

山陰地方及びその周辺の温泉の地球化学的研究

東京都立大学理学部化学教室 野口喜三雄, 上野精一

野口 眺, 中川良三

高野穆一郎, 今橋正征

(昭和42年5月20日受理)

Geochemical Studies on the Hot Springs in Sanin District and the Surrounding Area.

Kimio NOGUCHI, Seiichi UENO, Ko NOGUCHI, Ryoza NAKAGAWA,
Bokuichiro TAKANO, and Masayuki IMAHASHI

(Department of Chemistry, Tokyo Metropolitan University)

Fifty eight water samples were collected from the Sanin District and the surrounding area in July of 1966. A chemical analysis was carried out on these samples and the results were as follows:

Water temperature 16.0-99°C, pH 4.2-9.6, Na⁺ 7.6-20200 mg/l, K⁺ 1.29-3850 mg/l, Li⁺ 0.017-37.0 mg/l, Ca²⁺ 0.0-3610 mg/l, Mg²⁺ 0.0-284 mg/l, Fe²⁺ 0.00-222 mg/l, Cl⁻ 8.6-40440 mg/l, Br⁻ 0.030-34 mg/l, I⁻ 0.00-0.6 mg/l, SO₄²⁻ 0-1614 mg/l, H₂S 0.0-7.8 mg/l, As 0.01-3.04 mg/l, HBO₂ 0.0-496 mg/l, CO₂ 0-5980 mg/l, alkalinity 0.23-34.78 meq/l, U 0.0-27μg/l. By the results that the ratios of K/Na, Br/Cl, HBO₂/Cl and Li/Cl of Kaike Hot Spring Waters were near that of sea water, it is reasonable to suppose that the water of Kaike Hot Springs was contaminated with sea water during its ascent.

Arima Hot Springs were very famous for the highest in salt content in Japan. But the ratio of Br⁻/Cl⁻ of these waters were quite different from the other hot springs in Sanin district and were distinctly lower than that of sea water.

The mineral waters which flowed out of granite were higher in radioactivity, Cl⁻, HBO₂ and As contents, K⁺/Na⁺, Li⁺/Na⁺ and HBO₂/Cl⁻ ratios than that which flowed out of volcanic rocks, but the latter were higher in SO₄²⁻ content, SO₄²⁻/Cl⁻ and As/Cl⁻ ratios than the former.

山陰地方は概して花崗岩地帯であるが、三瓶山、大山両火山を代表とする火山帯があり、火山岩が多数散在している。またこの地方は古くより放射能泉の多いことで知られ、池田鉱泉、湯抱鉱泉、温泉津温泉、三朝温泉、関金温泉等が著名である。最近はウラン鉱床の発見により特に着目されている。

兵庫県有馬温泉は日本の温泉中最高の塩分含量 76.1 g/l を示すが、放射能泉としても知られている。従ってこの地方の温泉の成因を究明することは地球化学的に非常に興味あるばかりでなく、国家的見地からも重要であろう。

従来の研究を見るにまず厚生省衛生試験所において行った分析結果が多数報告されている¹⁾。また松浦²⁾、岩崎³⁾らの山陰地方の温泉特に島根県池田鉱泉についての研究があり、三朝温泉については梅本⁴⁾、阪上⁵⁾、杉原⁶⁾等の報告がある。また有馬温泉については木村、横山、池田⁷⁾、池田⁸⁾、三宅、北野⁹⁾、横山¹⁰⁾らによって詳細に研究されている。

尚また四国の道後温泉については高津¹¹⁾らの研究がある。然し山陰地方並にその周辺全般に亘っての研究は未だ充分にはなされていないようである。著者らはこの地方の温泉の主成分並に微量成分を調査し主として花崗岩地帯の温泉と火山岩地帯の温泉とを比較することによってそれら熱水の特質を地球化学的に究明することを試みた。

分析方法

一つの温泉地には通常多数の源泉が存在する。今回は当該温泉の代表として最も高温の温泉を2~3個選び、これについて化学分析を行うことにした。

1. 水温： 留点温度計並に 1/10 度目水銀温度計を使用した。
2. pH： 現地で比色法を採用した。
3. Na, K: Fe 及び Al を水酸化物として除去し, Ca を炭酸塩として除去した後, ろ液について蛍光分析法により定量した。
4. Li: 試料水中に含まれるリチウムを Dowex-50 陽イオン交換樹脂に吸着させて後, 0.2 N HCl と 30% アルコール溶液とを体積で 70 : 30 の割合に混合した溶液でリチウムを溶離したものについて蛍光法で定量した。
5. Ca 及び Mg: EDTA 滴定法により定量した。
6. Fe: *o*-フェナントロリンを用いて比色定量した。
7. Cl: モール法により定量した。
8. SO₄: 試料 100~200 ml を用いて重量法で定量した。
9. H₂S: 試料を 100 ml の酸素ビンに注意してとり, 炭酸カドミウムの懸濁液を加えて, 硫化カドミウムの沈殿をつくり, これを実験室へ持ち帰って後ろ別し, ヨウ素滴定法で定量した。
10. CO₂: 現地で試料水 100 ml をメスシリンダーに注意して採取し, N/22 Na₂CO₃ でフェノールフタレインを指示薬として滴定し, 別に試料をとり充分振盪して空気との平衡状態まで CO₂ を追出して後同様の方法で滴定して両者の差から CO₂ の量を求めた。
11. Br⁻ 及び I⁻: 試料水を塩素イオンとして 50~100 mg 含有するよう 10~500 ml とり, 硝酸酸性で過剰の硝酸銀を加え, 臭素及びヨウ素を塩化銀と共に沈殿させ, 沈殿をろ別して水洗いして後約 20 ml の水, 1 g の亜鉛粒, 1 ml の 6 規定塩酸を加えて, 沈殿物から銀を析出させ, 臭素及びヨウ素を溶液となした。銀をろ別後溶液を 2 分し, 1 つはホウ酸酸性で次亜塩素酸カリウム溶液を加えて加熱し臭素及びヨウ素をそれぞれ臭素酸, ヨウ素酸にかえ, 過剰の酸化剤をギ酸で分解し, この溶液を冷却後ヨウ化カリウム及び塩酸を加えて遊離したヨウ素を 0.004 規定のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定して臭素及びヨウ素の和を求めた。他の溶液について塩酸酸性で次亜塩素酸カルシウムを加えることによってヨウ素のみをヨウ素酸にかえ前と同じ操作によりヨウ素の定量を行い, 臭素は先の臭素とヨウ素の和から差引いて求めた。
12. As: 試料 25 ml をとり, H₂SO₄(1:9)0.5 ml, FeCl₃ 溶液 (10 mg/ml) 5 ml を加え 70~80°C に加熱し, BCP を指示薬としてアンモニア水 (1:3) で中和し, ヒ素を水酸化第二鉄と共沈させる。沈殿をろ別し, これを 6N H₂SO₄ で溶解し, 約 80°C に加熱し, 25% ヨウ化カリウム水溶液 2 ml を加え, 鉄及びヒ素を還元する。このとき生じたヨウ素を 5%

