

大分県温泉調査研究会

報告 第22号

昭和46年3月

目 次

九重火山地域における温泉の水系(Ⅲ)	山 下 幸三郎	(1)
天ヶ瀬温泉に及ぼす河川水の影響	山 下 幸三郎	(13)
	由 佐 悠 紀	
	川 野 田 実 夫	
由布院温泉における揚水試験(第2報)	山 下 幸三郎	(25)
	川 村 政 和	
化学成分からみた別府市中央部の温泉	由 佐 悠 紀	(55)
	川 村 政 和	
別府温泉中のフッ素	野 田 徹 郎	(66)
くじゅう火山の温泉群(6)	川 野 田 実 夫	(75)
	志 賀 史 光	
別府温泉水中の ¹⁴ Cの測定	小 田 敏 之	(80)
糖尿病の脂質代謝と温泉治療	矢 野 良 一	(84)
	局 敏 郎	
	内 倉 洋 三	
放射能障害の温泉療法(第29報)	八 田 秋	(87)
	辻 秀 男	
飲用泉中の重金属類について	溝 口 昇	(90)
	二 宮 良 隆	
温泉現況調査	佐 藤 光 一	(94)

九重火山地域における温泉の水系 (Ⅲ)

八丁原地熱地帯における地下岩石の化学成分の変化からみた温泉水の生成過程

京都大学理学部 山 下 幸 三 郎

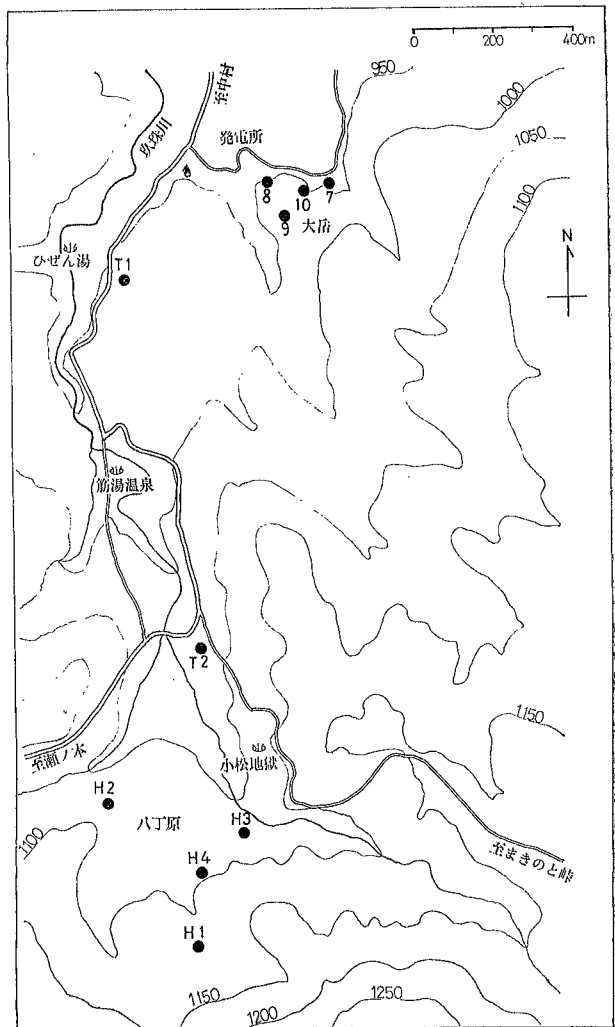
1 まえがき

温泉水の起源が循環水であろうと又岩漿水であろうとも温泉水が流動又は貯留する容器である壁岩との間には物理化学的条件によって相互に作用を及ぼし、両者の性質や、化学組成に変化をあたえることは既に知られた事実である。特に地熱地帯における岩石の変質や、この中に賦存する温泉水は原水(循環水或は岩漿水)が温泉水化する過程における岩石との接触による相互作用によって生成されたと考えられる。したがって岩石に含まれる各成分の熱水に対する行動から熱水の性質、流動の動向、溶存成分の変遷とその結果生成されたと考えられる地下深部の温泉水の化学的特性から温泉水の起源や、溶存成分の起源について解明の手がかりが得られると思われる。

各地の地熱地帯におけるボーリングで得られた岩石コアについて鉱物学的研究を行い、地下における熱水構造の探究が行なわれている。九重火山地域の大岳、八丁原地熱地帯について山崎らは九州電力株式会社が行なっている地熱開発のボーリングから得られた岩石コアについて鉱物的研究を行い、地下岩石の熱水変質の状態とこれが生成の物理化学的条件を明らかにした^{1), 2)}。筆者は岩石中に含まれるCl, Na₂O, K₂O, Li₂Oを分析し、原岩の含有量と比較してCl, Na, Li は著しき減少を示し、岩石中のこれらの成分が温泉水中の成分の起源として重要な役割をしていることを示摘し、更に山崎らの調査による熱水変質鉱物の地下における存在状態をも合せ考察し、熱水の化学的性質の変化と流動の動向を推定した³⁾。

熱水変質地帯の変質鉱物の晶出には熱水の性質や岩石中の他の成分が重要な関連をもっていることが判明したので、こ

図1 八丁原、大岳地熱地帯における発電井分布



これらの成分をも分析すると共に、八丁原における新たに穿掘された4口の発電井のコアをも分析し、岩石成分の溶脱、集積に重要な役割をした熱水の性状と動向とについて再検討を行った。

2 八丁原における発電井の現況

九州電力株式会社は現在までに八丁原地熱地帯に4口の発電井を穿掘したが、いずれも熱水混りの蒸気が噴出している。その井戸分布を図1に、又井戸の概況並に噴出状況を第1表に示す。

第1表 八丁原発電井の概況（九電総合研究所の調査による）

井戸番号	口径 (mm)	深度 (m)	最高地温 (°C)	静止水頭 (海拔;m)	噴出口孔圧 (kg/cm ² ,G.)	蒸気量 (ton/hour)	熱水量 (ton/hour)
H. 1	200	785	204	936.5	6.5	42.7	125.9
H. 2	200	750	175	952.0	1.55	20.0	55.9
H. 3	200	1052	218	922	5.0	38	116
H. 4	200	1084	213	923.3	—	—	—

これらの井戸は何れも蒸気と共に多量の熱水を噴出している。その熱水の化学組成を第2表に示す。八丁原の地熱地帯は大岳よりも地温が高く、又熱水の溶存成分も大岳の発電井の熱水よりも高濃度であり、大岳よりも強勢な地熱地帯

第2表 八丁原発電井熱水の化学組成(mg/l)

成分	H. 1	H. 2	H. 3	H. 4
Na ⁺	1400	1170	1280	1370
K ⁺	292	194	226	286
Ca ²⁺	10.0	55	25	9.0
Mg ²⁺	0.03	2.7	0.90	0.05
Li ⁺	11.9	6.1	10.0	10.9
Rb ⁺	5.56	3.35	4.60	5.34
Cs ⁺	1.90	1.12	1.75	1.84
Cl ⁻	2430	1920	2220	2370
SO ₄ ²⁻	108	262	54	75
HCO ₃ ⁻	59	—	21	22
SiO ₂	1000	630	880	985
pH	8.3	3.1	6.7	7.3

であることが判明した。H.2は大岳八丁原で掘られた井戸では最も酸性の強い熱水である。(筋湯の自然湧出泉と略同じpHを示す)又地下の熱水変質鉱物の分布や、含有成分の変化にも他の地点と異なっている。H.4は最も強勢な噴出をしているが、岩石の成分変化や熱水変質鉱物の分布、或は熱水の化学組成に他の地点と異なる著しい特性は示していない。したがってこの結果から地下における熱水層又は蒸気層の存在状

態を推測することは困難である。

3 岩石の分析と結果の解析について

岩石の分析は粉末資料を硫酸又は王水と弗化水素酸で硅酸塩を分解し、塩酸と水で溶解希釈し、原子吸光分光分析装置によって定量した。SiO₂は資料に炭酸ナトリウムと水酸化ナトリウムを加え、ニッケルツボで熔融し、水と塩酸とで溶解し、SiO₂で100ppm以下、pH≒1.5程度に希釈し、原子吸光分光分析装置によって定量した。

原子吸光分析では共存物質による干渉があるので、これを避けるためNa,Kを除いたものは全て高温パーナーを用いたが、尚避けられないものは標準液に添加した。

原子吸光分析においては岩石中で最も多量に含むSi(検出限界1ppm)、Al(検出限界0.5ppm)の分析精度が最も低く、全体的な分析結果はこれが精度に左右される。

熱水による岩石成分の溶脱や集積について考察するには原岩の成分含有量を知る必要があり、周辺の変質を受けない火山岩について分析した。これらの火山岩の種別については山崎らの分類に従った熱水変質を受けた岩石は粘土化や変質鉱物の生成による結晶水などにより灼熱減量が著しく増大し

たものがあり、全般的にみて通常の岩石の数倍の量であり、分析値のままでは原岩と比較して成分の減少又は増加を判断することは困難である。したがって分析値のすべてについて灼熱減量を除いた値に直した。第3表に示される含有量は灼熱減量を除いたものである。尚X線解析によって同定された主要な変質鉱物をも併記した。

地熱地帯の地下岩石の成分は変質していない火山岩の成分と比較して著しい違いがある。一般に難溶とされているSiO₂でも55~73%の変化があり、又Na, Ca, Mn, Mgなどは殆どが溶脱してしまったと思われる地層がある反面、Ca, Fe, Alなどで多量に集積したと思われる地層もある。

岩石が熱水により変質し一部の成分が溶脱又は集積すれば他の成分の残存の割合は変化する。例えば1成分のみが溶脱してしまうと、残留成分の割合はその溶脱した成分量だけ増加する。もし又各成分の溶脱又は集積が各成分の存在割合に比例するときは成分割合は原岩と全く同じになり、溶脱、集積の判別は出来ない。したがって分析結果のみから溶脱や集積の正確な数量を算出することは不可能で他の資料が必要であるが、今のところ必要な資料が得られない。現実には岩石中の鉱物は水の性質や、温度によりそれぞれ異なる溶解度を持っているので分析結果にみられるような著しい成分変化が生じている。

一般に熱水変質地帯で岩石成分の溶脱の状態から変質の程度を知る方法として、熱水に最も難溶であって残留性の強い成分を基準にして、この成分に対する他成分の割合を原岩と比較する方法が用いられている。岩石中で最も難溶成分としてSiO₂, Al₂O₃があげられる。SiO₂は熱水の性質と温度により溶解度が変化するが温度の方が依存度が高く、第2表の熱水の分析結果でみられるように熱水が酸性であっても含有量はCl⁻, Na⁺に次いで多量である。又Al₂O₃は後述の如く酸性水中でもそこに生成される変質鉱物の種類によっては集積されることもある。したがってこれらの成分をも基準にすることは無理のように思われる。分析した他の成分で残留性が強く、基準とすべき成分はないので次の如き方法を試みた。

分析結果から各成分を原岩の成分と比較して減少成分と増加成分の2つの組に分け、増加した成分は一方の成分の減少による見掛け上の増加であるとすれば次の如き関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} A + B &= 1 & A_1 + B_1 &= 1 \\ A_1 &= \frac{A - \Delta A}{1 - \Delta A} & B_1 &= \frac{B}{1 - \Delta A} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここにAは原岩の減少成分の総量、Bは原岩の増加成分の総量、A₁, B₁はそれぞれ変質した岩石の減少成分、増加成分の総量、ΔAは減少成分の減少総量である。

$$(1) \text{により} \quad B_1 = \frac{1 - A_1}{1 - A} B \dots\dots\dots(2)$$

(2)式の関係が成立すれば増加した成分は他方の成分の減少による見掛け上の増加であって原岩の成分がそのまま残存しているとみてよいであろう。又もし上式より求めたB₁より実測成分量B'が多い場合は集積があり、原岩の成分より多くなっていることを示すもので、その増加量ΔBが減少量と比較して少ない場合は近似的に

$$B' - B_1 \approx \frac{\Delta B}{1 - \Delta A} \dots\dots\dots(3)$$

(1)式と(3)式とから

$$\Delta B = (B' - B_1) \cdot \frac{B}{B_1} \dots\dots\dots(4)$$

原岩の他の成分がそのまま残存していたとすれば

$$A' \approx \frac{A}{1 + \Delta B} \dots\dots\dots(5)$$

原岩の成分量からの減少や、増加の量を分析結果から数学的に厳密に計算することは困難であり、

したがって上記方法によって求めた値と実測値とを比較すれば、各成分の溶脱や集積の相対的な割合が近似的に求められる。

八丁原、大岳地帯で熱水変質を受ける前の岩石即ち原岩については山崎らの調査によれば、地表から約 120m までは九重火山岩類があり、この下部地表から約 900m までは豊肥火山岩類で、これ以深は玖珠層群である。採取されたコアの大部分は豊肥火山岩であり、八丁原地熱地帯を取巻く火山岩について分析した結果、豊肥火山岩と成分に大きい違いはない。したがって原岩として豊肥火山岩を採用することにした。(第 3 表参照) しかし 900m 以深の玖珠層群の岩石成分が分析してないので、この点問題が残る。

第 3 表 八丁原、大岳における地下岩石の化学成分
の重量百分率 (灼熱減量を除く)

主要変質鉱物記号表

A; Alunite, An; Anhydrite, C; α -Cristobalite,
Ch; Chlorite, Ca; Calcite, F; Felspar,
G; Gypsum, K; Kaolinite, M; Montmorillonite,
Q; Quartz, P; Pyrite, Py; Pyrophyllite.

採取場所	深度	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	AL ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Fe	SiO ₂	1gr loss	主要変質鉱物
豊肥火山岩	0	3.03	2.30	6.87	2.75	16.7	0.20	0.91	4.07	58.5	1.77	
黒岩山	0	3.18	1.85	7.40	3.06	16.7	0.17	0.81	4.13	58.3	1.97	
狛師岳	0	3.02	2.22	6.93	2.95	16.1	0.16	0.66	3.76	60.0	1.65	
一目山	0	3.20	1.44	6.78	2.93	17.1	0.19	0.91	4.40	60.5	3.41	
涌蓋山	0	2.81	1.82	10.7	4.22	17.1	0.20	0.99	4.66	53.6	1.79	
ミソコブシ山	0	2.75	1.60	13.2	4.60	17.9	0.20	0.84	4.79	52.4	2.97	
大岳	0	0.70	3.16	1.93	0.15	17.2	0.04	0.85	0.62	72.4	19.74	C, A
〃 10号	50	1.39	2.30	3.31	0.07	20.6	0.04	0.50	0.60	68.7	17.29	C, A
〃 9号	102	0.39	4.06	3.94	1.74	18.8	0.04	0.94	4.35	63.2	13.75	Q, M, P, H
〃 〃	252	0.50	2.93	9.35	2.54	20.0	0.29	0.93	3.83	56.1	11.18	Q, M, P, Ca, H
〃 〃	292	2.53	1.99	6.90	1.82	18.1	0.10	0.79	3.62	58.5	8.87	Q, P, G, Ca, H
〃 〃	485	0.18	1.70	11.0	2.48	16.1	0.05	0.81	4.63	58.8	9.68	Q, P, An, M
T. 1	560	0.26	1.06	6.35	0.25	16.5	0.09	0.72	4.34	67.9	7.74	Q, P, An, K, Py
〃	673	1.43	2.55	10.4	1.18	19.0	0.12	1.05	5.40	52.9	10.59	Q, P, An, K
〃	863	1.86	0.08	12.1	3.47	16.7	0.27	0.91	5.02	57.4	2.32	Q, P, K, Ch
〃	1002	3.06	1.81	9.04	3.38	17.2	0.25	1.00	4.96	55.1	2.50	Q, K, Ch, F
T. 2	40	0.21	0.07	0.77	0.23	22.5	0.03	2.39	9.16	58.2	27.52	C, A, G
〃	90	0.08	1.17	0.22	0	5.84	0.11	0.42	26.6	59.2	35.82	C, A, P
〃	183	2.06	1.81	6.93	1.40	16.1	0.11	0.87	4.25	62.8	11.67	C, P, F
〃	309	1.63	2.97	6.25	1.58	16.2	0.08	0.64	4.13	63.2	9.69	C, Q, A, An, P
〃	400	0.34	3.03	1.38	0.45	17.8	0.02	0.94	5.70	66.6	11.36	Q, P, Ch
〃	605	0.17	0.03	4.74	0.13	28.2	0.02	0.72	0	64.3	4.35	Q, K, An
〃	735	0.12	0.65	15.2	0.04	15.2	0.03	0.75	1.14	61.3	3.77	Q, P, An, Py
〃	895	0.17	3.78	8.73	0.35	13.1	0.06	0.50	3.14	67.8	6.15	Q, An, Py, H
H. 1	118	1.53	1.84	2.26	1.13	20.0	0.04	0.96	2.76	65.0	13.77	C, A, K, M
〃	153	0.36	1.29	1.38	0.69	19.8	0.05	0.96	5.51	67.6	15.66	P, G, K
〃	223	0.07	0.16	0.25	0.10	23.4	0.02	0.99	4.97	65.4	16.51	C, K, P
〃	250	0.31	0.53	1.08	0.80	19.8	0.05	0.53	3.75	69.7	12.46	C, K, P, A
〃	283	0.05	0.02	0.16	0	19.5	0.08	1.06	5.52	71.6	11.99	Q, K, P
〃	330	0.11	0.93	0.43	0.46	15.9	0.02	0.71	4.52	72.9	11.54	Q, K, P
〃	402	0.11	1.24	9.83	0.61	20.5	0.02	0.69	4.65	59.7	12.88	Q, K, G, An, P
〃	450	0.56	1.54	8.76	4.34	17.8	0.30	0.65	4.18	56.9	10.33	Q, K, M, Ca
〃	500	0.42	2.44	7.08	2.85	19.2	0.21	0.84	4.18	59.2	13.89	Q, M, Ca
〃	550	0.11	0.55	6.79	1.49	13.4	0.08	0.55	3.56	67.7	7.31	Q, An, G, M
〃	600	0.26	0.63	6.03	1.23	20.1	0.17	1.20	5.81	60.3	10.57	Q, K, P

H.	1	650	0.32	2.24	7.20	1.68	18.0	0.14	1.15	3.19	59.6	9.30	Q,An,Ca,Ch
”	”	699	0.15	2.35	7.81	1.23	17.1	0.16	1.01	4.59	59.5	7.85	Q,An,K,Ca,Ch
”	”	750	0.52	1.50	9.35	3.91	14.2	0.29	0.78	4.07	61.7	9.18	Q,An,K,Ca,P
H.	2	106	0.95	2.47	1.43	0.20	17.0	0.05	0.93	3.06	71.0	18.18	A,P
”	”	150	2.67	2.51	4.55	1.13	19.6	0.08	1.11	4.03	59.2	8.24	C,F,M,P
”	”	202	2.35	2.78	3.84	0.77	17.9	0.05	1.03	4.00	65.8	8.77	C,F,M,P,A
”	”	245	2.25	2.23	4.11	1.48	17.1	0.06	0.72	4.15	65.4	8.61	C,F,M,P
”	”	301	0.35	1.30	5.17	0.67	18.2	0.02	0.99	3.88	66.6	8.40	Q,K,P
”	”	349	0.06	1.51	0.73	0.56	15.8	0.03	0.81	3.35	73.4	7.40	Q,K,P
”	”	401	0.35	2.44	2.32	0.81	26.8	0.04	1.38	4.84	55.3	14.59	Q,K,F,M,P
”	”	448	0.40	2.39	5.46	3.11	19.2	0.30	0.70	3.86	59.1	14.55	Q,A,F,M,P
”	”	495	0.54	2.26	0.72	0.07	14.9	0.17	0.49	3.61	72.6	15.55	Q,A,An,P
”	”	557	0.60	1.55	4.11	1.84	19.4	0.19	0.65	4.59	62.5	10.71	Q,K,P
”	”	600	0.11	4.24	2.34	1.93	19.4	0.06	0.89	3.89	62.3	7.39	Q,An,K,P,H
”	”	695	0.79	3.41	1.95	0	18.0	0.12	0.80	2.93	58.7	8.85	Q,An,P
”	”	750	0.24	1.61	3.63	0.19	18.7	0.03	0.91	4.58	65.1	8.40	Q,An,K,P
H.	3	47	1.33	2.14	3.21	0.74	20.2	0.06	0.99	3.91	63.6	17.28	C,A,F,M
”	”	100	1.79	2.63	2.37	1.12	22.3	0.20	1.18	5.27	60.3	11.33	C,K,F,P
”	”	153	0.73	1.55	1.56	0.65	19.4	0.04	1.04	5.43	66.5	15.57	C,K,A,F,P
”	”	194	0.35	0.89	0.53	0.08	24.0	0.19	0.92	8.93	60.0	15.31	Q,C,K,A,P
”	”	251	0.11	0.44	1.54	0.13	19.7	0.03	0.85	4.78	68.2	9.30	Q,K,P
”	”	294	0.27	1.76	2.39	0.52	23.6	0.03	0.87	3.91	60.7	11.96	Q.C.K.A.An.M,P
”	”	364	0.73	1.62	2.29	0.83	18.6	0.07	1.16	3.39	65.9	9.23	Q,K,An,M,P
”	”	406	0.16	0.27	0	0.15	21.1	0.01	1.02	5.78	66.3	11.45	Q,K,P
”	”	451	0.23	0.48	4.98	0.31	18.0	0.04	0.98	5.78	64.1	9.93	Q,K,An,P
”	”	500	0.13	0.64	12.7	0.55	19.9	0.06	1.14	3.70	56.0	9.33	Q,K,An,Ch,P
”	”	553	0.13	1.51	6.99	1.91	19.5	0.19	0.95	5.10	59.5	10.56	Q,K,Ca,M,P
”	”	600	0.11	1.72	7.09	2.52	18.5	0.10	0.98	4.35	60.0	10.02	Q,K,An,Ca,Ch
”	”	649	0.36	1.93	7.56	0.65	16.7	0.04	0.98	3.93	62.3	9.06	Q,K,An,Ca,Ch
”	”	709	0.21	1.04	9.31	2.49	16.4	0.14	1.02	4.86	62.4	8.94	Q,An,Ca,P
”	”	752	1.70	2.26	9.15	2.36	18.9	0.18	1.00	3.24	55.8	7.27	Q,K,An,Ca,F,P
”	”	808	0.38	1.98	8.16	2.17	18.3	0.20	1.15	4.79	57.7	8.40	Q,K,An,Ca,P
”	”	850	1.59	1.51	8.92	3.25	18.1	0.23	1.14	4.90	57.5	7.59	Q,K,An,Ca,P,Ch
”	”	909	1.94	2.47	6.74	2.50	16.2	0.22	0.98	3.89	60.2	5.80	Q,K,An,Ca,P,Ch
”	”	927	3.15	2.05	8.37	3.10	17.6	0.28	1.02	4.37	57.0	4.22	Q,K,An,Ca,Ch
”	”	944	3.54	2.06	7.29	3.38	17.4	0.34	0.98	2.74	60.0	6.21	Q,K,An,Ch,F
”	”	973	3.04	2.37	6.78	2.88	17.4	0.19	0.90	4.33	60.2	2.58	Q,K,An,Ch,P
”	”	1002	0.16	4.58	3.05	2.38	19.1	0.11	0.88	2.45	63.5	6.59	Q,K,An,Ch,H,P
”	”	1052	0.79	0.81	5.14	0.44	13.3	0.06	0.83	3.73	68.6	5.86	Q,K,An,Py,P
H.	4	25	1.92	1.79	3.76	0.64	22.6	0.07	1.37	3.81	59.5	8.85	C,K,F
”	”	52	1.39	2.55	3.62	0.42	17.1	0.05	1.33	4.30	65.4	13.52	A,P
”	”	104	1.56	2.29	5.16	1.52	19.4	0.06	0.99	3.88	61.2	9.05	C,K
”	”	157	0.84	1.88	1.70	0.27	21.4	0.01	1.16	3.95	63.6	15.54	C,A,P
”	”	199	2.43	1.74	5.07	2.01	17.3	0.10	1.04	5.09	62.8	8.58	C,M,F,P
”	”	257	2.68	2.27	5.61	1.38	18.7	0.11	1.10	4.01	59.8	6.20	C,M,F
”	”	293	2.88	2.59	5.72	2.21	17.6	0.26	1.05	4.03	59.5	6.29	C,M,F,P
”	”	345	2.48	2.70	5.76	1.95	18.0	0.13	1.05	4.45	60.2	6.95	C,M,F,P
”	”	403	2.05	2.73	5.17	1.89	17.1	0.09	0.95	4.25	62.9	8.02	Q,C,M,F,P
”	”	449	0.50	1.95	3.00	1.41	16.8	0.04	0.84	4.19	67.9	7.42	Q,K,An,P
”	”	503	0.93	2.22	6.40	2.58	17.7	0.23	1.04	5.45	57.7	8.99	Q,K,An,M,F,Ca,P
”	”	545	0.25	2.64	8.29	1.85	17.8	0.12	0.99	4.15	58.0	9.51	Q,An,Ca,H,P

H.	4	601	0.20	2.12	5.93	3.50	19.0	0.18	0.82	4.44	59.6	10.52	Q, Ca, Ch, P
〃		657	0.08	0.76	10.1	0.45	18.4	0.02	0.95	4.19	59.7	8.21	Q, K, An, P
〃		697	0.25	2.88	7.98	0.95	16.1	0.03	0.76	2.98	63.5	5.44	Q, An, H
〃		576	0.79	2.22	8.33	1.84	16.1	0.11	0.72	3.84	61.4	6.87	Q, K, An, H, F, P
〃		800	1.44	2.38	7.01	1.85	16.2	0.13	0.78	3.98	61.8	5.87	Q, An, Ch, F, H, P
〃		851	1.12	2.60	7.96	2.32	16.3	0.12	0.77	4.40	58.9	6.93	Q, An, Ca, F, H
〃		898	1.20	3.02	6.36	2.14	18.1	0.15	0.77	5.04	58.6	6.27	Q, An, K, F, H
〃		958	3.10	1.49	7.26	3.07	18.3	0.24	1.29	5.19	56.1	2.89	Q, K, An, F, Ch
〃		997	3.30	1.40	6.02	2.51	17.7	0.12	1.03	4.68	58.2	4.68	Q, An, F, Ch
〃		1010	1.66	2.93	9.22	1.88	18.3	0.14	1.03	4.58	55.8	5.07	Q, K, An, F, H, P

4 熱水変質による地下岩石の成分変化の特長と変質鉱物との関係

原岩を豊肥火山岩として分析したコア中の成分の減少、或は増加量を上記計算によって求めた結果を図2、3、に示す。

前報告において大岳と八丁原の両地帯で成分変化に違いのあることを報告したが、今回新たに分析した成分にも違いが認められたのでこの相違を更に明示するために大岳地帯の分析結果をも加えた。T. 2、H. 2を別にしてあるが、これは両井からの噴出熱水が酸性(T. 2; pH=4.8、H. 2; pH=3.1)であり、成分変化にも他と幾分の違いがあるので区別した。

a) Na₂O: 殆んど地層で溶脱されており、特にT. 2、H. 2、H. 4では400m以深で又H. 3、H. 1では150m以深で殆んど全量が溶脱されている。

溶脱の状態は噴出熱水の性質には無関係のようである。H. 3、H. 4では1,000m以深で溶脱が少なくなっているが、これは前述の如く深部の岩石種別の違いによるか、或は熱水の性質の違いによるものか明らかでない。

大岳では500m~600m附近で溶脱が最も多く、これより浅部、深部共に少なくなるが、深部より浅部の溶脱が多い。

Naを含む変質鉱物として浅部に明礬石 [(Na,K)Al₃(SO₄)₂(OH)₆] があり、特にT. 2、H. 2では深くまで存在することから、浅部での溶脱が少ないのではないと思われる。H. 4では200m~400mの間で溶脱が少ない。X線回析ではこの間に原岩の残存鉱物があり、変質が弱いから溶出しなかったと思われる。深部ではNaの溶脱が著しく変質鉱物もない、又深部熱水は食塩泉で多量のNa⁺を含むが、岩中のNaは熱水中に溶出したと推察される。

b) K₂O: 一般的にみてNa₂Oより溶脱が少なく、又その様相が異なり、集積した地層がある。

T. 2、H. 2では浅部で集積した地層があり、深部で溶脱がある。特にH. 2では最も溶脱が少ない。H. 1、H. 3は浅部100mまで殆んど残存しており、100m~600mまで溶脱が多く、これ以深では残存又は集積している。

浅部での残存又は集積は明礬石の晶出によると思われる。特にT. 2、H. 2では前述の如く可成り深部まで明礬石が存在し、残存や集積がこれと対応している。深部における残存又は集積は主として水雲母 [KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂] の晶出によるものと思われる。このように浅部と深部で熱水変質鉱物に違いのあることは両地帯で水の性質に相違(明礬石は酸性、水雲母は中性又はアルカリ性)のあることを示すものとして注目される。

大岳では深部で溶脱が多く、浅層になるにしたがって少なく、100m附近には集積した地層があり八丁原と変化が略逆の関係にある。大岳の浅層でのKの集積は水雲母の晶出によると思われる。又Kの変化とNaの変化とは相反的である。

熱水中のNa⁺とK⁺の含有量の比は一般にアルカリ熱水の場合は高温程小さく温度依存であると云われている。したがって深部高温熱水が浅層に流出し、温度が低下すれば熱水中のK⁺は岩石中のNa

図2 八丁原、大岳地熱地帯における地下岩石の成分変化

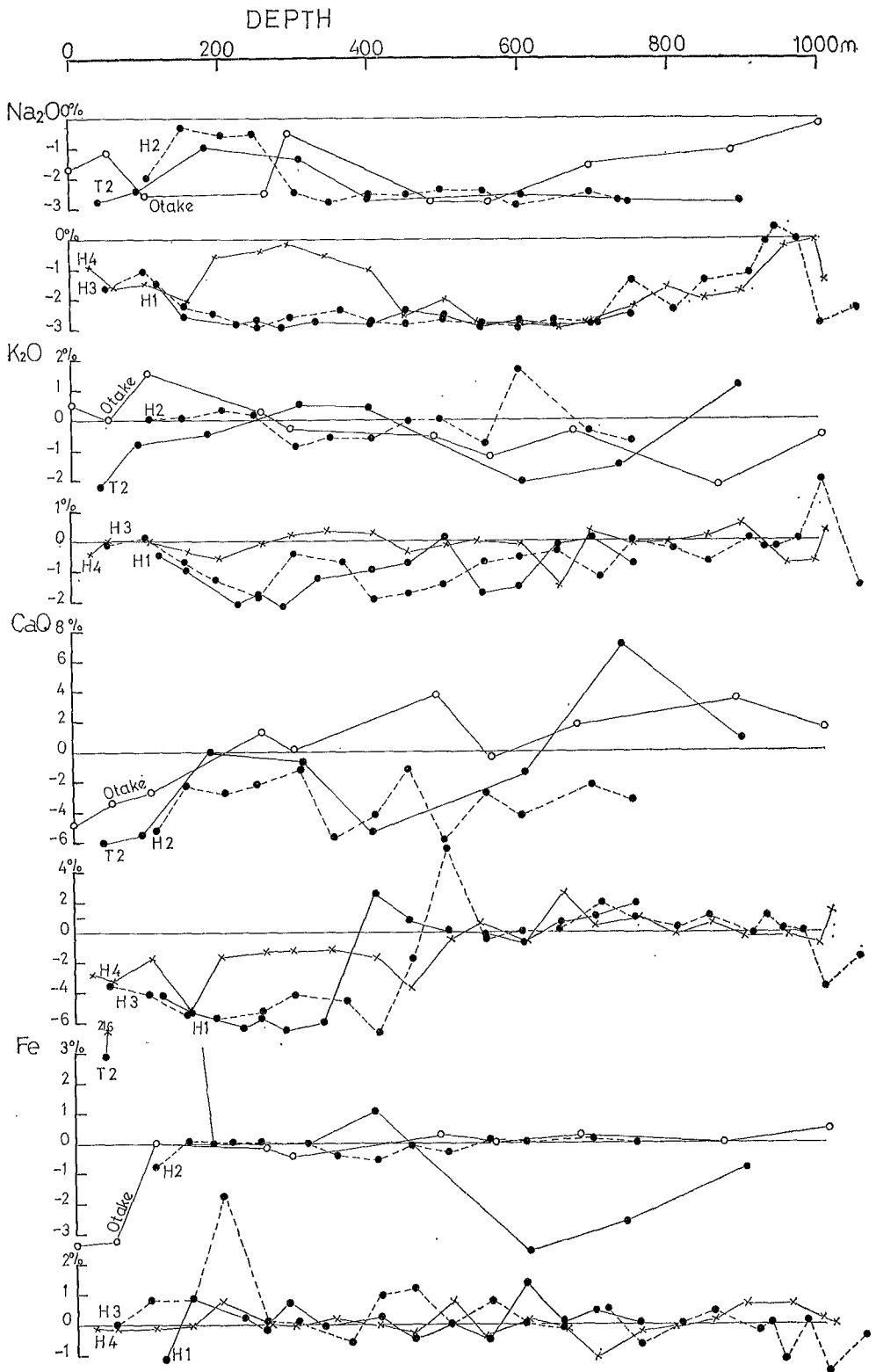
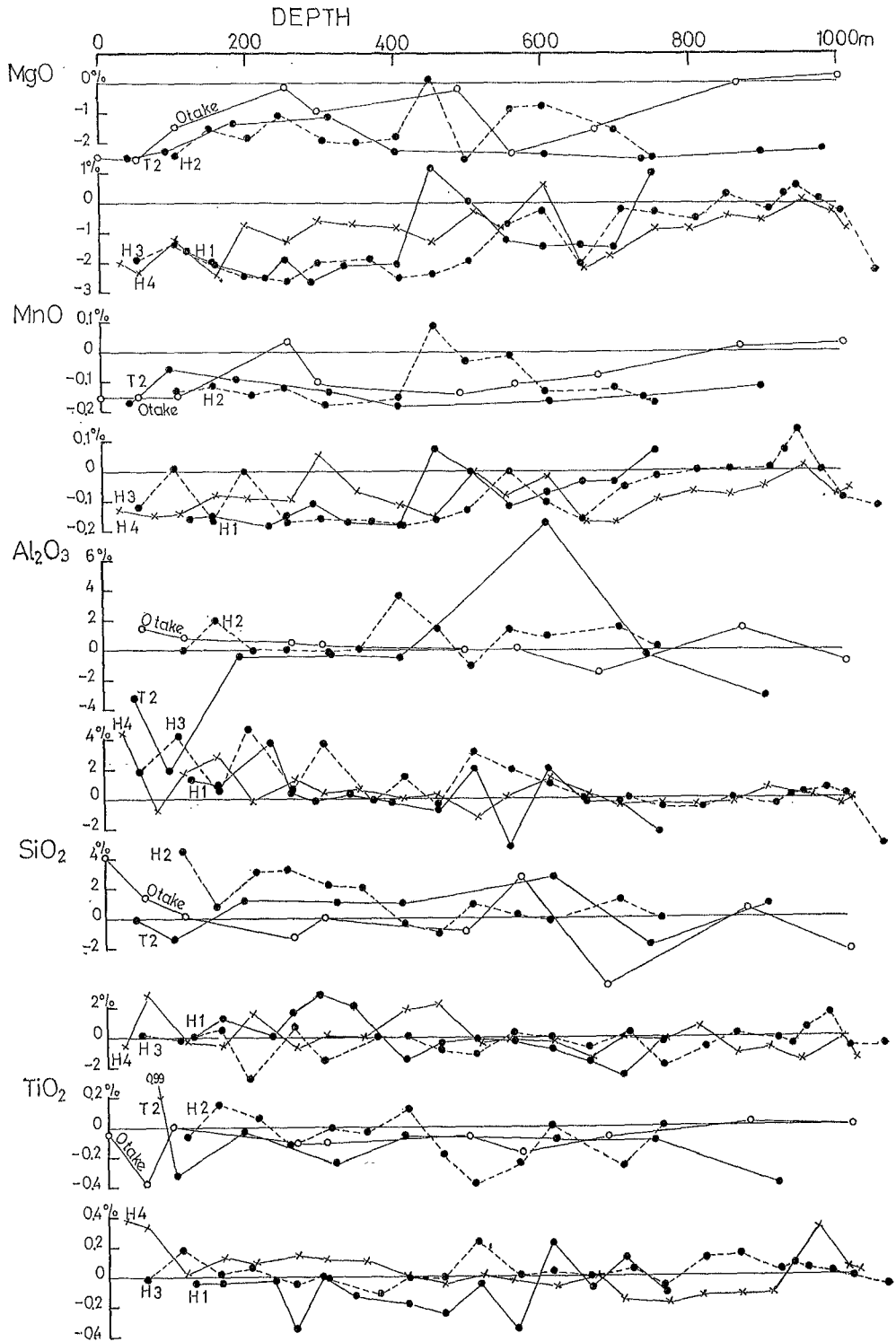


図3 八丁原、大岳地熱地帯における地下岩石の成分変化



と交換されて、岩石中ではKの残存量が多くなり、逆に Na は溶脱される。大岳と八丁原とでKの溶脱状態に違いのあることは岩石中を流れる熱水の性質と動向が異なることを暗示していると推察される。

c) CaO: 八丁原、大岳共に浅部で多量の溶脱があるが、H.4、H.3、H.1では400m以深で、T.2では600m以深で多量の集積がある。H.2では深部まで溶脱されている。この様なCaの集積した地層では熱水中から晶出したと思われる石膏(CaSO₄・2H₂O)、硬石膏(CaSO₄)、石灰石(CaCO₃)などの変質鉱物がある。この様な関係から深部の熱水中のCa²⁺含有量はNa⁺、K⁺に比較して著しく少ない。(第2表参照)

石膏の溶解度積は、温度依存で40℃以上の高温では温度の上昇と共に減少する。尚熱水中に共存イオンがあるとき、或は水圧が高いときは溶解度積は増大する。食塩泉では食塩の濃度の増大と共に増加する。各井戸から噴出する熱水の〔Ca〕〔SO₄〕から各熱水の食塩濃度及び水圧を考慮に入れて、地下の熱水の温度を推定すると次表の如くなる。

