

東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会
海底拡大／収束と海底資源の形成過程
-InterRidge-Japan 研究集会 -

要旨集

沖縄トラフ伊平屋北海丘の熱水循環をコントロールする地質構造
Geological structures controlling hydrothermal circulation in the Iheya North Knoll, Okinawa Trough

辻 健*, Eng Chandoeun (九大)
Takeshi Tsuji, Eng Chandoeun (Kyushu University)

Seismic reflection data around the Iheya North Knoll hydrothermal field provide insights into geological structures that control subseafloor hydrothermal fluid flow in the sediment-covered continental backarc basin of the mid-Okinawa Trough. We used 2D seismic reflection data acquired along 54 survey lines recorded in a dense orthogonal grid during four cruises. We identified the seismic expression of widespread porous volcaniclastic pumiceous deposits and intrusions as a result of silicic arc volcanism (Figure 1). The porous and permeable volcanic deposits distribute in an area extending updip from the thick succession of the deep trough to the seafloor at the hydrothermal field. Their regional structure focuses the flow of hydrothermal fluids derived from the surrounding trough-fill sediments and directs them to the vents of the hydrothermal field. The high concentrations of CH_4 and NH_4 in the fluids of the hydrothermal field are likely derived from the interaction of migrating fluids with trough-fill sediments.

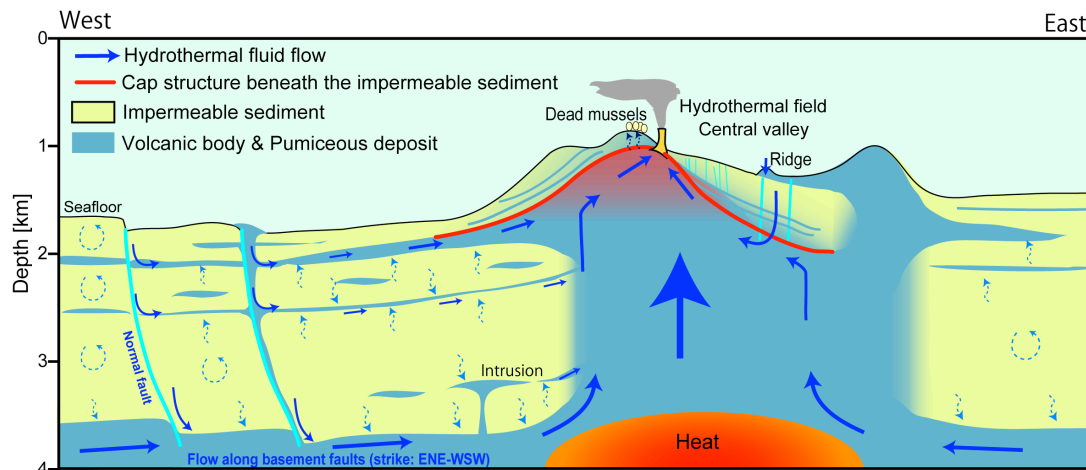


Figure 1. Model of the hydrothermal fluid system around the Iheya North Knoll based on seismic profiles (Tsuji et al. 2013). Fluids flow laterally and updip along permeable pumiceous layers within the sedimentary sequence and laterally along basement faults within the crust. Near the knoll, fluids migrate upward due to heating and are then trapped below the hydrogeologic barrier and flow beneath it to vents in the hydrothermal field.

Reference

Tsuji, T., K. Takai, H. Oiwane, Y. Nakamura, Y. Masaki, H. Kumagai, M. Kinoshita, F. Yamamoto, T. Okano, and S. Kuramoto, Hydrothermal fluid flow system around the Iheya North Knoll in the mid-Okinawa Trough based on seismic reflection data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 213-214, 41-50, 2012.

沖繩トラフの海底地形と海底地形名：
海上保安庁海洋情報部の最近の調査成果

**Bathymetry and undersea feature names within the Okinawa Trough:
Recent survey results by Hydrographic and Oceanographic Department of Japan**

小原泰彦* (海上保安庁海洋情報部/海洋研究開発機構)
**Yasuhiko Ohara* (Hydrographic and Oceanographic Department of
Japan/JAMSTEC)**

1984年6月から1986年11月に掛けての海上保安庁水路部（現海洋情報部）による大陸棚調査により、沖繩トラフの近代的な海洋地質・地球物理学的が始まった。同調査では、沖繩トラフで初めてマルチビーム測深が実施され、沖繩トラフの地形・テクトニクスの詳細が明らかにされた。海上保安庁水路部による調査の直後、リソスフェア探査開発計画（DELP）や「しんかい2000」の潜航調査、フランス・ドイツの調査船による調査など、マッピング調査と潜航調査が数年に渡って集中的に実施された。リフトの発達史や複数の海底熱水サイトの発見など、沖繩トラフの地球科学的理解の基礎は、1980年後半には構築されていた。一方、海上保安庁海洋情報部は、2008年から、現代の技術によるマルチビーム測深と地殻構造探査を開始し、精密海底地形データと詳細な地殻構造データを取得してきた。その成果の一つとして、縮尺100万分の1の海底地形図「南西諸島」（No. 6315）を2014年4月に刊行した。同海底地形図では、沖繩トラフの詳細な海底地形が表現されているほか、顕著な海底地形に対して付与されている海底地形名を参照できる。これらの海底地形名のうち、海底地形名の国際標準化をはかっている国際組織である GEBCO（GEneral Bathymetric Chart of the Oceans）の SCUFN（Sub-Committee on Undersea Feature Names）において、次に示す8件が国際登録されている。

- Okinawa Trough（沖繩トラフ）
- Amami Calderas（奄美カルデラ群）
- Okinoerabu Knoll（沖永良部海丘）
- Yambaru Hole（山原海穴）
- Yambaru Knoll（山原海丘）
- Yoron Hole（与論海穴）
- Tarama Knoll（多良間海丘）
- Tarama Hill（多良間海陵）

本講演では、海上保安庁海洋情報部による沖繩トラフの最新の海底地形データ等を概観した後、沖繩トラフ海域の海底地形名に関わる新しい話題を提供する。資源調査等から注目度の高い沖繩トラフ海域の海底地形と海底地形名に関わる、最新の情報を広く日本のインターリッジコミュニティと共有することとしたい。

IODP Exp. 331 掘削コア試料中の熱水変質鉱物と熱水性鉱物の産状
Occurrence of hydrothermal minerals in sediment collected by IODP Exp.331
from the Iheya north Knoll, Okinawa Trough

石橋純一郎*・三好陽子#・井上博靖・島田和彦・
堤彩紀（九州大，#現在産総研）

Jun-ichiro Ishibashi*, Youko Miyoshi, Hiroyasu Inoue, Kazuhiko Shimada,
Saki Tsutsumi

[はじめに]2010年9-10月にIODP(統合国際深海掘削計画)によって実施された Expedition 331 航海は沖縄トラフ伊平屋北海丘において掘削を行い、熱水活動域の海底下に直接アクセスする機会を提供した。ほとんどのコア試料で堆積物が強い熱水変質をうけており、その中に熱水性硫化鉱物と硫酸塩鉱物の産出も確認された。本講演ではこれらの熱水性鉱物の産状と鉱物学的解析の結果を報告し、海底下で鉱化作用が起こる可能性について議論する。

[試料・方法] Expedition 331 では5つのサイトで掘削を行った。このうち、高温の熱水を噴出する熱水マウンド(NBC)のすぐ脇を掘削した Site C0016, その100m東にある Site C0013, マウンドから450m東に位置する Site C0014 のコア試料について詳しく解析した。解析は、X線回折法(XRD)、電子線回折プローブ(EPMA)、電界放出形走査型電子顕微鏡(FE-SEM)などを用いて行った。

[硫化鉱物の産状] Site C0016における熱水マウンドの掘削によって「黒鉱」様塊状鉱物が回収された。この鉱石には閃亜鉛鉱、方鉛鉱があるほか、熱水変質により形成されたと考えられる粘土鉱物や石英も多く含まれている。閃亜鉛鉱、方鉛鉱などの鉱物は、Site C0013やSite C0014では数mm径の粒状の形で産する。この粒をFE-SEMで見ると、硫化鉱物が粘土鉱物中に埋もれて密接にからまりあっている様子が観察される。黄銅鉱については、上記の硫化鉱物と共生するもの、珪化した堆積物中に含まれるものなどがあるが、全般的に出現する割合が低く「黄鉱」に相当する鉱石は見つからなかった。

[熱水性変質鉱物の帯状分布] Site C0014のごく表層を除いては未変質堆積物を見出すことができず、また一種類か二種類の粘土鉱物しか見られない試料が多いことから、海底下の堆積物は強く均質な熱水変質作用を被っていると考えられる。さらに代表的な粘土鉱物が深度に対して、スメクタイト⇒スメクタイト/クロライト混合層鉱物⇒クロライト⇒イライト(+クロライト)と変わっていく分布が Site C0013 と C0014 で共通して見出され、熱水変質帯が帯状に広がっていることを示している。

[考察] クロライトの化学組成がMgに富んでいること、クロライト層に硫酸塩鉱物である硬石膏が多量に存在することから、クロライトの形成には海水が関与し、かつ200°C以上の高温となっていると考えられる。これに対してイライトの形成には、高温である上に熱水成分の供給があると推定される。

硫化鉱物の産状と熱水変質鉱物の分布の関係を合わせた時に最も興味深いことは、閃亜鉛鉱・方鉛鉱に代表される熱水性硫化鉱物が、クロライトやイライトが占める高温熱水変質帯ではなく、それより浅い深度でのみ見出されることである。この浅部の熱水変質帯の粘土鉱物はスメクタイトで代表されるが、カオリナイトやイライトなど多様な粘土鉱物が例外的に見られる層もあり、鉱化作用は複雑な熱水環境で進行したことが推定できる。

熱水噴出孔下の生命圏限界から読み取る温度プロファイル
(IODP Exp. 331)

**Subseafloor temperature estimates based on limits for microbial habitability
beneath sediment-buried, hydrothermally active vent**

柳川勝紀*、三好陽子、石橋純一郎（九州大）、井尻暁、酒井早苗、川口慎介、平井美穂、高木善弘、布浦拓郎、高井研（JAMSTEC）、Anja Breuker、Axel Schippers（ドイツ連邦地球科学天然資源研究所）、野口拓郎（高知大）、砂村倫成、浦辺徹郎（東大）

Katsunori Yanagawa, Youko Miyoshi, Jun-ichiro Ishibashi (Kyushu Univ.), Akira Ijiri, Sanae Sakai, Shinsuke Kawagucci, Miho Hirai, Yoshihiro Takaki, Takuro Nunoura, Ken Takai (JAMSTEC), Anja Breuker, Axel Schippers (BGR), Takuroh Noguchi (Kochi Univ.), Michinari Sunamura, Tetsuro Urabe (Univ. Tokyo)

