

昭和 46 年 6 月

原 著

八ヶ岳周辺の温泉の化学的研究

電気通信大学化学教室 中 村 喜 一・坂 田 朗・国 分 信 英
(昭和 45 年 10 月 8 日受理)

Chemical Investigation of Hot Springs in Mt. Yatugadake Region

Kiichi NAKAMURA, Akira SAKATA and Nobuhide KOKUBU
Laboratory of Chemistry, The University of Electro-Communications

Mt. Yatugadake rising in the boundary between Yamanashi and Nagano prefectures, consists of Mt. Gongendake, Mt. Akadake, Mt. Iwodake, Mt. Yokodake, Mt. Tatesina, and so on, forming a chain of mountains from north to south. It is about 30 km in length from north to south and about 15 km in width from east to west. Among them Mt. Iwodake has fumaroles near the top. There are many hot springs on the slopes of east and west sides of Mt. Yatugadake. Most springs in this region are low in temperature and evaporated residue, and are neutral or acid.

From a geological point of view, they are classified into two groups. One is springs located on the top of mountain and mountainside that are covered with volcanic ejecta and mud. Another is springs on the sedimentary deposit. The latter group scarcely contains SO_4^{2-} but relatively rich in evaporated residue. Honzawa Hot Spring near the fumarole of Mt. Iwodake is rich in SO_4^{2-} content and low in Cl^- content and is characterized by its high evaporated residue and high temperature. Some regularities exist between the character of a spring and its distance from the top of the mountain. Aparting from the top the amount of SO_4^{2-} decreases whereas Na^+ and Cl^- contents increase gradually. It seems that SO_4^{2-} in the hot springs is supplied from fumarolic gases and Na^+ , Cl^- , SiO_2 and other cations are considered to have their origin in the surrounding rocks through which water ascends.

1. 緒 言

ここでいう八ヶ岳とは、いわゆる八ヶ岳連峰のことであって、南の編笠山から始まり、北へ、権現岳、阿弥陀岳、赤岳、横岳、硫黄岳と連らなっている八ヶ岳本峰と、夏沢峠以北の根石岳、天狗岳、横岳、蓼科山を含む北八ヶ岳から成り、裾野を含めると南北約 30 km の長さを持ち、山梨県と長野県にまたがっている。その東西の両斜面には温泉が湧出している。東側に湧出するものとしては、本沢温泉、稲子湯、鹿の湯、海の口、小海温泉の諸温泉があり、西側には、

夏沢鉱泉, 赤岳鉱泉, 八岳鉱泉, 河原湯, 渋の湯, 渋川温泉, 明治湯, 横谷鉱泉, 滝の湯, 小斉湯などの温泉が見出される。これらのうち西側斜面の蓼科温泉については, 野口⁽¹⁾により報告がなされている。また, 半谷ら⁽²⁾⁽³⁾によって八ヶ岳山麓の酸性陸水について, 報告がなされている。筆者らは八ヶ岳を中心とした温泉全体について調査を行った。ここでは 1967 年に行った調査の結果について報告する。

