

海と地球の情報誌

Blue Earth

ISSN 1346-0811
2018年10月発行
隔月年6回発行
第30巻 第5号
(通巻157号)



157

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



南海トラフ 地震発生帯掘削に 「ちきゅう」が挑む

すべての研究航海を成功に導く
日本の夏と熱帯の海



1 **Close Up**
 準備は整った。
 いざ南海トラフの地震発生帯へ!

2 **私がIODPで解きたい謎**
 すべての研究航海を成功に導く
 前田玲奈
 地球深部探査センター 科学支援部 科学支援グループ 技術主任

6 **特集**
 南海トラフ地震発生帯へ
 「ちきゅう」が挑む

28 **Marine Science Seminar**
 日本の夏と熱帯の海
 季節の異常を予測するコンピュータ
 土井威志
 アプリケーションラボ 気候変動予測応用グループ 研究員

32 **BE Room**
 研究の面白さ、奥深さを紹介!
 「話題の研究 謎解き解説」

裏表紙 **Pick Up JAMSTEC**
 太平洋の白鳥「日本丸」が
 JAMSTEC横須賀本部の岸壁に現れた

IODP第358次研究航海に関わる各分野の専門家約70人が国内外から集まった。

準備は整った。 いざ南海トラフの地震発生帯へ!

2018年7月31日~8月1日の2日間、JAMSTEC横浜研究所でDWOP (Drill Well on Paper) という会議が開催された。集まったのは、10月7日に開始される「南海トラフ地震発生帯掘削計画」のIODP (国際深海科学掘削計画) 第358次研究航海の関係者たちである。

IODP第358次研究航海では、地球深部探査船「ちきゅう」によって、海底下5,200mあたりに存在する巨大地震を引き起こすプレート境界断層まで掘削し、地震発生メカニズムの理解に必要なさまざまなデータと地質試料を採取する。前人未到の超深度掘削であることに加え、付加体という崩れやすい地質条件や、黒潮、台風、寒冷前線が到来しやすい環境下であり、地震発生帯への到達は容易ではない。

そこで、掘削、科学、運用など、各分野の専門家が一堂に会して今回の掘削計画が最適であるかを検討し、潜在的な危険を洗い出し、必要な対策を議論する場がつけられたのだ。DWOPの開催は、IODPの研究航海としては初めてである。そのことから、今回がいかに難しい航海と位置付けられているかが分かるだろう。

DWOPでの議論をもとに、掘削計画を一部変更。DWOPを通じて関係者のモチベーションやチームワークも高まり、地震発生帯

を目指す準備は整った。「ちきゅう」は10月10日に静岡県清水港を出て、南海トラフへ向かう。IODP第358次研究航海は2019年3月31日までの予定だ。

「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の詳細は特集をご覧ください。



ゲームを通して、協調して作業をすることの難しさを体感した。

グループディスカッションでは活発な議論が行われた。

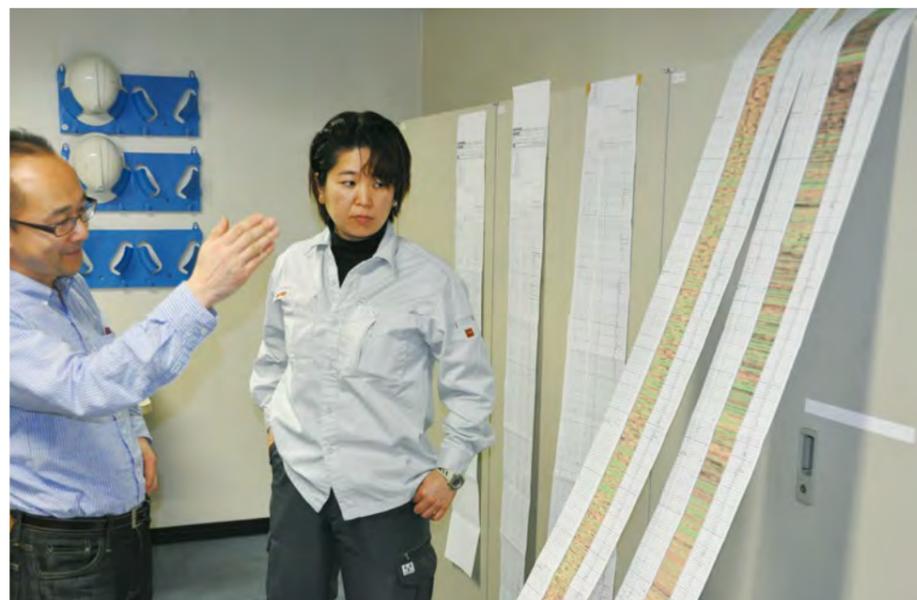
前田玲奈

地球深部探査センター
科学支援部 科学支援グループ
技術主任

まえだ・れな。1975年、神奈川県生まれ。琉球大学理学部海洋学科卒業。東北大学大学院理学研究科博士課程修了。博士（理学）。(株)マリン・ワーク・ジャパンでのラボテクニシャンを経て、2012年よりJAMSTEC地球深部探査センター。

すべての研究航海を 成功に導く

IODP（国際深海科学掘削計画）の主力船として深海科学掘削を行っている地球深部探査船「ちきゅう」には、さまざまな専門家が乗船している。そのなかで研究者と掘削する人をつなぐ重要な役割を担っているのが、EPM（Expedition Project Manager、科学支援統括）である。「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の総仕上げとなる第358次研究航海のEPMは4人。前田玲奈さんは、2018年10月から19年3月までの期間中、約1ヵ月ずつ3回にわたり、「ちきゅう」に乗船する予定だ。なぜ「ちきゅう」のEPMになったのか。EPMの仕事とは？そして、第358次研究航海に向けた意気込みを聞いた。



2012年、IODP第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削（JFAST）」のアシスタントEPMとして「ちきゅう」に乗船した前田さん。掘削同時検層で得たデータについて研究者から説明を受ける。

絶対「ちきゅう」に乗る！

—現在、EPMとして「ちきゅう」に乗船されています。EPMになった経緯を教えてください。

前田：大学2年生のとき、日本が巨大な科学掘削船をつくるという話を耳にしました。まだ「ちきゅう」という名前も付いていませんでしたが、私は絶対その船に乗る！と決めたのです。それから紆余曲折がありましたが、こうして「ちきゅう」に乗って仕事をすることができて、楽しくて仕方ありません。

—大学での専門は？

前田：琉球大学で、海底の堆積物から

過去の地球環境を復元する古環境学を学んでいました。地球環境に興味を持ったのは、小学生のときに見たNHKの『地球大紀行』がきっかけです。地球環境について学べる大学を探すなかで、琉球大学理学部に海洋学科があることを知り、海洋学科という名前がかっこいい！と、進学を決めました。

—海洋学科での学生生活はいかがでしたか。

前田：2年生のときに約2週間の航海実習があり、周りが船酔いで次々とダウンするなか、私一人、航海を楽しんでいました。そのとき、自分は船に乗ることが

好きなんだと気付きました。だから、科学掘削船をつくるという話を聞き、絶対に乗りたと思ったのです。

一方で、古環境を理解するには生物学、化学、物理学などいろいろな分野の知識が必要で、4年間では勉強しきれない。まだまだ知りたいことがある。そう思って大学院に進みました。私は、小学生のころから宇宙や地球の図鑑が大好きで、暗記してしまうほど読み込んでいました。図鑑に「○○については、まだ分かっていません」と書いてあるのを見て、知りたい！もっと知りたい！と思っていました。そういう気持ちは、大学生の



アシスタントEPMとして乗船した「東北地方太平洋沖地震調査掘削（JFAST）」。先輩EPMの姿を見ながら仕事を覚えていった。

ころも、そしていまも変わっていません。—「ちきゅう」では、いろいろな専門家が働いています。

前田：最初は研究者として「ちきゅう」に乗りたと思っていました。しかし、博士論文を書いていたときに、自分は研究者には向いていないと痛感しました。研究者は、仮説を立て、調査や実験で得られた試料を分析し、仮説を実証あるいは新たな解釈を導き出します。私には、そうしたストーリーをつくるセンスがないのです。博士論文は仲間に助けられてどうにか書き上げたという状態でした。だから、研究者として「ちきゅう」に乗ることは諦めました。

でも「ちきゅう」には絶対に乗りた。どうしたらいいのかと悩んでいたとき、マリン・ワーク・ジャパンという会社に入るとラボテクニシャン（技術員）として「ちきゅう」に乗船できるという話を聞いたのです。試料を処理したり、分析したりするのは得意です。マリン・ワーク・ジャパンに就職する！と決め、採用試験では「ちきゅう」への想いを大いに語りました。

ラボテクニシャンとして「ちきゅう」に

—マリン・ワーク・ジャパンはJAMSTEC

の海洋や地球科学関連の研究支援業務を行っています。入社後、どのような仕事をしていたのですか。

前田：最初は、JAMSTECの研究船の「かいよう」や「かきれい」に乗船して研究支援をしていました。「ちきゅう」の船体が完成し、進水式が行われ命名されたのが2002年、私が入社する前年です。設備や装置を設置する艀装作業真ただ中の2004年、私は研究区画の担当になりました。決まったときは、思わずガッツポーズが出ました。

動線を考えて機器を配置したり、機器のマニュアルをつくったり、薬品や消耗品管理のデータベースをつくったり、研究区画を一からセットアップしました。「ちきゅう」の研究区画のことはほとんどすべて知っています。

—「ちきゅう」は2005年7月に完成、下北八戸沖で慣熟訓練や試験掘削が行われ、2007年9月からIODP「南海トラフ地震発生帯掘削計画」（以下、南海掘削）の研究航海が始まりました。

前田：南海掘削の最初の航海、第314次研究航海にラボテクニシャンとして乗船し、試料の化学分析などを担当しました。その後も2010年12月～11年1月に行われた第333次まで「ちきゅう」によるIODP研究航海の9回すべてに乗船し、ラボテ

クニシャンをまとめるラボオフィサーのアシスタントや、試料を管理するキュレーターのアシスタントも務めました。何回乗っても、何日乗っても、楽しかったです。しかし、新しいことに触れる機会が少なくなったと感じ始めていました。そんなとき、JAMSTECの地球深部探査センター（CDEX）がEPMを募集していることを知ったのです。

—EPMという仕事について、どのように感じていましたか。

前田：ラボテクニシャンの仕事の大変さは、EPM次第で変わります。EPMと研究者のコミュニケーションがうまくいっていないと、ラボが混乱してしまうのです。EPMの重要性は肌身で感じているというか、ひりひりするくらい分かります。だからこそ、私ならばできる、と採用試験でアピールしました。

EPMは祭りの裏方さん

—2012年、CDEXに採用されました。EPMの仕事について教えてください。

前田：EPMは研究者や研究区画に関するマネージャーであり、研究者と掘削をする人をつなぐのが仕事です。私は、お祭りの裏方だと捉えています。祭りの企画、つまりここで掘削をして、こういう試料やデータを取りたいと掘削計画を立

てるのは研究者です。裏方は、それを実現させるためにはどの機器が必要か、どの人の協力が必要かを研究者や掘削の専門家と話し合いながら準備を進め、祭りが始まったらトラブル対応に奔走し、みんなに研究を楽しんでもらえるように盛り上げる。祭りが終わっても仕事は続き、研究者が成果を論文として発表するのをフォローします。

——仕事にはすぐ慣れましたか。

前田：2012年4～5月と7月に行われた第343次研究航海「東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST)」、7～9月の第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」に、アシスタントEPMとして乗船しました。3人のEPMそれぞれのものでアシスタントができたので、とてもよい経験になりました。親切であることは全員同じなのですが、バックグラウンドや性格によってアプローチの仕方に違いがあります。私の強みは、研究区画について熟知していること。皆さんに楽しんでもらうことも大好きです。先輩たちから学びつつ、自分らしいやり方を見つけていきたいと思っています。

——初めてEPMとして乗船した研究航海は？

前田：2012年10月～13年1月の第338次研究航海です。2013年9月～14年1月の第348次研究航海にもEPMとして乗船し



2018年、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」のIODP第380次研究航海と同時に船上で行われた、過去の南海掘削コア総合解析を行う「380CLSI@Seaプログラム」のラボマネージャーとして乗船。この研究航海では、プレート境界断層前縁部の掘削地点C0006の海底下495mに長期孔内観測システムを設置。準備が整った観測装置にサインをして記念撮影。

2013年、「南海トラフ地震発生帯掘削計画」のIODP第348次研究航海にEPMとして乗船。クリスマスパーティーのひとつ。長い航海中、研究者に気分転換して楽しく過ごしてもらうのもEPMの仕事。「私は、ず～っと乗っていたいほど『ちきゅう』が好き」



ました。いずれも南海掘削です。そして、2018年10月～19年3月に行われる南海掘削の総仕上げとなる第358次研究航海にも乗船します。

書類のやりとりが大事。その意外な理由

——第358次研究航海に向けた準備が進んでいます。出航までのEPMの仕事を教えてください。

前田：研究航海の実施が決まると、

CDEX関係者と掘削計画を提案した研究者から成るプロジェクトコーディネーションチームによって、共同首席研究者が決めます。第358次研究航海は約6ヵ月間と長いので、共同首席研究者として9人が選ばれ、2人ずつ交代で乗船します。共同首席研究者が決まると、乗船研究者の募集が行われます。EPMは、共同首席研究者と共に乗船研究者の選考に関わります。今回のEPMは江口暢久さん、Sean Toczkoさん、久保雄介さん、私の4人で、交代で乗船します。乗船研究者の選考には、主にリードEPMであるショーオンさんが関わりました。

乗船研究者が決まったら、皆さんに必要な手続きや書類の案内をするのもEPMの仕事です。実はこれが、とても大事。締め切り前に完璧な書類を提出する人、締め切りを守らない人、書類の不備が多い人など、いろいろな研究者がいます。乗船前の書類のやりとりで、性格がだいたい分かります。性格を把握しておく、乗船してからもその人に合った対応ができ、トラブルを未然に防ぐことができます。また、初めての乗船なのに質問をしない人には、こちらから声をかけるようにしています。心のなかに不安をため込んでいる場合もあるからです。研究者の不安や不満を解消して、楽しく充実した研究航海になるように心掛けています。

そのほか、乗船研究者から特別な機器の持ち込み申請があれば検討し、研究区画の機器の動作確認や薬品の準備などを行い、万全の体制を整えて出航を迎えます。

よいチームをつくり、すべての航海で成果を出す

——第358次研究航海は、南海トラフの巨大地震発生帯まで掘り進み、断層の柱状地質試料 (コア) の採取を目指します。非常に難しい掘削になるといわれていますが、研究者と掘削チームの間をどのように調整していくのでしょうか。

前田：常に話し合いです。研究者の要望を、私たちEPMは掘削チームが分かる言葉に変換して伝えます。掘削チームは、基本的には何でもやってあげたいと思っています。しかし、さまざまな制約から「できない」と返ってくることもあります。その場合は、掘削チームの説明を研究者が分かる言葉に変換して、また現在の状況をすべて開示し、納得してもらえるまで何度でも丁寧に研究者に説明をします。

今回初めて、掘削をしながら地層の物性や応力場を計測する掘削同時検層やカッティングスと呼ばれる削りくずの解析など、さまざまな情報からリアルタイムに地質状況を把握し予測するリアルタイム・ジオメカニクスという技術を導入

します。研究者と掘削チームに加え、リアルタイム・ジオメカニクスチームが、それぞれの仕事に集中できて、かつ必要ときは緊密な話し合いができるようにしなければなりません。初回なので手探りになりますが、三者をつなぐよいやり方を見つけていきたいと思っています。——EPMとして特に意識していることはありますか。

前田：第358次研究航海では、もちろん地震発生帯に到達して断層のコアを採取できればよいのですが、地震発生帯に到達できなかったからといって失敗ではありません。EPMとして私は、どの研究航海でも必ず成果を出して成功に導くことを強く意識しています。

——そのために必要なことは？

前田：よいチームをつくることです。「ちきゅう」には、研究者やラボテクニシャン、掘削する人、船を動かす人、生活を支える人など、たくさんの人が乗っています。陸上からもたくさんの人がサポートしています。船に乗っている、乗っていない、また専門に関わりなく、自分たちは1つのチームだと全員が思える雰囲気、EPMが中心になってつくっていきま。一体感のあるよいチームになれば、たとえトラブルが発生して当初の目標を達成できなくても、みんなで知恵を振り絞って話し合い、得られたコアなどの試料やデータから必ず成果を出

すことができます。EPMの一番重要な仕事は、一体感のあるよいチームをつくることです。

——チームづくりについて、第358次研究航海での難しさはありますか。

前田：今回は期間が約6ヵ月と長いので、共同首席研究者や乗船研究者、リアルタイム・ジオメカニクスチームが、それぞれ1ヵ月くらいごとに交代します。違う時期に乗船した人も含めて全員で一体感を維持できる工夫が、これまでの研究航海以上に必要です。航海終了後、静岡県清水港に停泊している「ちきゅう」に全員が再び乗船し、コアの解析などを行う予定になっています。そのとき、会いたかったよと、みんなで抱き合えたら最高ですね。