表1 山 陰 地 方 及 び

No.	場 所	採水月日	水温 °C	気温 °C	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Li ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	
1.	道 後 温 泉	No. 5	7. 7. '66	50.5	24.6	8.8	64.0	0.52	0.093	<0.1
2.		No. 8	"	52.0	24.8	8.9	63.2	0.50	0.084	<0.1
3.		No. 9	"	48.5	24.8	8.8	71.4	0.84	0.125	<0.1
4.	奥 道 後 温 泉	No. 3	"	34.5		9.1	91.5	0.56	0.302	<0.1
5.		No. 9	"	39.5	23.8	9.1	120	0.82	0.380	<0.1
6.	川 棚 温 泉	小 天 狗	7.12. '66	43.9	26.0	8.0	365	4.55	0.351	297
7.		新 衛 藤	"	42.6	25.0	7.9	373	4.65	0.238	224
8.		旧 衛 藤	"	37.6	25.0	8.0	298	3.60	0.165	215
9.	長 門 湯 本 温 泉	恩 共 同 浴 場	"	40.0	24.7	9.2	41.5	0.44	0.020	<0.1
10.		上 号 湯	"	42.0	24.4	9.2	41.6	0.42	0.024	<0.1
11.		市 営 2 号 湯	"	36.8	23.9	9.5	42.3	0.42	0.023	<0.1
12.	俵 山 温 泉	の の の 湯	7.13. '66	37.8	25.4	9.6	46.0	0.51	0.018	<0.1
13.		の の の 湯	"	41.6	25.4	9.6	45.6	0.48	0.018	<0.1
14.		の の の 湯	"	41.6	25.8	9.6	47.4	0.57	0.018	<0.1
15.	温 泉	津 元 湯	"	51.0	22.1	6.2	199×10	70.0	2.17	452
16.		震 湯	7.14. '66	47.7		6.1	191×10	69.5	2.15	501
17.		小 湯	"	32.0	27.3	6.1	181×10	68.0	2.03	519
18.	有 福 温 泉	御 前 生 湯	"	49.0	29.6	8.9	75.0	1.68	0.045	3.1
19.		弥 湯	"	43.1	30.2	8.7	74.6	2.20	0.059	3.7
20.		No. 8	"	30.0	28.7	7.9	103	3.42	0.080	17.2
21.		源 泉	"	28.3	29.0	7.0	438	43.0	0.523	82.1
22.	池 田 ラジウム 鈹 泉	No. 8	7.15. '66	16.0	28.4	7.0	109×10	98.0	1.61	196
23.		No. 3	"	18.4	30.1	5.9	222×10	206	3.25	378
24.	小 屋 原 温 泉	湯 元 1	"	38.2	28.1	6.0	165×10	153	2.25	363
25.	志 学 温 泉	湯 元 2	"	41.0	25.7	5.8	458	46.8	0.548	117
26.		湯 元 2	"	42.5	25.5	5.8	500	52.1	0.458	128
27.	湯 抱 温 泉	No. 1	"	35.1	24.8	6.5	385×10	201	5.36	379
28.		No. 2	"	29.2	24.8	6.2	174×10	103	2.77	184
29.		No. 3	"	27.5	22.8	6.2	215×10	126	3.26	228
30.	玉 造 温 泉	長 楽 園 竜 宮	7.16. '66	72.0	30.6	8.1	385	12.8	0.275	141
31.		保 千 代 性 館 湯	"	62.0	30.8	8.0	336	12.2	0.235	112
32.		湯	"	65.2	30.4	8.0	366	12.0	0.268	136
33.	皆 生 温 泉	No. 20	"	76.0	29.1	7.2	204×10	52.0	0.775	1392
34.		No. 16	"	77.5	29.3	7.1	190×10	45.0	0.790	1426
35.		No. 10	"	82.0	27.9	7.2	175×10	45.5	0.690	1423
36.	東 郷 温 泉	沢 谷 水 旅 館	7.17. '66	54.0	31.2	7.0	485	15.9	0.573	150
37.		湯 館	"	94.7	32.2	7.2	520	22.1	0.755	161
38.	浅 津 温 泉	浅 湖 上 湯	"	52.5	30.6	7.2	423	13.8	0.570	114
39.		湯	"	48.0	30.8	7.5	505	16.1	0.698	176
40.	関 金 温 泉	温 上 清 湯	"	53.0	28.3	8.0	162	4.78	0.305	16.7
41.		町 源 泉	"	51.7	30.4	8.0	200	5.50	0.373	17.4
42.	三 朝 温 泉	岡 大 原 温 湯	7.18. '66	77.5	27.2	6.9	363	21.3	1.31	35.9
43.		湯	"	59	28.6	6.9	285	12.1	0.778	30.6
44.		岡 大 温 湯	"	53	30.1	7.5	325	13.3	0.730	29.9
45.	浜 村 温 泉	乃 湯 研 分 室 家	7.19. '66	65.5	29.4	7.4	305	7.10	0.223	89.5
46.		た ば こ 野 屋 1 号 荘	"	63.3	28.2	7.5	313	7.35	0.295	90.7
47.	今 市 温 泉	鹿 野 湯	"	55.5	28.6	7.5	228	4.95	0.453	22.7
48.		町 湯	"	62.0	28.0	7.6	263	6.00	0.503	23.7
49.	吉 岡 温 泉	見 湯	"	55.8	29.6	8.0	110	2.18	0.130	10.6
50.		下 湯	"	39.0	29.1	7.6	154	3.40	0.208	28.6
51.	鳥 取 温 泉	観 光 温 泉	7.20. '66	59	30.6	6.9	148×10	25.5	1.14	152
52.		湯	"	59	30.6	6.8	143×10	26.0	1.06	155
53.		湯	"	45.8	31.0	7.0	137×10	24.5	1.01	147
54.	有 馬 温 泉	松 取 ホ 茶 旅 館	7.21. '66	17.5	27.0	4.6	9.6	1.29	0.017	7.7
55.		炭 酸 温 湯	"	17.1	27.3	4.2	7.6	1.51	0.018	5.9
56.		妬 湯	"	97	31.1	7.0	180×10 ²	301×10	32.7	293×10
57.		天 満 湯	"	99	32	6.6	202×10 ²	385×10	37.0	361×10
58.		本 湯	"	92.5	30.2	6.7	138×10 ²	279×10	25.0	244×10

