

下部マントルに沈み込んだ海洋地殻における準安定なガーネットの存在

Metastable garnet in the subducted oceanic crust in the lower mantle

久保 友明[1], 大谷 栄治[2], 近藤 忠[1], 加藤 工[3], 亀卦川 卓美[4], 長瀬 敏郎[5]
Tomoaki Kubo[1], Eiji Ohtani[2], Tadashi Kondo[3], Takumi Kato[4], Takumi Kikegawa[5], Toshiro Nagase[6]

[1] 東北大・理, [2] 東北大、理、地球物質科学, [3] 筑波大・地球, [4] 物構研・高工ネ研, [5] 東北大・総学博

[1] Tohoku Univ, [2] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University, [3] Sci., Tohoku Univ., [4] Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, [5] IMSS, KEK, [6] Tohoku Univ. Muse.

マントル対流の冷たい下降流であるスラブが下部マントルに沈み込むと、海洋地殻部分の主要構成鉱物であったガーネットやかんらん岩層部分のスピネルはペロフスカイトを主とする相へ分解相転移する（それぞれポストガーネット、ポストスピネル相転移）。これらの分解相転移は約 10%の密度増加をとるため、対流の下降流のダイナミクスに大きな影響を与える。最近の高圧実験によりそれぞれの相転移の相境界が明らかにされつつあり、それによるとポストガーネット相転移はより高圧下で起きるため結果として下部マントルにおいて海洋地殻部分に浮力が生じるが、その領域は狭く深さ 660km から約 720km 付近までとされている (Hirose et al., 1999, Ono et al., 2001)。しかし現実のスラブでは、沈み込むスラブの温度と時間スケールを考慮に入れて相転移の深さを議論する必要がある。ここでは最近行っているポストガーネット相転移カインेटクスに関する実験結果を報告し、これまでに報告したポストスピネル相転移カインेटクスの結果(Kubo et al., 2000, 2002)と比較しながら下部マントルに沈み込んだスラブ内部における準安定なガーネットやスピネルの存在について議論する。

ポストガーネット相転移カインेटクス実験は KEK-PF 設置の 700 トンキュービックプレス(MAX-III)と一角 10mm および 14mm の焼結ダイヤモンドマルチアンビル高圧装置を組み合わせた高温高圧放射光 X 線その場観察法を用いて行っている。圧力は Au の状態方程式(Anderson et al., 1989)を用いて測定した。出発物質は合成パイロープ $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ およびチェコスロバキア産天然パイロープ ($Mg_{0.72}Fe_{0.17}Ca_{0.11}$) $3Al_2Si_3O_{12}$ である。それぞれ Mg ペロフスカイト+コランダムおよび Mg ペロフスカイト+Ca ペロフスカイト+スティショバイト+NAL 相に分解相転移する。実験条件は圧力 27.0-31.0GPa、温度 1273-1600K、過剰圧 3-6GPa である。その条件においてエネルギー分散法により 10-500 秒毎に X 線回折パターンを取り込みポストガーネット相転移の kinetic data を得た。また相転移のメカニズムを明らかにするために、回収試料の電顕観察を行った。

合成パイロープを用いた実験回収試料の電顕観察から、ポストガーネット相転移が粒界に核生成して成長することによって進行し、ペロフスカイトは柱状にコランダムは粒状に成長することが明らかになった。ポストスピネル相転移では分解相が一定の層間をもったラメラ状の成長組織を示す。その場合、分解相の成長に必要な原子の拡散距離が一定であるため成長速度も一定となった。一方ポストガーネット相転移の場合は成長するにつれ必要な拡散距離が増加するため成長速度が減少していくことが予想される。実際に kinetic data の解析から成長距離の時間依存性(= kt^n)のパラメータ n の値が 0.32-0.44 となり、成長速度が時間とともに急激に減少していることが明らかになった。天然パイロープを用いたポストガーネット相転移カインेटクス実験においても同様の現象がみられ、 n の値は 0.17 となった。合成パイロープの場合よりもさらに成長速度の減少が顕著である。ポストスピネル相転移の場合は同じ過剰圧条件の場合、 n の値はほぼ 1 で成長速度は一定である。このような理由から、ポストスピネル相転移よりもポストガーネット相転移の方が相転移の進行が非常に遅くなることが明らかになった。

ポストスピネル相転移の場合、スラブのかんらん岩層部分で最も冷たいところの温度が 1000K とすると、10 万年（沈み込み速度が 7cm/year の場合、7km 沈み込む）で mm スケールの成長が可能である。相転移の成長速度は十分に大きく、相転移の深さは核生成速度に依存し平衡境界からの過剰圧が 1GPa 程度で相転移は完了すると考えられる。一方ポストガーネット相転移の場合、スラブの海洋地殻部分の温度を 1600K、ガーネットの粒径を 1mm とすると 100 万年経過しても約 20%、1000 万年でも約 30%しか相転移が進行しない。つまり海洋地殻が下部マントルに突入してから数百 km 沈み込んでも相転移が完了せず大量の準安定なガーネットが存在することになる。今後ポストガーネット相転移カインेटクスの温度依存性を明らかにし海洋地殻の温度が 1600K 以上になった場合を議論する必要があるが、下部マントルに沈み込んだスラブのうち海洋地殻部分は、準安定なガーネットの存在による浮力で沈み込めずにかんらん岩層部分から分離し下部マントル上部に滞留している可能性がある。