

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340155

研究課題名(和文)後期太古代大気酸素濃度上昇は連続的か突発的か？

研究課題名(英文) Does the Great Oxidation Event was instantaneous or episodic?

研究代表者

M Satish Kumar (M., Satish-Kumar)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：50313929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究でわ、ダールワール岩体の29～25億年前の地球表層環境解析を行った。特にインドダールワール岩体には、縞状鉄鋼層やストロマトライトなど、GOEに深く関わる岩層が多く見られ、層序学的な位置づけを詳細に検討しながら、有機炭素の炭素同位体に着目し、硫黄の四つの同位体比との比較を行った。さらに他地域の後期太古代の地質体から報告されている詳細な年代時系列での同位体データを解析比較し、汎世界的な海洋と大気環境を復元した。さらに、チトラドゥルガ片岩帯における³³Sの経年変化はこれまでにまとめられたものと同様の分布を示し、MIFの生成に影響を及ぼす始生代の大気反応は汎世界的に起きていたことを支持する。

研究成果の概要(英文)：Great Oxidation Event (GOE) is one of the most important events in the Earth history that shaped our planet to a habitable one. Here we have attempted to understand the processes that led to the increase of oxygen in the atmosphere during the period (3.0 to 2.5 Ga) just before the onset of GOE through a detailed geological, geochronological, geochemical and isotopic study of the Chitradurga Schist Belt in Western Dharwar Craton, India. Mass independent fractionation using multiple sulfur isotope studies combined with carbon, oxygen isotopes and strontium and neodymium isotopes revealed the possibility of episodic oxygen pulses to the atmosphere, rather than an instantaneous increase. Comparison of newly obtained data with those from other terranes were also carried out in this study, which supported out conclusion.

研究分野：数物系科学

キーワード：地質学 岩石・鉱物・鉱床学 安定同位体 硫黄同位体 太古代

1. 研究開始当初の背景

最近の研究で、約 24 億 5 千万年前に地球大気が無酸素大気から酸化的大気へと急激に変化したことが示唆されている。太古代—原生代境界における酸素レベルの急激な上昇に関するもっとも説得力のある証拠は、硫黄の非質量依存同位体分別である。これは太古代の無酸素大気を紫外線が通過し硫黄と光化学反応を起こしたことで生じたと考えられ、酸素濃度の上昇した 24 億年前以降では見られない。しかしながら、後期太古代 (32~28 億年前) は非質量依存同位体分別の程度が極めて小さく、大気酸素濃度が一時的に上昇した可能性も指摘されている。この時代の記録は地球史における大気進化を理解する上で最も重要であるにも関わらず、後期太古代の地質体が露出する地域は極めて少ないため、このような描像は断片的な地層の研究をつなぎ合わせた物に過ぎない。

そこで本研究では、約 34~25 億年前の地層が連続的に露出しているインドの西部ダールワールクラトンの研究から酸素濃度上昇のタイミングと程度を解明することを目的とした。我々は地質学的によく保存された堆積岩と低変成堆積岩における多種元素(炭素・酸素・硫黄)の多種同位体(特に四種硫黄同位体)を用いたアプローチによって、岩石に記録された同位体の変化を理解し、太古代大気の問題を議論した。

2. 研究の目的

生命の出現以降、地球規模の微生物学、気候学、地質学上の主要な変化が太古代 (40~25 億年前) に起きた。なかでも後期太古代は、「Great Oxidation Event (GOE)」と言われる酸素濃度の急激な上昇期にあたる重要な時代であるが、同時代の地質体は地球上の極限られた地域にしか露出していないため詳細なタイミングと程度に乏しい。本研究では、インド・ダールワールクラトンの堆積岩及び低変成堆積岩の炭素・酸素および四種硫黄同位体の研究から、大気酸素上昇メカニズムとその原因、またそれはどのように起こったのか(長時間で連続的か短時間で突発的か)を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、インド・ダールワールクラトンでの現地地質調査を行い、採集した試料を地質学、地質年代学的解析、また紫外線フェムト秒レーザーの改良と炭素・酸素硫黄安定同位体の地球化学的解析を行った。

