

地球マントルのレオロジーと粒成長における Mg-O 粒界拡散の役割 Role of Mg-O grain-boundary diffusion in rheology and grain-growth in the Earth's mantle

西原 遊^{1*}; 西 真之¹; 丸山 玄太²
NISHIHARA, Yu^{1*}; NISHI, Masayuki¹; MARUYAMA, Genta²

¹ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ² 東京大学地震研究所
¹Geodynamics Research Center, Ehime University, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地球マントルの物質輸送、熱輸送の定量的理解には、構成物質のレオロジーやこれと密接に関連する粒成長の理解が欠かせない。これまでにマントル構成鉱物のレオロジーが幅広く研究されており、各鉱物単相のレオロジーの定量的理解は進みつつある。一方で、複数鉱物の集合体である多相系のレオロジーは、構成鉱物単相のレオロジーの単純な平均では記述できない場合が多く不明な点が残されている。マントル鉱物の結晶粒成長についても、粒界移動が直接律速過程となる単相系では比較的よくわかっているものの、多相系では異種鉱物の存在が粒界移動を妨げ異なるプロセスが粒成長を律速していると考えられ単相系のデータは現実の大部分のマントルには適用できない。最近、Sundberg and Cooper (2008) はハルツバーガイトの変形実験に基づき、カンラン石-斜方輝石界面での反応を伴った Mg-O の粒界拡散が歪を生み出す新しい変形機構のマントルでの重要性を指摘した。また、Tasaka and Hiraga (2013) はフォルステライト-エンスタタイト系の粒成長実験に基づき、この系の粒成長が Mg-O 粒界拡散に律速されている可能性が高いことを示した。これらの結果はいずれも、多相系のマントルのレオロジー、粒成長において Mg-O 粒界拡散が重要な素過程であることを示している。最近われわれのグループでは、高温高压下での反応帯成長実験によってフォルステライト (Mg₂SiO₄) と MgSiO₃ ペロフスカイトの Mg-O 粒界拡散係数を報告している (丸山ほか, 2013; Nishi et al., 2013)。本研究では、これらの結果を用いた理論モデルと変形実験、粒成長実験の比較により、Mg-O 粒界拡散が律速過程となる変形機構、粒成長機構の上部マントルと下部マントルにおける重要性を調べた。

上部マントルにおいてはカンラン石-斜方輝石界面での反応を伴った Mg-O の粒界拡散により (Sundberg and Cooper, 2008)、下部マントルではペリクレスの粒成長を伴った Mg-O の粒界拡散により変形する機構を考え、丸山ほか (2013) と Nishi et al. (2013) の結果を用いて Coble (1963) の提案した関係式によりその流動則を求めた。上部マントルについて得られた流動則は Tasaka et al. (2013) のフォルステライト-エンスタタイト二相系の変形実験結果より約 3 桁も大きな歪速度を示し現実的ではないことがわかった。下部マントルについては比較できる変形実験がないが、この変形機構は Xu et al. (2011) の仮定した Si 格子拡散クリープよりも大きな歪速度を示した。そのため下部マントルの大部分がこの機構により変形している可能性がある。

上部マントルの粒成長については、Tasaka and Hiraga (2013) がすでに、フォルステライト-エンスタタイト二相系の系統的な粒成長実験に基づいて、この系の粒成長が第一相粒界を通じた Mg-O 粒界拡散が律速する第二相粒成長に支配されていることを示している。これと同様に、Ardell (1972) の理論に基づき、下部マントルに相当する MgSiO₃ ペロフスカイト-ペリクレス系の粒成長速度係数を Nishi et al. (2013) の Mg-O 粒界拡散係数を用いて計算した。その結果、Yamazaki et al. (1996) の報告した MgSiO₃+MgO 系の実験と矛盾のない結果が得られた。彼らの実験では実験初期の非平衡組織からの急速な成長に続いて、平衡組織達成後に Mg-O 粒界拡散の律速する粒成長が起こっていると解釈できる。この解釈に基づけば、従来の考えと異なり下部マントルの粒径は百万年で数百 μm に成長し得る。

キーワード: 上部マントル, 下部マントル, レオロジー, 粒成長, カンラン石, Mg ペロフスカイト
Keywords: Upper mantle, Lower mantle, Rheology, Grain-growth, Olivine, Mg-perovskite