

海底地殻変動観測における鉛直変動の精度について

Uncertainty of vertical positioning of seafloor geodetic observation

*石川 直史¹、渡邊 俊一¹、横田 裕輔¹、田代 俊治¹

*Tadashi Ishikawa¹, Shun-ichi Watanabe¹, Yusuke Yokota¹, Toshiharu Tashiro¹

1.海上保安庁海洋情報部

1.Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

海上保安庁海洋情報部では、GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測の技術開発及び定常観測を行っている。主に日本海溝及び南海トラフ沿いに設置した観測点における繰り返し観測から、海洋プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動や地震に伴う地殻変動を検出してきた。

本方式による測位では、海上の測量船と海底局（音響トランスポンダー）の間の距離を音波で測定することで、海底局の位置を求めている。この際、海中音速度の変動が最大の誤差要因であるため、センチメートルレベルの精度の高い測位のためには、海中音速度を正確に与える必要がある。しかしながら、海中の音速度（水温と塩分）は、時間・空間で複雑な変化をみせるため、音波を発射した時間及び音線の経路上における正確な音速度を測定することは、事実上不可能である。そこで、データ解析では、音速度の補正パラメータを導入し、海底局の位置座標とともに、音速度自体も同時に推定することで誤差の軽減に努めている。

現在、海底局位置の水平成分に関しては、 1σ で2-3cm程度の不確かさで推定できるようになっている。一方で、鉛直線分に関しては、水平成分に比べてばらつきが大きくなる傾向がある。これは、水平方向に関しては海底局に対して点对称となる位置で音響測距を行うことによって、音速度の誤差がある程度相殺されるが、鉛直方向に関しては、海底局の上方からのデータしかないため、音速度の誤差の相殺が起きないためである。これは、陸上のGNSS測位においても一般的に見られる傾向である。

本発表では、現在の解析手法における音速度の鉛直座標の関係について、検証するとともに、より正確な鉛直座標の推定を行うための解析アルゴリズムについて検討を行った結果について報告する。

キーワード：海底地殻変動観測、GPS-音響測距結合方式

Keywords: Seafloor geodetic observation, GPS-Acoustic combination technique

シミュレーションを用いたGPS-A海底地殻変動観測の精度の検証

Accuracy of GPS-Acoustic seafloor geodetic observation evaluated by numerical simulation

*田代 俊治¹、石川 直史¹、横田 裕輔¹、渡邊 俊一¹

*Toshiharu Tashiro¹, Tadashi Ishikawa¹, Yusuke Yokota¹, Shun-ichi Watanabe¹

1.海上保安庁

1.Japan Coast Guard

海上保安庁海洋情報部では、プレート境界型地震の震源域の想定に資するために、GPS-音響測距結合方式（GPS-A）による海底地殻変動観測を実施している。これまでに、大きなcoseismic 変位や、数年間スケールのinterseismic 及びpostseismic 変位を捉えることに成功してきた [例：Sato et al., 2011]。

一方、スロースリップや地震直後のpostseismic変位など、数年以下の時間スケールを持つ地殻変動現象も多く知られている。今後、そうした現象を捉えるためには、観測精度を保持したまま、限られたシブタイムの中でより高頻度に観測を実施しなければならない。これを実現するにあたり、必要な精度を確保しつつ、現在より観測効率の良い測線を設定できるか、海底地殻変動観測シミュレータ [横田ほか, 2016]を用いて検討した。このシミュレータでは、任意の誤差を与えた擬似観測データセットを作成し、それを実観測データのように解析することができる。

本発表では、データ配置が観測精度へ与える影響について調査した結果を報告し、新規測線の設定可能性を議論する。また、実際の観測結果と比較し、評価の妥当性を検証した結果について、合わせて報告する。

キーワード：海底地殻変動観測、GPS-音響測距結合方式

Keywords: seafloor geodetic observation, GPS-Acoustic combination technique

大規模海流域における海底地殻変動の解析法

Analytical method of seafloor crustal deformation corresponding to the large-scale ocean current region

*安田 健二¹、田所 敬一¹、松廣 健二郎¹、谷口 颯太¹*Kenji Yasuda¹, Keiichi Tadokoro¹, Kenjiro Matsuhira¹, Sota Taniguchi¹

1.名古屋大学大学院環境学研究科

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

名古屋大学では、南海トラフ軸近傍（熊野灘の南）にトラフ軸を挟むように海底地殻変動の観測点2点

(TOA・TCA)を2013年から設置している。この観測点直上では、しばしば黒潮が流れている。黒潮は、流れに直交する方向に温度差が存在し、水深1000m程度まで温度差が続いている。海中音速はDel Grosso [1974]の経験式によって変化しており、温度変化に大きく依存する。現海底局位置決定の際に海中音速構造は、水平成層構造と仮定している。そのため、実際の海中音速構造が水平不均質となっている場合、局位置決定はバイアスを含んで決定してしまう[Muto et al. 2008]。そこで本研究では、黒潮のような軸に直交する方向に温度差が存在する（傾斜構造のような）場合に対応した海底地殻変動の解析法を提案する。

本研究では、Ikuta et al. [2007]の海底地殻変動の解析法に水平不均質を考慮した音速構造モデルを適用する。本研究で用いる音速モデルは以下の式によって表される：

$$S(X, x, z) = S_0(z) + dS(A(z) \times \tan(q(X, x)) - R(X)).$$

$S(X, x, z)$ はスローネスの時空間変化、 $S_0(z)$ はCTDによって推定された音速の鉛直方向のプロファイル、 dS は水平方向のスローネスの変化率、 $A(z)$ は海底局から深さ z までの鉛直距離、 $R(X)$ は傾斜軸から観測船までの距離、 $q(X, x)$ は海底局と船の入射角、 $R(X)$ は傾斜軸から海底局までの水平距離、 X は海底局位置、 x は船の位置、 z は水平不均質が存在する深さ。傾斜（水平不均質）の大きさや軸の方向は、数値実験[Yasuda et al., 2015 in SSJ fall meeting]より推定可能であることが示された。この数値実験では、傾斜構造を含んだ音速構造の海域での海底地殻変動解析において、走時残差に周回1周の半分の周期が残る3局の海底局とも位相がずれることがわかっている（図1）。この走時残差の振幅と3局の初期位相から傾斜の大きさや軸の方向が推定可能である。本研究では、推定された傾斜の大きさや軸をもとに誤差の範囲内でグリッドサーチを行うことにより、走時残差の残差二乗和が細小になる時の傾斜の大きさや軸を最良の音速モデルとして解析に取り入れた。

新しい解析に使用したデータは、TOA、TCAの全観測である。どちらの観測点も4回の観測が行われており、すべての観測で観測点直上を黒潮が流れていることが確認されている（三重県水産研究所のNOAA海面水温データより）。新しい解析を適用した結果、すべての観測で南-南東方向に最大の音速差が存在することが示された。これは、観測日当日に観測された海面水温データ（三重県水産研究所）と調和的である。走時残差のRMSはTCA観測点の2015年5月の観測において最大の低減である0.27 msほど低減した。また4回の観測の海底局位置のRMSは元の解析と比較すると、TCAの南北成分で0.46 mから0.06 mと0.40 m低減し、東西成分で0.10mから0.11mと0.01m増加した。また、TOAの南北成分で0.46mから0.08mと0.38m低減し、東西成分0.22mから0.05mと0.17m低減した。本研究の解析法を適用した結果、黒潮の影響による系統誤差は大幅に低減することができた。

キーワード：海底地殻変動、海中音速構造、黒潮

Keywords: Seafloor crustal deformation, Kuroshio, Nankai Trough

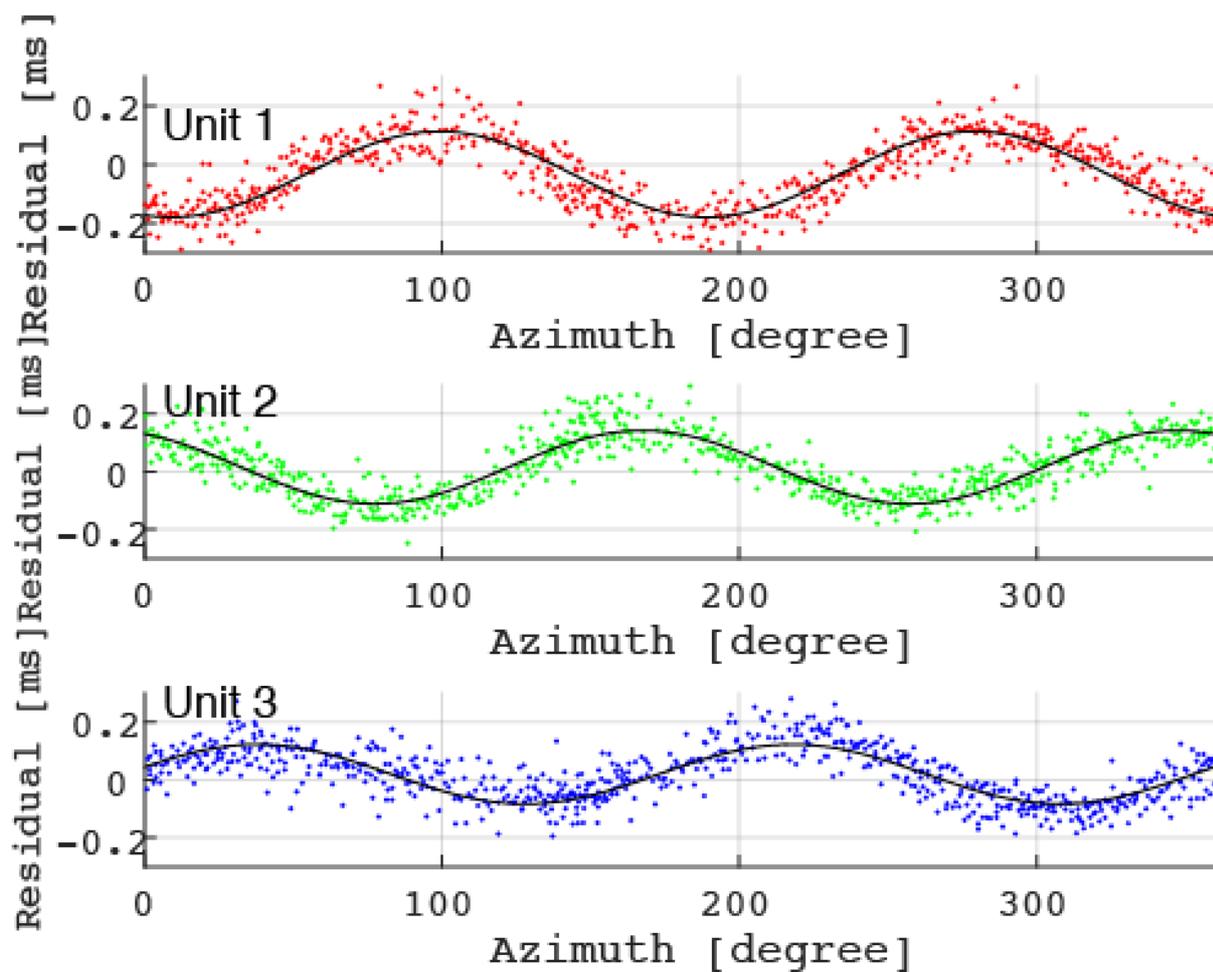


Figure 1. Travel time residual of TCA observation at May 1 2015. Solid line is the curve fitting by Yasuda et al. (2015) in SSJ fall meeting.

