

海と地球の情報誌

Blue Earth

ISSN 1346-0811
2010年12月発行
隔月年6回発行
第22巻 第6号
(通巻110号)

2010 11-12 **110**

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



地球内部 ダイナミクスと 環境大変動

メガネモチノウオ

海底大崩壊

雪を追う

日本近海の海面水温異常が
猛暑・冷夏に影響

Close Up

2010年11月、海洋研究開発機構（JAMSTEC）のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」が、HPCチャレンジアワードのグローバルFFT部門で第1位を受賞した。

地球シミュレータは、2002年に運用を開始したスーパーコンピュータである。2009年にはシステムを更新し、160台のスーパーコンピュータを超高速ネットワークでつないだ新型として生まれ変わった。HPCチャレンジアワードとは、計算能力やプログラムの洗練度などスーパーコンピュータの性能を評価するもので、毎年募集が行われ、1位から3位まで発表される。地球シミュレータも毎年応募しているが、2009年はシステム更新の途中だったため120

「地球シミュレータ」がHPCチャレンジアワードのグローバルFFT部門で世界最速を達成

台しか使えなかった。2010年は160台すべてを使って挑戦し、見事、第1位を獲得。

今回、地球シミュレータが第1位を獲得したのは、計算能力の最高性能を競う「クラス1」の4つある部門の1つ、高速フーリエ変換の総合性能を競うグローバルFFT部門である。高速フーリエ変換とは計算手法の1つで、気象予測や気候変動予測など地球上の大気や海水の流れを解析する分野などで重要な役割を担っている。地球シミュレータは、計算能力を測定するためのプログラムを、世界最速の11.876テラフロップスで実行した。フロップスとは1秒間に計算できる回数を示す単位で、テラは1兆を表す。つまり地球シミュ

レータは、1秒間に11兆8760億回もの計算を行ったのだ。地球シミュレータは、多重負荷時のメモリアクセス性能を競うEPストリーム部門でも第3位を受賞。地球シミュレータが世界的にトップクラスの性能を持つことが実証された。

JAMSTECでは今後も優れた性能を持つ地球シミュレータを活用して、地球温暖化をはじめとする気候変動のより正確な予測、地震・津波の高精度なシミュレーションの研究に取り組んでいく。さらに、ナノテクノロジーや生命科学、ものづくりなど、地球科学以外の分野へも利用を広げていく計画である。

1 **Close Up**
「地球シミュレータ」が
HPCチャレンジアワードの
グローバルFFT部門で世界最速を達成

2 **特集**
地球内部ダイナミクスと
環境大変動

18 **Aquarium Gallery**
東京都葛西臨海水族園
ナポレオンフィッシュが泳ぐ日
——メガネモチノウオ

20 **私が海を目指す理由**
雪を追う
杉浦幸之助
地球環境変動領域 北半球寒冷圏研究プログラム
雪氷変動研究チーム 主任研究員

24 **理科からつながる研究最前線**
地球の自転→大気海洋相互作用
→冷夏・猛暑の予報
中村元隆
地球環境変動領域 短期気候変動応用予測研究プログラム
気候変動予測応用研究チーム 主任研究員

28 **Marine Science Seminar**
新たな災害リスク、海底大崩壊を
明らかにせよ
馬場俊孝
地震津波・防災研究プロジェクト 技術主任

32 **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



HPCチャレンジアワードの表彰状



「地球シミュレータ」。日本電気株式会社製のSX-9/Eというスーパーコンピュータ160台から構成される。システム全体では1,280個の中央演算装置（CPU）と20テラバイトの主記憶装置（メモリー）を超高速ネットワークで結合している

地球内部ダイナミクスと 環境大変動

恐竜が繁栄していた約1億年前の白亜紀、海底には死の世界が広がっていた。

酸素の欠乏した海が広範囲に広がる「海洋無酸素事変」が起きていたのだ。

ちょうどこの時期、地球内部のマントル対流が活発化し、

火山噴火などの大規模なマグマ活動が起きた。

地球内部の活動が、地球表層の環境大変動を引き起こしたのだろうか？

海洋研究開発機構（JAMSTEC）

地球内部ダイナミクス領域（IFREE）の最新研究から、

その謎に迫っていこう。

取材協力：

地球内部ダイナミクス領域（IFREE）

巽 好幸 プログラムディレクター（PD）

末次大輔 プログラムディレクター（PD）

田村芳彦 チームリーダー（TL）

浜野洋三 チームリーダー（TL）

鈴木勝彦 チームリーダー（TL）

三次元地球殻のマントル対流シミュレーション

海から地球内部を見る

世界各地の約1億年前の地層に、黒色頁岩と呼ばれる真っ黒な岩石が見られる。この黒色頁岩は、藻類などの植物プランクトンの死骸が、酸化されずに堆積してできた岩石だ。黒色頁岩の世界的な分布は、酸素の欠乏した海が広範囲に広がる海洋無酸素事変が起きたことを示している。そしてこの環境変動により、多くの生物が絶滅したと考えられている。

約1億年前には、マグマ活動の活発化や地球磁場の異常が起きたことも知られている。いずれも地球内部がかかわる現象だ。約1億年前には、表層だけでなく地球内部でも大変動が起きたらしい。両者には関係があるのだろうか。

そもそも地球内部はどうなっているのか。その構造はゆで卵に例えられる。「地殻」が殻、「マントル」が白身、「核(コア)」が黄身だ。コアは液体の「外核」と固体の「内核」に分かれる。

地殻とマントルの最上部を含む厚さ約100kmは、プレートと呼ばれるかたい岩板になっている。地球表面は十数枚のプレートで覆われており、プレートは海嶺と呼ばれる海底山脈で生まれ、移動し、海溝から地球内部へ沈み込んでいる。では、沈み込んだプレートはどうなるのか。

IFREEの深尾良夫 領域長たちは1992年、地震波トモグラフィーという技術により、沈み込んだ太平洋プレートが、深さ660km付近に横たわっている様子を、世界で初めて画像化することに成功した。さらに、沈み込んだプレートがマントルの底へ落ちる下降流「コールドブルーム」や、マントルの底から湧き上がる巨大な上昇流「ホットブルーム」があるらしいことも分かった。マントルの巨大対流が見えてきたのだ。

「約1億年前にホットブルームが地表に達し、海洋無酸素事変を引き起こしたかもしれないと考えられています。しかし、その因果関係はまったく分かっていません。また本当にマントルにはコールドブルームやホットブルームがあるのか、検証が必要です」と、IFREEの異PDは指

摘する。

従来の地震波トモグラフィーの画像は、地表の7割を占める海の下では解像度がとても粗いものだった。海底での地震波の観測がほとんど行われていなかったためだ。

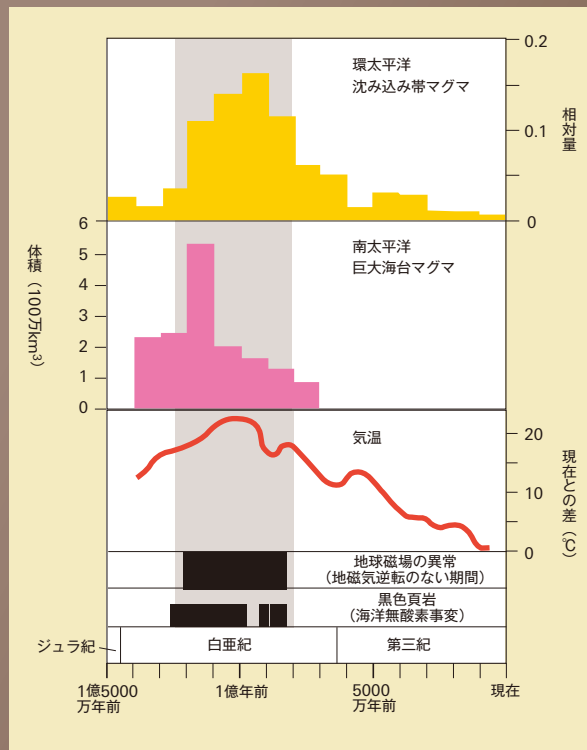
IFREEでは、海底地震計を用いた海底での観測を大規模に進めてきた。地震波は、温度が低くかたい物質では速く、温度が高くやわらかい物質では遅く伝わる。さらに電気伝導度の観測も実施してきた。電気伝導度は、物質の温度や水の存在によって大きく変化する。地震波と電気伝導度の観測を組み合わせることで、地球内部の状態を詳しく知ることが

できる。

IFREEでは、地球内部の物質状態を地上で再現する高压実験、岩石に含まれる微量元素の分析、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を駆使したシミュレーション研究なども進めてきた。

「私たちは、1つの手法ではよく分からない現象を、複数の手法を組み合わせることで明らかにしようとしているのです」

IFREEが進める観測や研究により、地球内部のどのような姿が見えてきたのか。地球内部の活動と表層の環境大変動に、因果関係はあるのだろうか。

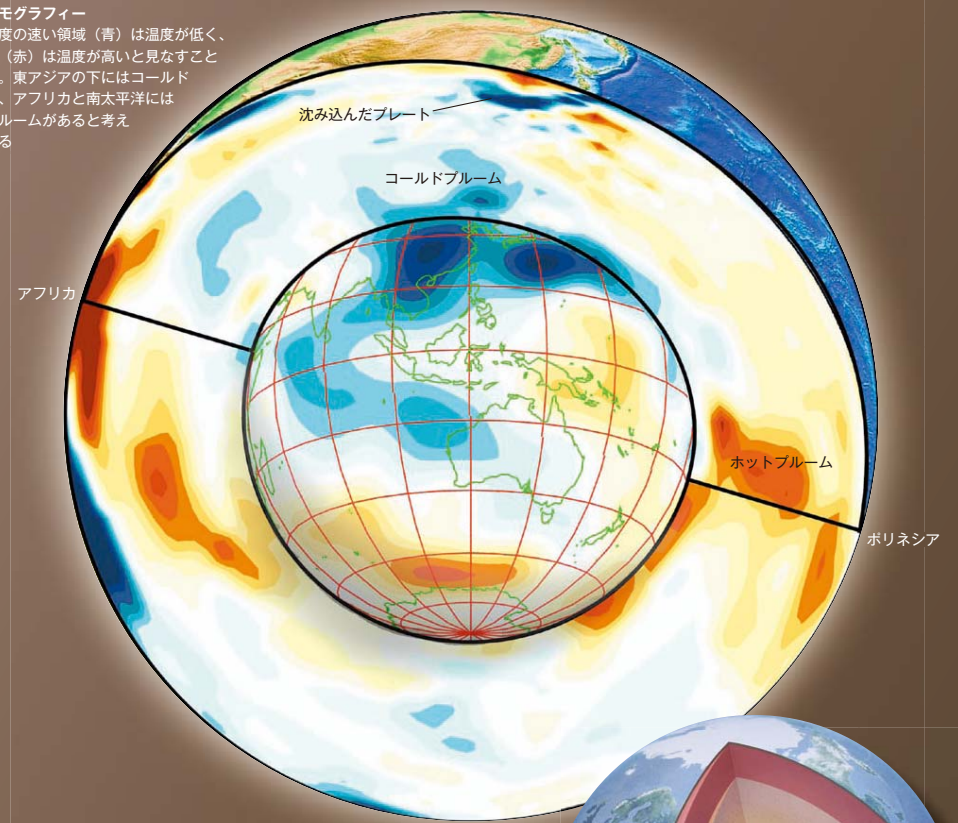


1億年前の変動

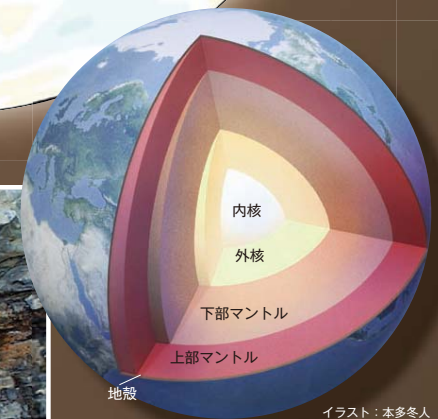
マントル対流の活発化や地球磁場の異常な状態と、海洋無酸素事変が同時期に起きた

地震波トモグラフィー

地震波速度の速い領域(青)は温度が低く、遅い領域(赤)は温度が高いと見なすことができる。東アジアの下にはコールドブルーム、アフリカと南太平洋にはホットブルームがあると考えられている



黒色頁岩



地球の内部構造

イラスト：本多冬人

プレートの沈み込みで水が地球内部へ持ち込まれ、海が干上がる？

海溝から沈み込んだプレートはどうか。地球内部からマグマが湧き上がる海嶺で生まれたプレートは、地球表面を移動する間に冷える。そして冷えて重くなることで、やがて海溝から地球内部に沈み込む。

そもそも地球内部は、深度が深くなるほど温度と圧力が高くなる。それに伴い、深度660km付近でマントル物質は、主にペロブスカイトという密度の高い結晶構造を持った鉱物となる。この深度でマントルは、「上部マントル」と「下部マントル」に分けられる。ただし、沈み込んだ冷たいプレートは、すぐにはペロブスカイトに変化できない。そのため深度660km付近で滞留する。やがてペロブ

スカイトに変化した後に、マントルの底まで沈降すると考えられている。

では、実際にプレートはどのように沈み込んでいるのか。末次PDたちは、陸上や海底の地震計の観測データを用いて地震波トモグラフィーの解像度を高めることで、プレートの行方を追った。その研究のなかで、大林政行 主任研究員は、日本列島の下へ沈み込んでいる太平洋プレートが、中部地方の地下300km付近で断裂していることを突き止めた(図A)。「数年前、この付近で地震波が垂直な面に反射されているという報告がありました。普通、地下の垂直な構造は考えにくいので、その正体は謎でした。私たちの研究により、それが太平洋プレートが裂

けた断面であることが分かりました」

太平洋プレートは2つに裂けて、それぞれがさらに地球深部へ沈み込んでいる。ただしプレートの沈み込みは、年間に数cm～数十cmというスピードなので、動画として観測できるわけではない。末次PDたちは、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込んでいる場所で、南北に隣接した7カ所の観測を行った(図B-0～6)。「この沈み込み帯では、北から南へ向けて時間が経過していると見なすことができます。地下660km付近に、沈み込んだ太平洋プレートが横たわっています。そこへ次々とプレートが沈み込むことで、根元でプレートがちぎれ(図B-2)、そこから垂直にプレートが沈み込

んでいるように見えます」

世界のほかの沈み込み帯では、深度660km付近でプレートが横たわらずに、そのまま垂直に沈み込んでいるケースも観測された。プレートの沈み込みには、いろいろなバリエーションがあることが分かってきた。

末次PDは、このようなプレートの沈み込みにより、地球内部へ持ち込まれる水に注目している。「地震波速度が急に速くなる深度400～700kmは、マントル遷移層と呼ばれています。この層の鉱物は結晶構造のなかに水を大量に取り込むこ

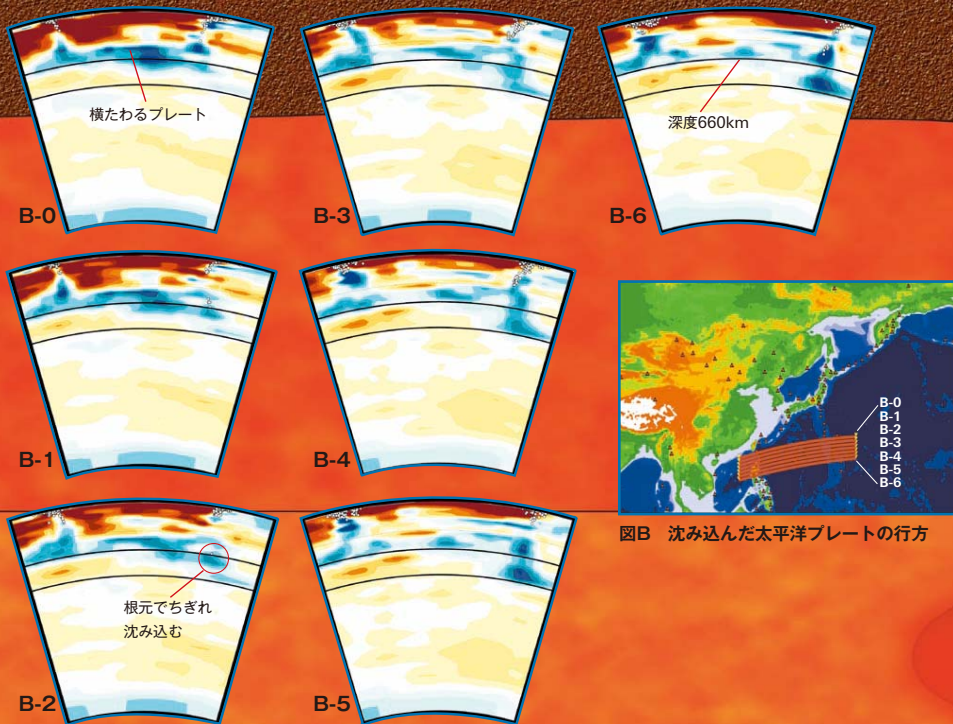
とができることが、高圧実験で明らかになっています。マントル遷移層は、地表の海水をすべて取り込める容量があると推計されています」

