

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23403016

研究課題名(和文) マダガスカルの新生代カーボナタイトの成因

研究課題名(英文) Petrogeneses of Proterozoic carbonates in Madagascar

研究代表者

有馬 眞 (ARIMA, Makoto)

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：10184293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：マダガスカル南部の新生代地質帯に分布する大規模剪断帯からカーボナタイトが新たに認められた。これらカーボナタイトの鉱物学的特徴と、全岩化学組成、炭素および酸素安定同位体組成、SrおよびNd同位体組成を明らかにした。カーボナタイトと付随して産出するキ岩の炭素および酸素安定同位体組成は、マントル同位体組成から重い同位体組成に向かうマグマ分別トレンドを示している。さらに、カーボナタイトマグマが極度にエンリッチしたマントル起源であることがSrおよびNd同位体比から示唆された。

研究成果の概要(英文)：Carbonatites have been identified in the Proterozoic terrain of southern Madagascar and studied for mineralogy, whole-rock geochemistry, stable C- and O-isotopes, and radiogenic Sr- and Nd-isotopes. Carbon and oxygen stable isotopes in the carbonates show magmatic differentiation from the primary mantle carbonate field toward heavier values, suggesting magmatic isotopic fractionation. Both carbonate and associated pyroxenites are characterized by extremely enriched Sr- and depleted Nd-isotope compositions. The present data imply that the studied carbonates are silicocarbonatite derived from extremely enriched sources, which were located at the upper part of lithospheric mantle.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：マダガスカル カーボナタイト ゴンドワナ超大陸 炭素・酸素安定同位体 Sr同位体比 Nd同位体比

### 1. 研究開始当初の背景

マダガスカル南部に分布する高温～超高温変成帯は、原生代後期の西 Gondwana 大陸と東 Gondwana 大陸の衝突により形成された衝突帯 (プレート境界) に位置すると考えられている。ここには、下部地殻変成岩が広く露出し、延長数 100km / 幅数 10km におよぶ複数の大規模断裂帯が南北に発達している (図 1)。申請者は、2007 年から開始した科研費基盤研究 (B) 「西-東 Gondwana 大陸の衝突と超高温変成作用」で、マダガスカル南部の精細な地質調査を行ない、剪断帯に分布する炭酸塩岩の分布、岩石学的・地球化学的特徴の予察的評価から、これらがカーボナタイトマグマの分化物であるとする仮説を得た。従来、これら炭酸塩岩は堆積岩 (石灰岩) 起源の変成岩と (大理石) 考えられており、その岩石学的・地球化学的重要性は認識されていなかった。カーボナタイトは、炭酸塩を主要成分とする特異な火成岩で、起源マグマは CO<sub>2</sub> に富んだマンツルの部分融解で生成したと考えられる。一般にカーボナタイトは多種類の金属資源 (Nb、REE、Ti、P、U、Th、Z) を胚胎することが知られており、マダガスカル南部におけるカーボナタイトの産出は、新しい鉱物資源の発見に繋がるものと期待される。

### 2. 研究の目的

申請者の知るところでは、原生代超高温変成帯に広く分布するマンツル起源カーボナタイトの発見は世界で初めてであり、その岩石学的、地球化学的研究は、CO<sub>2</sub> に富んだ原生代マンツルの分化プロセスと下部地殻の超高温変成作用の熱源の解明などに、重要で新しい知見を与えるものと期待される。本研究では、マダガスカル南部において、剪断帯に沿って広く分布するカーボナタイトの生成プロセスを明らかにする。

カーボナタイトの分布範囲を精細な野外調査で明らかにし、岩石試料を採集し、さらに地質情報の収集を行ない、カーボナタイトを岩石学的・地球化学的・同位体化学的に評価し、カーボナタイトマグマの生成プロセスを解明することを目的とする。具体的には、

- (1) 現地地質調査に基づき、広範囲におけるカーボナタイトの分布と貫入母岩である超高温変成岩類との構造地質学的関係を明らかにする。
- (2) カーボナタイトに付随する雲母岩の K-Ar 同位体組成分析を行ない、形成年代を決定する。
- (3) 炭酸塩鉱物の炭素および酸素安定同位体分析を行い、炭素の起源を解明する。
- (4) カーボナタイトの地球化学的特徴を評価し、さらに Sr-, Nd-同位体分析からカーボナタイトマグマを生成したマンツル起源物質を評価する。また、カーボナタイトの Nb、希土

類元素など鉱物資源としての評価を行なう。

### 3. 研究の方法

#### (1) 野外調査

マダガスカル南部において地質調査を行ない、カーボナタイトの分布、地質構造を精査する。

比較検討のため、インド北西部シンゲン構造帯において、剪断帯に沿い貫入したベルデイ (Belldhi) カーボナタイトの調査を行う。

#### (2) 室内分析

岩石試料について記載岩石学的手法により鉱物学特徴を解析する。

K-Ar 年代測定法により金雲母結晶の形成年代を決定する。

炭素の起源について評価するため、カーボナタイト中の炭酸塩鉱物の炭素および酸素安定同位体測定を行なう。

カーボナタイトの全岩組成分析および全岩 Sr-および Nd-同位体組成分析から、起源マンツル物質の評価を行なう。

### 4. 研究成果

(1) 平成 23 年 9 月 1 日から 10 月 4 日、および平成 24 年 7 月 14 日から 8 月 4 日の間、マダガスカル南部において地質調査を行ない、カーボナタイトの分布、地質構造を精査し、岩石試料の採集を行った。

