

地球統計学的手法に基づく, VLF-MTによる表層比抵抗の分布特性の把握～台湾北部・大屯火山群を例に
Geostatistical analysis of VLF-MT resistivity data at the Tatun Volcano Group, Taiwan

小森 省吾^{1*}; 鍵山 恒臣²;
KOMORI, Shogo^{1*}; KAGIYAMA, Tsuneomi²; CHAO, Benjamin fong³

¹産総研・地調, ²京大・理, ³中研院・地球所(台湾)

¹GSI, AIST, ²Graduate School of Science, Kyoto Univ., ³IES, Academia Sinica

Tatun Volcano Group (TVG) is composed of over twenty volcanoes, which were formed within faults at the northern tip of Taiwan. Its active heat discharge from fumaroles and springs also suggests a large amount of volcanic fluids released from a potentially-existing magma beneath Chishinshan volcano (e.g., Yang et al., 1999; Ohba et al., 2010; Konstantinou et al., 2007). Komori et al. (2014) conducted AMT surveys for a better understanding of this magma degassing, and found low resistivity anomalies associated with the hydrothermal activity of the TVG.

In the TVG, we also conducted VLF-MT, which uses an electromagnetic wave with a singular frequency such as 22.1 kHz. Generally, its high simplicity of use enables a huge numbers of measurements at low cost, compared to AMT surveys. Therefore, VLF-MT could easily and extensively trace a surface distribution of hydrothermal fluids discharged from a deeper part, although its sounding depths are only a few tens to hundreds meters. However, it is quite often that there are many missing data points, mainly due to inaccessibility and high-level noises. Consequently, a sparse distribution of the surface resistivity is obtained, which might result in wrong spatial features of the resistivity at the survey areas.

Geostatistics is potentially a good tool to solve the above problem. It was theoretically developed by Krige (1951) to evaluate a quality of mines by estimating data values at unsampled points from a viewpoint of statistics. To date, it has been widely used for explorations of oils and geothermal/groundwater resources, by applying to data such as temperature, crack density, porosity, permeability, and chemical composition (e.g., Koike and Ichikawa, 2006; Anderson and Fairley, 2008). Because this method is mathematically based on statistics, it would enable a fair inference with regard to a spatial property of the obtained data.

The present study applied the Geostatistics to over 300 VLF-MT resistivity data of the TVG, which were conducted in 2009-2010 by Kagiya et al. (2010, JPGU meeting) and in 2012-2013 by Komori et al. (2014, CA meeting). The numerical code GSLIB (Deutsch and Journel, 1998) was used for our geostatistic works. The data were first processed to make an experimental semivariogram. It was used to estimate a model variogram by assuming values of nugget, sill, and range, on the basis of the criteria put by Kitanidis (1997). The modeled variogram was input to Simulated Annealing (SA) process to estimate a statistically-plausible spatial distribution of the surface resistivity. In the presentation, we will show preliminary results by the above processes, and examine its relation to structural features and hydrothermal activity of the TVG.

キーワード: 大屯火山群, 熱水活動, VLF-MT, 地球統計学, 焼きなまし法

Keywords: Tatun Volcano Group, hydrothermal activity, VLF-MT, geostatistics, simulated annealing

温泉水と比抵抗構造から推定される立山地獄谷の熱水系 Hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, inferred from AMT surveys and hot spring chemistry

関 香織^{1*}; 神田 径²; 丹保 俊哉³; 小川 康雄²; 高倉 伸一⁴; 潮田 雅司²; 鈴木 惇史¹; 齋藤 全史郎¹;
松永 康生¹
SEKI, Kaori^{1*}; KANDA, Wataru²; TANBO, Toshiya³; OGAWA, Yasuo²; TAKAKURA, Shinichi⁴;
USHIODA, Masashi²; SUZUKI, Atsushi¹; SAITO, Zenshiro¹; MATSUNAGA, Yasuo¹

