

昭和60年9月

原 著

群馬県の温泉水の水素および酸素同位体比

松葉谷 治*, 酒井幸子**, 越中 浩*

* 秋田大学鉱山学部, ** 群馬県衛生公署研究所

(昭和60年1月14日受付; 昭和60年4月30日受理)

Hydrogen and Oxygen Isotopic Ratios of Hot Spring Waters in Gunma Prefecture

Osamu Matsubaya*, Yukiko Sakai**, and Hiroshi Etchu*

* Mining College, Akita University

** Gunma Institute of Public Health

Abstract

Hydrogen and oxygen isotopic ratios of hot spring waters were measured about the most of hot springs in Gunma Prefecture. The result showed the following features. (1) The hydrogen and oxygen isotopic ratios of hot spring waters are mostly similar to the local meteoric waters, and their simple meteoric origin is suggested. (2) The hot spring waters at Kusatsu contain a volcanic thermal water of Cl-SO₄ type, while the hot spring waters at Manza are an acid SO₄ type of simple meteoric origin. The oxygen isotopic ratios of Ohotoku, Yunodaira, Asamakogen, and Shirane Hot Springs are higher than the local meteoric waters, implying they contain a small amount of volcanic thermal water. (3) The high saline water from Mine is a dilution of fossil sea water which is same to the fossil sea water contained in the saline waters from Isobe and Yashio. On the other hand, the saline water from Ohodo has a relationship between δD and Cl⁻ which deviates from the mixing relationship of sea water and meteoric water, and is considered a saline water different from the normal fossil sea water, though its origin is not yet obvious.

1. ま え が き

群馬県のほぼ中央を東西に赤城山、榛名山および浅間山の3つの第四紀の火山が並び、その北側には燧岳、日光白根山、武尊山、草津白根山などの第四紀の火山が分布している。この地域は、新第三紀の火山活動が盛んなところでもあり、グリーンタフ累層が広く分布している¹⁾。群馬県内の温泉の大半はこの地域に分布し、様々な泉質の温泉が湧出している。また、鐺川・碓氷川流域には泥岩や砂岩を主とする新第三紀の海成の堆積層が分布しており²⁾、化石海水を含むと考えられる高塩濃度泉が存在している。

これらの温泉の地質学的研究は木崎喜雄等により精力的に行われており、一般書ではあるが、

「群馬の温泉」の中に簡潔にまとめられている²⁾。それによると県北部の温泉は、第四紀の火山活動に関連したものか、あるいはグリーンタフ累層およびそれを貫く第三紀の深成岩類から湧出しているものである。これらは Sakai and Matsubaya の分類³⁾による火山性温泉とグリーンタフ型温泉に相当するものと考えられる。火山性温泉は第四紀の火山活動に直接関連したもので、多くの場合、酸性泉で、温泉水の水素と酸素の同位体比はその地域の天水よりも高い。グリーンタフ型温泉は、グリーンタフ累層中に浸透した天水が地温により加温され、グリーンタフ累層中の可溶成分を溶出してきたものである。

地球化学的研究としては、酒井幸子等により主化学成分および微量成分についてほぼすべての地域についての研究が行われており、文献4には主な温泉の主化学組成がまとめられている。安定同位体についての研究としては、磯部と八塩の高塩濃度泉ならびに草津と万座の火山噴気や温泉水についての研究がなされている^{5,6)}。また、隣の長野県の温泉についての研究の一環として県境近くの若干の温泉について同位体比が報告されている^{7,8)}。

本報告は、群馬県の主な温泉について温泉水の水素と酸素の同位体比を測定し、水の起源についての概略を明らかにすることを目的とする。個々の地域については、今回の結果と既に報告されている主化学成分あるいは微量成分の結果にもとづき、温泉の成因や溶存物質の起源などについて考察し、別に報告する予定である。なお、星尾鉱泉と谷川温泉については既にその種の論文が発表されている^{9,10)}、これらの温泉の同位体比の結果は本報告にも再度載せた。

2. 試料採集および分析法

今回、同位体比を測定した温泉は図1に示した。温泉水の試料は、若干の例外を除くと、1979年から1983年の間に採集されたものである。また、比較のために若干の河川水や地下水も採集した。

温泉水の水素と酸素の同位体比は、通常のウラン還元法および水と二酸化炭素の交換法で測定された。測定された同位体比は、次式で示すように標準平均海水 (SMOW) の同位体比と比較した場合の偏差 (δ 値) として千分率 (パーミル, ‰) で表わされる。

$$\delta = \left(\frac{R_x}{R_{SMOW}} - 1 \right) \times 10^3$$

ここで、 R_x と R_{SMOW} は試料および標準平均海水の水素同位体比 (D/H) あるいは酸素同位体比 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) であり、 δ 値はそれぞれ δD あるいは $\delta^{18}\text{O}$ と記される。