——「ちきゅう」に乗りたいという想いを實現して、もう15年になりますね。いまでも「ちきゅう」が好きですか？

前田：はい、もちろん好きです。夜、岸壁から見上げた「ちきゅう」が特に好き。もう何十回と見っていますが、毎回、すごい船だなと思います。ここで働いていることを誇らしく感じます。私にとって「ちきゅう」は愛してやまないもの。その「ちきゅう」の研究航海に携わる人には誰一人として嫌な思いをしてほしくない。第358次研究航海では、南海掘削の総仕上げにふさわしい航海になるよう、EPMとして全力を尽くします。



大学院博士課程時代の前田さん（奥）。図を作成中。現在は、広報活動用の動画作成を行うこともある。「音響や映像が昔から好きでした。アイデアはいろいろあるのですが、スキルの壁にぶつかって具現化できない。勉強中です」



ラボテクニシャン時代。2010年、IODP第331次研究航海「沖繩熱水海底生命圏掘削」にてコアを処理しているところ。

ライザーパイプが海底へと降ろされていく様子。「ちきゅう」のドリルフロアの下フロアには海面への入り口となるムーンプールがある。ライザーパイプは、ライザーテンショナーと呼ばれる装置で引っ張られている。船の動きがライザーパイプに伝わらないようにするためである。

南海トラフ地震発生帯へ 「ちきゅう」が挑む

南海トラフでは100~150年間隔でマグニチュード8クラスの巨大地震が繰り返し起きてきた。

なぜ南海トラフで巨大地震・津波が発生するのか。次の巨大地震発生は、どのくらい差し迫っているのか。それらを明らかにするために、地球深部探査船「ちきゅう」は2007年から、震源域付近の海底を掘削し、掘削孔内の物理計測を行い、柱状地質試料（コア）を採取してきた。

また、掘削孔内に地殻変動をリアルタイムに監視する長期孔内観測システムを設置し、その動向を探っている。

そして2018年10月、いよいよ海底下5,200mあたりに存在すると予測されている

地震発生帯まで掘削し、地層の物性や応力場などの計測とコアの採取を目指す研究航海が始まる。

構想からおよそ20年、最初の研究航海から11年。

「南海トラフ地震発生帯掘削計画」のすべてを紹介しよう。



取材協力
倉本真一
JAMSTEC
地球深部探査センター
センター長

南海トラフで「ちきゅう」によって 海底下の掘削が行われていることを 知っていますか？

紀伊半島沖の熊野灘に浮かぶ巨大な船。高くそびえるデリック（掘削やぐら）が目立つ。船底からデリックの先端までおよそ130m、30階建てビルに匹敵する高さだ。この船が、世界最高の掘削能力を有する地球深部探査船「ちきゅう」である。およそ2,000mも下にある海底までライザーパイプという特殊なパイプを延ばし、その先の海底下を掘削しているところだ。この写真が撮影されたのは2009年。「ちきゅう」は「南海トラフ地震発生帯掘削計画（NanTroSEIZE）」（以下、南海掘削）のもと、2007年から紀伊半島沖で掘削を行っている。これまでの航海は12回、総航海日数は700日を超える。「より深い海で、より深くまで掘削できる科学掘削船をつくろう——日本の科学者たちの熱い想いからすべてが始まりました。1990年ごろのことです」

と倉本真一さんは振り返る。当時、アメリカ主導で1983年に始まった国際深海掘削計画（ODP）のもと、深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」1船によって海洋科学掘削が行われていた。しかし、掘削には巨額の費用がかかるわりに大きな成果が出ていないという指摘がアメリカ国内の一部であり、ODPの存続が危ぶまれていた。一方で日本の研究者たちは、「ジョイデス・レゾリューション」ではできなかった重要な科学掘削のターゲットがたくさん残されており、それを達成する新しい科学掘削船が必要であると確信していたのだ。「当時、その船は“ゴジラ丸”と呼ばれていました。大学院生だった私は、巨大な掘削船をほうふつさせる名前にワクワクしたことを覚えています」。要素技術の研究開発、基本設計などが進められ、2001年、

“ゴジラ丸”の建造予算が国会で承認された。2003年には、ODPに代わり統合国際深海掘削計画（IODP）が開始された。「日本の科学掘削船の建造が起爆剤になって、アメリカをもう一度奮い立たせたのです」と倉本さん。IODPはアメリカ単独でなく日本も共に主導するという点が、それまでの国際深海掘削計画と大きく異なる。翌年にはヨーロッパコンソーシアムも参加。“ゴジラ丸”は2001年4月に建造が開始され、2002年1月に進水式が行われて「ちきゅう」と命名された。デリックや各種装置が取り付けられ、2005年7月に完成。「ちきゅう」の最大の特徴は？ 倉本さんは「科学掘削船で初めてライザー掘削能力を持っていること」と即答する。ライザー掘削とは、船上と海底をライザーパイプでつなぎ、そのなかにドリルパイプを通し、船上から“泥水”という特殊な流体を流しながら先端のドリルビットで掘り進んでいく技術である。泥水は、カッティングスと呼ばれる掘りくずと共にドリルパイプとライザーパイプの間を通過して船上に上げ、カッティングスを取り除いて再び循環させる。ライザー（riser）という名前は泥水と一緒にカッティングスを船上まで持ち上げる（rise）ことによる。海底下を掘り進んでいくにつれて周りからの圧力が大きくなり、掘削孔がつぶれやすくなる。泥水の密度を調

海洋科学掘削50年
本格的な海洋科学掘削の始まりは、1968年である。この年、アメリカの深海掘削計画（DSDP）のもと掘削船「グローマー・チャレンジャー」が完成し、掘削を開始した。1975年には日本やイギリス、ドイツ、フランス、ソビエト連邦などが加わり国際共同深海掘削計画（IPOD）へ発展。1983年には国際深海掘削計画（ODP）が始まり、1985年に「ジョイデス・レゾリューション」の運用が開始された。2003年にアメリカと日本が主導する統合国際深海掘削計画（IODP）が始まり、2004年にはヨーロッパコンソーシアムや中国も参加。アメリカの「ジョイデス・レゾリューション」、日本の「ちきゅう」、ヨーロッパの特定任務掘削船により掘削を行ってきた。2013年からは国際深海科学掘削計画（IODP）として引き継がれ、現在に至る。2018年は海洋科学掘削の開始から50年という節目の年である。

整し循環させることで圧力を均衡させ、掘削孔がつぶれることなく深くまで掘り進むことができるのだ。ライザー掘削は、石油掘削で広く使われている技術である。

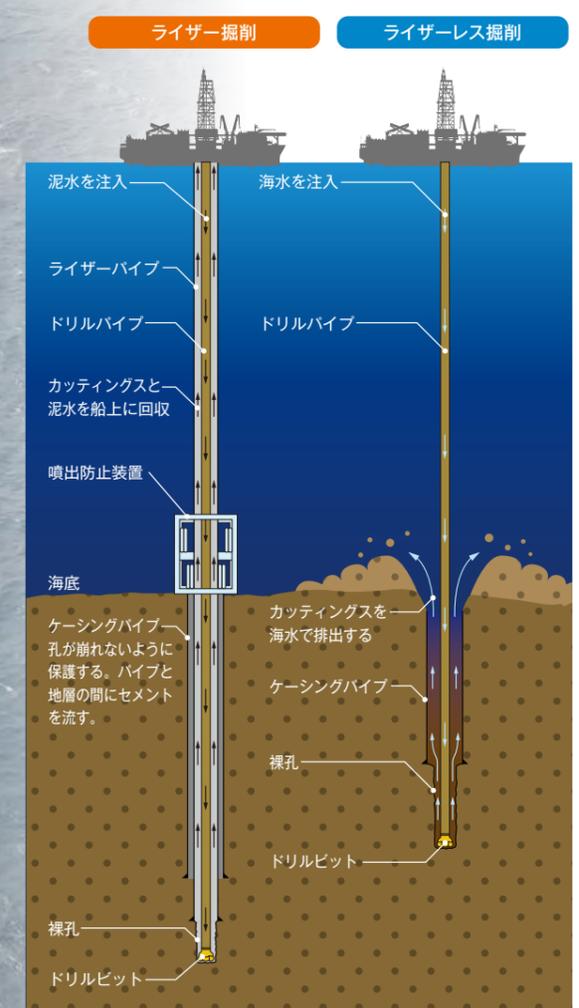
一方、これまで科学掘削は、ライザーパイプを使用しないライザーレス掘削で行われていた。船上から海水を注入し、カッティングスを海底に排出しながら掘り進んでいく。大深度の掘削はできないが、比較的簡便に短い期間で多くの場所を掘削できるという利点がある。「ちきゅう」は、ライザー掘削とライザーレス掘削の両方が可能だ。

では、なぜ「ちきゅう」は紀伊半島沖で掘削を行っているのだろうか。「ライザー掘削により最大水深2,500mで海底下7,000mまで掘削可能な『ちきゅう』で何をすべきか。『ちきゅう』にしかできないことは何か。IODPに参加する世界の科学者たちによって、何度も議論されました」と倉本さん。そして、4つの科学目標が掲げられた。巨大地震発生のメカニズム解明、海底下に広がる生命圏の謎を解く、マントルまで掘る、地球の歴史を探る、である。「4つのなかで最も緊急度が高いとされたのが、巨大地震発生のメカニズム解明でした。そして世界中の巨大地震発生帯のなかから「ちきゅう」が最初に掘るべき場所として選ばれたのが、紀伊半島沖の南海トラフだったのです」

こうして「ちきゅう」による最初のIODP研究航海として2007年9月に南海掘削が開始された。「実は、南海トラフの掘削がこれほど難しく、地震発生帯への到達まで10年以上もかかるとは思っていませんでした」と倉本さんは苦笑する。その理由は後々明らかになることにして、まずはなぜ南海トラフが選ばれたのか、その理由に迫ろう。



2009年、第319次研究航海において、紀伊半島沖60kmの南海トラフで掘削中の「ちきゅう」。



なぜ南海トラフを掘削するのか？

マグニチュード(M) 8を超えるような巨大地震は、そのほとんどが海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込んでいる沈み込み帯で発生する。沈み込む海洋プレートが陸側のプレートを引きずり込んでひずみがたまっていき、そのひずみに耐え切れなくなったプレート境界が壊れ、断層が一気にすべて地震が発生するのだ。このとき、陸側のプレートが跳ね上がって海水を持ち上げ、津波が発生する場合がある。巨大地震を起こしてきた沈み込み帯は、世界各地にある。スマトラ海溝、ペルー・チリ海溝、日本海溝……。それらのなかで、なぜ南海トラフを掘削することになったのだろうか。

『ちきゅう』の掘削能力で地震発生帯に到達できること。1,000年以上にわたって巨大地震が繰り返して発生した履歴が残されていること。この2つが、南海トラフに決まった大きな理由です。そう解説するのは、南海掘削に構想段階から携わる木下正高さんだ。

海底地形図を見ると、東海から紀伊半島、四国、九州の沖へと延びる溝がある。それが南海トラフである。フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に年4cmほどの速さで沈み込んでいる場所

だ。南海トラフの地震発生帯は、海底下5,000～20,000m(5～20km)の領域にあると考えられている。その海域の水深は2,000mくらいだ。最大水深2,500mで海底下7,000mまで掘削可能な「ちきゅう」であれば、地震発生帯に到達できる。一方、日本海溝の約8,000mをはじめほかの沈み込み帯は水深が深いものが多く、「ちきゅう」の掘削能力を超えている。ちなみにトラフとは、沈み込み帯に形成される地形の一種で、海溝に比べて浅いものをいう。

南海トラフでは、東海地震、東南海地震、南海地震が単独あるいは連動して、100～150年間隔で繰り返し発生している。前回は、1944年に昭和東南海地震、2年後の1946年に昭和南海地震が発生した。1854年の安政地震では、東海地震と東南海地震が同時に発生し、約30時間後に南海地震が発生している。南海トラフで発生した巨大地震の記録は古文書などに残され、684年の白鳳地震までさかのぼることができる。「巨大地震が繰り返して発生するメカニズムの解明に、南海トラフほど適した場所はありません」と木下さん。

2001年、IODPに「南海トラフ地震発生帯掘削計画」と題した掘削提案書が提出された。世界中の研究者が何度も集まり議論し、まとめ上げたものだ。

「地震が発生する現場には何があり、どうなっているのか。私たちは、地震発生帯の正体を知りたいのです。そのために、地震発生帯

の断層のコアを採取することを目標に掲げました」と木下さん。だが、「断層のコアだけでは巨大地震の発生メカニズムは分からない」とも指摘する。

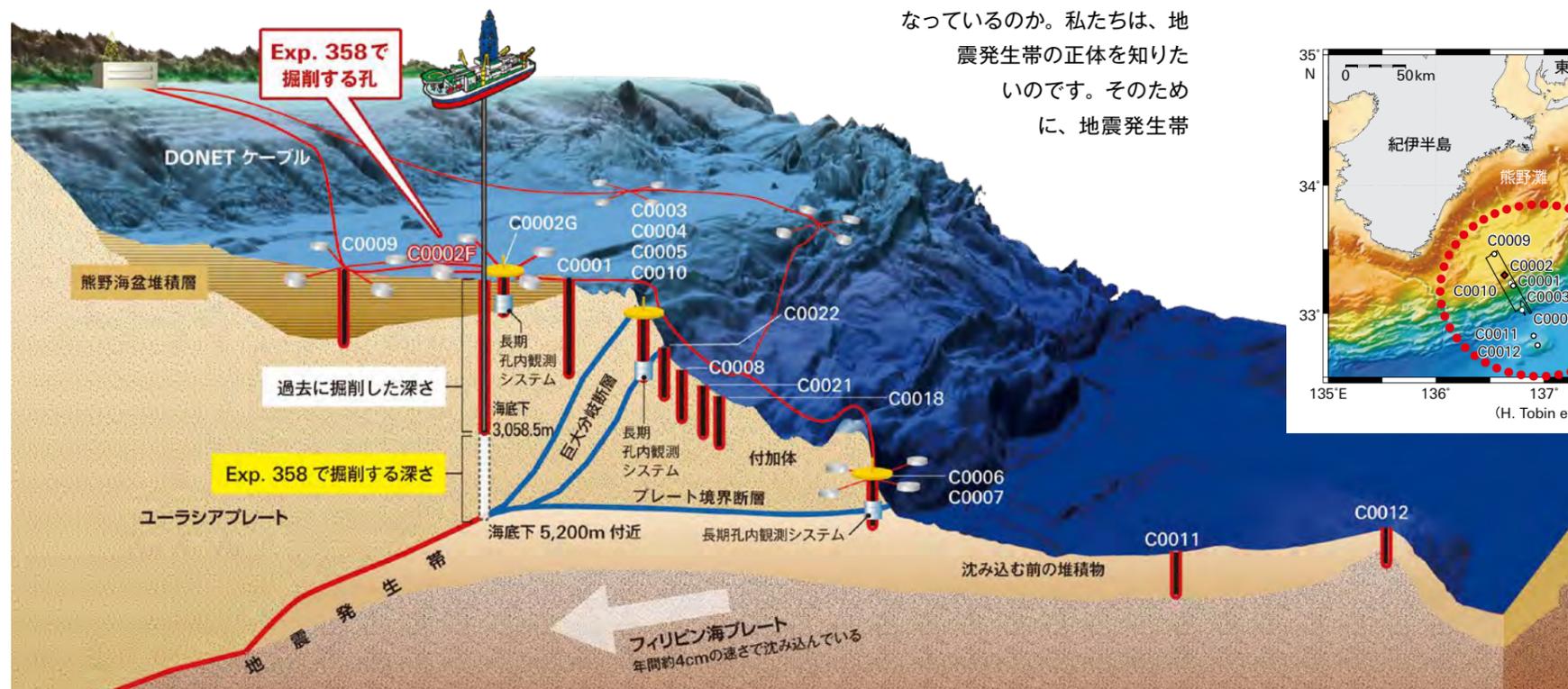
断層をすべらせようとする力が断層の強度を上回ったときに、地震が起きる。知りたいのは、地震発生帯の断層強度は低いのか、断層をすべらせようとする力は現在のどのくらいの大きさなのか、ということだ。それが分かれば、次の巨大地震発生への段階がどれくらい進んでいるかの指標にもなる。断層強度は、断層のすべりにくさを表す摩擦係数と、断層が上に載っている地層や海水の重さによって押し付けられている力(垂直応力)の積で決まる。ただし、断層の隙間に水が含まれていると、その間隙水圧によって上からの力を押し返すため、垂直応力から間隙水圧を引く必要がある。コアを採取できれば、組成を調べ、実験によって摩擦係数などの物性を計測できる。しかし、垂直応力や間隙水圧、断層をすべらせようとする力は、現場で、しかも浅部から深部まで連続して計測しなければならないのだ。

木下さんは「地震発生帯だけでなく、沈み込む前や、沈み込みが始まったばかりの場所、津波の発生と関連する巨大分岐断層など、複数地点での掘削も必要」という。海洋プレートが沈み込むとき、堆積物は沈み込みに伴ってはぎ取られて陸側に付け加えられ、付加体ができる。海洋プレートの沈み込みに伴うひずみは陸側のプレートと付加体全体に蓄積し、地震発生帯の断層をすべらせようとする力に大きく関係するからだ。さらに、南海トラフでM8～9

