

花崗岩質マグマ溜まりの冷却と結晶作用に与える H₂O の影響Effects of H₂O content on cooling and crystallization in granitic magma chambers

西村 光史[1]

Koshi Nishimura[1]

[1] 九大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ

従来の花崗岩マグマ溜まりの冷却モデルはソリダスにおいて結晶化するメルト量を少量と仮定しているが、花崗岩マグマの実験的・熱力学的研究からは少量の H₂O が存在する条件下では多量のメルトがソリダス温度で結晶化することがわかっている。本研究では H₂O 存在下でのソリダス温度におけるメルト量を考慮した熱輸送モデルの数値計算を行い、マグマ溜まりの冷却と結晶作用に与える H₂O の影響を議論する。H₂O=0.5wt.%では 4×10⁴ 年でマグマ溜まり全体の約 70%が結晶化し、結晶に富むクリスタルマッシュになる。これに対し、H₂O=4wt.%ではマグマ溜まり内部には冷却史を通して常に 30%以下の結晶量が保たれることになる。

花崗岩マグマ溜まりがある期間冷却されると、マグマ溜まり内部のすべてのマグマは結晶に富むクリスタルマッシュの状態になると考えられてきた。この考えはマグマ溜まりの冷却に関する多くの数値計算モデルによって支持されてきた (e.g. Peacock, 1989)。これらの冷却モデルはソリダスにおいて結晶化するメルト量を少量と仮定しているが、花崗岩マグマの実験的・熱力学的研究からは少量の H₂O が存在する条件下では多量のメルトがソリダス温度で結晶化することがわかっている。本研究では H₂O 存在下でのソリダス温度におけるメルト量を考慮した熱輸送モデルの数値計算をおこない、従来のモデルの結果と比較することによって、マグマ溜まりの冷却と結晶作用に与える H₂O の影響を議論する。

熱力学モデル 'MELTS' を用いた相平衡計算やハプロ花崗岩の実験によると、花崗岩組成を持つ液が 200MPa で結晶する場合、H₂O=0.5wt.% (aH₂O=1) ではソリダス温度で結晶化するメルト量は少量であるが、H₂O=4wt.%では 70vol.%のメルトがソリダス温度で結晶化する。この時、ソリダス温度 (water saturated) はいずれも 700 °C で等しいが、リキダス温度は前者が 1000 °C、後者が 800 °C である。これらの条件を考慮して、H₂O=0.5wt.%の場合は従来通りに結晶量と温度との関係を線形に仮定し、リキダスからソリダスに達する間に 100%結晶化が進行するように潜熱を計算するのに対し、H₂O=4wt.%の場合はリキダスからソリダスの間は 30%の結晶化を仮定し、ソリダス温度で残りの 70%の結晶化が起こるようにして潜熱の計算を行った。

マグマ溜まり (初期温度 1100 °C) の中心から母岩 (初期温度 150 °C) との境界までの距離が 1km の場合の 1 次元熱伝導を考えると、H₂O=0.5wt.%では 4 万年でマグマ溜まり全体の約 70%が結晶化し、結晶に富むクリスタルマッシュになる。これに対し、H₂O=4wt.%ではマグマ溜まりの温度勾配が緩くなり、6 万年でソリダス温度でほぼフラットになる。このときマグマ溜まり内部の結晶量は 30%で、マグマ溜まり全体がソリダス温度に達するが、マグマ溜まり内部では heat flow が生じなくなるため結晶作用はストップする。heat flow は固体--マグマ境界のみで生じるため、結晶作用はマグマ溜まりの外側のみでおこるようになる。すなわち水と氷の境界移動 (ステファン問題) と同じように固体--マグマ境界が移動するようになり、マグマ溜まり内部には冷却史を通して常に 30%以下の結晶量が保たれることになる。

マグマが対流する場合、H₂O=0.5wt.%ではマグマ溜まり中のメルトフラクションがレオロジカルな臨界メルトフラクション (30-50vol.%) に達すると対流が停止する (e.g. Huppert and Sparks, 1988)。このときマグマ溜まりの温度はリキダス温度とソリダス温度の間にある。ところが、H₂O=4wt.%ではマグマ溜まり中のメルトフラクションがレオロジカルな臨界メルトフラクション (water saturated では約 15vol.%) に達する前にマグマ溜まり中の温度差がなくなりレイリー数が臨界値に達することによって対流が停止してしまう。このときマグマ溜まり中の結晶量は 30%以下であり、その後は上述した熱伝導のプロセスにしたがって冷却が進む。すなわち、マグマ溜まりが対流する場合もマグマ溜まり内部には冷却史を通して常に 30%以下の結晶量が保たれることになる。

近年の花崗岩中のメルトインクルージョンの研究から、花崗岩は結晶時に多くの H₂O を含んでいたことが知られており、H₂O に富む場合の冷却過程が一般的であると考えられる。本研究の結果は、H₂O に富む花崗岩マグマ溜まりでは冷却史を通して常に固体-マグマ境界に明瞭な地震波反射面が観察されるであろうことを意味する。この特徴は花崗岩質マグマに特有のものであり、地震波データからマグマ溜まり中のマグマの組成を見積もる手掛かりとなりうるかもしれない。