

# 温泉の化学組成の解析による 賦存機構の研究 (第1報)

## 飯坂温泉の地形および地質ならびに泉質について

福島県衛生研究所 宮 永 徳 一  
中央温泉研究所 益 子 安

(昭和43年12月12日受理)

### Studies on Formation Mechanism of Thermal Springs by the Analysis of Their Chemical Compositions I

### An Outlook of Topographical Situation and Geological Formation and Chemical Composition of Waters in Iizaka Spa.

Tokuichi MIYANAGA

Fukushima Prefectural Institute of Health

Yasushi MASHIKO

Hot Spring Research Center

Various investigations on temperature, amount of water pumped up and contents of chemical components in the water of Iizaka Spa were carried out to explain the mechanism of the water flow and the cause of temperature drop and decrease of dissolved components. Thermal springs in Surikamigawa area can be characterized from other springs in Iizaka by temperature, amount of water and various components.

## 緒 言

飯坂温泉は県内は勿論、全国的にも屈指の有名温泉地であるが、その分析資料としては遠い戦前のものをいくつか散見するのみで、戦後にも系統的に分析し、調査研究したものをほとんどみない、そのうち、石津<sup>1)</sup>によれば、飯坂温泉の泉温は50~70°C、固形物総量 (total residue) は0.92~0.95 g、湯野温泉は泉温45~71°Cの記載がみられる。古くは日本鉱泉誌<sup>2)</sup>によれば、当時(明治18年、1885)の上飯坂村および湯野村における温泉として鱒湖鉱泉他4鉱泉についての記載がある。

戦後のものとしては、引湯の場合における飯坂温泉の化学成分の変化についての鈴木<sup>3)</sup>の報告の他は、わずかに市川および小幡<sup>4)</sup>が、著者の分析結果を解析して、飯坂地区に湧出する温泉は、同一熱水系の温泉に冷地下水が流入して、成分含量および温度の低下をきたしているものであって、地下水の混入割合が違うだけであると述べた報告がみられるのみである。

著者は昭和25年より昭和43年にいたる間、集積した飯坂温泉63源泉に関する化学分析資料<sup>5), 6)</sup>を解析して、飯坂温泉の賦存状態をさらに精密に検討し、新しい知見を得たので報告する。

### 1. 地形および地質

飯坂温泉 (Fig. 1) は東北本線福島駅の北方 9 km, 伊達駅の西方 4 km にあり, 海拔 90 ~ 110 m で, 摺上川に沿って発達したものである。

摺上川は阿武隈川の一支流で, 北部の山地より南流し, 福島盆地撓曲斜面地帯ならびに河成段丘を侵蝕し, 兩岸に 5~15 m の断崖を形成している。

また穴原温泉, 天王寺温泉は俗に奥飯坂温泉と呼ばれ, 摺上川の上流 (飯坂温泉より約 2 km) に沿って湧出している。

飯坂温泉付近の地質はこれまで多くの研究者によって調査されているが, 深谷<sup>7)</sup>によれば, 飯坂温泉の基底を構成する岩石は主として第三紀海成層で, 下部より凝灰岩および頁岩より成

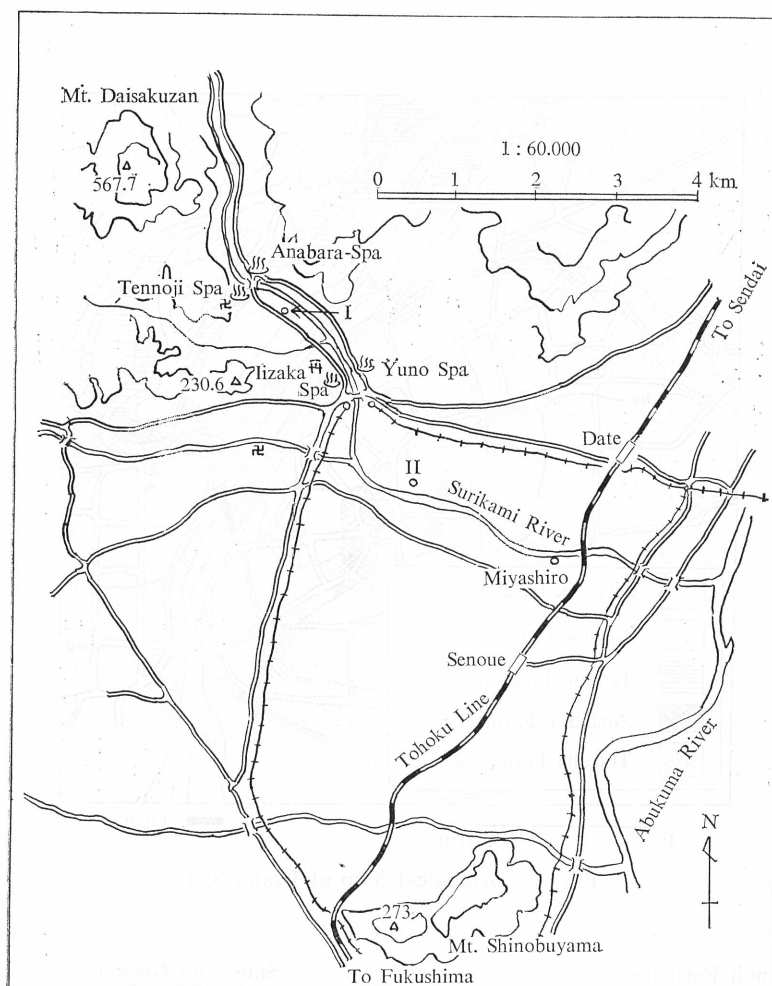


Fig. 1. Topographical Map of Iizaka Spa.

- I: First water collecting station for water works.
- II: Second water collecting station for water works.

