

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04043

研究課題名(和文) 微小・微量鉱物に残された太古代変成作用とテクトニクス

研究課題名(英文) Archaean metamorphism and tectonics recorded in micro and minor minerals

研究代表者

青木 一勝 (Aoki, Kazumasa)

岡山理科大学・基盤教育センター・准教授

研究者番号：70586677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、変成岩や火成岩に含まれるジルコンやアパタイトやチタナイト、さらには白雲母といった微小・微量鉱物の年代測定や定量分析などの測定条件を検証し、得られた条件を南アフリカに産するバーバートン花崗岩 緑色岩帯(BGGT)に適用した。その結果、BGGTで起きた造構運動下では海洋台地(海山)の沈み込みと流体による融解プロセスがマグマ生成の主要な役割を果たし、また表層岩石をエクロジヤイト相の深部まで沈み込ませる比較的低い地温勾配であったことが示された。これらのことから、少なくともBGGTは、表層地殻が側方運動するようなテクトニクスによって形成された可能性が高いことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り組んだ研究課題は、地球史におけるプレートテクトニクスの開始時期特定や、現在の地球では生成しないTTG花崗岩の成因解明など、岩石記録が少ない地質時代の未解決問題と密接な関わりがある。本研究の学術的意義は、そういった未解決問題の糸口を掴むために太古代岩石の微小・微量鉱物に注目し、測定機器を駆使して、当時の造構運動の痕跡を読み取ったことと言える。また、社会的意義の面では、本研究は経済的な実利性はないが、教育現場や教養のための新しい「知」としての役割を持っているため、この新しい「知」とともにまだ「未解決」な部分を合わせて説明することで、学校教育が掲げる「探究的な学び」につながると考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined several analytical conditions for LA-ICP-MS age dating and quantitative analysis of micro and/or minor minerals such as zircon, apatite, titanite, and phengite in metamorphic and igneous rocks, and discussed the Archaean tectonics, based on the obtained data. As a result, the magmatic P-T condition recorded in Barberton Granitoid Greenstone Terrain (BGGT) rocks in South Africa showed that the TTG had coexisted with eclogite residue and/or garnet amphibolite residue during the initial generation. In addition, combining our data with Archaean geodynamics models indicate the subduction and melting of oceanic plateaus played a major role in the tectono-magmatism of the BGGT. The essence of the formation of the BGGT is the subduction of the oceanic plateaus induced by horizontal tectonics like Plate tectonics in the present Earth.

研究分野：地質学

キーワード：ジルコン アパタイト LA-ICP-MS 太古代 微量元素

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プレートテクトニクスは、地表と地球内部の物質循環をつかさどる重要なプロセスである。従って、「プレートテクトニクスの開始時期」を特定することは地球物質・表層進化を議論・理解することにつながるため重要な問題の1つである。しかし、具体的な開始時期については現在よく分かっていない。これは、岩石形成年代が古ければ古いほど、後の時代の変成・変質などの影響により形成情報の書き換えが起こり、形成初期の情報が消失してしまうことに起因する。そこで、申請者は後の時代の影響を免れやすい岩石中の微小・微量鉱物に注目し、最新の分析技術を各種鉱物に適用することで、岩石形成に関わる初期情報を引き出すことを試みた。

2. 研究の目的

プレートテクトニクスの開始時期の特定は、太古代変成岩や火成岩試料の形成年代・形成過程を明らかにすることと表裏一体関係にある。従って、本研究では、太古代岩石が記録している岩石学的・年代学的・地球化学的特徴を最新の分析装置を用いて求め、それらの結果をもとに太古代地質体、特に南アフリカバーバートン地域に産する地質体の形成年代や形成プロセス(テクトニクス)を明らかにしていく。一方で、各種分析の測定条件を検証するため、ある程度形成年代や形成プロセスが明らかになっている顕生代の岩石や鉱物を使って、各種分析の測定条件の最適化も行う。

3. 研究の方法

本研究で用いた手法を以下に列挙する。これらを適宜組み合わせ研究活動を行った。

- (1) 地質調査・岩石採取
- (2) 偏光顕微鏡観察
- (3) エレクトロン・プローブマイクロ分析 (EPMA)
- (4) レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 (LA-ICP-MS)
- (5) マクロX線顕微鏡観察
- (6) 顕微ラマン分光器

