

地殻内マグマ溜り底部の assimilation with fractional crystallization 過程によるマグマの熱物質進化

Thermal and compositional evolution of magma by assimilation with fractional crystallization at the floor of crustal magma chamber

金子 克哉[1], 小屋口 剛博[2]

Katsuya Kaneko[1], Takehiro Koyaguchi[2]

[1] 京都大学総合人間学部, [2] 東大・新領域

[1] School of Earth Sciences, IHS, Kyoto Univ., [2] Frontier Sciences, Univ Tokyo

<http://www.gaia.h.kyoto-u.ac.jp/~katsuya/>

地殻中マグマ溜り底面における Assimilation with fractional crystallization の物理過程を室内流体実験により考察した。実験では、固体層の溶融が起こるとともに固体層と液体層の境界部で固液共存層であるマッシュ層が形成し、組成対流が起こって系の物質進化が進行する。結果として、固体の初期温度が高い場合あるいは固体の初期組成が結晶しやすい成分に富む場合、結晶化量と溶融量の比が系統的に増加することが明らかになった。このことは、マグマの組成進化の多様性において、マグマ溜りを構成する地殻の条件が重要な要因の一つであることを示唆する。

1. はじめに

大陸地殻中のマグマ溜りにおいて、Assimilation with fractional crystallization 過程(AFC)は、マグマ溜り下面において効果的に起こる。そこでは、溶融および結晶化によりできた分化した低密度メルトが上昇し、上部の高密度のマグマと混合し、マグマの岩石学的進化の多様性をもたらす。このような AFC によるマグマの分化は、もとのマグマ自身およびマグマ溜り下面の条件によって支配される。本研究では、マグマ溜り下面の温度組成条件が AFC に与える影響を明らかにするため、NH₄Cl-H₂O 二成分共融系を用いて、液が下面において初期温度組成を系統的に変化させた固体と接しさせる実験を行い、熱物質移動の性質を調べた。本発表では AFC にとって重要な結晶化量/溶融量比 (C/M 比) の固体条件による変化とその原因について考察する。

2. 実験および結果

実験では、NH₄Cl-H₂O 二成分共融系 (共融点温度 -15.4 °C, 共融点組成 19.8 NH₄Cl wt%) の 28wt% の飽和水溶液および共融点組成以上 NH₄Cl 濃度を持つ固体 (19.8, 28, 73 NH₄Cl wt%) を用いた。これらの液と固体の溶融結晶化における液の密度変化は、玄武岩マグマと大陸地殻のそれと定性的に同一である。水槽下部に目的の温度組成をもつ H₂O-NH₄Cl 混合物固体層を作り、液を固体層と接して、流体の運動および形成される領域境界位置の観察、温度と液組成プロファイルの測定を行った。固体は組成が異なっても、そのソリダスは共融点温度のまま変化しないが、NH₄Cl 濃度が大きくなるにつれて固体がソリダス温度で溶融するときの液相分率が低くなる。

固体の初期条件に関わらず、実験開始直後より、固体層の溶融による溶融境界の移動と、固体層と液の境界面における NH₄Cl 結晶の晶出および固体層の部分溶融による固液共存層 (mush) の形成とが同時に進行する。溶融液と mush 粒間液は、冷たいが NH₄Cl 濃度が低く密度が小さいため固液分離を起こし、プリュームとして上昇し、組成対流が発生する。Mush 中では、垂直方向に結晶の存在しないパイプ状の構造 (チムニー) が数多く生じ、プリュームは、チムニーを通して上昇する。Mush 上の液体のみの領域 (以下、液層と呼ぶ) は、この低 NH₄Cl 濃度のプリュームと混合し、時間とともに平均 NH₄Cl 濃度が小さくなっていく。実験開始直後では、非常に多くのプリュームが上昇し、液層内の温度組成は均質である。時間とともに、上昇プリュームの数は減少し、やがて上部ほど NH₄Cl 濃度が小さくなるような組成勾配が形成される。溶融境界の移動速度や温度プロファイルは、熱移動が伝導のみで起こっていると仮定した場合のものに近く、ここで起こっている組成対流は熱移動に対してほとんど影響を与えていないと結論される。

下面固体の初期温度組成の変化は、固体溶融速度や対流の強さなどに系統的な変化を与え、系の C/M 比を変化させる。固体温度が低くなるほど、固体に与えられた熱量に対する溶融量が減少するため、C/M 比は大きくなる。一方、固体の NH₄Cl 濃度が小さくなる程、C/M 比は大きくなる。これは、実験において、固体の NH₄Cl 濃度が小さいほど対流が強くなるという事実と、上昇プリュームが液層を十分に攪拌せず液層上部にたまっていくような組成対流が起こっていることに基づき説明される。固体の NH₄Cl 濃度が小さいほど、固体の部分溶融時の液相分率が大きく、mush がより大きな浸透率をもつため対流が強くなる。このとき、十分な攪拌が起こらない対流において、mush へ流入する液層下部の液は、低 NH₄Cl 濃度の上昇プリュームによって薄められにくいいため、結晶化の場である mush 中に供給される NH₄Cl (結晶成分) 量が増加する。その結果、結晶化が促進され、C/M 比が大きくなる。C/M 比や液の組成進化を定量的に予測するためには、今後、組成対流による混合現象に関する定量的モデルが必要であ

る。

3. マグマシステムへの応用

実験結果の天然系への応用の一例として、マグマ溜り下面が含水鉱物を含む地殻（カコウ岩～トーナライト）である場合、地殻の組成がマグマの組成進化に与える影響を示す。含水地殻物質では、 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 系のように、組成によってソリダスは変化しないが（ ~ 700 ）、ソリダスでの溶融時の部分溶融度が変化する。固体組成によるC/M比変化の実験結果は、マグマが下面において溶融しやすい成分に富んでいるカコウ岩と接する場合より、溶融しやすい成分の少ないトーナライトと接する場合の方が、組成進化に関してより溶融の影響を強く受けるという逆説的結論を示唆する。