2010年9月の統合国際深海掘削計画第331次航海(IODP Expedition 331)では、中部沖縄トラフ伊平屋北海域熱水孔下生命圏への直接的なアプローチとなる掘削がおこなわれた。この掘削試料の地球微生物学的解析により、熱水近傍という極限環境での海底下生命圏の存在様式が解き明かされつつある。特に、生息微生物の分子系統情報は、海底下の環境条件を推定するツールとして役立つことが期待される。

熱水噴出孔より1.6 km離れた掘削地点 Site C0017 では、微生物群集構造が鉛直的に変化しており、浅層では通常海底堆積物中で頻出する未培養性アーキアが、20 mbsf 付近の軽石層では海洋性アーキア marine group I *Thaumarchaeota* が、最深部の150 mbsf では未培養好熱性アーキア Hot Water Crenarchaeotic Group IV (HWCGIV) が検出された。Site C0017 は海底熱水循環に伴って、海水が表層堆積物に染み込んでいく場であると推定されている。軽石層での *Thaumarchaeota* の優占は、浸透海水由来の酸化環境が局所的に形成されていることを指し示していた。

熱水噴出孔より450 mほど離れた掘削地点 Site C0014 では、微生物の生息限界は海底下16 mまでであり、それより浅層において嫌氣的メタン酸化を始めとする微生物代謝が確認できた。また、Site C0017 と同様、生命圏限界で既知の超好熱菌は検出されず、HWCGIV の優占が見られた。HWCGIV は好熱性であり、50-70°C 付近が至適生育温度である。しかし、熱水変質を受けた粘土鉱物の酸素同位体比分析からは、この深度が過去に106-198 度の高温環境にあったことが示された。すなわち、生命圏限界に当たる深度では、過去に高温環境での「滅菌」が起こり、その後に熱水の下降に伴い温度が低下し、生命が再び進出したという解釈が可能である。このように、微生物由来の比較的「新鮮」な情報を活用することで、海水リチャージや熱水の下降（上昇）といった熱水の挙動解明に繋がるかもしれない。

CK14-04 航海において採取された沖縄トラフ掘削コア試料の
 岩相・構成鉱物・全岩化学組成および LWD との比較
**Lithology, constituent mineral, bulk chemical composition and comparison with
 LWD of the drilled core samples obtained from the CK14-04 Cruise**

野崎達生* (海洋機構), 高谷雄太郎 (早大), 山崎徹 (産総研),
 戸塚修平・堤彩紀・石橋純一郎 (九大), 高井研・熊谷英憲・川口慎介・
 宮崎淳一・正木裕香・斎藤実篤・真田佳典・久保雄介 (海洋機構),
 CK14-04 航海乗船者一同

**Nozaki, T.* (JAMSTEC), Takaya, Y. (Waseda Univ.), Yamasaki, T. (AIST),
 Totsuka, S., Tsutsumi, S., Ishibashi, J.-I. (Kyushu Univ.), Takai, K., Kumagai, H.,
 Kawagucci, S., Miyazaki, J., Masaki, Y., Saito, S., Sanada, Y., Kubo, Y. (JAMSEC)
 and CK14-04 Cruise Members**

2014年7月9～26日の18日間、戦略的イノベーション創造プログラム「次世代海洋資源調査技術」における「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、沖縄トラフ伊平屋北海丘における科学掘削調査(CK14-04 航海)が実施された。本航海では、掘削同時検層(LWD)による海底下熱水通路の解明に主眼が置かれた。LWDは伊平屋北オリジナルサイトの周囲5か所(C9011A～C9015A)及びアキサイト1か所(C9016A)において、全長1,351mが掘削された。また、物理データと掘削コアの岩相対比を目的として、C9015B, C9015C及びC9016Bにおいてコア試料が採取された。掘削長は31m, 30m, 150mであり、合計211mであった。本講演ではC9016Bを中心に、岩相・構成鉱物及び全岩化学組成について報告する。

C9016Bは、伊平屋北アキサイトの熱水活動中心部から約150m北に位置する。コア試料は上位から下位にかけて、未変質パミス、未変質半遠洋性堆積物、しばしば緑色を呈する弱変質堆積物、白色を呈し主にカオリナイトからなる酸性変質粘土、暗灰色を呈し主にイライト、緑泥石、硬石膏からなる中性変質粘土へ漸移する。中性変質粘土層では、下位に向けてイライトに対する緑泥石の割合が増加する。また、中性変質粘土層下部ではしばしば火成岩組織が残存するが、著しく粘土化しているか硬石膏に置換されており、XRDで石英のピークが認められない。酸性変質粘土～火成岩組織が残っていない中性変質粘土層では、細粒の黄鉄鉱がXRD及び肉眼観察で認められる。また、中性変質粘土層の火成岩組織が残存する最上位部において、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱が肉眼で観察される。Cu, Pb, Znなどの金属元素濃度は、カオリナイトを主体とする酸性変質粘土層(~10 mbsf)、中性変質粘土層の一部(~25 mbsf)及び中性変質粘土層の火成岩組織が残存する最上位部(~41 mbsf)の3か所で、明瞭なピークが認められる。酸性変質粘土層では、ZnとPbの濃集に加えてAs, Mo, Agなどが濃集している。一方、中性変質粘土層の火成岩組織が残存する最上位部ではCu, Pb, Znの濃集が顕著であり、黄銅鉱が晶出している。他の特徴として、酸性変質粘土層の直下(~12 mbsf)にU及びAuの濃集が認められ(U > 1,000 ppm)、このようなU及びAuの濃集は32 mbsf付近にも認められる。本講演では、これらのデータから得られた海底下地層構造の描像をLWDとの対比に基づいて報告する。

掘削同時検層から推定される熱水変質帯・鉍化帯の岩相と物性：
CK14-04 掘削航海の成果

**Lithology and physical property of the hydrothermal deposits estimated from
logging while drilling deployed during CK14-04**

齋藤実篤*・真田佳典・濱田洋平・野崎達生・熊谷英憲・
高井研（海洋研究開発機構）、CK14-04 乗船者一同

**Saneatsu Saito, Yoshinori Sanada, Yohei Hamada, Tatsuo Nozaki,
Hidenori Kumagai, Ken Takai (JAMSTEC), and CK14-04 Shipboard Party**

2014年7月9～26日の18日間、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の課題「次世代海洋資源調査技術」における「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、沖縄トラフ伊平屋北海丘において地球深部探査船「ちきゅう」を用いた科学掘削調査 (CK14-04航海) が実施された。本調査航海では熱水溜まりや随伴する鉍化帯の空間的広がりを把握することに目的とし、掘削同時検層 (logging while drilling: LWD) を用いて地層の比抵抗と自然ガンマ線計測および掘削流体の温度と圧力の計測を実施し、得られた物理データの解釈をもとにコア採取が行われた。

LWDは伊平屋北オリジナルサイトの周囲5か所 (C9011～C9015) 、およびアキサイト1か所 (C9016) の計6か所において実施され、掘削点C9016において比抵抗と自然ガンマ線の計測値から特徴的な物性変動が認められた。掘削孔C9016Aにおける自然ガンマ線の値は海底下4-6 m付近で極小 (~ 50 gAPI) となり、7-18 mで500 gAPIを超える極めて高い値を示す。その直下18-22 mでは自然ガンマ線の値が100 gAPIに急減する一方、比抵抗値が海水と同等の ~ 0.3 ohm-mの極小値を示す。さらにその下位の22-25 mの間では10 ohm-m以上の比抵抗ピークが認められる。これらの「低ガンマ帯」→「高ガンマ帯」→「低比抵抗帯」→「高比抵抗帯」の組合せは、26-28m (~ 200 gAPI), 28-34m (>900 gAPI), 34-40m (<0.2 ohm-m), 40-50m (<100 ohm-m)の区間で再度出現する。以上のLWDで得られた物性値の深度変化を回収コア試料の鉍物組成と全岩化学組成の深度変化 (野崎ほか, 本研究集会) と比較すると以下の解釈が可能である。海底直下の未変質堆積物～弱変質堆積物を経てカオリナイトに富む酸性変質粘土が出現する層準が「低ガンマ帯」に相当し、下位の硬石膏に富む中性変質粘土層が「高ガンマ帯」に相当する。その下位の閃亜鉛鉍、方鉛鉍、黄銅鉍、黄鉄鉍などが認められる鉍化帯が「低比抵抗帯」に、さらに下位の硬質層 (珪化岩) が「高比抵抗帯」に対比される。以上のように、深度方向に不連続なコア試料と検層の連続データを組み合わせることによって、海底で形成されつつある未成熟な黒鉍型鉍化帯における物性と岩相の対比、さらには変質帯・鉍化帯の分帯が可能となる。また当海域の未固結～半固結の火山碎屑性堆積物のようにコア回収率が著しく低い場合、LWDによる物性計測によって変質帯・鉍化帯の層序を推定した後慎重にコア取得を行うことにより、硫化物濃集層を効率良く回収することが可能である。本調査航海の成果により、掘削同時検層は海底下熱水鉍床の探査・成因解明に不可欠なツールであることが示された。

CK14-04 掘削コア試料中の硫化鉱物の産状
Occurrence of sulfide minerals in the drilled cores during the CK14-04 Cruise

戸塚修平* (九州大学・JAMSTEC), 石橋純一郎 (九州大学),
野崎達生 (JAMSTEC), CK14-04 航海乗船者一同
S. Totsuka (Kyushu Univ., JAMSTEC), J. Ishibashi (Kyushu Univ.),
T. Nozaki (JAMSTEC) and CK14-04 Cruise members

2014年7月9～26日の18日間、戦略的イノベーション創造プログラム「次世代海洋資源調査技術」における「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、沖縄トラフ伊平屋北海丘における科学掘削調査 (CK14-04 航海) が実施された。同海域のC9015B, C9015C 及び C9016B の各サイトにおいて採取されたコア試料から、硫化鉱物が顕著に見られた深度の試料を中心として、主に反射顕微鏡での観察と EPMA を用いて分析を行った。

