

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26302009

研究課題名(和文) 原生代 Gondwana 衝突帯にみられる太古代地殻断片の岩石学的解析

研究課題名(英文) Petrological study of Archean continental fragments in the Neoproterozoic Gondwana collisional orogen

研究代表者

角替 敏昭 (TSUNOGAE, Toshiaki)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：50252888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,900,000 円

研究成果の概要(和文)：太古代～新期原生代の地質塊が約8億年前以降徐々に集合し、最終的に5.5億年前に Gondwana 超大陸となったプロセスを、世界各地の造山帯に産出する岩石の岩石学的・年代学的研究結果をもとに解析した。本研究により太古代の地殻断片を新たに南極リュツォ・ホルム岩体およびジンバブエ・ザンベジ変成帯から確認し、それらが周辺の原生代以降の火山弧と衝突することにより、徐々に超大陸へと成長した過程を明らかにした。またスリランカは東西2つの火山弧(ワンニ岩体とピジャヤン岩体)の下に海洋プレートが沈み込み、それらの衝突によって形成された縫合帯(ハイランド岩体)に超高温変成岩ができたとする新たなモデルを提唱した。

研究成果の概要(英文)：This study evaluated the amalgamation processes of Archean to Neoproterozoic microcontinents and magmatic arcs to form Gondwana Supercontinent during the latest Neoproterozoic to Cambrian. Based on detailed petrological and geochronological investigations, Neoproterozoic continental fragments were newly found from the Lutzow-Holm Complex (East Antarctica) and the Zambezi Metamorphic Belt (Zimbabwe) which collided with adjacent Proterozoic magmatic arcs and formed larger continents. Sri Lanka is composed of two Neoproterozoic magmatic arcs (the Wannii Complex to the west and the Vijayan Complex to the east) which were formed by double-sided subduction of an oceanic plate. The two arcs collided at around 550 Ma and formed a major suture zone (the Highland Complex) and ultrahigh-temperature metamorphic rocks in this region. This study also pointed out that the Vijayan Complex (Sri Lanka) and the northern part of the Lutzow-Holm Complex (Antarctica) could have been a single magmatic arc.

研究分野：岩石学

キーワード：Gondwana 大陸衝突帯 変成作用 ジルコン年代 インド 南極

1. 研究開始当初の背景

今から約 5.5~6 億年前の全地球的な造山運動(汎アフリカ、ブラジリアノ、クーンガ造山運動など)により、当時の南半球にはゴンドワナ超大陸という巨大な大陸が形成されたことが明らかになっている。このゴンドワナ超大陸は、従来は東ゴンドワナ大陸(現在の南極、オーストラリア、インドが中心)と西ゴンドワナ大陸(アフリカ、南アメリカが中心)の1回の衝突により形成されたと考えられてきた。しかし最近の岩石学的・年代学的研究により、ゴンドワナ超大陸は大小様々なサイズの大陸や火山弧が段階的に衝突することにより、徐々に超大陸へと成長していった過程が明らかになりつつある。この造山帯の中心部に位置するインド-スリランカ地域からは過去 10 年間に膨大な量の岩石学的データが報告されてきたが、原岩形成年代に関する研究は未だ十分とはいえない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ゴンドワナ超大陸形成時の造山運動によって形成されたインド-スリランカ地域に産出する高度変成岩の地質調査と岩石学的・年代学的解析を行い、周辺の南極、マダガスカル、および南部アフリカを含めた地域から、太古代(25 億年よりも古い時代)の原岩形成年代をもつ岩石を探してその分布と形成条件を解析し、太古代の大陸断片がゴンドワナ超大陸の一部として取り込まれた過程を解析するものである。特に約 5.7-5.3 億年前に形成されたと考えられるクーンガ造山帯に散在する太古代~原生代の岩石の解析を中心にを行い、当時のプレート沈み込みや大陸衝突の痕跡を同定する。

