

海と地球の情報誌

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

BlueEarth

3.4 月号
2005



特集 海洋地球科学技術の 未来を拓く

JAMSTEC Report 下北半島沖で海底下のメタンハイドレート層が崩壊した形跡を発見
Blue Earth Museum 個性派揃いの深海生物たち



エッジが尖り、崩れて間もないことを示す崩落境界地形（水深2,105m）



©JAMSTEC/ BPPT

急な崖の上方斜面では、発達した開口割れ目群が多数発見された

スマトラ島沖大地震の震源域 崩落地形や開口型割れ目など 海底で発見

地震発生メカニズムの把握等をめざし
地震後初めて震源海域で海底地形調査を実施

2004年12月26日にインドネシア・スマトラ島沖で発生したマグニチュード9.0の強い地震は、大規模な津波を引きおこし、インド洋沿岸諸国の広大な地域に甚大な被害をもたらした。独立行政法人海洋研究開発機構では、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）と共同して、この地震によって海底に現われた地形変動について調べ、断層位置の特定やその変位量を含む挙動の特性を明らかにすることなどを目的として、2月から3月にかけて海洋調査船「なつしま」による震源海域周辺の緊急調査を実施した。この緊急調査では、「なつしま」に装備されたマルチナロービーム音響測深器を用いて震源海域の精密な海底地形調査を行うとともに、無人探査機「ハイバードルフィン」を用いた海底の直接観察による海底地形変動調査、さらには変位の大きかった場所などに海底地震計を設置して余震分布などの観測を行う。

「なつしま」は2月2日に日本を出航し、マラッカ海峡を抜けて、2月18日にスマトラ島沖の調査海域に到達。直ちに海底地震計の設置が行われた。その後、海底地形の調査が行われ、2月21、22日には「ハイバードルフィン」による潜航調査が実施された。震源海域に潜航した「ハイバードルフィン」は、地震によって生じたとみられる急峻な地形、崩落痕、地滑り痕、開口型割れ目など、海底に残された巨大地震の痕跡を次々と発見した。こ

こに紹介した画像は、この日の潜航調査によって撮影されたものだ。海底谷の上流域では、斜面崩壊を引きおこした崩落地形、特にエッジが尖った崩落境界地形が多数みつかった。また、段丘テラスでは砂に埋もれていない開口型割れ目が発達している様子が確認された。海底谷の上・中流域は急峻な斜面が続き、崩落した岩や地滑り堆積物で覆われていた。さらに、ここでは底棲生物の姿をほとんど確認できなかった。そして、海底谷の下流域では、混濁した層が発達しており、視界は1～1.5mほどしかなかった（「なつしま」の海底地形調査では、この付近に大きな凹凸地形があることが推察されている）。

潜航調査によって初めて明らかにされた海底の様子から、調査海域では、今回の地震によって崖の崩落や地すべりなどがおき、崩落した岩や堆積物が深海へ運ばれたことがうかがえた。また、潜航海域に限らず、このような地形は周辺海域に多数見られることから、斜面崩落は広い範囲でおきたと考えられている。そして、外縁隆起帯の海側斜面では、大量の崩落堆積物が深海に運ばれ、表層では大きな環境変化が生じていたものと推測される。

（記事は、2005年3月4日現在の情報に基づいて作成しています）



©JAMSTEC/ BPPT

©JAMSTEC/ BPPT

無人探査機「ハイバードルフィン」によって潜航調査が行われた。海底谷の下流域（下）では海水が濁り、視界は1～1.5mほどだった（水深2,990m、上は水深2,248m）



CONTENTS

- 2 特集 海洋地球科学技術の未来を拓く
JAMSTECが開拓する海洋・地球のフロンティア
地球環境変動を解明し、人類の持続的な発展への貢献をめざす
- 4 シミュレーションが未来設計を可能にする時代へ
- 8 無限の可能性を秘めた深海底からの贈りもの
- 12 地球深部探査船「ちきゅう」の運用と
新しい地球・生命科学の創成
- 16 Interview 研究者・技術者に聞く
実験手法から装置開発まで研究者の目で運営管理を担う
杉原 孝充 研究員
- 20 Blue Earth Museum
奇妙な姿も生き残るための戦略!?
個性派揃いの深海生物たち
- 22 JAMSTEC Report
下北半島沖で海底下の
メタンハイドレート層が崩壊した形跡を発見
- 26 JAMSTEC Report
世界最深度11,000mの深海底泥より分離した好熱性細菌、
ジオバチルスカウストフィラスの全ゲノム解析終了
- 30 JAMSTEC Report
マリアナ海溝チャレンジャー海淵に
原始的な有孔虫が多数生息していた
- 34 Marine Science Seminar
「海の中は音の世界」
～海洋音響研究とソーナー技術の最前線～
- 38 BE Room
深海巡航探査機「うらしま」
AUV連続航走距離の世界記録317kmを達成
- 40 Present／編集後記
- 41 賛助会会員名簿

表紙：深海巡航探査機「うらしま」
※表紙についての詳しい説明は裏表紙をご覧ください。

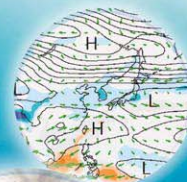
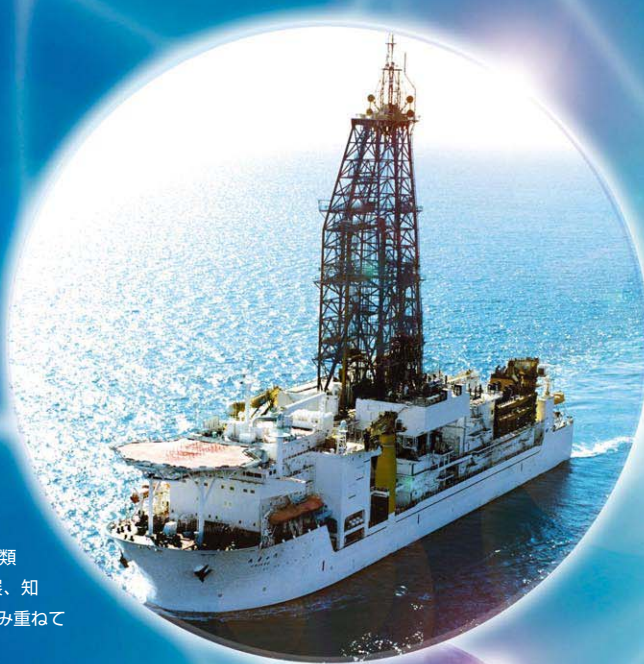
JAMSTECが開拓する 海洋・地球のフロンティア

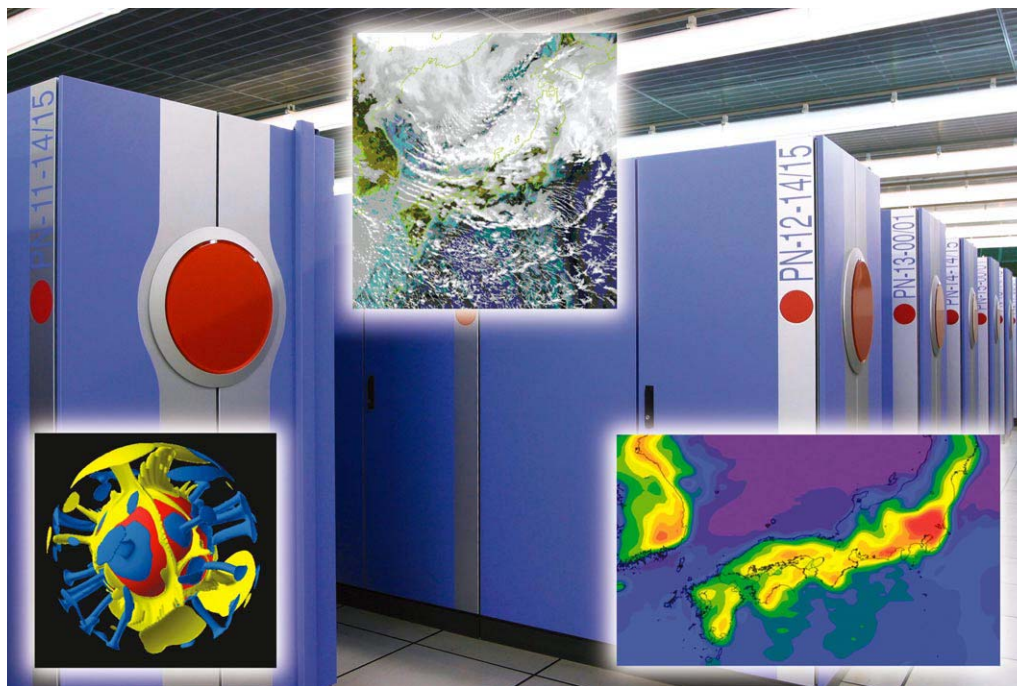
地球環境変動を解明し、 人類の持続的な発展への貢献をめざす

平成16年4月1日より、海洋科学技術センターは独立行政法人海洋研究開発機構として生まれかわり、世界の海洋地球科学技術の中核的研究拠点として新たなスタートを切った。さらに、研究開発および施設運用などの業務をより効果的・効率的に進めていくため、新たな組織編成にも取り組み、研究開発体制を強化してきた。そして、海洋研究開発機構は、海洋を中心として地球をひとつのシステムと捉え、地球環境変動を解明するための研究開発として様々な観測研究、予測研究、技術開発などの基盤的研究開発を実施するとともに、その成果を通して人類の持続的な発展、安全安心の確保、社会経済の発展、知識の進化拡大などに貢献するため、多大な努力を積み重ねている。

今回の特集では、海洋研究開発機構が取り組んでいる様々な分野のなかから、今後の成果が大いに期待される新分野について紹介する。シミュレーション研究に新たな可能性を切り拓いたスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」、未知の生物資源の有効活用などが進められている深海極限環境研究、そして、国際的な深海地球掘削プロジェクトで活躍が期待されている地球深部探査船「ちきゅう」が開拓する深海底掘削研究の3つだ。いずれも海洋研究開発機構が、世界に先駆けてチャレンジしている海洋地球科学技術の新たなフロンティアだ。

(今回の特集レポートは、2005年2月17日に開催された平成16年度JAMSTEC研究報告会「JAMSTEC2005」で報告された講演をもとに、その内容を編集部がまとめた)



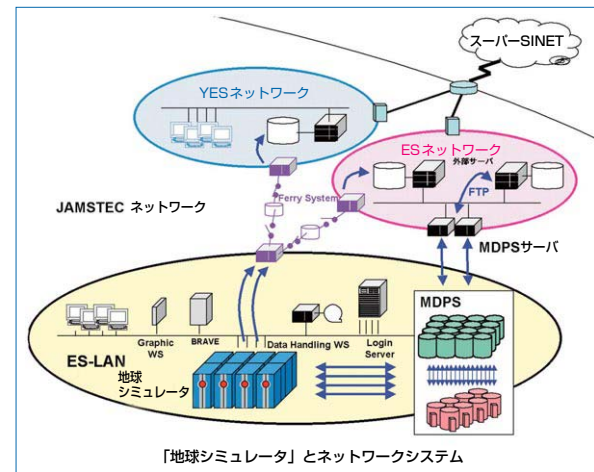


シミュレーションが未来設計を可能にする時代へ 「地球シミュレータ」が開拓するシミュレーション科学の未来

3年前に完成した「地球シミュレータ」は、それまで世界最高の計算速度を誇っていたスーパーコンピュータのおよそ5倍という驚異的な実効性能を記録し、一躍、米国をはじめ世界の注目を集めることとなった。そして、今日では計算速度が速いということだけでなく、複雑なシミュレーション処理に優れた性能を発揮し、幅広い分野のシミュレーションに対応して多くの成果を出すなど、世界をリードする汎用シミュレータとして高い評価を得ている。さらに、「地球シミュレータ」は量的な躍進だけでなく、ひとつのシステムを丸ごとシミュレーションするという質的な革新をもたらした。これまでの部分的なシミュレーションから、丸ごと（全体）シミュレーションが実現したことで、シミュレーション科学は、新たなパラダイム（理論的な枠組み）への転換を果たそうとしている。「地球シミュレータ」の誕生により、シミュレーションは、実験や観測と対等、さらには先導する研究方法として、21世紀の科学技術を開拓する役割を担おうとしているのだ。そして、地球シミュレータセンターでは、未来をより正確に予測することをめざし、現実の自然界のようにミクロからマクロまでいくつものシステムが複雑に絡み合うすべての階層プロセスを同時に扱うという、さらに高い次元のシミュレーションの実現に向かって研究を進めている。



取材協力：
佐藤 哲也 センター長
地球シミュレータセンター



「地球シミュレータ」が行うシミュレーション研究

はじめに「地球シミュレータ」によるシミュレーション研究が、どのような流れで行われているのかを分かりやすく紹介していこう。

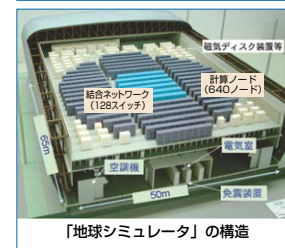
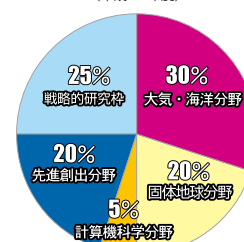
最初のステップは「考える」ということ。「地球シミュレータ」は、あらゆる分野において、これまで創造し得なかった発想を生み出し、その発想を量的に実現していくさきがけとなるだけの潜在能力と新規性を持っている。これを実現させるために、どのように活用していくかを幅広い分野の研究者をはじめ、産業界やメディアなどからも意見を求めながら考えていかなければならない。現在、分野別資源配分率をはじめ、「地球シミュレータ」の運営や利用形態等の重要事項は、センター長の諮問機関である計画推進委員会会で審議されている。また、計算資源を利用する研究プロジェクトは、広く公募する形を取っており、その選定はセンター長を委員長とする課題選定委員会が行っている。

次は、「地球シミュレータ」による「生産する」ステップ。畑で作物を育てるときに、まずどんな土地を選び、上手に育てるた

めにどのくらい肥料をやるかを考えるのと同様に、研究者は最初にかに効率よく高い精度で計算を行うかを考え、「地球シミュレータ」に最適なプログラムを開発することが求められる。そして、実際に「地球シミュレータ」を使ってシミュレーションが行われ、まさに畑で作物が育つように、データが生産されていく。

実った作物は、そのまま畑においておくと同様に、データも腐ってしまう。同じようにデータも「地球シミュレータ」のなかに貯めておくだけでは腐ってしまい、次の作物を育てることもできない。そのため、生産されたデータをいかに早く研究者のもとに「輸送する」かが重要になる。そのために導入されているのが大量データ処理システム（MDPS）だ。シミュレーションでは膨大なデータを取り扱わなければならない。MDPSは、大量のデータを素早く取り出すための巨大なハードディスク装置を備えたシステムだ。さらに、作物は調理してこそ食材として生かされるのと同様に、データも解析して理解する過程が重要だ。つまり、「わかる・わからせる」というステップが必要になる。そのため3次元動画処理装置（BRAVE）などの可視化のためのツールが開発されている。

「地球シミュレータ」の計算資源の分野別配分（平成17年度）

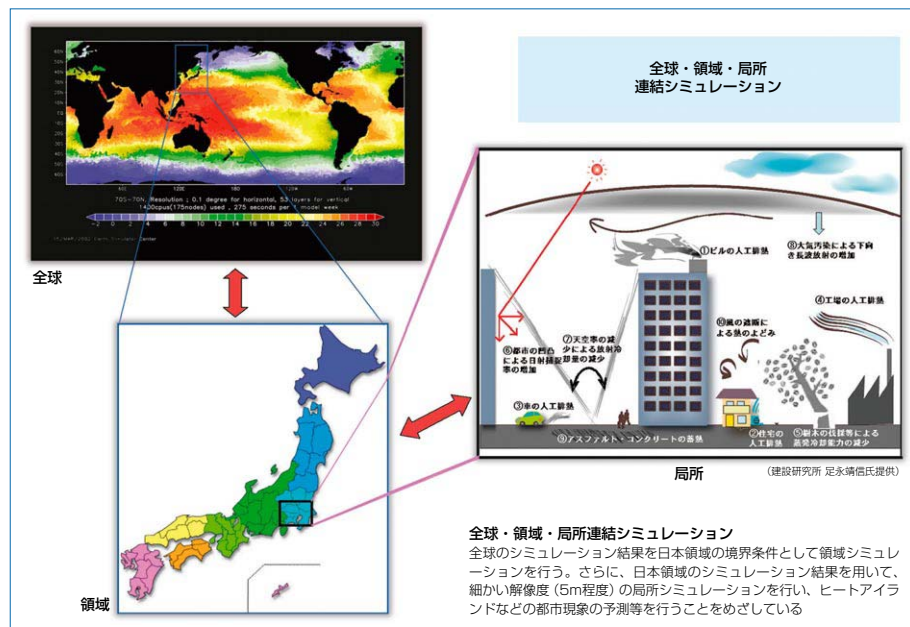


「地球シミュレータ」の構造

こうして「地球シミュレータ」によって完成した料理は、調理人である研究者だけが楽しむものではない。おいしい料理は、より多くの人々に味わってもらってこそ意味がある。つまり、「社会への還元」がなされてこそ、シミュレーションは社会で生かされ、社会を変える力になる。現在、「地球シミュレータ」は、ネットワークを通して「スーパーSINET」という文部科学省・国立情報学研究所が運用する非常に高輸送量のネットワークにつながり、その成果は世界に発信されるようになった。

シミュレータが未来を予測し設計する時代をめざして

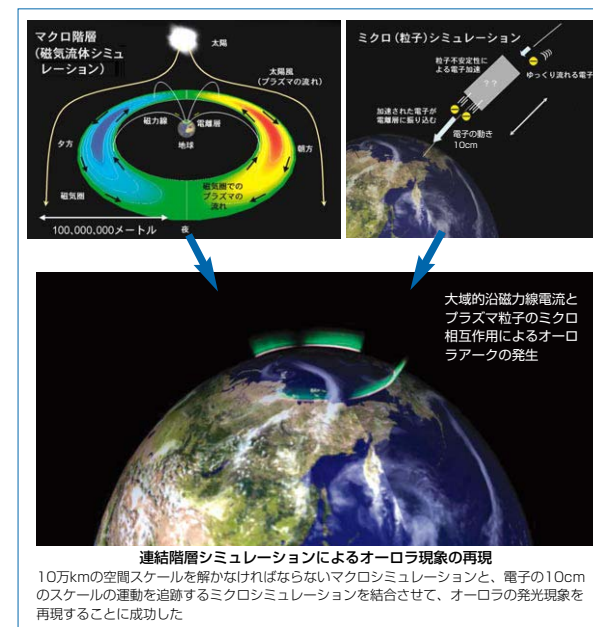
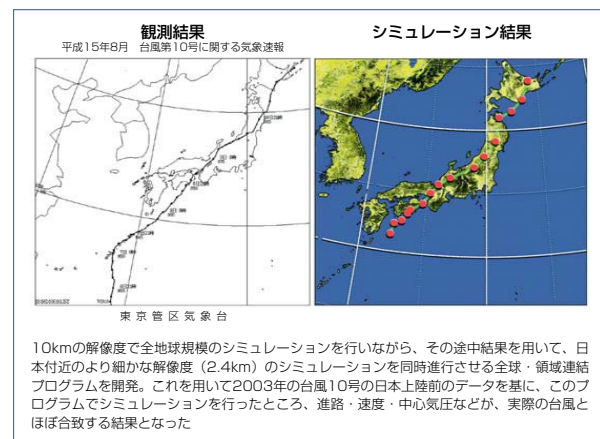
「地球シミュレータ」を活用して、現在、幅広い分野のシミュレーション研究が実施され、優れた成果を数多く生み出している。気候変動や温暖化予測をはじめとする大気・海洋分野、地震などの地球内部変動に関する固体地球分野、そして、ナノ材料、バイオ、超伝導などの先端科