2. 温泉の分布・位置と地質⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

八ヶ岳は第三紀の終り又は第四紀の始め頃に爆発したと考えられる火山で, 全山火山噴出物におおわれている。その基盤は, 千曲川右岸に広く分布する古生層で, 粘板岩, 砂岩, 輝緑凝灰岩および石灰岩からできている。八ヶ岳火山群の初期噴出岩類としては, 基盤の古生層を直接おおい, 八ヶ岳の最下部に広く分布する火山碎屑岩層および火山の中央部に分布する含カンラン石複輝石安山岩熔岩, 岩屑等の膠結物がある。これらの外に初期噴出物の多量の泥流がある。これは裾野の末端に達し南部では釜無川沿岸に露出する七里岩の絶壁をつくっている。全山を通じて, 泥流は熔岩塊, 岩片, 砂礫の下に深く埋もれ山中では姿を容易に表わさない。上部を被っている熔岩塊, 岩片, 砂礫は透水性に富み, 泥流層又は熔岩床に近い部分でないと容易に湧水を見られない。南部では上部の火山碎屑岩堆積層が厚いため湧水はあまり見られない。これら初期噴出物の上に, 火山の裾野には後期噴出岩類のうちの流紋岩質碎屑岩が分布し, 中央部では角閃石安山岩熔岩が分布している。この安山岩熔岩は上部になるに従って角閃石を多く含有している。また硫黄岳頂上付近には複輝石安山岩熔岩が分布している。図1の八ヶ岳の概念図に温泉の位置(試料採集地点)を図示した。夏沢鉱泉(標高 2200 m) 赤岳鉱泉(2120 m) 本沢温泉(2100 m) は, 山体の上部に位置し, とくに本沢温泉は硫黄岳の爆裂火口のふちにあり, 今も硫気孔があり, 火山活動の影響を受けている。この温泉は硫酸酸性で温泉水は東方斜面に流れ, 湯川となって千曲川に注いでいる。稲子湯(1480 m) は, やはり東方斜面に位置し, 大月川に沿い大月川泥流に湧出する酸性の鉱泉である。付近には硫黄採掘の旧坑がある。西側斜面には, 渋川添いに上流から渋の湯, 辰野館, 渋川温泉, 明治湯, 横谷鉱泉の諸温泉があり, 更に湯川添いに親湯, 滝の湯, 小斉湯の温泉がある。付近には褐鉄鉱の鉱床があり採鉱している。鹿の湯, 海の口, 小海温泉は, 千曲川沿いの第四紀沖積層に湧出し, 古生層をおおった安山岩熔岩を下部としている。

3. 分 析 法

分析は次に記す方法で行った。Na⁺, K⁺ 両イオンは炎光法。Mg²⁺ は原子吸光法⁽⁶⁾。Ca²⁺ は EDTA 法。Fe²⁺ 及び Fe³⁺ は 0-フェナントロリンによる比色法。Al³⁺ はオキシニークロロホルムによる抽出比色法⁽⁷⁾。Mn²⁺ は KIO₄ を使う比色法。F⁻ は水蒸気蒸留による分離後, アリザリンコンプレクソンを用いた比色法。Cl⁻ は Mohr 法, 含有量の少ない試料はチオシアン酸水銀法⁽⁸⁾。SO₄²⁻ はゼラチン-BaCl₂ を用いる比濁法。SiO₂ は, モリブデン酸アンモニウムを用いる比色法。

