

C 地球 H 発見 HIKYU HAKKEN

EARTH DISCOVERY

ちきゅう

CHIKYU

Special Topic

2007年9月「ちきゅう」発進。



2007年9月 「ちきゅう」発進。

南海トラフの地下6,000メートル。未到の世界へ
地震発生メカニズムの解明に挑む、
国際科学プロジェクトが動き出す。

「南海トラフ地震発生帯掘削計画<NanTroSEIZE>」に向けた数々の試験運用を終え、2007年9月の出航を目前に最終調整の段階に入った地球深部探査船「ちきゅう」。2005年から2006年にかけて行われてきた「下北半島東方沖掘削試験」やケニア沖での掘削試験運用では、台風との遭遇などもあり困難な状況を経験することとなったが、この状況を乗り越えてきたことにより、あらためて「ちきゅう」の性能の高さに自信を深めることができた。

気象や海流の問題を始め、人類未到の深さへの挑戦は決して簡単なことではないが、科学者たちの挑戦する心が、南海掘削を成功へと導く原動力となり、巨大地震の知られざる姿を明らかにしてくれるはずだ。

科学目的の達成に向けた、4つのステージによる掘削計画

マグニチュード8以上の巨大地震を繰り返し発生させるプレート沈み込み帯において、その地震断層のコア試料を採取し、観測機器を設置しようとする南海掘削は、世界の科学研究の中でも、最も野心的で挑戦的な研究対象だ。世界が一つになって挑む「統合国際深海掘削計画 (IODP)」において、巨大地震が何度も発生している「南海トラフ」は、地球上で最も活発な地震発生帯のひとつとして認識され、また世界で最も研究されているプレート沈み込み帯として重要な研究ターゲットとなっている。

地球で放出される全地震エネルギーの大半は、プレート境界で起きる地震によるもので、火山性の地震が放出するエネルギーはわずかではない。その中でもマグニチュード8以上の巨大地震を発生する場所は、ごく限られた場所だけだ。南海トラフ沿いには東海、東南海、南海と3つのマグニチュード8クラスの地震発生帯が連なり、しかも「いつ」「どのくらいの規模で」などの記録が、約1,300年以上の歴史的記録として残っている。これほど詳細にデータが残っている巨大地震発生帯は、世界でも少ない。さらに「ちきゅう」の掘削能力なら手の届く範囲に巨大地震の震源域があり、南海トラフほど地震発生研究に最適な場所はないだろう。

2004年のスマトラ地震とインド洋の津波が20万人以上の犠牲者を出し、プレート沈み込み帯の巨大地震が、地球上で起きる最大級の自然災害であることの証明となった。このような巨大地震のメカニズムを解明し、地震や津波の頻度や規模の予測に貢献することが、南海掘削を通しての研究目標だ。そのために、紀伊半島沖の浅い部分から地震発生帯まで、様々な深度での掘削が予定されている。

南海掘削自体は、全体では下記のように4つのステージによる実施が考えられている。

ステージ1 ▶ライザーレスにより、沈み込む前の堆積層から付加体の断層、前弧海盆まで6つのサイトを約1,000メートル掘削する。掘削時検層 (LWD・Logging While Drilling) を実施して堆積層や断層の特性を把握した上で、それぞれの場所で試料を採取する。

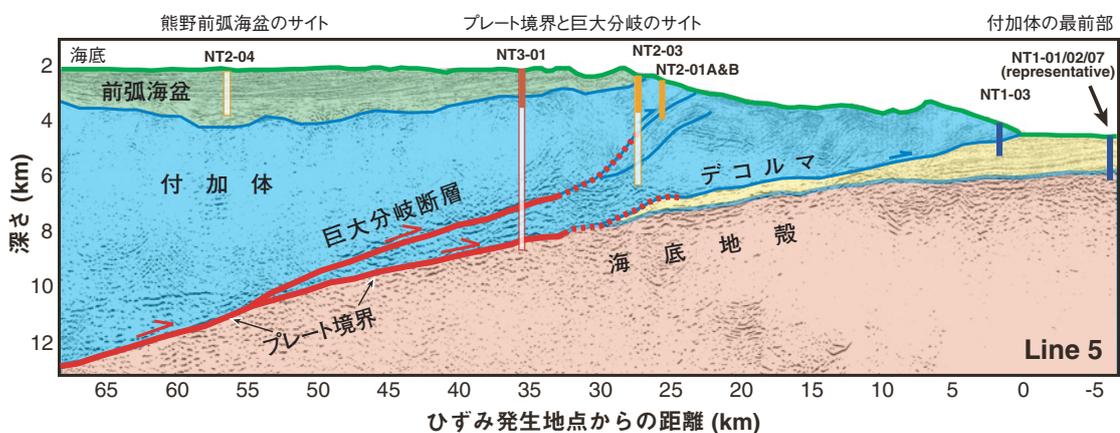
ステージ2 ▶海底下約3,500メートルの分岐断層をターゲットに、科学史上初めてとなるライザー掘削を実施。

ステージ3 ▶ライザー掘削による地震発生断層への掘削を実施。海底下6,000メートル掘削を予定。

ステージ4 ▶長期にわたり掘削した孔内で歪や地震、温度、圧力、傾斜など様々な現場を観測する、長期孔内計測システムの設置を計画。

南海掘削は長期に渡るプロジェクトだ。ステージ1は2008年の2月まで実施される予定だが、今後のステージに向けた足がかりをつかむことが、最初の目標である。熊野灘沖の掘削では黒潮の流れが強く、ライザーパイプに大きな負担がかかることも予想されている。また「砂泥互層」という柔らかく崩れやすい砂と泥の層も、掘削の障害となることが懸念されている。人類未到の深さまで掘ること未知数な部分は大きいですが、そうした困難を乗り越え、研究者たちは間違いなく大きな科学的成果が得られると確信している。

■掘削ステージ全体図



NT1-01とNT1-07では沈み込む直前のプレートに堆積している堆積層を基盤 (玄武岩層) まで掘削し、NT1-03では、沈み込みにともない発達したデコルマ (水平断層) を貫くように掘削が予定されている。NT3-01、NT2-01、NT2-03では、巨大分岐断層そのもの、及びその周辺を掘削し、NT3-01はその後のステージ3で、6,000メートル級の深部掘削を行い、巨大地震発生域にせまる。NT2-04では、前弧海盆堆積物に記録された、付加体形成史の解明にせまる。

活動中のプレート境界を貫く掘削にチャレンジ

近年、活断層の掘削研究に対する関心は、非常に高いものとなっている。アメリカ西海岸のサンアンドレアス断層観測所計画(San Andreas Fault Observatory at Depth)、台湾のチェルンブ断層掘削計画(Chelungou Fault Drilling Project)、ギリシャのコリントスリフト実験所(Corinth Rift Laboratory)などの陸上でのプロジェクトと、南海掘削や中米海溝掘削計画(CRISP)などの海底プロジェクトだ。地震学や測地学、摩擦力学などさまざまな分野で研究が進んだことがその背景にはあると考えられるが、地震自体のメカニズムは依然、未解明のままである。その解明のためには、断層深部の状態を明らかにし、周辺物質との摩擦係数や弾性強度などの力学的性質を明確にすることが求められるが、今回の掘削計画による地震発生域のコア試料の採取と観測が、新たな理論の構築に大きく貢献することは間違いないだろう。

南海掘削の目標は、プレート沈み込み帯における地震発生および津波発生域の上限部分を、広範囲に観測することだ。そしてその場所こそ、プレート境界深部の巨大地震発生帯との入り口にあっている。さらには、1944年の東南海地震の破壊域であり、津波発生にも関連していると考えられる活動中のプレート境界そのものを海底下6,000メートルの超深度で貫く、という重要なターゲットも計画には含まれている。

