

地質調査所報告 第192号

本邦諸温泉の地質学的研究

地質調査所

昭和37年3月

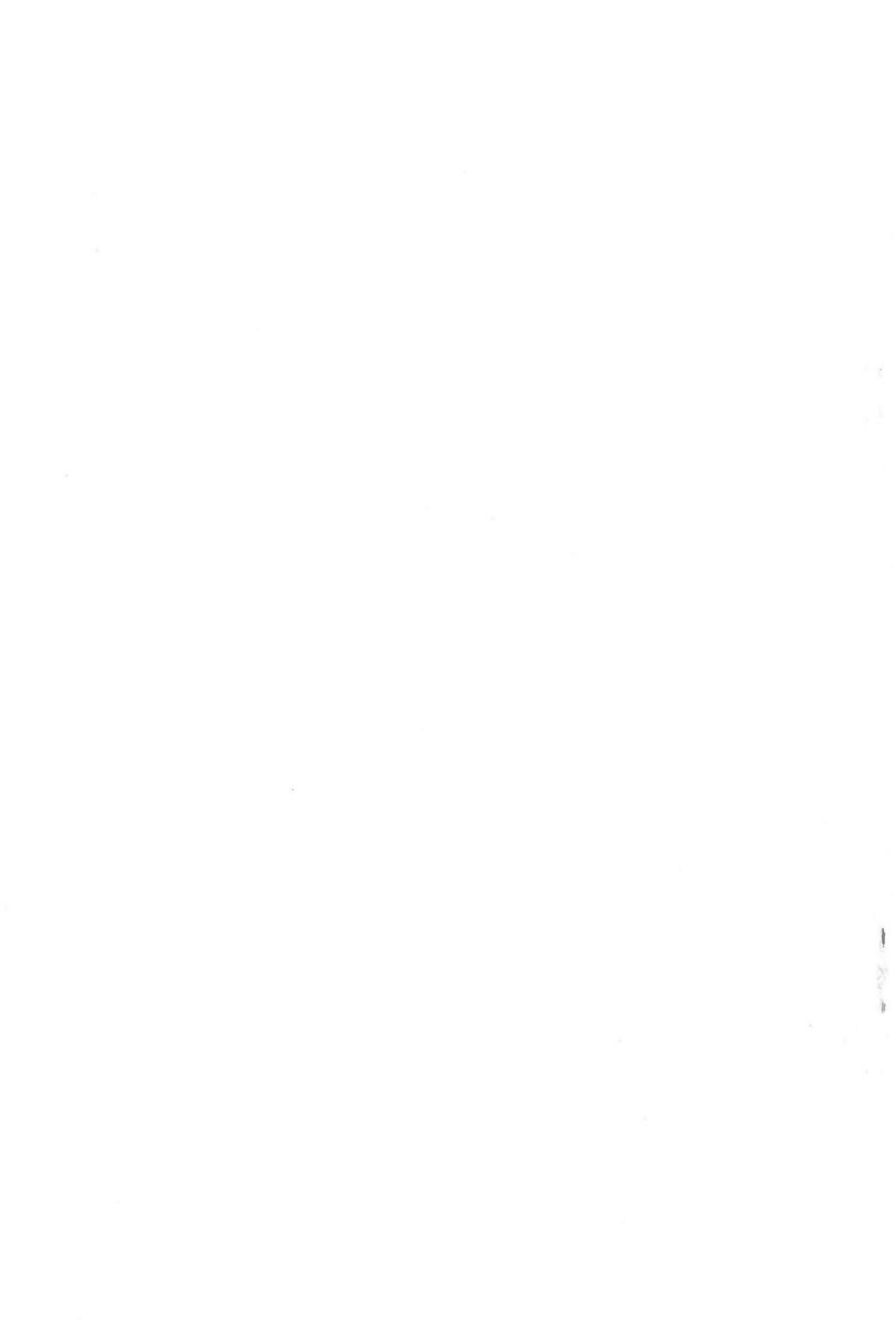
551.23 : 553.7(52)

地質調査所報告

所長 兼 子 勝

本邦諸温泉の地質学的研究

通商産業技官 中村久由



目 次

要 旨	1
序 言	1
第1部 各温泉の地質および化学成分概説	
I. 東 北 地 方	1
I. 1 大鰐・碓ヶ関温泉	1
I. 2 湯の沢・日景温泉	6
I. 3 秋の宮・皆瀬温泉群	6
I. 4 鬼首温泉群	9
I. 5 鳴子・中山平温泉	16
I. 6 熱塩温泉	22
I. 7 遠刈田温泉	23
I. 8 常磐炭田坑内温泉	24
II. 関東・中部地方	28
II. 1 万座温泉	28
II. 2 四方温泉	43
II. 3 六日町温泉	45
II. 4 瀬波温泉	47
II. 5 松之山温泉	48
II. 6 姫川温泉群	48
II. 7 山の内温泉群	50
II. 8 五色・七味温泉	53
II. 9 山田温泉	55
II.10 浅間温泉	55
II.11 下諏訪温泉	59
II.12 上諏訪温泉	60
II.13 増富温泉	64
II.14 湯山温泉	64
II.15 古奈・長岡温泉	64
III. 近畿・中国地方	70
III. 1 南紀温泉群	70
III. 2 有馬温泉	73
III. 3 三瓶温泉群	80
IV. 四国・九州地方	82
IV. 1 道後温泉	82
IV. 2 祖谷温泉	83
IV. 3 別府白竜・白湯温泉	84
IV. 4 筋湯・大岳温泉	86
IV. 5 霧島温泉群	90

IV. 6 山川温泉	103
第2部 温泉生成の地質学的考察	107
I. 温泉と地質との関係	107
I. 1 火成活動と関係ある温泉	107
I. 2 非火成岩地域の温泉	111
II. 第四紀火山性温泉の諸性質	111
II. 1 噴気ガスの成分とその地域的特徴	111
II. 2 噴気地帯に伴なう温泉水成分の2型	112
II. 3 Cl^- 固定帯の想定とその意義	112
II. 4 一温泉地帯の Cl^- 含量の分布とその規則性	113
III. 先第四紀火成源温泉の特徴	113
IV. 温泉の成因的考察	114
IV. 1 温泉の成因に関する従来の見解	114
IV. 2 第四紀火山性温泉の成因的考察	116
IV. 3 先第四紀火成源温泉の成因的考察	119
V. 温泉と地質構造との関係	120
VI. 総括	121
文献	122
Abstract	

本邦諸温泉の地質学的研究

通商産業技官 中村久由

要 旨

本邦の温泉は主として第四紀火山帯に沿つて分布するが、各湧出地域の地質状況、温泉水の化学成分を考慮に入れると、第四紀火山性温泉、先第四紀火成源温泉とに分けることができる。前者は第四紀火山体上に位置し、噴気孔を伴うことがある。後者は第三紀の火山岩・深成岩地域に存在するが、これらの火成岩は酸性岩の場合が多い。また、中生代花崗岩地域に伴う数少ない幾つかの例もある。

本文では、これらの第四紀火山性温泉と先第四紀火成源温泉の特徴を比較し、前者に較べ後者の成分含量が概して高いことに注目して、両者の成因に言及した。また、温泉の分布と地質構造との関係について、2, 3の問題点を指摘した。

序 言

厚生省国立公園部の調べによると、25°C以上の水温をもつ温泉は、わが国で6,550地点から湧出するといわれる。未利用のものを加えるなら、その数は、おそらく10,000以上という多きに達するに違いない。

わが国は世界でも有数の火山・温泉国であり、温泉に対する研究も、長い歴史をもつ温泉医学関係に加えて、地球化学・地球物理学の方面にも、近年、活発な進展を示している。これに対して、地質学関係では、従来、系統的な研究が乏しく、最近、観光資源、エネルギー資源の開発の立場から、漸く温泉を主対象とする調査研究が開始されたというのがその実情である。

しかし、温泉を地質現象の1つとして取扱うとき、温泉の存在は多角的な分野にわたつて種々の地質学的問題を提起する。温泉と火山ないし火成活動との関連、温泉と鉱床とのつながり、温泉と地質構造との関係等は、その2, 3の例にすぎないが、これらはおのおの独立した課題として重要な内容を含まただけでなく、問題相互の間に密接な関連がある。いわば温泉の本質に触れるこれらの問題は、温泉現象を地質学的立場から系統的に調査研究することによつて、初めて解明されるといつて過言でない。温泉の地質学的意義の重要な所以である。

本論文は、上述の観点に立つて、本邦各地域の温泉の中から地質時代を異にする火山岩・深成岩地域の温泉、非火成岩地域の温泉を選び(第1図)、第I部において各温泉湧出地域の地質状況、温泉水の化学成分、温泉と地質構造との関係等を記載し、第II部においてこれらの調査資料に基づき、温泉と火山ないし火成活動との関係、火山ないし火成活動に伴う温泉の諸性質について検討を加え、温泉の成因および温泉と地質構造との関係について見解を述べたものである。

本文を記述するにあたり、種々御教示を賜つた北海道大学鈴木醇教授・同石川俊夫教授に対して深甚の謝意を表する次第である。

第1部 各温泉の地質および化学成分概説

I. 東 北 地 方

I. 1 大鱈・碓ヶ関温泉(青森県)

大鱒温泉は(27)63(73)93, 弘前市の南方 12 km の地点に位置し, 東北地方北部の主要な温泉の 1 つである。碓ヶ関温泉(26)63)は大鱒のさらに南方 7 km の地点にあり, 古くから療養泉として知られているところである。



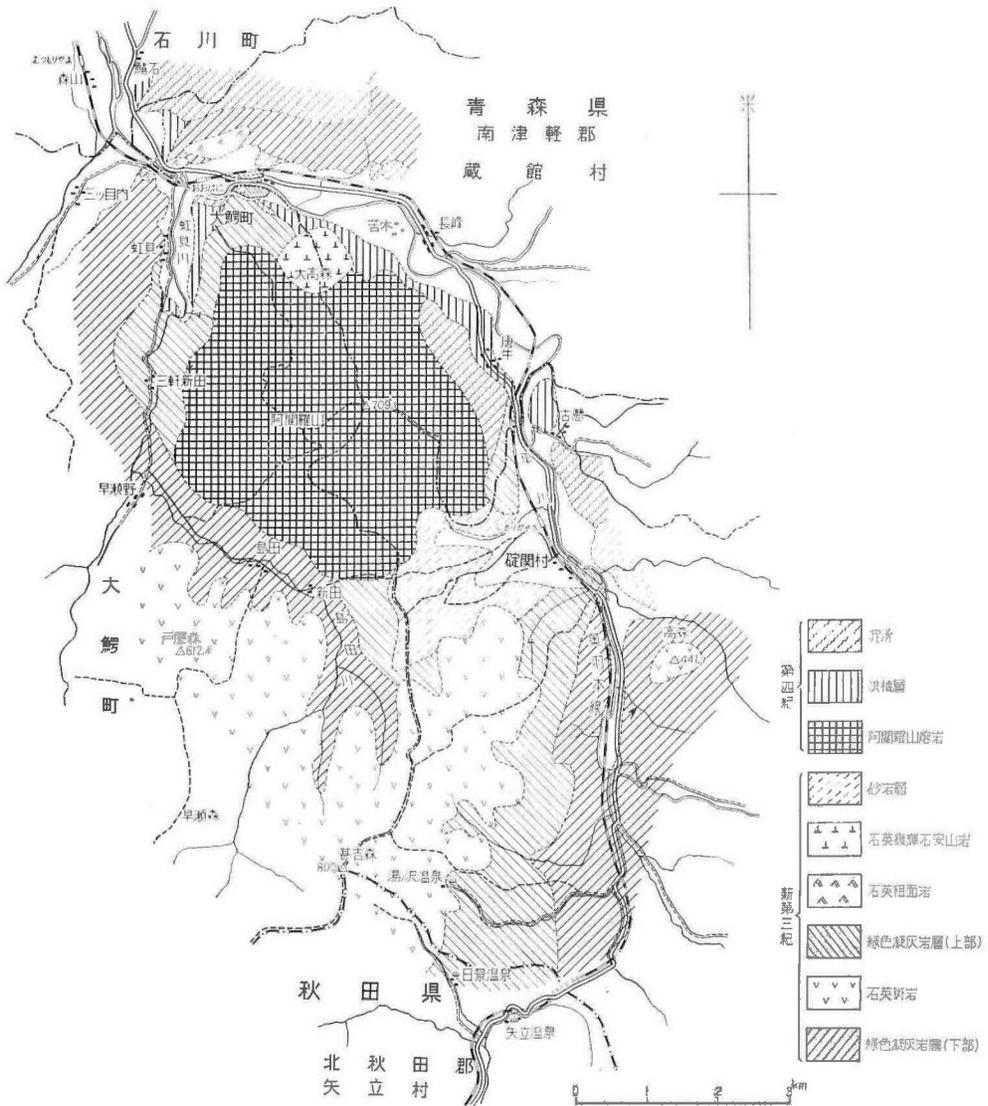
第1図 本邦温泉分布図

地質

大鱒・碓ヶ関温泉周辺の地質は, 第三紀緑色凝灰岩とこれを貫く火山岩類および第四紀阿蘭羅山熔岩からなる(第2図)。緑色凝灰岩層は上部と下部とに分けられ, このうち下部は凝灰岩・泥岩からなり, 外側の地域に分布する。上部は多孔質凝灰岩および凝灰質砂岩を主とし, 向斜状に大鱒-碓ヶ関を軸として南北方向に露出する。

この緑色凝灰岩を貫いて石英玢岩が岩脈状に分布し, また, 大鱒温泉南側の大高山の石英複輝石安山岩も第三紀火山岩とみなされる。

阿蘭羅火山は大鱒・碓ヶ関のはほぼ中間に位置し, 現在なお明瞭な火山地形を留めている。



第2図 大鰐・碓ヶ関温泉周辺地質図

温泉水の温度・化学成分

大鰐・碓ヶ関温泉の化学成分は、一括して第1, 2表に掲げた。この中から2, 3の成分的特徴を要約すれば次のとおりである。

- 1) 大鰐温泉の水温の分布は、平川を横切り北東方向に高温帯がつかなる(第3図)。温泉水の一部は沖積層の中に貯溜されるが、この方向に基盤の弱帯が潜在すると思われる。
- 2) 大鰐温泉は、 Cl^- 、 SO_4^{2-} で特徴づけられる。このうち、 SO_4^{2-} は Cl^- 含量に関係なく500~600 mg/lの範囲内にあり、 HCO_3^- との関係においても同様である。
- 3) 大鰐温泉の Cl^- と HCO_3^- 含量は正の相関関係にあり、また Cl^- と Na^+ 、 SO_4^{2-} と Ca^{2+} の間にも正の相関がみられる。
- 4) これらの関係から、大鰐温泉は Ca^{2+} と SO_4^{2-} で特徴づけられる水系と、 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- で特徴づけられる2つの水系からなることがわかる。

第 1 表 大鰐・蔵館温泉化学成分表

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HBO ₂	CO ₂	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ³
若松	55	7.0	1319	562.1		175.4	818.2	39.9	241.3	8.7	31.6	3.3	tr.	2.85	0.05	0.22
大鰐	48	6.9	872	364.2		169.6	536.6	35.4	162.4	6.8	20.7	9.0	tr.			
一三	67	7.1	1317	523.8		133.0	821.4	36.7	253.2	10.3	30.4	4.0	tr.			
湯横	73	6.9	1454	588.4		155.6			260.2	8.3		7.7	tr.	3.32	0.08	0.23
横山	79	7.1	1351	595.3		148.8			255.0	8.3		3.3	tr.	2.92	0.08	0.22
羽黒	—	7.3	1099	543.2		128.1			232.2	5.7		3.3	tr.			
佐藤	68	7.7	1035	540.5		128.1			220.9	5.9		3.3	tr.			
大黒	70	7.5	1031	548.9		128.1	659.3	34.1	225.9	5.2	27.9	4.2	tr.			
佐藤	76	8.2	1187	637.0	15.0	114.7	745.9	33.4	250.2	7.6	25.5	4.2	tr.			
三川	68	6.9	1258	627.9		164.7			248.3	7.6		4.2	tr.			
山吹	70	8.0	1379	576.1		152.5	812.0	40.5	253.1	7.9	32.8	0	tr.			
二原	64	7.3	1290	532.5		152.5	749.0	36.0	232.4	7.0	32.8	3.3	tr.			
梅香	66	7.0	1411	596.7		164.7	868.6	36.7	254.2	7.0	35.2	5.5	tr.	2.93	0.05	
加賀	64	6.8	1177	584.3		155.5			242.3	7.0		6.6	tr.			
中島	65	7.4	1304	630.0		167.3			253.7	7.1		5.3	tr.			
五十嵐	72	8.0	1017	592.6		146.4	638.9	27.7	228.4	7.4		0	tr.			
延命	55	6.9	1000	598.3		142.7			224.6	6.8		8.3	tr.			
青柳	76	8.2	992	594.6	12.0	122.0	631.0	31.5	221.4	6.3	23.9	4.8	tr.			
寿美	76	7.0	900	552.4		140.3			206.0	5.2		3.3	tr.			
秋元	59	7.3	936	550.0		121.4			209.3	6.1		3.3	tr.			
西尾	67	8.0	893	539.1		122.0			204.6	3.9		0	tr.			
一祐	—	7.4	819	527.5		106.8			193.1	5.5		3.7	tr.			
山本	61	6.9	744	466.3		134.2	494.1	24.4	169.4	5.0	20.7	8.4	tr.			
仙遊	66	7.2	843	528.4		134.2	508.3	27.7	197.1	5.5	23.1	4.6	tr.			
温泉	57	7.0	652	389.3		124.4			149.4	5.2		11.0	tr.			
菊地	72	7.0	819	518.9		125.1			190.7	5.2		5.3	tr.			
松方	80	8.0	836	524.3		122.0	585.6	29.6	194.6	4.4	24.3	0	tr.	1.75	0.05	0.21
不田	72	7.3	822	523.8		115.9	560.0	36.7	193.6	5.5	24.3	4.4	tr.			
前武	68	7.1	812	530.8		117.1	556.0	32.8	194.1	5.9	23.1	4.4	tr.			

単位 mg/l

第2表 碓ヶ関温泉化学成分表

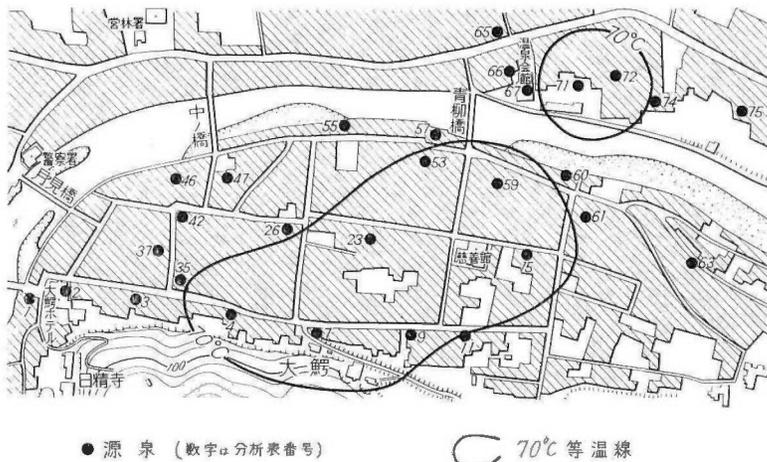
場 所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HBO ₂	CO ₂	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²
共同風呂上湯	57	7.2	688.3	54.7		58.0			83.4	0.4		3.7	0.0			
〃 大湯	58	7.0	631.2	54.7		54.3	335.2	14.8	82.4	0.4	13.4	4.0	0.0			
三笠旅館	61	7.6	703.5	59.3		56.1			89.4	0.4		1.8	0.0	1.55	0.05	0.22
柴田旅館	63	7.4	699.9	55.1		56.1	371.4	14.1	84.9	0.4	17.7	2.6	0.0	1.62	0.07	0.23
桜	51	7.2	565.6	51.0		57.3			76.0	0.4		3.1	0.0			

第3表 湯の沢・日景温泉化学成分表

場 所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HBO ₂	CO ₂	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²	I/Cl×10 ²
矢立	31	6.6	9138	51.0		1612			76.0	0.9		198	0.0	19.84	0.96	0.21	0.01
日景	46	6.2	6550	379.4		780.8	2977	394.9	752.7	218.5	50.0		68.0	13.10	0.87	0.20	0.00
湯の沢なりや	40	6.0	—	—		549.0							174.8				
〃	43	6.3	7949	141.1		1030			744.1	300.4	106.9		30.8				
〃 秋元旅館	46	6.1	5077	70.0		575.8	2407	259.2	483.4	159.9	61.7		132.6	10.09	0.7	0.20	0.01

第4表 噴気ガス分析表

番号	採取箇所	温度 (°C)	ガス成分 (Vol.%)								備 考
			水蒸気:ガス (Vol.%)		残						
			H ₂ O	水蒸気ガス	H ₂ O	H ₂ S	CO ₂	O ₂	SO ₂	残	
(I)	荒湯噴気	98	99.98	0.02	—	16.2	79.7	0	tr.	4.1	Dry state
			99.98	0.01594	0	0.00324	0.01594	0	tr.	0.00082	Wet state
(II)	大湯噴気	98	99.98	0.02	—	20.1	75.9	0	tr.	4.0	Dry state
			99.98	0.01518	0	0.00402	0.01518	0	tr.	0.00082	Wet state
(III)	川原毛噴気	84	—	—	—	tr.	tr.	1.9	tr.	98.1	Dry state



第3図 大鰐温泉源泉分布図

5) 大鰐と類似の地質状況にある碓ヶ関温泉は、 Cl^- と HCO_3^- に関する限り大鰐温泉の特徴とよく一致する。この点からみて、大鰐温泉の SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} を含む水系は、地下水に相当するものと思われる。

I. 2 湯の沢・日景温泉 (青森県・秋田県)

碓ヶ関温泉のさらに南に位置する一群の温泉で^{63) 94)}、この近くに矢内沢温泉・矢立鉱泉がある。

地質

第三紀緑色凝灰岩を湧出母岩とするが(第2図)、湯の沢・日景温泉一帯は変質作用をうけ、その北側に銅・鉛・亜鉛鉱床がある。この地域には石英粗面岩が広く分布し、湯の沢・日景温泉はこの石英粗面岩と成因的に関連があるようにみえる。

温泉水の化学成分

湯の沢・日景・矢立等の化学成分は第3表に示した。これらの温泉は次のような成分の特徴を有する。

- 1) 温度が低いのにに対して、成分的には Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_2 、 H_2S に富む。
- 2) 湯の沢温泉はガス圧によつて間欠的に湧出する⁹⁴⁾。
- 3) Br^-/Cl^- の比率は、一般の火山性温泉に近い値を示す。
- 4) これらの結果から、湯の沢・日景温泉は第三紀石英粗面岩の活動に関係あり、著しく成分が濃集した温泉とみなされる。

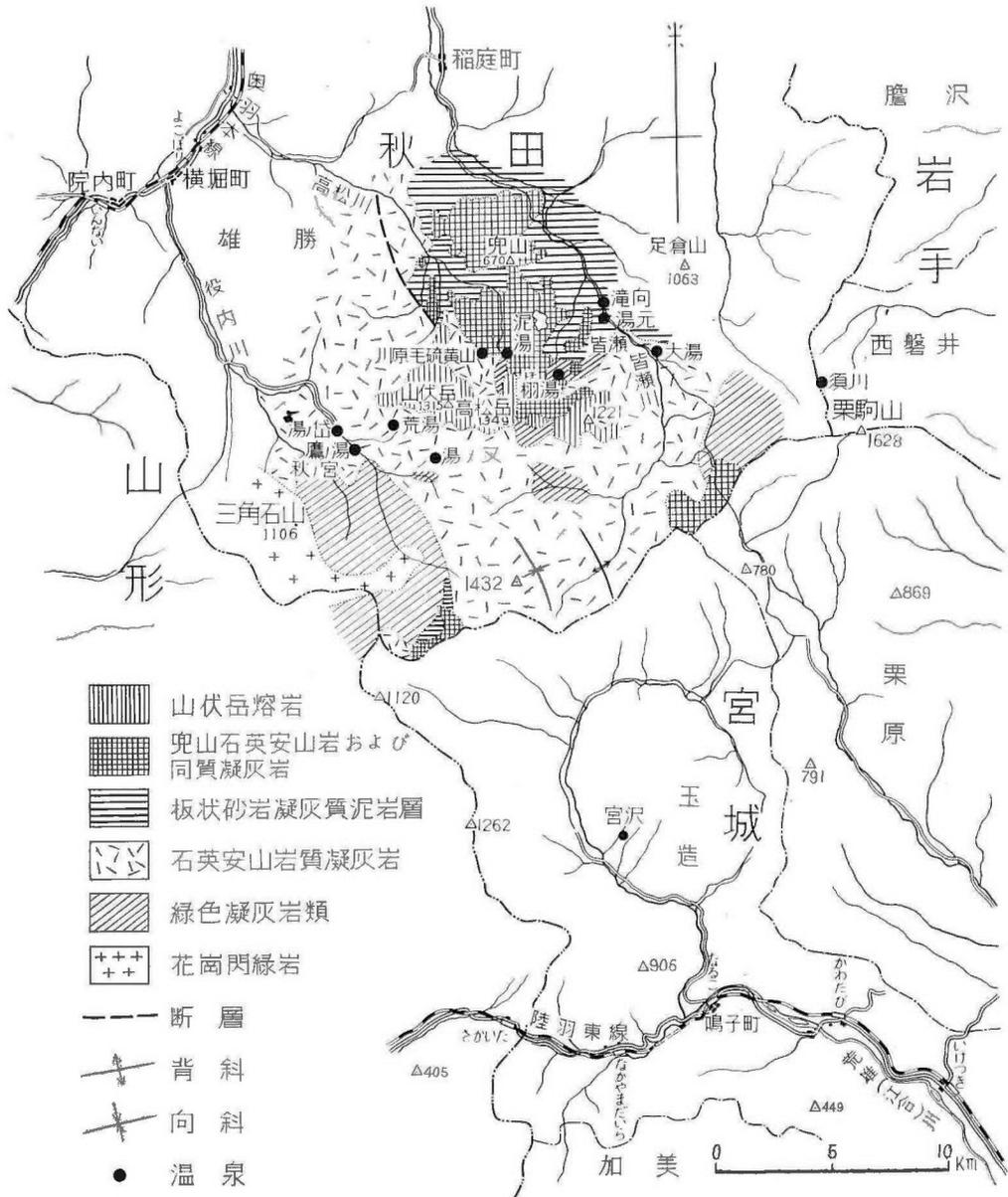
I. 3 秋の宮・皆瀬温泉群 (秋田県)

宮城・秋田県境に近い南秋田の地方には、比較的数多くの温泉が分布する。ここでいう秋の宮・皆瀬温泉群とは、この南秋田の一群の噴気・温泉に与えた名称であるが、この地域の特徴は、きわめて酸性の強い温泉を中心として、その周囲に噴気・温泉が明瞭な帯状分布を示すことであつて、火山性温泉の性質を検討するうえで、有効な資料を提供する地域である。

地質

加藤磐雄・島田昱郎の調査研究²⁴⁾によると、この地域の地質は花崗閃緑岩を基盤とし、第三紀下部層(緑色凝灰岩)、上部層(湖成層で特徴づけられる凝灰質砂岩層ならびに泥岩層)、兜山石英安山岩(湖成層と同時期)および山伏岳熔岩(第四紀石英安山岩)からなる(第4図)。

このうち、第三紀下部層は、花崗閃緑岩が分布する役内川から鬼首盆地周縁の北西側にわたつて広く発達し、緑色凝灰岩・凝灰角礫岩・変朽安山岩からなり、この上位を占める石英安山岩質凝灰岩とともに、この地域の主要な構成地層である。第三紀上部層は、高松川・皆瀬川中流に分布し、層理の明らかな板状凝灰質砂岩および泥岩で特徴づけられ、湖成層とみなされる地層である。



第4図 秋の宮・皆瀬温泉周辺地質図

兜山石英安山岩は、湖成層の分布とほぼ一致し、おもに石英安山岩質熔岩および同質凝灰岩からなり、兜山に標式的に発達する。山伏岳熔岩は、秋の宮温泉群と皆瀬温泉群のほぼ中間に分布し、第四紀火山活動によつてもたらされたこの石英安山岩は、この地域の噴気温泉群の熱源とみなされるものである。

噴気・温泉の分布

前述のように、この地域の噴気・温泉は⁵⁰⁾、山伏岳を中心として北東—南西方向に点在する。南西側のものは、秋の宮温泉群として一括され、その中には、荒湯・湯の又・鷹の湯・湯の岱等がある。北東側の一群は、皆瀬温泉群であつて、河原毛・泥湯・栩湯・小安・大湯等からなる。

このうち、河原毛・泥湯・栩湯・荒湯は噴気地帯であつて、変質帯を伴なう。他の温泉地帯では、大湯の小規模な変質帯を除いて、顕著な変質作用が認められない。

このうち、最も著しい変質地域は河原毛であつて、現在、硫黄の採掘が行なわれている。しかも、この地域の河床から湧出する温泉が pH 1.2 という強い酸性を示し、後述のように遊離塩酸を含む事実からみて、この地域が秋の宮・皆瀬両地域における温泉活動の中心とみなしてまず疑いない。この地域を中心として、その外側に泥湯・棚湯・荒湯等の噴気地帯があり、さらにその外側から温泉が湧出する状態は、火山性温泉の成因に関する1つの手掛りを与える例として注目に値する。

噴気ガスおよび温泉水の化学成分

荒湯・大湯・河原毛の噴気ガスについて、ガス成分を検出した結果は第4表に示した。

このうち、河原毛の噴気ガスは、比較的溫度が低く、ほとんど水分を含まず、しかも98%が不活性のガスである。この噴気孔の位置は、河床からかなり高い場所に位置するので、おそらく地下水ないし空気中に含まれる酸素が、還元性の噴気ガスによつて消費され、相対的に窒素その他の不活性ガスが濃集し、噴出するものと思われる。

次に温泉水についてであるが、その化学成分は一括して第5表に掲げた。この中からおもなことがらを要約すれば次のとおりである(第5図)。

第5表 温 泉 分

番号	温 泉 名	水 温 (°C)	pH	meq/l Acidity	H ₂ S	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	
1	秋の宮温泉群	鷹の湯	84	7.2	0.10	1.1	718.1	24.7	97.6	407.2
2		湯の岱	70	7.2	0.10	0.5	622.3	23.9	75.6	366.3
3		荒湯(1)	97	3.2	1.00	1.0	16.0	151.4	0	4.3
4		〃(2)	95	3.0	2.18	1.0	16.0	54.3	0	3.9
5		湯の又	47	6.8	0.26	0.8	16.0	0.1	400.5	127.1
6	皆瀬温泉群	小安滝向	80	8.0	0.10	2.0	213.7	107.8	68.3	151.5
7		〃元湯	60	6.6	0.50	3.4	33.7	15.6	16.5	13.8
8		〃湯元	54	6.5	0.50	0.8	16.0	11.5	18.3	13.8
9		大湯(1)	100	8.4	0.10	8.7	222.5	106.2	109.8	190.8
10		〃(2)	99	8.6	0.50	4.1	301.4	143.2	87.8	247.4
11		棚湯	92	3.2	1.16	1.5	14.2	44.4	0	5.5
12		泥湯(川端湯)	99	4.5	3.12	34.1	273.9	128.4	24.4	93.2
13		〃(上湯)	74	2.3	9.00	0.5	44.3	415.6	0	4.3
14		川原毛	92	1.2	60.35	0.5	1296.9	957.2	0	62.2
	荒湯噴気凝縮水		5.3	0.50	6.8	0	3.3	0	1.5	

1) pH は中心から外側に向かつて高い値をとる。

2) Na⁺/K⁺ および Ca²⁺/Mg²⁺ の比率は、一般に酸性泉では小さい値をとるのに対して、中性ないしアルカリ性の温泉では高い値を示す。

3) 河原毛温泉における各陽イオンのミリバールの合計が、Cl⁻ だけのミリバールに及ばないことからみて、この湧泉は、初生的に遊離塩酸を含むとみなされる。この結果から、河原毛の酸性泉は、地下浅所で地下水が塩酸を含む噴気ガスと接触し、地下水中に溶解した塩酸が、なお中和されずに湧出することを示している。

4) Cl⁻ とアルカリ金属のミリバールを比較するとき、Cl⁻ に対してアルカリ金属のミリバールが不足するか過剰であるかによつて2つの温泉群に分けることができる。前者は河原毛・泥湯・鷹の湯・湯の岱

等であり、後者は、小安流向・大湯等である。この関係は、噴気ガスと接触して温泉化した地下水の初生的な酸性度に関連があるようにみえる。

温泉の分布と地質構造

第4図の地質図から明らかのように、この地域の特徴として、北西—南東方向およびこれに交わる北東—南西方向の顕著な構造的弱帯をあげることができる。加藤・島田によると、秋の宮・皆瀬地域は、北西—南東の方向性をもつ褶曲軸と同方向の断層群の発達で特徴づけられ、とくに役内川・高松川・皆瀬川の流路の方向は、この地方の構造を支配する断層群の方向と一致し、それぞれ断層線谷に相当する。このうち、三途川層（第三紀上部層）の発達する高松川および皆瀬川の中流地域は、地形的、地質的に盆地状地溝帯に相当するといわれている。

この地域の各温泉の分布は、上述の2方向に従って配列する。このうち、温泉の湧出に関係ある構造はおもに北西—南東方向の裂か・間隙・断層であるが、全般的な温泉の分布は第四紀石英安山岩を含む北東—南西方向に卓越するようにみえる。この関係は、地下深所に北東—南西方向の弱帯があり、この弱帯に沿って湧出した石英安山岩が熱源となり、高松岳に近い河原毛・泥湯・棚湯等ではなお、地下浅所に噴気ガスが存在し、これらを中心としてより遠ざかった地域では、噴気ガスが地下水を加温して温泉となり、これらの温泉・

析 表

H₂S 以下の単位は mg/l

K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	H ₂ SiO ₃	Na/K	Ca/Mg
48.1	25.1	0.7	1.0	0	1.5	0	162.5	8.4	36.0
32.2	32.2	0.7	1.0	0	1.5	0	114.4	11.4	46.0
0.8	9.1	3.3	3.0	0	13.0	0.6	89.7	5.4	3.0
0.5	6.0	2.2	0.2	0	0.6	0.6	45.5	7.8	2.7
3.9	26.1	0.9	0.8	0	2.5	0	159.9	32.5	29.0
13.2	21.1	0.7	0.5	0	1.5	0	213.2	11.5	30.0
2.4	9.1	0.7	1.5	0	5.0	0	15.6	5.7	1.3
2.4	7.0	1.1	1.5	0	5.0	0	16.9	6.8	6.3
14.8	8.0	0.7	0.6	0	1.3	0	254.8	12.8	11.4
19.1	9.0	0.7	0.5	0	5.0	0	425.1	12.9	13.0
0.2	5.0	3.1	1.3	0	6.0	0	16.9	27.5	1.6
20.9	58.3	34.3	2.5	0	3.0	1.1	157.3	4.4	1.7
0.2	17.1	10.3	8.4	0	26.0	1.1	167.7	21.5	2.5
45.2	134.7	137.3	100.6	0	72.6	2.2	330.2	1.3	1.0
0.2	1.5	0.4	0	0	0.2	0	5.2		

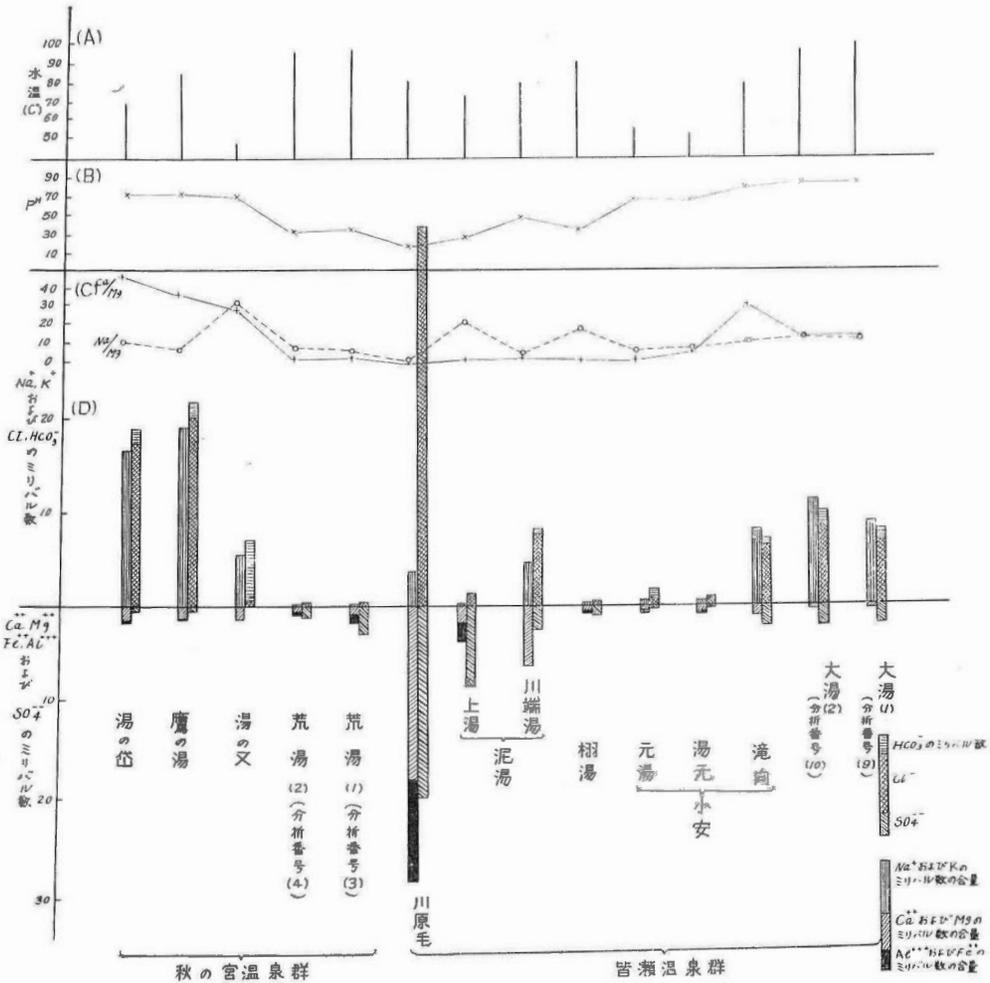
噴気が北西—南東方向の裂か・間隙・断層等に沿って地表に湧出すると解されるのである。

I. 4 鬼首温泉群 (宮城県)

宮城県鳴子温泉北方の鬼首盆地に分布する一群の噴気・温泉であつて、噴気地帯を中心におき、その外側から数多くの温泉が湧出する。

地 質

鬼首盆地は、9 km×7 kmの軸をもつほぼ円形の地形で特徴づけられ、片山信夫²³⁾および加藤啓雄・島田景郎²⁴⁾らによれば、この盆地の形成は、第三紀中新世ないし鮮新世の地殻変動に関連あるといわれている。盆地を構成する地質は、第三紀緑色凝灰岩・花崗岩を基盤とし、これを覆う湖成層および石英安山岩熔岩



第5図 秋の宮・皆瀬温泉群ミリ当量数比較図

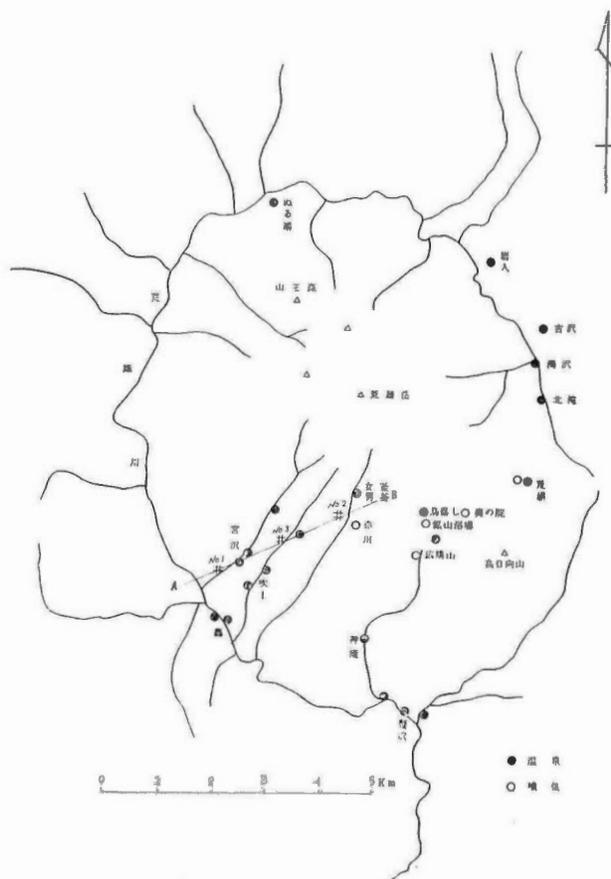
からなる(第6図)。湖成層は一折して鬼首層群⁶⁰⁾と呼んだが、この湖成層は岩質の上から次の5層に大別できる。すなわち、下部から基底礫岩層、集塊岩および凝灰岩層、泥岩・礫岩層、石英安山岩質凝灰岩層および泥岩・礫岩層である。この湖成層は、加藤・島田によれば、秋の宮・皆瀬地域の三途川層(第三紀上部層)に対比され、中新世後期の堆積物といわれているが、化石が乏しいため、地質時代についての詳細は明らかでない。

鬼首湖成層を貫く石英安山岩のうち、高日向山を構成するものは第四紀火山活動によるものであり、噴気・温泉群の熱源とみなされる。なお、山王森にもドーム状の石英安山岩が露出するが、時代的に高日向の石英安山岩よりやや古い疑いがある。鬼首層群は、この山王森石英安山岩の影響を受け、石英安山岩に接近するほど地層が急傾斜し、北側の荒雄川に沿う地帯では向斜構造を示す。この荒雄川に沿う向斜構造の軸の方向は、盆地形成の際、基盤内に生じた破砕帯の方向を示すものとみなされる。一方、この石英安山岩から遠ざかった盆地南半の地層は、あまり擾乱をうけず、僅かに南に傾斜する程度であるが、この地域を刻む NE および NW 方向の荒雄川の支流は、同方向に卓越する基盤内の構造的方向を暗示するようにみえる。

噴気・温泉の分布と化学成分

噴気露頭は、片山の爆裂火口内に点在する。この爆裂火口は高日向山の石英安山岩の火山活動によるものとみなされ、火口周辺の集塊岩が著しく変質するほか、火口内には沈殿硫黄および硫化鉄を胚胎する。温泉は、噴気地帯を取りまいて分布し(第7図)、南側のものは北側の温泉に比べ高温である。このうち、南側の

吹上・宮沢温泉には、古くから間欠泉(67)があり、また、珪華の沈殿によつて知られている。これらの噴気ガス・温泉水の化学成分は、一括して第6表および第7表に示したが、このうち、片山の噴気ガスが数年の間に、かなり著しい成分変化を示すことは注目に値する。



第7図 鬼首盆地温泉分布図

上記の温泉は、化学成分の上から2つの型に分かたれる。1つは、 SO_4^{2-} の多い酸性泉であつて、噴気地帯に伴なうものである。他の1つは、中性ないしアルカリ性の塩化物泉であつて、噴気地帯外側の温泉地帯から湧出するものである。これらの噴気・温泉の分布は、NE および NW 方向に卓越するが、これは、基盤内の構造的方向に関係あるものと思われる。

試すいによる調査資料

噴気・温泉の存在状態と地質構造との関係を知る目的で、盆地内で行なつた3本の試すいから得られた結果を要約すれば次のとおりである(第8図)。

1) 各試すい孔で測定した孔底温度のうち、赤沢上流右岸の2号井は特徴的な深度—温度曲線を示す。すなわち、 110°C から 130°C に上昇する著しい温度勾配は深度110~130mの間でみられ、しかもこの部分は集塊岩の中に挟まれた堅い熔岩流に相当する。この集塊岩とその下位の凝灰岩はかなり変質作用を受けているので、この2号井の堅い熔岩流は、天然蒸気に対して帽岩ないし被覆岩の役目をなしている可能性がある。

2) 吹上沢中流右岸の3号井は、3本の試すい孔の中で最も孔底温度が高く 180°C に達する。この試すい孔は掘さく中しばしば裂かに逢着したが、掘さく終了後汲揚試験を行なつた結果、熱水および蒸気を噴出した。

第 6 表 鬼首温泉群

採水箇所	水温 (°C)	pH	Re	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺
宮沢大新館	54.5	7.0		206	36.0		91.5		
〃	80	7.8		388.3	74.5		46.4		
〃 大旅館	94.2	7.5		318	55.8		48.8		
〃 かむろ	93	7.3		298.3	50.2		55.5		
〃 高危旅館	98.5	7.2	1041	372	74.6		61.0	266.6	17.6
〃	100	7.4	1023	367.9	66.3		60.0	229.7	18.7
〃	94	8.4		477	89.4	6.0	48.8		
〃 元湯問欠泉	82	7.6		362	82.0		67.1		
〃 元湯上流300m	40	7.0		184	28.6		54.9		
〃 ダムの傍	57	7.6		528	82.4		73.2		
吹上沢吹上旅館	91	8.2		458.3	84.8	13.2	37.2		
〃 滝の下の泉	95.5	3.0		49	78.8				
〃 旧問欠前	89	7.6		430	77.9		45.8		
〃 温泉神社	81	7.9		372.3	69.1		50.4		
〃 〃 上流	97.5	8.4		466	83.6	18.0	16.8		
〃 小問欠泉	95.5	8.2		446	75.4	21.0	6.1		
〃 上流問欠泉	95	8.5		464.5	81.5	22.8	11.6		
〃 問欠泉下	97	6.8		325	68.8		36.9		
〃 県庁ボーリング	100	8.4	1060	397.2	75.3	33.0	19.5	269.1	14.8
〃 問欠泉(湧出中)	99	8.4		389	82	12.0	61.0	289.4	18.0
〃 (最初の湧出)	99	8.4	1219	410	99.2	15.0	61.0		
〃 (大湧出)	99	7.8		336	73.8		67.0		
〃 問欠泉上流	99	8.0		495	98.4		67.1		
〃 最上流	98	7.1	820	297.9	60.9		40.1		
赤沢女釜男釜の傍	97.5	2.4		1023	613.2				
〃 女釜男釜	97	2.4		1054	624.8			603.4	144.0
〃	81	2.3		1071	652.2				
〃 赤川温泉	91	2.6		5.6	648.6				
〃	75	2.6		7.1	461.7				
轟 日の湯	49	7.0		177	36.0		73.2		
〃	55	6.7		136.5	25.9		71.4		
〃 高橋旅館	41.5	7.0		184	37.8		48.8		
〃 〃 旅館	87	7.4	1116	358.2	60.9		73.2	226.6	22.5
〃 〃 旅館	79	7.4		297	82.0		73.2		
大深沢神滝館	54.5	6.8	1833	789	30.4		146.4	404.4	65.2
〃	59	6.8	2024	822.7	19.8		146.4		
蟹沢江合川左岸	56.5	6.4	1407	205	334.4		512.4	207.6	12.4
〃 寿山荘	60	6.2	1376	185.1	299.6		510.0	226.6	22.5
荒雄硫黄山落し	19	2.6		7.0	1235				
〃 奥の院	100	2.4		6.3	870.8			38.3	9.8
〃 鈹山源泉	65.5	7.7		6.2	11.6		170.8		
〃 鈹山源泉	70	2.0		143.5	1105			116.4	17.6
北古濁 滝沢	31	6.7		501.7	7.4		181.8		
〃 濁沢	30.5	6.6		3.5	12.8		164.7		
〃 濁沢	35.8	6.5		5.3	17.3		195.8		
寒湯	28	8.0		3.5	14.0		61.0		
宮沢ボーリング	19	8.1		28.3		3.0	45.8		
吹上沢ボーリング	100	8.5	1484	563.8	105.3	36.0	12.2		

化 学 成 分 表

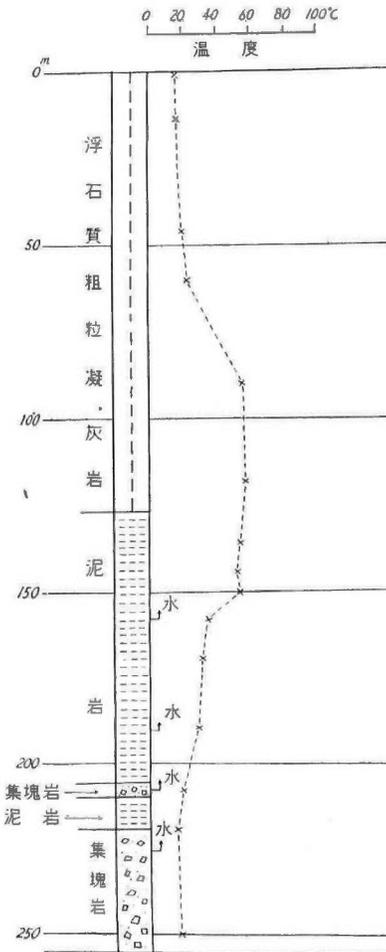
单位 mg/l

Al ³⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	CO ₂	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²
						6.2	0.3			
						13.2				
						14.5	0.3			
		34	tr.	41.3	184.6	8.8		0.61		0.16
9.8	0.3	17.2	1.3		163.8	8.8	1.7	0.7	0.05	0.18
						17.6				
						12.0	0.0			
						8.0				
						1.0				
							0.2			
						8.0	0.9	0.77		0.18
							0.4			0.18
							1.3	0.88		0.18
							0.2	0.85		0.18
							0.4			
6.2	0.2	16.1	1.7		201.5	26.4	1.2			
		20	tr.	33.0			1.2	0.6	0.05	0.15
							0.3	0.75		0.19
		16			271.7					
						4.4		0.61		0.18
6.1	0.3	16.1	1.7		157.3	11.1	0.5	0.93		0.19
							2.4			
							0.1	1.58		0.15
		119	53	86.7			0.0	2.00		0.19
		28	15				17.6			
						11.0		0.33		0.19
						11.0	0			
								0.35		0.19
3.5	0.3	15.1	1.5		357.5	9.2	0			
		12	tr.			11.0		0.54		0.18
		110	tr.	49.6	249.6	30.0		1.46		0.18
2.5	0.5	109.0	8.3		222.3	4.4				
		165	tr.	16.5	196.3	194		0.4		0.19
3.5	0.3	15.1	1.5		130.0	196				
							31.5			
		78.0	16.8	28.9						
						7.7				
		39.1	14.2	16.5			33.9	0.15		0.10
						24				
						29				
						65				
						4.0				
3.8	0.8	27.4	1.5	19.2	314.6					

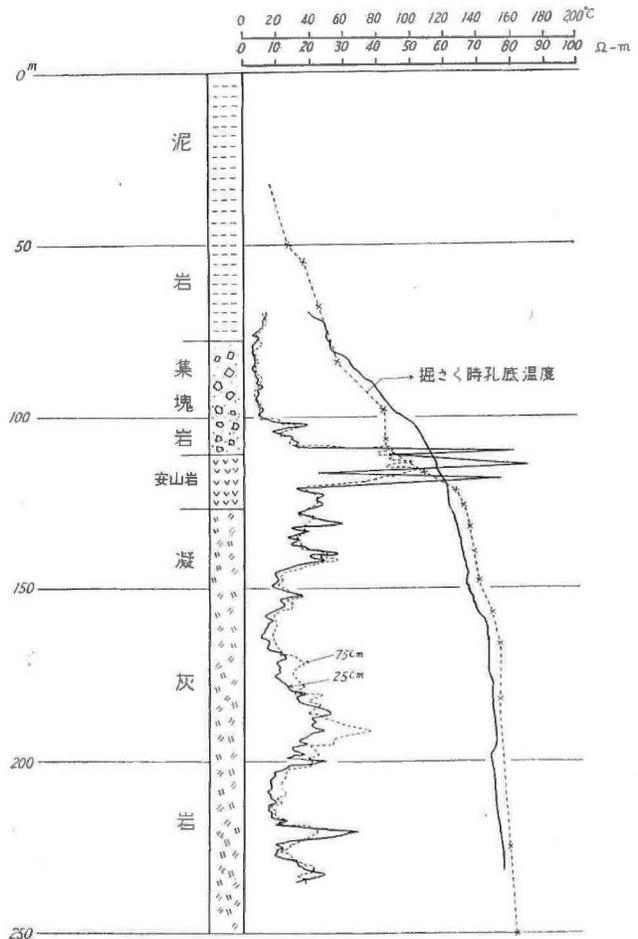
第 7 表 噴気ガスおよび温泉ガス化学成分表 (鬼首)

場 所	温泉 (°C)	温泉水 の pH	水蒸気:ガス (Val. %)		ガ ス 組 成 (Vol. %)					分 析 年 月
			H ₂ O	ガ ス	H ₂ S	CO ₂	SO ₂	O ₂	残	
荒 雄 硫 黄 山 広 晴 山	100		99.80	0.20	32.2	60.4	tr.	0	7.4	1955.10
〃 〃	100				58.4	34.5		0	7.1	1951. 8
〃 奥の院	100		99.87	0.13	49.7	60.4	tr.	0	1.1	1955.10
〃 〃	100	(2.4)			61.2	25.8		0	1.5	1951. 8
〃 鳥落し	19	(2.6)			83.5	7.1		0	9.4	1951. 8
吹上沢県庁ボーリング	100	8.4	99.98	0.02	15.5	56.9	tr.	0	27.6	1955.10
吹 上 沢 熱 泉	97.5	8.4			7.3	82.7		1.4	24.5	1951. 8
〃	95.5	(3.0)			1.8	72.3		1.4	8.6	1951. 8