3. 結果および考察

同位体比の測定結果は表1に示した。表1には、参考までに泉温、pH、蒸発残留物 (E. R.) および化学組成を載せてある。pH は現地測定した値であり、蒸発残留物は大気中で110°Cで乾燥した時の値である。化学組成欄には、陽イオンと陰イオンについてそれぞれ当量濃度の割合が20%以上のものを濃度の高い順に示してある。この定性的な組成表示と蒸発残留物の量を組み合わせると、温泉水の大体の化学的性質が理解できるものと思われる。

これらの温泉水の水素と酸素の同位体比の関係は、高塩濃度の戸ボーリング井 (No.33) と嶺 (No.40) を除くと、図2に示すとおりである。これらの温泉水の大部分は本州内陸地域の天水の平均的な関係である $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 17$ にほぼ一致した関係を示す。天水の測定例が少ないので確かではないが、温泉水と天水の間に有意の差が認められない。このことは、これらの温泉水が

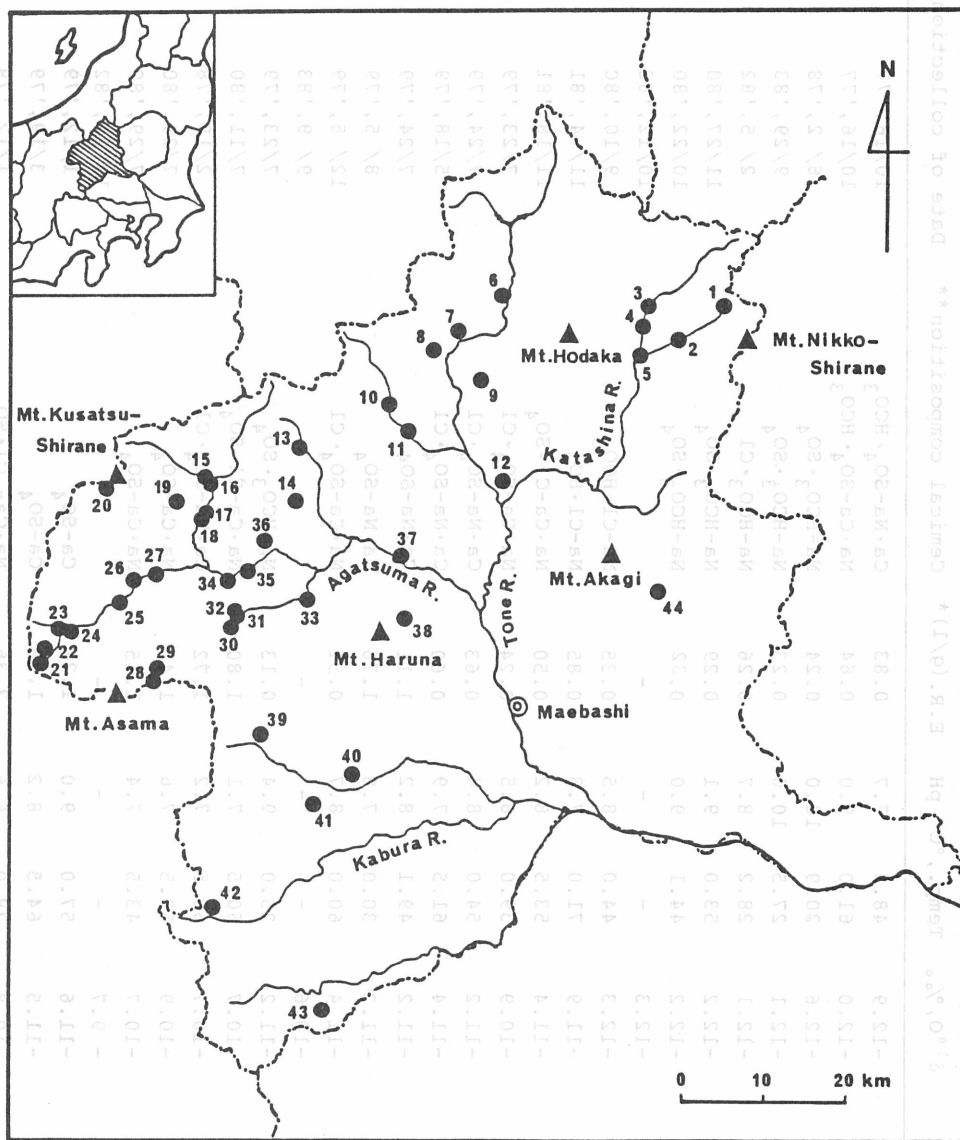


Figure 1. Locations of the hot springs studied in Gunma Prefecture. The numbers correspond to those in Table 1.

