

Blue Earth

海と地球の情報誌

ISSN 1346-0811
2007年10月発行
隔月年6回発行
第19巻 第5号
(通巻91号)

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2007 9-10

深海から見た 生命進化

地球深部探査船「ちきゅう」
南海掘削はじまる

ミクロの世界を見る JAMSTECの匠
新連載 新日本八景

群れなすウシバサトビエイ

1 Close Up 地球深部探査船「ちきゅう」“南海掘削”を開始！

2 特集 深海から見た生命進化

16 Aquarium Gallery エブソン 品川アクアスタジアム 群れなすウシバナトビエイ

18 私が海を目指す理由 予想外のもと出会うために 坂口有人 地球内部変動研究センター 地殻ダイナミクス研究グループ 技術研究主任

22 研究の現場から ミクロの世界を見るJAMSTECの匠

24 Marine Science Seminar 深海のふしぎな生き物たち えっ？ 太陽がなくても生きていけるの？

28 Super Tech 地球深部探査船「ちきゅう」を守る自動船位保持システム

30 新連載 新日本八景 新日本八景への招待「相模湾八景」の開始にあたって 藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

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

裏表紙 Earth Watch 地球と生きものの鼓動が響き合う場所——熱水活動域

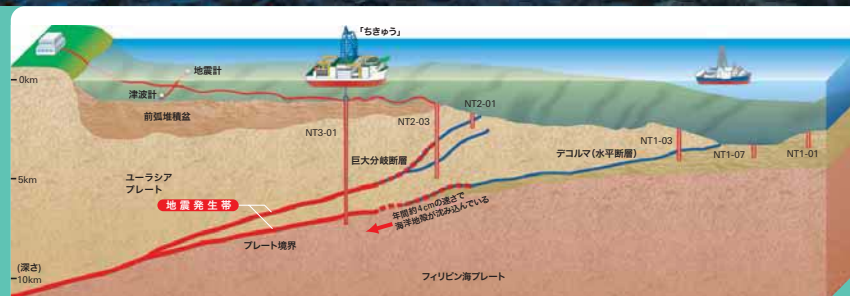
地球深部探査船「ちきゅう」 “南海掘削”を開始！



世界中から集まった研究者を乗せ、新宮港を出港。第1次研究航海（9月21日～11月16日）の共同首席研究者である米国ウィスコンシン大学マディソン校のHarold J. Tobin博士（右から2人目）と海洋研究開発機構地球内部変動研究センターの木下正高グループリーダー（左から4人目）も見送りの人に手を振る

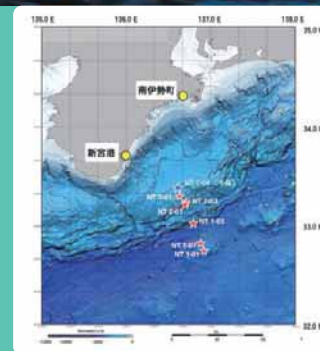


南海トラフへ向けて和歌山県の新宮港を出港する「ちきゅう」



「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の概要 NT3-01では海底下6,000mまで掘削し、地震が発生する現場を直接観測する。NT2-03では、海底下3,500mにある、津波の発生要因になっていると考えられている巨大分岐断層まで掘り進む

「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の掘削点
南海トラフを横切るように6地点で掘削を行う。
新宮港からの補給船と三重県南伊勢町からのヘリコプターによって資材や人員を輸送する



9月21日午後4時、地球深部探査船「ちきゅう」が、日本・米国・欧州・韓国の研究者16人を乗せ、和歌山県新宮市新宮港を出港。22日午前1時、新宮市の南東80km、紀伊半島沖熊野灘の掘削地点NT2-03に到着した。統合国際深海掘削計画（IODP）による最初の研究航海「南海トラフ地震発生帯掘削計画（略称：南海掘削）」の始まりだ。

2005年7月に完成した「ちきゅう」は、下北半島東方沖、ケニア沖などで試験掘削を行って経験を積んできた。そして、満を持して臨むのが、地球上で最も活発な巨大地震発生帯の1つである南海トラフ。南海トラフでは、海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいる。たまったひずみが一気に解放されてプレート境界が滑ることで、東南海地震などの巨大地震が繰り返し発生している。

「南海掘削」は、5年にわたる巨大プロジェクトである。6地点で掘削を行い、NT3-01では海底下6,000mの地震が発生するプレート境界断層まで掘り進んで地質試料を採取し、掘削孔に地震計を設置するのが目的だ。地震が発生する現場の岩石を手にし、またその場で連続的に観測することで、巨大地震がどのように発生するかを明らかにすることを目指している。IODPには複数の海洋科学掘削船が参加しているが、巨大地震の発生現場まで掘削できるのは「ちきゅう」だけだ。

「ちきゅう」は2008年2月まで熊野灘にとどまり、6地点で海底下600～1,400mまで掘削して同時検層を行い、一部では地質試料を採取する。同時検層とは、ドリルパイプの先端近くにさまざまなセンサーを搭載し、密度や音波が伝わる速度など地層の物性を掘削と同時に計測すること。科学的なデータが得られるだけでなく、前人未踏の6,000mまで安全に掘削するための貴重な情報となる。

「南海掘削」の最新情報は、地球深部探査センターのホームページ（<http://www.jamstec.go.jp/chikyu/jp/index.html>）で見ることができる。



深海から見た生命進化

地表の7割を海が覆っている。海の平均水深はおよそ**3,800m**。そのほとんどが光も届かない深海だ。深海探査が行えるようになったのは、この**50年**ほどにすぎない。近年、深海探査技術と生きもの研究方法が目まぐるしく進歩し、長い間ベールに包まれていた深海という極限環境の生物圏が次第に明らかになりつつある。深海研究が、地球と生命の、また生命同士の、新たな共進化のシナリオを描き出そうとしているのだ。

およそ38億年前、生きものは存在した。

岩と氷河がコントラストをなす島、グリーンランド。世界最大の島で、その80%以上が氷河と万年雪に覆われる荒涼としたこの島の一角に、地球最古の生命の痕跡が見つかった。生きものそのものの化石ではなく、生きものがいた証拠と考えられる物質が、岩石のなかから発見されているのだ。

地球自体は約46億年前に誕生したと考えられている。しかし、46億年前の岩石は地球上からは見つからない。火星サイズほどの微惑星が衝突合体してきたと考えられる地球は、誕生当時ドロドロとした熱いマグマの海で覆われていた。地球が冷えて固まった後も、地球表層を覆う地殻は、溶けては固まり、また溶けては固まりということを何度も繰り返してきた。

地球の内部構造はよく、ゆで卵に例えられる。殻にあたるのが地殻、黄身にあたるコア(核)、その周りを覆う白身はマントルだ。海洋地殻は、たとえば海嶺という場所できられ、年間3~10cmほどの爪の生えるくらいの速度で移動し、海溝と呼ばれる部分で沈み込んで地球内部のマントル循環に入る。その後、長い時を経て海嶺などでわき上がり、地殻として再生される。地殻は幾度となく更新されてきたのだ。そのため、地球上で最も古い岩石はおおよそ40億年前のものと考えられ、世界でも限られた場所にしか存在しない。この年代の岩石が、グリーンランドには点在していることが分

かっている。

こうした地球科学的な見地から、生命の痕跡を残した岩石は、約40億年前までしかさかのぼれないだろうと考えられている。グリーンランドではその38億年前の地層がいくつか発見され、最も古い生命の痕跡が見つかったのは、イスアという地域にある岩石だ。1999年、デンマーク地質博物館のミニック・ロージング博士が発表した。しかし、実は1996年にはグリーンランドの別の地域の岩石が、その栄光を手に入っていた。

イスアの近くに位置するアクリア島にも38億年前の岩石がある。コロラド大学のスティーブ・モイジス博士がこのアクリア島で生命の痕跡を発見したという論文が、1996年に発表された。アクリア島の岩石には、アパタイト(燐灰石)と呼ばれるリンを主成分とする鉱物があり、そのなかから「グラファイト」と呼ばれる炭素が見つかったというのだ。この炭素を分析すると、炭素同位体である ^{12}C の方が ^{13}C よりも2~3%多いという。

現在でも、植物などの生きものは ^{13}C よりも軽い ^{12}C を好んで使う性質がある。 ^{12}C が2~3%多く含まれるようにえり好みすること、それは生きものにしかできないとされている。38億年前の岩石からグラファイトが発見され、しかも同位体比から、生きものの体をつくっていたものだと考えられる。これこそ最古の生命の痕跡に違いない、モイジス博

士はそう主張した。

ところがその後、アクリア島の発見はどうもおかしいという研究結果がいくつも発表されるようになった。別の人が同じ石を調べてもグラファイトはなく、さらにアパタイトの年代測定にも疑問が投げ掛けられた。誰の目にも明らかな最古の生命の痕跡、その軍配はイスアに上がった。

生命の痕跡しか残っていないのは、イスアもアクリア島も、グリーンランドの岩石は「変成作用」を受けているからだ。生きものが死んで岩石化し、地下深くに埋められると、圧力や熱を受けて性質を変えてしまう。これが変成作用だ。生きものをつくっていたグラファイトや水素や酸素といった元素も次第に壊れ、残るのは一部のグラファイトだけ。そして、このグラファイト自体は、単に地質的な物理現象でも誕生してしまう厄介なものだ。

大切なのは、そのグラファイトがどういう環境でつくられたのか、つまり岩石はいったいどこでできたのかということになる。イスアで発見された岩石には、きれいな縞模様(縞模様が)が刻まれ、そのなかからグラファイトが見つかった。この縞模様こそが、岩石の出身地を示しているのだ。

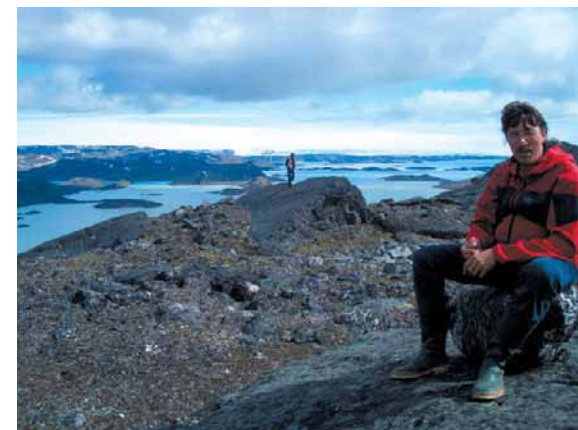
幾重にも重なった縞模様は、「タービダイト」と呼ばれる水中で堆積してできた泥の特徴だ。浅瀬から深海に向けて起きる地滑りでは、細かいものが早く流れ、大きなものほど後から積み重なる。その特徴がはっきりと現れていた。

^{12}C の含有率、そして深海で堆積したタービダイト、この2つの証拠によって、イスアの岩石は世界最古の生命の痕跡と認められたのだ。

では、イスアの岩石に痕跡を残した生命は、どのようなものだったのか。現在の地球環境から考えると、タービダイトに堆積するのは表層で太陽光をエネルギーにして有機物をつくる「光合成」をしている生きものとなる。イスアで見つかったグラファイトもおそらく表層で光合成をしていたものだ。

かたちを残している最古の生命の化石と考えられているものは、オーストラリアのビルバラ地区にある。この地域のノースポールでは、ストロマトライトと呼ばれる、微生物がつくった構造物の化石が見つかった。その年代は約34億年前。この化石ができた場所では、海底温泉の活動があったと考えられている。現在の海底熱水環境と同じ高温環境で生きる微生物がストロマトライトをつくった可能性も考えられている。

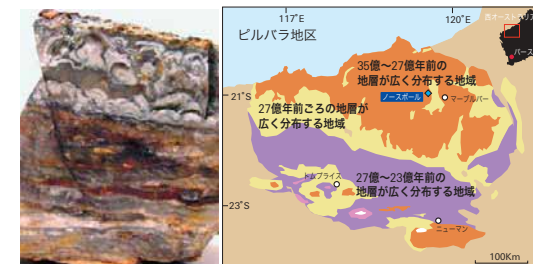
取材協力：
掛川 武 准教授
東北大学大学院 理学系研究科



最古の生命痕跡の発見者 最古の生命の痕跡を発見したデンマーク地質博物館のミニック・ロージング博士。イスアにて



最古の生命痕跡を含む岩 最古の生命の痕跡が見つかった38億年前の岩石。岩石に見られる縞模様が、タービダイトと呼ばれる深海で堆積したものであることを示している。このなかからグラファイトが見つかり、多くの研究者が最古の生命の痕跡だと考えている



微生物がつくった縞模様 オーストラリア・ビルバラ地区(地図)のノースポールで採石されたストロマトライトの化石(左)。約34億年前のもの。ストロマトライトは微生物活動でつくられる構造物である。これが、かたちを残している生命の化石としては最古とされている

地の果て・イスア
北極海と北大西洋の間に位置する世界で最も大きな島、グリーンランド。イスアとは「地の果て」を意味する言葉だ。内陸部は氷河に覆われる。世界の氷の12%がこの島にあるといわれる

写真提供：掛川武(ほか3点も)



地球初期環境と寄り集まる初期生命の進化

取材協力:

高井 研 プログラムディレクター

JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター 地殻内微生物研究プログラム

私たちヒトを含む生きものは、共通の祖先から始まっていると考えられている。というも、地球上に暮らすほぼすべての生きものの遺伝法則は、同じ仕組みだからだ。一方で、多くの研究が、海底の熱水噴出孔が初期生命の活動の場であったことを示している。初期の生命は、熱水噴出孔付近にいたのだろうか。

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 極限環境生物圏研究センターの高井研プログラムディレクター (PD) が考える初期生命の姿はこうだ。

——光の届かない深海で、唯一ともいえる活動的な場所、熱水噴出孔。地球内部のエネルギーによって暖められた海水が、そこかしこからわき上がってくる。この水は地下を通ってくる間にたくさんの重金属を溶かし込んでいたため、海底に重金属が堆積したさまざまな高さの煙突 (チムニー) をつくり上げる。その傍らで、ねっとりとした固まりが静かに増殖を続けている。この固まりは異なる種類の微生物の集まりだ。それらは単独では生きる

