

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01988

研究課題名(和文) 全方位ミュオグラフィによる火山内部の3次元密度構造イメージング：観測と実証

研究課題名(英文) Three dimensional density imaging of volcanoes by omni-directional muography

研究代表者

宮本 成悟 (Miyamoto, Seigo)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：80402444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：ミュオグラフィ研究の重要な課題の一つは、観測方向を増やすことで火山の詳細な3次元密度構造を明らかにすることである。我々は静岡県伊東市に位置する大室山スコリア丘の3次元密度構造を明らかにするため、多方向ミュオグラフィ観測を行った。

その結果、スコリア丘内部に高密度領域が検出された。この観測結果と詳細な地形・地質学的な制約から、高密度領域は溶結度の高い中心火道と、そこから3方向に伸びる放射状岩脈であると推定した。本研究の成果は、火山の3次元内部構造をこれまでにない解像度で可視化することで、火山の形成過程を詳細に議論できることを示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スコリア丘は火山の基本形の一つであり、その詳細な内部構造や形成時のマグマの動きを明らかにすることは、噴火の本質を理解する上で、また火山災害の軽減のためにも重要である。多方向からのミュオン観測によって、大室山スコリア丘の主火道に高密度が確認され、そこから放射状に岩脈が山体に貫入している3次元密度イメージが得られた。火山体内の岩脈形成とスコリア丘の噴火過程、特に山麓の溶岩流と山腹の小火口の形成の関係を可視化出来たことは、将来火山の噴火時に火山の側面や周囲で起こりうる現象を予測出来る可能性を示せたという観点から、火山防災上有意義である。

研究成果の概要(英文)：One of the important issues in muographic research is to reveal the detailed 3-D density structure of volcanoes by increasing the number of observation directions. We performed multi-directional muographic observations to clarify the 3D density structure of the Omuroyama Scoria Hill located in Ito City, Shizuoka Prefecture, Japan.

As a result, a high-density region was detected in the interior of the scoria hill. Based on this observation and detailed geomorphological and geological constraints, we inferred that the high-density region consists of a highly fused central crater and radial veins extending in three directions from it. The results of this study demonstrate that the formation process of volcanoes can be discussed in detail by visualizing the three-dimensional internal structure of volcanoes with unprecedented resolution.

研究分野：火山学

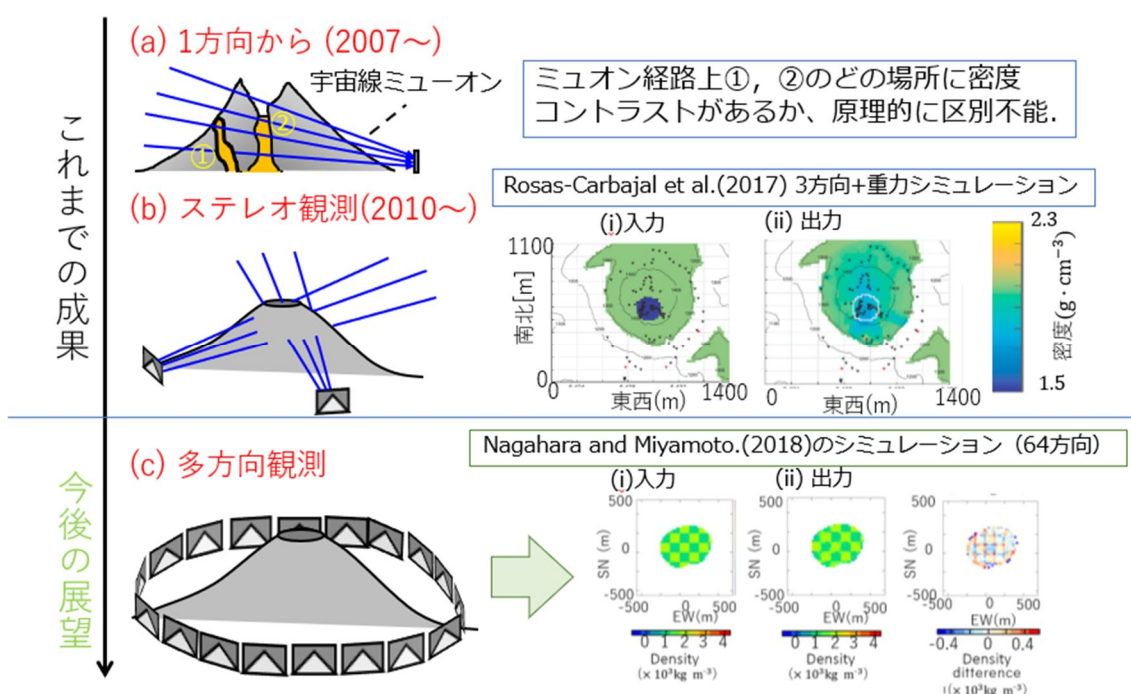
キーワード：火山 スコリア丘 ミューオン ミュオグラフィ 原子核乾板 3次元イメージング 密度構造

