

海と地球の情報誌

Blue Earth

ISSN 1346-0811
2007年12月発行
隔月年6回発行
第19巻 第6号
(通巻92号)

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2007 11-12

アルゴフロート3,000台達成

巨大なダンゴムシ ダイオウグソクムシ

大気汚染を予報する

相模湾八景 初島生物群集

深海生物の長期飼育に挑む

海底下から見えてきた 巨大地震の姿



1 **Close Up**
アルゴフロート3,000台達成！
全海洋の常時監視が本格始動

2 **特集**
海底下から見てきた
巨大地震の姿

16 **Aquarium Gallery**
鳥羽水族館
動かさざること王のごとく——ダイオウグソクムシ

18 **私が海を目指す理由**
岩石に秘められた物語を紡ぎ出す
山口はるか 地球内部変動研究センター 地球化学データ分析研究グループ 技術研究副主任

22 **研究の現場から**
深海生物の長期飼育に挑む

24 **Marine Science Seminar**
大気汚染を予報する

28 **Super Tech**
進化を続ける海洋観測システム「トライトンパイ」

30 **新日本八景 第1景**
相模湾八景 其の一 初島生物群集
藤岡換太郎 海洋地球情報部 特任 首席研究員

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

裏表紙 **Earth Watch**
津波を引き起こす巨大断層

JAMSTECの海洋地球研究船「みらい」によってベーリング海に投入されるアルゴフロート（カナダ海洋研究所所有）。2007年10月27日、このフロートの投入により、運用中のアルゴフロートが3,000台に到達した（撮影：小林不二夫 マリン・ワーク・ジャパン）



投入直後のアルゴフロート。数時間後は水深1,000mまで沈み、10日後に初データを送ってくる



南大洋に投入されるアルゴフロート。ロープでつり下げて投入する以外に、段ボールで梱包したまま投入する方法もある。段ボールが緩衝材になるので、船舶を完全に停止させなくても投入が可能だ。投入方法を簡単にすることで、多くの船舶に協力してもらうことを目指している。段ボールは数十分で水に溶けてしまう（写真提供：日本鯨類研究所）

Close Up

アルゴフロート 3,000 台達成！全海洋の常時監視が本格始動

いまこの瞬間も、刻々と変わる海の状態を世界中で観測している装置がある。それは、「アルゴ計画」の自動観測フロート「アルゴフロート」だ。2007年10月末、運用中のアルゴフロートは、計画の目標である3,000台に到達した。

アルゴフロートは、代表的なもので直径16.5cm、本体の長さは130cm、空中重量26kg。一人で持ち上げることができるくらいのもので、船舶から海面に投入される。アルゴフロートは、いつもは水深1,000mを漂流しているが、10日ごとに水深2,000mまで降下し、水温と塩分濃度を計測しながら海面まで上がってくる。浮上後、そのデータは人工衛星に送られ、24時間以内に世界中の気象機関などに配信される。

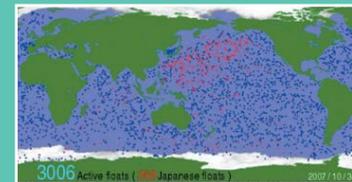
人工衛星を使えば、広い範囲の海を観測することができる。しかし、人工衛星で分かるのは表面の情報だけだ。エルニーニョ現象など気候に大きな影響を及ぼす海洋の変動をいち早く、しかも精度よく予測するためには、海の中の状態も知

る必要がある。しかも全海洋の状態を知りたい。そのために始まったのが「アルゴ計画」だ。2000年に始まり、現在は20以上の国々が参加し、世界中の海にアルゴフロートが投入されている。日本では海洋研究開発機構（JAMSTEC）と気象庁がアルゴフロートを整備し、11の機関の協力によって投入が行われている。2007年10月31日現在、全海洋で3,006台が運用されている。日本が投入し運用中のアルゴフロートは369台で、その数はアメリカの1,696台に次いで世界第2位である。アルゴフロートの観測によって、ほぼ一定と考えられていた水深1,000m以深の海水温が季節によって変動していることが明らかになるなど、新しい発見もあった。

3,000台を達成したからといって、計画が終わるわけではない。むしろ、ようやく全海洋の常時監視体制が整った、というべきだろう。アルゴフロートには寿命がある。浮上回数にして130～150回、3～4年ほどだ。3,000台体制を維持するには、

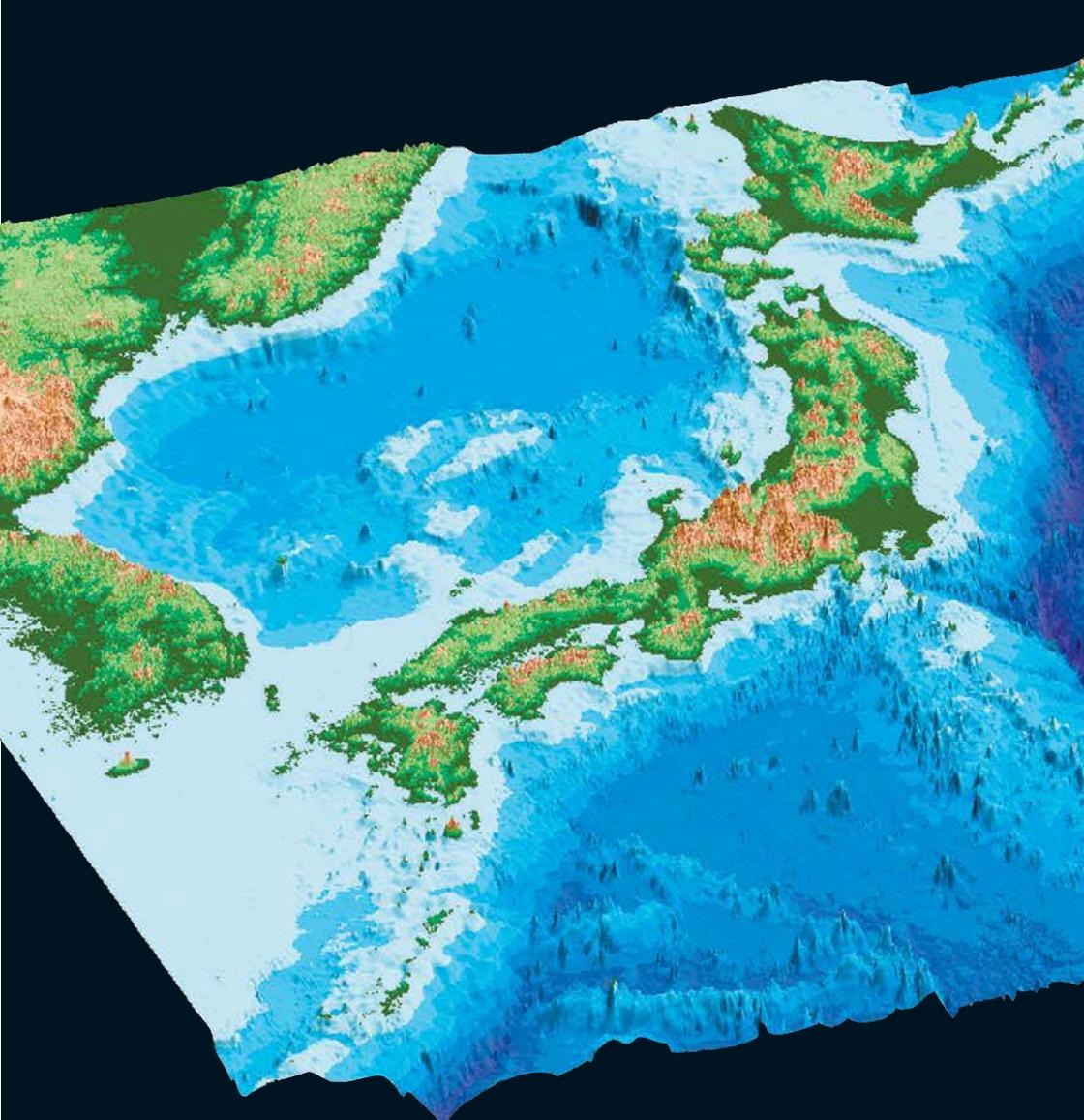
毎年800台ずつを新たに投入していかなければならない。

3,000台というと、300km四方に1台の計算だ。「アルゴ計画」以前と比べたら大きな進歩だが、まだ満足いく数ではない。もっと数を増やしたい。また、現在は水深2,000mまでだが、海洋の平均水深は約3,800mだ。もっと深くまで観測したい。それを可能にする新型アルゴフロートの開発も進んでいる。



2007年10月31日現在のアルゴフロートの分布。全海洋で3,006台が運用されている。赤色は日本が投入したもので369台。アルゴフロートの寿命は3～4年なので、運用中の台数は常に変動する

JAMSTECの学術研究船「白鳳丸」から投入されるアルゴフロート。JAMSTECのほか、気象庁、水産庁、海上保安庁、国立極地研究所、北海道大学、東京海洋大学、東海大学、三崎水産高等学校、日本鯨類研究所、北海道教育庁が、アルゴフロートの投入に協力している



海底下から見えてきた 巨大地震の姿

死者2万4700人、経済的損害81兆円——東海・東南海・南海地震が連動してマグニチュード8.6の巨大地震が西日本一帯を襲ったときの最悪の被害予測である。最近、地震研究者たちは、このような「連動地震」に注目し始めている。

1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降、地震研究は急速に進展した。陸上では地震計やGPS（全地球測位システム）による地震の観測網が整備され、海域では海洋研究開発機構（JAMSTEC）が中心となり巨大地震の現場である海底の地下構造探査を大規模に進めている。巨大地震の発生の仕組みはどこまで分かってきたのか。JAMSTECによる地下構造探査の最新成果を中心に紹介しよう。

取材協力：地球内部変動研究センター（IFREE）

地震発生の3つのパターン

2007年7月16日、新潟県中越沖を震源とする地震が発生。地震の規模を示すマグニチュード(M)は6.8、10人を超える人たちの命を奪うとともに、柏崎刈羽原子力発電所などに大きな被害をもたらした。この地域では、2004年にも新潟県中越地震(M6.8)が発生、60人を超える死者を出している。

日本列島にはこれからも、大きな地震が必ずやって来る。文部科学省の地震調査研究推進本部は、今後30年以内に、宮城県沖地震(M7.5)が99%、東南海地震(M8.1)が60%、南海地震(M8.4)が50%程度の確率で起きると予測している。

なぜ日本列島周辺では大きな地震が多発するのか。それは、日本列島が、地球表層を覆うプレートと呼ばれるかたい岩石の板がひしめき合う場所に位置しているからだ。

新潟県中越沖地震や兵庫県南部地震(M7.3)は、プレート内部の断層が動くことによって発生したもの。このタイプの地震は、地震のエネルギーがそれほど大きくなくても、都市の直下で起きると大きな被害をもたらす。一方、1923年に起きた関東地震(M7.9)や、今後発生が予想されている宮城県沖地震、東南海地震や南海地震は、海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込む場

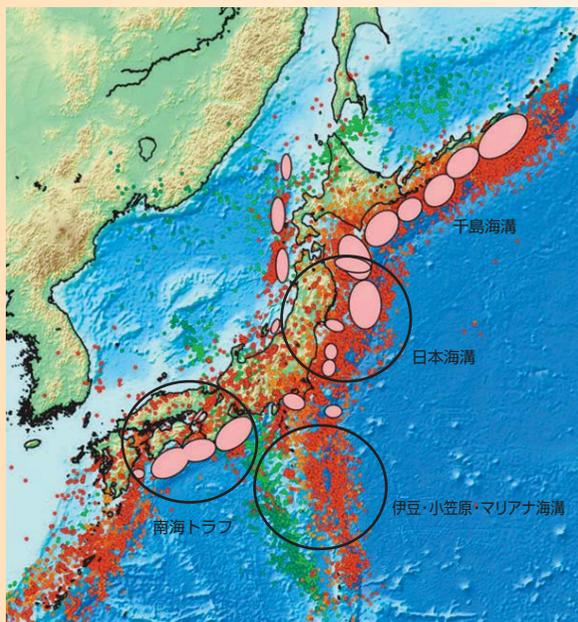
所(沈み込み帯)で起きる地震だ。海洋プレートの沈み込みに伴い大陸プレートが引きずられてひずみがたまり、あるとき、ひずみに耐え切れなくなってプレート境界が一気に滑り、地震が起きる。このようにして、沈み込み帯ではM8を超える巨大地震が発生する場合がある。2004年12月のインドネシア・スマトラ島沖で起きたM9を超える超巨大地震も、沈み込み帯で起きたものだ。この地震で発生した巨大津波により、インド洋沿岸域で20万人を超える人々の命が奪われた。

ただし、沈み込み帯ならば、どこでも同じように巨大地震が発生するわけではない。日本列島周辺で発生する地震を見ると、北海道東方沖の千島海溝では巨大地震が起きるが、日本海溝では地震の規模が南へ行くに従ってだんだん小さく

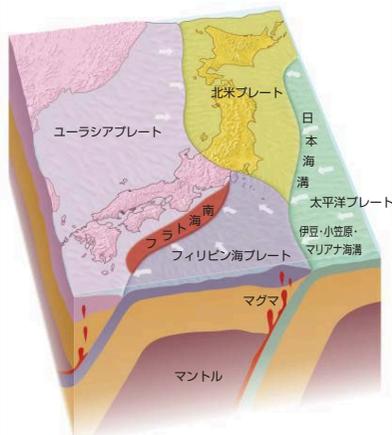
り、伊豆・小笠原・マリアナ海溝では、大きな地震は起きず小さな地震がたくさん起きる。一方、東海から四国沖の南海トラフでは、小さな地震はほとんど起きず、100~200年くらいの間隔でM8程度の巨大地震が発生する。実は、世界各地の沈み込み帯で起きる地震の発生の仕方も、このような3つのパターンに分類することができる。

同じ沈み込み帯で、なぜ地震発生の仕方に違いが見られるのか。それが大きな謎だ。この謎を解くには、地震発生の現場である海底の地下構造を調べる必要がある。

JAMSTECでは、2000年ごろから、100台以上の海底地震計などを使った大規模な地下構造探査を開始した。その探査により、海底下から巨大地震の姿が少しずつ見えてきた。



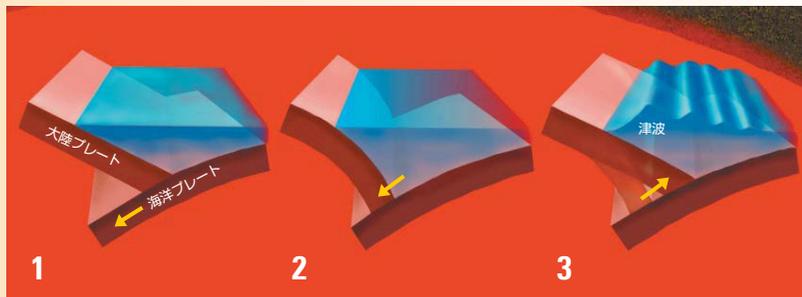
日本周辺の震源域 大きなピンクの円ほど、震源域が広く規模の大きな地震。赤い点は比較的浅い場所で起きた小さな地震。緑は深い場所で起きた地震を示す。同じ沈み込み帯でも地震の起き方が異なることが分かる



日本列島周辺のプレート 4つのプレートがひしめき合い、地震を引き起こす。特にプレートの沈み込み帯では、巨大地震が発生する場合がある

巨大地震発生の仕組み

- 1 海溝では大陸を載せたプレートの下に、海洋プレートが沈み込んでいる
- 2 海洋プレートの沈み込みに伴い大陸プレートが引きずられ、ひずみがたまる
- 3 あるとき、ひずみに耐え切れなくなり、大陸プレートがもとに戻ろうとしたり、海洋プレートに断層が生じたりして、巨大地震が発生する。このとき海底の変動によって海水が持ち上げられ、巨大津波が発生することがある



