

下部マントルにおける(Mg,Fe)SiO₃ポストペロブスカイト、ペロブスカイト、マグネシオウスタイト間のFe-Mg分配

小林祐介, 近藤忠, 大谷栄治(東北大), 平尾直久(兵庫県立大), 宮島延吉(パイロイト大学),
八木健彦(東大物性研) 長瀬敏郎(東北大博物館), 亀卦川卓美(KEK)

1. はじめに

(Mg,Fe)SiO₃ ペロブスカイト(Pv)と(Mg,Fe)O マグネシオウスタイト(Mw)は、地球下部マントル(660~2900km 深度)の主要構成鉱物である。そして、これらの相は異なる Fe と Mg の比率を持って共存しており、この分配関係を明らかにすることは、下部マントルの組成、密度、地震波速度、電気伝導率などの物理的・化学的性質や CMB における溶融金属鉄とマントルとの反応関係などを議論する上で重要である。Pv への Fe(Fe²⁺+Fe³⁺)の分配の大きさを表すパラメーターとして、分配係数 K が定義される[$(X_{Fe}/X_{Mg})^{Pv}/(X_{Fe}/X_{Mg})^{Mw}$, $X_{Fe}=Fe/(Fe+Mg)$ in molar ratio]。マントル深部条件での分配係数 K の変化、特に圧力依存性については、まだよく分かっていない。過去のダイヤモンドアンビルセル(DAC)による実験からは、粉末 X 線回折法から求められた Pv と Mw の格子体積 V_0 と X との関係式から間接的に求める方法と、EPMA もしくは ATEM(分析透過型電子顕微鏡法)による組成分析から直接的に求める方法の 2 つで行われてきた。 K が圧力の上昇に伴って増加し続けるという結果を出した Mao et al.(1997)、Andrault (2001)では前者の方法を、 K は一定の値をとるようになるという結果を出した Guyot et al.(1988)、Kesson and FitzGerald(1991)、Kesson et al.(2002)は後者の方法を採用している。また高圧下での Mw 及び Pv 中の Fe の電子スピン転移(高スピン-低スピン)の影響により、転移後に分配係数 K はほぼ0になることが予想されている(e.g., Badro et al.,2003)。最近発見された(Mg,Fe)SiO₃ ポストペロブスカイト(PPv)相転移に伴って分配係数 K が急激に減少するという結果も報告されており(Murakami et al.,2005)、下部マントル深部の Fe-Mg 分配の変化は大変複雑な問題である。本研究ではマントルの代表的鉱物であるかんらん石について放射光X線を用いた精密な格子体積測定と ATEM による組成分析の両方から分配係数 K を求め、下部マントル最深部域までの Pv と Mw 間の K の圧力依存性を調べた。

2. 実験

出発試料には、San Carlos 産のオリビン($X=0.12$)の粉末試料と単結晶薄片試料を使用した。高圧発生にはレバ一式 DAC を用い、加圧後の出発試料に対して、東北大学理学部設置の Nd:YAG レーザーまたは KEK, PF 内の BL-13A 設置の Nd:YAG レーザーによる加熱を行った。測圧にはルビー蛍光法(Mao et al.,1978)、測温には輻射温度計を用いた。本実験の圧力範囲は、23.0~123.6GPa、温度範囲は約 1500~2000K である。 K を算出するのに、Andrault(2001)による Pv と Mw の格子体積 V_0 と X との関係式を用いた。 V_0 を求めるのに、KEK-PF, BL-13A 及び BL-18C にて、イメージングプレートを使用した角度分散法による粉末 X 線回折を行った。Mw の格子定数は、観測された各面指数の d 値を最小二乗法でフィッティングすることによって求めた。また一部の回収試料について、ATEM(EDS)による組成分析を行い、 K を求めた。

3. 結果

Pv-Mw 間の分配係数 K は、約 1600K の実験において、PPv 相転移が起こるまで、誤差の範囲内でほぼ一定の値(0.12)を示した。ATEM(EDS)と粉末 X 線回折法の両者の分析手法でほぼ同じ値が得られた。約 2000K の実験において、分配係数 K は圧力に伴って減少する傾向が見られた。この減少傾向は、Mw と Pv 中の Fe の高スピンから低スピンへの転移が原因である可能性がある。1600K の実験において、PPv 相転移に伴って分配係数 K の増加(0.12→0.30)が見られたが、全ての圧力範囲において、Mw に多くの Fe が分配されるという結果になった。PPv-Mw 混合相は、Pv-Mw 混合相よりも 1.5~1.7% 密度が増加し、PPv-Mw の混合相は、最下部マントルで重力的に安定に存在できることが分かった。

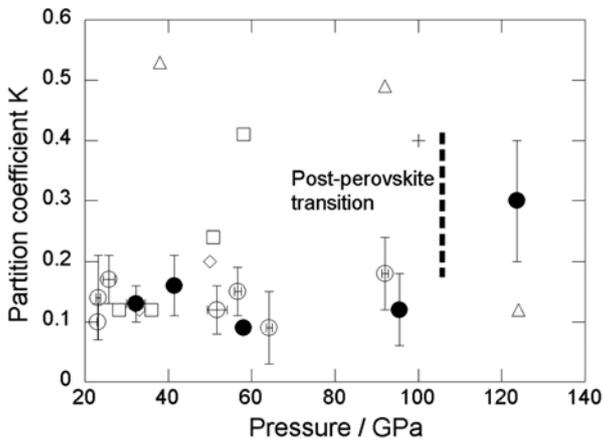


Fig. Pressure versus Fe-Mg partition coefficients between Pv and Mw, and PPv and Mw, compared @ 1600K with previous studies. Open and solid circles represent K values of this study from XRD and that from ATEM, respectively. Open diamond, Mao et al. [1997] at 1500 K; open square, Andrault [2001] at 2200 K; Kesson et al. [2002]; Murakami et al. [2005], except Murakami et al. [2005]. All K values in this figure have been obtained from Al-free system except Murakami et al. [2005].