大きなモニターの画面を見ても、テレビカメラの視界が広がるわけじゃないからね。人間の両目で見ればかなり視野は広いし、奥行きだとか気配、時には「動」のようなものまで、瞬時にしているんな情報が入ってくるんです。

田代：今までの深海底での発見は、すべてその繰り返しですよ。「しんかい6500」の投光器が照らした範囲で次はどの方向に進むかを判断するには、そういうセンスがかなり大事なんです。

井田：何十回も潜ってるパイロット、研究者、技術者がそこにいれば、無人機にはできない、もっと先のことができるはずなんです。目的に応じた道具を与えてもらえれば可能性はさらに広がるよね。それは潜水調査船も同じだけれど、今ま



さくらい としあき
櫻井 利明
日本海洋事業株式会社
深海技術部「しんかい6500」副司令

1981年～1988年「しんかい2000」運航チーム・潜航士、整備士、1989年～1996年同・潜航長、2000年～「しんかい6500」運航チーム・副司令



すずき しんいち
鈴木 晋一
経営企画室 国際課 課長代理

1984年～1986年「しんかい2000」運航チーム・整備士、1986年～1994年同・整備士、潜航士、1995年～1999年「しんかい6500」運航チーム・潜航士、1999年～2000年同・潜航長



1997年8月11日チリ回航中、MODE'97 EPR Leg1 調査終了後の研究者の寄せ書き

のようにひとつの道具で何でもやろうとすると、どうしても限界はある。

柴田：「しんかい2000」がなくなって、深さによる使い分けもできなくなりましたからね。今は、浅いところ「しんかい6500」で潜らなきゃならないわけですね。

井田：これが、大変なんです。6,500mも潜れるなら浅いところは簡単だろう、なんて素人は考えるけど、とんでもない。

田代：F1マシンでオフロードを走るみたいなものなんです。非常に走りにくい。

井田：いろんな要望を聞いて作ると、最終的には中途半端で使いづらいものになってしまうということです。装備されていても、ずっと使わない装置だってあるしね。目的ごとにシステムを変えられるのが理想だけれど、こればかりは経済的な問題もありますからね。

新しい船を造れば 技術も伝承できる

柴田：しかし、そろそろ「しんかい6500」の次の船も、計画を立てて欲しいところですね。

井田：それには、まず、研究者の要望が先でしょう。将来的にどういうことをやりたいか要望を出してもらえれば、われわれも技術的なサポートや提案はできる。われわれとすれば、潜水調査船で一

番危険なのは母船からの上げ下ろしの作業ですから、あの作業がいらぬ船があれば一番いいね。岸壁で乗船したら水上をそのままガーッと移動して、目的地に着いたらハッチを閉めて深海まで潜れるような船。潜水艦を母船にする方法は技術的にはすでに確立されているから、できない話ではないですよ。

田代：冬の北太平洋のように調査船が入れない海域へ潜水調査船で行って、大時化の海面に海中から採水器をブイかなんかで浮かべるようなこともできたらおもしろい。

鈴木：アメリカの原子力潜水艦は、冷戦中に北極の氷の下を走ったりして氷の厚さなどもソナーで計測していたといえますよね。日本の海上自衛隊の「おやしお」はディーゼル式潜水艦としては世界一静かだそうですから、探査などで音響を使う研究船としても最高ですよ。

井田：日本の潜水艦が静かなのも、「なつしま」や「よこすか」を建造したときの音響技術が活かされているからでしょう。

柴田：実は、有人潜水調査船は「しんかい6500」以降17年間、新しいものが造られていませんが、その間にメーカーの技術者が定年でどんどん辞めています。こういうものは、ある程度の間隔で造っていかないと、当時の技術が継承されないまま失われてしまう。調査船も「かわいい」や「みらい」を造って10

年になりますが、当時、新人が入った技術者たちは観測船の建造の経験がないまま、すでに中堅クラスになっているわけです。水上の船で観測船ほど「雑音」を気にする船はないんですよ。深海調査には音波を使うから自分で雑音を出していたら意味がない。雑音を抑える技術はとても重要なんです。

田代：伊勢神宮は20年ごとに建て替えるそうだけど、まさにそういうことでしょう。定期的に作り替えて技術を伝えていく。「しんかい6500」も今年で17年目だから、まだ間に合うじゃないですか。これから計画を立てて20年目で作り替える(笑)。

小倉：錦帯橋なんかでも、技術を残すために同じ事をやっていますよ。

柴田：新しいものを造るためにも、基礎技術は大事だということです。それから、有人潜水調査船を造るといって、すぐに「次は1万m」という話になるけれど、深さばかりでなくさまざまなタイプの物が造れる技術も必要じゃないかと思えます。

井田：人材だって同じですよ。水上船では、日本人の船員がどんどんなくなっている。商船は賃金の安い外国人を使っているけど、特に研究船は技術を持った船員を確保することが今後も重要になるでしょう。いい船を造ったって、それを動かす人間がいなければダメですよ。最終的に、すべてのノウハウは人間に蓄積されますからね。

櫻井：われわれも、若い人が入ってこないと教えられるし。今、「しんかい6500」のチームは全部で12名で、そのうちパイロットとコ・パイロットが8名。12名のうち7名は日本海洋事業の社員で、残りの5名はJAMSTECから出た形です。いちばん若いクルーは20代が2人だけ。

井田：やっぱり、ある程度、時間をかけないと人は育ちませんからね。われわれは幸せな時代だったのかもしれないけど、若い人にもっと夢を持って欲しいんですよ。残念ながら、いまはそういう場がありませんからね。そのために

も、新しい船を造って活躍の場を与えて欲しい。われわれも、もっともっと社会に対してアピールしていかなくちゃいけないよ。

海洋技術で 世界のCOEを目指す

柴田：「しんかい6500」は1,000回目の潜航を迎えますが、現在、世界で最も潜航回数が多いのはどの潜水調査船ですか？

田代：アメリカの「アルビン」ですね。建造が1964年だから、43年間でたぶん5,000回近く潜っているんじゃないかな。ただ、その間にずいぶん大改造して耐圧殻ですっきり換えてしまったから、元々の「アルビン」で残っているのは名前くらいでしょう(笑)。

井田：そういう意味では、同じ船で17年も運航を続けているのは、世界でも「しんかい6500」くらいじゃないかな。船としてそれだけの潜在能力を持っているし、われわれも造船所の人を考えつかないような運用をして、最大限の成果を上げてきたということです。操縦も整備もね。装備の方は少しずつ改良していきますけどね。最近では、電池をリチウム電池に換えました。前の電池は、なによりデリケートで整備するのが大変だったから。

田代：面白いことに、就航当初に搭載されていた電池は全く故障しなかったんです。それがある年以降、急にトラブルが増えた。ふしぎに思ってメーカーに聞いてみたら、担当したベテラン技術者が辞めてるんです。技術なんです、やっぱり。同じ図面で作っているのに、人が

変わると上手くできないんです。柴田：ちなみに、今度の試験潜航では、装備の見直しなどの予定はあるんですか？

櫻井：計画しているのは垂直尾翼のテストです。船体を安定させて作業をしたいときに、垂直尾翼があると船尾が流されて回ってしまうんですね。メーカーは直進性を保持するのに必要だということですが、本当に必要かどうか、一度取り外して試してみようということになりました。井田：われわれは、開発段階から垂直尾翼はいらぬといっていたんだけど、どうしてもメーカーが譲らなかった。操縦している本人がいらないってっているんだよね。最後には「これがないと船の形にならない」というんだ(笑)。

小倉：基準としては、仕様書で決められた最大2.5ノット*で走るときに直進性を出すために必要なんです。でも海底ではそんなにスピードを出すことはないんです。速くても1ノット位ですからね。あれがないと、JAMSTECのマークを入れる場所がなくなっちゃうという話もあるけれど、そういう問題じゃない(笑)。

櫻井：それから、現行の電動機は三相交流モーターなんです。当時、日本には深海用の直流ブラシレスモーター*がなかったんですよ。JAMSTECで直流ブラシレスモーターを1台購入したので、その能力を見たいと思ってます。これが使えれば、船の前後進や上下の動きも早くなるし、インバータが不要になるから軽くなる。実は、去年ハイバードルフィンと一緒にジョイントダイブをしたんですが、無人機の動きっておもしろいんですよね。スラスターを使って上下前後にヒ

ュッ、ヒュッと平行移動できる。ああいう動きを潜水調査船でもできればいいですよな。

井田：それは、スラスターを付けて、主推進器をなくせばいいんだけど、これも「潜水船の形にならない」からダメだって。

鈴木：潜水船の形っていうけど、いったい誰が決めたんだろう(笑)。

田代：「アルビン」も後継機の建造が決まって、ようやく耐圧殻を作ろうとしているらしいです。最大潜航深度は6,500mだから、完成したら「しんかい6500」と潜航能力は同じになる。

鈴木：中国でも、7,000m級の潜水調査船が今年の末には稼働し始めるそうだけれど、まだその姿は発表されていませんよね。公式発表で模型は出したけれど、

井田：よその国は、最終的には軍が関与しているからね。日本だけです、民間で潜水調査船を運営して科学調査のために潜航しているのは、日本ももう少し国が力を入れてくれるといいんですけどね。日本だって、海洋技術では世界でトップクラスの技術を維持してるんですよ。COE*を目指すなら、水面から下で勝負すればどこにも負けません。今いる人材とシステムだけで、他国にも十分勝てます。