¹ 東京工業大学, ² 火山流体研究センター, ³ 立山カルデラ砂防博物館, ⁴ 産業技術総合研究所

¹Tokyo Institute of Technology, ²Volcanic Fluid Research Center, ³Tateyama Caldera and Sabo Museum, ⁴National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1. はじめに

立山(弥陀ヶ原)は、飛騨山脈の北部に位置する第四紀の火山で、現在は地獄谷と呼ばれる場所で、活発な噴気・温泉活動を行っている。地獄谷は、立山火山の活動末期に繰り返し発生した水蒸気噴火により形成され、かつては火口湖を形成していたため、湖底に堆積した縞状の湖成層を地獄谷内で見ることができる(Kusakabe et al., 1986)。また、テフラ層として残るほどの規模ではないものの、有史以降も水蒸気噴火が発生していることが明らかにされている(中野・伊藤, 1998)。近年、噴気活動が活発化し、噴気温度は最高 149 °C を記録したほか、噴気ガスの組成からマグマの関与が示唆されており、火山活動の活発化が懸念されている。

本研究は、水蒸気噴火を発生させる地下構造の特徴を明らかにするため、水蒸気噴火を繰り返してきた立山火山地獄谷周辺で、AMT 法による比抵抗構造の調査を行った。また、現在の噴気・温泉活動と地下構造との関係に制約を与えるため、温泉水の化学分析もあわせて行った。

2. データ

AMT 測定は、地獄谷を中心とした領域で、2013 年 9 月に 8 ケ所、2014 年 9 月に 17 ケ所で実施した。2013 年に取得した 8 点のデータを使った 2 次元解析の結果は既に報告されており、地獄谷浅部に低比抵抗帯が広く存在し、その下の高比抵抗帯を割るように、マグマ性ガスの供給路と解釈された相対的に低い比抵抗領域が存在することが明らかになっている(Seki et al., 2015)。本研究では、地獄谷を中心取得された合計 25 点の AMT データを使用し、Siripunvaraporn and Egbert (2009) による 3 次元インバージョンコードを用いて、3 次元地下比抵抗構造を推定した。また、湧出している温泉水の電気伝導度、温度、pH を約 50 ケ所で現場測定し、そのうちの 12 ケ所ではポリ容器に温泉水を採取し、実験室に持ち帰って化学分析を行った。

3. 比抵抗構造と温泉水の化学組成

温泉水の分析結果から、地獄谷の温泉水は Cl-SO₄ 型の強酸性熱水であることがわかった。また、一部の温泉水は高い Cl/SO₄ 濃度比を示したことから、マグマ性熱水流体の寄与が示唆された。得られた 3 次元比抵抗構造モデルでは、現在の噴気・温泉活動を行っている地域の表層下に、厚さが ~50m の低比抵抗領域が存在し、これはカオリンなどの粘土鉱物が卓越する層だと考えられる。地獄谷の温泉は、いくつかの群を作って湧出しており、それぞれの温泉水群の特徴は異なるが、化学組成から地下浅所までは、同じ熱水流体であると考えられる。すなわち、地獄谷の個々の温泉水群の化学組成に対し、地表近くの低比抵抗層が、大きな影響を与えていることが予想される。

噴気・温泉活動が行われている地域の東部(紺屋地獄・南東斜面)では、高いイオン濃度を示す温泉水が観測された。それらの地域では、表層の低比抵抗領域の下に、比抵抗のやや高い領域が存在し、これは高温のガスを主体とする領域だと解釈した。深さ 100~500m に広く分布する低比抵抗領域は、称名滝火砕流が熱水変質した層だと考えられる。2 次元解析の結果と同様に、地獄谷の東側から地獄谷浅部へと低比抵抗領域が伸びていることから、熱水流体は地獄谷より東側の深部から供給されていると推定される。この熱水流体の源は、Matsubara et al. (2000) によって部分熔融領域だと解釈された、地獄谷より東側の深さ ~5km に位置する P 波の低速度領域にあると思われる。

