

玄武岩質マグマ溜まりの冷却における熱対流の役割 ～ 利尻火山 沓形溶岩流～

The role of thermal convection on cooling of a basaltic magma chamber beneath Rishiri Volcano

栗谷 豪[1]

Takeshi Kuritani[1]

[1] 岡山大・固地研

[1] ISEI, Okayama Univ

<http://pmlgw.misasa.okayama-u.ac.jp/>

利尻火山・沓形溶岩流のマグマ溜まりの冷却における、熱対流の役割を考察した。1次元でのモデル計算と実際に推定されたマグマの温度・化学組成の変化を比較した結果、マグマの冷却は基本的にマグマ溜まり底部に発達する固液境界層からの低温分化液の混入のみで説明され、熱対流は大きな役割を果たしていなかった可能性が示唆された。しかし2次元問題として検討した結果、弱いながらも熱対流による冷却の効果が観察された。2次元モデルについては今後、特に多成分系マグマにおける固相 - 液相の相対運動にかかわるパラメータについて検討する必要がある。

地殻下に貫入して形成されたマグマ溜まりの冷却において、熱対流がどの程度重要な役割をはたしているかということは、岩石学において重要な論点の一つである (Marsh, 1989; Worster et al., 1990; Hort et al., 1999)。この問題について議論が続いている大きな理由の一つは、実際の天然観察からの制約がほとんど得られてこなかったことである。演者はこれまで利尻火山・沓形溶岩流からマグマの分化を支配する要因の抽出を行い、それに基づきマグマ溜まりの熱物質進化の定量化を試みてきた (e.g., Kuritani, 1999)。そして1次元でのモデル計算と実際の沓形マグマの温度・組成進化を比較することで、沓形マグマが基本的に熱伝導により冷却した可能性が高いことを示した (1999, 火山学会秋季大会)。しかし解析に用いられたモデルには、例えば固液境界層からの分化液の輸送について取り扱いが不十分である、といった問題が存在していた。そこで今回、1次元モデルにおいて固液境界層 - 主要部マグマ間の熱物質交換のさらなる現実化を図り、また2次元問題としても捉え、沓形溶岩流のマグマ溜まり内における熱対流を検討した。

1次元モデルでは、冷却中のマグマ溜まりと周囲の地殻の熱バランスを考慮し、また多成分系熱力学計算を導入することによりマグマ溜まり内の温度構造と組成構造の時間進化を結びつけている。マグマ溜まりは sill 状であると仮定し、側方の壁への heat loss を無視した。マグマ溜まりを roof boundary layer、main magma body、floor boundary layer に分割し、熱対流は main magma 内のみでおこると考える。対流による熱流束は、物理的に意味は無いが roof boundary layer と main magma body の境界部における熱流束の比 ($X = F_t/F_c$: 熱対流/熱伝導) という形でパラメータ化した。Main magma は boundary layer fractionation により組成進化するが (1999, 火山学会秋季大会)、今回新たに main magma と floor boundary layer 内の粒間液は組成対流により熱・物質の交換をすると考え、また組成対流の効率は両者の密度差に比例して時間変化すると考えた。

計算は、リキダス温度 (約 1120 °C) のマグマが 200 °C の地殻に貫入したと仮定して行った。沓形溶岩流マグマの温度・組成の進化について、実際の観察値と1次元モデルによる計算値とを比較した結果、main magma の温度低下は基本的に floor boundary layer からの低温分化液の混入のみで説明され、以前よりもさらによく観察値を再現することがわかった。また、沓形マグマの結晶量の変化も、熱対流による heat loss があると説明されないことも明らかになった。この結果は、組成対流の効率やマグマ溜まりの大きさ (500-2000 m) に依存しない。

1次元モデルから、沓形溶岩流のマグマ溜まりの冷却において熱対流が重要な役割をはたしていなかった可能性が示唆されたが、2次元的な熱・物質移動を考察するため2次元問題として検討を行った。2次元モデルにおいては、マグマ溜まり内の熱物質移動を連続体モデル (e.g., Bennon and Incropera, 1987) を用いて固液2相系として取り扱った。運動量・エネルギーの保存式は有限体積法に基づく SIMPLE アルゴリズム (Patankar, 1980) により数値的に解を求めた。単純化のため、マグマの bulk の組成変化は考えず、またマグマ中の結晶量・密度・粘性・潜熱等については沓形溶岩流の代表的な試料の相平衡図に基づいてそれらの温度変化を計算し、温度の2次関数として表現した。

計算は、幅 5000 m・高さ 500 m の sill 状のマグマ溜まりを想定して行った。その結果、複数の対流セルを形成し、弱いながらも熱対流している様子が見られた。マグマ溜まりの最高温度の変化は、1次元モデルでの $X = 0.8$ 程度で説明される。1次元モデルとやや異なった結果となった要因として、固相 - 液相の相対運動を支配する permeability や計算で仮定した Kozeny-Carman 式の、多成分マグマ系への適用の妥当性が不明であることが挙げられる (e.g., Oldenburg and Spera, 1991)。これらについて、今後さらに検討する必要がある。