

ウォズリアイトの粒成長：化学的環境の重要性

Grain-growth kinetics in wadsleyite: Effects of chemical environment

西原 遊[1]; 新名 亨[2]; 唐戸 俊一郎[3]

Yu Nishihara[1]; Toru Shinmei[2]; Shun-ichiro Karato[3]

[1] 東工大・地惑・COE 21; [2] 岡大・固地研; [3] イェール大 地質地物

[1] Earth Planet. Sci., Tokyo Inst. Tech.; [2] ISEI; [3] Yale University, Department of Geology and Geophysics

物質の流動特性は結晶粒径に大きく依存することが知られている。このため、マントル遷移層における流動特性を理解するためには、この深さにおけるマントルの主要構成鉱物ウォズリアイトの粒成長を説明することが本質的に重要である。本研究では、ウォズリアイトの粒成長について初の系統的な実験を行い、温度、含水量、酸素分圧の効果を定量的に明らかにしたので報告する。

実験はYale大学に設置されている川井式マルチアンビル型高圧発生装置KIWIを用いて行った。平均粒径は研磨された試料の光学顕微鏡写真またはSEM写真を用いて算出した。含水量は両面研磨薄片のFT-IR分析の結果からPaterson (1982)の校正式により求めた。

まず、粒成長実験のためのウォズリアイト焼結体をSan Carlosかんらん石粉末から合成した。この合成条件は $P = 14-15$ GPa, $T = 1230-1573$ K, $t = 1-2$ hである。とくに低含水量の試料合成を目指した実験では、周囲のセラミックスやセメントから供給されるわずかな水を試料が吸収しないように溶接されたAuPdカプセルを用いた。これにより含水量が100 ppm H/Si以下といった非常に“乾燥”したウォズリアイトの合成が可能であった。

粒成長実験においては、目的とする含水量に応じて3種類のカプセルを使い分けた。1)“完全乾燥”実験では溶接されたAuPdカプセル、2)“乾燥”実験では溶接されていない金属箔カプセル、3)“含水”実験では試料を含水鉱物であるタルク+ブルーサイトの混合物などで取り囲みAuPdカプセルに封入した。酸素分圧の効果を明らかにするため試料をMo、NiまたはReの金属箔で囲った。実験中の酸素分圧は、それぞれの金属-金属酸化物の反応により制御されると考えられる。粒成長実験の条件は $P = 15-16$ GPa, $T = 1450-2173$ K, $t = 0.25-48$ hである。回収試料の含水量は測定限界以下(50 ppm H/Si以下)から240,000 ppm H/Siまで、と非常に広範囲である。

実験の結果、ウォズリアイトの粒成長カインेटクスは、高温のみならず高酸素分圧そして特に高含水量により著しく促進されることがわかった。ウォズリアイトの粒成長が比較乾燥した条件と水に富んだ条件とで異なる機構により支配されると考え定量的な解析を行った。粒成長べき級数を $n = 2$ と仮定したときに、粒成長速度係数 k の変化を表現するパラメータは以下のように決定された。乾燥した条件:活性化エンタルピー $-510(+290)$ kJ/mol、酸素分圧べき級数0.12(0.11)。水に富んだ条件:活性化エンタルピー $-140(50)$ kJ/mol、酸素分圧べき級数0.23(0.05)、含水量べき級数2.1(0.3)。2つの機構の境界は $T = 1773$ K, $f_{O_2} = 10$ Pa, においておよそ 10^3 ppm H/Siである。

含水量べき級数の大きな値(2.1)は点欠陥の単純な粒界拡散によってうまく説明できない。そのため、水和した粒界の凹凸(ledge)の濃度や移動速度または粒界近傍の帯電した層の存在が粒成長を律速している可能性がある。乾燥した条件と比較した場合、ウォズリアイトの粒成長はかんらん石に比べ非常に遅い($T = 1300-1800$ Kにおける k にして4-6桁)。本研究の結果をもとに計算すると、スラブ中のウォズリアイトの粒径が1 Myの期間1 mm以下に保たれる温度条件は、乾燥した条件(200 ppm H/Si以下)では1500 K以下であるが、水に富んだ条件(100,000 ppm H/Si)ではたかだか700 K以下となる(酸素分圧10 Paを仮定)。