単純な天水起源のものであることを示している。しかし、若干の温泉は図2で $\delta D = 8 \delta^{18}O + 17$ よりも右側に外れる関係を示し、単純な天水起源でないことを示唆している。以下にこれらの温泉水の起源について考察する。

3.1 天水起源の温泉

天水起源の温泉水の同位体比は δD で $-60 \sim -90\%$ 、 $\delta^{18}O$ で $-9 \sim -13\%$ と比較的広い範囲に入る。これは、それぞれの地域で天水の同位体比に差があることによる。それぞれの集水域を比較すると、例えば、片品川流域の温泉(No. 1 ~ 5)は δD が $-81 \sim -86\%$ 、 $\delta^{18}O$ が $-12.0 \sim -12.9$

Table 1. Hydrogen and oxygen isotopic ratios of the hot spring waters in Gunma Prefecture

No.	Locality	$\delta D, \%$	$\delta^{18}O, \%$	Temp., °C	pH	E.R. (g/l)*	Chemical composition**	Date of collection
1	Marunuma	-84.2	-12.9	48.0	7.7	0.83	Ca·Na-SO ₄ ·HCO ₃	10/16, '77
2	Shirane	-86.0	-12.0	61.0	8.0	0.64	Na·Ca-SO ₄ ·HCO ₃	10/16, '77
3-1	Oze-Togura	-83.5	-12.6	30.9	10.0	0.24	Na-HCO ₃ ·SO ₄	6/ 2, '78
3-2	ditto	-82.0	-12.1	27.5	10.0	0.23	Na-HCO ₃ ·SO ₄	9/29, '83
4-1	Katashina	-82.3	-12.1	28.2	8.7	0.26	Na-HCO ₃ ·Cl	2/ 5, '82
4-2	ditto	-82.2	-12.2	53.0	9.1	0.29	Na-HCO ₃ ·SO ₄	11/27, '80
4-3	ditto	-83.1	-12.2	44.1	9.0	0.32	Na-HCO ₃ ·SO ₄	10/22, '80
4-4	ditto(M)***	-80.7	-12.3	-	-	-	-	10/12, '82
5	Kamata	-82.7	-12.3	44.0	8.5	0.35	Na-Cl·HCO ₃	9/10, '80
6	Takaragawa	-77.4	-11.9	71.0	7.8	0.85	Na-Cl·SO ₄	11/ 4, '81
7	Yubiso	-71.4	-11.4	53.5	8.2	0.50	Na·Ca-Cl·SO ₄	11/18, '81
8-1	Tanigawa	-69.2	-10.9	39.0	8.5	0.24	Na·Ca-SO ₄ ·Cl	7/23, '79
8-2	ditto	-72.8	-11.2	54.0	8.4	0.63	Ca·Na-SO ₄ ·Cl	7/24, '79
8-3	ditto	-72.3	-11.4	61.5	7.9	0.60	Ca·Na-SO ₄ ·Cl	5/18, '79
8-4	ditto	-72.0	-11.2	49.1	8.2	1.11	Ca·Na-SO ₄	7/24, '79
8-5	ditto	-73.6	-11.3	30.0	7.8	1.76	Ca·Na-SO ₄	8/ 5, '79
8-6	ditto	-73.4	-11.4	60.0	8.7	0.51	Na·Ca-SO ₄ ·Cl	12/ 5, '79
8-7	ditto(M)	-67.8	-10.6	-	-	-	-	9/ 9, '83
9	Namezawa	-72.2	-11.2	25.0	9.4	0.13	Na-HCO ₃ ·SO ₄	7/23, '79
10-1	Sarugakyo	-70.2	-10.7	60.5	7.1	1.80	Na·Ca-Cl·SO ₄	7/11, '80
10-2	ditto	-73.0	-10.7	63.5	7.2	1.72	Ca·Na-SO ₄ ·Cl	2/15, '78
11-1	Yujuku	-73.1	-10.9	63.5	7.6	1.46	Na·Ca-SO ₄	7/29, '80
11-2	ditto	-73.2	-10.7	43.5	7.4	1.15	Na·Ca-SO ₄	7/29, '80
12	Numata (M)	-64.9	- 9.7	-	-	-	-	10/27, '82
13-1	Shima	-75.0	-11.6	57.0	9.0	1.21	Ca-SO ₄	1/12, '79
13-2	ditto	-77.0	-11.5	64.5	8.2	1.13	Ca-SO ₄	3/19, '79
13-3	ditto	-72.0	-10.8	78.0	6.6	2.36	Na·Ca-Cl·SO ₄	1/12, '79
13-4	ditto	-72.8	-10.8	74.0	6.6	2.54	Na·Ca-Cl	1/12, '79