第4表 八丁原発電井水の硫酸カルシウムの溶解度積と水温

井戸番号	〔Ca〕〔SO ₄ 〕	推定温度	実測孔底温度	NaCl(g/l)
T. 2	0.06×11 ⁻⁶	265℃	250℃	3.8
H. 1	0.12×〃	240〃	204〃	3.6
H. 2	1.84×〃	160〃	175〃	3.0
H. 3	0.16×〃	230〃	218〃	3.3
H. 4	0.17×〃	233〃	212〃	3.5

注1 H.4では地下熱水の地表での蒸発濃縮による効果が考慮されてない。

注2 T.2は九電総合研究所の調査資料による。

何れの井戸も深部に硬石膏の沈積があり、したがって孔底の地温は溶解度積から求めた地温か、それ以上であることが推測される。

八丁原では400~600m以深で石膏、又は硬石膏の沈積があり炭酸カルシウムの沈積は全然ないか、或は深部のみにあるのに

対し、大岳では浅部にまで炭酸カルシウムの沈積があり、石膏又は硬石膏は中間層にあって深部にならないなどの違いがある。この結果からも両地における熱水の性質や、動向に違いのあることを示している。

d) MgO、MnO: 両成分共にCaOと略図で変化をしているが、T.2、H.2では溶脱のみで集積した層はない、大岳ではCaOと変化が異なり、深部で集積があり、浅部ではない。深部の熱水中のMg、MnイオンはCaイオンより更に微量である。浅部での溶脱が多量であるのに深部での集積は少ないように思われるが、分析資料の不足と層厚が明確でないので、溶脱集積についての収支の推算は出来ない。

両成分に関係する変質鉱物としてモンモリロン石(Fe-Ca-Na-Mg-Al-Si-O-OH・H₂O)や緑泥石(Fe-Mg-Mn-Al-Si-Al-O-OH)があるが集積した地層では必ずこの鉱物があり、したがって熱水中の両成分はこの鉱物の晶出によって失なわれたと推察される。

e) Al₂O₃: 八丁原T.2では浅部で多量の溶脱があり、又深部600mで多量の集積がある。他の地点ではすべて400m以浅で集積し、これ以深の層では残存か、少量の溶脱、集積がある。この成分に関係のある変質鉱物として、カオリン〔Al₂Si₂O₅(OH)₄〕、明礬石、パイロフィライト〔Al₂Si₄O₁₀(OH)₂〕などがあり、明礬石は浅層に、パイロフィライトは深部高温層に、カオリンは浅層から深層まで広範囲に存在する。

H.2では噴出熱水が酸性であり、孔底まで溶脱は少なく集積が多い。この結果は浅部から深部まで酸性熱水の条件下にあることを暗示していると思われる。浅部でのAlの集積は明礬石やカオリンなどの晶出によると思われる。

大岳では全ての層で殆んどが残存している。

f) SiO₂: 八丁原ではAlと同様に500m以浅で集積し、それ以深では残存しているか、或は幾分溶脱しているように見える。SiO₂の分析値は55~73%まで変化しているが、これは他の成分の減少又は増

加による見掛の増減であって、これらの影響を除去した実質的な増減は大部分の地層で2%以内であり、分析誤差より僅かに多い程度で、溶脱集積が極めて少ない。SiO₂ は一般的に難溶であるが、水温が上昇すれば溶解度も増大し、両者の間に密接な関係がある。第2表に示す深部熱水のSiO₂ の含有量はClイオン、Naイオンに次いで多く、深部で溶脱傾向を示しているのは熱水中に溶出したからであろう。

SiO₂ の変質鉱物として300m以浅ではα-クリストバル石(SiO₂)があり、300m以深ではα-石英(SiO₂)が孔底まである。Alとの化合物としてカオリン、パイロフィライトがありパイロフィライトは深部の高温帯に見出される。深部における成分の増減は殆んどないのでこれらの変質鉱物は岩石中の成分の再結晶によって生成されたと思われる。

g) TiO₂: 一般に酸、アルカリ共に可溶であるがH.2、H.3、H.4では浅層で集積し、深層で残存又は溶脱される傾向がある。しかし含有量が少なく分析精度も悪いためか、各井戸における変化状態がまちまちで全般的な変化の傾向は明確でない。又熱水中の含有量も分析していない。

h) Fe: T.2以外では全地層を通じて多量の溶脱や集積はない。Feは酸性水では容易に溶解するがアルカリ性水には溶解しない。

Feを含む変質鉱物としては全ての地層で黄鉄鉱(FeS₂)があり黄鉄鉱は難溶でこの地域の酸性程度では溶脱され難く、残存していると推察される。

T.2では地下90mの地層で21.6%の多量の集積がある。変質鉱物としては黄鉄鉱、明礬石、α-クリストバル石などがあり、FeとSiO₂以外の成分は殆んど溶脱したようにみられるが、これが成因として熱水中に溶存するFeが上昇してくる硫化水素と化合して黄鉄鉱となり、岩石の亀裂か又は推積層の空隙に沈積した硫化鉄鉱床に類似の地層ではないかと推察される。地下600m附近でFeの多量な溶脱があり、ここでは黄鉄鉱は存在しなかった。又他の溶出し易い成分Na、K、Mg、Mn等も殆んど溶脱している。この井戸からの噴出熱水は酸性(PH4.6)であった。したがってこの地層は透水性のよい帯水層ではないと思われる。

5 化学成分の変遷からみた熱水の生成過程

各成分の地下における熱水による溶脱や、集積と、これらの成分に関連のある熱水変質鉱物との関係等について述べたが、これらの成分の熱水に対する行動と深部熱水の化学組成の特長とから熱水の生成過程とその流動について考察した。

a 八丁原地帯

深部熱水中に最も多量に含まれる陽イオンであるNaは岩石中では地下200m以深で殆んどが熱水中に溶出している。又熱水中でこれと対応する陰イオンで最も多量に含まれるClは岩石中ではNaと略同¹⁰⁾じ傾向をもって溶出していることは前回の報告で述べた。

熱水中の陽イオンでNaに次いで多いKは酸性熱水の噴出するT.2、H.2では浅部で集積、深部で溶脱されているが、H.1、H.3、H.4では浅部で溶脱、深部で集積又は残存している。集積したKは熱水によって運ばれたもので、浅部では硫酸酸性熱水の条件下で晶出した明礬石が沈積したからである。一方深部での集積は中性又はアルカリ性熱水中で晶出した水雲母が沈積したからである。このように同じ集積があってもこれに関与する熱水の性質及び変質鉱物の種類が異なっている。

原岩のNa/K(重量比)は1.18であるが、深部熱水では4.79~6.13でKの量が少ない。これは上述の変質鉱物の沈積により熱水中から失われ、全般的に岩石中のKの溶脱がNaに比して少ないからである。

浅層における酸性熱水により原岩の結晶鉱物は破壊され、含有成分は溶脱され易い状態になり酸性熱水に可溶性のCa、Mg、Mnは熱水中に移行し、岩石中の含有量は激減している。

Caは400m以深で石膏の沈澱による集積が起っている。集積したCaは浅層の温度の低い所で硫酸

酸性水によって溶脱されて運ばれてきたもので、深部の高温なところにきて溶解度が減少し沈積したと考えられ、井戸分布からみて可成り広い地域の地下に存在する。この地域と地熱地帯の拡がりとを比較して酸性水は水平流動よりむしろ垂直に近い流動であることが察知される。深部に行くにしたがって地温は上昇するので硬石膏の溶解度は減少し、これにしたがって熱水中から硬石膏が沈積して行く。

石膏は明礬石と共に硫酸塩の鉱物であり、したがって流動する熱水は浅層では硫酸酸性の水と考えなければならない。しかし深部に行くにしたがって石膏の沈積により熱水中の硫酸イオンは消費されるから、酸性は弱くなり熱水は中性乃至アルカリ性へと変化し、この間熱水中のCaイオンや硫酸イオンは失われる。噴出熱水は Na^+ や Cl^- の多い熱水程 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} は少ない傾向があるが、これは上述の結果を暗示していると思われる。

400m以深のCaの集積は高温な深部に行くにしたがって少なくなっている。この集積は主として硬石膏の沈積によるもので硬石膏の溶解度は温度の上昇により減少する。その減少率は温度の低いところで大きく、高温になるにしたがって小さくなる。このようなCaの集積状態と硬石膏の溶解度の温度変化から熱水は浅層から深層の方向に流動していると考えなければならない。

MgとMnは同じ行動をしている。浅層では酸性熱水条件下で岩石中より熱水中に溶出し、深部において岩石の熱水変質による緑泥石化に使用され熱水中から失われる。

Al_2SiO_5 は浅層の酸性熱水条件下でも難溶性の変質鉱物の生成により残存又は集積されている。深層のアルカリ熱水下においても難溶であるから殆んどが残存している。しかし SiO_2 は高温による溶解度の増大により幾分溶脱する傾向が見られる。又深部熱水中にも Cl^- 、 Na^+ に次いで多量に溶存する。

岩石成分の変動は地下400~500m附近で集積から溶脱へ、或は溶脱から集積へと変化している。この地点での地温は120~140°Cでこれ以深で地温は急激に上昇している。又変質鉱物の種別に変化がみられ熱水は酸性から中性乃至アルカリ性へと変化する地点であると思われる。このような変化の様相から地層構造にも何らかの変化がある地点ではないかと思われる。

b) 大岳地帯

大岳における地下岩石の成分変化及び晶出した熱水変質鉱物は八丁原地帯と比較して次の様な違いがある。

Naは深層で溶脱が少なく、浅層で多くなっているが、Kはこれと反対に深層で溶脱し、浅層で集積がみられる。この集積は主としてアルカリ性の熱水条件下で晶出した水雲母によるもので、したがって熱水中の K^+ は岩石中のNaと交換され岩石中のNaは溶脱されている。

Caは深部から浅部まで集積している。この集積に関与する石膏は500~700mの間に存在し、他の地層では石灰石の沈積によるものである。

500~700mの間に沈積している石膏は既に報告した熱水の化学組成の相関から深部の熱水に浅部の硫酸イオン、重炭酸イオンの多い温泉水が混入している。したがって混入水によって運ばれてきたと推察される。

Mg, Mn, Tiは深部で残存しており浅部では溶脱されている。

Al_2SiO_5 は幾分の変動はあるが全般的に残存している。

以上の諸関係について八丁原地帯と成分の集積、溶脱並に変質鉱物の晶出に違いがあり、この違いは岩石中を流動する熱水の性質と動向に相違のあることを示すもので、大岳地帯では深部のアルカリ性の高温熱水が浅部に流出して地熱地帯が形成されたと推察される。又流出する深部熱水は地熱地帯の地理的分布、熱水の化学的性質、並に熱水の水頭などの関係から八丁原地帯の地下深部で生成された熱水が流出してきたと思われる。

6 要 約

八丁原、大岳地熱地帯のボーリングで得られた地下岩石の化学成分の分析並にX線回析による変質鉱物の検出を行い、岩石中の成分の溶脱や、集積、熱水変質鉱物の種別、地下深部の熱水の化学的特性などの相互間の関係を総合すれば前報告で述べたように、八丁原地熱地帯では自然噴気や硫気孔から噴出する硫化水素や亜硫酸ガスが浅層において浸透してくる雨水中の酸素や地気により酸化され、硫酸酸性の熱水が生成されて岩石を破壊し、酸性水に溶解し易い成分は熱水中に溶出すると共に酸性水中での変質鉱物の晶出により、これに関係する成分や難溶成分は集積又は残存する。熱水は深部へと浸透して行き、岩石成分はClの溶出による塩化物、硫酸塩として溶脱され酸性が弱まり、且つ地温の上昇により、硫酸塩で難溶な石膏が晶出して熱水中から硫酸イオン、カルシウムイオンが失なわれて酸性は益々弱くなり、深部に行くにしたがって酸性から中性へ、更に中性からアルカリ性へと変化し、岩石成分と作用しアルカリ性の熱水条件下で生成される変質鉱物が晶出すると共に熱水中のアルカリ性では不溶の成分は沈積する。この間岩石中のNaやClは熱水中に溶出して行き、熱水は硫酸型からCl型に変化し深部の熱水が生成され賦存されていると推察される。

大岳地帯においては岩石成分の溶脱集積並に熱水変質鉱物の種別などから地下の殆んど地層はアルカリ性の熱水条件下にあって、しかも熱水は深部から浅部に流出していると考えるのが至当であろう。この地域における地熱地帯の地理的分布、並に八丁原地帯での熱水の生成機構からみて八丁原地帯で生成された深部熱水が流下し、途中において浅層の熱水が浸入混合されて大岳地帯で浅層に流出し地熱地帯を形成したと推察される。

終りに本研究に資料を提供された九州電力総合研究所並に大岳調査所の諸氏に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 山崎、松本、林：大岳地熱地帯の地質と熱水変質、地熱、14、1968
- 2) 林、崎、松本：大岳地熱地帯調査1号井および2号井の変質鉱物、地熱、17、1968
- 3) 山下：九重火山地域における温泉の水系(Ⅱ)、大分県温泉調査研究会報、20、1969
- 4) 1)に同じ
- 5) 小坂：焼岳火山の噴気孔周辺における変朽現象について、火山、5、3、1961
- 6) 山崎、林：大岳地熱地域の變質帯、九州大学生産科学研究所報告、49、1970
- 7) 2)に同じ
- 8) 古賀：地熱地帯における温度指示元素による化学温度計の適用、大分県温泉調査研究会報告、19、1968
- 9) Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik. Chemie. Astronomie. Geophysik und Technik, II Band, 2. Teil, Bandteil b, 1962
- 10) 2)に同じ
- 11) 9)に同じ
- 12) 九電総合研究所調査 未発表
- 13) 山下：九重火山地帯における温泉の水系(Ⅰ) 大分県温泉調査研究会報告、19、1968.

天ヶ瀬温泉に及ぼす河川水の影響

京都大学理学部 山下 幸三郎

京都大学理学部 由佐 悠紀

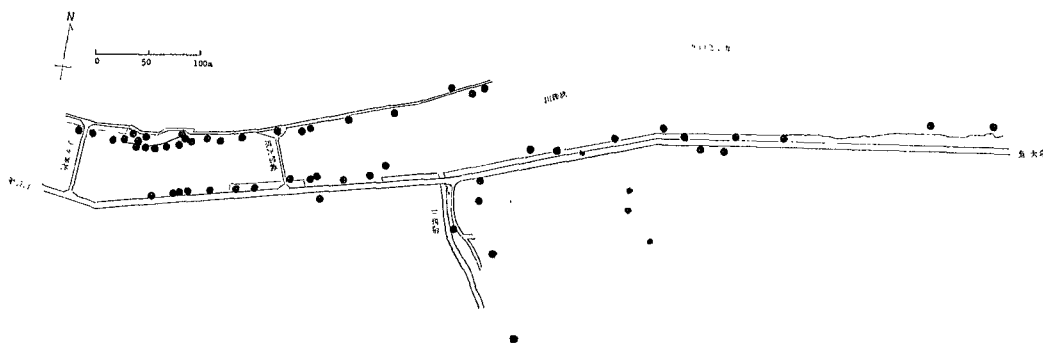
大分大学教育学部 川野 田実夫

1 温泉湧出の概況

天ヶ瀬温泉は玖珠川の両岸及び川中に湧出する温泉群で大部分は自然湧出である。

昭和26年の調査では利用温泉口数は20口であったが温泉湧出地帯の川中の到る所に自然湧出が見られた。しかしその後の温泉開発により昭和44年には37口に増加した反面、川中に湧出していた自然湧出は右岸下流の小部分を残して殆どがなくなっている。又近時赤岩川添に高深度のボーリングを行ない沸騰泉を得ている。(図1参照)

附図1 天ヶ瀬温泉分布図



山下は天ヶ瀬温泉の泉温並びに化学成分の相互間の関係から一つの源温泉水と冷地下水との混合湧出であるとの結論を得た。しかし混入する冷地下水は河川水の浸透混入によるものか、或は両岸の山地から流下する冷地下水か判別出来なかった。源温泉水の温度並びに化学成分の濃度も亦決定出来なかったが、これに近い温泉水は赤岩川添にある沸騰泉水である。このような温泉湧出の現況から河川水と温泉水とは密接な関係のあることが予想され、又温泉所有者には既に感知されていたことである。

2 調査方法

前述の過去における調査研究の結果と、温泉湧出の現況並に本調査の目的から次の如き方法によって実施した。

- a) 温泉水頭の分布調査
- b) 河川水位と温泉水位との関係調査
- c) 河川水と温泉水の化学成分の関係調査

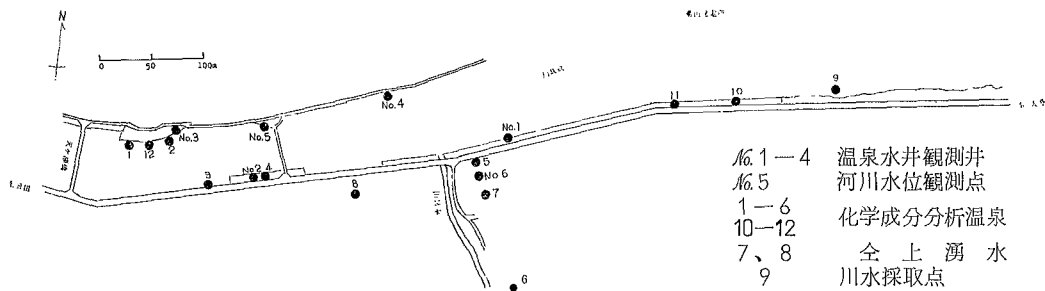
温泉水頭の分布調査では各温泉口の地理的位置を確認するための平板測量、更に水頭の相互関係を求めるために必要な水準測量を行ない、その後に温泉水頭の測定を行なった。

河川水位と温泉水位の関係調査では、温泉の存在する両岸の上流、下流に各一箇所計4ヶ所を選定し温泉水位の観測井を設けた。河川水位の観測は温泉水位観測井に近接した地点で行なうのが最も望ましいが、適切な観測地点がなかったため上流、下流に設けられた温泉水位観測井の間で観測の容

易な地点に設置した。

後述の如く赤岩川添にある高深度の温泉は温泉水頭や化学成分と河川水位との関係調査から河川水と直接の関連はないように思われたので、この点を更に明確にするため観測器機の関係と、継続調査の必要がないと思われる第3観測井の測定を中止し、第6観測井の測定を行なった。観測期間は河川水や地下水の年変化を考慮して一ケ年間とした。これらの観測地点を附図2に示す。

図2 天ヶ瀬観測井分布附図



化学成分の分析温泉口は附図2に示す如く調査の初期においては兩岸の温泉中各2口と、赤岩川添にある天ヶ瀬温泉では最も源温泉水に近いとみられる沸騰泉水を2口、及び混入しているとみられる河川水、地下水（湧水）など計9箇所て採水分析した。しかし高水位時には湧出口の施設の不備による河川水の流入や、採水不能などの恐れを考慮し、又後述の温泉水頭分布調査の結果から、河川水の滲透混入を受け易いとみられた上流の温泉についても調査の必要を感じ、更に3口を追加した。大部分の温泉は川岸にある湯溜からポンプ揚湯しているが高温のため吸引（吸入実揚程3～5m）が困難であるから揚水時には水を注入し、泉温を65℃以下に降下させて揚湯する。したがってこのような温泉は調査目的には不適当であるから、分析温泉は水の注入のないものを選定した。調査期間は水位観測と同様な理由で一ケ年間とし、月2回の採水分析を行なった。

3 調査の結果について

a) 温泉水頭分布並びに温泉水頭と川水面との関係について

温泉水圧の地理的分布の調査では温泉水の地下伏流の様相を示す重要な基礎的資料が得られる。この調査では特に重要な資料である。

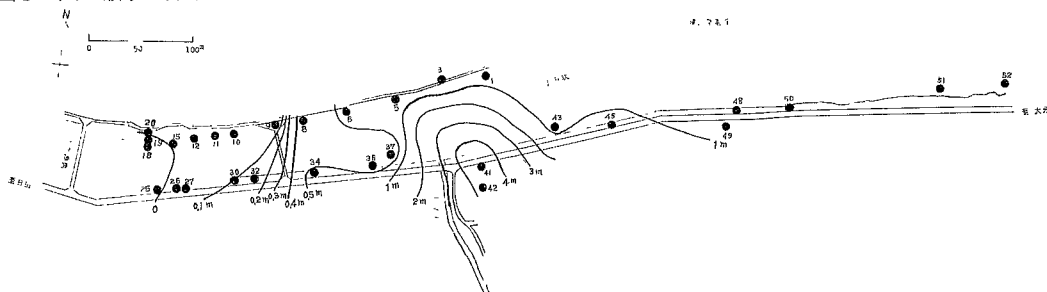
天ヶ瀬温泉は相当密集した温泉群であるから、水頭の調査ではこれら既設の温泉を利用するのが最も容易である。調査方法は温泉の揚湯或は湧出を停止させ、水面が上昇し静止した時の水面の高さを任意に定めた基準面から測定する。温泉水頭分布は温泉水の密度が各測定井で同一であるとみて、温泉の静止水面の基準面からの高さの地理的分布で示す。したがって測定に先だって各井戸間の高さの違いや、相互間の位置関係を知るために水準測量、平板測量を行なった。天ヶ瀬温泉は大部分がポンプ揚水井であるから、測定時に周辺温泉で揚湯を行なえば、これによる水圧降下があって測定値に影響を及ぼし、局部的な乱れが生じて解析を困難にするからこの点を考慮し、各旅館が利用者の関係から10時から16時頃まで一般に揚湯を停止しているの間に測定を行った。自噴温泉は湧出口の構造から湧出停止が困難であったので測定しなかった。又川岸にある温泉口で完全に密閉してあり測定出来ないものもあった。しかし略全般的な水頭分布の状態を察知出来る程度の測定は出来た。

温泉水頭と河川水面との関係を求めるため温泉の存在する地帯の河川水面の水準測量も併せて実施した。測定前に温泉水位観測から川水位と温泉水位とは密接な関係のあることが分かったので、測定中の川水位の変動に注意したが、測定値に特別大きい変動をあたえるような変化はなかった。測定温泉の資料を第2表に、又この結果から得られた温泉水頭分布を附図3に示す。

表1 温泉水頭調査資料

温泉番号	泉温 (°C)	温泉水頭(cm)	温泉番号	泉温 (°C)	温泉水頭 (cm)
1	73.0	54.5	27	—	5.4
3	61.5	50.8	30	87.0	10.8
5	—	70.0	32	90.0	10.7
6	61.0	58.0	34	62.0	53.7
8	48.5	46.0	36	53.5	47.3
9	—	1.1	37	86.7	44.5
10	35.5	— 0.6	41	—	508.8
11	73.6	6.9	42	—	436.8
12	73.9	6.1	43	66.0	78.0
15	84	0.4	45	47.0	113.2
18	—	— 2.6	48	61.7	53.8
19	66.5	—19.8	49	—	61.9
20	—	52.8	50	71.0	77.4
25	—	— 1.4	51	49.6	256.3
26	82.6	6.0	52	88.0	80.2

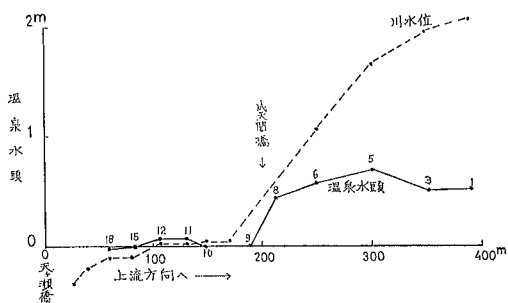
図3 天ヶ瀬水頭分布図



温泉水は等水頭線に直角に、高水頭から低水頭の方に流動する。附図3の等水頭線図から温泉水頭は左岸赤岩川附近の高深度の温泉が最も高く、この地域から温泉水は対岸及び下流方向に流下している。又この地域から上流方向にも流出している。この高水頭地域は天ヶ瀬温泉では最も泉温が高く沸騰泉があり、又化学成分でも高濃度で前述の如く天ヶ瀬温泉では源温泉水に最も近い。(化学成分分析結果を参照) 図によれば成天閣橋附近から下流において急激な水頭低下が見られる。これは温泉分布(附図1参照)で見られるように、成天閣橋より下流には多数の温泉があり、最も温泉の豊富な地域で、自噴温泉や川中への自然湧出など温泉水の多量な流出による温泉水圧の降下によると思われるこれについては兩岸における川に添った温泉水頭の断面を求めると一層明白になる。附図4、5は兩岸に添った川水面と温泉水頭の断面である。

右岸の温泉水頭は上流程高い。したがって河の上流から下流方向への温泉伏流がある。水頭は成天閣橋附近から急激に低下し、下流では変化が殆んどない。河水面は水頭と略同じ傾向を示し、成天閣橋より上流では水面傾斜は大きく急流になっているが、下流では天ヶ瀬橋との間に堰が設けられているので、水面傾斜は小さくなっている。このように温泉水圧の変化と川水面の変化との間に相似点のあることは後述の如く、川水面と温泉水位との間に密接な相関関係があることから察知される。川水面と温

図4 温泉水頭と川水面との関係(右岸)



泉水頭を比較すると成天閣橋の下流では温泉水頭は川水面より高い。したがって温泉水と川水との間に連絡があれば、温泉は川水中に流出する。事実この地域では温泉の川水中への自然湧出が見られる。成天閣橋より上流では川水面の傾斜が温泉水頭のそれより大きく川水面は温泉水頭より高くなり、その差は上流に行くに従って大きくなる。両者間に連絡があれば川水は温泉水中に浸透流入してくる

左岸における温泉水頭の変化、川水面の変化並に両者間の関係などは右岸と略同じ傾向を示しているが、玖珠川と赤岩川の合流点附近では温泉水頭は川水面より著しく高く、又上流川添の温泉より高い。この高い水頭の温泉はボーリングによるもので、41号井60m、42号井は160mと他の温泉に比較して著しく深い。以上の結果から温泉は赤岩川に添った地域の地下に存在する高温且つ水圧の高い深部熱水が地層の亀裂を通過して低地である玖珠川の両岸に流出していると推察される。成天閣橋より上流地域では温泉水頭は川水面より低いが、過去の調査ではこの地域でも川中に多量の高温水（最高泉温 100℃）の湧出が見られた。したがって温泉水と川水との間には連絡があると考えられ、川水は温泉水層に浸透混入していると推察される。

成天閣橋を堺として上流地域と下流地域とでは川水面と温泉水頭との関係は逆であるが、この相違は川水位の変動による温泉水位の変動においてもその特性が現われている。

左岸の43、51号井は近隣の温泉に比較して水頭が著しく高い。これらの温泉は泉温が低いことから川水との連絡が密で、川水の混入が多いためと思われる。（表1参照）

b) 温泉水位と川水位との相関

温泉と川水との間には密接な関係があることは過去の調査で予測されたが、両者の相関関係を更に明確にする目的で温泉水位と川水位の連続観測を実施することにした。一般にこのような関係は地域的な違いあることが予想されるので多くの地点での観測が望ましいが、経費の関係もあって最少限の4地点を選定した。川水位も同様に場所によって変動量が異なるとは思われたが、川水の流動状態による観測の難易もあって温泉水位観測井の上流、下流側の間地点で観測した。河川水位の変動は毎年の洪水による観察によって略変動量が察知出来たが、温泉水位の変動記録は全くないので、観測の初期には記録の縮少率を $\frac{1}{2}$ にしたが、川水位の影響が著しく大きいことが判明したので、その後 $\frac{1}{3}$ に縮少した。各観測井は附図2に示す位置である。又各観測井の泉温を表2に示す。これらの観測井は揚水を行わないので他の利用温泉より低温である。

表2 温泉観測井の泉温

観測井番号	1	2	3	4	6 (深度 41m)		
泉温 (°C)	53.0	56.0	51.0	32.5	表面	76.0	孔底 104.0

観測井の温泉水位はいつでも川水位の変動によって変動し、両者間には密接な関係がある。附図6は各観測井の川水位の変化による水位変化の典型的な例である。各観測井の記録は時間間隔が異なるので図は変化の様相を見易くするため、同一時間間隔に直した。

図によれば下流の No.2 観測井では川水位と殆んど同じ変化を示し、時間的な遅れは見出せない。

図5 温泉水頭と川水面との関係 (左岸)

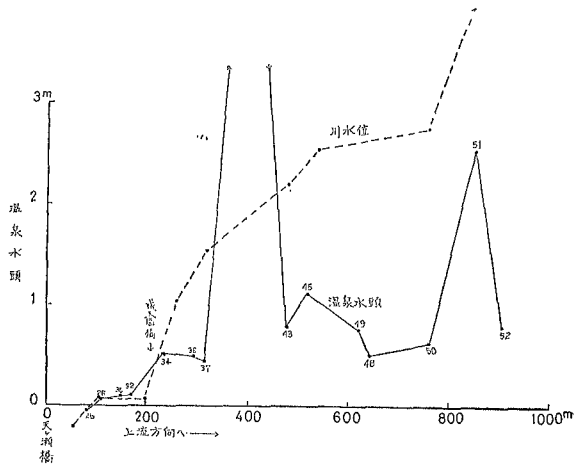
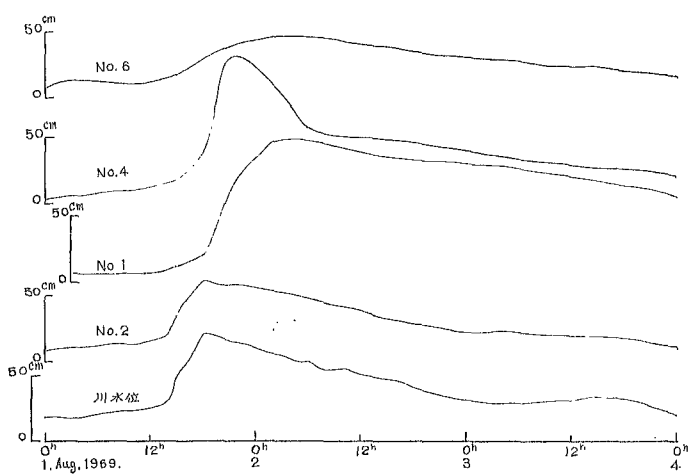


図6 川水位変動による温泉水位の変動



上流にある No. 1、No. 4 観測井では川水位の変化量に対して変化量が大きく、又位相の遅れが見られる。深部温泉水である No. 6 観測井においても川水位変化の影響が現われるが、その変化は他の観測井より小さく、No. 1 観測井と同程度の位相の遅れが見られる。上流観測点附近における川水位の変化について、増水時の観測では水位観測点と略同じ程度の変化が見られたので No. 1、No. 4 観測井の水位変化の大きいことは川水位変化の相違によるものではない。

No. 4 観測井の水位変化は No. 1 と変化の様相に幾分の相違があり、位相の遅れも幾分小さい様である。又川水位とは別の原因による変化があるようにも思われる。この原因は浅層地下水によるか、泉温が他の観測井に比較して低いことから地域的な温泉の地下構造、或は井戸構造によるか明らかでない。

観測井の上流に湯山水力発電所があり、発電機の修理やその他の関係から、しばしば短時間の放水停止や増加が行われ、川水位の急激な降下や上昇が起っている。このような川水位の変動によって各観測地点の温泉水と川水との連絡状態の良否や、その作用機構を考える上に注目すべき記録が得られた。附図7はこのような変化の例である。図によれば No. 2 観測井での変化が最も大きく、次いで No. 3 観測井であり、下流の観測井に変化が現われ、上流の No. 1、No. 4 観測井には現われない。川水位の変化に対する温泉水位の変化の割合は降雨による増水時より小さい。このような変化の地域的な違いは温泉水と川水の連絡の疎密を示すもので、No. 2 観測点で最も両者の連絡が密であることを示す。No. 1 観測井と No. 6 観測井とは近接した位置にあるが No. 6 にはその変化は小さいが現われているのに対し、No. 1 は全く現われてない。これは深層温泉水と浅層温泉水との賦存状態の相違に起因すると思われる。

図7 川水位急変化による温泉水位変動

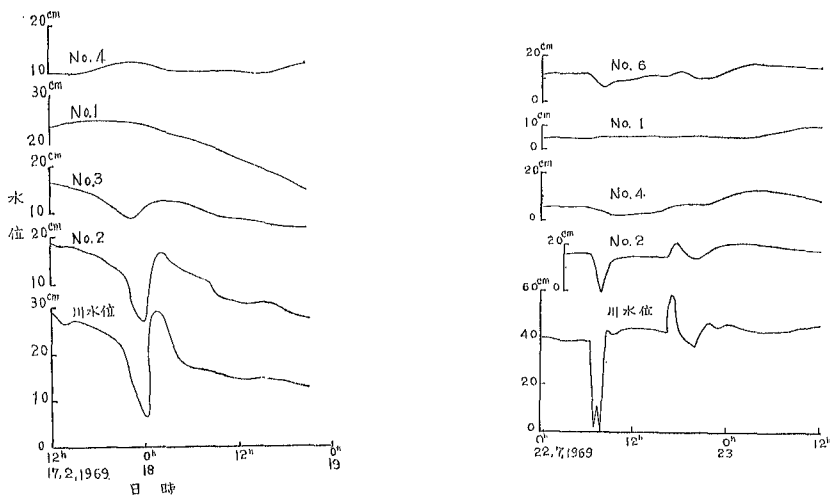
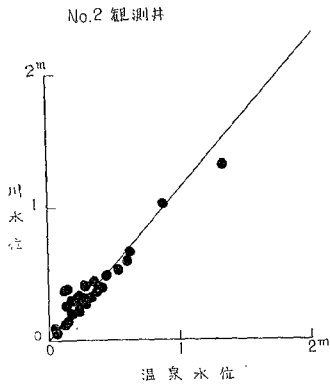
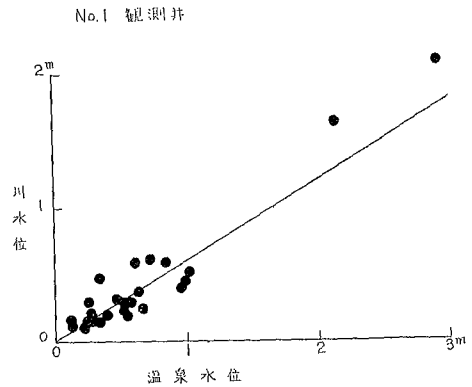


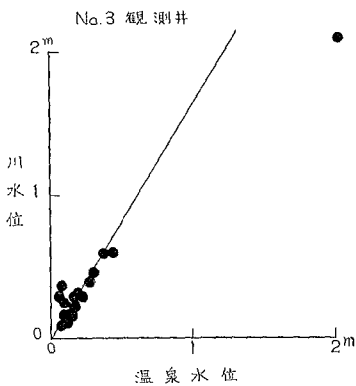
図8 (1) 川水位と温泉水位の関係



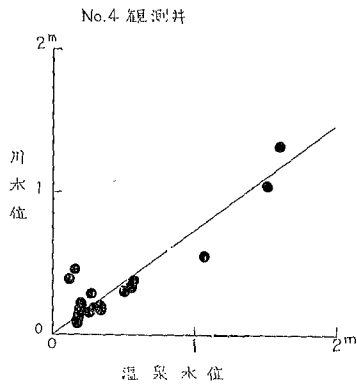
(2) 川水位と温泉水位の関係



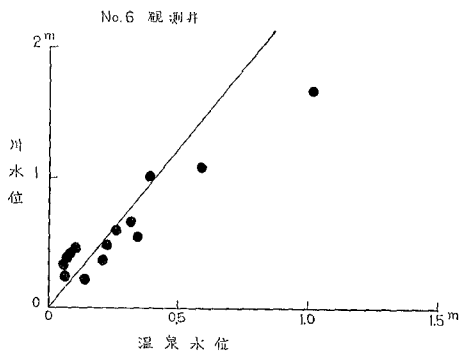
(3) 川水位と温泉水位の関係



(4) 川水位と温泉水位の関係



(5) 川水位と温泉水位の関係



附図8(1~5)は川水位の変動量に対する温泉水位の変動量との関係を示す。何れの観測井においても両者間に一次関係が成立し、温泉水位は川水位の上昇に比例して上昇する。

両者間の平均の係数を求めると次表の如くなる。

表3 川水位の変化に対する温泉水位の変化係数 h : 温泉水位、 H : 川水位

観測井番号	1	2	3	4	6
$\Delta h / \Delta H$	1.67	0.86	0.62	1.36	0.40

上流の観測井 No. 1、4 では温泉水位の変動は川水位の変動より大きく、又両者の関係に幾分の乱

れがある。この理由として上述の急激な川水位の変動は現われないこと、川水位の変動に対して位相の遅れがあることなどから温泉水位の変動量は川水位変動の作用時間の長短に左右されるからであろう。

以上の結果から上流と下流とでは川水の温泉に及ぼす作用機構に違いのあることが推察され、この違いは前述の温泉水頭調査の結果から、温泉水頭と川水面との関係が両地域で逆の関係にあることに起因すると思われる。即ち成天閣橋より下流では温泉水頭は川水面より高く、しかも温泉水は川水中に流出している。したがって川水位の上昇は温泉水の川水中への流出を阻止するので温泉水頭は上昇する。その上昇量は両者の連絡が密であれば川水位の上昇に応じ同じ高さだけ上昇する筈である。

もし両者の連絡が密でなければ川水位の変動は減衰して伝わり、温泉水頭の変化は川水位より小さくなり、位相の遅れが起こる。一方成天閣橋より上流では温泉水頭は川水面より底いから川水は温泉水層に透過流入しているであろう。したがって川水位の上昇によって透過水量も増大し、温泉水位の上昇が起こる。又一方成天閣橋より下流における温泉水頭の川水位による上昇は上流地域にその影響を及ぼし水位の上昇が起こる。したがってこの両作用により川水位より大きい温泉水位の変動が起こると推察される。

No.6 観測井は深層の温泉水についての観測であるが、附図6及び8—(5)で明らかなように川水位の影響が見られる。川水面と温泉水頭の比較から、河水は温泉水層にまで浸入し得ないと思われるが深部温泉水と浅層温泉水とは連絡があると考えられ、したがって浅層温泉水の変動は深部温泉水にまで及ぶであろう。しかし浅層温泉水程川水とは連絡が密でないからその変化の割合は小さくなり、その変化の様相は附近の浅層温泉水と一致している。

c) 化学成分と川水位との関係

天ヶ瀬温泉について化学成分相互間の関係から地下水の混入していることが判明した⁵⁾。地下水が河川水の透過したものであれば川水位の変動によってその混入量が変化する。温泉水と川水とではその化学成分濃度に違いがあるので両者間の関係が明らかになれば混入の有無が確かめられる。温泉の湧出状態、温泉水頭分布などからみて、川水の混入があるとすれば恐らく浅層と思われる。したがって混入後の通路における岩石中からの溶出その他の変化は少ないと思われるので、一般に温泉水中に多量に含み、且つ分析の容易なイオンであるNa、K、Ca、Mg、Cl、HCO₃、SO₄及びSiO₂、全硫黄の分析を行なった。