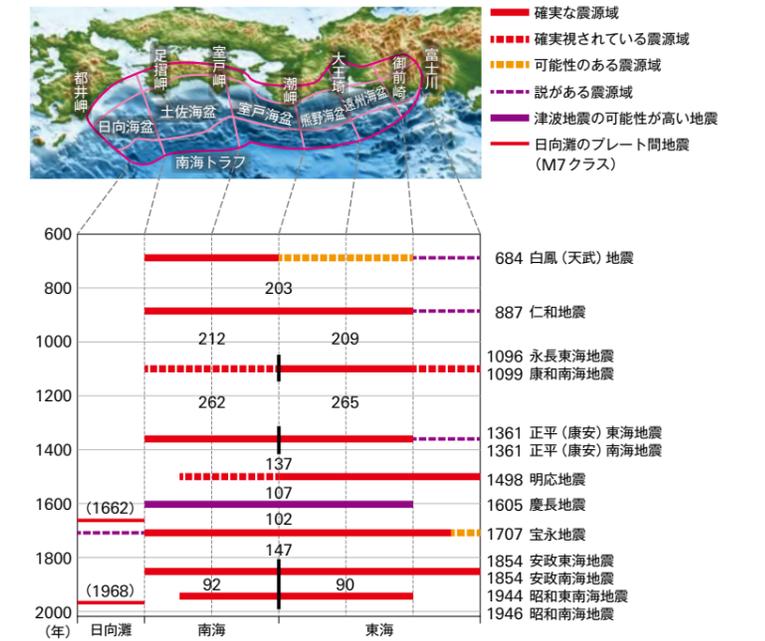
クラスの地震が今後30年以内に起きる確率は70～80%と予測されている。地震発生に至る変化を捉えるためには、掘削孔に観測システムを設置して地殻変動などのモニタリングを行うことも欠かせない。

浅部から深部までの複数地点での掘削、断層のコアを採取、長期孔内観測システムを設置を行う——それが南海掘削の掘削提案書の概要だ。南海掘削はIODPに承認され、2007年9月、最初の航海となるIODP第314次研究航海(Exp. 314)が開始された。「掘削海域の黒潮の速い流れや付加体という崩れやすい地質に翻弄される場面や、『ちきゅう』にとって初めての研究航海であることから研究者と掘削技術者との調整が難航することもありましたが、南海掘削のスタートを切ることができました」。Exp. 314の共同首席研究者を務めた木下さんは、そう振り返る。

「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の掘削地点



南海トラフで過去に発生した地震 地震調査研究推進本部「過去の地震の発生状況」を改定



$$\text{地震発生の指標} = \frac{\text{断層をすべらせようとする力}}{\text{断層強度} = \text{摩擦係数} \times (\text{垂直応力} - \text{間隙水圧})}$$

地震発生の指標
断層をすべらせようとする力が断層強度を上回ると、地震が発生する。

IODP 研究航海番号

IODPに提出された掘削提案書には3桁の番号が付けられる。南海掘削は「603」である。DSDPの最初の掘削提案書を1として、欠番があるものの連続と続いている。一方、IODPの研究航海番号(Expedition Number, Exp.と略す)は連番ではなく、掘削船を運用しているアメリカ、日本、ヨーロッパの各機関の話し合いで決められることが多い。「ちきゅう」が南海トラフのC0002という掘削地点で、1回目のライザー掘削を行ったのはExp. 338、2回目はExp. 348と、ちょうど10増えている。これは偶然だったが、Exp. 358は、地震発生帯に到達する3回目のライザー掘削にやはり10増える番号を付けようと、事前に予約していたものである。

2007年からの11年、12航海で得られたプレート境界地震の常識を覆す発見の数々

南海掘削では、これまでに12航海を行い、15地点で68の孔を掘削している。現在までの大きな成果として、木下正高さんは3つ挙げる。

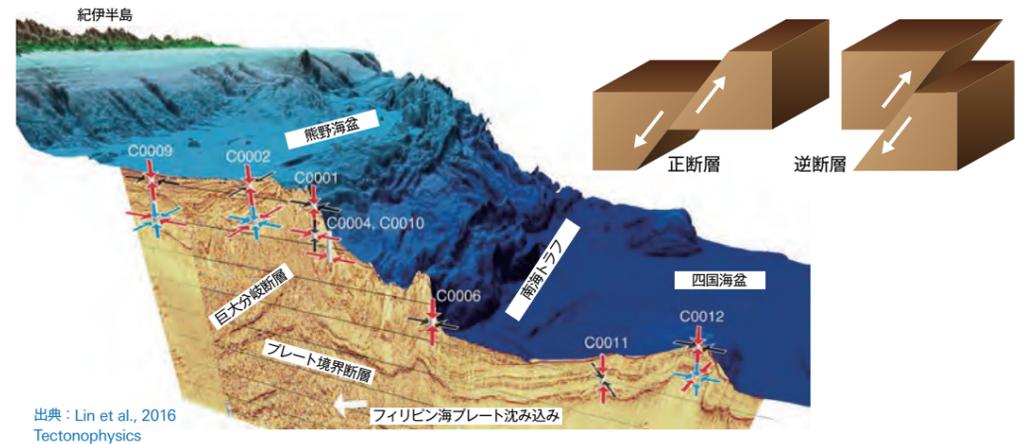
1つ目は、2007年12月～08年2月に実施されたExp. 316において巨大分岐断層（C0004）とプレート境界断層先端部（C0007）のコア採取に成功し、その後の分析で断層面が300～400℃になった痕跡を見つけたこと。これは、浅部にある断層が高温の摩擦熱を生じるほど高速ですべったことを意味する。「プレート境界地震の常識を覆す発見」と木下さん。これまで、プレート境界地震で断層が高速ですべるのは海底下深くにある地震発生帯であり、海溝軸近くの浅い断層が高速ですべることはないと考えられていた。

しかし南海トラフでは、浅部にある断層まで高速ですべったことがあったのだ。浅部にある断層がすべると海水を持ち上げて巨大な津波が発生する。津波発生源を示す世界で初めての証拠でもある。

この成果をまとめた論文は、2010年11月にアメリカ地質学会誌『GEOLOGY』に受理され、2011年4月号に掲載された。東北地方太平洋沖地震とそれに伴う巨大津波が発生したのは、その間だ。巨大津波はプレート境界の断層が海溝軸まですべったためであることが、「ちきゅう」によるIODP「東北地方太平洋沖地震調査掘削（JFAST）」などで明らかになった。その後、南海トラフ地震で想定される津波の高さが引き上げられるなど、南海掘削やJFASTの成果

南海掘削で明らかになった浅部の応力場分布

左の図の各矢印は三次元主応力の方向を示している（赤：最大主応力、黒：中間主応力、水色：最小主応力）。水平方向については、多くの場所でプレートの沈み込み方向とほぼ平行に圧縮する力がかかっている。ただしC0002の表層のみ、プレートの沈み込みと直交する方向に圧縮する力がかかっている。浅部では鉛直方向の力が最大で、上盤が下がる正断層型の応力場である。南海トラフ地震は上盤である陸側のプレートが持ち上がる逆断層型なので、どこかの深さで応力場が変わるはずである。



出典：Lin et al., 2016 Tectonophysics

は南海トラフ地震の被害想定や防災・減災対策にも生かされている。

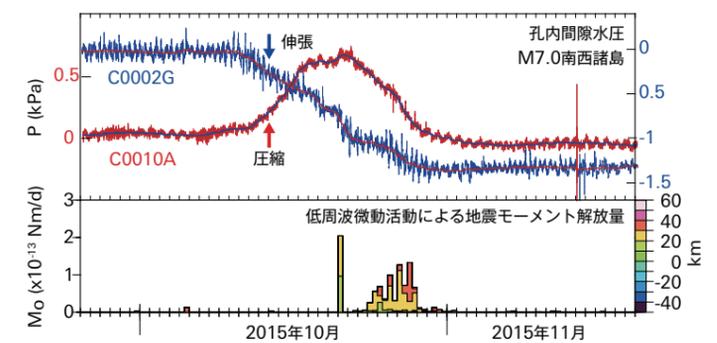
2つ目は、浅部の複数の地点で応力の測定に成功し、地層にどの方向からどのくらいの力がかかっているかが明らかになったこと。水平方向については、多くの地点でプレートの沈み込み方向とほぼ平行に圧縮する力がかかっていた。これは、プレートの沈み込みに伴う力が、プレート境界だけでなく付加体の表層まで働いていることを意味する。ただし、C0002の表層は例外で、プレートの沈み込みと直交する方向に圧縮する力がかかっている。その理由については、研究が進められているところだ。

3つ目は、地震発生帯の浅い側の縁で発生したゆっくりすべり（スロースリップ）を捉えたこと。ゆっくりすべりとは、通常の地震が数秒ですべることに対して、数日から数ヶ月かけてゆっくりすべる地殻変動現象である。2010年のExp. 332において、C0002に長期孔内観測システムを、C0010に簡易型孔内観測装置をそれぞれ設置し、温度、間隙水圧などの観測を続けてきた。C0002の長期孔内観測システムは、紀伊半島沖熊野灘の海底に設置されている地震・津波観測監視システム（DONET）に接続され、リアルタイムで観測データが取得できる。2016年のExp. 365でC0010から簡易型孔内観測装置を回収し、2地点の6年分の観測データを解析した。すると、2015年10月にはC0002で数週間かけて間隙水圧が減少する変化が捉えられていた。C0010では、同じタイミングで間隙水圧が増加し、もとに戻っていた。しかも、同様の変化が8～15ヶ月間隔で繰り返し起きていた。

「間隙水圧が減少したC0002は周囲の地層が伸張し、間隙水圧が増加したC0010は圧縮を受けていることを示しています。プレート境界の地震発生帯より浅い側で、水平距離20～40kmの領域が数週間かけて海側にすべったとすると、その変化を説明できます」と木下さん。ゆっくりすべりは、地震発生帯

より深い領域では観測されているが、地震発生帯より浅い領域で観測されたのは初めてだ。「地殻変動の現場に近い海底の掘削孔に観測装置を設置していたこと、しかも複数点で観測したからこそその成果です。地震発生帯の縁で起きるゆっくりすべりは、地震発生帯の断層にどれだけひずみがたまっているか、つまり巨大地震発生の指標となる可能性があります。地震発生帯と浅い側のゆっくりすべりとの関係というのは南海掘削以前にはなかった視点で、いま大きな注目を集めています」

Exp. 358は5ヶ月を超える航海となるため、共同首席研究者は9人いて、2人ずつ交代で「ちきゅう」に乗船する。木下さんも共同首席研究者の1人だ。「ぜひ地震発生帯の断層まで到達し、表層から海底下5,200mまでの地層に関する連続データを手に入りたい」と声を弾ませる。



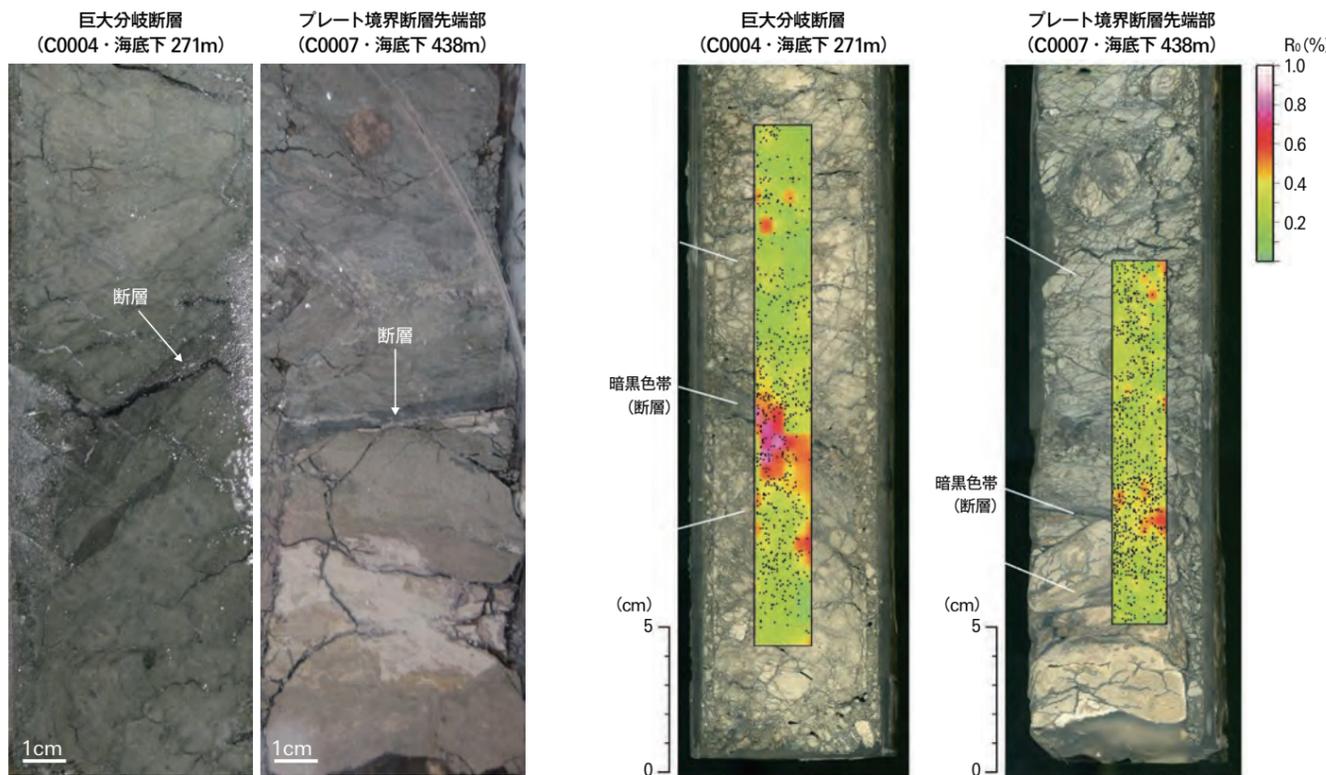
南海トラフで観測されたゆっくりすべり

上はC0002とC0010の孔内で計測された間隙水圧、下はDONETの海底地震計データ。間隙水圧の減少は周囲の地層の伸張、増加は圧縮を反映している。プレート境界の地震発生帯より浅い側で20～40kmの領域が数週間かけて2～4cm海側にすべったと考えられる。ゆっくりすべりは8～15ヶ月間隔で繰り返し起きており、低周波微動を伴ったり地震によって誘発されたりしている。

出典：Araki et al., 2017 Science

掘削地点とホール番号

「ちきゅう」が掘削した地点は「C」から始まる数字で示される。1つの掘削地点で複数の孔を掘削することがあり、その場合は掘削地点の後にアルファベットを順番に付けていく。



巨大分岐断層とプレート境界断層先端部のコア

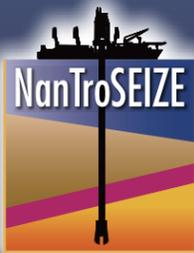
左のコアには厚さ約1cm、右のコアには厚さ約2mmの断層が認められる。また、巨大分岐断層とプレート境界断層先端部の岩石は、いったんすべり始めると摩擦係数が低くなることが実験で明らかになっている。浅部の断層が高速ですべり始めることはないが、地震発生帯の断層で生じた高速すべりが伝わってくると、高速ですべることを意味している。

出典：Ujije and Kimura, 2014 Progress in Earth and Planetary Science

断層コアにおけるビトリナイトの反射率

ビトリナイトは石炭の一種で、高温になると有機物の熱分解によって反射率が上昇する。左はC0004で採取された巨大分岐断層のコアで、厚さ約1cmの暗黒色帯において高いビトリナイト反射率値が検出された。断層がすべった際の摩擦熱によって約400℃に達したと考えられる。右はC0007で採取されたプレート境界断層先端部のコアで、暗黒色帯において約300℃に相当する高いビトリナイト反射率値が検出された。

出典：Sakaguchi et al., 2011 Geology



南海掘削に共に挑む人々

「ちきゅう」の定員は200人。掘削する人、船を動かす人、研究をする人、生活を支える人。異なる仕事をするたくさんの人たちが協力し合って初めて、研究航海が成功する。「ちきゅう」で働く人々、その一部を紹介しよう。

掘削をする人



船上代表者 (OSI)

運航と掘削の最高指揮官。掘削の計画を立てて、船上の運航チーム・掘削チームの指揮を執る。



ドリラーズハウス。左がOSI。



現場責任者 (OIM)

作業場であるドリルフロアの総指揮官。掘削地点に到着後に掘削作業の指揮を執る。



現場監督 (ツールプッシャー)

作業場であるドリルフロアの現場監督。作業スケジュールの管理、機材メンテナンスなどを行う。



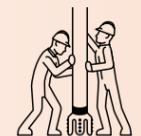
ドリリングエンジニア

OSIのもとで掘削作業を行う人に指示を出す。



掘削機械を操縦する人 (ドリラー)