(continued)

Table 1. (continued)

No.	Locality	$\delta D, \text{‰}$	$\delta^{18}O, \text{‰}$	Temp., °C	pH	E.R. (g/l)*	Chemical composition**	Date of collection
13-5	ditto	-72.7	-11.1	73.0	6.6	2.05	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/16, '80
13-6	ditto	-74.8	-11.1	57.0	7.7	1.57	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/16, '80
13-7	ditto	-72.3	-11.1	59.0	7.5	1.56	Na·Ca-Cl·SO ₄	3/18, '80
13-8	ditto	-72.1	-10.8	37.0	7.4	1.34	Na·Ca-Cl·SO ₄	1/17, '79
13-9	ditto	-71.4	-10.9	-	-	-	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/16, '80
13-10	ditto	-68.7	-10.4	-	-	-	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/16, '80
14	Sawatari	-67.3	-10.0	55.0	8.5	1.18	Ca·Na-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	8/16, '80
15	Shiriyaki	-77.3	-11.5	53.0	7.2	1.37	Ca·Na-SO ₄ ·Cl	8/12, '81
16-3	Hanashiki	-74.3	-11.3	45.0	7.2	1.41	Ca·Na-SO ₄ ·Cl, CO ₂	12/18, '79
17-3	Ohotoku	-78.8	-10.9	51.0	6.1	1.02	Na·Ca-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	8/12, '81
18-1	Yunodaira	-77.9	-10.8	71.5	8.5	1.20	Na·Ca-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	8/12, '81
19-1	Kusatsu	-77.4	-10.8	95.0	2.0	2.29	H-SO ₄ ·Cl	6/28, '79
19-2	ditto	-78.9	-11.4	63.5	2.2	1.70	H·Al·Ca-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	5/31, '79
19-3	ditto	-79.4	-11.4	61.0	2.2	1.71	H·Al-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	6/28, '79
19-4	ditto	-77.8	-11.3	50.0	2.2	1.39	H·Al-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	5/31, '79
20-1	Manza	-84.7	-12.8	80.5	2.5	1.31	Mg·Na-SO ₄ , H ₂ S	10/23, '81
20-2	ditto	-86.7	-12.8	90.0	2.6	1.48	Mg·Na-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	10/23, '81
20-3	ditto	-85.1	-12.7	95.0	2.1	2.04	H·Al-SO ₄ , H ₂ S	10/5, '81
20-4	ditto	-86.1	-12.9	62.0	2.2	1.39	H·Na-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	10/5, '81
20-5	ditto	-84.5	-12.9	52.5	3.0	0.70	Ca-SO ₄ , H ₂ S	10/7, '81
21-1	Kazawa	-86.9	-12.8	44.5	6.7	0.85	Mg·Na·Ca-HCO ₃ , CO ₂	8/23, '82
21-2	ditto	-85.8	-12.5	3-5	7.3	1.30	Na·Ca-Cl·20·HCO ₃ , CO ₂	9/16, '83
22-1	Yagenzawa	-85.4	-12.5	12.0	6.9	0.39	Na·Ca-20·Cl·HCO ₃ , CO ₂	11/13, '83
22-2	ditto	-83.6	-12.3	45.0	7.1	1.14	Na·Ca-Cl, CO ₂	11/13, '83
23	Koikegawa	-80.9	-11.9	-	-	-	-	9/16, '83
24	Tashiro	-83.7	-11.5	33.0	6.9	2.13	Na·Mg-Cl·HCO ₃ , CO ₂	8/23, '82
25	Tsumagoi	-91.2	-13.1	38.0	6.5	1.43	Na·Mg-Ca-HCO ₃ , CO ₂	10/17, '80
26	Heiji	-82.8	-11.9	41.0	7.4	1.21	Na·Mg-Ca-SO ₄ ·Cl·HCO ₃ , CO ₂	8/23, '82

(continued)

(continued)