4. 研究成果

本研究で得られた研究結果を以下に記す。

(1) 南アフリカ、バーバートン花崗岩類 緑色岩帯のテクトニクス

太古代岩石の形成プロセスを明らかにするため LA-ICP-MS 分析をメインに、Badplaas pluton、Inyoni shear zone、Batavia pluton に産する 花崗岩類 (TTG) の岩石記載、およびそれら試料から分離したジルコンとアパタイトの微量元素測定と同位体比測定を行った。その結果、すべてのサンプルのジルコンの加重平均 U-Pb 年代は、これまでに報告されていた約 3.28-3.23 Ga の年代値と一致した。また、得られた微量元素特性から、Inyoni shear zone と、Batavia Pluton、および Badplaas Pluton がそれぞれ初期生成時にエクロジャイト残留物およびガーネット角閃岩残留物と共存していたことが分かった。さらに、ジルコンの Nb/Yb 対 U/Yb および Hf 同位体組成の二変量図から、各 TTG の苦鉄質源は下部マントルに根を持つ海山(海洋台地)起源であることが分かった。これらのデータを太古代のテクトニックモデルに関する先行研究と組み合わせると、バーバートン地域に産する TTG が生成した場では、海山の沈み込みと流体による融解プロセスがマグマ生成に対して主要な役割を果たしていたことが示唆された。バーバートン花崗岩類 緑色岩帯はプレートテクトニクスのような側方運動によるテクトニクスによって形成さ

れた可能性がある。

(2) 弱変成岩の白雲母分離・濃集法とその K-Ar 年代測定

太古代表層岩類を構成する弱変成岩類の K-Ar 年代を求める際、測定試料の妥当性を評価するため、ある程度形成時期の分かっている白亜紀弱変成岩大滝層群 を例に K-Ar 年代測定を行った。その結果、本研究で採用した分離・濃集法では、弱変成岩の白雲母の場合、少なくとも 4.5wt% 程度のカリウム含有量があればそのフラクションは年代測定試料として妥当であることが確認された。

(3) チタナイトの U-Pb 年代測定

チタナイト鉱物は様々な火成岩や変成岩に含まれており、その U-Pb 年代値はマグマからの結晶化年代や、熱変成イベント時の冷却年代を制約することに使える。本研究では変成岩中のチタナイトの LA-ICP-MS U-Pb 年代分析から変成作用年代を制約するため、まず、LA-ICP-MS のチタナイト標準試料 (MKED1 と BLR-1) の測定を行った。その結果、U-Pb 年代値については BLR-1 チタナイトと NIST612 を組み合わせて外部補正試料に用いた場合は、参照値とほぼ一致する年代値が得られた。しかし 91500 ジルコンと NIST612 を用いた場合は、参照値よりも明らかに若い年代値が得られた。これらのことから、チタナイト U-Pb 年代値はアブレーション時のマトリックス効果の影響が大きいことが確かめられ、同鉱物の U-Pb 年代測定では、BLR-1 チタナイトと NIST612 を補正試料に用いるとよいことが分かった。

(4) マグマの冷却速度

顕生代と太古代の珪長質マグマの冷却速度の比較のため、まず関東山地北縁の川井山石英閃緑岩体のジルコンの年代測定と微量元素測定を LA-ICP MS を用いて行った。その結果、岩体形成に関与したマグマ活動は 277.1 ± 3.2 Ma であったことがわかった。また、これまで報告されている同岩体の角閃石 K-Ar 年代値との比較から当該岩体のマグマの冷却速度は 9.2 °C/ Ma 以下であることが示唆された。

(5) アパタイトの U-Pb 年代測定

どの地質時代の花崗岩にも普遍的に含まれるアパタイトの LA-ICP MS U-Pb 年代測定を行うため、年代既知の 401 アパタイトを用いた測定条件や補正計算の確認を行った。本学設置の LA-ICP-MS を使った測定では、401 アパタイトの参照値とほぼ一致する年代値が得られ、U/Pb 比と Pb 同位体比のばらつきが小さい測定試料については、初生鉛を補正する年代計算手法が有効であることが分かった。