4. 分析結果および考察

分析の結果を表1にかかげる。温泉の主要成分である Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻,

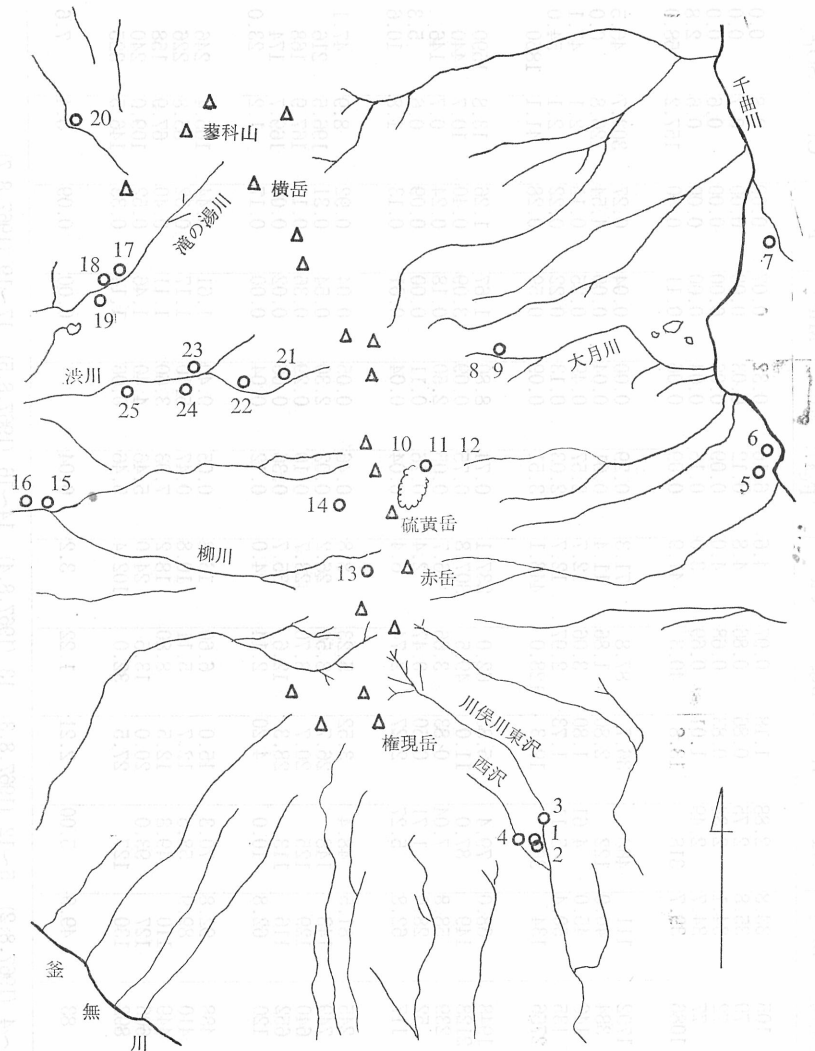


図1 八ヶ岳概念図(試料採集地点)

○: 試料採集地点(試料名は表1参照)

SiO_2 のモル数の合計を 100 とし、各々の成分の割合を求めたのが、図2及び図3である。図3は縦軸に温泉の位置を標高でとり、横軸にモル数をとったものである。図3には主な温泉のみを示した。

表1からわかるように、本沢温泉の 52°C を最高にして、他の温泉はそれ以下である。pHは鹿の湯、海の名温泉をのぞくと酸性である。比較的温度が高く、火山活動の名残がある本沢温泉、及び沖積層に湧く鹿の湯、海の名温泉以外は蒸発残渣は 1000 mg/l 以下である。温度が低く、蒸発残渣量が少いことから、八ヶ岳周辺の温泉は熱源が深く、温泉活動は活発でないことがわかる。

