

山梨県石和温泉の化学成分の変動

相川嘉正*, 下平京子*, 今橋正征*, 高松信樹*

加藤尚之*, 塚本邦子*, 秋山悌四郎**

* 東邦大学化学教室, ** 前山梨県立女子短大

(昭和57年7月24日受付, 8月28日受理)

The changes in content of some chemical components of Isawa hot springs, Yamanashi prefecture, Japan

Kasho AIKAWA*, Kyoko SHIMODAIRA*, Masayuki IMAHASHI*, Nobuki
TAKAMATSU*, Naoyuki KATO*, Kuniko Tsukamoto*, Teishiro AKIYAMA**

* Department of chemistry, Toho University

** Yamanashi prefectural Women's College

Abstract

The chemical compositions and temperatures of 41 water samples collected from Isawa and Kasugai hot springs in Yamanashi prefecture were determined in order to compare with the results reported previously and to investigate the changes of the properties of the waters from the time of boring (1956-1963) to the present. The lowering of temperature, the decrease of chloride ion contents and the increase of alkalinity of the waters were recognized in some degree as compared with the analytical results observed in 1970.

These waters have relatively changed from the NaCl-type to the NaHCO₃-type of alkaline spring waters. This change seems to be caused by the dilution with the ground waters introduced after the flowing out of the NaCl-type waters (remained) by the boring. As the Isawa and Kasugai districts are situated with in the reach of granitic areas, the waters in the districts are considered to be influenced by the NaHCO₃-type waters originated from the interaction of waters with granitic rocks in the areas.

1. はじめに

石和温泉に関してはいくつかの報告¹⁾⁻⁵⁾があるが、それらによれば、石和温泉はNaCl型の温泉水とNaHCO₃型やCaHCO₃型の冷地下水などの混合と考えられている。多くの掘削が行われた1962~1963年頃から、湧出量の減少、泉温の低下が起り、それに伴いNa⁺, Cl⁻などの溶存成分の含量が減少し始め、掘削当時NaCl型の泉質であった温泉水が、おもにNaHCO₃型の泉質になりつつあることが知られている。

上記の報告は、掘削時の1960年代前半から1970年頃のものであるが、1980年に石和温泉の分析を行なった所、1970年頃に比較し、一部の成分についてその含量の減少が認められた。そこで現在までの化学成分および泉温等の経年変化を、秋山が報告²⁾した掘削当時(1956~1963年)および1970年の分析値と、我々が1980, 81年に分析した値をもとに調べるとともに、現在の石和温泉の泉質について検討を行なった。また石和温泉に隣接している春日居温泉も合わせて検討を行な

った。

山梨県山梨市温泉の化学的変遷

2. 試料および分析法

1980, 1981年に石和および春日居温泉の41源泉の試料を採取分析した。採水場所は図1に示す。秋山²⁾、佐藤ら⁴⁾、杉原ら⁵⁾によると、試料番号28, 29, 30, 33, 34, および38の温泉水は、基盤岩である安山岩中から湧出しており、他は沖積層中から湧出している。

泉温, pH, アルカリ度 (BCG, pH 4.3アルカリ度) および遊離炭酸の測定は現地で行い、他は研究室へもち帰り下記の方法で分析を行なった。分析結果を表1に示す。

- Na⁺, K⁺ : 原子吸光法
- Ca²⁺, Mg²⁺ : 原子吸光法, EDTA 滴定法
- Cl⁻ : 沈殿滴定法(モール法), イオンクロマトグラフ法
- SO₄²⁻ : イオンクロマトグラフ法, 塩化バリウム比濁法
- F⁻ : イオンクロマトグラフ法
- SiO₂ : モリブデンブルー比色法
- Fe : オルトフェナントロリン比色法
- NH₄-N : ネスラー比色法
- NO₂-N : グリースロミン比色法
- NO₃-N : グリースロミン比色法
- HBO₂ : マンニット滴定法

