

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

松葉谷 治・酒井 均
上田 晃・堤 真

岡山大学温泉研究所 熱水地球化学部門

日下部 実

東京工業大学

佐々木 昭

地質調査所

(1978年1月21日受付)

1. 序 言

温泉水ならびに火山噴気の起源について、CRAIG (1963) はその水素および酸素の同位体比の関係から天水起源と結論したが、その後これらの同位体比に関する測定結果が蓄積されるにつれて、その多様性が指摘されてきた (例えば、SAKAI and MATSUBAYA, 1974 ; WHITE, 1974)。日本各地の温泉あるいは火山についても多くの同位体化学的調査研究がなされている (KUSAKABE *et al.*, 1970 ; 日下部ほか, 1977 ; MATSUBAYA *et al.*, 1973 ; 松葉谷ほか, 1974, 1975a, b ; MATSUO *et al.*, 1974 ; 水谷・浜砂, 1972 ; MIZUTANI, 1973 ; SAKAI and MATSUBAYA, 1974, 1975)。

北海道の温泉ならびに火山は西南北海道、中央部の大雪—十勝火山列および東部の知床—阿寒火山列に存在する。これ以外に、石狩炭田地帯あるいは北西部の海岸沿いに食塩泉あるいは硫黄泉の鉱泉があり、豊富温泉 (とよみ) のようにやや高温を示すものもある。西南北海道の温泉のうち渡島半島のはグリーンタフ累層あるいはそれを含む新第三紀累層を湧出母岩とし、溶存炭酸物質に富んだ食塩泉が大部分である。その他の地域の温泉は第四紀の火山活動に関連したものが主である。これらの温泉の溶存化学成分は太素ほか (1959a, b) によりほぼ全域にわたり調査されている。また、北海道地下資源調査所 (1976) により、今まで報告されている調査研究資料が集約整理されつつある。

本調査では、温泉水の水、溶存炭酸物質ならびに溶存硫酸イオン、あるいは火山噴気中の主成分について、水素、酸素、炭素および硫黄の同位体比を測定することを目的とした。試料採集は1975年6月15日~27日間に、渡

島半島の内浦湾沿岸地域、ニセコ地域、および登別地域、東北海道の知床—阿寒火山列地域ならびに沖里河鉱泉 (おきりか) および豊富温泉について行った。また、恵山、登別、アトサヌプリおよび知床硫黄山の噴気について調査した。これら調査した温泉ならびに火山の位置をその他の主なものと合せて第1図に示す。

本報告では、温泉水の水素および酸素同位体比、溶存炭酸物質の炭素同位体比、溶存硫酸イオンの硫酸同位体比、ならびに火山噴気の化学組成およびその同位体比についての測定結果を示し、それにより判明した事柄を述べる。但し温泉水の溶存硫酸イオンについてはまだ酸素同位体比の分析が終っておらず、後日稿を改めて報告する予定である。また、登別地域の調査は室蘭工業大学室住正世教授のグループと共同で行われたものであり、彼らにより火山活動の経年変化を追って採集された試料などの結果と合せて改めて詳しく報告する予定である。

2. 試料採集法および分析法

試料採集、同位体比測定ならびに化学分析は松葉谷ほか (1975b) に記した方法により行われた。温泉水の水素同位体比は試料水を金属ウランで還元して得られた水素について、また酸素同位体比は試料水と同位体交換平衡にした二酸化炭素についてそれぞれ質量分析計で測定された。溶存炭酸物質については、現地で酸化カルシウムを加えた後密栓し持帰った試料に真空中で希硫酸を加え、生じた二酸化炭素を定量した後同位体比の測定に供した。火山噴気については、噴気を直接冷却凝縮させたものを用水蒸気の水素および酸素同位体比を測定し、また水酸化ナトリウム溶液に吸収凝縮させたものを化学成分の分析ならびに各成分の同位体比の測定に供した。

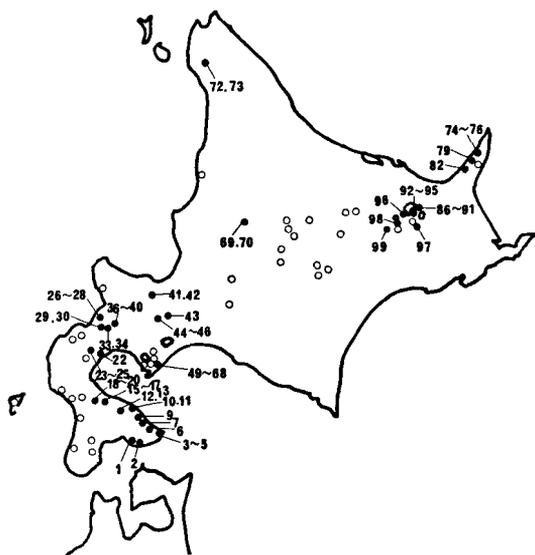


Fig. 1 Locality map of hot springs in Hokkaido. Filled circles show the hot-and mineral springs studied and open circles other major hot springs. Numbers correspond to those in Table 1.

Alphabetical index to the locality map.

	Name	Number
Akankohan	阿寒湖畔	98
Amemasu River	鮭川	93
Asarigawa	朝里川	41, 42
Atosanupuri, hot spring	アトサヌプリ	86, 87
Esan	恵山	3~5
Futamata (Iwaburo)	二股	23~25
Genseikaen, cold spring	原生花園	84
Ginkonyu	銀婚湯	18~20
Goshiki	五色	40
Horobetsu River	幌別川	81
Idashubetsu River	イダシュベツ川	78
Ikenoyu	池ノ湯	95
Isoya	磯谷	9
Iwaobetsu	岩尾別	78, 79
Jozankei	定山溪	44~46
Kakkumi	川汐	6
Kawayu	川湯	88~91
Koganeyu	黄金湯	43
Konbu	昆布	33
Lake Kussharo	屈斜路湖	92
Lake Mashu	摩周湖	85

Meakan	雌阿寒	99
Nigorikawa	濁川	15~17
Nibuse	仁伏	94
Niimi	新見	29~31
Niseko-Ohyunuma	ニセコー大湯沼	36~39
Noboribetsu, Jigokudani	登別, 地獄谷	49~68
Ohfuna (Shimonoyu)	大船(下ノ湯)	7
Ohfuna River	大船川	8
Ohnuma	大沼	12~14
Okirika	沖里河	69~71
Oshamanbe	長万部	22
Raiden-Asahi	電雷一朝日	26, 27
Raiden (Miuraya)	電雷(みうら屋)	28
Shibetsu River	士別川	83
Shikabe	鹿部	10, 11
Shirai River	白井川	48
Shiretoko, Iwoyama	知床, 硫黄山	74~77
Shiribetsu River (Rankoshi)	尻別川(蘭越)	32
Tobetsu (Ichiikan)	当別(櫟館)	97
Toyotomi-I	豊富	72, 73
Utoro (Midoriso)	宇登呂(緑荘)	82
Wakoto	和琴	96
Yachigashira	谷地頭	1
Yunokawa (Ro-go)	湯ノ川	2
Yunosawa River	湯ノ沢川	47
Yurappu River (Yakumo)	遊楽部	21

それぞれの同位体比は次式で示される δ 値, すなわちある標準試料からの千分率偏差(‰)で表わされる。

$$\delta X = \left(\frac{R_{\text{試料}}}{R_{\text{標準試料}}} - 1 \right) \times 10^3$$

ここでXはD, ^{18}O , ^{13}C あるいは ^{34}S を, R試料およびR標準試料はそれぞれ試料ならびに標準試料の同位体比(D/H, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$)を表わす。標準試料は水素と酸素はSMOW, 炭素はPDB, 硫黄はCanyon Diabloである。測定精度は水素で $\pm 2\%$, 酸素, 炭素および硫黄で $\pm 0.2\%$ である。

3. 結果および考察

温泉水についての測定結果を第1表に示す。の中には, 1973年1月に日本鉱業豊羽鉱業所より提供された定山溪, 黄金湯ならびに朝里川(あさり)の温泉についての結果も含まれている。また, 調査地域の河川水, 湖沼水などの地表水の結果も示されている。火山噴気についての測定結果を第2表に示す。

Table 1 Stable isotopic ratios and contents of chloride and total dissolved carbonate in hot springs and surface waters from Hokkaido.