学分野、ロケットエンジン開発、原子力関係、自動車開発、さらに研究領域は経済現象などの社会科学分野にも拡大しようとしている。「地球シミュレータ」は、科学に、そして社会に何をもたらしたのだろうか。これまでのシミュレータ(スーパーコンピュータ)は、その性能の限界から、ひとつのシステムの一部分を取り出すことしかできなかった。そのため、シミュレーション研究は、理論や実験・観測の補助的・支援的な研究の域を出ないものでしかなかった。しかし、「地球シミュレータ」の登場は、ひとつのシステム全体を丸ごとシミュレーションするという発想を現実のものにしてくれた。そして、システムを丸ごとシミュレーションすることが可能になったことにより、シミュレーションによって未来を予測し、さらには未来を設計することも夢ではなくなった。「地球シミュレータ」によって、シミュレーションは実験や観測と対等、さらにはこれら先導する研究方法にな

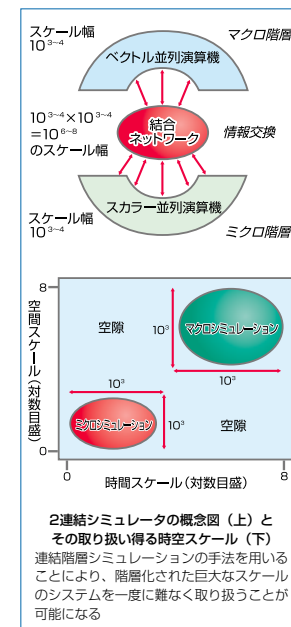
ろうとしている。実験や観測では、過去や現在おきていることを理解することはできても、将来どのように発展するかを知ることはできない。いい換えれば、これまでの科学では、未来を対象にすることは困難だった。しかし、システムを丸

ごとシミュレーションすることが可能になったことで、私たちは未来さえも科学の対象にすることができるようになった。つまり、サイエンス・フィクション(SF)ではなく、サイエンス・リアリティとして未来をとらえるための確かな手段を手



に入れたわけだ。「地球シミュレータ」は、ひとつのシステム(物理方程式系)を丸ごと扱うことを可能にした。しかし、たとえば自然界をみると、そこには微細な粒子の運動から、気候現象のようなマクロな運動まで、スケールが大きく異なる様々な要素が相互に作用しながら同時に働いている。本当の意味で未来予測や設計を行うためには、ひとつのシステムだけでなく、こうしたシステム全体を扱うことが必要だ。ひとつのシミュレータによって、ミクロ間隔の空間格子で全システムを覆い、最小のミクロな時間ステップでマクロな時間まで積分しようとするならば、「地球シミュレータ」をはるかに超える超高性能なシミュレータの開発を待たなければならない。ところが、仮に「地球シミュレータ」の1000倍のシミュレータを開発したとしても、空間格子の間隔はわずか1桁小さくなるだけで、10桁以上もスケールが異なる全システムを丸ごとシミュ

レーションすることはできない。では、全システムを丸ごとシミュレーションするためには、どうすればよいのか。これを解決するために地球シミュレータセンターが取り組んでいるのが、連結階層シミュレーションだ。自然界の様々な現象を詳しく見ていくと、あらゆる時空にべったりと情報が詰まっているわけではないことが分かる。たとえば、生物の構造を見ても、タンパク質、細胞、個体というように、情報は局在化し階層化している。自然界であれ、人工物であれ、全てのシステムは、いくつかの階層によって構成されている。そこで、システムを各階層に分けてそれぞれを詳しく計算し、上位の階層へはその集約的な動きに関する情報のみを伝えるという手法で情報交換する。こうしたやり方であれば、「地球シミュレータ」超級のシミュレータを複数用意して、それらを連結(マルチプリケーション化)させることによって、全システムを丸ごと扱えるシミュ



レータをつくり出すことができる。地球シミュレータセンターでは、こうした連結階層シミュレーションの手法を利用して、極域のオーロラ現象をシミュレーションする試みをすでに成功させている。オーロラの10万kmに及ぶ空間スケールのマクロシミュレーションと電子の運動を追跡するミクロシミュレーションを結合させることによって、10億倍という空間スケールの差を持つオーロラの発光を再現することができた。シミュレーションは、やがて21世紀の科学技術の牽引役となるはずだ。連結階層シミュレーションなどの新しい発想による新手法を活用して、ミクロプロセスからマクロプロセスまでが複雑に絡み合う全システムを丸ごと扱うことが可能なシミュレータが実現すれば、科学技術や産業はもちろん、社会全体が大きく変わることは間違いない。「地球シミュレータ」は、地球と人類の豊かな未来を開拓するための、まさに第一歩なのだ。



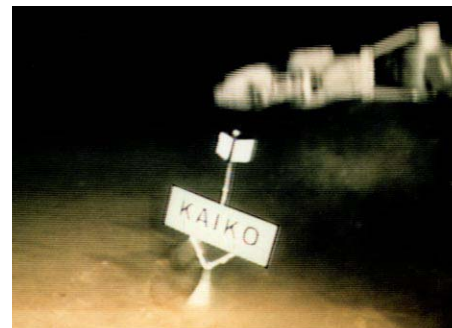
無限の可能性を秘めた 深海底からの贈りもの

地球最後のフロンティア極限環境に棲息する生物の理解から生命の起源を探る

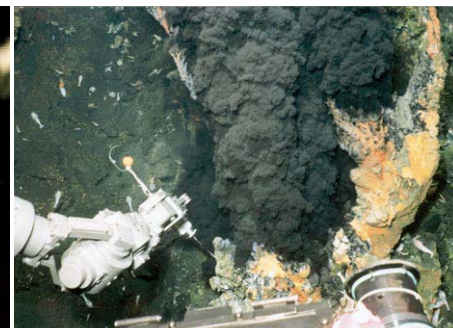
火星をはじめ、地球以外の惑星に生命が存在するかどうかを探索するプロジェクトが話題になっている今日だが、実は私たちが暮らすこの地球にも、まだほとんど明らかにされていない未知の領域が残されている。それは、地球最後のフロンティアと呼ばれる深海と地殻内だ。人間がとてもしんどい極めて過酷な自然環境にある深海や地殻内だが、そうした極限環境にも多くの生き物が棲息していることが明らかになっている。そして、極限環境に生きる生物を詳しく知ることによって、生物の環境適応の仕組みや生命の起源の理解が進むとともに、新規有用微生物の発見や酵素の開発等、新しい生物リソースの開拓も行われるなど、極限環境生物に関する研究は、海洋地球科学における新たなフロンティアを切り拓こうとしている。日本は、すでに40年前から世界に先駆けてこの分野の本格的な研究に取り組み、先導的な役割を果たしてきた。さらに、海洋科学技術センター（現・独立行政法人海洋研究開発機構）では、有人潜水調査船や無人探査機を活用して深海底に棲息する生物に関する研究を積極的に進めてきた。2007年には、地球深部探査船「ちきゅう」の運用も始まろうとしており、今後も海洋研究開発機構が極限環境生物研究において多大な貢献を果たすものと期待されている。



取材協力：
掘越 弘毅 センター長
極限環境生物圏研究センター



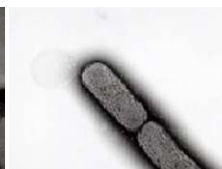
水深約11,000m、マリアナ海溝の海底から採取した泥サンプルからも多くの微生物が見つかった



インド洋中央海嶺で発見された熱水噴出孔。この海底下に地殻内微生物生態が存在すると考えられている



世界最深部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

想像を絶する極限環境に 棲息する生き物たち

私たち人間が快適に暮らせる地上の環境は、地球の自然環境のごく一部でしかない。たとえば、地球の表面の3分の2は海洋であり、海洋の平均水深は約3,700mに及ぶ。この平均的な深さでも、水压はおよそ370気圧に達し、水温も2〜4℃と低く、深度約200mよりは太陽光も届かない暗闇の世界だ。地球上で最も深いマリアナ海溝の水深は約11,000mであり、水压は約1,100気圧にもなる。指先に1トンを超える重さがかかるというたいへんな圧力だ。一方で、深海底には300℃を超える熱水を噴出する超高温も存在している。こうした深海底の下に広がる地殻内は、さらに厳しい環境にある。深さ7,000mの地殻内は2,000気圧、300℃と推測され、加えて低酸素、貧栄養、低水分のまさに極限環境にある。

かつて、こうした極限環境に生物は存在し得ないと考えられてきた。しかし、

1977年、米国の潜水調査船「アルビン号」がガラパゴス諸島の沖、水深2,500mの海底で初めて熱水噴出孔を発見し、その周辺に、噴出孔から供給されるメタンや硫化物を酸化し、そのエネルギーを活用して生きる多くの生物群集を見出し、深海底という極限環境下にも、エビ・貝・魚などの高等生物が棲息していることが分かった。さらに、海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構）は、現在も世界で最も深くまで潜水できる有人潜水調査船「しんかい6500」、世界最深部まで探査できる無人探査機「かいこう」（2003年の事故により、現在は最大潜航深度7,000mの代替機「かいこう7000」）などを利用して、マリアナ海溝をはじめ、深海底の特殊な環境下に棲息する生物の調査・研究を行い、これまでに数多くの深海生物を観察・採取するとともに、深海底泥サンプルから多くの微生物の存在を明らかにしてきた。

地殻内については、すでに1926年に、油田の深部で採取された地下水から微生物が培養されたという報告がある。20世紀後半には本格的な調査が始まり、地殻内微生物圏の存在が明らかにされようとしている。米国研究者らの試算によれば、全地球の潜在微生物量の90%以上が地殻内に存在するといわれ、地球最大の生物圏と考えられている。

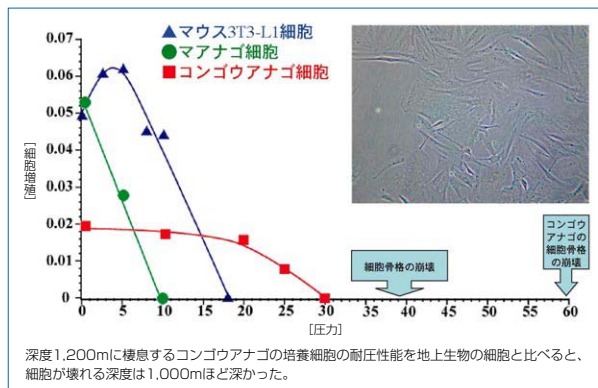
極限環境生物圏研究センターでは、深海や地殻内の微生物や高等生物に関する研究に、次のような観点から取り組んでいる。

- どんな生物がいるのか
- どんな特徴を持っているのか
- 地球環境とどのように関わっているのか
- 私たちの生活や産業に役立てることができるか

さらに新たな展開として、地殻内微生物研究、極限環境微生物ゲノム研究、深海の多細胞生物研究、深海生物を取り巻く環境の物理・化学現象をも対象として研究を行っている。こうした研究を通し



深海から生物を持ち帰るための水槽「ディープアクアリウム」は、直径約30cmのステンレス球

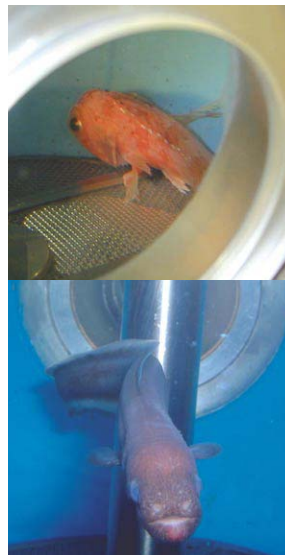


で、サイエンス面では、生命の起源や極限環境への適応メカニズム、海洋エコシステムの解明等への寄与と、応用面では、新規有用微生物や酵素の開発、ゲノム情報応用の応用などによる新しいバイオテクノロジーの開拓をめざしている。

極限環境生物研究への幅広い取り組み

極限環境生物圏研究センターでは、微生物(単細胞生物)だけでなく、深海に棲息する多細胞生物の研究にも取り組んでいる。研究をひとつの細胞で完結する

微生物に限定してしまうと、多細胞に進化したときに獲得した生物独自のメカニズムを見落としてしまう可能性があるなどの理由からだ。また、陸上の生物の細胞は、5,000mより浅い深度で壊れてしまうが、深度5,000m以深にも深海生物は棲息する。陸上生物の限界をはるかに超えたところに棲む深海生物が、どんなメカニズムを持ち、どのように深海に適応していったのか、非常に興味深い。こうした研究を進めるためには、まず、深海生物を生きたまま採取し、陸上に持ってこなければならない。そのために、



深海で捕獲され、高圧環境で飼育中のユメカサゴ(上)とコンゴウアナゴ(下)

深海生物を圧力変化から守る特殊な水槽「ディープアクアリウム」の開発が行われた。2002年には、深度1,200mからコンゴウアナゴ(深海性のアナゴ)などを捕獲し、3ヶ月の加圧飼育に成功。さらに、このコンゴウアナゴの細胞を培養することにも成功し、細胞の持つ圧力応答などの研究が行われている。

極限環境生物圏研究センターでは、これまでにマリアナ海溝をはじめ日本海溝、沖縄トラフなど、様々な深海底から泥サンプルを採取し、そこに含まれる微生物の分離・培養を行ってきた。そして、陸上では見つけることのできない新属・新種が数多く発見されている。これまでに火山や温泉、アルカリ湖など陸上の特殊環境(極限環境)に棲む微生物から、多くの有用酵素などが見つかり、バイオ技術に活用されている。同様に、深海底や地殻内の極限環境微生物のなかにも、好熱性、好アルカリ性、好酸性など、いろいろな特性を持つものが存在し、有用な遺伝子や酵素をつくり出す微生物も



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

次々に見つかっている。極限環境生物圏研究センターでは、このような新奇な微生物を分離し、その特性を化学・食品・材料等の工業に応用したり、微生物の有用な酵素などを医薬品開発等に役立てる研究にも取り組んでいる。すでに、人工甘味料トレハロースの生成に利用される酵素や、寒天を分解して良質なオリゴ糖をつくり出す酵素などは、実用化に向けて開発が進んでいる。

このほかにも、極限環境微生物のゲノム解析については、すでに3つの微生物の全ゲノム配列を決定し、微生物の進化や環境適応への多様性に関する重要な知見や、有用物質の探索・生産性向上などに必要な情報が得られている。また、圧力生理学の分野では、深海の高圧力下で生育する微生物の生き残るための戦略を明らかにしてきた。さらに、極限環境については、深海の熱水噴出孔や地殻内で出現が予測される物理・化学現象に関して、生命の起源や化学進化との関連も視野に入れながら研究を行っている。

極限環境生物圏研究センターでは、深海底等で採取した泥サンプルから数多くの微生物を分離・培養しており、100種類以上の新種を発見している。有用微生物については、深海バイオ事業化推進



微生物試料を凍結保存するためのタンク

計画により応用展開されている。その一方で、微生物やサンプルを液体窒素で凍結保存(深海微生物分離源は約370、保存菌株は約4,200株)し、将来の研究に役立てる取り組みも行っている。

極限環境は、生命の起源を理解するために重要であるとともに、生物資源の宝庫でもある。私たちは、まだ深海や地殻内のほんの一端をのぞき見ているに過ぎないが、近い将来、深海底の暗闇から、夜空の星のように輝くたくさんの素晴らしい贈り物が届けられることに期待したい。



保存菌株の数は現在約4,200株(そのうち、深海微生物は約3,700株)



研究成果を企業関係者に紹介し、共同研究の可能性を探る目的で毎年開催される「深海バイオフォーラム」



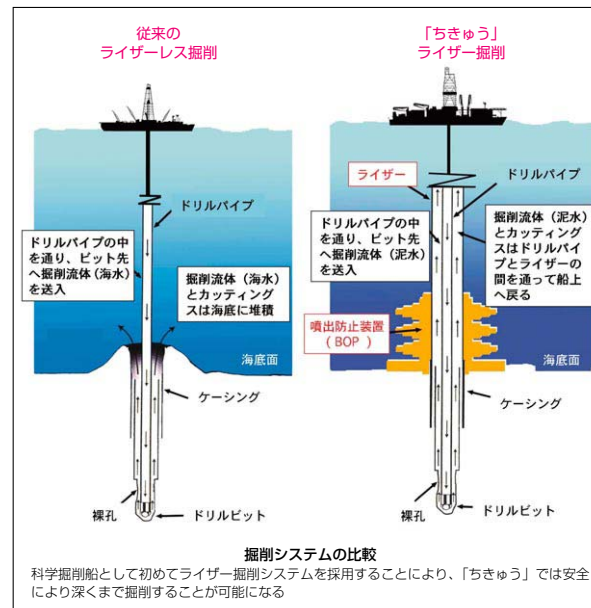
地球深部探査船「ちきゅう」の運用と新しい地球・生命科学の創成

地球システムの解明に挑む世界最大の科学掘削船「ちきゅう」

2005年の夏には、いよいよ地球深部探査船「ちきゅう」の試験運用が開始される。そして、2年後の2007年には、IODP（統合国際深海掘削計画）の主力掘削船として、本格的な科学運用が開始される予定だ。深海底の掘削研究は、今から半世紀ほど前のモホール計画に始まった。その後も米国を中心として深海底掘削は継続され、これまでに世界で2,000以上の掘削孔が掘られ、恐竜をはじめとする生物の大量絶滅を引き起こしたとされる巨大隕石衝突の証拠を発見するなど、数多くの科学的な成果をあげてきた。日本が深海底掘削に参加したのは1975年からだった。そして、1990年代に入ると、日本で大型科学掘削船を建造し、新しい地球科学の創成に貢献しようという気運が生まれた。当時実施されていたODP（国際深海掘削計画、1985～2003年）では、技術的に海底下2,000mの掘削が限界であり、マンツルはもちろん、巨大地震発生域などの深部ターゲットに到達することは不可能だった。そのため、より深部まで掘削可能な科学掘削船が必要とされていた。こうして開発・建造が行われたのが「ちきゅう」だった。船内に充実した研究環境が整うなど、「ちきゅう」は、世界で初めて設計段階から科学目的のために建造された掘削船であり、運用が開始されれば、間違いなく地球科学や生命科学の進展に大きく貢献するはずだ。



