

平成25年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(一般共同研究)

1. 課題番号または共同利用コード 2013-G-14
2. 研究課題名 (データベース化のため英訳を加えてください。)
和文：地下構造調査による熱水・蒸気溜まりの実証的研究
英文：A corroborative study on the hydrothermal reservoir by the investigation of subsurface structure
3. 研究代表者所属・氏名 東京工業大学火山流体研究センター・神田 径
(地震研究所担当教員名) 小山 崇夫
4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
神田 径	東京工業大学火山流体研究センター・准教授	万代鉦周辺の AMT 調査、データ解析
小川 康雄	東京工業大学火山流体研究センター・教授	万代鉦周辺の AMT 調査、結果の解釈
高倉 伸一	産業技術総合研究所・グループ長	万代鉦周辺の AMT 調査、結果の解釈
小山 崇夫	東京大学地震研究所・助教	万代鉦周辺の AMT 調査、データ解析

5. 研究計画の概要 (申請書に記載した「研究計画」を 800 字以内でご記入ください。変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。)

本研究は、水蒸気爆発型噴火の発生場ではないかと応募者らが考える地下浅部の熱水・蒸気溜りについて、地下構造調査からその実像に迫ろうとするものである。これまでに、水蒸気爆発を繰り返す火山において、活動火口周辺の浅部地下構造を明らかにしてきたが、熱水変質した難透水性の岩石層と、その直下のやや高い比抵抗値を示す領域が共通して検出されている。このやや高比抵抗の領域を熱水・蒸気溜りと考えているが、地球化学的研究等から概念的なモデルが提案されているだけで、貯留形態などの実体は不明な点が多いのが現状である。そこで本研究では、熱水・蒸気溜りの存在が確実視される群馬県草津町の万代鉦硫黄鉦山跡の周辺において電磁気構造調査(AMT 法調査)を行い、精密なイメージングから熱水・蒸気溜りの実体を明らかにすることを目的としている。草津白根山の山腹にある万代鉦は、硫黄鉦山の坑道を掘進中に噴出した温泉で、現在は約 95°C の高温強酸性熱水(pH=1.6)が毎分 6000L 以上湧出しており、草津温泉最大の源泉として利用されている。坑道口からは、水蒸気量にして温泉湧出量の 1~2 割程度が噴気として常時噴出しており、坑道奥の地下浅部には安定的な熱水・蒸気溜りの存在が示唆されている。この熱水の起源は、草津白根山のマグマから派生した初期熱水流体が天水で薄められたものであることが地球化学的研究から示唆されている。本研究の実施により、熱水・蒸気溜りのイメージがより具体的となり、過去の地下構造調査の結果を再検討することによって、水蒸気爆発の発生場についての理解が進展することが期待される。また、これまでよくわかっていない、地下深部のマグマから万代鉦温泉への熱水供給経路等の情報が得られることも期待される。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1頁で記入してください。)

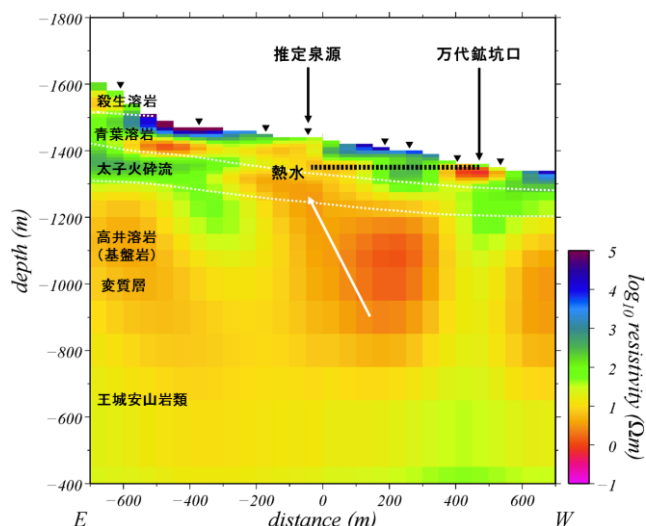
キーワード (3~5程度) : 比抵抗構造、草津白根火山、熱水系、草津温泉、万代鉱

