

海と地球の
情報誌

2006年
5-6月号

BlueEarth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

特集

海洋・地球科学の未来を拓く研究者たち

科学技術の最前線で夢を追う海洋・地球学者たちの素顔

JAMSTEC Report 相模湾で見つかった
珍しい「ホネクイハナムシ」の新種

Aquarium Gallery 東京湾の豊かな自然を展示水槽に再現

深海底に “安住の地”を見つけた 生きた化石 ウミユリ

小笠原諸島海域 須美寿島付近 (水深約895m)

海底から伸びる茎部の先に、色鮮やかな羽のような腕が放射状に広がっている。伊豆諸島・八丈島の南方約180kmに位置する須美寿島付近の深海底(水深約895m)で撮影されたウミユリの姿は、まさに荒野に咲く美しい花のように見える。だが、ウミユリは植物ではなく、ウニやヒトデ、ナマコなどと同じ棘皮動物の仲間だ。そのなかでも海底に固着するウミユリは、古生代(約5億9000万年前~2億4800万年前)に繁栄し、その当時の原始的な姿を今も保っているといわれる。化石などの研究から、かつてウミユリは浅い海域にも広く分布していたと考えられているが、現在は比較的深度の海底にのみ棲息している。深海は餌となる有機物が乏しいなど生きるには厳しい環境だが、その分、敵や競争相手も少ない。深海の厳しい環境に適応することによって、ウミユリは原始的な姿を保ちながら生き延びることができたのかもしれない。須美寿島付近の海底では、数多くのウミユリが観察されている。さらに、原始的なフジツボなども見つかった。また、この海域は、2002年3月、イカ・タコの共通の祖先と考えられている“生きた化石”コウモリダコが、日本で初めて生きてまま捕獲されたことでも知られる。この一帯の深海域には、もしかしたら太古の生態系が残されているのかもしれない。

取材協力:
ドゥーグル・リンズィー 研究員
極限環境生物圏研究センター
海洋生態・環境研究プログラム
海洋生態系変動研究グループ



原始的な姿を保つウミユリ。放射状に広げた腕で海中の有機物を捕らえる



水深約895mの海底に数多くのウミユリが点在している



無人探査機「ハイバードルフィン」によって捕獲されるコウモリダコ

深度約884mの海中で撮影されたコウモリダコ

科学技術の最前線で夢を追う 海洋・地球学者たちの

海洋研究開発機構を支えるトップ科学者たちが語る
海洋・地球科学の歴史、現在、未来



CDEX



XBR



IORGC

を追う 素顔



ESC



FRCGC



IFREE



MARITEC

1971年に発足した海洋科学技術センターから、新たに独立行政法人海洋研究開発機構へと生まれかわって3年目を迎えた。海洋研究開発機構は、海洋科学技術の向上を図るとともに、海洋を中心とする地球に関する学術研究の発展をめざして、7つの研究センターを設置し、地球環境変動、海底地殻変動、海洋生命圏の理解をはじめ幅広い分野で、総合的・学際的な研究開発を推進している。

今回の特集では、海洋研究開発機構の幅広い活動への理解と、より多くの人々に現在進められている研究開発に興味・関心を抱いてもらうことを目的に、各研究センターの活動を牽引する科学者らに登場してもらい、研究の原点や現在の活動、そして今後の夢などについて話を聞いた。

背景写真：須佐美 智嗣（日本海洋事業株式会社）

Blue Earth

5-6月号/2006



表紙：ホネクイハナムシ
詳しくは28ページ参照

CONTENTS

- 2 特集 海洋・地球科学の未来を拓く研究者たち
科学技術の最前線で夢を追う
海洋・地球学者たちの素顔
- 4 CDEX
地球深部探査センター
平 朝彦 センター長
- 8 XBR
極限環境生物圏研究センター
掘越 弘毅 センター長
- 11 IORGC
地球環境観測研究センター
深澤 理郎 プログラムディレクター
- 14 ESC
地球シミュレータセンター
佐藤 哲也 センター長
- 17 FRCGC
地球環境フロンティア研究センター
時間 達志 センター長
- 20 IFREE
地球内部変動研究センター
巽 好幸 プログラムディレクター
- 23 MARITEC
海洋工学センター
宮崎 武晃 センター長

26 Aquarium Gallery
東京湾の豊かな自然を展示水槽に再現
東京都葛西臨海水族園

28 JAMSTEC Report
相模湾で見つけた珍しい
「ホネクイハナムシ」の新種

32 Marine Science Seminar
「有孔虫はどのような生物なのか？」
～その歴史・進化・地球環境とのかわり～

36 BE ROOM
Topics
日本科学未来館
深海掘削と「ちきゅう」の常設展示を新設

37 横須賀本部、横浜研究所の施設を一般公開
38 研究の現場から「ローブワーク」
39 海洋地球百科事典「深海の水圧パワー」

40 プレゼント
「Blue Earth」定期購読のご案内

賛助会会員名簿



地球深部探査センター
平朝彦 センター長

1946年、宮城県生まれ。専門は海洋地質学、地球進化論。著書・編書に「日本列島の誕生」(岩波新書)、岩波講座「地球惑星科学」(岩波書店)などがある。

科学の裾野は広い 夢中になれることを見つけて、迷わず邁進しよう

初めて乗船した深海掘削船は、1982年に南海トラフで掘削を行った米国の「グロマーチャレンジャー」だった。「当時、深海掘削も面白いとは思ったが、まさか、自分が深海掘削船の運用を担当するチームのリーダーになるとは思ってもみなかった」と平朝彦センター長は苦笑いする。2002年、海洋地質学研究の最前線から、一転して地球深部探査センターのセンター長に就任。地球深部探査船「ちきゅう」を安全かつ効率的に運用し、統合国際深海掘削計画(IODP)の科学目的達成を支える側に立った。「研究したり、論文をまとめるだけが科学の道ではありません。科学の裾野は広大であり、いろいろな関わり方があります。そのことを、身をもって示したい」と話す平センター長は、どのような姿勢で科学と向かいあってきたのだろうか。



試験運用の実施海域に向けて航行する地球深部探査船「ちきゅう」
© Integrated Ocean Drilling Program/JAMSTEC



CDEX (地球深部探査センター)

日米を中心に世界の国々が参加して実施されている統合国際深海掘削計画(IODP: Integrated Ocean Drilling Program)の主要な掘削船となる地球深部探査船「ちきゅう」(2005年に完成、試験運用を経て2007年より本格運用開始予定)の運用を担う組織として2002年10月に発足した。「ちきゅう」は、水深2,500m(最終目標は水深4,000m)の深海底から海底下7,000mを掘り抜く能力を備える、世界で初めて科学目的のために建造された海洋掘削船だ。「ちきゅう」を安全かつ効率的に運用するため、地球深部探査センターには、専門家集団によって構成される部署が設置されている。

少年時代から憧れていた 大学の研究室

「小学生のころは化石を集めるのが好きで、父親の知り合いだった東北大学の地質学の先生の研究室に、よく出入りしていました。顕微鏡などが置かれた部屋で、化石の棚に囲まれて、先生がお茶を飲みながらタイプライターに向かって論文を書いている、そんな研究室の雰囲気に憧れていました(笑)」と平センター長は、少年時代を振り返る。ところが、実際に大学に入ってみると、そこは憧れの場所とは違っていた。

「立派な先生はたくさんおられました。化石を扱う学問は停滞しているように感じました。もちろん、地質学そのものに興味はありましたが、もっとダイナミックな地球科学に取り組むべきではないかという思いがありました。そこで、私は地層のつき方など、新しい学問をやってみたいと考えて、自分で勝手に論文を読んだり、ノートをつくらしたりして、独自に流体力学的な研究に取り組んでいました。先生方からは生意気な学生と思われていたでしょうね(笑)。ただ、それを許し、好きなことをやらせてくれた先生方には感謝しています。そして、自分で考えて自分で行動するという独立の精神の大切

さも、大学で学ぶことができました」

大学卒業後、勧められるままに米国・テキサス大学ダラス校に進学した平センター長は、ここでも自らのめざす道を選んだ。

「米国では、マスターコースの2年間、基礎的なことを徹底的に勉強させられました。日本の大学で非常に偏った勉強しかしていなかったため、これは自分にとって、とてもよかったと思います。また、米国の大学では、成績の良い学生は手厚く見てくれます。最初のころは英語もよく分からない一学生でしたが、マスターでトップの成績を取ってからは、先生たちの扱いがガラリと変わった。これはある意味で米国のすごいところ。ドクターに進んで、自分がめざす砂粒堆積物の堆積プロセスに関する研究をやろうとしたときも、大学院生であるにもかかわらず、「自分でラボラトリーをつくってよい」ということで、専用のラボを持たせてくれました」

テキサス大学では、米国のしっかりと確立した教育システムを実感したと、平センター長は話す。

「基礎的なことを徹底的に学ばされたこともそうですが、科学教育における普遍的理念が教育システムのなかに敷

かれていて強く感じました。米国では常に先生とディスカッションし、いろいろなことを聞かれました。唯我独尊になることは許されず、人の論文もよく読んで考えを理解し、その上で、自分のやりたいことや思いをきちんと人に伝えるという作業、つまり、科学の議論の進め方というものを学ぶことができました。また、米国では、自分の考えをしっかりと説明するコミュニケーション能力が、科学者の重要な資質のひとつと考えられています」

日本の大学で学んだ独立の精神、そして米国で学んだ、科学はディスカッションであるという考え方、この2つを「学生時代に自分のなかで同居させることができたのは、とてもラッキーだった」と平センター長は振り返る。

理解を超えた地層 四万十帯の研究に取り組む

ドクターコースの修了を迎えようとするころ、教授からは、当時、景気のよくなった石油業界の研究所に進むことを勧められた。米国では、研究所に入って研究を続けた後に大学に戻るのが、地質学の研究者のスタンダードな進路なのだそう。実際に石油会社からのオファーもあったが、諸事情



地震波探査によって得られた海底深部構造図を確認する平センター長

から母校・東北大学の研究生として日本に帰国。そして1年後、高知大学に採用が決まった。

「高知大学に赴任して、自分の研究室を得て、初めて一人前の研究者としての実感がわいた」そうだ。そして、ここで出会ったのが、四万十帯だった。

四万十川に由来して名づけられた四万十帯は、南西日本の太平洋側に沿って赤石山脈から紀伊半島、四国、九州、沖縄まで延びる、延長約1,500km、最大幅約100kmに及ぶ一大地層群だ。堆積構造などから、主としてタービダイト(乱泥流堆積物。浅海に降り積もった堆積物が、地震などによって雪崩のように海底を流動し再び堆積したもの)からなることは分かっていたが、地層は変化が激しく、長い間、謎の地層群とされていた。

「学生への野外実習を任せられ、下調べのために高知県内のいろいろな場所を回ったのですが、このとき、まったく

理解できない地層に出会いました。それが四万十帯でした。地層は破壊しつくされ、激しく変形していました。荒々しい様相と複雑な構造を持つ地層が、目の前に巨大な露頭となって累々と続いていたのです。それは、驚きというより、ショックでした。同時に、この地層を理解したいという好奇心が湧き上がってきました。こうして四万十帯の研究が始まったのですが、この地層全体の研究は、とて一人でできるものではありません。ところが、幸いなことに新しい講座がつくられることになり、チームを組んで研究を進めることが可能になったのです。そこで、学生諸君の手も借りて、四万十帯をしらみつぶしに調査していきました」

この研究によって、四万十帯がどのようにして形成されたのか、その謎は見事に解き明かされた。そして、海洋プレートの沈み込みによって、まさにブルドーザーで土砂をかき集めるよう



2005年11月に実施された「ちきゅう」による初めてのコア試料採取に立ち会う

にして深海の堆積物や海洋プレートの一部から付加体(深海の堆積物や海洋プレートの一部が剥ぎ取られ、押し付けられて、陸側に積み重なるように付け加えられたもの)がつくれ、四万十帯は、その付加体が陸側に押し付けられて形成された地層群であることを地質学的に証明するという大きな業績に結実した。

「研究に取り組む原動力とは何かというと、それは自然の現象に感動することだと思います。四万十帯もそうでした。自然が直感的に訴えかけてくることとときどきあります、ガーンと頭を殴りつけられるように。それは、どうにも説明がつかない、地球規模で何かものすごいことが起きたとしかいいようがない、そういうことに出会ったときの感動です。そして、自分で説明できないと思うと、どうしても自分で納得できる自然の認識の仕方、説明できる自然観をつくり上げたいという思いが湧き上がってくる。それが原動力になるのです。そこからテーマが見えてくる。そのときは、もはや自分の研究の範囲だとか、自分の専門分野だとか、そういうことはどうでもよくなっていて、それを説明するために使えるものは何でも使う。自分でできなければ、人を巻き込んででもやる、そんな気持ちになります。また、テーマが見つかったら、それを解いていくためのプロセス、これが楽しいのです。特に、私はチームをつくるのが好きで、いろいろな専門の人たちや学生諸君を巻き込ん



初めてのコア試料採取の成功を喜ぶ平センター長(左)と船上代表者(OSI)・山本清孝調査役

で、一緒に議論しながら新しいアイデアを生み出していく、その過程にいつも大きな喜びを感じています」

深海掘削を支える役割に大きなやりがいを実感

1985年に東京大学海洋研究所に移ってからも、南海トラフから伊豆・小笠原、西オーストラリアとさまざまなフィールドで精力的な調査を行った。そして、地球の歴史における付加体の役割、乱泥流の役割、さらには大陸がどのように変動し、地球環境がどのように変わっていったのかといった地球進化の全体像に迫る研究に取り組んでいた。その一方で、当時、海洋研究所が国際深海掘削計画(ODP: Ocean Drilling Program, 1985~2003年)の国際的な対応や国内研究推進の窓口になっていたこともあり、深海掘削に関連する仕事も増えていった。さらに、1990年代に入ると、日本で深海掘削船を建造し、21世紀初頭から国際的な深海掘削計画に投入しようというプラン(深海地球ドリリング計画 OD21: Ocean Drilling in the 21st Century)が始動し、その推進役としての役割も果たしてきた。そして2002年、海洋研究開発機構に地球深部探査船「ちきゅう」の運用を担当する地球深部探査センターが設置されることになり、センター長に就任した。

「「ちきゅう」のユーザーという立場で自分の研究を追及するか、それとも「ちきゅう」を運用する立場で、この掘

削船を世界の研究者に活用してもらう役割にまわるか。どちらに自分の身を置くかという事態になったとき、どうも周りは「ちきゅう」を運用する側に立ってほしいという雰囲気でした。決心は必要でしたが、今はこの仕事に就いて本当によかったと思っています。私にとって、「ちきゅう」で南海トラフを掘ることは自分の研究の大きなテーマになっていましたが、それができるのなら、運用する側にいたとしても、別のことに自分の人生を使っているとは思っていません。もともと、私はチームをつくって、みんなで一緒にプロジェクトを推進していくというやり方が好きですから、違和感は全然ありません。ただ、仕事の内容が相当に変わったことは確かです(笑)。私は、研究者として論文を書くだけが科学の道ではないと考えています。科学の活動は、もっと幅広いものです。私たちの活動を見ていただき、科学の裾野の広さと、それに携えることの重要性を示していきたいと思っています」

平センター長は、昨年11月に試験運用の一環として実施された「ちきゅう」による初めてのコア試料採取に、自ら乗船して現場に立ち会った。「忠実なマネージャーであると同時に、フロントランナーという意識で、積極的に発言していきたい」と語る平センター長は、1年半後に迫る「ちきゅう」の本格運用に向けて、プロジェクトの先頭に立って疾走し続けている。