本研究により、現在活発な噴気・温泉活動を行っている立山地獄谷地下に存在する熱水系の概要が明らかになった。地獄谷の表層の噴気・温泉活動を支配しているのは、表層下の厚さ ~50m の低比抵抗領域であることが予想されるので、今後は、より浅部の詳細な構造と表層の熱水活動について検討したい。

キーワード: 比抵抗構造, AMT, 立山火山, 水蒸気噴火, 熱水系, キャップロック

Keywords: Resistivity structure, AMT, Tateyama volcano, Phreatic eruption, Hydrothermal system, Clay cap

三次元比抵抗構造から推定される阿蘇中岳火口浅部の熱水系 Hydrothermal system around the active crater of Aso volcano inferred from a three-dimensional resistivity structure

神田 径^{1*}; 宇津木 充²; 高倉 伸一³; 井上 寛之²; 小川 康雄¹

KANDA, Wataru^{1*}; UTSUGI, Mitsuru²; TAKAKURA, Shinichi³; INOUE, Hiroyuki²; OGAWA, Yasuo¹

¹ 東京工業大学火山流体研究センター, ² 京都大学大学院理学研究科火山研究センター, ³ 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門

¹ Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ² Aso Volcanological Laboratory, Grad. Sch. Sci., Kyoto University, ³ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

2004 - 2005 年に取得した AMT 法データの解析から得られた、阿蘇火山の活動火口周辺の 3 次元地下比抵抗構造モデルについて発表する。AMT データは、阿蘇火山の中央火口丘の一つである中岳の火口内および周辺の 43 点において、約 300m のグリッドで取得されたもので、既に Kanda et al.(2008) によって 2 次元解析が行われている。

過去 80 年にわたり、阿蘇火山の火山活動はすべて中岳の第一火口で発生しており、顕著な活動サイクルを繰り返していることが知られている。このことは、第一火口下のほぼ同じ場所で、噴火に必要なエネルギーを蓄積する地下構造が存在することを示唆する。本研究の目的は、過去に取得した AMT データを 3 次元解析することにより、このエネルギーを蓄積しうる地下構造を明らかにすることにある。

Siripunvaraporn and Egbert (2009) のコードを用いた 3 次元インバージョンの結果、以下のような特徴の比抵抗構造モデルを得た。第一火口の直下 100-300m に極めて低比抵抗を示す領域が見つかったが、そのほかの火口周辺浅部は、予想よりも高い比抵抗値を示した。2 次元解析から広く見つかっている海拔 0m 付近の低比抵抗層は、今回得られた 3 次元モデルでは、第一火口を含む中岳火口の北半分のみ見られた。これらの特徴について、他の地球物理学的観測から推定されている様々な変動源と関連づけて議論し、活動火口直下の熱水系についての知見を得たい。

キーワード: 阿蘇火山, 比抵抗構造, 活動火口, AMT, 熱水系

Keywords: Aso volcano, resistivity structure, active crater, audio-frequency magnetotellurics, hydrothermal system

箱根山大涌谷火山ガス組成の時間変化 Time variation in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Hakone volcano, Japan

大場 武^{1*}; 青木 涼¹; 重村 大成¹; 左合 正和¹; 代田 寧²; 程 林³; 池谷 康祐³; 角皆 潤³
OHBA, Takeshi^{1*}; AOKI, Ryou¹; SHIGEMURA, Taisei¹; SAGO, Masakazu¹; DAITA, Yasushi²; CHENG, Lin³;
IKEYA, Kosuke³; TSUNOGAI, Urumu³

¹ 東海大学理学部化学科, ² 神奈川県温泉地学研究所, ³ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Dep. Chem. School Sci. Tokai Univ., ²Hot Spring Res. Inst. Kanagawa Pref., ³Grad. School Environ. Studies Nagoya Univ.