プレートとともに地球内部へ持ち込まれた水の多くは、深度100kmまでにはプレートから絞り出され、上昇して地表へ戻る。「ただし、すべての水が地表へ戻るわけではなく、一部の水はプレートの沈み込みとともにマントル遷移層へ持ち込まれ、鉱物に取り込まれている可能性があります。もし、そのようなメカニズムが働いていれば、やがて海は干上がってしまうはず」

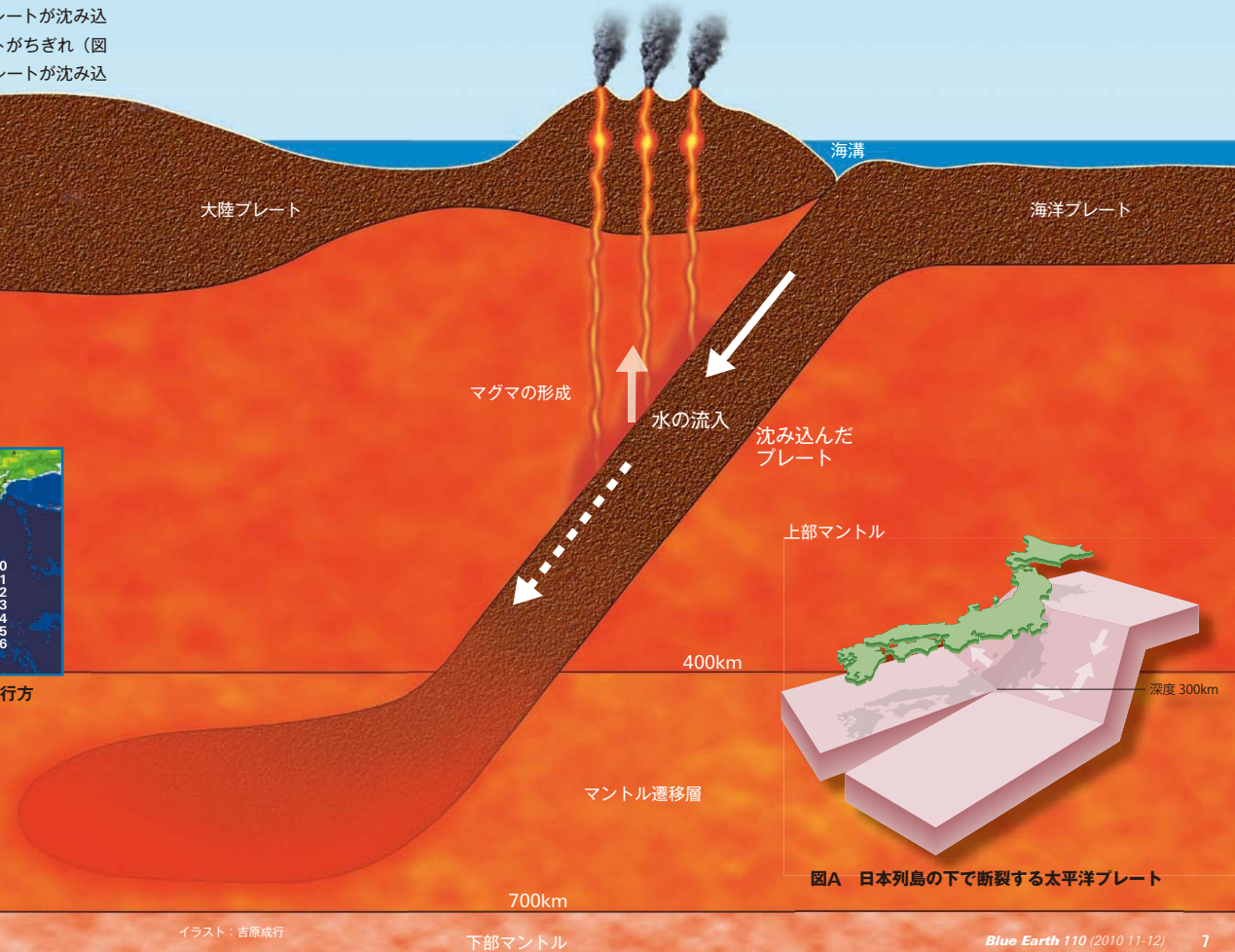
末次PDたちは、沈み込んだプレートが横たわるマントル遷移層の下部に、水が存在しているかどうか観測を行った。

「現在、観測データを解析しているところですが、私たちの手法では水の存在を確認できていません。ただし、マントル遷移層の上部には水がある可能性があります。また、沈み込んだプレートの横に位置する九州や四国の地下のマントル遷移層には、水がたくさんあるらしいという観測データも発表されています」

もしマントル遷移層に水が取り込まれていけば、マントル物質の粘性が下がり、マントル対流にも大きな影響を与えていると考えられる。また、プレートの沈み込みにより地球内部に持ち込まれた水は、マントルをとけやすくして、マグマをつくる。そのマグマが地表へ上昇することで、大陸や反大陸が生まれていることが分かってきた。



図B 沈み込んだ太平洋プレートの行方



図A 日本列島の下で断裂する太平洋プレート

海で大陸と反大陸が生まれている

IFREEでは1999年から、100台以上の海底地震計を用いて、伊豆・小笠原・マリアナ海域の地下構造探査を行った。「それにより、この海域で大陸地殻をつくる安山岩や花崗岩ができていくことが分かってきました」と田村TLは解説する。そもそも海と陸では地殻の厚さや岩石の種類が異なる。海洋地殻は厚さ約5~7kmで、玄武岩などの重い岩石から成る。一方、大陸地殻は約30~50kmの厚さで、平均した化学組成は軽い安山岩である。

「太陽系の天体のなかで、大陸地殻が

見つかったのは地球だけです。大陸地殻は、地球の進化を理解する鍵を握っています」

伊豆・小笠原・マリアナ海域では、太平洋プレートがフィリピン海プレートの下に沈み込んでいる。プレートの沈み込みに伴い水が供給されるとマントルがとけやすくなり、マグマができる。マグマは地表へ上昇して海底火山や火山島をつくる。伊豆・小笠原・マリアナ海域の弧状に連なった島々（島弧）は、こうして形成された。「従来から大陸地殻はプレートの沈み込み帯で形成されると考えられ

てきました。ただし、形成されて間もない海洋性島弧の地下で、すでに大陸地殻の物質（安山岩や花崗岩）が存在していたことは驚きでした」

島弧の地下で安山岩や花崗岩はどのようにつくられるのか。IFREEの観測により、その形成過程を知る上で重要な構造が見つかった。地殻とマントルの境界面（モホ面）よりも下に、非常に重い岩石層が見つかったのだ。島弧ができる過程で、マグマのなかの物質が軽いものと重いものに分けられる。軽い物質が上昇して安山岩や花崗岩となり、重い物質はモホ面

の下に降下したと考えられる。

さらに2010年、IFREEの研究により、大陸地殻の最終的な形成過程も分かってきた。伊豆・小笠原・マリアナ海域の島弧を載せたフィリピン海プレートは北に向かって移動していて、伊豆半島の北で日本列島に衝突している。「島弧の地下の安山岩や花崗岩は、地殻の内部（中部地殻）で見つかっています。その下にはさらに玄武岩や斑れい岩から成る厚い下部地殻があります。一方、大陸地殻は、物質的には島弧の中部地殻に相当します。島弧地殻から大陸地殻へ成長するに

は、島弧地殻から何らかの方法で下部地殻を取り去る必要があります。伊豆衝突帯（丹沢）の地質年代と岩石の調査により、フィリピン海プレートが日本列島を載せた大陸のプレートに沈み込むことにより、フィリピン海プレートから中部地殻が引き剥がされて、衝突帯に集積していることが分かりました。下部地殻はプレートとともにマントルへ沈み込んでいます。衝突帯で大陸が完成するのです」

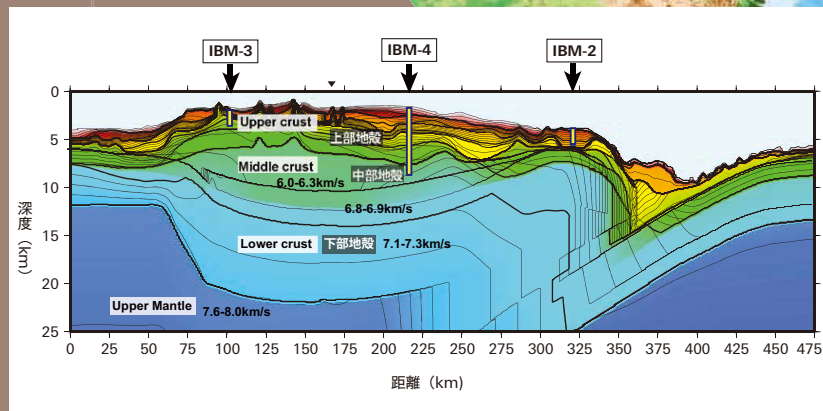
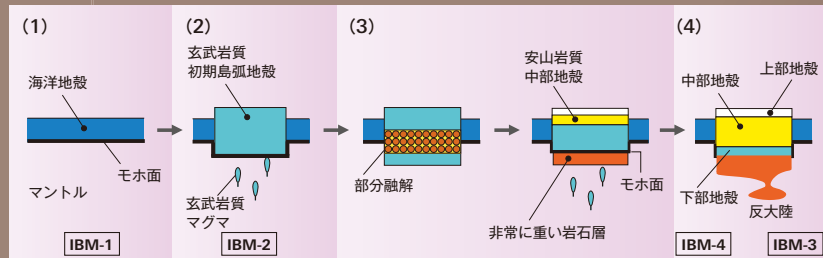
田村TLは、島弧における大陸地殻の形成過程を検証するため、伊豆・小笠原・マリアナ海域の海底下を掘削する計画を進めている。これは、日本と米国が主導する統合国際深海掘削計画（IODP）の一環として、2013年ごろから開始される予定だ。「形成過程の各段階に対応する

4カ所を掘削します。ハイライトは、地球深部探査船「ちきゅう」による中部地殻の掘削です。地震波の観測で発見された中部地殻が、本当に安山岩や花崗岩なのか。実際に掘削して岩石を採取し、確かめるのです。順調に計画が進めば、2010年代半ばには、私たちは中部地殻の岩石を手に入れています。さらに私は、大陸地殻形成のスタートとなる、マントル物質がとけて最初にできるマグマを手に入れて分析することを目指しています」

異PDは、大陸地殻と同時にできる非常に重い岩石層に注目し、「反大陸」と名付けた。「反大陸はマントル物質よりも重いので、マントルの底、マントルとコアの境界まで下降するはずだ」

島弧と大陸地殻の形成過程シナリオと掘削計画との対応

IBM-1は (1)、IBM-2は (2) への過程、IBM-3は (4) の上部地殻、IBM-4は (4) の中部地殻を検証する



IODPによる伊豆・小笠原・マリアナ島弧の掘削計画



地球シミュレータのなかにマントルと外核の対流を再現

「地震波トモグラフィーによって、地震波速度の速い場所と遅い場所の大きなパターンが見えてきました。しかし、それが本当に巨大なマントル対流を示しているのか、確かめる必要があります。こう語る浜野TLたちは、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」のなかにマントル対流を再現する研究を続けてきた。「マントルを構成する岩石の粘性が温度によって大きく変わることや、660kmの深さでマントル物質がペロブスカイト構造

になることが、マントル対流に重大な影響を与えていることが分かってきました」そして2010年、浜野TLたちは地球シミュレータを駆使して、三次元球殻のマントル対流を再現することに成功した。「沈み込んだプレートが上部マントルと下部マントルの境の深度660km付近に滞留します。それがあるときマントルの底へ落ちると、ほぼ同時にホットブルームが生まれます。落ちてきた冷たい物質が掃き寄せられるように熱い物質が集ま

り、上昇するのです。このような現象が約2億年周期で起きました。私たちは、地震波トモグラフィーに示された巨大なマントル対流を再現することに成功したのです」

浜野TLたちは、地球磁場を生み出している外核の対流のシミュレーションも進めてきた。「地球磁場は、太陽風や宇宙線などの高エネルギー粒子から地球を守るバリアの役目をしています。惑星探査により、かつて火星にも厚い大気や地

表に水があり、強い磁場を持っていたと考えられています。火星の大気は、火星が形成されてすぐに宇宙空間に逃げ出してしまいました。火星の磁場が弱くなり、太陽風が惑星の表面に達して大気を吹き飛ばしたことが、その原因として考えられています。外核の対流という惑星内部の活動が、地表の環境に大きな影響を与えるのです」

外核の液体の粘性は低く、水と同じくらいさらさらな状態である。このような

粘性の低い液体の対流では、小さな渦がたくさんできる。そのため、外核の対流を再現するには、高い解像度で膨大な量の計算を行う必要があり、現在のスーパーコンピュータでも実現が困難だ。

「計算量を減らすため、外核の対流を再現する従来のシミュレーションでは、実際の地球に比べて粘性が10桁ほど高い状態で計算が行われてきました。そのようなシミュレーションでも、現実と同様の地球磁場（双極子磁場）を生み出す対流が再現されました」

IFREEマントル・コア活動研究チームでは、より現実に近い状態のために、従来よりも2桁粘性の低い液体で、外核の対流

のシミュレーションを行った。「すると驚くべきことに、その対流から生み出される磁場は、現実の地球磁場とは似ても似つかないものになってしまったのです。私たちはいま、大きな謎に直面しています」

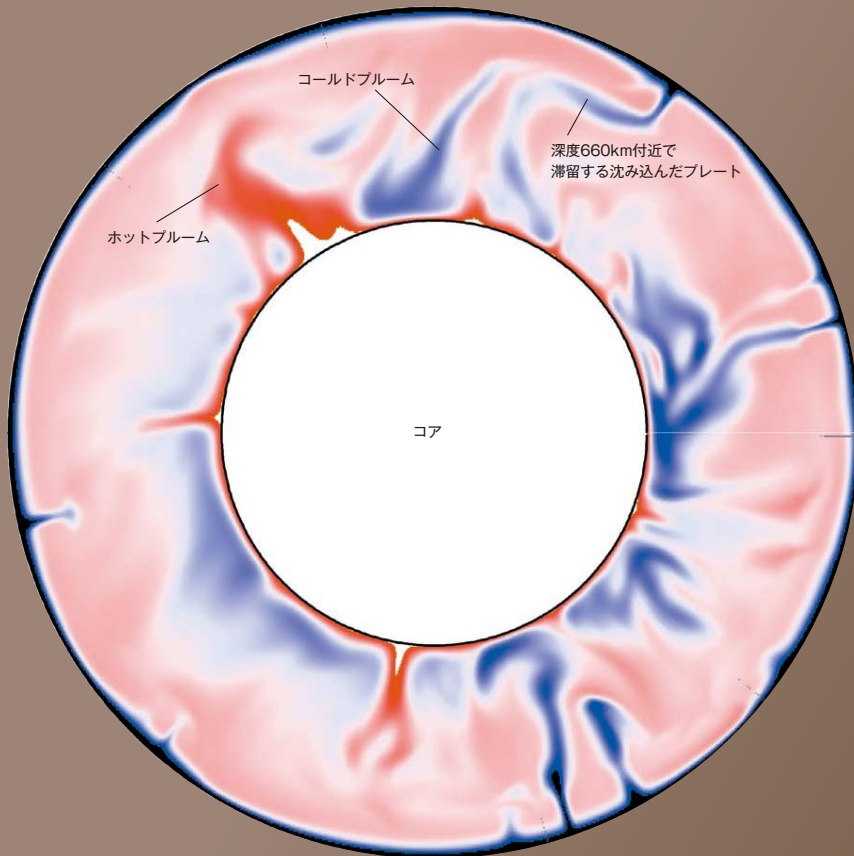
さらに地球磁場の研究では、もう1つの大きな謎が浮かび上がってきた。現在の地球磁場では、北極がS極、南極がN極になっている。その向きは、数十万年ごとに逆転してきたことが知られている。しかし約1億年前には、逆転が4000万年間も起きないという異常な状態が続いた。