「自分がこういう生き方をしてきたか



らかもしれませんが、若い人たちは、あまり将来のことを先読みせずに、面白いと思ったことに邁進してほしいと思います。人生はどんなにプランニングしても絶対に思い通りには進みません。逆にプランニングすればするほど自分を狭い範囲に追い込み、先は細くなってしまいます。もちろん、無計画であればいいとは思いませんが、自分の原動力を大切に、堂々と自分のやりたいこと、やるべきことに向かって進んでほしいですね。一生懸命やり続ければ、道は必ず開けます。今、私たちが取り組んでいるプロジェクトも、どんな成果が飛び出してくるか、完全に予想することはできません。何が出てくるか分からない、新しい世界に立ち会っています。このプロジェクトが、私たちをどんな世界に導いてくれるのか、それが楽しみであり、大きな夢でもあります。科学はもう十分にやり尽くされていないなどという人もいますが、そんなことは絶対にありません。自然界は今も謎に満ちています。その謎を感じ取り、科学の命題にすることができるかどうか、それが優れた科学者になれるかならないかを決めるのだと思います」

人類未踏のマントル層へ向けて、「ちきゅう」が乗り越えなければならぬ課題は少なくない。しかし、チャレンジすることを恐れず、常に前向きに歩み続ける平センター長の姿勢は、このプロジェクトを牽引する大きな力になっている。

若い研究者よ、既存の微生物学を超えてゆけ 新しい研究分野を生み、その名付け親となれ

Extremobiosphere Research Center

極限環境生物圏研究センター 掘越 弘毅 センター長

1932年、埼玉県生まれ。専門は極限微生物学。著書・訳書に「極限環境 微生物とその利用」(講談社)、「極限環境の生命」(訳 シュプリングラー・フェアラーク東京)などがある。

今年の3月、掘越弘毅センター長は平成18年度日本学士院賞を受賞することが決定した。世界に先駆けて、pH10~11の強アルカリ性培地に生える好アルカリ性微生物が普通の土にあまねく存在することを発見。そこから洗剤用酵素を生み出すなど、独創性の高い斬新な研究領域を切り開いてきたことが評価されたのだ。だが掘越センター長は、「微生物を研究するようになったのは、たまたまだった」という。ニュートンの書簡の言葉「私が少しでも人より先を見ることができるとするならば、それは偉人たちの肩の上に乗っているからである」を好んで引用する掘越センター長は、いかにして「偉人たちの肩の上」に登る道を選び、そこで何を目にしたのだろうか。そして今、基礎研究者の大いなる喜びと苦しみの両方を味わい抜いてきたセンター長の、次なる目標はどこにあるのか。

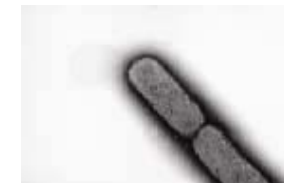


XBR (極限環境生物圏研究センター)

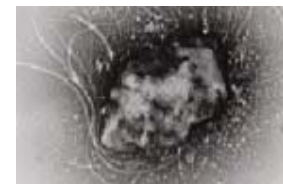
太陽の光が届かず水圧がかかる深海や深海底にもさまざまな生物が棲息している。さらにその下の地殻にも微生物の世界が広がっていることがわかってきた。現在、地球深部探査船「ちきゅう」がサンプリングを掘れる限界、地殻内7,000mの深さは、2,000気圧、300℃、低水分、低酸素、貧栄養といった、まさに極限環境と予想される。そこに微生物が生息していれば火星やエウロパ(木星の衛星)にも微生物が存在するかもしれない。このように極限環境微生物研究は、深海や地殻に棲む新しい生物の特徴を探りながら、生命の起源とは何かを問い続けている。また、極限環境に適応する微生物の持つ特別な酵素が工業用に広く利用されているなど、産業界への貢献も大きい。



世界最深度マリアナ海溝から分離された新属新種の好熱性真正細菌



250℃の地下熱水から分離された新種の好熱性真正細菌



350℃の深海底熱水孔チムニーから分離された新属新種の超好熱性古細菌



300℃の深海底熱水孔チムニーから分離された新種の好熱性真正細菌

物理や電気が好きな少年が 紆余曲折を経て「微生物屋」に

科学への興味は父の蔵書が培ったのかもしれない。時代は日本が戦争につき進んでいたころ、本そのものが手に入りやすく、子ども向けの本はさらに少なかった。そんななか、小学生だった掘越センター長は、有機化学の専門家だった父が持ち帰った理系の本、たとえばアインシュタイン来日の際に書かれた石原純著『相対性理論』や電気関連の本を、わからないなりに図や写真を頼りに拾い読みしていた。「小学校4年のころ『ラジオを作る』という本を読んでいたら、父が近くのラジオ屋で中古のラジオを1個買ってくれた。それをバラバラに分解して持ち帰り『配線図はあるから、これを自分で組み立て直せ』というのです」と掘越センター長はいう。何となく組み立てたがラジオは鳴らない。実は配線図が間違っていたのだ。「そのときに、こんな簡単なものでも失敗すれば鳴らない、そして書かれていることも当てにならないということを知りました。興味が出てきたのはその辺からでしょうね」

最大のきっかけとなったのは、小学校5、6年の担任の言葉だ。当時いじめにあっていた掘越少年を「科学が得意

ならそれで徹底的に勝て。そうすればいじめようがなくなる」と励まし、「ユダヤ人には国がないけれど、科学と芸術で勝つ」という話をしてくれた。その一言が、掘越センター長の人生を方向づけた。それからは理科や数学の勉強に夢中になっていく。

もうひとつ、そのころに強く印象に残ったことがあった。石原純が『科学の話』という本に「ニュートンがリンゴの落ちるのを見て万有引力を発見したというのは誤りだ。リンゴが落ちるのは誰もが見ていた。なぜニュートンがそこまで行ったのかというと、いろいろなものを見て勉強していたからこそである」と書いているのを読み「授業で習ったことと違う!」と反発を覚えたという。だが、やがてこの言葉は、研究者となった後にまったく異なる意味を持つてよみがえってくることになる。

大学では物理が電気をやりたかったが、自分よりもできる人間がごろごろいるのを見てあきらめ、農芸化学を専攻。「日本酒の神様」といわれた坂口謹一郎先生の研究室に入る。そこは理系の考え方だけにとどまらず、もっと広い視野を持つことを奨励する雰囲気になっていた。「実はシンポジア(シンポジウム)という言葉の本来の意味は、

酒を飲みながら専門以外の話をすることなのです。専門を外れたよもやま話をしているうちに新しい考えが出てくる。それが坂口研究室のカラーでした」

大学院1年生のとき、偶然カビを食べるバクテリアを発見。『ネイチャー』にも掲載され、掘越センター長は一躍時の人となった。だが、そのあとが出ない。家庭を持った後も海外と日本を歩き来して研究を続けたが、うまくいかない日が続いた。「1968年にフィレンツェのピティ宮殿の庭で『ああ困ったな、俺もこのまま終わるのか』と考えながら、ひょっと街を見下ろしました。そういえばルネサンスの建物は金閣寺の時代のものだが、交流がなかったから何ひとつ似ていない。そこで思ったんです。我々はバツツールのつくり上げた微生物学をやってきましたが、そうじゃないのがあっていいんじゃないかと」

それまでは中性から酸性で微生物を培養しており、アルカリ性環境で生きる微生物は視野に入っていなかった。アルカリで微生物を生やしたらどういうことになるのだろう。そう思っていた掘越センター長はあわてて日本に戻った。

土壌から分離した微生物で実験する



各種サンプルを液体窒素で保存し、将来の研究に役立てる



と、アルカリ性の培地を入れたプラスチックでみな微生物が培養できた。しかもその微生物がすべて、いままで報告されているものとは違う新種だった。掘越センター長はそれをもとに一人で研究を続け、やがてアルカリ性微生物から洗剤「アタック」に利用される酵素を生み出す等の成果を上げながら、「好アルカリ性微生物学」という新しい分野を確立していった。「実際に始めてみたら、アルカリ性微生物は世界中どこに行っても、そこら中にある。世界中にアルカリ性食品はラーメンをつくる^{湯水}とピータンしかないため研究されてこなかったということもあるでしょうが、それまで微生物学者は完全にバスターの枠に縛りつけられていたんです」

この発想の転換は、うまくいかなくても飽きることなく、考えに考え続けた毎日があったからこそ生まれた。「結局、一回目の成功が尾を引いて成果が上げられないときに、専門にとらわれず物理的なことを考えたり、絵画を見たり音楽を聴いたりしながら考え続けたことがあの発想につながったのでしょ。そのときにやっつ、小学生のときに反発した、あのニュートンのリンゴの話の意味がわかったのです」

研究者の寄り道に無駄はなし 専門外の刺激こそ発想の宝庫

やがて極限環境微生物の研究プロジェクトが縁で、発足したばかりの海洋

科学技術センターに招かれた掘越センター長は、微生物研究に新たに海水の圧力という物理学的な要素とDNA研究を導入した。「それまでは圧力が高すぎるから海の底に微生物はいないはずだといわれていましたが、実際には生きた微生物もたくさんいる。純粋生物学的視点にこだわらず、物理化学的な視点を入れて全部やり直します」。それができたのも、かつて物理をやろうと学問的な寄り道をしてきたからだという。「寄り道に無駄はありません。それは必ずしもサイエンスでなくてもいい。恋をする寄り道も必要です。人間ほどわからないものはないですから。ゲノム研究者が一目惚れの謎を解明できていないようにね」

センター長としては、これから極限環境に棲む微生物について、既存の微生物学を超えたまったく新しい微生物学を確立してほしいという。「私の手内から抜けられないようではだめです。そこで今若い研究者たちに、ぜひコンピュータシミュレーションを使って生物学に時間的な概念を入れてみてほしいといっているんです。太陽光が射さない海の底の生物には、浦島太郎みたいに物理学的時間と違う生物学的時間が流れているかもしれない。死んでいるように見える微生物が、実は100年に1度分裂するといった、まったく異なった時間スケールで生きているかもしれないのです」

これから若い研究員たちが必ず既存の枠を超えて新しい分野をつくり出してくれると掘越センター長は期待している。だがそれには時間がかかる。その間は自らが「叱られ役」を買って出て、研究員のリスクを取れる環境を守り、いま芽吹いてきた新しい研究の芽をつぶさないようにすることが大切な役割だと考えている。「新しいやり方はひょんなところから出てきます。カーボンナチューブのC60（フラーレン）は水に溶けにくいですが、うちの研究員が有機溶剤を使わなくても乳鉢ですりつぶせば水に溶けるということを発見した。『そんな馬鹿な!』と思うでしょう。でも、C60が水に溶けて毒でないということは日本の産業界にとって非常に大きな意味があるのです」

新しいものは、常にささいなきっかけから生まれる。そのきっかけを逃さずつかむために過去の科学的知見もきちんと勉強してたゆむことなく考え続け、ニュートンのいう「偉人たちの肩」に乗ろう。やがて新しく切り開いた知見がサイエンスという見晴らし台をさらに高くし、次世代の研究者につながっていくのだ。

「10人でも100人でもいい。今までの学問を超える人間を育てたい。うちのセンターだけでなく、もっとたくさんの人にそういう考えを広げていきたいですね。それが今後、掘越センター長の目標とするところである。



目の前の自然を測るところから始めよう 海洋観測の世界は発見の連続だ!

地球環境観測研究センターで海洋物理学を専門とする深澤プログラムディレクターは、観測船に乗り込み、実際にさまざまな海洋に関するデータを測ってきた。観測船「みらい」による大掛かりな観測航海「BEAGLE 2003」の代表研究者でもあり、南半球のおよそ500地点で海面から海底までの海水を採取し、水温や塩分、その他の化学成分を測定するプロジェクトに携わった。「理論やモデルの勉強も重要だが、答えは常に目の前にある。目の前にあるのになぜ測らないのか」とその意義と面白さを熱く語る。また、海洋物理と海洋観測に出会うまでに深澤プログラムディレクターのたどった道筋は実にユニークである。興味の対象が多すぎて進路に悩んでいる人は大いに勇気づけられるだろう。

地球環境観測研究センター
海洋大循環観測研究プログラム
深澤 理郎 プログラムディレクター

1950年、東京都生まれ。専門は海洋物理学。むつ研究所所長。

■撮影/藤牧徹也

IORGC (地球環境観測研究センター)

今後の地球環境変動を予測するため、観測船、ブイ、漂流フロート、衛星やその他の観測機器を使って海洋、陸面、大気のすべてを対象に観測を行っている。ここで得られたデータは「地球シミュレータ」等のスーパーコンピュータ上の予測モデルや解析モデルに用いられ、結果の精度をいっそう上げて、より説得力のあるリアルな予測につながっていく。2004年に、それまでの海洋観測研究部、地球観測フロンティア研究システムが統合されて地球環境観測研究センターが発足し、気候変動観測研究、水循環観測研究、地球温暖化情報観測研究、海洋大循環観測研究の4つのプログラムと、海大観測研究計画の1つの研究プロジェクトが進められている。



BEAGLE 2003 観測の合間に(大学時代の弟子とそのまた弟子と)

BEAGLE 2003 航海中の船室で



2003年5月、BEAGLE 2003を実施するため出航する海洋地球研究船「みらい」

BEAGLE 2003(南半球周航観測航海)は、2003年8月から2004年2月に、海洋地球研究船「みらい」によって達成された大規模海洋観測プロジェクト。三大洋を横断しながら約500点で高精度海洋観測が実施され、チリ沖、南極海では海底堆積物の採取も行われた。



文系志向の強かった少年が海洋科学者となったわけ

「大学院の試験の朝、電車のなかで、今は亡き海洋物理学の吉田耕造先生と隣に乗り合わせなかったら、おそらく私は今のように海洋学はやっていなかったと思う」と地球環境観測研究センター・深澤プログラムディレクター(以下深澤PD)はいう。大学の学部時代により大きな関心があったのは固体地球や超高層大気についてで、大学院は地球電磁気学に進もうとすら思っていたからだ。さらにいえば、高校時代には理系より文系への関心が強かったのである。

とはいえ、地球や宇宙に初めて関心を持ったのは早くも幼稚園のとき。三人兄弟の一番下だった深澤PDは、兄の一人が誕生日にもらった「地球天文の図鑑」をのぞきこんだ。普段、いたすらをしては捕まって叱られてばかりの子どもだったが、その本は挿絵がとても美しく、心をそそられたのだ。そこに太陽と地球の大きさを比べた挿絵があった。それを見て「太陽に比べて自分たちの住んでいるところはこんな小さいのか」と大きなショックを受ける。

しかしそれで理科が特に好きになったわけではなかった。工作が大好き、歴史も好きだし、小説や音楽も好き。理科も嫌いではなかったが、小学校のときに「将来の夢」に選んだのは考古学で、中学のときの夢は造船。夏休みの自由工作に自己流の発電機をつくり、国語の先生だったことのある父の影響で古文書の変体仮名を読み書きし、新

聞の俳壇に投稿したりするというちょっと変わった少年時代を送った。

大学は文学部に進学しようとするが、親の猛反対を受けた。「『文系なら法律をやるべきである。文学では食えない』といわれましたが、私は計量言語学に興味があったの文学部志望でした。小さいころは時計を分解するのが(実は、壊すのが)好きだったというから、何でもその仕組みを知りたいという気持ちが強かったのだと思います。言語コミュニケーションを裏の構造から見れば、どういう仕組みでコミュニケーションが成り立っているのかわかるだろうというので興味を持ったんですね」