ことができなかったら。互いが生産する物質を循環させ、ひとつの生態系として寄り集まって生きてきたのだ——高井PDはこの生態系を「ハイパースライム」と名付けた。

生きものは酸化還元反応という電子のやりとりを利用して、生きるためのエネルギーを得ている。ハイパースライムも当時の地球環境で多かったと考えられる物質を使って、酸化還元反応を行っていたはずだ。それならば、水素と二酸化炭素が、水素と元素状硫黄を使って有機物をつくるのだらう。そう高井PDは推察した。

40億年前の大気については、いまま意見が分かれるが、酸素はないか、いまよりずっと微量で、二酸化炭素と水素が主体だったと考えられる。また、地球内部の環境もいまでは異なっていたと推測されている。初期の地球では、現在よりもマントルがずっと熱かった。そのため、そのころの深海は、火山活動や熱水噴出孔など内部エネルギー放出の場が現在よりも多かったと考えられる。

もしも、ハイパースライム、つまり初期生命に似た生態系がいまなおどこかに存在するとすれば、それは過去の地球環境に似た深海の熱水噴出孔に違いない。高井PDは世界中の海へ、ハイパースライムを探しに行くことにした。ただし、深海といえども、現在の地球では酸素の影響を受けている。しかし、熱水噴出孔付近なら、何百℃にもなるマグマからの熱によって、酸素を含めた地表からのものはいったんすべてリセットされる。この付近にこそ、酸素や地上の光合成に頼らず、地球内部からの物質にのみ依存した生態系が見つかるに違いない——。ところが、どこへ行ってもハイパースライムに出会うことはできなかったのだ。

事態が好転したのは、2002年、インド洋の航海でカイレイフィールドを調査したときのことだった。予測していたとおりのハイパースライムが見つかったのだ。

インド洋のカイレイフィールドは、地質的には特殊な場所だった。ここでは上部マントルが海底付

近にまで上昇していて、上部マントルのかんらん岩から発生する水素が、熱水噴出孔から噴出するガスの大部分を占めていたのだ。こうした水素を主体とするガスを噴出する熱水噴出孔は、その当時はあまり知られていなかったが、最近の研究から、地球上にかなり広く分布することもわかってきた。これこそがハイパースライムが存在できた鍵だと高井PDは考えている。なぜなら、地球初期にも上部マントルの岩石から発生する水素が熱水噴出孔に大きな影響を与えていたと考えられるからだ。

インド洋で発見されたハイパースライムには、水素と二酸化炭素を使ってメタンや有機物をつくる超好熱メタン菌と、高温の環境を好む超好熱発酵菌が存在した。

過去の生きものを手に入れるのは、タイムマシンでも開発されない限り不可能だ。しかし、こうした過去の環境と近い場所を探し出し、そこに暮らす生きものを調べていくことで、初期生命の姿を知ることができるのだ。

40億年前の地球環境と初期生命の場

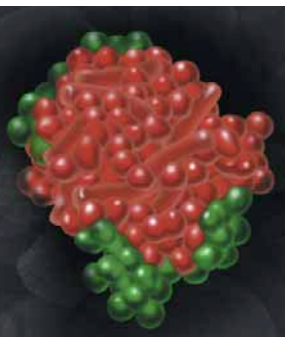
上部マントルから上昇してきたマグマが噴き出し、丸みを帯びた地形をつくる。海水によって急冷されたマグマはひび割れ、割れ目からは沸騰した海水やマグマから溶け出したさまざまな物質や気体成分が噴き出す。そのなかでも、初期生命にとって重要だったのは、水素だったと考えられている。現在の上部マントルの主成分はかんらん岩だが、当時はコマチアイトだった。コマチアイトは熱水と反応して水素を発生させる。中央で黒い煙を上げているのは熱水噴出孔のブラックスモーカー

イラスト: 本多冬人

現代のハイパースライムで見られる微生物上は超好熱メタン菌、下は超好熱発酵菌。この2種類の微生物が75:25という割合で、インド洋のカイレイフィールド海底下で微生物群集を構成していることが明らかになった。この領域の熱水噴出孔からの熱水中には、多くの水素が含まれていることが分かっている。地球初期とよく似た状況がここにあると考えられる



ハイパースライム
超好熱メタン菌と超好熱発酵菌がつくるコロニー。ブラックスモーカー付近にこのハイパースライムが生息する。初期の地球環境では、有機物はあまり多くなかったと考えられる。地下からわき出す水素を利用してメタンをつくる超好熱メタン菌が、生態系の一次生産者となっており、コロニーを養っていた
イラスト: 本多冬人



真核生物への進化の謎

初期の生命と、私たちの間には大きな違いがある。私たちの体を形成している細胞は、核を持つ。核のなかには遺伝情報をつかさどるDNAが含まれているが、それが核膜という膜で囲まれており、そのように細胞に核を持つ生きものは、「真核生物」と呼ばれている。一方で、初期の生命は、このような膜に囲まれた核を持たない「原核生物」と呼ばれる生物であったと思われる。

私たち真核生物が生まれる過程を解明するためには、核を持つという、原核生物とのギャップを埋めなければならない。現在、このギャップを埋める最も有力な説は、「細胞共生説」だ。ある単細胞生物が、別の生物の細胞のなかに取り込まれ、1個の真核生物となったというものだ。この説の証拠とされているのが、細胞内にあるミトコンドリアや葉緑体といった細胞小器官（オルガネラ）が持つ二重になった膜だ。もともと別の生きものだったそれらの器官は、自らがもっていた膜と、取り込む側の生きもの（宿主）の膜をまとう二重膜になっているのだと説明されてきた。実際、葉緑体はシアノバクテリア（あるいはラン藻）と呼ばれる、原

核生物で酸素発生型の光合成を行う微生物が起源とされている。ミトコンドリアはもともとは α プロトバクテリアと呼ばれる微生物^{（かなめ）}だったと考えられている。遺伝物質を含んだ細胞の要といえる核も二重膜をもつ。ただし、その起源は、古細菌が細胞核のもとになったという説はあるものの、不明とされている。

原核生物から真核生物がどのように生まれてきたのかは大きな謎として残っていて、さまざまな説が提唱されている。1個の真核生物になる前段階として、ある生きものが別の生きものに取り込まれるには、「食べる」という行為によく似た過程が細胞レベルで起こることが重要なようだ。「食細胞運動」と呼ばれるもので、たとえばアメーバやゾウリムシのような単細胞生物が餌となる微生物を食べる過程や、私たちの血液中の白血球が侵入してきた微生物を食べて消化する過程のことを指す。ただし、このような過程は真核生物の細胞ではよく知られているが、原核生物では知られていない。そのため、おそらくオルガネラの取り込みが行われる前に、真核生物の起源となる原核生物の細胞

では、すでに食細胞運動はできあがっていたのだろう。

真核生物がどこで生まれたのかというのも謎だ。しかし、真核生物が多細胞化する前に、生きものは浅海に進出し、広がったと思われる。そして、多細胞になった動物の一部は深海へ移動し、現在深海で暮らす多くの生きものに進化したのではないだろうか。

深海に適応した生物のなかに、相模湾の深度1,000mの湧水域に生息する二枚貝、シマイシロウリガイ（*Calyptogena okutani*）がある。この二枚貝はえらに細菌を共生させているが、この共生菌は硫化水素を酸化して硫酸にするときに発生するエネルギーを利用して、無機物から有機物をつくる「化学合成」を行う。シマイシロウリガイは消化管が退化しているので、この共生菌がつくる栄養だけを利用して生きている。

海洋生態・環境研究プログラムで、最近この共生菌のゲノム解析が行われた。その大きさは、100万塩基ほど。ゲノムとは、その生きものもつすべての遺伝情報の最小セットのことだ。無機炭素から有機物をつくり出す独立栄養細菌のなかでは、これまでで最も小さなゲノムサイズだった。この小さくなるというメカニズムのなかに、何か細胞内へ共生する過程を解明するヒントがあるのかもしれない。

オルガネラとなったミトコンドリアや葉緑体ゲノムには、いくつかの特徴が知られている。1つ目は、ゲノム自体がとても小さくなっていくこと。2つ目は宿主へ遺伝子が移動を始めること。3つ目はゲノムを構成するDNAの塩基4種類のうち、アデニン（A）とチミン（T）が増えていることだ。

真核生物の細胞にあるミトコンドリアゲノムは約1万7000塩基、葉緑体ゲノムは12万から19万塩基ほどだ。どちらも多くの遺伝子が核へと移動し、残った遺伝子の塩基はATの豊富な状態だ。シマイシロウリガイ共生菌では、遺伝子の核への移動は確認されていないものの、ATが豊富な状態になっている。

深海には光が届かない。生命史の流れのなかで浅海から深海へと移動した動物は、浅い場所での光合成に由来する有機物が届かない状況で餌を獲得しなければならないという、困難な問題に直面することになっただろう。そのような動物のなかに、地下から供給される熱水や湧水中の硫化水素のような還元物質の酸化によってエネルギーを得て、無機炭素を固定して有機物をつくる能力を

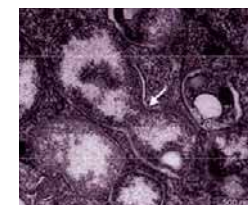
取材協力：

丸山 正 プログラムディレクター

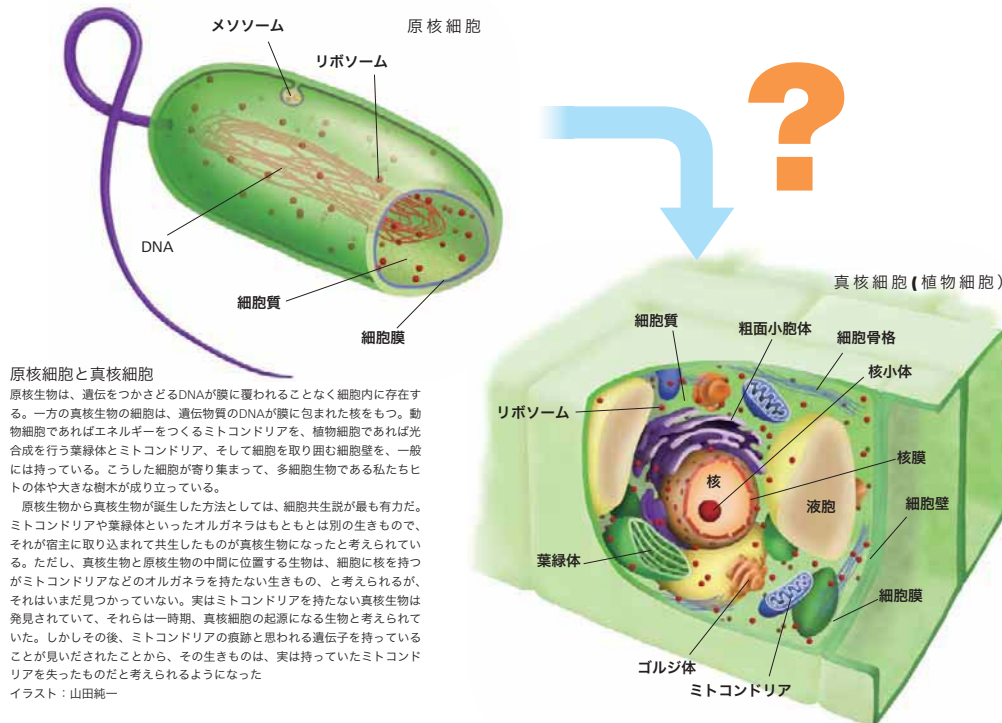
JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター 海洋生態・環境研究プログラム

持った微生物を共生させたものが、環境に適応していったと思われる。そのような動物にとって、まったく新しい能力を遺伝子の突然変異の蓄積で獲得するのはとても大変なことだ。そこで、このような能力をすでに獲得していた硫酸化細菌と呼ばれる微生物を共生させることで、その能力を動物が利用できるようになった。生物が新しい環境でまったく新たな仕組みを獲得する手段として、共生はとても有効なものなのだ。

「シマイシロウリガイの共生菌でも、かつて共生菌がミトコンドリアになったときと似たプロセスが進行しているようです。この共生菌の研究から、ミトコンドリアの進化過程が見えてくるかもしれない」と、丸山正プログラムディレクターは語った。この共生菌が遠い将来に、いままでに見いだされていない化学合成を行うオルガネラとなる可能性も、否定はできない。ミトコンドリアも葉緑体もエネルギー生産にかかわるオルガネラだ。この共生菌も化学合成を行い、つくった有機物は宿主が利用している。原核生物から真核生物へ、その過程の大きなギャップが、特殊な環境で暮らす生きものを研究することから明らかになるかもしれない。



シロウリガイと共生菌
シロウリガイに共生する化学合成細菌（下）は、真核生物の細胞内小器官（オルガネラ）である葉緑体やミトコンドリアと同じく、エネルギーの供給にかかわっている。矢印は細胞分裂が起きかかっているところ。こうした現在の生きものを研究していくことで、過去に起こったことを解明する突破口ができる



原核細胞と真核細胞

原核生物は、遺伝をつかさどるDNAが膜に覆われることなく細胞内に存在する。一方の真核生物の細胞は、遺伝物質のDNAが膜に包まれた核をもつ。動物細胞であればエネルギーをつくるミトコンドリアを、植物細胞であれば光合成を行う葉緑体とミトコンドリア、そして細胞を取り囲む細胞壁を、一般には持っている。こうした細胞が寄り集まって、多細胞生物である私たちヒトの体や大きな樹木が成り立っている。

原核生物から真核生物が誕生した方法としては、細胞共生説が最も有力だ。ミトコンドリアや葉緑体といったオルガネラはもともとは別の生きもので、それが宿主に取り込まれて共生したものが真核生物になったと考えられている。ただし、真核生物と原核生物の中間に位置する生物は、細胞に核を持つがミトコンドリアなどのオルガネラを持たない生きもの、と考えられるが、それはまだ見つからない。実はミトコンドリアを持たない真核生物は発見されていて、それらは一時期、真核細胞の起源になる生物と考えられていた。しかしその後、ミトコンドリアの痕跡と思われる遺伝子を持っていることが見いだされたことから、その生きものは、実は持っていたミトコンドリアを失ったのだと考えられるようになった

