

同位体比からみた群馬県の温泉

秋田大学鉱山学部
松葉谷 治

Isotopic Features of Hot Springs in Gunma Prefecture

Osamu MATSUBAYA
Mining College, Akita University

1. はじめに

温泉水の水素と酸素の同位体比を手がかりに水の起源を推定する方法が広く用いられている。それらの結果から、日本の温泉水の起源としては、天水、海水または化石海水(地層中に貯留された古い時代の海水)、マグマから放出されると考えられる火山性熱水、および成因は明らかでないが有馬温泉や鹿塩鉱泉などの高塩濃度の塩化物泉の4種類があると考えられている¹⁾。

群馬県の温泉は、図1に示すように県の中央に東西に並ぶ赤城山、榛名山および浅間山を結ぶ線を境いとして、その北側には第三紀および第四紀の火成活動と関連した温泉が多数存在し、一方南側には磯部温泉や八塩鉱泉のような中・低温の高塩濃度の塩化物泉が点在する。これらの温泉水の水素と酸素の同位体比については、群馬県衛生公害研究所の酒井幸子と著者の共同研究として多くの測定がなされており、結果の一部は既に本学会誌などに発表されたり^{2,3,4)}、あるいは本学会大会などで口頭発表されている。また、他の研究者により若干の測定結果が報告されている^{5,6,7,8)}。本講演では、それらの結果に一部新たに測定された結果を加えて群馬県の温泉についての概略を紹介する。

2. 天水起源の温泉

図2は、群馬県の温泉のうち高塩濃度の塩化物泉を除いたものについて水素と酸素の同位体比(δD と $\delta^{18}O$)の関係を示したものである。図中の $\delta D=8\delta^{18}O+17$ と $\delta D=8\delta^{18}O+10$ の2つの直線は、各々日本の内陸地域と太平洋側地域の天水の関係を示したものである。黒丸で示した温泉水の関係は、この2つの直線の間に入り、白丸で示した天水の関係とほとんど差がない。このことから、これらの温泉水が天水を起源とすることが明らかである。

同じ天水起源でありながら、 d 値($\delta D-8\delta^{18}O$)に+10から+17までの幅があること、また同位体比そのものにも例えば $\delta^{18}O$ で-8.5から-11%まで大きな差があることは、天水の値が各温泉の位置する流域ごとに異なることによる。例えば、図1にA、BおよびCで示した片品川の片品川流域の温泉、水上町の利根川上流域の温泉、そして伊香保温泉についてみると、図2に示すよ

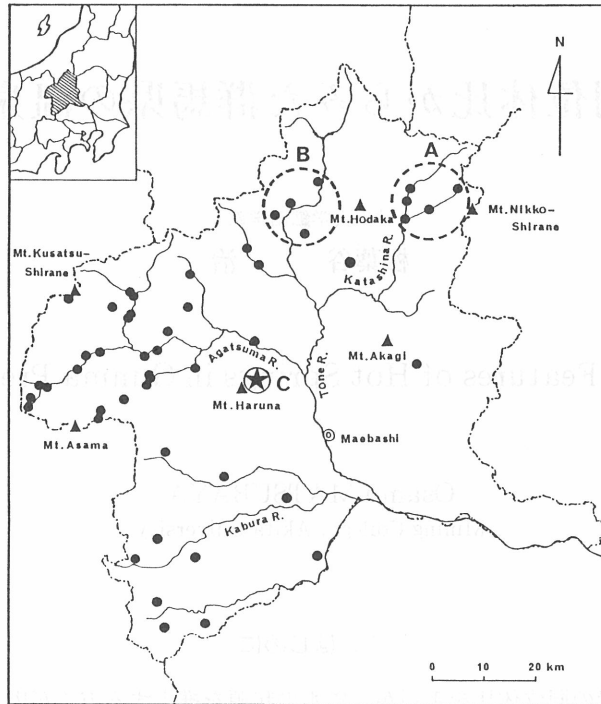


Figure 1 Locations of hot springs in Gunma Prefecture. Areas A, B and C are Katashina, Minakami and Ikaho, respectively.

