技術ノート

地球深部探査船「ちきゅう」の物理探査・地質データの活用と今後の期待

木戸 ゆかり¹⁾・杉原 孝充¹⁾・真田 佳典¹⁾

Site Survey and Logging data integration of D/V Chikyu

Yukari KIDO¹⁾, Takamitsu SUGIHARA¹⁾ and Yoshinori SANADA¹⁾

Abstract : Since July of 2005, Drilling Vessel (here after D/V) Chikyu has launched and did shakedown cruises to be ready for international operation by developing new and state of the art technologies. From Oct. in 2007, D/V Chikyu started a first Integrated Ocean Drilling Program (IODP) expedition in Nankai Trough. She has been carried out 16 challenging expeditions of Seismogenic Zone of Nankai Trough and Japan Trench, Deep Biosphere off Shimokita and Muroto, Thermal Active zone of Okinawa Trough during these 12 years. Center for Deep Earth Exploration (abbreviated as CDEX) in JAMSTEC (Japan Agency of Marine Science and TEchnology) is one of the three implementing organizations of the International Ocean Discovery Program (recent IODP) and leading scientific drilling operations including site survey, well and mud logging, gas monitoring service to achieve safety drilling. After decade preparation, the first scientific phase of IODP has been successfully done and new IODP seeks dawn horizons of next targets and deeper portion of the earth.

Key words : D/V Chikyu, IODP, Site survey, 2D/3D seismic survey, Logging

1. はじめに

地球深部探査船「ちきゅう」は、構想から10年を経て建造され、2005年7月29日にJAMSTEC（現在の国立研究開発法人 海洋研究開発機構）に引き渡された（第1図）。2年間の慣熟航海期間を経て、2007年10月からは、IODP（Integrated Ocean Drilling Program：統合国際深海掘削計画）の主力船の一隻として、日本周辺の複数箇所の科学掘削に実績を残してきた（第2図）。

第1図 地球深部探査船「ちきゅう」の仕様（2017年3月版）

本稿では、情報地質学分野に利用価値が高いと思われる「ちきゅう」の科学掘削の際の科学支援のうち、事前準備や掘削時に得られる地質情報について紹介する。

「ちきゅう」は、2007年10月から国際運航を開始し、2017年11月現在までにIODPのプロジェクトの枠組み内で25研究航海（第1および2図）を数え、4つの大きな科学目標を柱に研究航海を重ねてきた。就航12年の間に、国際深海科学掘削の枠組みや体制は変化しつつも、米国、

第2図 2007年から2017年までの「ちきゅう」による日本周辺の科学掘削位置情報

2017年11月10日受付、2018年1月22日受理

資源・素材学会春季大会（2013年3月、開催地：千葉工業大学）で一部講演

1) 国立研究開発法人海洋研究開発機構地球深部探査センター Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 236-0001, Japan. E-mail: ykido@jamstec.go.jp

第3図 「ちきゅう」実験室

欧州、日本の三主導による海洋科学掘削が展開されている。今後の展開に向けての課題や新たな取り組みについても、言及する。

2. 「ちきゅう」の特徴

「ちきゅう」は、2001年に建造を開始し、2005年に完成した。水面からの高さ120mの櫓がシンボルである（第1図）。ライザーシステムという循環系の掘削能力を備えた世界初の科学掘削船である。風や潮の影響を受けても、定位置を保ちながら掘削を続けることができる6基のアジマススラスタを船底に設置した定点保持システムや船体動揺センサーを搭載し、船の上下動を吸収する装置等を取り入れ、極めて揺れない構造になっている。そのため、船内の4階分の実験棟には、X線CTスキャン装置はじめ、電子顕微鏡、微生物実験器具、孔内計測や地球化学実験用の精密機器が多数搭載され、担当のテクニシャンがそれぞれ張り付き、測定精度の高いデータが得られている。精密機器の数々は、パーティションの切られた様々な分野の実験室に設置されている（第3図および第4図）。例えば、パーマロイの特殊合金でシールドされた古地磁気ラボには、超伝導磁力計をはじめとしてスピナー磁力計、熱・交流消磁器が設置されている。微生物ラボには嫌気グローブボックスや多目的培養器が設置され、さらに個々の研究者の持ち込み機材の設置場所も確保されている。「ちきゅう」は、優れた研究成果を発信する「洋上に浮かぶ研究所」として設計された。