海底地下構造探査の方法

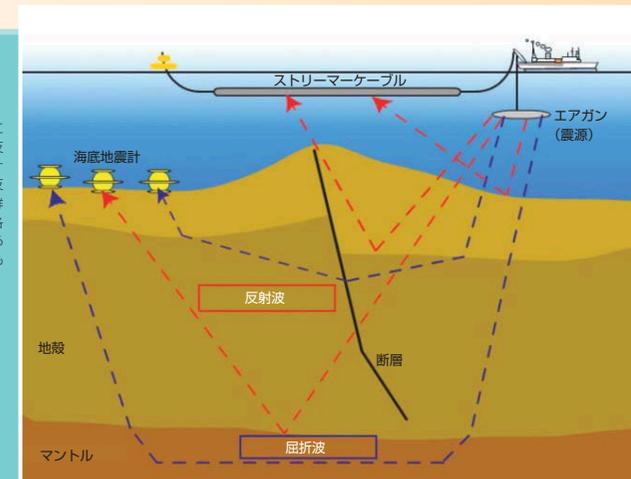
エアガンと呼ばれる音源から波を発生させ、人工地震を起こす。海底面や地層の境界に当たって反射した音波を、マイクを内蔵したストリーマーカープルの連続的にとらえる「マルチチャンネル反射法探査システム」では、海底数十kmまでの詳細な地下構造が分かる。一方、プレート内部の各地層で屈折・反射した波を海底地震計でとらえる「海底地震計屈折法システム」では、反射法よりもさらに深部の海底数十kmの構造が分かる



海底地震計。耐圧容器のなかに地震計や電源が詰め込まれている



ストリーマーカープルの取り付けられた「バード」。羽の角度を変えることにより、ケーブルの深度を変えることができる



人工地震を起こすエアガン。JAMSTECでは地下構造探査により適したきれいな波形を発生できるエアガンを、2008年度から導入する予定

取材協力：
深尾良夫
センター長
地球内部変動研究センター

日本海溝 アスペリティと謎の巨大津波地震

まず、太平洋プレートが沈み込む日本海溝から見てみよう。この一帯では、比較的短い間隔でたびたび大きな地震が発生している。1994年の三陸はるか沖地震(M7.6)、1978年の宮城県沖地震(M7.4)、1968年の十勝沖地震(M7.9)などだ。しかし、その地震域の広さにはかなりの違いがある。なぜ、同じ日本海溝でこのような違いが生じるのだろう。

もし海洋プレートがスムーズに滑って沈み込んでいるのなら、プレート間にひずみはたまたま大きな地震は起きない。大きな地震は、海洋プレートと陸側のプレートが普段はしっかりとくっついたまま沈み込むことによって起きる。

最近の研究から、日本海溝では、プレート同士がしっかりとくっついている場所と、スムーズに沈み込んでいる場所が入り交じっていることが分かってきた。プレート同士がしっかりとくっついている場所を「アスペリティ」と呼ぶ。日本海溝には、小さなアスペリティがたくさんあって、あるとき、広い地域のたくさんのアスペリティが連動して滑ると震源域の広い大きな地震に、狭い地域の少数のアスペリティだけが滑ると震源域の狭い小さな地震になると考えられるようになった。

では、実際の震源域の地下はどうなっているだろう。1990年代以降、沈み込んだ太平洋プレートのかたちを明らかにするために、震源域を東西方向に横切る断面で、数多くの地下構造探査が実施されてきた。しかし、地下深くに沈み込んだ太平洋プレートのかたちを把握することは容易ではなかった。これを打破したのが、藤江 剛 技術

研究副主任たちだ。新しいデータ解析手法を開発することにより、大きな震源域の上端では沈み込む太平洋プレートが急に折れ曲がっていることを突き止めた。

「ここには、さらに謎があります」と藤江副主任はいう。「岩手南部の沖合に、地震が起きない空白域があるのです。ここにはアスペリティがほとんどないと考えられます。私たちは、震源域と空白域を南北に縦断する地下構造探査を進め、2つの地域でどのような違いがあるのか、明らかにしようとしています」

藤江副主任は、日本海溝のさらに大きな謎を指摘する。「空白域の沖合、日本海溝の海溝軸付近で巨大な津波地震が起きるのです」。1933年の昭和三陸地震(M8.1)では3,000人以上、1896年の明治三陸地震(M8.5)では、実に約2万2000人も死者・行方不明者を出した。いずれの地震も揺れの被害は小さく、津波による被害が大きい「津波地震」だ。

昭和三陸地震の震源は、日本海溝で太平洋プレートが沈み込む手前だと推定されている。その一帯では、沈み込むときに曲げによる引っ張り力が働いて、プレートの表層が折れて断層となり、地塁・地溝と呼ばれるごつごつとした地形が形成されている。

「昭和三陸地震は、太平洋プレートが折れ曲がり、地塁・地溝ができる際に発生した地震だと考えられています。もしプレートが若くてしなやかであれば、引っ張り力が働いても折れることはありません。太平洋プレートは、約1億3000万~1億

1000万年前に生まれた古くてかたいプレートなので折れてしまうでしょう」

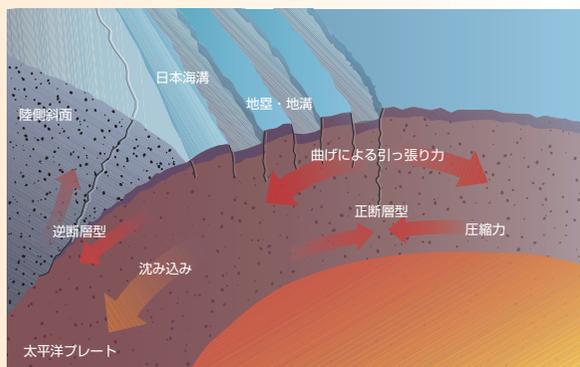
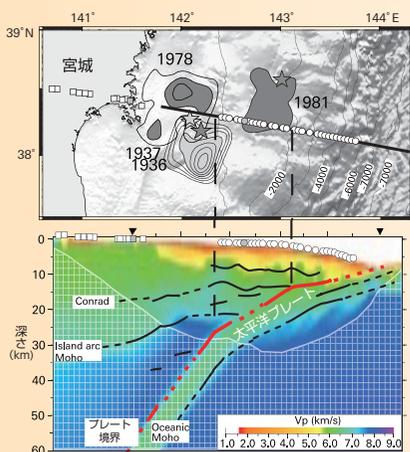
一方、明治三陸地震の震源は、太平洋プレートが日本海溝に沈み込んだ直後の場所だと推定されている。「普通、このような場所では地震が起きにくいのですが、それにもかかわらずM8.5という巨大地震が発生しました。地震研究者の間では、明治三陸地震は不思議な地震だと考えられてい

ます。その発生の仕組みを解明するには、まず震源域一帯を詳しく調べする必要があります。しかし、そこは水深約6,000mの深海底です」

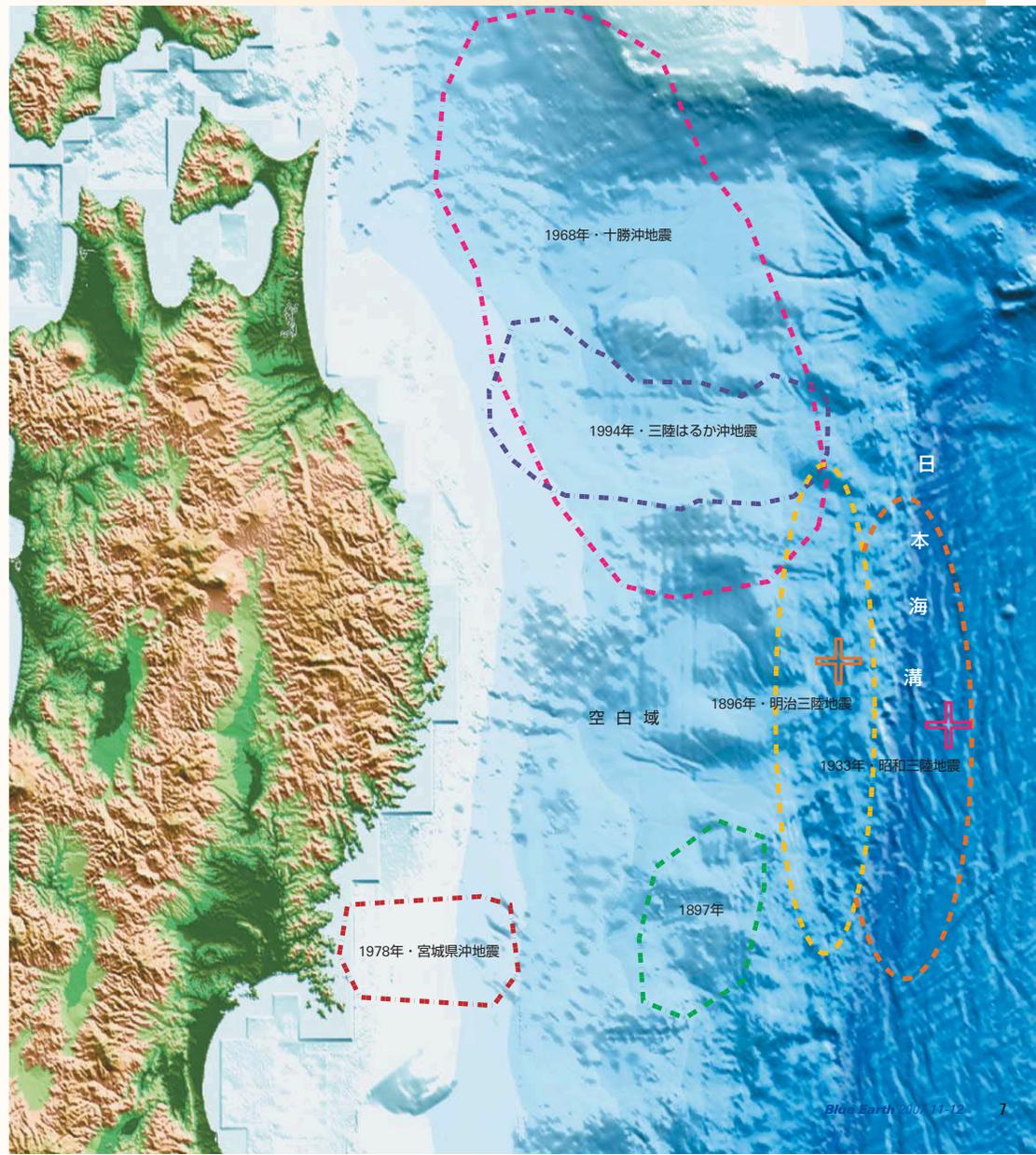
次の巨大な津波地震はいつごろ起きるのか。残念ながら日本海溝の津波地震がどのような間隔で起きるのか、ある一定の間隔で起きるのかどうかさえよく分かっていない。さらに詳しい研究が待たれている。

取材協力：
藤江 剛
技術研究副主任
地球内部変動研究センター
地殻構造解析研究グループ

1978年・宮城県沖地震の震源域と地下構造
藤江副主任たちは、大きな震源域の上端では沈み込む太平洋プレートが急に折れ曲がっていることを突き止めた



昭和三陸地震のメカニズム
太平洋プレートが日本海溝で沈み込むときに、曲げによる引っ張り力で断層（正断層）ができ、津波地震が発生したと考えられている



伊豆・小笠原・マリアナ海溝 陸が生まれる場所

日本海溝を南へ進んだ伊豆・小笠原・マリアナ海溝。ここではフィリピン海プレートの下に太平洋プレートが沈み込んでいる。日本海溝や南海トラフとは違い、海洋プレート同士の沈み込み帯だ。この海域では、大きな地震は見られなくなる。それはなぜか。

この海域で地下構造探査を続けてきた高橋成実サブリーダー(SL)は、こう説明する。「ここではマントルの岩石と水が反応して蛇紋岩というやわらかい岩石がつくられています。この蛇紋岩がプレート間で潤滑油のように働き、太平洋プレートがスムーズに沈み込んでいることが、南海トラフ沿いで起きるような大きな地震が発生しない理由の一つだと考えられます。ただし、どのようなプロセスで蛇紋岩ができるのかは、よく分かっていません」

さらに高橋SLは、「この海域で注目すべきは、ここで大陸地殻ができてきていることです」と指摘する。そもそも海と陸の違いは何か。低い場所が海、高い場所が陸になっているというだけではない。海と陸では地殻の厚みや岩石の種類が異なる。海洋地殻の厚さは約5〜7km、玄武岩などの重い岩石からなる。一方、大陸地殻の厚みは約30〜50km、玄武岩層の上に、軽い花崗岩や安山岩の層が載っている。

そもそも地球ができた当初、このような大陸地殻は存在していなかった。ある時期から、陸地をつくる厚くて軽い大陸地殻ができ始めたのだ。2007年、日本の宇宙航空研究開発機構が打ち上げた月周回衛星「かぐや」が、ハイビジョンカメラで撮影した月面の鮮明な映像を送ってきた。そこに映し出されている黒っぽく見える“海”といわれている場所は、主に玄武岩に似た岩石からなる。しかし、地球の大陸地殻をつくる花崗岩や安山岩に似た岩石は、月では発見されていない。

「月だけでなく、太陽系のほかの惑星・衛星で花崗岩や安山岩に似た岩石はまだ発見されていません。大陸地殻があることが、地球の大きな特徴で

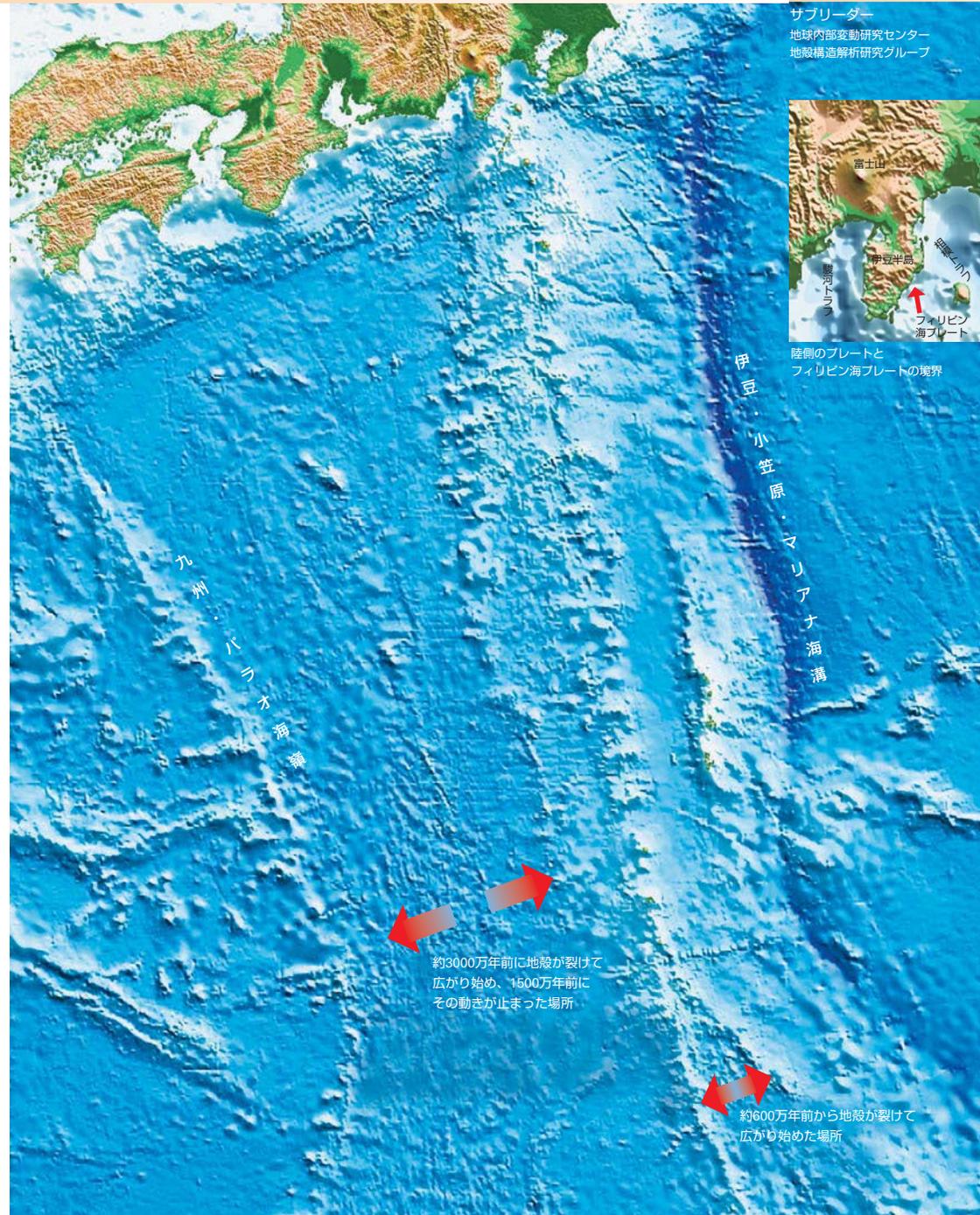
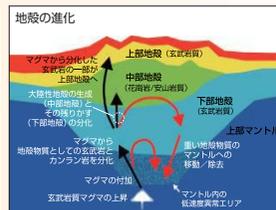
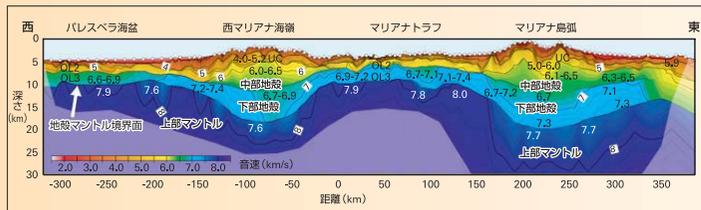
す。また、大陸地殻がつかれず地球に陸地がなかったら、生命進化は大きく異なっていたことでしょう」