今井：海に囲まれた島国なんだから、外国の真似なんかせずに、独自の道を目指して極めていけばいいと思いますね。

柴田：これを機に、日本が持つ海洋技術や深海調査などの優れた能力を、さらに広くアピールしていく必要もあるということですね。本日は、お忙しいところ、皆さんありがとうございました。



JAMSTECのマークが入った垂直尾翼



横須賀本館前に停泊中の「しんかい6500」の支援母船「よこすか」。夜間でも次の航海の準備は続く



「しんかい6500」を効果的に活用するために、今後は支援母船「よこすか」(写真)の機能向上やROV搭載などを含む、トータルな深海調査システムの開発が求められている

さらなる進化をめざす 有人潜水調査船「しんかい6500」 技術開発や装備の改良によって高度な深海調査・研究に対応

取材協力：
門馬 大和 部長
海洋工学センター 応用技術部

完成から17年で1,000回潜航を迎えた有人潜水調査船「しんかい6500」。だが、1,000回潜航はひとつの節目に過ぎない。世界で最も深くまで潜航できる有人潜水調査船として、「しんかい6500」への期待は大きい。そして、その役割を果たすために、高度な深海調査研究に対応できる先端装備の搭載、効率的に運用するためのさらなる改良が求められている。海洋工学センターでは、先端技術の開発と新技術の実用化に取り組み、「しんかい6500」の新たな未来を開拓しようとしている。

運用コスト軽減と 機器の近代化を推進

アメリカの有人潜水調査船「アルビン」は、1964年に完成し、改造を繰り返して、40年以上にわたって利用され続けている。「しんかい6500」の17年という使用年数は、決して長いわけではない。「アルビン」は建造当時、最大潜航深度が1,830mだったが、後に耐圧殻をチタン合金製に交換して4,500mまで潜航できるようになるなど、これまで様々な改良が行われてきた。現在、6,500m

級への改造も行われている。技術の進歩は著しい。時代の先端技術を次々に実用化し、それを取り入れてきたからこそ、「アルビン」は活躍し続けることができた。「しんかい6500」は建造時、主蓄電池として酸化銀亜鉛電池が搭載されていた。その寿命は1年・充放電75サイクル(ほぼ潜航回数と同意)。しかも、15潜航ごとに放電しなければならず、さらに30潜航ごとに電解液を入れ替える必要があるなど、メンテナンスに手間がかか

り、コストも高かった。しかし、2004年に油浸均圧リチウムイオン電池に交換することによって、寿命を2年・180サイクルに、その後3年・230サイクルにすることが可能となった。その上、軽量化でメンテナンスの必要もなくなり、1潜航に要する電池のコストは、従来の半額以下になった。こうした技術開発とその実用化によって改良を継続していくことが、「しんかい6500」をより長期間にわたって活用していくためには必要だ。海洋工学センターの応用技術部では、



耐圧殻にチタン合金を採用するという技術的な進歩が、「しんかい6500」の優れた性能の実現に結びついた



海中での位置保持の能力を向上させるため、「しんかい6500」の尾翼の改良が検討されている



運用コストの軽減に大きく貢献した「しんかい6500」に搭載される油浸均圧リチウムイオン電池



光ファイバー・コネクタをはじめ機器類の近代化で、機能強化を図ることが今後の大きな課題



深海の熱水噴出孔で調査を行う「しんかい6500」。より高度な深海調査・研究を行なうために、さらなる改良と進化が必要だ



浮力材として大量のガソリンを搭載する第一世代の潜水調査船「トリエステ」。後に新しい浮力材・シンタクティックフォーム(微細な中空ガラス球をエポキシ樹脂で固めたもの)の開発により、「アルビン」や「しんかい6500」のような、より安全で小型の第二世代潜水調査船の建造が可能になった

他の部署や産業界との連携を図りながら、「使える技術・使える道具・使える人」を目標にかけ、海洋科学と技術の高度化をめざしている。「しんかい6500」についても、高度な深海調査研究の実現に向けて、機能向上や搭載機器の近代化に取り組んでいる。

たとえば、運動性能向上の取り組みもその一つだ。「しんかい6500」は、海底でじっくり観察したり、試料を採取する能力に優れているが、無人探査機「ハイパードルフィン」などに比べ、目的の場所で急に止まったり、強い流れのなかで位置保持することが難しい。そこで、現在、運動性能をより高めるため、尾翼(直進性を高めるが、静止時に左右方向の流れの影響を受けやすい)の改良や、水平方向のスラスターの追加などが検討されている。さらに、ハイビジョンカメラや海底精密地形探査用マルチビーム測深機などを搭載するため、電気コネクタから大容量のデータをやり取りできる光コネクタに

交換する予定である。また、リチウムイオン電池の性能をさらに高めて運用コストを下げたり、ライトの性能を向上させることなどにも取り組もうとしている。

次世代の有人潜水調査船 開発に向けて

一方で、有人潜水調査船は、深海調査システムのなかの1つの手段に過ぎない。現在の有人潜水調査船の最も大きな役割は、現場で狭い範囲を人間の目で直接調査することだ。無人探査機や曳船式深海観測装置(ディープ・トウ)のような自律型探査機にできることを、わざわざ「しんかい6500」が行う必要はない。大切なのは、支援母船も含めて、それぞれの機器の役割と特徴を生かしたトータルな深海調査システムを構築することだ。そして、「しんかい6500」にとって重要なことは何かを考えながら、最善の改良を行っていく

なければならない。

「しんかい6500」は、深海調査研究のゴールではない。海洋工学センターでは、将来に向けて3つの課題に取り組んでいる。1つは、次世代有人潜水調査船の開発を視野に入れた新技術の開発・実用化に向けた研究だ。そのためには、これまでになく画期的な材料の開発が不可欠と考えている。もう2つは技術者と産業の育成だ。「深海や海洋調査研究の現場を担い、優れた技術者を育てていくことが、これからの海洋技術の進展には欠かせません。さらに、ほとんどを輸入品に頼っている調査観測機器を国産化し、海洋産業を育てることによって、海の鹿鳴館時代を早くに脱却したい」と門馬部長は話す。



限られた潜航時間との戦いで 研究者の実力は鍛えられる

取材協力:

蒲生 俊敬 教授

東京大学 海洋研究所
海洋化学部門 海洋無機化学分野



東京大学・海洋研究所の蒲生俊敬教授は、深海底の熱水系から湧き出す熱水に、どのような化学物質が含まれるかを調べ、海底下と海洋の間で行われている物質の循環を研究している。それには実際に深海底に潜航して熱水サンプルを採り、分析する作業が欠かせない。そのため「しんかい6500」と、実験設備が完備した支援母船「よこすか」は、蒲生教授の研究にとって非常に重要な位置を占める。またご自身の経験から、「しんかい6500」での潜航は研究能力を磨く絶好の機会であり、多くの若手研究者に活用してもらいたいと考えているという。

がもう・としたか ●1952年長野県生まれ。1981年東京大学海洋研究所・海洋無機化学部門・助手。1992年同・助教授。2000年北海道大学・大学院理学研究科・地球惑星科学専攻・教授。2003年東京大学海洋研究所・海洋化学部門・海洋無機化学分野・教授。主な著書に『海洋の科学—深海底から探る』(NHKブックス)など



海底熱水系に潜航しての サンプル採取が欠かせない

蒲生教授の研究対象は、深海底から噴出する熱水である。「深海底の熱水活動によって、かなり大量の化学物質が海底から海に入っていることが、20世紀末ごろから分かってきました。熱水に含まれる物質は熱水系ごとに違っています。世界中の熱水系の調査が進めば、海底下の岩石やマグマから熱水に溶け込んで海洋に入ってくる化学物質がどれくらいの量で、海水中に溶けている物質がどこからやってきたのかという大きな謎とも結びつきます。海ができて以来の海水の化学組成の進化を知るうえで、海底と海洋の化学物質の循環の研究は非常に重要なのです」

そのためには、多くの熱水系で熱水を採取し、化学的成分や量を調べる必要がある。特に熱水を噴き出すチムニー（熱水噴出孔）は直径が1〜数cmと非常に細く、熱水の採取方法が悪いとまわりの海水で薄まってしまう。そこでチムニーのすぐ手前に着底して、熟練したパイロットがマニピュレータを操作しながら、チムニーの奥に採取装置の先端を差し入れ、熱水を吸い出してサンプルを採る。無人潜水機（ROV）でもサンプル採取はできるが、カメラ画像では奥行きなどの距離感をつかみにくいため、現場で直接見て採取したほうが確実によいサンプルが採れるという。有人潜水船は研究に欠かすことのできないものだ。

「私は『しんかい6500』ができてすぐ『ぜひ使いたい』と申し込み、1992年から2001年まで、日本近海での冷水水や海底の泥、底生生物の採取、太平洋、大西洋、インド洋の熱水系調査と計7回の潜航を行

いました。一番印象に残っているのは1998年に2度潜航し、インド洋で新しい熱水系を探したときのことです。結局このときは発見できませんでしたが、存在が分かっている熱水系でのサンプル採取とは違い、調査の醍醐味を味わえました」