る十綱層, つぎに角礫凝灰岩より成る穴原層, その上位は砂岩, 礫岩の互層である天王寺下部層より成っており, 温泉は主として十綱層より湧出している. 安齊<sup>8)</sup>らは, 十綱層およびその下位の鯖湖層は, 東北日本に広くみられる緑色凝灰岩の一部で十綱層は凝灰質頁岩を主とし, 同質砂岩および砂質頁岩をはさむもので, 摺上川沿岸および赤川に沿ってみられ, 摺上川および赤川地区の温泉はみなこの地層より湧出していると述べている. 三本杉<sup>9)</sup>は摺上川を境として, その岩質に特徴があり, この川の北東部(旧湯野温泉)においては灰青色の凝灰質頁岩が多いが, 西南側(旧飯坂町地区)においては, 灰色の凝灰角礫岩層が多いことを述べ, 摺上川に沿って一つの断層がありその付近は角閃石-石英安山岩の岩脈によって占められていると述べている. 摺上川沿いに岩脈が存在することについては, 前記の安齊らも指摘している.

以上各研究者の報告を総括し, 飯坂温泉地区の地質を Fig. 2 に示す.

また飯坂温泉ボーリング資料 (Table I) より得られた柱状図を Fig. 3 に示す.

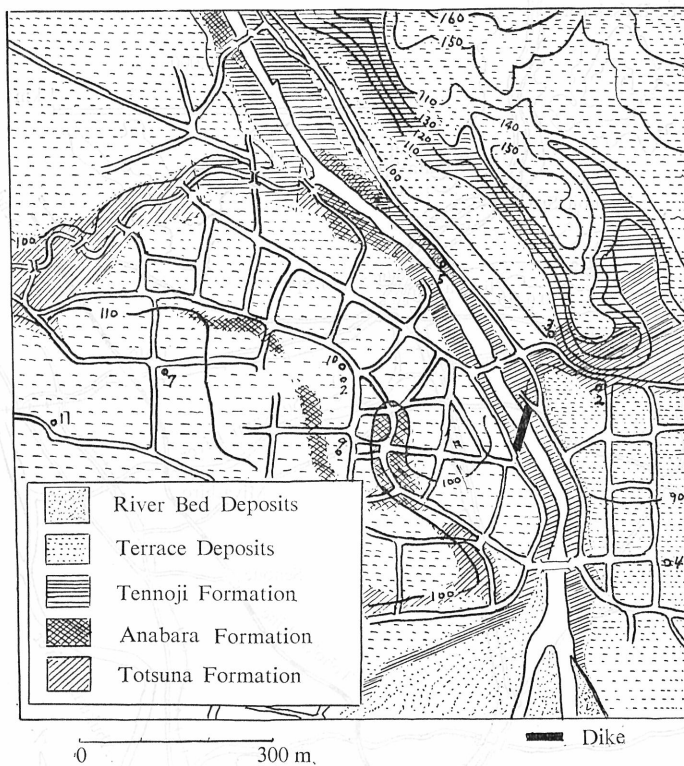


Fig. 2. Geological Map of Iizaka Spa

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| Tennoji Formation..... | Sand and Gravel                 |
| Anabara Formation..... | Tuff-breccia                    |
| Totsuna Formation..... | Green-tuff and Tuffaceous Shelf |
- Numerals correspond to the boring numbers shown in Table I.



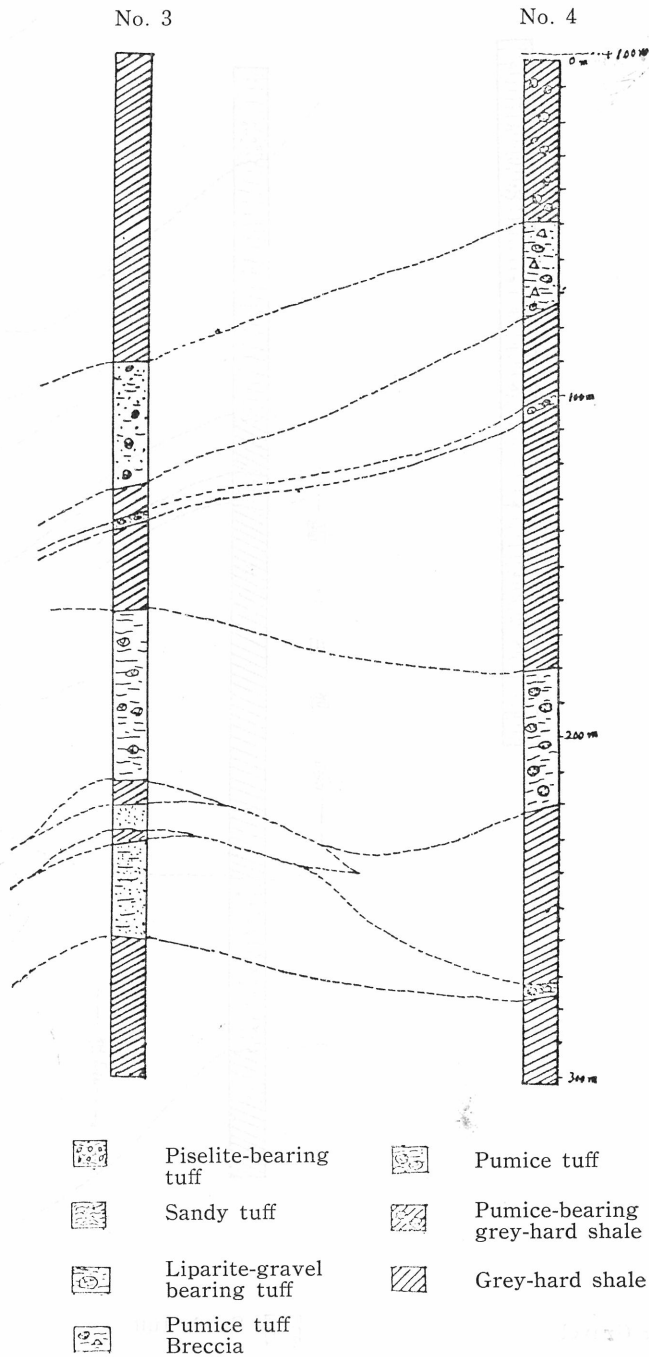


Fig. 3. Core of the Test-boring Wells in Iizaka Spa.

