

10GPa領域の高温高圧X線吸収法による密度測定法の確立と玄武岩組成 メルトの密度測定

Density measurements of basaltic melt by means of X-ray absorption method up to 10 GPa

浦川 啓¹⁾, 坂巻竜也²⁾, 鈴木昭夫²⁾, 大谷栄治²⁾, 片山芳則³⁾

Satoru URAKAWA, Tatsuya SAKAMAKI, Akio SUZUKI, Eiji OHTANI, Yoshinori KATAYAMA

¹⁾岡山大学 ²⁾東北大学 ³⁾原子力機構

(要約)

SPRING-8 の BL22XU の高圧装置 SMAP180 を用いて、玄武岩マグマの密度を X 線吸収法により 5GPa, 2100K までの高温高圧で測定した。玄武岩マグマの体積弾性率は 1673K で 25.5 ± 0.8 GPa ($K' = 4$) であった。

キーワード：高圧，マグマ，珪酸塩メルト，状態方程式，

1. 目的

玄武岩マグマは地球や地球型惑星に普遍的に存在するマグマ（珪酸塩メルト）である。玄武岩マグマはマントルの部分溶融によって生じ、プレート運動と関連し、地球のマントルの進化過程で重要な役割を果たしている。このため、玄武岩マグマの密度、粘性などの物性は、火山現象や地球内部のダイナミクス、分化を理解する上で重要であり、これまで多くの研究が行われてきた。しかしながら、高圧下における密度は実験的困難さのため、あまり研究が進んでいない。これまでの研究は衝撃波実験や静的圧縮実験の浮沈法に限られており、求められる密度の温度圧力条件は限られていた。一方、金属メルトの密度測定に用いられている高温高圧 X 線吸収法は任意の温度圧力条件下において密度を求めることができる上に、これまでにない高精度で珪酸塩メルトの密度を測定できる可能性がある。我々は、珪酸塩メルト用に単結晶ダイヤモンドの試料カプセルを開発した（Ohtani et al., 2005）。本研究では地球のマントルで発生する玄武岩マグマの密度測定をマントルに相当する温度圧力条件で行い、玄武岩マグマの状態方程式の確立を目指す。

2. 方法

高温高圧発生は BL22XU に設置されているキューピックプレス SMAP180 を用いて行った。圧力発生には先端 サイズ 4mm(溝付き)の超硬合金アンビルを使用した。出発試料は中央海嶺玄武岩組成の合成ガラスを用いた。試料は単結晶ダイヤモンドのシリンダーと Re の蓋からなるカプセルに封入し、一辺 7mm のボロンーエポキシ製圧力媒体に組み込んだ。蓋がダイヤモンドカプセル内に進行することにより試料に圧力が伝達される。玄武岩の融点以上の 2100K の温度での発生圧力は 100 トンのプレス荷重で約 5GPa であった。玄武岩組成メルトの高温高圧下における X 線吸収は、コリメーターで $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ のサイズに絞った単色 X 線(約 23keV)を試料部に導入し、イオンチャンバーを用いて測定した入射 X 線と透過 X 線の強度 (I_0 と I) から求めた。プレスを水平移動させることにより、円筒形試料の半径方向の X 線吸収プロファイルを得て、 $I/I_0 = \exp(-\mu\rho t)$ の関係から密度を決定した。このとき、試料の吸収係数は標準状態で吸収測定から求めた。

3. 研究成果

ダイヤモンドは物質中もっとも硬く、実験の温度圧力範囲内では一様に変形している。ダイヤモンドカプセルの内側と外側の圧力差は低温では 0.5GPa 程度あるが、1000K 以上の高温では 0.1GPa 以下となり実験精度の範囲内で一致した。回収試料の観察から、ダイヤモンドカプセルと珪酸塩メルトはほとんど反応していないことが確認された。玄武岩試料は X 線吸収係数が小さく、密度も

3 g/cm^3 程度と低いにもかかわらず、ダイヤモンドカプセルの高い X 線透過性から、質の高い X 線吸収プロファイルを得ることができた。Fig.1 は円筒形試料の半径方向の X 線吸収プロファイルである。圧力媒体、ヒーター、試料カプセル等を通して高温高圧下の玄武岩マグマによる X 線の吸収が確認できる。