「何よりこの掘削研究が難しいのは、『ちきゅう』にとってこの航海が初めてであること」と話すのは、「ちきゅう」最

初の航海での首席研究者となる木下正高グループリーダーだ。高い掘削能力を持つ「ちきゅう」であっても、科学掘削の経験が少ないため、天候や掘り進んでいる地層の状況に対し、どこまで掘り進めるかの判断が難しいのだという。

そのため最初のステージ1は、予定された約5カ月の航海中に、最初の約2カ月をかけた6つのサイトを掘削するが、コア試料は採取せず、LWDによる計測をしながら掘り進む。浅い部分では海底下約600メートル、深い部分で約1,400メートル。「コア試料を採る前に、実際にどこまで進んでいけるのか様子を見ておこうという、意図があります」と木下正高グループリーダーは説明する。

続くステージ2では、いよいよ海底下約3,500メートルまで、「ちきゅう」による科学掘削では最初のライザー掘削が行われる。ここでの掘削サイトは、地震時に主断層とともに破壊が起きたとされる巨大分岐断層(メガスプレー断層)にあたる。このステージ2は、2008年~2009年の実施となる予定だ。

ステージ3では、海底下6,000メートルという、深いエリアに横たわる地震発生帯がターゲットとなる。地震発生の主断層となる、プレート境界断面を突き抜くように掘削して沈み込む海洋地殻に到達するという、前例のない大深度掘削となる。この掘削にはどの程度の時間が必要となるかは、現時点ではまだ予想がつかない。おそらく連続的に掘削したとしても1年以上の長期掘削となり、掘削の後の孔内にはモニタリングシステムの設置を計画しているが、

地震発生断面のより正確な温度計測で断層の進化が明らかになる

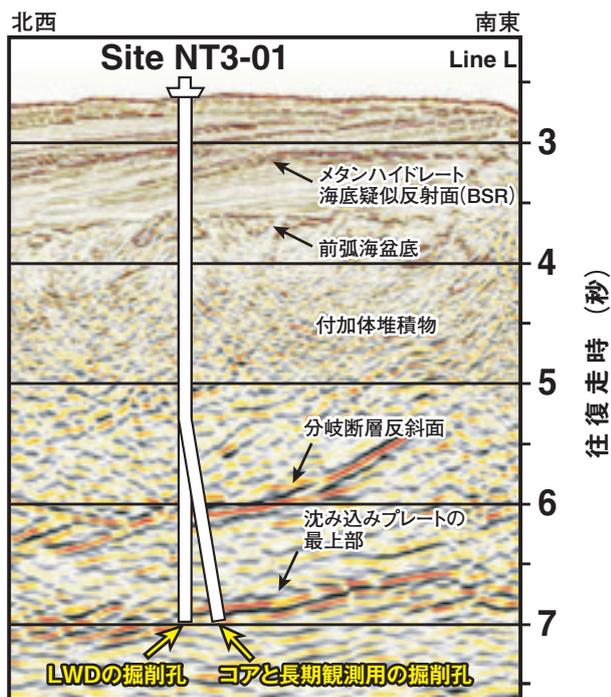


木下正高グループリーダー

南海掘削
チーフプロジェクトサイエンティスト
海洋研究開発機構
地球内部変動研究センター

巨大地震が起こる熊野灘の表層の物性、変形がどのように進むのかを、いよいよ自分の目で確かめる時が来ました。温度は物質の変化を決める重要な要素です。これまでは表層のデータから推測するだけだった断層面の温度を、より正確なものにすることで、地震発生断層の変化がどのように進むのかを知る手がかりになるはずです。

南海掘削は、日本の船で行う日本近郊の掘削。日本人の気概を持って望みたいですね。



南海トラフ地震発生帯掘削計画の中で、最も深いNT3-01の概念図。LWDとコアリングの両方が行われ、主要な断層のコア採取と、観測機器の設置が予定されている。概念図のため、正確な角度やスケールではない。

まだ開発中であり、その技術開発を待ちながら計画が進められる予定だ。

最終ステージとなる第4ステージの実施は、3,500メートル、6,000メートルという2つの大深度掘削孔などに、長期にわたって観測を行うための長期孔内計測システムの設置を目的としている。この計測システムを設置することにより、プレート境界断層の歪や地震・温度・圧力などの状態やその変化を通じて、地震発生に至る断層の挙動を、現場で直接記録することができるようになる。170℃の高温、海底6,000メートルの大深度という過酷な条件の中で耐えるシステムを現在開発中だ。

この計画と平行して日本国内では、熊野海盆地に地震観測のための海底光ケーブルネットワークの配置計画が進められている。ステージ4で設置されるモニタリングシステムとこのネットワークが接続すれば、観測データをリアルタイムに収集する理想的な環境が整うことになる。現在、実現に向け基礎設備の準備が急ピッチで進められ、実施は2012年から2013年位を見込んでいる。

「まずは予定されている深度の孔を掘り、データを集めコアを採ること。そこからサイエンスが始まる」と話す木下正高グループリーダー。「ちきゅう」が航海を重ねるごとに、地震の科学は確実に進化していく。

南海掘削を目前に控えて高まる期待



ハロルド・トビン

南海掘削
チーフプロジェクトサイエンティスト
ウィスコンシン大学マディソン校 (米国)

南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)の第一航海が、今まさに開始されようとしている。ずっと待ち続けてきた計画をいよいよ実行に移すことができるので、喜びもひとしおだ。IODPに南海掘削の最初の提案書を提出したのは2001年の10月であるが、それ以前から数年に渡って作業が進められていたので、最初の航海に辿りつくまでは実に長い時間がかかった。航海の目的は明白で、プレート境界面の掘削を行い、サンプルを採取し、巨大地震を引き起こす地震断層を実際に観測することである。困難だがやりがいのある仕事だ。何故行かうかと言うと、地震が発生するプロセスについて、我々地球物理学者が持っている知識が不完全だからである。知識が不足しているのは、地震が起こっている活発な「生きている断層」内部からのサンプルや測定結果を十分手にしていないからである。南海掘削は、この状況を確実に変えることになるのだ。

第一航海は、IODPの第314次研究航海から始まる。ほぼ60日間に渡る掘削計画で、「LWD」と呼ばれる最新鋭の「掘削時検層 (Logging-While-Drilling)」ツールと計測器を用いる。地球物理学的検層とは、音波の伝播速度、電気抵抗信号、そして岩石中に存在する天然放射能の特徴等の物理特

性を用いて、岩石の物性を掘削中に直接測定することである。LWDは掘削された穴の内面も可視化できるので、研究者は地層、断層、破碎を間接的に観察することができる。これら最新の計測装置を使用することにより、断層内の実際の状態について、より多くの知識が得られる。

第314次研究航海は、活動的テクトニクスが優勢な地域で、岩層が不安定な可能性が高く、非常に困難な条件下にある環境での掘削となるため、まさに挑戦的なものといえるだろう。これに成功すれば、日本、ひいては地球のプレート境界のサンプルを初めて手に入れることになる。それは全く未知な地質学的サンプルである。私は掘削作業も科学研究も成功を収めるだろうと、楽観している。なぜなら、我々には一丸となって機能する傑出した国際的な科学チームがあり、また掘削チームと技術チームも世界一流だからだ。第314次研究航海に続き、南海掘削チームは更に2回の航海を行い、同じ位置でコアサンプルを採取し、断層システムの浅い部分の研究を完了する。来年には究極の目的である、超深度の地震発生帯に向けた掘削を開始する予定である。