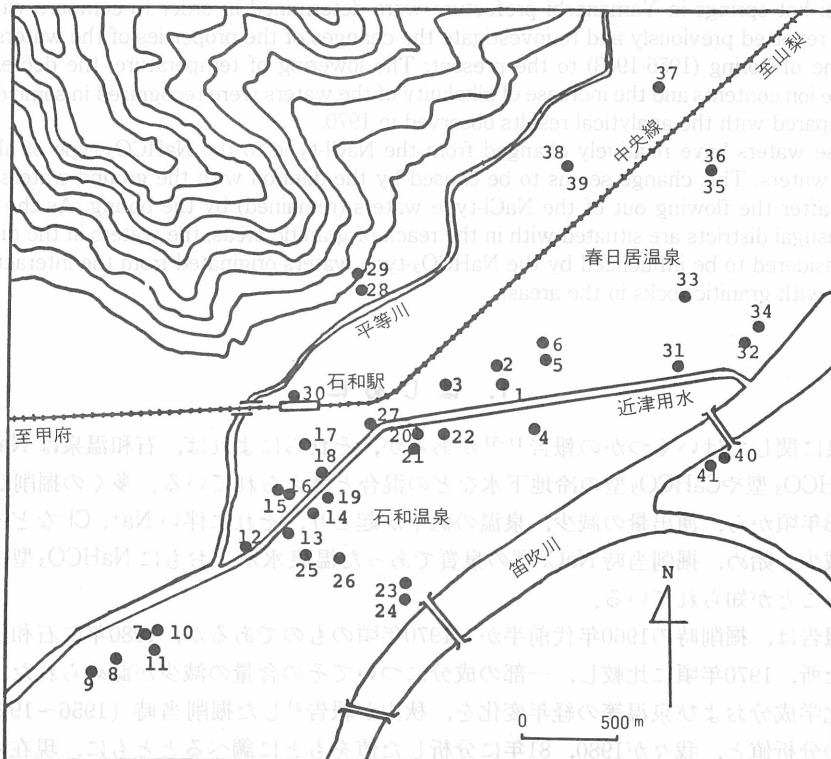


図1 試料採水場所

表1 分析結果

試料番号	採水年月	泉温(℃)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₂	遊離CO ₂	F	SiO ₂	蒸発残渣	KMnO ₄ 消費量	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	H ₂ S	Fe	HBO ₂
1	1980.3	41.0	9.7	52.0	0.64	2.08	0.08	22.4	12.7	57	16	0.0	1.35	30.56	169.6	0.00	0.129	0.000	0.000	0.0	0.0	4.5
2	1980.3	53.6	8.8	127	1.78	14.0	1.02	134	66.8	56	2.3	0.0	2.07	41.60	425.6	1.22	0.000	0.035	1.446	0.0	0.0	10.1
3	1980.3	44.9	9.1	110	1.95	7.82	0.03	108	55.2	59	4.4	0.0	1.39	51.35	369.6	0.61	0.139	0.000	0.002	0.0	0.0	5.6
4	1980.3	33.7	9.4	45.5	0.62	3.45	0.01	22	12.6	64	8.4	0.0	0.79	27.20	152.8	0.00	0.000	0.000	0.009	0.0	0.0	3.4
5	1980.3	66.5	8.8	126	2.11	11.6	0.05	128	61.2	65	3.1	0.0	1.88	42.48	412.0	0.61	0.277	0.000	0.004	0.0	0.0	8.4
6	1980.3	62.0	9.1	132	2.29	10.1	0.03	142	68.6	52	4.6	0.0	1.85	53.44	443.2	0.55	0.186	0.000	0.000	0.0	0.0	8.4
7	1980.3	46.0	8.4	80.8	1.24	6.03	0.60	76.8	30.4	74	1.1	0.0	1.77	37.92	270.4	0.40	0.362	0.007	0.150	0.0	0.0	2.8
8	1980.3	41.2	7.6	77.8	4.99	4.60	2.08	84	29.2	75	0.2	2.5	1.24	84.48	334.0	3.65	1.012	0.000	0.001	0.0	0.0	2.8
9	1980.3	38.1	7.3	110	9.51	8.46	4.14	138	44.4	71	0.1	6.5	0.29	107.2	445.2	3.95	1.720	0.001	0.000	0.0	0.0	0.0
10	1980.3	41.4	7.5	97.7	7.58	6.10	3.25	110	34.4	82	0.2	5.0	0.26	102.7	390.4	4.56	1.672	0.001	0.000	0.0	0.4	0.0
11	1980.3	36.8	8.2	36.6	1.96	1.73	0.11	14	11.7	71	0.6	0.0	0.46	94.24	192.0	4.56	0.091	0.001	0.000	0.0	0.2	0.0
12	1980.3	46.5	8.7	69.1	1.71	2.60	0.04	52.8	23.5	68	1.9	0.0	2.47	76.16	264.8	2.13	0.200	0.001	0.000	0.0	0.0	5.6
13	1980.3	40.6	8.4	100	3.41	6.30	0.09	101	49.8	59	0.8	0.0	1.22	98.56	392.0	2.86	0.052	0.001	0.003	0.0	0.0	5.6
14*	1980.3	—	8.8	34.2	3.25	2.08	0.00	8.0	6.2	76	2.9	0.0	0.26	110.4	202.0	0.30	0.052	0.000	0.001	0.0	0.0	0.0
15	1980.3	41.2	8.6	80.4	2.08	3.27	0.07	62.8	34.2	68	1.5	0.0	2.87	94.56	313.6	3.59	0.235	0.001	0.000	0.0	0.0	0.0
16	1980.3	38.5	8.8	61.4	1.38	2.34	0.15	40	24.9	74	2.5	0.0	2.26	83.68	252.8	2.13	0.057	0.002	0.001	0.0	0.0	7.3
17	1980.3	48.0	8.3	117	6.17	6.35	0.09	132	68.4	59	0.8	0.0	2.36	119.7	487.2	3.95	0.250	0.000	0.000	0.3	0.0	9.0
18	1980.3	39.4	9.1	49.6	0.94	1.53	0.31	18	13.6	73	5.1	0.0	1.81	72.64	203.2	0.91	0.105	0.001	0.000	0.3	0.0	5.6
19	1980.3	36.0	9.0	46.6	1.04	1.47	0.03	20	12.3	75	4.0	0.0	1.80	72.96	196.4	1.28	0.157	0.000	0.000	0.0	0.0	5.1
20	1980.3	50.5	9.1	57.7	0.74	1.87	0.04	35.6	20.7	71	5.7	0.0	0.62	66.40	222.0	0.91	0.019	0.000	0.010	0.0	0.0	2.8
