

論文審査の結果の要旨

氏名 西 山 竜 一

本論文は、火山体内部の密度構造を格段に高い空間分解能で検出することの出来る高エネルギー素粒子のミュオンを用いたラジオグラフィ（ミュオグラフィ）の精度向上を目指して、その背景ノイズを低減化する新たな観測機器と解析手法を開発した。さらに、その有効性を検証するために、昭和新山の溶岩ドームに対する新たな観測機器を用いたミュオグラフィを実施し、重力観測データとの統合逆解析を行うことで昭和新山内部の密度構造を求めた。その求められた溶岩ドームに対応する領域の密度は実際の溶岩ドームの試料の密度と合致すること、推定された昭和新山内部の密度構造が他の地球物理学的観測結果とも整合すること、及び COSMOS と GEANT4 を用いた大気中に降り注ぐ二次宇宙線の種類と数をモデル化したモンテカルロをシミュレーションにより、本研究で開発した観測機器が背景ノイズ低減を実現したことを示すことで、その有効性を実証した。

本論文の構成は、第1章でこれまでのミュオグラフィの歴史、素粒子物理実験における原子核乾板の発展をレビューし、ミュオグラフィの誤差の要因である背景ノイズの問題について触れ、本研究で取り上げる原子核乾板によるミュオグラフィの利点と問題点を纏めている。第2章の最初では、4枚の原子核乾板を使った観測装置(quartet detector)と、この研究で提案する20枚の原子核乾板の間に9枚の鉛板を挟んだ観測装置(ECC detector)の2種類の観測装置及び、この2種類の観測装置を用いて行った昭和新山での観測実験について記述している。また、GEANT4 を用いて quartet detector と ECC detector で観測される荷電粒子のエネルギーレベルの違いについてシミュレーションを行い、ミュオン以外のノイズ源となる荷電粒子がどのような影響を及ぼすかの評価を行っている。この評価により、quartet detector では 50MeV~1GeV の低エネルギーレベルの荷電粒子も捉えてしまうため、ミュオン以外の荷電粒子による軌跡が混在する可能性を示した。一方、1GeV 以上の荷電粒子にしか反応しない ECC detector ではミュオン以外の荷電粒子による汚染が少ないことを示した。第2章後半では、本研究の最も核心となる原子核乾板の検出効率評価法を

quartet detector 及び ECC detector についてそれぞれ提案し、荷電粒子の入射角により大きく変化する原子核乾板の検出効率補正方法を開発した。特に、ECC detector における検出効率評価法は本研究で初めて提唱されたユニークな手法である。第 2 章の最後に、この論文で提唱した検出効率評価法を適用して、昭和新山で観測した quartet detector と ECC detector による粒子軌跡数の方位分布から各視線方向の平均密度分布を求めた。その結果、シミュレーション結果から予測されるように quartet detector では極めて低い平均密度が推定され、低エネルギーレベルの荷電粒子による背景ノイズが大きく影響していることを示している。一方、ECC detector から求めた平均密度分布は、火山の溶岩ドーム及びその周辺の物質密度としては妥当な値であった。

第 3 章では、ECC detector とその検出効率評価の手法の有効性を検証するため、昭和新山溶岩ドームから採取した溶岩の密度との比較、2011 年に実施した昭和新山での重力観測データとミュオグラフィの観測データを統合した逆解析による昭和新山内部の密度分布推定を行った。これらの比較・検討からは本研究で推定した密度が妥当なものである事が示された。また、原子核乾板の検出効率の方位依存性を考慮せずに一様な補正を行った解析で密度が大きく推定された原因についても説明を行った。最後に、COSMOS と GEANT4 を用いたシミュレーションにより、本研究で開発した観測機器が火山体を通過したミュオン以外の低エネルギー荷電粒子の混入を回避することで背景ノイズ低減を実現したことを示し、その有効性を実証した。

論文提出者は、以上のように、これまで背景ノイズの要因が十分に説明されていないために誤差の評価に問題を抱えていたミュオグラフィを、独自の観測機器の開発と解析手法の確立を通じて精密科学のレベルへと引き上げたもので、固体地球科学分野での寄与は極めて高いものと言える。

なお、本論文の昭和新山に関する研究は大久保修平・田中愛幸・大島弘光・田中宏幸・前川徳光との、原子核乾板による実験研究は宮本成悟・長縄直崇との共同研究であるが、論文提出者が中心となって観測・実験・解析を行ったもので、その寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。