

海と地球の情報誌

# Blue Earth

139



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

「ちきゅう」10周年記念 地球内部研究の最前線

## 地球内部を解き明かせ！

地球ダイナミクスと地球進化の謎に迫る新たな科学の芽生え



■「アラウンドビューモニター」の技術

■世界の海洋生物情報をインターネットで公開し  
生物多様性の理解にも役立てる

特集 「ちきゅう」10周年記念 地球内部研究の最前線

# 地球内部を解き明かせ!

地球ダイナミクスと地球進化の謎に迫る新たな科学の芽生え

## AQUARIUM GALLERY

アクアワールド茨城県大洗水族館

尾びれもないのに海原を大回遊

## 海拓者たちの肖像 Special

TEAMS ～海洋科学で東北復興を支援する研究者たち～

大槌湾の環境変化を明らかにして

水産業の復興を後押しする

福田秀樹 助教

西部裕一郎 特任准教授

東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター 沿岸保全分野

## JAMSTEC Technology

「アラウンドビューモニター」の技術

自動車の先進的運転支援技術を海中作業システムに活用

## 社会とつながるJAMSTEC

海洋生物のデータベース構築を推進する  
日本海洋生物地理情報連携センター

世界の海洋生物情報をインターネットで公開し

生物多様性の理解にも役立つ

## BE Room

編集後記

『Blue Earth』定期購読のご案内

JAMSTECメールマガジンのご案内

## PICK UP JAMSTEC

JAMSTECむつ研究所一般公開

裏表紙

表紙

マントル対流の数値シミュレーションによって再現されたマントル内部の温度構造の三次元プロット(関連記事8～9ページ)。

「ちきゅう」10周年記念 地球内部研究の最前線

# 地球内部を解き明かせ!

地球ダイナミクスと地球進化の謎に迫る  
新たな科学の芽生え

地球深部探査船「ちきゅう」が完成して、今年で10年。日本が主導国として世界の国々とともに推進するIODP(統合国際深海掘削計画、2013年より国際深海科学掘削計画)の主力船として、「ちきゅう」は各地で掘削探査を実施し、知られざる地球内部の実像を明らかにする大きな原動力になっている。さらに、近い将来に予定されているマントル掘削をはじめ、新たなチャレンジへ向けて、さらなる技術開発が着々と進められている。

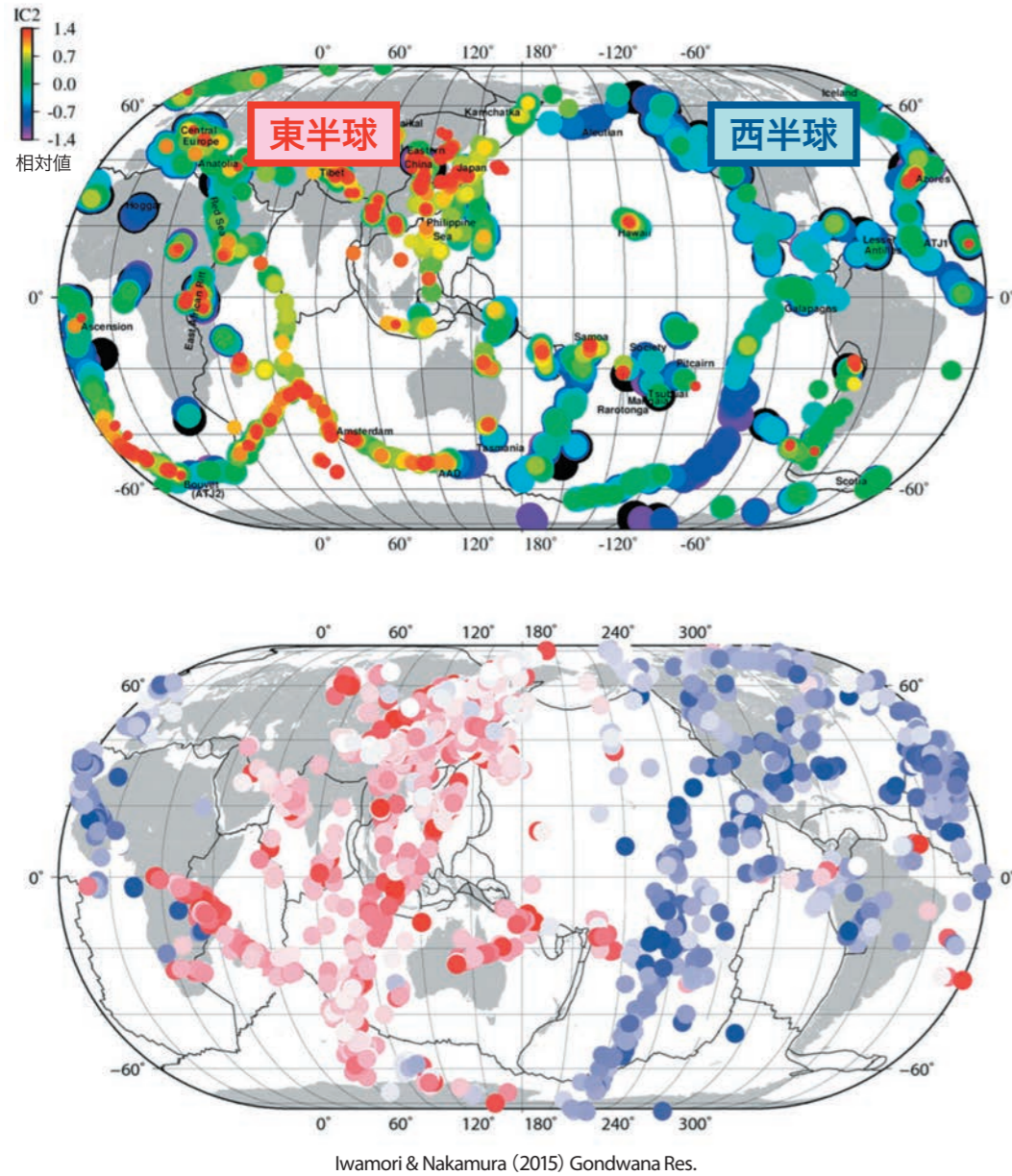
もちろん、地球内部を解明するための研究は、科学掘削だけではない。「ちきゅう」をもってしても手の届かない地球深部の高温・高圧環境を再現した実験や、スーパーコンピュータを活用したシミュレーション、さらにはニュートリノを使って地球内部をイメージするなど、地球科学の研究手法は多岐にわたっている。今号では、「ちきゅう」10周年を記念して、JAMSTECを中心に地球内部研究の最新成果や地球科学の新たな動向を紹介する。

# 地球化学的な解析研究で見えてきた マントル組成の東西半球構造

地球内部は、地球表面を覆う地殻、その下から深さ約2,900kmまでのマントル、さらに中心までの核と、大きく3つの部分に分けられる。それぞれ物質の化学組成や構造が違ると同時に、深くなるほど圧力・温度が高くなり、中心部は360万気圧、5,000度に達すると考えられている。この3つのなかで、マントルは地球全体の70%の質量を占める。また、発熱量でも地球全体の50%以上を占め、冷めにくさの指標となる熱容量も非常に大きい。従って、マントルは、核から地表までの熱循環に大きな影響を及ぼし、地球ダイナミクスを理解

する上で最も重要なサブシステムである。地球深部探査船「ちきゅう」がマントル掘削を推進し、マントル物質の採取を目指す最大の理由もそこにある。

マントルを含む地球内部構造の推定に広く活用されているのが地震波トモグラフィーだ。地震波の伝わり方から地球内部の構造を明らかにする技術で、かたい物質や低温・高圧では地震波が速くなる、地震波速度が急激に変化すると反射波が出るといった地震波の性質を利用して、高い空間解像度で内部構造を描き出すことができる。しかし、マントルを構



マントル中の「水溶液濃集成分」濃度（上 マントル同位体組成）と内核の地震波速度（下 赤は地震波速度が遅く、青は地震波速度が高いことを示す）。マントル同位体組成の東西半球構造がはっきりと現れているだけでなく、よく似たパターンが内核の地震波速度構造にも見てとれる。かつての超大陸への集中沈み込みが、組成だけでなく、マントル・核の温度を同時に低下させている可能性が示唆される。

成する物質の組成や年代を調べるには限界がある。そこで注目されているのが、マントル由来のマグマの成分やマグマに含まれる地球深部の岩石や鉱物を調べる地球化学的な解析手法（地球化学プローブ）だ。地球化学プローブの研究を進める地球内部物質循環研究分野の岩森光分野長は、「医療技術にたとえると、地震波トモグラフィーはCTスキャン。骨や内臓に相当する地球内部の構造を明らかにできますが、その組成を調べることはできません。一方、地球化学プローブは血液検査。体内の血液を取り出して調べるように、火山から噴出したマグマ、いわば地球の血液に含まれるさまざまな元素、同位体、鉱物などを詳しく分析することで、地球内部についての多くの情報を得ることができます」と説明する。地球化学プローブでは、年代測定も可能だという。たとえば、マントル由来のマグマが冷え固まってできた火山岩に含まれるストロンチウム、ネオジウム、鉛といった半減期の長い放射性同位体を調べることで、数億年単位で起こるマントル対流を推測することができる。

この手法を活用することで、岩森分野長らは地球内部の驚くべき特徴を見つけ出すことに成功した。世界各地の火山岩組成データベースを構築し、岩石に含まれるストロンチウム、ネオジウム、鉛、ルビジウムなどの7元素に関わる5つの同位体比率を詳しく調べた結果、マントルの化学組成が地球の東半球と西半球で2つに分けられることが明らかになった。2ページ上図（マントル中の「水溶液濃集成分」濃度）に示す通り、日付変更線および欧州-アフリカ大陸あたりを境界に、化学組成の分布が東半球と西半球にはっきりと分かれることが見てとれる。

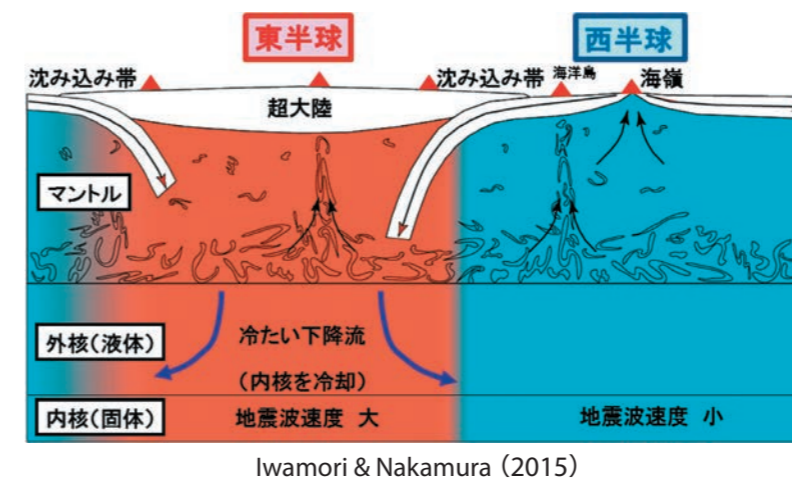
地震波トモグラフィーの結果から、内核の東半球と西半球で地震波の伝わり方が異なることは明らかにされていたが、これに対応するように、マントルで東西半球の化学組成が異

なるという解析結果が得られたのは世界で初めてだ。「岩石に含まれる成分の同位体比そのものでは、東西半球の組成の特徴を区別することはできませんが、独立成分分析という統計解析手法を用いることによって、東西半球でマントルの組成に違いがあることが明らかになりました。また、同位体比からこの構造の生い立ちを過去数億年~10億年前まで遡ることができます。かつて東半球に存在した超大陸と沈み込み帯で起きた出来事の痕跡が、東西半球構造に現れているのではないかと推定しています」と岩森分野長は話す。

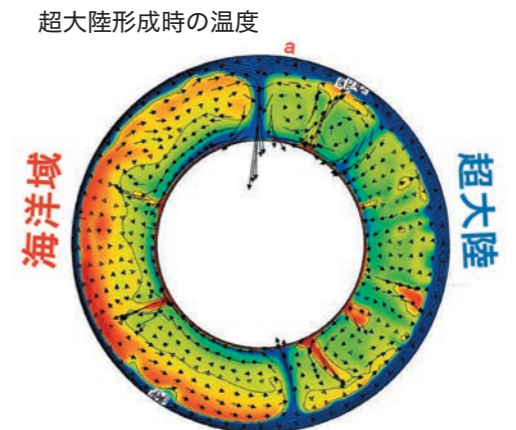
地球上には、7~10億年前にはロディニア、3億年前にはパンゲアと呼ばれる超大陸が存在し、その周囲に沈み込み帯が集中していたと考えられている。沈み込み帯ではマントルに水が供給されやすく、超大陸の地下深部には含水率の高いマントル物質があったはずだ。しかも、水にはルビジウムや鉛などの物質（水溶液濃集成分）が溶け込んでいるため、これらの比率が高まった。同時に、マントルの東半球の冷却が進行し、それに伴って核も東西半球構造をもつようになった。一方、沈み込み帯のない海洋底深部のマントルは含水率が低く、ルビジウムや鉛といった元素の比率も比較的少なかったと考えられる。

超大陸は離合集散を繰り返して、現在の大陸配置になったが、かつて超大陸があったところに沈み込み帯で起きたマントルへの水の供給の痕跡が、現在、世界各地で採取された岩石試料の水溶液濃集成分を分析することにより、東西半球構造という形で現れたのだ。

岩森分野長らが発見したマントル組成の東西半球構造は地球化学プローブという手法で明らかにされた地球内部の一面でしかない。今後の研究の進展により、思いもよらぬ地球内部の真実が明かされるに違いない。



東西半球構造の成因を示す超大陸が存在したときの地球内部構造のイメージ。超大陸域に沈み込み帯が集中し、水とともに水溶液濃集成分がマントルに供給された。さらに超大陸下では冷却が進行し、その影響は核にも及んだと推察される。



超大陸形成時の地球内部の温度分布に関する数値シミュレーション結果。超大陸域に集中した沈み込み帯によって超大陸下で冷却が進行し、海洋底下と比較して相対的に温度が低くなっている。

# 地震波・電磁気観測から地球深部のダイナミクスを探る

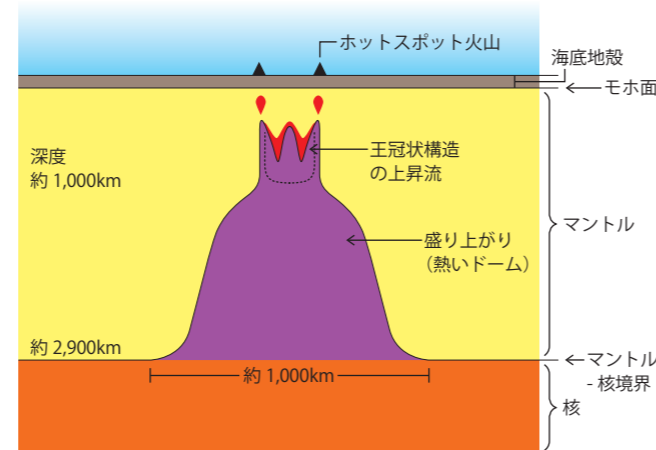
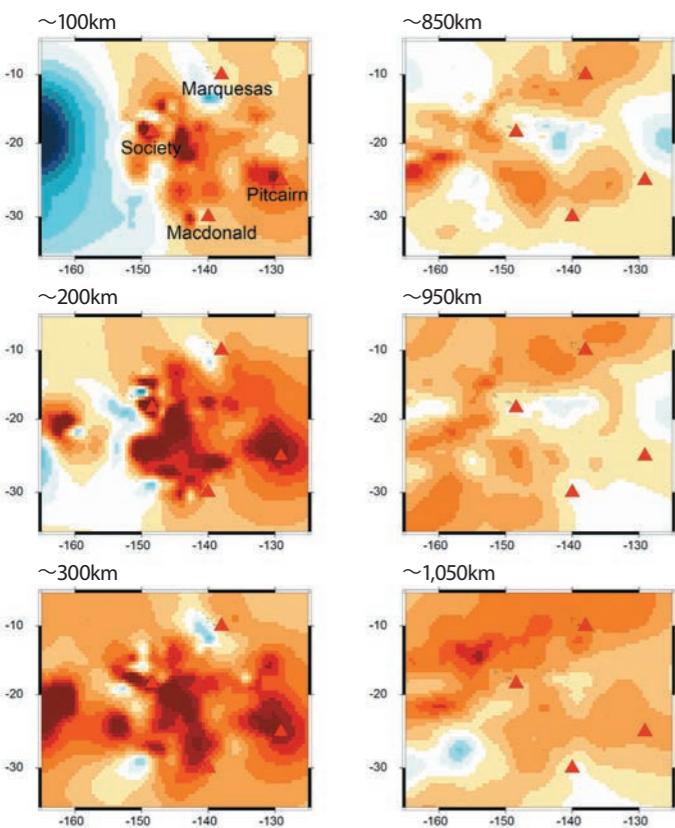
世界中で発生した地震から届く地震波を観測し、その伝わり方から地球内部の構造を明らかにする地震波トモグラフィは広く活用され、コア・マントル・地殻の大規模な構造を明らかにするだけでなく、プレートが海嶺で生まれ、マントルに沈み込んでいく様子などを詳細に描き出してきた。その高い空間解像度から地球内部の構造探査には欠かせぬ技術になっているが、近年、新たな技術として注目されているのが海底で行う電磁気観測だ。「電磁気観測は、磁力計や電位差計などで構成される海底電位磁力計 (OBEM) を海底に設置して行います。地磁気と地中を流れる地電流の相互作用 (電磁場変動) を利用して電気の流れやすさを計測することで、地下の温度や岩石の種類・状態などを明らかにする技術です」と地球深部ダイナミクス研究分野の末次大輔分野長が説明する。

地電流は、太陽活動によって変動する地磁気を打ち消す方向に誘導される。地電流と地磁気を測定することで地中の電気伝導度をとらえる、これが電磁気観測の仕組みだ。末次分

野長らは、この電磁気観測技術を地震波トモグラフィと併せて活用することによって、地球内部の構造やダイナミクスを探ろうとしている。その観測対象の1つが、南太平洋のタヒチ島周辺海域だ。

フランス領ポリネシアには有名なタヒチ島を含む数多くの火山島が存在する。ハワイ諸島と同様にマントル深部で生成されるマグマが上昇して吹き出すホットスポット火山島である。現在、火山活動は沈静化しているものの、1億2000万年前ころには活発に活動していたという。こうした時代の痕跡がフランス領ポリネシアの海底下にあるのではないかと、2003～2005年にフランスと共同で海底地震計 (OBS) を用いた地震波の観測が行われた。その結果、海底下に意外な構造があることが明らかになった。末次分野長は、「フランス領ポリネシア海域全体にOBSを設置して地震波を計測したところ、地下約1,000km以深に地震波の伝わり方が遅くなる差し渡し1,000km以上の巨大な盛り上がり構造があることがわかりました。しかも、その上部から、やはり地震波の伝わり方が遅い直径100kmほどの細い異常帯が立ち昇っていました」と話す。

こうした構造に興味を持った末次分野長は、2009～2010年にタヒチ島周辺海域を対象を絞ってOBSとOBEMを設置し、地震・電磁気観測を実施した。4ページ左下の画像が地震波



