

## 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25年 6月 5日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010年度～2012年度

課題番号：22403014

研究課題名（和文） 地質“累代”境界における深部地殻プロセスによる表層環境変遷の研究

研究課題名（英文） Surface environmental change investigated by the deep crustal processes at geologic “eon” boundaries

研究代表者

白石 和行（SHIRAISHI KAZUYUKI）

国立極地研究所・所長

研究者番号：90132711

研究成果の概要（和文）：原生代末期の Gondwana 超大陸において、地質学的に連続していたと考えられている南極、スリランカ、インドの高度変成岩地域と表層堆積岩地域の地質帯を対象として、海外学術地質調査を実施した。採取した岩石試料の解析によって、原生代末期から古生代初期の大陸衝突域における地殻変動プロセスの詳細な解析、太古代末期から原生代初期の深部地殻と表層堆積岩類の地質関係と進化過程について明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We have conducted geologic field survey at Antarctica, Sri Lanka and India, where geologic continuation has been proposed at Gondwana supercontinent. We have collected rock samples from basement high-grade metamorphic rocks and supracrustal sequences. Based on the detailed investigations of rock samples, we have obtained the continental collision process at Neoproterozoic-Paleozoic boundary and the linkage between deep crust and surface sedimentary rocks at Neoproterozoic-Paleoproterozoic boundary.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2012年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：数物系科学A

科研費の分科・細目：地質学

キーワード：南極、インド、スリランカ、地殻深部、表層環境

## 1. 研究開始当初の背景

地球史において、太古代末期（約 28～25 億年前）と原生代末期～古生代初期（約 6～5 億年前）は共に、地球環境やテクトニクスに大きな変化があった時期と推定されている。例えば、前者では光合成生物の出現や地球磁場強度の増大とマントル 2 層対流から全マントル対流への転換、後者では全球凍結からの開放や生物の大進化とオゾン層の形成な

どである。これら 2 つの時期には、共通して、大気中の酸素濃度が急激に増加したことが知られている。しかし、こうした全球的な環境変遷と大陸地殻深部での地質事象との間の関係については、まだほとんど理解されていない。また、大気や海洋の性質また気候条件の地域性など地球表層環境を支配するメカニズムの本質は、海洋や大陸域下部のマントルや地殻深部の運動にある筈である。本研

究は、地球史上で2つの重要な環境変遷の時期に焦点をあてて、表層環境と地殻深部との結びつきを統合的に理解することを目指すものである。

南極大陸からスリランカを経てインド南部に至る地域は、太古代末期の地質岩体を核としてその周囲に原生代末期～古生代初期のいわゆる Gondwana 超大陸の縫合帯が発達することで知られる。ちょうどその太古代末期と原生代～古生代境界の2つの時期の地質体に共通して、大陸深部の地殻物質が 900-1100°C にまで広域的に加熱される超高温変成作用という特異な高温熱イベントがあり、しかもそれら2つの時代での超高温変成作用に関連する温度圧力履歴などの素過程に大きな違いが認められている。本申請の研究グループでは、これまで南極を中心に地殻深部の変成作用の解析と放射性年代測定ならびに安定同位体の地球化学的研究を重層的にすすめてきた。その結果、変成プロセス-地質年代論-安定同位体データの間にある関連性についての着想を持つに至った。

## 2. 研究の目的

太古代、原生代、顕生代といった地質年代区分上の“地質累代”の境界時期は、地球上のテクトニクスや地球環境の大きな転換点となった時期でもある。本研究課題では、太古代-原生代境界（約 25 億年前）ならびに原生代-顕生代境界（約 6.5 億年前）の2つの“累代境界”時期に着目して、(1) 変成プロセスの対比と (2) 同位体地球化学的挙動の検討、の2つの見地に立って、地殻深部での地質過程及び地球化学的指標の時代変遷を明らかにすることを目的とする。そのために、

(1) 本研究課題の中核となる南極地域における野外地質調査をおこなうとともに、さらに南極のデータとの対比が可能となるような、(2) インド南部の野外地質調査をおこなって基礎的な地質岩石データを得ること、(3) 南極とインドをつなぐスリランカのデータ精度を向上させること、の3点を本申請課題の研究期間内における主たる目標とする。

