

ビーカーの中の噴火 - マグマの発泡とマグマ溜りの対流の再現 -

Volcanic eruption in a beaker: bubble formation and convection in a magma chamber

並木 敦子[1], 畠山 唯達[2], 栗田 敬[3]

Atsuko Namiki[1], Tadahiro Hatakeyama[2], Kei Kurita[3]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・地球惑星科学, [3] 東大・地球惑星

[1] Dept. Earth Planet. Sci., Univ. of Tokyo, [2] Dept. of Earth and Planetary Sci., Univ. Tokyo, [3] Dep. Earth & Planet. Phys., Univ. of Tokyo

火山活動の中で発泡現象は最も重要なプロセスの一つである。一般にマグマは大気より重い。しかし、この重いマグマが爆発的噴火によって噴煙柱を形成し、その破片は大気圏までも吹上る。この原動力となっているのは揮発性成分の発泡であると考えられている。しかし、これまでマグマの発泡のダイナミクスを直接的に扱った研究は少ない。何故ならば、実験でマグマを取り扱うには岩石を加熱、加圧して熔融させなければならないが、加圧した状況での大規模な体積変化が生じる実験は非常に難しい。また、発泡現象は大変多くの移動境界を含むため数値計算で取り扱うのは不可能である。そこでアナログ実験の出番である。しかし、これまでアナログ実験は試みられてきたものの、適度に揮発性成分を含み、常温常圧に近い状況で発泡してくれる最適なアナログ物質は未だ見つかっていない。

今回我々は発泡する為の温度圧力条件が実験室で簡単に実現できる最適なアナログ物質を発見した。しかもこれは安価であり、入手しやすく廃棄にも神経を使う必要がない、牛乳である。牛乳に含まれるタンパク質は長いチェーンを持ち沸騰する際の核形成及び発泡を促進する。また、牛乳のタンパク質の主成分はカゼインであり、気泡をとりまくカゼインが気相と触れる事で凝固し、気泡を支える役目をする。この牛乳の持つ性質は Si 成分に富み、長いチェーンを持ち、外気と接触する事で固化し、爆発的噴火をするシリケートマグマと極めて類似している。

本研究では牛乳と粘性の高い生クリームを用い、これを下面から加熱し、沸騰させ、その体積変化、対流パターン、気泡の形状、及び気泡のサイズ分布について観察した。加熱にはホットプレート、水槽には高さ 30 cm のビーカーを用いた。

生クリームを加熱し液温が 100 度に達すると沸騰が始まり、以下の3つのモードが観察された。1)、ビーカーの底から細かな気泡が吹き上がり始める。一つ一つの気泡のサイズは大部分が 1mm 以下の小さい物である。生クリーム中には一様に気泡が分布し、気泡は分散層として生クリームと共に対流する。2)、気泡同士の合体が見られるようになる。合体を始めると気泡のサイズは成長し、大きい物は直径が 1cm を越えるようになる。各気泡が大きくなるに従い液体の体積が膨張する。大きい気泡程早い速度で上昇する為、大きい気泡とその周囲が上昇域になる。小さい気泡は下降する生クリームに引きずられて下降する。この結果気泡間に相対速度が生じ、気泡の合体が促進される。3)、更なる加熱を続けると、生クリーム中の水の割合が減少し気泡の生成が減少する。この結果、大きな気泡から消え始める。同時に対流層の体積も減少する。1)から3)のモードを通して液温は 100 度であった。従って、常に生クリーム中の水が沸騰する事により、発泡が起こっていた事がわかる。また、各モードを通して気泡の形状は球形であり液全体に分布し、組織は火山岩で観察される物と大変類似している。火山岩中の気泡のサイズ分布には冪乗則が見られ、その係数は 2-3 程度と言われているが生クリームも同様の冪乗則を示した。1)、2)、3)それぞれのモードで係数は 2 と 3 の間である。しかし、1)から2)、及び2)から3)への遷移過程では2種類の冪乗則が見られ、時間発展の様子が見られた。

牛乳は生クリームよりも水分比が多く粘性が低い為、生クリームとは全く異なる発泡をする。粘性が低い為、気泡の周囲に出来る粘性境界層は薄く、気泡と液相との相対運動が容易である。従って沸騰に伴い生成された気泡は生成直後に液層の上端まで上昇し液相と分離され、気泡が多面体構造で連結される別の層を作る。この層の体積の大部分は気体であり、液体は気泡間の薄い平面状の液体膜として存在するだけである。ここでは気泡同士は接しても合体しない。全ての気泡は同じ速度で上昇し、ある高さになると上端の気泡は弾けて消滅する。気泡の層と液層との境界からは常に気泡が供給され、気泡の層の高さは一定に保たれる。更に加熱を続けると揮発性成分(水分)の比が小さくなり、粘性が上がり、気泡の境界が厚くなり、多面体が球形に近づく。しかし、気泡層と液層とは分離したままであり、気泡同士の合体や、気泡間の相対運動は見られない。この状況では全ての気泡のサイズはほぼ等しくなる。よってサイズ分布は指数分布を示す。

火山岩に見られる気泡のサイズは指数分布を示す物と冪乗則を示す物がある事が知られているが、その成因について詳しくは分かっていない。本研究の結果は粘性率による気泡の対流パターンの違いが気泡のサイズ分布に影響を与える事を示唆する。