「コアからマントルへ熱が奪い取れることにより、外核は対流しています。私たちは、コアからマントルへの熱流量と外核の対流の関係をシミュレーションで調べました。熱流量が小さいと対流は起きません。熱流量を大きくしていくと、対流が起き始めて強い双極子磁場ができます。しかしさらに熱流量を大きくすると、対流が乱れて磁場の逆転が起きやすくなります。ほかの複数の研究グループも同様のシミュレーション結果を報告しています」

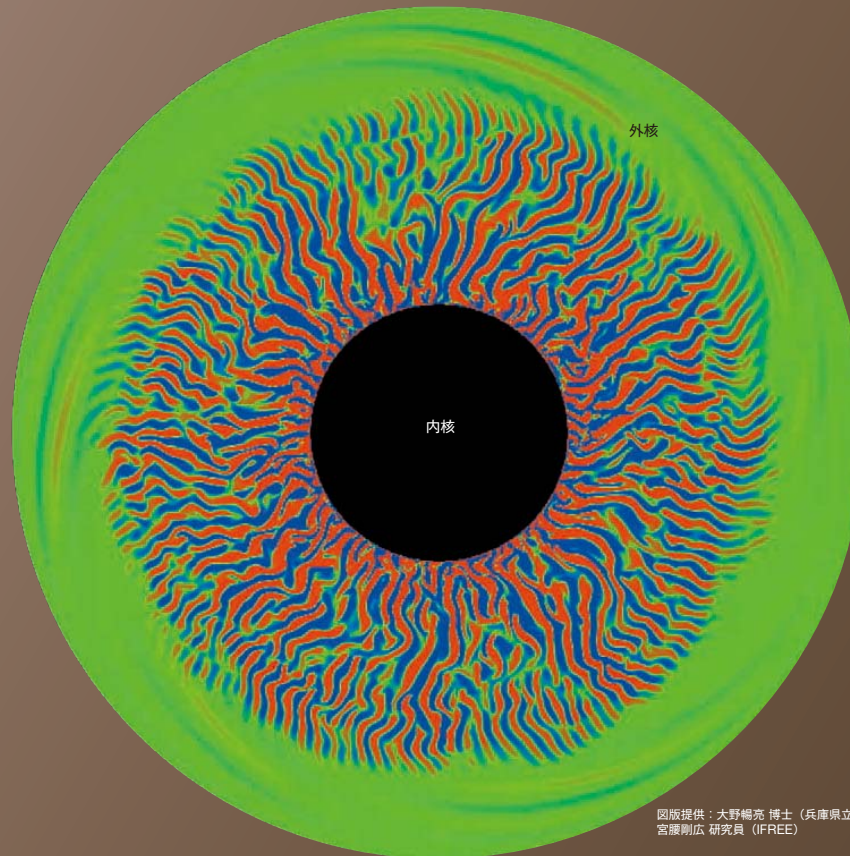
約1億年前、沈み込んだプレートがコア-マントル境界に落下して、ホットブルームが発生したと考えられる。しかし冷たいプレートが落下したとすると、その温度差によりコアからマントルへの熱流量は大きくなり、磁場の逆転が起きやすくなるはずだ。「実際には、4000万年もの間、逆転が起きなかったのです。シミュレーション結果と矛盾しています」

この謎を説明できるシナリオはあるのか。「1つの可能性は、マントルの底に落下した反大陸の存在です。1億年前、マントルの底に厚く堆積した反大陸の上に冷たいプレートが落ちたのかもしれませんが。すると、冷たいプレートが落ちた影響が熱伝導によってコアへ伝わるのに、1億年くらいかかる可能性があります。1億年前に落ちたプレートの影響がなくなって現れ、現在の地球では磁場の逆転が起きやすくなっているのかもしれませんが」

マントルや外核の対流に重要な影響を与えているコアとマントルの境界はどうなっているのか。



三次元球殻のマントル対流シミュレーション (二次元断面)



低粘性モデルでの外核の対流シミュレーション (赤道面上の渦度分布)

図版提供: 大野暢亮 博士 (兵庫県立大学) 宮腰剛広 研究員 (IFREE)

マンツルの底と地球中心部の物質を実験室で再現

マンツルの底には、沈み込んだプレートや反大陸が堆積していると考えられる。そこでは物質はどのような状態になっているのか。深度660km以深では、マンツル物質はペロブスカイト構造に転移する。これは極めて密度の高い結晶構造なので、温度・圧力が大きくなるマンツルの底、2,900kmまでペロブスカイトが続いていると考えられてきた。ただし、マンツルの底には説明できない謎がある。マンツルの最下部、厚さ300km前後の領域（深度2,600~2,900km）では、地震波速度が急に変わるのだ。

2005年、IFREEの異PDたちは、東京

工業大学、高輝度光科学研究センターの研究者たちとともに、マンツルの最下部に相当する温度・圧力を、実験室で再現することに成功。深度2,600kmに相当する温度・圧力から、ペロブスカイトは、より密度の高い結晶構造へ変化することを発見した。そして、その結晶構造を「ポスト・ペロブスカイト」と名付けた。ポスト・ペロブスカイトは、地震波速度の変化をうまく説明することができる。

コア-マンツル境界の物質の結晶構造を再現できたことは、マンツル対流を考える上で大きな意味を持つ。マンツルを対流させる熱源には2種類ある。1つは、

マンツル物質に含まれる放射性元素の崩壊による熱。もう1つは、コアからマンツルへ伝わる熱だ。ただし、マンツル対流を引き起こす熱源のほとんどは放射性元素の崩壊によるもので、コアからの熱の影響はとても小さいと考えられてきた。

「ところが最近10年の地震波の観測などにより、コアからの熱流量はかなり大きいことが分かってきました。マンツルから地表へ伝わる熱流量の4分の1は、コアからの熱が起源だと考えられ始めています」と浜野TLは指摘する。

さらに、マンツルの最下部にあること

が分かったポスト・ペロブスカイトは、従来考えられていたペロブスカイトよりも熱を伝えやすい。「私たちは高圧実験によって、熱伝導度をはじめ電気伝導度、地震波速度など、ポスト・ペロブスカイトの物性を測定する計画です」と異PDは語る。

マンツルの最下部で地震波速度が変わる深度は、場所によって異なる。つまりポスト・ペロブスカイトが存在する厚さは、場所によって異なる。今後、高圧実験によりポスト・ペロブスカイトの熱伝導度や地震波速度などが決定され、さらに地震波観測によりポスト・ペロブスカ

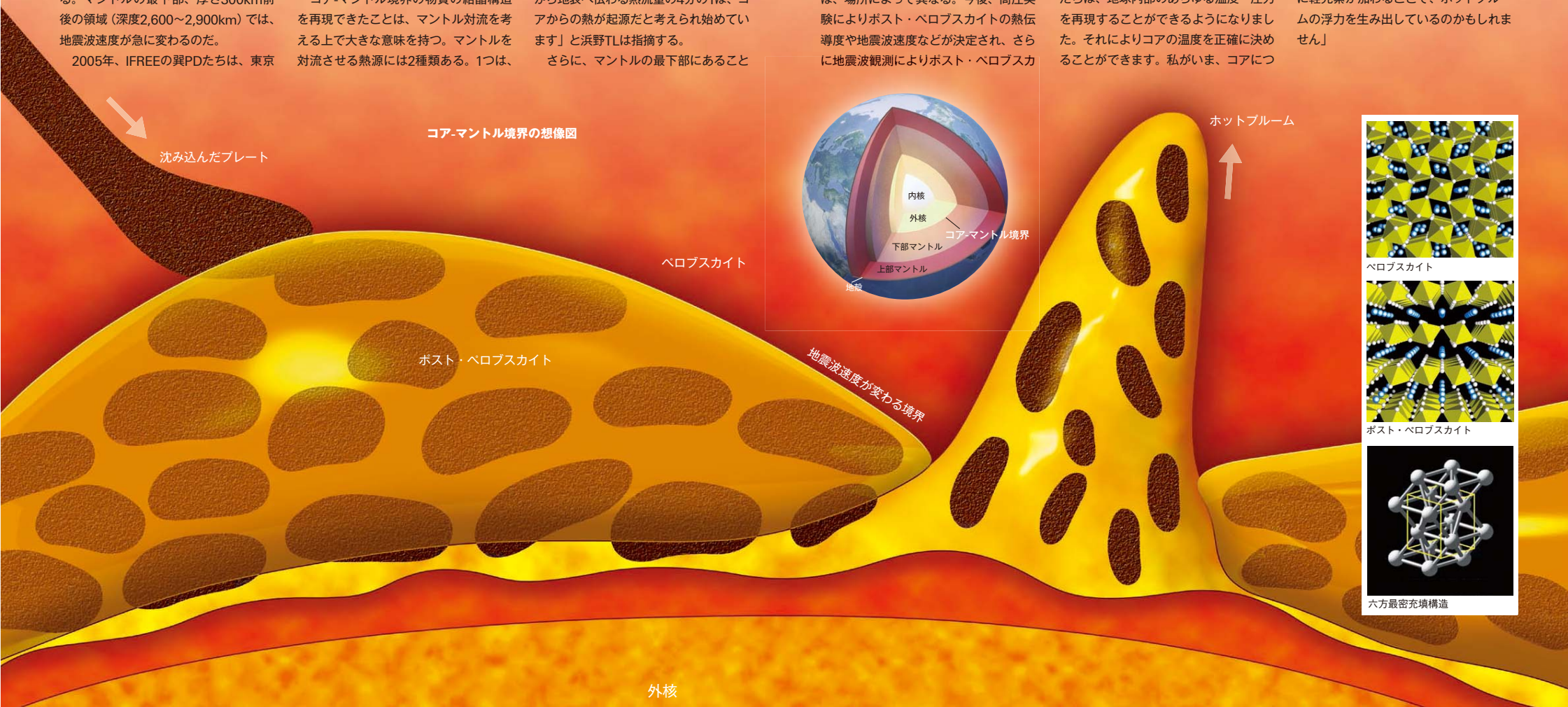
イトの厚さが分かれば、コアからマンツルへの熱流量の具体的な数値が明らかになるだろう。

さらに異PDは、「コアの温度も正確に分かっていません」と指摘する。「地球中心部は5,500Kと推定されていますが、1,000度程度の誤差があってもおかしくありません。コアにある物質の状態が分からなかったため、温度を正確に決められなかったのです」

2010年、異PDたちは地球中心部の温度・圧力を再現することに成功。ここでは、コアの主成分である鉄が六方最密充填構造になることを明らかにした。「私たちは、地球内部のあらゆる温度・圧力を再現することができるようになりました。それによりコアの温度を正確に決めることができます。私がいま、コアにつ

いて最も注目しているのは、そこに含まれる軽元素の正体です」と異PDは語る。

コアには鉄のほかにニッケルがある。さらに外核には、軽元素が約10%含まれている。「水素や炭素、酸素、ケイ素、硫黄などが考えられますが、実際にどの軽元素が含まれているのかは分かっていません。私たちはその軽元素についても、高圧実験によって数年以内に正体を突き止めるつもりです。私は外核に含まれている軽元素がマンツルへ供給される可能性があると考えています。マンツルの底に沈み込んだプレートや反大陸などの重い物質に軽元素が加わることで、ホットブルームの浮力を生み出しているのかもしれない」



大規模なマグマ活動が海洋無酸素事変を引き起こした？

これまでの地震波トモグラフィーによって、アフリカ大陸と南太平洋の下にホットブルームの姿がおぼろげに見えていた。IFREEの末次PDたちは2003～2005年、ホットブルームの上昇域である南太平洋のタヒチ島周辺で観測を行った。「東京大学地震研究所が開発した、長期間、高精度の観測ができる海底地震計を10台ほど海底へ投下して、約1年後に浮上させて回収しました。ホットブルームの上昇域を海底地震計により観測を行ったのは、私たちが世界で最初です」その世界初の観測から何ができてきたのか。「深度1,000kmに、直径3,000kmのホットブルームの上端があることが分

かりました。そしてそこから細い上昇流が地表の火山島まで続いていることを、私たちは明らかにしました」従来の地震波トモグラフィーは分解能が低かったため、温度の高いホットブルームが地表まで続いているように見えていた。末次PDたちは、深さ1,000kmでホットブルームから細いブルームが上昇して火山島をつくる様子を初めて解明したのだ。「実は、フランスの研究者が水槽を使った実験で同様の構造を見いだしています。水槽にマンテル層に似た物質を入れて下から熱します。すると大きな上昇流ができて、その上端から細い上昇流

が表面へ続きます。この大きな上昇流は上下して、上端は周期的に表面付近まで達します。この水槽実験のように、現在、上端が深度1,000kmにあるホットブルームは、約1億年前には地表付近まで上昇して、大規模なマグマ活動を引き起こしたのかもしれない」では、マグマ活動と海洋無酸素事変は本当に関係があるのだろうか。これまでは、海洋無酸素事変が起きたことを示す黒色頁岩の年代と、マグマ活動によって生成した火山岩の年代が、いずれも約1億年前と一致することから、マグマ活動と海洋無酸素事変に関係があると考えられてきた。「私たちは2009年、イタリア

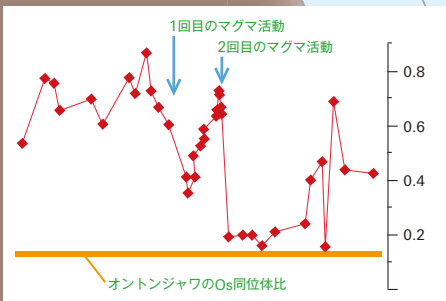
の黒色頁岩を含む地層から、マンテル由来の微量元素を発見しました。マグマ活動と海洋無酸素事変が直接関係していた証拠を、やっと見つけることができたのです」とIFREEの鈴木TLは語る。その微量元素は、オスミウム(Os)という白金族元素だ。オスミウムには質量数が187と188の同位体があり、その比($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$)は大陸地殻で高く、隕石やマンテル物質で低い。「黒色頁岩のなかのオスミウムを分析すると、同位体比が緩やかに下がり、元の値へ回復し、次に大きく下降しています。隕石衝突の場合は、急激な下降と急激な回復が特徴なので、このオスミウムの同位体比の変化は、

激しいマグマ活動によりマンテル物質が大量に地表へ供給されたと考えないと説明が付きません」この時期、南太平洋でホットブルームが上昇して大規模なマグマ活動が起き、オントンジャワ海台などの海底の隆起地形が形成されたと考えられている。「オスミウムのデータは、最初に比較的小規模なマグマ活動があり、次に極めて大規模な活動があったことを示しています。そして海洋無酸素事変は1回目の小規模なマグマ活動の後、2回目の大規模な活動の前に起きています」1回目と2回目のマグマ活動に、どのような違いがあったのだろう。「私たちは、イタリアの黒色頁岩に含まれる鉛の同位体比の分析も行いました。すると1回目のマグマ活動の時期にだけ、マンテル物質由来の鉛が見つかりました。オスミウ