南西諸島海溝における海底地殻変動観測

Seafloor Crustal Deformation Measurement at the Nanseisyoto Trench

川島 廉¹、*田所 敬一²、中村 衛³、松廣 健二郎⁴、松本 剛³、小野 朋典³Ren Kawashima¹, *Keiichi Tadokoro², Mamoru Nakamura³, Kenjiro Matsuhira⁴, Takeshi Matsumoto³, Tomonori Ono³

1.名古屋大学理学部（現・静岡県庁）、2.名古屋大学地震火山研究センター、3.琉球大学理学部、4.名古屋大学全学技術センター

1.Faculty of Science, Nagoya University (Now at Shizuoka Prefecture), 2.Research Center for Seismology, Volcanology and Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya University, 3.Faculty of Science, University of the Ryukyus, 4.Technical Center, Nagoya University

南西諸島海溝沿いでは、地震発生の特性が十分に解明されていないため、地震調査研究推進本部による海溝型地震の長期評価が行われていない。また、1771年八重山津波は石垣島南方沖での海溝型地震によるとの指摘もあり [Nakamura, 2009]、南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の固着状態を把握する必要がある。プレート間の固着状態の把握には地殻変動データが有用であるが、沖縄トラフでの背弧拡大の影響による琉球弧の海溝側へのせり出し（固着に伴う変位とはほぼ逆方向の変位）もあり、陸上（島嶼部）に設置された1列のGPS観測網のみで南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の固着状態を把握することは困難である。そこで、Nakamura [2011] では、沖縄本島南東沖の南西諸島海溝近傍に設置したRKA観測点でのGNSS/音響結合方式による海底地殻変動観測結果から、カップリング率がほぼ100%、幅約50kmの固着域が存在することが報告されている。しかし、1カ所での観測であったため、固着域の長さを限定することはできなかった。本研究では、RKA観測点に隣接した海域でのプレート間の固着状態を明らかにするため、RKA観測点の北東約70kmの海底にRKB観測点を設置してGNSS/音響結合方式による海底地殻変動観測を実施した。

RKB観測点は、2011年11月に南西諸島海溝軸から53km、水深約2200mの海底に設置した。観測は2011年11月、2012年11月、2014年9月、2015年9月の計4回にわたって、沖縄県水産海洋技術センターの調査船「凶南丸」（176トン）を借用して実施した。観測期間はいずれも一日半程度であった。海底局位置決定に使用した音響測距データ数は、各エポックで8257個、8992個、7286個、6424個であり、調査船に設置したGPSアンテナの座標は0.2秒でサンプリングしたGPSデータを用いてPPP解析によって求めた。このほか、観測船の姿勢は0.5秒間隔で収録したジャイロコンパス（OCTANSIII）によって計測し、平均的な海中音速構造のプロファイルを求めるためにCTD測定を行った。

海底局位置決定の結果、RKB観測点はアムールプレート上のGEONET上対馬基準点に対して、南北成分が -6 ± 22 mm/yr、東西成分が 2 ± 26 mm/yrで移動していることが明らかになった。この結果は、Nakamura [2011] によるRKA観測点での観測結果（南北成分： 35 ± 23 mm/yr、東西成分： -30 ± 19 mm/yr）と有意に異なり、両観測点直下でのプレート間の固着状態が明らかに異なることを反映していると考えられる。

琉球弧の変位速度場は、沖縄トラフでの背弧拡大、スロースリップイベント（SSE）、そしてプレート間固着による変位速度によって記述される。RKB観測点における変位速度の観測値から、Nishimura et al. [2004] による琉球弧の剛体ブロック運動モデルから計算した背弧拡大による寄与分と、Nishimura [2014] に報告されている観測期間中に発生したSSEによる寄与分（年間あたり）を差し引くことによってプレート間の固着による変位速度を求めたところ、アムールプレートに対して北北西方向に 24 ± 25 mm/yrであった。RKB観測点と沖縄本島でのプレート間の固着による変位速度（ほぼ0mm/yr）をともに満たすRKB直下のプレート間カップリング率をフォワードモデリングによって求めると、約0~20%程度となった。この小さいカップリング率は、RKA観測点付近と比べてRKB観測点付近ではSSEや逆断層型の超低周波地震 [Tu et al., 2010]、逆断層型地震等のひずみ解放イベントの発生数が多いことと調和的である。したがって、RKB直下ではプレートの沈み込みに伴うひずみが上盤側プレートに蓄積している可能性は低いと考えられる。南西諸島海溝沿いのさらに広範囲の固着状態を把握するために、2016年にRKA観測点の南西約90kmの地点に新たな海底局を設置する予定である。

謝辞：本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施されました。

キーワード：南西諸島海溝、海底地殻変動、プレート間カップリング

Keywords: Nanseisyoto Trench, Seafloor Crustal Deformation, Interplate Coupling

1771年八重山津波“波源域”における海底地殻変動の観測

– 巨大プレート境界型地震は準備されているか? –

GNSS/Acoustic measurement conducted on “Source region” of the 1771 Yaeyama Tsunami

-Is huge inter-plate earthquake being prepared there?-

*生田 領野^{1,2}、安藤 雅孝²、中村 衛³

*Ryoya Ikuta^{1,2}, Masataka Ando², Mamoru Nakamura³

1.静岡大学理学部、2.静岡大学防災総合センター、3.琉球大学理学部

1.Faculty of Science, Shizuoka University, 2.Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, 3.Faculty of Science, University of Ryukyus

本発表では、2014年から2015年、八重山諸島、波照間島の南60km沖にて海底地殻変動を観測した結果を報告する。

波照間島の南方100kmにある琉球海溝では、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に8cm/yrで沈み込んでいる。琉球海溝の沈み込みは南西諸島の背後、沖縄トラフにおいて背弧拡大を引き起こしており

(4-5cm/yr)、海溝軸での収束速度は約12cm/yrと見込まれている。プレート間の固着は弱く、大きなプレート境界地震は発生しないと考えられてきた(Scholz and Campos 2012)。しかし、1771年4月24日、地震動を伴う巨大な津波が西琉球海溝沿いの石垣島、宮古島を始め周辺の島々を襲ったことが知られている(Nakata and Kawana 1995; Nakamura 2009a; Goto *et al.* 2010など)。この津波の最大遡上高は石垣島南東部で観測された約30mである。津波による死亡率は石垣島が最も高く、津波前の人口の約3分の1が死亡したとされる。一方で地震による深刻な被害は発生していない。震度に基づくマグニチュードMk=7.5は津波に基づくマグニチュードMt=8.5よりもかなり小さく、八重山地震が地震動と比較して不釣り合いに大きな津波を発生させる津波地震であることを示唆している。また、石垣島や周辺の島々では、1771年の大津波やそれ以前の古津波によって運ばれてきたと思われる巨大な津波石が多数発見されている。この事実もプレート境界地震のように特定の再来周期を持った事象の発生を示唆している。

Nakamura(2009b)は、1771八重山津波の原因を、琉球海溝西部で発生したプレート境界地震としてモデル化した。本研究では、想定震源域上で海底の地殻変動を計測し、プレートの固着状態を推定することとした。2014年10月に波照間島の60km南方、波照間海盆の南端(外縁隆起帯の内側)に海底局を設置し、設置時と、2015年7月の2回、海底局の位置を決定し、移動速度を見積もった。その結果、海底局は波照間島のGEONET点(国土地理院:コード960751)に対して南東に12±8cm/yrの速度で移動し、海溝に向かってせり出しているという結果となった。2度だけの計測であるため結果には大きな不確定性があるものの、結果を正しいとして解釈すれば、この場所の直下のプレート境界には固着が無く、更に海溝軸の高速な後退によって八重山諸島が南方に引っ張り出されていると考えられる。

ベクトルの精度を向上させるため、引き続き数年間の観測が必要である。また本サイトは八重山津波の想定波源域の西端にあたるため、東側の海域に観測を広げることで、本研究地域での前弧海盆の形成や背弧拡大のメカニズム、巨大プレート境界地震の有無の全貌解明に近づきたい。

Goto, K., Kawana, T. and Imamura, F., 2010, *Earth-Science Reviews.*, 102, 77-99

Nakamura, M. 2009a, *Geophysical Research Letter.*, 36, L19307

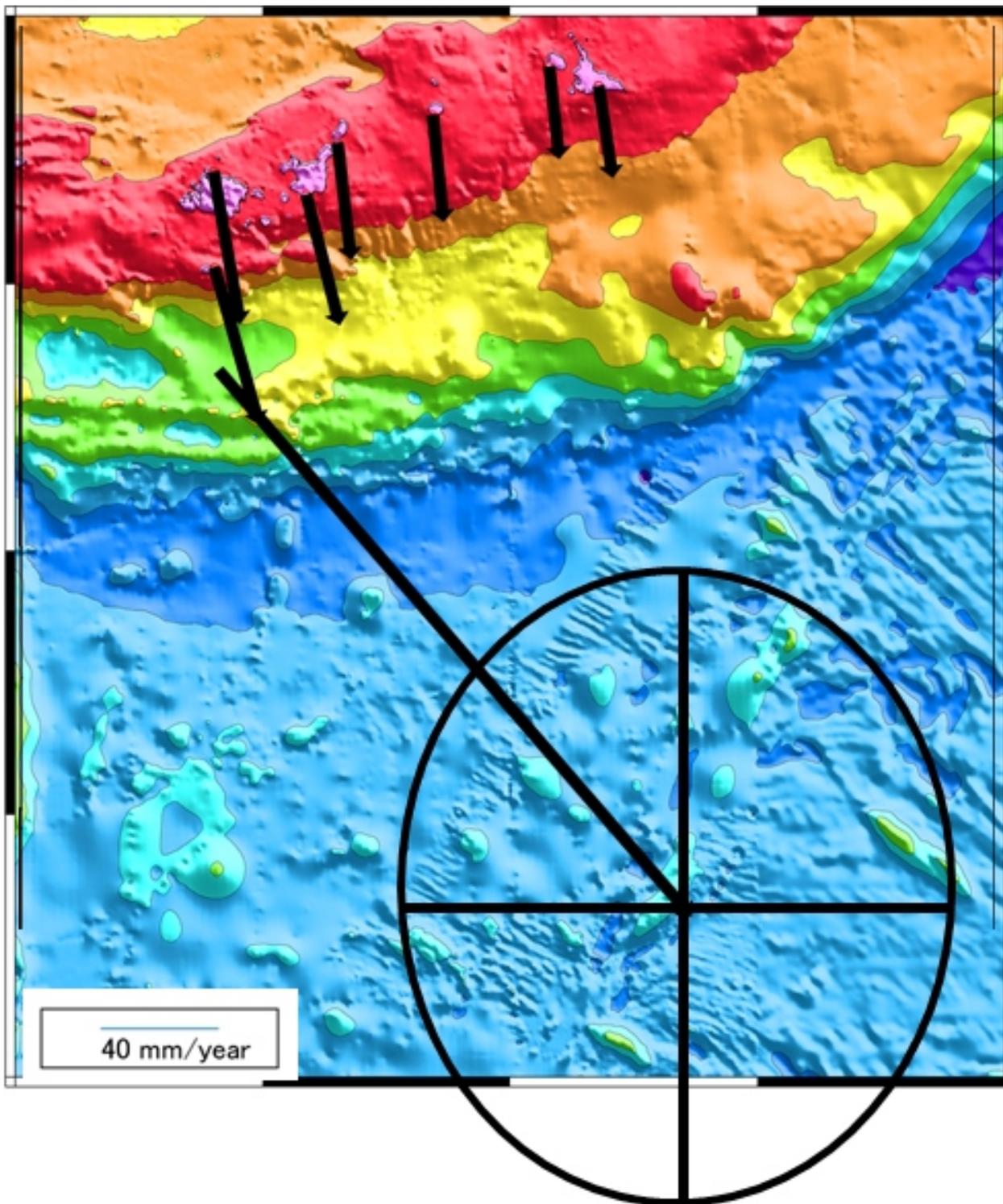
Nakamura, M. 2009b, *Geophysical Research Letter*, 36, L20312,

Nakata, T. and Kawana, T., 1995, In: Tsuchiya, Y. and Shuto, N. (Eds.), *Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands

Scholz, H. C. and Campos, J., 2012, *Journal of Geophysical Research*, 107

キーワード: 八重山津波、GPS/音響結合方式、海底地殻変動

Keywords: Yaeyama Tsunami, GPS/Acoustic geodesy, Ocean bottom crustal deformation



南西諸島弧における胴切り断層の地震学的構造

Seismic characteristics around the Kerama Gap in the Nansei-Shoto (Ryukyu) Island arc

*西澤 あずさ¹、及川 光弘¹、堀内 大嗣¹、岡田 千明¹

*Azusa Nishizawa¹, Mitsuhiro Oikawa¹, Daishi Horiuchi¹, Chiaki Okada¹

1.海上保安庁海洋情報部

1. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

The Nansei-Shoto (Ryukyu) Island arc is generally divided into three parts based on topography, geology, biology and other characteristics. The most significant boundaries are the Tokara Gap between the Tokara and Amami Islands in the northern arc, and the Kerama Gap between the Okinawa and Miyako Islands in the southern arc. Other than the two gaps, some large topographical saddles along the island arc characterize the Nansei-Shoto Island arc. We carried out seismic refraction and reflection surveys to investigate seismic structure around the Kerama Gap, which gives us key information to consider the tectonic evolution of the Nansei-Shoto Island arc-backarc system. Two seismic profiles, ECr25 and ECr31, are designed to cross the Kerama Gap and Miyako Saddle in the southern arc and forearc regions.