凝縮した4時間に向けて 研究計画を組み立てる

「しんかい6500」が実際に海底で作業できるのは3〜4時間に限定される。「研究者は能力を集中させて完全燃焼しよう」と、非常に濃厚な時間を過ごします。もう少しやりたいと思っても、時間がくれば上がってこなければなりません。そのため事前に綿密な計画を立てて潜航に臨みます。潜航後はサンプルを分析して、最終的に研究論文にするという一連の流れは、科学研究の凝縮された形ですね。何とか4時間をうまく使おうというのが私たち研究者の原動力になっているのかもしれない。私も潜航を経験してから、時間の使い方もうまくなりましたし、研究に楽天的に取り組み、失敗してもすぐ気持ちが切り替えられるようになりました」

その集中を支えるのが、安全性を確保するしんかい6500。アメリカのアルビンやフランスのノーティールと比較しても、「しんかい6500」は安全に対する配慮が格段に多い。潜水船を海面から引き上げるときも、アルビンやノーティールなら1本のロープを引っ掛けて吊り上げてしまうところを、2本のロープを使って、強度を確認した上で吊り上げる。万が一にも事故はないので、安心して研究に集中できる。サンプルは母船に持ち帰って作業するため、研究設備が

整備されている支援母船「よこすか」で能率よく作業できる点もメリットだという。

「今後も、これまでの安全かつ効率よく作業を進める体制を、なおいっそう充実させてほしい。さらに研究者の欲を言えば、潜航回数が増えたらうれしいですね」

また若手研究者であっても、プロポーザルが高く評価されれば潜航調査の機会が与えられていることを、蒲生教授は喜んでいる。「若くて頭が柔らかく、アイデアをたくさんもっている人が、どんどん有効に活用すべきだと思います。計画を立てて調査をし、結果を出す科学研究のよい訓練の場でもあります。特にJAMSTECでは潜航した人は必ず『Blue Earthシンポジウム』で成果発表するというシステムができあがっています。若い研究者はうまく活用してほしいと思います」

これからの研究ターゲットとして注目されるのが、1998年の潜航調査の後を受け、2000年に無人探査機「かいこう」によってインド洋で発見された熱水系である。この調査航海には蒲生教授も参加し、発見の瞬間に立会い、サンプル採取も行った。「太平洋や大西洋の熱水系は、1980年ごろから主にアメリカの研究者によって調査が行われ、継続したデータが取られています。しかしインド洋は未開拓の領域です。欧米より日本のほうがアクセスしやすく、『しんかい6500』が活躍できる場だと思います。ぜひ日本の研究者がインド洋の熱水活動やそこに生息する生物の研究等で成果をあげ、これまでの大西洋や太平洋での研究成果と合わせて、深海の科学に新しい側面から光を当てることを期待します」



これからの深海調査研究と 有人潜水調査船の可能性とは

取材協力:

藤本 博己 教授

東北大学大学院理学研究科理学部
附属地震・噴火予知研究観測センター

藤本教授は、「しんかい6500」が調査潜航を開始した1991年から全部で9回の潜航に参加され、1994年の大西洋調査航海（MODE 94）では共同首席研究員、1998年に行われた初のインド洋調査航海（MODE 98）では首席研究員を務められた。また、2003年～2005年には海洋研究開発機構（JAMSTEC）の深海調査研究計画委員会委員長、今年度からは深海調査研究推進委員として、JAMSTECおよび日本の深海調査計画の中・長期計画にも関わっている。そうしたご経験を踏まえ、今後の有人潜水調査船による深海底調査についてご意見を伺った。

1994年、初めての大西洋中央海嶺の潜航調査を終えてウッズホール海洋研究所の岸壁に着いた「しんかい6500」を紹介する地元の新聞記事



ふじもと・ひろみ ● 1948年岐阜県生まれ。1987年東京大学海洋研究所助教授、2000年より東北大学大学院理学研究科教授。「しんかい6500」の最初の大西洋調査航海（1994年）の共同首席研究員、最初のインド洋調査航海（1998年）の首席研究員を務める。2003年より海洋研究開発機構の深海調査研究計画委員会委員長、2006年より同深海調査研究推進委員。主な著書に『重力から見る地球』（東京大学出版会刊）など



手つかずの重要で 広大なフロンティア

「しんかい6500」の運航も1,000回を迎え、地球深部探査船「ちきゅう」はマントル層の掘削に向かって運航を開始した。それにとまなう最近の深海調査の動向から、藤本教授に伺った。「大きな動向というよりは、調べることがさらに多くなってきたという感じでしょう。深海底での調査が、より多様に面白くなってきていると感じます。相次ぐ新発見や調査技術の進展にともない、深海での調査分野も以前に比べ広がりを見せているようだ。海溝だけでなく、中央海嶺やトランスフォーム断層など、地球の主な変動帯のほとんどは海底にあり、地球上の火山活動の8割は海底で起きている。また、熱水活動に伴う化学合成生物群集や極限環境微生物の発見は、予想もなかった地球生命活動として注目の的だ。しかし潜航調査の視界が10m前後と極めて狭いため、深海底で調査されているのはごく一部分で、手つかずの場所が膨大に残されている。「熱いガスに覆われた金星の地形は、地球の海底地形よりもよく分かる。表面に水がないから光や電波で調査できるのです。そういう意味で、海底は宇宙よりも調査が困難で、しかも学問的、社会的に重要なフロンティアとして、もっと認識されるべきです」

研究を活性化させる プロポーザルも必要

深海底調査では高性能な無人探査機なども活躍している。今後の深海調査は、有人船と無人機のより有機的な活用が

重要だと藤本教授はいう。「無人機では小さな穴からのぞくような景色も、有人船なら窓から全体を眺められる。潜航地点がどのような場所であるかを的確に認識し、現場の判断で次の行動に移ることができるので、新しい発見の機会も多くなります。しかし、行動範囲はせいぜい1～2kmと非常に限られます。そこで、船からの事前調査、AUV（自律型無人探査機）による広域調査などで潜航地を絞り込み、有人船でその場所の状況をつかんだら、海底の詳しい観測などは無人探査機に任せるというように、有人か、無人かではなく、いかに使うかが重要です。またJAMSTECはそれができるのが強みです」

探検的研究には新しいテーマも必要だ。現在、深海調査については深海調査研究計画委員会による中期計画で一定の方向性を示し、個々の研究者からプロポーザルを公募している。しかし、研究者からのプロポーザルを待つだけではなく、意欲的なプロポーザルを出しやすくするしくみも必要だ。「たとえば、日本周辺の海溝に潜ったら何が分かるか、残された課題は何か、といったように過去の調査を再レビューしてみる。また、『××海域を重点調査する』と大きなテーマを提示して集中的にプロポーザルを募ってみる方法も考えられます。私が初めて大西洋に行ったころは、研究者も潜航チームも未知の世界にドキドキしていました。当時に比べて、そういう緊張感も薄れてきた。再び、研究者も運航チームも奮い立つような研究テーマは必要ですね」

装置の開発やフィールドの 開拓で広がる可能性

新しい観測装置の開発も重要だ。たとえば、海底で重力を測りたくても、重力計はわずかな振動や傾きにも反応するため「しんかい6500」の船内では乗組員の体の動きが邪魔をして正確な測定ができない。海底に設置したり航走しながら測定できる新しい装置があれば、新しい研究も生まれる、と藤本教授。「耐圧容器に重力計を入れ船外に着底させて計測できる装置があれば、海底の断層運動を調べる新しい切り口ができます。技術者と研究者と一緒に問題を解決できれば研究も面白くなりますね」

また、日本周辺には巨大地震や津波を引き起こす沈み込み帯、中央海嶺とは異なった熱水活動が見られる背弧海盆、特異な活動を行う海底火山など、面白いフィールドが豊富だ。「近海の調査でやれることもある。実は、海底の地殻は陸上で観察できるものよりずっと単純であることが分かっています。アメリカにサンアンドレアス断層という有名なトランスフォーム断層がありますが、それに比べ『しんかい6500』が大西洋で調査したケイン横ずれ断層は非常に構造が単純です。同様にそこでは地震活動なども比較的単純だと考えられます。『しんかい6500』を使ってマリアナトラフなどで似たような場所を探し、観測ステーションを作ってみるのも面白いですね」

