

沖縄トラフ海底熱水域の堆積物に見られる熱水性カオリン鉱物 Occurrence of hydrothermal kaolin minerals beneath the Iheya North Knoll hydrothermal field in the Okinawa Trough

堤 彩紀^{1*}; 石橋 純一郎¹; 上原 誠一郎¹; 島田 和彦¹; 三好 陽子²; 野崎 達生³; 高谷 雄太郎³
TSUTSUMI, Saki^{1*}; ISHIBASHI, Jun-ichiro¹; UEHARA, Seiichiro¹; SHIMADA, Kazuhiko¹;
MIYOSHI, Youko²; NOZAKI, Tatsuo³; TAKAYA, Yutaro³

¹九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻, ²産業技術総合研究所, ³海洋研究開発機構
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

はじめに

カオリン鉱物は、熱水性変質鉱物として陸上では地熱噴気地帯などでしばしば確認される鉱物であるが、海底熱水域における研究例は少ない。沖縄トラフの海底熱水域では、カオリン鉱物の産出と、その堆積層で金属元素の濃度が高いことが伊是名海穴の Jade site で報告されている (Marumo and Hattori 1999)。近年、海底掘削調査が伊平屋北海丘で行われ、その熱水域近傍から採取された堆積物試料の中にカオリン鉱物が含まれていることが明らかになった。本発表では、熱水域海底下の堆積物中のカオリン鉱物の分布と金属元素の濃度分布の係に注目して、X線回折法 (XRD) による鉱物同定と走査型電子顕微鏡 (SEM) による鉱物観察を行った結果を報告する。

方法

研究に用いた試料は、2014年7月に行われた CK14-04 航海において伊平屋北海丘のアキサイト熱水域から 150m 離れた掘削孔 C9016B (27° 46.6' N, 126° 54.6' E, 水深 1124m) で得られた堆積物試料と、2011年6月に行われた TAIGA11 航海において伊平屋北海丘オリジナルサイトの約 200m 東に位置する掘削孔 BMS-I-4 (27° 47.4' N, 126° 53.9' E, 水深 1048m) で得られた堆積物試料を用いた。堆積物試料から、水簾により 2 μm 以下の画分を分離したものをを用いて粘土鉱物の同定を X線回折法で行った。また、SEM による観察は、堆積物のバルク試料より小片を割り出して行った。

結果と考察

アキサイト近傍で得られた堆積物に含まれる主な粘土鉱物は、以下のように深度による変化を示した; 0~9 mbsf: スメクタイト・イライト、9~11 mbsf: カオリン鉱物・イライト、11~91 mbsf: クロライト・イライト。このうち、9~11 mbsf に見られたカオリン鉱物層に注目して SEM 観察を行ったところ、上部 (8.88 mbsf) では球状のカオリン鉱物が主に存在するのに対し、中部 (9.18 mbsf) では板状のカオリン鉱物と管状のハロイサイトが共存しており、下部 (10.83 mbsf) では結晶度の良いカオリン鉱物が存在する、といった深度による変化があることが明らかになった。堆積物中の熱水鉱物としては、上部で閃亜鉛鉱と重晶石が SEM 観察により同定されたが、下部ではこれらの鉱物は見つからなかった。これらの熱水性鉱物の存在は、堆積物の化学組成の鉛直プロファイル (野崎ほか、本連合大会) において Ba, Zn, Pb が 1wt% を超える高い濃度を示すことに対応している。また下部では、Cu や Ag がやや高い濃度になっているが、これらの元素を含む硫化鉱物は未同定である。

オリジナルサイト東側で得られた堆積物は、海底直下の数十 cmbsf から 3.5 mbsf に至るまでほとんどカオリン鉱物に占められる強い変質を受けていた。これらの堆積物中にも閃亜鉛鉱や方鉛鉱が含まれており、さらに最上部では重晶石が同定された。

海底下の比較的浅い深度で主にカオリン鉱物からなる熱水変質作用を受けた堆積層があり、そこに閃亜鉛鉱や重晶石などの熱水性鉱物が伴われる現象が、沖縄トラフの海底熱水域の熱水噴出孔から数百 m 離れた地点で共通して見られている。

キーワード: 海底熱水鉱床, 粘土鉱物, 海底掘削

Keywords: submarine hydrothermal deposit, clay minerals, submarine drilling

浅海熱水における水酸化鉄マウンドの構造と形成史：鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の例 The structure of iron oxidized mounds at shallow marine hydrothermal environment in Satsuma Iwo-jima Island, Kagoshima

倉富 隆^{1*}; 清川 昌一¹; 池原 実²; 後藤 秀作³; 星野 辰彦⁴; 池上 郁彦¹; 蓑和 雄人¹
KURATOMI, Takashi^{1*}; KIYOKAWA, Shoichi¹; IKEHARA, Minoru²; GOTO, Shusaku³; HOSHINO, Tatsuhiko⁴;
IKEGAMI, Fumihiko¹; MINOWA, Yuto¹

¹九州大学, ²海洋コア総合研究センター, ³産総研地質調査総合センター, ⁴海洋研究開発機構

¹Kyushu University, ²Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ³Geological Survey of Japan, AIST, ⁴Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

薩摩硫黄島は九州より南へ約 38 km に存在する鬼界カルデラの北西端に位置する火山島である。島内南西部に位置する長浜湾の海底下からは熱水 (pH = 5.5, 55-60 °C, Si: 51.74 ppm, Fe: 191.00 ppm) が湧出し (四ヶ浦・田崎, 2001), Fe と Si に富む水酸化鉄マウンドが観察される。長浜湾内では水酸化鉄が約 33 cm/yr (Kiyokawa et al., 2012) の沈殿速度で堆積している。

水酸化鉄マウンドは音響探査の結果から 20 年間で水深 2-3m に 32.68m² の範囲に 7.798m³ の大きさのものが椀状に複数連なっており、現在も成長を続けている。コアサンプル CT 像からマウンドは黒色の Hard 層, 褐色の Soft 層から構成され、2 層は十数回繰り返す。マウンド内部は 3-4 cm 程度の凸状構造の集合体で形成し、Soft 層は Hard 層の殻によって覆われる。Soft 層内部は直径約 1 mm の多量の空洞が複雑に通る。各層ともに紐状の構造を持ち、Soft 層から Hard 層に褐色粒子 (約 20 μm) の数が増加する。H 層の紐状構造は直径約 1-2 μm の粒子が連結した桿菌状の構造をなす。一方、Soft 層は表面には直径約 0.5 μm 未満の粒子が付着した紐状の構造が観察される。この紐状の構造は Helical, Ribbon, Twisted の 3 タイプに分類できる。Hard 層 (Si: 26.8 %, Fe: 56.0 %) は Ferrihydrite, Opal-A で、また Soft 層 (Si: 36.5 %, Fe: 43.5 %) は Ferrihydrite, Opal-A, Quartz, Cristobalite, Tridimite で構成される。DNA 分析よりマウンド内部には Zeta-proteobacteria に属する鉄酸化バクテリアである *Mariprofundus ferrooxydans* が卓越した生物環境であることを示した。一方、浮遊物水酸化鉄粒子は直径 0.5 μm 未満の微小粒子の凝集物であり、マウンドの主構成物である紐状の形態は確認されなかった。

長浜湾におけるマウンドの形成過程 ①無機及生物的反応によって Soft 層形成される。Soft 層内部で観察された紐状の構造は鉄酸化バクテリアが形成したストークである。②鉄酸化バクテリアのストークの周囲に水酸化鉄が吸着することで Hard 層が形成された。鉄酸化バクテリアは Hard 層の様な熱水と海水が混合する酸化還元境界部を好んで生息する (Chan et al., 2011)。③Hard 層の内側では熱水活動が継続しており、成長を続けた結果として Hard 層の線構造が形成される。このプロセス十数回繰り返されることでマウンドを形成し、内部に熱水の通り道である空洞を持った凸状の集合体が形成される。