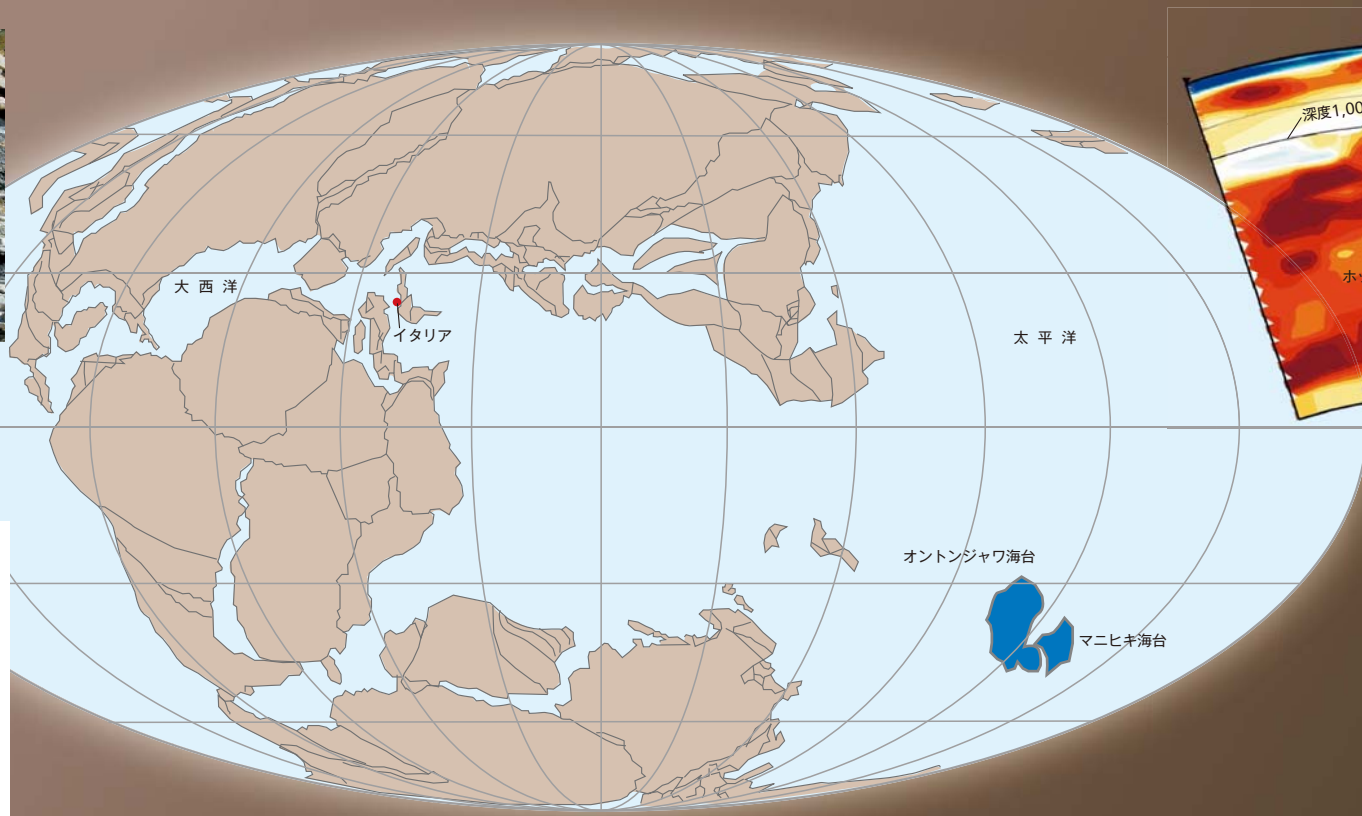
ムは滞留時間が長く世界中の海に広がりますが、海のなかに放出された鉛は滞留時間が短く、長距離移動することはありません。この鉛は、火山灰として南太平洋からイタリアまで飛んできたと考えられます。つまり、1回目のマグマ活動は海面上が浅い海で起き、2回目は深い海で起きたことを示しています。私たちは1回目のマグマ活動によりマニヒキ海台が、2回目によりオントンジャワ海台ができたと考えています。マニヒキ海台は1億年前、海面付近にあったことが明らかになっています」それでは、1億年前に海面付近で起きたマグマ活動が、どのように海洋無酸素事変を引き起こしたのか。



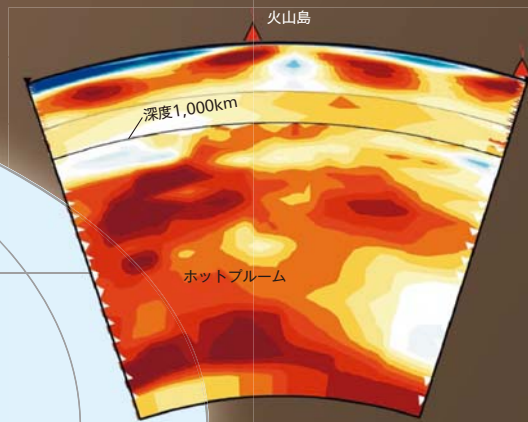
イタリアの黒色頁岩を含む地層
藻類などの植物プランクトンの死骸が、酸化されずに堆積することで、黒色頁岩ができる。黒色頁岩の世界的な分布は、酸素の欠乏した海が広範囲に広がる海洋無酸素事変が起きたことを示している



イタリア・黒色頁岩中のオスミウム同位体比 ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$)



1億2000万年前の大陸配置
<http://www.serg.unicam.it/Reconstructions.htm>を参考にして作製



タヒチ周辺の地下構造

地球内部の物質循環を解明して地球システムに迫る

海面付近のマグマ活動と海洋無酸素事変の因果関係について、次のようなシナリオが考えられている。——海面付近のマグマ活動により、二酸化炭素（CO₂）をはじめとする温暖化ガスが大量に大気中に放出され、急激な温暖化が進んだ。それまで極域の海で冷たく重い海水が沈み込むことにより、表層の酸素が深層へ供給される深層循環が起きていた。しかし急激な温暖化により沈み込みが停止

し、深層への酸素の供給が途絶え、海洋無酸素事変が起きた。

「ただし、1億年前にどれくらいの量のCO₂が大気中へ供給されたのかが分かっていません。こう指摘する鈴木TLたちは、マグマに含まれるCO₂量を詳しく分析することを目指している。一方、末次PDたちは、地震波観測などによってオントンジャワ海台などの地下構造探査を行い、1億年前に、どれくらいの量のマ

グマが地表へ供給されたのかを明らかにする計画だ。それぞれの計画によって、マグマに含まれるCO₂の比率とマグマの供給量が分かれば、大気中に供給されたCO₂の量が明らかになる。

さらに末次PDは、地震波と電気伝導度の観測を組み合わせることで、ホットブルームの化学組成を分析することを目指している。「マンツルの底まで沈み込んだプレートに含まれる海洋地殻が、ホット

ブルームによって再び地表にリサイクルされている可能性があります。それを明らかにしたいと思います。海洋地殻はマンツル物質よりもとけやすいので、海洋地殻が含まれていれば、マグマ活動が激しくなるはずだ」

過去6億年間に5～6回、生物の大量絶滅が起きたことが知られている。ただし1億年前の海洋無酸素事変による生物の絶滅は、そのなかにカウントされていない。

史上最大の大量絶滅は、約2億5000万年前に起きた。鈴木TLらは、京都で採取した、約2億5000万年前の海洋堆積物中のオスミウムを分析した。「このときも、隕石衝突ではなく、マグマ活動が起きたことを示唆する結果が得られています」

2億5000万年前、地球上には超大陸パンゲアが存在していた。このパンゲアの直下へホットブルームが上昇してきたと考えられている。シベリアには、シベリア・トラップと呼ばれる玄武岩から成る台地がある。これは、ホットブルームによる激しいマグマ活動によって形成されたと推定されている。ただし、シベリ

ア・トラップのものよりも、1億年前にオントンジャワ海台をつくったマグマの量の方が多いと見積もられている。それにもかかわらず、2億5000万年前には、1億年前をはるかに上回る大量絶滅が起きた。それは、マグマ活動が陸上で起きたことが原因である可能性がある。

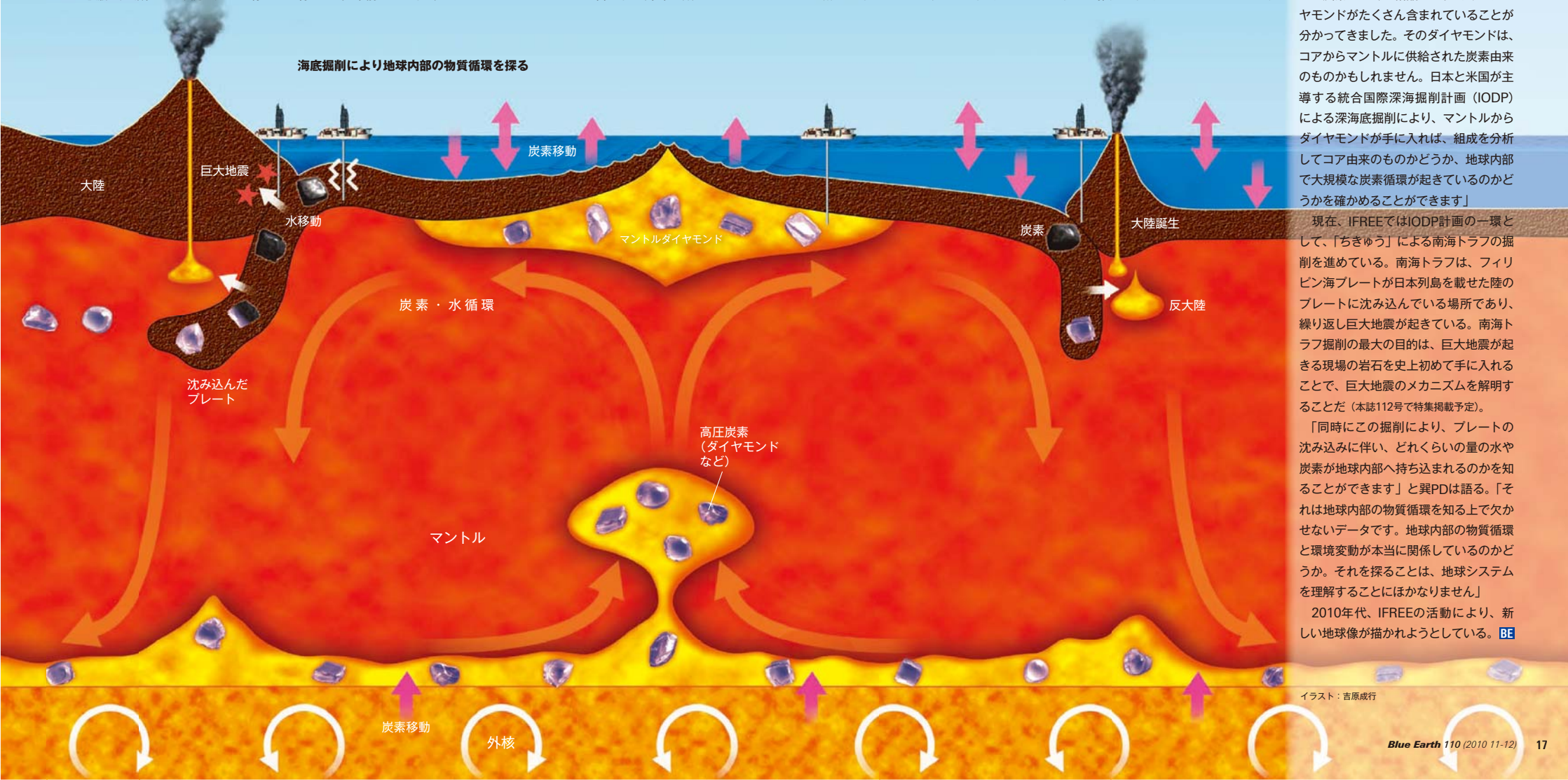
異PDは、「地球内部には、地表にある量の100倍以上の炭素があると推定されています」と指摘する。「私は、地球内部で炭素や水が大規模に循環している可能性があると考えています。最近、海底下のオフィオライトと呼ばれる岩石群に、炭素がつくる結晶の一種であるダイヤモンドがたくさん含まれていることが分かってきました。そのダイヤモンドは、コアからマンツルに供給された炭素由来のものかもしれません。日本と米国が主導する統合国際深海掘削計画（IODP）による深海掘削により、マンツルからダイヤモンドが手に入れば、組成を分析してコア由来のものかどうか、地球内部で大規模な炭素循環が起きているのかどうかを確かめることができます」

現在、IFREEではIODP計画の一環として、「ちきゅう」による南海トラフの掘削を進めている。南海トラフは、フィリピン海プレートが日本列島を載せた陸のプレートに沈み込んでいる場所であり、繰り返し巨大地震が起きている。南海トラフ掘削の最大の目的は、巨大地震が起きる現場の岩石を史上初めて手に入れることで、巨大地震のメカニズムを解明することだ（本誌112号で特集掲載予定）。

「同時にこの掘削により、プレートの沈み込みに伴い、どれくらいの量の水や炭素が地球内部へ持ち込まれるのかが知ることができます」と異PDは語る。「それは地球内部の物質循環を知る上で欠かせないデータです。地球内部の物質循環と環境変動が本当に関係しているのかどうか。それを探ることは、地球システムを理解することにほかなりません」

2010年代、IFREEの活動により、新しい地球像が描かれようとしている。BE

海底掘削により地球内部の物質循環を探る



イラスト：吉原成行

ナポレオンフィッシュが泳ぐ日 —— メガネモチノウオ

世界の海、そのなかでも南シナ海をテーマにした50トンほどの水槽には、色とりどりの魚たちが泳ぎ回っている。その数およそ100匹。展示する種数に増減があるため、数はいつも流動的だ。

この水槽の主といえば、大きさ1.5mほどのタマカイか、長さ2mにもなるウツボだろうか。しかし今回の主役は、メガネモチノウオ。ナポレオンフィッシュの別名がよく知られている。ベラ科の魚で、盛り上がったおでこに分厚い唇、ゆっくりと優雅に泳ぐ^{あお}姿を見ていると、時間の感覚を失う。ナポレオンフィッシュはそんな不思議な魚だ。いま、この水槽にいるのは50cmほどの小さな個体で、ナポレオンフィッシュ特有の雄大さはない。しかし2010年の11月中旬までは、この水槽の主は全長1.5mほど、おでこに立派なコブを持った個体だった。

魚に性格があるかと聞かれると、難しいところがある。でも、過去に一度、性格を垣間見るような事件が起きた。当時、この水槽には2個体のナポレオンフィッシュがいた。大型魚の餌やりは差し渡し40cmほどの巨大なピンセットで、イカやカニ、アジなどを口元へ持っていく。たくさんの魚たちが餌の時間に集まってくる。そんな大騒動のなか、ピンセットでせっせと大型魚たちの口元へ運んでいくのである。いくつもの大型魚に餌をやるなかで、たまたま、その日は小さい方のナポレオンフィッシュに先に餌を与えてしまった。これが事件の発端だった。大きな個体が小さな個体を猛スピードで追いかけて始めたのだ。普段はゆっくりと泳ぐナポレオンフィッシュが、小さな個体を激しく追い回す。尋常でない事態は、たちまちほかの魚たちへも連鎖した。水槽の魚たちはパニック状態になり、すべての魚たちがざわざわと泳ぎ回った。水槽はまるでお祭り騒ぎになった。こうなったら、もうほうっておくしかない。騒ぎが収まるまで傍観した。

やがて騒ぎが収まると、小さな個体は大きな個体を避けた。大きな個体は大きな個体で、騒ぎを起こしたことを恥じるかのように、水槽の隅にじっと身を置いた。餌を差し出しても何も食べることなく、2日間はじっとしていた。

同種を同じ水槽内で飼育すると、順位が生まれる。その順位に反して、たとえば小さな個体が先に餌をもらうようなことがあると、それがトラブルのもとになる。この順位の問題はいろいろなところで頭をもたげる。すでに大きな個体がいるところへ小さな個体を入れれば、大きな個体は小さな個体を、縄張りを荒らす侵略者と見なす可能性がある。そこで、まずは小さな個体から水槽に慣れさせ、その後、大きな個体を入れていく。