() は地表水が加温された状態にあるもの



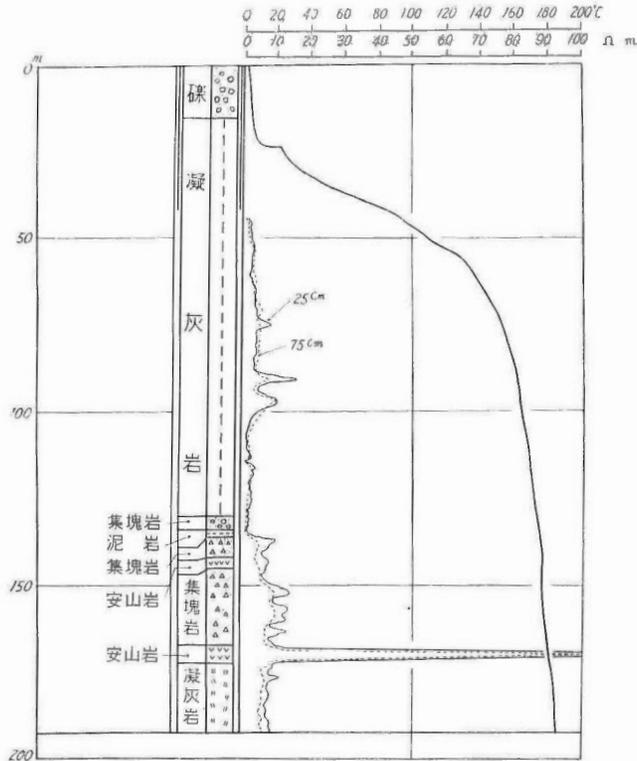
第 8 図a 試すい柱状図 (1号井)



第 8 図b 試すい柱状図 (2号井)

第 7 表 の 凝 縮 水

場 所	温 度 (°C)	pH	Acidity (meq/l)	CO ₂	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
あらお硫黄山 奥の院	98	4.0	0.9	—	tr.	6.2	—
吹上沢県庁ポーリング	98	5.9	0.4	n. d.	tr.	6.2	15.3



第 8 図c 試すい柱状図 (3号井)

3) 宮沢下流左岸の1号井では、集塊岩の部分から多量の地下水を噴出した。この地下水は集塊岩層に沿って吹上・宮沢温泉付近まで拡がり、裂かに沿って上昇した高温温泉水と混じて、間欠泉の素因をなすものとみなされる。

噴気・温泉と地質構造との関係

鬼首盆地の高熱地帯は、片山の噴気地帯と吹上・宮沢の高温温泉地帯に分けられるが、この片山の噴気地帯に近い2号井の資料によれば、深度110~130mの集塊岩を帽岩として、その下に天然蒸気が存在する可能性が強い。湖成層に覆われた基盤の中にはNEないしNW方向の破砕帯が予想されるので、この天然蒸気は基盤内の破砕帯に貯留されることも期待できる。一方、吹上沢で行なつた3号井は、しばしば裂かに沿って逢着し、しかもこの裂かから熱水を噴出したことからみて、この吹上沢は、基盤内の破砕帯の影響を受け、湖成層中に生じた割れ目の多い地帯に相当するとみなされる。すなわち、吹上・宮沢温泉地帯では、深部に滲透した地下水が天然蒸気によつて加温され、温泉化した地下水が主としてNW方向の破砕帯に沿って上昇し、湧出するとみなされるのである。

このように、鬼首盆地における噴気・温泉と地質構造とは密接な関係にあり、その分布と存在状態は、基盤内の構造的弱帯とこれを覆う湖成層の存在によつて支配されると結論される。

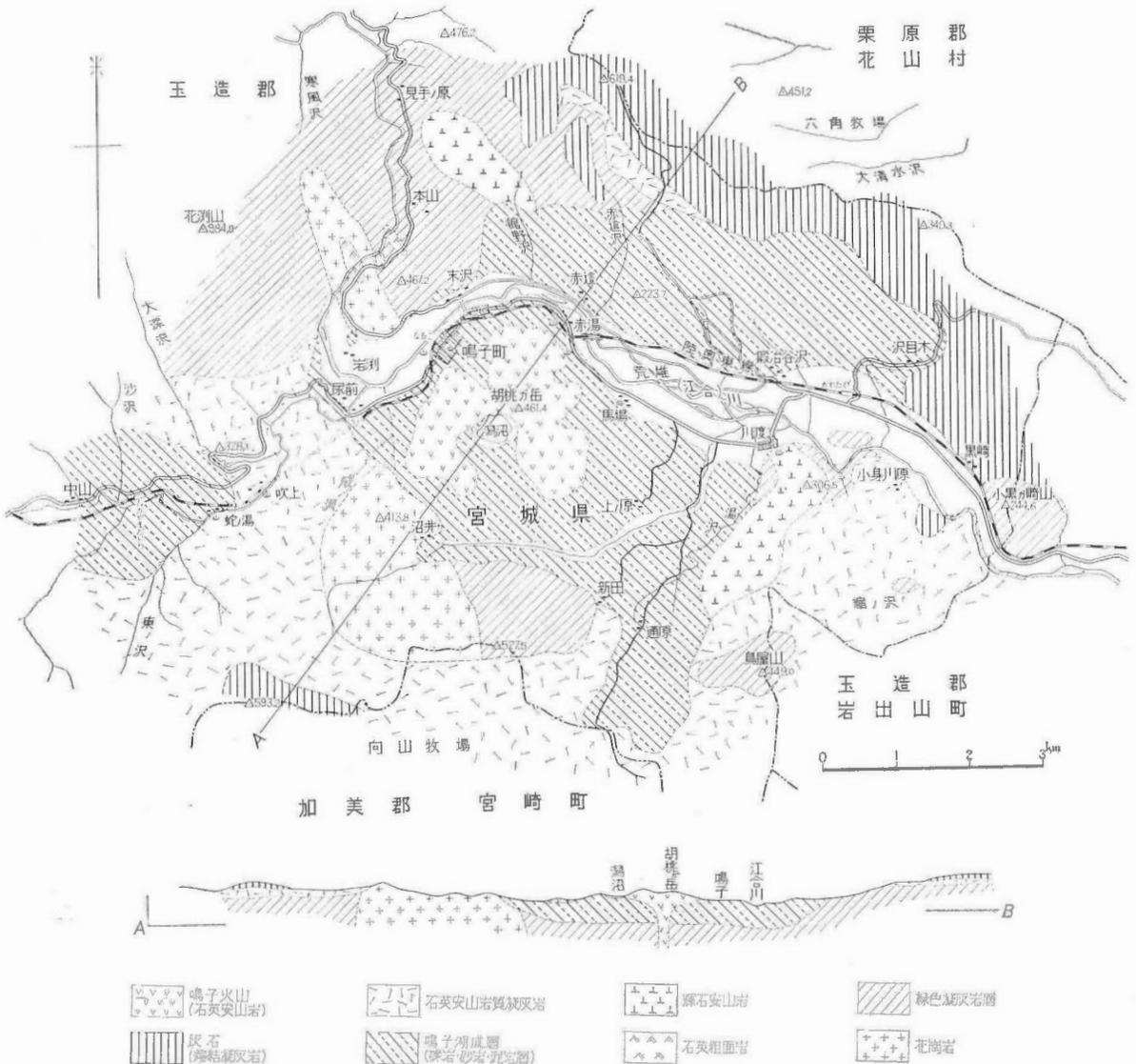
1.5 鳴子・中山平温泉(宮城県)

鳴子火山を中心として、その北側を流れる江合川の流域には数多くの温泉が分布する(38) (62) (96)。このうち、鳴子温泉は、泉質の多様なことによつてしばしば注目され、温泉の地質・地球化学の面に興味ある問題を提供するところである。

地質

鳴子・中山平付近の地質は、第三紀凝灰岩・花崗岩・火山岩類を基盤とし、これを覆う湖成層および石英安山岩質凝灰岩と第四紀鳴子火山の石英安山岩からなる(第9図)。このうち、第三紀緑色凝灰岩層は、凝灰岩・角礫凝灰岩を主とし、黒色泥岩・砂岩等を挟み、石英粗面岩岩脈、安山岩質岩脈によつて貫入される。走向はほぼ東西で、鬼首—鳴子間の荒雄川の流域には数本の褶曲軸があり、西に開いた拗曲構造を呈する。

湖成層は、層理の明らかな泥岩と礫岩からなり、浮石質凝灰岩を挟む。鳴子火山の沼沢付近にもこの地層が分布するが、これは鳴子火山生成のとき、基盤に当る礫岩層の一部がこの高さまで隆起したものである



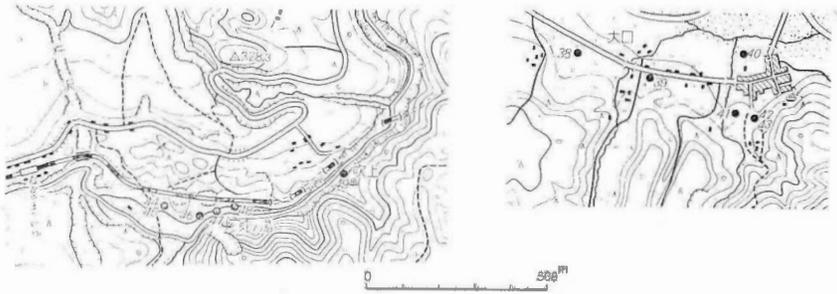
第9図 鳴子・中山平温泉周辺地質図

う。この地層は鬼首湖成層中の泥岩・礫岩層に類似するが、鬼首湖成層と異なる点は、メタンガスを含むことである⁶²⁾。この地層は、下位のものほど堅く、かつ層理も明らかであるが、上位に移るほど脆弱となり、石英安山岩質凝灰岩に移化する。この石英安山岩質凝灰岩は鳴子の盆地を挟んで北と南に広く分布し、その上部は熔結し、柱状節理がみられるところがある。

鳴子火山の石英安山岩は、秋の宮・皆瀬地方の高松岳、鬼首盆地の高日向山と同じ第四紀火山活動によるものであつて、この地域においても、温泉の熱源とみなされるものである。

温泉の分布と化学成分

江合川流域の温泉は、中山平温泉と鳴子温泉とに分けられる。このうち、中山平温泉のほとんど全部は江合川の右岸から湧出し、上流からあすか温泉・仙庄館源泉・東蛇湯・吹上温泉等がある(第10図)。鳴子温

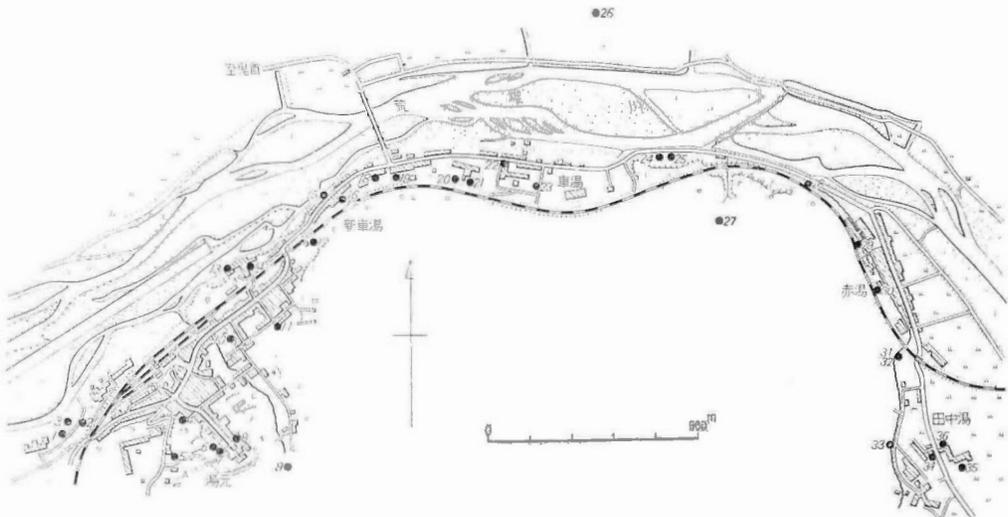


第10図 中山平温泉分布図

泉は湧出範囲が広く、鳴子湯元・車湯・赤湯・田中湯・馬場温泉・川渡温泉等を含めると、江合川に沿って約5kmの距離に達する。これらの温泉は、大部分が江合川右岸から湧出し、左岸に位置するものは僅かに1カ所にすぎない(第11図)。

中山平および鳴子温泉の化学成分は、一括して第8表に掲げた。これらの分析結果の中から、温泉水の特徴を要約すれば次のとおりである。

1) 中山平の蛇湯・鳴子湯元(上地獄)・八幡湯(下地獄)等は温度高く、上地獄・下地獄には噴気露頭がある。かつて上地獄で試すいを行つた結果によると、最高175°Cの孔底温度を示したといわれる。



第11図 鳴子・川渡温泉分布図

第 8 表 鳴子・中山平温泉

番号	場 所	深 さ (m)	水 温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
1	農民の家 No.1	223	65	7.5	17.7	906.1	847.9		368.2	36.0
2	〃 No.2	190	67	7.3	95.4	1030.6	512.4			
3	〃 No.3	180	33	6.1	28.3	56.4	195.2		45.6	3.9
4	横 屋 下	—	79	8.4	574.0	703.7	244.0	34.2		
5	上	—	96	8.4	423.8	800.4	197.6	36.0	662.5	32.2
6	遊 佐 屋	40	100	9.0	388.5	830.4	158.6	7.3	703.4	11.6
7	滝 の 湯	0	37	3.2	30.0	513.6	0			
8	高野屋(うなぎゆ)	—	98	9.4	512.1	829.1	158.6	14.4		
9	稲 門 の 湯	100	98	8.1	370.9	513.6	328.2	18.6	604.3	30.2
10	早 稲 田 湯	75	81	7.3	240.2	637.0	221.4		412.3	19.9
11	東北大鳴子病院	90	93	8.6	183.7	250.2	122.0	24.0		
12	八 幡 湯	70	91	8.0	741.7	530.8	134.2	0.0		
13	西 多 賀 の 湯	1	61	7.0	524.5	669.1	646.6			
14	東 多 賀 の 湯	1	55	3.9	151.9	112.8	0			
15	あ ら お 荘	—	100	8.5	734.7	193.4	42.7	36.0		
16	新 福 旅 館	96	100	8.4	476.8	590.9	41.5	19.2	497.3	10.3
17	〃	—	100	8.4	561.6	387.6	26.8	30.0	511.4	16.1
18	高 繁 旅 館	1	70	6.5	100.7	662.5	100.7			
19	菅 原 旅 館	110	100	8.6	393.7	209.9	45.1	24.0		
20	金 忠 旅 館	3	78	8.2	342.6	314.4	156.2	12.6		
21	〃	80	80	6.6	109.7	794.2	542.9			
22	鳴 峡 荘	70	88	7.0	169.5	573.7	555.1			
23	一 福 旅 館		80	6.8	158.9	242.8	632.0		265.9	27.7
24	弁 天(大正館)		50	7.1	70.6	42.8	878.4			
25	〃		66	7.0	61.8	79.0	750.3			
26	国立鳴子病院	110	60	6.7	97.1	615.6	524.6		283.2	13.5
27	唐 竹 沢 源 泉	52	95	8.4	326.7	429.6	658.8	78.0	601.1	23.2
28	赤 湯 源 泉	100	96	8.2	176.6	197.5	640.5	39.0	344.6	12.2
29	大 沼 館	310	71	7.7	67.1	6.1	628.3		210.9	17.3
30	勘 七 旅 館	220	52	7.3	93.6	14.5	578.3			

化 学 成 分

單位 mg/l

Al ³⁺	Fe ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	H ₂ S	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl ×10 ²
1.4	0.3	245.7	45.7	44.0	61.9	17.0	150.8				
1.4	1.0	165.5	24.1	44.0	6.7		145.6				
1.9	0.3	18.0	14.2	85.4	0.0	9.7	150.8				
3.1	<0.1	6.5	0.5		40.1						
3.1	<0.1	10.5	1.2		34.5	68.0	185.0				
					40.1	68.0	139.1				
	<0.1	34.1	0.9		22.3						
1.6	2.0				71.0		205.4		0.46	0.03	0.09
	<0.1	34.1	0.9		22.3	63.2					
	0.4	18.1	1.5	7.0	20.6						
3.0	0.2	22.6	0.7		18.7	29.2	261.3				
	0.1	10.0	2.2		0.0		263.9	1464	0.63	0.04	0.08
1.0	0.1	33.6	3.9	66.0	47.5		301.6	2155			
12.2	1.4	43.6	15.3		46.2						
					0.0				0.60	0.05	0.08
3.1	0.2	36.8	1.1		0.0	74.1		2130			
2.6	<0.1	30.1	0.6		0.0	92.3					
	<0.1	27.6	5.9	8.8	0.0						
2.1		32.1	0.9		0.0	77.8	340.6	2241			
	0.2	21.1	0.7		0.0						
2.6	1.5	68.2	21.6	56.1	0.0	34.0	310.7	1527			
3.0	1.6	64.2	22.9	11.7	0.0	34.0	374.7	1463			
	2.3	60.2	24.3	12.3	0.0	29.2	388.7	1464	0.19	0.01	0.12
0.8	0.3	78.2	15.4	66.0	0.0		157.3				
1.2	0.5	26.1	4.9	85.8	0.0		166.4				
1.5	<0.1	171.0	22.6	66.0	0.0	12.2	146.9				
3.1	<0.1	3.0	1.2		0.0	60.8	390.0				
	<0.1	24.1	5.6		0.0	31.6	184.6				
1.5	0.1	6.0	1.8	44.0	4.9		222.3				
0.7	0.4	14.0	6.6	48.4	3.6	21.9	205.4				

番号	場 所	深 さ (m)	水 温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	
31	田 初音旅館	250	53	7.1	56.5	2.5	968.4				
32		250		7.2	56.5		1165.1				
33		中 高友旅館 No.1	220	80	8.0	65.3	34.6	1000.4	0.0	250.2	14.8
34			120	54	6.5	23.0	7.4	691.7			
35	泉 〃 No.3	150	48	6.6	35.3		558.8				
36		400	67.5	7.1	268.4	61.7	1766.3		679.8	30.2	
37	馬場温泉	320	43	6.9	45.9	3.3	1024.8		297.4	12.9	
38	川 高東旅館	140	57.5	7.3	137.4	10.9	505.1				
39		高橋金	—	30	7.0	19.4	1.0	976.0			
40	渡 川渡支所横	—	52	7.3	14.1	78.2	649.0		157.4	1.3	
41		温 玉造荘	180	54.5	7.4	23.0	157.1	463.6			
42	泉 高久旅館	—	33.5	7.4	3.5	95.5	239.1			1.0	
43		〃	130	56.0	7.6	17.7	130.0	522.2			
44	中 あすか旅館	150	66.5	8.3	10.6	12.3	122.6	13.2			
45		星の湯	168	86	8.8	10.6	9.1	50.6	16.8	7.9	0.6
46	山 仙庄館	110	72.5	8.1	8.3	16.5	118.3	14.4			
47		温 元蛇の湯	0	76	7.2	10.6	97.1	398.9			
48	泉 東蛇の湯	—	100	8.9	114.8	1215.5	246.4	72.0	190.4	10.9	
49		吹上温泉	—	98	8.9	74.2	102.1	219.6	72.0	124.3	4.5
50	東北大鳴子病院源泉凝縮水		100	6.0	88.3	468.0	42.7				

2) 鳴子温泉の pH は 3.2~9.4 の広い範囲を示す。pH 3.2~3.9 の酸性泉は一般に温度低く、Cl⁻ 含量も少ないので、その大部分が遊離硫酸を含む地下水とみなされる。pH 8.0~9.4 のアルカリ性泉は、高温地帯に集中する傾向がある。このアルカリ性は、水硫化物の溶存による場合と、高温のため CO₂ が逸散し炭酸塩が加水分解することに帰因するものがある。pH 6.1~7.7 の温泉は、CO₂ の溶存によるものであつて、おもに高温地帯外側の温泉に多い。

3) 鳴子温泉の高温帯は一般に Cl⁻ 含量が高い。これに対して、中山平の諸温泉は、鳴子に比べ Cl⁻ 含量が低いにもかかわらず高温帯内にある。温泉水の Cl⁻ は、HCO₃⁻、Br⁻ と正の相関関係にあり、Br⁻/Cl⁻ × 10² の値が 0.08~0.12 という低い値をとることからみて、温泉水の Cl⁻ は初生的な温泉成分と

第 9 表 温泉ガス化学成分

	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CH ₄ (%)	残 (%)
高友旅館(田中温泉)	77.2	0.2	13.5	19.1
馬場温泉	22.2	0.2	42.8	45.8
高橋金(川渡温泉)	12.6	0.1	82.8	4.5
仙庄館(中山平温泉)	1.3	0.2	72.8	25.7

Al ³⁺	Fe ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	H ₂ S	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl ×10 ²
1.3	0.4	14.0	7.7	50.6	4.9		224.9				
				70.4	4.3						
1.9	1.7	32.1	7.8		8.6		332.8				
0.9	0.2	46.1	14.6	114.4	3.2	9.6	222.3				
				59.4	3.3						
3.0	0.3	18.0	2.0	44.0	18.4		239.2		0.35	tr.	0.13
2.4	0.3	23.1	12.4	37.4		17.0	170.3				
1.5	<0.1	29.1	4.6	9.2	10.9	12.2	184.6				
1.4	0.3	77.2	33.4	48.4	0.0	17.1	117.0				
0.9	0.2	21.1	7.7	9.7	19.0		165.1				
1.0	<0.1	33.1	7.7	7.5	16.6						
	<0.1	28.0	6.3	4.4	11.1		75.4				
1.5	<0.1	27.1	4.6	14.1	14.7		184.6				
3.1	<0.1	0.5	1.2		tr.	3.6	249.6				
2.1	<0.1	1.0	0.7		tr.	6.1	135.2				
1.5	0.1	1.5	0.2				278.2				
1.4	0.2	23.1		7.9	13.7		170.3				
3.0	<0.1	3.0	0.4		56.7		314.6				
1.5	<0.1	4.5	0.9		22.4		208.0				
2.5	0.2	23.1	1.2		16.8		131.3				

みなされる。

4) 温泉水の SO_4^{2-} 含量は、鳴子火山潟沼前面の地域に多い傾向がある。この中には、pH 3.2~3.9 の酸性泉が存在するので、鳴子温泉の SO_4^{2-} は、潟沼から滲透した酸性地下水が、温泉水に混入したことに関係があると考えられる。

5) 温泉は全般的に HCO_3^- 含量が多い。田中湯・馬場温泉・川渡温泉・中山平仙庄館源泉等の温泉は温泉ガスとしてメタンガスを含有することからみて(第9表)、この HCO_3^- はガス水から導かれたものと判断される。鳴子温泉の中に、 H_2S を含む地域と含まぬ地域が、かなりはつきり分かれているが、これは、温泉成分としての H_2S が、ガス水に含まれる CO_2 によつて追出されたためと思われる。また、高温地帯で HCO_3^- が減少するのは、高温のため、ガス水が破壊されたことを暗示している。

6) 以上の結果を総括すると、鳴子・中山平の温泉水は、初生的な温泉水 (Cl^- , H_2S) と湖成層中のガス水 (CH_4 , CO_2 , HCO_3^-) に加えて、潟沼からの酸性地下水 (SO_4^{2-}) によつて成分の特徴が付加されたと解される。

温泉の分布と地質構造

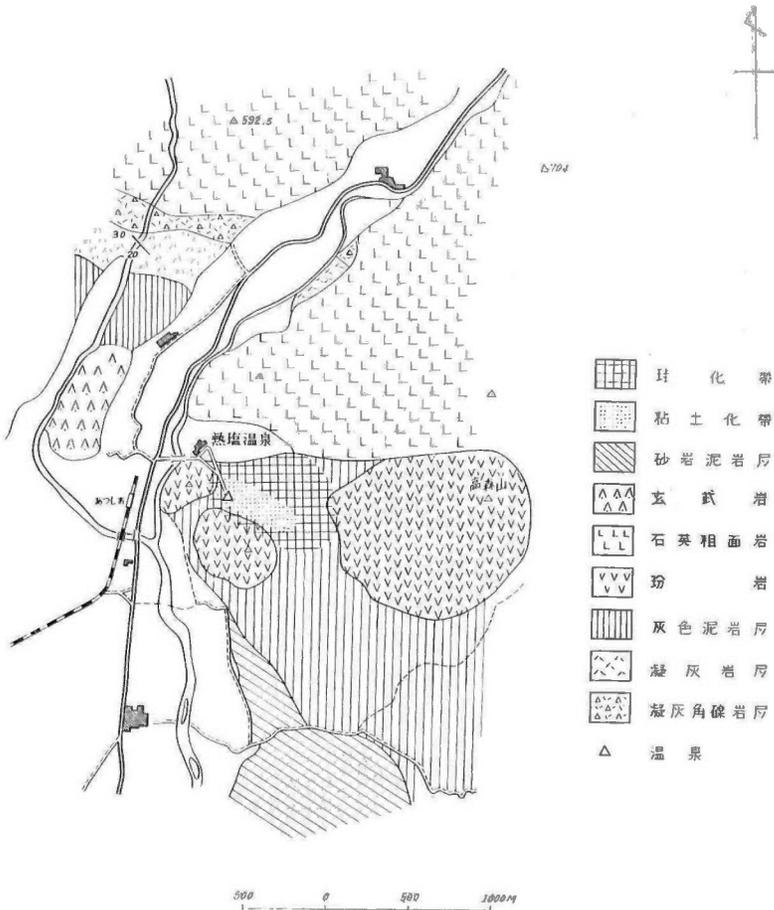
鳴子・中山平の温泉群は、いずれも湖成層を湧出母岩とするため、基盤の構造と温泉との関係はあまり明らかでない。しかし、中山平・鳴子・川渡の温泉が江合川に沿つて分布することからみて、江合川の流路が、温泉の上昇を導く基盤内の通路と思われるが、さらに、これらの温泉水が湖成層の中に貯溜され、現在みられるような広い湧出範囲をとるに至つたと推定される。

I. 6 熱塩温泉 (福島県)

熱塩温泉⁶⁴⁾は、福島県喜多方市から分岐する日中線の終点熱塩駅の東方300mに位置し、古くから療養泉として知られているところである。この熱塩温泉の北約2kmに日中温泉がある。

地質

熱塩温泉付近の地質は、下部から第三紀緑色凝灰岩層・灰色泥岩層と、これを覆う石英粗面岩および玢岩の貫入岩体からなる。温泉を囲む三方の山地はこの玢岩からなり、温泉湧出地付近の泥岩層は変質し、中心



第12図 熱塩温泉付近地質図

第10表 熱塩・日中

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
熱塩温泉	72	7.8	6613	109.8	390.1	
日中温泉	37	6.4	1826	562.1	1107	
〃 旧ボーリング	21	6.2	1950	471.6	1220	
〃 炭酸泉	16	6.1	1773	334.1	1177	
ぬくみ	30.5	6.1	2304	380.2	869.3	

に粘土化帯，外側に珪化帯が発達する（第12図）。

温泉水の化学成分

熱塩温泉および日中温泉の化学成分は第4表に掲げた。この分析結果をみると，熱塩は，6g/l以上という高い Cl^- 含量で特徴づけられ，比較的 HCO_3^- に乏しい。これに対して，日中温泉は Cl^- ， HCO_3^- で特徴づけられる。

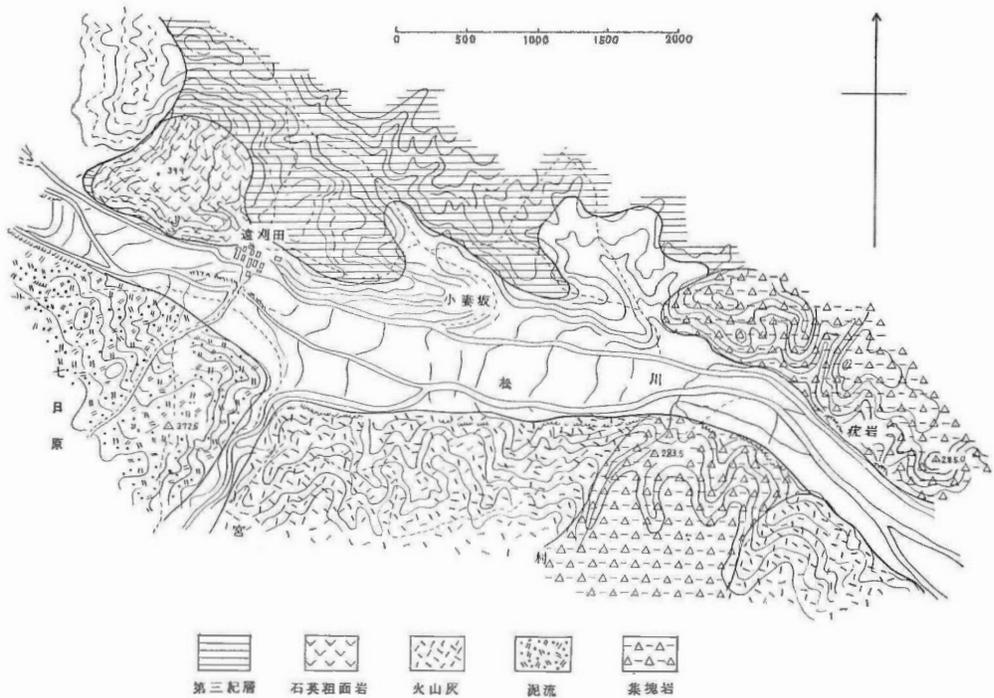
I. 7 遠刈田温泉（福島県）

宮城・山形県境の蔵王山から流下する松川に臨む温泉で⁶⁴⁾，青麻山の北麓に位置する。

地質

第三紀緑色凝灰岩とこれを貫く石英粗面岩を覆つて，青麻火山の火山性碎屑物および松川氾濫原堆積物が広く分布する（第13図）。

温泉は，白色に変質した堅い石英粗面岩を湧出母岩とし，一部はこれを覆う新期の堆積物の中に貯溜される。温泉は，いずれも試すいによつて得られたものである。



第13図 遠刈田温泉周辺地質図

温泉分析表

単位 mg/l

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Br^-	I^-	CO_2	$\text{Br}/\text{Cl} \times 10^2$
2990	156	1128	20.5	15.3		1.8	0.23
		400	59.2			128	
		512	71.6			81	
		460	78.6			139	
		388	71.6			92	

温泉水の化学成分

遠刈田温泉の化学成分は第11表に掲げた。この分析結果から、成分的特徴を要約すると次のとおりである。

第11表 遠刈田温泉主化学成分表

単位 mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Re	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	Br ⁻	Br/Cl×10 ²
東の湯 (口の湯)	62.2	6.4		300.7	910.0	564.0	218.7		101		
なかのや	62.0	6.4		297.3	903.4	574.5	197.5	6.2	106	0.70	0.25
大沼旅館	61.5	6.4	2250	302.2	887.0	577.2	217.0		104		
大忠 "	60.5	6.4		300.7	891.9	591.5	229.4	10.0	119	0.66	0.23
大源 "	59.5	6.4		300.0	885.3	573.5	173.7		111		
佐藤 "	59.5	6.2	2206	296.7	861.5	581.0	214.4	7.6	114		
大小室 "	53.0	6.4	1924	250.3	771.8	473.1	177.1		79	0.52	0.22
遠藤 "	51.5	6.6		203.1	755.3	354.2	201.6		48	0.46	0.22
いろはや "	50.5	6.4	1974	266.7	771.0	507.3	142.6		92		
あづまや "	44.8	6.4		154.3	567.7	320.5	121.2		56	0.37	0.23
村上屋 " (1)	46.5	6.5		217.0	704.3	400.8	163.2		56		
" " (2)	29.0	6.4		32.1	116.8	111.8	20.8		15		
水道水	10.0	6.9		4.1	12.5	34.8	9.5		4		

1) SO₄²⁻/Cl⁻ の比率をとつてみると、1.65~1.75 の一群、2.07~2.22 の一群およびこの中間におちる数少ない温泉に分けられる。このうち、比率の小さな温泉は、温度低く大きなものは比較的高温である。いいかえると、温度と SO₄²⁻/Cl⁻ は逆の相関関係にある。

2) Cl⁻ と HCO₃⁻ は正の相関関係にある。

3) これらの結果から、遠刈田温泉は、Cl⁻、HCO₃⁻ で特徴づけられる温泉が、SO₄²⁻ を含む地下水を混合し、混合量の多いものほど水温が低下することを示す。

I. 8 常磐炭田坑内温泉 (福島県)

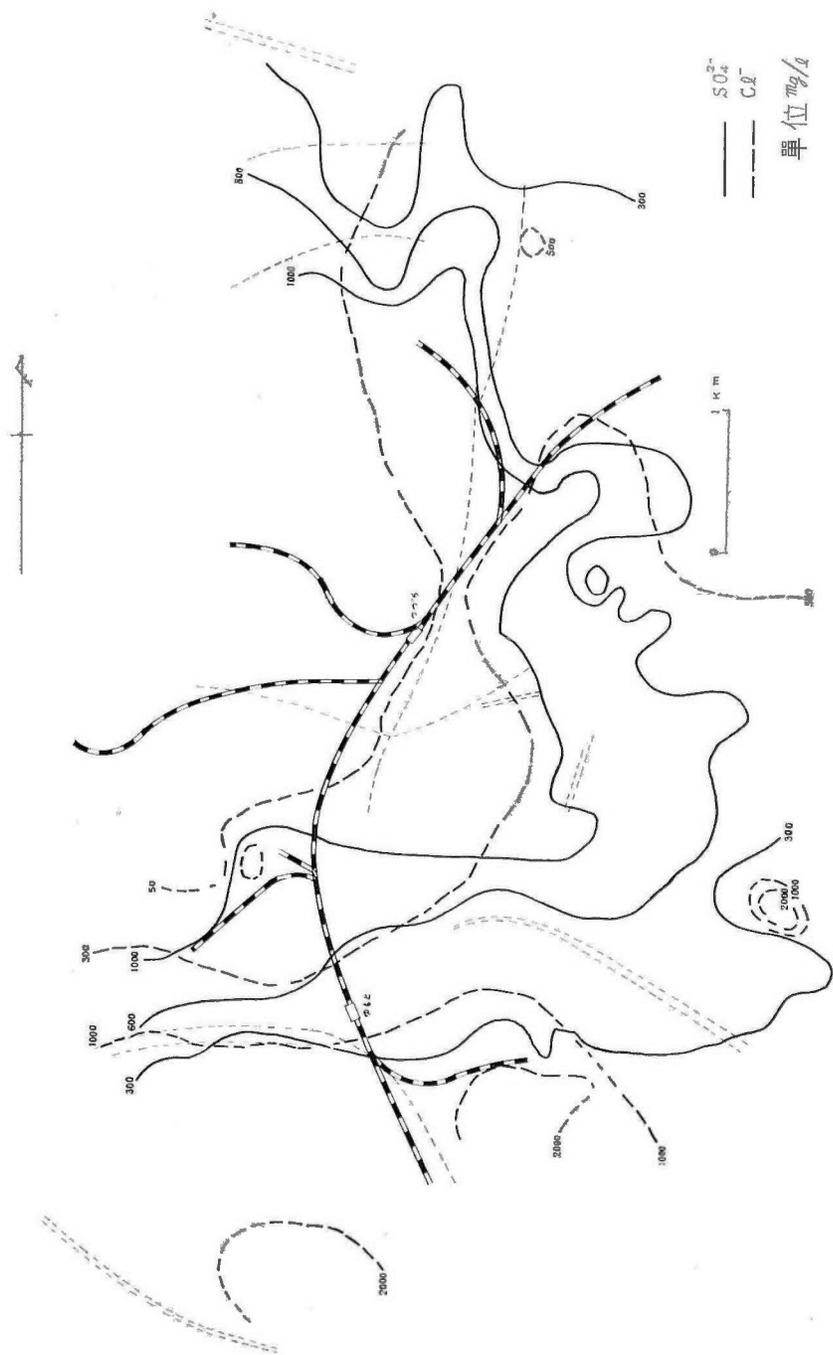
福島県常磐炭田は、わが国屈指の炭田地帯であるが、古くから坑内温泉の存在 (47)66(71)89) によつて有名である。最近、深部開発の技術的な問題に関連して、温泉水の存在状態、地下水との関係、熱源の問題等について、より具体的な資料を必要とする段階に立ち至っている。

温泉水の湧出状況

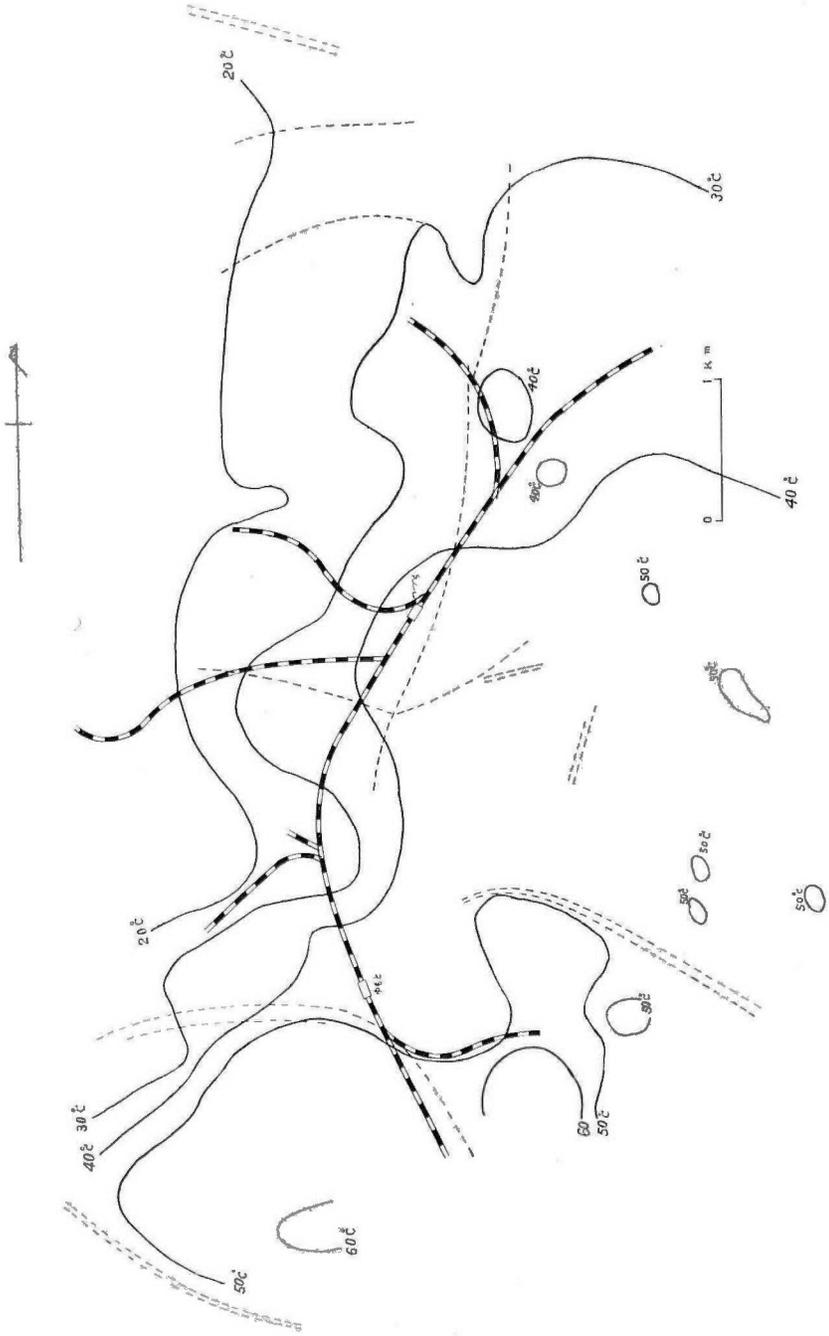
この区域は、構造的に東西性の断層が多く、南北性の断層は1、2を数えるにすぎない。湧出量 100cf/m 以上の大出水は、坑道下盤 (炭層下盤) の湧出に始まるものが多く、まず亀裂が生じ、次いで大量の温泉水が湧出する。この出水には断層に伴なうものもあるが、それは、とくに落差が大きいのというわけではない。ただ、南北方向の湯本断層と、その東に併走する尾子断層は例外なく温泉水を伴う。

温泉水の温度・化学成分

代表的な坑内湧水の化学成分は第12表に示した。坑内湧水は(1)深部から湧出する温泉水(2)出水によつて坑道内に貯溜された古洞温泉水(3)浅部坑道の地下水とに分けられるが、これらの湧出箇所に対応する水質の特徴を示すと次のとおりである。



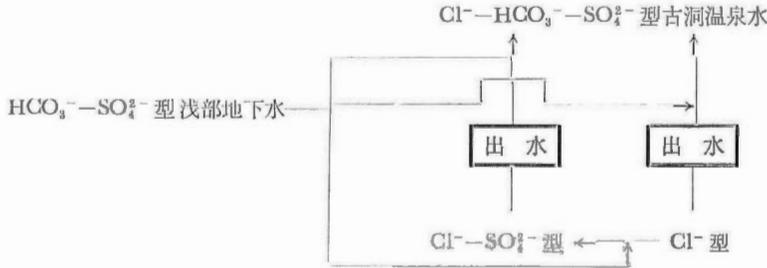
第 15 图 常磐坑内温泉 Cl⁻, SO₄²⁻ 分布相関图



第 16 图 常磐坑内温泉温度分布图

水質	湧出箇所	備考
Cl ⁻ 型	坑内深部から湧出する温泉水	一部に Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ 型
Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻ 型		
Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻ 型	古洞から流・湧出する温泉水	
HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻ 型	浅部坑道から流・湧出する地下水	一部に SO ₄ ²⁻ 型

泉質、Cl⁻・SO₄²⁻含量の分布（第14図、第15図）および、SO₄²⁻、HCO₃⁻含量の相関関係を整理してみると、これらの坑内湧水は相互に次の関係にあるとみなされる。



温泉水の存在状態と地質構造

排水量と温泉水位との関係から、坑内温泉水は広い範囲に貯溜された存在状態をとると考えられる。出水状況、出水地点の分布等を検討してみると、基盤内における温泉水は南北性の破砕帯に関係があり、この破砕帯をみたく温泉水が、さらに上部を覆う第三紀層の裂か・断層・透水層を満して広大な範囲にわたり貯溜状態にあるとみなされる。

第16図は、温度分布図を示したものであるが、この図は Cl⁻ の高含量地域の分布と密接な関連がある。そして、南北性の湯本、尼子断層が、温度、Cl⁻ の分布を支配することもこの図の上から読みとることができる。

II. 関東・中部地方

II. 1 万座温泉 (群馬県)

万座温泉は、草津白根火山の西側山腹に位置し、草津温泉と並んでわが国でも典型的な火山性温泉の1つに数えられるものである。

地質

万座温泉付近の地質⁷⁰⁾は、高井熔岩とこれを覆う新期の横手山熔岩および草津白根熔岩からなる。このうち、高井熔岩は、上信越国境付近一帯に広く分布するもの、一部で、黒色緻密な複輝石安山岩を主体とし、万座温泉では噴気・温泉のすべてがこの高井熔岩を湧出母岩としている（第17図）。

変質帯の分布

万座温泉の変質帯⁵²⁾は万座川上流の各支流に沿って発達し、次の3地域に分かたれる。

1. 万座沢変質帯
2. 大苦湯沢変質帯
3. 法性沢変質帯

変質帯の主体は粘土化帯からなるが、この変質帯の分布に関連して注目を引くことからは、各変質帯の東側に堅硬な珪化帯が発達することである。そして、万座沢および法性沢に沿って分布する褐鉄質礫層の中に、この珪化帯の小岩片が多数含まれていることから判断すると、この地域の噴気活動は、礫層の堆積以前に始まり、その後、上部の珪化帯が剝削され、現在みられるような変質帯の分布と形態をとるに至つたと解せられる。いいかえると、万座温泉の変質帯の大部分は、礫層堆積以前に形成され、現在の河川は、より深



褐鉄鈦質層 弓池熔岩 本白根下部熔岩 横手熔岩 高井熔岩 珪化帶 粘土化帶 温泉

第17图 万座温泉周辺地質图

第12表 常磐炭田坑内

番号	採水箇所	深さ (m)	水量 (cf/m)	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1	磐崎砒 160m ポンプ座	394.0 (280~380)	3.0	46	6.9	436.2	279.1		719.8
2	〃 南部電車坑連	390	7.4	44	8.6	1858	12.3	7.2	18.9
3	〃 南部電車坑 850m 目抜	388	1.0	41	7.3	1971	152.3		22.0
4	〃 藤原立坑坑底	374	0.5	32	8.3	163.2	19.8	8.4	165.9
5	〃 南坑昇本線連	373 (280~373)	2.5	45	7.3	241.1	16.5		170.8
6	〃 中・北部方面排気坑	375	1.0	37	8.0	148.9	34.6		183.0
7	〃 中部右第一水平坑連	478 (387~451)	8.0	47	7.8	1524	187.7		156.2
8	〃 〃	478 (440~478)	0.1	55	7.2	2074	4.1		170.8
9	〃 中部右二斜坑右二片上	501 (420~503)	8.0	50	7.1	2553	810.0		317.2
10	〃 中部斜坑坪下	606	1.0	60	7.3	2765	17.3		46.4
11	〃 中部坪下三斜坑右一片	606	0.2	52	8.1	2773	13.2	4.2	26.8
12	〃 〃	606	0.1	58	8.1	4175	8.4	3.0	48.8
13	〃 中部坪下電車坑本線	606	0.2	60	7.7	2863	10.7		42.7
14	〃 中部右一斜坑右四片	560.9 (576~605)	1.0	60	8.5	2092	51.0	0.8	29.3
15	〃 右四片	567	26.4	58	6.6	2198	127.6		48.8
16	〃 中部左一斜坑左五片	540	0.3	52	6.9	436	827.4		297.7
17	〃 中部左一斜坑左六片	576	30.3	59	8.1	1890	28.0	4.8	29.9
18	〃 本坑本線連卸	171 (*47~171)	3.0	9	8.0	113.5	12.3		109.8
19	〃 本坑総排水		287	45	7.2	1092	329.3		82.3
20	〃 300m ポンプ座奥	390 (*60~390)	3.0	33	7.0	517.7	96.3		785.8
21	〃 〃	390 (*60~390)	1.0	38	7.2	269.5	207.4		908.9
22	〃 北部左第一水平坑排気	478 (178~465)	4.5	43	7.0	560.3	239.6		316.0
23	〃 〃 連坑	476 (335~476)	9.0	46	8.2	595.7	119.4	7.8	136.6
24	〃 〃	475 (330~475)	20.0	37	7.3	333.3	167.1		142.7
25	〃 北部一斜坑坪下	533	98.0	47	8.3	1163	51.0	7.2	45.8
26	〃 北部一斜坑引立	511	7.4	57	8.6	1680	8.2	12.0	47.6
27	〃 350m ポンプ座	477 (390~477)	38	52	7.8	1390	6.6		160.4
28	湯本砒六坑三斜坑本卸			60	7.2	2261	38.7		40.3
29	〃 〃 〃	486.4	32	61	8.4	2225	23.0	6.0	30.5
30	〃 〃 総排水		463.8	50	6.6	1350	318.6		28.1
31	〃 〃 六坑五日抜		5	56	7.6	1360	143.2		146.4
32	〃 〃 北光坑水抜坑	565	130	57	7.8	1351	148.2		141.5
33	〃 〃 北一斜坑四電卸	570	17	50	7.0	1755	253.5		78.1
34	〃 〃 北光坑旧水抜坑	565	18.3	54	9.2	702.1	407.4	13.2	tr.