結局、大学と学部を選ぶ段階で、学部志望が親にばれて大反対を食らったことから、「文学部でなければいいだろう」と、半ば反抗気味に理系に転じる。そのとき念頭にあったのは地球物理だった。「言語学に興味を持ったのと同様に、水・大気・固体で一つのシステムを形づけている地球の仕組みに興味があったのだ、と格好良くいえないこともないが、実際はもっと単純に、あの幼稚園のときの経験がずっと尾を引き続けたいたのでないか」と深澤PDはいう。

大学時代は道路工事や自動車整備などあらゆるアルバイトを経験した。そこで培われた一種の工学的なセンスは今の観測研究に大いに役立っている。一方、大学の講義は想像以上に興味深く、アルバイトに精を出しながらも講義をサボるという気にもならず、いま受けている講義の先には何が待ってい

るのだろう、そんなときめきに似た感情がしばしば去来するような、「夢見る」学生だったようである。また、その当時の先生にも大変恵まれたと思っていたようだ。「気象学の試験で、講義では出てこなかったような問題を選択して四苦八苦していたときに松野太郎先生が『研究室に来てずっとやっていてもいい』とおっしゃるので、そこで夜遅くまでやらせていただきました。そのときに先生から『深澤さんは研究者に向いていますね』と励まされた(多分)のですが、思えばあれは悪魔の囁きだったのかもしれないですね(笑)」

大学院で海洋研究に踏みやがて観測の面白さに出会う

地球電磁気学をやりたいと思ったのは講義が面白かったからだ。「流体力学も好きだったんです。今井巧先生の最後の講義年でした。そして、地球科学と流体力学が出会うと海洋物理学になるという感覚を持っていましたから海洋物理にも興味はありましたが、当時は、いかにも地球が地球らしく豆粒に見えるダイナモ理論の紹介があったりして、むしろ地球電磁気学に興味の中心があったかもしれませんが、それが大学院の試験の朝、吉田先生と電車に乗り合わせ『大学院、海洋物理に来るよね』という先生の一言と、面接官がやはり吉田先生だったこととで進路が海洋物理に決まってしまう。後悔はしませんでしたけれどね」

それでは海洋物理とはどのような学問

なのか。深澤PDが考えているのは地球の長い歴史における輪廻や変遷のシステムを考える「地球輪廻学」ともいうようなイメージだ。そのなかで海洋物理学は地球上に海が形成されて以降の、海水や熱の循環、さらにはそこに住む生物という自らが自らの環境を育む物を含んで物質の循環、輪廻を扱う学問だ。

「海洋物理はもちろんのこと、自然科学には理論、データ解析、そのもとのデータを集める作業の3つがある。そのなかで何が一番重要だろうと考えたことがあります。人間の頭の動きでいえば、観測は目、理論は見たものを我々の言葉に翻訳する口、解析は手足の動きに当たるといいます。すべてが等しく重要だとわりわけ大事に思えました。また、ものを測るということに大きな魅力を感じていました。大学院生のときに気象庁や水産試験場の観測船に乗り、周りには360度海しかない感覚を味わったことも大きかった。当時気象大学の松垣先生にいわれた「海洋学をやるんだって? いいねえ。海中は大気と違って見えないから特に測ることが何より大事だよ」との言葉にも後押しされた。

「私はモデルにも手を染めたい、それはそれで面白いのだけれど、私の頭のなかでは観測からの方がアイデアが膨らむんです。特に私が海洋物理学を専門に始めたころは、根っここのころで観測の論文と呼べるものが多く、それに啓発されて先に進みたいくなるものが多かった。40年前に書かれたストムメ

ルの一連の論文がまさにそれでしょ。『みんなが当たり前だと思っているけれど、それはちょっと当たり前ではないよ。私が知っていることだって、当たり前ではないかもしれない。もう一回考え直してみませんか』と語りかけてくるのです」

海を測ることの楽しさは何よりもそれが発見の連続だからだと深澤PDはいう。「BEAGLE 2003に乗り込んだときも毎日が発見でした。たとえば海水が両極から沈み込んでいることは誰もが知っている常識ですが、それがどんな海水かはほとんどの人が知らない。しかし船から観測機器を降ろして測ってみると『これだったんだ!』という瞬間があるのは確かですが、私自身は目の役割がとりわけ大事に思えました。また、ものを測るということに大きな魅力を感じていました。大学院生のときに気象庁や水産試験場の観測船に乗り、周りには360度海しかない感覚を味わったことも大きかった。当時気象大学の松垣先生にいわれた「海洋学をやるんだって? いいねえ。海中は大気と違って見えないから特に測ることが何より大事だよ」との言葉にも後押しされた。

「私はモデルにも手を染めたい、それはそれで面白いのだけれど、私の頭のなかでは観測からの方がアイデアが膨らむんです。特に私が海洋物理学を専門に始めたころは、根っここのころで観測の論文と呼べるものが多く、それに啓発されて先に進みたいくなるものが多かった。40年前に書かれたストムメ

果は望めない。研究遂行の資金についても全体的に配慮しなければならぬ。「観測計画の立案の前に研究計画そのものの立案があります。IORGCでは国際フレームワークをいかに組み上げるかが重要です。グローバル・チェンジというならば環境変動や古環境だけでは済まなくて、いわば地球学になる。地球にはいろいろなフェーズがありますから、IORGCの観測研究は世界の地球研究のなかでどんな位置を占めるべきなのか、何を我々は問題点として認識すべきなのかということが研究推進の重要な戦略です。繰り返しますが、地球の研究はそういった国際的なフレームワークをつくって共同でやらないと絶対できません。いわば総合芸術のようなもので、そこにもまた面白さがあるんです」

過去に地球の気候が激しく変動し、生物が生まれて環境としての大気を形成し、そして我々のいる地球がある。万物の霊長をはじめとする幾多の生物を乗せている地球の、このたくいまれというべき環境はこれからどこへ行くのだろうか。そのような視点に答えを与えられるように海洋や地球を測る効果的な戦略はないか。深澤PDは模索し続ける。「地球を手のひらの上に乗せて、その仕組みをじっくり眺めることができるのは観測でしょう。そこが一番の醍醐味かもしれませんね。深澤PDは、何十年も前に図鑑で見た地球を、今、リアルな形でポケットに入れようとしているのかもしれない。

複雑さを丸ごと扱うシミュレーションはリアルな未来に触れる唯一最強の道具だ

The Earth Simulator Center

地球シミュレータセンター
佐藤 哲也 センター長

1939年、京都府生まれ。専門は地球電磁気学、シミュレーション科学。

かつて未来予測はSFの話だった。だがコンピュータの登場とその急速な発展、それに伴ってシミュレーションという手法が精密度を増しながらより大きなシステム全体を扱えるようになったことで、事態は大きく変わった。佐藤哲也センター長は、国産コンピュータが産声を上げようとするほぼ同時期に、日本初の本格的なシミュレーションを走らせた人である。複雑で込み入った現象を丸ごと捉え、それがどのように発展し落ち着くかを見る道具はシミュレーションしかないと考えた佐藤センター長は、組織やテーマを自在に渡り歩きながら、一貫してそれを追求してきた。科学によるリアルな過去の再現と未来予測が現実となった今、科学者にそして私たちに問われるものとは何なのだろうか。

ESC (地球シミュレータセンター)

最近TVの科学番組やその他のメディアで、「地球シミュレータ」のデータをビジュアライズしたリアルで美しい画像を目の当たりにする機会が増えたのではないだろうか。「地球シミュレータ」の登場で処理能力が飛躍的に向上したため、マイクロからマクロまでさまざまなレベルの運動が複雑に絡み合って起こる気象などのシステムを丸ごと再現したり、未来の予測を行うことが可能になった。現在、大気・海洋、固体地球、複雑性の3つのシミュレーション研究グループと、次世代アルゴリズム開発、その産業への応用プログラム開発、大量に生産されるシミュレーションデータの高次元表現法(可視化法)を研究する3つの研究グループから構成されている。



自己流数学少年がコンピュータの囁きに出会う

家が空襲で2度まで焼かれ、父親は戦死。焼けだされた佐藤センター長は京都に身を寄せて小学校に上がった。食べ物を手に入れて生きていくのが精一杯で勉強した記憶がほとんどない。小学校5年生で熱心な国語の先生が担任になって事情が変わった。国語は苦手だったが算数は好きだったし、負けず嫌いの性格から徐々に成績を競うのが楽しくなってきた。「本当に何もなかった。でも僕はそれがよかったと思っているんです。先生に型にはめて教えられることがなかったので、頭のなかにいろいろなアイデアが湧いてくる。数学も、教科書や参考書で型にはまった勉強をするのではなく、自分で考えた新しい方法で解くのが好きでしたね」

商船大学へ行って船長になりたかったが視力が規定以下だったので、自宅の真ん前にあった京都大学理学部の物理系に進学しようとしたところ、親代わりになっていた祖母に「理学部では就職先がないから工学部にしなさい」と諭され電子工学部に進学。卒業研究はアナウンサーの発音を機械に識別させる音声分析プログラムだった。1962年当時、コンピュータはまだ市販されていなかった。研究室の先輩の博士研究として開発された日本初の半導体コンピュータを用いて解析した。コンピュータの演算処理が目追えるくらいの処理速度だったという。まさに情報工学の黎明期である。

卒業したら就職するつもりだったが出遅れてしまったため、修士課程に進む。修士論文の指導教官は電波伝播の大家だった。短波通信の乱れの原因は電離層のプラズマの揺らぎではないかということ、難しい方程式からそこにある性質を見つけよというテーマを与えられた。「横造紙1枚に1つの式を展開していても終わらない。『これは難しくできませんからテーマをかえてください』といってダメダメという。仕方ないからコンパクトに方程式が書けるよういろいろ勉強しました。そのうちに楽しくなってきたんですよ。勉強すると先人たちの賢さが分かってくる。そこで初めて自分で問題に取り組んで、新しい表現法を見つけるのがうれしくなった。電波の反射が気まぐれに出てくるスプラディックEのデータと、私の考えを比較したりして、それでもう研究が面白くなってしまった」

複雑に絡み合った現象こそシミュレーションの得意分野

いったん企業に内定したが、ドクターコースに進み、再びスプラディックEの研究をする。異なる性格のものがかけ合わさって相互に影響する複雑な「非線形」の問題は理論では解けないという思いから、日本初の本格的なシミュレーションを手がけることとなった。「理論はいわゆる『線形』問題には解を与えてくれますが、現実の現象は非線形に展開する。その現実の成長の振る舞いがどんな形になるのかに興味があ

りました。ちょうどコンピュータが東京大学の大規模計算機センターに入り、学生にはタダで使わせてくれた。京大にもコンピュータが入ったのでその両方を使い分けて、ものすごく大きな本格的な非線形シミュレーションを始めました。開通したての新幹線で京都と東京を往復したんです」

ある現象が発展してどういう現象に落ち着くかを解く手段はシミュレーションだ。これからは非線形の時代だと佐藤センター長は確信する。未知の領域へ挑戦したいという気持ちもあった。「僕はコンピュータそのものは好きじゃないんです。でも非線形の世界を開拓する道具としてはそれ以外にはない。それ以後もずっと非線形の問題に取り組んできました」

物理好きのためドクターコースから理学部に入り浸っていたのが縁で理学部物理の助手となり、研究生としてアメリカに1年、ドイツに1年留学。今度は東京大学の地球物理の助教授になる。その間、オーロラや磁気圏嵐、核融合とも関係する磁場リコネクションのシミュレーションを行い「駆動型磁気リコネクション」を世界で初めて提唱。電離層と磁気圏の関係でオーロラはどうしてできるかの理論研究も行った。オーロラは磁力線によって電子が加速することで起こるが、プラズマの電子と陽子の相互作用で加速が起こることを偶然発見。「イオン音波ダブルレイヤー」と名付けた。「最近『地球シミュレータ』を使って若い研究者に地



1960年代後半、当時の東京大学宇宙線研究所 (ISAS) でラムダロケットが開発された頃、観測チームの一員として打ち上げ前のテストに参加 (鹿児島県内之浦)

球と電離層を結んだオーロラのシミュレーションをやっております。僕にとっては1つの集大成ですね (裏表紙に関連記事)

プリンストン大学・ベル研究所に留学中、広島大学の核融合理論センターに教授として招かれ、帰国。ここで当時としては斬新なシミュレーション・グループを立ち上げ、名古屋大学プラズマ研究所のスーパーコンピュータと専用回線で結び、現在のグリッドラボの先駆を建設。さらに出てきた結果をいかに表現するかというグラフィック/ビジュアライゼーションまでを含めた総合的な研究体制をつくった。「出会いのなかに新しい発展系を見つけていくので、やっているテーマはどんどん変わるけれど、シミュレーションという意味では一貫しています」

やがて核融合関係の施設は統合され、核融合理論センターは岐阜の核融合科学研究所の理論シミュレータ研究センターに移行した。ここで佐藤センター長はNECのスーパーコンピュータ (SX-3) を採用する。「シミュレーションでデータというプロダクションを得たら、すぐデータの一次倉庫に移しビジュアライゼーションを行ってユーザーに手渡す必要がある。そこで計算機実験棟をつくってストレージからビジュアライゼーションから全部を納めることにしました」。そこに1度だけ、「地球シミュレータ」の生みの親である三好甫氏が見学を訪れた。やがて佐藤セ

ンター長は、病床の三好氏に呼ばれて「地球シミュレータ」を託される。「ここはお前がやってくれということでした。三好さんは復帰するおつもりだったと思いますが、私に託して安心したのかその後すぐ亡くなられた」。実は、この導入に当たって、当時日米スーパーコンピュータ摩擦がかまびすしいなか、CRAYが日本政府に苦情申し立てを行った。佐藤センター長は半年ほどこの訴訟に忙殺されたが、全面勝訴に終わった。シミュレーション研究にはスーパーコンピュータの能力とデータ転送・貯蔵能力が対等に要求されるという主張が認められたからである。ほとんどつながりのない佐藤センター長を三好氏が後継者に選んだ理由はシミュレーションにおけるデータ転送・貯蔵能力の重要性を理解していたことであると推察される。

「地球シミュレータ」によってシミュレーションは飛躍的に向上し、たくさん研究成果を上げつつある。「限られた時間スケールではありますが、地球内部システムや気候システムといった形で、どのように発展していくかを丸ごとシミュレーションで見ることができ。コンピュータの性能が上がれば上がるほど、大きなシステムを見ることがができます」

デカルトはかつて、人間には複雑なものは分からないから、そこから単純な部分を切り出し細かいパーツに分けて理解しようとした。しかし全体から

切り出した途端に、本来の関係性は断ち切られてなくなってしまう。

「未来はすべての要素が複雑に絡み合っています。だからこそ予測が難しい。シミュレーションは未来を科学的に見ていく道具です。サイエンス・フィクションではなく、サイエンス・リアリティとして未来を捉えることができる」

そこで佐藤センター長は「シミュレーション文化」を提唱する。「研究者はもちろん、シミュレーションで新しい分野を切り開いていかなければなりません。その波が社会に伝わって、サイエンスは楽しいぞ、こうすれば社会はもっとよくなるぞという文化が生まれてほしいと思います。過去のことについては、先人たちがだいぶ解明してしまいましたが、未来は無限です。いくら研究してもなくなることはない。幸いセンターにはサイエンスへの燃えるような情熱を持った人たちがいる。センター長として、優れたハードウェアが宝の持ち腐れにならないよう、若手の研究者の意欲を伸ばしていきたいと思っています」

未来が分かるようになるということは、人類社会にも産業界にも現実的な選択肢が提示されるということだ。もちろんそこには、どんな未来を選ぶのかという責任も伴うはずである。それは研究者にとってはもちろん、これから生きる若い人たちにとって非常に挑戦のしがいのあることではないだろうか。