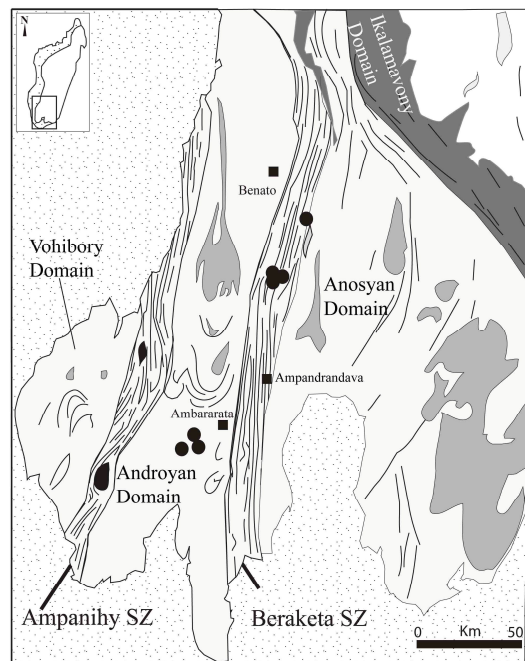


図 1. 南部マダガスカルの構造区分 (GAF-BRG, 2008). カーボナタイトのサンプル採集地点を黒丸で示す。

ベラケタ (Beraketa) 剪断帯に沿いベトロカ地域からベキリ地域までの南北約 120 km に渡り、カーボナタイトが点在して産出するこ

とが認められた(図1)。これらカーボナタイトはキ岩および雲母岩を密接に伴い、グラニュライト相変成岩中に幅数10mの岩脈状として産出するが、その一部は幅数100mの貫入岩体としても産出する。

(2)採集した岩石試料について、記載岩石学的手法により構成鉱物の記載と岩石組織の解析を行った。カーボナタイトは、主に方解石、カンラン石、燐灰石からなるカンラン石カーボナタイトと、方解石、単斜キ石、燐灰石からなる単斜キ石カーボナタイトに大別されることが明らかになった。

(3)金雲母結晶 K-Ar 年代測定により 460 ~ 500 Ma の形成年代を得た。

(4)カーボナタイトおよびキ岩の方解石結晶について炭素および酸素安定同位体測定を行ない、炭素の起源について評価した(図2)。分析値の一部は、マントルが持つ炭素および酸素同位体組成に近い値を持つが、その多くはマントル組成から重い同位体組成に向けたマグマ分別トレンドを示した。

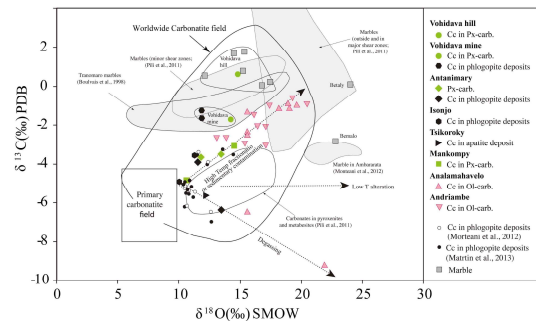


図2. マダガスカル南部のカーボナタイトに産する方解石の炭素および酸素同位体組成。

(5)カーボナタイトの全岩組成分析および全岩 Sr-, Nd-同位体組成分析から、起源マントル物質の評価を行った(図3)。カーボナタイトマグマが極度にエンリッチしたマントル起源であることが Sr および Nd 同位体比から示唆された。これらのデータから、マダガスカル南部に分布するカーボナタイトは、パンアフリカ変動後期に剪断帯に沿って貫入したマントル起源カーボナタイトであることが明らかになった。

(6)平成26年3月4日、横浜国立大学において国際シンポジウム“Gondwana and Arc: Past and Present”を開催した。マダガスカル、インドから4名の研究協力者を招へいし、研究の総括を行った。約40名の参加があった。

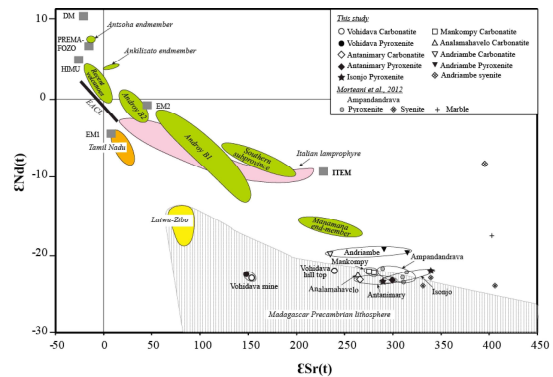


図3. マダガスカル南部カーボナタイトの Sr および Nd 同位体組成。

## 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9件)

Chatterjee, P., De, S., Ranaivoson, M., Mazumder, R., and Arima, M., A review of the ~1600 Ma sedimentation, volcanism, and tectonothermal events in the Singhbhum craton, Eastern India. *Geoscience Frontiers*, 4, 277-287, 2013. 査読有り,

