

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03988

研究課題名（和文）噴火が危惧される弥陀ヶ原火山のマグマ供給系 熱水流動経路の解明

研究課題名（英文）Clarifying the magma supply system and hydrothermal flow pathways beneath Midagahara Volcano

研究代表者

石崎 泰男 (Ishizaki, Yasuo)

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：20272891

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：弥陀ヶ原火山の次期噴火の想定火口である地獄谷において、噴気孔・熱水孔の分布調査とモニタリングを行った。UAV観測により、噴気孔・熱水孔が全体として東西方向に配列していることが確認され、地下に東西性の熱水経路の存在が示唆された。IoTカメラによるリアルタイムモニタリングでは、最新の水蒸気噴火を発生させた新大安地獄（小火口）の火口壁の崩落と埋積が進行し、ガスの放出が阻害されつつあることが明らかになった。最後のマグマ噴火の噴出物についての岩石学的解析により、熱水の供給源候補であるマグマ溜りの深度が約4～12 kmと推測され、これまでに分かっている飛騨山脈下の地震波低速度領域の深度とほぼ一致した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題により、観光シーズンという限られた期間ではあるものの弥陀ヶ原火山の次期噴火の想定火口である地獄谷内にIoTカメラを設置し、地獄谷全域及び主要噴気帯のリアルタイムモニタリングが実施できるようになった。これにより、今後観光シーズンに地獄谷内で異常現象や噴火が発生した場合には、関係機関への速やかな情報提供が可能となった。このリアルタイムモニタリングは、今後も富山県の協力を得て継続できる見込みである。また、UAV調査で得られた噴気帯の分布に関する情報からは、熱水供給系が東西性の構造を有することが示唆されただけでなく、今後の火山活動評価や観測網施設の際に基礎資料とする。

研究成果の概要（英文）：In this project, monitoring of fumaroles and hydrothermal vents was conducted at Jigokudani, which is considered to be a hypothetical crater for the next eruption of Midagahara Volcano. Through UAV observations, it was confirmed that the fumaroles and hydrothermal vents are aligned in an east-west direction, suggesting the existence of an east-west hydrothermal pathway in the subsurface. Monitoring using IoT cameras revealed that crater walls were collapsing and burial was progressing at Shin-Oyasu Jigoku (small crater), where the latest phreatomagmatic eruption occurred, and that gas emission was being impeded. Petrological analysis of the eruption product (Tamadono Lava) from the last magmatic eruption suggests that the depth of the magma reservoir, a candidate source of hydrothermal fluids, is about 4-12 km, which is consistent with the previously determined depth of the seismic low-velocity region under the Hida Mountains.

研究分野：火山学

キーワード：弥陀ヶ原火山 地獄谷 水蒸気噴火 モニタリング IoTカメラ UAV

1. 研究開始当初の背景

富山県・弥陀ヶ原火山は、最近1万年間に繰り返し水蒸気噴火を発生させてきた熱水系卓越型火山である(気象庁編, 2013)。現在の防災マップでは、弥陀ヶ原火山の次期噴火(水蒸気噴火)は、地盤変動や噴気活動が活発化している地獄谷で発生すると想定されている(富山県, 2018)。地獄谷の2 km 圏内には毎年約100万人の観光客が訪れるため、小規模な水蒸気噴火でも甚大な人的被害が発生する可能性が高い。また、最近では地獄谷でのマグマ性ガスの噴出も確認されており(東京工業大学, 2016)、マグマ噴火も視野に入れた防災対策が必要である。そこで本研究では、地獄谷での次期噴火に向けた監視と防災対策をより現実的なものとするため、その基盤となる学術調査・研究を実施する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、熱水の起源となっているマグマ溜りの位置を特定すること、熱水溜りからの熱水流動経路を特定すること、再噴火が危惧される新大安地獄火口で噴火の前兆現象を捉えることである。

本課題により、再噴火が危惧される新大安地獄を中心に、地獄谷での観測データが充実することも将来的には重要である。噴火が想定される地獄谷から下流の立山町・富山市の市街までは地形的障壁がなく、噴火に伴い夏には土石流、冬には融雪泥流のリスクがある。本研究で取得できる地獄谷の活動に関する観測データは、再噴火の際に必ず防災の役に立つ。

