

海と地球の
情報誌

2006年
7-8月号

BlueEarth

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

特集 海溝型巨大地震を探る
南海トラフで明らかにされる
海溝型地震発生のメカニズム

特別企画 映画『日本沈没』

[インタビュー] 作家 小松 左京

[対談] 樋口 真嗣 監督 vs. 平 朝彦 理事

JAMSTEC Report 過去30年、東アジアでは雨の降り方の「偏り」が進行中
晴天が増える一方、巨大積乱雲が豪雨をもたらす

Aquarium Gallery 特殊な環境に生息する南極の生物の繁殖に成功



泥流が発生する直前の海底の様子



泥流発生。堆積物が巻き上げられている様子が映し出されている



手前には泥流から逃れようとするエゾイバラガニの姿が

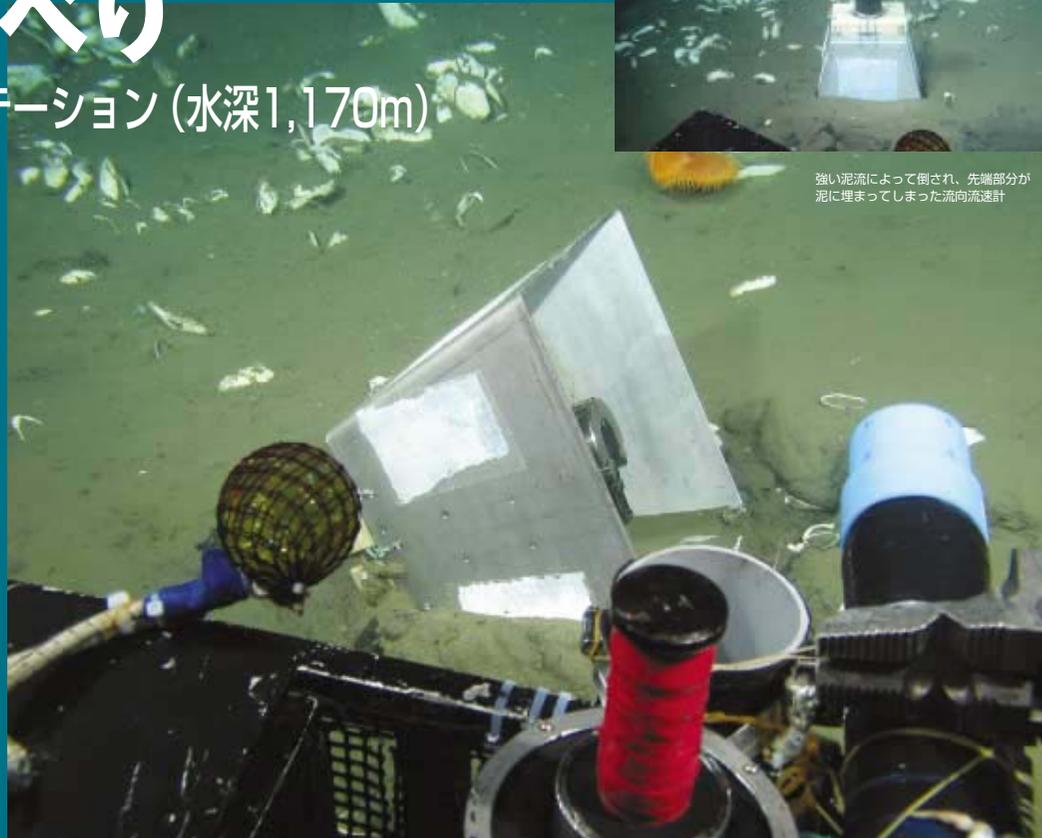


巻き上げられた堆積物によって視界が悪くなった海底

ビデオカメラがとらえた 深海底の地すべり

相模湾 初島沖 深海底総合観測ステーション (水深1,170m)

2006年4月21日午前2時50分ころ、相模湾・初島の南方約15kmを震源とするマグニチュード5.6の地震（伊豆半島東方沖地震）が発生した。そして、地震発生から約5分後、初島の南東約6kmの海底に設置された深海底総合観測ステーションのビデオカメラが、海底の異変をとらえた。ステーションのすぐ近くに押し寄せる海底地すべり（泥流）だ。さらに3時9分ころ、ビデオカメラは再びステーション近くに到達するより強い泥流を映し出した。初島の太平洋側の沖には、水深が一気に約1,000m落ち込む急斜面がある。その先の水深1,170mの海底にステーションは設置されている。ビデオカメラが記録した泥流は、地震が引き金になり、急斜面上部（浅海域）の堆積物が雪崩のように海底を流動したものと推測された。翌22日より、無人探査機「ハイバードルフィン」による潜航調査が実施された。ステーションの周辺には、海底地震計をはじめいくつもの観測機器が配置されていたが、流向流速計が転倒していたり、ハイドロフォン（水中マイク）や電位差計の電極が2~3m移動し、ケーブルが伸び切った状態になっているなど、ステーション周辺に強い泥流が到達していたことを示す痕跡が数多く残されていた。「ハイバードルフィン」による詳しい観察から、泥流はステーション周辺において50~100mの幅を持っていったと推測された。また、斜面の上方（西側）約300mに泥流によるものと思われる筋が確認され、泥流は比較的小規模ではあるものの、局所的に強い流れであったことも分かった。5月中旬には、深海巡航探査機「うらしま」による音響探査も行われ、そのデータを用いた海底微細地形図から、泥流の痕跡を高精度にとらえることに成功した。浅海域から深海域への物質輸送等に重要な役割を果たしている泥流が発生する瞬間とその痕跡をとらえたことは、今後、泥流による物質の運搬過程などを明らかにするための大きな手がかりとなる。



泥流発生前、ステーションの近くに設置されていた流向流速計

強い泥流によって倒され、先端部分が泥に埋まってしまった流向流速計



2005年1月：ケーブルに余裕あり
電位差計へ
電極



2006年4月22日
ケーブルが一杯に張り付いた状態に！
電位差計へ
電極

泥流の痕跡を示す一例。ステーションの電位差計から伸びる電極は、ケーブルにやや余裕を持たせて設置されていた（上）が、泥流が発生した後の調査で、泥流に押し流されてケーブルが張った状態になったことが観察された（下）

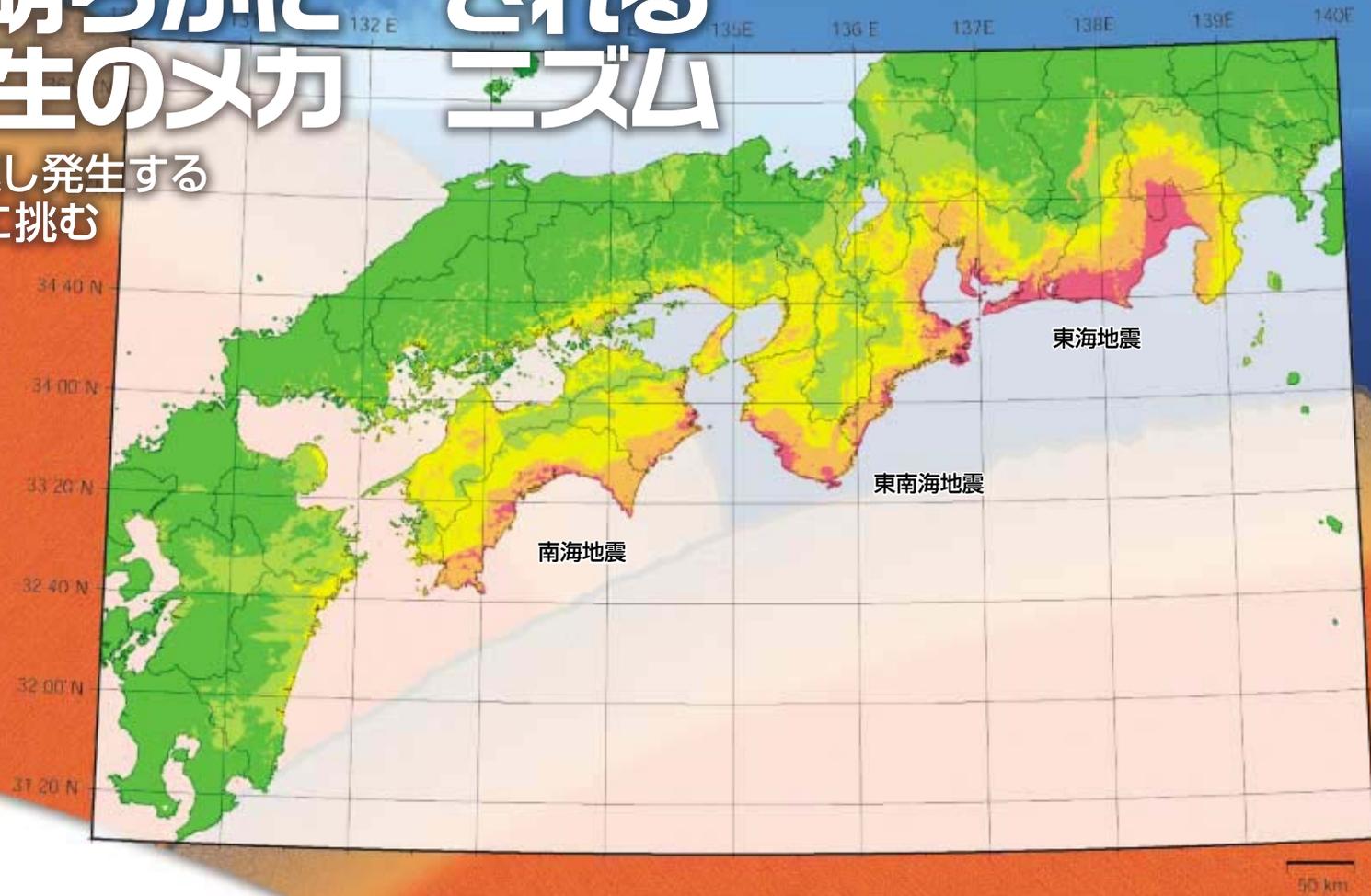
取材協力：
木下 正高 グループリダー
地球内部変動研究センター
地球内部構造研究プログラム
海洋底観測研究グループ

南海トラフで明らかにされる 海溝型地震発生メカニズム

マグニチュード M8クラスの巨大地震が繰り返し発生する南海トラフで包括的地震研究に挑む

2004年12月26日に発生したスマトラ島沖大地震と津波が、インド洋沿岸の広大な地域に甚大な被害をもたらしたことは、まだ記憶に新しい。M（マグニチュード）9を超える巨大地震は、ユーラシアプレートにインド・オーストラリアプレート（海洋プレート）が沈み込む、プレート境界域で発生した海溝型巨大地震だった。4つのプレートの境界に位置する日本列島でも、これまで数多くの海溝型巨大地震が発生している。なかでも、ユーラシアプレートにフィリピン海プレートが沈み込む南海トラフでは、過去にM8クラスの巨大地震が繰り返し発生し、これまでの歴史から推察すると、それほど遠くない将来、再び巨大地震が発生するのではないかと懸念されている。

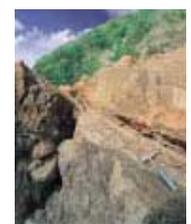
その一方で、現在、南海トラフでは地震発生メカニズムやプレートの挙動を解明するための様々な調査・研究が実施されており、世界でも最も地震研究が進んでいる場所のひとつといわれている。さらに、今後はIODP（統合国際深海掘削計画）による深海掘削調査も実施される予定だ。そこで、今回は南海トラフを中心に、海溝型巨大地震の発生のしくみがどこまで明らかになったのか、さらにこれからどのような研究が行われようとしているのかを紹介する。



中央防災会議が推定した、東海地震、東南海地震、南海地震の震源域が同時に破壊される場合の震度分布図。東海から九州までの広い範囲で震度5以上の大きな揺れが発生することが予測されている。さらに津波が発生すれば、その被害は甚大なものになると推定される。
(文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会「全国を概観した地震動予測地図」報告書より 2005年3月)

Blue Earth

7-8月号/2006



表紙：「地震の化石」シュードタキライト詳しくは12ページ参照

CONTENTS

- 2 特集 海溝型巨大地震を探る
南海トラフで明らかにされる
海溝型地震発生メカニズム
- 4 海溝型巨大地震発生のしくみ
- 8 「地震の巣」南海トラフの地下深部では
何が起きているのか
- 12 “地震の化石”シュードタキライトに
残された海溝型巨大地震の
ミクロな断層メカニズム
- 14 東海・東南海・南海地震の
繰り返しパターンを再現
- 18 地球システム解明に向けて
動き出したIODPタスクフォース

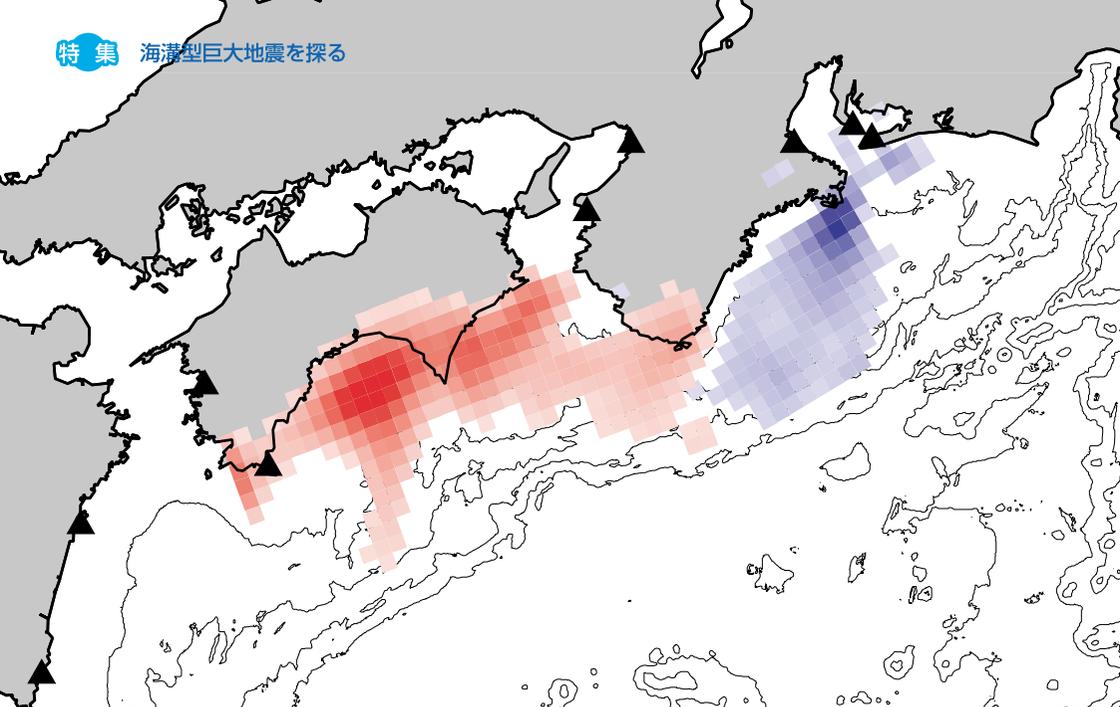
- 20 Key Person 特別編
映画「日本沈没」完成記念 特別インタビュー
作家 小松 左京
- 23 映画「日本沈没」
～「最先端科学とエンターテインメントの出会い」～
樋口 真嗣 監督 VS. 平 朝彦 理事

- 26 Aquarium Gallery
特殊な環境に生息する南極の生物の繁殖に成功
名古屋港水族館
- 28 JAMSTEC Report
晴天が増える一方、
巨大積乱雲が豪雨をもたらす
- 32 Marine Science Seminar
「波浪エネルギー、海からの恵み」
～波力発電装置の研究開発～

- 36 BE ROOM
Topics
「マルチスブラッシュ調査航海日記」
- 37 千葉県立中央博物館
企画展「驚異の深海生物」
- 38 研究の現場から「ローワーク (2)」
- 39 海洋地球百科事典「海洋コンペアベルト」

- 40 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

賛助会会員名簿



1944年の東南海地震(青)、1946年の南海地震(赤)のプレート境界面のすべり量。色が濃いほど大きくすべったことを示している (Baba & Cummins, 2005)

南海トラフで繰り返しおきる巨大地震に迫る 海溝型巨大地震発生のしくみ



取材協力:
木下 正高 グルーブリーダー

地球内部変動研究センター
地球内部構造研究プログラム
海洋底観測研究グループ

プレート境界でM8クラスの巨大地震が多発

日本列島は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートという4枚のプレートがせめぎ合う場所に位置している(図1)。プ

地球の表面は、十数枚からなるプレートと呼ばれる厚い岩盤で覆われており、それぞれのプレートは、異なる方向に少しずつ移動している。このプレート運動によって、プレートの境界には、プレート同士がせめぎ合う大きな力が働き、歪みが生じる。この歪みに蓄積されたエネルギーが地震を引き起こす。世界でも有数の地震多発国である日本の周辺には、4枚のプレートがひしめき合い、ここに蓄積された歪みエネルギーが、地震の原動力となっている。では、実際に地震はどのようにして発生するのだろうか、さらに、M7~8といった巨大地震を引き起こす海溝型地震とはどのようなものなのだろうか。そして、この巨大地震のメカニズムを理解するために、現在、どのような調査・研究が行われているのだろうか。

プレート境界の構造の複雑さもあって、日本では地震の数が多いだけでなく、その発生のしくみも多様だ。日本で発生する地震のなかで、甚大な被害をもたらすものは、大きく分けて2つの領域で発生している。ひとつは陸側プレートの比較的

地表に近い場所で発生するもの、もうひとつは沈み込むプレートに沿って発生するものだ。

前者は「内陸型(直下型)地震」と呼ばれる。1995年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)、2004年の新潟県中

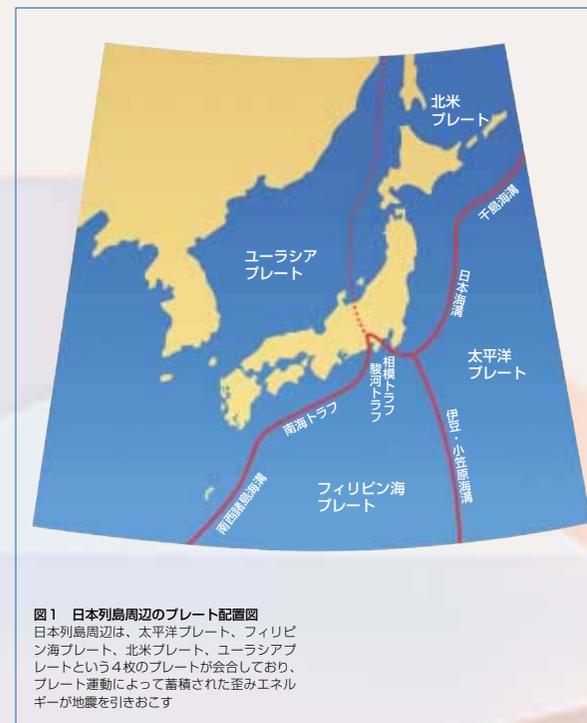
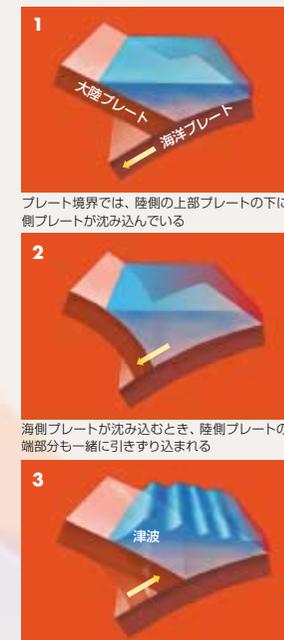


図1 日本列島周辺のプレート配置図
日本列島周辺は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートという4枚のプレートが会合しており、プレート運動によって蓄積された歪みエネルギーが地震を引き起こす