3. 「ちきゅう」運用体制とJ-DESCによる科学支援

地球深部探査船「ちきゅう」を運用する地球深部探査センター（CDEX）の体制を第5図に示す。CDEXは、我が国における統合国際深海掘削計画（IODP）の総合的推進ならびに地球深部探査船「ちきゅう」の運用及び関連する技術研究開発を行うことが任務とされ、「ちきゅう」を中心とした一元的組織が構築された。IODPでは世界の研究者が競って提案書を出し、国際パネル委員会の審査を経て、優先順位付けされた後、実現に向けて運用側と一体となって

第4図 「ちきゅう」実験室の様子、ラボ記載デスク（上左）、古地磁気シールドルーム内の超伝導磁力計と熱消磁計（上右）、データマネージメント室（下左）、XCTスキャナー（下中）、微生物ラボ内の嫌気グローブボックス（下右）

実施に向かうプロポーザル制をとっている。なお、CDEX内の組織としては、その後の業務の展開に応じて見直すこともあったが、概ね企画調整、運用管理、技術開発、科学支援部ならびに独立した環境保安グループによって構成されてきた。現在、以下に示すような条件・方針のもとで運用・管理がなされている。

- JAMSTECが保有・運用・管理する日本船籍の船舶として、法令を遵守した運用
- IODP科学計画の着実な遂行
- 安全を第一とした運用
- 効率的（経済的）な運用
- 大水深・大深度の海洋掘削に関する技術、知見、ノウハウの我が国への蓄積、向上
- 国民に開かれた運用

しかしながら、その実態は、年に1～2航海を実施するのがやっとの予算・人材規模であり、効率的な運用とは言えない。「ちきゅう」という大きなファシリティを広くコミュニティに知らせる日本国内の窓口は、日本掘削科学コンソーシアム（Japan Drilling Earth Science Consortium: J-DESC ウェブサイト: <http://j-desc.org/>）が担当している。

第5図 CDEX（地球深部探査センター）体制図（H30年1月現在）

定期的に科学掘削の動向をメイリングリストやウェブサイトから発信し、乗船研究者の募集、旅費のサポート、新しいプロポーザルの作成支援、掘削科学関係のスクールを開き、若手人材育成も働きかける。その組織は、陸上および海洋掘削の執行部会により支えられている。様々な分野の研究者が持ち回り制で執行部会に参加し、掘削科学のあり方を議論している。低迷する掘削科学を盛り上げるための大型予算獲得、人材育成や研究計画、慢性的な人材不足といった課題を抱え、次の一步を踏み出すべく、既存の体制を打開し、新境地を切り開く瀬戸際に来ている。

4. 掘削事前調査

地球深部探査センター内の質評価グループが担当する掘削事前の安全性評価項目は、海底面の平坦さ、突起物がないか、ガスや湧出がないか、底質の強度があるか、といった数項目である（第1表）。すなわち、海底表層地形の精査、AUV（Autonomous Underwater Vehicle）による潜航調査での高精度海底地形マッピング、サイドスキャン音響画像、サブボトムプロファイラーでのウェルヘッド設置地点選定のための微地形の把握、底質の適合性評価、浅部域の浅層ガスの有無、帯水層、断層分布等の浅層ハザード評価、ウェルヘッドやライザートップホール構築のための浅層地質強度評価、掘削計画最適化のための地質評価、深層ハザード評価、掘削深度全域にわたる速度構造調査などである。

この12年の間、「ちきゅう」科学掘削のメインターゲットの一つであった南海トラフにおける巨大地震発生メカニズムを解明するための掘削調査（Nankai Trough Seismogenic Zone Experimentを略してNanTroSEIZE）に多くの時間・労力を費やした。その事前調査となる、2次元3次元の地殻構造探査やマルチナロービームによる海底地形調査、自律式ロボットAUVやしんかい6500による潜航調査など、広域の基礎データは既にかなり揃っていた。と