水族園にはバックヤードを含め、3個体のナポレオンフィッシュがいる。展示されている50cm、ほかに中くらいの1.3m、大きな1.5m。数ヵ月後には3個体すべてをこの水槽で展示できたらと考えている。そのために、一度大きな個体をバックヤードへ移し、一番小さな個体を水槽に入れた。

メガネモチノウオは世界最大のベラ科の仲間だ。展示している個体は体長50cm程度で、比較的若い個体だ。目の後ろの黒い帯がメガネをかけているように見えることからメガネモチノウオといわれる（撮影：STUDIO CAC）

メガネモチノウオは雌性先熟といって、まずはじめにすべての個体が雌になる。その後、大きくなると雄になる。成熟すると、おでこのコブが大きく張り出し、雄であることが分かる。それ以外、外見からは雌雄をほとんど判別できない（画像提供：(公財)東京動物園協会 葛西臨海水族園）



これから1個体ずつ、小さいサイズからこの水槽へ入れていく。そしてゆくゆくは繁殖生態を観察できれば……。それが目下の夢だ。

(取材協力：牧 茂/(公財)東京動物園協会 葛西臨海水族園・飼育展示課 飼育展示係 主任)

■ Information: (公財)東京動物園協会 葛西臨海水族園
〒134-8587 東京都江戸川区臨海町6-2-3
TEL 03-3869-5152 (代)
URL <http://www.tokyo-zoo.net/zoo/kasai/>

雪を追う

「寒さには強いです。雪氷の研究者としては都合がいいですよ」。そうって笑う杉浦幸之助 主任研究員は、北半球の寒冷圏で積雪の観測を行っている。気温マイナス45℃、風速20mを超える強風が吹くこともある過酷な世界。それでも毎年、モンゴルやシベリア、アラスカに出掛けていくのは、「地球にどのくらいの雪があるのかを知りたいから」。杉浦主任研究員は、積雪の量や雪の移動のデータを気候モデルに組み込み、より精度の高い気候変動予測の実現を目指している。

杉浦幸之助

地球環境変動領域
北半球寒冷圏研究プログラム 雪氷変動研究チーム
主任研究員

雪面のかたさの測定する杉浦主任研究員。風の強さなどが分かる。アラスカ・バローにて



杉浦幸之助(すぎうら・こうのすけ)
1966年、青森県生まれ。博士(地球環境科学)。1999年、北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程修了。同年、海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)地球観測フロンティア研究システムポスドク研究員。2009年より現職。2010年よりアラスカ大学国際北極圏研究センター客員研究員兼務。専門は地球雪氷学、雪氷物理学

モンゴルでの自動気象観測装置。支柱に取り付けられたコの字状の光学センサーで降水量を測る



フィールドは北半球の寒冷圏

—モンゴルでの観測から戻られたばかりだそうですね。

杉浦：この冬の降雪量を観測する準備をしてきました。私たちは、ヘンタイ山脈やアルタイ山脈などモンゴルの山岳地帯で雪がどのくらい積もるかを、2002年から毎年調べています。

積雪地帯や凍土、氷河が広がる北半球の寒冷圏は、温暖化の影響が最も顕著に現れるといわれています。また、積雪面積の減少は温暖化を加速する効果があるといわれています。しかし、それらのメカニズムや影響の程度はよく分かっていません。モンゴルが位置する中緯度あたりは、ユーラシア大陸における積雪地帯の南限にあたります。この地域の積雪量の変化を調べることで、温暖化の影響をいち早く捉え、変動のメカニズムを解明しようとしているのです。

—なぜ山岳地帯なのですか。

杉浦：平地には気象観測点がありますし、人工衛星の観測データから積雪量を見積もることもできます。しかし、山岳地帯には観測点がほとんどありません。また積雪分布が不均一なため、山岳地帯の積雪量については精度のよい人工衛星の観測データが得られません。そのため、実際にその場に行って観測しなければならないのです。車で山に入り、車中やゲルと呼ばれる遊牧民のテントで寝泊まりしながら、標高の異なる地点で観測したりします。標高と積雪量の関係が分かれば、すでに得られている地形データを使い、その地域の積雪量を算出することができるのです。

—モンゴルのほかには、どこで観測を行っているのですか。

杉浦：シベリアのオイミヤコン周辺、アラスカのバローやフェアバンクス周辺などで観測しています。オイミヤコンは、マイナス71.2℃を記録した、北半球で一番寒い場所です。

オイミヤコンまで行くのが、大変なんです。まず、西から向かうのか東から向かうのか、二通りあります。西から向かう場合はウラジオストク経由の飛行機でヤクーツクに行きます。東からの場合はマガダンに行きます。ヤクーツクからでもマガダンからでもオイミヤコンまで陸路で行くこともできますが、いずれもひどい悪路で、道が寸断されていたり、橋が壊れていたりします。そこで、夏はヤクーツクからウスチネラという小さな町まで飛行機で行き、そこからポートで川をさかのぼって入ったこともあります。冬は凍結した川の上を車で走ることができるので、夏より楽です。でも、氷が融けたぬかるみに車がまったり、増水した川に行く手をはばまれたり、苦労が絶えません。

マイナス45℃の世界

—現地では、どのような観測を行うので

北半球の寒冷圏における積雪の観測拠点(●印)



すか。

杉浦：観測装置の主役は降水量計です。降水量計は筒になっていて、筒のなかに入った雪の量を測ります。しかし、風が強いと雪が筒に入りにくくなり、正確な計測ができません。そこで、筒に風よけを付けたり、雪の粒子の粒径と数を計測する光学的なセンサーが開発されたり、さまざまな工夫がなされています。降水量計を持っていけない場所では、ペットボトルでつくった容器を使うこともあります。

積雪がある場所では、積雪に穴を掘り、その深さを測ります。また、雪を円柱状に採取して重さを量り、密度を求めたり、雪粒のかたちなどを観測したりします。雪といっても、水分をたくさん含んだ重い雪や、乾いた軽い雪など、さまざまです。雪の密度が分かれば、積雪の深さから水量に正確に換算することができます。

表面のかたさも測ります。雪面のかたさから、風の強さが分かるのです。風がないと雪面はやわらかく、風が強いとかたくなります。風の強さは、雪の移動や昇華(固体から気体へ変化して蒸発すること)の量に関係します。

—雪のなかでの観測は寒くて大変そうですね。これまで体験した最低気温は？

杉浦：マイナス45℃くらいです。モンゴルの積雪は深くて50cmくらい、シベリアは1m50cmくらいです。数mにもなる日本と比べると積雪量は少ないのですが、気温はとて低くなります。でも、マイナス45℃になる日は風がないことが多いので、意外と過ごしやすい。逆に、気温が高い日は風が強いことが多く、体感温度はとて低くなります。風上に向かって体を45度傾けても倒れないくらいの強風が吹くこともあります。

私は寒さや雪には弱くない方で、つらいと思ったことはほとんどありません。冷え性とは無縁で、手足はいつも熱いくらい。吹雪のなかでの配線作業も平気です。それは、雪氷の研究者にとっては都合がいいですね。青森県津軽半島の最北端の出身だからかも。

故郷は津軽半島の最北端、竜飛

—津軽半島の最北端というと、竜飛ですね。歌謡曲の歌詞にも出てきますが、どのようなところですか。

杉浦：海と山ばかりで、平地はほとんどありません。風がとて強く、冬は激しい吹雪で前がまったく見えなくなるほどです。—どういう子どもでしたか。

杉浦：夏は海で泳ぎ、春や秋は釣り、冬はミニスキーと、遊んでばかりいました。雪は、大人にとっては厄介なものですが、子どもにとっては楽しいものです。

—そのころの将来の夢は？

杉浦：父が電気屋を営んでいたの、店を継ごうかと思っていました。青函トンネルの建設中には、作業員宿舎への納品やテレビアンテナを取り付ける仕事も多く、私もよく一緒に行きました。店の手伝いは、楽しかったですよ。

—影響を受けた本はありますか。

杉浦：1冊はジュール・ヴェルヌの『八十日間世界一周』です。ワクワクしながら読み、「ここを飛び出して外の世界を見てみたい!」と思いましたね。それから、『学研まんが ひみつシリーズ』が大好きでした。年に数回、青森市内に家族で出かけたとき、必ず買ってもらいました。

—雪氷研究との出会いは？

杉浦：子どものころから、自然の仕組みを知りたいと思っていました。下宿をして青森市内の修学旅行がある高校に通い、卒業後は物理学科へ進みました。修学旅行で京都に行き、哲学の道を歩く。それが憧れだったので、高校を選ぶ際、修学旅行があるかないかも当時の私にとっては大きなポイントでした。大学でアイスモンスターと呼ばれる樹氷のでき方を調べたりしているな

かで、雪や氷に興味を持ち、北海道大学大学院で雪氷の研究を本格的に始めました。

雪の粒を1個1個数える

—大学院では、どのような研究を？

杉浦：大型の風洞装置を使った実験を行いました。2階建てくらいの巨大な装置で、全体をマイナス10℃くらいに冷やし、雪を敷き詰め、風を送って吹雪を発生させます。吹雪によって雪の粒子が雪面に衝突すると、跳ね返るだけでなく、新しい粒子をたたき出します。この雪粒子の衝突、反発、射出の過程を「スプラッシュ」といいます。吹雪はスプラッシュを繰り返しながら発達していきます。吹雪を理解するには、スプラッシュの過程を明らかにする必要があります。

実験の様子を、高速度ビデオカメラを使って撮影します。雪の粒子が、どのくらいの角度・速度で衝突し、どのくらいの速度・角度で跳ね返るか。また、何個の雪の粒子をたたき出すか。それを、風速を変えながら雪の粒子1個1個について調べます。そのデータを数理的に解析してモデル化します。

モデル化にはたくさんのデータが必要です。来る日も来る日も、雪の粒子を数えていました。地味な研究ですよ。苦勞の末、スプラッシュ過程のモデル化に成功し、風

速から雪の粒子の挙動を予測できるようになりました。

—吹雪を研究テーマに選んだ理由は？

杉浦：子どものころから身近な現象だったから。巨大な風洞を使えることも魅力でした。

吹雪と気候の関わりに注目

—2010年度の日本雪氷学会「平田賞」を受賞されました。

杉浦：受賞理由は「吹雪のスプラッシュ過程ならびに熱交換過程のモデル化と広域水循環評価に関する研究」です。大学院時代からやっていたスプラッシュ過程のテーマをはじめとして3つのテーマをまとめて評価していただきました。

—熱交換過程のモデル化とは？

杉浦：地表面が黒いと熱を吸収して暖かくなり、白いと熱を反射して冷えるというのを聞いたことがあるでしょう。では、吹雪には、熱を吸収する効果があるのか、反射する効果があるのか。それを解析し、吹雪はわずかに熱を吸収する効果があることが分かりました。それをモデル化したのです。

—広域水循環評価とは？

杉浦：雪が降ると積もり、風が吹けば舞い上がって移動し、昇華して蒸発します。しかし、現在の全球気候モデルでは、そうした雪の移動は要素として考慮されていませ

ん。雪は降ったらそのまま動かないとして計算しているのです。不自然ですよ。そこで、雪は地球のどこで、どのくらい昇華蒸発しているのかを解析しました。

吹雪の研究は、主に交通や建築の面から行われています。熱交換や水循環など気候との関わりに注目した研究は、まだ多くありません。

気候モデルに雪のデータを入れる

—今後、どのように研究を進めていく計画ですか。

杉浦：私は、地球上に雪がどのくらいあるのかを知りたいのです。雪の存在は、水循環や熱収支などを通して、気候システムの形成と変動に大きな影響を及ぼしています。また、温暖化の影響を受けて変化するとともに、その進行にも関わっています。地球の気候システムを考えると、雪の情報は不可欠です。

2007年に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の「第4次評価報告書」では、雪氷と凍土の章が初めてできました。雪氷の重要性がようやく認められてうれしいのですが、全球気候モデルではまだうまく再現されていないようです。データが不足しているからです。

—今後やらなければいけないことは？

杉浦：寒冷圏における観測の継続と、海水



しもざらめ雪。2008年3月、シベリアにて。雪をスノーゲージに載せ、粒径やかたちを観察する

の上にとどのくらいの積雪があるのかを正確に知ることです。先ほど紹介した水循環評価でも、北半球では海水の上での昇華が多いという結果が出ています。しかし、海水の上の積雪を人工衛星で観測することは難しく、その場に行って観測するしか方法はありません。課題は多いですが、ぜひ実現したいですね。

そして、世界の積雪量、吹雪による雪の移動や熱交換など、考え得る重要なプロセスを全球気候モデルに入れ、気候システム変動のメカニズムを明らかにし、正確な予測を実現したいと思っています。

現在、2013年の発表に向けてIPCCの「第5次評価報告書」の準備が進められています。それには間に合いませんが、たとえばその次の評価報告書に盛り込めるような成果を挙げるよう、研究に取り組んでいきたいと思っています。

好きな雪は「しもざらめ」

—『Blue Earth』の若い読者へメッセージをお願いします。

杉浦：人からいわれたことではなく、自分が「面白い」と思えることに、熱中して取り組んでほしいですね。続けていけば、何かが見えてきて、何かが付いてきます。

—雪は面白いですか。

杉浦：はい。日本は南北に長いので、いろいろな雪があります。ぜひ、皆さんも観察してみてください。私が好きな雪は「しもざらめ」。コップ状の粒が重なり合ったガザガザしている雪です。気温が低くないとできないので、日本ではあまり見られないですね。次回モンゴルに行ったら、しもざらめの感触を楽しんできたいと思います。

BE



積雪量の観測。穴を掘って深さを測り、手前の筒で雪を採取して重さを量り、密度を求める

アラスカ・バローに設置した二重柵基準降水量計。外柵直径12m、内柵直径6m。WMO（世界気象機関）は固体降水量を測定するときの準器として推奨している。ツンドラの紅葉がまぶしい



北極圏で使用されている主な降水量計による降水量の比較観測実験。手前からロシア（風よけ付き）、アメリカ、ヨーロッパ、カナダ（風よけ付き）の降水量計。国によって降水量計のかたちが異なり、強風下では捕捉する雪の量が変わる。実験の結果をもとに、各国の観測データを補正する。2004年2月、アラスカ・バローにて



シベリアの氷河。観測装置を持ち込めない場所ではペットボトルを使うこともある



風上に向かって体を45度傾けても倒れないほどの強風が吹くことも。アラスカ・バローにて



夏のシベリアでは、ボートで川をさかのぼる

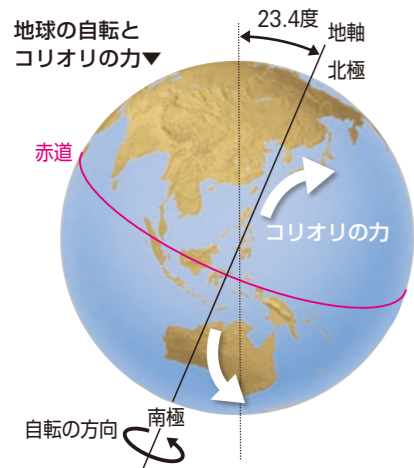


冬はモンゴルでも、凍結した川の上を車で走る。氷が融けたぬかるみにはまることが、しばしば

地球の自転→大気海洋相互作用→冷夏・猛暑の予報

1 ポイント 地球は回っている

太陽は東から昇って西に沈み、次の日、また東から昇ってきます。これは、地球が西から東へ回転をしているからです。天体が回転することを「自転」といいます。地球は、北極と南極を結ぶ「地軸」を中心に回転しています。地球が1回自転するのにかかる時間は24時間、正確には23時間56分4秒です。



宇宙から見たジェット気流（矢印の方向に吹いている）。北半球の中緯度の上空を吹く偏西風のなかで、特に風速が大きい流れをジェット気流と呼ぶ。偏西風は、中緯度から高緯度に向かう大気の南北の流れが地球の自転によって曲げられ、西から東に向かう風となっている。偏西風の通り道が、日本の夏の気象に大きく影響している。カナダ上空を飛行中のスペースシャトルから撮影（©NASA）

