

(第3号様式)(Form No. 3)

学位論文要旨 Dissertation Summary

氏名 (Name) 有本岳史

論文名: 川井型マルチアンビル装置による焼結ダイヤモンドアンビルを用いた高温高压発生と60 GPa, 2300 K領域までの鉄に富んだブリッジマナイトの安定性
(Dissertation Title)

地球内部に存在する鉱物の安定領域の決定は地球内部構造を理解する上で最も基本的な情報であるため、高温高压実験と数値計算により詳しく研究されてきた。高温高压実験において、マルチアンビル装置やダイヤモンドアンビルセルを用いた研究が行われてきた。マルチアンビル装置を用いた実験圧力・温度の拡張は地球内部の研究において重要である。Yamazaki et al. (2014)は、焼結ダイヤモンドアンビルを用いて、10 MNの荷重において109 GPaを発生したが、高温発生は900 Kにとどまっている。Tange et al. (2008)は、焼結ダイヤモンドアンビル、及び半焼結体アルミナを圧力媒体に使用した。Cr-MgOの圧力媒体を用いた場合よりも圧力発生効率が良いことを報告した。しかしながら実験条件は、60 GPaにおいて1500 Kの発生にとどまった。下部マントル条件下において、地球の温度勾配に対応する高温を発生させることは非常に困難である。

本研究では、川井型マルチアンビル装置と焼結ダイヤモンドアンビルを用いて高温高压発生実験を行った。焼結ダイヤモンドアンビルと半焼結体アルミナの圧力媒体の使用を試みた。ヒーターにはランタンクロマイト、レニウムを使用した。どのような実験セルが高温高压発生に適しているかわからなかったため、ブローアウトが多発した。アルミナの半焼結体の焼成温度、ガスケットの寸法・焼成温度を最適化することによって高温発生可能な実験セルを開発した。加熱保持中の温度のふらつきは、5 K程度であり、安定して加熱を行うことが可能である。これらの実験手法は、相平衡実験において非常に有効な手法である。温度60 GPa付近において2300 Kの発生に成功し、下部マントルにおいて地球の地温勾配を再現することが可能となった。

MgSiO₃ブリッジマナイトは、地球の下部マントルを構成すると考えられている最も存在量が多い鉱物である。地球内部では純粋なMgSiO₃組成のブリッジマナイトではなく、FeSiO₃成分が固溶することが考えられる。MgSiO₃-FeSiO₃系の高温高压下における相平衡実験は、Tange et al. (2009)によってマルチアンビル装置を用いて43 GPaまで行われた。一方、ダイヤモンドアンビルセルを用いた研究では、Tateno et al. (2007)、Dorfman et al. (2013)が全マントル領域の相関係を報告しているが60 GPa付近における、ブリッジマ

イトと酸化物との相境界には大きな違いがみられる。さらに、Zhang et al. (2014)では、85 GPa 付近で新しい高压相である H 相がブリッジマナイトとの共存を報告した。また、 FeSiO_3 成分に富んだ実験は、理論計算を用いた結果は報告されているが、実験を行って研究された報告は非常に限られている。

下部マントル領域における FeSiO_3 ブリッジマナイトの安定性については、Ismailova et al. (2016) によってダイヤモンドアンビルセルを用いて研究された。出発物質は、 $(\text{Fe}^{2+}_{0.64}\text{Fe}^{3+}_{0.24})\text{SiO}_3$ スキアタイト-メジャライトを用いている。約 50 GPa までは、 SiO_2 と Fe-Oxide に分解するが、それ以上の圧力では、出発物質組成のブリッジマナイトを合成した。以上のように単純な系でありながら、 MgSiO_3 - FeSiO_3 系の相関係については、混沌とした状態が続いている。ダイヤモンドアンビルセルを用いた実験では地球中心核に匹敵する圧力を発生させることが可能であるが、温度の不確定性、試料内の温度勾配、サンプル径が非常に小さいということが問題点としてあげられる。本研究では、開発した実験セルを用いて、 MgSiO_3 - FeSiO_3 系の相関係を 61 GPa、2300 K まで放射光と焼結ダイヤモンドアンビルを用いて精密に決定した。 $(\text{Mg}_{0.4}\text{Fe}_{0.6})\text{SiO}_3$ 輝石、 $\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$ フェロシライトの出発物質を使用した。温度は、2000 K、2300 K に固定した。回収試料は走査型電子顕微鏡によって組成分析を行った。

$(\text{Mg}_{0.4}\text{Fe}_{0.6})\text{SiO}_3$ 輝石を用いた場合、60 GPa まで、ブリッジマナイト、ウスタイト、ステイショバイトの生成を観察した。ブリッジマナイト中の $\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$ 成分は温度・圧力の増加とともに増加し、60 GPa、2300 K において最大 45 mol% も固溶することが判明した。また、Zhang et al. (2013) で報告された H 相は、60 GPa まで観察されなかった。Ismailova et al. (2016) は、 $(\text{Fe}^{2+}_{0.64}\text{Fe}^{3+}_{0.24})\text{SiO}_3$ 組成のスキアタイト-メジャライトの出発物質を使用した。40 GPa 付近では SiO_2 と Fe-oxide に分解するが、50 GPa では $(\text{Fe}^{2+}_{0.64}\text{Fe}^{3+}_{0.24})\text{SiO}_3$ 組成のブリッジマナイトを実験により合成した。本研究では、 $\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$ を出発物質として使用した結果、50 GPa までウスタイト、ステイショバイトに分解し、 $\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$ 組成のブリッジマナイトは観察されなかった。この結果は、Stixrude and Lithgow-Bertelloni (2011) で報告された理論計算結果と調和的であり、 $\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$ 組成のブリッジマナイト合成には 70 GPa 程度必要であると考えられる。さらなる高温高压における鉄に富んだブリッジマナイトの相関係の制約のためには、61 GPa 以上の圧力において実験が必要であると考えられ、実験技術の開発の継続が望まれる。