

平成 29 年 4 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610136

研究課題名（和文）ゼロ次元応力源を利用した鉱物の弾性特性測定法の開発

研究課題名（英文）A new analysis method for elastic property of mantle minerals

研究代表者

山本 順司（Yamamoto, Junji）

北海道大学・総合博物館・准教授

研究者番号：60378536

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、流体包有物をゼロ次元の応力源として利用する鉱物の弾性特性測定法の開発に挑んだ。

地球内部を探る手法の中で地震波トモグラフィーは傑出した存在感を示しつつあり、その解釈に必要な鉱物の弾性特性の重要性も増しつつある。しかし、既存の弾性特性には問題がある。鉱物の弾性特性は化学組成に強く依存するにも関わらず、天然鉱物から得た値は少なく、しかも測定値の有効数字は2桁程度である。地震波速度構造の精密な解釈には鉱物の弾性特性の精度・確度を共に高める必要がある。そこで本研究では、微小な天然鉱物でも精度良く鉱物の弾性特性を測定できる新たな手法の開発に挑んだ。

研究成果の概要（英文）：We developed a new analysis method for the elastic property of mantle minerals. During transport of a mantle xenolith by magma and subsequent cooling, fluid inclusions change their volume due to both elastic and plastic properties of the host mineral, which are sensitive to differential pressure between internal pressure of the fluid inclusion, and stress in surrounding crystal lattice. Micro-Raman spectroscopy enables precise non-destructive analyses of CO₂ density in a very small volume. By applying this method to CO₂ fluid inclusions in minerals, we can detect the slight change in volume of fluid inclusions, thereby deformation of the host minerals.

We installed a sapphire anvil cell, which is able to make PT environment of up to 800 °C and 1 GPa. It made us to control outside temperature and pressure of a mineral involving fluid inclusions.

研究分野：地球化学

キーワード：弾性特性 流体包有物 高温高压実験 マントル

1. 研究開始当初の背景

筆者らは、マグマによって地表に運び上げられたマンツルのカケラ（マンツル捕獲岩）を調べている過程で、流体包有物の流体密度が鉱物種によって系統的に異なることを発見した。これは流体の過剰圧力に対する周りの鉱物の弾性応答性の違いを反映しているためである。

流体包有物を含む鉱物が加熱されると、流体圧力の上昇によって周囲の鉱物が弾性的に変形し、流体包有物は膨張する。つまり、流体密度の変化からホスト鉱物の弾性特性を読み取れるのではないかとこの着想に至った。この推察が正しければ、人為的な加熱によって流体包有物をさらに膨張させることができるはずである。その膨張率を精密に測定できれば、ホスト鉱物の弾性特性を読み取ることが可能となる。流体包有物は天然鉱物に広く見られるため、この手法の開発に成功すれば、様々な天然鉱物の弾性特性を一挙に決定する道が拓けるであろう。

そこで本研究では、流体包有物を応力源とする鉱物の弾性特性測定法の開発を目指した。しかし、この弾性特性測定法は既存の測定法とは全く異なるため、確度の検証が重要となる。そこで弾性特性の報告が多いカンラン石を用いることにした。

当該手法の最大の特徴は、対象鉱物のサイズをさほど問わないことである。流体包有物を含む鉱物であれば直径 1 mm 以下の鉱物でも弾性特性を決定できる。それゆえ、当該手法は微小な天然鉱物に適用できる弾性特性測定法として利用されていくのではなかろうか。

2. 研究の目的

本研究では、流体包有物をゼロ次元の応力源として利用する鉱物の弾性特性測定法の開発に挑んだ。

地球内部を探る手法の中で地震波トモグラフィは傑出した存在感を示しつつあり、その解釈に必要な鉱物の弾性特性の重要性も増しつつある。しかし、既存の弾性特性には問題がある。鉱物の弾性特性は化学組成に強く依存するにも関わらず、天然鉱物から得た値は少なく、しかも測定値の有効数字は 2 桁程度である。地震波速度構造の精密な解釈には鉱物の弾性特性の精度・確度を共に高める必要があろう。そこで本研究では、微小な天然鉱物でも精度良く鉱物の弾性特性を測定できる新たな手法の開発に挑んだ。

