

海と地球の情報誌

# Blue Earth

ISSN 1346-0911  
2008年2月発行  
隔月年6回発行  
第20巻 第1号  
(通巻93号)

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2008 1-2

## 地球を掘り進め! 深海掘削50年史

地球環境を考える3つの国際年

天空の摩擦「降着円盤」

シベリアの永久凍土が融けていく

青い万華鏡の世界を舞う ミズクラゲ

1 **Close Up**  
シベリアの永久凍土が融けていく

2 **特集**  
**地球を掘り進め！**  
深海掘削50年史

16 **Aquarium Gallery**  
伊豆・三津シーパラダイス  
青い万華鏡の世界を舞う——ミズクラゲ

18 **私が海を目指す理由**  
コンピュータのなかで雲をつかむ  
島 伸一郎 地球シミュレーションセンター 遠隔観測シミュレーション研究開発プログラム 研究員

22 **Marine Science Seminar**  
天空の摩擦  
摩擦熱で輝く不思議な天体「降着円盤」

26 2008年——  
地球環境を考える3つの国際年

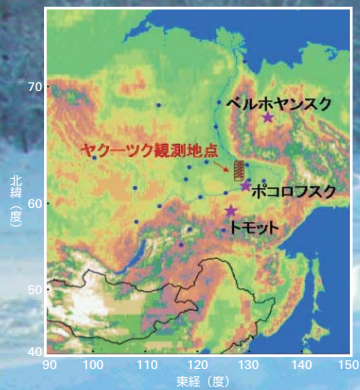
28 **Super Tech**  
深海探査の生命線「浮力材」

30 **新日本八景 第2景**  
相模湾八景 其二 海底地滑り  
藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任 上席研究員

32 **BE Room**  
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

裏表紙 **Earth Watch**  
地球からのメッセージ

表紙 地球深部探査船「ちきゅう」のデリック（掘削やぐら）から  
写真：坂口有人（JAMSTEC地球内部変動研究センター）



## Close Up

# シベリアの永久凍土が融けていく

シベリア東部に位置するヤクーツク近郊を流れるケンケメ川。まるで雪解け水であふれる春先の川のような光景だが、これは2006年12月23日に撮影された写真である。永久凍土帯が広がるシベリアの河川は、真冬には凍結しているはずだ。シベリアで、いま何が起きているのだろうか。

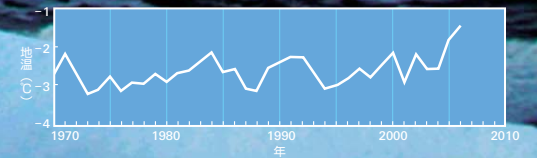
海洋研究開発機構（JAMSTEC）の地球環境観測研究センター水循環観測研究プログラムでは、シベリア東部で降水量や地中の温度（地温）などの地上観測を1998年から行っている。その観測データと、ロシア連邦水文気象環境監視局による1970年以降の観測データを解析した結果、季節外れの河川の異常増水の原因が浮かび上がってきた。

シベリア東部の地温は、2005年から急激に上昇し、2006年には観測史上最高を記録。2007年も上昇傾向が続いている。永久凍土帯とは2年以上にわたって地温が0℃以下の土壌のことで、毎年夏になると表層から1~3mが融け、冬には再び表層まで凍るといったサイクルが繰り返されている。ところが近年、地温の上昇に比例するように、夏に融ける「活動層」がだんだん厚くなっているのだ。すると、冬になっても表層まで完全に凍結せずに、土壌がたくさんの水分を

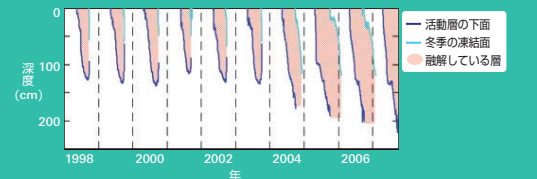
含んだままの状態になる。その結果、河川に流入する水量が異常に増えたり、湖の面積が広がったり、低地が水没したりといった影響が見られるようになったのだ。地面が冠水して植物が枯れ、林全体が茶色くになっている地域もある。

そもそも、地温はなぜ上昇したのか。1つの原因は地球温暖化だ。北極地域では、この25年間に気温が全球平均の2倍近く上昇している。さらにJAMSTECの観測によれば、2003年以降、シベリア東部の降水量が急激に増加し、特に2005年以降は冬の積雪量が増加している。夏の雨は地下に染み込んで地上の熱を伝えやすくし、冬の降雪は地表を覆って地中からの熱の放出を妨げ、いずれも地温の上昇に拍車を掛ける。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次評価報告書では、北極地域は今後100年で5℃近く気温が上昇し、降水量も10~30%増加すると予測されている。永久凍土の融解は、さらに加速されることだろう。しかも、永久凍土の融解に伴ってメタンガスが放出され、それが地球温暖化を促進すると考えられている。シベリアにおける気温や水循環の変化は、日本の気候にも大きな影響を及ぼすことから、JAMSTECでは今後も観測を継続し、変化の要因を解明していく。



シベリア東部における年平均地温の長期推移 ベルホヤンスク、ポコロフスク、トモットにおける深さ3.2mの地温の平均値。マイナス2.8℃前後で推移していたが、2005年から急激に上昇している。2006年にはマイナス1.5℃と過去最高を記録



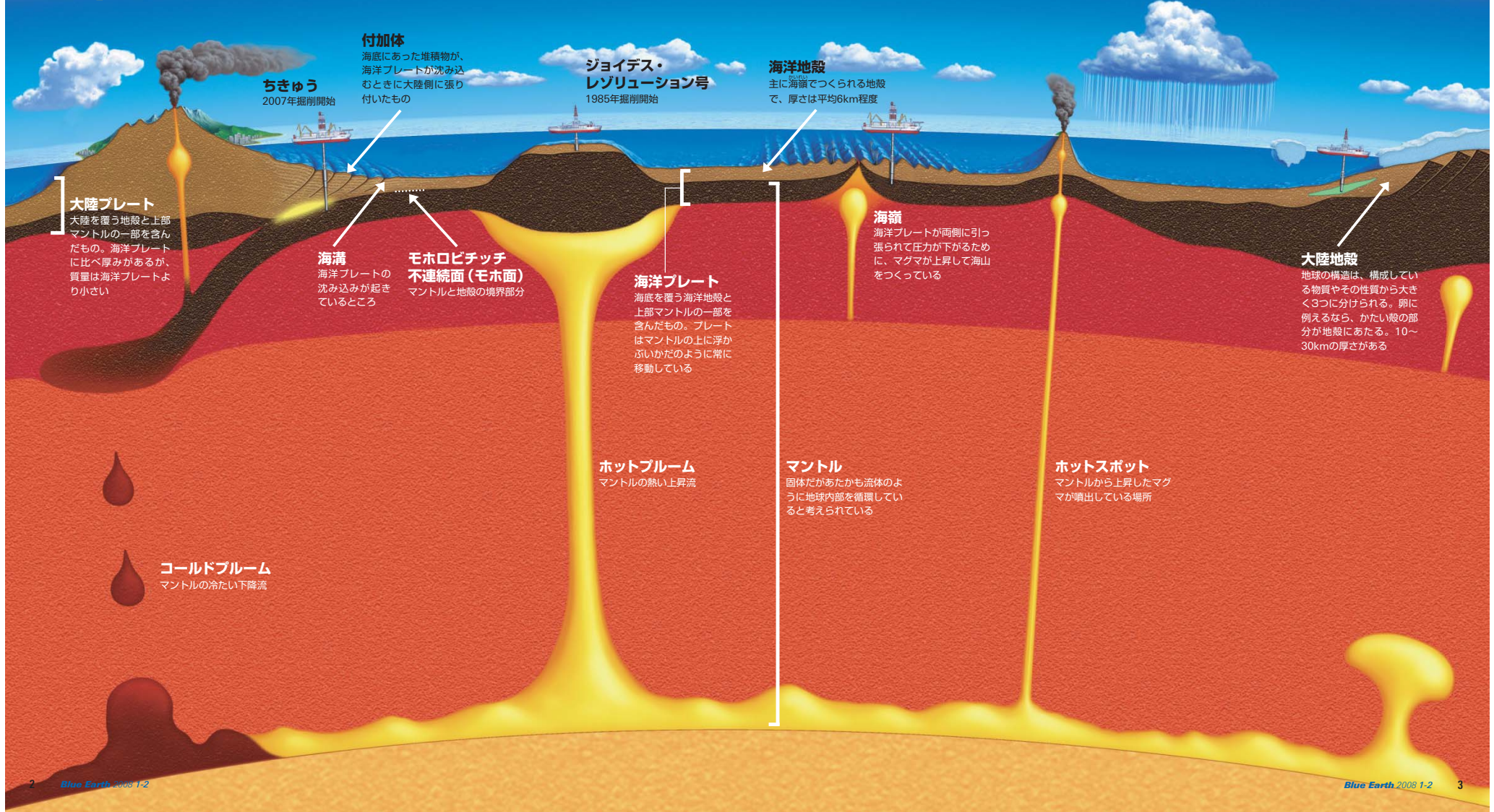
ヤクーツク観測地点の活動層の季節・年変化 永久凍土は、夏になると表層から融解し、冬に再び凍結する。ヤクーツクでは、これまで1.0~1.5mだった活動層が、2004年から急に厚くなり、2006年には2mを超えた

# 地球を掘り進め!

## 深海掘削50年史

海底には日々、堆積物たいせきぶつが降り積もっていく。海底下にはその歴史が、最大で2億年分ほど、堆積岩のかたちで収まっている。海底掘削はいわば、タイムトンネルを旅するようなものなのだ。研究者は掘削した堆積物を見て、地球の過去と未来を読み解いていく。

海底に孔を開けると、約6kmでマントルに到達できる。このマントル物質を手に入れようと夢見た人々がいた。それは1950年代のこと。いまは2008年、それから50年以上たつ現在でも、その夢は連綿と多くの人々の心を震わせ続けている。



# 深海掘削50年のあゆみ

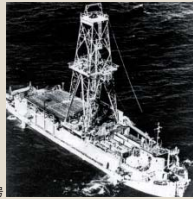
監修：  
藤岡換太郎  
JAMSTEC 海洋地球情報部 特任上席研究員

より深い場所を目指して

## 海外の動向



「地底探検」ジュール・ベルヌ作



カス1号



グローマー・チャレンジャー号



ジョイデス・レゾリューション号

日本が関係した  
プロジェクト

- 1842年 チャールズ・ダーウィン『珊瑚礁の構造と分布』発表。深海掘削の提案
- 1865年 ジュール・ベルヌ『地底探検』を発表
- 1952年 AMSOC (アメリカ雑学協会) 設立。深海掘削の必要性を唱える
- 1959年 モホール計画発表
- 1961年 カス1号による人類初の深海掘削
- 1964年 JOIDES (深海底サンプリング海洋学研究所共同研究機構) 設立
- 1965年 カルドリル1号による掘削、堆積物採取
- 1968年 グローマー・チャレンジャー号による DSDP (深海掘削計画) の開始
- 1975年 IPOD (国際深海掘削計画) 発足。日本の参加
- 1981年 COSOD I (科学掘削会議) 開催 (アメリカ・テキサス州オースチン)
- 1985年 ジョイデス・レゾリューション号による ODP (国際深海掘削計画) の開始
- 1987年 COSOD II 開催 (フランス・ストラスブール)
- 1994年 ODP 執行委員会で日本のライザー掘削船構想を支援する動議が採択
- 1997年 CONCORD (ライザー掘削国際科学者会議) が東京で開催される。ODP 長期計画書で2003年以降はライザー型と従来型の2船体制と位置付け
- 2003年 9月 ODP 計画終了
- 2003年 10月 IODP (統合国際深海掘削計画) へ
- 2005年 10月 海洋研究開発機構高知コア研究所発足
- 2006年 8月 「ちきゅう」下北半島東方沖掘削試験開始
- 2007年 9月 「ちきゅう」IODP 南海トラフ地震発生帯掘削計画開始

## 深海掘削とともに

私がアメリカ・カリフォルニア州にあるスクリップス海洋研究所で海洋学を学び、博士号を得て帰国した1956年、日本の海洋学はまだ黎明期でした。その後、私は南海トラフを日米の調査・観測船で何回も往復したものです。それからほぼ半世紀。設計費、建造費を合わせて当時600億円にも達した「ちきゅう」の予算獲得の陣頭に立つ幸運に恵まれました。世界最高の能力を持つ地球深部探査船「ちきゅう」によって、ますます大きな果実が実ろうとしていることは、たいそう喜ばしいことです。

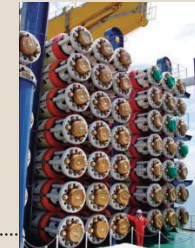


1977年、グローマー・チャレンジャー号の船上で

奈須紀幸

## 国内の動向

- 1990年 研究着手 (海底深部地層サンプリングシステム)
- 1992年 深海掘削船システム要素技術開発の開始
- 1995年 深海掘削船全体システムの研究開始
- 1998年 海底掘削システム試験機の製作開始。ライザー掘削船の開発着手へ
- 2001年 4月 地球深部探査船「ちきゅう」建造開始
- 2002年 1月 「ちきゅう」進水式
- 2002年 10月 海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)地球深部探査センター発足



ライザーパイプ



「ちきゅう」

# 深海掘削はアメリカの単独計画 で始まった

執筆：  
藤岡換太郎  
JAMSTEC 海洋地球情報部 特任上席研究員

1957年4月20日、カリフォルニア州のサンディエゴ郊外にあるスクリップス海洋研究所。そのそばにあった地球科学者であるウォルター・ムンク教授の家で、朝食会が開かれた。その朝食会では、アメリカの研究者たちで着想などを自由に話し合おうというAMSOC (American Miscellaneous Society : アメリカ雑学協会) のメンバー数人がテーブルを囲んでいた。ムンク教授から「海底下にあるマントル物質を手に入れよう」という提案がなされたのだ。朝食会でのこので

