

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 18 日現在

機関番号：72692

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 年度～2011 年度

課題番号：21540477

研究課題名（和文）パレスベラ海盆の総合マッピング調査：テクトニクス の完全理解へ向けて

研究課題名（英文）Synthetic geological mapping on the Parece Vela Basin:
Investigation of tectonic evolution研究代表者 石井 輝秋（Teruaki ISHII）
公益財団法人深田地質研究所・研究員

研究者番号：80111582

研究成果の概要（和文）：R/V「よこすか」の3航海での延べ24回の「しんかい6500」潜航調査観察と、採集岩石試料の解析から以下の成果が得られた。（1）世界最大の海洋コアコンプレックス（OCC）であるパレスベラ海盆ゴジラムリオン の形成過程を解明した。（2）南部マリアナ陸側斜面のモホ面近傍のSSFで、マントルカンラン岩の蛇紋岩化作用に伴うH₂放出という、無機エネルギーに依拠する深海シロウリガイコロニーを世界で初めて発見した。更にその東方でリフティング期の若い火成活動域を発見した。

研究成果の概要（英文）：Observation records by 24 Shinkai 6500 dives of 3 R/V Yokosuka cruises and analyses on collected samples elucidate the followings; (1) Tectonic process of Godzilla mega-mullion, which is the world largest Ocean Core Complex (OCC) in the Parece Vela Basin was investigated, and (2) A serpentinite-hosted new ecosystem consisting of principally Calyptogena clams was discovered at near Moho in the Southern Mariana Forearc. Young volcanic field at rifting stage was also found in those eastern area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,200,000	360,000	1,560,000
平成22年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成23年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：東フィリピン海、島弧-海溝-背弧海盆系、テクトニクス、海洋底地質断面、マントルカンラン岩、海洋コアコンプレックス、ゴジラムリオン、深海シロウリガイコロニー

1. 研究開始当初の背景

東フィリピン海は四国-パレスベラ海盆、マリアナトラフなどの背弧海盆系と九州パラオ海嶺、西マリアナ海嶺、伊豆-小笠原-マリアナ-ヤップ弧等の島弧系及び、伊豆-小笠原-マリアナ-ヤップ海溝と連なる海溝系の複合体であり、島弧-海溝-背弧海盆系のテクトニクスと進化を研究する上で世界的に特異

な重要な海域である（図1）。

2. 研究の目的

（1）特に、パレスベラ海盆については、海洋コアコンプレックス（Ocean Core Complex = OCC）が多く分布することが判明し、世界最大のOCCであるゴジラムリオンなどを中心に、集中的な観測の対象となってきた。OCCは、表面に畝状のコルゲーションを伴うドーム

状の構造であり、主に大西洋中央海嶺など低速拡大軸を中心に存在が確認されている。OCCの表面には、マンツルカンラン岩やガブロ類が露出しており、低角デタッチメント断層の下盤ブロックが拡大軸のセグメント端に定置したものであり、火成活動の不活発な

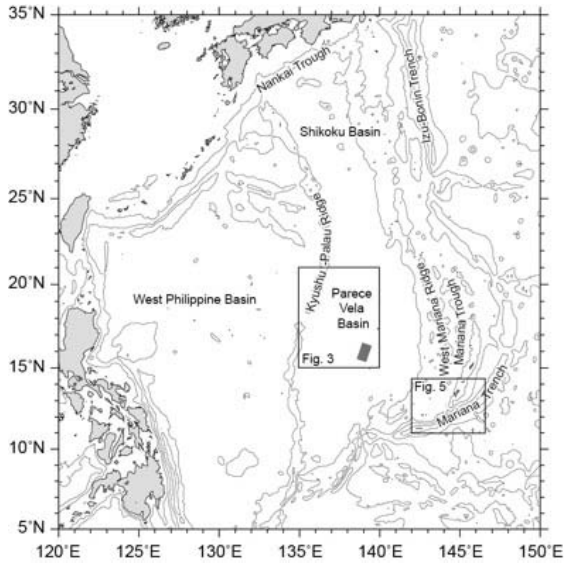


図1. フィリピン海の位置図。2つのボックスは、パレスベラ海盆(図3)と南部マリアナ海域(図5)を示す。パレスベラ海盆のボックスのグレーのハッチは、ゴジラメガムリオン(図4)の位置を示す。

