

丸山噴泉塔周辺に湧く鉱泉の地球化学的特徴

佐藤 努¹⁾・塚本 斉¹⁾・尾山 洋一²⁾・乙幡 康之³⁾
高橋 正明¹⁾・高橋 浩¹⁾・半田 宙子¹⁾・稲村 明彦¹⁾・風早 康平¹⁾

Geochemical features of mineral spring water
around the sinter cones of Maruyama Volcano.

Tsutomu SATO, Hitoshi TSUKAMOTO, Yoichi OYAMA, Yasuyuki OPPATA,
Masaaki TAKAHASHI, Hiroshi A. TAKAHASHI, Hiroko HANDA, Akihiko INAMURA
and Kohei KAZAHAYA

はじめに

東大雪に位置する丸山（標高1,692m）は活火山であり、地下およそ30kmの深部において低周波地震が起きている（高橋・宮村 2009）．深部低周波地震は通常の地震とは異なる地震で、その発生に火山性流体などが関与していると考えられている．そのため、深部低周波地震の発生域直上には火山が形成されたり、特殊な組成を持つ温泉が湧出するケースが多い．産業技術総合研究所では、深部低周波地震発生と深部流体との関係について研究を行っており、丸山直下にも存在すると予想される深部流体の特徴を調べるため、丸山噴泉塔周辺に湧く鉱泉の調査を行った．

地域概要

図1は丸山周辺、主に南東斜面の地形および地質を示している（乙幡 2013より）．丸山山頂の北東側には、爆裂火口が北西-南東方向に列を作っており、その南東方向の延長線上に丸山噴泉塔（標高1,140m）が位置している．丸山噴泉塔は、上士幌町指定文化財に指定されている白色の石灰華で、10m四方程度の範囲に19個の噴泉塔群を形成しており、一番高いものは2010年時点で276cmに達する（須田・乙幡 2011）．丸山噴泉塔の南側には南北に細長い白色沼（長径約70m、短径約26m、須田・乙幡 2011）が位置し、その周囲では鉱泉が湧出している．また、噴泉塔の500mほど

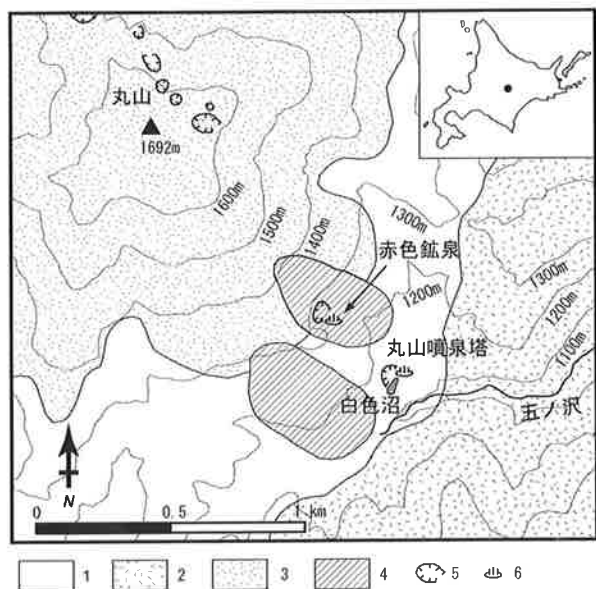


図1. 丸山噴泉塔周辺の地質図(乙幡2013より作成)
1:日高累層群, 2:ウペペサンケ溶結凝灰岩, 3:丸山火山噴出物, 4:崖錐堆積物, 5:爆裂火口壁, 6:鉱泉
Fig.1. Geological map of the survey area.
1: Hidaka Supergroup, 2: Upepesanke welded tuff, 3: Maruyama volcanics, 4: Talus deposits, 5: Explosion crater rim, 6: Mineral spring

北西側の標高1,250m付近に位置する爆裂火口からも、鉱泉が湧出している．

丸山噴泉塔は、この周囲地域の基盤である日高累層群（白亜紀から新第三紀の堆積岩）の上に形成されている（山岸・松波 1976, 荒牧ほか 1993）．丸山の標高1,300-1,400m以上の部分は丸山火山噴出物に覆われており、丸山噴泉塔より数100m東方にはウペペサンケ溶結凝灰岩が分布している（渡辺 1987）．

1) 産業技術総合研究所地質調査総合センター 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1中央第7
Geological Survey of Japan, AIST 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

2) 釧路市教育委員会マリモ研究室 〒085-0467 北海道釧路市阿寒町阿寒湖温泉1-1-1
Marimo Research Center, Kushiro City Board of Education 1-1-1 Akanko-onsen, Akan-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0467 Japan