川俣川東沢、西沢、桐朋学園湧水、千代田山荘山水は参考のために採取したものである。こ

表 1. 八ヶ岳周辺の温泉の化学分析

No.	試料	水温(気温) °C	pH	蒸発残渣	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺ + Fe ³⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	桐朋学園湧水A	15.0(26.5)	5.2 (BCG)	105	33.8	2.88	1.18	0.97	4.6	6.16	0.32	0.07	0.09	0.8	0.0
2	" "	10.5(26.5)	5.0 (")	79	35.8	2.75	0.86	0.86	4.8	0.12	0.03	0.00	0.00	0.7	0.0
3	川俣川	12.7(23.0)	5.0 (")	72	34.1	2.34	0.83	0.68	4.0	0.09	0.06	0.00	0.00	0.6	0.0
4	川俣川	13.5(22.5)	5.2 (")	77	34.7	2.49	1.01	0.69	3.0	0.15	0.04	0.00	0.00	0.6	2.8
5	鹿の湯	14.8(24.5)	7.8 (BTB)	1086	39.7	318	13.8	40.3	41.9	0.09	0.06	0.11	0.40	157.2	58.0
6	海の口温泉	34.0(29.0)	8.4 (CR)	1792	111	468	36.7	87.8	71.3	0.29	0.00	0.04	0.27	303.7	46.5
7	小瀬温泉A	18.5(28.5)	6.8 (BTB)	384	40.0	122	2.80	1.86	11.4	0.01	0.04	0.00	4.54	126.8	0.0
8	稲穂温泉A	8.0(25.0)	5.0 (BCG)	146	45.0	4.61	1.80	3.06	12.7	2.57	0.49	0.25	0.15	2.1	47.1
9	本沢温泉B	8.5(25.0)	5.0 (")	135	50.4	5.11	1.73	2.97	12.7	2.03	0.13	0.22	0.22	2.1	54.0
10	本沢温泉A	52.0(22.0)	6.3	2756	134	365	19.3	128.0	448.1	3.51	0.09	0.59	0.23	41.1	1850
11	本沢温泉B	48.3	3.1	1948	68.0	79.4	5.83	62.0	237.1	0.74	8.80	1.67	1.26	13.8	1590
12	本沢温泉C	33.6	5.85	2128	149	87.0	11.0	49.5	307.8	0.75	0.09	3.09	0.40	10.7	1440
13	赤岳温泉	9.5(23.0)	3.6	239	58.8	7.04	0.83	3.66	26.7	0.05	2.50	0.18	0.24	0.7	146
14	夏岳温泉	4.2(24.5)	6.4	52	28.0	1.71	0.50	0.47	2.4	0.16	0.11	0.00	0.09	0.6	5.3
15	八ヶ岳温泉	16.0	7.0	117	62.8	5.27	2.27	2.74	6.4	0.04	0.04	0.01	0.13	1.8	10.6
16	河原温泉	26.5(31.3)	6.5	245	81.5	48.4	3.52	5.23	8.8	0.46	0.05	0.04	0.92	8.9	47.1
17	親瀬温泉	34.0(24.5)	4.8 (BCG)	749	148	148	26.7	8.50	26.2	0.02	2.30	0.54	0.31	196.5	216
18	滝ヶ原温泉	28.5(25.5)	5.8 (MR)	640	129	125	20.7	8.70	23.7	0.10	0.29	0.36	0.17	167.9	168
19	小樽温泉	24.0(26.0)	5.6 (")	652	116	113	28.3	12.6	35.7	0.36	0.06	0.02	0.07	169.7	174
20	ヶ原温泉	17.0(22.0)	5.6 (")	120	62.8	10.0	4.20	2.14	4.0	0.12	0.04	0.00	0.17	1.2	23.0
21	洪野温泉	24.0(20.0)	2.8 (TB)	488	92.8	70.3	15.0	6.60	16.8	0.05	9.40	1.61	0.44	105.4	246
22	沢野温泉	19.5(23.0)	3.8 (BPB)	410	89.9	58.6	12.7	5.11	10.8	0.47	5.10	1.17	0.32	85.8	226
23	明川温泉	19.5(25.0)	4.6 (BCG)	449	110	49.8	12.5	8.80	18.2	7.93	3.60	1.11	0.40	67.9	158
24	横谷温泉	25.2(19.0)	4.6 (")	606	127	93.0	20.0	13.5	24.0	5.46	4.40	1.46	0.52	109.0	240
25	横谷温泉	18.5(21.0)	5.6 (MR)	892	130	127	27.5	32.0	102.4	5.46	0.06	1.14	0.33	146.5	325
26	千代田山荘山水	9.5(23.0)	5.8 (")	83	49.9	5.00	2.21	1.22	3.2	0.04	0.00	0.00	0.09	5.4	7.6

備考 (1) 試料採水年月日 試料番号 1~4 (1967.8.2) 5~12 (1967.8.3) 13 (1967.8.4) 14~16 (1967.8.5) 17~19 (1967.8.7)

20, 23 (1967.8.8) 21, 22, 24~26 (1967.8.9)

(2) 試料の説明 明 川俣温泉 No. 1 川俣温泉 No. 2 飲料水 No. 8 洞内 No. 9 洞の上部 No. 10 小屋脇 (ボロソング)

No. 11 上流露天風呂 No. 12 露天風呂の上部

(3) 温度, pH 以外の数字の単位は mg/l (4) pH: カッコ内は用いた試験紙, カッコのないものは pH メーター使用

のうち千代田山荘山水は西側斜面の地表水であるが、それ以外は東側斜面の河川水及び湧水である。桐朋学園湧水 A は鉄の含有量が多く、他のものにくらべてアルミニウム、マンガンも多く特殊な環境が考えられるが、これ以外は温泉等の影響を受けていないもので、八ヶ岳周辺の普通の地表水又は地下水と考えるとよいと思う。図 2 にはこのうち川俣川西沢、千代田山荘山水を示した。この 2 つは主要成分の割合がよく一致している。これらは蒸発残渣量が約 70~80 mg/l であり、 SiO_2 が溶存成分の約 50~70% を占めている。