イラスト：山田純一

感染と共生、生きもの同士のせめぎ合いの進化

取材協力：
中川 聡 研究員
JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター 有用微生物探索研究グループ

地上で暮らしている私たちからすると、深海はとても特殊な環境だ。暗黒で高圧、栄養源も限られている。深海の多くはひっそりとした、一見何もない世界が広がっている。そんな深海の熱水噴出孔から、共生にかかわる面白い微生物が分離培養され、そのゲノム解析が行われている。深海で最も活発な生命活動が見られる場所が、熱水噴出孔だ。熱水噴出孔は世界各地に広がっていて、いまでは世界中に300以上のサイトが見つかった。

世界に広がる熱水噴出孔のほとんどの場所で発見されるイプシロンプロテオバクテリアと呼ばれる微生物は、熱水噴出孔の生物群集においてかなりの比率を占める優占種だ。熱水噴出孔は環境変動の激しい場所。噴き出す熱水は時に数百℃にもなるが、周りの水温は4℃程度。生きものの多くはその境界で暮らしている。湧水の流量は変化し、熱水噴出孔そのものの寿命もそれほど長くない。こうした環境変動の激しい場所で、イプシロンプロテオバクテリアはなぜこれほど繁栄できるのだろう。そこに共生関係を考える鍵があると、極限環境生物圏研究センターの中川聡研究員は考えている。

中川研究員らは、これまで難しいとされてきたこのイプシロンプロテオバクテリアの培養に成功、詳細なゲノム解析を行った。その結果、イプシロンプロテオバクテリアは、エネルギーを獲得するため

の酵素や、外界の環境と細胞内との間で物質のやりとりをする部分の遺伝子に、さまざまなバリエーションを持っていることが明らかになった。おそらく、こうしたバリエーションを持つことで、変化の激しい環境への適応度を上げているのだろう。

イプシロンプロテオバクテリアには意外な仲間がいることが分かっている。ヘリコバクターやカンピロバクターといった病原性微生物だ。ただし、深海のイプシロンプロテオバクテリアは、病原性微生物のように毒素を出すことはない。

ヘリコバクター属には、胃がんの原因ともいわれ、約半数の日本人の胃に巣くっているとされるヘリコバクター・ピロリなどがある。一方、カンピロバクターは腸炎などの原因菌で、トリなどの腸に慢性的に感染し、ヒトでは食中毒を起こす微生物として知られている。これらの微生物に見られる感染の大きな共通点は、「慢性化」だ。

イプシロンプロテオバクテリアのゲノムを解析して、見えてくる特徴がある。これまでに20種類ほど解析されているが、そのどれもが比較的小さなゲノムを持つ。これはシマイシロウリガイの共生菌にも見られた、共生する微生物によくある特徴だ。深海のイプシロンプロテオバクテリアは、共生しなくても生きていくことができる。細胞内に入るもの、細胞外で体表にくっついているものなど、共生の仕方もさまざまだ。

さらに興味深いのは、次の2つの特徴だ。1つ目は、深海のイプシロンプロテオバクテリアとカンピロバクターの糖鎖の修飾方法が、真核生物と同じN結合型であったこと。2つ目は、イプシロンプロテオバクテリアの仲間では、遺伝子修復にかかわる遺伝子が広く失われていたことだ。

糖鎖は、細胞内で遺伝情報が読み解かれてタンパク質がつくられた後に、タンパク質に目印のように付けられる。それを「修飾」と呼ぶ。糖鎖はタンパク質の機能調節や、自分と自分以外のものを見極める自己認識の役目を果たすと考えられている。たとえば、ヒトのABO型血液型は、この糖鎖の違いだ。N結合型の糖鎖修飾は、これまで真核生物でしか知られていなかった。イプシロンプロテオバクテリアの糖鎖がいったいどんな役割を果たしているのか、いまのところははっきりしたことは分かっていない。

「宿主の免疫を逃れるため、あるいは自己認識にかかわっているのかもしれない」。中川研究員

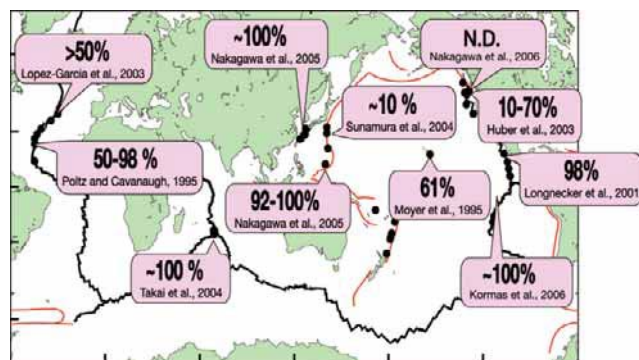
はそう推察している。共生するときにも、宿主の自己と非自己の認識を欺かなければ、特に細胞内共生は難しいだろう。たとえばカンピロバクターでは、糖鎖を修飾させる遺伝子を破壊する実験が行われている。この実験では、生育はできるものの、感染率がかなり低下することが分かった。中川研究員は、この仕組みがイプシロンプロテオバクテリアの共生と深くかかわっているのではないかと考えている。

2つ目の特徴である遺伝子修復にかかわる遺伝子が欠けていることも、共生と深くかかわっていると考えられる。遺伝子を正しく修復するシステムが欠けていることで、遺伝的な変化が激しく起こる。その結果、こうした微生物はどんどん姿や性質を変え、それが宿主の免疫システムを欺く。そ

のことが宿主の体内に長期的に感染していられる仕組みとなっているというのだ。

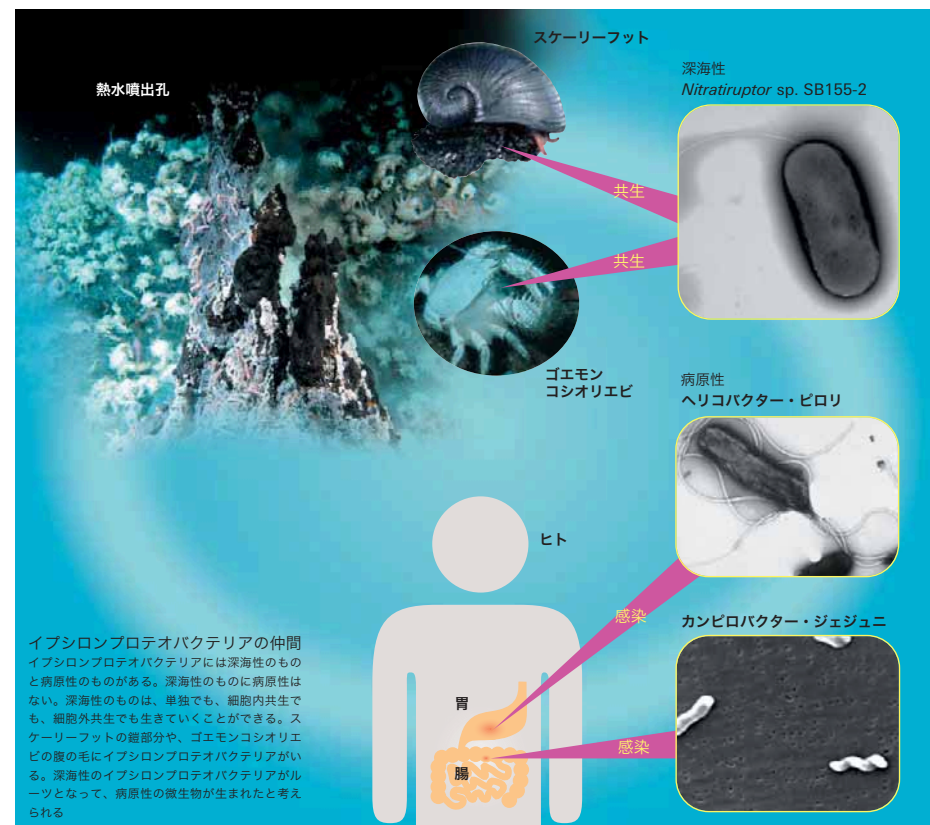
深海のイプシロンプロテオバクテリアは、熱水噴出孔というとても環境変動の激しい場所で生きている。このような変動に自らうまく適応するか、あるいは宿主と共生することで変動の少ない環境を手に入れ、生き残る確率を上げる。こうしてイプシロンプロテオバクテリアは深海の優占種として君臨したのだろう。

手を組むか、乗っ取るか。寄生と共生。生きもの同士のせめぎ合いのなかで、私たちの細胞や病気が生まれてきた。生きものは十億年も前から、細胞レベルでのこうした闘いを繰り返している。その先の進化の延長上に私たちの体の仕組みが成り立っている。



深海底熱水噴出孔生物群集の優占種

イプシロンプロテオバクテリアは世界中の海底熱水噴出孔から発見され、しかもほとんどの場所で優占種となっている。図中の数値は種々のDNA解析手法により見積もられたイプシロンプロテオバクテリアの割合



海底下地球内部に広がる巨大な生命圏

20世紀後半になるまで長らく、酸化物質に乏しい地下深部はまったく生きものがいない世界と考えられてきた。しかしながら、近年のDNAを用いた分子生物学的手法や蛍光細胞染色技術の急速な発展により、地球内部の巨大な空間に生きた微生物が存在していることが分かってきた。想定外の巨大な地下生命圏がそこには広がっていたのだ。

1994年、当時ブリストル大学にいたジョン・パークス博士らは、国際深海掘削計画（ODP: Ocean Drilling Program）で掘削された海底下約800mまでの堆積物コア試料に、1cm³あたり約10万匹以上の微生物細胞がいるという、それまでの常識を覆す学説を科学雑誌『nature』に発表した。その後、地球の約7割を占める海洋底のさらにその下に、地表や海中などの表層世界で暮らす生きものの量（バイオマス）をはるかに超える生命圏が存在することが次第に明らかになってきた。

そもそも地球と生命史において、微生物は生命の起原や進化にとって最も重要な役割を担ってきた。たとえば、酸素に満ちあふれた地球の形成に、過去の光合成微生物が果たした役割は極めて大きいと考えられている。われわれ人間を含めた大部分の地球表層の生命体は、酸素や太陽光にあふれた世界に暮らしている。しかしながら、暗黒で無酸素の海底下深部に、地表のバイオマスをはるかに超えた生命圏が存在する。この生物圏は地球の物質循環にどのようなインパクトを与えているのだろうか。

その巨大な海底下生命圏の実態を明らかにし

ようという試みが、JAMSTECの地球深部探査船「ちきゅう」で行われる。石油掘削に使われる最新の掘削技術を応用し、海底下最大7,000mの深度まで掘り抜くことが可能だ。これまでに人類が手にしたことのないような海底下深部の試料を手に入れる。「ちきゅう」によって掘削された柱状の堆積物・岩石試料（コア）を研究することによって、海底下生命圏の全貌が次第に明らかになりつつある。

2002年2～3月に、世界で初めての本格的な海底下生命圏調査ODP「Leg 201」航海が行われた。ガラパゴス諸島付近の2カ所とペルー沖の5カ所で掘削が行われ、海底下生命圏に関する驚くべき事実が次々と明らかになってきた。

まず、海底下深部に生きる微生物は、私たちが生活する表層世界とはまったくスケールの異なる時間を生きていたのだ。固体によって覆われている地球内部の環境は、栄養源の供給速度が遅く、陸上や海水中に比べて生物活性が低いのだ。たとえば、海底下では高い生産力を持つペルー沖の微生物でも、硫酸を還元する速度は数十pmol/cm³。この値は陸上の湖沼や港と比べると、1000分の1から100万分の1ほどにすぎない。分裂速度も数百年から数千年といわれ、地表の時間スケールとはまったく異なる時間が海底下には流れているらしい。

また、海底下深部といえども、地表の生命活動の影響を大きく受けていることも明らかになった。たとえば、堆積物中の有機物濃度が2～5%に達するような海域と、ガラパゴス諸島沖合の太平洋

のど真ん中のような濃度0.2%以下の海域では、後者の方が微生物の活性やバイオマスは低かった。海底下ならどこでも同じような生物圏が存在しているわけではないのだ。

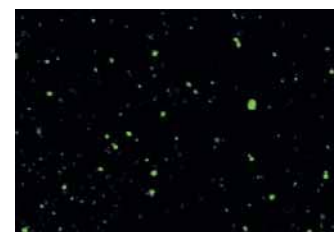
さらに海底下で暮らす主要な微生物たちが、これまでにまったく分離培養されたことがない種類であることも明らかになりつつある。掘削された海底堆積物のコア試料から抽出したDNAの解析などから、これまで性状が知られている微生物とは系統的に離れた微生物種ばかりが見つかっている。海底下には、未知の微生物が非常にゆっくりとした生活を営む、想像を超える生命圏が広がっていたのだ。

こうした未知の海底下微生物の代謝活動とメタンハイドレートとの関係も注目されている。「燃える氷」ともいわれるメタンハイドレートは、メタンと水で構成される固体で、日本近海の下海底下に大量に眠っていることが分かっている。石油に代わる次世代のエネルギー資源として期待されている。このメタンハイドレートの多くは、炭素の安定同位体比の分析などから、微生物がつくったものだろうと考えられている。しかし、どこで、どのような微生物が、どのようにしてメタンをつくっているのか、未解明の部分が多い。また、海底下の微生物のなかには、メタンを食べる種類もいるという。だからこそ、海底下にいる未知の微生物の役割が重要視されているのだ。

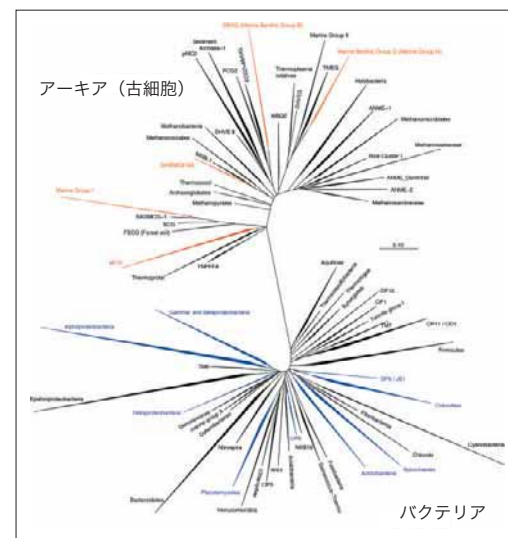
また、現在の技術では手の届かない場所も、海底下には存在する。俗に「海底下の海」と呼ばれる場所だ。多くの水を内部に含んだ透水率の高い帯水層が、世界各地の海底下深部に発見されている。海洋地殻を構成する玄武岩の上部には亀裂が多く、そこを酸化物質を含む水分が循環しているのだ。いまのところその場所から汚染することなく試料を手に入れる手段がなく、掘削した穴を通じてわき上がってくる水を採取するしか研究の手段がない。しかし、こうした場所にも生命は存在すると考えられており、将来的な科学掘削技術の開発が期待されている。

海は宇宙と同じくらい、まだまだ謎に満ちている。「ちきゅう」が掘り出す、前人未踏の地球深部試料は、海底下生命圏という新しい世界に開かれた窓だ。いまはまだほんの小さな窓だが、そこから垣間見る生きもののたちの姿は、私たち人間の想像をはるかに超えている。

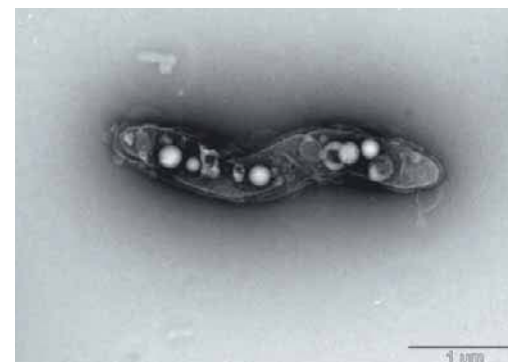
取材協力：
稲垣史生 グループリーダー
JAMSTEC 高知コア研究所 地下生命圏研究グループ



海底下の微生物
微生物のDNAを蛍光物質で光らせている。分裂している途中のような微生物も確認できる



海底下深部の堆積物から検出された微生物の系統群
色が付いているところは、検出された割合が多かった微生物。これまで分離・培養されたことのないような多様な微生物系統が、ペルー沖や米国オレゴン州沖で掘削された海底下堆積物コアから検出された



海底掘削孔内から発見された新種の微生物
米国オレゴン州沖のファン・デ・フカ海嶺裏側で行われた統合国際深海掘削計画（IODP）Exp.301航海で分離同定された新種新属の好熱性微生物

地球深部探査船「ちきゅう」	
全長	210m
型幅	38.0m
船底からの高さ	130m
深さ	16.2m
総トン数	約57,087トン
航続距離 (満載、 10ノットにて)	約14,800海里 (約27,410km)
最大乗組員	150人
最大掘削水深 (ライザー掘削時)	2,500m
ドリルストリング長	10,000m



コア保管庫に並ぶ掘削試料
高知コア研究所にある4℃のコア保管庫に並ぶ掘削試料。掘削された貴重な海底下試料が厳密に保管されている。高知コア研究所には、過去にODPなどで掘削された試料を含め、「ちきゅう」などにより西太平洋やインド洋などから掘削された試料がすべて保管されることになっている

未来を切り拓く深海生物資源

私たちの身の回りには、微生物を利用した製品があふれている。醤油もパンもお酒もヨーグルトも、微生物なしにはつくることができない。洗剤には微生物がつくる酵素が入っているし、抗生物質の世話にならない人は、おそらくいないだろう。

人はかれこれ70年もの間、新しい微生物を求めてあらゆる場所を探索してきた。温泉や巨大な氷床、深さ3,000mの坑道、あらゆる場所に微生物ハンターが出掛けていき、微生物という宝を求めて調査を進めてきた。そのかいあってか、いまでは地上で新しい微生物が見つかりにくいという状況が生まれている。

残された最後のフロンティア、それは海だ。地表の7割を海が占め、広大で未開拓な場所がそこには残されている。全海洋の平均水深は3,800m。海のほとんどが、光も届くことのない深海だ。海には空气がなく、電波も届かない。それだけに探査は難しい。いまこうした海を探査する技術開発が、日進月歩で進んでいる。

この深海においてJAMSTECは世界に秀でた技術を持っている。たとえば、有人潜水調査船「しんかい6500」は、深さ6,500mまで潜ることができる。世界の海の98%は6,500mよりも浅いから、ほぼ世界中の海に潜ることが可能だ。また地球深部探査船「ちきゅう」は、海底下の地殻を7,000m掘り進み、そこから海洋地殻を試料として手に入れることができる。これほどまでの深さを掘り抜き、

生きものも含めた試料の回収方法をもつ船は、世界でも例がない。しかも、その試料を適切に保管する保管庫、未知の生きものを扱う実験施設、生きものの高い培養技術や研究能力をもった研究者といった条件が、ここにはすべてそろっている。

豊かな多様性をもった日本近海

それだけではない。生きものを探す上で、日本近海は有利な条件がそろっている。生きものと地球のダイナミズムは密接にかかわり合っている。この地質的なダイナミズムを備えた場所が日本なのだ。遠く東太平洋海嶺から1億年ほどをかけてやって来たプレートが、日本近海で沈み込む。この海洋プレートの沈み込みによって、プレート同士の境界付近は火山や断層などの活発な地質環境が生まれている。さらに日本近海では、まさに海洋地殻がつくられつつある「海嶺」も確認されている。

1億年前の地殻と、できたての地殻、そしてアジア各地の島や大陸、火山から地殻や海溝へ流れ込む大量の物質。さまざまな地質条件が存在し、しかもそれらが複雑に絡み合いながら、変化に富んだ日本の海をつくり出している。この豊かな環境こそが、その場所ごとに異なる生命の進化を生み出すことは、陸上の進化を思い起こしても容易に想像できる。多様性をもった環境では、その場所、場所にした生きものがはぐくまれ、独自の生態系がつけられていく。

私たちがこれまでうかがい知ることなかった生物圏が、足下にどしりと横たわっている。ここ数年の海底下の研究では、そうした生物圏の豊かな世界が次々と明らかになりつつある。たとえば、とてもゆっくりとした分裂をする微生物がその例だ。昔話の浦島太郎とそっくりなお話が、深海の海底下に実在した。海底下の微生物を地上の条件下で培養すると、分裂速度が速くなることが観察されたのだ。まるで玉手箱を開けて、みるみる年を取った浦島太郎だ。

深海に暮らす微生物たちの働きや種類については、刻々と研究が進められている。そこにはいままでの地表の生きものを基準とした考え方、常識ととらえていたことが通用しない、まったく新しい生きものたちがあふれ返っているようだ。

独自の戦略

こうした海底に眠る莫大な未知の資源を、いっ

たいどのように有効に活用するのか。極限環境生
 物圏研究センターでは、独自の戦略を展開してい
 る。同じ場所からの試料を、生育と遺伝解析、そ
 の両方ができるような方法で永久保存する。少し
 乱暴な例えだが、イカを生きたまま飼育するのと、
 干してスルメで保存するようなものだ。イカをいけ
 ずで育てるように、生かせるものは生きたままで
 保存し、育てて増やすこともできるようにする。研
 究所ではこれを「生もの」と呼ぶ。一方で、イカを
 乾燥させることでDNAの劣化を防ぎ、いつでも
 DNA解析ができる状態にしておく。こちらの呼称
 は「干物」だ。生ものと干物の2種類の保存方法
 を検討することで、現在の技術では対応できなく
 ても、20年、50年先に、このセンターで保存した
 ものを研究に利用できるようにすることも、目標の
 ひとつになっている。

培養できたものについては、分子生物学や生化学の手法を使って代謝を調べる。DNA分析用試料については、すべてのゲムの解析を行い、遺伝子を割り出してやはり代謝を調べ、応用する。そして、最終目標としては事業化などのかたちでの人類貢献を目指す。すでに商業化に向けてのプロジェクトが3つほど走っている。あと2〜3年すれば、極限環境生物圏研究センター製の製品が市場へ出るはずだ。

新たな生命進化のシナリオ

極限環境生物圏の研究は、惑星探査なのだ。木星の衛星・エウロパの氷の下には海が広がっていると考えられている。土星の衛星・タイタンにはメタンの海があるのではないかといわれている。こうした探査にも、深海での生物研究は役立っだろう。太陽から遠いこうした天体では、太陽光に頼らない生物圏が存在しているかもしれない。酸素も地球のようにはないだろう。そうした天体で見つかるかもしれない生きものは、深海にいるような生物圏をつくっている可能性が高い。深海探査の方法を確立し、生物圏の実体を明らかにしてこそ、その先にある、ほかの惑星や衛星探査の方法が見えてくるはずなのだ。

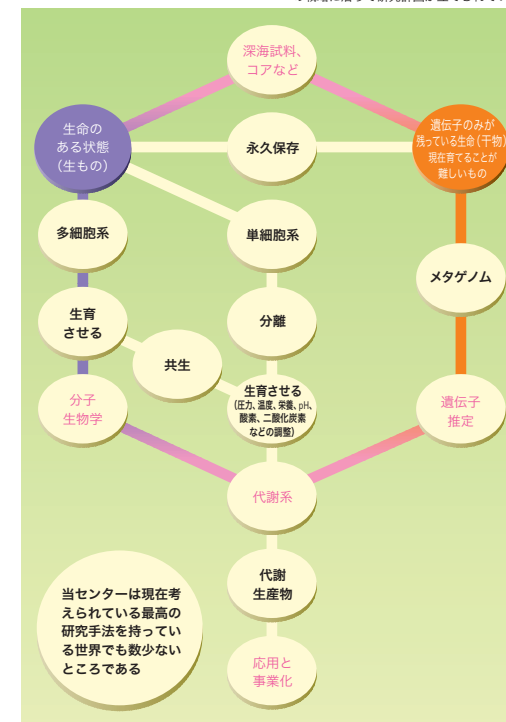
深海探索を通じて得た、ほかでは手に入れることがほとんど不可能な試料。こうした試料を背景に、極限環境生物圏研究センターの研究は、まさに世界の最先端に位置している。だからこそ、この先10年、20年のサイエンスを引っ張っていくチ

取材協力：

掘越弘毅 センター長
JAMSTEC 極限環境生物圏研究センター

極限環境生物圏研究センターの
研究戦略

センターは、大筋の研究の流れをこの図のように決めている。どこの研究室でも、この戦略に沿って研究計画が立てられている



熱水噴出孔に群がる
リミカリス

甲羅がとてもやわらかく、船
上まで上げるとたちまち死ん
でしまう。目がなく、赤外線
を感じている。現段階では、
飼育に成功していない。頭部
にはイブシロンプロテオバク
テリアを共生させていること
が分かっている。こうした生
きものを飼育することも目標
のひとつ

ヤンスが、ここに用意されている。

深さ1万mに暮らすエビ、海底数千mの地殻、熱水噴出孔の数々。こうした貴重な試料から深海の生きものたちの振る舞いを明らかにするセンターの研究は、次々と常識を覆していく。これから、新たな進化のシナリオを提出し続けることになる。

BE

海底下の地殻試料
2006年に北半島沖で行われた「ちぎゅう」による海底掘削試料・海洋コアを手にする掘越センター長（左）と稲垣GL。後ろに並ぶ試料は、すべてそのときのもの



ウシバナトビエイは、オス、メスが別々の集団をつくると考えられている。稚魚のころからそのような集団をつくるといふ説もあるが、よく分かっていない。ウシバナトビエイが群れをなす理由自体も不明だ。その習性には謎が多い。水族館の群れはオス17匹、メス3匹となっている



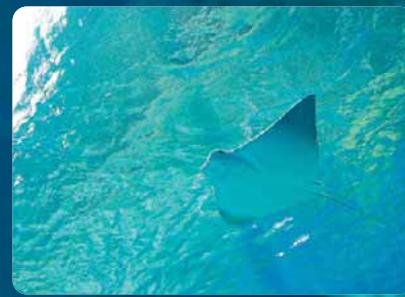
ウシバナトビエイが群れる水中トンネル。まるで海に潜っているかのようだ。珍しいエイたちを横側から眺めることもできる。容量890トン、巨大な水槽だ



■Information: エプソン 品川アクアスタジアム
〒108-8611 東京都港区高輪4-10-30
TEL 03-5421-1111
URL <http://aquastadium.jp>



水族館に来たばかりのころ、水温は9月の沖縄の海と同じ23℃に設定していた。その当時は、広い水槽のある一か所に集まってしまうことが多かった。ウシバナトビエイは高い水温を好む。試しに水温を2℃ほど上げてみた。すると、水槽全体を使って泳ぎ回るようになった



腹側に一文字の口。ネコのような目。その間にある一筋のラインには、マントのように広がる器官が収納されている。マントの先端には微弱電流を感じるセンサーが備えられていて、砂地で小さなマントを広げ、電流を感知することで砂のなかにいるエビやカニなどを探することができる



AQUARIUM GALLERY

エプソン 品川アクアスタジアム

群れなすウシバナトビエイ

1993年6月、ぼくは沖縄にいた。水族館に展示する魚を手に入れるためだ。そのついでに、沖縄海洋博記念公園水族館(現 美ら海水族館)に立ち寄る。人気のあるジンベイザメの水槽で、ふと足が止まった。ぼくの目をとらえて離さなかったのは、サメのいわば脇役として展示されていたウシバナトビエイの群れだった。

エイの仲間の多くは、群れで行動することはない。ところがこのウシバナトビエイは珍しく群れをなし、集団でゆったりと泳ぎ回る。水槽のなかでは、こちら側とはまったく違う時間が流れているかのようだ。いつの日かいつらをぼくの手で飼育しよう、そう心に誓った。しかし、ウシバナトビエイは入手が困難で、値段も高い。成長すれば1mを超えるエイを集団で飼える大水槽は、そうはない。当時勤務していた水族館にも大水槽があったが、すでに別種の魚が飼育されていたため、ウシバナトビエイを飼うことはかなわなかった。

それから10年後、思いがけないかたちでそのチャンスが訪れた。エプソン 品川アクアスタジアム水族館のオープニング準備を任せられ、生きものたちのラインアップを決定してもよいというのだ。しかも、新しい水族館には、エイとサメを中心にした巨大なトンネル水槽の設置が決まっていた。ついにウシバナトビエイを、自分の手で、この水槽に泳がせることができるかもしれない。

すぐさま美ら海水族館に電話し、実際にお伺いしてエイの入手方法について相談する。すると、館長が快く入手を請け負ってくれた。なんとという幸運だろう。しかし、時期はすでに9月初旬、暖かな海を好むウシバナトビエイは、そろそろ沖縄の海を離れ、さらに南の海へと移動を始める時期。本当に手に入れることができるのだろうか。

2週間後、魚類担当のリーダーの方から連絡が入る。漁師の仕掛けた定置網にウシバナトビエイの群れが入り、その連絡を受けた美ら海水族館でエイを選定し、いけすへ収容してくれたということだった。またしても、幸運は続いた。それから翌年3月まで、エイたちは沖縄で大切に育てられた。

ウシバナトビエイ輸送のために、私は沖縄へと飛んだ。お願いしてあった20匹のウシバナトビエイを活魚船で空港まで運ぶ。荷物置き場で大仕事、エイのバックキングだ。1.2m四方の立方体をした断熱箱のなかに、強化ビニール袋を入れ、そのなかに海水と、体長60cmほどのエイを2匹ずつ入れる。酸素を充填し、口をかたく結んでふたをする。東京まで約8時間、どうか耐えてくれ。すでにテストはしているものの、生きものの飛行機移動は緊張する。折る気持ちで同じ飛行機に乗り込んだ。足下にはエイたちが真っ暗な断熱箱のなかで、静かに呼吸を続けているはずだ。

8時間後、品川にエイが届いた。袋を開け、1匹1匹恐る恐る水槽へ移すと、群れとなってエイが泳ぎだした。沖縄での誓いは、こんなかたちで実を結んだ。あの日から15年、ウシバナトビエイが泳ぎ回るトンネルの下では、甲高い子どもたちの声が今日も響き渡っている。

(取材協力: 三浦晴彦 エプソン 品川アクアスタジアム 副飼育長)

予想外のものと出会うために

坂口有人 地球内部変動研究センター
地殻ダイナミクス研究グループ 技術研究主任



坂口有人（さかぐち・ありと）
1969年、熊本県生まれ。理学博士。筑波大学大学院地球科学研究科博士課程修了。高知大学理学部自然環境科学科助手。2001年、海洋科学技術センター 研究員。2007年より現職。専門は地質学
写真提供：坂口有人

「四十万帯に便利」（<http://www.arito.jp/>）というホームページのサイト「坂口製作所」を訪ねると、地震の仕組みを示すおもちゃなど、地学の面白さを体験できるさまざまな模型に出会える。このサイトを開いているのが、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の坂口有人技術研究主任だ。坂口主任たちは世界で初めて海溝型巨大地震の痕跡であるシュードタキライトを発見し、2003年に発表した。「勉強嫌いの天文少年」だった坂口主任が、地学の魅力を語る。

天文少年が地学に興味を持った理由 ——理科少年だったのですか。

坂口：はい。特に天文にはまりました。きっかけは小学校4～5年生のころ。お年玉をためて望遠鏡を買ったんです。それで夜空を見ていたら、すごく明るい星があり、その大きな星の周りに小さな点が並んでいました。ところが違う日に見たら、その点の配置が変わっていた。「なんじゃ、これは！」と驚きました。いつも見ていた図鑑の、あまり開かなかったページで、それが木星とその衛星であることを知りました。ちょうど惑星探査機「ボイジャー」が木星の画像を送

ってきていたころです。そう思って見直してみると、私の望遠鏡でも木星のしま模様が見えたと見えて、とても感動しました。

——地学に興味を持ったきっかけは？

坂口：私が通った高校では、理系コースでは地学の授業を取れませんでした。しかし天文に関係すると思ったので、高校地学の参考書で独学しました。そこでプレートテクトニクス理論を知り、「これはすごい！」と。極めてシンプルな理論で、地震や火山活動、大陸移動などさまざまな地質現象を説明できるところに引き付けられたのです。

——天文学ではなく、地学を選んだ理由は？

坂口：天文学をやるには数学ができないと駄目だと信じていました。そもそも私は数学などの勉強は大嫌いだったんです。テストもほとんどの教科で赤点ばかり（笑）。大学に行って何がしたいという目標もなかつ



宮崎県での国際ワークショップの際の四十万帯・延岡断層の露頭見学会の様子。左上から右下に斜めに見える線状のものが断層帯。いくつも平行に配列している。「研究は、謎解きというより、自然観をつくり上げていくという感覚です」と坂口主任は語る

たのですが、プレートテクトニクス理論のことを知り、高知大学で地質学を学ぶことにしました。

フィールドは調べ尽くされていない ——大学での地質学の研究は面白かったですか。

坂口：学部3年生のとき、進級するための課題がありました。地形図を渡され、あるエリアを指定されて、年末までに地質図を仕上げなさいという課題です。指定されたエリアは、過去に偉い先生たちが何度も研究している場所。いまさら学生が調べて何が分かるのだろう、と思っていました。しかし、実際に行ってみて驚きました。いままで研究されてきたのは、フィールドにある情報のごく一部だけ。ある見方、あるフィルターをかけてフィールドにある情報のごく一部が

取り出され、研究されているにすぎない。そのことを痛感したのです。

——調べ尽くされていなかった。

坂口：そう。まったく調べ尽くされていない。フィールドには、未知の情報がたくさんあって、工夫次第でいくらでも新しいことを見つけられる。自分にも出番はある。フィールドは面白いと思いました。

地質学のフィールドワークは、どのエリアを、どういうテーマで、どんな切り口で調べるのか、自分一人で研究をデザインできます。そこがいいんです。だんだん研究にのめり込むようになりました。

四十万帯で「地震の化石」を発見！

——どのような研究をしたのですか。

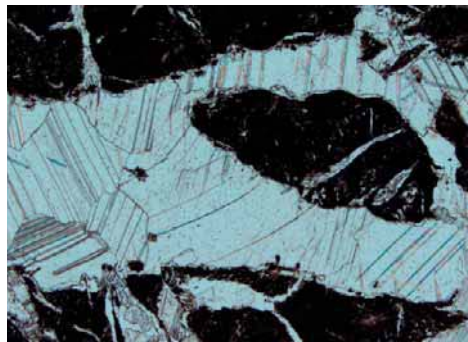
坂口：学部の卒論研究のとき、1991年ごろから、西日本の太平洋沿岸に広がる四十万

帯と呼ばれる地層の研究を始めました。1980年代初め、当時、高知大学で教職にあった平朝彦先生（現JAMSTEC理事、地球深部探査センター長）が、四十万帯は付加体であることを突き止めました。海洋プレートが海溝で陸を乗せたプレートの下に沈み込むとき、海洋プレートの上の堆積物が削り取られて陸に押し付けられます。それが付加体です。西南日本は、フィリピン海プレートが沈み込む南海トラフという海溝で付加体が形成され、陸に付け加わり、どんどん大きく成長してきたことが分かったのです。私が学部のときには、陸がどのように成長するのか、四十万帯などの付加体を調べて、その仕組みを調べる研究が始まっていた。

四十万帯は、約1億3000万～2000万年前に海溝で形成された付加体で、地下の浅い



シュードタキライトが発見された断層
(高知県四万十町)



世界で初めて見つけた海溝型地震によるシュードタキライト。水が通った跡である白い鉱物脈が密集しているなかに、シュードタキライトの黒い筋が見える

カルサイト(白い部分)に入った筋(黒い線)。この筋(双晶)はカルサイトにかかった圧力に比例して増える。その性質を利用して、カルサイトをコンクリートに混ぜて建設し、その建物が地震によってどれだけダメージを受けたのかを知るセンサーとして応用する研究も、坂口主任たちは進めている

場所のできた地層が、その後に隆起して地上に露出したものです。それは何度くらいの温度でできた地層なのか。それが私の研究テーマでした。そして、四万十帯は約150～300℃で形成されたことを突き止めました。これは従来の予想よりも高い温度です。

——その後、四万十帯で“地震の化石”を発見したのですね。

坂口：南海トラフで巨大地震を引き起こすプレート同士が接する断層は、地下6～30kmくらいのところにあります。その断層は、普段はびったりとくっついていますが、プレートの沈み込みによってひずみがたまり、あるとき一気に高速で動いて地震が発生します。この地震発生帯の温度は約150～350℃と考えられ、四万十帯ができた温度と重なっています。

私は1998年に高知大学の助手となり、四万十帯の研究を続けました。そして、四万十帯のなかでも270℃くらいと高い温度でできたエリアを見つけました。それは高知県四万十町の海岸にあり、周囲は200℃くらいですが、そのエリアだけ形成温度が高いのです。学部の学生だった池沢栄誠君

(現・静岡県県庁)に、卒論のテーマとしてそのエリアをよく調べるように言いました。そしてあるとき、池沢君が“すごい断層を見つけたので見に来てください”と言うのです。彼に連れられて行ってみて、“なんじゃ、これは!”と驚きました。

——何が驚きだったのですか。

坂口：たとえば、高温高压状態で鉱物中が水が流れた跡である鉱物脈が、異常なほどたくさん見つかりました。そんなに鉱物脈が密集しているのを見たのは初めてです。その場所の岩石を採取して、研究室で調べました。すると、シュードタキライトという地震の化石が見つかったのです。

——なぜ、地震の化石だと分かるのですか。

坂口：シュードタキライトは鉱物が溶けてガラス化したものなんです。地震は断層が高速で動くことによって起きます。そのときに摩擦熱が発生します。シュードタキライトは、断層が高速で動いて摩擦熱が発生した最も典型的な証拠なのです。内陸型地震の跡であるシュードタキライトは見つかっていましたが、南海トラフのような海溝で起きた巨大地震の証拠となるシュードタキライトを見つけたのは、私たちが世界で初めて

でした。

地震の謎に迫る

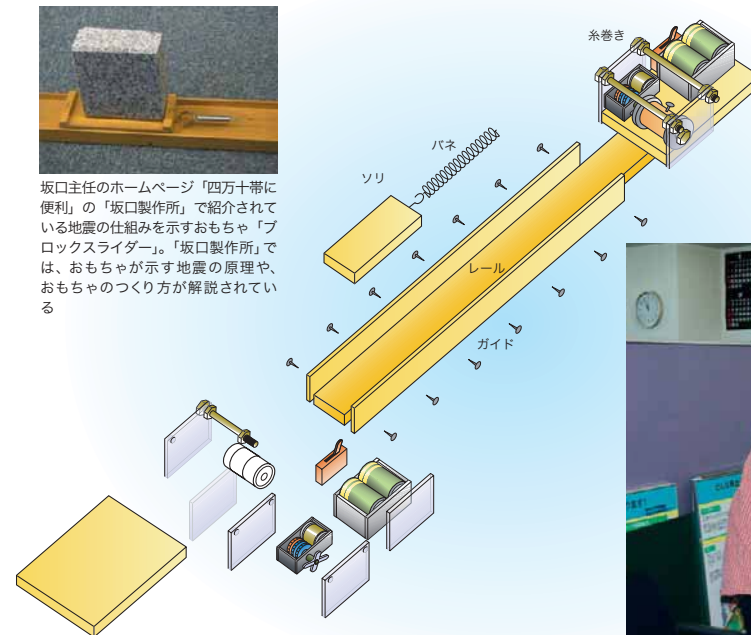
——現在は、どのような研究をしているのですか。

坂口：付加体を研究していたメンバーの多くが地震の研究を行うようになり、地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフの掘削プロジェクトに加わっています。私も2001年にJAMSTECに入り、四万十帯で地震の研究を進めるとともに、掘削プロジェクトに参加しています。

「ちきゅう」は、紀伊半島熊野灘の南海トラフの海底下約6kmまでを掘削して、史上初めて地震発生帯を直接調べます。一方、付加体を調べることで過去の地震発生帯を調べることができます。それはすでに活動を終えた“死んだ”地震発生帯ですが、海底下約6kmよりも、もっと深い場所にあった地震断層が隆起して露出している場所があるので、その状態を調べることができます。「ちきゅう」で“生きている”地震発生帯を、付加体で“死んだ”地震発生帯を調べて、それらのデータを組み合わせて地震の謎を解明しようとしているのです。



坂口主任のホームページ「四万十帯に便利」の「坂口製作所」で紹介されている地震の仕組みを示すおもちゃ「ブロックスライダー」。「坂口製作所」では、おもちゃが示す地震の原理や、おもちゃの作り方が解説されている



伊豆半島の形成を示す模型を実演する坂口主任。「JAMSTEC」の一般公開は来場者がとても多いので、模型もつくりがいろいろあります」



たとえばJAMSTECの氏家恒太郎研究員や山口はるか技術研究副主任は、四万十帯のほかの場所でシュードタキライトを発見しています。そして、それらが約1,100℃の摩擦熱で溶融してできたことを突き止めました。その値から、どれくらいの規模の地震が起きたのかを推定できます。

私は、シュードタキライトを最初に発見した断層で、カルサイトという鉱物を調べています。岩石に力がかかると、岩石のなかのカルサイトに筋が入ります。大きな力がかかるほど筋の数が増えるので、それを調べることで、岩石にどのくらいのエネルギーが蓄積していたのかを知ることができます。——地震には、どのような解明すべき謎があるのですか。

坂口：南海トラフではM8の地震が発生しますが、スマトラ島沖地震のようなM9の地震は発生しません。M7までの地震しか起こさない海溝もあります。いったい何が違うのか、それが大きな謎の1つです。

プレートが沈み込む角度や傾く力、地震断層面の性質や力を蓄える岩石の性質、地下構造などが複雑に組み合わさって、その海溝で起きる地震の規模や性質が決まりま

す。それを調べるには地質学の知識だけでなく、物理や化学、シミュレーションを行うための数学の知識などが必要です。そのどれが欠けても駄目。それらの知識をすべて総合しないと、地震の謎に対する答えは導けません。

「四万十帯に便利」

——地震の仕組みを示すおもちゃなど、坂口主任が製作する模型が、JAMSTECの一般公開で大人気です。なぜ模型をつくるようになったのですか。

坂口：私が学生時代、勉強ができなかったからです。専門書を読んでもチンプンカンプン。入門書すら数居が高くて、なかなか入門させてくれない(笑)。それは、頭のいい先生が書いているので、できの悪い学生がことが分からないのだらうと思いました。だから、高知大学で助手になったとき、分かりやすい授業を目指しました。そのとき最も効果があったのが模型だったのです。その後、JAMSTECに来てからも、一般公開に合わせて毎年1つずつ模型をつくっています。

