

## SIP「次世代海洋資源調査技術」成因研究としての伊平屋北海丘掘削 A kick-off drilling expedition at Iheya-North Knoll in Ore Genesis study of Ocean Resources in SIP

熊谷 英憲<sup>1\*</sup>; 高井 研<sup>2</sup>; 久保 雄介<sup>3</sup>; 斎藤 実篤<sup>4</sup>; 野崎 達生<sup>1</sup>; 山本 啓之<sup>1</sup>; 山崎 徹<sup>5</sup>; 鈴木 勝彦<sup>1</sup>;  
CK14-04 航海乗船者一同<sup>1</sup>  
KUMAGAI, Hidenori<sup>1\*</sup>; TAKAI, Ken<sup>2</sup>; KUBO, Yusuke<sup>3</sup>; SAITO, Saneatsu<sup>4</sup>; NOZAKI, Tatsuo<sup>1</sup>;  
YAMAMOTO, Hiroyuki<sup>1</sup>; YAMASAKI, Toru<sup>5</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>1</sup>; CK14-04, Cruise member<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構 海底資源研究開発センター, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構 深海・地殻内生物圏研究分野, <sup>3</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部探査センター, <sup>4</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構 海洋掘削科学研究所 研究開発センター, <sup>5</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門

<sup>1</sup>JAMSTEC/R&D Center for Submarine Resources/, <sup>2</sup>JAMSTEC/D-SUGAR, <sup>3</sup>JAMSTEC/CDEX, <sup>4</sup>JAMSTEC/ODS, <sup>5</sup>AIST/GSI

2014年度より府省横断型の研究開発プログラムとして開始された戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)において、海洋調査産業の育成を目指した「次世代海洋資源調査技術」課題、通称「海のジパング」計画が始まっている。この計画では海底熱水硫化物鉱床、コバルトリッチクラスト、レアアース泥を研究対象とし、陸上であれば衛星画像や航空写真による絞り込みに相当する作業が科学的成因に基づいたテクトニクスや地質状況分析に基づいてなされるようになることを目標の1つとしている。このうち海底熱水鉱床については、活動的な海底熱水で現在形成されつつあるものについての調査知見が蓄積されつつあることを踏まえて、非活動的なものや活動を終えて堆積物等に埋積されている、いわゆる「潜頭性」の鉱床についての効率的な探査手法の開発につながる研究が求められている。未だ実態が明らかでない非活動性・潜頭性の海底熱水鉱床を系統的に調査し、実態を明らかにしていきながら成因モデルを確立するという高いハードルが課せられていると言える。

このため、2014年7月に地球深部探査船「ちきゅう」により、伊平屋北海丘において掘削同時検層とコアリングを組み合わせたノンライザー掘削を行い、海底下の鉱体形成場と目される熱水溜まりの広がりを調査すると同時に典型的な層準の試料採取を試みた(図)。伊平屋北海丘は2010年に統合国際深海掘削計画331次航海(IODP Exp.331)で、活動的な海底熱水噴出口の近傍数百メートルの範囲に海底下の熱水溜まりが広がっている可能性が指摘され、陸上の黒鉱鉱床で産するものと良く類似した硫化物鉱石試料が採取されていたことから、海底面上で認識できる熱水活動と海底下の鉱体形成過程の関連を検討するに最適のフィールドと考えられた。

掘削は、伊平屋北海丘の北側に90年代より知られてきた熱水活動域(伊平屋北オリジナルサイト)の周辺を取り囲むような5サイトと2014年はじめに新たに発見された南側の熱水活動域(伊平屋北アキサイト)の中央部で1サイト、計6サイトで実施した。これは、伊平屋北オリジナルサイトで見いだされた熱水溜まりの広がりの確認と3つの熱水活動域相互の関連を検証するためであったが、当初計画よりも大きな深度までの掘進を要したため、新発見の2熱水域間・周辺の掘削はかなわなかった。熱水活動域ごく近傍での掘削となるため、検層ツールは175℃まで使用可能な高温対応の機材のみを用い、加えて、ドリルパイプの接続・取り外しの間も掘削泥水を間断なく注入するためのオプション(Non-stop Driller: NSD)を装備しての掘削となった。予想された熱水噴出量から設定した泥水注入量はおおよそ500GPM(gallon per minute, 毎分1.9kL)であった。検層は6孔井で全長1,351mでおこなった(斎藤ら、本大会)。コア採取は3孔井、全長211mで実施した(野崎ら、本大会)。

実際には、泥水注入がやや過剰で、海底面での噴出熱水の最高温度は300℃を超えているにもかかわらず(Kawagucci et al., 2010)、記録された最高温度は84℃であった。また、ドリルパイプ引き抜き時点で何孔井かは目視による流体湧出の確認を行ったものの、顕著な湧出は確認できなかった。とはいえ、温度異常記録、および、採取コアで確認できる熱水性鉱物や変質帯を事前調査の反射法地震探査断面とつきあわせることでおおよその熱水溜まりの広がりを推定することができた。

\* CK14-04 航海乗船者: 高井研・熊谷英憲・久保雄介・斎藤実篤・野崎達生・山本啓之(海洋研究開発機構), 山崎徹(産業技術総合研究所), 河地正伸(国立環境研究所), Moe Kyaw Thu・福島朋彦・高見英人・荒井渉・Frederic Sinniger・正木裕香・中嶋亮太・宮崎淳一・川口慎介・高谷雄太郎・猿橋具和・杉原孝充・真田佳典・木戸ゆかり・新田末広(海洋研究開発機構)、堤彩紀・戸塚修平(海洋研究開発機構/九州大学)

図: CK14-04 掘削の結果から推定される熱水溜まりの広がり(赤く着色した範囲)。白抜きの星印がLWDサイト、赤く塗った星印がLWDとコア採取のサイト。海底面で確認される熱水活動の範囲は黒破線で囲った範囲。

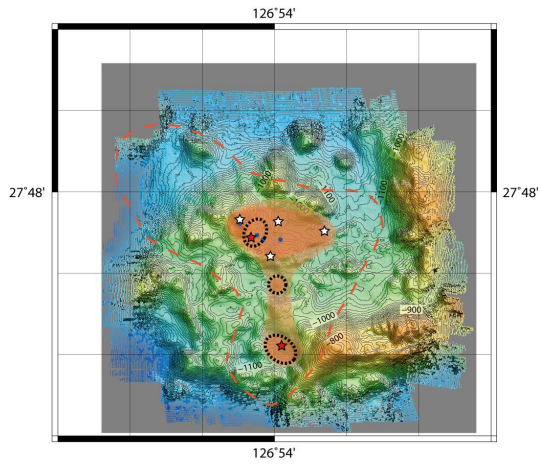
キーワード: 戦略的イノベーション創造プログラム, 伊平屋北海丘, 熱水溜まり, 掘削同時検層

Keywords: SIP, Iheya-North Knoll, Hydrothermal fluid reservoir, LWD

SCG64-01

会場:A05

時間:5月27日 12:00-12:15



## 掘削同時検層データを用いた海底下高温流体の温度と流体量の推定 Estimation of under-seafloor fluid on temperature and volume from the logging-while-drilling data

濱田 洋平<sup>1\*</sup>; 斎藤 実篤<sup>2</sup>; 真田 佳典<sup>2</sup>; 正木 裕香<sup>2</sup>; MOE KYAW<sup>2</sup>; 木戸 ゆかり<sup>2</sup>; 熊谷 英憲<sup>2</sup>;  
高井 研<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>2</sup>; CK14-04 航海乗船者一同<sup>2</sup>  
HAMADA, Yohei<sup>1\*</sup>; SAITO, Saneatsu<sup>2</sup>; SANADA, Yoshinori<sup>2</sup>; MASAKI, Yuka<sup>2</sup>; MOE, Kyaw<sup>2</sup>; KIDO, Yukari<sup>2</sup>;  
KUMAGAI, Hidenori<sup>2</sup>; TAKAI, Ken<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>2</sup>; CK14-04, Cruise member<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構高知コア研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Kochi Institute for Core Sample Research, <sup>2</sup> Japan Agency for Marine-Earth and Technology

In July of 2014, offshore drillings on Iheya-North Knoll, Okinawa Trough, was executed as part of Next-generation technology for ocean resources survey, which is a research program in Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP). In this expedition, logging-while-drilling (LWD) and measuring-while-drilling (MWD) were inserted into 5 holes around Iheya-North (original) site (C9011 ~ C9015) and in Iheya-North Aki site (C9016) to investigate spatial distribution of hydrothermal deposit and geothermal fluid reservoir. LWD tools are supplemented by a measurement-while-drilling tool that is located above the LWD tools in the bottom-hole-assembly. In this expedition, arcVISION and TeleScope were integrated as LWD and MWD respectively. The arcVISION obtained physical properties along borehole (resistivity, natural gamma-ray), and the TeleScope collected drilling mechanics data and transferred them to the surface by mud pulse telemetry. Both of these tools included annular pressure-while-drilling (APWD). Annular pressure and temperature were monitored by the APWD to detect possible exceedingly-high-temperature geofluid. In addition, drilling fluid was continuously circulated at sufficient flow rate to protect LWD tools against high temperature (non-stop driller system).

At C9012 and C9016, the arcVISION clearly detected temperature anomaly at 234 meter below the seafloor (mbsf) and 80 mbsf, respectively. Temperature quickly increases at that depth and it would reflect the existence of high-temperature heat source. During the drilling, however, drilling water was continuously circulated at high flow-rate (2600L/min) as stated above. Thus the measured temperature is not exactly in-situ temperature, but the profile of the temperature reflects the temperature variation of each stratigraphic layer of the bore hole.

To investigate the detail of the heat source, such as in-situ temperature and quantity of heat, we performed numerical analyses of thermal fluid and energy-balance, assuming two types of the heat source: A) hot fluid shifting with circulated water, and B) immobile layer like hot rock-bed. First, thermal fluid-flow analyses were conducted for estimation on how much the circulating water disturbed temperature of heat source. We combined equation of continuity, Navier-Stokes equation, and temperature equation. These equations were solved simultaneously with simplified Marker and Cell method. The fluid flow and its temperature between borehole wall and drilling pipe were simulated. The heat source temperature was also calculated by time. As the results, heat source A (fluid) could raise temperature of the circulation water as hot fluid injected and mixed with the cold water. On the other hand, heat source B was cooled by the circulation water immediately after the hot rock-bed was drilled. It should be required to have over 1000C of source temperature to make sure to keep the circulation water as warm as the thermometer measured at 234 mbsf in C9012A. APWD also recorded the abrupt rise in fluid pressure with the temperature anomaly for several minutes. Considering this synchronism between temperature and pressure, we assessed the high temperature fluid, such as geothermal fluid, is plausible as the heat source. Second, we estimated in-situ temperature and volume of the fluid heat source. From increase in temperature and flow rate of the circulation water, the quantity of heat supplied to the water was calculated as 3.5 GJ. This abundant heat would be brought by injection and mixing of geothermal fluid. The relationship between the temperature and injected volume of thermal fluid are constrained by the quantity of heat as:  $V_f = 1.33 \times 10^5 / T_f^2 - 257 / T_f + 2.73$ , where  $V_f$  is fluid volume injected to the borehole (m<sup>3</sup>) and  $T_f$  is fluid temperature (C). Thus, we estimated that the in-situ temperature and volume of the geothermal fluid are >150C and <6.3 respectively, causing the temperature anomaly in C9012A.

キーワード: 熱水鉱床, 地熱流体, 掘削同時検層

Keywords: hydrothermal deposit, geothermal fluid, Logging while drilling

## 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・構成鉱物及び全岩化学組成

### Lithology, constituent mineral, geochemical composition of the drilled core obtained by CK14-04 Cruise, Okinawa Trough

野崎 達生<sup>1\*</sup>; 高谷 雄太郎<sup>1</sup>; 山崎 徹<sup>2</sup>; 戸塚 修平<sup>3</sup>; 堤 彩紀<sup>3</sup>; 石橋 純一郎<sup>3</sup>; 高井 研<sup>4</sup>; 熊谷 英憲<sup>1</sup>;  
川口 慎介<sup>4</sup>; 宮崎 淳一<sup>4</sup>; 正木 裕香<sup>1</sup>; 久保 雄介<sup>5</sup>; 鈴木 勝彦<sup>1</sup>; CK14-04 航海乗船者一同<sup>1</sup>  
NOZAKI, Tatsuo<sup>1\*</sup>; TAKAYA, Yutaro<sup>1</sup>; YAMASAKI, Toru<sup>2</sup>; TOTSUKA, Shuhei<sup>3</sup>; TSUTSUMI, Saki<sup>3</sup>;  
ISHIBASHI, Jun-ichiro<sup>3</sup>; TAKAI, Ken<sup>4</sup>; KUMAGAI, Hidenori<sup>1</sup>; KAWAGUCCI, Shinsuke<sup>4</sup>;  
MIYAZAKI, Junichi<sup>4</sup>; MASAKI, Yuka<sup>1</sup>; KUBO, Yusuke<sup>5</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>1</sup>; CK14-04, Cruise members<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAMSTEC・資源, <sup>2</sup>AIST・GSJ, <sup>3</sup>九大・理, <sup>4</sup>JAMSTEC・D-SUGAR, <sup>5</sup>JAMSTEC・CDEX

<sup>1</sup>JAMSTEC/RDCSR, <sup>2</sup>AIST/GSJ, <sup>3</sup>Kyushu Univ., <sup>4</sup>JAMSTEC/D-SUGAR, <sup>5</sup>JAMSTEC/CDEX

CK14-04 Cruise by D/V Chikyu was performed in the Iheya-North Knoll, Okinawa Trough from 8 to 26th, June 2014 to investigate the subseafloor hydraulic structure and geology. Six holes (C9011B, C9012A, C9013A, C9014A, C9015A and C9016A) were drilled for logging while drilling (LWD) as well as coring of three holes (C9015B, C9015C, C9016B). Holes C9015B and C9015C locate the flank of HRV (high radioactivity vent) mound in the Iheya-North Original site, whereas Hole C9016B is ca. 150 m north from the central part of hydrothermal activity in the Iheya-North Aki site where has been discovered in January 2014. Total coring lengths of Holes C9015B, C9015C and C9016B were 31, 30 and 150 m, respectively. In this presentation, we report the lithology and constituent minerals determined by visual core observation and XRD analysis together with downhole variations of the geochemical composition determined by ICP-QMS analysis. Based on these data, we discuss the geology, hydrothermal alteration, geochemical features and sulfide mineralization in the Iheya-North Knoll, Okinawa Trough.

キーワード: 沖縄トラフ, 伊平屋北海丘, 海底熱水鉱床, 黒鉱鉱床, CK14-04 航海, Expedition 907

Keywords: Okinawa Trough, Iheya-North Knoll, seafloor hydrothermal deposit, kuroko-type deposit, CK14-04 Cruise, Expedition 907



## 沖縄トラフ南部における地震波速度構造 P-wave velocity structure in the southern Okinawa Trough

西澤 あずさ<sup>1\*</sup>; 金田 謙太郎<sup>1</sup>; 及川 光弘<sup>1</sup>; 堀内 大嗣<sup>1</sup>; 藤岡 ゆかり<sup>1</sup>  
NISHIZAWA, Azusa<sup>1\*</sup>; KANEDA, Kentaro<sup>1</sup>; OIKAWA, Mitsuhiro<sup>1</sup>; HORIUCHI, Daishi<sup>1</sup>; FUJIOKA, Yukari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁

<sup>1</sup> Japan Coast Guard

南西諸島島弧―海溝系において背弧海盆に相当する沖縄トラフでは、現在 rifting が進行中であると考えられている。トラフの水深は北部から南部に向かって深くなり、ブーゲー重力異常は北部から南部にかけて地殻の厚さが薄くなることを示し、rifting は南部域でより進行していると推定されている。沖縄トラフ伸張軸に沿う地震波速度構造の変化を詳細に把握するために、海上保安庁では 2008 年より南西諸島域においてマルチチャンネル反射法地震探査 (MCS) 及び海底地震計を用いた屈折法地震探査を行なっている。本報告では、沖縄トラフ南部に特徴的な海底地形であるいくつかの雁行する海底地溝 (リフト軸に対応すると考えられる) の構造を重点的に調べるために実施した、地溝の軸に沿う方向の 6 測線およびトラフ軸に直交する測線について、地震波速度構造の概要を示す。

得られた P 波速度構造モデルは、沖縄トラフ南部の地殻は北部域よりも薄くなっているが、大局的には島弧地殻と同様な上部・中部・下部地殻より構成され、地溝域についても同様であることを示した。海底地溝下は周囲よりも地殻が薄い、最も薄い八重山海底地溝下でも最上部堆積層を除いて 10 km 程度の厚さで、標準的な海洋地殻よりは有意に厚く、MCS 記録には多くの貫入が存在することが特徴的である。

(調査仕様) 各調査は測量船「昭洋」により実施され、反射法探査における震源は総容量 1,050 (350 × 3) inch<sup>3</sup> (17.2 liter) のエアガンクラスターを使用し、50 m 間隔で発震した。データの収録には 240 ch ストリーマケーブル (3,000 m) を用いた。屈折法探査では、総容量 6,000 (1,500 × 4) inch<sup>3</sup> (98 liter) のエアガンを 200 m 間隔で発震し、約 5km 間隔で設置した海底地震計で受振した。

キーワード: 沖縄トラフ, リフティング, 地震学的構造

Keywords: Okinawa Trough, rifting, marine seismics

## 南部沖縄トラフ域に点在する小海丘のMCS断面 MCS profiles of knolls scattered in the southern Okinawa trough

及川 光弘<sup>1\*</sup>; 西澤 あずさ<sup>1</sup>; 金田 謙太郎<sup>1</sup>; 藤岡 ゆかり<sup>1</sup>  
OIKAWA, Mitsuhiro<sup>1\*</sup>; NISHIZAWA, Azusa<sup>1</sup>; KANEDA, Kentaro<sup>1</sup>; FUJIOKA, Yukari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁

<sup>1</sup>Japan Coast Guard

東シナ海の沖縄トラフでは、最近活発な海底熱水活動が次々と発見されてきている。特に、中部沖縄トラフ域では、伊平屋北サイト、野甫サイト、ごんどうサイト等、比較的規模の大きな海底熱水活動域が見つかった。