南海掘削の目的は、近く起こるとされている東南海地震を短期的に予測することである、という印象を持っている人が多い。しかし現時点においては、将来実際に地震の予測が可能であるのかさえ分かっていない。この計画の目的はむしろ、断層内の岩石と水に関する応力、強度、性質を知り、断層がどのように作用するかについての我々の仮説を検証するという、もっと基本的なものである。日本列島近海の南海トラフは、世界中で発生するプレート沈み込みによる地震と津波のモデルとなっている。我々がここで学び取ったことが科学への基本的貢献となり、さらには地震という災害に対応する戦略を発見できることを願っている。

成功に向けた第一歩。巨大分岐断層を解明するステージ1

先にも述べたようにステージ1は、ステージ2~4に向けたパイロット掘削としての役割も担っており、以降の掘削航海をスムーズに進めていくために、データ収集の責務も課せられている。南海掘削で掘削が予定されている6サイトを全て浅部掘削するのはそのためだ。第314次研究航海となる最初の2カ月間は、ステージ1の中でもさらに最初の航海ということから、コアの採取は行わず全てのサイトを掘削しながら、LWDテクノロジーによる探査を行われる。LWDでは掘削ビットから2、3メートル後方に配置されたロギングツールにより、掘削後、数分から数時間という早さでさまざまなデータを計測することができ、構造特性や物性などを、LWDで計測しながら進んでいく。

深く掘らなくとも、浅部掘削された6つを比較することでわかることもある。例えば付加体に取り込まれ変形する直前と変形が始まった直後、分岐断層の出口から主断層、浅部の非地震発生領域からプレート境界深部の巨大地震発生帯まで、段階の違うサイトを掘削することで、付加体進化の過程を追うことができるのだ。室戸沖、中米海溝などでは付加体の研究が進んでいるが、熊野灘沖南海トラフで付加体を掘削するのは初めてだ。貴重な情報を数多く得ることができ、巨大地震発生のメカニズム解明の鍵である、付加体研究が大きく進展する。

続く約1カ月間の第315次研究航海は、今回の南海掘削において初めての、コア採集を実施する航海となる。LWDにより得られたデータをもとに、目標掘削深度は海

プロジェクトの成功に大きく関わる研究データの正確さ

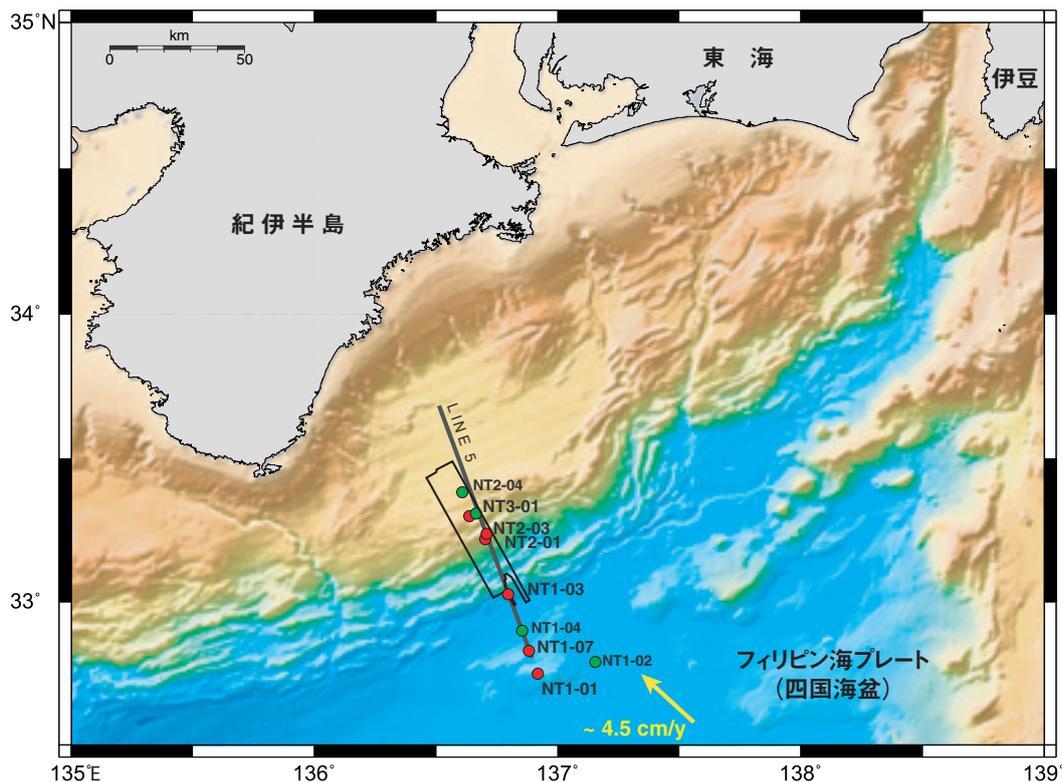


木村 学教授

第316次研究航海共同首席研究者
 東京大学大学院理学系研究科
 地球惑星科学専攻
 海洋研究開発機構 地球内部変動
 研究センター 上級研究員(兼職)

私の役割は、断層や構造、変形など掘削データに関し、「記述」の統一を図ること。大きなプロジェクトのため、毎回乗船者が異なり、またさまざまな国の科学者が関わります。例えば計測といっても、一桁まででよいのか二桁必要なのか、明確な基準を設けておかないとバラバラな研究データが集まってしまう。統一した基準のもとで、各人が責任をもって取り組むことが重要。正確なデータがあって、画期的な前進もあります。

紀伊半島沖・熊野灘の地形図に示された南海トラフ地震発生帯掘削計画ステージ1の掘削ポイント(赤い丸印は主要サイト。緑の丸印は予備サイト)。黒枠は、2006年に実施した3次元地震波探査域。黒い直線(LINE5)は、2次元地震波探査を実施した場所を示している。



底下1,000メートルだ。南海トラフ最初のコア試料の採取を体験することとなり、船上での計測や分配など人的な作業も含め、運用における格好のトレーニング機会となる。またこの孔は、ステージ2で海底下3,500メートルのライザー掘削を行う予定にもなっており、そのためのパイロット掘削としての役目もある。この場所には地震で断層が動くことで発生する、海底地滑りによる堆積物がたまっている。この堆積物コアを分析することで、この断層がいつ動いて地滑りを起こしたかがわかると考えられている。

第316次研究航海では、2つのサイトを2カ月かけ掘削する。ひとつは付加体の先端で、プレートが沈み込むことによって表層の堆積物が変形を始める部分。間隙水が抜けたり固化したりという状況が観測できるはずだ。もうひとつは、分岐断層を浅く掘削する。第315次研究航海で掘削したサイト近傍だが、海底下800メートルで主断層と周辺に分岐断層を貫くことで、付加体がどのように発達するかを観察することができる。またこの掘削が、ステージ2で行う孔内観察装置設置の先導役にもなる。

このように3つの研究航海で構成されるステージ1は、それぞれに目的があり研究内容も異なる。当然、乗船する研究者も変わるのだが、ひとつひとつの目標をクリアしていくことが重要なのだと、南海掘削の共同首席研究者でありプロジェクトの立案から携わってきた木村学教授は、この研究の意味を次のように説明する。