越地震などがこのタイプだ。プレート運動によって大地に蓄積される歪みに耐えられなくなったとき、岩盤は割れてすれ動き、地震を引き起こす。このときにできる岩盤の傷跡が断層だ。日本の大地には、はるか昔から繰り返されてきた地震の傷跡が数多く刻み込まれている。そして、傷跡である断層のなかには、動き続けるプレート運動によって、再びすれ動いて地震をおこすものがある。そうした、いつまた動くかもしれない断層を活断層という。現在、日本全国で約2,000の活断層が確認されている。活動間隔は、断層によって差が大きいですが、千年から数万年オーダーと非常に長い。また、内陸型地震を引き起こすかたてもろい岩盤は、地下20km程度までの比較的浅い場所にある(それより深くなると温度が高くなり、岩盤が変形しやすくなるため、歪みのエネルギーが蓄積されにくいと考えられている)。そのため、内

陸型地震は、地震の規模としてはほとんどがM7以下だが、震源が地表に近いために大きな被害をもたらすことがある。後者は「海溝型(プレート境界型)地震」と呼ばれる。1994年の三陸はるか沖地震、2003年の十勝沖地震などがこのタイプだ。日本列島の太平洋側には、太平洋プレートと北米プレートの境界に千島海溝・日本海溝、フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界に駿河トラフ・南海トラフ・琉球海溝(さらに、フィリピン海プレートと北米プレートの境界に相模トラフ)と呼ばれる深い溝状の地形が見られる。これらのプレート境界では、陸側の上部プレートの下に海側プレートが沈み込んでいる。プレート運動によって海側プレートが沈み込んでいくとき、これに接している陸側プレートの先端部分も、プレート間の摩擦によって一緒に引きずり込まれていく。こうして地殻内に歪みが蓄積され、その歪みが

図2 巨大地震・津波の発生メカニズム



1 プレート境界では、陸側の上部プレートの下に海側プレートが沈み込んでいる

2 海側プレートが沈み込むとき、陸側プレートの先端部分も一緒に引きずり込まれる

3 地殻内の歪みが境界に達したとき、陸側プレートの先端部分が跳ね上がり、地震が発生。津波を伴うことも多い

境界に達したとき、陸側プレートの先端部分が跳ね上がり、プレート境界に破壊が生じ、巨大な逆断層(地塊が押し合う力によって上盤が下盤に対してすり上がることができる断層)が形成される。このとき発生するのが海溝型地震だ(図2)。震源の深さは10kmから数十kmと幅があるが、断層規模は内陸型地震に比べて非常に大きく(南海トラフではおよそ100km×100kmにまで達する)、M8を超える巨大地震が発生することもある。また、巨大地震の発生により陸側プレートが隆起して津波が発生することもある。これらで日本で観測されたM8クラスの巨大地震の分布を調べると、そのほとんどが海溝型地震であることが分かる。さらに、プレート境界では、数十年から数百年という短い周期で、繰り返し巨大地震が発生していることも分かっている。

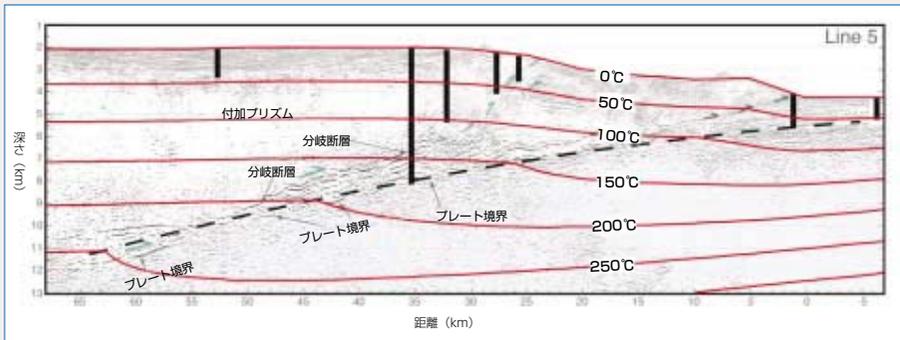


図3 熱流量測定
熱流量測定によって推定された南海トラフ・熊野沖周辺の熱分布。海底下およそ6kmより下方の約150～300℃の領域で固着がおきていると考えられる (Park et al., 2002)に加筆

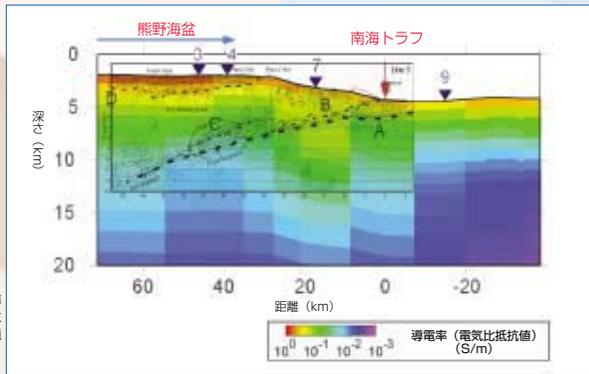


図4 海底下の電気伝導度の調査
電位差磁力計により海底下の電気伝導度の構造を調査。電気伝導度は熱と水に大きく影響されるため、プレート境界面の含水率を推定する指標となる (後藤他, 2004)

海溝型巨大地震のしくみを明らかにするために

地震多発国である日本において、巨大地震発生メカニズムを解明し、予測や防災に役立てることの社会的な要請はきわめて高い。特に短い周期で繰り返し規模の大きな地震を引きおこす海溝型地震について、詳しく理解することは非常に重要と考えられており、現在、調査や研究が精力的に続けられている。そのなかでも、研究が進んでいるのが南海トラフだ。

南海トラフでは、東海地方から近畿、四国、九州といった西南日本を構成する陸側(ユーラシア)プレートに海側(フィリピン海)プレートが、年間約4cmの速さで沈み込んでいる。そして、プレート境界域に蓄積された歪みエネルギーが解放されることにより、M8クラスの巨

大地震が繰り返し発生してきた。南海トラフで発生した巨大地震に関する最も古い記述は、『日本書紀』に記された684年の白風の地震だ。さらに、多くの歴史資料や各地に残された地震・津波の痕跡に関する調査から、その後90年から二百数十年という間隔で、巨大地震が何度も発生してきたことが明らかになっている。およそ1300年間にわたって過去の海溝型巨大地震の記録が詳しく知られている場所は、世界でも珍しい。この南海トラフは、南海地震震源域・東南海地震震源域・東海地震震源域という3つの地震発生帯に分かれている(2～3ページ参照)。ここで最後に発生した巨大地震は、1944年の東南海地震(M7.9)と2年後の1946年に連続しておきた南海地震(M8.0)だ。これらの地震発生から、すでに60年が経過

しており、近い将来、南海トラフで再び巨大地震が発生することが危惧されている。

海溝型巨大地震の発生メカニズムを明らかにするためには、地震を発生させるエネルギーが、どこにどれだけ蓄積されているのか、そして、いつどのようにして破壊(地震)がおきるのかを明らかにしなければならない。巨大地震を発生させるには、地震を引きおこす断層(プレート境界面)が通常は固着していることが必要だ。そして、プレート運動による歪みを蓄積し、地震を発生させる固着域の形成には、プレート境界面の摩擦が大きく影響している。プレート境界面の状態は、すべてが一様ではなく、すべりやすい部分もあればすべりにくい部分もある。境界面の凹凸(形状)とともに、それを決定する重要な要素となる

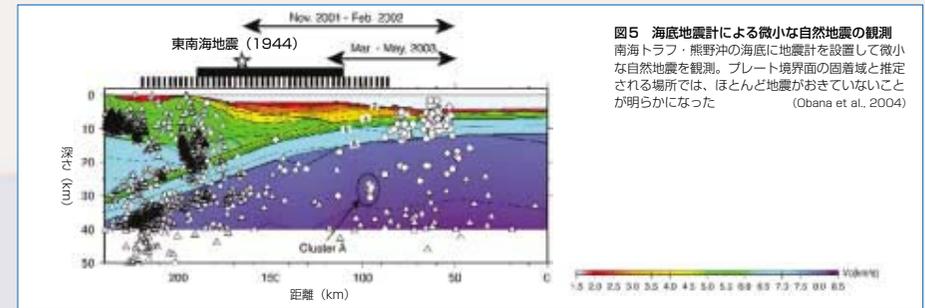


図5 海底地震計による微小な自然地震の観測
南海トラフ・熊野沖の海底に地震計を設置して微小な自然地震を観測。プレート境界面の固着域と推定される場所では、ほとんど地震がおきていないことが明らかになった (Obana et al., 2004)

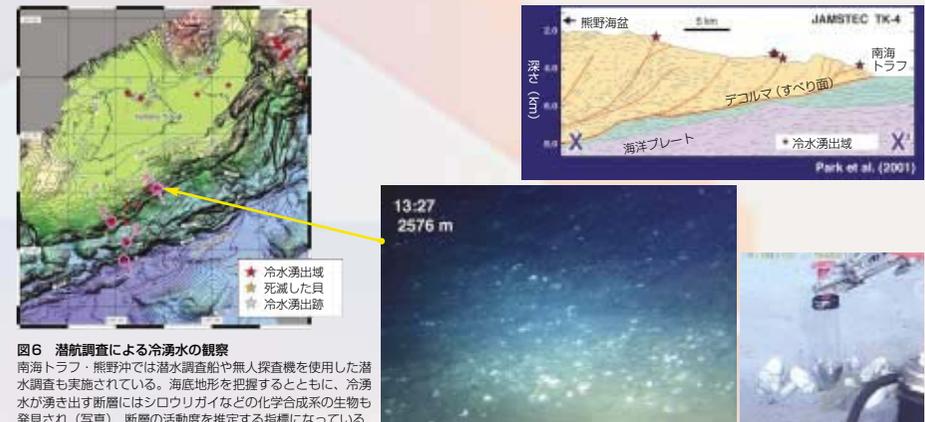


図6 潜航調査による冷水湧水の観測
南海トラフ・熊野沖では潜水調査船や無人探査機を使用した潜水調査も実施されている。海底地形を把握するとともに、冷水湧水が湧き出す断層にはシロウリガイなどの化学合成系の生物も発見され(写真)、断層の活動度を推定する指標になっている

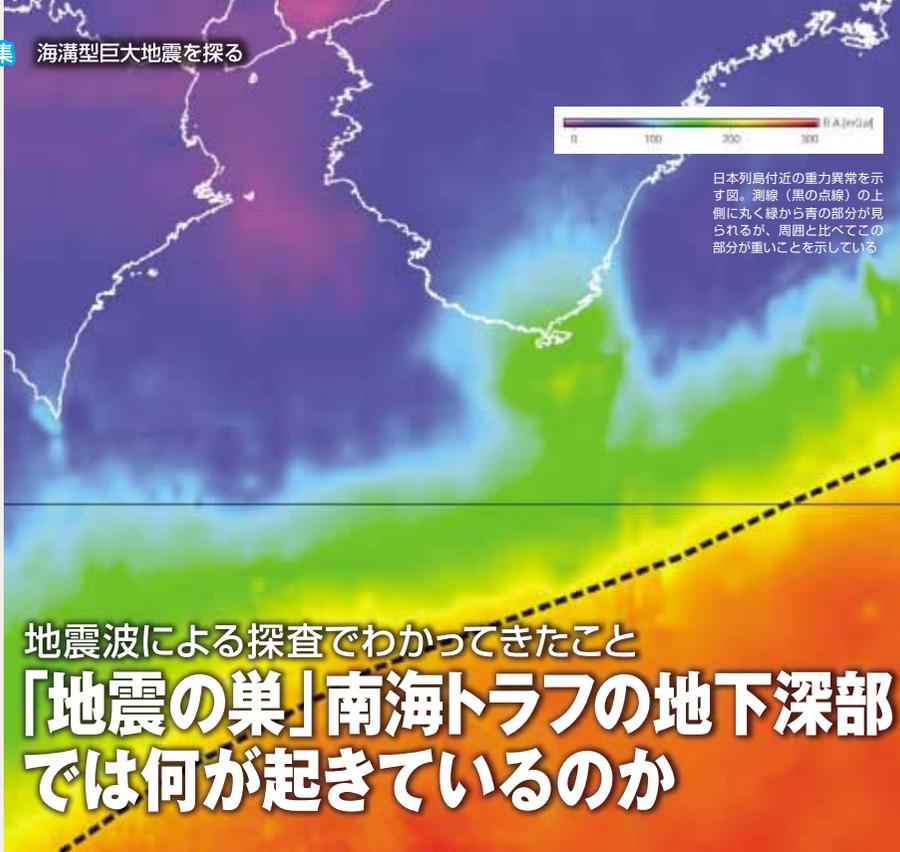
のは、境界面を構成する物質、そして温度、圧力、そこに存在する水(間隙水)の状態だ。境界面には、海溝軸付近の海底に堆積した粘土鉱物や水が存在する。それが深くまで沈み込むと、温度が上昇し、圧力も高まる。これによって、物質(粘土鉱物)の組成や水の状態は変化し、境界面の摩擦係数が大きくなると考えられる。そして、さらに深くなると、境界面の温度はより高まり、物質がやわらかくなることによって歪みがたまりにくくなるのが推測される。固着域がどこに存在するのを知り、それがどのような状況にあるのかを理解するためには、プレート境界域の構造を明らかにすることはもちろん、さまざまな地球科学的な手法を用いて総合的に調査・観測することが不可欠だ。

そうした調査の基本になるのは、地震

波を使って行われる海底下の深部構造探査だ(8～11ページ参照)。また、深海掘削によって断層を掘り抜き、直接断層に堆積した粘土鉱物や水が存在する。それが深くまで沈み込むと、温度が上昇し、圧力も高まる。これによって、物質(粘土鉱物)の組成や水の状態は変化し、境界面の摩擦係数が大きくなると考えられる。そして、さらに深くなると、境界面の温度はより高まり、物質がやわらかくなることによって歪みがたまりにくくなるのが推測される。固着域がどこに存在するのを知り、それがどのような状況にあるのかを理解するためには、プレート境界域の構造を明らかにすることはもちろん、さまざまな地球科学的な手法を用いて総合的に調査・観測することが不可欠だ。

潜航調査も実施されている(図6)。海底地形を把握するとともに、冷水湧水が湧き出す断層にはシロウリガイなどの化学合成系の生物群集の活動なども見つかり、断層の活動度を推定する指標になる。

さらに、今後は掘削孔を活用した孔内長期モニタリングによって、地殻変動を直接観測する技術や、海底に設置した地震計などをケーブルで繋ぐ海底ネットワークシステムの構築などによる、詳しい調査・観測も計画されている。こうした総合的な調査から得られる詳細なデータを活用することができれば、より高度な地震発生予測モデルの構築も、やがて可能になるはずだ。



地震波による探査でわかってきたこと 「地震の巣」南海トラフの地下深部では何が起きているのか



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
プレート挙動解析研究プログラム
地殻構造解析研究グループ

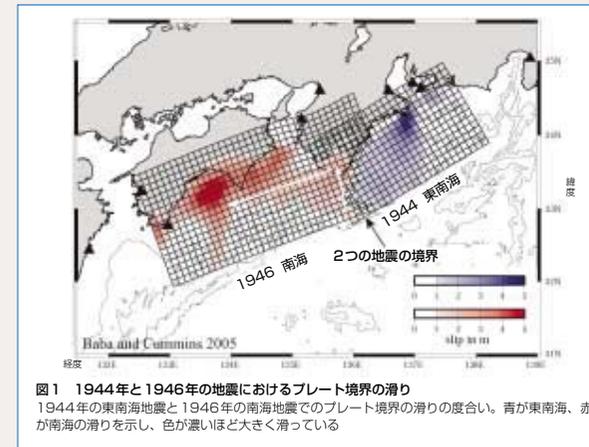
地震の破壊が 一様に伝わらないのはなぜか

歴史をさかのぼると、南海トラフでは周期的に南海地震、東南海地震が起きている。地殻構造解析研究グループの馬場研究員らが1944年の東南海地震と1946年の南海地震のときにプレート境界のどこがどれだけすべったかを津波のデータから計算した結果、す

南海トラフは駿河湾から西に延びる水深3,000~4,000mの海底の「くぼ地」である。この周辺ではフィリピン海プレートが日本列島の下に沈み込んでおり、過去の文献などの歴史資料から、ほぼ100~150年間でマグニチュード8クラスの巨大地震が繰り返り起こっていることが知られている。その周期から推測すると、南海トラフでは近い将来、次の巨大地震が起こることが懸念されている。一方、南海トラフは海溝型地震発生メカニズムを探る上で、非常に興味深い対象であり、近年この地域に対する調査研究が強化されてきた。その結果、地震が起こったときの岩石破壊の伝わり方に、地下深くに隠された構造が大きく影響を与えていることがわかってきたのである。

べりが起こらなかった空白の部分があることがわかった(図1)。四国沖にほとんどすべりが起こっていない部分があり、破壊が四国の陸側に回りこんだように見える。またいわゆる東海沖にもすべりの起こっていない部分がある。さらに重要なのは、東南海と南海の破壊域が紀伊半島の南東側で非常にきれいに分かれていることだ。東南海と南

海地震の破壊域が分かれるのはこのときだけではなく、たとえば1854年の安政の大地震のときもそうだったらしいことが歴史資料から分かっている。南海、東南海の2つの地震が分かれるときは、この紀伊半島沖が常に境界になるらしい。また2つに分かれなるときも、1707年の宝永の大地震のときは境界を乗り越えて破壊が進んで



いる。なぜ空白の部分ができるのか、またなぜ2つの地震に境界ができるのか、小平グループリーダーはその理由を地下の構造から探ろうとしてきた。

海洋研究開発機構では、これまで10年近く海洋調査船「かいれい」や「かいよう」によりエアガン(圧搾空気を撃って人工の地震波を発生させる)やストリーマケーブル(海面付近に設置する水中マイク。これによってプレート内部の各地層で反射してきた地震波を音波として捉える)、海底地震計を使って海底下の構造を調べている。一般に地震波が速く伝わる場所にはかたいものがあり、遅く伝わる場所にはやわらかい構造がある。そこでエアガンを使って人工的に地震波を起こし、地下を伝わった地震波をストリーマケーブルや海底地震計でキャッチする。その距離と時間から地震波の伝わる速度を計算し、地下の構造をちょうど断層写真を撮るように捉えることができる。もうひとつ、境界面で直接反射する地震波から境界面をマッピングする手法もある(図2)。現在のところこれが最も効率的に地下の構造を調べる方法である。その結果南海トラフの構造の特徴がわかってきた。

沈み込んだ海山や海嶺が「引っぱり」を生む

1999年に室戸沖で行った実験では、ちょうどすべりの空白地帯に上下に膨らんだ「こぶ」のような構造があることがわかった(図3)。プレートの運動によって海山が沈み込んだらしい。地下構造探査の結果を滑りの度合いを示す地図に重ね合わせると、ちょうどその「こぶ」を迂回するように破壊が回り込んでいっている。この沈み込んだ海山の存在が破壊の伝播を止める働きをしたと考えられる。

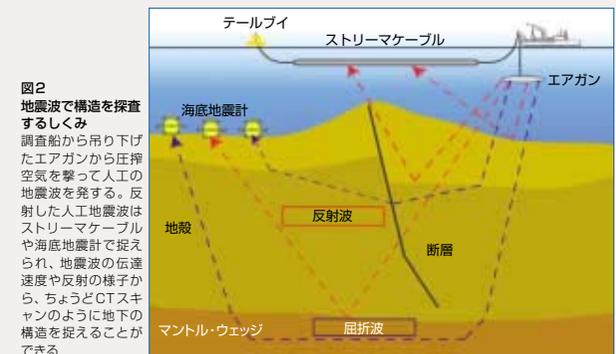
では東海沖の空白地帯はどうか。能登半島と静岡の海岸線をつなぐラインを海側に延長した測線で調査を行った(図4の実線)。伊豆半島の南に銭洲海嶺

