

下部マントル上部条件下での MgSiO₃ ペロフスカイトの熱膨張率測定

Thermal expansion of MgSiO₃ perovskite at the top of the lower mantle conditions

桂 智男[1]; 余越 祥[2]; 奥部 真樹[3]; 伊藤 英司[4]; 富岡 尚敬[5]; 松井 正典[6]; 萩谷 健治[7]; 野澤 暁史[8]; 舟越 賢一[8]

Tomoo Katsura[1]; Sho Yokoshi[2]; Maki Okube[3]; Eiji Ito[4]; Naotaka Tomioka[5]; Masanori Matsui[6]; Kenji Hagiya[7]; Akifumi Nozawa[8]; Ken-ichi Funakoshi[8]

[1] 岡大・固地研; [2] 岡山大・院・自然科学; [3] 阪大・理・宇宙地球; [4] 岡大・固地研; [5] 神戸大・理・地球惑星; [6] 兵庫県大・理; [7] 姫工大・理・生命; [8] 高輝度光セ

[1] ISEI, Okayama Univ.; [2] Dept of Earth Sci, Okayama Univ; [3] Earth and Space Sci., Osaka Univ.; [4] ISEI; [5] Earth & Planetary Sci., Kobe Univ.; [6] School of Sci., Univ. of Hyogo; [7] Life Sci., Himeji Inst. of Tech.; [8] JASRI

マントルでは熱は対流によって輸送されるため、マントルの温度勾配は近似的に断熱的であると考えられる。地球内部の断熱温度勾配は、 $(dT/dz)_s = gT/C_p$ と表される。ここに、 T は温度、 z は深さ、 g は重力加速度、 C_p は地球内部構成物質の熱膨張率と定積比熱である。重力加速度はマントルでは 10.0 m/s^2 とほぼ一定の値である。また、定積比熱も地球内部のような高温条件では余り変化しない量である。それに対して、熱膨張率は、温度圧力によって大きく変化する量である。従って、地球内部の断熱温度勾配を見積もるためには、マントル内部に相当する高温高压条件下でマントル鉱物の熱膨張率を決定することが本質的に重要である。

X線その場回折は、格子定数を測定することにより、高温高压条件下にある鉱物の比体積を決定する最も実際的な手法である。しかし、超高温条件下にある鉱物の格子定数を決定することは非常に困難である。その理由は、高温では鉱物の粒が成長するため回折線の多くが失われてしまうためである。大型放射光施設 SPring-8 に設置されている KAWAI 型超高压発生装置 SPEED-Mk. II は、大型プレスであるにもかかわらず揺動機構を装備しており、それにより粒成長した試料でも良質の X 線回折パターンを取得することができる。以上より、我々はこの装置を用いてマントル深部に相当する温度圧力条件下でマントル鉱物の比体積測定を行っている。今回の研究では、圧力 $17\text{-}30\text{ GPa}$ 、温度 $300\text{-}2500\text{ K}$ で MgSiO₃ ペロフスカイトの比体積測定を行ったので、その結果を報告する。

出発物質は、tetraethylorthosilicate と金属マグネシウムから合成した MgSiO₃ エンスタタイトである。これには、少量の過剰な SiO₂ が含まれている。高压セルの構成は、リングタイトの熱膨張率を測定した Katsura et al. [2004] とほぼ同じであるが、更に高压を発生させるため、アンビル先端サイズを 3.0 mm から 2.5 mm に下げ、圧力媒体サイズもそれに応じて下げた。圧力標準物質には MgO を用い、Matsui et al. [2000] の状態方程式を用いて圧力値を計算した。

実験は以下の手順で行った。まず常温で試料を 31 GPa まで加圧し、プレス荷重を保ったまま 1400 K まで加熱した。これにより、 26.6 GPa でペロフスカイトが生成した。その後、加熱・冷却と加圧・減圧を繰り返し、圧力範囲 $17\text{-}30\text{ GPa}$ 、温度範囲 $300\text{-}2500\text{ K}$ でペロフスカイトの回折パターンの取得を行った。 $2300\text{ K} \cdot 21.7\text{ GPa}$ でペロフスカイトはイルメナイトに転移したので、ここで実験を終了した。

MgSiO₃ ペロフスカイトは斜方晶系の対称性を持っており、その回折パターンは比較的複雑である。行使定数を決定するため、whole powder pattern fitting を行った。この研究では、以下の量をフィッティングパラメータとした。1) ペロフスカイトの 3 つの格子定数、2) $40 \sim 60$ 本のピークの強度、3) 2 つのピーク反値幅のパラメータ、4) 5 個のバックグラウンドパラメータ、5) 3 つのスティショバイトのピークを表す 9 つのパラメータ。各ピークに同じウエイトを持たせるため、各チャンネルのカウント数に、仮想的にカウント数の平方根のエラーを与えた。収束はあまりよくないが、30 回反復を行って格子定数を評価した。

以上の手法で得られた P-V-T データから、常圧での熱膨張率として $\beta = 3.2(4) \times 10^{-5} + 5.0(2) \times 10^{-9} \times (T - 300) / \text{K}$ をえた。熱膨張率の体積の対数依存性を表すパラメータである Anderson-Grueneisen パラメータは 3.9 であった。これにより、下部マントル最上部の温度を 2000 K と仮定し、その温度勾配を 0.45 K/km と見積もった。