

(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7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測定を十勝岳などで実施した。超小型MultiGAS装置の開発に向けて昨年度選定したセンサーや機器をベースに装置を試作した。また、ドローンフライト中に吊り下げたMultiGAS装置の測定値を操縦者が確認できるようにするための手法の確立に着手するなど、ドローンによるMultiGAS観測技術の高度化をおこなった。

「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、2025年7月6日に霧島硫黄山でドローンにVSAS（鉛直硫化水素センサーアレイ）を搭載した観測を計4フライト実施した。同時にDOAS装置を用いたウォーキングトラバース測定を実施した。観測中の風向風速として一定の値（270度・3.7m/s）を使用すると、全フライトの観測値平均は H_2S 放出量が 5.76 ± 1.46

(t/day)、そこから観測された平均 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を用いて求めた SO_2 放出量は 10.84 ± 2.75 (t/day)と求められた。他方DOAS装置の方で求めた SO_2 放出量は、最小4.7、最大14.4 (t/day)となり、両者は誤差内で一致した。

「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データ測定法を確立するとともに実際に使用する測定装置を設計し作成した。昨年度、高濃度硫化水素に対応可能な（応答速度の遅い）化学式センサーと既存の二酸化炭素土壌フラックス装置を組み合わせたプロトタイプで測定したデータを用い、この組み合わせの装置で確度の高い硫化水素土壌ガスフラックス測定ができる手法を確認した。それを受け、新たに調達したNDIR式の小型 CO_2 濃度計と化学式 H_2S センサーを組み合わせた、コンパクトな土壌フラックス装置を設計し作成し、動作確認などの基礎的な室内実験を行った。

また、2025年6月に噴火活動を開始した霧島新燃岳で緊急対応を通して本研究のテーマである熱水系卓越型火山の噴火時における、地球化学的観測技術の高度化、そして安定して火山ガス化学組成情報を入手するための実践的観測を行った。ドローンを用いたMultiGAS測定を6月と10月に、SelPSによる高濃度火山ガス噴煙の試料の採取を7月と10月に実施した。

6月のMultiGAS観測および同時期に行ったDOAS観測により、新燃岳の噴火は熱水系の影響を受けているが、大量のマグマ揮発性成分が関与した噴火であったことが明らかとなった。ま

た、 SO_2 、 H_2S 、 H_2O 、 H_2 の組成から算出する平衡温度は約 490°C と高温の値を示した。噴火から約4か月経過した10月には火山ガス組成が大きく変化しており、 CO_2 に比べ相対的に硫黄のガスが減少がみられ、熱水系の影響を受けるとともに硫黄の析出が上昇過程で起こっていたと考えられる。火山ガ

ス組成から求められる平衡温度は約400℃であったが、これも硫黄の析出の影響を受けて平衡温度が高く見積もられた可能性がある。

SelPSを用いた高濃度噴煙試料採取では北側噴気と呼ばれる噴気の採取し、端成分の水蒸気の酸素・水素同位体組成、二酸化炭素の酸素・炭素同位体組成、水素ガスの水素同位体組成の推定に成功した。その結果、水蒸気に占めるマグマ水の混合比は33-59%となり、0.9-42%を示した2025年7月時より上昇する傾向が見られた。またAET¹⁸Oは95±7℃となり、2025年7月の90±11℃とほとんど変化は無かった。一方、AETDは216±18℃となり、2025年7月の472±45℃より低下した。AET¹⁸Oは火口における噴気温度を、またAETDは火山性流体が山体内で地下水と接触する直前の温度を反映したものと考えられる。

年度末の3月には新燃岳で噴火活動が減衰していく状態での火山ガス組成の変化に着目したドローンによるMultiGAS観測を計画している。

・「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「(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。今年度は特に2025年霧島新燃岳の噴火への対応を通して監視観測の充実による客観的な火山活動評価の推進に貢献できたと考えている。

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7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

・学会・シンポジウム等での発表

宮木 裕崇・角皆 潤・森田 雅明・風早 竜之介・中川 書子, 2025, UAV搭載型鉛直センサーアレイシステム開発とこれを用いた硫化水素放出量の定量・日本地球惑星科学連合2025年大会, SVC32-18

Miyagi, Y., U. Tsunogai, K. Watanabe, M. Ito, F. Nakagawa, and R. Kazahaya, M. Morita, and T. Mori, 2025, Estimating Emission Flux of H₂S from Fumarolic Fields Using Vertical Sensor Array System, IAVCEI-CCVG The 15th Field Workshop on Volcanic Gases, 30.

宮木裕崇・角皆 潤・中川書子・風早竜之介2025, 2025年霧島・新燃岳噴火に即応した火山ガス同位体組成観測の結果・日本火山学会2025年秋季大会, B2-05.

太西敦哉・田中良・森田雅明, 2025, 十勝岳におけるドローンとMulti-GASを用いた火山ガス組成観測, 日本地球惑星科学連合2025年大会, SVC32-P02

Onishi A., R. Tanaka and M. Morita, 2025, Volcanic gas measurement by using drone and Multi-GAS at Mt. Tokachi, Hokkaido in 2023 and 2024, IAVCEI-CCVG The 15th Field Workshop on Volcanic Gases, 38.

森 俊哉, 2025, 噴気地帯周辺での硫化水素の土壌拡散放出率測定法の検討・日本地球惑星科学連合2025年大会, SVC35-08

風早竜之介・森 俊哉・篠原宏志・小山崇夫・金子隆之・渡邊篤志, 新燃岳でのドローンによる火山ガス観測・日本火山学会2025年秋季大会, B2-06.

(9) 令和7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8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、試作した超小型MultiGAS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繰り返し実施しながら、試作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。また、ドローンの用いたMultiGAS観測技術の高度化に向けて取り組む。

「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、これまでの観測の経験や結果を踏まえ、ドローン搭載用のVSAS（鉛直硫化水素センサーアレイ）の改良を実施する。霧島硫黄山（予定）での観測を実施し、データ解析方法の高度化を目指す。

「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、今年度作成した化学式硫化水素センサーとNDIR式二酸化炭素センサーを使用した小型可搬型の土壌フラックス測定装置を実践投入し、いくつかの火山で噴気地帯周辺の硫化水素土壌ガスフラックスの測定を実施し、有効なデータの蓄積を始める。

(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