——その模型のいくつかは、坂口主任のホ

ームページ「四万十帯に便利」の「坂口製作所」で紹介されています。そのサイトには、高知大学のときの講義ノートも公開していますね。

坂口：「四万十帯に便利」には、月に1万以上のアクセスがあります。大きな地震が起きるとアクセス数が跳ね上がります。結構難しい地震の力学の話をしているのですが、この講義ノートがサイトのなかで一番読まれていますね。ただし、その講義ノートでは数式は使っていません。私が嫌いなので(笑)。

——いよいよ「ちきゅう」による南海トラフ掘削が始まりました。坂口主任も「ちきゅう」に乗り込むそうですね。掘削で何を期待していますか。

坂口：研究で最も興奮するのは、何かが分かったときよりも、分からないときです。つまり、予想とまったく違う新しいものに出会い、“なんじゃ、これは!”という瞬間です。そのときが一番しびれます。前人未踏の場所へ挑む南海トラフの掘削プロジェクトでは、予想外の面白いものにきっと出会えるはずです。

BE

ミクロの世界を見るJAMSTECの匠

取材協力：
植松勝之

海洋工学センター 応用技術部 研修・設備グループ 部長

山口はるか

地球内部変動研究センター 地球内部試料データ分析解析研究プログラム
技術研究副主任

ヒマラヤ山脈の鉱物や、世界最深の海に生息する生物など、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の研究者たちによって地球上のさまざまな場所で採取された貴重な試料が集まってくる場所がある。横須賀本部海洋工学センターにある電子顕微鏡室だ。

そこにある「電子線マイクロアナライザー(EPMA)」は、試料に電子線を当てて元素の種類や濃度分布を調べる装置である。地球内部変動研究センターの山口はるか技術研究副主任は、岩石を構成する鉱物の元素組成をEPMAで分析して、岩石がたどってきた歴史を調べている。「プレートの運動により、岩石は地下深くに沈み込んだり隆起したりします。それに伴い、岩石を取り巻く温度や圧力が変わります。そのときに、ある元素が鉱物から出たり入ったりします。ですから、鉱物の元素の濃度分布を調べることで、岩石がたどってきた温度や圧力などの環境変化が推定できます。こうして、たとえばヒマラヤで採取した岩石が3000万〜2000万年前に地下30〜40kmまで沈み込んでから地表に露出したものだ、といったことが分かるのです」

ただし、EPMAで分析を行うには、試料の厚さを0.02mmほどの薄片にする必要がある。まず岩石を厚さ約1mmにしてガラス板に張り付ける。これを回転する砥石(グラインダー)で研磨して0.02mmの薄さにしていく。「地質学を専攻すると、大学の授業でその実習があるのですが、最初のうちは、たいがい削り過ぎて薄片がなくなってしまう。ある程度の薄さまで削ることができる自動研磨機はありますが、最後の微調整は人の手でやる必要があります。岩石にはやわらかい鉱物とかたい鉱物が混ざっていて、かたい鉱物だけを削って薄くしていかなければいけません。とても微妙な作業で、なかなか機械任せにはできません」

薄片を何枚も作製して、ようやく目的のものが見つかることもある。JAMSTECの坂口有人 技術研究主任たちが、四万十帯という地層にある断層で、海溝で起きた巨大地震の証拠となるシュードタキライトを世界で初めて見つけた(18〜21ページ参照)。しかしその後、別の人が四万十帯の同条件のほかの断層で採取した岩石を分析しても、シュードタキライトはなかなか見つからなかった。「絶対に見つかるはずだと、JAMSTECの氏家恒太郎研究員が、ほかの人が見つけれなかったサンプルの切断面をさらに削って薄片をつくりました。すると、シュードタキライトが見つかったのです。本当に薄片1

枚の違いで、世界が大きく違っていました」

「やはり普段から石を見るのが好きですね。この前、休日に白馬へ登山に行ったときにも、珍しい岩石のところで足が止まってしまいました」と山口副主任は笑う。「理科の授業で岩石の名前を覚えるのは大嫌いでした。でも、岩石ができた背景がイメージできるようになると、石を見る目が変わるんです。たとえば、ある堆積岩が何らかの生物の骨だった鉱物を含むと分かったら、それが堆積したはるか昔の海底のイメージがわいてきます。さらに電子顕微鏡などで分析することで、岩石ができた当時のイメージを広げていくことができます」

電子顕微鏡室に持ち込まれる鉱物は、山口副主任のように

グラインダーによる薄片研磨作業を説明する山口副主任



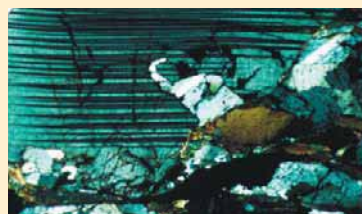
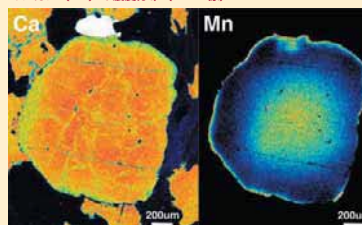
竹ぐしおよびダイヤモンドナイフを用いた試料の薄切り作業(左)。竹ぐしの先にまつげを付けて100nm以下の厚みに切った試料を直径3mmのメッシュ(右)に回収する



「電子顕微鏡の装置自体も更新して、多様化するJAMSTECの研究にさらに貢献できるようにしたいですね」と語る植松部長。SEMの前で

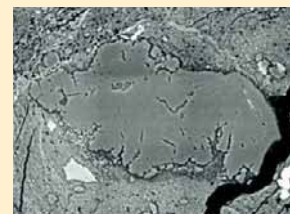
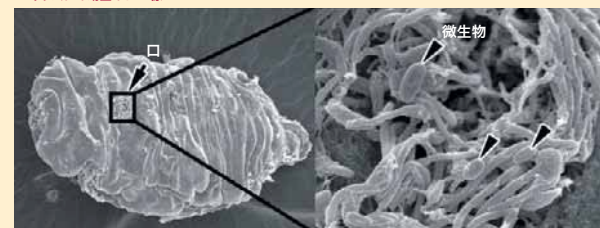


ヒマラヤ変成岩中に含まれるざくろ石のカルシウム(Ca)とマンガン(Mn)の濃度分布(EPMA像)



ヒマラヤ山脈で採取された岩石の偏光顕微鏡画像。「私には、ソウ(中央白っぽい部分)が無邪気に水浴び(少し上の黒い部分)を楽しんでいるように見えます。広大なヒマラヤを歩いて持ち帰ったほんの一握りの石の、しかもたまたま切って現れた薄片にこうした絵のようなシーンが隠れていたことに、不思議な縁を覚え、感動しました」(山口副主任)

ハオリムシの幼生のSEM像



シュードタキライトの反射電子像(EPMA)。「中央のイノシシのようなかたちをしている鉱物が、地震を起こすような高速の断層運動の摩擦熱を受けて一部が溶けたために、外周部分が不規則なかたちになったと考えています」(山口副主任)



T4ファージのTEM像。「このウイルスは月面着陸船のような形状です。JAMSTECでは深海性ウイルスの研究に着手しています。深海にはこのような不思議なかたちのウイルスが存在しているかもしれません」(植松部長)

研究者自らが解析するケースも多いが、生物系のサンプルのほとんどは、電子顕微鏡室を率いる植松勝之部長が扱う。植松部長は「電子顕微鏡一級技士」の資格を取得したスペシャリストだ。これは(社)日本顕微鏡学会が年1回実施する電子顕微鏡分析技術の認定制度で、1979年に制定されて以来、一級技士を取得したのは100人に満たない。

「ミクロの世界を見る匠」である植松部長が、最も印象に残る仕事として挙げるのが、深海の熱水噴出孔などに生息するハオリムシの幼生の観察だ。ハオリムシの成体は口や消化管を持たず、体内にいる化学合成微生物がつくり出す有機物を栄養にしている。ただし、その幼生には口も消化管もあるので、微生物などのエサを食べていると考えられている。しかしその様子をとらえた証拠がなかった。

植松部長は「走査型電子顕微鏡(SEM)」で、その証拠をとらえることに挑戦した。SEMは電子線で試料をスキャン(走査)することで、表面の凹凸を立体的に観察する。ただし、ハオリムシの幼生の口は毛で覆われ、普通は隠れている。植松部長は固定・脱水・乾燥処理を施し、さらに体長0.1mmの幼生を1つずつ試料台にセットして、丹念に観察を繰り返した。「ピンセットで幼生をつかむとつぶれてしまいます。そのようなときに一番いいのが、まつげです。竹ぐしの先にまつげを付けて、まつげにひっかけて移動させるのです。もちろん、ふっと息を吐くと飛んでいってしまいます(笑)」

植松部長は2週間ほど電子顕微鏡室にこもり、息を殺して作業を続けた。「100目くらいだと思います。偶然、口の周りの毛がはがれ落ちている個体で、口が見えました。倍率を上げると、口の周りに微生物が付いていたのです」。それは、ハオリムシの幼生が微生物を食べている決定的瞬間だと考えられている。

そもそも電子顕微鏡は、真空中で試料に電子線を当てて観察する。水分を多く含む生物試料をそのまま真空中に置くと、乾燥により組織が壊れてしまう。従って、薬品で脱水処理したり、微細な形態が保たれるよう固定処理する必要がある。EPMAに必要な試料の厚さは約100分の2mmだが、電子線を透過させて像を見る「透過型電子顕微鏡(TEM)」では、ダイヤモンドナイフなどで約1万分の1mm(100nm)以下にする必要がある。「よい電子顕微鏡画像が撮れるかどうかは、サンプルの処理の仕方でも7〜8割が決まる。また、サンプルの数だけ処理の方法があるともいわれます。よい画像を撮るには、サンプルごとに処理の仕方を試行錯誤していく必要があるのです。ただし、ここに持ち込まれる生物は、深海で採取したたった1個体という場合もあります。そんなときには、いままでの経験で処理するしかありません」

JAMSTECの研究員からの高度な要望に応えるには、日々進歩する電子顕微鏡関連技術の情報収集が欠かせないと植松部長は語る。「いろいろな分野の電子顕微鏡専門家が集う学会に出席して、先生たちと面識を持つようにしています。そしてこのサンプルならこの先生、このテーマにはあの先生と、さまざまな先生から最新技術を学び、それを深海生物に合うように工夫を加えて応用しながら技術開発を進めています。たとえば、電子顕微鏡レベルで細胞内の特定の遺伝子配列を検出してその分布を示す手法(*in situ* hybridization法)の確立や、TEMを使って試料の立体像を構築する新技術(電子線トモグラフィー法)をJAMSTECの研究に応用するなど、研究者からの要望に応じていくつかの技術開発を行い、研究の目的を達成することができました。今後はそのような技術を論文として公表していきたいと考えています。とにかく、ここにいれば面白いサンプルやテーマが次々と持ち込まれるので、それにしっかりと応えていきたいと思っています」

BE

深海のふしぎな生き物たち えっ？ 太陽がなくても生きていけるの？

(2007年5月12日 第65回地球情報館公開セミナーより)



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
サブリーダー

佐藤孝子

さとう・たかこ。東京生まれ。理学博士。立教大学大学院理学研究科化学専攻修士過程修了。1987年、学習研究社植物工学研究所研究員。1992年、海洋科学技術センター深海環境プログラム研究員。2002年、同センター海洋生態・環境研究部サブリーダー。専門は圧力生理学、微生物学、分子生物学

深海の生き物というと、多くの皆さんは魚を想像されるのではないのでしょうか。大きな口を持っていたり、目が退化してなくなったり、発光器があって光っていたり、深海にはとても不思議な姿をした魚たちがいます。ところが、そういった見た目は別に、深海には不思議な機能を持つ生物がくらしていることが、だんだん分かってきました。私たちは太陽の光エネルギーを使って生きていますが、その生物たちは太陽の光がなくても生きていくことができます。それは、どういう生物たちなのでしょうか。私には小学校3年の娘と1歳2カ月の息子がいます。この講演では、私の娘にも分かるようにやさしくお話したいと思います。

深海にオアシスを発見！

深い海は、魚などの生物はまったくいない、まるで砂漠のような場所だと、長い間思われてきました。深海の調査が初めて本格的に行われたのは、19世紀になってからです。イギリスの「チャレンジャー号」が、世界中を航海して大規模な海洋調査を行いました。「チャレンジャー号」が深い海の底から採取した泥に小さい貝の殻などが混ざっていたことから、深海にも生物がいることが分かってきました。

20世紀になると、人類は月の上を歩くこともできるようになりました。しかし、深い海の生物については、まだよく分からないままでした。

そうしたなか、1977年、アメリカの潜水調査船「アルビン」が、太平洋ガラパゴス諸島沖の水深2,500mで不思議な生物たちを発見しました。そこには、深い海の底とは思えないほど、とてもたくさんの貝やチューブワームのような動物が集まっています。その様子は、まるで海のオアシスです。深海にたくさんの生物がいることだけでも驚きでしたが、それらの生物は、それまでの常識では考えられない特殊な機能を持っていたのです。

深海はどういうところ？

ここで、深海はどういうところかを考えてみましょう。まず、真っ暗ですね。水深

が200mより深くなると、太陽の光はほとんど届きません。そして、多くの場所は冷蔵庫のなかよりも寒く、2℃前後です。太陽の光に温められることがないからです。一方で、300℃を超える熱水を噴き出している場所もあります。また、上にたくさん水があるので、高い圧力がかかっています。深海の世界は、私たち人間が生きているところとはまったく違った特殊な環境であることが、分かんと思います。

私たちは毎日、何を食べて生きているでしょう？ 人間など陸上にくらす動物は、植物を直接、あるいは植物を食べている動物を食べて生きています。植物は、太陽の光エネルギーを利用して光合成を行い、生物が生きるために必要な栄養分である有機物をつくり出します。私たち生物は、もとをたどれば、太陽のエネルギーに頼って生きているのです。このような生態系を「光合成生態系」と呼んでいます。