このマウンドは年間 1.2cm 以上の形成速度で成長することが明らかになった。速い成長速度は鉄酸化バクテリアの活動で形成されたストークに水酸化鉄が吸着したことが要因である。本地域の水酸化鉄マウンド (2.474*10⁶ kg(Fe)/m.y./m²) の鉄供給速度はハマスレー鉄鉱層 (2.51*10⁵ kg(Fe)/m.y./m²) の十倍近くに相当する。Joffre 層 (360m/2m.y.) を形成するためには長浜湾水酸化鉄マウンドが 6.0*10⁸ 倍存在する必要がある。縞状鉄鉱層のような大規模な鉄酸化堆積物を形成するためには、無機・生物的反応の組み合わせが重要である。

キーワード: 鉄酸化バクテリア, 熱水, 酸化鉄, 薩摩硫黄島, 生物鉱化作用

Keywords: iron oxidizing bacteria, hydrothermal fluid, iron oxide, satsuma iwo jima, biomineralization

海底熱水中の微量アルカリ元素の特徴 Geochemistry of trace alkali elements in the seafloor hydrothermal fluids

蝦名 直也^{1*}; 石橋 純一郎²

EBINA, Naoya^{1*}; ISHIBASHI, Jun-ichiro²

¹九州大学大学院理学府地球惑星専攻, ²九州大学理学研究院地球惑星科学部門

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University

海底下で岩石または堆積物と海水が相互作用して形成される熱水には、多くの元素が高濃度で溶存している。特に LIL 元素と称される Rb と Cs はイオン半径が大きいいため、固相から溶出して液相へ移動し、熱水中に非常に高い濃度で溶存すると考えられる。このことから、熱水の微量アルカリ元素組成をもとに、海底下の熱水岩石相互作用に関する情報を得ることができると考えられる。

本研究では、伊豆小笠原弧の4つの熱水域（明神礁カルデラ、明神海丘カルデラ、ベヨネース海丘カルデラ、水曜海山）、マリアナトラフの6つの熱水域（Alice Springs Field, Forecast Vent Field, Snail Site, Pika Site, Archean Site, Urashima Site）および沖繩トラフの伊平屋北海丘熱水域の熱水試料の Rb および Cs 濃度の分析結果を報告し、その特徴を報告する。

熱水試料の Rb, Cs 濃度の分析は ICP-QMS を用いて行った。得られた各試料の分析結果を Mg に対する二成分ダイアグラムにプロットして各熱水域の Rb, Cs 濃度の熱水端成分を決定した。このようにして得られた Rb および Cs 濃度の端成分を図1に示した。中央海嶺の海底熱水系である EPR 21°N^[1] と MAR (TAG および MARK) 熱水域^[6]、埋積海嶺であるエスカナバトラフとワイマス海盆^[2] 熱水域、背弧海盆熱水系であるラウ海盆^[3] とマヌス海盆^[4]、島弧海底熱水系である Brothers Seamount^[5] 熱水域の Rb, Cs 濃度の報告値を合わせて示している。加えて、各熱水域付近で採取された岩石の Rb, Cs 濃度をコンパイルし、図1に網掛けで示した。

島弧熱水系（図中の□）の Rb/Cs=12.8~26.7 と、背弧熱水系の熱水（図中の○）の Rb/Cs=18.6~100.1 は異なり、海底が厚い堆積物で覆われた熱水系（沖繩トラフ、エスカナバトラフおよびワイマス海盆：図中の△）の Rb/Cs=10.3~15.6 は島弧熱水系の Rb/Cs 比と似た傾向を示す。また図1に示すように各熱水系の熱水の Rb/Cs 比は岩石/堆積物の Rb/Cs 比に概ね一致する傾向を示した。このことから、熱水の Rb/Cs 比は海底下を胚胎する岩石/堆積物の Rb, Cs 組成の特徴を反映しており、特に島弧熱水系では他のセッティングと比べて岩石から熱水への Cs の分配が大きい可能性が示唆される。

[1] Palmer and Edmond (1989) *Earth and Plan. Sci. Let.*, **95**, 8-14.

[2] Campbell et al. (1994) *U.S. Geol. Surv. Bull.*, No. **2022**, 201-221.

[3] Mottl et al. (2011) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **75**, 1013-1038.

[4] Reeves et al. (2011) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **75**, 1088-1123.

[5] de Ronde et al. (2011) *Miner Deposita*, **46**, 541-584.

[6] Campbell et al. (1988) *Nature*, **335**, 514-519.

キーワード: 微量アルカリ元素, 海底熱水, 島弧, 背弧海盆, 堆積物

Keywords: trace alkali elements, hydrothermal fluids, arc, back-arc basin, sediment

SCG64-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30

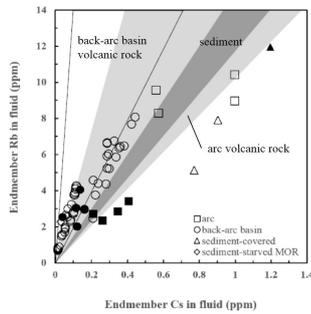


Fig. 1 Relationship between Rb and Cs end-member concentrations in hydrothermal fluids measured in this study (solid symbols) and compiled data from submarine hydrothermal systems of various tectonic setting (open symbols). Symbols are: squares, Izu-Ogasawara and Kermadec arc¹⁾ of arc hydrothermal systems, circles, mid-southern Mariana Trough, Lau Basin²⁾ and Maria Basin³⁾ of back-arc basin (BAB) hydrothermal systems, triangles: Healy North Knoll at Mid Okinawa Trough, Grayson Basin and Escanaba Trough⁴⁾ of sediment-hosted hydrothermal systems, and diamonds: EPR 21⁵⁾, TAG and MARK⁶⁾ in Mid Atlantic Ridge of sediment-starved mid-ocean ridge (MOR) hydrothermal systems. Moreover, the range of Rb/Cs in volcanic rock collected around each the hydrothermal site were compiled and were drawn meshing in Fig. 1. The meshing show: area surrounded solid line: BAB volcanic rock, dark gray: sediment, and light gray: arc volcanic rock, respectively.

インド洋ロドリゲス三重会合点かいいい熱水域における地震活動 Seismicity at the Kairei Hydrothermal Vent Field Near the Rodriguez Triple Junction in the Indian Ocean

森 大湧^{1*}; 佐藤 利典¹; 高田 裕能¹; 今井 裕輝¹; 野口 ゆい¹; 河野 昭博¹; 山田 知朗²; 篠原 雅尚²
MORI, Taiyu^{1*}; SATO, Toshinori¹; TAKATA, Hiroyoshi¹; IMAI, Yuki¹; NOGUUCHI, Yui¹; KONO, Akihiro¹;
YAMADA, Tomoaki²; SHINOHARA, Masanao²

¹ 千葉大学・理, ² 東大地震研

¹ Chiba Univ., ² ERI, Univ. Tokyo

1. はじめに

インド洋ロドリゲス三重会合点の北側、中央インド洋海嶺の第1セグメント東側には、かいいい熱水域があり、熱水には水素を多量に含むことが知られている。この熱水域の周辺では、蛇紋岩や斑レイ岩、かんらん岩などが採取されている。これらの本来深部にあるはずの岩石が浅いところにあるので、熱水に水素が豊富に含まれると考えられている。また、水素を活動源にするバクテリアや深海生物がこの熱水域に生息している。「海底下の大河」プロジェクト（海底下での熱水循環に関わる生物・地学的現象の解明研究）では、この地域を「水素の大河」と呼んでいる。

かいいい熱水域において、どのように深部岩石が分布しているのか、また、熱水循環がどうなっているのかを調べるために、海底地震計の用いた地震活動と地殻構造の調査を行った。本講演では、地震活動について発表する。

2. 観測・解析概要

2013年1月27日から3月19日にかけて海洋研究開発機構、観測調査船「よこすか」を用いて自然地震観測を行った(YK13-01 航海、YK13-03 航海)。使用した海底地震計は全部で21台である。震源決定は、3次元速度構造を用いて震源決定のできるNonLinLocプログラム(Lomax, 2000)で行った。使用した3次元構造は、高田 他(2015、本大会)の構造を用いた。

