

- 連続特集(後篇)：近年のIODP掘削航海の成果
Solid Earth Cycles and Geodynamics P1~4
Exp. 319/332 NanTroSEIZE Stage 2 : Riser/Riserless Observatory (荒木英一郎/海洋研究開発機構) P1
- Exp. 322 NanTroSEIZE Stage 2 : Subduction Inputs (斎藤実篤/海洋研究開発機構) P2
- Exp. 333 NanTroSEIZE Stage 2 : Subduction Inputs Coring 2 & Heat Flow (金松敏也/海洋研究開発機構・ほか) P3
- Exp. 334 Costa Rica Seismogenesis Project (氏家恒太郎/筑波大学) P3
- Exp. 324 Shatsky Rise Formation (佐野貴司/国立科学博物館) P4
- Exp. 330 Louisville Seamount Trail (山崎俊嗣/産業技術総合研究所) P4
- Exp. 335 Superfast Spreading Rate Crust 4 (宮下純夫/新潟大学) P4
- アルパイン断層掘削計画 (Deep Fault Drilling Project -Alpine Fault) 福田博一(東北大学)、廣野哲朗(大阪大学) P5
- 太古代中期の海洋底掘削(DXCL)報告 清川昌一(九州大学) P6
- J-DESC正会員・賛助会員 P8



連続特集(後篇)：近年のIODP掘削航海の成果

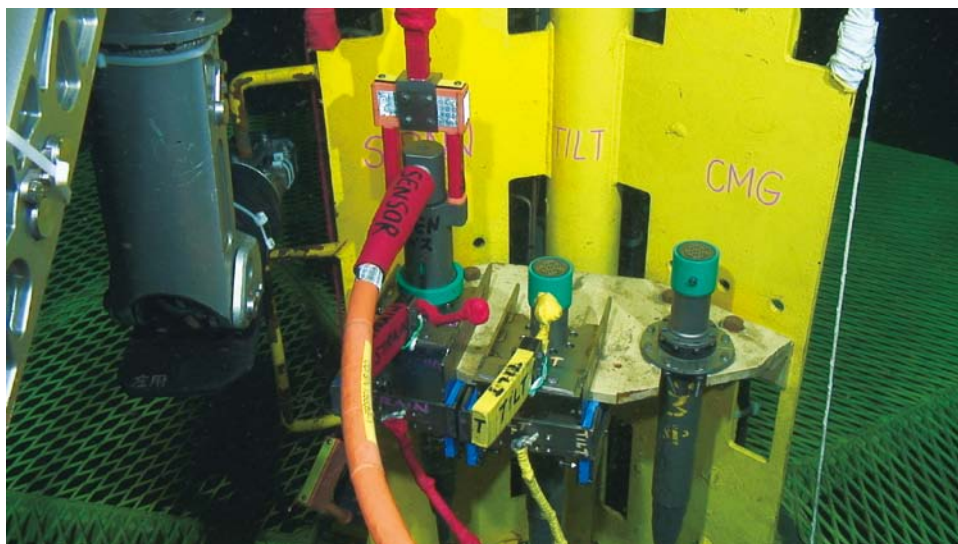
Exp. 319/332 NanTroSEIZE Stage 2: Riser/Riserless Observatory (2009/5/10～8/31、2010/10/25～12/11、ちきゅう) ～長期孔内観測システム設置までの軌跡～

荒木 英一郎

Co-chief Scientist・海洋研究開発機構

南海掘削計画では、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレート境界域で繰り返される巨大地震のメカニズムを理解するために、掘削孔内で地震や地殻変動、また地下の水理学的状態を長期間にわたって観測を継続できる「長期孔内観測システム」を開発し、熊野灘の南海地震の震源域とその周囲の3ヶ所を選び、設置を進めています。南海掘削計画での海域への長期孔内観測システムの設置は、2009年のExp.319で、開発した観測システムの「ちきゅう」船上での構築手順を確認し、設置中にシステムが黒潮の強潮流のなかでどのような影響を受けるかを調査することから始まりました。が、この航海で、システムに搭載したすべてのセンサーが破損するほど大きな振動が潮流によって励起される(渦振動)ことがわかり、その後、2010年のExp.332でのC0002サイトへの設置まで、わずか1年あまりの間に、我々研究グループとCDEXは、さまざまな陸上や「ちきゅう」船上での試験を通じ、システムを破壊するような振動が励起されないような設置手法を開発するとともに、すべての孔内センサーも改良し、設置時の振動があっても耐えられるように強化する必要がありました。本番の設置を行った、Exp332では、開発した渦振動防止策をとりつつ、設置中のセンサー

を繰り返し動作確認をしつつ、孔の掘削を含め27日間にわたる作業を慎重にすすめた結果、現場の強潮流にかかわらず無事設置に成功しました。Exp332航海では、海底下約900mに設置された地震計やひずみ計の設置状態がまだ安定していないため、間隙水圧計測装置のみの動作を確認しましたが、その後、無人潜水艇を使った海底観測作業を実施し、繊細な孔内広帯域地震計をはじめとするすべてのセンサーが孔内で良好に動作することが確認されました。そして、2012年度には、このC0002サイトの長期孔内観測システムを、すでに海底で稼動している海底ケーブル地震津波観測システム(DONET)に接続して、プレート境界域の地殻変動観測がリアルタイムに行えるようになる予定です。



C0002長期孔内観測システム設置後の2011/8/1 JAMSTEC かいようKY1109航海で無人潜水艇による孔内センサーの動作確認を実施している様子

Exp. 322 NanTroSEIZE Stage 2: Subduction Inputs (2009/9/1～10/10、ちきゅう) ～沈み込みインプット～

