

大分県温泉調査研究会

報告 第20号

昭和44年3月

目 次

九重火山地域における温泉の水系(Ⅱ)	山 下	幸三郎	..... (1)
別府温泉の泉源保護について(Ⅲ)	山 下	幸三郎	..... (9)
	由 佐	悠 紀	
地熱変質帯における地下検層	由 佐	悠 紀	..... (33)
別府南部温泉地域における沈澱物について	由 佐	悠 紀	..... (45)
的ヶ浜温泉の糖尿病及び老人病患者の血糖・腎機能・ 酸塩基平衡などに及ぼす臨床的・実験的観察	矢 野	良 一	..... (53)
	内 倉	洋 三	
温泉の障害防止に関する研究(第3報)	中 溝	慶 生	..... (57)
	古 屋	英 樹	
温泉水中のヒドロ炭酸イオンの生成機構	古 賀	昭 人	..... (59)
高速中性子放射化分析法による別府温泉中の $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$ 比の測定	小 田	敏 之	..... (63)
	川 上	弘 泰	
くじゅう火山の温泉群(4)	志 賀	史 光	..... (66)
	川 野	田 実夫	
温泉熱の農学的利用(第1報)	川 西	博	..... (73)
放射能障害の温泉療法(第25報)	八 田	秋	..... (83)
放射線障害の温泉療法(第26報)	八 田	秋	..... (86)
	有 馬	正 士	
チロジナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究	野 崎	秀 俊	..... (88)
由布院・湯平温泉細菌汚染調査について	佐 藤	光 一	..... (92)
直入郡・竹田市・日田郡・日田市の温泉現況調査	山 田	不二丸	..... (97)

正 誤 表

頁	項 目	行	誤	正
55	表4の項目		SPS	PSP
〃	表4の註		血液PH 1.38(7.351~7.424)	血液PH 7.38(7.351~7.424)
71	6 炭酸物質について	17	炭酸素イオン	炭酸水素イオン
〃	〃	35	一酸化炭素	二酸化炭素
89	Fig 2		常法によるSコロイド溶液の吸 収曲線	濃法によるSコロイド溶液の吸 収曲線
94	第1表 12 銀の湯	16	パイプロ	ハイプロ
〃	〃 15 橋本湯	19	楷本湯	橋本湯
95	〃 12 銀の湯	15	パイプロ	パイプロ
96	第2表 註2		24時間室温放量後	24時間室温放置後

九重火山地域における温泉の水系（Ⅱ）

九重町湯坪地区における岩石と温泉水との 化学成分の関係

京都大学理学部 山下 幸三郎

1 緒言

温泉水中には一般の地下水や流水と比較して多量の物質が溶存している。この溶存物質の起源の探究は温泉の水や熱の起源と共に温泉の成因に関する温泉研究では最も本質的且つ興味ある問題で、古来多数の研究者は火山発散物、噴気、ガス、鉱床、温泉成分等の相互間の関係から温泉の岩漿起源説が提唱され、多くの人に支持されてきた。近時岩崎らは温泉水中の Cl イオンに着眼し、塩化水素は亜硫酸ガス、硫化水素と共に高温な火山ガス中に多量（1.5 %程度）に含まれ、又一方熔岩中の Cl の溶出は極めて少ないことから、温泉水中に多量に含まれる Cl イオンは火山発散物に由来するとしている¹⁾。したがって温泉生成について主要な役割をするものは岩漿からの発散物質であるとの考えである。温泉の地理的分布を見ると火山地域に多くの温泉があることから、火山と温泉とは密接な関係があることは明白であり、高温地熱地帯ではその熱源は火山熱によると考えて間違いないが、その熱の供給が岩漿発散物によるものか、或は熱伝導によるかを明確に断定する十分な資料は今得られていない。最近 D. E. White らは温泉水の水について水素及び酸素の同位元素による研究から、高温地帯の熱水でも殆んどが循環水起源の水で、岩漿起源の水は認められなかった²⁾。したがって雨水が地下深く（約3 km）浸入し、熱伝導によって熱が供給され、又化学成分は通路の岩石からの溶出によって得られ再び地表に流出したと推論している。

しかし高温熱水中に多量に含まれる CO₂、B、Cs、As、Sb 等は今のところ岩石からの溶出では説明出来ず、岩漿起源とする方が最も確らしいとしているが、その量は温泉水量の 5 % 以下、実際は 1 % 以下であろうと推算している。

したがって温泉水中の主要成分は主として、岩石からの溶出と見做される。筆者は別府温泉の各所における温泉ボーリングで得られた地下の岩石コア中に含まれる Cl、Na、K、Li を分析した結果、高温地熱地帯である山の手熱水変質を受けた岩石は熱水変質を受けない地表面、或は温泉湧出地帯での地下の岩石と比較して著しい上記成分の減少を示している。したがってこれらの成分の減少は熱水によって溶出したと考え、別府地区における熱水変質地帯の面積、及び深度を現在までのボーリング資料や、その他の調査資料³⁾によって推算して求めた溶出 Cl の総量は多量であり、温泉水の有力な Cl 源として考慮される。

九重火山地域の大岳地区に掘られた地熱発電井から流出する高温熱水は別府温泉にある沸騰泉水と同様な化学組織をもち、多量の Cl イオンを含んでいる。現在までのボーリング結果や化学組成から Cl イオンは海塩源とは思われない。したがって岩石中の Cl が如何なる程度に温泉水中の Cl に寄与したかは興味ある問題であり、又温泉水の生成機構を考察する上に有力な資料となる。

九州電力株式会社は地熱発電井のボーリングや開発するためのテストボーリング等によって多くの地下岩石のコアが採取されている。今回これらの岩石コアの一部を戴いたので、岩石の成分中特に温泉と関係が深いと思われる成分を分析し、又この地域は可成り詳しい地質調査が実施されているので、これらの資料を総合して岩石中の化学成分と温泉水の化学成分との間の関係並にこの地域にお

ける温泉水の成因について考察した。

2 岩石の分析方法

岩石の分析は全成分の分析が最も望ましいが、非常に煩雑であるから、温泉水中に多量に含まれ、且つ特長的な一部の成分 Cl、Na₂O、K₂O 及び一部の岩石について Li₂O の分析を行った。資料は 0.5g₅ で Na₂O、K₂O はローレンス・スミス法を用い、Cl は岩崎らの考案したチオンアン酸第二水銀法を用いた。この場合添加する試薬から Cl が入ってくるので空試験を行い、この量を除去した。したがって誤差が幾分大きくなるが、注意して行えば 20ppm 程度以下にすることが出来る。Li の分析はローレンス・スミス法で得られたアルカリ金属の塩化物溶液を用い炎光法によって分析した。この場合標準溶液はこれと同量の Na、K を含む溶液を用いた。他の方法として資料に炭酸ソーダを加え融解し、これを塩酸で溶解しろ過した液を蒸発乾固して、水で溶解した液をイオン交換して得られた Li を炎光法で求めた。精度は後者の方がよいように思われる。(第 1 表)

第 1 表

採取場所	深 度(m)	Cl(ppm)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	Li ₂ O(ppm)
黒 岩 山	0	220	3.35	1.60	10.0
嶺 師 岳	0	180	3.04	1.79	—
ミソコブシ山	0	232	3.00	1.36	—
湧 蓋 山	0	220	2.95	1.53	—
一 目 山	0	230	3.20	1.15	—
豊 肥 火 山 岩	0	340	3.10	1.86	4.0
大 岳	0	210	1.05	3.11	1.7
々 10 号	50	250	1.50	1.71	1.7
々 9 号	102	30	0.68	2.64	2.9
々	252	30	0.68	1.76	3.7
々	292	60	1.15	1.76	2.9
々	483	120	0.64	1.47	4.3
調 査 1 号	560	40	0.64	0.81	
々	673	65	1.87	2.06	
々	898	80	2.07	0.11	
々	1002	110	3.31	1.74	
調 査 2 号	40	0	0.45	0.32	
々	90	100	0.45	0.56	
々	183	0	2.02	1.46	
々	309	0	2.02	2.60	
々	400	150	1.08	2.41	
々	605	0	0.54	0.02	
々	735	0	0.74	0.56	
々	895	70	0.96	3.66	

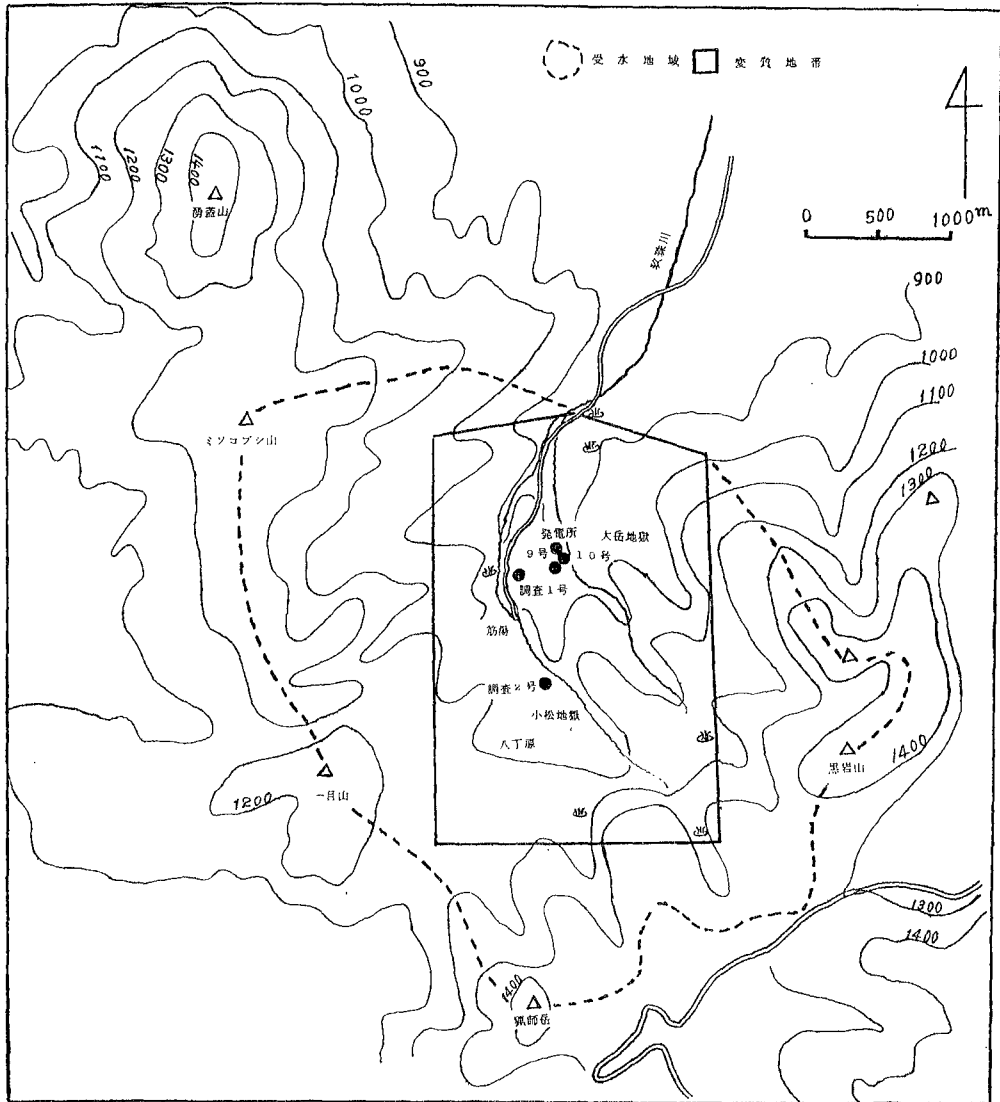
3 地下岩石の成分量の変化について

分析したコアは大岳地区では九電 9 号井、10 号井及び調査 1 号井、八丁原地区は調査 2 号井である。山崎、松本、林の調査によれば地熱地帯の岩石は豊肥火山岩類で殆んどが熱水変質を受けている。したがって別府の熱水変質の岩石と同様に成分量に減少があると考えられるから、原岩の含有量を知る必要があり、変質してない表面岩石の数種について分析した。

その岩石種別は山崎らの分類にしたがった。

変質してない岩石の Na₂O、K₂O、の含有量は岩石種別、即ち岩石の噴出時代の相違によって大き

図1 九重町湯坪地熱地帯



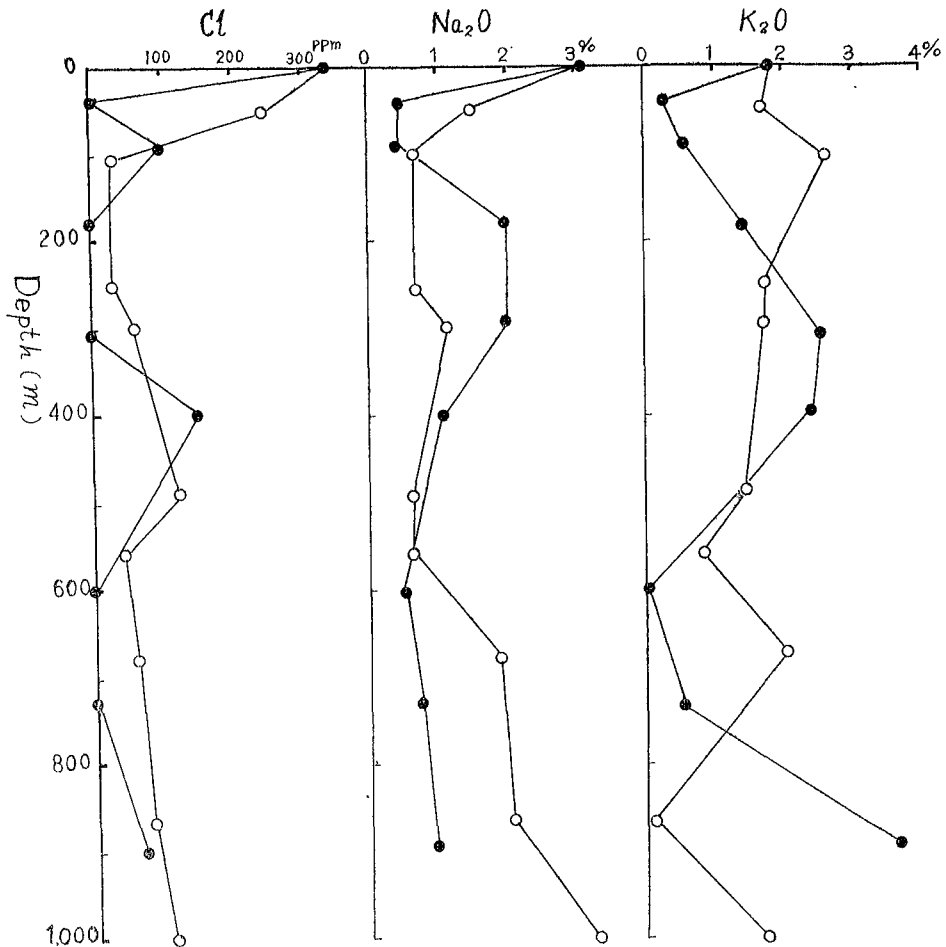
い変化は見られない。しかし Cl 含有量はこの地域で最も古い火山岩である豊肥火山岩が最も多く、340ppm で、他の火山岩は時代の相違に関係なく、180~230ppm で、両岩の間には 100ppm以上の違いがある。地下の岩石は何れも変質した岩石でClは原岩に比較して著しき減少を示すものが多い。特に調査2号井の減少が大きく、検出されないものの方が多い。

Na₂Oも原岩と比較して著しい減少を示している。K₂OはClやNa₂Oと様相が異なり、大岳では表面近くで原岩より多量となり、深部で少なくなる。一方調査2号井では600m附近で0.02%と著しく少ないが、更に深部では逆に原岩の2倍の値を示した。Li₂O は分析数が少ないので明確ではないが原岩より減少していることは明らかである。

大岳、八丁原両地区共に各成分の含有量は深度によって変化している。各成分の含有量と深度との関係を第2図に示す。

先づClの含有量は両地区共地下300mまでは急激に減少し、300m~600mの間で幾分多くなるも、

図2 岩石中の成分含有量と深度との関係 ●調査2号井 ○大岳地区



600m附近で再び著しい減少を示す。700m以深では再び増加の傾向を示している。

Na₂Oも両地区共、略Clと同様な変化傾向を示している。しかしK₂Oが大岳地区では浅部において原岩の含有量より多く、深部に行くにしたがって漸次減少し、500m以深において原岩以下の含有量になるが、最少量は865~870mの0.11%である。したがってClやNa₂Oの変化とは全く異なる変化をしている。八丁原の調査2号井ではその変化の様相はClやNa₂Oと全く一致するも、300~500m及び800m以深で原岩より増加している。特に895m附近では原岩の2倍に近い値である。

600m附近では両地区共に、何れの成分も著しい減少を示している。特に八丁原の調査2号井では極度の減少を示し、Cl、K₂Oは零に近い。

K₂Oの浅部における原岩以上の含有量増加は深部におけるKイオンの高濃度の高温熱水が浅部に流し水雲母 (Hydromica) や、氷長石 (Adulaire) 等の晶出により熱水中のKイオンは減少し、岩石中のKは増加すると云われている。又熱水により岩石中の成分が溶出するとき、Kの溶出が他成分に比較して少ない場合は、残存岩石中のKの割合は増加することも考えられるが、この関係を明確にするには全成分の分析が必要である。中性又はアルカリ性の食塩泉型の高温熱水ではNa/Kの原子比は熱水の温度と関係があり、古賀は調査2号井の熱水についてNa/Kから温度を推算した。熱水と岩石についてこの比を比較すると次表の如くなる。

第2表 調査2号井の岩石、熱水のNa/K値

深度(m)		380	490	660	810
Na/K	岩石	1.16	0.62	52.5	0.40
	熱水	12.0	10.0	10.7	9.72
推定温度(°C)		195°	230	220	240°

岩石、熱水とでは絶対値に違いがあるが、両者共深度による相対的な関係は類似している。

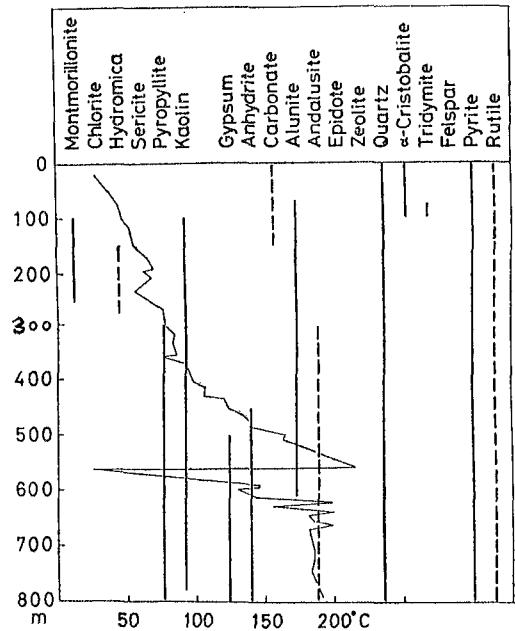
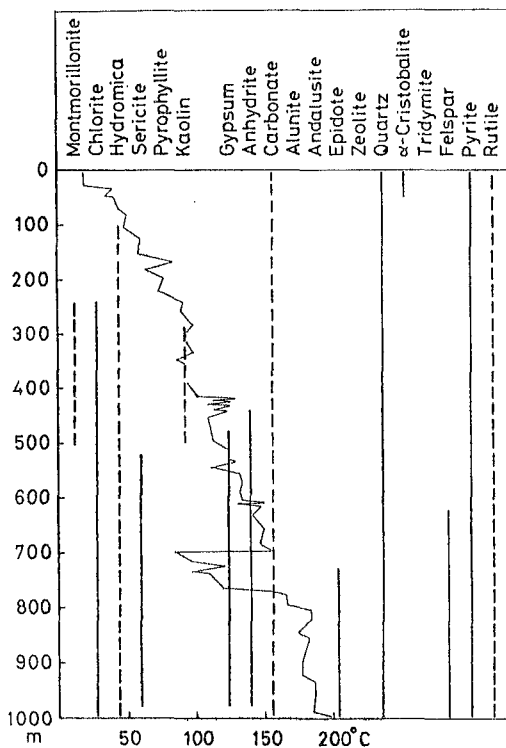
この関係からみれば熱水中のNa/Kは岩石中のこの比に関係がある様に思われる。特に八丁原の調査2号井のNa/Kの660mにおける値はK₂Oの著しい減少によって大きい値になっている。これに対し熱水中の値も増加している。掘さく中の地中温度と推

定温度を比較すると、490mでは推定温度が高く、600mでは逸水のため実測温度は低くなっているが、550mで220°C、800mで250°Cが実測されているので、正確な地温は推定温度より高いと思われる。この様な関係から熱水のNa/Kは泉温と関係があるとは思われるも、岩石中の両者の比も関係するので温度のみに依存するのではないようである。(第3図参照)

大岳と八丁原とは1km程度離れ、地高差は約100mであるが、両地区とも略同じで深度で同じ成分変化がみられる。特に成分の減少している地層は透水性に富み、熱水によって溶出したと推察される。ボーリング中の地温実測値を見ると(第3図参照)調査1号井では700m前後、調査2号井では600m

図3(a)調査1号井試錐コア中の鉱物組合せと孔底温度変化
—Common,……rare
(山崎・松本・林による)

図3(b)調査2号井試錐コア中の鉱物組合せと孔底温度変化
—Common,……rare—
(山崎・松本・林による)



前後で地温の低下が見られるが、これはボーリング用泥水の逸水により冷却されたからであり、透水層の存在を示すものである。

このような両地の岩石成分変化の特性から、両地は地下構造の形成に共通の過程があるか、或は高温熱水の生成機構に共通の過程があるのではないかとと思われるが、前者は地質調査で明確な区別はされていない。又後者の場合でも地層の構造と密接な関係があると思われる。

4 湯坪地区の岩石成分と温泉成分との関係

湯坪地区の地熱地帯における熱水変質を受けた岩石は Cl や Na、K 等の含有量が新鮮な原岩に比較して地下の深度によって著しき減少、又は増加している。これらの変化は岩石の生成時に既にこの様な状態にあったとは思われない。したがって成分変化は酸性熱水の作用によって岩石が変質され、岩石中の溶出し易い成分が熱水中に移行し、熱水は流動の途中において物理的、化学的条件によって、再び熱水中の成分が晶出してきたと思われる。

山崎らは調査1、2号井の岩石コアについてX線回析を行った結果第3図のように両井の間には幾分の違いはあるが、全体的には両地点で共通した鉱物的又は化学成分的な相似点が見られる。即ち地下500mまでは主として石英、クリストバル石、カオリン、黄鉄鉱等岩石成分中で酸性熱水に難溶性の鉱物が主体をなしている。500m以深では硅酸塩鉱物の外石膏の如き高温熱水では著しく溶解度の小さい鉱物があり、又原岩の鉱物が残存している。地下の深度による前記成分の変化、温泉水の化学的性質等を比較すると、これらの間には密接な相互関係の存在が見出され、これらの関係を総合して温泉水の生成や岩石成分の流出、沈積について次の如き過程が推察される。¹⁰⁾

高温地熱地帯において、自然噴気や硫気孔から流出する硫化水素や亜硫酸ガスは浅層において浸透してくる雨水中の酸素や地気によって酸化され、雨水は硫酸酸性熱水に変わり、岩石は破壊されて、酸性熱水に溶解し易い成分は熱水中に移行するから硫酸塩を多量に含んだ熱水となる。小松地獄附近や筋湯温泉等に見られる自然湧出温泉(pH3.6以下)はこの性質を持っている。¹¹⁾一方岩石中には酸性熱水に難溶のSiO₂を成分とする石英(Guartz)、クリストバル石(α -Cristobalite) 或はH₂Sの作用によって生成された黄鉄鉱(Pyrite)等が残存し、Na、K、Cl等は熱水中に溶出する。浅層において生成された硫酸酸性熱水は深部に浸透して行き岩石を破壊すると共に、酸性は弱まり、難溶成分の残存や熱水中の成分との交代或は熱水中の成分の晶出が起るが、岩石中のClやNaは尚溶出する。一方K₂Oは水雲母の晶出により増加する。更に深部へと浸透すると共に酸性は増々弱まり、温度の上昇によって難溶の石膏(Gypsum)や硬石膏(Anhydrite)の晶出が起る。この間Na、Clの溶出は続き熱水は中性からアルカリ性の方向に進み、泉質はSO₄型からCl型の温泉水に変わる。中性又はアルカリ性熱水の岩石破壊は弱く且つ溶出する成分は少ない。したがって岩石成分の大きい変化は起らない。この様な過程を経て大岳の発電井から流出する熱水の如き化学組成をもつ温泉水が地下深部に生成賦存されていると推察される。

調査2号井の熱水はpH=4.6と酸性ではあるが浅部温泉水と比較して酸性が弱くなっている。この地域は最も強勢な地熱地帯であり、浸透の途中で十分に中和されないからであろう。

地熱の強弱は林らの変質鉱物の種類からも説明されている。¹²⁾一方大岳地区は地熱地帯の末端に近い所にあり、浅部の熱水の浸透と同時に、高所にある八丁原地区で生成された熱水が流下してきていると推察される。両地の熱水の流動状態の相違が地下の変質鉱物の生成に関与することは予想される。一例として調査2号井では水雲母が地下150~250m附近にのみ存在するが、調査1号井では地下100m附近から深部まで存在する。八丁原の地熱地帯が生成されたKを多量に含む熱水が流下と共に温度は低下し、Kの溶解度が減じて水雲母が晶出したと思われる。又大岳地区の深部熱水の水頭が地下120m前後であり、水雲母の晶出深度の上端、岩石中のK₂Oの増加している深度が略一致していることはこの間の関係を示していると思われる。尚大岳地熱発電井から流出する熱水のCl⁻は減少して行く反面、SO₄²⁻は増加している。¹⁴⁾この関係は深部熱水の流出による水圧降下が浅層水の浸入量を増大させた結果と解され、したがって浅層水の深部温泉への浸入の可能性を示唆していると思う。現在までの資料では岩石及び熱水中の化学成分の動向を完全に説明することは困難であり、今後の研究が望まれる。温泉水の生成について熱の供給に関する問題は地質学的又は地球化学的な作用機構を考察する上に重要な要素となっているが、今だ明確な解明はなされていない。今後の重要な研究課題である

5 湯坪地区温泉のCl及び水の収支について

湯坪地区の地熱地帯における熱水変質を受けた岩石の Cl 含有量は新鮮な原岩と見られる岩石と比較して著しい減少を示している。したがって成分の減少は高温熱水によって岩石が変質し、岩石中の成分が溶脱して熱水中に移行したと思われる。地質調査から変質を受けた岩石は相当広範囲であり、又 Cl の減少も顕著であるから、熱水中に溶出した量も相当多量であると考えられる。岩石中の Cl が温泉水中の Cl に如何なる程度に貢献しているかを知ることは温泉水の Cl 源や、生成機構を考える上に重要な示唆をあたえるであろう。現在までに得られた資料では数量的な関係を求めるに十分ではないが、概略的な数量を推算すると次の如くなる。

温泉の賦存する岩石は殆んどが豊肥火山岩類の変質した岩石であるから、原岩の Cl 量を 340ppm とする。変質した岩石の残存する Cl 量の見積について実測が 2ヶ所のみであり、地熱地帯の拡がりからみて全域への適用は可成り無理ではあるが、他に資料が得られないので両点の地下の Cl 量の実測値を平均した値を用い、変質地帯の拡りは地質調査結果からその地域を推定し、その深度を 1,000m とした。(第1図参照)

以上の資料からの推算結果を第4表に示す。^{15), 16)}

第4表

原 岩 の Cl 量	340ppm
変 質 岩 の Cl 量	53%
岩 石 比 重	2.5
変 質 地 帯 の 体 積	$6 \times 10^9 m^3$
Cl の 総 減 少 量	$4.3 \times 10^6 \text{ton}$
現在の温泉による Cl 流出量	$5.7 \times 10^3 \text{ton/year}$
九電開発以前の Cl 流出量	$6.8 \times 10^3 \text{ton/year}$

流出 Cl の総量は現在の温泉からの年間 Cl 流出量の約 750倍に相当する。しかし現在の Cl 流出量の大部分は九電発電井によるもので、九電の開発以前は自然湧出泉のみであって、その Cl 流出量は少ない。過去においてはこの程度の流出であったとするならば 6.3×10^4 年を要することになる。この地域の地熱現象が火山活動の末期に噴出した黒岩山の後火山作用とするならば、¹⁷⁾ 岩石中の Cl の減少総量に比較し流出が少ないように思われる。

したがって岩石から溶出した Cl の一部は深部の熱水中に蓄積され、更に蒸発濃縮されて賦存しているのではないかとと思われる。現在大岳発電井から噴出する熱水や調査2号井の深部の熱水は上述の如き過程を経て生成された熱水ではないかと推察される。

温泉水が雨水によって涵養されているとするならば、これが供給が十分であるか否かを検討する必要がある。先づこの地域の温泉に供給され降雨域を温泉所在地より高所で且つ地形上の分水嶺によって決定した。¹⁸⁾ 降水量は大分地方気象台で観測した資料によった。この結果降水量に対する温泉湧出量の比率は

受水面積	$12.6 \times 10^6 m^2$
年間雨量	2271mm
年間受水域 総水量	$28.6 \times 10^6 m^3$
年間総温泉量	$4.03 \times 10^6 m^3$

$$\frac{4.03 \times 10^6}{28.6 \times 10^6} \approx 0.14$$

この値は別府市内の0.16より小さい。一般に降雨の地下浸透量は約30%程度とされている。温泉以外の湧泉があるからこれを考慮しなければならぬが上記値から略供給可能な量と思われる。

終りに資料を載いた九電総合研究所、九大山崎教授、並に分析に協力した森忠敬の諸氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩崎、柱、坂戸、平山：本邦火山の地球化学的研究（その41）火山岩の塩素，日化，78，1，1957。

- 2) White, D・E : Hydrology, Activity, and Heat Flow of the Steamboat Springs Thermal System, Washoe County Nevada, Geological Survey Professional Paper, 458—C, 1968.
- 3) 山下：温泉科学会第21回大会講演。
- 4) 山崎、松本、林：大岳地熱地帯の地質と熱水変質、地熱、14、1968.
- 5) 岩崎、桂、坂戸：本邦火山の地球化学的研究（その31）火山岩中の塩素の定量法日化、76、10、1955.
- 6) 4) に同じ
- 7) Steiver, A : Hydrothermal Rock Alteration at Wairakei, New Zealand, Econ. Geol., 48、1、1953.
- 8) 古賀昭人：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) 4) に同じ
- 10) 4) に同じ
- 11) 山下：九重火山地域における温泉の水系(1)九電大岳発電井水の化学成分について、大分県温泉調査研究会報告、19、1968.
- 12) 志賀：くじゅう火山群の温泉(1)化学組成より見た温泉の類型と特徴、大分県温泉調査研究報告、18、1967.
- 13) 林、山崎、松本：大岳地熱帯調査1号井および2号井の変質鉱物、地熱、17、1968
- 14) 山下：未発表
- 15) 山下：玖珠郡飯田村温泉群調査について、大分県温泉調査研究会報告、4、1953.
- 16) 山田外4名：九重町内温泉現況調査、大分県温泉調査研究会報告、19、1968.
- 17) 4) に同じ
- 18) 大分地方気象台編 大分県の気象

別府温泉の泉源保護について (Ⅲ)

北石垣、鉄輪地区温泉の揚水影響

京大理学部 山下 幸三郎
由佐 悠紀

1 緒言

北石垣地区は亀川温泉の南部に隣接し、その海岸部（上人ヶ浜附近）では、大正末期頃から、沸騰泉や高温多量の自噴温泉が開発されていたが、多くの温泉は比較的最近になって開発され、現在なお新温泉の掘さくが続いている。とくに西南部の山の手方面では、掘さく技術の進歩や、エアリフトポンプ揚湯技術の導入にともない、地下深い水面を持つ温泉が開発され、住宅地域として発展し、温泉口数も増加した反面、海岸部の自噴は停止し、ほとんどがポンプ揚水井に変わっている。

温泉水圧は西部山の手方面が高く、海岸にゆくにつれて低くなっているが、地高の傾斜の方が大きく温泉の静止水面の地下水の深さは西部に行くにしたがって大きくなり、No.1132 揚水井付近では地下25m程度である。(図1参照)

このように温泉水面が深く、ほとんどの温泉がエアリフトポンプ揚湯であるので、揚水試験にあたっては数個の自噴泉または沸騰泉での湧出量測定以外は、すべて前年度亀川温泉の調査で採用した気泡式による水面測定の方法を用いて水位観測を行なった。しかし測定装置が少なく、揚水井周辺の観測井を多くすることができず、期待する十分な観測はできなかったが、ほぼその目的は達成された。

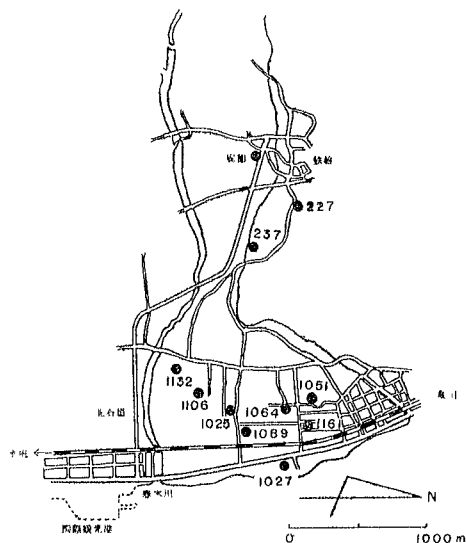
鉄輪地区では噴気、沸騰泉、通常の温泉等が混在している。このような地域における揚水影響の測定は温泉口の施設の状態、測定方法、噴気や熱水の地下における賦存状態、および相互関係等、調査上多くの困難な問題があって、未だ有効、かつ容易な調査方法が見出されていない。したがって、このような地域の測定は除外し、この温泉群の東端にある熱水のみが湧出する地域での調査を実施したこの地域でも、温泉水面は地下深く、70mにもおよぶものがあつた。したがって、測定方法は北石垣地区と同じ方法を採用した。