アキサイトの C9016B では、ほぼどの深度においても粘土鉱物が卓越していた。0～12 mbsf (meters below sea floor) では未変質、弱変質の堆積物が見られた。12 mbsf から硬石膏が増え、これはコア最下部 116 mbsf まで見られた。38 mbsf から石英が観察され、これより下部での珪化が確認された。このような熱水変質や珪化を受けた堆積物中に最大で粒径が数 mm の硫化鉱物が見られた。0～12 mbsf では硫化鉱物はほとんどなく、12mbsf で大量の黄鉄鉱が見られた。40 mbsf 付近では珪化を受けた堆積物中に閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、方鉛鉱、黄銅鉱が数 100 μm の大きさを観察され、この部分がこのコアで最も硫化鉱物に富んでいた。105 mbsf 付近では緑色の粘土中に閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱が見られ、このうち閃亜鉛鉱は数 mm 以下の球状を呈することが特徴的であった。また 116 mbsf 付近ではこれ以浅で広く観察されていた閃亜鉛鉱が全く確認できず、珪化した火山岩中に斑銅鉱を内包する黄鉄鉱、それらを取り囲むように黄銅鉱が見られた。

今回3つのサイトから得られたコア試料から、硫化鉱物として主に、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱が確認された。10 mbsf 付近では粘土鉱物の同定結果から、ディツカイトやカオリナイトなどの酸性変質粘土が見られることがわかっている。硫化鉱物 (特に黄鉄鉱) はこの変質帯の 12 mbsf 付近で非常に多く見られるため、酸性変質粘土帯に近接している硫化鉱物は酸性変質とかかわりがあることが示唆される。また 40 mbsf 付近で珪化が見られるとともに、それより下部で閃亜鉛鉱、黄銅鉱などの硫化鉱物の量が増えているため、珪化が硫化鉱物の生成にかかわっていると考えられる。

本講演ではこの他にサカイフィールド野甫サイトのチムニーおよびマウンドの鉱石についても簡単な報告をする。野甫サイトは伊平屋北海丘の近くに位置し、NT15-02 および NT15-13 においてハイパードルフィンによる岩石試料の採取が行われた。当日は数試料の顕微鏡写真および EPMA での微量成分の分析結果を発表する予定である。

沖縄トラフ伊平屋北海丘におけるカオリン鉱物の産状と成因
**Occurrence and formation of Kaolin minerals,
 at Iheya north Knoll, Okinawa Trough**

堤 彩紀* (九大・理) 石橋 純一郎 (九大・理) 三好 陽子 (産総研)
Saki Tsutsumi* Jun-ichiro Ishibashi, Youko Miyoshi

はじめに 沖縄トラフの熱水域では、海底堆積物中に酸性変質鉱物であるカオリン鉱物が見つかった報告例がいくつかある。これらの先行研究から、カオリン鉱物を多く含む堆積物は(1)比較的浅い深度に出現する(2)硫化鉱物・硫酸塩鉱物を含むといった共通の特徴を持つことがわかっている。本講演では、これらのカオリン鉱物の成因の解明を目標とし、カオリン鉱物を含む堆積物試料の詳細な産状観察を行った結果を報告する。

試料・方法 研究に使用した試料は、2014年7月に行われたCK14-04航海において伊平屋北アキサイトの熱水域から150m離れた掘削孔C9016B(掘削地点27° 46.6' N, 126° 54.6' E, 水深1124m)で得られた堆積物試料、2011年6月に行われたTAIGA11航海において伊平屋北オリジナルサイト熱水域から200m東に離れた掘削孔BMS I-4(掘削地点27° 47.4' N, 126° 53.9' E, 水深1048m)で得られた堆積物試料を使用している。解析は、X線回折法(XRD法)による鉱物の同定と電界放出形走査型電子顕微鏡(FE-SEM)による産状観察を行った。

結果 (C9016B) 9-11 mbsfの深度にカオリン鉱物が確認された。カオリン鉱物の産状は、未変質鉱物とハロイサイトが混在する(9.17 mbsf)、大部分がカオリン鉱物で占められる(9.65 mbsf)、結晶度の高いカオリン鉱物であるディッカイトとイライトが混在している(10.83mbsf)、様子が観察できた。硫化鉱物・硫酸塩鉱物は細粒(約50 μm)で、カオリン鉱物に囲まれており、9.17 mbsfの試料に多く存在している。

結果 (BMS I-4) 全長4mのコアの全体でカオリン鉱物とスメクタイトが確認された。カオリン鉱物の産状は、上部から未変質な鉱物を多く含む(3 cmbsf)、スメクタイトで占められる(7 cmbsf)、スメクタイトの構造を残しながら、カオリン鉱物の外枠が形成されている(30 cmbsf)、大部分がカオリナイトで占められる(75 cmbsf)様子が観察できた。硫化鉱物・硫酸塩鉱物は粘土鉱物に囲まれており、7cmbsfと75cmbsfの試料に多く存在している。

考察 沖縄トラフ熱水域の海底下では、深度の深い層で高温で形成されるMg-クロライトやイライト、浅い層でより低温で形成されるスメクタイト、が見られる粘土鉱物の帯状分布が広く見られている。BMSI-4 コアでは、スメクタイトとカオリナイトが共に産出している様子が観察されている。これは、まず初めにスメクタイトを形成する変質作用がおこり、次にカオリン鉱物を形成する変質作用が起こることで説明できる。一方で、C9016B コアでは、未変質鉱物からカオリン鉱物を形成する変質作用がおこったと考えられる。このように、カオリン鉱物を形成する変質作用は、一般的な粘土鉱物の帯状分布を形成する過程とは異なった過程だと考えられる。

硫化鉱物・硫酸塩鉱物がカオリン鉱物に囲まれて存在していることは、そうした過程と鉱化作用が密接な関係を持っていることを示唆している。またカオリン鉱物が産出する深度の上部や下部で重晶石の形成が見られることから、カオリン鉱物を形成させる流体と海水の混合が起こっている可能性が高い。

CK14-04 掘削コアの火成岩岩石学的特徴
Igneous petrological features of core samples from Exp. CK14-04

山崎 徹* (産総研)

Toru YAMASAKI (Geological Survey of Japan, AIST)

2014年9月に実施された、沖縄トラフ伊平屋北海丘における、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) CK14-04 航海において採取された掘削コアのうち、火成岩類および火成岩起源変質岩類について、岩石記載、粉末X線回折、全岩主成分・微量成分分析を実施した。検討に用いたのは、伊平屋北オリジナルサイトの西縁に位置する Site 9015 (Holes C9015B) と、伊平屋北アキサイトの中心部に位置する Site 9016 (Hole C9016B) からのコア試料である。それぞれの掘削孔の岩相層序の概要は野崎ほか (本集会) において紹介される予定である。Hole 9015B および 9016B からそれぞれ変質火山岩 3 試料、Hole C9016B からパミス質堆積岩中のパミス 5 試料を検討した。

C9015B 孔からの試料のうち、2 試料 (約 13.7 mbsf 及び 14.0 mbsf) は、変質した火山岩質掘削ブレッチャで、カリ長石斑晶を含む斑状組織を示す。C9015B の 1 試料 (約 18.1 mbsf) は著しい珪化作用を被った珪鋳である。著しい珪化作用によりデカッセイト状組織様のモザイク状石英から主として構成され、原岩の組織は不明である。石英には包有物を多量に含む細粒 (<0.1 mm) のものと、包有物が少なく粗粒 (0.3-0.7 mm) のものがある。C9016B 孔からの変質火山岩試料のうち 2 試料 (約 67.6 mbsf 及び 80.3 mbsf) は淡緑灰色を示し、花卉状の石英 (<0.1-0.5 mm) を微細な基質が埋める組織を示す。80.3 mbsf の試料には長径 1.0 mm 程度の自形の長石斑晶 (仮像) が含まれるため、斑状組織を示す火山岩であったと考えられるが、花卉状の石英が微斑晶であったのか、変質によって生じたものかは判断できない。C9016B 孔からの変質火山岩試料のうち 1 試料 (115.3 mbsf) は淡緑灰色を示し、花卉状の石英によって埋められるデカッセイト様組織を示し、初生的な火成組織を残していない。パミスは淡黄灰色を示し無斑晶質の繊維状発泡形態を示す。カリ長石の斑晶がまれに認められ、基質はガラス質である。

パミスは SiO_2 72.29-74.79 wt%を示す流紋岩組成を示し、文献値より分化した傾向を示すとともに、その他の全岩主成分元素は概ね中部沖縄トラフの流紋岩類のトレンドに載る。変質流紋岩類のうち C9016B 孔からの 2 試料 (67.6 mbsf 及び 80.3 mbsf) は MgO 含有量が高いほかは概ね中部沖縄トラフの流紋岩類のトレンドに載るが、それ以外の変質流紋岩類は珪化作用による高い SiO_2 量 (86-90 wt%) のためトレンドには載らない。全岩微量元素組成も概ね主成分組成と似た挙動を示すが、より詳細なオーダーでは、熱水変質・鋳化作用に由来すると考えられる異なる傾向も認められ、Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, REEs, Cu, Zn, As, Mo, Pb 及び Bi において SiO_2 量と相関しない含有量のばらつき、あるいは増減が認められる。それにもかかわらず、変質流紋岩類 6 試料のうち 3 試料はパミスと類似する微量元素パターン・含有量を示しており、これらは同源であるとみなし得る。変質の影響のより小さいパミスの微量元素パターン・含有量は、Shinjo and Kato (2000) による Type 2 rhyolite とほぼ一致することから、CK14-04 掘削コアの火成岩類の大部分は初生的には Type 2 rhyolite 的な組成を持っていたものと考えられる。

文献: Shinjo, R. and Kato, Y., 2000, *Lithos*, **54**, 117-137.