3. 結果

約50日間の観測で5000個以上の微小地震を求めることができた。かいいい熱水域の北西1-3kmのところから群発地震があり、海底直下(約3km)から深さ7-8kmまでのところに集中していて、そのメカニズムは正断層型であった。これは、この群発地震が正断層の活動を示していて、この断層が熱水循環と関係しているのではないかと示唆される。海嶺軸においても多くの微小地震が観測されたが、その深さは熱水域近くのもの比べると深い。中央インド洋海嶺の第1セグメントと第2セグメントの間のNon transform offsetでは、左横ずれのメカニズムの地震が発生しているが、震源分布の線状構造などは見られなかった。

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。ここに記して感謝します。本研究は科研費新学術領域20109002の助成を受けて行われた。

キーワード: 海底下の大河, 熱水地域, 地震活動, インド洋三重会合点

Keywords: TAIGA Project, hydrothermal field, seismicity, Triple Junction in the Indian Ocean

伊豆小笠原弧, スミスカルデラ周辺海域から採取された火山岩類の形態的および記載岩石学的特徴
Petrographical and morphological character or volcanicrocks dredged around the Sumisu calderam, Izu-Ogasawara arc

上原 太樹^{1*}; 坂本 泉¹; 八木 雅俊¹; 井上 智仁¹; 岡村 聡²
UEHARA, Taiki^{1*}; SAKAMOTO, Izumi¹; YAGI, Masatoshi¹; INOUE, Tomohito¹; OKAMURA, Satoshi²

¹ 東海大学海洋学部, ² 北海道教育大札幌校

¹School of marine science and technology, ²Hokkaido Education University, Sapporo Campus

伊豆・小笠原弧は、伊豆半島の南方に位置し、総延長約 1,500km、幅約 400km にわたって広がる、火山活動の活発な海洋性島弧である。伊豆・小笠原弧上の七島・硫黄島海嶺には第四紀の火山帯が南北に連なり火山フロントを構成し、多くは海底カルデラを伴っている(村上, 1997)。

本研究では、2014年5月9日から15日にかけて東海大学望星丸により採取されたスミスカルデラの地形及び岩石の記載・分析を行い、構成する岩石とカルデラの形成過程について考察を行った。

その結果、①スミスカルデラの直径は 9km、②スミスカルデラ外輪山頂部の水深は 30m、③カルデラ壁は外側斜面より急峻、④カルデラ外側斜面には階段状地形が発達、⑤カルデラ底の水深は 900m、⑥中央には比高 100m の中央火口丘が存在していることが明らかになった。ドレッジ採泥調査の結果、カルデラ底および中央火口丘からは斑晶が目立つ流紋岩質火山岩および変質火山砕屑岩が採取され、カルデラ壁下部～中部では流紋岩質の火山岩が分布し、外輪山頂部付近からは気泡や斑晶が目立つ玄武岩質と流紋岩質の新鮮な火山岩が分布している事が明らかになった。岩石化学組成では、SiO₂の値が 49.6(wt.%)~51.1(wt.%)と 67.5(wt.%)~69.4(wt.%)の二か所に集中し、安山岩質火山岩が欠如する典型的なバイモーダル火山活動が確認され、伊豆・小笠原島弧特有の海底カルデラ火山活動が確認された。

背弧側の斜面からは、扁平な玄武岩質火山岩、大量の軽石、酸性深成岩が採取された。扁平玄武岩は、その形態的特徴より水中噴出したスパター噴出物であり、アグルチネート化(融着試料)した試料もあることから火口付近で形成されたものと推定した。同時に大量のデイサイト質軽石(角礫質)も採取され、安山岩質の火山岩を含まない事より、背弧側においてもバイモーダル火山活動が推定された。

キーワード: スミスカルデラ, バイモーダル火山活動, スパター噴出物, デイサイト質軽石

Keywords: Smith caldera, Bimodal volcanism, Spatter ejecta, Dacitic pumice

南鳥島の溶岩と形成過程 Petrological study on Marcus Island

河野 尊臣^{1*}; 平野 直人²; 森下 泰成³
KAWANO, Takaomi^{1*}; HIRANO, Naoto²; MORISHITA, Taisei³

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東北大学東北アジア研究センター, ³ 海上保安庁海洋情報部

¹ Graduate School of Science and Faculty of Science, Tohoku University, ² Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University,

³ Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard

Marcus-Wake seamount trail is located in West Pacific Seamount Province (WPSP), where the oceanic plate is oldest in the world, around 160 Ma Pacific plate. WPSP had occurred during Cretaceous and was reconciled with current active hotspots of French Polynesia in South Pacific. Marcus (Minami-tori) Island is located 50 km away from Marcus-Wake seamount trail to the north. Most of seamounts, particularly well-studied seamounts, are more voluminous than the edifice of Marcus Island, whereas no islands and atolls are found around the island within 500 km. In this study, mineralogical and whole rock analysis of lava samples, obtained in submarine survey of northwest flank of Marcus Island, are adopted in order to compare with volcanic samples from WPSP and South Pacific islands of active hotspot volcanism. High TiO₂ in relic of chrome spinel indicates the typical intra-plate volcanism to be similar characteristics with those of WPSP. Major element compositions reveal normal-alkali basalts. Nb/Zr and Nb/Y ratios can classify the origins of shallow mantle plume, not in superplume as old Polynesian hotspots, like the Marcus-Wake seamounts of WPSP. Therefore, Marcus Island was produced from intraplate volcanism which differs from hotspot activities forming the Marcus-Wake seamounts.

キーワード: マークス=ウェーク海山列, 海山, WPSP, HFSE, スーパープルーム, アルカリ玄武岩

Keywords: Marcus-Wake seamount trails, seamount, WPSP, HFSE, superplume, alkali-basalt

プチスポット溶岩中のかんらん石捕獲結晶 Olivine xenocrysts in lava of petit-spot volcano

滝嵐^{1*}; 平野 直人²; 山本 順司³; 町田 嗣樹⁴; 石井 輝秋⁵
TAKI, Arashi^{1*}; HIRANO, Naoto²; YAMAMOTO, Junji³; MACHIDA, Shiki⁴; ISHII, Teruaki⁵

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東北大学東北アジア研究センター, ³ 北海道大学総合博物館, ⁴ 早稲田大学創造理工学部環境資源工学科, ⁵ 公益財団法人 深田地質研究所

¹ Graduate School of Science, Tohoku University, ² Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, ³ Hokkaido University Museum, ⁴ Department of Resources and Environmental Engineering, Waseda University, ⁵ Fukuda Geological Institute

Petit-spot is a small volcano erupted on the seafloor. The magma comes from asthenosphere, just below oceanic lithosphere, through a crack in subducting plate. The petit-spot volcanoes appear globally on the seafloor where the plate is flexing (e.g., Japan and Chile Trenches). The petit-spot lavas and entrained mantle materials have been already reported from areas of Japan Trench oceanward slope (Sites A), and of NW Pacific (Site B). Although the discovery of the petit-spots has been anticipated from Site C (offshore of Fukushima, south of Site A), lava samples and entrained mantle materials have never been reported. To examine the activity of the petit-spot volcanoes, we conducted the nine submersible dives of the *SHINKAI 6500* submersible during cruise YK14-05 of *R/V Yokosuka* at Site C in April 2014.

Alkaline pillow lavas were collected from the Site C during cruise YK14-05. Eruption age is at the time between 0.31 and 2.1 Ma estimated on the basis of the thickness of paragonite on quenched glass rind. The lavas are classified into basanite, and include large amount of olivine (>10% normative olivine). Large (1-5 mm) olivines have anhedral morphology. The large olivines show forsterite numbers (Fo) of 88-90 and NiO contents of 0.3-0.5 wt. %, corresponding to the composition of the primitive mantle peridotite. On the other hand, the small olivines surrounding the large olivines have similar range of compositions (Fo of 84-87, CaO contents of >0.1 wt. %) to those of groundmass olivines. These observations imply that large olivines are fragments of mantle peridotites, that is, these are mantle xenocrysts. If these are xenocrystic olivines, it tells us the cryptic aspects of an old oceanic lithosphere. Fo values of the present olivine xenocrysts are slightly lower than those of the mantle xenoliths reported from Site A and B (90-93). The chemically heterogeneous mantle might be existed in the subducting NW Pacific plate.