3) ひがし大雪自然館 〒080-1403 北海道河東郡上士幌町字ぬかびら源泉郷48-2 Higashitaisetsu Nature Center
Nukabira-genssenkyo 48-2, Kamishihoro-cho, Kato-gun

調査概要

調査は2013年7月31日に、塚本、尾山、乙幡、佐藤の4名で行った。主な調査項目は、鉱泉および湧出ガスの現地測定と採取である。

丸山噴泉塔群では、塔の先端からのガスの放出はあるものの顕著な鉱泉の湧出は見られなかったため、白色沼の西岸に湧く鉱泉をポリ容器に採取した(図2a)。また、白色沼北岸の噴泉塔付近に湧くガスをガラス容器に採取した。白色沼の水は、北岸から流出路を通してオーバーフローしており、その流出量を浮子法を用いて測定し、沼水をポリ容器に採取した。

噴泉塔の約500m北東側の爆裂火口では、鉱泉の湧出によって直径20m程度の小規模な池が形成されている(図2b)。湧出口においてこの鉱泉をポリ容器に採水した。鉱泉の湧出により池からは小規模な河川が発生しており(流量は10-20L/s程度)、池や河床には赤色の析出物が堆積していることから、本報告では便宜的に“赤色鉱泉”と呼ぶことにする。



図2. 白色沼(a)と赤色鉱泉(b)の写真(2013年7月31日、佐藤撮影)
Fig.2. Photographs of a) Lake Hakushoku-numa and b) the mineral spring at the altitude of 1,250 m (taken by SATO on July 31, 2013).

鉱泉および沼水の採取時に、水温、pH、電気伝導度を測定した。また、実験室にて主要化学組成と同位体組成(δD :水素安定同位体比、 $\delta^{18}O$:酸素安定同位体比、 $\delta^{13}C$:炭素安定同位体比)の分析を行った。ガス試料については、実験室にて主要化学組成と CO_2 の $\delta^{13}C$ の分析を行った。

結果および考察

1. 白色沼と周辺に湧く鉱泉

表1は、本調査における測定結果と分析結果である。白色沼と西岸鉱泉の分析値を比較すると、両者には似たような値が見られることがわかる。具体的には水温が $20^{\circ}C$ 前後、pHが6.3で、主要陽イオンは Ca^{2+} (カルシウムイオン)の濃度が高く、主要陰イオンは HCO_3^- (炭酸水素イオン)の濃度が高い。このことから、白色沼の水のほとんどはこのような鉱泉の湧出によって供給されていると考えられる。

一方、白色沼に湧くガスの組成は、97%以上が CO_2 であった。

丸山噴泉塔は、湧出する鉱泉に含まれる Ca^{2+} と HCO_3^- から $CaCO_3$ (炭酸カルシウム)が沈殿して形成したと考えられている(須田・乙幡 2011)。鉱泉水から $CaCO_3$ が沈殿すると、 CO_2 が脱ガスする(古橋ほか 2008など)。その際に生じる炭素の同位体分別により、 CO_2 ガスの $\delta^{13}C$ の値は、鉱泉水のDIC(溶存無機炭素)の $\delta^{13}C$ の値よりも数%ほど低くなることが知られている(Zhang et al. 1995など)。表1において、 CO_2 ガスの $\delta^{13}C$ の値が鉱泉の $\delta^{13}C$ の値よりも低くなっているのは、このような脱ガスの影響と考えられる。

白色沼の水と西岸鉱泉の Ca^{2+} の濃度を比較すると、沼水の方が $164mg/L$ ほど低くなっている。この Ca^{2+} の濃度の減少分は、 $CaCO_3$ として沼底に沈殿している量である可能性が考えられる。須田・乙幡(2011)によると、白色沼の水深は1981年から2010年までの30年間に1mほど浅くなっており、これは $CaCO_3$ の沈殿によると考えられている。このデータを基にして、以下に大雑把な計算を行ってみる。

まず、前述した白色沼の形状を用いて、30年間に沈殿した $CaCO_3$ の量を $1,000m^3$ 程度と推定する。 $CaCO_3$ の比重を方解石の $2.7g/cm^3$ (国立天文台 2015)として計算すると、沈殿したCaの総量は約1,000tと求められる。このCaが30年間一定の割合で鉱泉から

表1. 鉱泉・沼水・湧出ガスの主要化学組成と同位体組成
Table 1. Major chemical and isotopic compositions of the mineral spring water, pond water and gas.