齋藤 実篤

Co-chief Scientist・海洋研究開発機構

IODP第322次研究航海は南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)第2ステージの航海の一つとして、2009年9月1日から10月10日までの40日間にわたり地球深部探査船「ちきゅう」により実施されました。この航海の目的は南海トラフに沈み込む直前のフィリピン海プレート上の堆積物および基盤岩を採取し、沈み込み物質の初期状態を明らかにすることでした。掘削地点は紀伊半島南方沖、榎野崎海丘の北側斜面(Site C0011)と頂上付近(Site C0012)の2地点です。直前に実施された第319次研究航海で取得されたSite C0011の検層データと併せ、この航海により紀伊半島沖の南海トラフ沈み込み帯のインプット物質の全貌を把握することができました。Site C0011では基盤の玄武岩に到達することができなかったものの、Site C0012では海底下約540mで堆積岩と基盤岩の境界部分の採取に成功し(図)、さらに33mの基盤岩掘削に成功しました。この玄武岩の化学組成は典型的な四国海盆ソレアイトの特徴を示すことから、海洋底玄武岩として噴出し、その後の断層運動によって榎野崎海丘が形成されたことが明らか

となりました。この基盤岩の上位に積み重なる堆積物は半遠洋性泥岩を主体としますが、その中に火山性物質を特徴的に含む砂岩層が2層準で回収されました。下位の砂岩層は13-15Maの西南日本から供給された砂層で、特に14Ma以降は熊野酸性岩類を起源とすることが分かりました。上位の砂岩層は今回まで存在が知られていなかった7-8Maの伊豆小笠原弧起源の火山性砂岩層です。どちらの砂岩層も当時の供給源から数百kmも離れているにもかかわらず、10mにも及ぶ厚い砂を供給したことは驚きに値します。間隙水やガスの分析でも興味深い成果が得られました。Site C0012の基盤直上から得られた間隙水は海水とよく似た成分を持っており、基盤からの流体拡散が示唆されます。また、13-15Maの砂層は周囲より高いメタン/エタン濃度を示し、砂層を流路とする流体移動の証拠が得られました。航海後の研究は現在も継続中で、インプット物質が地震発生帯まで持ち込まれた際にどのような水理学的・力学的挙動をするのかを実験により予測し、今後の超深度掘削につなげるのが今後の研究課題です。

この航海が実施された時期は台風シーズンであったため、荒天待機により多くの日数をロスし、またコアリングや検層においていくつかの技術的な問題が発生したものの、航海全体を通じて技術者と研究者の連携による適切な判断とチームワークによって、航海を成功に導くことができました。支援していただいたすべての関係者の皆様に御礼申し上げます。

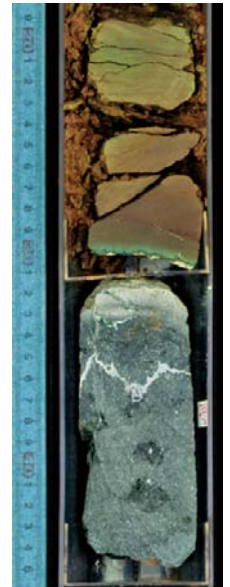


図. Site C0012で回収された赤色泥岩と玄武岩層の境界部。基盤岩周辺の平均コア回収率は20%程度であったが、この境界部分は完全な形で回収され、航海の成功を象徴するコアとなった。船上では「ミラクル・コア」と呼ばれた。

Exp. 333 NanTroSEIZE Stage 2: Subduction Inputs Coring 2 & Heat Flow

～沈み込みインプット2、熱流量測定および海底地すべり掘削～

金松 敏也

Co-chief・海洋研究開発機構

Pierre Henry

Co-chief Scientist・フランス地球科学環境研究センター

MOE Kyaw Thu

Expedition Project Manager・海洋研究開発機構

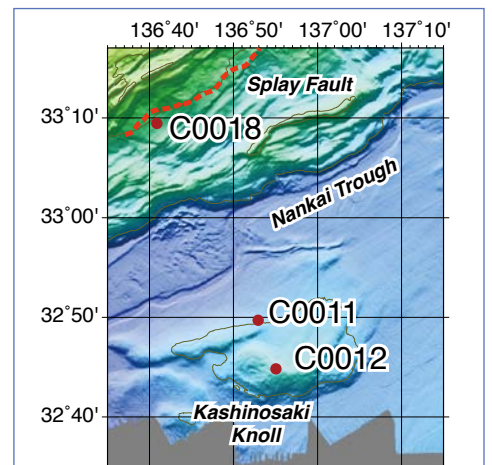
Expedition 333乗船研究者

2010年12月12日より2011年1月10日まで熊野沖南海トラフでExp. 333が実施された。「地震発生帯における海底地すべりの実体解明」のためC0018で掘削し、さらに「南海トラフインプットサイト掘削」をExp. 322に引き続き行うためC0011とC0012を掘削し、熱流量も同時に測定した。南海トラフ分岐断層の下方斜面のC0018において314mまで掘削をおこない複数の海底地すべり層を掘削し、深度127-189mで最も厚い海底地すべり層を見いだした。挟在する広域テフラの年代から、一連の地すべりはおよそ1Ma以降に起こったと推定される。採取された地すべり層は著しく変形しており滑動時の様々な変形が記録されていた。一連の地すべり層の下位にはタービダイト層のみが繰り返し産出し、この海域で1Maに堆積物供給システムに劇的な変化が起こったことがうかがえる。どのように海底地すべりが起こったのかを明らかにするため、採取されたコアの詳細な構造解析、地盤力学的研究が進められている。これにより分岐断層の活動と海底地