中部沖縄トラフの伊平屋北サイトでは、Tsuji et al.(2012)によると、活発な熱水活動で知られる同海域において音波探査を実施し、音波探査結果に極性の反転している層を発見したこと等から、海底熱水活動域の下部では軽石などで構成される含水率の高い層が存在し、同海丘群の周囲に生じた断層から海水が浸透することで、海水循環が生じていることを示唆している。一方で、中部沖縄トラフと比較して、南部沖縄トラフ域においては、比較的規模が小さな海底熱水活動域は知られているものの、大規模なものはあまり確認されていない。

海上保安庁は南部沖縄トラフ域において、非常に広範囲・高密度な海底地形調査・地殻構造調査を実施してきている。ここでは結果の一例として、海底熱水活動の存在が知られている多良間海丘における結果を示す。多良間海丘は直径3 km、比高500 m程度の小丘である。我々の調査で得られたMCSの時間断面を確認すると、火山性の堆積物が海底の最上位に位置しており、海丘の中央付近から西側に約3 kmの範囲の海底下0.1 s付近、陸性の堆積物と火山性の堆積物の境界域で、極性が反転した強い反射面が存在し、速度の遅い層が存在することを示している。これは帯水層等の流体の存在が推測される。また、海底下0.5秒付近には、マグマの貫入によるダイク及びシルからの信号と思われる強反射が得られている。

多良間海丘のみならず、それ以外の小丘においても、音波探査断面上において火山性のものと思われる記録が得られていることから、海上保安庁が所有する詳細な海底地形データと合わせて解釈をおこなう予定である。

キーワード: MCS, 海丘, 熱水, 断層

Keywords: MCS, knoll, hydrothermal, fault

バーティカルケーブルサismic探査手法を用いた中部沖縄トラフ伊是名海穴  
Hakurei サイト海底熱水鉱床の海底下構造  
Sub-seafloor structure of hydrothermal deposits in Hakurei site, Izena Hole, the Mid-  
Okinawa Trough by VCS survey

多良 賢二<sup>1\*</sup>; 芦 寿一郎<sup>1</sup>; 浅川 栄一<sup>2</sup>; 村上 文俊<sup>2</sup>; 塚原 均<sup>2</sup>; 溝畑 茂治<sup>2</sup>; Jamali Hondori Ehsan<sup>2</sup>;  
徳山 英一<sup>3</sup>  
TARA, Kenji<sup>1\*</sup>; ASHI, Juichiro<sup>1</sup>; ASAKAWA, Eiichi<sup>2</sup>; MURAKAMI, Fumitoshi<sup>2</sup>; TSUKAHARA, Hitoshi<sup>2</sup>;  
MIZOHATA, Shigeharu<sup>2</sup>; JAMALI HONDORI, Ehsan<sup>2</sup>; TOKUYAMA, Hidekazu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院, <sup>2</sup> 株式会社地球科学総合研究所, <sup>3</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター

<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>JGI, inc., <sup>3</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

Seafloor hydrothermal deposits are formed in the deep sea around hydrothermal venting sites, where abundant metals precipitate. The seafloor locations of hydrothermal deposits are revealed by the exploration of geophysical, geochemical and submersible investigations. Hydrothermal deposits are known to form chimneys or mounds. Scale of hydrothermal mound is thought to be a hundred meters square by recent surveys. The sub-seafloor distribution of hydrothermal deposits are identified partially by drilling core data, however, a continuous structure has not been fully understood yet. To improve the quality of the sub-seafloor imaging of hydrothermal deposits, high-resolution geophysical data acquisition is required. We conducted two Vertical Cable Seismic (VCS) surveys at Hakurei site, Izena Hole in the Mid-Okinawa Trough to reveal sub-seafloor structure of hydrothermal deposits. In September 2011, we carried out 28 survey lines around the hydrothermal mound in the Hakurei site using an air-gun source during KY11-E04 cruise. In August 2013, we carried out 28 survey lines around the southern part of KY11E-04 survey area in the Hakurei site using a sparker source during KY13-E02 cruise. VCS surveys successfully imaged the shallow sub-seafloor structures of the hydrothermal field. We identified a mound shape reflector at the sub-seafloor. In addition, we estimated the seismic velocity at the sub-seafloor by the common reflection point (CRP) gathers. Some of the reflectors of the CRP gather show high velocity zone at the sub-seafloor. Previous drilling survey reported that hydrothermal deposits are buried by volcanic sediment in the Hakurei site. These results suggested that high velocity zone between reflectors at sub-seafloor is sediment-buried hydrothermal deposit.

キーワード: 海底熱水鉱床, バーティカルケーブルサismic, 中部沖縄トラフ, 海底下構造

Keywords: Hydrothermal deposits, VCS survey, Mid-Okinawa Trough, Sub-seafloor structure

## 中部沖縄トラフ伊平屋北海丘熱水域の海底下に分布する熱水性鉱物 Hydrothermal sulfide/sulfate and alteration minerals obtained by drilling below the Iheya North Knoll hydrothermal field

石橋 純一郎<sup>1\*</sup>; 井上 博靖<sup>1</sup>; 戸塚 修平<sup>1</sup>; 堤 彩紀<sup>1</sup>; 三好 陽子<sup>2</sup>; 野崎 達生<sup>3</sup>; 高谷 雄太郎<sup>3</sup>;  
高井 研<sup>4</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>; CK14-04 航海乗船者一同<sup>3</sup>  
ISHIBASHI, Jun-ichiro<sup>1\*</sup>; INOUE, Hiroyasu<sup>1</sup>; TOTSUKA, Shuhei<sup>1</sup>; TSUTSUMI, Saki<sup>1</sup>; MIYOSHI, Youko<sup>2</sup>;  
NOZAKI, Tatsuo<sup>3</sup>; TAKAYA, Yutaro<sup>3</sup>; TAKAI, Ken<sup>4</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>; CK14-04, Scientific party<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大理, <sup>2</sup>産総研, <sup>3</sup>JAMSTEC・資源センター, <sup>4</sup>JAMSTEC・D-SUGAR

<sup>1</sup>School of Science, Kyushu University, <sup>2</sup>AIST/GSJ, <sup>3</sup>JAMSTEC/RDCSR, <sup>4</sup>JAMSTEC/D-SUGAR

2010年に実施されたIODP(統合国際深海掘削計画)331次航海に続き、2014年にはCK14-04航海が同じように掘削船「ちきゅう」を用いて実施され、中部沖縄トラフの伊平屋北海丘の熱水活動域において海底掘削に基づく研究が展開されている。本報告では、これらの掘削で熱水活動域の海底下から得られたコア試料中に確認された熱水性硫化鉱物の産状と鉱物学的特徴を、熱水変質鉱物の産状にも注目しながら報告し、海底下の熱水構造について議論する材料を提供する。

伊平屋北海丘の熱水活動のランドマークである最高311℃の高温熱水を噴出するNBCマウンド(27°47.4'N, 126°53.86'E, depth=1000m)を中心にして掘削研究が展開されている。熱水性硫化鉱物が確認されたのは、C0016(NBC熱水マウンドのすぐ脇)、C0013(東側約100mの斜面)、C0014(東側約450mの斜面)、C9015(NBC熱水マウンドの西隣の別のマウンド)、C9016(南に約3km離れた別の熱水サイト「アキサイト」の周縁部)である。

NBC熱水マウンドのすぐ脇にあるC0016B掘削サイトにおいて、塊状硫化鉱物が最も浅いコア(0-9 mbsf)から60 cm程にわたって採取された。この鉱物は、自形の閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱が100 μmほどに成長したものから構成されており、見た目も黒鉱鉱石に近い。しかし、粘土鉱物もマトリックス中にかなり含まれている。さらに深い深度(27-45 mbsf)からは、珪化した堆積物中に脈状に黄鉄鉱、黄銅鉱などが産するものが採取された。この深度では、粘土鉱物として主にクロライトが同定された。

NBC熱水マウンドの東側斜面のC0013掘削サイトにおいて、0-16 mbsfの浅い深度から閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄鉄鉱を含む熱水変質堆積物が得られた。この堆積物中の銅鉱物には、海底直下では硫砒銅鉱、銅藍が、~10 mbsfでは黄銅鉱が見られるといった深度分布が見いだされた。硫化鉱物はいずれも自形であるが、粘土鉱物や硬石膏などの硫酸塩鉱物に囲まれている組織が顕著である。粒径についても深度につれて大きくなる傾向があった。粘土鉱物については、海底直下でスメクタイト、深くなるとクロライトもしくはクロライト=スメクタイト混合層鉱物が卓越していた。

西隣の熱水マウンドにおけるC9015掘削サイトにおいて、18-23.5 mbsfの深度から、閃亜鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱、方鉛鉱が脈状に含まれる堆積物が得られた。硫化鉱物が多い部分でも石英、硫酸塩鉱物(硬石膏あるいは重晶石)、粘土鉱物がかなり含まれている。

アキサイト近傍のC9016掘削サイトでは、9-11 mbsfの深度から、カオリン鉱物に富む熱水変質堆積物に閃亜鉛鉱や重晶石が含まれていることが明らかになった。これについては、堤ほか(本連合大会)で詳細に報告する。

以上の結果は、黒鉱鉱床を代表する閃亜鉛鉱あるいは方鉛鉱といった硫化鉱物は、海底下の比較的浅い深度でもっぱら見いだされており、数百mあるいは数km離れた掘削サイトでも共通して見られる、とまとめることができる。こうした硫化鉱物の分布には、熱水系の海底下の構造が影響していると考えることができる。また鉱物組織に注目すると、これらの硫化鉱物はいずれも熱水変質鉱物や硫酸塩鉱物に囲まれて産しているという点で、黒鉱鉱石のそれとは明らかに異なっている。その理由として、熱水鉱床の中心部に未だ掘削調査が達していないため、なのがあるいは、伊平屋北海丘の熱水活動が本格的な熱水鉱床の形成段階に未だ進んでいないためなのか、を考えることは重要な議論となるであろう。

キーワード: 海底熱水鉱床, 海底掘削, 黒鉱鉱床, 熱水性粘土鉱物

Keywords: Seafloor massive sulfide mineral deposits, seafloor drilling, kuroko-type ore deposits, hydrothermal clay mineral



## 沖縄トラフ海底熱水域の鉱石中重晶石のESR及び放射非平衡による年代測定の比較 ESR dating of barite in sea-floor hydrothermal sulfide deposits in comparison with disequilibrium dating

藤原 泰誠<sup>1\*</sup>; 豊田 新<sup>1</sup>; 内田 乃<sup>1</sup>; 石橋 純一郎<sup>2</sup>; 戸塚 修平<sup>2</sup>; 島田 和彦<sup>2</sup>; 中井 俊一<sup>3</sup>; 賞雅 朝子<sup>4</sup>  
FUJIWARA, Taisei<sup>1\*</sup>; TOYODA, Shin<sup>1</sup>; UCHIDA, Ai<sup>1</sup>; ISHIBASHI, Jun-ichiro<sup>2</sup>; TOTSUKA, Shuhei<sup>2</sup>;  
SHIMADA, Kazuhiko<sup>2</sup>; NAKAI, Shun'ichi<sup>3</sup>; TAKAMASA, Asako<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学, <sup>2</sup> 九州大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 放射線医学総合研究所

<sup>1</sup> Okayama University of Science, <sup>2</sup> Kyusyu University, <sup>3</sup> University of Tokyo, <sup>4</sup> National Institute of Radiological Sciences

The evolution of the hydrothermal fields is one of the important issues. Dating methods using disequilibrium between radioisotopes such as U-Th method (e.g. You and Bickle, 1998),  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$  and  $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$  method (Noguchi et al., 2011) have been employed for such studies.

Okumura et al., (2010) made the first practical application of ESR (electron spin resonance) dating technique to a sample of submarine hydrothermal barite to obtain preliminary ages, while Kasuya et al., (1991) pointed out the possibility ESR dating. Toyoda et al., (2011) determined the optimum condition for ESR measurement while Sato et al., (2011) confirmed that the signal is thermally stable enough for an age range of several thousand years. Recently it was shown that this method is also practically applicable to barite, especially those in sea-floor hydrothermal sulfide deposits (Takamasa et al., 2013).

ESR,  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$ , and  $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$  ages were determined for barite crystals extracted from hydrothermal sulfide deposits taken at hydrothermal fields taken from Okinawa Trough. The ESR ages range 4.1 to 16000 years where the ages obtained by the three methods coincide in the samples up to 15 years while, for the other older samples, the  $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$  ages are the youngest and ESR ages, the oldest and the  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$  ages in between. The samples with younger ESR ages show younger  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$  ages and those with older ESR ages show older  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$  ages with no detection of  $^{228}\text{Ra}$ . This tendency of the ages is explained by more than two hydrothermal events that formed the sulfide deposits where barite crystals with different ages are mixed together in the examined portions of the samples. While ESR method gives the averaged ages,  $^{226}\text{Ra}$ - $^{210}\text{Pb}$  and  $^{228}\text{Ra}$ - $^{228}\text{Th}$  ages are underestimated because of decay of the parent nuclides.

Based on the results of ESR measurements, for which the applicability of wide age range is shown in the present study, the order of ages of the 6 hydrothermal fields would be arranged, from young to old as follows; Yoron Hole field, Irabu Knoll field, Daiyon-Yonaguni Knoll field, Hatoma Knoll field, being nearly equal to Iheya North Knoll field. ESR is a practical dating method of hydrothermal barite, however, calibration for the absolute age determination would be still an issue.

Keywords: barite, hydrothermal activities, electron spin resonance, radioactive disequilibrium, dating

## 多良間・伊良部熱水系うらしま潜航調査速報

### Preliminary report of AUV URASHIMA dives at Tarama and Irabu hydrothermal fields

沖野 郷子<sup>1\*</sup>; 浅田 美穂<sup>2</sup>; 野口 拓郎<sup>2</sup>; 小牧 加奈絵<sup>3</sup>; 藤井 昌和<sup>1</sup>; 多良 賢二<sup>1</sup>; 眞中 卓也<sup>1</sup>;  
小出 聡子<sup>4</sup>; 富田 大貴<sup>4</sup>

OKINO, Kyoko<sup>1\*</sup>; ASADA, Miho<sup>2</sup>; NOGUCHI, Takuroh<sup>2</sup>; KOMAKI, Kanae<sup>3</sup>; FUJII, Masakazu<sup>1</sup>; TARA, Kenji<sup>1</sup>;  
MANAKA, Takuya<sup>1</sup>; KOIDE, Satoko<sup>4</sup>; TOMITA, Daiki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 高知大学, <sup>4</sup> 静岡大学

<sup>1</sup>AORI, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Shizuoka University

We conducted four AUV URASHIMA dives at Tarama and Irabu Knolls in the Okinawa Trough to reveal the origin and extent of these hydrothermal systems and their geological and geophysical background. The structure, fluid geochemistry and associated ecosystem of hydrothermal systems are highly diverse and the diversity is constrained by the surrounding geological setting. The Okinawa Trough is located at back arc area of the Ryukyu arc-trench system and is considered to be in transitional stage from continental rifting to oceanic crust formation. Many hydrothermal fields have been recently discovered in the area and they are characterized by the influence of rich sediment supply both from arc and continent. In August 2014, we carried out two dives at Tarama Knoll and other two dives at Irabu Knoll during YK14-16 cruise. The survey objectives are 1) to conduct high-resolution, three dimensional mapping of two sites using multiple sensors equipped on the AUV, 2) to compare two sites of different host rocks and tectonic settings, and 3) to identify an unknown high-temperature vent site at the Tarama Knoll. The AUV was generally operated at constant altitude mode (alt.=100m). We succeeded to cover whole area of these two knolls, using multi beam echo-sounder, side-scan sonar, sub-bottom profiler, three-component magnetometer, CTD, ADCP, pH/ORP/turbidity sensors, and water sampling using 24-channel MINIMONE sampler. The Irabu Knoll is located within the back arc rift axis and consists of three topographic highs. Three hydrothermal vents were reported on the knoll in previous surveys and all hydrothermal systems are hosted by basaltic basement. In dive 181 and 184, we confirmed three known hydrothermal vents and revealed the surrounding detailed geology. Magnetic anomaly is extremely high in general, supporting the idea that the hydrothermal fields are hosted by fresh basalt and maybe by active magmatism. The Tarama Knoll is located about 20 miles west of the Irabu Knoll, at the arc-side terrace of the back arc rift. Previous ROV survey reported a low temperature shimmering hosted by rhyolitic rocks at the top of the knoll and the extent of turbid seawater at the southern slope of the knoll that may indicate an existence of unknown high temperature hydrothermal vent site. We covered the whole knoll in Dive 182 and 183. We detected strong plume anomaly at the eastern slope of the knoll by geochemical sensors. We also detected the plume ejection from the seafloor in water column records of multi beam echo sounder and side-scan sonar, leading the identification of exact point of new vent site.

キーワード: 海底熱水系, AUV, 沖縄トラフ, 海底地形, 地磁気異常, 熱水プルーム

Keywords: hydrothermalism, AUV, Okinawa Trough, seafloor morphology, magnetic anomaly, hydrothermal plume

## AUV うらしまが捉えた多良間・伊良部熱水域の深海磁気異常 Deepsea Magnetism on Tarama and Irabu Hydrothermal Fields

藤井 昌和<sup>1\*</sup>; 沖野 郷子<sup>1</sup>

FUJII, Masakazu<sup>1\*</sup>; OKINO, Kyoko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup> AORI, UTokyo

Magnetic signatures of oceanic lithosphere is changed by hydrothermal alteration, therefore magnetization contrast derived from magnetic anomaly provide us information about spatial extent of hydrothermal alteration zones. Previous studies reported both reduced and enhanced magnetization at different hydrothermal fields, suggesting 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. 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 sides along with dacite to rhyolite. Previous surveys reported hydrothermal venting on both knolls. During the cruise YK14-16, we conducted near-seafloor magnetic measurements using autonomous underwater vehicle (AUV) URASHIMA. The vector geomagnetic field was measured by fluxgate-type magnetometer at an altitude of ~100 m with the whole area of the Irabu and Tarama knolls. The correction of vehicle magnetization was successfully done using data obtained during "8-figure loops". The amplitude variation of observed magnetic anomaly is up to 12000 nT at the Irabu knoll and 1000 nT at the Tarama knoll. Sea-surface anomaly also shows larger amplitude variation at the Irabu knoll (760 nT) than Tarama knoll (460 nT). These observations suggest the difference of hosted rock type, i.e. the Tarama knoll is hosted by basaltic rock with large amount of titanomagnetites. In addition to the magnetic signature of the Tarama and Irabu knolls, we will discuss relationship between magnetization distribution and locations of confirmed hydrothermal vent fields.