その周辺の温泉

Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	I ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	H ₂ S mg/l	As mg/l	HBO ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	Alkalinity (メチルオレンジ) meq/l	U μg/l	放射能 cpm (約)
<0.05	0.00	27.2	0.062	0.002	17.3	0.0	0.13	3.8	0	1.60		
<0.05	0.00	26.2	0.060	0.002	16.2	0.0	0.16	3.9	0	1.36		
<0.05	0.00	38.0	0.091	0.00	10.3	0.0	0.17	5.3	0	1.54		
<0.05	0.00	73.6	0.165	0.01	21.8	5.4	0.20	8.2	0	1.20		
<0.05	0.01	122	0.275	0.005	27.6	7.8	0.07	11.1	0	1.12		
0.51	0.00	1056	3.34	0.00	70.8	0.0	0.17	0.3	0	0.23		450
48.7	0.01	1066	3.7	0.00	68.7	0.0	0.10	0.3	0	0.25		100
1.0	0.01	771	2.60	0.00	65.0	0.0	0.11	0.2	0	0.59		
<0.05	0.00	15.6			19.3	2.4	0.06	0.2	0	1.24		
<0.05	0.00	15.7	0.030	0.000	21.8	2.6	0.12	0.1	0	1.23		
<0.05	0.00	14.8			19.8	2.0	0.12	0.2	0	1.24		
<0.05	0.00	14.4			17.7	1.3	0.13	0.1	0	1.48		
<0.05	0.00	14.9	0.032	0.001	12.3	1.8	0.08	0.1	0	1.51		
<0.05	0.03	14.7			16.1	1.3	0.22	0.2	0	1.52		
104	3.5	2912	8.65	0.05	999	0.2	1.14	43	752	15.46	1.2	100
80.0	3.9	2827	8.39	0.0	942	0.4	1.60	41.5	841	15.40	1.0	170
44.7	4.0	2696	7.94	0.05	915	0.0	1.24	40	936	15.10	1.1	
<0.05	0.01	68.4	0.17	0.004	22.6	0.0	0.72	0.2	0	1.38		
<0.05	0.02	64.0	0.17	0.003	19.3	0.0	0.11	0.2	0	1.38		
0.4	0.03	135	0.37	0.01	17.3	0.0	0.10	0.9	0	1.26		
10.2	1.0	652	1.90	0.07	28.4	0.0	0.13	10.8	53	4.89		
51.6	0.15	1742	5.16	0.1	192	0.0	0.64	36.3	123	9.58	9.2	450
112	3.8	3544	10.6	0.2	400	0.0	2.56	74.5	1890	12.83	27	1000
89.7	6.2	2649	8.6	0.04	247	0.0	2.16	48.4	1090	9.74	1.2	
41.3	7.0	880	3.36	0.05	10.7	0.0	0.56	16.3	731	5.15	0.1	
51.8	5.8	1016	3.84	0.02	34.6	0.0	0.89	18.2	740	5.98	0.1	
65.2	5.6	4637	14.8	0.6	418	0.0	3.04	86.6	1360	34.78	27	290
38.6	4.6	2342	7.7	0.5	201	0.1	1.68	43.5	1180	16.83	7.0	190
45.2	6.0	2808	9.1	0.3	258	0.2	1.18	55.0	1300	30.00	22	500
0.7	0.01	227	0.54	0.006	869	0.0	0.10	5.3	0	0.45		
2.2	0.01	193	0.47	0.01	743	0.0	0.26	4.9	0	0.60		
0.5	0.00	220	0.538	0.01	843	0.0	0.24	5.3	0	0.48		
48.6	0.15	5548	18.7	0.00	442	0.0	0.23	7.5	6.4	0.72		
27.6	0.12	5080	17.1	0.00	515	0.0	0.13	6.8	5.5	0.55		
14.6	0.13	4824	16.5	0.00	455	0.0	0.26	6.6	8.5	0.49		
2.3	0.12	748	2.39	0.01	359	0.0	0.22	5.1	39	0.87		
2.0	0.00	836	2.62	0.00	419	0.0	0.01	5.4	6.2	1.05		
2.8	0.05	656	1.97	0.01	237	0.0	0.16	5.0	17	1.65		
2.8	0.00	792	2.61	0.01	370	0.0	0.17	5.2	6	1.20		
<0.05	0.00	133	0.32	0.004	124	0.0	0.28	2.3	0	1.71		100
0.1	0.01	162	0.39	0.008	144	0.0	0.27	2.9	0	2.00		125
2.2	0.09	492	1.15	0.01	108	0.0	0.44	9.6	29	2.90	0.34	
7.0	0.02	348	0.74	0.006	79.4	0.0	0.31	6.7	32	2.90	0.70	
0.6	0.00	371	0.85	0.00	94.3	0.0	0.58	7.5	6	3.30	0.80	800
15.3	0.11	290	0.73	0.006	478	0.0	0.36	6.6	4	0.70		
2.6	0.01	318	0.82	0.006	424	0.0	0.38	6.6	4	0.95		
2.6	0.02	278	0.56	0.006	98.8	0.0	0.50	13	3	1.35		
0.1	0.01	333	0.60	0.006	122	0.0	0.58	13.5	5	1.35		
<0.05	0.01	68.0	0.156	0.003	80.1	0.3	0.14	1.5	0	1.80		
0.1	0.02	99	0.22	0.004	151	0.0	0.21	2.0	5	1.80		
7.5	0.38	1036	2.64	0.02	1614	0.0	0.56	35.6	98	5.80		
10.4	0.88	1032	2.58	0.04	1579	0.0	0.60	35.2	103	5.85		
12.7	1.8	972	2.33	0.02	1437	0.0	0.70	34.0	84	7.65		
2.3	0.68	8.6			20.5	0.0	0.37	0.0	1370		0.64	
<0.05	3.8	14			37.7	0.2	0.30	0.0	1710			
28.1	142	3216×10	26.4	0.0	0		0.12	404	3140			
284	222	4044×10	34	0.0	0		0.18	496	5980			
61.3	135	2816×10	21.6	0.0	0		0.08	348	2040			

Na₂S₂O₃ 溶液を滴下して還元し、冷却後分液ロートに移す。分液ロート中の試水に 1% キサントゲン酸カリウム液と四塩化炭素を加えて振盪して抽出し、更に抽出液に臭素と希硫酸を少量加えて水層に逆抽出し、その後臭素は四塩化炭素で抽出してからメスフラスコに移す。これに 2% モリブデン酸アンモニウム 0.4 ml, 0.1% 硫酸ヒドラジン溶液 0.4 ml を加え沸騰水中で加熱し、冷却後水で一定量となし、ヒ素を波長 750 mμ で比色定量した。

