

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間：2021～2025
課題番号：21H04996
研究課題名：川井型マルチアンビル装置による深部マントル研究の新展開
研究代表者氏名（ローマ字）：芳野 極（YOSHINO Takashi）
所属研究機関・部局・職：岡山大学・惑星物質研究所・教授
研究者番号：30423338

研究の概要：

地球、惑星深部の物質科学において、超高压実験は重要な実験手法である。岡山大学惑星物質研究所（IPM）の高圧グループが培った大容量川井型マルチアンビル装置（KMA）における圧力・温度発生や超高压における物性測定独自の技術を活かし、地球のマントル深部の条件で分配実験、流動特性、熱電測定など多角的な研究を展開することで、マントル進化の統合的モデルを構築する。

研究分野：地球惑星科学、固体地球科学

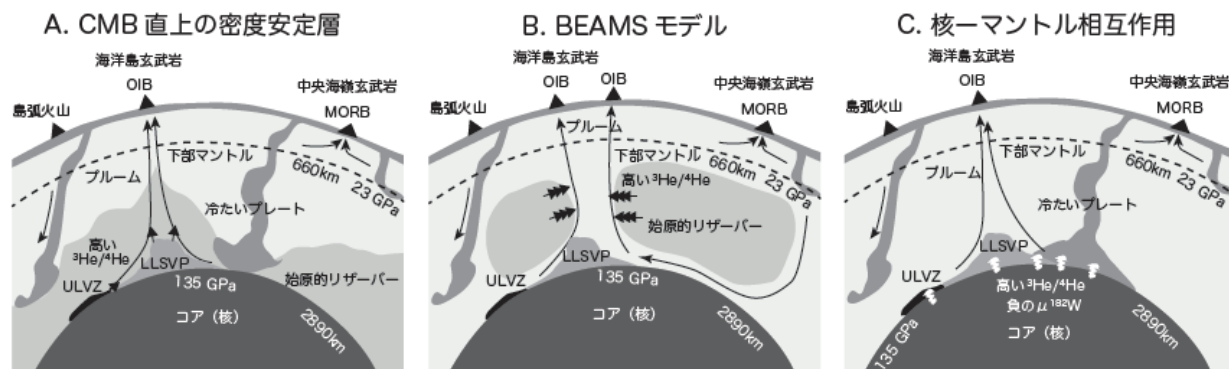
キーワード：高压実験、マントル、レオロジー、元素分配、熱伝導度、電気伝導度

1. 研究開始当初の背景

地球惑星内部は高温高压の世界であり、宇宙よりもむしろ人類がアクセスしがたい領域であるため、多くの未解決の問題が残されている。地球のマントルはまだ冷めきっておらず、対流しているものと考えられており、我々人類にも大きく影響する地震火山活動、大気環境にも密接に関わっている。地球深部の進化、構造を理解するためには実際に極限環境を再現することで、構成する物質を特定し、それらの物質がどのような物性を有するかといった知識の蓄積が不可欠である。大容量川井型マルチアンビルプレスはダイヤモンドアンビルに比べて圧力発生の点で劣っていたが、最近の技術革新により、今まで困難であった圧力、温度での高压実験や変形実験を展開できるようになった。大容量と安定した加熱が可能になったマルチアンビル装置を用いることで、マントルの未解決の諸問題に様々な角度から取り組むことが可能になったことにより、全てを統合的に説明可能な統合的なマントル進化モデルを構築する時期が到来している。

2. 研究の目的

初期地球における核とマントルの分化過程、その後孤立して地球内部に存在すると考えられる始原的リザーバーの成因は地球の形成過程、マントル進化過程を理解する上で解決しなければならない重要な問題である。これまでに様々な進化モデルが提唱されてきたが、この問題を解くためには、元素分配とマントル対流を支配するレオロジー、熱輸送などを包含した多角的なデータが必要とされる。大容量川井型マルチアンビル装置の最先端技術を活かして、これまで不可能だった地球深部物質の元素分配、変形実験、輸送特性などの研究を展開することで統合的なマントル進化モデルを構築することが本研究の目的である。



3. 研究の方法

焼結ダイヤモンドアンビルおよび BDD ヒーターを組み合わせた高温高压発生技術開発を進めることで、今までの融解実験の上限である 25GPa から地球の核 - マントルの推定されている分離圧力条件として 50GPa までを対象として、パイロライトと金属鉄の混合物を出発物質として融解実験を行う。レーザーアップレーション質量分析計 (LA-ICP-MS) を用いて強親鉄元素 (HSE) の分配係数を決定し、レイトベニア仮説の妥