という海底山脈があり、さらに南に似たような海嶺が何本もある。地震波が同じ速度で伝わる部分を線で結び、海嶺の部分で上下に広がる。その上下のたわみで見ると、銭洲海嶺と同様のものがその先に沈み込んでいるらしい(図4の赤い点線が上下にふくらんでいる部分)。幸い東海沖はGPSのネットワークが密であるため、GPSデータを用いてプレートがどれだけ固着しているかを調べた結果が図4左に示されている。オレンジ色の部分は固着が強く、緑色のところは滑っている。そのデータに測線調査でわかった「こぶ」の位置を重ね合わせたのがピンク色の部分である。ちょうど大きいほうのこぶの部分は固着が大きい部分とびつたり一致する。ここでも沈み込んでいる「こぶ」、つまりかつての海嶺ががっちりくっついているために地震の伝播を止めてしまった。少なくとも1944年の地震の場合は止めたのではないかということがわかってきた。

もし、このような沈み込んだ海山や海嶺がなく平らであったとしたら、地震による破壊は平均して広がったはずだが、ここに「こぶ」があることで破壊の広がりが止まったり、陸側に回り込んだのは間違いない。

地震に境界が生まれるメカニズム

最大の問題は、南海、東南海の2つの地震に分かれるときは、なぜ同じと



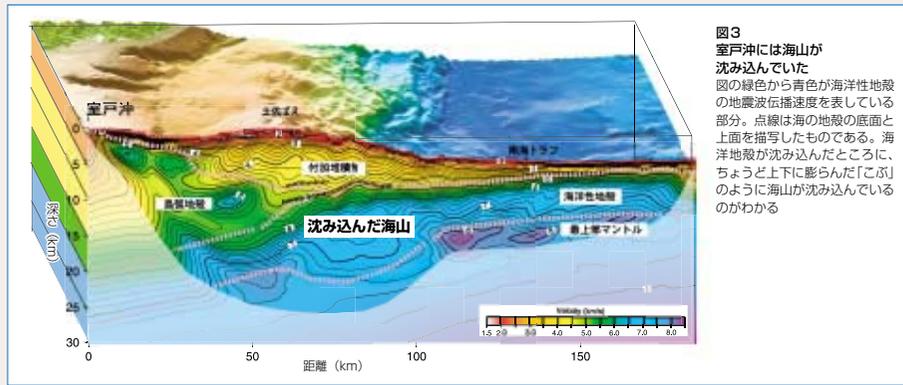


図3 室戸沖には海山が沈み込んでいた
図の緑色から青色が海洋性地殻の地震波伝播速度を表している部分。点線は海の地殻の底面と上面を描写したものである。海洋地殻が沈み込んだところに、ちょうど上下に影が落ちた「こぶ」のように海山が沈み込んでいるのがわかる

ころが地震の境界域になるのかという点である。2004年には海岸線に平行の測線を3本として調査を行った(図5)。すると地震波の伝播速度から、この境界部分では何かかたいものが海洋地殻の上のっていることがわかった。地下の密度構造を示す重力異常のデータを見ると、やはり地面の下になにか重いものがある(図6)。その2つの位置はぴったり合っているため、この境界の深い部分に何か石臼のようにかたくて重い「重し」があって地震波を止めているのではないかと考えられ

る。さらに海側では次のような構造が見えてきた(図7)。3本の測線に同じような断層があり、おそらく沈み込む以前にできたものだと考えられる。それが「重し」に引っかかることで再活動し、断層の部分が壊れて歪みためられなくなった。そのため破壊の伝播が止まってしまったのだろう。このように境界の深いほうには「重し」がのっていて、浅いほうには断層で切られる壊れた海洋地殻が存在するため、地震の境界となる領域ができたのである。同グループの堀研究員は、以上の実

験でわかった海山、海嶺、重し、壊れた海の地殻という構造を数値モデルに入れてシミュレーションを行った(14ページ参照)。その結果、東海と東南海地震のサイクルを非常によく再現することができた。東海と東南海と一緒に破壊されたのが宝永のパターン、東南海と東海と一緒に壊れて次が南海というのが安政のパターン、東南海が壊れたのが昭和のパターンと類似的である。このシミュレーションによると、数十年以内に発生する確率が高いといわれている次の地震は、

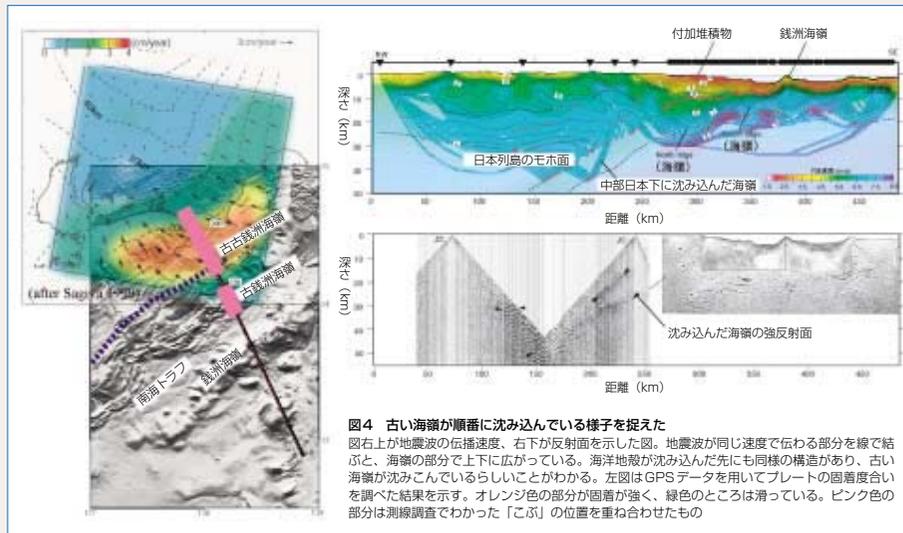


図4 古い海嶺が順番に沈み込んでいる様子を捉えた
図右上が地震波の伝播速度、右下が反射面を示した図。地震波が同じ速度で伝わる部分を線で結び、海嶺の部分で上下に広がっている。海洋地殻が沈み込んだ先にも同様の構造があり、古い海嶺が沈みこんでいるらしいことがわかる。左図はGPSデータを用いてプレートの固着度合いを調べた結果を示す。オレンジ色の部分が固着が強く、緑色のところは滑っている。ピンク色の部分は測線調査でわかった「こぶ」の位置を重ね合わせたもの

地震にすならない「ゆっくりすべり」で終わり、その次に起きる地震ですべてが破壊されることが予想される。

今後の研究目標と構造探査が担う役割

北海道沖の千島海溝でも大きな地震はいくつかの破壊域に分かれて起きている。最近のスマトラ沖の大地震も、まずクリスマスの翌日に大きな地震があり、さらに3月にその南側で地震が起こった。その2つの地震にもやはり境界がある。これらの現象は南海トラフで起こっていることと同じなので、おそらく似たような地殻構造があると考えられる。そのような場所で調査を行って構造を明らかにしていくのが次の目標である。

また東海沖では、しばらく前に浜名湖周辺がずるすと動いた「ゆっくり地震」があった。その原因はよく分からなかったが、地震波で調べたところ、沈み込んでいるフィリピン海プレートの上に地震波を非常に強く反射する面があった。さらに地震波のP波とS波の速度の比を用いて地下の構造がどういった物質でできているかを見ていくと、そこには流体らしきものが存在した。おそらくプレートの小さな隙間に水が入り込んで沈み込んだ際に、逃げ場を失った水の高い圧力でプレート境界が押し込まれやすくなり、「ゆっくり地震」が起こるのではないかと見えてきた。これも地震と構造の関係を知る上での大きな収穫である。

またIODPの掘削場所の決定にも構造探査は関係している(18ページ参照)。「ちきゅう」は深さ2,500~5,000mを掘れるため、南海トラフで沈み込んでいるプレートの形を調べて、プレート境界に届く掘削可能地点を探した。東海沖、熊野灘沖、室戸沖と調べ、熊野灘沖に分岐断層の存在を発見した。現在、掘削地点をどこにするか、この深部構造探査の結果をもとに議論が行われているところである。

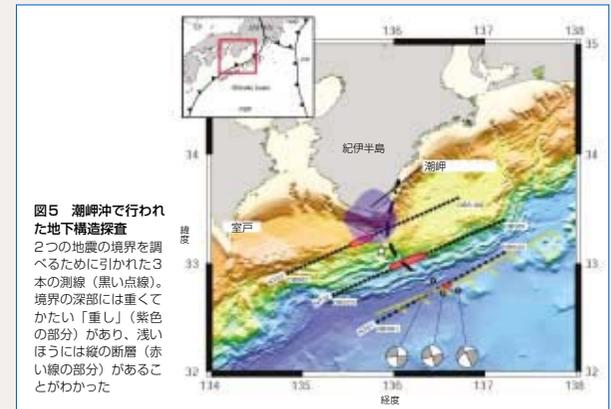


図5 湘州沖で行われた地下構造探査
2つの地震の境界を調べるために引かれた3本の測線(黒い点線)。境界の深部には重くてかたい「重し」(紫色の部分)があり、浅いほうには緩い断層(赤い線の部分)があることがわかった

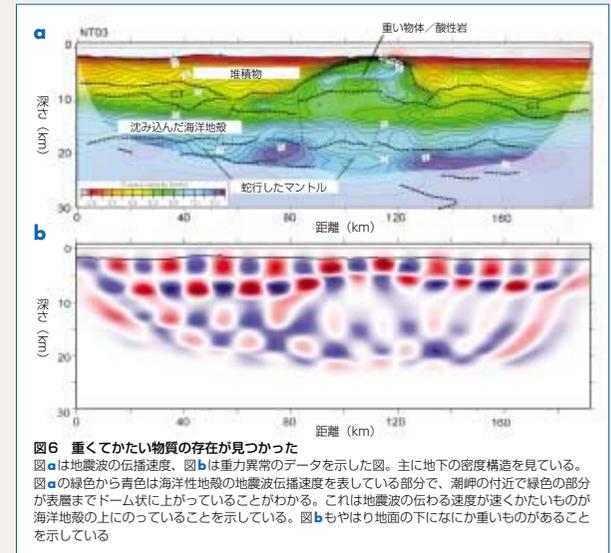


図6 重くてかたい物質の存在が見つかった
図aは地震波の伝播速度、図bは重力異常のデータを示した図。主に地下の密度構造を見ている。図aの緑色から青色は海洋性地殻の地震波伝播速度を表している部分で、湘州の付近で緑色の部分が表層までドーム状に上がっていることがわかる。これは地震波の伝わる速度が速くかたいものが海洋地殻の上のっていることを示している。図bもやはり地面の下になにか重いものがあることを示している

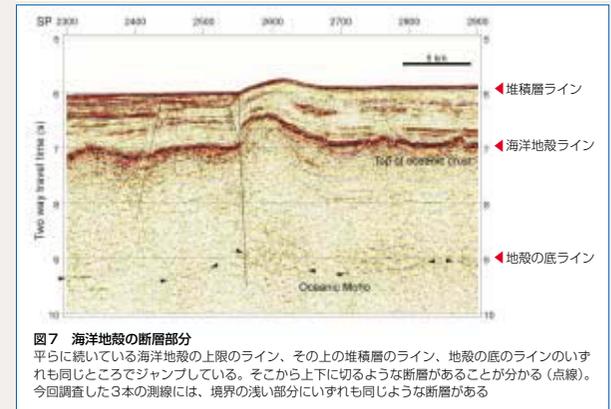


図7 海洋地殻の断層部分
平らに続いている海洋地殻の上限のライン、その上の堆積層のライン、地殻の底のラインのいずれも同じところでジャンプしている。そこから上下に切るような断層があることが分かる(点線)。今回調査した3本の測線には、境界の浅い部分にいずれも同じような断層がある

“地震の化石”シュードタキライトに残された海溝型巨大地震のマイクロな断層メカニズム

2003年、高知県南部・窪川町(現・四万十町)にある小鶴津の海岸で、世界で初めて海溝型巨大地震の痕跡であるシュードタキライトが見つかった。内陸型の地震断層からはすでに発見されていたが、海溝型地震で生じたものは、これが初めてだった。その後も、海洋研究開発機構・地球内部変動研究センターを中心としたグループは、同じ南西日本の太平洋岸に広がる四万十帯の3カ所からシュードタキライトを発見、現在、その詳しい解析が進められている。



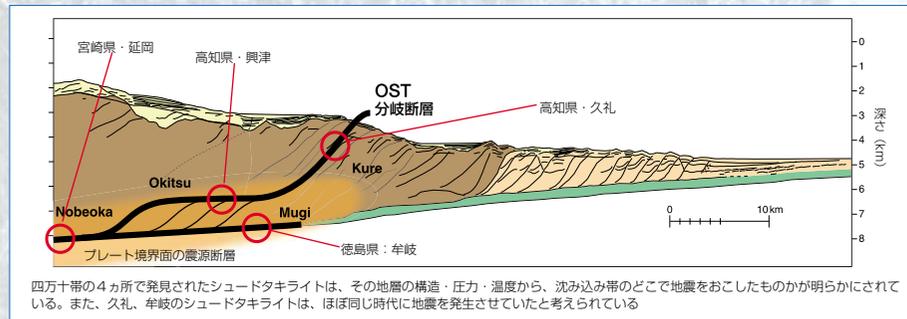
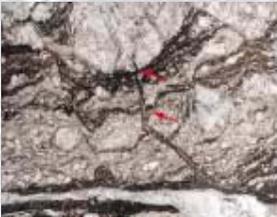
興津で採取されたシュードタキライトを持つ山口さん(右)と坂口研究員(左)

取材協力:
坂口 有人 研究員
地球内部変動研究センター
プレート挙動解析研究プログラム
地殻ダイナミクス研究グループ

氏家 恒太郎 研究員
地球内部変動研究センター
プレート挙動解析研究プログラム
地殻ダイナミクス研究グループ

山口 はるか 研究推進スタッフ
地球内部変動研究センター
地球内部試料データ分析解析研究プログラム
地球化学データ分析研究グループ

高知県・興津メランジュで発見されたシュードタキライト。直線状の断層面とそこから派生する黒色の脈状の岩石はすべてシュードタキライト(幅は1~2mm)。ごく狭い領域に幾重にも密集しており、古い断層面を新しいシュードタキライト派生脈が切っている(矢印)ことから、繰り返し地震を発生させたことが分かる



世界で初めて海溝型巨大地震の震源断層であったことが確認された高知県・窪川町(現・四万十町)の海岸に露出している断層露頭



写真の左上から右下方向に断層が走り、左下の下盤が興津メランジュ。中央の赤茶けているゾーン、幅約5~6mが断層帯の中心



何度も高速滑りをおこし、地震を発生させた断層。近づいて見ると、白っぽい石英などの鉱物脈とともに、黒いシュードタキライトが確認できる



中央の割れ目の下方、中心部を斜めに横切る層(ハンマー先端部)に、岩片や鉱物脈とともにシュードタキライトが含まれている

海溝型地震のプロセス解明の鍵 シュードタキライト

“地震の化石”といわれるシュードタキライトは、断層の高速運動によって地震が発生した際、これに伴う摩擦発熱によって岩石が融解し、ガラス化して生成された脈状の断層岩だ。

四万十帯は、白亜紀から第三紀中新世(1億3千万年前~2千万年前)のプレート境界域の付加体(海洋プレートの海底堆積物が沈み込むときに削り取られて陸側プレートに押し付けられたもの)と呼ばれる海底が陸に押し上げられた古い地質帯であり、10年以上前から、かつて巨大地震を引き起こした震源断層が含まれているのではないかと推測されていた。2003年、高知県・窪川町(現・四万十町)の興津メランジュ(「メランジュ」は「かき混ぜられた」の意味)と呼ばれる地層から、シュードタキライトが発見され、断層が震源断層であることが明らかになった。その後、同じ四万十帯の高知県・久礼、徳島県・牟岐、宮崎県・延岡から

もシュードタキライトが発見された。

奇跡ともいえる シュードタキライトの発見

シュードタキライトを含む地層の解析により、4カ所で見つかったシュードタキライトが沈み込み帯のどの断層で、いつごろ形成されたのかが明らかになっている。さらに、運動エネルギーが熱に転換されてガラス化したシュードタキライトを詳しく解析することによって地震のエネルギーを復元し、その震源断層がどのような地震を発生させたのかも明らかにされつつある。また、内陸型地震のシュードタキライトと違って、海溝型のシュードタキライトには粘土鉱物が豊富である。粘土鉱物は比較的低温で熔け、水を含むため粘性が低く、強度も低い。こうした物性が、内陸型に比べて地震の規模を大きくする可能性も示唆されるなど、震源断層の破壊を引き起こす直接的なトリガーであるマイクロの世界の物質の挙動が、シュードタキライトの

研究によって解明されようとしている。

ガラス質のシュードタキライトは非常に不安定で、水に反応して粘土化しやすい。また、断層は風化に弱い。そのため、数千万年という長期間にわたってそのまま保存されていたこと自体が奇跡的とさえいわれている。さらに、広い四万十帯の地層のなかから、厚さわずか数ミリのシュードタキライトを発見するのは至難の業だ。だが、すでに発見されている場所で、かつての巨大地震の痕跡であるシュードタキライトに出合うことは可能だ。

世界で初めてシュードタキライトが発見された高知県・四万十町の海岸へは、高知市内から室戸岬方面へ車で約2時間の距離。高知自動車道・須崎東から国道56号を走り、久礼から海岸沿いの中土佐佐賀線を下り、志和の先の崖沿いから歩いて海岸に下りたところに、めざす断層がある。詳しい行き方を、坂口有人研究員が自身のホームページで紹介している(<http://www.arito.jp/FG07.3.htm>)。



東海地震、東南海地震、南海地震の発生が予想される地域。南海トラフから沈み込む海側のプレートと陸側のプレートとの境界面のうち、この3つの領域で巨大地震が繰り返し発生する



世界でトップクラスの計算速度をもつスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」。今回の地震発生サイクルシミュレーションでは、1ヵ所動くことにより他の部分にどのような影響を与えるかという相互作用をすべての部分に対して行っている。いくつもの計算を同時に処理できる「地球シミュレータ」の特性を最大限活かしている

地震予測への第一歩 東海・東南海・南海地震の 繰り返しパターンを再現



取材協力：
堀 高峰 研究員
地球内部変動研究センター
プレート運動解析研究プログラム
地殻ダイナミクス研究グループ

日本是世界有数の地震国である。ここ数年だけでも、1995年に阪神・淡路大震災、2000年に鳥取県西部地震、2003年に十勝沖地震、2004年に新潟県中越地震など、記憶に残る大きな地震がいくつもある。なかでも、この数十年以内に大地震の発生する確率が高いと警戒されているのが、東南海・南海の地域だ。この地域で起こる大地震は、古文書などにも被害の程度が記録されており、それをさかのぼっていくと、地震の繰り返し間隔や規模の変化にパターンが見えてきた。地球内部変動研究センター・堀 高峰研究員は、過去に起こった地震の記録と、これまで蓄積されてきた構造調査のデータをあわせて、詳細なシミュレーションを行うことで、この地域の地震発生パターンをほぼ再現することに成功した。現在、地震の発生を確実に予測する手段はないが、このようなシミュレーションが予測につながるものとして注目されている。

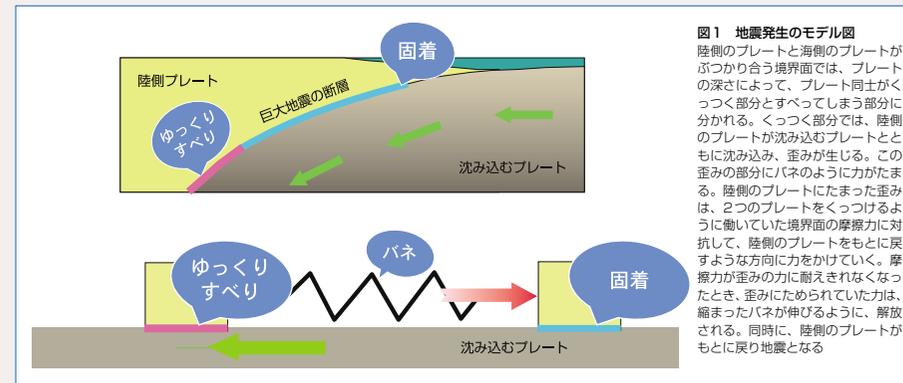


図1 地震発生モデル図
陸側のプレートと海側のプレートがぶつかり合う境界面では、プレートの深さによって、プレート同士がくっつく部分とすべってしまう部分に分かれる。くっつく部分では、陸側のプレートが沈み込むプレートとともに沈み込み、歪みが生じる。この歪みの部分にバネのように力がたまる。陸側のプレートにたまった歪みに、2つのプレートをくっつけるように働いていた境界面の摩擦力に対抗して、陸側のプレートをもとに戻すような方向に力をかけていく。摩擦力が歪みの力に耐えきれなくなったとき、歪みにためられていた力は、縮まったバネが伸びるように、解放される。同時に、陸側のプレートももとに戻り地震となる