2 揚水試験の結果

揚水試験は図1に示すように、北石垣の海岸部から鉄輪に至る一帯の11ヶ所で行なったが、前述したように自噴温泉数は少なく、ほとんどがエアリフトポンプによる揚湯泉である。したがって揚水試験中に周辺温泉の不定期的な揚水があれば、その影響が測定記録中にあらわれて、解析を困難にするおそれがあるので、一応、温泉の使用が停止状態にあると思われる9時から17時の間を選び、とくに揚水井から半径100m以内の温泉は揚水停止の状態にあることを確認して調査を行なった。

揚水試験の方法は、従来、旧別府市内や亀川地区で

図1 揚水井分布



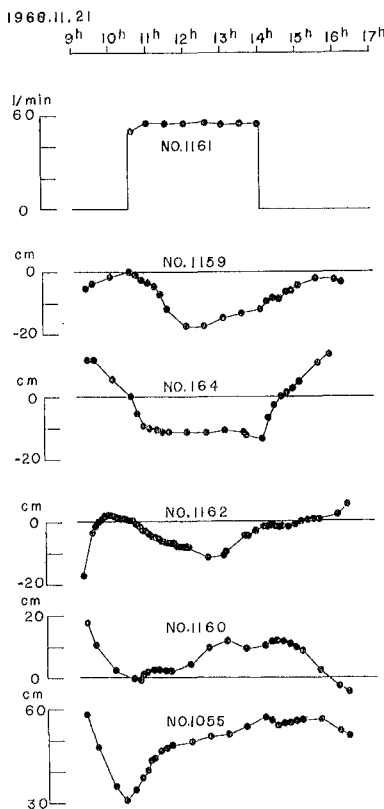
行なわれてきた方法を踏襲し、ある泉源で揚水を行ない、揚水井から半径 100m以内にある既設温泉の水位変化、または湧出量変化を測定した。

試験結果は末尾の表に掲げた。図 1 中の No.1027 と 1161 を揚水井とする調査範囲にあるいくつかの温泉では、潮汐影響があらわれているが、他のものは海岸からかなり離れているために、この影響はあらわれていない。しかし、これらの温泉でも、この調査域一带にある温泉の揚水、あるいは調査孔での揚水停止などによる影響を受け、日変化をしていることが認められる。その日変化形式は揚水試験前日の水位変化記録から、時間とともに一方的に低下するもの、逆に上昇するもの、あるいは上昇した後低下するもの、およびその逆のもの、などのように、各温泉に固有の変化形式があり、一概には決められない。それゆえ、水位変動の記録から、揚水による効果だけを抜き出すため、揚水日の前日に行なった予備調査により、揚水がないときの水位変化の形式を推定し、それからの偏差を揚水による水位低下量とした。

また、潮汐影響のあるものは、これまでの方法どおりに、揚水前日に測定した潮汐影響の関係式を用いて、揚水日の潮位から水位を推定し、この値からの変化量を揚水影響量とした。

このような解析の結果、揚水の影響が多かれ少なかれ認められた試験を図 2～9 に掲げた。湧出量や水位変化状態は原則として、前述した解析法により得た値を用いて画いたが、揚水のないときの日変化量が小さいもの、日変化の形式が複雑で前記解析法の適用が困難なもの、または観測値に明瞭な影響のあらわれているものは、測定値をそのまま画いてある。なお、揚水影響を知るには、揚水によって起る水位の変化量のみを得れば十分であるから、図中の水位はそれぞれ任意の基準点からの高さである。

図 2 (A) 北石垣 No.1161 揚水による周辺温泉の水位変化



これら各試験の揚水量は少量であるため、影響による水位低下量は少なく、多くは数十 cm、大きいもので 1 m 程度で、いずれも揚水開始後 1～2 時間ほどで、ほぼ定常に近い状態になっているようである。とくに、No.227 揚水の場合（図 8 参照）既設エアリフトポンプが比較的大馬力であるにもかかわらず、水面が地下約 70 m とかなり深いため、平均 5.7 l/分の揚水量しか得られなかったが、これ

図 2 (B) 温泉分布 大円は揚水井を中心とした半径 100m

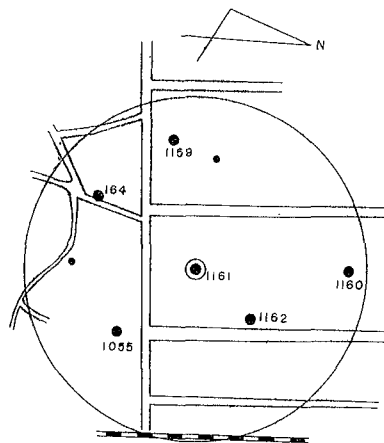


図3(A) 北石垣#1051揚水による周辺温泉の水位または湧出量変化

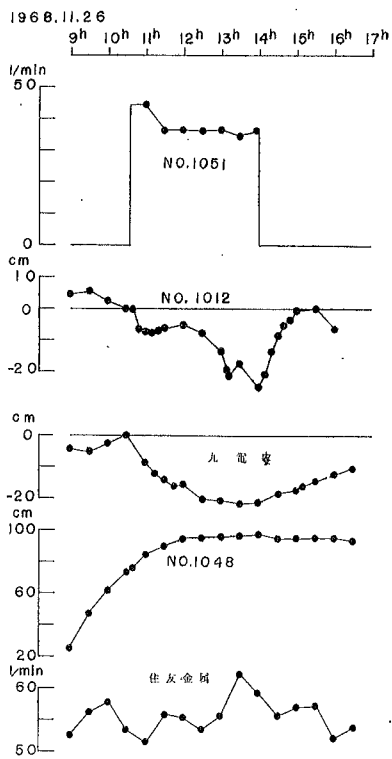


図4(A) 北石垣#1064揚水による周辺温泉の水位変化

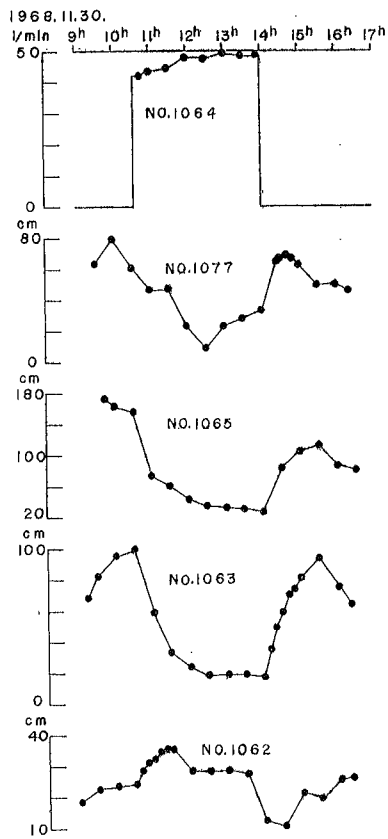


図3(B)

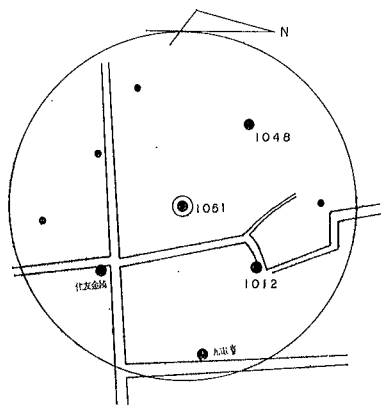


図4(B)

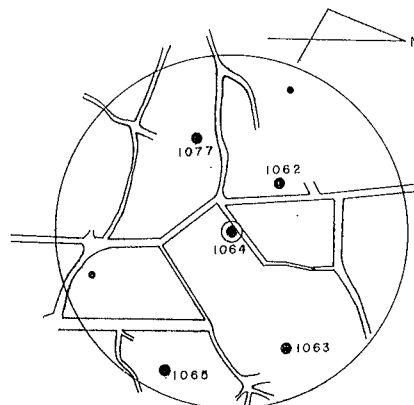


図5(A) 北石垣61089揚水による周辺温泉の水位変化

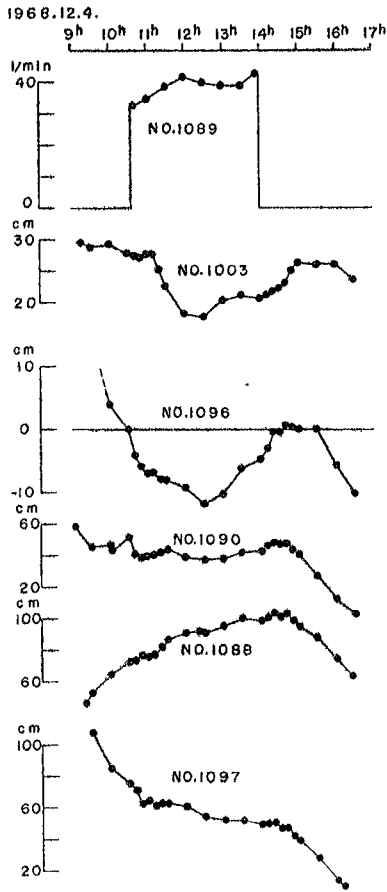


図6(A) 北石垣61132揚水による周辺温泉の水位変化

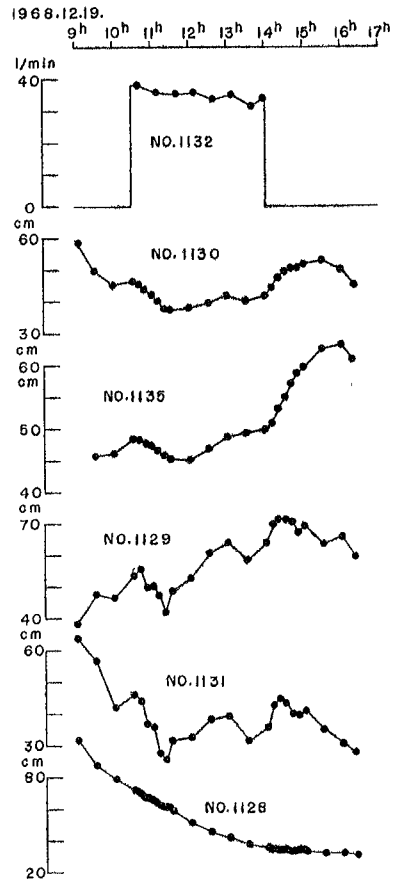


図5(B)

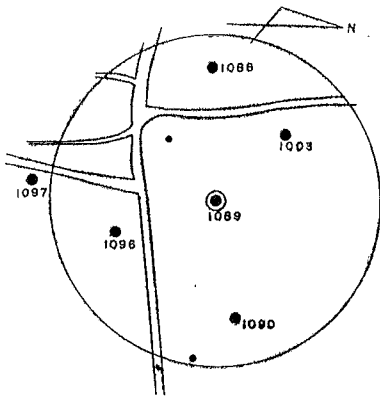


図6(B)

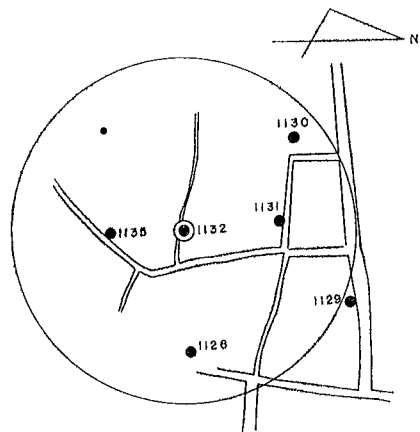


図9(A) 鉄輪46237 揚水による周辺温泉の
水位または湧出量変化

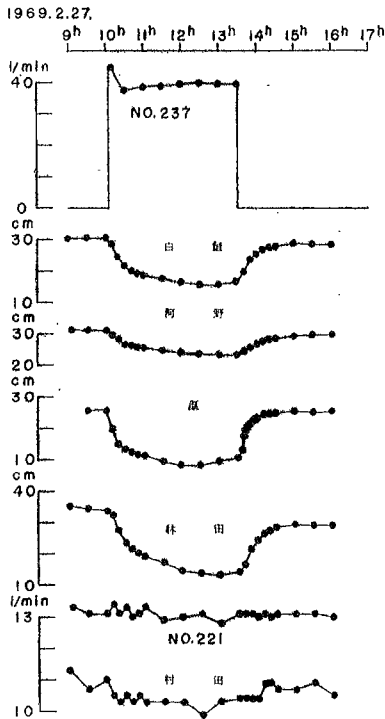
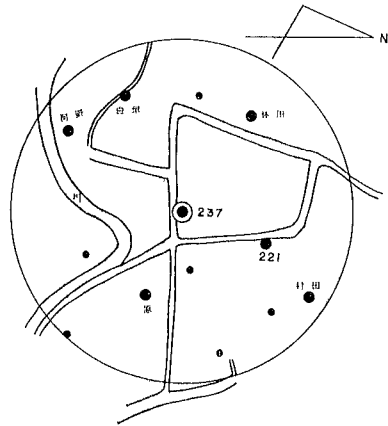


図9(B)



から21m離れた井村氏所有泉では、やはり影響が認められた。

しかし、このような影響は、測定されたすべての温泉で見出されたわけではなく、揚水井からの距離が小さいのに、影響のあらわれてないものがいくつかある。また、影響のあらわれているものの水位低下量は、一般的には揚水井に近いほど大きい傾向があるようだが

が、これまで行なわれてきた他地区での場合と同様に、方向性がみとめられ、なかには揚水井から離れている所で、かえって大きい水位低下量があらわれているものもある。このような結果は、一つには測定精度の問題もあるかも知れないが、おそらく、各温泉の採取水層の違いや、温泉水層の構造の不均一性などにも由来するところの大きいものと思われる。

たとえば、No.1064 揚水試験 (図4 参照) では、No.1065 など、かなり離れた所で1 mにも達するような大きい水位低下があられたが、もっとも近いNo.1062 では影響がまったく認められない。この温泉は埋設管が故障しており、他の温泉と比べて泉温は低く、あきらかにNo.1065 などとは別の、より浅い層の温泉水を採取していることがうかがわれ、これら上下の温泉水層間の連絡が疎であるものと推定される。またNo.1065とNo.1077を比べた場合、揚水井からの距離が大きいNo.1065の水位低下量の方が大きく、温泉水層の構造の不均一性を示しているようである。

なお、今回調査した11ヶ所のうち、No.1027、No.1025およびNo.1106での試験では、影響を認めることができなかったが、これらヶ所での揚水量とはほぼ同じであるから、揚水量の過少が原因ではなく、やはり前述したような理由によるものと思われる。

3 総括

各地区で実施された揚水試験の結果をみると、前節で述べたように、単純な地下水層を仮定した理論的考察から予想されるような状態とは異なった様相が認められるが、実際の温泉水層の構造の不均一性、揚水井と観測井との採取温泉水層の相違、あるいは温泉伏流の動向等の効果を考えるとき、このような違いがあらわれるのは当然のことであろう。

さて、今回の調査地域には自噴温泉がほとんどないから、揚水試験結果の考察は Theis—野満の理

論³⁾によってなされるのが普通であろうが、揚水開始または停止後に各観測井で実際に測定された水位降下または上昇の時間的關係からみて、揚水温泉水層には深部温泉水層からの温泉水の浸入、あるいは浅部温泉水層への浸出などのあることがうかがわれる。したがって、従来別府温泉における揚水影響の解析に適用された浸出のある地下水層における揚水影響を取扱った Hantush の図解法⁴⁾を採用することがもっとも適切であると思われる。

表 1

揚水井番号	$b/T(m^{-2})$	$b/T(m^{-2})(\text{平均値})$	$T(\text{cm}^2/\text{sec})$
1161	$0.800 \sim 1.93 \times 10^{-4}$	1.18×10^{-4}	9.05
1051	$0.267 \sim 3.72$ //	1.99 //	2.98
1064	$1.60 \sim 4.99 \times 10^{-5}$	3.30×10^{-5}	1.21
1089	$3.62 \sim 3.72 \times 10^{-4}$	3.67×10^{-4}	3.95
1132	$1.04 \sim 11.1$ //	6.07 //	3.34
安部氏所有泉	$0.312 \sim 3.75$ //	1.60 //	9.67
227	5.10×10^{-5}	5.10×10^{-5}	12.8
237	$1.56 \sim 9.61 \times 10^{-5}$	6.30 //	8.65

求められた b/T は内部浸出に関する係数⁵⁾で、上述の原因から観測井によってかなり相違がある。これは採取温泉水層間の連絡の疎密や地下温泉水層の構造の特殊性を暗示するものとして注目される。

内部浸出に関する係数は深部温泉水が浅部温泉水層へと浸出供給される量の多少を判断する指標になると考えられるから、これまで別府温泉の他地区で得られた値と比較することにより、今回の調査域における特性をある程度推察できると思われる。そこで、それぞれの揚水試験で得られた値の平均値を求め、これを各揚水試験の行なわれた地域の内部浸出に関する係数とすれば、表に示したように $3.3 \times 10^{-5} \sim 6.1 \times 10^{-4}(m^{-2})$ の範囲にある。これらを旧市内温泉群の平均値⁶⁾(2.84×10^{-4})および亀川温泉群の平均値(0.6×10^{-4})と比較すると、特に大きい 6.1×10^{-4} を除けば、ほぼ同程度かそれ以下の値である。

なお、 b/T の値は温泉水層自身による温泉水の供給能力を示す透水量係数 T にも関係があるので、各試験地の温泉水層の T を求めると $1.21 \sim 12.8(\text{cm}^2/\text{sec})$ 程度の値が得られた⁷⁾、別府温泉での T の測定は、⁸⁾まだあまり行なわれていないが、現在までの揚水試験から求められた値は旧市内で $10 \sim 80(\text{cm}^2/\text{sec})$ 、⁹⁾亀川四の湯地区で $20(\text{cm}^2/\text{sec})$ ¹⁰⁾程度であり、今回の調査地域での値は全般的にみて小さい。

したがって、今回の調査地域では、深部温泉水の浅部温泉水層への供給や温泉水層自身による温泉水の供給などは、ともに別府の既に調査された地域と比較して少ないと推測される。このことはまたこの地区で近時開発された温泉の密集度が旧市内や亀川におけるよりも、まだかなり小さいにもかかわらず、過去において高温多量に湧出していた上人ヶ浜附近の自噴が既に停止した事実からもうなずけるであろう。

以上の調査結果から、この地域における温泉開発には現在の規制をさらに強化することが望ましい。

終りに、この調査に協力された大分県薬務温泉課、別府保健所、京大地球物理学研究所々員、温泉所有者並びに潮位記録を戴いた別府港々湾事務所の諸氏に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 山下幸三郎、森忠敬：別府市亀川温泉の水系、大分県温泉調査研究会報告、17、12—17、昭41
- 2) 山下幸三郎：別府温泉の泉源保護について（Ⅱ）亀川温泉群の揚水影響、同上19、65—79、昭43
- 3) 野満隆治、山下馨：井戸理論の一進展（第2報）堅井の揚水開始及び停止に伴ふ附近水位変化と地層の弾性率、地球物理7巻1号、21—40、昭18

	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00
	湧出量	7.33	7.64	7.64	7.88	7.54	7.83	8.03	8.03	7.97	8.13	8.13	8.29
	泉 温	37.2	37.2	37.4	37.5	37.6	37.6	37.6	37.8	37.8	37.8	37.8	37.9
	時刻	日 時 分	15.00	15.30	16.00	16.15							
	湧出量	8.34	8.51	8.40	8.51	8.46							
	泉 温	38.0	38.0	38.0	3.80	38.0							

北石垣 No.1016	時刻	日 時 分	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	水位	42.40	54.30	41.40	55.00	41.45	41.45	43.70	47.70	61.80	39.15		73.15
	時刻	日 時 分	16.30										
	水位	50.40	54.00										

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日 時 分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮 位	33	55	79	112	136	152	160	161	152	138
時刻	日 時 分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮 位	46	51	64	87	114	133	149	157	162	150

北石垣NO.1161 西鉄寮温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年11月20~21日

北石垣No.1161 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日 時 分	10.35	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	13.57	14.00
揚水量	揚水開始	49.7	54.9	54.4	54.9	55.4	53.9	54.4	54.4	揚水停止
泉 温		45.5	58.4	59.7	60.2	60.4	60.9	60.9	61.0	

(ℓ/min) 水位 (cm)

北石垣 No.1160	時刻	日 時 分	10.15	11.00	11.30	12.00	12.30	12.43	13.00	13.30	14.00	14.13	14.30
	水位	83.7	70.2	55.7	47.5	38.7	29.7	23.8	20.2	13.9	11.6	9.8	8.0
	時刻	日 時 分	15.30	16.00	16.10								
	水位	5.6	3.0	2.4	2.3								
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.45	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00
水位	119.7	111.5	101.2	93.2	90.8	90.0	89.6	87.2	84.0	80.9	78.2	70.5	
時刻	日 時 分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
水位	60.5	52.8	46.1	41.0	40.5	39.0	37.7	36.3	35.5	35.0	33.0	30.5	
時刻	日 時 分												
水位	29.0												

北石垣 No.1159	時刻	日 時 分	11.30	12.00	12.30	12.37	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	66.6	59.5	57.5	45.7	42.3	39.3	36.2	28.9	22.2	19.9	18.7	16.0

	時刻 水位	日時分 20.16.15 14.7											
	時刻 水位	日時分 21. 9.20 58.5	9.30 60.0	10.00 62.6	10.30 63.2	10.40 61.9	10.50 60.0	11.00 57.9	11.10 55.7	11.20 52.2	11.30 46.0	12.00 35.0	12.30 28.7
	時刻 水位	日時分 21.13.00 24.5	13.30 15.7	14.00 9.9	14.10 10.5	14.20 11.2	14.30 10.0	14.40 11.2	14.50 10.2	15.00 10.2	15.30 9.4	16.00 9.7	16.10 9.7

北石垣 № 164	時刻 水位	日時分 20.10.45 39.4	11.00 39.5	11.30 38.8	12.00 37.3	12.30 34.0	13.00 34.0	13.30 31.8	14.00 26.9	14.30 24.0	14.36 18.4	15.00 17.9	15.30 17.9
	時刻 水位	日時分 20.15.45 16.7											
	時刻 水位	日時分 21. 9.20 71.4	9.30 69.8	10.00 71.6	10.30 71.8	10.40 64.8	10.50 59.2	11.00 56.8	11.10 54.8	11.20 52.2	11.30 50.6	12.00 45.9	12.30 40.3
	時刻 水位	日時分 21.13.00 36.3	13.30 30.9	13.35 28.9	14.00 23.8	14.10 28.9	14.20 31.1	14.30 32.2	14.40 31.8	14.50 31.8	15.00 32.2	15.30 31.1	15.50 32.4

北石垣 №1055	時刻 水位	日時分 20.10.30 26.6	11.00 24.0	11.30 22.6	12.00 22.2	12.30 25.6	13.00 27.5	13.30 29.1	14.00 30.4	14.30 30.6	15.00 28.9	15.30 21.3	16.00 15.0
	時刻 水位	日時分 20.16.15 12.5											
	時刻 水位	日時分 21. 9.12 58.2	9.30 47.8	10.00 35.1	10.15 31.0	10.30 34.3	10.40 38.0	10.50 40.5	10.55 43.7	11.00 44.3	11.10 46.6	11.20 47.3	11.30 48.5
	時刻 水位	日時分 21.12.00 49.8	12.30 51.2	13.00 52.0	13.30 54.3	14.00 57.6	14.10 56.3	14.20 55.0	14.30 55.5	14.40 55.5	14.50 56.1	15.00 56.5	15.30 56.9
	時刻 水位	日時分 21.16.00 53.0	16.15 51.5										

北石垣 №1162	時刻 水位	日時分 20.14.00 56.0	14.15 54.8	14.30 53.8	14.45 52.2	14.50 51.6	14.55 51.0	15.00 50.5	15.05 49.8	15.10 49.1	15.15 48.7	15.20 48.1	15.25 47.4
	時刻 水位	日時分 20.15.30 47.1	15.35 46.5	15.40 46.1	15.45 45.7	15.50 45.4	15.55 45.0	16.00 44.9	16.05 44.8	16.15 44.5	16.20 43.7	16.25 41.4	16.30 39.2
	時刻 水位	日時分 21. 9.10 74.7	9.25 90.5	9.30 92.5	9.35 94.4	9.40 95.3	9.45 96.0	9.50 96.3	9.55 96.2	10.00 96.0	10.05 95.6	10.10 95.2	10.15 95.0
	時刻 水位	日時分 21.10.20 94.5	10.25 93.8	10.30 93.3	10.35 92.4	10.40 91.4	10.45 89.9	10.50 89.4	10.55 88.3	11.00 86.8	11.05 86.0	11.10 85.0	11.15 83.9
	時刻 水位	日時分 21.11.20 82.9	11.25 81.7	11.30 80.8	11.35 79.7	11.40 78.1	11.45 76.8	11.50 75.7	11.55 74.2	12.00 73.1	12.30 63.7	12.55 58.8	13.00 58.0

時刻	日時分	13.35	13.46	14.00	14.05	14.10	14.15	14.20	14.25	14.30	14.40	14.50
水位	52.2	50.6	49.6	47.2	46.5	46.1	45.5	45.0	44.4	44.0	42.8	42.1
時刻	日時分	15.10	15.20	15.30	16.00	16.15						
水位	41.1	40.2	39.5	38.7	36.2	34.7						

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	190	206	205	180	152	102	78	62	74	91
時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	6.00
潮位	164	205	216	209	183	148	101	81	74	86

北石垣NO.1051 平松剛氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年11月25~26日

北石垣No.1051 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	10.40	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	13.55	14.00
揚水量	揚水開始	63.2	44.5	36.7	36.6	36.3	36.7	34.8	36.2	揚水停止
泉温		54.3	65.2	71.5	72.1	73.0	73.0	73.1	73.7	

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm)

北石垣 No.1012	時刻	日時分	9.45	10.00	10.20	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30
	水位	56.9	53.8	52.5	41.6	44.4	47.3	33.6	41.7	43.0	41.5	43.2	49.2
	時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	15.38	16.00	16.30					
	水位	40.0	36.9	36.8	30.2	21.9	24.3	18.2					
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30
水位	70.1	69.2	64.3	60.7	60.0	53.2	51.9	51.0	51.2	51.4	51.2	47.0	
時刻	日時分	13.10	13.13	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	
水位	40.1	33.6	31.5	34.6	25.3	29.1	36.0	40.0	43.0	44.2	46.3	45.7	
時刻	日時分												
水位	37.6												

北石垣 No.1048	時刻	日時分	10.05	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	水位	37.2	55.2	75.2	99.4	109.7	117.5	124.5	127.7	130.3	133.4	134.8	135.1
	時刻	日時分	15.59	16.30									
	水位	136.1	135.1	134.5									
時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.39	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	
水位	25.5	46.7	61.7	73.5	76.0	84.5	90.0	94.2	95.8	96.0	96.7	96.9	
時刻	日時分	15.00	15.30	16.00	16.30								
水位	94.6	94.6	95.3	95.0	93.0								

北石垣 九電 別府寮	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	56.00	49.65	46.85	44.45	42.00	42.35	40.95	41.10	31.55	26.95	15.95	18.10
	時刻	日時分											
	水位	14.80											
時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.15	11.30	11.45	12.00	12.30	13.00	
水位	91.80	89.00	86.30	85.60	85.05	73.90	69.20	64.40	60.90	59.80	52.10	48.40	
時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.08	15.10	15.30	16.00	16.28				
水位	44.10	41.20	40.70	38.50	38.95	38.85	37.80	37.10	35.65				

北石垣 住友金 屬別府 保養所	時刻	日時分	11.00	11.35	12.00	12.35	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	46.0	52.0	53.8	52.0	49.0	51.2	53.0	50.8	58.3	58.5	56.9	52.2
	泉温		99.5	99.7	99.7	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	時刻	日時分											
湧出量	56.2												
泉温	100.0												
時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	
湧出量	52.5	56.2	57.9	53.5	51.5	55.8	55.3	53.5	55.6	62.2	59.2	55.6	
泉温													
時刻	日時分	15.30	16.00	16.30									
湧出量	57.1	57.3	52.2	53.8									
泉温													

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	11	41	86	127	160	179	184	177	160	131
時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	20	29	59	91	126	154	166	176	167	153

北石垣No.1064 山本リソ氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和43年11月29~30日

北石垣No.1064 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	10.45	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	13.55	14.00
湧出量	揚水開始	42.0	43.4	44.6	48.0	47.8	49.3	48.4	48.8	揚水停止
泉温		79.5	96.0	96.1	96.1	96.6	96.7	96.8	96.8	

水位 (cm)

北石垣 No.1077	時刻	日時分	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30
	水位	12.35	9.85	13.75	30.40	30.05	48.90	49.00	51.55	49.60	57.70	54.65	36.55

時刻 水位	日時分 30. 9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.25	14.30
	63.75	79.75	60.20	46.70	46.85	23.05	9.25	23.80	28.10	32.90	65.35	67.40
時刻 水位	日時分 30.14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.20						
	69.00	66.25	62.55	49.50	49.80	45.75						

北石垣 #1062	時刻 水位	日時分 29.10.45	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
		12.30	17.10	19.50	18.65	17.80	14.10	12.60	9.50	4.75	8.50	6.80	4.60
	時刻 水位	日時分 29.16.20											
		1.10											
時刻 水位	日時分 30. 9.00	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30	
	18.65	22.50	23.85	24.20	28.90	31.40	33.25	34.90	35.60	35.30	28.80	28.45	
時刻 水位	日時分 30.13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.20					
	28.75	27.50	12.05	10.70	21.20	19.75	25.40	26.00					

北石垣 #1063	時刻 水位	日時分 29. 9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
		24.3	39.7	50.8	59.8	66.5	70.6	72.6	79.0	84.4	87.1	91.0	93.3
	時刻 水位	日時分 29.15.30	16.00	16.20									
		93.3	87.9	65.6									
時刻 水位	日時分 30. 9.15	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	
	68.5	82.2	95.8	99.6	58.7	32.6	23.9	18.1	18.9	18.9	17.2	34.9	
時刻 水位	日時分 30.14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.20					
	49.1	58.8	69.6	73.7	80.5	93.6	75.0	63.6					

北石垣 #1065	時刻 水位	日時分 29.10.20	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
		70.8	65.0	60.4	51.3	49.1	47.5	47.5	47.9	46.2	47.6	45.4	43.3
	時刻 水位	日時分 29.16.00	16.30										
		21.2	7.12										
時刻 水位	日時分 30. 9.45	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	
	174.20	164.10	155.80	73.40	60.90	44.15	34.90	34.08	31.55	27.40	83.20	105.40	
時刻 水位	日時分 30.15.30	16.00	16.30										
	112.53	87.45	80.88										

潮位記録 潮位 (cm)

時刻 潮位	日時分 29. 7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
	99	81	66	64	68	83	95	125	142	156
時刻 潮位	日時分 30. 7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
	128	110	92	74	66	69	80	100	122	144

北石垣No. 1089 山本保氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和43年12月3日～4日

北石垣No.1089 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温 °C

時刻	日時分 4.10.36	10.40	11.00	11.30	12.00	12.30	13.10	13.30	13.55	14.00
揚水量	揚水開始	32.3	34.2	38.3	41.9	39.7	38.8	38.8	42.8	揚水停止
泉温		46.5	56.0	60.5	62.2	63.2	63.6	64.1	64.6	

水位 (cm)

北石垣 No.1003	時刻	日時分 3.10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	28.7	21.2	12.9	10.1	10.1	8.8	7.5	8.6	9.5	12.0	11.8	12.8
	時刻	日時分 3.16.30											
	水位	9.4											
北石垣 No.1003	時刻	日時分 4.9.15	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30
	水位	29.5	28.9	29.3	27.9	27.5	27.3	27.7	27.7	25.3	22.7	18.3	17.9
	時刻	日時分 4.13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	水位	20.4	21.1	20.7	21.3	21.9	22.3	23.3	25.1	26.3	26.1	26.1	23.7

北石垣 No.1096	時刻	日時分 3.11.20	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30
	水位	95.5	82.2	63.2	57.7	48.7	48.5	43.5	40.6	36.7	38.4	22.4	5.2
	時刻	日時分 4.9.00	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30
北石垣 No.1096	水位	126.6	96.6	81.6	74.1	68.8	65.9	63.6	62.4	60.4	59.0	54.4	48.2
	時刻	日時分 4.13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
北石垣 No.1096	水位	46.4	46.9	44.8	45.5	46.8	45.7	45.5	44.1	42.7	39.2	30.3	22.1

北石垣 No.1097	時刻	日時分 3.9.50	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	水位	145.0	95.9	87.1	88.5	86.8	87.1	76.3	75.7	74.5	68.9	66.6	60.3
	時刻	日時分 3.16.00	16.30	16.45									
	水位	55.8	50.3	8.1									
北石垣 No.1097	時刻	日時分 4.9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30	13.00
	水位	107.8	84.8	74.8	70.7	62.5	64.3	60.9	62.3	62.8	60.8	54.8	52.5
北石垣 No.1097	時刻	日時分 4.13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.10	
	水位	52.5	49.7	50.3	51.7	47.6	48.1	43.0	40.0	29.4	14.8	10.7	

