

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）水蒸気噴火発生場の理解を目指した阿蘇火山の浅部熱水系モニタリング

（英文）Multiparametric monitoring focusing on the hydrothermal system beneath the active crater of Aso volcano for enhancing our knowledge of phreatic eruptions

(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

(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）

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 本課題の5か年の到達目標：

活動的火山で生じる小規模水蒸気噴火は発生頻度が高く、発生時期や発生場所によっては、おおきな人的被害を引き起こしうる。このような危険性の高い小規模噴火活動を理解するには、活動火口浅部の地下熱水系をターゲットにした高精度な多項目モニタリングが必須である。そして、モニタリング記録から、活動活発化を示唆する微弱なシグナルをいかにはやく、正確に抽出するかが、水蒸気噴火のような発生までのリードタイムの短い噴火現象を対象にする場合に、とくに重要である。そのためには、噴火発生場（背景場）について、より解像度の高い描像を事前に得ておくことが望ましい。そこで本研究課題では、電磁気観測や重力観測、地震・空振観測に加えて、熱観測や火山ガス観測、水質測定などの多項目観測を、小規模水蒸気噴火が繰り返される阿蘇山で実施することにより、活動火口の地下浅部熱水系の詳細を明らかにし（より高解像度化し）、これが同火山における水蒸気噴火発生場としてどのように振る舞っているのか、その位置付けを明確にすることを目標とする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

阿蘇山中岳第一火口の地下浅部熱水系にかかわる諸現象をターゲットにした多項目観測を実施し、研究目的の達成を図る。5(6)のほかの関連課題とも連携しながら研究を進める。令和6年度においては、地震・空振、熱、火山ガス、電磁気、相対重力などの多項目観測およびデータ解析作業を実施する。火口周辺にMulti-GAS、ACTIVE送信機をそれぞれ設置する。令和7年度においては、上記の多項目観測およびデータ解析作業の実施を継続する。令和8年度においては、多項目観測およびデータ解析作業を継続実施するほか、UAVによる電磁探査・磁気探査も行う。令和9-10年度においては、多項目観測およびデータ解析作業を継続するとともに、地下熱水系の構造および状態変化についての定量モデリングに取り組む。最終的には地表に現れる湯だまりと地下熱水系を合わせた総合システムの提案を目指す。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

阿蘇山中岳第一火口の地下浅部熱水系にかかわる諸現象をターゲットにした多項目観測およびデータ解析を実施した。

火口周辺の空振観測網の再整備を行なうとともに、今年度のunrestイベントについて地震・空振相関解析法による調査を実施した。その結果、微動振幅が顕著に増大した3事例において、同じ時間帯に火口で空振励起があったことを見出した。火口湖への熱水流入フラックス増大による噴湯現象で火口湖表面が揺動されたものと解釈できる。また、過去データの見直しと解析作業によって、2021年の火口底陥没現象及び水蒸気爆発が火口内のどの地点で発生したのかを特定し、その時間発展する様子を明らかにした。

中岳第一火口上空でドローンによる空中熱赤外線画像撮影を複数回実施した。しかし、年間を通して、火口湖および南壁熱異常域からの白色火山噴煙の放出が顕著であったことから、解析可能な画像データ取得は6月実施の一回分にとどまった。また、熱水流入量の増減把握を目指して火口湖水位観測装置を第一火口西縁に設置し、適切な噴煙条件のもとで水位情報を取得する体制を構築した。ドローンによるこれまでの取得画像をもとに火口地形データを再作成し、その時間変化を明らかにした。

手持ちのMulti-GASによる噴煙組成観測を12月に実施し、火口湖および南壁熱異常域の噴煙組成をそれぞれ取得した。CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>比は2-4程度、SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比は火口湖で10-400、南壁で7-25程度であり、湯だまりの存在する時期のものとして妥当な値であった。この事前調査結果をふまえてMulti-GAS連続観測点の場所を中岳第一火口西縁に決定し、3月にMulti-GAS連続観測点を新設するための準備を行った。一方、Multi-GAS観測の高度化を目指した装置の較正手法およびデータ解析手法の改良も行った。前者では全体の工程の簡便化を目指した半自動化に向けたプロトタイプをテストし、後者の改良では、従来とは異なり較正時のセンサーの応答特性を加味した新たな解析方法について検討した。