(6) アパタイト年代測定の歯化石への適用

今回の研究で用いたアパタイト U-Pb 年代測定の汎用性を拡張するため、モンゴル国ゴビ砂漠ネメグト層中部から採取した 5 本のタルボサウルス・バタールの歯化石 (アパタイト) に対して、Y スクリーニング法に基づく LA-ICP-MS を用いた U-Pb 同位体測定と微量元素測定を世界で初めて行った。その結果、U 分布の二次変化の影響が最も少ないと考えられる試料の一つから 66.7 ± 2.5 Ma の年代が得られた。この年代値は化石化の下限値を示し、従来指摘されていたネメグト層中部の堆積年代と矛盾しない。したがって、Y スクリーニング法と組み合わせたアパタイト U-Pb 年代測定は、モンゴル国ゴビ砂漠に産する歯化石 (アパタイト) にも適用できること

が初めて示された。

(7) ジルコンのカソードルミネッセンス(CL)特性変化

ジルコンの変成作用に対する CL の特性変化を明らかにするため、ジルコンのカラーCL 解析やスペクトル解析を行った。その結果、変成度の高いジルコンと低いジルコンの発光強度を比較すると、前者のジルコンの発光強度は減少していることが分かった。また、アニーリング処理したジルコンから発生する発光強度は、未処理のジルコンから発生するも強度の 2 倍であったことも分かった。これらの結果は、変成圧力の増加は、温度の増加に起因する変成ジルコンの CL 発光強度の増加を減少させることを示す。したがって、変成作用下に置かれたジルコンの発光強度に対する圧力効果は温度効果よりも大きいことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ganbat, A., Tsujimori, T., Miao, L., Safonova, I., Pastor-Galan, D., Anaad, C., Baatar, M., Aoki, S., Aoki, K., Savinskiy, I.	4. 巻 404-405
2. 論文標題 Late Paleozoic-Early Mesozoic granitoids in the Khangay-Khentey basin, Central Mongolia: Implication for the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean margin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 LITHOS	6. 最初と最後の頁 106455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2021.106455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ganbat, A., Tsujimori, T., Boniface, N., Pastor-Galan, D., Aoki, S., Aoki, K.	4. 巻 91
2. 論文標題 Crustal evolution of the Paleoproterozoic Ubendian Belt (SW Tanzania) western margin: A Central African Shield amalgamation tale	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gondwana Reserach	6. 最初と最後の頁 286-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gr.2020.12.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 加藤大地, 森本錬, 八木公史, 青木翔吾, 土屋裕太, 青木一勝	4. 巻 127
2. 論文標題 関東山地三峰地域大滝層群の変成年代 : イライトK-Ar年代測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 437-442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2021.0011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Aoki, S., Aoki, K., Fukuyama, M., Ogasawara, M., Tsuchiya, Y.	4. 巻 30
2. 論文標題 Geochemical and geochronological constraints on the origin and emplacement of the Shimo ondori diorites in Shikoku, Southwest Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 土屋裕太・照屋海人・青木翔吾・菅原久誠・能美洋介・青木一勝	4. 巻 26
2. 論文標題 関東山地北縁の川井山石英閃緑岩体：ジルコンU-Pb年代測定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Naturalistae	6. 最初と最後の頁 47-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aoki Shogo., Date Yuki., Nishido Hirotsugu., Aoki Kazumasa	4. 巻 25
2. 論文標題 LA-ICP-MS U-Pb dating of the 401 apatite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Naturalistae	6. 最初と最後の頁 23-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sonehara Takafumi, Yagi Koshi, Takeshita Hiroyuki, Aoki Kazumasa, Aoki Shogo, Otofujii Yo-ichiro, Itaya Tetsumaru	4. 巻 10
2. 論文標題 Kibi Plateau: A stable-coherent tectonic unit in the active Japanese Islands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-60448-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Takumi, Aoki Kazumasa, Windley Brian F., Aoki Shogo	4. 巻 54
2. 論文標題 The Ashizuri granite-alkaline gabbro complex in the forearc of a Paleogene accretionary complex, Shikoku, Japan: Constraints on evolution by zircon U-Pb age and trace element composition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 411-420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Aoki Shogo, Aoki Kazumasa, Tsujimori Tatsuki, Sakata Shuhei, Tsuchiya Yuta	4. 巻 358-359
2. 論文標題 Oceanic-arc subduction, stagnation, and exhumation: zircon U?Pb geochronology and trace-element geochemistry of the Sanbagawa eclogites in central Shikoku, SW Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2020.105378	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aoki Shogo, Aoki Kazumasa, Chiba Kentaro, Sakata Shuhei, Tsuchiya Yuta, Kato Daichi	4. 巻 29
2. 論文標題 Origin of the Tonaru body in the Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurumada Yuto, Aoki Shogo, Aoki Kazumasa, Kato Daichi, Saneyoshi Mototaka, Tsogtbaatar Khishigjav, Windley Brian F., Ishigaki Shinobu	4. 巻 32