北石垣 No.1090	時刻	日時分 3.9.45	9.55	10.30	11.00	11.13	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30
	水位	53.9	77.1	25.9	23.6	27.8	29.5	28.8	43.3	42.5	44.9	41.7	44.1
北石垣 No.1090	時刻	日時分 3.15.00	15.30	16.00	16.05	16.35							
	水位	41.2	26.0	22.0	14.1	-5.3							

時刻	日時分	9.30	10.00	10.03	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00
水位	58.1	44.4	46.3	43.1	51.2	41.2	39.3	39.8	40.2	41.6	43.6	38.7
時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00
水位	37.0	38.0	42.0	42.5	46.1	48.0	46.6	47.5	43.7	41.1	27.1	13.3
時刻	日時分											
水位	3.1											

北石垣 №1088	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.15	13.30	14.20	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	42.3	47.0	58.0	65.7		69.6	69.8	72.1	77.5	70.4	68.6	66.6
	時刻	日時分											
	水位	47.7											
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.20
水位	46.2	53.1	64.5	72.7	73.1	76.3	75.8	77.4	81.7	86.8	90.6	91.8	
時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
水位	91.3	95.9	100.7	98.5	101.1	103.5	101.3	103.1	98.7	95.3	88.3	75.2	
時刻	日時分												
水位	63.0												

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
潮位	3.7.00	186	185	183	155	132	99	88	90	102	119
時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
潮位	4.7.00	178	195	193	176	155	119	100	90	102	112

北石垣 右田春義氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年12月6～7日

北石垣 右田 揚水量 湧出量 l/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日時分	10.40	11.00	11.05	11.08	11.25	11.55	12.40	13.00	13.35	13.58	14.00	
揚水量	揚水開始	40.6	52.5	揚水開始	途中10分程 揚水停止	49.2	52.5	52.0	55.7	52.3	56.33	54.2	揚水停止
泉温		29.0	51.0			55.8	60.1	63.2	65.0	65.5	65.7	66.5	

北石垣 №1025 村井佐八氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年12月6～7日

北石垣 №1025 揚水量 湧出量 l/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日時分	11.40	12.05	12.45	13.05	13.30	13.55	14.00
揚水量	揚水開始	16.8	63.7	67.3	58.43	59.77	61.0	揚水停止
泉温		38.7	47.5	46.5	46.8	47.0	47.0	

水位 (cm)

北石垣 No1021	時刻	日 時 分 6. 9.15	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.03	12.30	13.00	13.30	14.00
	水位	39.3	42.5	47.7	46.9	49.6	58.8	59.3	57.6	67.3	62.2	67.1	70.7
	時刻	日 時 分 6.14.30	15.00	15.30	16.00	16.06	16.26						
	水位	78.5	75.8	66.9	46.1	42.6	29.0						
	時刻	日 時 分 7. 9.05	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	11.40	11.50
水位	34.5	32.9	34.4	44.8	45.7	40.3	45.7	46.95	46.9	48.7	50.4	52.5	
時刻	日 時 分 7.12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	
水位	46.9	54.5	55.8	50.6	49.9	55.8	53.1	48.8	48.8	48.2	44.9	41.0	
時刻	日 時 分 7.16.00	16.20											
水位	30.5	20.9											

北石垣 大野勇	時刻	日 時 分 6.12.02	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	水位	28.6	39.4	35.8	39.4	43.7	50.2	46.0	36.7	18.0	5.2		
	時刻	日 時 分 7. 9.13	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	11.40	11.50
	水位	53.7	44.7	63.3	39.9	39.4	33.7	36.6	38.3	36.6	39.2	40.1	40.7
時刻	日 時 分 7.12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.23	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	
水位	35.3	43.0	43.7	35.6	35.6	39.8	36.7	33.4	32.9	32.7	29.2	24.6	
時刻	日 時 分 7.16.00	16.10	16.15	16.20									
水位	12.0	11.9	18.4	18.0									

北石垣 No1022	時刻	日 時 分 6.11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	
	水位	100.2	89.0	88.7	79.0	79.4	80.3	83.9	77.0	66.9	27.0	14.7	
	時刻	日 時 分 7. 9.30	10.05	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	11.40	11.50	12.00
	水位	89.3	71.3	70.0	68.1	61.1	62.6	62.6	60.2	61.3	60.0	60.0	54.1
時刻	日 時 分 7.12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
水位	59.5	57.4	47.4	45.8	49.5	46.3	42.2	41.5	40.8	36.5	30.7	20.9	
時刻	日 時 分 7.16.20												
水位	12.9												

北石垣 No1015	時刻	日 時 分 6. 9.47	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	水位	56.6	52.3	42.7	39.3	41.8	39.3	43.5	38.0	38.7	40.8	45.7	41.0
	時刻	日 時 分 6.15.30	16.00	16.30									
	水位	33.1	15.0	3.7									
時刻	日 時 分 7. 9.15	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.25	11.30	11.40	
水位	45.0	53.7	59.4	66.5	67.2	63.3	68.5	69.8	70.6	71.5	74.5	75.1	
時刻	日 時 分 7.11.50	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	
水位	78.4	73.3	82.3	84.8	79.6	79.2	85.2	83.8	79.9	79.9	79.9	77.1	

時刻	日時分	16.00	16.20										
水位	7.15.30	73.9	66.8	57.0									

北石垣 No1020	時刻	日時分	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
	水位	6.10.08	48.1	46.5	52.6	65.1	67.2	76.6	75.9	80.5	86.9	93.2	90.9	84.0
	時刻	日時分	16.27											
	水位	6.16.00	66.7	52.8										
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	11.40	11.50	
水位	7.9.15	30.0	37.5	41.0	54.1	55.2	51.9	55.6	59.9	59.1	63.2	58.6	65.7	
時刻	日時分	12.30	12.35	12.40	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50		
水位	7.12.00	61.8	71.0	73.3	69.1	74.0	67.5	66.9	73.1	72.5	68.1	67.2	67.9	
時刻	日時分	15.30	16.00	16.05	16.19									
水位	7.15.00	63.8	60.6	51.4	51.0	48.1								

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
潮位	6.7.00	136	167	192	190	181	152	119	97	84	91
時刻	日時分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	6.00	
潮位	7.7.00	106	15.0	180	191	188	168	141	111	95	91

北石垣No1106 毛井氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年12月13~14日

北石垣No1106 揚水量 湧出量 l/min 泉温℃

時刻	日時分	10.40	10.45	10.49	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	13.50	14.00
揚水量	14.10.35	47.3	揚水停止	揚水開始	46.2	46.6	45.1	45.5	44.8	46.6	45.5	揚水停止
泉温		47.6			58.0	61.6	62.2	62.5	62.7	62.8	63.0	

水位 (cm)

北石垣 No1107	時刻	日時分	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.15	
	水位	13.11.00	35.6	34.4	38.4	46.6	52.1	53.2	54.4	51.0	46.1	33.9	22.1	10.8
	時刻	日時分	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30	13.00	
水位	14.9.30	72.2	54.3	77.8	75.7	73.7	69.7	73.0	74.9	75.1	72.0	72.6	70.5	
時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.20				
水位	14.13.30	63.3	63.0	65.6	61.7	62.1	62.8	61.6	62.3	52.9	28.4			

北石垣 No1104	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
水位	13.10.30	29.4	32.1	34.0	38.4	43.3	47.8	50.2	50.4	50.0	49.8	44.1	37.7

時刻	日 時 分												
水位	13.16.15												
	37.0												
時刻	日 時 分	9.45	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	
水位	14. 9.15	33.1	31.9	32.2	31.7	33.1	33.2	35.2	37.2	39.3	42.9	41.9	
	34.1												
時刻	日 時 分	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.15			
水位	14.14.00	45.1	43.4	44.2	45.0	44.5	45.5	42.4	34.7	33.7			
	43.1												

北石垣 No1103	時刻	日 時 分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	13.10.50	83.7	77.9	70.4	73.2	78.5	81.8	82.6	81.9	76.4	69.1	54.1	40.6
	時刻	日 時 分												
	水位	13.16.15	24.2											
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.20	10.30	10.35	10.40	10.45	10.50	10.55	11.00	11.05	
	水位	14. 9.25	86.5	81.2	74.0	71.2	69.2	70.8	69.2	67.4	69.6	67.8	64.2	65.6
時刻	日 時 分	11.15	11.20	11.25	11.30	11.35	11.40	11.45	11.50	11.55	12.00	12.30		
水位	14.11.10	69.2	70.8	72.0	71.8	71.8	71.0	71.4	71.4	69.8	70.2	71.2		
時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.05	14.10	14.15	14.20	14.25	14.30	14.35	14.40	14.45		
水位	14.13.00	62.6	62.2	64.0	65.2	65.6	63.6	62.0	63.4	63.0	64.2	62.6		
時刻	日 時 分	14.55	15.00	15.30	16.00	16.20								
水位	14.14.50	62.2	62.6	52.2	32.6	22.0								

北石垣 No1019	時刻	日 時 分	10.45	11.15	11.45	12.15	12.45	13.15	13.45	14.15	14.45	15.15	15.25
	水位	13.10.15	68.1	50.1	48.0	53.9	62.0	60.9	63.7	54.9	56.5	40.4	34.4
	時刻	日 時 分											
	水位	13.15.45	16.15										
時刻	日 時 分	10.00	10.15	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.3	
水位	14. 9.30	51.3	49.3	49.0	47.4	47.1	43.3	48.4	51.4	52.1	52.2	53.0	
時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.20	
水位	14.13.00	44.2	46.0	48.0	43.8	45.0	45.0	44.7	43.4	34.3	14.9	1.9	

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日 時 分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	13. 7.00	53	68	88	114	144	157	168	162	158
時刻	日 時 分	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	14. 7.00	72	76	85	104	126	152	170	176	172

北石垣 № 1132 吉良氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和43年12月18~19日

北石垣 №1132 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	10.40	11.10	11.40	12.08	12.39	13.10	13.40	14.00	14.02
揚水量	揚水開始	38.0	35.9	35.3	35.9	33.8	35.1	31.6	34.0	揚水停止
泉温		33.1	51.2	54.8	56.8	58.0	59.0	60.0	60.0	

水位 (cm)

北石垣 №1131	時刻	日時分	10.05	10.35	11.05	11.35	12.05	12.35	13.05	13.35	14.05	14.35	15.05
	水位	104.1	88.3	75.0	60.2	61.6	62.4	62.4	48.5	50.1	52.8	48.9	47.0
	時刻	日時分	15.35	16.05	16.20								
	水位	43.7	45.8	37.8	35.3								
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.27	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00
水位	63.8	56.5	41.8	44.8	45.8	43.9	36.9	35.5	27.3	25.4	31.3	32.1	
時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
水位	38.0	39.0	31.5	35.7	42.6	44.8	43.3	39.8	39.3	41.0	35.0	30.2	
時刻	日時分												
水位	19.16.20	27.8											

北石垣 №1135	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	37.3	37.9	38.2	41.1	43.8	46.1	44.9	46.5	48.7	49.8	50.5	49.3
	時刻	日時分											
	水位	18.16.15	46.9										
時刻	日時分	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30	13.00	
水位	45.8	46.2	48.4	48.2	47.8	47.3	46.5	45.9	45.2	45.2	46.9	48.9	
時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.18		
水位	19.13.30	49.3	49.9	50.8	53.1	55.0	57.1	58.6	59.7	62.7	63.3	61.0	

北石垣 №1130	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30
	水位	36.0	36.7	39.7	39.9	39.9	39.9	44.7	46.2	45.4	44.0	46.1	48.0
	時刻	日時分	15.30	16.00	16.20								
	水位	48.2	46.4	43.3	38.8								
時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.30	
水位	58.9	49.8	45.4	46.3	45.6	43.9	42.1	40.2	37.9	37.7	38.1	39.7	
時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.20	
水位	19.13.00	42.0	40.1	41.8	44.6	47.7	49.6	50.6	50.9	51.9	53.0	50.3	45.2

	時刻	日 時 分 19. 9.10	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	水位	38.0	34.1	31.6	29.9	28.2	27.0	25.9	24.9	22.0	22.7	22.2	22.0
	時刻	日 時 分 19.13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	21.8	23.6	19.5	19.9	20.7	25.9	26.4	26.0	25.8	25.1	24.4	

鉄 輪 大野(吉)	時刻	日 時 分 18. 9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	水位	27.7	28.3	29.8	30.1	30.2	31.0	30.1	29.6	26.7	26.5	26.1	26.4
	時刻	日 時 分 18.15.30	16.00										
	水位	25.5	30.1										
鉄 輪 大野(吉)	時刻	日 時 分 19. 9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00
	水位	30.4	29.6	27.9	25.6	23.4	22.3	21.9	21.2	19.9	19.3	19.0	18.8
	時刻	日 時 分 19.13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	水位	20.0	20.2	20.6	21.3	21.8	22.0	22.6	22.4	21.3	20.4		

鉄 輪 吉野(正)	時刻	日 時 分 18.10.47	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	21.1	20.9	23.6	24.5	23.8	25.1	24.2	25.2	20.9	14.8	17.8	18.7
	時刻	日 時 分 19. 9.20	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
鉄 輪 吉野(正)	水位	15.4	24.0	21.3	27.4	15.6	22.8	26.0	26.8	27.7	30.2	31.5	32.7
	時刻	日 時 分 19.13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	34.8	35.8	36.9	37.8	38.6	39.4	38.9	40.2	40.4	41.2	40.5	

鉄 輪 見 上	時刻	日 時 分 18.10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	水位	31.4	30.6	30.1	29.2	29.3	28.4	27.7	25.6	23.8	23.0	21.5	20.2
	時刻	日 時 分 18.16.00											
	水位	18.4											
鉄 輪 見 上	時刻	日 時 分 19. 9.06	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	水位	38.7	34.3	30.8	29.8	28.0	26.6	25.1	23.7	21.5	20.8	19.9	19.4
	時刻	日 時 分 19.13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	18.8	20.1	21.0	21.5	21.9	22.4	22.8	23.1	23.1	21.7	20.8	

鉄 輪 吉野(教)	時刻	日 時 分 18.10.15	10.45	11.15	11.45	12.15	12.45	13.15	13.45	14.15	14.45	15.15	15.45
	水位	27.0	25.8	25.2	25.6	25.8	24.4	23.9	23.3	22.2	21.3	19.7	18.9
	時刻	日 時 分 18.16.00											
	水位	18.6											
鉄 輪 吉野(教)	時刻	日 時 分 19. 9.10	9.30	10.00	10.05	10.10	10.15	10.20	10.25	10.30	10.35	10.40	10.45
	水位	38.9	37.9	37.9	37.2	32.7	30.8	30.1	29.2	28.4	27.7	27.0	26.6
	時刻	日 時 分 19.10.50	10.55	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.05	13.10	13.15	13.20	13.25
	水位	26.4	26.0	25.7	25.3	24.8	24.6	24.4	28.1	30.2	31.4	32.0	32.2

時刻	日時分	13.35	13.40	13.45	13.50	13.55	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
水位	22.10.30	32.6	32.6	33.1	33.5	33.5	33.7	33.9	32.7	32.3	32.3	31.4

鉄輪 №227 池田平治氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和44年2月21～22日

鉄輪 №227 揚水量 湧出量 ℓ/min 泉温 °C

時刻	日時分	10.15	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.05
揚水量	揚水開始	6.4	5.6	5.3	5.2	6.3	5.7	5.1	揚水停止
泉温		61.6	62.0	63.0	63.0	63.2	64.5	64.2	

鉄輪 荒金	時刻	日時分	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	水位	22.10.30	23.9	27.5	26.8	27.5	27.5	27.9	28.2	28.4	28.2	27.7	27.7	27.5
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	
	水位	22.9.00	24.4	27.9	29.3	29.7	29.7	29.9	29.9	29.9	30.3	30.5	30.7	30.7
	時刻	日時分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	水位	22.13.00	30.7	31.0	31.0	31.2	30.7	30.7	31.0	30.7	30.3	30.3		

鉄輪 №229	時刻	日時分	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
	水位	21.10.10	28.6	29.2	29.3	28.2	28.9	28.7	29.2	29.6	29.8	29.5	29.6	29.2
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	
	水位	21.16.00	28.8											
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	
	水位	22.9.00	19.7	25.2	26.3	26.4	26.3	26.4	26.4	26.4	26.4	26.7	26.7	26.7
	時刻	日時分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	水位	22.13.00	26.9	26.9	27.1	27.1	26.9	26.7	26.6	26.8	26.6	25.9	25.7	

鉄輪 村井	時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00					
	水位	21.12.40	33.6	38.2	40.0	40.6	40.3	40.6	40.5	40.5				
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.25	10.30	10.35	10.40	10.45	10.50	10.55	
	水位	22.9.15	48.1	48.1	47.0	44.7	44.8	45.3	45.0	45.0	44.7	44.7	44.7	44.7
	時刻	日時分	11.30	12.00	12.30	13.00	13.05	13.07	13.08	13.10	13.12	13.14	13.16	
水位	22.11.00	44.7	45.3	44.8	44.6	46.4	45.8	45.8	46.0	46.3	46.5	46.5	47.0	
時刻	日時分	13.20	13.22	13.24	13.26	13.28	13.30	13.35	13.40	31.45	13.50	13.55		
水位	22.13.18	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.2	47.3	47.3	47.5	47.7		
時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	16.00									
水位	22.14.00	47.7	47.8	47.8	46.9	46.9								

時刻	日時分	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00
水位	27. 9.30 25.8	25.8	19.8	15.0	13.4	12.4	11.9	11.6	9.2	8.3	8.1	9.1
時刻	日時分	13.33	13.36	13.39	13.42	13.45	13.48	13.51	13.54	13.57	14.00	14.10
水位	27.13.30 10.5	10.5	13.0	17.3	19.2	20.4	21.2	21.8	22.5	22.8	23.2	24.2
時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	16.00							
水位	27.14.20 24.5	24.7	25.2	25.0	25.1							

鉄輪 No. 221	時刻	日時分	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	湧出量	26. 9.35 9.0	9.8	10.4	11.0	11.0	11.0	11.0	10.3	11.2	11.0	11.0	10.7
	泉温	46.2	46.0	46.0	46.0	45.9	46.2	46.2	46.2	46.4	46.4	46.4	46.4
	時刻	日時分	16.00										
	湧出量	26.15.30 11.0	10.7										
	泉温	46.4	46.4										
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	27. 9.00 11.3	10.7	11.0	10.5	10.3	10.5	10.3	10.5	10.3	10.3	10.3	9.9
	泉温	46.4	46.3	46.4	46.4	46.3	46.3	46.3	46.3	46.2	46.2	46.2	46.2
	時刻	日時分	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	27.13.00 10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.9	10.9	10.7	10.7	10.9	10.5	
	泉温	46.2	46.3	46.3	46.5	46.3	46.4	46.5	46.5	46.4	46.4	46.4	

鉄輪 村田	時刻	日時分	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	湧出量	26. 9.47 11.7	13.1	13.6	12.9	12.6	12.1	12.8	13.1	13.1	13.6	13.1	13.3
	泉温	58.7	58.6	58.6	58.5	58.4	58.5	58.4	58.3	58.4	58.4	58.6	58.6
	時刻	日時分											
	湧出量	26.16.00 12.8											
	泉温	58.6											
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	27. 9.05 13.3	13.1	13.1	13.4	13.1	13.3	13.0	13.1	13.3	12.9	13.0	13.1
	泉温	58.5	58.6	58.5	58.4	58.6	58.6	58.4	58.4	58.6	58.6	58.6	58.4
	時刻	日時分	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	27.13.00 12.8	13.1	13.1	13.1	13.0	13.1	13.0	13.1	13.1	13.1	13.0	
	泉温	58.6	58.4	58.6	58.6	58.6	58.7	58.6	58.5	58.6	58.6	58.7	

地熱変質帯における地下検層

(Ⅱ) 乙原地熱変質帯について

京大理学部 由 佐 悠 紀

1. 地熱地域や温泉地域の地層を構成している岩石は、高温ガスや熱水の作用により変質し粘土化するが、その変質環境が酸性条件であれば、ハロイサイトや加水ハロイサイトのようなカオリン粘土鉱物化し、一方酸性条件が達成されないとモンモリロナイト系粘土鉱物化するのが普通とされている。また、いったん生じたモンモリロナイト系粘土鉱物が酸性条件下におかれれば、MgやFe等の成分がまず溶脱されて、残留物はカオリン粘土鉱物化し、このような条件が長く続けばAlもが分離されてオパール質物体($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 主成分)へと変わり、これが結晶してクリストパライト含有率が次第に大きくなると云われている^{1),2),3)}

別府温泉において温泉掘削時などに得られる岩石コア試料は、地熱作用による変質を受けているものが少なくなく、特に別府温泉の南と北の境界をほぼ東西に横切る断層線に沿った地帯では、地表近くまで噴気活動が活発で、その作用による岩石の変質粘土化が認められる。この2本の代表的な断層線のうち、北部断層線上近くにある明ばん温泉背後の傾斜地に掘られた地質調査用ボーリングで、浅層コア試料のほとんどすべてが著しい変質を受けて粘土化していることが確かめられた⁴⁾。

その変質粘土の分布状態を見ると、傾斜地高部で地温が低く地熱活動の衰弱している区域では、ボーリング孔底(約30m)までカオリン粘土鉱物と $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ の低温結晶物であるクリストパライトが存在しているのに対し、低部の現在なお地熱活動の盛んな区域には地表近くにあるカオリン粘土鉱物層の下方にモンモリロナイト粘土鉱物が分布している。

昨年⁵⁾の報告では、このような状態と、先に述べた地熱作用による岩石変質の一般則とを対照させることにより、明ばん地熱変質帯における過去の地熱活動の履歴や水理過程を推定し、比較的小規模の浅層地熱地域で得られる変質粘土分布状態は、地熱地域生成過程を追求するのに有用な資料であることを示した。

しかし、この面からの地熱地域生成過程の研究はやっとその端緒にさしかかったところであり、明ばん地域における資料はその過程の一段階を示すにすぎないから、別府温泉全体というようなより広範囲の地熱地域へと普遍化して適用するには、火山活動以後熱水生成過程を通じての広い範囲にわたるデータを集積し、地熱作用が液体の水を通して拡散してゆく一般過程をひき出さなければならない。

しかし、地熱地域における詳しい変質粘土の分布を得る機会、そうめったに得られるものではなく、明ばん域におけるように、いわゆる温泉地すべり等の災害対策事業として行なわれる地質調査の機会等を利用するほかないのが現状である。

別府温泉の南境界の断層線に沿う乙原地区では、昭和18年と28年の2回にわたって地すべりが起こり、28年以後大分県の手により対策事業が進められているが、昭和43年になってラクテンチ内の斜面約 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ の地域内に総計20孔の地質調査用ボーリングが行なわれ、大分県砂防課の御好意によりその変質粘土分布を得る機会を得た。

2. 図1に示す乙原地熱地域から上流部の観海寺に至る一帯の山腹部で掘削されたほとんどのボーリング孔からは、いわゆる乾き蒸気が噴出し⁶⁾、これより低地の朝見川沿いでは沸騰泉がみられる。このような山腹部の蒸気が火山性の一次的なものであるか、あるいは地下に存在する熱水の沸騰による...

次蒸気であるかの議論はさておき、この一帯では地下から高温の蒸気およびそれに伴う熱量の供給があることは容易に推測され、この地域にみられる変質岩石はこれらの作用によって生じたものであることもまた想像に難くない。

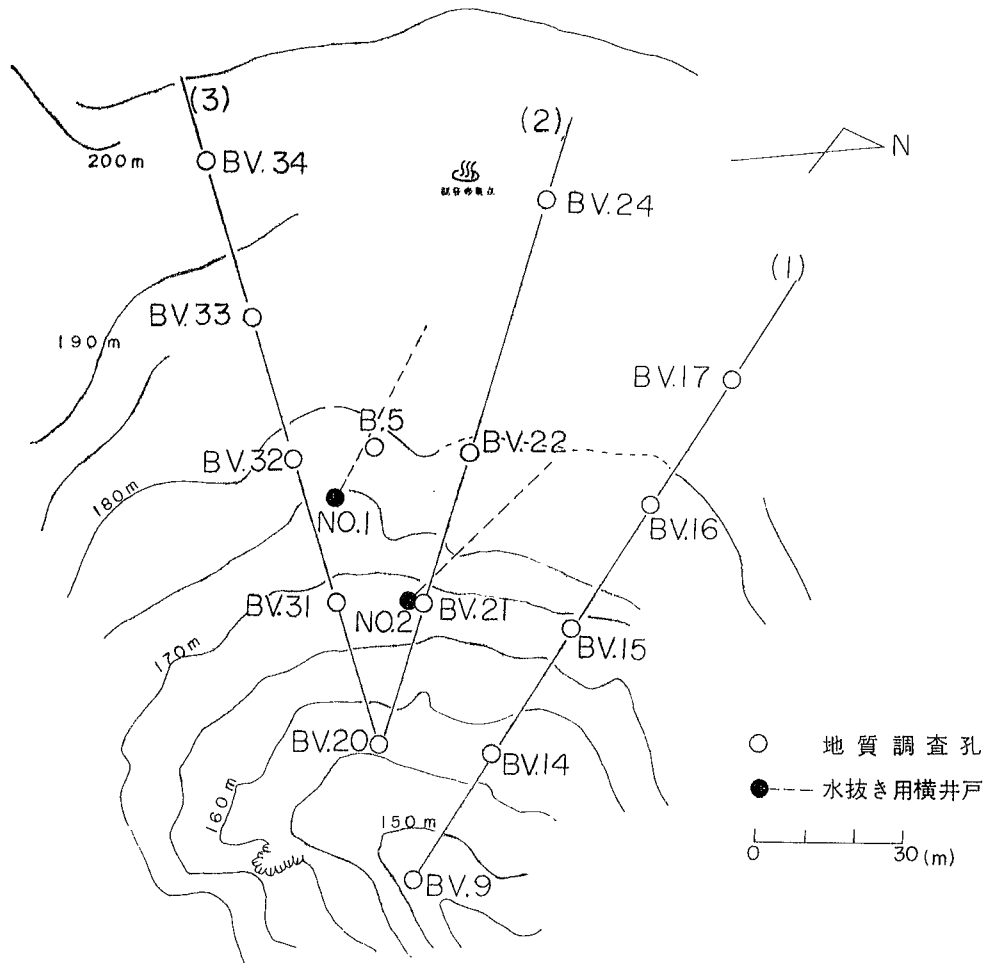
図2には乙原地熱地域に掘削された調査用ボーリング孔（深度はいずれも約20m）の位置をBV.の記号を付して示したが、B. 5は着岩調査のための補助的な孔であり、No. 1およびNo. 2は地すべり防止の目的で掘られた長さ約40mの水抜き用横井で、ともに1分間に約5ℓ程度の温水が流出している。またこの図の上部に示してある観音寺温泉は噴気孔で、ボーリングされた深度では液相の水は存在しないか、あってもその量は少ないものと考えられる。

これらの調査孔にサーミスターを降ろして測定した各深度での温度を後に掲げる表1に示したが、測定時期がボーリング終了後数ヶ月を経ていたため、ほとんどすべての孔の途中で粘土などで閉塞さ

図1 乙原地熱地域の位置



図2 調査孔位置



れて、孔底まで達することはできなかった。これらの測定値は、各深度での地温を直接示しているものではないだろうが、一応10m深の値を比較すると、BV.32附近で最高値を示し、この孔から離れるにしたがって低温となる傾向がうかがわれ、おそらく、この地域における現在の地熱活動はBV.32附近でもっとも盛んなように思われる。

さて、ボーリングによって得られたコア試料はすべてが変質し、粘土化していることが認められるが、図2中のBV.14、15、16、20、21、22、24、31、32、および33の計10孔について地表から地下へと適当な間隔をおいてコア試料を選び出し、X線回折法を用いて構成鉱物の種類を同定した。検出された鉱物は、石英、クリストバライト、長石および黄鉄鉱の造岩鉱物、モンモリロナイト、ハロイサイトおよび加水ハロイサイトの粘土鉱物、およびカルサイトの8種であった。これらのうち、前7者は明ばん地熱変質帯においても見いだされたものであるが、このコア試料の特徴は明ばん地域ではまったく認められなかったカルサイトをかなり多量に含んでいることである。

従来の地質図などによれば、この乙原地域の地層を構成する岩石は安山岩と思われるが、X線回折法によっては輝石も角閃石も確認することはできず、また重要な造岩鉱物である長石も若干の試料中に、ごく少量含有されているにすぎない。おそらく、これらはいずれも原岩石が変質作用を受ける途中で破壊されたものと思われる。これに対し石英は明ばん地域のものと同様にほとんど破壊されずに残っており、地熱変質作用に対して比較的安定であることがうかがわれる。

また観海寺一帯の自然湧出泉では炭酸カルシウムや石こうの沈澱物がみられ、以前この乙原の近くにあった別府金山の鉱床中には、カルサイト脈石が見い出されている。それゆえ、この調査域においても、これらの存在が予想されたのであるが、前述したようにカルサイトしか確認できず、石こうはまったく認められなかった。

X線回折の結果は表1に掲げた。構成鉱物の量は昨年明ばん地域のコア試料について行なったと同様に、回折記録のピークの高さから、まったく含まないもの、少量含むもの、かなり含むもの、および多量に含むものの4段階に分類し、それぞれを0、+、++、および+++の符号で表わした。

もちろん0の中には鉱物量が非常に少ないために検出不能となったものも含まれているであろう。

表1：X線回折結果と孔内温度

調査孔番号と深度 (m)	Q	Cr	F	Py	M	H	Cal.	備考	温度 (°C)
BV. 14									
地表	+	+	0	0	++	0	0		5 m : 31.3
2.2	++	0	0	0	+	0	0		10 m : 34.9
4	+	0	0	0	++	+?	0		
10	+++	0	0	0	+	+	+		
15	+	0	0	0	++	+	++		
BV. 15									
0 ~ 5	++	+	0	+	+	0	0		5 m : 25.6
9	0	++	0	0	+	+	0		10 m : 36.0
10	0	++	0	0	++	+?	0		14.3m : 46.9
13	++	0	0	0	++	+?	+++		
14	++	0	0	0	+	+	+++		
19	++	0	0	0	+	+	++		
BV. 16									
0 ~ 6.5	+	+	0	0	++	0	++		5 m : 41.6
6.5~11.5	++	0	0	++	++	+?	+		10 m : 46.5
11.5~19	++	0	0	0	++	+?	++		15 m : 68.0
20	++	0	0	+	+	+	++		18 m : 78.5
BV. 20									
1	++	0	0	0	0	0	0		5 m : 29.3
2.5	++	0	0	+	0	0	0	H.H+	10 m : 40
4.3	0	0	0	0	+	0	0		12 m : 49.8
6	++	0	0	0	++	+	++		
7	++	0	0	0	+	+	+		
10	+	0	0	0	+	+	+++		
11	+++	0	0	0	++	0	0		
12	++	0	+	0	+	0	0		
BV. 21									
1~2	0	+	0	0	++	0	0		5 m : 44.0
3.2	0	+	0	+	0	+	0		10 m : 59.0
6.5	++	0	0	0	++	+	++		14.2m : 73.5
8	++	0	0	0	++	+	++		
10	+++	0	0	0	+	+	++		
11.5	+	0	0	0	+	+	0		
BV. 22									
1.7	+	+	+	0	0	0	0		5 m : 27.1

5	+	+	+	+	+	0	0	10 m: 60.0 14 m: 89.2
9	+	0	0	+?	++	0	++	
12	+++	0	0	+	++	+	+?	
14	+	0	0	+	+	0	+++	
15	+	0	0	+	+	+	++	
17	+++	0	0	0	+	+	++	
BV. 24								
地表	++	+	0	0	++	0	0	5 m: 33.0
6.3~16.5	++	0	0	0	+	+	++	10 m: 35.0
16.5~20	++	0	0	+	+	+	+	15 m: 44.0
								18 m: 58.8
BV. 31								
2.2~ 4.7	+++	0	0	0	++	0	0	5 m: 35.3
4.7~ 5.5	++	+	0	++	++	0	0	10 m: 62.0
5.7~10.5	++	0	0	+	++	0	++	13 m: 69.0
10.5~14	+	0	0	0	++	+	++	
BV. 32								
2.5	++	+	0	0	++	0	0	5 m: 60.6
3.5	++	+?	0	+	+++	+	+	9 m: 78.5
9	++	+	0	+	++	+	+	
13	++	+	+	+	++	+	++	
BV. 33								
2	0	++	0	0	++	+	0	5 m: 47.9
4	0	++	0	0	0	+	++	10 m: 7.20
9	0	+	0	+	++	+	0	
12	+	0	0	+	++	+?	++	
14	+	0	0	0	++	+	++	
16	+	+	+	+	+	0	+	
18	+	+	+	0	++	+	+	

Q : 石英, Cr : クリソバライト, F : 長石, Py : 黄鉄鉱, M : モンモリロナイト
H : ハロイサイト, H.H : 加水ハロイサイト, Cal : カルサイト

さて、第1節でも述べたように、明ばん地熱変質地域においては各粘土鉱物およびクリソバライトの存在域にかなり明瞭な区別がみられ、その分布状態の特長から過去における岩石変質の過程、ひいては地熱活動の履歴を推定できる可能性が得られた。しかし、今回調査した乙原地熱地域では表1に示したX線回折結果からもわかるように、粘土鉱物に関しては地表に近い所にモンモリロナイトが存在し、それより下方ではモンモリロナイトとカオリン鉱物（ハロイサイト）が全体に混じり合ってボーリング孔底まで続き、明ばん域でみられたようなモンモリロナイト層とカオリン層の区別を認めることはできない。したがってクリソバライトについても、明ばん地域におけるようなカオリン層に集中的に共存するという傾向は見い出せないが、ただ、ほとんどすべての調査孔で地表に近い所のコア試料中に存在し、特にBV.32や33では孔底まで分布するというように、斜面の高部ほど、その存在深度が深くなる傾向が認められるという点は明ばん域での様相に近いといえる。

