

オリビンの - 相転移カインेटクス

Kinetics of olivine-modified spinel transformation in Mg₂SiO₄

久保 友明[1], 大谷 栄治[2], 加藤 工[3], 鈴木 昭夫[4], 神戸 雄一[5], 前田 信[2], 佐藤 仁[6], 舟越 賢一[7], 内海 渉[8], 亀卦川 卓美[9]

Tomoaki Kubo[1], Eiji Ohtani[2], Takumi Kato[3], Akio Suzuki[4], Yuichi Kanbe[5], Makoto Maeda[6], Jin Satoh[7], Kenichi Funakoshi[8], Wataru Utsumi[9], Takumi Kikegawa[10]

[1] 東北大・理, [2] 東北大・理、地球物質科学, [3] 筑波大・地球, [4] 東北大・理・地球物質科学, [5] 東北大・理・地球物質, [6] 東北大・理・地学, [7] 高輝度光セ, [8] 原研・関西研, [9] 物構研・高エネ研

[1] Tohoku Univ, [2] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University, [3] Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, [4] Faculty of Science, Tohoku Univ., [5] Inst. Min. Petro. and Eco., Tohoku Univ, [6] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku Univ., [7] Geology, Tohoku Univ., [8] JASRI, [9] JAERI, [10] IMSS, KEK

高温高压X線その場観察実験を行い、オリビンの - 相転移カインेटクスを明らかにした。その結果沈み込む冷たいスラブ内部では深さ 600 km 付近まで準安定なオリビンが存在する可能性があることがわかった。

地球深部に沈み込む海洋プレート内部では、マントル鉱物の高压相転移が深さ 400-700 km にかけて次々と起こる。その相転移のカインेटクスは沈み込むプレートのダイナミクスに大きな影響を与える。例えば、沈み込むプレート内部は周囲のマントルより低温であるため相転移が平衡に起こらずに準安定な低压相がマントル深部に運び込まれる可能性がある。その場合、密度の小さい低压相の存在により、プレートの沈み込みが妨げられたりプレート内部の応力状態が変化する。またそのような準安定な低压相が平衡相境界から離れた過剰圧の大きい条件下で相転移を起こすと高压相は極端に細粒化する可能性がある。そのためプレートの流動特性が大きく変化し、深発地震や地震波トモグラフィーで見られるようなマントル深部でのプレートの大変形を引き起こす原因と考えられている。我々は、沈み込むプレートのダイナミクスを理解する上で非常に重要であるマントル鉱物の相転移カインेटクスを実験的に明らかにする研究を行っている。ここでは特にマントル内の主要な相転移の一つであるオリビンの - 相転移のカインेटクスについて報告する。

相転移速度は放射光を用いた高温高压X線その場観察実験により測定した。実験は高エネルギー加速器研究機構 (KEK-PFAR) 設置の高压発生装置 MAX80、また高輝度光科学研究センター (SPring-8) 設置の高压発生装置 SPEED1500 を用いてエネルギー分散法により行った。出発物質は Mg₂SiO₄ Forsterite (相) 粉末である。加熱には黒鉛ヒーターを用い、温度は W₂₅Re-W₃Re 熱電対により測定した。圧力は NaCl の状態方程式から計算した。まず試料を常温で約 10 GPa まで加圧した後、1200 度で 100 分間の焼き鈍しを行った (相安定領域内)。これは常温加圧時に試料に蓄積された歪みを取り除き、等粒状の多結晶体にするためである。その後、温度を 500 度におろし相安定領域内の目的の圧力まで加圧する。そして目的の温度まで毎分 500 度で昇温し、温度を保持しながら試料の X 線回折プロファイルを連続して取り込んだ。相転移の初期段階では 5 秒毎の時分割測定を行い、核生成の待ち時間を測定することを試みた。相転移の後半では 30-600 秒毎に X 線回折プロファイルを得た。このようにして 13.2-15.8 GPa、850-1100 度の条件で Mg₂SiO₄ の - 相転移速度を測定した。なお相転移の平衡相境界に関しては、同じく X 線その場観察実験によって決定された Morishima et al. (1994) のデータを用いて解析を行った。

実験の結果、高温高压下での 5 秒毎の時分割測定においても解析に耐えうる X 線回折パターンを得ることができた。各相の回折線の積分強度から相転移率を推定し、各温度圧力条件における相転移率の時間変化を明らかにした。一般に Mg₂SiO₄ の - 相転移は粒界核生成 - 成長機構 (grain-boundary nucleation and interface-controlled growth mechanisms) によって起こることが知られている。今回得られた相転移率の時間変化のデータを Cahn (1956) の粒界核生成 - 成長モデルにより解析した。過剰圧が 1 GPa 以下の条件では数十秒ほどの待ち時間の後に相転移が進行していく様子が観察され、相転移の核生成率と成長速度を推定することができた。過剰圧が 1.5 GPa 以上の条件では、相の核生成が非常に盛んで相転移の初期にそれが完了 (site saturation) したことが予想された。この場合は全相転移速度を律速している相の成長速度のみを推定した。各温度で得られた成長速度のアレニウスプロットから、相の成長の活性化エネルギーは約 430 kJ/mol と推定された。Rubie and Ross (1994) は Mg₂SiO₄ の - 相転移カインेटクスを主に低压下でアナログ物質を用いて得られたデータを基にして推定しているが、今回得られた成長速度の結果は彼らの結果と調和的である。しかし核生成率に関しては、過剰圧がより小さい条件下 (~0.5 GPa) でも十分に大きくなることが明らかになった。

今回の結果から、トンガ地域のような冷たいスラブ内部には深さ 600 km 付近まで準安定なオリビンが存在することが予想される。これは、核生成は充分盛んであるが成長が遅いためである。相転移直後の新相の粒径は相転移の核生成率と成長率のバランスにより決まるので、相転移による細粒化の程度も推定可能である。当日は回収試料の相転移微細組織の電顕観察結果もあわせて報告する。