3. 研究の方法

インドの地質調査を 4 回、スリランカの地質調査を 1 回実施し、野外での岩石の産状の観察と実験室での解析に必要な岩石試料の採集を行った。これら岩石およびすでに採集済みのマダガスカル、南極、南部アフリカ、ブラジル、中国などの岩石について、岩石薄片の作成、鉱物組織の記載、岩石の全岩化学組成分析、鉱物の化学分析、岩石中のジルコンを用いた年代分析を行った。これらデータをもとに、各地域の岩石に記録された火成作用・変成作用の年代と変成作用の温度圧力条件を決定した。特に原岩が形成された年代と、大陸衝突にともなう造山運動の年代を区別することを試みた。こうして得られたデータを広域的に比較し、ゴンドワナ超大陸の成長にともなう形成された造山帯のテクトニクスの解析を行った。

4. 研究成果

(1) 南極リュツォ・ホルム岩体の研究から、岩体南部に 25 億年前の原岩年代をもつ岩石が広範囲に分布していることを確認し、この地質塊を「白瀬大陸(Shirase

Microcontinent)」と命名した。この大陸と 10 億年前に形成された火山弧が約 5.9~5.5 億年前に衝突して、リュツォ・ホルム岩体を形成したことを明らかにした。

(2) スリランカの研究から、当該地域は約 10 億年前に形成された火山弧(ワンニ岩体とビジャヤン岩体)によって形成されるが、ビジャヤン岩体は上記の南極リュツォ・ホルム岩体の北部と一連の岩体をなすというモデルを提唱した。したがってスリランカは、ワンニ岩体とリュツォ・ホルム北部-ビジャヤン岩体という 2 つの火山弧が約 6~5 億年前に衝突することにより形成された新たなモデルを提唱した。

(3) スリランカ中央部にあるハイランド岩体は縫合帯に相当し、海洋プレートがワンニ岩体とリュツォ・ホルム北部-ビジャヤン岩体の両方に沈み込むことによって形成されたとした。

(4) 南極リュツォ・ホルム岩体とスリランカ・ハイランド岩体は連続する一連の岩体と考えられてきたが、砕屑性ジルコンの研究からこれらは南インド・トリバンドラム岩体に連続するが、両者は別の縫合帯に相当することを明らかにした。

(5) ジンバブエ・ザンベジ変成帯は約 5.5 億年前の大陸衝突によって形成された縫合帯であり、その中に約 27 億年前(太古代)と 8 億年前(新期原生代)に形成された地殻断片が含まれることを明らかにした。これらの段階的な衝突と原生代末のカラハリ地塊とコンゴ地塊の最終衝突により、ザンベジ変成帯が形成されたことを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 8 件)

Takahashi, K., Tsunogae, T., Santosh, M., Takamura, Y., Tsutsumi, Y., Paleoproterozoic (ca. 1.8 Ga) arc magmatism in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: implications for crustal growth and terrane assembly in erstwhile Gondwana fragments. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.157, 2018, pp.245-268. (査読有)

doi: 10.1016/j.jseaes.2017.07.053

Takamura, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Tsutsumi, Y., Detrital zircon geochronology of the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Implications for Antarctica - Sri Lanka correlation. *Geoscience Frontiers*, Vol.9, 2018, pp.355-375. (査読有)