具体的には (i) 現地調査で得られた地質学的データに基づき地質図を作成した。(ii) 構造地質・岩石学的基础データを収集し変形・変成の履歴を明らかにした。(iii) 地質年代学の研究は SHRIMP と EPMA 年代法を使用して国立極地研究所にて行った。(iv) 炭

素・酸素・ストロンチウム・ネオジウム同位体研究は新潟大学で行った。(v) 四種硫黄同位体研究は東京工業大学の上野研究室と共同で行った。

4. 研究成果

下記の研究成果のもと、太古代大気の問題を議論した。

(1) 地質層序学的観点より

インドの西部ダールワールクラトンの代表的な地質ユニットであるチトラドゥルガ片岩帯の地質調査およびサンプリングを行った。周辺地域との比較を行いつつ、現地調査で得られた地質学的データに基づき地質図を作成した。年代値を加えるために、研究分担者(外田)の所属する国立極地研究所において二次イオン質量分析計 (SHRIMP) ならびに電子線マイクロプローブ (EPMA) を用いたジルコンおよびモナザイトの U-Th-Pb 年代測定を実施した (Fig. 1)。これによって、太古代末期の詳細な年代時系列での同位体進化の解析が可能となった。

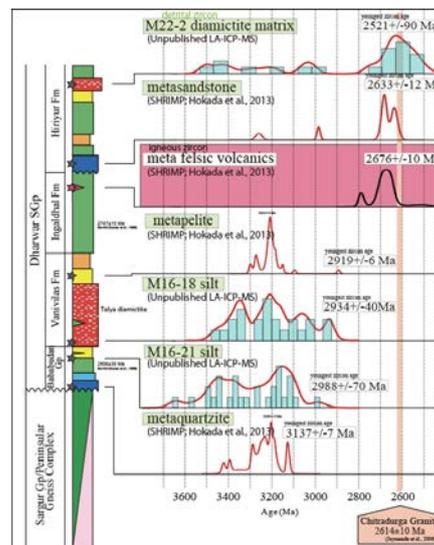


Fig. 1. Generalized stratigraphy of Dharwar craton with new geochronological information

(2) 硫黄同位体の観点より

インド南部のダールワール岩体、チトラドゥルガ片岩帯から採取した岩石試料に含まれる硫化物の組織観察・化学組成・硫黄同位体分析を行った。ババブーダン層を除く全ての層準から硫化物を含む試料が得られた。硫化物の形状は自形か他形のものがほとんどであり、一部の試料に碎屑性起源を示唆する丸い形の硫化物を持つものや、石英粒子内に硫化物が脈状に存在しているものもあった。また、見られた硫化物の大部分は黄鉄鉱 (FeS_2) であり、まれに磁硫鉄鉱 (Fe_7S_8) や閃亜鉛鉱 (ZnS) も存在した。元素マップでは一部の黄鉄鉱内でニッケルの濃集が見られた (Fig. 2)。

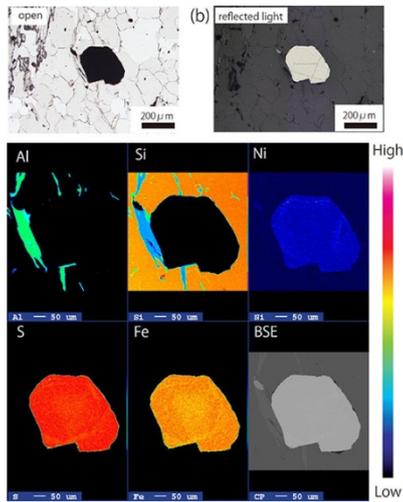


Fig. 2. Occurrence of sulfide minerals (pyrite) in pelitic rocks of Chitradurga schist belt. Chemical elemental distribution maps using EPMA.