万代鉱は、草津温泉から西に約 2 km 離れた草津白根火山東山腹に位置する自然湧出の温泉である。1967年に硫黄鉱山の掘削中に湧出したもので、1974年より草津町内へ引湯して温泉利用しているほか、熱交換によって温湯を作って町内へ供給し、冬期には道路融雪にも利用されている。温泉湧出地点は、坑口より 505m 西方地点と推定されており、現在、その真上の地表面は樹木が枯れ、地表付近の地温は 80°Cを超えている。本研究では、AMT法(Audio-frequency Magnetotellurics)による比抵抗構造調査を行った。万代鉱は、約 37 万年前の青葉溶岩上に位置しており、3000 年前に本白根山から流出した 2 筋の殺生溶岩が南側と北側で東西に分布している(宇都・他, 1983)。すぐ近くには、殺生河原や小殺生と呼ばれる噴気地帯も見られる。観測は、2013 年 10 月 19 日~26 日に実施し、推定湧出地点の周囲 19ヶ所において電磁場 5 成分の測定を行った。

解析は、Siripunvaraporn and Egbert (2009) の三次元インバージョンコードを使用して行なった。インピーダンス全成分の 2~3000Hz の範囲の 15 周波数を使用して比抵抗構造モデルを推定した。初期モデルとして、地形を含めた 100Ωm 一様構造を仮定し、空気に相当する直方体ブロックの比抵抗値を 10⁸Ωm で固定した。計算メッシュは、万代鉱を中心とする 1.5km×1.5km をコア領域とし、領域内の水平メッシュを均等に 50m とした。コア領域の外側は中心から離れるに従ってメッシュサイズを大きくした。鉛直メッシュは、観測点が分布する標高 1340m~1580m を 10m とし、それより上部はモデル上面である標高 2130m まで最大で 50m、下部では、深くなるにつれてサイズを大きくした。全計算領域は 19.7km×19.7km×38.5km で、54×54×68 ブロックの比抵抗値を推定した。エラーフロアは一律 5%に設定し、初期モデルに対する RMS 誤差は 39.4 であった。

インバージョンの結果得られた三次元比抵抗構造モデルから、万代鉱坑道を通る東西断面図を示す。このモデルのRMS誤差は1.25であった。万代鉱の坑口と終端付近で低比抵抗を示しており、より低比抵抗の部分が坑道の終端付近に下部から続いているように見える。地質層序としては、地表に露出している殺生・青葉溶岩の下に、37万年前の太子火砕流堆積物があり、その下には約 500万年前の安山岩の基盤である高井溶岩が存在する。この高井溶岩は、本白根南山腹のボーリングによって、スメクタイトを含む変質層であることが知られている。三次元モデルでは、標高 1200m 付近より下に数10Ωm以下の低比抵抗領域が広がっているが、この安山岩の基盤に対応していると思われる。比抵抗モデルから、熱水はこの基盤を通過して上昇していることが示唆される。

万代鉱の源泉は約96°C、pH=1.6の高温酸性熱水で、その電気伝導度は25°Cにおける換算値で1.08S/mと極めて低い値を示す(中央温泉研究所, 2006)。96°Cでの値に戻すと2.76S/mとなり、坑道の終端付近の低比抵抗領域が示す6~10Ωm (0.1~0.17S/m) の値より大きい。熱水変質により作られる粘土鉱物の表面伝導が寄与していることが考えられるが、万代鉱のような強酸性熱水の通路では、生成される粘土鉱物は、低比抵抗を示さず表面伝導の効果も小さいカオリナイトが卓越すると考えられる。そこで、表面伝導の効果は考えず、修正アーチーの式(Glover et al., 2000)を用いて湧出源付近の空隙率を推定する。空隙が流体で満たされている流体と岩石の二相系を考え、岩石の比抵抗値を100Ωm、膠結係数として空隙の大きな火山岩の代表値である1.44を用いると、三次元モデルから推定された比抵抗値を説明するためには、空隙率が10%~14%でなければならないことがわかった。



7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

神田 径・高倉伸一・小山崇夫・小川康雄・関 香織・日野裕太・長谷英彰、3次元比抵抗構造から推定される草津万代鉦周辺の熱水系、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜市、2014 年 4 月、謝辞の記載有、<http://www2.jpgu.org/meeting/2014/session/PDF/S-VC51/SVC51-01.pdf>

神田 径・高倉伸一・小山崇夫・小川康雄・関 香織・日野裕太・長谷英彰、草津万代鉦周辺での AMT 調査、Conductivity Anomaly 研究会 2014 年論文集、謝辞の記載有、印刷中、http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/CA/CA_Proc.html

神田 径・高倉伸一・小山崇夫・小川康雄・関 香織・日野裕太・長谷英彰、草津万代鉦周辺での AMT 調査、平成 25 年度 Conductivity Anomaly 研究会、東京大学地震研究所、2014 年 1 月、謝辞の記載有