キーワード: 深海磁気異常, 海底熱水系, 沖縄トラフ, AUV うらしま

Keywords: near-seafloor magnetic anomaly, seafloor hydrothermal system, Okinawa Trough, AUV URASHIMA

## 中部沖縄トラフ伊是名海穴における自律型無人潜水機を用いた海中重力探査 Underwater gravity survey using autonomous underwater vehicle in Izena caldera, the middle Okinawa Trough

篠原 雅尚<sup>1\*</sup>; 石原 丈実<sup>1</sup>; 山田 知朗<sup>1</sup>; 新谷 昌人<sup>1</sup>; 金沢 敏彦<sup>2</sup>; 藤本 博己<sup>2</sup>; 月岡 哲<sup>3</sup>; 植平 賢司<sup>2</sup>; 飯笹 幸吉<sup>4</sup>

SHINOHARA, Masanao<sup>1\*</sup>; ISHIHARA, Takemi<sup>1</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>; ARAYA, Akito<sup>1</sup>; KANAZAWA, Toshihiko<sup>2</sup>; FUJIMOTO, Hiromi<sup>2</sup>; TSUKIOKA, Satoshi<sup>3</sup>; UEHIRA, Kenji<sup>2</sup>; IIZASA, Kokichi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,

<sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>4</sup>Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo

It is known that there are seafloor mineral deposits around Japan islands. Gravity survey is one of powerful methods to obtain density structure in crust, especially for exploration of underground deposits. In marine area, surface ship gravimeter and ocean bottom gravimeters are often used. Recently the system which can survey a wide area quickly with a higher resolution is required to obtain a high-resolution structure below seafloor. In addition, recent technology of autonomous underwater vehicle (AUV) enables us measure gravity in underwater environment. To estimate structure, measurement of both gravity and gravity gradient has an advantage for precise estimation. A required accuracy of the measurement was estimated by using model calculation. From an expected model of seafloor deposits, it is found that a resolution of gravity measurement should be approximately 0.1 mgal, and 10 eotvos for gradient to estimate deposit below seafloor.

From these objectives and specification, we have developed an underwater gravity measurement system for exploration below a seafloor using an AUV. Our system consists of an underwater gravimeter and an underwater gravity gradiometer. For gravimeter system, the sensor is mounted on a gimbal mechanism to keep vertical. The system is controlled and monitored via acoustic link of the AUV. The gradiometer has two gravimeter aligned vertical at a distances of 50 cm. For practical observation in the sea, we choose AUV Urashima belonging to Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. Because the Urashima is large AUV, Urashima has enough space for installation of the underwater gravity measurement system and stable navigation is possible. All the power is supplied from the Urashima and acoustic communication system on the Urashima enable real-time monitoring during observation. The first observation was carried out in September 2012 in Sagami-Bay, Japan. For the observation, the Urashima was navigated at the constant speed and constant depth on the profiles. We succeeded in obtaining gravity data and other data for compensation of the gravity data along both tracks with good quality. The obtained gravity data were low passed to reduce noise first. Our system has a high-precision water depth meter with resolution of less than 1 cm. Effect of vertical acceleration, which was calculated from these data, was removed from the gravity data. In addition, we made tilt correction using horizontal accelerometers. Finally ordinary data processing for onboard gravimeter were applied. After the data processing, the data from each track show good agreement, and standard deviation of the data are 0.1 mgal. In other words, our system is estimated to have accuracy or repeatability of 0.1 mgal. From comparison with the data between underwater gravimeter and onboard gravimeter, it is found that the underwater gravimeter system recorded more detailed changes of gravity, which seems to correspond to topography mainly.

In August 2014, we carried second gravity survey using our underwater gravity measurement system in the southern region of Izena caldera, the middle Okinawa Trough, where seafloor deposits were found. The survey area is approximately 2 x 2 km. The Urashima was navigated on 15 profiles in the survey area at constant speed and depth. We obtained the data from both gravimeter and gradiometer with good quality for all the profiles. From the obtained gravity data, we estimate gravity anomaly map in the Izena caldera through the processing for noise reduction, which is described above. After the processing, we obtained a free-water gravity anomaly, which corresponds to the seafloor topography. Because the AUV Urashima also has multi-narrow beam echo sounder, detailed seafloor topography was obtained. We also estimate Bouguer anomaly using the detailed topography and assuming density.



## ベヨネース海丘カルデラと明神海丘カルデラにおける AUV 地磁気・音響探査 Deep-sea magnetic and acoustic surveys using AUVs in the Bayonnaise knoll and Myojin knoll calderas

本荘 千枝<sup>1\*</sup>; 金岡 秀<sup>2</sup>; 浦 環<sup>3</sup>

HONSHO, Chie<sup>1\*</sup>; KIM, Kangsoo<sup>2</sup>; URA, Tamaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学災害科学国際研究所, <sup>2</sup> 海上技術安全研究所, <sup>3</sup> 九州工業大学社会ロボット具現化センター

<sup>1</sup>IRIDeS, Tohoku Univ., <sup>2</sup>National Maritime Research Institute, <sup>3</sup>Center for Socio-Robotic Synthesis, Kyushu Institute of Technology

伊豆小笠原弧のベヨネース海丘カルデラおよび明神海丘カルデラは、それぞれ白嶺鉱床およびサンライズ鉱床と呼ばれる大規模な熱水性硫化物鉱床を胚胎することで知られる。我々は、研究船「よこすか」による YK14-10,11 研究航海(2014 年 6 月)において、深海巡航探査機(AUV)「うらしま」を用いた両カルデラの深海マルチビーム・サイドスキャン観測および深海地磁気三成分観測を実施した。ベヨネース海丘カルデラでは 2 潜航(合計走行距離 46 km)を実現し、当海域において一昨年までに AUV「うらしま」および「r2D4」(東京大学生産技術研究所)を用いて取得したデータと併せて、カルデラ内全域をカバーする深海地磁気データを得た。明神海丘カルデラにおいては初の AUV による詳細マッピングであり、2 潜航(合計走行距離 52 km)を実現し、サンライズ熱水鉱床域、中央火口丘、カルデラ壁北部におけるデータ取得に成功した。

マルチビームデータから作成したベヨネース海丘カルデラの詳細地形図には、背弧リフト活動に起因すると思われるテクトニックな地形が随所に認められた。外輪山の南東部を南北に切る断層は、中央火口丘斜面の崩落地形、中央凹地の東壁を成す直線的な急崖、さらに中央凹地北側の爆裂地形を伴う断層へと南北方向に続いているようにも見え、いずれもリフト断層活動の痕跡と思われる。また、先行調査によりカルデラ底西部に北西-南東走向の火口列が存在することが判っていたが、今回の調査でさらに、その北西側の外輪山にも北西-南東走向の断層群のあることが明らかとなり、北東-南西方向の張力場の存在がより強く示唆された。ほぼ東西方向であるリフティングの張力場とは明らかに斜交しており、複雑な応力場を窺わせている。磁気解析の結果からは、カルデラ底北部にある小丘は、磁化の比較的弱いデイサイト質の中央火口丘とは対照的に、極めて強い磁化を有していることが判った。この小丘は、カルデラを南北に縦断する玄武岩質小海丘列の一海丘がカルデラ底内に形成されたものと考えられる。リフティングに伴う活発な断層活動および火山活動によって、ベヨネース海丘は形成当時の姿からどんどん変化している様子が窺える。本海域の磁気異常は概ねカルデラを縦断する海丘列に起因する南北方向の高磁化帯で特徴づけられるが、その中に、白嶺鉱床域を含むカルデラ南東部、中央凹地周辺部、カルデラ壁北東部に局所的な低磁化域が存在する。中央凹地東壁の上部の地形は細かな凹凸に富んでおり、中には明らかなコーン形状を呈するものも認められるが、この場所が局所的な低磁化を伴うことから、これらは熱水性地形である可能性もある。

明神海丘サンライズ鉱床域の地形調査からは、チムニーを頂く数列のマウンドが、カルデラ壁上に等高線にほぼ直交する方向に伸びている様子が明らかになった。サイドスキャン画像にはチムニーからさかんに噴き出るブルームが明瞭に映し出されている。一方、鉱床域周辺の磁気異常は概して振幅が小さく、特段の磁気的特徴は認められなかった。中央火口丘は、頂上より 500~800 m の距離まで及ぶ複数の溶岩流で覆われている。溶岩流の表面は深い溶岩しわと無数の小突起物で覆われ、崩落箇所やカルデラ底を覆う比較的滑らかな表面との対照が際立っている。磁化強度の分布は、山頂部に局所的な高磁化があり、そこから凡そ溶岩流に沿って磁化の比較的高い範囲が伸びており、中央火口丘を成す岩石の新旧を反映しているようである。

白嶺鉱床とサンライズ鉱床とを比較すると、等高線に直交する方向にチムニーが並びマウンドが伸びるという分布状況に共通点がある。一方で、白嶺鉱床が明瞭な低磁化を伴うのに対し、現在のところサンライズ鉱床には目立った磁気的特徴が認められない。サンライズ鉱床では母岩の磁化がそもそも微弱なため、熱水変成による磁化減少が捉え難いことが考えられるが、一方で、現時点で得られているデータの範囲はサンライズ鉱床域のごく近傍に限られており、全体像が掴めていないのも事実である。鉱床域の磁化構造について確かな結論を得るために、今後、鉱床周辺をより広範に観測する必要がある。

キーワード: 熱水鉱床, AUV

Keywords: hydrothermal deposits, AUV

## EPR N9 50' での海底熱水孔周辺における海洋地殻の比抵抗構造について Electrical resistivity structure of the oceanic crust around hydrothermal vent sites on East Pacific Rise at N9 50'

寺岡 拓也<sup>1\*</sup>; 島 伸和<sup>1</sup>; Evans Rob<sup>2</sup>

TERAOKA, Takuya<sup>1\*</sup>; SEAMA, Nobukazu<sup>1</sup>; EVANS, Rob<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻, <sup>2</sup> ウッズホール海洋研究所

<sup>1</sup>Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>Woods Hole Oceanographic Institution

私たちは東太平洋海膨 (EPR)N9 50' の海底熱水孔周辺で MMR 法による探査の結果を報告する。MMR 法はコントロールソース法の一つで、海洋地殻の比抵抗構造を推定するために用いられる。200 箇所の送信点から誘導される磁場は、海嶺軸上や 4km 離れた軸外に設置された 10 台の海底磁力計によって記録された。私たちは全ての磁場データから 1 次元の比抵抗構造を見積もり、それは異なる比抵抗を持つ 3 つの層からなり、それが本研究エリアの平均的な比抵抗構造を表している。最上部層は低比抵抗であり、それは高い間隙率の層を示し、2 層目は高比抵抗でありダイクの層を、3 層目は低比抵抗であり、それはマグマチャンバーもしくはマッシュ状のメルトゾーンをおそらく示唆している。私たちは、海洋地殻での比抵抗異常体の分布を推定するために磁場異常を導入する。磁場異常は観測された磁場データと平均的な比抵抗構造下で鉛直方向の双極子電流によって誘導される磁場の差で定義される。それぞれの海底磁力計に対する磁場異常マップは、この地域の比抵抗異常体の位置を表し、それは海底熱水活動や、小さなスケールのリッジテクニクスに起因している可能性がある。

キーワード: 東太平洋海膨, MMR 法, コントロールソース法, 海底熱水孔

Keywords: EPR, Magnetometric Resistivity method, controlled source method, hydrothermal vent

## 鬼界カルデラ及び薩摩硫黄島長浜湾における 海洋底堆積物の層序と化学組成 Chemical composition and stratigraphy of sea floor sediments in Kikai Caldera and Nagahama Bay, Satsuma Iwo-jima Island

原田 拓人<sup>1\*</sup>; 清川 昌一<sup>2</sup>; 池原 実<sup>3</sup>

HARADA, Takuto<sup>1\*</sup>; KIYOKAWA, Shoichi<sup>2</sup>; IKEHARA, Minoru<sup>3</sup>

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

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

### [目的]

鹿児島県薩摩半島から約40km南に位置する薩摩硫黄島は鬼界カルデラ外輪山の一部を成すと共に、温泉が大量に湧出しており、特に島内にある長浜湾内では大量の水酸化鉄が沈殿している (Kiyokawa and Ueshiba, *im press*). 長浜湾では、海底から湧出するFe<sup>2+</sup>イオンに富む温泉水が海水と反応することでオキシ水酸化鉄のコロイドを形成しており、湾内からは特徴的な赤褐色の変色水が外洋に流出している。この水酸化鉄沈殿物は湾外では、水深80mの海底下 (NHK プレミアム放送) でも確認されており、鬼界カルデラ内にも水酸化鉄の沈殿が起きていると考えられる。新青丸調査KS14-10では鬼界カルデラ底最深部水深約650m地点において、表層数センチほどの褐色沈殿物を含むコア試料を取得した。過去の鉄沈殿物は深度によって形態を変えて沈殿すると言われているが、鬼界カルデラでは深度変化に伴う鉄沈殿物の堆積様式を具体的に観察・研究できると考えられる。本研究では、長浜湾における浮遊する水酸化鉄の粒子と沈殿物の観察結果と鬼界カルデラ底650m地点でのマルチプルコア試料についての、記載と化学組成分析の結果について報告する。

### [研究手法]

長浜湾における浮遊粒子と沈殿物を電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて観察を行った。また、鬼界カルデラ内の谷における深度が異なる2本の堆積物コア (KS14-10: コアA 39cm, KT10-18: コアB 42cm) の観察, CTスキャン, またXRF (蛍光X線分析) を試みた。屋久島の南, 約70kmのコア (TSK1PC: コアC 26cm) についても比較分析を行った。XRF分析は800℃で12時間加熱し揮発性成分を飛ばした後、メノウ乳鉢で細かく砕き四ホウ酸リチウムと混合しガラスビードを作製。ガラスビードを蛍光X線分析機器 (XRF) にかけて、主要元素の定量分析を行った。試料間隔1cmで合計94サンプルを測定しその変化を確かめた。

### [結果・考察]

浮遊粒子・沈殿物の観察: FE-SEMによる観察の結果、浮遊粒子が約0.2μmであるのに対して、沈殿物は>1μmの大きさの粒子で構成されていることが確認された。ストークスの法則より浮遊する粒子は凝集することで沈殿していると考えられる。

コア観察: コアは基本オリーブグリーンの半遠洋性堆積物であり、上部と下部では若干色の違いがみられた。特に海底谷が長浜湾から直接続く、深度650mのコア (コアA) では表層数センチがオレンジ色を呈し、水酸化鉄層が見られた。スミアスライドでは、細かい粘土物質や有孔虫、珪藻が多く見られた。

CTスキャン: 均質であるが数センチの孔の後が全体にみられ、生物擾乱されていた。また、コアAの表層から約28cmの部分には、直径1cmほどの四角い粒子を持つ礫状物質が混在していた。

XRF分析: 主要10元素について分析し、SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaOの4元素において変化が見られた。SiO<sub>2</sub>はほぼ52-55%, 特にコアAは表層から28cm部分でSiO<sub>2</sub>量が56%に増加する。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は3.7-4.0%で、ほぼ均質である。ただ、特にコアAの最上部 (褐色部) は4.3%で高くなっている。Mnはほとんど入っていない。比較検討した屋久島沖の試料のMnO濃度は表層から10cmで2.5%と高い部分をもっている。Caは7-8%ほどでSiと逆相関をとり、コアAで見られる28cm部分のSi/Ca変化はSiに富む礫層の影響だと思われる。鉄沈殿について、KS14-10コアAに残される記録は重要である。本コアでは表層のみFe濃度が高くそれ以降は均質である。これは堆積物が埋没し、還元的環境に変わること水酸化鉄が溶脱したためだと考えられる。比較検討した屋久島南方のコアにおいて鉄の量およびマンガンも含まれることは、海底表層がより酸化的で、ともに酸化物として表層に残っている可能性がある。一方、鬼界カルデラ底は海水循環なども少ないか、もしくは生物活動が活発で、表層直下ですぐに嫌気の状態になっていると考えられる。

キーワード: 鬼界カルデラ, 水酸化鉄, 酸化還元状態

Keywords: Kikai caldera, ferric hydroxide, redox status



## 硫黄による還元を用いた水熱環境下における非生物メタンの生成 Abiotic formation of methane by oxidation of sulfur species under hydrothermal conditions

武者 倫正<sup>1\*</sup>; 土屋 範芳<sup>1</sup>; 岡本 敦<sup>1</sup>

MUSHA, Michimasa<sup>1\*</sup>; TSUCHIYA, Noriyoshi<sup>1</sup>; OKAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 環境科学研究科

<sup>1</sup> Graduate school of Environmental studies, Tohoku Univ.

In recent years, abiotic reactions have been considered as one of the potential mechanisms for the formation of reduced carbon species (i.e., CH<sub>4</sub>, ...) in hydrothermal systems at seafloor. Because the fluid flux through deep-sea hot-springs represents a potentially significant source of carbon and energy to support microbial activities in surface and sub-surface habitats, the possibility that abiotic processes may influence the speciation of carbon in vent fluids has direct implications for the maintenance of life in present-day hydrothermal environments. Although aqueous carbon compounds have significant role in broad spectrum of geochemical and biological processes, reactions to produce abundant aqueous hydrocarbons at seafloor hydrothermal environment are poorly understood.

Abiotic synthesis of hydrocarbons in hydrothermal environments is attributed to Fischer-Tropsch type processes, which are characterized by the reduction of CO<sub>2</sub> or CO by H<sub>2</sub> on catalytic mineral surfaces including magnetite (Anderson, 1984). These reactions are also thought to occur in association with serpentinization of mantle peridotites, which produces H<sub>2</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Previous experimental studies under hydrothermal conditions (e.g., Foustoukos et al. 2004) succeeded in production of H<sub>2</sub> and abiotic CH<sub>4</sub>. For example, Foustoukos et al. (2004) reported the production of 208 mmol/kg of H<sub>2</sub> and 39 μmol/kg of CH<sub>4</sub> by the olivine hydration over 1000 hours; however, the concentration of CH<sub>4</sub> gas was quite low than those observed in natural ultramafic-hosted hydrothermal vent fluid, for example, 0.13 ~ 2.2 mmol/kg of CH<sub>4</sub> from the hydrothermal vent at the Lost City.