ドリルフロアにある機械をドリラーズハウスの操縦席から遠隔操作し、実際の掘削を行う。



掘削作業を行う人 (ラフネック)

機械の準備や組み立てなど、ドリルフロアでの作業を行う。



ドリルフロア

「ちきゅう」船体データ

全長	210m	定員	200人
幅	38m	推進装置	サイドスラスト 2,550kW (3,470PS) ×船首部1基 アジマススラスト 4,200kW (5,710PS) ×船首部3基、船尾部3基
船底からの高さ	130m	プロペラ直径	3.8m
総トン数	56,752トン	科学掘削能力	ライザー掘削時 海底下7,000m (最大水深2,500m)
最大速度	12ノット (時速約22km)		

デリック (掘削やぐら)

ドリルフロア・ドリラーズハウス

機関室

研究区画

居住区画

ヘリコプターデッキ

ブリッジ (船橋)

船を動かす人



船長

船の操縦の総指揮官。ブリッジで運航全体の指揮を執る。



ブリッジ



機関長

船内で必要なすべての電力を生み出す機関室で、さまざまな装置の運転・管理などを行う。



機関室

生活を支える人



司厨員

船上での生活を快適にするため、食事の準備や洗濯、掃除などを行う。



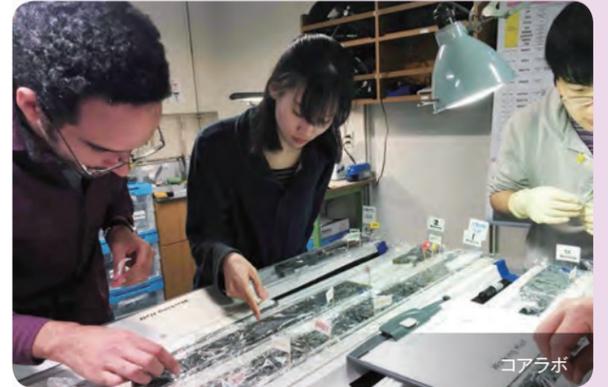
厨房

研究をする人



研究者

航海で得られた地質試料やデータを分析したりレポートを書いたり、研究室で研究を行う。



コアラボ



研究支援統括 (EPM)

研究者や研究室に関するマネージャー。研究計画から航海後のデータや論文作成の取りまとめを行う。研究者と掘削する人をつなぐ役目。



技術者 (ラボテクニシャン)

地質試料の処理と分析、研究室と分析機器の管理を行う。



コアカッティングエリア



看護師

ホスピタルで、けがや病気の対処や、乗船員の健康管理・指導を行う。



ホスピタル

「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の軌跡

2007

2008

2009

2010

Exp. 314 (IODP第314次研究航海)	Exp. 315	Exp. 316	Exp. 319	Exp. 322	Exp. 326
2007年9月21日～ 11月15日 (56日)	2007年11月16日～ 12月18日 (33日)	2007年12月19日～ 2008年2月5日 (49日)	2009年5月10日～ 8月31日 (114日)	2009年9月1日～ 10月10日 (40日)	2010年7月15日～ 8月20日 (37日)
掘削地点 C0001・C0002・C0003・ C0004・C0005・C0006	掘削地点 C0001・C0002	掘削地点 C0004・C0006・C0007・C0008	掘削地点 C0009・C0010・C0011	掘削地点 C0011・C0012	掘削地点 C0002

主な目的

南海トラフを横断するC0001～C0006における掘削同時検層による地層各種物理データの取得

主な実施内容

プレート境界断層の上盤側の特性を明らかにするため、南海トラフ地震発生帯浅部において6地点、12カ所（パイロット孔、土質試験孔、掘削同時検層孔の合計）での掘削を実施。

主な成果

南海トラフの付加体（C0001・C0004）と陸側の熊野前弧海盆（C0002）の掘削同時検層で得られた掘削孔壁のイメージデータにより、海底下1,000～1,400mの地震発生帯上部における応力状態や地質構造に関する情報を取得。



掘削同時検層で得られた掘削孔内のデータを検討する乗船研究者たち。

主な目的

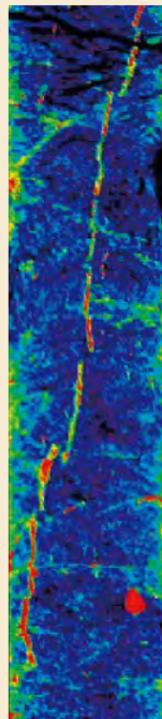
巨大分岐断層浅部と熊野前弧海盆の堆積構造発達史の解明

主な実施内容

プレート境界断層の上盤側の特性を明らかにするため、南海トラフの付加体（C0001）と陸側の熊野前弧海盆（C0002）において、8カ所で掘削、コアを採取。
プレート境界断層へのライザー掘削に向けた上部孔井設置作業を予定していたが、黒潮の強い潮流下での作業実施は困難と判断し、設置作業を延期。

主な成果

採取したコアに多数の小断層が認められ、X線CTスキャナーによる非破壊の三次元構造解析により、地層に記録された過去から現在に至る詳細な応力場の履歴を捉えることに成功。



コアのX線CTスキャナーの画像。割れ目（縦に延びた線）をずらしている多数の小断層が認められた。色の違いは主に密度の差を示す。

主な目的

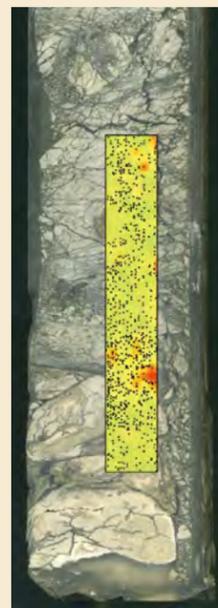
沈み込み堆積物とプリズム先端部のコア採取

主な実施内容

南海トラフのプレート境界断層、岩石の変形破壊過程とその広がり、断層帯の物性を包括的に調査するため、南海トラフの付加体中央に位置する巨大分岐断層の浅部（C0004・C0008）と付加体先端に位置するプレート境界断層前縁部（C0006・C0007）において、13カ所で掘削を行い、断層帯のコアを採取。

主な成果

巨大分岐断層の浅部（C0004）とプレート境界断層前縁部（C0007）で採取したコアについて、有機物の熱変質に関する分析を行い、断層面がごく短時間に高温になったことを明らかにした。プレート沈み込み帯の浅部先端において地震性の破壊が生じたことを意味し、津波発生源を示す世界で初めての証拠を発見。
巨大分岐断層を含むコアに強い地震動によって生成したマッドプレッチャと呼ばれる構造を発見。放射年代測定法により1944年の昭和東南海地震で活動したことを明らかにした。



プレート境界断層前縁部（C0007）において採取されたコアに含まれる石炭の一種であるビトリナイトの反射率を測定。赤い部分は300℃くらいになったことを示している。
出典：Sakaguchi et al., 2011, Geology

主な目的

地震発生帯直上域でのライザー掘削と物理検層

主な実施内容

地震発生帯直上域（C0009）においてIODP初のライザー掘削を実施し、海底下約1,500m以深のコアを採取。ライザー掘削の特徴であるカッティングスや泥水に含まれるガスを船上においてリアルタイムで分析するなど、新たな各種計測を実施。

「ちきゅう」と深海調査研究船「かいれい」の共同により孔内地震波探査を実施。
地震発生帯から延びる巨大分岐断層浅部（C0010）と沈み込み前のトラフ底堆積層（C0011）においてライザーレス掘削による掘削同時検層を実施。
C0010の孔内に間隙水圧および温度を測定する簡易型孔内観測装置を設置（Exp. 332で回収）

主な成果

孔内地震波探査により、地震発生断層を含むプレート境界の構造について詳細なデータを取得。
C0009の掘削によって、浅部での圧縮応力の水平方向の向きは、沈み込むプレートの方向と一致していることが明らかになった。ただし、分岐断層の直上では、狭い範囲で圧縮応力の向きに変化が見られた。



孔内地震波探査を共同で実施するために、「ちきゅう」(左)の掘削海域周辺に海底地震計を投下する深海調査研究船「かいれい」(右)。

主な目的

地震発生帯に運び込まれる物質の初期状態の解明

主な実施内容

フィリピン海プレートが沈み込む南海トラフより沖合の四国海盆の2地点においてライザーレス掘削を実施。

主な成果

C0011およびC0012で採取されたコアの解析から、フィリピン海プレートの沈み込みにより南海トラフの地震発生帯に運び込まれる初期堆積物と基盤岩の特徴を明らかにした。
C0012において堆積岩と基盤岩の境界部を確認し、基盤岩を構成する枕状玄武岩溶岩の回収に成功。



C0012で得られた堆積岩（上）と基盤岩（枕状玄武岩溶岩、下）の境界部分。

主な目的

プレート境界断層に向けた超深度掘削の孔井準備

主な実施内容

プレート境界の地震発生帯への到達を目指す超深度ライザー掘削孔の基礎部分を開孔。
C0002において海底下872.5mまでライザーレス掘削を行い、掘削孔壁を保護するためケーシングパイプを設置後、パイプ上部（海底面）に孔口装置を取り付け、孔口にふたを設置。
強潮流に伴う退避中にケーシングパイプなどを脱落。中断して対策を講じた上で作業を再開。

主な成果

Exp. 338で実施する超深度ライザー掘削の準備が整った。



ムーンプールから海底に降ろされていく孔口装置。



水深1,939mの海底に開いた孔口にふたを付けた様子。無人探査機による撮影。

航海数： 12航海
 航海日数： 711日
 掘削地点： 15地点
 掘削孔数： 68孔
 総掘削長： 約34km
 総回収コア長： 4km超
 参加研究者数： のべ228人(15カ国)

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

Exp. 332

2010年10月25日～
 12月11日(48日)

掘削地点
 C0002・C0010

主な目的

付加体内部の圧力・温度変化を長期間モニターするための孔内観測システムの設置

主な実施内容

C0010において、Exp. 319で孔内に設置した簡易型孔内観測装置を回収。間隙水圧・温度計に加え、採水機能および微生物の採取・現場培養機能を追加した、新しい簡易型孔内観測装置を設置(Exp. 365で回収)。

C0002において、海底下980mまでのライザーレス掘削および掘削同時検層を実施(Exp. 358でプレート境界を目指して超深度ライザー掘削を行う孔とは別)。孔内にケーシングパイプを設置後、恒久型の長期孔内観測システムを設置。

主な成果

南海掘削における最初の長期孔内観測システムの設置に成功。



長期孔内観測システムの設置準備の様子。



長期孔内観測システムを掘削孔内へ降下している様子。無人探査機による撮影。

Exp. 333

2010年12月12日～
 2011年1月10日(30日)

掘削地点
 C0011・C0012・C0018

主な目的

海洋プレートが陸側プレートの下に沈み込む直前の地点での表層堆積物の採取と熱流量の測定

主な実施内容

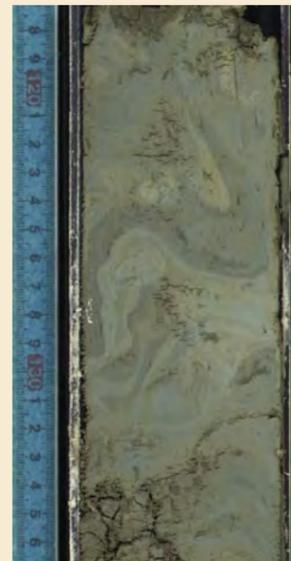
海底地すべりに伴って運び込まれる表層堆積物の実態を解明するため、フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込む直前の地点(C0018)でコアを採取。地震発生帯を構成する物質の初期状態を知るため、南海トラフより沖合にある四国海盆の2地点(C0011・C0012)においてコアを採取。

同時に2地点の孔内において高密度で地層温度を計測し、物質変化に大きな影響を与える熱流量の見積もりを行った。

主な成果

C0018で採取されたコアに、およそ100万年前に起きたと推定される厚さが62mに達する海底地すべり層を認めた。

海底地すべり発生後、堆積物の供給に劇的な変化が起きており、その変化が海底地すべりの発生原因に深く関係していたと考えられる。



C0018の海底下約139mで採取されたコア。海底地すべり活動時のさまざまな変形構造が記録されている。

Exp. 338

2012年10月1日～
 2013年1月13日(105日)

掘削地点
 C0002・C0012・C0018・
 C0021・C0022

主な目的

プレート境界断層に向けた超深度掘削(続)

主な実施内容

C0002において、海底下860m地点から開始し海底下約3,600mまでのライザー掘削を行う予定だったが、海底下2,005.5mまで掘進したところで強風・強潮流に伴い緊急離脱。その際、掘削機器が破損したため、掘削を中断。

2014年度に予定していた4点(C0012・C0018・C0021・C0022)において、コアの採取と掘削同時検層を実施。巨大分岐断層の活動履歴や沈み込む前の海洋プレートの地層物性の情報を得ることを目的としたもの。

主な成果

C0002においてライザー掘削によって海底下2,005.5mまで到達。



採取したのコアを運び込む様子。下はコアの拡大。



Exp. 348

2013年9月13日～
 2014年1月29日(139日)

掘削地点
 C0002

主な目的

プレート境界断層に向けた超深度掘削(続)

主な実施内容

C0002において、海底下860mからライザー掘削を開始し、コアを採取するとともに、掘削同時検層を実施。

海底下3,600mまで掘削する予定だったが、度重なる気象・海象不良による作業の長期にわたる中断と、孔内の地質状況が予想以上に悪いことから、作業日程を延長したものの、海底下3,058.5mで作業を終了。

主な成果

科学掘削における世界最深記録(海底下3,058.5m)を達成。



科学掘削における世界最深記録を達成して記念撮影をする共同首席研究者のハロルド・トビンさん(左)と廣瀬丈洋さん。



カッタニングス。掘削の際に生じる堀りくずで、掘削孔内の地層の組成や強度などの情報を得ることができる。

Exp. 365

2016年3月26日～
 4月27日(33日)

掘削地点
 C0010

主な目的

C0010に設置中の観測装置回収および恒久使用予定の孔内観測システムの設置

主な実施内容

Exp. 332で設置した簡易型孔内観測装置を回収。巨大分岐断層の継続的な孔内モニタリングのため、海底下555mから651mまで掘り進んだ後、長期孔内観測システムを設置。

主な成果

回収した簡易型孔内観測装置から本研究航海中の2016年4月1日に発生した地震の詳細な記録データを取得。南海トラフの南海地震想定震源域としては72年ぶりに発生したM6以上のプレート境界地震であることが明らかになった。

回収したC0010の簡易型孔内観測装置のデータとC0002の長期孔内観測システムの6年間のデータから、プレート境界の地震発生帯より浅い領域でゆっくりすべりが繰り返し発生していることが分かった。南海トラフにおいてC0002に続く2つ目の長期孔内観測システムの設置に成功。



C0010から回収された簡易型孔内観測装置。

Exp. 380

2018年1月12日～
 2月7日(27日)

掘削地点
 C0006

主な目的

プレート境界断層前縁部での長期孔内観測システム設置

主な実施内容

海底下495mまで掘削し、長期孔内観測システムを設置。

主な成果

南海トラフにおいてC0002、C0010に続き3つ目となる長期孔内観測システムの設置に成功。



船上で長期孔内観測システムの設置準備をしている様子。



C0006において長期孔内観測システムの設置を終え、掘削孔の最上部に孔口装置を取り付けている様子。無人探査機による撮影。

Exp. 358 (予定)

2018年10月7日～
 2019年3月31日(176日)

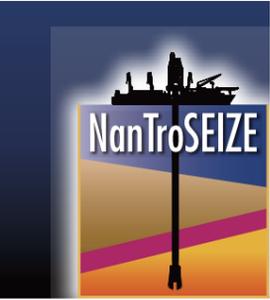
掘削地点
 C0002

主な目的

プレート境界断層に向けた超深度掘削

主な実施内容

Exp. 326でライザーレス掘削、Exp. 338とExp. 348でライザー掘削を行ってきたC0002(現在の到達深度は海底下3,058.5m)において、掘削同時検層とカッタニングスの採取と解析を行いながら、プレート境界の地震断層があると考えられている海底下約5,200mの先まで掘り進み、世界初となる地震発生帯でのコア試料採取を目指す。



いよいよ南海掘削の総仕上げ。 いざ地震発生帯へ

取材協力
廣瀬文洋
JAMSTEC
高知コア研究所
断層物性研究グループ
グループリーダー

廣瀬文洋さんが共同首席研究者を務めた2013年9月～14年1月のExp. 348では、C0002においてライザー掘削で海底下3058.5mまで掘り進めた。これは科学掘削における世界最深記録である。Exp. 358ではその先を、地震発生帯となっているプレート境界断層を目指して掘り進める。廣瀬さんはExp. 358の共同首席研究者の1人であり、今回も「ちきゅう」に乗船する。「私たちは地震発生帯の断層にどのような岩石があるのかを知りません。これまで、陸上に現れた遠い過去の断層を見てそれが地下深くにあったときの姿を想像したり、このような岩石だろうと予想して実験をしたりしてきました。それが正しかったのかどうか、ようやく実物を手にして答え合わせができる。とても楽しみです」

