

過冷却した花崗岩質メルトの結晶化実験

孫羽¹、廣井美邦¹、古川登¹

¹千葉大・院・理

Experimental investigation of crystallization of supercooled granitic melts

Sun Yu¹, Hiroi Yoshikumi¹, Furukawa Noboru¹

¹Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Chiba University

Quench textures such as spherulitic and dendritic are observed in feldspar inclusions within garnet crystals in high-temperature regional metamorphic rocks (granulites). Isothermal crystallization experiments have been performed on supercooled hydrous granitic melts to understand the processes to form and preserve such quench textures. Morphology and size of crystals vary widely depending upon cooling rate, degree of supercooling, and isothermal treatment duration. Especially, with increasing isothermal treatment duration quartz morphology changes from dendritic to skeletal, and the quartz-feldspar intergrowths from spherulitic to granophyric. In addition, heterogeneous chemical features of quartz-feldspar intergrowths are produced.

Hiroi et al. (2010, 2013) によって高温広域変成岩（グラニュライト）中のザクロ石結晶中に非平衡急冷組織を示す珪長岩包有物の産出が報告された。本研究ではその形成条件やよく保存された理由を明らかにするために、多様に過冷却した花崗岩質メルトの結晶化実験を行った。

出発物質は石英が初相となるように北海道遠軽町白滝地域赤石山産の黒曜石に石英ガラスを加え、さらに 1wt% ~ 11wt% の水を加えたものである。その全岩ノルム化学組成は Qtz:Ab:Or:An = 43.54 : 29.7 : 24.52 : 2.24 である(カナダの Actlab 分析)。本研究での実験は全て 200MPa の圧力でやっている。まず最初に出発物質のリキダス温度を決めた。

冷却速度の効果：950°C から 700°C まで 0.88°C/h (Run3) と 5°C/h (Run7) の冷却速度で冷却した。Run3 では、多数の石英の樹枝状結晶が生じた。一方、Run7 では、124#(2.44wt% H₂O, ΔT=230°C) の試料にだけ石英結晶がわずかに生じたが、より小さい過冷却度の他の試料では石英の樹枝状結晶が生じなかった。

石英結晶の形成時期：950°C から 700°C まで冷却速度 5°C/h で冷却した後、700°C で 89 時間保持した (Run5)。その結果、上述した Run7 と異なり、いずれの試料にも多数の石英の樹枝状結晶が生じた。これによって、石英結晶が保持期間中に形成されることが確認された。

過冷却度の効果：同じ含水量で、同じ冷却速度(50°C/h)で、950°C から 700°C まで(Run2)、600°C まで(Run4)、500°C まで(Run8) の 3 つの異なる温度まで冷却し、その後それぞれの温度で 300 時間、298 時間、216 時間保持した。その結果、Run2 では石英の樹枝状結晶、Run4 では石英の羊歯六花状結晶、Run8 では球晶状不明鉱物の結晶が生じた。

高温保持時間の効果：950°C から 700°C まで同じ冷却速度(50°C/h)で冷却した後、700°C で 134 時間(Run1)、300 時間 (Run2)、1003 時間(Run10) 保持した。含水量は、group a では 2.5wt%、group b では 3wt%、group c では 3.5wt%、group d では 5wt% で、過冷却度はそれぞれ 225°C、205°C、180°C、100°C である。134 時間と 300 時間の実験では、樹枝状の石英結晶がよく見られたが、1003 時間では、骸晶状の石英が発達した。300 時間では、Fig. 1 で示すように、a では樹枝状石英の周囲に球晶状の石英+長石の連晶が生成し、b では樹枝状石英の周囲にグラノフィリック状の石英+長石の連晶が生成した。石英+長石の連晶では K に富む部分と Na に富む部分とが不均質に分布している。1003 時間では、カプセル壁から半円状に石英+長石の集合体が多数形成された。グラノフィリック状の石英+長石の連晶、骸晶状の石英と長石がよく見られる (Fig. 2)。長石の化学組成はばらつく。

なお、実験生成物中の気泡はラマン分光分析結果により、CO₂+N₂ であることが確認された (Fig. 3)。これはもともと出発物質中に含まれていた空気を起源するものである。

以上の実験結果をまとめると次のようになる：

1. 石英結晶のサイズ (Fig. 4) : 継続時間と共に、石英の結晶サイズが大きくなるが、特に 1003 時間では著しく増加した。

2. 過冷却度および高温保持時間と結晶形態の関係 : Fenn (1977)、Swanson and Fenn (1986)、Lofgren (1974)、MacLellan, et al. (1991) などの先行研究で指摘されているように、過冷却度の増加と共に、核形成の密度と結晶成長速度が増加するが、最大値があり、それ以上では減少する。その間形成される結晶は、骸晶、樹枝状晶、球晶へと変化する。本研究でも、過冷却度の変化にしたがって、樹枝状や羊歯状六花、球晶状など多様な形態の結晶が形成された (Fig. 5)。また継続時間の増加と共に、石英とアルカリ長石の連晶が球晶状からグラノフィリック状に変化し、骸晶状の石英とアルカリ長石の集合体が生成された (Fig. 6)。

実験結果から言えること：

1. 過冷却した花崗岩質メルトを等温加熱する実験により、天然の珪長岩包有物に見られるものに類似した組織が再現された。冷却速度だけではなく、過冷却度や高温保持時間の違いが晶出する石英と長石の結晶の形態や岩石の微細組織に影響を及ぼすことが改めて確認された。