現在、地球温暖化が進みつつあることは、これまで懐疑的姿勢を崩さなかった米国も含め、世界の共通認識になりつつある。理解が進んだ背景には、科学者たちの地道な研究の積み重ねと国際的な情報共有の取り組みがある。今から約40年前、まだ日本が高度経済成長のさなかにあった頃、すでにこの問題に着目していた人たちがいた。時岡達志センター長もその一人である。そのときから現在までの間、温暖化を含む地球環境の研究はコンピュータの進歩で格段の進歩を遂げた。まず自分の感じた小さな「引っかかり」を持ち続けることの大切さ。やがてそこから時を得て新しい研究が開花する面白さを、時岡センター長は語ってくれた。

小さな疑問を心のなかにストックしよう やがてそこから研究の芽が育つ

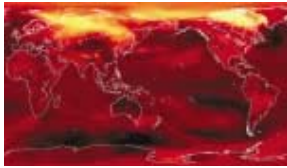
Frontier Research Center for Global Change

地球環境フロンティア研究センター
時岡 達志 センター長

1945年、岡山県生まれ。専門は気象学。

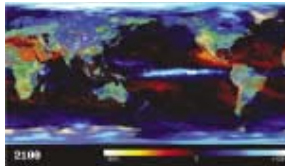
CCSR/NIES/FRCGC高解像度大気海洋結合気候モデルによる「地球シミュレータ」を用いた温暖化実験の最新予測結果

IPCCが作成した将来シナリオのうち、将来の世界が環境よりも経済重視で国際化が進むと仮定したシナリオ「A1B」(2100年の大気中の二酸化炭素濃度が720ppm)による



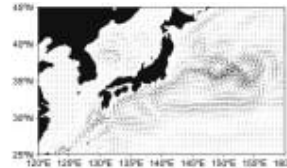
年平均地表気温上昇量の地理分布

色の明るい領域ほど気温上昇が大きい。全地球平均で4.0℃上昇する見通しとなった



年平均降水量変化の地理分布

寒色は降水量が増加する変化、暖色は減少する変化を示す。色が明るいほど降水量の変化が大きい。温暖化が進むにつれて、中緯度・高緯度と熱帯で降水量が増加し、亜熱帯の一部で降水量が減少するという特徴的な分布が見える



黒潮の流速変化

現在気候実験と温暖化実験の差を示す。矢印の方向が流れの方向を示し、矢印の長さが流れの速さを示す。矢印が長いほど流れは速い。黒潮の流速は現在よりも秒速0.2〜0.3m程度速くなるということが分かる

天気図を眺めて浮かんだ疑問が気象研究への道筋を開いた

中学校に進学し新鮮な気持ちで張り切っていたとき、最初の理科の授業で先生から聞かされた「天気」の話に強く興味を惹かれたと時岡達志センター長はいう。「中学1年の理科の最初の単元が天気図の話だったんです。そこで天気図の描き方を習ったんですよ。ラジオの気象通報を聞いて天気図をつくることができるし、天気図にはこんな意味があるんだよと教わった。面白そうだと思いました」

理科の先生に教わった通り、日本列島と日本周辺の天気図が描ける範囲の観測点データを書き込めるシートをガリ版で100枚くらい刷り、毎日ラジオの気象通報を聞いて天気図を描いていた。「低気圧が昨日はここにあった、今日はここにあったと、最初はとにかく天気図を描くのが面白い。毎日1枚描くと夏休みまでにはけっこう量がたまるわけです」

中学1年の理科では地球の自転についても習った。手元にたまった天気図を眺めていて、ふと疑問を持つ。日本付近では低気圧や高気圧は、西から東に動いている。地球は西から東に回っているのに、低気圧や高気圧はなぜ東から西に動かないのだろうか。それが気

象に興味を持ったきっかけである。

ガリ版のシートは夏休みあたりで品切れとなり、天気図を描くのはやめてしまったが、天気に関する事わざにはずっと関心があった。しかしそこからは気象に一直線に進んでいったわけではなく、興味の対象は一時期数学に移る。一定の約束事や法則を飲み込んでしまえば、自分でどんどん先に進んでゆけるところが気に入ったのだ。

大学進学時点ではまだ何をやりたいたかがはっきりせず、入学後に専門が選択できるところを選んだ。専門課程に進む前に昔の記憶がよみがえり、もっと気象のことを知りたいと思うようになったという。「中学のころに不思議に思ったことが大学に入ってもまだ分からなかったんです。今なら学生が読める気象学の入門書がありますが、そのころは適当な日本語の本がなかった。実は、なぜ高気圧・低気圧が西から東へ進むのかについては私が中学に進む1年前に英語の論文が出ていたんですが、そんなことは知りようがない。それと、気象は理論物理などと比べて身近に感じられるということが大きかったですね。空の雲の変化や天気の変化は自分の目で確かめられる身近な現象ですから」

天気予報に使う数値モデルの研究を

テーマとし、大学院に進学。「ちょうどそのころ、ちゃんとしたモデルを使った地球温暖化に関する最初の論文が出ました。1967年、私が大学院の1年のときです。お書きになったのは、米国・プリンストン大の真鍋淑郎先生でした。私もすぐ読んで、これは面白いと思いました」

真鍋氏の業績を常に意識しながらも、その時点では温暖化予測をやるつもりはなかった。日本ではまだコンピュータ事情が大きく立ち遅れていたからである。

大学院を卒業し気象庁に入ると、大気大循環モデルを日本ででもつくりたいという課題を与えられる。だが当時、配属された東京・高円寺の気象研究所にはコンピュータがなかった。そこで将来日本でもコンピュータ事情がよくなることを期待し、米国のUCLAのモデル開発プロジェクトに加わって勉強し、帰国後は日本オリジナルのモデルをつくる準備を行った。「モデル開発自体、大変な仕事ですし、モデルの論文を書くというのがまた大変で、なかなかやる人がいなかった。でも、よいモデルをつくらないと精度の高い天気予報はできないんですよ。非常に大切な仕事ですし、私には面白かったんですね」

実際にコンピュータでモデル計算が

FRCGC (地球環境フロンティア研究センター)

エルニーニョ現象が世界的な異常気象をもたらす。あるいは人間の産業活動が自然界のエネルギーバランスを崩し、地球温暖化という大きな問題が起こっている。当研究センターでは、これらの社会上に大きな影響を及ぼす変動メカニズムの全体像を明らかにし、正確で長期的な予測を行うことを目標に、地球を1つのシステムとして捉え、複雑に絡み合った大気、海洋、陸域そして生態系の相互作用を探りながらモデル研究を進めている。現在、気候・水循環・大気組成・生態系の4つの変動予測研究プログラムと、地球温暖化予測・地球環境モデリングの2つのモデル研究プログラムがある。また文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト」に参加しており、地球温暖化予測に関する研究と地球環境変化予測のための地球システム統合モデルの開発が重点課題となっている。



できたのは、気象研究所が茨城県・つくば市に移転した1980年のことである。「当時のコンピュータは今のパソコンよりはるかに能力の劣るものでした。でも初めてそれを使って計算できるといので、みんな非常に張り切っていました。最初は地上から15km程度までの大気を主にシミュレーションしました。現実には大陸分布を勝手に動かすわけにもいけませんが、モデルだといろいろな実験ができるんですよ」

コンピュータの進歩によって、それまで実験が不可能なものだと思われていた気象分野でもモデル実験が有効な研究手段であるということが徐々に認識され始めた。「大気と海洋の相互作用が重要だと分かってきましたし、気象研究所のモデルも二世帯になって結合モデルができるようになりました。そこで1985年頃からエルニーニョをモデルのなかで再現するのが第一目標に、意気込んで研究を進めていました。そのころ、1988年の11月にIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:気候変動に関する政府間パネル)を立ち上げるという知らせが気象庁に届いたんです」

より確かな気候変動予測が地球の未来を選ぶものになる

時岡センター長はIPCCに向けて急遽、モデルを使った地球温暖化予測を

担当することになった。実際に始めてみると、もともと関心を持っていた分野でもあり、調べなければならぬことが限りなくあって面白い。「でも1990年のIPCC第1回レポートに間に合わせるように、どういう研究をしたらいいのかということで非常に悩みましたね。短期間に研究成果を出さなければいけないのに、日本のコンピュータは、まだ大気海洋全球結合モデルを走らせる状況ではなかったのです」

そこで思い切って海を大幅に簡略化し、CO₂が2倍に増えたとき地球全体の雨の降り方はどう変化するかという点に絞り込んだモデル実験を行った。そして「雨が集中して降る傾向が強まる」という実験結果を発表し注目された。このテーマは継続して研究が続けられており、現在では温暖化に伴って、年間降水量が増える地域と乾燥が進む地域が明瞭になり、さらに乾燥化する地域でも集中して強い降水があると予測されている。今後はさらに局地的な降水予測や、災害に備えた情報発信が進むと考えられる。

現在では大気海洋結合モデルの解像度も飛躍的に向上し、より詳細な気候変動予測ができるようになった。だが、まだ十分ではないと時岡センター長はいう。「センターではさらに高度な解析ができるよう引き続き取り組んでいきます。これまでのモデルは物理ベース

ですが、実は大気中の二酸化炭素濃度は生態系を通して気候と相互対応しています。土壌中のバクテリアが有機物を分解してCO₂にする活動は気温に影響されるし、植物の光合成は大気中のCO₂濃度や気候に影響されます。生態系は大気中の二酸化炭素濃度を決める上でさまざまに関係していますから、そのモデル化にいま取り組んでいます」

地球温暖化について国際的な理解は深まりつつあるものの、これから新興産業国のCO₂排出量増大が予想され、京都議定書の削減目標ではCO₂濃度の安定化には遠く及ばないなど、まだまだ問題は山積みだ。そのなかで現在センターの役割は、これから人類社会が未来を選択する上で必要な、より詳細で正確な情報を提供していくことにある。「最も効果的な情報提供ができるよう研究計画を立てていく必要があります。そしてよりよいモデルをつくるには、さまざまな分野の研究者の力を結集しなければなりません。地球温暖化問題をきっかけとして、人間と地球とのかわり合いはこれからもっと重要な研究テーマになっていくはずですよ。やるべきことはたくさんあります」

それは決して楽観視できない、重いテーマである一方、環境や社会と直接結びつき、広がりを持ったやりがいのある研究テーマであることは間違いのないのだ。

火山から地球システムの解明へ 研究を通して広がった好奇心



地球内部変動研究センター
地球内部物質循環研究プログラム
巽 好幸 プログラムディレクター

1954年、大阪府生まれ。専門はマグマ学。著書に「安山岩と大陸の起源」、「沈み込み帯のマグマ学」（両書とも東京大学出版会）などがある。



地球は約46億年前に誕生した。しかし、地球が誕生してから、どのような過程を経て、今の姿になっていったのかは、まだ誰も知らない。この壮大な謎に迫るのが、地球内部変動研究センターである。センターの研究対象は地球内部から深海まで幅広い。地球科学は、地球というとても大きなものを相手にする学問だ。物理学や数学のように明確な答えが出にくいという問題も確かにある。そのような問題を解決するために、研究者は何を考えたのか、どのように取り組んでいるのだろうか。地球内部物質循環研究プログラムの巽好幸プログラムディレクターに伺った。



西サモアにおけるサンプリング(写真左右)。地球の謎を解くためには、どこへでも出かけてゆく。写真右は、どの試料を採取するか、慎重に選んでいる様子

幼少時の体験が導いた 火山研究

巽プログラムディレクター(以下巽PD)は身長193cmもあり、スポーツ選手のような見事な体格をしている。お話を伺ってみると、高校時代からバスケットボールの選手だったという。大学受験のときも、バスケットボールで大学のセレクションにも合格し、京都大学を受験するか、バスケットボールで大学に行くか、とても迷った。しかし、最終的に受験の道を選び、京都大学理学部に進んだ。ただ、大学に入ってからバスケットボールは続けて、クラブ活動で汗を流したという。大学3年生になると、卒業研究をするために、自分がどの研究室に入るのかという選択を迫られる。そのときに、巽PDの頭のなかには、なんとなく、「火山をやりたい」という思いが浮かんできた。なぜ、そのような思いが出てきたのか。振り返ってみると、幼少期の体験が大きかった。

巽PDがいちばん覚えているのは、小学校1年生のときに知り合いの人から地球の図鑑をもらったときのことだ。表紙を開いて、まず目に飛び込んできたのが、地球の断面図。地球の内側は、全体的に赤く塗ってあり、地球の内部にはマグマがいっぱいありますという

ような記述があった。

「それを見た瞬間、私は直感的に、ウンだと思ったんですね。地球の表面には山もあって、海もあって、パラエティに富んでいます。それなのに、地球のなかが一緒であるはずがないと思ったんです。子ども心にそれが理解できませんでした」

また、巽PDが小さいころから住んでいたのは、大阪府の二上山の近くだった。二上山は万葉集にも詠まれて、古くから親しまれている山で、巽PD自身、何度も遊びに行った。この二上山は、実は昔の火山であった。小さいころから親しんだ、二上山での体験も、巽PDの火山への好奇心を支えるものになっている。

だんだんと広がっていった 研究テーマ

火山の研究をするためには、どの研究室に行けばいいのか。巽PDは、なんとなく地球物理学かなと思っていたので、地球物理学をやっている研究室の説明会に行った。そのような研究室はたくさんあったが、比較的空いていたのが地質学の研究室だった。地球物理学は、測定や実験などといった物理的な手法を用いて地球の内部構造や表面で起こる現象について研究する分野

だったのに対し、地質学は岩石や地層などを研究する分野である。同じ地球を対象とする学問ではあるが、アプローチの仕方が大きく違う。巽PDは「地質も地球物理も似たようなものかな」と思って、説明会に行ったのがきっかけで、結局、地質学の研究室に入ることになりました」と自分の感覚に従って、進む道を決めていった。「結果としては、両方やっているので、あのとき、研究室をどちらの分野にするかということは、私にとってはどっちでもよかったと思います」

大学4年生の卒業研究では、香川県の小豆島の地質を調べ、岩石の特性を明らかにし、続く修士課程ではその研究を広げていき、小豆島をはじめ、近畿から四国、九州にかけて見られる特異な安山岩がマントルでできた可能性があることがわかった。そして、博士課程に進み、岩石研究だけでなく、実験的な手法も取り入れて研究するようになり、この安山岩がマントルでできることを実証した。しかし、たとえば、東北日本のような普通の火山帯ではやはり玄武岩がマントルでつくられているらしい。そこで、マントルで玄武岩がつけられる温度・圧力の条件なども調べていった。巽PDらの実験によって、玄武岩がマントルでつくられるた



瀬戸内小豆島にて。卒業研究以来のフィールドだが、まだまだ判らない事が多い

めには、1,400℃という高温が必要であることが分かった。それまでは玄武岩がつくられるマン틀の沈み込み帯の温度は1,000℃くらいといわれているので、なぜ、温度がこんなに高くなるのか、たくさんの人と議論をしていた。そうしていくうちに、地球内部の熱などについて興味がわいてきた。

最高の研究所づくりを目指して

博士課程を修了後、イギリスのマンチェスターに研究員として行った異PDは、そこで、沈み込み帯のマグマの形成過程を明らかにした。イギリスで書いた論文は、異PDの研究のなかでも代表的といえるくらい重要なものとなった。また、異PDは、イギリスでの研究生生活を通して、日本と海外との研究システムの違いを肌で感じ取っていた。「イギリスで研究して、日本との違いをいちばん痛感したのは、テクニシャン（技官）システムでした。テクニシャンのプライドと、それを大切にしている研究者との関係がとてよよくできていました」