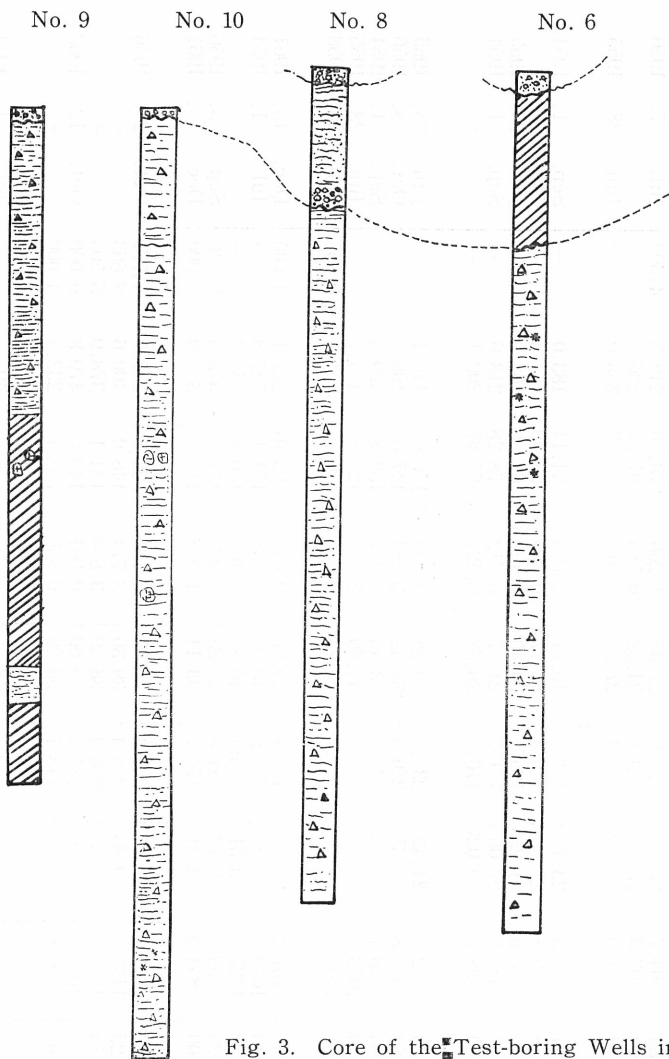


Fig. 3. Core of the Test-boring Wells in Iizaka Spa.

Table I. Test-boring Wells in Iizaka Spa.

Boring No.	Location	Boring date	Depth (m)	Temp. (°C)	Amount of water pumped up (l/min)	Sample numbers as shown in Table II
1	愛宕山麓	Sep. 1956	-360	43	not measured	—
2	八幡前	Jul. 1957	-200	68	207.0	15
3	愛宕前	1957	-300	37	180.0	63
4	導専 (支所裏)	1957	-300	17	—	—
5	明藏原	1958	-300	48	720.0	62
6	桜下場	1958	-260	75	174.6	22
7	馬場	Nov. 1958	-285	53	131.4	21
8	築前	1959	-245	67	158.4	23
9	湯沢 22-口	Sep. 1959	-150	57.5	190.8	20
10	八幡内	Nov. 1960	-180	59	225.0	16
			-280	54	158.4	
11	一本松 (中学入口)	Sep. 1961	-200	84	208.8	24

(三本杉論文<sup>9)</sup>より)

Table II. Analytical Results of Major Components (mg/kg).

No.	Spring site	Temp. °C	pH	Total residue	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Sampling date
1	十	31.0	7.80	264.7	14.82	55.07	3.784	0.612	26.32	59.40	—	Sep. 1, 1954
2	町	48.2	7.45	666.8	22.54	166.4	30.55	0.721	93.79	262.5	—	" " 7, 1956
3	"	46.0	7.80	604.7	20.62	174.0	27.85	1.266	78.50	242.3	4.300	" " 7, 1956
4	"	55.2	8.00	707.8	23.83	183.1	34.82	0.786	91.73	296.8	—	" " 28, 1955
5	"	45.5	7.70	657.9	7.730	171.4	27.27	2.011	83.72	253.0	—	" " 28, 1955
6	"	48.0	7.44	511.3	23.19	121.3	16.77	1.005	64.14	183.0	—	Sep. 1, 1954
7	若	48.0	7.58	509.8	27.69	126.4	18.77	0.590	67.49	185.8	—	" " 28, 1955
8	町	46.3	7.90	466.5	21.25	125.1	20.40	2.121	62.30	163.3	—	Jun. 28, 1955
9	"	46.0	7.85	557.0	27.06	141.7	21.27	0.612	78.28	218.6	—	Sep. 1, 1954
10	"	45.0	7.80	528.3	9.027	176.5	26.68	0.524	67.87	202.1	—	" " "
11	西	66.0	7.70	1002	24.42	235.4	50.58	3.124	130.0	416.1	—	Jun. 28, 1955
12	澁ノ町	63.0	7.80	957.8	24.31	250.3	34.42	3.384	147.0	406.7	—	Oct. 8, 1956
13	"	60.0	7.00	970.7	35.42	223.7	48.45	1.617	130.8	420.5	—	Sep. 1, 1954
14	"	60.0	7.50	1023	21.25	251.5	44.09	2.294	124.5	440.7	—	Jun. 28, 1955
15	八	66.5	7.81	1005	26.11	274.6	46.75	0.568	156.7	414.3	9.357	May 20, 1958
16	"	52.0	8.00	707.2	69.64	155.1	29.86	0.612	93.01	287.1	4.000	Dec. 15, 1961
17	東	69.5	7.40	1043	21.23	257.8	48.23	2.208	154.1	427.8	—	Jul. 1, 1954
18	堀	62.5	7.50	1027	23.51	253.1	46.87	2.164	150.8	434.2	—	" " "
19	"	46.0	8.20	899.8	19.78	221.8	37.85	2.926	141.7	318.5	3.540	Sep. 3, 1956
20	湯	59.0	8.00	854.8	92.21	174.7	33.14	1.048	117.6	355.9	6.000	Dec. 15, 1961
21	馬	53.0	8.00	861.4	22.32	206.4	27.87	2.101	102.8	285.7	4.777	Oct. 24, 1956
22	桜	72.0	8.25	1137	29.88	266.4	39.30	3.774	148.0	400.6	8.663	" " "
23	榎	62.0	8.15	1064	29.22	256.4	38.59	3.858	134.1	378.9	5.505	Oct. 12, 1963
24	本	76.5	8.25	1087	11.60	284.7	49.00	0.961	149.8	479.8	6.000	" " "
25	一大	45.5	8.05	593.6	5.804	148.7	30.29	0.830	75.21	232.4	4.000	" " "
26	西	63.5	7.60	934.0	27.24	240.3	48.52	1.482	136.0	405.7	—	Jul. 1, 1954
27	堀	75.0	7.50	1037	30.50	263.9	52.85	0.918	151.9	455.2	—	" " "
28	"	64.5	7.30	1036.2	12.10	241.9	43.80	2.268	126.1	368.5	—	Apr. 5, 1955
29	"	69.0	7.20	1012	13.52	256.7	47.38	2.119	134.9	440.4	—	Jun. 8, 1955
30	"	65.0	7.30	1016	21.93	260.9	39.14	1.203	145.2	437.5	—	Oct. 8, 1955

