

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26302004

研究課題名(和文) 鉱物タイムカプセルを採取し高温初期地球を検証する：地磁気・大陸移動・マグマ生成

研究課題名(英文) Mineral inclusions study on early Earth: magnetism, tectonics and magma genesis

研究代表者

臼井 洋一 (USUI, Yoichi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・研究員

研究者番号：20609862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,700,000円

研究成果の概要(和文)：西オーストラリア州、ピルバラ地域のマーブルバー周辺にて地質調査と試料採取を行い、古地磁気および岩石学の研究を進めた。特にマーブルバー東のMount Edgar複合岩体中の、33億年前の岩石試料について、全岩および斜長石の磁気的性質を測定し、斜長石中に単磁区的な磁鉄鉱が含まれていることを明らかにし、斜長石単結晶における磁気異方性や磁化獲得効率を定量的に評価した。また、マーブルバー南西のGlen Herring Gorge付近の35億年前のデイサイトについて古地磁気測定を行い、先行研究とは異なり、少なくとも400度以下のブロックング温度の磁化は35億年前とは考えられないことを示した。

研究成果の概要(英文)：We conducted field study around the town Marble Bar in the Pilbara craton, Western Australia. We discovered the near-single domain exsolved magnetite in plagioclase in ca. 3.3 Ga granitoid. We quantify the magnetic anisotropy and remanence acquisition efficiency of the exsolved magnetite. We also measure ca. 3.5 Ga red dacite near Glen Herring Gorge. In contrast to the previous results, we argue that the potentially primary remanence should be restricted to the blocking temperature above 400 C.

研究分野：古地磁気学

キーワード：古地磁気 離溶磁鉄鉱 太古代 ピルバラクラトン ジルコン

1. 研究開始当初の背景

固体地球全体の冷却は地質諸現象の原動力である。理論的な考察からは初期地球内部は今より高温であったと考えられている。この地球熱史の理論は、放射性元素の分布やテクトニクス史等の容易に決定できないパラメータを含んでおり、理論だけから実際の地球惑星の進化との整合性を判断することは難しい。そのため、地質学的検証が求められていた。一方、微小試料・高感度分析技術を用い、未変質の鉱物単結晶を測定することで、30億年以上前の地質情報を信頼できる形で得ることが可能になりつつあった。特に古地磁気学においては、石英や長石中の磁鉄鉱インクルージョンを用いることで、32から34億年前の地磁気強度が現在の50%以上であることが示されてきており、核-マントル熱流量が長期にわたりあまり変化していない可能性が議論されはじめていた。しかし、一般の石英・長石の磁化は極めて弱く、測定可能な試料の発見がボトルネックになっており、データ数は極めて限られていた。

西オーストラリアのピルバラ地域には、地球上でもまれな、35億年前の年代を持つ低変成度の岩石が分布している。同地域の先行研究により、35億年前のデイサイトが初生的な古地磁気記録を保持していることが報告されていた。これは岩石に記録された磁気記録として世界最古のものであり、太古代のプレート運動などの議論に用いられている (McElhinny and Sananayake, 1980)。しかし、この先行研究は単結晶測定などの現代的な測定プロトコルを用いておらず、その信頼性には疑問が残っており、その再検討が重要な課題となっていた (Usui et al., 2009)。

研究代表者は、連携研究者 (渋谷岳造) が過去に西オーストラリア州ピルバラ地域で採取した花崗岩中の斜長石を分析し、それらが微小な磁鉄鉱を大量に含み、測定可能な強い磁化を持つことを見出していた (Usui et al., 2013, JpGU 連合大会発表)。ただし、この試料は磁気測定のために採取されたものではないため、古地磁気学研究に使用することはできなかった。そこで本研究により、ピルバラ地域で古地磁気試料を新たに採取し分析を行う計画を立てるに至った。

2. 研究の目的

ピルバラ地域に露出している岩石の分布やその地質学的・古生物学的研究例に比べ、古地磁気学研究の例は極めて少ない。本研究では、比較的アクセスの良いマールバー周辺を対象として、約32-35億年前の各種の岩石を採取し、その古地磁気学・岩石学的分析を行うことを目的とした。特に、35億年前のデイサイトの古地磁気記録の信頼性の再検討と、33億年前の花崗岩の古地磁気研究を重点的な課題とした。

3. 研究の方法

(1) 調査・試料採取

西オーストラリア州、マールバー周辺にて、各年度2-4週間程度の調査・試料採取を行った。試料採取にはハンマーとエンジンドリルを用いた。

(2) 磁気分析

採取した試料に対し古地磁気・岩石磁気的分析を行った。特に花崗岩試料からは斜長石の単結晶を分離し測定を行った。

35億年前のデイサイトに関する先行研究では消磁ステップが粗く、また磁性鉱物を特定するための実験も行われていない。そのため初生磁化とされる磁気記録を担う鉱物が特定されておらず、結果としてその成因も不明である。今回はこの点を改善するために、消磁ステップを細かく取るとともに、帯磁率の温度変化、三軸IRMの熱消磁、ヒステリシス分析を行った。また、野外調査にて帯磁率の地理的分布をマッピングし、岩石磁気的特徴の分布を調べた。