いうのも、1995年1月の兵庫県南部地震を受けて、1996年10月から「海底下深部構造フロンティア」プロジェクトが、JAMSTEC内に立ち上がり、1995年に就航した深海調査研究船「かいれい」を主力船とした海底下の調査がスタートしていた。「かいれい」を用いて、南海トラフや日本海溝をターゲットに、海底下20km深度程度の断層のイメージングを目指し、組織的に広域地震探査が展開された（現在「地震津波海域観測研究開発センター」へと組織拡大改編されている）。海溝域を縦横に走る測線からは、沈み込むプレート上部が見えていた（例えば、Park *et al.*, 1999; Kodaira *et al.*, 2002）。いよいよ2002年の地震発生帯を掘削するという計画を前に、「かいれい」による2次元の広域探査結果は頻繁に参照され、掘削点選定に用いられた。掘削に先立ち、安全評価および付加体の理解のため、5km四方の浅部を重点的にターゲットとした高解像度の地殻構造探査データを得るため、2003年には石油業界仕様の2次元地震波構造探査が行われた（Taira *et al.*, 2005）。この調査では、浅部を特に詳細にサーベイするために商業用調査船を用いた。その後2006年5月、物理探査船M/V Nordic Explore号を用いて高精度3次元地震探査も行うことになった（Uraki *et al.*, 2009）。3次元探査に当たっては、周辺海域の漁業関係者と気象海象条件などを考慮した漁業調整が行われた。幸い調査海域は航路から外れているため航行船舶は少なく、スムーズな漁業調整がなされたが、対象海域の南部は、強潮流の黒潮の通り道であり、4.5km長のストリーマーケーブルの曳航、データ取得に影響した。データ処理は、波浪ノイズや多重反射波の抑制といった基本処理に重点が置かれた。結果として得られたサイズミックキューブは、浅層部の地質状況をよく表し、沈み込む海洋プレートの上面も明瞭に可視化されていた（第6図：Moore *et al.*, 2007; 朴ほか, 2008; Uraki *et al.*, 2009; Moore *et al.*, 2009）。そして、この2006年の記録を元に、最終的な南海掘削の選定がなさ

第1表 掘削事前調査項目

調査項目	測定機器類	目的
海底地形精査	曳航・AUV（Autonomous Underwater Vehicle）潜航等によるサイドスキャン音響画像、サブボトムプロファイル	ウェルヘッド設置地点選定のための微地形および底質の適合性評価
浅部、表層堆積調査	HR3D MCS（High Resolution 3 Dimensional Multi-Channel Seismic）	浅層ガス、帯水層、断層分布等の浅層ハザード評価
浅部、表層堆積調査	40m ピストンコア	ライザートップホール（ウェルヘッド、36" コンダクターパイプおよび20" ケーシング）構築のための浅層地層強度評価
速度構造調査	OBS 詳細速度構造	作井（地層圧予測、ケーシング計画、泥水計画、掘削ツール選定、工程計画等）のための地質評価・深層ハザード評価
潮流、海流調査	ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler）	掘削サイト周辺の強潮流の調査

れた。特に「ちきゅう」の国際運航第1回目となる第314次航海では、南海トラフを横切る全長60kmのトランセクトに6箇所の孔が掘られ、掘削同時検層（ロギングまたはLWD: Logging-While-Drilling）という物理探査法により、垂直方向の速度構造データが取得された。前出の3次元地殻構造探査で得られたデータと比較され、調和的な結果を得ることができた(Tobin *et al.*, 2009)。

その後、サイトC0002はさらに深く掘り、長期孔内計測機器を設置し、海底面に敷設する地震計ネットワークシステムと結ぶことが決まった。サイトC0002は、2010年6月の第326次航海で海底面に深掘用のウェルヘッドが設置され、10月には海底からの深さ1000mに長期孔内計測器が設置された(Expedition 332 Scientists, 2011)。なお長期孔内計測機器は、南海トラフの直行方向の動きがすぐに把握できるよう、さらに海側のC0010(2016年4月の第365次航海にて設置済み)とC0006(2018年1~2月予定)で計画されている。