No.*	Locality	Temp. °C	pH	stable isotope ratios					
				H ₂ O		SO ₄ ⁼	ΣCO ₂	Cl ⁻	ΣCO ₂
				δ D	δ ¹⁸ O	δ ³⁴ S	δ ¹³ C	g/l	ppm
1	Yachigashira	71	6.8	-36.6	- 3.8	+21.4	- 3.5	9.69	>450
2	Yunokawa(Ro-go)	65	6.6	-59.5	- 9.1	+21.6	- 2.3	4.01	341
3	Esan, hot spring in B area	95	0.8	- 9.6	+ 5.2	-	-	4.68	-
4	Esan-Harada	45	1.8	-49.3	- 7.3	+ 0.6	-	-	-
5	Esan-Ishida	43	7.1	-56.0	- 8.1	+ 5.6	- 3.0	-	304
6	Kakkumi (Kakkumi-onsen Hotel)	48	9.0	-63.2	-10.1	+16.6	(-12.0)	-	3
7	Ohfunu (Shimonoyu)	68	7.1	-62.8	- 8.7	+10.3	- 1.6	1.23	245
8	Ohfunu River	-	-	-62.5	-10.1	-	-	-	-
9	Isoya	69	6.5	-64.4	- 9.9	+13.3	-	1.01	-
10	Shikabe (Tsurunoyu)	103	7.8	-65.2	-10.3	+19.9	- 1.5	1.65	247
11	ditto (Toranoyu)	49	7.0	-73.0	-11.2	-	- 4.1	-	442
12	Ohnuma (Tomenoyu)	43	7.0	-69.7	-11.1	+15.3	-	-	-
13	ditto (Sansui)	-	7.6	-68.9	-11.5	-	-17.8	-	63
14	Lake Ohnuma	-	-	-66.5	-10.6	-	-	-	-
15	Nigorikawa (Shineikan)	72	6.4	-54.4	- 4.4	-	- 1.3	2.65	640
16	ditto (Shinsenkan)	50	6.2	-61.2	- 9.1	-	-	0.52	-
17	ditto , ground water	-	-	-62.7	-10.4	-	-	-	-
18	Ginkonyu (No.1)	75	6.7	-63.4	- 8.7	+23.2	- 2.7	1.55	734
19	ditto (No.2)	71	6.7	-65.3	- 7.9	-	-	2.31	-
20	ditto (No.3)	82	7.0	-64.2	- 7.5	+22.6	-	2.41	-
21	Yurappu River (Yakumo)	-	-	-59.3	- 9.9	-	-	-	-
22	Oshamanbe	42	7.8	-57.4	- 8.2	-	- 1.0	4.66	413
23	Futamata (Iwaburo)	44	6.3	-58.8	- 8.3	+27.2	- 4.5	4.85	>1500
24	ditto (Kumanoyu)	36	6.7	-57.4	- 7.8	+26.4	- 3.0	5.04	1170
25	ditto (Tansansen)	20	5.4	-58.7	- 9.2	-	-	2.67	-
26	Raiden-Asahi	47	5.6	-66.6	-11.8	+18.3	-12.5	-	11
27	ditto , stream	-	-	-66.2	-11.3	-	-	-	-
28	Raiden (Miuraya)	49	5.8	-72.1	-11.5	-	-	-	-
29	Niimi (Hotel Niimi-1)	65	6.2	-72.3	-12.1	+18.6	-10.8	-	-
30	ditto (Hotel Niimi-2)	66	6.2	-71.5	-12.2	-	-	-	-
31	ditto, ground water	-	-	-72.0	-12.0	-	-	-	-
32	Shiribetsu River (Rankoshi)	-	-	-70.1	-11.6	-	-	-	-
33	Konbu (Koikawa)	72	6.8	-68.7	-11.4	+26.1	- 4.7	-	>450
34	ditto (Momijidani)	45	6.6	-73.1	-11.7	-	-	-	-
35	ditto, ground water	-	-	-71.2	-11.9	-	-	-	-
36	Niseko-Ohyunuma (No.1)	64	4.6	-67.3	-10.6	- 1.3	-	-	-
37	ditto (No.2)	74	6.6	-65.3	-10.6	-	- 4.0	-	158
38	ditto (no.3)	55	6.6	-71.1	-11.4	-	-	-	-
39	ditto , stream	-	-	-69.7	-11.8	-	-	-	-
40	Goshiki	77	3.6	-69.6	-11.2	-	-	-	-
41	Asarigawa (Onsen Center)	-	-	-77.3	-12.1	-	-	-	-
42	ditto (Yumoto Hotel)	-	-	-79.8	-12.2	-	-	-	-
43	Koganeyu	-	-	-81.1	-12.0	-	-	-	-
44	Jozankei (Norinso)	-	-	-76.0	-11.0	-	-	-	-
45	ditto (Tsukimi Bridge)	-	-	-75.3	-11.1	-	-	-	-
46	ditto (Takayama Bridge)	-	-	-75.5	-11.2	-	-	-	-
47	Yunosawa River	-	-	-78.5	-12.5	-	-	-	-
48	Shirai River	-	-	-78.6	-12.7	-	-	-	-