天ヶ瀬温泉は大部分が硫化水素泉であり、硫化水素は特長成分の一つであるが、過去の調査から保存性に乏しい成分であるのでこれに代わる成分として全硫黄の分析を行なったが、この成分でも保存性に乏しいことが明らかになったので途中において分析を中止した。

分析成分中最も含有量が多く、且つ保存的なイオンであるCl、Na、の含有量変化と川水変化とを対比すると附図9の如く、6号井は川から離れた赤岩川添にある沸騰泉で、泉温は高く、温泉水頭が川水面より高い地域にある。その成分濃度は他の温泉より高く、又川水位との明確な関係は見出せない。他の川岸にある温泉ではいづれも川水位の高い時は濃度が低くなり、低水位時には濃度が高くなって、明らかに河水の混入のあることを示した。この関係を一層見易くするため、成分中最も保存的であるClイオン量と川水位との関係を図にしたのが附図10である。

6号井では両者間に関係はなく、河水の混入は認められないが、他の温泉では幾分の乱れはあるが両者間に負の一次関係のあることが認められる。下流側にある温泉2,3,4号井では略その関係は等しく、又上流側の10,11号も略等しい。しかも両地域での川水位との関係に幾分の違いがあり、上流地域の方が同一川水位の変化に対し、含有量の減少は少ない。これは温泉水頭分布調査の結果と対比し、河水の透過混入について河水と温泉水との連絡状態や、混入地域の関係などによると考えられ注目される。

Clイオン以外の成分の川水位との関係についてはClイオンとの関係を求めることにより略その関

図9 川水位の変化によるNa⁺、Cl⁻量の変化

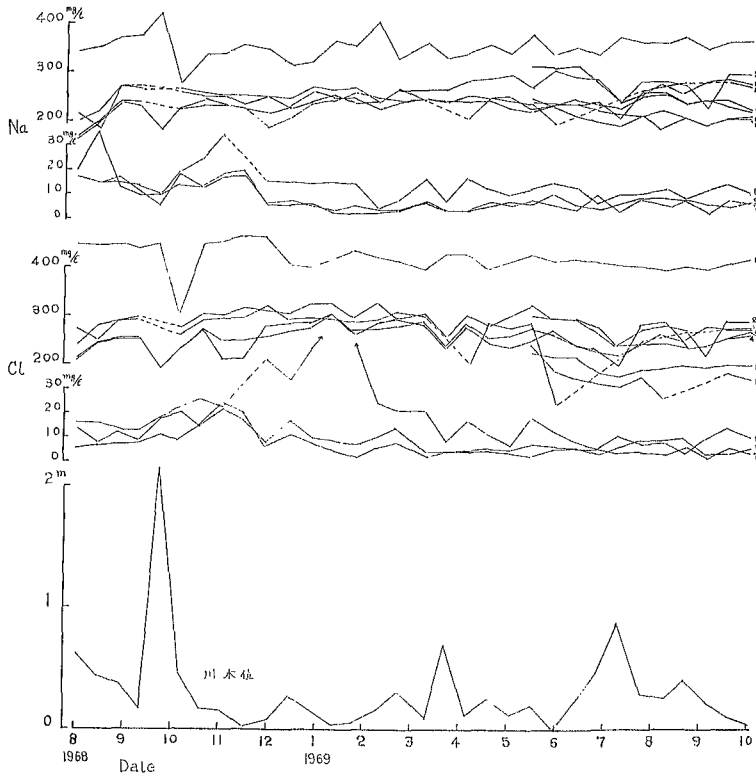
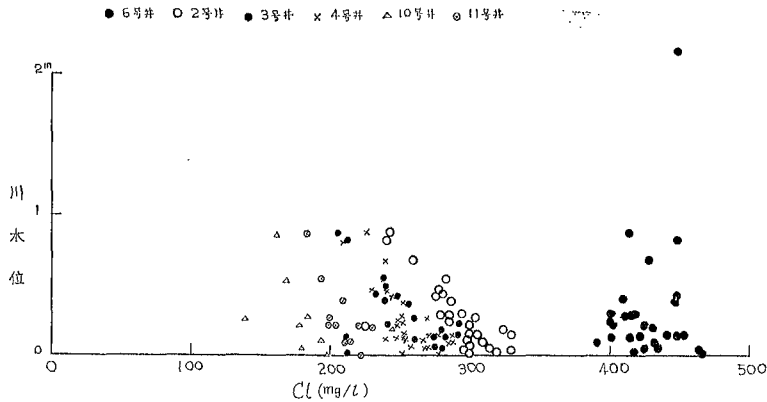


図10 川水位とCl⁻量との関係

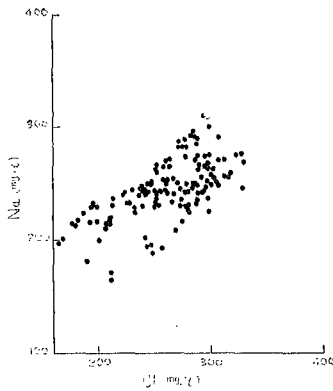


係が見出せる。附図11(1—4)はNa、K、HCO₃イオン及びSiの含有量とClイオン含有量との関係を示す。何れの成分も幾分の乱れはあるがClイオンと相関関係があり、これらの成分も亦Clイオンと同様に川水の混入により稀釈されていることを示している。

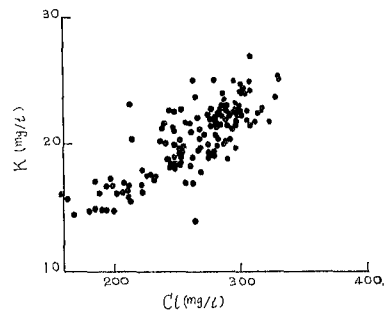
Ca、Mgイオンは含有量の少ないこと、河川水と温泉水との濃度差が小さいこと、保存性に乏しいことなどから両者の関係は明確でない。

泉温は泉源が密閉してあり、泉源での測定が出来ず、引湯先での測定であるから引湯途中の冷却があって川水位との関係は明確でない。

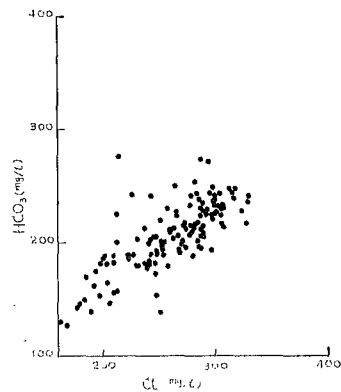
図11 (1) 化学成分相互間の関係



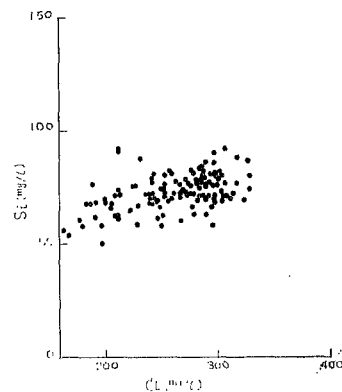
(2) 化学成分相互間の関係



(3) 化学成分相互間の関係



(4) 化学成分相互間の関係



4 温泉水の涵養源としての河川水

温泉の水頭分布から温泉水は赤岩川添から玖珠川の方に流出し、更にこの温泉が川に添って下流方向に流下している。その温泉水頭と川水面との関係から、川水の混入は成天閣橋より上流の地域である。成天閣橋から下流では温泉水は川水中に流出しているのでこの地域では川水の混入は起り得ない。赤岩川添にある高温な温泉は水頭が川水面より高く、又川水位の変化に対して温泉水の化学成分の変化は認められないので、川水の混入はないと推察される。

温泉水中に河川水が混入すれば温泉水の化学成分の濃度は希釈されて薄くなると共に泉温も亦降下する。山下は天ヶ瀬温泉について Na イオン含有量と泉温との間には一次関係が成立することを見出した⁷⁾。このときは泉温の測定が泉源において出来なかったので引湯途中の冷却があって乱れが生じた今回の調査で泉源での温度が測定出来たのでこれらの資料による修正、及び今回の化学成分分析資料を加えて最も保存的な成分である Cl、Na イオン含有量と泉温との関係を求めると附図 12、13 の如く一次関係が成立する。図を見ると泉温が 100℃に近い温泉では含有量は温度に無関係になる。これらの温泉は赤岩川添にある沸騰泉か、それに近い状態にある温泉で地下深部での熱水温度は 100℃以上の高温であるが、湧出途中の減圧による一部の水の蒸発か或は地層中への逸散によって熱が失われたからである。これらの温泉水には河川水の混入してないことが確認された。したがってこの地域の地下深部の高温熱水が浅部に流出し、河川水と混合湧出しているとして次の如き方法によってその混合割合を推算した。

地下に賦存する河川水の混入してない熱水の化学成分濃度を C_0 、温度を θ 、℃、これに混入する河川

水の化学成分濃度を C_r 、温度を θ_r °Cとし、混合後の熱水の化学成分濃度を C 、温度を θ °Cとすれば、この混合による化学変化、或は溶解度の関係によって成分が系外に出ることがなければ川水の混入率 x は

$$C_o(1-x) + C_r x = C \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_o(1-x) + \theta_r x = \theta \dots\dots\dots (2)$$

化学成分から $x = \frac{C_o - C}{C_o - C_r} \dots\dots\dots (3)$

泉温から $x = \frac{\theta_o - \theta}{\theta_o - \theta_r} \dots\dots\dots (4)$

(3)、(4)式において x の算出に採用する C_o 、 θ_o は赤岩川添にあるどの温泉の値を採用するかが問題である。温泉水頭から5号井も河川水の混入がないと思われるが、化学成分の調査で途中浚渫が行われ、又引湯施設の改良などにより十分な調査が出来なかったので明確な調査の出来た6号井の値を採用することにした。しかしこの温泉は沸騰泉で熱水と共に蒸気を噴出している。地下の潜水層中では100°C以上の高温であって湧出途中の減圧により熱水の一部が蒸気化して噴出しているとすれば、実測された地表での温度や熱水中の成分濃度は地下における熱水とは異なる筈である。実測された化学成分中ClやNaイオンは蒸気中への逸散や系外への逸脱は殆んどないと考えてよいから地下熱水の濃度 C より濃縮されている筈である。これらの値の実測は困難であるから附図12、13の関係及び沸騰泉の機構の関係式とから求めることにした。

図12 泉温とCl⁻量の関係

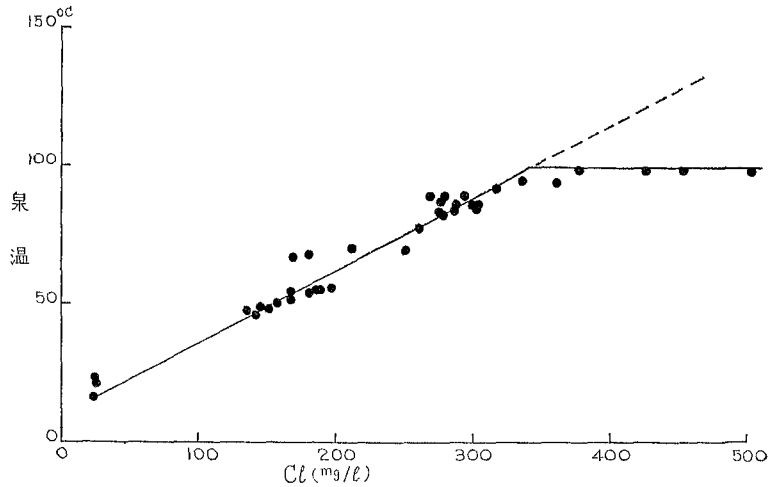
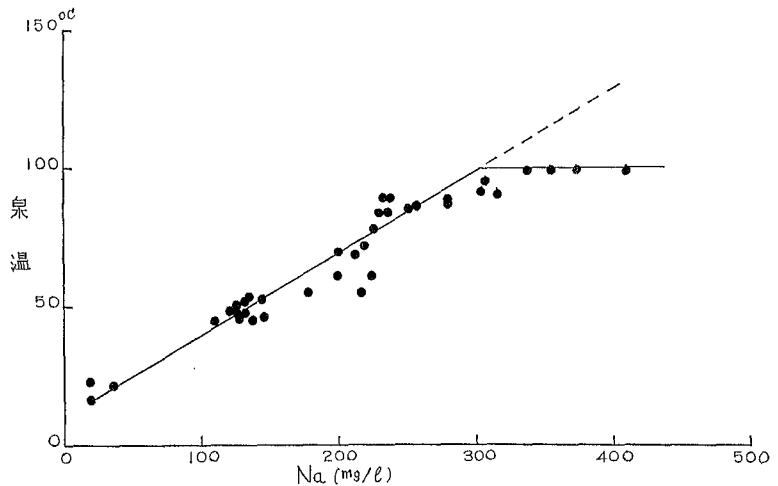


図13 泉温とNa⁺量の関係



附図12、13において100°C以下の泉温と化学成分量との関係が100°C以上の熱水にも成立するとし、6号井の地下熱水の温度が θ_o °Cであれば化学成分の濃度 C_o は

$$C_o = a\theta_o + b \dots\dots\dots (5)$$

泉温 θ_o の熱水が湧出途中における減圧によって一部が気化し大氣中に噴出しているとすれば

$$Q_o = Q_a + Q_s \dots\dots\dots (6)$$

ここに Q_o 、 Q_s は地下の湧出熱水及び大気中における湧出熱水の質量流量 Q は大気中に放出された蒸気の質量流量である。

湧出途中における熱伝導による熱の逸散を無視すれば熱エネルギーの連続の条件から

$$Q_o c \theta_o = Q_a c \theta_b + Q (\ell + c \theta_b) \dots\dots\dots (7)$$

ここに c は熱水の比熱、 ℓ は θ_b °Cにおける水の蒸発潜熱である。 $c \doteq 1$ とすれば

(6)(7)式から

$$\frac{Q_a}{Q_o} = 1 - \frac{\theta_o - \theta_b}{\ell} \dots\dots\dots (8)$$

大気中に流出する熱水の成分濃度の実測値を C_m とすれば

$$Q_o C_o = Q_a C_m$$

$$\therefore C_o = \left(1 - \frac{\theta_o - \theta_b}{\ell}\right) C_m \dots\dots\dots (9)$$

(5)式と(9)式とから

$$\theta_o = \frac{\theta_b C_m + \ell (C_m - b)}{a \ell + C_m} \dots\dots\dots (10)$$

前述の附図12、13の成分濃度と泉温の関係から温泉水中のClイオン濃度を C_h 、Naイオン濃度を C_n として両者の関係式を求めると

$$C_h = 3.75 \theta - 35 \dots\dots\dots (11)$$

$$C_n = 3.36 \theta - 32 \dots\dots\dots (12)$$

6号井について C_m は観測期間中の平均値を用い、又 $\theta_b = 100^\circ\text{C}$ 、 $\ell = 539\text{Cal}$ として(9)(10)式から地下熱水の θ_o 及びClイオン、Naイオンの濃度を求めると次表の如くなる。

表4 6号井における深部熱水の泉温並に化学成分濃度

算出成分	Cl	Na	平均
θ_o	119°C	114°C	117°C
C_m	426 mg/l	361 mg/l	
C_o	411 "	351 "	

一方混入する河川水について実測結果によれば成分濃度に不規則的な変化があるから(3)式の C_r には観測値の平均値を用い、又水温 θ_r には年平均値を用いた。

両岸に湧出する河川水の混入している温泉の化学成分の濃度(C)は水頭調査時に測定した源泉温度から(11)(12)式によって推算した値を用い、

河川水の混入している全温泉の平均濃度を求め、この値をCとして、(3)(4)式から平均的な河川水の混入率を求めた結果は次表の如くなる。

表5 天ヶ瀬温泉の河水混入率

算出成分	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	泉温 (°C)	
混入前の温泉水	411	351	117	
河川水	9.8	9.1	15.7	
河水混入温泉水	237	224	76.3	平均
河水の混入率	0.43	0.37	0.40	0.40

河川水の混入しているのは玖珠川の両岸に湧出し利用している温泉で平均混入割合は40%であるが、赤岩川添には河川水の混入していない温泉がありこの量を含めた天ヶ瀬温泉の総採取量に対しての河川水の混入割合は約32%になる

温泉水や混入する河川水において、その化学成分には原因の明らかでない変化があり、地域的に混入する浸透水に幾分の違いがあると思われ、

又算出成分が完全な保存性があるとは云い得ないから結果に幾分の相違が起ることは避け難い。

温泉水に混入する水は、河川水の外両岸の山地から川に流下する浅層地下水もあると思われるが、河川水位の上昇時には地下水位も上昇している時であり、両者の化学成分にも大きい違いがないので分離が困難である。又河川水の混入のない温泉水が6号井より濃度が低く、且つ泉温の低い温泉水（

5号井程度)であることも考えられ、これらのことは何れも混入率の推算においてその値を低下させる要因であるから、見積られた混入率は幾分過大に評価されていると推察される。

5 要 約

- 1 温泉水頭の分布から地下深部の高温熱水は赤岩川添の地域から玖珠川の左岸に湧出し更に対岸及び下流方向に流出していることが判明した。
- 2 温泉水頭と川水面とを比較すると、成天閣橋より下流の地域では温泉水頭は川水面より高く温泉は川水中に流出しているが、成天閣橋より上流では温泉水頭より川水面が高く、川水は温泉水層中に浸透混入の起る可能性が示された。
- 3 赤岩川添にある高温な温泉は水頭が川水面より高く川水の浸透混入は起り得ない。
- 4 川水位の変化による温泉水位の変化は成天閣橋より下流の地域では川水位の変化と略同じ変化を示すが、成天閣橋より上流の地域では川水位より大きい変化を示し、且つ位相の遅れがある。
- 5 成天閣橋より上流、下流の両地域で川水位の変化による温泉水位の変化に違いのあることは、温泉水頭と川水面との関係が両地域で異なることに起因し、上流地域では川水の温泉水層中に滲透混入していることを示唆している。
- 6 玖珠川の両岸に湧出する温泉は何れも化学成分の濃度と川水位との間には負の相関が認められ、川水の混入していることが示された。
- 7 赤岩川添にある高温な温泉は化学成分調査でも川水の混入は認められなかった。
- 8 泉温と化学成分との相関関係から天ヶ瀬温泉で河川水と関係のある温泉では平均して40%が河川水によって涵養されている。この量は現在天ヶ瀬温泉で採取されている温泉総量の約32%に当る。
終わりに本調査研究に協力していただいた大分大学教育学部志賀教授、佐藤史朗、天ヶ瀬町役場企画課、温泉所有者の諸氏に厚く感謝致します。

参 考 文 献

- | | |
|----------------------------------|----------|
| 1) 山下：天ヶ瀬温泉調査報告、大分県温泉調査研究会報告 | 3、昭和27年 |
| 2) 山田：直入郡、竹田市、日田郡、日田市の温泉現況調査、全 上 | 20、昭和44年 |
| 3) 山下：大分県天ヶ瀬湯の釣温泉の水系、全 上 | 18、昭和42年 |
| 4) 1) に同じ | |
| 5) 3) に同じ | |
| 6) 1) に同じ | |
| 7) 3) に同じ | |

由布院温泉における揚水試験（第2報）

京大理学部 山下 幸三郎
川村 政和

はじめに

由布院温泉は湧出する地域が広く、温泉伏流の状態に地域的な違いのあることが過去の調査から明らかである。温泉は一般の地下水と比較して帯水層の地質構造が複雑な場合が多く、一地域における揚水影響から全地域での揚水影響を推測することは困難である。したがって多くの地点での揚水試験が必要であるが、経費の関係から、前年度は由布院駅から南の田中市・石松地区及びその周辺で調査を行いその結果を報告した。本年度は駅から東の古来自然湧出泉があり温泉井の密集している乙丸・湯ノ坪・岳本地区で実施した。

温泉水の静止水頭分布の調査は、地下における温泉水の動向を察知するのに重要な調査の1つであり、又、揚水影響や温泉の計画的な採取を考える場合の重要な資料でもある。したがって由布院温泉全域についての調査が最も望ましいが、本年度は揚水試験を行った岳本・湯ノ坪地区の一部についての調査しか出来なかった。

揚水試験の結果、温泉の賦存構造や流出機構は別府温泉と略同じ状態であると考えられ、したがって揚水影響の解析において、既に別府温泉で行ったのと同様な方法が適用出来るとして調査結果を解析し、温泉密集度と揚水影響との関係について考察する。

揚水試験の結果

図1の●印は揚水試験を行った温泉井の位置を示す。又、図中○印は前年度に調査したところである。

乙丸地区から湯ノ坪地区にかけては旧くから温泉が開発されていたところで、温泉孔数も多くそのほとんどが自噴井で、又、昔のままの古い温泉井もいくつか残っている。特に湯ノ坪地区は湯ノ坪温泉として知られたところで、由布院では最も温泉井の密集しているところである。だが近年、周辺における温泉開発のためか水圧が低下し湧出量が減少してエアリフトを行う温泉井が急速に増えつつある。

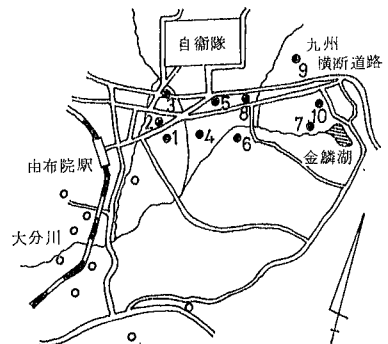
岳本地区については、旧くは金鱗湖の附近に自然湧出泉や数孔の温泉井しかなかったところであるが、温泉の需要が増すと共に近年急に開発が進んだところである。そのために温泉井間の距離規制を受けて、半径100m以内に5～6孔程度の、比較的均一な分布をしている。ここでは金鱗湖の西から南側にかけての低地部に自噴地帯があるが、それより北の山側では温泉水面が地表面より低くエアリフトを行っている。

揚水試験は前年度に行ったのと同様な方法を採用し、観測井では9～17時の間に15～60分の間隔で泉温・湧出量又は水位を測定した。揚水は前年度の結果を考慮し10～14時の4時間程度行った。

観測井がエアリフト井の場合、揚水を停止すると導管中に滞留する温泉水は周辺の地温が低いために冷却されて密度が

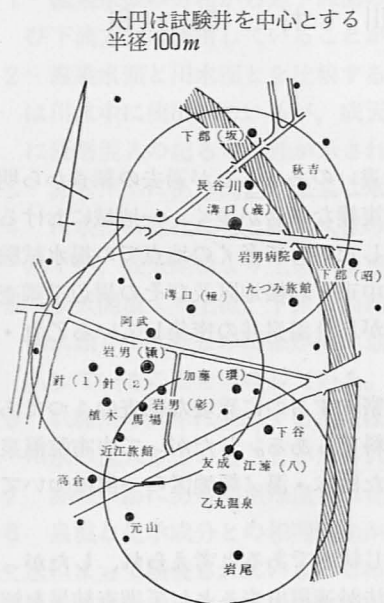
図1 揚水試験井 (○は前年度調査)

- 1：乙丸温泉
- 2：岩男額一温泉
- 3：溝口義記温泉
- 4：渡辺志郎温泉
- 5：亀の井バス温泉
- 6：玉乃湯(1)温泉
- 7：吉永重三郎温泉
- 8：日野真一温泉
- 9：江藤長生温泉
- 10：八川正士温泉



増大し、温泉水圧は一定であっても水面は泉温降下と共に指数函数的に低下し、揚水影響と重合して影響の解析を困難にしている。したがってこの場合の解析は、揚水試験の前日に測定した導管中の泉温降下による水面低下の状態からこの影響を除去し、揚水による影響を求めた。

図2 乙丸地区温泉分布



乙丸地区揚水試験 (図1~5)

この地区は旧くから温泉が開発されていたところであり、北西部ではエアリフトを行っているが他は自噴地帯である。特に町有乙丸温泉の附近には未だ自然湧出泉があり湯量が豊富な地域である。

乙丸温泉は95 l/min湧出する自噴井であるが、エアリフトにより20 l/minの過剰揚水を行った。しかし過剰揚水量が自噴量に比して少いので、揚水停止時に自噴量を75 l/minに抑制して効果を高めた。井戸の深さはほとんど50~100mで、近江旅館元山井の2孔が200mである。影響は揚水試験井の南側にある岩尾・元山の2孔で顕著にみられる。これに対して北側では大きい影響は現われていない。試験井周辺の温泉孔分布は北側が密で南側が疎である。したがって揚水影響の方向による違いは温泉孔分布の不均一によって生じたと思われる。この様な現象は既に別府温泉で観測されている。試験井の深さは100mであるが、深さの異なる観測井にも影響があり深部・浅部の温泉水層間に交流のあることを示している。

図3 乙丸温泉揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

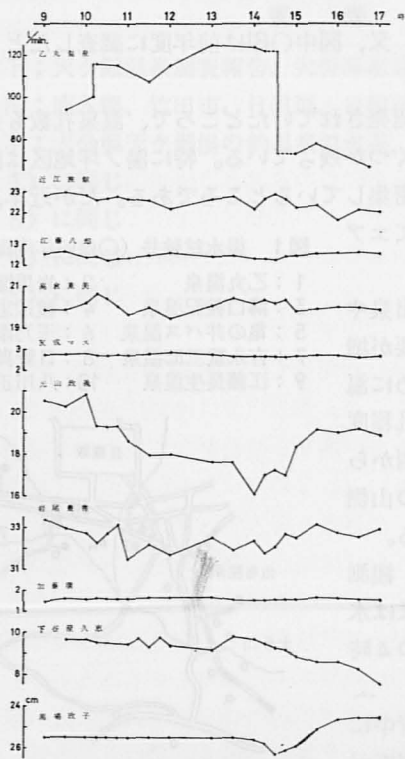


図4 岩男額一温泉揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

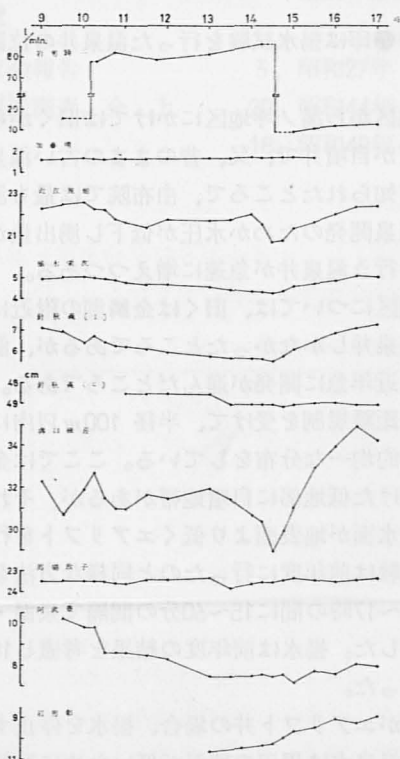
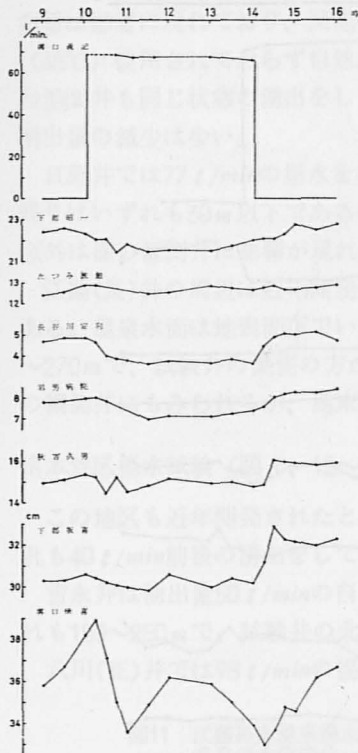


図5 溝口義記温泉揚水による
周辺温泉の湧出量又は水位変化



岩男(頼)井は湧出量が15 l/min の自噴井で、さらに69 l/min の過剰揚水を行った。この地区の井戸の深さは50~200 m である。近江・植木・針(1)・溝口・阿武井に影響がみられるが、深さの異なる観測井にも影響があることからこの地域でも深部と浅部の温泉水層間に交流のあることが示された。

溝口(義)井では67 l/min の揚水を行った。この地区は東側に自噴帯があるが、西側では全てエアリフト井である。井戸の深さも150~200 m で、乙丸温泉地区に比較して全般的に深くなっている。ここではいずれの観測井にも明確に影響が現れている。

湯ノ坪地区揚水試験 (図1、6~12)

この地区は北部の山の手では温泉水面が地表面下であるからエアリフトを行っているが他は自噴地帯である。

渡辺井を中心にして半径100 m の範囲内には17孔もの温泉井があり、かなり温泉孔密度の高いところである。渡辺井は湧出量7 l/min の自噴井で、ここでは52 l/min の過剰揚水を行った。この影響は試験井と同じ深さ100 m 程度の観測井に顕著に現われているが、浅い江藤(1) (24 m)、中興鉱業 (古い井戸で深度不明)、由布院教会井 (自然湧出) ではそれほど明確でない。

亀の井バス井は湧出量が16 l/min の自噴井で、過剰揚水量は74 l/min である。観測井はいずれも自噴しており、井戸の深さは中興鉱業・倉田井を除いて100~200 m である。影響は清良・萬象苑・月星ゴムの3孔で顕著であるが、他では明確でない。又、影響

は試験井と同一温泉水層か或は揚水温泉水層間に連絡のあるものに現れたように思われる。

図6 湯ノ坪地区温泉分布 大円は試験井を中心とする半径100 m

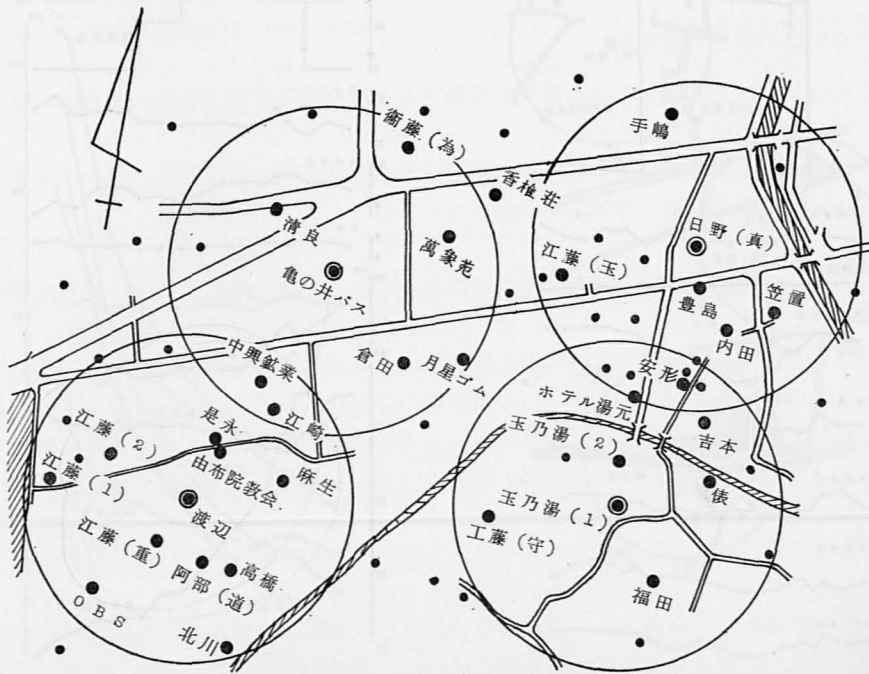


図7 渡辺志郎温泉揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

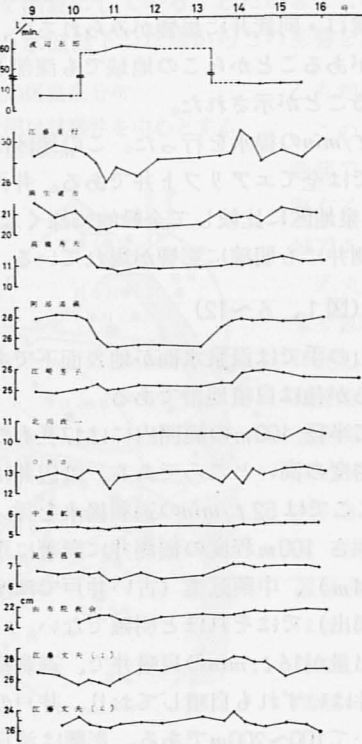


図8 亀の井バス温泉揚水による周辺温泉の湧出量変化

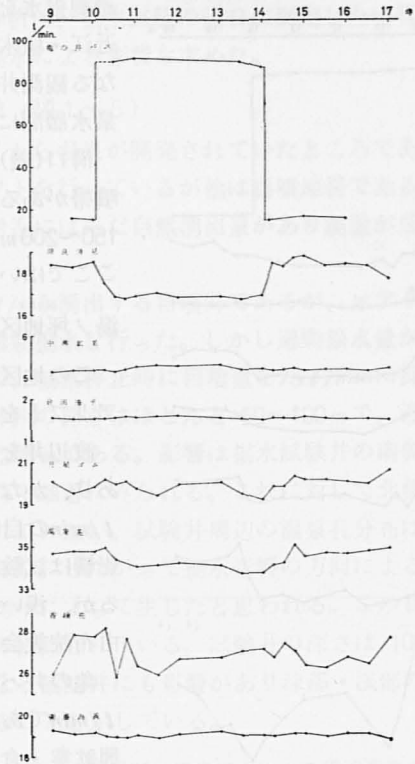


図9 玉乃湯(1)温泉揚水による周辺温泉の湧出量変化

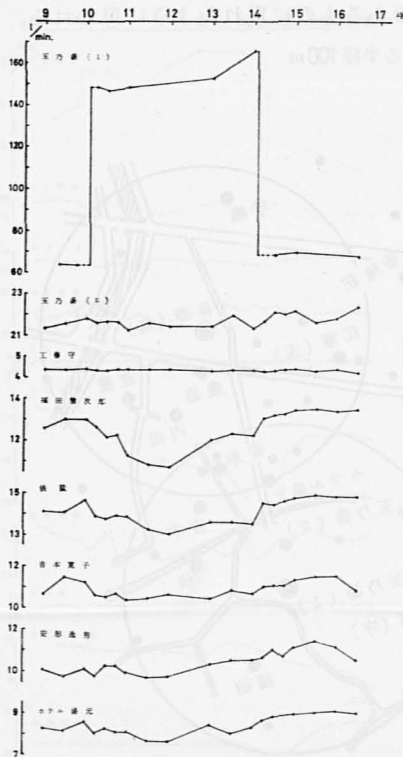
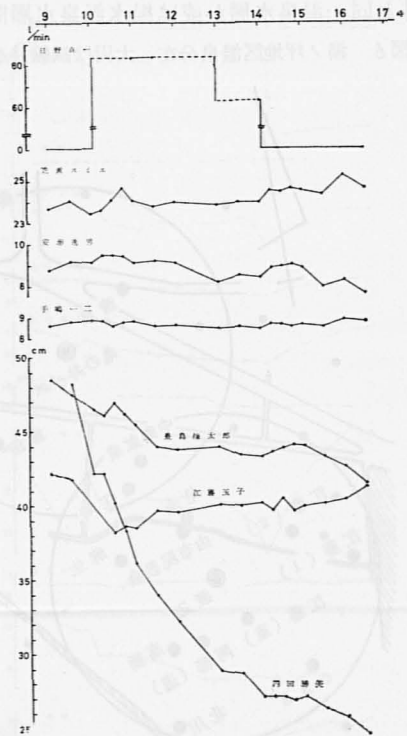


図10 日野真一温泉揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化



玉乃湯(1)は64 ℓ/min の湧出がある自噴井であるがさらに89 ℓ/min を過剰揚水した。井戸の深さは玉乃湯(2)・工藤・安形井が30m以下であるのに対し他は100m前後である。福田井だけが150mであるが影響は顕著に現れており、又他の採水層の異った観測井にも影響が現れている。工藤井は泉温が低く(45°C)使用されておらず自然湧出に近い温泉井である。したがって影響も現れないのであろう。玉乃湯(2)井も同じ状態の湧出をしている温泉井である(泉温は高い)ので、試験井からの距離は近いが湧出量の減少は少い。

日野井では77 ℓ/min の揚水を行った。井戸の深さは笠置・内田井が200m、日野・手嶋井が80mで残りはいずれも30m以下である。影響は笠置・手嶋・豊島・内田井に現れ、試験井に最も近い豊島井以外は深い観測井に影響が現れている様である。

江藤(長)井の周辺は近年開発が行われた地区であり、今度の調査では最も温泉孔数の少いところである。温泉水面は地表面下でいずれの温泉井もエアリフトを行っている。井戸の深さはいずれも150~270mで、試験井の東側の方が西側に比べて深い。江藤(長)井での揚水は65 ℓ/min でその影響はどの観測井にもみられるが、島末・浦田・溝口井など試験井の北側にある観測井に大きく現れている。

岳本地区揚水試験 (図1、12~14)

この地区も近年開発されたところで温泉孔密度は低い。金鱗湖の西側は自噴地帯で、いずれの温泉孔も40 ℓ/min 前後の湧出をしていて湯量も豊富であるが、北側の山の手ではエアリフトを行っている。

吉永井は湧出量50 ℓ/min の自噴井であり、これに31 ℓ/min の過剰揚水を行った。井戸の深さはいずれも150~250mで、試験井の北側より南側の方が深い。影響は亀の井別荘井以外は明確でない。