日本の大学は、実験室の整備、実験機器の調整、必要な装置をつくるなど、研究を技術的にサポートする技官と呼ばれる人はほとんどおらず、たいてい

IFREE（地球内部変動研究センター）

地球内部変動研究センターは、2001年に開設された「固体地球統合フロンティア研究システム」と「深海研究部」が統合して2004年7月に発足した。地球物理学、地球化学、地質学、生物学などさまざまな手段を総動員して地球システムの理解のために研究している。具体的には、地球の内部構造や内部物質の循環、プレートの挙動、地球の古環境変動などを研究するプログラムを進めて、海から地球全体に迫るアプローチを重視している。また、地球深部探査船「ちきゅう」を活用する統合国際深海掘削計画（IODP）の日本での中核機関としての機能も有している。



は大学院生や助手が技官の役割を兼ねることが多い。このようなシステムはおかしいと、最近になって多くの研究者からいわれているが、異PDは20年以上前から何とか日本でテクニシャンシステムを導入できないかと模索してきた。プロの技術者であるテクニシャンと、研究者が互いに切磋琢磨し、ともに研究を進めていく関係をつくるのが目指す先だった。

その思いが実を結んだのが現在の地球内部変動研究センターである。異PDは地球内部変動研究センターの前身となる固体地球統合フロンティア研究システムの立ち上げからかわり、念願のテクニシャンシステムを導入した。「システムとしては導入しましたが、各個人にその理念が浸透するところまで行くにはまだまだです。研究所は、当たり前のことですが、研究そのものが中心となり運営されるべきだと思っています。そのために、研究をサポートするテクニシャンや事務職員、そして研究者がお互いに尊敬し合い、協力していく研究所をつくってきたいのです。これが私の理想です」

地球進化の解明に向けて

地球内部変動研究センターでは、この4月から統合国際深海掘削計画（IODP）の推進を目指して、IODPタスクフォースが組織された。センターの前身である固体地球統合フロンティア研究システムは、もともとIODPを進めるための国内の中核的な研究機関という位置づけで開設されたものである。日本は、地球深部探査船「ちきゅう」を建造したのははじめ、IODP推進のためにたくさんの費用を出している。「それにもかかわらず、南海トラフの地震発生帯掘削に続く計画が日本から提案できていません。この状態を何とかしたい」と思い、地球内部変動研究センターの本来の役割をより真剣に果たすために、タスクフォースをつくりました」

IODPタスクフォースでは、南海トラフの地震発生帯掘削、伊豆・ポニーマリアナ島弧掘削、巨大海台掘削、モホ面掘削の4つのテーマを十数年のスパンで研究していき、地球システムがどのように進化してきたのかを明らかにしていくことを掲げた。「地球科学は、物理学や数学のように、1+1=2というふうに確実に答えが出るものではありません。しかし、さまざまな観測結果をつなぎあわせていくと、規則性や理論が見えてきます。その理論を見つけていく過程にとてつもない面白みがあるのです」

海が好き。一途な思いを貫いてきた研究人生 多くの人に海の楽しさを知ってほしい

Marine Technology Center

海洋工学センター 宮崎 武晃 センター長

1945年、石川県生まれ。専門は海洋工学。著書に「通橋俊郎」宮崎武晃「海洋エネルギー利用技術」（森北出版）がある。

人生では、そのときはささいに思ったりしたことが、後から振り返ってみると大きな転機だったということがよくある。特に学生時代は将来、自分がどのように生きていきたいのかよく分からずに悩むことが多い。宮崎武晃センター長もそのような学生の1人だった。しかし、ある日、ふと思いついたヨットづくりを実行する。この体験が、後々になって、自分の人生をかけて取り組む仕事やテーマへとつながっていた。どんなにささいなことでも、自分がこうしたいと思った気持ちを大切に、実行する努力を重ねれば、人生は大きく展開していく。宮崎センター長の生き方からそのような姿が見えてくる。



撮影／村上圭一



浮体式波力発電装置「海明」
1978～1986年まで、山形県鶴岡市由良沖3kmの海上で発電実験を行った



マイティールホーエル波力発電装置
1998年から三重県度会郡南勢町（現・三重県度会郡南伊勢町）五ヶ所湾湾口沖合に設置。実用化を目指したプロトタイプとして発電実験を行った

ヨットづくりに熱中した日々

「私は、学生のころは何をやりたいのか分からなくて、このままでいいのかという思いが強く、いつも悩んでいたんですよ」と、宮崎センター長は語り始めた。小さいころから科学は好きで、ものづくりや機械いじりもよくやった。しかし、大学生になって、自分は何をやりたいのかがはっきりとしなかったという。だから、どの分野に進んでもいいように、卒業研究は基礎的な物理学の分野である物性物理を選んだ。ただ、自分が突き進んでいくべき目標が見えていなかったため、どことなく漫然と、ただ勉強しているという感覚がぬぐえなかった。

そんな宮崎センター長に転機が訪れたのは大学4年生のとき。卒業論文を書き終わった後のことだった。遊びにやってきた海岸で広い海を見ているうちに、突然、海に船を浮かべて走りたくなった。どうやら自分と海に出ることができたらどうかと考えた末に出た結論は、「自分で船をつくれればいい」だった。

それから、ボートの自作が始まった。さまざまな情報を集め、イギリスの木製ヨットの設計図を手に入れた。アルバイトでためたお金で材料のペニヤ板を買い、製作に取りかかった。そして、いろいろな人からアドバイスをもらい

ながら、何とか全長3.3mの小型ヨットを完成させることができた。製作期間は約3ヵ月だった。

「本当に浮くのかなと思しながらも、3ヵ月間一生懸命つくりました。実際に海に浮かべたときはとても感激しました。ここから私と海との関係が始まった気がします。熱中するものに会えたことは本当に幸せでした。特に学生時代は、何でもいから熱中することがとても大事だなと思います」

海の研究がしたくて就職

自作ヨットで海に出ていくうちに、宮崎センター長のなかで、「海の研究をしてみたい」という気持ちが芽生えてきた。そして修士課程2年の秋、進路選択が迫ってきた時期に、海洋科学技術センター（現在の海洋研究開発機構）が設立されたというニュースを聞いた。宮崎センター長は、海洋科学技術センターで研究したいという手紙を書き、研究員に応募。晴れて採用となり、翌年4月から海洋科学技術センターの研究員としての人生をスタートさせた。新卒第1期生だった。

研究員として最初にかかわったのがシートピア計画の海中居住実験だった。これは、人間が深度100mの海中で作業できるように、飽和潜水技術*を確立するというものであった。宮崎センタ

ー長は、研究に協力しているダイバーをサポートするために、環境をコントロールする役割をしていたが、「プロジェクトの一員でしたが、研究者というよりは作業員といった方が近い状態でした」と当時を振り返った。

何ができるかという発想が導いた波力発電研究

実験をサポートしているうちに、宮崎センター長は、作業の現場となる海の中に、よりスムーズに電気を送るにはどうしたらいいか、海上でも電気を送ることができるかなどといったことを考えるようになった。そして、海洋・海中エネルギー源というテーマを掲げて研究をするようになった。海上、海中で発電する手段の1つとして、燃料電池を利用する方法なども考え、実際に研究もした。しかし、もう少し簡単に自分の手でできるものはないかと別の手段を探した。

ちょうど、このころ、海洋の実験施設に関連した大型の水槽をつくる計画が持ち上がった。宮崎センター長は、人工的にいろいろな種類の波をつくりだすことのできる波動水槽を提案して、製作した。波動水槽が完成したことで、宮崎センター長は、波を使った実験ができる環境を手に入れた。よくよく考えてみれば、海で発生する波は自然の



ノルウェーから波力発電を勉強しにきた学生と仲間たち

エネルギー源だ。そこで、自分が掲げていた海洋・海中エネルギー源というテーマに沿ったものとして、波の力を利用する波力発電の研究に取り組むようになった。

「波力発電は、最初からこれをやるというスタートではありませんでした。自分が置かれた立場で何ができるだろう、今ある施設を使って世の中に貢献できないかという思いから始めたものです。自分にはチャンスがないからできない、十分に準備ができていないからできない、などというネガティブな発想ではなく、今の環境ではどれとどれを組み合わせたらできるといった前向きな発想で取り組むと道が開けていくと思います」

オイルショックで一躍注目の的に

波力発電の研究は、宮崎センター長が獲得した小規模な研究費を使って、少しずつ研究を重ねていった。波力発電がある程度形になり始めたころ、時を同じくして、世界はオイルショックを迎えた。オイルショックにより、日本をはじめ先進国のエネルギー源は、中東からの石油に極端に依存している状況が明らかになった。このような状況を改善するためにも、中東以外の新しい油田開発や石油以外の新しいエネ

MARITEC（海洋工学センター）

海洋工学センターは、海洋の基礎技術の研究を行う先端技術研究プログラム、新しい知識や技術の応用や機能向上につなげる応用技術部、7隻の海洋調査船や「しんかい6500」などの有人・無人探査機の運航を受け持つ研究船運航部の3つの部門で構成されている。一言でいえば、海洋を知るための技術を育てながら、船で研究者をサポートをする部署である。海洋研究開発機構は1971年に海洋科学技術センターとして発足したが、当初からある機能をそのまま引き継いでいる。現在は、水中音響技術や魚を模した音の出ない新型推進システムを搭載した無人探査機などの開発にも取り組んでいる。



ルギー源の開発が注目され始めた。そのような世界情勢の変化から、波の力を利用する新しいエネルギー源である波力発電は、多くの人から注目を集めるようになり、研究費もたくさん入ってくるようになった。

オイルショックによって世界的に景気が悪くなった。この状況を乗り越えるために1975年に第1回の先進国首脳会議（サミット）が開かれることになった。このころの日本は、世界から技術を取り入れるだけで、日本からの発信がないと批判されていた。サミット開催を機に、当時の三木武夫首相は、日本が世界に提案できる独自の技術を探した。そして、宮崎センター長の研究していた波力発電に白羽の矢が立ち、国際エネルギー機関に、日本からのプロジェクトとして提案するまでになった。

国際エネルギー機関で提案した結果、波力発電研究は、アメリカ、イギリス、カナダ、アイルランド、そして日本の5カ国が参加する国際共同研究に成長した。この共同研究により宮崎センター長は、各国の研究者とともに研究をしながら交流を深めていった。この経験について、宮崎センター長は「世界中の人が、地球のことやエネルギーのことを考えていて、いいものをつくりたいと思っているんだなと感じました。また、世界に貢献できる喜びもありました」と

当時の感動を語った。最初の国際共同研究は5年間で終了したが、研究者との個人的な交流はいまでも続いている。

海洋工学センターは、海洋科学技術センターとして発足した当時の海洋研究開発機構の役割をそのまま受け継いでおり、海洋の先端技術の研究開発、応用・利用技術、海洋調査船、有人・無人探査機の運用など、海洋研究を基礎から支えている。宮崎センター長は、新卒1期生として、海洋研究開発機構の歴史とともに歩んできた。その研究人生を支えてきたのは、「海が好き」、そして「その好きな海の研究がしたい」という一途な思いだった。

「海の研究は1人ではできません。分野の違う人が集まって、みんなで協力して1つの目的を達成していくことに面白みがあります。広い海全体をまとめて海洋学といっていることから分かるように、海は分野が未分化で、分らないことがまだまだたくさんありますし、そういう意味でもとても面白いです。1人でも多くの人に、海を研究する楽しさを知ってほしいと思います」

*飽和潜水技術……ある一定の圧力環境で、その環境にあるガスと体に溶け込むガスが同じ圧力になった状態で潜水する技術。「飽和潜水」は潜水作業時間に制約を受けることなく、潜水時および浮上時の加圧・減圧を特定の条件下で行えば、長時間（1ヵ月以上）安全に海中で活動することができる潜水方法である。

Aquarium Gallery

失われつつある海辺の生物を繁殖 東京湾の豊かな自然を 展示水槽に再現



「東京の海」展示でトビハゼを担当する橋本浩史さん(左)とアマモ担当の江川紳一郎さん(右)

取材協力: 東京都葛西臨海水族園

東日本では東京湾にしかないトビハゼ。東京湾は国内分布の北限でもある。その数は減少し、「絶滅のおそれのある地域個体群」にもリストアップされている



「東京の海」のトビハゼ展示水槽(上方から撮影)。中央やや左手に、巣穴の出入り口が見える

水族園では、近くにある人工干潟「西なぎさ」(写真)をはじめ、荒川や旧江戸川河口近くの干潟などで生物調査も行っている



光合成によってつくられた酸素が、細かい泡となって葉先から立ちのぼっている



繁殖に成功し、水槽から回収された仔魚。全長約2.8mm



浮遊期を経て、上陸するまでに育った稚魚。全長約20mm



回収された約100匹の仔魚を育てるために設置された育成水槽



アマモは種子植物。水槽のなかのアマモにも、米粒大の種子が育っていた(親指の先の部分)



展示水槽のなかで順調に育つアマモ。アマモの茂みは、小魚たちの保育場でもある

2年前、東京都葛西臨海水族園は、国内の水族館で初めてトビハゼの水槽内の自然繁殖に成功した。海中ではなく、主に干潟の泥の上で活動するトビハゼは、九州の有明海などに分布するムツゴロウとよく似た生態をもつ魚だ。かつて、東京湾沿岸の河口域には、トビハゼが好む泥質干潟が数多く存在し、トビハゼは珍しい生物ではなかった。しかし、開発によって干潟は減り、その数も減少した。水族園では、展示水槽のなかに干潟をつくり、

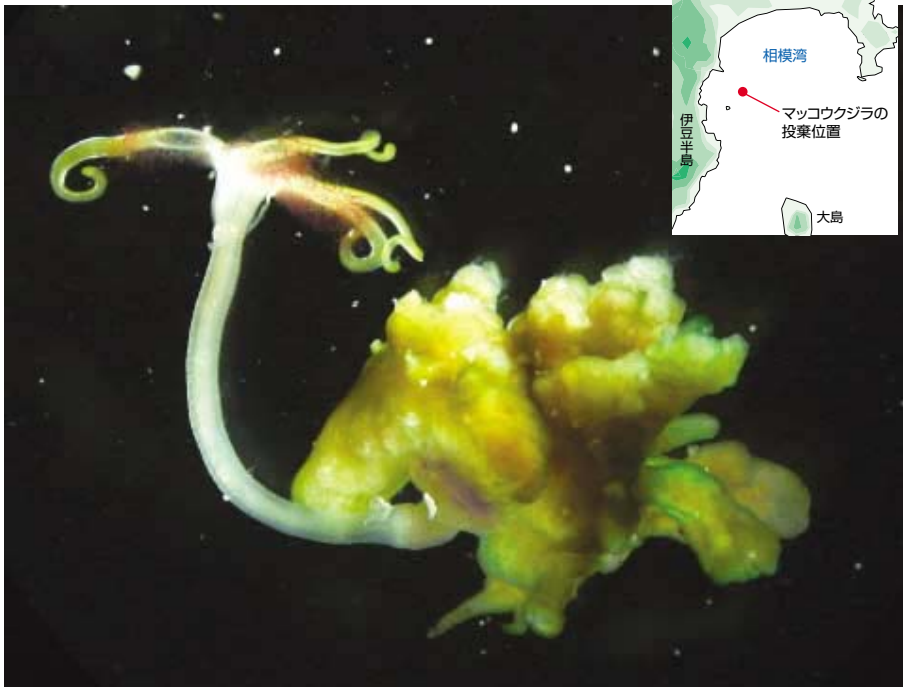
人工的に潮の干満を起こすなど、できる限り自然の干潟の環境に近づけ、さらに、産卵に適した巣穴ができるよう、十分な泥の厚みを確保するなどの努力を続けてきた。その結果、2000年に初めて仔魚の回収に成功。そして、2004年には成魚にまで育てることができた。

さらに東京湾で、干潟とともに消えつつあるのがアマモ場だ。水族園では、アマモを水槽内で育てることに取り組んできた。さまざまな工夫の末、2年前によ

うやく育成に成功。いまでは水槽いっぱいに茂るまでになった。

海辺の開発や利用が進み、葦原や干潟、さらにその先に広がっていたアマモ場など、東京湾の身近な海の自然は、急速に姿を消した。かつてどこにでもいた生物が、いまや貴重な存在になりつつあることの危うさと、そうした生物を育む多様な自然環境の大切さを、東京都葛西臨海水族園の「東京の海」展示コーナーは語りかけている。

●東京都葛西臨海水族園(東京都・江戸川区) ホームページ: <http://www.tokyo-zoo.net/> 連絡先: 03-3869-5152



骨から取りだしたホネクイハナムシ類の雌。黄緑色の部分は「ルート」と呼ばれ、ここに共生細菌を宿す

海底に沈んだ鯨が深海生物進化のカギを握る!?