では、大陸地殻はどのようにできたのか。この大きな謎を解く鍵が、伊豆・小笠原・マリアナ海溝の地下にあると高橋SLはいう。「私たちは、伊豆・小笠原・マリアナ海溝で地下構造探査を続けてきました。その結果、マントル内を上昇してきた玄武岩質マグマから花崗岩や安山岩が分化して上へ移動し、残った重い成分は取り除かれて、一部はマントルへ戻るといった、分化と移動の過程が初めて明らかになってきました」

さらに高橋SLは注目すべき現象を指摘する。「ここでは、地殻が割れて広がる現象も起きています。硫黄島の南方には、約600万年前からジッパーを開けるように地殻が裂けて広がり始めたマリアナトラフの先端部があります。その西側は、約3000万年前に地殻が裂けて広がり始め、1500万年前にその動きが止まった場所です。なぜ地殻が広がり始め、その動きがどのように止まったのか、そのメカニズムはよく分かっていません。日本海もこのように地殻が裂けて広がることによりできたと考えられています。日本列島の形成過程を知る上でも、伊豆・小笠原・マリアナ海溝を調べるのは重要なことです」

この海域では、プレートの沈み込みに伴い島が弧状に連なった地形(島弧)が形成されている。その島弧の北端に伊豆半島がある。かつて伊豆半島は太平洋上の大きな島だったが、フィリピン海プレートの北上に伴い約100万年前に日本列島に衝突、半島になったと考えられている。この衝突の後の火山活動でできたのが富士山だ。島弧を載せたフィリピン海プレートの北上は、現在も続いている。伊豆半島の東側には相模トラフがある。そこは、1923年の関東地震の震源域だ。さらに伊豆半島の西側には駿河トラフ。ここは、東海地震の想定震源域である。そのさらに西側に、巨大地震が繰り返して発生する南海トラフが続いている。

大陸地殻の形成
玄武岩質マグマから重いものと軽いものが分化し、移動することで、花崗岩や安山岩などの軽い岩石を載せた大陸地殻がつけられていくことが分かった



取材協力：
高橋成実

サブリーダー
地球内部変動研究センター
地殻構造解析研究グループ



陸側のプレートと
フィリピン海プレートの境界

約3000万年前に地殻が裂けて
広がり始め、1500万年前に
その動きが止まった場所

約600万年前から地殻が裂けて
広がり始めた場所

南海トラフ 連動地震のメカニズムに迫る

取材協力：
小平秀一
グループリーダー
地球内部変動研究センター
地殻構造解析研究グループ

フィリピン海プレートが日本列島を載せた陸側のプレートに沈み込む駿河トラフから南海トラフでは、M8を超える巨大地震が100~200年ほどの間隔で繰り返し起きています。1944年にはM7.9の昭和南海地震、その2年後の1946年にM8.0の昭和南海地震が発生した。その約90年前の1854年には、安政東海地震と安政南海地震（ともにM8.4）が1日半の時間差で起きた。さらにその147年前、駿河トラフから南海トラフの一帯のプレート境界が一気に滑る巨大な「連動地震」が発生したと推定されている。1707年の宝永地震（M8.6）だ。

なぜ、東南海・南海地震は別々に発生したり、連動したりするのか。次に南海トラフで起きる地震は、巨大な連動地震となるのだろうか。

小平秀一グループリーダー（GL）たちは、南海トラフの詳細な地下構造探査を行ってきた。その結果、東南海地震と南海地震の境界となる紀伊半島沖で、直径数十kmの重い物体が重りのようにフィリピン海プレートの上に乗っていること、さらにその海側には、地殻の裂け目があることを発見した。「破壊しにくい重りと、力をためにくい地殻の裂け目が境界となり、東南海・南海地震は別々に起きるのです。ただし、フィリピン海プレートはどんどん沈み込んでいるので、何回かに一度は、重りごと滑って連動地震となると考えられます」。小平GLはこう説明する。

堀 高峯研究員がこの重りと裂け目のデータを組み込んで、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」でシミュレーションを行ったところ、南海トラフにおける地震の発生パターンをほぼ再現することに成功した（12ページ参照）。

2004年に起きたM9のスマトラ島沖大地震も、いくつかの震源域の断層が一気に動いた連動地震だ。長さ約1,200km、幅約200kmにわたる断層が一気に破壊された。「ちょうど同じころ、私たちが南海トラフの地震発生シミュレーションにより連動地震の可能性を指摘しました。それにより、この2~3年で多くの地震研究者が連動地震に注目するようになりました」

駿河トラフで発生が予測される東海地震、そして南海トラフの東南海・南海地震の3つが連動してM8.6の巨大地震が西日本一帯を襲った場合、最悪のシナリオでは死者約2万4700人と予測されている。東京・名古屋・大阪の三大都市圏を結ぶ交通網も大きな被害を受け、日本そして世界

済にも大きな悪影響を及ぼすだろう。

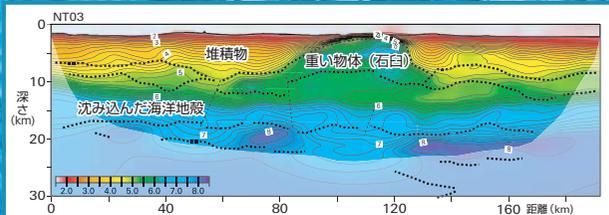
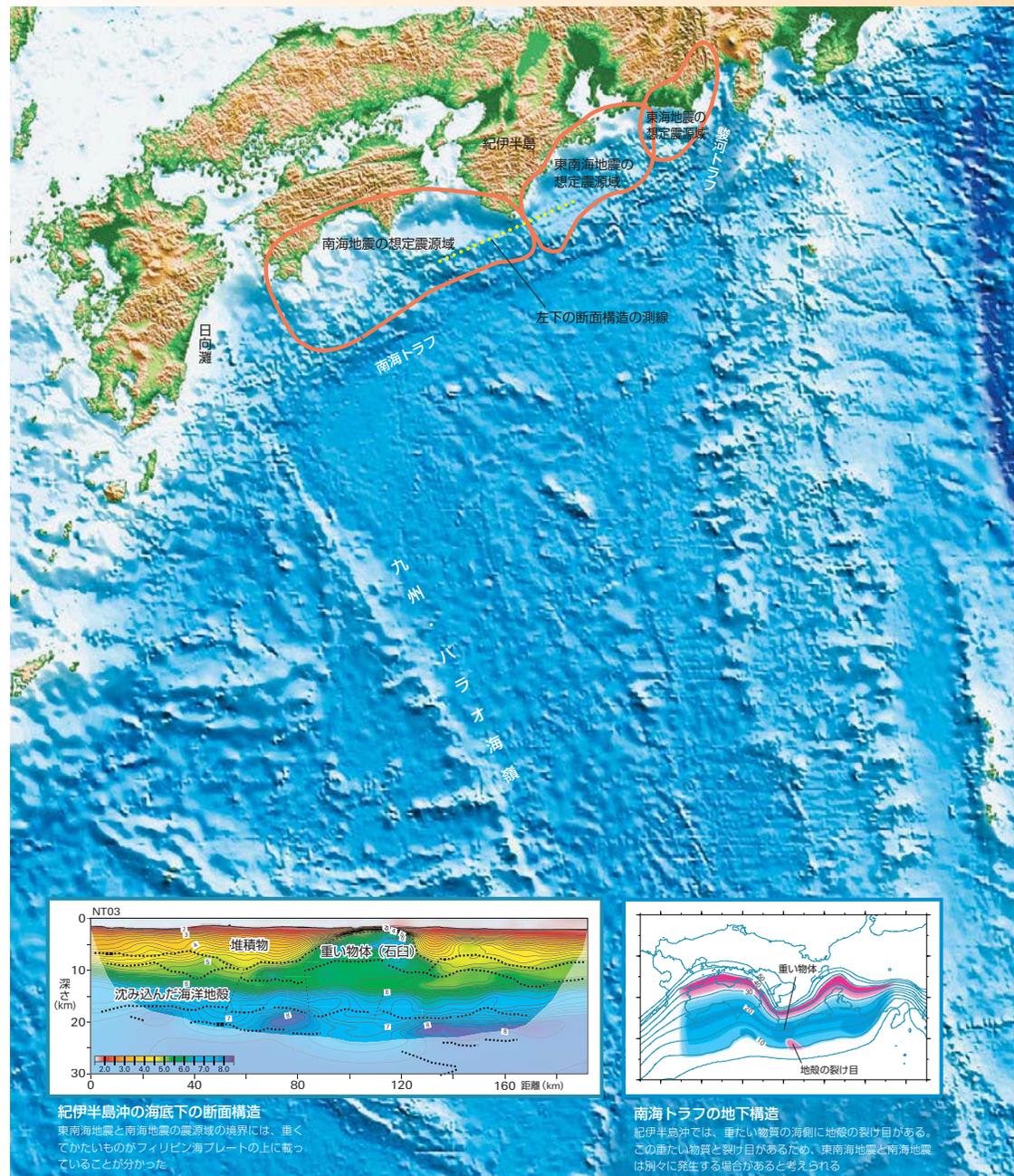
「私たちのシミュレーションは、地下構造探査のデータを組み込んで地震の発生パターンを再現することに成功した最初の研究例だと思います。これまでは地下構造探査と地震のシミュレーション研究は別々に進んできました。シミュレーションが必要とする地下構造の詳細なデータを提供することができなかったからです。それがこの数年で、私たちは詳細な地下構造データを提供できるようになりました。IFREEでは地下構造探査を行う研究者とシミュレーションを行う研究者が同じフロアにいます。私も堀研究員たちと活発に議論しながら研究を進めています」

まだ現在のシミュレーション結果からは、次の南海トラフで起きる地震が連動地震になるかどうか、はっきりしたことはいえない。シミュレーションの精度を上げるためには、地下構造をさらに詳細に調べる必要がある。また、現在のシミュレーションには、観測データとして地下構造しか組み込まれていない。地下の物質が具体的にどのくらい滑りやすいのか、たとえば、滑りやすさに影響を及ぼす水がどのように含まれているのかといった物性に関する観測データは組み込まれていないのだ。

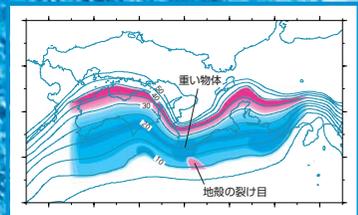
現在、地球深部探査船「ちきゅう」が紀伊半島沖の昭和東南海地震と昭和南海地震の震源の近くで、地震の現場を初めて掘削するプロジェクトを行っている。それにより、地震の発生現場の物性がピンポイントで明らかになる。その成果をもとに地下構造のデータを分析することで、南海トラフ全体の物性を推定することができる。「このような研究により、数年後にはさらに精度の高いシミュレーションが可能になるでしょう」

小平GLは、南海地震がさらに南の日向灘沖へ連動するかどうか調べる必要があると指摘する。「日向灘沖には九州・パラオ海嶺が入り込んでいます。それがどのような影響を及ぼすかも調査したいと考えています」

連動地震の研究は、日本列島を襲う可能性のある地震の規模を正しく理解し、それに備える上でも、とても重要である。



紀伊半島沖の海底下の断面構造
東南海地震と南海地震の震源域の境界には、重くてかたいものがフィリピン海プレートの上に乗っていることが分かった



南海トラフの地下構造
紀伊半島沖では、重たい物質の海側に地殻の裂け目がある。この重たい物質と裂け目があるため、東南海地震と南海地震は別々に発生する場合があると考えられる

最新の地震研究から見てきたもの

——阪神・淡路大震災以降、陸上の地震計やGPSによる観測網が整備され、地震研究が急速に進展しているそうですね。最近の地震研究で、注目すべき成果にはどのようなものがありますか。

深尾：1つは、GPSの観測などにより、プレートの沈み込みに伴い、スムーズに滑っている場所と、びったりくっついて「アスペリティ」と呼ばれる場所が実際に見えてきたことです。地震研究者たちはいま、このアスペリティという概念で、沈み込み帯で起きる地震の起き方を説明しようとしています。

アスペリティでは、プレート同士がびったりとくっついていて、沈み込みに伴うひずみが解消されず、あるとき一気に壊れて地震が起きるのです。

南海トラフは、極端にいえばプレート境界全体がアスペリティだけでできていて、普段は地震がほとんど起きないが、あるときプレート境界の広い範囲が壊れて巨大地震が起きる。逆に、伊豆・小笠原・マリアナ海溝ではアスペリティがほとんどなく、沈み込むプレートがスムーズに滑っているので、小さな地震しか

起きない。東北の日本海溝はその混合で、スムーズに滑っている場所と小さなアスペリティが入り交じっていて、いくつものアスペリティが連動して動くかで、震源域の広さや地震の規模が異なる——このようなアスペリティを使った説明が正しいかどうか、これから確かめる必要がありますが、この3つの地域を詳しく調べて比較することで、沈み込み帯での地震の起き方を理解できると思っています。

阪神・淡路大震災以降のもう1つの大きな成果は、「深部低周波微動」の発見です。

——それは、地下深くで起きるゆっくりとした周期の微小な地震という意味ですか。

深尾：そうです。たとえば南海トラフでは、海底数km～30kmくらいのところで巨大地震が発生します。そこがアスペリティになっていて、その下はスムーズにプレートが沈み込んでいと考えられます。その境界で、ひずみがたまっていきます。この地震発生の際となる場所がどこで起きているのか、いままで分かっていませんでした。それが、陸上の観測網が整備されることで、まさにその

場所で深部低周波微動が起きていることが発見されたのです。この深部低周波微動を詳しく観測することで、巨大地震発生の予知に役立つことができるかもしれないと期待されています。

巨大地震を4次元観測でとらえる

——IFREEでは、どのような戦略で地震研究を行っているのですか。

深尾：1つは海の観測・調査網を広げることです。陸上では観測網の整備が進みましたが、海はまだ不十分です。巨大地震の震源は海底下にあります。巨大地震のメカニズムを解明し、さらに発生を予知するためには、海での観測・調査が必要です。

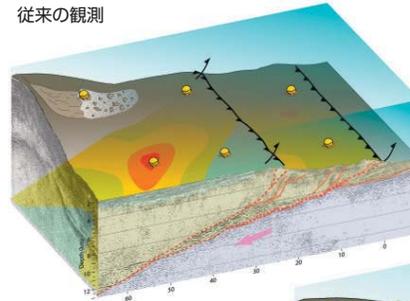
——IFREEでは、南海トラフの地下構造探査のデータに基づきシミュレーションにより、この地域で起きる地震の発生パターンを再現することに成功しました。

深尾：これまで地下構造と地震の起き方の関連性を指摘する研究はありましたが、実際の地下構造のデータをシミュレーションに組み込んで地震発生パターンを再現できたのは、おそらく世界で初めてです。地下構造が地震の発生パターンを左右することを具体的に示したことに、大きな意義があると思います。

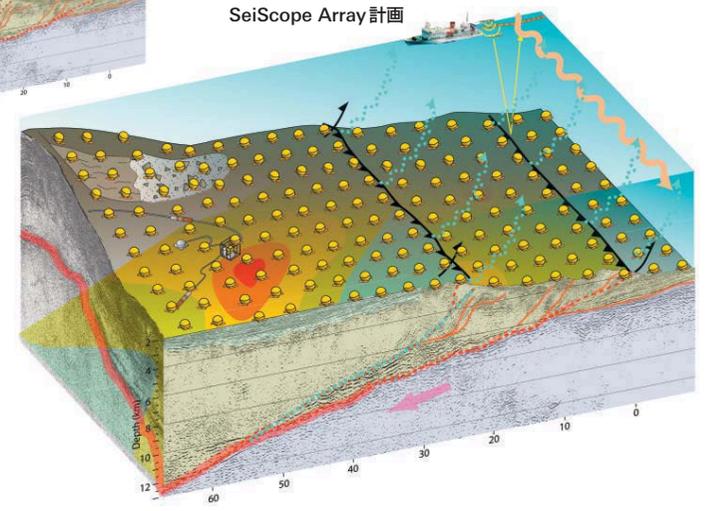
ただし、現在はまだ、いろいろな条件や値を人が調整することで、発生パターンを再現できた段階です。現実をどれだけ再現できているのかわかりません。今後、地下構造だけでなく、地質学や岩石の物性実験など、いろいろな研究成果を組み込んでいく必要があります。このシミュレーションは、そのようなさまざまな研究を統合するきっかけをつくったという意義もあります。