難しい地震予測

「天災は忘れたころにやってくる」という言葉もあるように、自然災害がいつ、どこで起こるかを予測することはとても難しい。自然現象は複雑な要素が絡み合い、現象を理論化すること自体困難である。たとえ理論化できたとしても、その理論でカバーできることは限られる。

自然現象を予測する一番身近な例としては、天気予報がある。一言で天気予報といっても、降水確率、降水量、気温、風向きなど、さまざまな予報があるが、単純に「今日、明日、明後日の降水の有無」だけをとってみると、的中率は全国平均で約80%。これが一週間後の予報となると、的中率は約70%になってしまう。地上の観測所やレーダー、気象衛星などを使い、大規模にデータを集めて分析をしている天気予報でも100%あたるとはあり得ないし、予報期間が長くなれば精度は落ちてしまう。

これが地震となるとどうだろう。地震を予測する研究は多くの機関で行われているが、決定的な理論はできていない。なぜかといえば、地震は、降水や台風などと比べて発生頻度が低く、データ量が圧倒的に少ない。また、地震は、地下で岩盤のずれによって起こる現象である。地震のときに、地下の岩盤がどのようにずれて、その結果、どの

ように地面が揺れるのかということとは分かっているが、そもそも地震が起こる前、どのような準備が地下で行われているかというしくみは、まだよく分かっていないからである。

シミュレーションに 寄せられる期待

海溝型地震は、大きな海側のプレートと陸側のプレートの境界面で起こる。境界面では、2つのプレートがくっつく部分とゆっくりとすべってしまう部分があるが、くっつく部分では、沈み込む海側のプレートに引っ張られるように、陸側のプレートも移動する。すべる部分では、陸側のプレートの沈み込みはないので、移動はしない。陸側のプレートの一部分が海側のプレートに引っ張りられるように沈んでいくので、この部分に力がたまっていく。この力がたまっていくと、2つのプレートがくっつくように作用していた部分の摩擦力が耐えきれなくなり、陸側のプレートがもとに戻ろうと大きく動く。このときに、くっついていた面がずれるため地震が発生する。

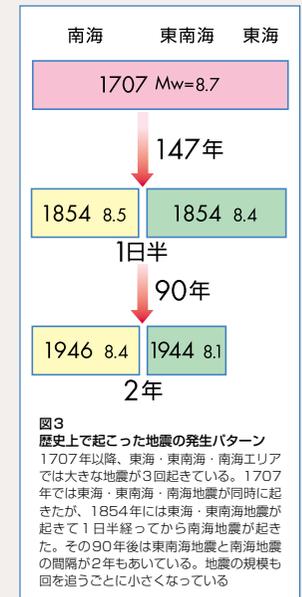
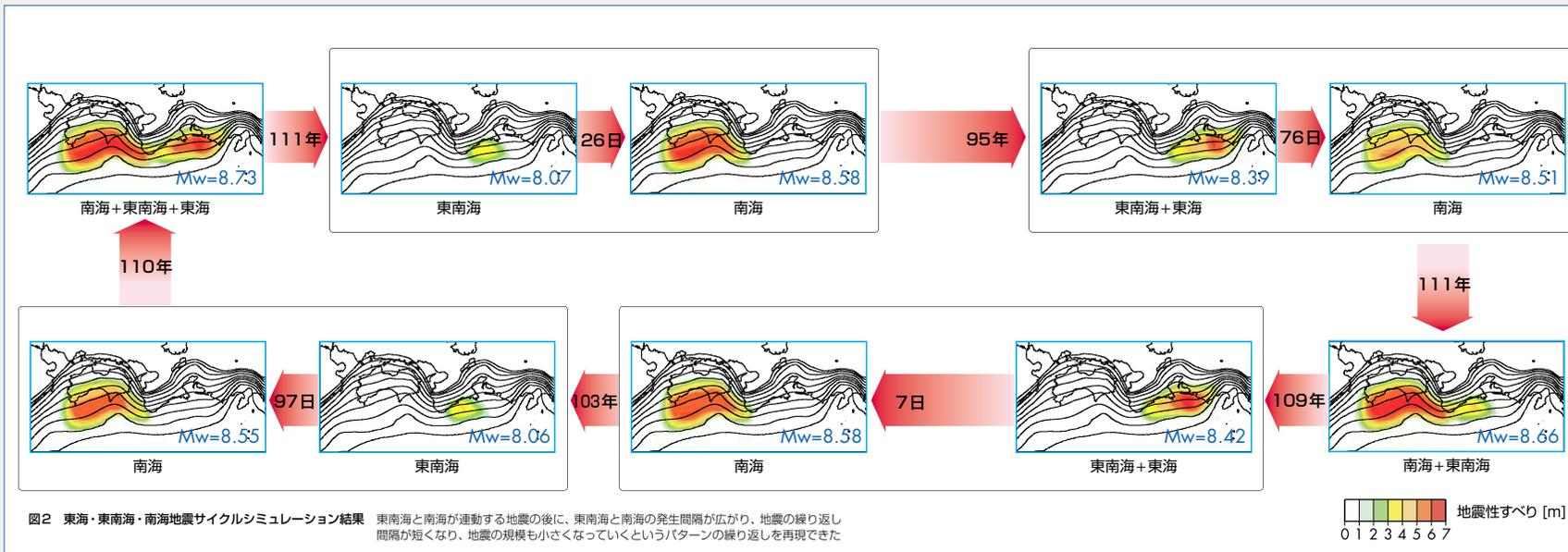
この説明を聞くと、地震のしくみはもう分かっているように錯覚してしまう。しかし、2つのプレートの境界面で、くっつく部分とゆっくりとすべる部分があるのはなぜかなど、地震の発生原因の根幹となる部分はまだよく分かっていない。

また、同じ地域で、地震が繰り返し発生するのには、規模や周期はまったく違うという。そのような変化がなぜ起きるのかということも、よく分かっていない。南海トラフ周辺で起きる地震は、東海・東南海・南海の3つの地域で同時に起きることもあれば、東南海や南海のみというように、1つの地域だけの場合もある。このように、この地域の地震が変化に富んでいるのはなぜなのか、その原因が分からないと、地震発生を予測することはできない。そこで、期待されているのが、地震の発生サイクルを明らかにするコンピュータ・シミュレーションである。

「地震がまったく不規則に起こるのであれば予測のしようがありません。私たちは、地震の繰り返しにはきちんとしたメカニズムがあり、それに基づいて地震の繰り返し間隔や規模が変化していると考えています。このメカニズムを解明し、コンピュータ上にモデルとしてつくりあげることができれば、地震予測に役立つのではないかと考えています」堀研究員はこのように説明する。

地震は発生前に決まっている？

堀研究員は、もともと、地震のさなかに地下で断層のずれ(破壊)がどのように伝わっていくのかを研究していた。しかし、研究を進めるうちに破壊のさ



れ方は地震が起こる前にすでに決まっているのではないかと思うようになっていった。「破壊の伝わり方を調べるシミュレーションでは、どの場所が壊れやすいとか壊れにくいといった条件が同じでも、破壊が始まる前に、断層にどの程度の力が加わっているかという初期条件によって、断層面上の破壊の伝わり方が変わってしまいます。実際に起きた地震に合わせて条件を決めれば、それらしい破壊パターンは再現できましたが、なぜそのような条件になるかを知るためには、地震が起こる前に、断層に加わっている力が、どのようにたまっていくのかが分からないといけないという結論に達し、地震発生サイクルのシミュレーションをするようになったのです」

地震発生サイクルシミュレーションの研究に、堀研究員が使っているのは、最大で1秒間に40兆回もの計算ができる世界でも有数の高速並列コンピュータ「地球シミュレータ」である。地震の繰り返し間隔や規模だけを扱うのであれば、もっと小さなコンピュータ

でも計算をすることはできるが、実際の状態に近づけて、より精密なシミュレーションを行うためには、「地球シミュレータ」でなければ対応することができないのだ。

再現されたパターン

東海・東南海・南海地震の舞台となるのは、東海から四国沖にかけてのプレート境界である。この境界面は、700km×300kmもの大きさがある。まず、この面を1.2km四方の小さな断層面に分けた。断層面にはくっつく部分とゆっくすりすべる部分があるため、プレート内部に歪みが発生して、境界面を押す力となっていく。これは図1に示したように、2つのブロックを結ぶバネの力にたとえることができる。約15万個の断層同士をすべて結び合わせる必要があるので、バネは約220億個にもなる。「実際の地震では、1カ所が壊れたあとに別の場所が壊れるというように、各ブロックに変化があると残りのブロックにも影響が及びます。1カ所動くと他の部分にどのような影響が出

るのかも計算しないといけないのでバネの数はブロック数の2乗分必要になります」

さらに、古文書などから過去の地震の記録を探り、そのときの地震はどのようなものだったのかという情報や、最近行われた南海トラフの構造探査結果も取り入れてモデルをつくりあげていった。その結果、1707年から1946年にかけて、東海・東南海・南海地域で実際に起こった地震と似たパターンで繰り返す地震発生サイクルを再現することができた。

過去の実際の地震では、まず、1707年に東海から南海にかけて Mw(モーメントマグニチュード*) 8.7の地震が起きた。その147年後の1854年には、Mw8.4の地震が東南海から東海にかけて起き、1日半後には南海で Mw8.5の地震が起きている。そして90年後の1944年には東南海で Mw8.1の地震が起き、それから2年経って南海で Mw8.4の地震が起きた。このように、初めは東南海・南海地震が同時に起き、回を重ねるごとに東南海と南海地震の

間隔が広くなる一方、それぞれの地震の繰り返し間隔は短くなり、規模が小さくなっていった。

シミュレーションでは、最初に東海・東南海・南海地震が同時に起きた。111年後には、初めに東南海、続いて26日後に南海で地震が起き、95年後には東海・東南海と南海地震が76日の間隔をあけて起こった。ここで一旦、地震は収まり、111年後に東南海・南海地震が起こると、109年後に東海・東南海地震が、7日後に南海地震が発生し、さらにその103年後は東南海地震が起きた後に97日してから南海地震が起きた。この6つのパターンが繰り返されるまでの間に、先に起きた東南海・南海地震がまた強くくっつくので、東南海地震で解放されずに残った歪みが、南海地震でもやはり解放されずに残る。歪みが解放されずに残った部分は、断層面に余分な力がかかった状態なので、次の東南海地震が起こるまでの時間が短い。逆に、東南海と南海地震の間隔が短いと、東南海で解

実際の地震に近いパターンが再現されたことによって、実際の地震がどのように変化していったのかを、シミュレーション結果と比べて議論できるようになりました」と堀研究員はいう。

最終目標は地震予報

この結果が出たときは、堀研究員自身も、なぜ再現されたのかがよく分かっていなかったという。しかし、その後の研究で、地震前にたまっていった歪みが地震後にどれくらい解放されずに残っているのかが、次に起きる地震に影響を与えていることが分かってきた。その鍵となるのが、東南海と南海地震の間隔だ。この間隔が長いと、南海地震が起きるまでの間に、先に起きた東南海地震の断層面がまた強くくっつくので、東南海地震で解放されずに残った歪みが、南海地震でもやはり解放されずに残る。歪みが解放されずに残った部分は、断層面に余分な力がかかった状態なので、次の東南海地震が起こるまでの時間が短い。逆に、東南海と南海地震の間隔が短いと、東南海で解

放されずに残った歪みが、南海地震のときに解放されてしまうので、次の東南海地震を起こすのに必要な力をためるために、より長い時間が必要となる。「今回再現できたのは1707年以降のパターンのみです。それ以前は同じことの繰り返しではないので、地震の発生パターンをより複雑にする要因が隠れていると思います。今後それを明らかにしていきたいです。また、実は、このシミュレーションでは、境界面を平面で近似していました。現在、実際に近いように境界面を立体的にした計算を始めており、計算領域を広げる準備もしています。さらに、シミュレーションから計算される海底面の変形などを、今後予定されている観測と比較することで、地震の発生間隔や規模だけでなく、地震と地震の間に起こる現象もリアルに再現していきたいです。何十年かかるかわかりませんが、最終的には天気予報のように観測とシミュレーションにもとづいた地震の予測を実現させたいです」

*モーメントマグニチュード……断層の面積やずれの大きさなどから直接導かれる地震規模の表現方法。地震のエネルギーを正確に見積もることができる

地球システム解明に向けて 動き出したIODPタスクフォース



海溝型地震の解明に取り組んでいる地球内部変動研究センターは、この4月にIODP (統合国際深海掘削計画) タスクフォースを立ち上げた。日本は地球深部探査船「ちきゅう」の建造をはじめ、IODP 推進に貢献してきた。タスクフォースを立ち上げることで、研究面においても日本が世界をリードしているという狙いがある。このタスクフォースにより、今後、4つの大規模掘削研究が展開される。



取材協力:
巽 好幸 プログラムディレクター
地球内部変動研究センター
地球内部物質循環研究プログラム

大地震発生メカニズムを追う 南海トラフ掘削

今回、IODPタスクフォースとして立ち上がった4つの研究計画は、これまで同センターが積み上げてきた基礎研究を、IODP 推進に向けて再編成した形になっている。それぞれ、地球システムを解明する上で重要なものばかりだ。

まず、現在動き出しているのが、南海トラフの地震発生帯掘削。世界的な海溝地震の多発地帯である南海トラフ周辺の巨大地震発生帯を掘削することにより、沈み込み帯地殻の運動を明らかにし、巨大地震発生のメカニズムを解明していく。なかでも一番の目玉は、長期孔内計測である。地震発生帯まで掘り進めた掘削孔に、地震計や歪み計

など、さまざまなセンサーを取りつけ、地下の地震活動をその場で観測しているというものだ。この観測によって、地震の準備段階から発生後までの地殻の変化を直接知ることができるので、地震研究が飛躍的に進むだろうと期待されている。また、長期孔内計測で収集した情報を整理することによって、地震の前兆となる地殻活動が特定できるのではないかと期待も高まっている。前兆活動の特定は、精度の高い地震予測の実現につながるだけに、注目も集まっている。

地球進化の謎を追う 南海トラフ掘削

南海トラフの地震発生帯掘削計画に続く計画として挙げられているのが、

伊豆-ボニン-マリアナ (IBM) 海洋島弧掘削計画と巨大海台掘削計画である。IBM 弧は、海洋域に形成された沈み込み帯である。日本列島はもともと大陸の端にあつたとされており数億年の歴史を持っている。一方 IBM 弧は、沈み込み帯ができてはじめてからまだ3000万~4000万年くらいしか経っておらず、大陸と比べるとまだ歴史が浅い。これまでの研究成果を総合すると、海域でプレートが沈み始めることで、マグマが生成し、大陸地殻形成まで至っているという道筋が見えてくる。また、海底地震計によって地下構造を調べたところ、IBM 弧には生まれたての大陸地殻があることがわかってきた。IBM 弧掘削計画では、この海域の海底を実際に掘削することで、沈み込み帯から

大陸地殻が生まれるまでの過程を解明し、「大陸は海から生まれる」という理論を証明していく予定だ。

一方の巨大海台掘削計画では、地球進化の歴史上、重要な出来事が相次いだ1億年前に焦点を当てる。今から1億年前の地球は、気温が今より20℃近く高かった。当然水温も高く、海の中は無酸素状態になっていた。現在では南北が周期的に反転している地球磁場も、その頃はまったく反転していなかった。地球上に広範囲に分布している巨大海台は、地球深部から上昇してきたマンテブルームからつくられているのではないかと考えられている。このマンテブルームも1億年前にできたとされる。このように地球進化を解明する上で避けては通れない1億年前の出来事がどのようにして起こり、そして現在の姿につながっているのかを明らかにしていく。

人類初のマンテブルーム掘削

そして4番目の計画として上がっているのがモホール掘削計画。海底下7,500mを誇る「ちきゅう」の掘削能力を最大限まで発揮するのがこの計画である。地球は地表を覆う地殻の下にマンテがある。マンテと地殻はモホ面によって隔てられているが、モホール掘削計画では、モホ面まで掘り、その下にあるマンテ物質を採取しようという壮大なものである。大陸地殻に比べて海洋地殻はとても薄く、海底面から平均して5,000~6,000mでモホ面に達する。モホール掘削計画によって、人類は、マンテにある物質を初めて手にすることができる。マンテ物質を手にする事で、地球進化のストーリーがどのように展開されていくのか。これからの研究をしっかりと見守ってほしい。

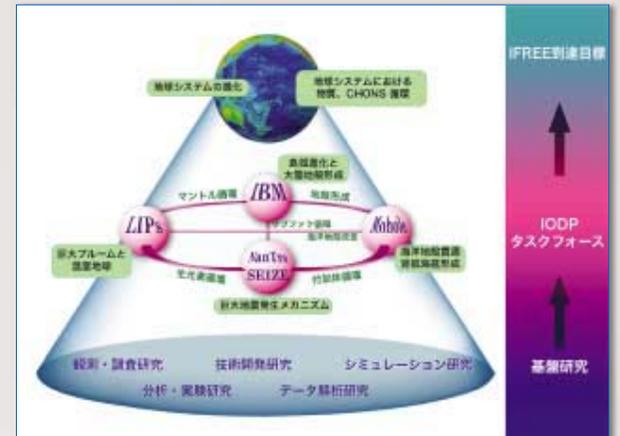


図1 IODPタスクフォースの概念図
地球内部変動研究センター (IFREE) がこれまで培ってきた基礎研究を組み合わせ、南海トラフの地震発生帯掘削計画 (NanTroSEIZE)、伊豆-ボニン-マリアナ海洋島弧掘削計画 (IBM)、巨大海台掘削計画 (LIPs)、モホール掘削計画 (Mohole) の4つの計画を進める。4つの研究計画はそれぞれ関連し合っており、最終的に地球システムの解明へとつながっていく

