

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）熱水系卓越型火山における火山活動評価手法高度化のための地球化学的観測技術の進展
（英文）Improvement of geochemical monitoring techniques for activity evaluation of hydrothermal-dominated volcanoes

(3) 関連の深い建議の項目：

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究
(6) 高リスク小規模火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (4) 火山活動・噴火機構の解明とモデル化
 - (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (3) 火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行（重点研究）

(5) 本課題の5か年の到達目標：

熱水系卓越型火山の活動は、深部マグマからの熱や流体の供給・移動が浅部の熱水系を介して行われるため、マグマ噴火を起こす火山に比べてその過程は複雑で、活動の微細な変化を捉えることが難しい。近年の地球化学的観測の進展により、熱水系卓越型火山における火山性流体の振る舞いとして、マグマ性流体と熱水系流体の量比が活動推移を反映して変化することが明らかになってきた。火山ガスに特徴的な成分には、二酸化硫黄と硫化水素が挙げられるが、前者はマグマ性火山ガス、後者は熱水系火山ガスの代表的な成分である。熱水系卓越型火山での活動状況の把握では、このうち硫化水素のモニタリングが重要なカギになると期待される。また、火山ガスによる活動評価では、化学組成と放出フラックスの情報を入手可能にすることが活動の微細な変化を捉えるために不可欠であり、火山活動が活発化しても安定して火山ガスの情報を提供できる体制の確立が重要である。現状では、硫化水素を中心に放出する熱水系卓越型火山では、従来の観測方法では火山ガス放出フラックスの測定ができないため、火山ガスの量的な情報による火山活動評価や噴気活動の盛衰の評価ができていないのが課題となっている。

本研究課題では、熱水系卓越型火山での火山活動評価の高度化を目指すため、2点の観測技術の開発・確立を目指すものである。

1. 安定して火山ガス化学組成情報を入手するための、ドローンを用いたMultiGAS観測技術の向上
2. 熱水系卓越型火山における、新たな地球化学的指標の開拓に向けた観測技術の向上
 - 2-1 火口や噴気地帯からの硫化水素放出フラックス観測手法の確立と応用
 - 2-2 硫化水素土壌ガスフラックス測定に向けた硫化水素測定装置の開発と新たな噴気活動指標の探索

(6) 本課題の5か年計画の概要：

「1. 安定して火山ガス化学組成情報を入手するための、ドローンを用いたMultiGAS観測技術の向上」では、産業用小型ドローンに搭載可能で、熱水系卓越型火山の噴気的主要成分を網羅的に測定できる超小型MultiGAS装置の開発とテスト観測を行い、火山活動の推移過程のモデル化に資する火山ガス組成観測データの充実を図る。

「2-1 火口や噴気地帯からの硫化水素放出フラックス観測手法の確立と応用」では、ドローン搭載用の鉛直硫化水素センサーアレイを開発し、噴煙断面の硫化水素の二次元分布を求める方法を確立することで、硫化水素放出フラックスを求める観測手法を確立する。

「2-2硫化水素土壌ガスフラックス測定に向けた硫化水素測定装置の開発と新たな噴気活動指標の探索」では、硫化水素土壌ガスフラックス測定のための装置を開発し、噴気地帯周辺の二酸化炭素と硫化水素フラックスの時空間的違いを調べ、噴気活動の変化の指標としての有効性を検討する。

各年度の計画は以下のとおりである。

令和6年度：3つの開発テーマの装置の試作機を作製し、基礎実験、テスト観測を行う。

令和7年度：阿蘇山や霧島硫黄山などで、超小型MultiGAS測定や硫化水素フラックスのテスト観測を実施する。硫化水素土壌フラックス測定装置の基礎実験とテスト観測を継続する。

令和8年度：超小型MultiGASの試作機でテスト観測を行いつつ、改良を重ね完成を目指す。硫化水素の放出フラックス測定では、前年度までの試験観測を踏まえ、観測装置の改良や測定方法の検証を行う。また、開発した装置を用いた硫化水素土壌フラックス測定方法を確立し、硫化水素と二酸化炭素の時空間変化の調査を開始する。

令和9－10年度：阿蘇山・霧島硫黄山などの火山で観測を行いつつ、開発した超小型MultiGAS装置を用いたドローンによる火山ガス観測のシステム化を推進する。令和9年度に阿蘇山か霧島硫黄山で、硫化水素フラックス測定を実施し、開発した手法の評価と検証を行い、観測プロトコルを確立する。硫化水素土壌フラックス測定装置の結果と二酸化炭素土壌フラックスを組み合わせた調査を繰り返し、これらの時空間変化が活動指標としての有効性を評価・検証する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

「1. 安定して火山ガス化学組成情報を入手するための、ドローンを用いたMultiGAS観測技術の向上」では、ドローンによるMultiGAS測定を十勝岳、阿蘇山などで実施し、超小型MultiGAS装置の開発に向けての基礎データを取得した。この基礎データをもとに、使用するセンサーに必要な性能や測定レンジなどを明らかにし、目標とする装置試作のために機器選定等を実施し、試作の準備を行った。

「2-1 火口や噴気地帯からの硫化水素放出フラックス観測手法の確立と応用」では、ドローン搭載用の鉛直硫化水素センサーアレイの設計と製作を行った。総重量が約3kgの標準版と約1.5 kgの軽量版の2つの装置を同時進行で開発した。試作した軽量版は室内実験を経て、2024年10月に倶多楽火山日和山で手持ち試験を実施したが、結果が良好だったので、計画を前倒して12月に霧島硫黄山でドローン搭載試験をおこない、正常に動作することを確認した。霧島硫黄山噴気地帯における観測では、大気中の硫化水素濃度分布定量に成功した。