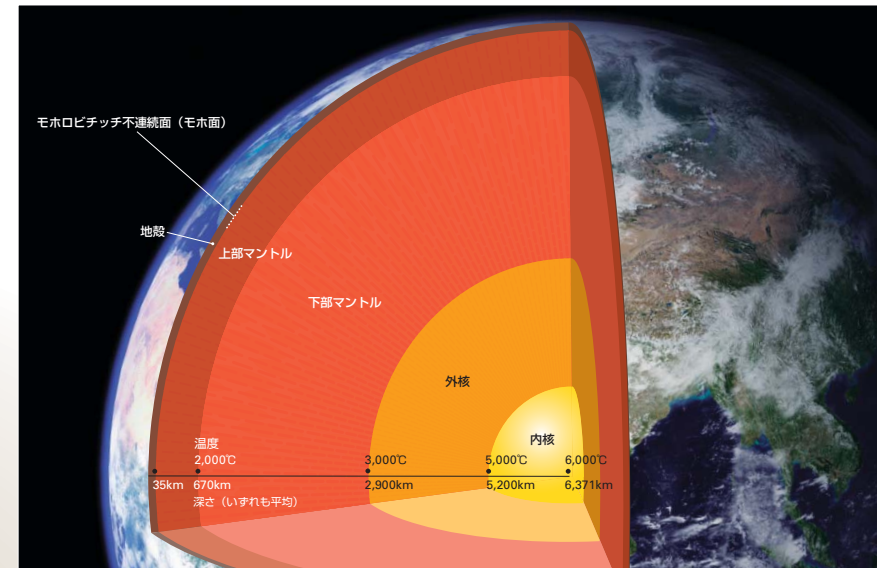
きごとこそが、今日にまで至る深海掘削計画の産声となった。

当時、海洋地殻が大陸地殻に比べて薄いことが分かり、掘削によりマントルまで到達できる可能性が考えられた。しかし、このアイデアは、当時としてはやはりとても夢だった。鬼オムンク教授だからこそ発案され、そしてそのアイデアを実現しようと動いた、やはり知の怪人であるスクリップス海洋研究所のロジャー・レベル所長、コロムビア大学ラモント地質学研究所のモーリス・ユイング所長、ハリー・ヘスらの尽力があつてこそ実現へと動き出したのだ。彼らがムンクの夢をまともに取り上げ、アメリカ政府に予算化を働き掛けた。こうしてマントルと地殻を分けるモホロビッチ不連続面(モホ面)まで孔(ホール)を開けるという意味で「モホール計画(Mohole Project)」と名付けられた計画が、現実のものとして動き始めた。

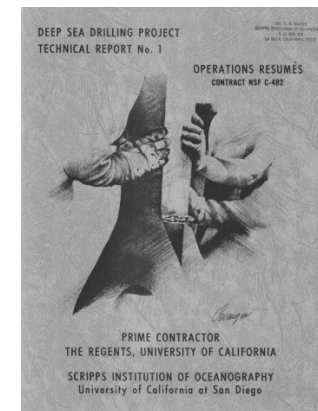
1959年9月8日、ニューヨークで開かれた国際海洋会議で、モホール計画はレベル所長の口から高らかに発表された。世界初のこうしたプロジェクトに対して、なぜ国際協力で行わないのかという記者の質問に対し、レベル所長は「この計画は最初の試みであり、リスクを伴う。このリスクはアメリカが引き受け、成功した暁には国際化したい」と述べたという。

プレス発表から2年後の1961年、いよいよ計画の技術的なテストが始まった。シューベリア石油会社の自動船位保持システム(Dynamic Positioning System : DPS)を持つ掘削船を改造したカス1号(Continental Union Shell Superior)を使ってメキシコ西岸沖で掘削が行われた。グアドループ島の東約60km、水深3,558mの地点で、170mの堆積物を貫き、その下の玄武岩13mが掘削された。

このテストについては、作家スタインベックが記事を書き、当時のケネディ大統領が「歴史的な偉業」というメッセージを送るほど華々しいスタートだった。このテストによって深海掘削が技術的には可能であることが分かり、将来の輝かしい成果を予見させるものだった。一方で、計画の推進には、予想をはるかに超えた資金が必要となることも分かった。結局、同じ資金でほかの科学を推進できること、また技術的な問題などが指摘さ



地球の構造モデル



1971年に発行されたDSDPの技術レポートNo.1の表紙

れて連邦議会で却下され、モホール計画は、幻の計画となってしまった。

その後、LOCO (Long Core) という委員会が設立され、たとえ浅くとも掘削結果を地球環境の4次元的理解に役立てようという方向が取られた。この計画のおかげで、深海掘削は首の皮一枚で生き残ることができたのだ。これは将来に続く深海掘削にとって非常に重要な足掛かりとなった。さらに1964年には、ウッズホールやスクリップスといった4つのアメリカの海洋研究所の連合であるJOIDES (Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling : 深海底サンプリング海洋学研究所共同研究機構) という組織が誕生。JOIDESは米国科学財団(NSF)から資金を得て、1965年にはカルドリル1号(Caldrill)という船を借り入れて14地点で試験的掘削を行っている。これがカルドリル計画である。

そしてついに1968年、JOIDESによってDSDP (Deep Sea Drilling Project : 深海掘削計画) が立案された。一度議会で棄却された計画が再び日の目を見ることは、ほぼない。しかし、深海底

を掘削するという計画はその実現を願う研究者の熱意でよみがえり、1968年7月20日、モホ面掘削という夢を乗せた船、グローマー・チャレンジャー号(Glomar Challenger)がテキサス州オレンジ港を出発した。

このなかで、5、7、9、10については、2008年2月現在も未解決の問題として残っている

## ムンク家の朝食会での13の質問

1. 地球の年齢はいくつか?
2. 海と最も古い堆積物の年齢はいくつか?
3. 生命誕生はいつか?
4. 最も古い海洋堆積物が、地質学的には若いのはなぜか?
5. 深海の下に石油は存在するか?
6. 大陸が動くとするならば、その動きを追うことはできるのか?
7. 海洋地殻の本当の構造は何か?
8. 人工地震によってより複雑な再現をできるか?
9. モホ面は突然あるいは連続的に変化するのか?
10. モホ面は地球の起源的な表面か?
11. 地球の熱はどこから来るのか?
12. 深海の岩は大陸の岩よりも放射線が強いのか、弱いのか?
13. 深海の岩は磁場逆転を記録しているか?

カス1号。アメリカの石油掘削船を改造して、掘削に使用された。170mのコアを得ることに成功した



# グローマー・チャレンジャー号 の活躍

執筆：  
木下 肇  
JAMSTEC 執行役

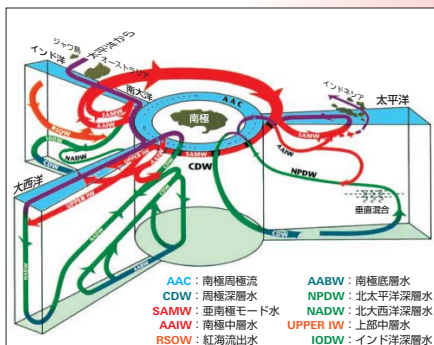
1968年に始まったDSDP (Deep Sea Drilling Project : 深海掘削計画) の最大の目的は、海洋底拡大説を検証すること。アメリカはこの説を検証すべく、一国だけでこの計画を進めていった。最初の数回の航海で、海洋底拡大説は基本的に正しいことが分かった。DSDPは1975年、フランスや日本などが加わった国際計画へと発展、IPOD (International Phase of Ocean Drilling : 国際深海掘削計画) と呼ばれるようになる。

グローマー・チャレンジャー号での主な成果をここでは紹介しよう。



## 海洋底拡大説の立証

海嶺で地球内部からわき出た溶岩には、冷えて固まった時点の地磁気の向きが記録されている。地球史のなかで地球磁場は何度も逆転したことが分かっており、この磁場の記録をたどることで海洋底の年代と拡大速度が算出された。3回目の航海で南太平洋を横断したグローマー・チャレンジャー号は、海嶺から離れると水深が深くなり、海洋底の年代が古くなることを確認、海洋底拡大説が立証された。その当時、海洋底は地球創世以来、動いたことがないというのが定説だった。地球観に革命をもたらした検証となった。



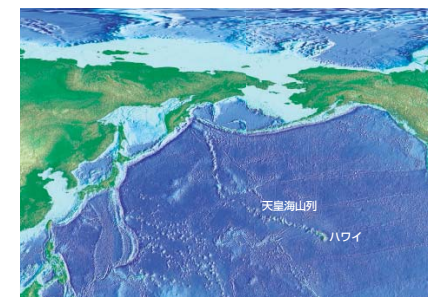
## 南極周極流の調査

南極周辺の海底を掘削すると、時間的につながらない空白時期が存在した。これは南極の周囲を流れる周極流が、海底表層の堆積物を洗い流してしまうために起こったものだ。この現象をとらえることで、南極周極流がいつ強まり、また弱まったか、また微化石から海水温度を調べることによって、古代の海の大きな流れをとらえることができた。

南極周極流を中心とした現在の海洋大循環

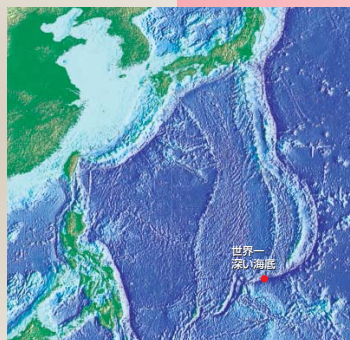
海洋プレートは大陸プレート下への沈み込みの角度が大きいと、プレート前線に海溝をつくり、周辺の地層は沈降する。沈み込んだ海洋プレートが破壊されて大陸の下部に付着すると、大陸の内側の斜面を押し上げる。海溝の衝突帯が突如ジャンプして海側に後退すると、今度はその周辺の地殻をマントルに向かって引きずり込み、陸塊が沈降して海底に沈む。三陸東沖の水深約2,000mのあたりは、約2000万年ほど前には陸地だった。

## 構造浸食を究明



## ホットスポットの追跡

地球にはプレート運動で放出し切れない熱エネルギーを、マントルからのブルームと呼ばれる上昇流で放出する場所がある。この上昇流には、ホットスポットと呼ばれる何千年も続くものがあり、その場所はほぼ動かない。そのブルームの噴き出し口の上を、移動中の海洋プレートが通過していくことで、連続的な火山が生まれる。DSDPでは北太平洋の天皇海山列が、ホットスポットの上を海洋プレートが年10cmの速度で通り過ぎて誕生したことを示した。

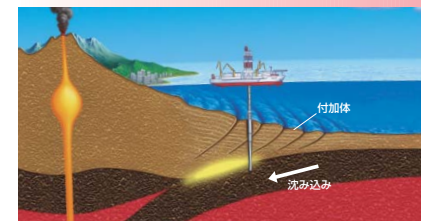


## 最古のプレートを特定

世界で一番古い海底は、海嶺からはるか遠く離れたマリアナ諸島東海域だ。最古の海洋プレートはどこにあるのか。マリアナ海盆が調べられ、海盆基盤の下に堆積層が発見された。そのさらに下にあった基盤岩塊、その年齢は1億7000万歳。これこそ最古の海洋プレートの発見だった。

北アメリカ西岸に広がるフランシスコン・メランジェと呼ばれる地質帯。この地質帯は海洋プレートが拡大に伴って大陸下に沈み込むときに、海底で堆積した堆積物を大陸側に押し上げたものだった。陸側に押し上げられ陸に付け加わった海底堆積物を「付加体」と呼ぶ。南海トラフでは、沈み込む海洋プレート表層が押し上げられ、その付加体が四国南岸の斜面と陸上の地質帯(四万十帯)を形成している。

## 付加体の成り立ち解明



## 地中海の干上がりを発見

地中海西部の掘削によって、岩塩、硬石膏、ストロマトライト化石が重なったコアを採取。硬石膏は海水の蒸発に伴って最初に析出し、地中海全域では同心円状に分布している。コアには、550万年前に地中海が干上がったことが記されていた。520万年前の温暖化で海面が上昇したが、その後の寒冷化で地中海は再び干上がった。さらに、420万年前に温暖化で再び海面が上昇したときに、断層活動と混濁した海水が海峡底を400m削って現在の地中海をつくったことが明らかになった。



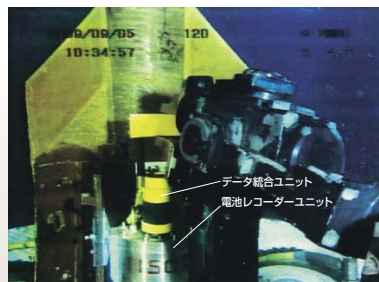
# ODP時代、深海掘削は大きな転換期を迎えた

執筆：  
小林和男  
東京大学 名誉教授

振り返ってみれば、1985年は深海研究全般において転換期を迎えた年だった。

5月には南海トラフを掘削する要望が高まった。フランスの潜水調査船ノチールが日本を訪れ、南海トラフと日本海溝の潜航調査を開始、沈み込み帯の断層を通してメタンに富む海水が湧出していることを確認したのだ。この掘削がきっかけとなって南海トラフを掘削する要望が高まった。また、1968年以降活躍してきたグロマー・チャレンジャー号の代替船として、ジョイデス・レゾリューション号 (JOIDES Resolution) が就航した。レゾリューションとは、かのジェームズ・クック船長の船団の1隻の名前であり、「メンバーの合意」を意味する言葉でもある。この年から掘削計画はODP (Ocean Drilling Project) に変更されたが、日本ではIPOD時代の国際深海掘削計画という名を継承した。

1985年は、研究航海に必要なハード面の技術



データ統合ユニットと電池レコーダーユニットの接続  
ODPの一環として、1989年夏に世界初の海底孔内長期地震・地殻変動観測ステーションが、三陸沖に設置された。写真はその際の「ドルフィン3K」による給油作業の様子。2000年と2001年には同様の観測ステーションを北太平洋海盆とフィリピン海に設置することに成功した。

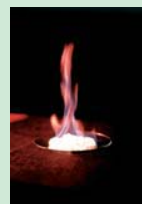
が抜本的に進歩した時期でもあった。科学調査を行うためには、船の位置を正確に把握することが大切だ。現在のようなGPSが海上でようやく整い始めた時期だった。それまでの船の位置決定は、その数年前からのロランC (電波航法装置) に加えてNNSSという初期の衛星測位システムが始まっていた。しかし、衛星の数が少なかったため、位置を決めるまでに数時間待たなければならないことが多かった。位置の精度も悪く、再現性を得るのが難しかったのだ。GPSの登場によって、位置決定は簡便でしかも精密になった。

ODPでの大きな成果の1つは熱帯太平洋東端ガラパゴス海嶺付近の掘削孔504Bだろう。海底下2,111mの深さは現在でも海洋プレートに開けられた最も深い孔だ。7回の航海を重ねて、海洋地殻中部の玄武岩貫入岩層を貫いた。多くの日本人研究者が参加して各種の孔内測定が行われた。IODP時代に入って2003年にこの孔の北西で掘削された1256D孔が海底下1,500mで海洋地殻下部とされるはんれい岩 (ギャブロ) に到達したのと並んで、マンテルを掘るといふ永年の夢に向かって大きく前進した。

また、GPSの登場によって、掘削孔内に地震計や電位差計を設置しての長期観測が行われるようになり、掘削船が去った後も通常の観測船から下ろした無人潜水機 (ROV) などで機器

## ODPの主な科学成果

### メタンハイドレートの採取

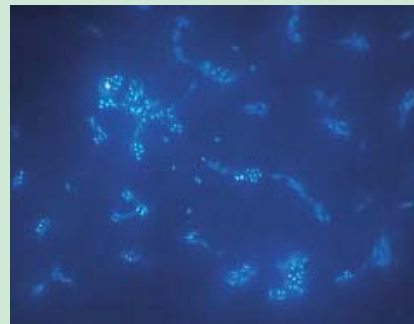


燃える水、メタンの水和物が初めて採取された。メタンハイドレートは海底下や永久凍土に大量に蓄積されており、そこに貯蔵される炭素の量は計り知れない。地球環境に大きな影響を与える物質であると同時に、次世代資源としても注目を集めている。