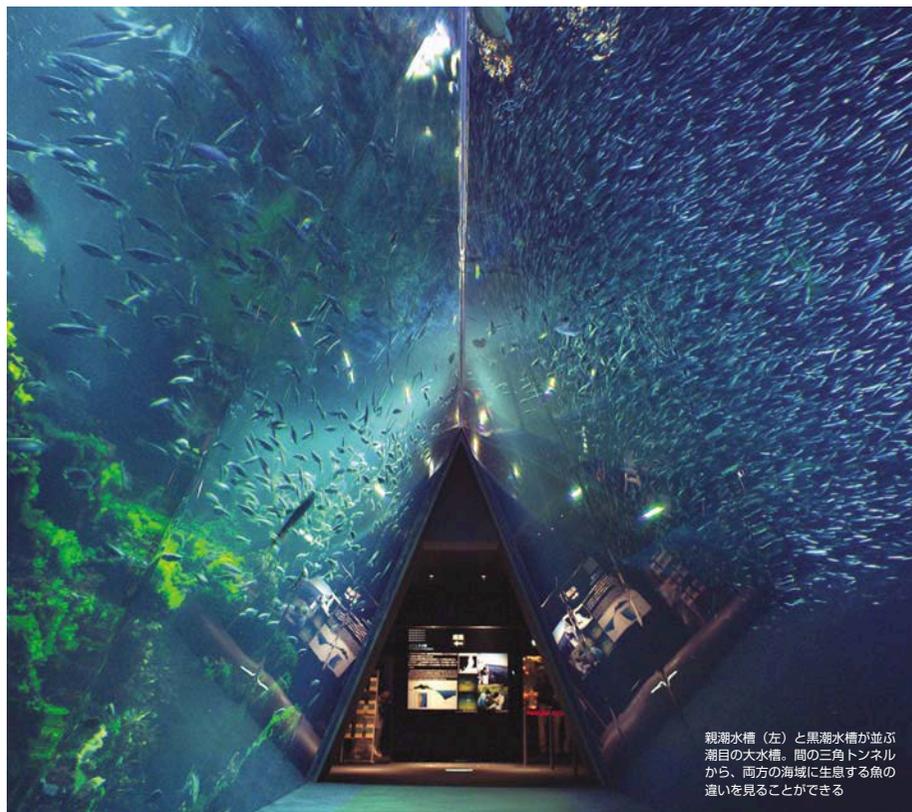
研究者による新しいテーマ、新しい観測装置、そして「しんかい6500」によるフィールドの開拓により、深海底調査は次の段階へ進むことができるのだ。

海と生命の進化に光を当てる「環境水族館」 生活に馴染み深い 魚の飼育にも挑戦



シーラカンスの学術調査に取り組み、環境展示課長の岩田雅光さん

取材協力: アクアマリンふくしま



親潮水槽（左）と黒潮水槽が並び潮目の大水槽。間の三角トンネルから、両方の海域に生息する魚の違いを見ることができる



トクビレ



ナメタンゴ



ホッケ

●アクアマリンふくしま（福島県・いわき市）ホームページ：<http://www.marine.fks.ed.jp> 連絡先：0246-73-2525

福島の沖は、黒潮と親潮という性質の異なるふたつの海流が出会う「潮目の海」。アクアマリンふくしまでは、この「潮目」から、それぞれの海流の源をさかのぼり、海の多彩な環境と、そこに生息する魚たちを展示している。親潮源流、オホーツク海を紹介する水槽には、トクビレやナメタンゴ、クマガイウオなど、北の海の珍しい魚がたくさんいる。一方、黒潮源流、熱帯アジアのサンゴ礁を再現した水槽では、

眩しい光のなかをキンメドキの群れや、色鮮やかな南の海の魚たちが泳ぐ。

海の環境を再現することを大きな目的のひとつとしているこの水族館で、特に力を入れているのは、生活に馴染み深い魚の飼育・展示技術の開発だ。他で行われてこなかったサンマの飼育・展示・繁殖を初めて成功させたのもこの水族館だ。地元で食用として馴染みのあるメヒカリ（マルアオメエソ）は、まだ生活史がよく分か

っておらず飼育技術も確立されていない。現在、このメヒカリの飼育に熱心に取り組んでいるという。

サンマ、メヒカリ、アンコウ、ホッケ、ヤリイカなど、地味で、水族館の人気者にはなれそうもないが、私たちの生活や環境を語る上で大切な魚をしっかりと見つめていこうとする。そうした姿勢が、アクアマリンふくしまの展示水槽には、はっきりと現れている。



メヒカリ

サンマ

キアンコウ



アクアマリンふくしまでは、「潮目の海」とともに、「海・生命の進化」が大きなテーマになっている。海洋生物の進化の歴史をたどるという観点から、「生きた化石」シーラカンスの学術調査にも取り組んでいる。そして、2006年5～6月に実施されたインドネシア・スラウェシ島での生態調査で、水深150～180mの狭い洞窟に生きたシーラカンスの映像を、ROV（写真右上）によって撮影することに成功した。



黒潮水槽で群れをなして泳ぐイワシ



「サンゴ礁の海」水槽のキンメドキの群れ

「熱水噴出孔の謎にせまる」 ～極限環境の水「超臨界水」と生命の起源～

(2006年3月11日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第42回地球情報館公開セミナーより)

煮えたぎるような温泉、酸性やアルカリ性の環境、死海のように塩分濃度の高いところなど、地球上のあらゆるところに微生物が息しています。121℃という高温や、水圧が1,100気圧にも達するマリアナ海溝底、さらには300℃を超える熱水が噴き出す深海熱水噴出孔からさえも多様な微生物が見つかっています。特に熱水噴出孔のような高温・高圧の極限環境では、生命活動にとって必須である水の性質でさえ、大きく違ってきます。このような極限環境の水と生命の起源について、高温・高圧状態の水の不思議な特性を紹介しながらお話しします。



出口 茂 グループリーター
極限環境生物圏研究センター
極限環境微生物展開研究プログラム
深海環境研究グループ
1966年京都府生まれ。1996年京都大学で博士(工学)の学位を取得。1999年にJAMSTECに入所。近年は、超臨界水中での物理・化学、フラーレンナノ粒子、有用生物の探索などの研究に従事している

極限環境の水

水は、1個の酸素原子と2個の水素原子からなるとても単純な分子ですが、私たちの体の70%を占め、料理、洗濯、掃除など、毎日の生活にはなくてはならない物質です。水の状態は温度によって変化し、0℃以下では氷に、また100℃で

沸騰することは誰もが知っています。しかしながら、これは我々の住む気圧が1気圧の世界に限った話であり、山に登ったり、海に潜って圧力が変わると、水が凍ったり沸騰したりする温度も変化します。たとえば、富士山頂(標高3,776m)での気圧は約0.7気圧ですので、水は約

90℃で沸騰します。また標高8,848mのエベレスト山頂では気圧は0.3気圧しかないため、水が沸騰する温度は約70℃にまで下がります。そのため、高山では簡単な料理をつくるにも、圧力鍋を使って沸騰している水の温度を上げるなどの工夫が必要になります。

逆に海では、10m潜るごとに水圧が1気圧ずつ増えていきます。水が沸騰する温度は、水深100m(水圧は10気圧)では180℃まで、また水深1,000m(水圧は100気圧)では312℃にまで高くなります。ところがさらに深く潜って、水深約2,200m以深に達すると、水はいくら温度を上げても沸騰しなくなります。

温度と圧力によって、水が固体、液体、気体のどの状態にあるのかを示した状態図をご覧ください(図1)。液体と気体の領域をへだてる赤い曲線が、水の沸点が圧力の上昇にもなると高温側に移っていく様子を示しているのですが、この曲線は、218気圧、374℃のところまでとだえてしまいます。とだえる点は「臨界点」と呼ばれ、それ以上の温度、圧力では水は超臨界状態になります。沸騰とは、



(写真1) マリアナ海溝チャレンジャー海淵 世界最深11,000m、水圧1,100気圧の海底で、JAMSTECの無人探査機「かいこう」が泥を採取の様子

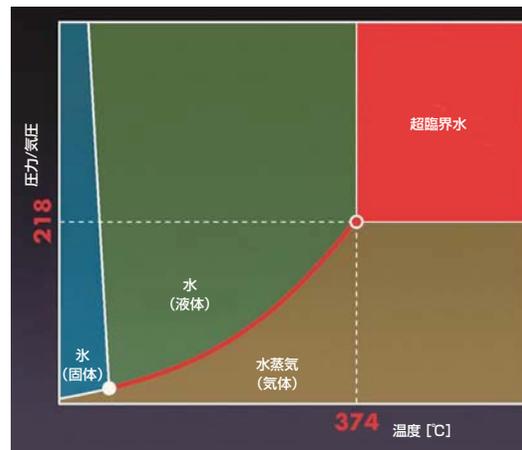
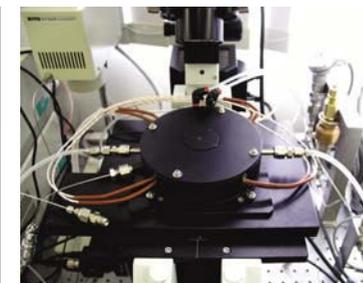


図1 水の状態図
温度(横軸)と圧力(縦軸)に対して表示した図。水は218気圧、374℃で気体と液体との境目がなくなる。この境界を「臨界点」と呼び、これより高温高圧な状態の水を「超臨界水」と呼ぶ。いくら温度を上げても沸騰しなくなり、物理的、化学的に面白い性質を示す



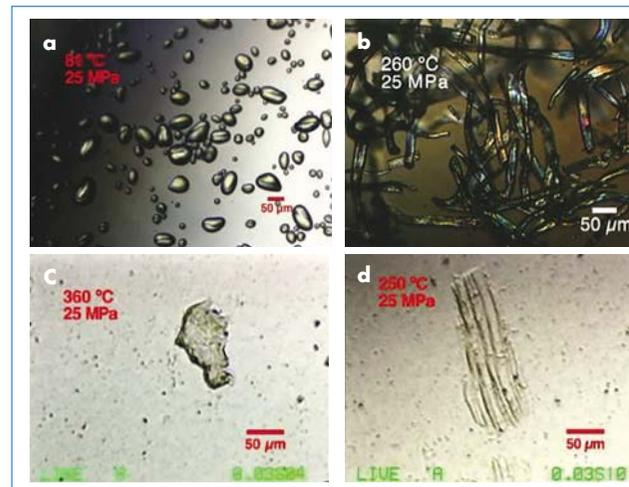
(写真2) 高温・高圧顕微鏡
中央の黒い円盤状のセル内部で超臨界状態の水をつくる。内部の様子は、ダイヤモンド製の「のぞき窓」を通して、顕微鏡により観察可能