31	西赤	壩川	切端	39-3 4-4	66.3	6.80	958.2	28.98	243.3	49.95	1.310	138.9	415.1	—	Jul.	1,	1954
32	"	"	"	4-4	53.0	7.10	872.9	30.37	212.8	31.42	2.751	111.6	406.8	—	Aug.	31,	1956
33	"	"	"	6-4	68.0	7.70	987.2	34.13	256.6	49.52	0.786	142.9	422.8	—	Jul.	1,	1954
34	"	"	"	6-6	64.0	7.70	973.2	20.19	245.3	30.86	0.941	131.3	419.7	—	Oct.	8,	1955
35	"	"	"	10-5	64.5	7.80	972.5	3.865	272.9	51.37	0.848	126.0	398.7	—	Jun.	18,	1955
36	小下	"	"	13	60.0	7.90	1005	18.31	261.7	50.74	1.920	132.8	431.4	—	Jun.	27,	1956
37	原	瀧	原口	34-2	58.0	7.80	1005	19.34	268.9	44.31	1.876	131.8	420.7	—	"	"	
38	原	"	"	23	51.0	7.00	836.7	4.259	186.5	42.73	2.400	107.5	348.9	—	Oct.	8,	1955
39	原	"	"	3	63.0	7.50	849.9	68.91	193.8	15.99	0.875	114.7	353.7	—	Mar.	18,	1954
40	"	"	"	17	51.0	7.80	870.8	86.38	185.6	20.14	0.786	116.7	377.2	—	Dec.	15,	1961
41	笠	"	"	3	69.5	7.10	976.4	27.07	266.4	48.00	2.446	131.4	424.3	—	Apr.	15,	1955
42	"	"	"	45	70.0	7.50	990.0	9.016	279.2	46.94	0.783	136.2	423.9	—	Jun.	18,	1955
43	"	"	"	46-4	52.0	7.10	627.8	4.600	153.6	34.10	1.500	79.50	243.9	—	Mar.	13,	1953
44	"	"	"	48-3	56.0	8.00	827.4	16.98	164.5	29.19	4.649	163.5	244.3	—	Mar.	12,	1959
45	"	"	"	48-4	38.0	7.20	766.4	27.58	189.5	41.40	0.758	100.6	321.5	3.690	Jul.	10,	1956
46	中新	野	湯	1-1	31.5	7.90	324.7	4.511	15.83	5.498	0.480	8.210	5.841	0.300	Jan.	7,	1957
47	"	"	"	6	56.0	7.60	1123	12.30	250.4	31.40	0.400	120.2	358.5	5.000	Sep.	28,	1950
48	"	"	"	8-4	52.0	7.60	848.2	17.02	246.5	34.25	1.092	116.2	374.1	6.000	Jun.	27,	1956
49	北	"	"	9-1	53.5	7.92	782.0	107.0	157.5	32.71	0.699	107.0	343.4	5.000	Dec.	15,	1961
50	"	"	"	31	56.0	8.00	912.3	36.06	245.6	41.25	1.091	129.5	415.2	5.200	Jul.	10,	1956
51	橋	湯	本上		50.0	7.90	612.0	7.400	155.8	30.00	1.300	82.30	238.5	—	Sep.	28,	1950
52	"	"	"		49.0	7.60	654.7	5.700	139.1	31.70	0.900	86.20	241.7	—	Sep.	13,	1950
53	"	"	"	13	50.0	7.70	735.4	6.500	153.7	38.00	1.200	93.00	274.8	—	Feb.	"	
54	"	"	"	13-2	50.0	7.50	691.5	8.100	147.0	36.00	1.600	104.3	259.0	—	Sep.	1,	1951
55	"	"	"	22	55.0	7.80	819.0	7.600	175.4	37.90	1.200	110.8	302.8	—	Sep.	13,	1950
56	切	湯	上	2	49.0	8.10	606.0	10.00	159.7	24.90	1.000	88.30	240.3	—	Sep.	28,	1950
57	"	"	"	6	52.0	8.00	722.0	10.70	168.7	27.60	0.700	97.80	292.6	—	"	"	
58	"	"	"	12	51.0	7.80	787.0	8.400	168.5	34.30	1.500	109.5	279.6	—	Nov.	10,	1950
59	"	"	"	9	63.0	7.40	967.6	8.200	258.7	51.60	1.900	136.8	421.6	—	Nov.	9,	1950
60	"	"	"	16	50.0	7.80	690.0	11.50	181.2	26.40	0.600	91.90	268.5	—	Sep.	28,	1950
61	明	原	前	32	49.0	8.00	564.0	11.90	148.3	24.30	0.700	75.90	222.2	—	Oct.	12,	1963
62	愛	巖	前	7-4	48.0	8.00	848.4	19.98	244.7	24.00	0.830	120.4	369.6	5.000	"	"	
63	"	"	"	41	35.0	8.40	258.0	10.31	70.29	15.86	1.704	8.576	35.64	2.200			



2. 泉 質<sup>10), 11)</sup>

分析の対象は飯坂温泉の源泉 63 井で、温泉法施行 (昭 23.8.9) 後の昭和 25 年以降に分析を行なった。この 63 井は飯坂温泉全源泉のほとんど全部に当り、現在利用中のもので未分析のものは 1, 2 を数えるにすぎない。これらの分析結果のうち、主要成分含量を湧出地、泉温、pH、蒸発残査ならびに分析年月日とともに一覧として Table II に示す。また、これらの各源泉の所在を Fig 4 に示す。

さらに、昭和 39 年にこれらの源泉中のいくつかについて一斉分析を行なった結果を Table III に示す。

Table III. Analytical Results of Major Components.