## 3. 研究の方法

調査研究実施の対象として、かつて超大陸形成時に地質学的に連続していたと考えられている、(1) 南極の原生代末期～古生代初期の変成岩および火成岩類、(2) スリランカの原生代末期-古生代初期の地域、(3) インド南部の太古代から原生代-古生代の地域、以上の3地域を主たるターゲットとする。こうした地域の地質調査と採取した岩石試料の解析によって、変成岩岩石学、地質年代学、同位体地球化学の最新の解析手法を駆使して、地殻深部での変成プロセスの詳細な解

析、U-Th-Pb 系を主とした鉱物サブグレイン局所分析法を用いた放射年代測定、開発中のレーザー導入による硫黄同位体分析や炭素・ストロンチウム等のマルチアイソトープの同位体分析によって解析をすすめる。それらのデータをもとに、太古代末期と原生代末期の2つの時期における地殻深部での変成作用と地球表層の同位体環境との対比と、最終的にはその変動メカニズムに関する知見を有機的に結びつけることを最終目標とする。

## 4. 研究成果

南極、スリランカ、インド、それぞれの地域での研究成果を以下に挙げる。

(1) 南極地域において、原生代末期～古生代初期のリュツォ・ホルム岩体の高度変成岩ならびに貫入岩類の地質調査と岩石試料の採取をおこなった。採取した岩石試料の解析によって、リュツォ・ホルム岩体に産する角閃岩中のザクロ石周囲に発達する斜長石-黒雲母反応縁の微細組織について解析をおこない、コロナ中の黒雲母の粒径分布、コロナ形成に伴う化学組成の変化および生成反応を明らかにした。また、アルカリ岩脈の試料について岩石記載と化学分析を実施、その起源と成因について考察した。

(2) スリランカにおいて、原生代末期～古生代初期の高温変成岩体の地質調査と岩石試料の採取をおこなった。特に、スリランカ中央部ハイランド岩体の変成履歴の再構築のために超高温変成岩試料の産状と採取をおこなった。チャーノックイト中の斜方輝石の産状に二種類あることを見だし、その詳細な記載をおこなった。また、グラニューライト中のザクロ石中の特異な火山岩様包有物 (felsite inclusions) の解析を進め、その微細組織の詳細な観察と化学分析をおこない、成因について考察した。その成果の一部を *Gondwana Research* 誌に学術論文として公表した。また 700°C・2000 気圧の条件下での過冷却花崗岩質メルトの結晶化実験により、珪長岩包有物で観察される鉱物組織をほぼ再現することにも成功した。

(3) インド南部地域において、太古代末期のダールワール岩体、バスター岩体、シンブン岩体、ニルギリヒルズ、原生代末期～古生代初期のケララコンダライト帯の地質調査と岩石試料の採取をおこなった。特に、太古代の堆積層序の復元と基盤となる正片麻岩との構造関係、太古代後期～末期のクラトンの剪断境界の構造学的解析、同位体分析試料の採取をおこなった。また、採取した岩石試料を用いて、変成作用の解析ならびにジルコンの U-Pb 放射年代測定ならびにモナザイトの U-Th-Pb 化学年代測定を実施した。現地インドでおこなわれた太古代付加地質国際シン

ポジウムおよびフィールドワークショップに参加し、研究発表と野外討論をおこなった。その成果の第一報として、チトラドゥルガ地域の地質層序・変成作用の解析及び U-Pb 年代測定の結果を Precambrian Research 誌に学術論文として公表した。

