

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05877・19K21058

研究課題名(和文)水蒸気爆発発生機構の解明を目指した浅部熱水系の物理状態の研究

研究課題名(英文) Physical state of hydrothermal system to understand the mechanism of phreatic eruption

研究代表者

関 香織 (Seki, Kaori)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：90828047

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：水蒸気噴火は、国内外で数多く発生する噴火形態のひとつで、その発生機構は解明されていない。本研究課題では、水蒸気噴火が発生した、または発生しうる火山である、箱根大涌谷と立山地獄谷で、火山ガスおよび温泉水の化学と同位体比分析を行なった。大涌谷直下に存在する熱水系の温度は、最大で260度程であることがわかった。また、小規模な火山活動の変化は、火山ガスの化学組成に反映されていた。立山地獄谷の噴火の一部は、100度の同位体分別を受けたものと、より高温でマグマ水と天水が分離したものの2種類あることがわかった。地獄谷の温泉水は、ClとS04の濃度から3つに分類されることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水蒸気噴火は、国内でも数多く発生し、噴火頻度そのものは多いにも拘らず、その噴火規模が小さいため、発生機構は明らかになっていない。水蒸気噴火が発生しうる火山は、観光地となっている場合が多く、小規模な噴火であっても、深刻な自然災害となりうる。本研究では、水蒸気噴火が発生しうる火山において、火山ガスおよび温泉水の採取を行い、水蒸気噴火の発生場として考えられている、熱水系の構造を明らかにし、火山活動の評価を行ってきた。

研究成果の概要(英文)：Phreatic eruption is one of the volcanic eruption style. Although phreatic eruption often occur in the world, the mechanism of phreatic eruption is not clear because of the small scale. In this study, I measured chemical and isotopic composition of hot-springs and fumarolic gases sampled at Owakudani in Hakone Volcano and Jigokudani Valley in Tateyama Volcano that have the potential of the phreatic eruptions. The temperature of the hydrothermal system beneath Owakudani was estimated to be less than 260 degrees. The temporary change of the chemical composition of the fumarolic gases were observed, which was estimated to be associated to the increased volcanic activity. Some fumarolic gases in the Jigokudani Valley was affected by isotopic fractionation at temperature of 100 degrees, and the others are separated from magmatic water and meteoric water at higher temperature. The hot-springs are classified into three types by the ratio of Cl and S04.

研究分野：火山学

キーワード：水蒸気噴火 熱水系 火山ガス 温泉水 箱根大涌谷 立山地獄谷

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

水蒸気爆発は国内外で数多く発生し、2014年の御嶽山の噴火のように、人命を奪う災害になるにも拘らず、その発生機構は未だにわかっていない。一般に、マグマ噴火に比べ、規模が小さく、前駆的な物理・化学現象が微小なためである。2018年の本白根山の突発的に発生した水蒸気爆発のように、浅部熱水系で発生した小規模な水蒸気爆発は、現状では予測が難しく、噴火を事前に予測できる観測項目が提唱されていない。水蒸気爆発の噴出物には、浅部熱水系で変質を受けた熱水変質鉱物が多く含まれる。熱水変質鉱物を含む変質帯は透水性が悪く、深部マグマ溜りから上昇する熱水流体を閉じ込めるため、熱水流体の温度・圧力を高める。このような役割をする変質帯は、特にキャップロックと呼ばれ、水蒸気爆発発生 of 重要な構造であると指摘されてきた。

### 2. 研究の目的

本研究は、水蒸気噴火の発生場として考えられている、浅部熱水系において、どのような熱水が存在しているのか明らかにし、水蒸気噴火の準備過程を正確に評価する観測項目の提唱を行うことである。

### 3. 研究の方法

マグマが直接熱水系まで上昇せずに、浅部熱水系のみに起因した水蒸気爆発が発生し得る(立山地獄谷)、または発生した火山(箱根大涌谷)の構造を詳細に調べ、熱水系の概念モデルを再構築した。