八川(正)井では98 ℓ/min の揚水を行った。観測井の内、南側の3孔は自噴井で他の4孔はエアリフ

図11 江藤長生温泉揚水による周辺温泉の水位変化

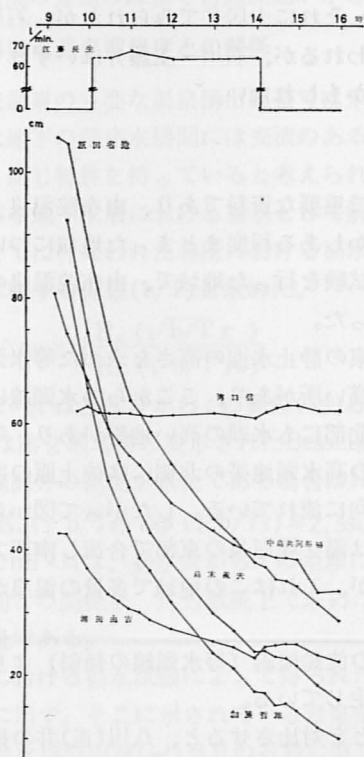


図12 湯ノ坪及び岳本地区温泉分布
大円は試験井を中心とする半径100m



図13 吉永重三郎温泉揚水による
周辺温泉の湧出量変化

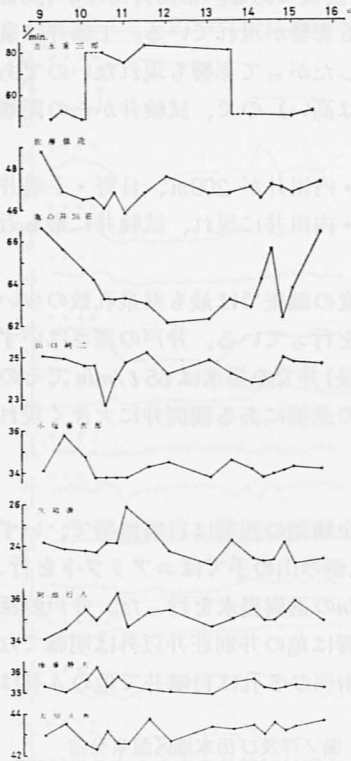
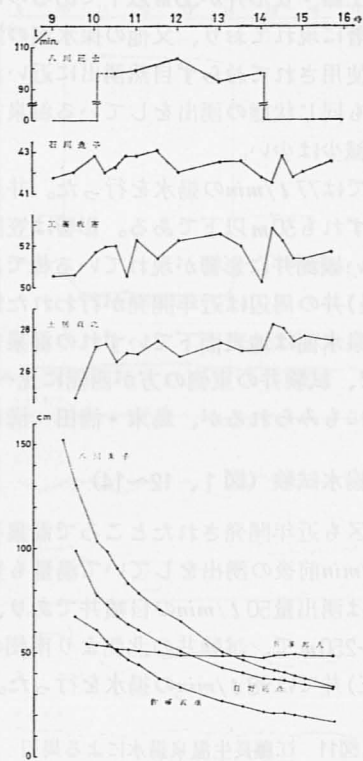


図14 八川正士温泉揚水による周辺
温泉の湧出量又は水位変化



ト井である。影響は佐藤(邦)・八川(圭)・日野・佐藤(義)それに土居井でみられたが、石川・工藤井には現われていない。これは方向性が現れているとも思われるが、石川・工藤井はいずれも自噴井でしかも湧出量も多いため、測定精度の差から生じたことかもしれない。

岳本・湯ノ坪地区の静止水頭調査

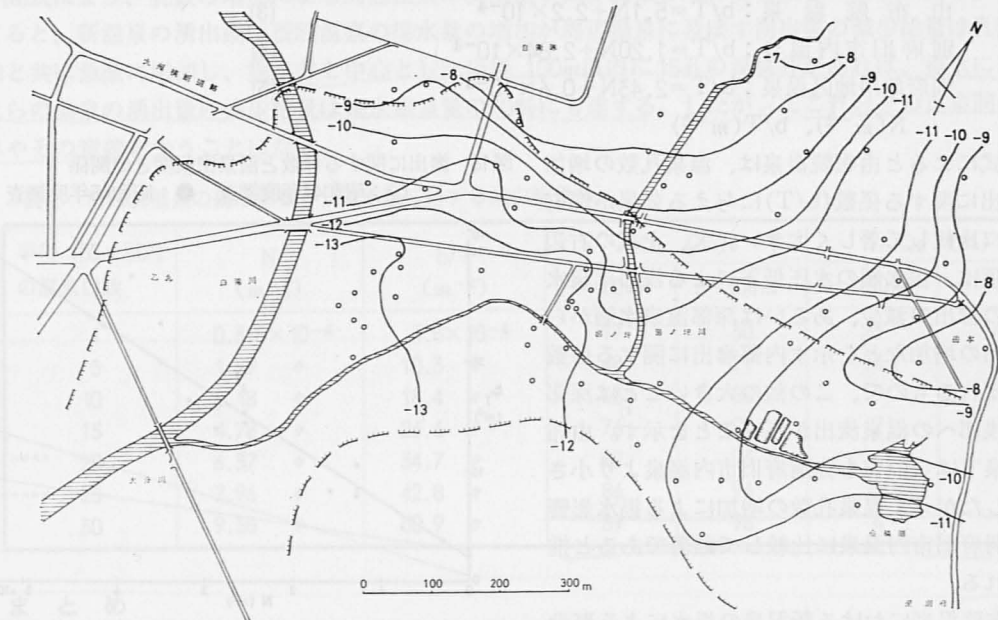
温泉の静止水頭分布は前述の如く揚水影響を考察する上で重要な資料であり、由布院温泉全域にわたる調査が必要であるが経費の関係から出来なかった。しかしある程度まとまった地域についての調査を行わなければこの活用は出来ないので、本年度は揚水試験を行った地域で、由布院温泉の湧出地域の北東端に位置する岳本・湯ノ坪地区の一部について行った。

図15は図中×印の地点における地高を基準点として、温泉の静止水面の高さを求めた等水頭線図である。これによると金鱗湖の北側、横断道路沿いに水頭の高い所があり、ここから等水頭線は低地である南々西の方向に舌状に張り出している。湯ノ坪温泉の北部にも水頭の高い地帯があり、等水頭線は地高と略平行し湯ノ坪温泉の方向に張り出している。この高水頭地帯の北側には佐土原の噴気地帯がある。温泉水は等水頭線に直角に高水頭から低水頭の方に流れている。したがって図から調査地域には2つの異なる温泉伏流のあることが認められ、両者は湯ノ坪温泉の東部で合流し南西方向に流下している。湯ノ坪付近では等水頭線の間隔が開いているが、これはこの地域で多量の温泉が湧出し水頭が低下したからであろう。

図中点線で示す範囲は自噴地帯であるが、これは温泉水の流動傾斜(等水頭線の傾斜)より地高の傾斜の方が急であることから、低地帯において自噴地帯が生じている。

揚水影響と静止水頭分布から得られた温泉水の流動状態とを対比させると、八川(正)井の揚水においてこれと同じ流れの方向をもつ温泉井に影響が現われ、流れの異なる方向をもつ温泉井には現われ

図15 乙丸、湯ノ坪、岳本地区の温泉自噴地帯と静止水頭分布 ○：静止水頭調査井 ×：基準点



ていない。又、江藤(長)井の揚水では流れの上流側に大きな影響が現われている。他の揚水試験では明確な関係は現われていない。自然流動のある地下水を揚水する場合の影響は下流側で大きく現われる筈であるが、調査結果からは上述の如く明確でない。これは温泉水層の特性、温泉孔分布の不均一、温泉水層間の連絡の疎密や自然流速が小さい場合等の原因によると思われる。

揚水影響と温泉密集度との関係

由布院温泉の主要な温泉湧出地帯では未だ多数の自噴井があり、又、揚水試験の結果からこれらの地帯では地下の温泉水層間には交流のあることが示された。このような温泉水層の構造や湧出状態は別府温泉と同じ特性を持っていると考えられ、したがって揚水影響の解析は、山下が別府温泉において⁴⁾ 滲出のある地下水層における揚水として解析した方法が最も適切であると思われる。

これまでに行なわれた各所における揚水試験の結果から、観測井の測定が湧出量の場合は次式により滲出に関する係数(b/T)を求めた。

$$\Delta q_r = Q \frac{K_0(\sqrt{b/T} r)}{K_0(\sqrt{b/T} r_0)} \quad (1)$$

ここで Δq_r は揚水井から r の距離にある観測井の湧出量の減少量、 Q は揚水量、 r_0 は井戸半径、 $K_0(x)$ は第2種零階の変形されたBessel函数である。

又、観測井の測定が水位である場合はHantushの図解法による次式から求めた。

$$K_0(\sqrt{b/Tr}) \exp(\sqrt{b/Tr}) = 2.3s_i/m_i \quad (2)$$

ここで $m_i \cdot s_i$ は、揚水井から r の距離にある観測井における揚水開始後又は揚水停止後の水位変化量と時間との関係を、片対数紙上で求めた曲線の変曲点における勾配及びその点における水位低下又は上昇量である。

各所における揚水試験によって得られた影響から(1)、(2)式によって求めた滲出に関する係数(b/T)を表1に示す。そこに示されている温泉密集度(N)は、揚水井を中心とした半径100m以内にある自噴井の数を単位面積(m^2)当りの孔数に直した値である。滲出に関する係数(b/T)と温泉密集度との関係は、図16の如く別府温泉で得られた結果と同様に両者間には一次関係が成立する。両者間の関係式を

求め、これを別府温泉で求められた結果と比較すると次式の如くなる。

$$\text{由布院温泉} : b/T = 5.1N + 2.2 \times 10^{-4} \quad (3)$$

$$\text{別府旧市内温泉} : b/T = 1.20N + 2.84 \times 10^{-4} \quad (4)$$

$$\text{別府亀川地区温泉} : b/T = 2.43N + 0.6 \times 10^{-4} \quad (5)$$

$$N(m^{-2}), b/T(m^{-2})$$

上式によると由布院温泉は、温泉孔数の増加が滲出に関する係数(b/T)に与える効果が別府温泉に比較して著しく大きい。又、上式の右辺第2項は、揚水層の水圧低下による浅部温泉水層への滲出の減少、あるいは深部温泉水層からの滲出の増加などを示す内部滲出に関する係数と呼ばれるもので、この値の大きいことは深部から浅部への温泉流出が多いことを示す⁴⁾。由布院温泉ではこの値も亦別府旧市内温泉より小さい。したがって温泉孔数の増加による揚水影響は、別府旧市内温泉に比較して顕著であると推察される。

由布院温泉における新温泉の揚水による既設温泉への影響は、温泉の密度から(3)及び(1)式によって求めることが出来ると共に、揚水井周辺温泉の湧出量の減少総量をも次式によって求めることが出来る。

$$\Delta Q_r = Q \frac{b_1/T}{b/T} \left\{ 1 - \sqrt{b/T_r} K_1 (\sqrt{b/T_r}) \right\} \quad (6)$$

ここで ΔQ_r は揚水井からrの距離にあたる温泉湧出量の減少総量、Qは揚水量、 b_1/T は温泉密集

図16 滲出に関する係数と温泉密集度との関係

○：昭和44年度調査 ●：昭和45年度調査

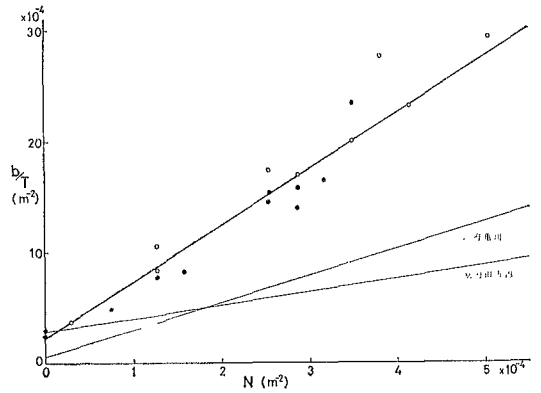


表1 温泉密集度と滲出量に関する係数

年 度	揚 水 試 験 井	半径100m以内の自噴井数	N (m ⁻²)	b/T (m ⁻²)
昭 和 44 年 度	木 下 和 昭	11	3.50 × 10 ⁻⁴	20.0 × 10 ⁻⁴
	三重野 博	17	5.41 "	29.3 "
	志 手 静 雄	13	4.14 "	23.2 "
	富 永 岩 夫	12	3.82 "	27.6 "
	秋 吉 直	8	2.55 "	17.3 "
	井 上 佐 一	4	1.27 "	10.6 "
	小 湯 布 院 町	9	2.87 "	16.9 "
	川 崎 敬之助	4	1.27 "	8.37 "
昭 和 45 年 度	乙 丸 温 泉	10	3.18 "	16.5 "
	岩 男 顕 一	8	2.55 "	15.3 "
	溝 口 義 記	4	1.27 "	7.82 "
	渡 辺 志 郎	9	2.87 "	14.0 "
	亀 の 井 バ ス	9	2.87 "	15.8 "
	玉 乃 湯 (i)	11	3.50 "	23.4 "
	吉 永 重三郎	5	1.59 "	8.18 "
	日 野 真 一	8	2.55 "	14.3 "
江 藤 長 生	0	0.00	2.39 "	
八 川 正 士	0	0.00	2.88 "	

度のみによる滲出に関する係数、 $K_1(x)$ は第2種1階の変形された Bessel 函数である。

(6)式により、孔数の増加による周辺温泉の湧出量の減少総量を求めると表2のようになる。これによると、新温泉の湧出或は既設温泉の採水量の増加が周辺温泉に及ぼす湧出量の減少総量は孔数の増加と共に急激に増加し、揚水井を中心とした半径100m以内に15孔の温泉井があれば、揚水によるこれらの温泉の湧出量の減少総量は揚水温泉量の90%にも達する。したがってこれ以上の温泉開発は最早やその意義を失うことになる。

表2 由布院温泉の揚水影響 (揚水量に対する減少総量%)

半径 100m以内 の温泉口数	N (m^{-2})	b/T (m^{-2})	ΔQ_1 (%)		ΔQ_2 (%)	
			r=50m	r=100m	r=50m	r=100m
1	0.318×10^{-4}	3.8×10^{-4}	17	30	23	40
5	1.59 "	10.3 "	48	71	13	19
10	3.18 "	18.4 "	66	85	9	12
15	4.78 "	26.6 "	76	90	7	8
20	6.37 "	34.7 "	82	93	6	6
25	7.96 "	42.8 "	86	94	5	5
30	9.55 "	50.9 "	89	96	4	4

ま と め

上述の調査結果をまとめると次の様になる。

- 1、揚水試験の結果から、深さの異なる温泉井にも影響が現れ、温泉水層間に交流のあることが知られた。
- 2、方向により影響に差を生ずるものには、温泉孔分布の疎密によるものと静止水頭分布から知られる地下温泉水の流動方向によるものがある。
- 3、静止水頭の高いところは岳本と湯ノ坪の北側に2ヶ所あり、温泉水はその方向から流れてきている。
- 4、滲出に関する係数 (b/T) と温泉密集度 (N) の間には密接な関係があり、それは次式で表わされる。

$$b/T = 5.1N + 2.2 \times 10^{-4}$$

- 5、由布院温泉は湯量は豊富なように見えるが、揚水による影響が大きく、半径100mの範囲内に温泉が15孔以上になると温泉開発としての意義は失われる。

終りに、本調査に協力下さった大分県業務温泉課・湯布院町役場・温泉所有者の諸氏に厚く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 軽部末藏：大分県由布院温泉に於ける Cl' 、 HCO_3' 、 SO_4'' の分布について
大分県温泉調査研究会報告、2号、昭和26年
- 2) KŌSABURŌ YAMASHITA：Hydrothermal System in Yufuin Geothermal Field, Ōita Prefecture,
Special Contributions, Geophys. Inst. Kyoto Univ., No. 7, 1967
- 3) 由佐悠紀、川村政和：湯布院温泉における揚水試験 (第1報)
大分県温泉調査研究会報告、21号、昭和45年
- 4) 山下幸三郎：自噴井群における揚水の影響について
大分県温泉調査研究会報告、12号、昭和36年

5) 山下幸三郎：別府温泉の泉源保護について（Ⅰ）

大分県温泉調査研究会報告、18号、昭和42年

6) 山下幸三郎：別府温泉の泉源保護について（Ⅱ）

大分県温泉調査研究会報告、19号、昭和43年

由布院温泉揚水試験資料

湯布院 乙丸温泉揚水試験
測定年月日 昭和45年10月20～21日

揚水量・湧出量 (ℓ/min) 泉温 (℃)

時刻	日 時 分	10.10	10.12	10.15	10.45	11.30	12.00	13.00	14.00	14.15	14.35	15.00	15.30
揚水量	21. 9.30	99.90	揚水開始	115.7	115.1	107.3	114.8	124.8	123.5	121.4	揚水停止	73.16	77.66
泉温		—	—	61.0	61.2	—	61.2	61.2	61.2	61.2	—	61.2	—
時刻	日 時 分												
揚水量	21.16.45												
泉温		67.04											

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm) 泉温 (℃)

近江旅館	時刻	日 時 分	14.35	15.05	15.35	16.05	16.35						
	湧出量	20.14.05	21.97	22.52	21.80	21.80	22.36						
	泉温		53.5	53.0	52.5	53.5	53.5						
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	21.9.00	22.93	22.82	22.54	22.63	22.74	22.62	22.56	22.13	22.62	22.74	22.13
	泉温		53.0	53.5	53.5	53.5	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	21.14.15	22.86	22.63	22.25	22.34	21.65	22.16	22.08				
	泉温		54.0	53.5	53.5	53.5	54.0	53.5	53.5				

江藤八郎	時刻	日 時 分	15.45	16.15	16.45	17.15							
	湧出量	20.15.15	12.01	12.72	12.60	12.62							
	泉温		49.8	50.0	49.6	49.5							
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	21. 9.00	12.62	12.35	12.38	12.20	12.29	12.32	12.43	12.57	12.42	12.45	12.31
	泉温		49.5	49.8	49.8	50.0	50.0	50.0	50.5	50.5	51.0	51.0	51.0
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	21.14.15	12.29	12.24	12.40	12.47	12.55	12.59	12.64	12.60			
	泉温		51.0	50.8	50.5	50.2	49.8	49.6	49.6	49.0			

高倉美	時刻	日 時 分	15.05	15.35	16.05	16.35	17.05						
	湧出量	20.14.35	21.21	20.49	19.66	19.99	19.98						
	泉温		54.6	54.5	54.5	54.5	54.6						

時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
湧出量	21. 9.00	19.87	20.21	20.65	20.42	20.03	19.66	19.98	19.45	20.09	20.43	20.20
泉 温	21. 9.00	54.6	54.5	54.5	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
湧出量	21.14.15	20.20	20.36	19.82	19.93	20.03	20.03	19.92				
泉 温	21.14.15	54.6	54.8	54.9	54.9	54.5	54.5	54.5				

友 成 マ ス	時刻	日 時 分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	20.13.30	2.80	2.79	2.79	2.75	2.73	2.74	2.72				
	泉 温	20.13.30	51.9	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0				
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	21. 9.00	2.74	2.77	2.70	2.69	2.73	2.69	2.75	2.83	2.75	2.67	2.65
	泉 温	21. 9.00	51.5	51.4	51.3	51.5	51.5	51.5	51.5	51.4	51.5	51.5	51.2
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
湧出量	21.14.15	2.65	2.63	2.70	2.72	2.73	2.64	2.73					
泉 温	21.14.15	51.3	51.2	51.3	51.3	51.5	51.2	51.3					

元 山 政 義	時刻	日 時 分	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00						
	湧出量	20.14.30	23.79	21.72	21.47	21.64	20.85						
	泉 温	20.14.30	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0						
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	21. 9.00	20.24	20.85	19.33	19.03	19.27	18.62	17.96	17.99	17.65	17.61	16.11
	泉 温	21. 9.00	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
湧出量	21.14.15	17.25	16.97	18.37	19.18	19.08	19.25	18.96					
泉 温	21.14.15	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0					

岩 尾 豊 善	時刻	日 時 分											
	湧出量	20.17.00											
	泉 温	20.17.00											
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	21. 9.00	32.93	32.70	32.26	32.69	33.16	31.48	32.14	31.69	32.53	31.92	32.35
	泉 温	21. 9.00	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
湧出量	21.14.15	31.79	32.08	32.70	32.53	33.16	32.75	32.58	32.98				
泉 温	21.14.15	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0				

加藤環	時刻	日 時 分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00			
	湧出量	20.13.35	1.63	1.67	1.63	1.64	1.59	1.63	1.59			
	泉 温	20.13.35	61.9	62.1	62.2	62.0	62.0	62.0	62.1			

時刻	日 時 分	22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30							
湧出量		1.76	1.76	1.77	1.80	1.74							
泉温		62.0	62.0	62.0	62.1	62.0							

近江 旅館	時刻	日 時 分	22.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量		22.30	22.51	22.60	22.28	22.25	21.80	21.65	21.43	21.80	21.77	21.80	22.07
	泉温		53.5	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5	53.2	53.0	53.5	53.5	53.5
	時刻	日 時 分	22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量		21.58	20.72	20.82	21.42	21.71	22.07	22.42	22.46				
	泉温		53.5	54.0	53.0	53.2	53.5	53.5	54.0	53.5				

針秋義 (1)	時刻	日 時 分	22.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量		7.12	6.94	6.39	6.73	6.42	6.25	6.23	6.09	5.94	5.80	5.71	5.67
	泉温		46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.5	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
	時刻	日 時 分	22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量		5.66	5.54	5.80	6.13	6.56	6.91	7.12	7.31				
	泉温		46.0	46.0	46.0	46.3	46.5	46.8	46.9	46.9				

植木次	時刻	日 時 分	21.13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00			
	湧出量		4.96	4.95	5.12	4.96	4.86	4.96	4.87	4.84	4.84			
	泉温		44.1	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5			
	時刻	日 時 分	22.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量		4.96	5.02	5.04	5.00	4.96	4.91	4.80	4.71	4.71	4.59	4.47	4.37
	泉温		44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.2	44.0	43.8	43.5	43.4
	時刻	日 時 分	22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量		4.35	4.30	4.41	4.63	4.78	4.91	5.12	5.10				
	泉温		43.5	43.2	43.5	43.7	44.0	44.2	44.4	44.4				

針秋義 (2)	時刻	日 時 分	21.11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.55	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
	水位		49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.5	49.5	49.0	49.0	49.2	49.2	
	時刻	日 時 分	22.11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00
	水位		48.5	48.5	48.5	48.5	49.0	49.0	49.0	49.0	49.1	49.0	48.9	48.9
	時刻	日 時 分	22.16.30	17.00										
	水位		49.0	49.0										

溝口 恒喜	時刻	日 時 分	21.15.00	15.30	16.00	16.30								
	水位		32.2	30.4	28.4	27.1								
	時刻	日 時 分	22.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	水位		32.3	30.7	31.9	32.7	31.5	31.0	31.0	31.7	31.5	32.0	31.5	30.7
	時刻	日 時 分	22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	16.40				
	水位		30.4	29.0	30.0	31.1	33.0	34.0	35.0	34.3				

馬場 政子	時刻	日時分 22. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	水位	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.6	23.6	23.4	23.4	23.3	23.8	23.6
	時刻	日時分 22.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	水位	23.5	23.5	23.4	23.3	23.4	23.5	23.4	23.3				

阿武豊	時刻	日時分 22. 9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
	水位	10.2	9.8	9.8	8.6	8.6	8.6	8.5	8.3	7.5	7.5	7.5	7.6
	時刻	日時分 22.14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
	水位	7.5	7.6	7.2	7.8	7.6	8.1	8.0					

岩男彰	時刻	日時分 22.13.00	13.45	14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00		
	水位	10.6	10.4	10.3	10.2	9.9	9.6	9.4	9.0	9.2	8.9		

湯布院 溝口義記温泉揚水試験

測定年月日 昭和45年10月22~23日

揚水量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

時刻	日時分 23.10.05	10.45	11.10	11.40	13.00	14.00	14.05
揚水量	揚水開始	68.34	67.06	67.10	67.28	65.63	揚水停止
泉温		49.6	49.9	50.0	50.4	50.7	

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm) 泉温 (°C)

下郡 昭一	時刻	日時分 22.11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00
	湧出量	22.76	22.76	22.47	22.60	22.11	22.27	22.27	22.51	22.39	22.19	22.47	22.35
	泉温	68.0	68.0	68.0	68.0	67.9	67.8	67.8	68.0	67.9	67.8	67.9	67.9
	時刻	日時分 22.16.30	17.00										
昭一	時刻	日時分 23. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	22.39	22.55	22.31	22.03	22.07	21.42	21.80	21.45	21.53	21.49	21.72	21.91
	泉温	67.7	67.9	67.9	67.9	67.9	67.8	67.9	67.9	68.0	67.9	67.9	67.9
	時刻	日時分 23.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00						
昭一	湧出量	22.07	22.07	22.31	22.76	22.51	22.76						
	泉温	67.9	67.9	67.9	67.9	68.0	67.9						

たつみ 旅館	時刻	日時分 22.10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	14.30	14.45	15.00
	湧出量	11.63	11.38	11.82	13.04	13.04	12.20	12.64	12.52	12.73	12.82	12.56	12.82
旅館	泉温	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9
	時刻	日時分 22.15.30	16.00	16.30	17.00								
	湧出量	12.90	12.64	13.04	12.56								
旅館	泉温	64.9	64.9	64.9	64.9								

	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	湧出量	23.9.00	14.93	15.07	15.36	15.22	14.48	15.22	14.52	14.80	15.18	14.96	15.00	14.78
	泉温		70.0	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	70.0	69.9	69.9	70.0
	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00							
	湧出量	23.14.15	14.89	16.07	16.00	15.96	15.82	15.92						
	泉温		70.0	70.0	70.0	69.9	69.9	69.9						

下郡坂喜	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00	16.30								
	水位	22.14.30	30.1	31.0	31.1	30.4								
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	水位	23.9.00	30.3	30.3	30.6	30.4	30.2	30.1	30.0	29.8	30.6	30.0	30.4	30.2
	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00							
	水位	23.14.15	31.2	32.9	32.3	32.2	32.0	32.3						

溝口喜恒	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	水位	23.9.00	35.8	36.7	38.2	38.9	37.1	35.0	33.6	34.9	36.2	35.9	35.0
	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00						
	水位	23.14.15	33.0	33.7	35.3	35.1	36.2	36.7					

湯布院 渡辺志郎温泉揚水試験
測定年月日 昭和45年10月23～24日

揚水量・湧出量 (ℓ/min) 泉温 (℃)

時刻	日時分	9.55	10.10	10.30	11.10	12.00	13.20	14.00	14.30	15.00	15.30	
揚水量	24.9.10	7.35	7.31	揚水開始	58.19	60.92	59.51	揚水停止	12.63	12.37	12.46	12.38
泉温		61.3	61.0		63.3	63.5	63.6		62.1	62.1	62.1	62.0

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm) 泉温 (℃)

江藤重行	時刻	日時分	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量	23.11.00	30.03	29.10	29.41	29.60	29.71	28.94	29.45	29.18	29.48	29.72	30.21	
	泉温		59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3	
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45	
	湧出量	24.9.00	29.33	29.87	29.64	29.43	29.01	28.03	28.74	28.32	29.12	29.19	29.28	29.39
	泉温		59.2	59.3	59.2	59.3	59.0	59.3	59.0	59.0	59.0	59.0	59.2	59.2
	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00							
	湧出量	24.14.00	30.50	30.11	29.02	29.52	29.18	30.05						
	泉温		59.2	59.1	59.1	59.1	59.0	59.1						

麻生健市	時刻	日時分	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	
	湧出量	23.11.30	20.42	20.61	20.53	20.72	20.61	20.87	20.98	20.64	20.90	20.64
	泉温		64.2	64.1	64.2	64.1	64.0	64.0	64.1	64.1	64.0	64.0

	時刻	日時分 24. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	21.56	20.86	21.18	20.64	20.25	20.28	20.39	20.32	20.35	20.47	21.05	20.75
	泉温	64.0	64.0	63.8	63.9	64.0	64.0	64.0	64.1	64.1	64.0	64.3	64.0
	時刻	日時分 24. 14.00	14.15	14.30	15.00	15.30	15.50						
	湧出量	20.79	20.87	20.61	21.24	21.02	20.98						
	泉温	64.0	64.0	64.3	64.0	64.1	64.1						

高橋秀夫	時刻	日時分 23.10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	10.46	10.62	10.58	10.71	10.78	10.98	10.55	10.85	10.77	10.98	11.14	11.12
	泉温	62.5	62.0	62.3	62.7	62.8	62.8	62.0	62.8	62.8	62.9	62.8	62.8
	時刻	日時分 23.16.30											
	湧出量	11.18											
	泉温	62.8											
	時刻	日時分 24. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	11.33	11.23	11.29	11.50	10.96	10.90	10.72	10.90	10.85	10.90	10.96	11.03
	泉温	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
	時刻	日時分 24.14.00	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00						
	湧出量	11.01	11.12	11.15	11.38	11.12	11.20						
	泉温	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5						

阿部道義	時刻	日時分 23.10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	26.62	27.76	27.40	27.74	27.97	27.73	27.98	26.62	26.84	27.97	27.17	27.39
	泉温	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
	時刻	日時分 23.16.30											
	湧出量	28.10											
	泉温	63.5											
	時刻	日時分 24. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	27.97	28.33	28.21	27.75	25.99	25.20	25.10	25.30	25.30	25.10	26.95	27.62
	泉温	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
	時刻	日時分 24.14.00	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00						
	湧出量	27.75	27.63	27.63	27.52	27.52	27.86						
	泉温	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5						

江崎芳子	時刻	日時分 23.11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量	24.92	25.06	24.77	24.68	24.62	24.71	24.62	24.79	24.85	24.82		
	泉温	62.8	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	64.0	64.1		
	時刻	日時分 24. 9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	24.92	24.86	25.02	25.12	25.31	25.00	25.04	25.19	25.18	25.13	25.31	25.28
	泉温	64.8	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.4	65.0	65.3	64.8	64.8

	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	16.50						
	湧出量	24.14.00	25.87	25.90	25.75	25.54	25.50						
	泉温	25.78	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8						

北川 政一	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	24.9.00	10.21	10.10	10.13	10.06	10.18	10.09	10.33	10.39	10.37	10.37	10.19
	泉温	10.24	56.5	56.5	56.5	56.0	56.4	56.5	56.5	56.3	56.5	56.5	56.5
	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00						
	湧出量	24.14.00	10.55	10.27	10.06	10.56	10.31						
	泉温	10.18	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5						

OBS	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.10	13.00	13.30	13.45
	湧出量	24.9.00	12.99	12.73	13.13	13.06	12.23	12.73	12.86	13.00	13.06	12.49	12.99
	泉温	12.79	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00						
	湧出量	24.14.00	13.13	12.86	13.13	13.19	12.99						
	泉温	12.42	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5						

中興 鋳業	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	24.9.00	5.37	5.37	5.33	5.32	5.27	5.29	5.34	5.41	5.40	5.38	5.37
	泉温	5.31	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9	55.9	57.9	57.9	57.9
	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	15.50						
	湧出量	24.14.00	5.43	5.48	5.50	5.50	5.52						
	泉温	5.46	57.9	57.9	57.9	57.9	57.9						

是永 邑留	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	湧出量	24.9.00	6.61	6.72	6.61	6.66	6.31	6.34	6.66	6.34	6.50	6.84	7.02
	泉温	6.75	58.6	59.0	59.0	58.9	58.7	58.8	58.5	58.4	58.8	58.8	59.0
	時刻	日時分	14.15	14.30	15.00	15.30	15.50						
	湧出量	24.14.00	6.90	6.90	6.96	6.96	6.84						
	泉温	7.02	59.2	59.0	59.0	59.0	59.1						

由布院 教会	時刻	日時分	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	水位	23.11.30	23.8	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.3		
	時刻	日時分	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45	14.00	14.15
	水位	24.10.00	23.1	22.8	22.8	23.2	23.5	23.0	22.7	22.9	22.8	22.6	22.4
	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00								
	水位	24.14.30	22.5	22.3	22.4								

江文 藤夫 (1)	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45
	水位	24.9.00	26.4	25.5	26.0	25.7	25.4	26.0	26.9	26.8	27.8	27.6	28.1

時刻	日 時 分	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00							
水位	24.14.00	27.6	27.6	26.2	26.9	26.9							

江 藤 文 夫 (2)	時刻	日 時 分	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	13.45	14.00
	水位	24. 9.35	24.7	25.4	25.6	25.7	25.4	25.2	25.3	24.7	25.1	24.2	25.2
	時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	15.50							
	水位	24.14.15	25.7	25.3	25.5	26.2							

湯布院 亀の井バス温泉揚水試験

測定年月日 昭和45年11月9～10日

揚水量・湧出量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

時刻	日 時 分	10.00	10.05	10.30	11.00	13.30	14.00	14.05	14.10	15.00	16.00
揚水量	10. 9.30	15.35	揚水開始	89.92	91.68	90.38	87.80	揚水停止	15.11	16.07	15.96
泉温	15.95	60.9		61.0	61.0	61.5	61.5		60.7	61.8	61.6

湧出量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

清 良 清 見	時刻	日 時 分	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	9.10.40	17.16	17.60	17.43	17.92	17.60	18.10	18.29	17.88	17.70	17.63	17.77
	泉温	17.43	67.5	67.5	67.8	67.2	67.0	67.2	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	10. 9.00	18.29	18.52	17.49	16.86	16.77	16.89	17.06	16.86	16.92	16.77	16.96
	泉温	18.40	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.3	66.3	66.3	66.3	66.3
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
湧出量	10.14.15	18.29	18.71	18.79	18.36	18.44	18.36	17.74					
泉温	18.48	66.5	66.7	66.7	66.7	66.8	66.7	66.5					

中 興 鉦 業	時刻	日 時 分	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	9.10.30	5.14	5.14	5.21	5.13	5.08	5.19	5.13	5.14	5.19	5.13	5.12
	泉温	5.14	56.8	56.8	56.8	56.8	56.6	56.6	56.6	56.5	56.5	56.6	56.5
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	10. 9.00	5.20	5.21	5.20	5.16	5.21	5.27	5.31	5.30	5.32	5.21	5.22
	泉温	5.16	56.6	56.6	56.5	56.5	56.5	56.5	56.7	56.8	56.8	57.0	56.7
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
湧出量	10.14.15	5.20	5.24	5.18	5.20	5.22	5.18	5.24					
泉温	5.18	56.7	56.6	57.0	56.8	56.8	56.8	56.6					

倉 田 浩 平	時刻	日 時 分	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	9.10.30	1.30	1.36	1.36	1.40	1.41	1.43	1.43	1.43	1.45	1.42	1.45
	泉温	1.30	41.0	41.0	41.0	41.0	41.1	41.0	41.1	41.0	41.0	41.0	41.0

時刻	日 時 分	16.30											
湧出量		10.86											
泉温		60.8											
時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
湧出量		10.06	9.72	10.10	9.76	10.26	10.26	9.92	9.70	9.76	10.38	10.54	10.58
泉温		60.8	61.2	61.0	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2
時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30						
湧出量		10.70	11.06	10.76	11.18	11.50	11.20	10.60					
泉温		61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2					

ホテル 湯元	時刻	日 時 分	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量		8.36	8.40	8.56	8.74	8.90	8.84	8.82	8.74	8.90	8.90	
	泉温		69.5	69.5	69.7	69.5	69.5	69.4	69.5	69.7	69.5	69.5	
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量		8.22	8.12	8.56	8.02	8.26	8.10	8.10	7.68	7.66	8.44	8.06
	泉温		70.0	69.8	69.9	69.7	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30					
	湧出量		8.70	8.88	8.90	8.98	9.06	9.12	9.06				
	泉温		70.0	69.8	70.0	69.8	70.0	70.0	70.0				

湯布院 吉永重三郎温泉揚水試験

測定年月日 昭和45年11月13~14日

揚水量・湧出量 (ℓ/min) 泉温 (℃)

時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.05	10.30	11.00	11.30	13.30	13.35	14.00	15.00	15.30
揚水量		48.27	50.21	48.14	揚水開始 80.00	75.20	83.44	81.11	揚水停止	49.91	49.63	50.21
泉温		67.8	67.3	67.5	69.0	68.9	69.0	69.1		67.8	67.5	67.4

湧出量 (ℓ/min) 泉温 (℃)

亀の井 別荘	時刻	日 時 分	10.30	11.06	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量		65.94	65.16	5.16	64.44	65.16	63.96	65.16	64.68	61.92	63.72	63.28
	泉温		55.3	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
	時刻	日 時 分											
	湧出量		65.16										
	泉温		56.0										
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量		66.68	65.64	64.68	64.20	63.28	63.24	63.30	63.04	62.14	62.80	63.72
	泉温		57.0	57.0	57.0	56.8	57.0	57.0	57.0	58.0	57.8	55.0	55.0
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.40							
	湧出量		64.20	65.64	62.36	63.76	66.42						
	泉温		55.0	55.0	55.0	54.0	54.0						

山口 純二	時刻	日 時 分	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	13.10.00	24.58	24.32	24.59	24.87	24.80	24.86	24.45	24.86	24.80	24.87	25.00	25.00
	泉温		56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.1	56.1
	時刻	日 時 分												
	湧出量	13.16.30	24.80											
	泉温		56.1											
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	湧出量	14.9.00	25.07	24.93	24.59	24.60	22.71	23.94	24.73	25.22	24.20	24.87	24.19	23.74
	泉温		56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.2	56.0	56.0	56.0	56.0
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.40								
	湧出量	14.14.15	23.80	24.08	24.94	24.73	24.65							
	泉温		56.0	56.0	56.0	56.0	56.1							

小塩 藤次郎	時刻	日 時 分	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	13.10.00	35.25	35.25	34.57	34.75	34.91	35.97	35.08	35.25	36.51	35.42	35.78	35.60
	泉温		61.0	60.5	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	60.9	61.0	61.1	61.0	61.0
	時刻	日 時 分												
	湧出量	13.16.30	35.26											
	泉温		61.0											
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	湧出量	14.9.00	34.08	35.78	34.74	33.75	33.75	33.75	33.75	34.24	34.49	33.75	34.37	34.16
	泉温		61.0	61.1	61.0	61.1	61.1	61.1	61.0	61.1	61.1	61.1	61.1	61.5
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.40								
	湧出量	14.14.15	33.75	33.92	34.07	34.24	34.15							
	泉温		61.5	61.3	61.5	61.3	61.5							

阿部 行人	時刻	日 時 分	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
	湧出量	13.9.30	33.78	34.92	33.32	34.18	34.40	34.18	35.08	34.52	35.32	34.54	33.92	34.94
	泉温		62.6	6.26	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6
	時刻	日 時 分	16.30											
	湧出量	13.16.00	34.32	34.80										
	泉温		62.6	62.6										
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	湧出量	14.9.00	34.06	34.54	35.48	34.96	35.50	36.24	34.66	35.34	35.46	34.66	35.06	35.48
	泉温		62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6	62.6
	時刻	日 時 分	14.30	14.45	15.00	15.40								
	湧出量	14.14.15	34.92	34.94	35.32	35.88	34.92							
	泉温		62.6	62.6	62.6	62.6	62.6							