No.*	Locality	Temp. °C	pH	stable isotope ratios					
				H ₂ O		SO ₄ ⁼	ECO ₂	Cl ⁻	ECO ₂
				δ D	δ ¹⁸ O	δ ³⁴ S	δ ¹³ C	g/l	ppm
49	Noboribetsu, jigokudani(mud pot)	boiling	1.8	-64.7	- 6.8	+ 3.1	-	0.02	-
50	ditto , ditto (Kikko)	97	3.6	-39.7	- 2.5	+ 7.6	-	0.63	-
51	ditto , ditto (Takinoya)	53	5.6	-56.5	- 8.6	+ 6.5	-	0.15	-
52	ditto , ditto (No.5)	85	6.4	-54.0	- 5.8	-	- 6.0	3.21	103
53	Noboribetsu, ditto , stream	-	-	-61.9	- 9.8	-	-	-	-
54	ditto , Lake Ohyunuma-1, 0 m**	45	2.8	-45.1	- 4.1	+ 4.3	-	0.29	-
55	ditto , ditto , 19 m	49	2.8	-46.5	- 4.3	-	-	0.30	-
56	ditto , ditto , 19.5 m	122	2.8	-44.7	- 3.7	-	-	0.70	-
57	ditto , ditto , 25 m(1)	-	-	-41.5	- 2.9	-	-	3.11	-
58	ditto , ditto , 25 m(2)	-	-	-37.1	- 1.2	-	-	3.26	-
59	ditto , ditto -2, 19 m	48	-	-45.9	- 4.4	+ 4.1	-	0.32	-
60	ditto , ditto , 19.5 m	69	-	-46.0	- 3.9	+ 3.5	-	0.70	-
61	ditto , ditto -3, 0 m	46	-	-46.1	- 4.5	+ 4.2	- 5.6	0.29	39
62	ditto , ditto , inflow-1	11	5.6	-60.1	- 9.4	-	-	-	-
63	ditto , ditto , inflow-2	17	5.6	-59.5	- 9.4	-	-	-	-
64	ditto , ditto , outflow	43	2.8	-46.4	- 4.4	+ 4.0	-	0.29	-
65	ditto , Okunoyu	76	5.4	-52.6	- 6.5	+ 4.9	-	0.08	-
66	ditto , ditto , inflow	13	5.2	-58.5	- 9.4	-	-	-	-
67	ditto, Taishojigoku	86	4.6	-33.5	+ 2.7	+ 5.6	-	3.91	-
68	ditto, spar beside L. Ohyunuma	boiling	5.6	-48.7	- 4.9	-	-	0.01	-
69	Okirika (Hatonoyu-1)	-	-	-68.2	- 8.8	+20.7	- 1.0	2.61	>1500
70	ditto (Hatonoyu-2)	-	-	-73.7	-11.1	-	-	-	-
71	ditto , stream	-	-	-76.5	-12.2	-	-	-	-
72	Toyotomi-1	31	7.1	-34.4	- 0.2	-	-	4.63	-
73	ditto -2	31	7.1	-41.6	- 0.9	-	-	4.58	-
74	Shiretoko Iwoyama, hot spring	98	1.6	-75.7	-10.8	+25.9	-	1.19	-
75	ditto , Iwonosawa-1	-	1.4	-75.1	-10.7	+25.4	-	1.07	-
76	ditto , Iwonosawa-2	-	1.4	-71.9	-10.8	-	-	-	-
77	Shiretoko, cold spring	22	3.4	-73.3	-12.4	-	-	-	-
78	Idashubetsu River	-	-	-80.1	-12.3	-	-	-	-
79	Iwabetsu(Hotel Chinoate)	61	6.9	-80.6	-11.2	+19.9	-	-	-
80	Iwabetsu , stream	-	-	-85.0	-12.0	-	-	-	-
81	Horobetsu River	-	-	-78.5	-11.5	-	-	-	-
82	Utoro(Midoriso)	33	-	-71.2	-10.0	+27.4	- 3.0	-	rich
83	Shibetsu River	-	-	-78.2	-11.6	-	-	-	-
84	Genseikaen, cold spring	20	-	-83.8	-13.0	-	-	-	-
85	Lake Mashu	-	-	-52.8	- 7.1	-	-	-	-
86	Atsanupuri, hot spring(E-2)	97	-	-36.6	- 1.1	- 3.5	-	0.04	-
87	ditto , hot spring(W-1)	98	-	-40.2	- 1.6	- 5.9	-	0.02	-
88	Kawayu(Yunokaku Hotel-1)	47	1.4	-67.7	- 9.0	+18.2	-	-	-
89	ditto(Yunokaku Hotel-2)	48	1.2	-73.1	- 8.9	-	-	-	-
90	ditto	-	-	-69.9	- 8.5	+17.2	-	-	-
91	ditto(Daimaru)	47	1.2	-73.1	- 9.2	+17.8	-	0.81	-
92	Lake Kussharo	-	-	-63.7	- 8.9	-	-	-	-
93	Amemasu River	-	-	-75.5	-11.2	-	-	-	-
94	Nibuse	48	7.2	-70.3	-11.0	-	-	-	-
95	Ikenoyu	-	-	-73.3	-10.6	+14.3	-	-	-
96	Wakoto	97	7.0	-78.7	-11.0	-	- 2.5	-	354
97	Tobetsu(Ichiikan)	58	6.4	-72.6	-11.3	+17.1	-	-	-
98	Akankohan	49	6.6	-70.6	-11.5	-	-	-	-
99	Meakan(Nakano)	42	6.4	-73.8	-11.0	+ 8.7	-	-	-

* Numbers correspond to those in Fig. 1.

** Depth from lake water surface

Table 2 Isotopic ratios and chemical compositions of fumarolic gases from Hokkaido.

No.	Locality	Temp. °C	Isotopic ratios, ‰					Chemical composition, % v/v			
			δD_{H_2O}	$\delta^{18}O_{H_2O}$	$\delta^{34}S_{\Sigma S}$	$\delta^{34}S_{H_2S}$	$\delta^{34}S_{SO_2}$	HCl	Total-S	H ₂ S	SO ₂
1	Esan, A	157	-31.6	+ 1.0	+0.1	-	-	0.005	1.04	-	-
2	ditto, B	185	-35.7	- 1.1	-0.9	-	-	0.026	0.37	-	-
3	Noboribetsu, Ohyunuma	99	-51.3	- 2.2	+3.3	+3.4	+10.0	0.003	0.32	0.27	0.01
4	Shiretoko Iwoyama	99	-93.5	-14.8	+0.4	+0.7	+ 0.3	0.003	0.58	0.52	0.03
5	Atosanupuri, E-1	99	-48.2	- 3.1	-1.0	-0.7	- 0.1	0.011	0.21	0.14	0.03
6	ditto, E-2	99	-58.4	- 5.3	-3.1	-2.6	+ 0.6	0.003	0.28	0.24	0.01
7	ditto, W-1	118	-64.6	- 7.4	-6.5	-6.4	- 4.7	0.003	0.36	0.21	0.01

Table 3 Isotopic ratios and Cl⁻ and HCO₃⁻ contents of hot springs from Hazama area, Ohita.

No.	Locality	Temp. °C*	δD_{H_2O}	$\delta^{18}O_{H_2O}$	$\delta^{13}C_{\Sigma CO_2}$	Cl ⁻ , ppm*	HCO ⁻ , ppm*
1	Nishiohita	48	-59.3	- 9.4	- 7.6	39	527
2	Furugo	23	-54.4	- 7.5	- 8.6	3,360	3,120
3	Tsukano	17	-50.9	- 7.1	- 8.1	1,450	1,860
4	Ninomiya-1	35	-52.9	- 8.1	- 7.1	12	731
5	ditto -2	32	-48.9	- 7.9	- 7.3	1	321
6	Mitsugajiri	39	-48.1	- 5.5	- 4.3	3,880	2,150
7	Ueda	30	-49.2	- 7.6	- 5.7	1,150	1,760
8	Ebige	41	-51.0	- 4.7	- 4.2	5,600	3,800
9	Jowaen	43	-63.3	-10.0	-13.3	5	123
10	Myoken	22	-48.9	- 2.4	- 3.7	5,630	3,050
11	ditto, stream	-	-54.4	- 8.2	-	-	-

*Personal communication from Dr. T. Noda.

Table 4 Isotopic ratios of CaCO₃ deposits from some hot-springs at Oshima Peninsula.

No.	Locality	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)
1	Yunokawa	+2.0	-13.4
2	Ohfuna	+2.9	-10.7
3	Shikabe(Tsurunoyu)	+1.2	-19.2
4	Ginkonyu	-0.9	-11.5
5	Futamata(Iwaburo)	+2.3	-20.8
6	ditto, ancient deposit	-0.2	-15.8

Table 5 Isotopic ratios of atmospheric moisture above Lake Ohyunuma, Noboribetsu.