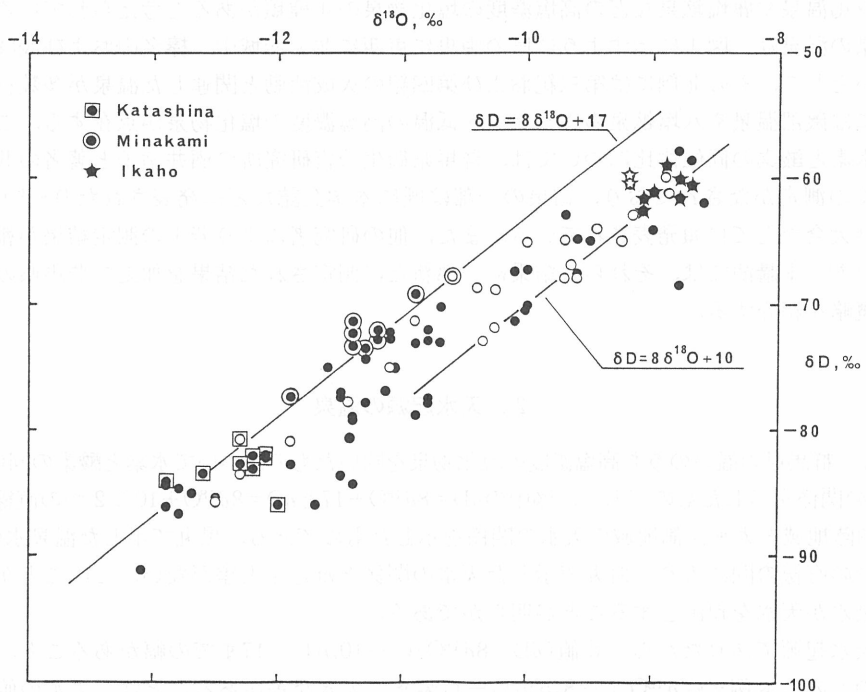


Figure 2 δD vs. $\delta^{18}O$ plot of hot spring water (closed circle) as well as meteoric water (open circle) from Gunma Prefecture.

うにいずれもその流域内の天水と温泉水の間には顕著な差は見られないが、3者の間には大きな差がある。片品村と水上町の温泉はどちらも内陸地域の天水の関係を示し、水上町のもののほうがd値がより高く、日本海側地域の天水の影響をより強く受けている。また、同位体比そのものは片品村のもののほうが低い。一方、伊香保温泉は太平洋側の天水の関係を示す。これと類似した関係は県南部の平野部の天水に広く見られる($\delta D = -60 \sim -65\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -9.0 \sim -9.5\text{‰}$)。これらの差は、気象学的に説明されるべきものであり、今回の講演内容とは直接には関係しないものである。

温泉水の起源を問題とする場合、水の起源と溶存成分の起源が同じでない場合が多い。例えば、上述の水上町の谷川温泉では、18個の源泉の($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$)と SO_4^{2-} の割合と($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)と Ca^{2+} の割合の関係が図3に示すようにNaCl組成と CaSO_4 組成の角を結ぶ線上に並ぶ。このような場合、しばしばNaCl型の温泉と CaSO_4 型の温泉の混合として説明される。しかし、水の水素と酸素の同位体比の関係は、図4に示すように、地表水の混入を受けた1つの源泉以外は Cl^- と SO_4^{2-} の割合に関係なく皆同じである。このことから、2種類の温泉水の混合を考えるよりは、1種類

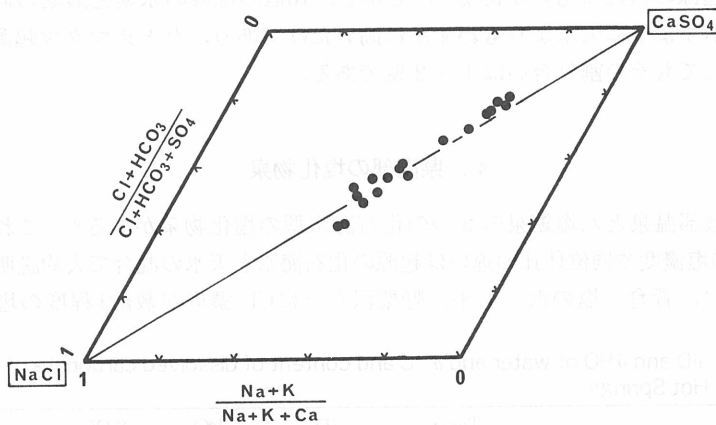


Figure 3 $(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)/(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ vs. $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ plot of Tanigawa Hot Springs.