13. U: 本誌 p. 2 に記載したのでここには省略する。

14. 放射能: 理化学研究所製 SUM-BG4 型サーベイメーターを用いて現地で測定した。表 1 の測定値はメーターの読みをそのまま示した。

観測した温泉の位置を図 1 に測定結果を表 1 に示した。

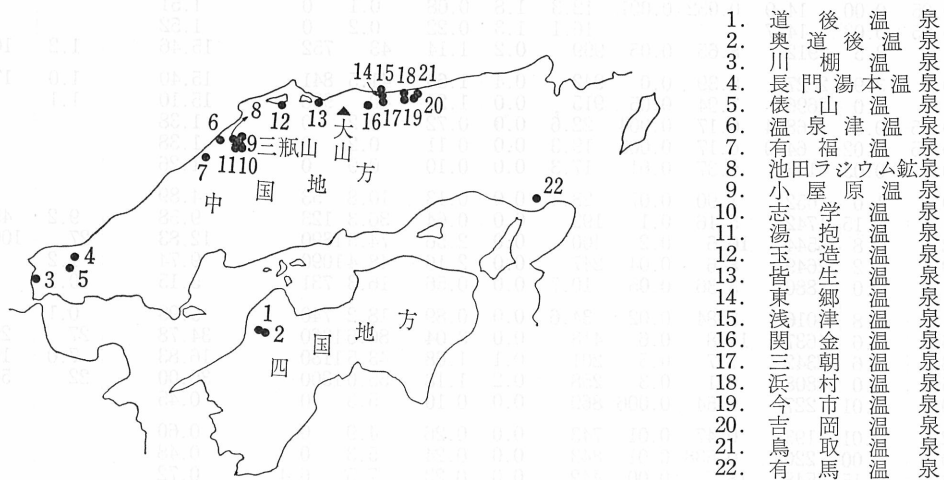


図 1 調査した温泉の位置とその番号

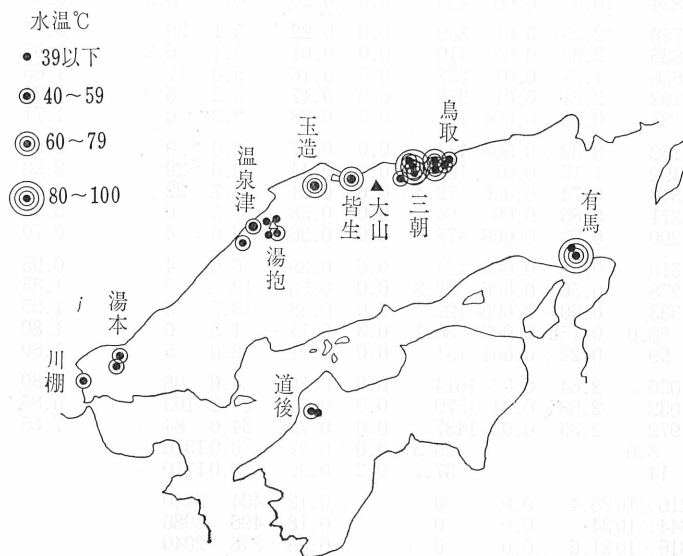


図 2 温度の分布

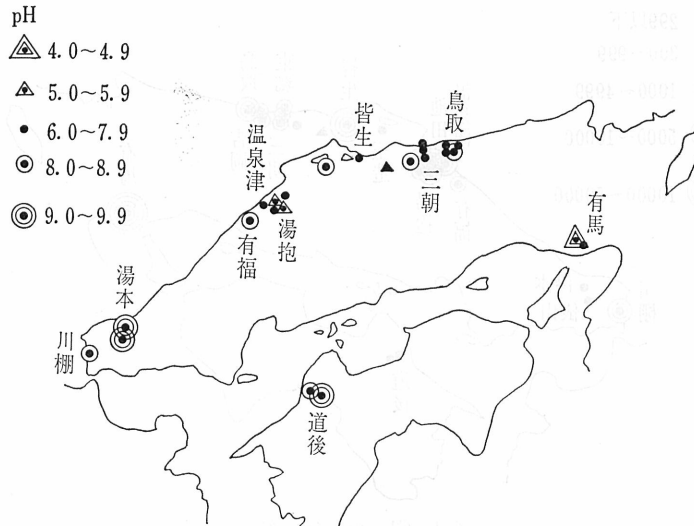


図3 pHの分布

- 1) 水温の分布を図2に示す。有馬温泉天満宮の湯 99°C が最高であり、東郷温泉谷水旅館 94.7°C がこれについて温度が高い。池田鉱泉は 16°C , 18.4°C を示し、最も低温であった。
- 2) pHの分布を図3に示す。俵山温泉 pH9.6 が最高であり、長門湯本市営2号 pH9.5、奥道後 pH9.1 等がこれに次ぐ。pHの最小値は有馬温泉有明荘の pH4.2、炭酸温泉科学研究所飲湯 pH4.6 がこれに次ぐ。
- 3) Na^+ については有馬温泉天満宮の湯 20200 mg/l、妬湯新 18000 mg/l、本温泉 13800 mg/l がどれも著しく大きい値である。次いで湯抱 No. 1 3850 mg/l、池田ラジウム No. 3 2220 mg/l 皆生 No. 20 2040 mg/l 小屋原 1650 mg/l 等が大きい。
- 4) K^+ については有馬温泉天満宮の湯 3850 mg/l、妬湯新 3010 mg/l、本温泉 2790 mg/l 等が著しく大きく、池田ラジウム No. 3 206 mg/l、湯抱 No. 1 201 mg/l がこれに次ぐ。
- 5) Li^+ は有馬温泉天満宮の湯 37.0 mg/l、妬湯新 32.7 mg/l、本温泉 25.0 mg/l 等がどれも著しく大きく、湯抱 No. 1 5.36 mg/l、池田ラジウム 3.25 mg/l がこれに次ぐ。
- 6) Ca^{2+} は有馬温泉天満宮の湯 3610 mg/l、妬湯新 2930 mg/l、本温泉 2440 mg/l 等が最も大きく、皆生 No. 16 1426 mg/l、No. 10 1423 mg/l、No. 20 1392 mg/l、温泉津小浜 519 mg/l 等これに次ぐ。
- 7) Mg^{2+} は有馬温泉天満宮の湯 284 mg/l、池田ラジウム No. 3 112 mg/l 温泉津元湯 104 mg/l 等が大きい値である。
- 8) Fe^{2+} は有馬温泉天満宮の湯 222 mg/l 妬湯新 142 mg/l 本温泉 135 mg/l 等がどれも著しく大きい。
- 9) Cl^- の分布を図4に示す。天満宮の湯 40440 mg/l、妬湯新 32160 mg/l 本温泉 28160 mg/l 等が著しく大きい値であって、これに次いで皆生 No. 20 5548 mg/l、No. 16 5080 mg/l、No. 10 4824 mg/l、湯抱 4637 mg/l 池田ラジウム No. 3 3544 mg/l 等も大きい。
- 10) Br^- は天満宮の湯 34 mg/l、妬湯新 26.4 mg/l、本温泉 21.6 mg/l、皆生 No. 20 18.7 mg/l、No. 16 17.1 mg/l、No. 10 16.5 mg/l 等が大きい。

