

珪長質マグマ溜まりの同化分別結晶作用による微量元素・同位体組成変化の熱物質輸送モデル

A heat and mass transfer model for coupled assimilation and fractional crystallization in high-silica magma bodies

西村 光史 [1]

Koshi Nishimura[1]

[1] 京大・理・地球熱学

[1] Inst. for Geothermal Sciences, Kyoto Univ.

1. はじめに

マグマ溜まりにおける母岩の溶融と分別結晶作用は、多くの場合、同時に進行している。DePaolo (1981) は、同化分別結晶作用 (AFC) によるマグマの微量元素組成および同位体組成の進化を質量保存則に基づき定式化した。彼の式は、同位体組成プロット上の火山岩もしくは深成岩のトレンドを説明するのに有効であり、現在も広く用いられている。ただし、DePaolo (1981) モデルは、質量保存の微分方程式のみを解いているために、単位時間あたりに同化する質量と取り除かれる質量の比 (r) や元素分配係数 (D) を一定にしなければならないという制約がある。このうち、後者の分配係数については、高シリカ (76-78% SiO₂) の母岩とマグマ溜まりの場合、一定に近似できる (Anderson et al., 2000)。しかし、前者の r については、一定である保証はない。また、DePaolo (1981) の微分方程式は、暗黙のうちに、マグマ溜まり中の結晶量を 0 と近似しているが、これは非現実的であり、結晶量も時間と共に変化すると考えられる。本研究は、 r と結晶量の時間変化を考慮した、より現実的な微量元素組成および同位体組成の進化経路を明らかにすることを目的とし、熱物質輸送の視点から同化分別結晶作用のモデル化を行った。

2. DePaolo (1981) の質量保存式の改良

DePaolo (1981) の質量保存の微分方程式では、マグマ溜まり中にサスペンドした結晶量が無視されている。この仮定は、玄武岩質マグマのような、低粘性で速やかに結晶沈降が進行するマグマには有効であるが、結晶量の多い珪長質マグマには適さない。本研究では、DePaolo (1981) の質量保存式に結晶量を組み込んだ微分方程式を考案した。本研究の目的は、この微分方程式と、対流するマグマ溜まりにおけるエネルギー保存式 (Huppert and Sparks, 1988)、平衡条件式 (Nishimura 2006) を併せて解くことにあるが、 r とサスペンションの結晶量を一定とおけば、質量保存式だけを単独で解くこともできる。この場合の解析解から、サスペンションの結晶量が同化分別結晶作用の組成変化に与える影響を大まかに知ることができる。たとえば、結晶量 20% のサスペンションの場合、分配係数が小さい ($D=0.1$) とマグマの微量元素組成はほとんど DePaolo (1981) モデルの結果と変わらないが、分配係数が大きい ($D=10$) とマグマ組成は 2 桁以上 DePaolo (1981) モデルの結果より高濃度になりうるということがわかった。

3. 熱物質輸送モデルの適用

本研究では、以下のプロセスを 1 次元でモデル化する。(1) 激しく対流するマグマ溜まりの上部で母岩の溶融と同化が生じる (Huppert and Sparks, 1988)、(2) マグマ溜まり下部では、速度境界層が存在するため、結晶がストークス速度で沈降する (Martin and Nokes, 1988)。上述のサスペンションの結晶量を組み込んだ質量保存式、対流するマグマ溜まりにおけるエネルギー保存式 (Huppert and Sparks, 1988)、相関係における含水量の効果を検討した平衡条件式 (Nishimura 2006) を数値的に解くことにより、 r 、結晶量、微量元素・同位体組成の時間変化を計算した。メルト粘性が 10^5 Pa s の場合、初期には、結晶沈降率に対して同化率が高いため、マグマ組成は微量元素 vs 同位対比図上では、ほぼ混合線上にある。しかし、時間の経過とともに同化率が低下していくため、結晶分別の効果が大きくなり、組成は次第に混合線から離れる。マグマの温度が母岩の実効融点まで低下すると、同化が起こらなくなるため、同位対比の変化は止まるが、結晶沈降はその後進行するため、微量元素組成は分配係数に応じて変化しつづける。いくつかの天然の火山岩への適用例も紹介する。