「今までの地球の観測は、医学でいうならば医者が聴診器をあてて体の中を想像し、江戸時代の腑分けのように死体を解剖するようなもの。それが今回の掘削では、生きている状態にメスを入れ、体の内部を診る直接診断に変わるという、科学における大きな転換。世界中の科学者が注目するのまさにそこ。今まで1キロ、2キロだったものが、6キロの掘削距離になっただけでもいいかもしれないが、そのわずかな距離に画期的な前進があるのです。予想したものが出来れば嬉しいし、それはとても重要なこと。しかし予期せぬことが起こってしまうのが、科学の一番エキサイティングなところであり、しかもそれが科学を一気に前に進めることにもなります」と木村学教授は言う。

1990年代前半、プレートの沈み込みが話題になり、さまざまな仮説が言われる中で直接掘れたらいいのにと多くの科学者は思っていたはず。その思いがようやく実現するところまできたと、科学者たちは期待を寄せる。そしてこの成果は、次の世代の科学者たちにも、正しく受け継いでいかなければならないとも。そのために南海掘削では、大学院の研究生を対象としてあらゆる関連分野で、乗船研究の参加を受け入れている。山口飛鳥氏は、ステージ1の掘削航海に参加する、東京大学大学院理学系研究科で

学ぶ大学院生。木村学教授の教え子でもある。また宮川歩夢氏は、LWD航海に参加する京都大学大学院工学研究科で学ぶ最年少参加の大学院生である。木村教授は、「山口君や宮川君を含めた若い研究者に期待するのは、地球全体のことを考えて欲しいということ」と言う。地球科学という研究は、ピンポイントで対象に迫っていく作業が多い。しかしそこに留まらず、例えば南海トラフの成果を他の地域に応用したり、地球全体を俯瞰してみることが必要なのだ。「日本の地震研究はとても進んでいます。胸を張って、世界のリーダーになるくらい頑張ってください」とエールを送る。

ステージ1「ちきゅう」運用スケジュール

研究航海番号	主な目的	航海期間	共同首席研究者
314	事前調査用の2本のパイロットホールと6本の掘削時検層(LWD)	2007年9月21日 ▼ 2007年11月16日 (57日間)	木下 正高 (JAMSTEC・日本) Harold Tobin (ウイスコンシン大学・米国)
315	巨大分岐活断層へのライザー掘削のための予備掘削	2007年11月17日 ▼ 2007年12月19日 (33日間)	芦 寿一郎 (東京大学・日本) Siegfried Lallemant (セルジ・ポントワース大学・フランス)
316	付加体前縁の海底下約1,000メートル程度までの試験採取	2007年12月20日 ▼ 2008年2月5日 (48日間)	木村 学 (東京大学・日本) Elizabeth Screaton (フロリダ大学・米国)

※スケジュールは予定であり、変更になる可能性もあります。

生きている地震断層から 得るものは大きい



山口飛鳥

東京大学大学院理学系研究科
地球惑星科学専攻 博士課程

阪神淡路大震災を経験したことが、地震研究の道に進んだきっかけ。だから地震は、自分にとってとても身近な研究テーマです。今まで私が行ってきた研究は過去の地震でできた産物が対象。しかし南海トラフの掘削では、生きた断層の姿やコア試料を観察することができます。つまりこれから起きる過程部分を、直接観察する貴重な経験です。今まで自分が見てきた陸上の断層との違いを、生きた石を見ることで検証してみたいと思います

試験掘削を終えた「ちきゅう」への期待と自信

2005年7月29日、「ちきゅう」が完成し引き渡しが行われた日だ。その日からの2年間は、9月に始まる南海掘削に向けての準備・試験期間であった。科学掘削船・第6世代とされる「ちきゅう」には、これまでにない最新鋭の機器が搭載されており、それらの性能がきちんと発揮できるようになるまで、ある程度の時間を要するからだ。準備は計画的に進められ、昨年8～10月に行われた下北沖での試験航海もその一環であった。システム面の初期エラーもあったが、あくまでそれは想定内のこと。CDEX運用管理室室長の佐賀肇は、下北沖の試験掘削を「いわば、機能の習熟期間」と位置づけていた。システム総合試験としての最初の航海で、課題を洗いざらい出し、本来の機能を導き出そうというわけだ。

続く11月からは、下北半島沖とは異なる条件下（深度、地質、海流など）での経験を積むため、ケニア沖とオーストラリア北西沖において計9カ所の試験掘削をこなした。そのうち3カ所はライザー掘削を行い、中でもケニア沖では強い潮流下ながらも水深2,200メートル、海底下2,700メートルの掘削に成功。下北沖で噴出したような初期故障はほとんど見当たらず、一時的に機能がストップするダウンタイムは、ケニアでは約10%、オーストラリアでは5%以下と、下北半島沖での約60%から大きな成長を遂げ、掘削船としてのポテンシャルを改めて実証してみせた。

この試験掘削ではほかにも、水深2,200メートルにおける噴出防止装置（BOP）の設置・作動の確認、砂岩、泥岩、石灰岩互層を含んだ複雑な地質状況における掘削などの検証も行われ、期待通りの成果をあげた。佐賀は「よちよち歩きだった下北半島と比べるとだいぶ遅くなった」と自信を深める。さらに成果をあげたのは「ちきゅう」だけではない。南海掘削でも乗船する乗組員たちが実作業

科学者のリクエストに応える孔内掘削



佐賀 肇

海洋研究開発機構
CDEX運用管理室室長

南海トラフの掘削は、技術的にとても難しいミッションです。海底の地形は凸凹ですし、地層の異方性も高く、不安定です。それに、ちょうどステージ1の時期は、台風の心配もあります。ただ、そんな条件下でも、科学者のリクエストする通りの孔内データやコア試料を完璧にとるのが、運用側としての究極の目標です。なるべく質のいいデータを提供してあげたい。いいデータを取るための条件は、きれいな孔を掘ることにつきます。

を通じてノウハウの蓄積と技術の習熟を深める、絶好の機会となったのだ。

本格航海への準備は、いよいよ最終段階を迎えた。2つの試験航海の評価を踏まえて、科学者、技術者を交えてのミーティングが続く。ケースごとにさまざまなシミュレーションを重ね、いくつもの解決策を用意しておかなければならないからだ。クルーの安全面を確保しながら、科学的に最大限の効果をあげるための運用基準も改良された。下北半島沖、ケニア沖、オーストラリア沖での経験をベースに万全の準備を整え、「ちきゅう」は、いよいよ南海トラフに出発する。