1. 研究開始当初の背景

噴火現象を理解する上で重要な情報の一つは、マグマを地表に供給するシステムである火道の形状、特に浅部の形状である。これを明らかにする最も有効な観測方法の一つは、ミュオグラフィである。ミュオグラフィとは山体を通過してきた宇宙線ミュオンの減衰率を測定し、ミュオンの経路に沿った山体の密度を導出する物理探査方法であり、近年の高エネルギー粒子検出デバイスの性能向上により、国内外で研究が行われ始めている。

火山内部の三次元の構造を取得することでより多くの情報を得ることが出来るが、これまで行われてきた研究では観測方向数が少ないため、十分な三次元空間分解能を得られることは出来なかつた。一方で Nagahara and Miyamoto(2018)では、従来よりも観測方向数を増やすことによって、高い三次元空間分解能で火山内部の密度構造が得られることがシミュレーション研究で示されていた(図1)。

図1: 三次元空間分解能という観点における、多方向ミュオン観測の概念図。



2. 研究の目的

本研究の目的は、火山を取り囲むように、多方向から火山を貫通する宇宙線ミュオン観測を実施することにより、解像度の高い火山内部の3次元密度構造を明らかにすることである。またそれによって、火山噴火活動の歴史、噴火ダイナミクス研究などに大きな進展をもたらすことである。

3. 研究の方法

原子核乾板と呼ばれる特殊な銀塩フィルムを用いたミュオン検出器を、静岡県伊東市に位置する大室山スコリア丘を取り囲むように11点設置した。それぞれの乾板に記録された高エネルギー宇宙線ミュオンの飛跡を高速で読み取り、山体を貫通したミュオンの減衰率を測定した(図2)。11方向のミュオグラフィデータから、線形インバージョンを用いて三次元密度分布の再構成を行った。

得られた結果と30cmの高精度地形データと照らし合わせ、地質・地形学的な先行研究調査によって構築された大室山の噴火史や内部構造の推定をアップデートする。



Photo by 国土地理院

9

図 2：大室山航空写真（国土地理院）と、大室山周辺 11 箇所に設置した原子核乾板によるミュオン検出器で得られたミュオンの方向分布。

4．研究成果

11 方向からの観測データのうち、10 方向から良質なデータを得ることが出来た（図 2）。三次元密度再構成の結果、スコリア丘の中心主火道とそこから放射状に伸びる高密度構造が確認された（図 3、<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER/data/omuro3ds/> で公開中）。西に伸びた高密度構造の先には、山麓から溢れ出た小さな溶岩流が先行研究によって確認されている。また、南に伸びた先の山腹には、噴火の終盤に形成された小火口がある。以上のことから、放射状に伸びた高密度構造は、山体に貫入した岩脈であると推察された。大室山のクレーター内部には、噴火の終盤に溶岩湖が形成された跡もあり、噴火終盤には主火道の圧力が高まっていたと考えられる。その結果、山体内にマグマが貫入したと考えられる（図 4）。

現在のミュオグラフィの時間分解能は、良くても数日程度であり、多方向ミュオグラフィを用いても噴火のミュウ編の兆候をとらえることは困難である。しかし今後の技術開発によって、より多くの、より低ノイズの、より大面積のミュオン検出器を火山に設置できれば、山体崩壊の兆候をとらえることが出来る可能性が示された。