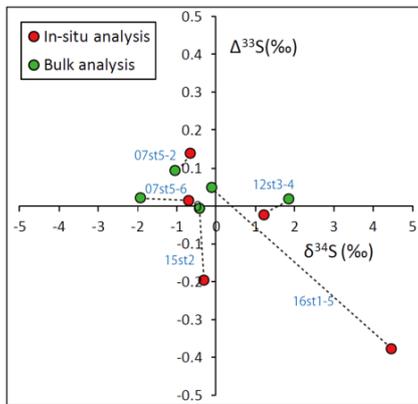


Fig. 3. Comparison of sulfur isotope ratios using femtosecond laser ablation technique with conventional bulk rock analyses.

硫黄同位体組成は $\delta^{34}\text{S}$ が -3.4‰ ~ 2.9‰ と狭い変動を見せ、 $\Delta^{33}\text{S}$ と $\Delta^{36}\text{S}$ はそれぞれ -1.16 ~ 3.89‰ , -4.0 ~ 0.9‰ と明瞭な MIF を示した。 $\delta^{34}\text{S}$ の狭い変動と MIF の存在はどちらも、チトラドゥルガ片岩帯が堆積した当時、貧酸素環境であることを示唆する(Fig. 3)。

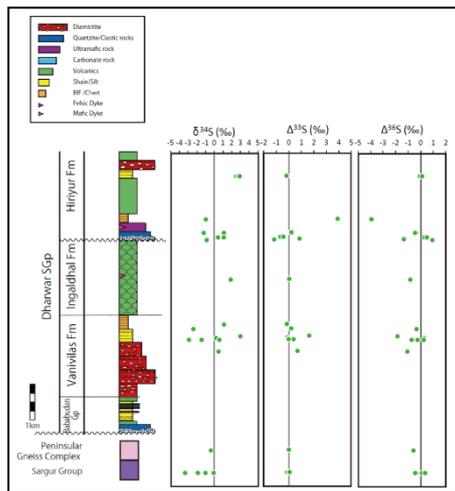


Fig. 4. Stratigraphic variation of sulfur isotope composition showing large cap delta variations. This is supposed to have resulted from the episodic rise of oxygen in the late Archean.

本研究では約 32 億年前から 26 億年前という長いスパンで $\Delta^{33}\text{S}$ の値が得られた。オーストラリア西部と南アフリカ以外の地域でこのような長期的な変化が見られたのは初めてである (Fig. 4)。

(3) ストロマトライトの観点より

様々な産状の炭酸塩岩中の炭素質物質を抽出分離し、ラマン分光分析と炭素同位体のデータと比較したところ、ストロマトライトを含む試料のみ異なる傾向を示した。電子顕微鏡により炭素質物質の形態観察を行うとともに、炭素質物質と炭酸塩鉱物間の同位体分別のデータともあわせて有機物の化学的・形態的特徴と変成作用による結晶化を検討し、出発物質が球状に近い構造を持つ生物起源のものである可能性を見いだした。

有機炭素のデルタ 13C は石英脈やラミナに見られる試料では、 -16.0‰ ~ -7.7‰ 、石英脈やラミナ見られない試料では、 -23.6‰ ~ -16.7‰ 、ストロマトライトを含む試料では、 -19.8‰ ~ -10.9‰ となり、生物起源性を示す値が得られた(Fig. 5)。

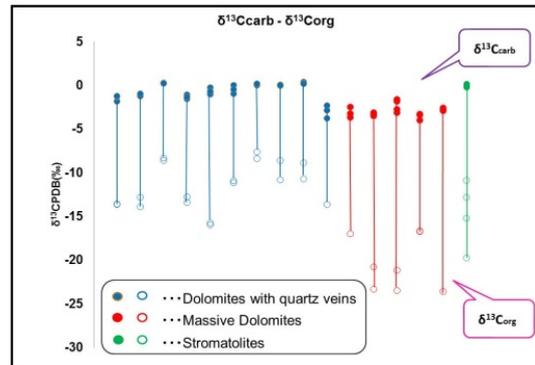


Fig. 5. Carbon isotope composition of carbonates and carbonaceous material in stromatolites and limestones. Whereas limestones show near isotopic equilibration during metamorphism, CM in stromatolites has the lowest $\delta^{13}\text{C}$ values

