

# 平成29年度学生による地域フィールドワーク研究助成事業 研究成果報告書

- ・機関及び学部, 学科等名: 富山大学 理学部 地球科学科
- ・所属ゼミ等: 地球進化学講座, 石崎研究室
- ・指導教員: 石崎泰男
- ・代表学生: 山本大貴
- ・参加学生: 松本弥禄

**【研究題目】噴火が危惧される弥陀ヶ原火山地獄谷の表層及び地下環境の解明～地質学と岩石学からのアプローチ～**

## 1. 課題解決策の要約

弥陀ヶ原火山では、最近1万年間、地獄谷とその周辺域で水蒸気噴火が繰り返し発生してきた。水蒸気噴火の主要な発生源である地獄谷については、地下環境(例えば、熱源の深さ)と表層環境がよく分かっていない。本研究では、地下環境については、最後のマグマ噴火の噴出物である溶岩の岩石学的解析により、また、表層環境については、地獄谷の各噴気地点の粘土鉱物の鉱物学的解析、ドローンによる熱活動モニタリング、噴気活動が活発な新大安地獄及び新噴気帯の定点観測から解明を目指した。

岩石学的解析からは、最後のマグマ噴火の噴出物である玉殿溶岩が、他の噴出物と明瞭に異なる化学組成をもつことが明らかになった。すなわち、水蒸気噴火卓越期が始まる直前に新たなマグマ溜りが地下に形成され、そのマグマ溜りが第4期活動の熱源となった可能性が示唆された。地獄谷表層の粘土鉱物の解析からは、最近約2000年間に噴気活動及び表層環境が変化した可能性が示唆された。ドローン観測では、現在噴気活動が活発でない場所にも高温域が存在することが明らかになった。噴気帯の定点観測からは、新たな噴気孔の出現、溶融硫黄の噴出、火口の間欠泉化が明らかになった。

本研究により、現在の地獄谷での火山活動に関する表層環境及び地下環境のデータを蓄積することができた。このデータは、今後発生が危惧される水蒸気噴火の前兆現象判断のための材料の一つとなるであろう。

## 2. 調査研究の目的

過去に水蒸気噴火を頻発させていた弥陀ヶ原火山地獄谷の表層環境及び地下環境を解明することが本研究の目的である。目的達成のため、先行噴火期である第3期のマグマ噴出物(特に溶岩)の岩石学的解析から噴出時のマグマ供給系及びマグマ溜りについての考察を行い、過去の地下環境の変化や現在の火山活動の熱源となっている可能性について検討した。表層環境については、噴気孔周辺に堆積している粘土鉱物の鉱物科学的解析、ドローン観測、噴気孔のモニタリングを行うことで、現在の地獄谷の活動を理解するための材料の取得を目指した。

## 3. 調査研究の内容

### (1) 第3期噴出物の調査内容

第3期は、最近の水蒸気噴火卓越期(第4期)が始まる前の活動期であり、マグマ噴火により主に溶岩を噴出した。第3期の溶岩は、古いものから順に二ノ谷溶岩、松尾峠溶岩、美松平溶岩、国見岳溶岩、天狗

山溶岩, 玉殿溶岩と呼ばれている. 本研究では, 第3期溶岩の全てについて, 試料採取及び露頭観察を行った(図 1). 採取した試料について, 薄片による観察・記載, モード測定, 全岩組成分析を行った.



図 1. 玉殿溶岩の露頭  
厚さは約 20m

## (2) 地獄谷での野外調査及び分析手法

地獄谷には西から新大安地獄, 百姓地獄, 鍛冶屋地獄, 紺屋地獄, 新噴気帯と呼ばれる噴気活動が活発な場所がある(図 2, 図 3). 本研究では, 上記噴気帯のうち紺屋地獄を除く 4 地点及びかつて地獄谷内に存在した火口湖で堆積した縞状粘土層の上部と下部(図 4)で粘土試料を採取し, XRD (X-ray diffractometer) 分析を行った.



図 2. ドローンで撮影した地獄谷の合成写真

後述するドローンの合成画像に噴気活動が活発な場所を示した.



図 3. 百姓地獄での試料採取地点

熱水が湧きだしている. 試料はコテをさしている左側から採取した.



図 4. 縞状粘土層

地獄谷に湖が存在したとされている 7 世紀末までに堆積した.

