

開放的マグマ系におけるエネルギー保存則：1次元定常融解モデルへの適用

Energy conservation law in an open magma system: application to a 1-D steady state melting model

小澤 一仁[1]

Kazuhito Ozawa[1]

[1] 東大・理系・地惑

[1] Univ. Tokyo, EPS

マグマの発生・進化過程を岩石の化学組成情報から読みとることを目的として開放的マグマ・固相反応系のエネルギー保存則を定式化した。これを、1次元定常の平衡融解モデルに適用し、海嶺下上部マントルにおける開放的融解過程について検討した。エネルギー保存則を適用するために必要な融解系の熱力学については、Walter and Presnall (1994) のCa-Mg-Al-Si-Na系の実験を採用した。上部マントルでの融解は、ほとんどが5相共存でおきるため、与えられた温度・圧力で液と固相の組成が完全に決まる。これを用いて、定常的に上昇するマントルのそれぞれの深さで、開放的過程が存在する場合でも融解反応のストイキオメトリーを決めることができる。

上部マントルにおける融解過程、特のその開放的な性質を天然の岩石や鉱物の化学組成に基づいて定量的に調べるために、開放的マグマ系の物質保存則を定式化した (Ozawa, 2001)。これを、かんらん岩の微量元素と主要元素濃度に適用し、これまでに、ホットスポット近傍の海嶺下上部マントルでは、ガーネット安定領域での融解とLREEに富んだメルトの流入が必要であることや、宮守かんらん岩体のカンラン石スピネルマントルアレイからはずれ、スピネルのCr#とFoが負の相関を示すトレンドが開放的融解によって形成されたことなどを明らかにした。これらの結果は、物質保存則だけで制約されたものであり、融解過程を完全には特定しきっていない。さらに融解過程を定量的に特定するためには、エネルギー保存則に基づく制約を課す必要がある。

そこで、開放的マグマ系のエネルギー保存則を、物質保存則同様に天然のマグマ系から情報を引き出しやすいように定式化した。粘性散逸、熱伝導、組成変化によるエントロピー変化などを無視できるとして単純化した後、1次元の定常融解モデルに適用した。海嶺下上部マントルにおける融解過程について、物質の流入が融解反応のストイキオメトリーに与える影響を評価した上で、溶け残りマントルかんらん岩の化学組成から開放的融解をより定量的に明らかにしようとする事が目的である。

エネルギー保存則の適用に当たっては、融解系の熱力学的な情報が必要である。この情報として、今回はWalter and Presnall (1994) によるCa-Mg-Al-Si-Na系の融解実験の結果を用いた。この系は5成分系で、Fe, Cr, Ti以外の主要な元素を全て含む。海嶺下のマントルの融解はほとんどが5相共存領域 (ol+opx+cpx+ (sp or pl or ga) +liq) でおきると考えられているので、5成分系の実験から、温度と圧力を与えると全ての相の組成が特定される。この利点を活用して、断熱上昇するかんらん岩系の融解反応のストイキオメトリーを、メルトの流入やメルトの分離の効果も考慮した上で決めることができる。

このアプローチは、Walter et al. (1995) の mass proportion method と基本的には同様であるが、エネルギー保存則を同時に解いていること、メルトの流入や分離の効果も考慮していること、そして連続的な固相-液相反応のストイキオメトリーを決定することができるという点において優れている。最後の点については、Walter and Presnall (1994) の実験結果 (各相の組成) の最適化処理が適切であることが前提である。エネルギー保存則としては、「等エントロピー」での上昇を適用した。これは、Asimow et al. (1997) が物質流入のない系について仮定したものを完全な開放的融解に拡張したもので、メルトの流入と流出によるエントロピー変化のみを考慮する。融解モデルとして検討したものは、(1) バッチ融解、(2) バッチ融解で臨界メルト分率に達した後分離速度一定、(3) バッチ融解で臨界メルト分率に達した後メルト分率一定 (critical melting model) (4) 完全に開放的な (メルト流入にも開いた) 融解である。

3.0 ~ 2.5 Gpa のソリダスから上昇を開始する場合には (スピネルかんらん岩の融解) (1) ~ (3) の融解のストイキオメトリーには、バッチ融解に比べて分離がある場合にカンラン石の結晶化が押さえられる事を除き、単斜輝石が多く消費され、かなりのカンラン石と斜方輝石が晶出する傾向に変わりはない。一方、メルトが流入する場合には、流入率とメルト組成によっては、融解のストイキオメトリーが大きく変化する場合がある。特に、融解初期 (深部) に、単斜輝石とスピネルの融解が押さえられ、斜方輝石が融解するようになり、かんらん石が多量に形成される。以上の検討から、開放的融解モデルを微量元素に適用する場合には、融解反応のストイキオメトリーをエネルギー保存則などによって正しく評価する必要があることが指摘できる。