21	1980.3	46.0	9.1	60.5	1.52	2.24	0.17	39.2	24.2	75	5.6	0.0	0.44	73.32	237.6	0.61	0.024	0.000	0.093	---	0.0	0.0
22	1980.3	36.0	9.2	44.0	0.52	1.89	0.30	14.4	11.2	79	6.6	0.0	0.72	35.92	161.2	0.55	0.118	0.000	2.825	---	0.0	2.8
23	1980.3	21.5	8.2	17.7	1.01	10.4	0.61	6.0	9.8	53	0.4	0.0	0.12	24.00	104.0	0.00	0.014	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
24	1980.3	24.0	8.9	30.4	0.55	1.06	0.07	5.2	5.2	73	2.7	0.0	0.54	44.80	189.6	0.30	0.062	0.000	0.001	0.0	0.0	0.0
25	1980.3	33.8	8.9	42.7	1.00	1.53	0.01	17.2	10.8	73	3.0	0.0	1.54	67.52	183.2	1.52	0.149	0.001	0.000	0.1	0.0	2.8
26	1980.3	27.2	9.0	43.8	0.76	1.50	0.04	14.8	11.0	73	3.6	0.0	1.55	42.40	158.8	0.42	0.133	0.000	0.001	0.0	0.0	2.8
27	1980.3	40.0	9.1	67.8	1.30	3.50	0.03	48	26.6	73	5.1	0.0	1.43	64.32	256.4	1.09	0.077	0.001	0.000	0.0	0.0	5.6
28	1980.3	36.6	8.3	167	10.9	7.30	0.31	146	114	88	1.0	0.0	1.00	95.20	586.4	1.52	0.122	0.000	0.000	0.0	0.0	6.2
29	1980.3	28.0	8.4	59.2	5.94	6.10	0.76	30	44.4	90	1.1	0.0	0.47	72.96	259.6	0.00	0.009	0.000	0.077	0.0	0.0	2.2
30	1980.3	41.7	8.2	261	15.7	16.4	0.59	243	187	101	0.9	0.0	0.85	101.1	876.8	3.65	0.420	0.000	0.000	0.1	0.0	7.9
31	1981.3	44.8	9.3	56.8	0.72	5.41	0.04	42.2	18.7	62	7.3	0.0	1.26	35.20	201.2	0.00	0.000	0.001	0.009	0.0	0.0	4.5
32	1981.3	35.9	9.6	53.7	0.46	3.99	0.13	29.5	12.7	60	13	0.0	1.38	30.08	201.2	0.25	0.033	0.000	0.008	0.0	0.1	2.3
33	1981.3	39.7	8.9	107	1.92	14.3	0.49	114	60.4	53	2.3	0.0	0.94	53.28	383.2	0.00	0.007	0.000	0.098	0.0	0.4	6.0
34	1981.3	46.4	8.4	94.1	2.67	19.6	1.16	109	57.3	56	0.8	0.0	0.94	54.40	382.0	0.80	0.083	0.001	0.314	0.0	0.0	4.5
35	1981.3	27.4	9.4	36.0	0.33	3.73	0.07	8.0	3.9	73	8.9	0.0	1.50	24.96	128.0	0.00	0.011	0.001	0.014	0.0	0.0	0.0
36	1981.3	16.7	7.7	16.2	1.84	24.7	5.80	10.5	22.6	79	0.2	1.0	1.30	37.20	178.8	0.00	0.000	0.000	1.12	0.0	0.0	0.0
37	1981.3	23.4	8.8	37.3	0.63	2.24	0.10	10.2	2.8	83	2.4	0.0	1.44	61.84	162.8	0.53	0.102	0.002	0.008	0.0	0.2	0.0
38	1981.3	24.8	9.4	110	1.09	6.48	0.05	110.6	39.5	56	6.6	0.0	1.14	32.72	347.6	0.53	0.258	0.000	0.009	0.0	0.0	5.0
39	1981.3	14.9	7.6	14.9	1.57	14.2	3.92	6.9	14.2	67	0.2	0.1	1.10	40.24	134.4	0.00	0.000	0.000	0.76	0.0	0.0	0.0
40	1981.3	49.6	7.8	167	3.90	30.8	11.5	195	77.1	166	0.7	0.4	0.40	40.24	606.0	0.80	0.011	0.003	0.15	0.0	0.3	4.5
41	1981.3	45.4	8.0	140	2.79	17.7	6.70	130	32.3	202	1.2	0.2	0.31	48.96	470.8	2.18	0.453	0.001	0.007	0.4	0.1	6.8