当性を検証する。D111 型ガイドブロックを用いて下部マントル圧力条件下における高圧変形実験により、最近提唱された BEAMS モデルは、柔らかい(Mg,Fe)O を含む部分だけが流動し、ブリッジマナイトに富む硬い部分が始原的リザーバーとなったという BEAMS 仮説の検証を行う。マントル物質の熱伝導度を独自に開発したパルス加熱法により測定を行い、地球最大の熱境界層である CMB 直上の ULVZ や LLSVP が始原的リザーバーとして安定かどうかを検証する。Brg や鉄に富むケイ酸塩メルトのゼーベック係数を測定し、熱境界層である CMB では温度差によるゼーベック効果による酸化還元反応を特定する。

4. これまでの成果

最新の D111 型ガイドブロックを使用したマルチアンビル高圧装置を用いた大容量の変形実験において多くの成果が出ている。世界に先駆けて地球の体積の約 6 割を占める下部マントルの主要構成鉱物であるブリッジマナイトの構成則の決定に成功した(3)。ブリッジマナイトの構成則はフェロペリクレスを含む 2 相系のレオロジーの研究を進める上で基礎となるデータで重要である。ポストスピネルとブリッジマナイトの相対強度を調査した変形実験では、その強度がほぼ同じであることからフェロペリクレスの連結によって軟化は起きないことから BEAMS モデルを支持しないことが示唆された(2)。CMB 直上に存在する超低速度層の原因として考えられる高密度の鉄に富むフェロペリクレスの熱伝導度測定を行い、鉄に富むフェロペリクレスは核からの熱を大きく抑制するブランケット効果を持つことが分かった(5)。HSE の分配実験で問題となっていた珪酸塩メルト中の金属のマイクロナゲットの成因として、鉄の不均化反応がより高圧で起きていたことが示唆された。また、この実験結果から、冥王代に起きた大規模なマントルの酸化イベントは、マグマオーシャン内で不均化反応によって珪酸塩メルト中の鉄は 3 価となり、同時に生じた鉄は重力分離によって取り去られることによって、マントルの大規模酸化が生じることが実験的に検証された(1)。

5. 今後の計画

岡山大学惑星物質研究所のメンバーで構成された研究計画であったが、研究当初から研究分担者 2 名が他機関に異動となったことで体制の立て直しが求められたが、ポスドクを雇用することで人員不足を補いつつ機能的な研究体制が確立されている。今後はこれまでの研究経過や世界の研究動向を注視しながら、地球誕生初期のマグマオーシャンにおける元素分配、地球の深部マントルの酸化還元状態の変遷、変形様式、熱輸送、核 マントル相互作用など金属核を含めた川井型マルチアンビルの実験技術をさらに高めることで総合的な高圧実験を展開していく予定である。

本研究では、レイトベニア仮説の検証において、ケイ酸塩メルトと金属鉄メルト間の強親鉄元素の分配実験を進める上でネックとなっていた金属ナゲットの問題の解決の糸口が見えてきたことから、本格的に分配実験をより高圧力環境で推進する。下部マントルの対流に関する研究の中から下部マントルの主要構成鉱物であるブリッジマナイトの構成則を決めることに世界で初めて成功する成果が出たが、さらに D111 型ガイドブロックを利用した超高圧変形実験を推進することでフェロペリクレスや Ca ペロプスカイト(davemaolite)など第二相の下部マントルのレオロジーへの影響、マントル基底部に存在すると考えられるポストペロプスカイトの構成則をより詳細に調査していく。核 マントル境界での熱輸送を支配する熱伝導度測定を主要なマントル高圧鉱物で実施し、火星や月の冷却史を含めて地球独自の熱史の理解を深化させることも試みる。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- (1) H. Kuwahara, R. Nakada, S. Kadoya, T. Yoshino, T. Irifune, 2023. Hadean great mantle oxidation inferred from melting of peridotite under lower mantle conditions. *Nature Geoscience*, - doi: 10.1038/s41561-023-01169-4 査読あり
- (2) F. Xu, D. Yamazaki, S.A. Hunt, N. Tsujino, Y. Higo, Y. Tange, Y. Ohara, D.P. Dobson, 2022. Deformation of post-spinel under the lower mantle conditions. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 127, e2021JB023586. 査読あり
- (3) N. Tsujino, D. Yamazaki, Y. Nishihara, T. Yoshino, Y. Higo, Y. Tange, 2022. Creep strength of bridgmanite determined by in-situ stress and strain measurements. *Science Advances*, 127, eabm1821. 査読あり
- (4) I. Mashino, M. Murakami, S. Kitao, T. Mitsui, R. Masuda, M. Seto, 2022. Acoustic wave velocities of ferrous-bearing MgSiO₃ glass up to 158 GPa with implications for dense silicate melts at the base of the Earth's mantle. *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL098279. 査読あり
- (5) Y. Zhang, T. Yoshino, M. Osako, 2023. Effect of iron content on thermal conductivity of ferropericlasite: implications for planetary mantle dynamics. *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2022GL101769. 査読あり

7. ホームページ等

https://www.misasa.okayama-u.ac.jp/~hacto/top_j.html