In this study, we focused on sulfur species as reducing agent, based on Putri et al. (2011), which reported high H<sub>2</sub> generation rate (64.3 mmol/kg in an hour) in the system of H<sub>2</sub>S and H<sub>2</sub>O. We conducted a series of hydrothermal experiments with H<sub>2</sub>S to generate H<sub>2</sub> by reduction of H<sub>2</sub>O. We used Na<sub>2</sub>S • 9H<sub>2</sub>O for H<sub>2</sub>S species, NaHCO<sub>3</sub> for CO<sub>2</sub> species, and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for catalyst of Fischer-Tropsch type CH<sub>4</sub> synthesis. The initial concentration of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> species were set to be 10 mmol/kg and 40 mmol/kg, as analogue of hydrothermal vent fluids. The experiments were conducted at 300 degree C, and initial pH was controlled at 9.9~10.0 with NaOH. After 168 hours experiment, the concentration of H<sub>2</sub> gas was 39.7 mmol/kg, which means almost H<sub>2</sub>S species was consumed by the reduction of H<sub>2</sub>O. The generated H<sub>2</sub> gas was used for the second reaction CH<sub>4</sub> gas. The CH<sub>4</sub> gas concentration was 30.3 μmol/kg in 168 hours, 6.3 times higher than that from serpentinization experiment (Foustoukos et al., 2004). In the same condition except for absence of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, the gas concentration of H<sub>2</sub> were 40.14 mmol/kg and 4.91 μmol/kg, respectively. The experiment without Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> generated CH<sub>4</sub> gas and the concentration of CH<sub>4</sub> was quite lower than the experiment using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, that indicates Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> takes the role of catalyst in the formation of CH<sub>4</sub>, while other catalytic effect should be considered in the system.

### References

Anderson, R.B., The Fischer-Tropsch reaction, 1984.

Foustoukos, D.I. and Seyfried, W.E., Science, 2004, 304, 1002.

Putri S., Javier V., Watanabe N., Kishita A., Tsuchiya N., International Journal of Hydrogen Energy, 2011, 36, 10674.

キーワード: 熱水噴出孔, 非生物メタン, CO<sub>2</sub>還元

Keywords: hydrothermal fluid vent, abiotic methane, CO<sub>2</sub> reduction



## GPS データを用いた南極大陸とオーストラリア大陸の形状の復元 Paleoshape of Antarctica and Australia

田上 佑介<sup>1</sup>; 原田 靖<sup>1\*</sup>

TAGAMI, Yusuke<sup>1</sup>; HARADA, Yasushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東海大学 海洋学部 海洋地球科学科

<sup>1</sup> School of Marine Science and Technology, Tokai University

加藤ら (2012) では、国土地理院の F3 解のデータを使い日本列島の地殻変動の精密な可視化を行いその有用性を示し、次への課題として日本列島だけでなく世界中に設置されている GPS 設置点を活用することで、大陸の内部変動の可視化への可能性を示した。これを受けて河合ら (2014) では、アフリカ大陸と南米大陸の GPS 観測データを用いた大陸変形運動の可視化を行い、その変動を過去に外挿することで大陸形状の復元を約 1 億 5000 万年前まで行った。GPS で復元したデータと、GPS とは独立な古地磁気データにより推定された過去の大陸の形状を比較する事で、約-5000 万倍までは GPS の観測データを外挿しても大局的な大陸の変形運動と調和的であると分かった。

南極大陸の北側大陸棚と、それに対応するオーストラリア大陸南端大陸棚の現在の形状は、大陸を過去の位置へ戻しても約 600km 程の大きな間隙があり、GPS の変動を考慮するとこの間隙が少なくなるかどうかが重要である。そこで、本研究では南極大陸とオーストラリア大陸で-5000 万倍の大陸形状の復元を試みることにした。

本解析の結果、オーストラリア大陸の約 5000 万年前の形状は大陸の南部の海岸が現在の形状より東西に約 300km ほど広がり、大陸全体が南北に約 300km ほど収縮した。

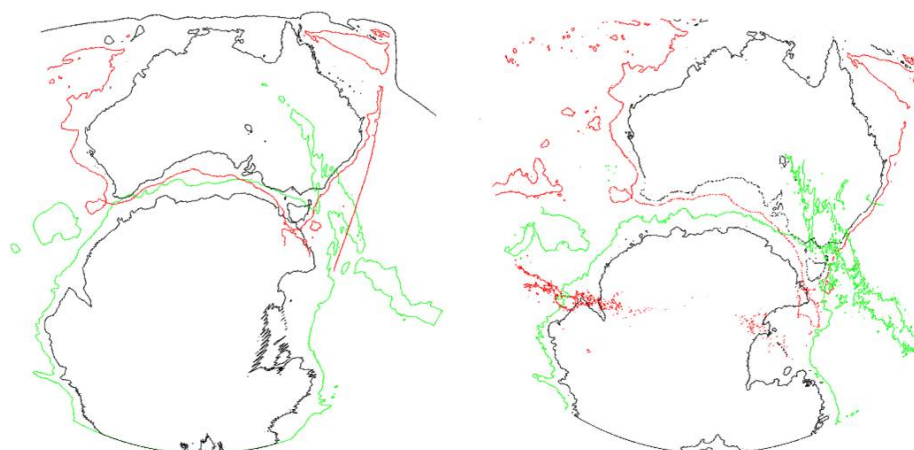
南極大陸の約 5000 万倍の復元では、東経 90 度側の海岸線が大きく膨らむような変動を見せ南極大陸の直径が約 400km 程伸展した。そして、プレートとの相対運動のデータを用いてオイラー回転を行い南極大陸とオーストラリア大陸の大陸棚の形状の一致度を確認した結果、現在の形状より-5000 万倍で復元した大陸棚の形状の方が間隙が狭くなり一致度が良くなることが分かった。

以上の事から GPS データを過去に外挿して大陸の形状の復元を行う手法は、海岸線（正確には大陸棚の等深線）の一致度の解析の結果、南極大陸とオーストラリア大陸においても 5000 万倍までは有効であるという事が強く示唆される。このため GPS データは 5000 万年スケールの大局的な大陸の変形運動を含包していると考えられる。

下図は変形を考慮した各大陸の形（左）と変形を考慮しない各大陸の形（右）  
黒線が海岸線、赤線と緑線はそれぞれの大陸の 3000m の等深線

キーワード: GPS, オーストラリア大陸, 南極大陸, 変形の復元

Keywords: GPS, Antarctica, Australia, deformation



## インド洋ロドリゲス三重会合点周辺、Kairei 熱水フィールドにおける地震波速度構造 Seismic structure at the Kairei Hydrothermal vent field near the Rodriguez Triple Junction in the Indian Ocean

高田 裕能<sup>1</sup>; 佐藤 利典<sup>1\*</sup>; 森 大湧<sup>1</sup>; 野口 ゆい<sup>1</sup>; 河野 昭博<sup>1</sup>; 山田 知朗<sup>2</sup>; 篠原 雅尚<sup>2</sup>  
TAKATA, Hiroyoshi<sup>1</sup>; SATO, Toshinori<sup>1\*</sup>; MORI, Taiyu<sup>1</sup>; NOGUCHI, Yui<sup>1</sup>; KONO, Akihiro<sup>1</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>2</sup>; SHINOHARA, Masanao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大・理, <sup>2</sup> 東大地震研

<sup>1</sup>Chiba Univ., <sup>2</sup>ERI Univ. Tokyo

### 1. はじめに

中央インド洋海嶺は、ロドリゲス三重会合点の北側に位置し、低速~中速の拡大速度を示している。Kairei 熱水フィールド (以下 KHF) は、2000 年に中央インド洋海嶺の第 1 セグメントで発見された。世界各地で発見されている熱水域に比べ、KHF で噴出している熱水は豊富な水素を有している。

KHF は白鳳海丘と呼ばれる玄武岩質の海丘上で発見されたが、KHF 周辺の海底面では斑レイ岩やかんらん岩が確認されている。KHF の北側にある Yokoniwa Rise という高まりではかんらん岩が発見され、かんらん石に富んだ斑レイ岩が KHF の西側にある Uraniwa Hills と呼ばれている海洋コアコンプレックスで確認されている。そういった地下深部の岩石が海底面付近まで上昇し、蛇紋岩化する事で水素に富んだ熱水の発生に貢献しているといわれている。そこで、対象地域の地下の構造を明らかにするため、海底地震計 (以下 OBS) を用いた反射法/屈折法地震波探査を行った。

### 2. 観測と解析手法

本研究で使用したデータは、海洋研究開発機構の観測調査船「よこすか」による観測航海で取得されたものである (YK13-01 航海、YK13-03 航海)。地震波探査の観測期間は 2013 年 1 月 27-29 日 (YK13-01 航海) と 2013 年 3 月 5-6 日 (YK13-03 航海) である。今回の地震波探査では、19 台の OBS と 1 台のエアガン (G.I gun)、シングルチャンネルストリーマーケーブルを使用した。測線に関しては NNW-SSE 方向の測線を 5 本、E-W 方向に 5 本、NE-SW 方向に 5 本の測線を設けた。これらの測線に加え、白鳳海丘や Yokoniwa Rise の直上を通るような 5 本の測線も加えた。

屈折波のデータ解析では、初めに漸進的モデル改良法 (Sato and Kennett, 2000) を用いて測線直下の 2 次元モデルを推定した。その後、この 2 次元構造を用いて 3 次元構造の初期モデルを作成し、FAST (Zelt and Barton, 1998) を用いて 3 次元モデルを推定した。

### 3. 結果

白鳳海丘と Yokoniwa Rise の地下 1-2 km 付近で速度 6.0 km/s を超える高速度領域が確認された。Yokoniwa Rise 直下の高速度領域は Yokoniwa Rise 全体に広がっており、Yokoniwa Rise 形成時に上昇してきた地下深部の岩石であると考えられる。一方、白鳳海丘直下の高速度領域は鉛直方向に伸びており、この構造は白鳳海丘が過去の火山活動によって形成された海山であることを示唆している。

1 次元速度構造に関して対象地域とその他の海嶺系を比較したところ、大局的に見れば地下 3 km まで大西洋中央海嶺や東太平洋海嶺と似た速度構造を有している事が分かった。しかし、海底面における対象地域の地震波速度はファンデフカリッジと Southern Ridge を除く他の海嶺に比べて 1 km/s 程度速い。Southern Ridge は大西洋中央海嶺上にある Atlantis Massif コアコンプレックスの南側部分に位置し、海底面で蛇紋岩が採取されている。Southern Ridge の速度構造と対象地域の速度構造が似ていることから、対象地域でも地下の浅い領域まで地下深部の岩石が上昇し、蛇紋岩化している可能性がある。

### 謝辞

観測に関して、海洋研究開発機構の観測調査船「よこすか」の船長と乗組員の方々の協力を頂きました。なお、本研究は科研費 新学術領域 20109002 の助成を受けて行われました。

キーワード: 海底下の大河, 熱水地域, 地殻構造, インド洋三重会合点

Keywords: TAIGA Project, hydrothermal field, crustal structure, triple junction of the Indian Ocean

## 中央インド洋海嶺南部でのマントル不均質の分布 Distributions of mantle heterogeneity across segment at southern segment of Central Indian Ridge

佐藤 暢<sup>1\*</sup>; 町田 嗣樹<sup>2</sup>; 仙田 量子<sup>3</sup>  
SATO, Hiroshi<sup>1\*</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>2</sup>; SENDA, Ryoko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 専修大学, <sup>2</sup> 早稲田大学, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>Senshu Univ., <sup>2</sup>Waseda Univ., <sup>3</sup>JAMSTEC

Recent petrological and geochemical investigations of MORB at the southern segments of Central Indian Ridge (CIR) reveal the heterogeneous distributions of MORB-source mantle (Sato et al., 2015). Sato et al. (2015) concluded that MORB from CIR-S2 segment and off-ridge area at the CIR-S1 segment are depleted compositions than typical MORB. Furthermore, depletions based on trace element geochemistry of off-ridge MORB from CIR-S1 segment decrease toward present spreading ridge. Because off-ridge MORB was recovered from several dredge sites parallel to the flow line, these distributions might indicate spatial distributions of mantle heterogeneity beneath CIR-S1 segment.

Keywords: mid-ocean ridge basalt, Central Indian Ridge, mantle heterogeneity, geochemistry

## 水深異常の起源について On the origin of seafloor flattening

是永 淳<sup>1\*</sup>  
KORENAGA, Jun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> イェール大学地球科学科

<sup>1</sup>Department of Geology and Geophysics, Yale University

海底の水深は年代とともに増すが、約 7000 万年より古くなると、境界層モデルの予測よりも浅い水深を示すことが知られている。このいわゆる「水深異常」はホットスポットや海台の影響を取り除いても存在するシグナルであり、プレートモデルを使うとうまく説明できる。しかし、境界層モデルが対流の物理に基づいているのに対して、プレートモデルは物理的に正当化できない境界条件を用いている。このように、物理的に正しいが観測を説明できない境界層モデルと、物理的にはおかしいけども観測が説明できてしまうプレートモデルの両者が対立している状況が過去 40 年ほど続いていた。プレート下部が重力的に不安定になって発生する小規模対流とマンツルの内部熱源の両方を考慮すれば、この水深異常を説明できるかもしれないという可能性が以前から指摘されていたが、本発表ではこの可能性を新しい対流モデルを使って検討した結果を報告する。数値計算の結果によると、観測されている水深異常を説明するにはマンツルの内部熱源が  $12 \pm 3$  TW であればよく、これは地球化学データから推測される熱源の量と調和的である。物理的なモデルによって海底の水深を正しく予測できるようになると、初期地球の表層環境の理論的研究にも役立つので、このことについても議論する予定である。

キーワード: 水深異常, マンツル対流, 内部熱源, 初期地球, 表層環境

Keywords: seafloor flattening, mantle convection, internal heating, early Earth, surface environment



## 太平洋アレイ Pacific Array

川勝 均<sup>1\*</sup>; 竹尾 明子<sup>2</sup>; 一瀬 建日<sup>1</sup>; 西田 究<sup>1</sup>; 塩原 肇<sup>1</sup>; 末次 大輔<sup>3</sup>; 杉岡 裕子<sup>3</sup>  
KAWAKATSU, Hitoshi<sup>1\*</sup>; TAKEO, Akiko<sup>2</sup>; ISSE, Takehi<sup>1</sup>; NISHIDA, Kiwamu<sup>1</sup>; SHIOBARA, Hajime<sup>1</sup>;  
SUETSUGU, Daisuke<sup>3</sup>; SUGIOKA, Hiroko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, <sup>3</sup>Institute of Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Based on our recent results on broadband ocean bottom seismometry, we propose a next generation large-scale array experiment in the ocean. Recent advances in ocean bottom broadband seismometry (e.g., Suetsugu & Shiobara, 2014, Annual Review EPS), together with advances in the seismic analysis methodology, have now enabled us to resolve the regional 1-D structure of the entire lithosphere/asthenosphere system, including seismic anisotropy (both radial and azimuthal), with deployments of ~10-15 broadband ocean bottom seismometers (BBOBSs) (namely “ocean-bottom broadband dispersion survey”; Takeo et al., 2013, JGR; Kawakatsu et al., 2013, AGU; Takeo, 2014, Ph.D. Thesis; Takeo et al., 2014, JpGU). Having ~15 BBOBSs as an array unit for 2-year deployment, and repeating such deployments in a leap-frog way (an array of arrays) for a decade or so would enable us to cover a large portion of the Pacific basin. Such efforts, not only by giving regional constraints on the 1-D structure, but also by sharing waveform data for global scale waveform tomography, would drastically increase our knowledge of how plate tectonics works on this planet, as well as how it worked for the past 150 million years. International collaborations might be essential, as if three countries/institutions participate this endeavor together, Pacific Array may be completed within five or so years.

キーワード: OBS

Keywords: OBS, seismic array, lithosphere, asthenosphere

## 「ふつうの海洋マントル」プロジェクトで実施された爆破実験による北西太平洋の最上部マントル構造 Oceanic plate structure beneath the northwestern Pacific Ocean revealed by explosion experiments

一瀬 建日<sup>1\*</sup>; 塩原 肇<sup>1</sup>; 山田 知朗<sup>1</sup>; 八木 健夫<sup>1</sup>; 篠原 雅尚<sup>1</sup>; 杉岡 裕子<sup>2</sup>; 歌田 久司<sup>1</sup>  
ISSE, Takehi<sup>1\*</sup>; SHIOBARA, Hajime<sup>1</sup>; YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>; YAGI, Takeo<sup>1</sup>; SHINOHARA, Masanao<sup>1</sup>;  
SUGIOKA, Hiroko<sup>2</sup>; UTADA, Hisashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>ERI, the Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC

Plate tectonics is based on a concept that a rigid lithosphere moves over a weaker asthenosphere. Understanding of the plate tectonics is important to understand the Earth's system. However, the nature of the lithosphere and asthenosphere boundary (LAB) is not yet well determined. To understand the physical condition for the LAB, we have conducted a seafloor observation called "Normal Oceanic Mantle (NOMan) Project". We focused on the oceanic plate because the nature and evolution history of the oceanic plate is simpler than the continental plate so that it is easier to investigate its nature.

To analyze the upper mantle structures around the LAB, we conducted a seismic explosion experiments as a part of NOMan project.

Seismic explosion experiments were conducted at four shot sites with ten broadband ocean bottom seismometers and the size of explosions is 400 kg at two sites, and 200 kg at other sites. The profile lengths are about 700 and 400 km, respectively.

Previous studies in this area revealed the azimuthal anisotropy in the uppermost lithosphere (Shinohara et al., 2008), a sharp LAB at a depth of ~80 km (Kawakatsu et al. 2009), and small-scale heterogeneities in the lithosphere (Shito et al., 2013).

