

高温高压下における蛇紋石の脱水分解反応カインティクス

超高压研究室 吉見 勇

1. はじめに

蛇紋石は沈み込むスラブにおいて主要な含水相であり、この相を用いてこれまで多くの高温高压実験が行われてきた。それらの研究結果から、蛇紋石が脱水分解した際に発生する流体相は島弧マグマの成因に関与し、また生成された含水相は水を更に地球深部へと運搬し得ることが示唆された [Komabayashi et al., 2005, Poli & Schmidt, 2002]。しかしながら、沈み込むスラブは周囲のマントルに比べ非常に低温であると考えられ、実際のスラブにおける現象を解明するためには、その脱水分解反応の速度、時間変化を考慮する必要がある。

そこで我々は、放射光 X 線を用いて蛇紋石の脱水分解反応、および生成相の成長過程についてその場観察実験を行った。

2. 実験方法

出発物質は、蛇紋石の多形の一種である天然の Antigorite の粉末を用いた。出発物質を封入するカプセル材は、単結晶ダイヤモンドと貴金属(Au, Pt)を使用し、脱水分解によって発生する流体相の封入と、十分な X 線回折強度の確保を両立させた。実験装置は、高エネルギー加速器研究機構の AR-NESC ビームライン設置の MAX80 ダイヤ型プレスを用いて行った。

実験は、目標圧力(3-9 GPa)まで加圧した後、400°Cまで加熱した。そこで約 1 時間保持し、その間 60 秒ごとに回折線の時分割測定を行った。収集した回折線に変化が見られた場合、基本的にはその変化が収まるまで保持し、変化が見られなければ 50-300°C昇温した。この過程を幾度も繰り返して、Antigorite が分解して、最終的に出現している相のピーク強度が一定になったところで急冷した。

X 線その場観察実験から得られたサンプルの回折線と、急冷回収試料の走査型電子顕微鏡観察から生成相の同定、組成分析を行った。

3. 結果・考察

実験によって得られた Antigorite の反応相図を図 1 に示す。

6 GPa 以下では 650°Cに到達すると Antigorite は分解し始め、40-350 分で完全に消滅し、Forsterite+Enstatite+Fluid と少量の Chlorite が形成された。この反応の時分割測定データ(図 2)を、結晶の核形成速度と成長速度の割合を示す Avrami の式を用いて解析を行った(図 3)。その結果と反応途中で急冷回収された試料の反射電子像(図 4)から、Enstatite は結晶成長よりも核形成の方が速く、また多数の微結晶(数 μm)で存在することが観察された。一方で Forsterite は核形成よりも結晶成長の方が速く、少数だがかなり大きな数十 μm の結晶で存在している様子が観察された。

6 GPa 以上では Antigorite の安定領域を超えるとわずか 30 分ほどで Talc が生成された(図 5)。Komabayashi et al. (2006) による報告では、この領域において Antigorite (13.0 wt% H₂O) から Phase A (11.8 wt% H₂O) +Enstatite+Fluid へと相変化し、沈み込むスラブ中のいくらかの水は Phase A へと受け渡され、深部へ運ばれると報告されている。しかし、本研究で観察された Talc (4.7 wt% H₂O) が Antigorite の分解後に生成されると、上記の報告よりも水を受け渡せる量が減り、沈み込むスラブによる水の深部への供給量も変化する。

本研究で得られた蛇紋石の脱水分解境界は、今までに報告されている相平衡境界と調和的であり、反応はすべて数十分-百分のオーダーで完結した。従って、沈み込むスラブ中に存在する蛇紋石は、低温条件にも関わらず安定領域を超えると即座に脱水分解反応を起こし、準定量的には存在しないと結論づけられる。

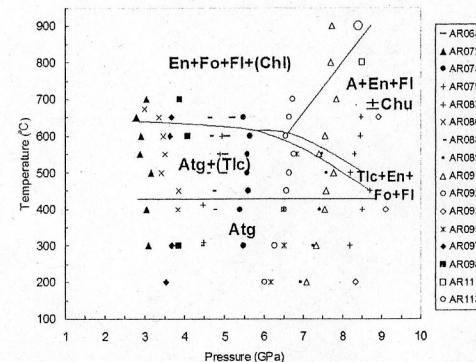


Fig. 1: Antigorite reaction phase diagram. Legend: AR068 (open circle), AR072 (filled triangle), AR075 (open circle), AR079 (plus), AR083* (plus), AR086 (cross), AR088 (minus), AR089 (filled circle), AR091 (open triangle), AR092 (open circle), AR093 (open circle), AR095 (cross), AR097* (plus), AR098 (filled square), AR111 (open square), AR113 (open circle). Fl: Fluid, (): Small amount, *: Power estimate.

図 1 本研究で得られた Antigorite の反応相図

6 GPa 以下では Enstatite+Forsterite+Fluid, 6 GPa 以上では Talc+Enstatite+Forsterite+Fluid が生成された。

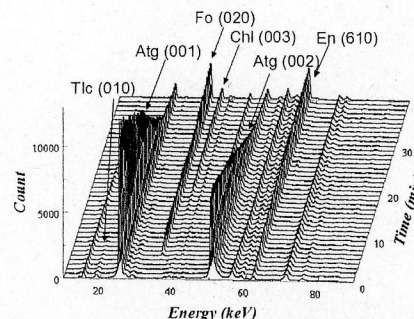


図 2 Atg \rightarrow Fo+En+Fl の反応における時分割測定データ (5.2 GPa, 650°C), Enstatite は出現が非常に速く、Forsterite は数分の潜伏期間が存在する。

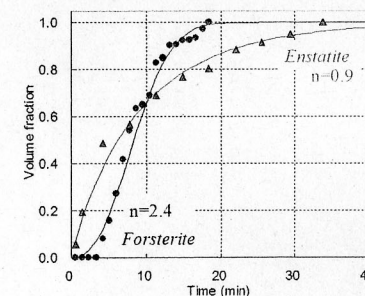


図 3 左の反応における Forsterite と Enstatite に関して Avrami fitting を行った結果。得られた n の値から反応の律速過程が推測される。

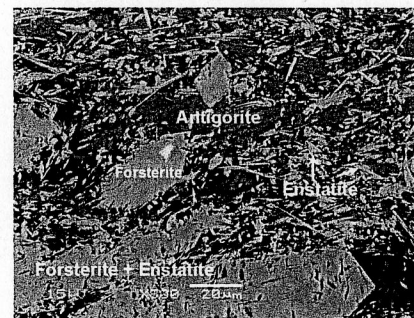


図 4 Atg \rightarrow Fo+En+Fl の反応途中で急冷回収したサンプルの反射電子像(3.0 GPa, 675°C, 40 min.). 微細で多数の Enstatite と大きく少数である Forsterite が観察された。

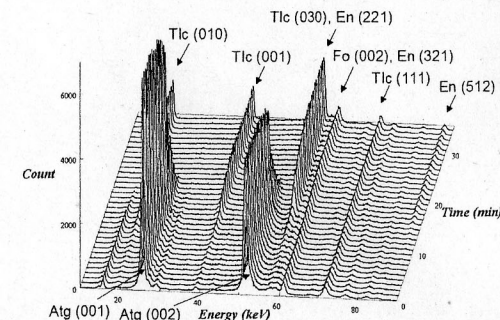


図 5 Atg \rightarrow Tlc+Fo+En+Fl の反応における時分割測定データ (8.0 GPa, 500°C), わずか 20 分ほどで Antigorite は分解し、Talc, Forsterite, Enstatite のピークが観察された。