弥陀ヶ原火山のマグマ供給系の構造を制約できることも重要である直近のマグマ噴火の噴出物の物質科学的解析により地下のマグマ溜りの深度を制約し、今後のマグマ噴火予測のための基礎データとしたい。

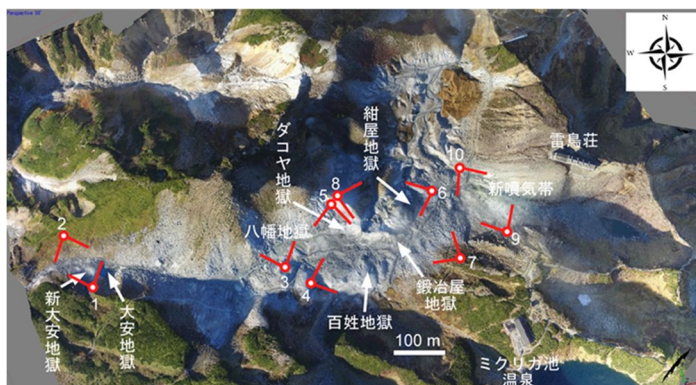
3. 研究の方法

(1) 玉殿溶岩についての物質科学的解析

熱水の供給源であるマグマ溜りの深度について検討するため、各種鉱物圧力計を用いてマグマ溜りの圧力(=深度)を推定した。現在の水蒸気噴火卓越期が始まる直前に噴出した玉殿溶岩を解析試料に用いる。同溶岩には角閃石斑晶が多く含まれており、富山大学機器分析施設のEPMAを用いて角閃石の化学組成を分析し、組成データから角閃石圧力計を用いてマグマ溜りの深度を特定する。

(2) 新大安地獄及び他の噴気孔・熱水孔の活動推移の把握と噴火予兆現象の検出

地獄谷内には多数の噴気孔・熱水孔が存在し、それらの噴出が活発な地帯には“地獄”という名称が与えられている(第1図)。本課題では紺屋地獄、百姓地獄、八幡地獄、鍛冶屋地獄、新大安地獄及び2011年ごろから新たに活動を始めた新噴気帯でタイムラプスカメラによる定点観測を行った。観測に用いたタイムカメラは、HykeCam社製LT4Gである。観測期間中の撮影間隔は5分である。本機種は通信機能付きIoTセンサーカメラであり、撮影された画像データがクラウドサービスに送信され、大学のパソコン上で画像を逐次確認することができる。新大安地獄近傍に設置したカメラでは、火口の土砂埋積状況と噴気量の変化をモニタリングした。新大安地獄では、火口が土砂に埋積された後の2007年冬に小規模噴火が発生している。再噴火の原因としては、土砂埋積に伴う噴気通路の閉塞により、火口直下にガス溜りが形成したためであると推測される。そのため定点観測により把握される火口の埋積状況及び噴気状況は、毎年年度末に関係機関に情報を提供した。



第1図 タイムラプスカメラの設置地点と撮影方向

(3) UAVによる噴気孔・熱水孔の分布調査

熱水溜りから地表への熱水流動経路の形態・分布を明らかにするため、UAVによる噴気孔・熱水孔の分布調査を行った。熱水は、亀裂を通り熱水溜りから地表にもたらされ、地表に噴気孔や熱水孔などの高温域をつくる。赤外線カメラ搭載UAVを用いて地獄谷全域の熱画像を取得し、高温域の分布を解析することで、熱水流動経路に空間的制約を与える。可視像の撮影には、DJI社製Phantom 4 Professional Version 2を用い、DJI社製自動航行ソフトウェアDJI GS Proによ

