

# 地球発見 CHIKYU HAKKEN

EARTH DISCOVERY

SPECIAL TOPIC 1 :

南海トラフで孔内地震観測装置の設置に成功

SPECIAL TOPIC 2 :

沖縄熱水域掘削で数々の成果達成



CONTENTS

SPECIAL TOPIC 1

1 南海トラフで孔内地震観測装置の設置に成功

SPECIAL TOPIC 2

7 沖縄熱水域掘削で数々の成果達成

GRAPHIC GUIDE

9 マントルからのコア採取をめざして改良中  
コアリングシステム

DISCOVER THE EARTH

11 海底下深部褐炭層の生命活動を探る

FACE

12 円滑な掘削に向け采配を振るう監督役  
ツールプッシャー

CDEX DECK

13 「ちきゅう」がチャレンジする姿を  
多くの人々に体感してほしい!

FOR THE FUTURE

14 海底下掘削の難関を乗り越えて  
さらに大きな科学成果につなげたい

CLOSE UP

「ちきゅう」お正月のひとこま



SPECIAL TOPIC 1:

# 南海トラフで孔内地震観測装置の設置に成功

2010年10月～12月、地球深部探査船「ちきゅう」は、統合国際深海掘削計画 (IODP) 第332次研究航海を実施し、紀伊半島沖に位置する東南海地震震源域の海溝側の端 (C0002地点) で海底下980mのライザーレス掘削を行った。さらに今回の研究航海では、地震断層やその周辺の変動を高感度・高精度に観測するための、長期孔内観測装置を掘削孔内に設置する難しい作業にも成功した。



取材協力

荒木 英一郎 博士

海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト  
技術開発グループ



# 掘削孔に長期孔内観測装置を設置 巨大地震断層の監視の実現に向けて大きな進展

## 南海掘削の新たなチャレンジ

統合国際深海掘削計画 (IODP) 第 332 次研究航海は、南海トラフ地震発生帯掘削計画 (南海掘削) 「ステージ 2」の一環として、2010 年 10 月下旬からおよそ 50 日間にわたって実施された。

その内容は大きく 2 つに分けられる。ひとつは 2009 年 5 月～ 8 月に行われた IODP 第 319 次研究航海で掘り抜いた掘削孔内に設置された観測装置の回収と新規観測装置 (一時的孔内観測装置) の設置だ。この掘削孔 (ライザレス掘削、ケーシング深度は海底下 544.3m) は、地震発生帯から延びる巨大分岐断層最浅部 (C0010 地点、水深 2,523.7m) にあり、掘削孔を閉じるプラグ (栓) 部分に、分岐断層における孔内間隙水圧および温度を測定するための装置が設置されていた。これを、今回「ちきゅう」船上からパイプを降下させて回収したのだ。回収された観測装置には、設置から約 15 カ月間の水圧・温度に関する良好なデータが記録されていた。なかでも水圧では、予想されていた潮汐に対する地層間隙水圧の応答だけでなく、環太平洋域で発生した地震・津波の形跡や、それに伴う地殻の変形を示唆する結果も得られている。そして、観測装置を回収した C0010 地点の掘削孔には、水圧・温度に加えて、地層内流体の変化の把握に必要な採水機能、さらに微生物の採取・現場培養機能を備えた、新たな孔内観測装置の設置が行われた。

今回の研究航海のもうひとつの目的は、新たにライザレス掘削で海底下約 1,000m の掘削孔を掘り、そこに長期孔内観測装置を設置するというものだった。掘削地点は、100 年から 150 年の間隔でマグニチュード 8 クラスの巨大地震を引き起こしている紀伊半島沖の熊野灘に位置する東南海地震源域の海溝側の端にあたる C0002 地点 (水深 1,937.5m)。この地点は、将来、超深度ライ



海中に降ろしながら孔内観測システムを組み立てていく。作業は「ちきゅう」のムーンプール上で命綱をつけて行われた。

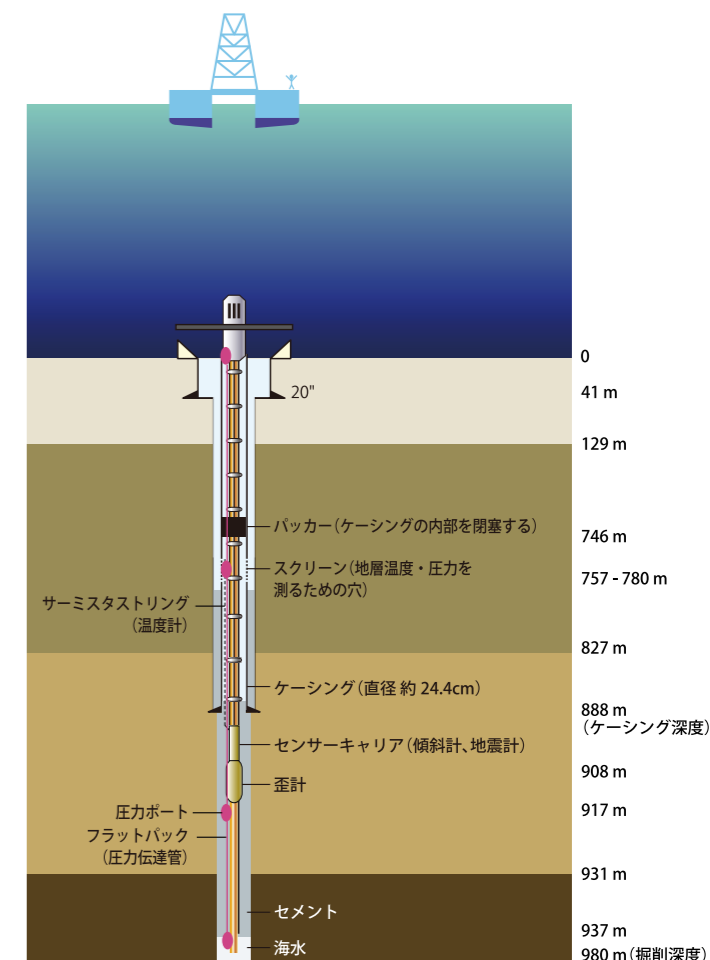
ザ掘削の実施も予定されている。ここに、広帯域地震計やひずみ計、傾斜計、温度計、間隙水圧計、強震計など、恒久型の孔内観測装置を設置し、地震断層やその周辺の地殻の挙動を高感度・高精度に観測・監視しようというわけだ。さらに、今回設置される長期孔内観測装置は、現在この海域に展開されている地震・津波観測監視ネットワーク (DONET) にも接続されることが計画されている。

## 黒潮潮流という難関を克服

最初に取り掛かった C0010 地点の掘削孔での観測機器の回収および再設置を 11 月中旬に完了させた「ちきゅう」は、一旦清水港に寄港した。そして 11 月 27 日、「ちきゅう」は掘削サイト C0002 海域に向けて出港。いよいよ長期孔内観測装置の設置に向けた作業が開始された。「観測装置類は、海底下約 1,000m の掘削孔の最深