No.	Locality	water content, g/m ³	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)
1	Center of lake, 5 cm above the surface	16.3	-136.8	-21.4
2	ditto, 1 cm	ditto	-158.8	-
3	Leeside shore, 5 cm	ditto	-142.4	-
4	ditto, 4 cm	ditto	-166.3	-22.1
5	250 m inland from the shore, 70 m above grnd.	12.4	-158.8	-22.1
6	Windside shore, 1.5 m	ditto	-168.0	-22.0

3.1 渡島半島地域

この地域の温泉水の δD 値と $\delta^{18}O$ 値の関係を第2図に、又 δD 値と Cl^- 濃度の関係を第3図に示す。川汲(かっくみ)、磯部、鹿部および大沼は天水の関係と一致した関係を示すが、谷地頭(やちがしら)、湯の川、大船、濁川、銀婚湯、長万部および二股は天水に比べて ^{18}O を濃縮した関係を示す。谷地頭は δD 値も天水よりもプラス側にずれており、また濁川にもわずかに同様なずれが見られる。なお、恵山地域については西南北海道北部の火山性温泉と一緒に後に考察する。

本州のグリーンタフ地域に湧出する温泉は著者らによりグリーンタフ型温泉として分類され、水の同位体比はその地域の天水の値と類似しており、天水がグリーンタフ中を循環するさいに加温されるとともにその中の可溶性成分を溶出してきたものと考えられている (MATSUBAYA *et al.*, 1973; SAKAI and MATSUBAYA, 1974). しかし、新潟県瀬波温泉のように循環中の天水が周囲の岩石と酸素同位体交換を起し、 $\delta^{18}O$ 値だけが $2 \sim 3\%$ プラス側にずれている場合もある (阿部・飯島, 1975). 一方、秋田県森岳温泉あるいは秋田県と青森県の県境の矢立、湯の沢など一群の温泉のように、 δD 値と Cl^- 濃度の関係が海水と天水の混合したものであることを示し、グリーンタフ累層中に取込まれた当時の海水が地表水で薄められたものと考えられるものもある。また、群馬県の八塩、磯部の温泉、鉾泉でも同様な関係が見られる。これらの温泉水の $\delta^{18}O$ 値はしばしば海水と天水の

混合比から期待される値よりも ^{18}O に富んでおり、海水が熱水化し周囲の岩石と同位体交換を起した結果と考えられる (SAKAI and MATSUBAYA, 1974; 松葉谷ほか, 1975a).

今回調査した温泉のうち、同位体比が天水の値と一致する川汲、磯部、鹿部および大沼はグリーンタフ型とみなして良いように思われる。一方、同位体比が天水の値からずれているもののうち、 δD 値が天水の値とほぼ同じ温泉は瀬波温泉と同様にグリーンタフ型の温泉が周囲の岩石と酸素同位体交換を起したものではないかと考えられる。しかし、瀬波温泉や本州のグリーンタフ型温泉の Cl^- 濃度は高く $2g/l$ であるが、湯の川、二股、長万部などの Cl^- 濃度は $4 \sim 5g/l$ と2倍以上である。特に長万部では泉源によっては $10g/l$ 以上の Cl^- 濃度を有し (北海道地下資源調査所, 1976), 単にグリーンタフ累層中の塩類を溶出してきたとしては高すぎるようにも思われる。CRAIG (1963) は、ほぼ中性の $NaCl$ 型の火山性熱水はその地域の天水と類似した δD 値を有し、 $\delta^{18}O$ 値のみがプラス側にずれていることを指摘し、天水起源の水が熱水化し周囲の岩石と酸素同位体交換を起した結果であると説明している。したがって、これらの温泉も火山性熱水を起源とする可能性も考えられる。もしそうだとすると、太秦ほか (1959a) が溶存化学成分特に臭素、ヨウ素、ホウ素、リチウムなどの微量成分に関する知見から火山性熱水起源であるとしていることと一致する。

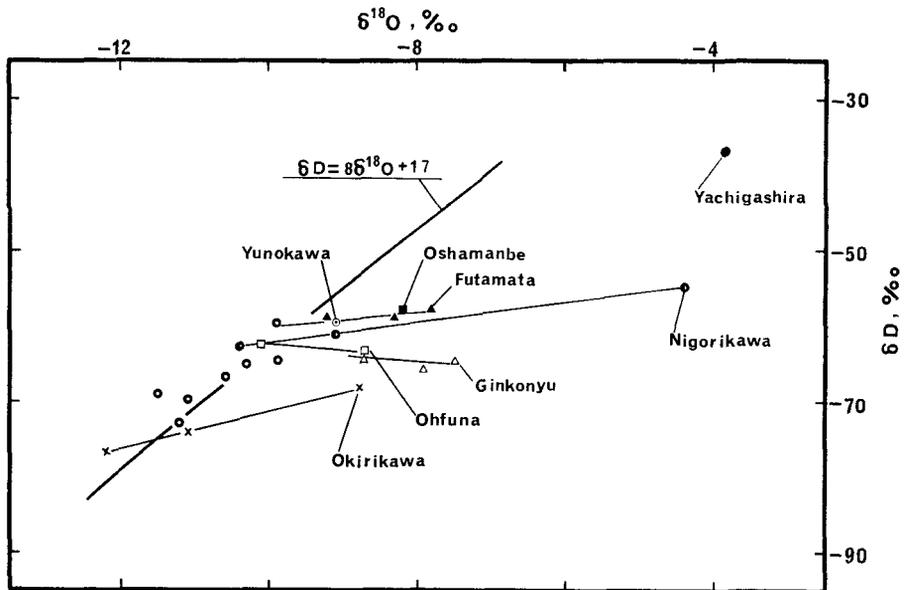


Fig. 2 δD versus $\delta^{18}O$ plot for the $NaCl$ -type hot springs and surface waters from Oshima Peninsula and Okirikawa.

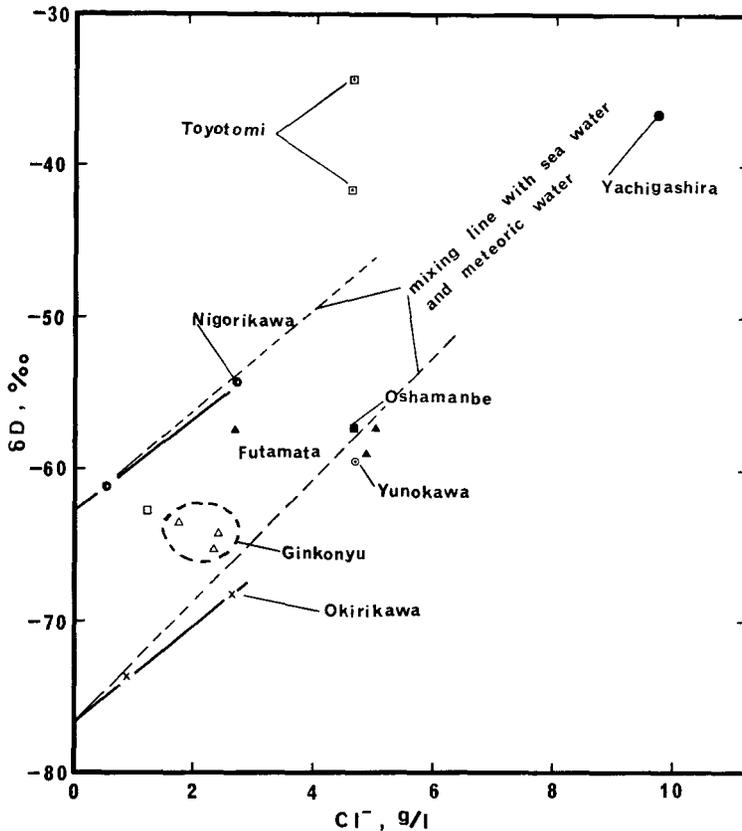


Fig. 3 δD versus Cl^- plot for Nigorikawa, Yachigashira, and others from Oshima Peninsula, Okirikawa, and Toyotomi.