(mg/l)

(mg/l)

※) 沸かし湯 (46.8℃)

なお CO_3^{2-} および HCO_3^- 含量は、pH とアルカリ度から算出した。この計算に必要な炭酸の解離定数の値は、Pačes⁷⁾ の温度補正法により決定した。

3. 結 果

3・1 石和温泉

石和温泉の塩化物イオン含量の変化を、掘削当時、1970年および1980年の3点の分析値をもとに図2に示す。この3点における分析値が得られない源泉は除いた。掘削時における Cl^- 含量は、ほとんどの源泉で200mg/ℓ以上であったが、1980年には大部分の源泉で100mg/ℓ以下に減少している。掘削時から1970年にかけての減少度合は、70年から80年のそれよりも大きかった。県営1、3および4号井の湧出量と Cl^- 含量の経年変化を図3でみると、湧出量の減少とともに Cl^- 含量も減少しており、 Cl^- 含量の減少は、NaCl型温泉水の供給量の減少のためと考えられる。現在の石和温泉全体の湧出量の値がないため、湧出量減少の傾向はよく把握できないが、図3をみる限り、1975年頃から行政的な管理を行なっているためか、近年では湧出量が比較的安定してきているように思われる。

一方アルカリ度は、 Cl^- 含量の変化とは逆に増加する傾向にあり、その傾向は掘削時から70年の間で著しかった。これらの変化を泉質の変化として表わすために、アルカリ度の当量%の変化で示した(図4)。掘削時、70年、80年になるにつれ、アルカリ度の当量%は増大している。今回石和、春日居両地区で採取分析した41源泉のうち、アルカリ度の当量%が50%以上を占めるNaHCO₃型の温泉水の源泉は16個所であった。またこれらの源泉のpH値は8.2~9.7であった。

泉温は掘削当時の平均泉温と比較して、約5℃の低下がみられ、なかには10℃以上低下した源泉もあった。たとえば、試料番号1の源泉では、掘削当時、70年および80年のそれぞれの泉温は、57℃、45.5℃および41.0℃であり16℃の低下が認められた。今回測定した泉温のうち、石和地区と春日居地区の境に湧出する試料番号5の源泉が最高(66.5℃)で、そこから離れるにつれ低下する傾向にあった。佐藤ら⁴⁾の泉温分布図でもこの付近の源泉が高温を示し、高温の源泉の位置の移動はほとんどみられなかった。泉温の低下が著しい源泉では、 Cl^- 含量の減少度合も大きい傾向にあったので、泉温の低下はNaCl型温泉水の寄与の減少と冷地下水の混入割合の増加によるところが大きいと考えられる。