磁鉄鉱を多く含むような斜長石単結晶では磁気異方性が大きいことが知られており、また磁気獲得効率も高いことが予想されていたものの、その定量的な測定例はなかった。今回は、古地磁気測定を行うと主に、これらの量の定量的な測定を行った。

4. 研究成果

(1) 調査・試料採取

35億年前のデイサイトおよび33億年前の花崗岩を含む岩石を、各年度100試料前後採取した。初年度の調査により、花崗岩では岩石試料の半数以上が落雷による再磁化を被っていることがわかった。この問題を解決するために、その後同一の露頭を訪れ、落雷の影響が最も少ない地点のエンジンドリルによる集中的採取を行った。一方でデイサイトは非常に硬くドリルによる採取は困難で、ハンマーによる試料採取が有効であった。

(2) 磁気分析

35億年前のデイサイト

先行研究では、およそ200度から580度のプロッキング温度、10-40 mTの保磁力を持つ磁化成分を認定し、それが初生的な磁化であることを議論していた。今回、調査範囲を広げ、デイサイト溶岩およびそれより下位のデイサイト質火山礫岩を対象に、より詳細な消磁実験を行った。その結果、いくつかの試料は400度程度にプロッキング温度をもつ鉱物 (おそらくチタン磁鉄鉱) を含んでいることがわかった。また、多くの資料は200-550度の範囲で残留磁化方位の変化を示し、この温度範囲で磁化成分を認定することは困難であった (図1)。さらに火山礫岩において、400度以下の温度で認定される、チタン磁鉄鉱に担われていると思われる磁化成分の方位を統計的に検証した結果、礫の定置後に獲得された磁化であることが示唆された (図

2) 以上の結果はこの岩石が 35 億年前の磁化を保持していることを完全には否定しないが、少なくとも 400 度以下のプロッキング温度の磁化成分は初生的ではないことを示す。従って、先行研究で提案されている 200-580 度で定義される磁化方位は初生磁化を分離したものとは言えず、テクトニクス等の議論も再検討する必要がある(学会発表)

33 億年前の花崗岩

33 億年前の花崗岩中の斜長石は、類似の鉱物に関する先行研究で報告されているとおり、単磁区的な性質を示す。今回初めて多数

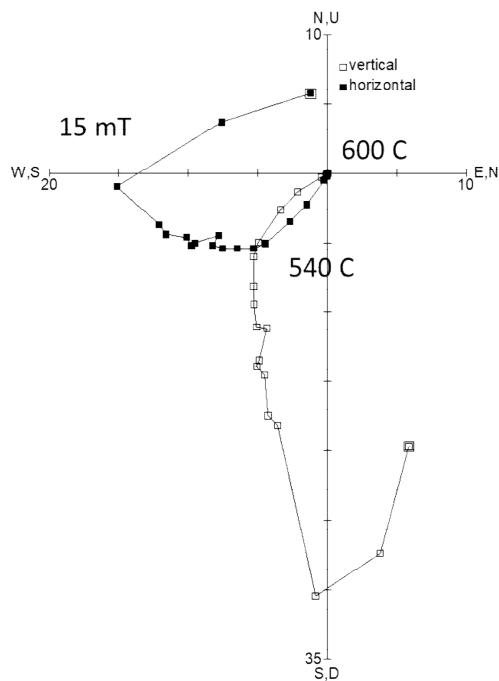


図 1 . 35 億年前のデイサイトの熱消磁結果。540 度を境に磁化方位が異なっており、200-580 度に単一の磁化を想定することはできない。

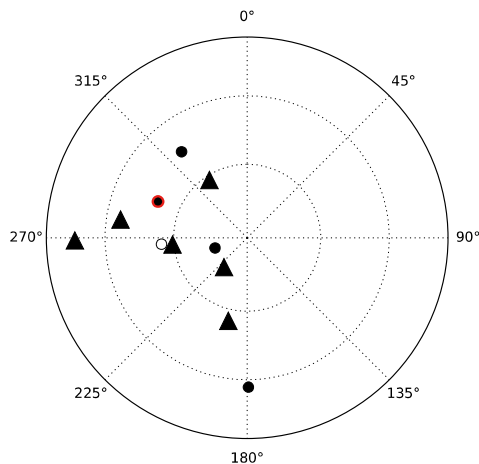


図 2 . デイサイト質礫岩から求められた、400 度以下のプロッキング温度の磁化成分の方位(下半球投影)。

の単結晶の異方性を測定し、最大約 2500% の異方性を示すことがわかった。また、ARM/IRM 比もこれまで火成岩から報告されていた値としては異常に高く、ARM の規格化による古地磁気強度推定も通常の岩石と同様には行えないことがわかった。これらを元に、非常に強い異方性が古地磁気記録の解読に及ぼす影響をシンプルなシミュレーションで推定した結果、今回観測された程度の異方性であれば、30-50 試料程度を適切に平均することで、古地磁気方位、強度ともに復元可能であることが予測された(論文)。この結果は当該試料の古地磁気研究のみならず、類似の斜長石を含む海底ハンレイ岩や層状岩体の研究にも重要である。更に、共焦点顕微鏡を用いることで、磁鉄鉱の 3 次元形状を非破壊観察できることがわかった(図 3)。