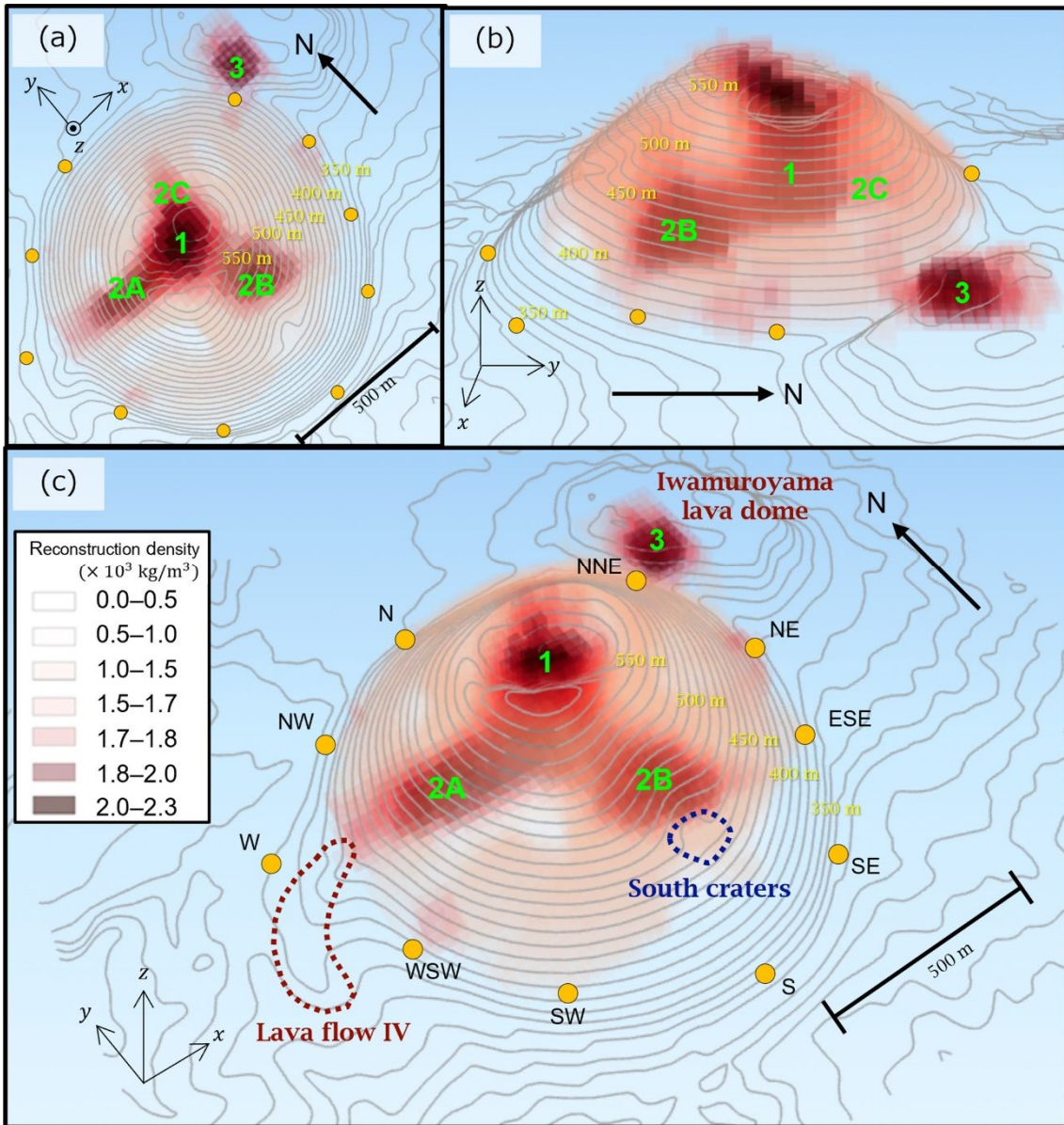


図 3: <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER/data/omuro3ds/> で公開されている、大室山の三次元密度分布ビューワーに加筆したもの。より赤くより不透明度が高いほど高密度であることを表す。1 は主火道、2A は西麓の溶岩流 IV の原因となったと思われる岩脈、2B は南山腹の小火口を形成する原因となった岩脈、3 は岩室山溶岩ドームである。