3. 研究の方法

本研究では主に 3 つの作業を実施した。初年度は、鉱物内外の圧力を自在に制御するシステムの構築に専念した。2 年目以降は流体密度の測定精度を向上させる作業に着手し、カンラン石の弾性特性の測定を始めた。

4. 研究成果

（1）低圧力対応アンビルセルの構築

本研究では、流体包有物の内圧をゼロ次元応力源として利用する鉱物の弾性特性測定法の開発を目指した。流体包有物の内圧は鉱物の加熱により上昇させることができる。鉱物の外圧は、新規に導入したアンビルセルを構築することで制御できる。これにより、鉱物内外の圧力を自在に制御できるようになったため、鉱物を様々な条件で弾性変形させることが可能になった。本研究ではアンビルセル内の圧媒体として二酸化炭素を用いた。これにより筆者らが開発してきた二酸化炭素流体の分光密度計が圧力計として利用できるようになった。セルへの二酸化炭素の封入は、窒素ガス中でドライアイスに詰める手法を試みた。また、セルの窓材として大きなサファイアを使用することによって 1 GPa 以下の低圧条件や 700° C 以上の温度を発生させることが可能となった。

（2）流体密度測定精度の向上作業

筆者らはマンツルに広く分布する二酸化炭素流体の流体密度を分光スペクトルから精密に測定する手法を開発してきた。現在、基盤研究（B）の採択課題の補助を得て、普及機器の約 4 倍の波数分解能を有する分光装置を組み上げることに成功している。これに加えて分析環境の温度制御を精密におこなうことにより、二酸化炭素流体の流体密度を 0.003 g/cm³ の精度で測定する段階に達した。

（3）カンラン石を利用した圧力マーカーの開発 セル内の圧力を測るシステムの開発 アンビルセル内を常温高圧環境にすると、圧媒体の二酸化炭素が固化（ドライアイス化）し、「二酸化炭素流体の分光密度計」が適用できなくなる。そこで本研究では、筆者らが開発したカンラン石のラマンピークの圧力シフトを利用した「カンラン石の分光圧力計」（Yasuzuka et al., 2009 JMPS）を発展させた。

当該圧力計は本研究で構築するアンビルセルに特段の改造を施すことなく使用できる。しかし、1 GPa 以上の環境を想定して開発された圧力計であるため、本研究において低圧環境にも適用できる圧力計へと発展させた。

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 14 件）

1. Yamamoto J., Ishibashi H. and Nishimura K. (2017) Cooling rate responsiveness of pyroxene geothermometry. *Geochemical Journal*, in press, 査読有り

2. Akziawa N., Tamura A., Yamamoto J., Mizukami T., Fukushi K., Python M. and 3.

Arai S. (2017) High-temperature hydrothermal activity around suboceanic Moho beneath the first-spreading ridge: an example from diopside and anorthosite in Wadi Fizh, Oman ophiolite. *Lithos*, in press, 査読有り

3. 三嶋渉, 山本順司, 在田一則, 加藤義典, 田中公教, 鳥本淳司, 高畑幸平, 日下葵, 寺西辰郎 (2017) 凍結融解による岩石の風化を理解させるためのモデル実験におけるモルタルの利用可能性. 地学教育, 印刷中, 査読有り

4. Shitaoka Y., Moriwaki H., Akai F., Nakamura N., Miyoshi M. and Yamamoto J. (2016) Eruption age of Sakurajima-Satsuma tephra using thermoluminescence dating. *Bulletin of Geo-Environmental Science* 18, 29-35, 査読有り

5. 下岡順直, 山本圭香, 山本順司 (2016) 減災教育を意識した液状化現象実験観察の実践例. *地球環境研究* 18, 89-96, 査読有り

6. 田中公教, 三嶋渉, 高畑幸平, 榊山匠, 山本順司 (2016) 天文シミュレーターMitakaを用いたプログラム公演と大学博物館展示の連携: 化石展示との連携を事例して. *地学教育*, 68, 145-153, 査読有り