またカルサイトはBV.16を除いてある程度深い層に存在し、BV.32、33および16の0~6.5mの試料を除けばクリソバライトとは共存していない。

このような粘土鉱物、およびクリソバライトとカルサイトの垂直方向の分布状態の1例として図2中の測線(1)に沿う断面図を、それぞれ図3および図4に示す。

図3 測線(1)に沿う断面での粘土鉱物分布

M: モンモリロナイト、M&K: モンモリロナイトとカオリン鉱物

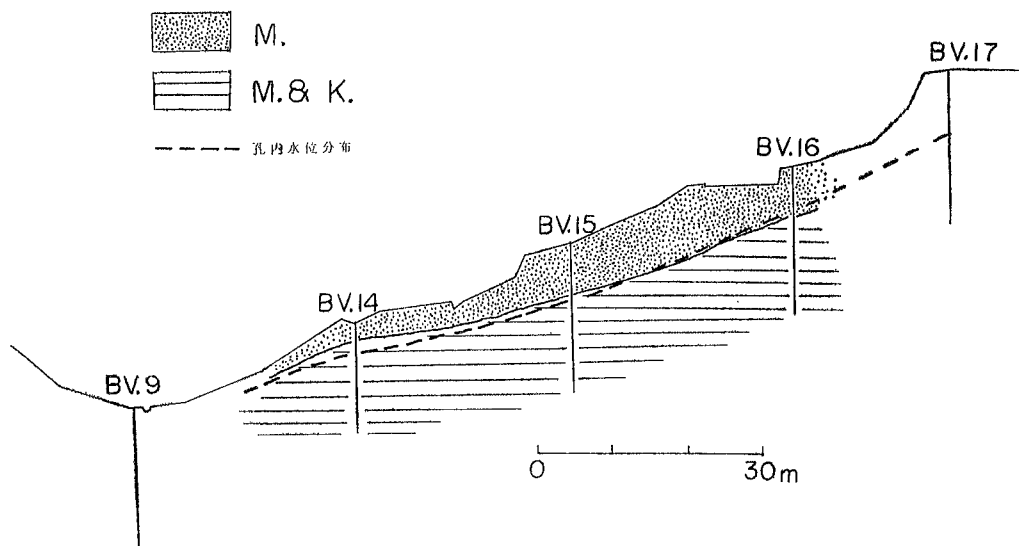


図4 測線(1)に沿う断面でのクリストバライトとカルサイト

Cr.: クリストバライト、Cal.: カルサイト

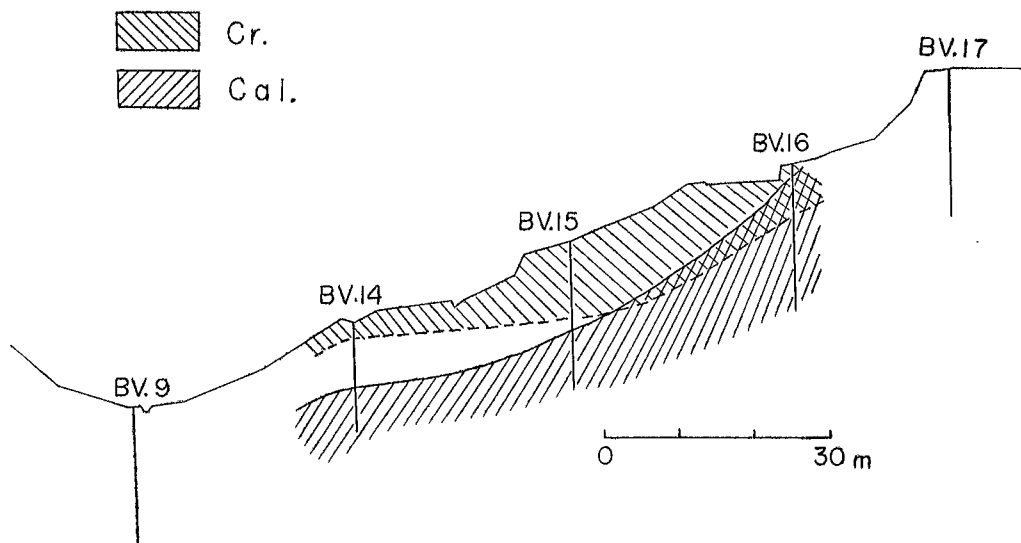


図3中には各調査孔で測定された最高の孔内水位をもとにして得た地下水面を破線で示したが、K 鉱物存在域および図4のカルサイト存在域は全体的にはほぼ現在の地下水存在範囲に限られている。もちろん孔内水位は降雨などの影響を受けて変化し、これまでのところ最高水位と最低水位の変動中はBV.15で約3.6mという観測がされているが、他の孔では1~2m程度で、上の傾向は保たれている。

このカルサイトは、コア試料の割れ目を充すような形で脈状に存在し、 Ca^{++} と HCO_3^- を含む水から炭酸ガスが逃げだすことによって沈澱したものと考えられるが、上記の地下水位との関係を考えて、過去においてもほぼ現在と同じような範囲に液体の水があったと想像される。

このようにして得た鉱物の垂直分布状態と、ここには掲げてない図2中の他の測線(2)、(3)に沿う断面図を参照すると、この乙原地熱地域では、地表近くにところどころでカオリン鉱物を含むモンモリ

ロナイトとクリストパライトの混合層があり、その下部にモンモリロナイト、カオリン鉱物およびカルサイトの混合層が分布していると考えてよいであろう。

ただし、BV.20附近では上の状態と若干異なり、表層にカオリン鉱物（加水ハロイサイト）の層があり、その下部にモンモリロナイトとカオリン鉱物（ハロイサイト）およびカルサイトの混合層、さらにその下方にモンモリロナイトの層が存在し、カルサイトが共存しているという点を除いては、明ばん域でみられた成層状態に近いといえる。

3. 現在、乙原地熱地域における地質調査用試錐孔から立ちのぼる蒸気や、孔中から採取した水はH₂Sの臭気を放っており、この地域では、地下からH₂Sガスの供給があることは確かのようなのである。もし、ここに酸素を含む地表水が浸透し、H₂Sガスと接触すれば、H₂Sは酸化されて硫酸酸性の水が生成されるに違いない。

表2：地下水の化学組成（1969年2月5日採水）

採水孔 番号	温度 (°C)	pH	Na ⁺ (mg/ℓ)	K ⁺ (mg/ℓ)	Ca ⁺⁺ (mg/ℓ)	Mg ⁺⁺ (mg/ℓ)	Cl ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/ℓ)	HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)
BV. 9	20*	4.27	4.2	1.9	23.3	0.21	7.7	80	9.6
BV. 14	25*	5.22	6.8	1.6	194	43.6	6.4	600	113
BV. 15	38*	5.18	3.9	0.5	113	16.9	5.5	102	326
BV. 16	51*	5.56	3.8	0.7	145	10.1	6.4	39	445
BV. 20		2.78	3.7	0.5	77.1	10.6	4.7	380	0
BV. 21	52*	5.70	9.5	1.3	125	33.1	8.8	222	330
BV. 22	68*	4.98	3.6	0.8	21.5	5.0	5.3	45	56.9
BV. 31	57*	6.34	3.5	0.5	57.2	9.8	5.3	122	88.3
BV. 34	25*	5.28	9.5	1.5	81.8	14.5	16.6	258	54.5
B. 5	52*	4.78	3.9	1.5	36.5	8.9	4.9	88	59.0
No. 1	84	6.04	28.8	4.5	122	20.5	4.3	312	12.4
No. 2	56.5*	5.76	11.0	1.6	148	37.6	15.5	114	581

*は1969年3月7日測定

表2には各ボーリング孔の水面近く、および水抜き用横井戸から採取した水の分析値を示すが、BV. 20においてSO₄⁻⁻高濃度で、pHが2.78という、明ばん温泉でみられる浅層温泉水と同様の組成を持つ硫酸酸性の水が見出された。採取された水はいずれも浅層水で、かつCl⁻濃度の小さいところから、地表からの浸透水と思われるので、このような硫酸性水は上記の機構によって生成されたものと考えられる。しかし、これ以外の、たとえばBV. 14のようにSO₄⁻⁻濃度が大きい水で、pHの値は5~6と中性に近く、一方Ca⁺⁺濃度の大きいものもいくつか見られる。これらの水の化学組成だけをみれば、CaSO₄と接触し、これを溶出したとも考えられるが、現在の地層中にはCaSO₄はまったく認められず、Ca⁺⁺源となり得るものは、多量に存在するカルサイトと思われる。もし、H₂Sから生じた硫酸が、このカルサイトを溶かすことがないものと仮定すれば、おのおのの水のイオン間の当量関係から、pHの値は2~3と計算され、BV. 20での値とほぼ等しくなる。したがって、SO₄⁻⁻濃度が大きく、pHの値の大きいものは、硫酸が地層中のカルサイトを溶かし出すことによって中和されたものであろう。

観海寺一帯にみられる石こうは、このような源からのCa⁺⁺とSO₄⁻⁻を含む水が地表で蒸発濃縮された結果、析出沈澱したとも考えられる。

これに対し、BV. 16のようにSO₄⁻⁻濃度が低い代りに、HCO₃⁻濃度の大きいものもいくつか認められる。これらは化学組成上、あきらかに地層中のカルサイトを溶出したものと考えられるが、もし浸透水が単に大気中の炭酸ガス分圧下でカルサイトと接触したとすれば、そのCa⁺⁺濃度は約25ppm

(16°C) 程度にしかなり得ないのに対し、⁵⁾ 実際は 145ppm とかなり大きく、大気以外からの炭酸ガス供給を考えなければならない。

いずれにしても、このような小地域内において、 $\text{Ca}^{++}-\text{HCO}_3^-$ 水と $\text{Ca}^{++}-\text{SO}_4^{--}$ 水とが存在することは、地熱地域における地下水質の観点からも興味深い。

図5には水路が走っている谷をへだてた地点にあるBV. 9を除いた各ボーリング孔で測定された最高水位を基にして作成した水頭分布を示すが、主要地下水流は、BV. 24と17を結ぶ線附近からBV. 20の方向に向い、これにBV. 34附近からの別の水が混入している傾向を示している。

これと、図6に示す HCO_3^- 当量分布、図7に示す SO_4^{--} 当量分布を比較すると、 HCO_3^- は地下水が流下するに伴ない、その濃度が減少し逆に SO_4^{--} 濃度は増加してBV. 14附近で極大値を示す傾向が認められる。また図8の $\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$ 当量分布をみると、 SO_4^{--} とほぼ同様の分布状態となっている。

図5 水頭分布図 ●：測点

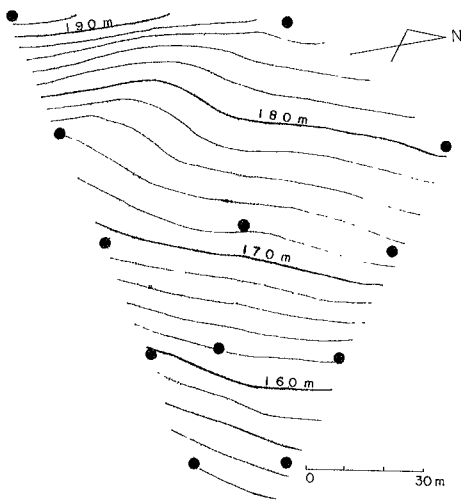


図6 HCO_3^- 当量分布 (単位はmequ/l) ●：測点

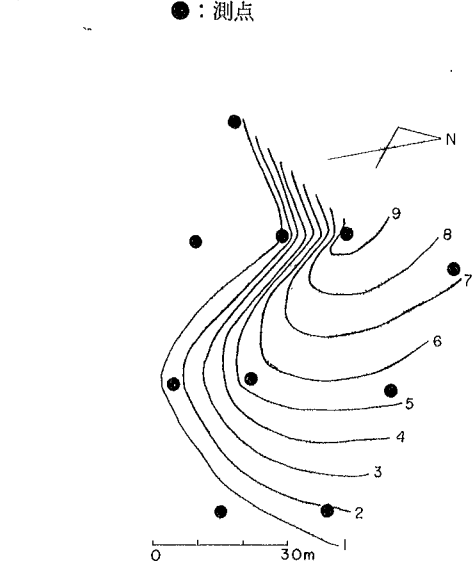


図7 SO_4^{--} 当量分布 (単位はmequ/l) ●：測点

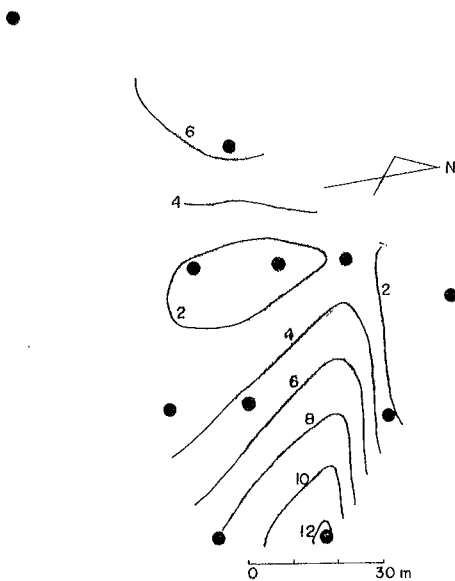
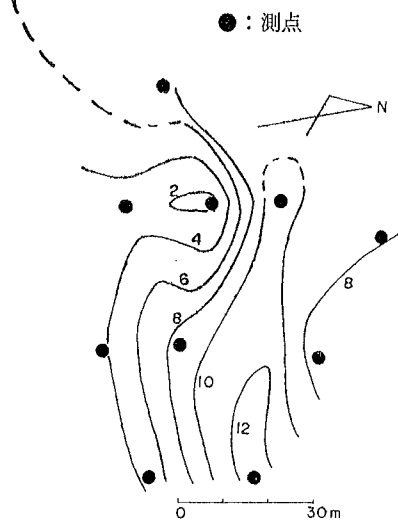


図8 $\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$ 当量分布 (単位はmequ/l) ●：測点



これらの水頭分布および化学成分分布状態から、地下水流動に伴う化学組成の変化過程が、つぎのように推定されるであろう。

この調査域より上流部で浸透した地表水は地下で炭酸ガスの供給を受けつつ地層中のカルサイトを溶出して、 Ca^{2+} と HCO_3^- 濃度の比較的大きい水となり流下する。つぎに、この調査域で地下からの H_2S ガスの供給を受け、これが水中の酸素により酸化されて硫酸が生じる。もちろん、この区域においても地表水が浸透し、流下してきた地下水は、ここでも酸素の補給を若干は受けるに違いない。そして、この硫酸の作用により、 HCO_3^- は気相中に追い出され、さらに、地層中に含まれているカルサイトも溶出される。

このような推定は、表1からうかがわれるように、BV.14附近で地層中のカルサイト含有量が少なくなっている傾向とも一致する。ただ、上の推定で、炭酸ガスと硫化水素ガスの供給源をいまのところ異なったものと考えていることには問題点が残されている。また、下流部に位置するBV.20の水だけは、上に示した機構からはずれて、現在なお、低pH値を示している。この水が将来においてもやはり低pH値を保つものか、あるいは地層中のカルサイトを溶解して高いpH値を示すようになるかは興味のあるところである。これらの点については今後の研究を待ちたい。

ともかく、このように、地熱活動が衰弱している現在のこの地域では、硫酸が生成されていることが知られた。しかし、地層中のカルサイトは、現在のような硫酸条件下では決して沈澱するものではなく、過去においてこの地域の地下水は、中性またはアルカリ性条件下にあったことを物語っている。したがって、この地域における地熱活動の初期的段階では、地下からの H_2S ガスの供給がなかったかあるいは酸化条件が達成されていなかったかのいずれかであったと考えざるを得ない。しかし、地熱活動の衰えている現在、なお H_2S ガスが存在していることを思えば、過去においては、現在より多量の H_2S ガスの供給があり、酸化条件が達成されていなかったとするのが合理的であろう。

このような時期に、より上流からの浸透地下水が流下して来たとしても、激しい地熱活動のため、地下水は沸騰し、 H_2S も O_2 も水中から追い出されて、硫酸は生じにくかったのではあるまいか。また、沸騰現象下では、地下水からの炭酸ガス逸散も容易であるから、カルサイト沈澱物の生成の面からも上の仮定は首肯される。もちろん、このようにして追い出された H_2S が地表まで達すると、地表水に吸収され、ここで硫酸酸性条件が成立する可能性がある。もし、そうとすれば、現在の表層に、カオリン鉱物をもっと一般的に見られるであろうと思われるが、今回の調査では、そのような証拠を見出すことはできなかった。ただ、地形的には、過去に何度も地すべりが起こり、表層が剝離されている可能性がある。

いずれにしても、乙原地域の地熱変質の初期的段階では、高温で、中性またはアルカリ性の熱水や蒸気が存在し、この熱水からカルサイトが沈澱すると共に、岩石はこれらの作用によりモンモリロナイト粘土鉱物へと変質したと考えられる。その後、地熱活動が衰退するにつれて、地下水の沸騰現象はなくなり、また地表水も徐々に浸透して、現在のような H_2S 酸化による硫酸条件が達成されるようになったのであろう。

そして、この硫酸は、おもに地層中に多量に沈澱しているカルサイトを溶かすことに費されて中和されるため、強い酸性条件とはならず、したがって、モンモリロナイトからカオリン鉱物への転化、あるいはクリストバライト結晶化はそれほど進展しなかったものと思われる。

しかし、モンモリロナイトも若干は硫酸の作用を受け、徐々にカオリン鉱物やオパール質物質へ転化してゆくに相違ない。図3に示したように、この地域のカオリン鉱物存在範囲と、現在の地下水存在域とがほぼ一致していることは、上記転化過程が起こっていることを暗示しているとも考えられる。また、地表近くのカルサイトの含まれていない地層中で、クリストバライト結晶化のはじまっていることは、浸透水と接触した H_2S から生じた硫酸が直接モンモリロナイトに作用していることを示しているのではあるまいか。

終わりにあたり、御指導御助言いただいた京大地球物理学研究所吉川、山下両理博、X線回折法につき御教示をたまわった九大温研古賀理博をはじめ、豊富なコア試料の御提供をいただいた大分県砂防課、採水に御協力願った九州土地開発株式会社の諸氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 須藤：粘土鉱物、岩波全書、1954
- 2) 古賀：大分県温泉調査研究会報告16号、PP.17~20、1965
- 3) 南、小坂知、小坂丈：温泉科学、17巻、1号、PP.28~35、1966
- 4) 吉川、由佐：大分県温泉調査研究会報告 19号、PP.37~44、1968
- 5) Yuhara, K. and A. Tomosada : Special Contrib. Geophys. Inst. Kyoto Univ. No. 5、PP.33~44、1965
- 6) Seidell, A. : Solubilities of Inorganic and Organic Substances, P.191、1919

別府南部温泉地域における沈澱物について

京大理学部 由 佐 悠 紀

1 まえがき

別府温泉の田の湯一帯より山の手にかけて、比較的近年に開発された温泉湧出管内には沈澱物の付着が大きく、採湯上支障をきたしているものが少なくないので、その対策が望まれている。昨年筆者等は別府市境川以南地域のうち、日豊線より山側の地域において、沈澱物の付着状態や種類を調査し、それらの生成因についても若干の考察を行なった。その概要は次の通りである。

1. 沈澱物には炭酸カルシウム質より成るもの、鉄とシリカを主成分とするもの、およびシリカを主成分とするものの3種がある。

2. シリカ主成分のものは、沸騰泉にのみ見られ、炭酸カルシウム質沈澱物は60～70℃以上の泉温を持つ温泉に限られ、その結晶形は、ほとんどすべてがアラゴナイトである。また鉄とシリカを主成分とするものは、50～60℃の比較的低温の泉源に沈澱している。

3. 温泉水採湯上、特に障害となるのは炭酸カルシウム質沈澱物であって、直接関与する効果として温泉水からの炭酸ガス逸散過程が考えられる。

4. 調査した温泉水に含まれる炭酸イオンとカルシウムイオンのモル濃度積は、ほとんどが炭酸カルシウム（カルサイト）の溶解度積より大きく、過飽和状態にあると考えられる。

そこで今回は、この調査域より下流側にある日豊線より海側の地域を対象とし、浜脇より観光港に至る間の温泉に付着している沈澱物を調査したが、そのうち秋葉通りから境川までの区間は、従来スケールによる被害があまり報告されていないため、沈澱物はあるとしてもその量はかなり少ないと考えて、一応今回の調査対象からはぶくこととした。これらの調査結果は本報告の終わりに掲げた表示に示してある。

2 沈澱物の分布

今回調査した範囲にある温泉の泉温は、ほとんどが50℃以下の低温を示している。調査孔数は浜脇一秋葉通地区で31孔、そのうち自噴泉が11孔、コンプレッサー揚湯泉が18孔、他の2孔は吸いあげポンプ揚湯である。沈澱物はほとんどすべての温泉孔で見られたが、その量は少なく、揚湯上それほどの障害とはなっていないようである。沈澱物の色は茶褐色で軟かく、X線回折の結果、田の湯一帯で見られる沈澱物と同様に鉄を主成分としており、炭酸カルシウム質のものはまったく認められなかった。

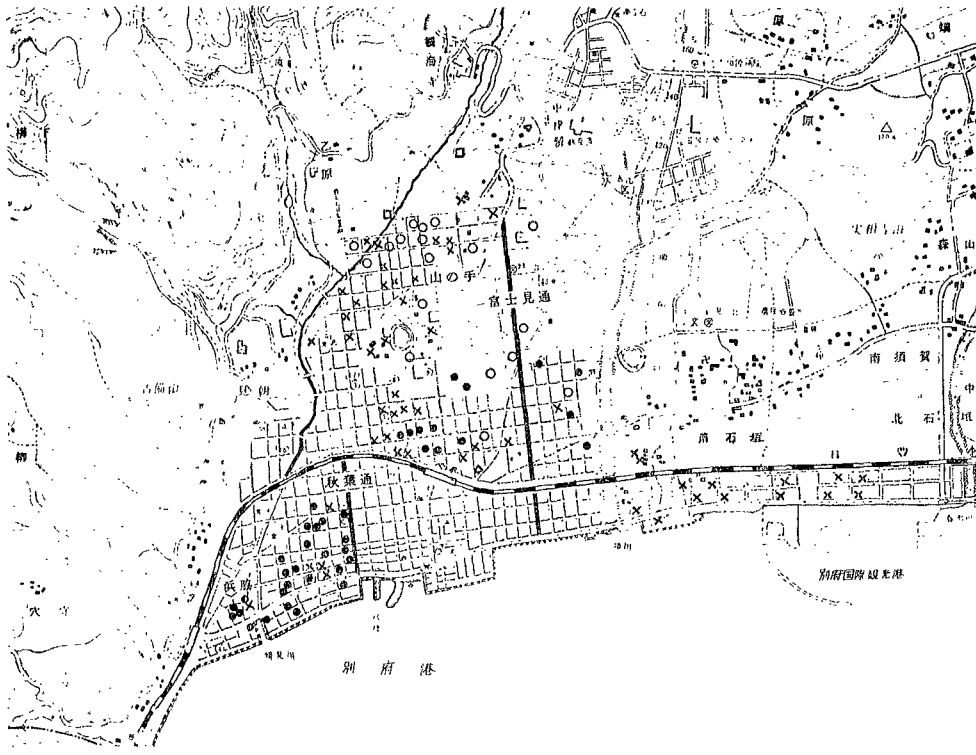
また境川から観光港に至る一帯では14孔について調査したが、それらはすべてコンプレッサー揚湯泉である。沈澱物はわずかに2、3孔で茶色の痕跡が浴槽などに見られる程度にすぎず、ほとんど無いと云ってもよい状態である。

図1に、昨年および今年の調査結果をまとめて、沈澱物の有無と種類の分布を示すが、炭酸カルシウム質のものは、山の手から富士見通にかけての一帯に沈澱し、それより下流部の温泉には鉄を主成分とする沈澱物のあることがわかる。しかし、これら沈澱物の種類に関する地域的分布は、昨年の報告で述べたように、温泉水の性質の分布に基づく、見かけ上の関係を表わしているにすぎない。

このように別府南部温泉地域においては、三種類の沈澱物が認められるが、まえがきで述べたように、温泉利用の面から、もっとも問題となるのは炭酸カルシウム質沈澱物であるので、以下ではこの炭酸カルシウム質沈澱物を取り扱うことにする。

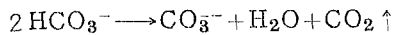
図1 沈澱物の分布

○:アラゴナイ ト△:カルサイト □:無定形シリカ ●:鉄主成分 ×:沈澱物の認められないもの



3 温泉水の炭酸カルシウム飽和指数

温泉水から炭酸カルシウムが析出沈澱する際、炭酸ガスのふるまいが主要な役割を果すということは、多くの研究者の指摘するところである。別府南部温泉地域では、泉源のほとんどがコンプレッサ一揚湯泉か、または沸騰泉であるから、温泉水は湧出管中で気相と相接して流動し、水中の炭酸ガスは非常に逃げ易い状態にあると考えられる。このように水中から気相へと炭酸ガスが逃げ出せば、



なる化学反応が起り、温泉水中に CO_3^{--} が増し、その結果カルシウムイオンと炭酸イオンのモル濃度積 $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値が増大するであろう。このとき、もし $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値が炭酸カルシウム酸溶解度積 P より大きくなれば、温泉水は炭酸カルシウムの過飽和液となり、炭酸カルシウムが析出する傾向となる。したがって、現在地表で得られる温泉水中の $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値を求め、 P と比較することにより、その温泉水が炭酸カルシウムを沈澱させ得る水か否かの判定が得られるものと予想される。このような理由から、昨年の報告では各温泉水の $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値を求めたが、炭酸カルシウム沈澱物の有無にかかわらず、調査したほとんどすべての温泉水の値は P を越える値を示し、沈澱物の有無による温泉水の化学的性質の相違を見出すことはできなかった。しかし、このような結果は、別府南部温泉地域のうち、日豊線より山の手比較的狭い範囲においてのみ得られたものであるから、この結果をそのまま南部温泉地域の温泉水の化学的特性とすることは危険である。また昨年の報告では $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値を求めるのに、温泉水中の Cl^- 等共存化学成分の濃度（イオン強度）の効果は考慮していなかった。したがって、このイオン強度の効果をも考慮して、昨年の未調査域をも含めた別府南部温泉地域全体にわたっての温泉水の炭酸カルシウム沈澱物の有無との関係を改めて考察してみる必要がある。

従来、水道水やボイラー用水等に関して、それらが腐食性であるか、あるいは炭酸カルシウム等の沈澱物を析出する傾向にあるかを判定する基準として、ランゲリアー指数（別名飽和指数）が用いられてきた。益子等はこの指数を温泉水にそのまま適用して、炭酸カルシウム沈澱物析出の判定に有効であることを見いだしている。この指数の意味については甘露寺の論文に詳しく紹介してあるので、ここでは改めて述べないが、これまで筆者らが別府温泉において取り扱ってきた、 $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ と P とを用いて、これを書き換えると

$$S = \log \{ [Ca^{++}] \gamma_1 \cdot [CO_3^{--}] \gamma_2 \} - \log P \quad (1)$$

と表わされ、この形の方が、飽和指数の意味をより明確に表示していると思われる。ここに、S は飽和指数、 γ_1 および γ_2 はそれぞれ、 Ca^{++} および CO_3^{--} の活度係数であり、対数は常用対数である。

(1)式で、 $S > 0$ ならば、対象としている温泉水は炭酸カルシウムの過飽和状態で、炭酸カルシウムが沈澱する傾向にあり、 $S = 0$ ならば飽和状態、 $S < 0$ ならば不飽和状態で、共に沈澱物は析出しなはずである。

さて (1)式の $[CO_3^{--}]$ を求めるのに、炭酸成分間には常に平衡状態が成立しているものとして、重炭酸イオンモル濃度 $[HCO_3^-]$ および水素イオンモル濃度 $[H^+]$ から

$$[CO_3^{--}] \gamma_2 = K_2 \cdot \frac{[HCO_3^-] \gamma_3}{[H^+]} \quad (2)$$

と与えられる。ここに K_2 は炭酸の二次解離恒数、 γ_3 は HCO_3^- の活度係数である。

したがって、(1)、(2)より飽和指数 S は次のように書き換えられる。

$$S = \log \left\{ [Ca^{++}] \cdot K_2 \cdot \frac{[HCO_3^-] \bar{\gamma}^2}{[H^+]} \right\} - \log P \quad (3)$$

$$\bar{\gamma}^2 = \gamma_1 \gamma_3$$

ここに $\bar{\gamma}$ は平均活度係数である。

実際の計算に必要な P と K_2 の値には種々の実験値があり、各研究者によりその値が若干異なるが、ここでは表 1 に示した値を採用し、各温泉水の湧出温度にまで内挿して用いることにする。ただ P の値は、炭酸カルシウムの同質多象形のうちカルサイトに対する値であり、それに対し別府温泉で見られるものは、ほとんどすべてがアラゴナイトである。P の値は、このような結晶形の違いにより若干異なるといわれているから、厳密には表 1 の値を別府温泉にそのまま適用することはできないが、アラゴナイトに対する P の値についての研究資料を入手し得なかったので、近似値としてこの値を用いることにした。

表 1 カルサイトの溶解度積 P と炭酸の二次解離恒数 K_2

温 度(°C)	15°C	25°C	50°C	75°C	100°C
$P \times 10^{10} (\text{mol/l})^2$		58	19	7.2	3.4
$K_1 \times 10^7 (\text{mol/l})$	3.8				7.4

$$\log K_2 = 1.95 \log K_1 + 2.06 \quad K_1 : \text{炭酸の一次解離恒数}$$

平均活度係数 $\bar{\gamma}$ は $NaCl$ と $Ca(HCO_3)_2$ のみの溶液中での値が Ellis により、イオン強度と温度の函数としてグラフ化されている。調査した温泉水の主要成分は、 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{++} および HCO_3^- であるから、他の化学成分のイオン強度は無視してもよいと思われる。この場合、イオン強度は $NaCl$ (mol/l) + $3 \times Ca(HCO_3)_2$ (mol/l) で与えられるが、別府温泉では（他の地域の多くの温泉水がそうであるが） Na^+ と Cl^- および Ca^{++} と HCO_3^- は必ずしも等当量関係にはないのが普通である。そこで、ここでは $[Cl^-] + \frac{3}{2} [HCO_3^-]$ を近似的にイオン強度として用い、平均活度係数 $\bar{\gamma}$ を求めることにする。

つぎに、 $[H^+]$ はガラス電極法で得た pH から、 $[Ca^{++}]$ は E. D. T. A キレート滴定より、また $[HCO_3^-]$ は B. C. G アルカリ度から求めた。もちろん、よく云われているように、このアルカリ度がそのまま $[HCO_3^-]$ を示すものではないが、調査した温泉水の pH の範囲 (6~8.5) では、両者

はほぼ等しいとみなしてよいであろう。

これで、各温泉水の飽和指数 S を求めることができるわけであるが、なお問題点が残されている。と云うのは、一つには $[\text{HCO}_3^-]$ も $[\text{H}^+]$ も温泉水を採水後室温まで冷却した後での分析値を用いていることであり、また一つには、実験室に持ち帰って分析するまでの間に温泉水中から炭酸ガスが逃げ出すことが考えられる。それゆえ、 $[\text{HCO}_3^-]$ も $[\text{H}^+]$ も厳密には湧出口での値を示さない。しかし、比較する温泉水すべてが、同じような条件の下で分析されたものであるから、実験室での値を湧出口での値として用いても、各泉源間の相対的な関係を知る上には有効であろうと考えられる。

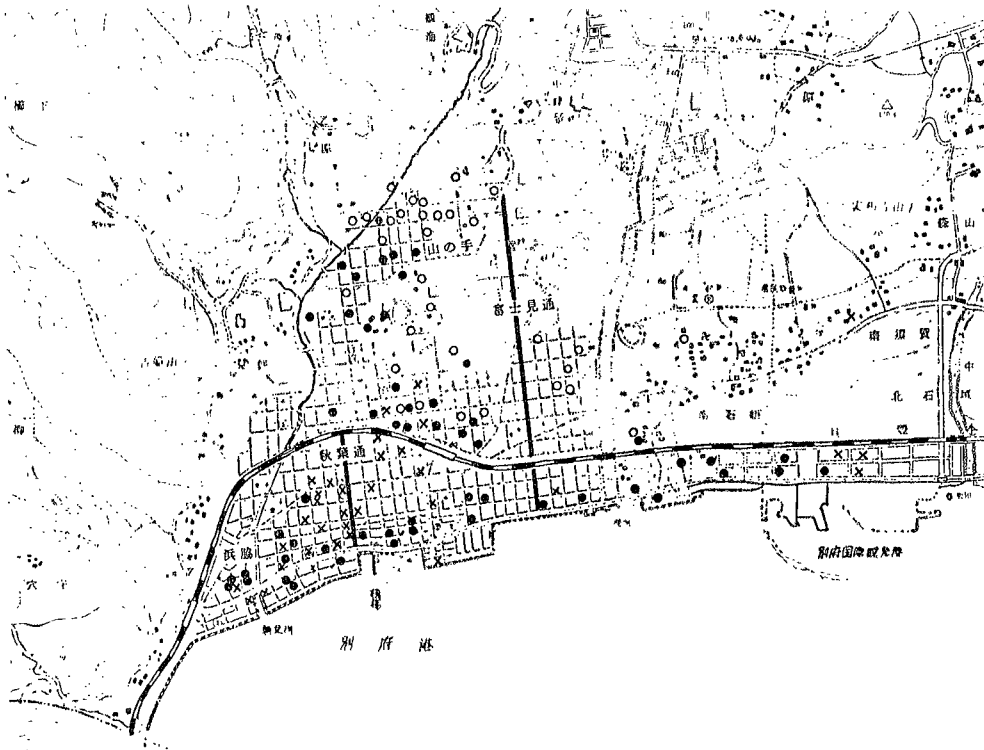
このようにして、昨年以來調査した温泉水の飽和指数 S を求めたが、日豊線より海側で、秋葉通から境川に至る未調査城一帯については、大分県衛生研究所で行なわれた分析値の一部を利用して、 S を求めた。