We have detected first arrivals from all data whose epicentral distance is between 100 and 670 km. At these distant ranges, first arrival is passing through the mantle, that is, Pn wave is first arrival. The apparent velocities of longer shots are about 8.0 km/s. However, at a shorter shot, first arrival times with nearly same distance is apart about 3 seconds. It suggests that the uppermost mantle structure in this region is very heterogeneous or has azimuthal anisotropy. After analyzing, we found the azimuthal anisotropy in the uppermost mantle whose amplitude is about 4% and whose fast axis is nearly perpendicular to the magnetic lineations, which is consistent with Shinohara et al. (2008).

We also found that some Pn waveforms at ~300 km is complicated although some others are simple, which may suggest the existence of the heterogeneities in the lithosphere.

キーワード: 海洋プレート, 爆破実験, 北西太平洋

Keywords: oceanic plate, explosion experiment, northwestern Pacific Ocean

## 北西太平洋域における海底堆積物内のS波速度異方性分布 Geographical distribution of shear wave anisotropy within marine sediments in the north-western Pacific

利根川 貴志<sup>1\*</sup>; 深尾 良夫<sup>1</sup>; 藤江 剛<sup>1</sup>; 武村 俊介<sup>2</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>  
TONEGAWA, Takashi<sup>1\*</sup>; FUKAO, Yoshio<sup>1</sup>; FUJIE, Gou<sup>1</sup>; TAKEMURA, Shunsuke<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 横浜市立大学

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> Yokohama City University

Elastic properties of marine sediments, including P and S wave velocities, have been recently investigated well by active seismic surveys. However, information on S anisotropy associated with alignments of fractures and fabric remains elusive. To obtain such information, we used ambient noise records observed by ocean bottom seismometers at ~250 sites in the northwestern Pacific to calculate auto-correlation functions for retrieving S reflections coming from a sedimentary basement. We measured differential travel times and polarized directions of these S reflections to see, if any, geographical systematic distribution of S anisotropy. Consequently, the observed differential times were at most 0.05 s. The fast polarization axes tend to align in trench-parallel direction in the outer rise region. In particular, their directions systematically change in accordance with the direction of trench axis that changes sharply across the junction of the Kuril and Japan Trenches. We suggest two contributors for the obtained S anisotropy within marine sediments in the outer rise region, cracks induced by stresses due to bending of the plate and fractures associated with the basement deformation below the sediments. Which effect is dominant depends on the degree of plate bending. In the northwestern Pacific, both stress-induced cracks and fractures due to the basement deformation cause S anisotropy in a region where a large bending of the plate is observed, while fractures due to the basement deformation only create S anisotropy in other region of small bending of the plate. Moreover, we carried out numerical simulations with three-dimensional finite difference method taking into account anisotropy to simple, two-layered structure. Our results indicate that successful extraction of S anisotropy from the retrieved S reflection attributes near-vertically propagating S reverberations associated with extremely low Vs within marine sediments. Another numerical simulation with a realistic velocity model underneath the seafloor was conducted on the Earth Simulator in order to confirm whether S reflections from interfaces below the basement could be extracted or not. As a result, it is considered that such S reflections would be hindered by S reverberations with large amplitudes within marine sediments.

キーワード: 海底堆積物, S波異方性, 常時ノイズ, 北西太平洋

Keywords: marine sediment, S anisotropy, ambient noise, northwestern Pacific

## 走時インバージョンによるオントンジャワ海台の地殻の厚さ Crustal thickness of the Ontong Java Plateau revealed from traveltime inversion analysis

三浦 誠一<sup>1\*</sup>; 藤江 剛<sup>1</sup>; 野口 直人<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; コフィン ミラード<sup>2</sup>; カワグル サイモン<sup>3</sup>;  
ヴェラヴ ロナルド<sup>4</sup>  
MIURA, Seiichi<sup>1\*</sup>; FUJIE, Gou<sup>1</sup>; NOGUCHI, Naoto<sup>1</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; COFFIN, Millard<sup>2</sup>;  
KAWAGLE, Simon<sup>3</sup>; VERAWE, Ronald<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>University of Tasmania, Australia, <sup>3</sup>University of Papua New Guinea, <sup>4</sup>Mineral Resource Authority, PNG

オントンジャワ海台 (OJP) は地球上で最大級の海台である。西太平洋赤道付近に位置する水深 4000m より浅い海底の高まりであり、その面積は日本の 5 倍に匹敵する広大な範囲を占める。表層のサンプリングや掘削の結果から、火成岩が広く分布している大規模火成岩区域 (LIPs) の代表例とされている (例えば Coffin and Eldholm (1994)) が、通常のプレートテクトニクス理論では説明のつかない対象であり、観測事実をすべて説明できる形成モデルはまだない。地質学的に短期間で形成されたと考えられることや、その巨大な対象の面積および体積から、形成時における環境への影響が大きかったであろうことは想像に難くない。そのため形成モデルを解決すること、および環境への影響を考える上で、OJP の地殻構造を知ることは重要である。OJP における地殻構造探査は 1960 年代から行われてきているがモホ面深度を求めている結果は多くなく、しかも観測手法による差がある。地震探査によると 35-42km (Furumoto et al., 1976) だが、重力によると 25km (Sandwell and Renkin, 1988) や 32km (Gładczenko et al., 1997) となっている。OJP 南端部における探査結果 (Miura et al. (2004)) から、フォーワードモデリングによってモホ面深度は 35km と報告されている。Korenaga (2011) によるインバージョン解析によってもほぼ同様の結果が得られている。OJP 中央部におけるモホ面深度は依然はっきりしておらず、高精度の探査が必要であった。このような観点から 2010 年に海底地震計 (OBS) を用いた大規模探査を OJP 中央部に実施した (Miura et al., 2011)。これまでは初動トモグラフィおよびフォーワードモデリングを中心とした解析をしてきた (Miura et al., 2013) が、記録上の水中残響を低減するデータ処理を施すとともに、OBS 記録上の初動と後続反射波のうち振幅が大きく一番遅いと思われる相 (PmP) を用いる走時インバージョン解析に着手した (Miura et al., 2014)。初期モデルの影響を考慮するためモホ面の初期深度を複数の場合で実施し、いずれの場合でも OJP 中央部におけるモホ面深度は従来の値より大きいものとなった。今後は Korenaga (2011) に準じた不確定性解析を実施して、モホ面深度の信頼性について確認する予定である。

キーワード: 大規模火成岩区域, オントンジャワ海台, マルチチャンネル反射法, 海底地震計, 走時, インバージョン  
Keywords: LIPs, OJP, MCS, OBS, traveltime, inversion



## 南鳥島周辺海域のプチスポット

## New insights into the oceanic lithosphere from petit-spot around the Marcus Island

平野 直人<sup>1\*</sup>; 岩野 英樹<sup>2</sup>; 清水 健二<sup>3</sup>; 森下 泰成<sup>4</sup>; 田村 明弘<sup>5</sup>; 角野 浩史<sup>6</sup>; 坂田 周平<sup>7</sup>;  
町田 嗣樹<sup>8</sup>; 石井 輝秋<sup>9</sup>; 檀原 徹<sup>2</sup>; 荒井 章司<sup>5</sup>; 平田 岳史<sup>7</sup>  
HIRANO, Naoto<sup>1\*</sup>; IWANO, Hideki<sup>2</sup>; SHIMIZU, Kenji<sup>3</sup>; MORISHITA, Taisei<sup>4</sup>; TAMURA, Akihiro<sup>5</sup>;  
SUMINO, Hirochika<sup>6</sup>; SAKATA, Shuhei<sup>7</sup>; MACHIDA, Shiki<sup>8</sup>; ISHII, Teruaki<sup>9</sup>; DANHARA, Tohru<sup>2</sup>;  
ARAI, Shoji<sup>5</sup>; HIRATA, Takafumi<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 京都フィッシュントラック (株), <sup>3</sup> 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 海上保安庁, <sup>5</sup> 金沢大学, <sup>6</sup> 東京大学, <sup>7</sup> 京都大学, <sup>8</sup> 早稲田大学, <sup>9</sup> 深田地質研究所

<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>Kyoto Fission-Track Co., Ltd., <sup>3</sup>JAMSTEC, <sup>4</sup>Japan Coast Guard, <sup>5</sup>Kanazawa University, <sup>6</sup>University of Tokyo, <sup>7</sup>Kyoto University, <sup>8</sup>Waseda University, <sup>9</sup>Fukuda Geological Institute

Petit-spot volcanoes on the subducting NW Pacific Plate off the Japan Trench formed from melt that originated in the asthenosphere and ascended within a zone of concave flexure in the outer rise. Such tiny volcanoes are likely to be ubiquitous in such zones of plate flexure and have recently been reported from the oceanward slope of the Tonga, Chile, and Java trenches. They may also commonly occur in other settings, as similar volcanoes have been reported from the extensional Basin and Range province in North America, and from south of Greenland. It is therefore important to search for other examples of petit-spot volcanoes because they help us to address some important first-order questions about zones of lithospheric flexure.

Clusters of small conical volcanoes occur in the area southeast of Marcus Island, as inferred from precise bathymetric data acquired by the Japan Coast Guard. Most of the cones in the clusters are ~100 m high and <10 km across. Their morphologies are similar to those of petit-spot volcanoes. A search for petit-spot volcanoes around Marcus Island was conducted in May 2010 by the R/V *Yokosuka* of JAMSTEC (cruise YK10-05), carrying the submersible *Shinkai6500*. A young volcano was observed southeast of Marcus Island, contradicting the assumption that Cretaceous seamounts only occur on the Jurassic Pacific plate. The occurrence of highly vesicular alkaline lavas indicates that petit-spot volcanic activity is ubiquitous on the oldest oceanic plate as well. The morphologies of the lava flows in the area southeast of Marcus Island are different to those of flows in the NW Pacific, indicating a low-viscosity magma. The eruption setting in the area southeast of Marcus Island is unusual because the site is located far from any trench. An as-yet unknown origin of petit-spot melt ascending through the lithosphere might be identified via studies of the oldest oceanic crust in the world's oceans.

キーワード: アルカリ玄武岩, プチスポット, 太平洋, リソスフェア, 南鳥島

Keywords: alkali-basalt, petit-spot, Pacific, lithosphere, Marcus Island

## 北西太平洋に存在するプチスポットマグマの成因を実験岩石学で制約しようプロジェクト：第2弾

### Experimental constraint on magma genesis for petit-spot in the northwestern Pacific: the second step

町田 嗣樹<sup>1\*</sup>; 小木曾 哲<sup>2</sup>; 平野 直人<sup>3</sup>

MACHIDA, Shiki<sup>1\*</sup>; KOGISO, Tetsu<sup>2</sup>; HIRANO, Naoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学環境資源, <sup>2</sup> 京都大院人間環境, <sup>3</sup> 東北大東北アジア研

<sup>1</sup>Waseda University, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>Tohoku University

Plate deformation owing to the outer-rise induces eruption of magma forming diminutive volcanoes compared to hotspots and large igneous provinces, so called petit-spot volcanism. Even if unique geochemistry of alkaline basalts suggest that they are originated from partial melts in the heterogeneous asthenosphere, detailed melt production process for petit-spot volcanism is still not constrained. We thus conduct melting experiments to define phase relations for the petit-spot primary magmas. Our first experiment (Machida et al., 2013, JpGU) for the youngest knoll situated in flexed region of the northwestern Pacific plate (sample KR04-08 D08-002) showed that the primary magma is saturated with olivine and orthopyroxene or clinopyroxene at about 2.1 GPa and about 1280 °C. Therefore, when we consider that the depth of the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) for the northwest Pacific (WP2) is 82 km (Kawakatsu et al., 2009, Science), equilibrated pressure corresponds to the lower lithosphere. This result looks like resisting a conventional hypothesis that the petit-spot volcano was formed by exuding of magma existing in the upper asthenosphere, place deeper than approximately 90 km, through the lithosphere (Hirano et al., 2006, Science). To verify the universality of the result, we further select two samples as the second targets. Sample 6K 879-R3A was collected from a knoll in flexed region of the northwestern Pacific plate (approximately 2 km north of youngest knoll for the first experiment) during cruise YK05-06 of *R/V Yokosuka*. Sample 10K 56-R001 was collected from a knoll distributed at the Japan Trench ocean-ward slope during cruise KR97-09 of *R/V Kairei*. Based on the <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age of sample 10K 56-R001 and the present absolute plate motion, the erupting location corresponds to flexed region of the northwestern Pacific plate, same as the other two samples.

We conducted melting experiments using 1/2-in.-diameter piston cylinder type high-temperature and high-pressure apparatus at Kyoto university. Starting materials were prepared from mixture of pre-dried reagents of oxide, hydroxide, and carbonate representing major element compositions of primary magmas equilibrated with Fo=90 olivine (obtained by the olivine maximum fractionation model), and including 10% CO<sub>2</sub> and 1% H<sub>2</sub>O (Okumura and Hirano, 2013, Geology). The other experimental procedures are same as those of Machida et al. (2013, JpGU). As results of our experiments, sample 6K 879-R3A is multiply saturated with olivine, orthopyroxene, and clinopyroxene at about 1.8 GPa and about 1280 °C, and sample 10K 56-R001 is multiply saturated with olivine and orthopyroxene at about 1.4 GPa and about 1275 °C. Therefore, it is a common condition, regardless of the difference of eruption position and age, that petit-spot magmas were equilibrated with depleted peridotite at the lower part of lithosphere.

キーワード: プチスポット, 複数相飽和実験

Keywords: petit-spot, multiple saturation experiment

## 日本海溝アウターライズにおける熱流量の高密度測定：海洋地殻の破碎と間隙流体循環

### Dense heat flow measurements on the outer rise of the Japan Trench: Fracturing and pore fluid flow in the oceanic crust

山野 誠<sup>1\*</sup>; 川田 佳史<sup>2</sup>; 濱元 栄起<sup>3</sup>

YAMANO, Makoto<sup>1\*</sup>; KAWADA, Yoshifumi<sup>2</sup>; HAMAMOTO, Hideki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 埼玉県環境科学国際センター

<sup>1</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Center Environ. Sci. Saitama

日本海溝には年齢1億年を超える古い太平洋プレートが沈み込んでいるが、海溝の海側では、海底年齢に対して異常に高い熱流量が観測される。これまでの調査により、この高熱流量は日本海溝北半部の海溝海側斜面からアウターライズにかけて広く分布すること、海側への広がりには海溝軸から150 km付近までに限られることが判明している (Yamano et al., 2014)。したがって、この熱流量異常は、沈み込みに伴う太平洋プレートの変形に関係していると考えられる。また、海洋地殻の地震波速度構造も、ほぼ同じ範囲で亀裂の増加と水の浸入を示唆する異常を示している (Fujie et al., 2013)。これらの観測結果に基づき、Kawada et al. (2014) は、プレートの変形により海洋地殻が破碎されて透水率が増加し、間隙流体循環が発達して熱を深部から効率的に汲み上げるというモデルを提唱し、この過程によって海溝海側に100 kmスケールの広域的な高熱流量異常が生じることを、数値計算で示した。

一方、海溝海側における熱流量の実測値は、平均値が広域的に高いことに加えて、値のばらつきも大きい。数地点で行ったやや高密度の測定結果は、2~3 kmで熱流量が大きく変化することを示唆している。このようなスケールの熱流量異常を生じる要因としては、海洋地殻上面の凹凸（透水性が高く、流体循環が起きている層の起伏）、プレートの曲がりによる正断層に沿って透水性が高まること等が考えられるが、熱流量分布を地殻構造と対比するには既存のデータは不十分であった。

このため、新青丸 KS-14-17 航海（2014年9月）において、北緯39度付近の日本海溝アウターライズで、集中的な熱流量測定を実施した。対象としたのは、マルチチャネル反射法探査が行われている東西測線（JAMSTEC SR101）上、既存の熱流量データが数kmで大きな変化を示す箇所付近である。海溝軸からの距離は60~80 kmで、ホルスト・グラーベン構造が発達し始める付近にあたる。測線に沿って数百m間隔での測定を行った結果、海溝に直交する方向の詳細な熱流量分布が約20 kmにわたって求められ、3~5 kmのスケールの顕著な変動（60~110 mW/m<sup>2</sup>）を示すことが判明した。この変動は、反射法探査記録に見られる基盤構造（基盤の凹凸や断層）とは対応しておらず、地殻のより深部の不均質構造を反映していると考えられる。このような数kmスケールの熱流量異常が、地殻内の透水層（流体循環）発達不均質によって生じる可能性については、別の発表で議論する（川田・山野）。今後、この測線に直交する方向（海溝に平行）についても測定を行い、2次元的な熱流量分布を調べることで、地殻構造との関係の解明を進めることが必要である。

キーワード: 日本海溝, 太平洋プレート, 熱流量, 海洋地殻, 沈み込み帯, 間隙流体

Keywords: Japan Trench, Pacific plate, heat flow, oceanic crust, subduction zone, pore fluid

## 部分的に厚くなる透水層内の水循環：日本海溝アウターライズの km スケールの熱流量異常を説明するモデル Fluid flow in a partially-thickening aquifer: A model for km-scale high heat flow on the outer rise of the Japan Trench

川田 佳史<sup>1\*</sup>; 山野 誠<sup>2</sup>  
KAWADA, Yoshifumi<sup>1\*</sup>; YAMANO, Makoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東大地震研究所  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo

東北日本海側の広い範囲で熱流量異常が観測されている (Yamano *et al.*, 2008, 2014)。海溝の 150 km 海側から海溝軸の範囲での熱流量の平均は約 70 mW/m<sup>2</sup> で、プレート年代 135 Ma から期待される 50 mW/m<sup>2</sup> に比べて高い。また個々の熱流量値は 50-120 mW/m<sup>2</sup> の間でばらついている。北緯 39° で行った数 100 m 間隔での密な測定によると、熱流量異常の空間スケールは 3-5 km 程度である (山野ほか, 2015 年連合大会)。このような細かいスケールの熱流量異常の原因は海底直下にあると考えられるが、一方で、反射法地震探査では当該箇所の堆積物に明瞭な構造はみられない。

熱流量異常が観測されている範囲では、プレート最上部で高い  $V_p/V_s$  をもつ層が海溝に向かって厚くなっている様子が観測されている (Fujie *et al.*, 2013a, 2013b)。プレート最上部はもともと空隙率が高く透水層として働くことが知られており、この観測は透水層が厚くなっていると解釈することができる。