水が液体から気体へと変化することから、液体と気体の区別がなくなる超臨界状態では、いくら温度を上げても沸騰することはありません。超臨界水の性質は、我々の良く知る常温・常圧での水の性質とは全く違います。たとえば水によく溶ける食塩は、超臨界水にはほとんど溶けませんが、逆に水には溶けない油が、超臨界水にはたくさん溶けます。実

験室内で超臨界水を調べるには、400℃近い高温、200気圧を超える高圧の環境をつくりだすために特殊な装置を使う必要がありますが、深海の熱水噴出孔下や地殻内部の高温・高圧環境には、超臨界状態の水が天然に存在していると考えられます。

極限環境をのぞき見る

極限環境の水のなかで起こる様々な現象を可視化するのに、我々のグループでは「高温・高圧顕微鏡」という装置を開発しました(写真2)。様々な工夫が盛り込まれていますが、最大の特徴は「のぞき窓」です。超臨界水中ではガラスや、石英、サファイアなどの、通常使われる窓材が侵されてしまうため、この装置にはダイ



(写真3) 超臨界水に物質が溶ける事例

- **でんぷんの溶解**
米やジャガイモ、トウモロコシなどの主成分。70～80℃で糊化し、200℃の水で溶ける
- **セルロースの溶解**
木や紙、脳脂綿の主成分。写真のセルロースの繊維は髪の毛(太さが約100μm)の10分の1程度の太さ。330℃の水で溶ける
- **キチンの溶解**
カニやエビなどの甲殻類の甲羅や、昆虫などの硬い殻の主成分。390℃の水で溶解
- **エノキダケの溶解**
食用のエノキの茎のところで顕微鏡に入れたもの。細胞壁の主成分がキチンなので、380℃の水で溶解

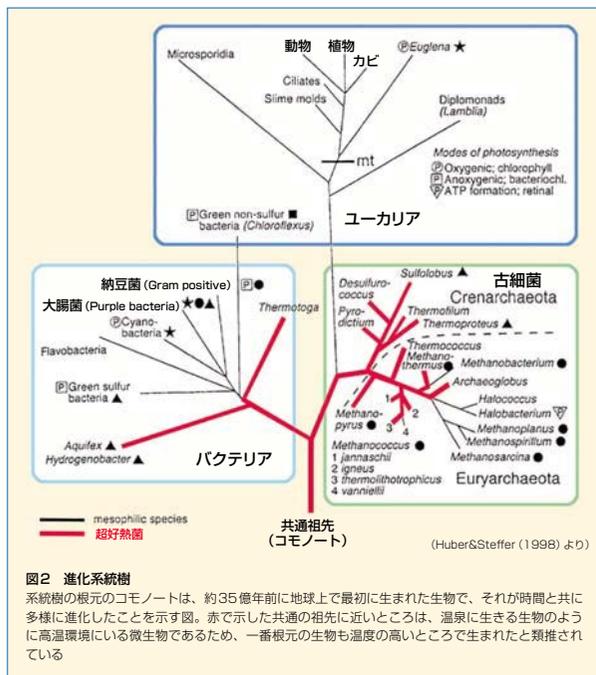


図2 進化系統樹

系統樹の根元のコモノートは、約35億年前に地球上で最初に生まれた生物で、それが時間と共に多様に進化したことを示す図。赤で示した共通の祖先に近いところは、温泉に生きる生物のように高温環境にいる微生物であるため、一番根元の生物も温度の高いところで生まれたと類推されている

ヤモンドが窓として使われています。さて、250気圧の圧力の下で超臨界状態にまで温度を上げていくと、物質が水に溶ける事例を身近な4つの素材でご紹介します。1つ目は米やジャガイモ、トウモロコシの主成分である「でんぷん」(写真3:a)。温度を上げて90℃前後になると、まず糊化と呼ばれる現象が見られ、でんぷんの粒が大きく膨らみます。我々がふたんにする、米が炊ける、ジャガイモが蒸けるといった現象は、すべて糊化が原因です。さらに温度を上げて、200℃に達すると、でんぷんはきれいに水に溶けてしまいます。2つ目の例は、地球上で最大のバイオマスである「セルロース」(写真3:b)。昨年の原油価格の高騰を見ても分かるように、枯渇しつつある石油にかわる代替エネルギーの確立は急務です。なかでもでんぷんやセルロースから得られるグルコースと微生物醗酵を利用して作られるバイオエタノールは、大きな注目を集めており、世界中で実用化を

目指した活発な研究が行われています。バイオエタノールの大規模利用を可能にするためには、セルロースを効率的に分解してグルコースを取り出す技術の確立が必須ですが、セルロースは大変分解されにくい丈夫な材料として知られています。しかしながら、300℃を超える高温・高圧水中では、難分解性のセルロースでさえ、簡単に水に溶けてしまいます。より詳しく分析すると、高温・高圧の水の中では、セルロースもでんぷんと同じように炊けてしまうことが分かりました。セルロースが炊ける温度を下げることであれば、バイオエタノールの高効率生産につながる可能性があります。3つ目の例は、「キチン」(写真3:c)。セルロースに次いで存在量の多いバイオマスで、主に海洋でつくられ、カニやエビなどの甲殻類の甲羅や、昆虫などの硬い殻の主成分です。キチンはセルロースよりもさらに丈夫で、390℃まで加熱してようやく水に溶けます。最後は、食用の「エ

ノキダケ」(写真3:d)。エノキダケは柔らかく、調理すると簡単に煮くずれそうですが、実際にはそうはなりません。高温・高圧顕微鏡で観察してみると、380℃まで加熱して、ようやく徐々に溶けました。これはエノキダケ細胞の細胞壁の主成分が先ほどのキチンだからなのです。

極限環境の水と生命の起源

近年、環境に対して負荷の少ない化学(いわゆる「グリーンケミストリー」)への関心が高まっています。超臨界水を含めた水は最も環境に優しい溶媒であることから、超臨界水の特異な物性を、新しい化学反応の場として活用しようとする試みもあります。たとえば毒性が高く、難分解性の物質として知られているPCBやダイオキシンを、超臨界水中で分解する技術が開発されています。化学の醍醐味は、新しい材料や分子をつくりだすことですが、試験管のなかで生命を生み出すことは、化学の究極の目標のひとつです。我々は、高温・高圧の極限である超臨界水が、原始地球上での生命の誕生において、重要な役割を果たした可能性があると考えています。

進化系統樹(図2)の根元にあたる「コモノート」は、地球上で最初に生まれた生物です。共通の祖先に近いところは、高温環境に生息する微生物であることから、最初の生命も高温環境で生まれたと類推されています。有名なミラーの実験(図3)ではメタン、アンモニア、水素などの無機物からアミノ酸という有機物が簡単にできることが示されました。確かにアミノ酸の生成は、生命の誕生にとって重要な出来事ですが、アミノ酸自体は単純な分子であり、それ自身が特別な機能を発揮するわけではありません。多数のアミノ酸が規則的に連結し、タンパク質となって初めて、様々な化学反応を触媒し、生命活動を維持することが可能となるのです。先ほどご紹介したでんぷんやセルロース、キチンに代表される多糖や、遺伝情報をつかさどるDNAも、小さな分子が長く繋がってできています。

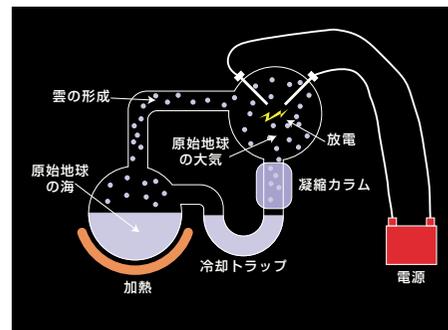


図3 ミラーの実験

ガラスでできた反応容器に水、原始地球の大気の成分を模したメタン、水素、アンモニアの混合気体が入っている。水を温めると上昇し、その後しだいに冷え、水滴になる(雲の形成のイメージ)。そしてとなりの容器で大きな水滴になると降雨のように下に落ちる。原子地球のカミナリは、電気火花で再現。実験の結果、水の中に様々なアミノ酸が含まれていた。無機物から有機物をはじめてつくりだしたという実験

つまり生命の誕生を考える上で、小さな分子がつながって大きな分子になることは、極めて重要なプロセスなのです。ところが、有機化学の常識では、アミノ酸や核酸がつながる反応(脱水縮合)は水のなかでは普通は起こりません。またこのような化学反応は、温度が高くなると、ますます進みにくくなります。したがって、常識では高温の水のなかで生命が生まれることは考えにくいのです。ところが、もっと温度を上げて超臨界状態にまで達すると、水自身の性質が大きく変わるため、アミノ酸や核酸がつながる反応が進むのではないかと、というのが我々のアイデアです。