——地下構造探査を今後、どのように進展させていくお考えですか。

従来の観測



SeiScope Array計画



海底地下構造を3次元で探査する
SeiScope Array計画
海底地震計を従来の10倍の密度で面状に設置し、地下構造を3次元で詳細に探査する

深尾：2008年度から、500台規模の海底地震計を駆使した地下構造探査を行いましたと考えています。いままで海底地震計を線上に並べて2次元断面の地下構造を調べてきました。それを、地震計を面状に高密度に並べ、地下構造を3次元的に調べようという計画です。陸上の観測網が整備されて新しい現象が見えてきたのと同じように、3次元で構造を見ることで、新しい現象が見えてくるはずです。

——どのエリアを探査するのですか。

深尾：まず、南海トラフや日向灘沖、伊豆・小笠原・マリアナ海溝を調べたいと考えています。日向灘沖では、浅いところで低周波地震が頻繁に起きていることが分かってきました。それがプレートの沈み込み過程を理解するための鍵を

握っているだろうと考えられています。この低周波地震を詳しく調べたいと思っています。

また、地震が起きる前と後など、地下構造の時間変化を比較したいと考えています。私たちは2003年の十勝沖地震が起る前に、偶然、震源域で構造探査を行っていました。地震が起きた後に同じ場所を探査したところ、地震前と比べて目に見えて反射強度が強くなっている箇所が見つかりました。水のようなものが入り込み、地震波が強く反射しているらしいのです。水は断層の滑りやすさにも関係し、地震の発生に重要な役割を果たしていると考えられています。そのときは2次元の構造探査でしたが、3次元で時間軸を入れて比較すると、大地震が起きなくても地下構造の時

間変化が見えてくると思います。これは、つまり4次元観測です。

技術的な困難さを考えなければ、巨大地震の震源域海底ほど、地震予知にとって都合のいい場所はないはずですが、観測点の直下が断層面、そこで地震の前に起きる前兆現象があるとすれば、3次元あるいは4次元の地下構造探査でとらえられると思います。もしこのような探査で前兆現象が何も見つからなかったら、巨大地震の予知は当分の間、難しいと、私は思います。

地震から地球の全体像が見えてくる

——IFREEでは、地球の深部を探る研究も行っていますね。それと地震の研究はどのようにつながるのですか。



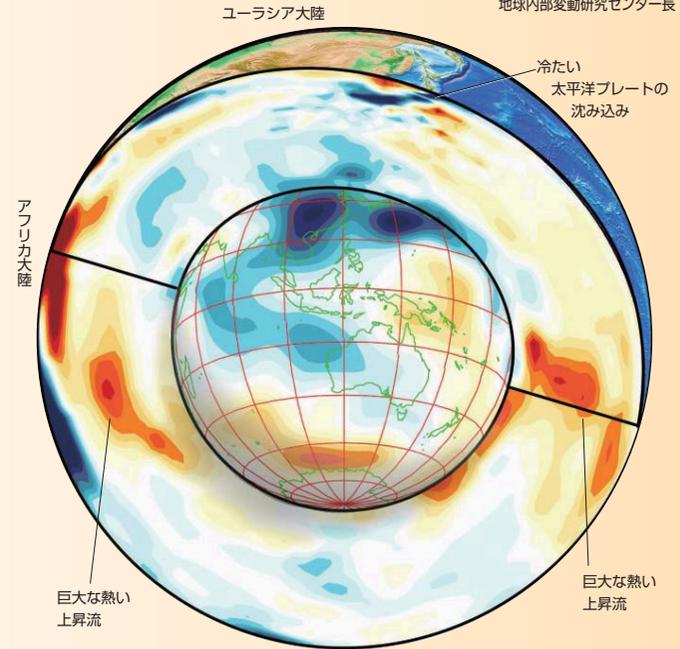
南海トラフの地震発生シミュレーション結果 歴史では、1707年に東海・南海・南海地震が連動したと推定される宝永地震が発生。その147年後の1854年に安政東海地震と安政南海地震が1日半の時間差で起きた。さらにその90年後の1944年に昭和南海地震、2年後の1946年に昭和南海地震が発生した(左)。地下構造探査のデータを組み込むことで、シミュレーションで歴史に似た地震発生パターンを再現することに成功した(右)。(Mw：モーメント・マグニチュードは地震の規模を示す)

深尾: 巨大地震の震源域は100km四方以上の広がりがあります。巨大地震の全体像を知るには、深さ方向も含めて少なくとも100km立方以上の容積を3次元で見る必要があります。また地震の動き、プレート運動、地球深部の対流運動、これらの原動力は結局共通です。これから重要なことは、浅い部分と深部で起きている現象をつなげる大きなス

トーリーをつくることだと思います。——深尾センター長は、地震波で地球の内部をCTスキャンのように3次元で見る「地震波トモグラフィー」のご研究でも有名ですね。
深尾: 地震波トモグラフィーの研究は、1978年に安芸敬一先生(当時・マサチューセッツ工科大学 教授)がアメリカ・カリフォルニア州の上部マントルを見た

のが最初です。その後、地球全体の地震波トモグラフィーが登場したのが1984年ごろ。そのころから私も地震波トモグラフィーの研究を始めました。ここ30年くらいで地球内部を探る研究は大きく変わりました。それは、地震波トモグラフィーの技術により、地球内部を3次元で見るできるようになったからです。それが地震学を含む地

球科学全体に大きな影響を与えました。——どのようなことが分かってきたのですか。
深尾: 以前、地球深部は1次元の深さ方向だけの理解でした。つまり、表層を覆う地殻の下にマントルがあり、中心に核がある。これは何も起きない安定な世界です。しかし地震波トモグラフィーで地球内部を3次的に見ると、マントルの底からわき上がる上昇流(ホットブルーム)があること、一方、ある場所では沈み込んだプレートが上部マントルにたまり、それがマントルの底まで落ちる下降流(コールドブルーム)があることが分かってきました。地球内部は安定ではなく、ダイナミックな動きがある。それが表層のプレートを動かし、地震や火山活動を引き起こすのです。



地震波トモグラフィーが明らかにした地球内部沈み込んだプレートがマントルの上部にいったんたまり、やがてマントルの底まで落ち込む巨大な冷たい下降流や、マントルの底からわき上がる巨大な熱い上昇流が見えてきた

上昇流は1984年の段階でもある程度見えていましたが、沈み込んだプレートが上部マントルにたまる様子が鮮明に見えたのは、1992年に私たちが発表した画像が初めてです。

——その画像をもとにして、東京工業大学の丸山茂徳 教授は、地球全体で起きている現象をブルームによる物質循環を軸に説明する、「ブルームテクトニクス」を提唱したのです。

深尾: 当時の画像はまだ不鮮明で、私たちが何も気が付かなかった部分で、そこはこういうものを示していると言山さんは指摘しました。たとえば、ここはマントルの底まで落ちたプレートの残がいが見えているのだと。後にアメリカの研究者も同じような解釈を発表しましたが、そのような指摘は丸山さんが最初だったと思います。ただし、ブルームテクトニクスという考え方はまだ、地球の全体像を考えるための仮説です。これから検証していく必要があります。

約40年前に登場した「プレートテクトニクス」によって地球表層で起きる現象を統一的に説明できるようになりました。この理論が大成功したのは、プレートが動き回る原動力や深部との関係

といった不明な点は排除して、表層から深さ100~200kmだけを対象にしたからです。そのプレートテクトニクスが排除した表層と深部との関係を含む地球の全体像を考える、新しい地球科学の扉を開いたのが、地震波トモグラフィーだと思います。——ところで、センター長ご自身が地球科学に興味を持ったきっかけは何ですか。
深尾: 山が好きで、山がなぜ隆起するのか、といったことに興味がありました。実際に研究者になってから、その謎を探る研究を行いました。そのために、南米のアンデス山脈を越えて、アマゾン

の森林を旅するフィールド調査をしたこともあります。あのフィールドは本当に楽しかったですね。こんなに楽しいことをやっているといいのだろうかと思うぐら

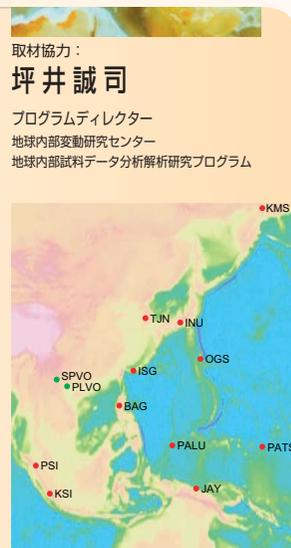
い(笑)。だけど私は、海だけは苦手なんだ。船に乗った瞬間に駄目(笑)。——現在ではどのような研究をされているのですか。
深尾: 私たちは最近、地震波のデータを分析して、大気あるいは海洋が地球を揺らし続けていることを見つけ、それを「常時地球自由振動」と名付けました。これまで、地球全体を揺らすことができるのは大きな地震だけと考えられていました。ところが、大気あるいは海洋が地球をたたいて、地球全体を揺らし続けていたのです。地震波を観測すれば、大気と海洋と固体地球が一体となって振動している現象も見えてくるでしょう。——地震から、大気や海洋を含む、まさに地球の全体像が見えてくるのですね。ありがとうございました。 **BE**

地震波で地球内部をのぞく

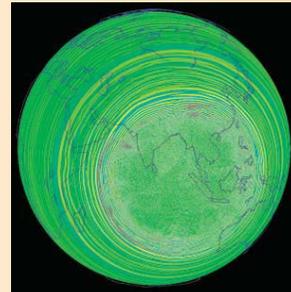
人工地震を起こし海底地震計を並べて計測することによって知ることができる地下構造は、深さ数十km。それよりも深い地下構造を知るには、地球深部を通り遠くまで届いた地震波を観測することが必要である。また、地震の震源を正確に決めるためにも、さまざまな観測点での地震波観測を行わなければならない。東京大学地震研究所で進められた「海半球ネットワーク」(1996~2001年度)を受け継ぐかたちで、JAMSTECと東京大学地震研究所は共同で「太平洋域ネットワーク」を運営・発展させている。現在、東アジア・オセアニアの11ヵ所に観測所を設置。2008年度には新たにベトナムに2ヵ所の観測所を設ける予定だ。

各観測所で得られたデータはインターネットを介してリアルタイムで集められ、世界の他地域の観測ネットワークとデータ交換を行い、地震や地球内部を探る研究などに広く利用されている。2004年12月のスマトラ島沖大地震を観測したデータは、インドネシアの気象庁にもリアルタイムで送られ、その後の余震観測などにも活用された。

坪井誠司プログラムディレクター(PD)は、スマトラ島沖大地震の地震波が伝わる様子を、「地球シミュレータ」を使って全地球規模で再現した。このようなシミュレーションと、実際に世界各地で観測された地震波を照合することで、地震発生のメカニズムや地球の内部構造を詳しく探ることができる。坪井PDは今後の展望を次のように語る。「私たちは、3.5秒周期の地震波の伝わり方を初めて計算することができました。それは、地球内部を、一辺が約2kmの立方体に区切って計算する膨大なもの。地球シミュレータによって初めて可能になったシミュレーションです。ただし、地震では1秒周期の波が卓越します。地震波が細くなるほど、地球を細かく区切って計算する必要があります。1秒周期の地震波は、地球全体を一辺約500mの立方体に区切る必要があります。その膨大な計算には、現在、国家プロジェクトとして計画が進んでいる次世代スーパーコンピュータが必要でしょう。もちろん、シミュレーションだけでなく、地震波や地下構造探査などの観測・調査データの高精度化も欠かせません」



太平洋域ネットワーク
赤が既存の観測所、緑が2008年度にベトナムに新設予定の観測所



スマトラ島沖大地震における地震波の伝わり方のシミュレーション
地下構造の違いによる地震波の伝わり方のゆがみが現れている

鳥羽水族館

動かざること王のごとく—ダイオウグソクムシ

2007年9月9日、巨大なダンゴムシの仲間が水族館に届いた。その名もダイオウグソクムシ。大王の名にふさわしい世界最大のダンゴムシだ。水族館の大王は、大きさ29cm、体重1.7kg。よく見掛ける陸上のオカダンゴムシの30倍ほどの大きさがある。アメリカ東海岸の水深800mという深海からやって来たこの大王は、まだ成長途中だ。ダイオウグソクムシは、大きいもので45cmにもなるという。

パッキングされたビニール袋から取り出し、バックヤードと呼ばれる、展示室の裏側で飼育を始めた。水槽に移して、ふと見ると仰向けにひっくり返っている。少し不安になり、観察を続けることにする。ひっくり返ったまま、ダイオウグソクムシはほとんど動かない。無防備にさらされた7対の脚、脚の後方に続く腹肢も動いていない。これはもう駄目だ。すでに弱った個体だったのではないかと……。一抹の不安がよぎり、納入業者に一報を入れる。すると、こんな回答が返ってきた。「動かなくても決して驚かないように、と念を押されています」

餌をあげても、動かない。わずかに反応しているようではある。これまで4回ほど餌をあげたが、餌を入れた瞬間は、あたかも喜んでるかのようにはパタパタと腹肢を動かして動き回るが、まったく食べようとしなない。

不安になり、すでに7年の飼育実績がある東京都の葛西臨海水族園に問い合わせる。「心配なくていい。餌はほとんど食べない」。聞けば、葛西水族館では1か月に1回しか餌を与えないという。ダイオウグソクムシをひっくり返すと消化管が見える。そこにはすでに何かが入っているようだ。

彼らがくらす深海とは、きっとそういうところなのだ。餌が少ない深海では、エネルギー消費をなるべく抑えなければならぬ。だから、動かない。おなかかすいていて、なおかつ運よく餌があれば、思い切り食べる。というのも、記録によれば、母ダイオウグソクムシの食べ過ぎによって、成育中の子どもが押し出されることすらあるというのだ。ダイオウグソクムシは胸部腹面に「育房」という子どもを育てるための空間を形成する。消化管があまりに膨らんだために、育房から大事な子どもが押し出されてしまったというわけだ。なるほど、食べるときには思い切り食べるようだ。

およそ1週間後の9月15日、展示水槽にダイオウグソクムシを移動させた。移動した日中は少しばかり動いていたものの、夕方には正面を向いたままビタリと止まった。展示水槽に移って8日間、その場所を死守するかのようになり、まったく動かなかった。もう動揺しない。ダイオウグソクムシがくらすこの途方もない時間感覚に、ようやく私自身、慣れてきたようだ。

そんなダイオウグソクムシが激しく動く様子を、昨日ついに目撃した。5対の腹肢をパタパタさせて20cmほど泳いだのだ。その後、ごつんと水槽のガラスにぶつかり、そのままへなへたと落ちていった。そしてまた、私たちから見ると動かない時間を生き始めた。まるで王として、深海での時間をかたくなに守り続けているかのよう。

(取材協力：森滝文也 飼育員 鳥羽水族館飼育研究部)

■ Information: 鳥羽水族館

〒517-8517 三重県鳥羽市鳥羽3-3-6
TEL 0599-25-2555
URL <http://www.aquarium.co.jp/>



映画「スターウォーズ」に登場するダースベーダーさながらの顔。三角形の眼は複眼で、銀色をしている。鳥羽水族館の深海コーナーは、光の届かない深海となるべく似た環境で過ごせるように、照明をダイオウグソクムシが感知しにくい赤にしている。オカダンゴムシの仲間なので丸まるかどうと、自分から丸まることはない。背側を持って曲げても、への字くらいまでしか曲がらない



ダンゴムシの仲間である等脚類は世界中に9,000種類以上が知られていて、そのほとんどが海でくらしている。進化系統について詳しくは分かっていないが、おそらく海のものから生まれて、陸へと進出して特殊化したオカダンゴムシなどが生まれたのだろう



