

昭和 47 年 12 月

原 著

## 飛驒山脈の温泉の化学的研究

電気通信大学化学教室 坂田 朗・中村 喜一・国分 信英\*

(昭和 47 年 1 月 20 日受理)

## Chemical Investigation of Hot Springs in the Hida Mountains

Akira SAKATA, Kiichi NAKAMURA and Nobuhide KOKUBU

Laboratory of Chemistry, the University of Electro-Communications

## ABSTRACT

In the Hida Mountains 32 samples of spring waters from the granitic rocks, 16 samples of waters from the sedimentary rocks and 6 water samples from the fumarolic areas were collected and analyzed. Chemical compositions of these hot spring waters are controlled by the geologic feature of the basement rocks.

The hot spring waters from the granitic rocks have rather similar composition, though the other hot springs have various compositions. The chemical composition of the spring waters from the granitic rocks, given in mole percentage, ranged from 30 to 50% of  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 0 to 10% of  $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ , 0 to 20% of  $\text{SiO}_2$ , 10 to 30% of  $\text{Cl}^-$  and 0 to 10% of  $\text{SO}_4^{2-}$ . The  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  and  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$  ratios of the hot spring samples from the granitic rocks are greater than those from the sedimentary rocks.

The amounts of  $\text{F}^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  of the hot springs are influenced mutually. The water samples from the granitic rocks have about 1 ppm of  $\text{F}^-$  and the  $\text{Ca}^{2+}$  content usually below 50 ppm. Those from the sedimentary rocks have below 1 ppm of  $\text{F}^-$  and above 40 ppm of  $\text{Ca}^{2+}$ .

The hot springs in the fumarolic areas are strongly acid. In such springs, the amount of  $\text{SO}_4^{2-}$ , the major anion, is large, while the amounts of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Cl}^-$  are small.

## 1. 緒 言

本邦において、花コウ岩地域から湧出する温泉、たとえば山梨県の増富温泉、鳥根県の志学・湯抱温泉、鳥取県の三朝温泉などは、いわゆる食塩泉といわれる化学成分をもっていることが知られている<sup>1)</sup>。しかしそれらの知識は部分的であり、花コウ岩と温泉成分との関係を明らかにするには不十分であった。そこで著者らは、日本列島の基盤岩として、花コウ岩・片麻岩が露出している飛驒山脈の温泉から試料を採取し、その含有化学成分と湧出地点からの地質との関係を調べた。

\* Akira SAKATA, Kiichi NAKAMURA, Nobuhide KOKUBU 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

飛驒山脈は、第四紀に乗鞍火山帯として安山岩質溶岩が貫入してできた立山・焼岳・乗鞍岳などの火山を含んでいる<sup>2)</sup>。飛驒山脈には、全域にわたってその山腹から山麓へかけて一見それらの火山活動とは無縁と思われる場所に温泉が湧出している。しかし、それらの熱源は第四紀の火成活動に求められる<sup>3)</sup>。本報では、このような温泉がその湧出過程で岩石と接触し、どのような組成を示すか、またその組成的特徴はどんなものかを調べ、あわせて湧出機構を推定した。