図2には、このような飽和指数 S の地理的分布を示すが、それらの値を $S < 0$ 、 $0 \leq S < 1.0$ および $S \geq 1.0$ の3段階にわけて、それぞれを \times 、 \bullet および \circ で表示した。この図から、山の手から田の湯を経て富士見通に至る地域では、 S の値が大きく、下流に行くにつれて、その値は小さくなり、秋葉通一帯では負の値を示し、温泉水は炭酸カルシウムの不飽和水となっていることがわかる。これを図1の沈澱物種類分布と比較すると、湧出管内で炭酸カルシウムを沈澱させている温泉水はすべて S の値が1.0以上となっている。

益子等が白浜、湯田中温泉等14ヶ所の温泉水について得た結果によれば、 $S \geq 1.1$ のものに炭酸カルシウム沈澱物が析出しており、ここで得た結果とかなりよく一致しているとみてよいであろう。

図2 炭酸カルシウム飽和指数 S の分布

\circ : $S \geq 1.0$ \bullet : $0 \leq S < 1.0$ \times : $S < 0$



ただ、ここで注意しておきたいことは、湧出管内に炭酸カルシウムの付着していない、 $S < 1.0$ の温泉で、温泉水が湧出後長時間にわたって空気と接すれば、少量ではあるが、炭酸カルシウムを沈澱

させ得るということである。その例を図1中に△印で示したが、ここについては前年度の報告¹⁾で述べたように、引湯管のわずかな裂け目から少量の湯が漏れでている所に、少量のカルサイトが沈澱している。しかし、湧出管内には沈澱物は見られず、Sの値も0.10と比較的小さい。それゆえここで述べた $S \geq 1.0$ のものに炭酸カルシウム沈澱物があるというのは、湧出管内の沈澱だけに限られる。

さて、炭酸カルシウム沈澱物のある温泉水の飽和指数はすべて1.0以上であるが、その逆は必ずしも成立していない。図1と図2を比べても $S \geq 1.0$ のものの中に、炭酸カルシウム沈澱物の見られないものが、かなり多数存在する。したがって、炭酸カルシウム沈澱物析出の指標として、飽和指数だけを用いることは不十分のように思われるであろう。

甘露寺は、もう一つの指標として Stability index なるものを用いており、これと飽和指数 S を併用することにより、炭酸カルシウム沈澱物の有無の判定が、よりよく行なわれることを示している。

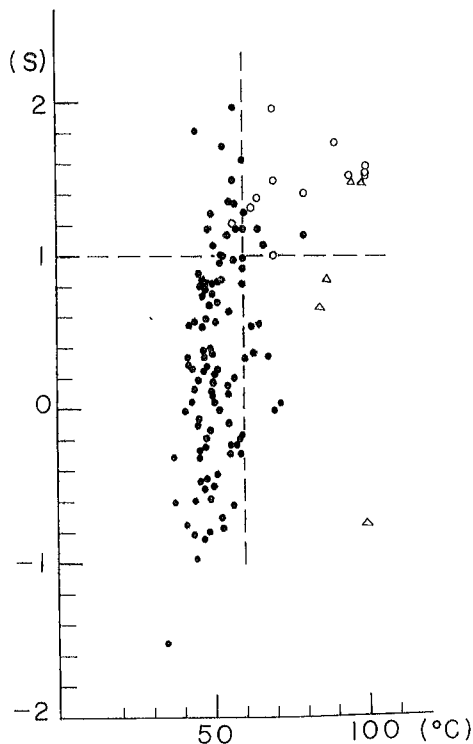
この Stability index をこの報告で用いている表示法で示せば、次のように表わされ、この値が6より小さいほど沈澱物が析出しやすいとされている。

$$\text{Stab. index} = 2 \log P - \log \{ [Ca^{++}] \gamma_1 [CO_3^{--}] \gamma_2 \} - \log \{ K_2 \cdot [Ca^{++}] \gamma_1 \cdot [HCO_3^-] \gamma_3 \} \quad (4)$$

この6と云う値の意味はよくわからないが、とにかく、この指数の長所は、(4)から推定されるように同じ飽和指数を持つ温泉水において、 $[Ca^{++}]$ と $[HCO_3^-]$ の値が大きいものほど沈澱が析出しやすいという傾向を表わし得るということであろう。もちろん、この指数の値は $[Ca^{++}]$ と $[HCO_3^-]$ の値が大きいほど、小さくなる。

そこで図2中の $S \geq 1.0$ 以上のすべてについて、この Stability index を求めてみたが、炭酸カルシウム沈澱物の有無による違いを見出すことはできなかった。

図3 泉温と飽和指数Sの関係
○:炭酸カルシウム沈澱物、あり
●:炭酸カルシウム沈澱物、なし
△:照波園地区の温泉水



別府温泉の場合、前年度の報告¹⁾で述べたように温泉水の温度が60~70°C以上のものに炭酸カルシウム質沈澱物が見られる傾向にあったが、これとSとの関係などのようになっているであろうか。光田によれば、和歌山県白浜温泉においても、別府温泉と同様に、ほぼ70°C以上の温泉の湧出管に炭酸カルシウム沈澱物が付着しているという。

試みに、図3に各温泉水の飽和指数を縦軸に、温度を横軸にとって点を画してみた。図中に示した○印が湧出管内に炭酸カルシウム沈澱物のあるものである。これより、飽和指数が1.0以上のものの中で、泉温60°C以上のものに炭酸カルシウム沈澱物が生じ、それより低温では沈澱しない傾向のあることがうかがわれる。

図中には比較の意味で、以前分析した別府北部温泉群中、照波園地区のものを△印で示しておいたが、 $S > 1.0$ の2孔には炭酸カルシウム様の沈澱物が認められ、 $S < 1.0$ の3孔には、まったく認められなかった。

以上の結果を総合すれば、湧出管内で炭酸カルシウム沈澱物を析出する温泉水は、飽和指数1.0以上、泉温がほぼ60°C以上のものに限られる傾向がある。したがって、炭酸カルシウム沈澱物が

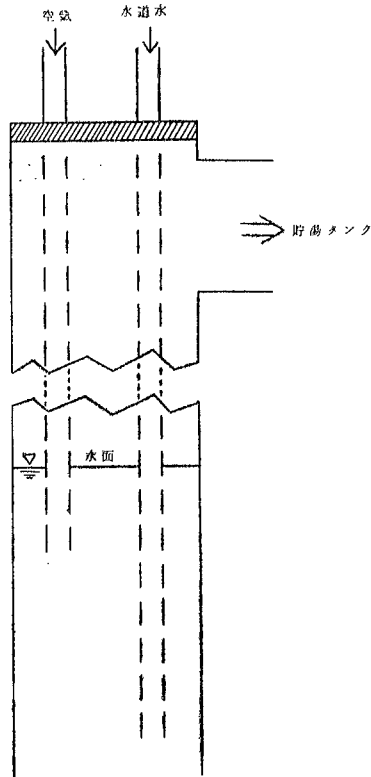
湧出管内で生じないようにするには、温泉水の温度や化学組成がこの範囲から外れるような方法を講じねばならないことになる。

なお、ここで述べた温度の効果については、今のところ理由がよくわからず、今後の研究が待たれる。

4 炭酸カルシウム沈澱物への対策

温泉水から炭酸カルシウムが沈澱しないようにするため、従来いくつかの対策が講じられている。沈澱の起る主因は温泉水中からの炭酸ガス逸出であるから、この逸出を抑制することが、まず考えられる。実際に函館市の湯川温泉では、温泉水中から分離した炭酸ガスを再び温泉水に吹き込むこと

図4 温泉プール泉源における水道水注入法



よって、かなりの効果をあげているようである。光田⁹⁾和歌山県白浜温泉の研究で、泉温を低下させると共に、温泉水を酸性に近づけることが効果的であろうとしているが、これも温泉水中からの炭酸ガス逸散を抑えることによって目的の半ばは達成される。

また塩溶液中での平均活度係数 $\bar{\gamma}$ は、その塩分濃度の高いほど小さいという事実を用いて、温泉水中へ食塩(水)や海水を投入して、飽和指数 S の値を小さくする方法も考えられないではないが、投入の手間や泉源の立地条件などを考えれば、必ずしも実用的ではないと思われる。

別府温泉でも、近時炭酸カルシウム沈澱物の付着防止策が用いられつつある。それは、泉温60~70℃以下の温泉では付着がみられないという経験に基づいたのものであろうがその方法の一つは、堀削深度を浅くして、より低温な温泉水を採取することであり、前年度の報告中に示した地域では、この方法でかなりの効果をあげている。他の一つは、温泉孔に水道水等の低温水を注入して温度を下げる方法である。この方法を用いれば、化学成分濃度をも希釈できるので、飽和指数 S も同時に低下させる効果もはたらく。別府市営温泉プールでは、図4に示すような設備を施して水道水を注入しているが、沈澱物付着量は従来に比べて約3ヶ月に一度の割で除去しても十分なほどに激減している。

筆者は別府市温泉課の厚意により、1969年1月21日に水道水注入前後の温泉水の温度および化学組成の変化を調べることができた。その結果を表2に示す。

表2 水道水注入前後の湧出水の化学組成

	温度	pH	[Ca ⁺⁺](mmol/l)	[HCO ₃ ⁻](mmol/l)	[Cl ⁻](mmol/l)	湧出量
水道水注入前	90℃	6.97	2.47	4.58	11.74	157(l/min)
々後	77℃	7.19	2.28	4.23	9.67	167(l/min)
水道水	13.8℃	7.43	0.23	0.77	tr	

水道水注入前に90℃であった泉温は、13.8℃の水道を注入することにより、数分後に77℃まで低下した。湧出量は注入前に比べてわずかに増えているようであるが、測定精度を考慮すれば、ほとんど変化していないとみなしてよい程度である。それに対し、各化学成分濃度は希釈されて減少し、pHは逆に増大している。しかし、この表の値をみれば、希釈によるCl⁻濃度の減少量が少ないように思われるが、この間の事情はどのようになっているであろうか。

ここで、注入前の原温泉水に混合率 ξ で水道水が混入した場合、イオン濃度や温度など、それぞれの水に固有な要素がそのまま変化せず、ただ両者の混合のみによって注入後の温泉水における値を示すものと仮定して、その原温泉水における値を A_1 、水道水における値を A_2 とするとき、混合後の値 A は次により与えられる。

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{A_1 + \xi A_2}{1 + \xi} \\ \xi &= Q_2 / Q_1, \quad Q_1 + Q_2 = Q \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに Q は湧出量、 Q_1 および Q_2 はその中に占める原温泉水および水道水の量を示す。

上記の仮定をもっともよく満たせる要素として Cl^- 濃度を用い、水道水中の Cl^- 濃度を原温泉水中の濃度に比べて無視すれば、 ξ は(1)式より次のように与えられる。

$$\xi = \frac{[\text{Cl}^-]_1 - [\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}^-]} \quad (6)$$

ここに、 $[\text{Cl}^-]_1$ は原温泉水の、 $[\text{Cl}^-]$ は水道水混入後の濃度である。

この式に表 2 の値を代入すれば、 $\xi = 0.215$ と求められ、この値と(5)式を用いて、水道水注入後の温度を見積れば、温度 $T = 76.4^\circ\text{C}$ となり実測値とほぼ一致する。また、このときの湧出量 Q 中の水道水量 Q_2 は(5)式を書きかえた $Q_2 = Q \cdot \xi / (1 + \xi)$ 中に $Q = 167 \text{ l/min}$ を代入して、 $Q_2 = 30 \text{ l/min}$ と求められる。水道水は 50 分間にわたって注入されたから、この間約 1.5 m^3 の水道水が原温泉水と混合して地表に回収されたことになる。この間の注入水道水量は量水器の読みによると約 1.6 m^3 であったから、測定精度を考慮すれば、注入された水道水のすべてが再び地表へと戻り、そのとき温度も、 Cl^- 濃度も混合による相当分だけ低下または希釈されたと考えてよいであろう。

しかし、水道水注入前の温泉水は湧出途中で炭酸カルシウムを多量に沈澱させているのに対し、注入後の温泉水はわずかに沈澱物を落してはいるが、その量は微々たるものだから、 Ca^{++} や HCO_3^- 濃度については、このような単純希釈だけでの計算は成立しないであろう。

今、かりに地下の原温泉水が沈澱物を落とすことなく、注入水道水との単純希釈の効果だけにより Ca^{++} と HCO_3^- を変化させて地表に達するとすれば、その時の値は(5)式を書きかえた次式により与えられる。

$$A_1 = (1 + \xi)A - \xi A_2 \quad (7)$$

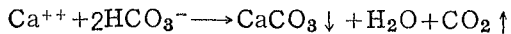
水道水注入後は沈澱物の付着が非常に少ないので、沈澱による Ca^{++} と HCO_3^- の損失は無視できるとして、注入後のこれらの濃度を A とし、水道水中の濃度を A_2 とし、 $\xi = 0.215$ を用いれば、 A_1 として $[\text{Ca}^{++}]_1 = 2.82 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 、 $[\text{HCO}_3^-]_1 = 5.31 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ がそれぞれ求められ、これらを水道水注入にかかわらぬ地下における原温泉水の濃度を近似的に示すものとする。

したがって、水道水注入前にもし途中で沈澱を析出することなく湧出したとすれば、その温泉水はほぼこれに近い濃度を示すに違いない。ところが、これらの値は、表 2 中に示した水道水注入前の実測値よりそれぞれ、 $\Delta[\text{Ca}^{++}] = 0.35 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ および $\Delta[\text{HCO}_3^-] = 0.73 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ だけ大きく、この Ca^{++} モル濃度の減少量が、水道水注入前の温泉水から沈澱した炭酸カルシウムの量に対応するものと考えられる。これを炭酸カルシウムに相当する重量であらわすと、 0.035 g/l 、湧出量は約 160 l/min であるから 1 日に 8 時間ずつ揚水したとして、日に約 2.7 kg の沈澱量となる。この値は昨年調査した沸騰泉での最大沈澱量約 4 kg/day と比べても、十分にあり得る値である。

ただし、水道水注入後の Ca^{++} 濃度から、原温泉水の濃度を見積るには、希釈の効果だけを考慮して(7)式をそのまま用いることができるが、 HCO_3^- 濃度については、厳密にはこの希釈効果のほかに湧出途中で炭酸ガス逸散の効果と炭酸成分間の緩衝作用の効果をも考慮しなければならないことは言うまでもない。それゆえ上記の $\Delta[\text{HCO}_3^-]$ の値は水道水注入後からの炭酸ガス逸散および緩衝作用の効果は、ほとんど無視できるという仮定の下で得られた値である。

さて、たびたび述べるように、炭酸カルシウム沈澱の主因は温泉水中の炭酸ガス逸散と考えら

れ、その化学反応式は



と与えられる。したがって、湧出管底にある温泉水が炭酸カルシウムで飽和し、湧出途中でこのような反応機構が成立しているならば、沈澱による HCO_3^- モル濃度の減少量は、 Ca^{++} モル濃度の減少量の2倍となる筈であり、さきに得た $\Delta[\text{Ca}^{++}]$ および $\Delta[\text{HCO}_3^-]$ の値はこの関係を非常によく近似している。

このことはまた、温泉プール泉源におけるような温泉水の炭酸成分については、 $\Delta[\text{HCO}_3^-]$ を求めた上記計算の仮定が許されるということの意味しているものと思われる。

このようにして、温泉プール泉源では、水道水注入により沈澱量が激減しているのであるが、まだ少量の沈澱物が付着している。したがって、完全に沈澱を抑えるためには、さらに多量の水道水を注入してやらねばならない。図3について述べたように、一応60℃まで温度を低下させれば、まず沈澱は起らないと考えられ、そのためには $\xi=0.65$ 程度にしなくてはならないが、表2に示したように、水道水を注入しても現在のところほとんど湧出量の変化はないと思われるので、この混合率に達するには、現在の約2倍の水道水を必要とすることになる。

このように水道水を注入してやれば、温度の低下と共に、 Ca^{++} や HCO_3^- の希釈のため、飽和指数Sも小さくなることが予想されるが、注入後の温泉水のpHや炭酸成分間の緩衝作用の効果がわからない現状では、その低下量を正しく見積ることは不可能に近い。また図2に示したように、下流部にゆくにしたがって飽和指数の値が小さくなっている別府温泉の現状も、あるいは山の手一帯に源を持つ飽和指数の値の大きい高温温泉水の希釈現象の一つの表われであるとの解釈も可能であろうが、 HCO_3^- 濃度などの分布をみると、沸騰泉地域に見られるような単一の高温水と、非常に化学成分の薄い冷地下水との単純混合だけで説明することは困難な状態である。

これらの諸問題や、前節で述べたような、飽和指数が1.0以上の温泉でも、60℃以下の泉源には炭酸カルシウムの付着がみられないという現象の原因等については、なお今後の研究を必要とするが、とにかく現にコンプレッサー揚湯を行なっている泉源に対しては、この水道水注入法は、湧出量を減少させることなく炭酸カルシウム沈澱物の付着を防止することのできる適切かつ有効な手段であることがわかる。また、前述した海水等の投入法も、 \bar{v} を小さくする以上に、希釈・冷却の効果が大きく作用するものであろう。しかし、沈澱物付着孔が沸騰泉である場合には、沈澱物付着を防止するために沸騰を抑制しつつ所要温泉水量を得るに必要な水道水の注入は、実用上困難と思われる。

5 まとめ

1. 昨年以來の調査結果を総合すると、別府南部温泉地域では、山の手から富士見通に至る一帯に炭酸カルシウム沈澱物付着孔が存在し、これより下流域には鉄主成分沈澱物付着孔が分布し、境川から観光港に至る日豊線より海側の地域には沈澱物は認められない。

2. 湧出管内に炭酸カルシウム沈澱物の付着している泉源の温泉水は、飽和指数が1.0以上で、泉温はほぼ60℃以上のものに限られる。

3. 市営温泉プール泉源においては、温泉孔に水道水を注入することにより、炭酸カルシウム沈澱量が激減しているが、水道水注入前後の温泉水の化学組成の変化から、炭酸カルシウム析出には温泉水からの炭酸ガス逸出が主要な役割を演じ、実際に湧出管内で、 $\text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ なる反応の起っていることがわかった。

4. 炭酸カルシウム沈澱物付着防止には、コンプレッサー揚湯泉の場合、水道水注入法が適切かつ有効な手段である。この方法により、温泉水の性質を第2項に述べた沈澱物付着の範囲から外すことができる。

終りに、不断の御指導をたまわる、京大地球物理学研究施設吉川恭三助教授、観測を手伝っていた

だいた京大学生諸氏に厚く感謝の意を表します。

表3 温泉沈澱物の調査結果と温泉水の化学組成

浜脇一秋葉通地区

番号	沈澱物の種類	泉温 (°C)	pH	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	ℓ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
1	鉄主成分	51.8	6.80	242	21.9	100	58.3	483	337
2	〃	45.7	6.48	972	118	362	190	2830	326
3	〃	43.3	6.86	434	26.2	105	68.3	821	308
4	〃	41.4	6.66	2040	96.7	281	345	4990	262
5	〃	56.5	6.38	316	35.8	106	68.0	513	585
6	〃	44.0	6.31	440	25.5	66.5	44.5	829	407
7	〃	45.2	6.11	254	30.6	141	28.0	590	527
8	〃	49.4	6.51	2560	128	259	269	5230	360
9	〃	44.2	5.81	120	12.1	65.7	2.4	116	377
10	〃	59.2	5.68	466	255	288	57.0	1556	493
11	なし	—	6.07	188	19.6	124	17.0	384	462
12	鉄主成分	48.2	6.82	1170	53.6	163	117	2315	339
13	なし	—	6.25	140	14.4	67.8	10.3	158	400
14	〃	55.0	6.36	182	20.9	114	18.0	310	545
15	〃	45.5	6.70	134	11.8	45.4	12.2	153	303
16	鉄主成分	47.0	5.85	130	14.8	68.7	4.7	105	415
17	〃	48.9	5.83	136	14.7	67.4	10.7	137	425
18	〃	51.3	6.10	134	14.6	76.0	12.9	161	411
19	〃	41.3	6.25	128	11.1	57.9	11.5	142	336
20	〃	43.6	5.86	136	12.8	68.3	1.9	89	361
21	〃	37.9	6.32	1880	77.7	144	174	3571	329
22	〃	37.0	6.99	396	21.8	35.4	14.3	398	407
23	〃	43.6	6.82	3560	167	252	435	9109	440
24	〃	46.1	7.23	2250	147	219	201	4950	427
25	〃	49.2	6.59	1730	123	251	273	3976	536
26	なし	44.0	6.91	382	27.3	60.0	31.5	568	419
27	鉄主成分	50.0	6.96	172	16.4	43.6	9.3	175	331
28	〃	57.5	6.14	161	17.8	76.0	15.8	174	489
29	〃	47.0	6.54	150	13.0	41.5	9.0	160	282
30	〃	56.0	6.10	134	18.1	75.6	18.3	181	505
31	〃	34.5	5.86	114	11.0	45.8	1.5	102	259

境川観光港地区

番号	沈澱物の種類	泉温 (°C)	pH	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
32	なし	50	6.90	410	51.2	34.4	16.2	679	153
33	〃	42.4	7.80	72	7.0	21.2	15.4	40.4	263
34	〃	48	7.32	413	49.2	33.1	15.8	658	166
35	〃	46	7.11	423	46.5	34.6	17.8	644	154
36	〃	47.5	7.74	77	5.0	17.2	8.6	41.5	261
37	〃	48	7.87	260	26.0	34.6	20.8	362	230
38	〃	50.5	7.63	162	28.6	56.1	35.3	77.4	541
39	〃	47.0	7.43	156	33.7	62.1	40.1	82.0	574
40	〃	30	7.63	203	31.9	36.1	13.4	117	429
41	〃	48	6.90	195	37.2	131	69.6	115	933

42	なし	42.1	7.27	154	29.2	63.7	28.2	58.6	617
43	〃	44.5	7.11	148	30.7	99.4	35.8	75.6	712
44	〃	—	7.00	148	27.9	82.2	31.9	77.4	651
45	〃	52	7.30	131	30.7	54.5	18.5	89.1	518

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) 益子、甘露寺：温泉工学会誌、Vol.3、No.2 PP.67~71； Vol.3、No.3、PP.164~172、1965
- 3) 甘露寺：温泉科学、19巻、1号、PP.15~25、1968
- 4) 三宅：地球化学、P.204、1957
- 5) Ellis,A.J.：Am.Jour.Sci. Vol.257, PP.354~365、1959
- 6) Smith,F.G.：Physical Geochemistry,P.250、P.345、1963
- 7) Ellis,A.J.：Am.Jour.Sci.Vol.261、PP.259~267、1963
- 8) 大分県衛生研究所：大分県温泉調査研究会報告13号別刷、1962;17号、1966;19号、1968
- 9) 光田：京都府私学研究論文集、4号、PP.1~6、1966;5号、PP.88~92、1967
- 10) 北野：温泉工学会誌、Vol.4、No.1、PP.51~58、1966

的が浜温泉の糖尿病及び老人病患者の血糖、 腎機能、酸塩基平衡などに及ぼす臨床的、 実験的観察

九州大学温泉治療学研究所内科

矢 野 良 一
内 倉 洋 三

〔はじめに〕

われわれは過去5カ年間、糖尿病と温泉治療について、六ヶ迫鉱泉（含炭酸重曹食塩泉）、的が浜温泉（含食塩重曹泉）を使用し糖尿病患者の過血糖抑制効果に関する臨床的観察を行ってきた。なお現在、糖尿病の合併症としての血管障害が益々重要視され、いろいろの角度から追求、解明がなされようとしている。なかでも、糖尿病性網膜症と共に糸球体硬化による糖尿病の腎病変は重要な合併症である。さらに高令者には色々の型の排尿異常が頻発し、夜尿、頻尿、残尿感、乏尿など、その内容は多岐である。これらは老人の不可避な腎血流状態の異常、尿濃縮力の低下を含む尿細管機能の低下潜在性心不全、尿路の器質的、機能的病変、あるいは不眠症を基盤とする精神身体的な異常などが考えられる。ちなみに当科外来患者で60才以上の高令者50名に就て問診した結果でも、表1に示すごとくかなりの%を示している。また糖尿病患者がアシドーシスの傾向を示すことは衆知の通りであるが最近の老人医学会でも高令者のアシドーシスに関する問題がとりあげられ重視されるようになった。かような観点より、今回われわれは特に糖尿病患者の腎機能障害、及び老人、特に高血圧症を伴う、動脈硬化症、脳軟化症患者などの腎機能障害、さらにこれらのアシドーシス傾向を示す症例に含食塩泉でpH 7.58の弱アルカリ性である的が浜飲泉を試み、排尿異常、特に腎機能障害に及ぼす影響、尿pH、血液pH、pCO₂の変動について臨床的観察をおこない、同時に血圧、中性脂肪、血漿電解質（K、Na）糖尿病患者には血糖試験をおこない、その変動を観察し、若干の知見をえたので報告する。

対照及び検査項目

飲泉群は当科関連病院の入院患者で糖尿病患者6例、高血圧を伴うKWⅡ度以上の動脈硬化症3例脳軟化症3例で女4男8で合計12例で年令60~72才である。対照群はすべて60才以上をFollow upし排尿異常、腎機能障害、高血圧をみとめるKWⅡ度以上の動脈硬化症2、脳卒中後遺症3、脳軟化症2、糖尿病3例、女4名、男6名、合計10例である。

飲泉群、対照群共糖尿病2例を除き全例、飲泉前2カ月以上の入院患者で、急性疾患、肝疾患、前立肥大症、明確な腎炎、ネフローゼなどの合併を有するものは含まれていない。内服剤は原則として実験前の内服剤を投与しているが、サイアザイド系利尿剤の投与は実験開始1週間前より中止しRawuofia剤に切り換えている。検査項目は排尿異常として夜尿、頻尿、残尿感、乏尿、蛋白尿の5項目をあげ排尿異常選択基準としては、午後9時から午前9時までを夜間尿とみなし、尿量は日量500cc以下、及び2500cc以上、夜間の尿量が昼間尿の1/3よりも多いもの、排尿回数1日7回以上、夜間尿回数4回以上を異常者とみなし、異常資格とした。次に血圧、血糖値、PSP（15'値）血漿pCO₂、尿アセトン体、尿pH、血液pH、血漿K、Na値、中性脂肪などを測定した。飲泉方法は本誌15.16号に記載した

ので省略する。1日の平均飲泉量は1.4ℓ～1.8ℓ（8合～1升）入浴は1日2～3回、就寝前1回は院内温泉に入浴せしめ、対照群1日1回、入浴時間は1回20分～30分とした。対照群には水道水を使用し1日平均1.3ℓ（約7合）で温泉水道水共、朝9時より夕方6時までの間に分割飲用させ、期間は1カ月とした。

観察事項及び検査成績

先に述べたごとく、当科外来患者60才以上の高齢者50名に対する問診によるアンケートは表1のごとくで、夜間頻多尿が目立ち、蛋白尿は17.1%に証明された。また外来患者100名の排尿異常者の疾患別分布をみると図1に示すごとく、高血圧、動脈硬化、心疾患の関連が圧倒的に多く、またKWの程度からみるとKWⅡ度以上のものに90%近く排尿異常をみとめ、KWⅠ度では45%と明らかにKWとの程度との間に明らかな相関がみられた。本実験の飲泉群の排尿異常分布は飲泉前の問診では表2のごとくで外来患者の場合と異り乏尿は高血圧性心のみとめる1例のみで糖尿病患者が半数を占める為か多尿が33%を示し、また蛋白尿83%と高率を示し、夜間頻多尿共、やや高い%を示した。このことは比較的動脈硬化の進んだ高齢者、及び高血圧を伴った患者がほとんどであることが関係していると思われる。これらを逐週的に観察すると飲泉1週より効果がみられ1カ月後の結果は表3に示すごとく高血圧性心不全の1例を除き、夜間尿回数、尿蛋白量の著しい減少をみとめた。しかし、一日尿量は飲泉により糖尿病患者2例を除き高血圧性心の1例にみられるごとく、著明な尿量増加をみ一般に水道水飲水群に比し、幾分増加の傾向を示した。対照群では全般的に、わずかに一日尿量の増加をみたが、夜間尿回数、尿蛋白量など変化はみられなかった。次に表4に示すごとく腎機能に関する諸検査結果ではPSPに著明な改善がみとめられ、糖尿病患者1例を除き他は全て改善されている糖尿病患者の1例、症例6に示されるごとく、PSPは飲泉前より逆に正常以下に低下しているが血糖値は高血糖を示した症例であり、これは飲泉により逆に悪化を示した例で中性脂肪も逆に上昇を示している。血中コレステロールは、むしろ上昇をみたものが多いが、中性脂肪は漸次逐週的に減少し、明らかな改善がみられる。GOTGPTは第Ⅱ週目にわずかに上昇をみたものが多いが1カ月後には1例を除き全て改善をみている。尿素Nでは特に変化はみられなかった。対照群ではPSP、尿素N、血中コレステロール、中性脂肪GOTGPT共わずかな動揺は示したが、飲水前と飲水後の変動はほとんどみられなかった。血圧は飲水後一週目までは動揺を示すが、対照群に比し2週目頃より下降、安定の傾向を示した。血糖では明らかに飲泉群と対照群では差をみとめ飲泉群では全て血糖値の低下をみとめた。飲水群ではほとんど変動はみとめられなかった。次に飲泉群、飲水群、全症例の尿pH、血液pH、尿pCO₂、尿アセトン体、血漿Na、Kを測定すると血液pHは全症例の89%に正常値以下を示

図1 排尿異常者の疾患分布 (外来患者100)

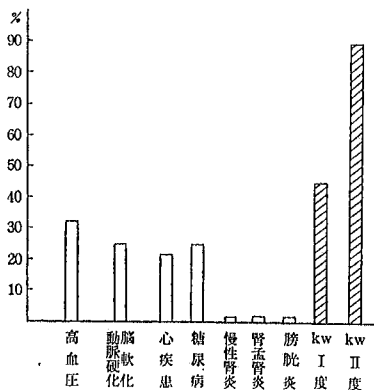


表1 外来患者50名の排尿異常の分類頻度

夜間頻尿	36%
夜間多尿	46.3%
多尿	1.1%
乏尿	6%
蛋白尿	17.1%
(高血圧)	62%

表2 飲泉前における飲泉群排尿異常分布

全例 12例	
夜間頻尿	66.7%
夜間多尿	66.0%
多尿	33.0%
乏尿	0.1%
蛋白尿	83.0%
(高血圧)	75%

表3 的ガ浜飲泉群に於ける尿回数、尿量の変動

症例	年齢	性	疾患名	1日尿回数		夜間尿回数		1日尿量 cc		夜間尿量 cc	
				飲泉前 1W平均	4週目 平均	飲泉前 1W平均	4週目 平均	飲泉前 1W平均	4週目 平均	飲泉前 1W平均	4週目 平均
1	60	♀	糖尿病	13	10	5	2	2700	1900	700	380
2	61	♀	糖尿病	12	9	3	1	1800	2000	650	200
3	64	♂	糖尿病	14	14	4	2	2900	2950	600	250
4	60	♂	糖尿病	13	12	6	3	2600	3000	1000	560
5	62	♂	糖尿病	14	10	4	2	3200	2300	650	320
6	68	♂	糖尿病	10	10	5	3	1900	2100	600	400
7	70	♀	動脈硬	10	9	7	4	1400	1700	550	500
8	69	♀	動脈硬化症	8	9	5	2	1000	1800	500	300
9	67	♂	動脈硬化症 高血圧性心	7	10	5	4	460	1300	260	400
10	72	♂	脳軟化症	9	10	3	2	1200	1500	500	350
11	71	♂	脳軟化症	5	6	3	1	900	1300	350	200
12	70	♂	脳軟化症	5	6	3	1	1100	1500	400	130