今回の掘削では、各種センサーが装備された機器をドリルビットに連結して掘り進めながら電気比抵抗や自然ガンマ線、音波速度などを測定する掘削同時検層を連続して行い、リアルタイムで分析して孔内の状況を把握する。ドリルビットの回転数や荷重など掘削パラメーターも、孔内の状況把握に活用していく。それらの情報は、もちろん地震発生メカニズム解明にとっても重要だ。また、泥水と一緒に海底下から上がってきて船上で回収されるカッティングスを分析。カッティングスとはドリルビットに

よって削られた岩石のかけらだ。地質や物性が分かるだけでなく、その大きさや形、量から孔内の状況を推測できる。そして、海底下4,700～4,750mで断層直上のコアを50m採取する。さらにプレート境界断層があると予測されている海底下5,200mの先まで掘り進み、掘削同時検層で断層の位置を正確に決める。その後、少し戻って斜めに枝孔を掘るサイドトラックを行い、断層そのもののコアを100m採取する。これが、Exp. 358の掘削計画である（24ページ参照）。

廣瀬さんは、Exp. 358の科学目標である「地震発生帯には何があり、どのような状況にあるかを知る」ため、まず3つのキーワードを挙げる。1つ目は「地質」。「地震の原動力はひずみです。岩石はどのようにして、大きなひずみを蓄積できる能力を獲得しているのか。ひずみ蓄積の根源を探りたい」と廣瀬さん。地震波探査によって地震発生帯の上に地震波速度が速い領域があることが分かっている。地震波速度が速いということは密度が高い、つまりかたい岩石があることを意味する。かたい岩石はひずみを蓄積できることから、この高速度領域こそ地震の原動力となっていると考えられる。

「なぜ岩石がかたくなるのか。その岩石はどのくらいひずみを蓄積できるのか。それを明

らかにする鍵を握っているのが、カッティングスです」と廣瀬さんという。Exp. 358では断層の直上と、断層そのもののコアしか採取しないため、カッティングスが連続で採取できる唯一の地質試料となる。カッティングスの組成を調べ、弾性波速度や強度などを測定する計画だ。

2つ目は「応力場」。12ページで紹介したように、地層にかかる力の向きと大きさを調べると、表層では鉛直方向に最も大きな力が働いていて正断層運動が起きる応力場になっている。南海トラフ地震は逆断層型なので、どこかの深さで水平方向に最も大きな力が働く圧縮応力場が変わらなければいけない。「高速度層で岩石がかたくなり物性が大きく変化することで、応力場が変わるのではないかと考えています」と廣瀬さん。力のかかり具合を探るには、掘削同時検層の電気比抵抗のデータが不可欠だ。

さらに廣瀬さんが期待しているのが、泥水の圧力を調整するためにライザー掘削で行われるリークオフテストである。ケーシングパイプを入れた後、少し掘り進んで泥水の圧力を上げ、地層に亀裂を生じさせる。そのときの圧力から、地層にどの方向からどれくらいの力がかかっているかを推定することが可能だ。また廣瀬さんは、「コアが採取できたら、非弾性ひずみ回復測定を行いたい」という。コアを船上に上げると、かかっていた力がなくなるので膨らむ。膨らみ方を測定し、それを巻き戻すことで、海底下の地層にどの方向からどのくらいの力がかかっていたかを推定できるのだ。

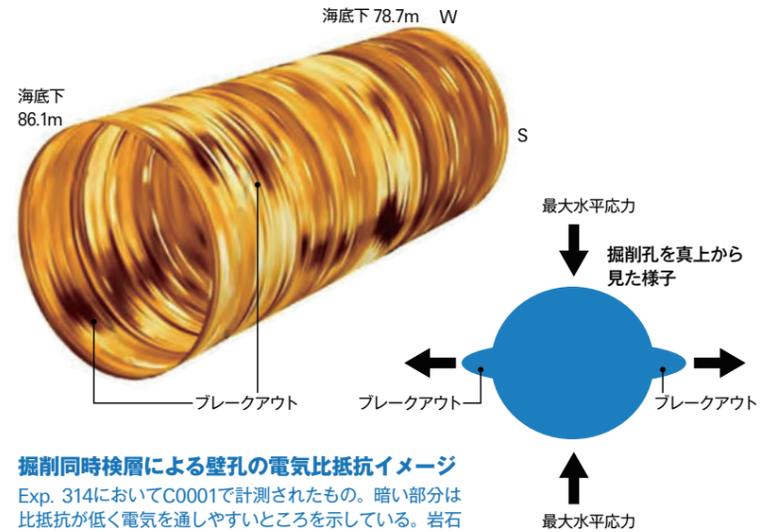
3つ目は「物性」。プレート境界の断層の岩石について、どのくらいの力に耐えられるのかという強度や、すべりだした断層はすぐ止まるのか、止まらずすべりが加速されるのかという摩擦特性を実験で調べ、プレート境界が地震を起こすような性質を持っているのかどうかを探ろうとしている。「貴重なコアを実験に使うつもりはありません。カッティングスでも実験できますし、組成が分かれば合成して断層試料をつくり、それで実験することもできます」

廣瀬さんには、実はあと2つ興味を持っていることがある。その1つが「地球化学」だ。これまで、さまざまなガスが地球深部からプレート境界を伝って地表に出てきていると考えられていた。しかし、誰もその流路を確かめたことがない。そこで、地質試料に含まれるヘリウムやリチウムの同位体比を測定し、地球深部に由来するものかどうかを調べる。プレート境界に近づくにつれ地球深部に由来するそれらの同位体的特徴が現れれば、これまで考えられていた流路が正しいことになる。

そして最後が、「微生物」である。「地下生命圏の限界はどこにあるのかを探りたいのです。海底下



カッティングス
ドリルビットによって削られた岩石のかけら。泥水と共に船上に上がってくる。泥水から分離して分析する。



掘削同時検層による壁孔の電気比抵抗イメージ

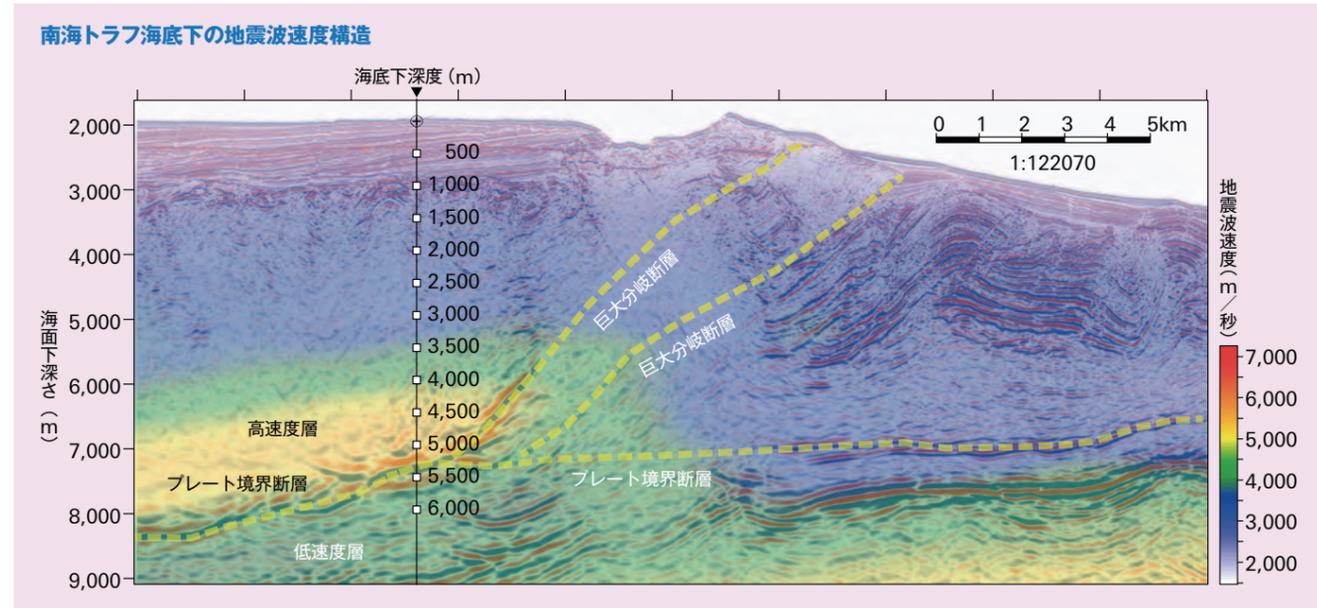
Exp. 314においてC0001で計測されたもの。暗い部分は比抵抗が低く電気を通しやすいところを示している。岩石は比抵抗が高いため、明るくなる。黒い帯状の模様は、孔壁にひびができて孔内の流体が浸透し、比抵抗が低くなっていることを示している。孔壁に働く水平方向の圧縮応力が岩石の強度より大きい場合、水平最大応力の向きと直交する方向の孔壁がひび状に破壊される。これをブレイクアウトという。ブレイクアウトの方向から水平最大応力の方向を推定できる。

提供：林 為人／高知コア研究所 断層物性研究グループ 招聘上席技術研究員

5,200mまで掘削することは、もうしばらくないでしょう。この機会を逃したくありません」と廣瀬さん。断層が高速ですべると、水素が発生することが知られている。その水素をエネルギー源として生きる微生物も存在するかもしれない。地震と微生物は無関係ではない。

「Exp. 358は、カッティングスから情報をどこまで読み解けるかが勝負」と廣瀬さんという。「地震発生帯のコアを手にするのは簡単ではありません。しかし、これまでさまざまな地層を見てきた経験豊富な研究者であれば、カッティングスからでも『これが巨大地震を起こしたプレート境界断層だ』といえるに違いありません」。そして、こう結んだ。「Exp. 358は南海トラフのいまを知る航海です。得られたデータを総合することで、南海トラフ地震の発生への段階がどのくらい迫っているかも分かるでしょう。そして、その状況が時間の経過とともにどう変わっていくのか。それを知るために、将来、長期孔内観測システムをぜひ入れてほしいと思っています」

地震発生帯となっているプレート境界断層の上に地震波の伝播が速い高速度層がある。高速度層は岩石の密度が高く、かたいことを意味する。かたい岩石は、ひずみを蓄積できる。高速度層にはどのような岩石があるのか、なぜかたくなっているのかを、明らかにすることを目指している。



提供：Brian Boston／地震津波海域観測研究開発センター

南海掘削はすべてがチャレンジ

「ちきゅう」に集った人たち

江口：南海掘削は、本当に難しいです。これまでの南海掘削がいかにチャレンジの連続だったのか、難題をどのように克服してきたか、また、最難関である地震発生帯へどのような戦略で挑むのか。それらを『Blue Earth』の読者に伝えたいと思い、掘削の現場で奮闘している皆さんに集まっていただきました。まず、南海掘削にどのように関わってきたのか、順にお話いただけますか。

澤田：石油掘削技術者として中東や東南アジアで石油開発に携わっていました。「ちきゅう」が完成する少し前の2004年に「ちきゅう」の運用会社に入社し、その後、JAMSTECに移りました。南海掘削の最初の研究航海である2007年のExp. 314から、運航と掘削の指揮を執る船上代表者(OSI)を務めてきました。最近では、OSIは猿橋さんにお任せして、陸からサポートすることが多くなっています。

猿橋：私も石油掘削技術者で、澤田さんのもとで働いていました。会社を移って

光海底ケーブルの敷設などを行っていたとき、前の上司から日本が科学掘削船をつくっているという話を聞き、面白そうだと思いJAMSTECにきました。「ちきゅう」の建造時にはサブシー機器と呼ばれる、海中に投入したり海底に設置したりする機器の技術開発を行っていました。南海掘削が始まってからはOSIのもとで掘削クルーに指示を出すドリリングエンジニアとして乗船し、2010年のExp. 326からはOSIを務めています。

許：JAMSTECに入って32年目。無人探査機などさまざまな深海の技術開発に携わってきました。「ちきゅう」には建造時から携わり、ライザー掘削に必要なサブシー機器や長期孔内観測システムなどの技術開発を行ってきました。

宮崎：大学院生のとき、日本が科学掘削船という変わった船をつくるらしいよ、という話を耳にして面白そうだとJAMSTECに就職しました。1992年です。「ちきゅう」の姿かたちがないうちからライザー掘削に関する研究開発を行い、建造が始まっ

てからはライザーパイプや噴出防止装置などを担当しました。建造後は、黒潮対策としてライザーパイプに取り付けるフェアリングの開発も行いました。

江口：このなかでJAMSTECに入ったのは私が一番遅いのです。2001年に南海掘削の掘削提案書が提出されたとき、私はODPからIODPへの移行期の科学諮問機関事務局にいました。IODPに提出された掘削提案書には3桁の番号が付けられるのですが、南海掘削の掘削提案書に「603」と付けたのは私です。2007年10月1日に地球深部探査センター(CDEX)に配属され、2週間後には「ちきゅう」に乗船していました。Exp. 314の最中で、ドリルパイプの下部が孔内に脱落して、回収を試みているときでした。そのあたりから話を始めましょうか。

黒潮の恐怖と付加体の恐怖

澤田：初めての研究航海から驚きの連続でした。ドリルパイプを海中に降ろすと、パイプがブルブル震えだしたのです。黒

潮があることは、もちろん知っていました。流れのなかにパイプを入れると振動することを知っています。でも、あれほど震えるとは想定していなかったので、一発目の恐怖を感じました。さらに、いざ掘り始めると、300mほど進むたびにドリルパイプがスタックしてしまう。

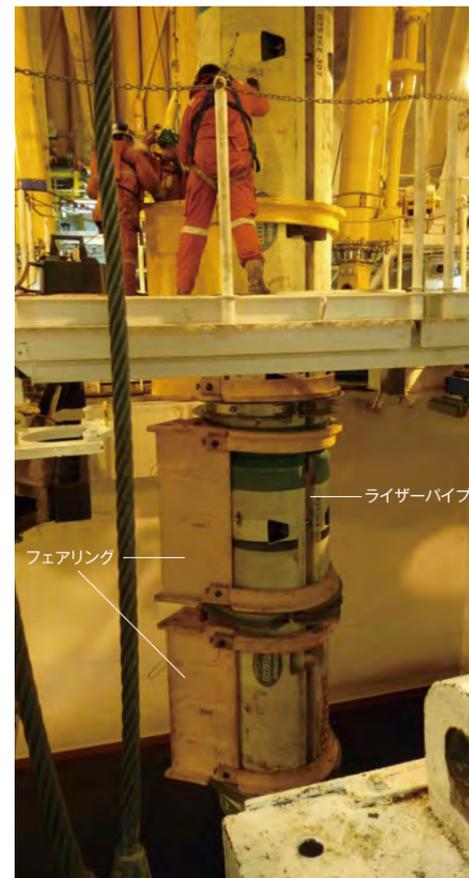
猿橋：Exp. 314のときは、地層の崩壊で動かなくなったドリルパイプを抜こうとしてトルクをかけたら、トルクが突然リリースしてねじが戻り、ドリルパイプの下部が落下してしまったのです。

澤田：最初は、なぜそんなに頻繁にスタックするのか分かりませんでした。後で分かったのは、付加体はとても崩れやすいということ。付加体の恐怖を感じました。

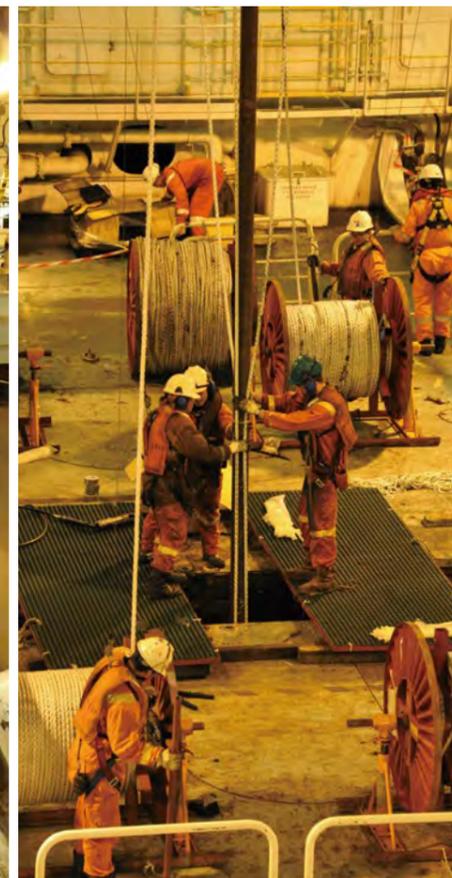
黒潮によるパイプの振動を止める

江口：最初、どのような黒潮対策を行っていたのですか。

許：南海トラフはあんなに広いのだから黒潮が弱いところで掘削すればいいじゃないか、と思っていました。黒潮の一番



ライザーパイプにフェアリングを取り付けている様子。海面近くから水深300m前後まで120個のフェアリングを装着することで、速い潮流による振動を抑制できる。



ドリルパイプにロープを取り付けている様子。4本のロープを添わせることにより、潮流による振動を抑えることができる。

強いところで掘削をするなんて、誰も聞いていなかった。だから、最初は黒潮に対して何の対策もしていませんでした。

ある日、南海掘削を行う海域で地震波構造探査を行っていたグループから、海底下から戻ってきた地震波を捉えるスト

リーマケーブルが船から真っすぐに引けなくて探査ができない、と報告があったのです。なぜ真っすぐに引けない？何がある？それって黒潮じゃないか！と気付いたのです。ストリーマケーブルが真っすぐに引けないような強い流れがある海域で掘削をしなければいけないのか、と驚愕しました。