部、およそ 800m から下に設置されます。そのため、装置類はチュービングと呼ばれる長い鋼管の先端部分に搭載されています。つまり、装置類は海底からさらに孔内を約 1,000m 降ろされるわけです。孔内のケーシングの内径は約 21cm、そこに直径約 9cm のチュービングが通されます。その周りには、ケーブルや細いパイプなどが添わされています。もし降ろす途中で孔壁にこすれてケーブルなどを傷つけてしまったら、それでおしまいです。付加体の地層は不安定なため掘った孔を安定に保って、そこに観測システムを安全に入れていくのは、それだけでもたいへんな作業です」と今回の研究航海の共同首席研究者・荒木英一郎博士は話す。しかし、荒木博士をはじめとする研究者たちを、さらに苦しめたものがあつた。それは現場海域を流れる黒潮の潮流だった。

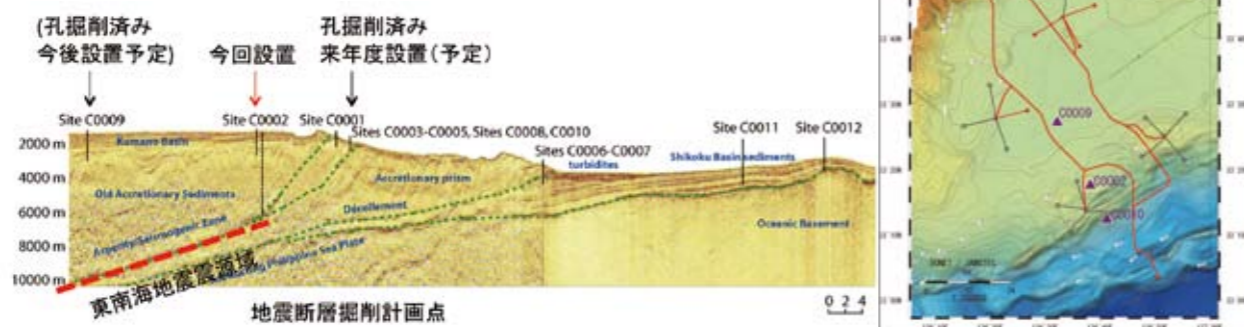
黒潮の恐ろしさを実感したのは、研究航海のおよそ 1 年半前。IODP 第 319 次研究航海の際に実施された、長期孔内観測装置の予備設置試験だった。観測装置を搭載したチュービングをドリルパイプの先に設置し、海底へと降ろすためのオペレーションを練習するのがねらひだった。ところが、このとき予想外のトラブルが発生した。黒潮の時速 7 キロを超える強潮流にさらされたドリルパイプは、身をくねらせるように激しく振動し始めたのだ。これは流れの下流側に発生する渦に、パイプが引っ張られることによって発生する「渦励起振動」と呼ばれる現象だ。振動にさらされたパイプを回収すると、観測装置は大きなダメージを受けており、バラバラに壊れてしまったものもあつた。観測装置を振動に耐えられる丈夫なものにしなければいけない、そして何よりも、振動を低減する方法を見つけなければいけない。予備試験は、研究者らに思わぬ課題を



長期孔内観測装置の模式図

突き付けた。「それまでは、設置後、いかに高精度の優れた観測を行うかを考えてきましたが、実はそれ以前に大きな障害があることがはっきりしたのです。残された時間は 1 年あまり、その間に何とかしなければなりません」と荒木博士は当時を振り返る。

荒木博士らは、地球深部探査センター (CDEX) の技術開発グループをはじめ、実際に船上で運用を行うスタッフらとともに、何度もミーティングを繰り返し、議論を重ねた。降下させるドリルパイプの先端に錘をつけたらどうだろうか、ドリルパイプの太さをかえたら振動の状態が変わるのではないかと——さまざまなアイデアが提案された。本番まであと半年ほどとなった 2010 年 3 月、それらを実際に試して最良の方法を見つけようと、再び「ちきゅう」船上で試行実験が行われた。いくつかのアイデアが試されるなか、思わぬところから解決策が見つかった。それはドリルパイプにロープを添わせるという方法だった。当初、ロープは孔内観測システムのチュービングに添わせるケーブルの代用品として用意された。ところが、このロープを添わせた観測システムを海中に送り込んだところ、ほとんど振動が起きていないことが確認されたのだ。「ロープをパイプに添わせるとなぜ振動が起きないのかは詳細な解析が必要ですが、ロープが邪魔をして渦ができにくくなっているのではないかと思います」と荒木博士は推察する。とにかく、大きな障害となっていた振動の問題は、予想外の方法で解決した。



第 332 次研究航海では、C0002 地点の海底下約 1,000m の掘削孔に、長期孔内観測装置を設置した。



地震計や傾斜計などの観測装置をフレームに固定していく作業。



観測装置類を固定して組み上がった約7mのフレーム（手前）。



ドリルパイプに4本のロープを添わせることにより、黒潮潮流による振動を抑えることができた。



長期孔内観測装置を設置した掘削孔の孔口部分に置かれるROVプラットフォームとコネクター部。プラットフォームの直径は約5m。

さらに、観測装置も多少の振動を受けても壊れないよう、さまざまな工夫が凝らされた。観測装置そのものを保護する仕組みを強化するとともに、観測装置を固定したり、まとめたりするフレームなどのツール類も見直され、より頑丈で振動が起きにくい構造に改められた。しかし、3月の試験の後は、改良もその確認作業も陸上で行わざるを得なかった。そして半年あまりが経過し、いよいよ長期孔内観測装置の設置をめざす研究航海が本番を迎えたのだった。

### 設置成功はチームワークのおかげ

C0002 地点の掘削孔に長期孔内観測装置を設置するため、「ちきゅう」が最初にめざしたのは、C0002 地点から約40km離れた海域だった。黒潮の潮流の影響を受

けない場所で、できるだけリスクを避けながら観測システムを組み立てようというのだ。観測システムの長さは掘削孔の深さと同じ980m。およそ800mから下に観測装置類が搭載され、上部は孔口までケーブルなどを添わせたチュービングがのび、孔口部分にはコネクター類がセットされたプラットフォームが、掘削孔をふさぐようにセットされる。この観測システムを、「ちきゅう」の開口部ムーンプールで、パイプをつないで組み立てながら、海中に降ろしていくのだ。観測システムの組み立てが完了すると、今度はこのシステムを海中に吊り下げたまま、C0002 掘削孔まで移動する。繊細な観測システムへの影響を極力減らすため、「ちきゅう」は0.5ノット（時速約1キロ）という非常にゆっくりとした速度で、潮流を監視しながら、