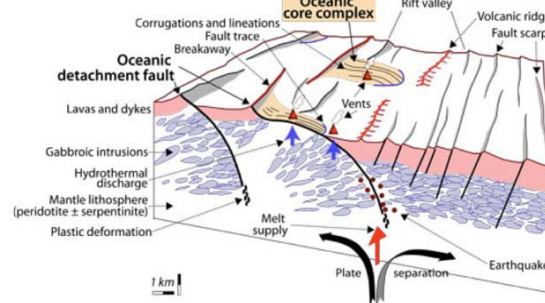


図2. 海洋コアコンプレックスの模式図 (Escartin and Canales, 2011)。

拡大により地下深部構成岩石が引き出されたと説明されている(図2)。OCCの発見の意義は、海底拡大系の拡大プロセスが、マグマによる海洋地殻の生成のみではなく、リソスフェアの比較的深部にまで達する断層運動によっても担われていることを示すことである。OCCは、海洋リソスフェア研究の「テクトニックウィンドウ」として、A:リソスフェアを構成する下部地殻から上部マントルに至る物質的情報と、B:海洋リソスフェアの変形メカニズムに関する情報を提供し、C:海洋リソスフェアの発達過程の理解を助ける優れた場である。ゴジラメガムリオンというテクトニックウィンドウを利用してパ

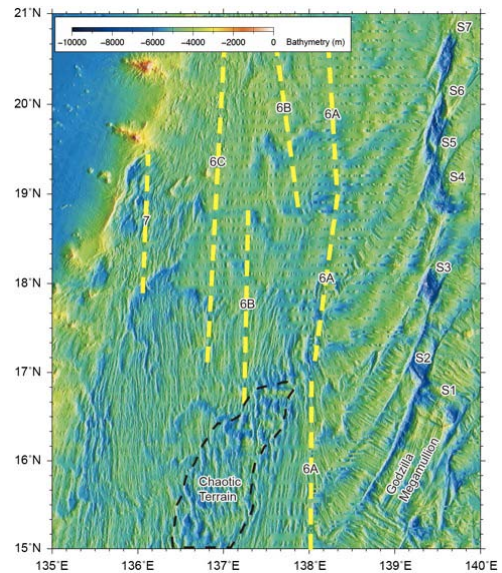


図3. パレスベラ海盆の海底地形図(Ohara et al., 2001)。黄色の点線は、地磁気異常のアイソクロンを示す。7は26 Ma、6Aは21 Maに相当する。パレスベラ海盆の拡大軸(パレスベラリフト)は、Ohara et al. (2001)により、南からS1-S7のセグメントが同定されている。ゴジラメガムリオンはセグメントS1に存在する。カオステレーン、パレスベラ海盆西部の海洋コアコンプレックス群である(Ohara et al., 2001)。