相模湾で見つかった珍しい「ホネクイハナムシ」の新種



取材協力:
藤原 義弘 サブリーダー
極限環境生物圏研究センター
海洋生態・環境研究プログラム
海洋生物進化研究グループ

2006年1月、静岡県熱海沖、相模湾の水深約925mに沈んだマッコウクジラの骨から世界でも数例しか報告のないホネクイハナムシ (*Osedax*属多毛類)の仲間が発見された。ホネクイハナムシはいわゆるゴカイの仲間、体長1cm前後。その形態と遺伝子解析の結果から新種の可能性が極めて高い。深海底には太陽光から隔絶された生命の営みとして化学合成生物群集が知られている。この生物群集は海底の地殻変動によって冷水や熱水が湧き出す環境に出現し、硫化水素やメタンなどを利用して有機物をつくる化学合成細菌によって支えられている。近年、これに類似した生物群集が海底に沈んだ鯨の遺骸周辺から発見され、第三の化学合成生物群集として注目を集めている。2003年より独立行政法人海洋研究開発機構でも本格的な鯨骨生物群集調査を開始した。そして、予想を覆すような生き物たちの存在が、徐々に明らかになり始めている。



打ち上げられたマッコウクジラには船のスクリュー痕のような傷跡があった(左)。ロープを使って沖へ出し、投棄地点まで移動させた(右)

鯨骨にすむ新種のゴカイ

海底に沈んだ鯨の遺骸が周辺には特別な生物群集が形成されることが1980年代から知られていた。この生物群集は深海底の熱水噴出孔や冷水湧出帯に出現する化学合成生物群集によく似た特徴を持っており鯨骨生物群集と呼ばれている。近年になって、鯨骨環境には、これまでの常識を覆すような動物が生息することが明らかになり、世界的に調査研究が実施されるようになった。わが国でも1992年に小笠原海域の鳥島海山で初めて鯨骨生物群集が発見されており、2003年からは鹿児島県に大量座礁し、海底に沈められたマッコウクジラの遺骸に関する調査を実施してきている。2005年には日本で初めて、研究に主眼を置いて鯨を海底に沈めるプロジェクトが始まった。この鯨

は死亡後に相模湾を漂流していた体長13mのマッコウクジラで、2005年春、熱海市の海岸に漂着した。同年4月16日、鯨の遺骸は研究者立ち会いのもと、熱海市により相模湾初島沖の冷水湧出帯生物群集にほど近い水深925mの地点に投棄され、その後、当機構が調査・研究に着手した。

2006年1月17~22日、相模湾に投棄された鯨の調査が無人探査機「ハイバードルフィン」を使って行われた。投棄から約9カ月で鯨の骨はすでに白骨化しており、鯨の遺骸のみに生息する珍しいゴカイの一種「ホネクイハナムシ (*Osedax*)」の仲間がろっ骨を覆うようにびっしりと付着していた。ホネクイハナムシ類は2004年に世界で初めて米国カリフォルニア沖の鯨骨から発見された動物で、これまでに3

種が報告されている。属名の *Osedax* はラテン語で「骨を食う者」を意味し、遺骨に群がるその様子から「ゾンビ・ワーム」とも呼ばれる。今回、相模湾で発見されたホネクイハナムシ類は、その形態と遺伝子解析の結果から新種の可能性が極めて高い。

ホネクイハナムシ類は生態学的に興味深い特徴を示す。まず、このグループはれっきとした動物であるが、口も肛門も消化管も持たない。ではどのようにしてエネルギーを獲得するのか？ その秘密は「ルート」と呼ばれる構造にある。ホネクイハナムシ類は骨の中に植物の根のようにルートを張り巡らしており、そのなかに独特の共生細菌を宿す。共生細菌は鯨骨中に含まれる脂肪などの有機物を利用してエネルギーを獲得し、宿主を養うと考えられている。従っ



マッコウクジラ頭部由来の軟組織を食べるエゾイバラゴエ



白骨化したろっ骨には一面にホネクイハナムシ類が付着していた



相模湾初島北東沖(水深927m)に横たわるマッコウクジラ。推定20トンを超える巨体がたった9ヵ月でほぼ完全に白骨化していた

て、ホネクイハナムシ類は死んだ鯨なしには生きられない。このような共生現象を示すのは雌だけで、雄は非常に小型化して雌に付着して暮らしている。このような雄を矮小雄(ドワーフメール)と呼ぶが、日本で発見されたホネクイハナムシからはまだ雄が発見されていない。

今回の調査ではホネクイハナムシ類が大量に付着した約1.5mのろっ骨を採集しており、その一部は神奈川県の新江ノ島水族館において世界で初めて一般公開されている。

鯨骨ステップング・ストーン 仮説とは

海底で腐敗した鯨骨からはメタンや硫化水素が発生する。そのため、熱水・冷水域で同様の化学物質に依存して暮らすシロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類、ハオリムシ類といった動物が生

息域を広げる際に、鯨骨がステップング・ストーン(飛び石)となるのではないかとという仮説が提唱されている。そして、熱水・冷水域に生息することが知られる二枚貝などが鯨骨周辺に出現するケースも報告されている。しかし、そのような生物が鯨骨環境で繁殖し、再び別の熱水・冷水域に子孫を伝えたという証拠はなく、そのほかの研究からも鯨骨は熱水・冷水域とはかなり異なる環境を生み出しているのではないかと考えられるようになってきている。鯨骨環境には硫化水素やメタンに加え、高濃度の有機物が存在する。実際、ホネクイハナムシ類のような有機物を利用するタイプの共生細菌を宿す動物は熱水・冷水域からは報告されていない。

このようなことから、鯨骨環境が熱水・冷水域に出現する生物の地理的なステップング・ストーンである可能性は低

いというのが、最近の見方である。

鯨骨生物群集に残された 深海生物進化の軌跡

そこで現在、新たに注目されているのが生物の進化における鯨骨環境の役割である。先行して研究が進められている鹿児島・野間岬沖の鯨骨からは、今まで全く知られていなかった動物や、最初の発見以来、何十年間も見つからなかったような動物が出現している。たとえばゲイコツナメクジウオ。通常、ナメクジウオの仲間はいずれも浅い海に生息するが、野間岬沖の鯨骨から発見された新種のゲイコツナメクジウオは水深250mを超える深海に生息する世界で最も深いところに生息するナメクジウオであり、また鯨骨のすき間や鯨骨直下、腐敗した頭部由来の軟組織中といった、通常のナメクジウオ類にとっては劣悪



鯨骨周辺で見つかったウロコムシの仲間(左)、ゲイコツナメクジウオ(中央)、ハナシガイの仲間(右)

ともいえる環境に生息している。遺伝子解析の結果、ゲイコツナメクジウオはナメクジウオの中でも最も原始的な一群に属することが推定されており、このグループの進化を考える上で興味深い。

同じく野間岬沖鯨骨から見つかったヒラノマクラという二枚貝は体内に共生細菌を宿すがその共生システムは非常に原始的で、共生システムを持たない一般的な浅瀬のイガイ類と、優れた共生システムを有する熱水・冷水産シンカイヒバリガイ類との中間的な形質を示している。熱水・冷水域に出現する生物の起源は浅海にあると考えられており、浅瀬の生物が熱水噴出孔や冷水湧出帯といった酸素の乏しい極端に還元的な環境に進出する足掛かりとして鯨骨を利用したのではないかとこの新たな鯨骨ステップング・ストーン仮説(進化的ステップング・ストーン仮説)が提唱されている。

こうしたことから、太古の海に堆積した大型の恐竜やシダなどの有機物周辺で細菌と動物との原始的な共生システムが誕生し、やがて高度に組織化された共生システムを持つハオリムシ類やシロウリガイ類、シンカイヒバリガイ類といった動物群が誕生して熱水噴出孔や冷水湧出帯といったより還元的な環境に進出したのではないかと、という推測もできる。野間岬沖の鯨骨は浅い海域に投棄されているので、相模湾の深い海域に沈めた鯨骨と比較することで、さらに新しい進化の過程を解明することができるかもしれない。

研究材料としても有用な 鯨骨生物群集

鯨骨生物群集研究の面白みは進化だけではなく、鯨骨はそこに暮らす生物に単に住み家を提供するだけでなく、硫化水素やメタンといったエネルギーの供給源でもある。従って、海底で採集した、たった1つの鯨骨を水槽に入れるだけで

実験室内にミニ生態系を再現できる。熱水・冷水域の環境を人工的に水槽内で再現するのは非常に難しく、ハオリムシなども長期飼育はある程度可能となったが、飼育中に生殖腺が退化するなどの問題があり繁殖にも成功していない。一方、2004年に採集した野間岬沖の鯨骨は、すでに飼育から1年半が経過した現在も、鯨骨由来の生物を多数養っており、それらの生物の中には水槽内での繁殖に成功しているものもある。このように鯨骨を利用することによって、水槽内に還元環境を再現し、そこに暮らす生物を研究用に飼育・繁殖させることも、水槽内で生態学的な研究を行うことも可能で、これまでは現場に行かなければできなかった深海生物研究の幅が大きく広がる。新江ノ島水族館では鯨骨を堆積物のなかに埋めて還元的な環境をつくり、そこでハオリムシを飼う取り組みも始めている。そのような使い方が確立できれば、熱水・冷水域の生物の研究にも鯨骨が役買ってってくれるかもしれない。



飼育中のホネクイハナムシ類。体の大部分は鯨骨に入り込んでいる



ホネクイハナムシ類の顕微鏡写真。輸卵管の中にはたくさんの卵が見える



研究室の水槽で飼育中の相模湾産「鯨骨」。水温は4℃で管理されている



赤い部分がホネクイハナムシ類

「有孔虫はどのような生物なのか？」 ～その歴史・進化・地球環境とのかかわり～

(2005年10月15日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第37回地球情報館公開セミナーより)

「有孔虫」は虫ではなく、海のなかに生息する単細胞生物です。その歴史は非常に古く、化石としては約5億年前、遺伝子の分子系統樹では11億年近く前までさかのぼることができます。そして、有孔虫は深海底の生物量の約半分を占め、海洋の物質循環に大きな役割を果たしています。今回は、有孔虫という小さな生物が地球環境に与える影響や、地球深部探査船「ちきゅう」による深海掘削計画とのかかわりについてお話ししたいと思います。



北里 洋 プログラムディレクター
地球内部変動研究センター
地球古環境変動研究プログラム

1948年東京都生まれ。東北大学大学院理学研究科博士課程修了。その後、静岡大学理学部教授を経て平成14年に海洋科学技術センター-固体地球統合フロンティア研究システム(現・海洋研究開発機構地球内部変動研究センター)に入所。専門は海洋微生物学、特に異核単細胞生物である有孔虫類の進化の解明。日本古生物学会会長。

有孔虫という生き物

有孔虫は非常に小さな生物ですが、バクテリアではなく動植物のグループに属する真核単細胞生物です。さまざまな種類の殻を持ち、その殻の化石を調べることで過去の時代の環境を知ることができ、地層の年代を推定する示準化石としても重要です。

有孔虫は殻の材質や形状によって分類することができます。あるグループはテクチナス(タンパク質)の殻を持っており、殻の内部に非常に細かい室を連ねながら成長していきます。膠着質といって砂粒をタンパク質の糊でつなぎ合わせたような殻を持ち、室を3列に付加してらせん状に成長するグループ、また石灰質の殻を自分で沈着させるグループもいます。石灰質有孔虫でも単一の結晶を沈着するもの、紡錘状の結晶がつながったものなどがあり、実にさまざまです(図1)。

有孔虫の殻をよく見ると表面に無数の孔が開いています。この孔から呼吸をしています。口に当たる大きな孔から出ている細い糸のようなものが仮足です。仮足は原形質が変形した一種の運動器官で、顕微鏡で観察すると表面には黒い点々がたくさん確認できます。これは粘

液顆粒と呼ばれ、ねばねばした粘液を出してタコの足の吸盤のような動きをします。有孔虫はこれを使って移動したりつかまったり捕食したりしています(図2)。一般的に、有孔虫は有性生殖と無性生殖を繰り返す生活環を持っています。ちょうど地下茎からタケノコを生やして無性生殖的に成長し、100年に1回くらい花を咲かせ有性生殖を行う竹と似てい

ます。有孔虫の大人の個体は減数分裂をして遊走子(べん毛を持った胞子)をつくり、2つの遊走子が合体すると有性生殖を行って倍数体の個体となります。すると今度は減数分裂をして分かれたものがそのまま成長し無性生殖的に個体数を増やしていきます。これが一般的な有孔虫の生活環です。しかし、有孔虫のなかでも浮遊性の有孔虫は有性生殖だけを繰

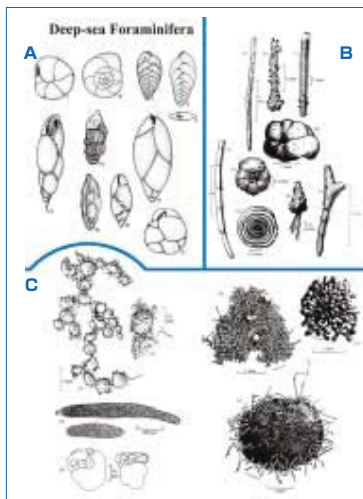


図1 さまざまな有孔虫
有孔虫は殻の形、材質ともにさまざまである。図中A-Cは深海中に生息する代表的な有孔虫類。

Aの殻の部分が白っぽく見えるグループは、石灰質有孔虫。殻は自ら沈着した炭酸カルシウム結晶の集合体からなり、ガラス質の質感がある。殻の表面には数多くの壁孔が開いており、ガス交換の役割を果たしている。
Bのグループは、砂質有孔虫。有孔虫が分泌した物質で堆積物粒子を膠着して殻をつくっている。有孔虫は粒子を区別しているようで、海綿の骨針、あるいは石灰質のココリス(円石藻の殻)だけを集めて殻にしている場合がある。
Cは、軟質有孔虫。キチン質やタンパク質、多糖類などの高分子化合物で殻をつくっているグループである。ステルコマータと呼ばれる難分解性有機物粒子を細胞質に多数含んでいる。

(Gage and Tyler, 1991)