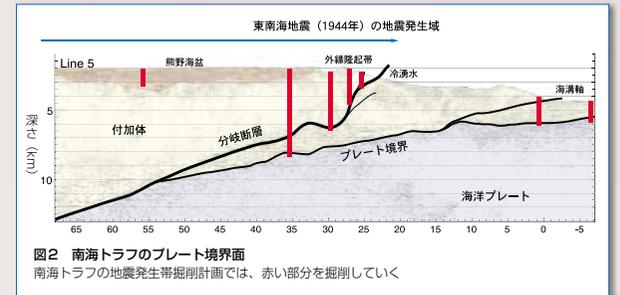


図2 南海トラフのプレート境界面
南海トラフの地震発生帯掘削計画では、赤い部分を掘削していく

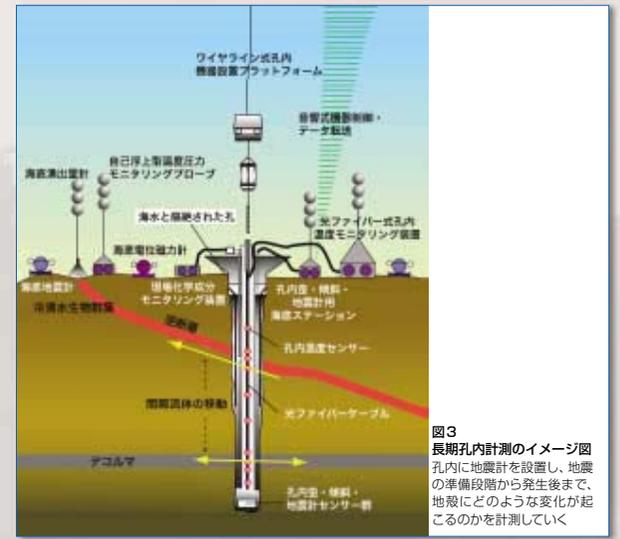
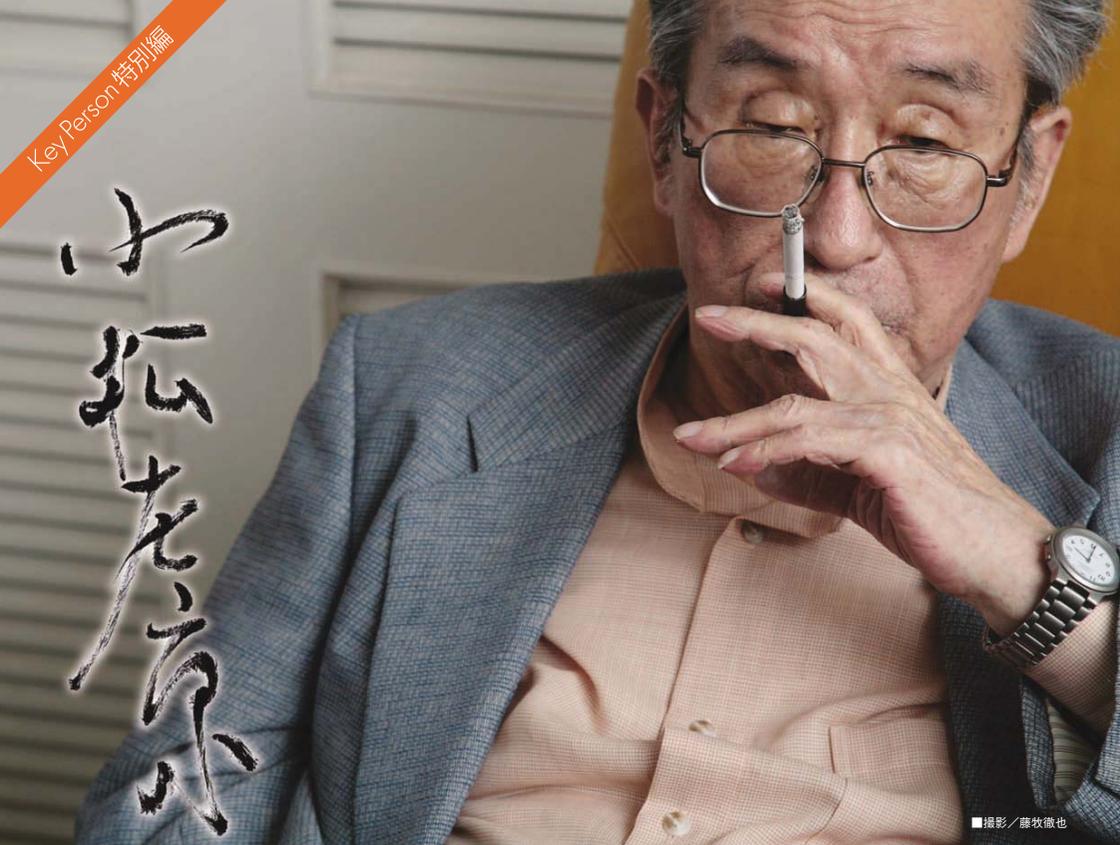


図3 長期孔内計測のイメージ
孔内に地震計を設置し、地震の準備段階から発生後まで、地殻にどのような変化が起こるのかを計測していく

小松左京



■撮影/藤牧徹也

映画『日本沈没』完成記念 特別インタビュー

潜水艇のシーンが素晴らしい。 実写とCGで実にリアルな映像になった 作家 小松 左京

小説『日本沈没』の発表は1973年。「日本列島は1年以内に沈没する」、そんな衝撃的な内容は社会現象となり、上下巻併せて400万部の大ベストセラーを記録した。それから33年経ったこの夏、『日本沈没』は現代を舞台にしたまったく新しい映画として公開される。「日本人は、過去、さまざまな幸不幸を味わってきた。今では繁栄と豊かさのなかにつかりきっている。しかし、日本が地震列島であるという現実と、それに対応する政治的、社会的システムが、いまだに無力であるという状況に変わりはない」。阪神淡路大震災を契機に刊行された文庫のあとがきに書かれた著者の言葉は、いまだ力強い説得力を持つ。待たれていた続編の完成も果たされた小松左京氏に、新作映画について話を伺った。

小松 左京 (こまつ・さきょう)

1931年大阪市生まれ。雑誌記者、工場経営、時事漫才作家などを経て1962年にSF短編小説を発表。代表作『日本沈没』(1973)は日本推理作家協会賞を受賞、海外でも反響を呼ぶ。その後もSF界の第一人者として『首都消失』『さよならジュピター』など精力的な創作活動を行うほか、1970年の大阪万博、1990年の国際花と緑の博覧会の企画運営にも尽力した。



映画『日本沈没』 (2006年 東宝)

日本海溝近辺の大規模な地殻変動で日本列島が沈没する……。驚愕の予測に政府は1億2千万の日本人救出へと動き出す。次々と発生する大地震で極限状態に陥るなか、人々は何を守り、何を救おうとするのか。主演に早瀬剛、柴咲コウ、監督に「ローレライ」の樋口真嗣をすえ、総製作費20億円を投じたこの夏の話作。海洋研究開発機構、陸・海・空自衛隊などの全面協力も得た迫力の映像も必見。7月15日より全国公開中

©2006映画「日本沈没」製作委員会

リアリティあふれる新作 映画『日本沈没』

BE: 先生は今回の映画はもうご覧になりましたか？

小松: 観ました。第1作は1973年にロケをやって、その年の12月29日に封切られた。今思えば無茶なスケジュールだったね。あの作品と今回の新作を比べると、ロケで撮影された東京の市街地、街の風景が全然違う。これは意図されたことではないけれど、東京の都市計画がどう変わったかという、ひとつの比較として大変興味深かった。

BE: 映像もコンピュータ・グラフィックスを駆使して、かなり迫力がありました。

小松: クローズアップで画面いっぱいにグングン迫る手法は樋口監督のセンスだね。彼が監督候補にあがったときは、新しい監督だし、どんな映画を撮るんだろうと思っていたが、最新作の「ローレライ」を観て、彼ならいいとすぐに承諾したよ。彼自身も、小学校の時に『日本沈没』の第1作を観ていて、この作品はやりたかったと思ったそうだ。

BE: 新作には、樋口監督のアイデアも随所に盛り込まれていますね。

小松: うん。まず、オープニングが素晴らしい。原作では、深海で潜水艇が乱泥流を見つめるシーンが沈没の予言となるのだが、当時から33年経って、その間に日本も「しんかい6500」という立派な潜水艇を完成させた。この映画

では「ちきゅう」も「しんかい6500」も、自衛隊も全部本物で撮影しているから、非常にリアリティーがあったね。

ただ、クライマックスは、僕は富士山だと思ったがね。昔だったら、なんぼ東宝でも予算はとれないっていうような派手な爆発シーンも、今はCGでいくらでもできる。僕は、江戸時代以来噴火していない富士山の爆発を、ちょっと見てみたかったね。僕らの世代は原爆を2発落とされて、空襲にもやられてるから、そのあたりは手厳しいかもしれない。まあ、映画と原作は、ある意味、別の作品だから、映画は映画として楽しんでもらえばいい。映画の出来には満足している。主演も希望していた草薙君がやってくれたしね。

『日本沈没』と地球科学

BE: 原作の構想では、日本人が祖国を失ったところから書くつもりだったと聞いていますが、結果的には日本を沈没させるのにかなりの労力を割かれたね。

小松: やはりね、日本を沈めるならきちんと沈めてやりたかった。書き始めたころは、東海道新幹線も開通して、日本が高度成長期へ突入した時代。地球科学ではウエグナーの大陸移動説とか、プレートテクトニクス理論によるマントル対流だとか、地球内部の最新の研究がどんどん出てきた時期だった。だから、地球物理学の先端の研究がどこ

まで進んでいるかを調べるのが大変だったよ。結局、書き上げるまでに9年もかかった。

BE: 当時、日本でも科学用の潜水艇を研究しているという情報はどこから入手されたんですか？

小松: たしか、海上自衛隊の技術者あたりから聞いたと思う。これからは、軍用じゃなく科学研究用の潜水艇が必要だと。1960年代からフランスとアメリカで潜水艇の開発競争が繰り広げられていて、日本でも研究開発は進められていたんだよ。

BE: そうした裏付けが、作品にリアリティーを与えていたんですね。「日本沈没」を読んで、地球科学の分野へ進んだ研究者も多いそうです。

小松: そうらしいね。試写会にもJAMSTECの人はずいぶん来ていたそうだし、エキストラでも協力してもらった。この映画を観て、JAMSTECのような組織が実際に頑張っているんだということ、ちゃんと理解してもらえるといいね。

BE: ところで、当時と比べると科学もさらに進歩しました。今、一番興味があるテーマは何ですか。

小松: DNAとかバイオ関連がおもしろい。生命科学だけでなく食糧問題などにも関わるテーマだね。それから、もうひとつはコンピュータ。そういう先端の技術と科学が組み合わさると、本当にすごいことができる。正直、僕

も、そうした技術がどこまで進歩しているのか追いかけるのが難しい。

BE: JAMSTECには、どんなことを期待されますか？

小松: やはり、食糧や資源の開発だね。海底にある天然ガスやメタンハイドレート、そうした資源をどう開発するか。海洋研究も海底地下資源をもっと進めていった方がいいと思う。それと、日本は昔から水力や風力エネルギーの技術がある。これからはやはり自然エネルギーでしょう。まだまだ未開発のものはあるからね。

BE: 海のエネルギー開発ということですね。

小松: うん。感心したのは海水温度差発電だね。海水の温度差だけで発電できるというのはすごい。海でいえば、潮流発電もある。それから、太陽電池は日本の技術がすごくいいと聞いたよ。最近のハイブリッドカーは内燃機関もかなり効率がよくなって、リッター30km以上も走るそうだ。これには驚いた。

BE: 最近、大きな地震が相次いでいますが、自然災害についてはどうでしょう。

小松: 今後は地震でも、天気予報のような予測がやれるといいね。「地球シミュレータ」のようなスーパーコンピュータや、JAMSTECの優れた調査・観測技術を駆使すれば、できるようになるんじゃない。



『日本沈没 第二部』(小学館)
小松左京+谷甲州/著

前作の巻末に記された「第一部完」。以来、多くの読者が待ち望んだ第二部がついに完成した。日本列島の消失後、さらに全地球を襲う天候異変。「移民」した国々で非難の声にさらされながらも、技術を武器に世界の危機に立ち向かう日本人像を描く



“地球人としての日本人”、それが次のテーマだ

ついに完成！『日本沈没 第二部』

小松: 実は今、ちょうど『日本沈没 第二部』が完成したところなんだ。

BE: それは、楽しみです。

小松: 次作では、日本が沈没したあと、25年後の世界を描いている。時代背景はちょうど現代、20世紀から21世紀。その中で、潜水艇のパイロット、小野寺は記憶を喪失した男として出てくるんだ。

BE: いよいよ、日本が沈没したあとの日本人像が描かれるわけですね。

小松: そう。ユダヤ人は祖国を失い流浪の民となっても民族としてのアイデンティティーを失わなかったが、同様に国士を失って世界に散らばった日本人はどう生きていくのか。僕は、日本人は世界中で活躍するだろうと思う。自ら持てる知恵と技術を駆使して地震の予知を行ったりね。

BE: 第1作では、日本のポリティカルな部分や社会風俗、地震におけるパニック

などいろいろな要素が織り込まれていましたが、そのあたりはどうなるのですか？

小松: 基本的なコンセプトは第一部と同じだが、あれを書き終えたとき、次に来るのは異常気象だというのはすでに頭にあった。次は氷期が来ると想定していたんだ。最後の氷河期が終わったのが、今から約1万3千年前。でも、その後もヨーロッパは寒冷化に見舞われているんだね。小氷期っていうのがあつた。あのフランス革命の時代に農作物がとれなくなったのも寒冷化が原因だ。第二部では、世界中に散らばった日本人が、異常気象に見舞われ、かつてのユダヤ人のように悲惨な目に遭う。しかし、いったん国を失う危機を体験した日本人は、地球規模の危機に際して、地球人として、人類を、地球を救っていくんだよ。日本人としてのアイデンティティーだけにこだわっている人間は救えない。まさに、地球人としてどう乗り越えていくか、いかにリーダーシップを取っていくかという話なんだ。

BE: 最後に、この映画を観る若い方の中には原作を読まれていない方も多と思います。そういう人たちに何かメッセージがありましたらお願いします。

小松: まず、映画を存分に楽しんで下さい。そして、改めて原作を読んでこの『日本沈没 第二部』にも目を向けてもらえると嬉しいね。



「しんかい6500」も「わだつみ6500」として活躍

©2006映画『日本沈没』製作委員会



一般公開での対談の様子。左から瀧澤さん、樋口監督、平 理事

映画『日本沈没』
～「最先端科学とエンターテインメントの出会い」～

(2006年5月20日 海洋研究開発機構一般公開 『日本沈没』公開記念対談)

映画『日本沈没』
樋口 真嗣 監督

海洋研究開発機構 理事
平 朝彦 CDEX センター長

司会：
科学ジャーナリスト
瀧澤 美奈子 さん



©2006映画『日本沈没』製作委員会

映画『日本沈没』全国公開に先立ち、去る2006年5月20日の海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 一般公開において、監督の樋口真嗣氏と当機構理事、地球深部探査センター長 平 朝彦氏の公開対談が行われた。撮影のご苦労から裏話まで、ここでしか聞けないエピソードがたっぷり詰まった内容は、すでに映画をご覧になった方も、これからご覧になる方も必読! (本文敬称略)

映画『日本沈没』との出会い

瀧澤: そもそも『日本沈没』をリメイクしようと思われたきっかけは何ですか？

樋口: やっぱ、大好きな作品ですから。「日本沈没」は小学校2年生のときに見たんです。当時は国民的映画といいたいほどの大ブームで、親父の持っていた原作も辞書を引きながら読みました。途中のラプソニーにドキドキしながら。僕にとっては大人の世界を垣間見た作品だったし、映画づくりにも、火山や地震にも興味を持つきっかけとなりました。だから、リメイクの話が来たときには「えっ、僕がやっていたんですか?」って感じてました。でも、やるからには自分の作品をベストにしたい。つまり、今まで自分が好きだった前作を乗り越えなきゃいけないわけですよ。これには

「しまった」と思いましたね。

瀧澤: それだけ今でも完成度が高いということですね。ところで、当時とは科学を取り巻く状況もずいぶん変わったと思います。JAMSTECはそうした情報提供も含めて大きな協力をなさったわけですが、いかがでしたか？

平: もう、ある日、樋口監督ご一行さまがドドッと現れたという感じでした。「日本沈没」っていう映画をつくってるんですが、沈没のしかたにもいろいろありますよね?って訊かれたものから、私たちが沈没シナリオを考えて監督にメールを送って、OKをいただい。もう、出会いと気合いですね。まあ、よっぽど気合を入れたいと沈まないですよ、日本は(笑)。
瀧澤: なるほど(笑)。気合いの一番のポイ

ントはどのあたりにあるんでしょう？

平: やはり、原作から33年経ってますから、地球科学もJAMSTECもずいぶん変わりました。ですから、最新科学を駆使して大スペクタクルを撮って欲しいと思いましたね。

樋口: 平さんから境界面のバクテリアのお話を聞いて、まず「これはいただき!」と。
平: 境界面、つまりプレート沈み込みの境界に潜む謎の微生物が大地震を起こすというアイデアを話したんです。荒唐無稽に思っても知れませんが、微生物がいるのはホントの話ですよ。地震を起こしているかどうかは知りませんが(笑)。生物は今年就航した地球深部探査船「ちきゅう」で調べる課題のひとつでもあります。
瀧澤: 新しいキーワードですね。ほかには



樋口 真嗣 (ひぐち・しんじ)

1965年東京都生まれ。高校卒業後、東宝撮影所で「ゴジラ」(1984)に造形助手として参加。その後、自主製作映画活動を経て「ガメラ 大怪獣空中決戦」(1995)では特技監督として日本アカデミー賞特別賞を受賞。「新世紀エヴァンゲリオン」では絵コンテ、脚本も担当するなど幅広く活躍。「ローレライ」(2005)で初の長編作品の監督を務め、躍動感あふれる映像が話題となる

どんなことがありますか？

平：地球内部のことも非常に良く分かってきました。実は、日本を沈没させたこと自体は、そんなに無茶な話でもないんです。琉球列島だって数百万年前は大陸の一部でした。地球史的にいえば、大陸から分裂して沈んだのはつい最近のことなんです。関東大震災では数秒の間に三浦半島が1mも隆起しましたね。日本列島が沈むというのも、絶対ないとはいえませんが。

「ちきゅう」は撮影スケジュールもスター級

樋口：JAMSTECを訪ねて、初めて「ちきゅう」の模型を見ました。これがまたべらぼうな船で、本当に驚きました。

平：全長210m、5万7千トン。スペクタクル映画にはぴったりでしょう。なのに、最初の脚本では、掘削を始めてすぐにライザーパイプがポキッと折れちゃう。頼むから、これだけは止めてくれて。

樋口：大丈夫、ちゃんと大活躍させましたから。「ちきゅう」のスケジュールは、草薙剛君より忙しかったんです。ちょうど、完成直後のお披露目の時期で、造船所のある長崎から掘削試験をする青森の八戸まで、ヘリも使って追いかけてました。映画ではいかに機須賀本部に停泊するように見えますけど、あれはほとんど八戸です。



©2006映画「日本沈没」製作委員会

瀧澤：船内での撮影もかなりご苦労があったとか。

樋口：どうしてもヘリポートで撮りたいって無理も聞いてもらいました。

平：立入禁止ではないんですが、安全の問題はありますからね。

樋口：なぜか、映画ではデリックのてっぺんにも登ってますけど(笑)。しかも、潜水艇のパイロットが、船の見学に来た女の子を連れて登っちゃう。もう、規則も風紀もないですよ(笑)。

平：私が初めて撮影現場を見たのは、豊川悦司さん演じる田所博士の撮影でね。彼が「ちきゅう」から雪駄ばきで出てきて、こりゃあ、安全管理上問題でしょう。おまけに豊川さんはネコを抱えてる。船のなかで飼ってる設定なんです。その日は暑くて、甲板の上は40℃近い。大きなネコが最後の方はもうバタバタでね。女優さんも総出で、ネコを扇いで……。

樋口：みんなでネコ冷やし(笑)。体重15kgもあるデブネコです。田所博士の傍若無人ぶりにびっくりでしょう。

平：後にも先にも「ちきゅう」の上にネコが乗るのはこれ1回だけです(笑)。

意外にシンプル!? 本物の先端技術

瀧澤：もちろん、「しんかい6500」も登場するんですよ?