ダイオウグソクムシは7対の脚と、その後方にちょうどブラインドカーテンのような5対の腹肢を持っている(写真の茶色が濃い部分)。腹肢は泳ぐときなどに利用する

岩石に秘められた物語を紡ぎ出す

山口はるか 地球内部変動研究センター
地球化学データ分析研究グループ 技術研究副主任



山口はるか (やまぐち・はるか)
北海道生まれ。理学博士。静岡大学大学院理学研究科修士課程修了、東京大学大学院理学系研究科修士課程修了。2001年、海洋科学技術センター技術研究員。2007年より現職。専門は構造地質学と変成岩岩石学



フランスの「マリオンデュラン号」によるスマトラ余震調査航海のひとこま。赤道通過儀礼(左)と採取した試料(コア)

標高8,000mを超えるヒマラヤの岩石は、かつては地下90,000m(90km)もの深いところにあり、数千年をかけて隆起してきたことが分かっている。岩石が、いつ、どのような環境で形成され、どんな経緯で現在に至っているのか。岩石の歴史を読み解くこと、それが地球内部変動研究センターの山口はるか技術研究副主任の仕事だ。「プレート運動」という言葉を知り興味を持ったのが、アフリカに暮らしていた小学生のころ。そして、高校時代はNHKの『地球大紀行』を見て、変動する地球に魅せられた。山口 技術研究副主任に岩石の世界、そしてヒマラヤでの調査の様子を語っていただいた。

イメージしやすい。それに、日本からアフリカまで飛行機で1日以上かかることを実体験として知っていましたから、それほど大きなスケールのものが動くということが、不思議で面白かったですね。

——進路を決定づけた出来事は？

山口: 高校生のころ(1987年)にNHKで放送していた『地球大紀行』です。プレートが離れたりぶつかったり、地球がダイナミックに変動することが、とても面白かった。特に造山運動に興味を持って、「大学では地殻変動を勉強するぞ」と決めました。同じ影響を受けた人は多かったようで、私たちは“地球大紀行世代”と呼ばれているんですよ。

でも私の高校では、理系は地学を選択できなかったの、地殻変動とはどういう勉強をするものか、まったくイメージできてい

はるかアフリカの地で

——構造地質学と変成岩岩石学がご専門ですが、なぜこの分野の研究を？

山口: 小学生の数年間、アフリカのナイジェリアに住んでいたことがあるんです。そこで通っていたアメリカンスクールの教科書が、きっかけかもしれません。

理科の教科書にプレート運動の絵が載っていました。リソスフェア、アセノスフェアといった日本では高校でも習わない言葉も出ていましたが、アメリカの教科書は絵が多く、図鑑を見ているような感覚で難しい内容も



ヒマラヤ・トロン峠に立つ山口技術研究副主任(左)とガイド。「調査は川沿いに行いますが、隣の川へ行くのも容易ではありません。この標高(5,415m)でも、見上げればさらに富士山ほどの高さの山がそびえています」

ませんでした。中学・高校時代は水泳や乗馬に一生懸命でしたし。

——乗馬ですか！

山口: 母の影響で小学6年生のときから。皆さん、乗馬はお金がかかるというイメージがあるので、驚かれますね。自宅に近い札幌競馬場では、普及活動の一環として、馬小屋の掃除や餌やりを手伝い、乗った後に体を洗ってあげる代わりに、無料で馬に乗せてくれたのです。馬の世話をすることも楽しくて、学校が終わると走って行っていました。馬には癒されますね。

ヒマラヤへ

——大学はどのように決めたのですか。

山口: とにかく地殻変動の授業がある大学に行こうと思って、高校の資料室で一生懸命調べました。そして、地殻変動に関係す

る授業項目がたくさん並んでいた静岡大学理学部地球科学科に決めました。

——授業は期待通りでしたか。

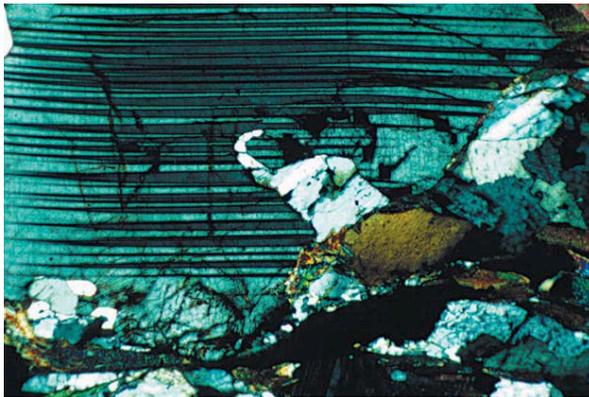
山口: 地殻変動だから力学を中心に物理を勉強するものと思っていたのですが、地学にはいろいろな手法があるんですね。状態の変化は物理、物質の変化に注目すれば化学、化石だったら生物です。その広がりには驚きました。私たちがいま見ている岩石には歴史があり、後ろには時間と空間が広がっている。どの分野の授業を聞いても、そのことが伝わってきて面白く、この大学を選んでよかった、と思いました。

静岡大学では学部3年生から卒業論文の準備が始まります。指導教官が「ヒマラヤをやってみないか」と言ってくれたときは、うれしかったですね。でも、調査費用はアルバイトで捻出するので、ヒマラヤに何度

も行くことはできません。1回勝負。不安でした。指導教官以外の先生や先輩も心配して、国内の調査のたびに私も連れていって

くれ、経験を積ませていただきました。

——いざ、ヒマラヤへ。いかがでしたか。
山口: 途方に暮れました(笑)。プレートの沈み込み帯に位置する日本で見知らぬ岩石とは、色や様相がまったく違う。とにかく持てる知識を総動員して、迷いながらも試料を採取してきたんです。でも、日本に帰って調べてみると、泥岩だと思っていたものが石灰岩だったりする。調査では、歩きながらどうい



“ゾウの水浴び”。ヒマラヤで採取した岩石の偏光顕微鏡像。鉱物によって屈折率が異なるため、岩石がどのような鉱物で構成されているかが分かる。「削る面が0.1mmでもずれていたら、ゾウはいなかったでしょう。ものすごい偶然です」



調査用具。左から、ペン、野帳、蛍光マーカー、たがね、ハンマー、色鉛筆、クリノコンパス(方位磁石と水準器)、走向板(アクリル板で代用)



ヒマラヤ調査中のネパール定食。ダル(豆スープ)、パート(米飯)とタルカリ(野菜)



野外のサンプリング風景(宮崎県延岡地域)。壊れやすく採取が困難な岩石試料は、樹脂で固めてカッターで切り出す。「この写真は後輩です。男性が多い分野ですが、女性も頑張っていますよ」

—ヒマラヤには何回行きましたか？

山口: 8回です。悩みより楽しさが大きくなったのは4回目以降、博士過程1年のときからです。行く前から、見るべきところ、やるべきことが、はっきりしてきます。的を絞って“偏見”をもって見ることで、初めて見えてくるものもある。しかし、周りが見えなくなると間違える。そのバランスが難しいところです。

岩石の物語を紡ぎ出す

—岩石を調べると何が分かるのですか。

山口: 採取した岩石は、まず1mmくらいの厚さで切り出し、それをグラインダーという回転する砥石で0.02mmくらいまで薄くします。この薄片を偏光顕微鏡で観察すると、岩石を構成する鉱物を特定できます。また、鉱物の種類やかたち、並び方などから、岩石が受けた運動や反応を推定できます。

—偏光顕微鏡画像の一例が、“ゾウの水浴び”ですね。

山口: 顕微鏡をのぞいた瞬間、「ゾウだ!」と思ったのです。「ゾウが水浴びをしている」と。ここは湖で、湖面が太陽光を反射して、きらきらと輝いているんです。そう見えるでしょう？

これは、ヒマラヤで採取してきた岩石です。日本では岩石が植物に覆われているため採取できる場所は限られますが、ヒマラヤでは全面がむき出しになっているので、どこからでも採ることができます。たまたまハンマーでたたいて持ち帰り、たまたま切り出し、たまたま削って出てきた断面。すごい偶然です。偶然の自然の美しさだからこそ、ひかれます。

—ほかには、どんなことが分かりますか。

山口: 岩石は、地下深くに沈み込んだり隆起したりすると温度や圧力の変化を受け、鉱物に元素が出たり入ったりして化学組成が変化します。電子線マイクロアナライザー(EPMA)という装置で岩石の薄片に電子線を当てて調べると、元素の種類や濃度が分かれます。その結果から、どういう温度や圧力の環境を経て現在に至ったのか、岩石の歴史を推測することができるのです。

私は、大学院修士課程までは、岩石がどのような断層変形を受けたかという力学を中心に研究してきました。ヒマラヤの岩石は、地下90,000m(90km)もの深いところまで一度沈み、隆起してきたものです。力学

では、どの方向から力を受けたかなど運動の様子は分かりますが、運動が生じた深さなどの環境条件が分かりません。いまのままでは自分が知りたいことは見えてこない、というジレンマがありました。そこで、博士課程は、化学反応や熱力学を中心とした岩石学をもっと詳しく学ぶことができる東京大学に移ったのです。化学の視点を加えることで、岩石の歴史を読み取ることができるようになりました。

溶け合って

—JAMSTECでは、どういう研究を？

山口: ヒマラヤの岩石の分析を進めながら、地震発生メカニズムの研究に加わりました。その分野は、プレートがどう動くかという力学を中心に進んできました。でも、岩石の組成や温度によってプレートの滑りやすさは変わってしまうので、岩石学も効いてくる分野なのです。

—海溝型地震の“地震の化石”の研究もしていますね(『Blue Earth』2007年9-10月号18-21、22-23ページ参照)。

山口: 海溝型地震の“地震の化石”シュードタキライトを最初に発見したのは、坂口有人さんたちです。私は氏家恒太郎さんが別の場所で見つけたものを詳しく解析し、実験で検証しました。その結果、シュードタキライトは粘土鉱物が約1,100℃の摩擦熱で溶解したものであることが分かったのです。氏家さんの計算で、温度と組成から、大きく滑ったことが推定されました。化学と運動がつながった瞬間。とてもうれしかったですね。

—最近の研究は？

山口: 蛇紋岩の研究プロジェクトに加わりました。蛇紋岩は、マントルの岩石が水と反応して形成された変成岩です。蛇紋岩がどのようにしてできたか、その歴史を解き明かすことで、海洋プレートで起きる地震や水の循環の解明にも役立つと期待されています。

蛇紋岩の研究は、まさに地球物理学と地質学のコラボレーションです。地球物理学的な地震波観測によって、地殻内を蛇紋岩がゆっくり上昇する様子が描き出されています。また、地質学的に岩石を調べることによって、マントルの岩石だったものが蛇紋岩に変化し、やわらかく軽くなって上昇していく、岩石の歴史を読み解くことができます。

JAMSTECに来て一番よかったのは、違



鉱物脈群(宮崎県延岡地域)。白い線状の鉱物脈は、かつて地下深くに岩石があったときに、水が通った跡。方向がそろっているのので、同じ方向に力が働いている環境で形成されたことが分かる



建設中の地球深部探査船「ちきゅう」を見学。「JAMSTECへ来て、船と海を知りました。特に、「ちきゅう」のスラストの大きさはびっくり。陸上の地質調査は1人が多いのですが、船での調査にはたくさんの研究者が参加します。その場でディスカッションしながら、調査を進められるよさがあります。でも、海底の岩石は遠く、手が届かない。もどかしいですね」

う分野の人と一緒に研究ができることですね。難しさもありますが、足りない部分を補い合い、新しい世界が広がります。

—ぜひ解き明かしたい謎はありますか。

山口: あります。もう2年も悩んでいるんです。水を含んだ岩石が深いところに行くと、水を抱え切れなくなって放出します。そのとき、水が流れたところには鉱物沈殿して、「鉱物脈」という白い線が残ります。私がJAMSTECに来て最初の研究は、そうした岩石が再び隆起して地表に現れたものを調べることでした。すると、関東でも紀伊でも四国でも、鉱物脈の方向がそろっていたのです。プレートの運動方向と関係しているらしい。でも、その過程をまだ説明できていない。どうにかしたい課題です。

つながっている

—ヒマラヤでの調査は大変でしょう。

山口: 標高4,000~5,000mの山をポーターやガイドと2ヵ月くらい歩き回ります。荷物はすぐに100kgを超えてしまいます。ほら、私たちは岩石を集めて歩くから。荷物を運ぶポーターは歩きやすいルートを通り、私たち研究者はときには滝を登りながら調査をします。昼と夜に集合して一緒にご飯を食

べます。食事は、調査の楽しみの1つですね。それから、ヒマラヤの夜空は、本当にびっくりしますよ。ものすごい星の数なんです。天の川は真っ白です。

調査も終わりに近づくと、遠くに町の光が見えてきます。歩いてまだ3日もかかる距離ですが、小さな光が見えると感動します。そして町にたどり着き、自動車を見たら、もうびっくりです。「何で鉄の塊が動いているんだ!？」と。冷蔵庫で冷えたジュースを飲んで、またびっくり。2ヵ月前は自分も文明社会のなかにいたのですが、ヒマラヤを歩いているうちに、意識がすっかり変わってしまうのです。

—最後に、岩石や地殻変動に興味がある、中高生にメッセージをお願いします。

山口: この分野は、感動できることがたくさんあります。お勧めです。やりたいことがあるなら、どんな先生がいてどんな授業があるのか、大学を選ぶヒントになるでしょう。一生懸命に調べてください。ときには、実際に入ってみると期待と違ったり、目指した方向と異なり、戸惑うことがあるかもしれませんが、でも大丈夫。自然界を探る道は1つではなく、分野、手法が違っても、いつかつながります。 **BE**

深海生物の長期飼育に挑む

取材協力：
三輪哲也

極限環境生物圏研究センター
深海生物研究グループ グループリーダー

「水深1,000mで捕獲した深海魚を飼育中！ ディープアクアリウムはこちら」。海洋研究開発機構（JAMSTEC）横須賀本部の一般公開では、そんな案内板が立つ。有人潜水調査船や船舶と並ぶ、人気展示の1つである。

「ディープアクアリウム」とは、深海生物を生きたまま捕獲し、深海の環境を保ったまま、陸上で長期飼育できる装置だ。ディープアクアリウムを開発した三輪哲也グループリーダー（GL）は、「唯一無二」と胸を張る。

海のなかでは、10m潜るごとに1気圧ずつ高くなる（ここでは、分かりやすいように水圧 [MPa] を気圧に換算して考える）。水深1,000mで100気圧、つまり1cm²に100kgの力がかかっている状態だ。高压の深海から生物を急に引き上げると、体内の気体が膨張して内臓が破裂してしまうことがある。また、水深200m以下の水温は約4℃だが、表層は20℃ほどだ。その温度差に、深海生物の多くは耐えることができない。

「深海生物を地上で飼育するためには、深海の圧力と温度を保ったまま上げていくことができる装置をつくらねばいんです。ものすごく単純」と三輪GLはいうが……。

ステンレス製で直径約30cmの球形をしたディープアクアリウムは、有人潜水調査船や無人探査機のバスケットに入れて深海へ運ばれる。球形は、圧力に強く容積も最大になる理想のかたちだが、製造は難しくメーカー泣かせである。大きさや重量は、「しんかい6500」のバスケットの最大積載重量が100kgであることから決まった。

深海に到着すると、1匹に狙いを定め、スラップガンと呼ばれるホースを使ってディープアクアリウムのなかに吸い込む。掃除機と同じ原理だが、意外にもこれが難しい。吸引力が強過ぎて、捕獲水槽を通り越し排水口から生物が出てしまったこともあるという。そして、捕獲における最大の関門は、弁の閉め方だ。「地上試験では何の問題もなかったのですが、深海では失敗が続きました」と三輪GL。生物と一緒に吸い込まれた砂などが、弁と本体の間に挟まってしまうことが原因だった。少しでもすき間があると、水圧が下がってしまう。そこで、弁がきつく閉まるようにしたところ、また別の問題が発生。「引き上げてみたら、しっぽだけ。合掌です」と三輪GL。「弁を閉める瞬間に逃げ出した生物を切断してしまっただけです」