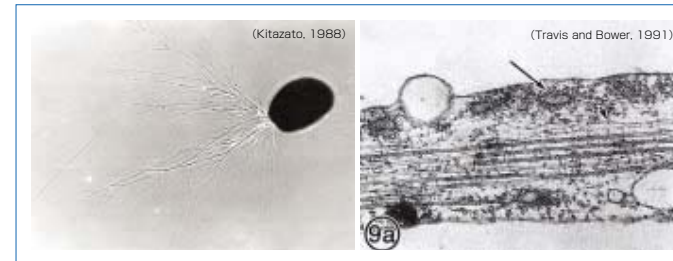


図2 有孔虫の仮足とその構造
有孔虫の体から出ている細いものが仮足(写真左)。拡大してみると仮足は微小管の集合体であることが分かる(写真右)。表面に見える粒のようなものが粘液顆粒(写真右)

り返します。満月の2、3日後に一斉に遊走子を放出し、約1カ月で世代交代をします。

有孔虫と共生進化

有孔虫の大きさは32～500ミクロン(0.032～0.5mm)が一般的で顕微鏡を使わないと見えません。しかし、一部にはナノサイズのさらに極小のものや、最大で20cmにもなる大きな有孔虫もいます。この最大の有孔虫は貨幣石などの仲間、世界最大の単細胞生物です。しかし、単細胞なのになぜこんなに大きくなるのでしょうか。普通、動物細胞は最大でも1mm程度の大きさが限度といわれます。なぜなら、循環系を持たない生物の場合、酸素は球体の表面から最大1mmまでしかしみ込むことができない

からです。そこから推測すると、大型有孔虫は循環系と呼吸系に代わるしくみを持つと考えられます。

実は、大型有孔虫は細胞内に共生藻類を持っていきます。この藻類が光合成によって酸素をつくり、赤血球のような役割を果たすことで大きな細胞の間々まで酸素を供給しているのです。大型有孔虫は藻類がうまく光合成できるように、殻を薄くしたり、光が偏光しないような工夫もしています。また、共生藻を次世代に繋いでいくために、大型有孔虫は有性生殖をめったにしません。有孔虫のなかでも非常に分化の進んだ種類だといえるでしょう。

大型有孔虫の化石で一番古いものは3億年ほど前に出現したフズリナ(紡錘虫)の仲間で、古生代末まで繁栄します。そ

れからオルビトリナや貨幣石が現れ、星砂の仲間も姿を見せます。しかし、フズリナは古生代末期に、オルビトリナは中生代末期に絶滅しました。このように大型有孔虫は繁栄と絶滅を繰り返し、そのたびに違った系統の小型の種類が藻類と共生関係を結んできました。しかし、普通の細胞にほかの生物が共生することは、そんなに簡単に起きるのでしょうか。極限環境に生きる有孔虫を見れば、その謎が解けます。単細胞生物、とりわけ貧栄養環境や無酸素環境などの極限環境にすむものには、バクテリアと共生しているものが普通に見られます。大型有孔虫が興隆したきっかけは、このような嫌気的な環境で細胞内共生が急速に促進されたためだろうと考えています。

2002年10月、海洋科学技術センタ



図3 チャレンジャー海淵で採取された有孔虫

2002年10月、チャレンジャー海淵、深度10,894mから採取された有孔虫(写真左)。体の中に透けて見える黒い粒「ステルコマータ」で、有機物を分解していると考えられる

スケールバー
=50ミクロン



図4 初島沖で記録された海底映像
初島沖に設置された深海ステーションのビデオによる海底の様子（写真左より春、夏、冬）。冬の海底は澄んでシロウリガイの姿がはっきりと見えるが、プランクトンの繁殖が活発化する春には海底に沈むマリスノーで水が濁り、シロウリガイの姿も判別できない

一（現・独立行政法人海洋研究開発機構）とほかの研究機関が共同でマリアナ海溝チャレンジャー海淵の調査を行い、その際に採取された深海底の泥から数多くの有孔虫が発見されました。10,000mを超える深海底の極限環境にも有孔虫が生息していたのです。マリアナ海溝で発見された有孔虫は、ちょうど単細胞生物が大きく進化を遂げた5億4000万～10億年前に現れたグループで、体内に丸い玉のような「ステルコマータ」という細胞内構造を持っています（図3）。これは消化しにくい有機物をバクテリアに分解させて取り込むためのシステムと考えられます。つまり、食胞を使ってエサを取り込み消化・吸収する単細胞生物とバクテリアとの中間の形態が、ステルコマータを持った有孔虫ではないかと考えられます。私たちはバクテリアが進化する途中経過をマリアナ海溝の有孔虫を通じて見ているのです。こうした研究から、やがて真核生物の進化のミッシングリンクを解明することができるかもしれません。

有孔虫と物質循環

では、有孔虫と地球の物質循環にはどのような関係があるのでしょうか。炭素は大気と海洋と固体地球との間で循環しています。大気中の炭素は海洋表層の植物性プランクトンの光合成によって炭水化物となり、やがてその死がいと共にマリスノーとなって海底に沈みま

す（図4）。その大半は、海底に届くまで分解されますが、一部は堆積します。有孔虫も海中の炭素を取り込んで炭酸カルシウム（CaCO₃）の殻をつくります。そしてその死がいも海底へ沈み、海洋の表層から海底に炭素を運び役割を果たしています。このように、小さな生物たちも地球の物質循環に大きな影響を与えているのです。また、海と海底の境目でも非常に活発な物質交換が起きています。海底の表面には多くの生物がありますが、生物生産量では有孔虫類が非常に大きな割合を占めています。海底に同位体標識をつけたエサをまき、それが生物に取り込まれる量を計測しました。すると、まいたエサは春も秋もかなり速い速度で堆積物のなかに取り込まれていくことが分かりまし

た。有孔虫は、生物量は小さいけれど、有機物を取り込む量では非常に大きな割合を占めています。一方、バクテリアは、生物量は多くてもエサをあまり取り込まないのです。呼吸による分解量を見ても、有孔虫の呼吸は非常に速く、上から降ってきたエサをどんどん取り込み、無機化して二酸化炭素に戻しています。私たちは相模湾で海底の炭素収支を実際に調べましたが、有孔虫は上から降ってきた有機物の約4分の1を分解しています。有孔虫は太平洋の深海底などにも非常に多く、実際の数ではバクテリアの方が圧倒的に多いのですが、分解速度と生物量を掛け合わせると、有孔虫は深海底のバイオマスの半分以上を占めるといわれます（図5）。有孔虫は世界の物質循

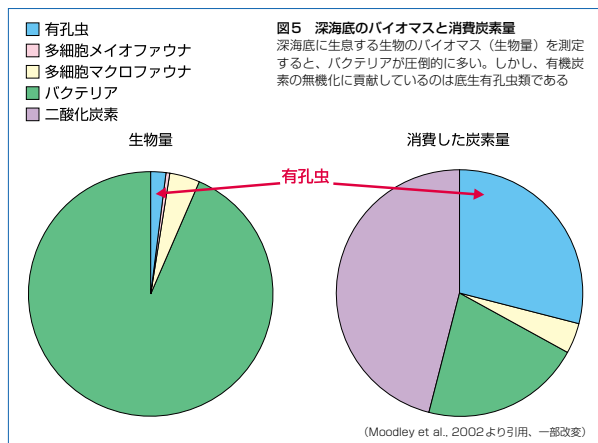


図5 深海底のバイオマスと消費炭素量
深海底に生息する生物のバイオマス（生物量）を測定すると、バクテリアが圧倒的に多い。しかし、有機炭素の無機化に貢献しているのは底生有孔虫類である

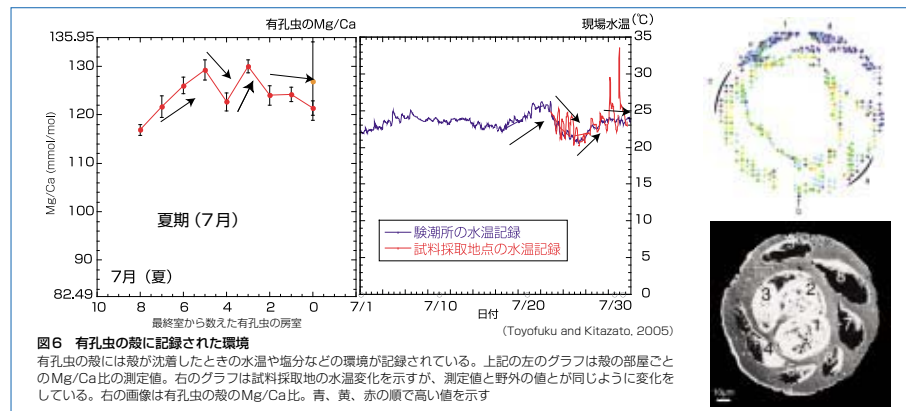


図6 有孔虫の殻に記録された環境
有孔虫の殻には殻が沈着したときの水温や塩分などの環境が記録されている。上記の左のグラフは殻の部屋ごとのMg/Ca比の測定値。右のグラフは試料採取地の水温変化を示すが、測定値と野外の値と同じように変化をしている。右の画像は有孔虫の殻のMg/Ca比。青、黄、赤の順で高い値を示す

環を支えている可能性さえあるのです。

有孔虫とIODP

有孔虫の殻は炭素を固定して海底に運ぶだけではなく、それが生成された時代の酸素や炭素の同位体情報なども蓄積しています。たとえば、高い水温のときに生成された有孔虫の殻はマグネシウム/カルシウム比が高く、低い水温では低い比になります。つまり、マグネシウム/カルシウム比からその殻の部分がつくら

れたときの水温が分かり、そこから当時の環境まで推測することができるのです（図6）。有孔虫の化石の酸素同位体比の変化を7000万年前から現在まで調べてみると、恐竜が繁栄した中生代には非常に温暖だった気候が新生代に急に寒冷化したことも分かりました（図7）。中生代には海の生物界で大変動が起きます。およそ1億年前の時代を境に、現在繁栄している石灰質ナノプランクトンや珪藻、浮遊性の有孔虫などがたくさん出現

して、大量のマリスノーが海底に降るようになります。すると、1億数千万年前、ジュラ紀のころには小さな口でバクテリアや溶存有機物など液体のエサを食べていた底生有孔虫類が、白亜紀になると大きな口を持つものに変わっていきま

す。これは上から降ってくるマリスノーを食べる種類です。プランクトンの進化によって海底の生態系も大きく変わったのです。海洋研究開発機構地球深部探査センターによって今年から本格的な運用が始まった「ちきゅう」は、海底下7,500mまでの掘削を可能とした世界初の地球深部探査船で総合国際深海掘削計画（IODP）の主力船です。「ちきゅう」によってより深い層から状態のよいサンプルを採取して有孔虫などを調べれば、古代の海洋変動の謎も明らかにすることができるかもしれません。

私たちは有孔虫という生物自体を知りたいのと同時に、それがどのような歴史を経てどのような進化を遂げてきたのか、さらにそれが地球とどうかわり合ってきたのかを知りたいのです。地球上に生きている生物はみな歴史を背負っています。小さな有孔虫からでも、生物が地球に誕生してから現在までの歴史を読み解くことができるのです。

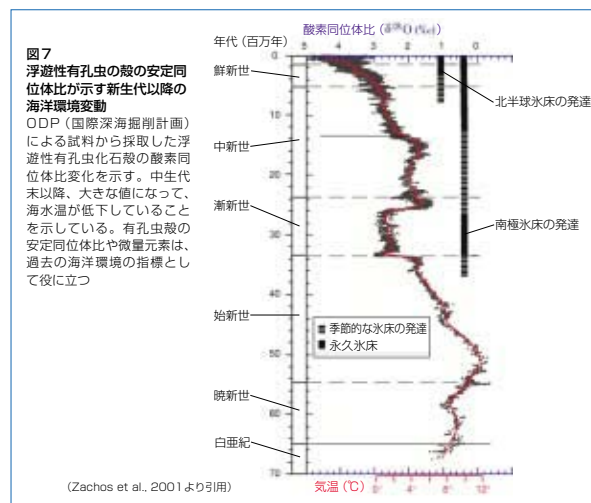


図7 浮遊性有孔虫の殻の安定同位体比が示す新生代以降の海洋環境変動
IODP（国際深海掘削計画）による試料から採取した浮遊性有孔虫化石殻の酸素同位体比変化を示す。中生代末以降、大きな値になって、海水温が低下していることを示している。有孔虫殻の安定同位体比や微量元素は、過去の海洋環境の指標として役に立つ

Topics

日本科学未来館
深海掘削と「ちきゅう」の常設展示を新設

最先端の科学技術を、第一線の科学者・技術者を中心にさまざまな手法を用いて情報発信する日本科学未来館（館長毛利衛 東京・お台場）に、2006年春より、深海掘削研究と地球深部探査船「ちきゅう」を紹介する新たな常設展示「深海掘削からわかる地球のしくみ」が誕生した。海洋研究開発機構地球深部探査センターの平朝彦センター長が監修を担当し、機構の多くの研究者らの協力によって生まれた展示だ。

「深海掘削研究の新たな展開」「地球深部探査船「ちきゅう」」「研究の最前線」という3つのテーマで構成されるこの展示では、さまざまな角度から深海掘削研究に光をあて、楽しみながら、その魅力を理解できるようにつくられている。なかでも目をひくのは、「地球システム」に関する展示。地球は、大気・海洋・地殻・マントルなどのサブシステムが影響し合う、ひとつのシステムであるという新しい地球観を紹介している。そして、深海掘削によって得られるコア試料は、地球システムを理解するための重要な情報をもたらすことを伝えている。また、展示のアニメーションでは、難しい内容をやさしく（かわいらしく）表現し、親しみやすいものにする工夫も凝らされている。このほか、日本が建造した世界最大の科学掘削船「ちきゅう」のクルーたちからのメッセージや、2005年に「ちきゅう」が初めて採取したコア試料（実物）を



「地球環境とフロンティア」エリアの
新規展示「深海掘削からわかる地球のしくみ」

展示するなど、その内容は充実している。

「海底下7,000mにあるマントルにさえ、まだ人類は到達しておらず、地球の内部のことは分からないことばかり。身近な足元が、実は非常に遠い存在であることを知ってほしい。そして、地球内部を探査する『ちきゅう』はスペースシャトルにも匹敵するようなすごい船であるということ、さらに、この巨大な掘削船を使う深海掘削の研究は多くの人々によって支えられているということ、この展示から理解してもらいたい」と展示解説を担当するインタープリターの櫻井英雄さんという。



米国の掘削船に体験乗船したインタープリター・櫻井さん



「ちきゅう」で初めて採取されたコア試料も展示



船長、研究者ら「ちきゅう」クルーのメッセージも聞ける



深海掘削の研究成果などもパネルで解説



「地球システム」について解説するユニークな展示

Topics

実物を見る！ 研究者に聞く！！
横須賀本部、横浜研究所の施設を一般公開

海洋研究開発機構では、機構で行われている研究の成果や最新の地球・海洋科学の情報を広く一般の方々に知っていただくため、定期的に施設の一般公開を行っている。最先端の地球・海洋科学が実物展示やスタンプラリー、実験、セミナーなどを通して分かりやすく紹介され、子どもから大人まで楽しみながら学ぶことができると好評のイベントだ。

横浜研究所の施設公開は4月15日（土）。体育館のような専用棟にスラリと並ぶスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」の光景には誰もが感嘆の声をあげていた。シミュレータによる台風予測や地球深部探査船「ちきゅう」の掘削計画などに関する研究者の公開セミナーも立ち見が出るほどの盛況ぶり。日本科学未来館のボランティアの方々による科学実験教室では、自分で自転車をこいで発電量を計測する発電自転車や次世代型太陽電池「色素増感型太陽電池」、ソーラーカーなどの実験が子どもたちに人気だった。