タヒチ島および周辺火山がある海域に海底地震計を設置して、地震波を計測した結果。地下約1,000km以深に、高温の巨大な盛り上がり構造があることがわかった。さらに、その上部600～950kmでは、火山島 (赤い「▲」印) を結ぶように高温の王冠状構造が見られた。上図は、観測結果から推定される熱いドームと王冠状構造のイメージ。



海底に投入される海底電位磁力計 (OBEM 左) および海底地震計 (OBS 右)。

による観測結果だ。海底下100～1,050kmまでの地震波の伝わり方を示している。赤い部分は地震波の伝わり方が遅く、青い部分は伝わり方が速い。各層の画像を層状に並べてみると、600～950kmの画像に火山島 (赤い「▲」印) を結ぶように地震波の伝わり方が遅い王冠状構造があり、その上にホットスポット火山島があることがわかった。地下1,000km以深とは明らかに構造が違っていることも見てとれる。

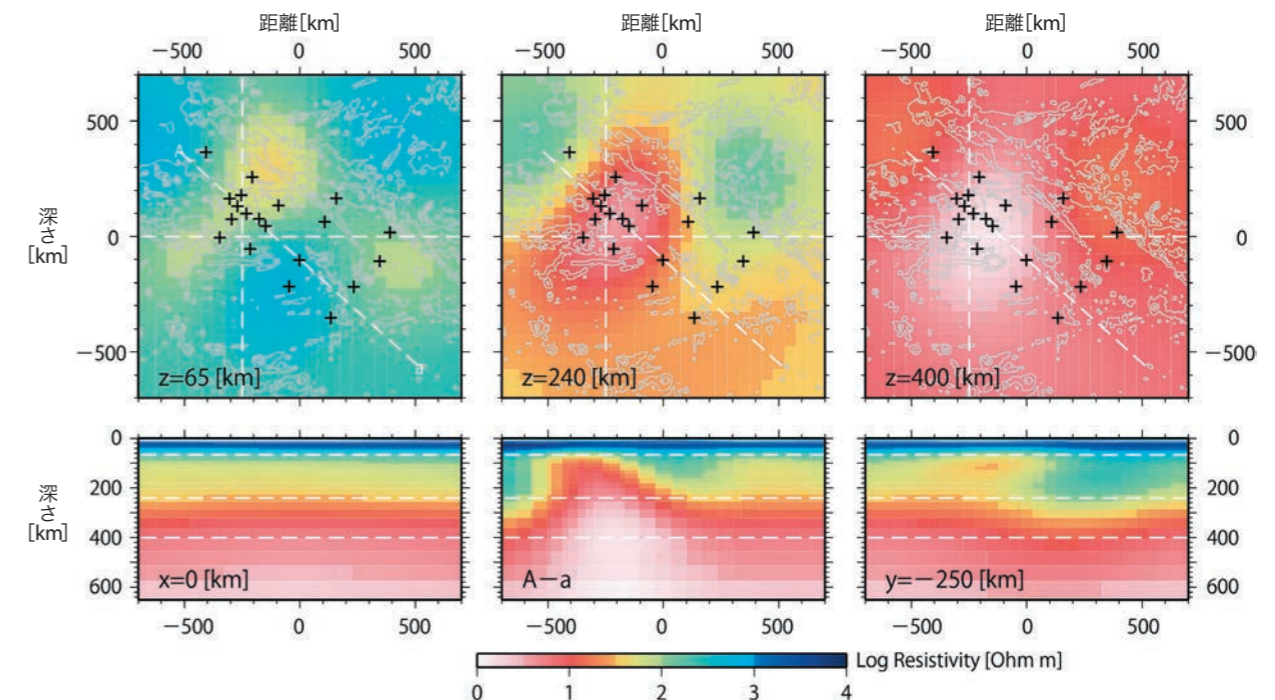
「タヒチ島および周辺の火山島の海底下には、周囲よりも熱く巨大な盛り上がり構造が現在も存在しています。一種のホットブルームなのかもしれません」と末次分野長はいう。ホットブルームとは、コアによって熱せられたマントルが上昇する流れを指し、「これまではキノコ状に湧き上がると考えられてきました。しかし、タヒチの海底下で観測された結果から推察する限り、単に温度が高いだけではなく、普通のマントルとは組成が異なるものが湧き上がっているようです」。

新たに加わった海底電磁気観測からも、王冠状構造のさらに上部に、地震波計測と同様、周囲より熱いホットスポットが描出された。末次分野長は「電磁気観測でも地震波と同様の海底下の構造が描出できましたが、地震波から推測された

ホットスポットの温度は周囲より200℃ほど高かったのに対して、電磁場から推測された温度は500℃も高かったのです。300℃もの差があっては技術的な誤差で説明できません。地震波には影響を与えず、電気伝導度に影響を与える何らかの成分が含まれていて、電気伝導度を高めていると考えています」と話す。岩石中に地殻物質や水、炭酸化合物が含まれていると電気伝導度が高まることが知られている。現在、末次分野長らは、室内実験などのデータと比較しながら、地震波観測結果との温度差が生じた原因を探っている。

さらに、末次分野長のチームは現在、南太平洋が最も活発だった1億2000万年前の巨大噴火活動の原因を探ることに目を向け、その活動のときにできたオントンジャワ海台 (ニューギニア島北沖) でOBS、OBEM観測を行っている。この噴火活動は当時の気候変動の原因となった可能性が指摘されるなど国際的な関心を集めており、掘削計画の構想もある。海台の地殻・マントル構造がわかれば、掘削実現のための大きな一歩となる。

「掘削によって直接マントル物質を手に入れることができれば、地球内部の構造や状態、成分などがはっきりわかりますが、現在は、地震波や電磁気観測などによってマントルの情報を得ることしかできません。そして、できるだけ正しい情報を得るためには、1つの手法だけでなく、異なる手法を組み合わせることが重要です。私たちは、地震波や電磁気観測、さらにはシミュレーションなども活用し、掘削結果と照らし合わせながら、地球深部の実態を明らかにしていきたいと考えています」と末次分野長は語る。



フランスの研究グループと共同で実施した、タヒチ島海域での電磁気観測の結果。カラーは比抵抗 (電気伝導度の逆数) を示す。赤い色ほど電気が流れやすい。地震波観測で描出された構造の上部に位置するホットスポット (画像の中央) がとらえられている。「+」は海底電位磁力計が設置された観測点。

# 多様な研究手法で初期生命の発生と進化の謎を解き明かす

生命の起源を追い求める研究は古くから行われており、初期生命の誕生は40~38億年前と推測されているものの、確かなことはまだほとんどわかっていない。約35億年前の地質（西オーストラリア、熱水活動の痕跡）からは、メタン菌を主体とする化学合成生物群集の遺骸と見られる有機物が見つかり、これが“最古の生物の化石（生痕化石）”とされている。2014年、海洋地球生命史研究分野の西澤学研究員らは、地球初期の熱水生態系の特徴を残す中央インド洋海嶺で採取したメタン菌の培養実験から、この35億年前の超好熱性メタン菌に支えられた微生物生態系が、すでに生命維持に欠かせないタンパク質などを生み出す役割を持つ素固定代謝を行っていた可能性が高いことを明らかにした。生命活動の進化を理解する上で大きな成果だが、初期生命の発生や進化は、まだ多くの謎に包まれている。

谷岳造研究員らによって、今年（2015）3月に発表された。土星の衛星・エンセラダスに、生命を育み得る環境が現存することを実証したのだ。

エンセラダスは内部に地下海を持ち、その海水が南極付近の地表の割れ目からプルーム（間欠泉）として宇宙空間に噴出している。米国の土星系探査機「カッシーニ」は、このプルームを通過し、搭載するダスト分析器によって、塩分や有機物、二酸化炭素など、海水に含まれる物質を明らかにした。渋谷研究員らは、そのなかから海底の温度の指標になるナノシリカ粒子に注目し、実験的な手法によって、エンセラダス地下海の海底に90°C以上の熱水環境が存在し、今も活発に活動していることを見出した。これにより、エンセラダスには液体の水や有機物とともに、生命発生に欠かせないエネルギーが存在していることがわかった。地球以外で生命の発見が期待できる環境の存在が実証されたのは初めてだ。

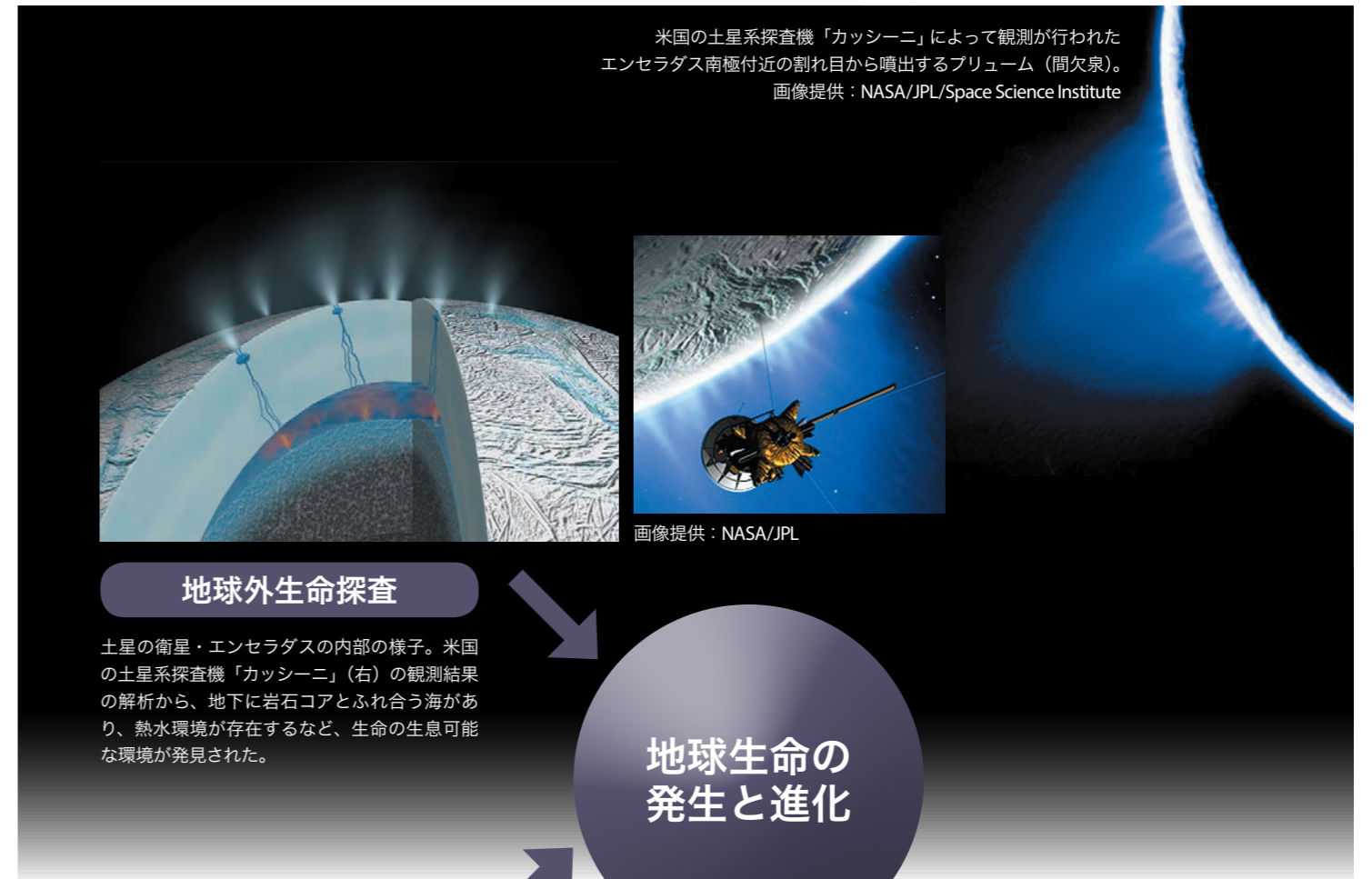
さらに、海洋地球生命史研究分野では、地球生命の発生や進化過程の謎を解き明かすため、地球に生命が誕生したころの高温・高圧環境を実験的に再現し、単細胞生物のふるまいを調べる研究を進めている。「生命は水のあるところで誕生したと考えられていますが、タンパク質はアミノ酸が脱水重合してできるので、豊富に水がある環境では合成されず、現在では比較的水の乏しい環境で生命が誕生したと考えられ、高温・高圧な地下空間が生命誕生の場として注目されています。そこで、高温・高圧環境におかれた生命の活動を調べようとしています」と研究を進める小澤春香研究員と鳥海光弘分野長。「微生物細胞に環境変動を与えて、反応や構造の変化を明らかにし、それを過去の環境に照らし合わせながら、初期生命がどのようにふるまい、どのような進化が起きたのかを探っていくわけです。細胞のリアクションには無限の多様性があります。その多様性を明らかにして、統計力学的な手法も取り入れながら、初期生命の進化に迫りたい」と話す。

こうした実験的なアプローチによる研究に取り組む鳥海分野長だが、その一方で、地球深部探査船「ちきゅう」の海洋掘削による地下生命圏探査の成果にも、「大きな期待を寄せている」と話す。海底から初期生命の特徴を受け継ぐ生命が見つければ、「実験を補完しながら研究が進められる」からだ。今もなお謎に満ちた初期生命とその進化の実像に迫るために、海洋掘削から宇宙での生命探査まで、幅広い研究手法を有機的に活用していきたいと鳥海分野長は考えている。



「ちきゅう」の研究区画で、掘削によって得られた試料を分析する様子。

そうしたなか、まったく異なるアプローチで初期生命に迫る研究も進められている。それは、宇宙における生命探査だ。火星の表面にかつて液体の水が存在していたことがわかってきた。また、木星の衛星・エウロパをはじめ、厚い氷地殻の下に地下海が存在する天体もいくつか見つかった。もちろん、直接生命につながる成果はまだ得られていないが、もし宇宙で生命の存在が確認されれば、地球における生命発生と進化の謎の解明にも大きく貢献するに違いない。そんな期待に応える重要な研究成果が、海洋地球生命史研究分野の



米国の土星系探査機「カッシーニ」によって観測が行われたエンセラダス南極付近の割れ目から噴出するプルーム（間欠泉）。  
画像提供：NASA/JPL/Space Science Institute

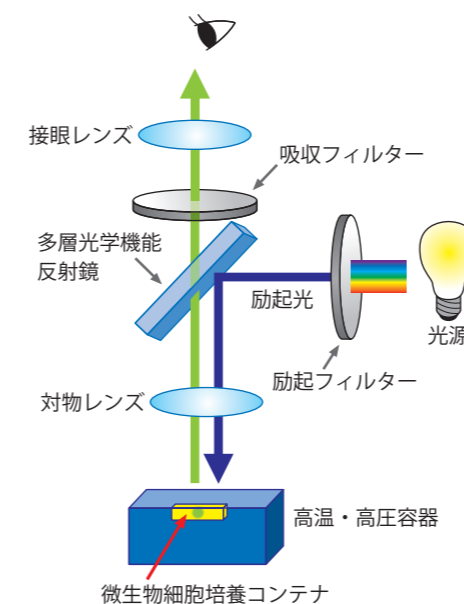
画像提供：NASA/JPL

## 地球外生命探査

土星の衛星・エンセラダスの内部の様子。米国の土星系探査機「カッシーニ」(右)の観測結果の解析から、地下に岩石コアとふれ合う海があり、熱水環境が存在するなど、生命の生息可能な環境が発見された。

## 地球生命の発生と進化

## 実験的な研究



高温高圧環境で培養しながら微生物細胞を観察できる蛍光顕微鏡システムで、細胞の環境に対するリアクションシステムを明らかにする。

## 海底生命圏の掘削探査



「ちきゅう」による沖縄熱水海底生命圏掘削プロジェクト（IODP第331次研究航海）



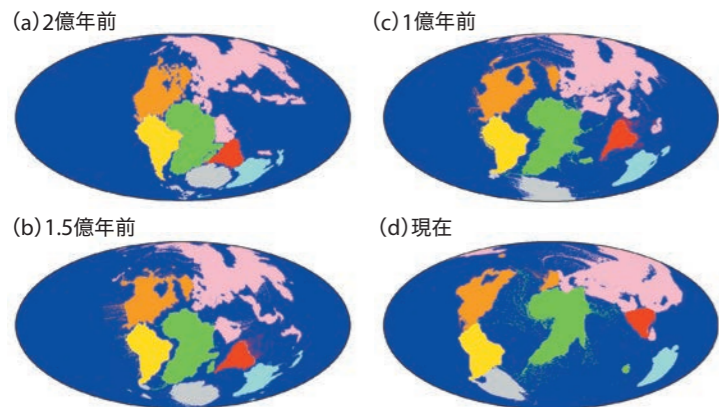
# 海洋地球生命史研究分野のアプローチ

# マントル対流シミュレーションが明らかにした大陸移動の原動力

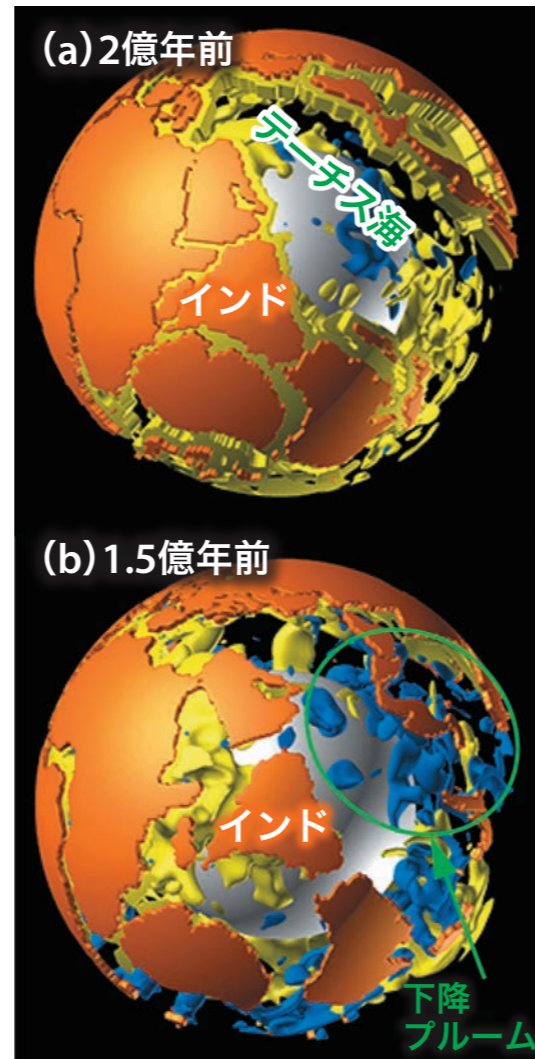
JAMSTECでは、地球深部探査船「ちきゅう」を用いた海洋掘削や、海底地震計などによる地下構造探査（地震波探査）を実施し、地球内部の活動の解明に取り組んでいる。だが、地球表層の動きやマントルの大規模な熱・物質循環（マントル対流）の長期的変動を詳しく理解するためには、地球内部で起きている対流運動をスーパーコンピュータを用いたシミュレーションによって再現し、海洋掘削などによる地球物理観測で得られた成果を補完することが重要といわれている。さらに、マントル対流は地球46億年の歴史を通じて地球表層の運動の駆動力として大きな役割を果たし、また、地球表層の運動の歴史も地球内部の構造やダイナミクスの進化に大きな影響を及ぼしてきたと考えられるため、プレート運動や大陸移動の原動力を正しく理解することは地球内部研究の根幹といえる。