下北半島沖での掘削試験で、採取されたコア試料の回収を行うスタッフたち



海底面より近いところから掘り出されるコアは未固結なこともある（液状）

海底下3,500メートルの分岐断層に挑むステージ2

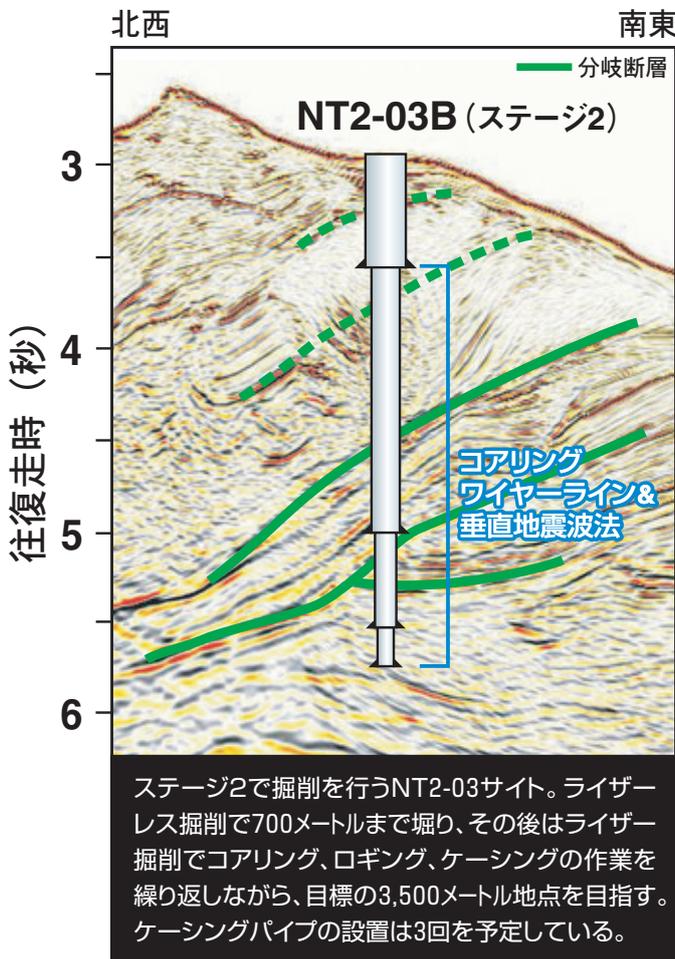
6つのサイトで1キロメートル級の掘削を行うステージ1に対して、ステージ2の特徴は、150日間に渡ってたった1本の孔を深く掘るといことだ。分岐断層を貫いて3,500mまで到達するのは、それだけで難しい作業である。石油掘削船では、深度だけならこれ以上に掘削することはあるが、南海トラフのように強い潮流があるような困難な状況で、変動帯の不安定な地層のコアを連続的に採取し、将来の孔内長期観測に向けた孔に仕上げた経験はない。ステージ2は、非常にチャレンジングな航海となるはずだ。

3,500メートルの掘削を行うのは、NT2-03サイト。ステージ1で1,000メートルまでライザーレス掘削でコアを採取し、ステージ2のための掘削孔を700メートル掘って、孔が崩れないように鉄管を設置した状態でパトンタッチされる。まずは1,000メートルまで一気に掘り、その先は、1,500、2,000メートル過ぎ、3,000メートル手前、3,000メートル超と段階的に掘り進めていく。そのそれぞれの段階では、コアを採取する「コアリング」、掘った孔に観測ツールを下ろして一定速度で引き上げ孔壁を測定する「ロギング」、鉄管を差し込む「ケーシング」という3つの作業を1セットとして繰り返しながら、目標地点に至る。事前の調査で、5

本の分岐断層が見つかったら、今回の掘削によりさまざまな深度の断層を掘り貫くことで、どの断層が最も活発に活動しているかなどは明らかになるだろう。また、断層の厚さや変形構造、流体の有無といった特徴を把握することができるはずだ。

これまでの掘削船の能力では浅くしか掘ることができなかったが、「ちきゅう」によって、これまでになかったような深度まで掘削できるようになると、予測が付きにくい面も出てくる。となると、断層の研究が進んでいる、陸上の研究者の知恵が必要となる。海底の断層帯を構成している物質がいったい何者なのか、陸上の似たような断層と照らし合わせるなどして予測をたてられるからだ。ステージ2では、4航海に渡り各25名程度、合計約100人の研究者が参加する予定だが、陸上地質研究出身者や断層の専門家が乗船するだろうし、また求められている。さらに大深度からあがったコア試料から、地下圏微生物の研究も進むだろう。これまでは海洋掘削により、海底下約1,000メートルで見つかったものが一番深い例だ。3,500メートルまで掘り進めば、高温・高圧下で生息する未知の細菌が発見されるかもしれない。地震とは直接の関係はないが、興味深いところだ。

「いろんな分野の人を集めて、強力なチームを作りたい」とステージ2の共同首席研究者である齋藤実篤は言う。大深度の掘削が、さまざまな分野の研究をも前進させることになりそうだ。まだもう少し先になるが、150日間の一本勝負への期待は早くも膨らみ始めている。



日本のリーダーシップで 南海掘削を成功へ



齋藤実篤 サブリーダー
海洋研究開発機構
地球内部変動研究センター

ステージ2では、地震発生帯から派生する分岐断層帯の正体をあばくのが最大のテーマ。世界の英知を集結させて、それを日本のリーダーシップによって、そして巨大地震発生プレート境界を直接見るステージ3につなげたいですね。

IODP初のライザー掘削でもあるステージ2。「成功させないわけにはいかない」という使命感をもって、南海掘削にのぞみたいと思っています。

Subsea-System [サブシーシステム]

水深4,000メートル、海底下7,000メートルに挑む世界トップレベルの技術力とシステム

船体中央の掘削やぐら（デリック）の下に設けられた開口部は、ムーンプールと呼ばれる掘削船ならではの設備。船の真ん中に海面がのぞき、そこからそのまま海底へと繋がっている。このムーンプールから掘削のために海中に降ろされるライザーパイプ、噴出防止装置（以下BOP）などの海中設備と、船上でライザーパイプを支えるライザーテンショナーを含めた設備を総称して「サブシーシステム」と呼んでいる。

サブシーシステムにおいて、ライザー掘削能力を左右するのが、ライザーパイプやBOPなどの装置だ。ライザー掘削方式自体は、海洋石油開発で広く用いられている技術だが、「ちきゅう」では石油のありそうな所のみならず、全世界の海で掘削調査を行う必要がある。そのために、独自の仕様による装置開発が行われ、その結果、世界最大級のサブシーシステムとして完成した。

高張力鋼製の厚さ30mmのライザーパイプは、1本の長さは約27m、重量は約28トンある。ドリルフロアに垂直に吊り下げられたライザーパイプを、1本ずつ大きなボルトを使い、接続しながら海中に降ろしていく。ライザーパイプを全て接続した後、それを船上で吊り下げるのが、ライザーテンショナーだ。ライザーテンショナーは、船の揺れなどがライザーパイプに伝わらないようにするためのもので、風や波の影響による船が上下動を、6本の空気圧シリンダーに収められたロッドが伸縮することで打ち消す^{（ていせい）}役割をする。

ライザー掘削では、マッドと呼ばれる泥水をドリルパイ



ライザーパイプを6本の空気圧シリンダーにより吊り下げ、「ちきゅう」の揺れをライザーに伝えないようにするライザーテンショナー。ロッドのストロークの長さは約15m。これが延び縮みすることによりライザーの平衡を保ち、掘削をスムーズに進めていく。

プの中を通して下に送り、ライザーパイプとドリルパイプの間を通して船上に戻す泥水循環を行うことにより、効率の良い掘削可能にしている。水に粘土等を混ぜ、密度や粘り具合を調整したマッドを送ることで孔から掘りくずを除去し、また孔の壁に泥の膜を作ることで崩れにくくする効果がある。

しかし地層の中にはたくさん隙間があり、そこにガスや石油がある。掘削中にこのガス層にぶつかった場合、たちまちライザーパイプ内をガスが上昇し、船上をガスが襲うことになる。そういう事故や、石油の噴出による汚染などが起こらないよう、サブシーシステムの中でも重要な役割をはたすのがBOPだ。

「ちきゅう」のBOPの大きさは、高さが16メートル、重さは380トン、耐圧能力は1,000気圧ある。もちろん世界最大級の大きさや性能だ。

BOPは、海底下数百メートルまで掘り進んだ後、掘削孔が崩れないようにケーシングパイプを挿入することになるが、その頭部の海底面にウェルヘッドが取り付けられており、BOPはそれにラッチして設置される。この状態で、ライザーパイプで船と海底のBOPとが結ばれる。BOPには、掘削中にドリルパイプで孔を閉鎖するパイプラムや、緊急に船体を移動せざるを得なくなった時に、ドリルパイプを切断して掘削孔を閉鎖するシアーラムという油圧駆動の装置などが組み込まれている。