すべり発生の関係が解明される事が期待される。

さらに地震発生帯を構成する地層の初期状態を知るためExp. 322に引き続き、沈み込む直前の堆積岩と玄武岩を掘削した。C0011において掘削した結果、変質の進行および堆積物の物性変化がテフラ層の産出量で大きく違うことが分かり、岩相の違いが沈み込む地層の力学的強度をコントロールしている事が示唆され、沈み込む前にプレート境界の層準があらかじめ決められている事を意味している。沈み込み後プレート境界は玄武岩層中に移動すると考えられているが、沈み込む前の玄武岩の状態を知るため榎野崎海丘上のC0012で630.5mまで掘削した。その結果、異なった変質様式の玄武岩が採取され、沈み込む前の玄武岩状態を知ることができる貴重な試料が採取できた。他にC0012では、Exp. 322の結果も含め、複数の崩壊が起っていたこと、C0012はC0011より高いヒートフローであることが分かった。堆積

物・玄武岩の組成変化の研究、地盤力学的研究、および流体循環モデルを通じ、地層が地震発生帯物質としてどのように準備されているのか、第322次研究航海の成果と併せて検証されることが期待される。



Expedition 333の掘削地点: C0018, C0011, C0012

Exp. 334 Costa Rica Seismogenesis Project (CRISP) (2011/3/15～2011/4/16, JR)

～コスタリカ沖沈み込み浸食縁辺域における地震発生過程の解明～

氏家 恒太郎

Co-chief Scientist・筑波大学

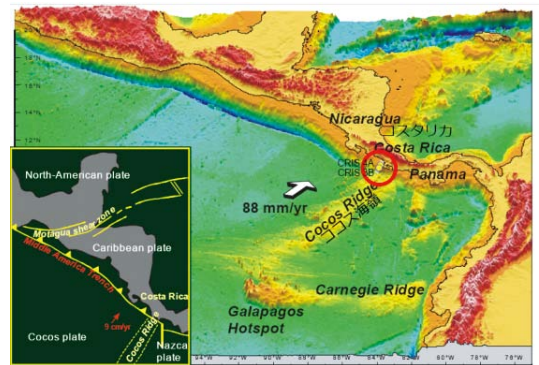
第334次研究航海は、コスタリカ沈み込み浸食縁辺域での地震発生過程解明を目指すプロジェクト(Costa Rica Seismogenesis Project 通称 CRISP) の記念すべき最初の航海でした。コスタリカのオサ半島沖中米海溝では、海洋プレート上の地形的高まりであるココス海嶺の沈み込みと粘土鉱物脱水由来の水が水圧破碎を引き起こすことで陸側のカリブプレート下底部が削り込まれ、沈み込み帯深部へと持ち去られていると考えられています。第334次研究航海では、2地点で掘削同時検層を実施し、その後カリブプレート上部斜面と中部斜面、沈み込むココスプレート最上部の計4地点でコア試料を採取しました。

カリブプレート上部斜面を掘削して明らかになったことは、海浜砂から陸棚ないし上部斜面へ至る急激な沈降とそれに引き続く異常なまでに早い堆積物累積速度です。この一連のプロセスは更新世以降に起こっており、堆積物累積速度は最大で1035m/百万年に達しています(四国沖南海トラフより早い)。急激な沈降は、カリブプレート下底部が沈み込み浸食を受けたためであると考えられます。一方で、異常に早い堆積物累積速度は、ココス海嶺の沈み込みによって陸が隆起し(コ

スタリカでは4000m級の山が連なる)、それが浸食・運搬されたことを反映しているのかもしれませんが。詳細については現在検討中ですが、カリブプレートの上昇・沈降史は、下底浸食と堆積物累積速度のバランスに左右されていると見られます。また、応力測定の結果、カリブプレート中部斜面は圧縮応力場であるのに対し、上部斜面は引張応力場であることが明らかになりました。この劇的な応力場変化は、下底浸食の開始を示唆しています。一方、ココスプレート最上部は、玄武岩や珪質・石灰質軟泥などで構成されていることが分かりました。本航海最大の謎は、カリブプレートの基盤岩は何物であるかということです。当初はオサ半島に露出するメランジュであるだろうと予想していました。掘削同時検層では、斜面堆積物から下位に向かって急激な物性変化が認められ、基盤岩にヒットしたのではないかと考えていました。しかし、掘削コアを採取してみると、それは相対的に圧密が進んだ堆積岩(斜面堆積物基底部?)でした。

当初、上部斜面は固着域直上にあるので圧縮応力場であると予想して

いました。また、沈み込み浸食域で堆積物累積速度がこれほど早い(1000m近く掘ってもまだ更新世の堆積物!)とは考えていませんでした。そして、基盤岩の謎。掘削してみないと分からないものです。当初の予想と異なった場合、その成因を新たに考えていくのも掘削航海の醍醐味の1つであります。今回浮かび上がった課題は、航海後の研究を通じて解明していくと同時に更に深く掘って検討を重ねる必要があります。次のCRISP2航海(第344次研究航海)の成果にも期待しているところです。



第343次研究航海の掘削地点(赤丸)

Exp. 324 Shatsky Rise Formation (2009/9/4～11/4, JR)

～シャツキー海台形成モデルの検証～

佐野 貴司

Co-chief Scientist・国立科学博物館地学研究所

大規模火成区(Large Igneous Province: LIP)は巨大海台や大陸洪水玄武岩の総称であり、大規模なマグマ活動が短時間に起こった結果形成されたものである。LIPは地球深部から上昇してきた巨大ブルームの先端が大規模に溶けたマグマによりつくられたと提案されているが、この成因モデルは詳細に検証されていない。LIP活動は多量の揮発性成分を地表へ排出したため、急激な環境変動を引き起こした可能性があり、生物大量絶滅などのイベントとの関連性においても注目されている。

これまでにオントンジャワ海台とケルゲレン海台という2つのLIPは系統的な掘削研究が行われたが、これら海台の形成過程や形成時の海嶺との位置関係が不明であるため、詳細なブルームモデルの検証は困難であった。一方、シャツキー海台に関しては、地磁気の縞模様を基に、海嶺の3重会合点のトレースに沿って形成され、主に3つの山塊(南西から北東に向かってタム、オリ、シルシヨフ山塊)が生成されたことが分かっている。そこでIODP Expedition 324は、シャツキー海台の5つのサイト(U1346-U1350)において掘削を行った(図1)。