江口：ライザーパイプは3.5ノット(時速約6km)の潮流までしかもたないという話でしたよね。でも、掘削地点の海域は6ノット(時速約11km)になる場合もあります。

許：最大3.5ノットという設計が甘かったわけではありません。その時点で実現可能な最大限の性能をもたせただけでも、現実がそれを超えていたのです。

宮崎：流れのなかにパイプのような柱状のものを入れると、流れの下流側にできる渦にパイプが引っ張られることによって渦励振という現象が発生し、パイプが振動することは教科書にも書かれています。

JAMSTEC 地球深部探査センター



澤田 郁郎
運用部 部長



許 正憲
技術部 部長



江口 暢久
科学支援部 部長(司会)



猿橋 具和
運用部 掘削管理グループ グループリーダー



宮崎 英剛
技術部 技術第2グループ グループリーダー

撮影：藤牧徹也

パイプは渦励振が長く続くと破損することもあるため振動を抑える対策が必要ですが、パイプに何か付ければ渦ができなくなり渦励振を抑えられるだろうと軽く考えていました。まず水平断面が三角形のフェアリングをつくり、水槽実験を行いました。ところが、まったく振動が止まらない。さすがに慌てました。いろいろな形状を考え、何度も水槽実験を行いました。装着しやすいことも重要です。ようやく、水平断面が流線形のようなかたちをしたフェアリングにたどり着きました。水槽実験だけで2年近くもかかってしまいました。

2009年のExp. 319で、C0009のライザー掘削を行いました。このIODP初のライザー掘削で、開発したフェアリングを使用しました。結果は、振動なし。そのときは3ノットと潮流は遅かったのですが、その後、速い潮流でも振動を抑制できることが確かめられています。

許: 観測システムを孔内に設置するとき、ドリルパイプの先端に付けて水中を降ろしていきます。Exp. 332において最初の長期孔内観測システムを設置することに

なっていたので、その前年、2009年のExp. 319でドリルパイプの先端にダミーの観測システムを付けて降ろすテストをしました。すると、観測システムが振動でぼろぼろになってしまったのです。ドリルパイプの振動を抑える方法を、早急に見つけなければいけなくなりました。

いくつかのアイデアが提案され、「ちきゅう」船上で試すことに。本番とできるだけ同じ条件で実験しようということになり、センサーから出たケーブルが細長い孔内観測システムに沿って延びる状態も再現しました。本物のケーブルである必要はないので、ロープで代用して実験したところ、ロープを付けた部分だけ振動が収まったのです。ロープだけでこれほど効果的に振動が止まるというのは、驚きでした。Exp. 332では、ドリルパイプに長さ数百mほどのロープを4本取り付け、ロープで代用して実験したところ、ロープを付けた部分だけ振動が収まったのです。ロープだけでこれほど効果的に振動が止まるというのは、驚きでした。Exp. 332では、ドリルパイプに長さ数百mほどのロープを4本取り付けることで潮流による振動を抑え、無事に長期孔内観測システムを設置できました。

猿橋: フェアリングやロープの効果を検証するため、パイプの振動をリアルタイムでモニタリングする装置も開発しました。いろいろ努力して、黒潮の速い潮流

のなかでも掘削ができる場所まで、なんとか来ました。

付加体の厄介な地質に挑む

猿橋: 付加体がこれほど崩れやすい地質だなんて、誰もいっていませんでしたよね。水平に堆積した地層を掘り進むのならば、孔壁はあまり崩れません。ところが付加体は、海洋プレート上の堆積物が沈み込みに伴ってはぎ取られて陸側に付加されたもので、地層が垂直に傾斜したり、大きく褶曲したりしています。そこを掘り進むので、孔壁がペラペラと剥がれ落ちてくるのです。

江口: Exp. 358では、科学掘削で初めて専属のリアルタイム・ジオメカニクスチームによる孔内状況の常時監視も行います。付加体では、孔壁が一度崩れ始めたら止まらず、掘り進めなくなります。大きな崩壊が起きる前に手を打てるようにしています。泥水も工夫しますよね。

猿橋: ライザー掘削では泥水を循環させながら掘削していますが、泥水が地層の隙間に入ってしまうと、孔壁が崩れてきます。そこでExp. 358では、シーラントと

呼ばれる細かい物質を混ぜた泥水を使います。シーラントが地層の隙間をふさぐので泥水が入り込まず、崩壊を防げると期待しています。付加体に対してはほかにも、孔内の圧力を変化させないために泥水の循環を止めない、短い間隔でケーシングパイプを入れるなど、さまざまな対策を準備しています。

台風や寒冷前線との闘い

江口: 海象、地質ときたので、次は気象との闘いについて話をしましょう。今年は台風が多いですね。

澤田: 掘削中の「ちきゅう」は海底までパイプでつながっている、海が荒れると大変危険です。ライザー掘削中の緊急時には、ライザーパイプがつながっている噴出防止装置の下部を切り離して、逃げないといけない。通常の台風では噴出防止装置の上部をぶら下げたまま、大型台風の場合はパイプをすべて引き上げて退避します。台風の影響が収まっても掘削を再開するまでには、前者は5日、後者は13日もかかります。タイムロスが大きいので、ぎりぎりまで緊急離脱は我慢します。緊急離脱の判断を下すのもOSIの仕事であり、非常に緊張する瞬間です。

猿橋: 2012年10月～13年1月のExp. 338では、寒冷前線の強風の直撃を受けました。耐えていたのですが、自動船位保持装置オペレーター（DPO）から「これ以上駄目です」と報告があり、緊急離脱を指示しました。DPOの「ディスコネクト!」という声とともにきれいな緊急離脱ができました。ところが、ムーンプールから見えるライザーパイプがみるみる傾いていく。それまで強い南風だったのが、急に北風が変わったのです。その結果、船体を保持できなくなり、4.7ノットの速い潮流によって1.3kmも流されてしまいました。ライザーパイプの上部が破損したため、航海を終了せざるを得ませんでした。

江口: 潮流と風の方向をつかみ、船首をうまくコントロールする技術が必要なことを痛感した航海でした。緊急離脱にかかる時間が30秒から13秒に短縮されていますし、緊急離脱の判断基準の見直しも行われましたね。

地震発生帯に孔内長期観測システムを

江口: 今回のExp. 358では計画にありませんが、将来、孔内に観測システムを設置して地震発生帯の活動をモニタリングすべきだという声が出ています。

許: それには、まず大きさの問題があります。ケーシングパイプを入れるたびに孔の径が細くなるため、最深部は19cmほどになってしまいます。そこに入る小さく高性能な観測システムを開発しなければいけないのです。

猿橋: Exp. 358では一部、エクスパンダブルケーシングを使います。ケーシングパイプを入れた後に1つ上のケーシングとほぼ同じ径に拡張するという新しい技術です。科学掘削での使用は世界初、国内では商業的な掘削を含めて初めてです。

許: もう1つの問題は温度です。深くなるほど地温が高くなり、海底下5,200mでは130℃くらいと予測されています。電子部品の動作上限温度は一般的には80℃くらいで、高温環境で使用するほど寿命が短くなります。また、海底下5,200mへの設置に耐える強さも必要です。小さくて高精度で、強く、高温に耐えて長寿命。そんな観測システムを開発しなければなりません。しかし、悲観はしていません。「東北地方太平洋沖地震調査掘削（JFAST）」での大水深掘削や「沖縄熱水海底下生命圏掘削」での300℃を超える熱水域での掘削などの経験から、すでにアイデアを持っています。

地震発生帯へ向けて

江口: 最後に、Exp. 358に向けた意気込みを聞かせてください。

宮崎: ライザー掘削は2013年9月～14年1月のExp. 348以来です。ライザー掘削に必要な機器を大事に保全してきました。久しぶりに使うので少し緊張感がありますが、準備は万全です。

猿橋: 南海掘削のこれまでの12航海すべてに乗船していますが、そのなかでC0002の掘削が一番怖い。チャレンジングであることは確かです。崩れやすい付加体、5ノットを超える速い潮流など、これほど極端な環境で掘削することは、石油業界ではあり得ませんから。Exp. 358に向けて念には念を入れて準備をしてい



緊急離脱訓練の様子。ライザーパイプがつながっている噴出防止装置の上部を下部から切り離す。上は離脱前、下は離脱中。

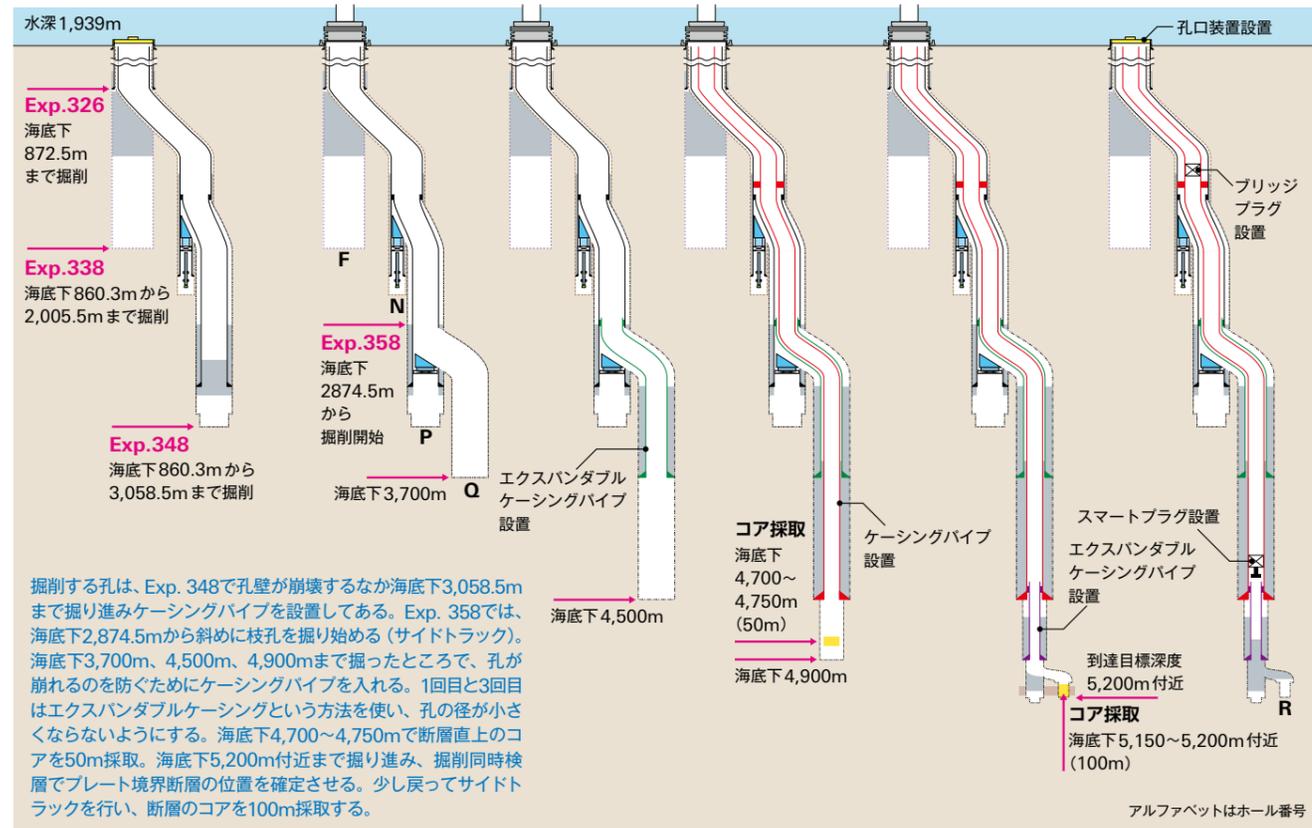
ます。C0002の掘削は確かに難しい。しかし、掘削チームの一人一人が責任を持って取り組むことで、必ずできると信じています。

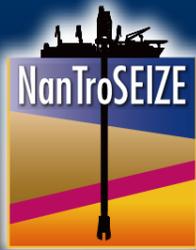
許: 黒潮、台風、寒冷前線、不安定な地質に対して、私たちはさまざまな対策を立てています。乗船する人も陸でサポートする人も一致団結して、南海掘削の集大成でもあり、「ちきゅう」の集大成でもある、5ヵ月を超える航海を乗り切りたいと思います。

澤田: C0002では、Exp. 338とExp. 348でライザー掘削を行いました。大変な掘削だったことを、あらためて思い返しています。地震発生帯までの掘削ができれば、間違いなく「ちきゅう」は世界一の科学掘削船であり、CDEXは科学掘削船の世界一の運用機関になります。そのためにも、私は陸でしっかりバックアップしていきます。

江口: 関係者全員、一丸となってExp. 358を成功に導きましょう。本日は、ありがとうございました。

【南海トラフ地震発生帯掘削計画】第358次研究航海のC0002掘削計画





地震発生帯への到達。 そこから新たな科学が始まる。

取材協力
木村 学
東京海洋大学 特任教授
山本由弦
JAMSTEC
数理科学・
先端技術研究分野
主任研究員

20年ほど前から南海掘削について議論し、2001年に提出した掘削提案書の提案者の1人である東京海洋大学 特任教授の木村 学さん。一方、2001年当時は大学院生だったJAMSTEC 数理科学・先端技術研究分野 主任研究員の山本由弦さん。2人は、これまでの南海掘削をどのように見て、その先についてどのように考えているのだろうか。

—2人が最初に会ったのはいつですか。

木村：三浦半島の巡検ではないかな。

山本：そうです。東京で深海掘削科学の国際会議が開催され、参加者の皆さんを案内しました。当時、私はまだ大学院生でした。

木村：1997年のCONCORD（ライザー掘削国際科学者会議）。あの会議で、日本が科学掘削船をつくると正式に発表したのです。とはいえ、うわさはすでに広がっていて、1995年に私が首席研究者として「ジョイデス・レゾリューション」でコストリカ沈み込み帯を掘削したときにも、「どうなっているんだ？」と、質問攻めに遭いました。

山本：アメリカの「ジョイデス・レゾリューション」よりはるかに大きくて、深いところまでアプローチできる掘削船を日本がつくる。夢がありますよね。当時、学生たちの間でも評判になり、私も乗ってみたいと思っていました。

木村：南海掘削につながる議論が行われたCONCORDから20年、「ちきゅう」が完成して13年、南海掘削が始まって11年。ずい

ぶん長く南海掘削に関わってきました。今回、9人いる共同首席研究者のなかで最年長です。

ついに地震発生帯の正体が分かる

—Exp. 358に何を期待していますか。

木村：地震発生帯があるプレート境界断層まで掘り進み、断層のコアを採取し、過去の地震の記録を調べ、また次の地震発生がどのくらい差し迫っているかを明らかにする。それが最初からの科学目的であり、その実現に向けて積み上げてきました。ぜひプレート境界断層まで行きたいですね。

山本：そこは地震波の伝わる速度が非常に速いことから、ものすごくかたい岩石があると予想されています。この高速度層の岩石の正体を知りたい。それが私の1つ目の期待です。

木村：海底5,000mの深さで、あの地震波の速さは異常です。一方で、かたい岩石こそ、ひずみをためることができます。かたい岩石の正体が分かれば、巨大地震を引き

起こすエネルギーの根源を理解できることになるでしょう。

山本：学生時代の実習で、陸上に露出している付加体を見ました。岩石はかたく、たとえば泥岩は真っ黒でした。その後、海洋掘削で採取された浅いプレート境界断層のコアを見て驚きました。岩石というより泥で、灰色なんです。両者のギャップは大きく、つながりませんでした。沈み込む前から地震発生帯まで物質はどのように変化していくのか？というのが、私がずっと持ち続けている興味です。2009年のExp. 322で沈み込む前の岩石を、2013年のExp. 348で海底約3,000mの岩石を見ました。次は、もっと深いところにある岩石を見たい。だから私はExp. 358に参加するのです。

木村：南海トラフの研究は地震発生との関係が大きな焦点になっていますが、付加体がどのようにできたか、つまり日本列島の成り立ちを知ることもつながるものです。

防災・減災に貢献する

山本：Exp. 358ではもう1つ、防災・減災に生かすためのデータが得られることを期待しています。地震が発生する現場の岩石試

料やさまざまな情報が手に入れば、想像を排除した条件で実験を行うことができます。その結果をシミュレーションの専門家に渡すことで、より現実に近い地震動や津波のシミュレーションが可能になるでしょう。

木村：防災・減災への貢献は重要です。私が共同首席研究者を務めたExp. 316において、プレート境界断層が津波を伴って海溝軸まですべり抜けた証拠を見つけました。科学的な大発見にとどまらず、南海トラフ地震の被害想定の見直しが行われるに至ったという先例もあります。