ホースの位置や吸引力、弁が閉じる強さなどを調整し、最近では捕獲に成功する確率も高くなってきた。それでも捕獲に

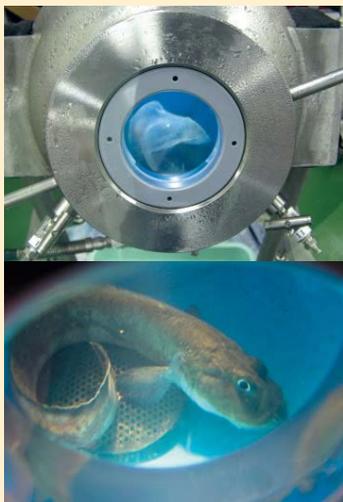
不得意な生物がある。体が細長く、動きがゆっくりしているゲンゲやビクニンの捕獲率は、ほぼ100%。一方、動きが速いエソ、砂地にいて体の大きいギンザメやソコグラ、体が丸いアンコウは苦手だ。

●
深海生物を生きたまま捕獲できるだけでも画期的だが、ディープアクアリウムは長期飼育まで目指している。ディープアクアリウムが船上に引き上げられると、一刻を争う作業が待っている。「装置が小さいので、そのままでは温度が上がり、酸素も足りなくなります。維持装置に接続して水を循環させなくては」

現在のディープアクアリウムは4代目。2000年から開発を始め1年後に完成した初代との大きな違いは、給排水や加圧のための配管である。「普通、配管はステンレスなどでつくります。しかし、本体と維持装置の配管の接続を水圧に耐えられるようにぴったり合わせてはめるのは、結構難しいんです。ましてや、揺れる船の上では時間がかかってしまいます」。そこで三輪GLは、配管をステンレスではなく、柔軟性がある素材に変えようと考えた。「メーカーの人には、えっ？といわれました。でも、アラミド樹脂などの高強度繊維素材のホースに変えたところ、ホースが自

富山湾の水深500m付近で捕獲したオオグチボヤを4MPaで飼育。大きく開けた口から海水を取り込み、プランクトンなどを捕食していると考えられているが、生態は謎に包まれている

富山湾の水深400m付近で捕獲したアゴクダを2MPaで飼育。朝、研究室に行き、自分が捕獲してきた生物と目が合ったとき、それが、三輪GLのうれしい瞬間だ



ディープアクアリウムは有人潜水調査船「しんかい6500」のバスケット（矢印）や無人探査機「ハイパードールフィン」に搭載して深海に持って行く。ディープアクアリウムは水深5,000mの水圧まで耐えることができる

ディープアクアリウムの捕獲水槽部分は、直径約30cmの球形。温度変化を抑えるため断熱材で覆われ、下側のホースで生物を捕獲する。捕獲水槽がそのまま飼育水槽となる



深海から引き上げられたディープアクアリウムを、維持装置に取り付ける三輪GL。生物へのダメージを抑えるため、一刻を争う作業だ。維持装置によって、新鮮な海水を循環させながら、水深2,000mに相当する20MPaまで加圧することができる

●
ディープアクアリウムで深海生物を飼育している場所が、JAMSTEC以外にも1ヵ所ある。神奈川県藤沢市の新江ノ島水族館だ。研究者が長期飼育まで行うことに限界を感じていた三輪GLは、飼育のプロがいる水族館と協力できないかと考えていた。同じころ、新江ノ島水族館では、大規模なリニューアル計画があった。捕獲してきた生物を飼育してほしい。珍しい生物を展示したい。両者の思いが合致し、新江ノ島水族館に「深海コーナー」が誕生した。

●
新江ノ島水族館にディープアクアリウムが展示されるのは、深海生物が捕獲されたとき、しかも実験に使わないときに限られる。「水族館としてはリスクもあるので、ご協力いただける施設も限られます。しかし、研究機関と水族館の新しい連携のかたちとなり、深海生物の研究が大きく進むと期待しています」。新江ノ島水族館での最長飼育記録は6ヵ月。もちろん世界最長だ。

●
三輪GLのグループは、水深1,200mで捕獲したコンゴウアナゴを飼育し、ひれの組織細胞を採取、その培養に成功している。深海生物の細胞の培養は世界初だ。ラットの細胞は100気圧で増殖しなくなるが、コンゴウアナゴの細胞は300気圧でも増殖することが確かめられた。深海生物の細胞は、圧力に対する応答が異なっているらしい。

●
現在は、琉球大学と共同で、沖縄の熱水噴出域で捕獲したパラビクニンをういた光の応答を調べている。「深海生物は光を感じないといわれますが、本当にそうなのか、知りたいですね」と意気込む。私たちは光によって時間を感じている。しかし、光が届かない深海にくらす生物は、どのように時間を感じているのか。地球の周期的な震動によって起きる海底火山の噴火が発する光かもしれないと、三輪GLは考えている。

●
三輪GLにとって、ディープアクアリウムは完成形ではない。「もっと効率的に捕獲ができて、長期間飼育できる装置にするには、私たちだけでは限界があるかもしれない。深海研究とは関係のない分野の、新しい発想を持った人ならば、とんでもないものをつくってくれるのではないかと期待しているのです。この記事を読んで、やりたいと思った人いませんか？」 **BE**

●
由に動くので、接続の時間を大幅に短縮することができました」ディープアクアリウムは研究室に運ばれ、長期飼育がスタートするのだが、初めのころは思わぬ失敗もあった。「土日を含んで月曜日に研究室に行ったら、魚が死んでいるんです」。停電で加圧装置が止まったことが原因だった。「常に人がそばにいないといけない、手がかかる装置なんです。週末も休むことができず、共同研究者の評判も悪くて……」

●
とはいえ、深海生物を深海の環境のまま飼育できる装置は、世界中を探してもディープアクアリウムだけだ。「フランスやアメリカでも開発に取り組みされていますが、うまくいかないようです。「君たちのところの装置は素晴らしい！」とよくいわれます」。三輪GLの顔がほころぶ。では、なぜ三輪GLたちは成功したのだろうか。そう尋ねると、「私たちのグループが、「深海生物が大好き」という人の集まりではなかったことかな」という答えが返ってきた。

●
三輪GLは工学部出身で、専門はバイオセンサーである。バイオセンサーとは、生物の生産する酵素などが物質と反応して起きる変化を電気信号として検出するもの。「それまでの研究から、「生物だけを考える」「機械だけを考える」では駄目だということを学びました。私たちは、深海でくらす生物と陸上でくらす生物では反応にどういう違いがあるのか、それを調べたいのです。生物の反応を調べるには、生きていることが大前提。そのため方法を徹底的に考えた結果です」

大気汚染を予報する

(2007年7月28日 第68回地球情報館公開セミナーより)



地球環境フロンティア
研究センター
化学輸送モデリンググループ
研究員

川村雅之

たきがわ・まさゆき。1971年生まれ。東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻博士課程修了。理学博士。2000年より海洋技術研究センター 地球フロンティア研究システム（現 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター）大気組成変動予測研究領域研究員。2006年より現職。専門は気象学、大気化学。大気環境問題に関する研究、特に化学物質の変動と気象・気候の変動の相互作用に関する研究を行い、化学天気予報システムを開発

大気にはさまざまな化学物質が含まれています。そのなかには人の健康に影響を及ぼすものもあり、そのような有害な化学物質の分布をあらかじめ知っておくことは、とても重要です。私たちは、オゾンなど有害な化学物質について地球全体の分布を1週間先まで予想する「化学天気予報システム」を開発しています。化学天気予報は、海洋研究開発機構のホームページや科学館などで公開しています。今回は、どのように予報を計算しているのか、また計算結果から明らかになったこと、たとえは化学物質はどこからどのように運ばれてくるのかについてお話しします。

光化学オキシダントとは

「光化学オキシダント」という言葉を新聞などで目にしたことがあるでしょう。特に2007年春～夏は、光化学オキシダント注意報（光化学スモッグ注意報ともいう）の発令回数が多く、その言葉をよく耳にしたのではないのでしょうか。皆さんは、光化学オキシダント注意報が出やすいのは大都市だと思いませんか。確かに東京や大阪、福岡などで多く出ていますが、2007年5月には、それほど人口が多くない新潟、富山、鳥根、徳島、大分でも光化学オキシダント注意報が出ています。しかも、新潟と大分は、観測史上初めての発令でした。ここ数年は、大都市だけでなく、日本全域で光化学オキシダント注意報が発令される傾向にあります。

ここでいう光化学オキシダントとは、工場や自動車の排気ガスなどから出てくる窒素酸化物（NOx）や炭化水素（VOC）が光に当たって化学反応を起こしてきた、酸化性物質の総称です。光化学オキシダントには、アセトアルデヒドやホルムアルデヒドなど、さまざまな化学物質がありますが、その主成分はオゾンです。

オゾンは体によい？ 悪い？

オゾンと聞くと、まず思い浮かぶのは、オゾン層かもしれません。オゾン層は、飛行機が飛んでいるところより少し高い、

高度30kmの「成層圏」と呼ばれる領域に存在します（図1）。植物の光合成で生成された酸素が紫外線に当たって化学反応を起こし、いまから4億年ほど前に、オゾン層ができました。オゾン層は、太陽から来る光のなかで生物に有害な紫外線を吸収します。そのおかげで、生物は陸上に進出することができました。オゾン層は、陸上生物にとって非常にありがたいものなのです。

オゾンは、1840年にドイツの化学者シェーンバインが発見しました。においがあることから、ギリシャ語で「におうもの」という意味の「オゼイン」に由来して「オゾン」と名付けられました。100ppbを超えると、頭痛がしたり、目やのどが痛くなったり、肺の機能害を及ぼすことがありました。オゾン層は、陸上生物にとって非常にありがたいものなのです。

地表面付近のオゾンは、人体に有害だけでなく、地球温暖化の要因にもなっています。オゾンが地球温暖化に与える影響は、二酸化炭素の4分の1にも上ると見積もられています。成層圏のオゾンは生

物にとってありがたいのですが、地表面付近のオゾンはあまり増えてほしくありません。しかし、フランスのパリ郊外で計測された19世紀後半のオゾン量を現在の値と比較すると、2倍以上増えています。これは工場や自動車などの増加が原因だと考えられます。

光化学オキシダントが日本で話題になったのは、1970年代の初頭です。学校の校庭で運動していた子どもたちが、次々と倒れたりしました。これではいけないということで、環境基準などを強化した結果、光化学オキシダント注意報の発令回数は減少しました。ところが1990年代に入ると、また増えてきたのです。首都圏における高濃度オキシダントの分布を見ると、1970年代は東京23区内に集中していましたが、1990年代になると23区の周辺部へと汚染が広がっています。23区内の工場や排気ガス以外の要因、たとえば中国などからの越境大気汚染が関係しているのではないかと考えられます。

どのように化学物質の分布を予想する？

光化学オキシダントは人体に有害なだけでなく、地球温暖化にも影響するため、その分布や濃度を予測することは、とても重要です。私たちの研究グループでは、有害な化学物質の分布を予測する「化学天気予報システム」の開発に取り組んできました。

天気予報は、気象衛星やアメダスなどから気温や気圧、風などの気象データを取り、それをスーパーコンピュータで計算し、さらに過去の統計や予報官の経験を加えて出しています。一方、化学天気予報では、まず地上から何ほどのくらい出ているのかという汚染物質の放出データを統計などから作成します。汚染物質は、積乱雲によって持ち上げられ、上空の強い風で流されて遠くまで運ばれることがあります。汚染物質がどこに運ばれるかは、天気予報の気象データを利用して計算します。そして、汚染物質が運ばれる途中でどのくらい化学反応を起こすかは、私たちの研究グループが開発した「全球化学輸送モデル（CHASER）」を使ってスーパーコンピュータで計算をしています。地球全体の化学天気予報の解像度は約280kmです。一般的な天気予報と比べるととても粗いのですが、1週間後ま

での予報が可能です。

地表面から放出される物質は、主に窒素酸化物と炭化水素です。いずれも、工場や自動車の排気ガス、森林火災などから放出されます。そして、窒素酸化物や炭化水素に光が当たることによって、オゾンがつけられます（図1）。

窒素酸化物の放出量の半分は、森林火災、土壌中の細菌、雷などの自然起源です。雷が光ると非常に高い電圧がかかります。そのときに大気中の窒素から窒素化合物がつけられます。

炭化水素は、約6割が一酸化炭素で、約3割が植物の光合成に伴って放出されるイソプレネンです。一酸化炭素は、人為起源もありますが、その2.5倍の量が森林火災によって出ていることが人工衛星などの観測から明らかになっています。森林火災の発生は、季節や年によって変化します。そのデータを化学天気予報にうまく取り入れていく必要があるでしょう。

また、衛星で毎日観測していると、曜日によって窒素化合物の濃度が変わってくることに気が付きます。アメリカや日本は土曜と日曜、ヨーロッパは日曜、アラブ諸国は金曜、イスラエルは土曜に窒素化合物の濃度が低くなります。中国は曜日による違いはありません。地域ごとに休む曜日が違っているからでしょう。しかし、それをすべてモデルに入れて計算することはできないので、現在は日本の曜日だけを考慮しています。

光化学オキシダントはどこから？

ここからは、計算結果を紹介しましょう。まず、地球規模の化学物質輸送のモデルを使った2002年1月の計算結果を紹介しましょう（図2）。一酸化炭素（黄）、窒素酸化物（緑）、硫酸酸化物（青）が輸送されていく様子を示しています。それらの化学物質は光が当たると化学反応を起こしてオゾンを生成するので、まとめて「オ

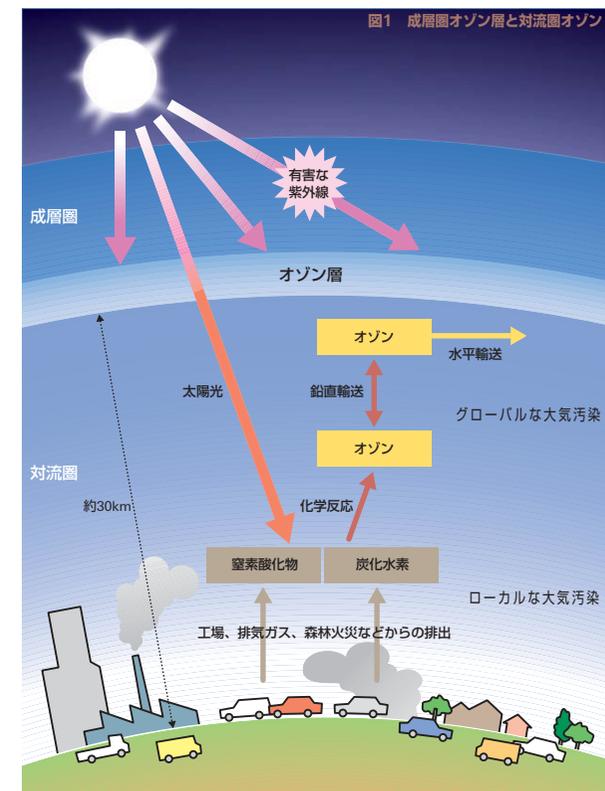
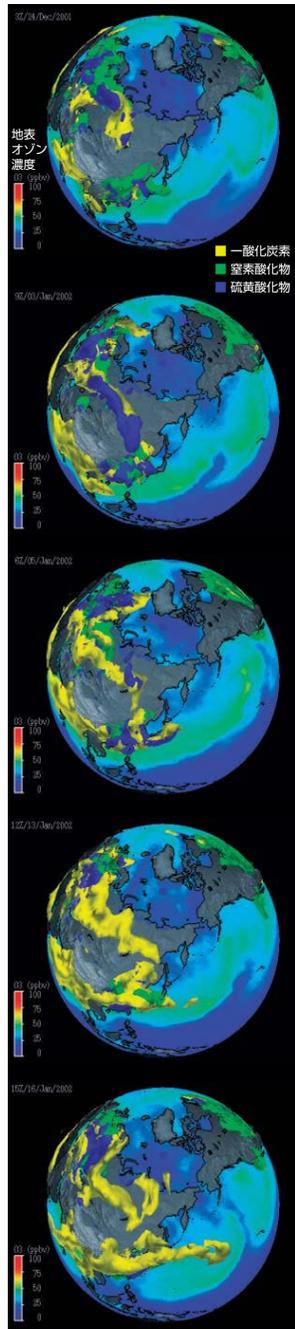


図1 成層圏オゾン層と対流圏オゾン

図2 全球化学天気予報システム

ヨーロッパで放出されたオゾン前駆物質が偏西風で運ばれて日本に届いたり、日本で放出されたものが太平洋を渡っていく様子が分かる。解像度は280km



「オゾン前駆物質」と呼びます。地表の色は、オゾン濃度を示しています。

オゾン前駆物質は積乱雲によって対流圏まで持ち上げられ、さらに偏西風によって東へと運ばれていきます。冬は光が弱いので化学反応が起きにくく、オゾン前駆物質は化学反応を起こさずそのまま、遠くまで運ばれていきます。アメリカで発生したオゾン前駆物質が大西洋を渡ってヨーロッパに運ばれ、またヨーロッパで発生したものははるばる日本までやって来たりします。同じように、日本で発生したオゾン前駆物質がハワイのあたりまで運ばれていく。そんな様子をはっきり見る事ができます。計算結果は、観測値とよく合っています。

