

論文審査の結果の要旨

氏名 長原 翔伍

近年、火山体構造を透視する技術として、高エネルギー粒子ミュオンを用いるミュオグラフィ手法が発展しており、火山の密度構造やその時間変化の検出例が報告されている。これまでのミュオグラフィは、一方向からの観測による 2 次元断面の推定、あるいは 2～3 方向からの観測に、重力データなど他の情報を組み合わせることによる 3 次元構造の推定に留まっており、火山活動を理解する上で鍵となるマグマの上昇経路を推定するための空間解像度は十分ではなかった。そのため、多点観測により高い精度で 3 次元密度構造を推定する手法の開発が待たれていた。本研究は多点観測による 3 次元ミュオグラフィの実用化を目指し、屋外での多点観測を効率的に行うことを可能とする野外観測技術の開発、多点設置により得られる大量データの処理手法開発、および 3 次元密度構造推定までを含んでおり、3 次元ミュオグラフィの実用化に向けて大きな進展を果たした。

本論文は 7 章からなる。

第 1 章のイントロダクションでは、これまでのミュオグラフィの歴史とミュオグラフィの基本的な考え方を説明し、その後、現行の 3 次元ミュオグラフィの観測・解析手法を紹介し、その技術的・解析的問題点を整理している。その上で、各問題点についての解決策を提示し、提案されたアイデアを実際に適用するターゲットとして、伊豆東部に位置する単成火山である大室山を選んだ経緯を詳細に述べている。

第 2 章では、観測装置を野外に多点展開する上での問題点を整理・考察した上で、ミュオンを検出する多層乾板を納める専用ケースを開発した経緯が説明されている。また、多点観測により得られるデータが従来よりも大幅に増えることから、乾板から効率的にミュオン飛跡を抽出する手法の開発についても詳細に述べられている。飛跡抽出に用いられる各種パラメタの妥当性については数値シミュレーションにより確認している。更に、密度推定の際には観測対象を小立体に分割し各立体の密度を推定するが、その小立体の有限性を考慮した解析を行うことで解像度を上げられることも示した。

第 3 章では、大室山で行った観測の詳細を述べるとともに、データ解析の前段として 10 方向に置かれた各観測点から見た 2 次元投影図を作成し、10 枚の投影図に 2 章で述べた解析手法を適用することにより大室山の 3 次元密度分布を推定した。

第 4 章では、3 次元密度構造推定において現れるパラメタをいかに決定したかを説明している。「相関距離」は短すぎると解が暴れ、長すぎると空間分解能が落ちる。「密度の振れ幅」については小さすぎると実際の密度変化を表現できず、大きすぎると非現実な密度値が現れる。両パラメタの様々な値の組み合わせについて密度推定を行い、その結果から妥当な値の組み合わせを決定した。また、初期密度および使用する観測点の結果への影響も

この章で評価している。更に、与えられた構造を正しく再構成できるか、あるいは空間的に離れて存在する密度異常を正しく分離できるかについて、数値実験により評価している。

第5章では、3次元ミュオグラフィにより推定された大室山内部の密度分布に基づき、地質学・岩石学的に知られている知見と比較しつつ、過去の溶岩流出口や貫入ダイクの位置、山腹火口の位置などと矛盾が無いことを示したうえで、大室山の形成過程の最終段階に関する考察がまとめられている。

第6章では、本研究を踏まえたうえで、他の火山において3次元ミュオグラフィを実施するための注意点や限界を述べると共に、3次元ミュオグラフィの火山体以外のターゲットへの応用についても言及している。

第7章は全体のまとめである。

本研究は、高エネルギー粒子ミュオンを用いた密度推定手法を3次元に拡張するための様々な技術的問題点を丁寧に考察し、多点観測による3次元ミュオグラフィの実用化への方向性を示す重要な研究であり、ミュオグラフィ技術開発への貢献は大きい。また、実際に火山体の内部構造推定に適用し、得られた結果が従来の火山学的知見と整合的であり、かつ、表面観察からでは成しえない内部構造の推定を実現したという点で、火山学的ブレイクスルーをもたらすポテンシャルを秘めた新手法の開発という点でも高く評価することができる。

なお、第2章の一部は 宮本成悟氏、森島邦博氏、中野敏行氏との共同研究、第3章の一部は 宮本成悟氏、森島邦博氏、中野敏行氏との共同研究、第4章の一部は 宮本成悟氏との共同研究、第5章の一部は 宮本成悟氏、小山真人氏、鈴木雄介氏との共同研究であるが、観測・解析内容の立案、観測機器の開発、観測の実施、データ解析および結果の解釈など論文の根幹部分については論文提出者が主体となって実施しており、論文提出者の寄与が十分に大きいと判断できる。

従って、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。