いよいよ南海トラフの最終段階では、サイトC0002のさらに深掘を狙う。その事前調査資料となる2006年に得られた3次元地震波構造断面図では、サイトC0002の海底下深度3000m以深の複雑な地質構造を明瞭には可視化できなかった。2013年1月に行われた第348次航海では、切り立つような断層崖からの削りカスが孔底を埋めて、計画通りに掘り進むことが困難となった。ちょうど3次元構造断面図では、速度構造が不明瞭な箇所にかかっていた。さらなる超深度を狙うためには、より正確な速度構造や密度構造が必要となり、2006年の3次元構造探査データを再度見直すことが議論された。最新の波形解析手法を適用した再解析を施し、狙う深度の情報の精度を上げようと試みられた(Shiraishi *et al.*, 2016)。この解析結果を見ながら、前弧域の海底下にある分岐断層を目指す掘削計画が練られている。それまでの記録とは明らかに異なる強い反射断面が5400mの深さに現れている。本掘削計画では、その強反射面を詳細に調査するために、2018年10月から第358次航海として、下記のJ-DESCウェブサイトより乗船研究者募集段階となっている(2017年12月現在)。

<http://www.j-desc.org/358-nantroseize-deep-riser-drilling/>

事前調査データとしての一連の地震探査データは、「ちきゅう」による科学掘削に必要な基礎資料となっただけで

なく、当該海域の研究にも貴重な情報を提供することとなった。科学掘削の分野で3次元探査例は少ないため、探査仕様については、石油業界の例に学んだ。米国テキサス大学のサイトに今までに行われた学術目的での3次元地震波探査情報がまとめて掲載されている(参照サイト:<http://www-udc.ig.utexas.edu/sdc/>)。このサイトでは、1987年にコスタリカ沖で得られた3次元探査から2013年のメキシコ湾での11例を時系列に並べて紹介しており、必要なデータが入手できるようになっている。日本周辺も、1999年の南海トラフ室戸沖と2006年熊野灘の2例がリストアップされている。個々のサイトからは、探査の基礎情報始めナビゲーションデータ、地震波のフィールドデータから一次処理済みのSEG Yデータ、関連論文など、ユーザー登録をすれば誰でもダウンロードできるよう公開されている。

掘削事前調査に必要な項目は、地震波による地殻構造探査以外にも、数多く存在する(第1表)。広域調査の後、海底地形精査、海底カメラ、海流、潮流、ジオテクコア(地盤安定性吟味用)強度試験用試料の取得と2軸3軸圧縮試験といった室内実験などが要求される。これら必要十分なデータが揃っていないければ、掘削安全委員会での議論の週上に乗らず、掘削孔の太さや深度や泥水選択などの掘削計画が立てられない。

5. 地質評価のための掘削時のデータ取得

掘削が実現し、海底下を掘り始めると、様々な地下情報が得られるようになる。コア試料だけではなく、物理検層データ、泥水検層、カッティングス、ガスモニタリングデータ、掘削時パラメータである温度、圧力、掘進率、ビットトルク、ビット回転数、泥水比重、泥水流量なども、掘削時の重要タスクである地質評価に貢献するデータとなる。実際の海底下の地質サンプルであるコア試料と比較すると、検層データは、連続して深度方向に高精度で得られる孔内状況把握のためのデジタルデータである。その種類も、第2表に示すように多岐に亘り、掘削安全性の指標として、また研究目的に応じて、複数の検層データを選択し、統合解釈することにより、地下情報の推定に役立つ。観測対象範囲や必要なデータ解像度($10^{-2} \sim 10\text{m}$)に応じて検層ツールを選択する。検層は、コア試料(10^{-2}m)とサイズミック($10 \sim 100\text{m}$)を結ぶスケールをカバーする地球内部の聴診器の役割を持つ。特に海底下の微視~巨視的解釈をする「コア・ロギング・サイズミック統合化」には、連続して取得できる検層は欠かせない。物理検層の手法は、掘削孔がすでにあり、ワイヤラインの先端部にセンサーパーツを付けて、孔底から引き揚げながら測定するタイプ(ワイヤライン検層)とセンサー部分をドリルパイプの先端に埋め込み、掘削と同時に物理測定ができるタイプ(掘削同時検層)と大きく2種類に分かれる(第7図)。得られた検層データの深度方向のプロット例を示す(第8図)。検層データを用いた地質評価や解釈については、別稿にて紹介した