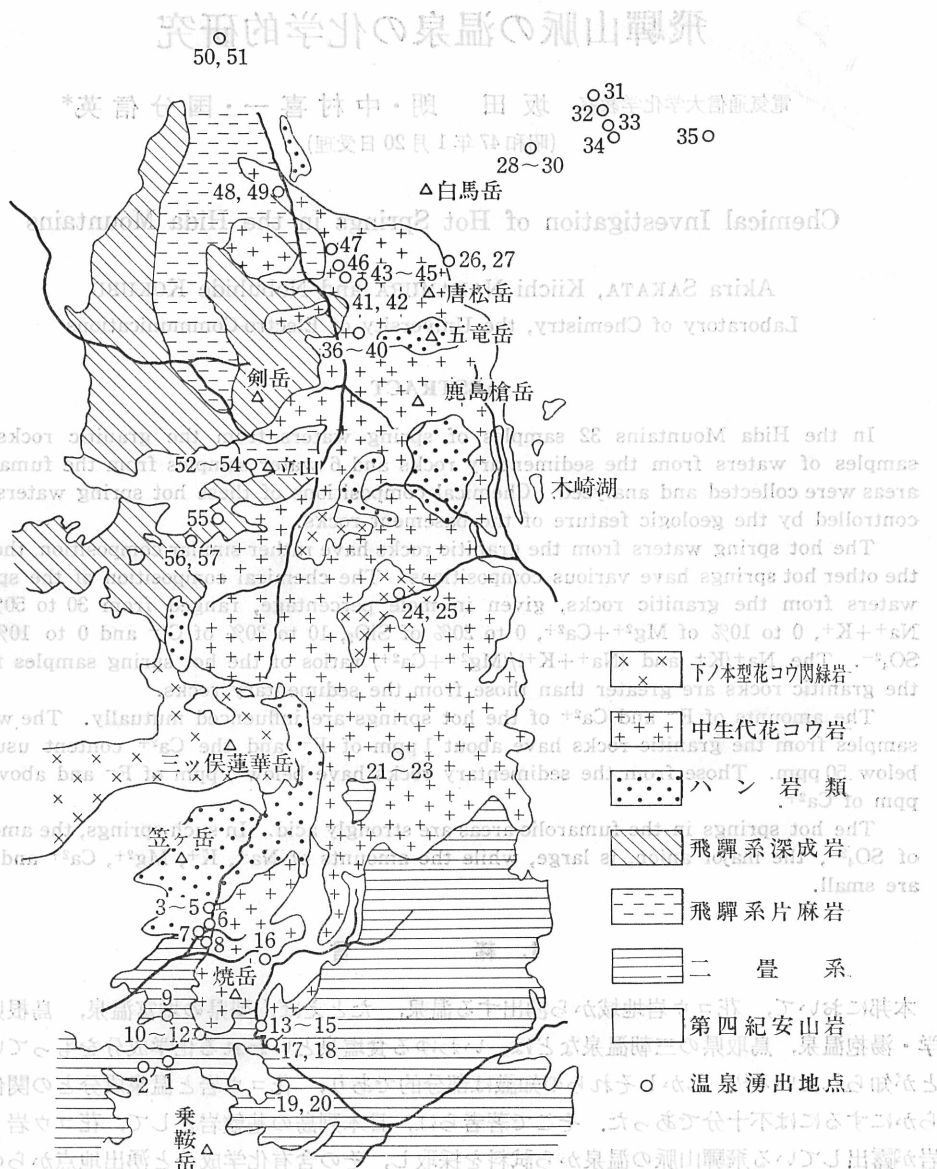


図 1. 飛驒山脈の地質と温泉水採集地点

\* Akira SAKATA, Kichiji NAKAMURA, Nobuhiko KOKUBI, 東京都立中央大学理学部地質学教室

2. 地 質

図1に飛驒山脈の地質と温泉水採集地点を示した。図より明らかなように飛驒山脈はほとんど花コウ岩質岩石からなっている。それらは古生代末から中生代末にかけて、貫入したと考えられている<sup>4)</sup>。それら花コウ岩には3種類ある。第一は下ノ本花コウ岩と呼ばれている。岩質は角閃石をともなった石英閃緑岩である。これらは山脈の稜線近くに存在する。三侯蓮華岳・黒部五郎岳・鷲羽岳・水晶岳の近くにも分布している。この岩体と後に述べる高瀬型花コウ岩との接触部に葛温泉が湧出している。第二は船津型花コウ岩と呼ばれる。これは正長石が桃色を帯びた花コウ岩であり、野口五郎岳頂上付近より西に存在し、これから湧出する温泉はない。第三は高瀬型花コウ岩と呼ばれる桃色あるいは白色の花コウ岩である<sup>5)</sup>。飛驒山脈各地にもっとも普通に見られる花コウ岩である。北は黒部川上流域から南は穂高岳にまでおよんでいる。湧出地質を花コウ岩と表記した温泉で、上記の葛温泉を除くとほとんどがこの高瀬型花コウ岩からのものである。下ノ本型および船津型花コウ岩の貫入時期は古生代末と推定され、高瀬型花コウ岩の時期は中生代末と推定されている。これらの花コウ岩のほかに濃飛石英ハン岩がある。これから蒲田川沿いの新穂高温泉より蒲田温泉までの6地点が湧出している。これは一般に花コウ岩と呼ばれるものとは組織が異なり、産状でも噴出型のものと思われるものが含まれている<sup>6)</sup>。しかし、それらは  $SiO_2$  約 70% 約を含み、他の花コウ岩類と化学成分的には差が認められない。それゆえ濃飛石英ハン岩を花コウ岩に含めて議論した。

飛驒山脈のこれらの花コウ岩を貫いて第四紀になって、角閃石をともなる石英安山岩が貫入し、北から立山・鷲羽岳・樺沢岳・焼岳・乗鞍岳などを形成し、いわゆる乗鞍火山帯を形成している。焼岳の噴煙、立山地獄谷の噴気、温泉、蓮華温泉付近の噴気、変質帯などからこの火山帯は現在もなお活発に活動していることがわかる。上記の立山地獄谷・蓮華温泉には活発な噴気が見られ、酸性泉を湧出していて、他の温泉とは湧出環境が異なるので、噴気地帯の温泉として議論した。

飛驒山脈には、その中腹から山麓にかけて古生代・中生代堆積物が点在している。上記の花コウ岩類がそれらに貫入していることから、それらの堆積層の下部には花コウ岩があると推定される。それらの堆積層から湧出する温泉をまとめて堆積層の温泉として議論した。

3. 試 料

湧出地点において、水温、pH を測定し、ポリエチレンびんに採水した。また鉄・マンガン分析用のものは、別のびんに採水し試水 1l につき、1ml の硝酸を加えて保存したものを用いた。ただし、沈でん物が生じない試料については、加えなかった。飛驒山脈南部地域において、1967年7月下旬から8月上旬へかけて11地点、22試料(試料番号36~57)、北部地域において、1968年7月下旬に21地点、35試料(試料番号1~35)を採集した。

4. 分 析 法

ナトリウム、カリウム：炎光分析<sup>7)</sup>

マグネシウム：原子吸光分析<sup>8)</sup>

表 1. 飛 驒 山 脈 の

No.	温 泉 名	地 質	採集年月日	水温 (°C)	pH	蒸発残渣 (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)
1	乗鞍 温 泉	古 生 層	1967. 7. 24	23.5	5.1	203	6.52
2	銚子 谷 温 泉	濃 飛 岩	"	22.9	6.7	344	45.0
3	新穂 高 温 泉	"	"	92.5	7.8	725	164
4	"	"	"	94.5	7.1	564	135
5	"	"	1967. 7. 25	92.5	7.1	475	113
6	宝槍 温 泉	"	"	52.8	7.0	483	131
7	浦 見 田 温 泉	"	"	52.5	6.8	394	120
8	蒲 田 温 泉	"	"	92.0	9.0	1203	356
9	焼 岳 温 泉	濃 飛 岩 と 古 生 層 の 境 層	"	71.7	7.3	1624	512
10	平 湯 温 泉	古 生 層	"	80.5	7.6	1026	281
11	"	"	"	53.8	7.5	860	183
12	"	"	"	79.0	7.1	802	220
13	中 湯 温 泉	花 コ ウ 岩	"	59.0	7.5	448	95.0
14	"	"	"	90.0	7.4	643	166
15	"	"	"	51.5	6.4	857	156
16	上 坂 高 温 泉	古 花 コ ウ 岩	"	53.2	7.8	332	77.5
17	卷 温 泉	"	1967. 7. 26	79.0	6.7	725	213
18	"	"	"	77.5	6.7	848	226
19	白 骨 温 泉	古 生 層	"	48.8	6.6	695	95.0
20	"	"	"	40.7	6.7	481	90.8
21	中 房 温 泉	花 コ ウ 岩	"	82.2	9.5	629	150
22	"	"	"	87.7	9.5	682	156
23	"	"	"	92.5	9.6	614	140
24	葛 温 泉	"	"	94.0	7.1	566	181
25	"	"	"	93.0	7.4	672	196
26	鐘 温 泉	古 生 層	1967. 7. 27	43.5	6.5	873	28.8
27	"	"	"	44.0	6.8	751	28.0
28	蓮 華 温 泉	中 生 層	1967. 7. 28	55.0	2.4	"	2.86
29	"	"	"	85.4	3.9	972	3.08
30	"	"	"	43.2	6.7	1029	11.0
31	姫 川 温 泉	古 生 層	"	72.0	6.0	1251	368
32	"	"	"	55.7	6.3	1014	282
33	白 馬 温 泉	"	"	54.0	6.6	1264	358
34	蒲 原 温 泉	"	"	50.5	6.3	843	221
35	小 谷 温 泉	新 花 期 堆 積 層	"	89.0	9.2	2358	964
36	阿 曾 原 温 泉	花 コ ウ 岩	1966. 7. 26	88.5	6.7	726	179
37	"	"	"	89.5	7.0	690	177
38	"	"	"	69.0	8.4	780	198
39	"	"	"	95.0	8.4	987	257
40	"	"	"	89.0	8.4	969	239
41	祖母 谷 温 泉	"	1967. 7. 25	74.2	8.0	761	211
42	"	"	"	83.0	7.5	605	197
43	名 劍 温 泉	"	"	61.5	7.2	658	240
44	"	"	1967. 7. 26	64.0	7.2	623	205
45	"	"	"	61.7	7.4	624	208
46	猿 飛 温 泉	"	1967. 7. 25	62.5	8.7	501	137
47	鐘 釣 温 泉	"	1967. 7. 26	39.5	8.3	187	33.3
48	黒 雉 温 泉	"	1967. 7. 27	78.0	8.1	441	112
49	"	"	"	93.3	8.6	563	158
50	小 川 温 泉	花 コ ウ 岩	1967. 7. 25	47.0	8.2	899	316
51	"	"	"	51.6	7.4	893	322
52	立 山 地 獄 谷 温 泉	輝 石 安 山 岩	1967. 7. 28	51.0	4.0	"	1.20
53	"	"	"	64.0	3.5	244	4.60
54	"	"	"	84.0	2.0	855	46.5
55	新 立 山 温 泉	不 明	"	77.0	4.6	1228	213
56	"	"	1967. 7. 29	63.0	8.7	430	39.5
57	"	"	"	64.0	7.7	387	93.5