取材協力：
平 朝彦 センター長
地球深部探査センター



多数の安全弁を備える噴出防止装置（BOP）が掘削を行う海底に設置される



「ちきゅう」と海底を結ぶライザーパイプ。その直径は122cm、1本の長さは27m。

ライザー掘削で海底下7,000mをめざす

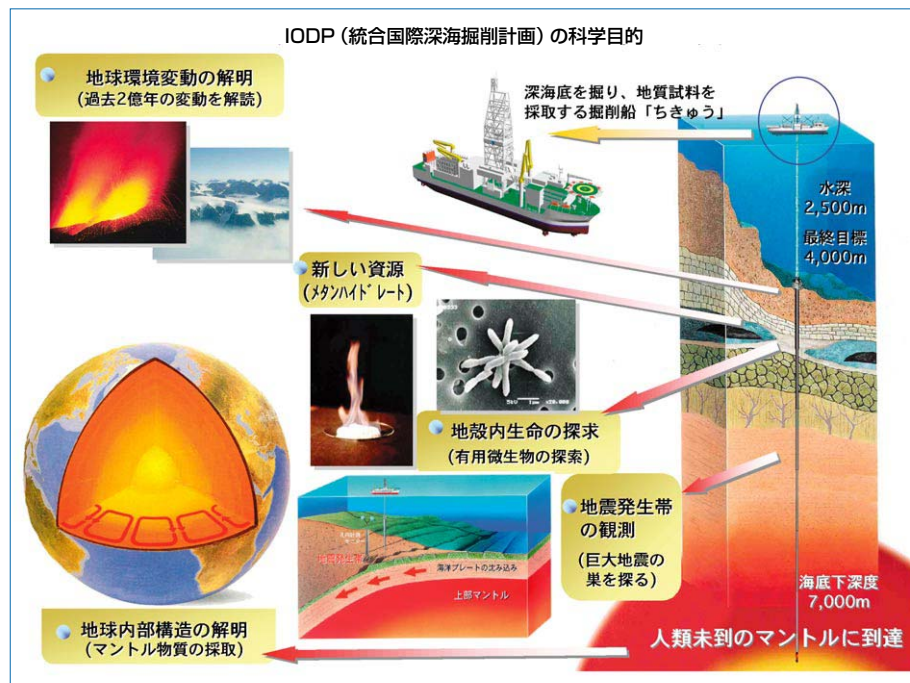
地球深部探査船「ちきゅう」は、現在、ほとんどの機器の搭載が完了し、2004年12月には、自動船位保持装置等の試験を目的に海上運転が行われるなど、2005年夏の試験運用へ向けて着々と準備が進められている。

全長210m、総トン数約57,500トン、デリック（やぐら）の水面からの高さは約112mという「ちきゅう」は、世界最大の科学掘削船であり、世界で初めて科学目的のために建造される掘削船だ。その最大の特徴は、ライザー掘削システムを採用している点だ。これまで科学目的の深海底掘削に使用されてきた掘削船では、ドリルパイプだけで海底下を掘り進み、ドリルパイプに注入した海水をドリル先端から放出して、掘り屑を海底面に押し出す「ライザーレス掘削」が行われてきた。しかし、この方法では、掘削孔が崩れやすい、パイ

プが抜けなくなる、石油・ガスなどの存在によって掘削が制限されるなどで、掘削深度に限界があることが大きな問題となっていた（これまでの最大掘削深度は海底下2,111m）。これを解決す



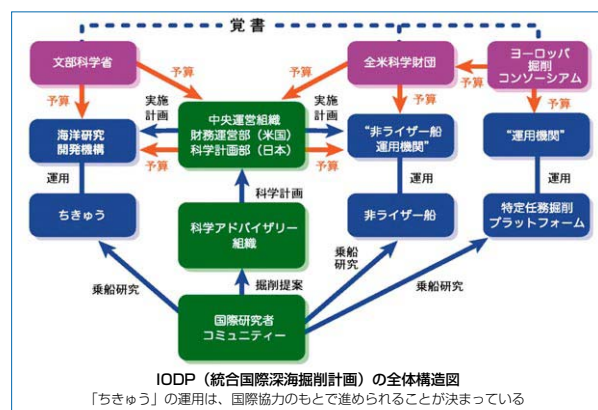
「ちきゅう」の研究区画には、「海上の研究所」と呼べるほどの充実した設備が整う



るために、「ちきゅう」では「ライザー掘削」と呼ばれるシステムが採用されている。この方式では、「ライザーパイプ」という大口径のパイプで「ちきゅう」と海底を結び、そのなかにドリルパイプが通される。ドリルの先端から「泥水」と呼ばれる特殊な流体を送り出し、掘り屑を含んだ「泥水」は「ライザーパイプ」を通じて船上に回収されるため、完全な閉鎖系をつくり出し、掘り屑を海中に出さずに掘削を行っていくことができる。さらに、掘削孔内は、「ケーシングパイプ」という孔壁保護用のパイプで固定され、海底には「噴出防止装置 (BOP)」が設置される。万一、石油やガスが噴出した場合も、この装置の安全弁が閉鎖され、海中への噴出を防ぐことができる。こうしたライザー掘削システムの採用により、安全により深くまで掘削を行うことが

可能になる。「ちきゅう」では、当初は水深2,500m、将来は水深4,000～5,000mの海底から、海底下7,000mの掘削をめざしている。海底下7,000mの掘削の実現には様々な困難

も予想されるが、マントルへの到達、巨大地震発生メカニズムの解明等々をなし遂げるためにも、「ちきゅう」にとって、ぜひとも達成しなければならない課題といえる。



船と海底を結ぶ「ライザーパイプ」は直径122cmで、水中での重量を軽くするため、パイプの周囲は潜水調査船に用いられているものと同様な高圧に耐える浮力材で覆われている。パイプの1本の長さは27mあり、「ちきゅう」の船上には、全自動でパイプの連結を行うシステムも搭載され、効率よく作業を進めることができる。

海底に設置される「噴出防止装置」は、多数の安全弁を備えた、いわば巨大なバルブであり、安全に掘削を行うために重要な役割を果たす。また、掘削中に台風が来た場合などには、この「噴出防止装置」とライザーパイプを切り離して「ちきゅう」を避難させ、海況が安定した後に再び接続して掘削を再開させることもできる。

「ちきゅう」のもうひとつの特徴は、「海上の研究所」といえるほどの充実した研究設備を備えている点だ。船内の研究区画には、採取したコアサンプルを直ちに分析・研究するための地質学・生物学・化学・物理学など多分野の最先端研究機器類が完備されている。さらに、採取されたコアサンプルは、高知大学と独立行政法人海洋研究開発機構とが共同で運用する高知大学海洋コア総合研究センターで長期保管される。同センターには、「ちきゅう」で採取される10年分のコアサンプルを冷蔵および冷凍して保管するためのコア保管庫が設置されているほか、詳しく分析・解析するための機器類も導入されており、「ちきゅう」とともにIODP推進の両翼をなす中心的な研究拠点として重要な役割を担っている。

「ちきゅう」の運用については、日本だけでなく国際的なフレームワークのなかで行うことが決まっている。これは、世界の英知を集めてこそ、「ちきゅう」の持てる能力を最大限に発揮できるとの考えからであり、日本にとっても、こうした環境で切磋琢磨すること



2005年の夏には「ちきゅう」の試験運用が開始される予定

により、研究者の実力や技術力など様々なレベルでの底上げがなされ、科学研究そのものだけでなく、科学研究のマネジメント能力などの向上が期待されている。

「ちきゅう」に期待される 科学技術への貢献

20世紀後半から21世紀の今日にいたる間に、科学のトレンドは大きく変わった。物質を中心とした物理・化学の時代だった20世紀前半から、後半は人類を含めた生命、さらに生命を育んできた地球のものを理解することが科学技術の重要な課題となった。21世紀は、まさに生命と地球を知る時代といえる。こうした地球科学や生命科学の発展に伴い、私たちの地球への認識も急変しつつある。「地球内部の現象と私たちの住む地球表面は、従来考えていたよりもはるかに密接な関係にある」という考え方もそのひとつだ。さらに、地球内部に地球変動の隠れた主役が存在していることもわかってきた。それは、たとえば地殻内部深くまで存在する地下生物圏であり、海底下や凍土層に存在するメタンハイドレートなどの未知の炭素リザーバーであり、地殻か

らマントルにまで存在するH₂OやCO₂などの流体だ。これらの存在は、地球内部と表層の間での物質循環や、地震などの力学的プロセス等に密接に関与していると推定される。しかし、その実態については、まだほとんど明らかにされていない。

「ちきゅう」の運用は、まさにこうした問題の解明に貢献することを目的としている。そのために「ちきゅう」が取り組むべき大きな課題として、「生命の起源」、「地球環境変動の変遷と予測」、「巨大地震および津波発生メカニズムと防災」があげられる。それは、すなわち新しい地球科学・生命科学の創成に寄与することだ。

「ちきゅう」の運用を通して、地球内部でおきている出来事の動態 (ダイナミクス) を観測し、それらが私たちの住む地表世界 (地球表面環境) とどのように関連しているのかを探索することが必要だ。そして、地球と人類の持続的な発展を実現するためにも、地球史の時間の流れのなかで、この相互作用がどのような役割を果たしてきたかを理解し、未来予測モデルを構築することが求められている。



手前にある樹脂製の円筒は、コアを採取するライナー

IODPの科学目標達成に向け研究環境を整備 実験手法から装置開発まで 研究者の目で運営管理を担う

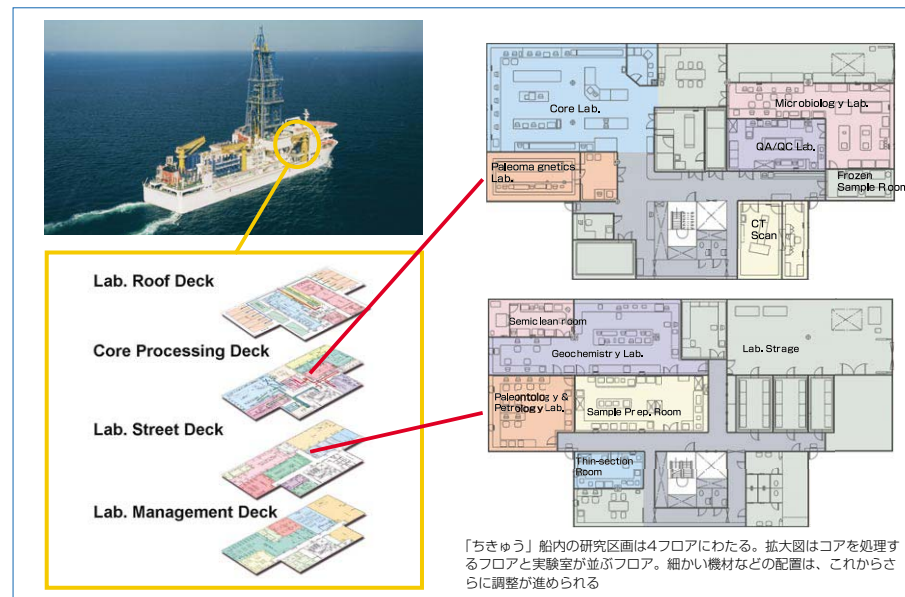
杉原 孝充 研究員

地球深部探査センター
科学計画室 科学支援グループ

水深2,500m（最終目標は水深4,000m）の海底からさらに7,000mを掘削し、地球のメカニズムの謎に迫る地球深部探査船「ちきゅう」が、いよいよ2005年夏に海洋研究開発機構に引き渡しとなる。「ちきゅう」の効果的な運用を通して統合国際深海掘削計画（IODP）の科学目標達成に貢献するため、地球深部探査センター（CDEX）でも引き渡し後の試験航海に向けて着々と準備が進んでいる。「ちきゅう」は世界初の科学目的のライザー掘削船であり、掘削設備はもちろん、船内の研究区画にもこれまでの船にはない充実した設備が搭載される。併せて、新しい研究目的に合わせた科学手法や実験装置の開発も求められている。船体の機装が進む一方で、夏からの試験航海に向けて急ピッチで進む実験装置や手法の調整に携わる杉原研究員にお話を伺った。



長崎造船所に停泊する船内でのスナップ



Blue Earth編集部(以下BE) CDEXではどんなお仕事をしているのですか？

杉原 科学計画室は「ちきゅう」の科学支援、情報管理、海洋調査、そして高知コアセンター（高知大学海洋コア総合研究センター）に関わる運営管理が主な業務です。科学支援グループには「ちきゅう」の利用者となる研究者を取りまとめる担当もいますし、採取したコア試料の管理を担当する司書のような役割の者もいます。その中で私は主に「ちきゅう」の研究区画に搭載する分析機器や研究用資機材の調達、運用、調整などを担当しています。採取されたコア試料を保管・分析する陸上の拠点は高知コアセンターになりますので、そちらの実験室の運用もあわせて進めてきました。高知コアセンターも本格的な運用はこれからですが、このセンターは「ちきゅう」の研究区画のテスト的な意味合いも強く、ここできたと技術や手法を船上でも活かしていきたいと考えています。ですから高知コアセンターの施設の運用もIODPのスケジ

ュールを見ながら稼働計画を立てて、それに沿って進めています。サンプルを実際に使って分析や測定をして不都合などがないかチェックしています。

BE 研究者の観点からも運営に関わっていらっしゃるんですね。

杉原 そうです。IODPIには国内外の研究者から「ちきゅう」に関する多くのプロポーザルが寄せられます。「こんな研究にしたい」「こんな実験をしたい」といった要求を聞きながら、できる範囲でベストの状態に持っていくわけです。特に船の上では与えられるスペースも、準備する時間も非常に限られます。しかも、IODPIは研究分野も生物から岩石学まで幅広い。こうした不特定多数の要求に対して、どれだけ有機的に使える研究区画を作ることができるかがポイントです。それこそ、作業の流れや人間の配置も含めて研究者の目で検討しながら、技術者や分野の違う研究者など様々な関係者と調整を図り、組み立てていくわけです。アメリカの掘削船、ジョイデ

ス・レゾリュション号にもスタッフとして2カ月間乗船し、実際に仕事をしながら実験室の状況や運営の方法などを見てきました。

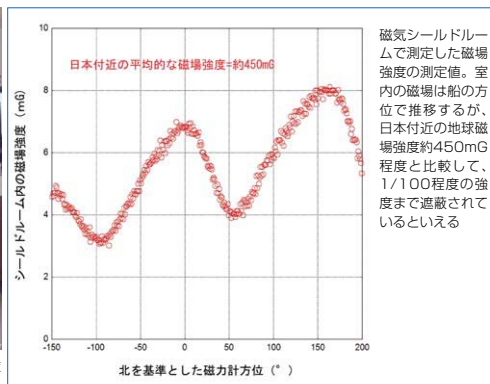
船内の施設整備も着々と進行中

BE 船体の引き渡しに向けて、スケジュールはどうなっていますか？

杉原 2005年の7月末には船体が引き渡されて本格的な試験航海が始まります。今はそのための準備ですね。まず、春までに船に搭載する大きな装置をどんどん運び込んでしまします。そして、夏までにさらに細かい付帯設備や研究用資材などを整備して実験室を整え、引き渡しを迎えます。あとは海上で実際に装置を使って調整をしながら全体を仕上げていきます。今の段階では装置の配置図なども暫定的ですが、それも試行錯誤して固めていくことになります。同時に、実際にサンプルのデータなどで装置の具体的なポテンシャルを明らかにし、研究者が利用方法を想定できる状況にしてい



「ちきゅう」船内の磁気シールドルーム。航海中の船上の向きにも依らず、正確な計測が可能となった



くことも必要です。そうした調整に引き渡し後1年半くらいかかるんです。

BE 試験航海には研究者も乗船するのですか？

杉原 いいえ、基本的に研究者は乗船せずにスタッフだけで実施することになると思います。様々な部分でテストを行うわけですが、その中で何回かコアを掘るテストも予定されています。例外的にそのテスト掘削の際には研究者にも乗船してもらって、全体の作業のシミュレーションも行う予定です。本航海では1航海が約半年、それを2カ月ごとに区切って違った科学目的の研究に割り当て、だいたい半年で最大8,000mくらいの長さのコアを採取する予定です。1回で9.5mのコアが海底から上がりますので、それを約1.5mごとに切り分けて解析していきます。そこでは、研究者にも思う存分活躍してもらいます。

BE 2月の海上運転にも乗船なさったそうですね。

杉原 その海上運転の主要目的はライザーの取り回しのテストでしたが、それに同乗して私たち研究区画の中で試験を行いました。現在開発中の新しい電子天秤の試作品のテストです。実は、船の中で天秤を使うのは、かなり大変なんです。揺れますから精密な計測が難しいんです。しかし、化学分析をするためには

重さが分からないと何も始まりません。もちろん、ジョイデス・レゾリューション号などにも天秤は搭載されていますが、より精度の高い秤にしようと頑張っているところなんです。

BE 実験装置の開発も行うのですか？

杉原 はい。メーカーと共同で行っています。この場合は、基本となる秤の部分は既製のものを使って、それにこちらで準備したパーツやコンピュータシステムなどを組み合わせ、ひとつの装置として組み立てています。ようやく試作品ができたところです。何でもそうですが、新しい研究を行うには、それにどう対処していけばよいかという手法や装置の問題も必ず出てきます。ただ、今回は実際の運用が始まるまで、テーマも分析手法も絞り込めない部分があるのが難しいですね。それから、船に乘らないとテストが

できないため、それがスケジューリングや準備にも大きく関わってくるので苦労します。周到な準備が必要とされますね。

船上でも陸上に匹敵する研究環境の確保を目指す

BE 「ちきゅう」の研究区画で特筆すべき点は何ですか？

杉原 まず、今回、初めて船に搭載される装置がかなりあります。コア試料の物性を非破壊的かつ連続的に測定するX線CTスキャナやXRFコアロガー、岩石などに含まれる超微量元素の分析を行うICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析計）。また、古地磁気測定のための磁気シールドルームも設置します。古地磁気測定装置はジョイデス・レゾリューション号にも搭載されていますが、シールドルームが搭載された船は他にはありません。



