

パラメータ化された1次元モデルによるマグマ溜り内の熱対流と地殻の熔融の数値計算

Numerical calculation of convection in a magma chamber and melting of the roof with a one-dimensional parameterized model.

藤坂 洋祐 [1]; 竹広 真一 [2]

Yohsuke Fujisaka[1]; Shin-ichi Takehiro[2]

[1] 九大・理・地球惑星; [2] 京大・数理研

[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ; [2] Research Inst. for Mathematical Sci., Kyoto Univ.

1. はじめに

花崗岩の成因の一つにモホ面に貫入した玄武岩質マグマによる苦鉄質な下部地殻の熔融が考えられている。貫入したマグマの周囲が熱伝導により加熱される状況の数値実験により、地殻の熔融のための貫入するマグマの条件がそれぞれ議論されている。Petford と Gallagher(1) はモホ面に玄武岩マグマが繰り返し周期的に貫入してきたとき、その周囲の熱伝導による加熱を数値計算で見積り、上方の地殻を効率的に熔融させる周期の短い貫入の場合でも下部地殻の熔融は進まないことを示唆した。それに対し Annen と Sparks(2) は玄武岩マグマと地殻物質の温度や物性を考えられている範囲内で大きく変え、貫入周期が長い数値計算を行い、下部地殻がより熔ける結果を得ている。しかしながらマグマ溜り内部では熱対流が生じている可能性があるため、融かされた地殻がマグマ溜りに取り込まれてしまい、下部地殻の熔融量が減少してしまうことが考えられる。そこで本研究では熱対流による熱輸送と、熔融した地殻の同化に伴うマグマ溜りの境界の移動を考慮したモデルを構築し、地殻の部分熔融量に与える影響を調べた。

2. モデル

モホ面に玄武岩マグマが貫入してくる状況を考えるために、シル状のマグマ溜りを想定して側壁の影響を無視し、鉛直下向きに空間座標をとった一次元系で扱う。物質の状態を表現する従属変数は温度と部分熔融度であり、それらを支配する方程式は熱フラックスの発散収束によりエンタルピーが変化することを表す熱輸送の式である。エンタルピーは内部エネルギーと部分熔融度に比例する潜熱との和として表される。内部エネルギーは下部地殻およびマントルそれぞれの密度および比熱と温度の積として与えられる。部分熔融度は下部地殻およびマントルそれぞれのリキダス温度とソリダス温度との間で温度に対し線形と近似した関数形を考える。部分熔融度が温度のみの関数であるので、部分熔融度と温度の関数であるエンタルピーも温度のみの関数として表され、各時間でのエンタルピーが求まれば温度と部分熔融度を診断的に得ることができる。部分熔融度が0.5を越える玄武岩マグマ溜りでは対流が生じて内部が混合されエンタルピーが一様になると仮定する。対流が生じているマグマ溜りの上下の境界での熱対流フラックスを、壁と流体の温度差の4/3乗則を用いて見積もる(3)。それ以外の領域では温度傾度に比例した熱伝導による熱フラックスを考慮した。マグマ溜りに接する外側領域の下部地殻とマントルの部分熔融度が0.5を越えると、その領域を対流しているマグマ溜りに取り込み、あらたに広がったマグマ溜り領域内で一様にエネルギーを再分配し新しいマグマ溜りの温度を求める。このとき簡単のために取り込まれた物質は玄武岩マグマと同じ物性、振舞いをするものとする。

3. 実験設定と結果

計算領域を30kmから40kmの間にとり、モホ面を35kmの深さに設定した。温度1300度厚さ200mの玄武岩マグマを200年周期で35kmの深さに瞬間的に5回貫入させた。このとき35km以深の物質は温度、物性を保ったまま新しい貫入の厚さの分だけ下方へずらす。6万年間時間積分を行い、熱輸送が熱伝導のみによる場合、および熱対流を考慮するが境界の移動がない場合の計算結果と比較した。その結果、地殻内で部分熔融が生じている領域の厚さは、熱伝導のみで熱が輸送される場合と熱対流を考慮するが境界は移動させない場合のどちらも800m程度の厚さの地殻が融解を経験する結果となったのに対して、熱対流と境界の移動をともに考慮する場合には400m程度の厚さの地殻しか熔融されない結果となった。この熔融領域の減少は、モホ面直上の厚さ400mの地殻が玄武岩マグマ溜りに同化された分だけ少なくなっているためである。さらに、下部地殻中の正味のメルト量は、境界の移動しない場合はともに200m程度なのに対し、熱対流と境界面の移動を考慮した場合は50mしかメルトが生成されない結果となった。すなわち、熱対流によって地殻が熱的に削られて境界が移動する場合は、境界の移動を考慮しない場合に比べ下部地殻中の熔融領域の最大厚さは1/2に、生成される正味のメルトの量が1/4程度まで少なくなる。このことからPetfordとGallagher(1)およびAnnenとSparks(2)らの部分熔融領域形成に必要なマグマの貫入周期と貫入量の議論を境界面の移動を考慮して見直す必要があることが示唆される。

参考文献

1) Petford, N. and Gallagher, K., Earth Planet. Sci. Lett., 5983, (2001), pp.1-17

2) Annen, C. and Sparks, R. S. J., Earth Planet. Sci. Lett., 203, (2002), pp. 937-955

3) Turner, J. S., Cambridge University Press, Cambridge, (1973), 368pp.