

マグマ破断面のヒーリング実験：火山性地震の発生機構に関する物質科学的研究

Healing experiments on magmatic fractures: implications for mechanism of volcanic seismicity

吉村 俊平^{1*}, 中村美千彦¹

Shumpei Yoshimura^{1*}, Michihiko Nakamura¹

¹東北大・理・地球物質惑星科学

¹Dept. Earth Science., Tohoku University

<研究背景>

珪長質マグマが上昇し、溶岩ドームを定置させる際、周期性をもつ微弱な地震がしばしば観測される。たとえば1996年から98年にかけてスフリエル火山で溶岩ドームが形成された際、深さ<1.5 kmを震源とする小規模地震が繰り返し発生した。その周期は、数時間~数10時間である

(Voight et al., 1999)。開析された火道岩石の地質学的観察から、このような反復性を持つ地震は、RFHサイクル (repeated fracturing and healing), すなわち、①剪断変形による高粘性のマグマの脆性破壊, ②ひずみ速度の低下または温度上昇による流動変形, ③圧着された破断面のヒーリング, という3過程の繰り返しによって発生すると提案されている (Tuffen et al., 2003, Tuffen & Dingwell, 2005)。この仮説を実証するため緻密な溶岩を使用した岩石破壊実験が行われ、破壊の素過程が明らかにされつつある (Tuffen et al., 2008)。一方、破断面が焼結し、機械的な強度が回復するヒーリングのメカニズムは、火山性地震の周期性を理解するために重要であるにもかかわらず、ほとんど理解されていない。そこで本研究では流紋岩質メルトの切断面の高温圧着実験を行い、ヒーリングの素過程を明らかにするとともにその速度を測定した。ヒーリングはマグマ中の脱ガス通路を閉鎖する過程でもあるので、そのメカニズムを理解することは脱ガス効率・総量を推定する上でも重要性を持つ。

<実験手順>

天然の黒曜石から直径4.7mmの円柱をくり貫き、上下を平らに切断したコア (高さ5.6mm) を用意した。これを2本、底面同士が接触するように1つの円筒型試料室内に入れ、850-1000°Cで0.5-94時間加熱した。この黒曜石は0.6 wt%の含水量を持つため、加熱すると発泡・膨張する。このとき、試料室容積は一定に保持されているため、2本のコアはガス圧で互いに押し合い圧着される。その応力は、溶解度則および気体の状態方程式から1.6-3.2 MPaと見積もられる。2つのコアの接触面は、カッターによる切断面そのままのもの (ラフ) と、鏡面研磨したもの (スムーズ) の2種類を準備し、対照実験を行った。

<ヒーリング時間の決定方法>

黒曜石円柱は加熱によって発泡・圧着し、接触面の不連続はやがて消滅した。ヒーリング完了のタイミングは、水の拡散を用いる以下の方法で決定した。高温状態では、発泡メルトの表面は脱水し、外側に向かって低下する含水量プロファイルが形成される。コア同士の接触部を横断するライン上では、接触面が残っている間は、両側から低下するV字型プロファイルが発達してゆ

く、ところが接触面の焼結が進行・消滅すると、拡散の境界条件も失われる。その結果、V字プロファイルの溝は次第に浅くなり、変曲点を持つ滑らかな形状に変化しながら均質な水平線に近づいてゆく。この性質を利用し、実験で得られたこのような含水量プロファイルを水の拡散プロファイルで最もよくフィッティングできるように、境界条件の消滅時間を決定した。この時間は、接触部分においてメルトの化学結合が確立されたことを端的に表すため、ヒーリング完了時間の代表値と考えることができる。

<結果と考察>

ヒーリング時間は、温度と表面の粗さに強く依存した。ラフな表面を用いた実験では、850、900、950°Cで、それぞれ70、4.6、0.23時間と決定されたのに対し、スムーズな表面の実験ではそれに比べて1桁早く、850、900°Cでそれぞれ1-3、0.5-0.6時間であった。ヒーリング速度の活性化エネルギーは、ラフ、スムーズの場合でそれぞれ 598.6 ± 1.4 、 282.8 ± 123.9 kJ/molであり、それぞれ粘性およびSiO₂の自己拡散のそれとよく似た値を示した。このことから、ヒーリングは2つのステップ、すなわち、粘性流動によって接触面の形状を大まかに調整するステップ (I) と、拡散によって原子レベルで微調整を行うステップ (II) からなると考えられる。表面がラフな実験ではステップ (I) に長時間が必要だった一方、スムーズな実験では、大きな粗さはすでに取り除かれているためステップ (I) は省略され、短時間でヒーリングしたと理解できる。これまで、ヒーリング時間は粘弾性体の緩和時間で代用されてきたが、本実験で得られた時間は、スムーズな場合でも、この見積もりより数桁長い（緩和時間は、たとえば、850°C、0.5wt%の含水量で0.37秒）。実際のマグマ破断面には数100ミクロン程度のマグマ自体の破碎粒子がしばしば詰まっているので、ラフな実験結果のほうがより天然を再現していると考えられる。この結果を適用すると、RFHサイクルの周期は観測されている地震周期、 $10^4 \sim 10^6$ 秒と調和的となる。

キーワード: マグマ, 破断面, ヒーリング, 地震活動, 脱ガス

Keywords: magma, fracture, healing, seismicity, degassing