1日以上かけて進んでいかなければならなかった。

C0002 掘削孔の直上に到達すると、今度は船の位置を一定に保ちながら、ドリルパイプをのぼし、孔内に観測システムを送り込んでいく作業が行われた。強い潮流のなか、ドリルパイプに添わせたロープは、本番でもしっかりとその役割を果たし、振動を抑えてくれた。それでも、水深約2,000mの海底に開けられた小さな掘削孔に観測システムを入れるのは、まさに難作業だ。「ちきゅう」船上では、誰もが掘削孔付近に潜航した無人探査機から送られてくる映像を食い入るように見つめながら、長期孔内観測装置の設置成功を祈った。

作業は昼夜を問わず行われていた。そして、孔内へシステムが無事に送り込まれ、観測装置類の動作確認が行われ

た。続いて孔内にセメントが流し込まれた。孔内に空間が残ると、水が動き回ることなどで大きなノイズが出てしまうためだ。セメントで埋めることによって、完全に観測装置類を地下に封じ込めたわけだ。観測装置の固定が完了すると、ドリルパイプが切り離され、「ちきゅう」に回収された。これで長期孔内観測装置の設置作業が無事に完了した。12月9日午前4時のことだった。

「設置に関しては100%、いや120%の出来といってもよいと思います。準備の段階で、何度も壁にぶつかりましたが、それを越えることができたのは、やはりチームワークのおかげだと思います。目標をみんなで共有して、知恵を出し合う、その力がとても強かった。『ちきゅう』がさまざまな困難を乗り越えて前進しているのも、そうしたチームワークがしっかりできているからだと思います」と荒木博士は話す。「とはいえ、観測システムの開発を担当している私たちとしては、設置が成功したことは、ひとつのマイルストーンでしかありません。何より高精度の観測が実現し、そのデータが役立つことで、初めてやってきたことが意味を持つわけですからね」と荒木博士。

2011年3月には、海洋調査船「かいよう」と無人探査機「ハイパー・ドルフィン」を用いて、今回設置した長期孔内観測装置にレコーダーを接続し、本格的な観測が開始される。エアガンを用いた孔内実験なども行われる予定だ。さらに長期孔内観測装置は、近い将来、この海域に展開されている地震・津波観測監視ネットワーク（DONET）に接続されることになっている。また、現在、一時的孔内観測装置が設置されているC0010掘削孔や、ライザー掘削によって海底1,603.7mまで掘られたC0009掘削孔への長期孔内観測装置の設置も計画されている。なかでも、DONETへの接続によってリアルタイム観測が実現すれば、DONET海底観測点と連携したデータ解析体制が構築されることになり、地震・津波の監視能力の向上に貢献することが期待されている。

## 第332次研究航海乗船研究者・スペシャリストの声



セバスチャン・ハマースシュミット  
**Sebastian Hammerschmidt**  
孔内計測スペシャリスト  
ブレーメン大学（ドイツ）

私の主な任務のひとつは、LTBMS（長期孔内観測システム）設置のためのLWD（掘削同時検層）とMWD（掘削同時計測）によるパラメータを正確に評価することでした。これを行うことで、非常に高度な孔内観測装置の設置という骨の折れる任務を行う、孔内計測エンジニアたちの役に立てただけでなく、自分自身の技術的、地質学的な視野も広がりました。「ちきゅう」によるIODP第332次研究航海は、大学院生である自分にとって本当に素晴らしい経験でした。これからも、他の学生が自分と同じように、研究航海への参加という素晴らしい経験をする機会があるよう願っています。



ショーン・トシコ  
**Sean Toczko**  
JAMSTEC/CDEX 研究支援統括

今回の研究航海では、IODPと「ちきゅう」において、いくつか画期的な進展がありました。我々は、NanTroSEIZEプロジェクト（南海トラフ地震発生帯掘削計画プロジェクト）史上初の恒久型孔内観測装置を設置し、さらに昨年設置した、一時的な孔内観測装置から初めて長期的な孔内間隙水圧と温度データも回収しました。これまでのところ、孔内観測装置は良好に動いています。来年実施予定の、長期孔内観測装置のDONETへの接続や、今回の航海で設置した、新機能を持つ一時的孔内観測装置による地球化学的、生物学的データについても期待されます。これらがもたらすであろう科学成果に、本当にワクワクしています！



**難波 康広**  
JAMSTEC/CDEX  
孔内計測エンジニア

今回の航海では、巨大地震発生メカニズムの解明および地震発生時のリアルタイムデータ取得等に資する観測を可能とするべく、長期孔内観測装置の設置を行いました。作業は、水深約2,000mの深海底下の内径約220mmの鋼管を通して、長さ約950m・最大外径約200mmの観測装置を高潮流下で降下設置するというたいへん困難なものでしたが、この間、インターネットを介して作業状況を逐次発信したところ、これを見た皆様から多くの応援を頂けたことがたいへんうれしく、また勇気づけられました。

# 沖縄熱水域掘削で数々の成果達成



これまでの深海熱水掘削がいずれも十分なコアが採取できずに終わったのに対し、沖縄熱水海底下生命圏掘削 (IODP 第331次研究航海) では50%近いコア回収に成功。黒鉱の発見や熱水域の全体像解明につながる成果を挙げた。

## 今までにない高率でコア回収に成功

深海熱水域の掘削は極めて難易度が高い。今までに4度の科学掘削が行われているが、コアの回収率は総じて10%以下。回収されたサンプルも良好なものとは言えなかった。ところが、今回、沖縄の伊平屋北で行われた熱水域掘削航海では、コアの回収率は50%近くに上った。その理由は、まず高井研博士率いる日本人科学チームが、綿密な事前調査で掘削およびコア回収可能な地点を選定していたことと、もうひとつは「ちきゅう」の掘削技術力の高さにあった。「掘削方法のオプションが豊富で、うまくいかなければ別の方法にかえるという戦略をとれたこと、狙ったポイントがきちんと掘れる『ちきゅう』自体の能力、そして現場の判断のよさが総合して今回の成功につながりました」と、高井博士は総括する。

それでも、高温で硫化水素の多い地層を掘削しコアを採取するには、一筋縄ではいかない難しさがあった。典型的なのが掘削地点C0014のポイントGである。当初の予想通り、硬い地層とやわらかい地層が交互に現れる掘削の難しい地点であったため、コアを短くして少しずつ掘り進んだ。「コアの長さを短くして掘削回数を増やすと時間がかかるが、長くするとゼロ回収が増える。次の地層がどのような状態か予想して一番いい手を打っていかねばなりません。ドリラーと研究者が一体となった努力が実って、掘削にとっては一番の難敵である地層を掘り抜くことができたのです」(高井博士)

