

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）弥陀ヶ原火山およびその周辺における地球物理学的観測による火山・地震活動モニタリング
（英文）Monitoring volcanic and seismic activities by geophysical observation in and around Midagahara volcano, Toyama, Japan

(3) 関連の深い建議の項目：

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

(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

イ. 内陸地震

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

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

(5) 本課題の5か年の到達目標：

地盤変動観測：地獄谷内において、水準測量やGPS観測を実施し、変動の推移や熱水・ガスだまりの体積の経年変化を明らかにする。また、これまで水準測量で得られた変動源は期間によって変動源が異なる問題があることから、統一的なモデルを構築する。さらに、地獄谷内でレーザー測量や写真測量を実施し、面的に地盤変動を捉えることを目指す。一方で、後述の熱観測から明らかになる熱活動との対応関係についても解明する。

地震観測：飛騨山脈にある活火山の下では深部低周波地震が観測されている。活火山の下で、震源が最上部マントルから中部地殻まで線状につながって分布することから、マグマ活動に関係することが推察される。流体の移動など、火山活動に関連する地震活動を把握するために、震源の時間変化や発震メカニズム、地表活動との関連性を明らかにする。また、マグマ供給源について把握するために火山深部の減衰構造について調査を進める。弥陀ヶ原火山に近い跡津川断層などで発生する非火山性地震についても解析を行う。一方、変動源と地下構造の対応を明らかにするために地獄谷内で地震波を用いた浅部構造探査を実施する。

熱観測：本課題でもUAVによる熱活動観測を継続する。高温域の分布とその経年変化を解析することで、地下の熱水流動経路に時空間的制約を与えるだけでなく、地盤変動との関係にまで踏み込んだ検討を行う。

地中レーダーを用いた浅部構造探査：地獄谷内には多数の温泉湧出孔、火山噴出孔が存在する。隣接する温泉噴出孔であっても、温泉水の化学組成や水位が異なることが分かっている（例えば、Seki et al., 2019）。これらの違いは、帯水層とガス供給系の関係を反映していると考えている。浅部構造探査により帯水層やガスを供給する亀裂を捉え、温泉活動、ガス活動の理解を目指す。研究計画の項目で述べるように、毎年重点地域を決めて地獄谷内で地中レーダー探査を実施する。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

令和6年度においては、現行課題の結果に基づき地盤変動観測は変動源があると考えられる百姓地獄～

新噴気帯で、地震観測は特徴的な地震がみられる立山カルデラ・有峰湖周辺でそれぞれ重点的に行う。GPS観測は7～10月に、水準測量は9月に実施する。面的な地盤変動を把握するべく、並行してレーザー測量・写真測量を年1～2回実施する。変動源と地下構造の対応を明らかにするべく、地震波や地中レーダーを用いた浅部構造探査も並行して実施する。熱活動と地盤変動との関係を明らかにするべく、UAVによる熱活動観測を9月に実施する。浅部構造探査は百姓地獄南側で実施する。

令和7年度においては、地盤変動・地震観測を継続して実施し、変動源解析・震源決定・メカニズム解析・減衰構造の解析を進める。熱活動観測や浅部構造探査も継続して実施する。地中レーダー探査は鍛冶屋地獄で実施する。

令和8年度においては、地盤変動・地震観測を継続して実施し、ここまでの結果に基づき地盤変動・地震観測網の拡張を図る。熱活動観測や浅部構造探査も継続して実施し、地盤変動との関係についても検討する。地中レーダー探査は紺屋地獄で実施する。

令和9年度においては、地盤変動・地震観測を継続して実施し、モデル等の改良と解釈を行う。熱活動観測や浅部構造探査も継続して実施し、地盤変動源との関係などについて明らかにする。地中レーダー探査は団子屋地獄で実施する。

令和10年度においては、観測の継続とともに成果のとりまとめ・論文投稿・データの整理を行う。地中レーダー探査は紺屋地獄で実施する。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 地盤変動・熱活動観測