### 4. 研究成果

#### (1) 箱根大涌谷

箱根大涌谷では、2015年6月29日から7月1日にかけて、小規模な水蒸気噴火が発生し、大涌谷内に4つの新たな火口と、多数の噴気孔を形成した(Mannen et al., 2018)。その後、箱根火山は顕著な火山活動の活発化はみられなかったが、2019年3月中旬以降に、GNSSにより山体の膨張を示す基線長の伸びが観測され、同年5月18日より火山性地震が増加し、火山活動が活発化したことから、噴火警戒レベルが2に引き上げられ、2019年10月7日までレベル2の状態が続いた。2015年水蒸気噴火では、大涌谷で採取された火山ガスの化学組成の時間変化が観測され、噴気中のマグマ性成分の増加が示唆された(Ohba et al., 2019)。また、噴火後の2017年に実施された大涌谷のAMT法による3次元比抵抗構造探査の結果から、大涌谷直下100m以深に高比抵抗体が局所的に存在し、気相を主体とした熱水系が形成されていると示唆された(Seki, 2019)。本研究は、大涌谷内の火山ガス採取を行い、熱水系の温度やマグマ性成分の寄与を推定し、熱水系の状態を明らかにすることが目的である。

2018年7月以降、2015年の水蒸気噴火以降に形成された噴気を中心に、3度のサンプリングを行い、化学組成と水・硫黄の同位体比組成を測定した。このうち、地震・地殻変動があり噴火警戒レベルが2になるなど、火山活動が活発化していた2019年6月に採取した噴気は、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ (図1)および $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ の比が増加し、それ以前に採取された噴気と比べ、マグマ性成分の寄与が大き

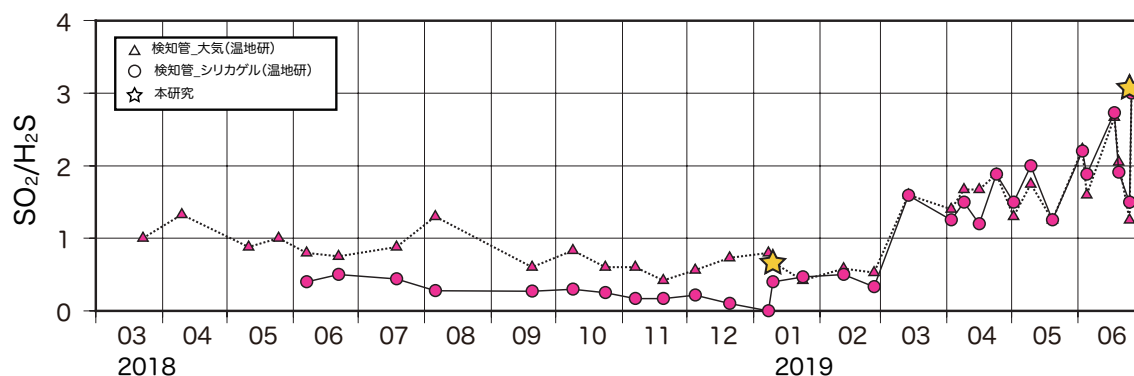


図1 箱根大涌谷の15-2噴気における $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時系列データ。

いことが示唆される一方、水の同位体比組成には、大きな変化は見られなかった。 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ の硫黄同位体比は、それぞれ、 $-4.9\text{‰}$ から $-2.4\text{‰}$ 、 $+11.20\text{‰}$ から $+17.0\text{‰}$ で、大きな時間変化は観測されなかった。硫黄の同位体比から同位体平衡温度を見積もると、 $206^\circ\text{C}$ から $258^\circ\text{C}$ と推定された。 $200^\circ\text{C}$ から $260^\circ\text{C}$ の飽和水蒸気が、熱水系に存在し、地表に達するまでエンタルピーが保存されると仮定すると、地表では $160^\circ\text{C}$ の過熱蒸気になると計算される。この温度は、大涌谷の噴気温度の上限とよく一致している。また、大涌谷内の蒸気井である52号井のボーリングコアから、深さ約380m以深では、スメクタイトが一度消失し、イライトが含まれることから、 $200^\circ\text{C}$ 以上であると推定されている(Mannen et al., 2019)。以上の結果から、大涌谷の熱水系の温度は、約200度から260度だと推定された(図2)。