燃える水メタンハイドレート

### 地下生物圏の発見

海底下1,000mから微生物が発見された。この生物圏は、生命の起源にさかのぼる原始的な生態系を維持している可能性がある。ODPの掘削によって、生物圏の広がりや生命の起源・進化についての概念に転換期が訪れた。



海底下の微生物

を引き上げたり、再挿入することも可能になった。格段に調査の幅が広がったのだ。

船内の情報処理の方法も、大きな前進を遂げた。グロマー・チャレンジャー号時代は少なくとも2人のタイピストが乗船し、報告書をタイプしていた。ジョイデス・レゾリューション号ではそのころ出回ったパソコンを積んで、研究者が自分で報告書を書き上げるようになった。船内のLANも普及、船の位置や掘削の進行状況がどの

実験室からも即時に分かるように変化した。時代とともに陸との人工衛星経由の連絡も簡便で安価となり、陸と海上との連携もいまではスムーズに行うことができるようになっていく。

「万事ODP方式でいきましょう」

周辺技術に支えられた掘削研究は、周囲に大きな影響を及ぼした。最近では研究に限らず、さまざまな分野の国際協力で「ODP方式」が合言葉になっている。

### 恐竜の絶滅と小惑星衝突の証拠

北フロリダ沖で採取されたコアには約6500万年前の白亜紀 (K) / 第三紀 (T) 境界の地層が含まれていた。この地層には、衝突後熱い蒸気雲からつくられるデクタイトと呼ばれるガラス質の球状の物質が堆積していること、また衝突前後では地球環境が大きく変化したことが示された。



### 海水準変動の歴史

ODPでは海水準変動を調べるために、大陸辺縁部やサンゴ堆積物の掘削を行った。これらの掘削により、海水準の変動が堆積作用や気候変動、氷河と海洋の相互作用と密接にかかわることが分かってきた。この研究は将来の気候変動を見通す上でも重要な分野となっている。

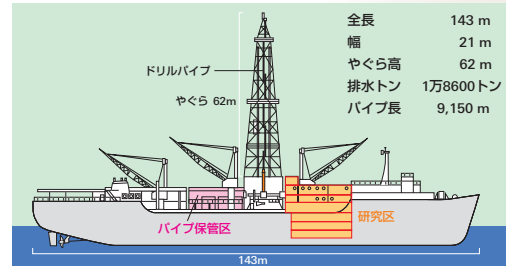
### 高解像度の気候変動記録

カリフォルニア沖サンタバーバラ海盆から得られたODPコアの解析結果とグリーンランドの氷床コアから得られた気候変動の記録は、とても細かい部分まで一致していた。気候変動は離れた地域でも同時に起こり得ることが示された。

### 地質年代軸の再構築

過去の地球軌道の変化 (ミランコビッチサイクル) を測定し、過去数百万年にわたる地質学的年代軸を構築した。これはこれまで行われていた放射性年代測定法単独で測定され、用いられていた時間軸よりもさらに正確なものとなった。

ジョイデス・レゾリューション号  
グロマー・チャレンジャー号からジョイデス・レゾリューション号に代わって、船体は21m長い143mになった。そのおかげで各加盟国からの乗船者数はそれまでの各航海1人から2人に倍増した。真なつた専門家の組み合わせや、ベテランと新人の組み合わせなどが可能となり、自由度が増した



#### 船上研究室

ジョイデス・レゾリューション号はセドコ社所有の掘削船Sedoco/BP471を改装、長年チャーターすることで運用している。改装という制限から、実験室に十分なスペースを取るために研究区は6層に設計された

# 「ゴジラ丸」から「ちきゅう」へ——IODPの軌跡

取材協力：  
倉本真一  
JAMSTEC  
地球深部探査センター  
計画推進グループ  
グループリーダー

「マントルを掘り抜く巨大な船、『ゴジラ丸』を日本の手で作ろう」。DSDP、IOPD、ODPと深海掘削に心血を注いできた研究者の熱意が、消えていた計画を2003年から始まるIODP (Integrated Ocean Drilling Project: 統合国際深海掘削計画) へと発展させた。日本の研究者たちは、まだ見ぬ日本の掘削船に巨大さと力を誇る「ゴジラ丸」という愛称を付け、その誕生を心待ちにして突き進んでいた。

IODPの最後のころ、アメリカは深海掘削計画をいったん中止しようとしていた。長期計画をいつまで続けてもお金がかさむばかりで仕方がない、ここで一区切り付けてはどうかという撤退ムードが広がっていた。このとき日本が、深海掘削のリーダーシップを受け持とうと立ち上がったのだ。まだ私たちに深海掘削でやり遂げなければならない課題がいくつも残されている。それらの科学的な課題をクリアするために、今度は日本が何とかしようではないか。多くの先達によるこの働き掛けで、国際深海掘削計画は息を吹き返した。一度はあきらめかけていたアメリカが立ち上がり、それならば日米が両頭となって新しい国際深海掘削計画を始めようということになったのだ。その機運のなか、具体的な深海掘削の科学的目的についての正式な話し合いが行われたのが、1997年に東京で行われたCONCORD (ライザー掘削国際科学者会議) だった。この会議こそが、「ゴジラ丸」の目指す科学目標の方向付けを行うランドマークとなった。

IODPは目的ありきの科学掘削としてスタートした。解明すべき5つの目標がまず掲げられて

いる。それらはイニシャルサイエンスプログラム (ISP) と呼ばれ、2003年からの10年間で達成すべき目標がつけられている。そのなかでも日本側が特に力を入れているのは、沈み込み帯における巨大地震発生のメカニズム解明、もう1つは地下に広がる巨大な生命圏の正体を暴くこと。こうした科学目標を達成するために、ジョイデス・レゾリューション号などのプラットフォームを充実、統合させて計画を進めていく。IODPの「I」は「統合する」という意味だ。プラットフォームや世界中の科学者たちの英知を統合し、科学目標解決への道をつくる。そのためにIODPは誕生した。

2007年9月には、ついに「ゴジラ丸」が火を噴いた。科学者たちが愛情を込めて呼んでいた「ゴジラ丸」は、地球深部探査船「ちきゅう」として、ついに科学掘削をスタートさせたのだ。CONCORDの会議からすでに10年が経過していた。

多くの科学者の夢からできた「ちきゅう」の最初の活躍の場は、南海トラフだ。この場所が選ばれた理由も、実はCONCORDまでさかのぼる。この国際会議のなかで、まず科学目標のなかで最優先にすべきことは、地震発生のメカニズム解明であり、その最適場所は南海トラフだと結論されたのだ。CONCORD開催の2年前、日本は阪神・淡路大震災で多くの人々の命を失っていた。巨大地震は世界各地を幾度となく襲い、多くの人々の命を容赦なく奪っていく。日本を含む多くの国々で、巨大地震のメカニズム解明は大きな意味を持つ。

南海トラフには過去1000年以上にわたって、地震の記録が残されていた。このような場所は、世界中のどこにも存在しない。さらに、地震発生帯の位置が、南海トラフほど分かっている場所もほとんどない。世界的にも貴重な研究の場だ。

2007年9月からの航海によって、すでにいくつもの成果が挙がってきている。南海トラフの付加体部分での観測では、沈み込み方向と平行に付加体部分に相当の力がかかることが分かった。丸く開けた孔が、沈み込みの方向に力がかかり楕円へとつぶされていった。また、わずかに数km離れた孔では、逆に孔が広がる場所も発見された。地殻にかかる力が決定的に変化する境界が、その範囲にあったのだ。

巨大分岐断層から得られたコアからは、断層の証拠と断層に流体が含まれていること、断層自体が非常に活動的であることが分かった。巨大分岐断層は津波の原因となる断層である可能性が高いこと、また深部には地震発生帯があるため、その性質を把握することは、巨大地震のメカニズムを解明するためにも重要だと考えられている。第2、第3ステージではもっと深部の巨大分岐断層とプレート境界からコアを得る予定だ。

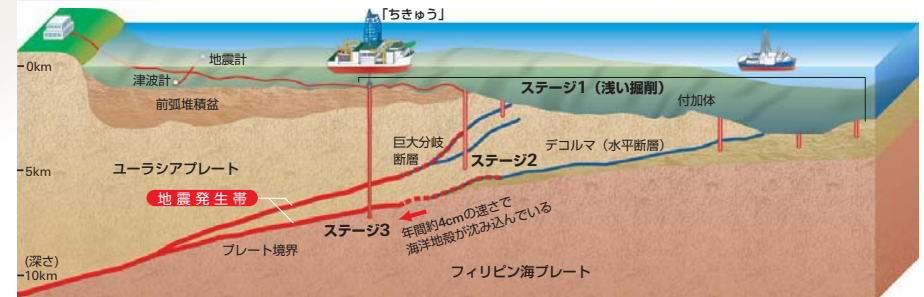
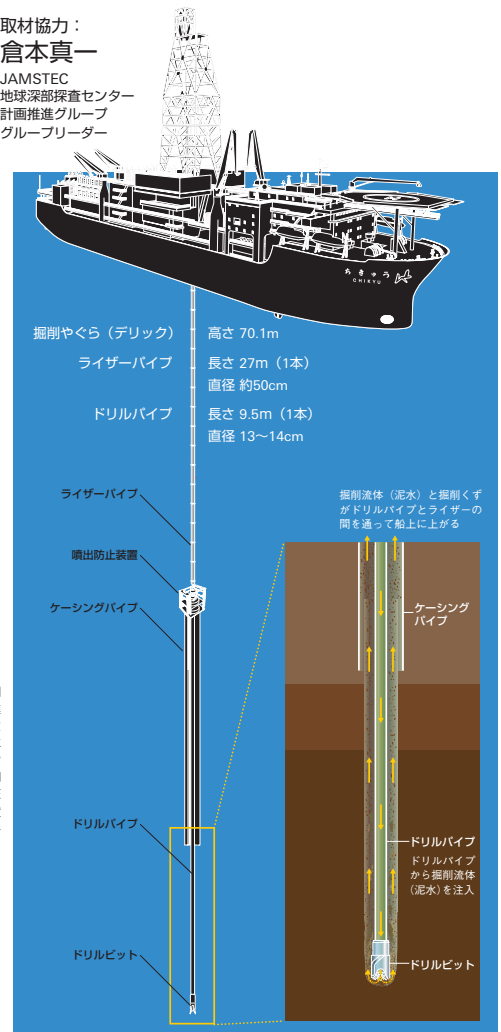
「ちきゅう」の就航は、ダーウィンから続く夢の延長にある。人類の夢であるマントルを掘り進める準備は着々と進められている。「ゴジラ丸」が「ちきゅう」へと変わったように、マントルを手に入れる日は、もう夢物語ではない。

## 地球深部探査船「ちきゅう」とライザー掘削技術

これまでの掘削船と大きく違う点は、ライザー掘削という技術を導入した点だ。マントルまで掘り進むのを可能にするためにはこの技術の導入が不可欠だと考えられている。ライザーパイプのなかを泥水が循環し、孔の状態を管理する。船上でマッドエンジニア (mud engineer: 調泥専門家) によって調整された泥水パイプを伝い、パイプにかかる孔の圧力を調整する。一般的に孔が深くなるほど泥の密度が高くなるよう調整され、掘削部の孔壁に少し沈み込むことで孔の強度を強くするのだ。

## 南海トラフで行われる掘削4ステージ

南海トラフでは、4つのステージに分けて掘削が行われる。第1ステージは、掘削同時検層 (LWD) と呼ばれるもので、力のかり方など掘削する地層の特徴を理解するために行われた。また浅部の掘削によりコアの採取も行った。第2ステージでは科学史上初めてのライザー掘削も行う予定である。第3ステージでははいよいよ海底下6,000mという深さの地震発生帯が掘削される予定だ。第4ステージでは、第2、第3ステージで開けた孔に長期モニタリングシステムを設置して、地震発生現場でのデータ収集が行われていく



## IODPのイニシャルサイエンスプログラム (ISP)

1. マントル活動と地球システム変動
2. 地殻活動と地球システム変動
3. 沈み込み帯のダイナミクス・物質循環と地球システム変動
4. 長期孔内計測
5. 地下生物圏研究の戦略

# 地球観のパラダイムシフトを私たちの手で

取材協力：  
平 朝彦  
JAMSTEC 地球深部探査センター センター長



平センター長(左)。背後にあるのは、「ちきゅう」に積まれたライザーパイプの山。その奥には高さ70.1mのデリックがそびえ立つ

運命だと思う。私もその夢の延長上にいる。

日本は最大の大陸と最大の海洋の縁にあり、4つのプレートがひしめき合う場所に位置している。日本付近で世界の地震エネルギーの約30%が開放され、熱帯・亜熱帯からは大量の熱が黒潮というかたちで日本へと運ばれてくる。東京から約100kmの沖合には、海洋地殻まで1万1000mを超す、世界で一番深い海溝が底なし沼のように口を開けている。ここ日本は、地球変動の要となる場所だ。日本の地球科学者にとって、地球の内部を知ることは宿命であり、運命だ。地球内部を掘削すること、それはまさに日本の研究者の夢そのものだと見える。

連続とつながる研究の流れのなかで、日本とアメリカがリーダーシップを取るかたちのIODPが始まった。日本で科学が始まって以来、これほど大きなプロジェクトで日本がリーダーシップを取ったことはない。科学の目的を立て、計画し、運用し、成果を公表し、社会への還元を図る。この一連のサイクルの最も重要な部分を、IODPでは日本が主体となって進めることになった。

地球深部探査センター (CDEX) の仕事は、「ちきゅう」の運用に尽きる。「ちきゅう」という船をできるだけよいかたちで保ち、研究者に提供し、活躍してもらう。これがセンターの役割だ。研究チームと運用チームは、完全に分離して役割分担している。研究チームには10人く

らのプロジェクトマネジメントチームという組織が存在し、アメリカと日本からの2人の研究者をトップにして研究計画を進めていく。研究に関して、運用チームから口を出すことは一切ない。それは「ちきゅう」の運用と研究は分けて考えた方が、公平性が保てるはずだという長年の信念に基づいている。

「ちきゅう」はとても運の強い船だ。建造計画時はまさにバブルのはじけた後だった。折しも、科学技術立国日本として立て直しをしようという議論が高まり、補正予算がついたために「ちきゅう」建造計画が通った。もし、この計画が数年遅かったら、また早かったら、「ちきゅう」は日の目を見ることはなかっただろう。時代の流れとしても、地球という惑星への関心、地球環境への問題意識が高まった。こうした時代の波に乗って、「ちきゅう」は就航した。現在は資源不足の問題で、世界中がしのぎを削って新しい資源の掘削方法を備えた船を建造しようと試みている。原油高騰や技術者不足などの面はあっても、世界中で進む技術開発が、今後の「ちきゅう」の技術の礎となることは間違いない。