(4) 縞状鉄鉱層の観点より

ダールワール岩体中における縞状鉄鉱層 (2.8Ga) に関する分析を行った。本地域の縞状鉄鉱層 (BIFs) は Al_2O_3 の含有量が低く、陸源性物質の欠乏が見られる。また、PASS で規格した希土類元素パターンの特徴として、全体的な濃度の低さ、重希土類元素と比較した際の相対的な軽希土類元素の枯渇、 $\text{La} \cdot \text{Eu}$ 正異常があげられる。強い Eu 正異常は熱水 ($>250^\circ\text{C}$) に起因しており、 Y 正異常の欠如を除き、本調査地域の BIFs は他地域の太古代の BIFs の特徴と一致する。

BIFs 中の Sr の同位体比は大きなばらつきがあり、これは変質・変成作用によるものであり、同位体比は初生値を示していない。一方 Nd の同位体比からは一貫した情報を得ることができた。多くのサンプルでは ϵ_{Nd} (2.8Ga) が -2 から $+2$ の値を示した。

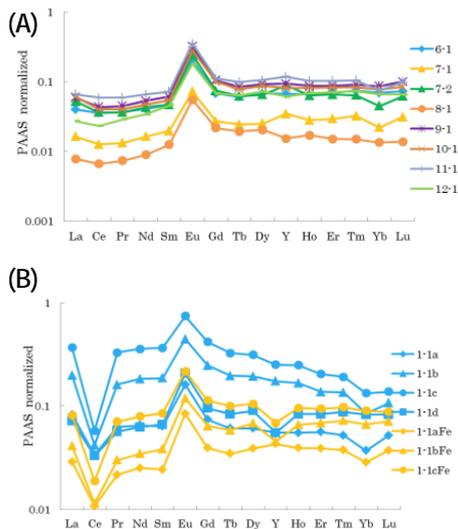


Fig. 6. Two contrasting rare earth element patterns of BIF in the Chitradurga Schist Belt; (A) Commonly observed REE pattern and (B) Local occurrence of BIF deposited under highly oxidized conditions.

(5) まとめ

本研究期間中に収集したデータを用いて、ダールワール岩体の 29~25 億年前の地球表層環境解析を行った。特にインドダールワール岩体には、縞状鉄鋼層やストロマトライトなど、GOE に深く関わる岩層が多く見られ、層序学的な位置づけを詳細に検討しながら、有機炭素の炭素同位体に着目し、硫黄の四つの同位体比との比較を行った。さらに他地域の後期太古代の地質体から報告されている詳細な年代時系列での同位体データを解析比較し、汎世界的な海洋と大気環境を復元した。さらに、チトラドゥルガ片岩帯における $\Delta^{33}\text{S}$ の経年変化はこれまでにまとめられたものと同様の分布を示し、MIFの生成に影響を及ぼす始生代の大气反応は汎世界的に起きていたことを支持する。一部の成果は国際学術雑誌に掲載済みであり、まとめの論文に関して準備中である。

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 34 件)

- [1] Satish-Kumar, M. (2015) Chemostratigraphy as a tool for determining depositional ages of metamorphosed carbonate rocks prior to supercontinent formation. *Journal of Indian Institute of Science* (in press). 査読有
- [2] Nasheeth, A., Okudaira, T., Horie, K., Hokada, T., & Satish-Kumar, M. (2015) U–Pb SHRIMP ages of detrital zircons from Hiriyur Formation in Chitradurga greenstone belt and its implication to the Neoproterozoic Evolution of Dharwar craton, South India. *Journal of the Geological Society of India* (in press). 査読有

- [3] Nakamura, Y., Oohashi, K., Toyoshima, T., Satish-Kumar, M., & Akai, J. (2015) Strain-induced amorphization of graphite in fault zones of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Journal of Structural Geology*, 72, 142-161. 査読有
DOI: 10.1016/j.jsg.2014.10.012.
- [4] Baba, S., Horie, K., Hokada, T., 他 3 名 (2015) Multiple Collisions in the East African–Antarctica Orogen: Constraints from Timing of Metamorphism in the Filchnerfjella and Hochlinfjellet Terranes in Central Dronning Maud Land. *Journal of Geology*, 123, 55-78. 査読有
DOI: 10.1086/679468
- [5] Nakano, N., Osanai, Y., Satish-Kumar, M., 他 6 名 (2014) Paleozoic Subduction – Accretion – Closure Histories in the West Mongolian Segment of the Paleo-Asian Ocean: Evidence from Pressure – Temperature – Time – Protolith evolution of High-Mg and -Al gneisses in the Altai Mountains. *Journal of Geology*, 122, 283–308. 査読有
DOI: 10.1086/675665
- [6] Hiroi, Y., Yanagi, Y., Kato, M., Kobayashi, T., Prame, B., Hokada, T., Satish-Kumar, M., 他 5 名 (2014) Supercooled melt inclusions in lower-crustal granulites as a consequence of rapid exhumation by channel flow. *Gondwana Research*, 25, 226-234. 査読有
DOI: 10.1016/j.gr.2013.04.001
- [7] Kawakami, T., Nakano, N., Higashino, F., Hokada, T., 他 6 名. (2014) U–Pb zircon and CHIME monazite dating of granitoids and high-grade metamorphic rocks from the Eastern and Peninsular Thailand — A new report of Early Paleozoic granite. *Lithos*, 200-201, 64-79. 査読有
DOI: 10.1016/j.lithos.2014.04.012
- [8] Satish-Kumar, M., Hokada, T., Owada, M., Osanai, Y., & Shiraishi, K. (2013) Neoproterozoic orogens amalgamating East Gondwana: Did they cross each other? *Precambrian Research*, 234, 1-7. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2013.06.010
- [9] Hokada, T., 他 6 名 (2013) 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*, 234, 183-209. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2012.12.002
- [10] Toyoshima, T., Osanai, Y., Baba, S., Hokada, T., 他 5 名 (2013) Sinistral transpressional and extensional tectonics in Dronning Maud Land, East Antarctica, including the Sør Rondane Mountains. *Precambrian Research*, 234, 30-46. 査読有