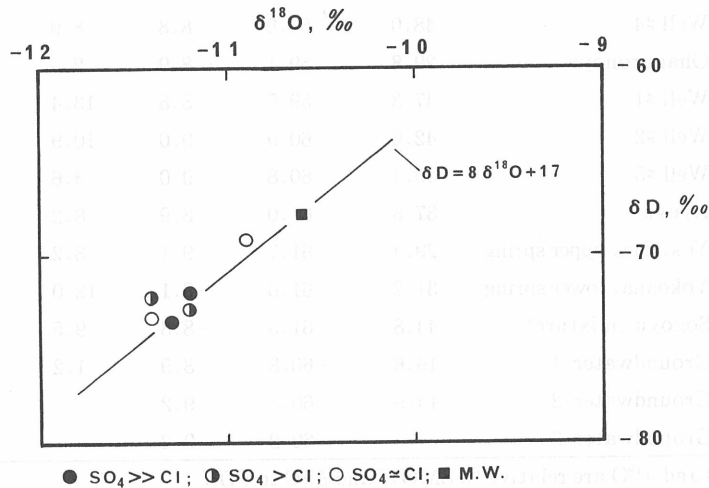


Figure 4 δD vs. $\delta^{18}\text{O}$ plot of Tanigawa Hot Springs.

のNaCl型のものが地層中の石膏を溶出し、その時の温度の違いにより溶出量に差が生じたものと考えられる³⁾。

3. 火山性温泉

群馬県内には多くの第四紀火山があり、その周辺にマグマから放出された熱水を含んだ温泉の存在が期待される。そのような火山性熱水は特徴的な同位体比を持ち($\delta D = -20 \sim -40\text{‰}$, $\delta^{18}O = +6 \sim +8\text{‰}$)¹⁾, その混入は温泉水の同位体比から容易に見分けられる。しかし、群馬県内にはそのような火山性熱水を主とする温泉は見当たらない。わずかに、日光白根山東麓の白根温泉、草津白根山の万代鉱およびその東方の応徳温泉と湯の平温泉、そして浅間山あるいは烏帽子岳と関連すると思われる田代温泉や林堂の井戸で火山性熱水が含まれる可能性がある。ただ、その割合は多くて5%程度である。

伊香保温泉も榛名山の火山活動と関連するものと考えられる。また、溶存化学成分からは少なくとも2種類の起源の異なるものがある⁹⁾。しかし、10個の源泉の水素と酸素の同位体比は、表1および図5に示すように天水よりもわずかに高いだけであり、たとえマグマ起源の火山性熱水を含んでいるとしてもその割合は1~2%である。

4. 県南部の塩化物泉

県の南部には磯部温泉と八塩鉱泉の2つの化石海水型の塩化物泉がある⁵⁾。これらの温泉については、源泉間の塩濃度や同位体比の違いは起源の化石海水と天水の混合で大約説明される^{10, 11)}。この他にも、坂口、青倉、塩の沢、浜平、野栗沢などにCl⁻濃度が数g/l程度の塩化物泉が存在

Table 1 δD and $\delta^{18}O$ of water and $\delta^{13}C$ and content of dissolved carbonate of Ikaho Hot Springs