深海の熱水噴出孔(写真4)を生命誕生の場として見ると、非常に面白いことが分かってきます。熱水噴出孔からは、時には300℃を超える超高温の熱水が吹き出ているのですが、そのすぐ隣は水温が2~4℃しかない冷たい深海環境です。このような場所では、反応活性の高い熱水中で生成した不安定な有機物が、まわりの冷たい水ですぐに冷やされ、分解されずに残ることも可能になります。熱水噴出孔周辺の特異な温度環境を再現するために我々が開発した流通型反応装置(写真5)は、水溶液を極短時間(10秒間程度)だけ超臨界状態にすることができます。この装置を用いて、一番簡単な



(写真4) 熱水噴出孔



(写真5) 流通型反応装置 熱水噴出孔の高温・高圧環境を実験室内で再現する装置。超臨界水中でアミノ酸がつながりタンパク質が生成しうることがわかった

Topics

科学雑誌『ニュートン』と共催で「深海研究室」を開催 誌上で募集した実験・調査を「しんかい6500」で実施

取材協力、写真提供：Newton Press



「しんかい6500」を使った実験を誌上で公募

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、科学雑誌『ニュートン』との共催で、有人潜水調査船「しんかい6500」を使った「深海研究室」という企画を進行中だ。この企画は、『ニュートン』の読者に、深海でやってみたい科学実験のアイデアを募集し、それを実際に「しんかい6500」を使ってやってみようというもの。

実験のアイデアは誌上で募集をかけ、最終的に10グループ18アイデアを採用。2007年1月13日には、JAMSTEC横須賀本部において「深海研究室」発足会が開催され、それぞれの実験内容を発案者が発表した。参加者は、中学・高等学校のグループから一般の社会人まで幅広く、集まったアイデアも「チームニーで温

泉たまごをつくる」といった楽しいものから、「深海の有孔虫を調べたい」という本格的なものまで、さまざまだった。当日は『ニュートン』の水谷 仁編集長、SF作家の藤崎慎吾氏、「しんかい6500」運航チームも出席し、各グループの発表に対して実際の調査などの話も踏まえて意見を出し、活発な議論が行われた。当日は本部内の見学会も行われ、点検中の「しんかい6500」や深海巡航探査機「うらしま」なども見ることができ、充実した1日となった。

実験は2007年3月中旬、沖縄鳩間海丘にて

採用された科学実験は、2007年3月中旬、沖縄鳩間海丘において実施される予定だ。残念ながら、読者の方々は現場には立ち会えないが、読者代表としてSF作家の藤崎氏が「しんかい6500」に乗り込み、その責務を代行することになっている。現在、JAMSTECの運航チームも、実際の研究・調査機器を使ってアイデアを実験できるように準備を進めている。実験の結果はアイデア発案者に提供され、4月には研究成果発表会も開催され、のちに『ニュートン』誌上でも報告されるそうだ。研究者にはできないユニークな実験の結果を、楽しみに待ちたい。



「しんかい6500」の今井司令をはじめ、運航チームスタッフも同席し、ひとつひとつの発表に対して熱心にコメントを返した



点検中の「しんかい6500」を目の前にして、説明を受ける参加者たち



子どもたちが“フロンティア”に触れる機会を

科学雑誌『ニュートン』
水谷 仁 編集長

日本の子どもたちは、日本は海で囲まれた海洋の国だ、という認識があまりないようです。しかし、海にはたくさんの秘密があり、研究すれば次々と面白い発見があります。我々海の国人間にとって、海にはまだまだ多くの謎が残っているということを知って欲しいですね。残念ながら、日本人は自然科学のフロンティア分野に対する関心が高くないんです。科学者でも海や宇宙に取り組む人は多くない。ひとつには、開拓史や大航海時代という歴史を持つ欧米と違い、島国で鎖国時代も長かった日本の国民性もあるでしょう。子ども時代に、そういう世界に触れる環境になかったこともあると思います。「深海研究室」で、子どもたちが深海というフロンティア、未知の世界を知る、お手伝いをできれば嬉しいですね。

「深海研究室」では、こんな実験が行われます

- いろいろな物体を深海にもっていく
- 環境汚染の影響を調べる
金子裕樹／鈴木将史（加須市立昭和中学校）

- こんにやくなどは高圧下でどうなるか
- 音の伝わり方に変化はあるか
善住大輔／須藤優太／平田雄哉／磯 和輝
（北川辺町立北川辺中学校）

- リンゴの味や成分の変化
- 水と海洋深層水のちがいを調べる
松本 怜／並木敏郎／駒宮寛子／川島裕子
（大利根町立大利根中学校）

- 炭酸ジュースのペットボトルの変化
岡田真弘／塚越 正／川和裕太郎（埼玉県立草加南高等学校）

- ペットボトルや缶詰はつぶれるか？
- よく振った缶コーラの栓を深海であける
- 深海の場所ごとの水温のちがいを調べる
- ドライアイスを深海に沈めよう
高森なつみ／浅見沙也佳／望月里紗／内藤剛志／土橋智裕／小林康孝／星野陽子（埼玉県立本庄高等学校）

- 熱水噴出域近傍海底の小型有孔虫の特徴
高浪まどか／高森早穂利（静岡県立静岡中央高等学校）

- 海流に乗ってどんなものが運ばれてくるか
金光美奈／小野沙織（慶應義塾女子高等学校）

- 深海底に有孔虫が生息するかを調べる
- チムニー内部に生物がいるか調べる
高橋久俊／芹澤 周（慶應義塾高等学校）

- 深海魚を探せ
中野美琴／西 健太郎（東京都立科学技術大学）

- 地上／深海「温泉たまご」徹底比較
- 深海の泥の「農作物栽培」徹底比較
中間真一（社会人）

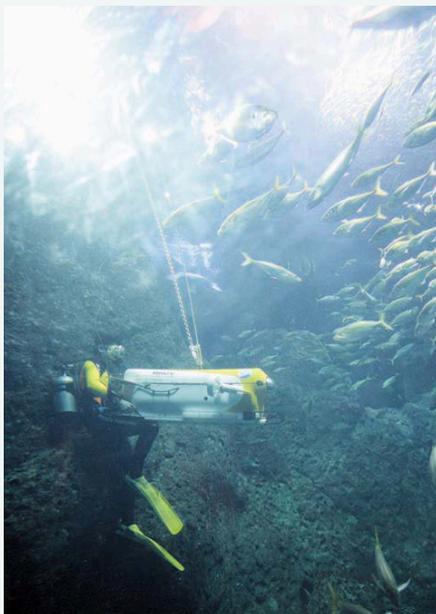


Topics

新江ノ島水族館「相模湾大水槽」で 水中探査機 (MROV) による水中生物追跡機能

海洋生物を研究するためには、対象となる生物の捕獲や飼育による観察も重要な手段となるが、生物が自然の中で生息している様子を観察することが非常に大切である。そこで、海洋中層域に生息するプランクトンの生態を観察するため、現在、海洋研究開発機構の海洋工学センター先端技術研究プログラムと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では、水中探査機に搭載されたTVカメラで特定のクラゲをとらえ、探査機を適切に制御しながら追跡するシステムを研究開発中である。

2006年10月31日、新江ノ島水族館の協力を得て、館内の「相模湾大水槽」で、水中探査機 (MROV*) に搭載されたシステムの試験が行われた。今回の機能試験は、TVカメラが上下左右に自由に方向を変えるしくみによって生物を追跡するシステムを対象とした。新江ノ島水族館の大水槽には清掃のため定期的ダイバーが潜るので、水槽内の生物が人慣れていることから、今



新江ノ島水族館の大水槽でターゲットの追跡実験中のMROV



クレーンでつり上げられ、大水槽に着水

回の試験に適していると考えられた。

現在すでに「ピカソ*」という深海生物追跡調査ロボットの開発が進められているが、今回はTVカメラ部分に限ったものであったので、MROVに搭載しての試験となった。

今回の機能試験の手順と評価

今回試験したシステムでは、追跡にどのような手法を使うかが一番の技術課題だった。本来はTVカメラだけでなく探査機自体も生物を追跡する計画だが、画像を認識して追跡する制御だけでも難しいので、まずは狭いところでも試験できるTVカメラの追跡機能に限定したという。

実験当日、MROVとそれをリモートコントロールする装置が用意された。画像を確認するために、MROVと装置を直径1mm、長さ1km以上の光ファイバーでつなぎ、動作試験を行った。光ファイバーが直径1mmと極細なのは、太くすると波の海や水の抵抗などの影響を受けやすくなり、探査機の動作が制限されるためである。

動作試験終了後、MROVをクレーンでつり上げて大水槽中心に移動し着水。水槽内の生物を傷つけないようスラスト (推進装置) は使用せず、MROVを支えるために2方向からロープでつり下げる方法を取った。しかし、そのままでは機体の方位が安定しないので、ダイバーに支えてもらい、試験を行うことにした。

