

固液二面角の上昇に伴う結晶のクラスタリングとメルトの分離

Crystal clustering and melt separation with increase of solid-melt dihedral angle

池田 進 [1]

Susumu Ikeda [1]

[1] 東大・理・地質

[1] Geological Institute, Univ. Tokyo

ディオプサイド・アノーサイト系の固液共存状態（ディオプサイド+メルト）において、固-固-液三重点に形成される二面角が冷却（結晶化）の進行に伴って大きくなること、そして、二面角が 60° 付近を上回るとき、結晶のクラスタリングとメルトの分離が顕著に起こることを見出した。これは、界面エネルギーの総和を減少させようとする構造変化であると考えられるが、二面角が大きい温度域での等温加熱実験では顕著でなかった。二面角の上昇過程で観察された結晶のクラスタリングとメルトの分離は、天然の深成岩中に見られるクラスタリングした組織の成因やマグマの集積メカニズムを解明するための鍵となるであろう。

固液共存（部分溶融）系において、固-固-液三重点に形成される二面角の大きさは固-固の粒界エネルギーと固-液の界面エネルギーの比の関数であり、固-液の界面エネルギーが相対的に大きくなるにしたがって大きくなる。この二面角は液相の形状や連結状態を決め、メルトの流動に関与することから、地球科学においても盛んに研究されている。演者はディオプサイド・アノーサイト系（2成分共融系）における冷却結晶化実験において、二面角が冷却に伴って大きくなること、そしてその二面角がある臨界角を上回る時に、結晶のクラスタリングとメルトの分離が顕著に起こることを見出したので報告する。ディオプサイド：アノーサイト = 90：10 (wt%) とした純葉混合物を溶融・冷却後粉碎し、固相線以下でほぼ完全に結晶化させ、再度粉碎したものを出発物質とした。この出発物質を固液（ディオプサイド+メルト）共存領域である 1350°C で5時間保持した後、 $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ で冷却し、 1330°C 、 1320°C 、 1310°C 、 1280°C （全て固相線以上）に達したところで急冷した。 1350°C からの冷却過程において、固相量の増加、ディオプサイドの粒成長、メルトの化学組成の変化（アノーサイト成分の増加）、固-固-液三重点の二面角の上昇（ $38^\circ \rightarrow 63^\circ$ ）が観測された。そして、この二面角が 60° 近辺（本実験では概ね 55° 前後であった）に達した頃から、ディオプサイド結晶がクラスター（accumulateに似た内部構造を持つ結晶の集合体）を形成し始め、それと同時にメルトの分離が始まった。更に冷却が進み二面角が上昇することで、その現象は非常に顕著となった。

二面角が 60° を越えると、界面エネルギーの総和を最小にするために、結晶に囲まれたメルトが消滅し、結晶のみの領域とメルトの領域に分離することは理論的に知られており（例えば von Bargen & Waff, 1986）、このような傾向はJurewicz & Watson (1985) による花崗岩系の物質を用いた実験でも確認されている（彼らの実験では二面角は必ずしも 60° を超えてはいなかったが結晶のクラスターとメルトのプールが形成された）。すなわち界面エネルギー最小の組織平衡に向かう構造変化である。しかしながら、この現象は単に二面角が 60° より大きいだけでは活発には起こらない。本研究では、最初から二面角が 60° を越えた条件での等温加熱実験（ 1280°C ）も行ったが、50時間程度加熱しても、メルトの分離はわずかしき起こらなかった。上記のJurewicz & Watson (1985) らの実験は等温加熱によるものであったが、形成された結晶のクラスターやメルトのプールは、長い加熱時間（最長14日間）の割にはやはり小規模なものであった。これは、最初から二面角が大きいと結晶間の結合が強固なため、結晶およびメルトの空間的な再配列が起こりにくく、物質の移動を拡散のみに頼った遅いプロセスになるためと考えられる。すなわち、本研究における冷却実験で観察されたように、二面角が小さい状態から次第に上昇し、 60° 付近の臨界角を越える場合に、結晶のクラスタリングとメルトの分離が特に顕著に起こるのである。これは、構造変化が起こり始める直前まで結晶がメルトに濡れていたため、結晶の再配列が起こりやすく、効率的にクラスタリングとメルトの分離が起こるためと考えられる。

部分溶融度が低い場合、二面角が 60° よりも小さいと液相は連結、大きいと液相は結晶粒界に孤立することが知られており、メルトが連結している状態、すなわち二面角が 60° よりも小さい状態がメルトの移動・集積にとって有利であろうと一般的には考えられている（例えば McKenzie, 1985）。それに対し本実験結果は、Jurewicz & Watson (1985) が指摘したように、二面角が大きい場合でもメルトの分離・集積が起こる可能性を示唆している。更に本研究では、温度変化等にもなって二面角が小さい角度から次第に大きくなる場合に、メルトの分離が特に顕著に起こることがわかった。これは、天然でのメルトの集積を考える際に重要な知見となるであろう。また、本実験結果は火成岩中に見られる様々なタイプのクラスタリング組織（深成岩における同一鉱物相のクラスター、火山岩における斑晶のクラスターなど）の成因の解明においても重要な役割を果たす考えられる。

参考文献: Jurewicz & Watson (1985) Am. Mineral., Vol.49, 1109-1121; McKenzie (1985) EPSL, Vol.74, 81-91; von Bargen & Waff (1986) JGR, Vol.91, 9261-9276.