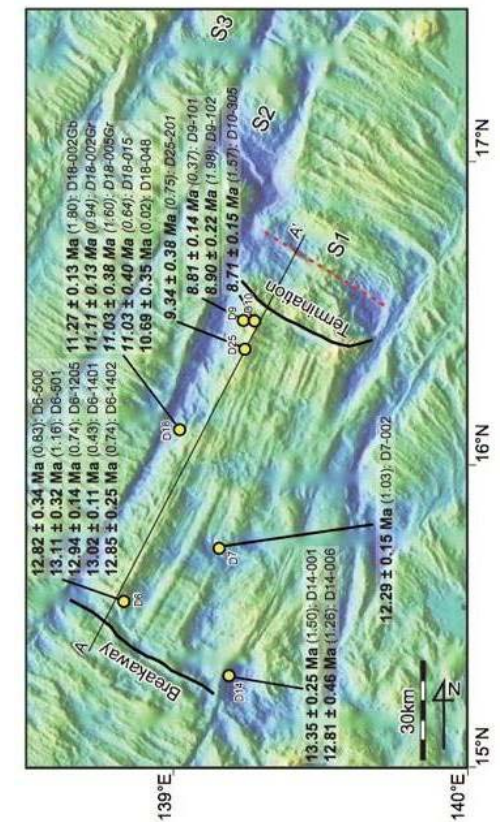


図4. ゴジラメガムリオンのガブロ類のジルコンのU-Pb年代 (Tani et al., 2011)。

レスベラ海盆のリソスフェアの構成とそのテクトニクスを理解することが本研究の目的の一つである。

(2) 一方、伊豆-小笠原-マリアナ前弧から採集される地殻浅部、深部から上部マントルに至る構成岩は、多種類に渡る火山岩やガブロ・マントルカンラン岩であり、海洋底地質断面の露出が期待される。その組成は島弧発達の初期過程を残していると考えられている、いわゆる陸上産スーパーサブダクションゾーン・オフィオライトのものに類似している。このため、島弧活動初期においては、現在のこの種の陸上産オフィオライトを構成する岩相と組成が出現しており、スーパーサブダクションゾーン・オフィオライトと未成熟島弧の発達は密接な関係があることが予想される。すなわち、マリアナ前弧の研究により海洋リソスフェアの発達を島弧・海溝系のテクトニクスと関連づけて理解することが本研究のもう一つの目的である。

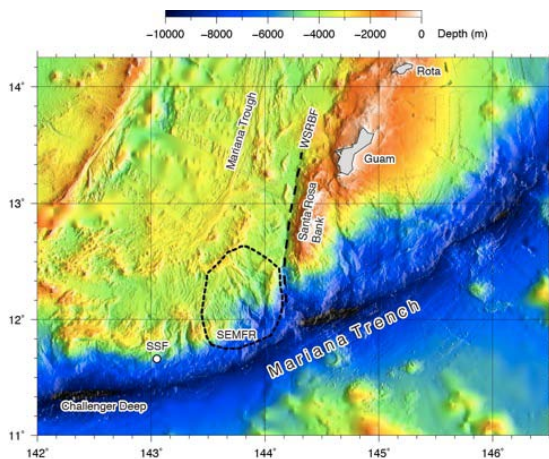


図5. 南部マリアナ海域の海底地形図。西サントローザバンク断層 (WSRBF)、Southeast Mariana Forearc Rift (SEMFR)、しんかい湧水フィールド (Shinkai Seep Field; SSF) の位置を示す。

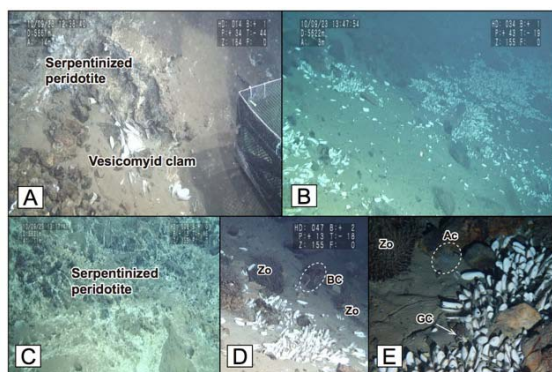


図6. しんかい湧水フィールドの現場観察記録 (Ohara et al., 2012)。

3. 研究の方法

そこで、本研究計画では、パレスベラ海盆および南部マリアナ前弧において、研究航海を実施し、フィリピン海の背弧拡大系を含む島弧・海溝系のテクトニクスと進化の理解と形成モデルの確立を目指したフィールド研究のためこの間以下の4研究航海を実施した。陸上ではデジタル観測データの解析、採集岩石サンプルの岩石学的研究を行った。研究航海；(1)YK09-05 航海 (R/V「よこすか」2009年第5次航海)：2009年5月3日(日) - 5月22日(金) (横須賀新港 - 父島)、「しんかい6500」9潜航6KDive1140 - 1148、研究課題：「海洋コアコンプレックスの組成と構造：ゴジラムリオンの潜航調査」、(2)YK10-12 航海：2010年9月17日(金) - 10月1日(金) (グアム-グアム)、8潜航6KDive 1229-1236、研究課題：「南部マリアナ前弧の組成・構造とテクトニクス」、(3)YK11-08 航海：2011年10月5日(水) - 10月25日(火) (横須賀追浜-神戸)、7潜航6KDive 1270-1276、研究課題：「死にゆく背弧海盆のテクトニクスをゴジラメガムリオンの潜航調査で明らかにする試み」、(4)TN273 航海：2011年12月22日(木) - 2012年01月22日(日) (グアム-グアム)、米国シアトル・ワシントン大学・R/V トーマス・トンプソン号、研究課題：「マリアナ南東部前弧海嶺域およびマリアナトラフ最南端部拡大域における海洋性島弧のテクトニクスと火成活動の探索」。

