



温泉水・温泉付随ガスの地球化学データから見た 大分県山香温泉の生成機構と温泉起源流体

酒井 拓哉¹⁾

(平成 29 年 2 月 21 日受付, 平成 29 年 2 月 22 日受理)

A Formation Mechanism and the Origin of Yamaga Hot Spring in Oita Prefecture Inferred from Geochemical Data of Hot Spring Waters and Their Accompanied Gases

Takuya SAKAI¹⁾

1. はじめに

近年、第四紀の火山活動の及ばない非火山地域に湧出する高塩分の温・鉱泉水を対象とした研究が数多く行われており(例えば、村松・他, 2010; 大沢・他, 2010), 大分県でもいくつかの温泉や鉱泉において地球化学的な研究が行われている(大沢, 2003; 網田・他, 2005; 大沢, 2005). そのような中、杵築市山香町にもガスを伴いながら自噴している高塩分の鉱泉の存在が古くから知られていたが、本格的な研究は行われておらず、山下(1982)による簡単な調査報告があるのみであった。そこで、本研究では当該地域の源泉を改めて調査し、温泉水と、今回初めて温泉付随ガスを採取して、得られた地球化学データに基づいて温泉の生成機構について考察した。

2. 調査地点と分析方法

調査の際に利用されているのが確認できた山香町の温泉は、山香温泉センターと山香温泉風の郷の2泉源のみであり(Fig. 1), いずれの温泉も多量のガスを伴いながら自噴していた。この温泉付随ガスは、一般に言われているように、元々地中では温泉水に溶存していたもので、それが井戸管内を伝って上昇してくる間に温泉水から脱ガス・分離したと考えられる。

¹⁾日鉄鉱業株式会社 資源開発部. ¹⁾Nittetsu Mining Co., LTD. Resources Development Dept.

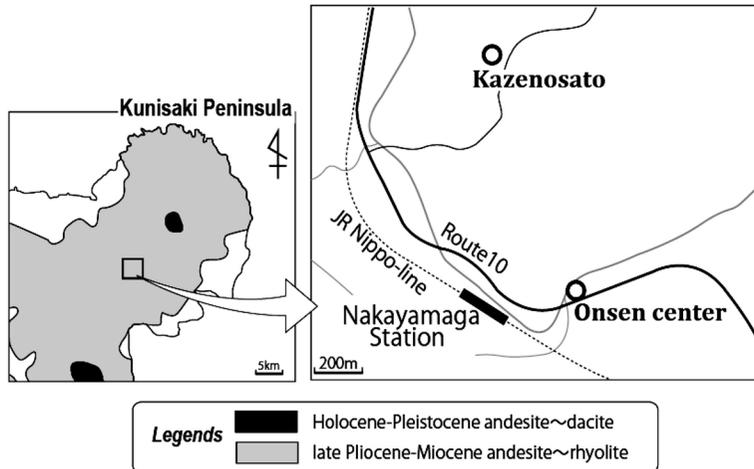


Fig. 1 調査地点と関連地質

現地にて、水温、pHを測定し、温泉水および付随ガスを採取して、以下の項目について分析した。
 温泉水：一般水質、水の安定同位体組成 (δD と $\delta^{18}O$)、溶存全炭酸 (DIC) の濃度とその炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$)

温泉水付随ガス：ガス組成 (CO_2 , He, H_2 , Ar, N_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , O_2)、希ガス同位体比 ($^3He/{}^4He$, ${}^4He/{}^{20}Ne$)、炭化水素 (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8)、の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$)

3. 結果と考察

センター、風の郷ともに陽イオンについて卓越する成分はナトリウムイオンであり、陰イオンについてはセンターが塩化物イオン、風の郷が炭酸水素イオンであった。得られた分析値を山下 (1982) にある山香町の湧水、河川水、井戸水のデータとともに陰イオンの組成図に表したところ、Na-Cl 型の高塩分水に塩分濃度の低い HCO_3 型の地下水が混合して温泉水が生成していることが示され、陽イオン組成 (Na-K-Mg 地化学温度計) は、その Na-Cl 型の高塩分水の温度が $210^\circ C$ 程度であることを示唆した。また、その他の地球化学的特徴から山香温泉は高温の深部熱水の特徴のひとつを有していると考えられる。そして、温泉起源流体の正体を知るために、水の同位体組成に基づいて考察を行った。 δD vs. $\delta^{18}O$ 図上のデータポイントは天水起源の地下水と安山岩質マグマ性水蒸気の混合線上に位置し、山香町の高塩分温泉水の起源流体は海水ではなく、マグマから放出される火山性流体であるという見解を支持している。

また、温泉水付随ガスの成分組成についてみると、成分のほとんどを二酸化炭素 (CO_2)、メタン (CH_4)、窒素 (N_2) が占めており、これら3成分は新しい時代の火山の活動のもとにあるものとは明らかに違う組成を示し、 CH_4 が比較的多くなっていることがわかった。通常、高温のマグマと共存する熱水流体ではメタンはほとんど生成せず (例えば, Giggenbach, 1997), 事実、別府の噴気ガスに比べて CH_4/CO_2 比は1~2桁高く、熱分解起源メタンの共存は温泉起源流体となったマグマ性流体が貯留層中で低温化したことを示していると考えられる。また, Allis and Yusa (1989) や大沢 (2000) によると、別府温泉の本源熱水の温度は、 $250\text{--}300^\circ C$ であるとされ、網田・大沢 (2003) で実測されている九重硫黄山の噴気ガスの最高温度は $308^\circ C$ であり、現在活動中の火山の地下の熱