ライザーパイプの中を戻ってくるマッドをモニターし、もしマッドの戻り量が増えたり、ガスが混じり始めたらBOP内のパイプラムでライザーパイプとドリルパイプの間をシャットインする。そうしておいて、マッドの密度を調整してガスなどが孔内へ侵入するのを押さえ込む。

船上からのBOPのコントロールは、2重の光ファイバーによって行われている。船上での制御は無停電装置によりバックアップされているが、どんな場合にも完全にシャットインできるよう、何重もの対策が用意されている。もし光ファイバーによる信号伝達に異常があった場合にも、音響信号バックアップシステムによって作動させることが可能だ。

BOPは上部のLMRP (Lower Marine Riser Package) と下部のLower BOP Stackとに切り離すことができる。巨大な台風が接近してきて緊急に避難しなくてはならない場合でも、Lower BOP Stackだけを海底に残して緊急退避ができる。「ちきゅう」のサブシーシステムが世界最大級と呼べるのは、大きさだけではなく、いかなる荒天下でも耐えられるような高い安全性を兼ね備えたシステムゆえのことだ。

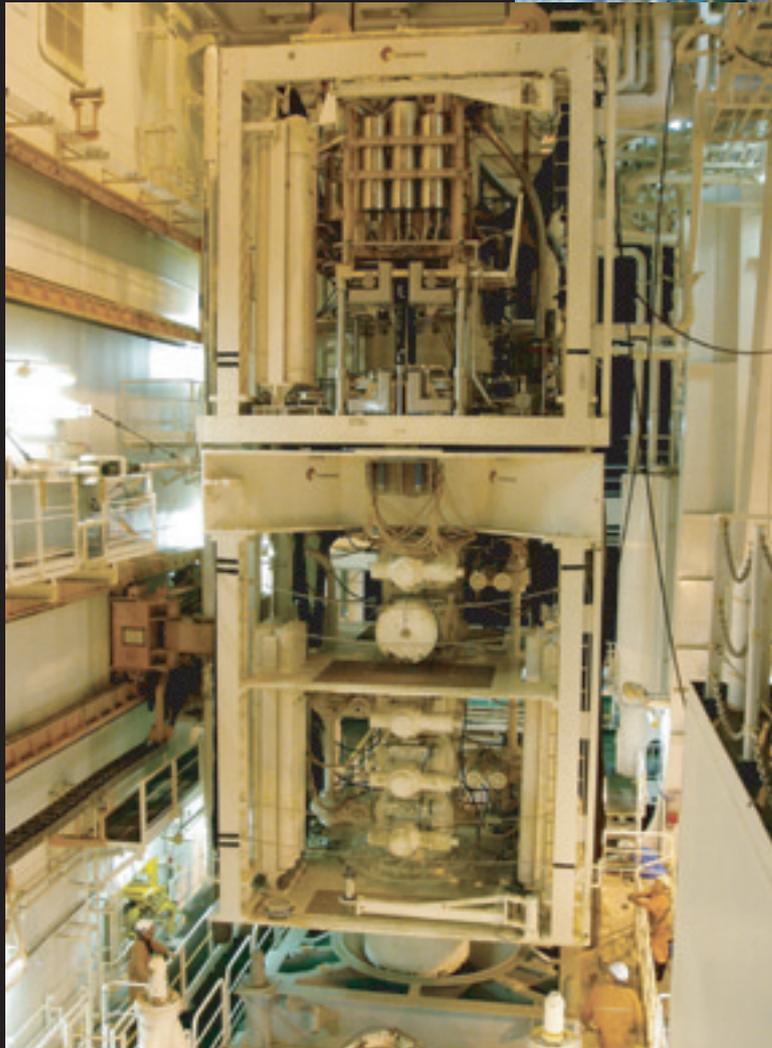
取材／宮崎英剛サブリーダー（CDEX技術開発室 開発グループ）



ラックに積み上げられた、浮力体付きのライザーパイプ。
地上での重量は約28トンだが水中では約4トンになる。



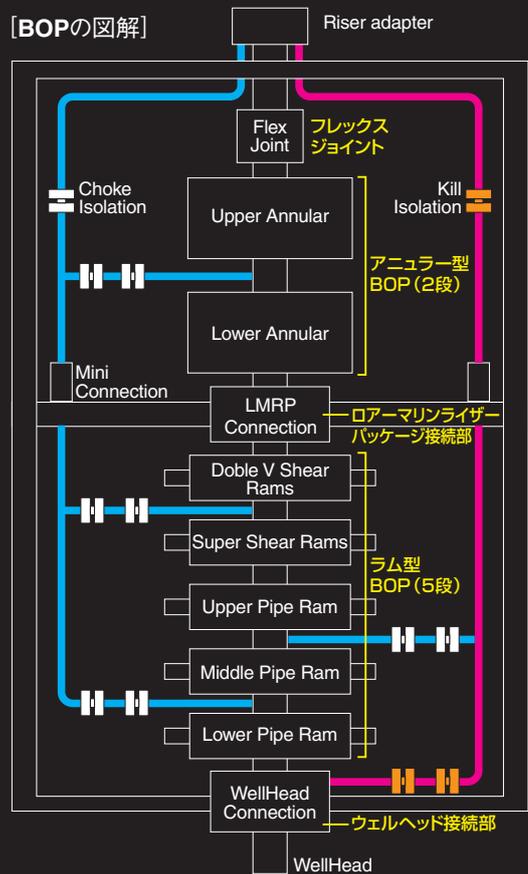
デリックの中央に立つライザーパイプ。船体中央のムーンプールから海中へと降ろされていく。



噴出防止装置 (BOP: Blow Out Preventer) は、船上から光ファイバーにより信号を送信し、油圧により動作コントロールされる。ガス混じりのマッドをシャットインした場合にも、孔内に侵入したガスは逃がす必要がある。その場合、チョークラインを通し、デリックの上から大気中に放出する。



[BOPの図解]



熊野灘の 三次元地震探査が終了

グレゴリー・モーア 南海掘削スペシャルティコーディネータ CDEX技術研究統括

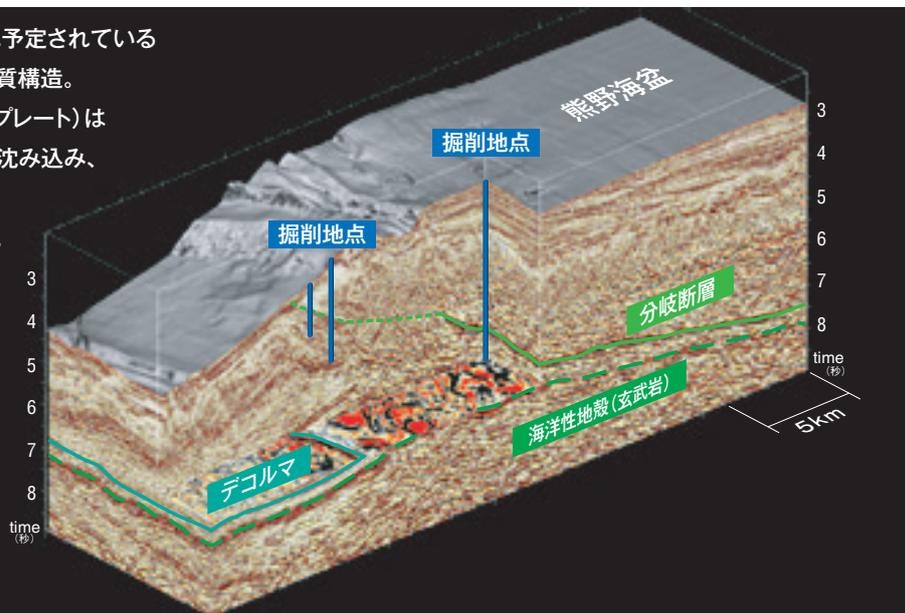
CDEXは南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)統合深海掘削計画の準備として、南海トラフの熊野灘の三次元反射法地震探査を実施した。この探査は、民間の三次元地震探査業者が科学探査に特化して行う調査としては、初めてのもので、作業は2006年4月から5月にかけて、ペトリウム・ジオ・サービス(PGS)が担当した。約585km²にわたる海域の探査には、三次元音波探査船 Nordic Explorer 号を使用し、曳航する長さ4500メートルのハイドロフォンケーブル4本に各360個の受振チャンネルを備え、ケーブル間隔は150メートルとした。総容量3090立方インチのGガンアレイ2基から交互に音波を発射することによって各測線について8本の共通中間点(CMP)を収集し、CMPの間隔6.25メートル×37.5メートルの三次元データが得られた。しかし、黒潮潮流によるハイドロフォンケーブルが側方に流されたため、データ収集は困難を極めた。海側部分の調査は南海トラフ最深部分に沿って潮流が最も強かったことから、断念せざるを得なかった。