大分県挾間町周辺に渡島半島の食塩泉と類似した一群の温泉が湧出している(吉川ほか, 1976)。九州大学温泉治療学研究所野田徹郎博士の依頼により、これらの温泉水の水素および酸素同位体比を測定した結果、第3表に示すように、 δD 値は天水の値とほぼ同じであり $\delta^{18}O$ 値だけがプラス側にずれ、二股、銀婚湯などと同様な傾向を示している。この一群の温泉の起源については、まだはっきりしたことは判明していないが、一部は中生代の花崗岩類あるいはその貫入により変成した古生層を湧出母岩とし、その活動と何らかの関連があるのではないかと考えられている(野田徹郎私信, 1977)。この点は有馬の高食塩泉と類似している(松葉谷ほか, 1974)。

δD 値と $\delta^{18}O$ 値の両方が天水の値からずれている谷地頭および濁川について δD 値と Cl^- 濃度の関係を見ると、第3図に示すように、濁川の2源泉は天水と海水の値を結ぶ線によく一致している。このことは濁川が海水と天水の混合したものであることを示している。恐らく、森岳や矢立、湯の沢と同様に第三紀の化石海水を含

んでいるものと考えられる。これらの $\delta^{18}O$ 値は海水と天水の混合比から期待される値よりも高く、岩石との酸素同位体交換が進行していることを示している。一方、谷地頭も海水と天水の混合線にはほぼ一致しているが、 Cl^- 濃度が海水と天水の混合で決められているとすると、 δD 値は約 -32% になるはずであり、実際の測定値はこれより約 5% 低い。 Mg^{++}/Na^+ 比は 0.08 (太秦ほか1959a)で海水(0.129)に比べてそれほど小さくないこと、あるいは海岸近くに湧出していることを考え合せると、谷地頭は熱水に現在の海水が混入しているものと考えられる。この場合、始源熱水の δD が天水と同じで $\delta^{18}O$ だけがプラス側にずれていると仮定し、 $\delta D = -62\%$ 、 $\delta^{18}O = -6.4\%$ 、 $Cl^- = 3.2g/l$ とすると、谷地頭の δD と Cl^- の関係うまく説明することができる。

溶存炭酸物質の $\delta^{13}C$ は濃度の低いものを除くと $-4.5 \sim -1.0\%$ の範囲に入り、温泉水あるいは火山噴気中の二酸化炭素に広く見られる値($-10 \sim 0\%$)の範囲に入っている。これらの温泉水から沈積した炭酸カルシウム

の $\delta^{13}\text{C}$ は第 4 表に示すように $-0.9\sim+2.9\%$ の範囲に入り、温泉水中の溶存炭酸物質より $2\sim7\%$ 高くなっている。これは溶存重炭酸イオンが二酸化炭素と炭酸イオンに分解するさいに、遊離した二酸化炭素に軽い同位体が濃縮され、炭酸カルシウムとして沈積した炭酸イオンに重い同位体が濃縮されることによる。例えば湯の川の場合、遊離した二酸化炭素は -9.2% であり、沈積した炭酸カルシウム ($+2.0\%$) とは逆に溶存炭酸物質 (-2.3%) に対して 6.9% 低くなっている。

以上述べてきたように、現段階では渡島半島の NaCl 型温泉の起源についてははっきりした結論をだすことは無理である。しかし、同位体比および化学組成が類似したものが広い範囲に湧出していること、あるいはこれらの温泉の大部分が新第三紀の海成ないし汽水成の堆積層から湧出していることを考えると、本州のグリーンタフ型温泉と同様に天水起源の水がこれらの堆積層中の海塩を溶出してきたものと考えるのが妥当のように思われる。この考えは濁川が化石海水を含んでいることも矛盾しない。 ^{18}O が濃縮されている原因については先に高温での水と岩石の反応をあげたが、低温における炭酸塩物質との反応も可能性がある。即ちこれらの温泉水・鉱泉類は溶存炭酸物質に富み、しばしば石灰華の堆積が見られることから判断して、地下に炭酸塩鉱物があり、それとの間での低温での酸素同位体交換が進行しているという見方も可能である、個々の地域についてのさらに詳しい調査、あるいは溶存硫酸イオンの硫黄ならびに酸素同位

体比の研究により問題が解明されることが期待される。

3.2 火山性温泉

西南北海道および知床—阿寒地域の火山性温泉について、温泉水の δD 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値の関係をそれぞれ第 4 図および第 5 図に示す。また、恵山、登別、知床硫黄山ならびにアトサプリの火山噴気の結果もこれらの図に示す。西南北海道では、ニセコ地域、定山溪、黄金湯ならびに朝里川の温泉はその地域の天水と類似した同位体比を有し、天水起源と考えられる。一方、恵山地域ならびに登別地域の温泉水および噴気の δD 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値はその地域の天水の値を一端として勾配約 2.6 で重い同位体を濃縮する方向に並んでいる。知床—阿寒地域でも、アトサプリの噴気および噴湯ならびに川湯温泉が同様に重い同位体を濃縮している。これら以外のものはすべて天水起源の関係を示している。

火山性の硫酸性泉がこのような勾配約 3 で重い同位体を濃縮する傾向は CRAIG (1963) により指摘され、日本各地の硫酸性泉 (SAKAI and MATSUBAYA, 1974) あるいは火山噴気 (日下部ほか, 1977) でも見られる。CRAIG (1963) は蒸発のさいの水素と酸素の同位体効果の差によりこのような関係が生じることを指摘している。一方、日下部ほか (1977) は熱水と岩石の相互作用により酸素同位体の交換が起ると同時に、含水鉱物と熱水の間で水素同位体交換も起り、その結果このような関係が生じると推察している。

恵山には西田ほか (1974) により A (北側、大地獄)

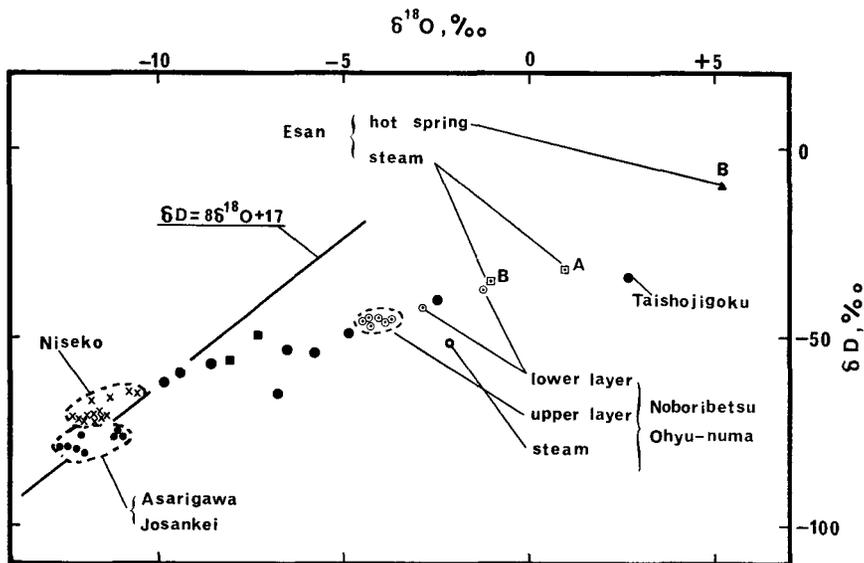


Fig. 4 δD versus $\delta^{18}\text{O}$ plot for volcanic hot springs, fumarolic steams, and surface waters from the southwestern Hokkaido.

