

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05212

研究課題名(和文) 現行型沈み込み帯出現の地質学的証拠：古原生代、高圧中間群変成帯の総合研究

研究課題名(英文) An integrated study of Paleoproterozoic high-pressure intermediate-type metamorphic belt: Implication for the operation of modern-style subduction processes

研究代表者

辻森 樹 (Tsuji Mori, Tatsuki)

東北大学・東北アジア研究センター・教授

研究者番号：00436833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は東アフリカ、タンザニア地塊外縁造山帯(太古代タンザニア地塊を取り囲む原生代造山帯)に産する約20億年前の高圧中間群変成帯とそれに対をなす古原生代のパンソリス帯において野外地質調査を行い、採取した岩石試料を解析した。低変成度の結晶片岩地域の変成枕状玄武岩の地球化学的特徴や高変成度岩の変成作用の特徴、さらにパンソリス帯の活動時期を総合的に検討した結果、海洋プレート沈み込みに伴う約20億年前の太平洋型造山帯の実体が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：High-pressure intermediate-type metamorphic belt surrounding the late Archean Tanzania Craton experienced Pacific-type subduction zone metamorphism in Orosirian Period at ca. 2 Ga. Epidote-amphibolite-facies meta-pillow basalts of the belt had a mid-ocean ridge basalt-like affinity. Details of eclogite- and high-pressure granulite-facies metamorphism has also brought new insight into Paleoproterozoic Pacific-type subduction processes.

研究分野：地質学

キーワード：現行型沈み込み帯 高圧中間群変成帯 古原生代 高圧変成岩 変成岩岩石学 野外地質学 タンザニア 東アフリカ

1. 研究開始当初の背景

45.5億年の地球史において太古代のプレートテクトニクスの起動は原始海洋地殻の部分溶融によって地球表層の原始地殻を花崗岩質の大陸地殻と玄武岩質の海洋地殻に化学分別させた。とりわけ大陸地殻は太古代～古原生代に形成した古い地殻の一部を保持し、2億年より若い海洋地殻とは化学組成と形成年代に関して極めて対照的な存在である。この地殻の二極性は、地球と他の地球型惑星との決定的相違であり、固体地球固有の内部進化と表層環境に複雑性を与えた要因の一つである。プレートテクトニクス起動に伴い「現行型沈み込み帯」がどこかのタイミング(新原生代までの時期)に出現する。「現行型沈み込み帯」は島弧火成活動によって大陸地殻物質を再生し、構造侵食は新旧の大陸地殻物質を下部マントルへと循環させ始めた。その結果、固体地球の化学分別様式に多様性が生まれ、さらに化学分別そのものが大きく加速した。ところが、現行型沈み込みテクトニクスの開始を裏付ける藍閃変成帯の出現は原生代後期まで地質記録がない(例えば、Tsuji-mori and Ernst 2014)。「地球史において現行型沈み込みテクトニクスはいつ始まったのか?それはどのような場で始まり、どのような環境であったのか?」---太古代大陸地殻を核に発達した古期造山帯(太古代中期～古原生代)の広域変成帯から現行型沈み込みテクトニクスの証拠を見出し、その実体を解明することは地質学に残された最重要課題の一つである。

最近、西オーストラリア、ジャックヒルズ変成礫岩(30億年前)の碎屑性ジルコン粒子(42-30億年前)から発見されていたダイヤモンド包有物が、全て実験室内の研磨材汚染であることが明らかとなり、現行型沈み込みによる太古代超高压変成作用の可能性が完全否定された(Liou, Tsujimori et al. 2014 参照)。さらに、ロシア北西部コラ半島ペロモミア変動帯では、片麻岩に伴う最古(27億年前)の高温中圧エクロジヤイトが、19億年前に肥厚した大陸地殻下部の変成作用(高压グラニュライト相)で形成した可能性が示された。さらに、南アフリカ、バーバートン緑色岩帯からは、太古代中期の現行型沈み込みテクトニクスの可能性を示す証拠としてざくろ石角閃岩の圧力温度見積りが提示されたが、角閃石の化学組成はその可能性を十分に裏付けるものではなかった。