2025年9月2日・12日に地獄谷内にて定例の水準測量を実施した。2024年9月からの約1年間のBM. 1に対する地盤上下変動を図1に示す。得られた変動には次の2つの特徴が認められる。(1) 地獄谷西部の八幡地獄から百姓地獄にかけての沈降が、2023年8月～2024年9月の1年間と比較して、より顕著かつ広範となった(最大9 mm)。(2) 地獄谷中央の鍛冶屋地獄から東部の新噴気帯にかけては、前年まで認められていた隆起が鈍化し、一部では沈降に転じた。

これらに関連する最近の主要な現象として、2024年9月に鍛冶屋地獄で発生した硫黄溶岩の流出・燃焼が挙げられる。2016年10月～2025年9月の水準測量およびSentinel-1 InSARデータを用い、Mogiモデル(Mogi, 1958)による変動源解析を行った。最小二乗解析の結果、鍛冶屋地獄直下約15 mに膨張源が推定され、体積変化量は 52.3 m^3 であった(図2)。さらに、このモデルに基づく体積の時間変化から、2024年9月以前の膨張とその後の収縮が認められ、これらは硫黄溶岩流出・燃焼に先行・後続する過程を反映していると考えられる。

水準測量のほか、地獄谷内の3か所でGNSS観測を実施している。このうち百姓地獄(MDGE)と新噴気帯(MDGB)のGEONET観測点041138に対する水平および上下変動を図3に示す。併せて近隣の水準点の水準測量から得られた上下変動も示した。GNSS観測から得られる上下変動の傾向は水準測量から得られる上下変動と矛盾しない。また、2025年には百姓地獄の水平変位が北西方向から東方向に転じたことが確認された。

併せて、無人航空機(UAS, Uncrewed Aerial System)を用いた現地観測を実施し、レーザ測量(Lidar, Light detection and ranging)、可視画像、および熱赤外画像を取得した。UASの機体・センサ位置情報はRTK-GNSS(Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System)により高精度に取得し、空間データの幾何精度をcm単位で担保している。取得した可視画像および熱赤外画像は、SfM(Structure from Motion)多視点ステレオ写真測量により処理し、3次元地表モデル

(DSM, Digital Surface Model)およびオルソ補正画像を生成した。特に、熱赤外画像から作成したオルソモザイク画像に基づき、地表面の高解像度な温度分布を面的に把握することが可能となった

(図4)。一方、Lidarにより取得した点群データについては、ノイズ除去および地表・非地表の分類などのフィルタリング処理を施した上で、高精細な地形情報(DTM, Digital Terrain Model)へと変換した。これにより、植生被覆下を含む微地形の詳細な抽出が可能となっている。

2. 地震観測

2020年9月以降、弥陀ヶ原火山周辺に順次臨時観測点を設置(2026年2月現在5点)し、地震観測を継続している。周辺にある防災科学技術研究所のHi-netや気象庁・東京大学・京都大学のデータと合わせて2020年9月～2025年6月の期間についてWINシステムによる自動解析を実施した。得られた地震のうち、現在の火山活動地域である地獄谷およびその周辺(東経 137.585° ～ 137.601° 、北緯 36.573° ～

36.592°) のM-T図および月別回数を図5に示す。この地域では地震活動がきわめて低調であり、通常は月3回以下である。また、マグニチュードについても最大で1.3と小規模である。地震回数が4回以上となったのは2021年8月(4回)、2022年9月(7回)、2024年1月(10回)の3月であった。これらの地震が火山性のものか否かについては精査が必要である。なお、能登半島地震直後の2024年1月には、この地獄谷周辺から有峰湖付近にかけての地域で地震が頻発していたようである。