Sample No.	Spring site	Temp. of thermal water	pH	Total residue	F- (ppm)	Cl- (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Amount of water pumped up (l/min)
△ 4	十 綱 町 28	52.5	8.25	597.2	5.0	78.72	242.8	60
△ 9	若葉町 26-3	39.0	8.25	456.0	3.2	64.57	173.0	68
△10	" 27-2	43.0	8.32	526.6	4.0	71.83	216.0	30
11	西滝ノ町 1	68.5	7.95	992.0	6.0	133.5	421.7	
12	" 21	69.0	7.88	983.6	7.0	134.2	423.0	120
13	" 25	61.0	7.92	918.8	6.0	115.5	395.4	90
17	東堀切 8-4	69.5	8.05	1026	8.0	138.2	444.1	
18	" 9	66.0	7.70	956.8	6.0	132.4	417.1	60
26	西堀切 18-2	62.0	8.05	915.2	7.0	117.2	389.3	120
27	" 22-5	74.0	8.05	960.0	7.0	129.1	421.0	60
28	" 24-3	65.0	8.15	934.0	7.0	120.8	385.5	54.5
29	" 26-4	68.0	7.85	915.6	6.0	119.7	388.1	67.5
30	" 27	73.5	7.90	1122	8.0	124.1	396.7	127.1
31	" 39-3	67.0	7.40	946.4	6.0	122.2	390.9	42.9
32	赤川端 4-4	64.0	8.10	886.4	7.0	119.7	383.7	60
33	" 6-4	47.0	7.45	583.6	5.0	70.74	220.1	16
34	" 6-6	67.0	8.05	884.4	7.0	120.1	382.2	
35	" 10-5	60.0	8.05	853.2	8.0	111.0	354.5	56.8
36	" 13	59.0	8.05	803.6	7.0	108.8	347.5	61.5
37	小 滝 34-2	65.2	8.10	928.4	6.0	125.5	397.7	108
39	原 口 3	70.0	7.85	891.6	5.0	120.1	385.8	64.8
41	" 17	53.0	8.00	853.2	5.0	113.9	359.5	
42	笠 松 45	72.0	7.90	923.2	6.0	120.1	383.4	48
43	" 46-4	56.0	7.85	761.2	5.0	101.9	324.3	34.3
44	" 48-3	56.0	8.10	730.0	5.0	96.46	303.9	31.1
△53	湯ノ上 13	26.0	8.50	192.4	0.2	21.40	49.22	2 (Yuno Spa)
△56	切湯ノ上 2	18.5	8.30	208.0	2.0	20.68	36.71	60 ( " )
△60	" 16	19.0	7.55	196.0	1.2	26.12	45.59	7 ( " )
△61	" 32	40.0	8.20	422.0	3.6	54.05	156.7	9.2 ( " )

(Sampling date: Feb. 27th~Mar. 2nd, 1964)