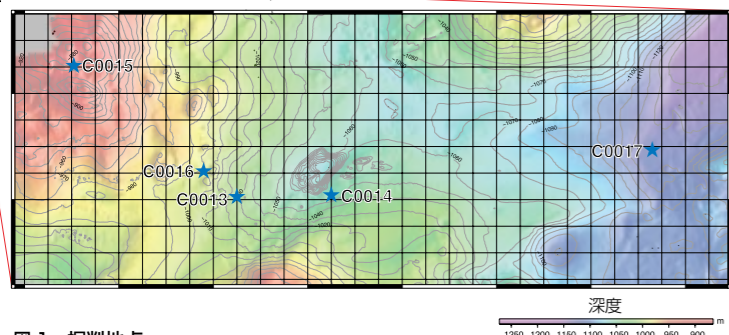


図1 掘削地点  
沖縄トラフ伊平屋北熱水域。C0013～0017の5カ所が今回の掘削地点。



取材協力  
高井 研 博士  
海洋研究開発機構  
海洋・極限環境生物圏領域  
深海・地殻内生物圏研究プログラム

あまりの高温に水圧式ピストンコアシステムのプラスチック製インナーが溶け、急きよ和歌山県の新宮からアルミ製のものを運んだり、最後に引き上げたドリルビットの刃がぼろぼろに欠けていたり、想定外の事態も起こった。またワイヤーラインシステムの重要さがクローズアップされ、今後のコアリングへ向けても貴重な経験の場となった。

## 予想を超えた巨大「熱水だまり」を確認

掘削を進めると「キャップロック」という最初の硬い地層が現れ、そこを掘り抜くと熱水が吹き出した。掘削前には、掘削を開始するとまず、熱水が現れては消えるという繰り返しがあり、網目状に広がる熱水の隙間に微生物がいるのではないかと予想していた。しかし実際には、海底下には高温の熱水、あるいは熱水変質帯が続いていた。化学組成からも、最初のキャップロックの下に、さらに何層も現れるキャップロック層の隙間は全部熱水で埋まっており、海底下に大規模な「熱水だまり」があることがわかった。

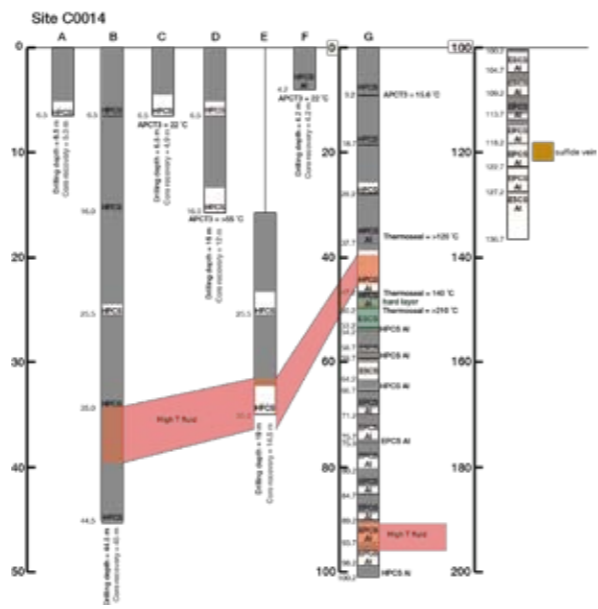


図2 C0014の掘削状況  
灰色はコアが取れた部分、黒い線はコアリングの回数を示す。赤で示されているのが熱水噴出部分。Bは地層が比較的やわらかく、水圧式ピストンコアシステムで順調に採取できた。しかしGは掘削が難しく、さまざまな方法を駆使しコアを短くして採取している。

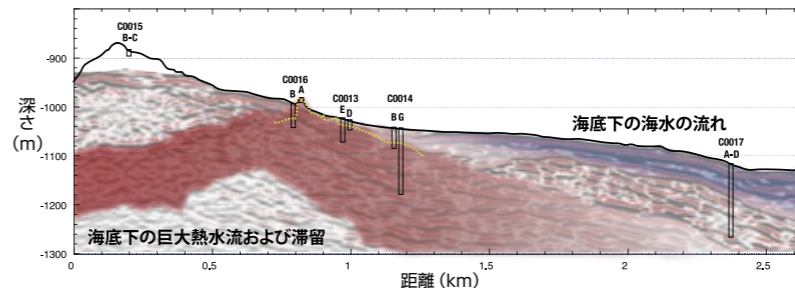


図3 世界最大の海底下熱水湖  
5掘削地点の断面図。C0013は熱水から100m、C0014は500m離れている。C0013は海底下数メートル、C0014は海底下約20mにキャップロックという最初の硬い地層が現れ、その下には巨大な熱水だまりがある。C0013、C0014、C0016では熱水の噴出が見られ、熱水の流れがある。2km近く離れたC0017を150m掘ると温度が上昇しすぐに30℃を超えることから、C0017の下にも、C0013やC0014で見られたような構造があり、熱水がたまっていることが予想される。

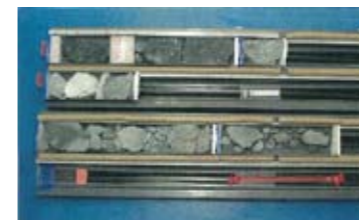


図4 海底下で生成されている黒鉱  
コアの中から見つかった、海底下の黒鉱。まさに現在、熱水によって黒鉱の鉱床が生成中と考えられる。

面下の温度から推測すると、噴出孔より2km近く離れているC0017の下にも熱水がたまっており、半径2km以上に及ぶ海底下の熱水湖があるのは間違いないと考えられる。当初の予想では、熱水が岩の隙間を網目状に上がってきて海底に流れ出て行くというイメージをアマゾン川になぞらえていたが、実際に掘削してみると、まるでアマゾン川に河口堰があり大量の水が滞留しているかのような構造が見えてきた。

さらに、ある程度深く掘れたコアに含まれた熱水を調べると、上には塩分が薄い熱水、下のほうには塩分の濃い熱水が存在した。密度勾配で成層する現象が、この海底下熱水湖でも起きているのだ。沖縄付近の熱水は310℃付近で沸騰し蒸気と水に分かれ、塩分を含んだ水の塩分がさらに濃くなるであろうとは考えられてきたが、これまでの熱水探査では海底で塩分の濃い熱水の存在をとらえることができず、謎として残されていた。その現象を、今回世界で初めてとらえることができたのである。

## 黒鉱鉱床生成の謎に迫る

熱水マウンド\*の真横にあたるC0016の掘削では、最初に採取された9mのコアの中に1.5mほどの黒鉱が含まれていた。黒鉱とは、金、銀、レアアースを含む鉱石である。黒鉱が見つかった深さは海底下約7～8m、一番上のキャップブロックの辺りで、それがチムニー全体へとつながっていた。熱水マウンド自体のコアは回収できなかったが、掘削によりブラックスモーカーが噴出したことから、マウンドは黒鉱の塊であると考えられる。さらにマウンドの“根”にあたる部分からも黒鉱が採取された。伊平屋北の現在の熱水はクリアスモーカーで、一見鉱床を作る能力がないように思えるが、今もその下では黒鉱が蓄積している