伊平屋北海丘における高高度マッピング
High altitude 3D visual reconstructions of the Iheya North Field

Blair Thornton* (東京大学)、Adrian Bodenmann (東京大学)、
長野 和則 (東京大学)、中嶋 亮太 (JAMSTEC)
B. Thornton* (The Uni. of Tokyo)、**A. Bodenmann** (The Uni. of Tokyo)、
K. Nagano (The Uni. of Tokyo)、**R. Nakajima** (JAMSTEC)

画像を使った観測は、海底の地質状況、生物の同定、瓦礫の分布調査、設備の健全性の確認など、様々の観点からして環境を理解することに貢献できる汎用的な技術である。近年、ステリオ画像やレーザスキャンを使うことによって、画像に移る物の正確な3Dの寸法情報を自動算出することが可能となっている。さらに、移動しながら取得する3D画像を複数つなぎ合わせて海底面をマッピングする技術も、オーストラリアを始めとし、アメリカ、ヨーロッパ、日本でも実用レベルまで足している。しかし、従来の画像調査では海底から約2mまで接近する必要があり、調査したい範囲に対して調査できる範囲が狭いことがこれまで画像観測の最大のボトルネックとなっていると考える。本発表では、従来より10倍以上広い範囲の画像調査を可能とする約10mの高高度から撮影する3D画像マッピング技術、およびこの技術を用いた伊平屋北海域を調査した結果を紹介する。

電気・電磁探査を用いた海底熱水鉱床探査の取り組み

DC resistivity and controlled source EM survey for hydrothermal deposit

笠谷貴史* (JAMSTEC)、後藤忠徳 (京都大)、岩本久則 (日本海洋事業)、北田数也 (JAMSTEC)、町山栄章 (JAMSTEC)

Takafumi Kasaya (JAMSTEC), Tada-nori Goto (Kyoto Univ.), Hisanori Iwamoto (NME), Kazuya Kitada (JAMSTEC) and Hideaki Machiyama (JAMSTEC)

2009 年から始まった文部科学省による「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム (資源基盤ツール)」を契機として資源探査手法の開発が始まり、「海洋鉱物資源広域探査システム開発」として継続的に開発が行われている。海洋研究開発機構でも 2011 年に海底資源研究プロジェクト (現海底資源研究開発センター) が立ち上がり、資源成因研究を中心とした研究開発が始まった。2014 年より内閣府主導の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) が開始され、次世代海洋資源調査技術「海のジパング計画」として海洋研究開発機構が管理法人となり研究開発を行っている。

陸上の金属資源探査において電磁気学的手法による物理探査は、資源賦存量を決定する上で極めて重要な位置を占める。我々は、主として電気探査、コントロールソース EM (CSEM) 法を用いた探査手法の開発・実海域調査を推進している。資源基盤ツールで開発された電源装置と受信機をベースに実験を繰り返して、実用の域に達している。開発した装置は、曳航体をはじめ、ROV や AUV などの無人探査機、「しんかい 6500」と、全てのプラットフォームでの観測が可能な非常にユーティリティの高い機器となっている。電気探査については、曳航体などの水中航走体から観測・探査深度に合わせた電極アレイを曳航することにより、多様な観測形態をとることができる。図 1 は曳航体を用いた電気探査の場合の観測形態の一例である。短い電極アレイを用いた場合は、探査深度は 10m となるが、海底のカメラ観察も同時に行う事ができる。一方、長い電極アレイを用いる場合は、探査深度を深くすることが可能となる。また、海底に設置した自己浮上式あるいは小型電位差計に対して、水中航走体から電流を送信する方式での探査も実施している。講演では、短い電極アレイを用いた伊是名海域での探査結果を中心に紹介する。

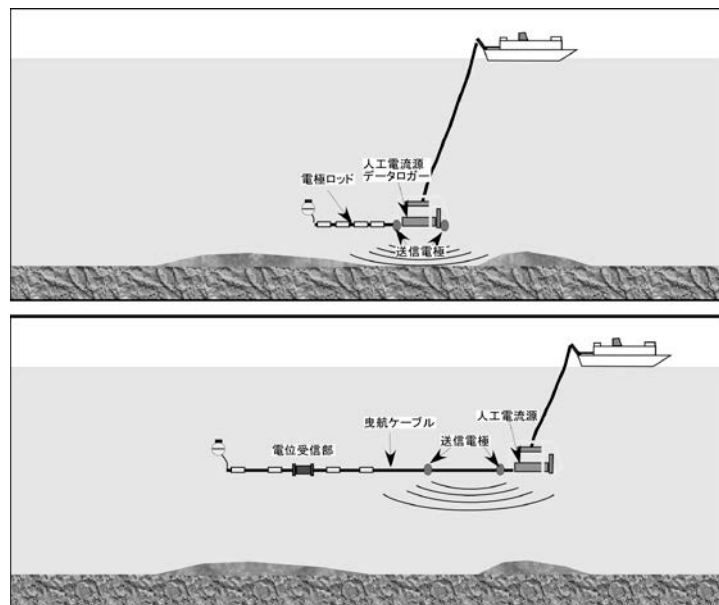


図 1 曳航式電気探査の電極アレイの例

熱水鉱床の詳細音響探査技術 Detailed acoustic technology for exploring hydrothermal vents

浅田 昭* (東京大学生産技術研究所)
Akira Asada (IIS, the University of Tokyo)

1. 海面からの詳細地形、音響画像マッピング

広大な伊豆小笠原海嶺域、沖縄トラフ海域等に多数存在する小域の熱水鉱床を突き止めるためには広域詳細地形調査と音響画像調査が重要である。音響画像は、底質、地形、熱水活動状況を捉えることに寄与する。このため、従来の高スピードの100%カバレッジマッピング技術を目指すのではなく、高品質の音響画像を捉えることに主眼を置いたマッピングを行ってきた。EM302, EM122 マルチビーム音響測深機を用いて、約3ktから4ktでノイズの少ない測量を行う、往復計測して一方向の品質が良ければ、帰りは捨て、品質の良いコースのみで測量を行ってきた。この結果、従来の10ktで走った地形図、音響画像とは比べ物にならないぐらい品質の良い情報が得られた。音響画像はビームパターン補正、入射角補正、伝播距離による音の減衰を補正して、均質な画像情報を構築した。

2. 音響画像から見る熱水鉱床の特徴

海面からの詳細地形、音響画像情報から、既知の熱水鉱床の特徴の抽出を行ってきた。しかし、水深1000m~3000m付近の熱水鉱床の特徴を捉えるには、AUVを使って海底上50mぐらいからの音響画像マッピングが適している。AUVを使った、ベヨネーズ海丘カルデラ、明神海丘カルデラ、明神礁カルデラ、久米島沖の既知の熱水鉱床域の音響画像情報から熱水鉱床の特徴把握の解析研究を行なってきた。これらの結果から熱水噴出に伴う底質の変化、段差、亀裂、岩盤のパミス化、熱水量の大小、硫化鉱物の附着の密度差などを捕らえる可能性が見出されてきた。

3. AUVを使った合成開口音響画像マッピング

AUV「うらしま」に装備された合成開口ソナーによる最初の潜航は明神礁カルデラの中央火口丘の西側斜面の急スロープで行われた。ここには、既にライジングスター鉱床が発見されているが詳細なマッピング調査は行われていない。また、カルデラ内には新しい未発見の熱水鉱床が存在する可能性もある。カルデラ内に熱水鉱床が存在する可能性は高く、急斜面に存在する可能性も高い。新しい熱水鉱床を見つけるためには、既知鉱床の特徴を捉えて、それらを探査において参照利用することが望ましい。このため、3次元合成開口インターフェロメトリ手法による高品質な調査が重要である。2015年6月5日から6月14日までJAMSTECの海洋調査船「よこすか」を使い「うらしま」AUVに我々が開発した合成開口インターフェロメトリソナーを装備し、東青ヶ島カルデラの熱水鉱床探査を実施した。この観測の結果、東青ヶ島カルデラの中央火口丘の南東側に高さ20m、直径40mのマウンドの上に20mの高さのチムニー状の岩場を効果的に発見することができた。

4. AUV搭載P-SBP探査手法

堆積層に埋もれた熱水鉱床探査技術も重要である。このため、1次周波数50kHz、耐圧3000mのパラメトリックサブボトムプロファイラーを開発した。現在、AUVに搭載作業中である。

ノホサイトの紹介

Noho hydrothermal vent site, a target of next SIP drilling cruise

宮崎淳一 (JAMSTEC) NT15-02, YK15-05, NT15-13 航海乗船研究者
Junichi Miyazaki (JAMSTEC), NT15-02, YK15-05 & NT15-13 on-board scientists

近年の「調査船等に搭載される MBES によって、沖縄トラフの熱水プルームは簡単に捉えられる」および「資源開発ブームキター」という事実から、沖縄トラフにおける熱水探査航海は現在、最盛期を迎えている。JAMSTEC 熱水グループにおいても船舶(よこすか、なつしま)からの MBES 及びうらしまによるサーベイを行い、沖縄トラフにおいていくつかの熱水活動の兆候を捉えている。

野甫サイトはその1つで、伊平屋北海丘および伊是名海穴の中間、伊平屋小海嶺の南にある平坦地(水深約 1600m)に位置し、2014 年 9 月の YK14-17 航海にて弱いながらも熱水活動の兆候を捉え、また AUV うらしまにより、詳細な海底地形図を作成された。これをもとに、NT15-02、YK15-05、NT15-13 航海の3つの航海において、4回の ROV ハイパードルフィンおよび1回のしんかい 6500 による潜航調査を行った。その結果、野甫サイトは様々な面で沖縄トラフの中でもトップクラスの規模をもつ熱水活動域であることが明らかとなった。本研究集会では、2-3月に行われる「ちきゅう」による SIP 掘削航海の掘削候補地である野甫サイトがどのような熱水サイトであるかをイメージできるように、我々がノホサイトで見えたもの、感じたものを紹介することとする。

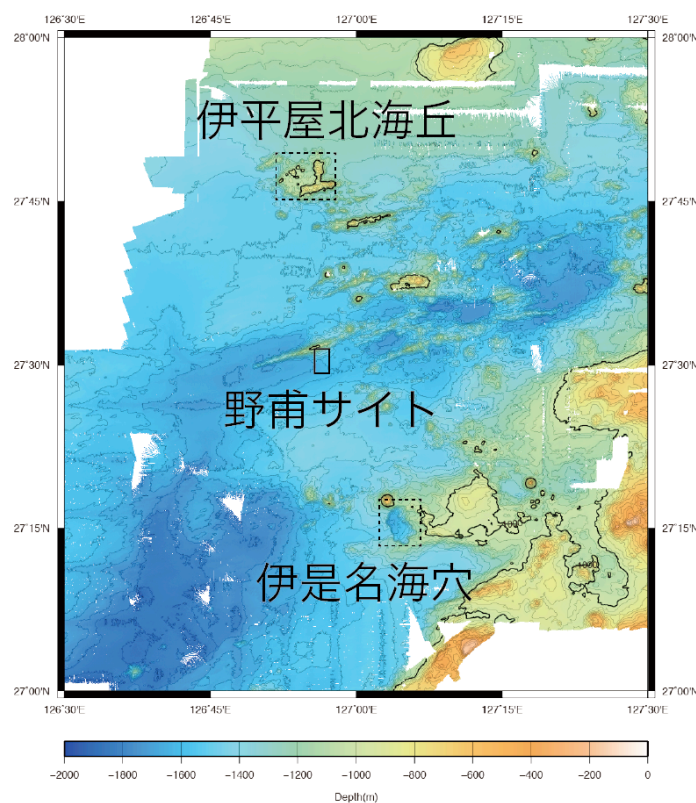


図. 野甫サイトの場所

野甫サイトの熱水化学組成 Fluid chemistry of the Noho site

川口慎介*、眞壁明子、澁谷岳造、宮崎淳一、松井洋平、奥村知世、高井研（以上 JAMSTEC）、蝦名直也、平敷紗和子、石橋純一郎（以上九大）
KAWAGUCCI Shinsuke, MAKABE Akiko, SHIBUYA Takazo, MIYAZAKI Junichi, MATSUI Yohei, OKUMURA Tomoyo, TAKAI Ken (JAMSTEC), EBINA Naoya, HESHIKI Sawako, and ISHIBASHI Jun-ichiro (Kyushu Univ.)