1) A, B, C, D, E と表記した場所は、湧出地点間の距離が数十メートル以内にあり、個々に名前がついていないので仮に区別して示した。

温泉の化学成分

K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	Mn <sup>2+</sup> (mg/l)	Al <sup>3+</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) (calc.)
3.03	8.10	25.7	13.3	0.62	0.57	71.9	0.16	0.6	<5.0	139
6.83	14.8	159.1	0.03	<0.01	<0.01	33.0	0.72	23.2	<5.0	
15.0	0.18	23.7	0.04	0.29	0.01	198	4.60	184.0	42.5	148
12.8	0.24	20.4	0.02	0.21	<0.01	189	4.16	151.9	39.5	117
8.30	0.48	20.2	0.03	0.37	0.04	133	3.85	109.0	21.2	150
7.00	0.85	18.2	0.04	0.03	0.02	87.5	3.30	85.8	18.3	238
13.0	0.40	13.6	0.02	0.12	0.07	104	4.00	96.5	12.0	201
24.2	0.18	1.8	0.02	<0.01	0.02	146	13.14	266.2	62.5	410
34.2	20.1	46.5	0.03	<0.01	0.01	174	1.16	206.9	9.3	1283
25.8	15.1	54.7	0.05	0.02	0.02	92.5	0.92	278.7	83.0	441
19.2	40.6	115.2	0.06	<0.01	0.01	129	0.47	142.9	162	617
21.0	7.40	45.0	0.02	0.01	<0.01	90.0	1.03	243.0	61.0	293
8.30	3.06	15.3	0.01	0.16	<0.01	156	1.75	80.4	42.0	131
16.7	2.81	21.6	0.01	0.12	0.02	214	3.41	137.6	60.5	228
19.7	58.0	120.6	4.75	0.03	<0.01	179	0.37	139.3	188	623
3.60	0.48	14.5	0.01	<0.01	0.01	102	2.12	19.7	83.0	112
11.0	2.45	35.3	0.01	<0.01	0.01	142	4.10	135.8	74.0	361
14.0	6.61	35.9	0.06	0.03	<0.01	178	5.13	162.6	132	300
25.0	48.5	178	0.15	0.01	0.02	49.0	0.85	100.0	196	653
25.2	48.5	207.9	0.03	0.01	0.01	37.0	0.71	101.8	47.5	919
12.3	0.01	1.6	0.04	<0.01	0.01	198	13.5	96.5	42.0	159
11.7	0.01	1.6	0.08	<0.01	0.03	183	13.7	46.4	38.0	265
12.0	0.01	1.3	0.01	<0.01	0.01	173	12.1	85.8	49.8	144
8.00	0.09	18.4	0.02	0.09	0.01	182	7.94	171.5	17.2	207
11.0	0.09	20.4	0.02	0.14	0.01	198	8.21	266.2	18.7	91
15.2	123	102.1	0.03	0.04	<0.01	177	0.03	84.0	145	698
15.2	122	102.2	0.01	<0.01	<0.01	176	<0.41	80.4	133	713
2.20	15.4	78.6	5.44	0.13	6.80	57.0	0.04	0.9	416	
3.62	17.0	2.4	3.62	3.29	22.0	197	0.03	0.5	164	
8.80	199	21.2	0.01	0.04	<0.01	176	<0.03	1.5	144	
43.5	24.7	83.8	0.02	0.01	<0.01	125	0.88	475.2	80.5	603
33.8	21.3	58.7	0.03	0.01	<0.01	113	0.75	368.0	47.8	391
38.0	33.3	87.1	0.02	0.01	<0.01	113	0.97	423.4	103	580
25.0	24.4	68.5	0.01	<0.01	<0.01	97.7	0.72	289.4	54.0	389
22.0	5.21	3.2	0.03	<0.01	0.02	138	0.58	234.0	17.4	2201
17.1	4.70	35.6	0.02	0.98	0.01	116	3.04	236.6	88.0	218
16.8	4.40	36.0	0.03	1.07	0.01	119	3.06	234.5	87.5	104
20.8	2.00	23.6	0.04	0.26	<0.01	108	3.28	272.6	63.0	81
29.3	1.90	26.1	0.15	0.51	<0.01	119	4.11	346.6	49.0	146
29.0	3.20	35.4	0.04	0.16	<0.01	114	4.07	336.9	31.0	172
21.0	0.65	5.1	0.27	0.01	0.03	117	3.22	205.9	118	124
11.3	0.33	18.8	0.02	0.14	0.02	136	2.97	168.8	26.0	267
12.5	0.62	21.2	0.04	<0.01	<0.01	140	2.67	195.4	30.0	342
10.0	0.73	19.5	0.03	0.01	<0.01	123	2.45	169.3	28.2	288
10.4	0.48	21.1	0.02	<0.01	<0.01	125	2.30	171.7	28.0	297
7.40	0.11	15.5	0.03	<0.01	0.02	124	3.52	162.0	30.1	95
2.80	0.35	13.8	0.05	<0.01	<0.01	46.0	1.65	31.4	14.6	59
3.80	0.39	13.1	0.04	<0.01	<0.01	95.0	5.67	91.9	30.0	131
7.00	0.07	9.5	0.01	<0.01	<0.01	139	7.52	140.1	46.0	136
12.7	2.50	39.9	0.02	<0.01	<0.01	68.0	1.71	369.0	36.2	307
12.9	2.50	45.5	0.02	<0.01	<0.01	65.0	1.36	369.1	35.0	342
1.00	0.59	4.5	0.41	0.02	0.41	17.0	0.29	17.7	615	
2.10	2.50	8.5	1.04	0.11	1.30	55.0	0.30	24.2	240	
36.0	14.9	40.3	3.24	1.23	9.50	167	0.32	264.0	470	
29.5	0.69	3.4	3.05	0.08	2.30	145	13.0	129.8	376	
5.00	5.10	50.4	0.01	<0.01	<0.01	94.0	0.29	3.2	196	37
4.50	1.60	22.0	0.01	<0.01	0.01	79.0	3.00	22.7	58.0	208

