

1次元定常火道流の破砕面におけるユゴニオの関係とエントロピー条件

Hugoniot relationship and entoropy condition at magma fragmentation surface

小屋口 剛博[1], 三谷 典子[2], 市原 美恵[3], 井田 喜明[2]

Takehiro Koyaguchi[1], Noriko Mitani[2], Mie Ichihara[3], Yoshiaki Ida[2]

[1] 東大・新領域, [2] 東大・震研, [3] 東北大・流体研・衝撃波セ

[1] Frontier Sciences, Univ Tokyo, [2] Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo, [3] SWRC, IFS, Tohoku Univ.

爆発的な火山噴火においては、マグマが破砕して多量の細粒火砕物を形成することが本質的な役割を果たす。マグマの破砕のメカニズムを理解するために、1次元定常火道流の破砕面におけるユゴニオの関係とエントロピー条件を調べた。ここで得られた結果は、定常的な爆発的噴火（例えばプリニー式噴火）におけるマグマの破砕過程に直接応用できるばかりでなく、非定常な火山爆発におけるマグマの破砕過程の物理素過程を理解する上でも有用である。

マグマが火道中を上昇すると、減圧によって気相が析出し気泡となる。この気泡を含むマグマの流れ（気泡流）が減圧されると、気泡内の気相圧が液相圧よりも高くなり各気泡が成長する。三谷他（本セッション）によると、定常的な火道流では気泡流のチョーキング条件付近で（1）気相圧と液相圧の差が著しく増加し気泡周辺に応力が溜まる、（2）液相圧が極端に下がり引っ張り応力が働く、（3）気泡流全体の歪み速度が大きくなる、などの現象が起こり、マグマの破砕に至る。本研究では、これら破砕条件によって、破砕面で満たされるユゴニオの関係やエントロピー変化がどのように変わるのかについて系統的に調べた。

今、破砕面において、高圧の気相圧をもつ泡が破裂することによって、物理量が不連続に変化する状況を考える。破砕前（以下「状態1」と呼ぶ）では気泡内に閉じこめられた気相圧が平均圧力（気相圧と液相圧を体積分率で重みをつけて平均した圧力）よりも高い状態にあるが、破砕後（以下「状態2」と呼ぶ）には全ての圧力が一樣になるものとする。また、状態1, 2のいずれにおいても液相と気相の間の相対速度は無いものと仮定する。状態1から状態2に変化した際の質量保存、運動量保存、エネルギー保存から、破砕面でのユゴニオの関係を得ることができる。定常火道流の問題では、破砕面の伝播速度0であり既知である。また、三谷他の結果を用いて、マグマの破砕条件に到達した時点で状態1の全ての熱力学的量を既知量として得ることができる。従って、状態2に関する4個の未知量（密度、圧力、速度、内部エネルギー）を、上の3つの保存式に状態2に関する状態方程式を加えた4式から一意に決定することができる。具体的には、これらの未知量を求める関係は、2次方程式の解という形で得られる。破砕面が実現するためには、（1）上の2次方程式が実根をもつ、（2）状態2の圧力が状態1の平均圧力より小さかつ正の符号をもつ、（3）流体粒子がこの破砕面を超えたときにエントロピーが増大するという、3条件が満たされなければならない。

上の条件のうち第3番目のエントロピーが増大するか否かという条件は、破砕過程の微視的な詳細に依存するため、評価することが難しい。ここでは以下のような巨視的な評価から制約条件を求めた。破砕面では、状態1から状態2に変化する際に減圧を伴い、そのため内部エネルギーは減少する。この減圧による膨張の過程は、いわば内部エネルギーが力学的エネルギーに変換される過程である。内部エネルギーから力学的エネルギーに変換される量は、等エントロピー過程において最大であり、不可逆過程では等エントロピー過程に比べて必ず小さい。先のユゴニオの関係によって状態1と状態2の内部エネルギーはいずれも決定されているので、これらの内部エネルギーの差を用いて、破砕面におけるエネルギー散逸（あるいはエントロピー増大）の程度を評価することができる。具体的には、ユゴニオの関係によって求めた内部エネルギーの差を、均質な圧力をもつ気液2相混合物を状態1の気相圧から状態2まで等エントロピー過程によって膨張させた際の内部エネルギー差で規格化した量をパラメータとして、破砕条件によってこのパラメータがどのように変化するかを比較した。その結果、2次方程式の解として得られた実根のうち、熱力学第2法則を満たさないものが含まれる場合があることが示された。

実際のマグマの破砕過程は、避けることができない不可逆過程を必然的に含んでいる。例えば、破砕面で気相だけが等エントロピー的に膨張した場合、気相の温度が低下し、不可逆的に熱平衡に至るような過程が引き続くことになる。破砕過程で起こりそうな熱力学的操作に対する内部エネルギー変化とユゴニオの関係によって求めた内部エネルギー変化を比較することによって、破砕面が実現する条件を議論した。