現在開発中の電子天秤。2台の天秤を並列して、既知の分銅と比較することにより、振動の影響を除外して試料の重さを測定する



ICP-MSの性能確認試験の作業中



X線CTスキャナ。医療用のCTスキャンと同じ要領でコアを分析する

ん。実は、海底から採取するコアに記録されている古地磁気は非常に弱いうえ、海底にあったときと違う状態で陸上に上げられますから、地球自体が持つ磁場がノイズになってしまうんです。しかも、地球の磁場は北と南が一番強いので、装置を置く方位によっても影響は変わります。そこで、通常は磁気シールドルームの中で地球の磁場をシャットアウトし、さらに磁場が一番弱い方向に向けて装置を設置します。ところが船の場合は船自体が方向を変えますからそれができません。そうした問題も解決して、「ちきゅう」では高精度な古地磁気の測定が可能になりました。2004年12月の試験で、船がどの方向を向いても地上とほぼ変わらない精度で測定ができると実証できました。船上で、陸上に匹敵するデータ測定ができるというのは快挙です。

BE 装置以外で工夫した点などを教えてください。

杉原 まず、研究室やフロアの配置をよく検討して、作業の流れが妨げられないように気を遣いました。たとえば、実験の消耗品がなくなったときに、ジョイデス・レゾリューション号では違うフロアの倉庫まで取りに行かなくてはならなかったものを、「ちきゅう」では実験室に隣接するストックルームで解決できるようになりました。このように機能を集中させた設計は非常にうまくできていると思

います。私の上司の黒木一志チーフは10年以上もジョイデス・レゾリューション号のスタッフとして働いていた方なので、その経験を活かして、様々な提案が盛り込まれているんです。

プロジェクトだからこそ実現できる研究や経験も大事にしたい

BE そもそも、杉原さんがCDEXで仕事をしようと思った動機は何ですか？

杉原 CDEXにきたのは2004年の春なんです。その前は4年半ほどNASDA（現・JAXA 宇宙航空研究開発機構）でSELENE（セレーネ）という月探査プロジェクトに研究者として関わっていました。もちろん自分の研究テーマは別にありますが、それを達成していく上でプロジェクトに関わることも大きく位置づけているんです。ドクター課程を終えて新しいことをやりたいと思ったときに、ひとりではやることには限界があると感じて、自分には何ができるのか知りたかったんです。純粋なサイエンスだけではなく、サイエンスをやるための装置開発などにも興味がありました。ただ、宇宙開発は非常にプロジェクト指向の強い分野なので、やり方も洗練されているんですが、アースサイエンスにおけるプロジェクト研究は残念ながらまだ成熟していないんです。ですから、CDEXでIODPという国

際プロジェクトに関われるのは非常にいいチャンスだと思って応募したんです。

BE プロジェクトを通して研究者が得るものも大きいわけですね。

杉原 そう思います。特に地学系はフィールドワークさえできればひとりで研究を進めることも可能ですが、何か新しいことを明らかにしようと思ったら、共同のプロジェクトに参加してみるのもいい方法だと思います。研究者として参加してもいいし、私のように運営側に寄った立場でもいい。運営側から自分のやりたいことをやっていくこともできるんですね。実は、私自身、IODPの前身であるODP（国際深海掘削計画）に学生時代から興味を持っていたので、今、こうして参加できることはすごく刺激になります。日本におけるIODPは船の本格稼働が2007年後半からで、その後10年以上の長期に渡るプロジェクトです。今、高校生の人でも十分に研究者として参加することが可能です。興味のある人はこのチャンスをうまく使って欲しいと思いますね。

個人的には、伊豆小笠原島弧の地殻形成に興味があります。非常に初次的なデータが取れる、私たち岩石学をやっている者には魅力的な場所です。IODPでも、その地域の掘削は大きな目的なので、今の仕事が一段落したら自分でもプロポーザルを出せばいいなと考えています。

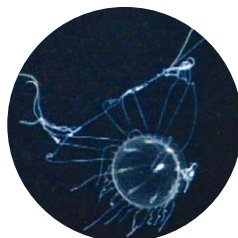
奇妙な姿も生き残るための戦略!?

個性派揃いの深海生物たち

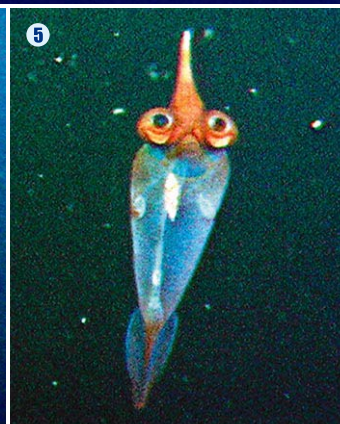
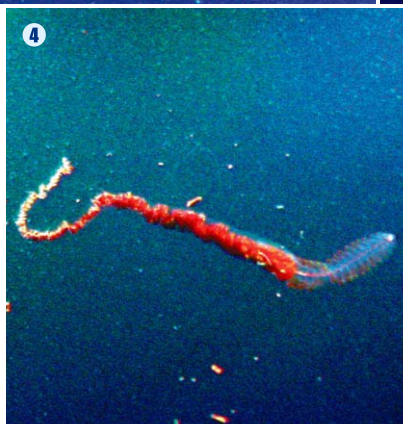
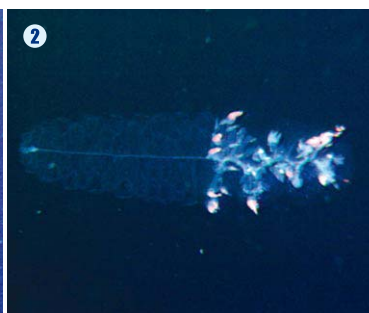
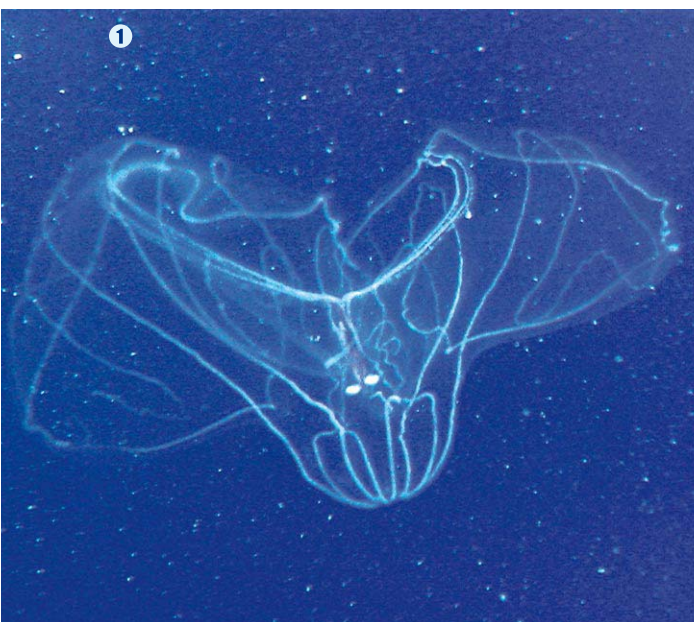
取材協力：藤倉 克則 サブリーダー

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 海洋生態系変動研究グループ



発光した触手を切り離し、敵の気をそらして逃げるニジクラゲ



●写真解説：()内は撮影場所、深度

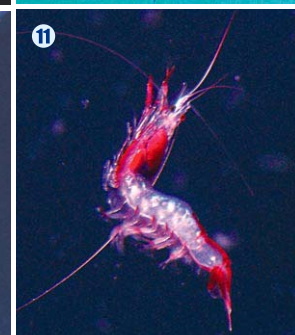
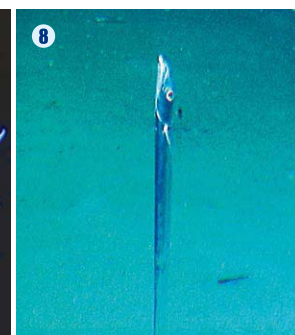
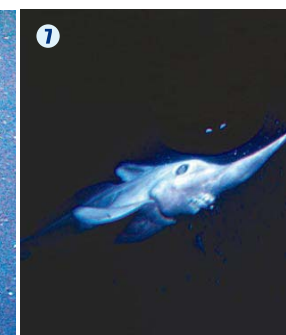
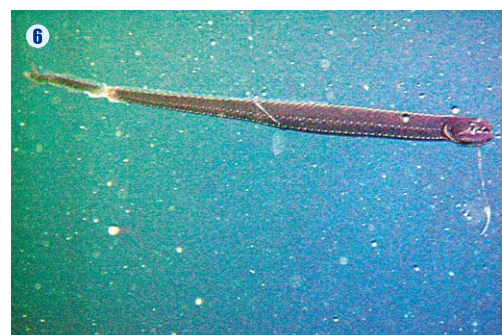
- クシクラゲの仲間 (相模湾 580m) 袖を広げるように優雅に泳ぐ
- クダクラゲの仲間 (三陸沖 510m) 小さな個体が集まって群体を作って泳ぐ
- クロカムリクラゲ (相模湾 650m) 胃壁が黒いのは食べた発光生物の光が漏れないようにするためと考えられている
- ヨウラククラゲの仲間 (相模湾 650m) 名前は仏像などを飾る宝飾、腰路(ようらく)に由来
- ホウズキイカの仲間 (三陸沖 1,110m) 照明に驚いて赤くなった

「水の惑星」といわれる地球、その広大な海洋の全容積の約90%を占めているのが、中・深層(深海)と呼ばれる深度200m以深の海域。太陽光がほとんど届かない暗闇で、生物生産性も低く、そのうえ低温、高圧で溶存酸素も少ない。そんな過酷な深海の環境にも、数多くの生き物たちが棲息している。そして、

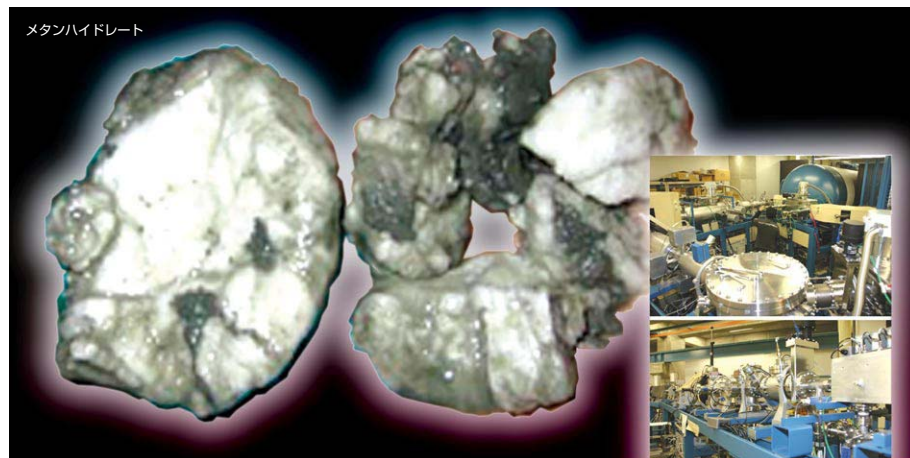
彼らは深海で生き残るための様々な戦略を備えている。たとえば、発光器もそのひとつ。ミツマタヤリウオのように、餌となる生き物を誘うために光を利用するものもいれば、ニジクラゲのように、発光させた触手を自ら切り離し、捕食者が触手に気を取られている間に逃げるものもある。ここに紹介し

た深海の住人たちのユニークな姿にも、深海の環境で生きていくために必要な術が凝らされているに違いない。

今回紹介した深海生物の画像は、無人探査機「ハイパードルフィン」に搭載された、超高度ハイビジョンTVカメラで撮影された映像の一部です。これらの深海生物の動く姿は、海洋研究開発機構の企画協力によってつくられたDVD「深海～未知なる海の宇宙～」(発行：NHKソフトウェア 販売：シンフォレスト)でご覧いただくことができます。



- ミツマタヤリウオ (三陸沖 600m) 光る疑似餌で餌を釣る
- アズマギンザメ (駿河湾 1,200m付近) とがった口吻と大きな胸ビレが特徴
- タチウオ (駿河湾 300m付近) 上からの餌を待っている。キラキラ光る皮は化粧品や銀箔の原料にも使われた
- イレズミコンニャクアジ (三陸沖 510m) 体はコンニャクのように柔らかく鱗もない。世界で初めて捉えた映像
- クロシギウナギ (相模湾 600m) ロが鳥のシギに似る。お腹が赤いのは食べたエビ
- オキエビの仲間 (相模湾 600m) 上を向いて落ちてくる餌を狙っている
- イバラヒゲ (相模湾 1,450m) 細い尾を波状に動かして海底付近を泳ぎ、餌を探す



研究で用いられたタンデム型加速器質量分析計(独立行政法人国立環境研究所所有)

下北半島沖で海底下のメタンハイドレート層が崩壊した形跡を発見

この崩壊が最終氷河期に地球規模の温暖化をもたらした可能性を検証した



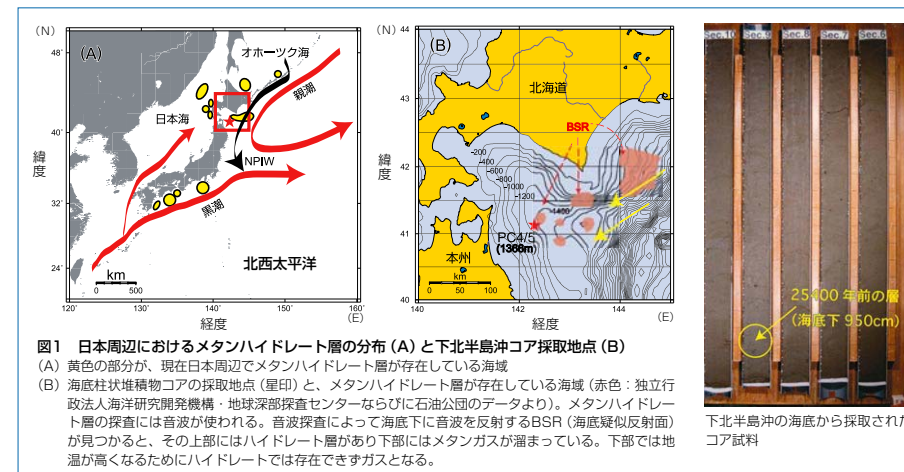
取材協力：
内田 昌男 研究員
地球環境観測研究センター
地球温暖化情報観測研究プログラム
古海洋環境復元グループ

メタンハイドレートと過去の温暖化現象

炭素換算で化石燃料の2倍の埋蔵量があるといわれ、未来のエネルギー源としても注目されているメタンハイドレートは、低温高圧下で水分子(H_2O)と

近年地球温暖化が問題となっているが、グリーンランドのアイスコアの分析からは過去9万年間に22回、数百年規模で急激な温暖化が起きたとされている。そのような温暖化のメカニズムのひとつとして、大陸縁辺部に大量に存在するメタンハイドレート層が何らかの原因で崩壊し、強い温室効果を持つガスであるメタンが大量に大気へ放出されたのではないかとする仮説が提唱されている。その仮説を受け、内田昌男研究員らの共同研究グループは、2001年の海洋地球研究船「みらい」のクルーズにおいて青森県・下北半島沖の水深約1,300mの海底から採取された海底柱状堆積物コアを詳細に分析した。その結果、今からおよそ2万5400年前に、メタンハイドレート層の崩壊によって大気中に大量のメタンが放出された形跡を発見した。この発見により、過去の急激な気候変動とメタンハイドレートの関係の解明が進むことが期待されている。

メタン分子(CH_4)がメタン分子を中心に結合し、シャーベット状になったものである。一定の低温高圧下という限られた条件下でしか安定して存在することができず、温度や圧力が変わるとメタンガスとなる。メタンハイドレートは世界中で大陸の縁辺部の水深数百mの海底に存在しており、アラスカとシベリアの一部では陸上でも探掘されている。それらが大陸の縁辺部に多くあるのは、豊富な陸上植物やプランクトン等



の死骸が有機物として降り積もって溜まり、微生物に分解されてメタンガスが生成され、さらに地温と圧力が一定条件になるとシャーベット状のハイドレートに変わるからである。

米国での海底探査で、海底にメタン放出を示すぶつぶつした孔(ボックマーク)が発見され、音波探査によってボックマークは海底の堆積層を煙突状に上下に突き抜けた孔であることがわかった。ボックマークは北極海と、ごく最近下北半島沖でも発見されている。メタンがハイドレートからガスに変わるときには体積が164倍になるため、かなり激しい気化が起こったと考えられる。普通は海水と接触しないメタンハイドレート層だが、たとえば地震など海底の地殻変動で海水と接触した場合には爆発的な気化が起こりかねない。

温暖化との関連では、1990年代後半、カリフォルニア大学のケネット(Kennett)教授はカリフォルニアの海底コアの高分解度解析の結果から、最終氷河期の比較的温暖化した時期にメタンハイドレートとして安定していたメタンが、急激かつ爆発的に放出されたという仮説を提唱している。その背

景には、より堆積速度が速いコアを高分解度で分析し、細かい時間スケールで過去の現象を復元することが可能になってきたことがある。メタン放出の原因としては、地殻変動の他にも、メタンハイドレート層周辺の海水温が何らかの理由で上昇したり水圧が下がることもハイドレート層を不安定にすると考えられる。氷期・間氷期には海水面の高さの差が100m以上になることがあり、これが広域でのメタン放出につながった可能性もある。

有孔虫化石の分析とバイオマーカーによる検証

日本周辺海域でもいくつかのメタンハイドレート層の存在が知られており、今回はその中のひとつ、下北半島沖のメタンハイドレート層にあたる海域において、水深約1,300mの海底から海底柱状堆積物コアを採取した(図1)。独立行政法人国立環境研究所の加速器質量分析計を用いて内田研究員らが開発した高精度放射性炭素年代測定法により、コアの正確な堆積年代が明らかになっている。コアの長さは13mで、一番下の部分は3万2千年前の堆積層に

相当する。つまり13mのコアには3万2千年前から現在まで有機物が堆積してきた歴史が連続して記録されているのだ。内田研究員らはそのコアを厚さ2cmずつにスライスし、堆積物に含まれる化石や化学的な物質を分析した。

メタンハイドレートとの関係で、特に注目したのは堆積物に含まれる有孔虫の化石(図2)である。有孔虫は炭酸カルシウム骨格を作るために、海水中に溶けている炭酸イオンから炭素を取りこむ。そこで有孔虫の化石の炭酸カルシウム骨格に含まれる炭素安定同位体の分析を行うと、有孔虫が生きてい

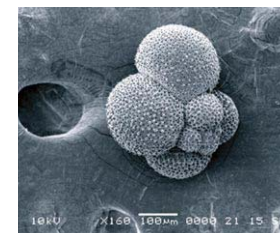


図2 浮遊性有孔虫の骨格の化石
有孔虫には海洋表面に生息する浮遊性有孔虫と海底面に生息する底生有孔虫がある。いずれも炭酸カルシウムの骨格を持ち、その炭素同位体比を比較することで、生息中にメタンを取り込んだかを調べることができる。