No.	Locality	$\delta D, \%$	$\delta^{18}O, \%$	Temp., °C	pH	E.R. (g/l)*	Chemical composition**	Date of collection
27-3	Handeki-Agatsuma	-86.0	-11.7	42.0	7.1	5.77	Na·Ca-Cl, CO ₂	8/23, '82
28-1	Rindo-no-ido	-84.4	-11.4	37.5	6.2	4.06	Mg·Na-SO ₄ ·Cl·HCO ₃ , CO ₂	8/9, '82
29-3	Asamakogen	-86.2	-12.0	33.2	7.5	3.90	Mg·Ca-Cl·SO ₄ , HCO ₃ , CO ₂	11/16, '81
30-1	Yunokami	-62.9	-9.7	56.5	6.7	3.48	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/21, '83
31-2	Yakushi	-64.8	-9.6	42.0	6.8	2.79	Na·Ca-Cl·SO ₄	18/21, '83
32-1	Nurugawa	-64.9	-9.5	37.0	6.7	3.75	Na·Ca-Cl·SO ₄	10/8, '82
32-2	ditto (M)	-65.1	-10.0	37.0	5.1	3.04	H·VI·20 ⁴ , H ₂ S	10/8, '82
33-3	Ohodono	-46.7	-6.3	15.0	7.3	30.66	Ca·Na-Cl, CO ₂ , H ₂ S	11/20, '82
34-1	Yokokabe	-67.5	-9.6	56.0	7.9	2.87	Na·Ca-Cl·SO ₄	8/21, '83
35-4	Kawarayu	-70.5	-10.2	72.0	7.9	1.56	Ca·Na-SO ₄ ·Cl, H ₂ S	8/21, '83
36-1	Kawanaka	-70.1	-10.0	34.0	8.2	1.64	Ca-SO ₄ , H ₂ S, H ₂ O	8/21, '83
36-2	ditto (M)	-67.9	-9.6	67.2	5.3	1.10	H·VI·CS-20 ⁴ , Cl ⁺ , H ₂ S	8/21, '83
37-1	Shiokawa	-67.4	-10.1	44.4	9.0	1.21	Na-Cl·Cl	4/20, '78
38-1	Ikaho	-58.6	-8.7	41.8	5.9	1.30	H ₂ ·CS-20 ⁴ , Cl ⁺ , H ₂ S	11/28, '83
38-2	Opditto	-57.9	-8.8	30.5	5.8	1.03	H ₂ ·CS-20 ⁴ , Cl ⁺ , H ₂ S	11/28, '83
38-3	Hsditto	-58.7	-8.7	45.5	6.0	1.41	Ca·Na-SO ₄ , HCO ₃ ·Cl, CO ₂	11/28, '83
39	Higashikaruizawa	-64.1	-9.0	32.8	8.6	1.94	Na-HCO ₃ ·Cl	2/14, '79
40	Mine	-40.9	-2.7	16.2	6.8	23.30	Na-HCO ₃ ·Cl, CO ₂	11/21, '81
41-10	Myogi (M)W	-59.9	-8.9	-	-	-	-	10/16, '82
42-1	Hoshio (M)	-71.4	-10.1	15.0	5.9	1.67	Na·Ca-HCO ₃ ·Cl, CO ₂	10/13, '81
42-2	ditto (M)	-67.9	-9.7	37.0	5.4	1.34	H ₂ ·CS-Cl·20 ⁴	10/13, '81
43-1	Nogurisawa	-68.5	-8.8	26.8	6.2	5.04	Na-Cl, CO ₂	4/22, '82
43-2	ditto (M)	-75.0	-11.1	27.0	5.1	1.21	H ₂ ·CS-Cl·20 ⁴	4/22, '82
44-2	Sarugawa	-61.9	-8.6	19.5	5.8	3.21	Na·Ca·Mg-Cl·HCO ₃ , CO ₂	12/13, '73

* ; Evaporated residue at 110°C.

** ; Components more than 20% of cation or anion expressed in equivalent concentration

are shown in abundant order. H₂S and CO₂ are shown, if they are detectable.