地獄谷内の噴気帯の分布は、ドローンを用いて調べた。地獄谷全域の可視像は、可視カメラ搭載ドローン (DJI Phantom 3 pro, 図 5) を用いて撮影した。また、地獄谷内の熱画像を、赤外線カメラ搭載ドローン (DJI Phantom 3 advanced に Flir 社製サーモカメラを搭載) を用いて撮影した。可視像と赤外線像は、Photo Scan (Agisoft 社) を用いて画像合成を行い、両者を重ね合わせて噴気帯の同定を行った。また、地獄谷内の代表的噴気帯である新大安地獄と新噴気帯については、タイムラプスカメラ (Brinno TLC200Pro) による定点観測を行った (図 6)。



図 5. 左: iPad mini (画面は DJI GS Pro) 及びリモコン  
右: DJI Phantom 3 pro



図 6. タイムラプスカメラ及び新噴気帯を北側から望む

#### 4. 調査研究の成果

##### (1) 岩石学的にみたマグマ供給系

第 3 期活動の最後に噴出したとされる玉殿溶岩 (全岩  $\text{SiO}_2$  量 63-64% のデイサイト) は、他の第 3 期噴出物と比較すると、全岩組成の変化傾向が大きく異なる (図 7)。このことは、第 3 期活動の最後には、それまでの活動とは異なる新たなマグマ溜りが形成されたことを示唆する。また、今回得られた全岩組成データを野上 (2014) による第 2 期噴出物の結果と比較すると、玉殿溶岩を除き、ほとんど同じ組成変化傾向が見られる。これらのことから、玉殿溶岩のマグマ溜りだけが他の第 3 期噴出物や第 2 期噴出物を形成したマグマ溜りと異なっていた可能性が示唆される。

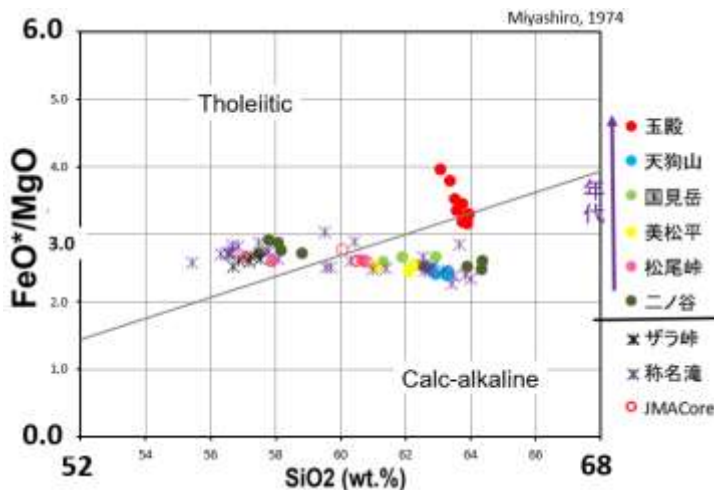


図 7. 全岩化学組成分析の結果

●が第 3 期の噴出物,  
\*が第 2 期の噴出物

玉殿溶岩を形成したマグマ溜りの深度については、デイサイト質マグマにおける角閃石斑晶の安定条件 (Rutherford & Hill, 1993) から推測することができる。玉殿溶岩には、他の第 3 期の溶岩と同様に、斑晶として角閃石が存在する。デイサイト質マグマ中で角閃石が安定に存在するためには、1 kbar 以上の圧力が必要である。この圧力は、ほぼ 3~4 km の深さに相当する。Matsubara et al. (2000) は、地震波探査から、弥陀ヶ原火山の地下約 4km に現在もマグマ溜りが存在することを明らかにしている。この地震波から検出されたマグマ溜りの深度は、岩石学的に推測されたマグマ溜りの深度と一致しており、玉殿溶岩を噴出したマグマ溜りが地下に現存し、水蒸気噴火発生のための熱源となっている可能性が考えられる。