2023年に採取した火山ガス試料の分析と解析を実施したところ、H<sub>2</sub>の端成分 $\delta^2\text{H}$ が平衡温度100度前後を示すなど、全分析項目にわたって著しい火山活動度の低下が見出された。水蒸気同位体組成の解析法を改良し、これまでに得られたデータに対して大気中に放出された直後に起きた同位体分別を補正する再解析も行った。その結果、2023年の水蒸気は、そのほとんどすべてが天水（地下水）起源であることがわかった。12月にドローン中型機に搭載したSeIPSによって第一火口南壁の火山ガス試料の採取を行い、H<sub>2</sub>の端成分 $\delta^2\text{H}$ が高温型（平衡温度800度前後）と低温型（平衡温度400度前後）の2つに分離した結果が得られた。南壁噴気由来と中央噴気由来の差異を反映した可能性が考えられる。CO<sub>2</sub>の端成分 $\delta^{18}\text{O}$ がこれまでで最も高温化した値を示し、 $\delta^2\text{H}$ の高温型と低温型の間で有意差は見られなかったことから、火口湖底下のある程度深い領域で火山性流体に生じた差異が高温型と低温型を分けた可能性が高い。

12月中旬に火口周辺6点でのACTIVE観測を行った。人工矩形電流を送信するトランスミッタは火口南側の砂千里に設置し、東西約400 mの送電線を敷設した。また電線の端部にステンレス電極20本を設置しこれを送信電極とした。火口周辺の誘導磁場受信点には、受信機（レシーバ）を各日3台ずつ設置する方法をとった。高濃度の火山ガスにより第三火口底の誘導磁場受信点へのアプローチができなかったため、第三火口の西縁（火口内の観測点から西に200m）に代替観測点を設けた。いずれの観測点でも良好なデータを取得でき、地下比抵抗分布の情報を持つレスポンス関数もノイズも小さい。これまでの第三火口底観測点のデータに近いレスポンス関数が得られるなど、第三火口西縁のデータも解析に十分に使用可能であることがわかった。

火口から1 km地点にある本堂観測坑道の前室（地下1階部分）にCG3M型相対重力計（重力値出力、分解能1 microGal）とLaCoste型相対重力計（電圧値出力、分解能0.001 mV）を設置し、相対重力の連続観測を実施した。2台の重力計で得られた重力データから器械ドリフトの寄与を除去し、潮汐変動に伴う重力変化を互いの重力計で比較することで、LaCoste重力計の電圧出力値を重力値に変換する係数を0.515 microGal/mVと決定した。これにより、LaCoste重力計の重力値の分解能が1 nanoGal未満であることが確認でき、微小な振幅の重力時間変化を捉えることが可能になった。

火口湖水質調査のため、ドローンによる湖水採取作業を実施した。従来使用されてきた中型機に変え、小型機での採水作業にはじめて成功し、第一火口での採水作業への必要人員数削減が可能となった。

・「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

本研究課題は、多項目の地球物理学・地球化学観測データにもとづいて、小規模な水蒸気噴火が繰り返

返される阿蘇山の活動火口浅部における地下熱水系の構造や状態変化に関する状況把握・モニタリングを目指すものである。すなわち、その達成は、水蒸気噴火の発生リスクやその切迫度の評価に資する基礎的かつ重要な情報提供につながり、たとえば、火口周辺への観光客等の立ち入り規制に関する判断材料に活用されると考えられるため、火山災害の軽減（未然防止）に貢献すると考えられる。

- (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., Tsunogai, U., Watanabe, K., Ito, M., Nakagawa, F., & Kazahaya, R., 2024, Estimating emission flux of H<sub>2</sub>S from fumarolic fields using vertical sensor array system, J. Volcanol. Geotherm. Res., 450, 108090, doi: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:10.18940/kazan.69.4\_199, 査読有, 謝辞無

小田雄大, 風間卓仁, 加藤護, 2025, LaCoste型相対重力計の重力連続観測で検出された2022年トンガ火山噴火の大気圧変動に伴う重力変化, 測地学会誌, 印刷中, 査読有, 謝辞無

- ・学会・シンポジウム等での発表

宮木裕崇・角皆潤・伊藤昌稚・中川書子・森下雄平・風早竜之介, 2024, 火山噴煙中の水蒸気同位体組成に観測された火山放出水蒸気の部分凝縮・除去の証拠, 日本地球化学会第71回年会, PR0093

中村仁美・横尾亮彦・岩森光・森川徳敏・西澤達治・森俊哉, 2024, 阿蘇火山火口湖湯だまりにおける地球化学的研究, 日本火山学会2024年度秋季大会, B3-11

