

SPring-8における相転移のX線その場観察と相境界の精密決定

In situ observations of high-pressure phase transformations in mantle minerals at SPring-8

入船 徹男 [1], 井上 徹 [1], 黒田 幸治 [1], 西山 宣正 [1], 安東 淳一 [2], 舟越 賢一 [3], 内海 渉 [4]
Tetsuo Irifune [1], Toru Inoue [2], Koji Kuroda [1], Norimasa Nishiyama [1], Jun-ichi Ando [3], Kenichi Funakoshi [4], Wataru Utsumi [5]

[1] 愛媛大・理・地球, [2] 広大・理・地球惑星, [3] 高輝度光セ, [4] 原研・関西研

[1] Dept. Earth Sci., Ehime Univ., [2] Dept. Earth Sciences, Ehime Univ., [3] Earth and Planetary Systems Sci., Hiroshima Univ., [4] JASRI, [5] JAERI

新しい放射光実験施設、SPring-8においてマントル関連鉱物相転移のX線その場観察実験をおこなった。放射光からの強力な白色X線と大型高圧装置を用いて、圧力25万気圧温度2000度程度の領域までの実験が可能になった。この技術によりかんらん石や輝石などのペロフスカイト構造への相転移の観察や、相境界の精密決定をおこなった。さらにまた、現実のマントルに近い複雑な化学組成を用いた実験もおこなった。これらの実験結果により、スピネル - ポストスピネル転移の圧力は従来の値よりかなり低いことがわかった。

一昨年秋から共同利用が開始されたSPring-8において、我々はマントル物質および関連鉱物の相転移のX線その場観察実験をおこなっている。実験には高温構造物性ビームラインに設置された1500トンプレス駆動マルチアンビル装置（SPEED-1500）と、BMの白色光を用いたエネルギー分散光学系を利用している。SPEED-1500用に新たにデザインした高温高圧セルを用い、圧力25 GPa、温度2000 程度までの条件下で、最高20時間近くにおよぶ安定な温度圧力の発生が可能になった。また、発生圧力も金などの圧力指標物質の格子体積変化から直接測定ができる。この技術を用いて以下のようなマントル主要鉱物の相転移の観察と相境界の精密決定をおこない、重要な成果が得られつつある。ここでは特にペロフスカイト転移に関連する成果と問題点について、この一年余りの実験結果に基づいて概観する。

（ Mg_2SiO_4 のスピネル - ポストスピネル転移）

マントル内部660 km地震学的不連続面の原因であると考えられている、かんらん石のポストスピネル相転移境界を決定した。スピネルからポストスピネル相であるペロフスカイトとペリクレスへの分解、またこの逆の反応がX線その場観察により明瞭に観察され、この相境界が精度良く決定された。この結果、金の圧力スケールを用いた今回の実験では、相転移圧力が従来の急冷法による値より2GPa程度低圧になった。

（ MgSiO_3 のイルメナイト - ペロフスカイト転移）

かんらん石に次いで重要なマントル中の鉱物である斜方輝石のイルメナイト - ペロフスカイト転移の相境界の決定を試みた。しかし、高温高圧実験中の特にイルメナイト相の結晶成長により回折線の強度比が大きく変化し、上記のような方法での精密な相境界決定には至らなかった。そこで急冷法を併用し、発生圧力は放射光実験に基づく校正曲線を採用し、相境界の決定をおこなった。この結果この相転移は、上記のフォルステライトのポストスピネル相転移より更にわずかに（0.5 - 1 GPa）低圧側で起こることが明らかになった。

（ $\text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{SiO}_3$ のペロフスカイト転移）

マントル中輝石のもう一つの重要な成分であるディオプサイドは、下部マントル条件下では同組成の立方晶ペロフスカイトに転移するとする実験結果と、立方晶および斜方晶の2つのペロフスカイトに分解するとする矛盾する結果が得られていた。本研究によるX線その場観察実験では、2種類の出発物質（合成ディオプサイドおよび同組成のガラス）はいずれも高温高圧下で2つのペロフスカイトに分解し、後者が正しいことが裏付けられた。

（パイロライト中のスピネル - ポストスピネル転移）

マントルの代表的な化学組成であるパイロライトを出発物質として、スピネル - ポストスピネル転移圧力の決定を試みた。この結果、 Mg_2SiO_4 のスピネル - ポストスピネル転移圧力とほぼ一致する値が得られた。この結果、現実の上部マントルに想定される組成においても、スピネル - ポストスピネル転移が660kmに対応する圧力よりかなり低い圧力で起こることがわかった。