樋口：1万mまで潜れる潜水艇「わだつみ6500」として登場します。そして草薙君の役がJAMSTECのパイロットなんです。本物と同じ、あの青い制服で活躍します。たしか、第1作に出てきた潜水艇「わだつみ」は民間の船でしたね。

平：そうです。当時は、まだ「しんかい」シリーズはありませんでした。

樋口：驚いたのは「しんかい6500」の操縦席はイスも操縦棒もない。スイッチのついた箱みたいなものしかなくて、それで、操縦の実演をしてもらったら、なんだか友だちの家の座敷でファミコンやってるみたいなんです(笑)。映像的にはあまりカッコよくない。これを映画でやるべきか悩みましたよ。草薙君と豊川さんと及川(光博)君が、3人で顔寄せ合せて座り込んでるなんて。でもね、カッコイイ男がやるとカッコよく見えるんですよ、これが。たしか「しんかい2000」にはイスがあったけど、それが進化してなくなったんですよ。

平：そうです。あと、「しんかい6500」には「額当て」がついてる。深海で窓から外を見ていると首が非常に疲れるので、どうしても額を窓につけちゃうんですが、船内の温度が低いので水滴がつく。だから当初は額にタオルを巻いていたんです。この額当てもノウハウの結晶なんです。

樋口：つい、我々は見た目優先で考えます

平：「しんかい6500」は1回潜ると1千万円です(笑)。請求書、発行しますよ(笑)。

樋口：「ちきゅう」も大活躍させましたから、そこはなんとかが動弁を(笑)。



瀧澤 美奈子 (たきざわ・みなこ)

1972年長野県生まれ。科学ジャーナリスト。著書に「科学のニュースが面白いほどわかる本」(この理科わかる?) (中経出版) などがある



平 朝彦 (たいら・あさひこ)

1946年、宮城県生まれ。2002年10月より海洋科学技術センター(現:海洋研究開発機構)地球深部探査センターセンター長に就任。国際リソスフェア調査計画プロジェクト、日本地質学会会長などを歴任。2006年より海洋研究開発機構理事。「日本列島の誕生」(岩波新書)、岩波講座「地球惑星科学」(岩波書店)など著書書多数

から、目から鱗でした。もっと進化すると、最終的には人も乗らなくなるんですか？

平：これは議論が分かりますが、やはり無人じゃできないこともある。窓の外の暗黒空間のうごめきも、ハイビジョンだけでは捉えられない。人間が感じとって伝える部分があります。有人も無人も両方必要なんです。

樋口：なるほどね。それと、映画では、マニピュレータがガーッと動くカットも欲しかったんです。でも、調査の記録映像では何を掴んだかが重要で、アームが伸びるところなんて撮っていません。だから、調査で潜る際に「すいません、ちょっとだけ回してきてもらえませんか?」ってお願いして撮影していただきました。

平：「しんかい6500」は1回潜ると1千万円です(笑)。請求書、発行しますよ(笑)。

樋口：「ちきゅう」も大活躍させましたから、そこはなんとかが動弁を(笑)。

深海の間、宇宙の間

平：瀧澤さんは「しんかい6500」で実際に潜航もなされたんです。どうでしたか？

瀧澤：小さい窓から見える景色に、最初は表現する言葉が見つかりませんでした。平：小窓から見える景色に、最初は表現する言葉が見つかりませんでした。平：小窓から見える景色に、最初は表現する言葉が見つかりませんでした。平：小窓から見える景色に、最初は表現する言葉が見つかりませんでした。

平：宇宙飛行士の毛利さんは、「宇宙は空虚で何も無い暗さ。深海は、何か物がいっぱい詰まってる。暗闇の中から自分が見られているような異常な体験だった」とおっしゃってます。闇の質が全然違うと。私は宇宙のことは分かりませんが、深海は確かに何かうごめいてるような、密度の高い感じがしますね。

瀧澤：別の生態系ができあがっているんですね。樋口監督は、平さんのお話の中で特に印象的なものはありますか。

樋口：やっぱり、生き物の話ですね。地球がある種のデカイ生き物だとすると、人間はそこに寄生しているわけじゃないですか。同様にバクテリアも寄生している。つまり地球にとっては、人間が減るのもバクテリアが増えるのも、同じことだと。

平：そして、天体と衝突して地球が粉々になったとしても、たぶん岩石の中のバクテリアは死滅することなく宇宙空間をさまようんですよ。人間が減っても、微生物は生き残る。

瀧澤：ちなみに、マンツルのなかにも生物はいらっしゃいますか？

平：いるかもしれません。原始の地球の環境が残っている唯一の場所ですから。生命は地底の岩石のなかで生まれたんです。40億年前のマンツルの環境は現在とは違いますが、基本的に水と熱エネルギーと鉱物があれば生命誕生の環境は整うはずなんです。さらに興味深いのは、地底深部のように高温高压の状態になると、水が臨界状態になります。水蒸気でも水でもない状態で、ものすごく活性化します。そういう瞬間に生命体が誕生しているかも知れない。一瞬にして生まれ、一瞬で死んでいく生命体。生物の時間スケールなんていろいろですからね。

船の科学館で、企画展「日本沈没を科学する」開催

巨大地震はなぜおきるのか、そのとき、地球内部では何が起きているのか。そして、大規模な地殻変動によって、映画「日本沈没」に描かれているような恐ろしい事象は本当に起きているのだろうか。企画展では、プレートテクトニクス理論や巨大地震発生メカニズムなどを解説し、謎の多い地球内部活動を明らかにするため、最新の科学技術を駆使して行われている調査・研究を紹介する。

■企画展「日本沈没を科学する～深海底の謎に迫る～」(後援:海洋研究開発機構 協力:「日本沈没」製作委員会 他)

□2006年7月15日(土)～8月31日(木)

■船の科学館(東京都品川区)

□ホームページ:
http://www.funenokagakukan.or.jp/

□連絡先: 03-5500-1111

いて。それから潜航用の重り、バラストがつかってよかったですね。

平：バラストが？

樋口：カッコイイじゃないですか。映画のなかでも、合言葉は「バラスト投棄!」ですよ。

平：ああ、キーワードが出揃いましたね。「微生物」「ライザーパイプ」「バラスト投棄!」

瀧澤：なるほど、映画の内容の大ヒントですね!? では、最後に、皆さんにメッセージがありましたらどうぞ。

樋口：まず、ぜひ観てください! もう、JAMSTECのオールスター映画ですから(笑)、日本の海洋科学の最先端を見て、そして、日本の映画製作もここまで進んだということも見ていただきたいですね。あとは、いざという時の心構え。防災というより、人間として周りの人に対してどういう気持ちでいるべきか、そんな心の部分が伝わればと思っています。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

平：現場というのは、やはりすべての基本だと思うんです。実際に現場に行くと、触ったり感じたり、そうした作業の積み重ねの上に科学も技術もある。そういう現場の人間像をしっかりと描いて下さっていると思います。みなさんも、ぜひ期待しててください。

©2006映画「日本沈没」製作委員会

Aquarium Gallery

極寒の海に生きる魚たちを育てる 特殊な環境に生息する 南極の生物の繁殖に成功



室温1℃に設定された保管棟の南極室のなかで飼育作業を行う飼育部・松田 乾さん

取材協力: 名古屋水族館

南極大陸沿岸とその周辺の島々の岩場に生息するイエローベリー・ロックコッド（ノトニアの仲間）。成長は遅いが大きなものは全長60cmに達する



南極大陸に近いサウスシェトランド諸島・キングジョージ島での調査。1997年にはペンギンの調査も実施



保管棟内に設置された巨大な冷蔵庫。徹底した温度管理の下、この内部で南極の生物の飼育が行われている

●名古屋水族館（愛知県・名古屋市） ホームページ: <http://www.nagoyaaqua.jp/> 連絡先: 052-654-7080

南極大陸周辺の海（南極海）は、表層の海水温が0℃近いことや、南緯50度以南の海域の約80%が水深3,000mを超えるなど、非常に厳しく特殊な環境にある「閉ざされた海」だ。ここに生息する魚類は、約90%が南極海にしかない固有種といわれ、その多くを占めるのがノトニア類と呼ばれる魚だ。ノトニアの仲間は体内に不凍糖蛋白を持ち、水温がマイナス2.2℃でも体が凍らないなど、低水温に適応したしくみを備えている。

名古屋水族館は、1991年から94

年、さらに97年に南極で調査を実施し、魚類・貝類・甲殻類・棘皮動物などを採集し、持ち帰った生物の飼育・展示に取り組んできた。そして、ノトニア類やナンキョクオキアミ、インギンチャクと共生する巻貝など、南極の海の生物を常時展示するため、保管棟に巨大な冷蔵庫を設置し、このなかで採集した生物の飼育・繁殖を行っている。南極室と呼ばれるこの部屋では、水槽の水温管理だけでなく、室温も0~1℃に保たれ、照明も南極の日照時間に合わせたという。「南極の魚は、比較的丈夫で

す。気をつけているのは水温、あとは水質をきれいに保つことですね」と飼育部・松田さん。魚類ではイエローベリー・ロックコッド、ブラウンダーフィッシュの2種の繁殖に成功、さらに、南極の巻貝、ヒトデ、ナマコなどの繁殖にも成功している。2000年には、世界で初めて人工飼育下でナンキョクオキアミの孵化に成功するなど、数多くの優れた成果をあげており、海外の研究施設などからも飼育協力の依頼や問い合わせがあるという。



繁殖に成功したイエローベリー・ロックコッドの稚魚（孵化後408日目）。海底で暮す親と異なり、稚魚は大きな胸ビレを広げて優雅に泳ぐ



産卵直前のイエローベリー・ロックコッド。卵で腹部が張っている。卵は産卵後およそ150日という長い時間を経て孵化する



産卵したたくさんの卵を守るブラウンダーフィッシュ



ブラウンダーフィッシュの稚魚（孵化後168日目）



名古屋水族館では、ナンキョクオキアミ（左）や貝類など、南極の生物の展示に力を入れている



孵化から540日後のブラウンダーフィッシュ。94年から3年続けて繁殖に成功

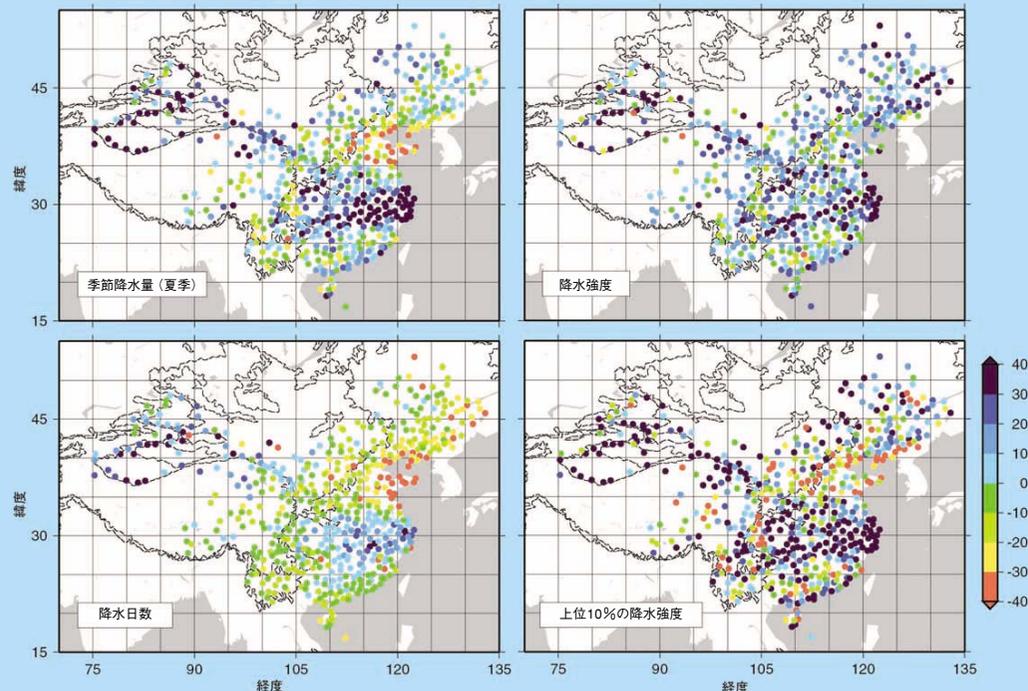


図1 中国における夏季(6月~8月)降水の長期変化
夏季総降水量(左上)、平均降水強度(右上)、降水日数(左下)および降水量の上位10%の豪雨(右下)を示す。北部で降水が減り、南部で豪雨が増えていることがわかる。統計期間は1961年から2000年までの40年間。カラーバーは変化率で、1961年から2000年の平均値に対する割合で表現した

過去30年、東アジアでは雨の降り方の「偏り」が進行中 晴天が増える一方、 巨大積乱雲が豪雨をもたらす



取材協力:
遠藤 伸彦 研究員
地球環境観測研究センター
水循環観測研究プログラム
寒冷圏水循環グループ

気候を予測する際に雲の影響をモデル計算に反映させるのは難しい。雲は太陽光を反射することで地球を冷やす一方、地球から出て行く熱の放射を減らし温室効果をもたらす。また雲は雨や雪などの降水と密接な関連があり、気象に与える影響が一筋縄ではいかない。気候予測の不確定性を小さくするためには、雲の種類ごとの出現頻度や空全体に占める雲の割合(雲量)の気候学的分布と長期的な変化を調べる必要がある。今回の研究では、地上からの雲の目視データを解析し、世界で初めて東アジア域の約30年に及ぶ長期的な雲の変化を明らかにした。

遠藤研究員は、1998年10月より地球フロンティア研究システム水循環予測研究領域(現 地球環境フロンティア研究センター水循環変動予測研究プログラム)に所属し、今回の成果である東アジア域での降水・雲に関する研究を実施。2006年4月に地球環境観測研究センターに異動し、引き続き研究活動を行っている



写真A 積雲は垂直に発達した離れ離れの厚い雲である。(1996年7月チベット高原で撮影)
写真B 積乱雲は垂直に蓄積した塊状の雲で、雷や強い雨、ひょうなどを伴うことが多い。(1996年7月チベット高原で撮影)
写真C 全雲量は地上から空を見渡して、雲の占める割合をはかる。写真は下層の雲、層積雲で、大きな塊が群れをなして空を覆っている。(2003年岩手で撮影)

豪雨が集中した1998年を きっかけに研究開始

今回の調査対象が東アジア、特に中国を中心としたものになったのは、遠藤研究員が中国で気象の野外観測プロジェクトに参加したことによる。1998年には中国の揚子江流域で大洪水が起こるなど豪雨が集中した。その年にたまたま中国で観測を行っていたため、強い雨が中国のどの地域に多く出現するのか、また長期的なスパンで見て近年豪雨が増加しているのだろうかという疑問を持ち、まず降水についての調査を開始した。すると最近では強い雨が増えているということが分かった(図1)。

大雨が降るということは、雨を降らせる雲が存在するはずである。どのような形の雲が、どれくらい、どの季節に出やすいのだろうか。しかしそれに関する

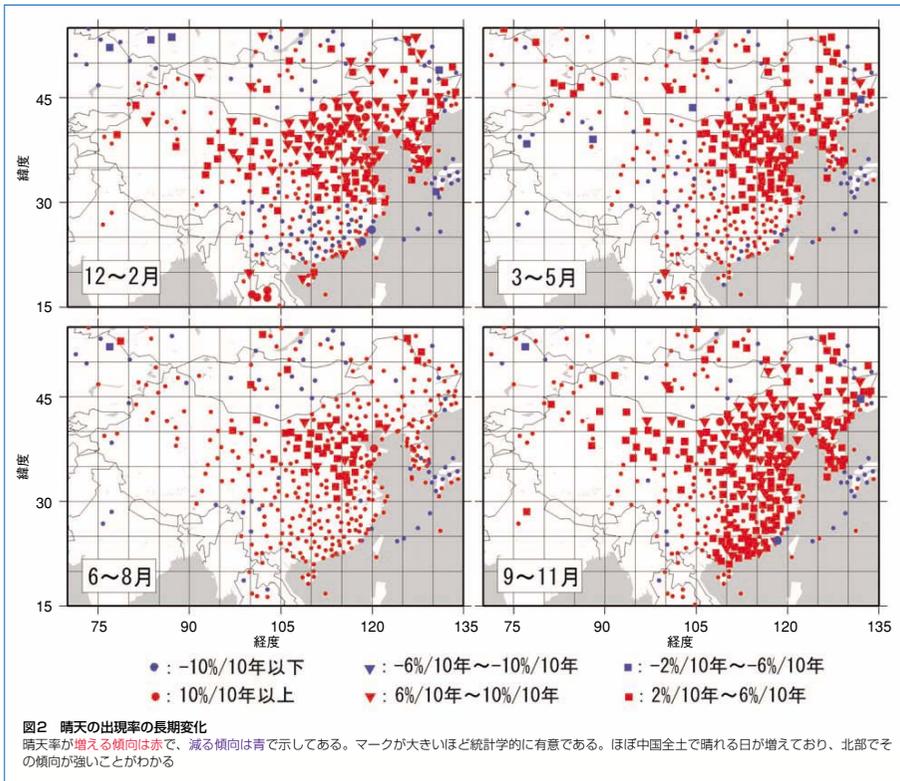
情報は論文にも中国の文献にもなかなか見つからなかった。そこで気象台の雲の観測データをもとに確認してみようと思いついた。

雲の立ち方と大雨の関係

雲が垂直に発達し、積雲や積乱雲になると強い雨を降らす。これは夏の夕立で我々にもおなじみの現象である。では垂直に発達する積雲や積乱雲はなぜ雨をもたらすのか。天気予報で「上空に寒気が入りこみ、夕方から夜に関東地方で雷雨があります」と表現されるように、冷たい大気が上空に入ってくると、上下に循環が生まれて積雲が発達する(写真A)。さらに冷たい空気が加われば循環は激しくなり、雷を伴った強い雨を降らせる積乱雲が発達する(写真B)。中国の場合、夏の間は小笠原高気圧を回り込

むようにして南の海から湿った暖かい空気が中国大陸上空に到達。一方モンゴルから乾いて冷たい空気が北側から気圧の谷の移動とともに降りてくる。この2つが中国の上空でぶつかって前線ができ、そこに積雲・積乱雲が発達して雨を降らせるというのが、基本的な降水の仕組みである。

今回の研究のもととなっているデータは中国の気象台の担当者が地上からどのような雲が空全体の何%を占めているのか(雲量)を目測したものだ。気象の世界では下層、中層、高層の雲を分類し、雲量の測り方のルールも世界共通である。観測は夜間も含めて3時間ごとに行われるが、今回の研究では満月に近く、夜間の雲の観測しやすい時期のデータを用いて統計値を出した。最近20数年分は静止気象衛星「ひまわり」の雲の観測データもあるのだが、雨をもたらす雲は低層の雲であるのに対し、衛星は最も上層にある雲の変化を主に観測していることになる。そのため今回は地上からの観測データを用いた。



晴れの日が増え積雲の出現頻度も減少

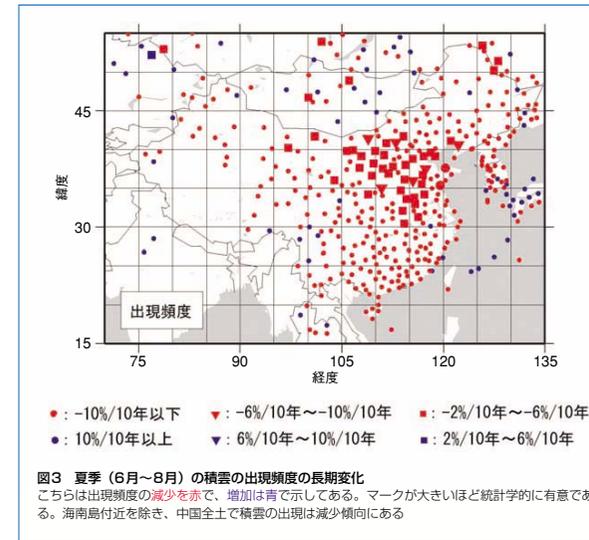
晴天(雲量0で雲が空に存在しない)の頻度は中国北部で増加し、南部ではあまり変わらない(図2)。南部では季節風の関係で冬でも雲がかかりやすいといわれているが、夏も北部で晴天の日が増えている。一方全雲量は、少なくとも戦後の中国では減る傾向にある。ではなぜ北部で晴天の日が増えているのだろうか。大気中の汚染物質が増えたために雲ができにくくなっているのではないかとこの説を唱える人もいる。現在、中国では自動車や工場の排気による大気中の汚染物質が増えているのは確かであるが、その説が正しいのかどうかはまだ分からない。この研究に用いられたデータは1971~96年のものだが、中国で工業生産が盛んになり汚染物質が

実際に増大したのは80年以降と考えられる。そのため遠藤研究員は、中国北部で晴天の日が増えているのは大きな気候変動の一環で、揚子江の北で30年来雨が減っている原因として、それ以前に比べてアジアモンスーンが少し弱まり、北京の南あたりまで来ていた梅雨前線が揚子江のあたりまでしか来なくなった可能性も考慮に入れている。晴天の頻度はすべての季節で増えているが、積雲だけで見ると、海南島付近など一部を除いて、中国全土で出現頻度が減る傾向にある(図3)。積乱雲は福建や広州など中国の南側で出現頻度が減っている(図4左)。つまり中国全体で夏場に縦に伸びていくタイプの積雲と積乱雲の出現頻度が減っている。つまり大気の大気対流の頻度が減り、より安定した形になっているということである。