2 疑問 自転していることを感じないのはなぜ？

地球表面の自転速度は、赤道上で時速1,667km（秒速463m）ほどです。自転速度は赤道で最も速く、高緯度ほど遅くなります。東京が位置する北緯35度あたりでは時速1,365km（秒速約379m）くらいです。

しかし、皆さんは普段、地球が高速で回っていると感じたことはないでしょう。それは、地球と一緒に私たちも動いているからです。

3 ポイント 大気や海水の流れは、東に曲がる

私たちは地球が自転していることを感じませんが、自転は地球上の物体にさまざまな影響を与えています。

たとえば、大気が南から北に向かって進む様子を地球の外から見ると、どう見えるでしょうか？ 実は、東に曲がっているように見えます。大気が真っすぐ北に向かって進んでいても、地球が東向きに自転しているため、東に曲がったように見えるのです。

回転体の上を運動する物体に働いて、物体の運動の向きを変える力を「コリオリの力」といいます。実際に力が加わるのではなく、回転によって生じる見せ掛けの力です。コリオリの力は、赤道上では働かず、高緯度ほど強く働きます。

4 確認 自転がつくる風、偏西風

日本列島が位置する北半球の中緯度の上空5,000~1万mには、西から東に向かう偏西風が吹いています。

北半球の上空では、南から北へと気圧が低くなっていきます。大気は気圧が高いところから低いところへ移動します。偏西風は、この南北の気圧の差と地球の自転によって形成されるのです。

2010年の夏、日本各地で観測史上最高気温を記録し、かつてない猛暑となりました。思い起こせば、2009年は冷夏でしたね。

なぜ日本の夏は、年によって猛暑になったり、冷夏になったりするのでしょうか？ 日本の気象が、日本近海の海面温度と深く関係していることは、以前から知られていました。しかし、海面温度が変わると、なぜ猛暑になったり冷夏になったりするの、その詳しい仕組みは解明されていませんでした。

最近、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の研究によって、海洋が大気最下層の南北の温度勾配（温度の違い）に与える影響と大気海洋相互作用を考慮すると、海面水温と猛暑・冷夏の間接関係をうまく説明できることが明らかになりました。

日本近海の海面水温と日本の猛暑・冷夏は、どのように関係しているのでしょうか？

取材協力 中村元隆 地球環境変動領域 短期気候変動応用予測研究プログラム 気候変動予測応用研究チーム 主任研究員

5 確認

気圧の差は どうやってできるの？

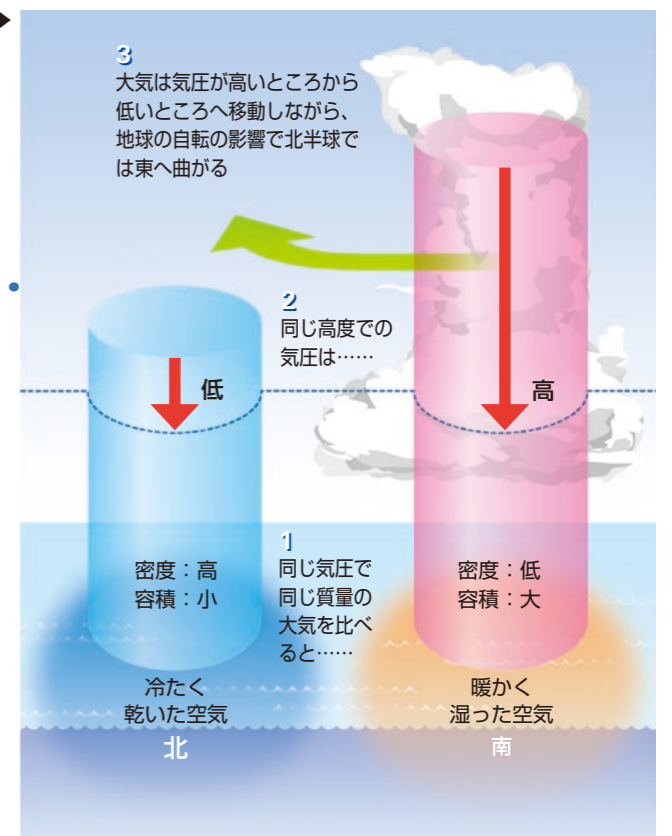
では、上空の気圧の差は、どのようにして生じるのでしょうか。

南の暖かい海や陸の上では、湿った暖かい空気の対流によって上空の空気も暖められます。逆に、北の冷たい海や陸の上では、対流が弱く、上空の空気はあまり暖められません。

暖かく湿った空気は、冷たく乾いた空気より密度が低くなります。同じ気圧で同じ質量の大気を比べると、暖かく湿った空気の方が、冷たく乾いた空気より容積が大きくなります。つまり、地表の上にある空気の質量が同じなら、南の暖かく湿った空気の方が、より高いところまで存在しているのです。こうした理由から、同じ高度で見えた場合、南は気圧が高く、北は気圧が低くなるのです。

南の大気が対流によって暖められることに、暖かい海洋から放出される熱と水蒸気が重要な役割を果たしているのはいうまでもありません。そして日本列島付近では、南から暖かい水を運んでくる黒潮と対馬暖流が、大気を暖めるのにとっても大きな役割を果たしています。

気圧の違いと大気の移動



6 まとめ 気候や気象には、海洋と大気の流れと自転が関わっている

海洋が大気を暖めるといいましたが、その逆、つまり大気が海洋を暖めることもあります。地球の気候や気象は、海洋と大気の相互作用によってつくられているのです。

しかし、思い出してください。大気の流れは、自転に大きな影響を受けていましたね。気候や気象を理解するには、海面水温と大気の流れの関係だけでなく、自転の影響も考えなければいけないのです。

海と偏西風の間を考慮して分析したい

気候や気象は、大気、海、陸地、雪氷などさまざまな要因に影響を受けています。私たちが暮らす中緯度では、地球の自転は大気と海洋の流れにとても強い影響を与えることで、気候変動や異常気象の発生に大きな役割を果たしていると考えられます。中緯度の気候と海洋がどのように反応し合っているかを、これまで多くの研究者たちによって調べられてきました。その結果、中緯度の気候が海洋に強い影響を与えることは分かってきました。しかし、海洋が気候に強い影響を与えるという結果は出てきませんでした。

そうしたなか、JAMSTEC地球環境変動領域短期気候変動応用予測研究プログラムの中村元隆主任研究員たちは、海面水温と偏西風の間を考慮に入れた新しい解析手法を考案しました。そして、その解析手法を使って過去45年分の大気や海面水温のデータを解析した結果、とても興味深いことが分かってきました。

45年分のデータを詳細に解析

具体的には、ヨーロッパやアメリカ、イギリスの研究機関が作成した1957年9月から2002年8月までの45年間のデータを解析しました。

まず、地上・海上付近の大気の南北方向の温度勾配（傾圧性という）が、平年と比べてどのように、どのくらい違うのかを、月ごとに調べました。その結果、頻繁に見られる異常なパターンがいくつか見つかりました。そして、それぞれのパターンと似ている年について、風、低気圧・高気圧の強さや通り道、海面水温、地上・海上付近の大気の温度、海と大気の熱のやりとりなどを、月ごとに詳しく調べていきました。

猛暑と冷夏。そのとき大気と海洋は？

その結果、本州北部沖から東に帯状に伸びる海域と、日本海中心部の海面水温が、日本の夏の気温に強い影響を与えていることが明らかになりました。

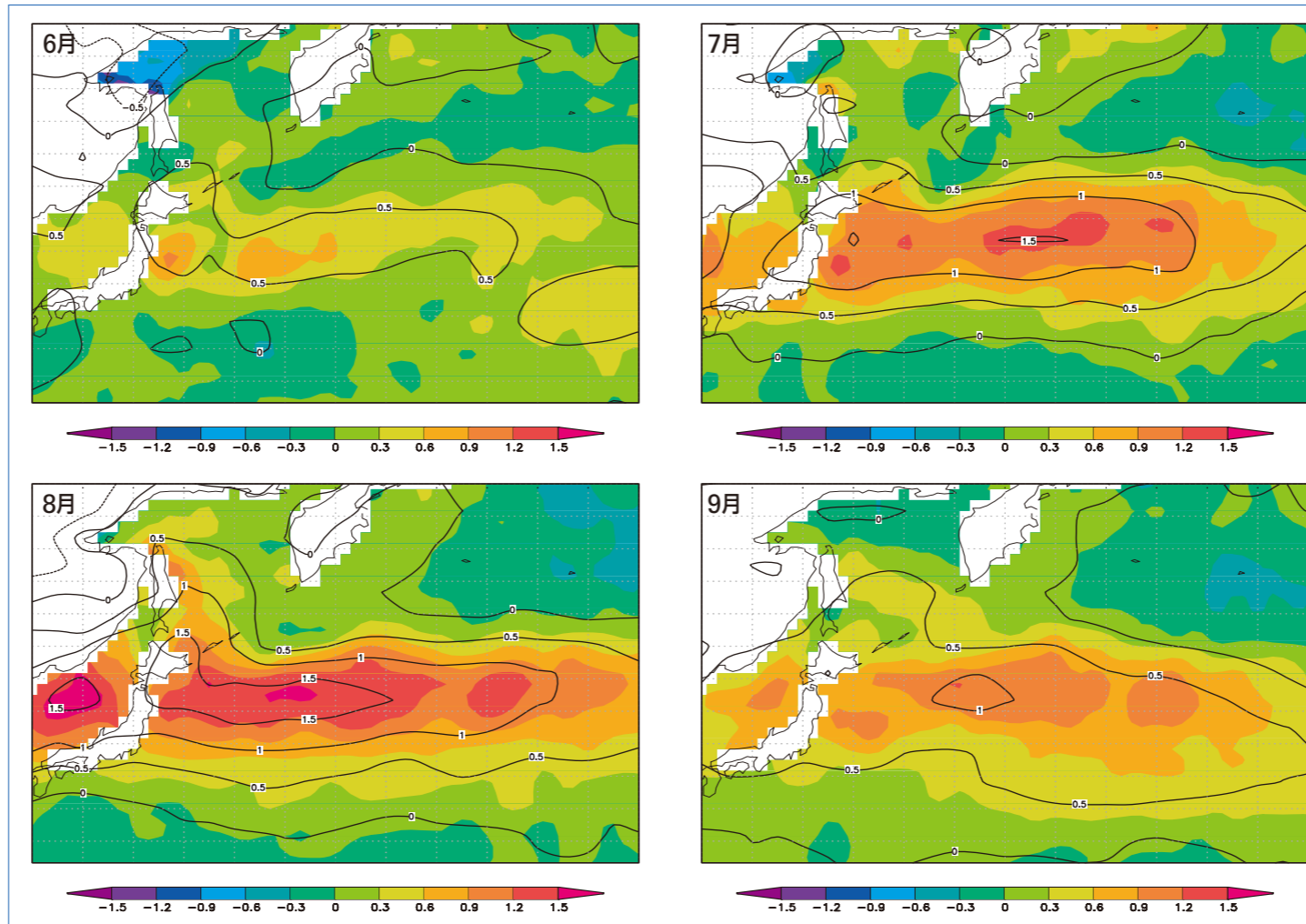
6月ごろから本州北部沖と日本海中心部の海面水温が異常に高くなると、7月と8月の日本列島の気温が異常に高くなり、猛暑になる傾向があります。逆に、その海域の海面水温が異常に低くなると、日本列島の気温が異常に低くなり、冷夏になる傾向があります。

でも、なぜそのようなことが起こるのでしょうか。

海面水温の異常が偏西風の通り道をずらす

理由は、日本付近で東西に帯状に伸びる傾圧性の強い地域の南北変動にありました。傾圧性の強い地域では、南北の温度勾配が大きいため、気圧勾配も大きくなりがちです。その結果、上空の偏西風が強くなる傾向があります。

夏に本州北部沖と日本海中心部の海面水温が異常に高く



◀猛暑になる場合の海面水温と地上・海上付近の気温

色は、海面水温の平年からのずれを表している。黒線は、地上・海上付近の気温の平年からのずれを表している。7月と8月では、海面水温と気温の平年からのずれが、ほぼ同じになっている。これは、大気が海面水温の影響を受けていることを示している。8月には、日本列島の地上で0.5~1.5°Cほど平年より温度が高くなっている。海面水温の異常は6月ごろに現れ始め、7月にははっきりする。9月まで残っている

なると、傾圧性の強い領域は通常より北に現れます。偏西風は、普通の夏は本州と北海道の間くらいの上空を吹いていますが、傾圧性が強いところで強くなるため、偏西風の通り道が通常より北にずれます。すると、南からの暖かい空気が日本列島に入りやすくなり、気温が上がり、猛暑になるのです。逆に、6月ごろから本州北部沖と日本海中心部の海水温が異常に低くなると、偏西風の通り道は通常よりも南にずれます。すると、北からの冷たい空気が入りやすくなって、気温が下がり、冷夏になるのです。

日本列島の気温は、猛暑の場合は月平均で0.5~1.5°Cほど高くなり、冷夏の場合は0.5~1.5°Cほど低くなります。そうした影響は、次第に弱まりながら9月ごろまで続くことも分かりました。このことは、海面水温と偏西風の間をうまく考慮して解析することで、初めて明らかになったのです。

2010年夏は？

では、記録的な猛暑となった2010年、大気と海洋はどういう状態だったのでしょうか。調べてみると、6月上旬から本州北部沖と日本海中心部の海水温が異常に高くなっていました。2010年の猛暑は、海水温の異常高温によって偏西風が北にずれ、南から暖かい空気が入ってきたことが原因だったのです。

2010年7月の日本列島各地の月平均気温は、平年より1°C程度高くなっていました。また、気温の高い状態は9月まで続きました。約45年分のデータ解析から明らかになった気温の変化とも一致します。

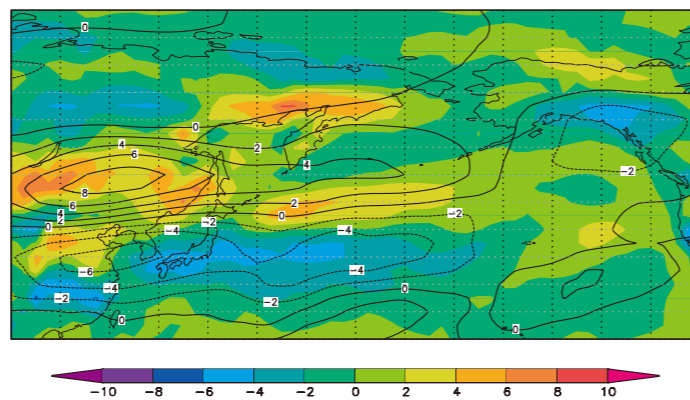
異常気象を予報する

この研究成果は、とても大きな意味を持っています。6月の海面水温の観測データや、予測実験をもとに、その年の夏が猛暑となるのか冷夏となるのか、予報を出すことができる可能性があるのです。

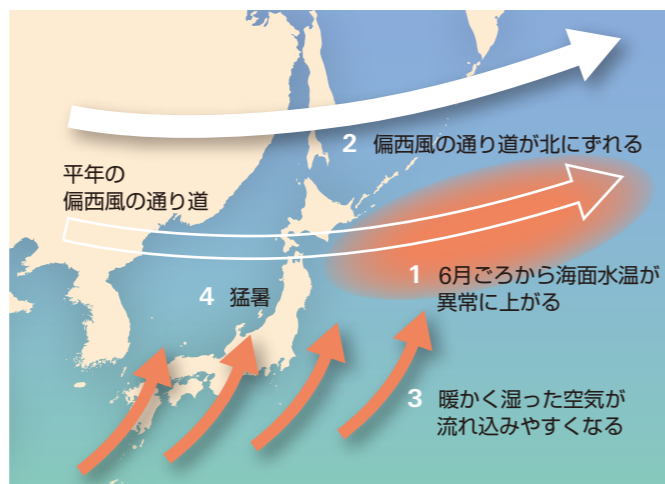
「猛暑でエアコンの生産が追いつかない」「冷夏でビールが売れない」というニュースを聞いたことがあるでしょう。猛暑や冷夏といった異常気象は、経済にも大きな影響を及ぼします。異常気象の予報が可能になれば、猛暑ならビールやエアコンの生産を増やしたり、冷夏ならそれらの生産を減らし、秋物衣料の生産を早めたり、前もって対策を取ることで経済への影響を最小限に抑えることができます。