近津用水路周辺の沖積層中から湧出している源泉では、 Cl^- 含量の減少、アルカリ度の増加および泉温の低下がとくに顕著であった。80年に分析したこれらの温泉水の主成分は、陽イオンではNa⁺、陰イオンでは Cl^- と HCO_3^- であり、pH 9以上のアルカリ性を示す源泉が多かった。石和および春日居温泉の80、81年における Cl^- 含量分布と、佐藤ら⁴⁾による安山岩類伏在深度図を合わせてみると(図5)、近津用水路と笛吹川にはさまれた沖積層の厚い場所に掘削している源泉の Cl^- 含量は50mg/ℓ以下と少ない。逆に安山岩と比較的浅い所で遭遇する薄い沖積層中に掘削している源泉の Cl^- 含量は、100mg/ℓ以上と高くなっている。掘削当時、沖積層中の源泉の Cl^- 含量はどの源泉もそれほど差はなく、およそ250mg/ℓ前後であった。したがって、沖積層の薄い場所よりも厚い場所にある源泉の方が、 Cl^- 含量の減少度合が大きかったことがわかる。

平等川沿いに湧出している試料番号28~30および7~11の源泉は、前者は安山岩中から湧出し、後者は沖積層中から湧出しているがその掘削深度は、近津用水路周辺の源泉よりも深い。佐藤ら⁴⁾、杉原ら⁵⁾の湧出量の調査結果をみると、これらの源泉(試料番号28~30、7~11)の湧出量は、近津用水路周辺の源泉と同様に掘削時から70年の間で減少していることが認められた。しかし泉温および化学成分の含量は掘削時、70年、80年を通じてあまり変動せず、泉質の変化はみられな