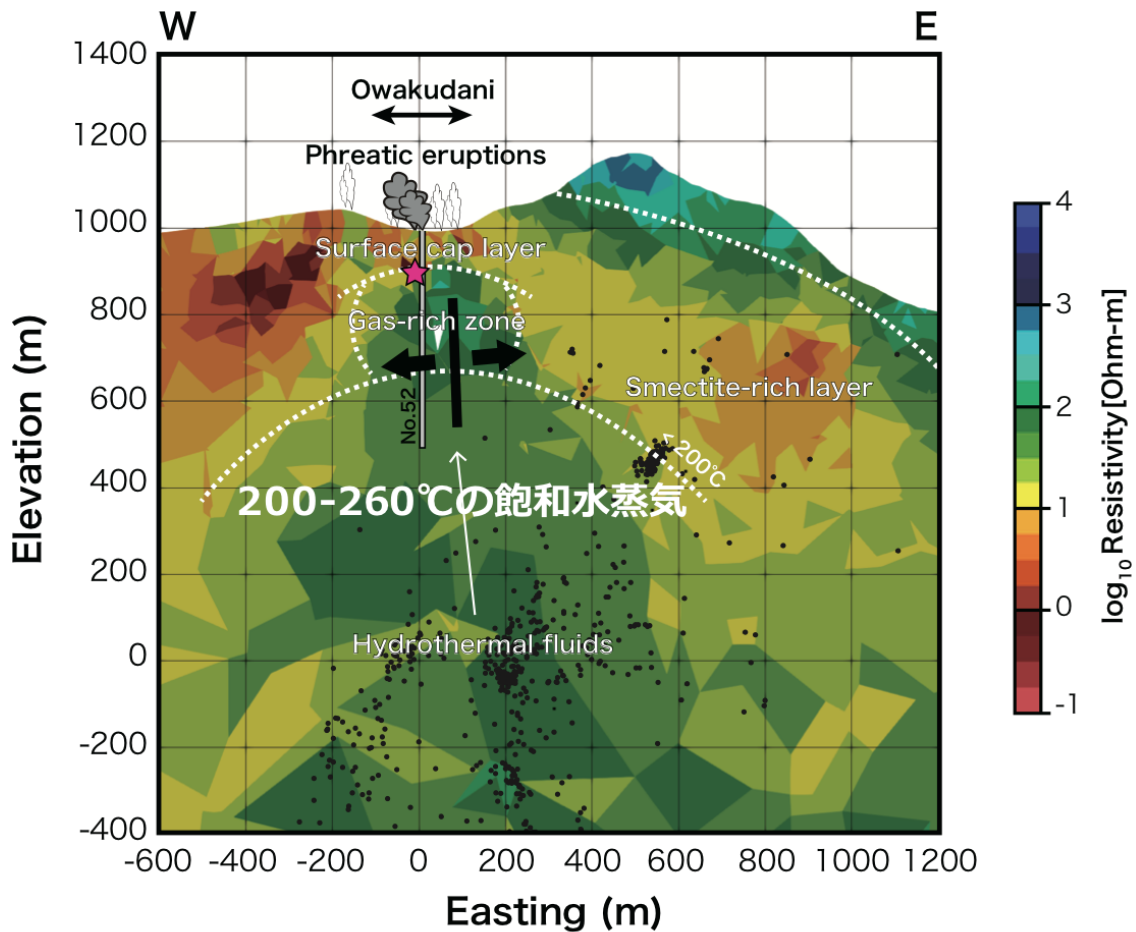


図 2 箱根大涌谷の熱水系の概念図(Seki et al., 2020 in prep を改変).