では、日本に運ばれてくるオゾン前駆物質は、いったいどこから来ているのでしょうか。一酸化炭素について詳しく調

べてみました(図3)。実は、日本国内で放出された一酸化炭素は、ほんの少ししかありません(図3、アジア起源中の青)。一酸化炭素の大部分は、日本以外から運ばれてきているのです。冬の間は、ヨーロッパや北アメリカなどから長距離輸送されてきたものが非常に多くなっています。春になると、光が強くなって化学反応が起きやすくなるので、遠くからは運ばれにくくなります。その分、アジア起源の一酸化炭素が多くなります。

このように、オゾンの前駆物質は地球をぐるぐる回っています。皆さんが出した一酸化炭素も、はるばる太平洋を渡っていくのです。一人ひとりが空気を汚さないようにしないとといけませんね。

日本周辺を細かく見る

現在使用している全球モデルの解像度

図3 日本に運ばれてくる一酸化炭素の起源

冬は、ヨーロッパなどから長距離輸送されてきたものが多い。春は、近場のアジアを起源とするものや、植物の光合成で放出されるイソプレンなどほかの炭化水素に由来するものが多い。

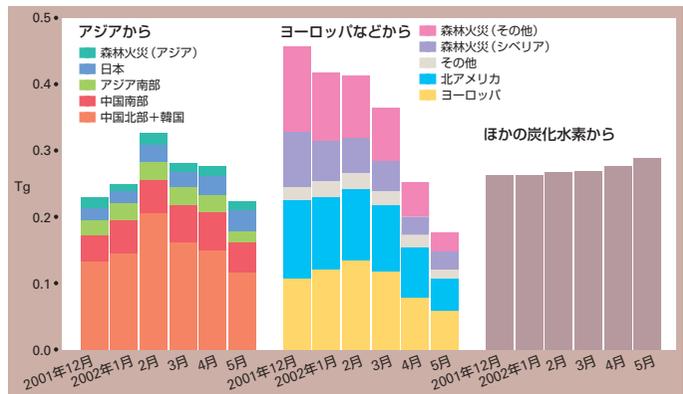


図4 一酸化炭素の放出量

解像度は、日本周辺(左)が15km、関東周辺(右)が5km。日や月ごとの変化も入れて計算している。たとえば1日の変化では、朝の出動時間には一酸化炭素の放出量が増え、昼ごろに落ち込み、夕方に再び増えて、夜はほとんどなくなる。図は午前9時の例

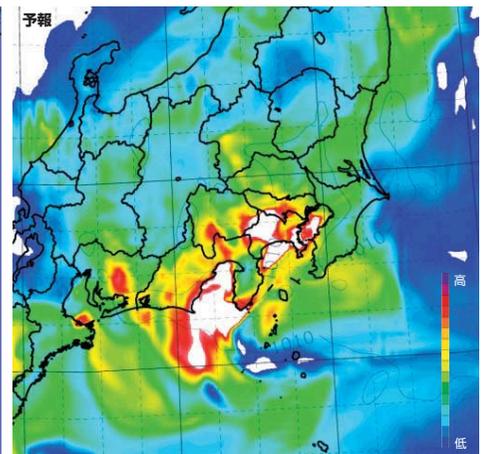
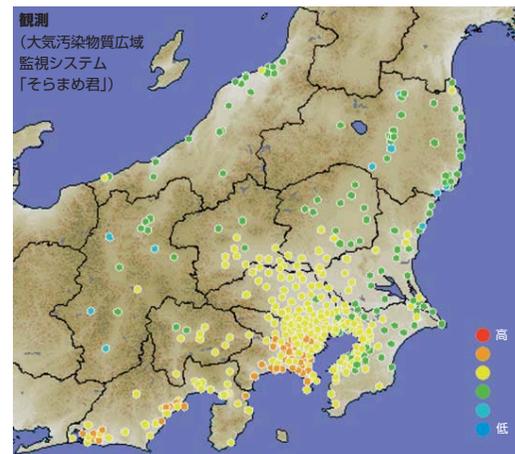
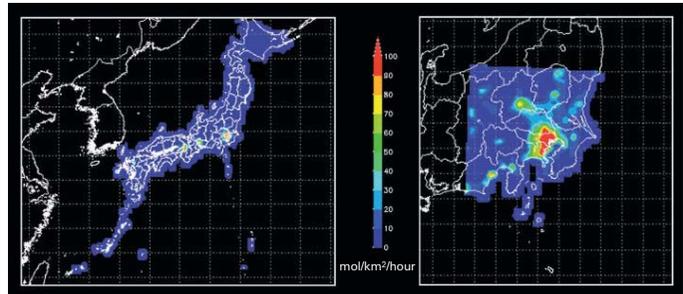


図5 地表オゾン濃度分布の観測と予報の比較

2007年7月27日午後1時の例。神奈川県横浜市あたりの地表オゾン濃度が高いなど、観測と予報で濃度の高低の傾向が合っている

はおよそ280kmです。それは関東平野全体を平均した値を知ることができる程度ですから、たとえば首都圏の大気汚染を予報するためには、もう少し細かく見ていく必要があります。そこで私たちは、日本周辺を15km、関東周辺を5kmの解像度で計算できるモデルを開発しました。

図4は、オゾン前駆物質である一酸化炭素の地表からの放出量を計算したものです。15kmくらいの解像度になると、首都圏、名古屋、大阪といった大都市圏を分解して見る事ができます(図4左)。また解像度が5kmになると、東京の23区や、静岡など地方都市も分解することができます(図4右)。

また、先ほどご紹介したように、オゾン前駆物質の長距離輸送というものがオゾン濃度の予報には非常に重要です。そこで、地球規模の化学物質輸送モデルを使って地球全体の化学天気図を計算し、その結果をもとに日本付近あるいは関東周辺の詳しい化学天気図を計算することで、精度のよい予報ができそうです。そのシステムを使って、首都圏の化学天気予報を行ってみました。

たとえば、茨城県つくば市におけるオゾンの濃度を予測して、観測値と比較してみると、日本周辺から放出されるオゾン前駆物質だけから計算した結果は、観測値と合いません。しかし、中国をはじめ外部から運ばれてくるオゾン前駆物質

も考慮に入れると、観測値とよく合うことが分かりました。

また、2007年7月27日午後1時の地表付近のオゾン濃度について、観測と予報を比べてみます。環境省の大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」の常時監視データによれば、埼玉県の熊谷市や羽生市、神奈川県横浜市あたりで濃度が高くなっています(図5左)。予報でも、濃度の高低の傾向はほぼ同じでした(図5右)。

しかし、観測と予報がよく合わない日もありました。2006年8月8日から9日にかけてです。予報ではオゾンが高濃度になると出ましたが、観測では低かった。なぜ予報が外れたのかを調べてみると、この日は台風が来ていたことが分かりました。しかも、日本周辺に3個の台風があったのです。台風が3個あると、気象データの計算もさすがに難しいでしょう。私たちの化学天気予報は、その気象データを使っているので、予報が外れてしまったようです。そのような場合でも正しい予報ができるようにすることが、今後の課題です。

また現在は、せいぜい1週間先までの予報しかできません。今後は、10年後、20年後のオゾン濃度を予測し、それが生物にどのような影響を及ぼすか調べていく必要があると考えています。また、気象がオゾンやエアロゾルの輸送に影響すると同時に、オゾンやエアロゾルも気象や

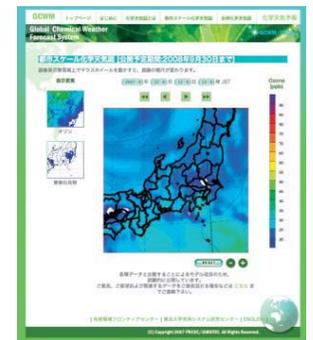


図6 ホームページで公開している化学天気予報の例
http://www.jamstec.go.jp/frgc/gcwm/jp/japan.html

気候に影響を及ぼします。その相互作用を考慮して予報を出せるようにしなければなりません。

ホームページや科学館で公開

私たちが開発した化学天気予報システムは、海洋研究開発機構のホームページ「化学天気予報」(http://www.jamstec.go.jp/frgc/gcwm/index.html)(図6)や、東京・お台場の日本科学未来館で公開しています。化学天気予報が、皆さんの健康を守ることに役立ったり、地球環境を考えるきっかけになるよう研究開発を続けていきたいと思います。



世界各地に異常気象を引き起こすエルニーニョ。東太平洋熱帯域の海水温が上昇するこの現象のメカニズム解明や発生予測に威力を発揮しているのが、海洋観測ブイシステムだ。人工衛星は広範囲の表面観測は得意だが、エルニーニョのような高精度な水中観測が要求される現象には対応できない。そこで威力を発揮するのが、観測ブイのような現場観測のシステムだ。

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、係留型の観測ブイシステムとして「トライトンブイ」を開発し、1998年から西太平洋の熱帯域にブイ観測網の展開を開始した。トライトンブイは水深5,000mを超える地点でも係留可能で、洋上の風や気温などの気象項目と水深750mまでの水温や塩分濃度を計測する。データは衛星通信を経由して送信され、天気予報やエルニーニョなどの気候変動予測に世界中で利用されている。西太平洋の観測網は、その後順調に整備が続けられ15基体制で現在に至っている。一方インド洋の熱帯域でも「ダイポールモード」と呼ばれる海水温の異常現象が発見され、2001年に2基のトライトンブイが世界に先駆けて設置された。その後、インド洋は世界的な気候変動の予測にとって重要であることが認識され、現在ではアメリカやフランス、インドなどの係留ブイが進出し、2008年には合計20基程度になる予定だ。「私たちがインド洋の重要性をアピールした先駆者だったのですが、今では諸外国の方が積極的です」。トライトンブイ運用に携わる石原靖久サブリーダー（SL）はこう残念がる。

トライトンブイの完成度の高さは、多くの成果に示されてきたが、その一方で昨今は老朽化によるトラブルが目立つようになり、また運用性の向上も要求されるようになった。トライトンの性能を維持しつつより効率的に運用するには、軽量化・低コスト化が必要だ。山口誠之技術主幹たちは、係留方式や部材などを徹底して見直すことで、トライトンブイに比べ浮体直径3/4、全体重量1/3以下の「m-TRITONブイ」の開発に成功、2006年12月に初めてインド洋に設置した。従来のトライトンブイは世界最大級の研究船である「みらい」で設置・回収作業が行われているが、m-TRITONブイならば、より小型の船舶でも作業が可能だ。さらにm-TRITONブイでは、トライトンブイの約半額という低コスト化も実現した。だがアメリカのTAOブイにはまだ及ばない。さらなるコストダウンを図るには、TAOブイと同様にセンサーを独自に調達するしかない。この問題にチャレンジしているのが松本健寛 技術副主任だ。すでに気象センサーシステムを実用化し、現在は水中センサーに着手しているが、そのハードルは高い。たとえば、トライトンブイの水温センサーは1/100℃の精度が要求される。ところが松本 技術副主任は、さらに上の精度のセンサーを視野に入れている。また自主開発ではセンサーを検証、検定する装置も自前で開発しなくてはならない。松本 技術副主任はこう語る。「センサーを開発・運用するには、要求性能より一けた以上高い分解能で検定する必要があります。そうしなければ、センサーの能力を引き出すことはできません。国際水準でのセンサー一運用では産業界よりもはるかに高い精度の検定が要求されるため、独自に検定システムを構築するしかないのです」

トライトンブイは今日も進化し続けている。

取材協力：石原靖久 サブリーダー
山口誠之 技術主幹 松本健寛 技術副主任
海洋工学センター 応用技術部 長期観測技術グループ

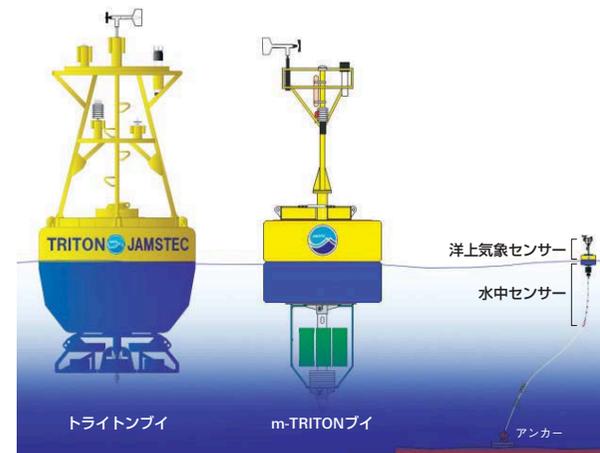
海から気候変動をとらえる

**係留ブイシステム
独自技術で高性能化・
低コスト化を図る！**



インド洋に投入されるm-TRITONブイ

「投入するときにはドキドキでした。過酷な環境のなかで、何とか1年間データを送り続けてくれているので、ほっとしています」（山口技術主幹）



トライトンブイとm-TRITONブイ

m-TRITONブイは小型・軽量化によりクレーンなどの重機なしに2～3人で移動・組み立てが可能となった



水中センサー

水深が浅い部分のセンサーには、海洋生物がたくさん付着する。高い精度の観測には、ブイを1年ごとに回収して、センサーを整備・検定する作業が欠かせない

新型衛星通信基板

石原SLたちが開発した新型衛星通信基板を組み込んだ新しい衛星通信システムの運用が、2008年から開始される予定。「従来、10分ごとに計測したデータを1時間平均に圧縮して送信していたのですが、新しいシステムでは10分ごとのフルデータをリアルタイムで送信できます。そのデータが天気予報の高精度化などにも役に立つといいですね」（石原SL）

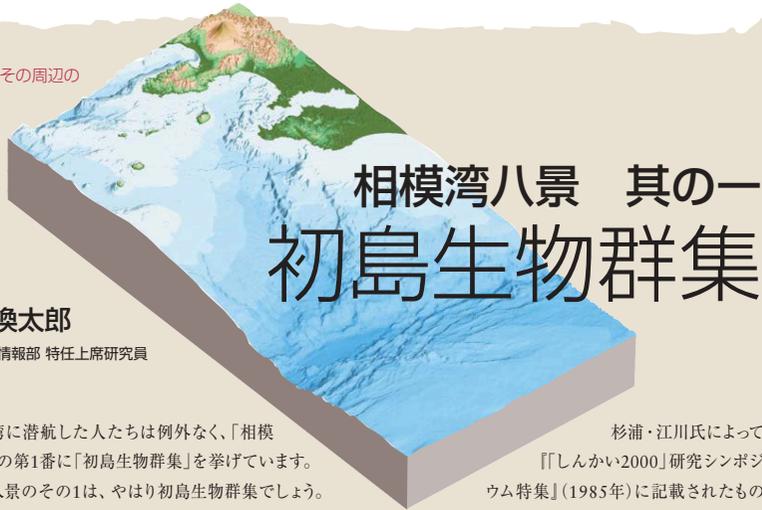


係留ロープの接続作業

「ボルトが1本緩んでいても、ブイが流されてしまう危険性があります。部品の種類を少なくしたり規格を統一して、組み立て・点検作業をしやすくする工夫をしています。高い精度の観測を確実にこなすには、装置を扱いやすくすることも大切なのです」（松本 技術副主任）

*インド洋に設置のブイは、文部科学省からの委託業務「インド洋観測研究ブイネットワークの構築」の一部として開発されました。

相模湾とその周辺の
鯨瞰図



相模湾八景 其の一 初島生物群集

藤岡換太郎

海洋地球情報部 特任上席研究員

相模湾に潜航した人たちは例外なく、「相模湾八景」の第1番に「初島生物群集」を挙げています。相模湾八景のその1は、やはり初島生物群集でしょう。初島生物群集は偶然に見つかったのではなく、その兆候はあったのです。相模湾沿岸の漁師の網に貝の死がいがかかっていることを、神奈川県水産試験場の人々は聞いていました。

