

1次元伝導的冷却場における2成分共融系の結晶化カイネティクスの数値シミュレーション

Numerical Simulation of the Kinetics of Crystallization in a Binary Eutectic System under One-dimensional Conductive Cooling

松本 光央 [1]; 寅丸 敦志 [2]

Mitsuo Matsumoto[1]; Atsushi Toramaru[2]

[1] 九州大・理・院・地惑; [2] 九州大・理院・地惑

[1] Earth and Planet. Sci, Kyushu Univ.; [2] Earth and Planet. Sci, Kyushu Univ.

天然に見られる火成岩が、地表付近に上昇したマグマの冷却・固化によって生じる現象は、移流、熱や物質の拡散、相変化（結晶化や揮発性成分の発泡）などの素過程から成ると考えられる。結晶数密度などの火成岩の組織は、これらの素過程の結果である温度変化の履歴を反映したものである。天然の岩石組織からその情報を定量的に抽出できる可能性がある。一方、それを可能にするためには岩石組織と各素過程とを定量的に結び付ける数理モデルを見出し、両者の関係を明らかにする必要がある。本講演では、このような要請に対する取り組みの一環として、1次元の伝導的冷却場における2成分共融系の結晶化カイネティクスの数理モデルとその計算結果を示す。

数理モデルは、熱と物質の拡散を記述した2つの拡散方程式と、結晶化のカイネティクスを記述した方程式とからなる。前者と後者は、拡散方程式の生成項を介して連動している。また後者の方程式は、Toramaru (2001) によって示されたものであり、初期温度がリキダス以上の場合には、室内実験の結果や天然の岩石組織の観察結果と計算結果とが一致することが示されている。拡散方程式を有限体積法、結晶化カイネティクスの方程式を差分法によってそれぞれ離散化し、数値解析を行った。計算アルゴリズムとしては、まず陽解法によって結晶化カイネティクスの方程式および拡散方程式の生成項を計算し、次にそれを用いて拡散方程式を陰解法によって計算した。計算領域はマグマと母岩とから成り、計算領域の端部は、計算の全期間において熱と物質の拡散の影響が及ばない程度に、マグマと母岩との境界から十分に離れた位置とした。初期状態としてマグマと母岩にそれぞれ一様な温度を与え、一定区間が完全に固化するまで計算した。

結晶化カイネティクスを支配する各種の無次元パラメータに現実的な値を与え、結晶化の潜熱の効果を表す Stefan 数を 0.0 から 0.3、熱拡散と物質拡散の比を表す Lewis 数を 10^2 から 10^5 まで変化させて計算を行った。その結果、Stefan 数が 0.2 以上、または Lewis 数が 10^2 以下の場合に結晶の数密度、平均粒径、体積分率が周期的に変化する分布が得られた。その一例を図に示す。それによれば、リキダス相である A 相および B 相の両方に周期的変化が見られる。B 相は晶出開始直後より周期的変化を示す。一方、A 相は晶出開始後暫くは周期的変化を示さないが、B 相の晶出後に周期的変化が出現している。これは、B 相の周期的な結晶化によって生じた、メルト中における周期的な A 相の過飽和度の上昇によって励起されたものである（共融点振動：寅丸（2006, 連合大会））。本研究では網羅的なパラメータ・スタディを行い、寅丸（2006, 連合大会）によって示されたこの共融点振動について次のことを明らかにした。1) 共融点振動の発生条件、2) 振動の幾何学的特徴とそのパラメータへの依存性、3) 振動の幾何学的構造における自己相似性の発現。

岩石組織の周期的な変化による縞構造は、長崎県平戸島の岩脈や新潟県佐渡島の岩床など一部の火成岩に見られる。今回のシミュレーションの結果は、これらの縞構造の形成過程を定量的に理解する上での重要な見地を与えるものであると考えられる。

Red = A, Blue = B

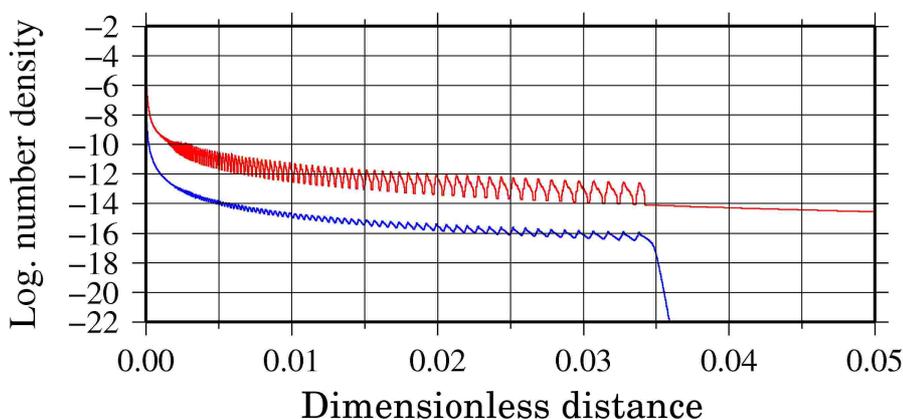


Fig. Cyclic distribution of crystal number density. $St=0.2$, $Le=10^4$.