Line ECr25 along the forearc has a length of 415 km from the Nansei-Shoto (Ryukyu) Trench at the southwestern end, through the Miyako Saddle, to the Kerama Gap at the northeastern end. Multi-channel seismic (MCS) profile reveals many normal faults in the shallow sedimentary layer below the Kerama Gap and some faults reach to the seafloor, which suggests the deformation is in progress at the present time. The MCS record also shows clear reflection signals from the top of the subducting Philippine Sea plate. The depth of the plate boundary was estimated to be around 15 km below the forearc region from the reflection and refraction measurements. The ECr25 P-wave velocity (V_p) model reveals the top of 4-5 km/s layer is much shallower in the forearc regions to the southwest of the Kerama Gap, where higher free-air gravity anomaly and lower seismicity are different from other region.

Another line ECr31 with a length of 228 km was planned to be located along the Nansei-Shoto Island arc and cross the Miyako Saddle at the southwestern end and the Kerama Gap at the northeastern end. The MCS record for ECr31 show many normal faults beneath the Miyako Saddle and Kerama Gap, which indicates extensional regime along the island arc. Several conspicuous and almost continuous reflectors with small normal faults are detected at 1-2 s below the seafloor of the Miyako Saddle. On the other hand, some reflectors beneath the Kerama Gap are rather discontinuous due to large offsets of the normal faults, which indicates larger deformation in this region.

V_p model of ECr31 reveals a typical island arc structure. Although the thickness of the middle crust with V_p of 6.1-6.5 km/s varies along the seismic line, the variation seems to be independent of the positions of the Kerama Gap and Miyako Saddle. Therefore, the topographical deformation may not reach to the depth of the middle crust. We estimated the Moho depth of around 30 km from PmP arrivals. Some reflection signals from deeper than the Moho are also observed and they may reflect at the top of the subducting Philippine Sea plate or at its oceanic Moho. Traveltime mapping of these signals results in many scattering reflectors and it is difficult to determine the depths of deeper reflectors precisely.

キーワード：南西諸島弧、慶良間海裂、地震学的構造

Keywords: Nansei-Shoto (Ryukyu) Island arc, Kerama Gap, marine seismics

海底間音響測距を用いたトルコ・マルマラ海下北アナトリア断層のすべりレート検出及び断層モデルの推定

Creep rate measurement and fault modeling at the North Anatolian Fault, beneath the Sea of Marmara, Turkey, by means of acoustic ranging

*山本 龍典¹、木戸 元之²、太田 雄策¹、高橋 成実³、山本 揚二郎³、Dogan Kalafat⁴、Ali Pinar⁴、Sinan Ozeren⁵、金田 義行⁶

*Ryusuke Yamamoto¹, Motoyuki Kido², Yusaku Ohta¹, Narumi Takahashi³, Yojiro Yamamoto³, Dogan Kalafat⁴, Ali Pinar⁴, Sinan Ozeren⁵, Yoshiyuki Kaneda⁶

1.東北大学大学院理学研究科、2.東北大学災害科学国際研究所、3.海洋研究開発機構、4.ボアズィチ大学、5.イスタンブール工科大学、6.名古屋大学減災連携研究センター

1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 3.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4.Bogazici University, 5.Istanbul Technical University, 6.Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

北アナトリア断層 (NAF) は、トルコ北部を東西約1200 kmに走る右横ずれ断層で、大局的な相対速度は約20 mm/yrである。最近100年では、断層破壊が東から西へ進み、直近では、1999年にIzmitとDuzce (それぞれイスタンブールの東100 km, 200 km) でそれぞれM7.4, M7.2の地震が発生した。NAFはイスタンブールの南に位置するマルマラ海下で地震の空白域となっている。しかし、海底であることからGNSS等の衛星を利用した測地観測が困難で、断層のひずみ速度や断層構造の推定がされていない。そこで我々は、マルマラ海下のNAFで、海底測地観測の一つである海底間音響測距を実施し、ひずみの蓄積状況を推定した。

海底間音響測距は、断層間の相対速度を検出する手段として用いられており、約1 kmの基線長変化をミリメートルオーダーの精度で検出できる。本観測では2014年9月に、海底間音響測距装置5台を断層を挟むように設置した。各装置は6時間毎に機器間で音波の送受信を行い、往復走時を記録した。また、測距と同時に、音速補正に必要な温度と圧力、及び機器の傾きを補正するための姿勢も計測している。収録した測距データ等は随時船上から音響通信で吸い上げられる。

本講演では、2014年9月の観測開始から、2015年7月までの約10ヶ月のデータを紹介する。音速補正に用いる温度データは全機器で分解能の限界 (0.001°C) に近い僅かな変動 (~0.007°C) が見られただけなので、これを多項式近似した滑らかな変化を適用した。圧力データは観測期間途中より欠測となったので、データが存在する期間のみ使用し、それ以降は圧力補正をしていない。このことにより、見かけ基線長にばらつきは残るものの、ひずみレートそのものの推定には影響しなかった。音速補正を適用した見かけ基線長変化に姿勢補正を施し、さらに断層と基線のなす角から横ずれ成分を計算すると、4-8 mm/yrとなった。1 kmに満たない短基線でそれだけのひずみレートが維持できるとは考え難いため、この領域では約20 mm/yrのブロックの相対運動のうち、4-8 mm/yrを地殻浅部のクリープで解消していると解釈した。本講演では更に、陸域のGNSS観測データも加えて考察した断層固着深度推定モデルも紹介する予定である。

謝辞：本観測は、JICA/JST支援のもとSATREPSで実施されているMarDiMプロジェクトで行われました。

キーワード：海底間音響測距、北アナトリア断層、GNSS、断層モデル、海底測地

Keywords: direct path acoustic ranging, the North Anatolian Fault, GNSS, fault modeling, seafloor geodesy

長期海底地震観測によるトルコ・マルマラ海における精密震源分布

Detailed spatial distribution of microearthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey, deduced from long-term ocean bottom observation

*山本 揚二郎¹、高橋 成実¹、Pinar Ali²、Kalafat Dogan²、Citak Seckin¹、Çomoglu Mustafa²、Polat Remzi²、Çok Özkan²、Ogutcu Zafer²、Suvarikli Murat²、Tunc Suleyman²、Gurbuz Cemil²、Turhan Fatih²、Ozel Nurcan³、金田 義行⁴

*Yojiro Yamamoto¹、Narumi Takahashi¹、Ali Pinar²、Dogan Kalafat²、Seckin Citak¹、Mustafa Çomoglu²、Remzi Polat²、Özkan Çok²、Zafer Ogutcu²、Murat Suvarikli²、Suleyman Tunc²、Cemil Gurbuz²、Fatih Turhan²、Nurcan Ozel³、Yoshiyuki Kaneda⁴

1.海洋研究開発機構、2.ボガジチ大学、3.包括的核実験禁止条約機構、4.名古屋大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Bogazici University, 3.Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, 4.Nagoya University

The North Anatolian Fault (NAF) crosses the Sea of Marmara in E-W direction, accommodating about 25 mm/yr of right-lateral motion between Anatolia and the Eurasian plate. There are many large earthquakes along the 1500 km long NAF repeatedly occurred and interacted each other. The recent large northern Aegean earthquake with Mw=6.9 filled one of the last two seismic gaps along NAF that experienced extraordinary seismic moment release cycle during the last century and confirmed a remained blank zone in the Sea of Marmara. However, this segment keeps its mystery due to its underwater location. Earthquake hazard and disaster mitigation studies in Marmara region are sensitive to detailed information on fault geometry and its stick-slip behavior beneath the western Sea of Marmara. We have started ocean bottom seismographic observations to obtain the detailed information about fault geometry and its stick-slip behavior beneath the western Sea of Marmara, as a part of the SATREPS collaborative project between Japan and Turkey namely MarDiM project "Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation in the Marmara Region and Disaster Education in Turkey". The target area spans from western Sea of Marmara to offshore Istanbul along the NAF. In the beginning of the project, we deployed ten short period Ocean Bottom Seismographs (OBSs) between the Tekirdag Basin and the Central Basin (CB) in September 2014. Then, we added five short period OBSs and deployed them in the western end of the Sea of Marmara and in the eastern CB to extend the observed area in March 2015. We retrieved all 15 OBSs in July 2015 and deployed them again in the same locations after data retrieve and battery maintenance.

From continuous OBS records, we could detect more than 700 events near the seafloor trace of NAF during 10 months observation period whereas land-seismic network could detect less than 200 events. We estimated the micro-earthquake locations using manual-picking arrival times incorporating station corrections. The tentative results show heterogeneous seismicity. The Western High (WH) and CB have relative high seismicity and the seismogenic zone was found to be thicker than the previous estimations done by other researchers. Our result clearly shows that the maximum depth of seismogenic zone is about 24 km beneath the WH and the western half of CB, and this depth suddenly decreases to about 15 km in the eastern half of CB. Our results also suggested that the dip angle of NAF is almost vertical or northward beneath WH, whereas it is about 80 degrees southward beneath the eastern CB and perhaps further decreases to 60 degrees towards the Kumburgaz Basin. These results suggest that some structural or frictional segment boundary is located around 28°E in the middle of CB.

キーワード：海底地震観測、マルマラ海、震源分布

Keywords: Ocean bottom seismographic observation, Sea of Marmara, Seismicity distribution

南海トラフに沿って沈み込むフィリピン海プレートの浅部構造変化とその特徴

Along-trench variations and characteristics in the shallow crustal structure of the incoming Philippine Sea Plate at the Nankai Trough

*山下 幹也¹、仲西 理子¹、中村 恭之¹、三浦 誠一¹、小平 秀一¹、金田 義行^{1,2}

*Mikiya Yamashita¹, Ayako Nakanishi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Seiichi Miura¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Kaneda^{1,2}

1.海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター、2.名古屋大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Nagoya University

南海トラフでは約30-15Maに拡大したと考えられている背弧海盆である四国海盆が沈み込んでおり、東海・東南海・南海地震など巨大地震が繰り返し発生することが知られている。このような海溝型巨大地震の発生機構を理解するためには、巨大地震断層の構造や物性を知るだけでなく沈み込む前のプレートの特徴を知ることによって沈み込んだ後の断層構造形成と物性挙動の把握に重要な知見を得ることが必要である。深部低周波微動（地震）の発生メカニズムや連動する巨大地震のセグメント化に関しても沈み込むフィリピン海プレートの構造や性質が大きく関わっていると推測されている。日本海溝では2011年に発生した東北地方太平洋沖地震によって海溝軸付近まで深部からの破壊が伝播したことが明らかになった[Kodaira et al., 2012]。また南海トラフにおいても掘削研究の成果から紀伊半島沖のトラフ軸周辺にも大きなすべりが起きる可能性が示唆されるなど[Sakaguchi et al., 2011]、トラフ軸周辺においても巨大津波発生の要因である可能性が近年指摘されている。そのため南海トラフに沿った沈み込む四国海盆の構造変化や特徴を把握することはプレート境界断層内における非地震性すべり面（デコルマ）の広域的な形成メカニズムを理解する上で重要である。

海洋研究開発機構では2011年以降、高分解能反射法地震探査を南海トラフ軸周辺域で実施してきた。得られた反射断面からは反射波の振幅変化や微小断層群など従来の探査ではイメージしきれなかった結果が得られている。さらに既存データを用いることで四国海盆全体では20kmスケールの変化の特徴を得ることが可能となった。そこで本研究では南海トラフ全域における沈み込むフィリピン海プレートの堆積構造から上部地殻までの特徴をマッピングし、空間的な不均質性を明らかにすることを目的とする。高分解能地震探査によって四国海盆では上部地殻、下部堆積層、上部堆積層、トラフ充填堆積層の抽出が可能となり、九州パラオ海嶺から銭洲海嶺にかけてのマッピングを行った。また紀伊半島沖では上部地殻と下部堆積層の間にタービダイト層に相当する成層構造の分布が明らかになった。講演では堆積層の特徴を西部・中部・東部に分けて紹介し、前縁断層やプロトスラスト帯との関係について議論する。

キーワード：反射法地震探査、四国海盆、フィリピン海プレート

Keywords: MCS Survey, Shikoku Basin, Philippine Sea Plate

北太平洋、応神ライズ海山群の地殻構造

The crustal structure of the Ojin-Rise Seamounts, North Pacific.