4. 研究成果

(1) ゴジラメガムリオンの集中サンプリングから明らかとなったパレスベラ海盆のテクトニクス：フィリピン海の非活動的背弧海盆であるパレスベラ海盆には、世界最大のOCCであるゴジラメガムリオンが出現する(図3)。地磁気異常データに基づき、パレスベラ海盆は、年間8.8-7.0 cm (両側拡大速度) という中速からやや高速の拡大環境の下に発達したと議論されてきた。OCCは、超低速および低速拡大海嶺に多く出現し、高速拡大海嶺には存在が確認されていない。中速拡大海嶺においては、パレスベラ海盆やオーストラリア・南極不連続 (Australia-Antarctica Discontinuity = AAD) 等、わずかな例が知られるのみである。世界の海嶺の作る海底地形とその拡大速度には正の相関が知られており、拡大が高速になるにつれ、より豊富なマグマの供給によるマグマティックな地形が形成されることが一般的である。この点で、中速拡大海嶺であるパレスベラ海盆に世界最大のOCCであるゴジラメガムリオンが出現することは特異であると考えられて来た (Ohara, Okino, and Snow, 2011)。しかし、本研究の成果により、「パレスベラ海盆の拡大終期は、その拡大速度が顕著に低下し、ゴジラメガムリオンは低速から超低速拡大環境で形成した」とことが判明した。

本研究では、YK09-05 および YK11-08 航海において、「しんかい 6500」を用いた集中的な潜航調査をゴジラメガムリオンにおいて実施した。その結果、これまでの航海で採取された点を含め、ゴジラメガムリオン上の計 42 カ所からカンラン岩・ガブロおよび玄武岩の岩石試料の採取に成功した (Ohara, Snow, et al, 2011)。玄武岩については Ar-Ar 年代を、ガブロ類についてはジルコンを用いた U-Pb 年代を決定した。これらの結果、ゴジラメガムリオン形成期のパレスベラ海盆の拡大は顕著に低速化し (片側拡大速度約 2.5 cm) (図 4、Tani et al, 2011)、共役な北東側の拡大よりも、ゴジラメガムリオンデタッチメント断層による拡大が全体の海底拡大のより多くを担うという、海底拡大の非対称性が示された。

一方、ゴジラメガムリオンの活動最終期に相当する、ゴジラメガムリオンのターミネーションのブロックからは玄武岩に混じってカンラン岩が採取された。このことは、北極海ガッケル海嶺の地形や最近の数値モデルからも示されているように、ゴジラメガムリオンの活動最終期には、その拡大が超低速になったことが推定される。カンラン岩の岩石学からもこのシナリオを支持する結果が得られた。すなわち、ゴジラメガムリオンの発生初期に相当するブレイクアウェイの箇所ではカンラン岩は比較的枯渇した組成を示すが、ゴジラメガムリオンの中盤では肥沃な組成を示し、ターミネーション近傍では斜長石カンラン岩の存在が顕著になっている。これは、ゴジラメガムリオンが低速拡大環境・超低速拡大環境で発生し、その発達後期にはリソスフェアの厚化により、深部で発生したメルトがリソスフェア中にトラップされ斜長石カンラン岩として産すると解釈出来る (Ohara, Snow, et al, 2011)。

ゴジラメガムリオンの拡大セグメントから 4.6 Ma という若いアルカリ玄武岩の存在が知られており、それはパレスベラ海盆が 12 Ma に活動を終了した後の、拡大終了後火成活動であると解釈された。同様に、四国海盆の紀南海山列等、北部フィリピン海では拡大終了後火成活動と解釈されてきた火成活動の存在が知られている。しかし、実は拡大終了後火成活動というものは存在していなかったのかもしれない。すなわち、上記で示したシナリオに基づけば、フィリピン海背弧海盆の活動後期においては、その拡大速度が次第に低速となり、拡大最終期の超低速環境下において、アルカリ玄武岩の活動が発生したという新たなモデルを提案したい。