(2) 立山地獄谷

現在は、弥陀ヶ原の北東端に位置する、地獄谷周辺で、活発な噴気活動が行われている。本研究課題では、温泉水 11 カ所、噴気 8 カ所で試料を採取し、化学組成・同位体比組成の測定を行った。鍛冶屋地獄で採取された噴気が、HCl の濃度が最も高い。鍛冶屋地獄は、2007 年から 2010 年までの干渉 SAR 時系列解析から観測された膨張性の地殻変動の中心であり (Kobayashi, 2018)、以前より活発な噴気活動が認められている。現在、最も  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が高い噴気は、閻魔地獄から噴出しており、見掛け平衡温度は、約 360 度で、地獄谷の中で最も高い。噴気の水の同位体比 (図 3) を見ると、100 度の同位体比分別で説明されるものが存在している (O2, F1, D1)。一方でその他の噴気は、ある割合で、高温のマグマ水と天水が混合し、200 度で同位体分別を受けていると推定される。

地獄谷の温泉水のうち、C1 と S04 の濃度 (陰イオン) の合計が小さい温泉水 (数百 ppm 程度) は、Cl がほとんど含まれず、 $\text{SO}_4^{2-}$  を主体としている (図 4; 緑領域)。また、このような温泉水の  $\text{SO}_4^{2-}$  の硫黄同位

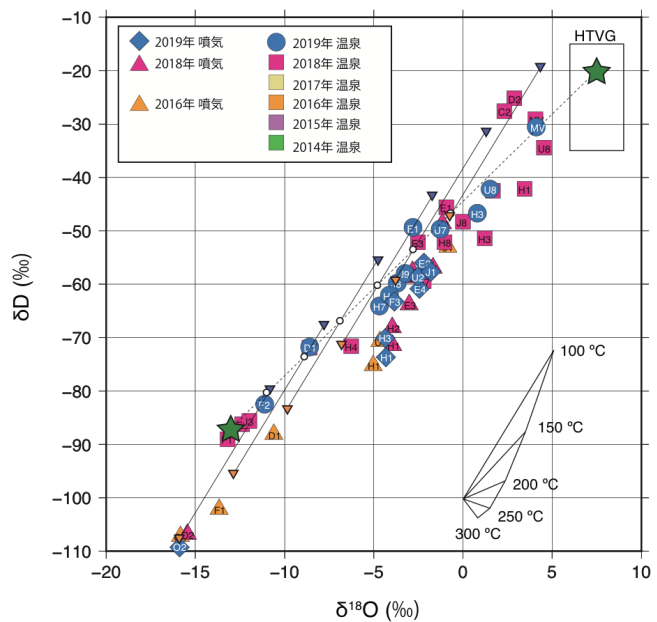


図 3 立山地獄谷の水の同位体比。マグマ水と天水 (緑星印) がそれぞれの割合で混合し、100 度で同位体分別をした場合に形成される、気相 (逆三角オレンジ色) と液相 (逆三角紫色) を示した。

体比は低いいため、 $H_2S$  の酸化により硫酸が形成されたことを示唆しているが、中でも水の同位体比が高いものが含まれ、マグマ性の寄与が大きなものも存在する。一方で、陰イオン濃度の大きな温泉水は、 $Cl^-/SO_4^{2-}$ 濃度比が極端に大きなもの(図 4: 赤領域)と  $Cl^-/SO_4^{2-}$ 濃度比が 1 に比較的近い温泉水(図 4: 青領域)が存在している。これらの温泉水は、硫黄同位体比も高い傾向があり、 $SO_2$  の不均化反応により形成された硫酸の寄与が考えられる。温泉水の  $Cl^-/SO_4^{2-}$ 濃度比のばらつきが大きいいため、地獄谷の温泉水は、単純な混合により形成されたとは考えにくい。一方で、温泉水の水の同位体比は、マグマ水と天水の単純な混合であることが示唆されるが、 $Cl$  濃度と  $\delta D$  の間には、相