図5 人工熱水噴出孔

のである。掘削コアに含まれる鉱物の量を熱水の広がりにつけ合わせると、伊平屋北の熱水の下には世界最大規模の黒鉱鉱床があり、現在もそれが成長し続けていることになる。

日本国内では、東北地方の日本海側に、黒鉱ベルトと呼ばれる地域があるが、その生成メカニズムは明解な説明がなかった。「過去にこの地が海底にあったころ、多くの熱水活動が連なって鉱床ができ、その後火山活動が起こって鉱床を覆ったため酸化的な海水で溶かされることなく残った」という説が大前提だったが、伊平屋北の掘削結果からは、それとは異なった生成メカニズムが見えてくる。沖縄トラフでは海底面にも黒鉱のマウンドがあるものの、実はそれ以上に海底下で鉱床が成長しているからである。この種の熱水だまりは半径10～20kmの広さで起こっている可能性があるため、20kmないし30kmおきに熱水が連続すれば、東北地方で見られるような黒鉱のベルトは生成可能である。鉱床生成のメカニズムを、今回の掘削でほぼ明らかにすることができたことも大きな成果の一つである。

## 今後の研究への期待

掘削後の孔にはケーシングをし、特定の深さで熱水が水平方向に流れるようにした。コントロール可能な人工熱水噴出孔の形成も世界初の成果だ。今回は噴出した熱水が採取できなかったため、2011年2月には人工熱水噴出孔からの熱水を採取し分析する予定である。

高井博士は、人工熱水噴出孔の活用について、「2つはケーシング入り、1つは自然状態、もう1つはキャップだけがしてあります。これらの熱水が自然噴出の熱水とどう違うのか興味深いところですし、ウエルヘッドキャップの先端部分には熱水の近くで生息するコシオリエビやシロウリガイが見つかりません。人工熱水噴出孔は長期間の研究に使うことができ、今後は半年に1回、調査に行く予定です」と語る。

また、海底下の構造が予想と異なった分、スケールが小さくなったというものの、微生物の研究でもよい結果が出始めている。いくつかのキャップロックの上側に、熱水に依存した微生物の世界が存在する可能性が見えてきたのだ。1年以内には海底下熱水域の微生物の世界について新たな知見が得られそうである。

\*熱水マウンド…海底熱水の噴出孔あたりにできる、小さな丘のような地形。

マントルからのコア採取をめざして改良中

# コアリングシステム

掘削深度が増すほど、高圧により、岩石はより硬く高温となる。そのような状況下でも、より多く、より速く、質の高いコアを採取すべく、たゆみない技術開発が行われている。



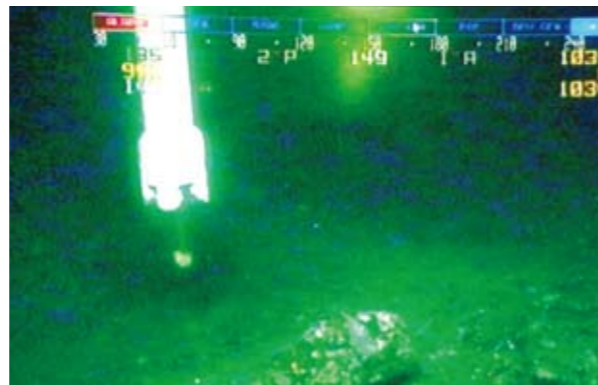
最優秀論文賞のプレートを手にする眞本さん。

現在のコアリングシステムは、大きく2タイプある。一つは、主に比較的浅くやわらかい堆積層に用いられる「水圧式ピストンコアシステム」で、ピストン作用を使ってコアバーレルを地面に突きさし、コアを採取する方式だ。もう一つは、主に硬い地盤に用いられる、「ロータリー式コアバーレル」で、コアバーレルを回転させてコアを削り出す。コアバーレルの先端には岩石を削る「コアビット」が装着されており、削り出されたコアは、ワイヤーを使ってコアが入っている内側の筒だけを回

収することができるため、地層が変化するところでも連続的にかつ安定的にコアを採取できる。これを「ワイヤーラインコアリングシステム」と呼ぶ。

このように掘削にはさまざまな技術が使われているが、それでも常に、質の高いきれいなコアを採取できるわけではない。コアに傷がついたり、コアリングツールからの泥水によって砂礫層の砂が流されて残ったのは砂利だけということもある。そこで地球深部探査センターでは、コアビットの改良を行った。まずコアがブレードに当たって傷がつくことのないよう、ブレードの数を減らした。またコアの洗い流し防止のために先端を尖らせ、コア側に泥水が当たらず、同時にコアのつまりも防ぐようにした。改良したコアビットを使用したところ、ブレードへのコアの引っかかりや泥水による洗い流しの問題が解消され、砂岩や泥岩でも良好な状態のコアが取れるようになった。それを論文にした地球深部探査センター技術開発室・眞本悠一技術主任は、日本地層評価シンポジウムの第15回最優秀論文賞を受賞している。

「ちきゅう」の最大の目的は、マントルに到達してコアを採取することだが、温度250℃、圧力1000気圧以上にもなるため、現状の技術では困難である。また、マントルは非常に硬く掘削に時間がかかると予想されるため、掘削スピードも同時に上げていかなければならない。高温のコアを熱いまま、できるだけ状態を変えずに採取することも、



海底に降下されるコアリングシステム先端部

大きな課題の一つだ。

そこで現在、「大深度コアビット」「タービン駆動コアリングシステム」「コア採取同時計測検層ツール」という技術開発が進められている。

大深度用コアビットは、コアビット成形の際にダイヤモンドの粒を均等にボディに混ぜ込んである。掘削の際にブレードに装着したダイヤモンドは磨耗し取れてしまうが、このビットは磨耗してもまた新しいダイヤモンドが表面に現れるため、耐久性が高い。

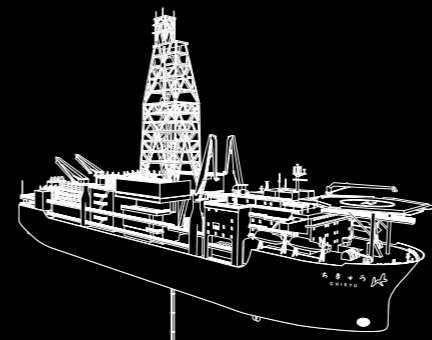
タービン駆動コアリングシステムは、泥水でタービンを回してコアを削り出す。タービンユニットの中を泥水が流れると動翼が最大1分間に8000回転し、それを減速機で回転動力（トルク）に転換。さらにその下にはピストンを設け、インナーチューブの先にある小さなコアビットを回転させつつ押し出していく。外側の筒には現在と同じく、トップドライブによる回転をかけ、コアを採取したあとを掘り進む仕組みだ。