また、2016年のExp. 365では、地震発生帯の浅い側の縁でゆっくりすべりが繰り返してきていることを発見しました。ゆっくりすべりと地震発生帯での大きな破壊には因果関係があることも分かってきました。巨大地震の発生メカニズムの見直しが必要になるかもしれないと同時に、ゆっくりすべりを研究することで地震の発生がどれくらい差し迫っているのかという指標が分かる可能性があります。

—ゆっくりすべりは、孔内観測のデータ解析から発見されました。

木村：現在、南海トラフでは3カ所に長期孔内観測システムが設置されています。C0002の浅部にも設置されていますが、ぜひプレート境界断層の直上にも長期孔内観測システムを設置したいと考えています。それによって、浅部の長期孔内観測システムや海底に設置されているDONETの観測装置より早く地震の発生を知ることが可能になります。早期警戒システムに組み入れることで、南海トラフ地震から直接的に人命と財産を守ることができるでしょう。それは、ほかの沈み込み帯にも展開できます。日本は、防災・減災イノベーションで世界に大きく貢献できる、いえ、貢献すべきだと思っています。

未知の世界を掘り進め

大学院生のとき、ODPの沈み込み帯の掘削プロジェクトに参加しましたが、「ジョイデス・レゾリューション」で掘れるのは、せいぜい海底1,000m。「地震発生帯まで行かせてくれ！」という気持ちでした。その願いがいま実現しようとしている。とてもワクワクしています。

私も参加した2013年のExp. 348によって、C0002の掘削孔の深さは海底3,000mに達しています。すでに科学掘削における世界最深ですが、私たちはさらに掘り進めなければいけません。それは、未知の世界に入っていくということ。地質、応力、温度、間隙水圧など、きっと1m掘り進むごとに新しい発見があるに違いない。そして、海底5,200mの地震発生帯に到達して、断層コアを採取する。そこから新たなフロンティアが広がります。

しかし、Exp. 358は非常にリスクの

高いオペレーションであることを理解しておく必要があります。もちろん目的を達成できることを願っていますが、たとえ達成できなくても、その過程で学んだすべてのことが次の挑戦に必ず役立つでしょう。

私にとって日本での研究、「ちきゅう」での掘削は、これで終わりではありません。南海トラフ以外の沈み込み帯、たとえば日本海溝では何が起きているのか。いま日本海溝の掘削についてJAMSTECの研究者と検討をしているところです。私は、これらの挑戦をとても楽しんでいきます。



ハロルド・トビン
アメリカ・ワシントン大学
教授
Exp. 358の共同首席研究者。
「南海掘削」掘削提案書の提
案者の1人。南海掘削の最
初の航海であるExp. 314と、
Exp. 326、Exp. 348で共同
首席研究者を務めた。

最大の科学的成果を出すために

—期間中、いつ乗船される予定ですか。

山本：私は、乗船研究者のなかで構造地質グループのリーダーを務めます。カッティングスの分析という掘削オペレーションにとっても重要な任務があり、期間中、1ヵ月くらいずつ数回、乗船する予定です。

木村：私は、断層のコアを採取するころの乗船を予定しています。いつもは、コアが船上に上がってくるとX線CTスキャナーで内部構造を記録した後、すぐに半裁し、研究用の試料を採取し、分析をします。しかし今回は、X線CTスキャナーにかけるところまでです。航海終了後、清水港に戻った「ちきゅう」に研究者たちが再び集まり、そこでコアを半裁します。そしてコアのどこを何の研究に使うかを決めていくのですが、この作業が難航すると思います。何しろ、多くの人が待ち望んでいたコアですから。

山本：これまでの研究航海でも、必ず研究者間の競争がありました。今回は、さらに激しい競争が避けられないでしょうね。

木村：それをどのように調整するかがExp. 358の成功を左右する大きな鍵。深海科学掘削はチームスポーツに似ています。個性豊かな研究者たちを1つのチームとして調和させて、最大の科学的成果を出せるように

導くのが、最年長である私の役目かなと思っています。

新しい科学をつくる

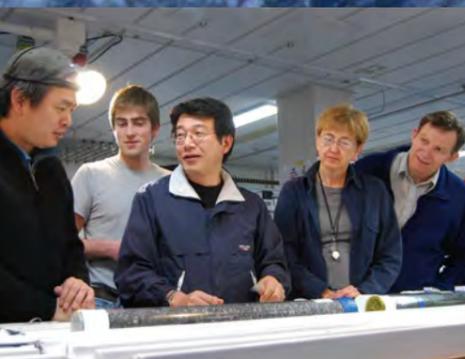
—Exp. 358は、2007年から始まった南海掘削の総仕上げといわれています。

木村：Exp. 358は最後ではなく、新しい地震発生帯研究の始まりだと捉えています。この11年間で、掘削提案書を書いたときは予想もしなかった新しい発見がいくつもありました。分かれば分かるほど、分からないことが増えていく。科学は無限です。

山本：深海科学掘削、地震発生帯研究はExp. 358で終わりではなく、まだまだ続きます。「ちきゅう」の研究航海には、大学院生でしたら乗船できます。実際、南海掘削には、たくさんの大学院生が乗船研究者として参加しました。やる気があって、少し勇気を出せば、「ちきゅう」で研究ができる。お待ちしております。

木村：Exp. 358の共同首席研究者や乗船研究者には、山本さんのように南海掘削が始まったときは学生だった人がたくさんいます。世代交代がうまくいっていると感じます。ぜひ、地震発生帯研究の新しい科学をつくってほしいですね。

BE



コアを前に研究者たちと議論する木村学さん(中央)。共同首席研究者を務めたExp. 316にて。



カッティングス試料の分析方法について共同首席研究者、EPMらと議論する山本由弦さん(右)。Exp. 348にて。



日本の夏と熱帯の海

季節の異常を予測するコンピュータ

地球情報館公開セミナー 第214回 (2017年10月21日開催)

土井威志 アプリケーションラボ 気候変動予測応用グループ 研究員



どい・たけし。1981年、大阪府生まれ。福井県育ち。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻大気海洋科学講座博士課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員、アメリカ・プリンストン大学大気海洋科学講座ポスドクフェロウプログラムなどを経て、2012年よりJAMSTEC 地球環境変動領域研究員。2014年より現職。

季節予測とは

「季節予測」という言葉には、あまりなじみがないかもしれません。皆さんがよくご存じの「天気予報」とは、似ているようで大きく違う部分があります。

夏は毎年来ますが、暑い夏や涼しい夏

があります。冬も、寒さが厳しかったり、暖かかったりします。季節は年ごとに“揺らぎ”を持っているのです。季節予測とは、猛暑や冷夏、厳冬・暖冬、多雨・干ばつなど季節の年々の揺らぎを、数カ月前から予測することをいいます。

猛暑か冷夏かによって、ビールの売り上げは変わります。農作物の豊作・凶作、熱中症の患者数、水不足、レジャー施設の集客数などにも影響があります。季節予測を高精度に実現できれば、豊かな社会応用が可能です。

1週間後の天気予報は難しい。その理由

コンピュータを用いた天気予報は1940年代末に始まり、その精度はずいぶん向上しています。しかし1週間先となると外れることも多く、天気予報は1週間程度先までが実用的といえます。1週間先の天気予報はなぜ難しいのでしょうか。

天気予報は、現在の大気の状態が24時間後や48時間後にどのように変化するかを計算しています。大気の状態は力学と熱力学の物理方程式に従って変化しますが、大気を支配する物理方程式群のなかに誤差を増幅させる項が入っているのです。そのため、初めはわずかな違いでも方程式を計算していくにつれて誤差が増幅されてしまい、計算結果に大きなばらつきが生じてしまいます。1960年代にアメリカの気象学者エドワード・ローレンツがこの数値的な現象を発見し、「大気のカオス性」と呼びました。

ローレンツは、この現象について例えを使って分かりやすく説明しています。中国のあたりでチョウが羽ばたくと、小さな大気の揺らぎが生じます。そのわずかな大気状態の違いは、次第に増大していきます。その結果、遠く離れたブラジルの天気が晴れから雨に変わってしまうのです。これは、「バタフライ効果」と呼ばれています。1週間先の天気予報がなぜ難しいかを一言でいうと、大気のカオス性があり、バタフライ効果が生じてし

冷夏や猛暑などの季節の異常を数カ月前から予測することを「季節予測」と呼びます。季節予測を高精度に実現し、事前に対策を行えば、社会や経済、私たちの健康への影響も軽減できるはずで。日本の猛暑・冷夏を数カ月前から予測するための鍵は、遠く離れた熱帯の海にあります。どのように季節を予測するのでしょうか。また、現在どの程度の予測精度を実現しているのでしょうか。季節予測の研究最前線について紹介します。

まうからです。

忘れっぽい大気と記憶力のいい海洋

天気予報は1週間程度先までが実用的なのに、数カ月前の季節の揺らぎを予測できるのだろうか、と疑問に思われるかもしれません。

大気は、数日程度であれば自分の初めの状態を覚えていて、自分が物理法則に従いどのように動くかも分かっています。しかし、1週間もたつと、自分の初めの状態を忘れてしまいます。すると、大気は勝手に動きだします。勝手に動かれると予測ができません。

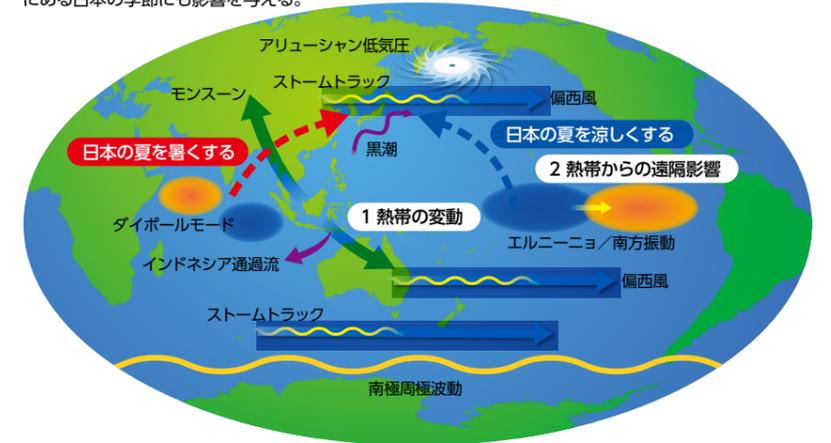
それでも数日よりもっと先まで天気予報をしたい。そこで科学者たちは考えました。大気が忘れっぽいのは仕方がない。しかし、勝手に動かれると予測ができないので、大気の動きをある程度コントロールして、かつ勝手に動かないものはないのだろうか、と。

そこで登場するのが、海洋です。大気と海洋では熱容量が1,000倍も違います。海洋全体を1℃上昇させる熱エネルギーは、大気全体を1,000℃上昇させる熱エネルギーに匹敵します。逆にいうと、大気全体を1℃上昇させる熱エネルギーは、海洋全体を0.001℃上昇させる分にはなりません。海洋は、大気より暖まりにくく冷めにくいという性質を持っているため、大気より長く記憶を持ち、勝手に動きだしません。海洋は、大気より予測しやすいのです。そして海洋は、大気の大まかな動きをある程度コントロールしています。

天気予報は、晴れか雨かといった天気と、風、波、降水確率、最高・最低気温などを予測します。一方、季節予測で予

図3：熱帯の海と日本の夏

熱帯域のエルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象は、遠く離れた中緯度域にある日本の季節にも影響を与える。



測するのは季節の揺らぎ、つまり天気の大まかな傾向です。天気予報は大気の時々刻々の動きを予測する必要があるため、1週間程度先の予測は難しくなってしまいます。でも天気の大まかな傾向であれば、大きな熱容量を持ちゆっくり変動する海洋からある程度は予測可能で、1週間程度という壁を越えることができるかもしれません。

季節予測の鍵は熱帯の海にある

季節予測のパイオニアは、ノルウェーの気象学者ヤコブ・ビヤークネスです。彼は1964年に、熱帯域において海洋と大気が相互作用していることを発見しました。熱帯域の暖かい海洋は蒸発が盛んで、上昇気流が発生し、積乱雲が生まれます。熱帯域の海洋は、大気の状態、つまり空をつくるのです。台風も主に熱帯域でつづられます。

さらにビヤークネスは1969年、熱帯域から中緯度域への大気を介する遠隔影響があることを発見しました。熱帯域の大気の状態が変わると、遠く離れた中緯度域の大気の状態も変わるので。この

現象を「テレコネクション」と呼んでいます。

中緯度域にある日本の大気の変動には、熱帯域の大気の変動に由来する成分があり、熱帯域の大気の状態は海洋によってつくられていることが多いのです。これらの発見によって、理論的には季節予測が可能な成分があり、そしてその成分の予測の鍵は熱帯の海にあることが示されました。

太平洋熱帯域のエルニーニョ現象

熱帯域の海洋と大気が相互作用して変動し、遠く離れた場所の大気の状態を変える現象としてよく知られているのが、太平洋熱帯域のエルニーニョ現象です(図1)。平年は、貿易風と呼ばれる東風が吹いているため暖かい海水は西側のフィリピン沖に吹き寄せられ、東側のペルー沖では運ばれた海水を補うように冷たい海水が深い海から上がってきます。つまり、太平洋熱帯域の西側が温かく、東側が冷たいという状況になります。暖かい西側では上昇気流が発生して低気圧化し、冷たい東側は空気が下りてきて高気

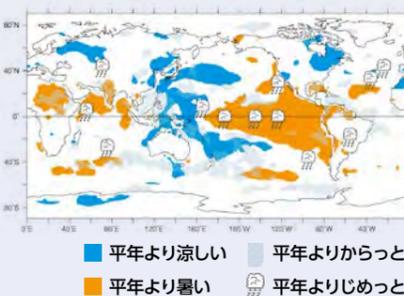
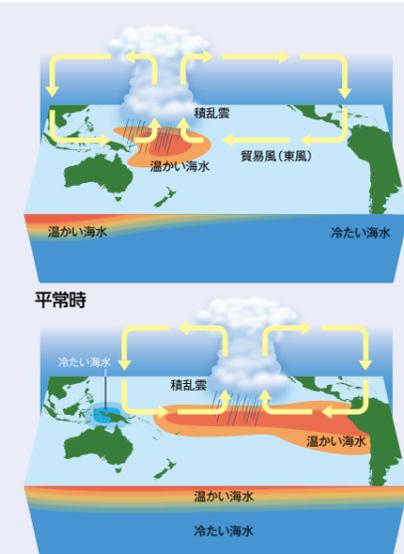


図1：エルニーニョ現象

エルニーニョ現象の発生時は、貿易風が弱まって暖かい海水が西に運ばれにくくなるため、暖かい海水が平常時より東側に広がり、積乱雲が発達する場所も東に移動する。下は世界各地に及ぼす影響で、日本は比較的涼しく、じめつとした夏になる傾向がある。

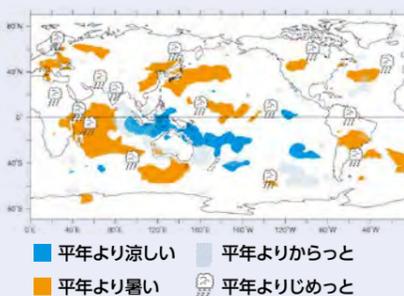
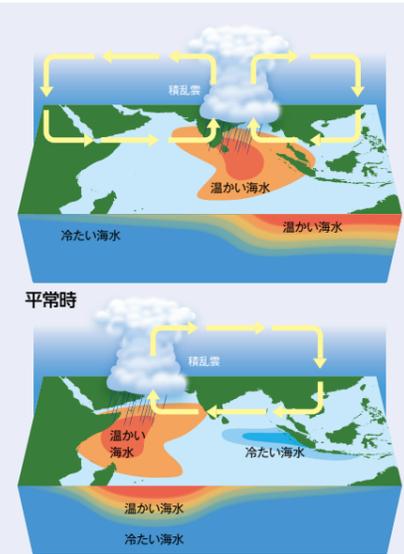


図2：インド洋ダイポールモード現象

正のインド洋ダイポールモード現象の発生時は、貿易風が強まり暖かい海水が平常時より西側へ移動する。下は世界各地に及ぼす影響で、日本は比較的暑くからつとした夏になる傾向がある。

図4：アプリケーションラボのウェブサイト



圧化し、その結果、東風が吹いて温かい海水はさらに西側に吹き寄せられます。

平年より東風が弱くなると、太平洋熱帯域の東側に平年より温かい海水がたまるようになります。すると、東側で平年に比べて低気圧化し、その結果さらに東風が弱まります。これが、エルニーニョ現象が発生したときの状態です。ラニーニャ現象は逆で、平年より東風が強まり、西側に温かい海水が多くなります。エルニーニョ現象とラニーニャ現象は、3～5年くらいの周期で発生しています。

最近では、2015年の夏にエルニーニョ現象が発生しました。エルニーニョ現象が発生すると、日本では日射量が減って比較的涼しく、じめっとした夏になる傾向があります(図1)。

インド洋熱帯域の インド洋ダイポールモード現象

季節の異常に影響する熱帯の気候変動現象はエルニーニョ現象だけではありません。インド洋熱帯域には、インド洋ダイポールモード現象という気候変動現象があります。JAMSTECアプリケーションラボの前ラボ所長である山形俊男博士らのグループが1999年に発見しました。エルニーニョ現象に匹敵する重要な気候変動現象であるとして、注目されています。