中村主任研究員たちは、今後も引き続き、中高緯度の気候と海洋の相互作用がどのように中高緯度の気候や気象を決めているのかを、詳しく調べていく予定です。精度の高い異常気象の長期予報の実現を目指して。

BE



▼猛暑のときの海面水温と偏西風の通り道



◀猛暑になる場合の地上・海上付近の気温と大気の流れ

色は、傾圧性（地上・海上付近の気温の南北勾配）の平年からのずれを表している。線は、高度約1万2000mの東西風の風速の平年からのずれを表している。本州以南では傾圧性が小さく、北緯45度付近の北西太平洋で傾圧性が大きくなっている。傾圧性が大きいほど風が強くなるため、偏西風の通り道が平年より北にずれ、北海道以北で強く、本州以南で弱くなっている

▼冷夏のときの海面水温と偏西風の通り道

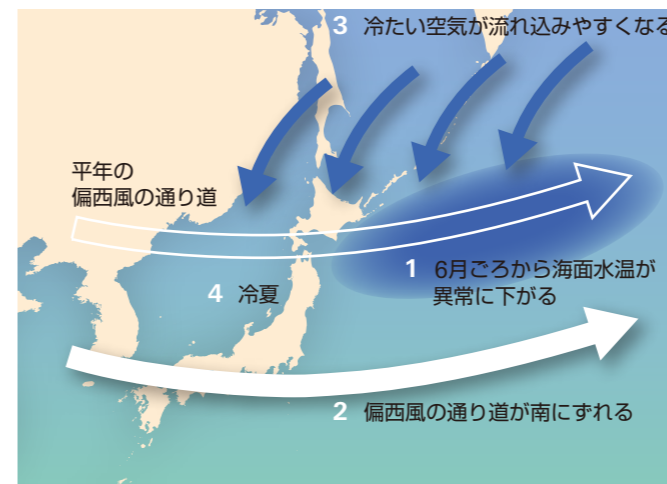




図1 破壊・埋没した
海洋深層水の取水管

海洋深層水の取水管（手前の黒い部分）は海底地すべりによって本来の場所から2kmも沖に押し流され、一部は土砂や堆積物に埋もれていた。「ハイパードルフィン」によって撮影

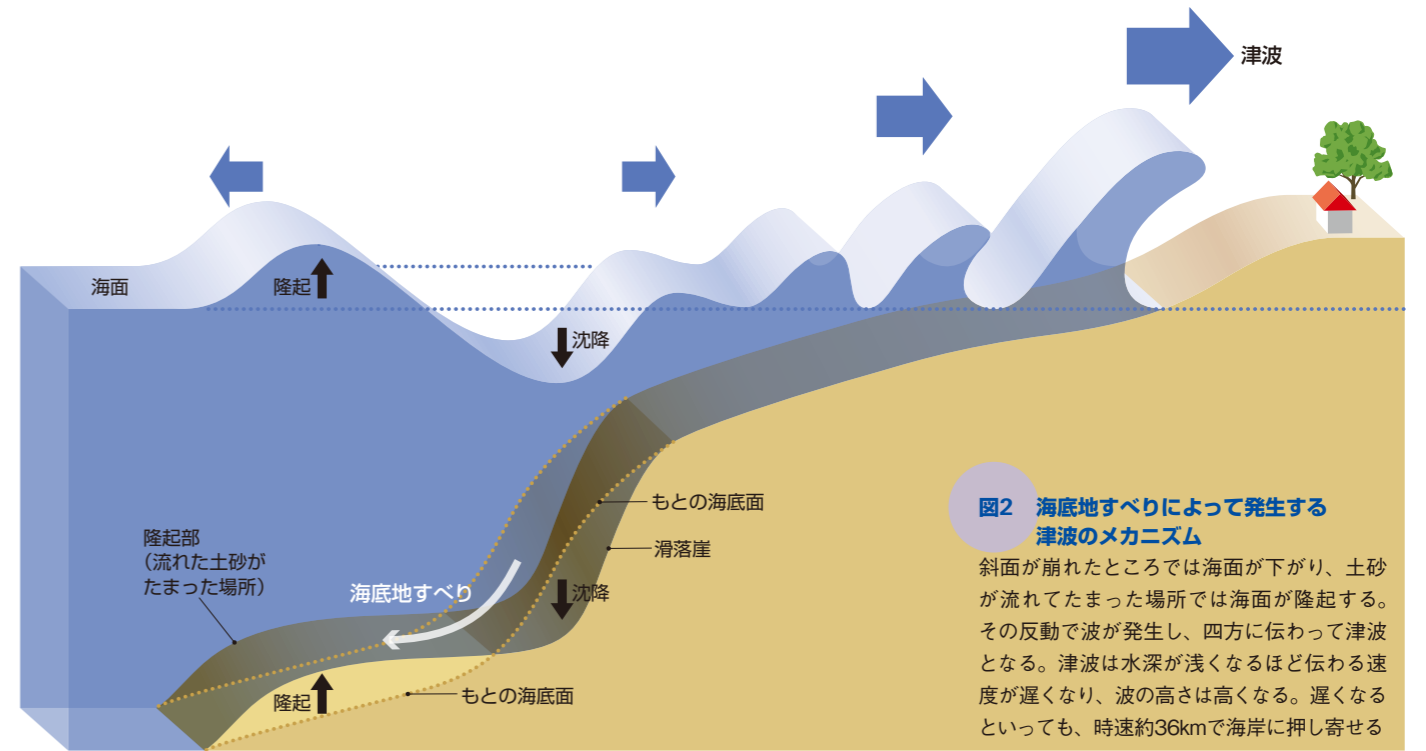


図2 海底地すべりによって発生する
津波のメカニズム

斜面が崩れたところでは海面が下がり、土砂が流れてたまった場所では海面が隆起する。その反動で波が発生し、四方に伝わって津波となる。津波は水深が浅くなるほど伝わる速度が遅くなり、波の高さは高くなる。遅くなるといっても、時速約36kmで海岸に押し寄せる

新たな災害リスク、 海底大崩壊を明らかにせよ

2010年10月16日 第118回地球情報館公開セミナーより

地震などが原因で起きる地すべりは、建物や自然を破壊し、災害をもたらします。

地すべりは、海底でも起きます。

たとえば、2009年の駿河湾地震の際にも海底地すべりが発生し、

海底に設置されていた海洋深層水の取水管が破壊されました。

海底地すべりは予期しない津波を引き起こし、被害を大きくする

恐れもあります。新たな災害リスクとして注目を集める

海底地すべりについてご紹介します。

397m取水管は1週間ぐらいでもとに戻りましたが、深い方の687m取水管は高いままだったため、途中で破損した可能性がありました。そこで私たちは、まず「ハイパードルフィン」を使って調査を行いました(図3)。



地震津波・防災研究プロジェクト
技術主任

馬場俊孝

ばば・としたか。1975年、岐阜県生まれ。博士(理学)。1998年、金沢大学理学部地学科卒業。1999年、海洋科学技術センター(現在の海洋研究開発機構)に入所。2006年から1年間、ジオサイエンス・オーストラリアにて、津波予測システムを研究。2010年より現職。専門は地震学

2009年8月11日、静岡県の駿河湾沖でマグニチュード(M)6.5の地震が発生し、東名高速道路の路肩が崩壊するなど被害が出ました。この駿河湾地震では、従来のシミュレーションでは説明できない津波が観測された上に、海底に設置されていた海洋深層水の取水管も破損した可能性がありました。そこで3,000m級無人探査機「ハイパードルフィン」や深海巡航探査機「うらしま」など、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が誇る探査機で調査を行いました。その結果、破損した取水管と地すべりの痕跡などが発見され、地震に伴って海底で地すべりが起きたことが明らかになりました。

今回の調査結果と、海底地すべりを踏まえたシミュレーションなど、JAMSTEC独自の研究成果をご紹介します。

海底地すべりの危険性

はじめに「海底地すべり」とは何か、と

いうところからお話します。陸上では、地震や大雨の後に、斜面が崩壊する地すべりという現象が発生することがあります。2008年の岩手・宮城内陸地震(M7.2)のときには、荒砥沢ダムが地すべりで大崩壊しました。このときは幅148mもの崖ができ、土砂が300m以上も流れました。海底でも、斜面が崩れ落ちる現象が起きます。しかも陸上より大規模な地すべりが発生することがあります。たとえば、ノルウェーの沖で発見された8,100年前の海底地すべりの跡は、長さが約800kmもあり、東北地方のほぼ全域が入るほどです。

陸上の地すべりが家屋などを破壊するように、海底の地すべりは通信用の海底ケーブルなどを破壊します。2006年に台湾付近で海底地すべりが発生し、海底ケーブルが6本も切れてインターネットが不通になりました。日本の近海でも海底地すべりが発生して同様の被害が起き

れば、私たちの生活にも影響が出ます。

海底地すべりで津波が起きる

1940年にアラスカの太平洋側で起きたM7クラスの地震では、同時に海底地すべりが起きて、非常に大きな津波を発生させたと考えられています。また1998年のパプアニューギニア地震(M7.1)でも海底地すべりが津波を増幅させ、高さ10mもの津波が押し寄せました。

津波の発生原因は、9割が海底を震源とする地震です。海底地震によって断層が動く、海底が変形します。海底地すべりでも同様に、斜面が崩れたり土砂が堆積したりして海底が隆起・沈降します。海底が隆起したところでは上にある海水が持ち上げられ、海底が沈降したところでは海水が下がって、海面が変動します。その反動で大きな波が生まれ、四方八方に伝わります。これが津波です(図2)。海底がどのくらい隆起あるいは沈降した

かが分かれば、津波の伝わり方や高さを予測することができます。

駿河湾地震で計算外の津波

駿河湾地震では津波が発生し、焼津で最大62cmの引き波、御前崎では最大36cmの押し波が観測されました。しかし海底の変動や地震波形データから得られた断層モデルを用いたシミュレーションでは、津波は10cm程度となり、観測された津波を再現することができませんでした。そのため断層運動以外の原因、たとえば海底地すべりなどが起きているのではないかと考えられました。

この地震によって、静岡県が所有する駿河湾から海洋深層水をくみ上げる施設でも異常が起きました。長さの違う取水管が2本あり、7,000mの管が水深687mまで、3,000mの管が水深397mまで伸びています。地震後、くみ上げた水の温度が両方とも上がりました。浅い方の

破損した取水管を発見

はじめに水深100~300mの海底を調査したところ、397m取水管はすぐに見つかりましたが、並行して走っているはずの687m取水管は発見できませんでした。687m取水管の端には高さ7mの取水タワーがあるので、2回目はそれを目標に潜航しました。しかし、本来あるはずの場所には、取水タワーも取水管もありませんでした。周囲を探索したところ、2時間半後に、本来の位置とは違う場所で取水管の一部を発見しました(図1)。

発見した取水管を南へたどっていくと、船の残骸が取水管の上に乗っている様子が見えました。おそらく海底地すべりによって、取水管と昔に沈んだ船の残骸が一緒に押し流されたのでしょう。取水管に巻いてあった鉄線が破損しているところもありました。鉄線の強度から考



図3 「ハイパードルフィン」の調査地点

深い方の687m取水管は1回目の調査では見つからず、2回目にAの地点で発見された。取水管はBの地点で完全に埋没してしまった

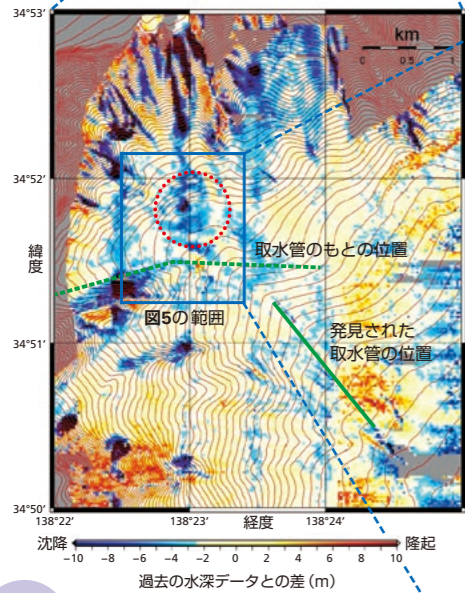
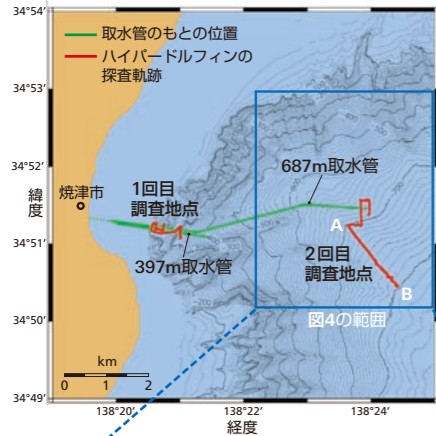


図4 「なつしま」で発見された海底の沈降

「なつしま」で海底の地形を測定し、過去の記録と比較した。急角度な地形やノイズを対象外とすると、地震後に海底が深く沈降した場所が発見された（赤丸で囲んだ領域）。それは焼津の沖5km、震源から北西に10kmほどにある水深600mの海底で、取水管の北側にあたる

ると、2トンぐらいの大きな力がかかったと考えられます。もう少し南に行くと、取水管が埋まったり現れたりしていました。そして最終的には、取水管は完全に埋もれ、見失ってしまいました。

このように「ハイパードルフィン」の調査によって、最初の調査地点より陸側で687m取水管が切れ、少なくとも2kmほど沖に押し流されたことが分かりました。

崖と流出土砂の痕跡

続いて海洋調査船「なつしま」で広域の海底地形を調査しました。マルチビーム音響測深といって、船から音波を出し、海底で反射して返ってきた音の変化から水深を測定します。2004年と2006年に「なつしま」によって同じ海域を調査した結果と比べると、取水管が設置されていた場所の北側で、以前より海底が深くなっているところが見つかりました(図4)。この場所に目標を絞り、「うらしま」で詳細な海底地形調査を行いました。

「うらしま」は自律型の深海探査ロボットです。海底面に80mまで接近し音波を出して探査するので、船からの探査より

高分解能のデータが得られます。

調査の結果、静岡県焼津市の沖合約5km、水深600mの海底で、地すべり特有の地形である馬蹄形の滑落崖を発見しました(図5)。崖の幅は約450m、高さは10~15mでした。滑落崖の南東方向には、緩い谷があります。その両側では、デューンと呼ばれる、海底の流れによってつくられる周期的な波状の模様の地形が確認できました。一方、緩い谷では波状の模様が不明瞭で、泥流の痕跡がありました。過去の調査との比較や取水管の破損から考えて、崖や泥流の痕跡は、駿河湾地震に伴ってできたものであると考えられます。