さらに研究分野でも、いまこそ地球観のパラダイムが変換を遂げようという時期に来ている。「ちきゅう」の運用に関して、掲げている研究目標は巨大地震のメカニズムの解明、地下生物圏の限界点・フロンティアの見極め、モホ面掘削だ。IODPの一環として、目標はこれらの問題解決にある。目標解決を第一に掲げ、5年、10年といったプログラムを組んでいるプロジェクトも、これまでにない試みだ。これらの目標すべてが有機的につながり、新しい地球観が生まれようとしているのだ。

深海掘削のだいご味は、まさに「生きている地層」を手に入れること。陸上で見る四万十帯などの地層は、ある意味では死んでいる地層といえる。からからに乾いて、体液ともいべき流体はほぼ完全に失われた、いわばスルメのような状態だ。生きている地層には、流体という血が流れ、そのなかに微生物が暮らし、鉱物ができ始め、まさに構造が動的な状態にある。だからこそボーリングして、その現場を見ないと、本当のことは理解できない。コアを通して、そうした生きている状態をとらえること。それこ



## ちきゅうデータ

全長	210m
型幅	38.0m
船底からの高さ	130m
深さ	16.2m
総トン数	約57,087トン
航続距離	約14,800海里
最大乗船人員	150人 (乗組員100人、研究者50人)
最大速度	12ノット
掘削方式	・ライザー掘削方式 ・ライザーレス掘削方式
最大掘削水深	2,500m (ライザー掘削時)
ドリルストリング長	10,000m



生きている地層、コアのサンプリング。掘削で得られた円柱状のコアの半分は高知コア研究所などで保存され、半分が船上の研究者などの研究用に使われる

そ深海掘削の魅力であり、そこに地球をとらえる鍵がある。

これまでの研究から、海底下の地殻にはかなりの量の流体が含まれていることが分かってきている。さらに、いままで考えられていた以上に多くの微生物がそこで暮らし、表層と密接な関係を持っていることが明らかになった。プレートテクトニクスも、ブルームテクトニクスも、どちらも固体地球のみの理論にすぎない。しかし新たな潮流は、流体と生物と固体地球、これら

のつながりにある。そしてこの問題こそ「ちきゅう」で解決すべきだと私は考える。

私たちは「ちきゅう」とともに地球観のパラダイムシフトを見極めようとしている。研究者として最高の瞬間を手に入れるために、CDEXは研究者のための最良の研究体制を用意する。研究者には、けれん味なく面白いと思う研究に突き進んでほしい。どちらも真っ向勝負。「ちきゅう」はそういう場だ。これは日本で研究を行う私たち地球科学者の運命なのだから。 **BE**

部屋の1面は水槽、ほかの3面は鏡面になっており、外へとつながる通路が2本ある。雌雄合わせて500匹のクラゲが水流によって舞い続けている。写真でどこが本物の水槽がわかるだろうか

# AQUARIUM GALLERY

## 伊豆・三津シーパラダイス 青い万華鏡の世界を舞う—ミズクラゲ

通路を抜けると、深い海に一人放り出されたような不思議な感覚に襲われる。幻想的な青白いクラゲに四方すべてがどこまでも包まれている。あたりは一面、青の世界だ。

2007年8月、古い水槽からの改修工事が開始された。限られたスペースを有効に使い、クラゲで癒やし系水槽をつくろう、そんなコンセプトからこの企画は始まった。「クラゲ万華鏡」。実はこの名前は後から付けたものだ。どこまでも続く水槽をつくりたい、果てしなく続くクラゲの群れをどこからでも見られる水槽をつくろう、そんな希望を持って水槽側以外の展示室の3面を鏡面ガラスにした。

まだ主のいない、でき上がった展示室に入ると、まるで三面鏡のなかに入ったようだった。万華鏡の名前は展示室が完成した2007年10月に命名した。

同じ月、主役のミズクラゲたちは、遠く山形からトラックに乗ってやって来た。500匹ほどのクラゲを飼育するスペースは、伊豆・三津シーパラダイスの展示室の後ろのバックヤードにはなかった。山形にある加茂水族館の方が繁殖させ、大切に育ててくださったものだ。水槽に放すと、クラゲたちは息を吹き返したかのように元気に泳ぎだした。

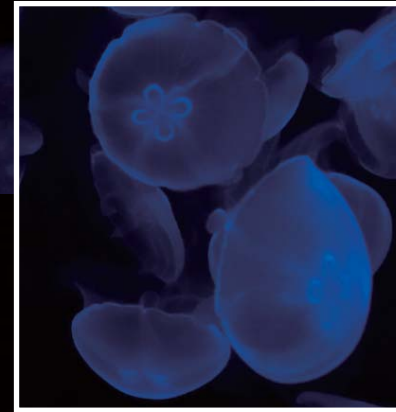
500匹に及ぶミズクラゲの群れが水槽を舞う。ミズクラゲは、生活史に謎の多かったほかのクラゲに比べ、かなり早い段階でライフサイクルが解明された。そのため飼育方法がほぼ確立されていて、飼いやすく、入手もしやすい。また東京湾では過密に出現し、近年ではその大量発生が問題になっているという報告もあるように、大量に飼っても比較的ストレスのかかりにくい生きものだ。

ミズクラゲの雌雄の区別は見ただけではまずわからない。サイズは15～20cmほど。自力で泳ぐ能力はほとんどなく、水流に任せて漂っている。そのため、水流の管理をきちんとすることが飼育の鍵になる。流れのない場所ができ、どこかに集まってしまうとクラゲが溶けてしまったりするからだ。この水槽では縦1.6m×横4m×奥行き1mの水槽に10本の突出口を設置し、水流を調節している。背面に落ち、手前をせり上がってくるような水流のなかで、クラゲたちは日々暮らしている。

「うわー、すごい!!」。歓声とため息が漏れる。11月の公開以来、多くの方々が登場し、そんな声を聞かせてくれる。ここだけの話、実は水槽前には1ヵ所、最も広がりを感じられ、クラゲ万華鏡を満喫できる場所がある。もしも水族館で私を見つけ、声を掛けてくれたなら、その場所をそっとあなただけに教えてあげよう。

(取材協力：真野光晃／伊豆・三津シーパラダイス)

■Information: 伊豆・三津シーパラダイス  
〒410-0295 静岡県沼津市内浦長浜3-1  
TEL 055-943-2331  
URL <http://seapara.jp/>



左上のミズクラゲの中心部に見える、4枚の花びらのようなかたちは生細胞。傘の裏側にある、その間に伸びている4本の線は口腕。やはり傘の裏側で、花びらの中心部に口がある。傘の周囲にある触手で捕った餌を口腕で受け取って、口まで運んでいる

# コンピュータのなかで雲をつかむ

島 伸一郎

地球シミュレーションセンター  
連結階層シミュレーション研究開発プログラム  
アルゴリズム研究グループ 研究員



島 伸一郎 (しま・しんいちろう)  
1977年、神奈川県生まれ。理学博士。京都  
大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専  
攻物理学第一分野博士後期課程指導認定。  
2005年より現職。専門は数値物理、非線形  
動力学

地球温暖化の予測を難しくしている最大の要因が、雲だ。

雲は太陽光を遮ったり地球から宇宙へ逃げる熱を吸収して蓄えたりして、地表の気温に大きな影響を及ぼす。その雲のでき方が、今後どのように変わるかで、温暖化の行方も決まる。しかし、その雲のでき方がコンピュータのなかでうまく再現できない。そうしたなか、雲を効率よく正確に再現できる可能性を持つ「超水滴法(超水滴微物理モデル)」を開発して注目を集めているのが、地球シミュレーションセンターのホープ、島 伸一郎 研究員だ。「現象を左右している法則を見つけ、できるだけシンプルな数式にしてコンピュータのなかで現象を再現する。それが面白いのです」。こう語る島研究員に研究の魅力を聞いた。

## 納得するまで考える

—子どものころから算数や理科が好きだったのですか。

島:小学生のとき、算数が大好きになりました。塾で出会った先生の影響です。その先生は、集中して取り組む、ということを教えてくれました。算数はパズルのようなもの。問題に集中して取り組んでいると、あるとき答えが見えてきます。その先生は、さらに難しい問題、応用性が高く面白い問題をたくさん用意してくれました。それらをどんどん解いていくうちに、考えること自体が好きになったんです。そして集中して納得いくまで考える習慣が身に付きました。それは研究者にとって、とても大事なことだと思います。

## 「カオス」に出会う

—いまの研究につながるコンピュータ・シミュレーションに興味を持ったきっかけは?

島:高校生のとき、数学や物理が好きだったのですが、学校で習うテーマに違和感を覚えました。数学ならば四角形や三角形、物理でも放物線運動などを扱いますが、とても単純で、身近な自然で見る複雑なかたちや運動とはかけ離れています。

そんなとき、本屋さんである本が目にとまりました。表紙に見たこともない図形があって面白そうだったのです。それが『カオス—新しい科学をつくる』(ジェイムズ・グリック著)でした。

—カオスとは?

島:最初の条件のほんのわずかな差が拡大していき、予想と大きく異なる結果が生じる現象です。自然界には、そのようなカオスと呼ばれる現象がたくさんあることが、コンピュータ・シミュレーションによって分かってきました。『カオス』には、カオス理論の考え方やその理論を生み出した研究者たちの姿が、とても魅力的に描かれています。この本で、身近な現象をコンピュータのなかで再現することに興味を持つようになったのです。大学の理学部のときに、自分でもコンピュータ・シミュレーションを始めるようになりました。

—どのような現象を再現したのですか。

島:最初は、三角錐を回転させたときにどのように見えるか、という単純なものでした。学部の卒業論文では、ホースの振る舞いのシミュレーションを行いました。水まきなどをすると、ホースへ流す水の量を増やしていくと、突然、ホースが不規則な運動をして暴れ始めますよね。それもカオスなんです。私は、この現象を支配している法則を見つけ出し、コンピュータで再現しました。すると、コンピュータのなかのホースが暴れ始めたのです。これは面白い、と思いました。

その後、大学院に進み、カオスなどの非線形現象をコンピュータで再現し探求する研究に本格的に取り組みました。

## 「雲をつくってみてくれ」

—なぜ地球シミュレーションセンター(ESC)に?

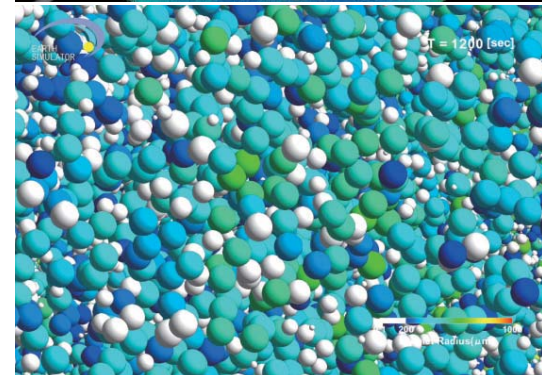
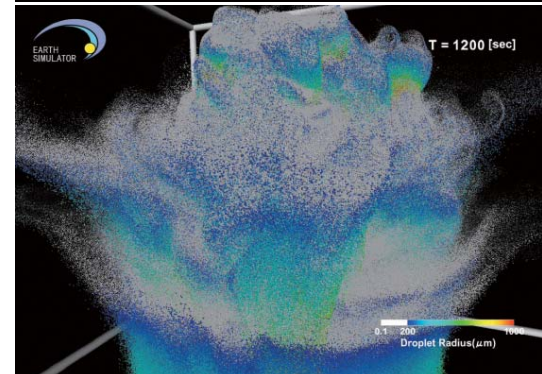
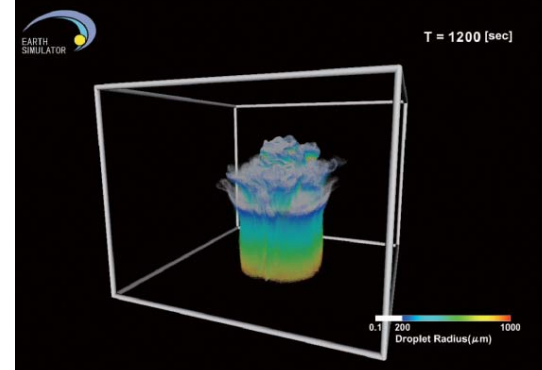
島:やはり、地球シミュレータという素晴らしいコンピュータを使って研究ができること。そして、研究員の公募があった「連結階層シミュレーション」の研究が面白そうだったのです。現象を再現するとき、必要な部分は複雑なモデル、そうでないところは簡単なモデルで計算して、それをつなげて現象全体を効率よく再現できる場合があります。そのようにモデルを使い分けたり、つなげたりして現象を再現するのが、連結階層シミュレーションです。

—雲をテーマに選んだ理由は何ですか。

島:2005年春にESCに入って早々、草野完也プログラムディレクター(PD)に、「手始めに雲をつくってみてくれ」といわれたのです(笑)。「むちゃなことを」と思いました。

—雲の再現は、そんなに難しいのですか。

島:エアロゾルと呼ばれる大気中の微小な



超水滴法によって表現された雲 粒子の色が超水滴のサイズを示している

ごみがないと雲はできません。エアロゾルの周りに水蒸気が凝結して、微小な水滴ができます。それを雲粒といいます。その雲粒の集まりが雲です。雲のなかで微小な雲粒が衝突併合を繰り返して、大きな雨粒となって地表へ降り注ぎます。

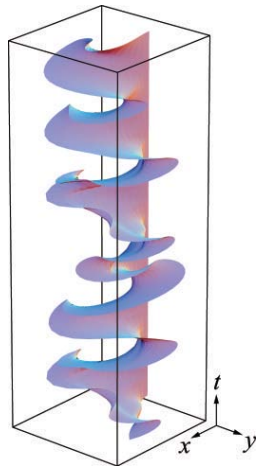
1つ1つの水滴についてすべて計算すれば、雲を現実と同じように再現できます。しかし雲には1m<sup>3</sup>あたり約10億個の水滴があ

ります。その振る舞いをすべて計算することは、計算量が膨大過ぎて、地球シミュレータでも実現不可能なのです。

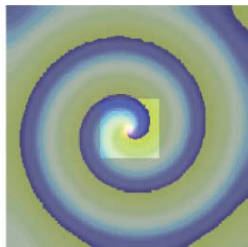
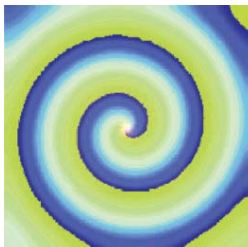
私たちは、計算量はできるだけ少なくして、現実と同じように現象を再現したいわけです。そこが腕の見せどころ、シミュレーション研究の面白いところ。現象を左右している法則を見いだすことができれば、効率よく正確に現象を再現することができます。



島研究員の進路を決めた本  
「カオス—新しい科学をつくる」ジェイムズ・グリック 著/大貫昌子 訳 (新潮文庫)