7. 山本順司, 高畑幸平, 鳥本淳司, 石橋秀巳 (2015) マントル捕獲岩の流体包有物から読み取れる情報. *地学雑誌*, 124, 429-443, 査読有り

8. 田中公教, 岩波連, 神田いずみ, 山本順司, 福澄孝博 (2015) 天体シミュレーターソフトウェア Mitaka を用いた大学博物館の新たな試み: “宇宙展示” と “考古展示” の連携. *Computer & Education*, 39, 80-85, 査読有り

9. 三嶋渉, 山本順司, 在田一則, 鳥本淳司, 田中公教, 酒井実 (2015) 凍結融解の発生機構を理解する実験手法の開発: 1 時間で 10 回分の風化を引き起こす. *地学教育*, 68, 59-67, 査読有り

10. Yamamoto J., Korenaga J., Hirano N. and Kagi H. (2014) Melt-rich lithosphere-asthenosphere boundary inferred from petit-spot volcanoes. *Geology* 42, 967-970. DOI:10.1130/G35944.1, 査読有り

11. Takahata K., Torimoto J. and Yamamoto J. (2014) Improvement of Raman spectroscopic densimetry for

carbon dioxide fluid.

Chemistry Letters 43, 1924-1925. DOI:10.1246/cl.140782, 査読有り

12. Kumagai Y., Kawamoto T. and Yamamoto J. (2014) Evolution of carbon dioxide-bearing saline fluids in the mantle wedge beneath the Northeast Japan arc. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 168, 1056. DOI:10.1007/s00410-014-1056-9, 査読有り

13. Shitaoka Y., Miyoshi M., Yamamoto J., Shibata T., Nagatomo T. and Takemura K. (2014) Thermoluminescence age of quartz xenocrysts in basaltic lava from Oninomi monogenetic volcano, northern Kyushu, Japan. *Geochronometria* 41, 30-35. DOI:10.2478/s13386-013-0144-3, 査読有り

14. 下岡順直, 本庄眞, 渡辺克裕, 河原真菜, 山本順司, 三好雅也, 中野英之, 平賀章三, 竹村恵二 (2014) 火山を主眼とする環境学習の有効性と課題—活動する火山が在る地域と無い地域での実践比較. *環境教育* 24, 85-91, 査読有り

[学会発表] (計 6 件)

1. 山本順司, 石橋秀巳, 高畑幸平, 流体包有物を用いたマントルの Redox 推定. 日本地球化学学会年会, 2016 年 9 月 16 日, 大阪府大阪市 (大阪市立大学)

2. Yamamoto J., Noble gas isotopic constraint on depth of layered mantle boundary. International Symposium “Advances in High-pressure Research - III: Towards Geodynamic Implications-2016”, 2016 年 8 月 30 日, Novosibirsk University, Novosibirsk, Russia

3. Yamamoto J., Fluid inclusions: a probe for depth origin of mantle minerals. GeoHP Summer School, 2016 年 8 月 29 日, Novosibirsk University, Novosibirsk, Russia

4. 山本順司, Mark D. Kurz, 深部マントルのアルゴン同位体比. 質量分析学会同位体比部会, 2015 年 11 月 26 日, 滋賀県大津市 (湯の宿木もれび)

5. 山本順司, 高畑直人, 佐野有司, 荒井章司, Vladimir S. Prihod'ko, マントルウェッジ由来捕獲岩の窒素・希ガス同位体組成. 質量分析学会同位体比部会, 2014 年 11 月 27 日, 茨城県つくば市 (筑波山温泉旅館 彩香

の宿 一望)

6. 山本順司, 地球の化学的層構造と材料隕石. 質量分析学会同位体比部会, 2014 年 11 月 26 日, 茨城県つくば市 (筑波山温泉旅館 彩香の宿 一望)

〔図書〕(計 0 件)
なし.

〔産業財産権〕
なし.

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.museum.hokudai.ac.jp/jyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 順司 (YAMAMOTO Junji)
北海道大学・総合博物館・准教授
研究者番号: 60378536

(2) 研究分担者

石橋 秀巳 (ISHIBASHI Hidemi)
静岡大学・理学部・講師
研究者番号: 70456854