第6図 南海トラフの3次元地殻構造図

第2表 検層の種類と目的

検層項目	目的
キャリパー（孔径） 温度（泥水） 泥水比抵抗 泥水循環の温度	計測データの環境補正。 孔のサイズ、拡張していないか、崩落がないか、温度異常がないか、熱水湧出やガスの吹き出しがないか、断層の有無、など、掘削時の孔内環境情報を得る。
自然ガンマ線、 ガンマ線スペクトル 光電子ファクター、電気 比抵抗 密度、孔隙率、音波検層	地層、岩相区分に用いる連続的な物性値の変動を知る
比抵抗イメージ、超音波 イメージ ボアホールカメラ チェックショット、 VSP（Vertical Seismic Profiling） サイドウォールコア MDT（流体サンプル、 Modular Formation Dynamic Tester）	孔壁地層の可視化画像。亀裂や断層の識別。 地層の走向・傾斜。 深度方向の変化にともなう弾性波速度情報を得る。 原位置の孔壁地層や地層水のサンプリング、および原位置のテストニング。

第7図 掘削同時検層とワイヤラインロギングの模式図

第8図 南海トラフのC0002サイトでの掘削同時検層で得られた深度方向のロギングデータ例（海底下1400mまで）

い。また、掘削作業時に孔内を循環させる流体を使った物理計測を泥水検層といい、効率的な掘削作業のため、孔内の安定化や洗浄を目的とする。泥水循環とともに船上へ上がってくるガスのモニタリングやカッディングスの形状分析も、重要な地質評価指標であり、科学掘削に欠かせぬ項目である（第9図）。泥水検層は、孔内に関する種々のデー

タを掘削作業と並行して連続的に収集・分析し、安全な掘削作業を進め、地質状況の把握をする。そちらについても、機を改めて紹介したい。

ここでは、科学支援における検層サービスについて触れておく。IODP プロポーザル提出時の必須記載項目として、その海域の既存事前調査データおよび検層種目の有無、そ

第9図 マッドロギングの調査項目

して航海計画内にどのような検層種目を希望するかの記載がある。検層費用は高額になるため、科学目的に応じて最適な選択ができるようなアドバイスが実施機関であるCDEXには求められる。CDEX地質評価グループには、検層担当者(LSS: Logging Staff Scientist)が、必要十分なツールの選択ができるようスペックの説明、過去の資料の提供、検層業者とのやり取りを担当する。検層会社には、最適なツールの選択に必要な情報提供、使用するツールの輸出入手続き、見積り依頼を行う。実際の検層作業中には、エンジニアによるツールの検査の立ち会いからデータ取得作業の確認、リアルタイムデータ、ログプロットという船上で得られる検層記録の確認と受け渡し、データの品質管理、乗船研究者への一次データの配信、さらに高次の解析、乗船レポート作成の補助、ウェブサイトへ掲載するデータ整理、更新作業など、時系列順に生じる。IODPプロポーザルのスタートから実施、終了後のモラトリアム期間明け、航海終了2カ年後の最終レポート提出までの複数年間のプロポーザル熟成・進化過程とともに様々な研究者へのサポートサービスが生じる。

6. コア・ロギング・サイズミック統合化

「ちきゅう」を取り巻く事前調査から掘削データまでの様々なデータは1000種以上にも及び、その観測レンジは、 $10^{-2} \sim 10^2$ mの4桁にわたる。得られる膨大なデータは、「コア・ロギング・サイズミック統合化」により海底下の微視～巨視的解釈に利用することができる。事前調査として、まずは掘削点をカバーするよう幅12km×長さ56kmの範囲の3次元地震探査データを得、3D PSDM (Pre-Stack Depth Migration) 処理が施され、任意の深度断面図がイメージされた(Moore *et al.*, 2009)。この図に第314次航海の掘削点とロギングデータを投影する。第315、316次航海で得られたコア試料の物理計測値のプロットも重ねて表示すると、深度と時間軸に物理情報が加わる。独立なデータセットとしては実現しなかった地下をビジュアルに統合化することは、「ちきゅう」データベースの構築によって初めて実現可能となった。

