

群馬県榛名山周辺の火山性温泉の水質形成機構 Hydrochemistry and genesis of volcanic hot springs around the Haruna volcano

村松 容一¹, 片山 秀雄^{1*}, 千葉 仁², 奥村文章³

Yoichi Muramatsu¹, Hideo Katayama^{1*}, Hitoshi Chiba², Fumiaki Okumura³

¹ 東京理科大学理工学部, ² 岡山大学理学部, ³ 石油資源開発株式会社技術研究所

¹Tokyo University of Science, ²Faculty of Science, Okayama University, ³Japan Petroleum Exploration Co.,Ltd.

1. 目的 温泉の新規開発, 維持・管理を行う上で, 温泉水の起源, 水質形成機構, 水流動機構を解明することは不可欠である。群馬県北部には火山性温泉が多数存在する。このうち, 武尊山や草津白根山周辺の温泉(谷川・水上・草津など)を対象とした成因的研究は多数報告されているが(酒井, 1989), 榛名山周辺の温泉については研究数も少なく, 化学的特徴(群馬県温泉協会, 2008)に止まっている。本研究では, この地域を対象に温泉水及び湧水を採取・分析し, 得られた結果をもとに温泉水の起源と水質形成機構を検討する。さらに, 水-鉱物相互作用の化学平衡論によって検証する。

2. 実験 温泉水(深度200~1400m)13カ所, 湧水4カ所の計17カ所を2010年5~8月に採水した。pH, 電気伝導度, 温度を現地にて測定した後, ポリエチレン容器に採水し実験室に持ち帰り分析を行った。主成分分析はイオンクロマトグラフィー(Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻), 原子吸光光度法(K, Fe), 分光光度法(Al³⁺, Si⁴⁺, B), 硫酸酸性標準溶液の滴定(HCO₃⁻)を使用した。また, 質量分析計を使用し, 水素・酸素安定同位体比(²D, ¹⁸O)を全試料, 硫黄安定同位体比(³⁴S)を7試料で分析した。さらに, 鉱物の飽和指数の計算は, 水-鉱物平衡計算プログラムSOLVEQ(Reed, 1982)を用いた。

3. 結果と考察 水温は13.6~56.6℃, pHは6.7~8.3であり, 泉質はNa-Cl型(9カ所), Na-HCO₃型(1カ所), Ca-Cl型(2カ所), Ca-HCO₃型(5カ所)に分類される。特に, 湧水は全てCa-HCO₃型に属する。Na⁺とCl⁻濃度の関係は海水と天水を結ぶ混合線上にあることから, 温泉水及び湧水は両者の混合によって形成されたと考えられ, 海水混合比は殆どが天水に極めて卓越することを示唆する。この地域で最もCl⁻濃度(13393mg/L)の高い相間川温泉(No.15)は, 現海水に比べMg²⁺とSO₄²⁻濃度に著しく乏しいことより, この海水は化石海水である。温泉水の²Dと¹⁸O値の関係は, 世界の天水線(²D=8¹⁸O+101)上に分布することから, 水の起源は天水であることがわかる。ただし, No.15の¹⁸Oは天水線のプラス側にシフトしており, 鉱物との同位体交換反応が行われたことを示唆する。

温泉水に含まれるSO₄²⁻の³⁴S値は+17.1‰~+25.8‰(6カ所)を示し, 硬石膏の値(約+20.0‰)に近いことから, Ca²⁺とSO₄²⁻濃度は硬石膏の溶解に規制されていると判断される。温泉水に含まれる化学成分のうち海水起源の成分量を差し引いた値をとると, 浅部掘削泉(200~300m)及び自然湧出泉では, Ca²⁺とHCO₃⁻の関係がCa²⁺=HCO₃⁻に沿って分布する。これらの温泉水の方解石に対する活動度積を計算した結果によれば, この鉱物に対して不飽和状態であることから, 方解石の溶解がCa²⁺とHCO₃⁻濃度を規制していることがわかる。深度掘削泉(700m~)では,

Na⁺とHCO₃⁻の関係がNa⁺=HCO₃⁻に沿って分布している。これらの温泉水のカオリナイトに対する活動度積を計算した結果によれば, この鉱物に対して過飽和状態にあることから, Naに富む斜長石(NaAlSi₃O₈)の風化に伴ってカオリナイトが生成することによってNa⁺とHCO₃⁻濃度が規制されている。以上の結果から, 泉質の形成には, 主としてNa-Cl型は化石海水の混入, 硬石膏の溶解, 斜長石の風化, Na-HCO₃型は斜長石の風化, Ca-Cl型は硬石膏・方解石の溶解, Ca-HCO₃型は方解石の溶解がそれぞれ寄与している。

キーワード: 榛名山, 水質化学, 成因, 温泉, 岩石-水相互作用

Keywords: Haruna volcano, Hydrochemistry, genesis, hot springs, water-rock interaction