(2) 南部マリアナ海域のテクトニクスと生命地球科学：本研究では、YK10-12航海において、「しんかい 6500」を用いた集中的な潜航調

査を南部マリアナ前弧において実施した。その結果、以下の3点の顕著な発見を行った。まず、グアム島南方の南部マリアナ前弧は、サンタローザバンクの西に位置する活動的な左横ずれ断層である西サンタローザバンク断層 (West Santa Roza Bank Fault = WSRBF) が重要なテクトニックな境界であることが明らかとなった。WSRBF の東方では、非常に古い、沈み込み発生初期の玄武岩が広範囲に分布していることが明らかとなった (図 5)。これまでの研究では、伊豆-小笠原-マリアナ弧の活動初期において、ボニナイトマグマ活動が発生し、その後数百万年間にソライト及びカルクアルカリ系列のより成熟した島弧にみられるマグマの活動に変化していったと考えられていたが、本研究により、ボニナイトマグマの活動に先立つ、50 Ma 程度に活動した沈み込み発生極最初期の玄武岩の存在が明らかとなった。我々はこの玄武岩に対して FAB (Fore-Arc Basalt) と命名した (Reagan et al., 2010)。父島東方の小笠原前弧からも FAB の存在が最近の調査によって確認されており、沈み込み帯発生最初期の活動について、これまで以上に細かく議論出来るようになってきた。

次に、WSRBF 西方の海底について注目してみる。ここでは、南北展張性のテクトニクスによる、無数の断層を伴った様々なスケールの変形を被っている。WSRBF の西方では、肥沃な組成を持つマリアナトラフ由来の背弧海盆カンラン岩と現世の新鮮な玄武岩も採取され、グアム南西の南部マリアナ前弧において、活動的な背弧リフティングが発生していることを示しており、我々はこのリフトに対して、Southeast Mariana Forearc Rift (SEMFAR) と仮称した。SEMFAR は、前弧における活動的な背弧リフティングという特殊なテクトニクスを理解するための稀な例である。

更に西方の、東経 143 度 30 分近傍の斜面に広範囲に枯渇したマンテルカンラン岩が露出していることが知られていた。本研究では、より西方の Challenger Deep 北東の海溝陸側斜面のマンテルカンラン岩のマッピングを行った。その結果、これまでには報告のなかった、非常に新鮮なカンラン岩およびガーネットを含有する角閃岩をも発見した。更に、6KDive1234 (「しんかい 6500」第 1234 潜航；観察者石井) で、近傍において、モホ面近傍に胚胎しているシロウリ貝コロニーをも発見し、「しんかい湧水フィールド」 (Shinkai Seep Field = SSF) と命名した (図 5、Ohara et al, 2012)。南部マリアナ海域からのシロウリガイ類の発見は、これが初の事例となった。これまでに知られているシロウリガイ類は、堆積物の分解に起因するメタンの湧水系に生息するものと、

高温の海底熱水系に生息するものの2種類に大きく分類されていたが、本研究で初めてマントル物質の湧水系に生息するシロウリガイ類が発見された(図6)。更にTN273航海では深海曳航式サイドスキャンソナーIMI30により詳細な海底地質情報が得られた。「しんかい湧水フィールド」は、蛇紋岩海山に伴われず、上部マントルの断面に生じたマントルカンラン岩の蛇紋岩化作用に伴うH₂放出という、無機エネルギーに依拠す新しいタイプの湧水系である。マリアナ海溝南部から、「しんかい湧水フィールド」と同様な湧水系が、今後、次々と発見される可能性を示すとともに、類似の地質学的セッティングにあるトンガ海溝においても、同様な湧水系の発見が期待される。