2. 1003 時間の実験生成物の結晶サイズが天然の珪長岩包有物のものと同程度以上であることから、これまでゆっくりと上昇冷却すると想定されてきたグラニュライトが、地下深部から浅所に上昇する過程で、部分融解メルトが過冷却するような状況下に置かれる事態が発生したと、その後もこれまでの想定よりもはるかに短期間で冷却したものと考えられる。

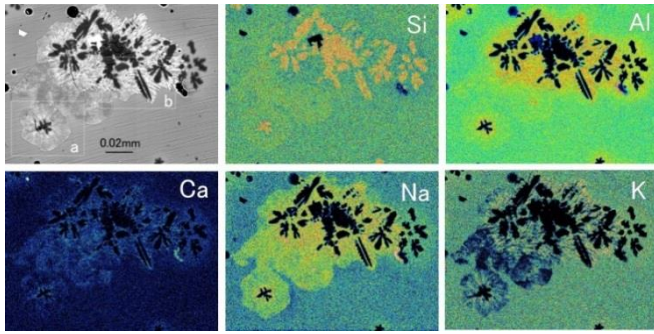


Fig. 1. 700°Cで300時間保持した実験生成物 (51#) の元素 map. a では樹枝状石英の周囲に球晶状の石英+長石の連晶、b では樹枝状石英の周囲にグラノフィリック状の石英+長石の連晶が見られる。

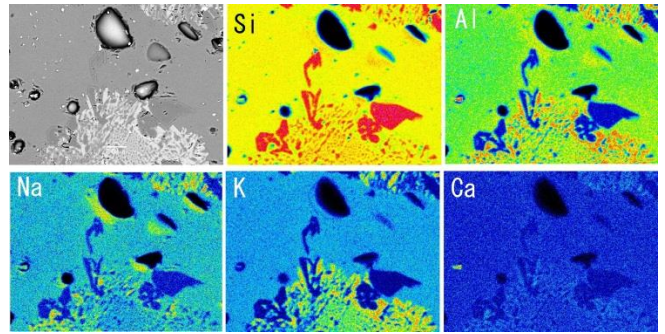


Fig. 2. 700°Cで1003時間保持した実験生成物 (155#) の元素 map. グラノフィリック状の石英+長石の連晶、骸晶状石英が見られる。

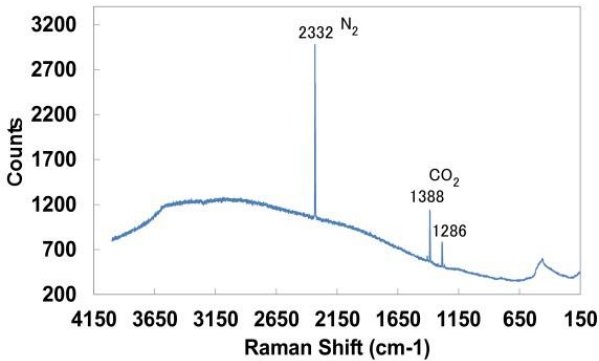


Fig. 3. 実験生成物 (50#) 中の気泡のラマン分析結果、CO₂+N₂であることが確認された。これはもともと発物質中に含まれていた空気を起源するものである。

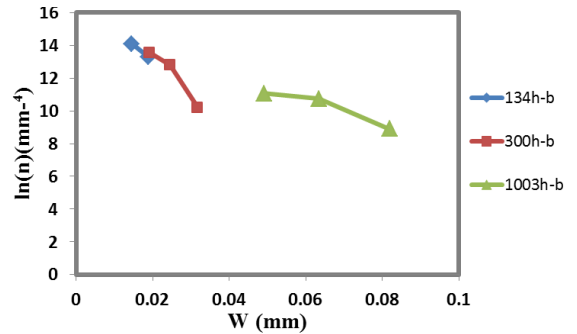


Fig. 4. 高温保持時間の異なる実験によって生成した石英のサイズ分布 (大きい方から20個の長柱状結晶の幅を計測した)。

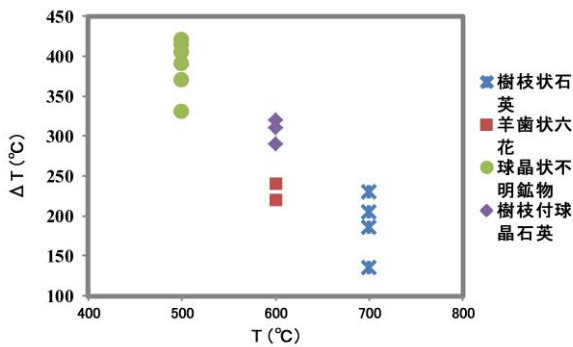


Fig. 5. 過冷却度の異なる実験で得られた結晶の形態変化

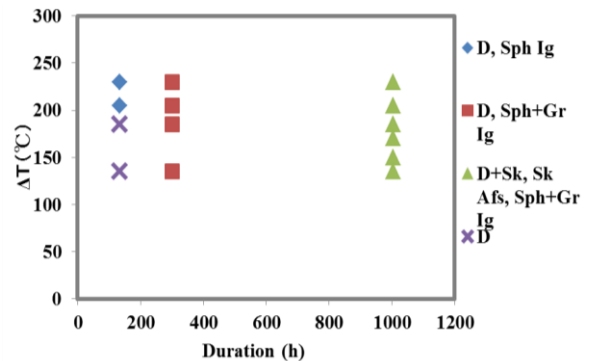


Fig. 6. 継続時間の異なる実験で得られた石英及び石英+長石連晶の形態 D: 樹枝状 Sk: 骸晶 Sph Ig: 球晶状連晶 Gr Ig: グラノフィリック状連晶