ホースのカオス的な運動  
ホースへ流す水の量を増やしていくと、突然、ホースが不規則な運動をして暴れ始める。その運動もカオスだ



連結階層シミュレーションの例 右図の中心部(四角の明るい部分)を複雑なモデル、それ以外の部分を簡単なモデルで計算し、境界で情報を双方向にやりとりして両者を連結させ、再現したい現象の全体(左図)を正確に再現することができる

—雲を、効率よく正確に再現するための方法が「超水滴法」ですね。

島: 草野PDに超水滴法のもととなるアイデアがありました。2005年4月から私はそのアイデアを具体的ななたちに取り組み始め、6月にはモデルの基礎となる理論を完成させました。

ポイントは、たくさんあるものは、それをまとめて計算しても結果は変わらないというアイデアです。同じようなものがたくさんある場合、たとえば10個を1個として計算しても、計算結果が変わらない場合があるのです。複数個の同一の水滴を1個にまとめた計算上の粒子が「超水滴」です。

この超水滴が衝突併合して成長していく様子を計算するわけですが、その計算過程

でも、効率よく正確に現象を再現するための工夫をしています。

ある範囲に水滴が100種類あったとします。現実の世界では水滴同士が衝突併合すると、水滴の数は減っていきますね。ところが超水滴同士の衝突併合を計算して超水滴の数をどんどん減らしてしまうと、現象を正確に再現できなくなります。そこで、ある範囲にある超水滴を100種類と決めたら、衝突併合の計算を繰り返しても、100種類という数を変えないという設定にしています。

このとき、100種類のすべての組み合わせで衝突併合が起きる可能性があります。従来の雲モデルには、それをすべて計算するようなものもありますが、超水滴法ではランダムに組み合わせを選び、たとえば50組の

ペアの衝突併合だけを計算します。手抜きをするわけですね。しかし手抜きをしても、すべての可能性を計算した場合と結果が変わらなければ、計算効率がよくなります。

現在、さまざまな気象条件で生まれる雲を超水滴法で再現した結果を、実際の観測データと比較して、現象を効率よく正確に再現できているかどうかを検証しています。

次の段階では、超水滴法からもっと簡単なモデルを抽出して、あるところは簡単なモデル、ある部分は超水滴法できちんと計算し、それを連結させて、できるだけ広い範囲の雲を再現したいと思っています。

### 雲が温暖化の行方の鍵を握る

—超水滴法はどのような応用が考えられますか。

島: 天気予報、さらには人工降雨の予測にも利用できるといいます。人工降雨はエアロゾルを人工的に散布して、雨を降らせませす。その効果を超水滴法で予測するのです。効果的なエアロゾルの散布の方法を導き出し、雨の降る位置を都市からダム周辺にずらすことによって、水害を防いだり水不足を解消することができるでしょう。

そして最終的には、超水滴法を利用して地球規模で雲を再現して、地球温暖化の予測に役立てることが目標です。地球温暖化の予測を難しくしている最大の要因は、雲なんです。たとえば雲があると、太陽光が遮られて地表の気温が下がります。

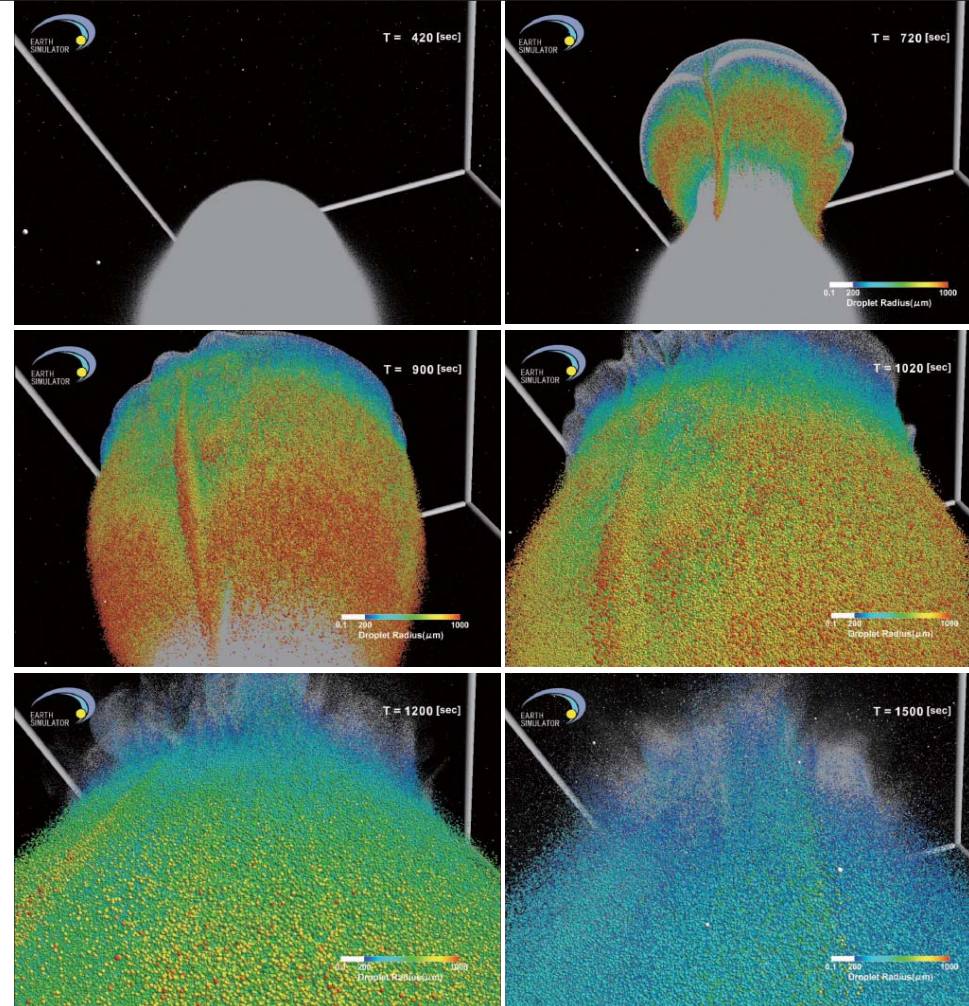
雲をつくるエアロゾルには、海から発生する塩などの粒子のほか、排気ガスやばい煙など人間の活動によるものもあります。人間の活動によってエアロゾルが増えたとき、雲がどのくらい増えて、温暖化にどのような影響を与えるのかといったことを予測することが、いまはまだ難しいのです。超水滴法を利用したモデルで、それを予測できるようにしたいですね。時間がかかるとは思いますが……。

—どのくらいかかりそうですか。

島: 5年くらいあれば、温暖化予測の精度を向上させることに何らかの貢献ができると思います。

さらに超水滴法を使えば、地球だけでなく、金星や木星の雲のシミュレーションもできます。いま、惑星科学の研究者たちに超水滴法を宣伝しているんです(笑)。

さらに気象以外にも、粒子が衝突併合するさまざまな現象に応用できます。たとえば、



超水滴法による雲の生成と降雨のシミュレーション 「最初、超水滴法を気象学の研究者たちに説明しても、「まあ、頑張ってください」という感じでした(笑)。しかし、具体的なシミュレーション画像を発表始めると、反応が変わってきました」

プリンターのインク粒子。あるいは自動車のエンジン内に噴霧される燃料粒子の振る舞いをシミュレーションすることで、燃費の向上に貢献できるかもしれません。自動車会社が興味を持ってくると、面白い展開が生まれそうです。

### アイデア次第でどんどん面白くなる

—今後、シミュレーション研究はどのように進展していくのでしょうか。

島: 超水滴法による雲のシミュレーションも、地球シミュレータという超高速コンピュータがあって、初めて可能になった研究です。いま、日本では次世代スーパーコンピュータ

をつくる計画が進んでいます。さらに全国の大学や研究機関でも超高速コンピュータの整備が進んでいます。いま、「Blue Earth」を読んでいる中高生の皆さんが大学や大学院に進学するころ、新しいシミュレーション研究を行うことができる素晴らしい環境が整っているはずですよ。

その環境を使って、どんな面白いことができるか、それはアイデア次第です。いま、超高速コンピュータをつくっている人たちも、それを使うとどのようなシミュレーションが実現できるのか、すべて分かっているわけではありません。だから、超高速コンピュータを使いこなして、面白いことを研究できる若

い人材を育成しようとしています。—ご自身は将来、どのようなテーマに挑みたいですか。

島: 社会のなかでの人間の振る舞いや、人間の脳にも興味があります。脳の働きをコンピュータのなかに再現する人工知能の研究が、これからどんどん面白くなりそうです。

塾や学校では、先生が面白い問題を用意してくれます。しかし、研究者は情報収集をして、自分で面白い問題を見つけなければなりません。それを見つける能力が、とても重要なんです。さまざまな面白い問題を見つけて挑戦していきたいですね。 **BE**

# 天空の摩擦 摩擦熱で輝く不思議な天体「降着円盤」

(2007年10月10日 第71回地球情報館公開セミナーより)



地球シミュレーションセンター  
連結階層シミュレーション  
研究開発プログラム  
応用シミュレーション  
研究グループ  
グループリーダー  
**廣瀬重信**

ひろせ・しげのぶ。1966年、山梨県生まれ。1994年、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程修了。博士（理学）。東京理科大学理学部助手、米国ジョンス・ホプキンス大学研究員、プリンストン大学研究員を経て、2005年、海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター研究員。2006年より現職。専門は計算物理学。破壊、摩擦をキーワードに、連結階層シミュレーションアルゴリズムの研究開発を行っている

「降着円盤」とは、生まれたばかりの星である原始星やブラックホールなどの周囲に形成される回転するガスの円盤です。降着円盤のガスは、回転しながらも、摩擦の影響で、中心天体に向かって徐々に落ちていきます。そのときの摩擦熱によって、降着円盤は明るく輝きます。降着円盤という天体になじみのない方が多いと思いますが、実は、降着円盤は地球の誕生と生命の歴史にとっても深くかかわっています。今日は、最新のシミュレーション研究をもとに、降着円盤の基本的なメカニズムと、降着円盤と地球とのかかわりについてお話しします。

## 地球も生命も降着円盤から生まれた

地球誕生の始まりは、星間空間に広がるガスです。そのガスが重力によって収縮していき、中心に太陽が生まれました。生まれたばかりの太陽の周りには、回転するガスの円盤が形成されます。それが降着円盤です（図1）。その円盤のなかで固体の塵が成長して惑星が生まれ、やがてガスが晴れ上がって現在の太陽系になりました。地球も私たち生命も、降着円盤から生まれたのです。

降着円盤は明るく輝いています。そのエネルギー源はガスが持つ重力エネルギーで、ガスが中心天体に落ち込むときにまず運動エネルギーに変換されます。その運動エネルギーが摩擦を通して熱エネルギーに変換されて光っているのです。これは、水力発電が水の重力エネルギーを利用して電気エネルギーをつくるのに似ています。ただし、降着円盤のエネルギー変換効率は宇宙一であり、静止質量エネルギーの最大42%を熱エネルギーに変換することができます。一方、水力発電の変換効率はわずか10%、効率がよいと思われる核融合反応（太陽のエネルギー源）でさえ0.7%です。

降着円盤は重力エネルギーをエネルギー源とする天体、ということが出来ます。このような天体はほかにあるのでしょうか？ 実は、地球も重力エネルギーで「光

って」います。地球磁場をつくるダイナモ活動や火山などの地殻活動は、地球内部のために込まれた熱エネルギーによるものですが、その熱エネルギーの一部は降着円盤のなかで地球が形成されるときに蓄えられた重力エネルギーなのです。ただし、地球内部からのエネルギー流量は1m<sup>2</sup>あたりわずか0.087ワットで、太陽からのエネルギー流量1,340ワットに比べると微々たるものですが。

## ガスは落ちる？ 落ちない？

降着円盤のガスは回転しながら摩擦によって徐々に中心天体に落ちていく、といました。実際、これから説明するように、摩擦がなければ回転している物体が落ちることはありません。

降着円盤のガスの回転運動は、重力（万有引力）と遠心力が釣り合った、「ケプラー回転」と呼ばれるものです。太陽系の惑星も太陽の周りをケプラー回転しています。地球が46億年もの間太陽の周りを回っていることから分かるように、ケプラー回転はとても安定な円運動です。

なぜケプラー回転している地球が太陽に向かって落ちないのか、考えてみましょう（図2）。地球は、重力と遠心力が釣り合った状態で太陽の周りを回転しています。ここで、地球を太陽に向かって押してみます。太陽に近づくので地球に働

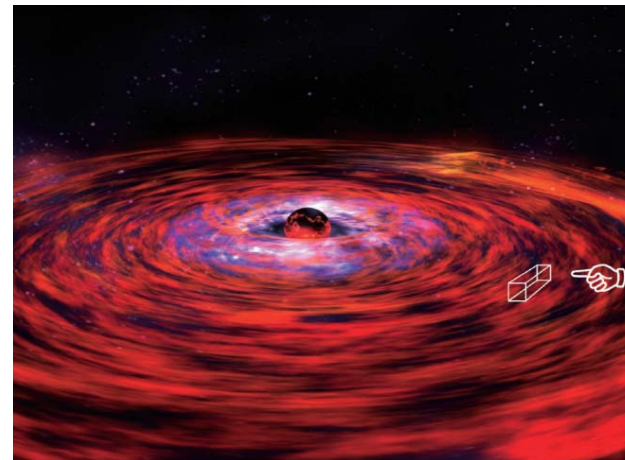


図1 降着円盤の想像図  
ブラックホールや原始星の周囲に形成される回転するガス円盤を「降着円盤」と呼ぶ（白い立方体の部分を切り出したシミュレーションが図5）

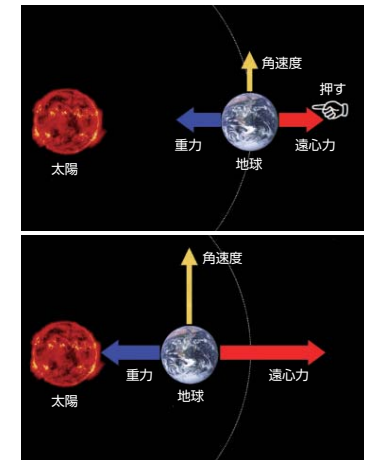


図2 地球の軌道と角速度・重力・遠心力の関係

地球は、重力と遠心力が釣り合った軌道を運動している（上）。地球を内側に移動させると、角運動量は保存されるので、角速度が上がる。すると遠心力が大きくなり、地球は外側に押し戻される（下）。地球が内側に移動することで重力も大きくなるが、遠心力の効果の方が大きいのである

く重力は大きくなります。一方、「角運動量」と呼ばれる回転する勢いは保存されるので、地球の角速度は上がります。フィギュアスケーターが腕を縮めると回転速度が上がるのと同じ理由です。このとき、重力の増え方よりも、角速度の上昇による遠心力の増えの方が大きいので（万有引力が距離の逆2乗に比例するため）、地球はもとの軌道に戻ります。したがって、角運動量が保存されている限り、地球も降着円盤のガスも、中心に落ちていくことはないのです。