キーワード: プチスポット, かんらん石, 捕獲結晶

Keywords: petit-spot, olivine, xenocryst

中央インド洋海嶺蛇紋岩中の Fe(III) に富む蛇紋石の岩石学的解析 Petrological analysis of Fe(III)-rich serpentine in the Central Indian Ridge serpentinites

清水 正太^{1*}; 水上 知行¹; 曾田 祐介¹; 森下 知晃¹; 荒井 章司¹; 高橋 嘉夫²
SHIMIZU, Shota^{1*}; MIZUKAMI, Tomoyuki¹; SODA, Yusuke¹; MORISHITA, Tomoaki¹; ARAI, Shoji¹;
TAKAHASHI, Yoshio²

¹ 金沢大学理工学域自然システム学類, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
¹School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

Aqueous fluids at serpentine-hosted hydrothermal vent fields near mid-oceanic ridges are characterized by high concentrations of dissolved reducing chemical species, such as H₂, H₂S and hydrocarbons, and aid development of unusual chemosynthetic ecosystems. Petrological, geochemical and experimental works suggest that the cause of the H₂-rich fluids is oxidation of Fe during water-rock reactions in ultramafic lithosphere to form magnetite. However, a recent micro-XANES study of the Mid-Atlantic Ridge serpentinite indicates that serpentine can be a primary phase for Fe³⁺ prior to magnetite. In order to understand the role of Fe³⁺-rich serpentine in the H₂ production, we made petrological analyses of serpentinite exposed at the southern end of the Central Indian Ridge (CIR), very close to the Kairei Hydrothermal Field where high temperature, H₂- and Si-rich fluids are emitting. Serpentinite samples used in this study (dredged using Hakuho-maru from Yokoniwa Rise) include 11-13 modal % of bastite after Opx indicating that the protoliths are mantle peridotite with harzburgite compositions.

Base on microscopic observations and micro-Raman and EPMA analyses, we identified three types of serpentine after olivine. The most dominant one is characteristically brownish under microscope and optically isotropic. The Raman O-H bands are distinct from those of typical serpentine polymorphs but can be explained as composites of chrysotile and lizardite. Therefore, we call this type of occurrence as “brown serpentine aggregate”. It occupies about 70 vol % of the samples. Extensive replacement of olivine by brown serpentine (Stage I) was followed by formation of Fe-rich lizardite along pre-existing magnetite (Stage II), resulting in a mesh-like texture. During a later stage of hydrothermal alteration (Stage III), the mesh texture has been partly or fully overprinted by a vein-like texture consisting of Fe-poor well-crystalline lizardite and crack-filling chrysotile at its center. The microtextural evolution represents stepwise serpentinization probably during uplifting of the CIR mantle lithosphere.

Distribution and mineral chemistry of “brown serpentine” indicate that SiO₂ activity was a significant driving force of the formation. Total oxide compositions of “brown serpentine” are significantly lower than that of lizardite implying fine-grained aggregates with porous nature. They can be interpreted as a product of high reaction rate under high temperature conditions.

Preliminary micro-XANES analyses of “brown serpentine” at a mesh center revealed that about 70% of Fe in the serpentine is Fe³⁺. Assuming that this value is applicable to the whole sample and that the bulk Fe content is constant during serpentinization, we estimate that the contribution of “brown serpentine” in H₂ generation was as large as that of magnetite. Total H₂ produced by complete hydration of olivine 1kg is estimated to be 9.6L (the contribution of “brown serpentine” is 4.5L), which is equivalent to the amount of H₂ dissolved in 54kg of the Kairei hydrothermal fluid (8 mM H₂). Conversion of Fe³⁺-serpentine to Fe-poor serpentine + magnetite at shallower parts may cause a minor absorption of H₂ although we do not have sufficient data to quantify it. The maximum estimation of this study implies a high water/rock ratio in hydrothermal system beneath CIR.

キーワード: 中央海嶺, 熱水噴出孔, 蛇紋石, 三価鉄, 水素

Keywords: Mid-oceanic ridge, hydrothermal field, serpentinite, ferric iron, hydrogen

北西太平洋における広帯域海底地震観測データを用いたリソスフェア-アセノスフェア境界の検出 Lithosphere-Asthenosphere boundary beneath NW Pacific Ocean detected with seismic waveform data

安部 祐希^{1*}; 川勝 均¹; 塩原 肇¹; 一瀬 建日¹; 杉岡 裕子²; 伊藤 亜妃²; 歌田 久司¹
ABE, Yuki^{1*}; KAWAKATSU, Hitoshi¹; SHIOBARA, Hajime¹; ISSE, Takehi¹; SUGIOKA, Hiroko²; ITO, Aki²;
UTADA, Hisashi¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 海洋研究開発機構

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

東京大学地震研究所と海洋研究開発機構は、収束・拡大境界やホットスポットではない、ふつうの海洋プレートの構造を詳細に推定し、地球内部の物質やプレート運動への理解を深めるために、2010年から北西太平洋シャツキー海台周辺の18点の観測点に広帯域海底地震計を設置し観測を継続してきた(Normal Mantle Project)。このような領域で、上部マントルの構造を詳細に明らかにすることは、その物質や熔融状態あるいは流体の存在を拘束する上で重要であり、プレート運動の理解につながると考えられる。

そこで我々は、海底地震計で観測された遠地地震波形をもとに、P波レシーバ関数(PRF)とS波レシーバ関数(SRF)を作成した。RFの作成には、2010年6月から2014年9月の期間に発生したマグニチュード5.5以上の遠地地震を用いた。そのうち、PRFの作成にはそれぞれの観測点からの震央距離が30°から90°の範囲で、SRFの作成には55°から90°の範囲で発生した遠地地震を用いた。シャツキー海台の北西部に位置する観測点では、厚い堆積層に由来する多重反射によるノイズが顕著であり、特別な注意を要する(安部・川勝, 2014 地震学会)。得られた波形データは、周波数帯域0.2Hz付近のノイズレベルが高いため、SRFの作成時にはコーナー周波数0.1Hzのローパスフィルタを適用した。PRFの作成時には、堆積層での多重反射の影響を避けるために、0.05Hzのローパスフィルタを適用した。作成したRFを観測点ごとに平均すると、多数の観測点でPRFには負、SRFには正の幅広いピークが5秒から10秒の間に検出された。いずれのピークもマントル内に深部側が低速度の速度勾配が存在することを示唆する。そこで、マントル内に深さ30-150km、速度コントラスト0-20%の範囲内の一つの不連続面を含む構造モデルから、観測データに対応するPRF・SRFを合成し、それぞれの観測点で平均したPRF・SRFの両者を説明できるモデルを探索した。その結果、シャツキー海台北西部では速度コントラスト8%の不連続面が海底下85kmの深さに、南東部では速度コントラスト4%の不連続面が125kmの深さに存在することが推定できた。シャツキー海台北部の海底ポアホール地震観測点のデータを用いたRF解析から、リソスフェア-アセノスフェア境界(LAB)に対応する深部側が低速度の不連続面が80km程度の深さに検出されており(Kawakatsu et al., 2009 Science)、本研究で検出した不連続面もLABに対応する可能性がある。今後は、RFに影響を与え得る堆積層や海洋地殻の構造、水深の仮定に様々な条件を与え、マントル内の不連続面の深さや速度勾配が我々の解析からどの程度正確に推定あるいは拘束できるのかについて検討する予定である。

キーワード: 海洋プレート, レシーバ関数, 北西太平洋, リソスフェア-アセノスフェア境界

Keywords: oceanic plate, receiver function, Northwest Pacific Ocean, Lithosphere-Asthenosphere boundary

アウターライズ地震後に発生する重力の急上昇：melt-rich channelによる粘弾性応答の可能性 Sharp gravity increase following an outer-rise earthquake: possibility of viscoelastic rebound by melt-rich channel

松尾 功二^{1*}; 福田 洋一¹; 田中 愛幸²
MATSUO, Koji^{1*}; FUKUDA, Yoichi¹; TANAKA, Yoshiyuki²