2. 研究の目的

地球史における「現行型沈み込み帯の出現」

を地球惑星科学の視点で理解したい。本研究は東アフリカ、タンザニア地塊外縁造山帯(太古代タンザニア地塊を取り囲む原生代造山帯)に産する約20億年前の高压中間群変成帯(Nelson and Tsujimori 2014)に注目する(図1)。この変成帯は藍閃石を欠くものの、パロア閃石(注:藍閃石成分に富んだCa-Na角閃石;国内では三波川帯の塩基性片岩に産出が知られる)が産するという点で、顕生代以降の藍閃変成帯に近似可能であり、最古の現行型沈み込み帯を示す地質学的証拠として位置付けられる。



図1 本研究での研究対象調査地域を示した地質略図。

申請者らは本申請に先立つ海外学術研究において、太古代大陸地殻を核とした外縁造山帯の成長から造山帯の一部が汎アフリカ造山運動(約5億年前)によって改変されるまでの約15億年間の変遷の解読に挑戦してきた(平成24-26年度基盤研究B(海外学術)「大陸地殻の改変と構造侵食の実像:タンザニア地塊外縁造山帯約15億年間の変遷解読(代表:辻森)」。その研究課題ではタンザニア地塊から原生代造山帯を横切って汎アフリカ造山帯に至る3本の横断線(幅約150~200km)に沿って高変成度変成岩(エクロジヤイト、グラニュライト)と花こう岩体を解析し、同外縁造山帯の全体像が明らかになりつつある。本研究は先行研究で得られた成果を踏まえ、最古の高压中間群変成帯の野外地質学に於て記載岩石鉱物学と地球化学的手法を応用し、変成帯と対をなす花こう岩バソリス帯の時空間変遷の把握を相補的に加えることで、古原生代に太古代タンザニア地塊周縁に出現した現行型沈み込み帯の実体を明らかにし、地球史最古の現行型沈み込み帯の総合理解を目指した。本研究は先行研究の新展開という位置付けだけでなく、造山帯地質学のための低変成度変成岩

の解析手法を再構築し、新しい解析プロトコルの確立を目指した。

3. 研究の方法

第一に、タンザニア地塊外縁造山帯の約20億年前の高圧中間群変成帯の鍵となる地域で野外地質調査を行い、広域変成帯としての特徴を把握する。変成帯の構成岩類、構造極性、上盤・下盤境界、断層関係を決定・記載し、さらに、同変成帯と対をなしていたと考えられるバソリス帯の規模と活動時期を把握する。第二に、記載岩石鉱物学と地球化学的手法を適用し、古原生代の現行型沈み込み帯の記録を変成鉱物から解析する。さらに、古原生代以降の太平洋型の高圧中間群変成帯を造山帯構成岩に関する相補的な研究と、文献調査に基づいた対比・比較を行った。そして、古原生代の現行型沈み込み帯とその場での固体地球プロセスを総合的な理解を目指した。

4. 研究成果

タンザニア地塊外縁造山帯の約20億年前の高圧中間群変成帯のなかの高変成度岩について記載が進んだ結果、いくつかの新知見を得た。特に、低変成度の結晶片岩地域の枕状構造を保持した緑れん石-角閃岩相の変成玄武