掘削の結果、活動初期に形成されたタム山塊は主に塊状のシート状溶岩から構成されるのに対し、北東へ行くほどこの割合が減り、最も若いシルシヨフ山塊は大部分が枕状溶岩からなるという結果が得られた。この事実は最初に巨大なマグマ活動が起こり、次第に弱体化していったというモデルと調和的である。また、海台の高地を形成する溶岩や火砕物は浅海または陸上で噴出したものであることが明らかになった。このため、マグマの噴出時に山頂部は火山島となっていた可能性が高く、ダイナミックな地殻の上昇が起こっていたと推定される。また山腹よりも山頂で採取した溶岩や火砕物の方が変質の度合いが高かったため、噴火後の火道(山頂付近)での熱水流量は山腹に比べて高かったと考えられる。なお、様々な種類の火砕物が多く掘削地点から採取されたため、これらが溶岩流と共に海台上部を構成していることが分かった。

現在は、採取してきた火山岩に

ついでの様々な化学分析や古地磁気測定が行われている。今後、これらの分析データを基にブルームモデルの詳細な検証が行われると考えている。

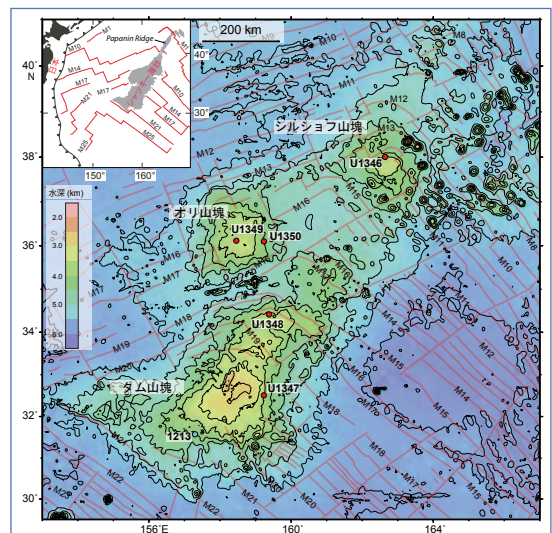


図1. シャツキー海台の地形図と古地磁気縞模様(赤線)。IODP Expedition 324掘削サイト(赤丸)とODP Site 1213(青丸)が示されている。左上の図は日本とシャツキー海台の位置関係を示している。

Exp. 330 Louisville Seamount Trail (2010/12/13～2011/2/12, JR) ～ルイビル海山列掘削:ホットスポット移動仮説の検証と 地球化学的進化の解明～

山崎 俊嗣

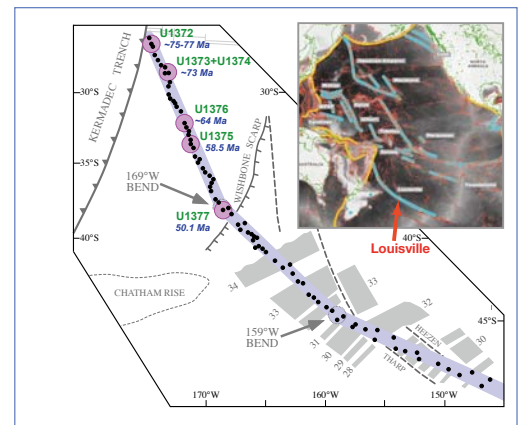
Co-chief Scientist・産業技術総合研究所

南太平洋に位置するルイビル海山列(図)は、北太平洋のハワイ・天皇海山列とともに、マントル底部起源のブルームにより形成されたとされる代表的なホットスポット軌跡である。ODP Leg 197により、ハワイ・ホットスポットが50～80Maの間に約15度南下したことが明らかとなり、過去のプレート運動復元の基準として用いられてきた、ホットスポットがマントルに固定された座標系であるとする仮定が、疑われることになった。Expedition 330は、ルイビル・ホットスポットがハワイと同様に南下した(並行移動した)のか、それとも独立に運動している(あるいは運動していない)のかを、古地磁気から明らかにすることを第一の目的とした。また、ホットスポット起源の火山の形成史やマントルの地球化学的進化を明らかにすることを、掘削の第二の目的とした。ルイビル海山列からはドレッジではアルカリ岩しか採取されておらず、ソレライトを主体とするハワイ・天皇海山列とは異なっていることが知られていた。

掘削航海は2010年12月13日～2011年2月12日に、JOIDES Resolutionによ

り実施された。事前の計画では、約50～80Maの間の4つの海山を各々350m掘削する予定であった。350mという掘削長は、これまでのODP/IODPでの経験から、地磁気永年変化を平均化できるだけの枚数(30～40枚)の溶岩を掘削するために必要な深さとして設定された。実際には、5つの海山の8サイトで掘削を行い(図)、総掘削長1114m、総コア長806m、平均回収率72%であった。ドリルパイプのスタックやビット交換/リエントリーのための自由落下式ファネルの設置失敗等のトラブルにも見舞われたものの、Site 1374では88%という火山岩としては驚異的な平均回収率で深度522mまで掘削するなど、全体として掘削は成功裏に終了した。新鮮な火山ガラスやオリビンを含む火山岩が豊富に得られたこと、船上の古地磁気測定により掘削時二次磁化の影響をほとんど受けていないことが判明したこと、古海洋研究のための藻類石灰岩も得られたことなど、航海後の研究により初期の目的をすべて達成

し得るだけの試料が得られた。本稿執筆の時点でもうすぐ航海後1年になり、今年9月に予定されているポストクルーズ・ミーティングに向けて、各乗船研究者により試料の測定・分析等が進められているところであるが、船上の古地磁気測定データの解析といくつかの新たな⁴⁰Ar-³⁹Ar年代測定結果に基づいて、ルイビル・ホットスポットの古緯度を速報する論文がNature Geoscienceに投稿された。