本沢温泉は先にも述べた様に標高 2100 m の硫黄岳の爆裂火口のふちにあり、今も硫気孔がある。更に付近には単体イオウや硫化物があり、これらは硫気作用による熔岩の変質が広範囲に行なわれた結果出来たものとされている。ここで 3 点採取したが、A はボーリングしたもので成分に他との差異が若干認められるが、B, C はほぼ同じものと考えられる。 SO_4^{2-} の含有量が非常に高く、他成分に対する割合は約 50% に達している。これは硫化物の酸化及び H_2S , SO_2 ガスの酸化によるものと思われる。⁽⁹⁾ これらの温泉は比較的温度が高く、かつ酸性であり、 SiO_2 の他の成分に対する割合は 10% 以下である。また Cl^- が少ないが、これは火山活動の名残りのある火山の頂上の温泉の特徴であるように思われる。^{(10) (11)}

渋川添いの 5 点 (上流から渋の湯 1880 m, 辰野館, 渋川, 明治, 横谷 1300 m) 及び滝の湯川添いの 3 点 (親湯, 滝の湯, 小斎湯約 1400 m) は各成分の割合及び含有量がほぼ等しく、また距離的にも互いに接近していることから、全く同一の機構によって湧出しているものと考えられる。即ちこれらの温泉は、 $18.5^\circ\text{C}\sim 34.0^\circ\text{C}$ の低温であり、蒸発残渣量 (410~892 mg/l) も比較的少ない事などから地下水が岩石と接触しながら Na^+ , Cl^- の様な比較的溶出しやすい

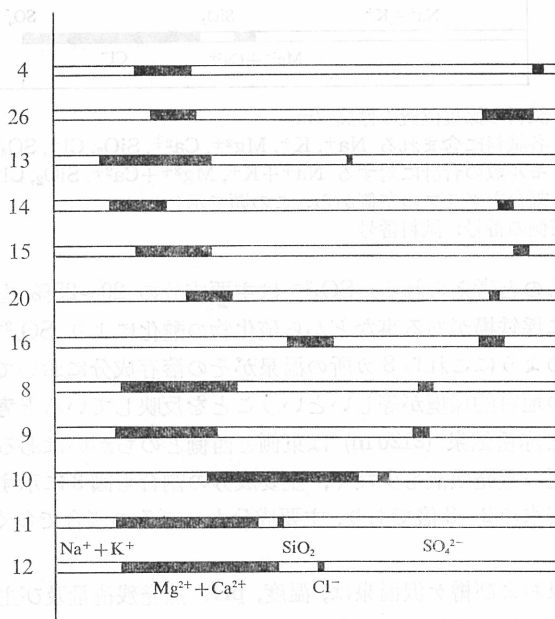


図 2 縦軸: 試料番号 (試料名は表 1 参照)

横軸: 各試料に含まれる Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} の各々のモル数の合計に対する $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$, SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} の割合を、グラフの左側からこの順で示した。