我々は、観測された熱流量異常のうち、まず平均的に高い熱流量を説明するためのモデル化を行った (Kawada *et al.*, 2014)。高  $V_p/V_s$  層の観測を参考に、海溝の 150 km 海側で厚さ 500 m であった透水層が海溝軸に向かって厚さ 3000 m まで厚くなると仮定した。流体計算の結果、観測に匹敵する熱流量異常が生じることが分かった。このモデルでは、熱流量異常の原因は厚くなる透水層の下側部分の熱が透水層内の熱水循環により上向きに汲み上げられることである。

本発表では細かいスケールの熱流量異常を説明すべく、透水層が部分的に厚くなることが熱流量にどのように影響するかを数値計算で調べた。Kawada *et al.* (2014) ではプレートの移動と共に透水層が滑らかに厚くなるとしていたが、透水層が厚くなる過程は割目の進展であり、段階的に起こると考えねばならない。今回 2 種類のモデルを用いた：

- ・まず、高浸透率の透水層が水平方向 1-2 km に渡って厚くなる場合について、熱水循環を考慮した計算を行った。透水層の最終的な厚さは先行研究と同じく 3000 m としたが、今回は瞬間的に厚くなると仮定した。計算は沈み込み方向に直交した 2 次元断面で行った。

- ・次に、幅 100 m 程度の幅を持つ断層 (高浸透率の領域) が生じた場合の計算を行った。断層の深さは 3000 m で、沈み込み帯に直交する方向に置いた。断層を取り囲む領域での 3 次元の計算を行った。計算時間低減のため、熱水循環を高熱伝導率でパラメータ化した。

どちらの計算でも、計算の開始直後から断層あるいは厚くなった透水層の直上で高熱流量異常が生じる。観測と匹敵する 100 mW/m<sup>2</sup> 程度の熱流量異常は、数十万年という長期に渡って継続する。この熱は、断層あるいは厚くなった透水層の周囲の、対流にあずからない領域から流入することが分かった。つまり、熱は主に水平方向に熱伝導で運ばれ、そののち断層内の熱対流によって鉛直方向に運ばれる。この領域は断層あるいは厚くなった透水層に比べて大きいので、熱流量異常を長く保つことができるのである。

キーワード: 熱流量, 熱水循環, 日本海溝, 沈み込み帯

Keywords: heat flow, hydrothermal circulation, Japan Trench, subduction zone



## 巨大津波を発生させる弱いプレートカップリングの琉球海溝西端部 Large tsunamis along a weakly coupled interface in the western Ryukyu trench

安藤 雅孝<sup>1\*</sup>; 生田 領野<sup>2</sup>

ANDO, Masataka<sup>1\*</sup>; IKUTA, Ryoya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学防災総合センター, <sup>2</sup> 静岡大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Center for Integrated Research and Education of Natural Disasters, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Shizuoka University

琉球海溝西端部には、1771年八重山津波のような巨大津波が過去に何回か発生した。従来、この種の津波の規模、発生時期やメカニズムの研究は、「津波石」を用いて行われてきた。その結果、大津波発生間隔では異なる考えが提起された。発生場所についても、プレート間地震、プレート内地震+地すべりなどの異なるモデルが提起されている。このため、津波石に基づく研究は、津波の発生時期、津波石の移動の起点と到達点、津波の規模等の推定には曖昧さを残すため、信頼性の高い津波堆積層に基づく研究が望まれてきた。

我々は、石垣島で、完新世の堆積物の掘削を行い、津波堆積層の調査を行った。石垣島では5カ所掘削し、そのうち1カ所で連続的に津波石が堆積する地点を見つけることができた。この地点では、津波到来方向に平行に、100m以上連続的にトレンチ掘削することができた。この結果、過去2500年間に4回の巨大津波が発生したことが明らかになった(Ando et al., 2015)。これらの津波は、1771年八重山津波とほぼ同様の規模と推定された。また、津波の波高分布から、プレート境界の地震によるものと推定された。琉球海溝沿いのプレート相対速度を12cm/yrとすると(Heki and Kataoka, 2008)、seismic coupling rate (SCR, 地震によるスリップ/プレート相対運動)は、15x40%程度と推定された。ただし、SCRはプレート間カップリングの幅に依存する。

最近、琉球海溝西端部では、slow slipや超低周波地震、splay faultが見つかり、南海トラフと似た現象が生じていることが明らかになってきた。このような現象に基づき、西琉球海溝プレートは強くカップリングしているとも考えられている。そこで、我々は、GPSデータを用いて、琉球海溝沿いの地殻変動を調べた。琉球海溝では、島々はほぼ海溝に沿って線上に並ぶため、プレートのカップリング状態をGPSデータから調べるのは難しい。この中で、西表島と波照間島は、琉球海溝の走向に垂直に40kmほど離れて並ぶ。そこで、両島の基線長を調べると、定常的な変動を示すことが分かった。2001年以前、および2002年後半以降の約15年間は、1mm/yの割合で安定した伸びを示す。strain rateは $+2.5 \times 10^{-8}$ である。2001年1月および2000年3月にMw6.8と7.1の地震が発生し、若干の乱れが生じているので、この間は除外した。

南海トラフや日本海溝沿岸では、通常、海溝の走向と直交方向に圧縮されるが、琉球海溝は明らかにこれらとは異なる。海溝軸から両島までの距離は、85-125kmに過ぎないことを考えれば、南海トラフや日本海溝沿いに比べ、strain rateの絶対値は1桁以上小さい。琉球海溝西端部では、津波を起こす程度はプレート間カップリング存在しつつも、その強度は極めて小さい。琉球海溝は後退(retreat)しながら、海陸プレート間カップリングを保っている。このため、500年に1回程度の割合で、巨大津波地震を引き起こすと考えられる。上記のカップリング状態を説明するには、固着域の幅は30km程度と狭いものと推定される。

キーワード: 巨大地震, 琉球海溝, プレート間カップリング, 1771年八重山津波, 津波堆積層, GPS速度

Keywords: large earthquakes, Ryukyu trench, Interplate coupling, 1771 Yaeyama tsunami, tsunami deposits, GPS velocity



## 西南日本外帯を中心とした海陸一体の数値地形解析 Digital terrain analysis of sea-land combined data on the Outer Zone of Southwest Japan

岩橋 純子<sup>1\*</sup>; 松田 雄騎<sup>2</sup>; 福岡 浩<sup>3</sup>  
IWAHASHI, Junko<sup>1\*</sup>; MATSUSHI, Yuki<sup>2</sup>; FUKUOKA, Hiroshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> 新潟大学

<sup>1</sup> GSI of Japan, <sup>2</sup> Kyoto University, <sup>3</sup> Niigata University

地形研究は、従来、陸上での研究が圧倒的に多く、また、通常、陸上と海底を分けて別個に分析が行われている。筆者らも陸上の地形研究を行ってきた。しかし日本列島に於いては、海溝での沈み込みに伴う陸地の隆起が山地形成の主因となっており、本研究が対象とする西南日本外帯も、一連のプレート境界上の構造である。

近年、陸域のDEMはもとより、一般の研究者が利用できる海底地形データの解像度も向上しており、数は少ないが地下構造のデータも公表されるようになってきた。そこで、陸域と一連での視覚化・解析を試みるべきであると考えた。

本研究では、西南日本の国土地理院・海上保安庁の地形データを接合して、メッシュサイズ 500m 程度の海陸一体の標高データを作成し、陸域から陸棚・トラフまでの落水線や縦断面図、標高データを用いた自動地形分類図の作成を行った。さらに各機関からウェブ公開されている地震波トモグラフィ（Matsubara and Obara, 2011）・震度分布・プレート境界等の位置データと合わせて 3D 表示し、日本列島下の速度構造の不均一・地下深部から大阪湾周辺に延びる高温部等を分かりやすく図示できた。

大陸棚までの地形は、定量的にも、陸地の平野部の地形と似ているが、陸棚斜面より深い海底には、陸地の急峻な山地に見られるような谷密度の大きい急斜面はほとんどない。代わって、陸域でも富士山等の第四紀火山に見られる、長大な急斜面が広範囲に分布している。また、長大な急斜面でも特に急傾斜のものは、火山の頂部を除くと、陸域では活断層の周辺、海域では付加体形成部の内側海溝斜面や外縁隆起帯に分布している事がわかった。

なお本研究は、京都大学防災研究所共同研究「海陸一体の地形分類に基づく大規模地すべり地形の抽出 ～南海トラフを含む西南日本外帯を対象として～」(平成 26 年度; 研究代表者: 岩橋純子) による。海底地形については、海上保安庁海洋情報部から、津波シミュレーション用海底地形メッシュデータ(西日本)のご提供を受けて研究を行った。

### 引用文献

Matsubara, M. and Obara, K. (2011): The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, 663-667, 2011.

キーワード: 基盤地図情報, 海底地形, DEM, 数値地形解析

Keywords: Fundamental Geospatial Data, seafloor topography, DEM, digital terrain analysis

## 熊野灘下に沈み込むフィリピン海プレート下の地震波速度構造 Seismic velocity structure beneath the Philippine Sea plate descending under the Kumano basin

神谷 真一郎<sup>1\*</sup>; 鈴木 健介<sup>1</sup>; 高橋 成実<sup>1</sup>

KAMIYA, Shin'ichiro<sup>1\*</sup>; SUZUKI, Kensuke<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

In order to monitor seismic activity in the Kumano basin, the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) developed the Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunami (DONET) above the Tonankai earthquake source region off the Kii Peninsula (Kaneda et al., 2009, Kawaguchi et al., 2010). DONET ocean-bottom seismic and water-pressure observation stations are connected with an optical fiber cable, and data from the sensors are transferred in real time to our laboratory at JAMSTEC. The seismic and water-pressure observations made by the DONET stations immediately above the source region of megathrust earthquakes improve our ability to detect earthquakes and tsunamis.

Kamiya et al.(2012) selected seismic events occurred in and around the Kumano basin and the Kii peninsula in the period from January 2011 to June 2012 and estimated seismic P and S velocity structures in this region using arrival time data picked from the seismic waveform recorded by the DONET system and the JMA catalog. Owing to adopting DONET data, the resolution of seismic tomography was improved beneath the Kumano basin off the Kii peninsula and the low velocity region beneath the Kumano basin above the descending Philippine Sea plate and the upper boundary of the plate beneath the DONET network were depicted clearly.

In the present study, we adopt data in the period from January 2011 to December 2014. We pick arrival times from the events occurred not only in this region but also outside of this region. We use these data and estimate seismic P and S velocity structures by the use of seismic tomography technique. For the model space, we take the latitude range of 30N-37.5N, the longitude range of 129E-141E. We use a grid interval of 0.2 degree x 0.2 degree. The new data improve the resolution of seismic tomography, in particular, the data from the events occurred outside of this region make it better in and below the lower boundary of the descending Philippine Sea plate. We are able to estimate the thickness of the descending plate and the seismic velocity structure beneath the plate in this region.

## 南海トラフ・トラフ軸に着目した高分解能反射法地震探査から見てきた変形構造 Deformation structure obtained by high resolution multi-channel seismic reflection survey around Nankai Trough axis

山下 幹也<sup>1\*</sup>; 仲西 理子<sup>1</sup>; 中村 恭之<sup>1</sup>; 井和丸 光<sup>1</sup>; 三浦 誠一<sup>1</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>; 金田 義行<sup>1</sup>

YAMASHITA, Mikiya<sup>1\*</sup>; NAKANISHI, Ayako<sup>1</sup>; NAKAMURA, Yasuyuki<sup>1</sup>; IWAMARU, Hikaru<sup>1</sup>; MIURA, Seiichi<sup>1</sup>;

KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>JAMSTEC

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、プレート間の固着がないと考えられてきた海溝軸付近まで深部での破壊が伝播したことが明らかになり、巨大津波発生の要因である可能性が指摘された(Kodaira et al., 2012)。また紀伊半島沖においても、掘削研究の成果として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ており(Sakaguchi et al., 2011)、巨大地震・津波に伴うイベント堆積物(タービダイト)の採取に関連してその分布状況の把握が求められている。そのため南海トラフのトラフ軸周辺における巨大津波を発生させるような地震タービダイトの分布を明らかにすることが重要である。また想定される津波の最大波高を予測するためには想定震源域の海側上限の検証が不可欠である。

海洋研究開発機構ではこれまで数多くの反射法地震探査を南海トラフ周辺で実施してきた(例えば Park et al., 2002)が、測線の間隔が密な場合でも数10kmと開いているため、トラフ軸周辺の変形構造について連続性を知ることは困難であった。その上、従来のシステムでは分解能が低く、本研究で必要な堆積層中の微細な構造イメージングには適していなかった。そこで日本海溝でも実績がある(Nakamura et al., 2013)可搬式システムを用いて稠密に測線を設定することにより、南海トラフ軸周辺における地震タービダイトの分布を明らかにしていく。なお本研究は文部科学省の受託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」として実施された。

2013年度は8月23日から9月2日、2014年度は5月28日から6月10日にかけて、高知沖～紀伊半島沖の範囲で海洋調査船「かいよう」による可搬式反射法地震探査システム(380cu.in. エアガン, 192ch ストリーマー)を用いた高分解能反射法地震探査を実施した。次年度以降も調査は継続するが、現在まで計23測線、総延長約1500kmのデータ取得を行った。

得られた断面からは付加体の変形、トラフ軸の堆積物、沈み込む四国海盆の堆積層が明瞭に得られた。特に沈み込む四国海盆堆積層の変形構造が測線によって大きく異なる様子が見られ、東西方向の不均質性が明らかになった。各測線では前縁断層が明瞭にイメージングされ、その海側には将来的に前縁断層に発達すると考えられるプロトスラスト帯が分布することが明らかになった。また2か年のデータから四国海盆上面と四国海盆の海洋地殻の反射面をマッピングしたところ、四国海盆上面は平坦なのに対して海洋地殻上面は形成年代に起因すると思われる凹凸が多く、その構造が付加体やその周辺の変形に大きく影響を与えており、想定震源域南限の評価に向けて重要な知見が得られた。今後は土佐ばえで取得されたピストンコアなどとの比較も行いつつ広域的な検証を行っていく予定である。

キーワード: 反射法地震探査, 南海トラフ, プロトスラスト

Keywords: MCS survey, Nankai Trough, proto thrust

## 海洋 CSEM 探査への仮想波動領域の適用とメタンハイドレート検出感度の向上 Improvement of gas hydrate response in marine controlled-source electromagnetic exploration using fictitious wave domain

楠田 溪<sup>1\*</sup>; 後藤 忠徳<sup>1</sup>; 武川 順一<sup>1</sup>

KUSUDA, Kei<sup>1\*</sup>; GOTO, Tada-nori<sup>1</sup>; TAKEKAWA, Junichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University

メタンハイドレート (MH) の物理探査には、主に反射法地震探査が用いられている。しかし、反射法地震探査では、MH 層とフリーガス層の境界に明瞭な反射面を検出できるものの、その層厚や飽和率の特定が困難な場合がある。そこで MH 層が周囲の堆積層よりも高比抵抗である性質を利用し、本研究では人工電流源海洋電磁 (CSEM) 探査に着目した。

近年、仮想波動領域を用いることで、CSEM 探査を時間領域で高速にフォワード計算する手法が考案された (Mittet, 2010)。従来の研究では、仮想波動領域を計算の高速化の手段として利用していた。一方、本研究では、仮想波動領域における電磁場の伝播に着目し、実領域における受信波形を仮想波動領域へ変換することで、MH 層の応答の向上が可能ではないかとの仮説を立て、それを数値実験により検証した。

まず比抵抗異方性を有する MH 層が海底下に埋没している比抵抗構造を仮定し、有限差分法によりインライン配置における CSEM 探査の順計算を行った。その後、実領域で得られた受信波形を、特異値分解を用いて仮想波動領域に変換した。特異点閾値は計算の安定性と精度に関係するため、ノイズフロアを考慮し適切なものを設定した。仮想波動領域において海水中と海底下を伝播する電磁波には見掛け上大きな速度差が生まれるため、変換によってこれらの電磁場は分離され、その結果 MH 層の応答は、実領域にものと比べ約 2 倍向上した。

キーワード: 人工電流源電磁探査, 仮想波動領域, メタンハイドレート, 異方性

Keywords: marine CSEM exploration, fictitious wave domain, gas hydrate, anisotropy



## シート状とドーム状地形の海底泥火山 Pie-shaped and dome-shaped submarine mud volcanoes

喜岡 新<sup>1\*</sup>; 芦 寿一郎<sup>1</sup>  
KIOKA, Arata<sup>1\*</sup>; ASHI, Juichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大・大気海洋研

<sup>1</sup>Dept. Ocean Floor Geosci., Atmos. Ocean Res. Inst., UTokyo, Japan

泥火山は、地下深部の異常な圧力上昇がトリガーとなって、深部起源の含礫泥が地上・海底まで運ばれて噴出・形成される。そのため泥火山は、深部掘削することなく地下深部の情報を得ることができる有用な地質現象である。本研究では、現在確認されている海底泥火山のカタログを作成し、特に山体地形に着目し、海底泥火山が海底下の物質循環や流体移動にどの程度貢献しているのかを評価することを目指す。海底泥火山の山体地形は火山と同様に多種多様である。粉末流体の知見を用いると、現在確認されている海底泥火山の大部分が複成的であることが推測された。また、ドーム状の地形をした泥火山に比べて、シート状の泥火山の方が各イベントでの噴出量が圧倒的に多いことが示唆された。よって、シート状の泥火山が多い沈み込み縁辺では、海底泥火山の噴出イベントによって効率よく深部ー海底間での物質循環が行われていることが推定される。

キーワード: 海底泥火山, カタログ, 粉体, アスペクト比, 沈み込み帯, 物質循環

Keywords: Submarine mud volcanoes, catalog, granular flows, aspect ratio, subduction zones, material cycling

## ホウ素同位体比を指標に用いた南海トラフ熊野沖付加体斜面表層堆積物中におけるホウ素の挙動の解明 Distribution of boron in slope sediment of Nankai accretionary prism off Kumano using B isotope as a tracer

土岐 知弘<sup>1\*</sup>; 比嘉 恒太<sup>1</sup>; 新城 竜一<sup>1</sup>  
TOKI, Tomohiro<sup>1\*</sup>; HIGA, Kota<sup>1</sup>; SHINJO, Ryuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学

