Mg_{0.9}Al_{0.2}Si_{0.9}O₃組成のペロブスカイト固溶体の状態方程式Equation of state of perovskite solid solution of Mg_{0.9}Al_{0.2}Si_{0.9}O₃ composition

久保 敦 [1], 赤荻 正樹 [2], 青木 一郎 [3], 西原 遊 [3], 高橋 栄一 [3], 内田 雄幸 [4], 八木 健彦 [5], 加藤 工 [6], 亀卦川 卓美 [7]

Atsushi Kubo [1], Masaki Akaogi [2], Ichiro Aoki [3], Yu Nishihara [4], Eiichi Takahashi [5], Takeyuki Uchida [6], Takehiko Yagi [7], Takumi Kato [8], Takumi Kikegawa [9]

[1] 学習院大・理・化, [2] 学習院大・理, [3] 東工大・理・地球惑星, [4] 東大物性研, [5] 東大・物性研, [6] 筑波大・地球, [7] 物構研・高エネ研

[1] Chem., Gakushuin Univ., [2] Dept. of Chem., Gakushuin Univ., [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Technology, [4] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [5] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [6] ISSP, Univ. of Tokyo, [7] Inst. Solid State Phys, Univ. Tokyo, [8] Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, [9] IMSS, KEK

90mol%MgSiO₃ - 10mol%Al₂O₃組成のペロブスカイト固溶体を、高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設設置の立方体型アンビル(MAX90)を用いて、0-15GPa、室温 - 1000Kの範囲で圧縮・加熱し、各圧力温度で取得したペロブスカイト固溶体と圧力標準物質のその場観察X線回折パターンを解析してペロブスカイト固溶体の圧縮データを得た。この圧縮データをBirch-Murnaghanの状態方程式にフィットした結果、体積弾性率の圧力微分 K'_{0} を4に仮定した場合、等温体積弾性率 K_0 は 198 ± 27 GPaと求まった。この値は(Mg,Fe)SiO₃ペロブスカイトのそれよりも約20%程度小さい。

はじめに 地震学的観測により得られる地球内部の密度に関するデータと、上部マントル構成鉱物の高压相転移実験により得られる高压鉱物の高温高压下での密度を比較することにより、マントル深部の構成鉱物の量比(すなわちマントルの化学組成)を推定することができると考えられるので、高压鉱物の状態方程式(圧力 - 温度 - 体積関係)を調べることは地球科学的に重要である。Mgに富む珪酸塩ペロブスカイトは、マグネシオウスタイトとともに、地球の下部マントルを構成する主要な鉱物であると考えられている。MgSiO₃ペロブスカイト及び(Mg,Fe)SiO₃ペロブスカイト固溶体の状態方程式は、これまでに詳しく調べられてきた。それらの結果を総合すると、MgSiO₃ペロブスカイト及び(Mg,Fe)SiO₃ペロブスカイト固溶体の体積弾性率 K_0 は約250-260GPa、体積弾性率の圧力微分 K'_{0} は4で、さらにこれらの値はFe濃度に依存しないことが分かってきた。しかしながら、マントル遷移層を構成する主要な鉱物であるガーネット固溶体(メジャライト)が、遷移層から下部マントルにおいて相転移を起こして生じる、Al₂O₃成分を固溶したペロブスカイトに関する状態方程式は、その地球科学的重要性にもかかわらず、これまでに殆ど研究されていない。そこで本研究では、Al₂O₃成分を含むペロブスカイト固溶体の状態方程式を求めることを目的として、90mol%MgSiO₃ - 10mol%Al₂O₃組成のペロブスカイト固溶体の高压X線回折実験を、放射光を用いたX線その場観察法により行った。

実験 90mol%MgSiO₃ - 10mol%Al₂O₃組成のガラスを出発物質として、同組成のペロブスカイト固溶体の焼結体を、学習院大学設置の6 - 8型マルチアンビル装置を用いて、圧力28GPa、温度2000°Cで高温高压合成した。このペロブスカイト固溶体を、高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設(Photon Factory)設置の立方体型アンビル(MAX90)を用いて、0-15GPa、室温 - 1000Kの範囲で圧縮・加熱し、各圧力温度で取得したペロブスカイト固溶体と圧力標準物質のその場観察X線回折パターンを解析し、ペロブスカイト固溶体の各圧力、室温における体積を決定した。このデータを3次のBirch-Murnaghanの状態方程式にフィットし、体積弾性率の圧力微分 K'_{0} を3から6の間の一定値に固定して、ペロブスカイト固溶体の等温体積弾性率 K_0 を計算した。

結果と考察 $K'_{0}=3, 4, 5, 6$ の各値に対する K_0 の値はそれぞれ 203 ± 27 GPa、 198 ± 27 GPa、 194 ± 28 GPa、 190 ± 28 GPaと求まった。これらの結果から、実際の下部マントルに存在すると考えられる、Al₂O₃成分を5mol%程度固溶したペロブスカイトの体積弾性率は、従来の(Mg,Fe)SiO₃ペロブスカイトの体積弾性率から推定される値よりも約10%程度小さい可能性があることを示唆する。最近、高知大学の上网と赤松(1999)により行われた、MgSiO₃ペロブスカイトへのAl₂O₃の固溶効果を調べた分子動力学計算の結果によれば、MgSiO₃-Al₂O₃系ペロブスカイト固溶体の体積弾性率 K_0 は、Al濃度が増すにつれて減少し、Mg₃Al₂Si₃O₁₂組成のペロブスカイト固溶体の K_0 は、MgSiO₃組成のそれよりも約2割小さくなるという結果が得られている。本研究により得られたデータは、測定値のばらつきのため、現段階ではまだ厳密な議論ができないが、定性的には、MgSiO₃ペロブスカイトへのAl₂O₃固溶量が増加するほどペロブスカイトの K_0 が小さくなるという点で、上网と赤松(1999)による計算機実験の結果と調和的である。今後は、90mol%MgSiO₃ - 10mol%Al₂O₃組成のペロブスカイト固溶体の高压下におけるX線回折実験を、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた放射光X線その場観察法により行い、より精度の高いデータを得る予定である。