ここでは、事例研究例を紹介する。Strasser *et al.* (2009)は、付加体の深度断面にコア分析で得られた時間軸を入れ、繰り返し地震で有名な南海トラフの履歴を世界で初めて示した。またYamada *et al.* (2011)は、LWDで得られた孔壁の360度方向の比抵抗値の展開図と3次元地震探査断面図を表示し、断面の走向、傾斜方向、地層境界情報を入れ、両者の解釈の比較を試みている。比抵抗イメージからは、孔壁の圧縮性破壊(ボアホールブレイクアウト)を見出し、ヒビ状の局所的崩壊の方向や幅から、地震・地殻変動後の地層内の応力状態が定量的に推定できる。異なるスケールや分解能のデータを一緒に表示し、相違点を明らかにしつつ相補的に解釈に用いる可能性を示している(Yamada *et al.*, 2011)。

Sugihara *et al.* (2014)は、南海トラフ熊野灘のメガスプレいの直上サイトC0002の温度プロファイルを過去に得られたあらゆる掘削データを用いて吟味している。2007年の第314次から315、326、332、338、348の6航海に渡り、海底下3,058mという世界最深度に到達するまでの段階で得られたコア試料、検層、泥水検層、ガス分析、長期孔内計測器を利用している。サイトC0002は、世界一データの豊富な孔である。この論文での温度推定値をベースとして、さらにメガスプレイ断層境界の5,200mを目指し、2018年10月からの第358次航海計画が立てられている。

こうした「コア・ログ・サイズミック統合化」の実現のためには、航海後のデータ品質管理、データベース登録、そして的確なデータ公開である。杉原(2017)は、より幅広い利用者を対象に掘削パラメータの利用価値についても紹介している。掘削パラメータは、運用に欠かせない掘削安全性の示準として、リアルタイムに取得されており、運用従事者や掘削技術者の詰めるオフィス内の大画面に常時プロットされ、孔内状況が瞬時に把握できるようになっている。データは1秒間隔で共有フォルダーに自動保存されている。

上記のデータは、航海終了後にデータベースに保存更新され、一定期間後には公開されている。掘削パラメータについては、現在データベース公開はしていないが、近年、掘削パラメータの利用価値が高まり、研究者からの要望が増えていることから、リクエストに応じてフィールドデータを提供している。「ちきゅう」沖縄熱水活動域での掘削では、LWDと掘削パラメータを駆使して孔内状況を把握する試みも世界で初めて行われている(濱田ほか, 2016; 真田ほか, 2017)。

7. 航海データサイト・機構ファシリティの公開サイト

ここでは、前出の事例のような事前調査や検層データといった掘削を取り巻く海洋データのオープンサイトの紹介をしたい。海洋研究開発機構(以下、JAMSTEC)では、2017年11月現在では、9隻の海洋調査船「かいりい」「よこすか」「みらい」「なつしま」「かいよう」「かいめい」「新青丸」「白鳳丸」そして「ちきゅう」のデータオープンサイトとなっている。この中で「なつしま」「かいよう」の2船はすでにリタイヤしているが、全部で1735航海分(2018年1月現在)のデータが、ウェブ登録すれば、ダウンロードできる。データの種類は、航海レポート、サマリー(日英)、航跡データ、海底地形、重力、地磁気とそれらの解析に必要な補正データなどである。調査概要を迅速に公表するため、終了後2ヶ月を経過した調査航海については、クルーズサマリーや航跡といった速報値をウェブ公開している(<http://www.godac.jamstec.go.jp/mapsearch/j/>)。測深データや重力・地磁気といった航走時データについては、公開猶予期間が経過し、品質管理および公開準備が整ったもの

から同航海のサイトで公開している。JAMSTEC 航海・潜航データ検索システム DARWIN については、下記の URL を参照されたい。

<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>

<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/datatree/j>

上記の「ちきゅう」の各航海サイトからは、さらに詳細な航海内容や調査項目を確認することができる。

「ちきゅう」の IODP 航海に関しては、専用サイト <http://sio7.jamstec.go.jp/> が立てられている。このデータサイトからは、XCT コアの元データ、画像イメージ、個々のコア分析値の全て、時間軸および深度軸の検層データ、LWD 比抵抗画像データなど、1 年間のモラトリウム以降は、すべてのデータがダウンロードできる。上記の DARWIN サイトの「ちきゅう」航海からリンクが張られている。「ちきゅう」紹介サイトからは、掘削航海計画書、速報成果報告書、2 カ年の期限後の航海報告書が閲覧可能である。「ちきゅう」データは多岐にわたるため、ウェブ公開されていない掘削パラメータデータも、リクエストベースで対応可能である。