#### 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 3 4 件)

- ① Hiroi, Y., Yanagi, A., Kato, M., Kobayashi, T., Prame, B., Hokada, T., Satish-Kumar, M., Ishikawa, M., Adachi, T., Osanai, Y., Motoyoshi, Y., Shiraishi, K., Supercooled melt inclusions in lower-crustal granulites as a consequence of rapid exhumation by channel flow, Gondwana Research, 査読有、2013 (印刷中)、DOI: 10.1016/j.gr.2013.04.001
- ② Adachi, T., Hokada, T., Osanai, Y., Nakano, N., Baba, S., Toyoshima, T., Contrasting metamorphic records and their implications for tectonic process in the central Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica, In: Harley, S.L. et al. (Eds.), Antarctica and Supercontinent Evolution. Geological Society, London, Special Publications 査読有、2013 (印刷中)
- ③ Nakano, N., Osanai, Y., Kamei, A., Satish-Kumar, M., Adachi, T., Hokada, T., Baba, S., Toyoshima, T., Multiple thermal events recorded in metamorphosed carbonates and associated rocks from the southern Austkampane region in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: A protracted Neoproterozoic history at the Gondwana suture zone, Precambrian Research, 査読有、2013 (印刷中)、DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.009
- ④ Kamei, A., Horie, K., Owada, M., Yuhara, M., Nakano, N., Osanai, Y., Adachi, T., Hara, Y., Terao, M., Teuchi, S., Shimura, T., Tsukada, K., Hokada, T., Iwata, C., Shiraishi, K., Ishizuka, H., Takahashi, Y., Late Proterozoic juvenile arc metatonalite and adakitic intrusions in the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, Antarctica, Precambrian Research, 査読有、2013 (印刷中)、DOI: 10.1016/j.precamres.2012.09.026
- ⑤ Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Kawakami, T., Ishikawa, M., Grantham, G.H., Late-Tonian to early-Cryogenian apparent depositional ages for metacarbonate rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, Precambrian Research, 査読有、2013 (印刷中)、DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.016
- ⑥ Higashino, F., Kawakami, T., Satish-Kumar, M., Ishikawa, M., Maki, K., Tsuchiya, N., Grantham, G.H., Hirata, T., Chlorine-rich fluid or melt activity during granulite facies metamorphism in the Late Proterozoic to Cambrian continental collision zone—an example from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, Precambrian Research, 査読有、2013 (印刷中)、DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.006
- ⑦ Rajesh, V.J., Arai, S., Satish-Kumar, M., Santosh, M., and Tamura, A., High-Mg low-Ni olivine cumulates from a Pan-African accretionary belt in southern India: Implications for the genesis of volatile-rich high-Mg melts in suprasubduction setting, Precambrian Research, 査読有、227, 2013, 409-425, DOI: 10.1016/j.precamres.2012.08.004
- ⑧ Hokada, T., Horie, K., Satish-Kumar, M., Ueno, Y., Nasheeth, A., Mishima, K., Shiraishi, K., An appraisal of Archaean supracrustal sequences in Chitradurga Schist Belt, Western Dharwar Craton, Southern India, Precambrian Research, 査読有、227, 2013, 99-119, DOI: 10.1016/j.precamres.2012.04.006
- ⑨ Horie, K., Hokada, T., Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Shiraishi, K., Contrasting Archaean crustal records in western part of the Napier Complex, East Antarctica: New constraints from SHRIMP geochronology, Gondwana Research, 査読有、212, 2012, 829-837, DOI: 10.1016/j.gr.2011.08.013
- ⑩ Grantham, G.H., Mendonidis, P., Thomas R.J., Satish-Kumar, M., Multiple origins of charnockite in the Mesoproterozoic Natal belt, Kwazulu-Natal, South Africa, Geoscience Frontiers, 査読有り、3, 2012, 755-771,