*清水 祥伽¹、中西 正男¹、佐野 貴司²*Shoka Shimizu¹, Masao Nakanishi¹, Takashi Sano²

1.千葉大学大学院理学研究科 地球生命圏科学専攻、2.国立科学博物館地学研究部

1.Chiba University, 2.National Museum of Nature and Science

応神ライズ海山群はシャツキーライズと天皇海山列の間に位置する海山群である。シャツキーライズはブルームヘッドによる多量の噴火によって148 Ma以降に形成されたと考えられている (Nakanishi et al., 1999)。シャツキーライズには3つの高まり (海台)、南からタム山塊、オリ山塊、シルシヨフ山塊が存在する。深海掘削試料の放射性年代から、タム山塊は144 Ma頃、オリ山塊は 134 Ma頃、シルシヨフ山塊は128 Ma頃に形成されたとされている (Geldmacher et al., 2014; Heaton and Koppers, 2014)。応神ライズ海山群周辺のプレートの年代は134 -125 Maである (Nakanishi et al., 1999) が、その地形的特徴や形成時期についてはわかっていない。応神ライズ海山群は、シャツキーライズの主活動期の後しばらくしてから起こった火成活動で形成されたという仮説が提案されている (Sano, 2014)。応神ライズ海山群とシャツキーライズの形成の関係性が明らかになれば、マンタルブルーム活動の変遷、特に主活動期の後の火成活動を理解することにつながる。2014年7月に研究船「かいれい」による海底地形、重力、地磁気の地球物理学観測およびドレッジによる岩石採集が応神ライズ海山群において行われた (KR14-07航海)。本発表では、重力および海底地形の解析から明らかになった、応神ライズ海山群周辺の海洋地殻構造について報告する。

使用したデータは、KR14-07航海で得られたマルチビームデータとSager et al. (1999)で作成された海底地形グリッドデータ、Sandwell and Smith (2009)で作成された衛星高度計観測から作成されたフリーエア重力異常データである。これらを用いて、地殻の厚さ及びアイソスタシーの状態、弾性層厚を求めた。海洋地殻の厚さはKuo and Forsyth (1988)の方法を用いてもとめた。また、アイソスタシー及び弾性層厚は海底地形とフリーエア重力異常に関するadmittance解析 (McKenzie and Bowin, 1976) から求めた。

解析結果から応神ライズ海山群の平均的地殻の厚さは12km程度であることが判明した。これは平均的な海洋地殻の6kmと比べ2倍も厚い。また、弾性層厚は2.6 kmであり、エアリータイプのアイソスタシーが成り立っていることが分かった。これらの解析結果から、応神ライズ海山群の形成年代は、周辺の海洋プレートの年代とほぼ同じであることが明らかになった。すなわち、応神ライズ海山群の形成時期は134 -125 Maであると推定される。このことから、シルシヨフ海台形成と同年代にオージンライズ海山群が形成されたと考えられる。

キーワード：オージンライズ海山群、シャツキーライズ、アドミッタンス解析、重力、海底地形

Keywords: Ojin-Rise Seamounts, Shatsky Rise, admittance analysis, gravity, bathymetry feature

オントンジャワ海台の厚い地殻の広がり推定

Estimation of thick crustal distribution of the Ontong Java Plateau

*三浦 誠¹、藤江 剛¹、白井 太郎¹、野口 直人¹、荒木 英一郎¹、コフィン ミラード²、カワグル サイモン³、ヴェラヴ ロナルド⁴

*Seiichi Miura¹, Gou Fujie¹, Taro Shirai¹, Naoto Noguchi¹, Eiichiro Araki¹, Millard F. Coffin², Simon A. Kawagle³, Ronald T. Verave⁴

1.海洋研究開発機構、2.タスマニア大学、3.パプアニューギニア大学、4.パプアニューギニア鉱物資源庁

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.University of Tasmania, Australia,

3.University of Papua New Guinea, Papua New Guinea, 4.Mineral Resource Authority, Papua New Guinea

地球上で最大級の海台であるオントンジャワ海台 (OJP) は西太平洋に位置し、その面積は 1.86×10^6 乗平方キロメートル (Coffin and Eldholm (1994)) であり、日本の約5倍の範囲である。この巨大なオントンジャワ海台で行われた深海掘削の結果 (例えばShipboard Scientific Party, 2001) によると基盤岩である玄武岩の年代は概ね120Maであり、広大な範囲が地質学的に短期間に形成されたことがわかっている。このような巨大な海台は通常のプレートテクトニクス理論では説明できないが、既存の観測結果をすべて説明する形成モデルはまだ存在しない。その形成モデルを考えるうえで重要な情報の一つとして地殻構造があり、1960年代から地殻構造探査が行われてきている。しかし地殻全体の厚さやモホ面に言及したものは数が限られている (例えば Furumoto et al., 1976, Gladczenko et al., 1997)。OJPがソロモン島弧と衝突している南端部ではモホ面深度が35km程度とされている (Miura et al., 2004) が中央部の厚さは観測手法による差があって決着していなかった。そのため2010年に、OJP中央部の南北測線において、大容量エアガンアレイと100台の海底地震計 (OBS) および6km長のストリーマケーブルによるマルチチャンネル反射法 (MCS) システムを用いた地震学的構造探査が行われた (Miura et al., 2011)。フォーワードモデリングによる解析 (Miura et al., 2013) だけでなく、初動走時トモグラフィとモホ面からの反射波 (PmP) を用いた走時インバージョン解析、および反射波に着目した有限差分法による波形計算 (Larsen and Grieger, 1998) を実行した (Miura et al., 2014, 2015)。その結果モホ面深度はOJP中央部で40km 以上と最も厚くなっていることがわかった。しかし、その地殻の厚さが2010年の調査域以外でどのようになっているのか、よくわかっていない。そのため1998年に白鳳丸にて取得した地震探査データ (Araki et al., 1998) や過去の研究結果 (例えばFurumoto et al., 1976, Gladczenko et al., 1997) を用いて、2010年の調査域の横方向への広がりについて把握する予定である。この結果OJP全体の地殻の厚さ分布が推定でき、体積や地殻形成率の見積ができるだろう。これらはOJP形成における周辺環境への影響や形成モデル推定に重要な示唆を与えると考えられる。

キーワード：大規模火成岩区域、オントンジャワ海台、MCS、OBS、地殻、モホ面

Keywords: LIPs, OJP, MCS, OBS, crust, Moho

南大西洋トリスタン・ダ・クーニャホットスポットの下にはプルームがない：電気伝導度構造からの示唆

Electrical conductivity structure suggests no plume beneath the Tristan da Cunha hotspot in the southern Atlantic Ocean

*馬場 聖至¹、Chen Jin²、歌田 久司¹、Jegen Marion²

*Kiyoshi Baba¹, Jin Chen², Hisashi Utada¹, Marion Jegen²

1.東京大学地震研究所、2.GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

南大西洋のトリスタン・ダ・クーニャ諸島は、ナミビア北西部のエテンデカ洪水玄武岩域からのびるウォルビス海嶺の終端にあたるホットスポットと考えられている。しかしながら、火山活動の起源がマントル深部からの上昇流であるのか、それとも上部マントル浅部のアセノスフェアなのかについては、詳細な物理観測の欠如のため、議論に決着がついていない。我々、ドイツ・日本の共同研究グループは、トリスタン・ダ・クーニャ周辺海域下のマントル構造を詳細にイメージングするために、海底地震・電磁気（マグネトテルリック；MT）観測を2012年から2013年にかけて実施した。本講演は電磁気観測の成果を紹介する。電磁気観測では、26の海底観測点に測器を設置し、このうち24観測点から解析に有用なデータを取得した。回収したデータは、地形効果を考慮した上で、まずマントルの平均的1次元構造モデルを求め、更にそれを初期モデルとして3次元構造モデルを推定した。現在までの解析では、深さ約100kmに高電気伝導度層が認められるものの、マントル遷移層からの上昇流を示唆するような電気伝導度構造はみとめられず、少なくとも現在のホットスポットマグマの起源はむしろアセノスフェア・マントルにあることを示唆している。トリスタン・ダ・クーニャ島およびウォルビス海嶺の岩石サンプルの地球化学的特徴は、マントル深部起源を示唆しており、我々の電気伝導度構造モデルとは一件矛盾する。したがって、トリスタン・ダ・クーニャ島下の上昇流はほとんど死にかけているか、または、上昇流は観測アレイの外、たとえばトリスタン・ダ・クーニャ島の南島にあるゴフ島（ウォルビス海嶺は途中から枝分かかれし、ゴフ島はもう一方の終端に位置する）にあり、中央海嶺との相互作用などによってアセノスフェアを横方向に流れてきた、と考えるのが妥当かもしれない。ところで深さ約100kmの高電気伝導度層は、トリスタン・ダ・クーニャ島の南を東西に走る断裂帯に沿って盛り上がっている。これは断裂帯がメルトを海底（断裂帯近傍の火山島）へ輸送する経路となっている可能性を示唆する。

キーワード：海底MT、電気伝導度、上部マントル、ホットスポット、断裂帯、大西洋

Keywords: marine magnetotellurics, electrical conductivity, upper mantle, hotspot, fracture zone, Atlantic Ocean

赤色立体地図による日本海の海底地形のイメージング

Red relief image map and integration of topographic data in and around the Japan Sea

*平松 孝晋¹、野 徹雄²、佐藤 壮²、三浦 誠一²、千葉 達朗¹、上山 沙恵子¹、吉岐 信二¹、小平 秀一²

*Takahiro Hiramatsu¹, Tetsuo No², Takeshi Sato², Seiichi Miura², Tatsuro Chiba¹, Saeko Kamiyama¹, Iki Shinji¹, Shuichi Kodaira²

1. アジア航測株式会社、2. 海洋研究開発機構

1. Asia Air Survey Co., Ltd., 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

近年、日本沿岸の日本海では多くの調査航海にてマルチビームによる海底地形データが取得されている。これらのデータを活用して、より高品質な海底地形データを作成することは、日本海におけるテクトニクスや活断層などの研究を進展させる上で重要である。本発表では、マルチビームによる測深データと周辺の陸・海域のDEM (Digital elevation Model) データの統合手法、ならびにそのDEMデータから作成した赤色立体地図によるイメージングの結果について述べる。

マルチビーム測深データには、各種の動揺補正やノイズ除去が施されているが、航跡の直下やビームの縁辺部にノイズが残存したり、航行毎のデータの測深値のずれが生じている場合がある。また、収集したデータの一部には、ノイズを含んだままの状態の間引きやグリッド化されている箇所が含まれており、元の航行毎のデータに戻って再処理をできないものもある。これらのマルチビーム測深データに対して、赤色立体地図(千葉・鈴木, 2004)などの地形表現手法を適用すると、微地形とともにノイズが強調表現され、かえって地形を認識しづらい。そこで、ノイズ確認用の赤色立体地図を作成してノイズ分布やパターンを把握したうえで、高密度・大容量点群データのノイズ除去に航空レーザ測定の処理手法を適用した。航空レーザ測定の分野では、全計測点群の中から樹木等を除去して地盤を抽出するフィルタリング手法が確立されており、様々な地形種に対するパラメータ設定のノウハウも蓄積されている。上記の測深データは航空レーザ処理システムに取り込み、スケール調整や投影を行ったのち、ノイズ点群を樹木などの不要点に見立てて除去処理を行った。

データ統合において、各データの重複部分は、データ密度、断面形状、グリッド差分などを確認したのち、最良の品質のものを選択した。データ間の接合に際しては、境界の水深差に応じて空白(バッファ)域を設定し、なだらかに接合されるようにした。点群データからグリッドデータへの空間補間には、疎密差のある点群に対しても滑らかな面を発生でき、かつ大容量点群のデータ処理にも耐えうる、マルチレベルBスプライン法を使用して、0.0005°(約50m)グリッド間隔の統合DEMデータを作成した。