- doi: 10.1016/j.gsf.2017.08.006
He, X.F., Santosh, M., Tsunogae, T., Malaviarachchi, S.P.K., Magnetite-apatite deposit from Sri Lanka: Implications on Kiruna-type mineralization associated with ultramafic intrusion and mantle metasomatism. *American Mineralogist*, Vol.103, 2018, pp.26-38. (査読有)
doi: 10.2138/am-2018-6254
- Tang, L., Rajesh, S., Santosh, M., Pradeepkumar, A.P., Tsunogae, T., Tsutsumi, Y., Takamura, Y., Metamorphic phase equilibria modeling and zircon U-Pb geochronology of ultrahigh-temperature cordierite granulites from the Madurai Block, India: implications for hot Gondwana crust. *International Geology Review*, Vol.60, 2018, pp.21-42. (査読有)
doi: 10.1080/00206814.2017.1313711
- Takahashi, K., Tsunogae, T., Carbonic fluid inclusions in a garnet-pyroxene granulite from Austhovde in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Implications for a decompressional P-T path. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, Vol.112, 2017, pp.132-137. (査読有)
doi:10.2465/jmps.161103
- Li, S.S., Santosh, M., Indu, G., Shaji, E., Tsunogae, T., Detrital zircon geochronology of quartzites from the southern Madurai Block, India: implications for Gondwana reconstruction. *Geoscience Frontiers*, Vol.8, 2017, pp.851-867. (査読有)
doi:10.1016/j.gsf.2016.07.00
- Endo, T., Tsunogae, T., Santosh, M., Shaji, E., Rabeloson, R.A., Petrogenesis of incipient charnockite in the Ikalamavony sub-domain, south-central Madagascar: New insights from phase equilibrium modeling. *Lithos*, Vol.282-283, 2017, pp.431-446. (査読有)
doi: 10.1016/j.lithos.2017.03.006
- Santosh, M., Hu, C.-N., He, X.-F., Li, S.-S., Tsunogae, T., Shaji, E., Indu, G., Neoproterozoic arc magmatism in the southern Madurai Block, India: Subduction, relamination, continental outbuilding, and the growth of Gondwana. *Gondwana Research*, Vol.45, 2017, pp.1-42. (査読有)
doi: 10.1016/j.gr.2016.12.009
- Kazami, S., Tsunogae, T., Santosh, M., Tsutsumi, Y., Takamura, Y., Petrology, geochemistry and zircon U-Pb geochronology of a layered igneous complex from Akarui Point in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Implications for Antarctica-Sri Lanka correlation. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.130, 2017, pp.206-222. (査読有)
doi: 10.1016/j.jseaes.2016.04.025.
- Yellappa, T., Tsunogae, T., Chetty, T.R.K., Santosh, M., Mineral chemistry of isotropic gabbros from the Manamedu Ophiolite Complex, Cauvery Suture Zone, southern India: Evidence for Neoproterozoic suprasubduction zone tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.130, 2016, pp.155-165. (査読有)
doi:10.1016/j.jseaes.2016.06.019
- Yano, M., Tsunogae, T., Santosh, M., Yang, Q.Y., Shaji, E., Takamura, Y., Ultrahigh-temperature metagabbros from Wynad: implications for Paleoproterozoic hot orogen in the Moyar Suture Zone, southern India. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.130, 2016, pp.139-154. (査読有)
doi: 10.1016/j.jseaes.2016.04.024.
- Tsunogae, T., Yang, Q.Y., Santosh, M., Neoproterozoic - Early Paleoproterozoic and Early Neoproterozoic arc magmatism in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: insights from petrology, geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes. *Lithos*, Vol.263, 2016, pp.239-256. (査読有)
doi:10.1016/j.lithos.2016.02.010
- Ishwar-Kumar, C. Santosh, M., Wilde, S.A., Tsunogae, T., Itaya, T., Windley, B.F., Sajeev, K., Mesoproterozoic suturing of Archean crustal blocks in western peninsular India: Implications for India-Madagascar correlations. *Lithos*, Vol.263, 2016, pp.143-160. (査読有)
doi:10.1016/j.lithos.2016.01.016
- Amaldev, T., Santosh, M., Tang, L., Baiju, K.R., Tsunogae, T., Satyanarayana, M., Mesoproterozoic convergent margin processes and crustal evolution: petrologic, geochemical and zircon U-Pb and Lu-Hf data from the Mercara Suture Zone, southern India. *Gondwana Research*, Vol.37, 2016, pp.182-204. (査読有)
doi:10.1016/j.gr.2016.05.017
- Takamura, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Malaviarachchi, S.P.K., Tsutsumi, Y., U-Pb geochronology of detrital zircon in metasediments from Sri Lanka: Implications for the regional