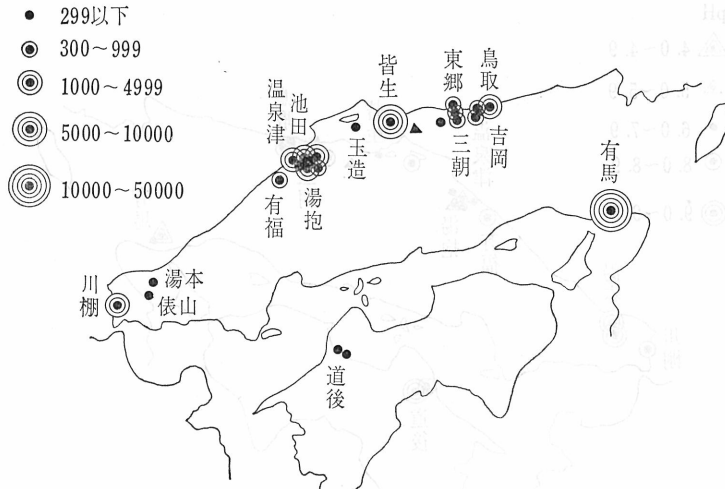


図4 Cl の分布

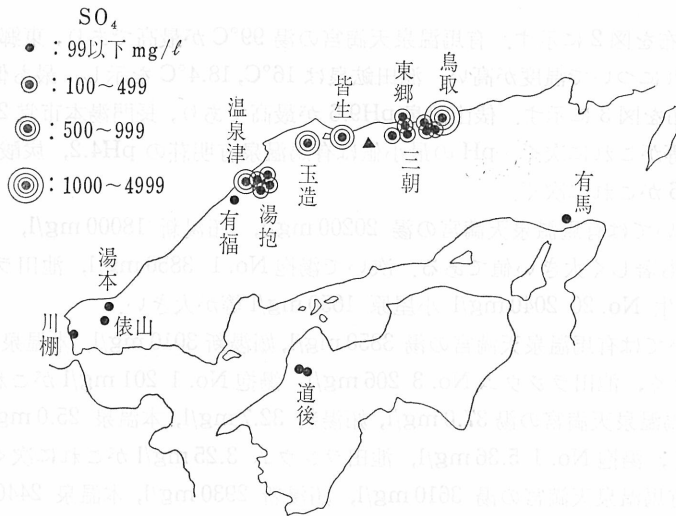


図5 SO₄ の分布

- 11) I⁻は湯抱温泉 No.1 0.6 mg/l, No.2 0.5 mg/l が多い方である。有馬温泉, 皆生温泉は何れも塩化物に富んでいるがこれらのヨウ素含量は極めて小さい。
- 12) SO₄²⁻の分布を図5に示す。鳥取温泉の観光温泉 1614 mg/l, 鳥取ホテル 1579 mg/l, 松栄旅館 1437 mg/l 等が大きく, 温泉津元湯 999 mg/l, 震湯 942 mg/l, 小浜 915 mg/l 等がこれに次ぐ。
- 13) H₂Sは概して少く, 最大値は奥道後 No.9 7.8 mg/l, No.3 5.4 mg/l である。長門湯本温泉共同湯 2.6 mg/l, 恩湯 2.4 mg/l, 市営 2.0 mg/l, 俵山温泉町の湯 1.8 mg/l, 正の湯 1.3 mg/l, 川の湯 1.3 mg/l 等これに次ぐ。これら硫化水素を含む温泉は何れもアルカリ性でpHが大きく, 塩分含量が極めて少ない点が注目される。

- 14) As は湯抱温泉 No. 1 3.04 mg/l が最大であり、池田ラジウム No. 3 2.56 mg/l, 小屋原 2.16 mg/l, 温泉津震湯 1.60 mg/l などこれに次ぐ。
- 15) HBO₂ は有馬温泉天満宮の湯 496 mg/l, 妬湯新 404 mg/l, 本温泉 348 mg/l が最も大きく湯抱 No. 1 86.6 mg/l, 池田ラジウム No. 3 74.5 mg/l がこれに次ぐ。
- 16) CO₂ は有馬温泉天満宮の湯 5980 mg/l, 妬湯新 3140 mg/l, 本温泉 2040 mg/l 等が著しく大きく、池田ラジウム No. 3 1890 mg/l, 湯抱 No. 1 1360 mg/l, 小屋原 1090 mg/l 等が大きい値である。
- 17) U は池田ラジウム No. 3 27 μg/l, 湯抱 No. 1 27 μg/l, 湯抱 No. 3 22 μg/l 等が最も大きい。また有馬温泉は塩分含量極めて大きいがウランは検出されなかった。然し、この周辺に存在する炭酸温泉科学研究所の飲湯は水温 27°C, pH4.6 を示し、塩分含量は極めて