<sup>1</sup>University of the Ryukyus

### <序論>

海洋の物質循環において、ホウ素は海水から粘土鉱物に取り込まれ、海底堆積物はホウ素の除去源として働いている (Spivack et al., 1987)。しかし、詳しい反応過程については、いまだに十分明らかにされていない。同位体分別係数は反応過程ごとに固有の値を持つことから、同位体分別係数を調べることによって現場で起きている反応過程を推定することができる。しかし、これまでに報告されている室内実験による同位体分別係数は (Palmer et al., 1987)、特に低温の天然環境での反応過程を説明できていないと言いがたい。本研究では、表層堆積物中のホウ素の同位体分別係数を調べ、ホウ素の挙動を明らかにした。

### <試料採取と測定方法>

統合国際深海掘削計画の第338次研究航海において採取した南海トラフ熊野沖付加体の表層堆積物を用いて、堆積物中の間隙水を抽出した。間隙水中のホウ素濃度は、船上において誘導結合プラズマ原子発光分析を用いて測定した (Strasser et al., 2014)。精度は±2.5%以内である。ホウ素同位体比は、間隙水からホウ素を単離して、マルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置を用いて測定した (Wang et al., 2010)。ホウ素同位体比の測定結果は、標準試料 NBS SRM 951 からの千分率偏差である  $\delta^{11}\text{B}$  として規格化した。精度は±0.7‰以内である。

### <結果と考察>

間隙水中のホウ素濃度は、表層において海水よりも高い値を示し、深くなるにつれて減少した。表層の  $\delta^{11}\text{B}$  値は海水よりも低く、深くなるにつれて高くなった。各層における固相と液相の同位体分別係数  $\alpha$  は 0.950~0.970 であることが示された。室内実験による報告値 (0.975~0.980; Palmer et al., 1987) よりも低く、室内実験では天然環境における現場の間隙率、圧力、鉱物の組成及び液相のイオン強度など十分に再現できていないファクターがあると考えられる。

同位体分別係数と現場の温度、pH、斜長石の含有率及び全有機炭素量との相関を調べた。このうち、pH についてはゆるやかな負の相関が見られ、世界中の表層堆積物についても調べたところ (You et al., 1993; Kopf et al., 2000; Teichert et al., 2005)、同様の相関があることが明らかとなった。このことは、pHが高くなると  $^{10}\text{B}$  に富む  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  が優勢となり、負に帯電した状態で固相に取り込まれていることを示していると考えられる。

### <結論>

南海トラフの付加体斜面における表層堆積物中のホウ素の同位体分別係数は、pHによってゆるやかにコントロールされており、室内実験では再現できていない反応過程が示されていると考えられる。

キーワード: 南海トラフ, 付加体斜面, 表層堆積物, ホウ素同位体比

Keywords: Nankai Trough, Accretionary prism, slope sediment, Boron isotope

## 海底環境放射線・長期変動測定のための NaI $\gamma$ 線計測装置の開発と最初の測定 Development of a stand-alone gamma-ray measuring system for long-term change at the sea floor, and first measurement

蜷川 清隆<sup>1\*</sup>; 豊田 新<sup>1</sup>; 藤原 泰誠<sup>1</sup>; 中川 益生<sup>1</sup>; 山本 勲<sup>1</sup>; 熊谷 英憲<sup>2</sup>; 木下 正高<sup>2</sup>; 久保 信<sup>3</sup>;  
芦 寿一郎<sup>4</sup>

NINAGAWA, Kiyotaka<sup>1\*</sup>; TOYODA, Shin<sup>1</sup>; FUJIWARA, Taisei<sup>1</sup>; NAKAGAWA, Masuo<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Isao<sup>1</sup>;  
KUMAGAI, Hidenori<sup>2</sup>; KINOSHITA, Masataka<sup>2</sup>; KUBO, Shin<sup>3</sup>; ASHI, Juichiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> クリアパルス株式会社, <sup>4</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup>Okayama University of Science, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>CLEAR-PULSE, <sup>4</sup>Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo

日本列島においては数十年以内に東海・東南海・南海における巨大地震が予想されており、人命及び社会的基盤の被害軽減のためにも、海溝型地震の機構と地震発生帯において起きている物理的・化学的プロセスを理解することは極めて重要な科学的課題である。1995年の兵庫県南部地震において、地震の前に空気中及び地下水中ラドン濃度が増加したという観測結果を踏まえ、この研究では、予想される東南海地震の震源域である熊野灘沖海底において、ガンマ線計測によって連続的に水中の放射線濃度の測定を行い、微小地震との相関を調べて、地殻の変動に対する地殻内の流体の応答についての基礎的な研究に資することを目的としている。

これまでの海底の環境放射線測定は、海洋調査船の遠隔操作無人探査機「ハイパードルフィン」や有人潜水調査船「しんかい6500」と NaI  $\gamma$  線計測装置をケーブルでつないで（ケーブル式 NaI）、探査機や潜水調査船の潜航とともに目的の場所に赴き、到着点での放射線を測定することによって、放射線線量の測定、及び空間の分布を測定することで主におこなわれてきた。しかしこのシステムでは、一定の場所での時間変動測定はおこなうことはできなかった。その後自己記録式  $\gamma$  線計測システム（GRAMS [Gamma Ray Monitoring System]）が開発され、一定の場所で海底  $\gamma$  線計測がおこなわれたが、12日間の短い期間の測定に終わっている。今回新たに、「1. 消費電力を抑えるために間欠運転モードを備えている。2. 電源電圧が一定電圧（例えば6V）以下に低下した場合は自動的に測定を停止し、電源を切斷する。このため、電池の液漏れ、ガス発生を抑えることができ、電池用耐圧容器の内圧を高める危険性を防げる。3. ケーブル式 NaI は12V 170mA (2W) であるのに対して、今回開発した深海用低電力消費型  $\gamma$  線記録装置（独立式 NaI）は6V 110mA (0.66W) であるので、計測時の消費電力も1/3に減っている。」の特色と持った仕様の海底設置型電池搭載長期 NaI  $\gamma$  線計測装置（独立式 NaI）を開発・製作し、一定の場所での海底環境放射線の長期時間変動計測を可能にした。開発した独立式 NaI  $\gamma$  線計測システムの電力は単3アルカリ電池180本で供給しているので、経費的にも安くすんでいる。

初めての測定として、4月24日から8月3日の約3.5ヶ月間、熊野沖南海トラフの冷湧水域においておこなった。途中原因不明の NaI の感度変化が起こったが、測定結果は換算 U 含有量  $0.19 \pm 0.07$  ppm, Th  $0.07 \pm 0.07$  ppm, K  $0.05 \pm 0.01$  wt.% でのほぼ一定の値を示し、大きな変動は見られなかった。しかし、フーリエ解析したところ微弱ながら潮汐と思われる25時間のピークがでてきた。

キーワード: 放射線, 海底, 長期変動, NaI,  $\gamma$  線計測装置

Keywords: radiation, sea floor, long-term temporal change, NaI, gamma-ray

## コスタリカ西方沖の現世底生有孔虫分布と海底環境変動の解明への応用 The changes of past sea-bottom environment deduced from the recent benthic foraminifera Southern off Costa Rica

内村 仁美<sup>1\*</sup>; 長谷川 四郎<sup>2</sup>; 西 弘嗣<sup>2</sup>  
UCHIMURA, Hitomi<sup>1\*</sup>; HASEGAWA, Shiro<sup>2</sup>; NISHI, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館

<sup>1</sup>Department of Earth Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Tohoku University Museum

コスタリカ西方沖には削剥型沈み込み帯である中米海溝が位置し、活発な地殻変動があるという点で地質学的に非常に興味深い地域である。そのため、IODPの研究の一環としてCRISP (Costa Rica Seismogenesis Project) が立ち上がり、削剥型沈み込み帯の直接的・包括的な調査が行われている。また東赤道太平洋地域であるコスタリカ西方沖では表層水として赤道流が流れ込んでいるだけでなく、コスタリカプールと呼ばれる栄養分の豊富な湧昇流が発達している。これらの事実からコスタリカ西方沖は生物生産の場としても非常に特殊な海域であると言える。

底生有孔虫はカンブリア紀から現在に至るまで世界的に海底で繁栄してきた原生生物であり、炭酸カルシウムの殻が化石として豊富に海成堆積物中に保存されることから海底環境変化を捉える指標として用いられてきた。底生有孔虫の化石データから海底の環境変化を導き出すためには、とりもなおさず現世の底生有孔虫の分布データを整備し、それらと化石データを比較する必要がある。しかしながらコスタリカ西方沖では現世底生有孔虫データが非常に少ないという問題があった。

そこでドイツの海洋研究所である GEOMAR が保管する水深 54m から 5412m のピストンコアトップサンプル（表層から 0 から 2cm）を採取した。本研究ではこれらのサンプルから 125  $\mu$ m メッシュ以上の大きさの成体個体の底生有孔虫を拾い出し、同定、カウントをして各種有孔虫指標を求め、現世底生有孔虫群集を求め、現在の水塊構造や地形とどのような関係性があるのか探った。また、コスタリカとは起源の違う表層水を持つニカラグア沖で現世底生有孔虫分布を調べた Smith (1963, 1964) と比較し、地域的な差があるか調査した。

その結果、深度毎に 6 つの群集変化を見ることができた。浅部から I ~ VI と分けると、深度毎に以下の特徴が見られた。

群集 I : 深度 100m 以浅。Uvigerina incilis の多産に特徴づけられ、膠着質も付随した。

群集 II : 深度約 100m から 500m。U. incilis とともに U. excellens が多産する。また Blizalina bicostata も続いて多く産出し、C. inflatus も産出する。磁器質底生有孔虫が付随し、膠着質底生有孔虫は脆弱なタイプのものが付随する。

群集 III : 深度約 500m から 1200m。Uvigerina 属の中では U. peregrina が多産する。付随種は C. oolona や G. affinis といった内生種、P. ornata や G. subglobosa などがあり、多様性が高い。

群集 IV : 深度約 1200m から 1500m。Bulimina sp. や C. oolina, G. affinis といった内生種が多く産出する他、Uvigerina 属の中では U. auberiana が産出する。

群集 V : 深度約 1500m から 2000m。P. complanata や Blizalina 属、Cibicidoides 属が多く産出する。

群集 VI : 深度約 3000~4000m。有孔虫の産出は稀となり、放散虫を主とした構成になるが、わずかに産出する底生有孔虫は Pullenia bulloides や Nonion sp. といったいわゆる深海性の底生有孔虫の他、膠着質有孔虫が産出する。

この結果、Smith (1963, 1964) のデータと比べると、大まかな群集組成は一緒であるものの、B. bicostata の多産域がニカラグア西方沖では 100m 以浅であるのに対し、コスタリカ西方沖では 100m 以深であることや、Uvigerina peregrina, Uvigerina auberiana の多産域がニカラグア西方沖よりも下部にあることがわかった。また、IODP Exp.344 で見られた Site U1413 の化石群集と比較すると、曖昧であった深度毎の古水深変化がより明瞭なものとなり、コア深度から予想される群集よりも少なくとも 100m は浅い群集 II の厚い層を間に挟むことがわかった。また、浅い群集 II の層準の上位に現在の水深と妥当である群集を含む層準へと徐々に移り変わっていく過程が群集変化から読み取れることから、全体の構造として浸食されていることが間接的に読み取れた。このように、表層堆積物中の現世底生有孔虫群集の分布は化石群集を理解する上で強力な手がかりとなる。

キーワード: 現世底生有孔虫, 古水深, 削剥型沈み込み帯, コスタリカ西方沖

Keywords: the recent benthic foraminifera, Paleobathymetry, the erosional subduction zone, southern off Costa Rica



## 海上保安庁における海底地殻変動観測の成果 GPS-Acoustic seafloor geodetic observation by Japan Coast Guard - results and future plan -

石川 直史<sup>1\*</sup>; 渡邊 俊一<sup>1</sup>; 横田 裕輔<sup>1</sup>  
ISHIKAWA, Tadashi<sup>1\*</sup>; WATANABE, Shun-ichi<sup>1</sup>; YOKOTA, Yusuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>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海底基準点の展開を行っている。主に日本海溝及び南海トラフ沿いの陸側に海底基準点を設置し、測量船による繰り返し観測を行っている。これまでの観測から、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。

本講演では、最新の結果を含む観測の現状及び今後の計画について発表する。

### ●日本海溝における観測結果

日本海溝沿いでは、東北地方太平洋沖地震の発生以後も、その余効変動を把握するため、定期的に観測を実施しており、2015年1月までに、各海底基準点で10-18回の観測を実施した。

これらの観測の結果、銚子沖及び福島沖の海底基準点では、陸域のGPS観測と類似するような時間とともに減衰する東南東向きの変動が捉えられた。

一方、震源域近傍の海底基準点では、ほぼ一定速度で西北西方向に移動するという余効すべりに伴う変動とは全く異なる結果が得られた。

### ●南海トラフにおける観測結果

南海トラフでは、2000年代初頭に、御前崎から室戸岬にかけての沖合海域に6点の海底基準点を設置し、測量船による繰り返し観測を行ってきた。東北地方太平洋沖地震前の観測から、各海底基準点が西北西方向に2~5cm/年の速度で移動しているという結果が得られ、場所による速度の違いが捉えられていた。

同地震後には、南海トラフ巨大地震の想定震源域全域をカバーするため、四国沖を中心に海底基準点を9点増設した。地震後の地殻変動の検出を目指して、既存の基準点を含めた全15点で定期的に観測を実施しており、2015年1月までに、各海底基準点で6-9回の観測を実施した。多くの海底基準点でフィリピン海プレートの沈み込みによると考えられる北西向きの地殻変動が捉えられはじめている。また、場所による移動速度の違いも見えてきている。

謝辞：GPS陸上基準点の一部として、国土地理院提供の電子基準点1秒データを使用しています。

キーワード: GPS-音響測距結合方式, 海底地殻変動観測, 日本海溝, 南海トラフ

Keywords: GPS-Acoustic combination technique, seafloor geodetic observation, Japan Trench, Nankai Trough

## 海底地殻変動観測によって捉えた2011年東北沖地震の余効変動 Postseismic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake measured by seafloor geodetic observation

富田 史章<sup>1\*</sup>; 木戸 元之<sup>2</sup>; 長田 幸仁<sup>1</sup>; 日野 亮太<sup>2</sup>; 太田 雄策<sup>1</sup>; 飯沼 卓史<sup>2</sup>; 東 龍介<sup>1</sup>; 和田 育子<sup>2</sup>; 三浦 哲<sup>1</sup>  
TOMITA, Fumiaki<sup>1\*</sup>; KIDO, Motoyuki<sup>2</sup>; OSADA, Yukihito<sup>1</sup>; HINO, Ryota<sup>2</sup>; OHTA, Yusaku<sup>1</sup>; IINUMA, Takeshi<sup>2</sup>; AZUMA, Ryosuke<sup>1</sup>; WADA, Ikuko<sup>2</sup>; MIURA, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

GPS 音響結合方式による海底地殻変動観測 (GPS/A 観測) は、陸上の測地観測では捉えられない海底の変動を直接計測できる測位技術である。Watanabe *et al.* (2014, GRL) は、2011 年東北地方太平洋沖地震 (東北沖地震) 後の震源域直上の海底地殻変動観測点が、海側への変位を示した陸上の測地観測点とは異なり、顕著な陸向きの挙動を示したことから、粘弾性緩和の寄与が存在することを指摘した。更に、Sun *et al.* (2014, Nature) は、本震後の海陸両方の測地データから粘弾性緩和のモデル計算を行い、本震時の断層すべりの大きい領域では、粘弾性緩和の寄与が支配的であることを示した。しかし、これらの研究で使用された海底地殻変動データは宮城県沖に集中しており、また、地震時のすべりが特に大きかったプレート境界浅部には存在していないため、南北に広い断層すべりを起こした東北沖地震の余効変動メカニズムを記述するに十分であるとは言えない。そこで、東北大学では、青森県沖から茨城県沖にかけての日本海溝沿いに設置された 23 点の GPS/A 観測点を用いた広域の余効変動観測に取り組んでいる。使用した観測点のうち 20 点は、東北沖地震に伴う余効変動を観測するために、2012 年 9 月に新しく設置された観測点である。

本稿執筆時点で、我々は上記の観測点において、2012 年 9 月から 2014 年 9 月までの約 2 年間に、合計 6 回のキャンペーン観測 (2012/9-10, 2012/11, 2013/7-8, 2013/10-11, 2014/2-3, 2014/9) を実施しており、各観測点での観測回数は平均して 3 回程度である。解析では、Kido *et al.* (2006, EPS) に基づく手法を採用し、航海毎の海底局アレイの位置を推定した。更に、各航海のアレイ位置の時系列の線形回帰により、各観測点での東北沖地震後の変位速度を推定した。

求められた地震後の変位速度は、概ね 5-10 cm/yr 程度の誤差があり、個々の変位速度を取り上げて余効変動を議論することは困難であった。しかし、隣接する観測点は、似たような変動の傾向を示し、東北沖地震の地震時すべりの大きかった領域では、先行研究と同様に顕著な陸向きの変動、その南側と北側の領域では、それぞれ南向きと北向きの小さな変動が見られた。観測から得られたこのような大局的な変動パターンは、Sun *et al.* (2014) の粘弾性緩和モデルの計算結果と整合的であった。そのため、本観測期間での余効変動プロセスとして、粘弾性緩和の寄与が支配的であると考えられる。

今後、2015 年 2-3 月に新たな集中観測を予定しており、これによる使用するデータ期間の増大により、個々の観測点での地震後変位速度の推定精度が向上すると見込まれる。本発表では、この 2015 年 2-3 月の観測航海で得られる予定であるデータも含めた解析結果を示し、東北沖地震に伴う余効変動についてより詳細な議論を行う。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 余効変動, GPS/A 観測, 海底測地

Keywords: Tohoku-oki Earthquake, postseismic deformation, GPS/Acoustic observation, seafloor geodesy

## GPS-A 観測で得られたフィリピン海プレート最北部の海底の動き Seafloor movements on the northern part of the Philippine Sea plate detected by GPS-acoustic observation

渡邊 俊一<sup>1\*</sup>; 石川 直史<sup>1</sup>; 横田 裕輔<sup>1</sup>  
WATANABE, Shun-ichi<sup>1\*</sup>; ISHIKAWA, Tadashi<sup>1</sup>; YOKOTA, Yusuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup> Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