時刻	日 時 分 14.14.15	14.30	14.45	15.00	15.40								
湧出量	46.54	47.16	47.06	46.78	47.30								
泉温	68.8	68.8	68.8	68.8	68.8								

湯布院 日野真一温泉揚水試験
 測定年月日 昭和45年11月30日～12月1日

揚水量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

時刻	日 時 分 1.10.05	11.00	11.30	13.00	14.00	14.05
揚水量	揚水開始	83.13	83.39	減量	63.14	揚水停止
泉温		83.3	83.3		82.9	

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm) 泉温 (°C)

笠置 スミエ	時刻	日 時 分 30.13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30					
	湧出量	24.35	24.07	23.80	23.62	23.80	23.71	24.45					
	泉温	73.8	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.4					
	時刻	日 時 分 1.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	23.71	24.07	23.44	23.62	24.07	24.64	24.07	23.80	24.00	23.89	24.00	24.00
	泉温	68.2	68.4	75.0	74.8	74.6	74.6	74.6	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
	時刻	日 時 分 1.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30					
	湧出量	24.55	24.50	24.64	24.55	24.35	24.74	24.64					
	泉温	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0					

安形 逸男	時刻	日 時 分 30.13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	8.62	8.54	9.22	9.19	8.38	8.80	9.04	8.76				
	泉温	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6				
	時刻	日 時 分 1.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	8.77	9.19	9.13	9.48	9.48	9.45	9.12	9.22	9.13	8.20	8.54	8.43
	泉温	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.0	60.6
	時刻	日 時 分 1.14.15	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30					
	湧出量	8.88	8.94	9.03	8.88	7.97	8.30	7.66					
	泉温	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6					

手島 一二	時刻	日 時 分 30.16.00	16.30	17.00									
	湧出量	8.56	8.87	8.88									
	泉温	81.0	81.4	80.8									
	時刻	日 時 分 1.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	8.61	8.80	8.88	8.83	8.55	8.75	8.79	8.59	8.63	8.49	8.52	8.46
	泉温	81.2	81.2	81.2	81.2	80.5	81.2	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.2

	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30					
	湧出量	1.14.15	8.67	8.65	8.55	8.63	8.53	8.87	8.79				
	泉温		81.2	81.4	81.2	81.5	81.5	81.5	81.4				

豊島 椎太郎	時刻	日時分	16.00	16.30	17.00									
	水位	30.15.30	44.5	43.8	43.6	43.8								
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	水位	1.9.00	48.5	47.5	46.5	46.1	46.9	46.2	45.5	44.0	43.8	44.0	43.4	43.3
	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30						
	水位	1.14.15	43.6	43.9	44.1	44.0	43.3	42.6	41.5					

内田 美勝	時刻	日時分	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
	水位	1.9.30	48.2	42.2	42.2	40.2	38.3	36.1	34.0	32.2	28.9	28.7	27.1
	時刻	日時分	14.45	15.00	15.30	16.00	16.30						
	水位	1.14.30	27.1	26.9	27.1	26.3	25.7	24.6					

衛藤 玉子	時刻	日時分	16.00	16.30	17.00									
	水位	30.15.30	37.4	36.8	37.6	39.7								
	時刻	日時分	9.30	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	14.30	
	水位	1.9.00	42.2	41.8	38.2	38.6	38.5	39.7	39.6	40.1	40.0	40.2	39.7	40.5
	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00	16.30								
	水位	1.14.45	39.6	39.9	40.1	40.4	41.3							

湯布院 江藤長生温泉揚水試験

測定年月日 昭和45年12月2～3日

揚水量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

時刻	日時分	10.30	11.00	12.00	14.00	14.05
揚水量	揚水開始	64.32	67.34	63.63	64.10	揚水停止
泉温		76.8	78.2	79.2	79.5	

水位 (cm)

中島共 同浴場	時刻	日時分	14.30	15.00	15.30									
	水位	2.14.10	69.6	57.7	39.7	23.6								
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	
	水位	3.9.12	80.7	74.3	66.9	59.2	57.0	55.0	53.5	51.4	47.5	43.2	40.9	39.5
	時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00							
	水位	3.14.15	39.5	38.9	38.9	38.7	33.6	33.8						

浦田吉	時刻	日時分	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
	水位	2.10.00	38.7	36.0	34.0	32.3	30.3	28.0	26.8	26.0	25.9	25.9	25.2
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
水位	3.9.20	42.6	42.5	37.0	32.9	32.1	30.7	30.2	29.0	27.6	25.6	24.8	23.0
時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00							
水位	3.14.15	24.8	25.0	25.2	25.2	23.4	22.5						

島末夫	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30		
	水位	2.10.35	63.3	57.4	50.1	44.0	35.3	32.8	30.0	27.5	25.3	23.4	
	時刻	日時分	10.00	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
水位	3.9.30	92.3	74.4	59.2	54.1	49.9	46.3	42.7	37.9	30.0	27.3	24.0	24.2
時刻	日時分	14.45	15.00	15.30	16.00								
水位	3.14.30	23.2	22.9	21.8	18.6	16.5							

溝口信	時刻	日時分	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	2.11.10	80.6	77.8	74.1	87.2	74.6	77.4	40.9	41.5	42.3	42.9	41.6
	時刻	日時分	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
水位	3.9.45	62.0	62.7	61.8	61.6	61.6	61.6	61.2	61.4	61.7	61.5	61.1	62.0
時刻	日時分	14.45	15.00	15.30	16.00								
水位	3.14.30	26.0	63.1	63.1	62.2	62.2							

加藤雄	時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.10						
	水位	2.14.20	41.4	40.1	37.3	34.7	29.3	28.4					
	時刻	日時分	10.00	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
水位	3.9.30	82.6	65.6	50.9	47.0	42.9	38.7	36.7	31.8	23.7	21.3	17.5	17.4
時刻	日時分	14.45	15.00	15.30	16.00								
水位	3.14.30	15.5	15.8	14.6	12.1	10.3							

原田省造	時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00						
	水位	2.13.30	67.7	47.0	31.2	22.5	20.2	12.5					
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.45	11.00	11.15	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
水位	3.9.15	105.5	104.5	88.0	73.1	69.1	63.8	61.5	58.7	53.6	44.9	42.1	38.3
時刻	日時分	14.30	14.45	15.00	15.30	16.00							
水位	3.14.15	37.4	35.5	35.2	34.4	31.7	29.1						

湯布院 八川正土温泉揚水試験
測定年月日 昭和45年12月4～5日

揚水量 (ℓ/min) 泉温 (°C)

時刻	日時分 5.10.05	10.30	11.00	12.00	13.00	14.00	14.05
揚水量	揚水開始	97.44	98.81	104.6	93.58	97.41	揚水停止
泉温		71.4	72.7	72.9	72.7	72.9	

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm) 泉温 (°C)

石川 豊子	時刻	日時分 4.10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	41.28	41.77	42.02	42.02	43.60	42.27	42.27	42.27	42.53	42.79	42.27	42.53
	泉温	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5
	時刻	日時分 5.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
	湧出量	41.77	42.02	42.79	42.02	42.27	42.79	42.79	43.06	42.02	42.53	42.53	41.77
	泉温	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5
	時刻	日時分 5.14.15	14.30	14.45	15.00	15.40							
	湧出量	41.52	42.79	41.77	42.02	42.53							
	泉温	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5							

工藤 正憲	時刻	日時分 4.10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	53.75	54.06	55.66	51.40	53.46	51.96	51.66	51.68	51.68	50.82	52.83	51.98
	泉温	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6
	時刻	日時分 5.9.00	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.80
	湧出量	50.55	50.57	51.67	51.96	51.98	50.55	52.28	51.38	52.24	52.55	51.99	50.28
	泉温	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6
	時刻	日時分 5.14.15	14.30	14.45	15.00	15.40							
	湧出量	52.84	52.24	51.39	51.38	51.68							
	泉温	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6							

土居 貞之	時刻	日時分 4.11.10	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	湧出量	20.49	23.87	25.76	26.64	26.88	27.11	27.35	27.06	27.53	27.41		
	泉温	57.2	61.8	63.8	64.6	65.0	65.1	65.1	65.4	65.8	65.4		
	時刻	日時分 5.9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
	湧出量	24.72	27.17	27.29	26.47	26.88	26.82	27.48	26.70	27.35	26.94	26.99	28.23
	泉温	60.9	63.9	64.4	64.8	65.0	65.5	65.2	65.8	66.0	65.8	66.1	66.1
	時刻	日時分 5.14.30	14.45	15.00	15.40								
	湧出量	28.04	27.41	27.66	27.47								
	泉温	66.2	66.2	66.2	66.3								

佐藤 邦人	時刻	日時分 4.13.35	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00						
	水位	38.4	33.2	27.1	22.0	18.7	14.7						

時 水	時刻	日 時 分 5. 9.45	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
	水位	53.9	53.5	53.0	51.5	51.2	50.8	49.9	48.8	48.6	48.7	47.5	48.5
時 水	時刻	日 時 分 5.14.30	14.45	15.00	15.40								
	水位	48.8	49.0	48.4	48.3								

八 川 圭 子	時刻	日 時 分 4.10.35	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	11.30	15.25	15.30	16.00	
	水位	73.7	56.5	45.4	38.0	39.0	38.4	26.2	26.2	30.3	29.5	25.8	
	時刻	日 時 分 5. 9.13	9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
水位	152.1	130.6	103.3	98.4	90.4	83.2	78.6	70.8	65.1	50.5	46.5	42.8	
時刻	日 時 分 5.14.15	14.30	14.45	15.00	15.40								
水位	41.6	40.5	38.9	37.5	33.6								

日 野 岳 彦	時刻	日 時 分 4.13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00						
	水位	89.0	65.2	54.0	45.1	40.0	33.6						
	時刻	日 時 分 5. 9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
水位	98.8	77.3	73.0	67.3	63.7	60.9	55.0	50.8	42.9	40.3	37.7	37.2	
時刻	日 時 分 5.14.30	14.45	15.00	15.40									
水位	36.8	35.8	35.4	33.1									

佐 藤 義 雄	時刻	日 時 分 4. 9.45	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	水位	94.8	90.5	81.4	74.2	67.5	63.3	55.5	54.2	52.4	49.9	47.9	46.2
	時刻	日 時 分 4.16.00											
	水位	44.3											
時刻	日 時 分 5. 9.30	10.00	10.15	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15	
水位	67.5	60.9	55.3	50.8	46.6	44.4	37.5	33.6	26.8	24.3	21.7	20.8	
時刻	日 時 分 5.14.30	14.45	15.00	15.40									
水位	20.8	20.0	19.1	17.1									

化学成分からみた別府市中央部の温泉

京大理学部 由 佐 悠 紀
川 村 政 和

1 まえがき

別府温泉の化学組成の調査研究は、これまで幾度となく行なわれ、その分布や各成分間の関係についても検討されてきた。しかし、従来は温泉孔が主に南部旧市街域と、亀川、鉄輪などの北部域に集中し、その中間のいわゆる中部域は温泉採取の困難な地域とされ開発が限られていたため、各種成分についての分布を描くとき、この中部域は極端に云々と空白地帯になっていたのである。このため、別府温泉を語る時、南部地域とか北部地域というように別々に語られることが多く、これに基づいて両地域の比較がなされてきた。

近年になって、この中部が住宅地などとして開発され、また別府温泉全体としての温泉需要量が急速に増大してきたこともあって、これまで温泉の未開発地域であったこの地域においても、とくに海岸部近くで温泉掘さくが盛んに行なわれるようになった。また、ここ数年の間に、大分県衛生研究所九大温泉治療学研究所、あるいは京大地球物理学研究所の手により、これら新掘さく温泉の化学分析も数多く行なわれてきた。これにより、従来の空白部分はある程度埋められ、別府温泉を北部から南部まで連続して全体的に観察できるようになった。

この報告では、これまでの分析結果と、新たに採水分析した結果を基にして、別府市中央部に焦点を合わせつつ、別府温泉の全体的な化学組成の分布状態を明らかにし、将来の研究の基礎資料としたい。

使用した資料は、昭和42年から45年までに吉川と由佐により行なわれた沈澱物調査と併行して得られた分析値¹⁾²⁾³⁾、大分県衛生研究所、九大温泉治療学研究所で行なわれた分析値および45年6月から46年2月までに新たに採水した159個の温泉水試料の分析結果である。後者については、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Cl^- 、 HCO_3^- の各イオンについて分析を行ない、その結果は本報告末尾の表に掲げた。

図1には、吉川らにより行なわれた採水地点と新たに採水した温泉孔の位置を示す。また同図中に描いた曲線は温泉工事終了検査の資料による井戸深の分布を示しているが、旧くから温泉開発の進んでいた南部市街地や北部の亀川、鉄輪では100m前後の深度であるのに対し、中央部に向かうにつれて深くなってゆき、観光港の南側では550mに達するものもある。このように中央部の温泉採取深度⁴⁾は南、北両側に比べて格段に深い。この傾向のうち、とくに南部から中央部へと向かう傾向は、森山のポーリングコア試料の解析から見出された深部輝石安山岩層の傾斜に対応しているようであり、地下構造や地温分布の特徴が、これら井戸深分布に現われていると考えることもできよう。

温泉水の化学組成は、地下の地質、圧力、温度などの影響を受けて決まるものであるから、化学組成の分布を基にして温泉水の成因などを考察するにあたっては、当然上記の種々の条件を明らかにしておかねばならない。近年各研究者の努力により次第に別府の地下構造が明らかになり、別府温泉の生成機構を探る上での資料も豊富となってきたが、前にも述べたように本報告では、化学組成の分布という基礎事実の提供に主眼をおくため、それ以上の考察は進めない。ただ、地下構造の一つの指標として井戸深分布を掲げ、後に述べる各化学成分の分布と比較してみる。

なお、表題にあげた中央部とは、従来の分布図の空白部分を意味し、この報告では、南は海門寺温泉附近から、北は照波園に至る一帯を指している。また、この地域は、従来の南、北両側と兼ねあわ

図1：採水地点と井戸深の分布

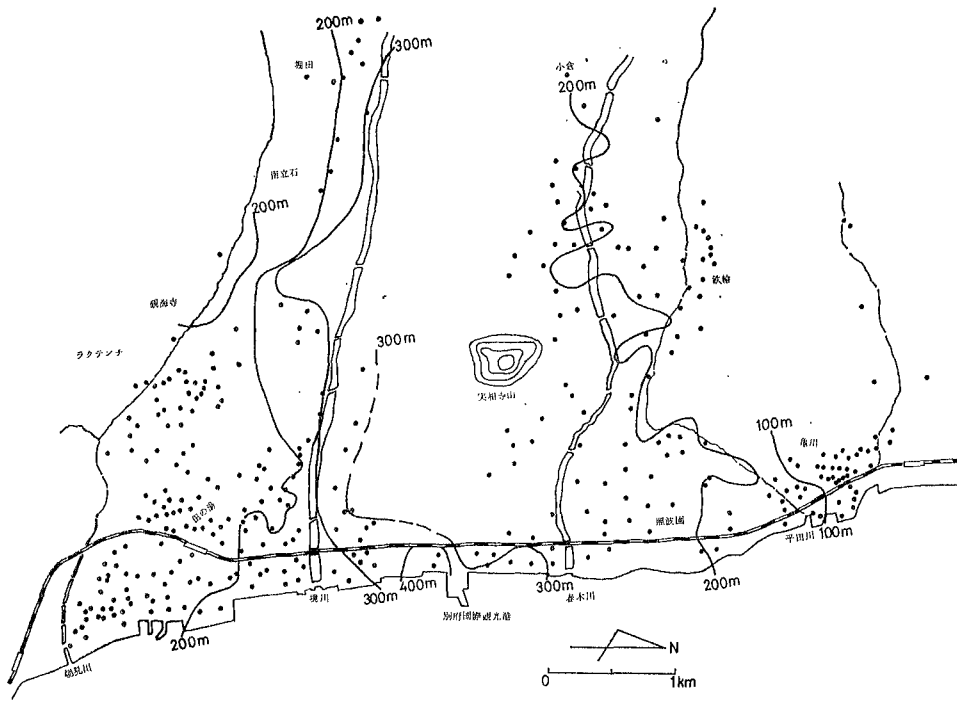
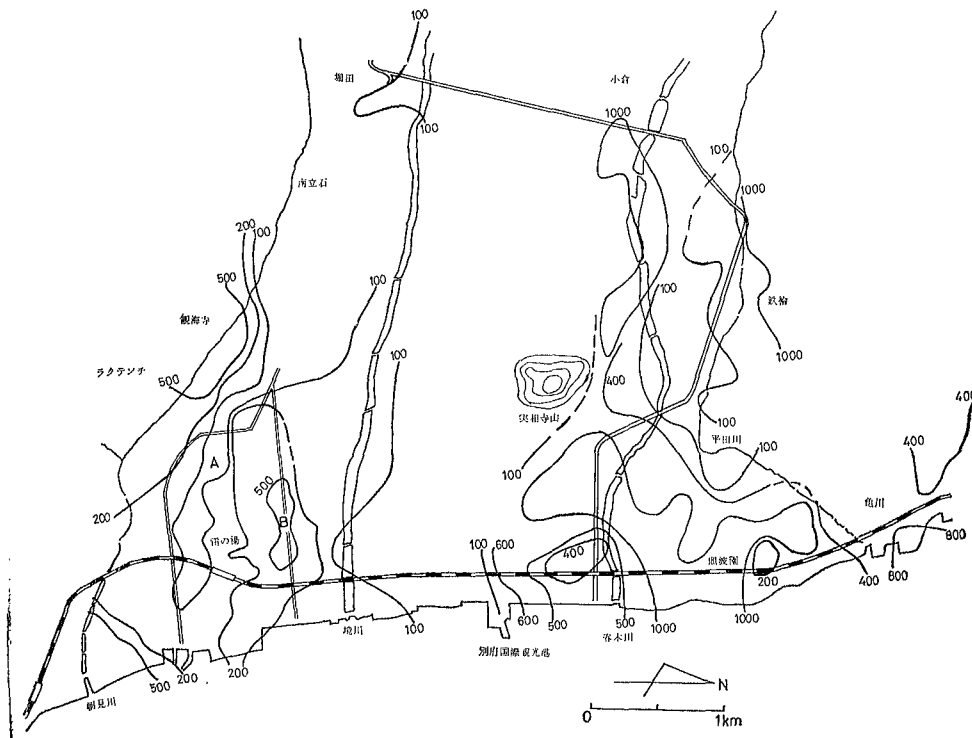


図2：Cl⁻濃度分布（単位はmg/l）



せて記述される部分が多く、表題にそぐわない点もあることを、あらかじめおことわりしておく。

2 Cl⁻の分布

図2はmg/lを単位として描いたCl⁻量の分布図である。

南部地域では、ラクテンチから観海寺にかけて500mg/l以上の濃度を示す温泉が分布し、これらはいずれも沸騰泉である。この一帯から、低地部の北東方向に向かうにつれて、濃度は次第に薄くなり、図中に印したAの付近では100mg/l以下になる。この地帯は海岸方向には、田の湯から国鉄日豊線を越えて細長く伸びており、山の手方向には南立石から掘田まで広がっている。この地帯のうち、日豊線附近の一帯は、従来田の湯温泉脈として知られていたものである。この細長い地帯を過ぎ、さらに北東方向に進むと、また次第にCl⁻濃度は増加し、図中のB付近では500~800mg/l程度となり、観海寺一帯の沸騰泉に匹敵するほどの濃度を示す。しかし、泉温は周辺のものに比べるといくぶん高めではあるが、沸騰はしない。従来いわれていた海門寺温泉脈は、この高濃度部の一部にあたる。さらに北または北東部に進むと、濃度はまた減少して境川を越えると100mg/l以下となり、観光港の南側では50mg/l以下となる。この付近は井戸深がいずれも400m以深と、別府温泉中もっとも深い所であることからわかるように(図1)、従来温泉採取のもっとも困難な地域の一つであった。

この濃度の最低部を越えてさらに北進すると、Cl⁻量は急激に増し、わずか200m離れた観光港北側一帯では600mg/l以上となり、ここにCl⁻量の不連続があらわれるのは興味深い。

さらに春木川を越えて照波園に至ると、1000mg/l以上の地帯となり、この等濃度線は南は実相寺山麓から北は平田川附近まで広がっている。この範囲内の北部は従来から開発が進んでいた所で、沸騰泉もいくつかある。これに対し、南側の実相寺山麓部の高Cl⁻量泉は近年になって開発されたもので、沸騰泉ではない。

観光港一帯の温泉も含めて、これら近年開発された地域の温泉は、すべてエアリフトによる揚湯が行なわれているが、揚湯開始後最高温度に達するまでの時間が非常に長くかかる傾向にある。とくに実相寺山麓部の温泉は、所有者の話では70℃以上になるというような温泉でも、ほぼ1日の揚湯休止の後には再び揚湯しはじめて1時間経ってもせいぜい50~60℃位にしかならない。

また、小倉から実相寺山に向かう付近で、春木川沿いに沸騰泉地帯が帯状に存在するが、この周りには、Cl⁻量が10mg/l前後と極端に薄い地域があり、これらの温泉では、他の成分も同様に希薄である。おそらく、浅層の冷地下水が、深部からの蒸気によって加熱されたものであろう。

亀川温泉や鉄輪一帯の温泉については、今回の調査で、とくに明らかになったということはないので記述は省略する。

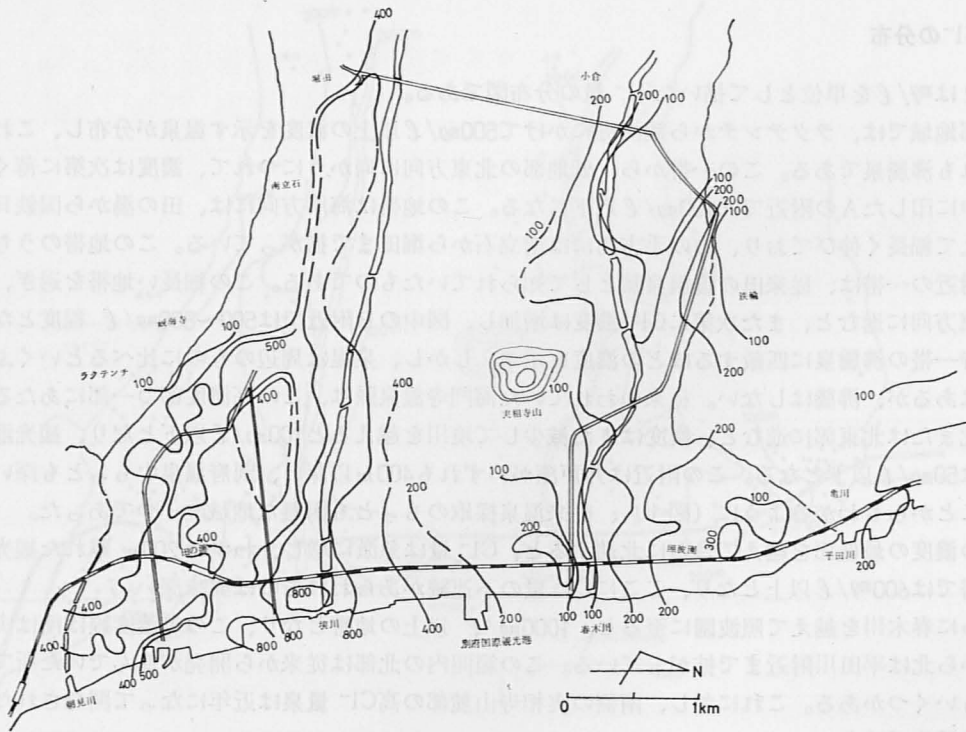
このように別府温泉のCl⁻量分布をみてきたが、等濃度線が海岸に垂直に山の手に向かって延びている傾向のあることに気付く。これは図1に示した井戸深の分布に代表されると考えられる地下の特徴と関係があるように思われ興味深い。

これまで、別府温泉では泉温とCl⁻量の間に関係のあることが確かめられているが、北部では南部に比して温度の割にCl⁻量が多い傾向にあった。このような性質の異なる2地域の温泉の境界がCl⁻量分布の上では、中央部の観光港附近にあらわれているが、この不連続的変化の意味するところは、今後さらに検討の要がある。

3 HCO₃⁻の分布

図3にmg/l単位で画いたHCO₃⁻濃度分布を示す。ラクテンチから観海寺にかけての沸騰泉では100~200mg/lを示し、低地部に行くと次第にその濃度は増して、前節で述べたA付近では500mg/lを越えるものもあるが、旧市街地およびその山の手では400~500mg/lのものが普通である。これが海門寺附近を越えて中央部に向かうと、非常に濃いものとなり境川一帯では800mg/l以上となり最高

図3：HCO₃⁻濃度分布（単位はmg/l）



1,250mg/lにも達する。これら高濃度の温泉は境川に沿って海岸部から堀田まで分布している。この帯状の地域を越えてさらに北にゆくと、濃度は次第に薄くなり、観光港附近で200mg/l程度となる。春木川以北のいわゆる北部温泉域では、南部や境川沿いのものに比べると、はるかに低濃度である。

Cl⁻量分布では観光港附近に急激な変化のあることが認められたが、HCO₃⁻分布では南側が260mg/l程度あるのに対し、北側では、150mg/lと差はあるけれど、Cl⁻量ほどの著しい違いは認められない。

この分布を図1の井戸深分布に対応させると、最高濃度を示す境川沿いの帯状地帯は、井戸深度は200mから300mへと深くなってゆく地域によく一致しているように、HCO₃⁻等濃度線と等深度線が非常によく似た形をしていることが注目される。

4 Cl⁻とHCO₃⁻の相関にみられる地域的特徴

温泉に限らず地下水系あるいは、その生成機構を考察する際に、水中に含まれる各化学成分間の対応を調べることは有力な方法の一つとなっている。別府温泉においても、このような試みは種々の観点からなれてきた。

後藤⁹⁾は北部の亀川温泉において、主要陰イオン間の相関関係からその水系を考察し、山下と森⁸⁾は、再検討を行なった。また吉川と志賀⁹⁾は、別府北部温泉群の生成機構を論ずるにあたって、各成分間の相関を調べた。

別府南部域においては、吉川¹⁰⁾が、HCO₃⁻とCl⁻量を測定し、その水系を考察している。

本報告では、別府温泉全体のHCO₃⁻とCl⁻の関係を見、そこにあらわれている地域的な特徴を示すことにする。

図4に、Cl⁻とHCO₃⁻量をそれぞれ横軸と縦軸にとってプロットした。みられるように、グラフ上の点は非常なばらつきを示している。しかし、各地域毎に詳しくみると、グラフ上の位置とその対

図4 : Cl⁻とHCO₃⁻濃度の関係

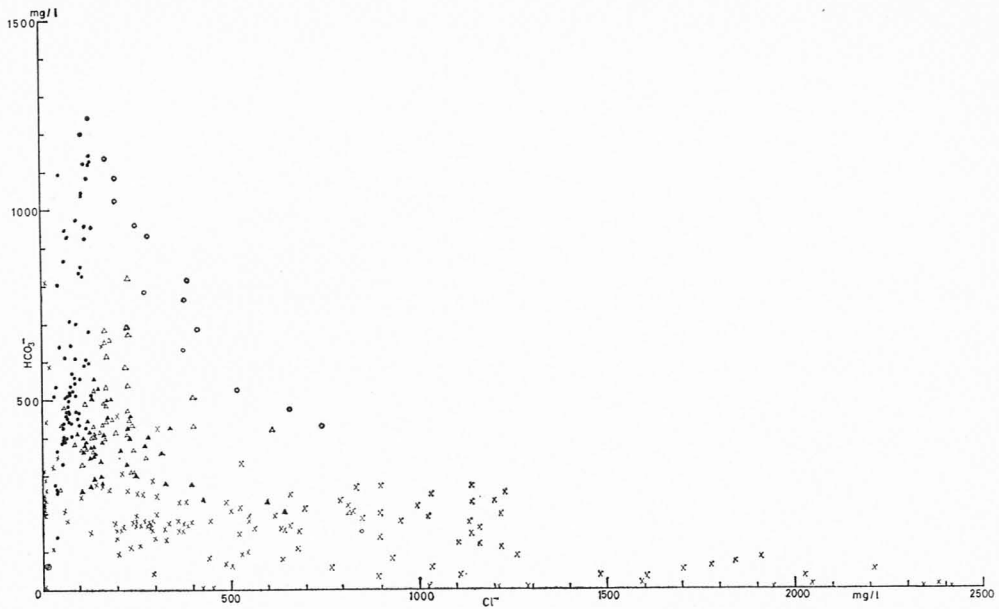


図5 別府南部地域の温泉孔 (図中の印は図4のものにそれぞれ対応する)



100mg/l と非常に薄く、図4の各点は縦軸 (HCO₃⁻ 軸) とわずかな傾斜をなし、ほぼ直線的に分布している。

それに対し○印で示している一帯のいわゆる海門寺温泉脈にあたる温泉は、前記分布の最高点附近と、横軸のCl⁻ ~100mg/l を結ぶ線上に分布し、ほぼ負の直線関係にある。浜脇の海水混入域を除く他の温泉は、これら2つの直線には含まれた三角形の中に位置しているが、詳しくみると田の湯温泉脈の北側 (▲印) と南側 (△印) とでは、グラフ上の位置がいくらか異なり、北側域の方が南側のものよりHCO₃⁻ がわずかに多いようである。

この観光港より南側の地域で見られる HCO₃⁻ - Cl⁻ 関係の正と負の直線関係は、北部においても

応のし方に特徴があらわれている。

まず小倉より観光港を結ぶ線より北の地域について見よう。この地域には、鉄輪、亀川、照波園などいわゆる北部温泉群と、中央部の北側が含まれる。Cl⁻ 量の少ない温泉で、HCO₃⁻ 濃度が 500mg/l 以上を示すものもいくつかあるが、大部分は250~300mg/l 以下で、グラフの最下部を、Cl⁻ 軸にほぼ平行に分布している

これに対し、上記地域より南部の温泉 (その大部分は、これまでの南部域に含まれる) は、HCO₃⁻ が多く、ほとんどが300mg/l 以上と対称的である。この地域をさらに細かく検討するため、図5に示した温泉孔分布図と対照させてみよう。図5中の印は図4の同じ印に相当する。

HCO₃⁻ 量の多い境川に沿う带状地域と流川通に沿って田の湯温泉脈まで連なる地帯の温泉は両図中に●印で示したが、これらはCl⁻ 量が

春木川に沿う一帯でみられるが、南部におけるほどははっきりしたものではない。

11) かつて湯原は中部地域の温泉開発がまだ進んでいなかった昭和30年に、この地域の冷地下水の調査を行なったが、図4中にそのとき得られた Cl^- と HCO_3^- の代表的な値を◎印で記した。境川や田の湯温泉脈における $HCO_3^- - Cl^-$ 関係の延長上に、この地下水が位置していることは、これら温泉水の生成機構を暗示しているようにも思われる。しかし HCO_3^- 軸にわずかな傾斜をなして直線状に分布している温泉水の地理的な分布をみると、 HCO_3^- 濃度の高い温泉の近くに比較的低温度の温泉があったり、また上流部ほど濃いというわけでもない。このようなことを考えると、このグラフの分布から HCO_3^- の濃い温泉水が地下を流動する途中で濃度の低い冷地下水と混じりあってこのような関係が生じたとするのは早計のように思われる。

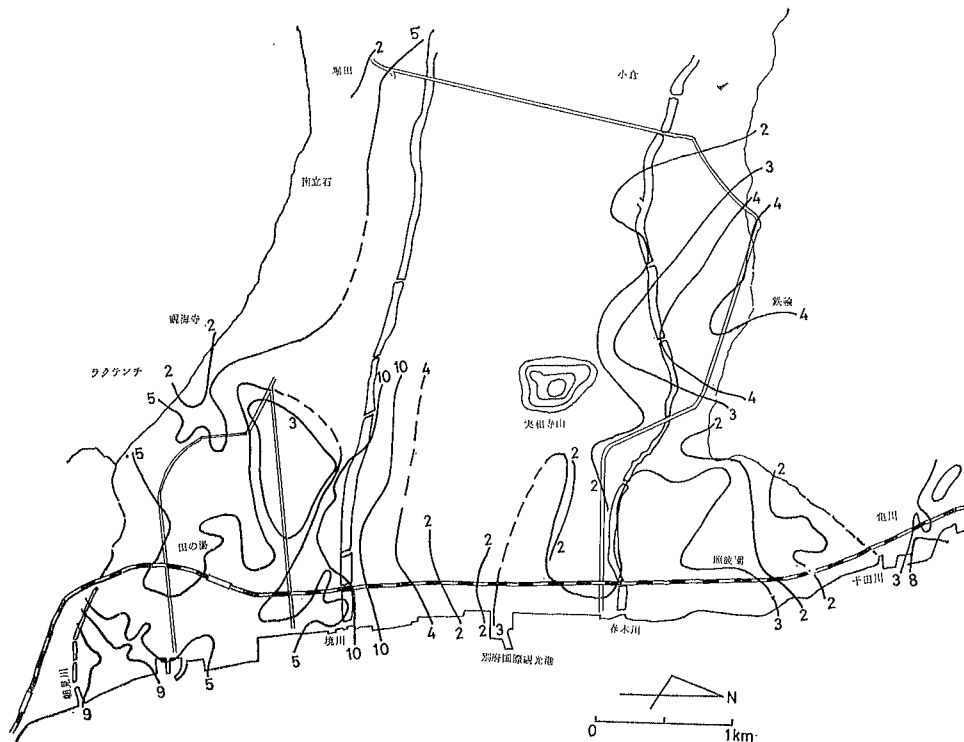
12) 吉川と由佐は、南部地域では地下に広く存在する熱水から CO_2 ガスを含む水蒸気が冷地下水に混入して、温度と炭酸成分が与えられるとして説明される可能性を示した。 HCO_3^- と Cl^- の分布を考察するに当たっても、冷地下水と原温泉水との混合過程と共に、このような HCO_3^- の与えられる機構も考えなくてはならないだろうが、これは将来の課題である。

5 $Ca^{++} + Mg^{++}$ 分布と $Ca^{++}, Mg^{++} - HCO_3^-$ の相関について

別府温泉南部域では $Ca^{++} + Mg^{++}$ （当量¹³⁾和）と HCO_3^- 濃度の間にほぼ直線関係がみられ、両者の当量もほぼ等しいことが知られている。このことは、地層中を温泉水が流動する途中で、炭酸成分存在において、流路の地層からこれらアルカリ土類金属が溶出されたことを示しているものと考えられる。

それに対し、北部域では上記の関係はみられず、陰イオンとしては Cl^- に次いで SO_4^{--} が多く、南部の条件とは異なる。したがって、アルカリ土類金属が温泉水に与えられる機構を考えるにあたって

図6 : $Ca^{++} + Mg^{++}$ の分布（単位はmequ/l）

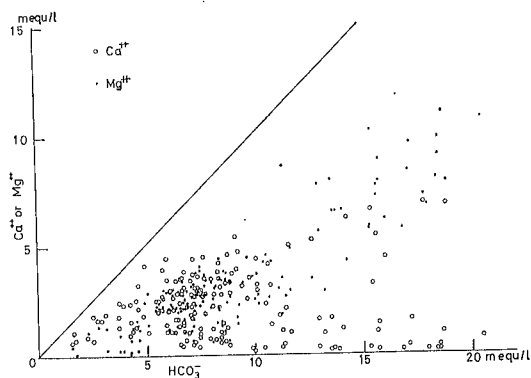


両地域は別々に取り扱わねばならないであろう。

図6には、 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ の分布を示したが、これを図2の HCO_3^- 分布と比較すると、その形状が南部では非常によく似ており、その当量数もほぼ等しく上記の関係のあることがわかる。一方北部においても、部分的には似たところもあるが、南部ほどではなく、当量数は $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ の方がずっと大きい。以下では観光港以内の地域について見ることにする。

前述したように、この地域では炭酸成分の影響を受けて地層中から Ca^{++} や Mg^{++} が溶出されたと考えられている。これまでは炭酸成分とアルカリ土類金属の対応を見ると、 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ という全体の量に注目してきたが、次には Ca^{++} 、 Mg^{++} 別々に対応を見てみよう。炭酸成分は別府温泉のような水素イオン濃度が中性に近い範囲では HCO_3^- のみを考えればよいので、図7で横軸に HCO_3^- を、

図7： HCO_3^- と Ca^{++} および Mg^{++} の関係



縦軸には Ca^{++} または Mg^{++} をとって各温泉水の値をとって各温泉水の値をプロットしたただし○印は Ca^{++} を、●印は Mg^{++} を示している。

HCO_3^- 量が $10 \text{ mequ}/\ell$ 以下の範囲では両者が入り混じって分布している。しかしこれにより HCO_3^- の濃い範囲では、 HCO_3^- が増すにつれて Mg^{++} は増す傾向があるのに対し、 Ca^{++} 量の増え方は鈍って、 HCO_3^- 量の増加に伴わず、むしろ HCO_3^- 量の多い所にかえって Ca^{++} 量が少なくなっているような傾向さえ認められる。

このことは、大分県の炭酸成分を多量に含む長湯、七里田温泉など、九重山麓に散在する炭酸泉について、昨年志賀と川野が見出した関係によく似ており、炭酸成分存在下で地層中からこれらアルカリ土類金属が溶出されるとき、各温泉地で共通にみられる現象のように思われる。

したがって、図7からもわかるように、観光港より南部の HCO_3^- を多量に含む温泉のうち HCO_3^- が $10 \text{ mequ}/\ell$ 以下の温泉では Ca^{++} と Mg^{++} の量はほぼ等当量か、または Ca^{++} の方が多く、これより高濃度の温泉では Mg^{++} の方が逆に多くなっており、図6や図2にみられる境川沿いの $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ 、 HCO_3^- の濃い帯状地域では $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$ (当量) となっている。