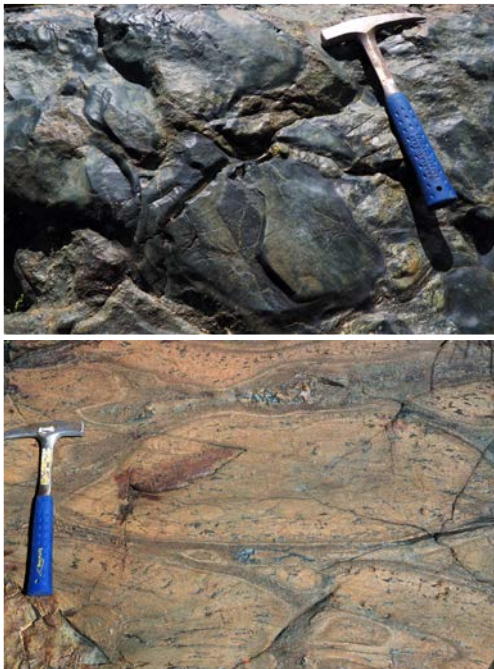


図2 20億年前の高圧中間群変成帯の低変成度部（緑れん石角閃岩相）の変成玄武岩の産状。変形により弱い片理が発達するものの部分的に明瞭な枕状構造を保持する。

岩の全岩化学組成（主要・微量元素濃度）の検討から、それらが典型的な中央海嶺玄武岩を

原岩とすることが明らかとなった。先行研究でエクロジャイト（図3）も中央海嶺玄武岩の全岩化学組成を保持していることから、約20億年前の高圧中間群変成帯が海洋プレート沈み込みに伴う太平洋型造山帯で形成されたことが自明となった。

本研究では主要な研究対象の高圧中間群変成帯と対をなすバソリス帯のカルクアルカリ系花こう岩（図4）について系統的な試料採取を行いジルコン年代測定を実施した。

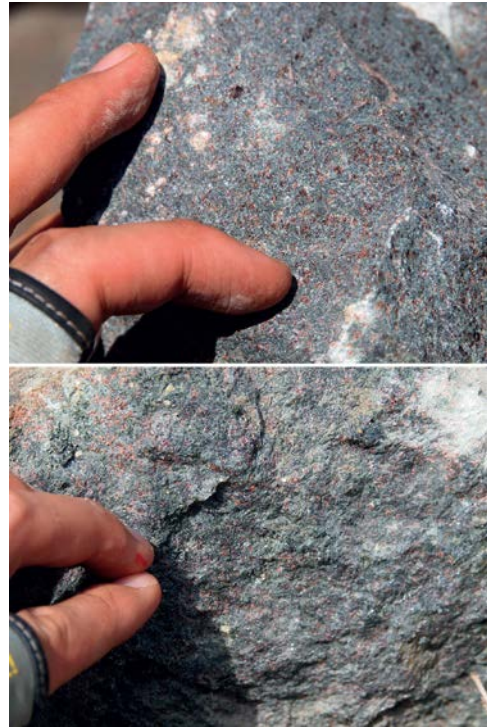


図3 20億年前の高圧中間群変成帯に産するエクロジャイトの産状。エクロジャイトの一部は新原生代に高度角閃岩相～グラニュライト相の重複を被っている。

また、約20億年前の高圧中間群変成帯に存在する角閃岩相やエクロジャイト相変成岩の再検討を行った。その結果、これまでエクロジャイト相変成岩と記載されてきた変成岩のいくつかは、ざくろ石+普通輝石+斜長石で特徴付けられる高圧グラニュライト相の変成作用で特徴付けられ、一部でスピネルやサフィリンを伴うことが分かった。高圧グラニュライト相の変成作用は、古原生代のエクロジャイトが後に被った新原生代の高度角閃岩相～グラニュライト相の重複とは区別可能であった。

約20億年前の角閃岩について平衡共存する鉱物の相の数が多く、一般的な変成玄武岩類よりも、変成条件を束縛しやすいアルミニウムに富む（藍晶石を含む）角閃岩類の解析で、トロクトライト質の沈積岩が原岩である

ことが判明し、藍晶石が滑石と共存することが明らかとなった。藍晶石+滑石の鉱物組み合わせの発見により、これまで角閃岩相と考えられてきた地域の変成圧力の下限が決定された。顕生代の変成帯との比較研究も進み、古原生代の高圧中間群変成帯の実像の理解が進んだ。



図4 20億年前の高圧中間群変成帯と対をなすバソリス帯のカルアルカリ系花こう岩。

さらに、本研究で得られた高変成度変成岩及び花こう岩類のジルコンのU-Pb年代(未公表)も含めて、タンザニア地塊を取り巻く造山帯(タンザニア地塊外縁造山帯)の年代学をコンパイルし、新しい地体構造区分を提案した(Nelson and Tsujimori 投稿中)。

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14件)