序

2014年に多数の犠牲者を出した御嶽山の噴火は、地震観測と地殻変動観測だけでは水蒸気爆発の予知が難しいことを我々に改めて認識させた。火山噴火の駆動力はマグマの脱ガスあるいは熱水リザーバの爆発であり、マグマや熱水リザーバから放出される揮発性成分の一部は、火山ガスの成分を構成する。よって火山ガスは、火山噴火を理解し、予知する上で本質的に重要な研究対象と言える。

箱根山で有史の噴火記録はないが、カルデラ内ではたびたび火山性地震が群発する。例えば2001年6月から10月にかけて発生した地震活動は活発で、中央火口丘の地下で体積膨張が観測され、山体に地殻変動をもたらした。この地殻変動は、深さ7kmの球状圧力源と、大涌谷および駒ヶ岳の浅部における潜在的な開口割れ目により説明された(代田・他, 2009)。2001年7月には大涌谷に掘削されていたボーリング孔の蒸気放出圧力が異常に増大した(辻内ほか, 2003)。

箱根山のカルデラ内には、15000人が居住し、平均して毎日5万人の観光客が訪れている。箱根山における火山防災を目的とし、神奈川県温泉地学研究所は地震活動、地殻変動、および地下水位等の多項目の観測を1961年以来継続している。本研究では火山ガスの組成に着目し、大涌谷地熱地帯で火山ガスの繰り返し採取・分析し、地震活動との関連を調べることを目的とする。

火山ガスの採取・分析

大涌谷地熱地帯の自然噴気を2地点において2013年5月からほぼ毎月2015年1月まで繰り返し採取・分析した。採取地点のひとつは、駐車場の南東200mにある噴気で、ここでは定点と呼ぶ。二か所目は、駐車場の北方500mの山麓にある噴気で、近年になり出現した。この噴気を新噴気と呼ぶ。新噴気の周辺では、樹木が枯死している。両者とも、噴気の出口温度は96℃前後であり、水の沸点に近い。定点の噴気は、温泉水の湧出を伴うが、新噴気では、蒸気のみが放出されている。噴気は5MのKOH水溶液20mlを入れた真空瓶で採取した。噴気中のSO₂/H₂S比を測定する目的で、噴気を酸性KIO₃-KI混合溶液と反応させた。噴気の水蒸気の安定同位体比を測定するために、2重ガラス管からなる凝縮器で凝縮水を採取した。

真空瓶のKOH溶液とKIO₃-KI溶液は小沢(1968)の手法で湿式分析し、H₂O, CO₂, H₂S, SO₂の量を決定した。真空瓶のヘッドスペースに溜まった気体はArとHeをキャリアガスとした2種類のガスクロマトグラフで分析し、He, H₂, O₂, N₂, CH₄, Arの相対濃度を決定した。凝縮水の安定同位体比は赤外レーザー光を用いたキャピティリングダウン法により測定した。真空瓶のヘッドスペースに溜まった気体に含まれるH₂については、Komatsu et al. (2011)に従って、超高純度ヘリウムのキャリアガス中で沸点差を利用して精製した上で、連続フロー型の質量分析システム(質量分析計本体はThermo Fischer Scientific社製Delta V)を用いて安定同位体比を決定した。

結果・考察

定点と新噴気の組成は両者とも98%程度が水蒸気で占められ、次いでCO₂が1~2%含まれていた。定点の噴気は、H₂Sを0.2~0.4%含み、新噴気はその濃度が、0.036~0.050%と約10分の1であった。定点の噴気のCO₂/H₂O比は、2013年5月から10月にかけて単調に減少し、その後横ばい傾向が2014年9月まで続いたが、同年10月に小さな上昇を示した。これらの傾向は新噴気でも共通していた。2014年10月には箱根山地域で50回程度の火山性地震が観測されており、CO₂/H₂O比の上昇はこの活動に対応しているように見える。CO₂/H₂S比の変動は両地点について、ほぼCO₂/H₂O比の変動に類似していた。定点で観測したHe/H₂O比には興味深い変動が見出された。2014年10月のCO₂/H₂O比の上昇の1月前の9月に上昇を示し、10月には低下した。あたかもCO₂/H₂O比上昇の前触れを告げているかのようであった。熱水系の温度情報を得るために、噴気に含まれるH₂OとH₂の水素同位体比の差から見かけ平衡温度を計算した。定点の平衡温度は、2013年5月に141℃と高く、その後急速に100℃程度まで低下したが、2013年11月と2014年8月に10℃程度の小さな上昇を示した。これに対し新噴気の平衡温度は変動が少なく、2013年5月の92℃から緩やかに上昇し、2014年8月には104℃に達した。見かけ平衡温度の時間変動は噴気の化学組成に比較して滑らかであり熱水系の温度情報を与える有力な手段といえる。

Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC49-04

会場:102B

時間:5月25日 15:00-15:15

キーワード: 箱根, 火山ガス, 化学組成, 火山性地震, CO₂, He

Keywords: Hakone, Volcanic gas, Chemical composition, Volcanic earthquake, CO₂, He

UAVを用いた御嶽山の噴煙観測 Volcanic plume measurements of Ontake volcano by unmanned aerial vehicle (UAV)

森 俊哉^{1*}; 橋本 武志²; 寺田 暁彦³; 篠原 宏志⁴; 風早 竜之介⁴; 吉本 充宏⁵; 田中 良²
MORI, Toshiya^{1*}; HASHIMOTO, Takeshi²; TERADA, Akihiko³; SHINOHARA, Hiroshi⁴;
KAZAHAYA, Ryunosuke⁴; YOSHIMOTO, Mitsuhiro⁵; TANAKA, Ryo²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 北海道大学大学院理学研究院, ³ 東京工業大学火山流体研究センター, ⁴ 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門, ⁵ 山梨県富士山科学研究所

¹Laboratory for Earthquake Chemistry, Graduate School of Science, the University of Tokyo, ²Graduate School of Science, Hokkaido University, ³Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ⁴Geological Survey of Japan, AIST, ⁵Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

2014年9月27日正午ごろ、御嶽山火山は水蒸気噴火を起こし、多くの登山客の人命を奪う大きな被害をもたらした。噴火噴煙は高度1万メートル近くにも達し、降灰は約100km東に離れた山梨県でも確認された(気象庁、2014年9月)。その後、噴煙活動は次第に減衰したが、2015年2月現在でも白煙を上げ続けている。

我々は、2014年11月20日および21日に、マルチコプター式UAVを利用した噴煙観測を行い、二酸化硫黄放出量測定、噴煙中の多成分濃度測定、熱赤外映像測定と噴煙中微粒子採取の4項目の調査を実施した。御嶽山の観測にあたっては、UAVは、標高3000mの上空を往復で4km程度飛行することが要求されたため、ペイロードを1kg程度と設定し、各装置の軽量化と小型化を行った。二酸化硫黄放出量測定では、シングルボードコンピュータで制御する紫外分光装置をUAVに搭載し、噴煙下を飛行させトラバース測定を行った。多成分濃度測定では、H₂S、SO₂、CO₂、H₂および温湿度計(H₂O用)を搭載したUAVを噴煙高度まで上昇させ水平飛行させることで、噴煙内の各成分濃度の測定を行った。また、この飛行の際には、UAVに粘着シートを取付けることで、噴煙内部の微粒子の採取を行った。熱赤外映像測定では、UAVにサーモグラフィカメラを搭載し、噴火火口にあたる地獄谷周辺を撮影した。11月20日は噴煙が北東に流れていたため地獄谷火口から約3.5km東北東の飯森高原駅から、11月21日は噴煙が東南東方向に流れていたため火口から3km南東の田ノ原公園よりそれぞれUAVを離着陸させた。

UAVを用いた噴煙観測により、11月20-21日時点の二酸化硫黄放出量は130-140 ton/day、噴煙中のSO₂/H₂Sモル比は約0.09という結果が得られた。H₂、CO₂、H₂Oについては、大気の影響が大きく、火山ガス起源の寄与を明らかに検出するに至らなかった。一方、熱赤外映像からは、地獄谷付近の標高の沸点に対応する90.6℃が、噴気孔の根元付近で観測された。また、粘着シートには鉱物片を含む微粒子が付着していたが、フライト時の噴煙由来のものではなく、風などにより巻き上げられた粒子である可能性が高い。