***; Meteoric water.

Table 1. 付 表

番 号	温 泉 名	番 号	温 泉 名
1	丸 沼	19 - 2	草 津 (湯畑)
2	白 根	19 - 3	" (地藏の湯)
3 - 1	尾瀬戸倉 (水芭蕉の湯)	19 - 4	" (西の河原)
3 - 2	" (尾瀬の湯)	20 - 1	万 座 (日進館鉄湯)
4 - 1	片 品 (閑野湯)	20 - 2	" (日進館ラジウム北光泉)
4 - 2	" (萩の湯)	20 - 3	" (鈴湯)
4 - 3	" (市山の湯)	20 - 4	" (豊国館苦湯)
4 - 4	片品川河川水	20 - 5	" (奥万座源泉)
5	鎌 田 (半瀬の湯)	21 - 1	鹿 沢 (雲井の湯)
6	宝 川 (4号泉)	21 - 2	湯尻川河川水
7	湯桧曾 (貞任の湯)	22 - 1	矢源沢
8 - 1	谷 川 (大学の湯)	22 - 2	矢源沢河川水
8 - 2	" (亀の湯)	23	小池川河川水
8 - 3	" (孤峯の湯)	24	田 代
8 - 4	" (河鹿の湯)	25	孀 恋 (拾貳山の湯)
8 - 5	" (秩父セメント寮)	26	平 治
8 - 6	" (不動湯)	27	半出来吾妻
8 - 7	谷川河川水	28	林堂の井戸
9	奈女沢	29	浅間高原温泉
10 - 1	猿ヶ京 (湖城閣泉)	30	湯の上 (神告の湯)
10 - 2	" (村営1号泉)	31	薬 師
11 - 1	湯 宿 (元湯)	32 - 1	温 川 (目の湯)
11 - 2	" (大滝の湯)	32 - 2	温川河川水
12	沼田市地下水	33	大戸ボーリング井
13 - 1	四 万 (御夢想の湯)	34	横 壁 (生産井)
13 - 2	" (山鳥の湯)	35	川原湯 (県有泉)
13 - 3	" (岩根の湯)	36 - 1	川 中
13 - 4	" (龍宮の湯)	36 - 2	雁ヶ沢川河川水
13 - 5	" (明治の湯)	37	塩 川
13 - 6	" (鐘寿館の湯)	38 - 1	伊香保 (2号泉)
13 - 7	" (つばめの湯)	38 - 2	" (5号泉)
13 - 8	" (蔦の湯)	38 - 3	" (本線)
13 - 9	四万川河川水	39	東軽井沢
13 - 10	四万川支流河川水	40	嶺
14	沢 渡	41	妙義町地下水
15	尻 焼 (共有泉)	42 - 1	星 尾
16	花 敷 (川端の湯)	42 - 2	星尾川支流河川水
17	応 徳 (応徳の湯)	43 - 1	野栗沢 (旧宝蔵寺温泉)
18	湯の平	43 - 2	所ノ沢河川水
19 - 1	草 津 (万代鉱)	44	猿 川

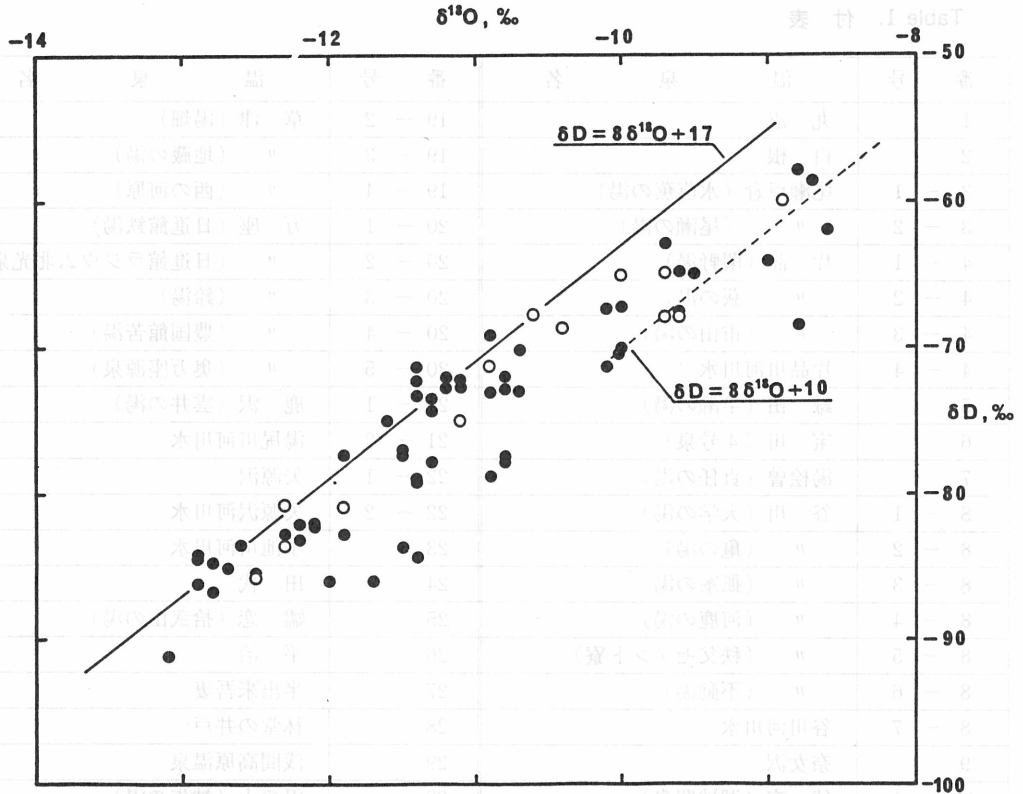


Figure 2. Relationship between hydrogen and oxygen isotopic ratios of hot spring waters. Closed and open circles are hot spring waters and meteoric waters, respectively.