ノイズ除去後の統合DEMデータを用いて、判読用の赤色立体地図を作成した。赤色立体地図は、傾斜の急な部分を赤く、尾根を明るく、谷を暗く表現した疑似カラー画像である。開度(横山ほか, 1999)の概念を拡張して地形の立体感を表しているため、陰影図のような光源による方向依存性は生じない。また、ステレオペア画像による立体視とは異なり単画像であるため、震源分布や断層トレースや等深線図などとも、GIS上で容易に重ね合わせて表示でき、印刷物としても扱いやすい。

作成した赤色立体地図からは、佐渡海嶺から奥尻海嶺に続く海嶺・海盆列などの大地形から、久六島の山体崩壊による堆積面などの微地形まで、様々な海底地形が表現されていることが見て取れる。

キーワード：日本海、海底地形、データ統合、赤色立体地図、数値標高モデル

Keywords: Japan Sea, Bathymetric data, Data integration, Red relief image map, DEM

南部マリアナ海溝で発見された巨大海底地滑り：6K-1429潜航調査速報

Huge deep-sea landslide in the Southern Mariana Trench: a preliminary report of 6K-1429 dive

*石井 輝秋¹、小原 泰彦^{2,3}、大家 翔馬⁴、マルチネス フェルナンド⁵

*Teruaki Ishii¹, Yasuhiko Ohara^{2,3}, Shoma Oya⁴, Fernando Martinez⁵

1.公益財団法人 深田地質研究所、2.海上保安庁、3.海洋研究開発機構、4.静岡大学、5.ハワイ大学

1.Fukada Geological Institute, 2.Hydrographic and Oceanographic Department of Japan, 3.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4.Shizuoka University, 5.University of Hawaii

しんかい湧水域 (Shinkai Seep Field) を含む南部マリアナ海溝陸側斜面の生物学・地質学的調査を目的として、2015年初夏に「しんかい6500」による潜航調査を主とする「よこすか」YK15-11航海が実施された。本講演では、南部マリアナ海溝西部のカロリン海嶺に相対する陸側斜面に発達する小海嶺において発見された、巨大海底地滑り地形の6K-1429潜航調査（乗船者：石井輝秋）の結果を速報する。

同海底地滑り地形は、前年度のYK14-13航海において、「よこすか」のマルチビーム測深機EM122でマッピングされた。カロリン海嶺のフィリピン海プレートへの衝突により、南部マリアナ海溝西部は水深が浅く幅が極端に狭い海溝の形状を示している。南部マリアナ海溝西部の東西に延びる海溝陸側斜面は単傾斜ではなく、海溝のすぐ陸側（北側）には最浅部の水深約2300 m、全長約100 kmの小海嶺が東西に伸長し、その更に陸側（北側）に最深部の水深約5750 m、全長約70 kmの東西に伸長する小海盆が存在する。小海盆の更に陸側（北側）は、西マリアナ海嶺の第三紀火山から形成されていると思われる浅所へと続いている。EM122による海底地形図からは、小海嶺の水深2300 mの山頂北側直下、水深2700 m付近を上端、水深4500 m付近を下端とし、東西約5 km弱、南北約6 km強の楕円形の凹地形が読み取れる。その下流部の水深4500 mから5650 mにかけて、北北西方向に扇状地状に広がる5 km強の幅を持つ凸地形が確認できる。EM122の海底音響反射強度によると、凹地形域はほぼ円形の均質な黒色域を呈し、反射強度が大きな岩石が全域に渡り露出していることを示唆している。凸地形域は周囲より黒色部の分布密度が高く、東側の境界は明瞭であるが、西側の境界は不明瞭で、地形分布とは一致しないようである。以上のことから、凹地形域は、北側に傾斜する斜面上で、最大深度600 mにも及ぶ深層崩壊が発生し、内部の構成岩石が岩盤状に露出した崩壊地域であり、凸地形域は、深層崩壊により発生した岩屑流が扇状地状に広がり堆積した標高300 m程度の崩壊堆積物マウンドであると考えられる。海底地形図と地形断面図から、崩落し堆積した岩屑量はおよそ5 km³-10 km³程度と見積もられ、小規模な津波が発生した可能性も示唆される。

6K-1429潜航は、小海盆の南端から小海嶺の北側斜面を調査し、上部（浅部）の凹地形（大崩壊地形）及び下部（深部）の凸地形（崩壊堆積物マウンド）の観察を行った。その結果、複数のマントルかんらん岩と、一つの玄武岩が採取された。マントルかんらん岩は、小海嶺の基盤であると考えられ、火山岩は、南部マリアナ前弧に広く分布している中新世の火山岩であると考えられる。

マントルかんらん岩を産する小海嶺の水深が浅い理由は、小笠原前弧域の水深約1000 mの母島海山 (Ishii, 1985, Terra Pub) と類似の成因による考えられる。すなわち、母島海山の場合は沈み込む太平洋プレート上の小笠原海台の衝突により陸側が下から押し上げられているためと考えられる。一方、カロリン海嶺の中軸には東西に軸をもち南北に拡大中のソロトラフ (Altis, 1999, Tectonophysics) があり、この拡大によるカロリン海嶺の北方への衝突により、陸側が下から押し上げられ、前弧マントルがスリバーとして露出していると考えられる。深層崩壊の要因としては、下からの押し上げによる斜面の傾斜角の増加に加え、浸透水の流入、大量の蛇紋石泥による潤滑剤効果により滑り易くなっていることなど、複数の要因の相乗効果が考えられる。この海域の調査は、ヤップ海溝付近の岩石学的な記載など（例えば、Ohara et al, 2002, Chemical Geology）を含めても非常に少なく、今後の調査が待たれる。

キーワード：南部マリアナ海溝、海底地滑り、蛇紋岩化したマントルかんらん岩

Keywords: Southern Mariana Trench, deep-sea landslide, serpentized mantle peridotite

ターミナル海盆における泥質タービダイトの堆積構造の理解

Sedimentary structure of muddy turbidites recorded in a terminal basin

*奥津 なつみ¹、芦 寿一郎¹、大村 亜希子¹、山口 飛鳥¹、菅沼 悠介²、村山 雅史³

*Natsumi Okutsu¹, Juichiro Ashi¹, Akiko Omura¹, Asuka Yamaguchi¹, Yusuke Suganuma², Masafumi MURAYAMA³

1.東京大学大気海洋研究所、2.国立極地研究所、3.高知大学海洋コア総合研究センター

1.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2.National institute of Polar Research, 3.Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

沈み込み帯における地震履歴の解明は、将来の地震・津波に伴う災害を軽減するうえで非常に重要である。陸域や海域の堆積物記録の分析からは、古文書や遺跡の調査に比べ、より古い地震履歴を得ることができる。特に、海域の堆積物は海溝型巨大地震の発生域に位置するため、古地震の高精度な位置情報を含むと言える。海域の堆積物を用いた地震履歴の推定には、タービダイトの分布と年代が一般的に用いられている。ただし、混濁流は洪水などによっても発生するため、タービダイトを用いた地震履歴の解明には、陸からの直接的な土砂供給のない地点で試料の採取を行うなど注意を要する。陸からの直接的な土砂供給のない地点で採取されたタービダイトは非常に細粒であるため、半遠洋性泥との判別が困難である。そこで本研究では、先行研究により地震性であることが明らかである泥質タービダイトに着目し、その堆積構造の特徴を理解することを第一の目的とした。また、形態および定量的データより求められた堆積構造の特徴を、同地点で得られたピストンコア試料に適用し、その試料における地震性タービダイトの分布に関する考察を試みた。

本研究では学術研究船「新青丸」KS-14-8航海において、紀伊半島南東沖の小海盆より採取された長さ46cmのマルチプルコアと長さ6.7 mのピストンコアを用いた。試料採取地点は、熊野沖の付加プリズムと前弧海盆の間に位置し、陸からの土砂供給を受けない、東北東-西南西方向に伸びた小海盆である。小海盆は流入した土砂が再び流れ出すことのないターミナル海盆でもある。採取されたマルチプルコアのセシウム137と過剰鉛-210濃度の分析から、上部17 cmの泥質層は2004年紀伊半島南東沖地震の際に堆積したものと報告されている。分析は両方のコアに対し、肉眼観察やX線CTスキャンに加え、帯磁率異方性、岩石磁気、古地磁気、電気比抵抗、粒度分析を行った。

2004年紀伊半島南東沖地震時に溜まった泥質タービダイトは、シルト質の葉理部と、それを覆う無構造の厚い泥層からなる。シルト質の葉理部では粒度に大きな変化は認められないが、帯磁率は上方への減少がみられ上位のシルト層で最も低い値を示す。これらの結果から、葉理部は地震動によって発生した低密度の堆積物重力流によって形成されたと考えられる。また、この一連のタービダイトの直下の堆積層は、もともとの葉理が現在の海底面に対して著しく斜交する複雑な形状を示しており、地震時、おそらく2004年の地震による震動変形を示す。古流向解析の結果は、ターミナル海盆を囲む斜面の方向と良い対応を示す。

ピストンコア試料には、マルチプルコア試料と類似の堆積構造を確認した。火山灰の同定や有孔虫による年代決定の結果、個々のタービダイト層の間隔が南海トラフにおいてこれまでに知られている地震の発生間隔と概ね一致することが分かった。本研究の対象海域であるターミナル海盆では、紀伊半島沖における地震イベントの全てを記録している可能性があげられる。今後、各層の年代を決定し、地震の発生時期の解明を目指す。

キーワード：混濁流、帯磁率異方性、X線CT、イベント性堆積物

Keywords: turbidity current, anisotropy of magnetic susceptibility, X-ray CT, event deposit

日本海掘削試料から見た日本海盆底の細粒タービダイトの産出とテクトニクス

Late Neogene to Quaternary turbidite deposition in the northern Japan Basin and its relation to regional tectonics

*池原 研¹、入野 智久²、板木 拓也¹

*Ken Ikehara¹, Tomohisa Irino², Takuya Itaki¹

1.産業技術総合研究所地質情報研究部門、2.北海道大学

1.Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.Hokkaido University

IODP Expedition 346 Site U1422の下部には細粒タービダイトの産出が認められる。タービダイト部分では、長石が卓越し、日本側からの粒子供給が示唆される。タービダイトはコアの最下部である約4Maから約1.7Maまで確認でき、その後はみられない。サイトU1422の堆積速度はタービダイトの消滅後も段階的に減少する。これらは、日本海東縁の圧縮場への転換による奥尻海嶺の上昇とそのモード転換が関係している可能性がある。

キーワード：タービダイト、日本海東縁、テクトニクス

Keywords: turbidite, Eastern margin of Japan Sea, tectonics

薩摩硫黄島長浜湾における鉄沈澱物の堆積作用：コロイドの沈殿挙動

Sedimentation of iron deposits in Nagahama Bay, Satsuma Iwo-jima Island: Precipitation behavior of colloid

*原田 拓人¹、清川 昌一²、池原 実³

*Takuto Harada¹, Shoichi Kiyokawa², Minoru Ikehara³

1.九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻、2.九州大学 大学院理学研究院 地球惑星部門、3.高知大学海洋コア総合研究センター

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences Faculty of sciences, Kyuushu University, 3.Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

Satsuma Iwo-Jima Island, with volcanic activities, is located about 40km south of Kyushu Island, Japan. This island is one of the best places to observe a shallow water hydrothermal system. Nagahama Bay, in the south of Satsuma Iwo-Jima Island, is partly separated from open sea. The seawater appears dark reddish brown color due to colloidal iron hydroxide by the mixing of volcanic fluids (pH=5.5, 50-60 degree Celsius) and oceanic water (Ninomiya & kiyokawa, 2009; Kiyokawa et al., 2012; Ueshiba & kiyokawa, 2012). Very high deposition rate (33 cm per year) of iron-rich sediments was observed in the bay (Kiyokawa et al., 2012). However, precipitation behavior of colloidal iron hydroxide has not been clarified. In this study, I report the results of analysis of deposition experiments of the colloidal particles at the Nagahama bay.

Since the size of the colloidal particles is 1nm~1 μ m, single particle cannot be precipitated. This arise from precipitation of the particles in the viscous fluid is according to the Stokes' law. Colloidal iron hydroxide has the property of having the electric charges on the surface. The charge on the colloids is affected by pH of its surrounding seawater and can become more positively or negatively charged due to the gain or loss, respectively, of protons (H⁺) in the seawater. This property affects the stability of the colloidal dispersion.

