

過剰圧が低い場合の火山灰生成モデル

A model for volcanic ash formation under low excess gas pressure

後藤 章夫 [1]

Akio Goto [1]

[1] 東北大・東北アジア研セ

[1] CNEAS

静かな噴火での火山灰生成を説明するため、流動によるメルト破壊を取り入れて、マグマ内の気泡のガス圧が低い場合にも適用できる定量的なモデルを考えた。マグマ内の泡の一つとして、シャボン玉のような独立した気泡を考える。それが成長するとき、気泡壁が引き延ばされる量は気泡中心に近いほど大きいので、気泡壁内にはひずみ速度が生じる。それをメルトの破壊条件に当てはめると、火山灰生成の可否は気泡の半径、壁厚、及び気泡の過剰圧で決まる。例えば過剰圧が $3 \times 10^{*6} \sim 3 \times 10^{*5}$ Pa (30 ~ 3気圧) でも、(気泡半径) / (気泡壁厚) が100 ~ 1000ならば火山灰が生成されることになる。

火山噴火をシミュレートする際、マグマの破碎条件として気泡の体積分率が0.75に達することを与える場合が多い。これは球の六方細密充填率に相当するこの値に達すると、気泡は自由に成長できなくなり内部の圧力が高まって破碎に至るという考えに基づいている。このモデルはマグマ破碎の条件として高い気泡の過剰圧を必要とするが、具体的にどの程度の圧力が必要かという定量的な解釈はおこなっていない。一方、実際の火山においては音もなく静かに灰を吹き上げるタイプの噴火もしばしば見られ、少なくとも火山灰生成に関しては、比較的低い過剰圧でマグマ破碎が起こっている場合もあると考えられる。そこでWebb and Dingwell(1990)による、流動によるメルト破壊を取り入れ、比較的低い過剰圧での火山灰生成を説明できる定量的なモデルを考えた。

シャボン玉のような、薄膜で囲まれた独立した気泡を考える。これはあぶく状になったマグマの表面にある気泡の一つを想定している。気泡の成長によって気泡壁を作る液が引き延ばされる度合いは、気泡の中心に近いほど大きい。そのため気泡壁には気泡の成長に伴いひずみ速度が生じる。Webb and Dingwell(1990)によると、珪酸塩メルトは液体状態であってもひずみ速度が十分に大きければ破壊を起こす。破壊が起こる条件はひずみ速度 ϵ' とメルトの粘性係数 η のかねあいであり、

$$\log G - \log \eta - \log \epsilon' < 2 \quad \dots!$$

で与えられる。Gは剛性率で、メルトの組成や温度によらず 10^{*10} (Pa)程度の値をもつ (**は累乗を示す)。したがって気泡の成長によるひずみ速度がこの条件を満たすなら気泡壁の破壊が起こる。これが連鎖的に起こればあぶく状マグマは全体として破碎し、火山灰が生成されることが考えることができる。気泡壁内のひずみ速度は半径方向に変化するが、その平均値は、単位時間・単位体積あたりの粘性によるエネルギー損失Dを用いて

$$\epsilon' = (D / \eta)^{**}(1/2) \quad \dots"$$

で見積もられる。

Sparks(1995)によると、気泡の半径方向の成長速度 R' は、気泡の半径 R 、薄膜の厚さ h 、薄膜の粘性係数 η 、気泡の過剰圧が ΔP のとき

$$R' = (\Delta P R^{**2}) / (12 \eta h) \quad \dots\#$$

で与えられる。 $h \ll R$ のとき、ガス膨張によって気泡壁が単位時間・単位体積あたりにされる仕事 W' は

$$W' = \Delta P R' / h \quad \dots\$$$

となる。これが粘性流動によって散逸する(すなわち気泡壁がもつ運動エネルギーは変化しない)なら、 $D = W'$ とおいて", #, \$より

$$\epsilon' = \Delta P R / (\eta h^{*2} 3^{**}(1/2)) \quad \dots\%$$

これと!より気泡壁の破壊条件として

$$\Delta P R / h < 3 \times 10^{*8} \text{ (Pa)} \quad \dots\&$$

が得られる。これは過剰圧が小さくても、壁の厚さが気泡半径に比べて十分に小さければ火山灰は生成されうることを意味する。例えば ΔP が $3 \times 10^{*6} \sim 3 \times 10^{*5}$ Pa (30 ~ 3気圧) と、爆発的噴火で考えられる圧力よりかなり低い時でも、 R/h が100 ~ 1000ならば火山灰が生成されることになる。&に粘性係数が含まれないのは、メルトは高粘性の時は小さなひずみ速度でも破壊を起こし、逆に低粘性の時は大きなひずみ速度が容易に得られるためである。

ここではシャボン玉状の気泡が半径方向に一樣に成長する場合、どのような条件がそろったときに火山灰が生成されうるかを考えた。一方実際のマグマ内では、周囲の気泡によって成長が一方向に制限されたり、壁の薄い場所で選択的に成長が起こることも考えられる。その場合は、成長部分をそれと同じ曲率及び壁厚をもつ気泡の一部分と見なすことで、このモデルを適用できるだろう。同様に、マグマ表面での巨大な気泡の破裂によって

起こるストロンボリ式噴火にもこのモデルは適用可能と考えられる。

このモデルに従うと、静かな噴火ほど、火山灰のもととなった気泡壁の厚さと気泡半径の比は大きいはずである。火山灰の形状を鏡下で観察することで、両者の比を見積もることは可能だろう。その値を爆発的噴火と静かな噴火とで放出された火山灰について比較すれば、このモデルの検証につながる。もしこのモデルの妥当性が確かめられたなら、火山灰の形状から過剰圧の見積もりが可能になるかもしれない。