それは、1984年6月5日のことでした。神奈川県水産試験場の江川公明氏と杉浦暁裕氏が、有人潜水調査船「しんかい2000」で初島周辺の調査を行いました。初島生物群集を初めて発見することになる江川氏は、海洋科学技術センター（現・海洋研究開発機構、JAMSTEC）の田代省三パイロット、桜井利明パイロットとともに相模湾初島南東沖に潜りました。彼らの本来の課題は、相模湾漁場におけるキンメダイやムツなど底魚の生態把握のために、海底を直接観察することでした。多くの科学的発見がそうであるように、本来の研究課題ではないところから大きな発見がなされたのです。

「しんかい2000」による観察は水深1,134mから行われ、1,100mの近辺でシロウリガイが発見されました。シロウリガイ群集は「島のような大きな集まり」を形成しており、天敵であるエゾイバラガニも見られました。この潜航の報告は実に淡々としたもので、ほとんどどの反響もありませんでした。しかし、この発見は、当時としては世界的に見ても優れたものだったのです。大きな反響がなかったのは、発見者たちの専門が魚であったこと、シロウリガイがプレート境界に特異な生物群集であることがそのころまだ認識されていなかったこと、相模湾がプレート境界であるという説がまだ定着していなかったこと、などのためです。その後も約2年間放置されていて、以下に述べる米国の潜航や「日仏海溝計画」での発見などによってようやく初島生物群集が重要であることが分かり、多くの人たちが競って潜航し始めた、というのが実情のようです。

杉浦・江川氏によって「しんかい2000」研究シンポジウム特集』（1985年）に記載されたものでは、初島南東沖の水深1,134～99mの斜面に沿って水深による生物の違いについての観察が行われています。特に、水深118mに出てくるカキの密集する層は重要です。彼らの潜航は生物の垂直分布の違いという点でも意味があったのですが、その後、誰もその論文を発掘しませんでした。「相模湾の底魚漁場調査」という論文の題名がよくなかったようです。

同じ1984年には、奇妙な生物群集が米国オレゴン沖において世界で初めて発見され、論文が出されました。1985年には、「日仏海溝計画」によってシロウリガイを主とする生物群集が、南海トラフの天竜海底谷の出口、日本海溝の第一鹿島海山付近や八戸沖で相次いで発見されました。シロウリガイが深海底の主役の座を占めたのです。初島の生物群集は、実は世界的な大発見であったのです。事実、発見したパイロットの田代さんと桜井さんは、アメリカの潜水調査船「アルビン」が見つけたシロウリガイと同じものではないかと大変興奮したと語っています。しかし、生物グループは冷やかだったそうです。「大魚を逃した」の感否めないでしょう。

初島生物群集は、最初の発見から23年がたちました。その間、1993年には海底ステーションが設置され、以降15年にもわたって観察が続けられています。写真に示すように、初島生物群集は広大な海底牧場のようです。赤いエゾイバラガニがシロウリガイ食べ放題の食堂にいるような様子は、とても印象的です。

初島生物群集の位置は、初島の南東斜面がその傾きを変える場所、傾斜変換点にあたります。その分布は、初島沖から南北に島状に点在しています。日本列島では最大規模の生物群集の一つでしょう。ここには南北に大きな断層が走っています。またこの場所は、大島と箱根を結ぶ伊豆・小笠原弧の火山フロントの近

くにあります。断層と火山フロントは、ちょうど初島生物群集が分布する場所で交差しています。そのため初島沖の海底には暖かい水が湧出しているので、厳密には冷水生物群集ではありません。実際、海底地熱流量の測定では、地温の極めて高いところと低いところが観測されており、地下で水が循環している可能性もあります。

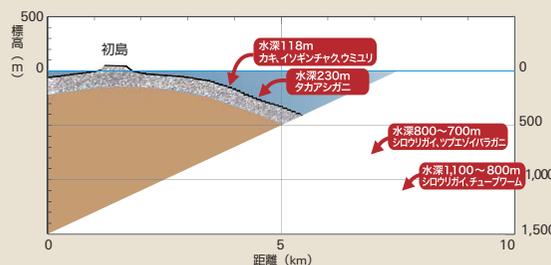
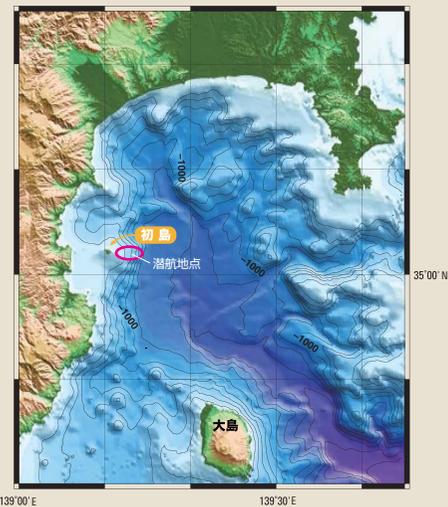
初島生物群集のビデオ映像を見ていると、まったく変化がないように見えます。しかし、数年間にわたって観察していると、いろいろな変化が見られます。まず、シロウリガイは行ったり来たりしているようです。貝は腕足類で足があります。貝の歩いた跡が堆積物の上に幾本もの筋になって残っており、実に忙しそうです。彼らは海水の温度に変化があると、一斉に放精・放卵するようです。また、地下の温度変化などに関係して全員が別の場所へ移動することも分かりました。一番印象的なのは、地震で斜面崩壊が起こり土石流を発生させたときに、貝は砂に潜りカニは逃げていく様子が観察されたことです。

シロウリガイの発見は、地球科学や生命科学に対してどのようなインパクトを与えたのでしょうか？ 筆者は1989年に、朝朝彦氏（現・JAMSTEC地球深部探査センター長）と共同で日本列島周辺の化学合成生物群集の論文を書いています。その内容は、化学合成生物群集がなぜそこにいるのかという問題でした。プレートが沈み込む境界である日本海溝や南海トラフにおいて、沈み込まれる側のプレートでは極端な圧縮が起こり、地下に持ち込まれた堆積物中に含まれる水や有機物は分解してメタンなどのガスになり、海底下の地層の境界や断層に沿って海底に昇ってきます。しかし、ガスや水などは直接海底に出ると拡散してしまうので、それを覆う堆積物の存在が、化学合成生物群集を養うのに必要です。初島沖や日本海溝には沈み込む境界、断層、急崖、堆積物の被覆という条件がそろっているため、化学合成生物群集が立地できます。それが、私たちの論文でした。

化学合成生物群集は、硫化水素やメタンなど人間にとって毒になるものを摂取しているため、残念ながら食用にはなりません。しかし、沈み込み帯の地下深部からの断層や流れる水を利用している点では、地震や火山噴火の予知に利用できるのではないかとという人もいます。なぜなら、初島生物群集の分布する場所は、石橋克彦氏（現・神戸大学教授）が指摘する南北に連なった西相模湾断裂という断層上にあるからです。さらに、伊豆・小笠原弧の火山フロントの上にいるために、暖かい水がわき上がってきています。

まあ、何はともあれ写真をとくとご覧あれ。 **BE**

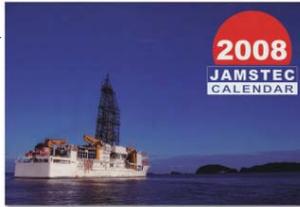
相模湾の海底地形図と断面図



1984年6月5日の潜航では、初島の斜面に沿う水深の違いによって出現する生物の違いに触れています。——水深1,100～800mでは、有機物に富み黒っぽい泥が堆積してシロウリガイが見つかります。10～100個体の群れをなす環形動物はチューブワームでしょうか？ 水深800～700mではシロウリガイやツブエゾイバラガニは見られなくなりました。水深600～500mでは斜面の傾斜は緩く、ウニが多くナマコも見られました。水深300～100mではなだらかな斜面が砂で覆われていて、アカザエビが見られました。水深230m付近ではタカアソガニが多数見られています。水深118m付近では岩が天然礁となり、その表面にはカキがびっしり付着していました。またイソギンチャク、ウミウリなども付いていました。——彼らの記載は、海底生物の垂直分布の違いを大変ビビッドに表現しています。カキは多くのものが汽水性であるため、水深118mが重要です。ここでは最終氷期の約1万8000年前には海面が約120m下がったといわれていますが、当時の海岸付近に生息していた可能性があります。

わたつみの
貝が姿見
露な忘れ
る 白瓜の
川 関山

Present プレゼント



JAMSTECオリジナルカレンダー

今回は、毎年ご好評をいただいているJAMSTECオリジナルカレンダーを10名様にプレゼント致します。2008年版は、「科学技術における『美』のパネル展」(平成19年度、主催：文部科学省、共催：科学技術団体連合)にJAMSTECから出品し、入賞となった作品で構成されています。B4サイズ(364mm×257mm)、カラー、14枚です。

■応募方法

- はがきかEメールに①～⑧を明記の上、下記までご応募ください。
- ①プレゼントの品名(カレンダー)
 - ②氏名 ③郵便番号・住所 ④年齢 ⑤職業(学生の方は学年)
 - ⑥電話番号 ⑦今号で一番興味を持った記事
 - ⑧『Blue Earth』へのご意見・ご希望

応募締め切り：2008年3月10日(月)(はがきの場合は当日消印有効)
当選者発表は、発送をもって代えさせていただきます。

■応募先

○はがき
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課
Blue Earth編集室プレゼント係

○Eメール
info@jamstec.jp
件名に「Blue Earth編集室プレゼント係」とお書きください。

*お預かりした個人情報は、プレゼントの発送または確認のご連絡のために利用し、独立行政法人海洋研究開発機構個人情報保護管理規程に基づき安全かつ適正に取り扱います。

JAMSTECメールマガジンのご案内

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

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

海と地球の情報誌『Blue Earth』 第19巻 第6号(通巻92号) 2007年12月発行

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

制作・編集協力 有限会社フォントクリエイト

取材・執筆 立山 晃(p.2-15、p.28-29、裏表紙) / 鈴木志乃(p.1、p.18-27) / 坂元志彦(p.16-17)
デザイン 株式会社デザインコンピビア (AD 堀木一男 / 岡野裕三 / 大友淳史ほか)

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

*本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます。

『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■申し込み方法

EメールかFAX、はがきに①～⑤を明記の上、下記までお申し込みください。

- ①郵便番号・住所 ②氏名 ③所属機関名(学生の方は学年)
 - ④TEL・FAX・Eメールアドレス ⑤Blue Earthの定期購読申し込み
- *購読には、1冊300円+送料が必要となります。

■支払い方法

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

○銀行振り込み

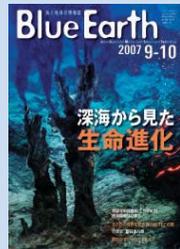
当機構指定の口座にお振り込みください。振込手数料をご負担ください。

○海洋研究開発機構 横浜研究所 地球情報部2階 図書室

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

■お問い合わせ・申込先

〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25
海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課
Blue Earth編集室
TEL.045-778-5440 FAX.045-778-5484
Eメール info@jamstec.go.jp
ホームページにも定期購読のご案内があります。上記URLをご覧ください。



*定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号(3-4月号)までとさせていただきます。
バックナンバーの購読をご希望の方も上記までお問い合わせください。
バックナンバーのご紹介
URL <http://www.jamstec.go.jp/j/pr/publication/index.html>

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

賛助会(寄付)会員名簿 平成19年12月6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。(アイエウエ順)

株式会社IHI	株式会社ケンウッド	中国塗料株式会社	東日本タグボート株式会社
株式会社アイ・エイチ・アイムユニテッド	神戸ペイント株式会社	株式会社鶴見精機	株式会社日立製作所
アイフ印刷株式会社	国際気象海洋株式会社	帝国石油株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー
株式会社アクト	国際警備株式会社	株式会社テラック	深田サルベージ建設株式会社
株式会社アサツディ・ケイ	国際石油開発株式会社	寺崎電気産業株式会社	株式会社フジクラ
朝日航洋株式会社	国際ビルサービス株式会社	電気事業連合会	富士ゼロックス株式会社
アジア海洋株式会社	五洋建設株式会社	東亜建設工業株式会社	株式会社フジタ
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	相模運輸倉庫株式会社	東海交通株式会社	富士通株式会社
アレック電子株式会社	三建設工業株式会社	海海マリシステムズ株式会社	富士電機システムズ株式会社
東産業株式会社	株式会社三晃空調	東京海上日動火災保険株式会社	物産不動産株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	東京製綱繊維ロープ株式会社	古河総合設備株式会社
栄光電設株式会社	財団法人塩業センター	東北環境科学サービス株式会社	古河電気工業株式会社
エヌケーケージメス鋼管株式会社	有限会社システム技研	東洋建設株式会社	古野電気株式会社
株式会社NTTデータ	シナノン株式会社	株式会社東陽アケニカ	松本徽章株式会社
株式会社NTTファシリティーズ	清水建設株式会社	東洋熱工業株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社江ノ島マリナーボリューション	株式会社商船三井	有限会社長澤工務店	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社MTS雪氷研究所	昭信ペトロリウム株式会社	株式会社中村鉄工所	株式会社丸川建築設計事務所
有限会社エルシャンテ追浜	社団法人信託協会	西芝電機株式会社	株式会社マルタン
株式会社OCC	新日鉄エンジニアリング株式会社	西松建設株式会社	株式会社マルトール
沖電工業株式会社	新日本海事株式会社	日油技研工業株式会社	三鈴マシナリー株式会社
株式会社海洋総合研究所	須賀工業株式会社	株式会社日産クリエイティブサービス	株式会社さひず銀行
海洋電子株式会社	鈴鹿建設株式会社	ニッスイマリン工業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	スプリングエイトサービス株式会社	ニッセイ同和損害保険株式会社	三井石油開発株式会社
鹿島建設株式会社	住友電気工業株式会社	日本SGI株式会社	三井造船株式会社
カナダ株式会社	清進電設株式会社	日本海洋株式会社	三菱重工業株式会社
カヤバシステムマシナリー株式会社	石油資源開発株式会社	株式会社日本海洋科学	株式会社三菱総合研究所
川崎設備工業株式会社	セナーアンドバーンス株式会社	日本海洋掘削株式会社	株式会社明電舎
株式会社川崎造船	セントラル・コンピュータ・サービス株式会社	日本海洋計画株式会社	株式会社森久井建築事務所
株式会社環境総合テクノス	株式会社総合企画アンド建築設計	日本海洋事業株式会社	八洲電機株式会社
株式会社関電工	株式会社損害保険ジャパン	社団法人日本ガス協会	郵船商事株式会社
株式会社キュービック・アイ	第一設備工業株式会社	日本興亜損害保険株式会社	郵船ナブテック株式会社
共立インシュアランス・フローカース株式会社	大成建設株式会社	日本サルヴェージ株式会社	ユニバーサル造船株式会社
共立管財株式会社	大日本土木株式会社	社団法人日本産業機械工業会	株式会社緑星社
極東貿易株式会社	ダイハツディーゼル株式会社	日本水産株式会社	レコードマネジメントテクノロジー株式会社
株式会社きんでん	大陽日酸株式会社	日本電気株式会社	
株式会社熊谷組	有限会社田浦中央食品	日本ビューレット・バックカード株式会社	
株式会社クロスワークス	高砂熱学工業株式会社	日本無線株式会社	
株式会社クローバルオシャンディベロップメント	株式会社竹中工務店	日本郵船株式会社	
京浜急行電鉄株式会社	株式会社竹中土木	株式会社間組	
KDDI株式会社	株式会社地球科学総合研究所	濱中製鋼工業株式会社	

独立行政法人 海洋研究開発機構

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀野夏島町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 700,
Washington, D.C. 20036, USA
TEL.+1-202-872-0000 FAX.+1-202-872-8300

津波を引き起こす巨大断層

普通の海の波と津波では、まったく発生の仕組みが異なる。普通の波は主に海上に吹く風によって海のごく表面が揺れているにすぎない。一方、津波は主に地震に伴い海底面が上下方向に動くことで、海水全体が揺らされて発生する。津波がとてつもない破壊力を持つのはこのためだ。

地球深部探査センターでは、1944年に起きた昭和東南海地震の震源に近い紀伊半島沖熊野灘で地下構造探査を実施、データ解析により3次元の地質構造を明らかにした。ここにはフィリピン海プレートが、陸側のプレートの下に沈み込んでいる南海トラフがある。そのプレート境界から分岐した巨大断層が、地震時に海底面の上下方向の変化をもたらし、昭和東南海地震などで発生した巨大津波を引き起こしたと結論づけた。今後、30年以内に60%程度の確率で東南海地震が発生すると予測されている。この巨大分岐断層は現在も活動的だ。地震とともに津波への備えが欠かせない。(2-15ページに関連記事)

(取材協力：地球深部探査センター)