〔引用文献〕

- Escartin, J., and J.P. Canales, Chapman Conference on Detachments in Oceanic lithosphere: Deformation, Magma-tism, Fluid Flow and Ecosystems (Conference report), EOS Transactions, AGU, 92, p. 31, doi:10.1029/2011E0040003, 2011.
- Ohara, Y., K. Okino, and J. Snow, Tectonics of magma-starved crust formation in the Parece Vela Basin, in Y. Ogawa et al. (eds), Accretionary prisms and convergent margin tectonics in the Northwest Pacific Basin, Modern Approaches in Solid Earth Sciences 8, Springer, doi:10.1007/978-90-481-8885-7_7, 2011.
- Ohara, Y., J.E. Snow, K. Michibayashi, H. J.B. Dick, Y. Harigane, K. Tani, H. Yamashita, O. Ishizuka, M. Loocke, T. Ishii, and K. Okino, Geology of a dying backarc spreading segment: results of high-density samplings of Godzilla Megamullion, 2011 AGU Fall Meeting, T31D-07, 2011.
- Ohara, Y., M.K. Reagan, K. Fujikura, H. Watanabe, K. Michibayashi, T. Ishii, R.J. Stern, I. Pujana, F. Martinez, G. Girard, J. Ribeiro, M. Brounce, N. Komori, and M. Kino, A serpentinite-hosted ecosystem in the Southern Mariana Forearc, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109, 2831-2835, 2012.
- Ohara, Y, T. Yoshida, Y. Kato, S. Kasuga, Giant megamullion in the Parece Vela backarc basin. Mar Geophys Res, 22, 47-61, 2001.
- Reagan, M.K., O. Ishizuka, R.J. Stern, K.A. Kelley, Y. Ohara, J. Blichert-Toft, S.H. Bloomer, J. Cash, P. Fryer, B.B. Hanan, R. Hickey-Vargas, T. Ishii, J.-I. Kimura, D.W. Peate, M.C. Rowe, and M. Woods, Fore-arc basalts and subduction initiation in the Izu-Bonin-Mariana system, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11, Q03X12, doi:10.1029/2009GC002871, 2010.
- Tani, K., D. Dunkley, and Y. Ohara, Termination of backarc spreading: zircon dating of a giant oceanic core complex, Geology, 39, 47-50, doi: 10.1130/G31322.1, 2011.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計20件)(内査読有り16件)

1. Ohara, Y., M.K. Reagan, K. Fujikura, H. Watanabe, K. Michibayashi, T. Ishii, R.J. Stern, I. Pujana, F. Martinez, G. Girard, J. Ribeiro, M. Brounce, N. Komori, and M. Kino. A serpentinite-hosted ecosystem in the Southern Mariana Forearc. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109, 2831-2835, 2012 (査読有)
2. Haraguchi, S., T. Ishii, J.-I. Kimura, and Y. Kato, The early Miocene (~25 Ma) volcanism in the northern Kyushu-Palau Ridge, enriched mantle source injection during rifting prior to the Shikoku backarc basin opening, Contributions to Mineralogy and Petrology, DOI 10.1007/s00410-011-0680-x, 2011. (査読有)
3. Sato, H. and T. Ishii, Petrology and mineralogy of mantle peridotites from the southern Marianas, in Y. Ogawa et al. (eds), Accretionary prisms and convergent margin tectonics in the Northwest Pacific Basin, Modern Approaches in Solid Earth Sciences, 8, Springer, doi:10.1007/978-90-481-8885-7_6, 129-147, 2011. (査読有)
4. 石井輝秋, ソレライト質マグマに由来する箱根火山のカルクアルカリ岩: 輝石地質温度計によるマグマの温度解析, 深田地質研究所年報, 12, 1-16, 2011. (査読無)
5. Ohara, Y., K. Okino, and J.E. Snow, Tectonics of magma-starved crust formation in the Parece Vela Basin, in Y. Ogawa et al. (eds), Accretionary prisms and convergent margin tectonics in the Northwest Pacific Basin, Modern Approaches in Solid Earth Sciences, 8, Springer, doi:10.1007/978-90-481-8885-7_7, 149-168, 2011. (査読有)
6. Harigane, Y., K. Michibayashi, and Y. Ohara, Deformation and hydrothermal metamorphism of gabbroic rocks within the Godzilla Megamullion, Parece Vela Basin,

Philippine Sea, *Lithos*, 124, 185-199, 2011, (査読有)

7. Harigane, Y., K. Michibayashi, and Y. Ohara, Relicts of deformed lithospheric mantle within serpentinites and weathered peridotites from the Godzilla Megamullion, Parece Vela Back-arc Basin, Philippine Sea, Island Arc, doi:10.1111/j.1440-1738.2011.00759.x, 2011b. (査読有)

8. Ishizuka, O., R.N. Taylor, M. Yuasa, and Y. Ohara, Making and breaking an island arc: a new perspective from the Oligocene Kyushu-Palau arc, Philippine Sea, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12, Q05005, doi:10.1029/2010GC003440, 2011. (査読有)