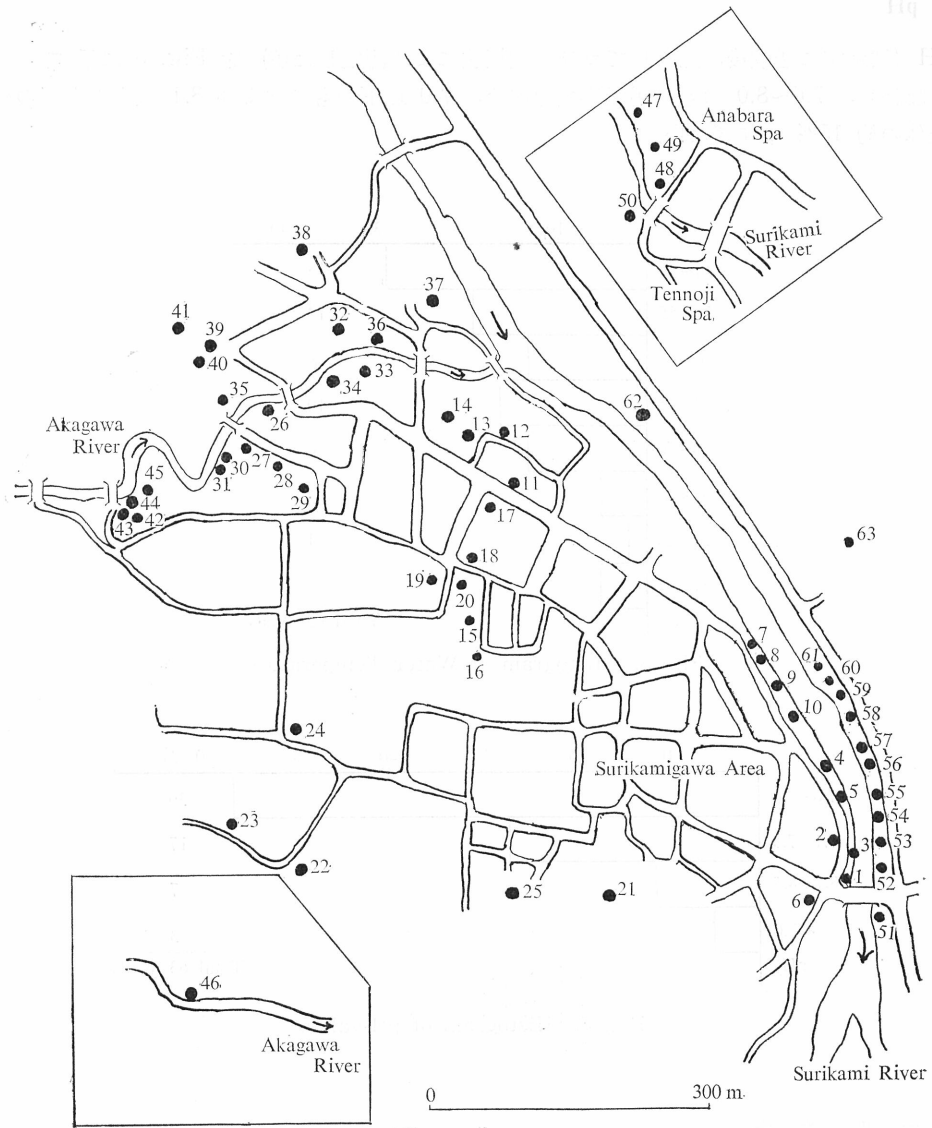


Fig. 4. Locations of Thermal Water Wells in Iizaka Spa.  
 Numerals correspond to the sample numbers shown in Table II.

## 2.1 泉 温

飯坂温泉の泉温は 46~60°C のものが過半数を占め、45°C 以下および 71°C 以上のものの合計は全体の約 10% にすぎない (Fig. 5).

地域別には飯坂温泉南東地区の摺上川沿いの源泉 (Table III 中 △ で印す), 特に摺上川左岸の旧湯野温泉地区には高温泉の存在しないことは注意を要する。

## 2.2 pH

pH (試験室に送致後、主としてガラス電極法により測定した値) を Fig. 6 に示す。

すなわち、7.6~8.0 のものが過半数を占め、7.0 以下のものおよび 8.1 以上のものの合計は全体の約 15% にすぎない。

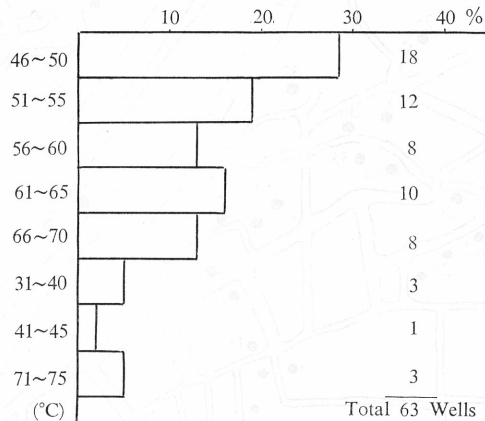


Fig. 5. Histogram of Water Temperature.

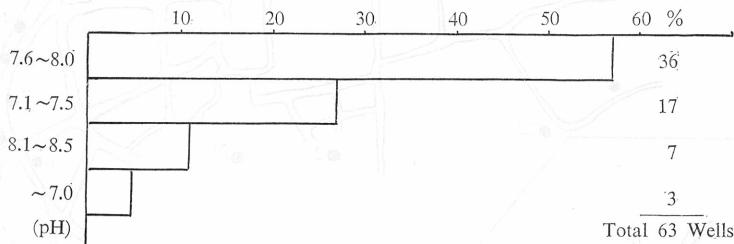


Fig. 6. Histogram of pH-value.

## 2.3 主要成分

飯坂温泉の各源泉はいずれもカチオンでは  $\text{Na}^+$ 、アニオンでは  $\text{SO}_4^{2-}$  が第 1 成分で、ついで  $\text{Cl}^-$  の含有量が多い。分析方法としては、当初は日本薬学会協定鉱泉検査法により、その後は衛生検査指針 VI 鉱泉分析法により実施した。

### 2.3.1 蒸発残渣

蒸発残渣 (固形物総量) を Fig. 7 に示す。

すなわち蒸発残渣が 801~1,100 mg/kg のものが過半数である。また 500 mg 以下および 1,100 mg 以上のものの合計は全体の 10% にすぎない。なお 901 mg/kg 以上のもの 27 井中摺上川地区のものは 1 井にすぎないことは注意を要する。

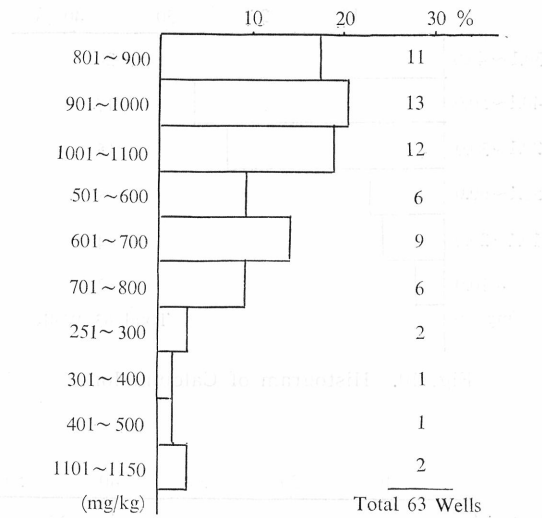


Fig. 7. Histogram of Total Residue.

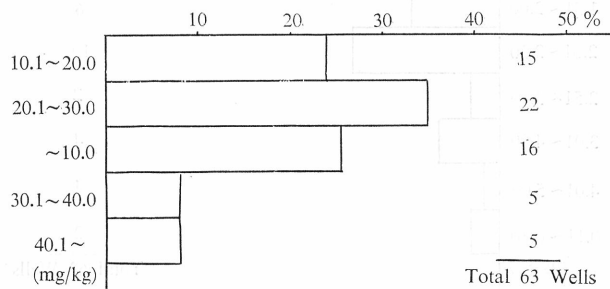


Fig. 8. Histogram of Potassium Ion.