Exp. 335 Superfast Spreading Rate Crust 4 (2011/4/13～6/3, JR) ～ガブロへの道は遠かった！～

宮下 純夫

Igneous Petrologist・新潟大学

海洋地殻の主要部を構成しているガブロやマントルかんらん岩に関しては、深部の岩石が上昇・露出している特異な場において掘削されているが、その大部分は低速拡大地殻で、高速拡大地殻に関しては情報量が極めて限定されていた。

Exp.335はODP Leg 206, Exp.309/312に引き続くHole 1256 Dでの4回目の掘削で、Exp.312では最上部の溶岩層からガブロ層までの掘削に初めて成功した。しかし、ガブロ層は上部50mのガブロ1、下位20mのガブロ2が得られたものの、最深部の1507mbsfはダイスクリーン2で終了していた。今回の掘削ではさらに深部のガブロ層本体を目指していた。

結論的にいうと、今回の結果は惨憺たる結果であったが、思いもかけなかった大きなサンプルが得られるなど、特異な航海となった。溶岩層下部付近の孔壁安定化作業に2週間を費したのち、待望の掘削が始まったが、1520.2mまで掘り下げて3本のコアを得た以降は、ビットを落としてしまうなどのトラブルが相次ぎ、それ以降のほぼ3週間はビットの回収や孔底のクリーニング作業が続いた。特筆すべきは、その作業の行程におい

て、ジャンクバスケットに通常の掘削では決して得られないような大きなサンプルが大量に得られたことである。その最大のもは径25cm、重さが5kg近くにも達している(写真参照)。これらはその特徴などから大部分がダイスクリーン2由来と推定されているが、少量のガブロも含まれていた。ダイスクリーン2は極度にリカバリーが悪く、コアも小さなものが多い中で、大きな岩塊が多数得られたことにより、その解明が進むものと思われる。

コアが上がってこなかったため、積み込まれていたExp.312のコアの再鑑定・記載を行い、かんらん石の濃集層(層状構造)を新たに見いだした。また、掘削孔底からの「ドレッジ」サンプルについても記載・観察を行った。本航海の最終盤になって掘削が再開し、1521.6mまでの最後のコアを得て、掘削は終了した。

サンプリングパーティーは、大小さまざまな「ドレッジ」サンプルを主要な対象として行われたが、一見するととてもIODPの掘削航海とは思えない光景であった。ただ、サンプル数が非常に多かったため、サンプリングパーティー自体は平穩に進行した。コアは僅

か4本、それも回収率が悪かったため、サイトレポートの大部分は「ドレッジ」サンプルについての記載が占めている！

このように、今回のExp.335は大変特異な航海となってしまったが、乗船研究者は、和気あいあいとした雰囲気、各乗船研究者の研究発表なども、作業が少なかったために(?)、活発に回数重ねられた。ガブロへの道の困難さを思い知るとともに、本ホールでの再挑戦を誓って航海は終了した。



アルパイン断層掘削計画(Deep Fault Drilling Project - Alpine Fault)の概要とシンポジウム参加報告

福田 惇一

東北大学・日本学術振興会特別研究員PD

廣野 哲朗

大阪大学

アルパイン断層はニュージーランド南島西部、オーストラリア-太平洋プレート境界に発達する右横ずれ逆断層である。この断層の活動により東側(太平洋プレート)が大きく隆起しており、この隆起速度は年間6-9mmに達する。そのため、後退変成作用の影響が比較的少ない状態での地下20-30kmに相当する地殻断面が地上に露出しており、古くから研究されている断層である。さらに、この断層では、200年から400年の再来周期で巨大地震が発生し、最近では1717年にMw7.9の地震が起きている。

2011年1月より、この断層を掘削する研究プロジェクト(Deep Fault Drilling Project - Alpine Fault; DFDP-AF)が開始された。2011年2月には深度150mまで掘削するDFDPステージ1が終了、2012年4月現在、DFDPステージ2での掘削(アルパイン断層まで到達する1500m級の掘削)が進行中である(DFDPステージ2からは国際陸上科学掘削計画(ICDP)の一環として実施されている。日本からも、筆者らに加え、東京大学地震研究所の佐藤比呂志氏や大阪市立大学の奥平敬元氏が参加)。この科学掘削では、造山運動の発達機構と脆性-塑性遷移領域での変形機構、および地震発生過程の理解を

大きな目的としており、具体的には、(1)断層およびその近傍での応力、流体圧、透水性や温度、(2)歪の局所化とその変形機構、(3)センチメートルからキロメートルスケールでの地震波速度構造、(4)各鉱物の変形機構、(5)変成流体の寄与、(6)スリップゾーンやその周囲のダメージゾーンの厚み、(7)ゆっくり滑りや低周波微動の可能性、(8)シュードタキライトの発達と元素移動、などについての研究が展開されつつある。さらに、近年の地震波トモグラフィーによる構造探査によって、アルパイン断層の深部での地震波低速度帯と流体の分布との空間的対応関係が示唆されている。これらの対応は、流体と鉱物間での反応によるウィークフェーズの形成や流体自身による塑性変形促進をもたらし、断層上部への応力集中と地震の発生過程にも強く影響を与えているであろう。このような断層帯での岩石の変形と流体との関係についても、掘削研究を通して新しい知見を得ることができると期待される。

また、2011年11月23日と24日には、ニュージーランド、ダニーデンにあるオタゴ大学にて、本掘削研究に関するシンポジウムが開催され、日本からは日本地球掘削科学コンソーシアムの旅費支援を受けて、筆者の福