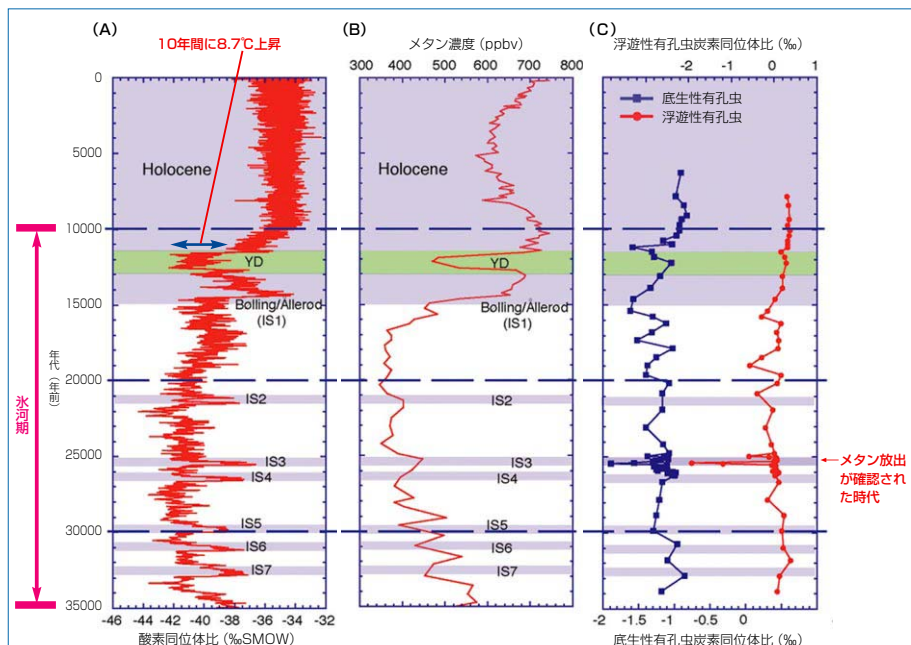


図3 グリーンランドアイスコアと北北半島沖コアの比較・グローバルな気候変動との対比

(A) はグリーンランドアイスコアの酸素同位体比から再現された気候変化の様子で、右に振れているほど気温が高い。(B) はメタン濃度を示す。ISは間氷期で現代に近いほうから順に数字がつけられている。(C) は紫が下北半島沖のコアから分析された底生有孔虫の炭素同位体比、赤が同じく浮遊性有孔虫の炭素同位体比を示す。この3図を比較すると、IS3の時期に、有孔虫の同位体比が顕著に変化していることがわかる。

る間にメタンを取り込んだかどうか分かる。自然界に存在している炭素の99%は質量数12 (^{12}C) だが残りの1%が質量数13 (^{13}C) で、これらを放射性同位体に対して安定同位体と呼んでいる。有孔虫が生息した時代の環境は水温によって ^{12}C と ^{13}C の割合が変わることから、その変化の程度(炭素同位体比)をパーミル: ‰(千分率)で表すことができる。ちなみに年代測定に使われる放射性炭素は質量数が14 (^{14}C) で、各種ごとに半減期があり濃度が変わっていくために5万年までの年代決定ができるのである。

13mのコアを細かく分析すると図3のような変動パターンを示す。過去の気候条件と比較すると、大きな気候の変動があった場合でも、有孔虫の骨格

に含まれる同位体の変化率は通常0.5‰程度で、それほど大きく変動はしない。しかし海底下約9m、2万5400年前の層では、1‰以上も同位体比がマイナスとなり、非常にシャープなシグナルが現われた。

そこから、この時期に海水中の炭素の同位体比を大きく変えるメタンが短期間に海水中に放出されたのではないかと考えられた。この時代はグリーンランドアイスコアの分析から、氷河期の最中に何度か急激に温暖化した時期・亜間氷期3 (IS3) に相当するからである。

メタンハイドレートの炭素同位体比は-60‰程度と大きくマイナスである。メタンハイドレート層の崩壊によって、海水中にメタンが放出されたとなると、

メタンのままで存在することはできず急激に酸化されて CO_2 となり、炭素イオンとして海水に溶ける。有孔虫は海水の炭素イオンを取り込んで骨格を作るので、メタンが大量に放出された時代の有孔虫の骨格は、通常よりも炭素同位体比がマイナスに傾いたものとなるはずである。

しかし、有孔虫骨格の炭素同位体比だけでは、メタンガス放出の証拠としては不十分である。そこで、さらに角度を変え、その時代の微生物にメタンガス放出の影響が見られるかどうかを検証することにした。そのため、今回は微生物しか持っていないジプロブテンというバイオマーカー(特定生物を起源とする有機分子)に着目し、非常に数が多くありふれた微生物であるシアノバクテリア

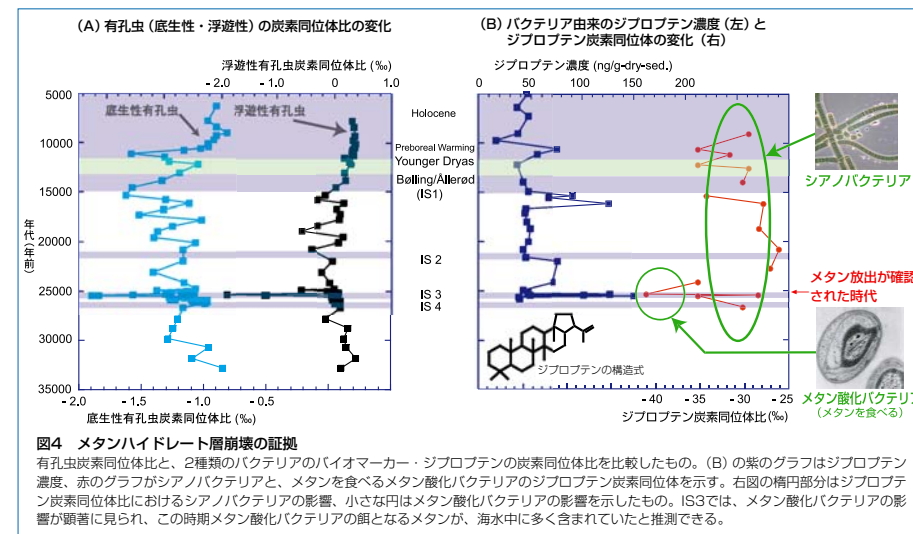


図4 メタンハイドレート層崩壊の証拠

有孔虫炭素同位体比と、2種類のバクテリアのバイオマーカー・ジプロブテンの炭素同位体比を比較したもの。(B) の紫のグラフはジプロブテン濃度、赤のグラフがシアノバクテリアと、メタンを食べるメタン酸化バクテリアのジプロブテン炭素同位体比を示す。右図の楕円部分はジプロブテン炭素同位体比におけるシアノバクテリアの影響、小さな円はメタン酸化バクテリアの影響を示したもの。IS3では、メタン酸化バクテリアの影響が顕著に見られ、この時期メタン酸化バクテリアの餌となるメタンが、海水中に多く含まれていたと推測できる。

と、メタンを餌とするメタン酸化バクテリアがジプロブテン炭素同位体比に及ぼす影響を調べることとした(図4)。

メタンを餌とするメタン酸化バクテリアのジプロブテンの炭素同位体比は-60‰程度である。通常の環境ではメタン酸化バクテリアの数が少ないため、シアノバクテリアがジプロブテン炭素同位体比に及ぼす影響が大きい。しかし海水にメタンが放出されるとメタン酸化バクテリアの生息に適した環境となるために、メタン酸化バクテリアが増殖し、ジプロブテン炭素同位体比はその影響を受ける。

図4でジプロブテンの炭素同位体比をみると、やはりIS3にジプロブテンの炭素同位体比が-30~-40‰程度とマイナス傾向を示し、通常のシアノバクテリアの同位体比変化の域を大きく越えていた。シアノバクテリアが混在している状況では、通常少ししかないメタン酸化バクテリアの影響は消えてしまうので、この炭素同位体比は、IS3の時代にメタン酸化バクテリアが大量に生息していたことを示す。つまり海

水中にメタンが放出されて大量にあり、メタン酸化バクテリア生息に適した環境だったということである。有孔虫の結果とバイオマーカーの結果を合わせると、この時期にメタン放出があったことはかなり確実だと考えられる。

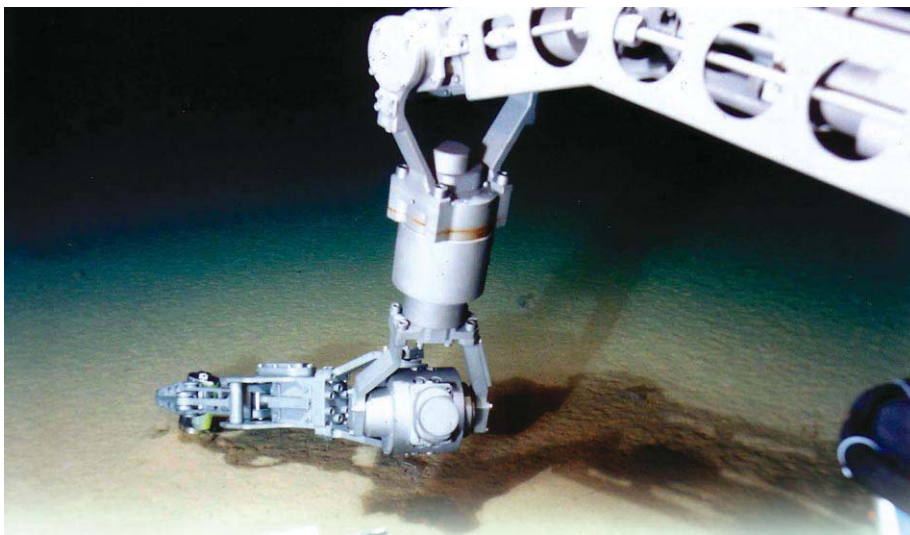
地球規模の気候変動とメタン放出はつながるか

今回の下北半島沖のコアに見られるメタン放出の痕跡は、アイスコアとの比較からIS3というグローバルな温暖化現象の関連が示唆された。メタンは温室効果ガスの一つで、温暖化ポテンシャルが CO_2 と比較して10倍以上も高い強力な温暖化ガスである。メタンの大気中滞留時間は10~20年程度であるが、酸化して CO_2 に変化すると長期間温暖化を持續する。つまりメタン放出が強力な温暖化を起こし CO_2 がそれを持續するというように、温暖化の「トリガー(引き金)」になる可能性があるのだ。

最終氷河期において、果たして温暖化とメタンがどのように影響しあっ

ていたそのメカニズムはまだよくわかってはいないが、今回の分析結果はケネット教授の研究等からメタンハイドレート層の崩壊によるメタン放出が温暖化のひとつの可能性として考えられている。そのほかにも、最近パプアニューギニア湾、アマゾン川の河口、アイスランド沖でも有孔虫の炭素同位体比異常が見つかった。これがメタンハイドレートとの関係があるかどうか、研究が進められているところだ。

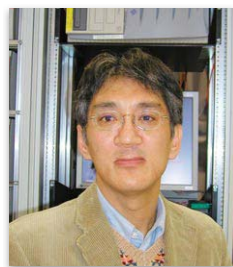
メタン放出がどのくらいの規模で起きていたのかということは、広範囲に高時間分解度で堆積記録を集め、炭素同位体比の数値変動がどのような条件下で起こるのか、そして最終的にどのくらいのメタンがどのような環境で放出されると、炭素同位体比がどの程度変わるのかを調べていく必要がある。だが現状ではまだデータ数が少ないため、今後、地球深部探査船「ちきゅう」によるIODPの掘削等によって、より広範囲のコアのデータが分析できるようになれば、メタン放出と過去の温暖化との関連についての研究がさらに進展すると期待される。



世界最深部11,000mの深海底泥より分離した好熱性細菌、ジオバチルスカウストフィラスの全ゲノム解析終了

生物の環境適応メカニズム解明へ向けて新たな光を投げかけた

1996年に10,000m級無人探査機「かいこう」がマリアナ海溝11,000mから採取した底泥。その底泥から分離された好熱性バチルス関連細菌「ジオバチルスカウストフィラス」の全ゲノム配列が2003年に決定され、ゲノム配列情報の解析が始まった。ジオバチルスカウストフィラスは納豆菌の仲間であるバチルス関連細菌のひとつである。これによって初めて、進化の系統から類縁性の高い（ごく近い関係にある）好熱性細菌と常温性細菌の比較が可能になり、微生物が高温環境に適応したメカニズムの解明に大きく貢献すると期待されている。高見英人グループリーダーらがバチルス関連細菌の全ゲノム配列を決定したのは、常温性バチルス関連細菌・バチルスハロデュランス、オーシャノバチルスイヘンシスに次いで三度目であり、これらの情報は海洋研究開発機構のホームページで公開されている（<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/XBR/db/exbase/exbase.html>）。さらに全ゲノム情報の解析から、常温菌に潜んでいる耐熱性たんぱく質を予測することで有用な酵素の発見につなげるプログラムを開発。現在特許を申請中である。



取材協力：
高見 英人 グループリーダー
極限環境生物圏研究センター
極限環境生物展開研究プログラム
ゲノム解析研究グループ

ジオバチルスカウストフィラスに着目した理由

これまでの好熱性微生物研究の流れの一つが100度以上でも生育するような微生物を探し、生命は何度まで生きられるかという研究であったことから、すでに全ゲノム配列が決定された20種類の好熱性菌のほとんどは超好熱性古細菌である。だが、なぜ好熱性菌が高い温度で生育できるかに関するメカニズムを探るには、好熱性の微生物と類縁性の高い常温性の微生物ゲノム情報が必要である。また、これまでに知られている超好熱性古細菌の種類も少ないうえ、これら古細菌と系統進化的に類縁性の高い常温性の古細菌もほとんど知られていない。したがって、超好熱性古細菌のみを研究材料としては、生物がなぜ高い温度で生育できるかを考える手がかりがなかなか得られないのである。つまり類縁関係が近い細菌のゲノム同士を比較することができれば、好熱性と常温性の細菌の遺伝情報の違いから高温環境に適応できるかどうかを見分けることができるが、あまりに種が遠いと違うところが多すぎてわからなくなってしまうということである。一例をあげるならば、同じ哺乳類で同じ環境に生息しているからといって、象とサルのゲノムを比較して「なぜ象の耳が大きくなったのか」を調べようとしても象とサルでは種が遠すぎるのでそれが出来ないのと同じことなのである。そこでゲノムの研究から細菌がどのように高温環境に適応したかといったメカニズムを解明するためには、類縁性が高い好熱性菌と常温菌の全ゲノムのセットを比較することが必要になる。

世界で最も深いマリアナ海溝チャレンジャー海淵から好熱性ジオバチルスカウストフィラスが採取された（図1）ことから、その全ゲノム配列を確定し、すでに全ゲノム配列が決定している常温性バチルス関連菌との比較を行うことにした。

バチルス関連細菌は非常に多様性に富

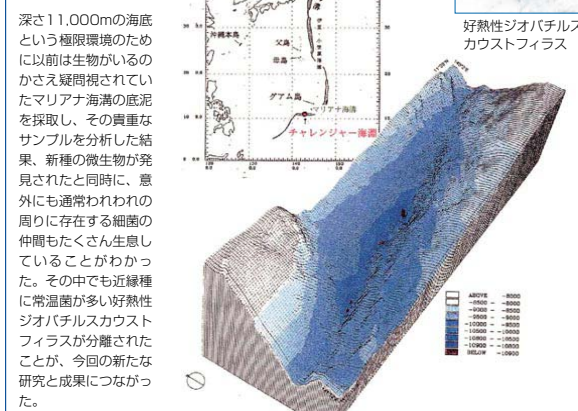
んでおり、あらゆる環境から分離されている（図2）。バチルスハロデュランスはpH11までのアルカリ性環境を好む細菌で酵素・キシラナーゼを生産する。バチルスサチルスは納豆菌の仲間の枯草菌で中温・中性を好む。バチルスセレウス、バチルスアンストラシスは生物兵器としても使われる炭疽菌の一種、オーシャノバチルスイヘンシスは海水中にと、バチルス関連細菌はおよそどこにでも生息している。系統関係が近縁でありながら、その生育環境はpH2～12、温度5～78℃、塩分0～30%、大気圧～深海3,000mに相当する300気圧までと極めて広く、環境への適応メカニズムを研究するのに最適の研究材料であると考えられている。

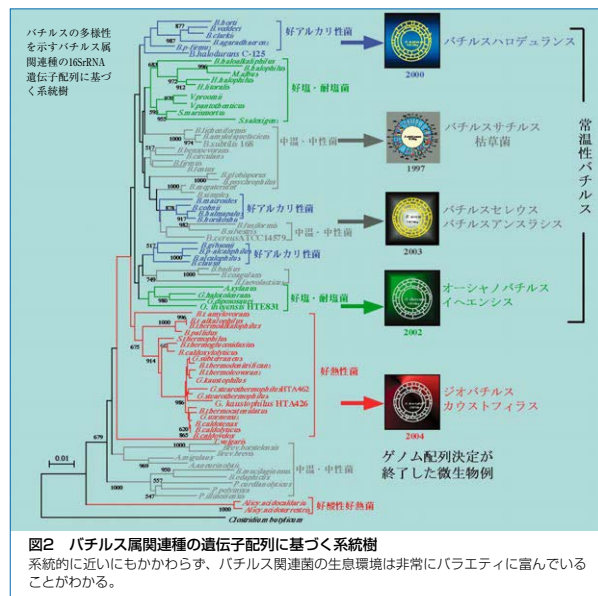
比較を行うもうひとつの理由は、バチルス関連細菌は工業的な利用価値が高いことにある。常温性バチルス関連細菌の多くは人間にとって有用な酵素を生産する。例えば、以前は紙を漂白していた塩素はダイオキシン発生等の問題が指摘され、現在は常温性バチルス菌がつくる「キシラナーゼ」という酵素が代替品と

して使われている。その他にも洗剤に添加されて汚れ落ちをよくする「セルラーゼ」、通常の環境では分解されにくい毛髪を分解したり革製品加工等に用いられる「プロテアーゼ」、澱粉からサイクロデキストリンを効率良く生産したり、人工的にオリゴ糖を生産するのに使われる「アミラーゼ」等の工業的に利用されている酵素は常温性バチルス菌が作りだしたものである。さらに、今まで工業的に有用な酵素を生産する菌の中で全ゲノム配列の決定が終了しているのは、ほとんどこのバチルス関連の常温性細菌なのである。特にキシラナーゼやアミラーゼは耐熱性の酵素であり高い温度のほうが効率良く利用できる。そのため酵素の働きの効率性を上げたり、新たな用途に使用できる耐熱性をもつ酵素を探すには、それ自体を探すのがたいへん好熱性細菌より、常温性のバチルス関連菌から耐熱性の酵素を探すほうが近道であると考えられていた。