## 摩擦があれば落ちる

角運動量の保存を破り、降着円盤のガスが中心の天体に落ちることを可能にするのが「摩擦」です。床の上で物体を滑らせたとき、摩擦がなければそのまま滑っていきますが、摩擦があると物体は止まります。そのとき、床と物体の間の速度差はゼロです。つまり、摩擦とは隣り合った物体同士の速度差をなくす働きである、ということが出来ます。

降着円盤のガスが落ちていく仕組みを考えてみましょう。図3は降着円盤を上から見たものです。内側の軌道を回転するガスほど、低い角運動量を持つことが分かります。つまり、内側の軌道に移るためには、角運動量を減少させる必要があります。さて、白い軌道回っているガ

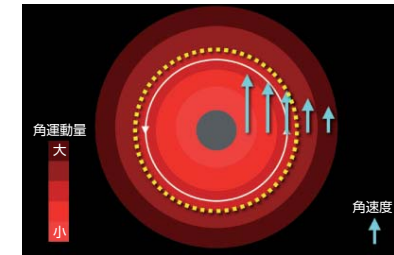


図3 降着円盤における角速度と角運動量

ケプラー回転している降着円盤では、角速度（矢印）は内側ほど大きく、回転の勢いを示す角運動量（赤）は外側ほど大きい（万有引力の逆2乗則のため）。白い軌道回るガスは、角速度の小さい外側のガスとの摩擦（黄色点線）によって角運動量を失うことで、より内側の軌道に移ることができる

スを考えます。その角速度は、より外側の軌道をゆっくり回っているガスとの摩擦によって、減少します。その結果、白い軌道回るガスは、角運動量を失い、より内側の軌道に移ることができます。白い軌道の外側を回るガスも、そのさらに外側のガスとの摩擦によって角運動量を失い、内側の軌道に落ちていきます。その繰り返しで、降着円盤のガスは回転しつつ、徐々に中心の天体に落ちていくことができるのです。

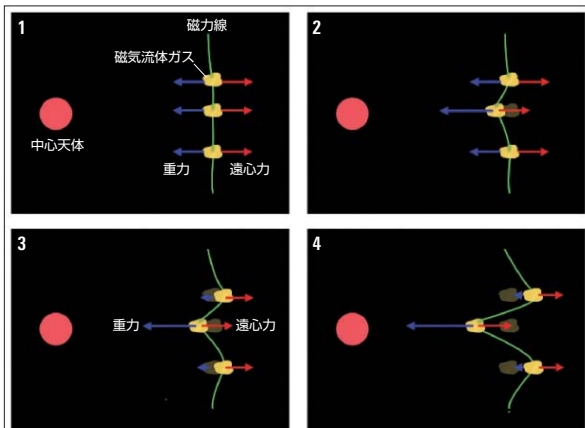
ところが、ここで根本的な問題があります。降着円盤のガスには摩擦が働くと説明しましたが、実は降着円盤ガスの粘性は非常に小さく、そのままでは十分に摩擦が働かないのです。この問題は、降着円盤のモデルが提案された1970年代当時には、角運動量を減少させる必要がありません。さて、白い軌道回っているガ

問題の1つとなっていました。

## 磁場が「摩擦」を生み出す

1990年代に入ってようやく、降着円盤のガスが落ちていくことをうまく説明できるメカニズムが提案されました。降着円盤ガスのなかに磁場があると、ガスに実効的な粘性が生じて摩擦が働く、というものです。

降着円盤ガスは電離しているため、磁場が存在すると、「磁気流体」と呼ばれる特殊な性質を持つ流体ガスとして振る舞うようになります。磁気流体ガスは、磁力線と相互作用する性質を持っていて、例えていうなら、磁力線という名のゴムひもに通されたビーズのようなものです。磁気流体ガスは磁力線に沿っては自由に動けますが、垂直方向に動くとき磁力線から張力を受けます。この性質は、磁気流



**図4 回転磁気不安定性のメカニズム**  
 降着円盤の軌道を横から見た図。ガス塊は、重力と遠心力が釣り合った状態で（註面に垂直方向に）軌道運動している（1）。真ん中のガス塊を内側に移動させると、磁力線でつながった上下のガス塊からのブレーキで、遠心力が重力よりも小さくなる（2）。その反作用として、上下のガスは加速を受け、遠心力が重力よりも大きくなって外側に移動する（3）。この効果は増大していく（4）

体を構成する荷電粒子が磁力線の周りを巡回運動することから来ています。

降着円盤において、上下に磁力線に貫かれて同じ角速度で回転している3つのガス塊を考えてみましょう（図4）。真ん中のガス塊を、中心天体に向かって押してみます。すると、このガス塊は内側の軌道にきたので働く重力は大きくなります。磁力線がなければ先に説明したように、角運動量保存則から角速度が上がり、遠心力が重力に打ち勝ってガス塊をもとの軌道に戻します。しかし磁力線があると、もとの角速度で回転している上下のガス塊と結び付いているため、角速度がそれほど上昇しません。その結果、遠心力が重力に打ち勝つことができないので、真ん中のガス塊は、より内側の軌道へ落下します。逆に、上下のガス塊は、内側に移動した真ん中のガス塊に引っ張られて

角速度が上昇し、遠心力が重力を上回るので、より外側の軌道に移動します。

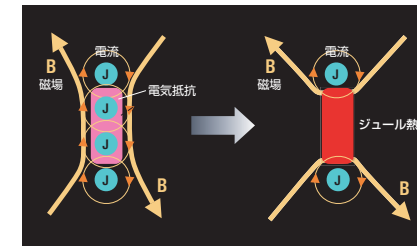
このようにして、いったん内側に落ちたガスはどんどん中心に向かって落ちていく一方、外側に移動したガスはどんどん外側へ移動していくこととなります。この現象は、「回転磁気不安定性（Magneto-Rotational Instability：MRI）」と呼ばれます。実際には、磁力線は何本もあって、あちこちで同じ現象が起きています。あたかも角運動量をパケツリレーするように、外側に行ったガス塊も磁力線でつながっているより外側のガス塊に角運動量を受け渡すので、結果的にほとんどのガスが内側に落ちていくこととなります。

回転磁気不安定性は、磁力線の張力によって、磁力線に沿ったガス塊の角速度差が解消されるために起こります。つまり、実効的な摩擦が働いたこととなります。このような磁力線に沿った角運動量の再配分こそが、降着円盤のガスに摩擦を発生させる仕組みなのです。

**回転磁気不安定性の数値シミュレーション**

図4から時間がたつと、磁力線とガスはどのような状態になるのでしょうか？ また、磁力線がたくさんあり、ガスも塊ではなく連続的に分布している実際の降着円盤ではどうなるのでしょうか？ そのような複雑な問題を調べるのに威力を発揮するのが、コンピュータによる数値シミュレーションです。回転磁気不安定性のシミュレーション結果を紹介しましょう。

図5は降着円盤の一部を切り出したもので（図1参照）、左列はガスの回転速度、中列は磁力線を示しています。上段は初期状態で、ケプラー回転している磁気流体ガスのなかに一様な磁場が存在しています。この状態に擾乱を与えると、回転磁気不安定性が成長し始めます。磁力線は次第に変形して、図4のようなくねくねした構造ができてきます。すると、それに伴ってガスの動きも乱れ始めます。磁力線の変形はさらに発展して、最終的に乱流状態になります。この乱流状態のなかで、磁力線に沿った角運動量の再配分、すなわち磁場による摩擦が効率よく発生しているのです。このシミュレーション結果から見積もられる磁気流体ガスの実効的な粘性は、観測される降着円盤の質



**図6 磁気リコネクション**  
 （註面に垂直方向の）電流が、「右ねじの法則」によって逆向きの磁力線をつくらせている。その電流が電気抵抗によって流れなくなると、磁力線がつなぎ換わるとともに、ジュール熱が発生する。

量降着率（ガスが中心に落ちていく割合）を説明できるに十分な大きさです。

ート状に熱エネルギーが発生しています。

**地球は宇宙とつながっている**

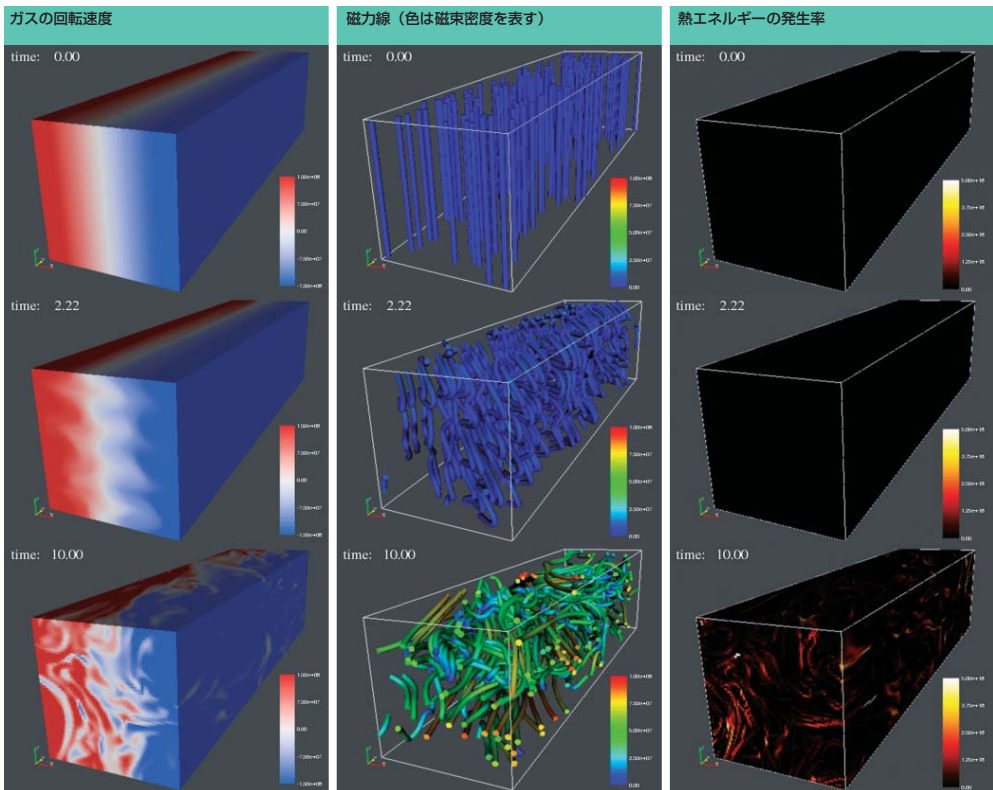
**磁気リコネクションによって光る**

次に、降着円盤が光る仕組みについてお話ししましょう。降着円盤が光るためには、その源となる熱エネルギーが必要です。普通の摩擦現象では、隣り合う物体同士の速度差がなくなると、その分の運動エネルギーは、物体の熱エネルギーに変換されます。手をこすり合わせると暖かくなるのはそのためです。しかし、降着円盤で起きている磁場による摩擦では、ガスの運動は磁場をひねったり曲げたりするだけで、熱は発生しません。ガスの運動エネルギーは、磁気エネルギーに変換されているだけです。

最後に、降着円盤と地球のかかりについてもう1つお話ししたいと思います。「ガンマ線バースト」をご存じでしょうか。非常にエネルギーの高いガンマ線が、突如として地球に降り注ぐ現象です。その正体はまだ分かっていませんが、中性子星の合体や超新星爆発によって形成された降着円盤から放出されていると考えられています。もし、ガンマ線バーストが私たちの地球がある銀河系内で起きたら、どうなるでしょうか。ある研究によると、地球に深刻なダメージを与えるようなガンマ線バーストは、数十億年に一度の頻度で起きている可能性があるそうです。その際には、わずか10秒ほどですが、強烈なガンマ線が地球に降り注ぎ、オゾン層が完全に破壊されてしまいます。すると、生物にとって有害な太陽からの紫外線が地表に降り注ぎ、多くの生物のDNAがダメージを受けることが予測されます。実際、オウムガイや三葉虫が全盛であった古生代オルドビス紀の終わりに起きた大量絶滅（4億4600万年前）は、銀河系内で発生したガンマ線バーストが原因ではないかという研究報告もあります。

その磁気エネルギーを熱エネルギーに変換するメカニズムが、「磁気リコネクション」です（図6）。乱流状態になると、逆向きの磁力線が接する状況があちこちに生じます。この逆向きの磁力線はシート状の電流によってつくられていますが、そこに電気抵抗があると電流が流れなくなり、電流がつくっていた磁場も消失します。すると、消失した磁場を補うように磁力線のつなぎ換え（磁気リコネクション）が起こる一方で、普通の電気回路と同様にジュール熱が発生します。つまり、磁気エネルギーが熱エネルギーに変換されたのです（正確には磁気エネルギーの一部はガスの運動エネルギーにも変換される）。この熱エネルギーが最終的に放射エネルギーに変換されて、降着円盤が光ります。

今日は、地球と深いかわりを持つ「降着円盤」という天体についてお話ししました。地球と生命は降着円盤のなから生まれました。そして、現在の地球活動の源である地球内部の熱エネルギーの一部は、降着円盤内で地球が形成されたときに蓄えられたものです。一方で、銀河系内の降着円盤からのガンマ線バーストが、地球の生命の歴史を大きく変えた可能性もあります。このように、地球は、時間的にも空間的にも、宇宙と密接につながっているといえるのです。



**図5 回転磁気不安定性のシミュレーション**  
 初期状態（上段）では、磁場は一様で、ガスはスムーズに差動回転している。回転磁気不安定性により次第に磁力線がくねくねと曲がりだし、ガスの動きも乱れ始める（中段）。最終的に、磁場とガスは乱流状態へと発展する（下段）

# 2008年——地球環境 を考える3つの国際年

2008年には3つの国際年があります。「国際極年」「国際惑星地球年」、そして「国際サンゴ礁年」です。これらはすべて地球環境に関係があります。それぞれの国際年について、紹介します。

## I P Y

### 国際極年2007-2008 International Polar Year

<http://www.ipy.org/>



瀧澤隆俊  
海洋地球情報部 部長

1957年から1958年にかけて、国際地球観測年 (IGY: International Geophysical Year) として、地球についての大規模な国際共同観測研究が行われました。日本の極域研究としては、南極観測が開始される契機となった重要な年です。この国際地球観測年は、第3回国際極年として企画され、それが地球全体に拡大されたものです。

第1回国際極年は、19世紀後半、北極点がまだ探検の対象であり、各国が北極探検にしのぎを削っていた時代に、「極地の探検を無策に推進し、未発見の大地を見つけるよりも、極地について科学的な知見を深めることを優先すべきである。南極・北極に観測網を展開し、定まった期間に同時観測をすべきである」との呼び掛けに、世界の科学者が賛同して実現しました。1882年8月から1883年8月までの13ヵ月が国際極年と名付けられ、その期間に極域における気象・地磁気・オーロラを中心とする同時観測が行われました。第2回は1932～1933年、第3回は1957～1958年 (国際地球観測年)、そして第4回が2007～2008年です。日本は、第2回から参加しています。