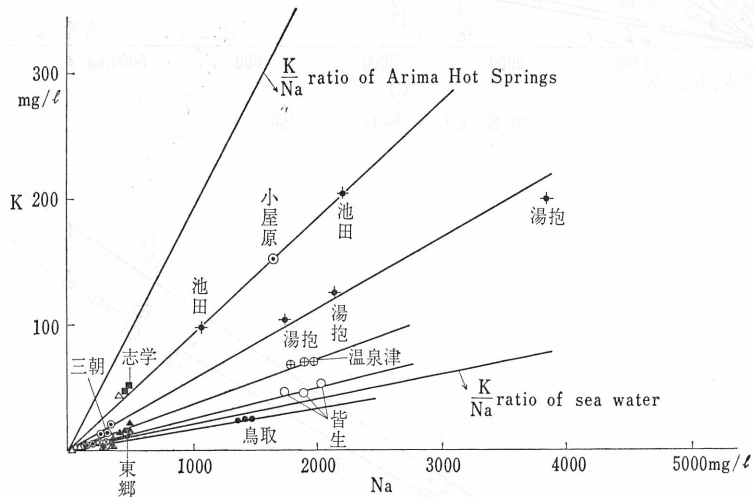


図 6 Na と K との関係

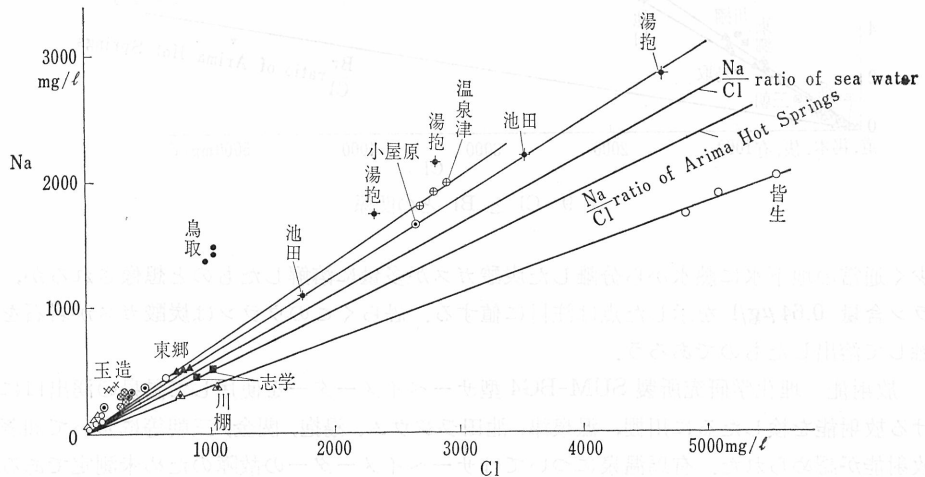


図 7 Cl と Na との関係

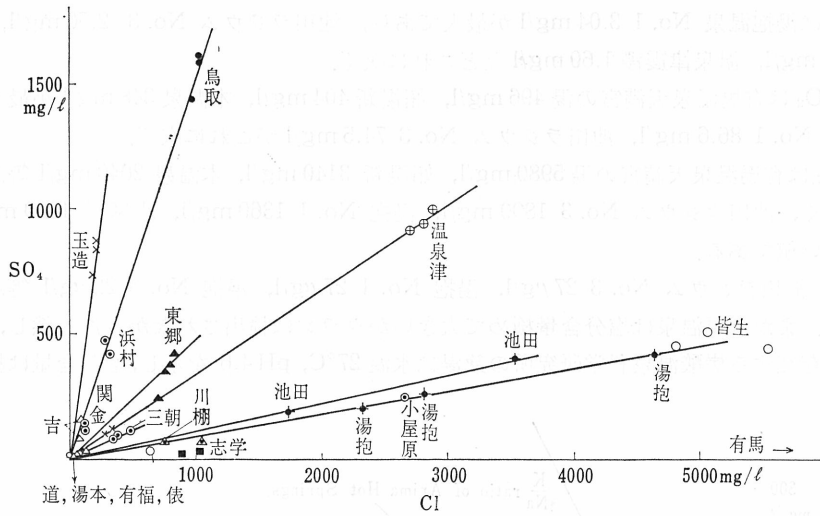


図 8 Cl と SO₄ との関係

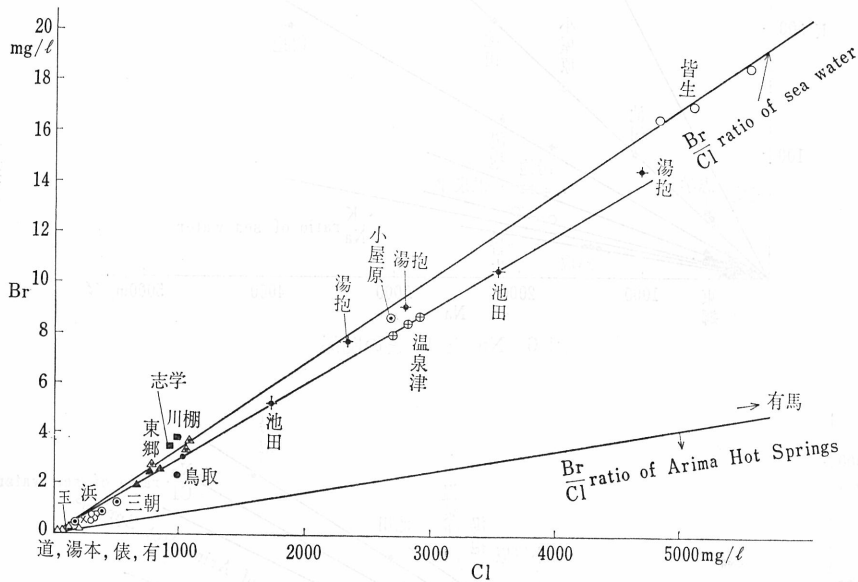


図 9 Cl と Br との関係

少く通常の地下水に熱水から分離した炭酸ガスが多量に溶解したものと想像されるが、ウラン含量 0.64 μg/l を示した点は注目に値する。恐らくこのウランは炭酸ガスが岩石を腐蝕して溶出したものであろう。

- 18) 放射能 理化学研究所製 SUM-BG4 型サーベイメーターを使用して温泉の湧出口における放射能を検したるに川棚, 温泉津, 池田ラジウム, 湯抱, 関金, 三朝等において顕著な放射能が認められた。有馬温泉についてはサーベイメーターの故障のため未測定である。次に成分相互の関係を検する。

Na と K との関係を図 6 に示した。各温泉群について正の直線関係が成立する。鳥取温泉と皆生温泉の K/Na 比は海水の K/Na 比にかなり近い。温泉津、湯抱、池田、小屋原の順に K/Na 比が増加する。有馬温泉の K/Na 比は最も大きい値を示した。