特に揚子江から北は夏場に長期的に雨が減っているため干ばつの傾向があり、北京では地下水のくみ上げすぎで悪影響が出ているという話もある。水資源の問題は中国北部で深刻だ。

積乱雲の出現頻度、全雲量と大雨の関係

一方、中国南部は夏に積乱雲の出現頻度が減っているにもかかわらず大雨が降る傾向にある。この2つの現象はどのように結びつくのだろうか。中国の南部で積乱雲が発生したときに雲の占める割合を見ると、こちらは以前に比べて増えている(図4右)。一度積乱雲が現れるとたくさんの雲が立つ状況になり、そのため大雨が降るのではないかと推測される。過去には積乱雲が頻繁に立っていたが、空を覆う面積が小さかったた



めに、相対的に降水量が少なかった。最近はその面積が増大したため、集中豪雨を引き起こすのではないかと。積乱雲によって雨が降るときは、一方で積乱雲が消えもう一方で次々と生まれて雨が降り続く。積乱雲の全雲量が増えたということは、雨を降らせる雲の通過が多くなっているとも考えられる。全雲量は観測員の目測によるデータ、降水量は実測データであるため、完全に1対1で対応するとは言いえないものの、それが最も

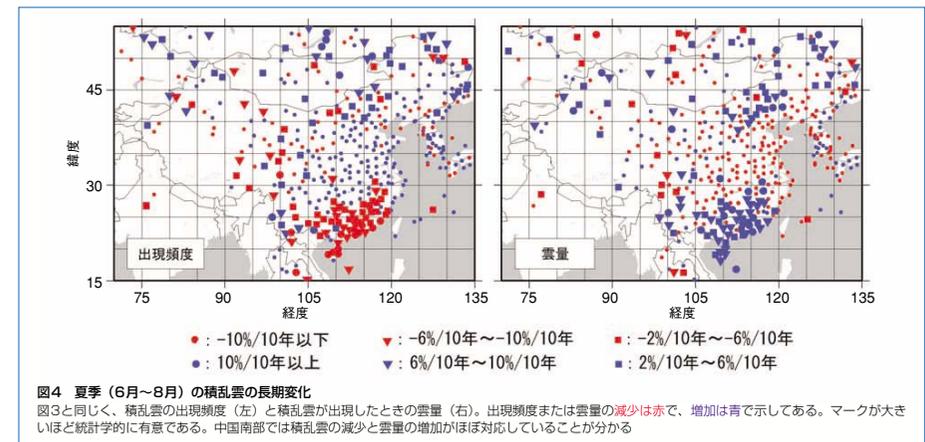
適切な解釈と考えられる。アメリカやシベリアでもやはり近年強い雨がが増えているが、中国とは異なり積雲、積乱雲の出現頻度も増えている。アメリカの場合は下層のほうにメキシコ湾から湿った空気が、上層にはメキシコ高原から乾いた暖かい空気が入っている。途中に安定層があってそれを破る形で積乱雲が発生する。しかし中国の場合には上層から下層までが湿っている状態の中で積乱雲が発達する。そ

れが中国とアメリカの違いを生み出していると考えられる。

気候予測シミュレーションへのフィードバック

このように近年中国北部と南部で降水量の偏りが大きくなっている事実は、温暖化が進んだときのシミュレーションによる将来予測結果とよくマッチしている。遠藤研究員は「地球シミュレータ」で出された将来予測と照らし合わせながら、これから中国、東アジアの降水はどうなるのか、強い雨がより偏在するようになるかどうか観測データをもとに研究を進めてゆく予定だ。

また今回の成果は気候モデルの性能評価にも役立つものであり、中国の大型石炭火力発電所や工場から排出される汚染物質の影響はきちんと評価する必要がある。そこで今後、安成哲三プログラムディレクター(地球環境フロンティア研究センター)らは大気大循環モデルを使い、汚染物質を人為的に増やした場合の雲や降水量変化の実験を行うことになっている。一方、農地では季節によって植物の量が増減する。そのように地上の状態や土地利用変化も視野に入れながら、長期にわたる雲の変化を明らかにしていく必要もあるだろう。



「波浪エネルギー、海からの恵み」 ～波力発電装置の研究開発～

(2005年11月12日 海洋研究開発機構 横浜研究所 第38回地球情報館公開セミナーより)

最近原油価格高騰によってガソリンの値上げが続くなど、エネルギー危機問題がふたたび話題となっています。そこで今回のテーマは、長年、海洋研究開発機構で取り組んできた波浪エネルギー研究についてのお話です。波浪エネルギーは自然の海の波のエネルギーで、その潜在的なエネルギー量は世界中の電力需要に匹敵するともいわれています。波浪エネルギー利用の技術やその可能性についてご紹介しましょう。



大澤 弘敬 サプリダー
海洋工学センター
先端技術研究プログラム
高性能海底探査技術研究グループ

1963年 東京都生まれ。海洋プロダクトメーカー、海洋開発コンサルタントでの研究開発を経て1996年に海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)に入所し、2004年まで浮体式波力装置「マイティール」の研究開発に従事。2002～2004年まで国際エネルギー機関(IEA)海洋エネルギー実施協定研究会日本代表、東京海洋大学連携大学院助教授。専門は海洋工学。著書に「浮体の流体力学」、「海と海洋建築」等

波浪エネルギーの可能性

皆さんもよくご存じのように地球表面の70%は海です。波はその広大な海のどこにでも存在し、太陽がある限り尽きることのない、しかも、化石燃料のように二酸化炭素を排出しないクリーンな自然エネルギーです。この素晴らしいエネルギーをなんとか有効活用したい、という思いから私たちは研究を進めてきました。

では、波浪エネルギーは地球上にどのくらいあるのでしょうか。世界の波浪エネルギーの分布図を見ると、一番多いのはヨーロッパやニュージーランド付近で、残念ながら日本周辺は非常に少なくな

っています(図1)。IEA(国際エネルギー機関)の資料によると、世界の波浪エネルギーの総量は1TW(テラワット)とも10TWともいわれ、地球の電力需要をすべて賄えるほどです。日本周辺の沖合では約15kW、沿岸では平均で約7kW、海岸線総延長では約3,100万～3,600万kWの波浪エネルギーが見込まれ、日本の年間電力使用量のおよそ3分の1に相当します(図2)。

そして、波浪エネルギーは二酸化炭素を出さない自然エネルギーです。2005年2月に地球温暖化問題の解決に向けて発効された京都議定書によって、日本は二

酸化炭素などの温暖化ガスの排出量を2012年までに1990年のレベルから6%削減することが義務づけられています。その実現の手段のひとつとして、新エネルギーの利用が推進されています。しかし、国が定めた新工手法(新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法)では新エネルギーを「技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面から普及が十分でないもので、石油に代わるエネルギーの導入を図るために特に必要なもの」と定義しているため、研究開発段階にあるとされている波力発電は指定外となり補助金などの対象にもなりません(図3)。波



図1 波浪エネルギーの世界分布
年間を通じて強い偏西風が吹いているヨーロッパ諸国の沖合は、波浪エネルギー量にも恵まれ、波力発電装置の研究開発も進んでいる



図2 日本沿岸の波浪エネルギー分布
日本は四方を海に囲まれているにもかかわらず、沿岸全体の波浪エネルギー量は平均は6～7kW/mといわれ、ヨーロッパ諸国の波浪エネルギー量に比べ少ない

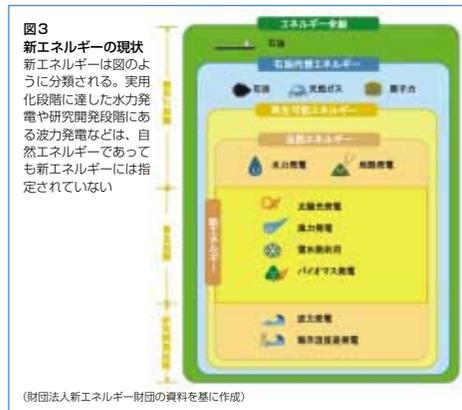


図3 新エネルギーの現状
新エネルギーは図のように分類される。実用化段階に達した水力発電や研究開発段階にある波力発電などは、自然エネルギーであっても新エネルギーには指定されていない

(財団法人新エネルギー財団の資料を基に作成)

図4 航路標識灯標ブイ
1964年、「海明」の開発にも携わった益田善雄氏が開発。世界で初めて実用化された波浪エネルギー変換装置となる



波力発電研究の歴史

日本は島国ですから、波浪エネルギーの開発も昔から行われてきましたが、実際にそのエネルギーを取り出す技術は長い間確立できませんでした。しかし、1964年に開発された航路標識灯標ブイは、その高い信頼性と経済性から世界初の波力発電を実用化したものとなり、今日世界に普及しています(図4)。また、実用化が有望視されていたものに波力発電ケーソンがあります。ケーソンという防波堤を構成する大きなコンクリートの箱に発電装置を設け、打ち寄せる波を利用して波力発電を行おうというもので、1989年に山形県酒田港で運輸省(現・国土交通省)などによる実証実験が行われました。

海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)でも、その発足後まもなく、1971年より石油危機を背景に波浪エネルギーの研究が始まります。そして、1975年には大型浮体式波力発電装置の有効性が水槽実験で実証されました。その後、1978年には国家プロジェクトとして実海域実験が行われ、実証機は「海明」と命名されました(図6)。「海明」は振動

浪エネルギーによる波力発電を新エネルギーとして認めてもらうためには、これまでの研究を技術的に実用化段階まで持っていくことが必要なのです。

波力発電のしくみ

では、波力発電とはどんなしくみなのでしょうか。まず、波浪エネルギーとは海面の上下動による、海水の位置エネルギーと運動エネルギーから成ります。このエネルギーを空気の流れや水の流れなど発電機のタービンを回して電気エネルギーに変換するのが波力発電です。この過程のうち、波浪エネルギーを別の形のエネルギーに変換することを一次変換、それを電気エネルギーに変えることを二次変換といいます。波力発電装置には大き

く3つの種類があります。1つ目は波浪エネルギーを機械的エネルギーに変え発電するものです。室蘭工業大学で研究開発された振り子式波浪発電装置もそのひとつで、波によって振り子のような物体が動かされて油圧ポンプが作動し、発電機を動かします。2つ目は波を水の位置エネルギーに変換する越波型装置で、波を越えさせ、平均水面より高い位置に海水を押し上げ、その海水が落下する流れでタービンを回して発電します。そして、3つ目が当機構でも長年研究してきた振動水柱型空気タービン方式です。海面にコップを伏せたような空気室をつくり、その中の水面が上下することによって、空気室の上に向けた小さな穴から空気が出たり入ったりします。この空気の流れの力でタービンを回して発電します(図5)。

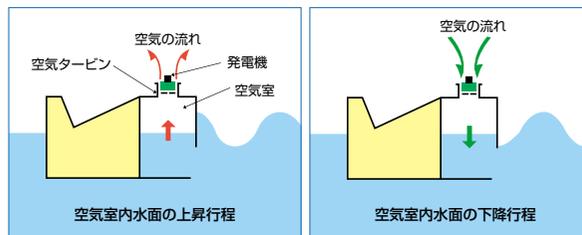


図5 振動水柱方式のしくみ
図のように、水中に空気室を設け、波の上下によって空気室の上方のノズルから高速の空気を発生させ、その空気流でタービンを回し発電する



図6 浮体式波力発電装置「海明」
1978年8月から1986年3月まで山形県で発電実験を行った。長さ80m、幅12m

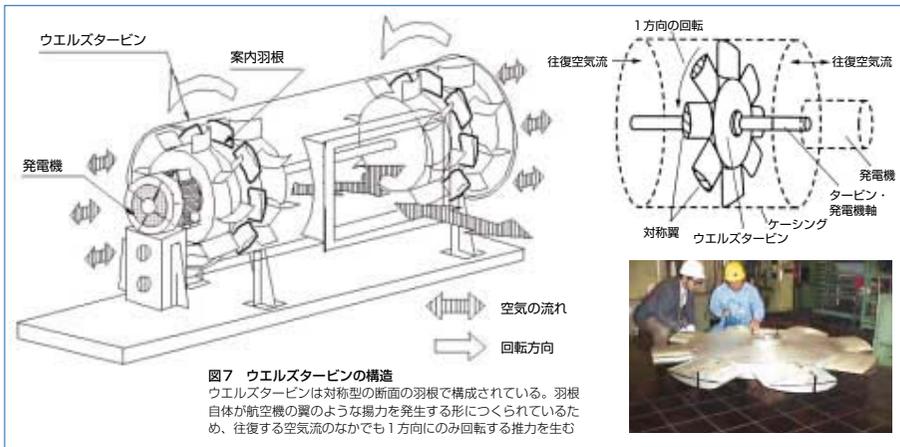


図7 ウエルスタービンの構造
ウエルスタービンは対称型の断面の羽根で構成されている。羽根自体が航空機の翼のような揚力を発生する形につくられているため、往復する空気流のなかでも1方向のみ回転する推力を生む

水柱型空気タービン方式を採用し、実海域実験後期には当時イギリスで特許申請されていたウエルスタービンを世界で初めて実用化して、常に上下動を繰り返す波の運動に対応できるタービンシステムを開発しました(図7)。その結果、空気室上部に開けられたノズルからの往復空気流中でタービンを常に1方向に回転させることに成功し、タービンに接続された発電機を効率的に動かせるようになりました。また「海明」はIEAとの国際共同研究への波力発電による電力供給の実証実験も行いました。

実用化に向けたプロトタイプ「マイティーホール」

一方、「海明」の実海域実験では課題も残りました。「海明」は波の進行方向に対して空気室を平行に並べていたため、エネルギー全体の平均一次変換効率が悪かったのです。空気室を波の進行方向に対して直角に配置すればその変換効率は上がりますが、今度は浮体にかかる波の力が大きくなり、錨による係留が難しくなります。しかし、「海明」の実験終了後も繰り返された水槽実験によって浮体の形状が改良され、波の力を相殺するような形状が考案されました。その結果、空気室を波の進行方向に対して直角に配置することに成功。その形から、新しい実証機は「マイティーホール」と命名され、実験海域も三重県五ヶ所湾と決まりました(図8)。その後、

7年にわたり実験海域の気象や波浪などが綿密に調査された後、そのデータを基に1994年から実証機の設計・建造が始まりました。

「マイティーホール」は、クジラのような形で船のように海に浮かび、波を食べるように吸収する防波堤のようなものです。湾口部などに設置して波のエネルギーを吸収して電力に変え、さらに「マイティーホール」後方の海域を静穏化することができます。また、浮体式のため設置場所を容易に移動できるのも特徴です(図9)。

実験海域が台風の経路に当たるため、係留の安全性は大きな課題となりました。係留の配置や位置精度が設計時の値からずれた場合、係留索の破断の危険性もあるため、「マイティーホール」は位置誤差50cm以内という厳しい条件のもと、約1



図8 「マイティーホール」の実験海域
プロトタイプの実海域実験は、三重県南勢町五ヶ所湾湾口において1998年7月から2002年3月まで行われた

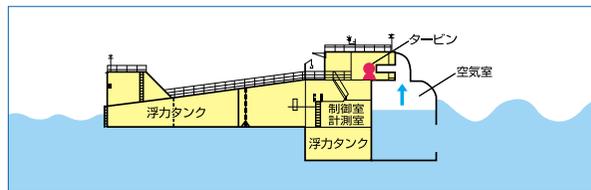


図9 「マイティーホール」の構造
全長50m幅30mの浮体に空気室が3つ設置され、その上部には空気タービンと発電機、後方には補助発電装置とバッテリー室、圧縮空気室がある。浮体後部をスロープ状にすることで波の力を相殺し、空気室を波の進行方向に対して直角に配置することに成功した



図10 「マイティーホール」外観
「マイティーホール」のプロトタイプ実験における最大一次変換効率の目標は「海明」の12%を大幅に超える50%に設定された

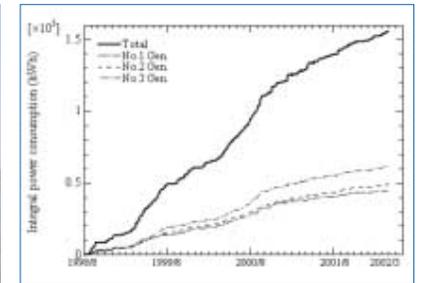


図11 「マイティーホール」の実海域実験における積算発電量
約3年半の実験期間を通じて「マイティーホール」は最大合計発電出力110kWのタービン・発電機の積算電力量としてはおよそ156MWを発電した

か月の期間をかけ、直径160mmという特注の巨大係留チェーンを使用して設置されました。そして1998年、世界にも例のない浮体式波力発電装置の実海域実験が開始されました。「マイティーホール」の運転や計測はすべて無人で行われ、データは浮体上で解析されます。実験中には大型台風による設計強度ギリギリの波高15m級の大波にも襲われ、図らずも設計条件であった50年に1度の対大波に対する耐久性まで実証することとなりました。

3年半の実験の結果では、「マイティーホール」1基の積算発電電力は156MW(メガワット)、時間当たりの電力量に換算すると7.9kWh/hとなりました(図11)。一般的な4人家族の家庭の消費電力量がおよそ0.4kWh/hですから、約20軒分の家庭の電力量を賄える計算です。そして、2002年、すべての実験を終了し、その役割を終えた「マイティーホール」は解体されました。



図12 太陽光発電と組み合わせた複合発電システム
「マイティーホール」の甲板上にソーラーパネルを設置し、自然エネルギーの発電量の平滑化を図る実験も行った

波浪エネルギー利用の未来

「マイティーホール」開発終了後も、欧米では波浪エネルギーの実用化に向けた研究開発が進められています。世界に先駆けて波浪エネルギーの研究開発に取り組んだ日本が、その実用化で欧米に遅れをとった理由に日本を取り巻く海の特性があります。大西洋沿岸に比べ平均で10分の1程度という波の低さに対して、台風の高波にも耐える強固な躯体設計が発電コストを引き上げるのです。

しかし、そのおかげで、日本では波浪エネルギーの複合利用によって発電コストを下げるという新しい発想が生まれました。「マイティーホール」にも波力発電以外にさまざまな機能が付加されており、それらの実証実験も行われました。波力と太陽光発電を組み合わせ、エネルギーの平滑化を目的とした複合発電システム

の実験(図12)や、波力発電で圧縮空気を作り、その力で海洋深層水を汲み上げる実験にも成功しています。また、実験海域の湾の入口に「マイティーホール」を13機並べたシミュレーションでは、入ってくる波の高さを50%程度に低減できるという消波能力も確認されており、この機能を使えば波が荒い海域を養殖やレジャーなどの経済活動の場に活用することができます(図13)。また、波浪エネルギーは、陸上での発電施設の設置が難しい離島での利用や、不測の事態の緊急用エネルギーとしての可能性も大いにあります。

「マイティーホール」の開発成果によって技術的に実用化段階に達しつつある現在、波浪エネルギーも、有効な新エネルギーのひとつであるという認識のもと、民間などの参入も含め実用化に向けた動きにつながっていくことが期待されています。



図13 浮体式波力装置の利用構想
湾口部に「マイティーホール」を並列させ、発電と同時に湾内を静穏化することも考えられる

Topics

海洋生物調査の航海日記を公開 「マルチスプラッシュ調査航海日記」

取材協力：ドゥーグル・リンズィー研究員（極限環境生物圏研究センター 海洋生態・環境研究プログラム 海洋生態系変動研究グループ）

今年の3月14～28日、相模湾から太平洋の千葉・鴨川沖にかけて行われた海洋生物調査の様子を綴った日記が、海洋研究開発機構のホームページに毎日掲載された。調査の状況を日々更新しながら公開するという試みは、日本ではまだ数少ない。

「米国などでは広く行われています。税金を使って研究を行っていますから、何をしているのかを多くの人たちに知ってもらい、研究への理解を深めてもらうことは大切なことだと思います。24時間体制で行われた調査の合間に日記を作成できるか不安もありましたが、観測技術員の協力のおかげで、作成することができました」と日記を作成した主席研究者のドゥーグル・リンズィー研究員はいう。