① Martens U.C., Tsujimori T., Liou J.G., 2017, Eclogite varieties and petrotectonic evolution of the northern Guatemala Suture Complex. *International Geology Review*, v. 59, 2017, no. 5-6, p. 721-740 [査読有り]
doi:10.1080/00206814.2016.1245592

② Sofiya A., Ishiwatari A., Hirano N., Tsujimori T., 2017, Relict chromian spinels in Tulu Dimtu serpentinites and listvenite, Western Ethiopia: Implications for the timing of listvenite formation. *International Geology Review*, v. 59, no. 13, 2017, p. 1621-1631 [査読有り]
doi:10.1080/00206814.2016.1213142

③ Stern R. J., Leybourne M. I., Tsujimori T., Kimberlites and the start of plate tectonics: REPLY. *Geology*, v. 45, no. 1, 2017, p. e406 [査読有り]
doi:10.1130/G38725Y.1

④ Tsujimori T., Early Paleozoic jadeitites in Japan: An overview. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 112, no. 5, 2017, p. 217-226 [査読有り]
doi:10.2465/jmps.170406a

⑤ Tsujimori T., Harlow G.E., Jadeitite (jadeite jade) from Japan: History, characteristics, and perspectives. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 112, no. 5, 2017, p. 184-196 [査読有り]
doi:10.2465/jmps.170804

⑥ Tsujimori T., Miyajima H., Miyawaki R., Gem sparkles deep: Preface of the special issue on 'Jadeite and jadeitite'. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 112, no. 5, 2017, p. 181-183 [査読有り]
doi:10.2465/jmps.171006

⑦ Takahashi N., Tsujimori T., Kayama M., Nishido H., Cathodoluminescence petrography of P-type jadeitites from the New Idria serpentinite body, California. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 112, no. 5, 2016, p. 291-299 [査読有り]
doi:10.2465/jmps.170403

⑧ Barnes C.G., Ernst W.G., Berry R., Tsujimori T., Petrology and geochemistry of an upper crustal pluton: A view into crustal-scale magmatism during arc to retro-arc transition. *Journal of Petrology*, v. 57, no. 7, 2016, p. 1361-1388 [査読有り]
doi:10.1093/petrology/egw043

⑨ Kimura J.-I., Chang Q., Ishikawa T., Tsujimori T., Influence of laser parameters on isotope fractionation and optimisation of lithium and boron isotope ratio measurements using laser ablation-multiple Faraday collector-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 31, no. 11, 2016, p. 2305-2320 [査読有り]
doi:10.1039/C6JA00283H

⑩ Stern R. J., Leybourne M. I., Tsujimori T., Kimberlites and the start of plate tectonics. *Geology*, v. 44, no. 10, 2016, p. 799-802 [査読有り]
doi:10.1130/G38024.1

⑪ Ernst W.G., Sleep N.H., Tsujimori T., Plate-tectonic evolution of the Earth: Bottom-up and top-down mantle circulation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 53, no. 11, 2016, p. 1103-1120 [査読有り] doi:10.1093/petrology/egw043

⑫ Wakabayashi J., Tsujimori T., Ogawa Y., Shervais J., Convergent plate margin processes and their rock record. *International Geology Review*, v. 57, no. 5-8, 2015, p. v-ix [査読有り] doi:10.1080/00206814.2015.1026415

⑬ Harlow G.E., Tsujimori T., Sorensen S.S., Jadeitites and plate tectonics: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 43, 2015, p. 105-138 [査読有り] doi:10.1146/annurev-earth-060614-105215

⑭ Itaya T., Tsujimori T., White mica K-Ar geochronology of Sanbagawa eclogites from SW Japan: Implications for deformation-controlled K-Ar closure temperature. *International Geology Review*, v. 57, 2015, p. 1014-1022 [査読有り] doi:10.1080/00206814.2014.973915

[学会発表] (計 14 件)

① Takahashi N., Tsujimori T., Kayama M., Nishido H. Cathodoluminescence petrography of P-type jadeitites from the New Idria serpentinite body, California, Japan Geoscience Union Meeting, 2017, Makuhari (Japan).