UAV観測に先立ち10月9日に実施した有人ヘリによる多成分濃度観測ではSO₂/H₂Sモル比は0.3で、比の値が11月20-21日までに有意に減少したことがわかる。二酸化硫黄放出量は、噴火当初1000 ton/dayを超えていたが、10月9日には400-500 ton/day(気象庁、2014年10月)、噴火の約2か月後には噴火当初に比べ約1ケタ小さくなり顕著な減少が見られた。しかし、総硫黄放出量としては10/9は約1000 ton/day、11/20-21は800 ton/dayであり、大きな変化は見られていない。以上からも明らかにように、2014年御嶽山火山噴火後の噴煙活動は、大規模な硫黄放出が特徴であるが、噴気温度は低温かつ、SO₂/H₂Sモル比が小さいことから、観測した火山ガスが直接マグマから放出したものと考えるにくい。

1979年御嶽山火山噴火の際には、噴火直後から山頂噴気の採取と分析が繰り返し行われており、噴火直後に5であったSO₂/H₂Sモル比は噴火の約1年後には0.1まで下がっていた(小坂他、1983)。こうしたSO₂/H₂Sモル比の減少は1979年と2014年の両噴火で共通してみられる傾向である。両噴火の詳細な比較は、今後の御嶽山の活動推移を予測する上で重要である。

キーワード: 御嶽山, 火山ガス, UAV

Keywords: Ontake volcano, volcanic gas, UAV

温泉・地熱地域の同位体挙動のケーススタディその2 Case study of the behavior of isotope in several hot-spring and geothermal field part2

柳澤 教雄^{1*}
YANAGISAWA, Norio^{1*}

¹ 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門
¹Institute for Geo-resources and Environment, AIST

地熱開発地域において、酸素および水素同位体のデータはその地熱流体の起源や進化、そして周辺の温泉や河川との関係を示唆するものとして、前年の講演では、八丈島地熱地域および松之山温泉発電地域を例にとって紹介した。

近年、地熱開発の手法として EGS (高温岩体発電) が注目を集めている。この手法は、地上から河川水を注入して、地下で加熱された熱水・蒸気を利用するものである。EGS においても酸素・水素同位体のデータは、本来地下に貯留していた流体と河川水の混合などを示唆するものである。

EGS は、アメリカやオーストラリアなどいくつかのプロジェクトが進行中であるが、日本においても震災以後の地熱開発促進プロセスで EGS に関する調査も行われ始めており、その中で 2002 年度まで実施されていた山形県肘折における EGS の成果の再検討が必要となっている。

筆者はこれまで、肘折における EGS 試験でのトレーサー試験やスケール付着の地球化学的な解析で循環試験中の貯留層および流体性状の変化をまとめてきたが、本発表においては、循環試験中の生産井および注入井の酸素・水素同位体の変化を示すとともに、その貯留層挙動との関連、河川水や温泉水との関連を考察する。

同位体の測定は、EGS の循環システムについては、2 本の生産井 (HDR-2 および HDR-3) と注入井で 2000 年 11 月から 2001 年 8 月、河川水および温泉水については 2001 年 7 月に実施した。

(1) 河川水および EGS 実験地域近隣の温泉においては、酸素・水素同位体比は天水ラインに沿って分布した。

(2) HDR-2 では、水素および酸素同位体比は、循環初期では増加傾向にあり、2001 年 5 月にはそれぞれ -45 ‰ および -4.6 ‰ に達した。しかし、2001 年 5 月から 6 月にかけて、 δD と $\delta^{18}O$ はそれぞれ急速に減少し、-54.4 ‰ および -8.6 ‰ となり天水ラインに近づいた。この、HDR-2 の $\delta^{18}O$ の値の変化は、Cl 濃度の循環中の変化に対応するものであった。

(3) HDR-3 では、酸素同位体比の値は、HDR-2 より高い傾向を示し、循環中の同位体比の変化は、HDR-2 に近い挙動を示した。この違いは、HDR-3 と HDR-2 の注入井からの距離や透水性の違いなどに起因する。