- DOI: 10.1016/j.gsf.2012.05.006
- ⑪ Taguchi, T., Satish-Kumar, M., Hokada, T., Jayananda, M., Petrogenesis of Cr-rich calc-silicate rocks from the Bandihalli Schist Belt, Archean Dharwar Craton, India, Canadian Mineralogist, 査読有、50、2012、705-718、DOI: 10.3749/canmin.50.3.705
- ⑫ Nasheeth, A., Okudaira, T., Satish-Kumar, M., Hokada, T. and Ueno, Y., Preliminary results of field survey, petrography and geochemistry on the Chitradurga shear zone in the Hiriyur area, the Dharwar Craton, South India, Journal of Geosciences, Osaka City University, 査読無、55、2012、43-52
- ⑬ Hokada, T., Horie, K., Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N., Baba, S. and Toyoshima, T., Unraveling the metamorphic history at the crossing of Neoproterozoic orogens, Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Constraints from U-Th-Pb geochronology, petrography, and REE geochemistry, Precambrian Research, 査読有、in press、DOI: 10.1016/j.precamres.2012.12.002
- ⑭ Kato, M., Hiroi, Y., Harlov, D.E., Satish-Kumar, M. and Hokada, T., Metastable corundum + quartz + andalusite association in pelitic granulite from the Kerala Khondalite Belt, Southern India, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読有、106、2011、195-203、DOI: 10.2465/jmps.101116
- ⑮ Nakano, N., Osanai, Y., Baba, S., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Inferred ultrahigh-temperature metamorphism of amphibolitized olivine granulite from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, Polar Science, 査読有、5、2011、345-359、DOI: 10.1016/j.polar.2011.03.005
- ⑯ Baba, S., Hokada, T., Kaiden, H., Dunkley, D.J., Owada, M. & Shiraishi, K., SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Sapphirine-Bearing Granulite and Biotite-Hornblende Gneiss in the Schirmacher Hills, East Antarctica: Implications for Neoproterozoic Ultrahigh-Temperature Metamorphism Predating the Assembly of Gondwana, Journal of Geology, 査読有、118、2010、621-639
- ⑰ Kato, M., Mitsui, H., Kobayashi, T., Hiroi, Y., Satish-Kumar, M., Dunkley, D.J., & Hokada, T., New finding of kyanite and andalusite in sillimanite-rich pelitic granulites from the Kerala Khondalite Belt, Southern India, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読有、105、2010、328-333
- ⑱ Mizuochi, H., Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y. & Michibayashi, K., Exsolution of dolomite and application of calcite-dolomite solvus geothermometry in high-grade marbles: An example from Skallevikshalsen, East Antarctica, Journal of Metamorphic Geology, 査読有、28、2010、509-526.
- ⑲ Satish-Kumar, M., Hermann, J., Miyamoto, T. & Osanai, Y., Fingerprinting a multistage metamorphic fluid-rock history: Evidence from grain scale Sr, O and C isotopic and trace element variations in high-grade marbles from East Antarctica, Lithos, 査読有、114、2010、217-228.
- ⑳ Kawakami, T. & Hokada, T., Linking P-T path with development of discontinuous phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism – an example from Lützow-Holm Complex, East Antarctica, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読有、105、2010、175-186

[学会発表] (計44件)

- ① 廣井美邦・柳綾彦・加藤睦実・小林記之・B. プレーム・石川正弘・M. サティッシュ・クマール・外田智千・本吉洋一・白石和行、大陸衝突型造山帯のグラニュライト中に産出する珪長質火山岩様包有物：そのテクトニクスにおける重要性：日本地質学会第119年学術大会、2012年9月15日～17日、大阪府立大学
- ② Satish-Kumar, M., Hokada, T., Osanai, Y., Owada, M. and Shiraishi, K., Neoproterozoic orogens amalgamating East Gondwana: Did they cross each other? 日本地質学会第119年学術大会、2012年9月15日～17日、大阪府立大学
- ③ 外田智千・堀江憲路・Satish-Kumar, M.・上野雄一郎・三島 郁・Nasheeth Abdulla・奥平敬元・白石和行、太古代