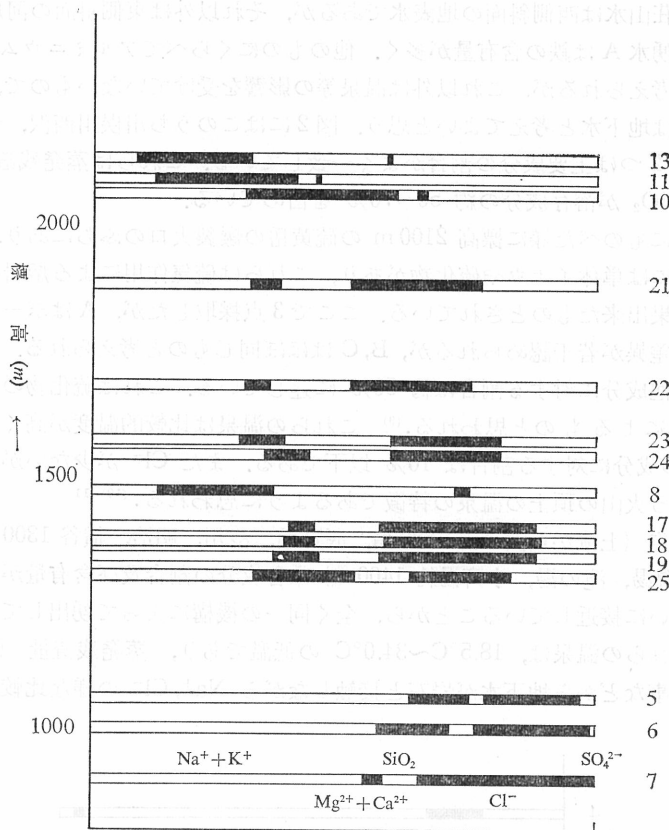


図3 縦軸: 試料の採集位置の標高 (m)

横軸: 各試料に含まれる Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} の各々のモル数の合計に対する Na^+ + K^+ , Mg^{2+} + Ca^{2+} , SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} の割合をグラフの左側から、この順で示した。

表の右側の番号: 試料番号

成分を溶出してくるものと考えられる。 SO_4^{2-} は主要成分の 20~25% を占めて温泉は酸性を呈すが、これは附近に採鉄場がある事などから硫化物の酸化により SO_4^{2-} となって溶け出てくるものであろう。このようにこれら 8 カ所の温泉がその溶存成分においてほぼ同一の性質を示すのは、湧出地点での地質的環境が等しいということを反映していると考えられる。

稲子湯 (1480 m) と赤岳鉱泉 (2120 m) は東側と西側とのちがいはあるが、どちらも低温で酸性の温泉である。更に蒸発残渣も少なく、主要成分の割合も図3に示す通りよく一致している。蒸発残渣量は地表水の 2~3 倍であり、主要成分もほぼその割合で多くなっているが SO_4^{2-} の割合が高い。

夏沢鉱泉、八岳鉱泉および樽ヶ沢温泉は、温度、pH、蒸発残渣量及び主要成分の割合などから地表水そのものか、またはそれに近いものと考えられる。

鹿の湯、海の口温泉、小海温泉の 3 つは低地の沖積層に湧出する温泉であって、 Na^+ + K^+ , Cl^- の含有量が高く、pH は中性からアルカリ性であり、蒸発残渣量が比較的高い。特に Na^+ , Cl^- の占める割合が高い。その反面 SO_4^{2-} の含有量は極めて小さい。これらは堆積層地帯に

湧く温泉の特徴であろう。

図3は主な温泉を温泉の湧出位置の高度順に並べたものである。赤岳鉱泉、稲子湯の様に低温の温泉をのぞくと大体の傾向がわかる。即ち上部の温泉では SO_4^{2-} 含有量が高いが、下部のものでは少ない。その反対に Cl^- は上部では極めて微量であるが下部になるに従って、他成分に対する割合が増大している。同様に $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ も上部ではその占める割合が小さいが下部では大である。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 及び SiO_2 はあまり大きく変動しないが、 SiO_2 は、蒸発残渣量の大きいものでは、その占める割合が小さくなる傾向がある。

八ヶ岳のように大きな山体においては、局部的には、地質学的、鉱物学的に同一であるとはもちろん考えられないが、大まかに見た場合、基盤が古生層であり、その上を成分的にはそれ程ちがわない火山噴出物が、おおっていると考えるとよいと思う。このように考えた時、山体の上部から下部へ向っての、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 及び Cl^- の増加は渋川および滝の湯川添いの温泉についてのべた様に、水と岩石との接触によって溶かし出された成分であると考えられる。また SO_4^{2-} は、これらとは逆の傾向が見られたが、これは SO_4^{2-} の供給が山体の上部の噴気孔によって行なわれると考えられる。これは当然 H_2S や SO_2 の様なガスの形で供給されたものと考えられる。稲子湯は近くに噴気孔はなく、更に低温 (8°C) であるが SO_4^{2-} の割合が高い。これは附近に硫黄採掘のあとがあり硫化物の酸化によるものと考えられる。