こうしたなか、地球深部ダイナミクス研究分野の吉田晶樹主任研究員は、マントル対流の数値シミュレーションによって大陸移動を再現する研究を進めてきた。大陸移動説は、ドイツの気象学者、アルフレッド・ウェゲナーにより1912年に提唱された。地球に陸地が誕生してから今日まで、合体や分裂を繰り返しながら陸地は移動し続けたとされ、現在の配置になるまでには、超大陸と呼ばれる広大な大陸が形成されたこともあった。超大陸パンゲアもその1つだ。岩石に残された過去の地磁気の情報や、化石や現生の生物種の分布などから、パンゲアは今からおよそ3億年前に形づくられ、その約1

億年後に分裂を開始し、2億年という長い年月をかけて、現在の地球の大陸配置になったことが科学的に明らかになっている。しかし、大陸を移動させる原動力については、ウェゲナーが大陸移動説を発表して100年が経つ今日まで、明かな解答が得られていなかった。吉田主任研究員は、地球内部のマントル対流のシミュレーションモデルを構築し、JAMSTECのスーパーコンピュータを用いて、2億年前から現在まで超大陸パンゲアが分裂する様子の再現を試みた。



シミュレーションによる地球表層の大陸分布の時間変化。これまでの古地磁気学や地質学的データから復元された大陸移動をよく再現しており、2億年前の超大陸パンゲアが分裂して大西洋が広がる様子、パンゲアの南半分を構成する Gondwana 大陸の一部だったインド亜大陸（赤色）がテチス海を北上し、北半分のローラシア大陸に衝突する様子なども見てとれる。



シミュレーションによる各年代（左図）に対応するマントル内部の温度構造の三次元プロット。青色の等値面は各深さの平均温度よりも250°C温度が低く、黄色の等値面は100°C温度が高いことを示す。表層のオレンジの領域は大陸の位置。

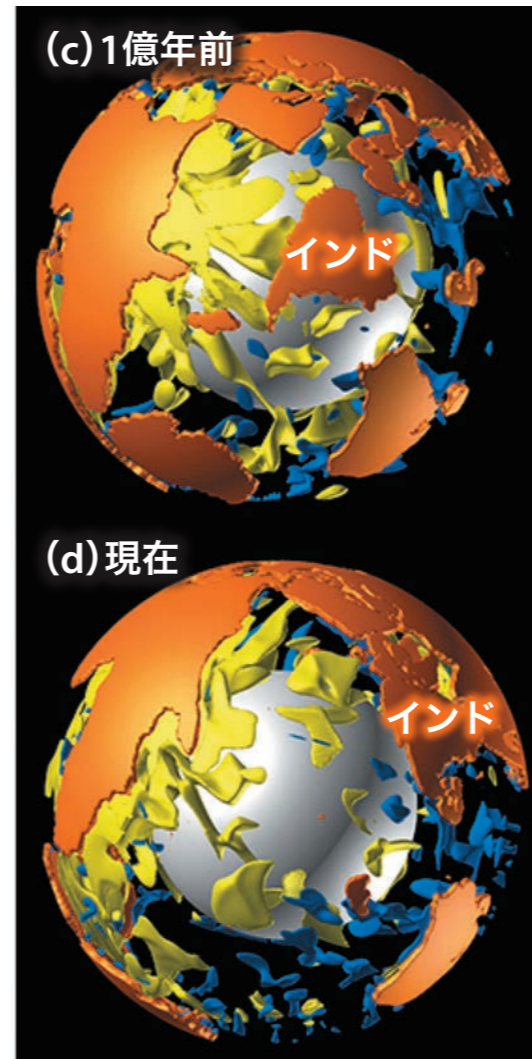
「これまではシミュレーションの難しさから、大陸を簡単に板状のものとしてモデル化していたことと、実際の地球の大陸の形状や変形を考慮していなかったことから、大陸移動をうまく再現できず、その原動力を特定できていませんでした。そこで、今回の研究ではいろいろな困難を克服し、マントルやプレートの硬さなどの物性パラメーターを変えながら、マントル対流のシミュレーションを繰り返した結果、2億年前のパンゲアから現在の配置までの大陸の移動を再現することができました」と話す。

吉田主任研究員によれば、超大陸分裂の直接的な原動力になっているのは、1980年代から考えられていたマントル深部からの巨大な上昇ブルームではなく、超大陸の熱遮蔽効果（毛布効果）だったという。超大陸が毛布の役割を果たして直下のマントルが高温になり、その熱を地表に放出するために、

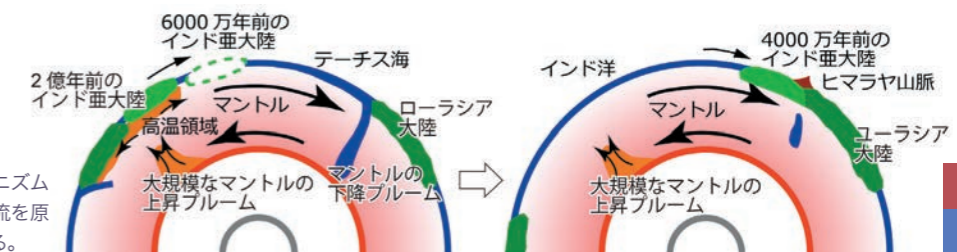
大陸に裂け目が生じたのだ。さらに、その高温のマントルはパンゲアを水平方向に引き裂くようなマントルの流れをつくった。

一方、パンゲアの南半分を構成する Gondwana 大陸の一部だったインド亜大陸がパンゲアの南海だったテチス海を高速に北上し、北半分のローラシア大陸に衝突する様子も、シミュレーションによって再現された。その原動力になったのは、パンゲアの分裂直後からテチス海北部に発達したマントルの下降ブルームだった。この下降ブルームは、パンゲア直下のマントルの高温領域と Gondwana 大陸の下部にあった大規模な上昇ブルームによって生じたマントルの流れにより、自然に形成された。このマントルの流れに引きずられるようにして、インド亜大陸はテチス海を北上してローラシア大陸に衝突し、現在のヒマラヤ・チベット山塊をつくり出した。吉田主任研究員がこう続ける。「大陸移動の原動力については、1970年代から、海洋プレートが沈み込むことによって生じる『スラブ引っ張り力』が最も重要で、マントル対流が海洋プレートや大陸プレートの底を引きずる『マントル曳力』はスラブ引っ張り力よりもずっと小さいのではないかと考えが主流でした。しかし、今回のマントル対流シミュレーションによって、マントル曳力も大陸移動の主要な原動力となっていることが実証できたと考えています。」

ウェゲナーが大陸移動説を発表してから100年もの間謎とされていた超大陸分裂の直接的な原動力が毛布効果であること、そして大陸移動の主要な原動力がマントル曳力であることが示されただけでも、吉田主任研究員によるシミュレーション研究は大きな成果だが、さらに、このマントル対流シミュレーションを活用すれば、未来の大陸の配置についても予測できるはずだ。現在は分裂した状態にあるが、やがて大陸が集合して、次の超大陸ができるのではないかとされている。そこで、問題になるのが太平洋と大西洋のどちらが閉じて超大陸ができるかということ。太平洋が閉じてできる「アメイジア」か、大西洋が閉じてできる「パンゲア・ウルティマ」かという2つの説が提案されているが、これについて、吉田主任研究員は、「すでにシミュレーションを進めています。現在の地球プレート運動の様子から予測した結果、太平洋が閉じる可能性が高い」と話す。吉田主任研究員のシミュレーション研究は、地球の未来の姿まで予測しようとしている。



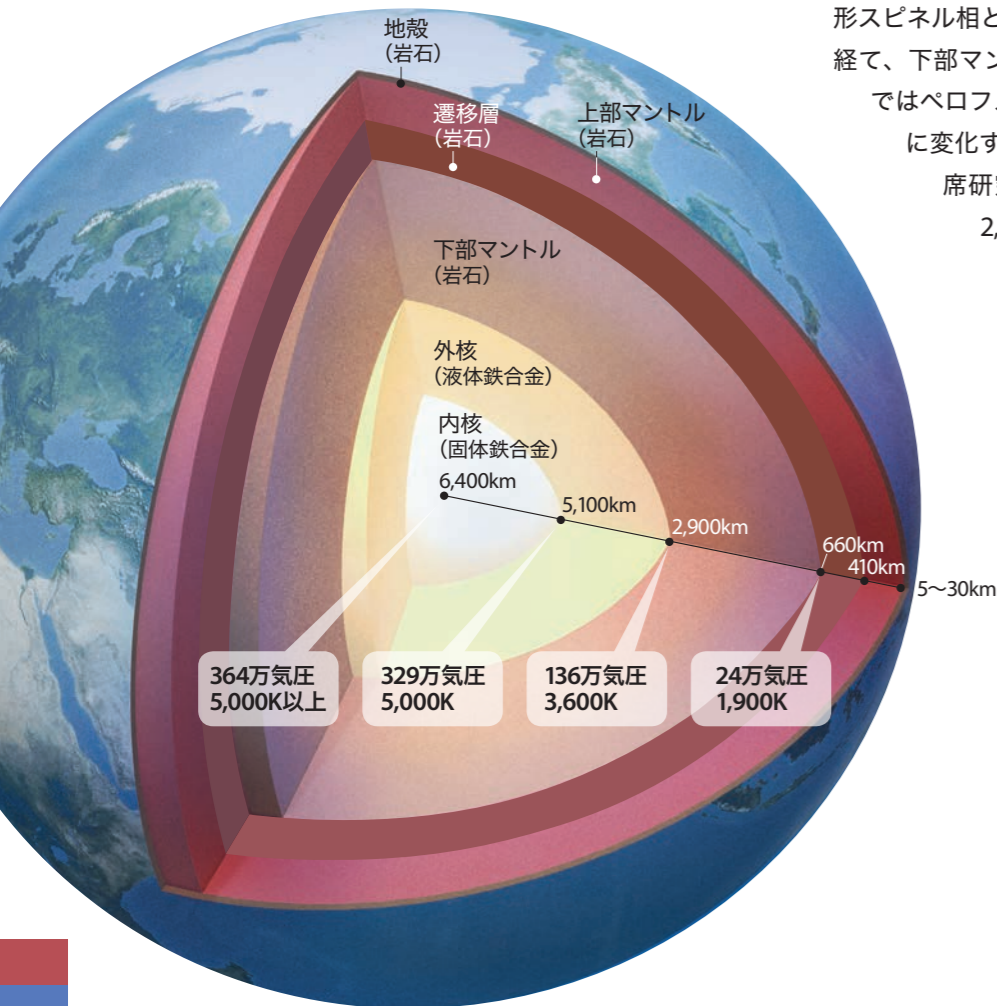
インド亜大陸の高速北進のメカニズムを示した模式図。マントルの対流を原動力として北進したと考えられる。



# 実験的に超高压高温環境をつくり出し、地球深部の特徴を明らかにする

地球深部探査船「ちきゅう」は、マントルを目指して掘削技術の高度化を進めているが、「ちきゅう」をもってしても到達できないのが、マントルのさらに深部にある核だ。核は、地下約2,900~5,100kmの外核（液体）と、約5,100~6,400kmの内核（固体）に分けられ、内核の中心、言い換えると地球の中心は、364万気圧、5,000K（絶対温度、0Kはマイナス273℃）以上という超高压・超高温の環境と推定されている。掘削によって到達することができない以上、核がどんな物質でできているのか、またどのような状態にあるのかを理解するためには別のアプローチで迫らなければならない。そのために、地震波を用いた地球内部の構造探査が行われている

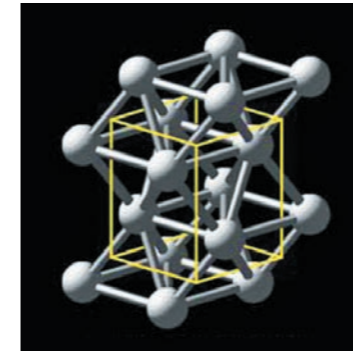
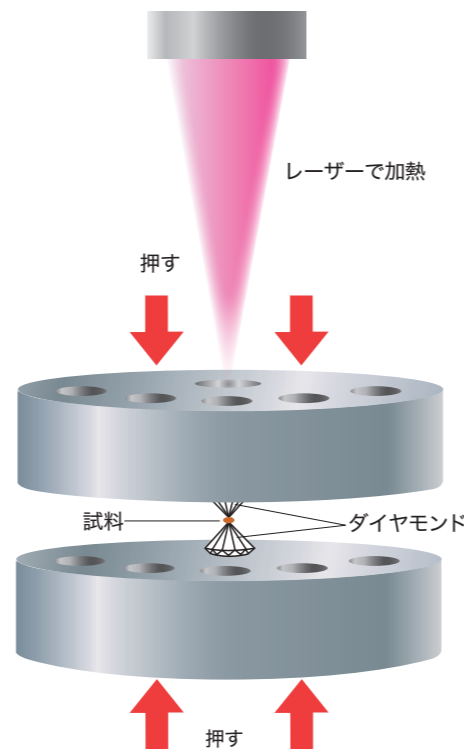
地球の内部構造



イラスト：本多冬人

が、地震波で得られる情報は限られている。そこで、海洋地球生命史研究分野の廣瀬敬招聘上席研究員（東京工業大学地球生命研究所所長）らの研究グループは、超高压高温環境を再現し、地球深部に存在し得る物質やその構造を人工的に作り出す実験を行っている。

この実験に使われているのが、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビル装置だ。この装置は、2つのダイヤモンドの間に試料を挟み、上下から圧力を加えながら、レーザーを照射して加熱する仕組みだ。マントルの主要鉱物の変化を探る超高压高温実験は1950年代から世界中で行われてきた。上部マントルの主要鉱物であるかんらん石 ( $Mg_2SiO_4$ ) を超高压高温に置くと、かんらん石は深さ（圧力）に応じて構造を変化させることがわかっている。上部マントルと遷移層の境界にあたる深さ410kmの環境では、かんらん石は化学組成を変えずに変形スピネル相と呼ばれる構造に変化。スピネル相への変化を経て、下部マントルになる深さ660km（24万気圧、1,900K）ではペロフスカイト相 ( $MgSiO_3$ ) とベリクレス ( $MgO$ ) に変化することがわかっていた。2004年に廣瀬招聘上席研究員らは、さらに深い2,600km（125万気圧、2,500K）では、ペロフスカイト相がポストペロフスカイト相に構造を変えることを世界で初めて明らかにした。



地球の中心部に存在する鉄が、図のような六方最密充填構造をとっていることが実験で明らかにされた。

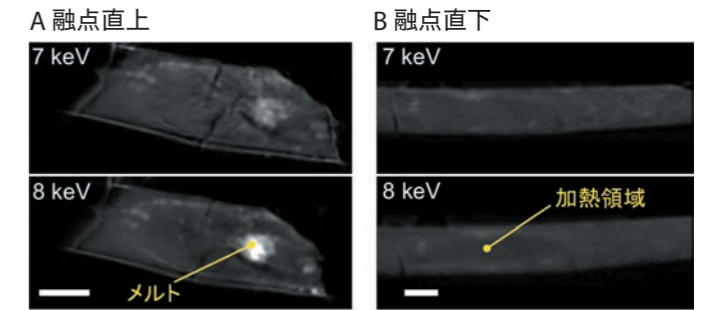
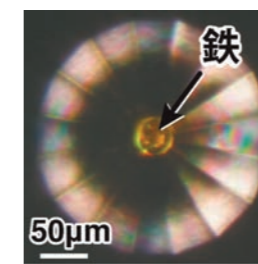
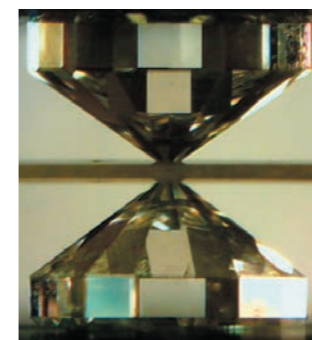
一般に、マントルは熱対流を起こしていると考えられている。最下部マントルにおける上昇流の発生には、廣瀬招聘上席研究員らが解明した、ペロフスカイト相とポストペロフスカイト相の相転移が深く関わっている。

2010年には、地球の中心に相当する364万気圧、5,500Kという超高压高温環境を世界で初めて作り出すことに成功。そこでは、核の主成分である鉄が、最も高密度になる「六方最密充填構造」という結晶構造をとることを解明してきた。

さらに廣瀬招聘上席研究員らは、マントル物質を超高压高温環境に置くことで、マントルの融解温度を明らかにするために、マントル物質を超高压高温環境に置き、何度で融け始めるか正確に決める必要がある。マントル物質をダイヤモンドアンビル装置のなかで融解させたのち、さらに大型放射光施設Spring-8の高輝度X線を利用した高解像度マイク



レーザー加熱式ダイヤモンドアンビル装置の仕組み（10ページ右図）。装置の直径は約5cm（左写真）。装置の中央部にダイヤモンド先端部に挟んだ微小試料（サイズはミクロンスケール）を置き（左下写真）、装置のネジを締めて加圧し、レーザーを照射して加熱する。扱う試料が小さいために、解析には、強力な高密度、さらに超高压高温条件を保ったまま解析が可能な大型放射光施設Spring-8の高輝度X線が用いられる。



超高压高温実験後に得られた微小試料内部のX線CT画像。融解時に見られる特徴的な構造の観察に成功した。左の画像で明るい部分は、マントル物質が部分融解してできたメルトを示す。部分融解液は酸化鉄に富むため、7keV（キロ電子ボルト）と8keVの2つのエネルギーのX線で撮像した2つの画像のコントラストが大きい。酸化鉄に富む部分の有無で、試料が融解していた（左）か、していなかった（右）が判断できる。これにより、マントル全域にわたる正確な融解温度が明らかになった。スケール（白い棒）は5ミクロン。

ロトモグラフィー撮像技術を駆使して、融解時に見られる特徴的な構造をとらえた。X線コンピュータトモグラフィー（CT）は、医療用装置としてよく知られるが、最近では材料研究などでも活用されている。実験で活用された高輝度放射光X線を使用したCTは、数百ナノメートル～数ミクロンという高分解能で試料の構造を非破壊で観察することが可能だ。

この実験の成功により、融解液の形成が確認できるようになり、マントル全域の正確な融解温度が明らかにされ、核直上のマントル物質を融解させる温度が、約3,600Kであることもわかった。この温度は、従来の見積もりよりも600Kも低い。マントルの底が固体であるためには、コア側の温度は3,600K以下である必要がある。また、この温度でも外核が液体であるには、核物質の融点を下げる不純物が存在していなければならない。この結果から、大きな融点降下の効果をもつ水素が、核に多く含まれていることが示された。外核の重量の0.6%、原子数換算では25%ほどの水素が含まれている必要があるという。