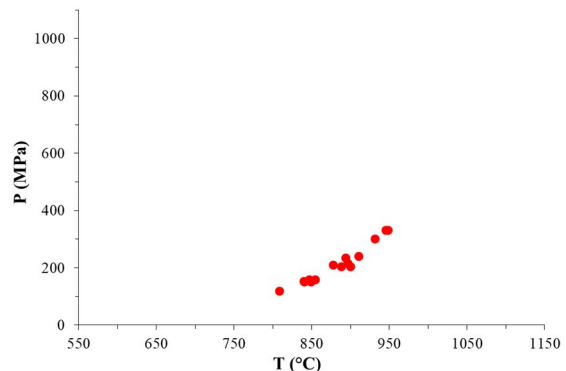
り UAV を高度 100 m で自動航行させ、近接画像間のオーバーラップ率縦 80%、横 60% で地獄谷全域の画像を取得した。取得した可視像を Agisoft 社製 Metashape (画像解析ソフトウェア) を用いて合成し、それぞれについて 3 次元形状データを取得した。可視像取得と並行し、DJI 社製 Phantom 3 Advance と赤外線サーモカメラ (Flir 社製 Vue Pro) を用いて赤外線像の撮影を行ってきた。なお、2022 年度の観測中に UAV が墜落し、機体と赤外線サーモカメラを回収ができなかったため、2023 年度は赤外線画像データを取得できなかった。

4. 研究成果

(1) 玉殿溶岩についての物質科学的解析と熱水の起源となっているマグマ溜りの位置の特定

熱水の起源となっているマグマ溜りの深度や温度についての情報を得るため、最後のマグマ噴火の噴出物である玉殿溶岩 (噴出年代約 4 万年前; 原山ほか, 2000; 中野ほか, 2010) について岩石学的解析を行った。本溶岩の噴出後に火口域に立山カルデラが形成されたため、火口の正確な位置は不明である。本溶岩は玉殿岩屋から地獄谷の北にかけて、さらに、浄土山西 (室堂山) のカルデラ壁から室堂平までの斜面を構成する。玉殿溶岩はデイサイト質 (SiO_2 量 63-64%) の火砕成溶岩であり、斑晶組合せは斜長石, 直方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 不透明鉱物である。玉殿溶岩の溶岩中に見られる斜長石斑晶は An38-86 の組成幅を示し, An50-55 と An70-80 に組成分布のピークがみられる。直方輝石斑晶は Mg#=56-67 の組成を示し, Mg#=60-65 に組成分布のピークがみられる。また, SEM 像では逆累帯構造が多く見られ, 一部正累帯構造のものも見られる。単斜輝石斑晶は Mg# = 63, 70 の組成を示す。角閃石斑晶は $(\text{Na}+\text{K})_A=0.36-0.61$ の組成幅を示す。

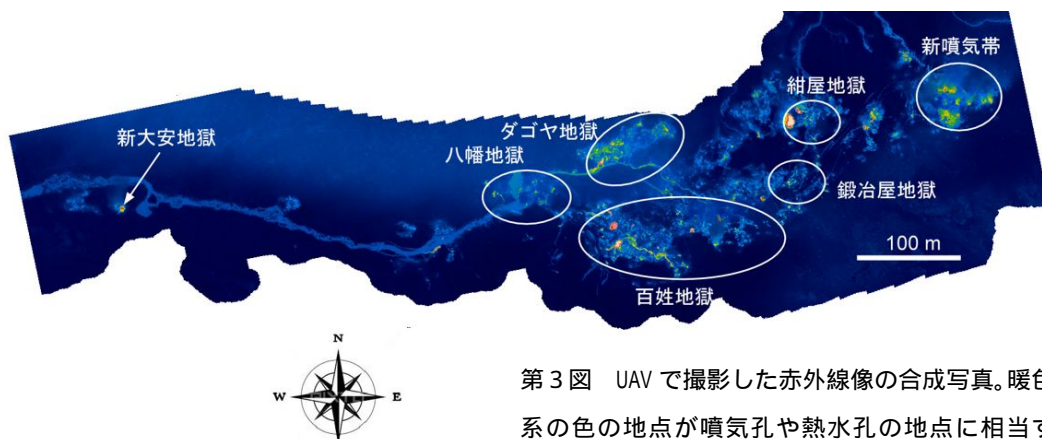
角閃石温度・圧力計 (Ridolfi et al., 2010) を用いて、玉殿溶岩の角閃石斑晶組成から角閃石斑晶晶出時の圧力を推定した。この圧力計では、カルクアルカリ系列火成岩中の角閃石の組成から、73-1000 MPa の範囲で圧力を求めることができ、その誤差は求められた値の $\pm 10\%$ とされる。玉殿溶岩の角閃石から求められた圧力は 120-333 MPa であり (第 2 図), マグマ溜りから地表までの岩盤を花崗岩としたときの深度は 4~12 km と推定される。この深度は、これまでに分かっている飛騨山脈下の地震波低速領域の深度 (Matsubara et al., 2000) とほぼ一致した。