中部沖縄トラフに位置するサカイ熱水域（Sakai field）内の野甫サイト（Noho site）およびヒトシサイト（Hitoshi site）の熱水化学組成を調べた。なお以前より知られている CLAM サイト [Gamo et al., 1991, EPSL] も、地理的に近接しているため、サカイ熱水域に含めると考えている [Nakamura et al. in press, Geochem. J.]。

熱水試料は「なつしま」NT15-02 航海（所内利用）および NT15-13 航海（一般公募）において、いずれも「ハイパードルフィン」潜航により採取した。熱水採水器として、NT15-02 では近年の主力であった WHATS-2 [Saegusa et al., 2006] を、NT15-13 では新たに製作した WHATS-3 を、それぞれ用いた。WHATS-2 は 150mL 容積の採水ボトルを並列 4 本に配しているため、溶存成分分析用とガス抽出用の 2 本を同所で個別に採取せねばならず、両者の組成が必ずしも一致しない、1 潜航あたり 2 噴出口のみしか採取できないなどの欠点があった。そこで WHATS-3 では、20mL および 55mL 容積の採水ボトルを直列に配した 4 セットを並列に配置することにより、1 潜航あたり 4 噴出口を対象とした溶存・ガスの分析が可能になった。また周辺海水の採取には従来通りニスキン採水器を用いた。各種分析にはこれまでに公表した論文と同様の手法を用いた。

野甫サイトの熱水化学組成は、沖縄トラフの熱水化学組成として概して「ふつう」である。とはいえ、Cl 濃度（665 mM）および Fe 濃度（750 μM）は、沖縄トラフ熱水観測史上最高である。こうした化学組成の特徴は、沖縄トラフ熱水観測史上最深クラスの水深（約 1600m）のため沖縄トラフ熱水観測史上最高である噴出温度（338 度。同水深での沸点に近い）であることに由来すると考えられる。より高温の水岩石反応が熱水の化学組成を支配していること（そして実際に鉄濃度が高いこと）から、たとえば最高温度が 311 度の伊平屋北熱水域と比べ、より銅・鉛・亜鉛などに富んだ鉱床が海底下に存在していることが期待される。ただし、沖縄トラフの高温熱水中の微量元素濃度については、伊平屋北での数点を除き、報告値が皆無である。『母岩化学組成-熱水化学組成-熱水性沈殿物化学組成』という化学的な連関の視点から鉱床成因論を構築するための熱水中の溶存微量元素分析（を実現する採水法および試料処理法の確立）が、現在のところ最大の課題である。

サカイ熱水域内の 3 サイト（野甫・ヒトシ・CLAM）の化学組成を比較することで、サカイ熱水域の海底下で起こる化学反応群あるいは熱水循環様式を議論できるかもしれない。しかしこれまでのところ、SIP 掘削を見据え野甫サイトで集中的な潜航調査を実施しており、比較に十分なデータはえられておらず、これも今後の課題といえる。これまでにえられたデータに限れば、メタンの炭素同位体比について、野甫・ヒトシ・CLAM の三者で、それぞれ -27.4‰・-32.6‰・-41.2‰ と明瞭な違いが検出されている。

西太平洋収束域最上部マントルの構造
～結晶方位ファブリックの定量的考察～

**Uppermost mantle structure in the western Pacific convergent margin:
a quantitative study of olivine crystal-fabrics**

道林克禎* (静岡大・JAMSTEC/ODS)、
道研学生一同 (静岡大・理・地球科学)

K. Michibayashi (Shizuoka University/JAMSTEC ODS) and Lab Members

静岡大学理学部地球科学科道林研究室では、これまでにオマーンオフィオライト、日本列島周辺のカンラン岩、さらには世界各地のマントル起源カンラン岩からカンラン石の結晶方位定向配列(CPO)を分析してきた。これらのカンラン岩は、(1) オフィオライトカンラン岩体 (M04, M06, M13, MO13)、(2) 海嶺カンラン岩 (H11G)、(3) 海溝カンラン岩 (M07, M09, H13)、(4)カンラン岩捕獲岩(M06I, M09A, S10, S11, H11, M12)、(5) 高压変成帯のカンラン岩体 (T08, M11)の5つに分類された。

CPO データの詳細な解析には、CPO とカンラン石の弾性係数と密度によって計算される P 波速度(V_p)の3次元速度構造から3つの V_p 値(V_{p1} , V_{p2} , V_{p3})を使用した。 V_{p1} は最大 V_p 値、 V_{p3} は最小 V_p 値、そして、 V_{p2} は最大 V_p 値と最小 V_p 値をもつ方位に直交した方位の V_p 値である。次に、これら3つの V_p 値を CPO から構造軸(x, y, z)に対応させて(V_x, y, V_z)として、 $y=V_x/V_z, x=V_y/V_z$ で求めた(x, y)を x - y 直交座標系に示した。さらに(1, 1)を原点として求めた(x, y)との角度 θ と CPO から計算される V_p 異方性(%)を使って、カンラン石の結晶方位の特徴とした。この方法の詳細は道林(2015, 地学雑誌)を参照されたい。

本研究ではこうして得られたデータを基にして最上部マントルかんらん岩の構造的特徴を考察するとともに、西太平洋で観測された方位異方性に対して物質科学的解釈を試みた(Michibayashi et al., 2015 EPSL under review).

引用文献 [M04]: Michibayashi & Mainprice, 2004, Jour. Petrology, 45, 405-414. [M06]: Michibayashi et al., 2006, EPSL, 244, 695-708. [M06I]: Michibayashi et al., 2006, GRL, 33, L10312. [M07]: Michibayashi et al., 2007, Tectonophysics, 444, 111-118. [T08]: Tasaka et al., 2008, EPSL, 272, 747-757. [M09]: Michibayashi et al., 2009, G3, 10, Q05X06. [M09A]: Michibayashi et al., 2009, GRL, 36, L12305. [S10]: Satsukawa et al., 2010, GRL, 37, L20312. [S11]: Satsukawa et al., 2011, EPSL, 311, 172-181. [H11]: Harigane et al., 2011, EPSL, 302, 194-202. [H11G]: Harigane et al., 2011, Island Arc, 19, 718-730. [M11]: Muramoto et al., 2011, PEPI, 184, 14-33. [M12]: Michibayashi et al., 2012, Tectonophysics, 522-523, 218-223. [H13]: Harigane et al., 2013, EPSL, 377-378, 106-113. [M13]: Michibayashi et al., 2013, Tectonophysics, 587, 79-88. [MO13]: Michibayashi & Oohara, 2013, EPSL, 377-378, 299-310. 道林克禎, 2015, 地学雑誌, 124, 397-409.

マリアナ海溝最西端で採取された海溝カンラン岩の地質学的研究
Peridotites outcropped in the westernmost margin of the southern Mariana Trench

大家翔馬*、道林克禎(静岡大・理)、小原泰彦(海上保安庁、JAMSTEC)、
 石井輝秋(深田地質研究所)、水野那希(静岡大・理)、
 萬年一剛(神奈川県温泉地学研究所)

**Shoma Oya, Katsuyoshi Michibayashi (Shizuoka Univ.),
 Yasuhiko Ohara (HODJ/JAMSTEC), Teruaki Ishii (FGI),
 Tomoki Mizuno (Shizuoka Univ.), Kazutaka Mannen (HSRI)**

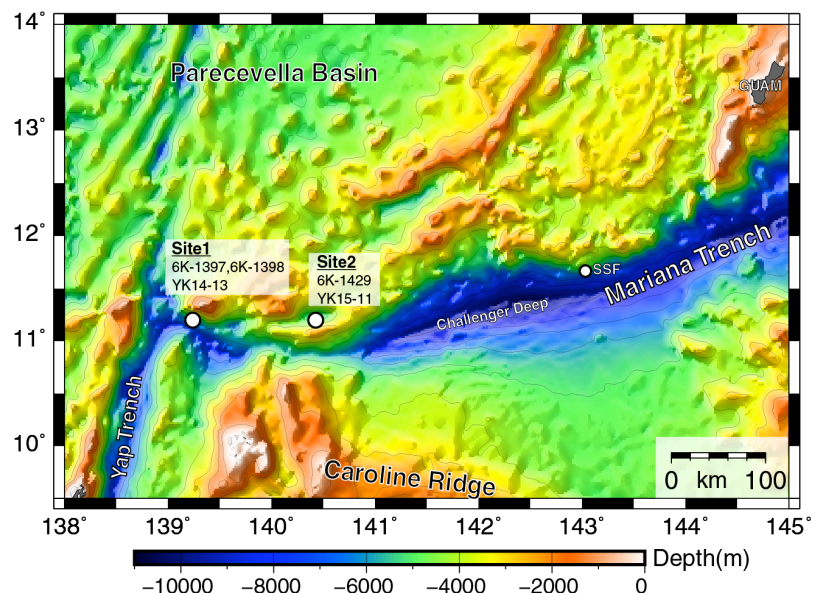
伊豆・小笠原・マリアナ弧は典型的な海洋性島弧系である。海溝内に堆積物の付加体を持たないため、海溝陸側斜面には地殻物質やマントル物質が露出している。小笠原海台とカロリン海嶺の衝突により、マリアナ海溝の軸は湾曲した姿勢をもつ[1]。南部マリアナ海溝はマリアナ島弧、マリアナトラフ(背弧海盆)を横切り、最西端はヤップ海溝に繋がっている。これまで、南部マリアナ海溝陸側斜面の地質学的研究はグアム南方からチャレンジャー海淵までを対象に行われてきた[2][3]。本研究では、南部マリアナ海溝最西端の二つの海域 **Site1(1°2'N139°3'E)**および **Site2(1°1'N140°3'E)**で採取されたカンラン岩について構造解析および鉍物主要元素組成分析を行い、その構造発達史を考察した。

Site1

2014年7月7日から7月28日に実施された支援母船よこすかによる研究航海 YK14-13で調査された。潜水調査船しんかい 6500による海底探査が2潜航(6K-1397, 6K-1398)行われ、カンラン岩試料は水深 5999m から 3431m の間で 36 試料採取された。そのうち 19 試料は非常に新鮮なカンラン岩だった[4]。本研究ではこれらのカンラン岩試料から主に 25 試料を用いた。

Site2

2015年6月29日から7月17日に実施された支援母船よこすかによる研究航海 YK15-1で調査された。潜水調査船しんかい 6500による海底探査が1潜航(6K-1429)行われ、カンラン岩試料は水深 4442m から 4108m の間で岩石試料 5 試料およびスcoop試料 1 試料が採取された。本研究ではこれらのカンラン岩試料から主に岩石試料 4 試料とスcoop試料中の岩片 4 試料を用いた。



引用文献

[1] Miller et al., 2006, *G³*, 7, Q06012 [2] Ohara and Ishii, 1998, *Island Arc*, 7, 541–558. [3] Michibayashi et al., 2009, *G³*, 10, Q05X06 [4] Ohara et al., 2014, T53A-4651 2014 AGU Fall Meeting.