2) 蒸発残渣は砂皿の上で試料を蒸発乾固させ求めた。

3) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (calc.) は Na, K, Mg, Ca, F, Cl, SO<sub>4</sub> の cation/anion バランスから計算した。

カルシウム: EDTA を用いてキレート滴定<sup>7)</sup>

鉄: 1, 10-フェナントロリンを用いて比色分析<sup>7)</sup>

マンガン: 過ヨウ素酸カリウムで酸化して比色分析<sup>9)</sup>

アルミニウム: オキシン抽出して比色分析<sup>8)</sup>

ケイ酸: モリブデン酸アンモニウムを用いて比色分析<sup>8)</sup>

フッ素: 水蒸気蒸留により分離して電極分析<sup>10)</sup>またはアリザリンコンプレクソンを用いた比色法<sup>11)</sup>

塩素: 硝酸銀を用いて滴定分析<sup>12)</sup>, 微量の試料はチオシアン酸水銀を用いて比色分析<sup>8)</sup>

硫酸イオン: ゼラチン塩化バリウム溶液を用いて比濁分析<sup>7)</sup>

### 5. 結果および考察

表1に分析値を示した花コウ岩質岩石から湧出する温泉は 32 試料あり, 中生代, 古生代堆積層から湧出する温泉および新期安山岩から湧出する温泉は 22 試料あった。立山温泉は湯川の砂レキ層から湧出し, また新湯はカン木の密生した地域から湧出し, 池をなしていてもともに地質を確認できなかった。

#### 5.1 花コウ岩質岩石から湧出する温泉およびその他の温泉との比較

泉温についてみると, 花コウ岩からの温泉には高温泉が多く, 90% 以上が 50°C 以上であり, 40% が 90°C 以上であった。それに対し, 堆積層および安山岩から湧出す温泉では平湯, 小谷温泉, 立山地獄谷を除くと, 50°C 前後あるいはそれ以下の中・低温であった。

pH についてみると, 花コウ岩からの温泉では中性・弱アルカリ性であった。それ以外の温

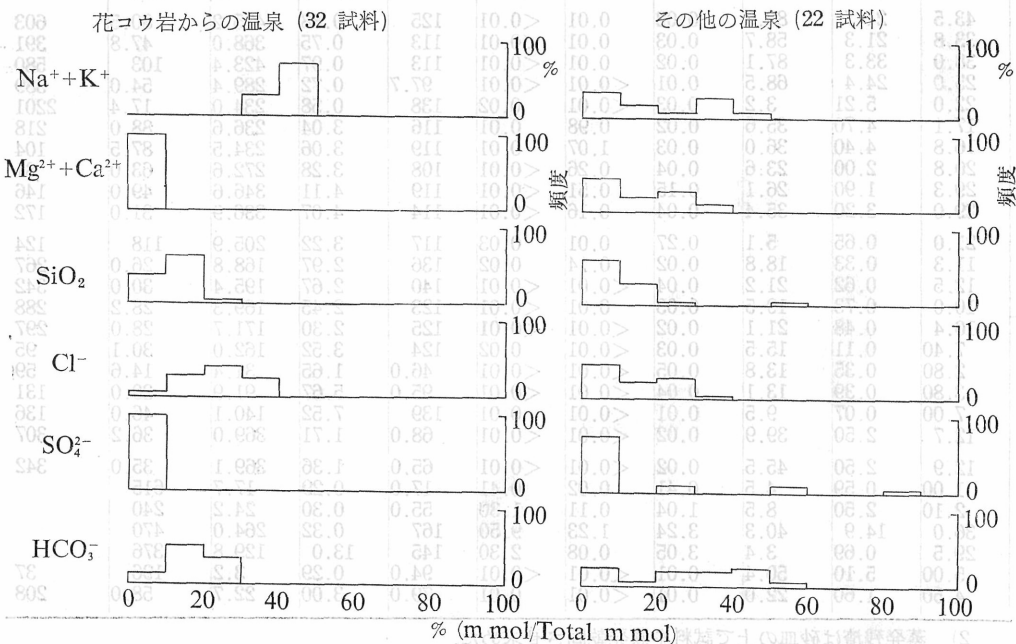


図 2. 飛騨山脈の温泉の主要成分含有量の頻度グラフ

泉の中で、蓮華・立山地獄谷のような噴気地帯では酸性であり、小谷を除く堆積層の温泉では弱酸性・中性であった。

図2に花コウ岩からの温泉とその他の温泉にわけ、主成分である  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  イオンについて、個々の温泉のこれらイオンの全溶存ミリモル数に対する各イオンのミリモル数をパーセントで横軸に表示し、縦軸に頻度 (%) を図示した。これでわかることは、花コウ岩よりの温泉ではその他の温泉にくらべて試料数が多いにもかかわらず、非常に似た成分比をもっていることである。すなわち ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) では 30~50%、( $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ) では 10% 以下、(1 点を除けば 6% 以下)、 $\text{SiO}_2$  では 0~20%、 $\text{Cl}^-$  では 2 点を除いて 10~30%、 $\text{SO}_4^{2-}$  では 10% 以下、実際にはほとんどが 5% 以下、計算による  $\text{HCO}_3^-$  はほとんどが 10~30% であった。

本邦の他の地域の花コウ岩から湧出する温泉、たとえば増富鉱泉<sup>1)</sup>・三朝温泉<sup>1)</sup>・道後温泉<sup>18)</sup> などでは、泉質は食塩泉であるといわれている。飛驒山脈の花コウ岩からの温泉の泉質は、主成分が  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  であり含炭酸食塩泉と呼ばれるべきものである。ここで注目すべきことは、増富・三朝・道後でも本報の花コウ岩からの温泉の場合も、ともに  $\text{Cl}^-$  のモル数よりも ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) のモル数の方が大きいことである。すなわち ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )/ $\text{Cl}^-$  値が約 1.2~2 になっている。東北地方の第三紀地域から湧出する熱塩・大塩・小野川のような温泉も同じ食塩泉と呼ばれているが、これらの ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )/ $\text{Cl}^-$  値は 1 以下である<sup>1)</sup>。これらの食塩泉の間には成因の違いが考えられ、区別して議論する必要がある。

その他の温泉では図2で明らかなように、各温泉が非常に異なった成分比をもっている。蓮華・立山地獄谷の噴気地帯では、( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) %、 $\text{Cl}^-$  % が小さく、 $\text{SO}_4^{2-}$  % が大きい。堆積層から湧出する温泉では、花コウ岩からの温泉にくらべて ( $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ) % が大きく、すべてが 6% 以上であった。