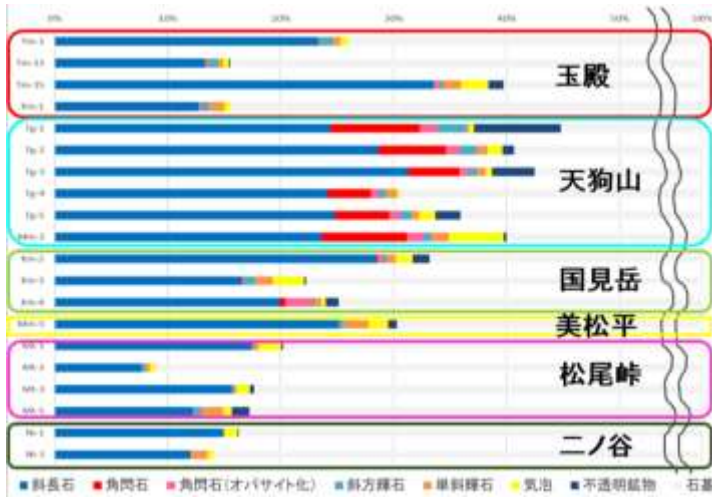


図 8. 第 3 期噴出物の斑晶鈹物の存在度

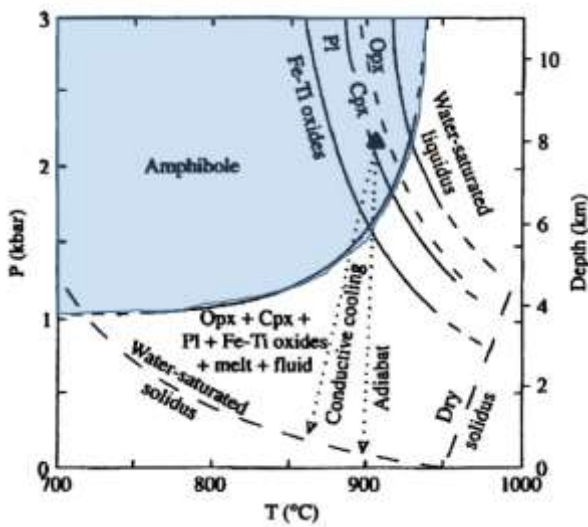


図 9. 実験的に決定された角閃石の安定領域 (Rutherford & Hill, 1993)

縦軸が深さ、横軸が温度を示しており、水色の範囲で角閃石が安定に存在できる。

### (2) 噴気孔周辺の粘土鈹物と鈹物種の時間変化

XRD 分析から、新大安地獄、百姓地獄、鍛冶屋地獄、新噴気帯で主にクリストバライトと硫黄が産出することが明らかになった(図10)。一方、かつての火口湖で堆積した縞状粘土上部層からは主に石英、下部層からは硫黄と石英が同定された(図 10)。水谷ほか(2001)によると、この火口湖は 7 世紀ごろまで存在していたとされている。現在活動中の噴気帯が当時もクリストバライトを生産していたのなら、湖沼堆積物にもクリストバライトが必ず産出するはずである。つまり、湖沼堆積物にクリストバライトが見られないという観察事実からは、地獄谷の噴気活動や熱水活動が7世紀以降に大きく変化したことが示唆される。

地点名	同定された鈹物
新大安地獄	クリストバライト、ミョウバン石 硫黄、クリストバライト
百姓地獄	クリストバライト、硫黄、石英 硫黄
鍛冶屋地獄	クリストバライト、カオリナイト、ミョウバン石 石英、硫黄、黄鉄鉱、沸石
新噴気帯	クリストバライト 硫黄、クリストバライト、黄鉄鉱
縞状粘土上部層	クリストバライト、石英、斜長石 石英、沸石、斜長石
縞状粘土下部層	硫黄、石英

図 10. XRD 分析の結果

同定された鈹物の上側は定方位分析(鈹物の向きを揃えたもの)で下側は不定方位分析(向きはバラバラ)で行った結果。左側にある鈹物ほど量が多い。

### (3) 現在の噴気活動の特徴

ドローンにより撮影された可視像を合成することにより、地獄谷の噴気帯の位置を特定することができた(図 11)。また、赤外線像と可視像を重ね合わせることで、噴気帯の位置や高温域の分布が明確に特定でき

た. 高温域が必ずしも現在噴気帯と一致していないことが地獄谷内部の熱活動の特徴である(図 9).

#### (4)連続モニタリングによる噴気孔の地形・

タイムラプスカメラによる定点観測により, 以下のようなことが明らかになった.

新大安地獄での定点観測からは, 火口内で温水の増減が起きていることが明らかになり, 新大安地獄が間欠泉となっていることが判明した. また, 火口壁が崩落し, 徐々に火口が埋積されつつあることが確認できた(図 13, 図 14).