リモートコントロール装置にカメラの捉えた画像が送られる。パソコン画面に映る生物をクリックすると追跡が開始された。

今回の実験の責任者、海洋工学センターの吉田弘研究员による

試験を実施



画面を見ながら検討中の実験参加者

TVモニタ画面に映し出された魚

と、「魚を連続して30秒間追跡することができたので、今回の成果は70点くらい」ということだ。今回の実験では、水槽内なら確実に魚がいるので追跡しやすいと考えたが、逆に魚が多すぎてカメラの画角内で入り交じり、ターゲットを絞り込みにくかった。また計画では、照明あり (太陽光下を模擬) となし (夜間または深海を模擬) の2通りで実験をするはずだったが、今回は照明なしの実験が行えなかった。

めざすは複数台でのプランクトン観察・追跡

今回の実験は、水中探査機でクラゲ等の浮遊生物を追跡し観察するしくみ全体の一部で、ひとつの通過点である。開発の最終目的は、複数の探査機 (ピカソ) を海のなかに投入して、探査機同士で協調作業ができるようシステムを構築することにある。たとえば、クラゲをメインの探査機1台が追跡しTVカメラで撮影する間、ほかの探査機はクラゲにライトを当てたり、全体を把握できる位置からクラゲの進む方向を判断し、メインの探査機に指示したりといったサポートができれば、ターゲットのクラゲの画像をより鮮明にとらえることができるはずである。そこでそれぞれ異なった機能を持った3台の探査機を使い、「1カ所のクラゲを3台で観察」「水平方向に離れて、プランクトンおよびマリンスノーの水平分布を調査」「垂直方向に、3通りの異なる深さでプランクトンおよびマリンスノーの鉛直分布を調査」といったように、探査機同士の位置関係も少なくとも3通り選べるようにする。



取材協力:
吉田弘 研究员
海洋工学センター
先端技術研究プログラム
自律型無人探査機技術研究グループ



それによって、狙ったクラゲなどの中層生物を確実に追いかけて様々な方法で撮影し、自然の中でのクラゲの生態を解明するのが狙いだ。

現在は協調作業を可能にする情報のやり取りの方法を研究中だ。水中での通信に使われるのは音響が一般的だが、近くに物体 (探査機や海底面等) があると、反射波の影響を受けて、通信が難しくなる。そこで近くにいる探査機同士の通信には、その場全体を包みこむように全方向に伝わる磁力線を使うことを考えている。協調作業をする実験はまだ先の話となるが、今年中には、同時に複数台を実際に海に投入し、それぞれの探査機の動き方を確認する実験を行う。このように各部分ごとに必要な実験を積み重ねていって、全体のシステムを立ち上げることにしている。

今回の実験に参加したプランクトンの研究者、ドゥーグル・リンズィー研究员は、研究者の立場から探査機そのものの機能や、追跡のためのソフトウェアについても様々な提案を行っている。現在開発中の探査機「ピカソ」はリンズィー研究员の提案を取り入れ、クラゲを追跡しやすいように上下方向にもスムーズに動けるように工夫されている。MROVにはなかったハイビジョンカメラや水中顕微鏡も搭載する予定である。さらに、クラゲを見分けるソフトウェアも、人間の脳がコントラスト、色、輪郭を同時に処理して映像を判別している原理を利用したものを新たに組み入れることにしており、「ピカソ」では、クラゲ追跡に向けてさらによい成果が得られそうだという。

Topics

海洋の魅力や知識がわかりやすく学べる JAMSTEC BOOK『はじめての海の科学』を刊行

海洋研究開発機構（JAMSTEC）は、社会貢献活動の一環として、海の魅力や知識をわかりやすく学べる『はじめての海の科学』を、2007年3月30日に刊行する。

最近の中学・高校生は学校の教科書で「海」というテーマにほとんど触れることがない。また、大学受験の試験科目などとの関係もあり、高校で「地学」を選択する生徒も減少している。そうした「理科離れ」ともいわれる状況をふまえて、本書は、中学・高等学校、および社会人の生涯学習など、さまざまな学びの場で、参考書や副読本として活用できるよう、写真や図版を多用し、わかりやすく海洋地球科学の基礎をまとめた。

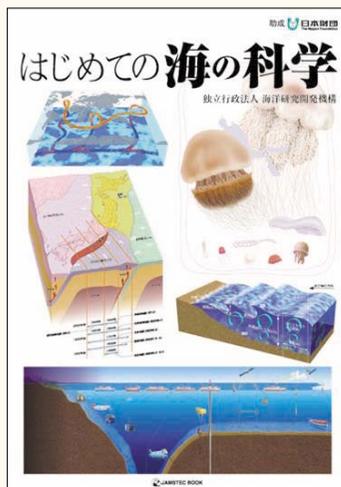
4つの章からなる本文は、楽しく学べる「ビジュアル海洋入

門書」がコンセプト。海洋の地形や海流、海洋と気候の関係をとおりあげる「海を知る」、中・深層の生態系を紹介する「海に生きる」、海洋観測・調査と調査船・探査機などの先端技術を説明する「海を調べる」、そして、最終章の「海から知る」では、海洋や海底の調査からわかる地球変動や、それを予測するシミュレーション研究まで、幅広く取り上げた。各章のビジュアルページでは、深海底の貴重な写真やイラストも掲載し、『BlueEarth』本誌でとりあげてきたJAMSTECの研究活動についても理解を深めるものとなっている。

なお、本書は、初版分は全国の中学校、高等学校などへ無料配布し、今後は一般の方も入手できるよう販売を予定している。

JAMSTEC BOOK『はじめての海の科学』

- 第1章「海を知る」 海洋の基礎知識…海洋と地球についての基礎知識
- 第2章「海に生きる」 極限環境に生きる生物…深海、極限環境の生物や生態
- 第3章「海を調べる」 海洋研究の先端技術…海洋研究のための先端技術
- 第4章「海から知る」 海洋とくらし…温暖化や地震、津波など、くらしとの関係



総頁：120頁
判型：B5縦 横組
体裁：並製
刊行：2007年3月30日
初版印刷：20,000部



Topics

上位入賞者には、副賞としてJAMSTECの体験乗船も 第9回全国児童「ハガキにかこう海洋の夢絵画コンテスト」入賞者決定

海洋研究開発機構では、未来を担う子供たちに、思い思いの「海洋の夢」を絵画で表現してもらうことで、海洋への夢や憧れ、興味をさらに高め、さらに学校教育の現場で海洋を学びきっかけづくりにしてほしいという思いから、全国の小学生を対象に絵画コンテストを実施している。第9回目となる今回も、全国から寄せられたハガキに書かれた作品から、審査員によって大賞をはじめ各入賞作品が選ばれた。今年は絵画部門に比べてCG部門も新設され、こちらも小学校1年生から6年生まで幅広い応募があった。受賞者には図書券が贈呈され、特に上位入賞者15名には、副賞として当機構所有船舶での体験乗船が予定されている。また、10年後には、各作品を絵はがきにして郵送する計画だ。



文部科学大臣賞 CG部門 海底基地ひとで号 酒井 大輝 (長崎県 小3)



日本郵政公社総裁賞 絵画部門
さんごのお花畑でルンルン
菅野 久瑠美 (秋田県 小3)



CGアーツ協会賞 CG部門
掌のうえの小さな海
山下 紗季 (青森県 小6)



横須賀市長賞 絵画部門
夢の水族館
石田 多恵 (愛知県 小6)



むつ市長賞 絵画部門
「きずついた魚をなおしてあげるよ」海底診療所
二宮 圭代 (愛知県 小4)



横浜市長賞 絵画部門
魚のトンネル
林 真穂 (愛知県 小3)



名護市長賞 絵画部門
海の結婚式
川口 華 (青森県 小5)

プレゼント Present



JAMSTEC BOOK 『はじめての海の科学』

本誌38ページでもご紹介した『はじめての海の科学』は、JAMSTECで行われている研究も踏まえながら、海と地球海洋科学をわかりやすく説明した『ビジュアル海洋入門書』です。『Blue Earth』では取り扱いにくい海底地形や海流、海と気象の基礎知識なども補足し、JAMSTECならではの貴重な深海の写真や美しいイラストで、中高生から一般の方まで、広く読んでいただける内容になりました。総ページ数は120ページ、大きさはB5サイズです。今回はこの『はじめての海の科学』を抽選で10名様にプレゼントいたします。

■応募方法 ハガキ、メールどちらも、1. プレゼントの品名、2. 氏名、3. 住所（郵便番号も含む）、4. 年齢、5. 職業（学生の方は学年）、6. 電話番号、7. いちばん興味を持った記事、8. 『Blue Earth』へのご意見・ご希望を明記の上、下記までご応募ください。応募締め切りは、2007年4月27日（金）です（ハガキの場合は当日消印有効）。なお、当選者発表は、発送をもってかえさせていただきます。

〈ハガキ〉
〒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
『Blue Earth』編集室プレゼント係
〈メール〉
info@jamstec.go.jp
『Blue Earth』編集室プレゼント係

※お預かりした個人情報、プレゼントの発送または確認をご連絡のために利用し、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。

『Blue Earth』定期購読のご案内

定期購読のご案内 URL:
<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/publication/order.html>

定期的にお手元に届く『定期購読』をご利用ください。お申し込みは、以下の内容を明記のうえEメールかFAX、もしくはハガキにてお願いいたします。購読するためには、定価（1冊300円）+送料（実費）が必要となります。（当機構指定口座への振込の場合は、その手数料もご負担いただきます）