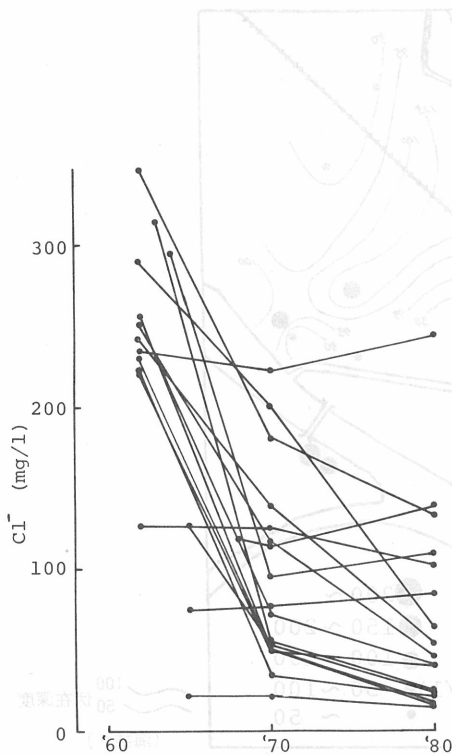


図2 石和温泉のCl⁻含量の経年変化

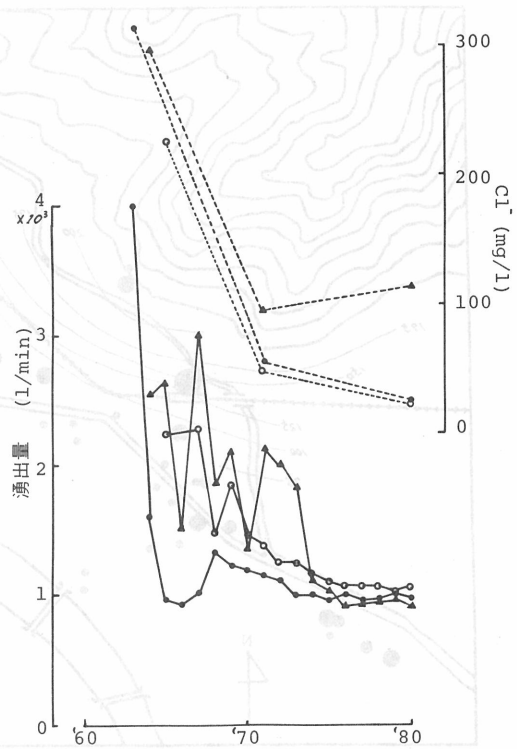


図3 県営井の湧出量とCl⁻含量の経年変化

● 1号井 ○ 3号井 ▲ 4号井

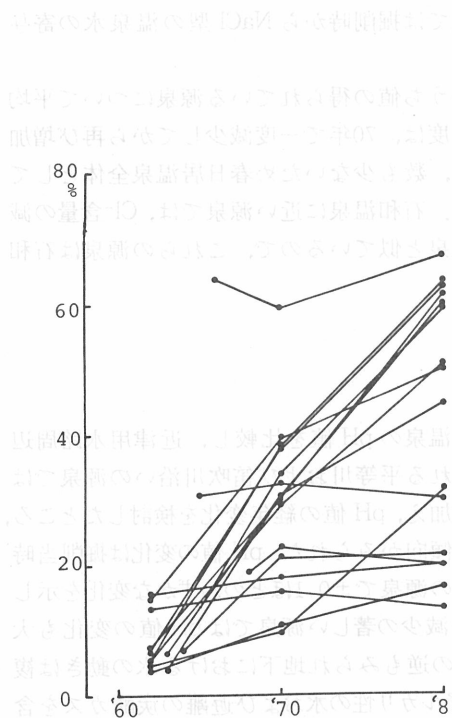


図4 アルカリ度の当量%の経年変化

かった。またこれらの源泉は近津用水路周辺の源泉と主成分は同じであるが、遊離炭酸を含みpH値が7.3~8.4であることから、近津用水路周辺の源泉とは湧出機構が異なると考えられる。なお笛吹川の左岸の試料番号40, 41の源泉は、場所が離れているため今回の検討から除いた。

3・2 春日居温泉

春日居温泉については石和温泉と同様に湧出量の減少と、泉温の低下が報告されている³⁾。石和温泉に近く沖積層中から湧出している源泉では、Cl⁻含量の減少が著しかった(試料番号6, 31, 32)。安山岩中から湧出している源泉(試料番号33, 34)では、比較的Cl⁻含量の減少は少なかった。石和温泉から離れ山梨市に近い源泉のうち、試料番号36, 38の掘削深度は80mほどであり、CaHCO₃型の水であった。試料番号35, 37の源泉はそれよりも深く、

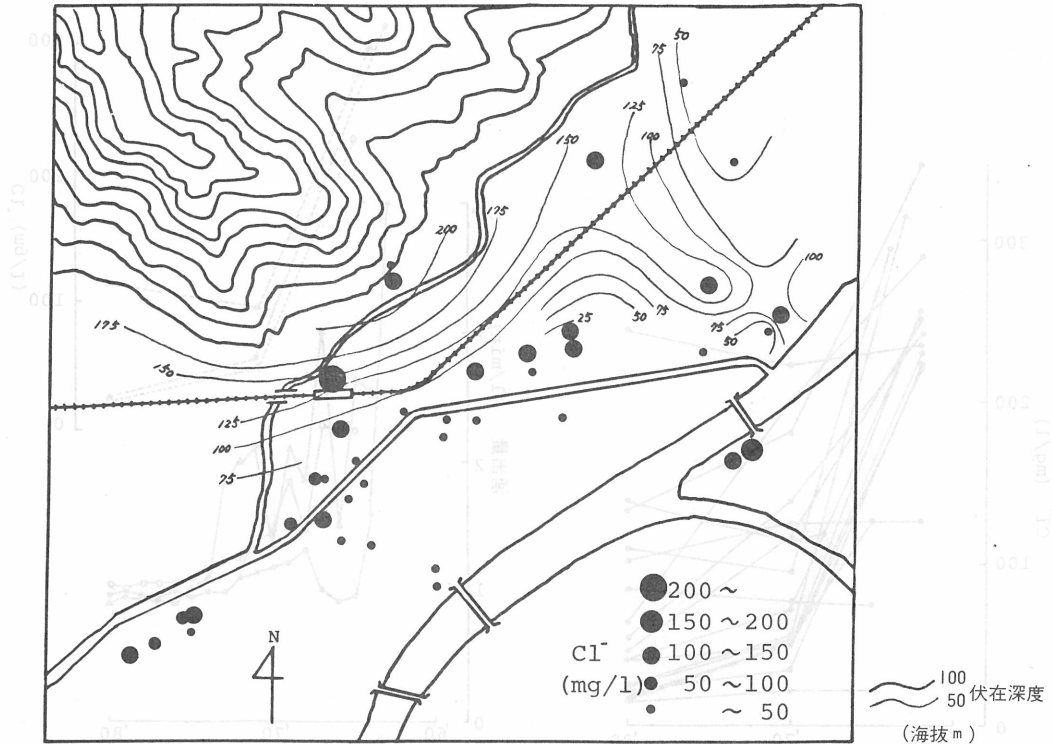


図5 Cl⁻含量分布と安山岩類伏在深度 (佐藤, 甘露寺, 1968)

