

立山地獄谷の温泉水の同位体比

The isotopic ratios of the hot springs in the Jigokudani Valley,
Tateyama Volcano*関 香織¹、大場 武²、青山 慎之介¹、上野 雄一郎¹、神田 径¹、丹保 俊哉³*Kaori Seki¹, Takeshi Ohba², Shinnosuke Aoyama¹, Yuichiro Ueno¹, Wataru Kanda¹, Toshiya Tanbo³

1. 東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、2. 東海大学 理学部 化学科、3. 富山県立山カルデラ砂防博物館

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of chemistry, School of Science, Tokia University, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum, Toyama Prefecture

立山地獄谷は飛騨山脈に位置する活火山で、現在は地獄谷と呼ばれる場所で活発な噴気・温泉活動が行われている。地獄谷は4万年前以降に繰り返し発生した水蒸気爆発によって形成され、地獄谷の直下には水蒸気爆発の発生場である熱水系が発達していることが期待される。近年、火山ガス組成の変化や硫黄溶岩の流出が観測されるなど、地獄谷の火山活動は高まっている。そこで、地獄谷の熱水系を明らかにすることを目的として、比抵抗構造調査や温泉水の化学分析を行ってきた。本講演では、温泉水の化学分析に焦点をあてて報告する。

温泉水の採取は、2014年から2016年にかけて行い、陰イオン濃度の他、同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$, $\delta\text{D}_{\text{water}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$, $\delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)を測定した。水の同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$, $\delta\text{D}_{\text{water}}$)は、マグマ水と地獄谷周辺の天水を結ぶ混合線上に、全ての温泉水がプロットされた。水の同位体比と陰イオン濃度の特徴から、立山地獄谷の温泉水を、次の3つに分類した。①陰イオン濃度が大きく、その水の同位体比はマグマ水に近い値をとる温泉水。Cl⁻/SO₄²⁻濃度比は1に近い値を示す。②Cl⁻濃度の減少のためCl⁻/SO₄²⁻濃度比の時間的変動が大きく、水の同位体比はマグマ水と天水の間の値をとる温泉水。③Cl⁻を欠くSO₄²⁻が主体の温泉水で、陰イオン濃度も小さい。水の同位体比は地獄谷周辺の天水と変わらない値を示す。

地獄谷の温泉水の硫酸中の硫黄の同位体比($\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$, $\delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)を2015年と2016年の温泉水で測定した。一般的に、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ の高い温泉水は、初生的な硫酸で、SO₂の不均化反応により形成される。一方で $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ の低い温泉水は、二次的な硫酸でH₂Sの酸化によるものだと考えられている。地獄谷の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ は、-0.81%から19.93%の値をとった。③の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ は低いため、この温泉水中に含まれる硫酸はH₂S起源である。一方で、①と②の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ 値は、温泉水の陰イオン濃度や水の同位体比と相関が見られなかった。また、同位体分別は質量に依存するため、平衡状態において $\delta^{34}\text{S}$ と $\delta^{33}\text{S}$ の間に線形関係があることが知られている。立山地獄谷の温泉水は、この質量同位体分別からのずれ($\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$)が-0.016%から0.058%に及んだ。更に $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}$ と $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ には負の相関が認められ、 $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}}=0$ (質量同位体分別の期待値)と、 $\Delta^{33}\text{S}_{\text{sulfate}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}}$ プロットの回帰直線とが交わる、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfate}} \approx +9\%$ が、地獄谷の温泉水を作る深部マグマの硫黄同位体比を表していると考えられる。

以上より、3タイプの温泉水の成因を考えると次のようになる。①熱水流体が地下浅部で気液二相にわかれ、その液相が天水とほぼ混じること無く湧出した温泉水。②気液二相の気相が、天水と様々な度合いで混合し湧出した温泉水。③地表水にH₂Sガスが溶けた温泉水。

温泉水の化学分析と、地獄谷の地下比抵抗構造(Seki et al., 2016)を比較した結果、地獄谷の温泉水は500mより浅い場所で作られていることがわかった。特に、②の温泉水は、比抵抗構造でイメージされた水蒸気爆発の誘発を促すキャップ構造の直下で作られていることが明らかになった。水蒸気爆発の発生は、地下浅部の温度や圧力状態が重要であるため、その変化を受ける浅部で形成された温泉水のモニタリングは、地獄谷の火山活動の推移を知る上で重要だと考える。

キーワード：熱水系、温泉水、水同位体比、硫黄同位体比

Keywords: Hydrothermal system, Hot spring, Water isotopic ratio, Sulfur isotopic ratio