●支払方法

お申し込み後、請求書をお送りいたしますので、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、商品をお送りいたします。（請求書発行日の翌月末までの平日に限り、横浜図書館でも請求書持参のうえでお支払いいただけます。その際は手数料は必要ありません。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 『Blue Earth』編集室
TEL: 045-778-5440 FAX: 045-778-5484
E-mail: info@jamstec.go.jp

※定期購読は申込日より発行される号から年度最終号の3-4月号までとさせていただきます。申込日より発行されたバックナンバーの購読をご希望の方はあらかじめお問い合わせください。

バックナンバー参照URL: <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/publication/index.html>

※1年度あたり6回発行

※お預かりした個人情報、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡等に利用し、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/jamstec-j/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19巻第2号(通巻第88号)2007年3月 発行
編集人 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 柴田 桂
発行人 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 齋藤 隆俊
アートディレクター 前田和則(株式会社ミュール)
表紙: 本文デザイン 山田浩之(株式会社ミュール)
編集協力 滝田よしひる/山崎玲子/萩谷美也子/髙松良孝/新井真由美/柏原羽美(株式会社ミュール)
制作 株式会社ミュール

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀野島町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3173-25 TEL.045-778-3811(代表)
むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字関根北間根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2-200 TEL.088-864-6705(代表)
東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5716-3900(代表)
国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市豊原224番地3 TEL.0980-50-0111(代表)
Washington D.C. Office 1120 20th street, NW, Suite 700, Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/> Eメールアドレス info@jamstec.go.jp

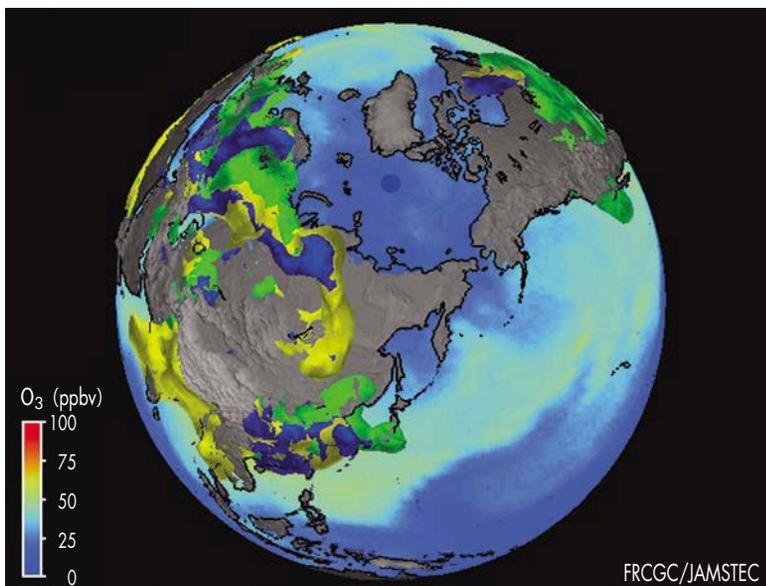
※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

賛助会(寄付) 会員名簿

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、寄付をいただき、支援していただいております。(アイウエオ順)

平成19年3月初現在

株式会社 アイ・エイチ・アイマリンコナイテッド	有限会社システム技研	日本SGI株式会社
アイウ印刷株式会社	シナノン株式会社	日本海洋株式会社
株式会社アクト	清水建設株式会社	株式会社日本海洋科学
株式会社アサツータディ・ケイ	株式会社商船三井	日本海洋掘削株式会社
株式会社浅沼組	昭和ベトリウム株式会社	日本海洋計測株式会社
アジア海洋株式会社	社団法人信託協会	日本海洋事業株式会社
石川島播磨重工業株式会社	新日鉄エンジニアリング株式会社	社団法人日本ガス協会
泉産業株式会社	新日本海事株式会社	日本興業損害保険株式会社
株式会社伊藤高屋瓦斯容器製造所	須賀工業株式会社	日本サルヴェージ株式会社
栄光建設株式会社	鈴鹿建設株式会社	社団法人日本産業機械工業会
エヌケーケーシーMLS鋼管株式会社	スプリングエイトサービス株式会社	日本水産株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	住友電気工業株式会社	日本電気株式会社
株式会社NTTデータ	清進電設株式会社	日本ビュレット・バックカード株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティ・ティファシリティーズ	セナーアンドバーンズ株式会社	日本無線株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本郵船株式会社
株式会社エルシャンデ遊泳	株式会社総合企画アンド建築設計	株式会社間組
株式会社OCC	株式会社損害保険ジャパン	濱中製鋼工業株式会社
オートマックス株式会社	第一設備工業株式会社	東日本クボポート株式会社
沖電気工業株式会社	大成建設株式会社	株式会社日立製作所
株式会社海洋総合研究所	大日本土木株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
海洋電子株式会社	ダイハツディーゼル株式会社	深田サルベージ建設株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	太陽日酸株式会社	株式会社フジクラ
鹿島建設株式会社	有限会社田浦中央食品	富士ゼロックス株式会社
カナダ株式会社	高砂塾学工業株式会社	株式会社フジタ
カヤバシステム マシナリー株式会社	株式会社竹中工務店	富士通株式会社
川崎設備工業株式会社	株式会社竹中土木	富士電機システムズ株式会社
株式会社川崎造船	株式会社地球科学総合研究所	物産不動産株式会社
株式会社環境総合テクノス	中国塗料株式会社	古河総合設備株式会社
株式会社関電工	株式会社龍見精機	古河電気工業株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社テザック	古野電気株式会社
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	寺崎電気産業株式会社	松本徹株式会社
共立管財株式会社	電気事業連合会	マリメックス・ジャパン株式会社
極東貿易株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社きんでん	東海交通株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
株式会社熊谷組	洞海マリンシステムズ株式会社	株式会社マルタン
株式会社クロスワークス	東京海上日動火災保険株式会社	株式会社マルト
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	東京製綱繊維ロープ株式会社	三鈴マシナリー株式会社
京浜急行電鉄株式会社	東北環境科学サービス株式会社	株式会社みずほ銀行
KDDI株式会社	東洋建設株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
株式会社ケンウッド	株式会社東陽テクニカ	三井造船株式会社
神戸イベント株式会社	東洋熱工業株式会社	三菱重工業株式会社
国際気象海洋株式会社	飛鳥建設株式会社	株式会社三菱総合研究所
国際警備株式会社	有限会社長澤工務店	株式会社明電舎
国際石油開発株式会社	株式会社中村鉄工所	株式会社森京建築事務所
国際ビルサービス株式会社	西芝電機株式会社	有限会社やすだ
五洋建設株式会社	西松建設株式会社	船舶商事株式会社
相模運輸倉庫株式会社	日南石油株式会社	郵船ナブテック株式会社
三建設工業株式会社	日油技研工業株式会社	ユニバーサル造船株式会社
株式会社三晃空調	株式会社日産クリエティブサービス	株式会社緑星社
株式会社ジェニス・ユアサ テクノロジー	ニッセイマリン工業株式会社	株式会社ジェニス・ユアサ テクノロジー株式会社
財団法人塩事業センター	ニッセイ同和損害保険株式会社	若葉建設株式会社



世界の化学天気予報モデルシステムで計算された世界の化学天気図
黄色、青色、緑色はそれぞれ一酸化炭素、硫黄化合物、窒素化合物の高濃度領域を、また海洋表面の色の変化で地表オゾン濃度を示す
(地球環境フロンティア研究センター 大気組成変動予測研究プログラム 化学輸送モデリンググループ 提供)

大気汚染物質の分布と移動をグローバルにとらえる

1970年代までは、大気汚染は局所的・地域的な問題としてとらえられていた。しかしその後、世界中で大規模な工業化が進み、石油や石炭などの化石燃料が大量に消費され、様々な化学物質が利用されるなど、社会環境は全球規模で急速に変化し、大気を汚染する物質も大量に放出されている。これに伴い、大気汚染は国境を越えた地球規模の広がりを持つ問題として認識され、汚染物質がどのように移動するのかを正しく理解することが必要になってきた。こうしたことから、JAMSTECの地球環境フロンティア研究センターでは、早くから全球規模の化学天気予報モデルシステムの開発に取り組み、2002年にこれを完成させた。

このシステムでは、世界各地の大気汚染物質の排出実績データと気候予測データを使ってモデル計算することにより、不完全燃焼などによって生じる一酸化炭素、酸性雨の原因になる二酸化硫黄、光化学オキシダント（光化学スモッグの原因となる物質）の主成分となる窒素化合物など、様々な化学物質の分布とその移動を一週間先まで予測することができる。たとえばヨーロッパで排出された大気汚染物質が偏西風によって大陸間を移動し、数日のうちに東アジアへ運ばれる様子や、東アジアで排出された化学物質が日本、さらには北米へと広がっていく様子を、ほぼリアルタイムでとらえることが可能になった。

※世界の化学天気予報モデルシステムを活用した全球化学天気図がHPで公開されている。様々な大気汚染物質の濃度や6時間おきの移動の様子を見ることができる。ホームページアドレス：http://www.jamstec.go.jp/frcgc/gcwm/index_j.html

(取材協力：海川雅之研究員 地球環境フロンティア研究センター 大気組成変動予測研究プログラム 化学輸送モデリンググループ)