このような、 HCO_3^- 濃度の違いによる Ca^{++} と Mg^{++} の濃度の大小関係は、地層中からのアルカリ土類金属の溶出機構を知る手掛りを与えているようであり、これが明らかにされれば、他のカチオン類の起源を考察する上にも役立つものと考えられる。しかし、この機構については別文で論じたいと思うので、ここでは、 HCO_3^- とアルカリ土類金属イオン濃度の対応の特徴と別府温泉における分布状態についてのみ記述した。

6 まとめ

以上各化学成分の分布と、成分間の対応関係を地域的な特徴として記述してきたが、これらをまとめると以下ようになる。

- 1、各成分の等濃度線は海岸にはほぼ垂直に山の手に向かって伸びており、これは別府温泉の南北端を東西に走る断層線に平行し、また地下の様子を反映していると思われる井戸深分布によく似ている。
- 2、 Cl^- 分布からとくに明らかのように、別府の南部と北部両系統の温泉は、中部の観光港付近で境界をなして接しているようである。
- 3、 HCO_3^- と Cl^- 量の対応に、地域の特徴があらわれている。
- 4、 HCO_3^- 濃度が濃い境川一帯では、アルカリ土類金属に $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$ (当量) の関係があること

が見出された。

終わりにあたり、御指導をいただいた京大地球物理学研究施設吉川博士に感謝の意を表します。

表：温泉水の分析結果（単位はmg/l）

所 有 者	泉温℃	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
○秋葉通一浜脇								
杵 正	47.0	6.50	116	13.3	26.8	34.8	137	360
坂本長平	47.0	6.30	109	13.8	25.8	33.8	107	402
宮崎製パン	43.5	6.20	119	15.5	52.4	30.8	127	349
日本生命	50.0	7.31	148	22.9	15.4	48.8	178	456
清水	45.0	7.13	129	13.0	34.8	29.6	154	299
永石温泉	44.4	7.04	146	17.8	38.4	26.2	154	338
鶴の家	47.0	6.30	121	14.3	51.8	36.0	133	378
紙屋温泉	47.6	6.95	139	14.4	36.2	27.4	160	296
旅館可扇	42.0	6.38	104	13.4	21.6	31.4	89.8	412
田中	43.0	6.49	114	12.6	51.0	36.4	136	353
夢殿	52.5	6.50	236	25.8	204	120	671	442
吉井医院	43.0	6.30	111	13.6	20.0	31.0	110	379
堀内金物店	57.0	6.62	141	20.1	26.8	52.0	171	503
松原温泉	51.0	6.78	148	18.5	36.6	55.2	226	430
まるやま旅館	53.0	6.92	552	37.6	186	134	1020	497
垣迫医院	50.0	7.00	1600	69.6	228	312	3080	335
一力	56.0	6.82	302	36.8	88.8	70.4	479	672
シェル石油		7.47	125	12.0	31.8	24.4	138	296
安部博之	45.0	6.81	496	33.6	49.6	83.6	749	557
米沢荘	42.5	7.36	345	23.2	74.4	67.2	628	315
みくに荘	42.0	7.55	65	3.6	12.2	10.0	131	66.4
松竹旅館	42.0	7.30	230	17.9	11.8	29.0	259	371
泉丈旅館	43.0	7.26	1360	62.8	62.0	181	2200	482
湊六旅館	43.0	7.18	4560	178	266	613	7990	423
○流川一海門寺								
石崎	47.0	7.21	188	31.8	6.8	102	104	1045
吉本	36.5	7.08	53	7.3	25.0	19.4	34	278
大分郵政クラブ	46.2	7.56	254	35.1	20.0	16.2	131	518
京町温泉	49.8	7.22	208	45.1	19.6	93.6	133	957
清家ヨシエ	49.5	7.17	236	47.7	2.6	98.4	124	1127
光国城	52.8	7.42	230	46.4	6.8	43.2	125	687
弓ヶ浜温泉	49.9	7.05	185	29.4	19.8	134	170	1141
山田洋服店	48.8	7.44	356	49.2	2.2	69.6	196	1029
梶原	44.8	7.21	229	29.8	63.6	124	283	943
的ヶ浜温泉	51.4	7.89	278	43.2	23.2	7.4	164	489
上のヶ浜温泉	55.3	7.35	294	31.0	8.4	105	413	692
太光園	67.8	7.42	370	32.6	5.4	51.2	374	637
竹の井旅館	51.0	8.06	352	65.6	32.4	20.2	227	828
丸一旅館	60.0	7.31	316	47.3	41.4	32.4	224	698
鹿の湯	63.0	7.31	290	32.0	35.0	36.6	227	678
海門寺温泉	57.5	6.93	185	18.4	44.0	31.4	163	491
甲斐猪之助	47.0	6.60	126	13.9	31.8	25.8	86	388

松野旅館	51.8	6.72	159	17.5	26.6	26.2	137	410	
北町温泉	58.0	6.90	173	18.9	23.6	31.8	181	456	
不老泉	46.0	6.36	94	14.4	54.6	38.8	69.6	467	
別府急配	55.0	6.42	142	17.2	43.4	32.4	131	432	
梅園温泉	58.0	6.53	162	19.9	55.0	37.6	163	495	
宮本荘	47.0	6.35	122	14.7	41.2	27.6	116	373	
愛媛屋	63.0	7.65	214	26.9	59.6	33.8	170	619	
竹瓦温泉	60.3	6.80	200	31.4	64.0	52.0	174	657	
霊潮泉	58.2	6.50	148	18.8	12.2	45.7	135	526	
柳温泉	47.1	6.39	84	12.5	9.6	28.6	64.5	402	
楠温泉	51.1	6.98	113	13.1	11.8	45.7	117	444	
松下金物店	49.0	6.31	92	13.3	6.8	36.8	66	454	
○田の湯—野口—天満									
二豊閣	72.0	7.56	180	26.3	27.0	56.0	167	658	
川野旅館	68.4	7.97	538	28.9	19.4	6.2	605	426	
安部医院	56.0	7.60	219	28.4	20.2	16.6	237	310	
安部農園	63.5	7.95	179	15.7	20.2	14.6	134	366	
安部(寅)	49.0	8.05	184	61.4	4.8	79.2	104	830	
菅	42.2	7.85	219	66.0	27.4	96.0	115	962	
第2ふじ湯	46.0	7.81	186	48.0	31.4	117	107	1051	
福永建材	35.5	8.10	337	18.2	11.6	8.2	167	536	
河野	40.0	7.70	232	48.3	14.4	130	124	1251	
第1ふじ湯	53.7	7.26	224	33.0	2.6	110	128	1133	
野田	57.0	7.31	116	15.7	14.2	26.6	60.2	483	
友永誉平	58.2	7.71	380	23.2	32.2	8.2	403	434	
姫野	57.0	7.87	231	36.7	2.8	30.6	117	610	
別府鉄工所	48.0	7.20	240	29.0	2.6	108	251	967	
高村電機	53.3	7.35	288	35.0	3.0	96.8	387	824	
工藤寿薫	53.2	7.25	284	31.8	31.2	94.4	269	791	
武氏保	46.8	7.00	150	15.3	8.0	33.2	137	406	
神聖庁	53.0	7.75	456	26.5	24.0	29.2	517	531	
橋本医院	49.0	7.55	564	28.3	46.0	16.6	742	437	
野口中央温泉	45.0	7.16	92	14.2	9.1	37.6	55.3	437	
小松園	52.0	7.00	148	17.9	7.6	25.6	130	406	
一竜	49.5	7.41	114	15.8	20.8	33.4	128	377	
清八	49.0	6.94	110	14.5	12.6	36.2	122	417	
○堀田—南立石—山の手									
パイロット保養所	53.0	7.21	168	48.0	5.6	68.0	218	793	
堀田温泉	68.2	6.31	47.0	7.5	15.4	13.0	41.4	140	
佐藤哲夫	47.0	6.66	66.0	12.5	39.8	34.4	40.9	369	
田崎	48.5	7.16	69.0	14.0	61.4	53.6	31.4	512	
遠藤きよ	45.0	7.74	282	36.3	36.4	41.6	98.0	471	
佐藤栄三	48.0	7.40	138	34.0	2.6	82.4	44.8	1098	
平野	65.0	7.16	113	25.8	18.4	35.4	39.5	807	
観海寺温泉	47.1	6.58	22.0	3.4	47.8	11.2	7.4	229	
赤嶺国博	51.0	7.32	157	35.0	3.8	79.2	97.0	840	
龜本	38.3	7.25	168	35.6	22.6	80.0	103	856	
日本漁網	52.3	7.61	161	33.0	4.6	70.4	66.9	935	
第1生命保養所	47.2	7.10	99.0	25.0	46.2	55.2	44.5	644	
小川アパート	52.0	7.48	62.0	11.9	8.6	40.8	36.1	540	
広瀬アパート	53.0	7.45	163	23.6	5.0	43.2	132	604	

梶田信吾	23.0	7.35	226	20.1	40.6	27.0	275	349
松野	66.8	7.42	232	26.4	51.0	53.6	217	591
宮崎理容院	54.0	7.30	102	16.4	14.0	38.4	70.5	500
松原アパート	57.3	7.25	110	17.4	66.0	42.4	79.7	527
青山高校	58.0	7.45					120	1090
○北石垣—南石垣								
大成つる代	38.5	7.50	136	34.6	15.6	41.6	72.8	518
牧		7.59	96	23.2	36.8	40.0	56.0	442
佐藤定人	32.0	7.30	206	45.6	7.0	120	116	1129
屋田温泉	42.0	7.58	113	30.8	28.4	46.4	67.9	524
日名子養魚場	43.7	7.66	143	38.2	19.0	59.2	88.6	708
藤内茂	34.3	7.34	112	27.1	43.0	42.4	62.7	511
荒金		8.16	128	23.6	20.4	16.2	55.7	390
つたや製菓	44.5	8.15	207	24.2	20.0	13.2	72.5	522
大分バス	61.0	7.60	374	54.8	31.6	17.6	548	181
佐藤組	41.0	7.39	366	51.6	36.8	15.0	547	191
高田幸市	39.0	7.34	304	42.3	44.4	21.6	530	92.8
西石油	40.0	7.48	358	38.9	21.0	8.0	543	98.3
山本牛乳	47.0	7.64	335	31.8	25.2	2.8	377	231
土谷製麵	53.8	8.10	223	18.1	11.0	3.2	250	192
トヨタカローラ	48.5	7.72	155	21.0	10.8	5.0	203	96.1
荒金学三	47.2	7.44	796	51.2	61.8	6.6	1217	109
大平アパート	43.8	7.62	734	57.2	48.6	5.4	1102	119
永井製作所		7.37	814	56.6	57.8	4.0	1260	84.5
佐藤武	34.6	7.60	556	38.7	53.6	6.0	889	34.0
植木	44.0	6.86	988	122	32.4	2.0	1608	32.2
森竹貞一	54.2	6.40	1012	131	48.4	4.4	1595	14.4
○小倉—竹ノ内—新別府								
平松忠三	95.5	7.85	740	88.0	44.6	3.4	1108	34.9
ニチヨー	66.0	8.49	49.0	12.5	15.6	11.2	6.3	242
八坂ホテル	53.6	8.61	69.0	7.0	7.8	4.0	8.1	224
中野要	59.2	7.24	51.0	13.6	14.0	10.2	5.6	238
永野保	44.0	7.67	39.0	10.8	14.0	9.4	5.6	196
東芝保養所	42.8	8.37	67.0	11.9	11.8	5.0	7.0	232
出光保養所	50.0	8.30	51.0	13.6	15.4	8.6	7.0	235
豊	45.2	7.66	52.0	9.3	15.0	8.4	6.0	208
大野次男	44.0	8.01	68.0	11.5	27.8	13.4	5.7	310
旅館扇山	56.0	7.75	46.0	9.5	17.6	9.6	4.6	216
大平主税	92.1	8.58	1200	126	27.4	0.0	1911	83.4
神丘温泉	93.0	9.42	178	12.3	2.0	0.0	12.0	287
○照波園								
三井建設	58.8	7.54	864	82.8	64.6	16.4	1200	227
山本(むつみ屋)	48.0	7.25	832	75.6	51.8	8.2	1161	161
大川アパート	49.5	7.42	888	77.2	55.2	14.0	1215	195
菊地(八峰寮)	45.6	7.34	800	71.6	50.6	13.2	1141	144
阿南(六静居)	47.3	6.86	1192	132	80.4	6.4	1841	71.4
三浦(豊寮)	45.8	7.30	454	47.6	22.8	10.6	641	157
粟医院	53.2	8.08	644	61.2	35.8	5.6	894	197
吉田	42.8	7.60	65.0	14.2	33.0	23.0	30.9	321
藤沢幸吉	47.2	8.01	576	53.4	33.2	7.4	810	219
吉平マンション	49.6	7.58	704	51.6	52.0	9.8	995	217

松熊 築男	40.3	8.19	301	21.4	4.0	1.6	253	251
岩田 アパート	44.5	7.72	76.0	15.0	29.4	16.0	21.5	583
大野 勝	51.8	7.98	147	19.2	28.0	10.6	264	251
後藤 次夫	50.3	8.21					59.3	211
岩田 忠孝	41.0	8.15					86.6	169
佐藤 のぶ子	53.0	8.05					287	160
河野 幹雄	40.0	8.78					370	193
泰野 多喜生	30.3	8.30					56.9	183
○鶴見一鉄輪								
岡 本	47.3	6.70	88.0	22.7	47.0	25.2	61.0	208
池 田	51.7	7.17	223	30.5	60.4	21.0	289	177
なるみ 旅館	48.5	7.32	54.0	10.1	46.2	22.4	12.3	258
松 川 荘	54.8	8.24	228	44.4	51.4	12.2	234	110
木 崎	99.2	4.65	1016	138	19.0	3.6	1481	32.7
坊主 地獄	97.8	3.23	44.0	8.5	14.8	2.0	9.1	0
神 和 荘		7.55					296	43.5
○柴石一野田一亀川								
浜田 温泉		6.70	404	65.0	45.6	16.8	561	159
御夢 温泉		7.28	210	30.1	31.0	15.8	277	142
竜巻 地獄	84.2	2.80	640	117	47.6	21.6	1023	0
柴石 温泉	67.0	3.25	292	62.1	26.0	11.0	426	0

注：泉温はかならずしも最高温度ではない。

参 考 文 献

- 1) 吉川、由佐：大分県温泉調査研究会報告19号、pp.45~59、1968
- 2) 由佐：同上20号、pp.43~52、1969
- 3) 由佐：同上21号、pp.13~25、1970
- 4) 大分県衛生研究所、九州大学温泉治療学研究所：同上13~21号別冊（温泉分析書）
- 5) 大分県温泉掘さく明細書
- 6) 森山：大分県温泉調査研究会報告15~20号、1964~1969
- 7) 後藤：地球物理、7巻2号、pp.157~165、1943
- 8) 山下、森：大分県温泉調査研究会報告17号、pp.12~17、1966
- 9) 吉川、志賀：同上、pp.5~11、1966
- 10) 吉川：同上2号、pp.53~66、1951
- 11) 湯原：同上6号、pp.29~44、1955
- 12) 吉川、由佐：日本陸水学会第35回大会講演要旨集、1970
- 13) 吉川：温泉科学、20巻2号、pp.100~108、1969
- 14) 志賀、川野：大分県温泉調査研究会報告21号、pp.70~77、1970

別府温泉中のフッ素

九州大学温泉治療学研究所

野 田 徹 郎

1 緒 言

温泉水中に溶存する種々の化学成分のうち、フッ素は、量的にみると同じハロゲンの塩素に比べ非常に少ない。普通の高温泉のフッ素と塩素の atomic ratio は $1 \sim 10 \times 10^{-3}$ 程度である。しかし、その起源を考へるときには、極めて興味深い元素であり、一つにはフッ素は他のハロゲン元素と同様、岩漿分別の際に造岩鉱物をつくりにくいために、比較の後まで岩漿残存溶液中に存在し、その段階で酸化しやすいために、温泉水への溶入も考へられるし、一つには、一旦気成鉱物として火成岩中に沈積したものが熱水との反応によって溶出したものと考えられる。しかし、前者は盛んな火山活動のある地域においてのみみられる現象である。

2 フッ素の分布と起源

通常の温泉水中のフッ素は量的には、最高10数 ppm、平均 1ppm 前後で、他のハロゲン元素に比べて特に多い成分ではない。しかし、マグマや火山ガスとの関連の深い温泉には、一切経山毒水 3.05 g/l 、箱根仙郷楼7B井 145 mg/l 、玉川温泉 66 mg/l 、香草温泉 33.9 mg/l 、草津白根山湯釜 20.8 mg/l と多量のフッ素が含まれている。これらの温泉には岩漿末期残留物としてのフッ素もかなり含まれているであろうが、一般の温泉について岩漿起源説を適用することは妥当でない。又、花崗岩地帯のアルカリ性の温泉にもフッ素量の多いものが認められる。富岡鉱泉 41.9 mg/l (pH9.2)、岩蔵温泉 8.69 mg/l (pH9.2)、松山市権現温泉旧第二源泉 12.2 mg/l (pH9.9) 等が知られている。道後温泉、山口県に散在する温泉にもフッ素量の多いものがある。更に、螢石鉱山近くの湧出地下水にもフッ素濃度の高いところがある。

これら温泉水中のフッ素を定量する方法としては、旧来蒸留法が用いられている。しかし、この方法は蒸留操作に手間がかかり、今日では金属キレートを用いた比色法が手軽で正確である。中でもドータイト・アルフソンを用いる方法は試料数の多いときに有効である。

報告者は別府地区の代表的な温泉 200ヶ所について、この比色法を用いてフッ素の定量を行ない、更に、化学成分相互の関係を知るために、pH、Cl、 HCO_3 を定量した。その結果を表一に記し、後に用いるフッ素と塩素の原子比も附記した。

表一 別府温泉のpH、F、Cl、 HCO_3 含有量、F/Cl比

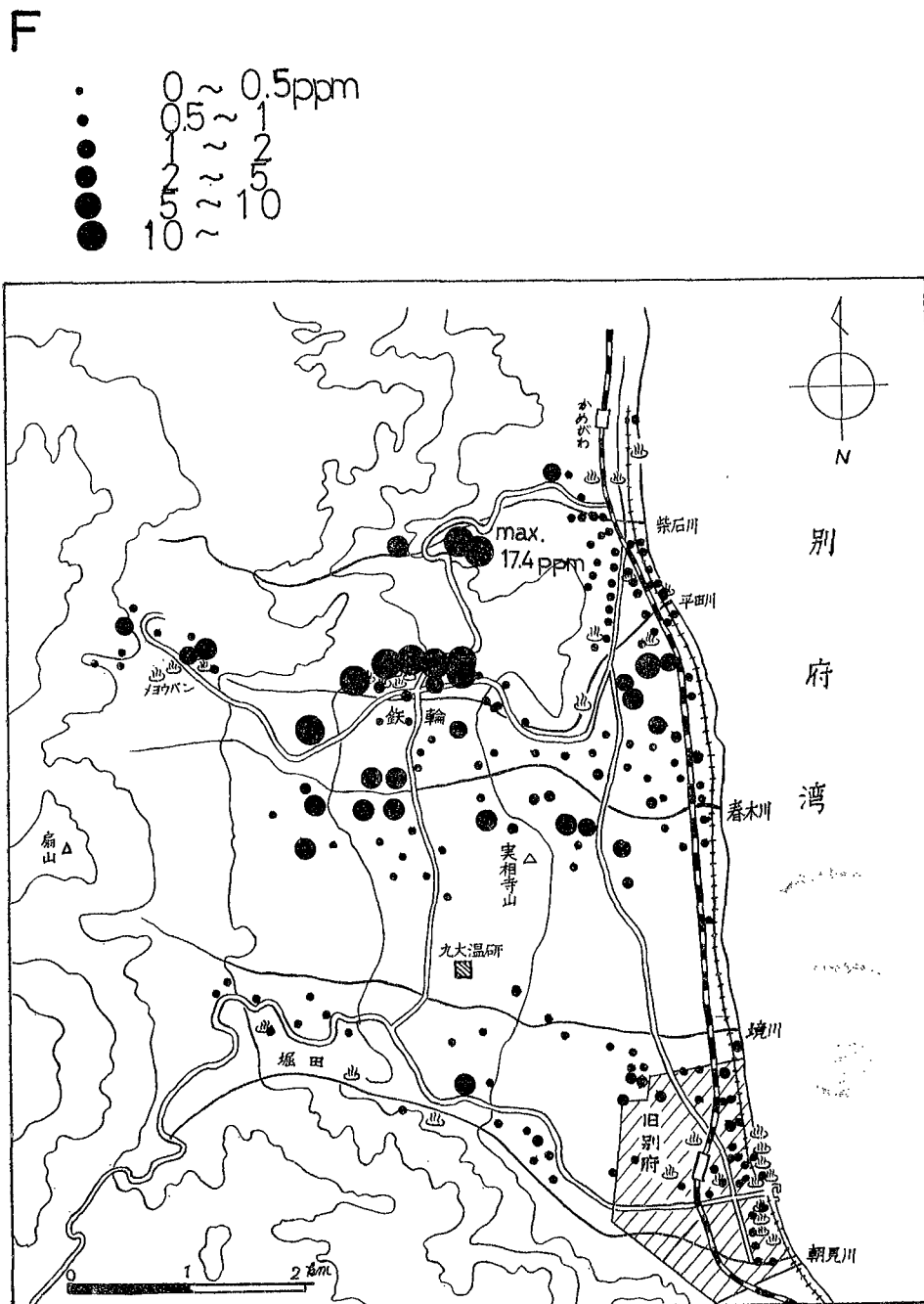
					temp	pH	F ⁻	Cl ⁻	F/Cl						
明 礬										柴 石					
1	蔦	ノ	湯	—	7.2	0.48	12	83.3	1	柴石温泉	67	3.1	2.58	435	11.1
2	地	蔵	湯	75	2.4	0.00	—	—	2	血ノ池	66	2.5	16.50	690	44.5
3	大	和	屋	64	2.0	0.41	—	11.0	3	竜巻	85	2.7	17.40	820	40.0
4	露		天	66	2.1	1.38	5	730.0	4	国立亀川	67	2.7	1.53	451	6.4
5	ミ	ドリ	屋	75	7.8	0.03	—	10		観海寺					
6	岡		本一	68	1.8	1.25	—	33.0	1	観海寺温泉	47	6.7	0.14	6	35.0
7	〃		一2	82	3.0	0.36	—	19.5		堀田					
8	〃		一3	58	2.9	0.04	—	10	1	白石	55	8.1	0.23	77	5.5
9	山		田	70	1.2	4.00	—	1055	2	ごどう別荘	67	7.9	0.34	60	10.6
10	え	び	す屋	53	2.7	0.00	—	—	3	九州厚生興業所	53	7.2	0.23	218	2.0

4	田	崎	87	7.2	0.33	31	18.9	45	岩	田	54	7.7	0.10	22	8.3
5	佐藤	哲夫	52	6.7	0.34	41	15.3	46	松熊	築男	48	8.2	0.34	273	2.3
6	遠藤	きよ	45	7.7	0.23	98	4.3	47	松川	莊	55	8.2	0.33	236	2.5
7	堀田	温泉	68	6.9	—	37	—	48	藤沢	幸吉	52	8.0	0.41	810	1.0
8	佐藤	栄三	50	7.4	0.34	45	13.8	49	吉平	マンション	50	7.6	0.80	995	1.5
9	平	野	65	7.2	0.34	40	16.4	50	赤	松	51	7.9	0.82	200	7.7
鉄輪															
1	坊	主	96	3.2	15.60	34	821.0	52	森	竹	54	5.6	3.30	1597	3.9
2	海		69	2.7	16.80	567	55.3	53	佐藤	武	55	7.6	0.84	889	1.8
3	十	万	85	7.9	1.00	424	4.4	54	萩	原(湯)	44	6.9	1.70	1608	2.0
4	鬼	山	100	3.7	—	1759	—	55	々	(水)	32	6.9	0.15	21	13.3
5	白	池	100	8.1	0.79	499	3.0	56	大平	アパート	44	7.6	1.14	1102	1.9
6	金	竜	100	3.2	10.80	2413	8.4	57	荒金	学三	62	7.4	0.94	1217	1.4
7	雷	園	100	3.7	10.80	1207	16.7		亀川						
8	ゆ	の	100	8.3	0.42	8	110.0	1	御	夢想	—	7.3	0.48	273	3.2
9	中	村	99	9.4	0.67	12	11.7	2	浜	田	—	6.8	0.21	547	0.7
10	大	平	98	8.6	2.16	1911	2.1	3	桜井	五郎	44	6.7	0.23	177	2.4
11	永	野	98	8.5	2.56	2211	2.2	4	溝部	学園	57	7.0	0.21	525	0.7
12	扇	山	60	7.8	0.18	5	90.0	5	桜井	保口	47	7.2	0.13	159	1.6
13	永	野	55	7.7	0.17	6	45.0	6	堀	保口	61	7.0	0.24	488	0.9
14	温泉	センター	54	8.6	0.24	8	65.0	7	亀川	郵便局	51	7.3	0.20	209	1.9
15	中	野	67	7.2	0.10	6	25.0	8	野	村	68	6.9	0.25	791	0.6
16	ニ	チ	67	8.5	0.13	6	35.0	9	安	芸	70	6.3	0.24	823	0.6
17	東	芝	65	8.4	0.10	7	25.0	10	脇		56	7.5	0.31	328	1.7
18	出	光	52	8.3	0.16	7	40.0	11	吉	田	50	7.2	0.16	227	1.3
19	瞿	雲	50	7.7	0.16	6	40.0	12	藤	内	57	7.3	0.20	385	1.0
20	つ	る	96	8.1	2.46	2025	2.3	13	小	野	54	7.2	0.13	293	0.8
21	々	B	98	8.4	2.64	2042	2.4	14	新	喜	47	7.6	0.38	302	2.4
22	々	C	95	8.2	2.08	1775	2.2	15	豊島	文具店	56	6.9	0.31	291	2.0
23	み	か	94	8.5	2.48	1702	2.7	16	宮	内	43	8.4	0.30	258	2.2
24	野	々	58	7.4	0.19	8	50.0	17	信	行	50	7.4	0.33	285	2.1
25	松	川	40	6.7	0.20	27	13.8	18	筋	湯	57	6.8	0.31	284	2.0
26	昭	和	56	7.2	0.25	12	43.5	19	サカキ	金物店	60	7.0	0.29	279	1.9
27	野	沢	59	7.3	0.29	42	12.3	20	衛	藤	56	7.0	0.34	243	2.6
28	広	瀬	71	7.3	0.36	126	5.3	21	四	ノ	52	7.3	0.30	295	1.9
29	温	泉	100	8.1	1.84	486	7.1	22	富	士	59	7.7	0.33	272	2.2
30	上	富	100	4.4	13.25	2381	10.4	23	さい	わい	58	7.0	0.32	261	2.3
31	筑	前	100	3.4	10.95	2338	8.7	24	後	藤	43	6.6	0.22	245	1.7
32	双	葉	100	3.7	11.15	1941	10.7	25	亀	陽	51	7.1	0.41	298	2.6
33	み	ゆ	58	7.6	0.14	637	0.4	26	万	力	58	7.1	0.22	394	1.1
34	大	野	99	9.2	1.83	896	3.8	27	加	藤	51	7.1	0.32	284	2.1
35	永	芳	43	7.3	0.30	65	8.9	28	み	ゆ	60	7.9	0.24	374	1.2
36	小	手	60	8.6	0.41	159	4.9	29	越	智	57	6.8	0.16	833	0.3
37	坂	田	99	8.6	2.08	1034	3.7	30	東		59	6.7	0.21	899	0.4
38	藤	田	98	8.8	1.84	928	3.7	31	浅	川	66	6.6	0.21	1140	0.3
39	なる	み	58	7.3	0.18	31	10.0	32	児	玉	52	7.3	0.28	373	1.4
40	中	尾	53	7.6	0.25	443	1.0	33	三	菱	51	7.3	0.27	251	2.0
41	五	泉	44	6.9	0.28	105	5.0	34	鶴	友	45	7.2	0.29	202	2.6
42	池	田	52	7.2	0.25	255	1.8	35	竹	森	48	7.2	0.28	216	2.5
43	岡	本	47	6.7	0.19	61	5.9	36	草	牧	48	7.0	0.27	207	2.4
44	大	野	55	8.0	0.19	264	1.4	37	灘	尾	64	6.4	0.20	1032	0.4

		temp	pH	F ⁻	Cl ⁻	F/Cl		temp	pH	F ⁻	Cl ⁻	F/Cl	HCO ₃ ⁻
38	堀田 勇	55	7.1	0.26	335	1.5	別府市内						
39	亀 川 荘	60	7.3	0.26	361	1.4	1 赤 峰 国 博	52	7.3	0.36	97	7.0	840
40	有 松	44	7.5	0.23	198	2.1	2 穂 本	51	7.3	0.34	103	6.2	856
41	渡 辺	45	6.9	0.26	203	2.5	3 第 一 生 命 寮	55	7.1	0.27	45	10.8	644
42	粟	43	7.5	0.23	203	2.1	4 つ る み 園	100	8.9	3.54	1208	5.5	—
43	競 輪 場	66	6.8	0.29	658	0.8	5 小 川 ア パ ー ト	55	7.5	0.22	36	12.0	540
44	阿 部	100	4.2	9.40	1284	13.7	9 広 瀬 ア パ ー ト	52	7.5	0.22	123	3.4	604
45	藤 本 千 也	86	8.2	1.74	44	7.4	7 梶 田 信 吾	23	7.4	0.76	275	5.1	349
46	遺 族 会 館	50	7.4	0.24	3315	1.4	8 松 野	67	7.4	0.41	217	3.6	591
47	朝 日 寮	54	7.5	0.14	949	0.3	9 松 原 ア パ ー ト	57	7.3	0.22	80	5.2	527
48	北 部 ア パ ー	53	7.4	1.06	522	3.8	10 宮 崎 理 容 院	54	7.3	0.20	71	5.5	500
46	平 松	100	8.2	2.48	767	6.1	11 石 光 歯 科	44	7.9	0.22	40	10.9	275
50	粟 医 院	53	8.1	0.46	894	1.0	12 大 成 つ る 代	43	7.5	0.27	73	6.7	518
51	山 本 リ ン	73	7.6	1.02	1159	1.7	13 安 部 (寅)	56	8.1	0.35	104	6.2	830
52	右 田	50	7.9	0.38	500	1.4	14 菅	42	7.9	0.42	115	6.9	962
53	谷 井 木 材 店	45	7.5	0.60	1132	1.0	15 第 二 富 士 湯	46	7.8	0.35	107	6.0	1051
54	信 国	47	7.4	0.46	1024	0.8	16 第 一 富 士 湯	54	7.3	0.41	128	6.1	1133
55	小 田	50	7.6	0.14	1143	0.2	17 河 野	40	7.7	0.39	124	6.0	1251
56	三 浦 (豊 寮)	46	7.3	0.27	641	0.8	18 福 永 建 材	45	8.1	0.39	167	4.5	536
57	篠 崎 ア パ ー	54	7.6	0.26	1229	0.4	19 安 部 農 園	88	8.0	0.60	134	8.4	366
58	三 井 建 設	59	7.5	0.40	1200	0.6	20 安 部 第 一 病 院	88	7.6	0.62	237	4.6	310
59	山 本 (む つ み 屋)	48	7.3	0.82	1161	1.3	21 川 野 旅 館	68	8.0	0.53	605	1.6	426
60	菊 池 (八 峰 寮)	46	7.3	0.83	1141	1.4	22 日 名 子 養 魚 場	44	7.7	0.30	87	6.7	708
61	大 川 ア パ ー	50	7.4	0.48	1215	0.7	23 つ た や 製 菓	45	8.2	0.18	73	4.3	522
62	姫 野	48	7.4	0.43	677	1.2	24 神 聖 庁	60	7.8	0.71	517	2.4	531
63	小 川 工 業 所	49	7.7	0.41	203	3.9	25 武 氏 保	47	7.0	0.36	137	4.9	406
64	山 本 牛 乳	55	7.6	0.33	377	1.6	26 梶 原	45	7.2	0.40	283	2.6	943
65	丸 高 産 業	46	7.3	0.21	530	0.7	27 弓 ケ 浜 温 泉	—	7.0	0.68	174	7.3	1141
66	佐 藤 組	46	7.4	0.17	547	0.6	28 山 田 洋 服 店	49	7.4	0.36	196	3.5	1029
							29 京 町 温 泉	50	7.2	0.66	143	3.5	693
							30 的 ケ 浜 温 泉	51	7.9	0.30	168	3.4	489
							31 上 的 ケ 浜 温 泉	55	7.7	0.56	416	2.5	476
							32 松 野 旅 館	52	6.7	0.25	137	3.3	410
							33 太 光 閣	68	7.4	0.37	374	1.8	637
							34 春 日 温 泉	52	7.6	0.44	205	4.0	502
							35 鹿 乃 湯	63	7.3	0.27	227	2.2	678
							36 甲 斐 猪 之 助	47	6.6	0.28	86	6.3	388
							37 海 門 寺 温 泉	58	7.0	0.38	168	4.3	363
							38 老 松 温 泉	55	8.0	0.43	292	2.8	602
							39 な ぎ さ 旅 館	51	8.1	0.32	227	2.7	828
							40 ○ 一 旅 館	60	7.3	0.29	224	2.4	698
							41 二 豊 閣	74	7.6	0.23	167	2.6	658
							42 小 松 園	52	7.0	0.22	130	3.2	406
							43 田 ノ 湯 温 泉	52	7.1	0.28	62	8.8	407
							44 不 老 泉	52	6.5	0.34	72	9.0	434
							45 北 町 温 泉	58	6.7	0.34	193	3.3	412
							46 梅 園 温 泉	58	6.4	0.39	171	4.4	440
							47 竹 瓦 温 泉	60	6.8	0.42	174	4.5	516
							48 霊 潮 泉	58	6.5	0.38	137	5.1	382
							49 柳 温 泉	47	6.3	0.31	75	7.6	364
							50 楠 温 泉	51	7.0	0.27	118	4.2	352
							51 紙 屋 温 泉	48	7.0	0.21	174	2.2	495
							52 永 石 温 泉	44	7.0	0.24	164	2.8	440
							53 松 原 温 泉	51	6.7	0.32	224	2.7	339

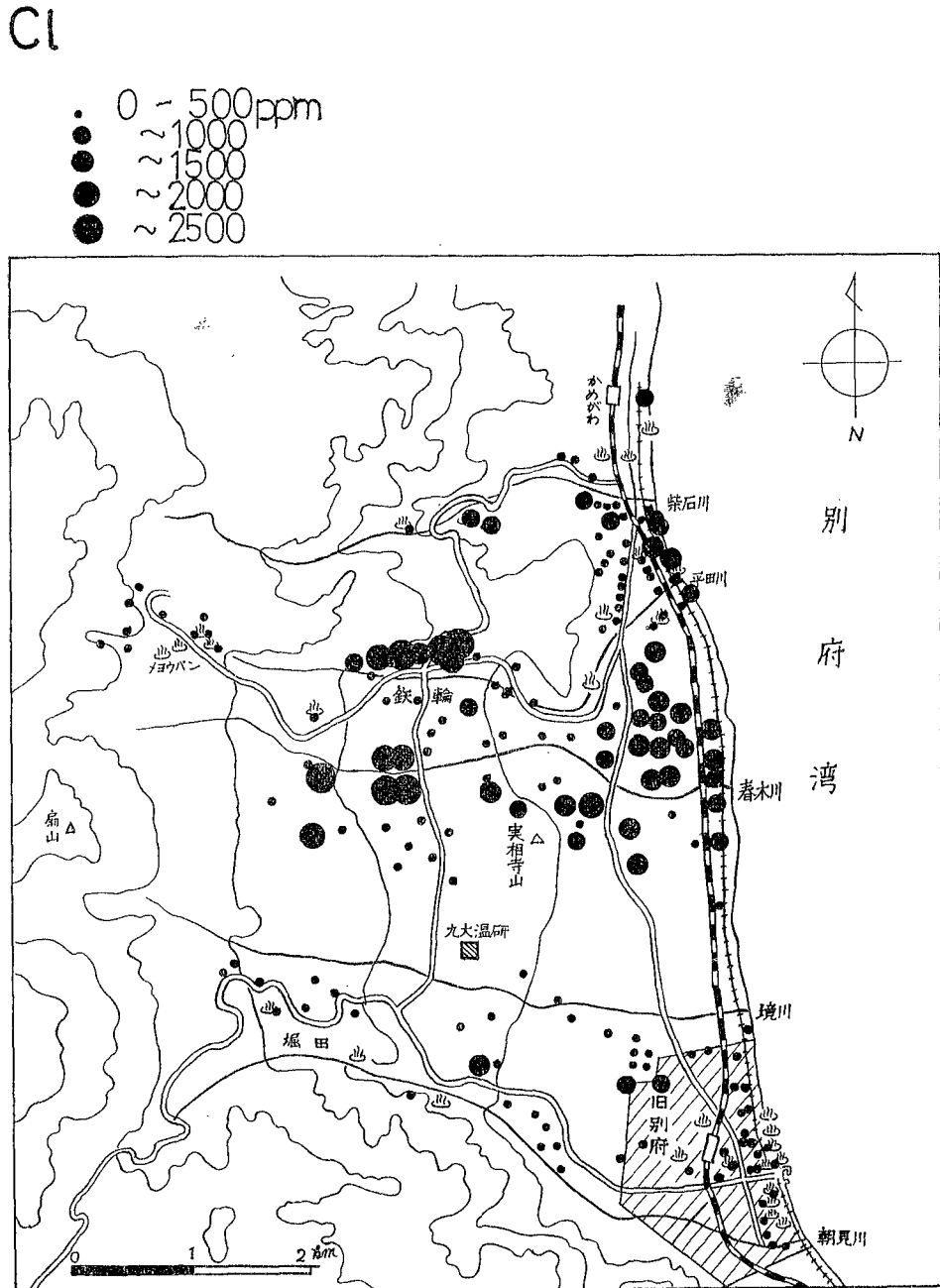
別府地区のフッ素の分布は最高が竜巻地獄の1.74ppm であり、付近の酸性食塩泉で 10ppm、次いで鉄輪、亀川地区の食塩泉で数 ppm、別市旧市内の重曹泉で最も少なく 1 ppm以下となっている。
(図-1)