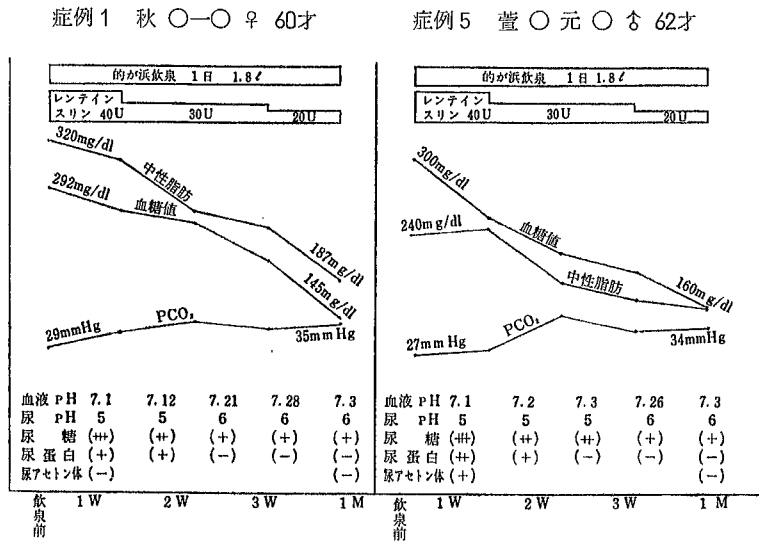
表4 的ガ浜飲泉群の飲泉前後の血中 pH、pCO₂ 血糖値その他の変動

症例	年齢	性	疾患名	尿 pH		血中 pH		血中 pCO ₂ mmHg		血中 Na mEq/l		血中 K mEq/l		尿蛋白		尿糖		尿素 N		S P S 15値		中性脂肪 mg/dl		空腹血糖時値 mg/dl	
				前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
1	60	♀	糖尿病	5	6	7.1	7.3	29	35	141	145	3.85	4.1	+	-	卅	+	20	20	12	22	320	187	292	145
2	61	♀	糖尿病	5	5	7.04	7.2	32	38	140.5	145	3.95	3.9	+	-	+	-	65	20	14	40	180	90	162	110
3	64	♂	糖尿病	5	6	7.18	7.26	30	34	144.5	141	4.1	4.1	+	-	+	-	20	20	20.5	41.5	200	180	142	98
4	60	♂	糖尿病	5	6	7.2	7.3	29	29	136.5	143	4.65	4.7	卅	+	+	-	20	15	14.5	25	180	70	120	80
5	62	♂	糖尿病	5	6	7.1	7.3	27	34	133	142	3.95	5.4	卅	+	卅	+	20	20	7	21	240	160	300	160
6	68	♂	糖尿病	7	7	7.3	7.26	32	36	133	140.1	3.75	4.2	-	-	+	+	25	30	22	10	192	222	110	178
7	70	♀	動脈硬化症	5	6	7.15	7.1	30	35	140.5	144	3.85	3.8	+	+	-	-	15	20	10	25	178	180		
8	69	♀	動脈硬化症	6	6	7.26	7.25	29	31	144	142	4.65	4.4	+	-	-	-	17	20	13	19	192	180		
9	67	♂	動脈硬化症 高血圧性心	5	6	7.1	7.12	33	40	141	140.1	3.95	3.95	-	-	-	-	30	20	5	20	230	170		
10	72	♂	脳軟化症	5	5	7.14	7.18	31	36	144	146.1	3.85	4.1	+	+	+	-	17	15	15	21	192	98		
11	71	♂	脳軟化症	5	6	7.22	7.22	30	32	144	146.1	4.05	4.15	+	-	-	-	15	20	7	15	215	180		
12	70	♂	脳軟化症	6	6	7.1	7.1	31	41	133	140.5	4.15	4.25	+	-	-	-	20	20	11.2	18	170	120		

註 正常値 血液pH 7.35~7.424
 血液pCO₂ 39.0 (34.0~45.0)
 中性脂肪 76~172mg/dl

し、7.1~7.3平均 (7.18) で同様に尿 pH もほとんど pH 5 と酸性であった。pCO₂ は対照群の脳軟化症 2 例、脳卒中後遺症 1 例で 47.0~50mmHg、平均 48.72mmHg と正常値以上を示したが、3 例とも血液 pH は正常範囲に近く、むしろ呼吸性アシドーシスの傾向にあるものと思われた。その他の症例すべては 27~41mmHg、平均 31.3mmHg と正常以下を示している。このことは代謝性アシドーシスの傾向にあることを示し

図2 インスリン治療中の糖尿病患者の的が浜飲泉による血液pH₁、pCO₂ 血糖値等の変動



ている。尿アセトン体はインスリン治療中の 1 例に陽性をみとめている。しかし血漿 Na、K は表に示されるごとく、インスリン治療中の糖尿病患者 1 例をのぞき、すべてほぼ正常範囲であった。飲泉群では飲泉開始後 1 週~2 週後に尿 pH、血液 pH、とも尿 pH 6.0、血液 pH も平均 7.3 と正常化を示した。pCO₂ は全例とも正常値以下を示していたが飲泉 1 カ月后、平均 27~35mmHg 平均 34.7mmHg と全例正常値近くに復している。血漿 Na、K は前后に明らかな変動は、みられなかったが、インスリン治療中の糖尿病患者 1 例に上昇をみとめた。対照群では飲水前、飲水後に差はみられなかった。血糖コントロール不良の為インスリン治療に切り換え同時に飲泉を開始した 2 例について尿 pH、血液 pH、血液 pCO₂、尿アセトン、血糖、尿糖、尿蛋白、中性脂肪の傾向をまとめ図に示すと図 2 のごとく、すべてに好結果がみられ飲泉による効果がうかがわれる。

総括並びに結語

高齢者、脳軟化症、脳卒中後遺症、糖尿病、特に高血圧を伴う疾患には、排尿異常、腎機能障害を伴う場合が多く、代謝性アシドーシス、呼吸性アシドーシスの傾向を示す場合が多い。特に糖尿病では代謝性アシドーシスの傾向を示している。

的が浜温泉は含食塩重曹泉で pH 7.58 と弱アルカリ性であり長期飲泉及び入浴により生体になんらかの影響を与え代謝異常の調整に関与するもの大であると思われる。すなわち排尿異常を含めて腎機能低下の改善、特に尿蛋白の減少、PSP の改善及び利尿作用に著明な効果を見た。さらに便秘が頑固であった数例に快便がえられるようになり便秘に効果があることもうかがわれた。

最も興味あることは、的が浜飲泉及び入浴により尿 pH、血液 pH、pCO₂ 値がアシドーシスの傾向を示した症例にすべて好影響がみられた。その機序は明らかではないが、的が浜飲泉がアシドーシスの改善に効果あることが実証されたと思われるがなおさらに症例をふやして検討したい。

その他血圧、血糖値、中性脂肪の改善にも明らかな効果があり、的が浜飲泉が生体の代謝調整になんらかの形で関与することは明らかで、益々興味深い事実となったことは否定しえない。今後われわれは温泉の効果並びに作用機序についてさらに検討を加え、いろいろの疾患に積極的に応用することを考えるべきであると思われる。

温泉の障害防止に関する研究

(第 3 報)

九州大学温泉治療学研究所

皮膚泌尿器科 中 溝 慶 生
古 屋 英 樹

I 緒 言

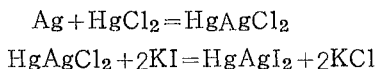
進行性指掌角皮症の原因として内分泌障害、自律神経の失調、毛細血管障害、手先の仕事や水仕事洗剤の影響、あるいは皮膚のアルカリ中和能の障害などが考えられているがまだ真の原因はわかっていない。

この疾患は冬に増悪するから発汗との関係についても考えてみなければならない。われわれはこの疾患の患者数名の病巣皮膚に Hygrophotography (Sivadjan, M. J.: In Wexler, A.: Humidity and moisture, Vol. 1, P.656, Reinhold, New York, 1966.) を行なって表面の水分を測定し、本疾患と汗腺の活動との関係について調べた。

II 方 法

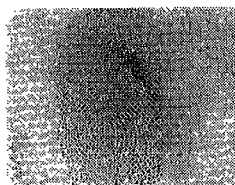
進行性指掌角皮症の患者6名と対照として健康な20才から24才の女子8名の両指末節の指腹を乾燥したガーゼでぬぐい、Hygrophotographic Filmにあてた。つづいて被験者の両手を43℃のお湯に5分間浸し、乾燥したガーゼで水分をぬぐい去り、ふたたび両示指の指腹をHygrophotographic Filmに10秒間あてた。

Hygrophotographic Filmは次のようにして作った。フジミニコピーフィルムを感光させメートル・ハイドロキノンで現像し水洗する。水洗後チオ硫酸ソーダで定着し水洗乾燥する。ついでフィルムを3%HgCl₂水溶液に浸しフィルムの乳剤面が白色になったら、静水中で15分から20分間水洗し0.5%KI溶液中に浸す。乳剤面が黄色になったらフィルムを水洗し乾燥するとHygrophotographic Filmとなる。フィルムの乳剤面では次の様な反応が起る。



このフィルムの乳剤面は乾燥させて感光させると黒色に変化し、水分を感じるものとの黄色にかえる。すなわち皮膚をこのフィルムにあてると汗腺より分泌された汗の水分を感じてフィルム上に黄色の点があがられる。フィルム上の指腹の中心部にあたる部分を中心とした1辺が1 cmの正方形の内側の黄色の点をかぞえて活動汗腺数とした。

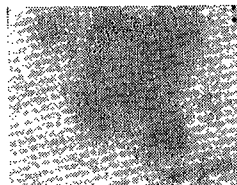
第1図 健康者例
20才 右示指浴前



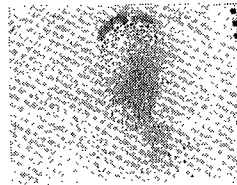
第2図 健康者例
20才 右示指浴後



第3図 進行性指掌角皮症
症例6 19才 右示指浴前



第4図 進行性指掌角皮症
症例6 19才 右示指浴前



III 結果および考察

進行性指掌角皮症の患者6名の測定結果と対照健康者8名の測定結果の平均値を第1表に示した。患者、健康者ともに全員右利きであった。患者は全員女子で、年齢17才から21才で、左示指より右示指の方が高度におされていた。症例1と症例3の左示指の病変は軽く、症例4の左示指には病変はみとめられなかった。

第1表 示指末節指腹の活動汗腺数(1cm²当り)

症例	年齢	浴 前		浴 後		減少量 (浴前-浴後)	
		右	左	右	左	右	左
1	21	54	336	54	211	0	125
2	20	19	172	1	84	18	88
3	21	265	412	176	311	89	101
4	17	2	483	4	438	-2	45
5	20	1	19	0	18	1	1
6	19	34	108	46	74	-22	34
N	20~24	361.0±46.1	394.2±46.3	183.5±106.2	263.0±114.5	177.5±75.7	131.2±99.8

注 Nは健康者8名の平均値と95%の信頼限界をあらわす。

浴前の活動汗腺数をみると患者は健康者よりもいちじるしく少なかった。症状の重い指ほど活動汗腺数が少ないようであった。健康者、患者ともに左示指より右示指の方が活動汗腺数が少なかった。この事は全員が右利きであることと関係があると思われる。右示指の方が日常使用頻度が高いため、水仕事や手先の仕事を含めて外的刺激を受ける量が多い。この事が活動汗腺数の減少をもたらしたのであろう。さらに左利きの女子についても調べてみる必要がある。

病歴によると患者はみな夏期でも手掌の汗の量が少ないとのべている。患者には「手掌の発汗の減少」という素因があると考えたい。冬期になるとさらに発汗が減少し、皮膚の角層の水分量が減少し皮膚は乾燥し皸裂を生じやすくなる。これが本症が冬に悪化する原因の一つであらう。またこの状態では皮膚表面のBarrierも破壊されて、外的刺激に対する抵抗力も減退する。そのため患者の指の活動汗腺がさらに減少しているのであろう。

43℃5分浴のあとでは患者、健康者ともに浴前よりも活動汗腺数が減少した。減少量は患者よりも健康者の方が多く、健康者では左示指より右示指の方が多く、患者では右示指より左示指の方が多かった。浴後の活動汗腺数は浴前の値と関係があるように思われる。すなわち浴前の活動汗腺数が減少するに従い浴後の活動汗腺数はさらに著明に減少する。しかし浴前値が100前後に近づくに従って浴後値の減少が少なくなり、浴前値が100以下となると浴後値はほとんど減少しなくなるようである。測定値のばらつきが大きいのでさらに検討が必要と思われる。

IV 総括

1. 進行性掌角皮症の患者と健康者に Hygrography を行なって両示指末節の指腹の活動汗腺の数を調べたところ、左示指より利き手である右示指の方が活動汗腺の数が少なく、健康者よりも患者の方がいちじるしく少なかった。
2. 43℃5分浴のあとでは活動汗腺の数はさらに減少し、減少量は浴前の数に 관계があるようであった。
3. 進行性指掌角皮症の患者には「手掌の発汗の減少」という素因があると考え、その手指の皮膚は外的刺激に対する抵抗力が減退していると推測した。

温泉水中のヒドロ炭酸イオンの生成機構

九州大学温泉治療学研究所 古賀昭人

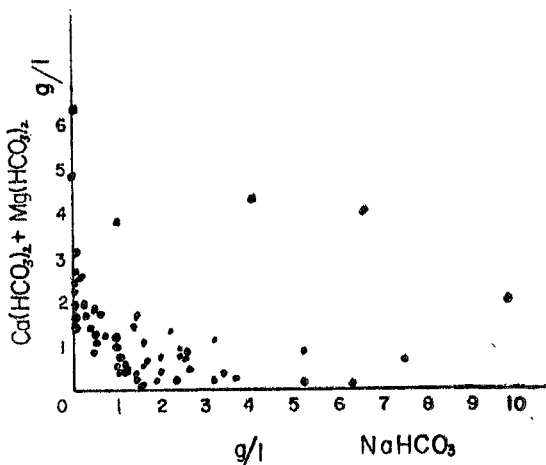
1 緒言

HCO_3^- イオンは温泉水（中性ないしアルカリ性）の成分の中で、 Cl^- 、 SO_4^{2-} イオンと共に三大主要アニオンの一つであるが、この生成機構について論じたものはほとんどない。一般には HCO_3^- イオンは炭酸水と壁岩との反応により生成すると予想されるが、その機構について考察するのは興味のあることである。近來、温泉水中の溶存成分がマグマ発散物由来であるか、或いは壁岩より溶出（反応生成物を含めて）されたものであるか論争されているが、著者は温泉成分のほとんどは壁岩より溶出されたものであるという一連の考え方から HCO_3^- イオンの生成機構を論じたいと考える。

2 本邦温泉中の重曹泉、重碳酸土類泉の分布

実際の温泉水（鉱泉を含む）において HCO_3^- イオンの多いものはカチオンとして Na が多いか Ca や Mg が多いのがふつうである。日本鉱泉誌（昭29）の中で HCO_3^- が 1 g/l 以上のものを全国的に選び（約70個） NaHCO_3 型か $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 型であるかを調べてみると図1のよう

図1 HCO_3^- が 1 g 以上の重曹泉、重碳酸土類泉の分布



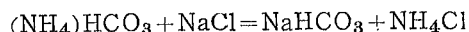
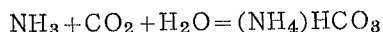
に双曲線を描き両者相半ばしていることが分る。このさい、温泉水の分析表から塩類表を作るには多くの疑問があり、ここでは NaHCO_3 を $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ より優先的に計算するが、その結果においても重碳酸土類泉が半ばを占めているのは HCO_3^- イオンの生成に一役買っているのを否めないであろう。また山下が別府旧市内の温泉水の HCO_3^- イオンの等量線が $\text{Ca} + \text{Mg}$ 量の等量線とよく似ている事実を述べているが、これもそれを裏付けるものとしてよいであろう。一方、 HCO_3^- イオンを含む水は Ca や Mg を壁岩から溶出したとも考えられるが、ここでは一応除外しておく。

3 解放系の HCO_3^- イオン生成実験

以上の事実から HCO_3^- イオンの生成には、 NaHCO_3 と $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ の両面から考える必要が生じてくる。

3. 1、 NaHCO_3 の生成

工業的に作られる NaHCO_3 はアンモニヤソーダ法と呼ばれ、食塩の飽和水溶液にアンモニヤを飽和させ、さらに CO_2 を吹きこんで作られる。



NH_3 は CO_2 の吸収剤であるアルカリ溶液の働らきを示し、結果としては反応に与からない。しかし、自然界においては NH_3 は少ないので、この方法が地下で行われているとは信じられない。ただ

上式のように自然界にもしアルカリ性の水にCO₂が吸収されればHCO₃⁻イオンが大量に生成されることになる。

たとえば、0.1N—NaOHと1N—NaOHを用いてCO₂を24時間吹込んだ場合（岩石粒を接触剤として）のHCO₃⁻イオンの生成量はそれぞれ6,840ppmと54,050ppmとなり多量にHCO₃⁻は生成しておりNaOHの全NaはNaHCO₃生成に用いられたことを示している。なお、NaClを添加した場合のHCO₃⁻の生成量は殆んど変化しなかった。すなわち、HCO₃⁻の生成はアルカリの濃度に依存しており、NaClは無関係であった。

図2 0.1N NaOH + Rock + CO₂によるNaHCO₃生成の温度による影響

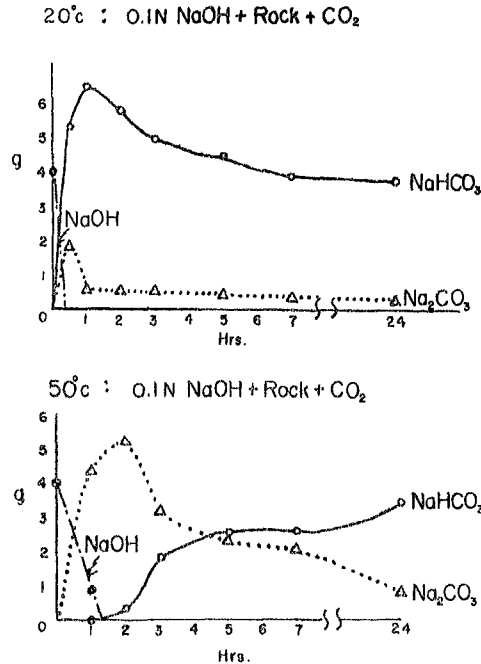


表1 : CaCO₃+CO₂+H₂Oの反応によるHCO₃⁻生成に及ぼす反応温度及び食塩の影響

反応温度(°C)	CaCO ₃	NaCl	HCO ₃ ⁻ (PPm)
20	2g	0g	1050
50	2	0	525
20	2	1	1400
20	2	5	1700

(註) H₂O : 100ml, CO₂ : 0.1ℓ/min, 反応時間 : 2時間

る。特にNaClを含む水があれば相乗的にHCO₃⁻イオンの量は増加する。

4 オートクレーブによるHCO₃⁻イオンの生成実験

以上は解放系の実験であるが、これが密閉系である場合はどうであろうか？地下でのHCO₃⁻イオンの生成にはこの方式も充分考えられるし実際上の同一温泉地で温泉とHCO₃⁻とが正比例の関係を示している所も多くあり、前述の解放系の実験のように低温ほどHCO₃⁻量が生成するという実験では説明できないこともある。そのため、オートクレーブを使用した密閉系におけるHCO₃⁻イオン生

一気圧の下の解放実験では当然、温度の影響があると考えられる。CO₂の溶解度が異なるからである。図2に苛性ソーダ溶液にCO₂を吹込んだ場合の温度によるNaHCO₃生成量の違いを示す。20°Cと50°CとではCO₂の水に対する溶解度は2倍の違いがあるからNaHCO₃の生成は温度が低いほど多量に生ずる。自然界において同一温泉地のHCO₃⁻がCl⁻イオンと反比例の傾向がある所はCl⁻イオンは、一般に泉温に比例するから、HCO₃⁻はこのような実験の環況下（すなわち密閉系でない所）で生じたものと考えられる。

3、2、Ca(HCO₃)₂、Mg(HCO₃)の生成

図1に示すようにHCO₃⁻イオンの生成はCaCO₃とCO₂とH₂Oの反応により生じたものも多々あり、一般に泉温の低い所の温泉にこの傾向がある。これは当然考えられる所で、高温であれば、これらは分解してCaCO₃やMgCO₃などを作って沈積するからである。

石灰岩たとえば大理石に炭酸ガスを吹込んだ場合、温度の影響やNaClの有無に関するHCO₃⁻生

成の実験結果は表1に示す。これによると、20°Cと50°Cでは低温の方が2倍の生成量となり、またNaClの有無によりHCO₃⁻の生成量が異なる。これはNaHCO₃とCa(HCO₃)₂の溶解度の差によるものと思われる。このように解放系においては石灰岩地帯をCO₂を含んだ水が通過した場合、相互に反応して多量のHCO₃⁻イオンが生成することが分

成の実験を行った。

表2にそれを示す。これに用いるCO₂としてはドライアイス 0.5kgを用い、水は各々 300mlを使用した。攪拌は行っていないがもし行えばHCO₃⁻の生成量は相当量増加していると考えられる。これによると、温度の影響は温度が高いほどHCO₃⁻の生成量が増加しており、前述の解放系とは反対の結果を生じている。また、大理石との反応では食塩があった方がHCO₃⁻の生成量を増すのは解放系と同様であり、この場合のHCO₃⁻はCa(HCO₃)₂とNaHCO₃両方の生成が行われたことを示している。輝石安山岩およびカリ長石の場合はそれ程HCO₃⁻は生成しないが粘土、特に腐植土の場合は多量のHCO₃⁻を生成している。したがって、石灰岩によるHCO₃⁻の生成の他に一般の温泉水中のHCO₃⁻は岩石よりもむしろかかる堆積層中の粘土、腐植土とCO₂+H₂Oの反応によりHCO₃⁻が生成したと考えられる。

表2 オートクレーブによるHCO₃⁻の生成

材 料	反応温度 ℃	反応時間 (日)	HCO ₃ ⁻ (ppm)
大 理 石	75	3	1220
〃	140	3	3200
〃 (+食塩)	140	3	4010
カ リ 長 石	145	3	140
粘 土	52	3	290
〃	150	3	417
腐 植 土	53	3	91
〃	140	3	1406
輝石安山岩	50	3	112
〃	150	3	213

(註) ドライアイスは0.5kg、H₂O:300ml、材料:100gを使用した。ただし、カリ長石は20gを用い、そのさいH₂O 60mlを用いた。

表3 粘土及び腐植土と炭酸水との反応後の溶液組成 (ppm)

材 料	反応温度	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃ ⁻
粘 土	150℃	84	31	20	10	417
〃	52	12	9	35	9	290
腐植土	140	254	113	74	19	1406
〃	53	6	21	28	4	91

表4 NaHCO₃の温度による分解

温度 °C	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃
20	112mg/25ml	7.4mg/25ml
80	111	15.9
100	96	19.1
140	96	16.7

これら粘土および腐植土と炭酸水との反応でHCO₃⁻イオンに対応する陽イオンを調べてみると表3のような結果が得られる。すなわち、共に高温である程、Naの溶出が多く、NaHCO₃の形で生成しているが、低温ではCaの溶出が多くてCa(HCO₃)₂の形で生成することを示している。このことはまた高温重曹泉にはNaが多くて低温のものにはCaやMgが多いことを暗示していると云えよう。

一方、NaHCO₃は温度によって分解するという懸念もあるが、オートクレーブによる重曹水の温度による分解実験を表4に示す。これによると、考えられた程の分解を起していないようである。140℃でも100℃の場合と同様であるから、いわゆる高温(100℃以上)でも生成したNaHCO₃の10%強が分解してNa₂CO₃になるにすぎない。

5 HCO₃⁻イオン生成の地球化学的考察

実際の温泉で重曹泉と重炭酸土類泉があるのは図1に示した通りだが、D.E.Whiteはこれらの成因として図3の如き型を考えている。

火山性温泉の重曹泉としてはWairakeiやStamboatにあり別府にも存在するのがWhiteは重曹泉ができる所は容易に空気と接触するよりも下に存在するであろうと考えている。彼は炭酸ガスのオリジンは考えていないが、何れにしても深処(最低300m以上)で食塩水からCO₂を伴う水蒸気が分離しそれが循環水に凝結するとの見解を示している。これが壁岩と反応して重曹泉を作るとしている。高温ではCa、Mgの炭酸塩は難溶性であり、Kは一般に粘土鉱物や長石類に固定されるのでNaHCO₃

が主成分になるという。そして、Wairakeiの例から熱水性曹長石が重曹泉と密接な関係にあり、氷長石が食塩泉に関係があるだろうと述べている。

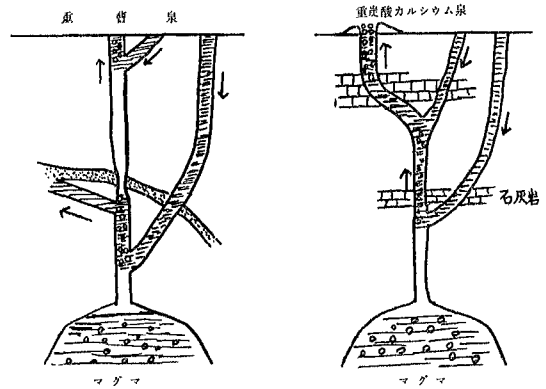
著者はかつて、別府の海岸地区の温泉成分の潮の干満による変動を調べたさいに Cl^- と HCO_3^- や CO_2 含量が反比例の傾向で増減することを見出し、これは2水系の混合率が海水の圧力の変化により変動したものであるとし CO_2 は地下深所で食塩水から分離して HCO_3^- イオンを作り、これは別水系として浅所で食塩水系と再び混合したものであるとした。別府海岸地区の温泉水中の HCO_3^- イオンは低温の水系にあるのだから第3節に述べたように解放系の環況下の生成と思われる。

もちろん、 HCO_3^- イオンは CO_2 により生じたものだが、D. E. Whiteの画く図3のような単純な岩石との反応により生じたものより、むしろ堆積岩とくに粘土、腐植土との反応により HCO_3^- は多量に生成すると思われ、 HCO_3^- イオンの生成は浅所でなされているといえる。

一方、重碳酸カルシウム泉は炭酸水と石灰岩との反応によるものだが(図3参照)高温では CaCO_3 は余り溶解しない(約 150°C が最小溶解度) ので再沈澱を起すかも知れない。それらの意味からも重碳酸カルシウム泉は一体に泉温の低いものが多いと思われる。

図3：重曹泉、重碳酸カルシウム泉の生成機構

(D. E. White)



(日本化学会第22年会で発表：昭和44年4月)

文 献

1. 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報告14号、26 (1963)
2. White, D. E., Bull. Geolog. Soc. America, 68, 1637 (1957)

高速中性子放射化分析法による 別府温泉水中の $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$ 比の測定

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 小 田 敏 之
川 上 弘 泰

1 緒言

同位体間の僅かな質量差は拡散、蒸発、同位体交換反応など物理的、化学的性質の違いを生ぜしめ同位体組成の変動をもたらす。従って地殻を構成する元素の同位体存在比は或る意味で、これらの元素の履歴を物語っているともいえ、興味ある問題である。質量分析器の急速な発達、普及は、この種の研究を盛んにし、数多くの研究報告が行なわれている。

T・C Horeing⁽¹⁾による砂岩中の ^{15}N 、G. B. Boato⁽²⁾による隕石水の ^2H 、H. Craig⁽³⁾による火成岩中の ^{12}C 、S. Laudergren⁽⁴⁾による海成炭酸塩中の ^{13}C 、Clayton⁽⁵⁾による $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCO}_3$ 系の ^{18}O 、W. V. Ault⁽⁶⁾らの頁岩中の硫黄の同位体存在比の研究など種々な元素について研究がなされている。この他、ケイ素、ホウ素、塩素についても報告があるがその数は少ない。

本報は塩素が高速中性子の照射により $^{37}\text{Cl}(n,2n)^{38}\text{Cl}$ 反応を起し、放射性塩素 ^{38}Cl になるのを利用して、塩素の同位体存在比を放射化分析法により測定する方法を検討した。又、此の方法を用いて温泉水中、火山性ガス中の塩素と自然存在比を持つ塩化ナトリウム（以下標準試料とよぶ）中の塩素の同位体存在比の比較測定を行なった。

放射化分析法による同位体存在比の測定法は古くから知られていたが測定精度に難点があるため余り実用となるに至っていない。しかし塩素は同位体が質量数35と37の2個しかないこと、高速中性子照射による生成核種 ^{38}Cl が半減期も37分と短く、従って放射線強度の比較的大きいものが得られ、又その放出 γ 線も0.12MeVに単一な妨害ピークのないきれいなピークを有し、計数し易いなど好条件をそろえているので放射化分析法でもかなり良い測定精度が得られるのでこの研究を行なった。

2 実験

2・1 試料作成法、温泉水の適量を取り中性、アルカリ性のもはそのまま、酸性のものにはカ性ソーダーを加えてpH7～8に調節したのち蒸発乾固する。蒸発残留物をメノウ鉢で細く粉碎したのちフラスコに移す。フラスコ上部より硫酸を滴下し、塩化水素ガスを発生させる。この塩化水素ガ化をカ性ソーダー溶液中に吸収させる。カ性ソーダー液が中和点に到達するまでこの操作を行なう。塩素水素ガスで中和されたカ性ソーダー溶液は低温で乾固し塩化ナトリウムを析出させる。析出した塩化ナトリウムを1.9560g精秤し、成型したのち中性子照射を行なう。

九重硫黄山で火山性ガス中の塩化水素を採集した。採集方法はガス噴出口に鉄管を挿入し、これより直接カ性ソーダー液中にガスを導き吸収させた。大量の硫黄がこれに混るので加温、冷却、口別を繰り返して硫黄を除いた後、蒸発乾固し、上記と同じ方法で塩素を補集した。

2・2 高速中性子照射(14MeV)

一定量、精秤した食塩を錠剤成型器にて錠剤状にした。大きさは直径13mm、厚さ8mmであった。成型した塩化ナトリウムは中性子発生装置のトリチウムターゲット前方5cmの位置に置いた。中性子照射に際して照射試料の位置に対して均一な中性子密度が要求されるがターゲットの性質から、均一にするのは不可能である。中性子密度の均一性はターゲットから離れば離れる程良くなるが、中性子

線強度との兼ね合いでターゲット、試料間距り 5 cmとした。又、温泉水より作成した試料を標準試料 2 個で挟んで重ね照射を行なった。(図 1 参照)

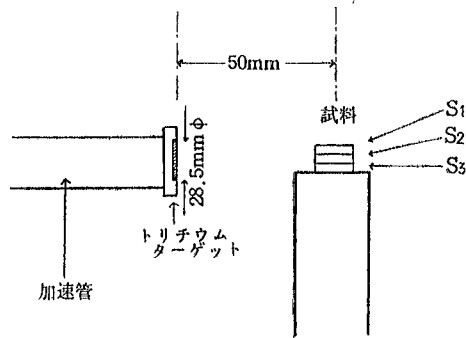
中性子発生装置は日立製コックロフト・ワルトン型中性子発生装置で最大加速電圧 200KV、最大イオン電流500 μ Aのものを使用した。本装置は (T·d) 反応による 14MeV の高速中性子を 10¹⁰n/sec 個、発生させる性能を持っている。

照射は30分間行ない照射総中性子数は 4.8 \times 10⁹ n/cm²であった。

照射により生成する核種は、主として、³⁷Cl (n,2n)³⁸Cl 反応による³⁸Clと、³⁷Cl(n,p)³⁷S 反応による³⁷Sである。³⁷Sの放出 γ 線は2.62、3.3MeVの2本であり、³⁸Clのそれは0.12、1.64、2.15MeVの3本である。本研究では、0.12MeVのピークを定量に使用した。

照射済試料は 5 分間冷却した後、日立製400ch多種波高分析器で放射線測定を行なった。

図 1 試料照射位置



3 結果と考察

放射化学分析法による同位体存在比の測定で一番問題となるのは測定精度である。

原子核崩壊は不可避免的な統計的ばらつきを伴っており、従って放射線測定値の精度にはおのずから限界がある。その他、計測の過程で入る誤差がこれに上積されるが本研究で使用した装置、 γ 線エネルギーについて精度がどの程度であるかを知るために次の実験を行った。

³⁸Clの0.12MeVのピークと同じエネルギーのホトピークを有する標準線源⁷⁵Seを用いて、電気的測定条件を全く同一にして、測定時間を100秒、99秒、98秒、97秒で計測を行った。放射線強度差が1%であるような線源は容易に入手し得ないので計測時間でこれを置き換えたわけである。1%の放射線強度差の測定値間に有意の差を明瞭に見出すには、何回の測定が必要であるかをみた。

表 1 放射線測定値の不安定度

測定時間	計測値 (counts)
100秒	8912 \pm 144
99秒	8779 \pm 172
98秒	8601 \pm 186
97秒	8514 \pm 202

此の放射線強度は、試料を30分照射したときに得られる³⁸Clとほぼ同じに合わせたものである。又、測定回数10回の平均値である。此の値を見ると、此の測定条件で測定する限り、1%の放射線強度の差を10回の測定で認めうることを知る。

中性子線密度の変動による誤差に関して次の実験を行った。標準試料3個を取り規定の位置で照射する。上から S₁、S₂、S₃、と呼ぶこととする。S₁とS₃の放射線強度の平均値(A)と、S₂の値(B)のそれと比較してみる。

表 2 照射位置による中性子密度のばらつき

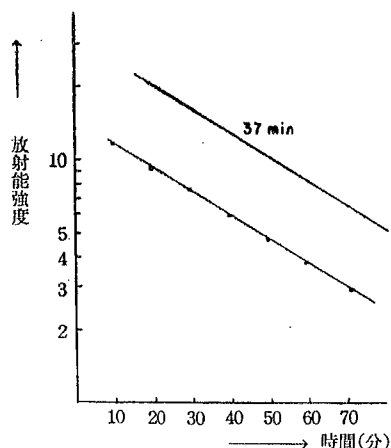
回数	A	B	A/B
1	8539	8492	1.005 \pm 0.037
2	8654	8633	1.002 \pm 0.033
3	8631	8659	0.997 \pm 0.032
4	8553	8609	0.994 \pm 0.036
5	8731	8793	0.993 \pm 0.035

此の測定値から、中性子密度のばらつき、放射線測定に関する誤差も含めて4%の差があれば有意に認めうることを知る。

塩素の同位体の自然存在比は質量数35が75.4%、37が24.6%である。つまり自然存在比であれば 1.9560gの0.2919gが³⁷Cl量であり0.8947gが³⁵Clである。放射線強度で4%の増減があれば認めうるのであるから0.2919の4%、0.0116gの³⁷Clの増減を検知しうるわけである。³⁵Cl/³⁷Cl比では3.233以上か、2.9097以下で