田と奥平氏が参加した。このシンポジウムでは、測地学、地震学、変形・変成岩石学、鉱物学など、多岐に渡る分野の研究者が一堂に会し、掘削の進捗状況や今後の計画、アルパイン断層に関する詳細など、お互いの情報交換のため、格好の機会であった。特に、DFDPステージ1では、カタクレーサイトからマイクロナイト(ウルトラマイクロナイト)までの一連の変形岩が得られており、脆性-塑性遷移領域での変形機構に関する研究の展開が盛んである印象を受けた。筆者らも、DFDPステージ1で採取された石英質マイクロナイトと層状ケイ酸塩に富むマイクロナイトの共存関係に着目し、層状ケイ酸塩鉱物からの脱水過程とこの脱水が変形機構に与える影響について調べつつある。また、同大学の一角には、掘削コア試料が丁寧な記載とともに展示されており、直接観察する貴重な機会でもあった。今後、我々日本の研究チームでは、現在進行中であるDFDPステージ2で回収されるコア試料もリクエストし、微細組織観察や分光分析、化学分析などを実施、活動的な断層内部で起こっている変形のメカニズム機構やそでの流体の存在形態や量、岩石-流体相互作用などについて研究を展開していく予定である。



オタゴ大学でのシンポジウムの会場の様子



シンポジウムにて展示されていた掘削コア試料

太古代中期の海洋底掘削(DXCL)報告

清川 昌一
九州大学

近年、年代測定技術の進歩や詳細な地質調査の結果、太古代の地球環境やテクトニクスが明らかになっている。太古代の研究では、陸上掘削は連続的な層序を維持し、信頼性の高い分析が可能な未風化の岩石試料が得られるために、各地で行われるようになり、今や掘削試料からの未風化の岩石のみが化学・同位体分析を行うに値するという状況になりつつある。

我々は、太古代中期の海底環境の復元を目指し、Dixon Island-Cleaverville Formations Drilling Project (DXCL)を開始し、2007年、2011年とオーストラリアピルバラグリーンストーン帯にて掘削を行った。このプロジェクトは、表層環境・生物活動・火山-熱水活動・テクトニクスを解明し、宇宙塵の落下頻度など宇宙からの情報も加味しつつ、大陸地殻が徐々に形成されている時代における、総合的な地球表層環境の復元を目標としている。

掘削地域の地質

太古代、特に30億年以前の低変成堆積岩が残っている地域は、南アフリカ・バーバートン帯と西オーストラリア・ピルバラクラトンの2カ所であり、この時代の表層環境を復元するために欠かせない地域となっている。今回の掘削はピルバラクラトンの北西に位置するピルバラ海岸グリーンストーン帯といわれる場所で、ピルバラクラトンでも唯一海岸線にグリーンストーン帯が露出する地域である(図1)。デクソンアイランド・クリバービル層は緑色片岩相以下の低変成作用しか受けておらず、上下や側方に連続した海底層序が残る希な地質帯である。

掘削地域は枕状溶岩・コマチアイト溶岩・流紋岩などの火山岩類とその上位の化学的沈殿岩(黒色チャート、赤色チャート、縞状鉄鉱層)



図1. 手前がターゲットの縞状鉄鉱層、右奥に見える島がデクソンアイランド

が繰り返す海洋性島弧層序を持ち、下位よりラグーン層群、ラグーン枕状溶岩、デクソンアイランド層、デクソン枕状溶岩、クリバービル(スナッパービーチ)層からなる(図2)。特に、デクソンアイランド層とクリバービル層では、黒色チャート、赤色チャート、縞状鉄鉱層が海岸線に露出し、連続した層序を復元できる。

掘削地点

DXCLでは2007年8月、2011年11月の2回の掘削で、層序の下位からDX、CL2、CL1、CL3の計4本を取得した(図2、3)。地層はほぼ垂直に立っているため、52度の傾斜で斜め掘りを行った。掘削機器は、起伏に乏しい盾状地を移動できるよう、4WDの大型トラックに備えられており、事前に新たに道路を作って掘削地に移動する。最新鋭の掘削機器は到着して半日もあれば掘削を開始できる。広大で乾燥しきった内陸を主な活動の場としているドリラーたちは、DXCL掘削サイトの風光明媚な海岸線を心底喜んでいた。

掘削は2回とも10日ほどかかり、総合計400mのコアを取得できた(図3、4)。本地域では表層約50mの風化帯があり、それまではパーカッションで掘り抜き、それ以降はダイヤモンドコアで掘削し、試料を回収した。

回収後の処理(コアライブラリー)

掘削後に現地で簡潔なホールコアの記載を行ったのち、オーストラリア地質調査所のコアライブラリー(Core Library)に運び入れた(図5)。コアライブラリーはセキュリティが厳しく、入り口で安全に関するテストに合格してはじめて入ることができる。ライブラリー内は20mほどに積み上げられた西オーストラリア中の掘削コアを保存しており、そ