図1 別府温泉のF分布



別府地区の塩素は、鉄輪の食塩泉、次いで亀川の食塩泉、旧市内の重曹泉で最も少なくなっており酸性食塩泉、北西部の噴気地帯を除くフッ素との間に正の相関がみられる。即ち、同じハロゲンとしてフッ素と塩素の挙動が類似していることになる。フッ素と塩素がどういう点で異なるふるまいをするかを知るにはフッ素と塩素の atomic ratio を求めることによって明らかになる。(図-2)

図2 別府温泉のCl分布

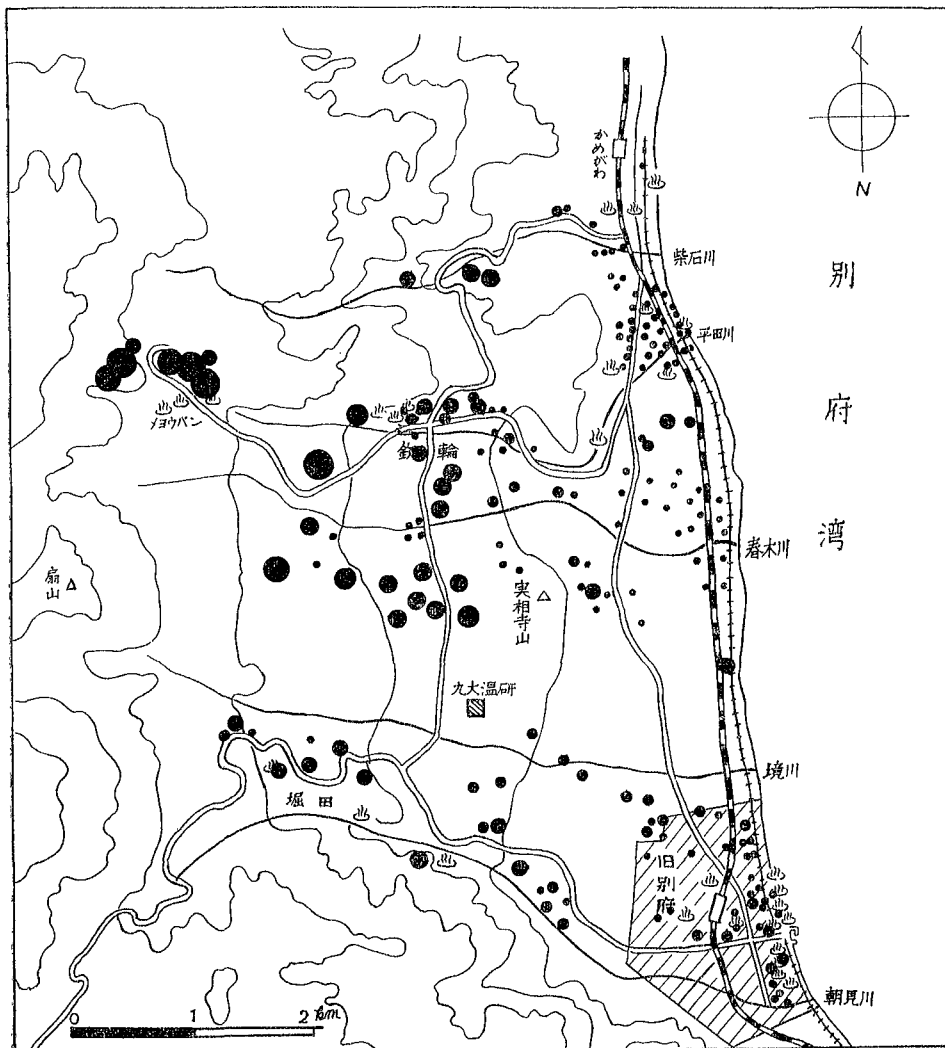


図一三の示すように F/Cl 値は地獄、鉄輪の酸性食塩泉で大であるほか、明礬地区、横断道路沿いの噴気地帯で大きい。明礬地区、横断道路沿いではフッ素の絶対量は少ないが、塩素も非常に少なく F/Cl としては大きくなる。同地区（横断道路沿い）の噴気の凝縮水を採取し分析したところフッ素は 0.8ppm であるが、塩素は 1 ppm 以下であり、同地区の高い F/Cl は、温泉水が直接地下深部から

図3 別府温泉のF/Cl比

F/Cl (atomic ratio)

●	0 ~ 2 × 10 ⁻³	●	20 ~ 50
●	2 ~ 5	●	50 ~ 100
●	5 ~ 10	●	100 ~ 200
●	10 ~ 20	●	200 ~ 500



きたのではなく、地表近くの水が深部熱水起源の蒸気によって温められて湧出したものであることが同地区の温泉が季節的な変動が大きく、降雨の影響を受け易いことを考えあわせると明らかとなる。化学成分的にも同地区の温泉は塩素が少なく、明礬では H_2S 、 SO_2 の酸化によって生じた硫酸酸性泉、横断道路沿いは重曹泉が主である。他方、酸性食塩泉に於ても、 F/Cl は高い値を示す。これはどういう原因によるものであろうか。

先に述べた熱水からの蒸気によって温められ湧出する F/Cl の大きい温泉を議論から除くために、塩素イオンが10ミリモル/ℓ以上という制限を設けて実際の温泉水のpHに対する F/Cl 値の変動を調べてみた。それを図-4の実線部で示す。 F/Cl 値は酸性領域で著しく高い値を示す。中性で最小、アルカリ側でやや大きくなっている。

この F/Cl 値の変化に対し、温泉水中の化学成分は熱水とrockとの反応による溶出によってもたらされるという考えにたって検討を加うるべく、フッ素を含む代表的な鉱物としてホタル石、燐灰石を選び溶出実験を行ない、フッ素の濃度がpHの変化によってどう変わるかを調べた。フッ素を含む鉱物中で最も難溶なのはホタル石 CaF_2 であり、その溶解度は18℃に於て 1.51×10^{-3} である。他のフッ素化合物の溶解度は MgF_2 1.3×10^{-2} (25℃)、 NaF 4.1 (20℃) のようにホタル石に比べると溶けやすい。

燐灰石は $Ca(F, Cl)Ca_4(PO_4)_3$ の構造をもち広く副成鉱物として火成岩中に含まれている。温泉水中のフッ素量のオーダー、時間的に変動がないこと、存在が地域的にみて普遍であることなどを考えると、難溶性のホタル石、燐灰石をフッ素の起源と考えることは妥当である。他にフッ素を含む鉱物としては氷晶石 (Na_3AlF_6) もあるが、ホタル石、燐灰石に比べると、ずっと溶けやすいのでフッ素の起源とするには適当でない。

溶出実験に用いたホタル石は中華人民共和国浙江省産、燐灰石はメキシコ産、カナダ産である。溶出実験の条件を述べると、ホタル石あるいは燐灰石の微粉末0.1g、標準的な中性熱水と同じ食塩濃度をもたせるために食塩0.4g、蒸留水100mlを耐熱フラスコに入れ、硫酸と苛性ソーダでpHを調整し、還流冷却器をつけて1時間沸騰加熱した。加熱後はすみやかに濾別し、冷却、pHを測定、前

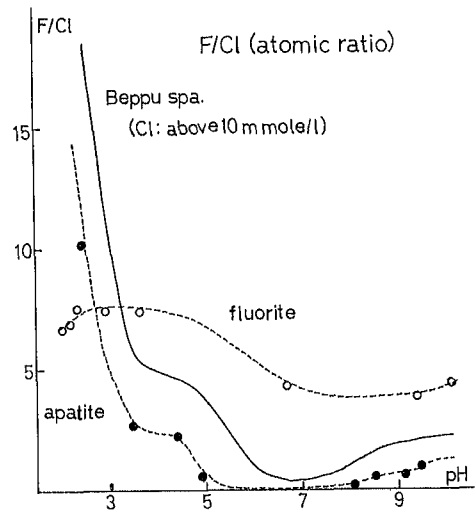
表-2 ホタル石、燐灰石の溶出実験の結果

CaF_2 1g $NaCl$ 0.4g H_2O 100ml
 H_2O 100ml

pH	F(mg/ℓ)
2.25	17.8
2.3	18.3
2.4	19.7
2.95	18.6
3.7	19.3
6.7	10.7
9.2	8.4
9.5	9.8

pH	F(mg/ℓ)
2.5	28.0
3.5	5.6
4.5	5.6
4.9	0.7
8.2	0.2
8.6	1.6
9.2	1.3
9.5	2.3
11.2	1.7

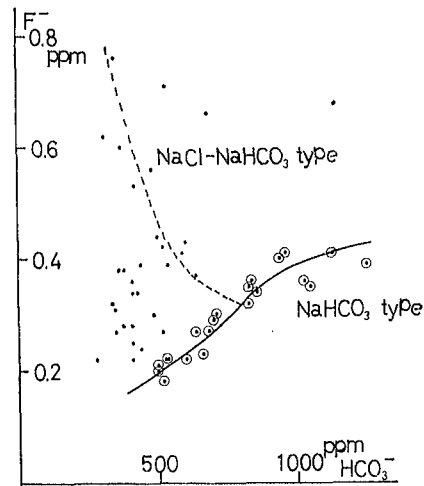
図4 別府温泉の F/Cl 比と pH の関係、ホタル石、燐灰石の溶出実験による F/Cl 比と pH の関係



記のドータイト・アルフソンによる比色法で定量した。その結果が表-2であり、図-4には pH に対するフッ素濃度の変化をホタル石、燐灰石について図示した。

F/Cl は酸性で非常に大きく、中性で最小、アルカリ性で大きい傾向が実際の温泉水と全く同じであり、フッ素の起源としてホタル石、燐灰石の溶出が果す役割の大きいことを知る。しかし、 CaF_2 の溶解度積の面からの数値的な考察は、 Ca と HCO_3 の平衡関係からもたらされ

図5 別府温泉(重曹泉)のFとHCO₃の関係



温泉のHCO₃は熱水が堆積層と反応したときに生じたと考えられているが、フッ素はどうであろうか
 ガラスのカラムに同地区の腐蝕土をつめ、NaFの水溶液を流下させると流出液中にはフッ素は全く
 存在せず、完全に土に吸着したことがわかる。従って、過去の一時期あるいは現在に於ても、フッ素
 を含んだ水が堆積層に接触するとフッ素は堆積層に吸着されることになる。

そこへHCO₃を含んだ熱水が来ることを想定して、耐熱フラスコにホタル石1g、NaCl0.4g、蒸
 留水100mlに、NaHCO₃の量を変化させて加え、還流冷却器をつけ1時間沸騰加熱する溶出実験を行
 なうと、表一三のようにNaHCO₃の量に比例してフッ素の湧出量が増加し、重曹泉に於けるフッ素
 量とHCO₃の相関がうらづけられる。

表一三 溶出実験でのNaHCO₃とFの関係
 CaF₂ 1g, NaCl0.4g, NaHCO₃, H₂O 100ml

NaHCO ₃ (mg)	F(mg/ℓ)
0	16.0
20	25.0
50	47.0
100	56.0

に便利である。

別府の西部地下深くには推定温度 200°Cの
 熱水溜りが存在する。この熱水溜りの熱水自
 体はフッ素量は多いが塩素の量もはるかに大
 きく、F/Cl 値としては小さい値をとっている
 西部(明礬、横断道路沿い)では、熱水は
 直接地表には到達せず、熱水起源の蒸気が浅
 層水を温めて温泉として湧出している。フッ
 素は塩素よりも水蒸気に溶けやすく、それ自
 体もHFあるいはSi との化合物として揮発し
 やすく、その凝縮した水、それがまざった温泉水では絶対量は少ないが F/Cl としては大きい値を
 とる。HFとHClの蒸発熱を比較してもHF:760mmHg293.1°Kで 1.8KCal/mol、HCl:760mmHg

る複雑性を考慮に入れねばならず、成功していない。図
 一四からは特に磷灰石によるフッ素濃度が実際の温泉水
 に近い傾向が読みとれる。

3 フッ素とHCO₃の関係

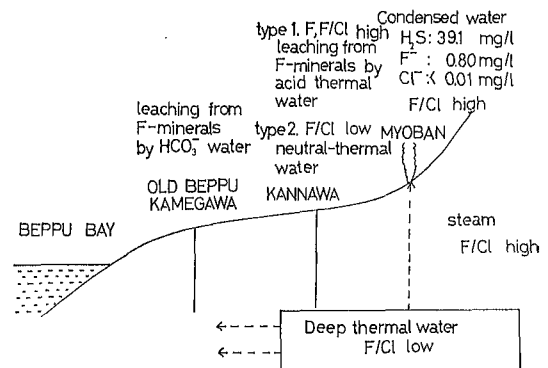
旧市内のいわゆる重曹泉について、フッ素量とHCO₃
 量の関係をグラフにすると図一五のようになる。旧市内
 の含重曹食塩泉、含食塩重曹泉についてはHCO₃とClの
 間には負の相関が存在しているため、HCO₃が少なくそ
 れに反してClの多い温泉ではClとFの化学的な挙動の類
 似性からフッ素濃度が高くなっている(破線部)。しか
 し、旧市内の一群の純粋重曹泉ではフッ素濃度とHCO₃
 の間に明らかに正の相関がみられる(実線部)。ことに
 HCO₃500ppm 以上ではその傾向が顕著である。旧市内

4 フッ素含量からみた別府温泉の湧出機構

以上をまとめると別府地区の東西への模式断面図を作製
 することができる。(図一六)

この図はあくまでも模式的なもので、西は明礬、横断道
 路沿い、中央部は鉄輪、東は亀川、別府旧市内と考えてい
 ただきたい。模式図ではあるが湧出過程の本質をつかむの

図六 Fから見た別府温泉の湧出機構



188.11°Kで3.86KCal/molとフッ素の方が水蒸気に存在しやすいことを示している。

熱水が直接湧出する鉄輪地区では、温泉水が酸性か中性かによって F/Cl は全く異なる。鉄輪地区の酸性の起源が何によるかはさておき、酸性泉ではフッ素を含む鉱物（ホタル石、燐灰石）がよく溶けるために F/Cl は大きくなる。HFの工業的な製法はホタル石に硫酸を加えて700°Cに加熱するが、これも酸性における溶解度の大きさを利用したものである。一方、中性熱水が直接あるいはいくらかうすめられて湧出した温泉では中性熱水の F/Cl がそのまま維持されて小さい値となる。

旧市内ではフッ素量は少ないが、HCO₃を含む熱水がフッ素を溶かし出す結果、重曹泉ではフッ素とHCO₃の間に正の相関をもたらしている。

このようにフッ素を中心とした考察によって別府温泉の湧出機構を推定できることは極めて興味深いことである。

5 結 論

(i) 金属キレートを用いた比色法による定量で別府地区のフッ素の分布を明らかにした。フッ素は酸性食塩泉に多く、F/Cl は酸性食塩泉、噴気地帯で大きい。

(ii) 溶出実験により、フッ素の起源としてホタル石、燐灰石が重要な位置を占めることを見出した。

(iii) 重曹泉ではHCO₃を含む溶液がフッ素を溶かし出す働きをしている。

最後に研究全般にわたり御指導をいただいた九大温研古賀昭人教授、試料の一部を提供された京大地物研諸氏、研究費の一部を負担された大分県温泉調査研究会に感謝の意を表す。

尚、本報告は1970年11月地球化学討論会に於て発表した。

参 考 文 献

- 1) 岩崎岩次、鎌田政明、大西富雄：地球化学討論会要旨、P 37、1959
- 2) 綿抜邦彦：温泉科学、17 P 22、1966
- 3) 佐藤彰他：玉川温泉の総合研究、第6輯 P 51、1959
- 4) I, Iwasaki et al: Bull. Tokyo Inst of Technology, 1966
- 5) 国分信英、増尾節子：温泉科学12、P 69、1961
- 6) 高津寿雄、細原匡一、河淵計明：温泉科学、11、P 21、1960
- 7) 古賀昭人、野田徹郎：大分県温泉調査会報告、21、P 65、1970
- 8) 古賀昭人：大分県温泉調査会報告20、P 59、1969

くじゅう火山の温泉群 (6)

湯坪地区温泉の重金属

大分大学教育学部 川 野 田 実 夫
志 賀 史 光

1 緒 言

くじゅう火山の温泉については、山下、筆者らによる報告があるが、それらは、いずれも主要成分やハロゲンなどについて検討がなされているものである。

今回筆者らは原子吸光光度法による温泉水中の微量重金属の定量法の検討をおこなうとともに、九重町湯坪地区の温泉群について、鉄、マンガン、亜鉛、銅、鉛、カドミウム、およびヒ素の定量をおこなった。

2 採水状況

採水点を図1に示す。

採水は1971年1月23日と、3月22日におこなった。また試水は現地ですべて1ℓにつき、塩酸5mlを加えて持ち帰り、分析は実験室でおこなった。

3 定量法とその検討

3.1 鉄

鉄は試水を直接原子吸光光度法により測定した。また大岳7号～10号井は、鉄が微量であるので3.3で述べる亜鉛、銅などと、同様の濃縮操作をおこなった。

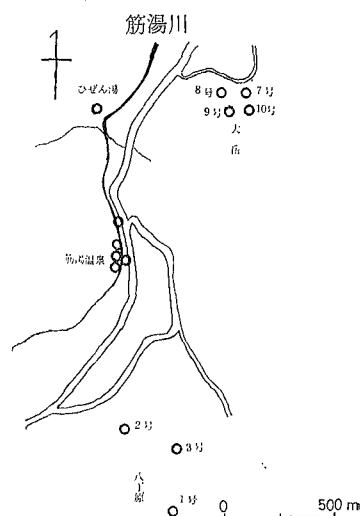
3.2 マンガン

温泉水中のマンガンの分析に際しては、共存するけい酸による干渉が報告されている。筆者らがマンガン 5 ppm 溶液にけい酸 (SiO₂として) 50、100、および1000ppmをそれぞれ共存させて、原子吸光度を測定したところ、けい酸 100ppmの共存で、それを加えなかったマンガン溶液に対して約18%の吸収強度の減少がみられた。この干渉はカルシウムイオンの添加で容易に除去できることが検討の結果判明したので、カルシウムイオンの 4000ppm 溶液と温泉水とを1:1に混合して原子吸光光度法で測定した。

3.3 亜鉛、銅、鉛、カドミウム

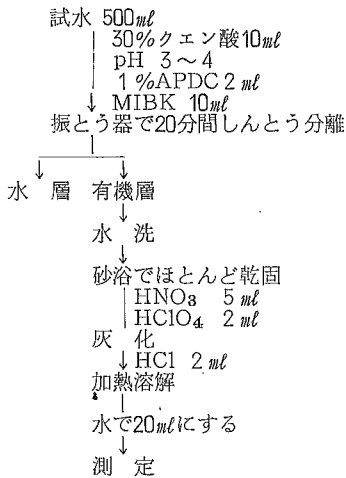
亜鉛、銅、鉛、カドミウムはpH 2.5～5でAPDC (Ammonium pyrrolidone dithio carbamate) と安定な錯化合物をつくる。その錯化合物を MIBK (Methyl isobutyl Ketone) で抽出する方法で濃縮した。この方法では鉄も同時に抽出される。したがって、多量に鉄を含む試水について、クエン酸でのいんべいを試みたが、この場合完全に鉄のいんべいができず抽出回数を3回おこなわなくてはならなかった。

図1 採水点略図



一般に原子吸光による測定は、このようにして得られた有機層を、そのまま噴霧するようになって
 いるが、筆者らの実験では安定な炎が得にくく、再現性に乏しいので、この有機層をほとんど蒸発乾

図2 Zn, Cu, Cd, Pb分析法概略



固して、硝酸と過塩素酸とを加えて灰化したのち、塩酸を加えて加熱溶解し、最終的には酸濃度が約1Nになるよう水を加えて噴霧した。以上の概略を図2に示す。

またpH3と4とで抽出率を検討したところ、いずれのpHの場合も、亜鉛、銅、鉛、カドミウム、および鉄はいずれも、ほぼ100%の抽出ができた。さらに大岳10号井の試水に上記重金属を一定量添加して抽出率を検討したが、良好な結果を得た。

3.4 ひ素

ひ素はJIS K 0102⁹⁾の方法を適用した。

4 分析結果

分析結果は、表1および表2に示す。

表1 湯坪地区温泉重金属分析結果 (単位はmg/l)

1) (1971.1.23採水)

泉名	泉温	pH	Cl	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As
大岳7号	94.0	8.32	1165	0.21	0.18	0.050	0.0082	0.041	0.000	2.08
大岳8号	92.8	8.30	1302	0.04	0.06	0.054	0.0112	0.041	0.000	2.40
大岳9号	94.5	8.25	1430	0.07	0.12	0.185	0.0103	0.040	0.000	2.48
大岳10号	97.0	8.60	1622	0.05	0.08	0.048	0.0084	0.044	0.000	2.15
八丁原3号	96.8	4.80	2211	0.70	0.42	0.021	0.0052	0.043	0.000	3.21
大湯泉源	48.6	3.62	277	2.21	0.12	0.039	0.0028	0.012	0.000	0.22
薬師湯	56.4	3.50	266	2.80	0.08	0.035	0.0030	0.012	0.000	0.21
ちくごや	48.5	3.49	293	2.12	0.14	0.031	0.0029	0.015	0.000	0.24
かくおや	56.0	3.50	297	2.63	0.16	0.032	0.0028	0.015	0.000	0.24
せんしゃく湯	43.0	3.60	204	2.20	0.14	0.018	0.0030	0.015	0.000	0.13
ひぜん湯元	38.2	5.30	62	3.15	0.30	0.026	0.0025	0.001	0.000	0.01

2) (1971.3.22採水)

大岳7号	94.6	8.72	1166	0.21	0.18	0.016	0.0108	0.038	0.000	2.17
大岳8号	92.0	8.38	1310	0.05	0.08	0.016	0.0096	0.039	0.000	2.44
大岳9号	95.0	8.50	1433	0.07	0.12	0.018	0.0080	0.040	0.000	2.50
大岳10号	97.0	8.90	1670	0.05	0.08	0.016	0.0078	0.040	0.000	2.25
八丁原3号	97.6	4.68	2241	0.40	0.36	0.018	0.0080	0.040	0.000	3.38
大湯泉源	47.5	3.70	260	2.00	0.12	0.034	0.0032	0.013	0.000	0.21
薬師湯	57.2	3.38	262	2.50	0.08	0.032		0.012	0.000	0.26
ちくごや	49.8	3.48	274	1.70	0.12	0.031	0.0032	0.018	0.000	0.21
かくおや	59.2	4.05	297	2.45	0.14	0.035	0.0032	0.018	0.000	0.21
せんしゃく湯	42.5	3.56	210	2.00	0.12	0.021	0.0016	0.013	0.000	0.13
ひぜん湯元	37.9	4.28	57	2.90	0.28	0.032	0.0030	0.001	0.000	0.01

表2 湯坪地区温泉主要成分分析結果
(1971. 3. 22)

泉名	単位 mg/l 成分比は当量比									
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Na/K	SO ₄ /Cl
大岳7号	833	83.7	29.0	0.10	1136	205	85.4	428	16.9	0.13
大岳8号	878	86.0	62.0	0.10	1310	207	62.5	524	17.4	0.12
大岳9号	930	103.2	26.0	0.20	1433	140	50.3	864	15.3	0.07
大岳10号	1064	104.6	40.0	0.00	1670	115	77.8	792	17.3	0.05
八丁原3号	1340	208.0	24.8	0.40	2241	50	10.7	1000	11.0	0.02
大湯泉源	158	30.6	13.0	1.50	260	93	0.0	126	8.8	0.26
薬師湯	169	26.1	13.0	1.40	262	125	0.0	138	11.0	0.35
ちくごや	175	28.4	15.8	1.42	274	102	0.0	136	10.5	0.27
かくおや	188	35.8	17.0	1.30	297	115	0.0	145	8.9	0.29
せんしゃく湯	134	20.5	13.8	1.80	210	95	0.0	110	11.1	0.33
ひぜん湯	42.0	8.0	27.0	1.90	57	130	0.0	29.0	8.9	1.69

表3 重金属平均値

	単位はmg/l 成分比は重量比							
	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	As	Mn/Fe	Cu/Zn
大岳、八丁原、平均	0.19	0.17	0.072(0.017)	0.0088	0.041	2.51	0.89	0.12
筋湯平均	2.37	0.15	0.031	0.0028	0.012	0.17	0.06	0.09
本邦平均	311	2.3	0.900	0.800		0.34	0.007	0.89
別府温泉平均	—	1.1	0.307	0.0096		0.22	—	0.03

ただし大岳、八丁原、Znは1月23日採水分平均
()内は3月22日採水分平均である。

5 湯坪地区温泉群の重金属

表3に各重金属平均値と本邦^{10) 11)}および別府温泉^{12) 13)}平均値を示す。

また測定値についての検討は主に1月23日採水分について述べる。

5.1 鉄およびマンガンについて

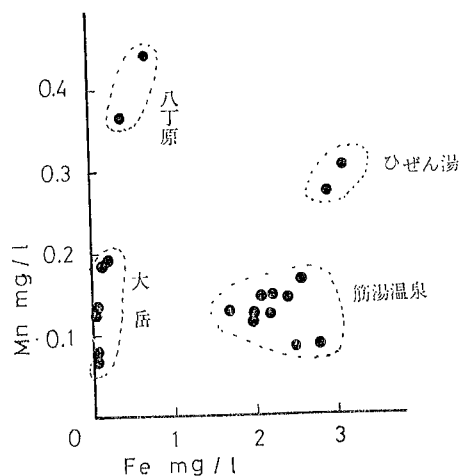
鉄は大岳地区の高温食塩水中の含量は、7号井が0.21mg/lであるほかは少なく、他はいずれも0.1mg/l以下である。一方この大岳に対して、八丁原3号井は0.70mg/lでやや高い値である。この八丁原3号井は大岳地区のものにくらべてpHが低く(pH4.8) Na/K比が小さいなどと、主要成分の組成比がやや違っている。

筋湯温泉群は酸性で鉄の含有量が高く、ほとんどの温泉が2~3mg/lを示し、筋湯温泉全体の平均は2.3mg/lであった。

マンガンは鉄と同じように大岳地区では一般に0.06~0.12mg/lと低い値である。ただし、この中で7号井は0.18mg/lを示した。一方八丁原3号井は0.42mg/lで測定温泉中、最も高い値を示した。

また筋湯温泉ではほとんどが0.08~0.16mg/lの範囲にあるが、ひぜん湯は0.30mg/lで他の筋湯温泉に比較

図3 FeとMnの相関



して高い。この温泉は SO_4/Cl が他の筋湯温泉 ($SO_4/Cl=0.3$) に比して高く1.7であり、田中が箱根温泉について説明したことに¹⁴⁾ 関連があるかもしれない。

次に鉄とマンガンの関係を図るに示したが、各地区別にみても、また湯坪地区全体にみても両者間には相関はないようである。

5.2 亜鉛、銅、鉛、およびカドミウムについて

亜鉛は、1月測定の前平均は、大岳地区では $0.049mg/l$ で、3月測定では、 $0.018mg/l$ であった。また八丁原3号井は、2回の測定値に大差なく $0.022mg/l$ 前後であった。筋湯地区では $0.018\sim 0.039mg/l$ の範囲にあり、その平均は $0.031mg/l$ であった。これらの値はいずれも本邦平均の $0.9mg/l$ 、別府温泉平均の $0.31mg/l$ および本邦酸性泉平均 $0.19mg/l$ ¹⁵⁾よりも低い値である。

図4に筋湯泉（ひぜん湯は水質の上からみても除いた。）について亜鉛と塩素との相関図を示す。一般にせまい地域内で同じ源泉に由来すると考えられる温泉群では、この両者間に正の相関があると報告されているが、この図においても同様の傾向がうかがえた。

銅についてみると、大岳、八丁原で $0.010mg/l$ 前後であり、筋湯地区では、ほとんどが $0.003mg/l$ 以下であった。これらの値は、いずれも本邦温泉の平均を大きく下回っているが、別府温泉の平均 $0.0096mg/l$ とくらべた場合、¹⁶⁾ 大岳、八丁原はほぼ同程度であり、筋湯温泉の平均 $0.0028mg/l$ は、本邦酸性泉の平均 $0.0011mg/l$ をやや上回る程度である。

温泉水中の鉛の定量についてはその報告例が少なく、池田が有馬温泉で $0.392mg/l$ を記録しているが、大岳、八丁原では平均 $0.041mg/l$ 、筋湯地区では平均 $0.012mg/l$ であった。

図5に鉛と塩素について相関図を示す。この図では、大岳、八丁原の堀削井（A群）と筋湯地区（B群）とに、わかれているが、この地区全体としては、両者の間に正の相関がみられる。

カドミウムはすべての測定温泉で検出限界の $0.0001mg/l$ 以下であった。

図4 筋湯温泉のZnとClの相関

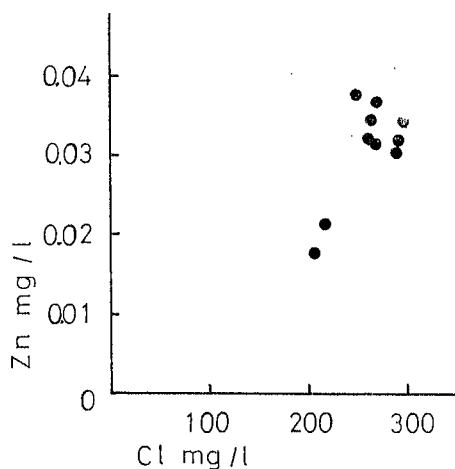


図5 PbとClの相関

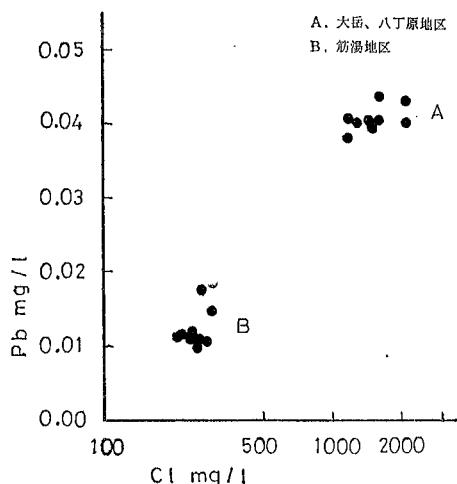
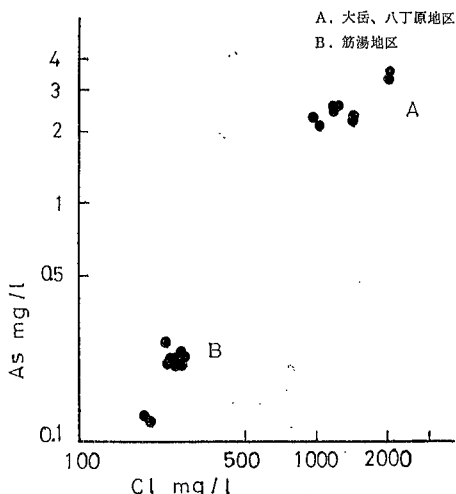


図6 AsとClの相関



5.3 ひ素について

ひ素は大岳、八丁原の掘削井で、 $2\text{mg}/\ell$ 以上が検出され、特に八丁原3号井では $3.2\text{mg}/\ell$ が記録された。また筋湯地区は、塩素が $250\text{mg}/\ell$ 以上のところでは $0.21\sim 0.26\text{mg}/\ell$ を示した。調査温泉水中最低は、ひぜん湯の $0.008\text{mg}/\ell$ であった。

このように、ヒ素は湯坪地区では塩素の多い掘削中に多く、両者の間には図6にみられるように、正相関がある。

参 考 文 献

- 1) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報告，7、1956
- 2) 同 上 ： 同 上，19、1968
- 3) 志賀史光 ： 同 上，18、1967
- 4) 同 上 ： 同 上，19、1968
- 5) 武内次夫、鈴木正巳：原子吸光分析，南江堂 1969
- 6) 同 上 ： 同 上， 同 上
- 7) 6) に同じ
- 8) 井口恒男：医学と生物学，72、4、1966
- 9) 工場排水試験法 JIS K 0102
- 10) 湯原浩二、瀬野錦蔵：温泉学，地人書館 1969
- 11) 岩崎岩次 ：火山化学，講談社 1970
- 12) 古賀昭人 ：温泉科学，10、2、1959
- 13) 川上・古賀・野崎 ：日化誌，77、9、1956
- 14) 田中元治 ：日化誌，72、2、1951
- 15) 一国雅己 ：日化誌，80、10、1959
- 16) 12) に同じ
- 17) 15) に同じ
- 18) 15) に同じ
- 19) 池田長生 ：日化誌，76、10、1955

別府温泉水中の ^{14}C の測定

大分大学教育学部 小 田 敏 之

1 緒 論

自然界に存在する炭素は質量数12と13の2種類の安定な同位体を持ち、その存在比は ^{12}C が98.89%で ^{13}C が1.11%である。

しかし、大気中の炭素にはこれに放射性炭素 ^{14}C が極微量混っている。この放射性炭素 ^{14}C は地球上に断間なくふりそそぐ宇宙線によってつくられる中性子と、空気の主成分である窒素との核反応 $^{14}\text{N} (n, p) ^{14}\text{C}$ で作られたものであるということは Gross および Montgomery によって明らかにされた。

もし、宇宙線が少なくとも数万年から現在まで、同じ強さで地球上にふりそそぎ、大気の状態も同じように変わらないとすれば大気中で数万年、あるいは数十万年前から ^{14}C が、毎年一定の量だけつくられて来たと考えてよいことになる。しかし、 ^{14}C は5700年の半減期で壊れてもとの安定な窒素になってしまうから ^{14}C が無限に殖えていくわけではない。

長年月にわたって一定の割合でつくられ、一定の割合で壊れてゆくから、地球上の全量は増加も減少もしない平衡状態になっていると考えられる。

地球上に存在している ^{14}C は炭酸ガスの形ではじめは存在するが、光合成を通じて生物の有機物の中にはいりこみ、雨水に炭酸イオンとして溶け込み、地下水の中にも入りこんでゆくと考えられる。

温泉の起源については多くの学者が、多くの説を出しており、明確な定説は存在しないが、温泉水に地表水が或る割合で混合していることは定説となっている。

地表水が混入していれば、その中に溶けている物質も当然温泉水中に入ってくることになる。地表水中に炭酸イオンとして溶け込んだ ^{14}C は地下に入った時点から崩壊により減少し始め、ある期間の後、温泉水にまじって、再び地上に出てきたときは、地下にあった年数にみあう減少を示している。

従って、温泉水中の ^{14}C の濃度を知ることは温泉の湧出機構の解明に役立つものと考えられる。

著者は別府温泉7ヶ所について ^{14}C の濃度を測定したので報告する。

2 実 験

2.1 試料の前処理

別府温泉でヒドロ炭酸イオン濃度の多い、中性、アルカリ性泉7ヶ所を選び適量の温泉水を採水し濃縮する。濃縮した温泉水に硫酸を滴下し発生する炭酸ガスをアンモニア水に吸収させる。この際、空気の混入が問題となるが吸引装置のプラスチック及びガラス管中に最初にあった空気以外はアンモニア水溶液中を通らないようにした。次に、塩化カルシウム溶液を加え炭酸カルシウムを沈澱させる。沈澱をろ過した後、赤外線ランプで乾燥させる。

いづれの温泉水についても炭酸カルシウム重量で5g以上になるよう温泉水の採水量を決めた。

又、温泉水中の炭素中の ^{14}C 量との比較試料として空気中の炭素中の ^{14}C 量を測定するため、空気中の炭酸ガスを捕集した。捕集法は温泉水の場合と同じように、アンモニア水に空気を通し、炭酸ガスを吸収する方法をとった。炭酸カルシウム重量で5gを作成するのに約10時間を要した。

乾燥した炭酸カルシウムはいづれもただちに窒素ガスを充填した容器に封入した。

2.2 ^{14}C の測定

炭素中の ^{14}C の量は ^{14}C より放出される平均エネルギー50Kevの弱い β 線を測定することにより知りうる。この β 線の量は炭素1gにつき1分間15個と非常に微弱なものであり普通の放射線測定器では測定しえない。

本研究では九州大学アイソトープ総合実験室にある、Radio Chemistry社製の測定器を利用した。窒素ガスに封入して運んだ炭素カルシウムはメタンガスに変へてカウンターチャンバーに入れ測定した。

カウンターチャンバー容量は250mlのものを使用した。ガス圧は7mmHg~28mmHgで測定を行った。

測定器は水銀シールド、Anticoincidence Counter、鉛シールドを組み合わせたもので、back groundは5.48counts/minであった。

3 結果と考察

^{14}C の測定に際して注意しなければならない点は試料の前処理段階での空気中の炭酸ガスの混入と処理過程での空気中の炭酸ガスの炭素と試料中の炭素との同位体交換反応である。

前者の空気中の炭酸ガス混入を考えると、硫酸滴下、発生炭酸ガスの吸引の段階でフラスコ及びガス管等の中に最初にあった空気 約800mlが混入している。しかし、空気中の炭酸ガスの量及び、炭素に対する ^{14}C の比率を考慮すると無視しうるものと考ええる。

後者の同位体交換反応は炭酸カルシウムの形ではかなりあることが報告されている。しかし、本研究では乾燥後、ただちに窒素ガス中に封入しているので問題はないと考える。

表1は測定結果である。表中の $\Delta^{14}\text{C}\%$ は次式より計算した値である。

$$\Delta^{14}\text{C}\% = \frac{A_{\text{samp}} - 0.95 A_{\text{std}}}{0.95 A_{\text{std}}} \times 100$$