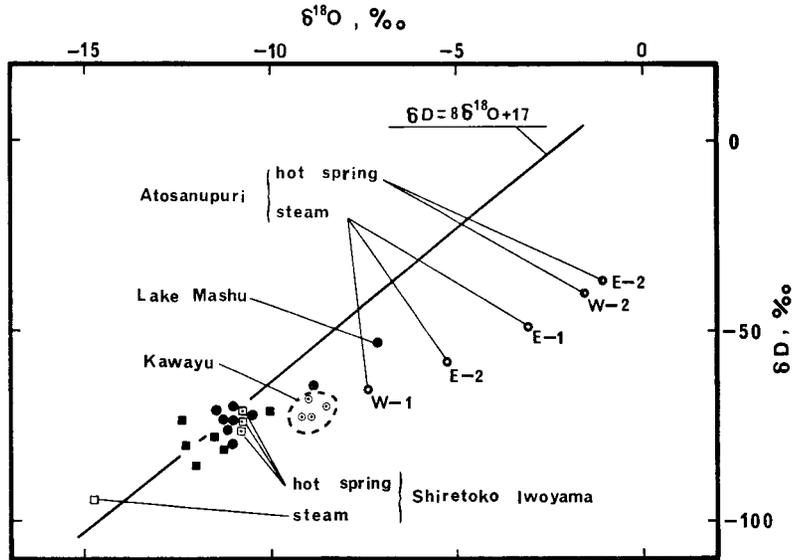


Fig. 5 δD versus $\delta^{18}O$ plot for fumarolic steams, hot springs, and surface waters from Shiretoko-Akan volcanic area.

とB（南側，小地獄）と区別された2ヶ所の噴気地帯がある。今回は，各地域で1ヶ所づつ噴気を採集した。B地域で採集した噴気孔のそばに小さな噴湯が見られ，これも採集した。このB地域の噴気と噴湯の同位体比を比較すると，噴湯のほうが δD 値で26.1‰， $\delta^{18}O$ 値で6.3‰重い同位体を濃縮しており，地下で水蒸気が気一液分離したさいの気相と液相であることを示している。この同位体分別は噴気孔温度（185℃）における気一液平衡の時の値（ $\delta D=6.3‰$ ， $\delta^{18}O=2.8‰$ ，BOTTINGA and CRAIG (1968)）に比べると2～4倍大きく多段階の分離が起っているかあるいは非平衡な分別が起っていると推定される。噴気と噴湯の Cl^- 濃度を比較すると，噴湯が4.68g/l，噴気が0.51g/lと噴湯のほうが約10倍高く，気一液分離のさいにHClの大部分が液相に入ること示している。A地域の噴気もB地域のもと同様に低い Cl^- 濃度（0.10g/l）を示し，地表には噴湯は見られないが，地下ですでに気一液分離を起していることを示している。気一液分離を起す前の水蒸気の同位体比は気相と液相の値の間に入るはずである。したがって，恵山の始源水蒸気はA地域の噴気よりもさらに重い同位体を濃縮していると考えられる。恵山の噴気の Cl^- 濃度は過去においては約3g/l（西田ほか，1974）あるいは約10g/l（日下部ほか，1977）であったと報告されており，今回の調査で見られた気一液分離は当時は起っていなかったと考えられる。

恵山原田は恵山中復より湧出する酸性泉で噴気と同じ

起源を有するものと推定される。 Al^{3+} イオンあるいは K^+ イオンを多く含み（太秦ほか，1959a），岩石との反応が進んでいることを示している。恵山御崎はNaCl- $CaSO_4$ 型の化学組成で（太秦ほか，1959a），恵山の火山活動に直接関係すると見るよりはグリーンタフ型に属すると考えたほうが良いようである。

登別地域では大湯沼周辺および地獄谷の2ヶ所に盛んな熱水活動が見られる。大湯沼の水は成層しており，底層が約120℃の中性NaCl型の熱水，上層が約45℃の硫酸性熱水である（室住ほか，1966）。今回の調査では，この底層のNaCl型熱水を採集することを目的としたが，19m以浅は硫酸性熱水で，それ以深には溶融状態の硫黄があり，それより下に採水器を下すことができなかった。第1表のNo.58とNo.59はこの溶融硫黄を採水器で汲み上げ冷却固結させたさいにその内部に残った水であり， Cl^- 濃度も室住ほか（1966）の値よりも10倍も大きく，底層水そのものであるかどうかは明らかでない。一方上層では，底層の熱水および天水の流入と上層の熱水の流出および蒸発の間で水の量，溶存成分，同位体あるいは熱についての収支が釣合っていると考えられる。底層の熱水に関する情報が得られないので，この収支について議論を進めることはできないが，蒸発のさいの同位体効果を推定する目的で大湯沼の上および周辺の空気中の水蒸気の同位体比を測定した結果，第5表に示すように大湯沼の中央および風下の岸での水面より各々5cm上では水蒸気量が増加し，同位体比も高く，大

湯沼から蒸発している水蒸気の影響が現われている。

地獄谷では、上位に硫酸々性泉、下位に NaCl 型中性泉が湧出しており、地下で熱水が気-液分離を起したさいの気相が硫酸々性の熱水、液相が NaCl 型の熱水であると考えられている (室住, 1961)。NaCl 型の 5 号泉と NaCl 型と硫酸々性型の混合したものと考えられる 亀甲 (きっこう) の同位体比を比較すると、亀甲のほうが重い同位体を濃縮しており、気-液分離の関係を示していない。しかし、後述の川湯温泉の場合のように分離した液相がその後地下水で薄められることもあり、この同位体比の関係だけからは気-液分離を否定できない。ただし、気-液分離の結果だとすると、その場合の同位体効果を恵山、アトサヌプリあるいは知床硫黄山で見られるのと程度と仮定すると、5 号泉は地表水で 3~5 倍薄められていることになり、本来の液相は 10g/l 以上の Cl⁻ 濃度を持っていたことになり、大正地獄などに比べてはるかに高くなる。

日当山下の大湯沼の岸に弱い噴気がある。これは大湯沼の水面から噴出しており、大湯沼の上層の熱水と気-液平衡にあるのではないかと期待された。気-液分離のさいの同位体効果を恵山、アトサヌプリおよび知床硫黄山のものの平均値 ($\delta D = 22.5\%$, $\delta^{18}O = 5.0\%$) を用い、この蒸気と分離した液相の同位体比を推定すると、 $\delta D = -29.2\%$, $\delta^{18}O = +2.8\%$ となり、大湯沼の表層水とは気-液分離の関係にないことを示している。この値は大正地獄と類似しており、そのような熱水から分離した水蒸気ではないかと考えられる。

以上のように登別地域の熱水は多様な起源を有しているように思われる。特に Cl⁻ の起源に興味を持たれる。日本の火山の噴気あるいはそれともなう酸性泉では、今回の恵山あるいはアトサヌプリ、あるいは薩摩硫黄島 (松葉谷ほか, 1975b) などで見られるように Cl⁻ は HCl の形で噴出しており、登別地域のように始めから NaCl として噴出しているものは異なった起源を有しているのではないと思われる。

知床-阿寒火山地域では、第 5 図に示すように、アトサヌプリの噴気、噴湯ならびに川湯温泉以外はすべて天水起源と考えられる。知床硫黄山の中腹の噴気地帯の噴湯およびそこから流出する硫黄の沢の熱水はこの地域の天水と類似した同位体比を有するが、噴気はそれよりも δD で 17.8%, $\delta^{18}O$ で 4.0% 低い値を有している。このことは天水起源の熱水が気-液分離を起し、しかもそのさいに気相の量比が少ないため液相の同位体比が本来の熱水の値、すなわち天水の値とほとんど同じになっていることを示している。