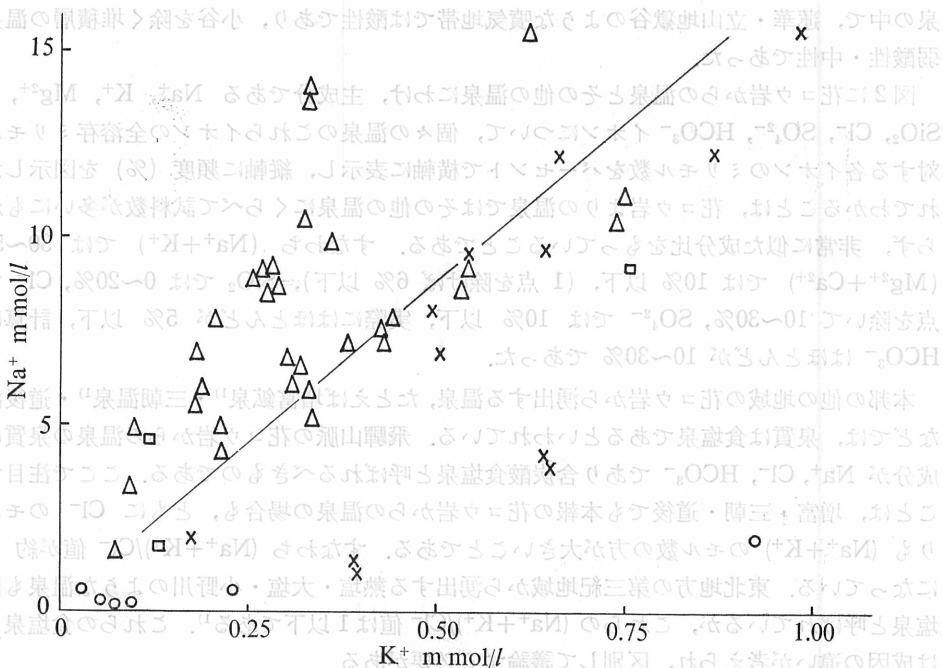
フッ素含量については、花コウ岩から湧出する温泉とそれ以外の温泉とでは明らかな差が認められた。前者は 1 ppm 以上含有し、70% 以上が 3 ppm 以上であるのに対し、後者では 1 ppm 以下であり、最高値で焼岳温泉の 1.16 ppm を示したにすぎない。

鉄・アルミニウム含量は pH の影響を受け、花コウ岩から湧出する温泉では、ともに 0.3 ppm を越えるものはなくほとんどコン跡量であった。堆積層からの温泉でも大体同じ程度であった。しかし、二酸化炭素を多く含むと思われる乗鞍温泉・中ノ湯 (ト伝ノ湯) などでは多量の鉄を含有していた。噴気地帯の硫酸酸性泉では、鉄・アルミニウムとともにほとんどが 1 ppm 以上含有していた。

マンガン含量については全体的に低含量であり、ほとんどが 0.1 ppm 以下であった。噴気地帯の通称“泥釜”と呼ばれる水だまりに噴気が混入して泥濘が煮えたぎっている状態の温泉には他よりも多く、1 ppm 以上含まれていた。それとは別に、阿曾原・新穂高温泉のような花コウ岩の高温温泉の中に 0.3 ppm 以上含むものがあつた。しかし、花コウ岩の高温温泉でも、葛・中房温泉ではそれ以下のコン跡量であり、マンガン含量については全体的に明瞭な規則性が見られなかった。

## 5.2 溶存イオン相互の関係

溶存イオン相互に見られる目立った関係を述べ、その原因を考察する。図3に示したように、ナトリウムとカリウムの間には、一般的に認められているように正の相関関係が見られる。そ



△：花コウ岩からの温泉， ×：堆積層からの温泉  
 ○：噴気地帯の温泉， □：地質不明の温泉

図 3. 飛騨山脈の温泉のナトリウムとカリウムの関係

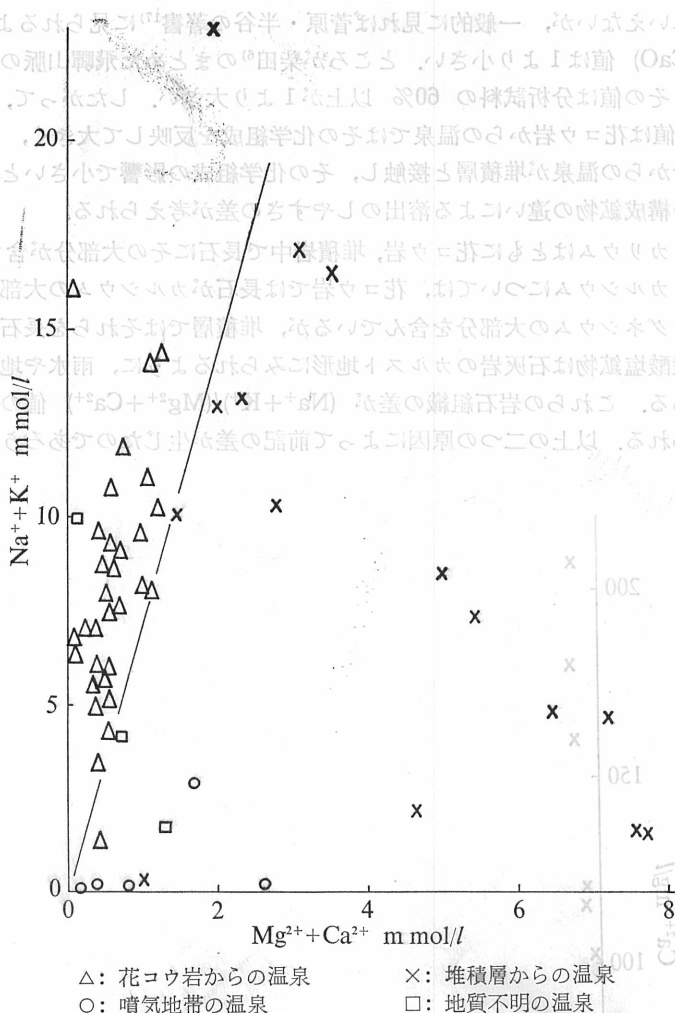
れをさらに詳細に見ると、湧出地点の地質と  $Na^+/K^+$  値の間には明瞭な関係が認められる。すなわち、花コウ岩地域では、その他のものにくらべて  $Na^+/K^+$  値が大きい。それについて堆積層の温泉が大きく、噴気地帯の温泉は最も小さい値を示している。

酸性の温泉は、White<sup>14)</sup>によれば浅い所で形成され、母岩と十分に接していない。したがって平衡より遠く、母岩組成に近い比率でナトリウム・カリウムを溶脱すると考えられる。立山地獄谷の安山岩の  $Na^+/K^+$  値は1よりやや大きい、ナトリウム・カリウムの含量はほぼ等しい<sup>15)</sup>。本報の噴気地帯の温泉は酸性である。またそのナトリウム・カリウム含有量は低い、ほぼ同程度の量である。したがって、これらの温泉の  $Na^+/K^+$  値は噴気が地表近くで母岩と接触し、これに地下水が加わり、イオンを溶脱することによって母岩組成に近い  $Na^+/K^+$  値になったと考えられる。