温泉水化学成分表

单位 mg/l

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HBO ₂	H ₂ S	CO ₂	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl ×10 ²	I/Cl×10 ²
		79.3	5.7	tr.			100	1.6	0.2	0.36	0.04
		164.1	tr.	tr.		5.7		6.5	1.0	0.34	0.05
1115	11.9	189.9	1.1	tr.	17.6	0.7	tr.	6.0	1.0	0.31	0.05
		29.5	9.6	tr.				0.6	tr.	0.36	
		7.4	tr.	tr.		0	tr.	0.8	0.1	0.33	0.04
		5.5	tr.	tr.		0		0.7	tr.	0.47	
		177.0	9.2	tr.		0		5.0	0.7	0.32	0.05
		166.0	5.0	tr.		0	12	7.1	0.6	0.34	0.03
		438.9	18.6	20.1		0	48	8.6	0.9	0.33	0.03
1308	1.9	357.7	tr.	tr.	29.0		tr.	9.3	1.7	0.33	0.05
1497	tr.	175.2	tr.	tr.	32.9			10.0	1.1	0.36	0.03
		324.5	6.6	tr.	32.2			14.1	2.7	0.33	0.06
		387.2	tr.	tr.	28.1			10.3	1.1	0.35	0.03
		248.9	tr.	tr.				7.1	1.0	0.33	0.04
		261.8	2.2	tr.			20	7.1	1.3	0.32	0.05
		251.7	12.2	tr.				4.2	0.6	0.30	0.04
		207.5	2.6	tr.				6.1	1.3	0.32	0.06
		129.1	18.8	tr.	3.9						
		101.4	7.9	tr.	15.5	tr.	2	3.6	0.6	0.32	0.05
		107.0	11.8	tr.		4.5	92	1.6	0.2	0.30	0.04
		70.1	9.0	tr.		0.3	87	1.0	0.1	0.37	0.03
		119.9	8.7	tr.		1.0	30	1.9	0.3	0.33	0.05
		50.7	tr.	tr.		14.0		2.4	0.4	0.40	0.07
		49.8	4.2	tr.		0.2		1.1	0.1	0.33	0.03
		102.3	tr.	tr.		18.1		4.2	0.9	0.35	0.07
866.3	5.5	171.5	tr.	tr.	23.2	23.7		5.8	1.0	0.34	0.06
		114.3	4.6	tr.		20.2	tr.	4.6	1.0	0.33	0.07
		301.5	tr.	tr.		2.7		7.7	—	0.34	
		292.3	tr.	tr.		2.7		7.7	—	0.34	
		221.3	9.4	12.8			8	4.4	—	0.32	
		157.7	4.4	tr.		38.1	tr.	4.6	—	0.33	
		158.6	2.8	tr.		38.1	tr.	4.3	—	0.31	
		199.2	3.3	tr.				5.6	—	0.31	
		75.6	2.4	tr.		4.1		2.3	—	0.32	

番号	採水箇所	深さ (m)	水量 (cf/m)	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SC ₄ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
35	湯本砦 六坑 北光坑旧水抜坑	565	14.8	45	7.7	1397	183.6		90.3
36	〃 〃 第三電車坑二斜坑	562	38	61	7.6	2241	26.3		48.8
37	〃 〃 〃 三斜坑	560	1	28	8.0	1599	407.5		343.4
38	〃 〃 〃 詰所裏	564.5	0.1	55	8.6	2333	4.1	6.0	22.0
39	〃 〃 北一斜坑一電卸	659.3		58	8.0	592.2	471.7	0	36.0
40	〃 〃 〃 一電卸	634.4	71.8	57	7.8	1326	194.3		66.5
41	〃 〃 坪下電車坑一目抜	602	3	49	9.0	620.6	440.4	17.4	tr.
42	〃 〃 〃 二目抜	602	0.8	46	9.0	705.7	355.6	18.6	tr.
43	〃 〃 〃 三日抜	604	10	44	6.7	1269	363.8		88.5
44	〃 〃 坪下電車坑連	604.1	5	49	9.0	822.7	281.5	19.8	4.3
45	〃 〃 〃	604.7	3	49	9.0	961.0	199.2	15.0	17.1
46	〃 五坑第三斜坑本卸	580.4	2	52	9.1	409.7	740.9	16.8	4.9
47	〃 〃 〃	559.4	3	52	9.3	381.4	602.6	20.4	tr.
48	〃 〃 〃	593.2	1	44	9.2	381.4	586.9	15.6	6.1
49	〃 〃 〃	595.8	3	55	9.3	392.0	549.1	21.6	tr.
50	〃 〃 右坑連引立	586.9	3	51	9.3	392.0	526.8	20.4	tr.
51	〃 〃 右坑連入口	592.8	1	51	9.3	418.5	532.2	18.6	3.1
52	〃 〃 第三斜坑二日抜	573.8	30	44	8.8	369.1	551.6	7.2	18.4
53	〃 〃 〃 右坑	583.5	4	48	6.4	307.3	2821		434.9
54	〃 〃 〃 左坑	618.5	2	52	9.3	374.4	639.6	20.4	tr.
55	〃 〃 〃 〃	624.5	1	47	9.2	430.9	586.9	16.8	4.9
56	〃 〃 〃 〃	624.9	0.05	39	9.2	445.0	588.6	16.8	4.9
57	〃 〃 荒川堅坑下	360.6	2	26	8.1	393.6	102.9	3.6	166.7
58	〃 〃 北電車坑八目抜	360	12.5	42	6.6	117.0	1632		315.4
59	〃 〃 五坑斜坑下		0.1	15	4.9	70.9	712.9		6.1
60	〃 〃 五坑総排水		165.7	39	7.3		861.0		52.5
61	〃 〃 第一エンドレス坑	250	4	42	6.7	196.8	861.0		192.8
62	〃 四坑入道卸目抜		2	20	6.8	482.1	445.3		185.4
63	〃 〃 右○上層坑		8.4	17	6.1	11.5	824.8		34.2
64	〃 〃 本線右上層坑		2	18	6.7	10.6	1018		455.7
65	〃 〃 右一上層坑		16.8	18	4.4	59.2	1848		—
66	〃 〃 右二坑		44.1	17	6.5	23.0	1239		270.8
67	〃 〃 巻立引立		62.8	17	6.7	28.3	1239		262.3
68	〃 〃 坪下一電卸目抜		2	19	6.5	83.9	1343		258.6
69	〃 〃 総排水		240.1	19	6.5	99.8	1295		150.1

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HBO ₂	H ₂ S	CO ₂	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl × 10 ²	I/Cl × 10 ²
		160.4	2.8	tr.		0.5	tr.	4.9	—	0.35	
		291.4	2.1	tr.		5.4	tr.	7.2	1.5	0.32	0.06
		346.7	2.1	tr.		tr.		5.5	0.4	0.34	0.02
		284.0	11.4	tr.		8.5		8.6	1.0	0.36	0.04
		72.8	tr.	tr.		tr.		2.0	—	0.33	
		154.9	tr.	tr.		7.6		4.6	0.8	0.34	0.05
		65.5	tr.	tr.		tr.		2.0	—	0.32	
		69.2	tr.	tr.		1.4		1.4	0.2	0.18	0.02
		209.3	2.2	15.4				4.1	—	0.32	
		75.6	tr.	tr.		4.6		2.6	—	0.31	
		83.0	tr.	tr.		10.7		3.2	—	0.33	
		45.2	tr.	tr.		1.9		1.3	—	0.31	
		49.8	tr.	tr.		0.9		1.2	—	0.31	
		52.6	tr.	tr.		0		1.3	—	0.34	
		49.8	tr.	tr.		1.2		1.4	0.1	0.35	0.02
		50.7	tr.	tr.		tr.		1.4	—	0.35	
		67.3	tr.	tr.		0.7		1.5	—	0.35	
		36.0	16.8	36.0		0		1.1	—	0.30	
		509.9	66.6	146.5		0		0.9	—	0.29	
465.0	1.6	49.8	tr.	tr.		1.7		1.2	0.1	0.32	0.03
		49.8	tr.	tr.		1.1		1.6	0.2	0.37	0.04
		53.5	tr.	tr.		3.1		1.5	0.1	0.33	0.02
		25.8	tr.	tr.		0		1.4	—	0.35	
		426.9	32.8	38.5		0	103	0.4	0.1	0.34	0.08
		191.6	18.6	15.4		0					
		121.7	11.4	7.7							
		205.6	19.0	tr.				45	0.6	—	0.30
		178.9	15.3	1.4		0		36	1.5	—	0.31
		115.3	10.9	15.9		0		41	tr.		
		260.0	8.3	2.0		0		37	tr.		
		206.5	43.2	295.4		0			tr.		
		344.8	27.3	10.5		0		109	tr.		
		336.5	23.8	13.5		0		107	tr.		
		351.3	21.4	9.5		0		102	0.3		0.35
		307.9	27.7	41.3		0		62	0.3		0.30

番号	採水箇所	深さ (m)	水量 (cf/m)	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
70	湯本砦六坑五卸下		60.6	21	7.7	162.5	598.5		258.6
71	〃 〃 五卸左テール坑		11.4	23	6.9	257.8	350.7		214.7
72	〃 〃 〃		4.7	21	6.9	173.1	853.6		199.5
73	〃 新四坑水抜坑	65.5	2	22	7.5	438.0	351.5		207.4
74	〃 〃 〃	73.9	2	22	7.6	376.2	310.3		219.6
75	鹿島坑一電卸右二片	587.1	2	42	9.0	698.6	111.1	18.0	3.0
76	〃 〃 〃	585.7	5	47	9.1	684.4	266.7	21.0	tr.
77	〃 〃 右二片	585.8	0.6	46	9.0	652.4	90.6	18.0	tr.
78	〃 〃 右三片	600.1	13	48	9.0	677.2	257.7	19.8	2.4
79	〃 〃 〃	608.1	0.3	46	9.1	661.3	225.6	23.4	tr.
80	〃 連卸一電卸	649.5	3.6	48	9.1	664.8	207.4	19.8	tr.
81	〃 一電卸右六片	647.4	6.0	49	9.1	652.5	307.1	19.2	2.0
82	〃 第三斜坑連卸	555.3	1.7	43	9.1	624.1	347.4	19.2	9.8
83	〃 右坑本坑	584.9	9	48	9.1	656.1	339.1	19.2	tr.
84	〃 〃 〃	583.5	1.4	45	9.2	650.7	330.9	25.2	tr.
85	〃 左坑連排気坑	584.7	2.1	46	9.2	611.8	348.2	22.2	tr.
86	〃 左坑本坑詰所前	584	0.8	45	9.1	914.9	310.7	19.2	3.7
87	〃 左坑一電卸左二片	589.3	0.4	47	7.4	2695	8.8		33.6
88	〃 〃 左三片	603.7	2.5	41	7.4	2687	8.2		28.7
89	〃 〃 左五片	640.4	0.2	51	8.0	670.2	51.0		81.1
90	〃 第二本線連	377.2	1.1	26	7.9	484.0	205.8		52.5
91	〃 坪下水平坑	464.8	0.04	41	9.2	407.8	531.0	19.2	6.1
92	〃 第一本線連坑	334.0	0.3	18	7.9	434.4	501.3		70.8
93	〃 〃	228.9	16.6	26	8.7	95.7	102.9	10.2	74.4
94	〃 総排水		144		7.3	335.5	550.7		41.5
95	綴新斜坑第二南部斜坑	493.8	19.5	39	6.5	67.6	1617		348.9
96	〃 坪下排水坑	490	410	47	8.5	928.9	525.2	6.0	68.9
97	〃 南二右五片	544.9	2	48	9.1	492.7	510.4	12.0	14.0
98	〃 南二電卸	589.3	0.2	43	8.9	358.4	527.4	15.0	33.6
99	〃 南一左片	544.6		40	7.8	438.0	361.4		42.7
100	〃 南一二卸	585.6	5.4	51	9.1	379.7	605.9	19.2	tr.
101	〃 本坑ダム放水	294.0	90.9	22	6.9	23.0	751.6		286.7
102	住吉本坑旧エンドレス	361.1	8.2	37	6.7	106.0	1740		383.1
103	〃 更生三斜坑	361.0	9.2	37	6.8	74.2	2020		455.7
104	〃 更生南部放水	455.0	7.0	39	6.6	238.1	1303		448.4

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HBO ₂	H ₂ S	CO ₂	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl × 10 ²	I/Cl × 10 ²
		160.4	12.0	tr.				0.7	—	0.43	
		114.3	9.8	tr.			31	0.9	—	0.35	
		204.7	19.7	tr.			25	0.7		0.40	
		138.4	12.5	tr.				1.6	0.1	0.36	0.02
		125.4	12.5	tr.				1.6	—	0.42	
		47.9	tr.	tr.		1.5		2.0	—	0.28	
491.0	1.3	47.9	tr.	tr.		2.9		1.9	0.4	0.27	0.05
		47.0	tr.	tr.		tr.		2.1	—	0.32	
		52.6	tr.	tr.		5.6		2.3	0.3	0.34	0.04
		49.8	tr.	tr.	17.4	0.8		2.3	—	0.34	
		45.2	tr.	tr.	16.4			1.9	—	0.28	
		49.8	tr.	tr.	21.3			2.1	—	0.32	
		50.8	tr.	tr.		6.0		1.8	0.2	0.28	0.03
		51.6	tr.	tr.		5.2		2.2	0.3	0.33	0.05
		51.6	tr.	tr.	25.2	2.7		2.8	0.3	0.43	0.04
		46.1	tr.	tr.		4.5		1.9	0.3	0.31	0.05
		75.6	tr.	tr.	16.8	6.3		2.6	0.4	0.28	0.04
		344.8	tr.	tr.	32.2			8.8	—	0.32	
		343.0	tr.	tr.	29.0			8.9	1.1	0.33	0.04
		29.5	tr.	tr.		0.7		1.9	0.2	0.28	0.03
		36.0	tr.	tr.	19.4	3.3		1.5	0.1	0.31	0.02
		44.3	1.0	tr.		4.5		1.3	0.1	0.31	0.02
		45.2	1.0	tr.				1.3	0.1	0.30	0.02
		12.9	tr.	tr.				0.5	—	0.50	
		125.4	tr.	12.8							
		404.8	21.8	42.7			178	tr.			
598.0	12.9	106.2	0.2	tr.		25.2		3.1	0.6	0.33	0.06
		58.1	tr.	tr.		0.7		1.4	—	0.28	
		17.0	tr.	tr.		3.1		1.1	—	0.30	
		47.1	tr.	tr.		0		1.4	—	0.39	
		60.1	tr.	tr.		tr.		1.2	—	0.31	
		232.3	14.2	8.5		0	31	tr.			
		446.2	28.2	24.2		0	97	tr.			
		442.1	20.3	tr.		0	74	tr.			
		333.9	24.5	32.7		0	185	0.7	—	0.30	

番号	採水箇所	深さ (m)	水量 (cf/m)	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
105	住吉本坑 採炭卸放水	496.8	27.3	39	6.3	231.3	1889		359.9
106	〃 南斜坑捲揚前	491.6	0.5	38	6.9	441.5	1407		451.4
107	〃 南坑第一人車卸	535.2	22.6	40	9.3	342.6	634.7	15.0	12.2
108	〃 南電車坑四目抜	489.6	645	47	8.4	920.1	291.4	6.0	73.2
109	〃 南坑水平坑	487.8	30.2	42	9.3	356.7	600.9	15.0	12.2
110	〃 第二本線断層下盤	531.1	10.0	41	9.6	17.7	652.8	21.6	4.9
111	住吉一坑 西 坑	231.7	2.4	25	7.3	24.7	1362		252.4
112	〃 坪下排気坑	271.0	8.9	25	6.8	21.5	1629		327.0
113	〃 100 M 上層坑	266.1	23.7	27	6.2	60.9	1110		162.3
114	〃 総排水		35.5		6.7	42.4	1142		157.4
115	住吉二坑 北 坑	135.9	72.5	21	6.6	22.4	691.1		128.1
116	〃 北斜坑	159.4	9	23	7.6	18.5	1716		407.8
117	〃 南電車坑	130.9	64.5	19	6.9	35.0	677.9		199.5
118	〃 南斜坑	130.9	117.3	19	6.2	16.6	1510		120.8
119	〃 総排水		310		6.6	24.7	1033		122.0
120	川平坑 新 坑	+37.6	17	14	6.1	10.0	1469		128.1
121	〃 二斜坑電卸	+15.2	4.1	13	6.7	15.0	609.2		114.7
122	〃 二斜坑電卸	+12.1	5.0	13	6.8	9.7	447.0		108.6
123	〃 新三坑左坑	3	35	14	6.6	8.8	290.6		90.3
124	〃 〃	3	13	14	6.8	10.6	367.9		70.8
125	好間炭硯 北第二電車坑	440.4	38	24	8.4	30.0	154.8	7.2	100.0
126	〃 旧坑水抜	440.5	5.4	23	6.6	44.0	489.8		104.9
127	〃 先進孔からの水	442.0	2.0	28	9.2	85.1	217.3	22.8	4.9
128	〃 断層からの水	443.0	1.2	29	9.6	117.0	263.4	27.6	tr.
129	〃 一卸700目抜	579.0	10.4	38	9.1	292.5	489.8	20.4	tr.
130	〃 一卸600目抜	564.5	20	38	9.2	292.5	526.0	21.6	tr.
131	〃 一卸400目抜	536.6	5.7	31	8.8	673.7	383.6	10.8	4.3
132	〃 一卸湯本断層	486.3	0.1	30	8.2	354.3	650.3	4.8	26.8
133	〃 280旧人道坑	297.2	230	19	7.0	12.4	270.0		87.8
134	〃 955卸	301.5		22	6.5	10.6	1271		125.1
135	〃 580立入	210.0	11.4	19	7.3	10.6	391.0		201.3
136	〃 76立入排気	212.0	16.6	19	7.0	14.1	385.3		221.4
137	〃 720昇	212	25.2	19	7.4	10.6	127.6		128.1
138	赤井炭硯 天盤より	135.4	0.5		7.0	19.4	1277		352.0
139	〃 下盤より	135.4	0.1		7.0	19.4	1689		488.0

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HBO ₂	H ₂ S	CO ₂	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl × 10 ²	I/Cl × 10 ²
		372.7	19.0	54.1			197	tr.			
		357.4	12.5	tr.			78	1.3		0.30	
		55.1	0.7	tr.		2.1		1.1	0.1	0.32	0.03
		110.3	0.7	tr.	27.1	22.8		2.8	0.4	0.30	0.04
460.3	3.2	56.2	0.2	tr.	17.4	2.4		1.3	0.1	0.36	0.03
		57.2	1.5	tr.		0.7		tr.			
		367.8	21.6	2.8		0	10	tr.			
		496.7	28.6	21.6		0	73	tr.			
		205.7	15.1	51.8		0	105	tr.			
		266.5	21.6	17.1		0	37	tr.			
		154.2	12.3	19.9		0	53	tr.			
		548.3	26.4	17.1		0	20	tr.			
		159.3	15.5	11.4		0	26	tr.			
		428.8	36.3	54.1		0	105	tr.			
		260.0	22.3	14.2		0	35	tr.			
		431.5	32.1	64.2		0	158	tr.			
		217.6	23.4	2.8		0	25	tr.			
		164.1	17.7	7.1		0	112	tr.			
		119.9	10.5	2.8		0	30	tr.			
		116.2	11.4	2.8		0	13	tr.			
		12.0	tr.	tr.		tr.					
		68.2	tr.	20.6							
		12.9	tr.	tr.							
195.1	2.6	12.9	tr.	tr.	11.8						
		36.9	tr.	tr.	2.8			0.8	0.1	0.27	0.03
		38.7	tr.	tr.				0.8	0.1	0.27	0.03
		66.4	tr.	tr.				2.2	0.3	0.32	0.04
		59.0	4.8	tr.				1.2	tr.	0.33	
		42.4	5.0	15.4							
		258.2	1.7	51.4			43				
		27.7	2.8	tr.	2.8						
		50.7	4.8	10.3			20				
		13.8	5.7	tr.			3				
		211.1	8.3	25.7			49				
		377.1	19.2	25.7			99				

番号	採水箇所	深さ (m)	水量 (cf/m)	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₂ ⁻
140	赤井炭礫バツクの水	129.0	0.1		7.1	12.4	1609		491.1
141	坑外吉野谷鉱泉			21	7.0	5.4	25.5		50.7
142	〃 神白 〃			13	8.6	305.1	234.6	25.8	306.8
143	〃 萱手 〃			16	7.8	521.3	94.7		378.2
144	〃 松小屋ボーリング			29	8.6	335.1	116.1	24.6	397.3
145	〃 白鳥鉱泉			9	4.8	7.1	94.7		6.1
146	〃 No.9ボーリング			14	6.9	24.8	66.7		146.1
147	〃 うぼの湯			13	5.8	7.1	23.0		31.1

第13表 万座温泉噴気ガスおよび

No.	試料採取地	Temp. (°C)	pH	Acidity (meq/l)	Total SO ₄ ²⁺	Free H ₂ S	T.S.M.	Total SiO ₂
1	日進館ラジウム泉	93.2	2.8	5.74	783	6.3	1571	141
2	〃 鉄湯	85.1	2.7	6.62	725	66.0	1405	123
3	常盤屋 No.1	55.8	2.8	9.37	659	47.9	1070	112
4	〃 No.2	88.0	2.8	7.13	672	37.9	1255	127
5	松屋源泉	62.6	3.5	5.63	66	84.8	155	43
6	加熱前表流	16.2	3.8	0.68	72	0.0	200	46
7	乱麻の滝	14.5	3.3	1.26	122	0.0	265	51
8	日進館苦湯	81.1	2.9	7.29	743	58.0	1310	126
9	常盤屋 No.3	77.5	3.0	8.96	859	72.0	1525	219
10	奥万座白根山荘	54.0	3.2	12.78	368	719	645	74
11	大和屋大苦湯 No.1	62.8	2.9	15.21	925	107.3	1230	95
12	〃 No.2	59.5	2.9	11.97	835	51.4	1172	86
13	豊国館源泉	70.0	2.8	13.68	712	55.4	1085	125
14	地熱 No.1	90.0	1.9	24.0	1270	28.4	1903	181
15	〃 No.2	93.3	2.1	20.4	1440	15.2	2977	401
16	草津菅林所	90.5	2.0	78.7	5320	18.9	7498	393
17	空噴際湧湯	95.0	1.7	63.2	4650	11.7	10556	393
18	空噴凝縮水	94.5	—	3.00	20	—	146	22

單位mg/l

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HCO ₃	H ₂ S	CO ₂	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl × 10 ²	I/Cl × 10 ²
388.7	tr.	403.8	20.8	tr.							
		8.3	6.8	tr.				2			
		3.7	3.1	tr.	3.2						
		23.1	18.6	tr.	2.6				2.1	0.40	
		27.7	3.5	tr.	2.5				1.0	tr.	0.30
		15.7	8.3	tr.					12		
		31.3	18.8	12.8	0.8						
		7.4	3.1	tr.							

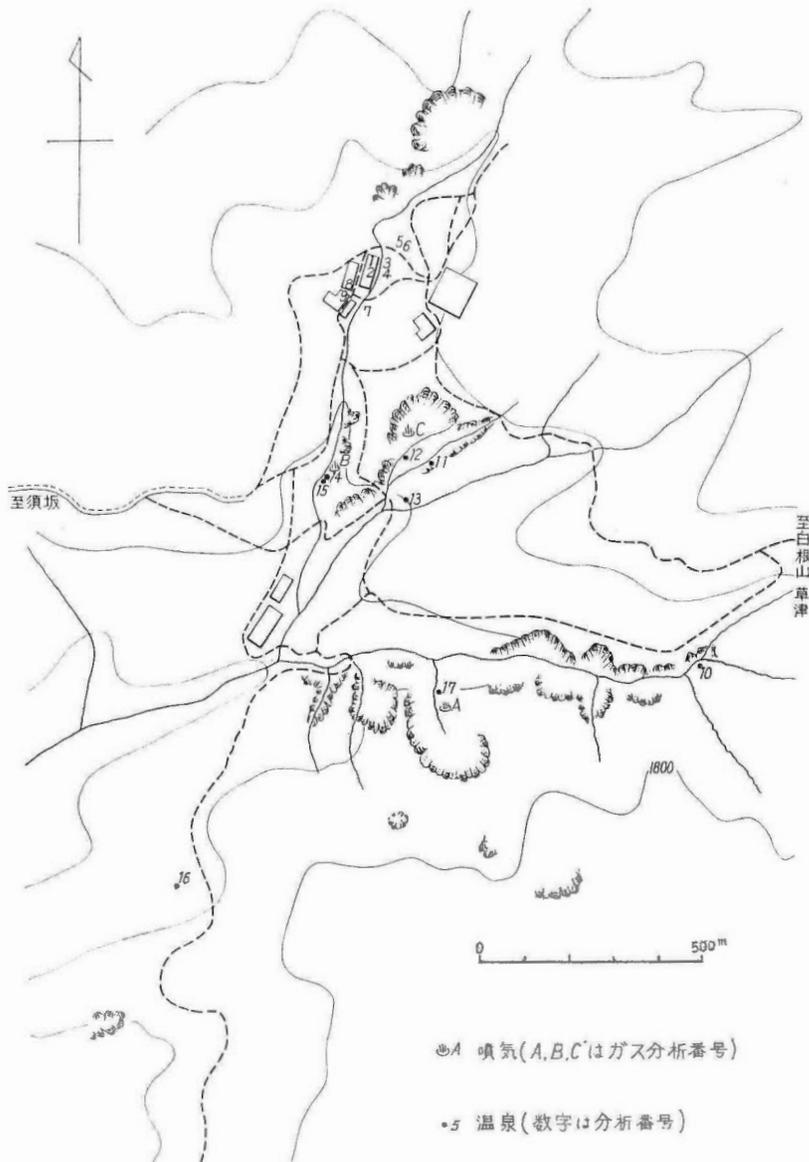
温泉水分析表

單位mg/l

Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
245	0.5	6.3	3.4	0.1	0.0	36.9	91.2	178.2	22.0
179	0.5	9.4	5.0	0.2	0.0	34.0	80.4		
104	0.8	19.0	2.9	4.3	0.0	33.7	35.0	89.7	21.4
236	0.5	10.4	10.3	1.7	0.0	46.5	59.0		
11.4	0.4	5.8	0.2	0.1	0.0	11.2	3.7		
14.2	0.4	7.8	tr.	0.1	0.1	13.4	3.9		
11.3	0.6	7.9	0.2	0.3	1.2	17.7	5.5		
184	0.6	8.1	4.0	0.5	0.0	35.4	79.7	139.3	16.4
241	0.5	11.1	7.0	2.2	0.0	41.1	77.5		
47	0.5	9.3	0.6	0.3	0.0	83.2	15.3	29.9	6.4
154	0.6	12.7	1.3	1.4	0.0	52.5	32.3		
164	0.6	13.4	2.0	0.5	0.0	54.4	33.4		
161	0.6	13.1	2.9	0.9	0.0	55.4	34.7	100.3	26.6
70	0.5	21.7	1.0	68	0.0	28.0	17.2		
773	0.5	7.1	26.3	13.6	0.0	42.1	158.6	390.3	67.9
40	20	245	2.2	56.0	0.0	70.8	45.8		
3414	1.6	71	113	11.0	0.0	37.6	484	1941.4	263.1
77	0.5	5.1	—	4.4	0.0	2.7	6.1		

No.	Temp. (°C)	Condensed H ₂ O (vol.%)	H ₂ S (vol.%)	CO ₂ + (SO ₂) (vol.%)	O ₂ (vol.%)	残ガス (vol.%)
A. 空 噴	94.8	99.4	54.9	40.6	0.3	4.2
			0.3294	0.2436	0.0018	0.0252
B. 地 熱	94.3	99.3	41.6	39.6	0.3	18.5
			0.2912	0.2772	0.0021	0.1295
C. 大 苦 湯	93.5	99.2	29.3	63.4	0.2	7.1
			0.2344	0.5072	0.0016	0.0568

註) ガス成分中上段は無水物の組成, 下段は含水物の組成を示す



第 18 図 万座温泉噴気・温泉分布図

部を侵食し、変質帯を横断して流下するとみなされるのである。

噴気・温泉の分布

万座温泉は、前記の変質帯から湧出する温泉と、南側によつた卵茹および垂水湯等の温泉を含む（第18図）。変質帯に伴なつて「空噴」、「地熱」等の噴気露頭があるが、これらは後で述べるように純粋の天然蒸気ではなく、温泉の沸騰現象によつて生じた蒸気露頭とみなされる。

噴気ガスおよび温泉水の化学成分

各地域から採取した噴気ガスおよび温泉水の化学成分は一括して第13表に示した。

温泉水はいずれも強い酸性を示し、その大部分は自然湧出である。次に、第13表の分析結果から、万座温泉の噴気ガスおよび温泉水の成分的特徴を要約すると次のとおりである。

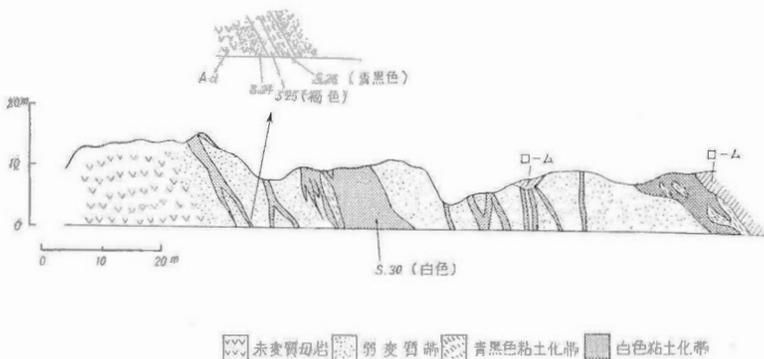
1) 各変質帯に伴なう温泉のうち、「空噴」、「地熱」等の湧泉は、高い Cl^- 含量をもち、外側ほど湧泉の Cl^- 含量がてい減する。

2) 噴気ガスの凝縮水は酸性を示し、かつ比較的多量の Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 等を含む。この性質は、別府白竜、霧島湯の野等の天然蒸気とかなり違つたものであり、酸性の高温泉が地表浅部で沸騰して生じたいわば湿り蒸気とみなされる。

変質帯の主体は、前述のように、噴気活動の初期に形成されたとみなされるので、現在までに、この地域全般がかなり地下水の影響をうけていることが予測される。したがつて、上記の温泉は、この浸透した地下水が噴気ガスによつて加温され、湧出したものであり、 Cl^- 含量の分布は、地下水と噴気ガスの接触状態を暗示するものと思われる。

変質帯の化学成分

この地域の中で、法性沢の西側を通る万座一軽井沢自動車道路の切割に、脈状粘土化帯の新鮮な断面が露出する。第19図は、この道路に沿つて約100mの間でみられる最も変質の著しい部分のスケッチである。この変質部分は、地表からある深さにおける水平断面を示すものであるから、原岩から変質の中心に向かい、各部分でその成分を比較すれば、水平的な成分変化の状況についての資料が得られるはずである。



第19図 万座温泉変質帯見取図

第14表は、各部分から採取した試料の分析結果を示したものである。なお、各変質部分が原岩に対してどのような成分の増減を示すかという点を検討するため、各成分含量を単位容積の重量に換算して掲げたのが第15表および第20図である。これらの結果を参考にして、成分変化の要点を述べると次のとおりである。

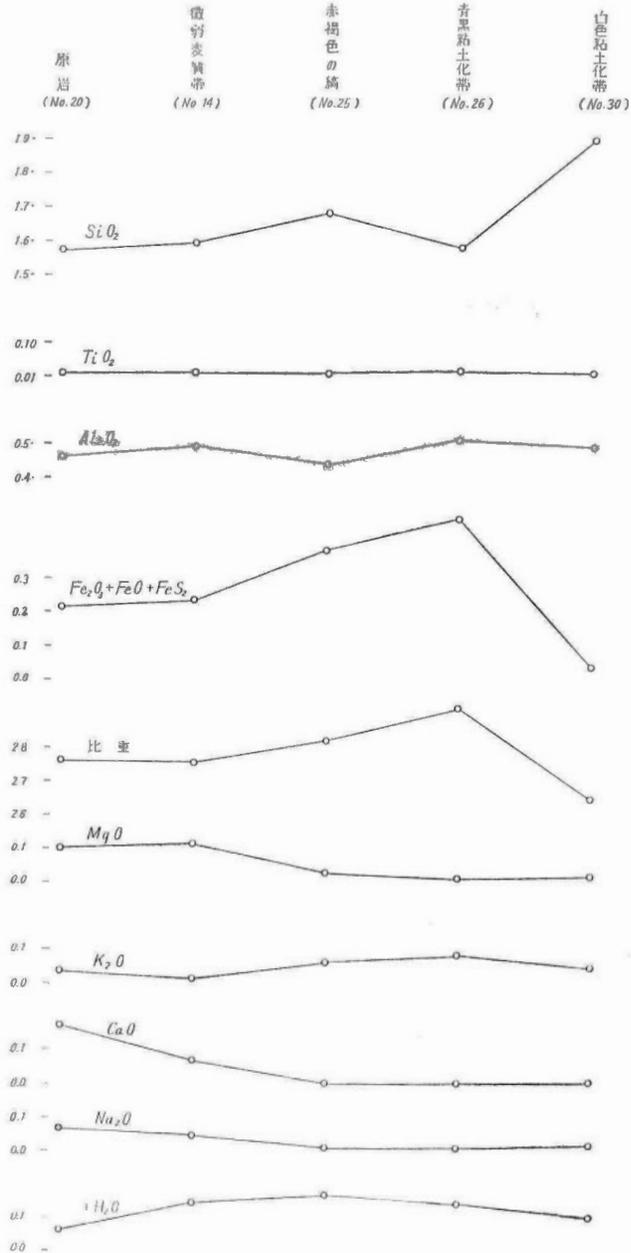
- 1) この変質帯は白色のカオリン質粘土・含硫化鉄青黒色粘土・弱変質安山岩からなる。分析試料は、このおののから採取したものである。
- 2) 分析結果の中で著しい特徴は、白色のカオリン質粘土の SiO_2 が他の変質部分に比べ、著しく増加していることである。また、この SiO_2 の増加に応じて、 Fe_2O_3 が著しく減少するのも特徴的である。
- 3) 硫化鉄を含む青黒色粘土およびこの青黒色粘土の中の硫化鉄が酸化されて赤褐色の縞目をもつ粘土

第 14 表 変質帯の化学成分表

No.	2 0	2 4	2 5	2 6	3 0	6 6	6 8	7 1
SiO ₂	56.57	56.36	57.30	52.53	68.61	63.44	82.60	58.72
TiO ₂	0.77	0.76	0.75	1.03	1.01	0.88	0.37	0.65
Al ₂ O ₃	16.55	17.61	15.12	19.13	17.76	17.32	11.62	16.72
Fe ₂ O ₃	4.15	5.18	13.24	0.63	1.41	7.71	0.99	3.45
FeO	3.80	3.52	0.21	0.15	0.14	0.22	0.07	3.55
Fe	—	—	—	7.13	—	—	—	—
MgO	3.61	4.15	1.08	0.40	0.74	0.44	1.27	3.16
CaO	6.38	2.53	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	7.03
Na ₂ O	2.43	1.55	0.26	0.18	0.44	—	—	—
K ₂ O	1.33	0.44	2.15	2.82	1.63	—	—	—
+H ₂ O	2.30	5.00	5.74	4.79	3.61	—	—	—
-H ₂ O	0.92	2.68	3.96	3.00	4.52	—	—	—
Ig. loss	—	—	—	—	—	8.00	2.76	2.44
CO ₂	1.05	—	—	—	—	—	—	1.41
S	—	—	—	8.20	—	—	—	—
Total	99.86	99.78	99.82	100.00	99.88	—	—	—
Sp. gr	2.75	2.75	2.82	2.92	2.65	—	—	—

第 15 表 単位容積内における各成含量の比較

No.	2 0	2 4	2 5	2 6	3 0
SiO ₂	1.576	1.591	1.681	1.581	1.903
TiO ₂	0.021	0.021	0.021	0.030	0.027
Al ₂ O ₃	0.461	0.497	0.443	0.517	0.492
Fe ₂ O ₃	0.115	0.146	0.388	0.018	0.038
FeO	0.105	0.099	0.006	0.004	0.003
Fe	—	—	—	0.214	—
MgO	0.100	0.117	0.031	0.011	0.020
CaO	0.177	0.071	0.000	0.000	0.000
Na ₂ O	0.067	0.043	0.007	0.005	0.012
K ₂ O	0.036	0.012	0.062	0.085	0.045
+H ₂ O	0.064	0.141	0.168	0.143	0.100
CO ₂	0.029	—	—	—	—
S	—	—	—	0.246	—
比重	2.76	2.75	2.82	2.92	2.65



第 20 図 万座温泉変質粘土成分変化図

は、いずれも SiO₂ に著しい増減はない。

- 4) いずれの変質部分も、Al₂O₃、TiO₂ にはほとんど増減がみられない。
- 5) Na₂O、CaO、MgO はいずれも含量が急速に減少する。これに対して K₂O、+H₂O はむしろ増加の傾向がある。とくに、MgO と K₂O との間に負の相関関係があるようにみえる。
- 6) 以上の結果の中で、とくに SiO₂ と鉄とが交代的な関係にあるようにみえることは注目に値する。

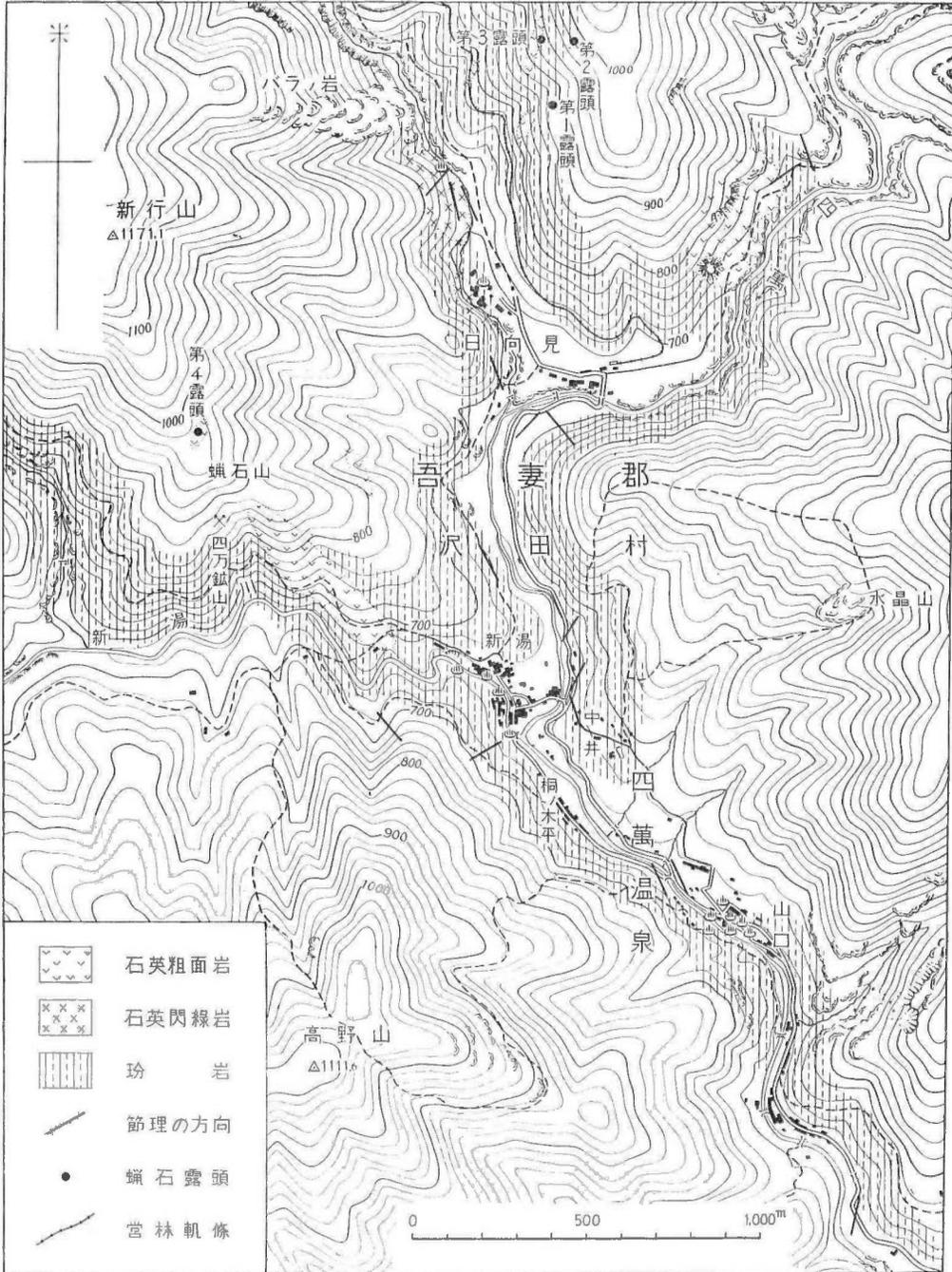
II. 2 四万温泉 (群馬県)

四万温泉^{51) 75)}は、群馬県長野原線中之条駅の北西方 17km の地点に位置する温泉で、四万川に沿い山口・

新湯・日向見の3地域から湧出する。

地質

四万温泉周辺の地質は、玢岩・石英閃緑岩および石英粗面岩等からなる。玢岩は、四万付近から信越国境にわたり、広く分布するものの一部で、第三紀火山活動期に、石英閃緑岩の先駆として生じたものといわれる。石英閃緑岩は、岩脈状に玢岩を貫き、葉蠟石鉱床を胚胎している(第21図)。



第21図 四万温泉周辺地質図

第 16 表 四万温泉主成分分析表 (付・水上・谷川・湯桧曾温泉)

単位 mg/l

採取地	化学成分	温度 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	CO ₂	Br ⁻	Br/Cl×10 ²
新潟積善館源泉		75	7.0	637	378	46		153	3		
〃 田村館源泉		73	6.3	812		49			11		
山口鐘寿館下温泉		54.5	7.0	480	306	80		161	5		
日向見薬師堂下温泉		55	8.8	28	393	0	9	129	—		
湯桧曾高半		61	8.3	140	115	22	1.5	56			
〃 桧垣		34.5	7.5	55	41	44		32			
水上		54	7.6	162	811	26		316		0.79	0.48
谷川鉄道寮		52	8.5	138	279	13	1.5	104		0.66	0.48
〃 営林署		50	7.7	132	603	19		248		0.59	0.45
〃 ひょうたん池		52.5	8.6	130	369	14	1.5	156		0.73	0.56
〃 金盛館		57	8.4	140	469	13	1.5	196		0.59	0.42
〃 向島館		54.5	8.6	138	231	12	1.8	100			
猿ヶ京桑原館		49.5	7.0	320	703	68		244			

温泉水の温度・化学成分

四万温泉の化学成分は第 16 表に示した。この結果をみると、接近した湧出地域でありながら、山口・新潟と日向見とはかなり性質が異なる。すなわち、前者はかなり高い Cl⁻ 含量を有し、ほぼ中性であるのに対して、後者の Cl⁻ は 30mg/l に達せずアルカリ性を呈する。第 16 表には、上越国境付近に発達する石英閃緑岩から湧出する温泉の化学成分も参考までに掲げたが、一般的な傾向として、これらの温泉は、四万の日向見に類似の性質を示す。これに対して、湯田中・洪をはじめ山の内温泉群は比較的 Cl⁻ 含量が高く、山口・新潟の性質に類似する。なお、これらの玢岩・石英閃緑岩を湧出母岩とする温泉の Br⁻/Cl⁻ が、比較的高い値をとることは注目に値する。

温泉の分布と地質構造

四万温泉周辺の玢岩・石英閃緑岩には、N 40~60° E, N 20~40° W の 2 方向に顕著な裂かが発達する。河川の流路もほぼこの方向に従うが、この 2 方向のうち、NE~SW 方向のものは比較的古い構造運動に支配され、NW~SE 方向の裂かは、より新期の構造運動に関係ある。山口・新潟・日向見における温泉の湧出は、この新期の方向の裂かから湧出するものが多く、かつ、これらの温泉が、四万川の NW 方向の流路に沿って分布することからみて、四万温泉の存在は、NW~SE 方向の新期の弱帯に関係あると結論される。

II. 3 六日町温泉 (新潟県)

上越線六日町では、昭和 32 年、天然ガス採取の目的で試すいを行なつたところ、高温の温泉が多量に湧出した⁶⁴⁾。この地域はもともと地表に温泉徴候が認められなかつたところであつて、このような例は、わが国の温泉の中でもあまり数多く知られていない。

地質

魚野川を挟み、東方の山地は、古生層・花崗岩等の古期岩層と第三紀層下部の緑色凝灰岩によつて構成され、西方の丘陵には、砂岩・泥岩を主とする含油第三紀層が広く分布し、全般的に地層は西に傾斜するが、この中に数本の褶曲軸がある。

試すいによる調査資料

第 1 号井は六日町駅の南西方 450m の地点で掘さくされたが、地表から 125m まで魚野川氾濫原の砂利、

粘土層で、10°C の冷地下水が多量に湧出する。125m 以下は砂岩・泥岩層でガスを伴なう。187m 以下は緑色凝灰岩および凝灰角礫岩で黒色頁岩を挟む。孔底の 195m では 45°C を示す。

第 2 号井は 1 号井の南西方 200 m の地点に位置するが、地表から 124 m まで砂利・粘土層、124 m 以下 222m まで砂岩・泥岩層でガスを伴なう。222m 以下は緑色凝灰岩でやや変質する。この 2 号井は 330m まで掘さくしたが、注目を引くことは、270m 以下に石英閃緑岩が現われることである。この石英閃緑岩は、2 号井の北方 700m の地点で掘さくした 4 号井で 320m 以下（深度 360m）、その北方さらに 450m の地点に位置する中越バス源泉では 300m 以下（掘止め 400m）に潜在することが明らかになったので、おそらく、緑色凝灰岩中に貫入し、しかもこの地域の温泉の熱源に相当するものと思われる。

なお、2 号井は孔底で 66°C、孔口で 58°C の温泉が約 1000 l/m 湧出、4 号井は孔底で 65°C、孔口で 52°C の温泉がやはり 1000 l/m 白噴、中越バス源泉では孔底 65°C、孔口で 50°C の温泉が 120 l/m 湧出した。このように、六日町温泉は、緑色凝灰岩を貫く石英閃緑岩を熱源とし、含油第三紀層がいわば帽岩の役割を果し、緑色凝灰岩および石英閃緑岩の中に広く温泉が貯溜されるとみなされる。

温泉水の化学成分

各温泉から採水した温泉水の化学成分は第 17 表に掲げた。この分析結果をみると、各温泉は Cl^- で特徴づけられ、比較的 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} に乏しい。一方、 Br^-/Cl^- 、 I^-/Cl^- の比率がかなり高い値をとるのが特徴的で、この傾向から判断すると、この地域の温泉は含油第三紀層中の油田鹹水に関連するようにみえる。しかし、この特徴は、同じく石英閃緑岩を湧出母岩とする群馬県四方温泉、長野県山の内温泉群の特徴

第 17 表 六日町温泉

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}
2 号井	58	7.2	633	38.7	73.2	400	15	71.8
4 号井	52	7.2	689	41.2	51.9	428	18	78.4
中越バス源泉	50	7.2	828	37.0	54.9	481	20	94.8

第 18 表 代表的な油田地帯

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}
松之山温泉	80	7.7	9131	45.8	—
〃 湯本	80	7.4	8563	41.5	—
羽根沢温泉	47	8.3	900	1525.0	90.0
温海温泉	72	7.6	1521	58.0	—
柏崎 1 号泉	47.5	7.1	9343	524.6	—
〃 2 号泉	36.5	7.1	8935	603.9	—
長岡温泉	41	7.5	1631	538.0	—
新津温泉	48.5	7.7	5106	2952.0	—
月岡温泉	48	7.5	1666	149.5	—
最上温泉	40.5	8.1	3386	3464.0	6.0
湯の浜温泉 (新湯)	47	7.2	1943	37.8	—
〃	60.5	8.3	3290	7.3	6.0
瀬波温泉	10.4	8.6	1950	46.4	22.5

と共通するので、むしろ、この高い比率は、石英閃緑岩を熱源とする温泉の地域的な性質を現わすようにもみえ、この点興味ある問題を提起している。

II. 4 瀬波温泉 (新潟県)

瀬波温泉は新潟県村上市にあり、明治36年、石油掘さくの目的で試すいを行なつたところ、深度254mで高温の温泉が噴出したところである⁶⁾。戦時中、10数本掘さくしたがいずれも不成功に終り、現在、上記の元湯と製塩工場源泉があるにすぎない。

地質

瀬波温泉付近の地質は、灰色頁岩・硬質頁岩等の第三紀含油層からなる地層が広く分布し、北東方向に軸をもつ背斜構造をなし、温泉はその軸の上に位置する。

試すいによる調査資料

元湯は254m掘さくし、第三紀層中の礫岩層に達して温泉が湧出した。元湯の傍を掘さくした温泉井は、深度284mで孔底温度113°Cを示したが湧出するに至らなかつた。この温泉井では深度254mから石英粗面岩が現われ、かなり著しく変質している。製塩工場源泉は元湯の北方約100mの地点に位置するが、ここでは深度180mで123°Cに達し、温泉が湧出した。

このように、瀬波温泉は、直接地表に火山岩の露出はないが、試すいの結果、地下に石英粗面岩が潜在す

化学成分表

単位 mg/l

Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	CO ₂	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	T.S.M.	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²	I/Cl×10 ²
1.7	<0.1	<0.1	4.2	39.0	22.3	1359	1.95	0.50	0.30	0.07
1.2	<0.1	<0.1	4.2	37.7	22.3	1487	2.11	0.55	0.30	0.04
1.8	<0.1	<0.1	3.8	53.3	31.2	1764	2.84	0.60	0.34	0.04

温泉の化学成分表

単位 mg/l

SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²
88.9	3756	98	1861	26.2	0	35.9	<0.05	0.39
70.8	3750	114	1817	3.7	0	33.6	0.85	0.39
2.5	1204	3	4.1	1.3	0	3.9	0.20	0.43
614.0	888	80	279.0	3.1	1.4			
tr.	5263	90	178.1	83.2	0	47.2	6.7	0.51
tr.	5069	100	266.8	97.8	0			
tr.	1087	148	40.7	7.0	0			
tr.	4291	45	21.4	8.3	0	22.2	6.3	0.63
564.6	1372	28	75.4	33.6	96.2			
tr.	3438	12	14.3	3.9	0	17.1	<0.05	0.51
221.4	735	61	478.7	1.5	0	8.0	<0.05	0.41
386.0	1369	26	814.8	1.5	0	14.6	0.1	0.44
240.8	1206	80	93.7	1.5	2.5	11.1	0.2	0.57

ることが明らかとなり、温泉も、この石英粗面岩に関連あるものとみなされる。

温泉水の化学成分

製塩工場源泉の化学成分は第 18 表に示した。なお、この表には東北日本東側の油田地帯から湧出する幾つかの温泉の化学成分も併せて示した。この分析結果から油田地帯の温泉の特徴を要約すると次のとおりである (67)。

- 1) Cl^- 含量が高く、いずれも油田鹹水の混入、あるいは油田鹹水そのものが加温されたことを示す。
- 2) 高温の温泉水は HCO_3^- に乏しい。また、この高温泉は逆に SO_4^{2-} が高い傾向がある。
- 3) Br^-/Cl^- の比率は一般に高い値を示す。

II. 5 松之山温泉 (新潟県)

新潟県飯山線外丸駅の北西方 10km の地点に位置する温泉で、湯本と凌雲閣の源泉がある (64)。

地質

含油第三紀層の頸城層が広く分布し、黒色泥岩、砂岩・泥岩互層、凝灰岩からなる地層が、背斜構造を形成する。湯本は、凝灰岩の裂かから湧出し、温度 60°C 内外であつたが、その後掘さくし、 80°C の高温泉が湧出した。また、湯本から約 500m 離れた凌雲閣では、昭和 10 年試掘を行ない、401m で孔底温度 98°C に達し、 86°C の温泉が湧出した。なお、松之山温泉の化学成分は第 18 表に示した。

油田地帯の温泉と地質構造

油田地帯の温泉の多くは、石油採取の目的で掘さくした試すいから湧出するものが大部分である。石油を目的とする試すいは背斜軸の上で行なわれる場合が多いので、結局、温泉も、この背斜構造ないしドーム構造に深い関連があるとみなされる。従来例(7)をみると、豊富(北海道)、旭川(秋田)、羽根沢最上(山形)、新津・松之山・瀬波(新潟)等は背斜構造あるいはドーム状構造の頂部またはその近くを掘さくしたものである。しかし、これらの例の中で、瀬波温泉では、その下底に石英粗面岩が貫入していることが明らかとなり、また、松之山温泉では、高い温度上昇の度合からみて、地下に火成岩の潜在が予測される。

このように、温泉を伴なう背斜構造の中には、構造運動に伴なつて火成岩の貫入により背斜構造あるいはドーム状構造が形成されたものも少なくないと思われる。

II. 6 姫川温泉群 (新潟県)

姫川は長野県青木湖の北に源を發し、北流して日本海に入る河川であるが、この地帯は、古くエドモンド、ナウマンによつて命名されたフォツサマダナの北部を代表する地域として広く紹介されているところである。姫川温泉群(34)とは、この姫川を横断して北東—南西方向の地帯に分布する一群の温泉に与えた名称である。

地質

姫川流域の地質は、大別して、古期岩層・第三紀層および火山岩類からなる(第 22 図)。ここで古期岩層といつたのは、第三紀以前の岩層を一括したもので、古生層・中生層および花崗岩・石英斑岩・蛇紋岩等がこれに相当する。これらの古期岩層は、主として姫川の西方山地に広く分布し、上・中流部では第三紀層と明瞭に接するが、下流部ではこの境が不分明となり、古期岩層は姫川の東側に突き出たような形をとる。古生層は千枚岩質粘板岩およびホルンフェルスの厚い互層からなり、石灰岩・チャート・珪岩・輝緑凝灰岩・硬砂岩等を含む。中生層は来馬層といわれ、粘板岩・砂岩および礫岩等の互層からなり、厚さ 0.1~2 m 程度の無煙炭を挟む。

第三紀層はおもに姫川の東側に分布し、一般に緩傾斜の地形を呈する。この第三紀層は、岩質の上から集塊岩帯、泥岩・砂岩帯、砂岩・泥岩帯、泥岩帯に分けられる。このうち、泥岩の分布地域には地すべりがきわめて多い。

第三紀以降の火山岩類はおもに、流紋岩・角閃安山岩・玄武岩・輝石安山岩等からなり、このうち、輝石安山岩のみ第四紀の新期火山の熔岩に相当する。

温泉の分布

姫川流域の温泉は、主として北アルプス側の乗鞍・風吹火山と姫川東側の焼山火山とを連ねる地帯に分布する。このうち、乗鞍岳北側の蓮華温泉と焼山頂上には噴気露頭の存在がみられ、姫川本流および支流から湧出する温泉は、比較的水温が高い。

これらの温泉は、各種の岩層を湧出母岩とする。すなわち、蓮華温泉は中生層および斑動岩、蒲原温泉は古生層の粘板岩およびチャート、島温泉は中生層の砂岩・頁岩の互層、小谷温泉、梶山温泉は第三紀角閃安山岩、下里瀬、奉納温泉は第三紀層からそれぞれ湧出する。

温泉水の化学成分

各温泉の化学成分は一括して第19表に掲げた。この分析結果をみると、姫川温泉群は次のような幾つかの特徴を有する。

第19表 姫川温泉群化学成分表

単位mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	H ₂ SiO ₃	Ré
蓮華薬師湯	56.5	2.0	11.3	879.9	—	16.9	66.2	—	91.6	1544
〃 仙気湯	54.5	2.7	11.3	259.6	—	12.2	16.9	—	80.7	550
〃 総湯	68	3.2	5.6	121.2	—	7.5	tr.	—	67.8	274
〃 黄金湯	41	7.3	11.3	115.5	1116	25.3	148.4	6.6	89.2	1168
蒲原温泉	47.5	6.5	337.5	120.8	786	122.2	17.2	52	15.2	1424
〃	62.5	6.3	412.7	81.4	610	87.4	25.2	33	27.9	1346
〃	48.2	6.2	268.0	55.5	378	57.3	22.7	33	78.8	880
〃	44.5	6.6								
島温泉	42	6.3	150.3	11.5	927	86.4	6.2	70	99.7	1186
湯原沢	25	6.1	119.1	17.2	335	31.0	5.7	44	96.8	614
小谷元湯	47	7.3	59.5	1.6	2074	44.2	13.2	8.8	96.8	1856
〃 新湯	49.5	7.6	65.2	1.2	2318	37.6	11.6	11	94.1	2178
〃 熱湯	88.5	7.5	235.4	14.4	2153	9.4	tr.	13	121.0	2410
下里瀬	18	7.1	541.8	33.3	2183	37.6	37.2	52	70.6	2982
梶山新湯	50	6.6	331.9	7.4	1238	64.9	10.4	50	84.7	1690
〃 元湯	33.5	7.0	147.5	4.5	921	23.5	6.4	17	91.6	1124
奉納	33	6.7	2289	3.6	3117	153.2	16.5	17	113.0	9924
笹倉温泉	48.5	8.2	156.0	1.6	829	5.9	tr.		68.4	1152
天然ガス附随水	16.5	7.3	413.0	33.3	488	37.6	37.2	52	70.6	2238

1) 全般的に HCO₃⁻ 含量が多い。この傾向は湧出母岩に関係ない。すなわち、中生層および斑動岩から湧出する蓮華温泉の黄金湯を始め、古生層から湧出する蒲原温泉等においても 1000mg/l 前後の HCO₃⁻ を有する。

2) Cl⁻ 含量は一般に 500mg/l 以下のものが多いが、なかには奉納温泉のように 2000mg/l 以上の含量を有するものがある。

この地域の第三紀層は、裏日本の含油層に相当し、実際にガス水が湧出するところもある。したがって、温泉の中には、このガス水ないし油田鹹水の影響をうけ、Cl⁻、HCO₃⁻ に異常を来したものもあると予測されるが、温泉全般が HCO₃⁻ で特徴づけられることについては、むしろ初生的に CO₂ を主体とする岩漿揮発成分に関係あるものと思われる。この問題に関連して、まず考えられることは、古生層に含まれる石灰岩

の存在である。この石灰岩を含む古生層は、姫川の西側に広く分布し、東側においても第三紀層の基盤として、この地域の下底に広く潜在することは察するに難くない。この地域の温泉は、乗鞍・風吹火山と焼山火山とに挟まれた地帯に分布し、蓮華温泉はじめ比較的高温の温泉が多い。これらのことがらを併せ考えると、揮発成分を特徴づける CO_2 は、岩漿が直接、古生層中の石灰岩に接触するか、あるいは岩漿から発散した酸性のガスがその上昇過程で、石灰岩に接触するかのいずれかによつて、 CaCO_3 が分解され、発生した CO_2 が揮発成分中に付加されたと考えられる。姫川温泉群を特徴づける HCO_3^- の問題は、温泉成分と構成地質との間に密接な関連があることを示す具体例として注目すべき内容を含むといえることができる。

温泉の分布と地質構造

姫川流域は、フォッサマグナの最北端を代表する地帯であるが、これまでの諸資料を参考にしてフォッサマグナ東部地域（西は姫川—富士川流域から東は魚野川—利根川流域までの間）の構造的方向を検討してみると、NE 方向と NW 方向のものが優勢であることを知る。この構造的方向は地形の上にも現われ、フォッサマグナ東部地域を刻む流路の方向も上記 2 方向に卓越するものが圧倒的に多い。

この傾向は姫川流域でも同様であつて、まず古期岩層と第三紀層との境界を追跡してみると、糸魚川西方から始まるこの境界は SE の方向をとつて来馬付近に至り、ここから SW の方向に転じて仁科山脈の東側にのびる。この古期岩層と第三紀層との接触帯は、第三紀堆積以前に生じた古期岩層中の折裂地帯を暗示し、この折裂は、すでに NE—SW と NW—SE の方向性をとつていたとみなされる。さらに、この地域に発達する断層系の方向をみても、上記の方向に卓越し、とくに小谷断層の存在は、古期岩層中の構造弱帯を暗示するように見える。この小谷断層は、 $\text{N } 30^\circ \text{ E}$ の走向をもち、延長 25km に達する大断層で、第三紀の褶曲活動の際に生じて以来、第四紀初頭の地殻変動にもふたたび活動し、現在地形的に明瞭な断層崖として現われているものである。この小谷断層の方向に平行して、乗鞍岳・風吹岳・焼山等が配列し、さらに温泉群の分布も、この方向性に従うことは、この NE 方向の構造弱帯が最新の時代においても、なお不安定な状態にあることを示し、蓮華—笹倉温泉から小谷断層までの間に挟まれた地帯がことに著しいと解されるのである。

II. 7 山の内温泉群 (長野県)

長野県志賀高原の西側を流れる横湯川・角間川は湯田中付近で合して夜間瀬川となり、さらに流下して千曲川に入るが、この横湯川・角間川に沿つて約 10 カ所の温泉がある。これが山の内温泉群である^{64) 100)}。

地質

山の内温泉群周辺の地質は、第三紀緑色凝灰岩、玢岩および石英閃緑岩を基盤とし、これを覆う志賀高原の第四紀火山、湖沼堆積物、扇状地堆積物等からなる。このうち、玢岩・石英閃緑岩の分布が最も広く、山の内温泉群の大部分は、変質した玢岩・石英閃緑岩から湧出する（第 23 図）。