¹ 京都大学理学研究科, ² 東京大学地震研究所
¹Kyoto University, ²The University of Tokyo

地震を引き起こす断層運動は、地殻・マントルを変形させると同時に重力場も変化させる。地震に伴う重力変化は、絶対重力計や超電導重力計による地上観測から検出され [Tanaka et al., 2001; Imanishi et al., 2004]、また Mw8 以上の大地震に関しては、GRACE(Gravity Recovery And Climate Experiment) による衛星観測からも検出されている [e.g. Han et al., 2006; Matsuo & Heki, 2011]。GRACE 衛星は、地震時の重力変化のみならず、地震後の重力変化も検出しており、これまで、2004 年スマトラ・アンダマン地震 (Mw9.2)、2010 年チリ・マウレ地震 (Mw8.8)、2011 年東北沖地震 (Mw9.0) による検出例が報告されている [e.g. Ogawa & Heki, 2007; Tanaka & Heki, 2014]。観測された重力変化は、いずれもプレート境界での逆断層地震であったことから共通した変動パターンを示しており、地震時はプレート沈み込み帯の背弧側で負の重力変化、地震後は震源直上で正の重力変化、地震後の重力変化は地震時の半分ほどの大きさ、という特徴を有していた。地震時重力変化に関しては、2005 年スマトラ・ニアス地震 (Mw8.7)、2007 年スマトラ・ブンクル地震 (Mw8.5)、2012 年スマトラ北部西方沖地震 (Mw8.7)、2013 年オホーツク深発地震 (Mw8.3) でも検出されているが [Han et al., 2013; Tanaka & Heki, 2015]、これらの地震では明瞭な地震後重力変化は検出されていない。

我々は、最新の GRACE データと解析手法を導入することで、2007 年千島列島沖地震 (Mw8.1) と 2009 年サモア地震 (Mw8.1) の発生後に、震源域の重力が急速に上昇している様子を発見した。その地震後重力変化は、これまでと同じ変動パターンであるが、1 つ大きく異なる特徴を有していた。それは、地震時重力変化がほとんど見えていないにも関わらず、異常に大きな地震後重力変化が発生している、という点である。地震時重力変化が見えない理由は、GRACE の検出限界が Mw8.3 ほどで、それ以下のマグニチュードでは検出することが難しいからであろう。地震後重力変化が異常に大きい理由は、これまでのケースがプレート境界で発生した逆断層地震であったのに対し、今回のケースがアウターライズで発生した正断層地震であったことが深く関与しているものと推測される。

地震後重力変化のメカニズムとして、これまで、間隙水の拡散 [Ogawa & Heki, 2007]、アフタースリップ [Hasegawa et al., 2012]、マントルの粘弾性緩和 [e.g. Han et al, 2008; Tanaka et al., 2015] などが提唱されており、多くの研究ではマントルの粘弾性緩和が支持されている。今回のケースも、マントルの粘弾性緩和で説明できるかもしれない。近年、電磁気探査によって、アウターライズ域の深さ 40-75km のリソスフェア・アセノスフェア境界にて partial melt が豊富な層 (melt-rich channel) の存在が発見されている [Naif et al., 2013]。この層の粘性率は非常に低いため、直上で地震が起これば、通常よりも急速な粘弾性緩和、すなわち地震後重力変化が発生する可能性がある。本研究では、2つのアウターライズ地震後に発生した重力の急上昇を詳細に調査することで、melt-rich channel による粘弾性緩和の可能性について議論する。

キーワード: アウターライズ地震, melt-rich channel, 粘弾性応答, GRACE, 地震後重力変化

Keywords: outer-rise earthquake, melt-rich channel, viscoelastic rebound, GRACE, postseismic gravity change

ターミナル海盆における 2004 年紀伊半島南東沖地震の地震性堆積物 Earthquake induced deposits during the 2004 off Kii Peninsula earthquakes at a terminal basin

芦寿一郎^{1*}; 大村 亜希子¹; 奥津 なつみ¹; 山口 飛鳥¹; 入野 智久²; 村山 雅史³; 池原 研⁴; 中村 恭之⁵

ASHI, Juichiro^{1*}; OMURA, Akiko¹; OKUTSU, Natsumi¹; YAMAGUCHI, Asuka¹; IRINO, Tomohisa²; MURAYAMA, Masafumi³; IKEHARA, Ken⁴; NAKAMURA, Yasuyuki⁵

¹ 東京大学, ² 北海道大学, ³ 高知大学, ⁴ 産業技術総合研究所, ⁵ 海洋研究開発機構

¹The University of Tokyo, ²Hokkaido University, ³Kochi University, ⁴AIST, ⁵JAMSTEC

海底の古地震学は主に地震性タービダイトの分布と年代の研究によって進められている。しかし、この手法を用いる際には以下の点に注意しなければいけない。1) 混濁流は洪水・波浪・土砂供給の増加などによっても引き起こされる、2) 複数の場所を起源とする混濁流がもたらされる地点では震源位置の特定を十分に行うことができない、3) 混濁流は堆積記録を残さない、あるいは侵食により以前の堆積記録を消し去る場合がある。これらの課題を解決できる場所として、河川からの土砂供給がなく、特定の小さな範囲からのみ土砂が供給される「ターミナル海盆」が挙げられる。なお、「ターミナル海盆」とは流入した堆積物を外部へ逃さない地形的な高まりで囲まれた堆積盆のことである。

熊野沖の外縁隆起帯と前弧海盆の間に発達する堆積盆は、周囲から 250 m 以上凹んでおりターミナル海盆に相当する。学術研究船「新青丸」KS-14-08 航海にてこの海盆より採取した柱状試料には、海底下 17 cm に層厚数 mm の極細粒砂層が認められ、シルト質の複数のラミナをともなう泥層がその上を覆う。セシウム 137 の濃度分布は 17 cm 以浅が一様に高い値を示し、それ以深は検出限界以下であることから表層 17 cm は 1950 年以降に堆積したと考えられる。また、過剰鉛-210 濃度も 17 cm 以浅は一様に高濃度で、それ以深では急激に低下することから、上位 17 cm は最近の堆積イベントを示唆する。採泥地点は洪水による河川からの土砂供給の影響を受ける場所ではないので、地震による堆積物供給と考えられ、1950 年以降の地震としては 2004 年の紀伊半島南東沖地震による可能性が大きい。

この地点では、地震直後の 2004 年 12 月にサイドスキャンソナー WADATSUMI を用いた探査を行っており、ターミナル海盆では著しく低い海底からの反射（後方散乱）が捉えられている。後方散乱が弱い原因として、地震動によりターミナル海盆に流れ込んだ懸濁物が沈積し、海底面が間隙率の非常に高い軟泥で覆われたことが挙げられる。

キーワード: タービダイト, 混濁流, 堆積盆, 付加体, 海底地すべり

Keywords: turbidite, turbidity current, sedimentary basin, accretionary prism, submarine landslide

2004 年紀伊半島南東沖地震による地震性堆積物の微細構造解析 Microstructure analysis of earthquake-induced deposits associated with the 2004 off Kii Peninsula earthquakes

奥津 なつみ^{1*}; 芦 寿一郎¹; 大村 亜希子¹; 山口 飛鳥¹; 菅沼 悠介²; 村山 雅史³
OKUTSU, Natsumi^{1*}; ASHI, Juichiro¹; OMURA, Akiko¹; YAMAGUCHI, Asuka¹; SUGANUMA, Yusuke²; MURAYAMA, Masafumi³

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

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

熊野沖の前弧海盆の南縁と外縁隆起帯の間には東北東-西南西方向に伸びた深い凹地が分布し、外から流入した堆積物が流れ出ることのないターミナル海盆が発達する。この地点は陸上河川からの直接の堆積物供給もないため、地震性タービダイトを用いた古地震研究に適している。この堆積盆より採取された柱状試料のセシウム 137 と過剰鉛-210 濃度の分析の結果は、上部 17 cm の泥質層は 2004 年紀伊半島南東沖地震の際に堆積したことを示す(芦ほか, 本セッション)。本発表は、同試料の組成、粒度、X 線 CT 画像、帯磁率異方性から地震性堆積物の特徴の解明を目的とした。