花コウ岩ではナトリウムとカリウムのほとんどが長石に含まれている。長石とアリカリ金属の塩化物溶液を接触させて、温度、圧力、溶出して平衡に達した溶液中の  $K^+/(Na^++K^+)$  値との関係を求めた Orville の実験<sup>16)</sup>によれば、圧力一定条件下で  $K^+/(Na^++K^+)$  値は温度に比例し、300°C 以下では 10% 以下であった。本報の花コウ岩からの温泉の  $K^+/(Na^++K^+)$  値は数 % であった。したがって、これらの温泉は花コウ岩と温泉水が長時間接触して平衡に近くなり、 $Na^+/K^+$  の大きな値をもって湧出してきたと考えられる。

飛騨山脈では、堆積層の下には基盤岩として花コウ岩が存在する。したがって、堆積層からの温泉は花コウ岩からの温泉が、さらに上の堆積層と接触して湧出していると考えられる。柴





△: 花コウ岩からの温泉      ×: 堆積層からの温泉  
○: 噴気地帯の温泉      □: 地質不明の温泉

図 4. 飛驒山脈の温泉の  $\text{Na}^++\text{K}^+$  と  $\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+}$  の関係

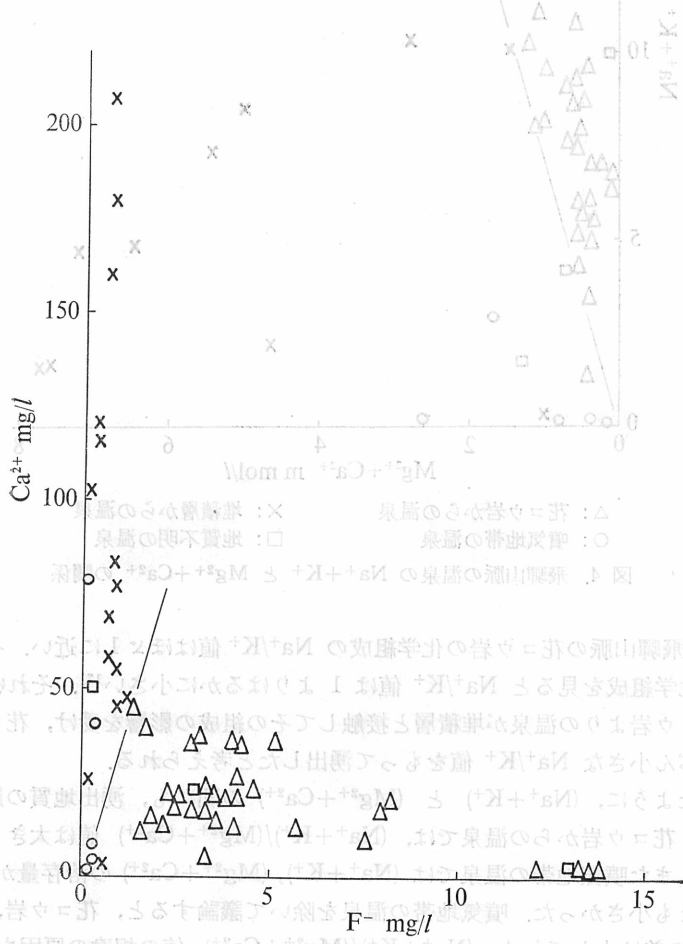
田<sup>6)</sup>によれば、飛驒山脈の花コウ岩の化学組成の  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  値はほぼ 1 に近い。それに対し、一般の堆積岩の化学組成を見ると  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  値は 1 よりはるかに小さい<sup>17)</sup>。それゆえ堆積層からの温泉は、花コウ岩よりの温泉が堆積層と接触してその組成の影響を受け、花コウ岩の温泉にくらべ、いくぶん小さな  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  値をもって湧出したと考えられる。

図 4 に示したように、 $(\text{Na}^++\text{K}^+)$  と  $(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$  の間にも、湧出地質の影響がはっきりと認められる。花コウ岩からの温泉では、 $(\text{Na}^++\text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$  値は大きく、堆積層のものでは小さい。また噴気地帯の温泉では  $(\text{Na}^++\text{K}^+)$ 、 $(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$  の溶容量がともに少なく、その比がもっとも小さかった。噴気地帯の温泉を除いて議論すると、花コウ岩、堆積層からの温泉では pH の差は大してなく、 $(\text{Na}^++\text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$  値の相違の原因を pH に求めることはできない。この原因には二つのことが考えられる。第一は湧出地質の化学組成の違いである。一般に堆積岩の化学組成の変化ははげしく、この場合湧出地点の堆積層の化学分析値が

ないので一概にいえないが、一般的に見れば菅原・半谷の著書<sup>17)</sup>に見られるように  $(Na_2O + K_2O)/(MgO + CaO)$  値は1より小さい。ところが柴田<sup>6)</sup>のまとめた飛驒山脈の花コウ岩の化学組成によれば、その値は分析試料の60%以上が1より大きい。したがって、 $(Na_2O + K_2O)/(MgO + CaO)$  値は花コウ岩からの温泉ではその化学組成を反映して大きく、堆積層からの温泉では花コウ岩からの温泉が堆積層と接触し、その化学組成の影響で小さいと考えられる。

第二に岩石の構成鉱物の違いによる溶出のしやすさの差が考えられる。

ナトリウム・カリウムはともに花コウ岩、堆積岩中で長石にその大部分が含まれる。しかし、マグネシウム、カルシウムについては、花コウ岩では長石がカルシウムの大部分を含み、黒雲母、角閃石がマグネシウムの大部分を含んでいるが、堆積層ではそれらを長石、炭酸塩鉱物が含んでいる。炭酸塩鉱物は石灰岩のカルスト地形にみられるように、雨水や地下水の侵しよくに弱い鉱物である。これらの岩石組織の差が  $(Na^+ + K^+)/(Mg^{2+} + Ca^{2+})$  値の差となってあらわれたと考えられる。以上の二つの原因によって前記の差が生じたのであろう。一方、噴気地



△: 花コウ岩からの温泉      ×: 堆積層からの温泉  
○: 噴気地帯の温泉          □: 地質不明の温泉

図 5. 飛驒山脈の温泉のフッ素とカルシウムの関係

帯の温泉は酸性であり、 $(Na^++K^+)/Mg^{2+}+Ca^{2+}$  値が極度に小さい。これは岩石が短時間で酸によって溶脱されるときは、アルカリ金属よりもアルカリ土類金属の方が溶脱されやすいためではないかと考えられる。