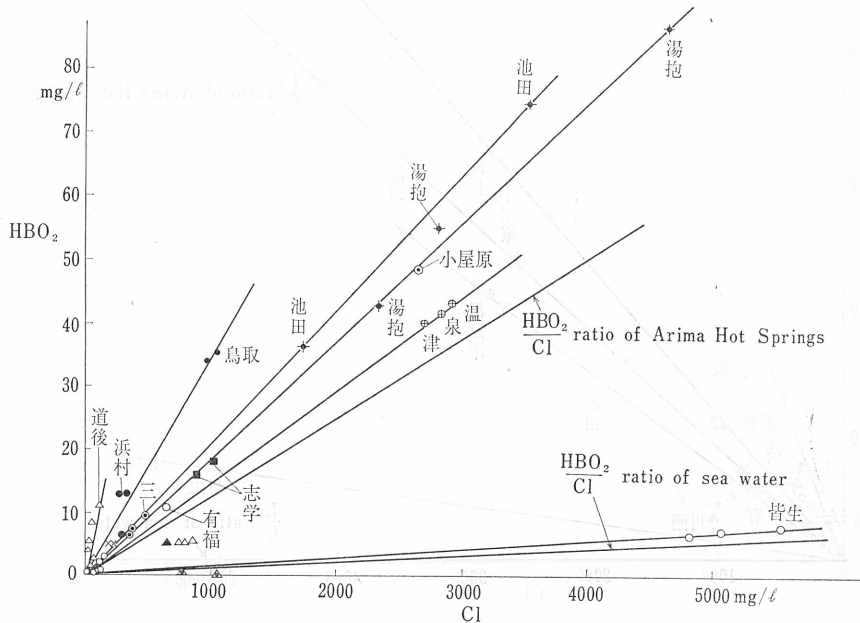


図 10 Cl と HBO₂ との関係

Cl と Na の関係を図 7 に示した。この場合も各温泉群について直線関係が成立する。有馬皆生の Na/Cl 比は海水の Na/Cl 比より小さく、池田、湯抱、温泉津の Na/Cl 比は海水より大きい。殊に鳥取温泉の Na/Cl 比は著しく大きい。

Cl と SO₄ の関係を図 8 に示した。この場合も各温泉群について直線関係が成立する。有馬温泉の SO₄/Cl 比は最も小さく、皆生、湯抱、池田の SO₄/Cl 比も比較的小さい。鳥取、玉造の SO₄/Cl 比は著しく大きい。

然るに Cl と Br の関係を検すると山陰地方の温泉の Br/Cl 比は図 9 に示すごとくほぼ一定している。そしてその値は海水の Br/Cl 比に極めて近い。有馬温泉のみ Br/Cl 比が著しく小さい。

Cl と HBO₂ との関係を図 10 に示した。この場合も正の直線関係が成立する。皆生は HBO₂/Cl 比が著しく小さく且海水の HBO₂/Cl 比に極めて近い。温泉津、湯抱、池田、鳥取の順に HBO₂/Cl 比が増大する。

Cl⁻ と Li⁺ の関係を検すると図 11 に示す如く海水の Li/Cl 比は殆んど零であるが、皆生の値は最も海水の Li/Cl 比に近い。又この比は温泉津、有馬、湯抱の順に増大した。

Cl と As との関係を検すると図 12 に示す通り正の直線関係が成立する。有馬、皆生の As/Cl 比は著しく小さい。

以上を総括すると皆生温泉は海岸に位するが、その温泉は K/Na 比、Br/Cl 比、HBO₂/Cl 比、Li/Cl 比が海水に近いことから温泉に海水が混入していることが考えられる。また有馬温泉については Br/Cl 比が他の温泉とは全く異なること、またその値は海水の値より著しく小さい

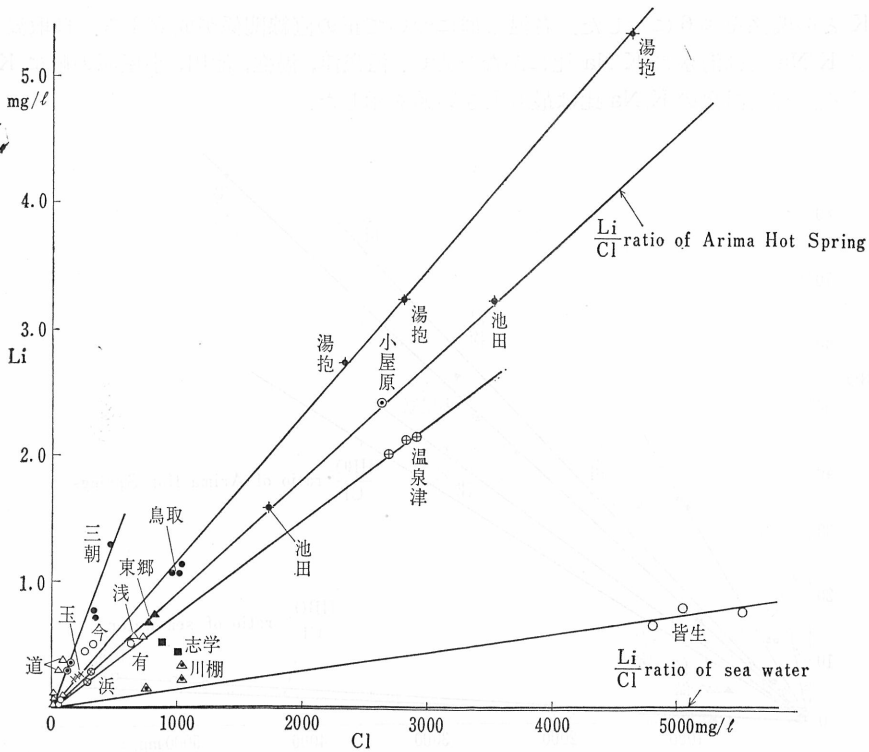


図 11 Cl と Li との関係

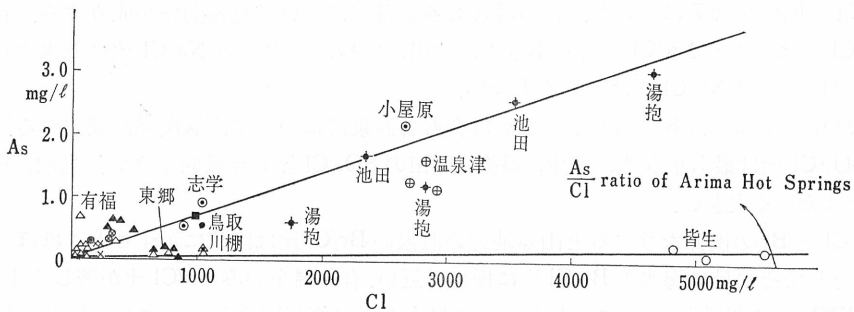


図 12 Cl と As との関係

ことから、花崗岩から湧出する有馬温泉の熱水は山陰地方の花崗岩地帯の熱水とは本質的に違うものであろう。

次に花崗岩から湧出している温泉水と噴出岩から湧出している温泉水とをその化学成分について相互に比較して観察すれば、まず花崗岩地帯には著しく放射能を有する温泉が存在する。川棚、池田、湯抱、関金、三朝、有馬はその例であり、ウラン含量については池田 27 $\mu\text{g/l}$ 、湯抱 27 $\mu\text{g/l}$ 、三朝 0.80 $\mu\text{g/l}$ 等の値が得られた。