NaHCO₃型のアルカリ性の水であった。これらの4源泉では掘削時からNaCl型の温泉水の寄与は少なく、成分の変動も少なかった。

泉温の低下は春日居地区全体にみられ、今回の試料のうち値の得られている源泉について平均値を比較すると、約9℃の低下が認められた。アルカリ度は、70年で一度減少してから再び増加する傾向がみられた。春日居温泉は各源泉が離れていて、数も少ないため春日居温泉全体としての化学成分の経年変化の傾向をみつけることは難しい。石和温泉に近い源泉では、Cl⁻含量の減少、アルカリ度の増加（いったん減少するが）が石和温泉と似ているので、これらの源泉は石和温泉と同様の経年変化を示すと考えられる。

4. 考 察

秋山³⁾は掘削当時と70年に測定した石和および春日居温泉のpH値を比較し、近津用水路周辺の源泉ではアルカリ性側へ、河川水の影響があると思われる平等川および笛吹川沿いの源泉では酸性側へ移動していることを報告した。今回の測定値を加え、pH値の経年変化を検討したところ、図6に示すように全体的に若干アルカリ性側へ移動する傾向がみられた。pH値の変化は掘削当時から70年の間で大きく、70年から80年の間ではほとんどの源泉で±0.1ほどのわずかな変化を示したにすぎなかった。秋山³⁾も指摘したように、Cl⁻含量の減少の著しい源泉ではpH値の変化も大きかった。pH値はいったん増加したのち減少したり、その逆もみられ地下における水の動きは複雑であると思われる。温泉水のpH値は、NaHCO₃型のアルカリ性の水および遊離の炭酸ガスを含むような水などの混合割合によって変化すると考えられる。

図7に、近津用水路周辺の沖積層中から湧出している源泉のpH値とアルカリ度の関係を示した。この図をみると、石和駅東方に位置する源泉のpH値は、石和駅南方に位置する源泉のそれより高い傾向にあった。両地域ともアルカリ度が高いほどpH値は高くなっており、Cl-含量はpH値が高いほど少ない。沖積層中の源泉でpH値の高いのは、NaHCO₃型のアルカリ性の水の寄与が大きいためと考えられる。石和駅南方に位置する源泉では、沖積層中の有機物起源のCO₂ガスおよびCO₂ガスを含む地下水などの混入割合が、石和駅東方に位置する源泉より大きいと考えられ、これがpH値の減少に寄与していると思われる。

秋山³⁾は石和・春日居地域北東の花崗岩地帯である裂石地区に、NaHCO₃型のアルカリ性鉱泉が存在していることから、この型の水が石和・春日居地域の温泉水に混入しているのではないかと推測した。現在、石和・春日居地域の温泉水へのNaCl型温泉水の寄与は比較的小さくなっているため、裂石地区のアルカリ性鉱泉に類似してきていると考えられる。笛吹川上流、重川および日川流域の花崗岩地帯には、溶存成分含量の低いアルカリ性鉱泉が多数存在している。高松ら⁶⁾は花崗岩の水による溶解実験から、これらのアルカリ性鉱泉は、低CO₂分圧下で花崗岩と地下水が反応すれば、比較的短時間で生成しうることを報告した。伏見ら⁷⁾によれば春日居地区北東の山梨市付近に、花崗閃緑岩が山麓部に露出し、地表下でも比較的浅い所に潜在している。これらの花崗岩地帯が春日居地区に比較的近いため、低CO₂分圧下で花崗岩と地下水との反応によって生成したNaHCO₃型のアルカリ性の水が、春日居から石和地区にかけて混入してきていると考えられる。

5. まとめ

石和温泉は、70年の分析値と比較して、泉温の低下、Cl-含量の減少、アルカリ度の増加が認められ、すでに報告されたそれらの変化がいっそう進行し、NaHCO₃型のアルカリ性温泉に変化しつつあることがわかった。これらの変化は、特に近津用水路周辺の源泉で顕著であったが、これ