② Takahashi N., Tsujimori T., Chang Q., Kimura J.-I. Geochemical study of P-type jadeitites (jadeite precipitates) from the New Idria serpentinite body, California, Japan Geoscience Union Meeting, 2017, Makuhari (Japan).

③ Shimbori N., Tsujimori T., Hirano N., Kimura J.-I., Malkovets V. Petrological comparison between Siberian and NW Pacific lithospheric mantle: A preliminary evaluation of the lithosphere stacking model, Japan Geoscience Union Meeting, 2017, Makuhari (Japan).

④ Chang Q., Kimura J.-I., Ishikawa T., Tsujimori T., Lithium and boron isotopic ratio analyses using laser ablation-multiple Faraday collector-ICPMS, Japan Geoscience Union Meeting, 2017, Makuhari

(Japan).

⑤ Tsujimori T., Stern R. J. Petrotectonic indicators for distinctive modern-style subduction zone, Japan Geoscience Union Meeting, May 22-26, 2016, Makuhari (Japan).

⑥ Tsujimori T., Stern R. J. Petrotectonic indicators for distinctive modern-style subduction zone, International Workshop on the Origin and Evolution of Plate Tectonics, July 17-22, 2016, Monte Verita (Switzerland).

⑦ Boniface N., Tsujimori T., 1.96 Ga kyanite-epidote eclogites with 605 Ma granulite-facies overgrowth in the Ubendian belt, Tanzania, Goldschmidt Conference, June 26 - July 1, 2016, Yokohama, Japan.

⑧ Tsujimori T., Recycling of crustal materials through study of ultrahigh-pressure minerals in collisional orogens, ophiolites, and xenoliths, International Symposium "Advances in High-pressure Research III: Towards Geodynamic Implications", August 29-30, 2016, Novosibirsk (Russia).

⑨ Sofiya A., Ishiwatari A., Hirano N., Tsujimori T., Ophiolite in the Western Ethiopia: A fossil mantle wedge of the East African orogenic belt, Japan Geoscience Union Meeting, May 22-26, 2016, Makuhari (Japan).

⑩ Gibsher A., Malkovets V., Tretiakova I., Belousova E., Rudnev S., Gibsher A., Tsujimori T., R. Shelepaev. U-Pb dating of zircons from Paleozoic lamprophyric dykes of Western Sangilen (CAOB), Goldschmidt Conference, June 27-July 1, 2016, Yokohama (Japan).

⑪ Liou J.G., Tsujimori T., Yang J.S., Zhang R.Y., Ernst W.G. Deep upper mantle recycling of crustal materials: Evidence from UHP minerals in collisional orogens, ophiolites, and xenoliths, Geological Society of America Annual Meeting, November 1-4, 2015, Baltimore, USA.

⑫ Ernst W.G., Sleep N.H., Tsujimori T., Precambrian plate-tectonic evolution: Bottom-up and top-down mantle circulation, Geological Society of America Annual Meeting, November 1-4,

2015, Baltimore.

⑬ Boniface N., Tsujimori T.,
Petrological Records of Paleoproterozoic
and Neoproterozoic Subduction-Zone
Metamorphism in Tanzania, Goldschmidt
Conference, August 16-21, 2015, Prague,
Czech Republic.

[図書] (計2件)

① Kojima S., Hayasaka Y., Hiroi Y.,
Matsuoka A., Sano H., Sugamori Y.,
Suzuki N., Takemura S., Tsujimori T.,
Uchino T., Chapter 2b: Older
accretionary complexes, in Moreno T. et
al., eds, The Geology of Japan: Bath,
Geological Society Publishing House, p.
61-100, 2016.

② Ehiro M., Tsujimori T., Tsukada K.,
Nuramkhaan M., Chapter 2a: Basement
rocks and associated cover, in Moreno T.
et al., eds, The Geology of Japan: Bath,
Geological Society Publishing House, p.
25-60, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻森 樹 (TSUJIMORI, Tatsuki)
東北大学・東北アジア研究センター・教授
研究者番号：00436833

(2) 研究分担者

平野直人 (HIRANO, Naoto)
東北大学・東北アジア研究センター・准教
授
研究者番号：00451831