- DOI: 10.1016/j.precamres.2013.05.010
- [11] Ishwar-Kumar, C., Windley, B., Horie, K., Kato, T., Hokada, T., Itaya, T., Yagi, K., Couzu, C., & Sajeew, K. (2013) A Rodinian suture in western India: New insights on India-Madagascar correlations. *Precambrian Research*, 236, 227-251. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2013.07.023
- [12] Osanai, Y., Nogi, Y., Baba, S., Nakano, N., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Owada, M., Satish-Kumar, M., Kamei, A., & Kitano, I. (2013) Geologic evolution of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Collision tectonics proposed based on metamorphic processes and magnetic anomalies. *Precambrian Research*, 234, 8-29. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2012.04.006
- [13] Ishikawa, M., Kawakami, T., Satish-Kumar, M., 他 4 名 (2013) Late Neoproterozoic extensional detachment in eastern Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Implications for the collapse of the East African Antarctic Orogen. *Precambrian Research*, 234, 247-256. 査読有
DOI:10.1016/j.precamres.2013.04.015
- [14] Higashino, F., Kawakami, T., Satish-Kumar, M., 他 5 名 (2013) 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*, 234, 229-246. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.006
- [15] Otsuji, N., Satish-Kumar, M., 他 5 名 (2013) Late-Tonian to early-Cryogenian apparent depositional ages for metacarbonate rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica., *Precambrian Research*, 234, 257-278. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.016
- [16] Nakano, N., Osanai, Y., Kamei, A., Satish-Kumar, M., Adachi, T., Hokada, T., Baba, S., & Toyoshima, T. (2013) Multiple thermal events recorded in metamorphosed carbonate 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*, 234, 161-182. 査読有
DOI: 10.1016/j.precamres.2012.10.009
- [17] Rajesh, V.J., Arai, S., Satish-Kumar, M., Santosh, M., & Tamura, A. (2013) 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*, 227, 409-425. 査読有
DOI:10.1016/j.precamres.2012.08.004
- [18] Hokada, T., Horie, K., Satish-Kumar, M., Ueno, Y., Nasheeth, A., Mishima, K., & Shiraishi, K. (2013) An appraisal of Archaean supracrustal sequences in Chitradurga Schist Belt, Western Dharwar Craton, Southern India. *Precambrian Research*, 227, 99-119. 査読有
DOI:10.1016/j.precamres.2012.04.006
- [19] Grantham, G.H., Mendonidis, P., Thomas R.J., & Satish-Kumar, M. (2012) Multiple origins of charnockite in the Mesoproterozoic Natal belt, Kwazulu-Natal, South Africa. *Geoscience Frontiers*, 3, 755-771. 査読有
DOI: 10.1016/j.gsf.2012.05.006
- [20] Taguchi, T., Satish-Kumar, M., Hokada, T., & Jayananda, M. (2012) Petrogenesis of Cr-rich calc-silicate rocks from the Bandihalli Schist Belt, Archean Dharwar Craton, India. *Canadian Mineralogist*, 50, 705-718. 査読有
DOI: 10.3749/canmin.50.3.705
- [21] Horie, K., Hokada, T., Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., & Shiraishi, K. (2012) Contrasting Archaean crustal records in western part of the Napier Complex, East Antarctica: New constraints from SHRIMP geochronology *Gondwana Research*, 21, 829-837. 査読有
- [22] Nasheeth, A., Okudaira, T., Satish-Kumar, M., Hokada, T., & Ueno, Y. (2012) Preliminary results of field survey, petrography and geochemistry on the Chitradurga shear zone in the Hiriya area, the Dharwar Craton, South India. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, 55, 43–52. 査読有
- [23] Kato, M., Hiroi, Y., Harlov, D.E., Satish-Kumar, M., & Hokada, T. (2011) Metastable corundum + quartz + andalusite association in pelitic granulite from the Kerala Khondalite Belt, Southern India, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106, 195-203. 査読有
- [学会発表] (計 81 件)
- [1] Mishima, K., Satish-Kumar, M., Hokada, T., Toyoshima T., Horie, K., & Ueno, Y., A revised tectonostratigraphy for Late Archaean supracrustal rocks in the Chitradurga schist belt, Dharwar craton, India 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 2015 年 5 月 24 日(日) ~2015 年 5 月 28 日(木) 幕張メッセ国際会議場(千葉市)
- [2] Satish-Kumar, M., Mishima, K., Koinuma, K., Ueno, Y., & Hokada, T. Archaean Dharwar craton in India: An ideal terrane to understand the early Earth's surface environment and origin of life. The 2nd