アトサヌプリの噴気地帯は山体の北斜面に並ぶ 2 列の

谷に沿っている。東側の谷の上部 (E-1)、下部 (E-2) および西側の谷の中部 (W-1) の噴気孔から噴気を採集した。E-2 および W-1 の噴気孔のそばには噴湯があり、それらも採集した。これらの同位体比はいずれも恵山の場合と同様に天水に比べて重い同位体を濃縮している。また、E-2 および W-1 について噴気と噴湯を比較すると、両方とも噴湯のほうに δD で 21.8~24.4%, $\delta^{18}O$ で 4.2~5.8% 重い同位体が濃縮されており、気-液分離を起していることを示している。一方、Cl⁻ 濃度についてみると、恵山で見られたのとは異なり、噴気だけでなく噴湯にもほとんど Cl⁻ が含まれていない。

福富ほか (1956) はアトサヌプリおよび川湯地域の地温の分布からアトサヌプリの始源熱水が気-液分離を起し、その液相が川湯に向かって流れてくる途中で地下水により様々な割合で希釈されたと考え、液相の温度を 106~150°C, Cl⁻ 濃度を 2.9~4.2g/l と推定している。この場合、分離した気相はほとんど HCl を含んでいないと推定される。この気相が上昇し再び気-液分離を起したとすると、その気相と液相が今回我々が採集した噴気と噴湯であると考えられ、噴湯に HCl がほとんど含まれていないことがうまく説明される。

川湯の温泉水が最初の気-液分離のさいの液相と地下水の混合したものとして、次式のような混合のさいの同位体比および温度の釣合いの式から液相の温度および混合の割合を求めることができる。

$$f \cdot \delta e + (1-f) \delta s = \delta k \quad (1)$$

$$f \cdot te + (1-f) ts = tk \quad (2)$$

ここで、 δe , δs , δk あるいは te , ts , tk はそれぞれ液相、地下水および川湯温泉の同位体比あるいは温度であり、 f は川湯温泉中の液相の割合である。今、噴湯をとまなっていない噴気孔 E-1 の噴気が最初に分離した気相そのものと仮定すると、液相の同位体比は次式で求まる。

$$\delta e = \delta_{E-1} + 1000(\alpha - 1) \quad (3)$$

ここで、 δ_{E-1} は噴気 E-1 の同位体比、 α は分離のさいの同位体分配係数である。

川湯温泉の平均値として、温度は 47°C, δD は -71.0%, $\delta^{18}O$ は -8.9%, 地下水の値として、温度は 10°C (福富ほか, 1956), 同位体比は鯉川 (あめます) の値 ($\delta D = -75.5\%$, $\delta^{18}O = -11.2\%$), そして気-液分離の温度を混合した液相の温度 (te) と同じとし、また分離が平衡状態で行ったとしての BOTTINGA and CRAIG (1968) により与えられた分配係数の温度変化の式を用い、 δD および $\delta^{18}O$ についてそれぞれ式 (1), (2), (3) を

解くと、 δD の場合液相の温度が 230°C 、混合の割合が17%、又 $\delta^{18}\text{O}$ の場合 190°C と21%と求められる。川湯温泉の Cl^- 濃度を 0.8g/l とすると、この液相の Cl^- 濃度は δD の場合 4.7g/l 、 $\delta^{18}\text{O}$ の場合 3.8g/l となり、福富ほか(1956)の推定値と良く一致する。

この2段階の気-液分離のモデルはアトサプリの噴気、噴湯および川湯温泉の同位体比ならびに Cl^- 濃度をうまく説明することができる。しかし、分離する前の熱水そのものの起源については答えを与えていない。アトサプリの始源熱水を恵山あるいは登別と比較してみると、同位体比も Cl^- 濃度も良く似ており、何か共通した要因で規制されているのではないと思われる。日下部ほか(1977)が指摘しているように、これらの同位体比は岩石と水の相互作用による酸素同位体交換および水素同位体交換(含水鉱物との間で)により規制されていることも考えられる。 Cl^- 濃度については、薩摩硫黄島の噴気のように約 20g/l のものもあり、恵山も過去には 10g/l 程度であったこともあり(日下部ほか, 1977) Cl^- の起源も大変興味ある問題である。

摩周湖および屈斜路湖は鮭川に比べて D と ^{18}O を濃縮しており、 δD と $\delta^{18}\text{O}$ が勾配約5の関係を示す。(第5図)これは湖水の蒸発のさいの同位体効果によるものであり、鹿児島県指宿の池田湖など流出河川のない湖に見られる(SAKAI and MATUBAYA, 1975)。屈斜路湖の湖岸に湧出する和琴、仁伏あるいは池の温の同位体比は鮭川のものとはほぼ同じであり、屈斜路湖の水がこれらの温泉に混入していないことを示している。

3.3 沖里河および豊富

沖里河は深川市の南部に湧出する炭酸物質に富んだ食塩泉である。2起源および沢水の δD と $\delta^{18}\text{O}$ および δD と Cl^- 濃度はそれぞれ直線関係を示す(第2図, 第3図)、しかし δD と Cl^- の関係は沢水と海水の混合線よりはるかに小さい勾配を示す。地下に高塩濃度の塩水がありそれが地表水で薄められたものと考えられるとしてもこの塩水は海水とはかなり異なった化学的、同位体的性質を示すものと思われる、かりにこの塩水の Cl^- 濃度が海水と同じ 19g/l とすると第2, 3図から $\delta D = -17\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O} = +12\text{‰}$ となる。 δD 値が標準海水の 0‰ に対して 17‰ しか離れていないことからすると、この塩水は元来海水起源のものかもしれない。即ち石狩層群の堆積時に取り込まれた海水が変質したものと考えることができる。 ^{18}O の濃縮程度は本州のグリーンタフ地域で化石海水を含んでいると考えられている矢立、湯の沢あるいは八塩、磯部とはほぼ同じである。矢立、湯の沢の場合は熱水活動による周囲の岩石との酸素同位体交換の結果と考えられる(SAKAI and MATSUBAYA, 1974; 松葉

谷ほか, 1975a)。沖里河の場合、熱水活動によるのではなく、低温での炭酸塩鉱物との酸素同位体交換によるものと思われる。

豊富は少量の石油を含んでおり、油田塩水が熱せられたものと考えられる。しかし、 δD と Cl^- の関係はこの地域の天水と海水の混合の関係から外れており、(第3図)しかも $\delta^{18}\text{O}$ も沖里河に比べてさらに高い。また、2起源の同位体比には若干の差があるにもかかわらず、両者の Cl^- 濃度にはほとんど差がない。これらのことから考えて、たとえ海水起源としても、その同位体比あるいは Cl^- 濃度は何か未知な機構によって規制されていると考えられる。

4. ま と め

渡島半島の内浦湾沿いに湧出する NaCl 型温泉は水の δD および $\delta^{18}\text{O}$ がその地域の天水とほぼ同じものである。これらの溶存塩類の起源は本州のグリーンタフ型温泉と同様に第三紀海成層中の海塩と考えられる。第2は δD はその地域の天水と類似しているが、 $\delta^{18}\text{O}$ はそれよりも2~3%高いものである。これらは第1グループと同様に天水が第三紀海成層中の海塩を溶出してきたものであり、しかもそれらの累層中の炭酸塩鉱物と低温で酸素同位体交換を起しているものと考えられる。しかし、本州のグリーンタフ地域の温泉ではこのような酸素同位体交換を示すものは稀であること、あるいは塩濃度が本州のグリーンタフ型温泉に比べて2倍以上、時には数倍も高いことを考えると、火山性の NaCl 型熱水など他の起源の可能性も考えられる。第3は δD と $\delta^{18}\text{O}$ が天水よりも高い値のもので、谷地頭と濁川である。谷地頭は第2グループの熱水が現在の海水と混合しているものと考えられる。濁川は δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ および Cl^- の関係から海水起源の水と天水の混合したものと推定され、恐らく第三紀の化石海水を含んでいると考えられる。