第 2 図 玉殿溶岩の角閃石斑晶が晶出した温度・圧力

(2) UAV 観測による熱水流動経路の評価

本課題で作成した地獄谷全域の赤外線マップを第 3 図に示す。噴気帯の分布には、全体として東西方向に配列する傾向が見られ、この傾向に経年変化は見られなかった。このような配列は、おそらく地獄谷の地下構造を反映しており、地下に高温ガスや熱水が上昇しやすい東西性の割れ目が存在していることを示唆する。



第 3 図 UAV で撮影した赤外線像の合成写真。暖色系の色が噴気孔や熱水孔の地点に相当す

(3) UAV 観測及び定点カメラ観測による各噴気帯の活動推移とその評価

本課題の実施期間中に顕著な活動の変化が確認できた新噴気帯、八幡地獄及び新大安地獄について以下にその概要を述べる。また、2023 年には、新大安地獄の西方にあるソウメン滝の爆水が消失したため、その原因について述べる。

新噴気帯

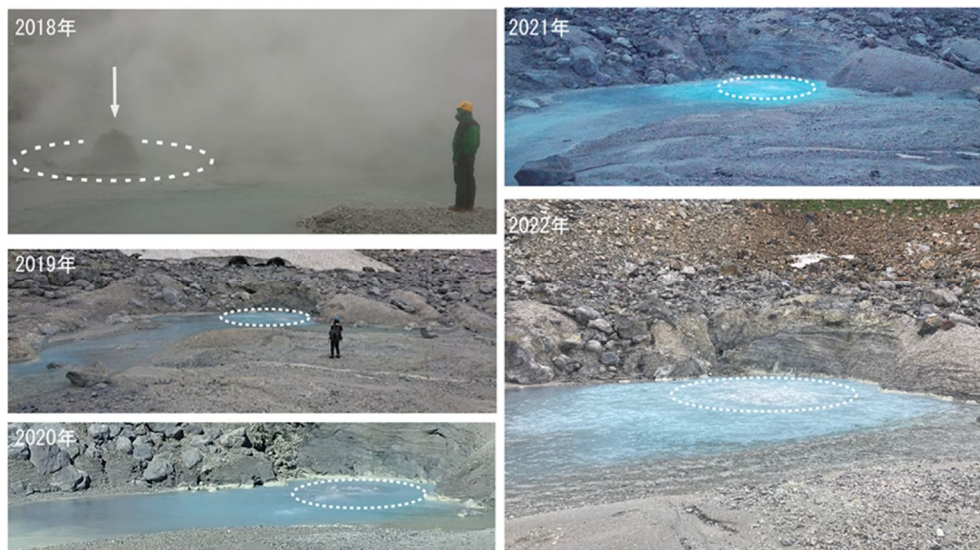
新噴気帯では、本課題を開始した2019年には既に地獄谷内で最も活発な噴気活動が起きていた。特に紺屋橋の南東側での噴気活動が極めて活発であり、その状況は2023年まで変化しなかった。過去5年に起きた最も重要な変化は以下の2つである。まず、最も活動が激しい噴気帯の北側に2019年にやや大きな陥没孔が形成された(第4図)。前年の2018年にはこの地点に小規模な地割れが生じ、そこから高温の噴気が放出されているのを確認している。陥没孔はこの地割れに沿って地表が陥没することで生じたと推測される。次に、2020年まで活発な噴気活動が見られた範囲で、2021年から噴気活動が低調になり、2022年には噴気活動がほとんど見られなくなった。この範囲では、取得された赤外線画像の解析からも、地熱帯の範囲が2020年には前年に比べ拡大したが、2021年には大きく縮小している。この高温域の縮小が2022年も継続し、2023年にはほぼ停止に至った。



第4図 新噴気帯に形成された陥没孔(2019年)