小田雄大・風間卓仁, 2024, LaCoste型相対重力計の重力連続観測で検出された2022年トンガ火山噴火に伴うmHz帯の重力変化, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SGD01-P03

小田雄大・風間卓仁・本多亮・三浦哲, 2024, バネ式相対重力計の重力連続観測で検出された2022年トンガ火山噴火の大気圧変動に伴う重力変化, 日本測地学会第142回講演会, 24

小田雄大・風間卓仁, 2025, 2022年トンガ火山噴火の大気圧変動に伴う重力変化：鉛直不均質構造の場合, 2024年度重力研究集会, 08

角皆潤, 宮木裕崇, 伊藤昌稚, 中川書子, 吉川慎, 宇津木充, 横尾亮彦, 2024, ドローン搭載用火山ブルーム自動採取装置SelPSの開発, 日本地球惑星科学連合2024年大会, STT34-04

横尾亮彦, 2024, 最近の阿蘇山中岳第一火口の地形変化, 日本火山学会2024年度秋季大会, P81

- (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：

項目：火山：地殻変動：重力測定

概要：相対重力連続観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県阿蘇郡南阿蘇村 32.878472 131.076760

調査・観測期間：2024/4/1-2025/3/31

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

- (10) 令和7年度実施計画の概要：

阿蘇山中岳第一火口の地下浅部熱水系にかかわる諸現象をターゲットにした多項目観測およびデータ解析作業を継続する。

空振観測網の再整備を進め、unrestイベントの抽出作業を進める。事例検出方法の高度化を目指し、とくに風ノイズに対する空振観測システムの頑強性を高めることを試行する。また、微動解析結果をふまえたunrestイベントの解釈を行う。2021年の火口底陥没現象、水蒸気爆発のデータ解析作業をす

すめ、地下熱水系との関連を明らかにする。ドローンによる熱観測を継続実施するとともに、過去に開発したデータ処理解析プログラムを現在の計算機環境への移植作業も行う。これにより、地形情報を加味した観測データからの放熱率計算のルーチン化を目指す。水位観測装置のデータ伝送を実装し、データ蓄積を開始する。

令和7年3月に新設するMulti-GAS連続観測点の保守を行い、噴煙組成連続観測を実施する。連続観測データの解析を自動化するため、処理プログラムの開発を行う。観測点保守に合わせて、手持ちのMulti-GASによる繰り返し観測を実施する。また、連続観測での問題点を洗い出し、Multi-GAS連続測定手法および装置の再検討、改良をおこなう。令和6年度に改良した校正手法のプロトタイプや検討したデータ解析手法を実装し、その安定性評価も行う。

令和6年度に採取した火山ガス試料の分析と結果の解析を実施する。特に観測史上初めて、 $H_2$ の端成分 $\delta^2H$ が高温型と低温型の2つに分離した理由について、他成分との相関や試料採取時の映像資料等と照合しながら、原因を解明する。また、中央噴気由来と南壁噴気由来を明確に区別して採取するなど、試料採取方法を改良した観測を実施する。

火口周辺の6観測点におけるACTIVEの繰り返し観測を継続し、比抵抗構造解析を通じた地下浅部の熱水系モニタリングを行う。3次元比抵抗構造解析に必要な地下構造の初期モデル推定のために、観測点数40点ほどのACTIVEの高密度キャンペーン観測も実施する。これにより、これまで用いられてきた2003年、2004年のデータをもとにした地下構造モデルを更新する。また、2017-2021年に行われた過去のACTIVE観測データを用いた地下比抵抗構造の再解析も実施する。

本堂観測坑道の前室（地下1階部分）における重力連続観測を継続するほか、トンネル（地表からの深さ約30 m）にも新たに相対重力計を設置し、標高の異なる2地点における重力並行観測を開始する。また、収録された重力データを随時自動解析し、器械ドリフトや潮汐変動の寄与を補正し、火山活動に関連する重力変化の検出有無を検討する。

火口湖採水も継続し、化学組成の時間変化を追跡する。

**(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：**

横尾亮彦（京都大学理学研究科）,大倉敬宏（京都大学理学研究科）,宇津木充（京都大学理学研究科）,風間卓仁（京都大学理学研究科）,石井杏佳（京都大学理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

森俊哉（東京大学理学系研究科）,森田雅明（東京大学地震研究所）,角皆潤（名古屋大学環境学研究科）

**(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：京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

電話：0967-67-0022

e-mail：yokoo.akihiro.5a@kyoto-u.ac.jp

URL：https://www.aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

**(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者**

氏名：横尾亮彦

所属：京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター