

溶岩ドーム噴火における非定常 1 次元火道モデルの解析 (その 1: 定常 P-Q 曲線を用いた安定性条件・周期)

An analysis of unsteady one-dimensional conduit model for lava dome eruptions

中西 無我 [1]; 小屋口 剛博 [2]

Muga Nakanishi[1]; Takehiro Koyaguchi[2]

[1] 東大 新領域 複雑理工; [2] 東大・地震研

[1] Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo; [2] ERI, Univ Tokyo

溶岩ドーム噴火を形成するような噴火の際に、しばしば、数 10 時間の周期をもつ傾斜変動 (例えば、雲仙 1991 - 1995 年噴火や Soufriere 1996 - 1997 年噴火) や、数年の周期をもつマグマの噴出率変動 (例えば、Santiaguito 1992 - 2000 年噴火や St. Helens 1981 - 1985 年噴火) が観測される。このような傾斜変動や噴出率変動から、火山地下にある圧力源の圧力 (P) の変動や火道中のマグマの流量 (Q) の変動を知ることができる。P と Q の変動を説明するために、今までにも多くのモデルが提案されてきた。それらのモデルは主に 2 つの手法によって解析された (1) 定常状態における火道深さ方向の物理量を解き P と Q の関係を表わす曲線 (以後「定常 P-Q 曲線」) の性質を調べる研究手法 (例えば、Woods and Koyaguchi [1994], Melnik and Sparks [1999]) と (2) 火道中のマグマの流れを平均化して、基本的には P と Q で表せる 2 変数力学系モデルをたて線形安定解析によって、定常的な流れが不安定となり振動を起こす条件 (以後「安定性条件」) や周期を調べる研究手法 (Whitehead and Helfrich [1991], Ida [1996], Wylie et al. [1999], Maeda [2000]) という 2 つの手法である。しかしながら、前者の手法では、定常 P-Q 曲線から安定性条件や周期を得られないという難点があり、逆に、後者の手法では、安定性条件や周期を決める物理的要因の理解が難しいという難点があった。そこで本研究では、定常 P-Q 曲線の性質と安定性条件・周期の関係を数理的に明らかにし、これら 2 つの研究手法の結果を統一的に理解することを目的とした。本発表では、2 変数力学系モデルを用いて定常 P-Q 曲線の性質と安定性条件・周期の関係を明らかにする。

従来の 2 変数力学系モデルは、個別の物理的要因による周期変動を解析するためにデザインされており、変数の取り方もモデルによって異なっていた。そのため、それぞれのモデルについて得られた安定性条件を直接比較することができなかった。そこで、従来のモデルに対して P と Q の 2 変数を用いて定式化し直した結果、これらのモデルは、いずれも (1) P の時間変化がマグマ溜りへのマグマの流入量 Q_{in} と火道の平均流量 Q のバランスで決まり、(2) P と Q の関係が平均粘性 V を用いて $P=VQ$ (ポアズイユ流の式) で表される、という 2 つの共通の性質をもつことが分かった。また、モデル間の違いは、平均粘性 V が P, Q, Q_{in} の関数としてどのように表されるかということのみによって表現されることも分かった。このような共通の定式化により、従来の 2 変数力学系モデル全てについて、以下のように、統一的に安定性条件を求める解析が可能となった。

一般に、P と Q に関する 2 変数力学系モデルは、線形安定解析により P の時間変化が 0 となる曲線 (以後「P ヌルクライン」) と Q の時間変化が 0 となる曲線「Q ヌルクライン」の形状から安定性条件を求めることができる。上述の 2 変数力学系モデルでは、「P ヌルクライン」が $Q=Q_{in}$ (Q-P 平面で縦線) となるため、安定性条件は「Q ヌルクライン」の不動点 (P ヌルクラインと Q ヌルクラインの交点) での傾きが負になることによって表わすことができる。一方、2 変数力学系モデルの「定常 P-Q 曲線」は、流入量 Q_{in} を連続的に変化させたときの不動点の集合で表わされ、必ずしも「Q ヌルクライン」と一致しない。したがって、一般的には「定常 P-Q 曲線」の形状から安定性条件を知ることはできない。しかしながら、本研究の解析により、平均粘性 V が Q_{in} に依存せず P と Q のみの関数として表される場合「Q ヌルクライン」と「定常 P-Q 曲線」の不動点での傾きの間に一定の関係があることが見出され、この場合については「定常 P-Q 曲線」の傾きから安定性条件を決定できることが分かった。さらに、この場合について、安定性条件と分岐点における周期の間に普遍的な関係があることも分かった。