沼水・鉱泉の主要化学組成と同位体組成 (採取日: 2013年7月31日)																	
場所	水温 (°C)	pH	電導度 (mS/m)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Li ⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	δD (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	δ ¹³ C (DIC) (‰)
白色沼	19.7	6.3	134	57.8	5.2	40.2	138	0.1	0.0	1313	13.9	179	8.2	15.6	-82.5	-12.0	-4.8
白色沼西岸鉱泉	21.3	6.3	271	65.5	5.6	51.6	302	0.2	7.3	1578	13.6	439	0.0	0.0	-82.3	-12.0	-5.7
赤色鉱泉	6.1	5.6	72	12.9	2.6	25.9	70	0.0	0.0	412	2.3	2.4	0.0	0.0	-89.7	-13.5	-9.3

白沼池に湧くガスの主要化学組成と同位体組成 (採取日: 2013年7月31日)							
場所	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂ (%)	O ₂ (%)	Ar (%)	δ ¹³ C (CO ₂) (‰)	
白色沼北岸	97.2	1.88	0.84	0.04	0.00	-10.0	

供給されていたと仮定すると、1秒あたりのCa供給量は約1gとなる。最後に、上記のCa²⁺濃度減少値(164mg/L)を用いると、6L/s程度の鉱泉の湧出があれば須田・乙幡(2011)の観測値を説明できるCaの供給が可能と考えられる。

本調査時における白色沼北岸での沼水の流出量は3.4L/sであった。白色沼に流入する河川は存在しないことから、沼水の涵養源は周囲や沼の中で湧出する鉱泉や地下水、そして降雨(調査時は小雨が降っていた)と考えられる。また、表1で沼水と西岸鉱泉を比較すると、その他の成分濃度(Na⁺やSO₄²⁻など)にも減少が見られる。このことからCaと一緒にその他の成分も沈殿している可能性が考えられ、実際に白色沼下流の石灰華にはSが含まれることが菊池・五十嵐(1954)によって報告されている。したがって、Ca供給量をより正確に求めるためには、沼水収支やCaCO₃の沈殿状況、その他の成分の含有量などの詳細な調査が必要と考えられる。現時点においては概算的に、数L/s規模の鉱泉の湧出によって30年間かけて1mほど沼の深さを浅くするCaCO₃の沈殿が生じていると推定される。

2. 赤色鉱泉

標高1,250m付近に湧く赤色鉱泉は、水温が6.1°C、pHが5.6、主要陽イオンがCa²⁺、主要陰イオンがHCO₃⁻であった。今回Fe(鉄)の分析は行っていないが、鉱泉からの流路に沿って赤色の鉄分を含む沈殿物が堆積していることより(菊池・五十嵐 1954)、鉱泉にはFeが含まれていると考えられる。

3. 丸山周辺の温泉との比較

丸山周辺にはいくつか温泉が存在するが、一番近い

幌加温泉でも9km離れており、その他の温泉はすべて10km以上離れている(図3)。そのため、丸山山麓に湧く鉱泉の主要化学組成が注目されたが、周辺の温泉とは大きく異なっていることが今回明らかになった。

図3には、各温泉の主要化学組成を六角形のStiffダイアグラム(濃度の単位はミリグラム当量(meq)/L)で示している。丸山噴泉塔周辺の鉱泉については、前述のようにすべてCa²⁺とHCO₃⁻に富む組成であるのに対し、周辺温泉の多くはNa⁺(ナトリウムイオン)とCl⁻(塩化物イオン)に富む組成であった。

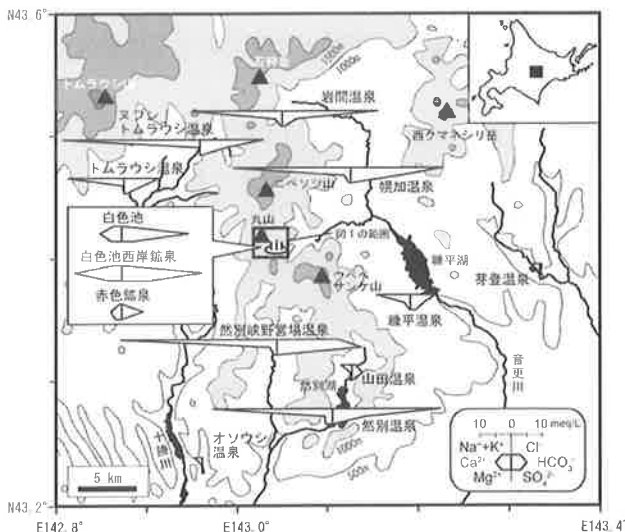


図3. 丸山周辺の温泉の主要化学組成
Fig.3. Major chemical compositions of hot spring water around Maruyama Volcano.