温泉の分布

横湯川に沿う温泉は、下流から湯田中・安代・渋・地獄谷等であり、この延長方向に発噴温泉がある。角間川沿いの温泉は、穂波・角間の 2 温泉であつて、角間川の上流の志賀高原に石の湯・熊の湯がある。

温泉水の化学成分

山の内温泉群の化学成分は一括して第 20 表に掲げた。以下、温泉水の成分的特徴を要約すると次のとおりである。

- 1) Cl^- 含量の分布は、水温の場合とは逆に、東側の温泉ほど含量が低減する。しかし、必ずしも温度と Cl^- 含量との間には相関関係がみられない。
- 2) SO_4^{2-} と Ca^{2+} とは正の相関関係にあり、 SO_4^{2-} 含量の分布は、同一地域でも低地と高地で次のような相違がある。

	低地	高地
湯田中（穂波を含む）	178 ~ 180 mg/l	429 ~ 505 mg/l
安代・渋	232 ~ 258	356 ~ 387
地獄谷	325 ~ 375	
角間	264 ~ 336	

第 20 表 平穩温泉群水質分析表

単位mg/l

番号	試料採取箇所	温度 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Br ⁻	Br/Cl×10 ²
1	湯田中 (高台上) よろづや	54.0	7.2	337.4	504.5	166.8	2.1	2.79	0.71
2	" 大湯	73.5	7.2	353.0	477.3	163.5	tr.	2.75	0.79
3	" 甘精堂	59.0	7.0	319.0	428.8	138.4	3.8		
4	(河原) 河原湯	66.0	7.4	507.6	179.4	75.7	4.4	2.75	0.54
5	" 中野温泉源泉	46.5	7.0	202.6	163.8	55.1	12.6	1.75	0.85
6	" 滝の湯(上条温泉) 源	55.5	7.3	380.0	156.4	72.5	1.9	2.39	0.62
7	" 穂波大湯源泉	59.0	7.1	321.8	158.8	72.1	6.4		
8	穂波元湯	58.0	7.0	701.2	137.4	140.1	1.0	1.99	0.62
9	角間越後屋	52.0	7.2	453.7	335.8	118.2	tr.	3.06	0.67
10	養田屋	51.0	7.0	479.2	264.2	116.2	tr.	2.79	0.58
11	安代大湯	56.0	7.6	302.0	232.1	76.1	1.5	2.13	0.71
12	渋石の湯	65.0	7.2	435.3	257.6	93.1	3.1	2.36	0.54
13	" ひしや	58.5	7.0	409.8	233.4	85.8	0.8	2.13	0.51
14	" 横湯(温泉寺)	67.0	7.0	334.6	386.8	130.3	2.2	1.85	0.55
15	" 目洗不動	54.0	7.2	245.3	355.5	122.3		1.73	0.70
16	地獄谷赤渋水	28.0	4.4	14.1	418.8	81.4	13.8		
17	" 地獄谷温泉 (後楽館)	73.5	7.2	375.7	374.5	128.7	10.2	2.52	0.67
18	" 上林温泉源泉	97.0	7.6	333.2	325.1	121.4	tr.		
19	志賀高原石の湯	29.5	6.6	29.7	104.5	42.1	15.2		
20	" 熊の湯	49.0	6.4	72.3	553.9	275.5	22.4		
21	発咄天狗湯(大浴湯)		2.9	4.0	103.7				
22	" 天狗湯(別館)		5.1	69.4	72.4				

この理由については、地表面付近で H₂S が酸化され SO₄²⁻ を生成したと考えられる場合と、SO₄²⁻ を含む地下水の混合による場合の 2 つが考えられる。

3) 発咄温泉のみ噴気を作なうが、この噴気に接して Cl⁻ を含む温泉が湧出するので、この噴気露頭は、高温温泉水の二次的な沸騰によつて生じたものと推定される。

4) 温泉水の Br/Cl×10² の値は、平均 0.53 という比較的高い比率を示す。この値は、火成岩を湧出母岩とする温泉の中では、とくに異常な例に属する。

地温分布

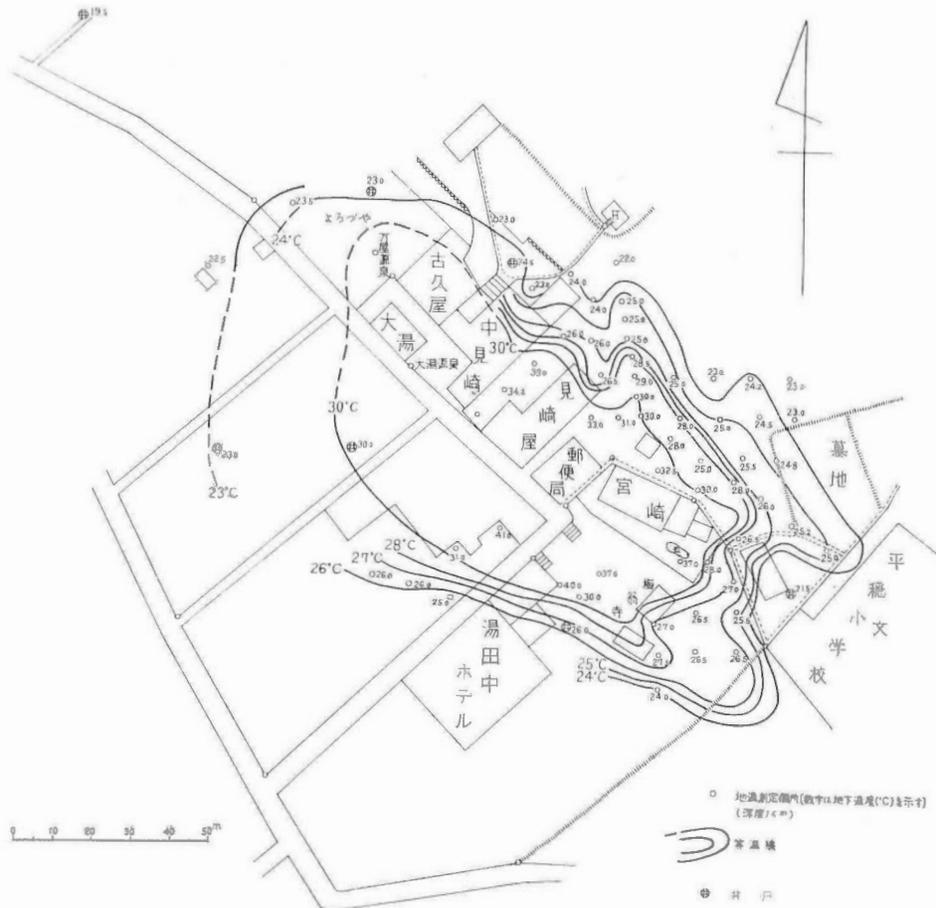
湯田中温泉において行なつた地温分布調査の結果は、第 24 図に掲げた。この結果によると、高温帯は NW—SE の方向に延び、山の内低地の方向と一致する。すなわち、地温分布の状態は、温泉の湧出を導く弱帯の方向をよく現わすものとみなされる。

温泉の分布と地質構造

横湯川・角間川で劃される低地は、山の内地溝帯といわれ、第三紀末に生じた陥没地帯であつて、この延長では志賀カルデラ¹⁹⁾を形成している。

山の内温泉群の存在が、この地溝性弱帯に関係あることは、温泉の分布、湯田中温泉の地温分布状況など

から明らかであつて、温泉は、この弱帯に沿つて湧出し、湯田中・安代・渋・穂波等では、さらに、扇状地堆積物あるいは沖積層の中に貯溜され、広汎な湧出範囲をとるものとみなされる。



第 24 図 山の内町湯田中温泉地温分布図

II. 8 五色・七味温泉(長野県)

長野県松川の上流に位置する温泉(64)で、下流には次に述べる山田温泉がある。

地質

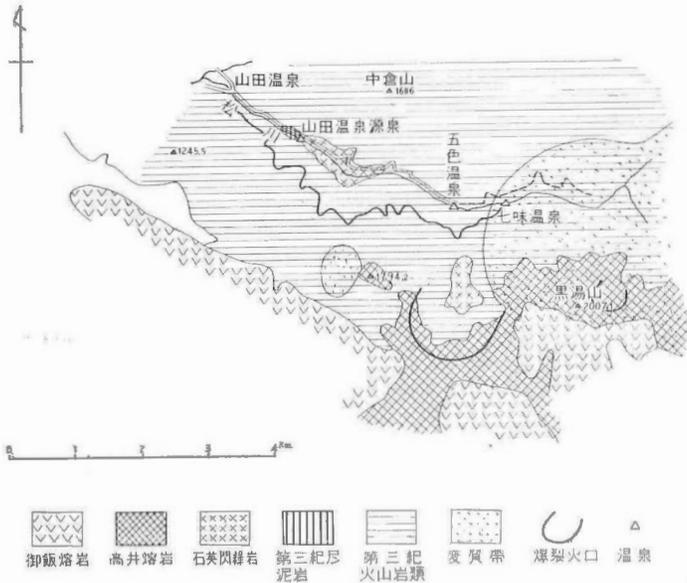
松川流域の地質は、安山岩を含む凝灰岩・角礫凝灰岩等の第三紀火山性堆積物を主体とし、第四紀の高井熔岩によつて覆われる(第 25 図)。

この地域は噴気活動による変質作用を受け、変質帯の規模は、下流より上流に至るほど著しくなり、とくに七味温泉から上流では、黒湯川・万座峠を経て万座温泉に至るまでのきわめて広大な範囲を占める。

温泉水の化学成分

五色温泉にはおもな湧出箇所が 3 地点あり、かなり温度が高い。特徴は H_2S を著量に含むことであるが、地下水の影響によつて、温泉水中の水硫化物が不安定な状態になり、その時遊離する硫黄の色が温泉を彩る原因となり、五色温泉と呼ばれるに至つたものである。

また、五色温泉の上流に位置する七味温泉ではごく狭い範囲の中に 7 カ所の湧出口がある。この 7 カ所のうち、中間の 3 カ所は中性ないし微アルカリ性で、他はいずれも酸性である。また温度も後者の方が低い。七味という名は、このような泉質の違いからきたものである。



第 25 図 七味・五色・山田温泉付近地質図

五色・七味温泉の化学成分は一括して第 21 表に示したが、この結果から全般的な成分的特徴を要約すると次のとおりである。

- 1) Cl^- 含量は 35~203 mg/l 程度で Br^-/Cl^- の比率も小さく、火山性温泉とみて、まず疑いが無い。
- 2) Cl^- 含量および温度分布からみると、五色・七味温泉における温泉活動の中心は Cl^- 含量の小さい温泉で代表され、外側に移るほど Cl^- 含量が増大する傾向は、地下水がより深くまで浸透したことを暗示するようにみえる。
- 3) 湧出量少なく、かつ温度が高い点からみて、あまり深くないところに天然蒸気存在が推定される。

第 21 表 五色・七味温泉

採水箇所			水温 (°C)	pH	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+
五色	熱湯	湯	42	6.8	101.1	354.7	94.6		
〃	縮の湯	湯	51	6.4	104.6	405.7	67.1		
〃	村有源泉	泉	73	7.0	63.8	418.1	176.9	97.6	8.4
〃	黒湯	湯	80	6.9	203.9	325.1	149.5	157.4	16.4
七味	1号	号	—	2.6	131.2	786.0	—		
〃	2号	号	63	6.6	94.0	472.4	103.7		
〃	3号	号	72	7.8	35.5	435.4	134.2	94.4	10.6
〃	4号	号	66	7.0	42.2	443.6	115.2		
〃	5号	号	41	3.0	113.5	915.2	—		
〃	6号	号	43	3.3	131.2	599.2	—		
〃	7号	号	41	3.2	104.6	553.0	—		
〃	河原の中	中	—	6.4	111.7	576.1	143.4		

II.9 山田温泉 (長野県)

松川沿いの五色・七味の下流にある温泉⁶⁴⁾で、源泉より約1 km 引湯して利用している。

地質

第三紀緑色凝灰岩層を主体とし、温泉湧出口付近は、緑色凝灰岩層中に挟在する黒色泥岩と、これを貫く石英閃緑岩との接触部に相当する (第 25 図)。温泉は、石英閃緑岩の裂かから湧出する。岩層を切る裂かは、N60~70°W の方向に卓越し、これに付随して N10~20°E の方向のものもみられる。温泉は N60~70°W の裂かを湧出通路として地表に達しているものと思われる。

温泉水の化学成分

山田温泉には自然湧出箇所 2 カ所、さく井泉 2 本あり、約 120m の範囲内から湧出する。

温泉水の化学成分は第 22 表に示したが、前記の五色・七味温泉に較べ、かなりその性質を異にする。すなわち、Cl⁻ 含量が 2 g/l 以上に達し、Br⁻/Cl⁻ の比率も前者に較べ著しく高い。この傾向は山の内温泉のように、珩岩ないし石英閃緑岩を湧出母岩とする温泉に類似する。また、温泉ガスも CO₂ が 11.5% で残りがほとんど不活性ガスからなることも著しい特徴である。

II.10 浅間温泉 (長野県)

浅間温泉は⁵³⁾、長野県松本市外にあり、山麓に沿って東山・御母家・湯の原・藤井等の温泉が北から南に配列する。

地質

浅間温泉付近の地質は、第三紀内村層の砂岩・泥岩層およびこれを貫く輝石珩岩からなる (第 26 図)。砂岩・泥岩層は細かく砕ける黒色泥岩と板状の細粒砂岩からなり明瞭な層理を示すが、上部に移るほど凝灰質かつ粗粒となる。砂岩・泥岩層はまた、熔岩流を挟む厚さ 25~30m 程度の凝灰岩を挟在し、山地と低地との境に沿って断続的に露出する。砂岩・泥岩層は N20°W の走向を示し、浅間温泉の東側に向斜軸がある。珩岩はこの向斜軸に沿って分布する。

温泉の分布と化学成分

浅間温泉は、2湧出地域に分かたれ (第 27 図)、このうち、南側の湧出地域が最も温度高く、53~48°C の

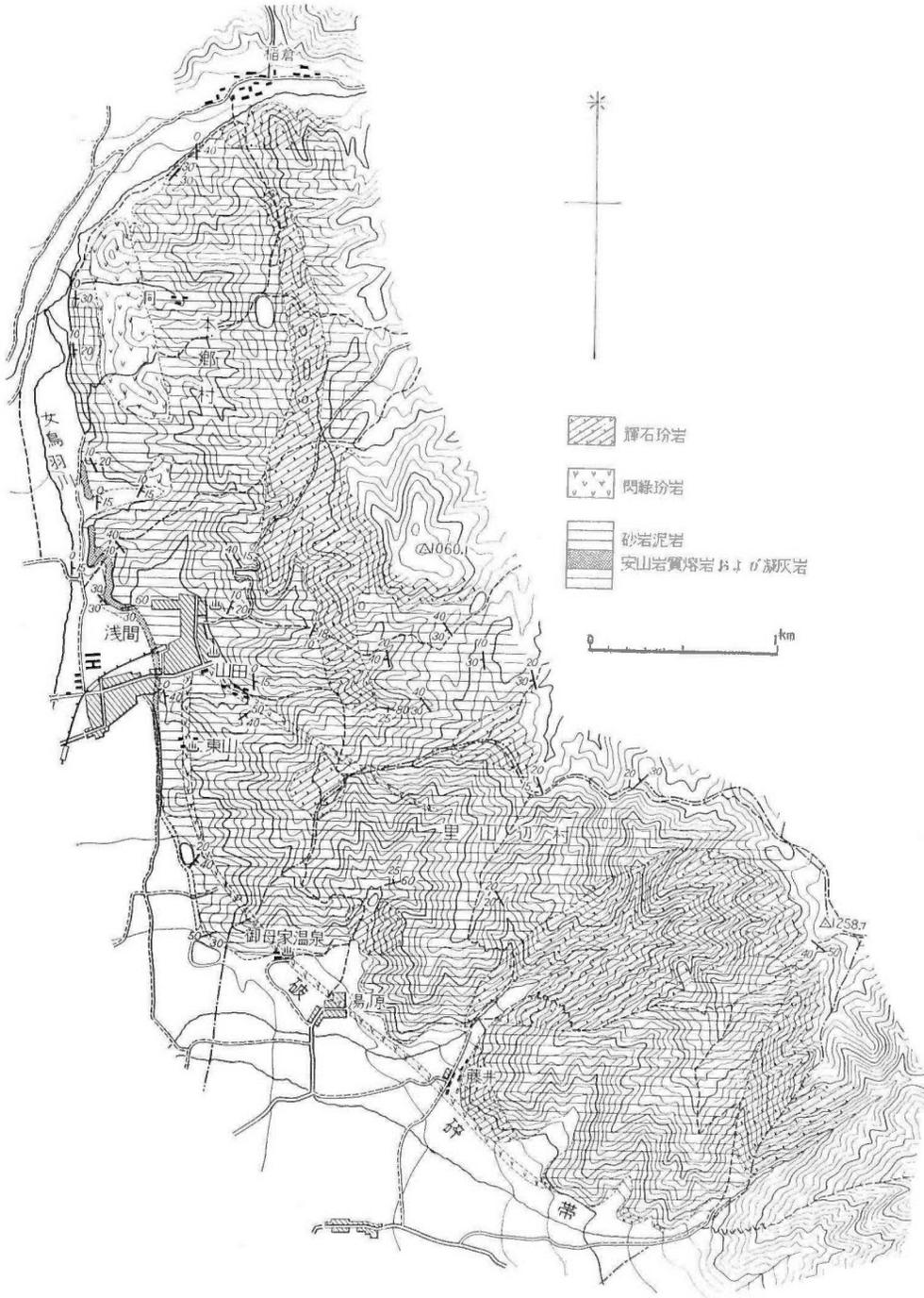
化 学 成 分 表

単位 mg/l

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Al ³⁺	HBO ₂	H ₂ S	酸 度	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²
127.9	2.4	0.0	0.0	74.1	4.6	0.23	—	—	
139.0	4.4	0.0	0.0	88.7	8.4	0.36	0.1	0.0	0.09
171.2	3.9	0.0	0.0	94.8	56.5	0.64	0.1	0.0	0.15
109.8	2.2	0.0	0.0	88.7	37.4	0.47	0.3	0.0	0.09
144.0	17.5	2.2	49.8	—	49.3	5.72	—	—	
167.2	18.4	0.2	0.0	—	32.1	0.47	—	—	
167.2	23.2	0.0	4.0	41.8	65.5	0.24	0.0	0.0	
165.2	17.9	0.1	0.0	—	60.8	0.19	—	—	
160.1	17.0	22.5	86.0	—	3.1	5.11	—	—	
161.1	17.9	0.4	19.6	—	9.6	2.25	—	—	
145.0	17.0	0.9	19.1	—	23.7	2.13	—	—	
236.6	14.9	—	—	—	—	1.33	—	—	

第 22 表 山 田 温 泉

採 水 筒 所	水 温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
1 号	67	6.4	2533	431.3	213.5	1141	210.0	467.2
元 湯	59	6.5	2035	396.7	178.8	919	186.5	400.8
2 号	45	6.5	2874	665.8	271.5	1290	173.0	731.0
河 原 湯	49	6.6	1874	364.6	163.5	871	177.8	361.5

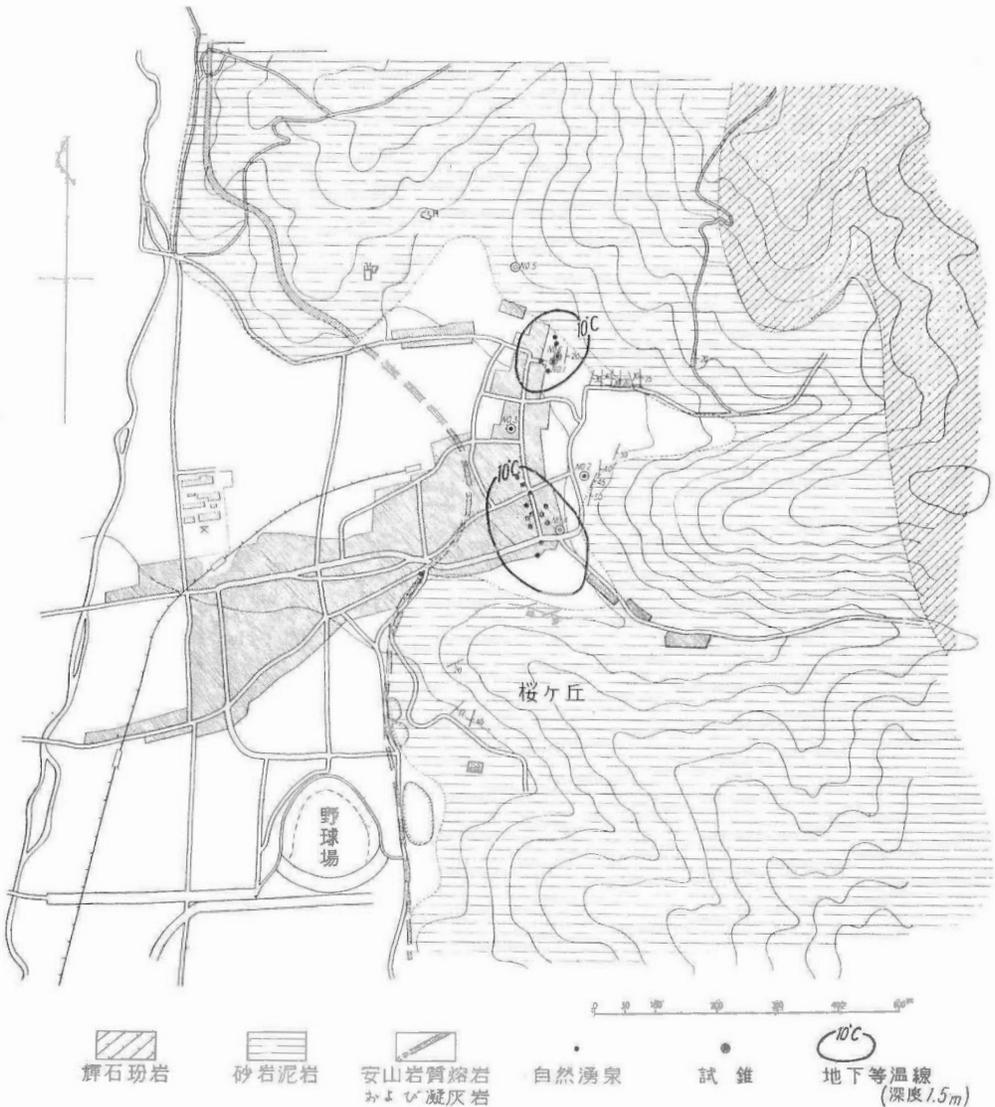


第 26 図 浅間温泉帯周辺地質図

化学成分表

単位 mg/l

Mg ²⁺	Fe ²⁺	Al ³⁺	HBO ₂	H ₂ S	酸度	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl×10 ²	I/Cl×10 ²
83	0.0	0.0	217.0	45.4	0.95	12.1	2.9	0.47	0.11
7.4	0.0	0.0	183.5	47.1	1.07	9.9	2.1	0.43	0.10
11.8	0.0	0.0	203.2	0.4	1.71	14.2	3.0	0.49	0.10
7.4	0.0	0.0	164.0	2.7	1.04	9.4	1.5	0.50	0.08



第27図 浅間温泉付近地質図

範囲内にあり、北側では、49~44°Cである。東山・御母家はおのおの42°C、39°Cであつて漸次温度が低くなる。Cl⁻含量は30~40mg/lで比較的低いが、ほぼ温度に平行して、浅間から東山・御母家に向かうほどその含量が減少する。SO₄²⁻は温泉の主成分を占め、190~220mg/lの範囲内にあり、著しい差はない。このように、浅間温泉およびその南に連なる温泉は、広い湧出範囲をとるにもかかわらず、成分の含量はほぼ一定している。

第 23 表 浅間温泉帯の化学成分表

単位 mg

採水箇所	温度 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
浅間温泉 (北部)	東御殿の湯	44	8.0	38	190.9	3	12	41.5	tr.	
	御殿の湯	46	8.0	38	181.7	3	12	40.0	〃	
	御座の湯	49	8.0	40	206.6	3	12	37.2	〃	
	滝の湯	48.5	8.0	38	197.5	3	12	37.2	〃	
	堀の湯	49	8.0	38	198.0	3	12	37.0	〃	88.0
	湯小踏	43.5	8.0	40	199.2	3	12	38.6	〃	2.6
浅間温泉 (南部)	双葉の湯	48	8.0	38	199.2	3	12	41.5	〃	
	小柳の湯	48	8.0	39	201.6	3	12	37.2	〃	
	湯坂源泉	48	8.0	37	207.4	3	12	38.6	〃	
	湯坂五湯	50	8.0	38	207.4	3	12	34.3	〃	
	栄の湯, 蔦の湯	51	8.0	37	225.5	3	12	42.9	〃	
	松の湯	52.5	8.0	37	223.9	3	18	40.0	〃	
	せんきの湯	52.5	8.0	35	225.0	3	24	41.5	〃	93.0
	東北源泉	50.5	8.0	35	213.2	3	18	42.9	〃	4.7
	犬飼源泉	53	8.0	35	213.9	3	18	41.5	〃	
	疵の湯	43	8.0	33	190.1	3	18	40.0	〃	
	尾上の湯	40	7.6	34	206.6	—	36	40.0	〃	
	月の湯	37	7.6	49	199.9	—	79	28.6	〃	
	東山温泉		8.0	32	220.6	3	18	n.d.		
	権現の湯	23.5	8.0	18	117.7	3	54	〃		
塩の湯	22	7.6	300	n.d.	—	1,012	〃			
御母家温泉	39	8.0	29	146.5	3	18	〃			
湯の原温泉	39	8.0	29	263.4	3	12	〃			

浅間温泉の化学成分は第 23 表に掲げたが、中部信濃地方に点在する鹿教湯・大塩・霊泉寺・杏掛・田沢別所等の温泉は、玢岩を湧出母岩とするものが多く、その成分的特徴は浅間温泉に類似する。すなわち、その 2, 3 の特徴をあげると次のとおりである。

- 1) アルカリ性のものが多い。
- 2) 一般に Cl⁻ 含量が少なく、また HCO₃⁻ 含量に乏しい。
- 3) 温泉の主成分はいずれも SO₄²⁻ からなる。
- 4) 微量であるが H₂S を含む。

試すいによる調査資料

浅間温泉で行なつた試すいによる調査の結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 1号井は 110m, 4号井は 47m, 5号井は 165m 掘さくしたが、前記の凝灰岩に達していない。これに対して、2号井は 123m (掘止め 143.5m), 3号井は 73m (掘止め 120m) で凝灰岩層に達した。
- 2) 孔底温度は、凝灰岩以下でむしろ上昇せず、温泉は凝灰岩上盤の黑色泥岩のザク層から湧出する。
- 3) 北側の湧出地域は、破碎帯に沿うものと思われるが、南側の湧出地域は、凝灰岩層上盤あるいは下盤

のザク層に沿って上昇した温泉が地表に達したものと推定される。

温泉の分布と地質構造

浅間温泉から東山・御母家温泉につらなる温泉帯は、ほぼ NS 方向をとつて山裾を走り、この地方の地質構造と密接な関係にあることを暗示する。事実、この温泉帯に沿って、著しく擾乱した砂岩・泥岩層が露出し、この破碎帯が温泉の上昇通路としての役割を果たしている。浅間温泉では、この破碎帯に沿って上昇する温泉が、前記凝灰岩の上盤ないし下盤のザク層の中に貯溜され、広い湧出範囲をとるとみなされるのである。

II.11 下諏訪温泉(長野県)

フォッサマグナに沿う温泉の1つで⁴⁵⁾、上諏訪温泉とともに諏訪湖北岸から湧出する。

地質

諏訪地方は、フォッサマグナと中央構造線とが交錯する地域で、構造的にもきわめて錯綜している。

諏訪湖周辺の地質は、古生層を基盤とし、第三紀守屋層とこれを貫く火成岩類、および第四紀の火山岩類からなる。このうち、守屋層は角閃片岩・ホルンフェルス・粘板岩等からなり、下諏訪背後の山地に発達する。第三紀火成岩類は、変粒安山岩・花崗閃緑岩・石英閃緑岩・玢岩からなり、守屋層の貫入体として諏訪湖畔に露出する。第四紀火山は諏訪湖周辺の火山と霧ヶ峰火山とに大別され、前者は第四紀初頭の活動に関係あり、諏訪湖周辺に広く発達する輝石安山岩熔岩および凝灰角礫岩がこれに当る。

この地域内には変質帯が発生し、とくに、砥川流域の毒沢に著しく、微弱な変質部分は、ほぼ北西—南東の方向をとり、諏訪湖北岸に点在する。

温泉水の化学成分

下諏訪温泉は、守屋層の変質輝緑岩および花崗閃緑岩を湧出母岩とし、一部は扇状地堆積物の中に貯溜される。前者は比較的高温であるが、温泉水位が低く、後者は自然湧出するが、温度は低い。これらの温泉水の化学成分は、一括して第25表に掲げた。Cl⁻と温度の間には、とくに顕著な関連は認められないが、SO₄²⁻含量の分布がやや特徴的である。すなわち、SO₄²⁻は最西端の丹過湯を最高とし、東側に移るほど含量がてい減する傾向がある。また、SO₄²⁻とCa²⁺とは正の相関関係を示す。このSO₄²⁻は、二次的に変質帯を通過する地下水から導かれた疑いがある。

温泉の分布と地質構造

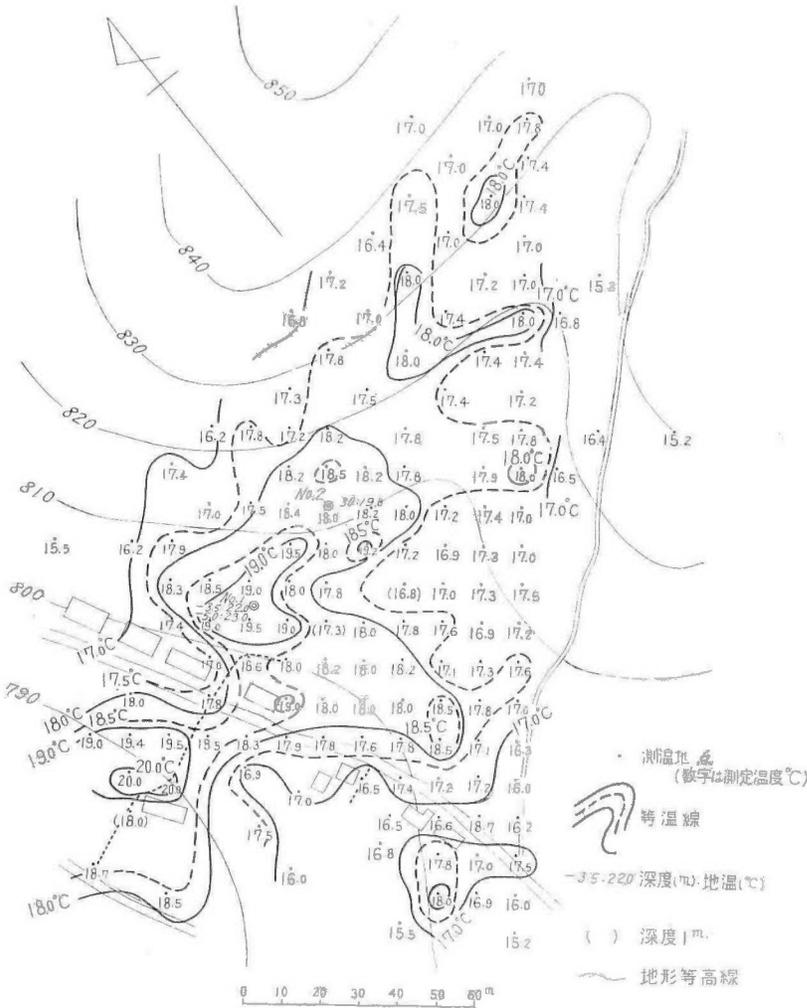
諏訪地方は構造的に北北西—南南東の方向性が卓越する。すなわち、火山の配列もこれに平行し、温泉の分布、変質帯の存在もこの方向に点在する。このように、諏訪湖北岸に沿う地帯は、フォッサマグナの一部

第24表 中信地方温泉群の化学成分表

単位 mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
別所大湯	44	8.8	53.1	107.8	37.8	5.7	25.3	tr.	84	1
〃 大師湯	42.5	8.8	44.8	104.5	27.4	4.8	24.0	tr.	68	3
鹿教湯	53.5	8.0	72.7	276.5	35.8	—	46.0	3.0	95	6
霊泉寺	40	8.6	50.3	675.7	13.4	1.5	263.0	3.0	73	4
大塩	31	7.4	72.6	316.9	28.1	—	88.6	2.2	93	5
田沢	37.5	9.3	53.1	79.8	9.6	9.0	20.0	4.4	52	1
沓掛	36	9.1	39.1	126.7	8.5	5.1	34.0	4.4	52	2
浅間(せんき湯)	52.5	8.0	35	225.0	24	3	41.5	tr.	93	4
上山田(三好屋)	43	8.7	168.8	110.3	45.7	15	68.0	0.9	116	6

に当り、この破砕帯に沿つて温泉が湧出するものと考えられる。この傾向は、次に述べる上諏訪温泉の地質構造によつて、さらに明らかになされた。なお、下諏訪町門久保における地温分布状況を第 28 図に示した。



第 28 図 下諏訪町門久保付近地温分布図

II.12 上諏訪温泉(長野県)

上諏訪温泉(21)421101)は、下諏訪温泉に接する大和から上諏訪市の南端湯小路・清水町に至る長さ約 3 km 幅約 500m の範囲を占め、自然湧泉・さく井泉併せて 400 個以上に及ぶ多数の湧出口を有する。

地質

諏訪湖北岸の構成地質は、第三紀序層・第三紀火成岩類・第四紀火山岩類からなるが、上諏訪温泉は、下諏訪と異なり、諏訪湖堆積物および第四紀集塊岩ないし角礫凝灰岩を湧出母岩とする。前者は諏訪湖盆地に広く発達し、砂・礫・粘土等からなる脆弱な地層であるが、上諏訪付近では最上部のスクモを除き、地表に露出がない。かつて、六斗川河口で行なつた試すいの結果によると、深度 371m でまだ基盤岩層に達しないといわれる。後者は湖成堆積物の基盤をなすもので、上諏訪背後の丘陵に広く分布する。

温泉水の化学成分

上諏訪温泉の中から代表的な幾つかの試料をとり、その化学成分を示すと第 25 表のとおりである。かつ

第 25 表 諏訪温泉主化学成分表

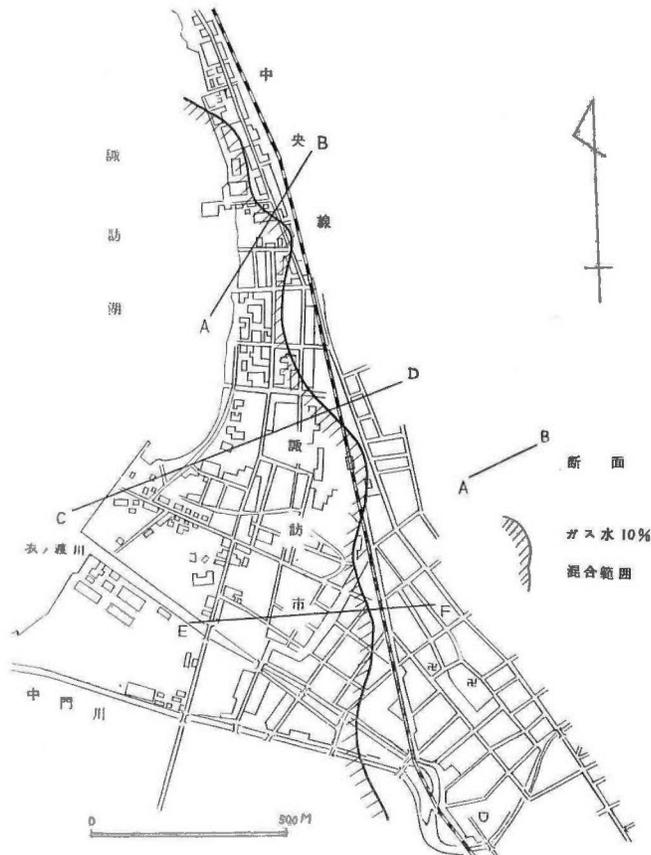
単位 mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂
下諏訪 丹過湯	67	8.5	312.0	661.7	24.4	3.0	149.0	2.9	—
〃 縮の湯	44	7.6	235.5	384.3	48.8	—	84.0	1.9	6.0
〃 兎湯	51	7.9	235.5	385.9	42.7	—	80.0	1.9	tr.
上諏訪 千村	83	8.5	261.0	217.3	39.7	6.0	41.0	0.9	—
〃 篠原館	52	7.3	226.9	485.6	433.1	—	39.0	9.2	8.8
〃 田中	67	7.3	295.0	164.6	289.7	—	36.0	1.1	15.4
〃 片岡	77	7.8	317.9	212.3	61.0	—	38.0	0.6	5.5
〃 佐々木	79	8.2	309.2	313.6	36.6	3.0	69.0	1.5	—
〃 尾沢組	76	7.7	209.9	130.0	109.8	—	20.0	1.5	8.8

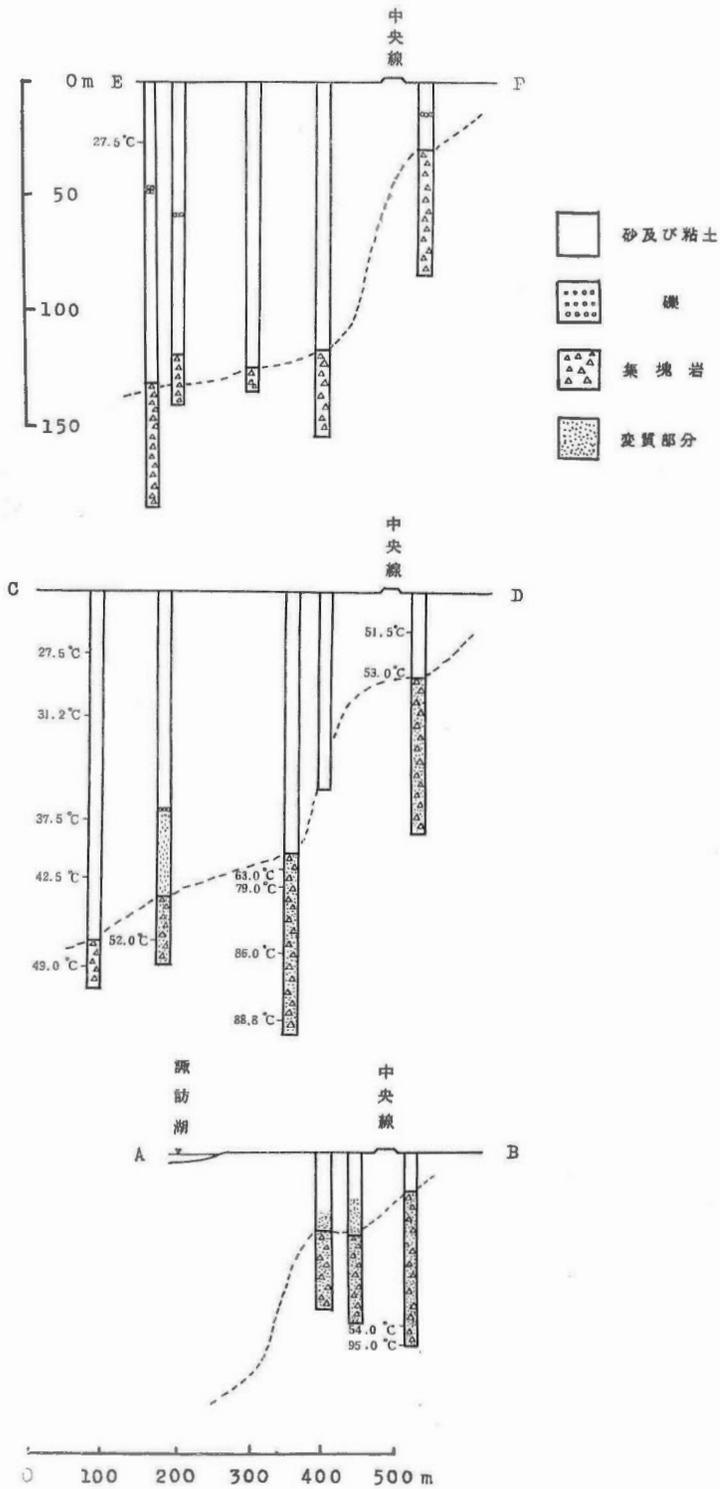
て、吉村信吉¹⁰¹⁾は上諏訪温泉の泉質を3つの型に大別したが、そのおのおのの特徴を要約すると次のとおりである。

1) 熱水型温泉

角礫凝灰岩ないし集塊岩から湧出するもので、温度が高く Cl⁻ 含量多く、上諏訪温泉の主体をなす。概



第 29 図 上諏訪温泉市街図



第30図 上諏訪温泉断面図

略の基準を示すと次のとおりである。

温度 93°C 以上 Cl⁻ 300mg/l 以上 メチルオレンジアルカリ度 30/61 ミリ当量以下

2) 盆地水型温泉

湖成堆積物の中に含まれるガス水の影響を受けたもので、多くは湖成層の中に貯留される。その特徴は、有機物によつて着色され、メチルオレンジアルカリ度の値高く、しばしばメタンガスを作なう。

ガス水の成分的要素はほぼ次のような値を有する。

温度 15~25°C Cl⁻ 20~100mg/l メチルオレンジアルカリ度 150/61 ミリ当量以上

3) 地下水型温泉

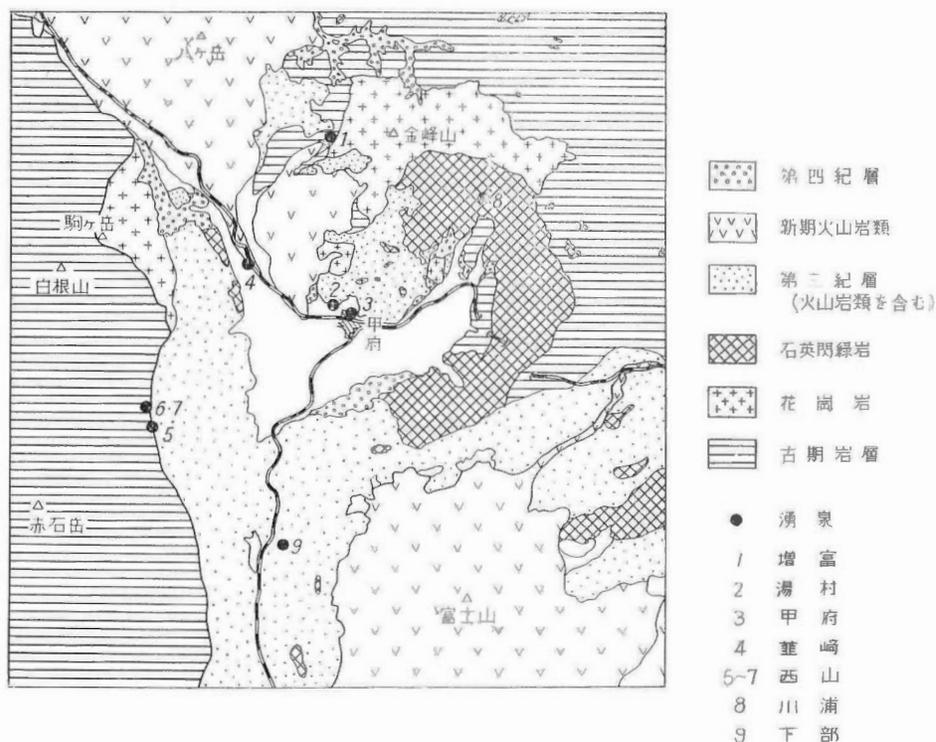
湧出地域東側の山裾、角間川の扇状地から湧出する温泉の中には、地下水に近い性質をもつものがある。この型の温泉は温度低く、湧出範囲も狭い。次に地下水の概略の基準を示すと次のとおりである。

	温度	Cl ⁻	メチルオレンジアルカリ度
扇状地地下水	15~20°C	20~100mg/l	30~150/61 ミリ当量
湧水	15~20°C	3~20mg/l	10~41/61 ミリ当量

湧出地域の深部構造

最近数年間に掘さくされた温泉井の中から 40 地点の記録を参考にし、上諏訪温泉の東西断面を示したのが第 29 図、第 30 図である。

この断面図をみてまず注目を引くことは、中央線を境として、基盤岩層までの厚さが急激に変わっていることである。しかも、この中央線を境として、地表における湧泉の温度も高く、また基盤岩層内でも岩石が変質する等のことがらを併せ考えると、上諏訪温泉は、この異常地帯に沿つて湧出するとみてまず疑いないものと思われる。この基盤の食い違いは、大きくみれば諏訪湖盆地の生成に関連ある破砕帯の一部と考えられ、諏訪湖堆積物の累積によつて生じたいわば地向斜状の沈降は、この破砕帯を境として行なわれる一方、この破砕帯を通路として温泉が湧出するとみなされるのである。



第 31 図 甲府市周辺地質図

II.13 増富温泉 (山梨県)

山梨県金峰山の西麓に位置する温泉で、放射能泉⁸⁶⁾として著名である(第31図)。温泉は、花崗岩の裂かから湧出し、湧出口周辺には多量の石灰華の沈殿を伴なう。温泉水の化学成分は第26表に示したが、 Cl^- 、 HCO_3^- 含量で特徴づけられ、強い放射能を有する。

II.14 湯山温泉 (静岡県)

静岡県大井川の支流寸又川の左岸約100mの地点から湧出する温泉で⁶⁴⁾、不便な地にあるためほとんど利用されていない。

地質

薄いチャートを挟む古生層の粘板岩・砂岩の互層から湧出する温泉で、自然湧出時は水温 35°C 程度であったが、9.0m掘さくし、 43°C に上昇し水量も約1,000l/mに増加した。

温泉水の化学成分

湯山温泉の化学成分は第27表に示したが、この他大井川流域から湧出する鉱泉の化学成分も併せて示した。これらは、いずれも HCO_3^- で特徴づけられ、 H_2S を含む。場所によつて石灰華を伴なうところがある。

II.15 古奈・長岡温泉 (静岡県)

伊豆半島の修善寺と沼津のほぼ中間に位置し、狩野川を挟んでその兩岸から湧出する⁵⁶⁾⁷⁴⁾。源泉数は50を数え、伊豆半島でも伊東・熱海に次ぐ温泉である。

地質

この地域の地質は、江の浦凝灰岩層とその上位の輝石安山岩質集塊岩が大部分を占め、その一部は浮石流によつて覆われる(第32図)。江の浦凝灰岩層は伊豆半島の基盤をなす湯ヶ島層群上位の白浜層群に相当す

第26表 増富温泉

採水箇所	水温 ($^\circ\text{C}$)	pH	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}
増富温泉	25		2380	981		357.9
〃	29	6.4	3517	1403		689.7
〃	34	6.4	3787	1616		566.3

第27表 湯山温泉

採水箇所	水温 ($^\circ\text{C}$)	pH	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Na^+
湯山温泉	42.2	9.0	3.5	15.2	366.0	60.0	171.1
干頭前山	14	8.1	1.8	46.1	139.1	3.6	32.3
〃坂京	13	7.9	0.9	23.5	37.2	—	11.8
〃蛇骨沢	15	7.0	2.7	107.8	149.5	—	7.1
〃	15	8.0	2.7	101.2	176.9	0.0	7.1
〃	15	8.0	2.7	102.1	158.6	0.0	7.1
〃小長井川	13	8.1	2.7	8.6	250.0	3.6	84.2
〃奥泉	16	7.6	33.7	4.1	381.3	—	142.4
〃清水	15	6.5	2.7	5.3	22.9	—	5.9

る地層で、江の浦湾周辺に発達し、古奈・長岡付近のものはその一部に当る。岩質は大部分凝灰岩ないし角礫凝灰岩からなり、砂岩および泥岩を挟む。層理は比較的明らかで、湧出地域における走向の変化をみると、ほぼ NE 方向を軸とし、湧出帯を通る向斜状の拗曲構造が存在するように見える。

温泉水の化学成分

古奈・長岡温泉の主化学成分は、一括して第 28 表に掲げた。この中からおもな成分的特徴を要約すると次のとおりである。

1) Cl^- 含量は水温とほぼ正の相関関係がある。しかし、 Cl^- 含量が低いにもかかわらず、 40°C 以上の水温をもつものがある。これはすでに $30\sim 40^\circ\text{C}$ 程度に加温された地下水が存在することを暗示するようにみえる。

2) Cl^- と HCO_3^- 含量は負の相関関係を示す。

3) SO_4^{2-} は温泉の主成分をなし、 Na^+ と正の相関関係にある。

熱構造

第 33 図は揚水温の分布を示したものであるが、この図をみると、 60°C 以上の高温帯は、NE~SW の方向をとり、ほぼ前記の向斜軸の方向と一致する。次に、最近掘さくされた 10 数本の温泉井の資料を参考にし、NE 方向および NS 方向の断面を切つてみると、第 34 図のようになる。この図によると、温泉脈ないし湯層の存在は西側ほど浅く、東におもむくほどより深くなる。このように、温泉脈・湯層が側方に移るほどより深くなることについては、2つの考え方ができる。1つは、いわゆる帽岩に相当する地層があつて、その下に温泉が貯溜され、帽岩の深度によつて温泉の存在深度が支配される場合である。次は、高温の中心ほど裂か・間隙が多く、それより離れるほど破砕の程度も少なくなり、温泉を得る機会も少なくなるという場合である。古奈・長岡温泉の場合には、均一な帽岩の存在を考えると無理のように思われ、結局、泉脈（裂か）と湯層（帯水層）の組合せにより、地層中に生じた裂かに沿つて上昇した温泉が多孔質の地層の中に貯溜され、広い温泉の分布範囲をとるとみなされる。

化 学 成 分 表

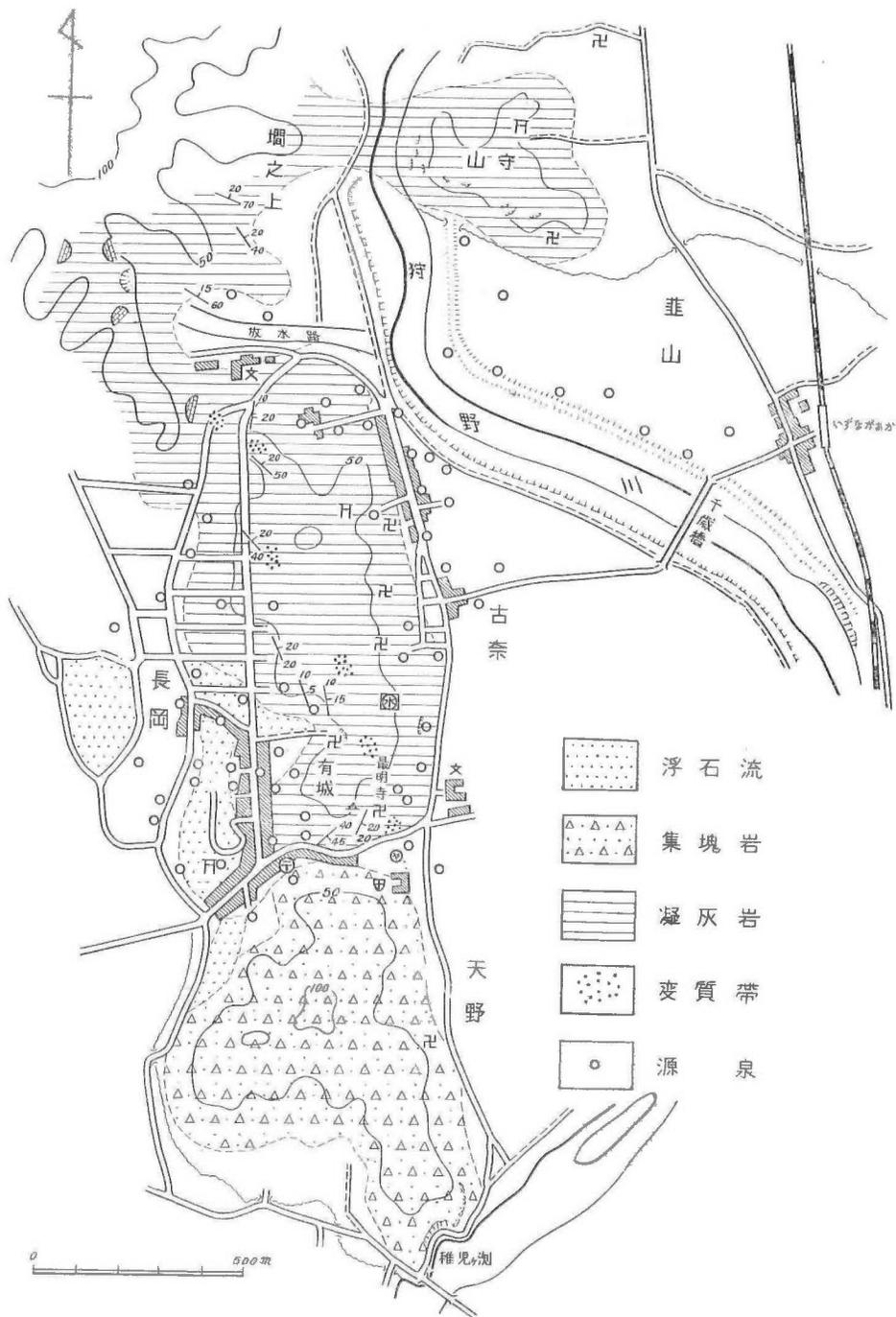
単位 mg/l

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{2+}	CO_2	Br^-	I^-	$\text{Br}/\text{Cl} \times 10^2$
1756	225.9	157.2	12.7	8.5	217	5.5	0.20	0.23
2507	328.8	269.5	23.2	42.7	256	7.6	0.35	0.22
2773	373.9	255.3	23.2	8.5	363	8.5	0.25	0.22