それに対して、深い海では太陽の光が届かないので、光合成をする生物は活動できません。代わりに、深海には太陽の光を必要としないで生きている生物がいるのです。

その生物には口も胃もない！

「アルビン」がガラパゴス諸島沖の深海で見つけた生物たちは、海底から熱い水が噴き出している場所に集まっています。海底には、熱水を勢いよく噴き出している

「熱水噴出孔」と呼ばれる場所や、周りの海水と同じくらいの温度の水がじわっとわき出ている「湧水域」と呼ばれる場所があります。その熱い水や冷たい水には、硫化水素やメタンといった特別な成分が含まれています。硫化水素やメタンは、普通の生物にとって猛毒です。にもかかわらず、熱水噴出孔や湧水域には、その猛毒の物質を食べて生きている微生物がいるのです。そして、その微生物を餌にしているエビやカニなども、たくさんいます（図1）。このように太陽の光エネルギーに頼らないで、化学物質のエネルギーを使って生きている特殊な生物たちの生態系を、「化学合成生態系」と呼んでいます。「アルビン」がこれらの生物を見つけるまでは、地球上のほとんどの生物は太陽エネルギーに頼って生きていると考えられていましたから、常識を覆す大発見でした。

熱水噴出孔や湧水域には、ハオリムシやシロウリガイなどのように、体のなかに硫化水素やメタンをエネルギー源にして有機物をつくり出す化学合成微生物をすまわせている生物もいます。そのような関係を「共生」といいます。ハオリムシやシロウリガイには、口がありません。胃や腸、おしりの穴がありません。体のなかにすんでいる微生物から直接、栄養をもらって生きていると考えられています。

シロウリガイやナラクハナシガイなど貝の場合、化学合成微生物は、えらに存在しています。貝のえらは普通、海水に含まれている酸素を取り込む器官です。シロウリガイやナラクハナシガイは、普通の貝と比べて、えらが異様に大きく発達しています（図2上）。えらを電子顕微鏡で見ると、細胞のなかに液胞と呼ばれる袋のようなものがたくさんあります（図2下）。その袋に化学合成微生物が入っています。この微生物が硫

図1 化学合成生物群集

インド洋の水深2,450mの海底で発見された化学合成生物群集。地下から噴き出す熱水に含まれる硫化水素やメタンなどをエネルギー源にしている。写真には、オハラエビ、アルビンガイ、イソギンチャクなどが見える。生物の量は、同じ深さの一般的な深海底の数万倍以上で、1m²あたり数十kgにもなる



図2 シロウリガイとナラクハナシガイ

硫化水素やメタンなどから有機物をつくり出す化学合成微生物は、えらの部分にすんでいる。普通の貝と比べ、えらが大きい。右は、ナラクハナシガイのえらの電子顕微鏡写真。えらの細胞のなかに液胞と呼ばれる袋がたくさんあり、そのなかに化学合成微生物がいる

化水素などのエネルギーを使って有機物をつくり出し、シロウリガイやナラクハナシガイはそれをもって生きているのです。

私たちはごく最近、この微生物がどんな遺伝子の情報を持っているかを明らかにすることに、世界に先駆けて成功しました。その情報の解析から、貝と微生物のものと詳しい共生関係が分かってくると期待されています。

化学合成生物群集はどこにいる？

化学合成生物群集は、深海などどこにもいるわけではありません。では、どういふところにいるのでしょうか（図3）。

地球の表面は「プレート」という厚い板のようなもので覆われており、海洋プレートは年に数cmほどの速度でゆっくり動いて

います。プレートは、海嶺^{かいりょう}というところで生み出されます。そこでは非常に熱い水が噴き出していて、そこに化学合成生物群集が生まれます。「熱水噴出孔生物群集」と呼ばれています。

また、プレートが長い年月をかけて移動する間に海水をたくさん含みます。太平洋の東側で生まれ日本列島の近くまで移動してきた海洋プレートは、陸側のプレートの下に沈み込んでいきます。沈み込みに伴って、「海溝」という深い海の底が形成されます。プレートが沈み込むとき、その圧力でプレートに含まれていた水がじわっと海底にわき出てきます。そういうところにも化学合成生物群集が見られ、「湧水生物群集」と呼ばれています。日本列島付近は4つのプレートがひしめき合っているために、プ

レートの沈み込み域も多く、化学合成生物群集がたくさん発見されています。深海の生物の研究をするには、日本はとてもいい場所なのです（図4）。

化学合成生物群集は、もう1つ、面白い場所でも見つかっています。クジラのように大きい生物の死体が海底に横たわっていると、まず肉が生物たちに食べられ、骨が残ります。その骨を微生物などが分解すると、硫化水素やメタンが発生します。これを餌にして、化学合成生物群集ができることがあるのです。そのような生物たちを、「鯨骨生物群集」と呼んでいます。

なかには植物のように見える生き物もありますが、れっきとした動物で、ホネカイハナムシ^{ほねかいはなむし}といいます（図5）。皆さんには、「ゾンビワーム」の名前の方が親しみがあるようですが、これでもハオリムシの一種です。クジラの骨の穴のなかに体の一部を根っこのように張り巡らせ、頭には触手のようなえらをもっています。根には微生物をすまわせており、骨から栄養を取り込むのに役立つと考えられています。彼らは地球上の深海底で、なぜかクジラの骨からしか見つかっていません。何年かすると分解してなくなってしまう骨をすみかにして、どこから来て、どこへ行ってしまうのか、とても不思議ですね。

深海はどうやって調査するの？

化学合成生物群集という特殊な生物たちが深海底で初めて見つかった1977年から30年がたちました。そういう特殊な生物について調べるために、私たちがどういふ船を使っているかを紹介します。

水深3,000mくらいまでの深さであれば、無人探査機「ハイバードルフィン」という潜水ロボットを使います。2本のマニピュレータ（ロボットアーム）で生物や海底の土、水を採取したり、超高感度ハイビジョンカメラで映像を撮ったりできます。

「ハイバードルフィン」は無人ですが、人を乗せて世界一深く潜ることができるのが、有人潜水調査船「しんかい6500」です。私も「しんかい6500」に乗って、日本海溝の水深6,500mくらいまで潜って調査をしたことがあります。定員は3人で、パイロット2人と、私のような研究者1人が乗り込みます。いろいろな生物をその場で観察し、写真や映像を撮ったり、2本のマニピュレータを使って生物や土、水などを採取します。

無人ロボットの映像と違って、「しんかい6500」の窓から見る海底の景色は、はるかに雄大で、広い範囲を自分の目で観察することができます。これは、広い海底で研究にとって大事なものがどこにあるのかを

一瞬で判断し、画像をクローズアップしたり、試料を採ったりすることができるという意味で、生物の研究だけでなく、地質学などほかの分野でもとても役立っています。「しんかい6500」は、日本が世界に誇る潜水調査船です。

地球の一番深いところは、マリアナ海溝チャレンジャー海淵で、水深約1万1000mです。無人探査機「かいこう」は1996年、マリアナ海溝チャレンジャー海淵の海底から泥の採取に成功しています。私たちは、その泥から、700～800気圧もの非常に高い圧力がかかっていた方が元気な、好圧性微生物という特殊な微生物を見つけることにも成功しました。水深1万1000mまで潜ることができる「かいこう」は2003年から動いていませんが、現在は7,000mまで潜ることができる「かいこう7000 II」が活躍しています。

深海は地球最後のフロンティアだ

さて、どうして深い海の生物について知ることが大事なのでしょう。宇宙から地球を見ると、表面のほとんど、実に70%が海で覆われていることが分かります。しかも、浅いところは少なく、ほとんどが深度1,000mを超える深い海なのです。さらに、生物がくらしている場所、



図5 ホネカイハナムシ
マッコウクジラの骨のなかに、植物のように根を張り巡らせている。微生物が骨を分解したときに出る硫化水素やメタンなどを利用して有機物をつくり出す微生物を体のなかにすまわせている。写真は、相模湾で発見され、研究室で飼育しているもの

生物圏を体積で比べてみると、深海がなんと79%も占めます。私たちのくらす陸上は、実は1%以下です。

しかし、深海に人間はなかなか行くことができませんし、「しんかい6500」などでもようやく深海に行くことができて、とてももどかしく感じます。潜水船のライトをつけて直接目で観察したり、テレビカメラで撮影したりするのは、見たり撮影できる範囲はわずか半径5m。しかも、深海にいられるのは長くても数時間です。私たちは、非常に範囲の狭いところを、ごく短時間しか調査することができないのです。陸上であれば、上から飛行機で広範囲を一度に見渡すことができます。深海ではそういう方法を取ることができません。

同じ場所をもう一度訪れることがとても難しいという問題もあります。陸上であれば、周りの景色を見て、あのあたりと見当を付けることができますが、深海ではそういうわけにいきません。

そのような理由で深海の全容を理解することが難しく、深海には謎が謎のまま残されているのです。私たちは、深海を「地球最後のフロンティア」と呼んでいます。

化学合成生物群集の研究が始まってようやく30年。私たちは、これからも「しんかい6500」や「ハイバードルフィン」「かいこう7000 II」を使って、深海の不思議な生物について研究をしていきます。それによって、さらに新しい不思議な生き物が見つかったり、その働きが分かってくることでしょ

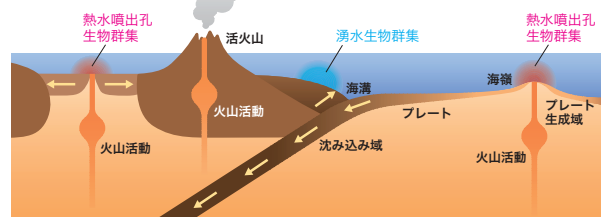
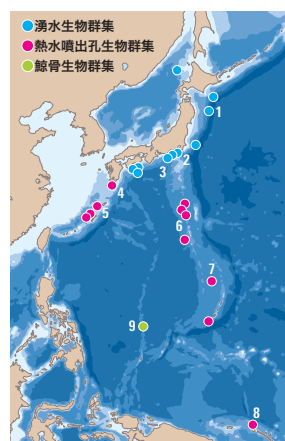


図3 化学合成生物群集が生息している場所

化学合成生物群集は、プレートが生まれる海嶺にある熱水を噴き出している場所（熱水噴出孔）や、海洋プレートが沈み込む海溝にある水がわき出している場所（湧水域）に生息している。日本列島はプレートの沈み込み域になっている

図4 日本周辺で発見された化学合成生物群集



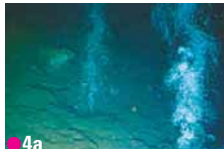
1 日本海溝、水深5,600～6,500m。水が湧出している割れ目に沿ってシロウリガイが生息している



3 南海トラフ・遠州灘金洲ノ瀬、水深300m。ハオリムシ類の群集。手前には、フクスケツギガイの死骸が堆積している。海底からはメタンガスがわき出ている



2 相模湾・初島沖、水深1,200m。シロウリガイの群集。初島沖は1984年に日本で初めて化学合成生物群集が発見された場所



4a 鹿児島湾、水深80m。二酸化炭素やメタン、硫化水素を高濃度に含むガスが海底から噴出している。「たざり」と呼ばれ、桜島の火山活動の影響と考えられている



4b 「たざり」付近で見られるサツマハオリムシの群集。岩に付着しており、高さ5m、直径10mもの「ハオリムシの山」になっている。世界で最も浅い海域に生息しているハオリムシである



5 南奄西海丘、水深650～750m。270℃にも達する熱水が噴出しており、シンカイイハナシガイが密集している



6 海形海山、水深400～800m。熱水が噴き出している孔にユノハナガニが集まっている。ユノハナガニは目が退化している



8 マヌ海盆、水深1,700～2,500m。ハオリムシ類。チューブワームとも呼ばれる



7 中部マリアナ背弧海盆、水深3,600m。岩の表面は微生物が密集したバクテリアマットで覆われ、熱水が噴出する孔の近くには、アルビンガイとエビが密集している



9 鳥島鯨骨生物群集、水深4,000m。コシオリエビ、ツバサゴカイ科の多毛類、イガイ科の二枚貝、エソバヤ科の腹足類などが生息している

水深2,500mの海域で、海底下7,000mまで掘り進むことができる地球深部探査船「ちきゅう」。この「ちきゅう」の掘削の仕組みは、「巨大な電動ドリル」をイメージすると分かりやすい。ドリルを使うとき、手元がぐらついてしまうと、穴が開けられない。同じように、「ちきゅう」の船体が動いてしまうと、海底を掘削できない。船体を所定の位置に留めるための仕組みが、自動船位保持システム（DPS：Dynamic Positioning System）だ。DPSは、主に海底下の油田やガス田を掘削するための技術として海外で開発されてきたが、日本で本格的なDPSが開発されたのは、今回が初めてである。

「ちきゅう」には、水平方向に360度回転する巨大なプロペラ「アジマススラスト」が6機と、サイドスラストが1機ある。それらをコンピュータの指令で動かして、船体が所定の位置からずれないように制御する。もし位置が大きくずれてしまうと、もとの位置に引き戻すには大きな力が必要になる。従って、位置が大きくずれる前に、ずれを予測してスラストを動かすことが重要だ。船を動かす外力には、風力、波漂流力、潮流力がある。「ちきゅう」船上の風速計で計測した風速から風力を計算し、その風力とそのとき発生しているスラスト出力から波漂流力と潮流力を推定して、「ちきゅう」がずれる方向や速さを予測する。その予測をもとにコンピュータがそれぞれのスラストに出力や方向の指令を与える。それを0.5秒ごとに繰り返すことにより、「ちきゅう」を所定の位置に保持する。

DPSは、150人が乗り込む「ちきゅう」の安全システムでもある。もし、海底とパイプでつながったまま位置が大きくずれると、船が大きく傾き沈没の危険すらある。そのためDPSは、コンピュータ、位置センサー、通信系統、電源などあらゆるシステムが、二重三重のバックアップ体制を敷いている。たとえば、同一の自動船位保持プログラムを搭載した3台のコンピュータに、同時に船体の位置などを計算させている。普通は3台が同じ答えを導き出すが、もし1台の答えが異なる場合には、ほかの2台の答えを採用する。海が荒れてきてスラストに回す電力が不足してきた場合、照明も冷暖房も止め、さらに掘削作業も停止して、大半の電力をスラストの動力源へ振り向ける。それでも、ある一定の範囲からずれた場合、パイプを切り離して危険を避ける。「このような二重三重のバックアップ体制が本当に機能するかどうか、それを確かめることが苦労した点の1つです」と、DPSの開発に携わってきた井上 浩 技術主幹は語る。