国際極年2007-2008の推進母体は、国際科学会議 (ICSU) と世界気象機関 (WMO) です。南北両極での2シーズンの季節変動を観測するため、2007年3月から2009年3月までを公式観測期間としています。

国際極年2007-2008の6大研究テーマは、以下のように定義されています。

- ① 状況 (Status): 極地域の環境の現状を観測・記述する。
- ② 変化 (Change): 過去および現在の自然環境と社会の変化を定量化し、将来の変化を予測する。
- ③ 地球規模の運動 (Global Linkages): 極

地と地球全体のいろいろなできごと間の関係を理解する。

- ④ ニューフロンティア (New Frontiers): 先端科学を極地観測に適用する。
  - ⑤ 有利な位置 (Vantage Point): 極地域ならではの有利な位置を利用し、地球の内側から太陽、宇宙まで観測する。
  - ⑥ 人的側面 (Human Dimension): 極地に住む先住民族の社会および文化を保全する。
- 参加国は60以上で、200を超える多様な学問分野の研究プロジェクト (日本からは約60) が進行しています。国際極年2007-2008の基本は、極地域に焦点を絞り、国際協調による学際的な科学研究・観測を集中して行うことです。目標として、①国際極年がなければ行われないような極地における質の高い研究活動と観測を集中的に、国際協調によって行う、②学際性を強調し、社会科学を積極的に盛り込む、③観測拠点や施設を設け、継続的な極地研究とモニタリングを支える基盤とする、を掲げています。



船舶による北極海観測



極域における極生調査

## I Y P E

### 国際惑星地球年 International Year of Planet Earth

<http://www.gsj.jp/iype/>

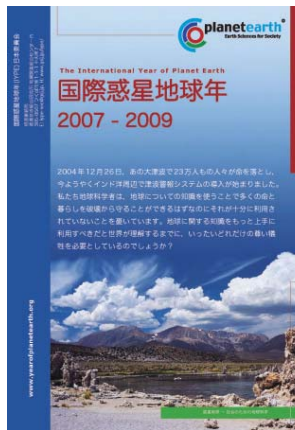


倉本真一  
地球深部探査センター  
計画推進グループ  
グループリーダー

国際惑星地球年は、国際地質科学連合 (IUGS) とユネスコが呼び掛け、191の国や地域の全面支援のもとで、2005年12月の国際連合で宣言されました。国際惑星地球年は2007～2009年に活動することとし、2008年に活動の中心を置くことが合意されています。「社会のための地球科学」が標語で、災害、資源、健康、気候、地下水、海洋、土壌、地球深部、巨大都市、生命の10の科学テーマとアウトリーチの活動からなっています。2008年2月には、パリで国際惑星地球年の開催記念式典が催されました。

国内では、日本学術会議のもとに推進が図られることになりました。国際惑星地球年国内委員会 (日本学術会議の小委員会) は、日本の基本活動方針として、生命地球科学のアウトリーチを主体的に推進していくことを決めました。それを受けて、国際惑星地球年日本 (日本の実施部隊) が活動方針案を策定し、関係各所への事業内容説明と支援依頼を行うこととしました。

主たる国際惑星地球年のメッセージとしては、「社会の持続的発展の基礎を築くため、地球科学への関心を広く一般に高める」ということがうたわれています。安全で安心して社会生活を送るためには、地球科学の知識と技術が欠かせないことを理解してもらい、生活の知恵として根付くようにすることが重要です。地球上で生活する人類にとって、災害、気候変動、水問題、天然資源、都市問題などは、正しい知識をもって人類が解決していかなければならない問題です。ローマクラブのレポートに代表される未来予想は、人類にとって決して明るい見通しではありません。天然資源や水・食糧の枯渇、人口の爆発、環境汚染の増大、そして地球規模の温暖化が、徐々に



国際惑星地球年のパンフレット

はなく急激に人類に襲い掛かろうとしているのです。

この危機的な状況に置かれている地球の現在を理解し、人類の英知をもって対策を考えていかなければなりません。国際惑星地球年は、そういった現在の地球が抱える諸問題を喚起し、理解し、地球人としての理性ある行動が取れるように活動するものです。国際惑星地球年の活動を契機に、われわれのかけがえのない「地球」をあらためて考えてみましょう。決して、このままでは青い地球を守ることはできないのです。

## I Y O R

### 国際サンゴ礁年 International Year of the Reef

<http://www.iyor.jp/>



藤岡換太郎  
海洋地球情報部  
特任上席研究員  
設案文朗  
海洋地球情報部 調査役

なぜ、いまサンゴ礁なのでしょう？ それはサンゴ礁が地球史のなかで、環境の変遷に対する雄弁な公証人であるからです。

サンゴ礁は、地球の歴史において、古生代オルドビス紀のなごころ (4億6000万年前) という比較的新しい時代に姿を現しました。46億歳の地球の1割の年齢です。日本最古のサンゴの化石は、北上山地のシルル紀の地層から発見されています。石炭紀や二疊紀、そして中生代のサンゴ礁は、秋吉台や竜泉洞などの鍾乳石として産出しますが、白亜紀末の隕石衝突で多くの生物が絶滅しますが、サンゴは生き延びました。現在の海には220属のサンゴが繁栄しています。しかし、その多くが絶滅の危機にひんしているのが現状です。

サンゴ礁は、熱帯から亜熱帯 (南回帰線から北回帰線の間) の水深の浅い大陸棚や島の周辺の清潔な水域に生息しています。サンゴはイソギンチャクと同じ腔腸動物で、ポリープによって増殖します。サンゴのなかでも礁を形成するものは「造礁サンゴ」と呼ばれています。このサンゴ礁にはさまざまな生物が住みついていて、陸上の熱帯雨林のように多様な生物相を養っています。

進化論で有名なダーウィンは、「ビーグル号」による世界一周航海で多くのサンゴ礁を観察し、礁礁、堡礁、環礁という3つの

形態が火山島の消長によると考えました。これが証明されたのは戦後、エニウェツク環礁で行われた掘削のときでした。

炭酸カルシウムからなるサンゴ礁は、1日に1本刻まれる日輪を持ち、時間や過去の水温や年代、過去の海岸線の記録を保存しています。サンゴ礁は水温計と深度計を持った時計であるといえます。ところが近年、地球の温暖化に伴う海水温の上昇や環境の悪化によりサンゴ礁の白化が著しく、その保存が検討されています。

2008年を国際サンゴ礁年とする決議は、2006年メキシコでの国際サンゴ礁イニシアチブ総会でなされ、以下の2つの大きな目標が掲げられました。

- ① サンゴ礁と関連生態系の高い生態的、経済的、文化的な価値と、サンゴ礁が重大な危機に直面しているという理解を広める。
- ② サンゴ礁と関連生態系の保全と持続可能な利用の管理戦略の策定と実施のために、官、民、NGO、地域住民などで、早急に行動を起こす。

国際サンゴ礁年における各国での活動の展開を促進することが奨励されており、わが国では環境省がこれにあたります。JAMSTECでは3月10日から3日間、沖縄の名護市で「美ら海の珊瑚礁と地球環境変動」というテーマで海洋科学技術学校を開催する予定です。



## 世界最深部への挑戦 その成否を握る 新しい浮力材を開発する

現在、海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、世界最深部を調査できる新しい無人探査機の技術開発を進めている。その最重要テーマの1つが浮力材の開発だ。探査機は深海を探索する際、機動性を確保するために降下も浮上もしない状態（中正浮量）にして、動き回らなければならない。それには探査機の重量と釣り合う浮力を生み出す浮力材が必要だ。2003年の事故で失われた、世界最深部を探索できる無人探査機「かいこう」のピークルにも、水深約1万1000mの水圧下で使用できる浮力材がぎっしりと積み込まれていた。この深度では、1cm<sup>2</sup>あたりに1トンを超える水圧がかかる。その圧力に耐えられる強度を持つ浮力材がなければ、世界最深部への道は閉ざされてしまう。

なぜ、「かいこう」で開発した浮力材を使わないのか。「実は、その浮力材の主材料である樹脂の製造過程で発がん性物質が副産物として発生するため、現在は製造中止になっているのです。水深7,000mまでならば現存する無人探査機があり、産業界で開発された浮力材もあります。しかし、水深7,000mを超える深海の水圧に耐えられ、実際に用いることのできる浮力材は、産業界では開発されていません。ですから、私たちが独自に新しい浮力材を開発しなければならないのです。浮力材の開発を進めている大澤弘敬サブリーダー（SL）はこう説明する。

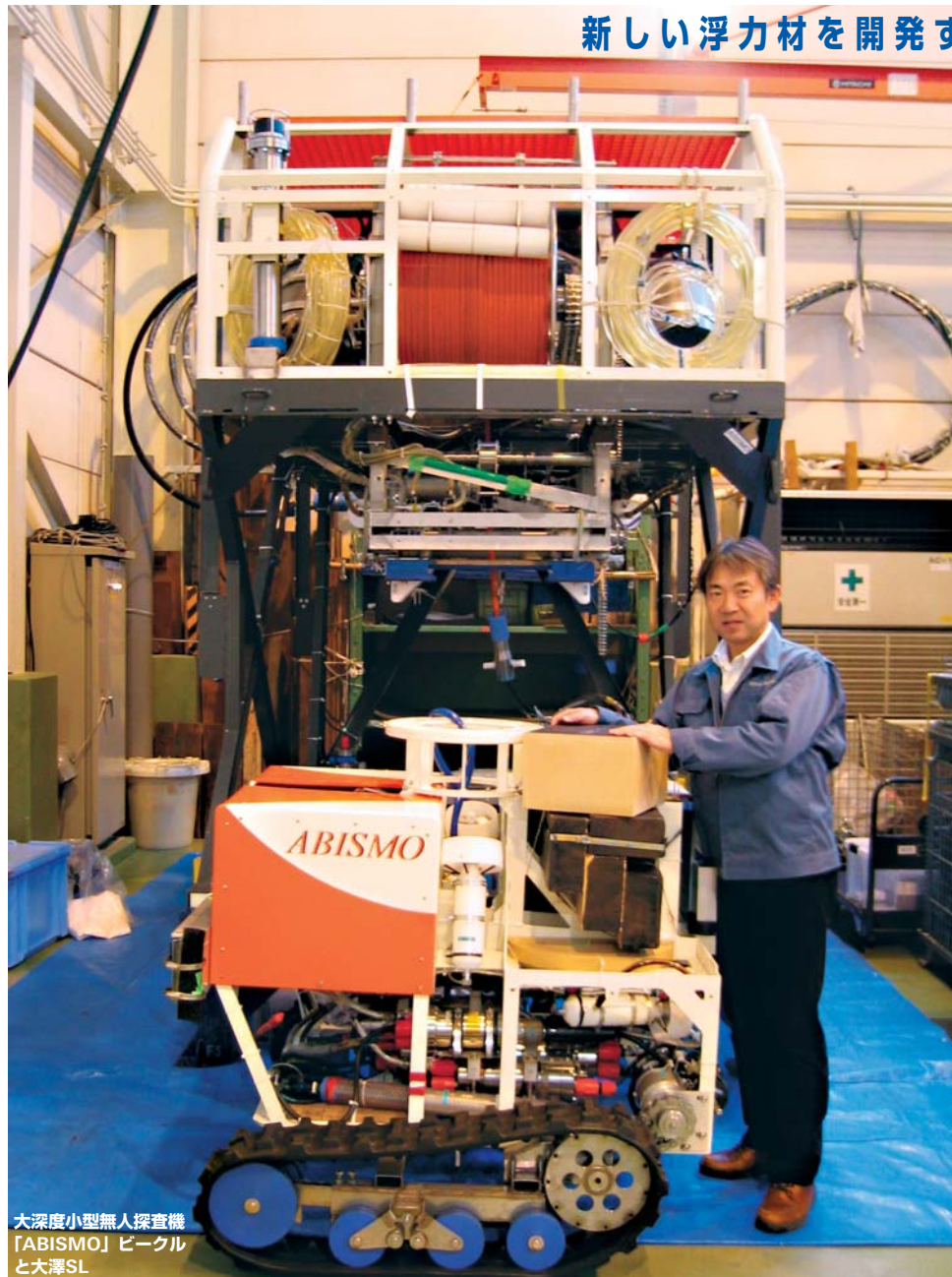
開発中の浮力材は、直径100分の数mmという微小の中空ガラス球体をエポキシ樹脂で固めた複合材だ。「それぞれの材料に十分な強度があっても、複合材にしたときに強度が足りなくなってしまう場合があります。配合の割合や製造過程の加熱の仕方で強度が変わります。エポキシ樹脂は熱を加えると化学反応を起こして硬化するのですが、少し加熱温度が上がっただけで、浮力材の内部が焼け焦げてしまう場合があります。温度条件の設定、管理がとても重要です」

浮力材は高い水圧下で使用しているうちに、水を吸って重くなり、強度が低下してしまう。大澤SLたちは、高強度で低比重、そして高い水圧下で繰り返し使用が可能な浮力材の開発を目指している。「実験データをもとに、製造設備のあるメーカーに材料の前処理法や配合の割合、加熱などの試作条件の詳細な指示を行い、できたサンプルをJAMSTEC横須賀本部にある高圧水槽で試験するという実験を繰り返しています」

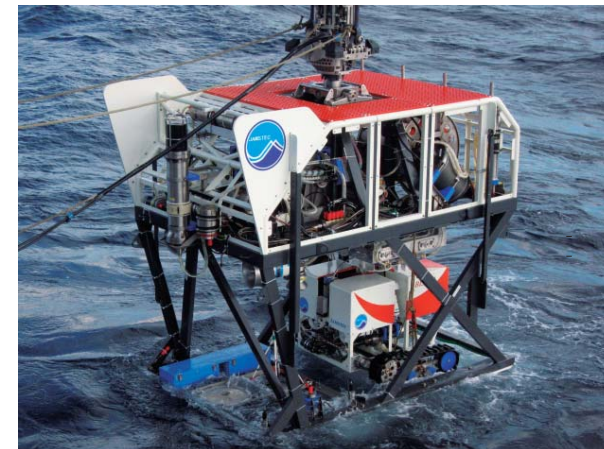
2007年12月、開発中の浮力材を実際に搭載した大深度小型無人探査機「ABISMO」が水深9,707mの潜航に成功した。その浮力材のサイズは約30cm四方で厚みが20cm。当面、目標とする浮力材の大きさは55cm四方で厚みが20cmだ。「サイズを大きくすると、場所により熱の伝わり方が不均一になりやすくなります。強度を均一にすることが難しく弱い部分ができてしまい、そこから壊れやすくなってしまいます。数cm四方の小さなものから開発を始め、約3年をかけて約30cm四方で厚みが20cmのサイズを実現しました。2008年度のうちに、目標のサイズへの到達を目指すつもりです」