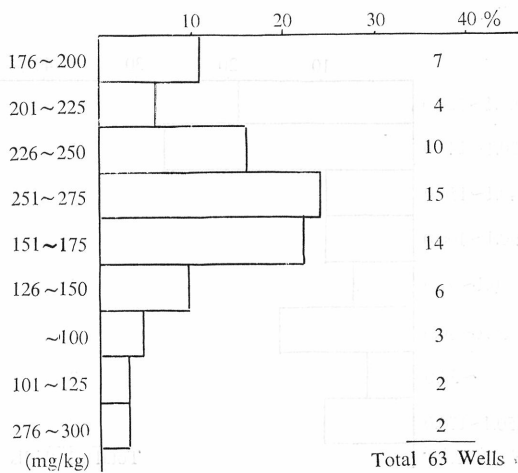


Fig. 9. Histogram of Sodium Ion.

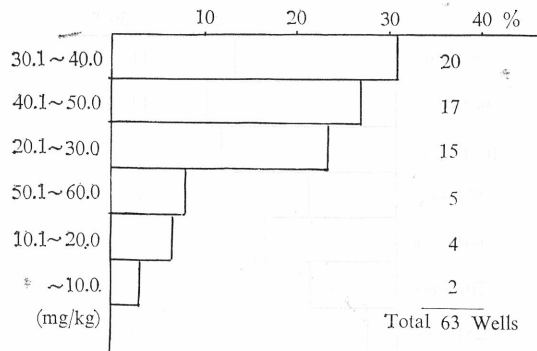


Fig. 10. Histogram of Calcium Ion.

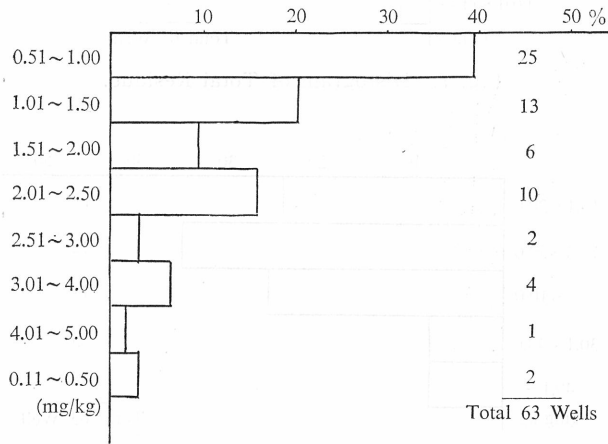


Fig. 11. Histogram of Magnesium Ion.

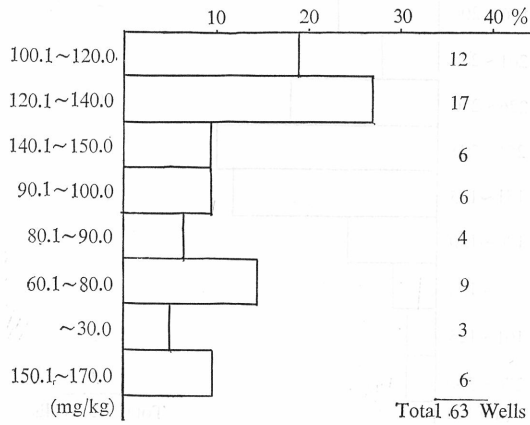


Fig. 12. Histogram of Chloride Ion.

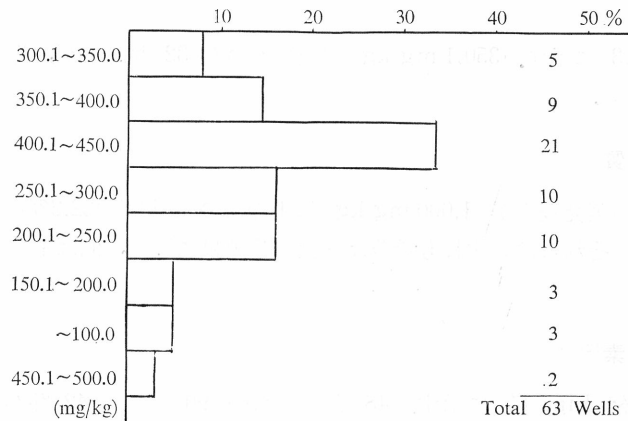


Fig. 13. Histogram of Sulfate Ion.

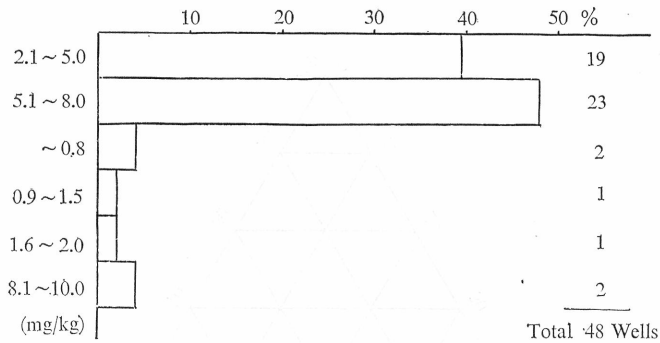


Fig. 14. Histogram of Fluoride Ion.

### 2.3.2 K<sup>+</sup> および Na<sup>+</sup>

K<sup>+</sup> および Na<sup>+</sup> の分析値を Fig. 8 および Fig. 9 に示す. このうち K<sup>+</sup> 20.1 mg/kg 以上のもの 32 井のうち摺上川地区のものは 7 井である.

また Na<sup>+</sup> についても 226 mg/kg 以上のもの 27 井中摺上川地区のものは 1 井にすぎない.

### 2.3.3 Ca<sup>2+</sup> および Mg<sup>2+</sup>

定量値を Fig. 10 および Fig. 11 に示す. このうち Ca<sup>2+</sup> 40.1 mg/kg 以上のもの 22 井のうち摺上川地区のものは 1 井にすぎない. また Mg<sup>2+</sup> についても 1.51 mg/kg 以上のもの 23 井中摺上川地区のものは 5 井にすぎない.

### 2.3.4 Cl<sup>-</sup>

定量値を Fig. 12 に示す. 120 mg/kg 以上のものが 29 井あるが, 摺上川地区のものは 1 井にすぎない.