図4には、鉱泉や周辺温泉のδDとδ¹⁸Oの関係を示している。このグラフ上において河川水や浅層地下水などの天水起源の水は、天水線と呼ばれる傾き8の値を持つ直線上にプロットされることが知られている。図4には、2種類の天水線、A)丸山周辺地域において採取された河川水から得られた天水線(実線)、

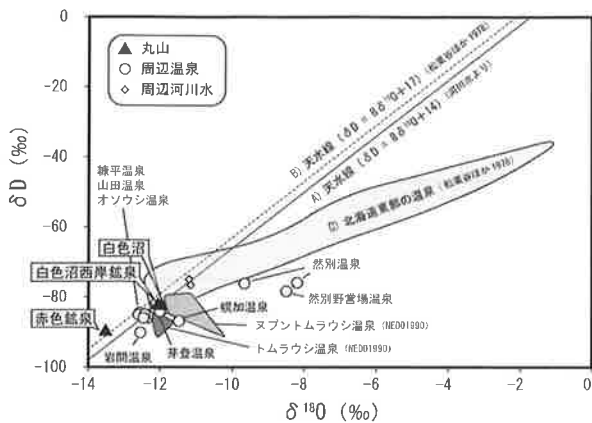


図4. 鉱泉・沼水・周辺温泉の水素・酸素同位体組成
Fig.4. Hydrogen and oxygen isotopic compositions of the mineral spring water, pond water and hot spring water around Maruyama Volcano.

B) 北海道の試料に対して得られた天水線（点線，松葉谷ほか 1978より）と，C) 北海道東部の温泉の分布（灰色の範囲，松葉谷ほか 1978より）を示している。

丸山噴泉塔周辺の鉱泉および沼水は，いずれもAもしくはB上にプロットされている。一方周辺温泉について，然別温泉（丸山より17km），然別野営場温泉（10km），幌加温泉（9 km）などは天水線よりも $\delta^{18}\text{O}$ の値が高くなっており，Cと同じ傾向を示している。このように天水線よりも $\delta^{18}\text{O}$ の値が高くなるのは，火山性流体の混入の影響と考えられる（松葉谷ほか 1978）。

以上より，丸山噴泉塔周辺の鉱泉の成因については，丸山山体に降った雨によって涵養された地下水に火山ガスが混入し，酸性になることによって周囲の岩石からCaやFeを溶出して水質が形成されたと考えられる。

謝 辞

本調査にあたり，ひがし大雪自然館の須田修氏に多大なご協力をいただいた。また周辺温泉調査に際して，源泉所有者の方々にご協力をいただいた。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 荒牧重雄・岡田 弘・中川光弘・斉藤 宏・森 濟・近堂祐弘・勝井義雄・鈴木貞臣，1993. 丸山. 北海道防災会議，82 p.
- 乙幡康之，2013. 丸山噴泉塔群の形成年代に関する一考察. ひがし大雪博物館研究報告，35, 29-33.
- 菊池 徹・五十嵐昭明，1955. 北海道十勝国菱中十勝鉱山の硫黄・褐鉄鉱床調査報告. 地質調査所月報，6, 485-490.
- 国立天文台，2015. 理科年表. 丸善出版，p657.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO），1990. 平成元年度全国地熱資源総合調査（第3次），広域熱水流動系調査，十勝地域，地熱調査成果図表，p57.
- 須田修・乙幡康之，2011. 丸山噴泉塔と隣接する白色沼に関する調査. ひがし大雪博物館研究報告，33, 17-22.
- 高橋浩晃・宮村淳一，2009. 日本列島における深部低周波地震の発生状況. 北海道大学地球物理学研究報告，72, 177-190.
- 古橋恭子・西川 治・松葉谷治・白石建雄・石山大三，2008. 秋田県男鹿半島北岸の湯本断層沿いに産出する石灰華および温泉の同位体地球化学的研究. 温泉科学，58, 3-13.
- 松葉谷治・酒井 均・上田晃・堤 真・日下部実・佐々木昭，1978. 北海道の温泉ならびに火山についての同位体化学的調査報告. 岡山大学温泉研究報告，47, 55-67.
- 渡辺 寧，1987. 中央北海道ウペペサンケ溶結凝灰岩のK-Ar年代とその意義. 地球科学，41, 323-326.
- 山岸宏光・松波武雄，1976. 5万分の1地質図幅説明書「糠平」. 北海道立地下資源調査所，40p.
- Zhang, J., Quay, P.D. and Wilbur, D.O., 1995. Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO_2 , *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 107-114.

Summary

Major chemical and isotopic compositions of mineral spring water and pond water obtained around the sinter cones of Maruyama Volcano were analyzed. The results showed that the waters were rich in Ca^{2+} and HCO_3^- . On the other hand, geochemical features of hot spring located 9 - 17 km apart from Maruyama Volcano were mainly Na-Cl type.