水系の温度は数 100°C に達するのが普通である。そのような新しい火山の活動の影響を受けている熱水と比べると、本研究で見積もられた山香町の温泉を形成する起源熱水が完全平衡を経験した時の温度が高々 210°C 程度と低いのは、これもマグマ性流体が貯留層に永い間留まり、低温化したことを示す傍証のひとつであり、210°C という温度は記録された最後の最高温度とみることができる。

4. おわりに

山香町に湧出する温泉から採取した温泉水および付随ガスの地球化学的データを入手し、解析した結果、以下のことが示された。

- ・山香町の温泉は Na-Cl 型の高塩分水と低塩分の HCO₃ 型の浅層の地下水の混合によって形成されている。
- ・Na-Cl 型の高塩分水の起源流体は、地下深部に潜在したマグマから放出される火山性流体であると考えられる。
- ・その火山性流体は古い時代のマグマに由来するものであり、地下の貯留層に永い時間留まり、低温化したと説明することが可能である。

本研究では以上のことが明らかとなったが、本研究地域には形成年代が約 500 万年前の浅熱水性金鉱床 (星住・森下, 1993; Watanabe, 2005) が存在し、温泉水の生成年代とともに両者の関連性に興味もたれる。浅熱水性鉱床の最高形成温度は 200°C 程度であり (森下, 1994), K-Mg 温度で推定された地下に潜在する熱水温度は温泉センターが 149°C, 風の郷が 115°C 程度と、都合よく浅熱水性鉱床の形成温度の範囲に入る。しかし、一般に浅熱水性鉱床を形成する熱水は天水性であるとされ (森下, 1994; 森下, 2004), 山香町の温泉水にはマグマ性流体の混入が明瞭にみられるという違いがある。このことから、後に高塩分温泉水の起源となるマグマ性熱水流体の周辺部に生じた比較的低温の天水循環熱水系が金鉱床を生んだということが想像され、この点を探るためにも高塩分温泉水の年代測定は必須であり、今後の課題としたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始ご指導を賜りました京都大学大学院理学研究科地球熱学研究施設大沢信二教授を初め、大分大学教育学部 大上和敏准教授、総合地球環境科学研究所 山田誠研究員、京都大学大学院理学研究科地球熱学研究施設 三島壮智技術職員に心より感謝申し上げます。

引用文献

- Allis, R.G. and Yusa, Y. (1989) : Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, **18**, 743-759.
- 網田和宏, 大沢信二, 杜 建国, 山田 誠 (2005) : 大分平野の深部に賦存される有馬型熱水の起源. *温泉科学*, **55**, 2, 64-77.
- 網田和宏, 大沢信二 (2003) : 九重硫黄山噴気地域から放出されるマグマ性ガスへの空気及び地下水の水の混合過程. *日本地熱学会誌*, **25**, 4, 245-265.
- Giggenbach, W.F. (1997) : Relative importance of thermodynamic and kinetic processes in governing the chemical and isotopic composition of carbon gases in high-heat flow sedimentary basin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61**, 17, 3763-3785.
- 星住英夫, 森下祐一 (1993) : 豊岡地域の地質. *地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)*, 地質調査所, p. 75.

- 森下祐一 (1994) : マグマによる熱水性鉱床の生成—鉱脈型, スカルン型及び斑岩型鉱床から得られた 2, 3 の知見—. 地質学論集, **43**, 98-108.
- 森下祐一 (2004) : 北薩・串木野地域における一つの金鉱床成因研究物語. 地質ニュース, **599**, 59-68.
- 村松容一, 近藤史也, 千葉 仁, 早稲田周, 長島秀行 (2010) : 関東山地北縁における非火山性温泉の水質および安定同位体比とその地質学的解釈. 温泉科学, **60**, 4-21.
- 大沢信二 (2000) : 噴気ガスの化学・同位体組成からみた別府温泉の地熱流体の起源及び性状. 大分県温泉調査研究会報告, **51**, 19-28.
- 大沢信二 (2003) : 塚野鉱泉の水質形成機構. 大分県温泉調査研究会報告, **59**, 295-319.
- 大沢信二 (2005) : 大分県南部地域の温泉の同位体地球化学調査—臼杵市の六ヶ迫鉱泉—. 大分県温泉調査研究会報告, **56**, 5-9.
- 大沢信二, 網田和宏, 山田 誠, 三島壮智, 風早康平 (2010) : 宮崎平野の大深度温泉井から流出する温泉水の地化学特性と成因—温泉起源流体としての続成脱水流体—. 温泉科学, **59**, 4, 295-319.
- Watanabe, Y. (2005) : Late Cenozoic evolution of epithermal gold metallogenic provinces in Kyushu, Japan. Mineralium Deposit, **40**, 307-32.
- 山下幸三郎 (1982) : 山香町内の鉱泉・湧水の水質. 「山香町誌 第二編 地誌, 第四章」, p. 163-p. 171, 山香町誌刊行会, 大分.