「2-2硫化水素土壌ガスフラックス測定に向けた硫化水素測定装置の開発と新たな噴気活動指標の探索」では、硫化水素土壌フラックスの測定に向けた装置の開発や基礎実験を行った。装置開発では、硫化水素の検出に化学式センサーを使用するバージョンと紫外分光計を使用するバージョンを検討した。土壌ガスフラックス測定では通常応答速度の速いセンサーが必要となるが、応答速度が遅い化学式センサーを用いての確度の高いフラックス測定を実現するため、応答速度の早い二酸化炭素センサーと組み合わせて使用する方法について検討し、草津白根山でテストを行った。また、土壌ガス測定では硫化水素濃度が高くなるため、高濃度測定が可能なセンサーを新たに導入した。また、紫外光源と紫外分光計を用い硫化水素を測定する持ち運び可能な装置の実現に向けて、室内実験を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

関連の深い建議の項目である「5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究」の「(6) 高リスク小規模火山噴火」においては、監視観測の充実による客観的な火山活動評価の推進が大きなテーマの一つである。本研究課題で実施している3つのテーマは監視観測の充実や客観的な活動評価の高度化につながる手法の開発研究である。これらの手法の確立とシステム化を目指している本研究課題は、「(6) 高リスク小規模火山噴火」の項目の目的達成に資するものであるとともに、全体の目標である「災害の軽減に貢献する」という点では、火山活動評価の高度化に位置付けられる。今後も、本課題で目標としている手法の開発を進めていく。

- (8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
・論文・報告書等

Miyagi, Y., U. Tsunogai, K. Watanabe, M. Ito, F. Nakagawa, and R. Kazahaya, 2024, Estimating emission flux of H₂S from fumarolic fields using vertical sensor array system, J. Volcanol. Geotherm. Res., 450, 108090, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108090.,査読有,謝辞無

森田雅明, 2024, Multi-GASによる火山ガス組成測定, 火山, 69, 199-207, doi.org/10.18940/kazan.69.4_199.,査読有,謝辞無

- ・学会・シンポジウム等での発表

角皆潤・宮木裕崇・渡部紘平・伊藤昌稚・中川書子・風早竜之介, 2024, 鉛直硫化水素センサーアレイを用いた火山ガス放出量定量：固定法（FP法）による観測の簡易化, 日本火山学会2024年度秋季大会（札幌）, B3-09.

森田雅明・篠原宏志・関 香織, 2024, Multi-GAS連続観測による霧島硫黄山2018年噴火にともなう噴気組成変動, 日本地球化学会第71回年会（金沢）, PR0199.

- (9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

- (10) 令和7年度実施計画の概要：

「1. 安定して火山ガス化学組成情報を入手するための、ドローンを用いたMultiGAS観測技術の向上」では、超小型MultiGASの試作を行う。試作した装置を使用した試験観測を阿蘇山・霧島硫黄山等で地上やドローン搭載の形で実施し、試作装置の性能評価を行う。性能試験を通して、装置の修正点や改良点を明確にし、装置全体の高度化を目指す。

「2-1 火口や噴気地帯からの硫化水素放出フラックス観測手法の確立と応用」では、まず2024年12月に霧島硫黄山で実施した、軽量版のドローン搭載鉛直センサーアレイによる観測結果を解析する。具体的には、各フライト中に求めた、噴気地帯周辺の大気中における硫化水素濃度の高度分布（時間変化も含む）から、噴煙（プルーム）断面上の濃度分布を推定する手法を開発し、これを元に硫化水素の放出量を求める。また同時に従来法（DOAS-COMPUSSを用いて得られた二酸化硫黄放出量およびMulti-GASを用いて得られた硫化水素/二酸化硫黄比を利用）を用いて硫化水素放出量を求め、ドローン搭載鉛直センサーアレイの結果と比較する。結果を元に軽量版の設計やドローンのフライト方法（時間・高度・噴気孔との相対距離等の選択）に関する反省点をまとめる。また反省点を元に軽量版で十分か、それとも標準版に主軸を移すべきか判定するとともに、必要な改良を施す。その上で、反省を踏まえた第2回のドローン搭載観測を、年度内に実施する。観測は硫化水素と二酸化硫黄を同レベルで放出し、従来法に基づく放出量の定量や検証が可能な霧島硫黄山を基本とするが、火山の活動度やドローンの借用先（現状未定）の都合、利便性、予算、学術的重要性などを総合的に吟味して、選定する。

「2-2硫化水素土壌ガスフラックス測定に向けた硫化水素測定装置の開発と新たな噴気活動指標の探索」では、分光法を用いた硫化水素測定の室内基礎実験を継続するとともに、噴気地帯周辺での野外テスト観測を実施する。また、化学センサーを用いた装置の方では、複数の火山の異なる環境でのテスト観測を重ね、測定法の有効性を確認する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

森 俊哉（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

森田 雅明（東京大学地震研究所）,横尾 亮彦（京都大学大学院理学研究科）,角皆 潤（名古屋大学大学院環境学研究科）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科

電話：0358414649

e-mail：mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森俊哉

所属：東京大学大学院理学系研究科