2.3.5  $\text{SO}_4^{2-}$ 

定量値を Fig. 13 に示す。350.1 mg/kg 以上のものが 32 井あるが、そのうち摺上川地区のものは 1 井もない。

## 2.4 泉 質

飯坂温泉 63 井中蒸発残渣が 1,000 mg/kg 以上のものは 14 井 (22.2%) で全部摺上川地区以外に存在するが、それらはいずれも希薄な含食塩芒硝泉に属し、他は主として単純温泉である。

2.5 フ ッ 素<sup>12)</sup>

フッ素の定量値を Fig. 14 に示す。48 井のうち約 90 近くの 42 井が 2.1~8.0 mg/kg で、中でも最頻値は 5.1~8.0 mg/kg とかなり著量に達している、5.1 mg/kg 以上のもの 25 井は全部摺上川地区以外に湧出する。

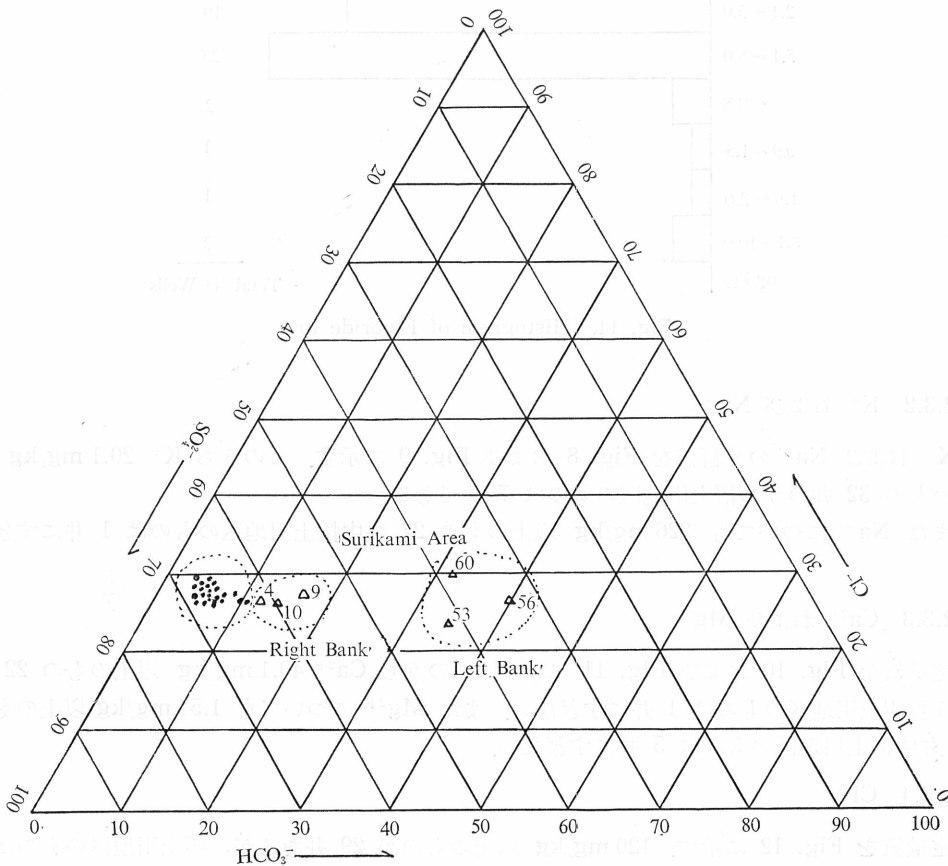


Fig. 15. Diagram in which  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  were taken as triangular coordinates.

### 3. 考察および結論

以上飯坂温泉の化学分析値をクラス分けして、分布を調べてみた。いずれの場合でも、飯坂温泉南東部の摺上川地区源泉はある特別なクラスにその分析値が集中していることに気付く。この摺上川地区源泉群 (△印で示す) とその他の地区源泉群 (●印で示す) の両源泉群別に主要アニオン含有量を当量濃度に換算し、これを当量百分率で表わし、三角座標<sup>13)~16)</sup>で示すと Fig. 15 のようになる。

Fig. 15 は昭和 39 年に実施した一斉分析の結果から求めたものであるが、アニオン組成比において、両源泉群間に明らかな差が認められ、特に泉温の低下、成分含量の減少の著しい旧湯野温泉の  $\text{HCO}_3^-$  型<sup>17)</sup> 化がみとめられる。

このように飯坂温泉にはアニオン組成比が非常に似かよった地区とこれと異なる  $\text{HCO}_3^-$  型化の進んだ地区 (摺上川地区) があることがうかがえる。

### 参 考 文 献

- 1) R. Ishizu: "The Mineral Springs of Japan" (1915).
- 2) 衛生局蔵版: "日本鉱泉誌", 上巻, 314 (明治 19).
- 3) 鈴木一男: 温泉科学, 7, 72 (1956).
- 4) 市川重春・小幡利勝: 昭和 35 年度厚生科学研究研究報告書 (温泉の保護に関する研究).
- 5) 宮永徳一: 福島県衛生研究所研究報告, 第 26 集, 137 (昭 33).
- 6) 宮永徳一: 同上, 第 63 集, 137 (昭 39).
- 7) 深谷純一: 第 11 回日本温泉科学会講演要旨集, 17 (昭 33).
- 8) 安齊 徹・室井 渡・佐藤 昭: 昭和 35 年度厚生科学研究研究報告書 (温泉の保護に関する研究).
- 9) 三本杉己代治: 福島大学教育学部理科報告, 第 16 号, 43 (1966).
- 10) 宮永徳一: 福島県衛生研究所研究報告, 第 66 集, 33 (昭 40).
- 11) 宮永徳一: 同上, 第 68 集, 94 (昭 40).
- 12) 宮永徳一: 温泉工学会誌, 投稿中.
- 13) 加藤武雄: 温泉科学, 13, 100 (1963).
- 14) 加藤武雄: 同 上, 15, 12 (1964).
- 15) 加藤武雄: 同 上, 15, 135 (1965).
- 16) 佐藤幸二・甘露寺泰雄: 同上, 18, 135 (1968).
- 17) 村下敏夫: "地下水学要論", 134 (昭 34 昭見堂).