

マグマの冷却に伴う結晶の振動核形成についての数値モデル

Numerical model of oscillatory nucleation of crystal in cooling magma body

寅丸 敦志 [1]

Atsushi Toramaru [1]

[1] 金沢大・理・地球

[1] Earth Sci, Kanazawa Univ.

固結したマグマ体で見られる結晶や気泡がつくる縞の形成機構である振動核形成について、結晶化のカイネティックスと熱及び物質の拡散を考慮した支配方程式を定式化を行い、数値解を求めた。その結果、リキダス相の振動的振る舞いについて次のことがわかった。結晶数密度の極小は、結晶サイズの極大に一致するが、数密度の極大は、サイズの極小に一致しない。振動の波長は、冷却面からの距離にしたがって、等比数列的に大きくなり、その公比は熱と物質の拡散係数の比に強く依存する。また、冷却面からの距離の関数としてみた結晶サイズの振動波形について、拡散係数の比とともに、極大についての非対称性が増していくことがわかった。

はじめに：層状貫入岩体、岩脈や岩床などの固結したマグマ体には、結晶や気泡が縞状に分布していることがしばしば観察される。例えば、気泡縞としては、佐渡島小木のピクライト岩床、山形県温海のドレライト岩床、北海道オシンコシンのドレライト岩床などがある。これらの岩体では、気泡の濃集部が侵食によって視覚化されており、濃集パターンがレリーフとなって野外で観察できる。これらの岩体の気泡縞は、その特徴において次のような多様性を持つ。(1) 岩体の周辺部から内側に向けて、縞の幅が、等比数列的に増加し、その公比は岩体によって様々である。(2) 振動パターン(凸凹の形)には、のこぎり歯状や矩形波状のものなど様々である。また、顕微鏡観察によって、これらの気泡縞について、気泡の数密度やサイズといった定量的岩石組織のデータが出つつある。しかし、こうしたマグマの冷却固結に伴う縞状構造の形成機構と考えられる振動核形成についての理論的立場からの定量的理解は、ほとんどなされていない。そこで、本研究では、マグマの冷却に伴う振動核形成の結果、結晶の数密度やサイズの変化が如何なるパラメータにどのように依存するか、また、(1)や(2)のような構造の多様性が何に起因しているか、を探ることを目的とする。そのために、結晶化のカイネティックスと熱及び結晶化成分の拡散を考慮した支配方程式を定式化し、数値解を求めた。

モデル：本研究では、簡単のために、2成分共融系の結晶化を取り扱う。初期条件として、リキダス温度のある成分のマグマが、それより低いある温度の母岩に接触したとする。その後、マグマは冷却され結晶化が接触部付近から内部に進行していく。マグマの内部の温度は、結晶化の影響を考慮した拡散方程式に従う。また、結晶化成分の濃度は、結晶化の影響を考慮した拡散方程式に従う。ここで、結晶化の影響を評価するのに、著者がこれまで行ってきた結晶化のカイネティックスを取り扱う計算コードを組み込んだ。支配パラメータとなる無次元数は、1) 結晶化の潜熱開放率を特徴づけるステファン数、2) 物質と熱の輸送の効率を特徴づける物質と熱の拡散係数の比、3) 結晶化の臨界過飽和度を特徴づける固液界面エネルギー、4) リキダスの濃度依存性を特徴づける融解のエンタルピー、5) 結晶の成長を特徴づける物質拡散係数、である。これらのパラメータを変化させて、それに対応した振動核形成の特徴の変化を調べた。

数値結果：リキダス相の結晶の振動的振る舞いが、結晶数密度と結晶サイズにおいて観察された。結晶数密度の極小は、結晶サイズの極大に一致するが、数密度の極大は、サイズの極小に一致しない。結晶相の体積分率の極大は、数密度の極大に対応する。振動の波長(数密度の極大から次の極大までの距離)は、冷却面からの距離にしたがって、等比数列的に大きくなり、その公比はパラメータ2)及び3)に強く依存する。また、冷却面からの距離の関数としてみた結晶サイズの振動波形は、拡散係数の比とともに、極大についての非対称性が増していくことがわかった。

天然への応用：気泡縞の多様性(1)は核形成のための臨界過飽和度や拡散係数の比が岩体によって様々であったと解釈できる。気泡縞の多様性(2)に関しては、数値結果から拡散係数の比が振動波形に影響していることがわかったが、拡散係数の比が非現実的な値であることから、ほかの原因を考えるべきであろう。