世界最深部というフロンティアへの挑戦、その成否が浮力材の開発にかかっている。

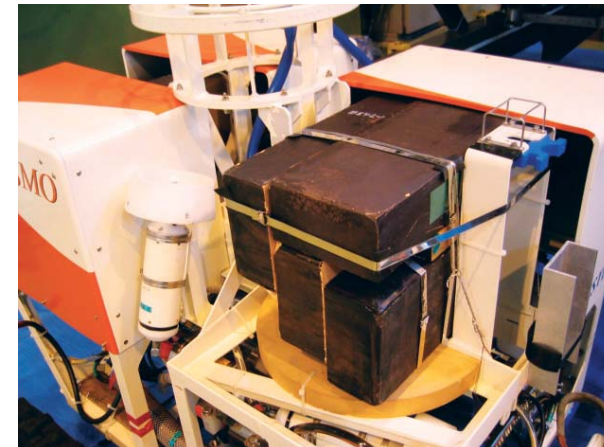
取材協力：大澤弘敬 サブリーダー  
海洋工学センター 先端技術研究プログラム



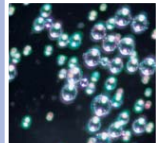
大深度小型無人探査機「ABISMO」ピークルと大澤SL




深海へ向かう「ABISMO」  
2007年12月、「ABISMO」は伊豆・小笠原海溝の最深部である水深9,707mの潜航に成功した



「ABISMO」ピークルに搭載された浮力材  
約30cm四方で厚みが20cmの浮力材を搭載している。比重は0.64である




中空ガラス球体



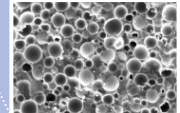
樹脂

**浮力材の開発**

「かいこう」の浮力材の開発においては、データとして表現し切れない「匠の技」が大きな力を発揮した。「残されている資料通りに製造しても、同じ性能の浮力材ができないのです。私たちは「匠の技」のデジタル化に取り組んでいます。実験データを詳細に記録し、メーカーや人が変わっても、同じ性能の浮力材が製造できるように開発を進めています」（大澤SL）

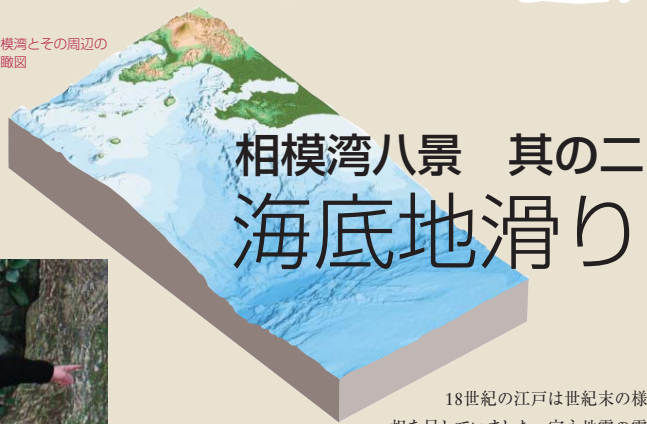


複合材



複合材の走査型電子顕微鏡画像

相模湾とその周辺の  
概観図



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部、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 ディベロップメント、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「深海底博物館」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69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2として、天変地異の化石をお届けします。相模湾の真中にプレート境界が通っていることは、すでに述べています。これから紹介する東京海底谷は北米プレートに属します。

プレートの境界では、2つまたは3つのプレートがせめぎ合うために大きな力が働きます。これを「応力」と呼んでいます。日本列島のようにプレートが沈み込む境界では、プレートが押し合うため圧縮の応力が卓越します。そして、圧縮応力が周辺の岩石の強度を上回った場合には、周辺の地殻やマントルが破壊されて地震が起こります。日本列島では、しばしばマグニチュード(M)8に達する地震が発生しています。海溝近くで起こる海溝型の巨大地震は、太平洋プレートかフィリピン海プレートが、その犯人です。

関東近辺では、関東地震や小田原地震がそれにあたります。東京では1923年(大正12年)9月1日に「関東地震」(M7.9)が、1855年11月11日には「安政の江戸地震」(M6.9)が発生しています。1703年12月31日には「元禄の江戸地震」(M8.2)が起こり、すぐ後の1707年10月28日には日本で最大の「宝永地震」(M8.4または8.6)が起こっているのです。富士山の宝永噴火は、その直後の12月16日に起きました。そして1783年には、浅間山の天明の噴火がありました。

18世紀の江戸は世紀末の様相を呈していました。宝永地震の震源は南海トラフですが、関東地震や元禄の江戸地震の震源は相模湾のなかです。相模湾は、地震の現場に最も近いところであったのです。

東京湾の水深は100mより浅く、その真中には谷があります。このことは音波探査によって初めてわかりました。現在では、東京湾を横切って探査を行うことができるのは、とても思えません。しかし、いまから約2万年前の旧石器時代の地球は最終氷期を迎え、海面はいまより120m以上も下がっていたために東京湾は存在せず、旧石器人はそこを歩いていけたのです。東京湾の真中にある谷は、旧利根川や旧隅田川などを集めた大きな古東京川で、相模湾へ注いでいます。相模湾に入ると水深は急激に大きくなり、東京海底谷となって、やがて相模トラフへと合流します。

1993年11月、米国モンテレー湾水族館研究所(MBARI)の地質学者ゲイリー・グリーンと生物学者ブルース・ロビンソンが日本にやって来て、相模湾で潜航調査を行いました。それは海洋研究開発機構(JAMSTEC)とMBARIの共同研究の一環でした。そして、東京海底谷の出口で、写真のような地滑り跡を見つけたのです。

実はモンテレー湾と相模湾(もっといえば富山湾)は、よく似た地球科学的背景を持っています。モンテレー湾のなかには、米国でも第一級の断層であるサン・アンドレアス断層から派生した断層が通っています。湾の周辺を構成する地層はモンテレー層という、日本海側に出てくる1200万年前の女川層とよく似たケイ酸化石を含む泥岩からなります。

ゲイリーは相模海丘(「しんかい2000」第582潜航)に、ブルースは三崎海丘(「しんかい2000」第583潜航)に潜りました。ブルースの専門は中層生物で、モンテレー湾に泳ぐクラゲなどの生物の映像を無人探査機(ROV)「バンタナ」を駆使してとらえています。プ



関東海域の海底地形図

「しんかい2000」第582潜航で見つかった地滑り堆積物の露頭。水深982m

ルースはとりわけROVの操作が上手で、自らそれを行っています。JAMSTECの生物研究者は、MBARIから多くのことを学んでいます。ゲイリーは地質学者ですが、地滑りなどの専門家ではありません。やはり専門でない人が面白いものを見つけるようです。彼らは1997年に潜航の結果を『JAMSTEC深海研究』に書いており、潜航で発見した露頭を地滑り堆積物として認識しています。

ゲイリーの潜航は、相模海丘のふもとの東京海底谷から山を登る北西方向へ行われています。谷の底では生物の大軍団が見られました。斜面を登り始めると、ぼろぼろになった泥岩が至る所に散らばっていました。やがて、急な斜面とやや平坦な面との繰り返しが始まります。不思議なことに、写真に対応する露頭の映像がないのです。写真が撮られたときは露頭の前でブッシュコアによるサンプリング中で、映像はその作業を追っています。ゲイリー自身はこの露頭を見ているのですが、パイロットたちは気が付いていない様子で、サンプリング後すぐに航走しています。写真で見える限り、露頭は高さ2m、幅3mほどの巨大な地滑り堆積物からなります。これは、三浦半島の海外町に見られる海底地滑りの露頭とそっくりです。

海底でこのような露頭が目視されるのは、それが極めて新しいことを示しています。陸に近い場所では年々土砂が運ばれてあっという間に埋もれてしまうし、このような地層はもろくてすぐに崩れてしまうからです。堆積物のなかに木片や炭素を含む化石があれば、その同位体を用いて詳しい年代を決めることが



できる場合があります。しかし、若い年代を決定することは極めて難しいのです。堆積物のなかに人間の活動を表す古文書のようなものが入っていれば一番いいのですが。初島沖に設置されている深海ステーションでは、地震で発生した海底土石流が目撃されています。このような記録があれば最高です。

地滑り堆積物発見の地球科学的な価値は、その上流で大きな地震などの自然現象が起きたことを示している点にあります。北海道南西沖地震の際には、海底の至る所で地滑りや斜面の崩壊などが見られました。日本海溝の陸側や海側の斜面でも、変形した岩石や斜面崩壊が至る所で見つかっています。相模湾でこのような土石流が見つかったことは、取りも直さず関東地震に関係したものであるとあってよいでしょう。相模湾は東京に近く、地震や火山の研究に適した場所であるのです。このような研究がさらに進むことを期待して、写真をじっくりと眺めてみましょう。 **BE**

さねさしの  
さがみのくがが  
をるふれば  
さかみのみうみ  
どせきしもらむ  
川関山

## Present プレゼント

### JAMSTEC BOOK 『はじめての海の科学』販売開始!

JAMSTECの研究成果をはじめ、海と地球の科学を分かりやすく紹介した『はじめての海の科学』が、4月から三省堂書店をはじめ全国の書店、Amazonなどにてお求めいただけるようになります。JAMSTECならではの貴重な深海の写真や美しいイラスト満載の“ビジュアル海洋入門書”です。ぜひお読みください。B5判、120ページ、定価1,600円(税別)です。今回は、販売開始を記念して『はじめての海の科学』を抽選で10名様にプレゼント致します。

#### ■応募方法

はがきかEメールに①~⑧を明記の上、下記までご応募ください。

- ①プレゼントの品名 (はじめての海の科学)
- ②氏名 ③郵便番号・住所 ④年齢 ⑤職業 (学生の方は学年)
- ⑥電話番号 ⑦今号で一番興味を持った記事
- ⑧『Blue Earth』へのご意見・ご希望

応募締め切り: 2008年4月21日(月) (はがきの場合は当日消印有効) 当選者発表は、発送をもって代えさせていただきます。

#### ■応募先

○はがき  
〒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

○Eメール  
info@jamstec.go.jp  
件名に「Blue Earth編集室プレゼント係」とお書きください。

\*お預かりした個人情報、プレゼントの発送または確認の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。

### 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1号(通巻93号) 2008年2月発行

編集人 田代省三 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課  
発行人 瀧澤隆俊 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(p18-21, p28-29)/鈴木志乃(p1, p22-7, p30-31)/坂元志歩(p2-17, 裏表紙)

デザイン 株式会社デザインコンピビア (AD 堀木一男/岡野祐三/山田純一ほか)

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

\*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

### 『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

#### ■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①~⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

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

#### ■支払い方法

お申し込み後、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

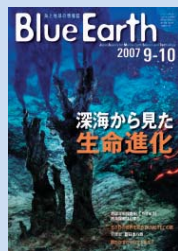
当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

#### ○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報部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.045-778-5425 FAX.045-778-5484  
Eメール info@jamstec.go.jp  
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



\*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号(3-4月号)までとさせていただきます。

バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。  
バックナンバーのご紹介  
URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

\*お預かりした個人情報は、『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。

## 賛助会(寄付)会員名簿 平成20年2月29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	株式会社ケンウッド	株式会社地球科学総合研究所	濱中製鋼工業株式会社
株式会社アイ・エイチ・アイマリンコユナイテッド	株式会社構造計画研究所	中国塗料株式会社	東日本タグボート株式会社
アイフ印刷株式会社	神戸ベント株式会社	株式会社鶴見精機	株式会社日立製作所
株式会社アクト	国際気象海洋株式会社	帝国石油株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
株式会社アサツディ・ケイ	国際警備株式会社	株式会社テザック	深田サルベージ建設株式会社
朝日航洋株式会社	国際石油開発株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
アジア海洋株式会社	国際ビルサービス株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	五洋建設株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
アレック電子株式会社	相模運輸倉庫株式会社	東海交通株式会社	富士通株式会社
泉産業株式会社	三建設工業株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社	富士電機システムズ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社三晃空調	東京海上自動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
栄光電設株式会社	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東京製綱繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
エヌケーケージレス鋼管株式会社	財団法人塩事業センター	東北環境科学サービス株式会社	古河電気工業株式会社
株式会社NTTデータ	有限会社システム技研	東洋建設株式会社	古野電気株式会社
株式会社NTTファシリティーズ	シナノン株式会社	株式会社東陽テクノカ	松本徹株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	清水建設株式会社	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MTS雪氷研究所	株式会社商船三井	有限会社長潭工務店	株式会社マン・ワーク・ジャパン
有限会社エルシャンテ追浜	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OCC	社団法人信託協会	西芝電機株式会社	株式会社マルタン
沖電気工業株式会社	新日鉄エンジニアリング株式会社	西松建設株式会社	株式会社マトロー
株式会社海洋総合研究所	新日本海商事株式会社	日油技研工業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
海洋電子株式会社	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
株式会社化学分析コンサルタント	鈴鹿建設株式会社	ニッセイマリン工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
鹿島建設株式会社	スプリングエイトサービス株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	三井石油開発株式会社
カナダ株式会社	住友電気工業株式会社	日本SGI株式会社	三井造船株式会社
カヤバシステムマシナリー株式会社	清通電設株式会社	日本海洋株式会社	三菱重工業株式会社
川崎設備工業株式会社	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
株式会社川崎造船	セナー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
株式会社環境総合テクノス	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	株式会社森京建築事務所
株式会社関電工	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
株式会社キュービック・アイ	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
共立インシユアランス・フローカース株式会社	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
共立管財株式会社	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
極東貿易株式会社	大日本土木株式会社	社団法人日本産業機械工業会	株式会社緑星社
株式会社きんでん	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
株式会社熊谷組	太陽日酸株式会社	日本電機株式会社	
株式会社クロスワークス	有限会社田浦中央食品	日本ヒューレット・パカード株式会社	
株式会社グローバルオシャンディベロップメント	高砂熱学工業株式会社	日本無線株式会社	
京浜急行電鉄株式会社	株式会社竹中工務店	日本郵船株式会社	
KDDI株式会社	株式会社竹中土木	株式会社組閣	

### 独立行政法人 海洋研究開発機構

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀買夏島町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

深海掘削で得られた海底柱状コア。海底には何千年、何万年とかけてできた堆積物がある。海底の堆積物をくりぬいたコアが船上に上がってくる。研究者はそのコアに刻まれた暗号を読み解き、地震のメカニズムや過去の気候、海水の流れ、地上や海中の生態系などを知ることができる。写真は2007年9月から始まったIODP（統合国際深海掘削計画）「南海トラフ地震発生帯掘削計画」で、紀伊半島沖の熊野灘を掘削中の地球深部探査船「ちきゅう」でのひとこま。円柱状だったコアは、真ん中から縦半分に分割される。研究者は、解析したいコアの部分に旗を立て、試料は公平に分配される。残りの半分は、高知コア研究所で新たな解析の時を待っている。そんなコアのなかには、世界中のどの研究者もまだ気が付いていない、地球からの大切なメッセージが秘められているかもしれない。(2-15ページに関連記事)

(取材協力：IODP/CDEX)