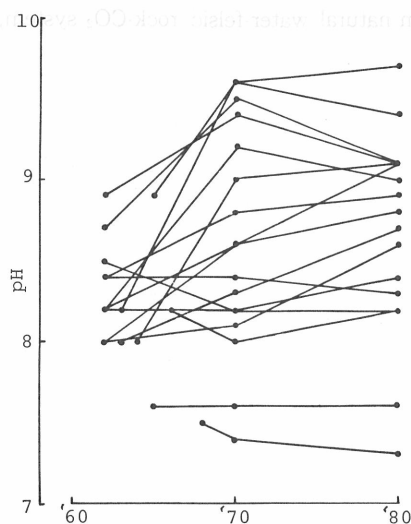


図6 pH値の経年変化

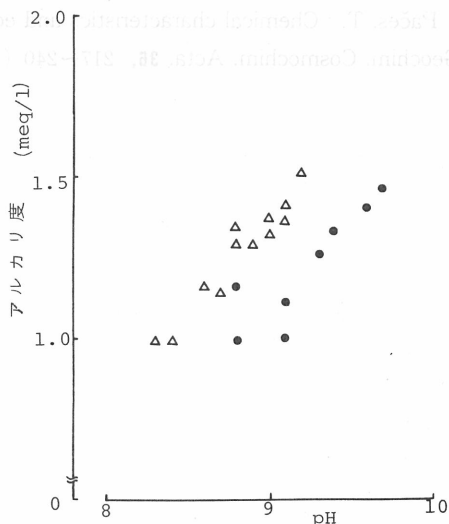


図7 アルカリ度とpH値の関係

●石和駅東方に位置する源泉
 △石和駅南方に位置する源泉

はおそらく沖積層中に溜っていた比較的高濃度のNaCl型温泉水が掘削によって湧出し、代つて混入した冷地下水により希釈されたためと思われる。現在は、掘削が行政的に管理されているため、基盤岩石下から供給されるNaCl型温泉水と冷地下水の混合割合は比較的安定し、成分の変動は少ないと考えられる。OH⁻とHCO₃⁻の割合は、石和温泉に隣接している春日居温泉の一部でも、石和温泉と同様の泉温、化学成分の変化が認められた。春日居温泉は花崗岩地帯に近く、NaHCO₃型のアルカリ性の水の影響を強く受けていると思われる。

謝 辞

現地調査の際に、御協力下さった山梨県石和温泉管理事務所および春日居町温泉管理事務所の方々に感謝いたします。

文 献

- 1) 伏見弘, 遠藤公: 山梨県石和温泉の地下構造調査, 早稲田大学理工学研究所報告, 25輯, 43~55 (1963).
- 2) 秋山悌四郎: 山梨県石和温泉の地球化学的研究, 日化, 85, 606~612 (1964).
- 3) 秋山悌四郎: 山梨県石和温泉の地球化学的研究, 山梨県立女子短大紀要, 5, 35~44 (1971).
- 4) 佐藤幸二, 甘露寺泰雄: 温泉の地球化学的研究 (第13報) 石和温泉, 温泉科学, 18, 125~141 (1968).
- 5) 杉原健, 杉原まゆみ: 山梨県石和・春日居温泉のアルカリならびにアルカリ土類含量について, 山梨大学教育学部研究報告, 22, 218~230 (1972).
- 6) 高松信樹, 下平京子, 今橋正征, 吉岡龍馬: 花崗岩地帯湧水の化学組成に関する一考察, 地球化学, 15, 69~76 (1981).
- 7) Pačes, T.: Chemical characteristics and equilibration in natural water-felsic rock-CO₂ system, Geochim. Cosmochim. Acta, 36, 217~240 (1972).

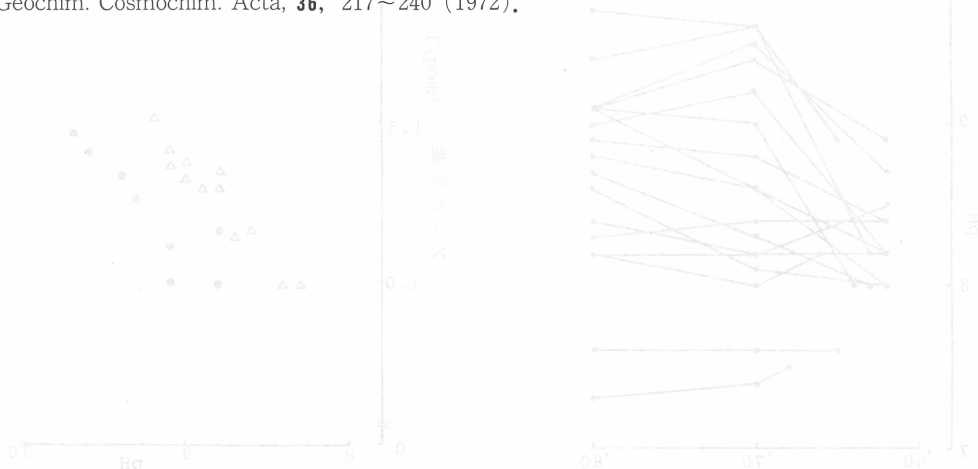


図 1 泉源のHqと関係

● 泉源のHqと関係

○ 泉源のHqと関係

図 2 泉源のHqと関係