8. おわりに

本稿では、主として、「ちきゅう」の事前調査および掘削時に得られる検層・物理探査データとそのサイト情報の紹介を行った。就航 12 年目を迎えた「ちきゅう」は、スタッフのスキルも向上し、効率的で質の高いオペレーションが行えるようになった。今後は、J-DESC を通して、研究者コミュニティに「ちきゅう」の施設・設備を宣伝し、研究成果をさらに広く紹介していきたい。多くの研究者に利用してもらえるよう、掘削提案のフローについても、さらに明確化し、プロポーザルの質・量ともに向上して日本の掘削科学におけるプレゼンスをあげていきたい。

文 献

Chikyu IODP 航海で取得されたデータサイト：

<http://sio7.jamstec.go.jp/>

Expedition 332 Scientists (2011) Expedition 332 summary.

In Kopf, A., Araki, E., Toczko, S., and the Expedition 332 Scientists, *Proc. IODP*, 332: Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.).

doi:10.2204/iodp.proc.332.101.2011.

濱田洋平・斎藤実篤・真田佳典ほか (2016) 海底下高温流体の温度と流体量の推定：掘削同時検層と掘削パラメータからのアプローチ。日本地球惑星科学連合 2016 年大会, MIS16-04.

JAMSTEC 航海・潜航データ検索システム DARWIN について：<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>

JAMSTEC 航海データポータルサイトについて：

<http://www.godac.jamstec.go.jp/dataportal/viewer.htm>

Kodaira, S., Kurashimo, E., Park, J. -O., Takahashi, N., Nakanishi,

A., Miura, S., Iwasaki, T., Hirata, N., Ito, K. and Kaneda Y. (2002) Structural factors controlling the rupture process of a megathrust earthquake at the Nankai trough seismogenic zone. *Geophys. J. Int.*, vol. 149, issue 3, pp. 815-835.

doi:10.1046/j.1365-246X.2002.01691.x

Moore, G.F., Bangs, N. L. Taira, A., Kuramoto, S., Pangborn, E. and Tobin, H. (2007) Three-dimensional splay fault geometry and implications for tsunami generation. *Science*, vol. 318, issue 5853, pp. 1128-1131. doi: 10.1126/science.1147195

Moore, G.F., Park, J. -O., Bangs, N. J., Gulick, S. P., Tobin, H., Nakamura, Y., Sato, S., Tsuji, T., Yoro, T., Tanaka, T., Uraki, S., Kido, Y., Sanada, Y., Kuramoto, S. and Taira, A. (2009) Structural and seismic stratigraphic framework of the NanTroSEIZE Stage 1 transect. In Kinoshita, M., Tobin, H. J., Ashi, J., Kimura, G., Lallemand, S., Screaton, E. J., Curewitz, D., Masago, H., Moe, K. T. and the Expedition 314/315/316 Scientists, *Proc. IODP*, 314/315/316: Washington, DC (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.).

doi: 10.2204/iodp.proc.314315316.102.2009

日本掘削科学コンソーシアム (Japan Drilling Earth Science Consortium: J-DESC ウェブサイト：<http://www.jdesc>) 乗船募集：<http://www.j-desc.org/358-nantroseize-deep-riser-drilling/>

Park, J.-O., Tsuru, T., Kaneda, Y., Kono, Y., Kodaira, S., Takahashi N. and Kinoshita, H. (1999) A subducting seamount beneath the Nankai accretionary prism off Shikoku, southwestern Japan. *Geophysical Research Letters*, vol. 26, no. 7, pp.931-934. doi: 10.1029/1999GL900134

朴進午・鶴哲郎・野徹雄・瀧渾薫・佐藤壮・金田義行 (2008) 紀伊半島南東沖南海トラフでの高分解能 3 次元反射法地震探査と重合前深度マイグレーション処理。物理探査, vol. 61, no. 3, pp.231-241. doi:10.3124/segj.61.231.