No.	Hot springs	Temp., (°C)	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)	ΣCO_2 (mmol/l)	$\delta^{13}C$ (‰)
1	Well #6	65.9	-60.6	-8.7	7.5	-0.1
2	Sanshanoyu	42.0	-60.2	-8.8	7.7	+1.8
3	Well #4	48.0	-59.9	-8.8	8.9	-0.0
4	Ohaguronoyu	29.8	-59.1	-8.9	2.5	+1.6
5	Well #1	47.3	-59.5	-8.8	13.4	-0.1
6	Well #2	42.6	-60.9	-9.0	10.9	-0.1
7	Well #5	50.4	-60.8	-9.0	9.6	-1.4
8	Kyuyu	37.8	-61.0	-8.9	8.2	-0.2
9	Yokoana, upper spring	29.4	-61.7	-9.1	8.2	+0.6
10	Yokoana, lower spring	31.2	-61.6	-9.1	12.0	-0.1
11	Sogoyu (mixture)	44.8	-61.5	-8.8	9.5	-0.3
12	Groundwater-1	19.6	-60.8	-8.9	1.2	-3.1
13	Groundwater-2	14.9	-60.3	-9.2	—	—
14	Groundwater-3	—	-60.2	-9.2	—	—

δD and $\delta^{18}O$ are relative to SMOW and $\delta^{13}C$ to PDB.
The samples were collected on October 18, 1987.

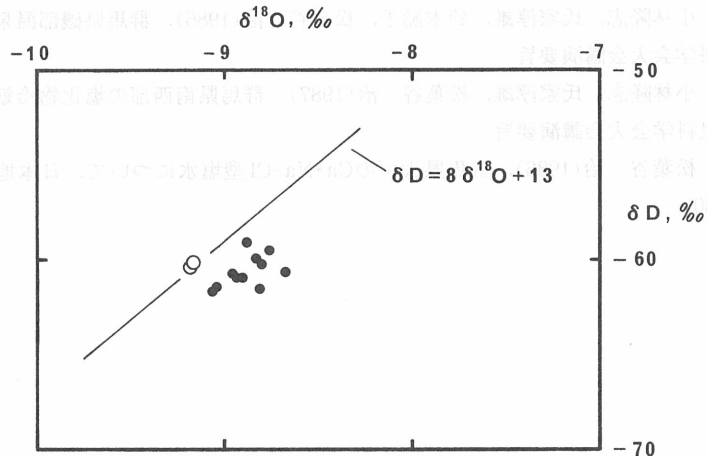


Figure 5 δD vs. $\delta^{18}O$ plot of Ikaho Hot Springs (closed circle) and meteoric water (open circle).

する。これらの塩水の同位体比と Cl^- 濃度の関係からは、これらが化石海水が天水で希釈されたものであるとは断定できず¹¹⁾、今後の研究により水および溶存成分の起源が明らかにされることが期待される。

榛名山の西北西約9 kmに位置する大戸に、同位体比と Cl^- 濃度の関係が化石海水型のもとは著しく異なる塩水がある⁴⁾。この塩水についての詳細な研究の結果、この塩水が通常の化石海水と Cl^- 濃度が13.5g/lの天水起源の塩水が混合したものであることが判明した¹²⁾。 Cl^- 濃度が13.5g/lもの高塩濃度の天水起源の塩水の成因、あるいは県北部での化石海水の発見は大変興味深いものである。大戸の塩水の結果は、著者らにより近々論文として発表される予定である。

引用文献

- 1) 松葉谷 治(1981). 水素および酸素同位体比からみた温泉水の起源. 温泉科学 **31**, 47-56.
- 2) 酒井幸子, 松葉谷 治, 鈴木勲子(1983). 群馬県星尾鉱泉の流下による組成変化と石灰華の生成について. 地球化学 **17**, 127-135.
- 3) 酒井幸子, 松葉谷 治(1985). 群馬県下谷川温泉の化学的特徴およびその起源. 日本地熱学会誌 **7**, 99-110.
- 4) 松葉谷 治, 酒井幸子, 越中 浩(1985). 群馬県の温泉水の水素および酸素同位体比. 温泉科学 **36**, 1-11.
- 5) 松葉谷 治, 酒井 均, 佐々木 昭(1975). 秋田県, 青森県の黒鉱地域およびその周辺の温泉水についての同位体化学的研究. 地質調査所月報 **26**, 1-11.
- 6) 松葉谷 治, 酒井 均, 日下部 実, 佐々木 昭(1980). 長野県の温泉についての同位体化学的調査報告. 岡山大学温泉研究所報告 **50**, 17-24.
- 7) 清棲保弘, 倉橋 誠(1982). 草津白根火山周辺における酸性泉の化学成分と同位体組成. 地球化学 **16**, 17-24.
- 8) 阿部修治, 酒井 均(1983). 中部日本内陸地帯の諸温泉・鉱泉の安定同位体組成. 温泉工学会誌 **18**, 18-50.
- 9) 酒井幸子, 木暮 敬(1987). 伊香保温泉の化学成分. 群馬県温泉協会学術調査報告書(印刷中).