‰,あるいは利根川上流域の温泉(No.6~9)は δD が $-69 \sim -77\%$, $\delta^{18}O$ が $-10.9 \sim -11.9\%$ と同一流域内ではほぼ同じ同位体比を有しており,しかもこの2つの流域間では平均して δD で約10‰, $\delta^{18}O$ で約1‰の差がある.全体を見ると,南に行くほど同位体比が高くなり, δD と $\delta^{18}O$ の関係が太平洋側の降水の平均的な関係である $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ に近づく傾向が見られる.南に行くほど太平洋側の降水の影響を大きく受けているものと思われる.

日本各地のグリーンタフ地域の温泉では,温泉水の $\delta^{18}O$ がその地域の天水よりも0.5~1‰高くなること(oxygen shift=酸素同位体比のずれ)が多い^{11,12)}.ところが,群馬県ではこの酸素同位体比のずれを起している温泉が少ない.酸素同位体比のずれを起さない理由として,温泉水が貯留されている地層中に炭酸塩鉱物があまり含まれていないこと,および貯留層中での温泉水の滞留時間が短いことなどが考えられる.したがって,温泉水に酸素同位体比のずれが見られないことは,群馬県の温泉の成因や貯留機構を考える場合の1つの重要な情報となるように思われる.

酸素同位体比のずれが見られる温泉としては,後述の火山性温泉を除くと,田代(No.24),半出来吾妻(No.27),東軽井沢(No.39),野栗沢(No.43),猿川(No.44)などがある.これらは,いずれも塩濃度が比較的高く,陰イオンとしては Cl^- と HCO_3^- を主とするものであり,天水起源の温泉水が炭酸塩鉱物を多く含む地層中で酸素同位体比のずれを起した可能性が考えられるが,他の可能性として天水起源の水に少量の化石海水が混入していることも考えられる.しかし,今回の同位体

比の結果からは両者のいずれかであることを判断するのは困難である。

3.2 火山性温泉

今回、対象とした温泉の中で典型的な火山性温泉は草津温泉である。同位体比を測定した4源泉のうち万代鉱(No.19-1)と他の3源泉とは同位体比が異なっている。これは、清棲と倉橋が指摘しているように、この地域には高い同位体比を持つ酸性のCl-SO₄型の熱水(火山噴気および温泉水)と天水起源のSO₄型の酸性熱水があり、両者が様々な割合で混合していることによる⁶⁾。

万座温泉の5源泉(No.20-1~5)も火山性であるが、その同位体比はこの地域の天水、例えば湯尻川(No.21-2)や矢源川(No.22-2)とほぼ同じであり、これらの酸性熱水は草津のSO₄型熱水と同様に天水がH₂Sを含む蒸気で加熱されたものと考えられる。その他の温泉では、応徳(No.17)と湯の平(No.18)が天水より高いδ¹⁸Oを持ち、しかもH₂Sを含んでいることから判断して、Cl-SO₄型の火山性熱水が岩石との反応で中和されたものを含んでいると推定される。また、林堂の井戸(No.28)と浅間高原(No.29)も浅間山に関連した火山性熱水を含んでいるのではないかと思われる。日光白根山の西麓に位置する白根(No.2)も天水よりも高いδ¹⁸Oを持ち、火山性熱水の影響を受けている可能性が考えられる。