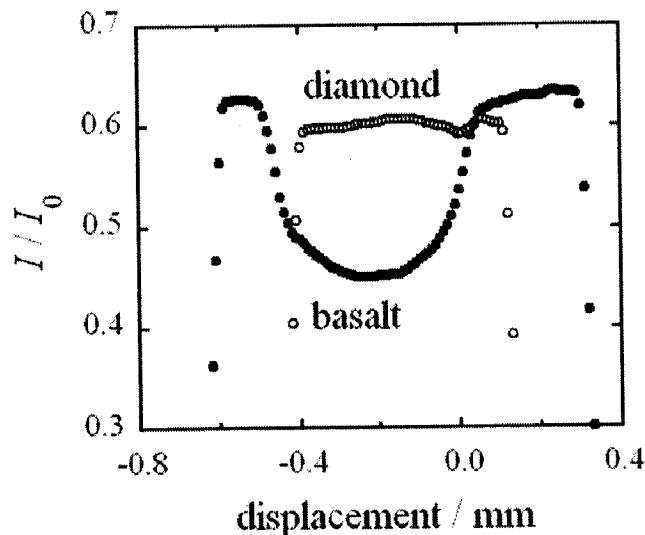


Fig. 1. X-ray absorption profiles of basaltic melt and diamond.

Fig. 1 の X 線吸収プロファイルから試料の密度を見積もった。このとき、円筒形の単結晶ダイヤモンドの吸収プロファイルを密度基準とした。X 線吸収プロファイルの測定は一定のプレスの荷重のもとで温度を変えながら行っており、一回の実験で温度と圧力の異なった複数のデータ点が得られる。温度補正をした 1673K における玄武岩メルトの密度を Fig.2 に示す。我々のデータは玄武岩マグマの密度が浮沈法から求められた結果 (Agee, 1998) より小さいことを示す。試料回収法で行われた浮沈法は、圧力の決定精度が低いこと、また、密度マーカーの状態方程式の精度に結果が依存することから信頼性が低い。約 5GPa までの密度データから Birch-Murnaghan の状態方程式を用いて、1673K における玄武岩マグマの体積弾性率は $25.5 \pm 0.8 \text{ GPa}$ ($K'=4$) と求まる。

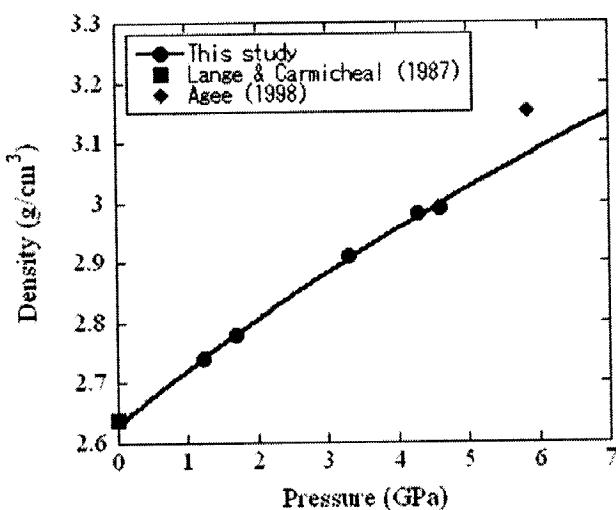


Fig. 2. Compression curve of the MORB melt at 1673 K. Solid line is a fitting curve by applying the Birch-Murnaghan equation of state. The density at atmospheric pressure was calculated by the method of Lange and Carmichael (1987). The density at about 5.8 GPa was reported by Agee (1998).

4. 結論

単結晶ダイヤモンドカプセルを用いて、X線吸収法により珪酸塩メルトの密度を高温高圧下で測定する手法を開発した。この結果、玄武岩マグマに対する状態方程式を、これまでの研究より遙かに高い精度で求めることができた。

5. 引用(参照)文献等

C.B. Agee, Phys. Earth Planet Inter., 107, 63-74, 1998.

R. A. Lange. and , I. S. E Carmichael, Geochim. Cosmochim. Acta., 51, 2931-2946, 1987.

E. Ohtani, A. Suzuki, R. Ando, S. Urakawa, K. Funakoshi, and Y. Katayama, In Advances in High Pressure Technology for Geophysical Applications, Eds. J.Chen, Y. Wang, T.S. Duffy, G. Shen, L.F. Dobrzhenskaya, Elsevier (Amsterdam) 2005, 195-209.