3. 電気探査

地表で観測される噴気活動・温泉活動・地盤変動を比抵抗構造から推定されている浅部熱水ガス溜まりと関係づけるためには、熱水やガスの経路など浅部構造(深さ100 m以下)の理解が不可欠である。令和7年度は令和6年度に引き続き、小規模な電気探査を百姓地獄において実施した。予察的に求めた、見かけ比抵抗の疑似断面を図6に示す。ここでは、測線に垂直な方向には構造が変化しないと仮定している。低比抵抗の部分は水(電解質水溶液)を多く含むと考えている。東西測線Cでは、中央から東側にかけて顕著な低比抵抗が存在している。ここは、噴気活動・温泉活動が活発な鍛冶屋地獄の近傍であり、2023-2024年に顕著な地盤隆起が検出されたところである。南北測線Dはおおむね高比抵抗である。これは地表に見られる固結した硫黄溶岩が深部に連続していると考えられる。南側浅部にのみ低比抵抗部分が存在している。この部分では測線から約10 mのところに温泉の池がある。低比抵抗部分はこの池につながる地下水を表すと考えている。

4. 重力観測

2025年9月に、ラコスト型相対重力計を用いて地獄谷における相対重力測定を実施した。測定は天狗平を起点とし、地獄谷の既存の水準点7点における相対重力値を決定した。また、富山大絶対重力点～立山駅前～天狗平～室堂の間でも相対重力測定を実施した。これにより、富山大で2019年7月に測定された絶対重力値を参照することで、本研究で得られた相対重力値を全て絶対値化することができるようになった。第3次建議中にあと1～2回重力測定を行い、重力変化を捉えることを目指す。

・「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

本課題では、弥陀ヶ原火山の火山活動を統合的に理解するために、地盤変動観測や地震観測、熱活動観測、電気探査、重力観測といったさまざまな観測項目の実施を試みている。2024年9月に硫黄溶岩の流出・燃焼が発生した鍛冶屋地獄では長期的には隆起が認められ、深さ15mに変動源が見出された。また、硫黄溶岩流出・燃焼に先行・後続する膨張・収縮も認められた。電気探査で見出された低比抵抗帯はこの変動源に対応するかもしれない。鍛冶屋地獄のみならず弥陀ヶ原全体の火山活動を理解するために、今後は各観測項目を統合的に解釈できるモデルを構築することが不可欠である。

(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

Okada S, Katsumata A, Hotta K, in press, Three-dimensional S-wave attenuation structure around the Hida Mountains in Japan and effects of the Philippine Sea slab on the attenuation structure beneath central Japan, *Earth, Planets and Space*, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

堀田耕平, 2025, 立山火山地獄谷における2016～2024年の長期的地盤変動, 日本地球惑星科学連合2025年大会, SGD03-P01.

渡辺了, 米倉啓斗, 2025, 弥陀ヶ原火山における過去の水蒸気噴火の復元, 日本地球惑星科学連合2025年大会, S-VC31.

岡田翔矢, 勝間田明男, 堀田耕平, 2025, 飛騨山脈及びその周辺における三次元S波減衰構造の解析, 日本地球惑星科学連合2025年大会, S-SS08.

門倉涼, 堀田耕平, 2025, 2016～2020年立山火山地獄谷における地盤変動源の再検討, 2025年度

日本火山学会秋季大会, P29.

渡辺了, 2025, 弥陀ヶ原火山の深部熱水溜り, 日本火山学会2025年度秋季大会, A3-01.

岡田翔矢, 勝間田明男, 堀田耕平, 2025, 飛騨山脈及びその周辺における三次元 S 波減衰構造と周波数依存性, 日本地震学会2025年度秋季大会, P06-07.