好熱性のジオバチルスカウストフィラスのたんぱく質はすべてが70℃くらいまでは熱に安定である。好熱性バチルス

図1
マリアナ海溝での
採取地点

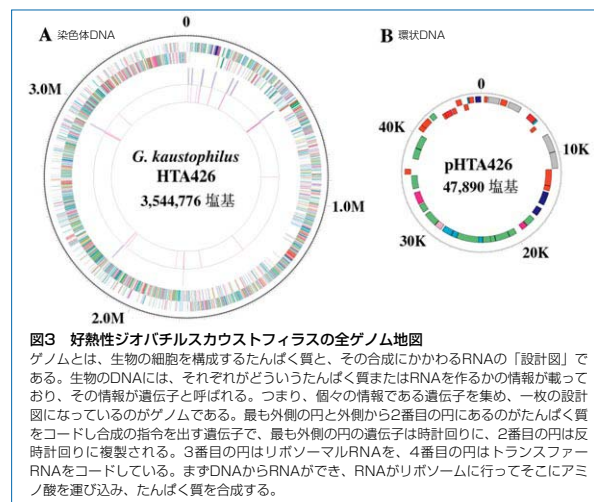




関連細菌の全ゲノム配列を常温性細菌のゲノム配列と比較して両方に共有の遺伝子を洗い出し、そこから作られるたんぱく質を比較すれば、たんぱく質が常温性か耐熱性かに分かれるためのルールが発見できる可能性がある。工業的に有用な耐熱性酵素の特性を探索できるとともに、どのように酵素が耐熱化するのかのメカニズムを理解する糸口になる。科学的な価値の高い発見と、工業利用という実用性追求の2つがこの研究の目的であった。

ゲノムの比較からわかってきたこと

たんぱく質が耐熱性になるメカニズムをゲノムの側面から調べていくのは、従来行われてきたたんぱく質の立体構造解析とは別の切り口の新しい手法である。「ホールゲノムショットガン法」によって塩基配列を決定し、好熱性ジオバチルスカウストフィラスの全ゲノム地図を描いたのが図3だ。DNAという棒状の染色体を思い浮かべるかもしれないが、



ている。バチルスハロデュランスのゲノムと比較した結果、約3,500の遺伝子のうちおよそ2,000遺伝子が2種間で共有されていた。

次に、好熱性ジオバチルスカウストフィラスと類縁の近い常温バチルス関連細菌4種のたんぱく質および酵素の耐熱性の比較を行った(図4)。60℃で10分、70℃で10分それぞれ熱処理をしたものと未処理のものを比較してみると、同じ機能のたんぱく質でも、耐熱性のものとそうでないものがあった。このように熱処理を加えても常温性細菌のたんぱく質のかなりの部分が熱によって変性することなく安定を保っていることが分かった。酵素の活性を見ても、常温性細菌の中にも熱処理後も酵素活性が維持されているものがある。

この結果を受けて、常温性細菌が持っている耐熱性たんぱく質を予測するコンピュータプログラムを作成した。予測の方法はまず、たんぱく質のアミノ酸組成をもとに統計処理をして、好熱性細菌のもつアミノ酸組成の特徴を計算しておく。次に耐熱性の有無を調べたい常温性細菌のたんぱく質が、好熱性ジオバチル

スカウストフィラスにあるかどうかを調べ、それがあった場合にはジオバチルスカウストフィラスのたんぱく質と比較してアミノ酸組成の特徴に点数をつけ、その得点をもとに耐熱性の度合いを判定する。アミノ酸組成の点数がジオバチルスカウストフィラスのたんぱく質と比較して一定の範囲内に入っていれば耐熱性たんぱく質であると予測される(図5)。さらに、図4において耐熱性を示したのとは違ったたんぱく質を調べて、同プログラムで耐熱性があると予測されていたかどうか検証した。その結果、種類によって若干の差はあったものの、85~90%の耐熱性たんぱく質はこのプログラムで予測できていた。

現在実験で耐熱性がなかったたんぱく質が、プログラムでも耐熱性がないと予測されていたかを証明するための実験を行っている。これが証明されれば、このプログラムはユニバーサルに通用する。今後はある程度耐熱性を持つたんぱく質を絞り込んでから実験ができるようになるため、耐熱性酵素を探す効率が上り工業的用途の拡大に貢献するだろう。もうひとつの成果は、ゲノムの比較から耐熱性酵素が見つかったことでたんぱく質が耐熱化するルールの解明に近づけることである。今回、類縁の常温性細菌との比較で、構造も機能も似たようなたんぱく質でも耐熱性があつたりなかったりしていることがわかった。おそらくた

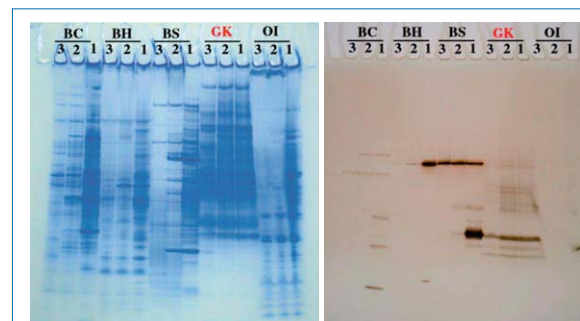


図4 好熱性および常温性バチルス関連細菌からの耐熱性たんぱく質の検出

左図・右図ともに、1. 未処理 2. 60度で10分間加熱処理 3. 70度で10分間加熱処理をしたもの。左図はたんぱく質を染色したもので、安定したたんぱく質は青く染まっている。常温菌でも耐熱性のたんぱく質がかなりあることがわかる。右図は酵素(エステラーゼ)の活性染色。黒く染まっているのが酵素が活性を失っていない部分。酵素はDNAにコードされた情報を元に生物が作り出す「触媒作用を持つたんぱく質」で、生体内での分解や合成をつかさどっている。

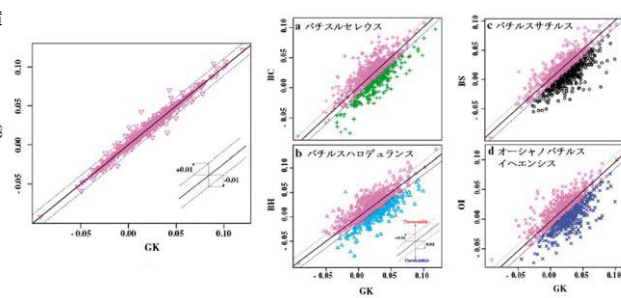
BC バチルスセラウス
BH バチルスハロデュランス
BS バチルスサチルス
GK ジオバチルスカウストフィラス
OI オーシャノバチルスイヘンシス

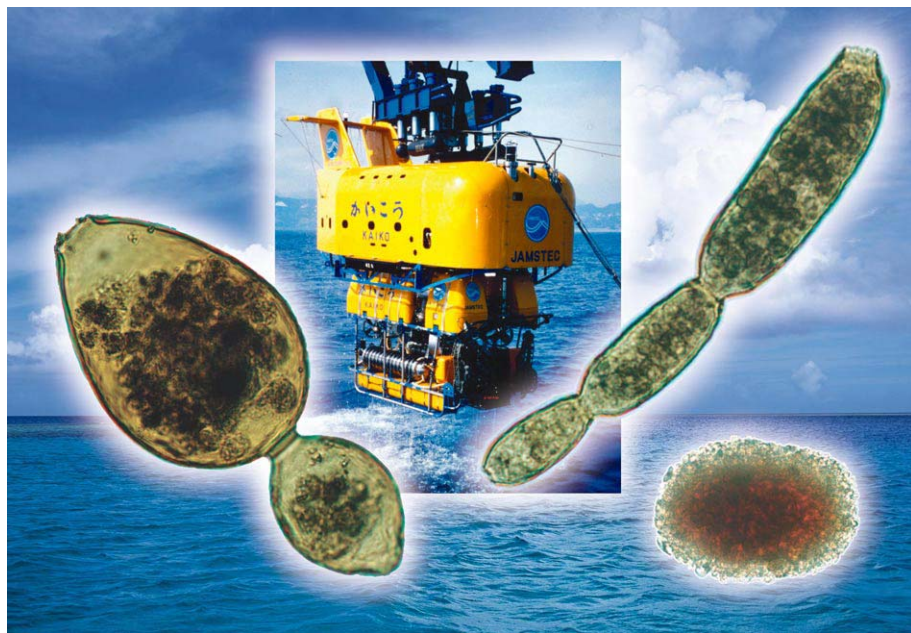
んぱく質表面の限られたアミノ酸置換が、耐熱性をもつかどうかを決定しているのではないかと考えられる。今まで行われてきたたんぱく質の立体構造解析の視点に、以上のようなゲノム比較の視点を加えることで耐熱性獲得の秘密に迫ることが期待されている。太古の地球は高温環境だったので、もしかしたら微生物は高温環境から現在の温度へと逆の方向に適応してきた可能性もあり、実際にどのように環境変化に適応していったのか非常に興味深いところである。近年ゲノムの研究は飛躍的に進んでお

図5 耐熱性が予測されたたんぱく質

図中のピンクは予測された耐熱性たんぱく質を示す。また中央のラインから-0.01までの誤差の範囲に含まれるたんぱく質は耐熱性と予測される。-0.01ラインより下の線、ライトブルー、黒、紺はいずれも耐熱性のないたんぱく質である。

GS ジオバチルスステアロサーモフィラス
GK ジオバチルスカウストフィラス
BC バチルスセラウス
BH バチルスハロデュランス
BS バチルスサチルス
OI オーシャノバチルスイヘンシス





海洋深海部は微小な生物たちの天国 マリアナ海溝チャレンジャー海淵に 原始的な有孔虫が多数生息していた



取材協力：
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

マリアナ海溝で最も深いチャレンジャー海淵の海底は、光のない暗黒の世界。およそ1,100気圧、低水温（約2℃）で非常に栄養分が少なく、生物にとって非常に過酷な環境である。しかし2002年10月、海洋科学技術センター（現・独立行政法人海洋研究開発機構）が長崎大学、宮崎大学、米国モンテレー湾水族館研究所など多くの研究機関の協力のもとに行ったマリアナ海溝潜航調査（首席研究員・橋本淳長崎大学教授）で、10,000m級無人探査機「かいこう」が10,896mの海底から採取した泥からは、過酷な環境にもかかわらず多数の有孔虫が発見された。太平洋深海底の環境と生物多様性について共同研究を行っている北里プログラムディレクターと英国サザンブトン海洋研究所のアンドリュー・グッディ教授が泥のサンプルから有孔虫を分離し研究した結果、8～10億年前に分子系統の上で分岐した非常に古いグループの直系の子孫と見られる有孔虫が生息していることがわかった。これらはすべて分類学上未記載の新種で、過酷であるがゆえに外敵の少ない環境に適応したものと考えられる。

深海底に多数生息していたのは 柔らかい殻を持つ有孔虫

マリアナ海溝チャレンジャー海淵は水深11,034mの世界最深部である。地表から上空11kmにかけての環境は現在の技術で容易に観測できるが、かたや水深11kmの深海は、宇宙探査が行われる現代においてもまだ謎に包まれている。海中では10m深くなるごとに1気圧増す。深海底は暗黒の高圧環境であり、特殊な機器がないと観測不可能だ。この未知の世界にどのような生物が生息し、どのようなふるまいをしているのかを探ることが今回の研究の目的であった。

調査では、無人探査機「かいこう」が海底の泥をマニピュレータの先につけたサンプリング（サンプルを採取する器具）で突き刺し円柱状のサンプルを採取。その表面の厚さ1cmの部分（およそ10cm³）から449個体の有孔虫が発見された。

有孔虫は核を持つ単細胞生物（真核単細胞生物）でアメーバに近い。環境に鋭敏に適応し進化速度が速いため、その形態はさまざまである。特に固い殻を持つグループは地層から化石としてたくさん見つかり、古環境の理解や地質年代の決定に役立つ。また深海のバイオマスの

50%以上を占め、海洋の物質循環に果たす役割も大きいと考えられている。

今回発見された有孔虫449個体のうち4個体が固い殻を持っていたが、残りはすべて柔らかい殻の有孔虫だった（図1）。地上の気圧では深海底の有孔虫は死んでしまうが、細胞質はそのまま残っており形態がつぶさにわかる。チャレンジャー海淵探査はこの時が3回目であるが、最初の調査の時も採取された泥から明らかに固い殻の有孔虫が発見されている。しかしその時は採取した泥から処理する過程で乾燥させてしまい、柔らかい殻の有孔虫は壊れてしまった。今回は完全に水分を含んだ状態で処理を行い、調べたところ、たくさんの有孔虫が発見することができたのである。

チャレンジャー海淵には、なぜ柔らかい殻の有孔虫ばかりいるのだろうか。

固い殻を持っている有孔虫は、石灰質（炭酸カルシウム）の殻を持っているものと、砂粒をくっつけて固い殻を作るものに分かれ、より浅い海になるほど固い殻の有孔虫の割合が増えてくる（図2）。その原因の一つとして、海が深くなるほど水圧と水温の関係で炭酸カルシウムが海水に溶けやすくなることがあげられ

る。つまり深くなるほど炭酸カルシウムの殻を持った有孔虫は生息しにくくなっていく。

二つ目の理由は、捕食者が少ないので、身を守る固い殻を身に付けるよう、進化する必要がなかったことだ。チャレンジャー海淵の底は、有孔虫の捕食者となる多細胞生物の密度が非常に低いことが知られている。つまり柔らかい殻の有孔虫にとって、ここは捕食者のいない天国のような環境なのである。

もう一つは、貧栄養環境への適応である。柔らかい殻の有孔虫細胞の中には玉状のものがたくさん入っている（図3）。これは「ステルコマータ」と呼ばれ、バクテリアと共生している証拠だと考えられている。有孔虫は海の表面のプランクトンがマリンスノーとなって沈んできた有機物を食べている。しかし深海底に達するのは途中で他の生物に食べられなかった「残り物」の有機物ばかりで栄養分がとても少ない。そのような「残り物」有機物もバクテリアなら分解することができるので、細胞内にバクテリアを共生させて栄養分を取り込んでいる可能性がある。そういう食性を持っているがゆえに、今回発見された柔らかい殻のグルー



図1 マリアナ海溝チャレンジャー海淵から採取された有孔虫類
99%が柔らかい殻を持つ有孔虫だった（85%はキチン質の殻）。細長い袋のようなもの、いくつかの「くびれ」が見られるものなど形態はさまざま。これら今回発見された柔らかい殻の有孔虫は新種でもある。



図2 固い殻を持つ有孔虫

ここには「星砂」とか「太陽の砂」と呼ばれている種類を示す。石灰質や砂質の固い殻を持ち捕食者である多細胞生物から身を守ろうとしている。柔らかい殻の有孔虫よりは進化したもので、栄養分の豊富なより浅いところに生息している。

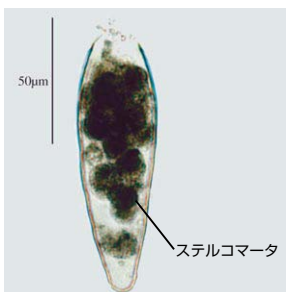


図3 マリアナ海溝の有孔虫類に見られるステルコマータ

栄養分の少ない深海底の有孔虫は、細胞内にバクテリアを共生させることで有機物を分解し取り込んでいる。それがこのステルコマータという構造だと考えられている。

プが深海底の貧栄養環境に適応できているのではないかと考えられる。

有孔虫を手がかりに 進化の空白地帯に迫る

今回発見された柔らかい殻の有孔虫は、遺伝子の分子系統樹の上では全てある分岐グループに分類される(図4)。一定の速度で塩基の置換による分子進化が起こったとする「分子時計」を使って計算すると、これら柔らかい殻の有孔虫グループの分岐は6億9千万年前から11億5千万年前の間に起こったと考えられる(図5)。非常に古い系統の有孔虫の仲間なのである。

海洋生物の歴史を振り返ると、今回見

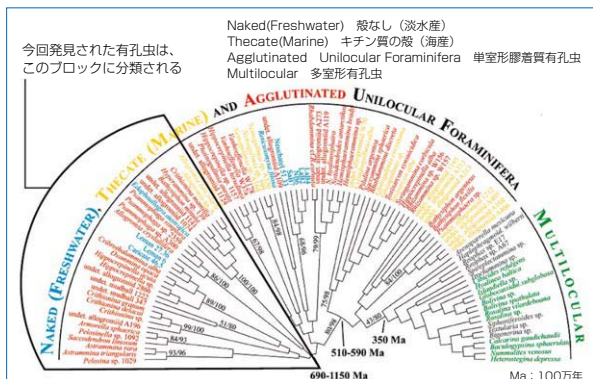


図4 これまでに発見された有孔虫の分子系統樹 (Pawlowski et al., 2003)

細胞分裂によって遺伝子の配列が子孫に伝わっていく間に塩基の置換が起きることで生物は進化する。それをトレースすると遺伝子のグループ分けができ、数学的にグループの枝分かれを描いてゆくことができる。そのように分子から見た進化の順序を分子系統といい、それをたどっていくと生物のルーツがわかる。その分子系統樹を書いてみると、今回発見された有孔虫は系統樹のごく根元の部分、6億9千万年から11億5千万年くらいに分岐したグループにすべて分類できる。

つかった有孔虫はちょうど単細胞生物が盛んに進化した5億4千万年前から10億年前くらいの間に現われたグループである(図6)。当時はバクテリアと単細胞しかいない、つまり現在のチャレンジャー海淵の底と類似の生態的な環境だったのである。たまたまチャレンジャー海淵が10億年から5億4千万年前と類似の生態環境であることから、その時に進化して適応したグループが生き残ることができると考えられる。実際にその時代の地層からは、長径0.1mmほどのキチン質の殻を持つ単細胞生物の化石と思われるものがたくさん見つかっている。これらの化石は殻のない有孔虫の一種と形態的に非常に似ている。そのような未知の生物と思われる化石との関連も見えてきており、ちょうどマリアナ海溝の底を通じて5億4千万年前から10億年前の世界に近い生態環境を覗くことができるのである。