FE-SEM observation shows that the suspended particles consist of colloidal iron hydroxide (about 0.2 μ m), on the other hand, the iron-rich sediments are composed of bigger one (>1 μ m). This indicates the colloidal iron hydroxide is precipitated by flocculation. We examined the precipitation amount of colloidal iron hydroxide under the various pH environments. The precipitation amount of pH=7.8 seawater 10% higher than that of pH=7.2. This result is roughly follows the theoretical value.

キーワード：鬼界カルデラ、コロイド、水酸化鉄

Keywords: Kikai Caldera, Colloid, iron hydroxide

CK16-01航海速報：コアリング、現場温度計および地熱検層ツールを用いた伊平屋北海丘および野甫サイトにおける科学掘削

Preliminary results of the CK16-01 Cruise: Scientific drilling operations of coring, in-situ thermometer and geothermal logging tool

*野崎 達生¹、石橋 純一郎²、熊谷 英憲¹、前田 玲奈³、CK16-01航海 乗船者一同

*Tatsuo Nozaki¹, Jun-ichiro Ishibashi², Hidenori Kumagai¹, Lena Maeda³, CK16-01 Cruise members

1.海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター、2.九州大学・理学部、3.海洋研究開発機構・地球深部探査センター

1.Research and Development (R&D) Center for Submarine Resources, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2.Faculty of Science, Kyushu University, 3.The Center for Deep Earth Exploration, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

The CK16-01 Cruise by D/V Chikyu was performed at the Iheya-North Knoll and Noho Site, middle Okinawa Trough from 11th, February to 17th, March 2016 in order to investigate the seafloor hydraulic structure and geology, aiming to construct the genetic model of seafloor hydrothermal deposits. In the first half of the CK16-01 Cruise, logging while drilling (LWD) was mainly done to obtain physical parameter beneath the Iheya-North Knoll and Noho Site, as well as install of the "Kuroko-ore cultivation apparatus" equipped with sensor loggers to monitor the secular changes of pressure, temperature, flow rate and precipitation weight within the Kuroko-ore cultivation apparatus on artificial hydrothermal vents. This Kuroko-ore cultivation apparatus will be recovered after one year by ROV Kaiko Mk-IV. In the latter half of the CK16-01 Cruise, the main operation was coring to obtain drilled core sample together with temperature measurement by in-situ thermometer and borehole logging after coring operation using a geothermal tool bearing pressure, temperature, flow rate and gamma-ray sensors. In this presentation, we report the preliminary results of operations during the latter half of the CK16-01 Cruise.

キーワード：沖縄トラフ、伊平屋北海丘、野甫サイト、海底熱水鉱床、黒鉱鉱床、CK16-01航海

Keywords: Okinawa Trough, Iheya-North Knoll, Noho Site, seafloor hydrothermal deposit, Kuroko deposit, CK16-01 Cruise

CK16-01航海速報：伊平屋北海丘および伊平屋小海嶺における科学掘削－掘削同時検層とモニタリング装置の設置

Preliminary results of the CK16-01 Cruise: Scientific drilling in Okinawa Trough using Logging While Drilling tools and installation of long-term monitoring apparatus

*熊谷 英憲¹、野崎 達生¹、石橋 純一郎²、前田 玲奈¹、CK16-01航海 乗船者一同¹

*Hidenori Kumagai¹, Tatsuo Nozaki¹, Jun-ichiro Ishibashi², Lena Maeda¹, CK16-01 Cruise Member¹

1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.九州大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Kyushu Univ.

In the period of February to March of 2016, the CK16-01 Cruise by D/V Chikyu was performed at the Iheya-North Knoll and Iheya Minor Ridge in middle Okinawa Trough, in order to investigate the subseafloor hydraulic structure and geology, aiming to construct the genetic model of seafloor hydrothermal deposits under an umbrella of Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP). In the former half of the cruise, logging while drilling (LWD) operation was mainly performed to obtain physical parameters beneath both the area, as well as to install of the Long-term monitoring apparatus, "Kuroko-ore cultivation apparatus", equipped with sensors to monitor the secular variation of pressure, temperature, flow rate and precipitation weight within the apparatus on hydrothermal vents artificially made. The precipitation volume of the apparatus will be recovered later to by ROV. In the latter half of the cruise, the main operation was coring to obtain drilled core sample together with temperature measurement by in-situ thermometer and borehole logging after coring operation using a geothermal tool bearing pressure, temperature, flow rate and gamma-ray sensors. In this presentation, we report the preliminary results of operations during the former half of the CK16-01 Cruise.

キーワード：沖縄トラフ、伊平屋北海丘、伊平屋小海嶺、海底熱水鉱床、CK16-01航海、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

Keywords: Okinawa Trough, Iheya-North Knoll, Iheya Minor Ridge, Seafloor hydrothermal Deposit, CK16-01 Cruise, Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP)

中部沖繩トラフクメ島沖熱水活動域におけるAUV「うらしま」潜航調査

Acoustic and magnetic surveys using AUV Urashima around the hydrothermal sites off Kumejima island in the Mid-Okinawa Trough

*北田 数也¹、中村 謙太郎²、高橋 亜夕³、川口 慎介⁴、熊谷 英憲¹

*Kazuya Kitada¹, Kentaro Nakamura², Ayu Takahashi³, Shinsuke Kawagucci⁴, Hidenori Kumagai¹

1.海洋研究開発機構海底資源研究開発センター、2.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、3.海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム、4.海洋研究開発機構深海・地殻内生物圏研究分野

1.Research and Development Center for Submarine Resources, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Department of Systems Innovation, School of Engineering, University of Tokyo, 3.Project Team for Development of New-generation Research Protocol for Submarine Resources, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4.Department of Subsurface Geobiological Analysis and Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Recently, polymetallic sulfides deposited in seafloor hydrothermal vents have attracted interest as a potential mineral resources for e.g., Cu, Zn, Pb, In, Ga, Ge, Au, and Ag (Schrope, 2007).

Development of effective methods for exploring seafloor hydrothermal activity is an important key for future exploitation of this type of deep-sea mineral resource and thus, more efficient methods for exploration of seafloor hydrothermal vents are expected.

Recent progress in near-bottom geophysical and geochemical surveys using autonomous underwater vehicles (AUV) allows us to perform high-resolution surveys in which the signatures of seafloor hydrothermal activity can be detected (German et al., 2008; Kumagai et al., 2010; Nakamura et al., 2013). Moreover, in the last decade, water column observations using multi-beam echo sounder (MBES) systems equipped on a surface ship have also become successfully applied to exploration of seafloor hydrothermal vents (Tanahashi et al., 2014; Kasaya et al., 2015; Nakamura et al., 2015).

During the YK15-14 cruise in 2015, we conducted the shipboard MBES survey by R/V "Yokosuka" and the near-bottom acoustic and magnetic surveys using AUV "Urashima" around the hydrothermal sites in order to reveal the distribution and characteristics of seafloor hydrothermal vent sites off Kumejima island in the mid-Okinawa Trough. The presence and amplitude of hydrothermal plume signals were first detected by acoustic water column imaging with a shipboard MBES system. A total of four AUV "Urashima" dives (Dives #217-220) were completed around the sites. During these dives, we have successfully obtained high-resolution bathymetric data, side scan sonar image, sub-bottom profile, vector magnetic field and chemical sensor data (ORP, turbidity and temperature). The vector magnetic field were measured by three fluxgate magnetometers mounted in the payload space of AUV "Urashima" to investigate the seafloor magnetic features related to hydrothermal alteration processes. The distribution of crustal magnetization are estimated using the magnetic anomalies by the inversion method. Here we report the overview of the YK15-14 cruise and show new results from AUV "Urashima" dives. Then, the characteristics of the hydrothermal sites in the mid-Okinawa Trough will be discussed by comparing with the results from the ROV surveys during the KR15-16 cruise.

キーワード：海底熱水探査、中部沖繩トラフ、AUV、詳細海底地形、磁気異常

Keywords: seafloor hydrothermal exploration, mid-Okinawa Trough, AUV, detailed bathymetry, magnetic anomaly

沖繩トラフに発達した伊良部海底熱水系の磁気的特徴

High-resolution Magnetic Signatures of Irabu Hydrothermal Fields, Okinawa Trough

*藤井 昌和¹、沖野 郷子¹*Masakazu Fujii¹, Kyoko Okino¹

1.東京大学大気海洋研究所

1.AORI, UTokyo

Near-seafloor magnetic fields near the active Irabu Hydrothermal fields (IHF) were obtained by using the AUV *URASHIMA* during the R/V *Yokosuka* cruise YK14-16. The Irabu knolls are located on the axial area of a back-arc rift of the Okinawa Trough and consist of basalt to andesite. The seafloor rock samples from the same region were used for rock magnetic measurements and petrological observations. The integrated analysis of the magnetic anomaly and rock magnetic properties led to the following conclusions:

(i) The IHFs are associated with reduced magnetization reflecting the hydrothermal alteration of magnetic minerals present in the extrusive lavas and the deposits of non-magnetic hydrothermal material.

(ii) The basaltic rocks show high natural remanent magnetization (NRM) intensity ranging from 7 A/m to 214 A/m. The extremely strong NRM was caused by less oxidation, abundant single-domain-titanomagnetite grains formed under proper crystal growth rates, and low Ti content for titanomagnetites. These strongly magnetized host rocks produce large variations of magnetic anomalies in the Irabu knoll, resulting in a clear magnetic contrast between the IHFs and their surroundings areas.

(iii) The low magnetization zones (LMZs) related to the IHFs are located at the rim of the caldera floor in an elongated direction parallel to the local strike of the caldera, and extend into the caldera wall. These observations suggest that the hydrothermal fluids ascended through the caldera fault and caused accumulation of hydrothermal deposits and the occurrence of hydrothermally altered zones in both the caldera floor rim and wall.

(iv) The LMZ extends across several hundred meters along the caldera rim. Compared with similar hydrothermal fields of the Hakurei and Brothers situated in other arc-back-arc volcanoes with summit calderas, it is clarified that hydrothermal systems controlled by caldera faults have horizontal spatial scale equal to or larger than those of detachment-controlled large hydrothermal fields at slow-spreading ridges such as the TAG. It is implied that the permeability structure and style of hydrothermal circulation may play important roles in the formation of the larger demagnetized hydrothermal fluid pathways at caldera-controlled systems.

キーワード：海底熱水循環系、海洋磁気異常、岩石磁気、沖繩トラフ

Keywords: Seafloor hydrothermal system, Marine magnetic anomaly, Rock magnetism, Okinawa Trough

海底熱水循環系の時空間スケールに対する考察：沖縄トラフ熱水域の孔内・海底熱流量からの推定
Spatio-temporal scale of seafloor hydrothermal systems: Constraints from borehole and seafloor observations in the Mid-Okinawa Trough

*木下 正高¹、正木 裕香²、濱田 洋平²、谷川 亘²、熊谷 英憲²、野崎 達生²

*Masataka Kinoshita¹, Yuka Masaki², Yohei Hamada², Wataru Tanikawa², Hidenori Kumagai², Tatsuo Nozaki²

1.東京大学地震研究所、2.海洋研究開発機構

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.JAMSTEC

熱水循環は、300°Cを超える激しい熱水噴出・数°Cから数十°C程度の緩やかな湧出、熱伝導、そして海水の吸い込みという成分からなる。その時空スケールや、海水が流入して熱水溜まりにはいり、熱せられて再び海底から流出するまでの熱水の「年齢」(residence time)や温度履歴を知ることが、熱水の成熟度や、ひいては熱水鉱床の成因推定に重要な役割を果たす。熱水の年齢や温度履歴を推定するためには、海底屋孔内の熱流量や温度空間分布の計測や、噴出した熱水の科学組成・同位体比、鉱物組成や鉱物(地質)温度計などが活用される。

中部沖縄トラフ伊平屋北熱水域では、噴出する熱水の大部分が熱水域外の堆積層を起源をすることが、Kawagucciにより推定されている。またIODP331航海や海底熱流量測定から、1.5km東の、堆積物で埋積された谷部からの海水供給が推定されている。