(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. 地盤変動・熱活動観測

地獄谷における水準測量、GNSS観測、レーザ測量等を継続する。干渉SARの解析結果も統合し、鍛冶屋地獄以外の領域も含めた統一的なモデルの構築を目指す。また、百姓地獄の水平変位の変化などの異常の原因を精査する。また、レーザ測量等のデータを過去に取得した同種データと比較し、差分解析を実施することで、地形変化の空間的分布およびその量的評価を行う予定である。同様に、熱赤外データについても現況の温度分布の把握のみならず、過去データとの比較による変化検出を行い、地表面環境の動態把握を試みる。これらをふまえて、地表面変動を面的に捉え、その変化量を定量化することで、対象範囲における地下動態との空間関係および熱環境変動の実態解明をめざす。

2. 地震観測

地獄谷周辺の地震のメカニズム解を決定するなど、火山性のものであるか否かを精査する。2024年1月の地獄谷周辺～有峰湖付近にかけての地震など、その他の地域の地震活動についても調査する。

3. 電気探査

地盤隆起の顕著な鍛冶屋地獄を中心とする東西測線で探査を行うとともに、小規模な温泉湧出孔が点在する百姓地獄で探査を行い、地表の噴気活動・温泉活動の理解を深化させたい。また、解析を進めて比抵抗モデルの改良につなげたい。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

堀田耕平（担当者・総括）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）、渡邊了（担当者）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）、石崎泰男（担当者）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）、勝間田明男（担当者）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）、安江健一（研究協力者）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）、立石良（研究協力者）（富山大学学術研究部都市デザイン学系）

他機関との共同研究の有無：有

大見士朗（研究協力者）（京都大学防災研究所）、大倉敬宏（研究協力者）（京都大学大学院理学研究科）、早川裕弐（研究協力者）（北海道大学大学院地球環境科学研究院）、青山裕（北海道大学大学院理学研究院）

(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：

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：堀田耕平

所属：富山大学学術研究部都市デザイン学系

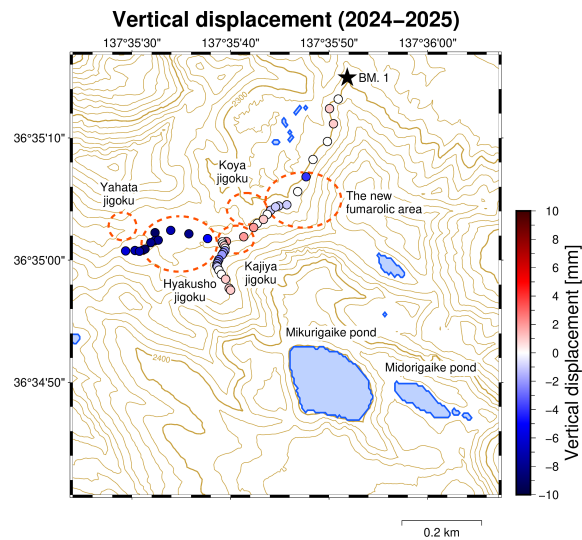


図1：水準測量より得られた2024～2025年の地獄谷内の上下変動。

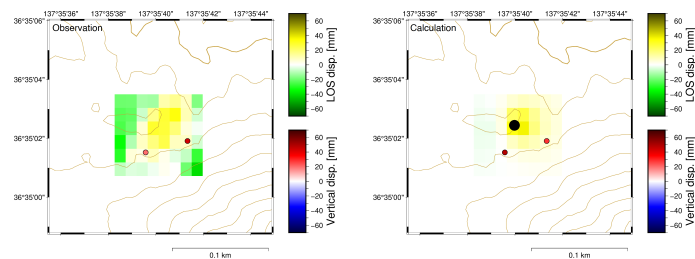


図2：（左）鍛冶屋地獄周辺の上下変動（水準測量）とLOS変動（InSAR）の観測値。（右）変動源解析の結果得られた茂木モデルの水平位置（黒点）と上下変動・LOS変動の計算値。