「これほど大量の水素は、地球が形成されたころ、その表面を覆っていたマグマ（マグマオーシャン）中で鉄に水素が取り込まれた名残りである可能性が高い。しかも、今回推定された核のなかの水素量を水に換算すると、地球の全質量の1.6%（海水の約80倍）にもなり、初期の地球が大量の水を獲得していた証拠」と廣瀬招聘上席研究員はいう。

人工的に地球内部の超高压高温環境下を再現し、しかも液体の物質も扱うことができたことにより、今後は液体の外核を再現し、その特徴に迫ることも期待される。廣瀬招聘上席研究員らの研究の進展によって、今後も、人類が到達することが困難な極限世界である地球深部の実像が明らかにされることだろう。

# “海で生まれる”大陸を 海洋掘削で明らかに

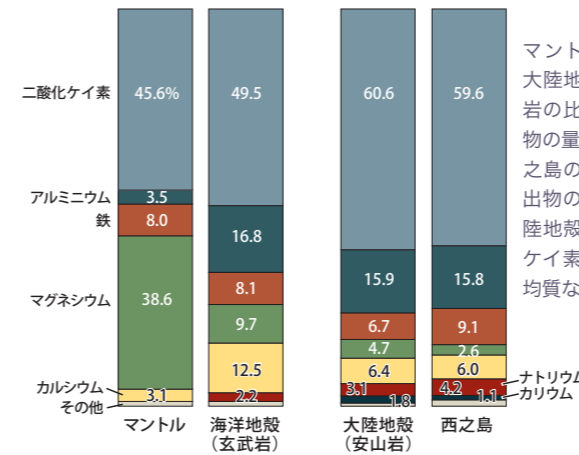
太陽系のなかで、地球は表層に大陸と海洋を持つ唯一の惑星だ。さらに、大陸と海洋で地殻の組成が異なり、大陸地殻の主成分が二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)を60%程度含む安山岩であるのに対して、海洋地殻は二酸化ケイ素を50%程度しか含まない玄武岩でできている。太陽系の他の地球型惑星(水星・金星・火星)に目を向けると、大陸を持つ惑星は1つもなく、なぜ地球だけで安山岩の大陸が形づくられたのかは大きな謎だ。

海洋掘削科学研究開発センターマントル・島弧掘削研究グループの田村芳彦グループリーダー(GL)らは、どうして地球だけで大陸ができたのか明らかにするため、「たいりくプロジェクト」(これまでの「プロジェクトIBM」を発展・拡大)を進めている。田村GLは、「大陸の成り立ちを解明する上で、現在、重要な研究対象として注目しているのが、2013年以降、活発な噴火活動を続けている小笠原諸島の西之島です。西之島は海底火山の噴火によってできた島ですが、そこから噴出している岩石は大陸地殻を形成する安山岩なのです」と話す。

西之島に限らず、小笠原諸島の周辺海域で得られる岩石は

ほとんど安山岩だ。大陸から遠く離れた沖合にありながら、大陸地殻の岩石が出ている。これに対して、伊豆諸島で得られる岩石は、海洋地殻を構成する玄武岩ばかり。小笠原諸島と伊豆諸島の違いは、何によってもたらされるのか——この謎を解明するため、田村GLらは、小笠原諸島・伊豆諸島の周辺海域で地球深部探査船「ちきゅう」を用いた海洋掘削計画を進めるとともに、2015年6月には、海洋調査船「なつしま」で、現在も噴火している西之島から4.5kmにまで迫り、深海曳航調査システム「ディープ・トウ」を用いて水深200~2,000mまでの海底に沈む岩石を採取。現在、その詳細な分析を進めているところだ。田村GLは、西之島の周辺海域で採取された岩石が「初生マグマに近い安山岩である可能性が高い」という。「上部マントルが溶けて最初に生じるマグマが初生マグマです。マグマは地表に噴出するまでに成分が変化しますが、初生マグマはできたばかりの、まだ分化していないものを指します。これまで初生マグマはマントルかんらん岩から生まれる玄武岩と考えられてきました。マントルと玄武

取材協力/田村芳彦 グループリーダー 海洋掘削科学研究開発センターマントル・島弧掘削研究グループ



マントル、海洋地殻、大陸地殻、西之島の溶岩の比較(元素は酸化物の量として表示)。西之島の1973~74年の噴出物の分析結果は、大陸地殻と同様、二酸化ケイ素量が60%前後の均質な安山岩だった。



深海曳航調査システム「ディープ・トウ」。高感度カメラによる海底映像を母船で観察しながら後部に取り付けたドレッジ採岩装置によりピンポイントで溶岩を採取(撮影/アレックス・ニコル)。右は、今回の西之島調査で「ディープ・トウ」が撮影した海底の様子。

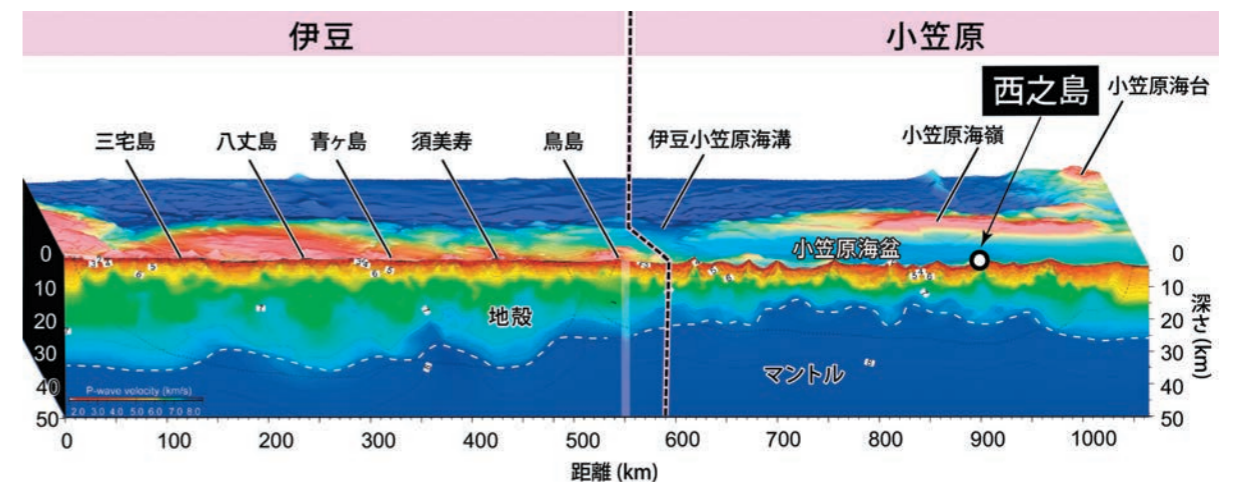
岩に含まれる二酸化ケイ素の割合が似ていることから、マントルが溶けた初生マグマは玄武岩であると考えられるのも無理はありません。しかし、水が豊富にあって、低圧な環境でマントルが溶けると、初生マグマが安山岩になることが実験的に示されています。ですから、もし西之島の周辺海域で採取された岩石が、ほとんど安山岩なら、初生マグマは玄武岩というこれまでの常識を覆すことになり、大陸ができるメカニズムを解明する重要な手がかりになるでしょう。

田村GLがこのように考える背景には、伊豆・小笠原の地殻構造調査の結果が関わっている。13ページ下の伊豆・小笠原の地殻構造図で、緑色で示した部分は安山岩でできた大陸地殻(中部地殻)を表している。黄色から水色の地殻の厚さに注目すると、西之島を含む小笠原の周辺海域は薄いものに対して、伊豆の周辺海域は地殻が厚くなっていることがわかる。このことから、地殻が薄い小笠原では、低圧でマントルが溶けるため安山岩のマグマが生じるのではないかと考えている。しかし、徐々に地殻が厚くなるにつれて、マントルが溶ける深さの圧力も高まり、マグマは玄武岩となる。それが今の伊豆諸島だという。田村GLは、「伊豆諸島の地下にある地殻は厚いため、その下でマントルが溶けても、圧力が高いために

できるのは玄武岩ばかりになります。マントルが溶けた初生マグマから安山岩ができない以上、伊豆諸島の大陸地殻(中部地殻)は、今以上に厚くなることはないはず。この仮説が正しいかどうかは、西之島で採取された岩石と地下のマントルでできる初生マグマとの関係によって確かめられていくことになります」と説明する。

前述の通り、これまでは初生マグマから玄武岩しかできないと考えられてきたため、まず最初にマントル由来の玄武岩でできた地殻が生まれ、その後一部の成分が変化して、安山岩の大陸地殻ができたのではないかとという仮説も提案されている。どちらが正しいか、西之島の岩石の分析結果が示してくれると期待されるが、もし西之島周辺で採取された岩石が安山岩だったとしても、その下にある大陸地殻の正体がわからないままでは、確かなことはいえない。そのため、田村GLは「たいりくプロジェクト」で米国の掘削船「ジョイデス・レゾリューション」を用いて、伊豆・小笠原の掘削を実施している。これまでの3回の掘削では、大陸地殻に達していないため、近い将来「ちきゅう」による掘削航海で、大陸地殻のコア試料が得られることが期待される。これまで謎だった大陸の成り立ちが、近い将来、明らかにされるはずだ。

南西から見た西之島。中央スコリア丘の南側(写真の右手)は連続する溶岩の流出で高くなっており、溶岩が海に達して水蒸気の白煙を上げている。

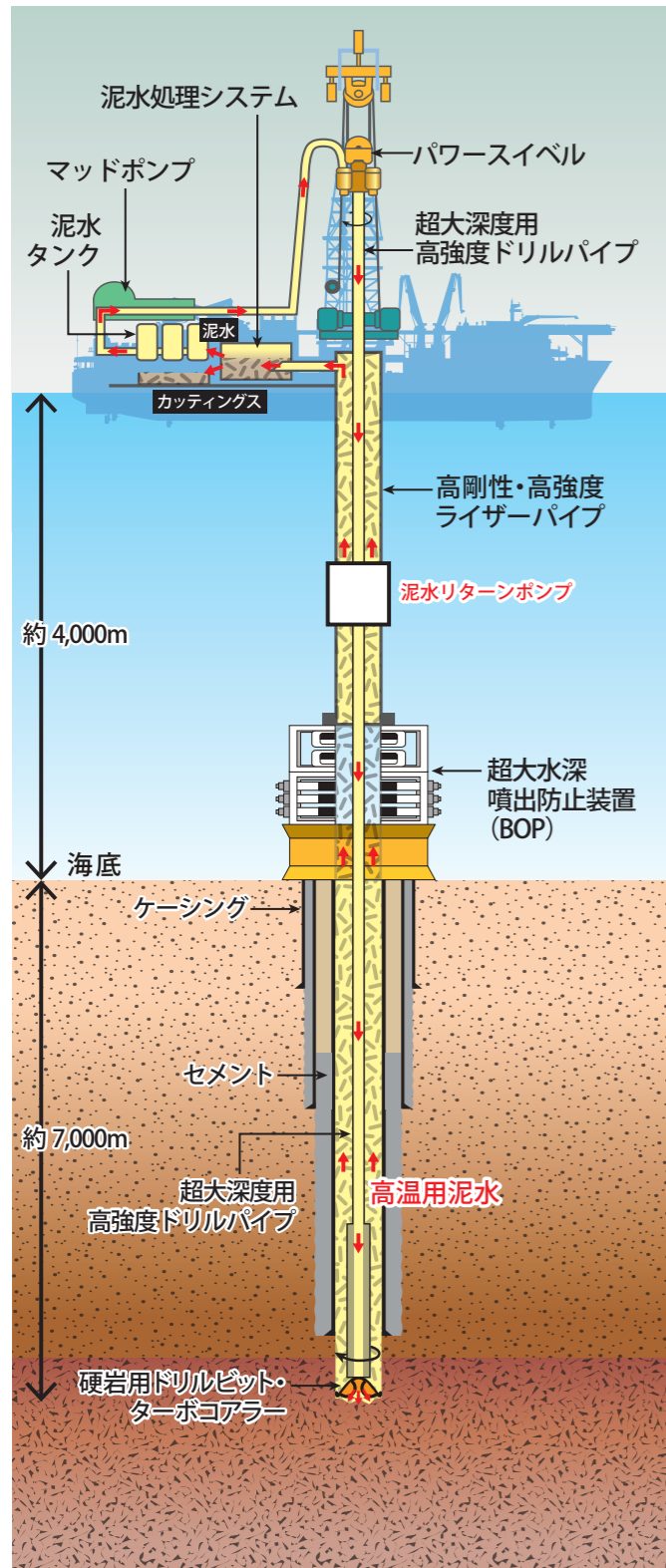


伊豆・小笠原の地殻構造。伊豆弧の三宅島、八丈島、青ヶ島、鳥島などは玄武岩溶岩を流出する火山だが、地下には厚さ30~35kmの地殻がある。一方、安山岩溶岩を流出する西之島を含む小笠原弧の地殻は厚さが15~20kmしかない。西之島は世界でも有数の「マントルに近い島」、「地殻の薄い島」なのだが、なぜマントルに近い海洋島弧の火山島から大陸同様の安山岩マグマが噴出するのか、さらに、なぜ地殻の厚い北部の伊豆諸島から玄武岩マグマが噴出しているのかはわかっていない。



# マントル到達に向けた 大深度掘削技術開発への取り組み

マントル掘削の概念図



地球深部探査船「ちきゅう」は、計画当初からマントルに到達することを大きな目標の1つとして掲げてきた。だが、これを実現させるためには、乗り越えなければならない技術的な課題が残されている。「ちきゅう」は、2012年に実施された「東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)」において、水深6,897.5mの海底から854.81m(総ドリルパイプ長7,752.31m)まで掘削することに成功し、科学掘削の世界最長記録を達成しているが、現在、候補に挙がっている海域でマントルまで掘り進むためには、水深約4,000mの海底から、約7,000m掘り進む技術が求められるという。人類未到のマントル到達を実現するには、「ちきゅう」の掘削能力をさらに向上させることが必要だ。地球深部探査センター(CDEX)技術部技術第2グループの宮崎英剛グループリーダー(GL)は、「JFASTの掘削では、『ちきゅう』から海底まで約7,000m、重さ約350トンのドリルパイプを吊り下げ、さらに海底下約850mまでドリルビットを回転させながら掘り進んだわけですが、マントルまで掘ろうとすると、ドリルパイプは1.5倍の長さが必要になります。『ちきゅう』は耐えることができても、パイプそのものが自重で伸びたり、破損したりすることが想定されます。長くなっても、トータル重量が減らせるようにパイプを軽量化したり、強度を高めることが必要です」と話す。

ドリルパイプの外径を下になるほど小さくしたり、一部を鋼鉄より軽量の素材に置き換えるなどして、全体の重量を抑えることが検討されている。さらに、海底下7,000mを掘り進むには、「ちきゅう」に採用されているライザー掘削を行わなければならない。そのためには、ライザーパイプを海底まで吊り下げることが必要だ。ライザーパイプは鋼鉄できており、その周囲にフロートが取り付けられている。現状のまま



大深度用(8-1/2) PDCコアビットとセンタービット(上)と開発中の大深度超硬岩用インブリグネーティッドダイヤモンドコアビット(右)。

では重すぎるため、一部を炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に置き換えたCFRPライザーパイプの開発を進めている。CFRPに置き換えれば、相当な軽量化が期待できるが、課題もあると宮崎GLはいう。「掘削時に船体がどの程度揺れるかは天候次第ですが、船体が揺れると、CFRPパイプが伸び縮みして破損することが心配されています。より伸びにくいピッチ系と呼ばれるCFRPの採用を検討していますが、パイプをつなぐ接続部までCFRPにすることは難しく、鋼鉄製になるため、CFRP部材と鋼鉄部材の結合部分の強度を高める方法も考えていかなければなりません」。

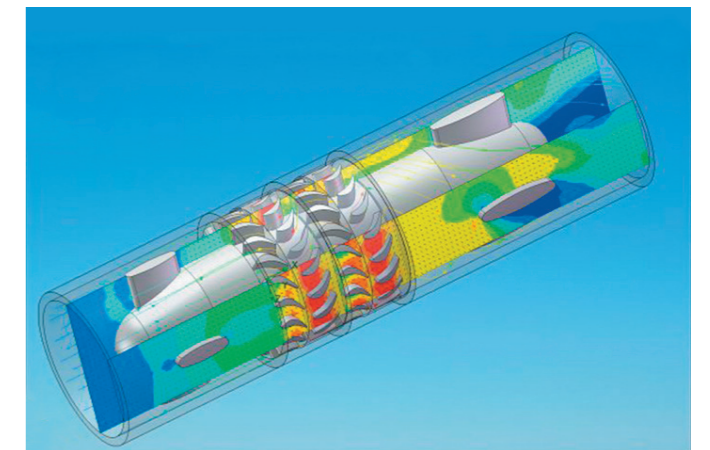
マントルに達する海底下7,000mまで掘り進むと、岩石は硬く、高温になる。地殻内深部を掘り進むためには、ドリルビットの改良も欠かせない。ドリルビットが欠けてしまうと、いったん、船上に引き揚げてドリルビットを交換する必要があるが、海面から1万mもの深さになると、ドリルビットを引き揚げるだけで1日かかってしまう。交換後に掘削途中の最深部に下ろすためにさらに1日かかることを考えると、より高強度で耐久性の高いドリルビットの開発は必須だ。

現在のドリルビットはダイヤモンドの粉末を焼き固めてつくられているが、硬さは備わっていても、もろく欠けやすいという問題がある。宮崎GLらは、硬いだけでなく粘り強く欠けにくい素材にすることで、耐久性を高めようとしている。宮崎GLは、「さらに研究目的の掘削ですから、コア試料を採取しなければなりません。しかし、掘削した岩石が硬くてもろいと割れてしまい、これまでの掘削でも、試料をおさめるコアバレルに岩石の一部しか入っていないということが起きていました。より確実にコア試料を採取できるよう、ター

ビンモーターの回転で岩石を削り出すコアリングシステムの開発も進めています」。タービンモーター駆動のコアリングシステムは船上から送り込んだ高圧の泥水により、先端部のカッピングシューを高速で回転させるシステムで、より確実にコアを採取できると期待されている。さらにタービンモーターをドリルビットの回転に用いて掘削するターボコアラについても検討されている。

泥水に関しても、マントルまで掘り進むと300°C近い熱にさらされて泥水の成分が変性したり、凝集してしまうことが懸念されている。「ちきゅう」で使用できる泥水が耐えられるのは最高のもでも170°C程度であるため、成分を見直し、耐熱性を高めようとしている。高温への対処が課題となっているのは、コア採取同時孔底計測システム(MWC)などの電子部品も同様だ。

こうした掘削技術に関する研究開発が実を結んで、初めて誰も到達したことのない深部に到達できる。さらに、開発した技術を科学掘削にとどまらず、海底油田や海底ガス田開発といった商業的な掘削に活用することも検討されている。そのため、宮崎GLらは開発した技術の安全性や性能を検証する基準づくりにも取り組もうとしている。一定の基準を作成して、それにかなう技術として広く認められれば、商業掘削に使われる知的財産としての活用も期待できる。