化 学 成 分 表

単位 mg/l

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{2+}	Fe^{2+}	HBO_2	H_2SiO_3	CO_2	H_2S	Re^-
<0.1	2.0	0.1	<0.1	<0.1	15.2	46.8	—	1.2	502
0.5	29.1	3.9	<0.1	<0.1	tr.	19.5	—	2.8	200
<0.1	15.0	1.6	<0.1	<0.1	tr.	15.6	2.2	tr.	96
<0.1	81.2	7.0	<0.1	<0.1	tr.	15.6	6.6	0.0	323
<0.1	77.7	9.6	<0.1	<0.1	tr.	15.6	0.0	0.0	318
<0.1	77.7	8.7	<0.1	<0.1	tr.	15.6	0.0	0.0	301
<0.1	9.5	1.4	<0.1	<0.1	tr.	13.0	—	3.2	244
3.5	14.5	1.3	<0.1	<0.1	18.7	9.1	3.5	tr.	443
<0.1	12.0	1.2	<0.1	<0.1	0.0	14.3	4.4	0.0	65

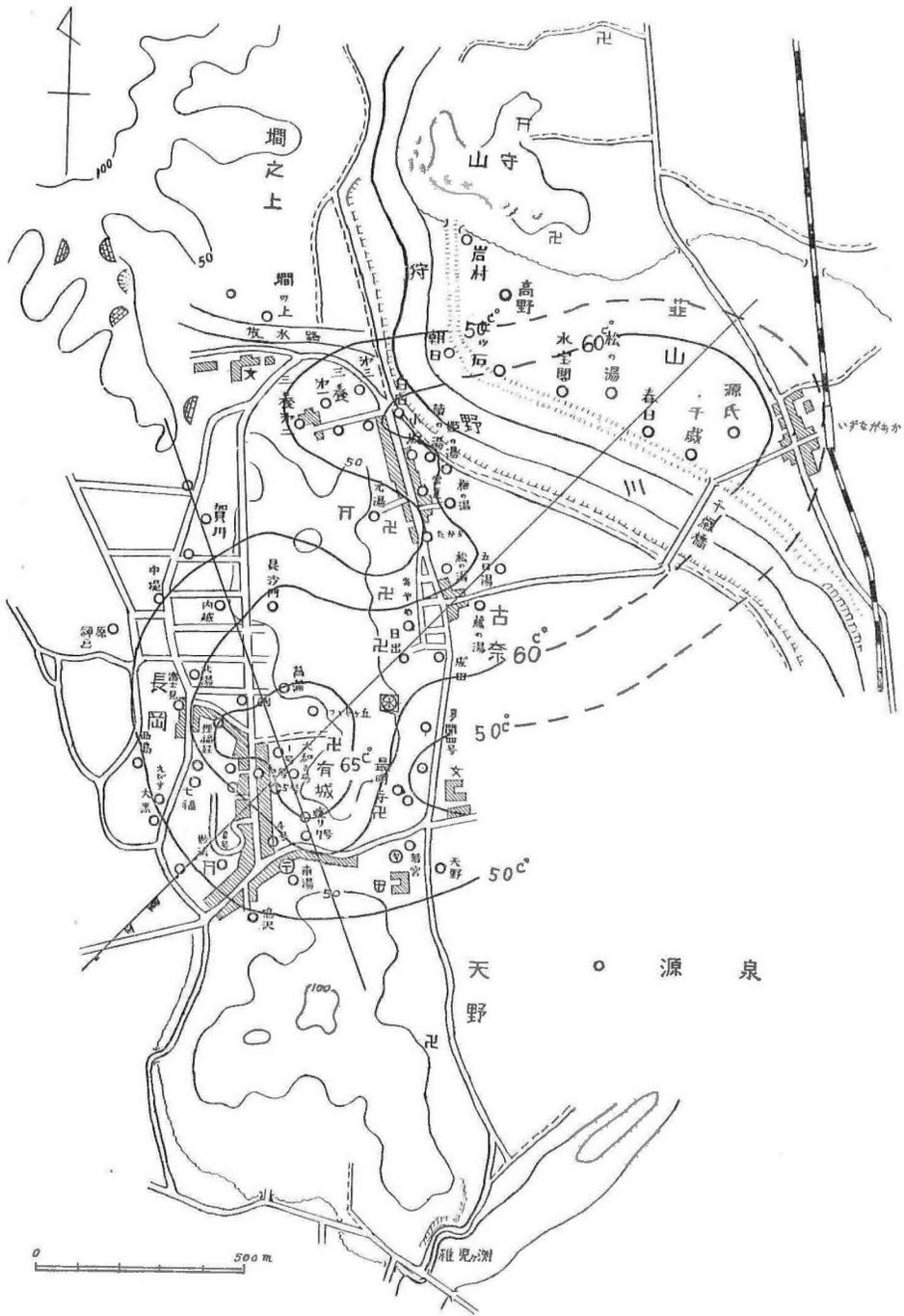


第 32 図 古奈・長岡温泉付近地質図

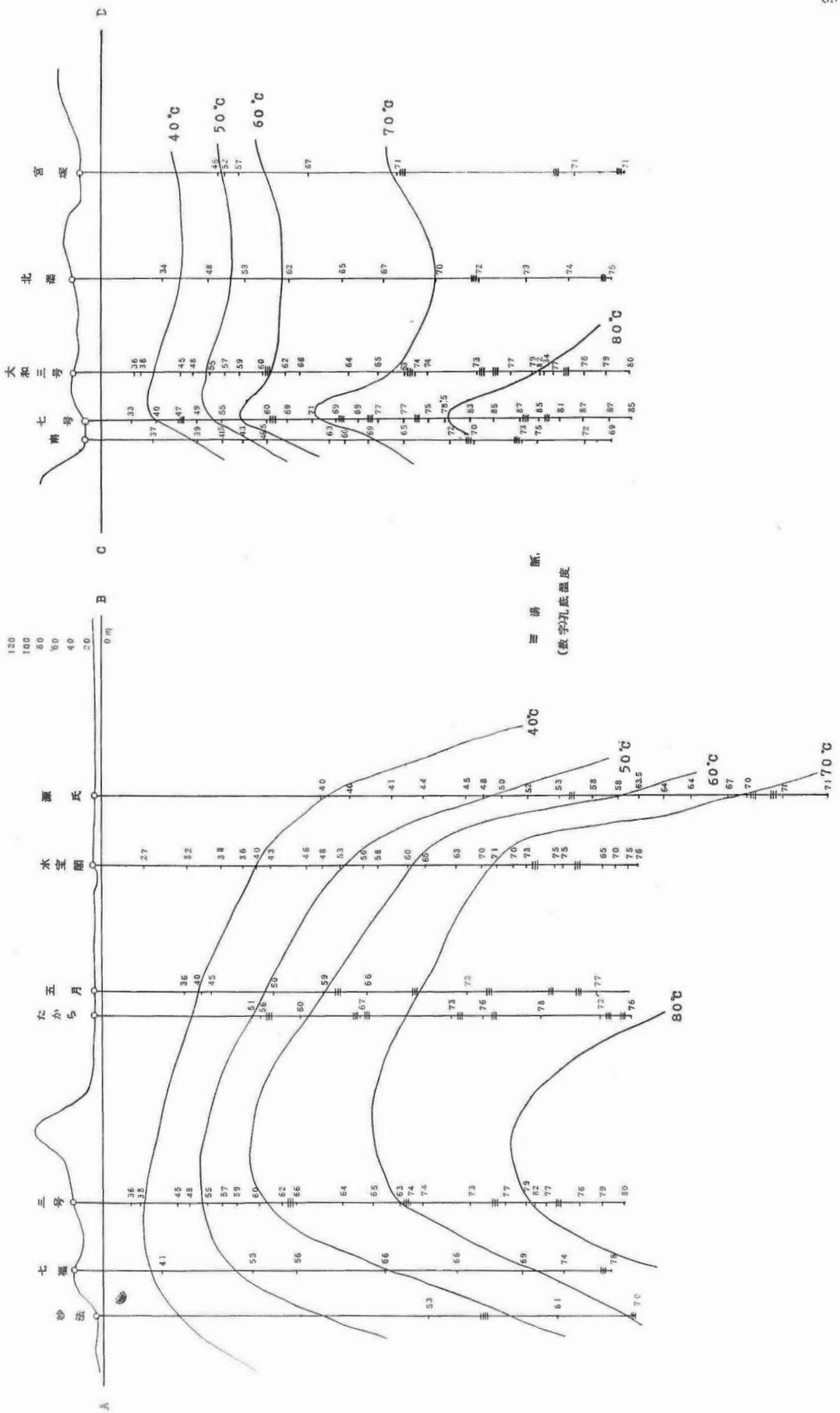
第28表 古奈・長岡温泉主化学成分表

単位mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
三 登 荘 No.1	53	8.9	93.6	186.0	9.4	32.9	16.0	1.9		
	2	8.8	92.2		9.4	44.5				
	3	8.8	105.0		14.4	104.3				
	館湯	66	9.0		130.5	13.2		17.1	24.0	1.9
白菊 石の	54	8.9	114.9	256.0	14.4	50.0	24.0	1.9		
	坂元湯	47	8.5		96.5	12.0			76.9	
小湯姫梅松 ののの	41	8.8	63.8	86.4	17.4	65.3	12.0	2.8		
	64	8.9	144.7		14.4	17.1				
	71	8.9	153.2		14.4	10.4			34.0	3.3
	50	8.7	147.5		11.4	25.0				
常た成日藤 夏か田 のらのの	63	8.7	144.7	317.7	8.4	24.4	34.0	3.3		
	49	8.9	126.2		15.6	27.5				
	60	8.9	131.9		16.8	7.9				
	59.5	8.7	130.5		7.8	26.2				
渡南 7 号り湯号湯	67	9.2	134.7	164.6	19.2	10.4	14.0	1.9		
	68.5	9.2	97.9		23.4	32.9				
北 4 号湯	65	9.2	87.9	188.5	27.6	28.7	12.0	3.3		
	53.5	9.1	95.0		18.6	45.8				
昆内中賀 沙 門越提川号	56.5	9.0	105.0	198.3	16.8	32.3	22.0	1.3		
	59	8.9	97.9		10.2	40.3				
	69	8.9	116.3		9.0	22.6				
	59	8.7	102.1		9.0	31.7				
鳴若多 堀 の 3 上	51	8.9	78.0	35.4	9.4	35.4	10.0	1.3		
	49.5	8.7	24.1		9.4	153.7				
	50	9.1	80.8		27.0	97.0				
西神狸菊七 福の湯(さかや) 福	54	9.4	68.1	225.5	22.8	28.1	24.0	1.3		
	67.5	9.2	112.1		16.8	36.6				
	35	9.4	39.7		36.0	53.1				
	43	8.4	73.8		6.0	110.0			14.0	1.3
恵山大妙 田 比家(8号) 須 愚法号	45	9.2	102.1	209.0	18.6	7.3	16.0	1.1		
	52.5	8.9	92.2		14.4	48.2				
	45	8.9	48.3		15.0	93.3			14.0	1.5
	68	9.0	100.7		14.4	28.1				
菅 蒲 じ 1 2 9 号	60	8.9	103.5	229.0	11.4	45.1	20.0	0.9		
	57.5	8.8	112.1		10.2	26.2				
	57	9.0	100.7		14.4	27.5				
	68	9.2	95.0		24.0	30.5				
大あ千春 和や 5 3 号め歳日	45.5	9.2	99.3	166.2	18.0	43.3	14.0	1.1		
	48.5	9.3	85.1		22.8	29.3				
	66.5	9.0	112.1		15.6	29.3				
	67.5	9.2	109.2		16.2	22.6				
大あ千春 和や 5 3 号め歳日	63	8.8	113.5	233.7	9.0	23.8	26.0	1.1		
	67	9.1	112.1		15.0	17.1				
	70	9.0	113.4		13.8	15.9				
	69.5	9.1	105.0		15.0	18.3				
大あ千春 和や 5 3 号め歳日	64	8.9	113.5	330.0	15.6	18.9	34.0	0.7		
	64	9.0	147.5		293.8	40.0			1.1	
	61	8.8	170.2		293.8	34.0			0.7	



第 33 図 古奈・長岡温泉水温分布図



第 34 图 古奈・長岡温泉熱構造图

Ⅲ. 近畿・中国地方

Ⅲ. 1 南紀温泉群 (和歌山県)

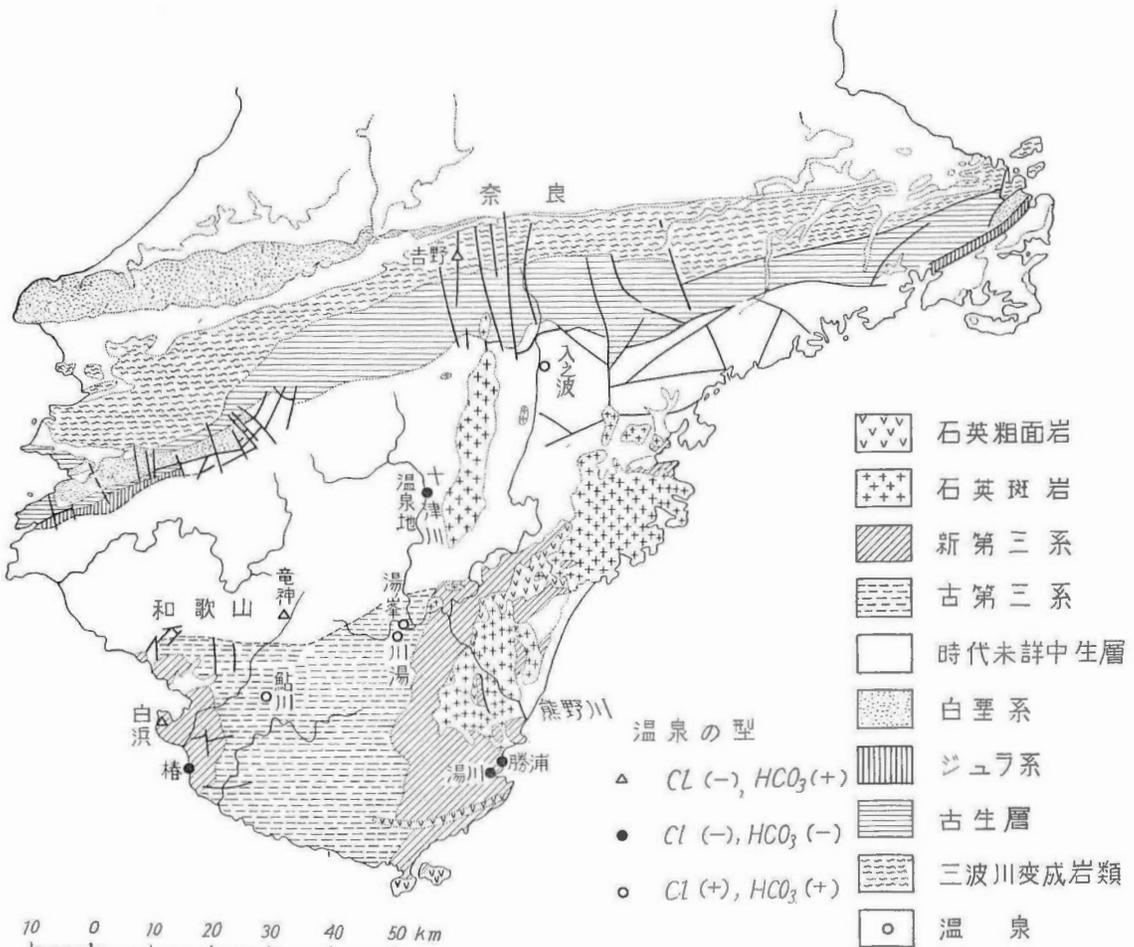
紀伊半島中南部地方に点在する温泉群(55), 泉質の変化に富み, 第四紀火山帯との関連からいえば, 異常分布に属する温泉とみなされるので, わが国の温泉の中でもきわめて興味深い温泉に数えられるものである。

地質

紀伊半島を横断する中央構造線の北側には, (1)三波川・御荷鉾変成岩類からなる三波川変成帯, (2)秩父古生層帯, (3)時代未詳中生層からなる日高地帯, (4)古第三紀層からなる牟婁地帯が带状に分布し, 半島の東および西側は, 新第三紀層に覆われる。

東側の第三紀層を貫き, NE~SW 方向をとつて半島の南東海岸に平行する火成岩は, 熊野酸性岩といわれ, 花崗岩質の岩石からなる。この花崗岩質の岩石は, 現在の露出地以外の地域でも, 変質帯および鉱脈の存在などからみて, 地下に潜在することが推定され, 白浜・勝浦・湯峯等でその可能性が予測される。

南紀温泉群は, 日高地帯・牟婁地帯に分布し, 新第三紀層から湧出するものもいくつかある(第35図)。すなわち, 白浜・椿・勝浦・湯川等は新第三紀層から湧出し, 鮎川・湯峯・川湯等は古第三紀牟婁層群か



第35図 紀伊半島温泉分布図

ら、また竜神・湯泉地、入之波等は時代未詳中生層を湧出母岩とする。このうち、白浜温泉⁹⁰⁾が位置する湯崎半島はゆるいドーム状の構造を呈し(第36図)、温泉はN60~70°W方向の破砕帯から湧出する。湯崎半島には鉛山鉱山があり、また、白浜付近に変質帯が存在することなどからみて、このドーム状構造は、酸性火成岩の貫入によるものとみなされる。また、勝浦温泉では、呑取崎に沿って珪化帯が発達し、この変質帯の中に銅鉱脈を含むところがある(第37図)。この地域も下部に酸性岩の潜在が予想される。

温泉水の化学成分

南紀温泉群の化学成分は、一折して第29表に掲げた。この分析結果から、南紀温泉群の成分的特徴を要約すると次のとおりである。

1) 南紀温泉群は、成分的な特徴によつて次の幾つかの型に分たれる。

- (1) $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{S}$ 型………勝浦・湯川・椿
- (2) $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 型………白浜・湯峰・川湯・入之波・鮎川
- (3) HCO_3^- 型………竜神・湯泉地・吉野

これらの温泉は、最も西側に HCO_3^- 型、中央部に $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 型、その東部に $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{S}$ 型の配列で帯状に分布する傾向がみえる。熊野酸性岩の分布が、やはりNE—SW方向に従うことから判断すると、これらの温泉の型は、同一熱源から導かれた3つの相異なる型を代表するものとみなされる。

2) 白浜・勝浦温泉の中には、 Cl^- 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} の多いものがあるが、これは海水の混入によるものである。また Br^-/Cl^- の比率も海水の値とほとんど一致する。

3) 湯峰・入之波等の温泉水の $\text{Br}^-/\text{Cl}^- \times 10^2$ は0.23~0.25の値を示す。

4) 成分的に類似する温泉であっても、水温に著しい差があるものがある。たとえば $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 型の場合、白浜・湯泉は高温であるのに対して、入之波・鮎川は低温である。また、吉野鉱泉は HCO_3^- 型であるが、ほとんど地下水程度の水温にすぎない。

III. 2 有馬温泉(兵庫県)

有馬温泉は⁴⁰⁾⁹¹⁾⁹²⁾、兵庫県六甲山の北麓に位置し、わが国でも最も古くから利用されている温泉の1つである。その泉質がきわめて特徴的なので、これまで多くの人によつて研究されている。

地質

有馬温泉周辺の地質は、花崗岩・石英粗面岩、新第三紀層および扇状地堆積物からなる(第38図)。花崗岩と石英粗面岩は、有馬温泉背後の射場山中腹で六甲衝上断層によつて相接し、温泉はこの石英粗面岩を湧出母岩とする。新第三紀層は、泥岩・砂岩・礫岩等からなり、石英粗面岩を覆つて六甲川下流および緑川流域に分布する。六甲川の扇状地堆積物は六甲川流域のうち、主として有馬温泉付近に広く拡がる。

石英粗面岩を切る裂かきは、N10~30°Eの方向とN60~70°Wの方向のものが卓越する。石英粗面岩および扇状地堆積物は変質作用をうけるが、現在、炭酸泉が存在する地域は最も著しく、虫地獄・鳥地獄等がある。この変質地域は、ほぼNE~SWの方向に連なり、温泉の存在と深い関連があるようにみえる。

温泉の分布

有馬温泉は、高温の強食塩泉を中心として、その外側に炭酸泉が分布する(第38図)。炭酸泉は主として南側の山腹に点在し、変質地域から湧出するものが多い。

試すいによる調査資料

かつて有馬温泉は、自然湧出で46°C程度の水温をもつにすぎなかつたが、昭和17年に試すいを行なつた結果、沸騰点に達する高温泉が噴出した。最近発表された上治の報告⁹²⁾によると、有馬温泉の高温帯はほぼNE~SWの方向に連なりという。孔底温度の最高は、妬湯で133°Cが記録されている。

次に注目を引くことは、有明湯の試すいコアの中に、美麗な閃亜鉛鉱・亜鉛鉱・菱鉄鉱・黄鉄鉱の結晶を含むことである⁶¹⁾。これら硫化鉱物・炭酸塩鉱物は、現在の温泉から生成されたとみてまず疑いないから、この点からいつても、有馬温泉の強食塩泉はきわめて特徴的な温泉とみなされる。

温泉水の化学成分

有馬温泉の化学成分は、第37表に示した、その特徴を要約すると次のとおりである。

1) Cl^- 含量は最高43g/lに達し²⁰⁾、この量は海水の2倍以上に当る。

第29表 南紀温泉群

採水箇所	気温 (°C)	温度 (°C)	pH	Free CO ₂	H ₂ S	CO ₃ ⁻
白浜温泉						
判台(古賀湯プール用)	13	56	7.5	15.4	1.0	
東谷	13	65.5	8.2	—	1.7	18.0
若葉	18	62	7.4	7.7	2.2	—
長生	13	79	8.1	—	2.6	12.0
垣谷	12	51	7.6	7.4	6.8	—
東白浜第2	13	52	7.1	18.7	5.1	—
〃第3	14	60	7.5	7.7	2.5	—
西谷	16	52	7.5	8.8	1.0	—
水晶	14	58	7.8	4.4	1.8	—
生絹湯	15	100	7.2	9.9	1.0	—
上山1号	16	73	7.8	4.4	1.5	—
走り湯	16	82	8.0	0	2.5	—
つくもと湯	16	73	7.6	6.6	1.2	—
鉦湯2号	15	75	8.0	0	2.4	—
湯の谷	13	75	8.3	—	1.0	18.0
製塩所下海岸	15	63	7.3	8.8	1.2	—
文珠	10	62	7.4	9.9	1.0	—
行幸温泉合併	—	—	—	—	1.4	—
椿温泉						
椿楼		31	9.6	—	3.0	51.6
ときわ荘		36	9.8	—	6.0	48.0
鮎川温泉						
壺泉閣	13	29	6.6	148.5	0	—
らん水荘	13	19.5	6.6	154.0	0	—
竜神温泉						
湯元	10	45	8.0	—	1.5	—
勝浦温泉						
中の島本館	13	56.5	8.8	—	24.3	13.2
同別館	13	36	8.7	—	18.6	6.0
浦島温泉	12	54	8.7	—	30.8	14.4
勝浦荘	12	45	8.5	—	13.6	8.4
すなほま旅館	13	40.5	8.1	—	1.8	4.8
金波楼	15	43	8.5	—	6.4	6.0

化 学 成 分 表

单位 mg/l

HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	Br^-	$\text{Br/Cl} \times 10^2$
4209	1390	5.8	65.1	103.6	2135	67		
1793	673	3.3	5.7	17.9	976	61	2.0	0.30
2586	1014	0.8	16.6	39.8	1475	90		
2501	1042	0.8	10.9	29.9	1500	87		
2745	3659	231.3	131.9	139.4	2800	146	12.0	0.33
2696	3574	242.0	122.7	147.4	2938	154	11.6	0.33
2647	1773	71.6	36.3	69.8	1825	108		
2257	1170	5.8	25.3	55.8	1450	81		
2537	1879	88.1	59.8	67.7	1800	103		
1952	7375	901.1	398.8	215.2	4600	227	25.6	0.35
2562	2397	365.4	160.4	111.5	3000	173		
2074	6907	824.6	363.0	201.2	4600	200	23.6	0.34
1586	9946	1296.7	580.3	296.8	6040	272	34.6	0.35
2014	7063	861.7	394.4	181.3	4444	208		
2745	1078	1.6	14.0	31.9	1625	95		
2098	1482	86.4	48.5	71.7	1568	90		
2135	1035	1.6	18.3	37.8	1357	77		
2781	1219	—	—	—	—	—		
17.1	70.9	6.6	0.7	3.0	87	1.0		
18.3	70.9	4.1	0.9	2.0	91	1.0		
2061	680.8	0.8	41.7	81.7	870	95		
2156	680.8	0.8	41.9	66.7	932	102		
1046	35.3	9.9	1.1	8.0	932	102		
71.4	886.8	63.8	3.1	126.5	426	9		
56.7	670.2	50.4	2.4	75.7	320	7		
64.7	1442	15.2	7.4	243.5	640	13	4.6	0.32
47.0	613.5	37.0	2.4	79.2	318	6		
47.0	2838	366.8	111.4	357.6	1365	9		
47.0	610.0	51.0	29.0	49.8	317	7		

採 水 箇 所	気 温 (°C)	温 度 (°C)	pH	Free CO ₂	H ₂ S	CO ₃ ²⁻
仁 志 の 湯	14	41.5	—	—	3.9	6.0
な ぎ さ や 1号	11	41	8.3	—	1.6	8.4
〃 2号	11	42	8.2	—	1.1	4.8
黒 潮 温 泉	14	37	8.8	—	2.7	12.0
温 泉 ホ ー ル	14	36	8.6	—	1.5	15.6
貴 志 の 湯	14	43	8.3	—	11.9	4.8
越の湯 日和山 1号	15	40	8.5	—	3.1	8.4
〃 2号	15	40	9.1	—	4.1	12.0
〃 3号	15	43.5	8.9	—	6.1	10.8
〃 4号	15	39.5	9.2	—	4.4	18.0
こ は ぜ の 湯	14	25	9.2	—	1.2	13.2
湯 川 温 泉						
松 や 共 同 湯	17	37.5	9.3	—	3.9	19.2
喜 代 門	17	41.5	9.5	—	4.7	30.0
養 老 院	17	34.5	9.1	—	3.4	16.8
湯 峯・川湯温泉						
あ ず ま や	8	92	8.0	—	8.2	27.0
湯 の 谷 川 中	8	91	8.2	—	8.2	27.0
壺 湯 傍 川 中	8	94	8.1	—	8.2	27.0
光 明 湯	8	88	8.2	—	8.5	0
小 栗 湯	8	91	8.0	—	8.0	25.2
川 湯 温 泉	8	68	7.4	0.72	2.4	—
湯 泉 地 温 泉						
湯 泉 地 温 泉	9	52	8.5	—	8.2	28.8
〃	9	45	8.4	—	8.7	24.0
入 之 波 温 泉						
38° C 泉			6.5	123.2		
31° C 泉			6.5	110.0		
冷 泉			6.1	136.4		

HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br	Br/Cl×10 ²	
56.1	132.2	14.0	0.9	11.0	94	3			
41.5	778.2	99.4	44.8	64.7	400	9			
39.1	1399	178.1	93.3	141.4	650	14	2.3	0.30	
49.4	77.6	11.1	0.4	6.0	66	1			
57.3	40.5	11.1	0.4	5.0	53	1			
36.6	419.6	20.2	0.9	57.3	216	5			
47.0	604.7	86.0	32.5	44.8	330	8			
36.6	67.0	18.9	0.7	5.0	60	1			
43.9	190.4	16.5	2.6	19.9	114	2			
20.7	63.5	14.4	0.4	5.0	57	1			
17.1	215.1	9.5	0.9	20.4	125	2			
19.5	60.3	14.0	0.9	4.5	51	1			
7.3	44.1	18.1	0.7	3.5	50	1			
18.9	37.2	18.1	0.7	6.5	37	1			
815.0	257.1	4.5	2.8	18.9	378	26	0.6	0.23	
811.3	255.3	4.1	2.8	18.4	380	26			
811.3	255.3								
860.1	258.9								
802.8	266.0								
754.0	214.5	5.3	2.4	29.9	310	15			
104.9	17.6	23.5	0.4	2.0	66	1			
107.4									
									Fe ²⁺
1976	652.5	tr.	41.5	692.7			1.6	0.24	tr.
1805	620.8	tr.	35.0	639.4			1.5	0.25	tr.
1012	599.6	tr.	17.9	401.5	237.6	28.3			tr.

第30表 有馬温泉化学成分表

単位 mg/l

採水地点	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	H ₂ SiO ₃	H ₂ SHBO ₂	H ₂ SiO ₃	Br ⁻	I ⁻	CO ₂	T.S.M. ×10 ⁻²	Br/Cl
袂池	58	6.622987		2.5	338.611300	1880	2293	35.8	3.2	96.1	20.8	0.01	260.9		70.2	42.36	<0.01	1506	40172	0.18
天	62	6.611015		tr.	474.35880	1080	900	15.3	5.3	152.6	11.1	0.0	151.6		78.0	20.51	<0.01	175	19630	0.18
有明	77.5	6.223767		7.0	212.010915	2440	2476	17.9	5.3	50.1	36.1	tr.	303.3		72.0	43.42	<0.01	212	41180	0.18
1号	87.5	6.528300		2.1	244.013850	2620	2953	23.2	4.2	166.7	44.5	tr.	365.7		94.0	51.42	<0.01	90	48780	0.18
2号	83.5	6.334959		tr.	228.817020	3300	3716	28.0	4.2	206.2	55.6	tr.	454.9		118.0	64.02	<0.01	109	60794	0.18
所	90.5	6.433259		1.0	119.916315	3160	3533	24.0	12.7	186.5	61.1	tr.	428.2		90.0	60.82	<0.01	120	57376	0.18
御本	92	6.532515		tr.	36.315800	3160	3345	24.5	4.2	166.7	45.8	tr.	396.9		88.0	59.41	<0.01	36	56796	0.18
温	54	6.14002		18.9	190.02520	445	279	3.1	4.2	28.3	8.3	tr.	107.0		60.0	7.19	<0.01	190	7404	0.18
泉	94	6.539953		tr.	149.020000	3800	4214	27.5	4.2	197.8	66.7	tr.	508.4		120.0	72.99	<0.01	149	70420	0.18
極	48	6.512644		4.5	101.16500	920	1621	31.9	3.2	tr.	11.1	0.0	120.4		74.0	23.58	<0.01	101	22224	0.18
月																				
ラヂ	27	6.8367		0.8	186.1250	61	57.6	3.3	<0.1	<0.1	0.0	0.0	15.6		48.1			15	836	
酸	17	4.78.0		6.6	73.211.4	1.7	13.9	0.9	1.6	5.5	0.3				46.8			929	163	
ホ	20	5.152.3		<0.1	173.947.2	5.2	34.8	2.0	2.7	5.5	0.5		15.6		70.2			1052	333	
ル	16	5.118.6		1.6	48.815.4	1.1	8.9	0.8	<0.1	<0.1	0.0				19.5			227	123	
炭	15.5	5.120.4		4.9	30.517.5	2.6	9.9	1.7	<0.1	<0.1	0.0		4.9		20.8			93	141	
酸	16	5.9924		4.1	76.3560	60	88.4	6.1	<0.1	<0.1	<0.1		17.8		29.9	1.94		62	1873	0.20
泉	16.5	5.32609		4.1	176.91406	242	301	6.1	3.8	16.6	6.5		31.2		119.6	5.06		640	5098	0.19
森	13	5.33095		2.5	237.91562	238	464	10.3	7.1	24.9	10.8		44.6		126.1	6.05		867	6227	0.19
下	16	4.411.5		22.2	30.513.4	2.7	5.9	0.7	0.6	4.2	<0.1		2.2		23.4			1063	160	
仁	16	6.7716		4.1	176.9400	268	121	6.8	3.4	24.9	0.3		7.8		29.9	1.25			1685	0.17
丹	33	6.41730		1.6	561.21192	132	280	19.2	<0.1	<0.1			31.2		58.5	4.42		139	3978	0.20
察																				
森																				
ハ																				
イ																				
ツ																				
察																				
泉																				
杉																				
炭																				
酸																				
泉																				
月																				
光																				
園																				
炭																				
酸																				
泉																				
五																				
社																				
温																				
泉																				

2) SO_4^{2-} がほとんどなく、 HCO_3^- 含量も少ない。2, 3 の源泉における継続観測資料によると、水温、 Cl^- 含量と HCO_3^- 含量とは負の相関関係にある。これは、 HCO_3^- 含量で特徴づけられる冷たい炭酸泉が強食塩泉に混入するためとみなされる。

3) $\text{Br}^-/\text{Cl}^- \times 10^2$ の比率は小さく (0.18)、火山性温泉の比率に近い値をとる。

4) 妬湯の温泉ガスは51%の H_2 を含む (第31表)。温泉中にこのように多量の H_2 ガスを含む例はほとんど知られていない。

第31表 有馬温泉温泉ガス化学成分表

採取箇所	CO_2 (%)	O_2 (%)	H_2 (%)	残 (%)
炭酸泉(炭酸ホテル)	98.61	0.28		1.11
妬湯	46.7	0.4	51.4	1.5

5) このように、有馬温泉は、 Cl^- 含量、温泉ガスに著しい特徴をもつばかりでなく、因亜鉛鉱・亜鉛鉱等を含む点からみて、この強食塩泉は、浅熱水性鉱床の生成に関連ある熱水溶液の性質を暗示するようにみえる。

強食塩泉と炭酸泉との関係

岩漿から発散した揮発性成分が、閉鎖的な環境で凝縮熱水化したのが強食塩泉の母体であると考えられる。この食塩泉がなお高温の時、NE~SW 方向に裂かが生じ、この裂かに沿って発散した温泉ガスによつて腐食されたのが、現在、温泉周辺で見られる変質帯であるとみなされる。水蒸気を伴うこのガスの発散により、食塩泉の Cl^- 濃度はさらに濃集し、このように Cl^- 濃度の高い強食塩泉の生成を導いたと考えられる。

III. 3 三瓶温泉群(島根県)

島根県三瓶山麓に分布する温泉⁴⁾であつて、約10カ所に温泉・鉱泉が存在し、高い塩分含量と強い放射能で特徴づけられる。

地質

三瓶山は花崗岩質岩石を基盤とする盆地状地形内に生じた火山であつて、主として石英安山岩とその抛物からなる(第39図)。

三瓶山麓の温泉群は三瓶火山抛物物を湧出母岩とするものと、花崗岩質岩石を湧出母岩とするものがある。前者は、志学・久部・松ヶ平湧泉であり、後者は湯抱・小屋原・千原・池田・小林等の温泉・鉱泉である。なお、三瓶山の中腹には炭酸噴気孔がある。

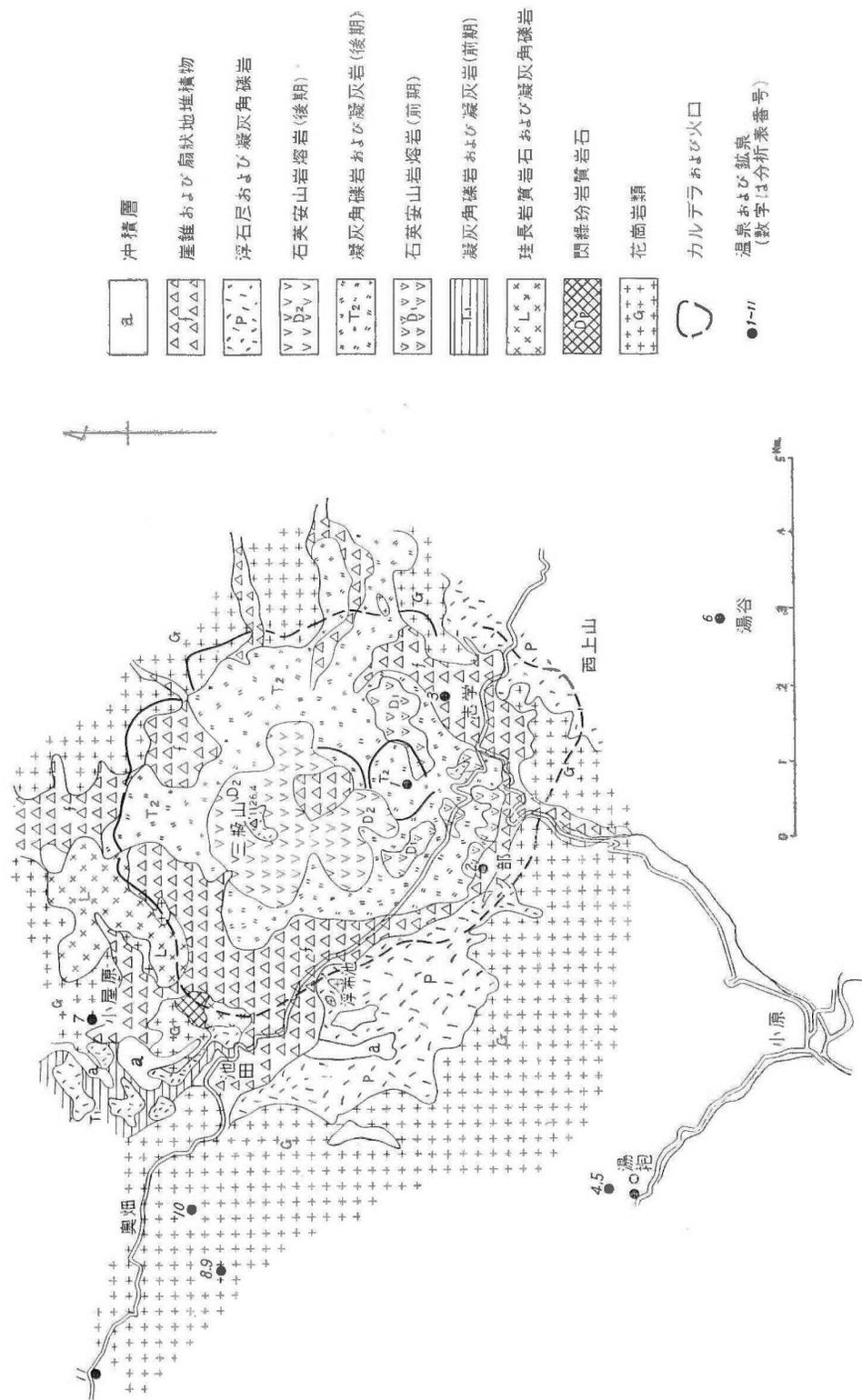
温泉水の化学成分

三瓶山麓の温泉・鉱泉の化学成分は第32表に示した。その成分的特徴を要約すると次のとおりである。

1) 温泉・鉱泉を通じて、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_2 含量が高く、一般の火山性温泉とかなり違った性質を示しむしろ第三紀火成岩類に伴ない、塩分含量の濃集した温泉ないし鉱泉に類似の性質を有する。

2) Br^-/Cl^- の比率も一般の火山性温泉に較べかなり高い値を有することも特徴として挙げられる。

3) これらの性質や強い放射能を有する点を併せ考えると、むしろ温泉水の起源は、花崗岩質岩石の生成に関連ある残留熱水性温泉⁵⁷⁾につながる疑いがある。



第 39 図 三瓶山周辺地質図(大和榮次郎原図)

第 32 表 三瓶温泉群化学成分表

単位 mg/l

No.	採水箇所	水温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺	Mg ²⁺	CO ₂	Re	Br	I ⁻	Br/Cl ×10 ²	I/Cl ×10 ²
1	志学元湯	41.4	6.4	1154	15	369	120	60	66	2738	4.4	0.3	0.38	0.02
2	久部	29.5	6.0	1709	42	641	128	75	193	3446				
3	松ヶ平	23.4	6.8	1316	17	371	141	92	24	3022	4.8	0.3	0.37	0.02
4	湯抱源泉	31.7	7.3	4623	436	580	230	98	92	16550	16.8	0.4	0.36	0.00
5	"	27.3	7.7	3171	306	824	—	—	8	—				
6	千原	34.0	7.1	3717	383	2184	232	45	94	9050	11.9	1.1	0.32	0.03
7	小屋原	37.8	6.7	2506	252	1018	314	82	174	5378	8.3	0.3	0.33	0.01
8	池田3号	18.0	6.7	3688	469	1562	236	137	180	7910	12.2	0.5	0.33	0.01
9	"5号	17.5	6.7	2293	275	928	212	89	101	4996				
10	"奥の湯	22.1	6.8	3660	326	1523	504	113	112	8228	11.7	0.6	0.30	0.01
11	小林	16.6	6.8	2846	605	1682	284	120	138	6476	8.5	0.1	0.30	0.00

分析: 安藤 武

IV. 四国・九州地方

IV. 1 道後温泉 (愛媛県)

愛媛県松山市の北東方約 2 km の地点に位置し³⁵⁾、四国では数少ない温泉の 1 つである。

地質

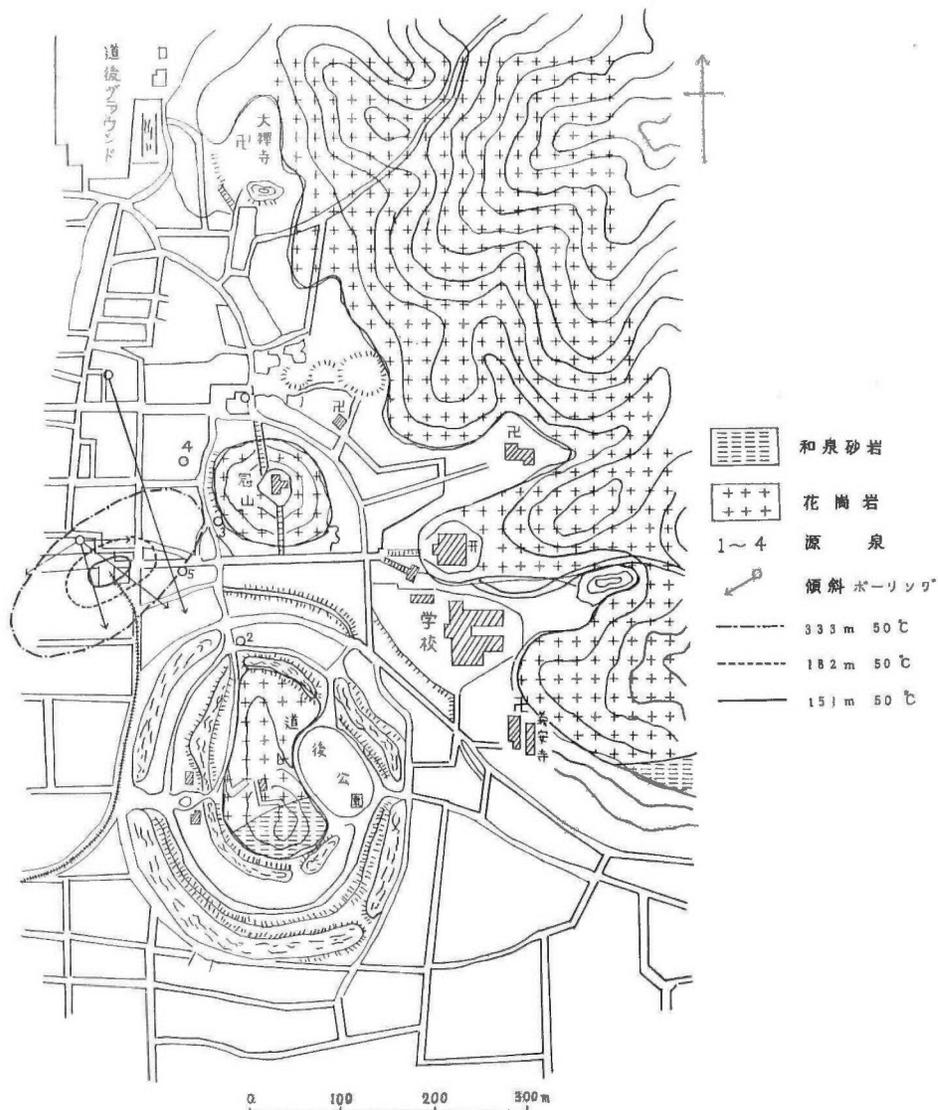
和泉砂岩に接して花崗岩が広く分布し、この花崗岩中にしばしば安山岩質岩脈が存在する。温泉は花崗岩の裂かから湧出するが、裂かの方向は NW~SE のものが卓越し、これに附随して NE~SW のものも発達する。

第 33 表 道後温泉化学成分表

単位 mg/l

採水箇所	水温 (°C)	pH	Re	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Al ³⁺	H ₂ SiO ₃	Total CO ₂
第 1 源泉	36.0	8.5	219.6	28.2	14.7	32.0	2.0	11.0	1.8	1.4	1.4	40.3	34.6
第 2 "	42.6	8.0	211.2	40.7	7.7	39.6	8.8	4.4	1.1	1.2	1.1	46.8	35.2
第 3 "	50.2	8.9	217.3	33.0	13.9	35.0	8.0	6.4	1.5	1.7	1.3	46.8	37.5
第 4 "	45.6	8.8	196.7	33.7	11.7	31.3	4.1	3.4	1.1	1.2	0.9	39.2	36.6
第 5 "	50.3	8.9	234.4	37.7	14.2	41.3	7.9	9.1	1.0	1.8	1.0	42.3	39.0
第 6 "	49.5	8.6	238.6	23.1	13.7	34.5	1.6	4.9	0.6	1.2	1.0	50.2	41.0
第 7 "	48.0	8.3	235.0	28.4	12.6	31.1	1.5	9.7	0.7	1.4	0.6	42.6	41.0
第 8 "	49.9	8.4	245.0	32.9	8.8	36.2	7.8	4.8	0.9	1.2	0.7	39.5	46.2
第 9 "	51.5	8.4	221.8	31.3	10.4	37.3	7.3	4.3	0.5	0.6	0.5	40.3	43.8
第 10 "	41.4	8.4	232.0	36.0	10.1	34.3	8.1	12.7	0.7	0.8	0.7	57.5	46.4

分析: 愛媛大 高津寿雄



第40図 後道温泉付近地質図

昭和14年以来、試すいによつて温泉を取得しているが、現在までに10本に達している。第40図は最近の試すいの資料に基づいて地下150m(約500尺)、180m(約600尺)、300m(約1000尺)における50°Cの等温線の分布を示したものである。これを見ると、道後温泉の主体は、むしろNE~SWの方向に延び、高温帯はむしろ西側に寄つてゐることがわかる。

温泉水の化学成分

温泉水の化学成分は第33表に示した。いずれも含量がきわめて稀薄で、僅かに HCO_3^- で特徴づけられる。道後は花崗岩から湧出する温泉であるが、三瓶・増富等の温泉とは成分的に全く異なつた性質を示す。

IV. 2 祖谷温泉(徳島県)

祖谷温泉は徳島県池田町の南方12kmに位置し、祖谷川の眠谷の北から湧出する温泉である³⁰⁾。

地質

この付近を構成する地質は、三波川系の大步危砂岩片岩であつて、片理面の方向はほぼEWで北または

南に 15° 前後傾く。この片理面に直交する節理の発達が著しく、温泉はこの節理に沿って湧出するものと思われるが、とくに N30°E または N30°W の方向をもち、直立する節理がこの役割を果たしているようにみえる。

温泉の湧出箇所は一字・出合間発電用水路隧道内と祖谷川風呂の沢の 2 カ所である。隧道内では 33~38°C の水温をもつ。風呂の沢では温度低く 16~19°C で、H₂S を伴う。

第 34 表 祖谷温泉化学成分表

単位 mg/l

採水地点	水温	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ₂ SiO ₃
隧道内	36	8.0	36	tr.	95	29	79	13	3	tr.	36

温泉水の化学成分

隧道内から湧出する温泉の化学成分は第 34 表に示した。塩分含量はいずれも稀薄で、僅かに HCO₃⁻ で特徴づけられるにすぎない。

IV. 3 別府白龍・白湯温泉 (大分県)

別府温泉周辺には数多くの噴気・温泉が存在するが、白龍・白湯温泉もその 1 つであつて、別府市の南を流れる朝見川中流の河岸より、約 60m の高所に位置する。

地質

白龍・白湯温泉周辺の地質は、鶴見岳 (角閃石安山岩) の基底をなす第三紀変朽安山岩および凝灰岩からなり、N50°W の方向に顕著な断層崖の存在がみられる。この断層は、別府温泉周辺の主要な構造線の 1 つとみなされ⁸⁸⁾、朝見川に沿うこの断層の北方延長には、観海寺・堀田等の噴気・温泉が存在する。

この白龍・白湯温泉は噴気地帯に存在するものであつて、この地域には数地点に噴気露頭があり、この噴気周辺の岩層は、200×300m の範囲にわたつて、原岩の識別が困難なほど著しく変質している。

なお、この地域で行なつた試すいの結果¹⁸⁾によれば、深度 110m で 150°C に達し、天然蒸気を噴出した。この天然蒸気は、深度 76m と 96m の亀裂から噴出したものとみなされるが、噴出当時の測定結果では、孔口温度 138°C、孔口圧力 2.9 気圧を示した。

地温分布

白龍・白湯の自然噴気露頭およびさく井噴気ガスについて行なつた分析結果は、第 35 表に示すとおりである。

この分析結果の中で、とくに注目を引くことは、さく井噴気ガスの凝縮水の化学成分である (第 36 表)。この噴気ガスは、いわゆる熱水を伴わず、ほとんど気相の H₂O (水蒸気)、CO₂、H₂S 等からなるものであるが、この水蒸気の凝縮水は 0.2mg/l 以下というきわめて低い Cl⁻ で特徴づけられる。この噴気ガスは、孔口で 141°C を示し、明らかに過熱の状態にあるので、地表近くで高温温泉水が二次的に沸騰気化

第 35 表 別府市南立石白龍噴気地帯における天然蒸気の化学成分表 (容積)

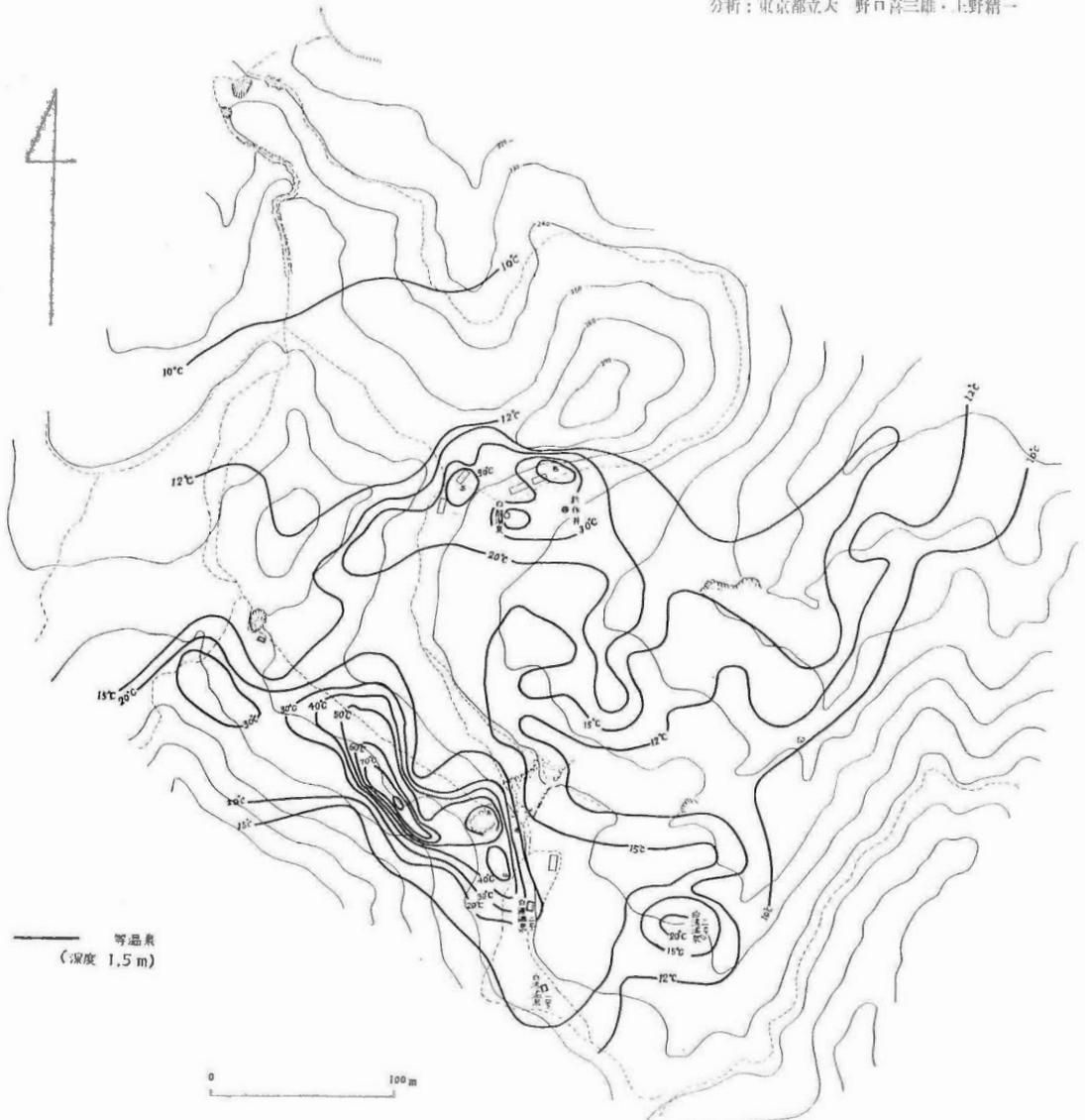
	温度 (°C)	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	O ₂	N ₂
白龍鑿井噴気	141	98.75	1.17	0.0051	0.015	0.064
実験用旧鑿井噴気	138	98.77	1.22	0.0074	0.001	0.011
自然噴気露頭	98.2	92.7	6.5			

註1) 地温分布調査は次の方法による。すなわちハンドオーガーを用いて適当地点に深度 1.5m の小孔を明け、感度を鈍くした普通温度計を挿入し、30~60 分放置した後取り出して、素早く温度を読取つたものである。

第 36 表 白竜噴気地帯における天然蒸気凝縮水および川水の化学成分表 単位 mg/l

	温度 (°C)	pH	アルカリ 度 (ミリ当量)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HBO ₂	F ⁻	NH ₄ ⁺	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	SiO ₂	Re
白竜鑿井噴気凝縮水	80	7.1	0.38	<0.2	0	1	<0.1	2.7	1	0.1	0	0	18
実験用旧鑿井噴気	86	7.2	0.36	<0.2	0	1	<0.1	2.8	1	0.2	0	0	—
川水	17.5	7.1	1.53	2.1	23	0.5	—	0	12	0	—	9.2	235