フィリピン海プレートは、その北縁部の相模トラフにおいて、北アメリカプレートの下に沈み込んでいる。このプレート境界では、1923年の大正関東地震(M7.9)や1703年の元禄関東地震(M7.9-8.2)といった被害地震が繰り返し発生している。また、その西側、相模湾の西縁には伊豆マクロプレート(IM)とフィリピン海プレートとの境界があると考えられている(e.g. Sagiya, 1999)。さらに、太平洋プレートがフィリピン海プレートの下に沈み込む伊豆-小笠原海溝の背弧では、リフティングの存在が示唆されている(Taylor et al., 1991)。このような複雑な地質背景を持つフィリピン海プレート及びその周辺のプレートの動きを、Nishimura (2011) は2007年から2009年までに得られた測地学データを基に、複数のブロック運動とブロック境界におけるすべり遅れによって定量的に表現した。しかしながら、フィリピン海プレートには陸地が少なく、特にプレートやブロックの境界付近において、測地学的な観測は少ない。そこで、海上保安庁では、フィリピン海プレートの最北部、相模湾から房総半島沖にかけての海域における海底の動きを直接測定することを目的として、測量船を用いたGPS-音響測距結合方式(GPS-A)による海底地殻変動観測を繰り返し実施してきた。

フィリピン海プレート上に設置したGPS-A観測点は、房総半島野島崎の南方沖約50kmの地点に設置した「房総沖1」観測点と、相模湾内に設置した「相模湾」観測点である。Nishimura (2011) が用いたブロックモデルによると、「房総沖1」は相模トラフ近傍のフィリピン海プレート側、伊豆前弧ブロック(IA)上に設置されており、相模トラフにおいて沈み込むIAの速度を検出するのに適している。一方の「相模湾」は、IM-IA境界近傍のIA上に位置している。この観測点近傍の断層では、伊豆半島東方沖地震(M6.7, 1980年)といった地震が発生している。そのため「相模湾」で得られる変位は、それらの断層のカップリングによる影響を受けると考えられる。

「房総沖1」及び「相模湾」はいずれもIA上に位置しているため、剛体的にふるまうIAに対する変位を求めた。まず、「房総沖1」における2011年東北沖地震(M9.0)以前の結果(2007.09-2010.10)からは、有意な変位が見られなかった。このことは、「房総沖1」付近の海域の動きが、Nishimura (2011) で求められたIAのブロック運動と整合的であることを示している。「房総沖1」における地震後の結果(2011.04-2013.11)についても有意な変位は見られなかったが、地震前と地震後の時系列とを比較すると、東方向に4-5cmの変位が検出された。これは、東北沖地震時のコサイスマック変位を捉えたものと考えられる。次に、「相模湾」における東北沖地震前の結果(2003.01-2011.03)からは、「相模湾」が南南東方向に1-2cm/yの速度で動いていることが示された。また、東北沖地震時には、約10cmの東方向の変位が検出された。地震後の観測(2011.05-2014.06)からは、変位速度の東方向の成分が大きくなっていたが、これは東北沖地震の余効変動による影響と考えられる。

ここで、Nishimura (2011) のモデルに立ち返ると、IM-IA境界では、IMがIAに対して南方向に動いており、その境界断層はカップリングしているという結果が得られている。このモデルから推定される「相模湾」での変位は、本研究で得られた東北沖地震前の「相模湾」の変位と整合的であった。「房総沖1」の観測結果もこのモデルと整合的であり、我々が今回示した海底測地観測結果は、Nishimura (2011) のモデルが海底観測点近傍においても有効であることを示している。

本発表では、「房総沖1」及び「相模湾」だけでなく、その他近隣の海底観測点の成果についても報告し、得られた結果について議論する。

キーワード: GPS-音響測距海底地殻変動観測, フィリピン海プレート, 相模トラフ, ブロック運動

Keywords: GPS-acoustic seafloor geodetic observation, Philippine Sea plate, Sagami Trough, Block motion

## 数値シミュレーションによる海底地殻変動観測の精度評価 Numerical simulation of GPS-Acoustic seafloor geodetic observation for accuracy evaluation

横田 裕輔<sup>1\*</sup>; 石川 直史<sup>1</sup>; 渡邊 俊一<sup>1</sup>  
YOKOTA, Yusuke<sup>1\*</sup>; ISHIKAWA, Tadashi<sup>1</sup>; WATANABE, Shun-ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁海洋情報部

<sup>1</sup>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を行っている。本観測は、「GPS 測位」によって船底に装備された音響発信機（船上局）の絶対的な位置を決定し、「音響測距」によって船上局に対する海底局の相対位置を決定することで、海底の絶対位置を求めている。現在、良好な環境条件化で2~3cm（1 $\sigma$ ）程度の位置決定精度である。これまで、4~5年の繰り返し観測で得られた海底局位置の時系列を線形回帰することで、その地点における地殻の変動速度を求めてきた。

しかし、東北沖地震の余効変動や南海トラフ沿いでのスロースリップが生じる現在の日本近海においては、より短期間のデータから高精度に変動速度を決定する必要がある。また千島海溝や南西諸島海溝への観測範囲の拡大も課題である。このような状況に対応するため、多角的な観測・解析手法の改善に向けた海底地殻変動観測システム全体の定量的な精度評価が必要となっている。

これまで、海上保安庁では実際の観測データを用いた経験的手法によって精度が検討されてきた [例：Sato et al., 2013]。しかし、最終的な測位結果には多様な誤差要因の影響が含まれているため、経験的手法では、個別の誤差要因の影響を定量的に議論することは難しい。このことは、観測手法の改良や、精度向上のための誤差軽減手法の開発に対して障害となっている。また、他機関による過去の数値シミュレーションによる精度評価事例 [例：Yamada et al., 2002] とは、観測手法が異なっているため単純な比較は難しい。

本発表では、現在の海底地殻変動観測を数値シミュレーションによって再現し、観測・解析過程における誤差要因を評価した。まず、GPS 依存誤差と水中音速構造の傾斜による誤差を導入し、これらの影響を調査した。GPS 依存誤差は、水中音速誤差と比較すると影響は少ないと評価された。また、水中音速構造の傾斜の影響は海底局位置関係の歪みとして現れるため、ある程度、見積もることが可能であることがわかった。今後、データ数の増減、観測のための測線配置、水中音速構造の時間変化などの影響も評価し、実際の観測データとの整合性も議論する予定である。

キーワード: 海底地殻変動観測, GPS-音響測距結合方式, 数値シミュレーション

Keywords: seafloor geodetic observation, GPS-Acoustic combination technique, numerical simulation



## 複数ブイを用いた海底地殻変動観測手法の開発 Development of a new method for GPS/Acoustic seafloor positioning using multi-buoy system

生田 領野<sup>1\*</sup>; 向山 遼<sup>1</sup>; 田所 敬一<sup>2</sup>; 安田 健二<sup>2</sup>; 千葉 春奈<sup>2</sup>; 佐柳 敬造<sup>3</sup>  
IKUTA, Ryoya<sup>1\*</sup>; HARUKA, Mukaiyama<sup>1</sup>; TADOKORO, Keiichi<sup>2</sup>; YASUDA, Kenji<sup>2</sup>; CHIBA, Haruna<sup>2</sup>; SAYANAGI, Keizo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学, <sup>2</sup> 名古屋大学, <sup>3</sup> 東海大学

<sup>1</sup>Shizuoka Univ., <sup>2</sup>Nagoya Univ., <sup>3</sup>Tokai Univ.

### はじめに

本研究では GPS/音響結合方式の海底地殻変動観測において、複数のブイを用い、海底に設置した海底基準局の位置決めを高時間分解能で行う手法を開発している。この手法と、駿河湾における試験観測の結果を紹介する。

GPS/音響結合方式の海底地殻変動観測では、通常 1 隻の観測船を航走させて海底の音響局を呼び出している。この手法では、浅い部分が非常に大きな変化を見せる海中の音速構造に対して、瞬間ごとに海上に観測点が 1 点しかないため、海中の音速構造の水平方向の変化を解くことが困難である。そのため現状では、水平成層構造を仮定し、音速構造が時間軸にのみ変化するモデルを用いて海底局位置の推定を行っている。そのため、海中の音速構造に水平方向の変化が存在する場合には、大きな海底局位置誤差の要因となる。

本研究では海上を多点にして同時に音響測距を行うことで、音速構造の水平方向の変化を推定し、より高精度で海底局位置を推定することを試みた。

### 観測システム

駿河湾では 2007 年からサイト SNW にて海底局の測位を行っており、プレートの運動に伴う海底地殻の動きが詳細に報告されている (Yasuda et al., 2014)。本研究では SNW の海底局上で、2013 年 11 月 22 日に 2 台の小型ブイ音響システムと観測船北斗 (東海大学) を同時に用いて、海上 3 点の音響測距を行った。ブイ 2 台と観測船は、正三角形をなす 3 台の海底局とほぼ合同で 60 度回転した正三角形の配置とし、アンカーで係留した。海域の安全確保のために、朝航海に出て日没前に回収して帰港したため、全海上局が同時に音響測距を行えた時間は 2 時間であった。

### 解析手法

3 つの海上観測点で得られた音響波形による片道走時データはそれぞれ、440, 274, 430 個であった。海中の音速構造は、CTD を用いて計測した音速構造の鉛直プロファイル  $D(z)$  と、時空間変化する係数  $S(t, X, x)$  を用いて、 $D(z)S(t, X, x)$  と表し、係数  $S(t, X, x)$  は、音速構造が空間的に一様な傾斜をもつものとして次式でモデル化した。 $S(t, X, x) = S(t) + dS(X + ax)$ 。  $X, x$  はそれぞれ海底局とブイの位置である。 $S(t)$  は変動係数の時間変化の寄与、 $dS$  は変動の空間変化率であり、 $dSX$  は海底局位置の違いによる寄与、 $Sx$  は海上局の位置の違いによる寄与である。ここで定数  $a$  は、空間変化する層の全体に占める割合の指標と理解できる。 $a$  が大きければ深い部分にまで空間変化の影響がおよび、海底局の違いによる走時変動への寄与が大きくなる。

### 結果

上記のモデルにより海底局位置を解析したところ、先行研究から予測される位置から 19cm ずれて求まった。過去の本海域での計測では一回の観測で、± 10cm 程度のばらつきで収まっているので、この結果は大きい。ただし、過去の計測では各回おおむね 2 日間にわたって観測を行っているのに対して本観測は 2 時間と極端に短く、本観測データを従来の水平成層モデルで解析すると、予測される値から約 33cm ずれて求まる。本モデルの適用により、短い時間でも、海底局位置解析の結果を向上させることができた。

キーワード: 海底地殻変動, GPS 音響結合方式, ブイ, 音速構造, 駿河湾

Keywords: Oceanbottom geodesy, GPS/Acoustic seafloor measurement, Buoy, Sound speed structure, Suruga Bay

## オンデマンド地殻変動観測ブイシステムの開発と現状の課題 Development of on-demand buoy system for crustal displacement observation and future plan

高橋 成実<sup>1\*</sup>; 石原 靖久<sup>1</sup>; 福田 達也<sup>1</sup>; 越智 寛<sup>1</sup>; 田原 淳一郎<sup>1</sup>; 森 尚仁<sup>1</sup>; 出口 充康<sup>1</sup>; 木戸 元之<sup>2</sup>;  
太田 雄策<sup>2</sup>; 日野 亮太<sup>2</sup>; 三吉 基之<sup>3</sup>; 橋本 剛正<sup>3</sup>; 本橋 修<sup>3</sup>; 小平 秀一<sup>1</sup>  
TAKAHASHI, Narumi<sup>1\*</sup>; ISHIHARA, Yasuhisa<sup>1</sup>; FUKUDA, Tatsuya<sup>1</sup>; OCHI, Hiroshi<sup>1</sup>; TAHARA, Jun'ichiro<sup>1</sup>;  
MORI, Takami<sup>1</sup>; DEGUCHI, Mitsuyasu<sup>1</sup>; KIDO, Motoyuki<sup>2</sup>; OHTA, Yusaku<sup>2</sup>; HINO, Ryota<sup>2</sup>;  
MIYOSHI, Motoyuki<sup>3</sup>; HASHIMOTO, Gousei<sup>3</sup>; MOTOHASHI, Osamu<sup>3</sup>; KODAIRA, Shuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>Japan Aerospace Exploration Agency

(独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC), 東北大学, (独) 宇宙研究開発機構 (JAXA) は共同で津波と地殻変動をリアルタイム観測するためのブイシステムの開発を 2011 年から進め、2 回の海域試験を実施してきた。これまでに、強潮流域下でのブイ係留、海底局での水圧観測と津波モードの実装、ダブルパルスを用いた海底局から吊下局への音響伝送、洋上ブイから陸上への衛星通信によるデータ伝送には成功した。今年度から戦略イノベーションプログラムの一環として、これまでのノウハウを用いて、オンデマンドで地殻変動を観測するシステムとして開発する。海底水圧計から上下方向の地殻変動を求め、6 基の海底トランスポンダーとの音響測位を用いて水平方向の地殻変動を求める。これまでの海域試験から判明した課題もいくつかある。まず、海底局と吊下間のダブルパルスを用いた音響データ伝送である。海底局のロガーで記録されたデータと吊下局で記録されたロガーを比較すると、直達波の音響信号ではなく、海底反射波や海面反射波を信号と誤認しているケースがあった。また、ダブルパルス間の時間差の吊下局での読み取りに 1msec 以上の誤差を含むことも明らかになった。この 1msec の誤差を下げることで音響伝送のダイナミックレンジを広げることになるため、今後検討を進める。吊下局と洋上ブイの間の伝送は、これまでワイヤーロープを使用して行ってきた。しかし漁具による損傷をうけることもあり、また、今回の海域試験でブイの回転により、ワイヤーロープにねじりが入ることが確認された。オンライン伝送と電磁モデムを用いた 2 系統のデータ伝送手法を用いて冗長化を図るとともに、ねじりを解消する機器開発を進める。このシステムは、定常的な観測の他に、陸上局からの地殻変動観測の要求を受けて、音響信号を発出し、リアルタイムで地殻変動観測データを陸上に伝送する形をとる。そのため、ブイの精密な位置を実時間で知るために、リアルタイム precise point positioning (PPP) 測位を採用し、JAXA による MADOCA 暦を用いた測位と商用 PPP サービスである StarFire を並行して導入する。本講演では、現状の取り組みと課題について紹介する。

キーワード: 地殻変動観測, ブイ, オンデマンド, リアルタイム, 南海トラフ

Keywords: Crustal displacement observation, Buoy, On-demand, real-time, Nankai Trough

## トルコ・マルマラ海における北アナトリア断層の海底測地モニタリング Launching seafloor geodetic monitoring for the North Anatolian Fault in the Marmara Sea, Turkey

木戸 元之<sup>1\*</sup>; 高橋 成実<sup>2</sup>; 山本 揚二郎<sup>2</sup>; Kalafat Dogan<sup>3</sup>; Pinar Ali<sup>3</sup>; Ozeren Sinan<sup>4</sup>; 太田 雄策<sup>5</sup>; 金田 義行<sup>6</sup>

KIDO, Motoyuki<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Narumi<sup>2</sup>; YAMAMOTO, Yojiro<sup>2</sup>; KALAFAT, Dogan<sup>3</sup>; PINAR, Ali<sup>3</sup>; OZEREN, Sinan<sup>4</sup>; OHTA, Yusaku<sup>5</sup>; KANEDA, Yoshiyuki<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 災害科学国際研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> KOERI, Bogazici Univ., Turkey, <sup>4</sup> Istanbul Tech. Univ., Turkey, <sup>5</sup> 東北大学 理学研究科, <sup>6</sup> 名古屋大学 減災連携研究センター

<sup>1</sup> IRIDeS, Tohoku Univ., <sup>2</sup> JAMSTEC, <sup>3</sup> KOERI, Bogazici Univ., Turkey, <sup>4</sup> Istanbul Tech. Univ., Turkey, <sup>5</sup> Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>6</sup> Disaster Mitigation Res. Center, Nagoya Univ.

北アナトリア断層 (NAF) は、トルコのアナトリア半島を横切る大規模な構造線で、過去 100 年間で地震を伴う破壊が東から西に移動してきていることが知られている。その活動は 1999 年のイズミット地震で長期間破壊のなかったトルコ最大の都市イスタンブールに迫っており、今後の活動が危惧されている。NAF はイスタンブール付近ではマルマラ海の中を通っており、GNSS や測量による陸上からのモニタリングを妨げている。このような状況のもと、JICA が推進する日本・トルコ間の SATREPS プロジェクトが発足し、そのプロジェクトの一部として、我々は海底測地技術を用いたマルマラ海における NAF のモニタリングを 2014 年に開始した。この観測では、短基線の相対運動の検出に適した海底間音響測距装置 (extensometer) と呼ばれる機器を採用した。横ずれ断層の活動、あるいは固着時の歪の蓄積は、断層を斜めに跨ぐ基線長の変化として検出することができる。今回用いた装置は、回収機構を装備せず、バッテリーが続く 5 年以上の間連続して観測できるよう設計されている。計測したデータは、海上からの音響通信で吸い上げることが可能で、機器を回収せずに観測を継続できる。2014 年の 9 月に、4 台の機器をマルマラ海西武の Western High と呼ばれる場所に設置した。Western High 付近ではメイン断層からの分岐が少なく、対象としたメイン断層に活動が集中していると考えられている。機器設置直後、24 時間の高頻度試験計測 (5 分間隔) を実施し、そのデータを音響モデムで回収した。その後長期観測用に低頻度計測 (12 時間間隔) に切り替え、観測を継続している。高頻度試験観測データを解析した結果、繰り返し観測精度は 5mm 以下であることがわかり、今後 2-3 年の観測を経れば、断層の固着状況について言及するに足るデータが得られると思われる。発表では、2015 年 3 月の航海で回収する予定の、最初の長期連続データ (半年分) についても紹介する。

キーワード: マルマラ海, 北アナトリア断層, トルコ, 地震, 海底間音響測距, 海底測地

Keywords: Marmara Sea, North Anatolian Fault, Turkey, earthquake, extensometer, seafloor geodesy