

気泡ダイナミクスから見た、急減圧に伴う発泡マグマの挙動分岐図

A tree diagram for responses of bubbly magma on rapid decompression base on bubble dynamics

市原 美恵 [1]; 亀田 正治 [2]

Mie Ichihara[1]; Masaharu Kameda[2]

[1] 東大・地震研; [2] 農工大・工・機シス

[1] ERI, Univ. of Tokyo; [2] Mechanical Systems Engineering, TUAT

マグマ破碎基準の定式化をめくり、過去10年以上にわたって、活発に議論が展開されてきた。本研究では、複数の破碎モードとそれに至る道筋を考察し、急減圧を受けた発泡マグマの挙動の分岐図を作成する。そして、個々の分岐を支配するパラメータについて、気泡膨張のダイナミクスの観点から統一的に整理する。

これまで、衝撃波管を用いた減圧破碎実験が、マグマを模擬する様々なアナログ物質を用いて行われ、マグマ破碎過程のイメージを形作る上で重要な役割を果たしてきた。一方で、実験室でみられる現象は多様で、どの実験がどのような噴火により似ているのか、或いは、異なっているのか、そして、異なる実験の間や、実験室と実現象の間の相似性や違いを決める要因が何であるのか、十分に整理されていない。例えば、Alidibirov and Panov (1998) と、Mader et al., (1994) の結論を比べてみると、前者は、「破碎は破碎物の加速に先行して発生する」とし、後者は、「Foamの加速は、破碎に先行して起こる」としている。Ichihara (2008) は、マグマ破碎の様式として、双方とも起こり得て、前者を固体的破碎、後者を流体的破碎と考えた。一方で、実際の爆発的噴火の観測事実やモデルを見ると、急減圧を受けて、マグマが膨張と上昇を開始し、やがて固体的破碎に至る、という、膨張が先行する固体的破碎が発生しているようである。このような破碎現象に対して、ほぼ静止している媒質中を破碎面が進行するという、衝撃波管実験で見られる固体的破碎がどのように関係しているのか、明確な説明はなされていない。そこで、3つの破碎形態、すなわち、(1) 膨張前の固体的破碎、(2) 膨張後の流体的破碎、(3) 膨張後の固体的破碎の発生条件について、単一気泡の壁にかかる応力に注目し、統一的に整理する。

急減圧を受けた気泡のダイナミクスを支配する特性時間は、粘性支配の気泡膨張 (τ_{vis})、慣性支配の気泡膨張 (τ_{in})、拡散支配の気泡膨張 (τ_{dif})、粘弾性物質の緩和時間 (τ_{rlx})、外部から与えられる減圧時間 (τ_{dec})、そして、気泡壁への応力蓄積時間 (τ_{ws}) がある。これまでの室内実験と理論計算から、急減圧を受けた発泡マグマの挙動は、これらの特性時間を基準として予測されることが分かってきた。

まず、急減圧を受けた後、気泡が膨張する前に気泡壁に応力が蓄積する場合と、応力がかからずに膨張が開始する場合があります。前者の発生する条件は、 τ_{vis} が τ_{dec} より大きく、かつ、 τ_{rlx} が τ_{in} より大きく、かつ、 τ_{vis} が τ_{rlx} より大きいことである (Ichihara, 2008)。さらに、模擬物質を用いた衝撃波実験の結果によると、蓄積した応力が十分に大きい場合には、固体的破碎が発生するが、減圧時間と粘弾性緩和時間の関係によって、その限界応力が変化し、さらに、破碎の発生に時間遅れが生じることが示されている (Kameda et al., 2008, 2009)。より一般性を持たせるため、減圧時間を気泡壁への応力蓄積時間に置き換えて表現すると、限界応力は、 τ_{ws}/τ_{rlx} に依存し、また、破碎の時間遅れは τ_{ws}/τ_{rlx} が1より大きい時発生するといえる。

次に、破碎前に気泡が膨張した場合の過程をたどってみる。この場合にも、固体的破碎の発生については、膨張前の破碎と同じ基準が適用できると仮定する。すなわち、 τ_{ws}/τ_{rlx} が十分小さく、気泡壁の応力がある限界値を超えることであるとす。気泡の膨張には、気泡壁の粘性に支配される場合と、慣性に支配される場合がある。前者の発生条件は、 τ_{rlx} が τ_{vis} がより小さく τ_{in} より大きいことである。この場合、固体的破碎へ至る過程として重要な役割を果たすのは、マグマから気泡内への水の拡散である。水の拡散は、膨張による気泡内圧力低下を妨げ、応力蓄積に寄与するほか、マグマの粘性をあげることによって、 τ_{rlx} を増加させる。さらに、膨張によって気泡壁が薄くなることから、応力蓄積と水の拡散に正のフィードバックとして働き、固体的破碎の発生基準を満たす状況が生じる。一方、慣性に支配される膨張の中でも、気泡壁の変形に対して、流体の弾性が卓越する場合と、粘性が卓越する場合があります。前者の発生条件は、 τ_{rlx} が τ_{vis} より大きいことである。これは、ポリマー溶液やゼラチンなど、流体の剛性率が小さい場合に満たされる条件で、マグマでは発生しない。この条件下での気泡の破裂は、ゴム風船の破裂に近いものになる。一方、粘性変形の卓越した慣性支配の気泡膨張では、気泡壁に応力が蓄積しないため、固体的破碎は生じない。