コアリングシステムに取り付ける泥水駆動タービンモーター(上)とタービンモーター構成翼(下)。



現在の鋼鉄製ライザーパイプ(左)と開発中の炭素繊維を使用したCFRPライザーパイプ(右)。



# 「ちきゅう」が切り拓く地球科学の未来

地球内部には、多くの謎に満ちた人類未踏の世界が広がっている。地震波観測や模擬実験、スーパーコンピュータを用いたシミュレーション研究などによって、その実態が少しずつ解き明かされようとしているが、「やはり実際に掘ってみなければ、本当の姿は見えてこない」と地球深部探査センター(CDEX)の倉本真一センター長代理はいう。「その一例が、『ちきゅう』による南海トラフ地震発生帯掘削の第316次研究航海で、プレート境界先端部の付加体を掘削して得られた断層コアが明らかにした新事実です。それまでは、沈み込みが始まったばかりのトラフ軸近傍の浅い領域は、プレート間の固着が弱く、陸側のユーラシアプレートはほとんど引きずり込まれず、地震・津波を発生させる場所とは考えられていませんでした。ところが、採取したコア試料には、シャープな破断面の様相を示す断層が存在し、その断層物質の熱履歴を分析した結果、断層面が過去に高温(400°C程度)になっていたことが明らかになりました。この予期せぬ断層が、高速滑りに伴った摩擦発熱現象を起こしていた、つまり地震・津波断層として滑った可能性が高いことが示されたのです。そして、同様のことが東北地方太平洋沖地震でも起きていたことが、JFASTの掘削研究で明らかになりました」。

地球内部に関しては、実際に掘削してみないとわからないことが、まだまだたくさんある。たとえば、マントルと海洋

地殻の境界にしても、地震波を用いた構造探査で、そこにモホロビッチ不連続面(モホ面)があることはよく知られるが、モホ面を境にはっきりと物質や物性が違っているのかなど、実はその正体はよくわかっていない。

さらに、モホ面下のマントルについては、「わからないことばかりといっても過言ではありません」と倉本センター長代理。「上部マントルにかんらん岩があることは明らかになっていますが、水や炭素などの元素が岩石内にどの程度含まれているのかは不明です。中東のオマーンや日本の日高山脈などで、マントル由来の岩石が地表に露出していることは有名ですが、高温・高圧の地下深くと大きく異なる環境では軽い元素は散逸してしまい、マントルの岩石の組成を余すことなく私たちに教えてくれているわけではありません」。

だからこそ、「ちきゅう」を用いて実際にマントルまで掘り、そこにある物質を手に入れることが重要なのだ。とはいっても、14~15ページで紹介した通り、マントルに到達するためには、さらなる技術開発を進めていく必要がある。現在、科学目的と技術的な実現可能性を考えて、ハワイ島沖、メキシコ西岸沖、コスタリカ沖の3つの海域が「マントル掘削プロジェクト」を実施するための有力候補として、世界中の研究者が集まった「CHIKYU+10国際ワークショップ」(2013)で合意されている。

候補地の選定には、水深や海底からマントルまでの深度が大きなカギとなっているが、もう一つ、重要な条件がある。それは、地下の温度だ。「モホ面までただ掘ればいいというわけではありません。コア試料の採取はもちろん、詳細な観測も行わなければなりませんから、コアを採取する機器やセンサー類が不具合を起こすような高温の岩石を簡単に掘り進むことはできません」と倉本センター長代理は説明する。

中央海嶺で海洋地殻が生まれた直後は高温であるものの、海嶺から遠ざかるとともに徐々に冷えていく。中央海嶺から離れた海域の方が掘削には有利と思われるが、海嶺から離れるほど、海洋地殻は厚くなり、水深も深くなってしまふ。適度に冷えて、厚くなっていない海域はどこか。倉本センター長代理は、「まだ海洋調査データに基づいた議論が必要ですが、現在の情報ではハワイ沖が3つの候補のなかでは最も有望なのではないかと、個人的には思っています」と評価する。

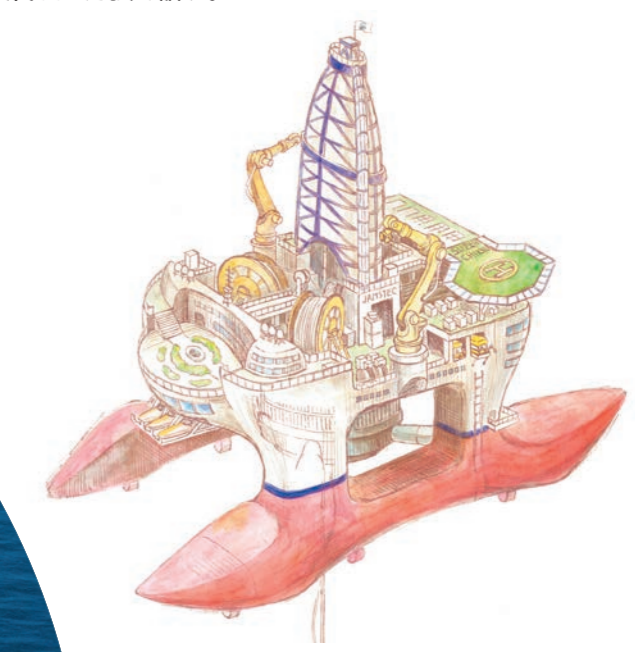
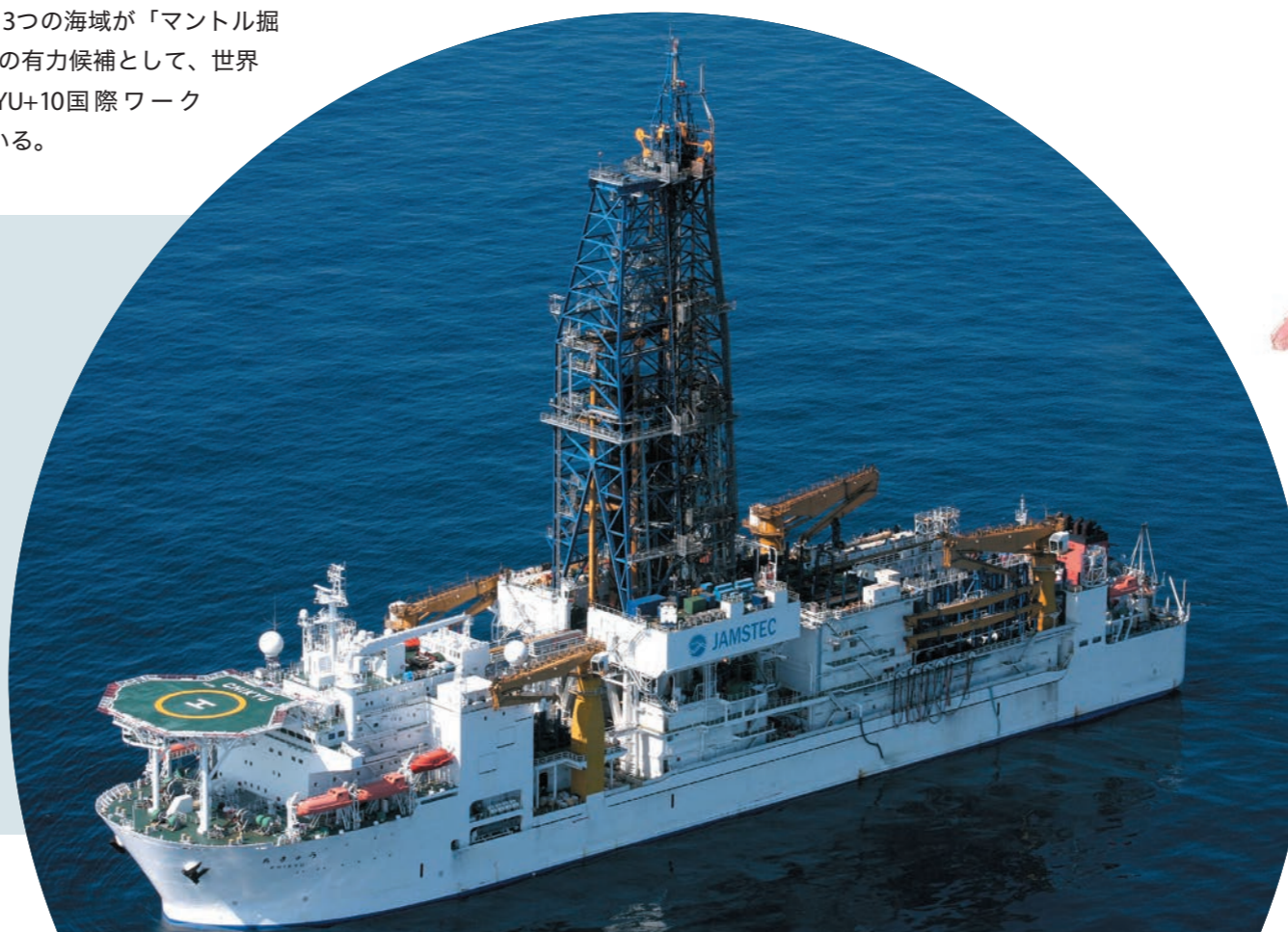
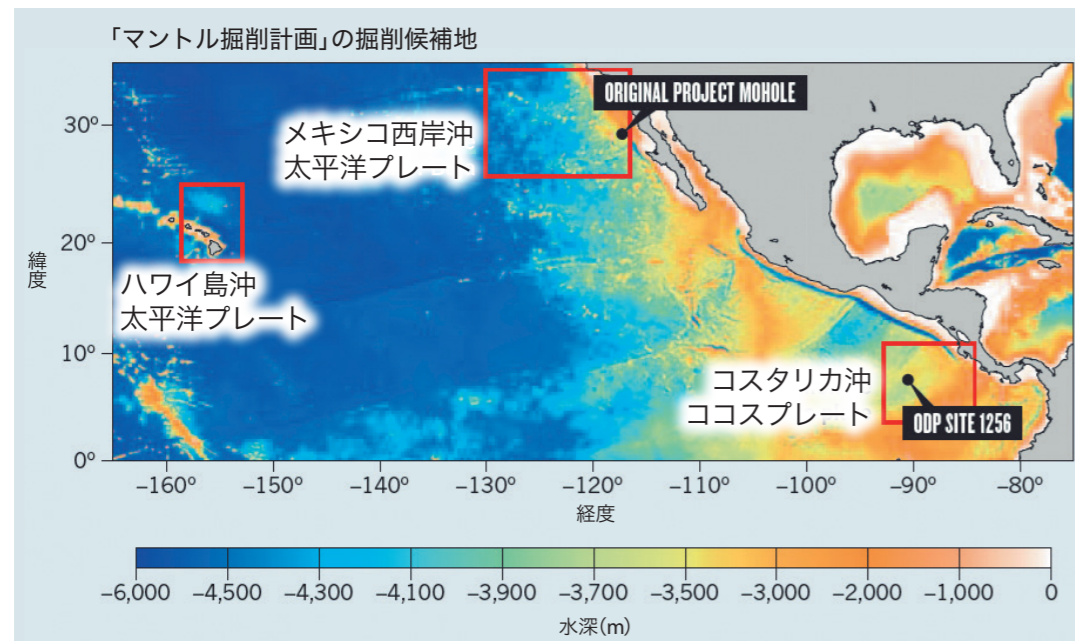
ただし、ハワイ沖にも問題が残る。ハワイ諸島はホットスポットに位置するため、マントルから上昇してきたマグマの影響が考えられる。ハワイ周辺が典型的なマントルといえるかどうかは、今後の地殻構造調査結果によると思われる。

いずれにしても、今後の掘削技術の進展や地下の温度などの条件から選ばれた海域でマントル掘削が行われることになる。気になるのは、いつ掘削が実施されるのかだ。「その質問

に答えるのは難しいのですが、何としても今後10年以内には行いたいと考えています。ただ、10年後となると、そろそろ次世代の『ちきゅう』を考えないといけない時期にもなります」と倉本センター長代理はいう。

今年で就航10年を迎える「ちきゅう」は、十分な整備が行われているため、30年、40年の運用も可能かもしれないが、掘削技術や操船技術の進歩を考えると、いつまでも前世代の技術を使い続けるわけにはいかない。そこで、「ちきゅう」の役割を受け継ぐ「スーパーちきゅう」の検討も、すでに始まるようとしている。

“スーパーちきゅう”の実現は、まだ先の話だが、まずは現在の「ちきゅう」により、どこよりも早くマントルに到達することだ。その上で、さらなる深部への掘削に必要な技術と経験が、「ちきゅう」から“スーパーちきゅう”へと受け継がれ、次世代の掘削科学技術が確立されることだろう。「地球深部には、惑星地球の成り立ちや生命の起源に迫る研究の本質を明らかにするために欠かせない情報があります。それを手に入れるため、掘削科学の必要性は、今にもまして大きくなり、海洋掘削は今後も続いていくに違いありません。『ちきゅう』はそういった重大な使命を担っているのです」と倉本センター長代理は力強く話す。



人類未踏の海底深部に存在するマントル試料を持ち帰ることを目指す、次世代の科学掘削船「スーパーちきゅう」のイメージ。大水深・大深度での掘削を目指して開発中の技術を取り入れつつ、新たな技術を加え、大幅に機能を強化させることによって、厳しい海象・気象条件下でも安定して効率的に掘削作業が継続可能な掘削船。

# 尾びれもないのに海原を 大回遊

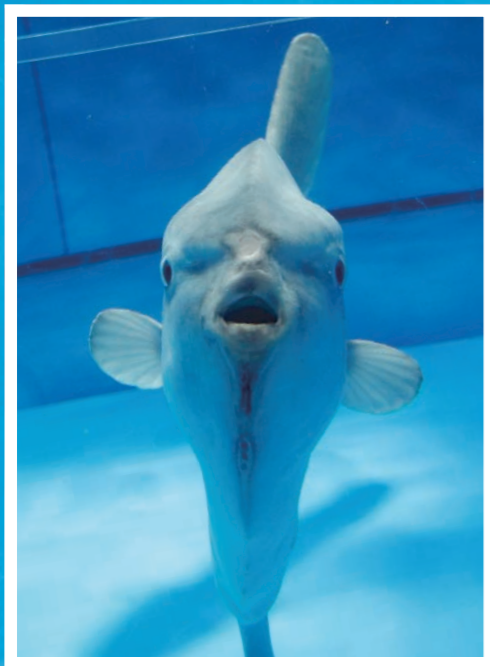
Information

アクアワールド茨城県大洗水族館  
〒311-1301 茨城県東茨城郡大洗町磯浜町8252-3  
TEL 029-267-5151  
URL <http://www.aquaworld-oarai.com/>

取材協力：魚類展示課 江美敦子さん



マンボウ  
フグ目マンボウ科。全世界の温帯・熱帯の海に生息する世界最大の硬骨魚のひとつで日本近海にも回遊してくる。成長すると全長2メートルあまりになるが、近年は3メートル以上になる大型のものはウシマンボウとして区別されるケースが多い。背びれと尻びれが起源といわれる舵びれを持ち、上下に突き出した長い背びれと尻びれを使って泳ぐ。回遊域が広く、水族館での繁殖例もないため、その生態には謎が多い。



小さな目と口がチャームポイント？

魚に興味のない人でも「マンボウ」と聞けば、そのユーモラスな姿を思い浮かべるだろう。水族館でも人気の魚だが安定した飼育は難しいという。

アクアワールド・大洗は、マンボウの複数展示と安定飼育に取り組む数少ない水族館だ。今いる3尾はすべて茨城県で捕れたもの。春と秋に潮の流れに乗ってやってきたマンボウが沖合の定置網にかかるのだ。茨城の海にマンボウがいることを広く知ってもらいたいと、2002年の全館リニューアルを機に専用の大型水槽を設置した。

マンボウの特徴の一つは、やすりのようにザラザラしたうろこのある肌だ。それが、ぬるっとした粘膜で覆われていて、素手で触ると粘液がはがれて傷ついてしまう。そのため、触るときには手袋をし、水槽の亚克力ガラスの内側にもビニールシートを張り巡らせて緩衝帯を作っている。「でも、壁にぶつかっただけで死ぬなんていう噂はうそですよ」と笑うのは、飼育を担当する江美敦子さん。「マンボウは弱い魚といわれていますが、小さい個体は水面でジャンプすることもあるし、食事の時には機敏に餌場まで上がってきます。そんな姿を見ると『さっきまで、ボーッとしていたのに、どうしたんだ？』と皆さん驚くんです」。

そして、もうひとつのマンボウの特徴は形だ。丸い体には尾びれがない。代わりに、背びれと尻びれの一部が変化した舵びれがついている。これで舵を取りながら、胴体の上下に突き出した長い背びれと尻びれを同時にぐいと動かして推進力を得る。かつては海の表層を漂っているといわれていたマンボウだが、近年の研究では深度800mの深海まで移動していることが明らかとなっており、その遊泳力はなかなかのようだ。

のんきに見えるマンボウだが神経質な一面もある。「水槽に新しい個体来ると、前からいる個体の調子が悪くなることもあるんです。水槽が狭くなるのが嫌なのか、見知らぬ個体が嫌なのかわかりませんが、餌も食べない。でも、しばらくするとケロリと元気になるんです」と江美さん。「イライラして、ほかのマンボウに体当たりをすることもあります。お客さまは『仲良く遊んでる』と嬉しそうですが、じつは険悪な状態だったりもするんですよ」。

マンボウの飼育は、何より健康管理が重要だ。細心の注意を払っていても、体調が急変してしまうことが少なくないからだ。「消化不良が原因で死んでしまうこともあるんです」と江美さん。そこで消化しやすいように魚をミンチ状にしてビタミン剤を混ぜ、それをゼラチンで固めて、自然界でマンボウが食べているクラゲに似た食感にした特製の餌を何回かに分けて少しずつ与えている。こうして餌に慣れさせたら、食事のトレーニングも欠かすことができない。餌を与えるダイバーのウエットスーツを識別させることから始めて、最終的には飼育員が手を入れると、そこへ餌を食べに上がってくるようになる。手から直に餌を与えることができれば、個体ごとの食事の状況を把握でき健康管理に役立つのだ。

大海原を自由に回遊するパワーを秘めつつ、心も体も繊細なマンボウ。まずは複数個体の安定した飼育を通して、少しでも生態の謎を解き明かせればという。「じっと見ていると、よく動く目と視線が合ったりするんです。顔や姿の個性も強いので見ていて飽きません」と江美さん。水槽の前でのんびりマンボウを眺めて、お気に入りの子を見つけて欲しいということだ。

※マンボウの個体数は2015年8月末現在



トレーニング中のマンボウ。餌とダイバーを認識して、近寄ってくる。



月に1、2回、3分間ほど“淡水浴”を行って体についた寄生虫を除去する。



餌を食べるマンボウ。水槽の上の足場から手を出すと、自ら浮上して食べに来る。

TEAMS ~海洋科学で東北復興を支援する研究者たち~

# 大槌湾の環境変化を明らかにして 水産業の復興を後押しする

東北地方太平洋沖地震・津波で被災した東北地方の水産業の復興を支援するため、2012年1月に始まった「東北マリンサイエンス拠点形成事業 (TEAMS)」のプロジェクトに参加する研究者を紹介するインタビュー連載、今回は岩手県大槌町にある国際沿岸海洋研究センターを拠点に、大槌湾の環境変化を明らかにしようとしている東京大学大気海洋研究所の福田秀樹さんと西部裕一郎さんの研究を紹介する。