試料の肉眼観察では海底下 17 cm に厚さ 6 mm の極細粒砂層が認められ、それ以上は塊状の泥からなる。一方、X 線 CT 画像には海底下 6~15 cm に上方へ薄層化するシルト質の葉理が 7 枚確認でき、その上位は無構造のシルトが覆う。平行および斜交葉理の発達する部分では、粒度に大きな変化は認められないが、帯磁率は上方への減少がみられ上位のシルト層で最も低い値を示す。これらの結果から極細粒砂から始まる上記の層は低密度の堆積物重力流によって形成されたと考えられる。17 cm 以深は主に泥質堆積物からなるが、32 cm に木片の濃集層と極細粒砂の薄層が認められる。X 線 CT 画像には、17cm 以深の泥層に層理面に対して斜交する様々な方向を向いた構造が認められ、2004 年かそれ以前の地震による震動変形と解釈できる。帯磁率異方性による磁気ファブリックと X 線 CT 画像に見られる構造も良い対応を示す。

キーワード: 乱泥流, 帯磁率異方性, X 線 CT, イベント性堆積物

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

東海沖南海トラフ巨大シロウリガイコロニーにおける貝殻の放射性炭素年代を用いた断層活動に伴う間欠的メタン流出の検証
Application of C-14 dating on *Calyptogena* shells for historical fault activity analysis off Tokai, Nankai Trough

矢ヶ崎 一浩^{1*}; 倉本 真一²; 芦 寿一郎¹; 横山 祐典¹; 宮入 陽介¹
YAGASAKI, Kazuhiro^{1*}; KURAMOTO, Shin'ichi²; ASHI, Juichiro¹; YOKOYAMA, Yusuke¹; MIYAIRI, Yosuke¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構, CDEX

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, UTokyo, ² Center for Deep Earth Exploration, JAMSTEC

Cold seeps are frequently found at tectonically active continental margins including areas such as the Nankai and Tokai regions. The fluid conduits created by the tectonic activities often form cold seeps, releasing hydrocarbon rich fluids such as methane. Substances such as this are essential for supporting *Calyptogena* bivalve communities to survive through a symbiotic process with the chemosynthetic bacteria. The lifespan of bivalves can be ephemeral due to the conduits altering from tectonic events of converging plate margins, or the source of the hydrocarbon depleting over time. These characteristics may suggest that the *Calyptogena* bivalve shells may hold important information on historical fault activities of the area.

Marine samples originating from the deep sea have often been difficult to radiocarbon date due to the complicated calibration processes involved. Deep circulating ocean currents and sub seafloor seepage of hydrocarbons are main factors responsible for the necessary complex calibration calculations, referred to as the dead carbon effect. DSV *Shinkai* 2000 discovered an unusually large *Calyptogena* bivalve colony in 1997, ranging approximately 200m² off the Daini Tenryu Knoll off Tokai in Japan. Bivalve colonies found are composed mainly of dead shells with few spots of living communities remaining. Past tectonic events may have influenced the methane hydrate layer below to destabilise, releasing significant amounts of methane fluid and gas to the seafloor, consequently allowing bivalves to flourish (Kuramoto, 2001; Ashi et al., 2002; Otsuka et al., 2010).

Amino acid racemisation dating technique was employed on the same shells by Misawa (2004) revealing two different age groups of 0~500 years (white shells) and 1000~2000 years (brown shells), yet the technique was prone to temperature and pH change. This study therefore proposes a novel application of radiocarbon dating of such bivalves to further understand the interaction between local active faults and the bivalve community. Current ¹⁴C age measured range between 1868–1949 year cal AD, coinciding with the 1854 Ansei Tokai earthquake (M8.4). Seafloor mapping, seawater analysis and EPMA and SEM structural analysis of shells from ROV *HyperDolphin* Dives 1355 and 1377 during NT14-07 and NT02-08 respectively, will also be reported.

キーワード: Radiocarbon dating, Cold seep, *Calyptogena* shell, Active fault, Methane
Keywords: Radiocarbon dating, Cold seep, *Calyptogena* shell, Active fault, Methane

南海沈み込み帯におけるメタンハイドレート BSR の分布と浅部温度構造 Distribution of methane hydrate BSRs and shallow thermal structure in the Nankai subduction zone

大出 晃弘^{1*}; 大塚 宏徳¹; 喜岡 新¹; 芦 寿一郎¹
OHDE, Akihiro^{1*}; OTSUKA, Hironori¹; KIOKA, Arata¹; ASHI, Juichiro¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Thermal structure in subduction zones influences pore pressure and diagenesis such as consolidation, dewatering, cementation, and constrains physical properties of fault-slip plane. Methane hydrate is a clathrate that consists of water and methane. Recently, it attracts attentions not only for marine resources but also for estimates of thermal information below the seafloor using the characteristics of its stabilization under low-temperature and high-pressure conditions. Precise two-dimensional thermal structure ranging from the seafloor to BSR depths is calculated taking topographic effect into account, because subsurface heat flow is affected by bathymetry features.

Geothermal gradients in rougher topography tend to be widely different from that in flat seabeds. To remove this effect, I evaluated the effect by conducting the simple two-dimensional thermal calculation of Blackwell et al. (1980). Additionally, I calculate the Base of Gas Hydrate Stability zone (BGHS) taking into consideration the thermal structure coupled with the topographic effect.

A deepening trend of BSR depths landward of trough floor is confirmed as suggested in previous studies. This observation yields countertrend because the BSR depth should be deepest in the trough floor as methane hydrate is stable under low-temperature and high-pressure conditions. Thus, observed BSR depths suggest that heat flow actually decreases landward of the trough floor.

The investigated BSR depths are constrained from deep heat flux, and vary basically landward of the trough floor. But, in this study, BSR depths are deeper around anticline parts and shallower around syncline. Theoretically, the convex-upward seabed is subject to cooling owing to cold bottom seawater, while the convex-downward one is less subject to the cooling. Evaluations of this kind of topographic effect suggest that syncline can be explained by only the topographic effect. Thus, thermal regime calculated from BSR depths does not change in syncline or slope areas.

In this study, the BSR was confirmed for the first time at the prism toe. The detailed BSR distribution map can contribute to disaster prevention because BSRs have potential to being fault-slip planes. In the Nankai area, geothermal gradient values scatter, but the values can be explained by considering subducting plate age, topographic effect, and sedimentation or erosion. In addition, while distances from seafloor to BSR depths are different even under the same water pressure, the calculation taking topographic effect into account revealed to be able to explain these depth changes. Moreover, the calculated thermal structure over BSR depths considering topographic effect seems to be accurate, because estimated BGHS depths and BSR depths fit well together. Understanding precise BSR depths enables to precisely estimate deposited amount of methane hydrate. This study provides thermal information essential for seismic simulations in subduction zones and for laboratory experiments as analogues to seismic ruptures in plate boundary faults.

Keywords: Nankai subduction zone, methane hydrate BSRs, shallow thermal structure

ナガスクジラ鳴音から推定される海底表層の物理特性 Physical property of sea bottom surface estimated from fin whale vocalization

岩瀬 良一^{1*}
IWASE, Ryoichi^{1*}

¹(独) 海洋研究開発機構 / CREST, JST

¹JAMSTEC / CREST, JST

At the cabled observatory off Kushiro-Tokachi in Hokkaido, fin whale vocalizations, which have the frequency range of 15-20 Hz and the duration of about 1 second, were sometimes observed not only with hydrophones but also with ocean bottom seismometers (OBSs) mainly in winter seasons. By using the waveform data of both hydrophone and OBS at OBS1 at the observatory observed from 13:44 to 14:59 JST on December 10th in 2004, the location of the fin whale was estimated. The localization was done based on the incident orientation which was estimated from the horizontal particle motion observed with the OBS and the horizontal range between the OBS and the whale estimated from the time difference of multi-path arrival (TDOMA) in sound pressure data of a hydrophone which includes the reflection at both seafloor and sea surface. During the above observation period, 62 vocalizations were used, whose direct and multi-path arrivals were both identified. The waveforms were band-pass filtered between 10 and 25 Hz and the incident orientation of the particle motion was estimated by applying principal component analysis and by obtaining eigen vector of first main component. As a result it was found that the whale was moving south-south-east near the east of OBS1.