分析：東京都立大 野口喜三雄・上野精一



第 41 図 別府市白竜噴気付近地温分布図

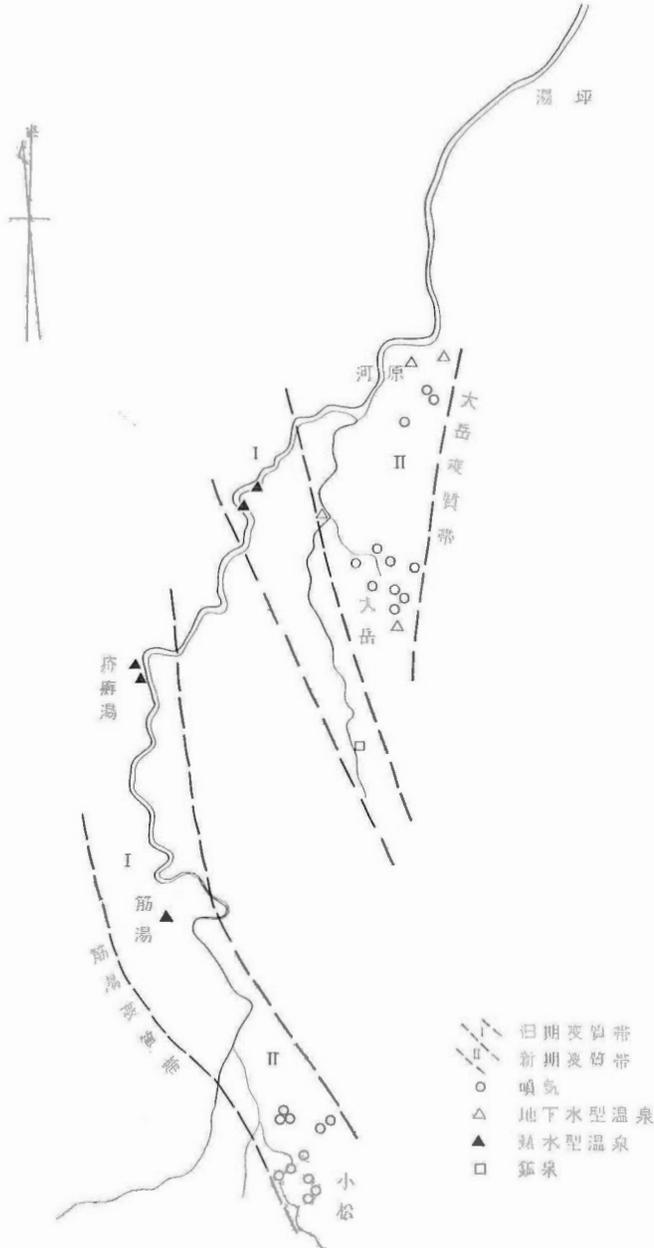
したところの噴気ガスとは思われない。いいかえると、白竜のさく井噴気ガスは岩漿から発散した初生的な天然蒸気の化学成分を示すとみなされるのである。この噴気ガスが Cl⁻ 含量 0.2mg/l 以下という低い値で特徴づけられることは、岩漿から発散した揮発成分中の Cl⁻ の挙動を暗示するものとしてきわめて注目すべき問題を提起している。

IV. 4 筋湯・大岳温泉 (大分県)

筋湯・大岳温泉⁴⁹⁾は、大分県^{はんだ}飯田高原の南側に位置し、数地点の噴気・温泉を含む。すなわち、ほぼ南北に連なる河原・大岳・小松等には噴気露頭があり、その西側を流れる玖珠川の河岸から筋湯・折癖の湯等の温泉が湧出している。

地質

この地域の地質は、輝石安山岩、大山型の角閃石安山岩およびこれらを覆う火山性砕屑物からなる (第43図)。このうち、輝石安山岩は暗灰色の緻密な岩石で、板状あるいは柱状節理が発達し、折癖湯下流の玖珠川沿岸および鉾泉沢に露出する。角閃石安山岩は地域内の一部に露出するにすぎないが、地域東側の黒岩山、

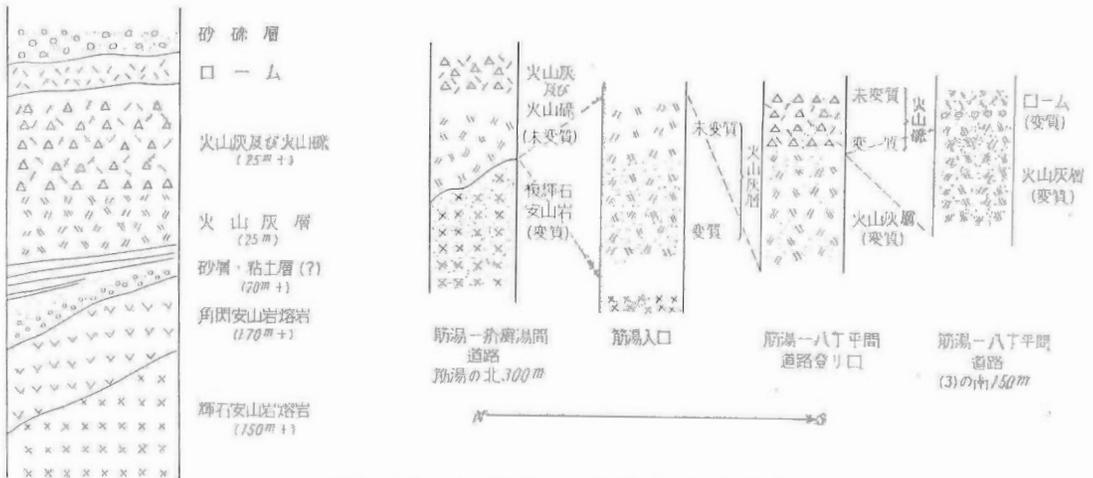


第 42 図 大岳付近の変質帯・噴気温泉分布図

西側の一呂山を構成し、この方面に広く分布する。火山碎屑物は主として火山灰および火山礫からなる。これらは一見、泥流あるいは上石流に類似する地層で、玖珠川本流および支流に分布し、もとの低地を埋めた感を抱かせる。

変質帯の分布

この地域の変質帯は、その分布状態から次の2帯に大別される。すなわち、拵癒湯から筋湯を経て小松地獄に至る一帯と、拵癒湯下流から河原・大岳噴気地帯を経て鉦泉沢に至る一帯とである(第42図)。玖珠川沿岸において、この2帯の関係をみると、両者は直接連絡せず、互いにほぼ北西の方向に併走するようにみえる。とくに、筋湯変質帯の露出を追跡すると、変質作用が漸次北から南へ移行したことがわかる。いま、この関係がみられる2、3の地点の変質状況を示すと第45図のとおりである。

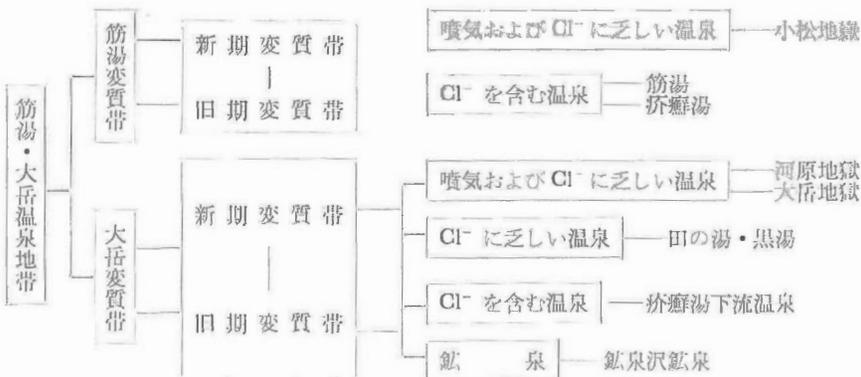


第44図 大岳温泉変質状況見取図

一方、大岳変質帯では、この関係があまり明瞭ではない。しかし、変質帯の岩質から判断すると、拵癒湯下流から鉦泉沢に連なるものは時期的に旧く、河原・大岳噴気地帯の変質帯はより新期の変質作用によるものと思われる。したがって、この場合は、西から東の方向に変質作用が移行したといえることができる。

噴気・温泉の分布と変質帯との関係

この地域の噴気・温泉の存在は、北北西の方向に併走する2帯の変質帯と密接な関係がある。すなわち、拵癒湯・筋湯等の Cl⁻ 含量で特徴づけられる温泉は、旧期の変質帯から湧出し、一方、Cl⁻ 含量の低い温泉あるいは噴気露頭はいずれも新期の変質帯上に位置する。第43図は変質帯と噴気・温泉の分布状況を示したものであるが、さらにこの関係を模式的に示すと次のようになる。



噴気ガスおよび温泉水の化学成分

上記の温泉水および噴気露頭の分析結果は65)一括して第37表および第38表に掲げた。このうち、河原・小松等の地獄は、地表水が噴気ガスで加温されたものであるが、河原田の湯・大岳の湯は噴気地帯から湧出

第37表 大岳・筋湯温泉水分析表

単位 mg/l

No.	場所	水温 (°C)	pH	T.S.M. (蒸発 残渣)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	B ₂ O ₃	H ₂ S	溶存CO ₂
1	河原(小地獄内)	95.0	2.4	1999	299	269	43.8	20.4	0.9	1287	0	45	~ 0	定量せず
2	〃(北の地獄内)	81.0	2.2	1357	220	117	37.6	10.7	2.3	918	0	18	~ 0	〃
3	河原田の湯	69.0	4.1	318	160	4	17.4	2.7	1.6	29.6	128	~ 0	~ 0	284
4	大岳の湯	81.0	6.4	322	167	0.5	13.6	2.5	1.7	41.9	124	~ 0	~ 0	55
5	疥癬の湯 1	57.3	5.8	1067	52.5	8	75.9	5.9	338.4	269.9	63	14	10.2	288
6	〃 2	81.0	6.2	1409	93.5	3.5	86.7	7.1	470.0	310.1	76	24	5.9	定量せず
7	筋湯 (両筑屋湯元)	60.0	3.3	793	132	13	10.8	8.0	294.0	167.7	0	21	~ 0	〃
8	小松 (地獄内明碧の湯)	87.6	2.0	2251	314	227	20.6	11.6	2.4	1555	0	~ 0	~ 0	〃
9	小松 (地獄内南部)	69.1	3.0	230	57.5	19.5	8.9	3.3	1.7	127.4	0	~ 0	~ 0	〃

第38表 大岳・筋湯噴気分析表

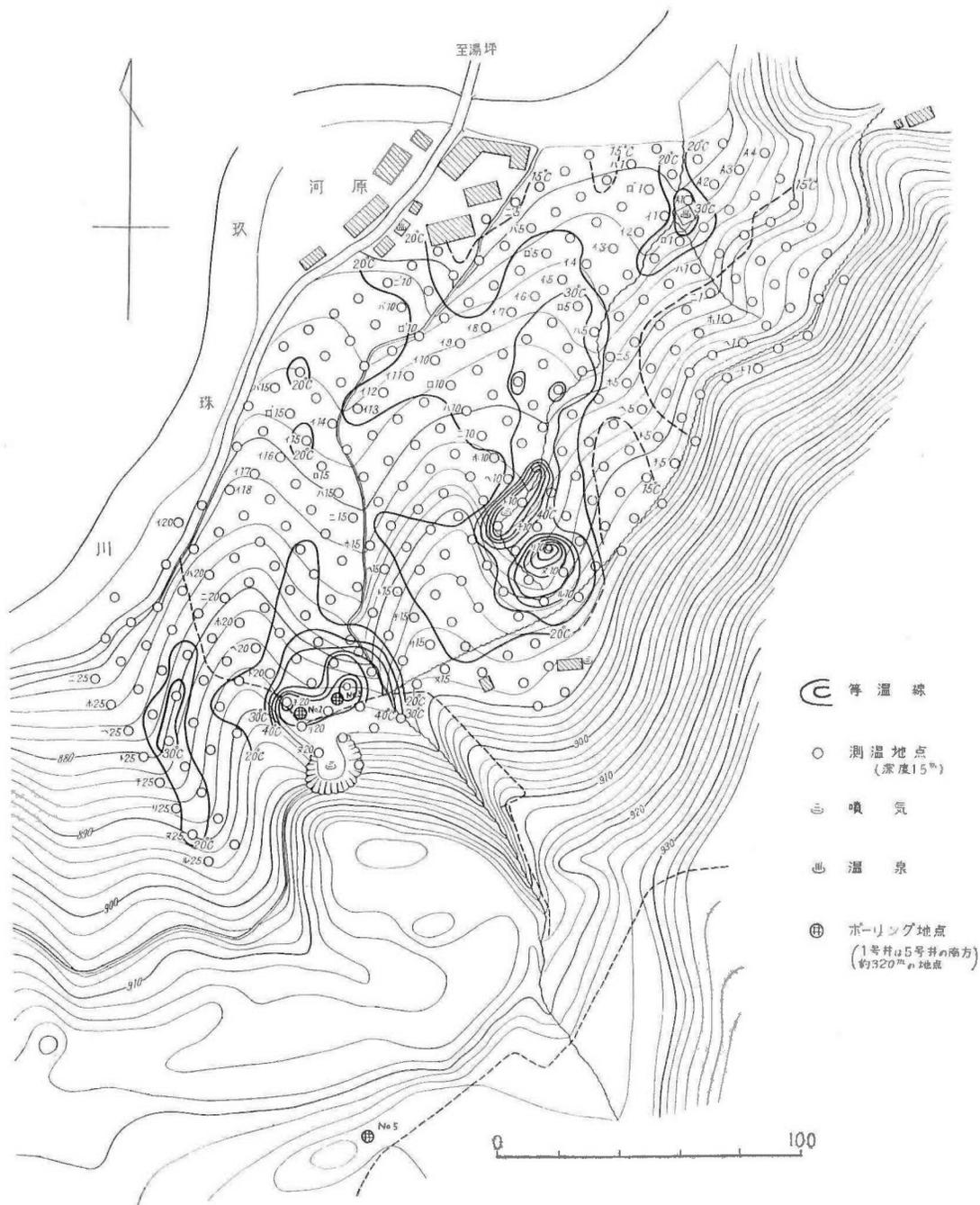
噴No.	場所	温度 (°C)	H ₂ O (Mol% 重量%)	CO ₂ (%)	H ₂ S (%)	O ₂ (%)	N ₂ etc. (%)	備考
1	河原地獄	96.5	99.04 97.69	0.944 2.274	0.0107 0.519	0.0067 0.0107		H ₂ BO ₃ 0.0005%(重量)以下 HCl 0.0003%(%)以下
〃	〃	96.5	98.99 97.57	0.996 2.397	0.0083 0.015	0.0090 0.014		
〃	〃	96.5	99.04 97.71	0.939 2.262	0.0086 0.016	0.0095 0.014		
2	〃	95.8	98.98 97.53	1.021 2.457		0.010 0.015		
3	河原地獄 噴気井根本漏洩	96.7	99.05 97.76	0.893 2.152	0.0089 0.017	0.047 0.072		
〃	〃	96.7	99.09 97.82	0.884 2.131	0.0100 0.019	0.017 0.026		
4	河原地獄 噴気井管口漏洩	88.0	91.41 86.46	0.718 1.658	0.0011 0.002	1.54 2.59	6.32 9.30	空気混
5	大岳地獄	96.4	99.72 99.32	0.269 0.654	0.0048 0.007	0.010 0.015		
〃	〃	96.4	99.72 99.32	0.263 0.638	0.0040 0.007	0.0095 0.015		
6	小松地獄	96.4	99.57 98.98	0.399 0.968	0.0199 0.037	0.0069 0.001		
〃	〃	96.4	99.67 99.20	0.315 0.765	0.0160 0.030	0.0050 0.007		
7	〃	96.0	95.70 93.11	0.224 0.532	0.0077 0.014	0.80 1.38	3.28 4.96	空気混

分析：下河原達哉

する温泉である。同じ変質帯から湧出する温泉であつても、旧期の変質帯から湧出する筋湯・疥癬湯等は Cl^- を含み、噴気地帯に伴なう河原田の湯・大岳の湯がきわめて Cl^- に乏しいことは、噴気ガスと地下水との関係を暗示するものとして注目を引く。

地温分布

大岳・河原噴気地帯において行なつた地温分布状況は第45図に示した。この地域内には優勢な噴気露頭が2カ所あり、これらを中心として高温帯が NE~SW の方向に延びており、分岐したものは北方に延びる。



第45図 大岳地温分布図

試すいによる調査資料

大岳・河原嶺気地帯において、九州電力株式会社が、地熱探査のため試すいを行ない地質状況、地中温度等を調査した⁶⁸⁾。第46図はその結果を一括して示したものである。なお、掘さく地点は第45図に示してある。これらの結果の中からおもだった2、3のことがらを挙げると次のとおりである。

- 1) 掘さく中の孔底温度をみると、地表から100~150m付近まで温度上昇が著しく、それより深くでは上昇が緩慢である。
- 2) この100~150mに蒸気脈があり、それより深部には高温温泉水が存在する。
- 3) 各坑井から噴出せる高温温泉水の化学成分は次のとおりである。

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 5	#
pH	6.4	5.8	7.2	6.5	6.6
蒸発残渣	971	1287	4187	479	730
Cl ⁻	21	498	1480	67	66
SO ₄ ²⁻	146	106	588	33	—
CO ₂	97	79	—	—	—

単位 mg/l

IV. 5 霧島温泉群 (鹿児島県)

鹿児島・宮崎県境を劃する霧島火山の周辺には数多くの噴気・温泉が分布する。ここでいう霧島温泉群とは、おもに霧島火山の南西腹に位置する一群の噴気・温泉を指したものである。

地質

霧島火山は北西~南東方向約30km、北東~南西方向約20kmの楕円形の地域内に、韓国岳(1,699.9m)を最高峰として20余の火口をもつ一大集合火山で、その一部は現在なお活動を続けている。

沢村孝之助の調査⁷⁷⁾によると、霧島火山はおおむね4回の活動によつて生じたといわれ、山体が著しく侵食された旧火山群と、明瞭な火口をもつ新期火山群からなり、おのおの2回の活動期をもつ(第48図)。

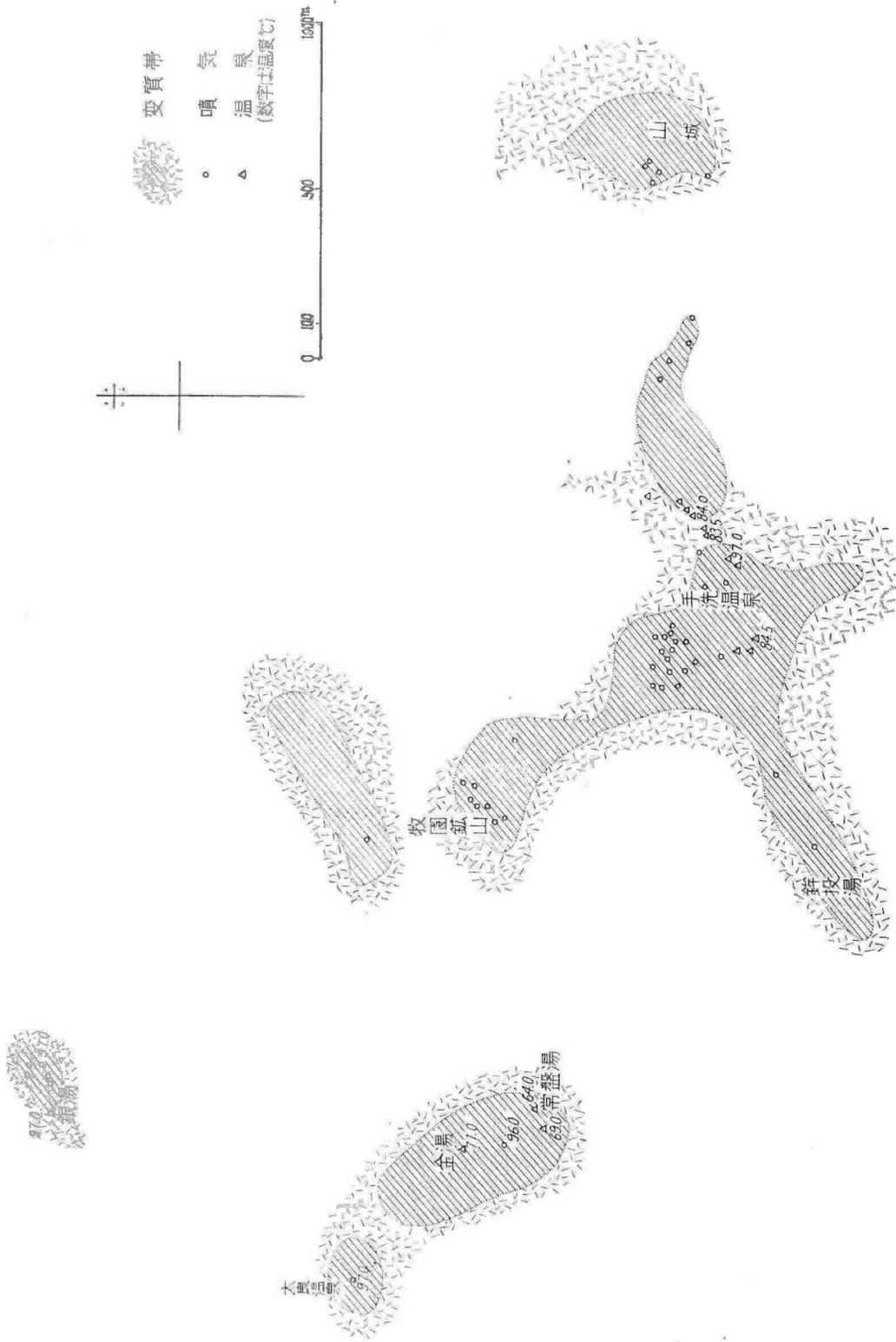
霧島温泉群の分布地域は、主として旧期火山群の熔岩によつて占められる。新期熔岩は前者を覆つて、おもに北東側に広く分布するが、いずれも複輝石安山岩からなる。

変質帯の分布

霧島火山の南西側には、現在10数カ所に変質帯が存在する。変質帯の分布³³⁾は第48図に示したが、これらの配列が北西~南東および北東~南西の2方向に卓越することは注目し値する。すなわち、霧島火山の火口の配列をはじめ、変質帯、噴気・温泉の存在がいずれも北西~南東の方向をとり、また北東~南西の方向には霧島から鹿児島に至る間の温泉がこれに伴ない、いずれもこの地方の主要構造線とみなされるものに平行するからである。

変質帯は、噴気・温泉作用をうけた熔岩の分布地域に発達し、その変質産物としてはおもにカオリン質粘土⁴⁴⁾からなる。珪化帯は、白水越(牧園鉱山北側)入口付近に小範囲に発達するにすぎない。なお、新湯付近の変質帯の表面には、軟質粗鬆の珪質粘土が局部的に露出する。白水越の珪化帯は、硫化鉄を含む堅硬緻密な岩石で、硫化鉄の生成に伴ない、SiO₂が交代的に移動沈殿したとみなされる。新湯付近の珪質粘土は、噴気地帯表面に生成した硫酸酸性溶液によつて岩石中の諸成分が溶脱され、最終的にSiO₂のみ残留したものである。この珪質粘土は、一般に噴気地帯の表面に発達するが、この地域では、新湯を除いて、全般的にその発達がきわめて貧弱である。

なお、沢村の調査によれば、この地域の変質作用は南から北に向かつて時期がおくれているといわれる。すなわち、丸尾変質帯は、栗川熔岩が変質作用をうけたものであるが、関平熔岩は全く変質せずこの変質安山岩を覆い、両熔岩の間に白色粘土化帯を挟む。また、北東~南西方向に並ぶ丸尾・林田・栄尾等の変質帯では、それぞれ栗川・関平・林田等の熔岩が変質作用をうけているが、丸尾変質帯ではこれを覆う関平熔岩が、林田変質帯では上部の林田熔岩が、栄尾変質帯ではこれを覆う山城熔岩がいずれも変質をうけていない。この地域の変質帯のすべてについて、いま述べた熔岩との関係を示すと次のとおりである。



第 48 図a 霧島地方における変質帯・噴気・温泉の分布 (北側)



第 48 図b 縁島地方における変質帯・噴気・温泉の分布(南側)

第 39 表 霧 島 温 泉 群 噴 気

噴 気 場 所	大気温泉 (°C)	ガス温泉 (°C)	水 蒸 気 : ガ ス		ガ ス 百		
			H ₂ O	Gas	H ₂ S	CO ₂	O ₂
牧 園 欽 山	17	97	99.7	0.3	16.0	80.0	0
鉾 投 温 泉	17	97	99.9	0.1	16.9	81.5	0
手 洗 基 点	21	98	99.9	0.1	19.2	77.7	0
手 洗 温 泉	24	97	99.9	0.1	14.9	78.8	0
山 城 温 泉	24	97	99.7	0.3	16.0	80.0	0
鳥 地 獄	21	97	99.9	0.1	16.7	79.0	0
丸 尾 温 泉	15	97	99.7	0.3	20.2	77.3	0
林 田 温 泉	18	97	99.5	0.5	34.1	63.4	0
新 湯 温 泉	6	95	96.2	3.8	32.9	64.6	0
平 均 値		97	99.4	0.6	20.8	75.8	0
新湯温泉を除く平均値		97	99.8	0.2	19.3	77.2	0

第 40 表 霧島温泉群噴気ガス凝縮水分析表

単位 mg/l

噴 気 場 所	pH	Total CO ₂	Free CO ₂	H ₂ S	NH ₄ ⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	BO ₂
牧 園 欽 山	5.2	209.0	39.6	23.9	0.3	tr.	4.1	7.1	11.0
鉾 投 温 泉	5.6	33.0	23.6	10.2	0.1	tr.	8.2	7.1	11.0
手 洗 基 点	5.2	44.0	40.6	27.3	1.3	tr.	8.2	3.5	5.5
手 洗 温 泉	5.8	121.0	50.6	23.9	5.2	tr.	28.8	3.5	13.8
鳥 地 獄	3.7	55.0	31.4	17.1	1.0	tr.	23.8	3.5	13.8
山 城 温 泉	4.8	121.0	77.0	40.9	0.1	tr.	156.4	3.5	16.5
丸 尾 温 泉	6.2	253.0	94.6	20.5	5.2	tr.	8.2	7.1	5.5
林 田 温 泉	4.3	242.0	94.6	35.8	0.1	tr.	4.1	3.5	5.5
新 湯 温 泉	4.7	231.0	88.0	40.9	0.1	tr.	4.1	7.1	11.0

新期火山群熔岩

旧期火山群後期熔岩

山城熔岩

林田熔岩 大良湯・銀湯・鉾投・泉沢・

栄尾・明礬・湯之野
林田・湯の谷

関平熔岩 湯の池・手洗・鳥地獄
金湯

丸尾

栗川熔岩 内之野

旧期火山群初期熔岩

註) 各熔岩の間に挟まれた名前は変質帯名とその生成時期を示す。

ガス分析表

分 率		Vol. %		(Dry state)			
So ₂	残	H ₂ O	H ₂ S	CO ₂	O ₂	SO ₂	残
tr.	4.0	99.7	0.0480	0.2400	0	tr.	0.0120
tr.	1.6	99.9	0.0169	0.0815	0	tr.	0.0016
tr.	3.1	99.9	0.0192	0.0777	0	tr.	0.0031
tr.	6.3	99.9	0.0149	0.0788	0	tr.	0.0063
tr.	4.0	99.7	0.0480	0.2400	0	tr.	0.0120
tr.	4.3	99.9	0.0167	0.0790	0	tr.	0.0043
tr.	2.5	99.7	0.0606	0.2319	0	tr.	0.0075
tr.	2.5	99.5	0.1705	0.3170	0	tr.	0.0125
tr.	2.5	96.2	1.2502	2.4548	0	tr.	0.0950
tr.	3.4	99.4	0.1828	0.4223	0	tr.	0.0171
tr.	3.5	99.8	0.0494	0.1682	0	tr.	0.0074

噴気・温泉の分布

この地域の噴気・温泉は、大部分変質帯に伴なって分布する。例外として内之野付近の変質帯には噴気・温泉のいずれも存在せず、また関平温泉は未変質の安山岩から湧出する。

第48図は変質帯に伴なう噴気・温泉の分布状況を示したものであるが、一般に、温泉は噴気地帯の周縁から湧出する傾向がある。

噴気ガス・温泉水の化学成分

各変質帯に伴なう噴気露頭および温泉水の化学成分³³⁾は、一折して第39表・第40表および第41表に掲げた。この分析結果から、おもだつた2、3のことがらを挙げると次のとおりである。

1) Cl⁻含量10mg/l以下の温泉は、大部分噴気地帯の中に存在する。Cl⁻10mg/l以下といえば、地表水ないし地下水の含量程度であるから、これらの温泉は、いずれもCl⁻の供給をほとんど受けていないとみなされる。

2) 温泉に含まれるCl⁻含量の分布は北から南に向かつて増大する。すなわち、手洗付近では13~32mg/l、柴尾・硫黄谷・明礬では39~52mg/l、丸尾周辺では35~51mg/lの含量を示す。

3) 丸尾周辺における噴気と温泉とは次のような関係がある。すなわち、変質帯の中心には現在噴気露頭があり、その周辺から温泉が湧出する。そして、この温泉のCl⁻含量は中心から外側へ離れるほど増大する。一方、温泉のCl⁻とHCO₃⁻は負の相関関係にあり、中心から遠ざかるほどHCO₃⁻含量がてい減する。

4) 湯之野は噴気地帯の一つであるが、後で述べるように、この地域で試すいを行なつた結果、深度84mで天然蒸気が噴出した。この天然蒸気の性質は、別府市白竜の場合と同じようにCl⁻含量に乏しいのが特徴である。このように、湧泉を伴なわぬ噴気地帯で行なわれた試すいの結果は、天然蒸気が地表浅部に接近していることを明らかにしたが、この例から判断すると、噴気地帯の周縁に湧泉を伴なう地域は、地下水の影響をうけていることを暗示している。

5) 温泉を伴なわぬ噴気地帯が北側の地域に多く、一方、温泉のCl⁻含量が南側ほど増加する傾向があることは、北側ほど地下水の影響が少なく、南側ほどその影響が顕著であることを暗示するようにみえる。

地温分布および酸性ガスの分布

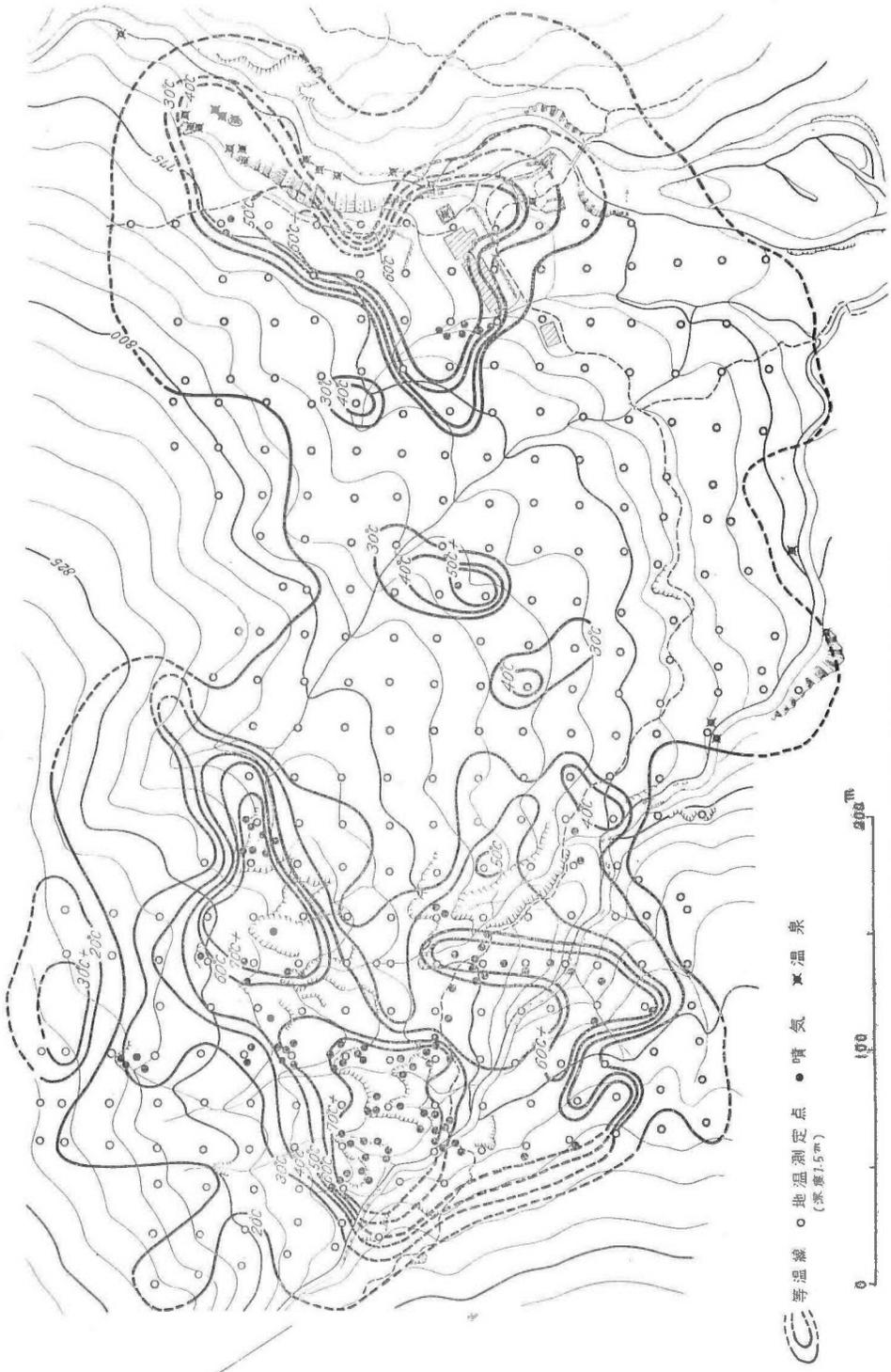
霧島温泉群の中の手洗噴気地帯および湯之野噴気地帯で行なつた地温分布・酸性ガスの分布調査の結果は、第49~51図および第52図に示すとおりである。

(i) 手洗噴気地帯

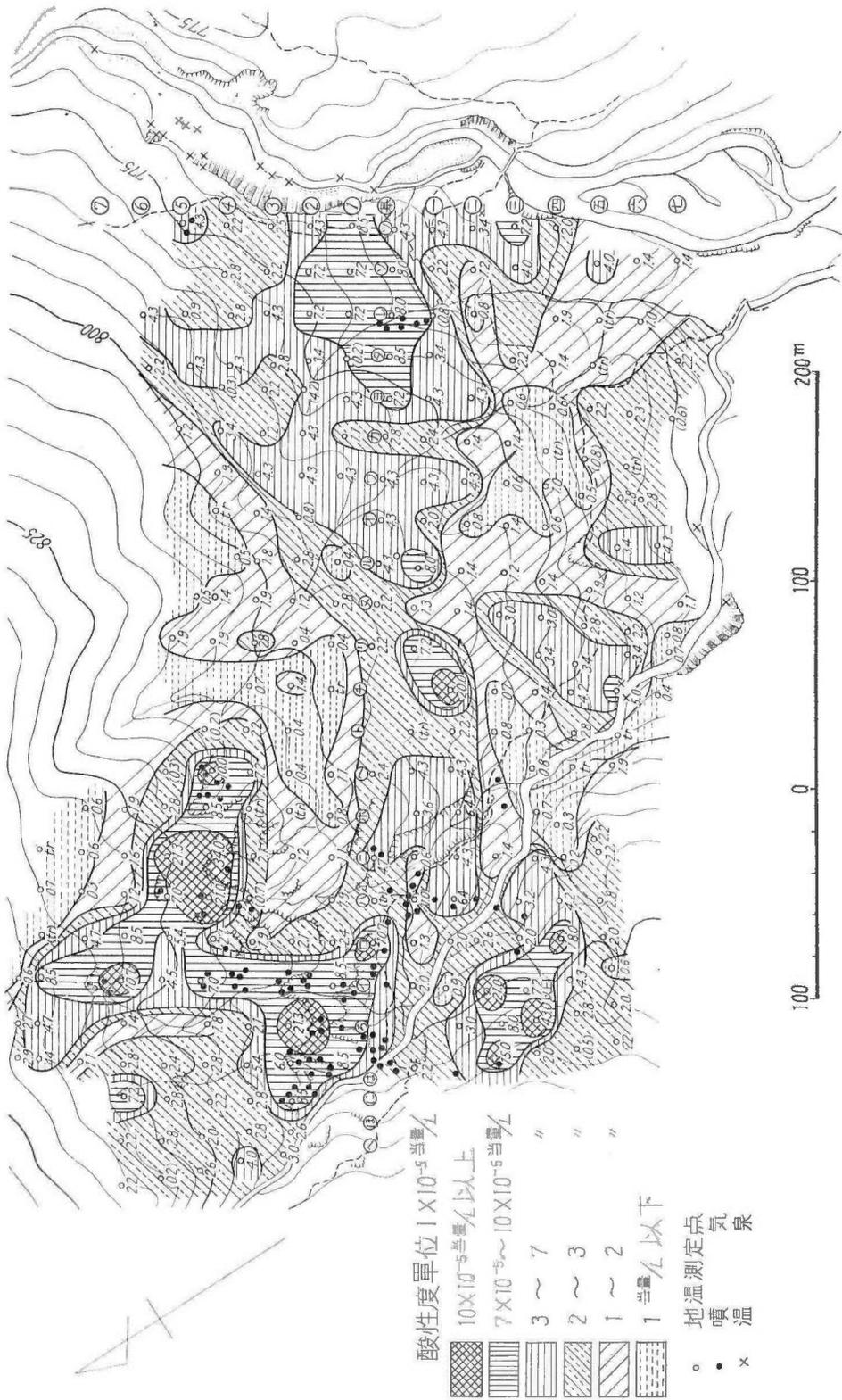
第41表 霧島地熱地帯における温泉の化学成分表

場	所	温度 (°C)	遊離 無機酸	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	HBO ₂	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Total Fe	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂
銀	湯	97.0	1.0	3.0	6.7	80.7		4.4	0.5			1.9	10.7	6.0	
太	湯	97.0	0.4	3.6	5.7	60.9		4.4	1.0	2.3	5.1	0.6	6.3	5.5	
金	湯	71.0		6.5	4.7	42.8	261.1	8.8	0.2			tr.	64.1	12.0	33.0
常	湯	69.0		7.5	5.1	22.2	253.8	8.8	0.1	25.1	12.2	tr.	41.0	16.5	tr.
閑	平	49.0		7.0	12.5	65.9	262.3	17.5	0.4				65.8	17.4	8.8
鉦	投	79.0		4.8	3.3	37.9	2.4	tr.	0.4				19.5	4.1	6.6
手洗	噴気地	92.0	13.0	2.2	2.3	888.2		43.8	3.7				44.7	11.0	tr.
"	岩風呂	93.0		7.0	13.5	149.8	61.0	8.8	0.4				35.8	15.8	tr.
"	共同湯	47.0		7.2	3.3	102.9	85.4	11.4	0.7						
"	手洗川右岸	84.0		6.9	32.0										
栄尾	温泉	69.0	2.3	3.1	51.4	231.3		30.7	0.4	46.4	21.2	0.2	23.5	11.9	17.6
硫黄	谷温泉	52.0	2.0	3.0	39.8	193.4		23.7	0.4	14.1	21.8	0.9	19.9	9.0	
明	攀温泉	56.0	1.7	3.0	52.5	181.1		17.5	0.7	25.9	23.1	0.7	13.0	12.2	
丸尾	風景館	53.0		6.3	6.3	70.0	148.9	8.8	1.1	1.5	21.2	4.5	43.8	13.1	
風景館	飲料水				6.0										
丸尾	旅館	77.0		7.9	118.3	48.6	212.3	35.1	1.2	93.6	12.8		50.6	9.4	
"	塩湯	62.0		6.5	35.4	42.8	170.8	13.2	0.9	19.6	17.3	0.3	40.7	16.2	13.2
丸尾	殿湯	69.0		6.7	511.2	37.9	19.5	122.7	0.4	229.7	25.7	tr.	49.8	5.5	17.6
"	清流荘	67.0		6.8	368.5	59.3	73.2	83.3	1.0	175.4	26.3	tr.	60.9	18.4	13.2
湯之谷	源泉	49.5		5.8	7.0										
"		41.0		5.4											
新	湯	43.0	3.1	3.3	13.8	158.8		4.4	0.2	7.0	3.2	1.0	16.9	9.3	
湯之野	(宝泉館)	96.0		6.1	1.1	79.0	41.5	13.2	7.1	5.5	5.4	1.5	15.9	6.1	6.6

遊離無機酸：単位 10⁻³ 当量/l. その他 pH 以外の単位 mg/l



第49图 手洗付近地温分布图

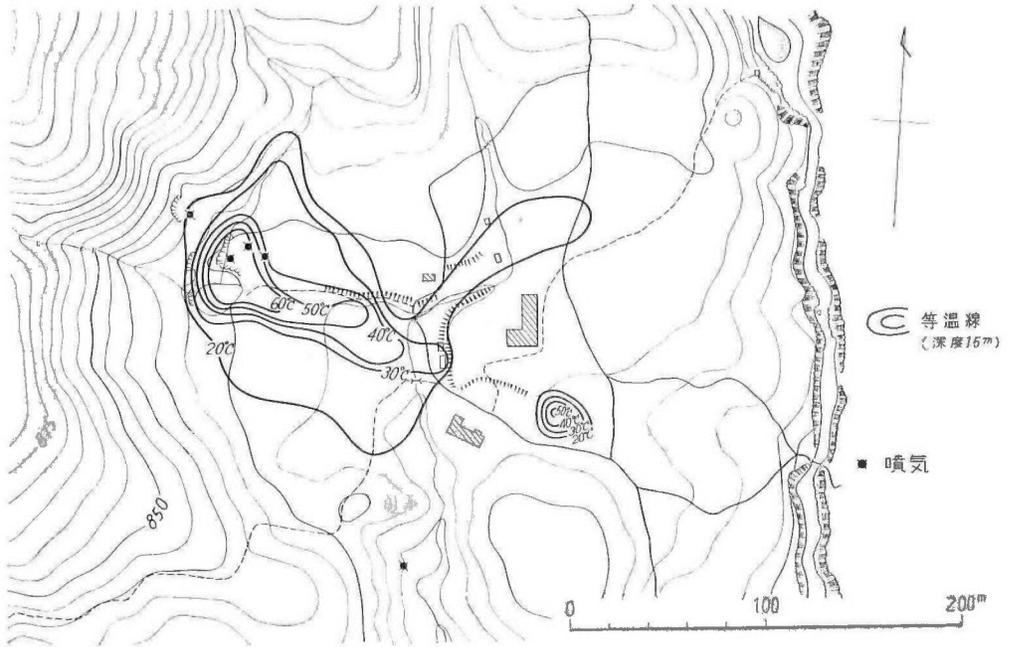


酸性度単位 1×10^{-5} 当量/L

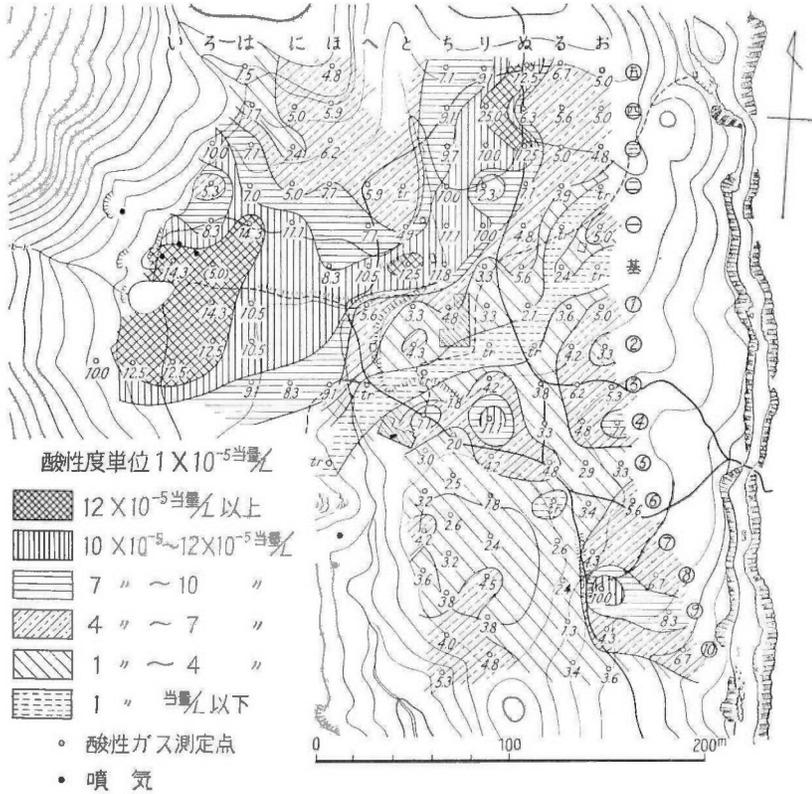
-  10×10^{-5} 当量/L 以上
-  $7 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$ 当量/L
-  3 ~ 7
-  2 ~ 3
-  1 ~ 2
-  1×10^{-5} 以下

○ 地温測定点
 ● 噴泉
 × 温

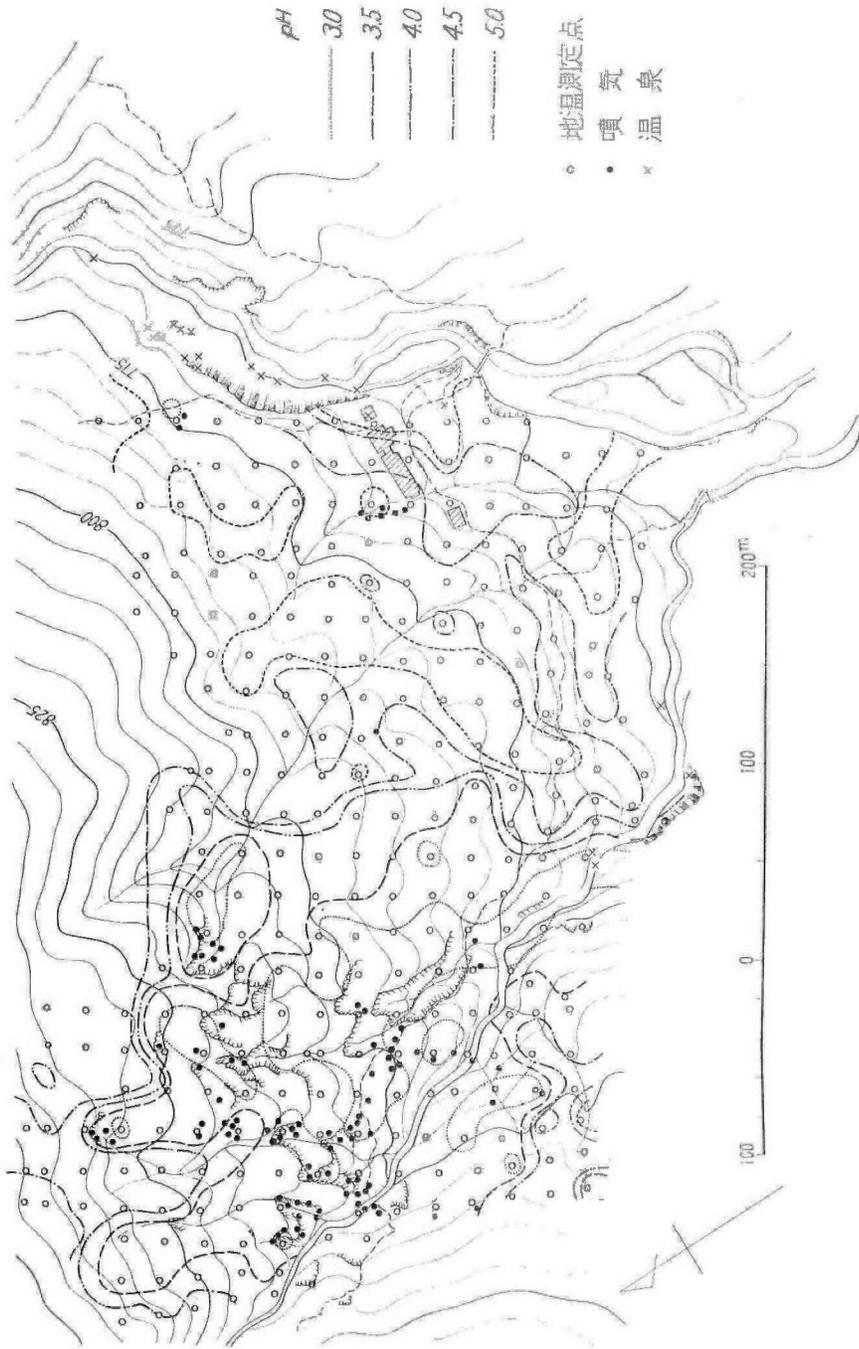
第 50 図 手洗酸性ガス分布図



第51図 湯之野地温分布図



第52図 湯之野酸性ガス分布図



第53図 手洗における粘土浸出液のpH分布図

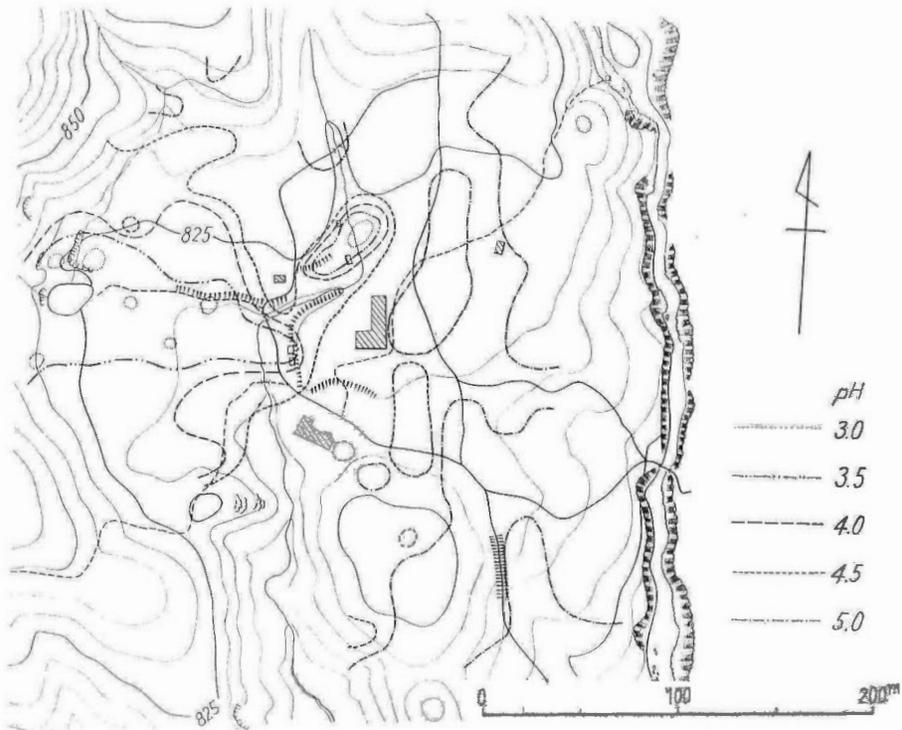
この地域における地温分布状況は、東側と西側に高温帯が存在することを示している。とくに、西側の高温帯では、変質粘土が広く露出し、また、数多くの噴気露頭が存在する。東側の高温帯は、西側に比べ範囲も狭く、等温線の間隔が狭いのが特徴である。

なお、第53図は、地温分布の際、スパイラルの先端に付着した粘土を試料とし、滲出液のpHから求めた等pH線図である^{註2)}。この結果をみると、東側の高温帯と西側の高温帯とはかなり明瞭なpHの相違が認められる。すなわち、東側ではpH4.0以下のものがきわめて稀なのに対して、西側ではpH3.5以下のものが卓越している。変質粘土の滲出液は、硫化水素が酸化されることによつて生じた遊離硫酸の付着量に関係があると考えられるので、この図の示す意味は、硫化水素の影響の程度をあらわすものとみなされる。この状態は、さらに酸性ガスの分布の上^{註3)}にもあらわれており、第50図の酸性ガスの分布図をみると、酸性度の高い地域はほとんど西側の高温帯と一致し、東側ではかなり酸性度が低下している。

調査地東側を流れる川の右岸および湯の川下流から現在温泉が湧出しており、結局、上述の相違は、西側の噴気地帯と東側の温泉地帯における性状の相違を示すものとみなされる。