横須賀本部は5月20日（土）に公開。恒例の船舶見学では海洋調査船「かいよう」に加え学術研究船「淡青丸」も初公開された。昨年好評だったラボツアーは深海総合研究棟とフロンティア研究棟で実施。第一線で活躍する研究者から直に話を聞くまたとない機会となった。そのほか、各エリアのテーマに合わせ、有人潜水調査船や無人探査機、調査で採取された貴重なコアサンプルや鉱物標本、珍しい深海生物などが



「しんかい6500」の実物大模型でマニピュレータ操作体験も（横須賀）

展示され、潜水シミュレータの公開実験をはじめ海洋観測や大陸プレート運動などの実験も行われた。さらに、当機構も協力した7月15日（土）封切の話題の映画「日本沈没」にちなんで、監督の樋口真嗣氏と科学ジャーナリストの瀧澤美奈子氏、地球深部探査センター平センター長との公開対談もあり、よそでは聞けない制作秘話や地球科学の話に参加者は興味津々で聞き入っていた。（対談の様子は次号本誌7-8月号で紹介予定）



簡単な適職クイズの結果に合わせて、衣装を替えて記念撮影！（横浜）



半球スクリーンや3Dで見る深海、「ちきゅう」の映像（左）、「地球シミュレータ」見学（右）も人気（横浜）



「みらい」が採取した深海の土がもらえるクイズや「かいよう」の体験乗船なども行われた（横須賀）



研究の現場から

船上で活用されるロープワークを日常生活に役立てる

取材協力：柴田 桂 課長（海洋地球情報部 広報課）

ロープをほくす器具がついたセーラーマズナイフと、これを使い末端を編み込んだ結び目のない輪（アイ・スプライス）



前回（3-4月号）、「船上のキング・オブ・ツール」として活躍するロープについて紹介したところ、「ロープワークのことをもっと詳しく知りたい」という声が寄せられた。そこで、今回は船上で使われるロープワークのなかから、生活に役立つものをいくつか紹介する。

まずは、前号も紹介したもやい結び（写真1）。簡単に結べて、ほくすも容易。しかし、強い力がかかっても輪が締まらず、自然に解けることもない信頼性の高い結びだ。最初にこの結びを覚えてほしい。結び手順は、大きな輪をつくる手前側（写真の上側）に小さな輪（交差点は手前側が下）をつくり、さらに手前側にU字型のループをつくって、小さな輪の上からくぐらせる。そのU字のなかへ大きな輪の末端を下から通す。通した末端と大きな輪をしっかりと握ったままロープ手前側を引き、結びを締めていく（言葉による説明だけでは分かりにくいので、詳しくは専門書を参照されたい）。また、ロープ同士を繋ぐ最も基本的な結びとして覚えておきたいのが本結び（写真2）だ。結び方は簡単。だが、ややほくす。結んだり解いたりを頻繁に繰り返すときなどに有効だ。ロープを棒などに縛りつけるときに重宝するのが巻き結び（写真4）。写真3のように輪を2つ作り、そのまま重ねて棒に通

す。あとはロープを強く引けばよい。ロープ同士の摩擦でしっかりとまる。結びとは、ひと言でいえば、こうしたロープの摩擦力を効果的に活かした技法だ。そして、航海者たちは長い歴史のなかでさまざまな結びを考案し、船上の作業に用いてきた。生活に役立つロープワークのコツはまだある。次回は、より高度なテクニックを紹介しよう。

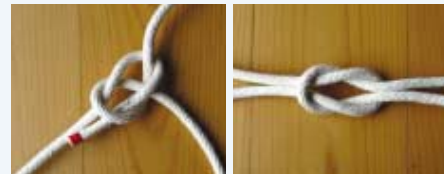


写真1 もやい結び 下側に輪ができる
写真2 本結び 末端を止結びしておく
と解けにくくなる

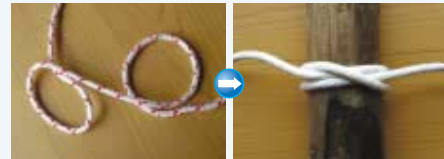


写真3 逆向きの輪を2つ重ねるだけ
写真4 巻き結び 手早く棒に縛れる



交差したロープの上に新聞をのせる

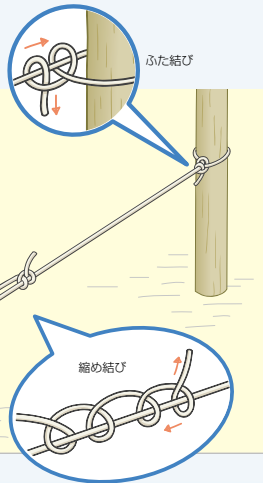
末端を新聞側に引き、中心でなく角でロープを結ぶ。この方がうまく結べる



ロープの末端を上から輪に通す

【荷を動かさずに縛る】この方法なら、新聞や雑誌の束を一度置けば、ひっくり返したりする必要がなく、そのまま簡単に縛ることができる。重い荷物や荷物れしやすいものをまとめるときに便利。

【ロープを強く張る】木立などに、ロープをしっかりと張りたいとき、片方をふた結びで固定し、もう一方を締め結び（張り締め結び）で調節しながら結ぶ。



締め結び

海洋地球百科事典

●ハイパー海洋地球百科事典：
<http://www.jamstec.go.jp/opedia/index.html>

深海の水圧パワー



スノーケリングやダイビングで海中に入ったとき、わずか数m潜っただけで耳の痛みを感じる。これは、水圧で鼓膜が圧迫されることによる痛みだ。水圧がいかにか大きな力を持っているかは、こうした体験から身を持って実感することができる。

私たちが暮らす地表の標準的な大気圧は1.013ヘクトパスカル（hPa）で、これが1気圧に相当する。1気圧下では、1cm²あたり約1kgの力が作用している。つまり、私たちの身体は周囲からそれだけの力で押されていることになる。普段、それを感じないのは、私たちの体のなかも同様に1気圧だからだ。

海中では、大気中よりもっと大きな力がかかる。大気圧（1気圧）は、10m分の水圧に相当し、深度10mまで潜ると、大気圧と合わせて2気圧の力が全身にかかることになる。さらに、深度が10m増すごとに水圧は1気圧ずつ増えていく。大気圧下で膨らませた風船を深度10mの海中に入れると、なかの気体は圧縮されて風船の大きさは1/2になり、深度20mでは1/3になる。さらに深くまで運ぶと、水圧が作用する力は

どんどん大きくなり風船を完全にぺしゃんこにしてしまう。その力は中空のドラム缶を簡単に押しつぶすほどだ。水圧の力は、深度1,000m（101気圧）では1cm²あたり約104kg、深度5,000m（501気圧）では約520kgにもなる。潜水調査船「しんかい6500」が潜航する深度6,500mでは、まさに親指の先に軽自動車をのせるほどの力がかかる。では、深海に棲息する生物は、どうして高い水圧に耐えられるのだろうか。それは、生物の体内に中空の部分がなく、体内が外の水圧と釣り合う構造になっているためだ。たとえば、身近にいる魚は一般に浮力調節のために、気体が入ったうきぶくろを持っているが、深海魚はうきぶくろのなかに気体のかわりに脂質や圧力の影響を受けにくい物質を入れ大きな圧力に適応している。

JAMSTECの深海探査機器や潜水調査船の開発の歴史は、まさにこうした水圧と闘う歴史でもあった。JAMSTECでは、深海生物の生態を研究するために、深海で採取した生物を、深海の環境で飼育する装置も開発し、研究を進めている。



発泡スチロール製のカップめん容器に圧力をかけると、空気層がつぶれて小さく縮む。写真真の容器は元の大きさ。時計回りに深度500m、1,000m、6,500m相当の圧力をかけて縮んだ容器



水圧によって割れた海底地震計の耐圧容器（ガラス球）



「しんかい6500」の耐圧殻（乗員室）開発時に、加圧実験で破壊したチタン合金球の破片



圧力実験装置の内部に水を満たし、100気圧をかけると、発泡スチロール容器が見る間に縮んでいった



深海で捕獲され、高圧環境下（3MPa：約30気圧）で飼育されるユメカサゴ



深海から生きたまま生物を持ち帰るために開発された水槽「ディーブアクリウム」

プレゼント Present

JAMSTEC特製名札ストラップ

JAMSTECオリジナルの名札ストラップ。
布製テープ（かけ紐）部分には、JAMSTECの
正式名称（英文）がプリントされています。
金具部分はクリップで、名札の取り外しも容易です。
今回は、このJAMSTEC特製名札ストラップを抽選で
5名様にプレゼントいたします。



■応募方法 ハガキ、メールどちらでも、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、2006年7月31日（月）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は、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。

「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>

定期的にお手元へ届く「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致します。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

最初にお届けする号に同封する請求書に基づき、その号から年度最終号の3-4月号までを一括で当機構指定の口座にお振り込みください。（請求書発行日の翌月までの平日に限り、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: 045-778-5380 FAX: 045-778-5386 E-mail: info@jamstec.go.jp

※定期購読は申込日以降に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。申込日以降に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は、「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。

郵便番号・住所・氏名・所属機関名（学生の方は学年）・TEL・FAX・E-mailアドレス・定期購読を希望する刊行物名（海と地球の情報誌「Blue Earth」）



海と地球の情報誌「Blue Earth」第18巻第3号（通巻第83号）2006年6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 斎澤 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 滝田よしひろ/夜谷美也子/山崎玲子/荒崎良孝/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市夏島町2番地15 TEL.046-866-3811（代表）
横浜研究所〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 TEL.045-778-3811（代表）
むつ研究所〒035-0022 東京都葛飾区新大塚1-2-9 TEL.03-5681-3811（代表）
高知コア研究所〒783-8502 高知県南国市物部2-20-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900（代表）
東京事務所〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 沖崎ビル南棟1224番地3 TEL.03-5681-3811（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. Office1120 20th Street, NW, Suite 700, Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300
Seattle Office810 Third Avenue Suite 632 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543 FAX.+1-206-957-0546

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

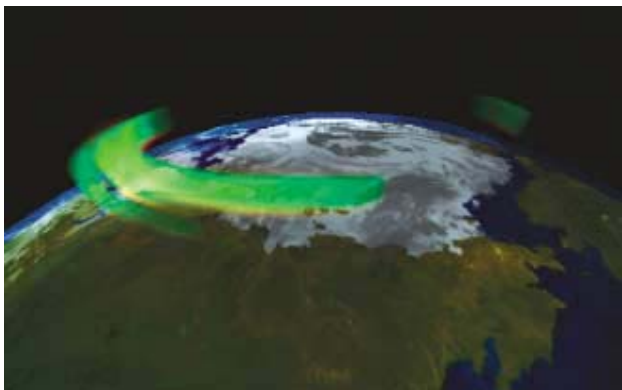
※本書掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

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18年5月末現在

株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンコナイテッド	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
アイウ印刷株式会社	有限会社システム技研	日本SG株式会社
株式会社アクト	シナネン株式会社	日本海洋株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	清水建設株式会社	株式会社日本海洋科学
株式会社浅沼組	株式会社商船三井	日本海洋船舶株式会社
アジア海洋株式会社	株式会社湘南	日本海洋計画株式会社
石川島播磨重工業株式会社	昭和ベトリウム株式会社	日本海洋事業株式会社
泉産業株式会社	社団法人信託協会	社団法人日本ガス協会
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	新日本海事株式会社	日本興亜損害保険株式会社
栄光電設株式会社	新光製鐵株式会社	日本サルヴェージ株式会社
エヌケーケージームレス鋼管株式会社	新菱冷熱工業株式会社	社団法人日本産業機械工業会
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	須賀工業株式会社	日本水産株式会社
株式会社NTTデータ	鈴鹿建設株式会社	日本電気株式会社
株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ	スプリングエイトサービス株式会社	日本飛行機株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	住友電気工業株式会社	日本ビュレット・バックカード株式会社
株式会社OCC	清進電設株式会社	日本無線株式会社
オートマックス株式会社	セナーアンドバース株式会社	日本郵船株式会社
沖電気工業株式会社	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	株式会社間組
株式会社オーケービーリアルティシステム	株式会社総合企画アンド建築設計	株式会社ハナサン
株式会社海洋総合研究所	株式会社損害保険ジャパン	漢中製鋼工業株式会社
海洋電子株式会社	第一設備工業株式会社	東日本タグボート株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	大成建設株式会社	株式会社日立製作所
鹿島建設株式会社	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
カナダ株式会社	カナダ株式会社	深田サルベージ建設株式会社
カヤバシステム マシナリー株式会社	大陽日報株式会社	株式会社フジクラ
川崎設備工業株式会社	有限会社田浦中央食品	富士ゼロックス株式会社
株式会社川崎造船	高砂熱学工業株式会社	株式会社フジタ
株式会社環境総合テクノス	株式会社竹中工務店	富士通株式会社
株式会社関電工	株式会社竹中土木	富士電機システムズ株式会社
株式会社キュービック・アイ	株式会社地球科学総合研究所	物産不動産株式会社
共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社	中国塗料株式会社	古河総合設備株式会社
共立管財株式会社	株式会社鶴見精機	古河電気工業株式会社
極東貿易株式会社	株式会社テザック	古野電気株式会社
株式会社きんでん	寺崎電気産業株式会社	松本徹平株式会社
株式会社熊谷組	電気事業連合会	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社クロスワークス	東亜建設工業株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
株式会社グローバルオーシャンディベロップメント	東海交通株式会社	株式会社マルタン
ケイジーケイ株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社	株式会社マルト
京浜急行電鉄株式会社	東京海上日動火災保険株式会社	三鈴マシナリー株式会社
ケー・エンジニアリング株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社	株式会社みずほ銀行
KDDI株式会社	東北環境科学サービス株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
株式会社ケンウッド	東洋建設株式会社	三井造船株式会社
神戸ペイント株式会社	株式会社東陽テクニカ	三菱重工業株式会社
国際気象海洋株式会社	東洋熱工業株式会社	株式会社三菱総合研究所
国際警備株式会社	飛鳥建設株式会社	株式会社明電舎
国際石油開発株式会社	有限会社長澤工務店	株式会社森京建築事務所
国際ヒルサービス株式会社	株式会社中村鉄工所	有限会社やすだ
小倉興産株式会社	小芝電機株式会社	郵船商事株式会社
五洋建設株式会社	西松建設株式会社	郵船ナブテック株式会社
相模運輸倉庫株式会社	日南石油株式会社	ユニバーサル造船株式会社
三建設工業株式会社	日油技研工業株式会社	株式会社緑星社
株式会社三晃空調	株式会社日産クリエイティブサービス	レコドマネジメンテクノロジ株式会社
株式会社ジー・エス・ユアサテクノロジー	ニッスイマリン工業株式会社	若葉建設株式会社



「オーロラ発生の連結階層シミュレーション」(地球シミュレータセンター)

極域の空を彩るオーロラを再現

太陽から来た電子が大気中の酸素や窒素の粒子にぶつかって光を放つ現象がオーロラだ。地球は巨大な磁石なので、電子は磁力線に沿って降りてきて地上100~500kmの電離層で大気につつまれる。同時に、太陽からのプラズマの流れ「太陽風」が、地球の夜側と昼側の磁気圏にそれぞれ100万km規模の巨大な渦を生んでいる。それが磁力線に影響を及ぼすため、南北の緯度67~73度、地上100~200km付近でオーロラが頻繁に見られるというわけである。

このシミュレーションでは地球磁気圏のマクロな現象と電子のミクロなふるまいの両方を計算しているのが最大の特徴だ。マクロな計算によってミクロな現象がどこで起きそうかを予測しモニターすることで、限られた処理能力でより現実に近いオーロラの動きを再現することができた。この成果は、今後シミュレーションの進むべき方向を示しているといえるだろう。



独立行政法人

海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>