- ダールワール岩体の片麻岩基盤に挟まれる片岩帯の層序区分の再検討：SHRIMP ジルコン年代による制約、日本地質学会第 119 年学術大会、2012 年 9 月 15 日～17 日、大阪府立大学
- ④ 宮本知治・角替敏昭・D.J.Dunkley・加藤睦実、Lutzow-Holm 岩体に産する高カリウム苦鉄質岩岩脈の産状 ～岩石・鉱物組成から考察する貫入状況～、日本地質学会第 119 年学術大会、2012 年 9 月 15 日～17 日、大阪府立大学
- ⑤ 廣井美邦・柳綾彦・加藤睦実・小林記之・外田智千・本吉洋一・白石和行・石川正弘・M. サティッシュ・クマール、グラニュライト中のザクロ石中の火山岩様包有物：大陸衝突型造山帯深部からの岩石の急速上昇・冷却の証拠、日本地質学会第 118 年学術大会、2011 年 9 月 9 日～11 日、茨城大学
- ⑥ 外田智千・Satish-Kumar M.・Nasheeth Abdulla・上野雄一郎・山崎里英・奥平敬元・白石和行、始生代インド南部ダールワール岩体の変成作用プロセス、日本地質学会第 118 年学術大会、2011 年 9 月 9 日～11 日、茨城大学
- ⑦ 宮本知治・角替敏昭・D.J.Dunkley、東南極 Lützow-Holm 岩体に産する貫入岩の産状と周辺に点在する加水反応の組織、日本鉱物科学会 2011 年年会、2011 年 9 月 9 日～11 日、茨城大学
- ⑧ 宮本知治・角替敏昭・D.J.Dunkley、東南極 Lützow-Holm 岩体に産するアルカリ～高カリウム貫入岩の産状、2011 年度日本地球化学会第 58 回年会、2011 年 9 月 14 日～16 日、北海道大学
- ⑨ Satish-Kumar, M.、Miyamoto, T.、Nakano, N.、Dunkley, D.、Hokada, T.、Windley, B.、Grantham, G.、Hermann, J.、Osanai, Y.、Motoyoshi, Y.、Kamei, A.、Hiroi, Y.、Shiraishi, K.、Wada, H.、Significance of metacarbonate rocks in understanding the supercontinental evolution、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、2011 年 5 月 22 日～27 日、幕張メッセ 国際会議場(千葉市)
- ⑩ Hokada, T.、Horie, K.、Hiroi, Y.、Satish-Kumar, M.、Motoyoshi, Y. & Shiraishi, K.、Crustal evolution of Archaean Napier Complex, East Antarctica: linkage between Antarctica and India、International Symposium on Precambrian Accretionary Orogens and Field Workshop in the Dharwar craton、2011 年 2 月 2 日～10 日、デリー大学(インド)
- ⑪ Satish-Kumar, M.、Tsuchiya, N.、Kawakami, T. & Ishikawa, M.、Determination of peak metamorphic temperature condition using calcite-graphite carbon isotope thermometry in rehydrated high-grade metamorphic terrains、日本鉱物科学会 2010 年年会、2010 年 9 月 23 日～25 日、島根大学
- ⑫ 廣井美邦、柳綾彦、加藤睦実、小林記之、ブレイムバーナード、外田智千、本吉洋一、白石和行、スリランカの超高温グラニュライト中のザクロ石に含まれる“ナノ花崗岩類”、日本地質学会第 117 年学術大会、2010 年 9 月 19 日、富山大学
- ⑬ Dunkley, D. J.、Shiraishi, K.、Nogi, Y.、Motoyoshi, Y. & Carson, C. J.、A WINDOW THROUGH SUPERCONTINENT FORMATION: THE BUILDING BLOCKS OF EAST ANTARCTICA, REVEALED BY ZIRCON AGES FROM A GONDWANA SUTURE ZONE AT LÜTZOW-HOLM BAY, SCAR Open Science Conference、2010 年 8 月、Buenos Aires, Argentina
- ⑭ 池田 剛、東南極リュッツホルム岩体のザクロ石ー普通角閃石コロナ形成反応と形成温度、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2010 年 5 月、幕張メッセ 国際会議場(千葉市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

白石 和行 (SHIRAISHI KAZUYUKI)  
国立極地研究所・所長  
研究者番号：90132711

### (2) 研究分担者

廣井 美邦 (HIROI YOSHIKUNI)  
千葉大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：40019427

本吉 洋一 (MOTOYOSHI YOICHI)  
国立極地研究所・研究教育系・教授  
研究者番号：90211606

M. Satish-Kumar ( )  
新潟大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：50313929

池田 剛 (IKEDA TAKESHI)  
九州大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：40243852

外田 智千 (HOKADA TOMOKAZU)  
国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：60370095

宮本 知治 (MIYAMOTO TOMOHARU)  
九州大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：30281190

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：