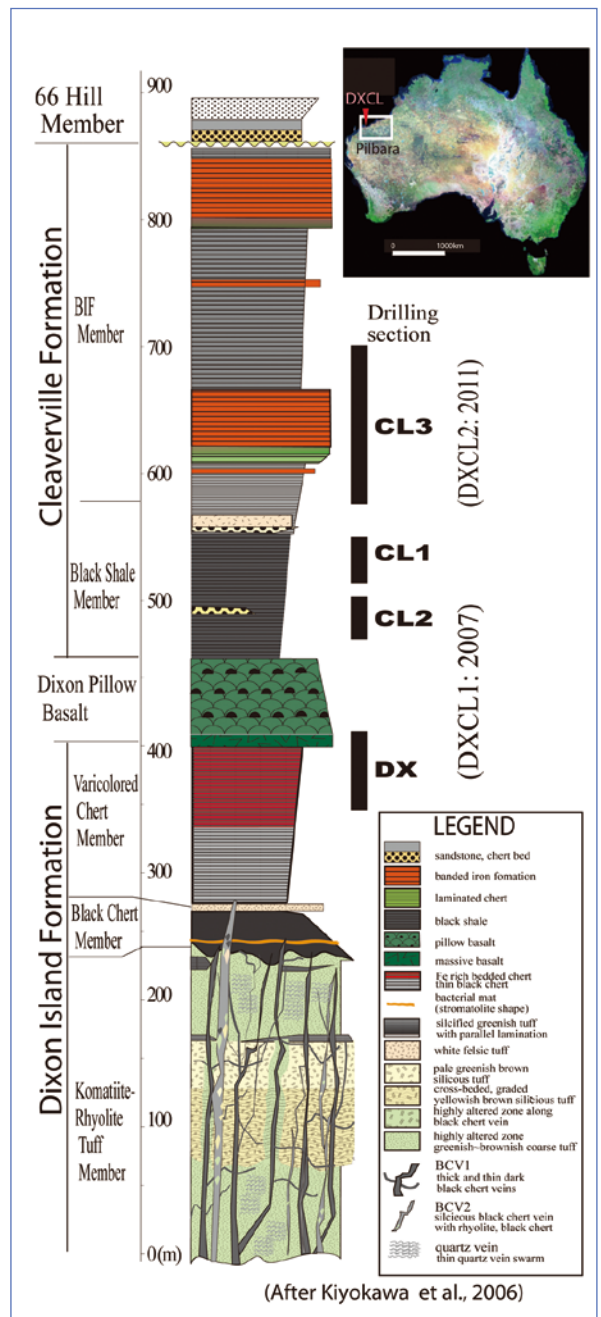


図2. デクソンアイランド・クリバービル層の総合柱状図と掘削サイトの層序的位置

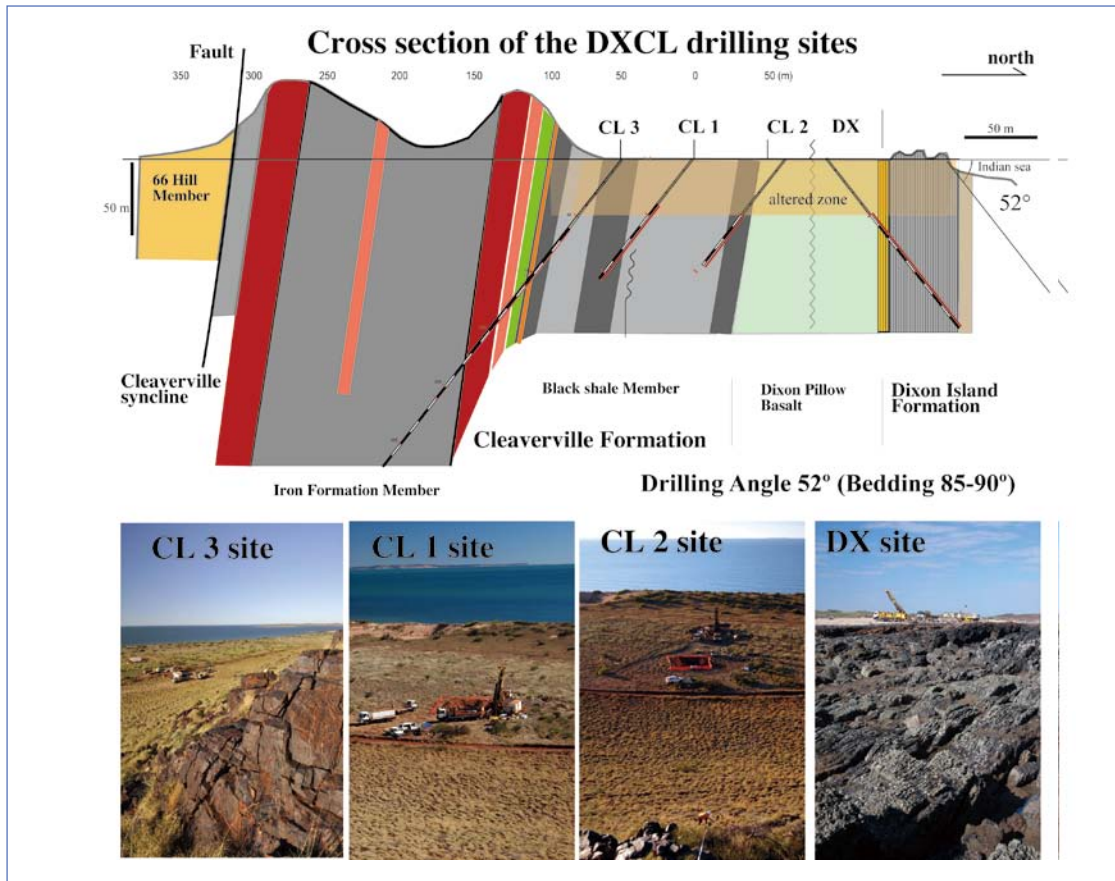


図3. 掘削地域の模式的断面図および掘削地点の遠景。デクソンアイランド層は北傾斜、クリバール層は南傾斜の掘削を行っている。CL3が2011年、CL1・CL2・DXは2007年に掘削を行った。

これらの試料についての諸作業ができるよう、コアが楽に転がせる全長30mのローラー付きテーブルが9レーン揃っており、長いコア試料を広げての処理・記載・観察が可能である。当初からの契約で、半割したコア試料の半分をコアライブラリーに保存、残りを日本に運んでいる。現在、送られたコアは高知コアセンターに保管され、記載・分析処理が進んでいる。

掘削コア

掘削コアでは、陸上では全く観察されなかった特徴のある岩石が取得された。DXサイトは熱水系直上の層状チャート層からなり、有機物に富むチャートと黄鉄鉱層が1mm以下の薄いラミナとして繰り返す地層がみられる。CL2、CL1は厚い黒色頁岩層からなり、層厚20cmほどのシルトサイズの有機物に富む頁岩が、上方粗粒化しながら重なる。陸上露頭でみられないクロスラミナなどの堆積構造もきちんと残っている。CL3では、黒色頁岩層から厚い層状チャート層を挟んで主に磁鉄鉱からなる縞状鉄鉱層が採取された。現在、主成分・微量元素分析、炭素・硫黄・窒素・酸素などの同位体分析などを積極展開中である。