新噴気帯の定点観測では, 新たな噴気孔の出現と溶融硫黄の噴出が確認できた. なお, カメラ設置地点が噴気孔に近かったため, カメラのレンズにしばしば硫黄が付着した. そのため, カメラ設置期間の約半分では, 噴気帯を撮影することができなかった(図 15, 図 16).

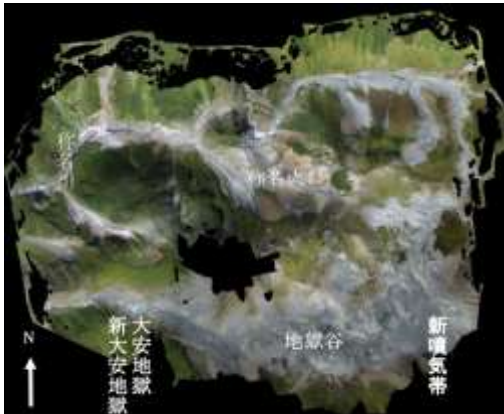


図 11.可視像の合成写真

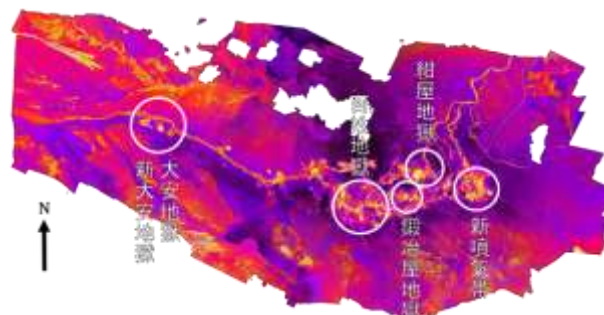


図 12.赤外線像の合成写真



図 13.重ね合わせた合成画像

噴気帯以外の場所にも高温域が広がっている(赤矢印).



図 14, 図 15.新大安地獄 8月 8 日の 6 時 35 分 13 秒と 17 時 25 分 13 秒の画像

温水が全く無い状態から夕方には窪みの半分ほどまで水位が上昇している.



図 16, 図 17. 新噴気帯 9 月 22 日の 8 時 1 分 24 秒と 9 月 27 日の 14 時 41 分 22 秒の画像

新しい噴気孔が開き、溶融硫黄が噴出したことにより黒くなっている。日にちが開いているのは溶融硫黄がカメラに付着したことによる視界不良のため。

## 5. 調査研究に基づく提言

第 3 期噴出物についての岩石学的解析により、現在の水蒸気噴火卓越期(第 4 期)が始まる直前に新たなマグマ溜りが形成されたことが明らかになった。このマグマ溜りは、溶岩中に角閃石斑晶が存在していることから、角閃石の安定な圧力、すなわち 1 kbar 以深に存在したことが推測された。地震波解析からもこの深度にマグマ溜りが現存していることがわかっており、玉殿溶岩の噴火直前に形成されたマグマ溜りが現在も地下に存在し、それが熱源となり水蒸気噴火が発生するようになった可能性がある。

ドローン観測により、噴気孔の分布と高温域の分布を明らかにすることができた。地獄谷内では、噴気孔・高温域がおおよそ東西に配列している。この配列は、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割目が存在している可能性がある。これらの分布の経時変化を検討することにより、今後、噴火の前兆をとらえることが可能となるかもしれない。なお、今回の観測では、カメラの温度校正をしなかったため温度情報を得ることができなかったが、今後撮影設定を見直すことにより、次の観測からは温度情報も取得できるようにしたい。

定点観測によるモニタリングにより、現在も刻々と変化する表層活動を捉えることができた。このようなモニタリングを今後も継続することにより、噴火の前兆現象や噴火リスク評価に用いることができるような材料(噴気活動変化や、その規則性など)を提供することができるようになるだろう。

## 6. 課題解決策の自己評価

1 月 23 日に発生した草津白根山の噴火からもわかるように、噴火の前兆現象を捉えるためには、地道な調査や観測が不可欠である。弥陀ヶ原火山が常時観測火山に指定されてから日が浅く、噴火リスク評価につながるようなデータの収集が始まったばかりである。この研究を通して、地元の火山のリスク評価に結びつくようなデータをこれからも着実に蓄積し、火山の減災・防災に貢献していきたいという思いを強くすることができた。