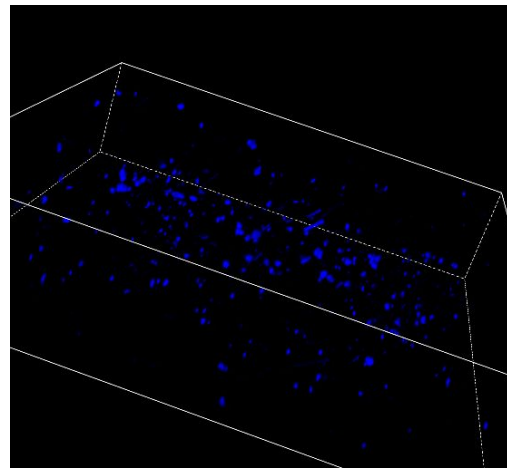


図 3 . 斜長石中の磁鉄鉱の三次元形状。青色が磁鉄鉱結晶。観察領域はおよそ 100x100x30 μm 。

一方で、磁鉄鉱の形成条件は未解明であり、結晶方位や再加熱実験を通じて磁鉄鉱の晶出温度を決定することが将来の重要な課題である。

その他の岩石

マーブルバー周辺のチャート質礫岩の方位を統計的に検証した結果、これらの礫岩は 34 億年前の磁化を記録している可能性が見出された(図 3、学会発表)。今後、チャートの層と磁化方位の関係を基に、ピルバラ地域の緯度や、過去の磁場の変動性が議論できる可能性がある。

その他マーブルバー周辺に分布する層状チャート、玄武岩、流紋岩の磁化はいずれも落雷の影響を受けているか、後のオーバープリントにより形成当時の磁化を失っていることがわかった。

< 引用文献 >

- McElhinny, MW, Sananayake, WE (1980)
- Usui, Y. et al. (2009) Geochemistry

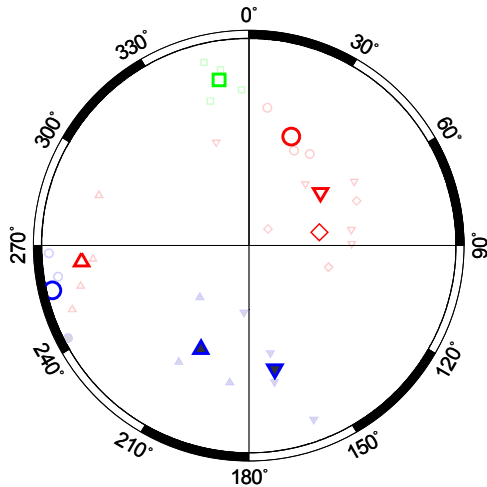


図3 . チャート礫岩の磁化方位 (高温成分)

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)すべて査読有り

Y. Usui, W. Tian (2017), Paleomagnetic directional groups and paleointensity from the flood basalt in the Tarim large igneous province: implications for eruption frequency. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 14, 69: 1-14, doi:10.1186/s40623-016-0595-x.

K. Tani, (他 9 名) (2015), Pliocene granodioritic knoll with continental crust affinities discovered in the intra-oceanic Izu-Bonin-Mariana Arc: Syntectonic granitic crust formation during back-arc rifting. *Earth and Planetary Science Letters*, 424, 84-94, doi: 10.1016/j.epsl.2015.05.019.

Y. Usui, T. Shibuya, Y. Sawaki, T. Komiya (2015), Rock magnetism of tiny exsolved magnetite in plagioclase from a Paleoproterozoic granitoid in the Pilbara craton. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 16, 112-125, doi: 10.1002/2014GC005508.

〔学会発表〕(計 2 件)

臼井洋一(他 5 名) ピルバラクラトンの 34.6 億年前のデイサイトにおける古地磁気フィールドテストの再検討、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 24 日、幕張メッセ、千葉県千葉市、口頭発表。

臼井洋一(他 5 名) 西オーストラリア、ピルバラ地域の古始生代岩石に対する古地磁気フィールドテスト、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 25 日、幕張メッセ、千葉県千葉市、口頭発表。

6 . 研究組織

(1)研究代表者

臼井 洋一 (USUI, Yoichi)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・研究員
研究者番号: 20609862

(2)研究分担者

谷 健一郎 (TANI, Kenichiro)
国立科学博物館・地学研究部・研究員
研究者番号: 70359206

(3)連携研究者

渋谷 岳造 (SHIBUYA, Takazo)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員
研究者番号: 00512906

(4)研究協力者

斎藤 誠史 (SAITOH, Masafumi)
西澤 学 (NISHIZAWA, Manabu)
柏原 輝彦 (KASHIWABARA, Teruhiko)
奥村 知世 (OKUMURA, Tomoyo)
佐藤 峰南 (SATO, Honami)
加藤 千恵 (KATO, Chie)