AUV 音響探査による伊良部・多良間熱水系を支える地質構造の研究
Study on tectonic background of Irabu and Tarama hydrothermal fields using
AUV-based acoustic survey

沖野郷子*, 藤井昌和 (東京大学大気海洋研)

OKINO, Kyoko and FUJII, Masakazu (AORI, The University of Tokyo)

海底熱水系の構造や熱水化学組成、また熱水系を支える生態系は多様であり、その多様性を規制しているのは熱水系周辺の地質学的な背景である。沖縄トラフは大陸地殻のリフティングから海洋性地殻形成へと移行しつつある背弧拡大系であり、大陸や島弧からの豊富な堆積物供給で特徴づけられ、多数の熱水系が発見されている。YK14-16 航海では、AUV を用いた高精度マルチセンサ探査により、沖縄トラフ熱水系の規模と成因を明らかにし、その地質学的背景を議論するための潜航調査を行った。

潜航対象としたのは、南部沖縄トラフの2サイト(伊良部、多良間)である。伊良部海丘は背弧リフトの軸部に位置し、玄武岩からなる海丘である。複数の高まりからなる複合的な海丘(群)であるが、これまで3カ所で熱水の噴出が認められていた。多良間海丘は伊良部海丘から約20マイル西に位置し、背弧リフトに対して島弧側に位置する流紋岩の丘である。低温の湧水が海丘頂部にあることが知られている。また、過去のROV探査で海丘の南側の海水に著しい濁りが報告され、未知の高温熱水噴出孔の存在が予想されてきたものの、その位置は特定できていない。本航海では、伊良部・多良間の両海丘において2潜航ずつ、複数のセンサを用いた海中・海底下の三次元的な高精度マッピングを実施した。

多良間海丘は、ほぼ円錐形の山体であるが、山体中央部から北東—南西方向に規制された火成活動が読み取れる。この方向の南西延長には多良間海稜が位置し、また北東延長にも背弧リフト縁まで小規模な火山体と思われる地形が存在する。山体の南斜面は概して滑らかであるが、東麓はなだらかな斜面に数メートル規模のブロック状の高まりが散在し、分布や形態からはおそらく崩落物と推定できる。これらのブロック分布域の頂部にあたる場所で、MBESおよびソナーの水中音響異常が見つかり、未知の熱水噴出孔があることが確認された。

伊良部海丘は3つの山体からなるが、今回は西側の円錐状の海丘と東側の南北に延びた高まりの調査を実施した。これらは、沖縄トラフのまさにリフト軸中央に位置し、南部沖縄トラフのほぼ東西のリフトが中部沖縄トラフの北東—南西リフトに変遷していくセグメント境界にあたる。東側の南北に延びる山体では、船上調査から認定されていた径500m程度のカルデラ地形に加えて、その南側に同様の円形の縁が明らかになり、南北に並んだふたつのカルデラから成る山体であることがわかった。南側のカルデラは、その東部におそらくカルデラ形成後に噴出したとみられる溶岩流が認められる。この東側の山体でこれまでROV探査で報告されている2カ所の熱水噴出孔は、いずれもカルデラ縁に位置している。

AUV 磁気探査で迫る伊良部・多良間熱水系の実態と発達様式
AUV URASHIMA Magnetics at the Tarama and Irabu Hydrothermal Fields

藤井昌和*、沖野郷子（東大海洋研）
Masakazu Fujii, Kyoko Okino (AORI, UTokyo)

Magnetic mapping is of increasing interest in studies of seafloor hydrothermal systems because such data can promote the understanding of the location and spatial extent of hydrothermal alteration zones. Previous studies reported both reduced and enhanced magnetization at hydrothermal fields of different tectonic settings, suggesting that the destruction and production of magnetic minerals are controlled by geological and tectonic background. In order to characterize magnetic response of arc-backarc hydrothermal systems, we investigated two hydrothermal fields of the southern Okinawa Trough. Near-seafloor vector magnetic measurements at an altitude of ~80 m were performed on the Irabu and Tarama hydrothermal fields using an underwater autonomous vehicle URASHIMA during the R/V Yokosuka cruise (YK14-16). The Irabu knoll is located on the axial area of backarc rift and consists of basaltic lavas. The Tarama knoll is located between backarc and arc along with dacite to rhyolite. The amplitude variation of observed near-seafloor magnetic anomaly is extraordinarily larger at the Irabu knoll (~12000 nT) than the Tarama knoll (~1000 nT). Sea-surface anomaly also shows larger amplitude variation at the Irabu knoll (~760 nT) than Tarama knoll (~460 nT). Rock magnetic analyses of collected samples from these knolls revealed that the basaltic lavas in the Irabu knoll carry much higher natural remanent magnetization than rhyolitic lavas in the Tarama knoll. Therefore the difference of magnetic anomaly amplitude should be caused by the host rock variation. The distribution of crustal magnetization estimated from the magnetic anomaly observation revealed that the Irabu and Tarama hydrothermal fields are associated with reduced magnetization, as seen at some lava-hosted hydrothermal sites (e.g., TAG, Pika, Hakurei). These observations reflect locally altered up-flow zones formed due to hydrothermal activity, because hydrothermal alteration processes destroy iron-titanium oxide minerals (titanomagnetite), which carry magnetic remanence in oceanic basalts, and/or accumulate thick hydrothermal deposits with non-magnetic minerals. Comparisons with detailed bathymetry and magnetization distribution of the Irabu knoll displayed that the magnetization low were located along with the rim of cauldron structure, indicating that hydrothermal fluids rise from the deep of the caldera fault.

極めて若い伊平屋北熱水域の活動年代：
掘削と孔内・海底熱流量からの推定

**Extremely young stage of the Iheya-North hydrothermal site, Mid-Okinawa Trough,
constrained by nonlinear downhole temperature profiles and surface heat flow data**

木下正高*・正木裕香 (JASMTEC)、IODP 第 331 航海研究者
Masa Kinoshita*, Yuka Masaki (JAMSTEC), IODP Expedition 331 Scientists

Drilling, submersible, and surface data suggest that an enormous hydrothermal reservoir with a horizontal extent of ~1500 m lies beneath the Iheya-North hydrothermal field. Heat flow exceeded 10 W/m^2 within ~500 m of the Active Site, where active chimneys vent high-temperature fluid. At the Active Site, drilling encountered high-density (hard) layers 1–2 m thick and up to 90 m below seafloor (mbsf), and drilling through these layers led to hydrothermal fluid emission. Measurements of thermal and chemical discontinuities strongly suggested that a hydrological barrier confined the hydrothermal fluid below. Eastward in the Western Basin, heat flow was up to $0.5\text{--}1 \text{ W/m}^2$, substantially higher than the regional average (0.1 W/m^2), although the surface morphology showed no sign of hydrothermal activity. Farther east, where the seafloor was flat but rough, surface heat flow values, including at IODP Site C0017, were much lower than in the surrounding area. Subbottom temperatures above 40 mbsf at Site C0017 indicated that the heat flow was consistently as low as the surface values (0.03 W/m^2), but temperatures increased to $80 \text{ }^\circ\text{C}$ below 60 mbsf. We used a 2-D time-dependent hydrothermal circulation model and performed simulations with and without the assumption of a hydrological barrier below the area from the Active Site to Site C0017. Simulations with a hydrological barrier with permeable windows below the Active Site and Site C0017 reproduced the observed hydrothermal conditions between 30 and 300 years after reservoir emplacement. Simulations assuming pure conduction or a continuous barrier could not reproduce the observed conditions.

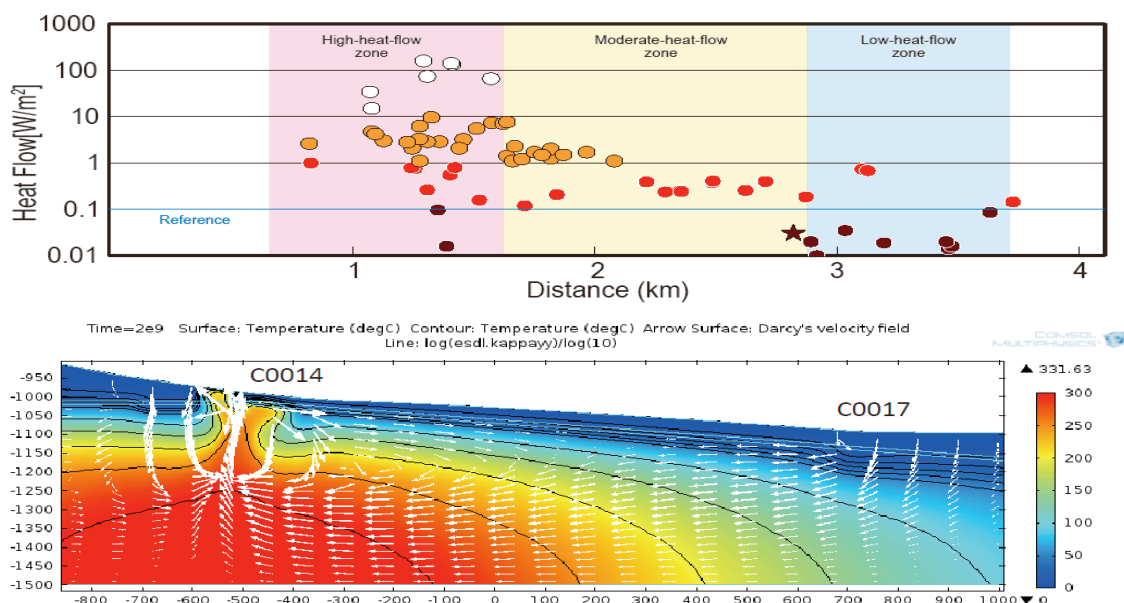


Fig.1. (above) Heat flow profile, (below) simulated temperature and flow across the Iheya-North hydrothermal site.

東太平洋海膨（北緯 9 度 5 0 分）における海底熱水孔周辺の比抵抗構造

寺岡拓也* 島伸和（神戸大学大学院理学研究科）

Rob Evans (Woods Hole Oceanographic Institution)

海嶺軸近傍の熱水分布や熱水の通り道となる間隙率の高い場所を明らかにすることは、海底熱水系の熱水の循環スケールや循環様式を明らかにするために重要である。地殻内の岩石の間隙率や地殻内の海水温度は、海洋地殻の比抵抗値に影響する。本研究では、海底熱水系が分布する東太平洋海膨（北緯 9 度 5 0 分）において、海洋地殻浅部の比抵抗構造を推定し、海嶺軸近傍での地殻内への海水の流入・噴出箇所を推定した。

海洋地殻浅部の比抵抗構造推定には、人工電流源を用いたコントロールソース法の一つである MMR 法を用いた。具体的には、海嶺軸上を含む 9km 四方の 200 箇所を鉛直双極子電流を流し、その電流によって誘導される磁場を 10 台の海底磁力計で記録した。1 次元比抵抗構造は、電流送信点と海底磁力計がともに海嶺軸上にある場合の磁場データのみを用いて決定された。この時、地震波トモグラフィーによって推定されるメルトレンズの深さ 1500m を 1 つの層境界と仮定した。海洋地殻の 3 次元比抵抗構造を推定するために磁場異常を導入した。磁場異常は観測された磁場データと推定した 1 次元比抵抗構造下で送信した電流によって誘導される磁場の差で定義する。各磁力計データに対して磁場異常を計算し、磁場異常マップを作成した。

海嶺軸上で取得されたデータから推定した海洋地殻浅部の 1 次元比抵抗構造は、3 つの層で構成される必要がある。1 つの層境界の厚さは、地震学的に推定されている厚さ 100m のメルトレンズを深さ 1500m に挿入した。その結果は、1 層目が厚さ 800m で $4\Omega \cdot m$ の低い比抵抗値を持ち、2 層目が厚さ 700m で $49\Omega \cdot m$ の高い比抵抗値を、3 層目が $0.1\Omega \cdot m$ 、4 層目が $1\Omega \cdot m$ となった。このような比抵抗構造は、一般的な海洋地殻の構造（1 層目:高い間隙率を持つ basalt 層、2 層目:dike 層）と整合的であり、高い間隙率を持つ basalt 層の厚さが 800m であることが分かった。磁場異常マップから 3 次元比抵抗構造を推定するために、フォワードモデリングによる数値計算を行った。この結果は、低比抵抗帯が存在する場合に正の磁場異常、高比抵抗帯が存在する場合に負の磁場異常を示した。また海底面付近にこれらの物体が存在する場合に、磁力計の場所を変化させても、常に高(低)比抵抗帯の直上に正(負)の磁場異常が得られた。この結果から各磁場異常マップの共通部分は、地殻浅部の比抵抗分布を表していることがわかった。本研究領域の磁場異常マップは、海嶺軸上の浅部に小断片状になった低比抵抗領域と高比抵抗領域の存在を示した。この結果から海水が海洋地殻に流入・噴出している場所や間隙率の高い場所を推定した。

南部マリアナトラフ海底熱水系付近の詳細な海底地形と ビデオ映像との対比

岡本理* (神戸大学)、沖野郷子 (東京大学海洋研究所)、
本荘千枝 (東北大学災害科学国際研究所)、島伸和 (神戸大学)

南部マリアナトラフには5kmの範囲内にPika、Archean、Snail、Yamanaka、Urashimaという5つの近接した熱水噴出域が存在する。本研究では5つの熱水噴出域のうち、背弧拡大軸上に位置するSnail、Yamanakaサイト周辺の詳細な海底地形図(0.001' ≒2mのグリッド間隔)を作成し、潜水船から撮影されたビデオ映像から、地形図上での熱水噴出孔や熱水性堆積物の分布を同定した。

水深のデータはYK09-08航海(2009年)において、深海巡航探査機「うらしま」に搭載されているマルチビーム測深機を用いて得られたデータを使用した。またビデオ映像は、有人深海調査船「しんかい6500」でYK03-09航海(2003年)と、YK05-09航海(2005年)で撮影された計10回分の潜航の映像を使用した。

海底地形図を作成する際、複数測線で共通に得られている地形が同じであるという基準で各種補正等を行い、調査海域全体の地形図を作成した。具体的には、ロール角のずれ(補正量 -0.8°)と「うらしま」の位置の時間ずれ(5.0sの遅れ)の補正を行い、複数測線で共通に見られる特徴的な地形(例えば大きな高まりなど)が重なるように測線を動かし(最大でおよそ20m)、各測線の地形図を重ね合わせることで、調査海域全体の地形図を作成した。

作成した地形図からは大きな特徴が3つ見られる。1) 調査海域の北西に多数の断層が見られる。この断層の走向は拡大軸とほぼ平行な方向、北北東-南南西の方向で、落差は数mのものから10m程度のものまで存在する。2) 大小様々なマウンドが存在する。マウンドは拡大軸に沿って6つほど並んでおり、直径はどれも200~300m程度だが、高さは北東の2つが5m程度であるのに対して、南西は10~25mほどと、北東よりも南西の方がより高い。3) いくつかのマウンドで亀裂や陥没地形が見られる。亀裂は南西のマウンドで多く見られ、その長さは数十m程度であり、陥没地形は10m程の落差がある。また、映像からSnailサイトでは多数の透明な熱水の噴出によるゆらぎを確認することができ、また異なる様式の2種類の噴出孔を見ることができた。一方は黄色い変色域が噴出孔周りに広範囲にわたって分布している噴出孔である。もう一方は海底の岩石の割れ目から熱水が噴き出し、岩と岩の隙間を埋めるように筋状の白い変色域が少し見られるような噴出孔である。Yamanakaサイトでは変色域はあまり見られず、現在はあまり活動していないように見える高さ数m程度のチムニーがいくつか見られた。噴いている水は少し白く濁っているように見え、北側の噴出孔と比べるとその勢いは弱く、噴き出すというより染み出しているように見えた。

地形図と映像から、Snailサイトは拡大軸と平行に並んで分布するマウンドの麓に、Yamanakaサイトは頂上に位置しており、各熱水サイト及びその周辺で主に見られる枕状溶岩の分布は、地形図において拡大軸と平行に並んで分布するマウンドの位置とよく一致することがわかった。

沖縄トラフ熱水域の重晶石を用いた ESR 及び放射非平衡による年代測定
Dating of barite in sea-floor hydrothermal sulfide deposits by ESR and isotope disequilibrium dating

藤原 泰誠*, 豊田 新, 内田乃 (岡山理科大学),
 石橋 純一郎, 戸塚修平, 島田和彦 (九州大学)

**Taisei Fujiwara*, Shin Toyoda, Ai Uchida (Okayama Univ. of Sci.),
 Jun-ichiro Ishibashi, Shuhei Totsuka, Kazuhiko Shimada(Kyushu Univ.)**

海底熱水活動によって起こる海底熱水鉱床の形成過程や化学合成生態系の進化の詳細を明らかにするために、硫化物鉱石の年代測定は有用である。

このために、これまで硫化物鉱物の U 系列年代 (e. g. You and Bickle, 1998), 重晶石 (BaSO_4) を用いた ^{226}Ra - ^{210}Pb 法, ^{228}Ra - ^{228}Th 法, Ra-Ba 法による年代測定が試みられ、近年では ESR (電子スピン共鳴) 法が有用であることが示された (Takamasa et al., 2013, Fujiwara et al., 2015)。

熱水性重晶石は、海底面から噴出する熱水に含まれる Ba^{2+} と海水中の SO_4^{2-} との反応によって形成される。熱水中には、放射性核種であるラジウム (^{226}Ra , ^{228}Ra) が多量に溶け込んでおり、重晶石中のバリウムと置換して含まれる。

ESR 年代測定法は、物質が環境中で受けてきた自然放射線による損傷を不対電子の量として ESR で検出し、人為的に照射した試料をさらに測定することによって、蓄積線量 (総被曝線量) を求める。その蓄積線量と一年間にその環境中で受ける環境放射線量 (年間線量率) を用い、年代を算出する。

採取した鉱石試料を乳鉢で緩やかに砕いた後、化学処理によって重晶石を分離した。ガンマ線を照射した重晶石試料中に、 γ 線照射による吸収線量とともに増大する SO_3^- の ESR 信号が観測された。同じ試料について、低バックグラウンド半導体検出器によってバルク試料における放射性核種の定量を行い、Ra が重晶石にのみ取り込まれていると仮定して、重晶石中の Ra 及び娘核種の放射性核種の濃度及び放射能比を求めた。 α 線による信号生成効率 0.043 (Toyoda et al., 2012) を用いて年間線量率を計算し、 ^{226}Ra , ^{228}Ra , 及びそれらの娘核種の放射非平衡による年間線量率の変化を考慮して、総被曝線量から ESR 年代を算出した。一方、バルクの放射能比及び重晶石中の放射能比から、放射非平衡年代 (^{226}Ra - ^{210}Pb 年代, ^{228}Ra - ^{228}Th 年代) を算出した。

これまでに、沖縄トラフ熱水活動域の第四与那国海丘、鳩間海丘、伊良部海丘、伊平屋北海丘、伊是名海穴、与論海丘において採取された硫化物マウンドやチムニーの年代値を得た。各熱水域から採取された試料についてもっとも古い ESR 年代を比較すると、伊是名海穴が最も古く、第四与那国海丘、与論海丘の順で伊良部海丘が最も新しいと示せた。講演では、これらの年代測定結果、及び、放射非平衡年代との相互関係について報告する。

沖縄トラフにおける海底熱水中の B-Li-Sr 同位体比の比較
 Comparison of B-Li-Sr isotope ratios in hydrothermal fluids: Okinawa Trough

土岐知弘*、蛭名直也、平敷紗和子、野原佑、浦田義明、
 新城竜一（琉球大学）、石橋純一郎（九州大学）

Tomohiro Toki, Naoya Ebina, Sawako Heshiki, Tasuku Nohara, Yoshiaki Urata,
 Ryuichi Shinjo (Univ. Ryukyus), Jun-ichiro Ishibshi (Kyushu Univ.)