八幡地獄

もともとは河川であったが、2018年に川岸の噴気孔に沿って陥没が起こった。この陥没に伴い川底から勢いよく灰色の熱水の噴出が始まり(第5図の2018年の写真の矢印)、灰色の湯だまりが形成された。2019年には熱水の噴出がおさまり、湯だまりの水が青白色に変化し(この時点では湯だまりの水は低温になっていたため、水だまりと呼ぶ方が正確と思われる)、2020年~2023年もその状態が維持された。現在も地下からの物質放出が確認されるが、それが気体なのか液体なのかは現時点ではわからない。



第5図 八幡地獄の活動の経年変化(2018~2022年年)

新大安地獄

2019年に新大安地獄の西方で確認された地熱帯が2020年には規模が縮小し、2021年にはさらに規模が縮小した。地熱帯の地表温度も年々低下傾向にある。なお、この地熱帯では、明瞭な噴気活動は見られない。新大安地獄の噴気温度も年々低下しており、2021年には前年までに見られた80を越える噴気の活動は見られなくなった。定点カメラ観測では、新大安地獄の火口地形の埋積が年々進んでいることが確認できている(第6図)。そのため、噴気温度の低下は、火口に埋積した土砂により、火山ガスの放出が阻害されるようになったことに原因があると推測される。



第6図 埋積されつつある新大安地獄

ソウメン滝の流量変化とその原因について

2023 年度、地獄谷周辺域で顕在化した重要な現象の一つにソウメン滝の流量変化（爆水の消失）がある（第7図）。富山地方気象台火山防災官の齋藤直子氏が行った天狗平山荘・佐伯氏への聞き取り調査（7月11日9時過ぎ）によると、「今まで水が枯れたことはなかったソウメン滝が消えた」、「かわりに尾根を挟んで北側にある滝（潜流瀑：斜面の途中から流れ落ちている滝）の水量が増えた」、「ソウメン滝の上流側の水量が減ったわけではなく、潜流瀑の方に流路が変わったのではないか」、とのことである（齋藤、私信）。

課題代表者は8月31日に現地調査を行い、新大安地獄の西方地点で沢の流水が地下に流れ込み、それより下流では流水がほぼ消失していることを確認した。現地での観察によると、流水は沢底の岩盤にできた割れ目に流れ込んでいた。この割れ目は、沢底の岩盤（称名滝火砕流堆積物：原山ほか、2000）にみられる柱状節理の柱面沿いの割れ目が拡大したものである。このような現象は、溶結凝灰岩化した火砕流堆積物ではよく見られる現象である。そのため、現時点では、ソウメン滝の水の消失は上流域の岩盤の性質によるものであり、弥陀ヶ原火山で現在進行中の火山活動との間に関連があるとは考えにくい。一方で、柱状節理の柱面の割れ目の拡大は今後進む可能性があり、その場合にはソウメン滝沿いに岩盤の大規模崩落が引き起こされる可能性もあり、今後も注視する必要がある。



第7図 西方から見たソウメン滝の上流域

引用文献

- 原山 智・高橋 浩・中野 俊・刈谷愛彦・駒澤正夫（2000）立山地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，218p．
気象庁編（2013）日本活火山総覧（第4版），1502p．
Matsubara M, Hirata N, Sakai S and Kawasaki I (2000) A low velocity zone beneath Hida Mountains derived from dense array observation and tomographic method. Earth Planets Space, 52, 143-154.
中野俊・奥野充・菊川茂（2010）立山火山．日本地質学会117年学術大会見学旅行案内書，37-48．
Ridolfi, F., Renzulli, A. & Puerini, M. (2010) Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. Contributions to Mineralogy and Petrology 160, 45-66.
東京工業大学理学院火山流体研究センター（2016）弥陀ヶ原．第136回火火山山噴火火予知連絡会資料，21．
富山県（2018）弥陀ヶ原火山ハザードマップ及び解説資料．<https://www.pref.toyama.jp/1900/bousaianzen/bousai/kj00021256/kj00021256-002-01.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本大貴、石崎泰男
2. 発表標題 弥陀ヶ原火山地獄谷の火山活動モニタリング(2)
3. 学会等名 日本火山学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本弥禄、石崎泰男
2. 発表標題 弥陀ヶ原火山における火砕成溶岩の成因
3. 学会等名 日本火山学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------