2. 論文標題 Calcite U?Pb age of the Cretaceous vertebrate bearing Bayn Shire Formation in the Eastern Gobi Desert of Mongolia: Usefulness of caliche for age determination	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Terra Nova	6. 最初と最後の頁 246-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ter.12456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Aoki, S. and Aoki, K.	4. 巻 24
2. 論文標題 In-situ U-Pb age determination of titanite by LA-ICP-MS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Naturalistae	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanabe, M., Aoki K., Chiba, K., Saneyoshi, M., Kodaira, S., Nishido, H., Mainbayar, B., Tsogtbaatar, K., Ishigaki, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Apatite U-Pb dating of dinosaur teeth from the Upper Cretaceous Nemegt Formation in the Gobi Desert, Mongolia: contribution to depositional age constraints	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/IAR.12488	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kodaira. S., Tanaka. Y., Hayashi. S., Aoki. S., Hirata. T, Ishigaki. S., Aoki, K.	4. 巻 32
2. 論文標題 Calcium Isotope and Elemental Differences between Medullary and Cortical Bones in Domestic Chicken	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Hard Tissue Biology	6. 最初と最後の頁 127-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2485/jhtb.32.127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ganbat, A., Tsujimori, T., Miao, L., Safonova, I., Pastor Galan, D., Anaad, C., Aoki, S., Aoki, K., Chimedsuren, M.	4. 巻 31
2. 論文標題 Age, petrogenesis, and tectonic implications of the late Permian magmatic rocks in the Middle Gobi volcanoplutonic Belt, Mongolia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Island arc	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12457	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuchiya Y., Aoki K., Kogiso T., Seo Y., Aoki S., Nishido H.	4. 巻 31
2. 論文標題 Pressure effect on cathodoluminescence emission intensity recorded in metamorphosed detrital zircons of the Sanbagawa schists	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Island arc	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.1244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morita, I., Tsujimori, T., Boniface, N., Flores, K. E., Aoki, S., Aoki, K.	4. 巻 63
2. 論文標題 Neoproterozoic eclogite-to granulite-facies transition in the Ubendian Belt, Tanzania, and the timescale of continental collision	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egac012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Aoki, S., Aoki, K., Fukuyama, M., Ogasawara, M
2. 発表標題 Detrital zircon geochemistry in the Shimanto Accretionary Complex: Tectonic constraints on formations of the Jurassic to Cretaceous batholiths in the eastern Asian margin
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土屋裕太、青木一勝、西戸裕嗣
2. 発表標題 北アルプス南部、滝谷花崗閃緑岩に産するジルコンのカソードルミネッセンス測定
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木一勝
2. 発表標題 モンゴル国ゴビ砂漠に分布する古脊椎動物化石含有層の年代制約
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Matsumoto Takumi and Aoki Kazumasa
2. 発表標題 Alkaline magmatism in a fore-arc region: igneous activity in relation to the Ashizuri igneous complex, SW Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kato, D., Aoki, K., Tsuchiya, Y., Aoki, S. and Komiya, T.
2. 発表標題 Metamorphic P-T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (JpGU2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoki, K., Miyake, S., Fukuyama, M., Ogasawara, M., Komiya, T.
2. 発表標題 Petrogenesis of the mid-Archaean tonalite-trondhjemite-granodiorite rocks in the Barberton granitoid-greenstone terrain: constraints from geochemical and isotopic signatures of zircon
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田辺 美羽, 千葉謙太郎, 青木一勝
2. 発表標題 発表標題 モンゴル国ゴビ砂漠、恐竜歯化石のU-Pb年代測定:最初の試み
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazumasa AOKI, Kentaro CHIBA, Mototaka SANEYOSHI, Khishigjav TSOGTBAATAR, Shinobu ISHIGAKI
2. 発表標題 An attempt at apatite U-Pb dating of dinosaur teeth in the Gobi Desert of Mongolia
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

岡山理科大学教育推進機構 https://www.ous.ac.jp/kikou/education/kyouin/ 岡山理科大学アクティブラーナーズコース https://www.ous.ac.jp/department/active/active/ 岡山理科大学基盤教育センター基盤地学グループ https://sites.google.com/ous.ac.jp/earth/
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------