In the previous study carried out in the northeast Atlantic (Harris et al., 2013), the incident angle which was estimated from the apparent emergent angle in the sediments observed with the OBS was used instead of the TDOMA for the localization of the whale. However, the apparent emergent angle is affected by the density and P-wave (pressure wave) velocity of both sediments and water, and is also affected by SV-wave (shear wave) velocity of the sediments, which are mostly unknown. This time, the author compared the apparent emergent angle in the sediments observed with the OBS with the incident angle estimated from the TDOMA in order to examine the consistency of those estimations. As a result, good correlation between the apparent emergent angle and the incident angle was confirmed, and the critical incident angle of pressure wave in seawater was estimated to be 60 degrees. Accordingly, the P-wave velocity in sediments was estimated to be about 1.7 km/s according to Snell's law, assuming that sound velocity in water was 1.5 km/s and SV-wave velocity in sediments was very slow.

Keywords: fin whale vocalization, incident angle, apparent emergent angle, critical angle, seismometer, hydrophone

地殻構造調査結果を反映した重力モデルによる地殻の密度構造 Crustal density structure derived from gravity modelling using results of seismic crustal structure surveys

藤岡 ゆかり^{1*}; 石原 丈実²

FUJIOKA, Yukari^{1*}; ISHIHARA, Takemi²

¹ 海上保安庁, ² 産業技術総合研究所

¹Japan Coast Guard, ²National Institute of Advanced Science and Technology

海上保安庁では海洋の基盤情報収集の一環として日本の周辺海域における海上重力測量を実施しており、これまでの調査から広域かつ面的な重力データが得られている。この海上重力データを用い、重力インバージョン法 (Ishihara and Koda, 2007) によって西太平洋海域の地殻の厚さを計算した。

重力データは、人工衛星のアルチメトリにより求められたフリーエア異常値 (Sandwell et. al., 2014) を基準として航海ごとの値のずれを補正した海上重力データを用いた。両者は長波長成分においてよく一致している。重力値がゆっくりと変化するような場所などでは、アルチメトリによる重力値に振幅が数 mGal, 周期が 20-30 km 程度のノイズが見うけられた。したがって、短波長成分については海上重力データを採用した。

3次元密度構造の初期推定モデルとして、海水、堆積層、上部地殻、下部地殻、マントルの5層で構成された密度構造モデルを設定した。各層の境界面の深度についてはこれまでに海上保安庁が実施した地殻構造調査結果を考慮し、反射法地震探査で取得した反射断面における強反射面の深さから堆積層と上部地殻の境界である基盤面を、屈折法地震探査で取得した地震波速度構造断面において速度が大きく変化する場所から下部地殻上面とマントル上面 (モホ面) を決定した。

観測値と初期推定モデルから計算した値との差には、初期推定面の深度の誤差の他に、マントル内の密度の不均質など層ごとの構造の違いによる影響を含んでいる。そこで各層の深度に対応した波長範囲の重力値を用いることで、それらの影響の分離を試みた。

インバージョン計算の結果、この海域における地殻の厚さ分布が得られた。多くの海山の下ではモホ面は下に凸の形状となっているが、モホ面の窪みが小さいまたは平坦になっているような海山もあることがわかった。

キーワード: 重力, インバージョン計算

Keywords: gravity, inversion calculation

熊野灘および南海トラフにおける海底地殻変動 Seafloor crustal deformation at the Kumano Basin and along the Nankai Trough

田所 敬一^{1*}; 藤井 越百¹; 安田 健二¹; 生田 領野²; 植村 雄一¹; 松廣 健二郎¹
TADOKORO, Keiichi^{1*}; FUJII, Cosmo¹; YASUDA, Kenji¹; IKUTA, Ryoya²; UEMURA, Yuichi¹;
MATSUHIRO, Kenjiro¹

¹名古屋大学, ²静岡大学

¹Nagoya University, ²Shizuoka University

当研究グループでは、熊野灘の4カ所(KMN, KMC, KMS, KMEサイト)で、GPS/音響結合方式による海底地殻変動観測を行っている。平成26年度末までに、KMNで2005年から16回、KMCで2012年から6回、KMSで2004年から20回、KMEで2008年から10回の繰り返し観測を行ってきた。平成26年度は、10月と1月にKMCサイトで10月にKMSサイトで観測を実施した。7月と8月にKMEサイトでも音響測距を行ったが、いずれも海底局のバッテリー切れを確認し、このサイトでの観測が今後行えない状況となった。KMNサイトでの観測は実施しなかった。観測に使用した船舶は、三重県水産研究所の調査船「あさま」である。

解析に先立ち、生データを過去にまで遡り、音響測距波形の再読み取り(海面および船体での反射波の影響の除去)、キネマティックGPS測位結果の異常値の削除、姿勢測定データの異常値の削除を行い、データの質の向上を図った。解析において、これまでGPSアンテナと音響送受波器との相対位置関係の補正値を観測ごとに走時残差をもとに決めていたが、今回は過去に求められた補正値の平均を用いて、これを一定値として海底ベンチマーク位置解析を行った。その際、過去の全データを用いて海底ベンチマーク形状を固定して、その重心位置の移動のみを求めた。

ロバスト推定法(TukeyのBiweight推定法)によって求められた海底ベンチマーク位置の時系列のトレンドを推定し、その直線の傾きからSella et al. [2002]によるREVELモデルを用いて計算したアムールプレートの剛体運動成分を差し引くことにより、各サイトにおけるアムールプレートに対する水平変位速度を求めた。得られた変位速度ベクトルは、KMNサイトではN78+/-5°W方向に45+/-2 mm/yr、KMSサイトではN75+/-4°W方向に46+/-5 mm/yr、KMEサイトではN69+/-21°W方向に32+/-12 mm/yrであった。いずれの観測点でも、方向・大きさともに有意な違いは見られない。KMCサイトでは観測期間2年半と短く、確度の高い変位速度は得られていない。KMSサイトには重心位置がほぼ同じである2セットの海底ベンチマークを設置している。もうひとつのベンチマークの解析結果による変位速度ベクトルはN68+/-11°W方向に54+/-13 mm/yrであり、上述のKMSサイトにおける変位速度ベクトルと有意な差はなく、高精度な海底地殻変動観測が行えていると言える。

2011年の東北地方太平洋沖地震では、海溝軸近傍において40-50m以上にもおよぶプレート間の極めて大きなすべりが生じた[たとえば、Ito et al., 2011; Fujii et al., 2011; Iinuma et al., 2012]。このことを受けて、南海トラフ軸近傍でも早急にすべり欠損を実測する必要性が高まっており、2013年7月に南海トラフ軸近傍(トラフ軸から約15km陸寄り; 尾鷲市の南東沖約120km)に新たにTCAサイトを設置した。さらに、2013年8月に南海トラフ軸の海側(トラフ軸から約35km; 尾鷲市の南東沖約170km)にも新たな観測点(TOAサイト)を設置した。これらのサイトの観測は、2013年8月(観測船:関海事「どうかい」)、2014年1月(観測船:関海事「どうかい」)、2014年6月(観測船:JAMSTEC「新青丸」)、2014年1月(観測船:海洋エンジニアリング「第三海洋丸」)の4回実施している。特に「新青丸」および「第三海洋丸」の船底には音響送受波器が装備されており、距離が6,000mを超えても5ノットで航行しながらの音響測距が可能である。現在、これらのサイトで取得したデータについて、海中音速構造による測位への影響やKGPSのクオリティを確認しながら海底ベンチマーク位置決定解析を行っているところである。

キーワード: 海底地殻変動, 南海トラフ, 巨大地震

係留ブイを用いたGPS/Aによる海底地殻変動自動観測の測位精度評価と精度向上へ 向けた解析手法の開発 Improvement in the accuracy of GPS/Acoustic measurement using a multi-purpose moored buoy

今野 美冴^{1*}; 木戸 元之²; 太田 雄策¹; 高橋 成実³; 福田 達也³; 越智 寛³; 日野 亮太²
IMANO, Misae^{1*}; KIDO, Motoyuki²; OHTA, Yusaku¹; TAKAHASHI, Narumi³; FUKUDA, Tatsuya³;
OCHI, Hiroshi³; HINO, Ryota²