キーワード: 温泉, 地熱, 同位体, 肘折, EGS
Keywords: hot spring, geothermal, isotope, Hijiori, EGS

九重火山広領域地熱システムの数値モデリング Numerical modeling for a broad geothermal system of Kuju Volcano

藤光 康宏^{1*}; 伊藤 陽平²; 西島 潤¹; 岡 大輔³
FUJIMITSU, Yasuhiro^{1*}; ITO, Yohei²; NISHIJIMA, Jun¹; OKA, Daisuke³

¹九州大学大学院工学研究院, ²九州大学大学院工学府, ³北海道立総合研究機構地質研究所

¹Faculty of Engineering, Kyushu University, ²Graduate School of Engineering, Kyushu University, ³Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization

九重火山地域は大分県南西部に位置し、複数の安山岩質火山よりなる。この地域には多くの温泉地があり、八丁原、大岳、滝上などの地熱発電所も稼働している。先行研究においては、主に個々の地熱発電所地域規模、あるいは噴気活動が見られる九重火山中心部の数値モデルが構築されてきた。そこで、九重火山中心部と稼働中の地熱発電所地域を含む広域地熱系を統合的に説明することを目的として、九重火山地域の広領域地熱システムの概念モデルを構築し、この概念モデルを元に熱水系の数値シミュレーションを実施した。その結果、比較的単純な構造であるにもかかわらず、複数の地熱発電所地域の熱水系をある程度説明できる数値モデルを構築することができた。

キーワード: 九重火山, 広領域地熱システム, 熱水系, 数値モデル

Keywords: Kuju Volcano, broad geothermal system, hydrothermal system, numerical model

地磁気観測から推定される草津白根山の長期的な熱水活動の再評価 Re-evaluation of hydrothermal activity based on magnetic measurements at Kusatsu-Shirane volcano, Japan

高橋 幸祐¹; 藤井 郁子^{2*}

TAKAHASHI, Kosuke¹; FUJII, Ikuko^{2*}

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 気象大学校

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ²Meteorological College, Japan Meteorological Agency

Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency commenced geomagnetic measurements around the summit crater lakes of Kusatsu-Shirane volcano in 1976 to monitor the thermal activity of the volcano. We re-analyzed the geomagnetic data over 36 years starting in 1978 and evaluated the long-term thermal activity beneath the crater lakes.

Changes in the geomagnetic total intensity due to thermal activity were observed in three periods: 1982-1985, 1988-1991, and 1996-2012. A thermal-demagnetization source related to phreatic eruptions during 1982-1983 was estimated to be 400 m below Mizugama crater lake during 1982-1985. The demagnetized body was also detected at a depth of 600 m below Mizugama crater lake in 1988-1991 when substantial thermomagnetic signals and numerous volcanic earthquakes were observed without an eruption. These demagnetization sources represent a hydrothermal fluid reservoir beneath the summit area. We suggest a possible mechanism of the phreatic eruptions during 1982-1983, based on our thermomagnetic model and previous geophysical and geochemical studies.

In contrast, magnetization associated with cooling of rocks beneath the crater lakes was recorded from 1996 to 2012. According to our thermomagnetic modeling of this period, the source of the magnetization was 400 to 700 m below an area immediately northeast of Yugama crater lake. In addition, we found that the cooling migrated gradually to shallower depths during this period. These suggest that the decline phase of the volcanic activity was under way at this period.

Changes in the geomagnetic total intensity after 2013 show a different tendency from those before 2013. Therefore, these suggest that the decline of volcanic activity came to an end in 2013.