より深く掘り進めば進むほど、コアを採取した位置の確認が難しくなる。そこでコア採取同時計測検層ツールによって掘削している傾斜と方位を計測し、無線で船上に送る仕組みを開発中だ。現在は古地磁気からの推測しかない採取時のコア自体の方向も、正確に計測できるようになる。さらに穴の中のコアビットの加重や回転数、温度や圧力も計測。コアが採取できない際にも、地層の電気抵抗や密度、ガンマ線量を計測することができるシステムも、5年以内をめどに開発中である。

## 『海洋底掘削の基礎と応用』が住田正一海事技術奨励賞を受賞

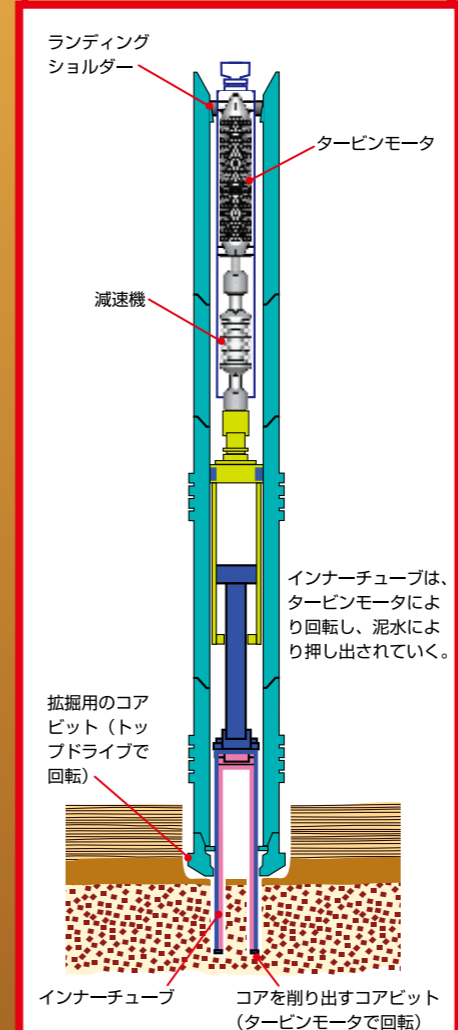


海洋研究開発機構（JAMSTEC）地球深部探査センターの研究者ほか、JAMSTEC職員5名が執筆に協力し、海洋底の掘削技術について網羅した本、『海洋底掘削の基礎と応用』（成山堂書店）が、2010年度「住田正一海事技術奨励賞」を受賞しました。



コアリングシステム

### タービン駆動コアリングシステム



### コアビットの改良

	旧	新
コアビット	 ブレードの数8	 ブレードの数5
コアビットの断面図	 コアビット コア 泥水 内側のブレードが採取中のコアを傷つけたり、コア側に泥水が流れ込む欠点があった。	 コアビット コア 泥水 ブレード数を減らし、コア側のブレードをなくした上で、泥水の流れ込みを防止できる形状とした。
採取されたコアの例	 ロータリーコア採取におけるコアの損傷 採取した砂礫層のコア 内側のブレードによってコア表面に写真のような傷がつく。また砂礫層を掘り抜く際には泥水が砂を洗い流してしまう。	 砂岩 泥岩（砂礫層を含む） 新しいコアビットで掘削すると、コアの傷や砂礫層の砂の洗い流しを抑え、きれいなコアが採取できた。

### コアリング同時計測検層システム



コアリング中は直接視覚による確認ができないため、海底深く掘り進めば進むほど、コアを採取した状況の確認が難しくなる。たとえば鉛直方向に掘り進めているつもりであっても、掘削方向が曲がってしまっているかもしれない。そこでコアリング中に傾斜、方位を計測し、無線で船上に送るコアリング同時計測検層システムが必要になる。これによってコア自体の方位も計測でき、さらにコアビットの荷重や回転数が孔の中で実際にどうなっているのかや、孔の中の温度・圧力も同時に計測できる。

### 大深度コアビット



ブレードにV字の溝をつけ掘りくずを除去しやすくし、あわせて岩石を削る部分の面積を広くし荷重を分散するようにして耐久性を上げている。泥水はブレードの間の溝から出てくる。

下北沖で海底下2,000mを超えるライザー掘削を実施

# 海底下深部褐炭層の生命活動を探る

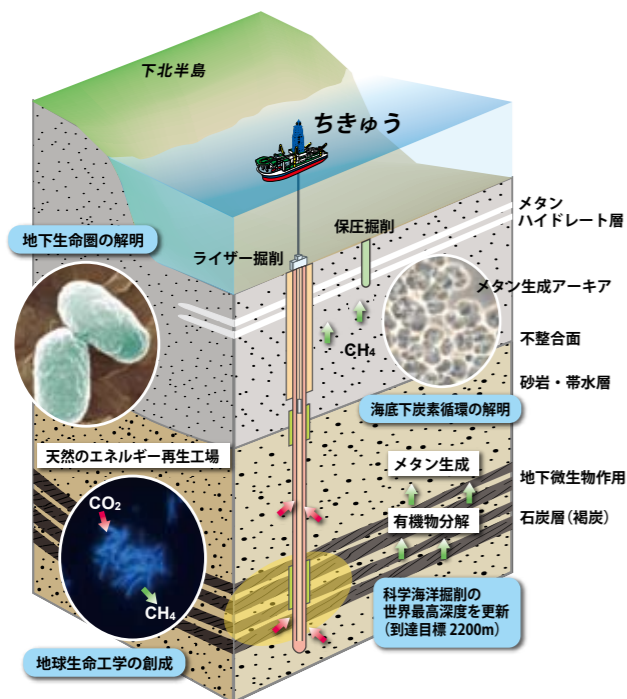
取材協力  
稲垣 史生 博士  
高知コア研究所 地下生命圏研究グループ

2011年春、「ちきゅう」は下北半島の沖合約80kmの海域で、これまでの海洋掘削科学における最高到達深度2,111mを上回る海底下2,200mをめざして、ライザー掘削を実施する（IODP第337次研究航海）。従来のライザーレス掘削では困難だったガスを含む地層を掘り抜くのは科学掘削では初めての試みであり、新発見を含む多大な成果が期待されている。