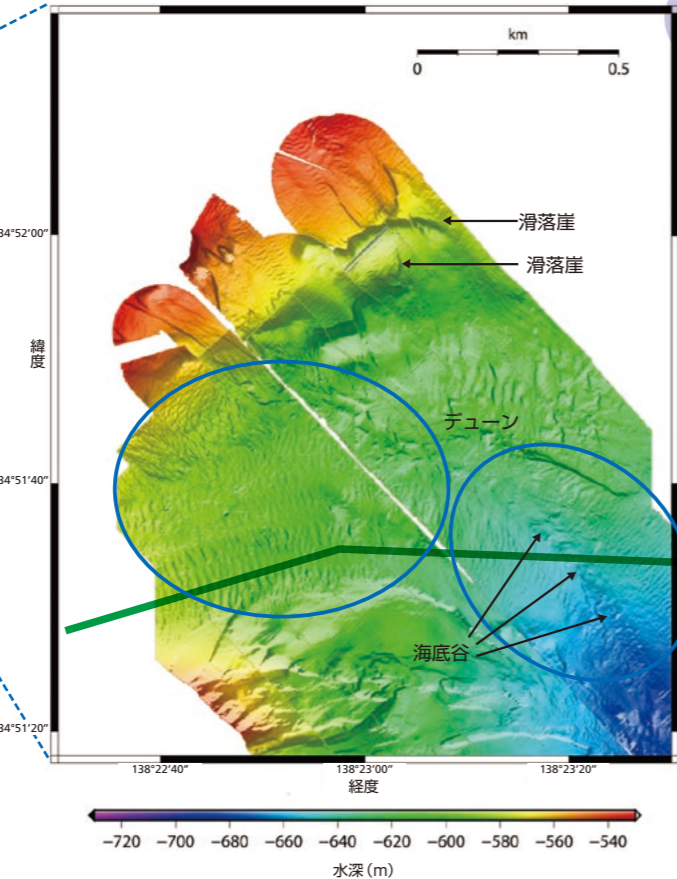
こうした海底地すべりの調査結果も含めて、再び津波のシミュレーションを行いました。その結果、津波の水位変動が大きくなり、以前のシミュレーションより実際の観測に近い値になりました。

日本各地で海底地すべり

実は駿河湾以外でも、海底地すべりは頻繁に起きていることが最近分かってきました。2007年に能登半島沖でM6.9の地震が発生し、20cm程度の津波が観測

図5 「うらしま」が発見した海底地すべりと泥流の痕跡

幅約450m、高さ10~15mの馬蹄形の滑落崖が見つかった。デューンは、海底の流れによってつくられる周期的な波状の模様の地形で、広い範囲で確認された。滑落崖の南東にある緩やかな海底谷にはデューンは見られず、泥流が流れた痕跡があった。取水管は泥流と同じ方向に流されていた



されました。断層運動に基づいて津波のシミュレーションをしたところ、石川県輪島市など能登半島の日本海側では、観測値とほぼ一致しました。しかし能登半島東側の富山湾内では、計算に合わない津波が起きていました。計算上では津波が到達していないはずの地震直後に、海面の急激な上昇や下降が観測され、ボートの転覆事故が起きていたのです。富山湾の内部で海底地すべりがあったと考えれば、この現象をうまく説明することができます。

さらに最近、海底地形探査の分解能が上がってきたため、日本近海に海底地すべりの跡がたくさん見つかってきました。遠州灘や熊野灘などで、海底が崩れた跡や土砂がたまっている場所がいくつも見つかっています。

津波予測の問題点

地震後に津波の発生が予測されると、津波警報・注意報が発令されます。日本の津波警報システムは、世界でも確実にナンバー1です。津波警報では、まず地震計のデータから震源と規模を算出し、どのくらいの長さの断層がどのように動いたかを推定します。過去の地震の情報が蓄積されているデータベースから似ている断層モデルを検索して、津波の到達時刻や高さを計算します。そして、地震発生後2分という驚異的なスピードで津波警報が出されます。しかし、海底地すべりの影響は考慮されていません。

地震の規模の算出にも課題があります。瞬時に計算するので誤差が生じ、後から詳細に計算した数値と一致するのは、全体の20%ほどです。また、津波警報では最大の想定値が発表されるため、多くの場合、実際の津波が予測よりも小さくなります。このような経験が何度も続くと、「おおかみ少年効果」が現れてしまいます。たとえば2006年の千島沖地震(M8.3)のとき、津波警報によって避難した人は13.6%でした。これでも高くはありませんが、翌年に同規模の地震が起きたときには、避難率は8.7%に下がってしまいました。こんなことを繰り返していると、本当に大きな津波が来たり、海底地すべりで津波が増幅されたり、海底地すべりで津波が増幅されたり、海底地すべりで津波が増幅されたりしたときに、大きな被害が出てしまいます。津波予測の精度向上が不可欠です。

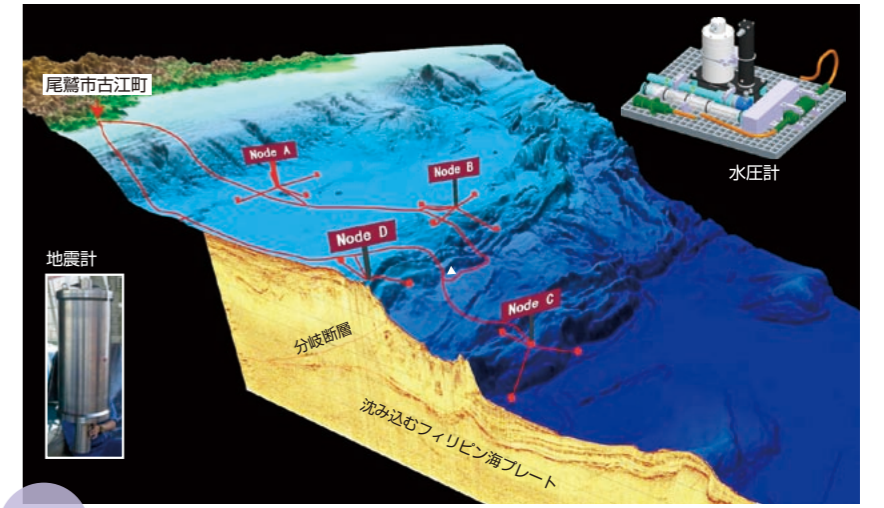


図6 地震・津波観測監視システム (DONET)

東南海地震の想定震源域である三重県尾鷲市沖の海底に、地震計や水圧計などの観測点を20カ所配置する。すでに一部が構築され、試験運用が始まっている

緊急「津波」速報の実現へ

津波予測の精度不足は、地震波から津波を予測していることもその原因の1つです。沖で津波を直接捉え、その情報をもとに到達時刻や高さを予測することができれば、精度は上がります。そのために、いろいろな観測装置があります。ブイ型の津波計を浮かべて海面の変動を測定するGPS津波計や、深い海底まで海底ケーブルを伸ばして水圧計を設置するシステムもあります。海面が盛り上がり水圧が高くなるので、水圧の変化から津波の通過を知ることができるのです。そのほか、海面の高さを測る検潮所、海底から音波を出して海面の高さを測る海象計、人工衛星から海面の高さを測る方法もあります。

さらに、津波が発生する海域に津波計がたくさんあれば、海で津波を観測してデータベースに基づく予測を行い、津波が陸に到達する前に警報を出せるようになります。「緊急地震速報」ならぬ「緊急津波速報」が実現できるのです。津波の伝播速度は地震による揺れほど速くないので、不可能ではありません。

その実現に必要な津波観測施設が、全国各地で整備されつつあります。東海沖の海底には水圧計が配置され、GPS津波計は東北日本を中心に展開されつつあります。JAMSTECでは「地震・津波観測監視システム (DONET)」の構築を進めています(図6)。DONETは東南海地震の震源域に展開される観測システ

ムです。水深2,000~4,300mの海底に水圧計や地震計を入れた観測点を設置し、光ファイバーケーブルでつなぎます。DONETで得られたデータは、瞬時に気象庁やほかの地震研究機関に送られ、緊急地震速報などにも活用されることになっています。

現在、紀伊半島南東沖のDONET 1がほぼ完成しており、次の10年計画で紀伊半島南西沖にDONET 2をつくり、その後、四国南西沖のDONET 3まで展開し、南海トラフの海溝型地震が起きる海域をカバーしようと考えています。

海底地すべりの解明に向けて

駿河湾沖地震の調査は、とても重要な意味を持っています。この地震は、東海地震の想定震源域内で起きたからです。つまり東海地震でも大きな海底地すべりが起きる可能性があり、地すべりによって増幅された想定外の大きな津波が発生するかもしれません。こうした津波による被害を軽減するためにも、まだよく分かっていない海底地すべりの実態を解明していかなければなりません。

これから私たちがやるべきことは、海底の泥の性質、海底地すべりが起きる理由やメカニズム、崩れる速度などを調べて、どの程度の規模の地震によって海底地すべりが起きるかを正確に知ることです。そして海底地すべりを組み込んだ津波シミュレーションを行い、津波予測の精度向上を目指します。

最近、CS放送の「ディスカバリーチャンネル」で、宇宙を題材としたアメリカ制作の番組『解明・宇宙の仕組み』の「惑星」を取り上げた回を見ました。それによれば、最新の観測技術によって太陽系以外の新しい惑星系が次々に発見されており、新惑星発見の可能性は果てしなく広がっています。しかし、それらの発見された多くの惑星系がわれわれの太陽系とは似ても似つかぬものであり、もしかすると太陽系のような姿は極めてまれな存在ではないかと考えられるようになりました。地球のような惑星の存在は、太陽からの距離という条件だけでなく、大きさ、質量、磁気圏の存在、ほかの天体の衝突（月の誕生）や惑星の配列（木星の存在）等々、多くの偶然の要素も大きく作用しているといえます。また、今回の特集で取り上げた大陸地殻の存在（8ページ）も、それらの条件に含まれるかもしれません。今後さらに観測技術が進むと、いつかは生命が存在し得る条件を備えた惑星が見つかるかもしれません。しかし、それが知的生命体に進化する可能性は、地球が歩んだあまりにも多くの偶然が作用した歴史を思うとき、限りなく小さいのではないかとと思わざるを得ません。

2010年は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の小惑星探査機「はやぶさ」の地球帰還が大きな話題となりました。確かに、数億kmかなたの宇宙空間の大冒険は、われわれに大きな夢と希望を与えてくれます。しかし、今回の特集「地球内部ダイナミクスと環境大変動」では、最も「近い」惑星である地球の内部について知ることがもっと重要であると教えていると思います。（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メールかFAX、はがきに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 ③ 所属機関名（学生の方は学年）
 - ④ TEL・FAX・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300円+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 事業推進部 広報課
 TEL.045-778-5406 FAX.045-778-5498
 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。

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22巻 第6号（通巻110号）2010年12月発行

発行人 他谷 康 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部
 編集人 満澤巨彦 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 事業推進部 広報課
 Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
 取材・執筆・編集 立山 晃 (p2-17) / 鈴木志乃 (p1, p20-27) / 坂元志歩 (p18-19) / 佐藤ひとみ (p28-31)
 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 / 岩崎邦好 / 飛鳥井羊右ほか)

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。

賛助会（寄付）会員名簿 平成23年1月18日現在

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

株式会社IHI	株式会社海洋総合研究所
株式会社アイ・エイチ・アイマリンユナイテッド	海洋電子株式会社
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社	株式会社化学分析コンサルタント
株式会社アイケイエス	鹿島建設株式会社
アイワ印刷株式会社	川崎汽船株式会社
株式会社アクト	川崎重工業株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	株式会社環境総合テクノス
朝日航洋株式会社	株式会社関電工
アジア海洋株式会社	株式会社キュービック・アイ
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	共立インシュアランス・ブローカーズ株式会社
泉産業株式会社	共立管財株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	極東製薬工業株式会社
株式会社エス・イー・エイ	極東貿易株式会社
株式会社NTTデータ	株式会社きんでん
株式会社NTTデータCCS	株式会社熊谷組
株式会社NTTファシリティーズ	クローバテック株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	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MTS雪氷研究所	京浜急行電鉄株式会社
有限会社エルシャンテ追浜	KDDI株式会社
株式会社OCC	株式会社ケンウッド
沖電気工業株式会社	株式会社構造計画研究所
株式会社カイショー	神戸ペイント株式会社

広和株式会社	株式会社損害保険ジャパン
国際気象海洋株式会社	第一設備工業株式会社
国際警備株式会社	大成建設株式会社
国際石油開発帝石株式会社	大日本土木株式会社
国際ビルサービス株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
五洋建設株式会社	太陽日酸株式会社
相模運輸倉庫株式会社	有限会社田浦中央食品
佐世保重工業株式会社	高砂熱学工業株式会社
株式会社サノヤス・ヒシノ明昌	株式会社竹中工務店
三建設備工業株式会社	株式会社竹中土木
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジ	株式会社地球科学総合研究所
JFEアドバンテック株式会社	中国塗料株式会社
財団法人塩事業センター	株式会社鶴見精機
株式会社SGKシステム技研	株式会社テザック
シナネン株式会社	寺崎電気産業株式会社
清水建設株式会社	電気事業連合会
シュルンベルジェ株式会社	東亜建設工業株式会社
株式会社商船三井	東海交通株式会社
社団法人信託協会	洞海マリンシステムズ株式会社
新日鉄エンジニアリング株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
新日本海事株式会社	東京製綱織維ロープ株式会社
須賀工業株式会社	東北環境科学サービス株式会社
鈴鹿建設株式会社	東洋建設株式会社
スプリングエイトサービス株式会社	株式会社東陽テクノカ
住友電気工業株式会社	東洋熱工業株式会社
清進電設株式会社	有限会社長澤工務店
石油資源開発株式会社	株式会社中村鉄工所
セナーアンドバーンス株式会社	西芝電機株式会社

西松建設株式会社	富士通株式会社
日油技研工業株式会社	富士電機システムズ株式会社
株式会社日産クリエイティブサービス	物産不動産株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	古河電気工業株式会社
日本SGI株式会社	古野電気株式会社
日本海洋株式会社	松本徽章株式会社
日本海洋掘削株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本海洋計画株式会社	マリンサポート株式会社
日本海洋事業株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
社団法人日本ガス協会	株式会社丸川建築設計事務所
日本興亜損害保険株式会社	株式会社マルトー
日本サルヴェージ株式会社	三鈴マシナリー株式会社
社団法人日本産業機械工業会	三井住友海上火災保険株式会社
日本水産株式会社	三井石油開発株式会社
日本電気株式会社	三井造船株式会社
日本ヒューレット・パカード株式会社	三菱重工業株式会社
日本マントルクエスト株式会社	株式会社三菱総合研究所
日本無線株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本郵船株式会社	八洲電機株式会社
株式会社間組	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	ユニバーサル造船株式会社
株式会社日立製作所	
株式会社日立プラントテクノロジー	
深田サルベージ建設株式会社	
株式会社フジクラ	
富士ゼロックス株式会社	
株式会社フジタ	

独立行政法人 海洋研究開発機構の研究機関

横須賀本部	〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15 TEL. 046-866-3811 (代表)
横浜研究所	〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25 TEL. 045-778-3811 (代表)
むつ研究所	〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地 TEL. 0175-25-3811 (代表)
高知コア研究所	〒783-8502 高知県南国市物部乙200 TEL. 088-864-6705 (代表)
東京事務所	〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目2番9号 日比谷セントラルビル6階 TEL. 03-5157-3900 (代表)
国際海洋環境情報センター	〒905-2172 沖縄県名護市宇豊原224番地3 TEL. 0980-50-0111 (代表)
Washington D.C. Office	1120 20th street, NW, Suite 700S, Washington, D.C. 20036, USA TEL. +1-202-872-0000 FAX. +1-202-872-8300

『ハガキにかこう 海洋の夢コンテスト』

<http://www.jamstec.go.jp/j/kids/hagaki/index.html>



優秀賞



絵画
部門

日本理科美術協会賞
イルカの親子

大阪府大阪市立大宮西小学校3年

浪岡優花

優秀賞



CG
部門

CG-ARTS協会賞
深海の宝探し

佐賀県武雄市立北方小学校6年

松田佑美



海洋への関心が高まっている今日、未来を担う子どもたちが持つ海洋への夢やあこがれ、興味をさらに高めるために、海洋研究開発機構(JAMSTEC)では全国の児童を対象とした絵画コンテストを、文部科学省などの後援により開催しています。作品募集は、毎年11月下旬から1月末ごろです。

第12回コンテストには、全国から2万6709点の応募がありました。そのなかから入賞作品を紹介いたします。

コンテストに関する詳しい情報は、JAMSTECのホームページをご覧ください。これまでの受賞作品もご覧いただけます。

- ①魚がにじ色に光り、海の上がキラキラ光って海一面のきれいな大きなにじができる。
- ②にじが出るときは、空がすく七色にそまる。
- ③七色のげんしょうははれているときしか見れない。



優秀賞



アイディア
部門

海洋の夢賞

みんな海がいいな

青森県おいらせ町立木ノ下小学校4年

高杉愛野