9. Tani, K., D. Dunkley, and Y. Ohara, Termination of backarc spreading: zircon dating of a giant oceanic core complex, *Geology*, 39, 47-50, doi: 10.1130/G31322.1, 2011. (査読有)

10. Reagan, M.K., O. Ishizuka, R.J. Stern, K.A. Kelley, Y. Ohara, J. Blichert-Toft, S.H. Bloomer, J. Cash, P. Fryer, B.B. Hanan, R. Hickey-Vargas, T. Ishii, J.-I. Kimura, D.W. Peate, M.C. Rowe, and M. Woods, Fore-arc basalts and subduction initiation in the Izu-Bonin-Mariana system, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, Q03X12, doi:10.1029/2009GC002871, 2010. (査読有)

11. Tsuji T., H. Yamaguchi, T. Ishii, and T. Matsuoka, Mineral Classification from Quantitative X-ray Maps using Neural Network: Application to Volcanic Rocks, *Island Arc*, 19, 105-119, 2010. (査読有)

12. 横瀬久芳・佐藤創・藤本悠太・M. H. Mira -bueno・小林哲夫・秋元和實・吉村浩・森井康宏・山脇信博・石井輝秋・本座栄一, トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動, *地学雑誌*, 119, 30-52, 2010. (査読有)

13. Harigane, Y., K. Michibayashi, and Y. Ohara, Amphibolitization within the lower crust in the termination area of the Godzila Megamullion, an oceanic core complex in the Parece Vela Basin, Island Arc, doi: 10.1111/j.1440-1738.2010.00741.x, 2010. (査読有)

14. Michibayashi, K., Y. Ohara, R.J. Stern, P. Fryer, J.-I. Kimura, M. Tasaka, Y. Harigane, and T. Ishii, Peridotites from a ductile shear zone within back-arc lithospheric mantle, southern Mariana Trench: results of a Shinkai 6500 dive, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q05X06, doi:10.1029/2008GC002197, 2009. (査読有)

15. Okino K., Y. Ohara, T. Fujiwara, S.-M. Lee, K. Koizumi, Y. Nakamura, and S. Wu,

Tectonics of the southern tip of the Parece Vela Basin, Philippine Sea Plate, *Tectonophysics*, 466, 213-228, 2009. (査読有)

[学会発表] (計63件) (内招待講演 5件)

①. T. ISHII, F. MARTINEZ, K. A. KELLEY, R. J. STERNY, Y. OHARA, TN273 Cruise onboard 19 scientists, Geological and petrological studies in the southern Mariana margin, --R/V Thomas G. Thompson TN273 Cruise quick report--, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会、2012 年 5 月 22 日、千葉県、幕張メッセ

②. Ohara, Y., J.E. Snow, K. Michibayashi, H. J.B. Dick, Y. Harigane, K. Tani, H. Yamashita, O. Ishizuka, M. Loocke, T. Ishii, and K. Okino, Geology of a dying backarc spreading segment: results of high-density samplings of Godzilla Megamullion, 2011 AGU Fall Meeting, T31D-07, 2011, San Francisco, USA

③. Michibayashi, K., Uehara, S., Ohara, Y. and Ishii, T., Fabric and petrological characteristics of serpentinitized peridotites from the southern Mariana Trench, Abstract V51I-02 (Invited), AGU 2011 Fall Meeting (招待講演), 4-9 Dec. 2011, San Francisco, USA

④. 小原泰彦・Jonathan E. Snow・石塚治・谷健一郎・石井輝秋・ゴジラムリオン研究チーム、フィリピン海背弧拡大とゴジラムリオンの形成、日本地球惑星科学連合2010大会 (招待講演)、2010年5月27日、千葉県、幕張メッセ

⑤. Ohara, Y., Structure and composition of the Southern Mariana Forearc: Shinkai 6500 dive studies, The fifth international symposium on application of marine geophysical data and undersea feature names, Korean Cartographic Association (招待講演)、2010年10月21日、Busan, Korea

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 輝秋 (Teruaki ISHII)

公益財団法人深田地質研究所・研究員

研究者番号：80111582

(2) 研究分担者

小原 泰彦 (Yasuhiko OHARA)

独) 海洋研究開発機構・地球内部変動
研究センター・研究員

研究者番号：10470121

(3) 連携研究者

() 研究者番号：

完了