SiO_2 は岩石から溶かし出されてくる成分であると考えられる。八ヶ岳周辺の河川水等の主要成分中に占める SiO_2 の割合は 50~70% であり、本沢温泉では 10% 以下であった。しかしその含有量においては、河川水等で 30~50 mg/l、最高が本沢温泉で 149 mg/l であり、量的にはそれ程差異はない。これらのことから、主要成分における SiO_2 の占める割合は、一応温泉水と岩石との接触及び溶脱のめやすになるものと考えられる。

主要成分以外の Fe, Al, Mn, F の分析値を表1に示した。Fe, Al についてはその溶存量は pH に依存している⁽¹²⁾。Fe については渋川温泉 (pH 4.6) の 7.93 mg/l、Al については渋の湯 (pH 2.8) の 9.40 mg/l が最高である。Mn は本沢温泉 C の 3.09 mg/l が最高で、それ以外に渋川添いの5つの温泉が比較的高い値を示した。F は小海温泉が 4.54 mg/l であり、他の温泉にくらべて異常に高い値を示しているが、他はいずれもその含有量は低い。

5. 結 論

1. 八ヶ岳周辺の温泉は、低温で蒸発残渣量は少なく、中性から酸性のものが大部分である。
2. 温泉をその湧出地点での地質によって分類すると、2つに分けられる。第1は山体の上部及び中腹部の火山噴出岩及び噴出物地域に湧出するものである。第2のものは沖積層に湧出するものである。
3. 本沢温泉は硫黄岳の爆裂火口のふちにあり、高温で蒸発残渣量も多く、また SO_4^{2-} 含有量が非常に高い。しかし Cl^- は極めて少量しか含まれていない。
4. 渋川添いの5つの温泉及び滝の湯川添いの3つの温泉は、互いに近接した位置にあり、地質的にも類似していると考えられるが、温泉の溶存成分含有量、温度、pH 及び主要成分の割合が極めて類似している。
5. 夏沢鉱泉、八岳鉱泉、樽ヶ沢温泉、赤岳鉱泉、稲子湯は溶存成分量が極めて少なく、温

度も低く、また主要成分の割合の類似性等から、地表水又は地下水に近いものである。これらは SiO_2 が主要成分の大きな部分を占めている。

6. 鹿の湯、海の間温泉、小海温泉の沖積層に湧く温泉は、小海温泉以外は pH が高く、蒸発残渣も 1000 mg/l 以上である。更に Na^+ 、 Cl^- の占める割合が高く、 SO_4^{2-} の占める割合が小さい。

7. 主要成分における各成分の割合は、頂上付近の温泉から下部のものになるに従って、 Na^+ + K^+ 及び Cl^- は増加し、 SO_4^{2-} は減少している。

最後に試料採取に協力された千代田恒之・丸山淑昭・陳宗揚各氏に厚く御礼申し上げます。
(1968年3月 日本化学会 第21年会講演)

文 献

- 1) 野口喜三雄: 温泉科学 **11**, 1—11 (1960)
- 2) 半谷高久・杉村行勇: 日化 **78**, 1307—1316 (1957)
- 3) 半谷高久・杉村行勇: 日化 **79**, 793—801 (1958)
- 4) 石塚末吉編 山梨県地質図説明書 山梨県治山協会, 昭和 31 年
- 5) 柴田秀賢編 日本岩石誌 III 朝倉書店 1968
- 6) T.V. Ramakrishna, J.W. Robinson, Philip W. West: Anal. Chim. Acta **36**, 57—64 (1966)
- 7) 本島健次・橋谷博: 分析化学 **6**, 642—646 (1957)
- 8) Iwaji Iwasaki, Satori Utsumi, Ken Hagino, Takejiro Ozawa: Bull. Chem. Soc. Japan **29**, 860—864 (1956)
- 9) 岩崎岩次: 温泉科学 **14**, 27—37 (1963)
- 10) 坂田・中村・国分: 日本化学会 第21年会 (1968) 飛驒山脈の温泉
- 11) 坂田・中村・山下・千代田・国分: 日本化学会 第22年会 (1969) 磐梯山・吾妻山・安達太良山周辺の温泉
- 12) 坂田・中村・国分: 地球化学討論会 飛驒山脈および八ヶ岳周辺の温泉—鉄・アルミニウム・マンガン含有量 (1968)