- International Symposium on Earth History of Asia, 31 October – 3 November, 2014, Niigata, Japan
- [3] Koinuma, K., Satish-Kumar, M., Mishima, K., Ueno, Y., & Hokada, T., Nd isotope geochemistry of Archaean Banded Iron Formations in the Chitradurga Schist Belt, Dharwar Craton Southern India. 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日~2014 年 9 月 15 日, 鹿児島大学
- [4] 福寄秀明, 亀井淳志・Satish-Kumar M.・豊島剛志・外田智千 南インド西ダールワール剛塊チトラドゥルガ地域に産する花崗岩質岩石の岩石学的特徴 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日~2014 年 9 月 15 日, 鹿児島大学
- [5] 豊島剛志・Satish-Kumar M.・外田智千・片岡香子・亀井淳志 インド南西部太古代後期ダールワール岩体西部, チトラドゥルガ地域のペニンシュラ片麻岩体・花崗岩体・結晶片岩の変形作用 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日~2014 年 9 月 15 日, 鹿児島大学
- [6] Satish-Kumar, M., Mizutani, S., & Yoshino, T., Carbon isotope systematics during carbonated silicate melting under upper mantle conditions 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 4 月 28 日(月)~2014 年 5 月 2 日(金)パシフィコ横浜(神奈川県)
- [7] Koinuma, K., Satish-Kumar, M., Mishima, K., Ueno, Y., & Hokada, T., Geochemistry of Archaean Banded Iron Formations in the Chitradurga Schist Belt, Dharwar Craton, Southern India 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 4 月 28 日(月)~2014 年 5 月 2 日(金)パシフィコ横浜(神奈川県)
- [8] Hokada, T. Horie, K., Satish-Kumar, M., Ueno Y., Nasheeth A., Mishima, K., & Shiraishi K., Archaean supracrustal sequences of Dharwar Craton, southern India, 第 33 回極域地学シンポジウム, 2013 年 11 月 14 日~2013 年 11 月 15 日, 国立極地研究所 (立川市)
- [9] Satish-Kumar, M., Nakamura, Y., Murakami, H., Okochi, K., Yamazaki, R., Mishima, K., Ueno, Y., & Hokada, T., Stromatolites from the Archaean Dharwar craton, India: Raman spectroscopic, and carbon, strontium and multiple sulfur isotopic characterization. The international biogeoscience conference 2013, November 1-4, Nagoya, Japan.
- [10] Satish-Kumar, M., Carbon geodynamic cycle in the continental crust 2013 年度日本地球化学会第 60 回年会, 2013 年 9 月 11 日~2013 年 9 月 13 日, 筑波大学
- [11] Hokada, T., Horie, K., Satish-Kumar, M., Ueno, Y., Mishima, K., Nasheeth, A., Okudaira, T., & Shiraishi, K., Geologic relationship and metamorphism of the gneiss-schist belts in Archaean Dharwar Craton, southern India. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 2013 年 9 月 11 日~2013 年 9 月 13 日, 筑波大学
- [12] Mishima, K., Yamazaki, R., Satish-Kumar, M., Hokada, T., & Ueno, Y., Multiple sulfur isotope geochemistry of Dharwar Supergroup, Southern India: late Archean record of changing atmosphere. The 23rd V.M. Goldschmidt conference, August 25-30, 2013, Florence, Italy, Mineralogical Magazine, 77, 1769.
- [13] Mishima, K., Yamazaki, R., Satish-Kumar, M., Hokada, T., & Ueno, Y., S-MIF Chemostratigraphy of the Late Archean In the Dharwar Supergroup, South India. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 2013 年 05 月 19 日~2013 年 05 月 24 日幕張メッセ国際会議場(千葉市)
- [14] Nasheeth, A., Okudaira, T., Hokada, T., Horie, H., Satish-Kumar, M., & Ueno, Y., Evolution of Chitradurga Shear Zone; Some insights to the current interpretations in the tectonic context of Dharwar Craton, South India. The 32nd Symposium on Polar Geosciences, November 28-29, 2012, National Institute of Polar Science, Tokyo, Japan.
- [15] 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在さ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 Geological Society of Japan Annual meeting, September 15-17, 2012, Osaka.
- [16] Mishima, K., Yamazaki, R., Satish-Kumar M., Hokada, T., & Ueno, Y., Litho-, chrono- and S-MIF-chemo-stratigraphy of late Archean Dharwar Supergroup, south India. The 22nd V.M. Goldschmidt conference, June 24-29, 2012, Montreal Canada.
- 〔図書〕(計 1 件)
- [1] “Crossing of Neoproterozoic Orogens” (2013) Special issue in Precambrian Research, 234, edited by Satish-Kumar, M. and Hokada, T., p.350.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

M. Satish-Kumar (エム サティッシュクマール)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 50313929

(2) 研究分担者

外田 智千 (ホカダ トモカズ)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号: 60370095