ダイポールとは「双極」という意味で、温かい海水と冷たい海水がインド洋の東西両極に分布することから名付けられました(図2)。正のインド洋ダイポールモード現象の発生時には、平年より温かい海水が西側に、平年より冷たい海水が東側に現れます。負のインド洋ダイポールモード現象の発生時には、正のイベント

とは逆で、温かい海水が東側に、冷たい海水が西側に現れます。正と負が数年の周期で発生します。

正のインド洋ダイポールモード現象が発生すると、日本は比較的暑からつとした夏になる傾向があります(図2)。1994年、日本は記録的な猛暑になりましたが、そのとき正のダイポールモード現象が発生していたことが分かっています。インド洋熱帯域の気候変動現象は、地中海経由の遠回りルートと東南アジア経由の近道ルートという2つの経路で日本の季節に影響を及ぼしていることも明らかになっています。

このように、熱帯域の気候変動であるエルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象は、世界中の異常気象の母体となっているのです(図3)。現在私たちは、エルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象を数カ月前、最大で2年前から予測可能です。そして、それらによって起きる季節の揺らぎを数カ月前から予測することが可能になっています。

気候モデルをスーパーコンピュータで計算する

次に、どのように季節予測を行っているのかを紹介しましょう。私は、季節予測は観測とコンピュータ計算のリレーのようなものだと思っています。将来を予測するには、まず現在の状態を知る必要があります。数カ月前の予測には海洋が重要なので、トライトンという係留ブイ、アルゴフロート、人工衛星などによって海水温などを観測します。その現在の情報をコンピュータにボタンタッチして、未来を計算するのです。

季節予測を数式で書くと、次のように

なります。

$$X(t_0 + \Delta t) = X(t_0) + \Delta t \times M$$

現在(t₀)からΔt後の未来の状態 現在の状態(初期値) Δt後に現在の状態がどう変わるかを気候モデル(M)で計算

気候モデルとは、大気や海洋や陸の状態が時間の経過とともにどのように変わっていくのか、時間発展を表現した方程式の集まりです。たとえば、風速の時間発展を表現した方程式は次のようになります。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + \nu \nabla^2 u$$

風速(u)の時間発展 気圧(P)の差が風を吹かせる力 自転による力 大気分子の粘性による力

風は、高気圧から低気圧へ流れます。また、回転している地球上を吹く風はコリオリ力を受けて曲げられます。そして、大気には粘りがあります。風速の時間発展は、「気圧の差が風を吹かせる力」と「自転による力」と「大気分子の粘性による力」を足し合わせることで求められるのです。

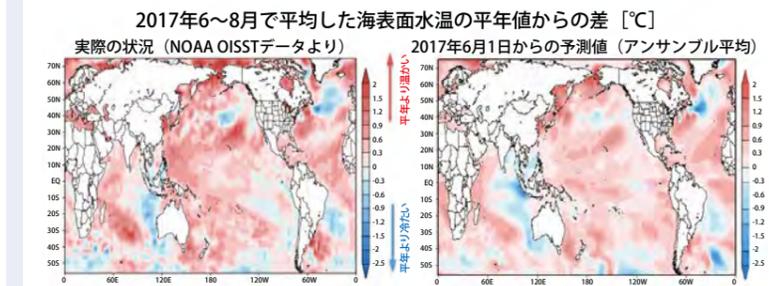
次の方程式は、海水温の時間発展を表現したものです。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{u} \cdot \nabla T + \kappa \nabla^2 T$$

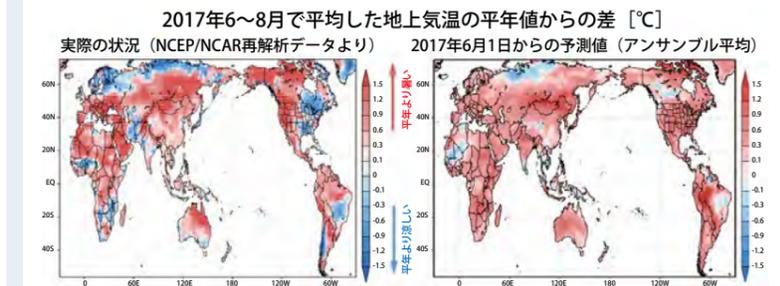
海水温(T)の時間発展 熱移流 熱拡散

海水温は「違う水温の水が流れてくる熱移流」と「違う水温の水が混ざる熱拡散」によって変わるので、海水温の時間発展はそれらを足し合わせることで求められます。uは海流、κは拡散係数を表しています。

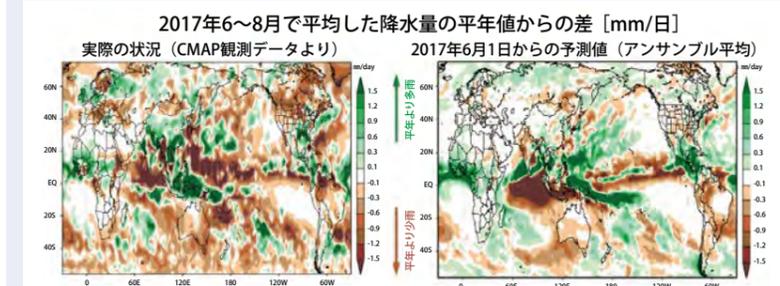
図5：2017年夏の季節予測と実際の状況の比較



海表面水温 おおむね予測に成功したといえるが、予測ではインド洋東部の冷水温の異常が過大評価されている。



地上気温 おおむね予測に成功したといえるが、ヨーロッパ北部、アフリカ南東部、北アメリカ大陸東部などで予測が外れている。日本列島の中央部から北部にかけての不順な夏についても予測が外れている。



降水量 熱帯太平洋上や熱帯インド洋上の降水分布はよく似ている。また、オーストラリアの乾燥傾向、ブラジル北部の乾燥傾向が予測できた。しかし、フィリピン海の少雨、日本を含む中緯度域の降水分布については、予測が外れている。

方程式は一見すると難しそうですが、現象を1つ1つ、数式という言葉にしているだけなのです。とはいえ、気候モデルは大気、海洋、陸の力学や熱力学に関する時間発展を表現したたくさんの方程式から成り、複雑過ぎて人が解くことはできません。気候モデルの計算にはスーパーコンピュータが必要です。

気候モデルをコンピュータで計算するときには、コンピュータのなかにバーチャルな地球をつくります。海洋、大気、陸を三次元の格子状に分割して、それぞれの格子ごとに気候モデルの方程式を計算していくのです。このとき、どの順番でどの方程式を計算するかをコンピュータに命令する必要があります。そのため

に、プログラミングといってコンピュータが理解できる言葉で命令文を書きます。私たちは、JAMSTECの第3世代「地球シミュレータ」を使って気候モデルを計算し、季節予測を行っています。しかし、ここで大きな問題があります。パラフライ効果によって、計算結果に大きなばらつきが生じてしまうのです。そこで私たちは、予測の不確実性を軽減するために、初期値や気候モデルの設定をわずかに変えた予測計算を複数回行っています。このような方法を「アンサンブル予測手法」といいます。

季節予測の予測精度は？

アプリケーションラボでは季節予測シ

ステム「SINTEX-F」を開発し、2005年から研究ベースで準リアルタイムに運用しています。現在、2年先までのエルニーニョ現象の予測や、9ヵ月先までの季節予測などを毎月計算しています。それらの情報はアプリケーションラボのウェブサイトの「季節予測」で公開しています。また、「季節ウォッチ」では予測結果を分かりやすく解説しています。

「季節ウォッチ」では予測の答え合わせもしています。たとえば、2017年6月1日から1～3ヵ月先(2017年6～8月)の予測と、実際の状況を比較してみましょう(図5)。海表面水温については、おおむね予測に成功したといえますが、インド洋東部の平年より低い水温が予測では過大評価されています。地上気温についても、おおむね予測に成功したといえますが、日本列島の中央部から北部にかけての不順な夏について予測が外れています。降水量については、日本を含む中緯度域の予測が外れています。

残念ながら、季節予測の精度向上の努力がまだまだ必要です。予測の検証は、さらなる予測精度の向上に向けた研究のために重要な作業です。観測データによる検証こそが予測科学を強く鍛えてくれます。いまでは毎日の生活に欠かせない天気予報も、このようなプロセスで発展してきました。季節予測も、検証に基づいた研究開発を地道に展開していくことで、社会へのよりよいサービスを可能にしていくでしょう。地球温暖化への対策も重要であることは間違いありませんが、すでに頻発している異常気象への差し迫った対応策として、私たちは今後も季節予測の精度向上研究に取り組んでいきます。

BE

研究の面白さ、奥深さを紹介!

「話題の研究 謎解き解説」

最新の研究成果に興味があるけれども報道機関向けのプレスリリースでは少し難しいという方にお薦めのコンテンツが、「話題の研究 謎解き解説」です。研究が行われている現場を取材して成果を分かりやすく解説し、研究の面白さや奥深さも紹介しています。JAMSTECの気になる場所や装置、船舶を紹介する「番外編」もお楽しみください。



アクセス方法

JAMSTECホームページ
<http://www.jamstec.go.jp>

▼
 トップページ中央の「話題の研究 謎解き解説」をクリック。「プレスリリース」からもアクセス可能。

『Blue Earth』定期購読のご案内

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

1年度あたり6号発行の『Blue Earth』を定期的にお届けします。

■ 申し込み方法

Eメールまたは電話でお申し込みください。
 Eメールの場合は、①～⑥を明記の上、下記までお申し込みください。
 ① 郵便番号・住所 ② 氏名(フリガナ) ③ 所属機関名(学生の方は学年) ④ TEL・Eメールアドレス ⑤ Blue Earthの定期購読申し込み
 *購読には、1冊本体286円+税+送料が必要となります。

■ 支払い方法

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

■ お問い合わせ・申込先

〒237-0061 神奈川県横浜須賀野市夏島町2番地15
 海洋研究開発機構 横須賀本部 広報部 広報課
 TEL.046-867-9052
 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(160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案内

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



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

賛助会 (寄付) 会員名簿 2018年9月30日現在

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

株式会社IHI	株式会社カネカ
株式会社アイケイエス	川崎汽船株式会社
株式会社アイワエンタープライズ	川崎近海汽船株式会社
株式会社アクト	川崎重工業株式会社
朝日航洋株式会社	川崎地質株式会社
アジア海洋株式会社	株式会社環境総合テクノス
株式会社天野回漕店	株式会社キュービック・アイ
株式会社アルファ水工コンサルタンツ	共立インシュアランス・ブローカーズ
株式会社安藤・間	株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所	共立管財株式会社
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	極東貿易株式会社
潮冷熱株式会社	株式会社きんでん
株式会社エス・イー・エイ	株式会社熊谷組
株式会社エスイーシー	クローバテック株式会社
株式会社SGKシステム技研	株式会社グローバルオーシャン
株式会社エヌエルシー	ディベロップメント
株式会社NTTデータCCS	株式会社KSP
株式会社NTTファシリティーズ	KDDI株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション	京浜急行電鉄株式会社
株式会社MTS雪氷研究所	鋳研工業株式会社
株式会社OCC	株式会社構造計画研究所
株式会社オキシテック	神戸ベイント株式会社
沖電気工業株式会社	広和株式会社
海洋エンジニアリング株式会社	国際石油開発帝石株式会社
海洋電子株式会社	国際ビルサービス株式会社
株式会社化学分析コンサルタント	株式会社COAST
鹿島建設株式会社	コスモス商事株式会社

株式会社コノエ	株式会社ソリッド・ソリューションズ
株式会社コベルコ科研	株式会社ソルトン
五洋建設株式会社	損害保険ジャパン日本興亜株式会社
株式会社コンボン研究所	大成建設株式会社
相模運輸倉庫株式会社	ダイハツディーゼル株式会社
佐世保重工業株式会社	太陽日酸株式会社
三洋テクノマリン株式会社	有限会社田浦中央食品
三和化成工業株式会社	株式会社竹中工務店
株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー	株式会社地球科学総合研究所
JFEアドバンテック株式会社	中国塗料株式会社
株式会社JSP	中部電力株式会社
株式会社JVCケンウッド	株式会社鶴見精機
シチズン時計株式会社	株式会社帝国機械製作所
シナネン株式会社	株式会社テザック
株式会社シーフロアーコントロール	寺崎電気産業株式会社
清水建設株式会社	株式会社寺本鉄工所
清水港振興株式会社	東亜建設工業株式会社
シモダフランチ株式会社	東海交通株式会社
ジャパンマリンユナイテッド株式会社	洞海マリンシステムズ株式会社
シュルンベルジェ株式会社	東京海上日動火災保険株式会社
株式会社昌新	東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社商船三井	株式会社東京チタニウム
新日鉄住金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
須賀工業株式会社	東洋建設株式会社
鈴与株式会社	株式会社東陽テクノカ
セイコーウオッチ株式会社	株式会社東和製作所
株式会社清友農材センター	株式会社清友農材センター
株式会社関ケ原製作所	トーホーテック株式会社
石油開発サービス株式会社	新潟原動機株式会社
石油資源開発株式会社	西芝電機株式会社
セコム株式会社	株式会社ニシヤマ
セナーアンドバーンズ株式会社	日油技研工業株式会社

株式会社日産電機製作所	古河電気工業株式会社
ニッスイマリン工業株式会社	古野電気株式会社
日東電工株式会社	株式会社ベッツ
株式会社日放電子	松本徹章株式会社
日本アキュムレータ株式会社	マリメックス・ジャパン株式会社
日本エヌ・ユー・エス株式会社	株式会社マリン・ワーク・ジャパン
日本海工株式会社	株式会社マルトー
日本海洋株式会社	三鈴マシナリー株式会社
日本海洋掘削株式会社	三井E&S造船株式会社
日本海洋計画株式会社	株式会社三井E&Sマシナリー
日本海洋事業株式会社	三井住友海上火災保険株式会社
一般社団法人日本ガス協会	三菱重工株式会社
日本軽金属株式会社	三菱スペース・ソフトウェア株式会社
日本サルヴェージ株式会社	三菱造船株式会社
日本水産株式会社	三菱電機株式会社
日本電気株式会社	三菱電機特機システム株式会社
日本ベイントマリン株式会社	株式会社森京介建築事務所
日本マントル・クエスト株式会社	八洲電機株式会社
日本無線株式会社	ヤンマー株式会社
日本郵船株式会社	郵船商事株式会社
株式会社ハイドロシステム開発	郵船ナブテック株式会社
濱中製鎖工業株式会社	株式会社ユー・エス・イー
ハリマ化成株式会社	株式会社落雷抑制システムズ
東日本タグポート株式会社	株式会社ラジアン
日立造船株式会社	株式会社ロボット
深田サルベージ建設株式会社	
株式会社フクロジャパン	
株式会社フジクラ	
富士ソフト株式会社	
富士通株式会社	
富士電機株式会社	
古河機械金属株式会社	

国立研究開発法人海洋研究開発機構の事業所

- 横須賀本部**
 〒237-0061 神奈川県横浜須賀野市夏島町2番地15
 TEL. 046-866-3811 (代表)
- 横浜研究所**
 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25
 TEL. 045-778-3811 (代表)
- むつ研究所**
 〒035-0022 青森県むつ市大字関根字北関根690番地
 TEL. 0175-25-3811 (代表)
- 高知コア研究所**
 〒783-8502 高知県南国市物部乙200
 TEL. 088-864-6705 (代表)
- 東京事務所**
 〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
 富国生命ビル23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)

海と地球の情報誌 Blue Earth

第30巻 第5号 (通巻157号) 2018年10月発行

発行人 村田範之 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部
 編集人 田村貴正 国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 広報課
 Blue Earth 編集委員会

制作・編集協力 有限会社フォトンクリエイト
 取材・執筆・編集 鈴木志乃
 デザイン 株式会社デザインコンピビア
 (飛鳥井羊右、山田純一、岡野祐三、大友淳史)

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。

JAMSTEC横須賀本部の岸壁に近づく「日本丸」。全長110.09m、メインマストの高さは船楼甲板から43.5m。下の写真は、手前が「新青丸」、奥が「日本丸」。「新青丸」は全長66.0m。

Pick Up
JAMSTEC

太平洋の白鳥「日本丸」が JAMSTEC横須賀本部の岸壁に現れた

2018年9月8日朝、タグボートに付き添われ、JAMSTEC横須賀本部の岸壁にゆっくり近づいてくる船がある。4本の高いマストが目を引きその船は、(独)海技教育機構(JMETS)の練習船「日本丸」だ。白い帆を広げたときの優雅な姿から「太平洋の白鳥」とも呼ばれる、世界最大級の帆船である。

東京周辺の港では最近、耐震補強工事や東京オリンピック・パラリンピック開催に向けた整備工事などが行われており、岸壁が使用できないことも多い。そうした事情から今回、「日本丸」がJAMSTEC横須賀本部の岸壁に着岸することになったのだ。

このとき、JAMSTECの東北海洋生態系調査研究船「新青丸」も着岸していた。「日本丸」と「新青丸」のツーショットは、とても珍しい光景である。