今回の研究の意義の一つは、海洋生物の世界では、より浅いところにより進化したグループが分布し、より深くなるとより原始的なグループが残っているのだ

はないかという通説を裏付けするような結果になったことである。マリアナ海溝のチャレンジャー海淵より浅い約7,700mや約5,500mの太平洋深海平坦面から採取されたサンプルでは、浅くなるほどやわらかい殻の有孔虫の比率が減り、あとで進化した固い殻の有孔虫の割合が増えてくる。二つ目は、柔らかい殻の有孔虫は固い殻の有孔虫のように化石として残りにくいため今まで空白だった10億～5億4千万年前(先カンブリア紀後期)の生物進化を理解する鍵を握ったことである。もう一度チャレンジャー海淵から有孔虫を採取できれば、遺伝子解析や細胞の電子顕微鏡レベルの解剖学を行い、有孔虫の系統や生態を明らかにし、先カンブリア紀後期の生物進化の一端を解明することにつながる研究を行いたいと北里プログラムディレクターは考えている。

今後の研究に期待されること

深海底の生物は高圧力下で酵素反応が起るシステムを持っているはずである。1,100気圧で生息している有孔虫がどのような酵素反応システムを持っている

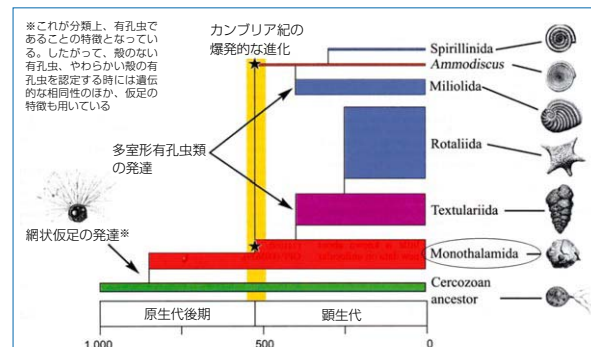


図5 時間軸を入れた分子系統樹 (Pawlowski et al., 2003)

塩基の置換が起こる速度は同じであると考えれば「分子時計」を作ることができ、2つのグループがいつ分岐したのかを示すことができる。そのためにはいくつかの分岐の時代を特定する必要がある。例えばRotaliida(星砂)と呼ばれる石灰質の殻を持っているグループはおおよそ2億5千万年前に分岐したと考えられている。細胞の部屋がいくつかに分かれているグループ(Textulariida)は3億5千万年前に分かれている。砂粒の殻を作るようになる(Monothalamida)のが5億数千万年前である。それらを手がかりに分子時計を使って逆算していくと、今回発見された柔らかい殻の有孔虫グループが、より原始的な有孔虫である網状仮足グループから分岐したのは、6億9千万年前から11億5千万年前の間であると考えられる。

かを調べることができれば、新しい発見につながるだろう。同じくチャレンジャー海淵で見つかったバクテリアについても酵素反応や遺伝子に関する研究が進んでいるが、有孔虫のような真核単細胞生物はバクテリアとはまた違う遺伝子組成や酵素反応系を持っていると考えられる。それを調べると人間が工業用や医療に利用できる新規の物質が見つかる可能性がある。

さらにマリアナ海溝の同じような深度(7,123m)の有孔虫群集と、その北方延長にある日本海溝(7,761m)、千島海溝(7,088m)のサンプルとを比較すると、固い殻を持った有孔虫の割合が増えてくることがわかった。マリアナ海溝底は周囲に陸地が少なく、貧栄養海域に位置するために極端に貧栄養状態なのに、日本海溝や千島海溝の近くの海域は海洋表層の生物生産性が高く、また広い陸地の近くにあるために非常に栄養分に富んでいる。このために海溝の底でも栄養分が残り、捕食者に対抗して固い殻を持ち比較的栄養の豊富なところに生きる有孔虫が生息できるのだ。

るに違いない。海溝は隔離された環境でお互いに生物が移動することは非常に難しいため、それぞれの海溝で独自の生物の「天国」が作られていると考えられるからだ。

いろいろな海溝の生物を形態と遺伝子解析の方向から調べることができれば面白い比較ができ、深海の生物多様性と遺伝子流動を明らかにすることができる。また、海溝の生物群が海溝の形成と進化に伴って変化する環境にどのように適応して行ったのか、その実態に迫ることが可能になる。

今回の研究成果の発表は世界的に大きな関心を集め、反響も大きかった。この背景には2002年の段階でも世界最深部に達する事ができる深海底探索の手段を持っていたのは日本だけであり、その成果に期待が寄せられていたことが挙げられる。日本周辺には海溝が多く分布する。また、深海探索の手段もあることから、是非とも日本がリードすべきテーマである。現在、代替機「かいこう7000」は深度7,000mまでしか潜航できない。今後のさらなる研究の進展のためにも、「かいこう」後継機による探査が待たれる。

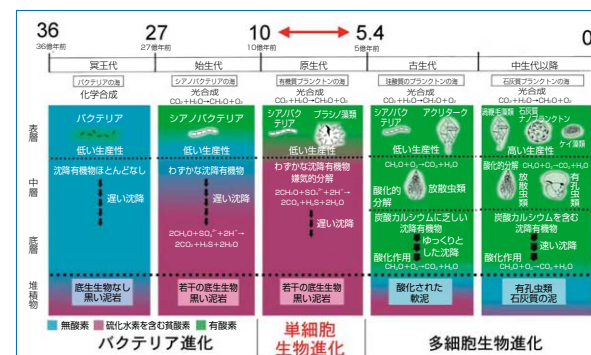


図6 海洋生態系の進化

生物が発生したのは36～40億年前といわれている。最初の生物はバクテリアのグループで、シアノバクテリアと呼ばれる藍藻類が27億年前に出てきて酸素を発生させるようになった。20億年くらい前から徐々に単細胞生物が出現する。今回見つかった有孔虫は10億年前から5億4千万年くらい前、ちょうど単細胞生物が盛んに進化した時期に現われたグループである。もっと後の時代になると多細胞生物が出てきて、その捕食者に抵抗するために殻を持った有孔虫が進化する。

「海の中は音の世界」 ～海洋音響研究とソナー技術の最前線～

(2004年10月16日 海洋研究開発機構横浜研究所 第24回地球情報館公開セミナーより)

皆さんの中には、映画で潜水艦がピコンピコンという音を出してソナーを使っているシーンを覚えている方もいらっしゃるかもしれませんが。電波や光があまり使えない海中では音が大活躍をします。物体の位置を割り出すのももちろん、水温や水深を測ったり海底地形を見ることまでできるのです。実は、クジラたちのコミュニケーションもソナーと同じしくみです。



土屋 利雄 部長
情報業務部

1973年、東海大学海洋学部卒業後、海洋科学技術センター（現：海洋研究開発機構）に入所。潜水調査船などの水中音響機器や海洋音響トモグラフィシステムの開発、音波伝搬解析の研究および海洋データ管理システムに関する業務などに従事。工学博士。東京海洋大学大学院客員教授。

音波は水中で大活躍

ある音源から音が発せられると、その振動で水や空気が押されて密度が変わり粗密ができます。そして、その粗密の繰り返しの振動が伝搬していきます。これが水中だったら水中音響、空気中だったら楽器の音や声になります。

海の中では電磁波（電波や光）の減衰が非常に大きいので携帯電話もテレビも使えません。水中でも比較的速くまで届く可視光でさえ10～20mがやっとです。しかし、100ヘルツくらいの非常に低い周波数の音波なら1,000～1万kmくらい先まで届きます（図1）。一方で海中で使える音は周波数の範囲が非常に狭い上に速度も遅く、送信できるデータ量も限られています。水中における音波の実用化は、そうした問題を技術的に解決していくことでした。

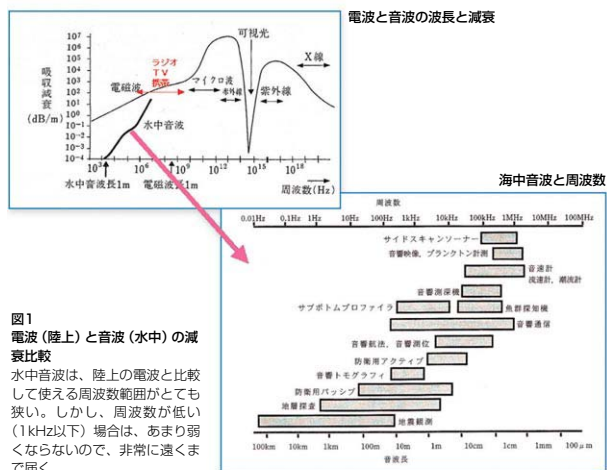
ちなみに周波数とは音波の振動数で、私たちがソナーで使うのは100ヘルツ～1メガヘルツ、距離にして15m～1,000kmくらいの範囲の通信や検出です。この最高周波数は電波で考えれば二ッポン放送（中波帯の放送）の約1.2メガヘルツと同じ様な周波数です。しかし電波では携帯電話の様に800メガや2,000メガヘルツの様にとても広い周

波数が使われています。また、音の大きさはデシベルで表します。人間が聴くことのできる最小の音は音圧で20マイクロパスカル（1気圧の50億分の1）、これを音の大きさでは0デシベルとします。静かなところで針が落ちたくらいの音です。通常の会話は60デシベルくらいです。シロナガスクジラが水中で出す音は約165デシベルで、これは空中では約139デシベルとなり、人間の可聴限界の900万倍の音になります。ちな

みに、地震波は16億倍の強さですが、これは衝撃として感じるだけで音としては聞こえないと思います。

ソナーとは何か？

ソナー（SONAR=Sound Navigation And Ranging）とは音波を送受信する機器の総称で、大きく2つに分けられます。ひとつはアクティブ・ソナーで、自分から出した音が跳ね返ってくるのを探知するものです。魚群探知機や



「海洋音響の基礎と応用」より引用

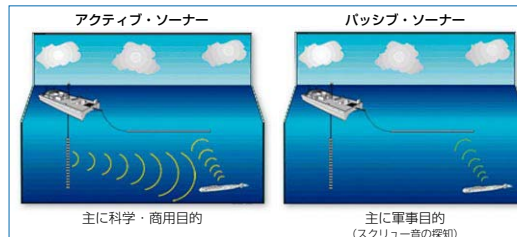


図2 アクティブ・ソナーとパッシブ・ソナー
商用ソナーのほとんどは、目的物に音波を当ててその反射波をとらえるアクティブ・ソナーである。一方、主に軍事的目的で利用される、パッシブ・ソナーは、目標物が出す音を聞いてその所在を突きとめる

測深機などに使われています。もうひとつはパッシブ・ソナーで、主に軍事的に使われます。戦場で自ら音を発信しては敵に居場所を教えてしまいますから、周囲の音を聴き取るだけのソナーです（図2）。スクリー音の微妙な違いで敵艦を察知します。さらにアクティブ・ソナーの一種としてパイオ・ソナーがあります。クジラやイルカなどの生き物が使っているソナーです。彼らは数千万年も前からこうした能力を使っているわけで、その能力には人間もありません。新しい技術開発の一方で、こうしたパイオ・ソナーの研究も進められています。

このように、海中で自分の位置を測定したり、通信をしたり、障害物を探知したりするのはすべて音です。音波を使えば水中通話機で話もできます。深海巡航探査機「うらしま」は3,500mの深海から音波でTV画像を送信できます。最近では、光も通らない濁った水中で音を使って撮影する水中音響ビデオカメラもあります（図3）。測深機の発達で海底地形図も簡単に作れるようになりましたし、陸上の衛星画像と合成してリアルなCGも作ることができます（図4）。様々な技術や科学の進歩で多くの問題を克服してきたのです。

水中音波伝搬研究の始まり

水中音波伝搬の研究は1827年、2人

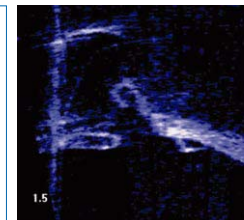


図3 水中音響ビデオカメラ
水中では、光のかわりに音波を利用したTVカメラが使われる。この写真は、音響TVによってフックを輪にかける作業を観察している様子である（提供 セナー株式会社）

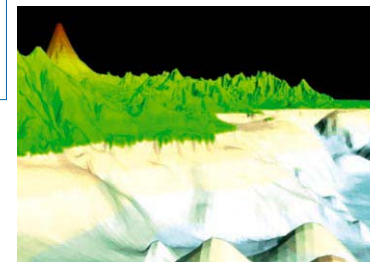


図4 海底地形のCG
海底地形図と陸上の地形図とを合成するとこの図のように、駿河湾から富士山の方を見ながら進んでいくようなCGが作成される

のスイス人科学者の実験から始まります。2人は2つの舟に分かれて乗り、一方で光の合図と同時に水中の鐘を鳴らしました。そして、もうひとつの舟から降ろした巨大な糸電話のような

ものでその音を捉え音速を測りました（図5）。2隻の距離が約13km、水温8℃の状態では音が届くのに9.4秒。この記録から音速は1,435m/sと計算しました。現在の換算式の数値が1,438m/sですから誤差はわずか0.4%です。この実験を機に研究は非常に進みました。水中探査において音速は重要です。水面から音を出して戻ってくる往復時間に音速をかけて2で割れば水深が出ます。時間はコンピュータでかなり正確に出せますが、海中の音速は水温と塩分と圧力によって変わります。水温が1℃あ

がると4.6m/s、塩分が1%濃くなると約1m/s、水深が1m深くなると0.017m/sほど速くなります。音速値が1%変われば水深には15mの誤差が出てしまうのです。時間計測と音速値が測深機の精度を決めるのです。

水中音響機器開発の歴史が始まるのはタイタニック号の事故が起こった1912年と言えます。豪華客船が冰山に衝突した大惨事ですが、この事故からわずか1ヵ月後には冰山探知のための水中反響測距が特許申請されています。1913年にはアメリカでさらに大きな音の出る機器

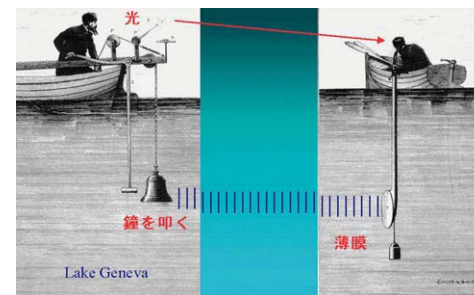


図5 スイス人科学者の実験
1827年にスイスのジェノバ湖で水中音速の計測が行われた。驚くべきことにその計測誤差は、わずか0.4%であった

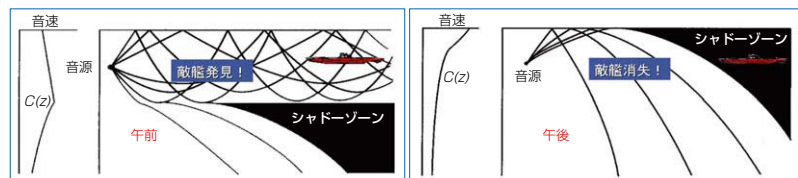


図6 午後の効果
午後になると敵艦が探知できなくなるソーナーの「午後の効果」は、水温の変化によって音波の伝わり方が変わることによって起こされる

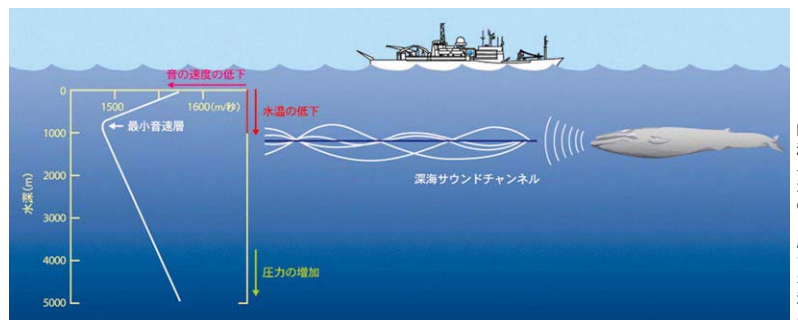


図7 深海サウンドチャンネルの仕組み
海洋では水温と塩分の分布によって水深1,000m付近(中緯度)に音速が最も小さくなる層が形成され、そこを中心に音波が数千kmも伝わる

が特許申請され、1914年には2マイル先の氷山の検出に成功しました。これがソーナー開発の始まりです。その後、レーダーも発明されますが、海中では引き続き音波が威力を発揮します。同じく1914年にフランスのランジュバンは効率の良い振動子を発明し、1,300m離れた潜水艦のエコーの検出に成功します。その後、第一次世界大戦でアメリカは技術を一気に伸ばし、原理的には、ほぼ現在と変わらないソーナーを開発します。現在、私たちが使っている送受波装置や磁歪振動子も、ランジュバンの発明が元となっています。

た結果、午後に海面が温められると音速が変わり音波が曲がるのが分かりました。音波の屈折によってシャドーゾーンができてしまうのです(図6)。戦場では敵を見落としかねません。その後、アメリカ軍は駆逐艦にBTを装備しドイツ軍のUボートを撃退したといひます。

実は、海面だけではなく1,000mくらいの深さにも音速が非常に小さくなる層があります。これを深海サウンドチャンネルと呼びます。水温の低下と水圧の増加による音波の屈折によって、音波が海面にも海底にも当たることなく数千キ

ロも速くまで伝わるのです(図7)。そして、クジラたちもそのチャンネルを使っているらしいのです。しかし、シロナガスクジラが潜れるのは深くても200m。とても1,000mまでは潜れません。そこでさらに調べてみると、サウンドチャンネルは緯度が高くなるほど浅くなることも分かりました。極地では深度による水温変化がほとんどないためです。クジラたちの出す音は私たちにほとんど聞こえない20~100ヘルツくらいの低い周波数です。実際に話をしているかどうかは別として、少なくとも北極のクジラの

クジラも愛用!? サウンドチャンネル

ソーナーができて、海中を音波がどのように伝わるのかは良くわかっていません。当時、「風の弱い晴天の午後には必ず信号が弱くなる」という謎の現象がありました。植物プランクトンの光合成ガスが原因じゃないか、昼食後は眠いから信号が聞き取れないのではないかと、真剣に検討されましたが原因は分かりません。そこで海中温度を鉛直分布測定器(BT=パンサーモグラフ)で調べ

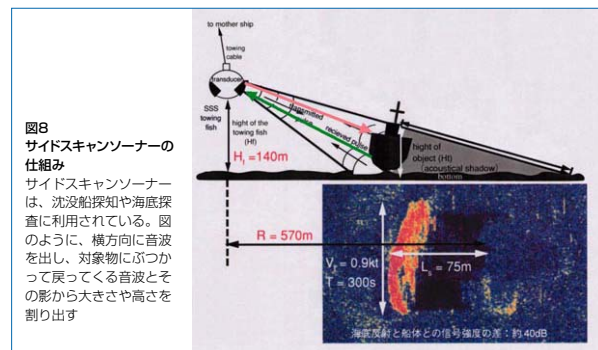


図8 サイドスキャンソーナーの仕組み
サイドスキャンソーナーは、沈没船探知や海底探査に利用されている。図のように、横方向に音波を出し、対象物にぶつかって戻ってくる音波とその影から大きさや高さを割り出す