- correlation of Gondwana fragments. *Precambrian Research*, Vol.281, 2016, pp.434-452. (査読有)
doi: 10.1016/j.precamres.2016.06.015
- Yang, Q.Y., Santosh, M., Ganguly, S., Arun-Gokul, J., Dhanil Dev, S.G., Tsunogae, T., Shaji, E., Dong, Y., Manikyamba, C., Melt-fluid infiltration in Archean suprasubduction zone mantle wedge: Evidence from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes from Wynad, southern India. *Precambrian Research*, Vol.281, 2016, pp.101-127. (査読有)
doi:10.1016/j.precamres.2016.05.015
- He, X.-F., Santosh, M., Tsunogae, T., Malaviarachchi, S.P.K., Dharmapriya, P.L., Neoproterozoic arc accretion along the 'eastern suture' in Sri Lanka during Gondwana assembly. *Precambrian Research*, Vol.279, 2016, pp.57-80. (査読有)
doi:10.1016/j.precamres.2016.04.006
- Ram Mohan, M., Shaji, E., Satyanarayanan, M., Santosh, M., Tsunogae, T., Yang, Q.Y., Dhanil Dev, S.G., The Ezhimala igneous complex, southern India: possible imprint of Late Cretaceous magmatism within rift setting associated with India-Madagascar separation. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.121, 2016, pp.56-71. (査読有)
doi:10.1016/j.jseaes.2016.02.003
- He, X.-F., Santosh, M., Tsunogae, T., Malaviarachchi, S.P.K., Early to late Neoproterozoic magmatism and magma mixing - mingling in Sri Lanka: implications for convergent margin processes during Gondwana assembly. *Gondwana Research*, Vol.32, 2016, pp.151-180. (査読有)
doi:10.1016/j.gr.2015.02.013
- Santosh, M., Yang, Q.Y., Shaji, E., Ram Mohan, M., Tsunogae, T., Satyanarayanan, M., Oldest rocks from Peninsular India: Evidence for Hadean to Neoproterozoic crustal evolution. *Gondwana Research*, Vol.29, 2016, pp.105-135. (査読有)
doi:10.1016/j.gr.2014.11.003
- ②① Takamura, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Malaviarachchi, S.P.K., Tsutsumi, Y., Petrology and zircon U-Pb geochronology of metagabbro from the Highland Complex, Sri Lanka: Implications for the correlation of Gondwana suture zones. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.113, 2015, pp.826-841. (査読有)
doi: 10.1016/j.jseaes.2015.07.001.
- ②② He, X.F., Santosh, M., Zhang, Z.M., Tsunogae, T., Chetty, T.R.K., Ram Mohan, M., Anbazhagan, S., Shonkinites from Salem, southern India: implications for Cryogenian alkaline magmatism in rift-related setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.113, 2015, pp.812-825. (査読有)
doi:10.1016/j.jseaes.2015.07.002
- ②③ Tsunogae, T., Yang, Q.Y., Santosh, M., Early Neoproterozoic arc magmatism in the L Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Petrology, geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes and tectonic implications. *Precambrian Research*, Vol.266, 2015, pp.467-489. (査読有)
doi: 10.1016/j.precamres.2015.05.040.
- ②④ Yellappa, T., Venkatasivappa, V., Koizumi, T., Chetty, T.R.K., Santosh, M., Tsunogae, T., The mafic-ultramafic complex of Aniyapuram, Cauvery Suture Zone, Southern India: Petrological and geochemical constraints for Neoproterozoic suprasubduction zone tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.95, 2014, pp.81-98. (査読有)
doi: 10.1016/j.jseaes.2014.04.023
- ②⑤ Koizumi, T., Tsunogae, T., Santosh, M., Tsutsumi, Y., Chetty, T.R.K., Saitoh, Y., Petrology and zircon U-Pb geochronology of metagabbros from a mafic-ultramafic suite at Aniyapuram: Neoproterozoic convergent margin magmatism and Neoproterozoic high-grade metamorphism in southern India. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.95, 2014, pp.51-64. (査読有)
doi: 10.1016/j.jseaes.2014.04.013.
- ②⑥ Santosh, M., Yang, Q.Y., Ram Mohan, M., Tsunogae, T., Shaji, E., Satyanarayanan, M., Cryogenian alkaline magmatism in the Southern Granulite Terrane, India: Petrology, geochemistry, zircon U-Pb ages and Lu-Hf isotopes. *Lithos*, Vol.208-209, 2014, pp.430-445. (査読有)
doi: 10.1016/j.lithos.2014.09.016
- ②⑦ Santosh, M., Tsunogae, T., Malaviarachchi, S.P.K., Zhang, Z., Ding, H., Tang, L., Dharmapriya, P.L., Neoproterozoic crustal evolution in Sri Lanka: Insights from petrologic, geochemical and zircon U-Pb and Lu-Hf isotopic data and implications for Gondwana assembly. *Precambrian Research*, Vol.255, 2014, pp.1-29. (査読有)
doi: 10.1016/j.precamres.2014.09.017