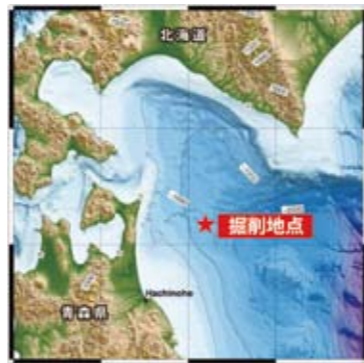
## ライザー掘削で最高到達深度更新をめざす

2006年、「ちきゅう」はシステム総合試験および操作慣熟訓練のため下北半島東方沖（水深約1,200m）において、海底下約650mまでの掘削を実施した（テストホールC9001）。2011年3月中旬、「ちきゅう」はこのC9001孔をライザー掘削によってさらに掘り進め、海洋科学掘削では未踏の海底下2,200mへの到達をめざす。この付近には、約5000万年前（新生代古第三紀始新世）の未成熟な石炭（褐炭）層があり、その上部には天然ガス域が存在する。こうした地層は、ライザーレス掘削が難しく、科学掘削は一度も実施されていなかった。

「天然ガス田を掘進し、海底下深部に埋没した褐炭層まで掘ることにより、褐炭層を母岩とする炭化水素のエネルギー循環システムの全貌が見えてくるはず。さらに、



下北沖掘削海域の海底下の構造と研究の概要



そこに微生物がどのくらい存在し、どのような役割を果たしているかという生命活動の実態を明らかにすることもできると期待しています」と首席研究者のひとりである稲垣史生博士は研究の目的について話す。「だが、そのためには大きな課題があります」と稲垣博士。それは良質なコア試料の採取だ。海洋堆積層とその下部にある陸源堆積層との境界をなす不整合面（海底下約1,800m）付近は研究にとって重要な場所だが、地層が非常にもろい場所でもあるため、汚染の少ない、きれいなコア試料が採取できるかどうかが問題となる。また、砂岩と褐炭が層構造を形成する褐炭層も壊れやすいことが予測されている。こうした場所でクオリティの高いコア試料を採取することが、掘削航海の後に計画されている海底下実環境ラボでの研究を大きく左右する。

## 海洋科学掘削が貢献する新領域への挑戦

今回の研究航海で得られる試料を用いた研究のために、実験室内に海底下の現場と同様の環境をつくり現場再現実験を行うという、海底下実環境ラボが整備されている。その新たな設備を最大限に活用するためにも、新鮮でクオリティの高いコア試料が必要だ。さらに今航海では、ライザー掘削によって船上に回収された泥水に含まれるマッドガスやカッティングスの詳細かつ連続的なモニタリングも行われ、実環境を再現するための貴重なデータとして活用されることになっている。

今回のプロジェクトでは、二酸化炭素を海底下の地層中に隔離貯留するCCS（Carbon Capture and Storage）の可能性を探ることも、大きなテーマのひとつに掲げられている。「日本の地理的な条件を考えると、海底下の褐炭層は、二酸化炭素の貯留場として、非常に有効な空間になる可能性があります。さらに、微生物の代謝活動によって二酸化炭素をメタン（天然ガス）や有機物などのエネルギー基質に再生できる可能性もあると考えています。この『バイオCCS』仮説が実証されれば、褐炭層を『海底下の森』として活用していくこともできるはず」と稲垣博士は話す。海底下の生命活動を活用したエネルギー再生・循環技術の開発といった、これまでの海洋科学掘削にはない新たな地球生命工学的な取り組みは、今後の産業界との連携も含めて大きな関心が寄せられている。

円滑な掘削に向け采配を振るう監督役

# ツールプッシャー

取材協力  
川崎 正行 ツールプッシャー

限られた時間内で目的の成果を挙げるべく、掘削に関する周到な準備を積み重ねるのがツールプッシャーの役割だ。その「準備にベストを尽くし100点満点をめざす」取り組みが、想定外の状況にも対応する力を生む。

地球深部探査船「ちきゅう」の掘削作業は、「ドリルフロア」と呼ばれる掘削エリアを中心に行われる。まさに「ちきゅう」の心臓部ともいえるエリアであり、掘削パイプをはじめとする掘削関連機器がずらりと並び様子は壮観だ。上部には重い機材が吊り下がり、高所での作業も多い。危険を伴うため、一般公開の際にも掘削エリアへの立ち入りは禁止されており「ちきゅう」のなかでも人目に触れることが少ない場所でもある。

そこできびきびと立ち動くのは、現場で鍛え上げられた屈強な肉体と判断力を併せ持つ、誇り高き掘削スタッフたちだ。掘削用のパイプを持ち上げたり下ろしたり、回転させたりと、ドリルハウス内で機械を操作し、実際の掘削を行うのがドリラー。それに対し、掘削スケジュールの管理や機材のメンテナンス、作業員の安全確保なども含め、掘削作業全般の監督を行うのがツールプッシャーである。

通常は、ラフネックと呼ばれる作業員、掘削泥水を管理するデリックマン、ドリラーの補助をするアシスタントドリラー、ドリラー、ツールプッシャーの順でキャリアの階段を上っていくが、川崎正行さんはアシスタントドリラーを務めたあと陸上勤務となり、現在「ちきゅう」で使用されているコアリングツールの改良計画を担当。その後は日本マントル・クエスト社の設立当初からのツールプッシャーとして「ちきゅう」に乗船している。

掘削航海中の時間はとても貴重である。航海の間にはできる限り多くのコアを採取し、研究成果につなげたいというのが研究者の願いだ。それを受けてツールプッシャーは、



ドリルフロアでは気の抜けない作業が続く。右がドリルハウス内で作業する川崎さん。



ツールプッシャーは事前準備から掘削作業全体に目配りする。

思わぬ事故や機材の不具合でタイムロスすることのないよう、細心の注意を払っている。「ちょっとした不注意や馴れが事故につながりやすい。毎日、注意喚起することが大切です」と川崎さん。

ツールプッシャーが気を配るのは、トラブルの芽を早めに摘むことだ。特に取り替えのきかない制御装置については、不具合が起きる前に先回りして手を打つ「プリベンティブ・メンテナンス」という方法をとっている。このような不断の取り組みが掘削航海には欠かせない。

「『ちきゅう』で、世界有数の機械を使って仕事をしていることを誇りに思うし、気持ちもいいです。タイムロスすることなく仕事が進んでいけば、これほどやりがいのあることはないですね」と川崎さん。

研究のための掘削には新たなチャレンジを強いられる局面も多く、想定外の事態もつきものだ。そのために準備に準備を重ね、いざというときの代替案を考えておく。ツールプッシャーの誇りをかけたその積み重ねが、「ちきゅう」の掘削航海を支えている。

やぐらを中心に吊り下がる機材。高所での作業も多い。



## 「ちきゅう」がチャレンジする姿を多くの人々に体感してほしい!

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、「ちきゅう」一般公開をはじめ、講演会やインターネットの映像配信など、さまざまな方法で、地球科学の新たな時代を開拓する「ちきゅう」の活動を紹介しています。