## 福田 秀樹

東京大学大気海洋研究所  
国際沿岸海洋研究センター  
沿岸保全分野 助教

福田 秀樹 (ふくだ・ひでき)  
1971年、神奈川県生まれ。1995年に東京大学理学部生物学科卒業。2001年に同大学大学院理学系研究科生物科学専攻博士課程を修了し、同年より日本学術振興会特別研究員として東京大学海洋研究所に所属。2005年より同研究所で産学官連携研究員。2007年より現職。専門分野は生物地球化学と海洋微生物生態学。

## 西部 裕一郎

東京大学大気海洋研究所  
国際沿岸海洋研究センター  
沿岸生態分野 特任准教授

西部 裕一郎 (にしへ・ゆういちろう)  
1977年、滋賀県生まれ。1999年に愛媛大学農学部生物資源学科を卒業。2005年に北海道大学大学院水産科学研究院博士課程を修了。博士 (水産科学)。愛媛大学沿岸環境科学研究センターCOE研究員、日本学術振興会特別研究員、水産総合研究センター東北水産研究所研究支援職員を経て、2012年より現職。専門分野はプランクトン生態学。

## 生き物が介在する物質循環プロセスを通して 震災に伴う沿岸域の変化を見つめる

森林を対象に物質循環を探るはずが海洋研究の道へ

—これまで、どのような研究をしてきたのですか。

福田：生物地球化学分野の研究に取り組んできました。生物の体を構成する炭素・酸素・窒素といった物質が環境中どう循環しているか、また、そうした物質循環に生物がどう関わっているのかを調べています。現在、人類が石油や石炭といった化石燃料を消費することで、大気中の二酸化炭素濃度を増やした結果、地球温暖化が進んでいるわけではありません。一部は海に溶け込み、植物プランクトンにとり込まれて、光合成で有機物をつくる材料になります。こうしてつくられた有機物のうち、より大きな塊となったものは、より早く沈むことになり、大気中の二酸化炭素だったものは海面から遠く離れた海底へと運ばれることになります。生物が介在することで、大気から海へ、海の表層から海底へと炭素の循環が早められるのです。こうした海中への炭素の送込みを生物が後押しするメカニズムは「生物ポンプ」と呼ばれ、地球温暖化が問題視されるようになった近年、大きな注目を集めています。私は、このような生物が関わる物質循環を研究しています。

—なぜ生物地球化学の研究に取り組むようになったのですか。

福田：高校のころから、生物分野の研究

者を志していましたが、分子生物学のような細胞のなかで起きる現象にはあまり興味はありませんでした。かといって、個々の生物の生態を研究するのでもなく、たとえば森のなかにどれだけ生物がいて、どんな働きをしているのかを明らかにするような、世界をシステムとしてとらえる研究に興味を持っていました。今携わっている生物地球化学のような研究を、漠然とイメージしていたのですが、海を舞台に研究することはまったく考えておらず、森林を対象にしたいと考えていました。そのため大学では理学部生物学科植物学教室の門を叩きました。ところが、大学院への進学を考え始めたころ、進学を考えていた研究室の先生が退官されたのです。植物学教室のほかの研究分野の先生方に相談したところ「希望する研究をやっている」といってくださる先生もいましたが、植物学教室に残ってもいいかどうか悩みました。

—そこで、海を対象にした研究に変更したのですか。

福田：東京大学海洋研究所 (現・大気海洋研究所) で、植物プランクトンを研究されていた小池勲先生の授業を受ける機会がありました。研究対象こそ、森林と海とで違っていました、生態系のシステムを明らかにするという方向性が近かったので、小池先生の研究室に所属することにしました。海に変わっても、植物から始まる食物連鎖はよく似ているので、高

校生のころから思い描いていた研究ができるのではないかと考えたわけです。

—具体的にはどのような研究ですか。

福田：全貌を明らかにしたいと思っても、生態系はあまりにも複雑です。そこで、「生物が出すゴミ」に注目して、海中の有機物が沈む過程に生物がどう関わっているのかを調べています。

—「生物のゴミ」とは何ですか。

福田：端的にいうと、生物の死骸や排泄物です。大気由来の二酸化炭素だけでなく、河川を通じて山からもたらされる、窒素やリンといった栄養塩類は、海水に溶け込んだ状態で、海のなかを漂っています。そこに植物プランクトンという生物が関わることで、無機態が有機態に、そして溶存態が懸濁態になり、食物連鎖の「食う・食われる」関係を経て、より大きな生物にとり込まれることで、より大きな物質になって、沈降が早くなるわけですが、生物の介在以外にも物質の沈降を早める働きがあります。たとえば、部屋の隅にホコリがたまって、塊をつくることがありますよね。小さなホコリも、風に舞うことで絡まり合って大きくなっていく。同じようなことが海でも起きていて、海水の流れという物理現象で、より大きな有機物の塊になるのですが、そこにも生物が関わっています。たとえば、鞭毛虫のような微生物が鞭毛を使って泳ぐことでも、その周囲の水は攪拌されて有機物の凝集が促進されるのです。

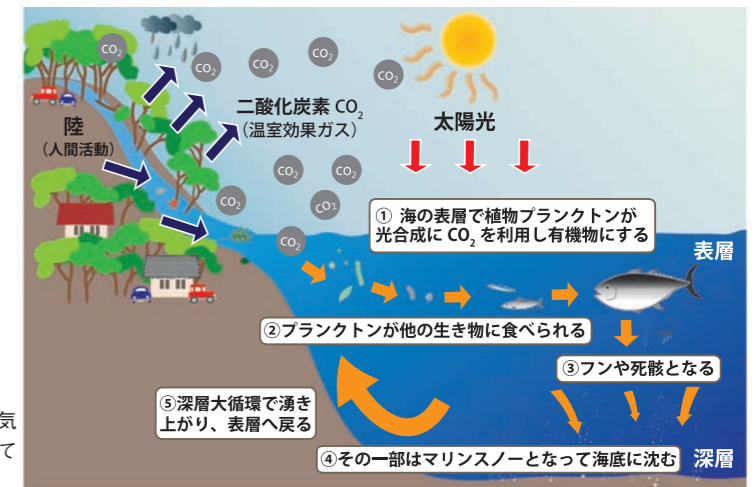
—それは、どうやって調べたのですか。

福田：実験で確かめました。微生物を培養して、抗生物質でその活動を止めた場合、物質の凝集にどのような変化が生じ



東京大学大気海洋研究所が実施する大槌湾と流入する三河川の観測地点マップ。

生物ポンプの概要図。海は大気中の二酸化炭素の吸収源としての役割を果たしている。





大槌湾での採水調査の様子（左）。右は採水器の海水を濾過して集めた植物プランクトン。

るのかを調べました。その結果、生物が関わる方が、物質の凝集が進み、速やかに沈降することが明らかになりました。

栄養塩類などが海中に溶け込んだ状態を、海洋化学では「溶存態」と呼んでいる。これに対し、植物プランクトンが二酸化炭素や栄養塩類を材料に光合成でつくった有機物は、より大きな粒子となって海中を漂うようになる。これは「懸濁態」と呼ばれ、溶存態と区別されている。福田さんは生物が関わることで、海中を漂う物質が溶存態から懸濁態へと変わり、より大きな生物にとり込まれた後、死骸や排泄物となって海底に沈んでいく過程を研究してきた。

## 震災から2カ月で調査を再開

——どのような経緯でTEAMSに参加することになったのですか。

福田：震災以前から、大槌湾でアマモ場における物質循環を調査していました。アマモ場は“海の浄化場”と呼ばれることがあります。これは海中を漂う有機物をアマモ場が捕捉して無機化することを表しています。海水の流れが、海底から海面に向かって立ち上がったアマモの葉

によって妨げられると、流れのなかを漂っていた有機物はアマモの根元の方へと沈んでいき、海底にいる微生物に食物として利用されることで、再び栄養塩類に戻るのです。この過程を調べるため、大槌湾で調査していましたから、震災直後から何かできないかと考え、TEAMS発足前の2011年5月には大槌湾での調査を開始していました。

——国際沿岸海洋研究センターも津波の被害を受けましたが、震災からわずか2カ月で調査を再開できたのですか。

福田：センターは3階まで津波が押し寄せ、実験室も保管されていた機材も、まったく使い物になりませんでした。ですから、千葉県柏市にある大気海洋研究所のさまざまな分野の研究室を回って、採水器などの調査機器を提供してもらい、自分たちの車で大槌湾まで運びました。また、調査船も失ってしまったので、津波の被害を免れた船を持つ漁師さんに協力していただくことで、ようやく調査を開始できたのです。ただ、調査を開始した5月の時点では、被災したセンターのすべてのライフラインが寸断されたままでした。幸いにもセンター職員の官舎が釜石市<sup>うのすまい</sup>鶴住居の高台にあったので、被害を免れたそちらの台所で溶存態と懸濁

態の物質を分離するための濾過作業などは行うことができました。詳しい分析は、試料を宅配便で柏市の大気海洋研究所に送ってから行いました。

## 富栄養化が心配されたが震災前と変わらぬことが明らかに

——どのような調査を行ったのですか。

福田：私は、主に大槌湾内の栄養塩類を調べました。栄養塩類は植物プランクトンが光合成を行って有機物をつくる材料になるもので、すべての生物生産の基礎となる物質ですが、増えすぎて富栄養化すると汚濁の原因にもなります。震災で海底に沈んだ大量の瓦礫から有機物が漏れ出て富栄養化するのではないかと心配されましたが、調査の結果、2011年の夏場から冬場にかけての時期だけが、例年に比べて若干栄養塩類の濃度が高かったものの、2012年以降はほぼ例年並みの数値でした。しかも、2011年に確認された富栄養化も、春に大槌湾に入ってくる栄養豊かな親潮に比べれば問題にならない程度のものでした。

——震災の影響で水質が悪化して、漁業に支障が及ぶことはなさそうですね。

福田：大槌湾をはじめとする三陸沿岸部では、被害にあった居住地域からのさまざまな人工物が汚染源になっていないかと心配されました。そのため、大気海洋研究所でTEAMSに参加する汚染物質の担当グループが調査していますが、異常は確認されていません。

大槌湾は湾口が広く、潮通しがよいため、毎年3月には栄養豊かな親潮由来の海水で満たされ、1年で最も富栄養化する。春から夏にかけては栄養が乏しい津軽暖流由来の海水が入ってくるため、夏は貧栄養状態にあるはずだが、2011年だけは栄養塩類が若干多かったものの、漁業への影響が心配されるような富栄養化ではなかった。瓦礫についても、湾内に留まっているのではないかと心配されたが、強い津波の引き波でその多くが湾の外へ運ばれたのと、迅速な撤去作業により、ほとんど残っていないという。

——大きな津波や地震によって、大槌湾の地形が変化し、生き物にとっての環境も大きく変わったことが心配されます。そのような影響は確認されていますか。

福田：以前から研究対象にしていた沿岸のアマモ場はほとんど失われてしまいました。それでも、徐々に回復するだろうと考え、水質浄化機能の違いを調べていますが、場所によって再生の程度が異なります。たとえば、箱崎地区では回復途上にあるのに、鶴住居川河口に位置する根浜地区はまったく回復していません。地震による地盤沈下に加え、津波で海底の砂地がえぐられてしまったことが、影響しているようです。さらに、周辺での大規模な復旧工事から放出される土砂を含んだ水により、水の透明度が低下しています。その濁りで太陽光がささげられ、アマモの成長に必要な光合成を阻害しているのかもしれない。

——現在進めている調査は、今後、どのように被災地の水産業の復興に役立てられるのでしょうか。

福田：震災前に比べて、大槌湾の栄養塩類が大きく変化していなかったことは、漁師さんにとって重要な情報になったと考えていますが、それだけでは漁獲量を増やすことにならないでしょう。しかし、大気海洋研究所の別の研究グループが作成している、大槌湾の水の循環や栄養塩類の挙動を再現するシミュレーションモデルが完成すれば、1年を通じて、栄養塩類がどう変動しているかを把握することが可能になります。栄養塩類が多ければ、カキやホタテの餌となるプランクトンが多く発生しますから、養殖筏の設置場所を決める上で重要な情報が提供できるはず。シミュレーションモデルの精度を確かめるには、栄養塩類などの実測データが不可欠なので、私たちの調査結果はモデルの構築を支援することになり、将来の水産業の復興にも役立てられると考えています。そして、シミュレーション研究によって、より深まった大槌湾への理解が、環境保全や自然資源を利用した産業育成など、漁業を越えた幅広い分野で大槌町の財産になってくれるものと考えています。

# 生態系構造のカギを握るプランクトンのモニタリングから海の変化を探る

## 圧倒的な種類の多さに魅せられ海のプランクトン研究の道へ

——TEAMSに参加される以前はどのような研究をしていましたか。

西部：いろいろな研究機関に籍を置きましたが、TEAMSに参加する直前は、水産総合研究センターの東北区水産研究所に所属して、動物プランクトンのカイアシ類を研究していました。ただ、黒潮を研究するプロジェクトに参加していたので、カイアシ類の採集のために出向いていたのは相模湾や高知沖が中心で、TEAMSに参加するまでは特に三陸の海で研究をしていたわけはありませんでした。

——どのような経緯でプランクトンの研究を始めたのですか。

西部：子どものころから昆虫が好きで、学部時代はカゲロウやトビケラといった水生昆虫を研究したいと考えていました。しかし、当時は大学院に進学せずに就職するつもりでしたから、就職に有利ではと考えて水環境の研究室に所属しました。そこで、「プランクトンを研究してみないか」と誘われて、試しに顕微鏡で観察してみると、これが実に面白くて、学部と修士課程の研究では、湖沼で植物プランクトンのラン藻が大発生して問題になるアオコと、それを食べる動物プランクトンについて研究しました。

プランクトンの語源は「漂うもの」を意味するギリシャ語。一般的には海や湖

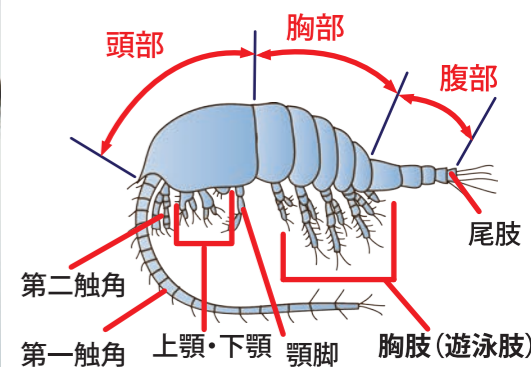
沼にいる微生物と思われがちだが、正確には遊泳能力をほとんど持たず、水中を漂って暮らす生物を指す。つまり、生き物の生活の仕方を示す分類で、大きさが1mlに達するエチゼンクラゲもプランクトン（浮遊生物）に分類される。これに対して、自らの遊泳能力で活発に泳ぎ回る魚類、イカ、ウミガメ、イルカなどはネクトン（遊泳生物）に、海底に固着・付着したり、歩いたり、砂のなかに潜り込むウニ、フジツボ、ゴカイ、貝類などはベントス（底生生物）に分類される。

——最初は淡水のプランクトンを研究していたのですか。海のプランクトンを研究するきっかけは何だったのですか。

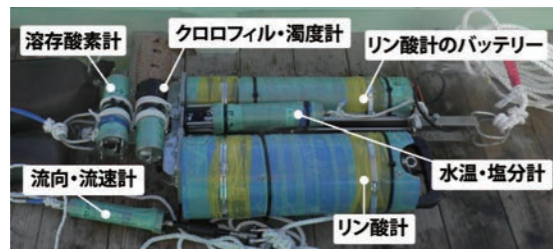
西部：私が通っていた愛媛大学がある愛媛県では真珠養殖が盛んで、大学の研究室には真珠養殖に用いられるアコヤガイを育てる環境について調査を行うグループもありました。その調査をときどき手伝っていたのですが、海水を観察してみると、淡水に比べてプランクトンの種類が圧倒的に多かったのです。さまざまな形や大きさのものがいて、直感的に海の方が面白そうだと感じたので、大学院の博士課程は、海のプランクトンをより深く研究できる北海道大学水産学部に進学しました。

——北海道大学ではどういったプランクトンを研究したのですか。

西部：現在も続けているカイアシ類の研究に携わることになりました。カイアシ類は、エビやカニと同じ甲殻類に分類さ



大槌湾で採集された動物プランクトンのカイアシ類アカルチア（左）。右はカイアシ類の体の構造。



大槌湾内での係留系海洋環境モニタリング機器の設置の様子(左)。右はさまざまな観測機器をセットしたモニタリング機器。

れる動物プランクトンで、海の動物プランクトンのなかでは最も多く、多くの魚類にとって主食となるため、“海のお米”とも呼ばれています。植物プランクトンから始まる海の世界連鎖において、非常に大切な役割を担っていることもあり、指導教員の先生からカイアシ類の研究を勧められたとき、何の迷いもなく決めましたが、私が研究することになったのは中深層(水深200~1,000m)にいるカイアシ類で、これがいかに大変なことか、当時はわかっていませんでした。

——中深層のカイアシ類の研究は、そんなに大変なのですか。

西部：カイアシ類は大きなもので1cm近くになる動物プランクトンですが、大きな種類や浅い海域にいる種類は、ほぼ研究され尽くされているといっても過言ではありません。これに対して、中深層にいるカイアシ類、なかでも体長が1mmにも達しない小さな種類はほとんど研究されていませんでした。研究室に保存されているサンプルを調べたり、北海道大学の調査船で中深層のカイアシ類を採集

しましたが、顕微鏡で観察してもなかなか種類を特定できず苦労しました。私が研究対象とした種類を専門にされている方がドイツにいと知り、連絡をとって、いろいろ教えてもらったりもしました。

### 養殖されるカキ、ホタテの餌となるプランクトンへの震災の影響

——TEAMSに参加してからは、どのような研究を行っているのですか。

西部：カイアシ類の調査も継続していますが、TEAMSでは「沿岸広域連続モニタリングシステムと海洋分析センターの構築」に参加して、大槌湾内と沖合いの海洋環境とプランクトンのモニタリングを行っています。大槌湾でのカキやホタテの養殖は、無給餌養殖といって、漁師さんが餌を与えることなく行われています。カキやホタテは海中を漂うプランクトンを食べて成長しているのです。地震や津波の影響でプランクトンが変化していたら、これまで通りの養殖ができなくなるかもしれません。だからこそ、大槌湾と沖合いのプランクトンの状況を調べているのです。私がTEAMSに参加したのは2012年10月でしたから、まずはほかの研究者が2011年5月から集めていたプ

ランクトンのサンプル整理から始め、その後は調査に基づいて、どの時期に、どんなプランクトンが、どれくらい現れたかをデータにまとめています。

——震災の影響を明らかにするには、震災以前と比較する必要がありますが、津波によってそれまでのサンプルやデータは失われなかったのですか。

西部：センターに保存されていたサンプルやデータは、すべて津波に流されてしまいました。そのため、過去のデータを探し出すのも、私の重要な仕事になりました。論文としてまとまっているデータは、それを読めば明らかですが、詳しくは記載されていないので、過去に大槌湾で調査を行った研究者にお願いして、サンプルや調査時のノートを提供いただきました。