一方で、潜水船による活動域での高密度熱流量観測から、伊平屋北熱水噴出域の中でも海水の吸い込みが起こっていることが超低熱流量から推定されている。また数値計算からも、難透水層がない状態では噴出域のごく近傍で海水が最も活発に吸い込まれることが示されている。おそらく、寿命の短いサイクルは近距離で、そして熱水溜まりを形成するような長寿命の流体は内部に加えて外部からの海水が入っているのではないかと推測される。

中央海嶺系では、Kadkoら(1985;2007)により、UやRn同位体比計測から、岩石-水相互作用が起きてから噴出するまでの時間(residence time)は数年程度であるとしている。堆積物に富んだ背弧系では、透水率が低いためにもっと長い可能性がある。

そこで数値計算により、伊平屋北の熱水循環において、流体の粒子の挙動を追跡してみた。計算では、簡単のために熱的準平衡状態におけるダルシー流に限定したため、断熱的な噴出は再現されず短時間の循環は再現されない。熱源がセットされてから300年程度の計算を行ったが、噴出する熱水のほとんどは、そのごく近傍から吸い込まれる海水が、そのまま循環しているようである。そのresidence timeは100-1000年のオーダーであるが、一方で「外部」(1.5km離れた場所)から供給される海水は30,000年経過してもまだ熱水域に到達しない。計算は予察的ではあるが、長寿命の流体を存在させるのはかなり困難である。

キーワード：熱流量、沖縄トラフ、IODP、熱水循環

Keywords: heat flow, Okinawa Trough, IODP, hydrothermal circulation

AUVを用いた明神海丘カルデラの深海音響・地磁気調査

Post-caldera volcanism and hydrothermal activity revealed by AUV surveys in Myojin Knoll caldera, Izu-Ogasawara Arc, Japan

*本庄 千枝¹、浦 環²、金 岡秀³、浅田 昭⁴

*Chie Honsho¹, Tamaki Ura², Kangsoo Kim³, Akira Asada⁴

1.東北大学災害科学国際研究所、2.九州工業大学社会ロボット具現化センター、3.海上技術安全研究所、4.東京大学生産技術研究所

1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Center for Socio-Robotic Synthesis, Kyushu Institute of Technology, 3.National Maritime Research Institute, 4.Institute of Industrial Science, University of Tokyo

明神海丘カルデラは、伊豆小笠原弧北緯32度付近に位置する珪長質の海底カルデラであり、大規模な熱水性硫化物鉱床「サンライズ鉱床」を胚胎することで知られる。これまでに行われた「しんかい2000」による明神海丘カルデラの潜航調査は20を超え、極めて詳細に調査されている海底火山の一つである。しかし、有人潜水艇で調査できる範囲は広くはなく、多くの潜水調査を以てしてもカルデラの全体像の把握は困難である。我々は、カルデラ全体を俯瞰する、潜水艇調査の結果と照合可能な高い解像度のデータを取得することを目的とし、昨年度より深海巡航探査機「うらしま」を用いた明神海丘の深海音響・地磁気観測を実施してきた。昨年度の2潜航に続き、今年度は3潜航（YK15-08航海、第204～206潜航）を実現し、カルデラのおよそ7割をカバーする測深データ、サイドスキャンソナーによる海底画像、深海地磁気データを取得した。本講演では、以下のような各カルデラ構成要素の特徴を述べるとともに、明神海丘カルデラの後カルデラ火山活動と鉱床胚胎の要因について議論する。

中央火口丘では、溶岩しわと小突起に覆われた複数の溶岩流が頂上から麓へ伸びている様子が確認できる。山麓部の溶岩流の表面は小突起が少なく比較的滑らかで、一様で弱い反射強度の部分もあり、薄い堆積物の被覆があることを覗かせる。このような山頂付近と山麓部との違いは、時期の異なる複数回の噴火を経て現在の中央火口丘が形成されたことを示唆する。中央火口丘の磁化強度は、山頂に局所的な高まりがあるほか、北西-南東方向へ伸びる高磁化帯が特徴的で、海底下でのマグマ貫入の方向を表していると考えられる。カルデラ壁の南東部（サンライズ鉱床）と北西部（北西鉱床）において熱水活動が確認されていることと考え合わせると興味深い。

カルデラ壁には、溶岩の噴出によると思われる、斜面方向に伸びるリッジ状の高まりが多く存在し、後カルデラ火山活動において、中央火口丘の形成だけでなく、カルデラ壁におけるマグマ噴出も起きていたことが判った。カルデラ壁内の断層の直下から噴出し流れ下ったように見えるものもあれば、断層を伴わないものもある。磁化強度は北部から西部にかけて大きく、南東部や東部では小さい。しんかい2000の潜航調査から、カルデラ壁の上部は軽石、下部は流紋岩質の溶岩や火砕岩からなることが判っているが、我々の調査範囲はいずれもほぼ後者の部分にあたり、磁化強度の違いは地質では説明されない。北～西部の高磁化のソースは今のところ不明であるが、音波探査で存在が示唆されている外輪山内の貫入岩体の可能性もある。

カルデラ底は主に北西部と東部に広がる水深約1400 mの平坦面であるが、一様な弱反射の中に、規則的または不規則に並ぶ強反射のまだら模様が随所に見られた。そのうち北西部のものは、若干の地形の凹凸も伴い、また潜水艇調査により海底にマンガン晶出が確認された場所と一致する。また北部のものは強反射内に複数の小突起を伴う。

サンライズ鉱床は、南東カルデラ壁の麓に約400 m四方の範囲に広がり、主に斜面方向に伸びる3本のリッジからなる。鉱床域における磁化減少は僅かで、鉱床から深部への熱水変質帯の分布が鉛直ではなく斜めであることを示唆している。これは、サンライズ鉱床の熱水が、カルデラ底縁部に存在する環状陥没断層を流路として供給されているという考えと相容れない結果である。

太平洋プレートの沈み込みの影響を受けた南部マリアナ背弧拡大海嶺下の豊富で非対称な部分溶融
Enhanced and asymmetric melting beneath the southern Mariana back-arc spreading ridge,
influenced by the subduction of the Pacific plate

*松野 哲男¹、島 伸和²、新藤 悠²、野木 義史³、沖野 郷子⁴

*Tetsuo Matsuno¹, Nobukazu Seama², Haruka Shindo², Yoshifumi Nogi³, Kyoko Okino⁴

1.東京大学地震研究所、2.神戸大学、3.国立極地研究所、4.東京大学大気海洋研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Kobe University, 3.National Institute of Polar Research, 4.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

南部マリアナトラフは、マリアナトラフの他の部分とは異なる特徴を持つ。例えば、低速拡大だが海嶺軸地形の高まりがある、低重力異常値を示し重力でみて地殻が厚い、海嶺軸付近の地殻の地震波速度構造にスラブ起源の水の影響が認められる、現在活動的な島弧火山は海面上にないが、海嶺軸上や軸外で採取された岩石からはスラブ起源や島弧の成分が認められる、という特徴である。これらの観測結果は、海嶺軸下での豊富な部分溶融と、海嶺軸直下に存在する沈み込んだ太平洋スラブ起源の水が背弧拡大過程に影響を与えている可能性を示唆する。南部マリアナトラフの上部マントル中の部分溶融や水の分布とマントルダイナミクスを比抵抗構造から明らかにするため、海底電磁気観測を13°N付近の海嶺を横断するおよそ120 km長の測線に沿って行った。9観測点で得られた電磁場時系列データを解析し、電磁気応答関数にみられる地形効果を補正したあと、インバージョンにより2次元比抵抗構造を推定した。得られた2次元モデルは次のような特徴を示す。1)海嶺軸下だがわずかに海溝側にずれた深さおよそ10-20 kmにある低比抵抗域、2)1)の低比抵抗域の下に非対称に広がる(古島弧側により広がる)低比抵抗域、3)海溝側の海底下にある厚さがおよそ150 km一定の高比抵抗域、4)海嶺軸から古島弧側に向かい厚くなる(最大およそ50 km)海底下の高比抵抗域、である。これらの特徴は、1)沈み込んだスラブ起源の水を含む可能性のある、海嶺軸下の部分溶融域、2)スラブの沈み込みに伴って生じる、背弧マントルの非対称で受動的な減圧融解によってできる部分溶融域、3)低温で枯渇したマントルウェッジと沈み込んだ太平洋スラブ、4)海嶺軸外に存在する温度の低下した溶け残りリソスフェアマントル、を示唆する。南部マリアナトラフの比抵抗構造は、中部マリアナトラフ18°N付近の比抵抗構造と比べて海嶺軸下に明瞭に低比抵抗域の存在を示しており、南部マリアナトラフのマントルダイナミクスや、そのテクトニクス・種々の観測結果との関係について示唆を与える。

フラクチャーゾーン、トランスフォーム断層を横切る深海地磁気調査

Deep-sea geomagnetic surveys across fracture zones and transform faults

*島 伸和¹、北川 高行¹、沖野 郷子²、藤井 昌和²、中東 和夫¹、岡本 理¹、古川 優和³、小林 拓史³、野木 義史⁴

*Nobukazu Seama¹, Takayuki Kitagawa¹, Kyoko Okino², Masakazu Fujii², Kazuo Nakahigashi¹, Osamu Okamoto¹, Yuka Furukawa³, Takumi Kobayashi³, Yoshifumi Nogi⁴

1.神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻、2.東京大学大気海洋研究所、3.神戸大学理学部惑星学科、4.国立極地研究所

1.Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 3.Department of Planetology, Faculty of Science, Kobe University, 4.National Institute of Polar Research

Water exists in the solid earth and affects solid earth dynamics through its circulation. Oceanic lithosphere would work as a carrier of water into the deep mantle. Our approach is the first attempt to understand the role for fracture zone and transform faults through where the water could be transported from the ocean into the oceanic lithosphere. Our targets are Nosappu fracture zone, Marie Celeste transform fault, and Argo transform fault. Nosappu fracture zone locates in the old Pacific lithosphere just before subducting into the deep mantle at the Kuril trench. Marie Celeste transform fault and Argo transform fault are boundaries of two oceanic lithospheres in Indian ocean with a large age offset. We conducted deep-sea geomagnetic field measurements together with surface geophysical surveys across the fracture zone and the transform faults during YK14-09 Yokosuka and KH-15-5 Hakuho-maru cruises. During YK14-09 cruise, we successfully conducted AUV Urashima geomagnetic surveys and surface geophysical surveys at the Nosappu fracture zone between 38°40'N and 40°40'N. We had four AUV Urashima dives across the fracture zone to obtain geomagnetic data. The length of each survey line is about 17 miles, which contain about 13 miles at the AUV depth of 3300m. The exception is one dive, which was forced to end at the middle of the survey line due to an emergency uplift of the AUV. The surface geophysical surveys allow us to collect multi-narrow beam bathymetry and geomagnetic field data, which cover total 1,200 miles in the AUV Urashima dive area. The surface geophysical surveys contain 17 survey lines across the fracture zone with their length of 40 miles for most, and survey lines along the fracture zone cover 110 miles at each side of the fracture zone. During KH-15-5 cruise, we successfully conducted two deep-tow magnetic surveys together with surface geophysical surveys across Marie Celeste transform fault at 65°15'E and Argo transform fault at 66°07'E. We used our deep-sea geomagnetic field measurement system which consists of a depth meter, a proton precession magnetometer, and flux-gate type magnetometers. The length of each survey line is about 25 miles. The intensity of the geomagnetic field at sea surface and at deep-sea with even height from the seafloor (2500 - 4000 m depth) were obtained. The geomagnetic anomaly field at deep-sea shows 2 - 3 times bigger amplitude and also has shorter wave length anomaly than those at sea surface. Our results from Nosappu fracture zone provide magnetization signature beneath the fracture zone. The magnetic boundary in the fracture zone is not a single boundary as predicted by a simple plate boundary model, but two magnetic boundaries parallel to Nosappu fracture zone are identified by the deep-sea vector geomagnetic anomaly field and by seafloor magnetization solution calculated from the surface geomagnetic anomaly field. We will discuss on magnetic property beneath fracture zones and transform faults as a result of reaction with water.