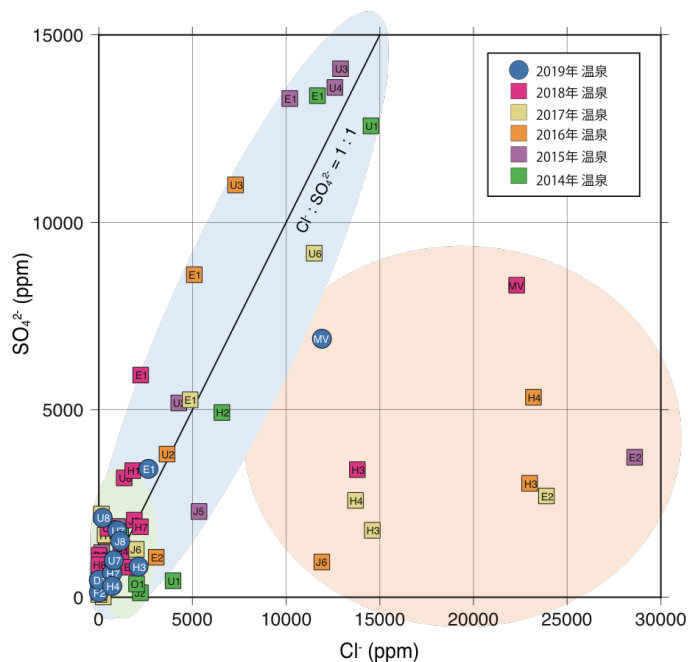


図 4 温泉水の  $Cl$  と  $SO_4$  濃度.

関が見られない。HCl の気液相の分配係数は、温度が高いほど、HCl が気相側へより多く分配されるため(Simonson and Palmer, 1993), 地獄谷の温泉水のうち、 $Cl^-/SO_4^{2-}$ 濃度比の高いものは、 $Cl$  に富む気相が形成されたあと、天水と混合し湧出していると考えられる。立山地獄谷の温泉水は、浅部で強い気液分離の影響を受けていると言える。

以上より、水蒸気噴火が発生しうる箱根大涌谷、立山地獄谷ともに、マグマ性成分の寄与が大きいものの、浅部での気液分離の影響が強いことが示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Seki Kaori, Ohba Takeshi, Aoyama Shinnosuke, Ueno Yuichiro, Sumino Hirochika, Kanda Wataru, Yaguchi Muga, Tanbo Toshiya	4. 巻 81:8
2. 論文標題 Variations in thermal state revealed by the geochemistry of fumarolic gases and hot-spring waters of the Tateyama volcanic hydrothermal system, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1007/s00445-018-1264-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Seki, K., Ohba, T., Aoyama, S., Ueno, Y., Sumino, H., Kanda, W., Shinohara, H., Toyama, K., The chemical and isotopic changes of the hot springs and fumaroles in the Jigokudani Valley, Tateyama Volcano, Japan Yaguchi, M., Tanbo, T.
2. 発表標題 The chemical and isotopic changes of the hot springs and fumaroles in the Jigokudani Valley, Tateyama Volcano, Japan
3. 学会等名 IAVCEI Commission on Volcanic Lakes 10 Workshop（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seki, K., Kanda, W., Mannen, K., Shinohara, H., Takakura, S., Koyama, T., Noguchi, R., Ishikawa, M., Fukai, M., Yukutake, Y., Harada, M., Abe, Y.
2. 発表標題 Hydrothermal system beneath Owakudani, Hakone Volcano, inferred from 3D resistivity structure and composition of fumarolic gases
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly（国際学会）
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
---------------------------	-----------------------	----