大室山のできかた 5 : 放射状岩脈の貫入→南山腹小火口と溶岩流Ⅳの流出、山頂火口溶岩湖のドレインバック（テフラE期）

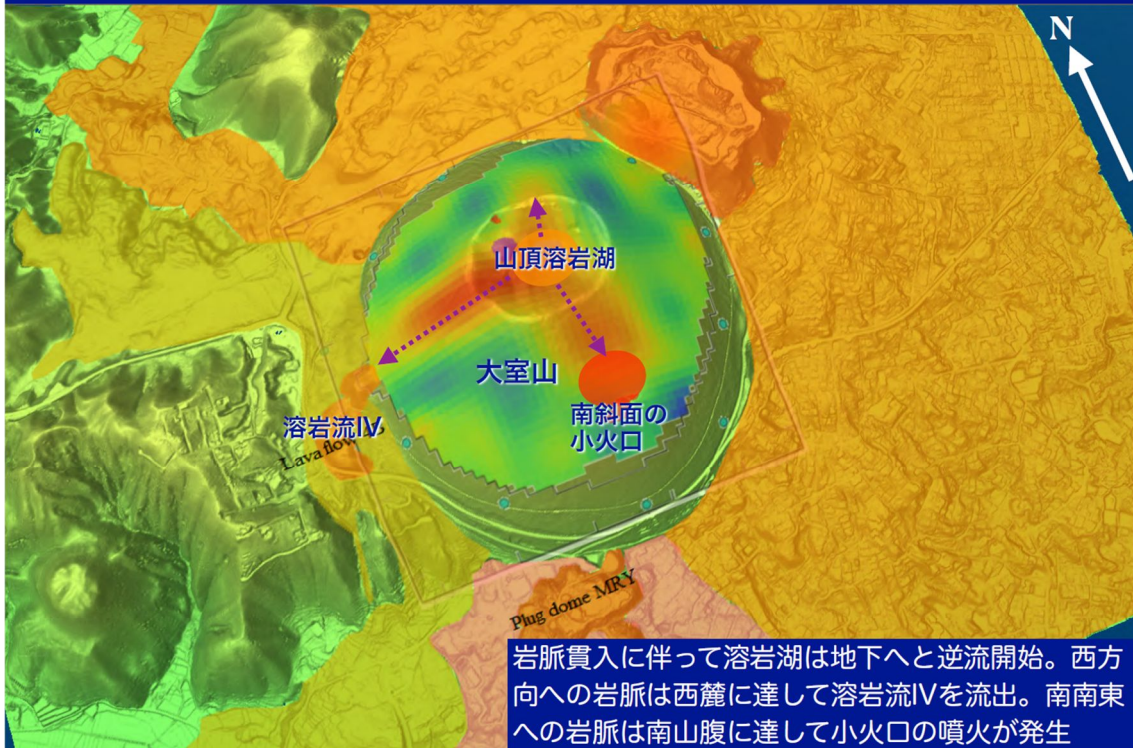


図 4 : 噴火終盤の大室山周辺の地図に加筆をしたもの。放射状三方向の構造は、噴火終盤で火道の増圧によって山体内の中心火道から放射状に岩脈が貫入したのを見ているという解釈が可能である。西に向かった岩脈は小さな溶岩流を作り、南に向かった岩脈は南の小火口を形成し、その間に溶岩湖は水位を下げ、冷えて固まって主火道付近は高密度になった、というストーリーが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nagahara Shogo, Miyamoto Seigo, Morishima Kunihiro, Nakano Toshiyuki, Koyama Masato, Suzuki Yusuke	4. 巻 84
2. 論文標題 Three-dimensional density tomography determined from multi-directional muography of the Omuroyama scoria cone, Higashi-Izu monogenetic volcano field, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00445-022-01596-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Miyamoto Seigo, Nagahara Shogo, Morishima Kunihiro, Nakano Toshiyuki, Koyama Masato, Suzuki Yusuke	4. 巻 11
2. 論文標題 A muographic study of a scoria cone from 11 directions using nuclear emulsion cloud chambers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems	6. 最初と最後の頁 127 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/gi-11-127-2022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小山 真人, 宮本 成悟, 長原 翔伍, 鈴木 雄介	4. 巻 92
2. 論文標題 世界初の多方向3次元透視が明らかにした大室山の内部構造-3D density tomography determined from multi-directional muography of the Omuroyama volcano, Japan-;特集 富士山噴火に備える; 地下構造を探る新手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 637-640
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮本 成悟、西山 竜一、長原 翔伍	4. 巻 85
2. 論文標題 原子核乾板を用いたミュオンラジオグラフィー：火山観測技術の進展	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本写真学会誌	6. 最初と最後の頁 80 ~ 86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11454/photogrst.85.80	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 S. Miyamoto, S. Nagahara, K. Morishima, T. Nakano, M. Koyama, Y. Suzuki
2. 発表標題 Omnidirectional muography for volcanoes : the plan for first experimental proof in Omuroyama, Shizuoka, Japan
3. 学会等名 ICMASS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本 成悟, 長原 翔伍, 森島 邦博, 中野 敏行, 小山 真人, 鈴木 雄介
2. 発表標題 全方位ミュオグラフィによる火山観測：～大室山(静岡県伊東市)における実証計画～