反射法地震探査データは、マレーシアのクアラランプールにある石油関連サービス会社、Compagnie Générale de Géophysique (CGG)が処理し、うねりによる雑音と多重反射波の除去、クロスライン内挿法、ピンセンタリングと正規化、高密度速度解析、三次元不等方重合

前時間マイグレーション (PSTM)、残差ムーブアウト(RMO)、PSTMスタック、ポストスタック多重反射波の除去を行った。この最終処理によって、18.75メートル間隔で620のインライン、12.5メートル間隔で5500のクロスラインが得られた。最終処理のうちもっとも困難だったのは、最重要である分岐断層からの反射波を不鮮明にしてしまう、非常に強力な海底面多重反射波を除去することであった。

南海掘削の掘削では4つの主要箇所と、いくつかの代替サイトを選択するため、三次元データを用いて計画されている。最重要目標は、付加体の端部において前縁衝上断層を貫通する1箇所と、主プレートの境界断層から分岐する断層を掘削する3箇所である。巨大分岐断層は7.5秒(~10キロメートル)の深さの海洋地殻から立ち上がり、付加体の古い部分を横切り、付加体の衝上地帯にある海底まで達している。この分岐断層からの反射波は、おそらく地表までの地震発生帯からの流体の流れを反射しており、極性反転の帯を示している。最深のライザー掘削サイトでは、熊野海盆の1.5キロメートルを超える厚さの堆積層を貫通する予定である。断面の最も古い部分は強く屈曲しており、一方で沖合に向かう部分は大規模分岐断層の度重なる動きによって、徐々に陸側に傾いている。

熊野灘沖沈み込み帯付近に予定されている
科学掘削3地点と周辺の地質構造。
海洋プレート(フィリピン海プレート)は
南から北に日本列島の下に沈み込み、
この運動に伴い分岐断層や
デコルマが発達しています。



「ちきゅう」の掘削航海を陰で支えるロジスティクス・スタッフ 優れた調整能力を発揮し、世界中から訪れる 乗船研究者(カスタマー)を安全かつ確実に船へ

2007年9月に本格始動する南海トラフ地震発生帯掘削計画には、日本とアメリカをはじめ世界中から多くの研究者の参加が予定されている。人類がかつて見たことがない、地球の深部に挑むプロジェクトに向けた研究者達の意気込みは、今までにない大きなものとなっている。これら研究者達を含め、全乗船者が「ちきゅう」へのスムーズな乗船を行うことができるよう、乗船申請書の受付や乗船の誓約事項、乗船案内などの対応窓口としてスタッフィングされているのが福富、又川、布施の3名だ。

「日米が主導する国際海洋科学掘削プロジェクトである、南海トラフ地震発生帯掘削計画を成功させることは、私たちににとっては使命です」と話すのはIODP推進室所属の福富淳だ。「日本人のプロジェクト管理能力を問われています」と言う。

「未知の場所への期待感を研究者たちが高める中で、研究者たちをいかにスムーズに乗船までガイドするか、サポートスタッフとしての役割の重要性を日々感じている」と話すのは、すべての乗船者に対し運航管理窓口としての役目を担う、CDEX運用管理室所属の又川孝司だ。日本人の緻密さと計画能力の高さは世界の中でトップクラスと、刻々と近づくスケジュールにプレッシャーを感じながらも、着々と進めている準備状況に自信を見せる。

そして今回、研究者のための専用窓口として、乗船のための手続きや乗下船のスケジュール管理を行うのが、IODP推進室所属の布施暁子だ。「研究者の方たちにとって、本当に充実したプロジェクトになることを望んでいます。研究者の方ももちろんでしょうが、私も楽しみです」と、日本女性ならではのホスピタリティで研究者への対応にあたる。

9月の本格始動を前にまず彼らが行ったのは、「ちきゅう」の乗船場所へのアクセス情報作成だ。掘削計画の第1陣乗船者の「ちきゅう」乗船基地となるのは和歌山県新宮港。また第2陣以降に、紀伊半島沖熊野灘に掘削作業中は定点保持している「ちきゅう」への送迎ヘリポートの場所となるのは三重県南伊勢町だ。いずれの場所も、成田空港や関西国際空港などに海外から到着する者にとって、必ずしもアクセスが良いとは言えない場所にある。そこで又川は、目的地が一目でわかるロケーションマップをはじめとする、到着空港別に鉄道料金や所要時間が記載された、目的地までのアクセスを説明する詳細なルート



写真左から

CDEX運用管理室運航管理グループ・又川孝司

CDEX IODP推進室計画調整グループ・福富淳

乗船研究者対応を行う

CDEX IODP推進室計画調整グループ・布施暁子

ガイドを用意した。「日本人であっても周辺地域に住む人でなければ、新宮と聞いて行き方がすぐわかる人は少ないでしょう。ましてや日本が初めての外国人をどうやって迷わず案内するかを考えた時、複雑な乗り継ぎを分解したルートガイドが必要だと判断しました」と又川。旅行ガイドになった気分では、そんな問いに又川は「まったくその通り」と笑う。

乗船までに研究者自身が用意する必要のあるものや、手続きしておかなければならないこと、提出書類などのチェックリストも用意した。例えば「ちきゅう」では、出航後の乗下船はヘリコプターで行うことになる。そのため乗船者は全員が緊急脱出訓練を受けておく必要があるのだ。「研究者たちの安全を確保することも大事なこと。自国で受けていただいても良いし、日本でも乗船前に訓練の機会を準備しています」と又川。研究者のことを考え細かな注意が案内書には盛り込まれた。

すでに乗船案内書の発送を終えたが、これで彼らの仕事が終わったわけではない。本当に忙しくなるのはこれからと福富は話す。「このプロジェクトは数ヶ月で終わるようなものではありません。これから何年もかけて積み上げていくプロジェクトなのです」。その言葉の中には、研究者たちへの期待と共に、それを支えるスタッフたちの成功に向けた強い意志が込められていた。

科学館で「ちきゅう」を知ろう!

