

開放的マグマ系における物質保存則：マントルにおける主要交換成分の挙動

Material conservation law in an open magma system: behavior of major exchange components in the upper mantle

小澤 一仁[1]

Kazuhito Ozawa[1]

[1] 岡山大・固地センター

[1] ISEI

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定式化した開放的マグマ・固相反応系の物質保存則を主要成分に適用し、マントルでの開放的な融解や結晶化における主要交換成分の挙動を調べた。反応はそれぞれの鉱物の主要成分のメルト相への移動と交換反応によって記述した。物質の流入のない、いわゆるクリティカル融解モデルはどのようなメルト分率でも、かんらん石のMg#とNiO含有量間、およびスピネルのCr#間の正相関（マントルアレイ）を再現する。分化したメルトの流入について開いた融解過程では、メルト流入量が融解量の数倍程度以上の場合に、マントルアレイからはずれるトレンドが出現する。

物質流入について開いた開放的マグマ系は、系内での固-液反応速度に比べて物質の流入速度が小さい場合には、一般に液相の濃集微量元素等にその影響が現れるが、主要元素の挙動には大きな変化がない。流入程度が増加すると、当然反応の進行に伴い主要成分さえも顕著な変化を示し、融解や結晶化では単純に説明できない特異な鉱物組成や鉱物モードなどのトレンドを形成する可能性がある。このような特異なトレンドが物質流入によってのみ説明可能である場合には、天然の観察事実に基づいて流入物質の性質やその流入量を定量的に評価できるはずである。このような定量化を目的として開放的マグマ・固相反応系の物質保存則を定式化し、その有用性を微量元素について昨年の合同大会で示した。ここでは、この定式化を主要成分に適用し、融解や結晶化における主要交換成分の挙動および微量元素濃度との関連について検討した。

具体的な対象として、マントルにおける開放的の反応をとりあげた。主要な交換成分であるかんらん石のMg#とスピネルのCr#の間の相関およびかんらん石のMg#と主要な固相濃集成分であるNiO含有量の相関を調べた。これらの相関は、一般に多様であるが、正の相関が良く認められ、マントルアレイと呼ばれている (Arai, 1987; Takahashi et al., 1987)。マントルアレイは、Fo89でNiOを0.38wt%含むカンラン石とCr#が10程度のスピネルを含む始源的かんらん岩のバッチないしは分別融解によって形成されることが示されているが、個々のかんらん岩体で認められるトレンドはアレイ内でシフトしていたり、アレイに斜交したりする。こうしたトレンドを形成する開放的の反応系をマントルアレイを基準にして検討した。

考慮した元素は、Ca, Mg, Al, Si, Fe, Na, Cr, Ni, Tiである。反応はそれぞれの鉱物の主要成分のメルト相への移動とCa-Mg, Al-Cr, Mg-Fe, Ca-Naの交換反応、そしてNiとTiについては、分配平衡によって記述した。このうち、Niのかんらん石-メルト分配とMg-Fe交換反応については、組成依存性を考慮した。融解反応のストイキオメトリーといくつかの交換反応定数は、Walter et al. (1995)等を初期値として、10-15 kbarの融解実験のメルト組成を再現するように最適化した。

開放的融解モデルのうちで物質の流入のない、バッチ融解とレイリー分別融解の中間的ないわゆるクリティカル融解モデルは系内のメルト分率が増加するに従って、5相共存の融解では、かんらん石のMg#が大きい方向に融解トレンドがシフトする。従って、融解メルトの分離モードの変化のみではマントルアレイから大きくはずれたトレンドを作ることはできない。マントルアレイ上の溶け残りかんらん岩より分離しさらに結晶分別したメルトの流入と連続的メルトの分離を伴った開放的な融解過程（メルト分率 = ~ 2%）においても、流入律が融解律以下の場合には融解トレンドはマントルアレイ内に留まる程度の変化しかしない。この傾向は、マントルかんらん石アレイ（Fo-NiOwt%の正相関）で顕著である。従って、完全に開放的な融解においても、流入メルト量が融解メルト量を超えなければ、溶け残りかんらん岩の組成はマントルアレイを形成すると言える。

メルトの流入量が融解によって発生したメルト量を超え始めると、融解トレンドは急にマントルアレイからはずれはじめ、メルト分率が2%の場合には、10倍程度の流入で、スピネルのCr#とかんらん石のMg#およびかんらん石のMg#とNiO含有量がともに負の相関を示すケースが出現する。このようなトレンドは、スピネルのCr#が大きく、かんらん石のNiO含有量が大きいにもかかわらず、かんらん石が鉄に富むようなかんらん岩に対応する。特に注目すべきは、マントルアレイよりNiOに富むかんらん石を形成する事である。ただし、分化したメルトの流入が大きくなると、融解反応のストイキオメトリーや交換反応定数などの融解パラメータに影響を与える点と、より低温の分化メルトは融解フラックスとして作用する反面、系のエンタルピーを低下させるという点（エネルギー保存則の制約）をさらに考慮する必要がある。