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 災害科学国際研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²International Research Institute of Disaster Science, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2011年東北地方太平洋沖地震では、GPS/音響結合方式(GPS/A)を用いた海底地殻変動観測により、海溝軸近傍において大きな地震時すべりが発生したことが明らかになった(Kido et al., 2011; Sato et al., 2011)。プレート境界型地震の発生メカニズムの解明や、津波の即時予測による被害軽減のため、海溝軸近傍の震源域直上における、海底地殻変動と津波のモニタリングは、極めて重要である。津波の常時観測は、DONETやGPS波浪計により行われている。一方で、水平方向の変動を捉えられるGPS/Aによる海底地殻変動観測は、年数回のキャンペーン観測方式が主流であり、地震時・地震直後の地殻変動を即座に把握できないという問題点がある。そこで、津波・海底地殻変動モニタリングシステムの実用化に向けて、現在、海洋研究開発機構・宇宙航空研究開発機構・東北大学の三者は共同研究により、係留ブイを用いた観測システムの開発および熊野灘における試験観測を実施している。本観測システムは、主に、(1)海底に設置した圧力計で津波と鉛直地殻変動を、(2)精密単独測位(PPP)により海面高および係留ブイの位置をモニターし、(3)ブイ-海底局間の音響測距と合わせたGPS/Aにより水平地殻変動を検出、という3パートから構成される(Takahashi et al., 2014)。本研究では、2014年の試験観測におけるGPS/Aによる自動海底地殻変動観測の測位精度の評価を行う。

通常、GPS/Aによる海底水平地殻変動観測では、海底局アレイの中心直上で測距を行うことにより、水平成層構造を仮定した音速の時間変化の影響をキャンセルし、1回の測位精度20-30cm、これを半日程度繰り返し行うことで最終測位精度数cmを実現している(Spiess et al., 1998, 他)。一方で、本観測システムは、高潮流域で観測を行うためブイをスラック係留し、半径4kmの円周上に振れ回るブイにより、アレイ中心から離れた一カ所で毎週連続11ショットの測距、またはオンデマンド測距を行うという観測スタイルである。そのため、音速の時間変化の影響をキャンセルすることができない。アレイ中心から離れた位置で測距を行った場合の測位誤差を定量的に把握するため、過去の移動観測(個々の海底局の位置を決定するために、アレイの外側を回りながら測距を行う)時のデータを用いて、アレイ位置を推定した。その結果、アレイから離れた場所で測距を行った場合、数10cm~数m程度アレイの重心位置がばらつくことがわかった。これと、海底地殻変動観測のモニタリングは、巨大地震に付随する大きな変位の即時観測をターゲットにしていることを踏まえ、本観測システムにおける目標測位精度を斜め1点からの測距のみで、1m程度と設定した。

ブイ-海底局間の音響測距では、送信波と海底局から返送された受信波との相互相関係数を計算し、相関波形の最大ピークとなる時刻をピックアップして往復走時を得る。これまでの試験観測では、セミリアルタイムでデータを転送するために、ブイ上で音響波形の相関処理を行い各海底局の最大相関時刻±1msの波形データ(8bit・サンプリング100kHz)を陸へ送信していた。しかし、試験観測後のデータ解析により、音響信号の直達波ではなく海面反射波の走時を陸へ転送する現象が、全測距の1/4程度あることが判明した。そこで、2014年の試験観測データ(解析期間1月20日~4月14日:13週間)を用いて、1つの海底局について相関ピークが複数あった場合、最も前方のピークを自動的に取得する手法(今野・他2014)を適応した走時と、従来通り最大ピークをピックアップし読み取った走時を用いて、Kido et al., (2008)に基づき1ショットごとに推定したアレイ位置をそれぞれ比較した。前者の標準偏差(1σ)は週ごとの11回の観測では、東西成分0.45m、南北成分0.34mであるのに対し、観測期間全体では、東西成分3.6m、南北成分2.2mであった。また、後者の1σは週ごとでは東西成分3.7m、南北成分2.6m、解析期間全体では東西成分5.2m、南北成分3.9mとなった。このように反射波を取り除くことで特に同一週内におけるアレイ位置のばらつきは小さくなったが、解析期間全体ではばらつきが大きく、目標の精度1mには現状では及ばないことがわかった。測位精度を向上させるためには、係留ケーブルを短くしブイの触れ回り幅を小さくする他、斜め1点測距では中心定点観測時の何倍も誤差を拡大するため、各海底局の位置を精度10cm程度で決定し再解析を行うといった対策が考えられる。本発表では、後者の対策を行った結果、どの程度精度が向上するか議論する。

キーワード: 海底地殻変動観測, 係留ブイ

Keywords: Seafloor crustal deformation, Moored buoy

GANSEKI: JAMSTEC 岩石サンプルの利用にフィールド情報を活かす GANSEKI: Utilize fieldwork information for studying JAMSTEC rock samples

富山 隆将^{1*}; 相馬 伸介²; 堀川 博紀¹
TOMIYAMA, Takayuki^{1*}; SOMA, Shinsuke²; HORIKAWA, Hiroki¹

¹ 海洋研究開発機構, ² (株) マリン・ワーク・ジャパン

¹JAMSTEC, ²Marine Works Japan, Ltd.

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) は、「みらい」「かいいい」「かいよう」「よこすか」「なつしま」などの船舶を使用して、毎年数十?百数十回の観測航海を行っている。各航海の実施内容は採択課題によって異なり、岩石サンプルを採取するのはこのうち十数航海である。岩石サンプルの採取は、「しんかい 6500」「ハイパードルフィン」「かいこう 7000II」「ディープ・トゥ」などの潜水船や探査機、あるいはドレッジによって行われる。年間に採取される岩石サンプルの数は、数十?数百個に及ぶ。

これら岩石サンプルのコレクションは、地球・海洋科学の研究や教育の資源となる、人類共通の財産である [1]。JAMSTEC は、収集した岩石サンプルのうち、乗船研究者らの一次利用のために公開猶予されるモラトリアム期間 (最大 2 年間) が過ぎたものを、研究・教育等を目的とした二次利用に公開している。JAMSTEC 岩石サンプルについての情報公開は、「GANSEKI」データベースで行われている [2]。ユーザは GANSEKI を通して、20,663 件の岩石サンプルの採取情報 (メタデータ) や、12,243 件の実体サンプルの保管情報 (インベントリ情報)、19,508 件の化学分析データ、その他薄片写真、文献情報、関連データベースへのリンク情報などにアクセスすることが出来る。JAMSTEC 岩石サンプルのコレクションには、2008 年の JAMSTEC キュレーション体制開始以降の比較的新しいサンプルだけでなく、研究者らから寄せられた 80 年代、90 年代の古いサンプルも含まれている。

GANSEKI では、2013 年度の改修により検索性や閲覧性が向上され、その後もデータベース間連携の整備が進められている。「DARWIN」に掲載されている航海・潜航情報 [3] に加え、「J-EDI」の潜航動画 [4]、「JDIVES」の三次元可視化情報 [5] を通して、GANSEKI 利用者は、サンプルの採取過程や周囲の地質・地形の様子など、充実したフィールド情報にもアクセス出来るようになった。各航海・潜航で取得された膨大な情報を整理して有効活用するのは、経験を積んだ研究者にも容易ではない。GANSEKI と各種関連データベースとの連携の整備は、二次利用者だけでなく、実際に乗船していた一次利用者にも資するものである。

参照:[1]「データ・サンプルの取り扱いに関する基本方針」http://www.jamstec.go.jp/j/database/data_policy.html. [2]「深海底岩石サンプルデータベース (GANSEKI)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/ganseki/j>. [3]「航海・潜航データ探索システム (DARWIN)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>. [4]「深海映像・画像アーカイブ (J-EDI)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/j>. [5]「深海調査データビューア (JDIVES)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/jdives/j>.

キーワード: 海洋地質, 岩石サンプル, キュレーション, データベース
Keywords: marine geology, rock sample, curation, database