

論文審査の結果の要旨

氏名 中西 無我

本論文は、溶岩ドーム噴火の際に観測される火山の膨張・収縮や噴出率の周期変動について、その周期変動の発生条件や周期を解析的に考察したものである。従来のモデルは、平均粘性が変化するマグマの火道中の流れと弾性変形するマグマ溜りの相互作用によって、周期変動を説明した。しかしながら、その周期変動を引き起こす物理要因は、粘性の温度依存性や結晶量依存性など様々あり、統一的に解釈されていなかった。本論文では、それらを数理的に整理し、定常的な噴出が不安定になり周期変動が発生する条件（以後、「安定性条件」とよぶ）およびその周期に関する普遍的公式を見出し、その公式を実際の火山に応用した。

本論文は5章からなり、第1章では研究の目的と背景が述べられ、第2章、第3章、第4章では、それぞれ、2変数力学系モデル、時間遅れをもつ力学系モデル、非定常1次元偏微分方程式モデルについて、安定性解析がなされている。第5章では、以上の解析をもとに、火山地下のマグマ上昇過程に関して考察がなされている。

第1章では、火山噴火に伴う火道流に関する先行研究のレビューによって問題点を明確にした。火道流は基本的に、マグマ溜り圧力 P と流量 Q の関係で記述される。これまで火道流については、主に、(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 の関係を表す曲線（以後「定常 P - Q 曲線」）の性質を調べる研究手法と、(2) 火道流を空間的に平均化して P と Q の2変数で表した力学系モデルをたて線形安定解析によって安定性条件や周期を調べる研究手法、という2つの手法で解析されてきた。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解析的に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、これらの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。

第2章では、まず、従来の全ての2変数力学系モデルについて「 P と Q の関数で表される粘性抵抗をもつ P と Q に関する2変数力学系」という統一的な定式化が可能であることを示した。さらに、線形安定解析により、粘性抵抗が P と Q のみに依存する場合、(1) 定常 P - Q 曲線の傾きから安定性条件が求められること、および、(2) 安定性条件と分岐点における周期の間に普遍的な関係あること、の2点を示した。

第3章では、2章の結果の一般性について、「粘性が火道中でステップ状に増加するモデル」を用いて調べた。このモデルは、火道中の物理量の空間分布が考慮された力学系モデルの一種であり、Barmin et al. [2002]によって数値的な解析がなされているが、解析的に安定性が調べられていなかった。本論文では、このモデルを定式化し直すことで、このモデルが「一定の時間遅れをもった力学系モデル」であることを示し、線形安定解析により安定性条件を決定した。さらに、2章で得た「安定性条件と周期の間の普遍的な関係」がこのモデルでも近似的に成り立つことを発見した。

第4章では、偏微分方程式モデルについて、定常 P - Q 曲線の性質と安定性および分岐点における周期の関係を数値的に調べた。その結果、火道の流れが空間的に一樣な場合には、このモデルにおいても、先に述べた「安定性条件と周期の間の普遍的な関係」が近似的に成り立つことが示された。

第5章では、上記の力学系モデルの解析結果を、高粘性マグマの火山において報告された傾斜変動（周期が数十時間程度）と噴出量変動（周期が数年程度）の観測データに適用した。その結果、これらの変動の周期と波形の間には相関があること、また、周期の値を決定する主な要因が圧力源の深さとその体積の積であることを明らかにした。それにより、実際に雲仙で観測された2種類の周期変動について、噴出量変動を引き起こした圧力源が、傾斜変動を引き起こした圧力源（地下約700 m）より深い位置（地下約10 km）にあることを示した。さらに、それぞれの周期から観測の困難な圧力源の体積を見積もった。

本論文は、これまで個々の火山に適用されてきた様々なモデルを統一的に解釈し直すことによって、周期変動の発生条件とその周期に関する普遍的公式を得ることに初めて成功した。特に、時間遅れをもつ力学系モデルに対して線形安定性理論による解析ができることだけでなく、上記の公式が近似的に成り立つことを示した事は、実用上極めて有用である。また、地球物理的応用についても、今後火山地下のマグマの上昇過程の定量的議論を行うための突破口を開いた。

これらの研究における解析、考察はすべて本人が主体的に行ったものであり、本論文が博士（科学）を授与するに十分値するものと判定した。