——過去のデータと比較して、プランクトンに変化はありましたか。

西部：結論からいえば、大きな変化はありませんでした。プランクトンが変化してカキやホタテの養殖ができなくなる心配はないといっているでしょう。ただ、元のままというわけではなく、気になるデータもあります。震災直後の春には、一生のうちの一時期をプランクトンとして過ごす生物が、例年に比べて少なかったのです。

成体になってから海底の岩などに付着したり、砂に潜って暮らすベントスのなかには、幼生の時期にプランクトン生活を送る(浮遊幼生期)ものがある。たとえば、三陸の水産業にとって重要な資源



大槌湾での地引き網による生物調査でサケの稚魚を探す西部さんら(上)と、採取された体長3cmほどのサケの稚魚(右)。



であるアワビは、卵がふ化した後、数日間はトロコフォア幼生、ベリジャー幼生としてプランクトン生活を送ることが知られている。

——その原因は明らかになっているのですか。

西部：原因が特定されたわけではありませんが、1つの可能性として、海底にいた親が津波で流されてしまったことが関係しているかもしれません。ただ、翌年以降は同じ時期に多くの幼生プランクトンが確認されているので、震災前の状況に戻りつつあると考えてよさそうです。——プランクトンの研究は、三陸の水産業の復興をどのように後押しすると考えられますか。

西部：福田さんが調査している栄養塩類のデータなどとともに、大槌湾のシミュレーションモデルの構築に役立てられます。また、大槌湾のプランクトンの記録をしっかりと残すことにも、大きな意味があると考えています。現在、東北地方の太平洋沿岸では盛んに土木工事が行われています。復興のために必要なことですが、土砂の流入など、陸上での工事の影響が海にも及んでいるかもしれません。さらに、10年後、20年後に現在の大槌湾の環境と比較しようとしても、サンプルやデータを残しておかなければ、比較できません。将来のためにも、現在のプランクトンについて調べ、サンプルやデータを保存することが重要と考えています。

### 放流されたサケの稚魚は大槌湾で何を食べているのか

——プランクトンの研究以外に取り組ん

大槌湾南部の箱崎で地引き網を引く研究者ら。



地引き網による生物調査に参加した国際沿岸海洋研究センターの研究者たち。

ている研究テーマはありますか。

西部：国際沿岸海洋研究センター全体で、サケの研究に力を注いでいます。大槌湾に限らず、三陸一帯の水産業にとって、サケは重要な魚種です。すでに稚魚の放流は再開されていますが、川を下ったサケは湾外に出る前に湾内に留まるため、地震・津波によって変化した環境がサケの生息にどんな影響を及ぼしているのか心配されています。一方、湾内に留まっている間に何を食べて、どう成長しているのかをはじめ、サケの生態についても、まだ十分にわかっていません。科学的にもとても興味深い魚なのです。そこで、各研究グループの専門を生かしながら、総合的にサケの研究に取り組むことになりました。川を下り海に出たサケの稚魚は、淡水から海水に慣れるまで、湾内で動物プランクトンを食べながら一時期を過ごし、湾の外へ出ていきます。そこで私は、湾内におけるサケの稚魚の餌環境について研究を進めています。そのために、大槌湾に留まるサケの稚魚を捕獲する調査も始めています。

——どうやってサケの稚魚を捕獲するのですか。

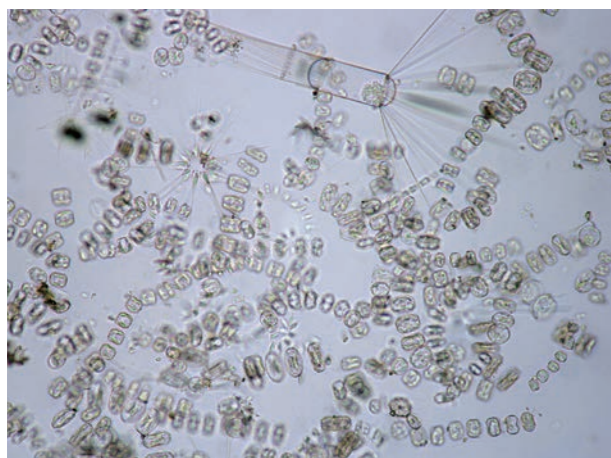
西部：ほかのグループとも協力しながら、巻き網や地引き網を使った調査を試みて

います。多くの瓦礫は湾の外に流されたとはいえ、コンクリートの塊などが沈んでいるところもありますから、網を引けるのかどうかを含めて、昨年の春から試験的に実施しています。

——稚魚の調査は、サケ漁業にどのように役立てられるのですか。

西部：3月から4月までの間、大槌湾には栄養塩類が豊富な親潮が入ってくるので、植物プランクトンの生産が増し、これを食べる動物プランクトンも大型の種類が多くなります。餌となる大型の動物プランクトンが増えることは、サケの稚魚にとってもよいことのように思えますが、一方で、親潮は水温が低いので稚魚の成長にはよくない可能性があります。大槌湾に流れ込む川では、毎年、3月から5月にかけてサケの稚魚の放流が行われるので、湾内の動物プランクトンの状況を見て、いつ放流すればサケが生き残る確率が最も高められるのかといったことも、将来的には提案できるかもしれません。そのために、まずは捕獲した稚魚の胃の内容物を調べる予定です。私たちが研究を進めていくことで大槌湾の自然の理解が深まり、少しでも震災からの復興の役に立てばうれしいですね。

BE



大槌湾で採集された植物プランクトン。



東北海洋生態系調査研究船「新青丸」による三陸沖合いでのプランクトン生態調査の様子。

# 「アラウンドビューモニター」の技術

## 自動車の先進的運転支援技術を海中作業システムに活用

### 無人探査機の“自撮り”映像を生成し、遠隔操作や海中作業の高効率化を目指す

クルマを真上から見下ろす映像を画面に映し出し、駐車や車庫入れをサポートする「アラウンドビューモニター」の技術を、海底資源探査などで活躍する無人探査機に応用した高効率海中作業システムの開発が進んでいる。支援母船からの遠隔操作や試料の採取をスムーズに行うための新技術の仕組みに迫る。

【取材協力】

澤 隆雄 主任技術研究員  
海洋工学センター海洋技術開発部  
海洋基盤技術グループ

▲ 試料採取などを行うマニピュレータ

▲ 海底の掘削コア試料を採取するコアリングユニット

▲ 水中で移動するときを使うスラスト

▲ 海底を移動するためのフリップ式クローラ

機体の周囲を撮影する広角カメラ

海底の起伏や障害物をとらえるレーザーレンジファインダー

LED照明

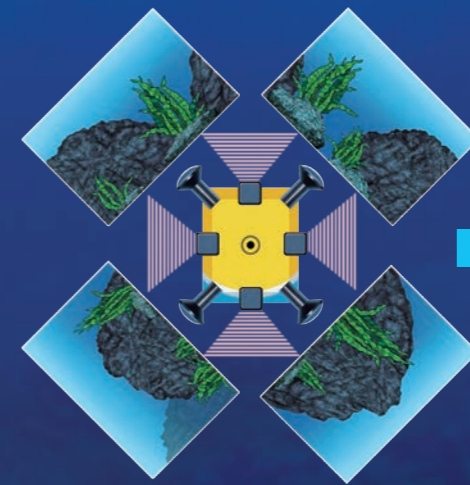
### ● 自動車の運転支援システムを無人探査機のオペレーションに応用

「アラウンドビューモニター」は、クルマを真上から見ているかのような映像を車内のモニター画面に映し出す運転支援システムだ。ドライバーはこの映像を確認することで周囲の状況を把握し、安全かつ容易にクルマを駐車スペースに入れることができる。このシステムは日産自動車の世界で初めて開発し、2007年から市販車に搭載されている。

無人探査機（ROV）が海底付近で調査や作業を行うとき、オペレーターは海上の支援母船の管制室で、ROVから送られてくるカメラ映像を頼りに遠隔操縦する。だが、従来のシステムは、視野が限られたいくつかのカメラ映像を同時に確認しながら操作する必要があるため、起伏のある海底で無人機をスムーズに走行させたり、安定した状態を保ちながら海底堆積物などのサンプリングを行うのは非常に難しい。そこでJAMSTECでは、自動車の運転支援で威力を発揮する「アラウンドビューモニター」の技術を、海中作業システムに応用するため、日産自動車との共同研究を進めている。

ここに描かれているのは、走破性能に優れたクローラを搭載した海中作業システムを装着して探査を行うROV（イメージ図）。段差や起伏のある海底を安全に移動しながらサンプリング調査などを実施するため、ROVには「アラウンドビューモニター」に必要なカメラなどが装備されている。

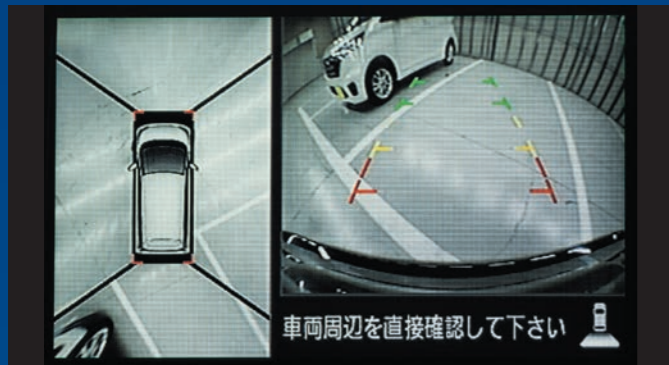
「アラウンドビューモニター」の仕組み



▲ 機体四隅の広角カメラが周囲を撮影し、レーザーレンジファインダーが起伏情報をとらえる。



▲ モニター画面の映像。4台のカメラ映像を合成し、自分と周囲がひと目でわかる映像を作成して画面に映し出すとともに、障害物の情報を提供し、支援母船での操縦をサポートする。



▲クルマに搭載されたAVM

クルマに搭載された「アラウンドビューモニター」。あたかも自車の真上から見ているかのような映像(左)で、位置確認ができる。右は後方カメラの映像。画像提供/日産自動車



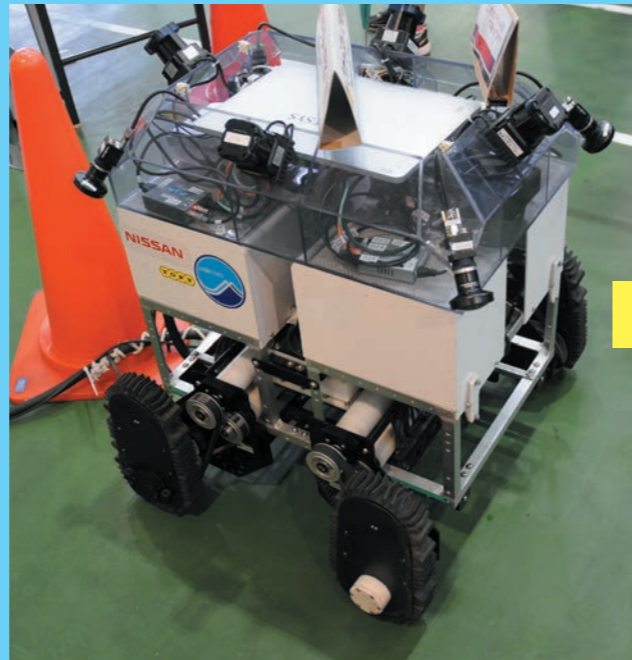
▲視点変換のイメージ

斜め上から撮影した映像(左)を、コンピュータ処理によって真上から撮影したかのように加工(右)する「視点変換技術」のイメージ。この技術が「アラウンドビューモニター」に活用されている。

## ●高効率海中作業システムの開発に挑む

内閣府総合科学技術・イノベーション会議は、府省の枠やこれまでの分野の枠を超えた科学技術イノベーションの実現を目指して、2014年度より5カ年計画で「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」を新たに創設し、10課題の実施を決定した。そのうちの1つが「次世代海洋資源調査技術(海のジバング計画)」であり、その参画機関であるJAMSTECでは、海洋資源の成因に関する科学研究、海洋資源調査技術の開発、生態系の実態調査と長期監視技術の開発に取り組んでいる。

このなかの研究開発課題の1つが、「ROVによる高効率海中作業システムの開発」だ。JAMSTECは、福島第一原発で事故後の建屋内の調査・測定に利用されたクローラロボットの開発メーカーであり、国内トップレベルのクローラ技術を持つトピー工業と海中作業システムの高効率操作技術の共同開発を進め、さらにこのシステムに必要な要素技術の1つとして日産自動車の「アラウンドビューモニター」の技術を応用するため、3者による共同開発研究を推進することを決めた。システムの足回りにクローラモジュールを採用することにより、海底の複雑な地形でも安定した状態で移動や調査が可能になると同時に、「アラウンドビューモニター」の技術を取り入れることで、海底の状況を瞬時に把握して効率的なオペレーションを実現させたい考えだ。



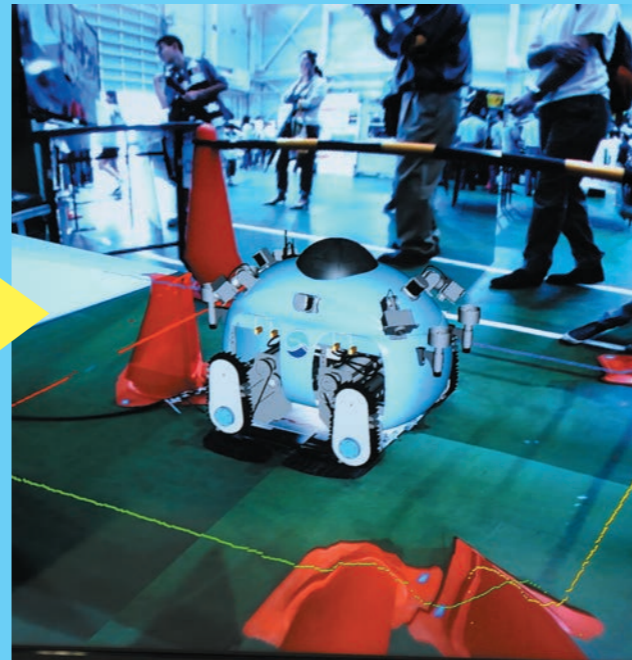
▲AVM搭載試験機

JAMSTEC施設一般公開の会場に展示されたクローラロボット型無人探査機の試験機(左)。右は、試験機の上方に設置された4台の広角カメラで

## ●超広角カメラがとらえた映像をコンピュータで合成

「アラウンドビューモニター」の技術を搭載したROVには、機体の四隅に斜め下を向いた4台の超広角レンズ付きのカメラが取り付けられる。この4台のカメラで機体の周囲全体の状況をとらえ、その映像を合成することにより、真上から見ているようなイメージが得られる。もちろん、真上から見た映像だけでなく、ROVを遠隔操作するオペレーターの望む視点からのイメージを合成表示することができる。これを実現させたのが、「視点変換」と呼ばれる技術だ。斜め上から映した映像をコンピュータ処理で補正することで、自由に視点を移動できるのだ(左上の『Blue Earth』画像はそのイメージ)。さらに、このとき超広角レンズの画面の歪みも補正されて自然な映像が画面に映し出される。視点をROVの真上に設定すれば、機体の周囲の海底がひと目で見渡せる。視点を後方斜め上に設定すれば、左右の状況を含めてROVが進んでいく前方が見渡せる。このとき、カメラではROV本体を映し出すことはできないので、視点に合わせてコンピュータグラフィックスで描かれたROVの映像が画面にはめ込まれる。これにより、オペレーターは機体と周囲の位置関係をひと目で理解することができる。

「現在、5台目のカメラを機体の真下につけることを検討しています」と語るのは、開発を担当する澤隆雄主任技術研究員だ。「ROVが着底する前に、海底の状況を詳しく把握するためです。機体の真下にカメラを設置することで、機体の上方



撮影された映像を、視点変換技術を活用して合成した画面。真上からだけでなく、自由に視点を換えられる。試験機もコンピュータグラフィックスで架空の近未来型デザインに加工されている。

を除くすべての視野が確保され、死角を減らすことができます。機体の上面にもカメラを設置すれば上方の視野も得られますが、システムの負荷や伝送データ量の増大、使い勝手の問題も出てくるので、とりあえず5台で十分と考えています」。

## ●海底起伏や凹凸をスキャンして俯瞰画像を3D化

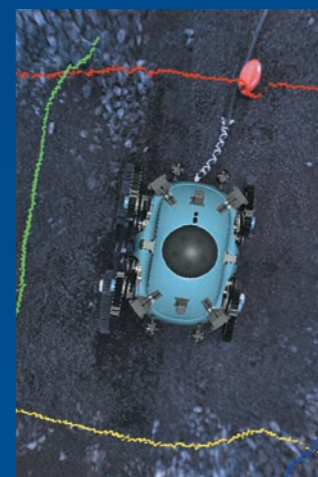
日産自動車では、クルマの周囲を確認するだけでなく、カメラで動く物体を検知した際に画面表示と音声で知らせる「移動物検知」機能も開発するなど、「アラウンドビューモニター」の技術を進化させている。一方、海底を移動しながら調査などを行う海中作業システムでも、映像で2次的に機体の周囲を確認するだけでなく、海底の起伏や凹凸に関する、より詳細な情報を手に入れるための新たな技術が開発されている。それが、ROVの上部に4台取り付けられている「レーザーレンジファインダー」だ。これは正式には「測域センサー」と呼ばれる機器で、レーザーを使って地形を把握することができる。得られる海底地形の起伏や凹凸情報は、機体周囲映像を生成するときに利用され、凹凸のある3次元コンピュータグラフィックスのような俯瞰画像が作られる。画面上では4方向に対応した緑・赤・青・黄の4色の線が表示されているが、これはレーザーレンジファインダーが計測した起伏情報で、この起伏に合わせて表示が3次元化されているのだ。

レーザーレンジファインダーは、基本的には移動するとき熱水噴出域でチムニーを避けたり、できるだけ平坦な地形



▲レーザーレンジファインダー

模擬海底を移動する試験機に搭載された「アラウンドビューモニター」の画面映像。別のカメラで撮影したように見えるが、すべて搭載カメラの映像から生成されている。レーザーレンジファインダーで得られた起伏情報も色付きの細線(赤・緑・黄・青)で表示される。周囲が平坦な場所では、画面には機体を囲むように4本の直線が表示され、凹凸があるときは、その部分がふくらみやへこみで示される。この画面でも、真上から見た映像(左)に、機体の右前方(画面右下)に盛り上がった地形(障害物)があることが示されている(黄色の細線)。



を選んで安全に走行するときに使われる。細かい地形の変化をとらえるというより、機体周囲の大まかな地形を線で視覚的に理解するためのものだ。水中レーザーレンジファインダーは開発中だが、音響スキャナーを使って同様の起伏情報を得ることを検討しており、並行して開発を進めている。