沖縄トラフの海底熱水の化学組成に関して、堆積物の関与ならびに沈み込むスラブの影響を受けた火山岩の影響については、これまでも多く論じられてきた。その上で、フィールド間の詳細な化学組成の比較については、あまり多くのことが論じられてきていない。メタンの炭素同位体比を用いた MMR モデルは、唯一そういった比較について一つの回答を示したものであると言える。本研究では、無機化学元素の同位体比の比較を通して、沖縄トラフにおける海底熱水系の海底下の固相について考察を行った。

沖縄トラフ海底熱水中の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は、伊平屋北および鳩間海丘は海水よりも低い値を示し、第四与那国および南奄西海丘は海水よりも高い値、伊是名海穴は海水と同等の値を示した。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、室内実験によると、 300°C 近い温度で熱すると、固相の値に近づいてゆくことが知られている。このことから、伊平屋北と鳩間は海水よりも低い固相と、与那国と奄西は海水よりも高い固相と反応したことが示唆された。沖縄トラフに分布している火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は、海水よりも低い。一方、堆積物の値は、ユーラシア大陸から供給される大陸地殻の影響を受けており、海水よりも高い。このことから、第四与那国および南奄西海丘の海底熱水については、堆積物と反応していることが示唆された。

一方、沖縄トラフ海底熱水中のホウ素 (B) は、堆積物のない中央海嶺における海底熱水と比べると、濃度が高く、同位体比 ($\delta^{11}\text{B}$) が低かった。フィールド間の違いとしては、伊平屋北および鳩間海丘がもっとも高い値を示し、第四与那国海丘がもっとも低い値、伊是名海穴はそれらの中間の値を示した。 $\delta^{11}\text{B}$ は、室内実験によると、高温であればあるほど、溶出する $\delta^{11}\text{B}$ の値が固相に近づくことが知られている。また、分配係数と同位体分別係数を用いた数値計算によると、堆積物に含まれているホウ素は多い割には流体中に分配されない。このことから、沖縄トラフの高濃度ホウ素を説明するためには、火山岩からの溶出が不可欠であると考えられる。

沖縄トラフ海底熱水中のリチウム (Li) は、堆積物のない中央海嶺における海底熱水と比べると、濃度が高く、同位体比 ($\delta^7\text{Li}$) が低かった。フィールド間の違いとしては、伊平屋北がもっとも高く、伊是名、鳩間がこれに続き、与那国がもっとも低い値を示した。 $\delta^7\text{Li}$ も、室内実験によると、高温であればあるほど、溶出する $\delta^7\text{Li}$ の値が固相に近づく。また、分配係数としても、火山岩および堆積物からの Li の供給は十分保証されているが、同位体比のデータがいまだに明らかにされていない。したがって、沖縄トラフの海底熱水中の $\delta^7\text{Li}$ データからは、火山岩の影響あるいは堆積物の影響も考えられるが、決定的なことは言いにくい。

総合的に考えると、火山岩および堆積物のいずれも関与している可能性が高い。フィールドごとの各種同位体比の間には、良好な相関が見られ、常にもっとも堆積物よりの値を示す第四与那国および南奄西海丘の海底熱水は、堆積物の寄与率がもっとも大きいグループだと言える。一方、いずれの同位体比を見ても、火山岩の値に近い伊平屋北および鳩間海丘の海底熱水は、火山岩の寄与率がもっとも大きいグループだと言える。高温における溶出の方が化学反応においては効いてくると考えられ、与那国・奄西には高温域に堆積物、伊平屋・鳩間には高温域に火山岩の分布が推察される。このことは、MMR モデルとも調和的であると言える。いずれにせよ、沖縄トラフにおける火山岩および堆積物の $\delta^{11}\text{B}$ および $\delta^7\text{Li}$ の値を明らかにすることが、今後の課題であると言える。

熱水微量元素から推定される熱水循環経路 Subseafloor hydrothermal circulation pathway inferred from fluid trace elements

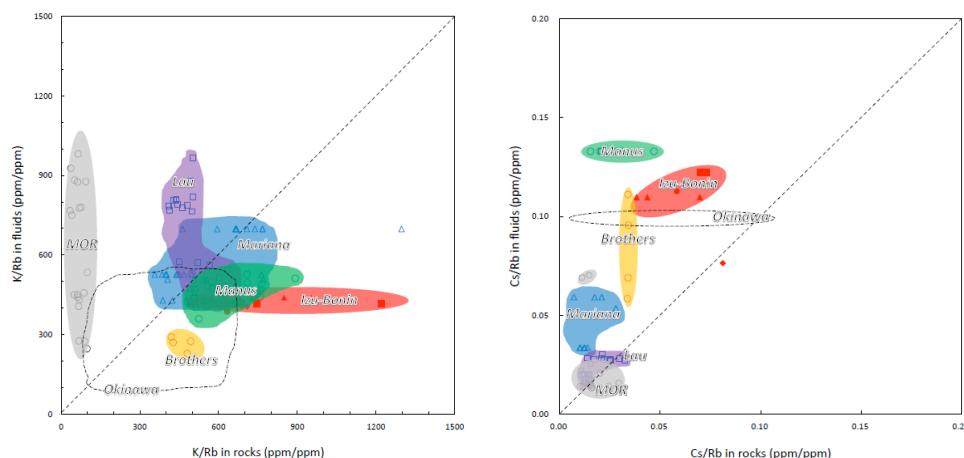
蝦名直也^{*}、石橋純一郎（九州大）、土岐知弘（琉球大）
Naoya EBINA^{*}, Jun-ichiro ISHIBASHI (Kyushu Univ.),
Tomohiro TOKI (Ryukyu Univ.)

熱水中には起源である海水に比べて多くの元素が高濃度で含まれる。特にアルカリ元素、および B のような fluid-mobile 元素は強い液相濃集性を示すことが知られており、熱水中のこれらの元素組成は熱水循環過程で相互作用した母岩組成を追跡する良い指標となり得る (Seyfried et al., 1984)。そこで本研究では、同熱水域から採取された熱水と火山岩中の微量元素組成の関係を考察し、熱水化学組成から熱水循環系が位置する地質学的な場を推定する可能性を探る。

この考察を行うために、まず伊豆小笠原弧（島弧系）、マリアナトラフ（背弧系）および沖縄トラフ（堆積物被覆系）におけるいくつかの熱水サイトで採取され熱水試料の化学分析を行った。分析は、Rb, Cs については ICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析装置）、その他の微量元素は ICP-OES（誘導結合プラズマ発光分光分析装置）を用いた。さらに考察を進めるにあたって、文献検索を行い、できるだけ多くの熱水サイトの化学分析値をコンパイルした。

熱水組成を比較するために Cl 濃度に対して各微量元素濃度をプロットしたところ、(1) 中央海嶺の熱水系は他に比べて相対的に濃度が低い、(2) セッティングが同様であっても海域によって濃度に幅が見られる、(3) 堆積物被覆系は極めて高い濃度を示す、といった傾向が認められた。例えば (2) について、同じ島弧の熱水系でも伊豆小笠原弧熱水中の微量元素はケルマディック弧熱水に比べて枯渇しており、この傾向は岩石組成で見られる傾向と調和的である。更に背弧の熱水系の熱水組成はより多様であることが示された。(3) は高温熱水堆積物相互作用実験の報告と矛盾しない（例えば、You et al., 1996; James et al., 2003）。これらのことから、まず、熱水組成は反応相手である固相（岩石あるいは堆積物）の化学組成によって強く規制されていると考えられる。

次に、熱水と岩石の K/Rb 比（左図）および熱水と岩石の Cs/Rb 比（右図）の関係をみると、多くの熱水域は熱水：岩石=1：1 上（点線）にはプロットされない。K/Rb 比の相関では、mafic 系が 1：1 直線の左上、felsic 系が右下の領域にプロットされる。このことは熱水中の K や Cs の濃度は二次鉱物（カリ長石やイライトなど）によってコントロールされている可能性がある。



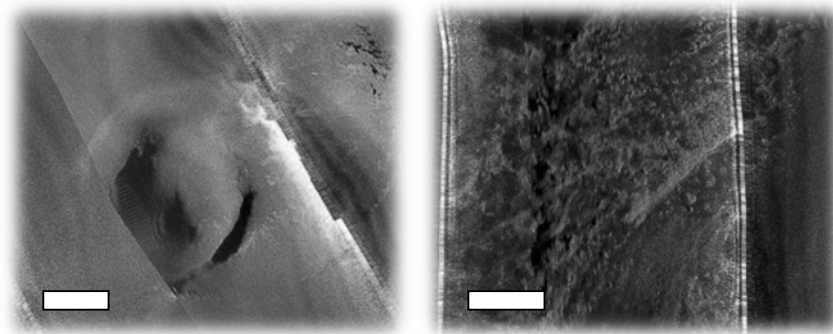
熊野外縁隆起帯に発現した泥火山と巨大露頭の音響観測結果速報
**Results from acoustic observation of mud volcano and large outcrop
 at the Kumano Basin Edge Fault Zone**

浅田美穂*・木村俊則 (JAMSTEC)、野口拓郎 (高知大)、
 G. F. Moore (ハワイ大)

**Miho Asada, Toshinori Kimura (JAMSTEC), Takuroh Noguchi (Kochi univ.),
 and G.F. Moore (Hawaii univ.)**

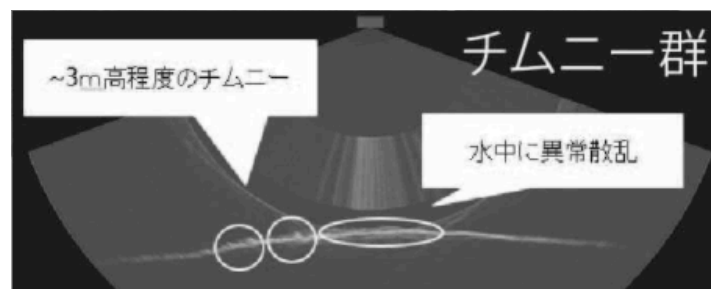
熊野外縁隆起帯は平坦な熊野海盆から南海トラフへと急崖で落ち込む斜面一帯を指す (Moore et al., 2009)。熊野外縁隆起帯の地形的特徴として、熊野海盆の海側を比高m程度で縁取り、北西-南東走向の尾根・沢地形を含み変化に富むことが挙げられる (Martin et al., 2010; Bangs et al., 2010)。南海トラフ地震発生帯掘削プロジェクト (NanTroSEIZE) に付随して実施された3Dサイスミック調査結果から熊野外縁隆起帯における泥火山活動の可能性が指摘されていたが、これまで詳細な調査が行われてこなかった。

2015年6月に調査船「よこすか」とAUV「うらしま」を用いて、泥火山活動が指摘されていた海域を、音響ならびにpHセンサにより観測した。その結果、泥火山活動と思われる地質学的特徴および直上海水におけるpH異常値と、高さ数mの構造物群を伴う巨大露頭が存在することを確認した。船舶搭載の音響観測機器による広域音響調査結果からは、熊野外縁隆起帯において同規模の泥火山は他になく、露頭は複数存在するが分布に偏りがあるように思われる。熊野外縁隆起帯周辺に報告されている局地的な応力場 (Kimura et al., 2015) がこれら地質学的特徴の発現を支配する可能性が考えられる。



左：AUV「うらしま」の後方散乱強度分布画像による泥火山。明色で強い後方散乱強度を示す。

右：同、巨大露頭。白線の長さがおよそ100m。



AUV「うらしま」MBES生データ画面に観察できる、海底面から高さ数mの構造物と水中異常散乱。