doi:10.1016/j.gsf.2012.11.006

Mazumder, R., Arima, M., Tidal rhythmites in a deepsea environment: an example from Mio-Pliocene Misaki Formation, Miura peninsula, Japan, *Marine and Petroleum Geology*, 30, 43-49, 2013. 査読有り

doi:10.1016/j.marpetgeo.2013.01.006

Arima, M., Kimoto, K., Rakotondrazafy, R., Rakotonandrasana, N.O.T., and Ranaivoson, M.A., Igneous sapphirine in Ambatomena, southern Madagascar. *Goldschmidt 2013 Conference abstract*, Firenze, Aug. 29, 2013, *Mineralogical Magazine*, 77 (5) 615, 2013. 査読無し,

doi:10.1180/minmag.2013.077.5.1

Kato, M., Hiroi, Y., and Arima, M., Experimental studies of partial melting at the contact between limestone and polydeformed gneiss. *Goldschmidt 2013 Conference abstract*, Firenze, Aug. 29, 2013, *Mineralogical Magazine*, 77 (5) 1436, 2013. 査読無し,

doi:10.1180/minmag.2013.077.5.11

Mallik, L., Mazumder, R., Mazumder, B.S., Arima, M., Chatterjee, P., Tidal rhythmites in offshore shale: a case study from the Palaeoproterozoic Chaibasa shale, eastern India and

implications, *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 30, 43-49, 2012. 査読有り,  
doi:10.1016/j.marpetgeo.2011.10.005  
Mazumder, R., Van Loon, A.J., Mallik, L., Reddy, S.M., Arima, M., Altermann, W., Eriksson P.G., and De, S. Mesoarchean-Palaeoproterozoic Stratigraphic Record of the Singhbhum Crustal Province, Eastern India: a synthesis, *In Palaeoproterozoic of India*, Eds. R. Mazumder and D. Saha, Geological Society London, Special Publications, 365, 29-47, 2012. 査読有り, doi.org/10.1144/SP365.3  
Saito, S., Arima, M., Nakajima, T., Tani, K., Miyazaki, T., Senda, R., Chang, Q., Takahashi, T., Hirahara, Y., and Kimura, J., Petrogenesis of the Kaikomagatake granitoid pluton in the Izu Collision Zone, central Japan: implications for transformation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 163:611-629, 2012. 査読有り, doi: 10.1007/s00410-011-0689-1  
Prakash, D., Chandra Singh, P., Arima, M., Triveni Singh, P-T history and geochemical characteristics of mafic granulites and charnockites from west of Periya, North Kerala, southern India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 102-115, 2012. 査読有り, doi:10.1016/j.jseaes.2012.08.02310  
Bose, S., Dunkley, D. J., Dasgupta, S., Das, K., and Arima, M. India-Antarctica-Australia-Laurentia connection in the Paleo- Mesoproterozoic revisited: Evidence from new zircon U-Pb SHRIMP and monazite chemical age data from the Eastern Ghats Belt, India. *Geological Society of America Bulletin*. 123, 2031-2049, 2011. 査読有り, doi: 10.1130/B30336.1

[学会発表](計2件)

Rakotonandrasana, N.O.T., Arima, M., Dunkley, D.J., Rakotondrazafy, R., and Rambeloson, R.A., SHRIMP U-Pb zircon geochronology of southern Madagascar: New evidences of Mesoarchean crust and their implications to the Madagascar tectonothermal history. The Third Symposium on Polar Science 29 -30 November, 国立極地研究所, 東京, 2012.11.27.

Ranaivoson, M.A., Arima, M., Nguyen T. T. and Wada, H., Carbonatite and calcite-bearing phlogopitite pyroxenite intrusions along the lithospheric shear zone in the Proterozoic southern Madagascar: Geochemical and carbon/oxygen isotopic characteristics. 日本地質学会、大阪府立大学、2012.9.15.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有馬 眞 (ARIMA, Makoto)  
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号: 10184293

(2) 連携研究者

白石 和行 (SHIRAI SHI, Kazuyuki)  
国立極地研究所・研究教育系・所長  
研究者番号: 90132711

和田 秀樹 (WADA, Hideki)  
静岡大学・理学部・教授  
研究者番号: 20126791

石川 正弘 (ISHIKAWA, Masahiro)  
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号: 70232270

(3) 研究協力者

ラコトナンドラザフィ レイモンド  
(RAKOTONDRAZAFY, Raymond)  
マダガスカル共和国、アナンタナナリボ大学・理学部・教授

ランベロソン ロジャー  
(RAMBELOSON, Roger)  
マダガスカル共和国、アナンタナナリボ大学・理学部・准教授

マズンダー ラジャット  
(MAZUMDER, Rajat)  
インド統計学研究所・准教授

マルビア ヴィベック  
(MALVIYA, Vivek)  
インド地質調査所、研究員