## ●海中作業システムだけでなく幅広い活用を目指す

「アラウンドビューモニター」を搭載したクローラモジュール装着型ROVは、水深約3,000mの深海での運用を想定して設計され、今後、試験機を用いた開発が進められていく。その一方で、「アラウンドビューモニター」を既存のROVをはじめ、支援母船の代わりに海中の探査機の行動を見守る洋上中継器「まいなみ」のような自律型洋上航走体(ASV)、さらには有人潜水調査船「しんかい6500」にも搭載したいと澤主任技術研究員らは考えている。「私たちは、将来、海外の海洋研究機関や民間のROVなどにも、この技術を提供していきたい考えです。世界中から引き合いがくる技術に育てていくのが目標です」と話す。さらに、「自律型無人探査機(AUV)にも、「アラウンドビューモニター」の技術が搭載される日がやってくるかもしれない」という。その際は、AUVの人工頭脳が画像を認識して判断することになる。「アラウンドビューモニター」の技術が安全で効率のよい海洋探査に欠かせない技術へと進化し、幅広く活用される近未来を見据えながら、澤主任技術研究員らは技術開発に取り組んでいる。

BE





写真左から  
オオグチホヤ  
ナガツエソ  
オトヒメノハナガサ  
アカチョウチンクラゲ  
テングギンザメ  
ヒゲナガダコ

# 海洋生物のデータベース構築を推進する日本海洋生物地理情報連携センター 世界の海洋生物情報をインターネットで公開し 生物多様性の理解にも役立つ

海洋生物の実態を明らかにしようと、2000年から世界中の研究者が協力して大規模な調査が行われ、その成果がデータベース化されている。JAMSTECは日本拠点として重要な役割を果たしてきたが、さらにその役割を強化するため、2015年4月に「日本海洋生物地理情報連携センター (J-OBIS)」を設置。日本の海洋生物の分布情報に関する取りまとめや公開を行っている。データベースは誰でもアクセス可能であり、研究者はもちろん、生物多様性の保全など広く社会に活用されることが期待される。

【取材協力】 伊勢戸 徹 グループリーダー代理 地球情報基盤センター 国際海洋環境情報センター研究情報公開グループ

## 世界の海洋生物分布情報を集めたデータベースを構築

海のなかにはさまざまな生物が生息し、その数は知られているだけで23万種以上といわれているが、海洋は陸上と違って調査も難しく、明らかになっていない部分も多い。そこで、世界約80カ国、2,000人以上の海洋生物研究者が協力して「海洋生物のセンサス (Census of Marine Life: CoML)」というプロジェクトが2000年から10年間の歳月をかけて行われた。「センサス」は、人口調査や全数調査を意味する言葉で、CoMLでは地球上のあらゆる海域で海洋生物のリストづくりが進められた。そして、その結果は「海洋生物地理情報システム (Ocean Biogeographic Information System: OBIS)」というデータベースにまとめられた。

CoMLには1,000種を超える新種を含む膨大な海洋生物の分布情報も寄せられ、OBISは世界中の海洋生物に関する情報を集約する巨大なデータベースに成長した。プロジェクト終了後、このデータ資源を無駄にするのは惜しいということで、「国際連合教育科学文化機関 (ユネスコ)」の「政府間海洋学委員会 (IOC)」が推進する「国際海洋データ・情報交換システム (IODE)」が、これを運用していくことになった。

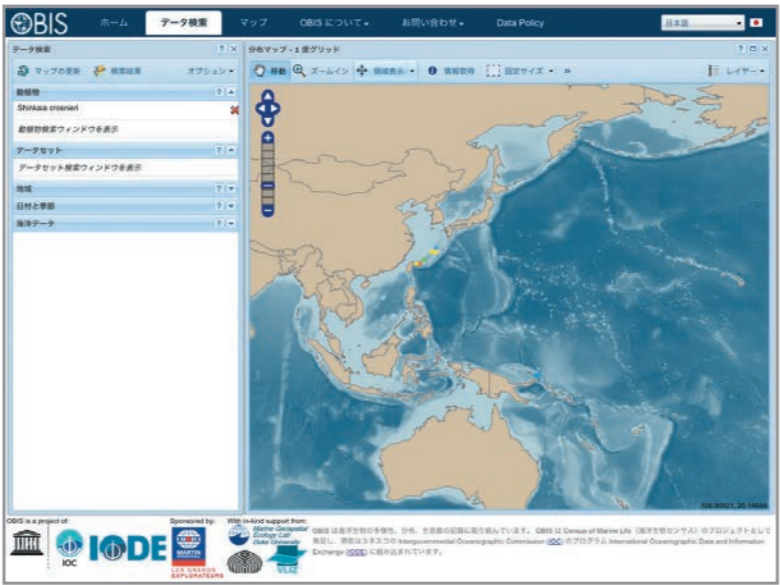
世界中の海洋生物の分布情報が見られるOBISウェブページのデータ検索画面。検索ウィンドウに学名もしくは一般名を入力すれば、その生物が、いつ、どこで、どんな環境で発見されたのかといった情報を調べることができる。右は、ゴエモンコシオリエビ(左)を検索したところ。

URL  
<http://iobis.org/ja>



## OBISプロジェクトの協力機関として正式に承認されたJAMSTEC

OBISの存続は決まったものの、新たな課題も生じた。CoMLが運用していたころは、それぞれの国や地域ごとにOBISの窓口となる機関 (Regional OBIS Node: RON) が置かれていた。日本の場合は、JAMSTECが「OBIS日本ノード (Japan Regional OBIS Node: J-RON)」を引き受けていた。一方、IODEでは各国に「国立海洋データセンター (NODC)」が設置され、その国の海洋データを収集・管理してきた。日本の場合は、海上保安庁に「日本海洋データセンター (JODC)」が置かれており、IODEの日本代表機関としての役割を果たしている。「JAMSTECにはCoML時代から海洋生物情報を集めるデータベースシステムがあります。JODCには、NODCとして海洋情報をIODEと共有するノウハウが長年培われています。そこで、JODCの協力を得ながら



JAMSTECがOBISの日本ノードになることが最も円滑に日本としてOBISに貢献できると判断されました。IODEはNODCとは別に、それぞれの国や地域に協力機関として『連携データユニット (ADU)』を導入することを決めたことから、JAMSTECはADUへの申請を行い、2015年1月19日に承認されたのです」と国際海洋環境情報センター (GODAC) 研究情報公開グループの伊勢戸徹グループリーダー (GL) 代理はいう。

IODEに対する日本の代表機関はこれまで通りJODCだが、JAMSTECはOBISプロジェクトの活動にADUとして参加することが正式に決まり、業務を遂行する事務局として、2015年4月1日、これまでのJ-RONに代わる「日本海洋生物地理情報連携センター (Japan Ocean Biogeographic Information System Center: J-OBIS)」を、沖縄のGODACに設置した。事務局長を務める伊勢戸GL代理は、「OBISは、現在も世界中の海洋生物の分布情報を集め続けています。2015年7月現在で、その種数は14万7,000種以上に及び、海洋生物学者から寄せられたそれぞれの種の分布情報は4,300万件を数えます。これだけの情報が集積されているデータベースは、まさに人類共通の財産です」と話す。

## 日本人に使いやすいデータベース構築を推進

日本近海は、多様な海洋生物種が出現するホットスポットであるといわれている。日本の排他的経済水域は海洋全体の0.9%ほどでしかないが、全海洋生物種の約14.6%にあたる3万3,629種の生物が出現していることが、CoMLで明らかにされた。こうした日本周辺に生息する多様な生物種の情報を世界に向けて発信していくのも、J-OBISの役割だ。

JAMSTECは、日本の研究者が発見した海洋生物の分布情報を集約する「BISMaL (Biological Information System for Marine Life)」

というデータベースを構築し、2009年5月から外部公開を行っている。これまで日本国内でJ-RONに寄せられた海洋生物の分布情報は、BISMaLに登録した上で、OBISに反映されてきた。J-OBISでも、研究者から寄せられた日本近海に出現する海洋生物種の情報をBISMaLに登録する作業を進めている。

OBISは分布情報を地図上に表示する仕組みだが、BISMaLにはより多くの情報が表示される。たとえば、JAMSTEC所蔵の膨大な生物画像や映像のなかに、該当する種があれば画像・映像、さらに一部については解説も表示される。「BISMaLは研究者にとって役に立つ専門的なデータベースですが、専門外の人でも利用しやすくつくられています。OBISにも日本語ページが用意されており、誰でも利用できます。多くの方々に、海洋生物図鑑を見るように、気軽に活用していただきたいですね。」

2014年5月から2015年6月にかけて、日本の研究者から寄せられた情報は9,193件だった。だが、「これでも情報の一部にすぎません。多くの情報は、共有されないまま埋もれているのです。BISMaLやOBISをより充実させていくためにも、たくさんの研究者に情報を提供してもらえるように働きかけていきたい」という。また、「BISMaLやOBISに海洋生物の分布情報が集約されることで、少しずつ生物多様性の実態が明らかになってきました。環境データを重ね合わせることで、生物がどのような環境に生息しているのかも見えてきます。これにより、外来種を持ち込んだときのリスク評価をはじめ、気候変動による分布の変化予測や絶滅危惧種の保護などにも活用できるはず。研究者だけでなく、広く社会に役立つための仕組みをつくり、たくさんの人たちが利用しやすいデータベースに育てていきたいと考えています」と伊勢戸GL代理は話す。

BE



日本の研究者による海洋生物情報が集められているBISMaLウェブページ。日本周辺の海洋生物を中心に、それぞれの生物の画像、解説(左)、出現記録(右)などを見ることができる。学名だけでなく、和名で検索できるので、誰でも簡単に使える。

URL  
<http://www.godac.jamstec.go.jp/bismal/j/>

特集「地球内部を解き明かせ！地球ダイナミクスと地球進化の謎に迫る新たな科学の芽生え」はいかがだったでしょうか？「ちきゅう」が完成して10年が経ち、JAMSTECでは、地球内部を解明する研究分野も徐々に成果が上がってきています。そのアプローチは、地球深部構造や大陸と海の成り立ちだけではなく、地球外の衛星にも及んでいます。ポール・ゴーギャンの言葉を借りるなら「地球はどこから来たのか？地球は何者か？地球はどこへ行くのか？」という問いを解明しつつあるということになるのでしょうか。

さて、うれしいニュースが入ってきました。それは、JAMSTECの研究者たちが海水のpHを精密に計測する手法を開発し、それがISO国際規格（ISO18191）として発行された、ということです。近年、CO<sub>2</sub>濃度の上昇による海洋の酸性化が大きな環境問題となっています。これらをモニタリングする手法として、また、世界の研究者が利用する国際規格として、温暖化対策などにも広く貢献できることと期待されます。こうした地道な基礎研究も、派手さなくてもJAMSTECの大きな仕事だということを再確認させられたニュースでした。

最近、米国の国立水族館「National Aquarium」のプレゼン資料のなかに興味深い1枚を見つけました。それは、月や火星はその地表の詳細な画像が100%得られているのに対して、足下の地球では今までたった5%しか見ることができていないというものです。しかし逆に考えると、地球は海の存在があるがために、これからいくらかでも挑戦可能な分野が存在するというでもあります。今後ともBE編集部は、柔軟な思考を持った若い研究者が1人でも多く、海洋や地球の研究分野に興味や関心を持ち、参入していただけるよう、お役に立ちたいと思っています。(T.T)

## 『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メールまたは電話でお申し込みください。  
Eメールの場合は、①～⑥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(フリガナ) ③ 所属機関名(学生の方は学年)  
④ TEL・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み  
\*購読には、1冊本体286円+税+送料が必要となります。

### ■支払い方法

お申し込み後、振込案内をお送り致しますので、案内に従って当機構指定の銀行口座に振り込みをお願いします(振込手数料をご負担いただけます)。ご入金を確認次第、商品をお送り致します。  
平日10時～17時に限り、横浜研究所地球情報館受付にて、直接お支払いいただくこともできます。なお、年末年始などの休館日は受け付けておりません。詳細は下記までお問い合わせください。

### ■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25  
海洋研究開発機構 横浜研究所 広報部 広報課  
TEL.045-778-5378 FAX.045-778-5498  
Eメール [info@jamstec.go.jp](mailto: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(142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、国立研究開発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27巻 第5号(通巻139号) 2015年10月発行

発行人 鷲尾幸久 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部  
編集人 廣瀬重之 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課  
Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 株式会社ミュール  
アートディレクション 前田和則  
取材・執筆 斉藤勝司 (p.1-17, p.20-25)、山崎玲子 (p.18-19)、  
上浪春海 (p.26-29)、荒船良孝 (p.30-31)  
編集・制作 滝田よしひろ、柏原羽美  
デザイン 三橋理恵子、木元優介、高塩由香、山田浩之  
イラスト 大島千明 (p.4右下, p.7左下)、本多冬人 (p.10)、カサネ治 (p.26-27)  
撮影 藤牧徹也 (p.20, p.25)、滝田よしひろ (p.28左上から2段目)

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>

Eメールアドレス [info@jamstec.go.jp](mailto:info@jamstec.go.jp)

\*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

## 賛助会(寄付)会員名簿 平成27年9月15日現在

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

株式会社IHI	海洋エンジニアリング株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイケイエス	海洋電子株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アクト	鹿島建設株式会社
株式会社アサツーディ・ケイ	川崎汽船株式会社
朝日航洋株式会社	川崎重工業株式会社
アジア海洋株式会社	川崎地質株式会社
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	株式会社環境総合テクノス
株式会社安藤・間	株式会社キュービック・アイ
泉産業株式会社	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東貿易株式会社
株式会社エスイーシー	株式会社きんでん
株式会社SGKシステム技研	株式会社熊谷組
株式会社エヌエルシー	クローバテック株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社グローバルオーシャンディベロップメント
株式会社NTTデータCCS	株式会社KSP
株式会社NTTファシリティーズ	京浜急行電鉄株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	KDDI株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	鉱研工業株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
株式会社オキシテック	神戸ペイント株式会社
沖電気工業株式会社	広和株式会社
オフショアエンジニアリング株式会社	国際気象海洋株式会社

国際石油開発帝石株式会社	石油資源開発株式会社
国際ビルサービス株式会社	セコム株式会社
株式会社コベルコ科研	セナーアンドバーズ株式会社
五洋建設株式会社	株式会社ソリッド・ソリューションズ・インク
株式会社コンボン研究所	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
相模運輸倉庫株式会社	第一設備工業株式会社
佐世保重工業株式会社	大成建設株式会社
三建設備工業株式会社	大日本土木株式会社
三洋テクノマリン株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	大陽日酸株式会社
JFEアドバンテック株式会社	有限会社田浦中央食品
株式会社JVCケンウッド	高砂熱学工業株式会社
公益財団法人塩事業センター	株式会社竹中工務店
シチズン時計株式会社	株式会社竹中土木
シナネン株式会社	株式会社地球科学総合研究所
株式会社シーフロアーコントロール	中国塗料株式会社
清水建設株式会社	中部電力株式会社
シモダフランチ株式会社	株式会社鶴見精機
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	株式会社テザック
シュルンベルジェ株式会社	寺崎電気産業株式会社
株式会社昌新	電気事業連合会
株式会社商船三井	東亜建設工業株式会社
一般社団法人信託協会	東海交通株式会社
新日鉄住金エンジニアリング株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
須賀工業株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
鈴鹿建設株式会社	東京製綱繊維ロープ株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	株式会社東京チタニウム
住友電気工業株式会社	東北環境科学サービス株式会社
セイコーウオッチ株式会社	東洋建設株式会社
清進電設株式会社	株式会社東陽テクノカ

トビー工業株式会社	株式会社フジクラ
新潟原動機株式会社	富士ソフト株式会社
西芝電機株式会社	株式会社フジタ
西松建設株式会社	富士通株式会社
株式会社ニシヤマ	富士電機株式会社
日油技研工業株式会社	古河機械金属株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	古河電気工業株式会社
株式会社日産電機製作所	古野電気株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	株式会社ベッツ
日本SGI株式会社	株式会社マックスアジア
日本海工株式会社	松本徽章株式会社
日本海洋株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本海洋掘削株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海洋計画株式会社	株式会社丸川建築設計事務所
日本海洋事業株式会社	株式会社マルトー
一般社団法人日本ガス協会	三鈴マシナリー株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
日本水産株式会社	三井造船株式会社
株式会社日本製鋼所	三菱重工業株式会社
日本電気株式会社	三菱スペース・ソフトウェア株式会社
日本ヒューレット・パカード株式会社	三菱電機特機システム株式会社
日本マンタル・クエスト株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本無線株式会社	八洲電機株式会社
日本郵船株式会社	郵船商事株式会社
濱中製鎖工業株式会社	郵船ナブテック株式会社
東日本タグボート株式会社	ヨコハマゴム・マリン&エアロスペース株式会社
株式会社日立製作所	株式会社落雷抑制システムズ
日立造船株式会社	
深田サルベージ建設株式会社	
株式会社フグロジャパン	

## JAMSTEC むつ研究所 施設一般公開 地域の人々に海洋科学をより身近に感じてほしい

本州最北の地、青森県・下北半島にあるむつ研究所は、世界最大級の海洋地球研究船「みらい」の母港として、また北太平洋の環境変動に関する研究の拠点として、重要な役割を担っている。そんなむつ研究所の活動を、地域をはじめ多くの人々に理解してもらおうことを目的に、7月25日に施設一般公開が実施された。

「みらい」の船内公開は2年ぶり。見学に訪れた人たちは、北極海を含む世界の海で活躍する「みらい」の大きさに驚いた様子で、操舵室の機器や観測研究設備などに関する乗組員らの説明に興味深く聞き入っていた。

会場では、むつ研究所の研究紹介やミニ実験教室などが行われ、雨や雲の観測方法についての研究者の解説に熱心に耳を傾ける姿も見られた。ほかにも、今年で就航10周年を迎える

地球深部探査船「ちきゅう」の模型展示や、掘削方法をわかりやすく説明するコーナーを設けたり、気候変動やエルニーニョ現象などを明らかにするため赤道域に展開する海洋観測システム「トライトン」の実機展示なども行った。

体験コーナーでは、「無人探査機（ROV）操縦体験」や「ロープワーク教室」などを開催。なかでも人気だったのは、実際に津軽海峡にいる魚たちに触れる「タッチングプール」。地元漁協の協力を得て、アイナメやサメ・フグ・ミズダコ・ヒラメなど、さまざまな種類の魚が生きたまま運び込まれ、子どもから大人まで歓声を上げながら楽しんでいた。また、昨年展示協力をお願いしている八戸市水産科学館マリエントによる「ドクターフィッシュ」の体験コーナー、青森県産業技術センターのホタテの貝殻を使った「しおりづくり」も好評だった。

（協力：木村訓 むつ研究所管理課）



▲海洋地球研究船「みらい」船内公開



▲「みらい」の操舵室。



▲地球深部探査船「ちきゅう」に関する展示。



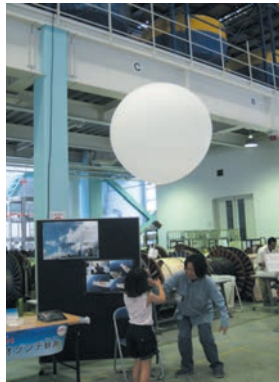
▲無人探査機（ROV）操縦体験。



▲「みらい」に搭載された採水器。一度にいろいろな深さの海水を採取できる。



▲タッチングプール



▲高層の気象を観測するラジオゾンデ。