- 10) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 鈴木勲子, 松葉谷 治(1986). 群馬県磯部温泉について. 第39回日本温泉科学会大会講演要旨.
- 11) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 松葉谷 治(1987). 群馬県南西部の塩化物冷鉱泉について. 第40回日本温泉科学会大会講演要旨.
- 12) 酒井幸子, 松葉谷 治(1986). 群馬県大戸のCa・Na-Cl型塩水について. 日本地球化学会年会講演要旨集1C20.

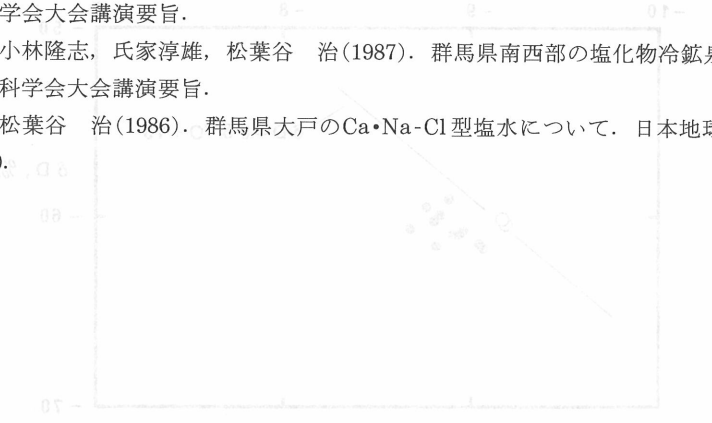


Figure 5. SO_4 vs. Cl plot of Ikkaho Hot Springs (closed circles) and mineral water (open circles).

これは、この地域の温泉の同位体組成とCl濃度の関係を示している。この図から、この地域の温泉は、Cl濃度が10 mg/l以下、SO₄濃度が75 mg/l以下であることがわかる。これは、この地域の温泉が、Cl濃度が10 mg/l以下、SO₄濃度が75 mg/l以下の温泉であることを示している。これは、この地域の温泉が、Cl濃度が10 mg/l以下、SO₄濃度が75 mg/l以下の温泉であることを示している。これは、この地域の温泉が、Cl濃度が10 mg/l以下、SO₄濃度が75 mg/l以下の温泉であることを示している。

参考文献

1) 松葉谷 治 (1987). 群馬県大戸のCa・Na-Cl型塩水について. 日本地球化学会年会講演要旨集1C20.

2) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 鈴木勲子, 松葉谷 治 (1986). 群馬県磯部温泉について. 第39回日本温泉科学会大会講演要旨.

3) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 松葉谷 治 (1987). 群馬県南西部の塩化物冷鉱泉について. 第40回日本温泉科学会大会講演要旨.

4) 松葉谷 治 (1986). 群馬県大戸のCa・Na-Cl型塩水について. 日本地球化学会年会講演要旨集1C20.

5) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 鈴木勲子, 松葉谷 治 (1986). 群馬県磯部温泉について. 第39回日本温泉科学会大会講演要旨.

6) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 松葉谷 治 (1987). 群馬県南西部の塩化物冷鉱泉について. 第40回日本温泉科学会大会講演要旨.

7) 松葉谷 治 (1986). 群馬県大戸のCa・Na-Cl型塩水について. 日本地球化学会年会講演要旨集1C20.

8) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 鈴木勲子, 松葉谷 治 (1986). 群馬県磯部温泉について. 第39回日本温泉科学会大会講演要旨.

9) 酒井幸子, 小林隆志, 氏家淳雄, 松葉谷 治 (1987). 群馬県南西部の塩化物冷鉱泉について. 第40回日本温泉科学会大会講演要旨.

10) 松葉谷 治 (1986). 群馬県大戸のCa・Na-Cl型塩水について. 日本地球化学会年会講演要旨集1C20.