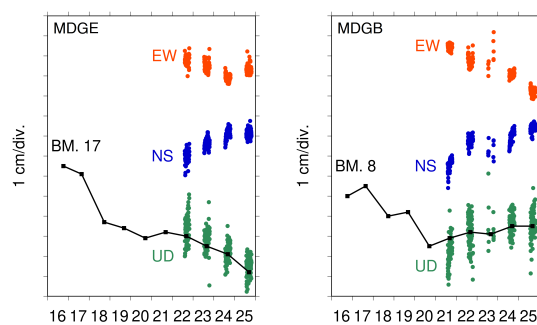


図3：百姓地獄（MDGE）と新噴気帯（MDGB）のGEONET観測点041138に対する水平および上下変動。黒い折れ線は近傍の水準点の上下変動。

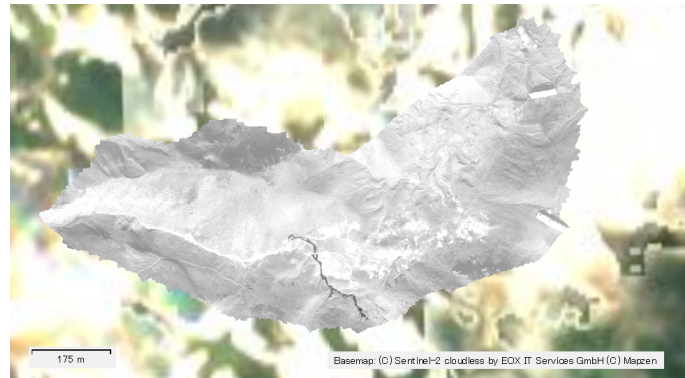


図4：UAS-thermalによる温度分布。

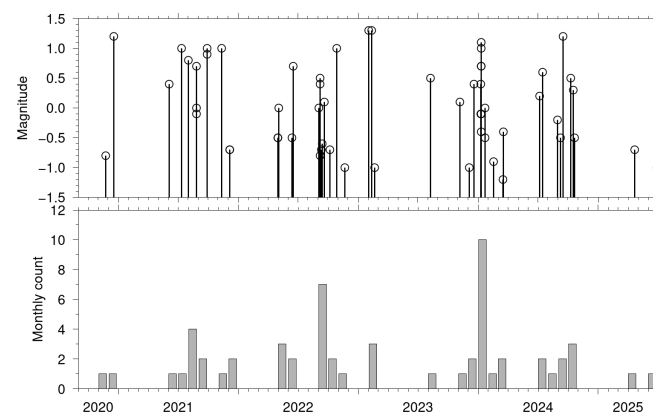


図5：地獄谷およびその周辺の地震のM-T図（上）と月別回数（下）。

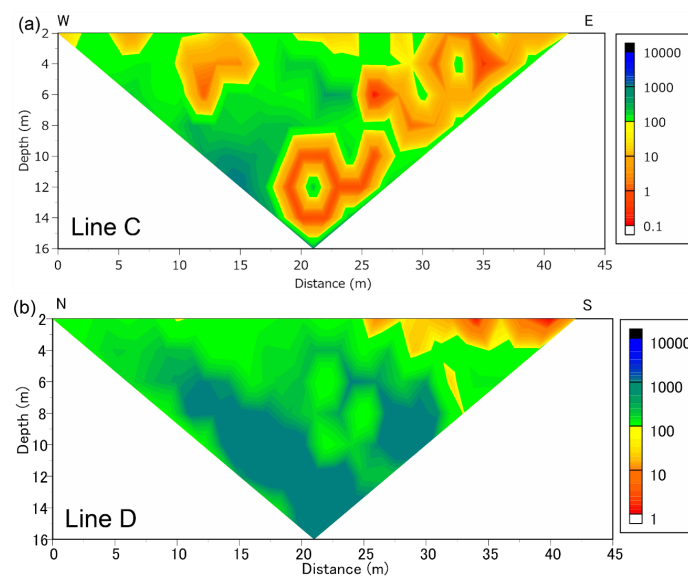


図6：測線C（東西）および測線D（南北）において求められた見かけ比抵抗の疑似断面。比抵抗の単位は Ωm 。