真田佳典・山田泰広ほか (2017) 沖縄伊是名海穴の海底熱水鉱床における自然ガンマ線と温度と圧力検層データの考察。日本地球惑星科学連合 2017 年大会, MIS22-P02.

Shiraishi, K., Kinoshita, M., Moore, G., Sanada, Y., Yamada, Y., Kimura, G. (2016) Improvement of 3D MCS data processing by advanced technology in Nankai trough. *JpGU Meeting*, p. S-SS02.

Strasser, M., Moore, G. F., Kimura, G., Kitamura, Y., Kopf, A. J., Lallemand, S., Park, J. -O., Screaton, E. J., Su, X., Underwood, M. B. and Zhao, X. (2009) Origin and evolution of a splay fault in the Nankai accretionary wedge. *Nature Geoscience*, vol. 2 (9), pp. 648-652. doi:10.1038/geo609.

Sugihara, T., Kinoshita, M., Araki, E., Kimura, T., Kyo, M., Namba, Y., Kido, Y., Sanada, Y. and Moe, K. T. (2014) Re-evaluation of temperature at the up dip limit of locked portion of Nankai megasplay inferred from IODP Site C0002 temperature observatory. *Earth, Planets and Space*, 66:107.

- <http://www.earth-planet-space.com/content/66/1/107>
<https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-107>
 杉原孝充・井上朝哉・木戸ゆかり・青池寛・真田佳典・石原浩・藤井毅・三上博之(2017)地球深部探査船「ちきゅう」での掘削パラメータデータの取得と利用：孔内科学データとの比較と現状. 日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会, MIS22-03.
- Summary of 3-D Academic Seismic Portal site at UTIG:
<http://www-udc.ig.utexas.edu/sdc/>
- Taira, A., Curewitz, D. *et al.* (2005) *Nankai Trough Seismogenic Zone Site Survey: Kumano Basin Seismic Survey, Philippine Sea, Offshore Kii Peninsula, Japan. CDEX Technical Report*, vol. 1, 64pp. <http://sio7.jamstec.go.jp/publication>
- Tobin, H., Kinoshita, M., Moe, K. T. and the Expedition 314 Scientists (2009) Expedition 314 summary. *In* Kinoshita, M., Tobin, H., Ashi, J., Kimura, G., Lallemand, S., Screaton, E. J., Curewitz, D., Masago, H., Moe, K. T. and the Expedition 314/315/316 Scientists, *Proc.IODP* 314/315/316: Washington, DC (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.)
 doi:10.2204/iodp.proc.314315316.111.2009
- Uraki, S., Kido, Y., Sanada, Y., Kuramoto, S., Okano, T., Saga, H., Park, J. -O., Moore, G. and Taira, A. (2009) Kumano-nada 3D seismic data acquisition and processing. *Butsuri-Tansa (Geophys. Explor.)* vol. 62, no. 2, pp. 277-288. doi:10.3124/segi.62.277
- Yamada, Y., McNeill, L., Moore, J. C. and Nakamura, Y. (2011) Structural styles across the Nankai accretionary prism revealed from LWD borehole images and their correlation with seismic profile and core data: results from NanTroSEIZE Stage 1 expeditions. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, vol. 12, issue. 7.
 doi:10.1029/2010GC003365.

要 旨

地球深部探査船「ちきゅう」の物理探査・地質データの活用と今後の期待

木戸ゆかり・杉原孝充・真田佳典

地球深部探査船「ちきゅう」は、構想から10年を経て建造され、2005年7月29日にJAMSTEC（現在の国立研究開発法人 海洋研究開発機構）に引き渡された。2年間の慣熟航海を経て、2007年10月からは、IODP（国際深海科学掘削計画）の主力船の一隻として、日本周辺の複数箇所の科学掘削に実績を残してきた。本技術報告では、情報地質学分野に利用価値が高いと思われる「ちきゅう」の科学掘削の事前調査、物理探査や掘削時に得られる地質情報について紹介し、合わせて今後の方向性なども示したい。

キーワード：地球深部探査船「ちきゅう」、IODP、事前調査、地殻構造探査、検層