一般に温泉水中に含まれるカルシウム含量はマグネシウム含量よりも大きい。しかし、本報の鍾温泉・蓮華温泉ではカルシウム含量にくらべ、マグネシウム含量が異常に大きい。鍾温泉では近くに蛇紋岩が見られるところからその影響と考えられる。蓮華温泉ではそれも見られず、また湧出口に近いにもかかわらず  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  値の変化が大きい。その原因については今後の研究をまちたい。

図5に示したように、フッ素とカルシウムの間にも湧出地質の影響がはっきりと認められる。花コウ岩からの温泉では、フッ素を 1 ppm 以上、カルシウムを 50 ppm 以下、それ以外の温泉ではフッ素を 1 ppm 以下、カルシウムを大部分が 40 ppm 以上含んでいる。これは明らかにフッ素とカルシウムがおたがいに溶解を抑える働きをしていることを示している。柴田ら<sup>19)</sup>の分析によれば、葛・中房のようなフッ素を多量に含有する温泉の花コウ岩では CaO 含量が 1% 程度であり、他の飛驒山脈の花コウ岩では 3~5% であるのにくらべ、非常に小さい値であった。おそらくこれらの場所では、温泉水にカルシウムがあまり溶け出さず、フッ素を多量に溶存できたのであろう。逆に堆積層よりの温泉はカルシウムを割合多く含有し、それゆえフッ素の溶存が抑えられてしまうのであろう。

図6に示したように、花コウ岩からの温泉ではフッ素と泉温の間に相関関係が認められる。Strübel<sup>19)</sup>は純水中へのフッ化カルシウムの溶解度を測定し、それが 100°C までは温度とともに増加し、100°C 以上になると逆に減少することを見いだした。50°C でフッ素 7 mg/l、80~100°C で 9 mg/l であった。濃い食塩水を用いると純水から多量のフッ化カルシウムが溶解する。また Ellis ら<sup>20)</sup>は無定形シリカを加えると純水中のフッ化カルシウムの溶解度は増す

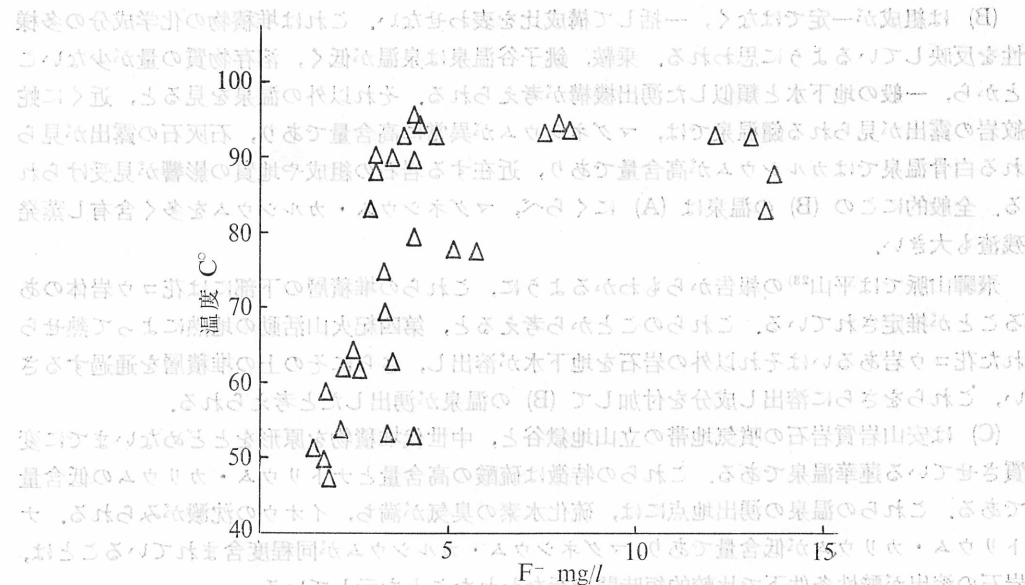


図 6. 花コウ岩からの温泉のフッ素と泉温の関係

ことを見いだした。無定形シリカを飽和させた 100~150°C の水溶液には、フッ素が 12~14 mg/l 溶解する。

飛驒山脈の花コウ岩からの温泉は、無定形シリカを含む希薄な食塩溶液と見なすことができる。したがって温泉水が母岩と接触し、そのカルシウム溶存量に応じて飽和に近い量のフッ素を溶出してきた結果、これらの関係が生じたと考えられる。

### 5.3 溶存成分の起源

溶存成分の起源を考えると二通りが考えられる。(1) マグマからの発散物。(2) 岩石から溶脱されてきたもの。一般に陽イオン成分については(2)が考えられ、陰イオン成分については(1)が考えられている<sup>21)</sup>。

飛驒山脈に湧出する温泉を分類すると、(A) 花コウ岩からの中性・弱アルカリ性の温泉、(B) 中生代・古生代堆積層から湧出する弱酸性・中性・弱アルカリ性の温泉、(C) 噴気地帯から湧出する酸性の温泉の三つに分類できる。

(A) は広範囲に分布していて、その主要成分の構成比が一定している。そして主成分の含有量の順序が  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Cl}^- \geq \text{SiO}_2 > \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} \geq \text{SO}_4^{2-}$  となっている。また  $\text{HCO}_3^-$  の計算値は  $\text{Cl}^-$  と同程度かそれ以下の含量であった。そしてその順序は Ellis ら<sup>20)22)</sup>が行なった Obsidian, Rhyolite, その他の岩石試料を用いての高温高圧下での溶出実験の結果とよく一致する。ただし、ケイ酸については、Ellis らの実験では、過飽和に溶解するため、本報の(A)温泉水の値とは一致しない。また平山<sup>23)</sup>によって報告されたように、飛驒山脈の花コウ岩は風化に弱い。実際に中房温泉の湧出地点で見られるように、花コウ岩は変質し石英粒となっている。またこれらの温泉の溶存成分量は表1の蒸発残渣でわかるとおり、ほとんどが 1g/l 以下であり温泉として含有成分の少ない部類に属する。これらのことから、(A)において溶存成分の大部分が岩石から溶脱されてきたものと考えられる。

(B) は組成が一定ではなく、一括して構成比を表わせない。これは堆積物の化学成分の多様性を反映しているように思われる。乗鞍、銚子谷温泉は泉温が低く、溶存物質の量が少ないことから、一般の地下水と類似した湧出機構が考えられる。それ以外の温泉を見ると、近くに蛇紋岩の露出が見られる鍵温泉では、マグネシウムが異常に高含量であり、石灰石の露出が見られる白骨温泉ではカルシウムが高含量であり、近在する岩石の組成や地質の影響が見受けられる。全般的にこの(B)の温泉は(A)にくらべ、マグネシウム・カルシウムを多く含有し蒸発残渣も大きい。