調査した温泉地の数は花崗岩地帯 11、噴出岩地帯 8 である。

表 2 K/Na 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	18.7×10^{-2}	0.65×10^{-2}	5.24×10^{-2}	11
火山岩	10.3×10^{-2}	1.02×10^{-2}	3.39×10^{-2}	8

表 3 Li/Na 比

湧出地の地質	最大値 mg/l	最小値 mg/l	平均値 mg/l	温泉場個数
花崗岩	3.23×10^{-3}	0.70×10^{-3}	1.64×10^{-3}	11
火山岩	1.37×10^{-3}	0.39×10^{-3}	0.82×10^{-3}	8

表 4 Cl

湧出地の地質	最大値 mg/l	最小値 mg/l	平均値 mg/l	温泉場個数
花崗岩	40440	38	4868	11
火山岩	5548	14.9	1162	8

表 5 Na/Cl 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	2.25	0.36	0.97	11
火山岩	3.16	0.37	1.39	8

表 6 Br/Cl 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	3.24×10^{-3}	0.81×10^{-3}	2.50×10^{-3}	11
火山岩	3.80×10^{-3}	1.9×10^{-3}	2.80×10^{-3}	8

表 7 SO₄

湧出地の地質	最大値 mg/l	最小値 mg/l	平均値 mg/l	温泉場個数
花崗岩	478	0	187	11
火山岩	1614	10.7	480	8

表 8 SO₄/Cl 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	1.49	0.00	0.47	11
火山岩	3.83	0.09	1.09	8

表 9 HBO₂

湧出地の地質	最大値 mg/l	最小値 mg/l	平均値 mg/l	温泉場個数
花崗岩	496	0.3	67.6	11
火山岩	35.6	0.1	9.7	8

表 10 HBO₂/Cl 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	14×10^{-2}	0.03×10^{-2}	4.58×10^{-2}	11
火山岩	3.4×10^{-2}	0.14×10^{-2}	1.40×10^{-2}	8

表 11 As

湧出地の地質	最大値 mg/l	最小値 mg/l	平均値 mg/l	温泉場個数
花崗岩	3.04	0.07	0.87	11
火山岩	0.89	0.01	0.54	8

表 12 As/Cl 比

湧出地の地質	最大値	最小値	平均値	温泉場個数
花崗岩	5.11×10^{-3}	0.004×10^{-3}	1.38×10^{-3}	11
火山岩	9.8×10^{-3}	0.039×10^{-3}	2.38×10^{-3}	8

一つの温泉地において幾つかの源泉が代表として調査されている場合調査した各源泉の成分比の平均を以て当該温泉の成分比を表わすことにした。表 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 について平均値に重点をおいて観察すれば花崗岩からの温泉水の方が噴出岩からの温泉水より値が大きいものとしては Cl, HBO₂, As, K/Na 比, HBO₂/Cl 比をあげることが出来る, 逆に噴出岩より湧出する温泉水が花崗岩よりの温泉水より値が大きいものとしては SO₄²⁻, SO₄²⁻/Cl⁻ 比, As/Cl 比等がある。比較的差の少ないものとしては Br/Cl 比, Na/Cl 比などがあげられる。

結 語

(1) 山陰地方及びその周辺の温泉 58 種を分析し次の結果が得られた。

水温 16.0~99°C, pH 4.2~9.6, Na⁺ 7.6~20200 mg/l, K⁺ 1.29~3850 mg/l, Li⁺ 0.017~37.0 mg/l, Ca²⁺ 0.0~3610 mg/l, Mg²⁺ 0.0~284 mg/l, Fe²⁺ 0.00~222 mg/l, Cl⁻ 8.6~40440 mg/l, Br⁻ 0.030~34 mg/l, I⁻ 0.00~0.6 mg/l, SO₄²⁻ 0~1614 mg/l, H₂S 0.0~7.8 mg/l, As 0.01~3.04 mg/l, HBO₂ 0.0~496 mg/l, CO₂ 0~5980 mg/l, alkalinity 0.23~34.78 mg/l, U 0.0~27 μg/l.

(2) 皆生温泉の温泉水には海水が混入していることが推定された。

(3) 有馬温泉の塩分含量は著しく大きい, その Br/Cl 比は山陰地方の温泉並に海水より著しく低い。

- (4) 花崗岩より湧出する温泉を火山岩から湧出する温泉と比較すると i) 前者には放射能を有する温泉が多いこと、ウラン含量については池田鉱泉, 湯抱鉱泉がそれぞれ $27 \mu\text{g/l}$ を示した. ii) 前者が後者より多い成分又は成分比としては Cl , HBO_2 , K/Na 比, Li/Na 比, HBO_2/Cl 比などがあり, 後者が前者より多い成分又は成分比としては SO_4 , SO_4/Cl , As/Cl などをあげることが出来る. 両者の間に比較的差の少ないものとしては As , Br/Cl 比, Na/Cl 比などがある.

最後にこの研究に要した費用は文部省科学研究費並に日本温泉厚生協会の援助によるものでここに記して厚く感謝する次第である.

文 献

- 1) 厚生省大臣官房国立公園部編, 日本鉱泉誌 (1954) 505~507, 536~566, 571~581, 584~589.
- 2) 松浦, 田多, 麻生: 日化 **67**, 95, 97 (1946).
松浦, 広田: 日化 **70**, 62 (1949).
- 3) 岩崎, 松田: 日化 **64**, 1272 (1943), **72**, 94 (1951).
- 4) 梅本春次: 日化 **75**, 352, 355, 358, **80**, 1246 (1959).
- 5) 阪上正信: 日化 **80**, 242 (1959), **81**, 242 (1960).
- 6) 杉原 健: 日化 **81**, 703, 710, 884, 887, 1055, 1059, 1064, 1221, 1226, 1232, 1391, 1395 (1959); **82**, 219, 222 (1960).
- 7) K. KIMURA, Y. YOKOYAMA and N. IKEDA: Publication n° 37 de l'Association Internationale d'Hydrologie (Assemblée générale de Rome, tome 2).
- 8) 池田長生: 日化 **76**, 716, 719, 839, 842, 1079 (1955).
- 9) 三宅, 北野, 猿橋, 多賀, 坪田: 炭酸温泉科学研究所, “有馬温泉の化学的研究” (1954).
- 10) 横山祐之: 日化 **76**, 555, 558 (1955).
- 11) 高津寿雄, 須賀正夫: 日化 **75**, 1233 (1954).