(ii) 湯之野噴気地帯

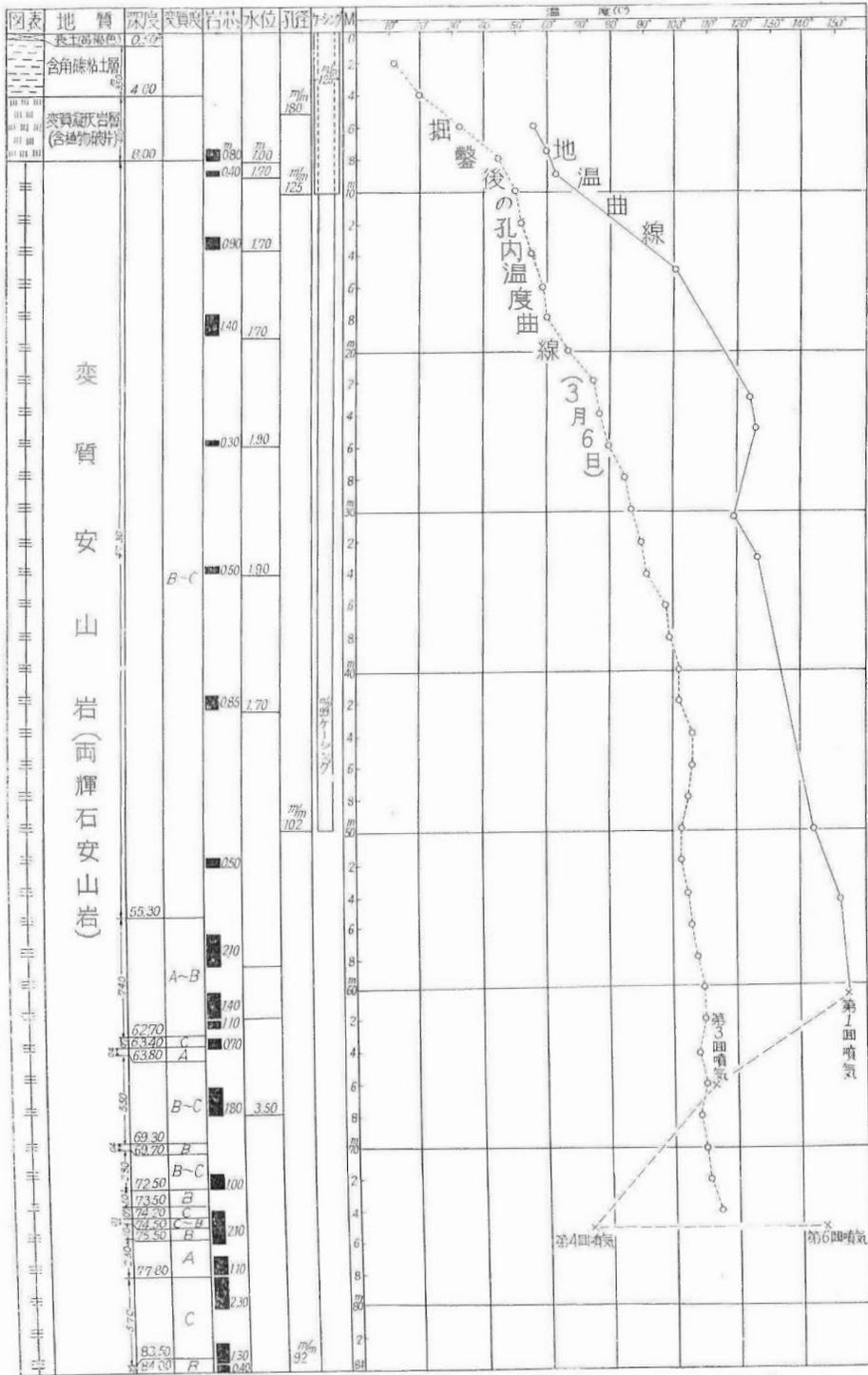
湯之野噴気地帯の地温分布図(第51図)は、手洗に較べ、かなり単純で、ほぼ北西方向を軸としてその周囲を等温線が取囲むような形態を示す。この軸の北側と南側では地表水の影響をうけている疑いがあるので、実際には、高温帯を軸として楕円状の形態をとるものと推定される。なお、この地域は、未変質の火山灰によつて覆われているため、粘土滲出液のpHの分布状況(第54図)は、手洗ほど明らかでないが、酸性ガスの分布図(第52図)は、地温分布図とほぼ同じ傾向を示している。



第54図 湯之野における粘土浸出液のpH分布図

註2) 測定方法は次のとおりである。すなわち砂皿上で乾燥した試料を乳鉢ですりつぶし、その2gを蒸留水40ccに混じて5分間振盪した後一昼夜放置してその上澄液を測定した。

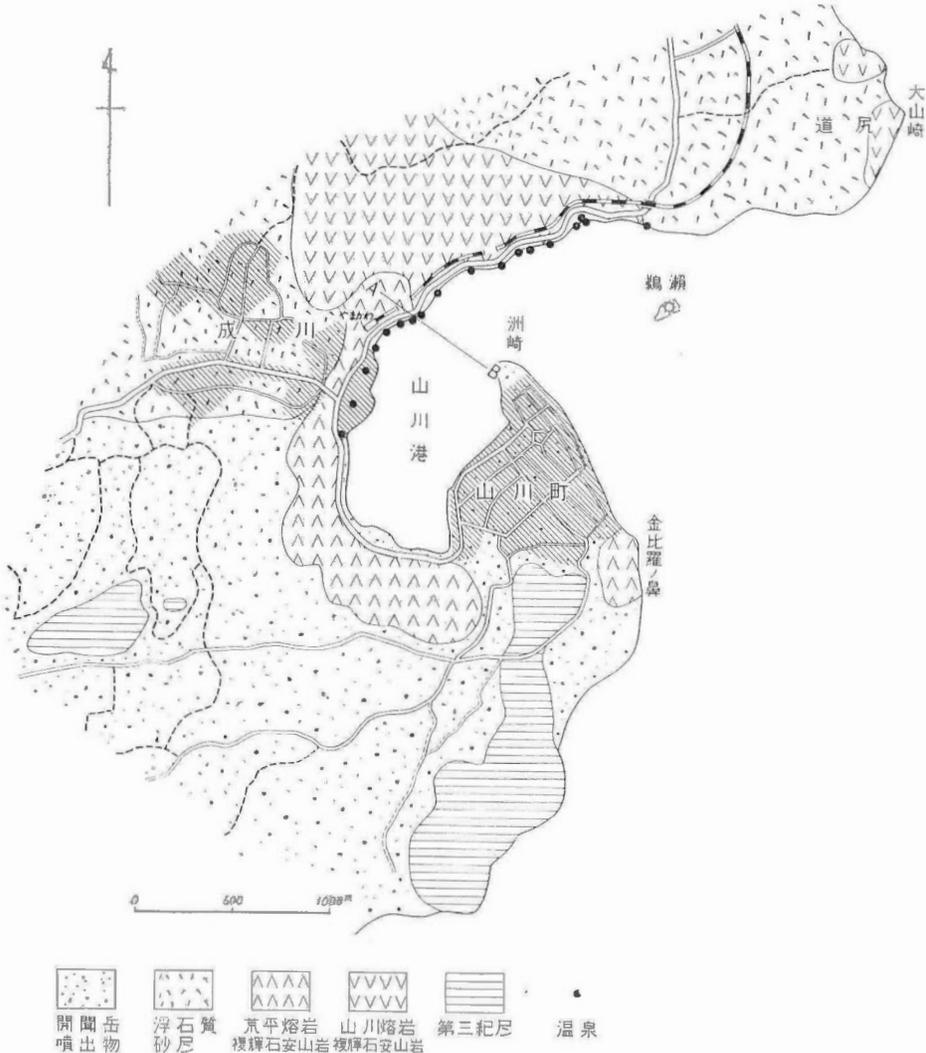
註3) N/1000 Na₂CO₃溶液10ccを試験管にとりフェニールフタレインを指示薬とし、三口注射筒で土壌中の空気を色が消えるまで吸収させ、その時の容量を注射筒の目盛で読取った。



第 55 図 湯之野試すい柱状図

試すいによる調査資料

湯之野噴気地帯において、上記の高温帯上で行なつた試すいの結果は第55図に示すとおりである。地質は、地表から4mまで白色粘土、8mまで植物破片を含む火山灰、以下孔底の84mまで変質した安山岩である。温度は深度60.5mで153℃に達し、天然蒸気を噴出した。おもな蒸気脈は62~70mの間と推定され、このほか、56m付近および78~83mの間にも蒸気脈が存在すると推定される。



第56図 山川温泉周辺地質図

IV.6 山川温泉 (鹿児島県)

鹿児島県薩摩半島南半には、指宿温泉をはじめ多くの温泉が点在する。この山川温泉⁵⁸⁾は、指宿温泉の南側に位置する温泉であつて、海辺に沿つて10数カ所から高温泉が湧出する。薩摩半島の温泉はいずれもCl⁻含量の高いことで特徴づけられるが、ここでは海辺から湧出する温泉の例として、山川温泉をとり上げたものである。

地質

温泉が湧出する成川海岸周辺は、成川火山⁴¹⁾の一部に当り、複輝石安山岩とこれを覆う火山灰が広く分布する。成川火山の山体はほとんど解析され、現在、明瞭な火山地形を留めていない。山川町南側の丘陵に

第 42 表 山 川・指 宿 温 泉 群

採 水 箇 所	水 温 (°C)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺
鯉噴気孔凝縮水	100	4.2	tr.	5.8				
浜見ヶ水	44.5	6.9	915.3	158.8		283.7	523.2	29.7
〃	63	7.0	1564	260.9		427.0	932.4	80.4
岡見ヶ水	63.5	6.9	1543	261.7		419.7	877.3	74.8
〃	65.5	6.7	1536	260.9		420.9	—	—
開 開 温 泉	48	6.2	2227	144.0		158.6	1201	82.8
川 尻 温 泉	46.5	6.5	402.5	111.9		183.0	249.8	19.3
伏 目 温 泉	100	7.2	7297	111.1		58.0	3780	315.2
山川温泉(田村館)	63	7.2	3524	173.7		117.1	1845	99.7
〃(日本冷蔵会社)	56	7.2	4588	402.4		137.3	2445	95.7
〃(成川海岸)	100	8.0	5975	280.6	tr.	96.4	3109	213.9
〃海 水		7.9	18917	2599		161.0	10248	335.5
指宿温泉(摺ヶ浜)	53.5	6.9	4219	161.3		115.9	2246	135.9
〃(柴立)	—	7.2	510.6	—				
〃(河原湯)	65		2602	254.7				
〃(〃)	43		936	83.1				
〃(二月田)	70		2702	263.4				
〃(弥次ヶ湯)	52		1496	100.0				
〃(〃)	49.5		1326	91.4				
〃(十 町)	55.5		1950	164.6				
〃(〃)	56		1648	133.3				
〃(田 良)	52		4404	530.4				
〃(〃)	51		3631	447.3				
〃(〃)	58		8687	899.5				
〃(田良潟山)	44		6790	724.2				
〃(〃)	49.5		10513	1283				
〃(湯之里)	72		2432	72.8				
〃(〃)	76		3028	109.0				
〃(〃)	67		2673	108.6				
〃(〃)	60.5		2049	88.9				
〃(〃)	55		1978	84.8				
〃(〃)	45		4269	484.7				
〃(摺ヶ浜)	68		5540	196.7				
〃(〃)	69		7473	844.4				
〃(大山崎)	69		7118	623.8				

化 学 成 分 表

单位 mg/l

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	CO ₂	H ₂ S	Br ⁻	I ⁻	Br/Cl × 10 ²
6.2	0.5			1.0		100.7			
111.2	28.1	4.2	157.3	17.1	6.6	0.0	2.9	0.02	0.31
203.7	40.4	1.9	201.5	21.9	4.4	0.0	5.6	0.02	0.35
197.0	74.8	4.4	205.4	21.9	5.5	0.0	5.7	0.02	0.36
196.5	38.4	7.7	206.7	—	8.8	0.0	—	—	
151.0	67.6	2.8	157.3	17.1	35.2	0.0	8.1	0.02	0.36
46.5	8.1	3.9	169.0	12.2	11.0	0.0	1.4	0.02	0.34
631.8	12.2	7.1	252.0	51.0	3.3	0.0	24.8	0.02	0.33
322.6	55.0	2.2	150.8	26.7	4.4	0.0	12.7	0.02	0.36
275.0	189.9	5.5	131.3	21.9	4.4	0.0	16.3	0.02	0.35
436.3	94.8	<0.1	187.2	48.6	0	0.0	20.7	0.02	0.34
435.8	1251	<0.1	15.6		0.4	0.0	63.9	0.04	0.33
348.5	49.6	3.1	215.8	21.9	5.1	0.0	15.3	0.02	0.36
49.5	8.1				3.3	0.0	1.6	0.02	0.31
							8.9	0.02	0.34
							3.0	0.02	0.32
							10.0	0.02	0.37
							5.3	0.02	0.35
							4.5	0.02	0.33
							6.8	0.02	0.34
							5.7	0.02	0.34
							15.4	0.02	0.34
							12.9	0.02	0.35
							30.9	0.08	0.35
							24.0	0.06	0.35
							37.2	0.02	0.35
							8.7	0.02	0.35
							10.3	0.02	0.34
							9.3	0.02	0.34
							7.0	0.02	0.34
							6.7	0.02	0.33
							14.8	0.02	0.34
							18.8	0.02	0.33
							24.5	0.02	0.32
							24.1	0.02	0.33

凝灰質泥岩が露出するが、これは、第三紀層の一部と思われ、複輝石安山岩の下部に広く分布するものと推定される。成川火山の熔岩は、山川港から大山崎にわたって分布するが、山川港は成川火山に生じたカルデラであつて、成川港に面するカルデラ壁の高さは約 100 m、山川港の水深は 51 m を示す。海底には、カルデラ壁から崩壊した安山岩礫のほか、浮石質火山灰が堆積している（第 56 図）。

温泉の分布

成川海岸から湧出する温泉の分布は第 56 図に示したが、ほぼカルデラ壁に沿つて約 2 km の範囲に点在する。これらの温泉は、満潮時には海面下に没し、常時湧出するものは西側の河口近くの一部にすぎない。

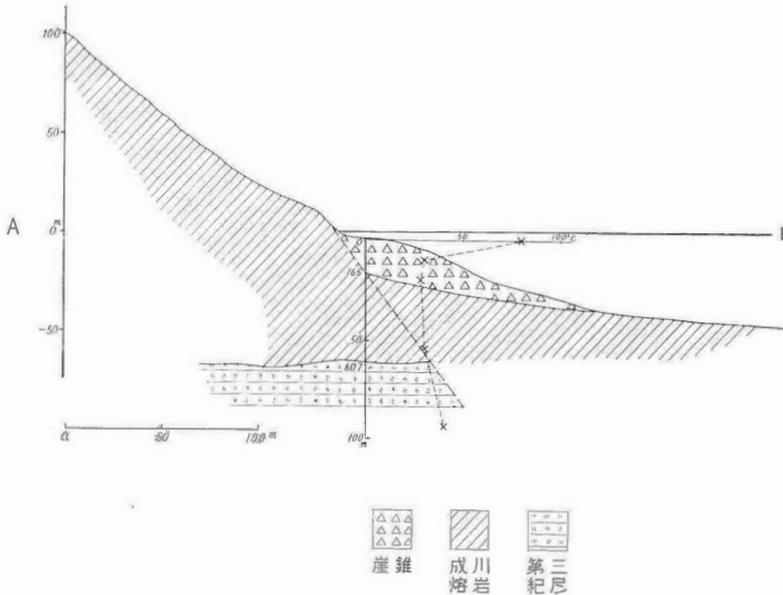
温泉水の化学成分

第 42 表には山川温泉のほか薩摩半島に分布する他の温泉水の化学成分も併せて示した。この分析結果から、山川温泉および薩摩半島全般の成分的特徴を要約すると次のとおりである。

- 1) 成川海岸から湧出する温泉の継続観測結果によれば、満潮時に、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 等が増減し、明らかに海水の影響を受けていることを示している。
- 2) 成川海岸の温泉は、広い範囲から湧出するにもかかわらず、成分の含量比がほとんど同じである。このことは、深部から湧出する温泉が地表近くで広い範囲に貯溜されていることを暗示する。
- 3) 薩摩半島全般の温泉は、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} に比べ Cl^- 含量が高いのが特徴的である。しかし、 Br^-/Cl^- の比率は海水とほとんど一致し、 I^- 含量も海水と同じようにきわめて低い。
- 4) 上記温泉水と海水と比較してみると、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 H_2SiO_3 は相対的に増加、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} は減少し、 Na^+/Cl^- の比は海水の比率に等しい。

試すいによる調査資料

成川海岸から湧出する温泉のうち、もつとも温泉活動の活発な地点において、深度 100 m の試すいと数 m 程度の浅い試すいを行なつたが（第 57 図）、この結果を要約すると次のとおりである。



第 57 図 成川海岸断面図

- 1) 深度 16.5 m まで崩壊堆積物で、おもに、砂・安山岩礫からなる。16.5 m 以下 60.7 m までは輝石安山岩の熔岩、60.7 m 以下孔底までは凝灰岩であるが、この凝灰岩は第三紀層とみなされる。
- 2) 温度は地表近くが最も高く、地下 1 m 付近から急激に低下する。しかし、この温度は、きわめて緩慢であるが深くなるほど幾分上昇する傾向がある。
- 3) 2～5 m 程度の浅い試すいのうち、よりカルデラ壁に近いものは多量の温泉水を噴出し、海によつ

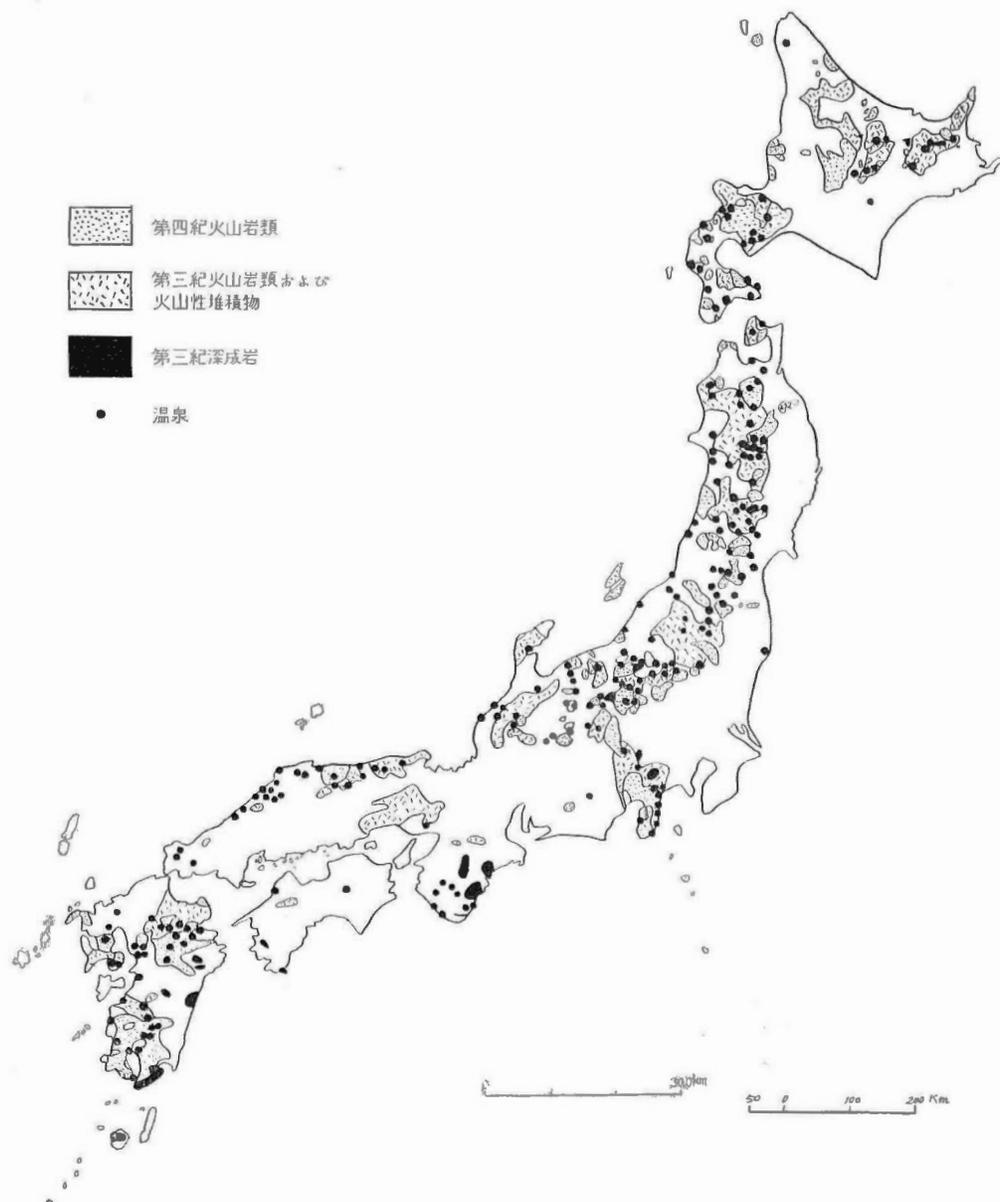
たものからはほとんど温泉が自噴しない。この結果と、前記の深い試すいの結果を併せ考えると、温泉はむしろ西側の山手の方面から上昇し、崩壊堆積物中に貯溜されていると判断される。

第2部 温泉生成の地質学的考察

I. 温泉と地質との関係

I. 1 火成活動と関係ある温泉

わが国の温泉の分布をみると、ほとんど大部分は第四紀の新期火山帯に沿って分布する。しかし、温泉の中には、少数ではあるがこの火山帯からはずれた地域に位置するものもある(第58図)。



第58図 本邦温泉と地質との関係図

このように、分布の上からみただけでも、温泉と火山活動との間に密接な関連があることがうかがわれるが、いわゆる火山帯は、第四紀火山の分布を地理的に連ねたものであり、したがって、位置的にはこの帯の中に含まれる温泉であつても、その近くに第四紀火山が存在せず、したがって第四紀火山と関係のないものも当然出てくる。しかし、第三紀の火山活動が、この第四紀の火山帯とほとんど同じ地域で行なわれた場合も多いので、これら直接第四紀火山と関係のないようにみえる温泉の中には、第三紀火山活動に関連あるとみなされるものが多い。

このように、第三紀以降の火山活動を考慮に入れると、この第三紀以降の火山活動の地帯からはずれた地域に存在する温泉は、僅かに南紀温泉群と常磐炭田坑内温泉とにすぎない。前者は、第三紀花崗斑岩が広く分布する地域であり、前章で述べたように、現在湧出する温泉は、見掛上、中生代ないし第三紀層を湧出母岩とするが、これらの温泉は、この第三紀深成岩に関連あるとみてまず疑いない。この第三紀深成岩に関連ある温泉は、紀伊半島だけでなく、フォッサマグナの東部地域に露出する石英閃緑岩の分布地域でもその存在が認められる。後者の常磐地方の温泉水は、中生代花崗岩を直接湧出母岩とするが、この地域には、なお第三紀火山活動の形跡もあり、このいずれに関連あるか決定的ではない。しかしながら常磐地方以外の中生代花崗岩分布地域の中には、花崗岩を湧出母岩とするだけではなく、特徴的な化学性から推察して、花崗岩と関連ある温泉の存在もまた予測される。

温泉の湧出母岩は地域的に異なり、その岩質は多種多様である。しかし、温泉の生成と関連ある火山活動ないし火成活動は、地域的に一定した湧出母岩の種類、化学性等によつて、幾つかの時期に区別される。すなわち、わが国の温泉を、火山活動ないし火成活動との関連のうえから大別すると次のとおりである。

- (1) 第四紀火山活動に関連ある温泉
- (2) 第三紀火成活動に関連ある温泉
 - (i) 第三紀火山岩に伴なう温泉
 - (ii) 第三紀深成岩・半深成岩に伴なう温泉
- (3) 第三紀以前の火成活動に関連ある温泉（とくに中生代花崗岩に伴なう温泉）

(1) 第四紀火山活動に関連ある温泉

第四紀の火山体あるいはその周辺に存在する温泉、とくに噴気露頭を有するもの、あるいは温泉変質帯を伴なうものは、第四紀火山活動に関連ある温泉とみなされる（第59図）。これらの温泉の多くは、熔岩あるいは火山砕屑物等を湧出母岩とするが、その火山の基盤岩層から直接湧出するものもある。

阿寒⁸⁴・屈斜路⁸⁴・登別⁸⁶・95）・ニセコ（北海道）、恐山・酸ヶ湯（青森県）、八幡平蒸の湯・後生掛⁴⁸・松川³（岩手県）、玉川²⁵・川原毛⁵⁰（秋田県）、鬼首⁶⁰・鳴子⁶²（宮城県）、沼尻・野地（福島県）、那須（栃木県）、箱根大湧谷・湯の花沢（神奈川県）、草津・万座⁵²（群馬県）、立山地獄谷（富山県）、別府・大岳⁴⁹（大分県）、阿蘇地獄谷（熊本県）、雲仙³²（長崎県）、海老野³¹（宮崎県）、霧島湯之野・手洗³³（鹿児島県）等はわが国でも典型的な第四紀火山性温泉とみなされる。

これらの第四紀火山の中で、輝石安山岩あるいは石英安山岩からなる円頂丘あるいは鐘状火山の周辺には噴気孔ないし高温の温泉を伴なう場合が多い。宮城県鳴子・鬼首を経て秋田県の秋の宮・皆瀬地方に分布する第四紀石英安山岩はこの例であつて、鳴子地方の鳴子火山、鬼首盆地の高日向山、秋の宮・皆瀬地方の山伏岳を構成する石英安山岩の周辺には、例外なく噴気地帯が存在する。これに類する例としては、北海道恵山、登別をはじめ青森県恐山、岩手県松川、神奈川県箱根、長崎県雲仙、鹿児島県霧島地方の海老野等を挙げることができる。

(2) 第三紀火成活動に関連ある温泉

(i) 第三紀火山岩に伴なう温泉

前に述べたように、第四紀火山帯は同時にほぼ第三紀火山活動の場でもある。従つて、第四紀・第三紀のいずれの火山活動に関連あるか判然としない場合があるが、これらの地域の中で、明らかに第三紀火山岩に伴ない、しかも化学成分のうえにかなり著しい特徴をもつ温泉がある。これらは、第三紀火山活動に関連ある温泉とみなされ、その例としては、青森県・秋田県境の湯の沢・日景をはじめ、岩手県豊里川流域の志戸平・大沢・鉛、宮城県遠刈田、兵庫県有馬等が挙げられる。これらの温泉に関連ある第三紀火山岩は、一般



第59図 噴気地帯分布図

に石英粗面岩の場合が多い。

(ii) 第三紀深成岩・半深成岩に伴なう温泉

わが国の温泉の中には、第三紀石英閃緑岩・玢岩・石英斑岩等に伴ない、しかも化学成分に特徴を示す温泉の存在が知られている。このうち、石英閃緑岩および玢岩に関連ある温泉は、フォッサマグナ東部地域の長野県湯田中・渋、山田・浅間・別所、群馬県四万・水上・谷川等のほか、山梨県甲府・湯村等がある。また、福島県熱塩・日中も東北地方における玢岩に伴なう温泉の例である。石英斑岩に伴なう温泉は、紀州半島中南部に点在する温泉をその代表とするが、北海道定山渓⁸⁷⁾もまた、石英斑岩に伴なう温泉であることが報告されている。このように、温泉湧出に関係あると思われる火成岩が、花崗斑岩・石英斑岩等の酸性岩であることは1つの特徴とみなされる。

(3) 第三紀以前の火成活動に関連ある温泉

第 43 表 火口から噴出する噴気ガス化学成分表

火 口		ガ ス				同 凝 縮 水											
		CO ₂	CO	H ₂	N ₂	SO ₂	Na ₂ O mg/50cc	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	Cl	F	NH ₃	TiO ₂	SO ₃		
Kilauea (Hawaii)		I	23.8	5.6	7.2	63.3	0	21.4	10.2	12.0	8.0	22.0	56.5	1.8	0.5	48.0	
		II	58.0	3.9	6.7	29.8	1.5	31	11	140	10	206	492	—	—	508	
		III	62.3	3.5	7.5	13.8	12.8	E. T. Allen: Jour. Frank. Inst., Vol. 193, 1922									
		IV	59.2	4.6	7.0	29.2	0	岩崎岩次: 火山の化学									
		V	73.9	4.0	10.2	11.8	0	HCl Hf H ₂ S									
Ten Thousand Smokes (Alaska)																	
		H ₂		N ₂	O ₂	A	CO ₂	水蒸気と共に噴出されるガス量 (平均)									
		0.117		0.032	0.029	酸性感度 Cl Total S SO ₄ Si Fe Ca, Mg, Ti Al											
三 原 山 (大 島)		B	12.1	65.4	17.0	1.2	4.3	1.4N	67.6g/l	0.16	—	0.090	69.8	0	tr.	(?)	
		E	57.1	41.9	0.0	0.8	0.2	岩崎岩次: 地学雑誌, Vol. 60, No. 3, 1951									
		E	25.9	72.5	0.0	0.8	0.8	Cl Br F B NH ₃ -N Mg Ca Si Fe Al									
昭 和 新 山		H ₂ O		CO ₂	H ₂ S	SO ₂	830	mg/l	2.6	350	33	1.58	31.2	7.87	51	11.7	12
		9081	98.1	1.21	0.00	0.04	490	1.35	200	25	1.05	3.0	1.3	40	1.87	10	
		9051	98.5	1.07	0.00	0.02	687	2.1	21	4.7	5.60	6.0	7.5	23	10.6	10	
9063	99.3	0.53	0.05	0.02	高橋 清・小穴進也: 地質調査所報告, No. 170, 1957												

わが国の温泉のほとんど大部分は、第四紀および第三紀の火山活動地帯に分布し、第三紀以前の火成活動と直接関連がある温泉の存在については積極的な証拠はない。しかし、温泉の中には、中生代花崗岩を湧出母岩とし、しかも特徴的な化学成分と強い放射能をもつ温泉が点在する。これらの温泉は、中生代花崗岩と成因的に関連ある数少ない例とみなされる。その代表的なものとしては、山梨県増富、鳥取県三朝、島根県池田等が挙げられ、常磐炭田坑内温泉も中生代花崗岩を湧出母岩とするが、直接の繋りがあるかどうか明らかでない。また、愛媛県道後、新潟県大湯、栃尾又等も同じく中生代花崗岩から湧出するが、前記の諸温泉と違って、きわめて単純な塩分含量で特徴づけられ、これらの温泉は、成因的に直接、花崗岩に結びつくかどうかはなお決定的でないが、第三紀の温泉と同様に、花崗岩のような酸性火成岩が最も近い関係を有することは注目すべきことである。

総括すると、玄武岩・斑禰岩のような塩基性火成岩に伴う温泉がきわめて少なく、流紋岩・石英安山岩ないし安山岩、石英閃緑岩・花崗斑岩・花崗岩等の、一般に酸性火成岩が最も温泉に關係あることが認められる。このことは、温泉の湧出が岩漿の分化や同化作用に關係し、物理的にはその粘性に關係深いことを示している。この事実は、火山性温泉の成因を知るうえで、重要なことがらのように思われる。

I. 2 非火成岩地域の温泉

上述のように、わが国の温泉は、火成活動との関連からいえば第四紀火山に關連ある温泉と、第四紀以前の火成岩に關係ある温泉とに分かたれる。このうち、前者すなわち第四紀火山性温泉は、第四紀火山帯に多いことは論をまたないが、後者すなわち第四紀以前の火成源温泉も、第三紀火山岩地帯、第三紀深成岩ないし半深成岩地帯および第三紀以前の花崗岩地帯に分布する。しかし、温泉の中には、見掛上火成活動と關連なく、地域的な地質および地質構造の特徴に支配されるものがある。その代表的な例は、北海道から東北地方の日本海岸に沿う油田地帯であつて、この地帯の温泉は、第三紀含油層を湧出母岩とし、温泉の化学成分もいわゆる油田鹹水に類似した成分で特徴づけられる。しかし、この地域の温泉の中には、第四紀火山活動と關連あるものもあり、姫川温泉群をはじめ、新潟県瀬波・六日町のように、第三紀石英粗面岩・石英閃緑岩と關連あると思われる温泉の存在が知られているので、油田地帯の温泉が必ずしも全く火成岩と關係ないものとは考えられず、第四紀火山岩あるいは第三紀火成岩侵入の影響をうけているものも存在するとみなされることは注目すべきことかと思われる。

一方、その例は少ないが、全く火成岩の知られない非火成岩地域に存在する温泉がある。西南日本外帯の三波川変成岩から湧出する徳島県祖谷温泉、大井川上流の古生層を湧出母岩とする静岡県湯山温泉がこれであるが、北海道でも十勝川温泉⁸⁵⁾がこの例に相当するといわれている。これらの温泉と火成活動との關連は、現在までの調査資料からでは明らかでないが、祖谷温泉は第三紀瀬戸内火山岩帯、湯山温泉は瀬戸内火山岩帯の延長あるいは第四紀富士火山帯の外縁に位置すると思われるので、第三紀ないし第四紀火成活動に關連ある可能性もないわけではない。

II. 第四紀火山性温泉の諸性質

II. 1 噴気ガスの成分とその地域的特徴

わが国の温泉が大部分火山帯に伴つて分布することはすでに述べたとおりであるが、この点、現に活動を続ける火山から灼熱の熔岩が流れ、また高温のガスが発散するなどの事実からみて、熱源を必要とする温泉が火山と密接な關連があることはほとんど疑問の余地がない。

いま、火山作用に伴う諸現象の中から、最も活動の旺盛な時期に發散する噴気ガスを取り上げ、その成分的特徴を示すと第 43 表のとおりであつて、この噴気ガスは例外なく塩化水素 (HCl) を含むことが指摘される。次に、旧火口周辺から噴出する噴気ガスあるいは解析された火山体に伴う噴気ガスの成分は、ほとんど HCl を含まず、炭酸ガス (CO₂) および硫化水素 (H₂S) 等の弱酸性のガスを主体とする。これらの噴気ガスの分析は、おもに自然露頭に限られていたが、1948 年、別府市白竜温泉における試すい孔から噴出した天然蒸気^{註3)}は、噴気ガスの化学性について貴重な資料を提供した。すなわち、第 36 表はその測定

結果の一部であるが、この表をみると、たとえば過熱水蒸気を噴出するような場合であつても、噴気ガスおよびその凝縮水の中には、塩酸がほとんど認められない。この結果は、自然状態に近い噴気ガスの性質を知るうえで注目すべき特性を示している⁵⁹⁾。

これに対して、地表下比較的浅いところに温泉水の自然水位があり、この温泉水から発散した温泉ガスが、噴気地帯を構成する場合がある。このような場合は、一般に噴気地帯の規模が小さく、またその周辺から温泉が湧出するのが普通である。このガスも見掛上、水蒸気、 CO_2 、 H_2S を主体とし、前記噴気ガスの性質と類似するが、このような地域で試すいを行なうと、水蒸気とともに Cl^- を含む多量の熱水が噴出し、白竜のような場合と、明らかに違つた状態にあることを知る。この例としては、宮城県海老野高原⁶¹⁾、宮城県鬼首の吹上温泉、宮城県鳴子温泉、静岡県熱川温泉等が挙げられる。

II. 2 噴気地帯に伴なう温泉水成分の2型

火山性温泉の中には、しばしば噴気地帯の周辺から湧出するものがある。いま、その一例として、大分県飯田高原の大岳・筋湯温泉地帯をとりあげ、変質帯と噴気・温泉との分布関係を示すと第43図のとおりである。図で示したように、この地域には河原・大岳・小松の噴気地帯があり、その側面から筋湯・疥癬湯等の温泉が湧出する。これらの噴気・温泉群は、いずれも玖珠川本流および支流に沿う変質帯に伴なつて分布するが、変質帯と噴気・温泉との関係をみると、より古い時期に生成された変質帯には Cl^- を含む温泉が伴ない、より新期の変質帯には噴気および Cl^- に乏しい温泉が存在する。この新旧いずれの変質帯も、過去より現在につながる噴気作用によつて生成されたもので、変質帯を追跡すると、なんらかの原因により、噴気活動が北から南あるいは西から東へ漸次移動したことを示している。

このように、噴気の周辺に存在する温泉が、 Cl^- 含量に乏しく、噴気から遠ざかつた地域の温泉が Cl^- を含むことは、噴気ガスなし天然蒸気と地下水とが次のような状態にあることを暗示する。すなわち、地下水の浸透深度の違いによつて、地下水に供給されるガス成分中の HCl の濃度が異なり、浅い部分ではより HCl が少なく、深部ではより多くの HCl を含むということである。このように考えると、前に述べた噴気活動の移行も、その原因が地下水の影響に関連があるとみなされ、時間の経過とともに、外圧として作用する地下水が、噴気ガスの蒸気圧を抑え、その結果、噴気地帯はより外圧の低い方向へ移動し、同時に変質帯もこれに伴なつて移行したと考えられるのである。

このように、噴気地帯に伴なう温泉は、 Cl^- を含む熱水性温泉と Cl^- に乏しい地下水性温泉とに分けられるが、この両者は第四紀火山地帯における代表的な2つの型を示すものである。もちろん、場所によつてこの両者の間に明確な境界を設けることができない場合があり、また地域的に熱水性温泉の Cl^- 含量がかなりの幅で変化することもある。噴気地帯に伴なう温泉が、いま述べた2つの型に分かたれる例は、筋湯・大岳の他に、宮城県鬼首、鹿児島県湯島地方の丸尾・手洗、秋田県皆瀬・秋の宮等の温泉で知られており、その他の火山性温泉について、噴気・温泉の分布をみると、噴気地帯の外側に熱水性の温泉地帯を伴なう場合が少なくない。

II. 3 Cl^- 固定帯の想定とその意義

前項で述べたように、噴気地帯に伴なう2つの型の温泉も、成因的には一元的な繫りにあると考えられるので、大岳・筋湯温泉地帯における噴気ガスなし天然蒸気と地下水との関係をさらに立ち入つて考えてみると次のように説明することができる。すなわち、岩漿から発散した揮発性成分が、深部まで浸透した地下水に吸収され、水蒸気の凝縮に伴なつて潜熱を発生すると同時に、この潜熱によつて加熱された地下水は、 HCl はじめガス成分を溶解して酸性となる。遊離塩酸を含む強酸性の温泉は、酸性のまま湧出するか、または湧出の過程で岩層と接触して中和され、熱水性温泉の性質を帯びるようになる。このように、火山性温泉の生成には、火山性エマネーションと、この揮発性成分を吸収するまで深く浸透した地下水の存在を前提とする。そして、さらに両者の関係については、深部からのエマネーションと深部まで浸透した地下水とがある面で熱力学的な平衡を保ち、この状態で地下水中に HCl その他のガス成分が供給されると考えられる。このような状態にあるとすれば、噴気地帯は相対的に外圧の低い地域であるとみなされ、したがつて、噴気

註3) ここで天然蒸気といつたのは、水蒸気 (H_2O)、 CO_2 、 H_2S 等からなる噴気ガスであつて、熱水(高温温泉水)を伴なうものである。

地帯の形成が、外圧としての地下水が少ないことを条件とするのであれば、岩漿からのエマネーションの中に含まれる HCl は、その上昇過程で熱化学的な因子として接触する岩層に作用し、蒸気(あるいは気相)圏内であつても、難揮発性の塩化物として固定される可能性が考えられる。いかえると、噴気あるいは Cl⁻ に乏しい地下水性温泉を伴う噴気地帯では、ある深さにいわず Cl⁻ 固定帯といふものの存在が想定されるのである⁵⁹⁾。

この固定された Cl⁻ がそのまま塩類の形で変質帯の中に残留するものか、あるいは地下水によつて洗い流されてしまうものかという点については、なお、充分明らかでない。しかし、火山性の温泉が噴気ガスないし天然蒸気と、地下水との熱力学的な平衡状態に関連あるものとすれば、たとえ固定された Cl⁻ が変質帯の中に塩類の形で残留する場合でも、結局、より深くまで浸透した地下水によつて洗い流されてしまう可能性が強い。第三紀火山活動に関連ある温泉の中で、変質帯から湧出する温泉のあるものが、高い Cl⁻ 含量で特徴づけられることは、いま述べたことがらを暗示するように見える。また、火成源の高鹹泉のあるものには、半深成岩下の閉鎖的な環境で生成されたとみなされるものもあり、これらの温泉現象は、結局、この固定された Cl⁻ が長く岩層中に残留する場合の可能性をうらがきしている。このように、Cl⁻ 固定帯想定の意味は、第四紀火山性温泉のみならず、第四紀以前の火成源温泉を含めて、温泉全般の成因を系統的に考察するうえで、きわめて重要な手掛りを与えるものとみなされる。

II. 4 一温泉地帯の Cl⁻ 含量の分布とその規則性

第四紀火山地帯の変質帯は、噴気作用とそれに伴う温泉水によつて生成されたものが大部分を占める。噴気地帯に伴う温泉水の型が2つに分かたれることはすでに述べたとおりであるが、一般に、変質地域に伴う温泉水の Cl⁻ 含量の分布をみると次の2つの場合に当ることが多い。1つは、中心ほど Cl⁻ 含量が高く、外側に移るほどその含量が減少する場合であり、他の1つは、中心ほど逆に Cl⁻ 含量が低く、外側ほどむしろ含量が増大する場合である。前者の例は、火山性温泉の中で Cl⁻ 含量の高い酸性泉に多く、群馬県万座をはじめ、秋田県玉川、青森県忍山、大分県海老野等の温泉がこれに相当する。後者の例は、現在なお噴気地帯を形成する地域に多くみられ、鹿児島県霧島地方丸尾、宮城県鬼首、大分県筋湯・大岳等を挙げることができる。

III. 先第四紀火成源温泉の特徴

第四紀以前の火山活動ないし火成活動に関連ある温泉と認められるものは、前述のように第三紀火山岩に伴う温泉と、第三紀および中生代の深成岩・半深成岩に伴う温泉とが挙げられる。

このうち、第三紀火山岩に伴う温泉は、おもに石英粗面岩を湧出母岩とし、変質帯を伴うかあるいは石英粗面岩自体が自己変質しているのが一般である。この第三紀火山岩に伴う変質現象について次の2つの場合が想定される。すなわち、1つは、第四紀火山地方でみられる変質帯と同じように、天然蒸気が地表あるいは地表浅部に接近し、その噴気作用によつて変質帯が形成される場合であり、他の1つは、岩漿から発散した揮発性成分が閉鎖的な環境で凝縮熱水化し、その後地殻変動によつて生じた裂か・割れ目のため外圧が低下した結果、二次的に沸騰現象が生じ、この裂か・割れ目を通じて発散したガス成分のため、とくに表層部に著しい変質帯を形成する場合の2つである。

第三紀火山岩に伴う変質帯の生成が、このいずれによるか明らかでないが、変質帯に伴う温泉の多くが、高い塩分含量で特徴づけられる点から判断すると、上記のおおのの場合を通じて、水蒸気の発散のため残留成分がより濃縮するか、あるいは地下水がより深くまで浸透して Cl⁻ 固定帯より Cl⁻ を溶解するか、のいずれかによつて、このように塩分含量の高い温泉が湧出するに至つたと考えられ、この点、第四紀火山性温泉に比べ、著しい特徴を示すゆえんとみなされる。

次に、第三紀および中生代の深成岩・半深成岩に伴う温泉であるが、これを通じて共通的に認められる特徴は、やはり塩分含量の高い温泉が存在することである。もちろん、これらの温泉のあるものは、変質帯から湧出するが、この場合の変質帯の形成は、すでに地表近くまで到達した天然蒸気によるものではなく、半深成岩下で凝縮熱水化した温泉水が、地殻変動によつて生じた裂か・割れ目の生成のため二次的に沸騰

し、この時生じたガス成分のためとくに表層部に著しい変質帯が形成されたと解される。したがって、このような地域から湧出する火成源高鹹泉も、残留成分の濃集に深い繋りがあると考えられる。

IV. 温泉の成因的考察

IV. 1 温泉の成因に関する従来の見解

A. L. Day および E. T. Allen は、ラッセンピーク国立公園の温泉の研究⁽⁸⁾⁹⁾から、次のような見解を発表した。

(1) 温泉は水蒸気 (H_2O)、炭酸ガス (CO_2)、硫黄化合物等からなる噴気 (gaseous emanation) によつて熱せられた循環水である。溶解成分としては、酸性ガスによつて分解された岩石成分を含み、 SO_4^{2-} 含量の多い中性ないし酸性の温泉が大部分である。この成因は、火成岩地域のすべての温泉に共通したものである。

(2) 岩漿から分離した水蒸気は、一般に、臨界温度以下でなければ凝縮することはできない。しかし、G. W. Morey の実験によると、岩漿中の水の蒸気圧は、溶解成分のため低められるので、水蒸気を凝縮させるほど外圧は、むしろ、水蒸気を岩漿中に追戻そうとする。いいかえると、もし、水が岩漿から離れる場合があるとすれば、その状態は、蒸気以外にありえないことになる。したがって、この理論に反ばくしようとするなら、まず、水蒸気から凝縮した熱水がどうして地表までの上昇力をもつかという点を説明する必要がある。これらのことから岩漿水が温泉中に存在するなら、それは水蒸気として岩漿から離れ、地表近くの地下水と混じて凝縮したものであり、温泉成分は揮発成分を除き、地下水の浸透深度から上部で溶解したものである。

以上述べた Day および Allen の説に対して、W. Lindgren は、鉱床学の立場から次のような意見を發表した³⁷⁾。

(1) Morey の実験⁴³⁾によると、多くの成分を含む岩漿溶液は、水の臨界温度以上でも液状態を保持するというのであるから、逆に岩漿から分離した流動体もまた、初生的に液相の状態を保持するとみなされる。いいかえると、熱水期が熱気期に続くものであろうと、あるいは熱水溶液が液状態で岩漿から分離する場合であろうと、結局、鉱液の最終段階は液相であると考えられる。

(2) したがって、自然界には2つの型の温泉がある。Day および Allen のいう温泉は、火山性と呼ばれるもので、その起源は、地表浅部の岩漿であつて、噴気ガス (gaseous emanation) によつて生成されたものである。これに対して、鉱床学で取り扱う温泉は、鉱床の成因に関連があり、その性質は、前者と全く異なる。すなわち、常にアルカリ性で僅かの硫酸塩を含み、溶存成分の大成分は $NaCl$ 、 $NaHCO_3$ 、または Na_2CO_3 および SiO_2 である。この型の温泉は常に深部の岩漿に関係があり、地下水の達し得る深さより遙か下方で生成されたと考えられる。

この後、Day および Allen は、さらにイエローストン国立公園の温泉の研究を行ない¹⁾²⁾、その論文の中で、Lindgren の考え方、とくに Mineral Deposits ³⁸⁾ の中の温泉および鉱床の成因論に対してふたたび次のような論評を加えた。

(1) もしすべての温泉が、岩漿性熱水溶液から生成されたとするなら、イエローストンの高温地帯でみられる自然状態の過熱水蒸気の噴出についての合理的な説明が困難である。

(2) もしすべての温泉が、岩漿から上昇したという単純な型のものであるとするなら、たんに稀釈されただけで、イエローストンでみられる2つの型の温泉の説明が困難である。

(3) この2つの異なつた型の温泉に伴う温泉ガスの特徴も、もともと同一の温泉水から導かれたという概念ではうけいられない。また、湧出量の多いアルカリ型温泉の存在する地域は、概して地下水の豊富な地域に当り、一方、硫酸塩型温泉の存在する地域が地下水の少ない急斜面にみられる事実を無視できない。

以上に述べたように、温泉と magmatic emanation との関係について、gaseous emission を重視する Day および Allen の考え方と、liquid state に重点をおく Lindgren の見解との間に、きわめて対立的な相違がみられる。

温泉の生成に関するこの対立的な考え方は、鉱床の成因論についても明瞭な形をとつて現われた。すなわち、1933年、Lindgren Volume に発表された C. N. Fenner¹²⁾, N. L. Bowen⁶⁾, G. S. Ross⁷²⁾, W. T. Schaller⁷⁸⁾ の総括的な論文がこれである。この4人の研究者は、鉱液の分離とその時期、鉱液活動の原動力、鉱物沈殿の条件とその原因、母岩に与える変質作用等について見解を述べたが、主として地質学的見地から問題をとりあげた Ross および Schaller は、結論的に運搬と沈殿をもたらした源は、岩漿固結の末期に由来したアルカリ性の鉱液であると主張したのに対して、Fenner および Bowen は、物理化学的な理論の上になつて、鉱石を作る物質は、酸性ガスとして源岩漿から発散し、その酸性ガスが凝縮して、まず酸性の鉱液となり、結局それが岩石と反応してアルカリ性の液体に転ずると結論した。

これらの見解に対して、L. C. Graton¹⁷⁾ は、上で掲げた項目のおのおのについて詳細な検討を行ない、結論として、地下深所の岩漿から鉱物成分を運搬するガス状の emanation の発生は考え難く、鉱床生成の源は、岩漿末期に分離したアルカリ性高温液体であることを強調し、地表浅部を除き、気成作用は、金属鉱床の生成に重要な意味をもたぬと述べた。

Graton の論文は、それまでの鉱床成因論に対する基礎的な考え方の根拠を述べたものとして注目され、高温交代に始まり、深熱水性から浅熱水性を含む一群の鉱床が、この高温アルカリ性のいわゆる熱水溶液によつてもたらされたという現在でも多くの人によつて支持されている考え方に決定的な役割を果たした。

しかし、最近、H. Schmitt⁷⁹⁾ は、噴気性温泉地帯の諸現象の研究結果から、浅熱水性鉱床の生成環境が、今日、噴気地帯でみられる状態に類似すると推論し、鉱物成分がガス状態で上方に運搬され、それが下降地下水と接触して冷却される付近に、鉱床が生成されるという見解を発表した。Schmitt の論著は、鉱物成分の運搬にさいし、噴気ガスの与る力の小さくないことをふたたび提案したものとして注目される。

次に、現在地表でみられる浅熱水性鉱床と、その近くから湧出する温泉との関係について2、3の人達によつて発表されている意見を述べると次のとおりである。まず、Lindgren³⁸⁾ は水銀・アンチモニー・砒素・金および銀鉱床のように、火山現象に関連あるものは、上昇する熱水によつて地表近くに鉱床が形成され、その一部は温泉として鉱床付近から湧出し、現在でも金および銀を沈殿すると主張している。含金銀鉱脈を形成する温泉の例としては、ニューメキシコの Ojo Calient, コロラドの Wagon Wheel Gap 等の温泉をはじめ、カリフォルニア州の Steamboat 温泉があり、カリフォルニア州の Sulphur Bank でも辰砂の沈殿がみられるという。このように、Lindgren は、主として火山活動によつてもたらされた浅熱水性の鉱化作用は、現在でも温泉の形をとつて地表から湧出し、中熱水ないし深熱水性鉱床に伴なう熱水は、長い時間の経過のため、おそらく元の様相が残らぬほど地下水によつて稀釈されたという見解をとつている。なお、Lindgren は、火山性温泉 (volcanic type) と熱水溶液起源の温泉 (alkalin type) とを成因的に区別しているが、鉱床との関連からいえば、火山性温泉の場合でも、浅熱水性鉱床と全然無関係ではないとしている。

一方、Bowen, Fenner および Schmitt らは、特殊な鉱物成分を運ぶガス体の存在を重視し、このガス体は、岩漿から分離したという考え方にたつ。そして、鉱物成分を運搬するこのガス体が、上昇過程で凝縮し、鉱物成分を沈殿した後、残液が地表に接近して温泉になるという見解をとつており、温泉と鉱液との間にきわめて密接な関係があることを暗示している。とくに Schmitt は、浅熱水性鉱液の起源として揮発性成分の役割を重視し、この種の鉱床は、火山性ガスと下降地下水との接触部の下底で生成されたとし、いわゆる噴気性温泉と浅熱水性鉱床との間に密接な因果関係が存在することを強調している。この点については、最近、D. E. White⁹⁷⁾ が温泉水および温泉沈殿物中に含まれる金属鉱物の研究から、浅熱水性鉱床の生成が、火山性温泉ときわめて密接な関係を有することを指摘している。

このように、温泉と浅熱水性鉱床との関係については、多くの人によつて研究され、討論されているが、最近、火山地方における熱利用の面がとりあげられるに至り、とくに火山性温泉についての研究結果が発表されている。この中で White は、火山性温泉の成因を次のように述べている⁹⁸⁾。すなわち、火山地方の噴気・温泉現象は、岩漿から分離した揮発性成分と地下水との混合する深さに関係があり、この時の温度および外圧の相違によつてあるいは噴気地帯が形成され、あるいは温泉水が湧出するが、火山性温泉の大部分は、密度の大きな水蒸気 (その中に NaCl を含む) から導かれたものである。White は、このような観点から、火山性温泉と非火山地域の温泉とを比較している⁹⁹⁾。火山性温泉を考察するに当つて高い外圧の

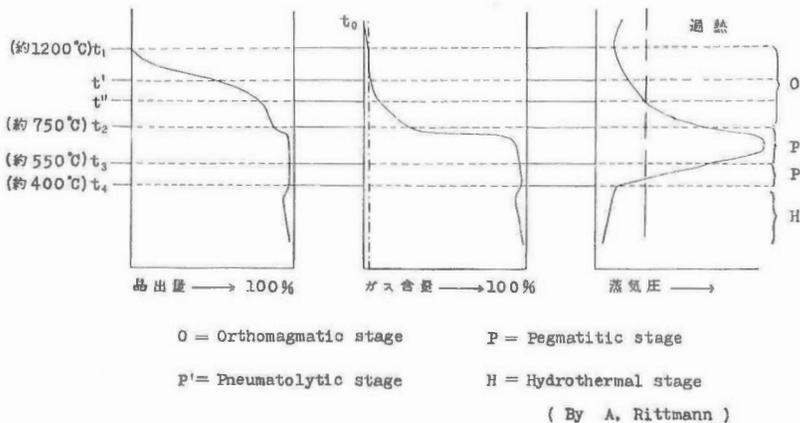
下におかれた水蒸気が高い密度をもち、この状態で地下水中に NaCl を供給するという見解はきわめて注目に値する。

T. F. W. Barth⁵⁾ もまた、アイスランドにおいて温泉・間欠泉の研究を行ない、噴気・温泉の分布と地質構造との関係、噴気・温泉作用による岩石の変質、間欠泉の機構等について検討を加えている。

ニュージーランドにおける地熱開発は、地質・地球物理・地球化学等の総合的な調査研究により、多くの成果を取めているが¹⁰⁾¹⁶⁾⁸⁰⁾⁸²⁾⁸³⁾、酸性火山岩を熱源とするこの国の地熱地帯に対し、イタリー・ラルデレロの地熱は第三紀花崗岩を熱源とするといわれている³⁹⁾。わが国でも地熱開発を目的とし、2, 3の地域で調査を進めているが、最近、V. V. Ivanov²²⁾ は、カムチャツカ半島、千島列島における噴気・温泉の研究を総括し、この地域の温泉と火山活動との関係を次のように述べている。すなわち、この地域の温泉は、いずれも最新の火山活動と関連があり、火山ガスと循環水との混合により生成されたものであるが、酸化圏内で生成された浅い温泉と、還元状態で生成された深い温泉の間には、ガス成分・温泉成分のうえで著しい特徴がみられる。このうち、深部で生成された温泉のあるものは、浅熱水性鉱床を作る鉱液に類似し、適当な条件の下では Fe, Al, As, Mn, Cu, 等を沈殿する。Ivanov もまた、温泉の生成に関与する地下水の影響を重視しているが、地下水存在の下で生成されたいわゆる熱水が、温泉活動のみならず、浅熱水性鉱床生成の母体としてきわめて大きな役割を有することを暗示する点で、興味ある問題を提起しているといえることができる。