3.3 化石海水を含む温泉

大戸ボーリング井(No.33, Cl⁻=15.4g/l)と嶺(No.40, Cl⁻=4.57g/l)は高塩濃度の鉱泉で、

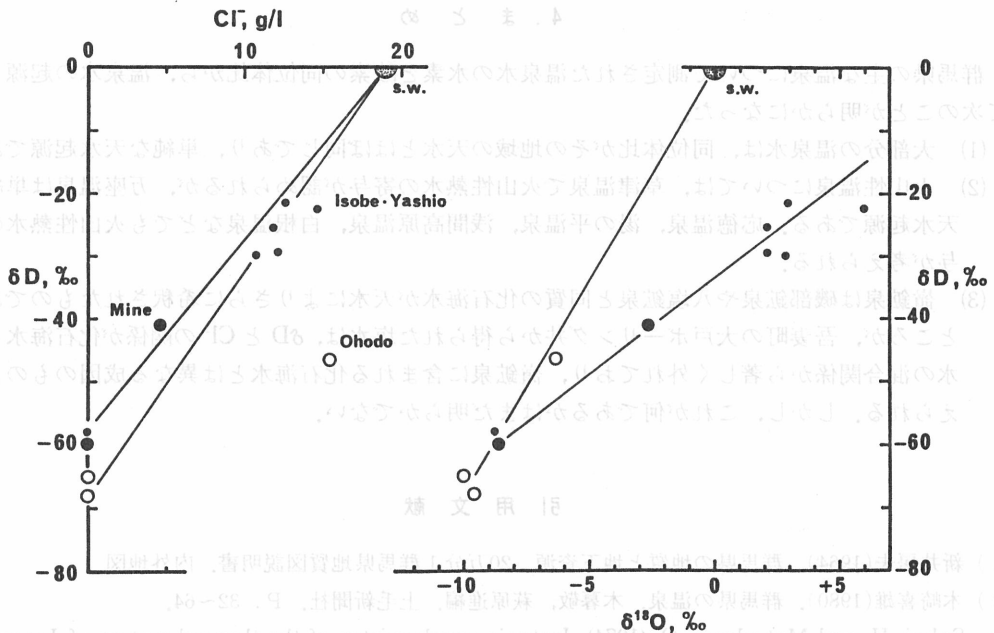


Figure 3. Relationship of hydrogen isotopic ratio against chloride concentration or oxygen isotopic ratio of the high saline waters from Mine and Ohodo. The relationships of Isobe and Yashio are also shown (after Matsubaya et al⁶⁾). S. W. shows the relationships of sea water.

新第三紀に海成層が堆積した当時の海水を起源としているものと考えられる。その当時の海水の δD , $\delta^{18}O$ および Cl^- は現在の海水 ($\delta D = 0\%$, $\delta^{18}O = 0\%$, $Cl^- = 19\text{ g/l}$) と大差ないと推定されるが、典型的な化石海水では δD と Cl^- が堆積当時の値を保持しているにもかかわらず、 $\delta^{18}O$ が炭酸塩鉱物などの酸素同位体交換により様々な程度に高められている³⁾。ところが、 δD , $\delta^{18}O$ および Cl^- 間にこのような典型的な関係が見られない例も観測されており、化石海水の Cl^- あるいは δD が変化した可能性が示唆されている¹²⁾。

大戸ボーリング井と嶺の δD と Cl^- の関係と δD と $\delta^{18}O$ の関係を対比させると図3に示す通りである。

嶺についてみると、 δD と Cl^- の関係は海水と天水を結ぶ関係とほぼ一致し、また δD と $\delta^{18}O$ の関係は $\delta^{18}O$ が約+11%まで高められた海水と天水を結ぶ関係であり、典型的な化石海水と天水の混合関係が見られる。図3には磯部(嶺の南2km)や八塩(嶺の東南24km)の塩水の関係⁵⁾を示したが、嶺の関係はこの磯部や八塩の関係とほぼ一致している。したがって、嶺の塩水は磯部や八塩と同質の化石海水が天水によりさらに希釈されたものである。

大戸ボーリング井の δD , $\delta^{18}O$ および Cl^- 間の関係は嶺とまったく異なり、 δD と Cl^- の関係が海水と天水を結ぶ線よりも大きく右側にずれ、 δD と $\delta^{18}O$ の関係が海水と天水を結ぶ関係にほぼ一致している。この関係は秋田県の森岳温泉¹²⁾の関係を類似している。この種の塩水も恐らく化石海水と思われるが、 δD , $\delta^{18}O$ および Cl^- のどれがどんな過程で変化したのかは明らかでなく、今後の研究により解明されねばならない問題である。

4. ま と め

群馬県の主な温泉について測定された温泉水の水素と酸素の同位体比から、温泉水の起源として次のことが明らかになった。

- (1) 大部分の温泉水は、同位体比がその地域の天水とほぼ同じであり、単純な天水起源である。
- (2) 火山性温泉については、草津温泉で火山性熱水の寄与が認められるが、万座温泉は単純な天水起源である。応徳温泉、湯の平温泉、浅間高原温泉、白根温泉などでも火山性熱水の寄与が考えられる。
- (3) 嶺鉱泉は磯部鉱泉や八塩鉱泉と同質の化石海水が天水によりさらに希釈されたものである。ところが、吾妻町の大戸ボーリング井から得られた塩水は、 δD と Cl^- の関係が化石海水と天水の混合関係から著しく外れており、嶺鉱泉に含まれる化石海水とは異なる成因のものと考えられる。しかし、これが何であるかはまだ明らかでない。

引 用 文 献

- 1) 新井房夫(1964). 群馬県の地質と地下資源. 20万分1群馬県地質図説明書. 内外地図.
- 2) 木崎喜雄(1980). 群馬県の温泉. 木暮敬, 萩原進編. 上毛新聞社. P. 32~64.
- 3) Sakai, H. and Matsubaya, O. (1974). Isotopic geochemistry of the thermal waters of Japan and its bearing on the Kuroko ore solutions. *Econ. Geol.* **69**, 974~991.
- 4) 酒井幸子(1981). 群馬県下の温泉水中のホウ酸含量. *温泉科学***31**, 128~138.
- 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. *地調月報***26**, 1~11.
- 6) 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**,