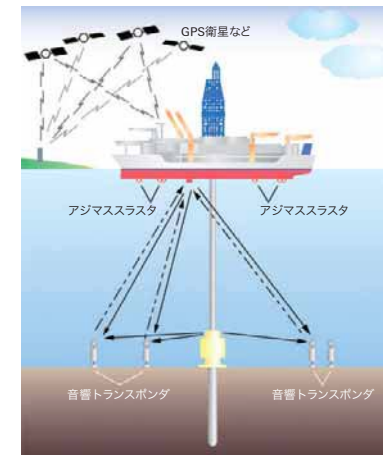
2007年9月、紀伊半島沖の南海トラフで「ちきゅう」により巨大地震の震源まで掘り進める史上初めてのプロジェクトが始まった。「紀伊半島沖は黒潮というとても強い海流が流れており、DPSにとっては過酷な海域です。過去の気象・海象データから、さまざまな条件で船位保持能力のシミュレーションを行い、万全を期しました。それでも掘削が始まると、毎日気の休まることはないでしょう」

取材協力：井上 浩
地球深部探査センター 技術開発室
開発グループ 技術主幹



DPSでコントロールされるアジマススラスト
「ちきゅう」には直径約4mのアジマススラストが6機ある。そのうち1機が故障しても、残りの5機で位置を保つことができる

外力の変動による
「ちきゅう」の位置ずれを予測し、
船体を海上の所定の位置に留める
日本初の本格的DPS

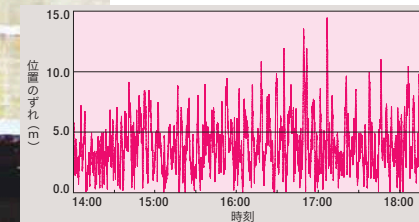


自動船位保持システム（DPS）

「ちきゅう」の位置は、GPS（全地球測位システム）衛星などから受信する位置データや、海底に設置した音響トランスポンダ（超音波応答装置）によって確認する。船の位置を動かす外力のうち、実際に計測しているのは風速（風力）だけだが、今後は、船体の運動から波漂流力を推定して、より精度のよい位置制御を行う技術の開発が計画されている

模型を使ったDPS実験

海外で開発されているDPSプログラムが“汎用品”をベースに個々の船に応用させているものであるのに対して、「ちきゅう」のDPSは“特注品”である。風や波や潮流によって「ちきゅう」がどのような力を受けるのか、「ちきゅう」の模型を使った実験が行われ、そのデータがDPSプログラムに組み込まれている



DPSの性能

2006年10月7日、下北半島東方沖での掘削試験で、「ちきゅう」は設計許容風速より大きい最大風速26.8m/秒の暴風に見舞われた。このときでも位置のずれは、瞬間値でさえ設計許容値の15mを下回り、ほとんどの場合には10m以内に保持された



南海トラフ出動前のDPS年次検査
「ちきゅう」が南海トラフへ向かう前、横浜港でDPSの年次検査が行われた。たとえば、コンピュータ1台が故障といったさまざまなトラブルを模襲で起こして、DPSの機能が確かめられた。左から2人が井上技術主幹

新日本八景への招待

「相模湾八景」の開始にあたって



藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任上席研究員

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

私たちの住む惑星地球は、美しい自然に恵まれています。とりわけ南北に2,500kmも伸びた日本列島では、さまざまな場所で四季折々の美しい自然の変化を満喫することができます。ユネスコで世界遺産が設定されてから30年以上がたちました。地球上で次世代に残したい自然遺産は山ほどあります。しかし世界遺産が増える一方で自然が破壊され、絶滅種が増えているのは悲しいことです。自然破壊や絶滅が人間活動の結果なのか自然現象によるのかについては大きな議論がありますが、われわれの日常生活が環境の汚染によって脅かされていることは明らかです。このような兆候は、深海底でもすでに25年も前に潜水調査船で視認され、警鐘が鳴らされていたのです。

私たちはある地域の自然景観に対して、よく「〇〇八景」という名前を付けています。これは一種の村おこしともいうべきなのですが、地域に独特の素晴らしい自然を世に宣伝するために設けられたもので、古くは鎌倉時代からあるようです。日本で最も早く名付けられ有名なものに、近江八景があります。しかし、八景のそもそもの事始めは中国にありました。

「瀟湘八景」は中国の宋の時代、玄宗皇帝のころに湖南省、洞庭湖の南に位置する景勝地を、宋地が山水画として描いたものが始まります。それらは平沙落雁、遠浦帰帆、山市晴嵐、江天暮雪、洞庭秋月、瀟湘夜雨、煙寺晚鐘、漁村夕照の八景で、地名や季節、風景が盛り込まれています。地図で見ると、ここは瀟水と湘水という2つの河川があって湘水は洞庭湖に注ぎ込んでいます。神奈川県湘南という地名は、この湘水の南にちなんでいます。私たちの職場の近くの金沢八景は駅の名前にまんでおり、平潟の落雁、乙舳の

帰帆、洲崎の晴嵐、内川の暮雪、瀬戸の秋月、小泉の夜雨、称名の晩鐘、野島の夕照があります。日本全国には松江八景、八王子八景など、数えれば切りがないほど八景が存在します。

ここで少し、瀟湘八景について見ていきたいと思えます。ここに載せたのは、東京国立博物館からお借りした『瀟湘臥遊図巻』の一部です。瀟湘の一部である煙雨の絵と、乾隆御識の珍しい六言の漢詩が書かれています。漢詩の内容は、この絵を描いた李龍眠についてです。この絵が本物と区別できないほどよくできた素晴らしいものであること、巻物を広げると「まさに居ながらその地に遊ぶ」と言ってもまだ言い足りないくらいである、といった意味です。八景の水墨画は、何となく深海底の景観と似ているではありませんか。そして、それらの描写が優れていれば、まさに居ながらにして深海へ行ったような気になるのではないのでしょうか？

そうしてみると、「〇〇八景」は何も陸上の景勝にのみ用いるものではなく、深海底の景観に適用してもよいと思われます。世界の潜水調査船や無人探査機が深海底の姿を明らかにしてからすでに半世紀以上がたっています。わが海洋研究開発機構は1983年から潜水調査船を用いた深海底の探査を始め、今年で25年目になります。この間、有人潜水調査船「しんかい2000」が1,411回、「しんかい6500」が1,009回潜航しています（9月19日現在）。潜水調査船による深海底の潜航では、試験や訓練も含めて1回1回のすべてが極めて重要で、得難い成果がもたらされています。これらの潜航結果を一種の科学的な世界遺産として後世に残すべく、地域ごとに「〇〇八景」として紹介していきたいというのがこのシリーズの企画意図です。



瀟湘臥遊図巻1巻（国宝） 紙本墨画 李氏筆 南宋時代・12世紀 東京国立博物館所蔵
Image : TNM Image Archives Source : <http://TnmArchives.jp/>

まずは日本列島の周辺海底、その中でも日本の海洋研究の出発点である相模湾から始めたいと思います。名付けて「相模湾八景」です。

相模湾は東京湾の先にあります。東京へ出入りする船舶は、いやでも相模湾を通らなければなりません。相模湾は日本の湾としては水深が異常に大きく、その南端の大島東方で2,500mもあります。日本にはこのように水深の大きい湾が3つあります。それ以外の湾はすべて100mより浅く、火山活動や海面変動などでできたものです。では相模湾のほかの2つの湾とは、どこでしょう。それは富山湾と駿河湾です。これらに共通する特徴は、いずれもプレートが消滅する（沈み込む）境界、海溝やトラフが湾のなかを走っていることです。

相模湾は日本の海洋研究のマイルストーンともいえるべきものでした。古くは、なんと1875年に日本を訪問した英国の「チャレンジャー号」が測量やサンプリングを行っています。相模湾では3点でドレッジ（採取器を海底に下ろして引きずって試料を採取する）を行い、珍しい生物を得ています。近代的な観測が始まってから日本の「海鷹丸」や米国の「ベアード号」による測量が行われ、1964年には相模湾の海底地形図が米国の雑誌に掲載されました。最近ではJAMSTECの海洋調査船「なつしま」に搭載されたマルチナロービーム測深装置SEABATで測量が行われ、最も精度の高い海底地形図が描かれました。しかし、1964年の地形図と最新のものとを比べても、海底の大きな構造にはほとんど違いがありませんでした。

相模湾はプレートの境界に起こるさまざまな地球科



学、生物・微生物学の研究に適した場所ですが、何せ東京に近いことから、多くの船舶の航路になります。また重要な通信網である海底ケーブルがいろいろな場所に設置されているために、調査ができる範囲は限られています。それでもいまままでに「しんかい2000」では、相模湾でなんと318回の潜航が行われてきました。

今回の相模湾八景は、私がいろいろ見聞きしたものをもとに独断と偏見で8つを選び、それらにさまざまな解説を付けたものをお送りしたいと思います。八景の選定に関しては、いままで数多くの潜航をされてきた深海底のパイロットたちや潜航研究者たちに意見を伺いました。また、瀟湘八景の漢詩に関しては平塚博物館の澤村泰彦氏と平塚美術館の森岩恒明氏に解説していただきました。

それでは次号から、相模湾のなかに潜んでいる八景を皆さんと順次訪ねていきたいと思えます。ぜひご期待のほどを。

Present
プレゼントJAMSTECオリジナル
携帯ストラップセット

今回のプレゼントは、人気のJAMSTECオリジナル携帯ストラップです。有人潜水調査船「しんかい6500」と深海巡航探査機「うらしま」の2種類をセットにして、10名様にプレゼント致します。

有人潜水調査船として最も深い6,500mまで潜航できる「しんかい6500」は、今年5月から安全確認のための試験潜航を行っていましたが、9月に潜航調査を再開！「うらしま」は、世界記録となる連続航走距離317kmを達成した自律型無人機です。

■応募方法

はがきかEメールに①～⑧を明記の上、下記までご応募ください。

①プレゼントの品名（携帯ストラップ）

②氏名 ③郵便番号・住所 ④年齢 ⑤職業（学生の方は学年）

⑥電話番号 ⑦今号で一番興味を持った記事

⑧『Blue Earth』へのご意見・ご希望

応募締め切り：2007年12月10日（月）（はがきの場合は当日消印有効）

当選者発表は、発送をもって代えさせていただきます。

■応募先

○はがき

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課

Blue Earth編集室プレゼント係

○Eメール

info@jamstec.go.jp

件名に「Blue Earth編集室プレゼント係」とお書きください。

※お預かりした個人情報は、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。

JAMSTECメールマガジンのご案内

URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/mailmagazine/>

JAMSTECでは、ご登録いただいた方を対象に「JAMSTECメールマガジン」を配信しております。イベント情報や最新情報などを毎月10日と25日（休日の場合はその次の平日）にお届けします。登録は無料です。登録方法など詳細については上記URLをご覧ください。

海と地球の情報誌『Blue Earth』第19巻 第5号（通巻91号）2007年10月発行

編集人 田代省三 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課

発行人 瀧澤隆俊 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト

取材・執筆 立山 晃 (p18-23, p28-29) / 鈴木志乃 (p1, p24-27) / 坂元志歩 (p2-17, 裏表紙)
デザイン 株式会社デザインコンビビア (AD 堀木一男 / 岡野祐三 / 山田純一 / ほか)

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

※本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

①郵便番号・住所 ②氏名 ③所属機関名（学生の方は学年）

④TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤Blue Earthの定期購読申し込み

※購読には、1冊300円＋送料が必要となります。

■支払い方法

お申し込み後、請求書をお送り致しますので、請求書に従ってご入金をお願いします。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。

○銀行振り込み

当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報館2階 図書室

請求書をご持参ください。手数料は必要ありません。請求書発行日の翌月末までの平日（年末年始などの休館日を除く）に限りです。

■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課

Blue Earth編集室

TEL.045-778-5440 FAX.045-778-5484

Eメール info@jamstec.go.jp

ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



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

バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。

バックナンバーのご紹介

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

※お預かりした個人情報は、『Blue Earth』の発送や確認のご連絡などに利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

賛助会（寄付）会員名簿

平成19年9月30日現在

独立行政法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。（アイウエオ順）

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

独立行政法人 海洋研究開発機構

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀買夏島2番地15
TEL.046-866-3811 (代表)
横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25
TEL.045-778-3811 (代表)
むつ研究所 〒035-0022 青森県むつ市大字関根北関根690番地
TEL.0175-25-3811 (代表)
高知コア研究所 〒783-8502 高知県南国市物部乙200
TEL.088-864-6705 (代表)

東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目2番9号
日比谷セントラルビル10階
TEL.03-5157-3900 (代表)
国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3
TEL.0980-50-0111 (代表)
Washington D.C. Office 1120 20th street, NW, Suite 700,
Washington, D.C. 20036, USA
TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300

地球と生きものの鼓動が響き合う場所 ——熱水活動域

沖縄本島の北北西約200kmの伊平屋北熱水活動域。熱水噴出孔は、生きている地球の活動を映し出す。熱水は地球内部の熱でつくられ、そのなかに溶け込んださまざまな元素が周囲の生命活動を支えている。多くの生きものがそこに群がり、生きものが地球とともにあることを最もはっきりと示している場所のひとつだ。ここからさまざまな生きものが発見され、解析が進められている。

大量の生きものが暮らしているのは、何もこの熱水噴出孔に限ったことではなかった。深海の海底下に広がる巨大な生命圏の存在が明らかになりつつあるのだ。海、そこにはまだまだ人智の及ばぬ世界が広がっている。
(2-15ページに関連記事)

(取材協力: 中川 聡 研究員 極限環境生物圏研究センター 有用微生物探索研究グループ)



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/>

R100
吉野パルプ製白紙100%再生紙を使用

定価300円(税込)