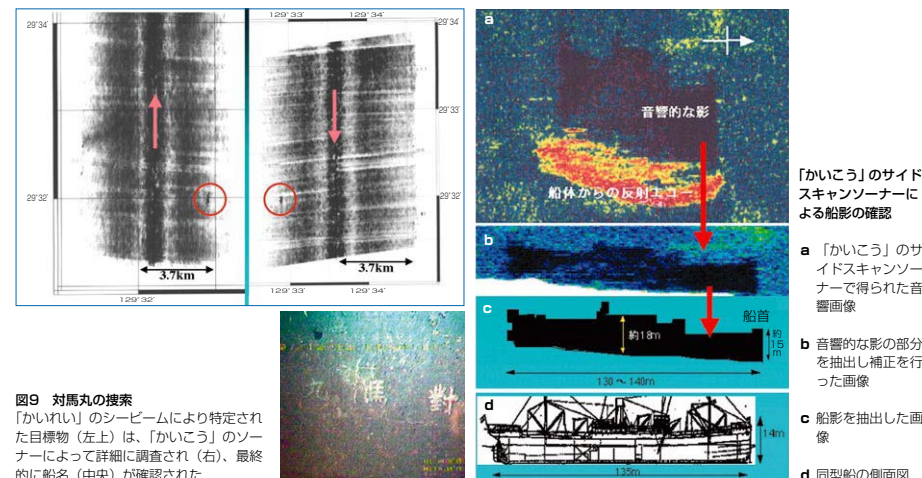


図9 対馬丸の捜索
「かいれい」のシービーにより特定された目標物(左上)は、「かいこう」のソーナーによって詳細に調査され(右)、最終的に船名(中央)が確認された

音がハワイで検知できるのは事実です。

こうした音波の長距離伝搬は、1952年の海上保安庁第五海洋丸の遭難で注目されます。この遭難の原因は遠くアメリカで解明されました。東京の南方沖約420kmの明神礁における2回の噴火がサンディエゴで検知されていたのです。そこで、改めて1960年にオーストラリアのバースで火薬を爆発させ長距離伝搬の実験を行いました。信号は約2万km先のバミュダで3時間42分後に受信されました。さらに、1991年インド洋のハード島での実験は、水温変化で音速が変わるなら音波信号の計測で水温も分かるのではないかとという仮説が検証され、これには海洋研究開発機構(当時 海洋科学技術センター)も参加しています。その結果、信号が大西洋で受信され、伝搬時間のデータを使って水温変動も計算されました。これを地球温暖化などの長期的なモニターに利用できないかという研究も進められています。当機構でも海洋音響トモグラフィシステムで1989年より赤道域で広域観測を行っていました。地球温暖化のような現象は局所的に見ても変化が分かりにくく、広い目で見るのが重要なのです。

ソーナーによる海底探査

地球の7割を占める海での事故や遭難の探索などにもソーナーは使われます。先ほどのタイタニック号も1985年にウッズホール海洋研究所のバード博士がソーナーやカメラを使って発見しました。捜索でよく使われるのはサイドスキャンソーナーといって、横方向に音波を出して物体から跳ね返る信号を得るものです。対象物の影から高さを出すことができ、跳ね返る強さで対象物の質感も分かります(図8)。この記録を重ねていけば海底の反射強度図が得られます。計器の曳航高度が分かれば対象物の大きさも割り出すことができます。

当機構でも海底探査は行われています。1944年8月に那覇から疎開児童を含む1,500人以上を乗せたまま、アメリカの潜水艦に撃沈された対馬丸もそのひとつです。1997年12月13日、当機構によって発見された新聞の一面を飾りました。無人探査機「かいこう」のソーナー試験も兼ねた調査によってトカラ列島付近で見つかりました。深海調査研究船「かいれい」のソーナーで浮かび上がった影を曳航式のサイドスキャンソーナーで再探査して画像処理を行うと見事に船

の形が浮かび上がりました(図9)。大きさも対馬丸に近いと分かり、改めて「ドルフィン-3K」で潜航し「対馬丸」という旧字体の船名も確認できました。

さらに最近では、NASDA(元・宇宙開発事業団)が打ち上げたロケットの捜索も行っています。NHKの「プロジェクトX」でも取り上げられました。1999年11月15日、打ち上げ直後の異常により海上に落ちたH II ロケット8号機の故障の原因を調べるために機体の捜索を依頼されたのです。NASDAの示した落下エリアは約100km四方、水深約3,000m。約2週間で機体の部品を発見し、エンジンは約1ヵ月後に発見されて徹底的に調査され、故障原因も解明されました。

海難事故の解決や軍事技術として発達してきた水中音響探査ですが、現在ではさらに多くの技術を駆使して様々な調査や研究が行われています。そして、今後は地球温暖化といった新しい課題の調査も担うはずです。海洋の謎を解くためにも、さらに研究を推進していく必要があるのです。



深海巡航探査機「うらしま」 AUV連続航走距離の世界記録317kmを達成 今後は搭載観測機器等の試験が行われ、実用化に向けて性能向上をめざす

独立行政法人海洋研究開発機構が開発中の自律型深海巡航探査機「うらしま」が、静岡県沖の駿河湾で2005年2月26日に開始された性能試験において、連続長距離航走317kmを記録し、英国・サザンブトン海洋研究所の無人探査機が記録した262km（動力源は一度しか利用できない一次マンガンアルカリ電池）を超え、AUV（Autonomous Underwater Vehicle：自律型無人潜水機）連続航走距離の世界記録を達成した。

「うらしま」は、駿河湾のほぼ中央部で、深度約800mを保持しながら、連続56時間かけて南北25kmの海域を6往復し、28日午後3時10分に317kmの航走に成功。午後4時半に支援母船「よこすか」に無事回収された。

「うらしま」は、最新の電子技術を結集した長距離航走型の海洋ロボットだ。機体に内蔵したコンピュータによって、予め設



世界記録を達成し、支援母船「よこすか」に回収される深海巡航探査機「うらしま」

定したシナリオに従って自分の位置を計算しながら航走する。コンピュータの暴走を防ぐために、2台のコンピュータで互いに監視し合いながら全体を制御する、デュアル相互監視型コンピュータシステムも採

用されている。また、動力源として、AUVでは世界で初めて燃料電池を搭載している点も大きな特徴だ。水中で使用するために世界に先駆けて開発された閉鎖式燃料電池には、密閉された空間のなかで発電



317kmを航走した後に海面に浮上した「うらしま」



「よこすか」の総合指令室から「うらしま」の動きを見守る

を行うという高度な技術が投入されている。今回の性能試験では、燃料電池のエネルギー効率率は54%を超え、世界トップレベルの高性能を示した。さらに、燃料電池の燃料となる水素の貯蔵装置には、新たに開発された水素を吸蔵する性質のある新合金が使われている。低圧で安全性の高い貯蔵装置で、これも世界で初めての試みだ。

今回の「うらしま」長距離航走試験の成功により、今後は、海底調査等に関わる研究者とともに試験運用を行い、搭載している調査機器の性能向上や、調査に適した航

走プログラムの改良を行う計画だ。これまでの試験航走で、海中を自律航走する「うらしま」では波浪の影響を受けない探査が可能となり、従来の船舶や曳航体による海底探査に比べ、より精密な画像が得られ、調査時間も3分の1程度に短縮できる（つまり、同じ時間内でより探査範囲を広げることが可能となる）見通しを得ている。

「うらしま」の実用化、さらには次期無人探査機の開発に向けて、世界記録を達成した今回の性能試験は、大きなステップになった。



『アンコウの顔はなぜデカイ』

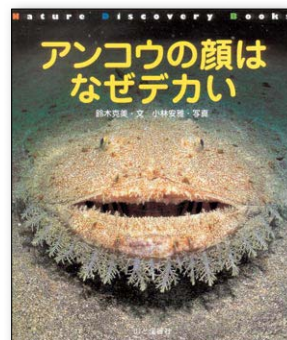
鈴木克美／文 小林安雅／写真 山と溪谷社／刊

1,680円（税込み）

「さかなの絵を描いてごらん」と言われて、いきなり魚の真正面の顔を描く人はいないだろう。しかし、この写真集には真正面の魚の顔、顔、顔。これほど魚にとらめっこしながら読む（観る？）本も珍しい。愛嬌あふれる写真は魚の生態写真では定評のある小林安雅氏、解説は東海大学海洋科学博物館館長も務めた、魚と水族館に造詣の深い鈴木克美氏。2人の共著となる本書は、体裁こそ児童書だが、解説は詳しく中身は濃い。魚たちのユニークな変形の説明を被写体

に、海の中で魚たちから直に話を聞いていたような気になさる。ホンソメワケベラに体を掃除してもらって陶然とする魚たち。引越と同時に居候（？）のイソギンチャクも丁寧に家からはがして付け替えるヤドカリの神秘的な手つき。全長90センチの体に35センチもの大口を備えたアンコウの「何で丸呑み」人生。

食性や生息環境と魚の形態との関係をもとにしながら、魚たちの暮らしや個々の性格まで教えてくれる、まさに「顔からはじまる海の魚の生態学」満載の1冊だ。



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

『Blue Earth』定期購読のご案内

定期的にお手元に届く“定期購読”をご利用ください。お申し込みは、以下の内容を明記のうえEメールかFAX、もしくはハガキにてお願い致します。

購読するためには、
定価（1冊300円）＋送料
＋振込手数料
が必要となります。

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』）

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。

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 情報業務課 情報業務課
「Blue Earth」編集室
TEL：045-778-5350
FAX：045-778-5424
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。申込日より発行されたバックナンバーの購読をご希望の方はあらかじめお問い合わせ下さい。バックナンバー参照URL：
<http://www.jamstec.go.jp/pdf/index.html>
※1年度あたり6回発行

Present プレゼント

JAMSTEC オリジナル ペーパークラフト

子どもから大人まで楽しめるJAMSTECオリジナルペーパークラフトシリーズのなかから、今回は、有人潜水調査船「しんかい6500」、地球深部探査船「ちきゅう」、そして深海底の熱水噴出孔周辺に棲息するユノハナガニのペーパークラフトをセットにして、抽選で10名様にプレゼントいたします。



応募方法

官製ハガキに、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、2005年4月28日（木）当日消印有効です。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。

応募先

〒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
情報業務部 情報業務課
「Blue Earth」編集部プレゼント係

編集 後記

インドネシア・スマトラ島沖で発生した大地震の震源域の調査に赴いた「なつしま」・「ハイパードルフィン」の調査結果を、速報として取り上げました。『BlueEarth』誌上に掲載された画像は、通信衛星経由で送信されてきたもので、地震により生じたと思われる海底に残された巨大地震の痕跡が、数多く撮影されていました。これらの画像では、底棲生物の活動がまったく見られないのも大きな特徴とされています。この画像を見て、1993年7月に

発生した北海道南西沖地震の震源域を、「しんかい2000」で調査した結果を思い出しました。はたして、地震によって大きく荒廃した海底がどのくらいの期間でもとに戻るのか、継続的な調査が望まれます。

それにしても、ほとんどリアルタイムで調査船から次々に送られてくる「ハイパードルフィン」のTVカメラの画像を見ることが可能になった、伝送技術の進歩に目をみはります。つい25年くらい前、編集子がチャーターした調査船に乗っていたころは、一度海に出てしまえば、陸上との連絡方法としては、「モールス信号」による電報に頼っていました。そのため、伊豆・小笠原海域で調査中に、どうしても陸上と緊密に連絡をとらなくてはならなくなるときに、船長さんをお願いして、夜

中に船舶電話が繋がる八丈島付近まで全速で航走してもらったことを思い出しました。その後、インマルサット衛星通信システムが搭載され、電話やFAXが自由に使えるようになり、いまでは、機構の所有するすべての船からメールが送られてきますから、まさに隔世の感があります。もっとも、最近では、航空機内でも通信衛星経由でインターネットに常時接続が可能になりましたので、いずれ、船舶でも世界中どの海域にいても、時差さえ気にならなければ、陸上と同じようにいつでもデスクワークができるようになるでしょう。しかし、（残念ながら？）昔のように一度航海に出てしまえば、陸上のしがみから逃れて研究だけに集中できるというような環境に戻れることはなさそうです。（T.T）

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17年3月現在

株式会社 アイ・イチ・アイ マリンユナイテッド アイ印刷株式会社 株式会社アクト 株式会社アサツディ・ケイ 株式会社浅沼組 アジア海洋株式会社 石川島播磨重工業株式会社 泉産業株式会社 株式会社伊藤高屋瓦斯容器製造所 栄光電設株式会社 株式会社エス・イー・エイ 株式会社NTTデータ 株式会社エヌ・ティ・ティ ファシリティーズ 株式会社MTS 雪氷研究所 株式会社OCC オートマックス株式会社 沖電気工業株式会社 株式会社オーケービリアルティシステム 海洋電子株式会社 株式会社化学分析コンサルタント 鹿島建設株式会社 カナダ株式会社 カヤバシステム マシナリー株式会社 川崎設備工業株式会社 株式会社川崎造船 株式会社環境総合テクノス 株式会社関電工 株式会社キュービック・アイ 共立管財株式会社 恒東貿易株式会社 株式会社きんでん 株式会社熊谷組 株式会社クロスワークス 株式会社グローバルオーシャン・ペロップメント ケイジー・ケイ株式会社 京浜急行電鉄株式会社 ケー・エンジニアリング株式会社 KDDI株式会社 神戸ペイント株式会社 国際気象海洋株式会社 国際警備株式会社 国際石油開発株式会社 国際ビルサービス株式会社 小倉産株式会社 五洋建設株式会社 相模運輸倉庫株式会社 三建設工業株式会社 株式会社三晃空調 三洋テクノマリン株式会社 株式会社ジーエス・ユアサ テクノロジー 財団法人塩事業センター 有限会社シズタ技研 シナネン株式会社 清水建設株式会社 株式会社商船三井	株式会社湘南 昭和ベトロリウム株式会社 株式会社白石 社団法人信託協会 新日本海事株式会社 新日本製鐵株式会社 新菱冷熱工業株式会社 須賀工業株式会社 鈴鹿建設株式会社 スプリングエイトサービス株式会社 住友電気工業株式会社 清進電設株式会社 セナーク株式会社 セントラル・コンピュータ・サービス株式会社 株式会社総合企画アンド建築設計 株式会社損害保険ジャパン 第一設備工業株式会社 株式会社大気社 大成建設株式会社 大日本土木株式会社 ダイハツディーゼル株式会社 太陽日酸株式会社 有限会社田浦中央食品 高砂熱学工業株式会社 株式会社竹中工務店 株式会社竹中土木 株式会社地球科学総合研究所 中国塗料株式会社 株式会社鶴見精機 株式会社テグザク 寺崎電気産業株式会社 電気事業連合会 東亜建設工業株式会社 東海交通株式会社 洞海マリンシステムズ株式会社 東京海上日動火災保険株式会社 東京製鋼繊維ロープ株式会社 東北環境科学サービス株式会社 東北ニユークリア株式会社 東洋建設株式会社 東洋通信機株式会社 株式会社東陽テクニカ 東洋熱工業株式会社 戸田建設株式会社 飛鳥建設株式会社 有限会社長澤工務店 株式会社中村鉄工所 奈良建設株式会社 西芝電機株式会社 西松建設株式会社 日南石油株式会社 日油技研工業株式会社 株式会社日産クリエティブサービス ニッスイ・エンジニアリング株式会社 ニッセイ同和損害保険株式会社	日本SGI株式会社 株式会社日本海洋科学 日本海洋船舶株式会社 日本海洋計画株式会社 日本海洋事業株式会社 社団法人日本ガス協会 日本興亜損害保険株式会社 日本サルヴェージ株式会社 社団法人日本産業機械工業会 日本水産株式会社 日本電気株式会社 日本飛行機株式会社 日本ビュレット・バックカード株式会社 日本無線株式会社 日本郵船株式会社 株式会社間組 株式会社ハナサン 清中製鋼工業株式会社 東日本タグポート株式会社 株式会社日立製作所 日立プラント建設株式会社 深田サルベージ建設株式会社 株式会社フジクラ 藤沢薬品工業株式会社 富士ゼロックス株式会社 株式会社フジタ 富士通株式会社 富士電機システムズ株式会社 物産不動産株式会社 古河総合設備株式会社 古河電気工業株式会社 古野電気株式会社 松本徹専株式会社 株式会社マリン・ワーク・ジャパン 株式会社丸川建築設計事務所 株式会社マルタン 株式会社マルトロー 三鈴マシナリー株式会社 株式会社みずほ銀行 三井住友海上火災保険株式会社 株式会社三井住友銀行 三井造船株式会社 三菱重工株式会社 株式会社三菱総合研究所 株式会社明電舎 株式会社森京介建築事務所 有限会社やすだ 株式会社ユアテック 郵船商事株式会社 郵船ナブテック株式会社 ユニバーサル造船株式会社 株式会社星屋社 レコードマネジメントテクノロジ株式会社 若菜建設株式会社
---	--	---

海と地球の情報誌「Blue Earth」第17巻第2号（通巻第76号）2005年3月 発行
編集人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務部 小柳洋昌
発行人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 情報業務部 土屋利雄

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀町2番地15 TEL.046-866-3811（代表）
横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 TEL.045-778-3811（代表）
むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL.0175-25-3811（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 Office 1133 21st Street, NW, Suite 400 Washington, D.C. 20036, USA TEL.+1-202-872-0000（代表） FAX.+1-202-872-8300
Seattle Office 810 Third Avenue Suite 632 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543（代表） FAX.+1-206-957-0546
東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900（代表）

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

※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



深海巡航探査機「うらしま」

Deep Sea Cruising AUV URASHIMA

世界で初めての燃料電池を動力源とする自律型深海巡航探査機「うらしま」が、2005年2月28日、駿河湾で行われた性能試験において連続航走距離317kmを達成し、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) の連続航走の世界記録を塗りかえた。これまでは、英国・サザンブトン海洋研究所の無人探査機（動力源は一次マンガンアルカリ電池）が記録した262kmが世界最長だった。

「うらしま」（全長約10m、空中重量約10トン）は、独立行政法人海洋研究開発機構が1998年より開発を続けているAUV。機体に内蔵したコンピュータに予め設定されたシナリオに従って、自分の位置を計算しながら航走する「うらしま」は、最新技術を結集した長距離航走型の海洋ロボットで、海底地震域の深海底調査をはじめ、地球温暖化現象解明のための調査などに役立てる目的で、実用化をめざした研究・開発が進められている。今回の試験で高い航走性能が実証されたことにより、今後は、海底調査等に関わる研究者とともに試験運用を行い、搭載している調査機器の性能向上や、調査に適した航走プログラムの改良を行う計画だ。

（本誌38～39ページに関連記事を掲載。上の写真は、支援母船「よこすか」船上で航走試験に備えて整備中の「うらしま」）

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/>