今年9月から始まる「南海トラフ地震発生帯掘削」を目前に控え、統合国際深海掘削計画 (IODP) についてもっと知ってもらうために、積極的に各地でイベントを実施しています。今回はその中から、2つのイベント情報を紹介します。

南海掘削開始直前! 「ちきゅう×地下×みらい」 IODP研究者によるトークイベントが開催されます



「ちきゅう」のIODP開始が直前に迫った8月から全5回にわたって、IODPの研究テーマに取り組んでいる科学者によるトークイベントが日本科学未来館 (東京お台場) で開催されます。同館での企画展「地下展」に先立ち、津波を起こすような巨大地震発生メカニズム、地下に広がる不思議な生命圏など、「地下」をキーワードにしながらIODPの研究をご紹介します。乗船を間近に控えた「南海掘削」プロジェクトの科学者達が登場。簡単な実験・実演を交えながら、普段は目に見えない「地下」の世界の話や、「ちきゅう」乗船への意気込みに触れられる絶好の機会です。参加申し込みなど詳しくは、日本科学未来館ウェブサイト www.miraikan.jst.go.jp、もしくは「ちきゅう発見ウェブ www.jamstec.go.jp/chikyu/」まで。

トークイベント

ちきゅう
×
地下
×
みらい

日本科学未来館
[東京都お台場]

第1回 8月18日 (土) 「地下世界～足下は意外と遠いんです～」

👉 芦 寿一郎 東京大学・「IODP南海掘削」第315次研究航海共同首席研究者

第2回 8月19日 (日) 「未知生物～地下にも生物がいるんです～」

👉 高井 研 海洋研究開発機構 極限環境生物圏研究センター 地殻内微生物研究プログラム・プログラムディレクター

第3回 8月26日 (日) 「巨大地震～いつかそれがやってくるんです～」

👉 木下正高 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター・「IODP南海掘削」チーフプロジェクトサイエンティスト

第4回 9月2日 (日) 「南海掘削～「ちきゅう」が地球を掘るんです～」

👉 木村 学 東京大学・「IODP南海掘削」プロジェクトマネジメントチーム・第316次研究航海共同首席研究者

第5回 9月8日 (土) 「地下万歳～皆で掘る 地球の神秘とその謎を～」

👉 平 朝彦 海洋研究開発機構 理事・地球深部探査センター センター長

「地球環境とフロンティア (5F EX5)」にある

常設展示「深海掘削からわかる地球のしくみ」もどうぞご覧ください。

日本科学未来館 ウェブサイト: <http://www.miraikan.jst.go.jp/> 所在地: 東京都江東区青海2-41

国立科学博物館で、地震の巣(南海トラフ)に挑戦! 「2007夏休みサイエンススクエア」

上野の国立科学博物館で行われた「2007夏休みサイエンススクエア」において、8月1日から5日まで、JAMSTECのブースを出展いたしました。今年のテーマは“地震の巣(南海トラフ)に挑戦”として、地球深部探査船「ちきゅう」と南海掘削をメインにした展示とクイズを行いました。イラストや模型を使用して分かりやすく紹介したので、夏休み中の子供たちも楽しんでくれたようです。



「日本列島の素顔 (日本館3F南翼)」にある

「ちきゅう」関係の展示もどうぞご覧ください。

国立科学博物館 ウェブサイト: <http://www.kahaku.go.jp/> 所在地: 東京都台東区上野公園7-20

南海トラフ地震発生帯掘削により、地震研究は必ず進歩を遂げる!

海外試験掘削を経て 計画、設備、支援体制も万全に

「ちきゅう」の完成後、下北半島沖でのシステム統合試験や、アフリカ・ケニア沖、オーストラリア沖で海外試験運用など、2年間をかけて試験運用を行ってきました。荒天に苦しめられたりもしましたが、おおむね目標を達成することができました。世界最高の掘削能力を持つ船だと自負していますが、その設備や機材は今までにない大きさやレベルのもの。それを運用するために、何名ぐらいのチーム編成にするか、またスタッフの能力構成は、など実際の運用実績を積まないとわからない部分があったのですが、試験運用でその部分も解消できました。現在、南海掘削に向けて最終の乗船者の調整や、陸上側のサポート体制の準備もだいぶ進み、ステージ1のスタートに向け、万全な状態が整ったといえるでしょう。

もちろんこのプロジェクトは、今後、10年、20年と続いていくもの。技術的な蓄積とともに人材育成も行っていくかなければなりませんので、これではい終わりというわけにはいきません。気を引き締め直して、常に次のステップのことを考えておく必要があります。

世界で初めてとなる LWDによる科学掘削

ステージ1で最も注目すべきは、科学掘削史上では初めてとなる本格的なLWDテクノロジーを用いた掘削です。南海掘削では、6つのサイトを掘削する予定ですが、今回のステージ1の最初の航海で、この6サイトすべてをLWDで計測しながら掘削します。掘削深度としては海底下約600メートルから約1,400メートル。全サイトを同じ手法で掘削して共通データを取ることで、本海域における南海トラフの地層の特徴の全体像を知ることができます。巨大地震の発生するプレート境界において、このようなデータをとるのは初めてです。その結果、熊野海盆の地史や岩石の固さ、割れ目の方向、隙間に存在する水の状態、流れなど、地震発生と密接な関係を持つと予想される性質が、かなり明らかになってくるのではないのでしょうか。

世界中の研究者が注目する 歴史的ターニングポイント

今まで地震というものに対しては、自然現象としての地震の研究と、地震が我々に与える影響や防災など一連

の社会現象としての理解とが、分離していた、何かバラバラであったと思います。このプロジェクトは、掘削結果に科学者だけが満足すれば良いというものではありません。歴史的に見て南海地震は、近い将来に必ず来るでしょう。地震に対する国民の不安は高まっており、日本は災害に強い国にならないといけない。科学計画自体の目標はもちろんありますが、本当の意味での到達目標は、災害に強い国を作ることなのです。

巨大地震とは、いったい何なのか、私たちはまだ理解できていないと思います。津波が実際に襲ってくる映像を目にしたのも、2004年のスマトラ沖地震が初めてでした。どこでどのようにして起こり、それがどのように伝わっていくのか、そのメカニズムを理解することで、初めて防災への第1歩となるでしょう。科学者達がリーダーシップを発揮し、地震に関するしっかりと科学的根拠を確立しなければなりません。今日、明日に地震を防げるというものではありませんが、これをやらすして日本の将来設計はできないと思います。

世界中の研究者も、このプロジェクトに協力するために動き出しています。私を含め、科学者たちの発するメッセージが1本の流れとなり、大きな川となってこのプロジェクトに流れ込んできています。その流れを今度はいろんな分野に役立てていけるように、周囲の目をもっとここに向けさせなければと感じます。

「ちきゅう」という船ができたことで、地震に関する理解は必ず変わります。「ちきゅう」以前、「ちきゅう」以後という、いわば歴史的なターニングポイントとなる瞬間です。地球科学者の使命として、プロジェクトの成功に向けて取り組んでいきます。



1990年に、初めて共同首席研究者として南海掘削に挑戦した時には、自らデザインしてTシャツを作った。その時の図柄をバックに、意気込みを語る平朝彦センター長。

Close Up

IODPの掘削航海に新宮港から出発します!



この航空写真は、「ちきゅう」が南海掘削を行っている期間に資材基地となる新宮(しんぐう)港です。紀伊半島の南端部に位置する和歌山県新宮市は、世界遺産登録された熊野古道や、古の信仰の山々があるところとして広く知られています。また熊野酸性岩類と呼ばれる火成岩が広く分布し、これらは今から約1500万年前に日本列島が現在の形ようになった地質事件に関連した火成活動によってできた岩石です。地球の歴史と、人々の文化の歴史が刻まれた美しい港から「ちきゅう」は発進していきます。