あれば、認めうることとなる。

図2 ^{38}Cl の減衰曲線



試料による γ 線の自己吸収はその大きさからしてここでは考慮しないこととした。

放射線強度の測定はピークの面積をとる方法と、波高値のみをとる方法があるが、 ^{38}Cl は妨害ピークのない単一ピークでもあり又、2つの方法で統計的誤差を比較してもさして大きな差が認められなかったので本研究では後者を採用した。

10回の測定を行なったが ^{38}Cl の半減期は37分であり測定中に減衰する。減衰分は減衰曲線で更正した。その減衰曲線を図2に示す。

竜巻地獄、海地獄、九重、大岳九電6号井、7号井、8号井の温泉水、九重硫黄山の火山性ガスについて本法を使用して測定し表3の結果を得た。

表3 温泉水中の $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$

	放射線強度(A) (Counts)	標準試料(B) 放射線強度	A/B	$^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$
竜巻地獄	8569±132	8632±146	0.9927±0.032	3.042±0.098
海地獄	8231±129	8301±138	0.9916±0.032	3.039±0.098
九重大岳6号井	8778±198	8766±162	1.0014±0.041	3.069±0.125
〃 7号井	8695±152	8706±128	0.9987±0.032	3.061±0.098
〃 8号井	8603±145	8592±161	1.0044±0.035	3.078±0.207
九重硫黄山	8858±12	860±17	0.9981±0.033	3.059±0.001

九重硫黄山の火山性のガスから採取した試料は、塩化ナトリウムとして200mgであった。此の表の測定値からみると、別府温泉の竜巻地獄、海地獄の温泉水、ボーリング深度の大きい九重の九電大岳の各井の温泉水、九重硫黄山の火山性ガス、共に、本法の測定精度の範囲内で有意の差を見出しえなかった。

$^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$ 比の測定目的は、温泉水の主要成分である Cl^- イオンの由来を深究するためであるが、上記の中性子放射化分析法では有意の差が見られず、これだけの実験ではこれら Cl^- イオン源が火山ガス(岩漿性と云われる)由来か岩石からの溶出か、または海水源(使用した標準試料は海産性)であるか不明であるが、質量分析器を用いてこの点を更に追求したいと考える。

終わりに、本研究に御援助をいただいた九大温研古賀教授に感謝申し上げますと共に、研究費の一部を負担していただいた大分県温泉調査研究会にお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) T.C.Hoering. H.E.Moore Geochim, et Cosmochim Acta 13, 225, 1958
- 2) G.Boato Geochim, et Cosmochim Acta 6, 209, 1954
- 3) H.Craig Geochim, et Cosmochim Acta 3, 53, 1953
- 4) S.Landergren Deep Sea Research 1, 98, 1954
- 5) R.N.Clayton J.Chem.Phys 30, 1246, 1959
- 6) W.V.Ault, J.L.Kulp Geochim, et Cosmochim Acta 16, 201, 1959

くじゅう火山の温泉群

(4) 長湯温泉について

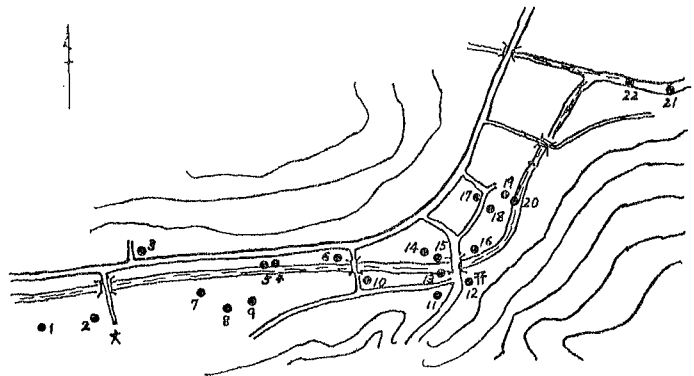
大分大学教育学部 志 賀 史 光
川 野 田 実 夫

1 緒 言

長湯温泉群はくじゅう山塊の大船山および黒嶽の東南約10kmのところ、芹川に沿って帯状に分布している。湧出地一帯の高度は約500m、表面地質は阿蘇火山系の芹川火山砕屑流（熔結凝灰岩および軽石凝灰角礫岩）で、新第三紀の今市火山砕屑流（輝石安山岩）を開析した芹川河谷に沿って約10km低位の段丘状に分布している。この芹川合地は東北東—西南西の方向性が著しく、この方向の断層が推定されており、それに沿って流れる芹川の河谷兩岸から温泉が湧出している。泉質は含炭酸土類泉で遊離の二酸化炭素を含み、多量のガスを拌って湧出している。自然湧出泉は泉温が低く30~40℃であるが、掘削によるものは一般に高温で50℃近くのものがある。

長湯温泉については1952年山下²⁾の報告があるが、その後掘削などによって湧出口および泉温等がかなり変動している。よって現在における泉質および炭酸物質の行動等を調査し、その状態を適確に把握するため、1966年10月、1967年10月および1968年10月と前後3回にわたり調査を実施した。

図1 長湯温泉採水点



2 採水状況

採水点を図1に、また採水期日を表1に附記した。

3 分析結果

表1 調査温泉分析表 単位 mg/l

(1) 昭和41年10月12~13日採水

No	温泉名	泉温℃	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₂	SiO ₂	Fe
1	甲斐 斌	40.9	6.55	400	65.0	199.9	270.1	179.9	387.1	2286	781	182	4.10
2	豊泉 荘	43.0	6.82	392	66.5	182.1	285.3	176.5	411.0	2298	818	207	
3	葛 湊 湯	43.1	6.67	450	75.5	214.3	305.5	205.3	439.0	2662	779	160	4.28
4	愛泉館 1号	34.2	6.27	372	63.0	173.6	265.8	168.1	351.1	2203	1448	167	0.31
5	〃 2号	38.0	6.54	368	60.2	191.8	270.5	175.2	359.2	2258	898	206	4.40
6	松山 茂	39.3	6.52	335	60.0	182.5	251.9	161.2	309.0	2114	792	158	4.41
7	町営田の中	39.5	6.45	374	62.4	197.4	273.1	179.7	372.7	2212	862	180	3.80
8	憩 の 家	45.0	6.70	475	78.8	229.6	332.2	217.1	474.8	2784	737	167	3.57

9	大塚・峰野	42.3	6.66	435	71.6	223.1	300.7	201.0	420.0	2570	730	224	4.18
10	大塚茂	35.2	6.30	233	41.6	128.1	175.1	106.7	238.3	1487	1144	131	3.82
11	伊藤覚	35.7	6.45	223	50.6	178.7	206.6	80.4	112.7	1900	939	167	6.40
12	天満湯	40.8	6.55	307	63.6	174.3	246.8	151.2	263.3	2105	774	227	5.40
15	長生湯	42.2	6.60	350	74.2	179.5	287.2	176.6	311.0	2387	726	195	4.40
16	大丸旅館	49.0	6.80	425	93.5	235.7	334.1	212.0	387.1	2846	585	124	3.85
17	上野屋	40.0	6.41	302	61.5	176.7	234.6	148.7	260.4	1989	887	148	4.62
18	丸善旅館	44.0	6.62	407	81.0	217.4	312.1	201.1	356.7	2698	766	175	5.07
19	御前湯	41.7	6.42	312	68.5	191.2	275.4	170.3	294.6	2341	799	221	5.32
20	御前湯下	35.1	6.31	262	52.0	143.0	202.8	125.6	214.5	1738	1047	148	2.55
	七里田温泉	38.8	6.26	337	63.6	186.9	209.7	304.3	537.7	1545	1060	181	4.28

(2) 昭和42年10月19日採水

1	甲斐斌	40.9	6.32			227.0	246.4	171.8	327.1	2270	649	170	
2	豊泉荘	41.2	6.40			232.1	271.7	176.0	335.0	2354	645	185	
3	葛淵湯	42.9	6.31			259.6	287.8	200.6	435.5	2649	661	182	
4	愛泉館1号	33.0	6.12			183.1	267.4	163.4	304.9	2180	928	151	
4'	〃1号'	36.0	6.19			112.5	245.1	124.8	234.4	1857	898	166	
5	〃2号	38.0	6.30			219.9	248.2	174.6	330.4	2232	751	160	
6	松山茂	39.0	6.29			226.1	218.4	154.3	286.8	2096	751	168	
7	町営田の中	39.8	6.29			230.1	237.1	180.2	363.8	2310	800	167	
8	憩の家	44.7	6.49			274.9	321.2	211.8	403.8	2723	642	180	
9	大塚・峰野	43.2	6.48			237.3	264.3	196.4	396.8	2549	683	167	
10	大塚茂	35.3	6.11			147.6	151.9	96.8	186.6	1438	1038	165	
11	伊藤覚	35.0	6.14			204.6	173.7	74.3	114.1	2018	928	151	
12	天満湯	40.9	6.31			194.4	223.4	145.2	265.7	2046	737	169	
13	元天満湯	37.0	6.00			163.9	181.5	119.9	210.5	1643	964	165	
13'	天満湯河原	36.2	5.99			142.2	194.2	119.9	207.2	1568	1076	158	
14	紅葉館	43.1	6.29			193.4	160.6	59.6	77.5	1708	636	177	
15	長生湯	42.1	6.30			188.2	269.3	168.3	269.9	2139	772	177	
16	大丸旅館	49.0	6.60			269.8	323.0	213.9	361.3	2844	588	194	
17	上野屋	43.0	6.20			239.4	265.4	129.7	193.6	2406	758	184	
18	丸善旅館	44.9	6.45			240.4	300.9	195.7	304.1	2686	606	184	
19	御前湯	42.0	6.38			214.8	248.2	163.4	255.4	2267	645	185	
20	御前湯下	35.2	6.11			158.6	173.6	126.2	206.4	1692	1063	152	
21	芹川の中1	36.0	6.20			130.9	246.3	145.9	226.6	2105	1166	171	

(3) 昭和43年10月24~26日採水

1	甲斐斌	39.4	6.71	368	64.0	201.2	246.3	174	397	2092	928	139	
2	豊泉荘	49.2	6.96	511	103.0	265.9	392.5	256	575	3183	754	173	
3	葛淵温泉	41.6	6.75	415	71.0	201.2	308.4	205	445	2458	909	152	
4	愛泉館1号	37.1	6.60	337	63.0	181.6	262.9	178	351	2054	964	141	
5	〃2号	35.5	6.42	353	61.0	193.7	267.7	177	377	2166	1389	148	
6	松山茂	38.2	6.67	313	58.0	169.7	261.4	171	378	2051	924	150	
7	町営田の中	37.6	6.60	320	62.0	178.5	238.0	189	356	1962	1016	137	
8	憩の家	43.0	6.87	455	77.0	185.9	358.9	263	449	2697	864	160	
9	大塚・峰野	41.3	6.79	415	65.0	204.7	303.7	200	452	2471	819	150	
10	大塚茂	34.0	6.37	235	40.2	131.3	189.9	117	171	1469	1179	128	
11	伊藤覚	35.0	6.50	213	47.5	170.6	199.6	92	118	1854	1003	135	
12	天満湯	40.1	6.60	303	58.0	192.4	242.9	164	253	2064	956	152	

13	元天満湯	36.2	6.49	233	47.0	136.1	203.0	132	255	1580	1127	135
14	紅葉館	42.1	6.60	163	37.5	163.2	183.8	73	94	1644	915	148
15	長生湯	41.7	6.64	372	61.5	208.7	277.0	182	264	2226	988	133
16	大丸旅館	47.7	6.85	400	93.0	232.7	334.6	223	384	2773	799	175
17	上野屋	40.3	6.71	278	66.0	168.0	242.9	158	293	1956	1039	145
18	丸善旅館	43.3	6.80	391	82.0	238.9	304.9	208	267	2573	894	160
19	御前湯	41.0	6.80	332	77.0	185.0	279.9	171	306	2185	868	154
20	御前湯下	34.0	6.43	235	48.0	166.2	169.4	125	140	1488	1121	137
21	芹川の中1	32.6	6.60	285	58.0	164.0	219.8	161	236	1860	1207	139
22	〃 2	30.2	6.50	340	72.0	182.9	260.2	184	273	2155	1344	154

溶存二酸化炭素および炭酸水素イオンの分析は現地で行った。

溶存二酸化炭素は200mlの注射筒で試水を採取し、これを200mlの三角フラスコに注入し直ちに1N NaOH溶液で滴定した。

他の主要成分は500mlのガラス細口ビンに試水を採取し、密栓して持ち帰り実験室にて分析した。これらの結果を表1に記す。

4 主成分間の相関

4.1 アニオン間の相関

図2、3、4に主なアニオン間の相関を示す。

さきに山下はアニオン相互間の関係を検討して、長湯温泉群には湧出機構の異なる3つの水系があると推論している。筆者らの分析結果によれば、この地域の温泉群は採水点10（図1に示す）より芹川上流域に散在するグループ（以下A群をいう）とそれ以下の下流域に散在するグループ（以下これをB群とする）の2つに大別されるようである。図2、3、4にA群の温泉は白丸、B群のそれは黒丸で記入した。以下の図においても同様である。

この図2および3にみられるようにSO₄含量についてA・B2群間ではその相関が異なっており、

図2 ClとSO₄の相関（1967年10月）

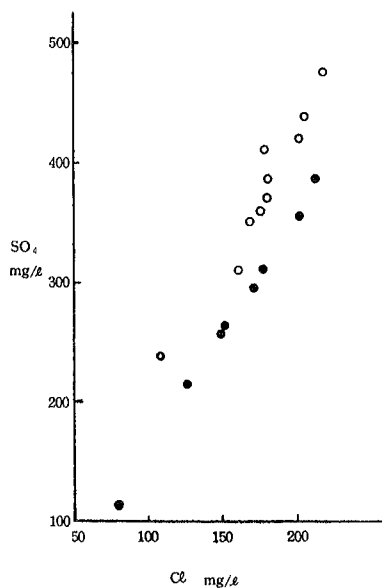


図3 HCO₃とSO₄の相関（1967年10月）

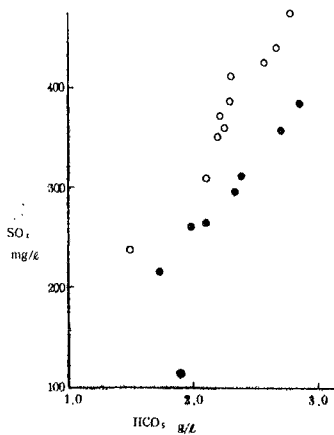
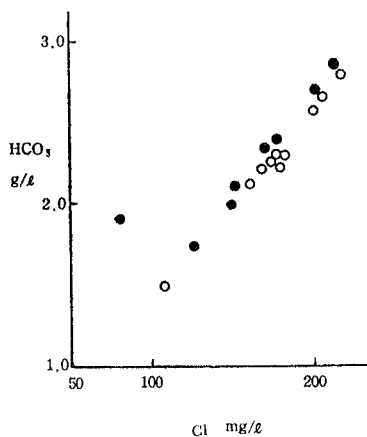


図4 ClとHCO₃との相関（1967年10月）



A群はB群のそれに比べて SO_4 の対Clおよび対 HCO_3 含量比が高い。 SO_4 についてはこのようにはっきりした区別が2群間にみられるけれども図4に示した HCO_3 -Cl間の相関では2群間にあまりはっきりした相違はあらわれておらず、B群の方が HCO_3 の対Cl含量比がわずかに高い程度である。

図2、3、4は1966年の測定結果を示したものであるが、1967年および1968年の場合もアニオン間の相関には同様な傾向がみられた。なお図3、4においてNo. 11（伊藤寛）が他の温泉の系刷からはずれており、その含有する HCO_3 量に比して SO_4 やCl量が著しく少ない。No. 11はその後の2回の測定においても同様な結果があらわれており、これと湧出場所の近いNo. 14の紅葉館（1967年および1968年に測定したので図3、4には示さなかった）もこれと同様な泉質を示すことがわかった。これらは明らかに上記のA・B2群とは異なるもので、その SO_4 やCl量が特に少ないことから考えて源泉に対する地下水の混入率が高いことが考えられるが、炭酸物質の含量が比較的に高いことからこれの供給を別に考えねばならず、結局Cl、 SO_4 と HCO_3 、 CO_2 の供給はそれぞれ別の機構で行なわれているのではないかと思わせるものである。

4.2 カチオン間の相関

主なカチオン間の相関を図5、6に示す。

図5 NaとKの相関（1967年10月）

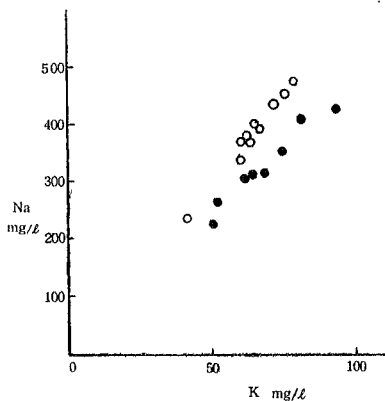


図6 CaとMgの相関（1967年10月）

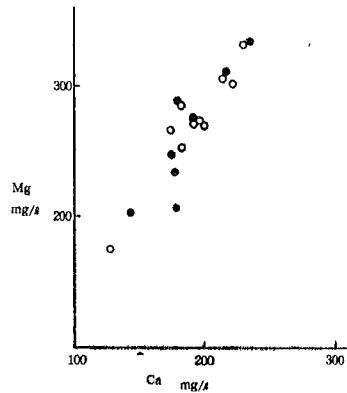


図7 (Na+K) と (Ca+Mg) の相関

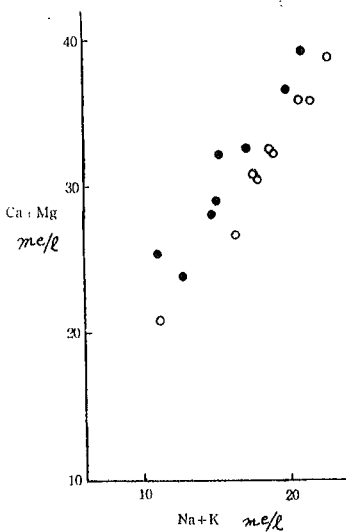
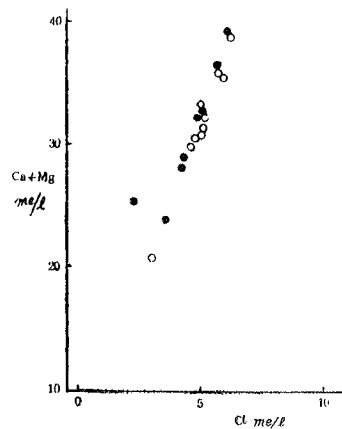


図8 Clと(Ca+Mg)の相関



前述のA、B 2群の区別は図5のNa—Kの相関図にもあらわれているが、図6のCa—Mgの相関においてはその相違はあらわれていない。

図5にみられるようにNa/K比がA群の方が高いが、このことは1968年の測定においても同様にあらわれている。これは表2にも掲げているようにKの含有割合は両群とも変わらないが、Na含有率が下流にいくに従い、すなわちB群の方が小さくなるためである。したがってその分だけ(Ca+Mg)含有率が増加する。図7にその関係を示した。Clと(Ca+Mg)の相関を図8に示したが、この場合A・B両群に相関上の相違はみられないがNo. 11がこの場合もこの系列からやはり離れているし、1968年測定の紅葉館も同様な傾向を示した。

5 イオンの当量百分率について

前にのべたように長湯温泉にはその主成分間の相関々係からみてAおよびBの2群があって、ほとんどの温泉がこのいずれかに属するが、さらにこれらとは別に相関々係において何れからみてもはずれる紅葉館および伊藤覚(旧丸長泉源)等2〜3の温泉が中央部すなわちA・B両群の境界に湧出している。

表2 長湯温泉のカチオンおよびアニオンの当量百分率 (%)

		Na	K	Ca	Mg	計	Cl	SO ₄	HCO ₃	計	Na/K	Mg/Ca	イオン 総量
1966年	A地区	33.1	3.3	18.8	44.8	100.0	9.9	15.5	74.5	100.0	10.0	2.4	
	B地区	30.5	3.7	19.6	46.2	100.0	9.8	12.8	77.4	100.0	8.2	2.4	
1967年	A地区						9.8	14.0	76.2	100.0		1.9	
	B地区						9.9	12.1	78.0	100.0		1.9	
1968年	A地区	31.9	3.4	18.7	46.0	100.0	10.6	16.2	73.2	100.0	9.5	2.3	
	B地区	29.6	3.7	20.9	45.8	100.0	10.3	11.7	78.0	100.0	8.1	2.3	
豊泉荘 (1968)		31.8	3.7	18.2	46.3	100.0	10.0	16.8	73.2	100.0	8.6	2.5	5.286
紅葉館 (1968)		22.7	3.1	25.9	48.3	100.0	6.8	6.4	86.8	100.0	7.3	1.9	2.359

イオン総量はg/l

これらの温泉の泉質の相違を量的に検討するために表2に主要カチオンおよびアニオンの当量百分率を示した。各年度別の欄はその年度に測定したA・Bそれぞれの区域に湧出する各温泉の当量%についての平均値である。

1968年測定の豊泉荘は最近新たに掘削して湧出したもので、49.2°Cの高温と共に塩分量が長湯温泉群中で最も多い。これが源泉に最も近い組成をもつものと考えてその欄を設けた。紅葉館は前述の意味でその欄を設けたもので、塩分量は調査温泉中最も少ない。

1968年測定の場合そのイオン組成からみると川上のA地区温泉群の方が豊泉荘の組成に近く、したがって源泉に近い組成をもつようである。ところでアニオン中では圧倒的に炭酸物質が多く、これらの供給機構が他の主要イオンの供給機構と異なり、別のルートで供給されこの地区の温泉水中に加わるものとするならば豊泉荘自体が区域的にはA地区にあるので、その組成は当然A群と類似したものになるはずでありアニオンの組成比だけでA群が源泉に近いものであるときめるわけにはいかない。表中の紅葉館にみられるようにClやSO₄含有率が著しく小さく炭酸物質の含有率が圧倒的に高く、かつ他のA・B両群からははずれる温泉が2〜3みられる以上、この地区全般にわたって主要イオンと炭酸物質の供給が同一機構で行なわれているとは解釈しがたい。

A・B両群のカチオンを比較した場合、B群は常にNa%が小さく、その分だけK、Ca、Mgの当量

%が増加している またアニオンについてはCl%は全温泉群についてほぼ一定で変化はみられないがSO₄%はB群が常に小さくその分だけHCO₃%が高くなっている。Na/KはA・B両地区で差があり常にこの値はB地区が小さく、Mg/Caについては地区別の相違はみられない。これらのことが4項に示した相関図にあらわれている。

いずれにしてもこの地区の温泉群は筆者らが先に指摘したようにカチオンではMg、アニオンではHCO₃が圧的でMg(HCO₃)₂型の温泉である。1967年の結果を参考にして、これらの温泉に含まれるイオンを結合させてできる塩類の化学組成を示すと表るようになる。塩分のほとんどが炭酸水素塩で重量にして80%近くを占める。

6 炭酸物質について

長湯温泉を特徴づけるものは極めて多量に含まれる二酸化炭素や炭酸素イオン等である。

図9に1968年測定の前温と溶存二酸化炭素量との相関を示した。同図中の破線はLandaltのtableより引用した二酸化炭素の溶解度曲線である。この図にあらわれているように長湯温泉中の二酸化炭素は前温に逆比例し、そのほとんどが溶解度曲線の近くに分布しており、前温の低い温泉では過飽和状態になっている。

炭酸水素イオンは二酸化炭素とは逆に前温に対して正の相関を示すが、前温が低くなるとその相関がかなりばらついてくる。これらの関係を図10に示した。同図中の×印は1967年、黒丸は1968年の測定である。

さらに二酸化炭素の湧出状況を調査するため山下が製作したガス分離装置を現地に運び、この地域の代表的温泉5口をえらび、温泉およびガスの湧出量を測定した。その結果を表4に示す。

これらの温泉は湧出量、前温、一分間あたり温泉水から分離されてでてくる二酸化炭素ガス量、総塩分量ならびに湧出場所および湧出状況等かなり相違しているが、各温泉口とも湧出量1ℓあたりの一酸化炭素の総量はほぼ一定の値(2.5~2.8g/ℓ)であることが判明した。しかしてこれらのガスは水面下12~13m以深ではすべて溶解していることになり、ガスの分離はそれよりも浅いところで起っている。

最後にこの研究費の一部は大分県温泉調査研究会によるものであることを記すると共に終始協力および助言を戴いた京都大学理学部地球物理研究所山下幸三郎博士および現地調査に協力を戴いた直入町役場の方々ならびに分析協力者佐藤史郎君はじめ大分大学教育学部化学科の学生諸士に深く感謝する。

表3 長湯温泉の塩分百分組成

	A 地区		B 地区	
	当量	重量	当量	重量
KCl	3.3	3.4	3.7	3.7
NaCl	6.6	5.4	6.1	5.0
Na ₂ SO ₄	15.5	15.3	12.8	12.7
NaHCO ₃	11.0	12.8	11.6	13.5
Ca(HCO ₃) ₂	18.8	21.2	19.6	22.1
Mg(HCO ₃) ₂	44.8	41.9	46.2	43.0
計	100.0	100.0	100.0	100.0

図9 泉温と溶存二酸化炭素量

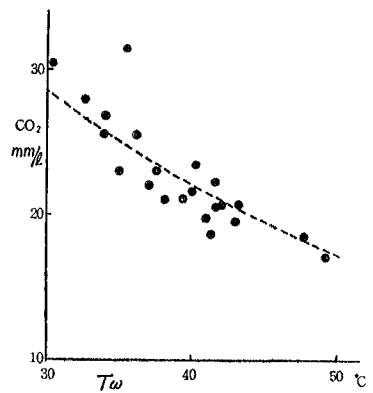


図10 泉温とHCO₃との相関

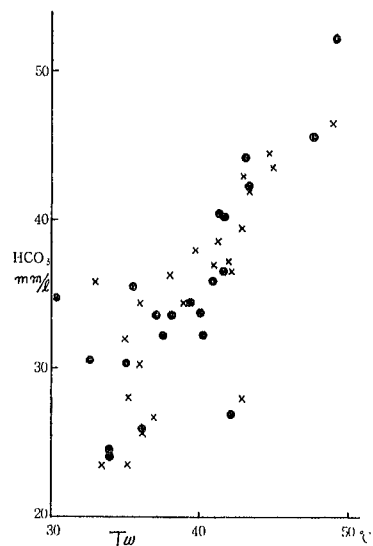


表4 長湯温泉における二酸化炭素の湧出量（山下幸三郎氏の測定、1968年10月25日）

	泉温℃	湧出量 ℓ/min	遊離CO ₂ g/min	遊離CO ₂ g/ℓ	溶存CO ₂ * g/ℓ	全CO ₂ g/ℓ	総塩分量* g/ℓ	湧出状況
元天満湯	36.0	44.11	77.185	1.75	1.04	2.79	2.586	自然湧出
町営田の中	37.8	84.54	117.767	1.39	1.16	2.55	3.306	掘削深度25m
大塚茂	34.0	72.22	70.053	0.97	1.54	2.51	2.353	掘削
甲斐斌	39.4	63.17	101.146	1.60	0.93	2.53	3.542	掘削深度104m
大丸旅館	48.0	120.96	225.695	1.87	0.90	2.77	4.441	掘削深度90m

* 筆者らの現地測定による

参 考 文 献

- 1) 地質調査所：「久住」、(1963)
- 2) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報告、3、12 (1952)
- 3) 志賀史光：同 上 18号 (1967)
- 4) 同 上：「くじゅう総合学術調査報告書（大分大学教育学部）」、(1968)

温泉熱の農学的利用 (第1報)

暖房温室の微気候

大分大学教育学部

川 西 博

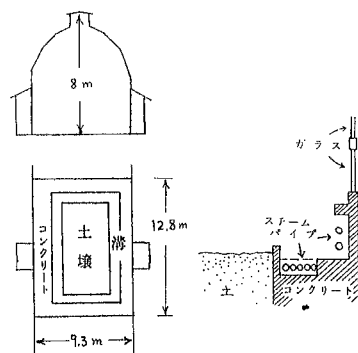
1 緒 言

昼間、かなりの日射がある場合を除いて、ガラス温室内の気温は外気温に比べてそれ程高く保たれることはなく、特に夜間など外気温との差はせいぜい1~2°C程度に過ぎず、ガラス温室の保温能力は意外に貧弱であると云われている。その理由は、一般にガラス室内の熱貯留量が少ないのに、周囲のガラスを通しての熱伝導等によって室内から熱が逃げやすいためであって、相当多量の日射等、室内の持続的な熱源として見るべきものがない限り、冬季或は夜間など、室温を植物生育のための適温に保持することは出来ないのである。しかし、近年、施設園芸が発展し温室暖房が普及するにつれて、季節に関係なく諸種の作物を栽培することが出来るようになって来た。それと同時に、温室経営の採算の面から暖房設計の問題が論議され、或いは、農業気象学的な観点から暖房温室微気候の理論的研究が活発になって来た。内島、川勝等は、暖房デグリーアワーを求め暖房に要する燃料量の算定を行なっている^{(2), (3)}。一方、温泉地域においては、地下から得られる高温蒸気等を農業用温室に導入して暖房として利用する試みが一部でなされており、これを燃料暖房の方式と比較した場合の経済性⁽²⁾の問題も興味深い。しかし、内島も指摘する通り、これらの問題に対して基本的に重要な暖房温室での熱収支の実態や、特に放熱特性など、実際的な基礎資料が至って少ない現状にあり、この方面の観測研究が望まれている。

別府市鉄輪の大分県温泉熱利用農業研究所では、地下の温泉源から得られる高温蒸気が各温室内の暖房パイプに導入され、室温制御が行なわれているが、1968年10月と1969年1月の2回にわたり、同研究所内の観賞用温室にて微気候学的観測研究を実施する機会が筆者に与えられた。本研究の目的は温泉熱の農学的利用に関する研究の第一歩として、温泉熱に暖房の施された温室の微気候学的特性、特に熱収支の実態を明らかにして、温室暖房の諸問題に関する基礎資料を得ることにある。

2 観測方法

観測の行なわれた観賞用温室は、第1図に示されるように、床が縦12.8m、横9.3m、高さ約8mでほぼ東西に長く、東及び西側は夫々ガラス戸で別の温室に接続し、南及び北側には夫々縦3.2m、横1.7mの小ガラス室がある。床の中央には長方形(8.3m×4.3m)の部分に土を入れ、各種熱帯植物が栽培されており、それらの高さは平均して3m位、最も高いものでは5mに達する。この長方形の土の部分の周囲には幅80cm、深さ40cmの溝がめぐらされ、その中に5列の暖房用鉄パイプが設置されている。この鉄パイプは外径7.8cm肉厚4mmである。又、室の周囲のコンクリート台の下にも暖房用鉄パイプが2列通してあり、その外径は5.8cm、肉厚4mmである。コンクリート台の上には小型植物の鉢が並べてある。高温蒸気は温室の北側2か所から導入され、室内のパイプを循環



第1図 温泉熱暖房温室略図

した後、南側2か所から外気中に放出される。

冬季においては、夜間は勿論昼間でも天候が悪ければスチームを通すことがあるので、1日中スチームを通さない場合の一般的状況を知り、更にそれをスチームを通した時と比較する目的で、秋に先づ予備的な第1観測を行ない、次いで暖房が必要となる冬季の状況を把握するための第2観測を行なうことにした。2回の観測ではいづれも温度等を自記記録させるために、熱電対温度計を±0.5mvフルスケールの電子管式自動平衡記録計に接続して使用した。室温の垂直分布は高さ約6mまでの3~4か所で、又、室内地温の垂直分布は地下10cmまでの2~3か所で夫々測定された。床上1.5mにおける気温と湿球温度の自記記録を得るために、熱電対通風乾湿計が用いられた。又、植物の葉面温度も熱電対を葉面にはりつけて測定された。その他、アスマン通風乾湿計にて室の内外の気温、蒸気圧を、又、水銀温度計にて、地温の読取測定を夫々行なった。以上のほか第2観測においては特に熱収支の観測に重点をおくために、日射量や室の内外での Net Radiation、室内の土壤熱伝導率等を測定した。Net Radiometer としては、ポリエチレン・ドームを附した Funk 型のものを室外に、ドームを附さない Albrecht 型のものを室外に夫々設置した。又、熱伝導率測定装置は、筆者等が岩石用⁽⁴⁾に開発したものを土壤用に改造したものである。

3 観測結果及び考察

1) 第1観測

これは1日中暖房を行なわない場合と、夜間暖房を行なった場合とについて温室の微気候学的特性を検出、比較することを目的として、1968年10月4日から8日にかけて実施されたものである。得られた観測資料のうち、5日10時から7日0時までのものをまとめて第1表に示した。

第1表 第1観測 観測資料 (1968年10月5日~6日)