3. 学会等名 火山学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長原 翔伍, 宮本 成悟, 森島 邦博, 中野 敏行, 小山 真人, 鈴木 雄介
2. 発表標題 大室山スコリア丘火山の三次元宇宙線透視に向けた試験観測結果
3. 学会等名 日本写真学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本成悟
2. 発表標題 宇宙線ミュオンを用いた火山密度イメージング観測手法の紹介
3. 学会等名 火山学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長原翔伍, 宮本成悟
2. 発表標題 全方位ミュオグラフィにおける3次元密度再構成解析手法
3. 学会等名 火山学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長原翔伍, 宮本成悟, 森島邦博, 中野敏行, 小山真人, 鈴木雄介
2. 発表標題 大室山での全方位ミュオグラフィに向けたシミュレーションとテスト観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Miyamoto, S. Nagahara, K. Morishima, T. Nakano, M. Koyama, Y. Suzuki
2. 発表標題 Three-dimensional Density Structure Imaging of the Izu-Omuroyama Volcano by Multi-directional Muography
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本 成悟, 長原 翔伍, 森島 邦博, 中野 敏行, 小山 真人, 鈴木 雄介
2. 発表標題 多方向ミュオグラフィによる伊豆大室山スコリア丘の3次元密度イメージング
3. 学会等名 日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山 真人, 鈴木 雄介, 宮本 成悟, 長原 翔伍, 森島 邦博, 中野 敏行
2. 発表標題 伊豆東部火山群大室山スコリア丘の構造と形成過程 高解像度DEMとミュオグラフィにもとづく再検討
3. 学会等名 日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Shogo Nagahara, Seigo Miyamoto (担当:共著)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 World Scientific Publishing Co Pte Ltd	5. 総ページ数 1
3. 書名 Cosmic Ray Muography (Chapter 6: Three-Dimensional Muography and Image Reconstruction Using the Filtered Back-Projection Method)	

1. 著者名 『科学』編集部 (担当:共著)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 富士山噴火に備える	

1. 著者名 Seigo Miyamoto and Shogo Nagahara	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 308
3. 書名 Muography : exploring Earth's subsurface with elementary particles (担当 Chapter3)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森島 邦博 (Morishima Kunihiro) (30377915)	名古屋大学・理学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	中野 敏行 (Nakano Toshiyuki) (50345849)	名古屋大学・理学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	小山 真人 (Koyama Masato) (70183811)	静岡大学・未来社会デザイン機構(企画推進本部)・教授 (13801)	
研究分担者	鈴木 雄介 (Yusuke Suzuki) (40894192)	静岡大学・未来社会デザイン機構(企画推進本部)・准教授 (13801)	追加：2020年10月16日 削除：2021年4月

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関