

## マグマ溜まりの固化に伴う熱水の放出過程

### Evolution processes of hydrothermal fluids from a crystallizing magma chamber

# 篠原 宏志[1]

# Hiroshi Shinohara[1]

[1] 地調

[1] Geological Survey of Japan

マグマ性熱水鉱床の起源や地殻内での熱水の流動を論ずるために、マグマ溜まりの固化に伴う熱水の放出過程の検討を行った。マグマ溜まりからの熱水の放出過程を論ずるためには、マグマ溜まりの初期状態や冷却固化過程のモデルが必要であるが、これらのモデルの構築自体が未だ重要な研究課題である。そのため、とりあえず100km<sup>3</sup>で厚さ2kmの平板状で均質なマグマ溜まりが均質な地殻中にt=0で存在し始めたという非常に単純な場合についての思考実験を行い、その結果に基づいて熱水の放出過程に関する特徴の抽出を行った。

H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, S, Clなどの揮発性物質を含むマグマが地殻中で冷却固化されると、揮発性物質は結晶中にはほとんど取り込まれないため、マグマの結晶化と共に揮発性物質はマグマから熱水として放出される。沈み込み帯においては、地殻に供給されるマグマのわずか1割しか地表に噴出せず、残りの9割は地殻中で固化している、という見方もある。マグマ溜まりの固化により放出された熱水は、マグマ性の熱水鉱床の起源としてその挙動に注目されているが、マグマからの放出過程について論じた研究は未だ少ない。例えば、巨大鉱床と呼ばれるサイズの鉱床（例えば銅鉱床であれば10Mtonクラス）の供給源としては、100km<sup>3</sup>クラスのマグマ溜まりが必要となる。このような広範囲のマグマ溜まりから如何にしてマグマ性の熱水が鉱床生成の場に集中したのであろうか？

マグマ溜まりからの熱水の放出過程を論ずるためには、マグマ溜まりの初期状態や冷却固化過程のモデルが必要であるが、これらのモデルの構築自体が未だ重要な研究課題である。そのため、とりあえず100km<sup>3</sup>で厚さ2kmの平板状で均質なマグマ溜まりが均質な地殻中にt=0で存在し始めたという非常に単純な場合についての思考実験を行い、その結果に基づいて熱水の放出過程に関する特徴の抽出を行った（Shinohara and Kazahaya, 1995）。

マグマ溜まりの冷却固化過程における最大の不確定要素は、冷却固化に伴うマグマ溜まり内の流動分別もしくは混合の有無・様式・程度である。マグマ溜まり内で冷却に伴ってマグマの流動が生じない場合には、熱伝導でマグマ溜まりの冷却過程が支配される。その際には、マグマの固化は温度がsolidus以上liquidus以下である「結晶化進行ゾーン」のみで生じ、そのゾーンが外側から内側に進行するという形で進む。このゾーンの厚さは2kmのマグマ溜まりの最大で5%程度に止まり、各部分のマグマが結晶化を開始してから固化し終わるまでに要する時間も、マグマ溜まり全体の固化に要する時間の1%以下でしかない（厚さ2kmマグマ溜まりの固化には数万年程度の時間を要する）。つまり、放出される熱水組成の観点からは、マグマ溜まりは少量ずつが順次完全に固化し、各バッチに含まれていた揮発性物質が完全に放出される、という形の熱水放出を繰り返しているとみなすことができる。そのため、放出される熱水の組成は時間変化せず、放出量がマグマの固化速度に応じ時間と共に減少することになる。

これに対し、マグマ溜まり内でマグマの流動が生ずる場合、冷却速度が増大するのみならず、マグマ固化および揮発性物質の濃縮・発泡がマグマ溜まり内でより均質に生ずることになる。もし、マグマ溜まりが常に均質に混合されているのであれば、放出される熱水の組成は、初期には溶解度の低い成分（例えばCO<sub>2</sub>）に富み、末期には溶解度の大きな成分に富む、という時間変化が生ずることが期待される。実際、今までに提出されている熱水放出過程のモデルはこのような場合のみを議論していた。しかし、マグマ溜まり内の均質な混合が完全な固化の直前まで生ずることは考えられず、少なくとも固化過程の後半には「結晶化進行ゾーン」に支配された固化の様式に至ると考えられる。

マグマの結晶化により生じた気泡（熱水）は、浮力でマグマ中を移動するため、特に機械的に混合されているマグマ溜まり内で生じた気泡は短時間でマグマ溜まり上部に濃集される。また、結晶化進行ゾーン内で生じた気泡は、このゾーンの持続時間（結晶化開始から完全に結晶化するまでの時間）が短いため、実質的にその中での移動の有無は、マグマ溜まり全体からの放出過程を議論する上では無視できる。それに対し、結晶化進行ゾーンの外側の完全に固結したマグマ(sub-solidus magma)中での熱水の移動様式により、マグマ溜まりから放出される熱水流動の分布などが規制される。熱水の離溶は結晶化の進行と同時に起きるため、初期状態としては全ての粒間に熱水は分布しており、熱水はsub-solidusマグマ中を浸透流として流れることが考えられる。マグマの固化速度から求められた放出速度で熱水を定常的に輸送するために必要な浸透率はわずか10<sup>-18</sup>(m<sup>2</sup>)である。この値は粒間に熱水を含まない通常の花崗岩に匹敵する物であり、熱水が粒間に分布したsub-solidusマグマの浸透率はより大きな値であることが期待される。つまりsub-solidusマグマは熱水の移動を規制するとは考えにくく、熱水の集中度などは外部要因に依存すると推定される。