第四紀の火山に関連した温泉あるいは火山噴気については、今回調査した西南北海道ならびに知床-阿寒火山列地域では恵山、登別およびアトサプリ以外はすべて天水起源である。恵山、登別およびアトサプリの始源熱水はそれぞれの地域の天水よりも重い同位体を濃縮しており、 $\delta D = -30 \sim -50\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O} = -1 \sim +3\text{‰}$ の範囲に入ると推定される。しかし、これらの熱水の起源あるいはその同位体比を規制している機構を明らかにすることはできなかった。

恵山、登別、アトサプリあるいは知床硫黄山の噴気とその近くの噴湯の間では、噴湯のほうに重い同位体が濃縮されており、気-液分離の結果と考えられる。これらの同位体分別の程度は δD で $18 \sim 26\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ で $4 \sim$

6%であり、噴気孔温度(99~185°C)での平衡値と同程度か若干大きい。分別の程度の大きいのは多段階の分別の結果かあるいは非平衡状態での分別が起っていることによると思われる。この気-液分離のさい、HClはほとんど液相に入り、気相に比べて約10倍に濃縮される。

謝辞 温泉水、火山ガス試料の採取については多数の方の御好意に負う所が多い。特に室蘭工業大学の室住正世教授には登別温泉の調査に協力して頂いた。又同位体比分析の大部分と原稿作製は岡山大学温泉研究所野儀多鶴恵、真嶋里美両氏による。これらの方に謝意を表します。

文 献

- 阿部修治, 飯島南海夫(1975) 新潟県瀬波温泉の地質学ならびに地球化学的研究。温泉工学会誌 **10**, 1-5
- BOTTINGA, Y. and CRAIG, H. (1968) High temperature liquid-vapour fractionation factors for H_2O -HDO- H_2 ^{18}O . *Tran. Amer. Geophys. Union* **49**, 356-357
- CRAIG, H. (1963) The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas. in Tongiorgi, E., ed., *Nucl. Geol. Geotherm. Areas, Spoleto Conference Proceedings*, 17-53
- 福富孝治, 須川 明, 藤木忠美(1956) 川湯温泉の地球物理学的研究。北大地球物理学研究報告 **4**, 39-64
- 北海道地下資源調査所(1976) 北海道の地熱・温泉。(A) 西南北海道中南部。
- KUSAKABE, M., WADA, H., MATSUO, S. and HORIBE, Y. (1970) Oxygen and hydrogen isotope ratios of monthly collected waters from Nasudake volcanic area, Japan. *J. Geophys. Res.* **75**, 5941-5951
- 日下部 実, 蔦木泰宏, 吉田 稔(1977) 本邦火山ガス凝縮水の水素および酸素同位体比。地球化学 **11**, 14-23
- 吉川恭三, 北岡豪一, 野田徹郎, 大分県環境管理課, 大分保健所(1976) 狭間町ならびにその周辺の温泉調査。大分県温泉調査研究会報告 **27**, 25-33
- MATSUBAYA, O., SAKAI, H., KUSACHI, I. and SATAKE, H. (1973) Hydrogen and oxygen isotopic ratios and major element chemistry of Japanese thermal water systems. *Geochem. J.* **7**, 123-151
- 松葉谷 治, 酒井 均, 鶴巻道二(1974) 有馬地域の温泉, 鉱泉の水素と酸素の同位体比について。岡大温研報 **4**, 15-28
- 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
- 松葉谷 治, 上田 晃, 日下部実, 松久幸敬, 酒井 均, 佐々木昭(1975b) 薩摩硫黄島および九州の二, 三の地域の火山ならびに温泉についての同位体化学的調査報告。地調月報 **26**, 375-392
- MATSUO, S. et al. (1974) Isotopic and chemical compositions of volcanic gases from Satsuma-Iwojima, Japan. *Geochem. J.* **8**, 165-173
- MIZUTANI, Y. (1973) Isotopic composition and underground temperature of the Otake geothermal water, Kyushu, Japan. *Geochem. J.* **6**, 67-73
- 水谷義彦, 浜砂武聖(1972) 伊豆, 下賀茂温泉水の起源。火山, 第2集 **17**, 123-134
- 室住正世(1961) 活火山性温泉活動と水素同位体組成の偏り, 北海道登別温泉活動。火山, 第2集 **11**, 42-46。
- 室住正世, 安孫子 勤, 中村精次(1966) 登別大湯沼火口湖の地球化学的研究。火山, 第2集 **11**, 1-16
- 西田泰典, 早川福利, 和気 徹(1974) 恵山火山における地磁気測量および噴気調査。北海道地下資源調査所報告 **27**, 25-33
- SAKAI, H. and MATSUBAYA, O. (1974) Isotopic geochemistry of the thermal waters of Japan and its bearing on the Kuroko ore solution. *Ecol. Geol.* **69**, 974-991
- SAKAI, H. and MATSUBAYA, O. (1977) Stable isotopic studies on Japanese geothermal systems. *Geothermics* **5**, 97-124
- 大秦康光, 那須義和, 瀬尾淑子(1959a) 温泉の化学的研究(第41-44報)。日化誌 **80**, 856-871
- 大秦康光, 那須義和, 瀬尾淑子(1959b) 温泉の化学的研究(第45-48報)。日化誌 **80**, 992-1005
- WHITE, D. E. (1974) Diverse origin of hydrothermal ore fluids. *Econ. Geol.* **69**, 954-973

STABLE ISOTOPE STUDY OF THE HOTSPRINGS AND VOLCANOES OF HOKKAIDO, JAPAN

by Osamu MATSUBAYA, Hitoshi SAKAI, Akira UEDA, Makoto TSUTSUMI, Minoru KUSAKABE and Akira SASAKI

Abstract Stable isotope ratios of hydrogen, oxygen, carbon and sulfur of precipitation, thermal and mineral waters, and volcanic gases were measured. The isotopic data combined with chemical and geological information were discussed in terms of origin and evolution of the hot springs and volcanic gases.

The hot springs along the Uchiura Bay, Oshima Peninsula are mostly near-neutral NaCl-type thermal water and may be divided into three groups : (1) thermal waters isotopically similar to the precipitation of this area, (2) those similar in D/H to the local meteoric waters but enriched by 2 to 3‰ in ^{18}O compared to the latter, and (3) those enriched significantly in both D and ^{18}O relative to the local meteoric waters. The first and second types of thermal water probably form from local meteoric water which percolates through "Green Tuff" formations and acquires dissolved chemicals from them. However, high salt concentration and the oxygen isotope shift (thesecond type) may imply that the NaCl-type water of volcanic origin might be involved. On the other hand, the waters of the third group

can be explained by mixing of modern sea water into the second type thermal water (in case of Yachigashira) or by incorporation of fossil sea water of Tertiary origin into modern meteoric water (Nigorigawa).

Except for Esan, Noboribetsu and Atosanupuri volcanic systems, waters from all the hot springs and volcanic fumaroles associated with Quaternary volcanic rocks are meteoric in origin. Thermal waters at Esan, Noboribetsu and Atosanupuri have $\delta \text{D} = -30 \sim -50$ and $\delta \text{ }^{18}\text{O} = -1 \sim +3\text{‰}$ and are enriched in D and ^{18}O relative to local meteoric water of the respective area. The origin of these waters and the mechanism (s) controlling the isotope ratios could not be made clear by the present study.

Interesting is the finding that at Esan, Noboribetsu and Atosanupuri, thermal waters are enriched in D and ^{18}O relative to near-by fumarolic gases. The enrichment factor is 18 to 26‰ for hydrogen and 4 to 6‰ for oxygen, implying that more than one stages of liquid-vapor separation are taking place in underground hydrothermal systems.