## 「ちきゅう」一般公開 通算見学者数 10万人を突破!



通算 10万人目の見学者となったご家族を迎える東センター長 (左) と箕浦船長 (右)。



「ちきゅう」ブリッジを見学する様子。



神戸港では、「ちきゅう」とともに「よすか」、「しんかい6500」も公開。

2010年度は、10月9、10日に沖縄県・中城湾港で、10月16日には兵庫県・神戸港で、「ちきゅう」一般公開が実施されました。ブリッジや研究区画など、船内のさまざまな施設を見学していただくとともに、海底を掘り進む方法についての解説や、掘削によって得られたコア試料の展示なども行われました。また、沖縄一般公開では、これまでの通算見学者数が10万人を突破するといううれしい出来事もありました。

さらに、2011年1月の静岡県・清水港停泊中には、高校・大学等の教育関係者や研究者に向けた特別公開を実施、「ちきゅう」への理解を深めていただくことができました。

## 「ちきゅう TV」ポッドキャスト配信が「iTunes Rewind 2010」ベスト25番組に選出

JAMSTEC が配信する「JAMSTEC Discover the Future ちきゅう TV」が、Apple 社の「iTunes Rewind 2010」において、ポッドキャスト版「ビデオ新作ベスト」25番組のひとつに選ばれました。「ちきゅう」船上の作業の様子や科学掘削の研究内容などを分かりやすく紹介する「ちきゅう TV」に、みなさんもぜひアクセスしてみてください。

視聴方法: iTunes->Podcast-> 科学/医学-> ビデオ または、<http://www.youtube.com/user/jamstecchannel>



## 地球微生物学者・高井研博士のトークイベント開催



研究航海の様子を熱心に語る高井博士 (右)。左は、司会のサツシャさん。

2010年10月9日、東京・科学技術館において、IODP 第331次研究航海「沖縄熱水海底生命圏掘削-1」の航海を終えて帰還した共同首席研究者・高井研博士 (JAMSTEC) による「ちきゅう TV スペシャルトークイベント」が開催されました。研究航海の成果をはじめ、高井博士が取り組む研究について、さらに「ちきゅう」に初めて乗船した感想など、幅広い話題と分かりやすい解説で、来場者を楽しませてくれました。なお、トークイベントの内容は、「ちきゅう TV」でも公開されています。

「ちきゅう TV」沖縄トラフ編 Vol.6

<http://www.jamstec.go.jp/okinawa2010/j/>

## 海底掘削の難関を乗り越えてさらに大きな科学成果につなげたい

「ちきゅう」は、沖縄トラフ熱水活動域や南海トラフの研究航海で大きな結果を残した。2010年度の運用成果について、CDEX センター長の東垣が語る。



### 地球科学の夢の実現に向けて

完成から5年を迎えた2010年、「ちきゅう」にはいろいろな出来事がありました。夏にはケーシングパイプ等の脱落事故が起きましたが、最終的にはミッションを無事に完了させるとともに、これを教訓として、再発を防止するための安全対策強化につなげることができました。続く沖縄トラフの熱水活動域における掘削 (IODP 第331次研究航海) では、海底生命圏の解明に貢献する多くの成果を挙げる事ができました。さらに、この研究航海で得られた熱水鉱床についての新たな発見は、今後の日本の資源探査・開発にもかかわる重要かつ希望に満ちた成果といえるでしょう。

そして、10~12月に実施した、紀伊半島沖の熊野灘における掘削孔への長期孔内観測装置の設置 (IODP 第332次研究航海) は、今年度、私たちが最も緊張した航海でした。もちろん、全ての研究航海が新たなチャレンジであり、常に緊張を強いられることばかりですが、今号の特集記事をお読みいただければお分かりのように、この航海は当初からたいへんな困難が予測されていました。黒潮

の速い潮流のなか、繊細なセンサー類を水深約2,000mの海底にある小さな孔内に無事に設置することができるのか、最後の最後まで緊張の連続でした。それだけに、設置の成功は何よりも大きな喜びでした。成功の要因はいくつもありますが、何よりも大きいのは、研究者、技術者、そして乗組員らが一致団結して困難な課題に取り組み、見事なチームワークによってこれを成し遂げたことであると実感しています。

2011年3月には、今回設置されたセンサー類が正しく機能しているかどうかをROVを使用して確認し、計画では2011年度中にも熊野灘に展開している海底ケーブル地震・津波観測監視システム (DONET) に接続されることになっています。これにより、東南海地震震源域において、海底だけでなく、海底下のリアルタイム観測・監視が実現し、地震・津波発生時の防災・減災に効果を発揮します。また、近年注目されているスローイベント (ゆっくり滑り。地震による滑りよりはるかに速度が遅く継続時間が長い滑り現象のこと) の発生メカニズムの解明にも役立つなど、海底下から送られてくる詳細なデータの解析から、海溝型巨大地震に関するこれまでの常識を覆すような新たな発見も出てくるのではないかと、長期孔内観測装置の活躍に大いに期待しています。

### 高まる関心に応える「ちきゅう TV」

今年度、「ちきゅう」の一般公開への来場者が延べ10万人を達成するなど、多くの方々が「ちきゅう」に関心を寄せてくださっていることは、私たちにとっても非常にうれしい限りです。しかし、これまで皆さんに「ちきゅう」が掘削作業を行っている姿、つまり海上で働いている現場を見ていただくことは困難でした。そこで、今年度から「ちきゅう TV」という新しい取り組みをスタートさせました。動画によって、「ちきゅう」船上でどのようなことが行われているのか、研究者や技術者の表情や生の声なども交えて、科学掘削の現場をリアルにお伝えしようというものです。おかげさまで、1カ月に12~13万件ものアクセスをいただくほどの人気です。今後も、こうした広報活動に力を入れ、多くの方々に「ちきゅう」の活動への理解がより深まるよう努めていきたいと考えています。



「ちきゅう TV」  
<http://www.jamstec.go.jp/chikyuu/nantroseize2010/j/>



C L O S E U P

「ちきゅう」お正月のひとこま



2011年の年明けを「ちきゅう」船上で迎えた、「IODP第333次研究航海 南海トラフ地震発生帯掘削計画ステージ2」の研究者たち。正月も通常通りの作業シフトをこなすかわら、書き初め大会が行われた。お手本は「新春」と「ちきゅう」。多忙な仕事の合間、久しぶりの書き初め、あるいは初めての筆書きに挑戦し、リフレッシュした。

CHIKYU HAKKEN  
— EARTH DISCOVERY —

IODP日本実施機関レポート  
2011年2月発行 第11号



発行 独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部探査センター 神奈川県横浜市金沢区昭和町3179-25  
電話番号 045-778-5647 FAX 045-778-5704  
EMAIL cdex@jamstec.go.jp ホームページ http://www.jamstec.go.jp/chikyu/  
©地球深部探査センター 本冊子の内容を許可なく複製、再配布などの行為を行うことは禁止いたします。



海洋研究開発機構  
地球深部探査センター  
<http://www.jamstec.go.jp/chikyu>