キーワード：フラクチャーゾーン、トランスフォーム断層、深海地磁気調査
Keywords: fracture zone, transform fault, Deep-sea geomagnetic survey

モホ付近における高温熱水活動：北部オマンオフィオライトWadi FizhにおけるDiopsideとAnorthosite

High-temperature hydrothermal activities around Moho: diopsidites and anorthosites in Wadi Fizh, northern Oman ophiolite

*秋澤 紀克¹、田村 明弘¹、山本 順司²、水上 知行¹、福士 圭介³、Python Marie⁴、荒井 章司¹

*Norikatsu Akizawa¹, Akihiro Tamura¹, Junji Yamamoto², Tomoyuki Mizukami¹, Keisuke Fukushi³, Marie Python⁴, Shoji Arai¹

1.金沢大学 理工研究域、2.北海道大学 総合博物館、3.金沢大学 環日本海域環境研究センター、4.北海道大学 地球惑星科学部門

1.College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Museum Slavic-Eurasian Research Center, Hokkaido University, 3.Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, 4.Department of Natural History Science, Hokkaido University

Reaction products between hydrothermal fluids and uppermost mantle harzburgite-lowermost crustal gabbro have been reported along Wadi Fizh, northern Oman ophiolite. They are named mantle diopside or crustal diopside. They construct network-like dike crosscutting structures of surrounding harzburgite or gabbro. The mantle diopside is mainly composed of diopside clinopyroxene, whereas the crustal diopside is of diopside clinopyroxene and anorthitic plagioclase. Here, we report new reaction product, crustal anorthosite, collected in the lowermost crustal section. It is always placed in the center of the crustal diopside network. It mainly consists of anorthitic plagioclase with minor titanite and chromian minerals as chromite and uvarovitic garnet.

Aqueous fluid inclusions trapped in negative crystal are evenly distributed in the crustal anorthosite. Some of them include angular-shaped or rounded daughter minerals as calcite or calcite-anhydrite composite, which were identified by Raman spectroscopic analyses. We estimated their captured temperature at 530°C at least by conducting microthermometric analyses of the fluid inclusions by Heating-cooling stage. Furthermore, we examined their chemical characteristics by direct laser-shot sampling method operated by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometer (LA-ICP-MS). The results indicate that the trapped aqueous fluids contain an appreciable amount of Na, but no K.

Hydrothermal fluids involved in the crustal anorthosite formation transported hydrothermally immobile Cr, which was probably provided from chromite seam in the uppermost mantle section to precipitate chromites and uvarovitic garnet in the lowermost crustal section. Cr got soluble by forming complexes with anions as SO_4^{2-} , CO_3^{2-} and Cl^- . In addition, these hydrothermal fluids transported Fe, Mg, Ti and rare-earth elements. Our temperature estimation for the crustal anorthosite formation requires rather lower temperatures (530-600°C) with considering microthermometric results and mineral equilibria, thus later circumstance than the mantle diopside and crustal diopside formation. Therefore, a series of high-temperature hydrothermal events had been significantly contributing to the chemical flux occurring around the boundary between the mantle and crustal sections.

キーワード：熱水循環、中央海嶺、化学フラックス

Keywords: Hydrothermal circulation, Mid-ocean ridge, Chemical flux

伊豆-小笠原弧，アクティブリフトの玄武岩マグマとマントル不均質-スミスリフトから採取された玄武岩の岩石学的研究-

Two types of basalts erupted in Active rift, Izu-Bonin arc, Japan

*平井 康裕¹、岡村 聡¹、坂本 泉²、新城 竜一³、和田 恵治⁴、吉田 尊智⁵

*Yasuhiro Hirai¹, Satoshi Okamura¹, Izumi Sakamoto², Ryuichi Shinjo³, Keiji Wada⁴, Takanori Yoshida⁵

1.北海道教育大学大学札幌校、2.東海大学、3.琉球大学、4.北海道教育大学旭川校、5.北海道仁木町立仁木中学校

1.Hokkaido Education University, Sapporo, 2.Tokai University, 3.University of the Ryukyus, 4.Hokkaido Education University, Asahikawa, 5.Niki Junior High School, Hokkaido

1. はじめに

伊豆-小笠原弧の第四紀火成活動は、火山フロントとその背弧に存在するアクティブリフトに集中する。アクティブリフトの玄武岩は、背弧海盆玄武岩の特徴を示し、火山フロントとは明瞭に異なる（例えば Hochstaedter et al., 1990）。アクティブリフトは背弧海盆形成の初期段階を示しており、その火成活動の特徴を明らかにすることは、背弧海盆形成の原因と進化過程を解明する上で重要である。筆者らは、アクティブリフト玄武岩の例として、スミスリフトのドレッジ調査によって得られた玄武岩には、2つのタイプが存在することを明らかにした（平井ほか, 2015）。すなわち、 K_2O , Na_2O , Y, Zr, Niに富むHigh-Zrタイプ玄武岩と、それらに乏しいLow-Zrタイプ玄武岩である。さらに、同地域のODP掘削で採取された基盤玄武岩類（Gill et al., 1992）と、ドレッジ・潜水艇で採取された表層玄武岩（Ikeda and Yuasa, 1989; Fryer et al., 1990; Hochstaedter et al., 1990）と比較し、同様な両タイプ玄武岩が存在することを明らかにした。本発表では、両タイプ玄武岩について、希土類元素を含む微量元素組成、Sr, Nd, Hf同位体組成などから、初生マグマの見積もりや起源物質の推定を試みた。

2. 結果と考察

N-MORBで規格化したスパイダー図において、High-ZrタイプはLow-Zrタイプに比べて、LIL元素に富む左上がりのパターンを示し、ZrとHfの負異常はLow-Zrタイプにのみ見られる。High-Zrタイプは、高Nb/Yb, Ce/Yb, Zr/Ybを示すが、Ba/Thは低い。Nd同位体組成は、両タイプに違いはないが、Sr同位体組成は、High-ZrタイプからLow-Zrタイプにむかって高くなる傾向がある。Hf同位体組成（ $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ）は、High-ZrタイプはLow-Zrタイプより低い傾向がある。火山フロントに位置するスミスカルデラ玄武岩は、高いHf同位体組成を示しLow-Zrタイプに類似する。

両タイプ玄武岩のかんらん石斑晶は、いずれも類似の最大Foを有するが（Fo 83-85）、High-Zrタイプの方が高いNiO含有量を有し、全岩化学組成が示すNiO含有量の違いと対応している。Tamura et al. (2000, 2007)の手法を用い、マントルかんらん岩と平衡可能なかんらん石および初生マグマ組成を計算すると、High-ZrタイプはFo = 89.6, Low-ZrタイプはFo = 92.3と推定された。初生マグマ組成を、Walker et al. (1979)のPl -01 -Qtz図にプロットして推定したマグマ分離深度は、High-Zrタイプの方がLow-Zrタイプよりも低圧となった（High-Zr: 1 -2 GPa; Low-Zr: 2 -3 GPa）。同様な方法で表層玄武岩と基盤玄武岩類の両タイプ初生マグマを計算しプロットすると、High-Zrタイプがより低圧であり、筆者らの試料から得られた結果と一致した。

以上の岩石学的特徴を総合すると、両タイプの玄武岩は、同一起源マントルからの部分溶融の違いでは説明が困難である。さらに、スラブ由来成分（例えば堆積物メルト）の付加の違いでも説明することはできない。したがって、これらは異なる起源マントルに起因し、両タイプマグマの発生深度の違いから、アクティブリフトにおいてはより深部にLow-Zrタイプ、浅部にHigh-Zrタイプマグマをもたらすマントル不均質が存在する可能性がある。両タイプ玄武岩を他の伊豆-小笠原弧の背弧海盆玄武岩と比較すると、Low-Zrタイプは西フィリピン海盆玄武岩（51-34 Ma; Ishizuka et al., 2013）に、High-Zrタイプは四国海盆玄武岩（27-15 Ma; Okino et al., 1999）に類似することから、起源マントルの不均質は、伊豆-小笠原弧の進化過程と密接に関わっていた可能性がある。

本発表では、スミスリフトの近隣に位置する青ヶ島及び明神リフト玄武岩についても比較検討する。

キーワード：伊豆-小笠原弧、アクティブリフト、背弧海盆玄武岩、マントル不均質

Keywords: Izu-Bonin arc, Active rift, Back-arc basin basalts, Mantle heterogeneity

SEM-EDSを用いたマッピング分析で解析する四国海盆北部IODP EXP333 C0012基盤岩のアルカリ元素濃集作用

Researching of alkali-element enrichment using the SEM-EDS mapping analyses of BABB at the site C0012, IODP EXP 333 in the northern Shikoku Basin

*原口 悟¹、藤永 公一郎^{2,3}、中村 謙太郎³、山口 飛鳥⁴、石井 輝秋⁵

*Satoru Haraguchi¹, Koichiro Fujinaga^{2,3}, Kentaro Nakamura³, Asuka Yamaguchi⁴, Teruaki Ishii⁵

1.海洋研究開発機構、2.千葉工業大学、3.東京大学大学院工学系研究科、4.東京大学大気海洋研究所、5.深田地質研究所

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Chiba Institute of Technology, 3.Faculty of Engineering, University of Tokyo, 4.Atmosphere and Ocean Research Institute, 5.Fukada Geological Institute

四国海盆は現伊豆小笠原弧の背後に位置する背弧海盆で、25Ma頃より拡大を開始し、15Ma頃に拡大が終了したと考えられている(e.g. Okino et al., 1994, 1999)。同地域の背弧海盆玄武岩(BABB)は国際海洋掘削計画(Deep Sea Drilling Project: DSDP)第58節Site 442~444等で採取されているが、これらのうち、IODP Exp333 C0012点で採取されたBABBはアルカリ元素の特異な濃集を示す。原口他(2015年火山学会秋季大会)等で、XRDを用いた二次鉱物相の同定を行い、アルカリ元素のホスト相を同定、変質作用を考察したが、本研究では、さらにSEM-EDSを用いて薄片のマッピング分析を行い、アルカリ元素の分布からさらに二次鉱物相の同定を行った。C0012点のBABBは、全岩SiO₂量が47~55 wt%、MgO量が5~8 wt%の範囲、アルカリ元素はNa₂Oが2.3~7.5 wt%、K₂Oが0.4~4.2 wt%と他の四国海盆BABBより高濃度に広い組成範囲を示し、Na₂O+K₂Oは他のBABBと比べ、SiO₂量に対して1~2%程度高濃度のトレンドを示すのが特徴である。XRDにより、Na₂Oが4wt%を超える岩石に方沸石が認められ、また、多くのサンプルにトムソン沸石が認められた。一方、Kに富む岩石にはカリ長石が認められた。XRDによる鉱物同定の弱点として、長石はパターンが類似しているため、K, Na, Caの端成分の同定が困難なことが挙げられる。特にアルバイトと斜長石は固溶体をなしており、X線回折パターンも類似している。このため、長石の組成を解析するため、薄片のマッピング分析を行い、元素の濃集領域を観察して、個々の鉱物単位での鉱物相の同定を試みた。

マッピング分析の結果、長石はNaおよびKの強度が高く、Caの強度がきわめて低くなっていることが確認された。このため、斜長石はアルバイトおよびカリ長石に置換していると考えられる。Naの高いサンプルでは、置換鉱物はほとんどがアルバイトであるが、Kの高いサンプルは結晶の縁および割れ目に沿ったと考えられるKの高い領域が認められた。この部分はカリ長石と考えられ、XRDによるカリ長石の同定と調和する。この観察結果から、アルカリ元素の主要な濃集作用はアルバイト化作用と解釈される。アルバイト化作用は100°C以上の高温で起こり(e.g. Alt et al., 1986)、より高温ではアルバイト、低温ではカリ長石化が起こるとされている。この温度は、沸石の組み合わせとも調和する(e.g. Miyashiro and Shido 1970)。

また、Naの濃集が顕著な領域は、基盤の破碎が卓越することと、沸石の沈殿が顕著なことから、変質時の水/岩石比が高く、熱水の流路になっていたと考えられる。そして、熱水の流路となった領域では高温となり、流路から離れた領域が低温になって、アルバイト化作用の変化を起こしたと考えられる。

C0012点での変質作用は、全体としてアルバイト-カリ長石化の遷移域の温度下で起こり、熱水の流路となった所ではより高温、流路から離れたところでは低温だったと考えられる。この環境下で、C0012点基盤岩は沸石相の変質作用を受けるとともに、熱水活動により斜長石がアルカリ長石に置換し、アルカリ元素の濃集を起こしたと解釈される。

キーワード：背弧海盆玄武岩、熱水活動、アルバイト化作用、マッピング分析

Keywords: backarc basin basalts, hydrothermal activity, albitization, mapping analyses