中深層生物の活動を理解するには、昼間だけでなく夜間の調査も欠かせない

日記に綴られた「マルチスプラッシュ調査航海」は、「MULTiple Sampling PLAtform Survey of wHole ecosystem（複数の観察・採取器具による包括的生態系調査）」を意



<http://www.xbr.jp/ky0603/>

味している。「群盲、像をなでる」ということわざがありますが、海洋調査でもサンプリングの方法によって観察対象が異なり、ひとつの方法で全体の構造を理解することは難しい。そこで、いろいろな道具を使って海域全体の生物群集構造を的確に評価しようと試みたのがこの調査です」とリンズィー研究員。「マルチスプラッシュ調査航海日記」は現在も掲載されている。船上での機器のトラブルなどの苦労話も交えて、採取された深海生物の姿をはじめ数多くの画像とともに紹介される海洋生物調査の様子は非常に興味深い。



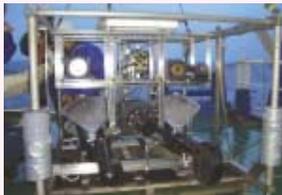
IONESS（多段開閉式ネット）で生物を採取



海洋調査船「かいよう」船上でサンプルを抽出



調査航海日記を公開したリンズィー研究員



観測機器を搭載したマルチスプラッシュフレーム



ネットで捕らえた微小生物を顕微鏡で観察



採取したホタルイカ（左）とコウモリダコ

Topics

珍しい深海生物380種を集めた 千葉県立中央博物館 企画展「驚異の深海生物」

千葉市・青葉の森公園内にある千葉県立中央博物館は、房総の自然誌に重点をおいた博物館で、海洋の生物に関する展示も充実している。また、勝浦市には分館として海の博物館も設置されている。この千葉県立中央博物館で、今年の夏に開催されているのが、不思議に満ちた未知の世界・深海に生息する生物を紹介する企画展「驚異の深海生物～未知の深世界をさぐる」(協賛：東京大学海洋研究所、協力：海洋研究開発機構)だ。

企画展では、博物館で収集してきた深海にすむ甲殻類や魚類の生物標本をはじめ、国内・海外の博物館や研究機関から深海生物の標本を一堂に集めて展示している。その生物種数は約380種、レプリカを含む展示標本の数は453点にも及ぶ。ほかに写真パネルやビデオ映像、海洋調査船や潜水調査船の模型も置かれている。展示の点数が多いだけでなく、貴重な標本が数多く揃い、内容も充実している。水深1万mの世界最深い海にすむカイコウオオソコエビ、魚類としては世界最深ともいわれる水深6,000m以深の海溝にいるヨミノアシロとシンカイクサウオ、世界最大の等脚類であるコウテイグンクムシ、硫化鉄のうごきを持つ巻き貝スケリーフットなど、希少な生物標本も数多い。また、深海には、地上で暮らす私たちの想像を超える驚くような姿や生き方をしている生物がたくさんいる。雄が雌の体に喰いついて寄生したまま一生を送るチョウチンアンコウ、目も口も上を向いているテンガンムネエソ、腹まで裂けたような巨大な口を持つクロナガキなど、珍しい深海生物もたくさん展示されている。

企画展入り口。ホールや廊下にも展示品が並ぶ



企画展の担当者である同博物館動物学研究所の駒井智幸さんは、「深海という世界には、実に多様な生物がいます。水圧が高く、光も届かない厳しい環境に、さまざまな生物が存在している。そうした自然の懐の大きさを多くの人たちに知ってもらいたい。また、深海には化学合成生態系という、私たちとまったく別の生き方をしている生物たちがいることも知ってほしい」と話す。

企画展の担当者である同博物館動物学研究所の駒井智幸さんは、「深海という世界には、実に多様な生物がいます。水圧が高く、光も届かない厳しい環境に、さまざまな生物が存在している。そうした自然の懐の大きさを多くの人たちに知ってもらいたい。また、深海には化学合成生態系という、私たちとまったく別の生き方をしている生物たちがいることも知ってほしい」と話す。



□千葉県立中央博物館（千葉県千葉市中央区）
連絡先：043-265-3111（代表）
ホームページ：
<http://www.chiba-muse.or.jp/NATURAL/>

□企画展「驚異の深海生物～未知の深世界をさぐる～」
期 間：2006年7月1日（土）～9月3日（日）
休 館 日：毎週月曜日
11時、13時半、15時の3回、解説ツアーを実施。
期間中はイベントや講演会なども行われる。



ダイオウイカの模型、リュウグウノツカイのはく製も



世界最大の等脚類コウテイグンクムシも展示



深海には多様な姿・生き方の生物が数多い

沖縄美ら海水族館では、「沖縄大深海展」を開催

沖縄は、東に南西諸島海溝、西に沖縄舟状海盆と、非常に深い海に囲まれ、深海生物の宝庫といわれる。特別展では、潜水調査船「しんかい6500」の実物大模型をはじめ、沖縄周辺で得られた貴重な深海生物の標本を展示し、水族館が行っている深海の調査研究活動を紹介する。

□沖縄美ら海水族館（沖縄県国頭郡本部町）
ホームページ：
<http://www.kaiyohaku.com/>
連絡先：0980-48-3748

□開館30周年記念特別展「沖縄大深海展～深海生物の神秘～」(共催：海洋研究開発機構)
期 間：2006年7月8日（土）～8月31日（木）

研究の現場から

船上で活用されるロープワークを日常生活に役立てる(2)

取材協力：柴田 桂 課長 (海洋地球情報部 広報課)

ロープを束ね、巻きた後、末端をU字型にして挟み込む。末端を引けば、すくすぐける



結びとは、簡単にいうと、ロープ同士の摩擦抵抗をうまく利用して、すれたり解けたりしないようにすることだ。無数に存在する結びのなかで、優れた結びの条件が3つある。それは、「手順が簡単であること」、十分な強度がある(ゆるんだり、すれたりしない)こと、そして、ほどきやすいことだ。前回(5-6月号)紹介した本結び、もやい結び、巻き結びなどは、まさにそうした優れた結びの代表格といえる。今回紹介する8の字結びやテグス結びもそうだ。簡単に結ぶ、利用価値も高いので、ぜひ覚えてほしい。

8の字結び(写真1)はロープのほつれ止めやすべり止め(こぶ)として利用されるとともに、2重にして輪をつくる結びとしても重宝する。一般的なひと結びは、力がかかると結びがすれたり、きつく締まって解きにくくなるが、8の字結びにしておくとすれにくく、解くのも容易だ。テグス結び(写真2)は、同じ太さのロープを継ぎ足したり、ロープをひとつの輪にするとときに便利な結び。ロープを交差させ、相手のロープを巻き込みながら結びをつくるという、覚えてしまえば簡単な結び方だ。抜けにくくする場合、それぞれの

末端にもうひとつずつひと結びをふやしておくといよい。

このようにさまざまな結び方を覚えると、ロープワークを日常生活に役立てることができる。結び方と同様、ロープにも多くの種類(材質、編み方など)があり、必要に応じて使い分けができるようになれば、ますます便利に使える。



写真1 8の字結び 二重にしてつくった輪は高い強度を持つ

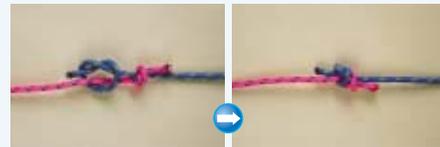


写真2 テグス結び 最も簡単なひと結びの応用。輪をつくる時に便利

【箱を結ぶ】



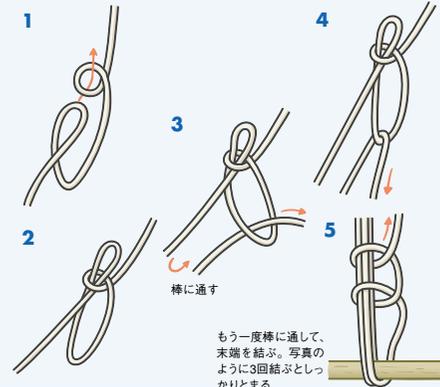
箱の表 箱の裏
箱の裏の中央にくる長さにする
ロープを2重にし、こぶを2つつくる
ロープを輪に通し、開いて上面へ



箱の表 箱の裏
強く引く
強く引く
上面でロープをこぶの間に通す
返したロープを箱の角で結ぶ
機材を入れたケースなどを縛るときに利用される行李(こうり)結び。ひと結びでこぶをつくる位置をうまく調整することがポイント

【ロープを強く張る】

前回紹介した方法よりも強くしっかりとロープを張りたいときに使われる。車のルーフィアに荷物を固定するときにも便利だ。最後の末端処理は、状況によってさらにしっかりと結ぶことも必要



もう一度棒に通して、末端を結ぶ。写真のように3回結ぶとしっかりとまる

海洋地球百科事典

●ハイパー海洋地球百科事典：
<http://www.jamstec.go.jp/opedia/index.html>

海洋コンベアベルト

水槽の右端を水で冷却すると、インクを流した表層の水が沈み込んでいく様子が観察できる



今号の裏表紙(「Earth Watch」)に、「地球シミュレータ」によって再現された太平洋の海流の流速分布が載っている。海流は、海洋の上を吹く風から運動エネルギーの供給を受けて生じる海洋循環で、「風成循環」と呼ばれる。これらは各大洋内をめぐる閉じた循環であり、深さも海洋表層から深度数千百mほどまでしか達していない。では、その下の海水は、静止したままなのだろうか。観測技術等の発達により、海洋の深層には風による海流よりもゆっくりだが、地球全体をめぐる大きな流れが存在していることが知られている。

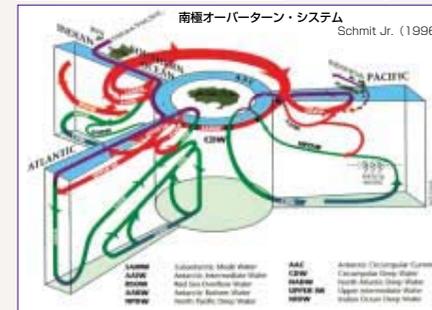
深層の流れを駆動しているのは、海水の密度の違いだ。海水の密度は、主に温度と塩分によって決まる。冷たい海水は暖かい海水よりも密度が高く、塩分の多い海水は少ない海水よりも密度が高い。そして、高緯度の冷たく重い海水は下方へ沈み込み、それを補うように表層の軽い海水が引き寄せられ、高緯度で冷やされて重くなり沈み込む。こうした密度の違いによって引きおこされる流れ(対流)が駆動力となって深層循環が生じると考えられている。

表層から海底深くまで沈みこむような冷たく重い海水が形

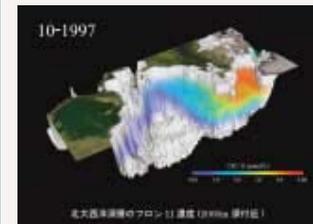


海水の大規模な対流によって循環する深層と表層の輸送経路を概念的に表した海洋コンベアベルトの図
出典：「異常気象レポート2005」気象庁編

南極で沈み込んだ冷たく重い海水が各大洋に分配される様子が詳しく描かれた「南極オーバーターン・システム」図



成される海域は、世界の海洋のなかでもごく限られている。そのひとつが、北大西洋のグリーンランド沖だ。湾流として大西洋を北上した海水(蒸発が盛んで塩分が高い地中海からの海水も含まれる)は、低温の高緯度帯で冷却され、さらに海水が形成されるときに排出される塩分によって非常に重くなり、深層に沈み込む。そして、この冷たく重い水塊は、押し出されるように大西洋の深海を北南米大陸に沿って南下し、やがて南極大陸の周りを巡る南極周極流に集まる。南極大陸の近くでも海水は強く冷却され、毎秒約3,000万トン(グリーンランド沖では毎秒約1,500万トン)という膨大な海水が沈み込んでいる。大西洋を南下してきた深層水は、新たに沈み込んだ海水とともに各大洋へ流れ出る(南極オーバーターン・システム)。太平洋を北上した海水は、少しずつ塩分の低い海水と混ざり合って上昇する。一方、太平洋の表層の塩分が低く暖かい海水は、インド洋、大西洋を移動して、再び北大西洋の高緯度帯へと戻っていく。こうした地球全体をめぐる壮大な海洋循環を「海洋コンベアベルト」と呼ぶ(「深層大循環」、「熱塩循環」とも呼ばれる)。コンベアベルトの速さは、毎秒数ミリから数センチといわれ、北大西洋で沈み込んでから北太平洋で湧昇するまでに約2000年という時間をかけて海洋をめぐるという。海洋コンベアベルトは、単に海洋の表層と深層をめぐる循環というだけでなく、高緯度帯で沈み込む際に大気を加熱するなど、地球の熱収支に大きくかかわるとともに、二酸化炭素をはじめとする物質循環にも関連している。海洋コンベアベルトの理解が、地球の気候変動予測にとって重要であることは間違いない。



北大西洋・グリーンランド沖でフロンを吸収して沈み込んだ深層水の一部が、北南米大陸沿岸に沿って南下する様子(赤から紫へ)を海洋大循環モデル(OFES)を使って再現したシミュレーション画像
地球シミュレーションセンター 高度計算表現研究グループ作成

プレゼント Present



© Taro Tomonaga

千葉県立中央博物館 企画展「驚異の深海生物～未知の深世界をさぐる～」開催記念Tシャツ

本誌37ページで紹介した千葉県立中央博物館で開催されている(～2006年9月3日)企画展「驚異の深海生物～未知の深世界をさぐる～」を記念してつくられたオリジナルTシャツです。Tシャツには、絵本「しんかいぎょっ!」の作者であるイラストレーター・友永たろ氏によるユニークな深海生物たちが描かれています。図柄は、「深海魚デフォルメ」、「深海魚リアル」(写真)、「深海無脊椎動物」の3種(各2,000円)、同博物館のミュージアムショップで販売されています。

今回は、このオリジナルTシャツの3種類の図柄を各1枚ずつ、それぞれ1名様にプレゼントいたします(Mサイズ、図柄はこちらで選べていただけます)。

■応募方法 ハガキ、メールどちらも、1. プレゼントの品名、2. 氏名、3. 住所(郵便番号も含む)、4. 年齢、5. 職業(学生の方は学年)、6. 電話番号、7. いちばん興味を持った記事、8. 「Blue Earth」へのご意見、ご希望を明記の上、下記までご応募ください。応募締め切りは、2006年8月31日(木)です(ハガキの場合は当日消印有効)。なお、当選者発表は、発送をもってかえさせていただきます。

〈ハガキ〉
〒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
〈メール〉
info@jamstec.go.jp
「Blue Earth」編集室プレゼント係

※お預かりした個人情報、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。

「Blue Earth」定期購読のご案内

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

定期的にお手元に届く「定期購読」をご利用ください。お申し込みは、以下の内容を明記のうえEメールかFAX、もしくはハガキにてご願致します。購読するためには、定価(1冊3000円)+送料(実費)が必要となります。(当機構指定口座への振込の場合は、その手数料もご負担いただけます)

●支払方法
届初にお届けする号に同封する請求書に基づき、その号から年度最終号の3-4月号までを一括で当機構指定の口座にお振り込みください。
(請求書発行日の翌月末までの平日に限り、横浜図書館でも請求書持参のうえでお支払いいただけます。その際は手数料は必要ありません。なお、年末年始などの休日は受け付けておりません。詳細は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 海洋地球情報部 広報課 「Blue Earth」編集室
TEL: 045-778-5380 FAX: 045-778-5386
E-mail: info@jamstec.go.jp

※定期購読は申込日以降に発行される号から年度最終号の3-4月号までとさせていただきます。申込日以前に発行されたバックナンバーの購読をご希望の方はあらかじめお問い合わせください。
バックナンバー参照URL: <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/publication/index.html>
※1年度あたり6回発行
※お預かりした個人情報、「Blue Earth」の発送や確認のご連絡等に利用し、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

●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下記URLをご覧ください。
URL: <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/mailmagazine/>

お詫びと訂正

(誤) (正)

「Blue Earth2006年5月6月号」39ページ「深海の水圧パワー」記事中に写真の誤りがありました。

「水圧によって割れた海底地震計の耐圧容器(ガラス球)」の写真は、正しくは右の写真です。深度6,000m以上の水圧ではガラスは圧壊した瞬間、白い粉になります(正し写真の右側にあるビンの中の白い粉。左は耐圧ガラス球)。

お詫びを申し上げますとともに、訂正いたします。



海と地球の情報誌「Blue Earth」第18巻第4号(通巻第84号)2006年7月 発行
編集人 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所 海洋地球情報部 広報課 柴田 桂
発行人 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 齋藤 隆俊
アートディレクター 前田和則(株式会社ミュール)
表紙: 本文デザイン 山田浩之(株式会社ミュール)
編集協力 滝田よしひろ/萩谷美也子/山崎玲子/荒船良孝/柏原羽美(株式会社ミュール)
制作 株式会社ミュール

本部 〒237-0061 神奈川県横浜須賀町2番地15 TEL.046-866-3811(代表)
横浜研究所 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 TEL.045-778-3811(代表)
ひつ研究所 〒035-0022 東京都ひつ市大字関根990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2-200 TEL.088-864-6705(代表)
東京事務所 〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル10階 TEL.03-5157-3900(代表)
国際海洋環境情報センター 〒905-2172 沖縄県名護市豊原24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
Seattle Office 810 Third Avenue Suite 632 Seattle, WA 98104, USA TEL.+1-206-957-0543 FAX.+1-206-957-0546

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

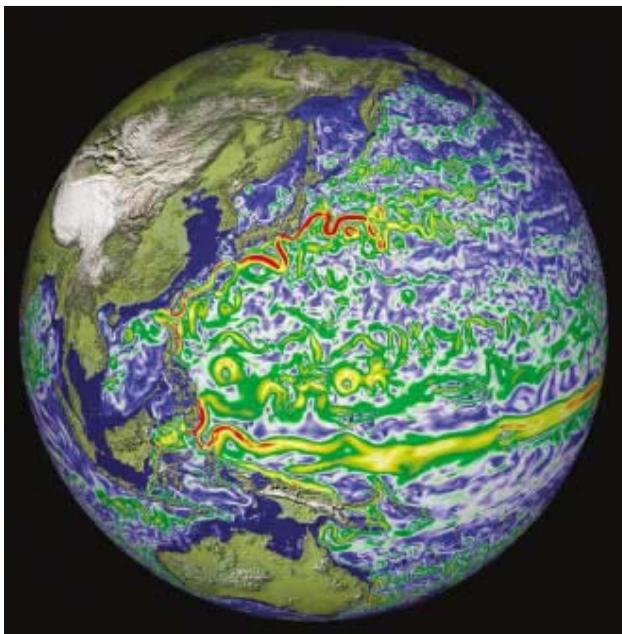
※本誌掲載の文章・写真・イラストを無断で転載、複製することを禁じます

賛助会(寄付) 会員名簿

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

平成18年6月末現在

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



「水深100mの流速分布」(地球シミュレータセンター)

超高解像度海洋シミュレーションで再現された海流

海は海流や渦によって蓄えられた熱を運び、大気を含む地球全体の気候システムに影響を与えているが、海面下を観測する手段は限られている。そこで活躍するのがシミュレーションだ。「地球シミュレータ」の能力を最大限に引き出すべく開発された海洋大循環モデル(OFES)は、全地球の海の循環を約10km間隔という高解像度で再現した。そこでは、地図帳で見られる幅が広い帯状の海流のイメージとは異なる複雑な海洋の循環が示された。たとえば、日本の近くを流れる黒潮は、幅が100km程度の比較的幅の狭い流れで、数10~100km規模のたくさんの渦を伴っている。その黒潮は、日本の東岸で離岸し、さらにその東方で海底地形の影響を受けて分岐する。また、赤道に沿った100m程度の深さには、表層の流れとは反対の東向きに流れる赤道逆流が見える。

OFESの超高解像度で現実的なシミュレーション結果は、ホームページ(<http://www2.es.jamstec.go.jp/ofes/jp/>)で公開中であり、世界中の研究者に利用されている。今後はより解像度を上げ、さらに小規模の現象が海洋循環に及ぼす影響を探っていく。



独立行政法人

海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/>