キーワード: 草津白根山, 火山における全磁力観測, 熱磁気効果, 水蒸気噴火, 熱水流体

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, geomagnetic measurement, thermomagnetic effect, phreatic eruption, hydrothermal fluid

夜間空中赤外観測から推定される草津白根山の浅部熱水活動 Evolution of a hydrothermal system of Kusatsu-Shirane volcano inferred from aerial infrared surveys in the nighttime

坂本 ゆり^{1*}; 寺田 暁彦¹

SAKAMOTO, Yuri^{1*}; TERADA, Akihiko¹

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

草津白根山では2014年3月以降、緩やかな地殻変動、群発地震、地磁気変化、および火山ガスCO₂濃度増加が観測されていることから、火口直下浅部に熱水が蓄積されつつあると考えられている。同様の現象は口永良部島で1997年以降に観測されており、2003~06年頃から地表面熱活動に明瞭な活発化が認められ(井口, 2007)、2014年8月には爆発的噴火が発生した。草津白根山は熱水系がよく発達した火山として知られており、同じく熱水系が発達する口永良部島の事例と比較すると、草津白根山においても、同様の地表面熱活動の活発化が進むことが考えられる。そこで本研究では、2014年から新たに蓄積されつつあると考えられる浅部熱水だまりと、同山における地表面熱活動との関係を定量化し、草津白根山火口周辺の熱水系の構造を検討した。

地熱の観測手法として、地表面温度とその面積を簡単に測定できる赤外カメラは有効である。赤外画像を解析することで、熱および火山ガス放出量を見積もることも可能である。しかし、日中は日射により地表面が加熱されるため、しばしば、火山活動によって生じた地表面温度を評価することが困難となる。そこで本研究では、日射の影響が無視できる夜間に、軽飛行機を用いた空中赤外観測を試みて、同火山の噴気地および火口湖の温度分布の詳細を測定した。

観測は2014年10月24日18~19時にかけて実施した。使用した赤外カメラは日本アビオニクス社製H2630で、画素数は640×480pixelである。観測は対地高度1500m前後で行い、解像度は0.81m²/pixel前後である。測定された地表面温度は、地表面に設置した温度計データとほぼ一致した。

当日の日没時刻は17時08分であり、観測対象は東から北斜面に存在することから、観測環境は大変良好であった。この結果、火山活動に起因する地表面温度をよく抽出できた。火口湖については次元解析に基づく式(Ryan et al., 1974)を、噴気地については水放出量を計算するために江原・岡本(1980)の式を用いた。この結果、山体表面からのH₂O放出量は約20 kg/sと推定された。

同火山では、日射の影響が含まれる2012年10月26日08~09時にも空中赤外観測が実施されている。定量性には不確かさが含まれるものの、2014年の観測データと比較した。その結果、膨張力源に近く、2014年に火山ガス組成変化が観測された山頂周辺噴気からの総放熱量と総放水量に、明瞭な増減は認められないことが明らかになった。その一方で、山麓に位置する殺生河原は衰退したように見える。

さらに、湯釜火口湖からの水蒸発量を検討したところ、2012年と比較して明らかに増加していることが分かった。湯釜火口湖に設置されている水温計の記録によれば、湯釜の水温上昇は、火口直下の熱水蓄積率が低下した2014年5月頃に起きたことが分かる。さらに、熱水蓄積率の低下量と、湯釜火口湖からの蒸発増加量が概ね一致している。これらのことから、膨張変動の最盛期であった2014年5月頃に熱水だまりの一部が緩やかに破壊して、熱水の一部が湯釜湖底から流出し始めたと考えられる。傾斜変動観測によれば、同年5月以降、地下の熱水蓄積率が低下している。湯釜湖面蒸発量が増えていることから、深部からの流体供給は一定の割合で継続しているものと考えられる。

なお、これまで、湯釜火口湖の熱活動は水温計データに基づいて解析されてきた。今回測定された湖表面温度は、水温計で測定した値よりも3℃異なっている。この値を放熱量に換算すると、水温計に基づく蒸発量推定値は、実際よりも2割程度過大に評価されることが分かる。

キーワード: 草津白根火山, 空中赤外観測, 火口湖, 噴気地, 熱水系, 放熱率

Keywords: Kusatsu-Shirane Volcano, airborne IR surveys, hot crater lake, steaming ground, hydrothermal system, heat-discharge rate