IV. 2 第四紀火山性温泉の成因的考察

岩漿から分離した揮発性成分が、現に活動を続ける火山の火口から発散し、あるいは噴気地帯の天然蒸気として出現するほか、地下水に吸収されて温泉成分となり、あるいは古い変質帯から濃度の高い温泉成分と

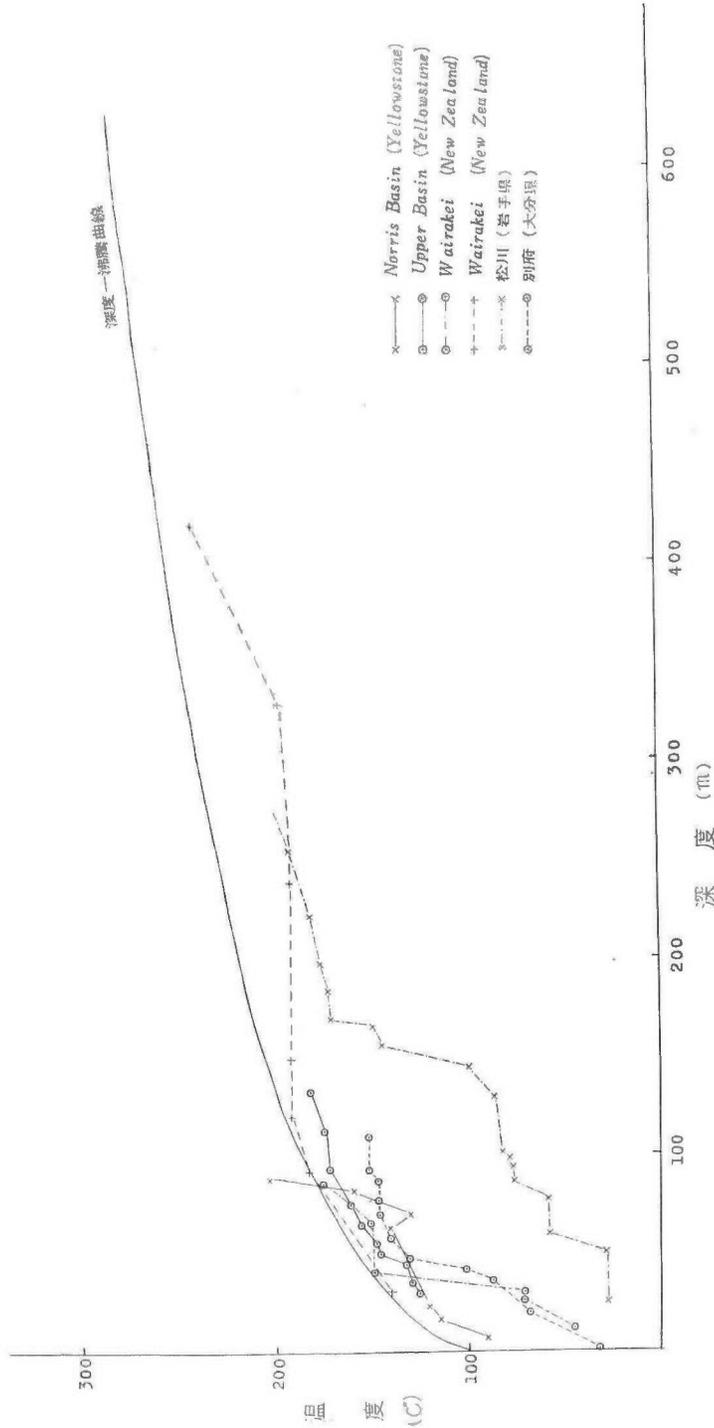


第 60 図 岩漿の固化に伴う状態変化図

して湧出する等の現象は、岩漿の深さ、発散物の温度、地下水の滲透深度、地質構造等の種々の組合せからなる温泉活動のあらわれとみなされる。岩漿から分離した揮発性成分がどのような物理的な変化を辿るかという点については、しばしば P—T ダイアグラムによつて表現されている。第 60 図は中程度の深さに位置する岩漿から分離した揮発性成分の濃度と蒸気圧の変化を示したものであるが、この状態図はもともと閉鎖系 (closed system) における状態の変化を示したものであるから、第四紀火山地方の噴気・温泉現象を考察する場合には、この図を直接あてはめてみるわけにはいかない。いいかえると、第四紀火山性温泉の場合には、外圧として作用する因子が、閉鎖的な岩層というよりむしろ地下水であり、この地下水圧の変化によつて揮発性成分の濃度、蒸気圧がどのように変わり、また、一方、地下水にどのような変化が生じるかという点が問題になる。

この場合、揮発性成分と地下水と接触する深さは場所によつて一定しない。これは、結局、揮発性成分の蒸気圧と地下水圧との相対的な関係によつて決定される。第 61 図は噴気地帯、高温温泉地帯で行なつた試すの孔底温度と深度との関係を示したものであるが、この図をみると、場所によつてはこの温度曲線が深

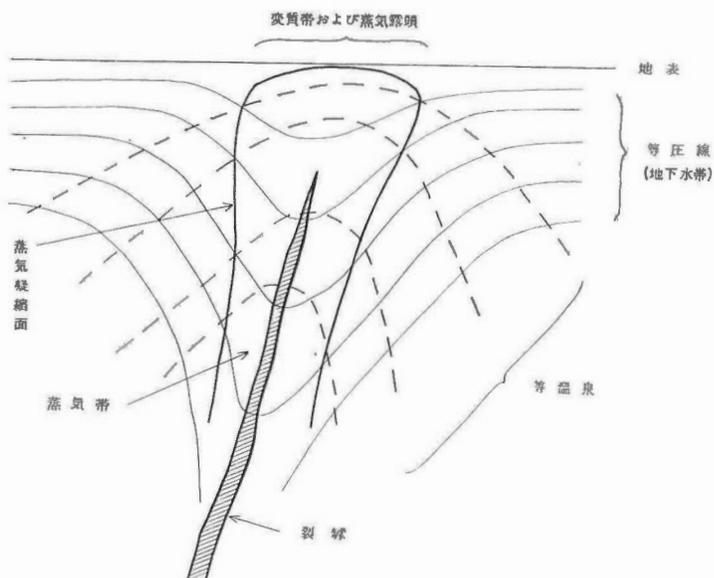
度—沸騰温度曲線に非常に接近しているものがある。この深度—沸騰温度曲線というのは、水柱 10m を 1 気圧とみて、水圧の増加に伴う水の沸騰温度をつらねた曲線であり、いわば水と蒸気（液相と気相）の境界線に当るものである。したがって、液相の温度が水の臨界温度 374 C に達しなくとも、蒸気圧が地下水圧を凌駕する場合には、天然蒸気として地表浅部に接近することができる。いいかえると、相対的に外圧が小さ



第 61 図 深度—孔底温度相関図

な地域では揮発性成分が気相の状態地表近くまで到達できることを示している。この実例は、第 61 図の深度—温度曲線で示したように、米国イエローストン国立公園の Norris basin¹¹⁾ がそれであり、わが国でも、別府・湯之野・松川をはじめ、第四紀火山地方の噴気地帯の多くはこの例に相当するものと思われる。

一方、地下水がある深さに存在し、外圧として揮発性成分に作用する場合、揮発性成分と地下水とはどのような関係をとるかという点についてであるが、この問題には多くの要素が入るので簡単に取り扱われないが、きわめて単純化して考えると、揮発性成分の蒸気圧が地下水圧を凌駕して、上で述べたように地表近くまで天然蒸気の状態を保持するか、あるいは逆に揮発性成分の蒸気圧が地下水圧に抑圧され、地下水帯の下底付近までその接触面が引下げられる場合に集約される。第 62 図はその中間の状態を模式的に示したもの



第 62 図 天然蒸気—地下水模式相関図

であるが、このような場合は両者の平衡関係からみれば不安定な状態であつて、揮発性成分の温度が下り蒸気圧が低下すれば、その接触面は直ちに地下水帯の下底まで後退するであろう。

このように、揮発性成分と地下水とがある深さで接触する場合、両者がどのような物理状態にあるかという問題に関連して、第 44 表に掲げたのは、高温、高圧下における蒸気および水のエンタルピーと密度を示したものである⁸³⁾。この結果をみると、かりに両者の接触部における温度が 200°C とすれば、水の密度は 0.83g/l となり、 4°C の場合に較べ約 20% 軽くなる。一方、蒸気の方は 0.0079g/l となり、 100°C の場合に較べ 13% 程度密度が増大する。この傾向は、温度が高くなるほど著しくなり、臨界温度付近ではかなり密度の高い蒸気が存在することになる。

一方、揮発性成分と地下水との化学的な関係であるが、噴気地帯が地下水の影響を受け、温泉地帯へ移行する場合、地下水の浸透がより浅い時には Cl^- を含まず、より深くまで浸透するに作らない Cl^- を含む傾向があることはすでに述べたとおりである。この傾向から判断すると、温泉化した地下水に供給される Cl^- はもともと揮発性成分として含まれるものであつて、地下水がある深さ以下に浸透した時、地下水に供給されたものとみなしうる。この場合も、地下水に抑圧された揮発性成分(おもに水)の蒸気圧は、その温度に応じ、第 44 表に掲げた密度、エンタルピーを有するはずである。この揮発性成分中の Cl^- が、塩化水素のようなガス状態にあるか、あるいは塩化物として存在するか、なお充分明らかでないが、高圧下における水蒸気の密度が 100°C 、1 気圧の場合に較べ、むしろ水の密度に接近する傾向があることを考えると、この高い密度の蒸気中の Cl^- は、一部、塩化物の形で溶存する可能性がある⁹³⁾。地表近くに接近した天然蒸気は、

第 44 表 Properties of Saturated Steam and Water

	Temp. (°C)	Density (g/cc)	Enthalpy (Cal/g)
Water :	100	0.96	100
	200	0.83	203
	300	0.71	321
	360	0.55	423
Steam :	100	0.00060	640
	200	0.0079	667
	300	0.045	650
	360	0.100	590

Studd, F. E. : New Zealand Jour. Sci. Tech., Section B,
Vol. 38, No. 6, 1956

より深部の圧縮された蒸気に比べ、開放的に容積が膨脹し密度もより小さいとみなされるので、この浅い天然蒸気の中に Cl^- が乏しいという理由もより深部の、より密度の高い蒸気の中に Cl^- が塩化物として固定された結果、気相の水蒸気から除外されたためと解される。

IV. 3 先第四紀火成源温泉の成因的考察

前述のように、第四紀火山性温泉の成因は気相状態にある揮発性成分と、外圧として作用する地下水の存在に深い関連がある。したがって、深部の岩漿付近における揮発性成分の温度はなお臨界温度以上にあり、第59図で示した t_3-t_4 の状態を維持するものと思われる。

第四紀以前の火成活動に関連ある温泉の場合においても、揮発性成分の温度が高く、外圧としての地下水圧を凌駕する時には、第四紀火山性温泉と同型式の温泉が存在するはずである。イタリアのラルデレロ地方の天然蒸気³⁹⁾が第三紀花崗岩を熱源とするといわれるのは、この実例の一端を示すものである。

しかし、わが国では第四紀以前の火成活動に関連ある天然蒸気が直接噴気露頭を形成する実例は知られていない。むしろ、この旧い変質帯から湧出する温泉は、 Cl^- 、 HCO_3^- をはじめ、 H_2S 、 CO_2 等の成分で特徴づけられ、しかも第四紀火山地方の変質帯の場合のように遊離硫酸あるいは遊離塩酸を含むものがほとんどない。

この旧い変質帯の生成については

- 1) 第四紀火山地方の変質帯と同じように、地表浅部まで達した天然蒸気の噴気作用による場合
- 2) 閉鎖的な環境で、凝縮熱水化した揮発性成分が、その後の地殻変動のため外圧が減じ、二次沸騰によって気化したガス成分がとくに表層部付近に変質を与えた場合

の2つの場合が考えられる。このいずれであるかの判定は困難であるが、これらの温泉を通じて共通的にみられる現象は、前述のように高い Cl 含量で特徴づけられることである。旧い変質帯に伴う温泉が、なぜこのように高い塩分含量を有するかという点については、一応次のように考えられる。すなわち、噴気地帯に伴う温泉の大部分は、地下水と接触する天然蒸気から熱と成分の供給をうける。しかし、この場合、塩化物等の難揮発性成分は大部分密度の高い水蒸気中に溶解するか、固体の塩化物として岩層中に固定されるため、地下水中に供給される成分は、 CO_2 、 H_2S 等の揮発性のもので特徴づけられる。この状態で揮発性成分の温度が下り、臨界温度以下に低下するなら、この高い密度をもつ蒸気はさらに凝縮し、塩化物その他

の揮発性の塩類を含むようになる。また、もともと閉鎖的な環境におかれた天然蒸気の場合でも、臨界温度以下に温度が低下することによって熱水化し、塩分含量の高い液相に変化することはいま述べた場合と同様である。このように、古い変質帯から湧出する温泉は、いま述べたような過程を経て、塩分濃度の高い水溶液に転じたいわば残留熱水溶液が、地下水を混じて地表に到達したものとみなされるのである。

この古い変質帯に伴う温泉の中で、最も注目を引くのは、兵庫県有馬温泉である。この区域は中心に強食塩泉が存在し、その周辺に炭酸泉が分布する。湧出母岩の石英粗面岩は白色に変質するが、この変質作用は強食塩泉に含まれる炭酸ガスの発散とその腐食によるものである。この強食塩泉の Cl^- 含量は、 43g/l というきわめて高い値をとり、しかも、試すいのコアの中に閃亜鉛鉱・亜鉛鉱・黄鉄鉱および菱鉄鉱等の見事な結晶を含む。また温泉ガスは50%以上の水素ガスを含むことも注目に値する。さらに、この強食塩泉は、地表浅部で上記の炭酸泉の混入をうける以外、とくに深部で地下水の影響をうけた形跡はない。

これらの特徴から判断すると、有馬の強食塩泉は、閉鎖的な環境で熱水化したいわば残留熱水性温泉の最も代表的な型に相当するものとみなされる。と同時に、ある種の浅熱水性鉱床の生成に類似の状態を示すことも、きわめて注目に値することがらの1つであろう。

有馬温泉は、第四紀以前の火成源温泉を代表する端的な実例であるが、他の温泉においても、たとえば中生代花崗岩に伴う強食塩泉もほぼ同じ機構で生成されたものと思われる。また、第三紀火山岩、深成岩に伴う温泉の場合でも、比較的低温でしかも Cl^- 含量の高い温泉は有馬と類似の環境で生成されたことを暗示する。しかし、広大な変質帯に伴う温泉、あるいは比較的 Cl^- 含量低く、かつ温度の高い温泉は、いま述べた機構によって生成されたかどうか判然としない。

第四紀火山性温泉は、なお気相状態にある揮発性成分と地下水の存在によって生成され、これに対して第四紀以前の火成源温泉は、すでに熱水溶液化した揮発性成分にその起源を仰ぐものが多く、その端的な例は、有馬温泉で代表されるとみなされるのである。

V. 温泉と地質構造との関係

温泉の湧出には、温泉水の上昇しやすい部分が選ばれると考えられるので、温泉とその地域の地質構造と関係あることは、各論で述べた多くの例から明らかなることである。このうち、第四紀火山地帯の噴気・温泉は、一般に熔岩・火山砕屑物等に覆われた地域に存在するため、直接、構造との関係がつかまれないものもあるが、これらの地域において、温泉の分布が側火山の配列、爆裂火口の方向あるいはそれらに平行する傾向があることからみて、火山の基盤構造に支配されていることは察するに難くない。ただ、これらの地域においては、緻密な熔岩がうけ盤となり、その上の透水層ないし帯水層に沿って温泉水が流動する場合もある。この例は、富士山麓の富士吉田市猫穴・伊豆大島元町等で知られているが、最近、北海道川湯温泉について詳細な調査研究が行なわれている⁴⁵⁾。この火山地方における温泉の存在状態は、火山地方以外の一般の温泉にも適用されるものであつて、大別すると、温泉は岩層の裂か・間隙から湧出するものと、孔隙率の高い帯水層内に貯溜されるものとに分かれる。前者は裂か泉あるいは脈状泉といえるもので、温泉の基本的な存在状態を代表するものである。後者は、この裂か・間隙に沿う温泉が、基盤岩層を覆う火山砕屑物・沖積層・洪積層・第三紀層内の帯水層に貯溜されるもので、層状泉といえる型である。

いま述べたように、温泉の存在状態は、各地域の地質条件に支配され、裂か泉ないし脈状泉の場合でも岩層の堅さの程度、帯水層の有無等によってその存在型式は必ずしも一律でない。たとえば、伊豆半島における1, 2の温泉を例にとつてみると、第三紀湯ヶ島層群の堅硬な凝灰角礫岩を湧出母岩とする湯ヶ島温泉では、 $\text{N}20^\circ\text{E}$ 方向に発達する顕著な裂か帯から湧出し、この裂か帯からははずれた地域では温泉の湧出をみない。一方、湯ヶ島層群上位の白浜層群の凝灰岩・砂岩・泥岩を湧出母岩とする古奈・長岡温泉では、 $\text{N}40^\circ\text{E}$ 方向の撓山軸に沿って温泉が上昇し、この温泉が帯水層内に貯溜され、かなり広い範囲にわたって温泉が存在する。なお、修善寺温泉では湯ヶ島層の凝灰岩の傾斜の面に沿って温泉が上昇するといわれている⁷⁶⁾。長野県浅間温泉では第三紀内村層の砂岩・泥岩互層を切る破碎帯が温泉の上昇を導き、この破碎帯に沿う温泉が、砂岩・泥岩互層内に挟在する堅い熔岩の下あるいは上のザク層中に貯溜される例も知られている。さらに、第三紀層の分布地域で地下に潜在する火成岩内に温泉が貯溜される場合もあり、この例は新潟県瀬波・

六日町における試すいの結果から明らかにされた。

層状泉の場合も、多くは裂か泉との組合せであつて、帯水層を挟在する地層の厚さ如何によつてその性格が規定される。火山地方の帯水層を流動する温泉、油田地帯の含油層に伴なう温泉は、むしろ火山地方の地下水、油田地帯の含油層・ガス層自体とみなされる。これに対して、那珂平、河岸の周辺に発達する沖積層・洪積層内に貯溜される温泉は、基盤岩層の裂か・間隙から上出した温泉に直接、関係あるもので、大分県別府、静岡県伊東¹⁴⁾、同蓮台寺¹³⁾、長野県上諏訪、山口県湯田¹¹⁾等で知られている。また第三紀層内の帯水層に貯溜される例として常磐炭田坑内温泉がある。

地表浅部の地質条件により、温泉の存在状態が層状泉の形態をとることはいま述べたとおりであるが、基本的に温泉の湧出を決定する要素は、岩層内に発達する裂か・間隙にあるといつてよい²⁹⁾。したがつて、温泉の生成が、火山活動ないし火成活動と関連があり、火山活動、火成活動と因果関係のある構造運動は、また、温泉湧出地域における裂かの発達を勝起する。温泉湧出と地質構造との間に不可分の関係が存在するゆえである。

第四紀火山地帯における噴気・温泉活動と地質構造との関係は、変質帯の分布とその方向性によつて示される。大分県大岳・筋湯温泉では北西～南東方向に噴気活動が移行した形跡を残し、鹿児島県霧島温泉では南西～北東方向に噴気活動の時期がより新しくなることもこの例を示すものである。これらの地方は、第四紀の熔岩・火山碎屑物に覆われるため基盤構造は明らかでないが、噴気活動に伴なうこれらの変質帯の方向は、基盤内の構造的弱帯を示すものとみなされる。一方、基盤岩層に発達する各地域の裂か・間隙の方向をみると、その地域の一般的構造方向に従う場合が多い。たとえば、フォッサマグナの東部地域では、北東および北西の2方向の裂かで代表されるが、群馬県四方温泉ではこのうち北東方向、伊豆半島でも古奈・長岡、修善寺、大仁、湯ヶ島等の温泉は、この北東方向の裂かに伴なう。とくに、伊豆半島では北西の方向に金鉱脈が配列することが注目を引く。フォッサマグナ東部地域に発達するこの2方向の裂かのうち、北西方向のものはより旧く、北東方向の裂かがより新期に生成されたことを併せ考えると、裂かの生成時期と火山活動ないし温泉活動との間に密接な繋りがあることを暗示するようにみえる。この問題に関連して、地方的な単位で温泉の分布あるいは温泉と関連ある火成岩の分布をみると、その方向は必ずしも各湧出地域の裂かの方向と一致しない場合がある。これは熱源としての火山ないし火成岩の存在を支配する深部の構造の相違によるものと思われるが、このうち、地域的な浅い構造は、地表で観察される節理・裂か・断層・背斜軸・破碎帯等であり、深部の構造は、おもに第三紀以降の火山活動の場を支配する日本島弧の基盤構造に繋るものとみなされる。したがつて、わが国の温泉の大部分が第三紀以降の火山地帯に伴ない、島弧に沿つて広く分布するもの、この深部構造および熱源の存在に支配されることによると解されるのである。

VI. 総 括

(1) わが国の温泉は、湧出地域における火山岩ないし火成岩との関連のうまから、第四紀火山性温泉、第四紀以前の火成源温泉とに分かたれる。前者は第四紀火山活動に関連ある温泉で第四紀火山周辺の噴気地帯に伴なう温泉がその代表的なものである。後者は、第三紀火山岩、深成岩・半深成岩に伴なう温泉と中生代花崗岩に伴なう温泉を含む。このうち、第三紀火山岩に伴なう温泉は、おもに石英粗面岩を湧出母岩とし、第三紀の火山岩地帯に点在する。第三紀深成岩・半深成岩に伴なう温泉は、紀伊半島の石英斑岩およびフォッサマグナ東部地域の石英閃緑岩・玢岩の分布地域に存在する。中生代花崗岩に伴なう温泉の例は少ないが、強い放射能を有する食塩泉がこれに相当する。これらの第三紀および第三紀以前の温泉に関連ある火成岩が、いずれも酸性のものであることは注目すべきことからである。

(2) 第四紀火山性温泉の諸性質は、なお氣相状態にある揮発性成分と地下水の存在によつて規定され、噴気地帯に伴なう温泉水の化学成分にその特徴が現われる。すなわち、岩漿から発散する揮発成分が、噴気ガスあるいは天然蒸気として地表に接近する時、地域的に HCl ガスを含む場合と、ほとんど Cl⁻ を含まない場合がある。噴気ガスにおける Cl⁻ の消長は噴気地帯に伴なう温泉水の性質にも現われ、一般に地下水の滲透が浅い部分に限られる温泉では Cl⁻ を含まず、地下水がより深く滲透する場合の温泉が Cl⁻ を多量に含む傾向がある。この関係から、噴気地帯のある深さ以下では地下水に溶解される Cl⁻ 固定帯の存在が想

定される。すなわち、噴気地帯あるいは変質帯に伴なう温泉水の Cl 含量は地下水の浸透深度に関係がある。

(3) 第四紀以前の火成源温泉の特徴は、一般に Cl⁻, HCO₃⁻, H₂S, CO₂ 含量が高いことである。これらの温泉に伴なう変質帯の生成については、初生的な天然蒸気による場合と、半深成岩下で凝縮熱水化した高温温泉が裂か、割れ目の生成により二次沸騰で気化した水蒸気およびガス成分による場合とが考えられる。このいずれであるかは明らかでないから、変質帯に伴なう温泉の多くが低い塩分含量で特徴づけられる点から判断すると、水蒸気の発散のため残留成分がより濃縮したか、あるいは地下水がより深くまで浸透し Cl⁻ 含量の高い熱水を混合したかのいずれかによると考えられ、この点、第四紀火山性温泉に較べ著しい特徴を示している。

(4) 火山性温泉の成因は、深部においてなお臨界温度以上にある揮発性成分と、外圧として作用する地下水の存在が要素であり、熱源の深さ、地下水の浸透深度の相対的な関係により、その湧出の位置と温泉水の化学性が決定される。なお、高圧下における水蒸気の密度は、100°C、1 気圧の場合に較べより値が増大することが報ぜられており、この結果を考えに入れると、揮発性成分に含まれる Cl⁻ は塩化物の形で高い密度の水蒸気に溶解し、外圧として作用する地下水に供給される可能性がある。

これに対して、第四紀以前の火成源温泉の成因は、すでに臨界温度以下に温度が低下した揮発性成分が、塩化物はじめその他の塩類を含む水溶液として湧出するものと認められる。とくに、兵庫県有馬温泉は、この熱水化した火成源温泉の代表的なものとなされ、43g/l 以上という高い Cl⁻ 含量を含むこと、温泉ガスに 50% 以上の水素ガスを含むこと、湧出地域に方鉛鉱・閃亜鉛鉱等の硫化鉱物を含むことなどは、数多いわが国の温泉の中でも他に類をみない。この有馬温泉は、石英粗面岩岩漿から発散した揮発性成分が閉鎖的な環境で臨界温度以下に温度が下り、熱水化したものと思われ、その環境がある種の浅熱水性鉱床の成因を暗示する点で注目される。中生代花崗岩を湧出母岩とし、強い放射能を有する食塩泉も類似の環境で生成されたとみなされるが、いずれも温度低く、熱水そのものが冷却したことを暗示する。これに対して、第三紀深成岩・半深成岩に伴ない、凝縮熱水が二次沸騰で湧出するとみられる温泉の中には、なお沸騰点に達するものがあり、これらの温泉についてはまだかなりの温度を保持していると解される。

(5) 温泉の存在状態は、地表浅部の地質条件に支配され、大別すると層状泉と裂か泉ないし脈状泉に分かたれる。裂か泉ないし脈状泉は温泉の基本的な存在状態を代表するが、層状泉は地層中の帯水層を満たすもので、火山地帯・油田地帯をはじめ、さらに沖積層・洪積層の分布地域でも認められる。温泉は熱源を必要とし、したがってその生成が、火山ないし火成活動に関連があり、その湧出は、火山活動に因果関係の深い地質構造およびその活動によつて生成した裂か等に深い関係を有する。

各地域に発達する裂かの方向はその地域の構造的方向に従う。伊豆半島を例にとつてみると、ここでは北東方向と北西方向の裂かが発達し、このうち、より旧期に生じた北西方向の裂かには金鉱脈が配列し、より新期の北東方向のものに温泉が伴う傾向がある。この関係は、裂かの生成時期と火山活動との間に密接な関連があることを暗示するが、この問題に関連して、温泉の分布ないし火成岩の分布が、各湧出地域の裂かの方向と必ずしも一致しない場合がある。これは熱源としての火成岩の存在を支配する深部の構造と、直接温泉を地表へ導く浅部の構造によるものとみなされる。このうち、深部の構造は、第三紀以降の火山活動の場を支配する日本島弧の基盤構造につながるものと思われ、わが国の温泉の大部分が、第三紀以降の火山地帯に伴ない、島弧に沿って広く分布するもの、この深部の構造とこの構造帯に位置する熱源の存在によるものと解される。

文 献

- 1) Allen, E. T. & Day, A. L. : Hot Springs of the Yellowstone National Park, Carnegie Inst. Washington Pub., 466, 1935
- 2) Allen, E. T. : Geyser Basin and Igneous Emanation, Econ. Geol., Vol. 30, No. 1, 1935
- 3) 安藤 武・渡辺和衛 : 岩手県松川温泉地熱調査報告, 地質調査所月報, Vol. 8, No. 10, 1957

- 4) 安藤 武：三瓶地区温泉源調査報告，島根県，1957
- 5) Barth, T. F. W. : Volcanic Geology, Hotsprings and Geysers of Iceland, Carnegie Inst. Washington Pub., 587, 1950
- 6) Bowen, N. L. : The Broader Story of Magmatic Differentiation, Briefly Told, Amer. Inst. Min. Metall. Eng., Part II, Chap. III, 1938
- 7) 千谷好之助：本邦油田における温泉，地学，Vol. 38, No. 450~454, 1926 ; Vol. 39, No. 455~456, 1927
- 8) Day, A. L. & Allen, E. T. : The Source of the Heat and the Source of the Water in the Hot Springs of the Lassen National Park, Jour. Geol., Vol. 32, No. 3, 1924
- 9) Day, A. L. & Allen, E. T. : The Volcanic Activity and Hot Springs of Lassen Peak, Carnegie Inst. Washington Pub., 360, 1925
- 10) Ellies, A. T. & Wilson, S. H. : The Heat from the Wairakei Taupo Thermal Region Calculated from the Chloride Output, New Zealand Jour. Sci. Tech., Sec. B, Vol. 36, No. 6, 1955
- 11) Fenner, C. N. : Bore-Hole Investigation in Yellowstone Park, Jour. Geol., Vol. XLIV, No. 2, 1936
- 12) Fenner, C. N. : Pneumatolytic Process in the Formation of Minerals and Ores, Amer. Inst. Min. Metall. Eng., Part II, Chap. III, 1938
- 13) 福富孝治・中田正一：南伊豆蓮台寺温泉について，震研彙報，No. 13, 3冊，1935
- 14) 福富孝治・藤井次郎：伊豆伊東温泉について，震研彙報，No. 15, 2冊，1937
- 15) 福富孝治・須川明・藤木忠実：川湯温泉の地球物理学的研究，北大地球物理学研究報告書，No. 4, 1956
- 16) Grange, L. I. : Geothermal Steam for Power in New Zealand, D. S. I. R. Bull., 117, 1955
- 17) Graton, L. C. : Nature of the Ore-Forming Fluid, Econ. Geol., Vol. XXXV, No. 2, 1940
- 18) 原田久・山田太郎・近藤信興他：地熱発電試験研究報告書（第1集），工技庁，1952
- 19) 飯島南海夫：志賀カルデラの地質，信州大教育学部研究論集，No. 7, 1956
- 20) 池田長生：有馬温泉に関する2, 3の知見（第1報）有馬温泉の分布および有明湯に関する一考察，日化，Vol. 7, No. 8~9, 1949
- 21) 稲垣益次・牧真一・中村久由：諏訪湖水位の変化と上諏訪温泉湧出量との関係，温泉科学，Vol. 9, No. 1, 1958
- 22) Ivanov, V. V. : Present-Day Hydrothermal Activity within the Kurile-Kamchatka Island Arc and its Relation to Volcanicity, Bull. Volcanologique, Ser. II, Tome XX, 1959
- 23) 片山信夫・梅沢邦臣：5万分の1地質図幅鬼首および同説明書，地質調査所，1958
- 24) 加藤磐雄・島田景郎：栗駒火山西麓緑色凝灰岩相地域の地質，特に三途川・鬼首盆地の湖成堆積層について，岩鉱，Vol. 37, No. 5, 1953
- 25) 河野義礼・早川正巳・角清愛・佐野渡一：秋田県玉川温泉地質調査および放射能探査報告，地質調査所月報，Vol. 8, No. 7, 1957
- 26) 小林儀一郎：青森県南津軽郡碓ヶ岡温泉調査報文，地質調査所報告，No. 47, 1914
- 27) 小林儀一郎：青森県南津軽郡大鰐・蔵館温泉調査報文，地質調査所報告，No. 47, 1914
- 28) 小林儀一郎：宮城県鳴子温泉の特徴，地学，Vol. 56, No. 661, 1944
- 29) 小林儀一郎：本邦温泉の地質学的分類並びに温泉湧出と地質構造との関係，其の1，地学，Vol. 51, No. 608, 1939; 其の2，地学，Vol. 52, No. 613, 1940; 其の3，地学，Vol. 52, No. 616, 1940; 其の4，地学，Vol. 52, No. 619, 1940
- 30) 小出博・中村久由：徳島県杵谷温泉調査報告，徳島県，1950
- 31) 近藤信興・安藤武他：宮城県海老野地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 10, 1955
- 32) 近藤信興・安藤武他：長崎県雲仙地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 10, 1955
- 33) 近藤信興・中村久由他：鹿児島県霧島地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 10, 1955
- 34) 近藤信興・尾原信彦・藏田延男・中村久由他：姫川地域（新潟県・長野県）応川地質調査報告，地質調

- 35) 高津寿雄・農田英義他: 道後温泉の研究(I), 愛媛大地域社会総合研究所報告, No. 4, 1955
- 36) Kuroda, K.: Strongly Radioactive Springs Discovered in Masutomi, Bull. Chem. Soc. Jap., Vol. 19, No. 3, 1944
- 37) Lindgren, W.: Hotsprings and Magmatic Emanations, Econ. Geol., Vol. XXII, No. 2, 1927
- 38) Lindgren, W.: Mineral Deposits, 1928
- 39) Manzoni, A.: The Steam Vents of Tuscany and the Larderello Plant, 1948
- 40) 益富寿之助・松平康男・三宅泰雄他: 有馬温泉の研究, 有馬炭酸温泉研究所, 1954
- 41) Matumoto, T.: The Four Gigantic Caldera Volcanoes of Kyūsyū, Jap. Jour. Geol. Geogr., Vol. 19, 1943
- 42) 三沢勝衛: 上諏訪温泉地の泉脈について, 地球, Vol. 2, No. 1, 1924
- 43) Morey, G. W.: The Development of Pressure in Magmas as a Result of Crystallization, Jour. Wash. Acad. Sci., Vol. 12, No. 9, 1922
- 44) 村岡 誠: 鹿児島県始良郡霧島粘土鉱床調査報告, 地質調査所月報, Vol. 3, No. 12, 1952
- 45) 中村久由・大和榮次郎: 長野県下諏訪温泉調査報告, 地質調査所月報, Vol. 3, No. 7, 1952
- 46) 中村久由: 長野県下高井郡平穏温泉調査報告, 地質調査所月報, Vol. 4, No. 3, 1953
- 47) 中村久由・安藤武: 常磐炭田坑内温泉水について, 地質調査所月報, Vol. 4, No. 6, 1953
- 48) 中村久由・安藤武: 秋田県後生掛地熱調査報告, 地質調査所月報, Vol. 5, No. 9, 1953
- 49) 中村久由・安藤武: 大分県大岳地熱地帯調査報告, 一特に変質帯と噴気温泉との関係一, 地質調査所月報, Vol. 5, No. 8, 1954
- 50) 中村久由・鈴木孝・前田憲二郎: 秋田県秋の宮・皆瀬温泉調査報告, 地質調査所月報, Vol. 6, No. 11, 1955
- 51) 中村久由・上野三義: 群馬県四万温泉および四万蛭石鉱床調査報告, 地質調査所月報, Vol. 6, No. 6, 1955
- 52) 中村久由・比留川貴: 群馬県万座温泉調査報告, 一特に変質帯と噴気・温泉との関係(2)一, 地質調査所月報, Vol. 8, No. 1, 1957
- 53) 中村久由・鈴木孝: 長野県浅間温泉調査報告, 一特に中信地方温泉群の地域性に關連して一, 地質調査所月報, Vol. 8, No. 2, 1957
- 54) 中村久由・安藤武・大和榮次郎・渡辺和徳他: 静岡県伊豆地方温泉調査報告, 静岡県衛生部, 1957
- 55) 中村久由・前田憲二郎・鈴木孝: 紀州中南部地方温泉群について, 地質調査所月報, Vol. 9, No. 5, 1958
- 56) 中村久由: 温泉の存在状態と地質構造との関係(I), 伊豆古案・長岡温泉の熱構造, 温泉科学, Vol. 9, No. 4, 1958
- 57) 中村久由・前田憲二郎: 本邦高碱泉の温泉地質学的意義, 地質調査所月報, Vol. 9, No. 6, 1958
- 58) 中村久由・前田憲二郎: 鹿児島県山川・指宿温泉の地球化学的考察, 昭和33年度地球化学討論会講演要旨, 1958
- 59) 中村久由: 本邦温泉の地域性について(I), 第四紀火山地帯温泉, 地学, Vol. 67, No. 3(709), 1958
- 60) Nakamura, H.: Geothermal Conditions in the Onikōbe Basin, Miyagi Prefecture, Jour. Jap. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., Vol. 43, No. 3, 1959
- 61) 中村久由: 兵庫県有馬温泉について, 日本地質学会第66年総会講演要旨, 地質, Vol. 65, No. 766, 1959
- 62) 中村久由・前田憲二郎: 宮城県鳴子・中山平温泉調査報告, 地質調査所月報, Vol. 10, No. 3, 1959
- 63) 中村久由・前田憲二郎: 青森県大鰐・碓ヶ岡温泉調査報告, 地質調査所月報, Vol. 10, No. 4, 1959
- 64) 中村久由: 本邦温泉の地域性について(II), 第四紀火山地帯以外の温泉(1), 地学, Vol. 68, No. 2(712), 1959; (2), Vol. 68, No. 3(713), 1959
- 65) 鮫川親治・陶山淳治他: 大分県地熱地帯の電気・放射能・地化学研究調査報告, 地質調査所月報, Vol. 6, No. 10, 1955

- 66) 西島要三：塩素含有量よりみた常磐坑内温泉水に関する一考察，日鉱，Vol. 67, No. 753, 1951
- 67) 野口喜三雄：本邦間歇泉の化学的研究，温泉科学，Vol. 1, No. 1, 1941
- 68) 岡本督・森恒忠：大岳地区の地熱探査，九電研究期報，1958
- 69) 太田良平・中村久由他：大分県地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 6. No. 10, 1955
- 70) 太田良平：5万分の1地質図幅草津および同説明書，地質調査所，1957
- 71) 大塚弥之助・露木利貞・嘉藤良二郎：湯本坑内温泉の研究，地質鉱床と物理探鉱(下)，1950
- 72) Ross, C. S. : Differentiation as a Source of Vein and Ore-Forming Materials, Ore Deposits of Western States (Lindgren Volume), 1933
- 73) 酒井軍治郎：大鱈温泉調査報告，大鱈町，1958
- 74) 坂本峻雄・益子安・佐藤幸二：温泉の地球化学的研究(第4報)伊豆長岡温泉，温泉科学，Vol. 7, No. 4, 1956
- 75) 坂本峻雄・益子安・佐藤幸二：温泉の地球化学的研究(第5報)四万温泉，温泉科学，Vol. 8, No. 1, 1957
- 76) 佐藤幸二：伊豆修善寺温泉地域の地質および温泉，地質，Vol. 65, No. 762, 1959
- 77) 沢村孝之助・松井和典：5万分の1地質図幅霧島および同説明書，地質調査所，1957
- 78) Schaller, W. T. : Pegmatites, Lindgren Volume, 1933
- 79) Schmitt, H. : Origin of the "Epithermal Mineral Deposits", Econ. Geol., Vol. 45, No. 3, 1950
- 80) Schofield, J. C. : Method of Distinguishing New Zealand Sea-Water from Hydrothermal Water, New Zealand Jour. Sci. Tech., Vol. 37, No. 5, 1955
- 81) 瀬野錦蔵・吉川恭三・湯原浩三：湯田温泉調査報告書，山口市，1959
- 82) Stein, A. : Hydrothermal Rock Alteration at Wairakei, New Zealand, Econ. Geol., Vol. 48, No. 1, 1953
- 83) Studt, F. E. : Wairakei Hydrothermal System and the Influence of Ground Water, New Zealand Jour. Sci. Tech., Sec. B, Vol. 38, No. 6, 1957
- 84) 鈴木醇・石川俊夫・鈴木淑夫・大町北一郎：屈斜路地方温泉地質班調査報告，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，No. 14, 1954
- 85) 鈴木醇・石川俊夫・鈴木淑夫・大町北一郎：十勝川温泉の地質班調査報告，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，No. 11, 1956
- 86) 鈴木醇・石川俊夫・鈴木淑夫・勝井義雄：登別温泉地質班調査報告，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，No. 15 1958
- 87) 鈴木醇・石川俊夫・鈴木淑夫・勝井義雄：定山溪温泉地質班調査報告，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，No. 15, 1958
- 88) 鈴木政達：別府付近の地史と温泉脈，地球物理，Vol. 1, No. 1, 1932
- 89) 徳永重康：常磐炭田地内の温泉，地質，Vol. 31, No. 365, 1924
- 90) 露木利貞：和歌山県白浜温泉について，鹿児島大理科報告，No. 1, 1952
- 91) 上治寅次郎：神戸市有馬温泉の地質，鉱産資源報告，No. 4, 1954
- 92) 上治寅次郎：有馬温泉地下における泉塩分布に関する考察，地学，Vol. 67, No. 1, 1958
- 93) 太秦康光・西村雅吉他：青森県温泉の化学的研究，IV. 大鱈・蔵館温泉における泉質分布について，青森県，1948
- 94) 太秦康光・西村雅吉他：青森県温泉の化学的研究，V. 青森県湯の沢温泉の間歇泉について，青森県，1948
- 95) 太秦康光・室住正世：温泉の化学的研究，(第32—34報)，北海道登別温泉(その3～5)，日化，Vol. 76, No. 8, 1955
- 96) 渡辺万次郎：宮城県地熱事業，宮城県商工部，1948
- 97) White, D. E. : Thermal Springs and Epithermal Ore Deposits, Econ. Geol., 50th Anniversary Volume, 1905~1955, Pt. I, 1955

- 98) White, D. E. : Thermal Waters of Volcanic Origin, Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 68, No. 12, Pt. I, 1957
- 99) White, D. E. : Magmatic, Connate and Metamorphic Waters, Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 68, No. 12, Pt. I, 1957
- 100) 八木貞助 : 長野県山の内温泉, 地学, Vol. 44, No. 517~519, 1932
- 101) 吉村信吉 : 上諏訪温泉の泉質分布, 上諏訪温泉研究(その4), 地評, Vol. 8, No. 4~6, 1932

REPORT ON THE GEOLOGICAL STUDIES OF HOTSPRINGS IN JAPAN

By

Hisayoshi Nakamura

Abstract

There are more than ten thousand points of thermal water issue in Japan. Most of them are distributed along the Quaternary volcanic zones included in the so-called green tuff regions where volcanic and igneous activities happened repeatedly since Tertiary age. To know the regional properties of hotsprings in Japan, the writer has engaged in the investigations of geological conditions of hot spring areas, besides geochemical studies of thermal waters.

From the geological and geochemical view points, hotsprings in Japan are divided into the following groups: 1) Quaternary volcanic hotsprings and 2) hotsprings of pre-Quaternary igneous origin which are subdivided into hotsprings of Tertiary volcanic rock areas, hotsprings of Tertiary plutonic and hypabyssal rock areas and hotsprings of Mesozoic granite areas.

Quaternary volcanic hotsprings are situated on the Quaternary volcanic bodies, and are common to have the altered rock areas formed by fumarolic or hydrothermal action. Akan, Noboribetsu, Niseko in Hokkaido; Osoreyama, Suka-yu, Fuke-yu, Goshogake, Matsukawa, Tamagawa, Kawarage, Onikobe, Narugo, Numajiri, Noji, Nasu in Tohoku district; Hakone-Owakidani, Yunohanazawa, Kusatsu, Manza, Tateyama-Jigokudani in central Japan; Beppu, Otake, Aso-Jigokudani, Unzen, Ebino, Kirishima-Yunono and Téarai in Kyushu district are the examples of the hotsprings of the volcanic origin.

Quaternary volcanic hotsprings are sometimes accompanied with fumaroles. Natural fumarolic gases, which occur from these areas, have only CO_2 and H_2S besides vapour, contrary to the strong acidic gases emitted from the active volcanoes and characterized by HCl and SO_2 . When bore holes are made in natural fumarolic areas, two kinds of emission occur; one is emission of superheated steam, the other is emission of hot water mixing vapour. The difference between them may be due to the effect of ground water which acts as the overlying column extending on magmatic vapour. Thermal waters of fumarolic areas are divided into two types, referring to the distribution of Cl^- content; one is the type which has high Cl^- content near the active center of thermal area, the other is the type characterized by rather low content of Cl^- in the same condition. Such phenomena seem to be related to the penetrated depth of ground water.

Hotsprings of pre-Quaternary igneous origin have a tendency to be issued from acidic igneous rocks such as Tertiary rhyolite, granite porphyry, quartz porphyry, quartz diorite and Mesozoic granite. Yunosawa, Hikage, Arima, Senami (rhyolite), Atsushio (porphyrite), Yutanaka, Yamada, Shima, Asama, (quartz diorite and porphyrite), Shirahama, Katsuura, Yunomine (granite porphyry), Masutomi, Yugakai, Ikeda (granite) are the some examples of this group.

Thermal waters issued from these igneous rock areas are characterized by high contents of HCO_3^- and Cl^- , sometimes CO_2 , H_2S and Rn. Furthermore, some areas are accompanied with altered rocks formed by hydrothermal or fumarolic action. However, acidic thermal waters as seen in Quaternary volcanic hot springs are not known. And then, water temperature of this group is, in general, low in spite of high contents of Cl^- , HCO_3^- and other compositions.

These facts suggest that the magmatic emanations, which had been reserved in the moderate condition since the beginning of igneous activities, condensed to hydrothermal solution in which some residues were accumulated, especially Cl^- in haloid which is one of the non-volatile components. The hot springs caused by pre-Quaternary igneous activities, therefore, may be called residual hydrothermal hot springs. Among the hot springs of residual hydrothermal origin, Arima hot spring containing Cl^- twice in content than sea water is regarded as one of the good examples in Japan.

Besides in the above-mentioned hot springs, there are another groups which are distributed on the Tertiary oil fields along the Sea of Japan and on the eastern side of Abukuma plateau. The examples of the former are Senami, Nagaoka, Kashiwazaki and Matsunoyama, and the mine thermal water of Jōban coal field is the only example of the latter. The thermal waters issued from oil fields are more or less characterized by the properties of brine water, though the heat source may be related to the Quaternary or Tertiary igneous activities. As to the original source of mine water in Jōban coal field, the thermal water can be considered to be fossil water or water of igneous origin. It is worthy to note that there are some resemble types of thermal water in the Tertiary igneous rock areas in another region, though this coal field is situated in non-volcanic zone. The kind of heat source is not clear.

The occurrences of these hot springs have an intimate relation to geologic structures in the respective areas. According to the condition near the surface, they are classified into two types; i. e. aquifer type and fissure or vein type. The former is seen in the areas consisting of water bearing materials such as Alluvial or Quaternary deposit areas and volcanic detritus areas, while the later is the primary type of the hot springs. Fissures and cracks, through which thermal waters ascend, are considered to be formed by the movements related to volcanic or igneous activities since Tertiary. Therefore, thermal water issue has a connection with two structural movements; one is the tectonics of Japanese islands related to derivation of volcanic or igneous activity, the other is the areal structures connecting directly with thermal water issue. This is the reason that hot springs in Japan are widely distributed on the volcanic and igneous rock areas and along the volcanic zones since Tertiary.

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報・地質調査所報告等があつたが、今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に改めることとし、その番号は従来地の質調査所報告を追つて附けることにする。そして報告は1報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために次の如くアルファベットによる略号を附けることにする。

- A. 地質およびその基礎科学に関するもの
 - a. 地質
 - b. 岩石・鉱物
 - c. 古生物
 - d. 火山・温泉
 - e. 地球物理
 - f. 地球化学
- B. 応用地質に関するもの
 - a. 鉱床
 - b. 石炭
 - c. 石油・天然ガス
 - d. 地下水
 - e. 農林地質・土木地質
 - f. 物理探鉱・化学探鉱および試錐
- C. その他
- D. 事業報告

The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memoirs, the Bulletin, and the Report of the Geological Survey.

Hereafter, all reports will be published exclusively in the Reports of the Geological Survey of Japan. The Report will be consecutive to the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule, each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- A. Geology & allied sciences
 - a. Geology
 - b. Petrology and Mineralogy
 - c. Paleontology
 - d. Volcanology and Hot spring
 - e. Geophysics
 - f. Geochemistry
- B. Applied geology
 - a. Ore deposits
 - b. Coal
 - c. Petroleum and Natural gas
 - d. Underground water
 - e. Agricultural geology, Engineering geology
 - f. Physical prospecting, Chemical prospecting & Boring
- C. Miscellaneous
- D. Annual Report of Progress

地質調査所報告

第187号

Tanai, T. & Onoé, T. : A Mio-Pliocene flora from the Ningyo-toge area on the border between Tottori and Okayama prefectures, Japan, 1961

第188号

Sano, S. : On the distribution of gamma ray intensity due to natural radioactivity near the earth's surface, 1961

第189号

高橋 清, 砂川一郎, 大津秀夫 : 青森県尾太鉱山の硫化鉱物中の微量成分について, 1961

第190号

地質調査所 : 日本におけるウランの産状 その1, 1961

第191号

Morikawa, R. & Isomi, H. : Studies of Permian fusulinids in the east of lake Biwa, central Japan, 1961

REPORT, GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

No. 187

Tanai, T. & Onoé, T. : A Mio-Pliocene flora from the Ningyo-toge area on the border between Tottori and Okayama prefectures, Japan, 1961 (in English)

No. 188

Sano, S. : On the distribution of gamma ray intensity due to natural radioactivity near the earth's surface, 1961 (in English)

No. 189

Takahashi, K., Sunagawa, I. & Otsu, H. : Minor constituents in sulphide minerals from the Oppu mine, Aomori prefecture, 1961 (in Japanese with English abstract)

No. 190

Geological Survey of Japan: Natural occurrence of uranium in Japan, Part I, 1961 (in Japanese with English abstract)

No. 191

Morikawa, R. & Isomi, H. : Studies of Permian fusulinids in the east of lake Biwa, central Japan, 1961 (in English)

本邦諸温泉の地質学的研究

中村久由

地質調査所報告, No. 192, p. 1~128, 1962

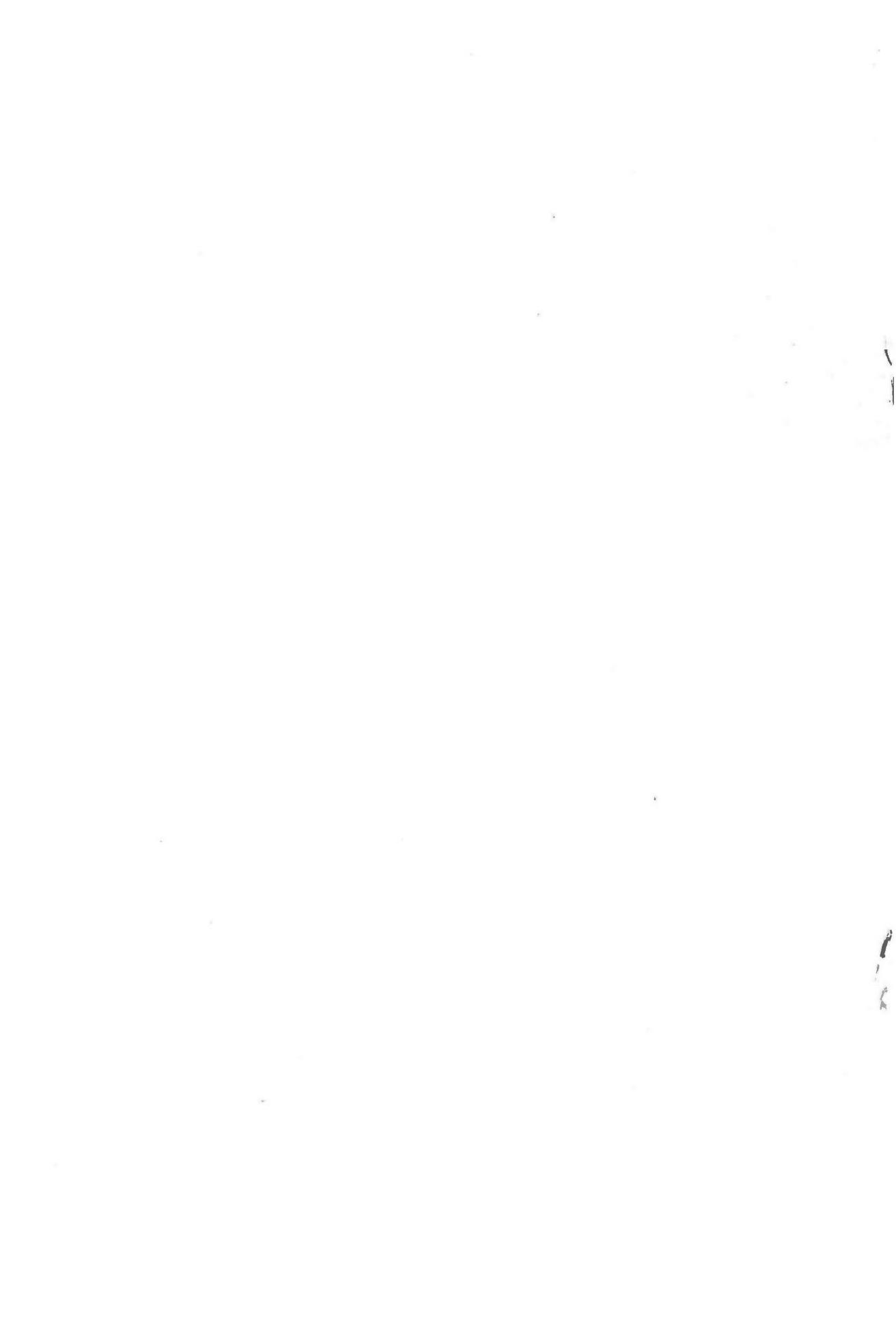
62 illus., 44 tab.

本邦の温泉は主として第四紀火山帯に沿って分布するが、各湧出地域の地質状況、温泉水の化学成分を考慮に入れると、第四紀火山性温泉、先第四紀火成源温泉とに分けることができる。前者は第四紀火山体上に位置し、噴気孔を伴うことがある。後者は第三紀の火山岩・深成岩地域に存在するが、これらの火成岩は酸性岩の場合が多い。また、中生代花崗岩地域に伴う数少ない幾つかの例もある。

本文では、これらの第四紀火山性温泉と先第四紀火成源温泉の特徴を比較し、前者に較べ後者の成分含量が概して高いことに注目して、両者の成因に言及した。

また、温泉の分布と地質構造との関係について、2, 3の問題点を指摘した。

551.23 : 553.7(52)



昭和 37 年 3 月 15 日 印刷

昭和 37 年 3 月 20 日 発行

工業技術院地質調査所

印刷者 小林 銀 二

印刷所 泰成社印刷所

© 1962 Geological Survey of Japan



A. d. II.

REPORT No. 192

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu KANEKO, Director

**REPORT ON THE GEOLOGICAL STUDIES
OF HOTSPRINGS IN JAPAN**

By

Hisayoshi NAKAMURA

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan.

1962

地質調報

Rept. Geol. Surv. -J-

No. 192, 1962