太古代の陸上掘削

ビルバラ地域では表層50mを掘ることで、未風化の岩石が採取でき、陸上露頭では見られなかった岩相の観察、初生的な化学・同位体組成の復元などが可能となる。海外での掘削は、カウンターパートの現地研究者やコンサルタント探し、鉱区など土地所有権やネイティブタイトル（原住民所有権）の許可取得、掘削会社との日程調整など非常にややこしい手続きがあり、代金支払い時にも為替レートや国際間のお金のやりとりなど、科学とは違うところでの労力がかかる。我々のケースでは、カウンターパートや大学事務の方々、掘削メンバーの協力により、科研費内でどうにか掘削が行うことができた。実は、ビルバラ地域における鉄鉱床探査では、一年間で、500mの連続コアを200本ぐらい掘削したのちに一つの鉱山として登録すると聞いた。科学掘削と資源掘削をうまく組み合わせれば研究ができるとお金のロスが少ないのにとつくづく感じた。

DXCLは、現時点でデータの乏しい太古代中期の海洋環境に焦点を絞ったものであり、詳細な層序記載・化学分析により当時の環境が鮮明になりつつある。

プロジェクトメンバー：伊藤孝（茨城大学）、池原実（高知大学）、山口耕生（東邦大学）、菅沼裕介（国立極地研究所）、尾上哲治（鹿児島大学）、堀江憲治（国立極地研究所）

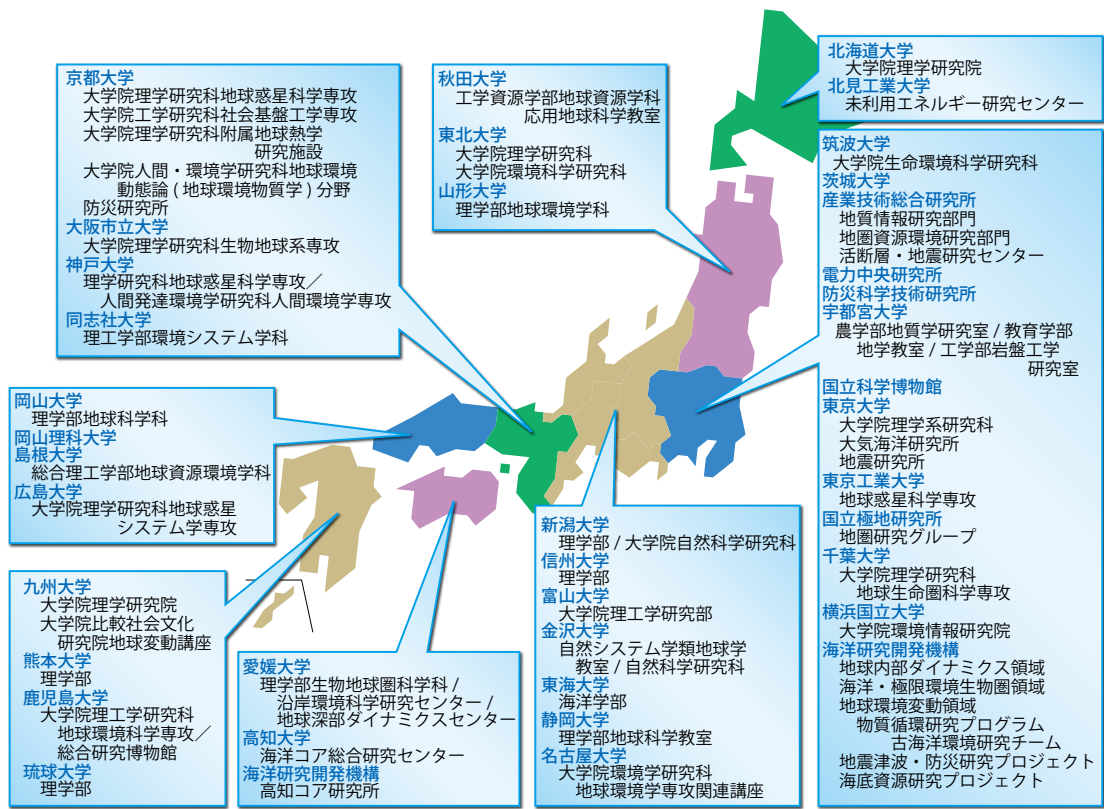


図4. 掘削コアの風景。掘削は浅い柔らかい部分はPQサイズのコア、深くなるに従い、HQ、NQのサイズに変更している。



図5. 西オーストラリア地質調査所 コアライブラリーの内部風景。9列のローラー付きサンプル台があり、奥に数十mの巨大なサンプル棚が広がる。

J-DESC 正会員 (33大学、6機関)



J-DESC 賛助会員 (15企業)

 エスケイエンジニアリング株式会社	 日本マントルクエスト株式会社	 住鉱資源開発株式会社
 株式会社クリステンセン・マイカイ	 ハリバートン・ オーバーシーズ・リミテッド	 株式会社テルナイト
 シュルンベルジェ株式会社	 株式会社マリン・ワーク・ジャパン	 日本海洋掘削株式会社
 帝石削井工業株式会社	 株式会社エヌエルシー	 日本郵船株式会社
 日鉄鉱コンサルタント株式会社	 J X 日鉄日石探開株式会社	 株式会社物理計測コンサルタント



J-DESC Newsletter

■発行: 日本地球掘削科学コンソーシアム ■編集: 日本地球掘削科学コンソーシアムサポート
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25 海洋研究開発機構 地球深部探査センター内
Tel: 045-778-5271 Fax: 045-778-5704 e-mail: info@j-desc.org