飛驒山脈では平山<sup>23)</sup>の報告からもわかるように、これらの堆積層の下部には花コウ岩体のあることが推定されている。これらのことから考えると、第四紀火山活動の地熱によって熱せられた花コウ岩あるいはそれ以外の岩石を地下水が溶出し、さらにその上の堆積層を通過するさい、これらをさらに溶出し成分を付加して(B)の温泉が湧出したと考えられる。

(C) は安山岩質岩石の噴気地帯の立山地獄谷と、中世代堆積物を原形をとどめないまでに変質させている蓮華温泉である。これらの特徴は硫酸の高含量とナトリウム・カリウムの低含量である。これらの温泉の湧出地点には、硫化水素の臭気が満ち、イオウの沈澱がみられる。ナトリウム・カリウムが低含量であり、マグネシウム・カルシウムが同程度含まれていることは、岩石の溶出が酸性条件下で比較的短時間で行なわれたことを示している。

これらの温泉は硫化水素を含んだ水蒸気が地表付近で酸化され、まわりの岩石を溶出して湧

出してくるものと考えられる。

塩素については、噴気からのものと、岩石から溶脱されてくるものと二通り考えられる。蓮華温泉では塩素がほとんどコン跡量であり、噴気からとは考えにくい。しかし、立山地獄谷の温泉では微量のものと多量に含むものがあり、もっと詳細に調査してみなければわからない。

## 6. 結 論

飛驒山脈において、花コウ岩から湧出する温泉 32 試料、堆積層からの温泉 16 試料、噴気地帯からの温泉 6 試料および地質不明のもの 3 試料を採取し、それらの主要化学成分を分析し、その湧出地帯の地質との関係を調べた。その結果以下のことが判明した。

(1) 飛驒山脈に湧出する温泉は、ナトリウムとカリウム、 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  と  $(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$ 、フッ素とカルシウムの関係において、その湧出地質を明確に反映した比率をもって湧出する。すなわち  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  値および  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$  値は、花コウ岩からの温泉 > 堆積層からの温泉 > 噴気地帯の温泉の順序であった。

フッ素とカルシウムの間には、たがいに溶存を抑制する関係がみられ、花コウ岩からの温泉ではフッ素が多く、カルシウムが少なく、逆に堆積層、噴気地帯の温泉ではフッ素が少なく、カルシウムが多い。

(2) 花コウ岩からの温泉は、主要成分の組成比率がきわめて似た値を示した。その組成比率の順序は、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Cl}^- \geq \text{SiO}_2 > \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} \geq \text{SO}_4^{2-}$  であった。 $\text{HCO}_3^-$  は計算により推定したが  $\text{Cl}^-$  と同程度かやや少ない値である。

(3) 花コウ岩からの温泉は、それらの広範囲にわたる分布、その主要成分組成の一定性、溶存成分量の少なさなどより、第四紀火山活動により熱せられた花コウ岩を地下水が溶脱して湧出すると推定される。

(4) 堆積層からの温泉は、堆積層の下にある花コウ岩体からの温泉に由来すると考えられる。その温泉水は堆積層を通過するさい、カリウム、マグネシウム、カルシウムを付加される。

(5) 噴気地帯の温泉は酸性であり、硫酸の高含量、アルカリ金属、アルカリ土類金属の低含量が特徴的であった。それらの温泉は硫化水素ガスを含む水蒸気が地表付近で酸化され、比較的短時間で岩石を溶出して湧出したと考えられる。

最後に、試料採集に協力して下さった高野穆一郎氏、試料採集と分析に協力して下さった千代田恒之氏、分析データの整理に協力して下さった伊藤安治氏に感謝いたします。

## 文 献

- 1) 中村久由：“日本の温泉”実業公報社 (1964) p. 82.
- 2) 柴田秀賢：“日本岩石誌 III”朝倉書店 (1968) p. 286.
- 3) 室井渡，小幡利勝：“温泉の開発と設計”地人書館 (1969) p. 37.
- 4) 柴田秀賢：東教大地鉱教室研報 3 号，205 (1954).
- 5) 小林国夫：“日本アルプスの自然”築地書館 (1955) p. 62.
- 6) 柴田秀賢：“日本岩石誌 II”朝倉書店 (1967) p. 171.
- 7) 日本分析化学会北海道支部編：“解説水の分析”化学同人 (1966) p. 153~205.
- 8) 中村喜一，坂田朗，国分信英：温泉科学 22, 1 (1971).
- 9) 日本工業標準調査会：“工業用水試験方法”日本規格協会 (1970) p. 90.
- 10) M. S. Frant and J. W. Ross: Anal. Chem., 40, 1169 (1968).

- 11) R. Greenhalgh and J. P. Riley: Anal. Chim. Acta, **25**, 179 (1961).
- 12) 半谷高久: “水質調査法” 丸善 (1960) p. 229.
- 13) 高津寿雄, 須賀正夫: 日化, **76**, 957 (1954).
- 14) D. E. White: Bull. Geol. Soc. Amer., **68**, 1637 (1957).
- 15) M. Yamazaki, et al.: Sci. Rep. Kanazawa Univ., **11**, 89 (1966).
- 16) P. M. Orville: Amer. J. Sci., **261**, 201 (1963).
- 17) 菅原健, 半谷高久: “地球化学入門” 丸善 (1964) p. 85.
- 18) H. Shibata, et al.: Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Ser. C., **3**, 22, 141 (1954).
- 19) G. Strübel: Neues. Jahrb. Mineral., **3**, 83 (1965).
- 20) A. J. Ellis, W. A. J. Mahon: Geochim. Cosmochim. Acta, **28**, 1323 (1964).
- 21) エヌ・エム・ストラーホフ著, 平山次郎ら訳: “堆積岩の生成 II” ラティス (1968) p. 27.
- 22) A. J. Ellis, W. A. J. Mahon: Geochim. Cosmochim. Acta, **31**, 519 (1967).
- 23) 平山健: 地質調査月報, **6**, 11 (1944).

播 文

- 1) 中村喜一: “日本の温泉” 実業公報社 (1964) p. 82.
- 2) 坂田朗: “日本岩性誌 III” 朝倉書店 (1968) p. 286.
- 3) 坂田朗, 小幡純晴: “温泉の発生と設計” 地人書館 (1969) p. 37.
- 4) 坂田朗: 東洋地質学雑誌 **3** 号, 305 (1954).
- 5) 小林昭夫: “日本メタモルフィズムの自然” 地質書館 (1952) p. 62.
- 6) 坂田朗: “日本岩性誌 II” 朝倉書店 (1967) p. 171.
- 7) 日本分枝学会地質学支会編: “温泉水の分析” 化学同人 (1966) p. 123~152.
- 8) 中村喜一, 坂田朗, 国分信英: 地質学雑誌 **22**, 1 (1971).
- 9) 日本工業標準調査会: “工業用水試験方法” 日本規格協会 (1970) p. 90.
- 10) M. S. Prant and J. W. Rose: Anal. Chem., **40**, 1169 (1968).