A_{samp} = Sampleのcpm - Backgroundのcpm

$0.95 A_{\text{std}}$ = (Standardのcpm - Backgroundのcpm) \times 0.95

即ち、Standard中の ^{14}C 量に対するSample中のその増減を百分率で表わしたものである。

StandardはNational Bureau of Standard (America) のを使用した。

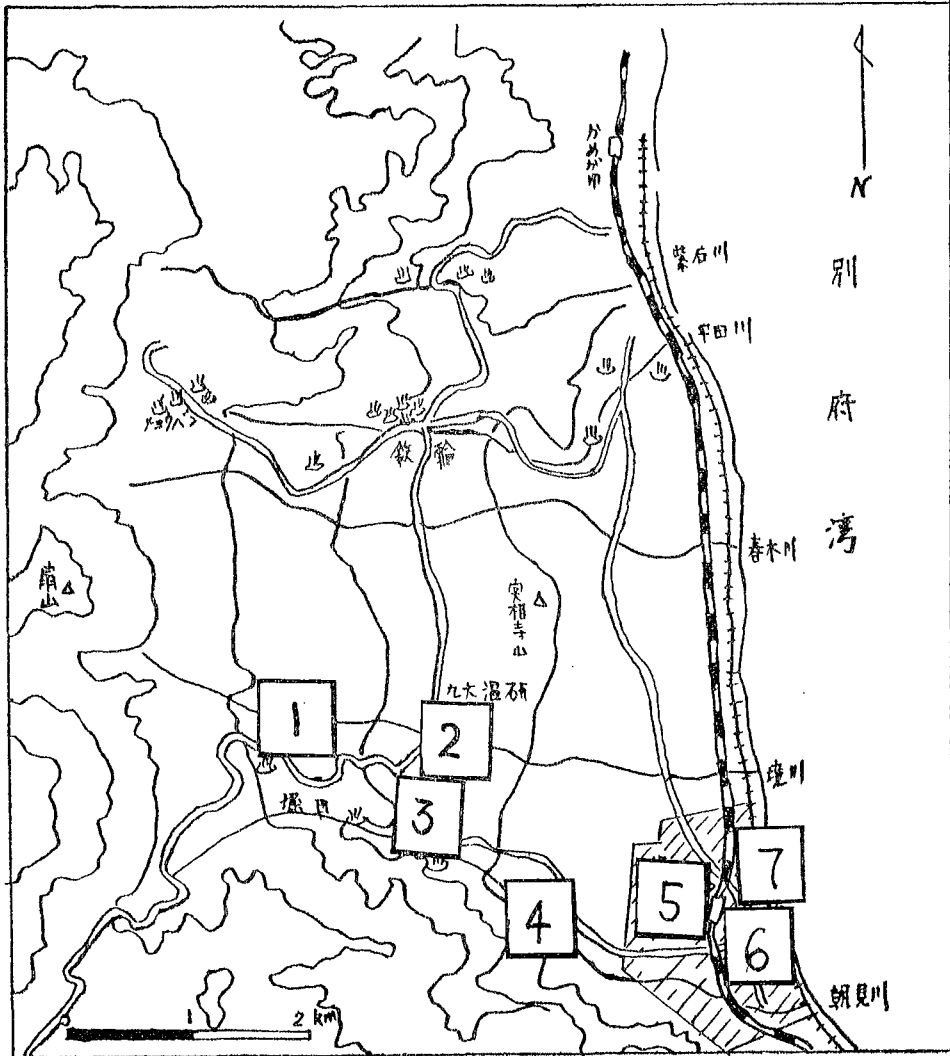
この値をみると的ヶ浜温泉を除いて皆、Standardに比して小さな値を示している。

温泉水中のヒドロ炭酸イオンの起源を考えると雨水中に溶け込んだ有機物からの炭酸イオンが地下を旅して再び地上に姿をみせたものと、地下水が深部を循環する過程で壁岩から溶出したヒドロ

表1 別府温泉水の ^{14}C の含有量

No.	試水	泉温 (°C)	pH	$\Delta^{14}\text{C}$ (%)	Cl^- (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)
1	旅路 (ホテル)	55.5	7.1	- 28.2	147.2	907.8
2	薬王泉	51.0	7.2	- 68.5	239.1	529.1
3	第1生命寮	52.0	7.6	- 33.5	54.96	725.5
4	上原町宮地方	93.0	8.8	- 28.2	561.0	135.3
5	医王泉	43.5	8.15	- 79.9	75.7	277.8
6	まtoy旅館	54.0	7.1	-100.0	314.0	922.8
7	的ヶ浜温泉	49.8	7.6	5.1	147.9	532.0
	空気			37.5		

図1 別府温泉の ^{14}C の測定地



炭酸イオンに大別しうる。壁岩からのヒドロ炭酸イオンの生成機構については古賀が先に報告した⁽³⁾が温泉水中のヒドロ炭酸イオンの大半は壁岩からのものと考えられる。

このように大別してそれぞれのヒドロ炭酸イオンの炭素中の ^{14}C 量を考えてみる。

前者のヒドロ炭酸イオン中の ^{14}C 量は地下を旅した年数にみあう。半減期5700年の崩壊による減少を示しているし、後者のヒドロ炭酸イオン中には ^{14}C は全く含まれていない。

^{14}C を全く含まないヒドロ炭酸イオンが大半を占める温泉水の ^{14}C 量がStandardに比して大巾に少ないのは当然であろう。

このように考えると $\Delta^{14}\text{C}$ 値を大きく左右する要因としては地下に滞留していた時間、年数よりも壁岩からの炭酸イオンの占める割合の大小であるとも考えられる。

温泉の湧出機構の複雑さが故に古美術品の年代測定のように単純に $\Delta^{14}\text{C}$ の意味を解釈しえないが先に古賀ら⁽⁴⁾が発表した温泉水中のトリチウムの含有量、さらには同位体比、溶存塩類などのデータを蓄積して、湧出機構の解明する際、 ^{14}C の含有量も大きな役割を果すものと思われる。

今回は別府温泉7ヶ所について測定したに留まったが、今後さらに広範囲にわたって数多くの測定

を行うつもりである。

終りに、 ^{14}C の測定に御援助を下さいました九州大学理学部高島良正博士、御指導下さいました九大温研古賀昭人博士、研究費の一部を受けた大分県温泉調査研究会に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1、A. V. Gross、 J. Am Chem. Soc. 56、1922 (1934)
- 2、C. G. Montgomery et al. Phys. Rev. 56、10 (1939)
- 3、古賀昭人 大分県温泉調査研究会報告第20号、59 (1968)
- 4、古賀昭人、吉川恭三 大分県温泉調査研究会報告第21号 1 (1969)

糖尿病の脂質代謝と温泉治療

九州大学温研内科

矢野良一
局敏郎
内倉洋三

はじめに

糖尿病はインスリンの作用不足によって招来される糖代謝異常が主体であるが、糖代謝は同時に脂質代謝を伴っており、最近糖尿病は脂質異常が先行すると言う考えが注目されている。糖尿病患者の血清脂質をみると、たとえ良好なコントロールでも、わずかに脂質が上昇しているのがみられ、これらのわずかな変化が組織中の重大な脂質代謝異常を反映しており、動脈硬化症の発症にも大きな役割を果たしている。糖尿病患者の脂質代謝の意義を、臨床的見地からみると糖尿病の死因の大多数が血管障害により占められていることであり、糖尿病の脂質代謝異常の成因の解明と、同時にその治療は臨床的に大きな意義を有している。

のが浜泉の入浴、飲泉が血糖降下作用を有することは、矢野、永松らにより提唱され、以来10年間臨床面に応用されている。

我々は糖尿病の代謝障害の一端として、脂質代謝異常に注目し、温泉治療に新しい解明をなすべく今回糖尿病患者にのが浜泉の入浴、飲泉を行ない考察を試み、若干の知見を得たので報告する。

対 象

対象は少くとも、2カ月以上入院中で、一定の食餌療法を受けており、重大な合併症（感染症、肝障害、腎不全、心不全）を有しない糖尿病患者で、年齢、53才～75才、男8名、女4名を選んで対象とした。

実験方法

温泉は pH7.63、含食塩重曹泉のが浜泉をもちい、飲泉方法は、初日0.18ℓ、2日目より0.18ℓずつ増量し、7日目より1日量1.0ℓ～1.8ℓとし、起床時より午後7時まで、主に空腹時に5～8回にわけて飲用せしめ、飲泉温度は38℃とした。入浴は午前、午後、1日2回、入浴時間5～10分とした期間は飲泉、入浴とも4週間とした。

検査項目

検査項目は空腹時血糖、コレステロール、中性脂肪、遊離脂肪酸、β-リポ蛋白、リン脂質の6種とし、飲泉、入浴前、1週後、2週後、3週後、4週後の5回にわたって測定した。空腹時血糖は耳朶血をもちい、各脂質の測定に要する血液は、早朝空腹時肘静脈より採血した。各脂質、空腹時血糖の測定法、ならびに正常値は下記のごとくである。

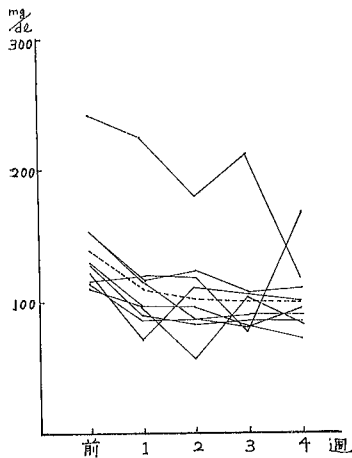
	測定法	正常値
空腹時血糖	BloodSugar-Test	70~110mg/dl
コレステロール	コレステロールWako法	250mg/dl以下
中性脂肪	トリグリセライドWako法	60~175mg/dl
遊離脂肪酸	NEFAキットハウリー (ダンカン比色改良法)	516~1490rEq/l
β-リポ蛋白	β-リポ蛋白Wako法	150~500mg/dl
リン脂質	PLキットハウリー; ヘーブルマイヤーフリート変法	153~221mg/dl

結 果

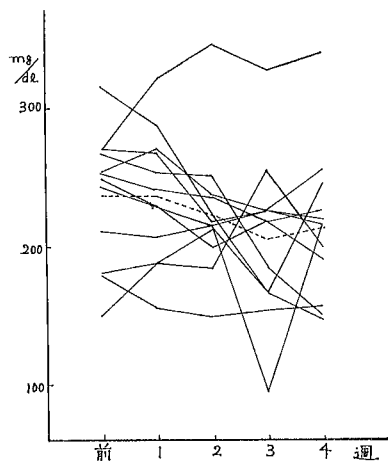
1、空腹時血糖

血糖値は飲泉、入浴開始後、1週目より降下を示し、4週後には36.4mg/dl (26.4%) の降下をみた。

第1図 的ヶ浜泉飲泉による空腹時血糖の変動



第2図 的ヶ浜泉飲泉による血清コレステロールの変動



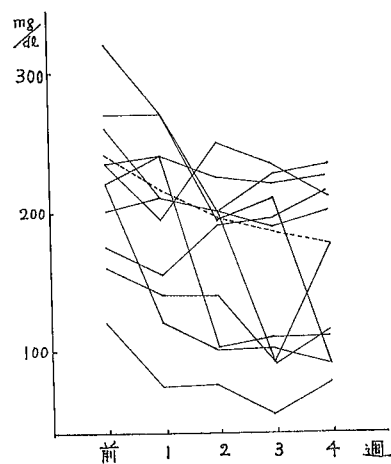
2、コレステロール

飲泉入浴開始前平均値238mg/dlと正常範囲であったが飲泉、入浴開始後3週後に降下のピークを示し、4週後はわずかに上昇の傾向を示したが、前後で24mg/dl (10.9%) の降下を示した。

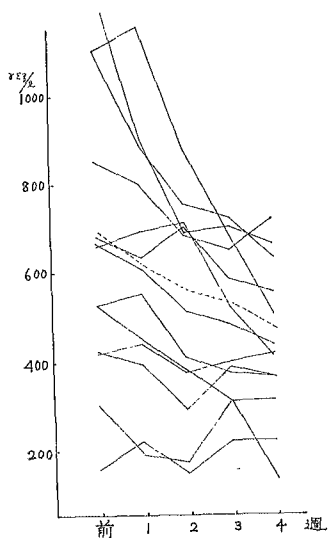
3、中性脂肪

飲泉、入浴前の平均値は241.1mg/dlで高値を示していたが、飲泉、入浴開始後、週を追うごとに降下を示し、血糖の降下とほぼ同じ降下を示したが、血糖が1週後に

第3図 的ヶ浜泉飲泉による血清中性脂肪の変動



第4図 的ヶ浜泉飲泉による血清遊離脂肪酸の変動



もっとも高い下降度を示したのにくらべ、中性脂肪は2週後にもっとも高い下降度を示した。前後で 64.6mg/dl (27%) の下降を示した。

4、遊離脂肪酸

飲泉、入浴前の平均値は 763.8rEq/l で、4週後では 231.6rEq/l (30%) の下降を示した。遊離脂肪酸の下降は、中性脂肪、空腹時血糖の下降と相類似し三者の相関を示した。

5、 β -リポ蛋白、リン脂質

β -リポ蛋白、リン脂質とも飲泉、入浴前、正常範囲であったが、飲泉、入浴によりわずかながら降下を示したが著明な変動はなかった。(図省略)

まとめ

糖尿病における脂質代謝異常が注目されるようになって久しい。脂質各成分についてみると、いずれも増加しているが、特に遊離脂肪酸、中性脂肪の増加がもっとも著明であるといわれている。われわれの実験においても、糖尿病患者は中性脂肪、遊離脂肪酸の増加が著明で、コレステロール、 β -リポ蛋白、リン脂質は正常範囲にあった。しかし温泉治療によるこれら各成分の低下は血糖の変動とおよそ平行し、2～3週後に一定値に達している。またその変動は、中性脂肪、遊離脂肪酸にもっとも著明である点から、温泉治療が糖尿病の脂質代謝異常の是正に大きくはたらいていることが推定され、的ヶ浜泉が血糖降下作用を有するという事実、さらに新しい知見が得られたことで意義深い。

最近では、glucose-fattyacidcycle や、遊離脂肪酸による、肝糖質代謝 Key Enzyme 阻害に関する知見が報告され、脂質代謝異常自体が糖尿病成立の一次的要因となっているのではないかとするものもある。われわれの実験において、遊離脂肪酸、中性脂肪などが、血糖の変動にくらべ大きく変動していることは、このような考えを支持するものとも思われる。

放射能障害の温泉療法 (第29報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (XII)

原子爆弾被爆者別府温泉利用研究所

八 田 秋

九 大 温 研 外 科

辻 秀 男

前回に引き続き、昭和45年4月より昭和45年7月までの4ヶ月間の湯治成績を求めてみた。なお今回は8月より改築工事のため湯治者は無く、8月以降の成績は得られない。

入所利用者数は4月に多く、平均49人と定員を越えているが、その後は漸次減少している。この4ヶ月間の一月平均利用者数は38人で前回の4ヶ月間の37人と殆んど差がない。しかし総利用者数についてみると、前回の566人に対して今回は719人と増加している(図1)(表1)。

図1 月別入所利用度の一月平均
(昭和45年4月～昭和45年7月)

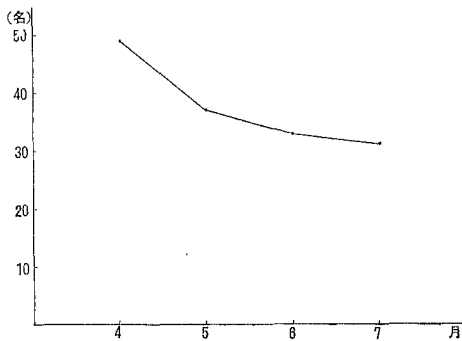


表1 利用者とその延数

月別	利用者数	利用延数	一月平均
4	208(人)	1487(人)	49(人)
5	212	1173	37
6	158	1030	34
7	141	1026	32
計	719	4716	38

利用者の年齢別、男女別では、前回と殆んど同様の傾向を示し、50才以上に多く、ことに66才以上の老人が48%をしめており、男性よりも女性が64%と多い(表2)。

これら利用者の滞在日数を調べると、3日以内 230人(32.0%)、4～6日 197人(27.4%)、7～13日、192人(26.7%)、14日以上、100人(13.9%)となり、前回に比べて14日以上の滞在者が減少している(図2)(表3)。

表2 利用者男女別年齢表

月別	年齢		年齢別								計		計
	男	女	<30	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66<	男	女	
4	男	3	3	2	1	5	6	14	37	71	137	208	
	女	4	4	4	7	9	25	23	61				
5	男	0	3	1	0	1	8	13	41	67	145	212	
	女	4	4	5	6	16	22	27	61				
6	男	0	2	1	0	1	8	11	34	57	101	158	
	女	3	4	4	5	14	11	16	44				
7	男	2	2	3	2	0	7	7	35	58	83	141	
	女	7	3	4	5	3	12	16	33				
計		23	25	24	26	49	91	127	346	253	466	719	

図2 湯治期間

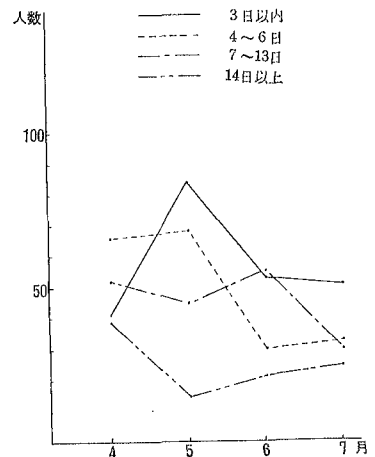


表3 利用者滞在者数

日数 月別	3日以内	4~6日	7~13日	14日以上	計
4	41	66	62	39	208
5	84	68	45	15	212
6	53	30	54	21	158
7	52	33	31	25	141
計	230	197	192	100	719

そこで前回と同様、14日以上滞在した100人中希望によって9人につき湯治前後の検査を行った。

この9人中4人(44.4%)は直接の被爆者ではなく、爆発直後から数日入市したものである。この4人をのぞくと直接被爆した5人はいずれも2km以内で、その中遮蔽物のなかったものは2例(40%)である(表4)。

検査項目の集中値限界はこれまでと同じ基準に置いた(表5)。

今、湯治前後の検査成績をこの基準にあてはめ、はみ出した例数をしらべ被爆者に対する割合を百分比で表わした(表6)。

表4 被爆状況

km	例数	遮 +	蔽 -	不 明
0.5>	0	0	0	0
1.0	1	1	0	0
1.5	1	1	0	0
1.8	0	0	0	0
2.0	3	1	2	0
3.0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0
4.0	0	0	0	0
直後入市	4			
計	9	3	2	0

表5

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万~500万/mm ³
血色素量	75~90%
白血球数	5,000~8,000/mm ³
最高血圧	100~150mmHg
尿糖	陰性
尿蛋白	〃
尿ウロビリノーゲン	正常
ディヴィス反応	陰性

表6 湯治前バラツキ頻度(9例)

検査項目	湯治前 (%)	湯治後(%)	
		全例(%)	残留例(%)
赤血球数減少	0	0	0
血色素量減少	1(11.1)	1(11.1)	1(11.1)
最高血圧異常	5(55.6)	4(44.4)	4(44.4)
尿蛋白異常	1(11.1)	1(11.1)	1(11.1)
尿糖陽性	0(0)	0(0)	0(0)
白血球数異常	2(22.2)	2(22.2)	2(22.2)
尿ウロビリノーゲン陽性	2(22.2)	1(11.1)	1(11.1)
尿ディヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

前回の成績と比較してみると、高血圧と白血球数異常例が多いのは同様であるが、今回は尿中ウロビリノーゲン陽性が2例(22.2%)にみられた。

各項目について前回の成績と比較すると、赤血球数異常は0%であった。血色素減少は1例(11.1%)と前回よりも割合は高いが、湯治後、集中値限界に近づいている。

最高血圧異常は5例(55.6%)で前回よりも頻度が高く、湯治後残留例も44.4%と高いが、その多くは集中値限界に近づく傾向を示した。

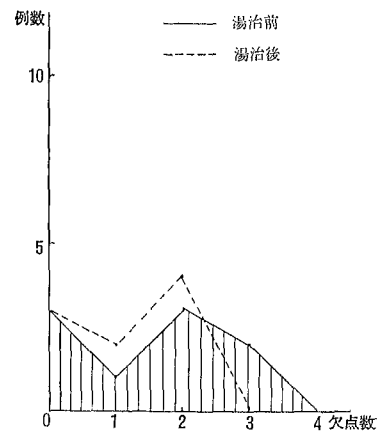
尿蛋白異常例が1例(11.1%)にみられるが、湯治後も不変であった。

尿糖陽性例は0%であった。

白血球数異常は2例(22.2%)にみられ、いずれも減少を示した。しかし湯治後では増加して正常値限界にいずれも近づいている。

尿ウロビリノーゲン陽性例は2例(22.2%)にみられたがこれは前回の0%に比べて高頻度である。そのうち1例は、

図3 欠点数と例数のHistogram



湯治後は正常に復した。

尿デーヴィス反応陽性例は0%であった。

以上の結果より検討すると、最高血圧、白血球数異常などはいずれも集中値限界に近づくものが多く、従来の成績と同様の傾向を示しており、さらに今回は尿ウロビリノーゲン陽性例が正常化した1例があった。

湯治前後で各検査項目で特に異常値を示した例は前回と同様1例も認められなかった。

ここで湯治前後の各人の持っている欠点数と例数のHistogramを作ってみると図3のようになる。

またその好転度を湯治前の総欠点数から湯治後の総欠点数を差引き、これを被検者数総で割って算出すると0.1111となり前回の0.6470よりも低値であった。

今回は4ヶ月のみの成績しか検討し得なかったので湯治例も少く、成績の評価は困難な点があるがこの4ヶ月のみの成績からも例年と同様の傾向がうかがえるのであり、今後改築整備された施設においては湯治者も増加し、受診者も増加し、湯治の効果が広く認識されるものと考えられる。

文 献

- 1、八田：大分県温泉調査研究会 特別号、第8報、昭35
- 2、八田：大分県温泉調査研究会 第9報、昭36
- 3、八田：臨床と研究、37：529、昭35
- 4、八田：大分県温泉調査研究会 第18号、昭42
- 5、八田：同 上 第19号、昭43
- 6、八田：同 上 第20号、昭44
- 7、八田：同 上 第21号、昭45

飲用泉中の重金属類について

大分県衛生研究所 溝 口 昇
二 宮 良 隆

1 緒 言

近時、公害問題が世論で非常な高まりをみせており、水俣病の有機水銀、イタイイタイ病のカドミウムのように、飲食物を通して体内に摂取されたこれら重金属がこのようなヒサシな病気の原因となったことが明らかにされてから、飲料水や農水産物及び加工食品中の重金属が特に注目を集めるようになった。温泉水についても、昭和45年5月31日秋田県鹿角郡八幡平村のトコロ温泉においてヒ素の中毒事件等が報導されたが飲用水に供されている温泉についてはその含有成分及び分量によって飲用量を調節するというような配りよはあまりなされておらず、しかも現在行なわれている鉱泉中分析法では As, Mn 以外の重金属類は分析項目にも入っていないので、現実には飲用量の指導等も出来ない状態である。

もちろん、各種の金属類は、微量成分として、人体あるいは動物の生活にかくべからざるものもあり、また、その適当量の服用により或る種の病気に対しては薬効を示すものであるが、その多量摂取は中毒の原因となり、また蓄積作用のあるものは少量でも長期間の摂取によって慢性中毒の原因ともなるものである。

今回われわれは、主として飲用に供されている温泉水中の重金属類を分析したが、これにより飲用療法を指導する際の一助になれば幸である。

2 分析 方 法 ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

原子吸光光度計(パーキンエルマー290B)により行った。Fe、Mnは検液500mlをHCl酸性として蒸発乾固してケイ酸を除き、これを1% HClに溶解して100mlとし(5倍濃縮)、直接原子吸光分析を行った。標準液も1% HCl溶液を用いた。

Pb, Cu, Zn, Cd³⁾については、HCl酸性の検液200mlをとりこれを約20mlまで濃縮し、これに30%クエン酸アンモン5ml、20%トリエタノールアミン(TEA)3ccを加える(Fe, Mnのいんべい²⁾)これに0.1%、BPB2滴を加えて28% NH₄OHで紫色になるまで中和する。これを分液ロートに移し、硫酸アンモン10g、2%ピロリジンジチオカルバミン酸アンモン(APDC⁴⁾)を加えて5分間振とうした後5分間静置する。つぎにメチルイソブチルケトン(MIBK)10mlで振とうし、上溶のMIBKを分取し、原子吸光で測定した。標準液は各金属を同時に含む複合標準液をつくり、検体と同様の操作を行なった

文 献

- 1) 宮永：衛生化学13、148 (1967)
- 2) 松本他：分析化学19、771 (1970)
- 3) 永田他：食品衛生学会誌 10、348 (1969)
- 4) 進藤、森崎：化学の領域 21、206 (1967)

As は鉱泉分析指針モリブデン、ブルー法によった。

3 分析 結 果

別表のとおりである

別表 1

地区	源	PH	泉温	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn μg/l	Cu μg/l	Pb※ μg/l	Cd μg/l	As μg/l	析 質		検 体 採 取
											固形物総量 (mg/kg)	泉	
湯の平	大湯	7.50	89.0	0.250	0.200	17.0	29.0	—	—	27.6	1515	弱食塩泉	45.11.5
	砂湯	6.64	62.5	0.833	0.371	11.5	9.5	—	—	136.0	1140	温36号(30.5.15)	〃
	銀湯	7.78	57.0	0.383	0.286	7.0	14.5	—	—	122.1	1465	温37号(〃)	〃
塚原	町営2号	8.32	80.0	1.167	0.094	157.5	69.5	±	—	36.8	1650	温38号(〃)	〃
	1232の1南	1.60	65.0	57.14	2.273	172.0	24.9	—	—	—	—	衛827号(46.2.1)	45.12.17
	1235	1.73	58.0	166.7	1.057	161.5	84.0	—	—	—	—	温63号(31.5.25)	〃
	1231の3	1.42	29.3	173.3	6.818	36.0	60.0	—	—	—	17495	温65号(〃)	〃
	1232の1北	1.17	12.0	300以上	10.91	63.0	103.5	—	—	7.2	18350	衛200号(35.7.14)	〃
塚野	旧	6.30	17.0	3.615	0.257	16.0	9.5	—	—	8.9	10355	温85号(32.4.30)	45.11.5
	新	6.70	17.0	2.182	0.171	11.5	106.5	—	—	6.1	6741	衛790号(44.12.9)	45.11.17
白水	黒ヶ	5.03	9.5	0.083	0.143	13.5	53.5	—	—	—	—	含銅ばん酸性明ばん泉	〃
	キャンプ場	5.03	10.8	0.083	±	19.5	30.5	—	—	5.0	—	温55号(〃)	〃
長湯	白アソ	5.36	8.5	0.100	0.171	96.5	5.0	—	—	—	—	衛200号(35.7.14)	〃
	御前	6.47	24.0	0.500	0.012	11.5	32.5	±	—	—	1142	含銅ばん酸性明ばん泉	45.11.5
	長生	6.45	42.0	4.308	0.771	—	—	—	—	—	—	含ホウ酸炭酸重曹食塩泉	〃
	天満	6.50	39.0	4.461	0.943	22.5	72.5	±	—	—	4017	含炭酸重曹弱食塩泉	45.11.17
	愛泉	6.32	33.5	4.461	1.314	12.5	124.5	120	—	—	5.5	衛831号(46.2.1)	〃
	〃	6.58	36.5	6.154	1.371	11.5	34.0	100	—	—	5.0	衛197号(34.12.1)	〃
	緒方町老人ホーム	6.63	44.5	4.231	0.771	4.5	58.0	50	—	—	—	衛260号(35.11.30)	〃
	元	5.80	16.5	12.83	1.028	5.192	1.086	—	—	—	—	旧衛261号(〃)	〃
	葉	6.25	13.8	9.980	1.457	64.0	56.5	—	—	—	—	新衛538号(39.11.9)	〃
	六ヶ迫	1.82	6.5	18.67	1.486	57.0	97.0	—	—	—	—	温76号(31.9.20)	〃
三光村	中畑	6.08	17.5	2.000	0.235	116.5	85.5	—	—	—	—	衛423号(38.2.25)	45.12.18
	木村	6.96	50.0	3.692	0.942	219.0	155.0	±	—	—	6610	(炭酸含有弱食塩泉)	〃
別府	和信	7.42	50.0	2.182	2.636	26.0	101.5	—	—	—	—	含重曹炭酸土類泉	45.11.12
	やま	7.40	61.5	1.000	0.565	60.0	164.5	—	—	—	—	単純温泉	45.10.29
	三	2.50	58.5	3.846	0.235	—	—	—	—	—	—	含塩化土類弱食塩泉	〃
	喜	6.40	61.0	0.833	0.071	3.5	—	—	—	—	—	含食塩重曹泉	45.10.30
												単純酸性泉	〃
												含食塩土類重曹泉	45.11.6

(別府は特に敢用として使用してはいいないが、対称として加えた。)

検出感度(他) Pb 20μg/l
Cd 1μg/l

4 飲用状況

調査対象地域内で、公共の飲用に供するものとして温泉法第12条の規定にもとづく許可を受けているものは、総計23件（湯平地区16件廻瀬野地区2件六ヶ迫5件）である。

塚原、阿蘇野、長湯地区は温泉法にもとづく飲用許可を受けているものはない。

前記許可を受けているものの大部分は、現行温泉法（昭和23年法律 第125号）施行以前より飲用の慣行があったもので、同法の経過措置により改めて新法の許可を受けたという経緯がある。

飲用方法等は別表のとおりであるが、その動機としては経験上、効果ありとして言い伝えられたものも多くその他は九大温研の分析結果に根拠をおいたものようである。

別表2 飲用状況

地 別	種 別	施 設 (旅館・ 公衆浴場)	飲 用 者 (年)	飲 用 方 法		
				1 日 の 量	1日の回数	そ の 他
湯 平		53	45,000~50,000人	0.54~1.8 ℓ 温泉 0.18~0.4 飲泉0.09ℓを水で約 5倍にうすめる	2 ~ 6	食 間
塚 原		3	1,800~ 2,000		3	
阿 蘇 野		2	不 明	不 明	1 ~ 2	—
塚 野		4	20,000~22,000	0.9~1.8	1 ~ 2	{朝食前 その他は自由 食前20~30分
長 湯		8	36,000~40,000	0.9~2.7	7 ~ 8	
六 ヶ 迫		4	14,000~20,000	不 明	不 明	朝食前その他は自由

5 有害性金属の許容限度

温泉の場合これら金属の許容限度は示されていないが国発 第973号（昭和42年12月7日）の厚生省国立公園局長通知により、ヒ素、銅、亜鉛、鉛、フッ素及びホウ素を含有する温泉を飲用する場合は「温泉について専門的知識を有する医師の意見を参考とすること」とされているだけで別に数値は示されていない。ただヒ素のみについては、国発 第473号（昭和31年9月3日）厚生大臣官房国立公園部長通知により、1日の大人（16才以上）の者の許容量0.33ミリグラムが示され、これは飲料水判定標準の3倍量とし、 $0.05\text{mg/kg} \times 2.2\ell \times 3 = 0.33\text{mg}$ となると説明されている。なお小人の1日の許容量は大人を1とし15~8才 $\frac{1}{2}$ 、7~5才 $\frac{1}{3}$ 、4~3才 $\frac{1}{6}$ 、2才以下 $\frac{1}{10}$ としている。他の食品、飲料水関係の許容量を参考までに略記すると清涼飲料水についてはその許容限界はヒ素 (As_2O_3 として) 0.2ppm、Pb 0.4ppm、Cu 4 ppm、Zn 15ppm以下になっている。

農薬としての有害性金属の残留許容量は、いちご、トマト、リンゴ等品目別にきめられており、ヒ素 (As_2O_3 として) 1~3.5ppm、Pb 1.0~5.0ppmとなっている。

食品添加物公定書においてはAsについての摂取量は多い添加物では1~2 ppm(As_2O_3) 比較的少

別表3 飲料水水質基準比較表

項 目	WHOによる欧州の基準 (1961)		USA Public Health Service (1961)		日本 水質基準
	許容濃度	備 考	許 容 濃 度	備 考	
毒 性 物	Pb	0.1 ppm	>0.3ppm	処置を講ずる	0.1 ppm 0.05 — 左欄の数値は給水停止 の基準である
	AS	0.2			
	Cd	0.05		プラスチックパイプから溶出	
障 害 性 物 質	Cu	0.05		刺激味、着色、腐蝕	1.0
	Fe	0.1		異味、着色、沈澱	0.3
	Mn	0.1		〃	0.3
	Zn	5.0		刺激味、沈澱	1.0

いものでは4～5ppm、人工着色料では2ppm以下、Zn 200ppm以下と限度がきめられている。Pbについてはクエン酸鉄アンモンなどが20ppm以下とされており、その他のものについては重金属（Pbとして）大体20ppm以下と一定の限度がきめられている。

飲料水中の基準については別表3、4のとおりである。

6 考 察

温泉地別のこれら金属含量ではMnは塚原に特に多く、最高は10mgをこえるものがあった。次で六ヶ迫、長湯1～1.5ppmとなっている。他の温鉱泉では全て0.4ppm以下であった。なお別府では0.07～2.6ppmと大きな変動を示している。

Znは塚原、六ヶ迫が多いが、湯の平町営2号、アソノ、三光村が高い値を示しているが、これは新しいくささくの深さも深いので、パイプの溶出によることも考えられる。飲料水においてもZnはパイプの溶出によりかなり高濃度になることが知られており、（亜鉛メッキ鋼管）われわれが実験的に行った水道水による溶出実験でも30ppm程度のZnを溶出することもあるので、Znが本来の水よりものか、パイプからのものかは判定が困難である。Cuは場所的な差は、はっきりしない、Pbは長湯のみに0.1ppm程度を検出した。（但しPb検出感度は0.02ppmで他の金属に比べてよくない）Cdは0.001ppm以上の検出は全くなかった。Asは湯の平、別府に多く他は極微量であった。

これを前記の基準量と比べてみると、Pbは長湯のみに水質基準値、あるいは環境基準値の0.1ppmとほとんど同じ値が検出されている。Asは湯の平及び別府の一部で基準値を超している。他のCu、Zn、Mnはその性質からいって直接人体に中毒を及ぼすことは問題にならないと思われるが、ただこれら金属がそれぞれ単独にあるものではなく、混合している場合の相加、相乗作用についてはあまり知られていないのでこの点注意が必要であろう。

別表4 人の健康に係る環境基準

項目	基準値
Cd	0.01ppm以下
Pb	0.1 //
As	0.05 //

（水質汚濁に係る環境基準
昭和45年5月29日）

温 泉 現 況 調 査

業務温泉課 佐 藤 光 一
 矢 野 行 雄
 羽 田 野 宗 人
 河 野 睦 朗

下毛（耶馬溪、宇曾、跡田、上深水）東西両国東（真玉、桑川、姫島、赤根）大分（湯布院温泉を除く）、速見（山香、杵築地区）、臼杵市、玖珠町内の温泉の現況をは握するため、昭和46年2～3の両日に調査を実施した。調査事項は、従前どおり温泉台帳登載の温泉について、温度、ゆう出量、口経深度埋設管ならびに利用状況をみた。

各地の状況は次のとおりである。

1 現 況

温泉個数、温度、ゆう出量、深度の各地域状況は第1表のとおりである。

第1表 温度及びゆう出量

地区別	種別 地別	台帳 孔数	活動 孔数	最高 温度	平均 温度	最高 深度	平均 深度	平均 ゆう出量	総ゆう出量
下 毛	耶馬溪	7	7	42.0	39.4	334	282	127.1	889.5
	宇曾	4	4	31.4	31.0	280	240	39.3	118.0
	跡田	1							0
	上深水	1	1		8		46	3.6	3.6
	計	13	12						1,011.1
東 西 両 国 東	桑川	2	1		15			10.0	10.0
	真玉	1	3	33	30			10.5	31.4
	姫島	1			24				測定不能
	赤根	2	2		27				9.0
	計	6	6					18.1	50.4
速 見	山香	1	1						微量
	杵築	3	3	40	32.5	200	116	79.7	239.0
	計	4	4						239.0
臼 杵	六ヶ迫	12	9	15	13.1			1.3	11.6
玖 珠	玖 珠	6	6	42	36.8	500	345	69.0	414.0
大 分	八幡	2	2	47	44	600	550	268	536.0
	古国	1	1		43		520		91.0
	挾間	3	2	42	30		400	60.4	120.7
	野津	2	2		14			2.4	4.8
	塚野	2	2	17.5	16.3			12.5	25.0
	小野屋	1	1		46		380		144.0

	阿蘇野計	4 15	4 14	23.5	12.4	73		301	904.0 1,825.5
総計		56	51						3,551.6

(1) 活動状況

- (イ) 口数 温泉口は台帳に記載されているもの56、そのうち活動しているもの51、その他は停止または不明となっている。
- (ロ) 温度 一般的に低温が多い、うち大分地区の阿蘇野、廻栖野、下毛地区の上深水、六ヶ迫温泉は冷鉱泉で、温度は8℃～23.5℃である。最高は大分の八幡温泉の47℃であった。
- (ハ) 深度 臼杵の六ヶ迫、大分の廻栖野、西国東の真玉は自然ゆう出泉である。
 掘さく泉で最も深いものは、八幡温泉の600m次いで深いもの古国府の520mである。

2 動力装置

調査地域内の活動口51、うち動力を装置しているもの14であった。八幡温泉は5.5kmの吸上げ式動力が設置している。1分間 400ℓの多量揚湯している。地域別の設置状況は第2表のとおりである。
 第2表 動力装置

馬力別 地別	Kw 0.07	Kw 0.08	Kw 0.125	Kw 0.2	Kw 0.4	Kw 1.5	Kw 2.2	Kw 3.7	KM 5.5
耶馬深						1			
上深水		1							
真玉	1								
六ヶ迫				2					
小野屋					1				
塚野			1						
古国府							1		
八幡							1		1
玖珠						1		3	
計	1	1	1	2	1	2	2	3	1

3 利用状況

温泉の利用は、第3表のように旅館、保養所、公衆浴場のほか個人の浴用につかわれている。この量は3,058.8ℓ/Mで、総ゆう出量の86%に当る。六ヶ迫と下毛郡内には自家用泉はない。

六ヶ迫、上深水、阿蘇野、

廻栖野の冷鉱泉は浴用に供するとともに飲用にも利用されている。

第3表 利用状況

利用別 地別	公 共 用				自家用 ℓ/M	その他 ℓ/M	飲 用 孔数	計 ℓ/M
	旅 館 保養所	量 ℓ/M	共同浴場	量 ℓ/M				
下 毛	4	427.0	1	340.0		244.1	1	1,011.1
東、西国東			1		40.4	未利用 10.0		50.4
日 出			1		110.0	120.0		239.0
大 分	10	1,316.0	2	264	228.8	16.7	4	1,825.5
臼 杵	4	9.6				未利用 2	6	11.6
玖 珠	2	174.0			140.0	未利用100.0		414.0
計	20	1,926.6	4	613	519.2	492.8	11	3,551.6