〔学会発表〕(計75件)

Tsunogae, T., Takahashi, K. Fluid-induced high-temperature metasomatism and granulite formation in collisional orogen: Implications for the role of brine fluid. The 16th Gondwana International Conference, 2017.

Tsunogae, T. Petrology of ultrahigh-temperature metamorphic rocks in Gondwana fragments. International Workshop on "Extreme metamorphism: records from ultrahigh-pressure and ultrahigh-temperature rocks", 2017.

角替敏昭、高橋一輝、高村悠介 Neoproterozoic, Paleoproterozoic, and Neoproterozoic arc magmatism in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: implications for multiple collisional events during Gondwana amalgamation. 日本地球惑星科学連合2017年大会, 2017.

Tsunogae, T., Endo, T., Santosh, M., Shaji, E., Rabeloson, R.A. Decarbonation of carbonate and formation of incipient charnockite in south-central Madagascar. 13th International Conference on Gondwana to Asia, 2016.

角替敏昭、遠藤雄大、S.P.K. Malaviarachchi 鉱物平衡モデリングからみたスリランカ・Wanni 岩体産 incipient charnockite の形成過程. 第36回極域地学シンポジウム, 2016.

角替敏昭、唐利、潘蒙、宮原千夏 マダガスカルと南インドにみられる堇青石片麻岩の成因. 日本鉱物科学会2016年年会, 2016.

角替敏昭、加藤睦実、D.J. Dunkley、宮本知治、東南極リュツォ・ホルム岩体かすみ岩に産出する酸性~塩基性変成岩類の変成作用. 第35回極域地学シンポジウム, 2016.

Tsunogae, T. Local temperature buffering and formation of UHT and non-UHT granulites in high-grade metamorphic terranes. 12th International Conference on Gondwana to Asia, 2015.

Tsunogae, T. Petrology and mineral equilibrium modeling of incipient charnockite from the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: implications for granulite formation in a Gondwana fragment. EGU2015, 2015.

角替敏昭、D.J. Dunkley、宮本知治、加藤睦実、東南極リュツォ・ホルム岩体に産出する incipient charnockite の相平衡解析. 第34回極域地学シンポジウム, 2014.

Tsunogae, T., Santosh, M. Petrology and phase equilibria of charnockites: implications for Precambrian crustal evolution. 11th International Conference on Gondwana to Asia, 2014.
Tsunogae, T., van Reenen, D.D. Fluid-rock interaction and high- to ultrahigh-temperature metasomatism related to brine infiltration in the Neoproterozoic Limpopo Complex, South Africa. 21st General meeting of International Mineralogical Association (IMA), 2014.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.geol.tsukuba.ac.jp/gansekiHP>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角替 敏昭 (TSUNOGAE, Toshiaki)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号: 50252888

(2) 研究分担者

サントッシュ エム (SANTOSH, M)

高知大学・名誉教授

研究者番号: 20333453

堤 之恭 (TSUTSUMI, Yukiyasu)

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹

研究者番号: 00370990