日 時	気 温 (°C)			外気温 (°C)	地 温 (°C)		葉 温 (°C)	蒸気圧 (mb)		室内 相対湿度 (%)	室内日射量 (cal/cm ² ・mm)	
	1.5m	2.6m	5.3m		0 cm	- 5 cm		室内	室外			
5	10	26.0	30.0	32.2	24.0	24.3	22.8	28.8	24.4	21.5	83	0.20
	12	29.5	34.2	36.7	26.5	25.9	24.3	32.6	28.0	22.5	71	0.43
	14	25.9	27.9	29.1	23.4	24.7	24.7	27.0	26.8	22.9	87	0.12
	16	26.0	28.2	29.4	22.6	25.1	24.9	26.6	26.5	23.5	77	0.04
	18	24.9	25.2	25.5	21.7	24.8	24.6	24.9	29.6	23.7	96	
	20	24.0	24.4	25.1	20.8	24.1	24.1	23.7	27.5	23.8	94	
6	22	27.7	27.7	28.0	20.0	24.0	24.0	26.3	30.5	22.8	81	
	0	30.7	30.7	30.9	20.1	24.9	24.5	29.2	32.4	23.0	74	
	2	31.3	31.1	31.2	19.5	25.4	24.9	30.1	—	—	—	
	4	32.7	32.1	32.2	19.5	25.6	25.2	30.4	32.5	22.1	75	
	6	32.8	32.2	32.3	19.4	26.1	25.6	30.4	33.3	21.6	75	
	8	30.4	31.9	32.5	22.2	26.7	25.9	31.6	26.2	23.0	77	0.15
	10	32.6	36.6	37.2	25.6	29.4	27.9	34.3	30.0	24.0	66	0.76
	12	32.6	35.5	36.3	25.8	29.6	28.5	32.6				0.18
	14	28.6	31.1	33.6	25.0	27.8	27.7	29.3				0.65
	16	23.4	24.5	25.3	21.8	25.2	26.4	24.1				0.05
	18	25.4	25.7	26.2	21.4	24.9	25.5	25.2				
	20	25.6	25.3	25.9	20.2	24.5	24.9	25.1				
22	24.5	24.3	24.8	19.9	23.9	24.4	24.2					
7	0	23.2	23.1	23.8	19.4	23.3	24.0	23.2				

第2図は10月5日から6日にかけての自記記録から読みとった室内室外の気温、室内の地温、蒸気圧、相対湿度の2時間毎の値を示したものである。この期間内は比較的好晴で、日中は天窓をあけて

過度の昇温を防ぎ、夜間は窓を密閉して降温を防いだ。5日21時にスチームを通しはじめ、6日7時に止めている。暖房中のスチーム・パイプの表面温度は 95~100°C 程度であった。

暖房を行なわない場合、室温は1日中外気温より高いけれども、夜間はせいぜい 1.5~2°C 高い程度である。地温は夜間、深さ 5 cm の方が表面よりも高く、日中は逆という傾向は一般に室外で見られる有様と一致している。室の内外の気温及び地温の2時間毎の観測値を調和分析にかけ、その1日項の振巾、位相を示したものが第2表である。それによると、日平均値については、室内の気温、地温がほぼ等しく、外気温はそれよりも

2°C ほど低くなっている。このことは、1日中を通じて熱の一方的な流れが室内から室外に向けて起こっているが、室内地表面では一方的な熱流はなく、昼間地中に貯えられた熱量が夜間に再び地表面を通して放出されることを示している。又、振幅について見ると、室内気温が最も大きく 4.2°C、外気温がそれに次いで 3.9°C、室内地表面はかなり小さく 2.6°C であった。普通の室外の条件では、

第2表 気温、地温日変化の調和分析結果(1968年10月4日22時~5日20時) $T = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \epsilon_1)$ (20h: $\omega t = 0$)

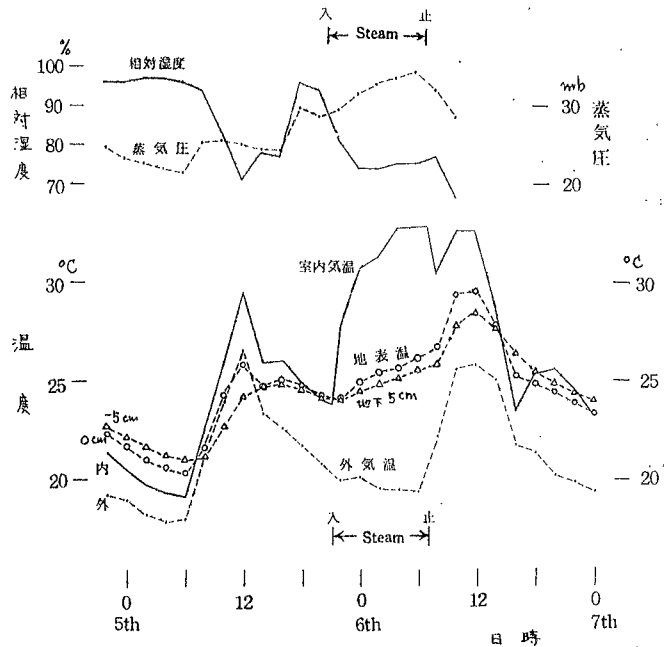
	A_0 (°C)	A_1 (°C)	ϵ_1	最高起時
外 気 温	21.1	3.9	188°43'	13h25m
室 内 気 温	23.3	4.2	179 44	14 00
室 内 地 表	23.0	2.6	161 36	15 15
室内 - 5 cm	23.0	2.0	145 42	16 15

温度の日変化の振幅は地表で最大で地面から離れるに従って減少するのである。現在の場合、温室内で日射を吸収したり放射放熱をしたりするいわゆる熱的作用面は地表ではなくて、空気中の植物の葉面などであると考えられる。最高温度の出現時刻が室内地表(15時

15分)よりも室内気温(14時0分)の方が早いこともこのような考え方を裏付けている。外気温の最高出現時刻は最も早く、13時25分頃であった。

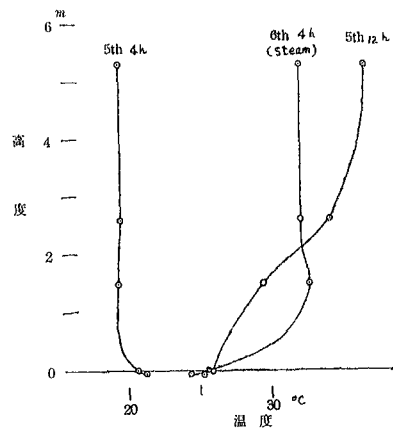
5日21時、スチーム暖房を入れて後の気温上昇の有様は、第2図にも見られる通り、最初急激に、後徐々に上昇して、6日4時以降は34.5°C位でほぼ一定値を保つようになり、外気温との差は約16°Cとなった。この場合の室温上昇の有様は、時間についての指数関数としてほぼあらわされるが、その理論的解析については第2観測の項で取扱うことにする。暖房中の地温は、日中と同様、地表で最も高くなっている。

相対湿度は、暖房をしないとき夜間高くして96~97%に達し、昼間70%内外まで低下するが、夜間暖房をすると75%内外を保った。蒸気圧は暖房中かなり高くなるが、それは床面からの水分の蒸発や、スチーム・パイプからの蒸気のもれなどによるものと思われる。朝夕2回の撒水時にも蒸気圧の急昇が認められる。



第2図 温度、湿度等とその変化(1968年10月5日~6日)

第3図には気温及び地温の垂直分布が示される。暖房をしない時には昼間上方ほど気温が高く、5日12時には1.5mの高さで29.5℃であるのに対して、高さ5m附近では36.7℃となって7℃ほどの気温差が認められた。夜間は全体の層がほぼ等温状態になっている。暖房を施したとき、地表から1m位の高さまでは、上方に向かってかなり急激に気温が上昇するが、それ以上の高さではほぼ等温状態にあって、昼間日射がある場合と比べて気温の垂直分布に幾分の違いが認められる。日射は2~3mの高さにある木の葉の表面を暖ため、そこから熱が空气中に伝達されるが、暖房をした場合には熱源が床に配置されていて、そこから強化な対流で熱が上方に運ばれるためにこのような違いが現われるものと思われる。もっとも、暖房時の気温垂直分布の有様は、場所によってかなり異なるものと推定される。



第3図 気温、地温垂直分布 (1968年10月5日~6日)

2) 第2観測

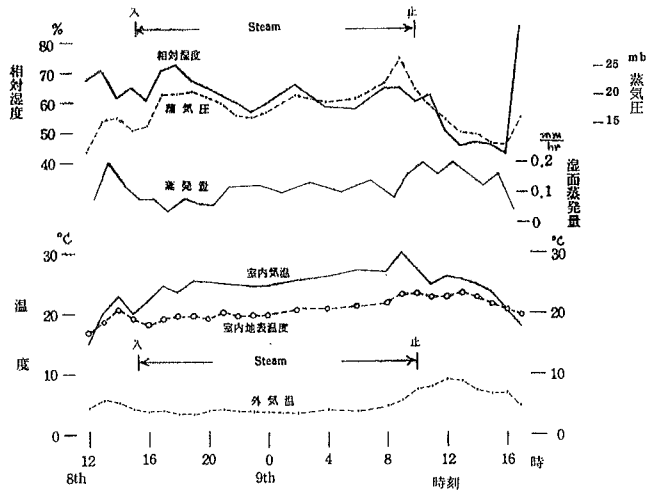
これは冬季の状況、特に熱収支の実態を知ることを目的として、1969年1月7日から10日にかけて行なわれたもので、得られた観測資料のうち1月8日12時から9日16時までのものをまとめて第3表に示した。

第3表 第2観測 観測資料 (1969年1月8日~9日)

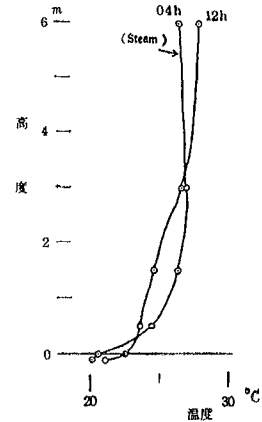
日 時	気 温 (°C)				外気温 (°C)	地温 (°C)		葉温 (°C)	蒸気圧 (mb)		室内相対湿度 (%)	湿 面蒸発量 (mm/hr)	室内土壌熱伝導率 (cal/cm·sec·°C)	
	0.5m	1.5m	3.0m	6.0m		0cm	~10cm		室内	室外				
8	12	16.4	16.4	16.4	16.7	4.5	16.9	18.5	15.6	11.7	5.0	67	—	1.55×10 ⁻³ 1.72 1.80
	14	23.0	23.0	23.4	24.1	5.2	20.3	19.2	25.1	17.3	5.2	61	0.20	
	16	20.5	21.8	22.4	22.6	3.9	18.7	19.1	19.5	16.0	5.2	61	0.08	
	18	21.7	23.5	24.3	23.8	3.4	18.9	19.7	21.6	21.2	5.3	73	0.04	
	20	23.4	25.4	26.1	25.6	4.1	18.8	19.9	23.3	20.9	5.0	65	0.06	
	22	22.9	24.5	25.0	24.4	3.9	18.3	19.9	22.9	17.7	4.6	60	0.12	
9	0	23.0	24.5	25.5	25.0	3.7	18.4	20.1	23.2	18.4	4.9	60	0.12	1.80 1.80 1.80 1.51 1.30
	2	23.7	26.0	26.8	26.3	3.6	18.9	20.1	24.4	21.3	4.9	66	0.10	
	4	24.5	26.4	27.0	26.5	4.2	19.0	20.2	24.6	19.7	5.2	59	0.14	
	6	24.8	27.0	27.5	27.0	3.9	19.6	20.2	24.8	20.6	5.1	57	0.10	
	8	24.7	26.7	28.0	28.3	4.8	20.4	20.5	25.4	23.1	4.8	65	0.14	
	10	26.3	27.9	28.2	30.2	7.5	22.7	20.9	28.1	22.0	5.0	60	0.16	
	12	23.7	24.7	26.7	28.0	9.1	24.5	21.5	29.5	16.9	6.1	50	0.16	
	14	23.1	23.9	24.2	24.7	7.4	23.5	22.1	25.2	14.6	5.6	47	0.28	
	16	19.3	21.3	21.5	21.9	7.1	21.4	21.4	19.7	12.7	7.1	53	0.16	

a) 気温・地温・蒸気圧等

第4図は1月8日12時から9日17時までの室内外の気温、室内地表温、相対湿度、蒸気圧、蒸発量等を示す。この期間中、1月8日午後から9日早朝にかけては晴れたり曇ったりの天気であったが、9日朝以後は快晴が続いた。暖房は8日15時15分に入れて9日10時に止めた。又、9日9時に天窓をあけた。外気温は夜間は3℃位、昼間は9℃位まで昇り、室温は暖房時には25℃以上となって外気温より20℃程高く保たれていた。室内地表温度は殆ど常に気温より低かった。第1観測の場合と同様に暖房を入れたとき蒸気圧は高くなるが、相対湿度は60~70%位に保たれる。蒸発量は直径2.5cmの沪紙湿面をもつ蒸発計で測ったもので、相対湿度とほぼ逆の



第4図 温度、湿度等とその変化 (1969年1月8日~9日)



第5図 気温、地温垂直分布 (1969年1月9日)

相関を示している。

室内の気温、地温の垂直分布は第5図に示されるように、大きく見ると昼間も夜間も大体似た有様を示し、上方ほど温度が高い。このことは、1日中を通じて地表面で一方的な下向きの熱流があることを示唆している。気温の垂直分布を詳しく見ると、昼間日射があって暖房をしていないときには、地表から最上部まではほぼ一様な大きさの温度勾配があるが夜間暖房をしたときには、1.5m位の高さより上方ではほぼ等温状態になっており、第1観測の場合と一致した結果を示している。葉温は、昼間日射がある時にはかなり高くなるが夜間暖房をしたときには気温より幾分低目である。

b) 放射量 室内及び室外で測定されたNet Radiationの量が第4表に示される。昼間の値では室内の方が大きい時も小さい時もあるが、夜間の放射量は室外の方が明らかに大きく、室内では $-0.02 \sim -0.03 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ に過ぎない。一方、昼間日射がガラス板を通して室内に入るときの減衰を室内外での日射計による観測から求めて見ると、第5表に示すように、減衰率は平均して約13%となった。これらの事実から、冬季の昼間、ガラスは日射をかなり減衰させるが、室内では長波放射による放出が室外に比べて小さいために、室内ではNet Radiationが室外に比べて目立って少なくなることはないも

第4表 室内及び室外でのNet radiation (Cal/cm²·min) (1969年1月8日~9日)

日 時	室内	室外
8 12	0.06	—
14	0.32	0.47
16	0.03	-0.02
18	-0.02	-0.06
20	-0.03	-0.05
22	-0.03	-0.07
9 0	-0.03	-0.07
2	-0.03	-0.04
4	-0.03	-0.03
6	-0.02	-0.01
8	0.02	—
10	0.39	0.39
12	0.52	0.50
14	0.37	0.39
16	0.13	0.09
17	-0.02	-0.10

の値では室内の方が大きい時も小さい時もあるが、夜間の放射量は室外の方が明らかに大きく、室内では $-0.02 \sim -0.03 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ に過ぎない。一方、昼間日射がガラス板を通して室内に入るときの減衰を室内外での日射計による観測から求めて見ると、第5表に示すように、減衰率は平均して約13%となった。これらの事実から、冬季の昼間、ガラスは日射をかなり減衰させるが、室内では長波放射による放出が室外に比べて小さいために、室内ではNet Radiationが室外に比べて目立って少なくなることはないも

第5表 温室ガラス板による日射の減衰 (1968年1月9日)

時	室内日射量 (Cal/cm ² ·min)	室外日射量 (Cal/cm ² ·min)	減衰率 (%)
11	0.53	0.58	9
12	0.61	0.72	15
14	0.50	0.59	15
15	0.40	0.47	12

平均減衰率 13%

と思われる。室内からの長波放射が著しく小さくなることは矢吹等⁽¹⁾や瀬尾の観測でも認められており、いわゆる温室効果として説明される。⁽⁶⁾

c) 温室の熱収支 温室内の単位底面積をもつ垂直柱の部分についての熱収支の式は、

$$Q_R + Q_H + Q_S + Q_G = 0 \quad (1)$$

と表わされる。ただし

Q_R : 放射熱収支

Q_H : 暖房発熱量

Q_S : 熱貯留量の変化

Q_G : ガラスを通しての熱伝導及び通風による熱収支

であって、各項の符号は、室内で熱源となるか又は室内に向けての熱流 (Net Flow) である場合を正と定め、cal/minなる単位を用いる。

これら各項のうち、直接測定出来たものは Q_R のみであった。暖房パイプの外面と内面の温度差を測り、これに鉄の熱伝導率をかけると原理的には Q_H が求まるのであるが、実際的には、表面温度の測定や放熱面積の決定が極めて困難であった。又、 Q_S や Q_G を直接に測ることも困難であった。そこで、ここでは日射や暖房など室内の熱源に突然の変化があった後の室温の変化に着目して温室の熱的特性量を求め、それに基づいて熱収支各項を算定する試みを行なった。

今、温室内の単位底面積をもつ垂直柱の部分について、温度を θ 、熱容量を cpV (cp は単位体積当りの熱容量、 V は体積) とし、その中で単位時間当たり一定量の発熱量 Q があって、且つ、外部に向けて室温 θ と外気温 $\bar{\theta}$ との差に比例する放熱が行なわれるとき、 λ を常数として

$$cpV \frac{d\theta}{dt} = Q - \lambda(\theta - \bar{\theta}) \quad (2)$$

なる式が成立する。 $t=0$ で $\theta = \theta_0$ として (2) 式を積分すると

$$\theta = \theta_\infty - (\theta_\infty - \theta_0) e^{-\lambda' t} \quad (3)$$

となる。ただし、

$$\theta_\infty = \bar{\theta} + \frac{Q}{\lambda} \quad (4)$$

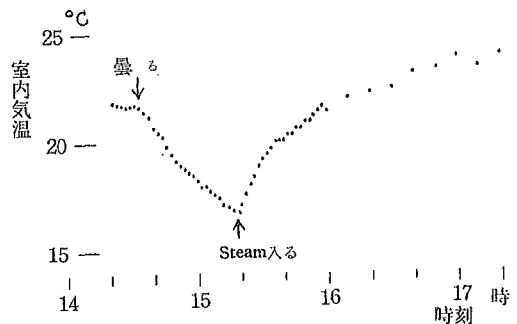
$$\lambda' = \frac{\lambda}{cpV} \quad (5)$$

である。実際の観測資料にこの理論をあてはめて、 λ' 、 λ 及び cpV 等の値を求めて見よう。1月8日14時30分過ぎ、急に曇ったためにそれまで日射があってほぼ一定値を保っていた室温が次第に低下した。更に15時20分頃、スチームを通しはじめたので室温は上昇に転じた。この時の2分毎の室温の打点記録が第6図に示される。先づ、14時40分から15時20分までは大略 $Q=0$ と見ると、 $\theta_\infty = \bar{\theta}$ となるから、この時の室温変化が (3) 式にあては

まるかどうかを調べるために、 $\log \frac{\bar{\theta} - \theta}{\bar{\theta} - \theta_0}$ を時間 t に対してplotして見た。ただし、 $\bar{\theta} = 4.3^\circ\text{C}$ 、 $\theta_0 = 21.8^\circ\text{C}$ としてある。その結果、第7図(a)のようにほぼ直線的な関係が見られるから、この場合について(3)式が成立つことがわかり、グラフの直線の勾配から

$$\lambda' = 0.0080 \text{ 1/min}$$

なる値が得られる。又、15時20分以降、スチー



第6図 室温自記記録 (1969年1月8日)

△暖房を行なった時の温度変化についても同様に $\log \frac{\theta_{\infty}-\theta}{\theta_{\infty}-\theta_0}$ の値を t に対して plot して直線グラフが得られ (第7図(b))

$$\lambda' = 0.0077 \text{ 1/min}$$

となり、上に得た値とよく一致している。ただしこの場合、グラフが直線となるように第6図の記録から θ_{∞} の値を推定して $\theta_{\infty} = 26.5^{\circ}\text{C}$ としてある。更に第1観測の時にもスチーム暖房を開始して後の室温上昇の記録得られており、同様な手続きで

$$\lambda' = 0.0077 \text{ 1/min}$$

なる値が得られ、第2観測で見出された値とよく一致している。第1観測の時に比べて、第2観測の時には風が強く、気象条件がかなり違っていたにもかかわらず、 λ' の値が一定であるという事実から見て、ガラス窓をしめ切った場合、 λ' の値が温室の構造そのものによって決まるのではないかと考えられる。熱容量 cpV を不変と見ると、(5)式から λ も温室に固有のものであろう。元来、温室から外気への熱放出 Q_c はガラスを通しての熱伝導と通風によるものことから成るが、窓を閉じた時にはいずれも外界の気象条件等にあまり影響されないであろうと推定される。

所で、1月8日14時35分までは室内において単位底面積当り $Q = 0.32 \text{ cal/min}$ なる Net Radiation があって室内外の温度差が $\theta_{\infty} - \bar{\theta} = 17.5^{\circ}\text{C}$ に保たれていたため、(4)式から λ の値が求まり、

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{Q}{\theta_{\infty} - \bar{\theta}} = 0.018 \text{ cal/min} \cdot ^{\circ}\text{C} \\ &= 3.0 \times 10^{-4} \text{ cal/sec} \cdot ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

となる。この値は内島のいう放熱係数の値の範囲 $1 \times 10^{-4} \sim 30 \times 10^{-4} \text{ cal/sec} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 入っている。 λ の値が求まれば、室温を外気温より $\theta_{\infty} - \bar{\theta}$ だけ高く保つために要する暖房発熱量 Q_H は単位底面積をもった垂直柱の部分について

$$Q_H = \lambda(\theta_{\infty} - \bar{\theta}) \quad (6)$$

で与えられる。1月8日夕刻から9日朝にかけての平均状態として、 $\theta_{\infty} = 26.5^{\circ}\text{C}$ 、 $\bar{\theta} = 4.0^{\circ}\text{C}$ なる値を用いると、

$$Q_H = 0.41 \text{ cal/min}$$

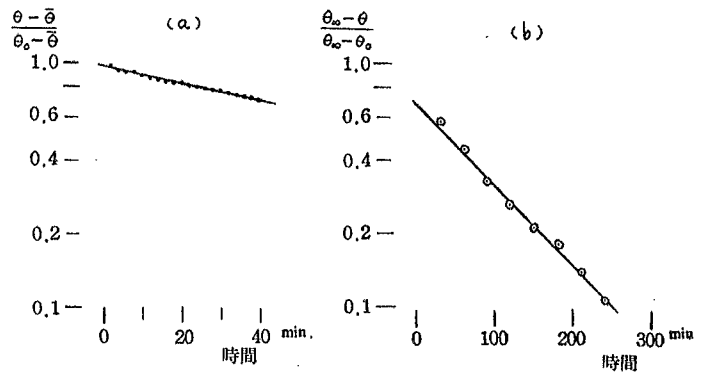
が得られる。

次に、 λ 及び λ' の値から

$$cpV = 2.3 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$$

となる。ここで、 cpV は室内の空気や植物類など温室の内容物のほかに、温室をとりかこみ、熱の貯留、放出によって温室との熱交換にあずかるものをも含めた単位底面積をもつ垂直柱の部分の熱容量と見られ、温室をとりかこむガラス類や床の土壌、コンクリート等の一部も含まれる。この温室熱容量 $2.3 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$ の内訳は

空気	0.2 cal/°C
ガラス	0.6 "
植物・土壌等	1.5 "



第7図 室温変化 (1969年1月8日)
(a)14時40分~15時20分 (b)15時20分~19時20分

と推定され、植物・土壌等が大部分を占めていることがわかる。ただし、ガラスの熱容量については床面積に対するガラス外表面積の比を2.47とし、ガラスの厚さを4mmとして、これを温室床面積に一樣に割り当てたものである。

このようにして求めた cpV の値と室内温度変化の観測値とから熱貯留量の変化 Q_s が算定される。本来ならば、熱貯留の行なわれる各部分について実測された温度変化とその部分の熱容量の値とから熱貯留量の合計値を求めるべきであるが、そのような取扱いは実際的に困難であるので、便宜上温度は室内気温で代表させることにした。室内水蒸気による潜熱としての貯留量の変化は無視出来る程度のものであった。伝導、通風による熱交換量 Q_c は熱収支式(1)から逆算出した。

1月8日12時から9日17時にかけての熱収支項算定結果が第6表に示される。

第6表 温室の熱収支諸成分算定結果
(1969年1月8日～9日) (cal/min)

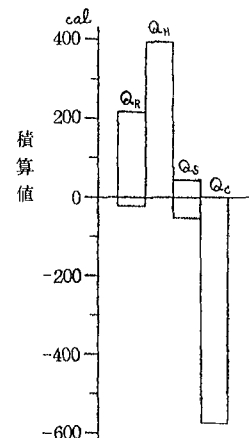
ただし、3時間乃至数時間の平均値を cal/min 単位で、又、その期間内の積算値を cal 単位でそれぞれあらわした。それによると昼間には放射熱 Q_R により、又夜間には暖房発熱 Q_H により温室内に与えられた熱量は大部分、伝導、通風による熱交換 Q_c によって放出され、室内の貯留熱量の変化 Q_s はせいぜいそれらの数分の一程度に過ぎない。8日15時から9日9時まで暖房を入れている時には、室内に熱が徐々に貯留されて行き、9日9時に暖房を止めて以後、貯留熱は放出に転じている。この期間について熱収支項の積算値を見ると、室内の熱源として与えられた熱量は、日射の形で193.8cal、スチーム暖房によるものが393.6calであって、冬季かなり好晴の日でもスチーム暖房によって与えられた熱量は日射により与えられたものに比してかなり大きく、2倍以上に達していることが注目される。これらの熱量の合計587.4calのうち大部分574.8calはガラスを通しての熱伝導や通風によって外界に失われ、残余12.6calが貯留されることになる。第6表の資料を正負の符号別に積算したものが第8図に示される。それによると、 Q_s として貯留或は放出される総熱量は日射や暖房によるものに比して極めて小さく、 Q_s によって室温の変化を緩和させる効果は余り期待出来ないことがわかる。

日 時	Q_R	Q_H	Q_s	Q_c
8 12~14	0.23	0.00	-0.16	-0.07
15~18	0.02	0.41	-0.07	-0.36
19~23	-0.03	0.41	0.01	-0.39
9 0~6	-0.03	0.41	-0.02	-0.36
9~11	0.36	0.00	0.10	-0.46
12~14	0.46	0.00	0.02	-0.48
15~17	0.12	0.00	0.10	-0.22
積算値 (cal)	193.8	393.6	-12.6	-574.8

第7表 熱貯留量 Q_s の内訳 (cal/min)

日 時	Q_s	Q_G	Q_s'
8 12~14	-0.16	0.00	-0.16
15~18	-0.07	0.01	-0.08
19~23	0.01	0.00	0.01
9 0~6	-0.02	0.00	-0.02
9~11	0.10	-0.09	0.19
12~14	0.02	-0.03	0.05
14~17	0.10	0.05	0.05
積算値(cal)	-12.6	-11.4	-1.2

第8図 熱収支項符号別積算値



所で、熱貯留量の変化 Q_s は、地中の貯留量の変化 Q_G とそれ以外の所での貯留量の変化 Q_s' とに分けられる。すなわち、

$$Q_s = Q_G + Q_s'$$

である。ただし、 Q_G は地中の熱交換量であって地表における地中温度勾配と土地の熱伝導率の実測値とからそれらの積として算出され、 Q_s' は上式から逆算出される。第7表にはその計算結果が示される。1月8日12時から室温が上昇しはじめて9日夕刻にほぼもとの室温に復するのに対応して Q_s' は積算値が -1.2cal と非常に小さくなっており、地中以外の熱貯留量がもとの復する有様を示している。一方、 Q_G は夜間暖房を施した場合にほぼZeroで、昼間はかなり大きな負値を示して、1日の積算値としては地中への熱の一方的な流出、蓄積があることになる。このことは結局、冬の暖房期間中地中を通して温室の側方への熱の流出を意味するものと思われるが、夏季の観測において矢吹等もこのような結果を報告している⁽⁴⁾。現在の場合、積算値について見ると、 12.6cal なる貯留熱量 Q_s のうち地中に一方的に流出するもの Q_G が 11.4cal であり、残りの 1.2cal は前述のように地中以外の所での貯留量である。

4 結 論

温泉熱の農学的利用に関する研究の第一歩として、暖房温室の微気候学的特性、特に熱収支の実態を明らかにして温室暖房に関する諸問題の基礎資料を得るために、温泉熱暖房を施したガラス温室で観測を行ない、次のような結果を得た。

(1) 暖房を施さない場合、室温は一般に外気温より高いけれども、日平均温度の差は 2°C 程度に過ぎない。室温は日中、上方ほど高く、夜間は上下方向にほぼ等温状態になった。湿度は日中70%内外夜間は96~97%に達した。

暖房を施した場合、室温は外気温よりも $15\sim 20^\circ\text{C}$ 位高く保たれた。室温の垂直分布を見ると、地上 $1\sim 1.5\text{m}$ の高さまで急激に上昇するが、それ以上の高さではほぼ等温状態を保つ。湿度は60~75%程度であった。

(2) 冬季の観測では、室内に入って来る日射のガラスによる減衰率は平均して13%であった。しかし、室内からの長波放射による放出量が減るために、Net Radiationとしては室外に比べて目立った減少は見られなかった。

(3) 温室内で熱源の発生、消滅が突然起こった後の室温変化が、時間と共に指数函数的に起こることに注目して温室の熱的特性量を求め、熱収支各成分の算定を行なうことが出来た。すなわち、外気温 $\bar{\theta}$ のとき室温 θ_∞ を一定に保つための室内暖房発熱量 Q は単位底面積をもつ垂直柱の部分について

$$Q = \lambda (\theta_\infty - \bar{\theta})$$

なる形で与えられる。ここで λ は温室に固有な放熱特性をあらわす常数であって

$$\lambda = 3.0 \times 10^{-4} \text{ cal/sec } ^\circ\text{C}$$

なる値が得られた。又、単位底面積をもつ垂直柱の部分について温室の熱容量 cpV の値は

$$cpV = 2.3\text{cal}/^\circ\text{C}$$

と算定された。

冬季、昼間は主として放射熱、夜間は暖房発熱により室内に与えられた熱量は大部分、ガラスを通しての熱伝導や通風などで外界に放出され、室内での熱の貯留や放出は量的に極めて小さい。熱収支項の約30時間にわたる積算値について見ると、暖房発熱量(393.6cal)は放射受熱量(193.8cal)の2倍強に達しており、極く一部床を通して側方に流出するものが認められた。

謝辞 この観測の遂行にあたっては、大分県温泉熱利用農業研究所の川田計所長をはじめ職員各位及び大分大学教育学部高田正純教官より多大の御好意御支援をいただき、本論文作成にあたっては京

都大学理学部地球物理学研究施設吉川恭三博士より御指導を賜った。ここに記して深甚の謝意を表わしたい。又、大分大学教育学部学生衛藤修、川村京子両氏には観測及び資料整理の労を分担願った。厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 矢吹万寿、今津正：園芸学会雑誌、30巻2号、1961
- 2) 内島善兵衛：農業気象、24巻2号、1968
- 3) 川勝義夫：農業及園芸、37巻11、12号、1962
- 4) 吉川恭三、川西博：大分県温泉調査研究会報告 15号、1964
- 5) 瀬尾琢郎：農学研究、49巻 3号、1962

放射能障害の温泉療法 (第25報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (X)

原子爆弾被爆者別府温泉利用研究所

八 田 秋

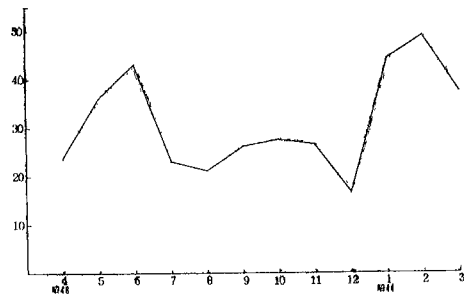
前回に引き続き、昭和43年4月より昭和44年3月までの1年間について、湯治成績を求めてみた。入所利用者数は、2月、1月、6月に多く各平均48名、44名、40.3名で定員を越えている。12月、8月、7月が平均16.4名、21.3名、22.8名と少いが他の月はほとんど25名を越えている。年間の傾向を比較すると、1日平均利用者の各月の多少は7月、8月、12月をのぞくとほとんど変わらない。年間平均31.1名は前回の22.3名より多い。そのグラフの高低をみるとその差が少く常時利用者の数が一定してきたと考えられる。

また、今回1年間の利用者実数は1,690名で前年より215名多い。

利用者の男女別は、第1表に示したように今回も前回と同様に女性が多い。

これら利用者の滞在日数を調べると「3日以内滞在者」は400名(23.6%)、「4～6日滞在者」は429名(25.6%)を占めている。1週間以上の長期滞在者は861名(50.9%)、さらに2週間以上のものは約6分の1(16.7%)と昨年、1昨年度より低い(第3表、第2図)。

図1 月別入所利用者の一日平均



さらに前回と同様に2週間前後滞在した861名中、希望によって33名につき湯治前後の検査を行った。これは年間利用者の1.9%、1週間以上滞在者の3.8%にあたる。

この33名のうち9名(27.2%)は直接の被爆者でなく、爆発直後から数日の間市内に入り数日を過ぎた例であるこの9例をのぞくと2km以内のもの24例(73.8%)で、その内遮蔽物のなかったものは約1/3である(第5表)。

検査項目の集中値限界はこれまでと同じ基準に置いた(第5表)。

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検者総数に対する割合を百分比で表わした(第6表)。

前回の成績と比較して見ると、前回同様白血球異常例及び高血圧異常例が

表1 男女別年齢別利用者数

月別	年齢	年齢別								男	女	計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66<			
4	男	4	2	3	1	7	6	4	31	58	77	135
	女	9	7	5	10	6	8	15	17	17		
5	男	1	3	4	2	3	4	9	21	47	72	119
	女	4	3	3	2	5	17	14	24	24		
6	男	1	4	3	1	4	8	12	25	58	104	162
	女	6	2	2	5	9	15	24	41	41		
7	男	5	3	1	3	4	3	7	21	47	42	89
	女	7	5	3	1	4	4	5	13	13		
8	男	18	4	4	2	4	3	5	15	55	48	103
	女	10	6	7	1	6	5	2	11	11		
9	男	2	0	3	1	3	5	7	26	47	91	138
	女	2	6	6	5	5	9	18	40	40		
10	男	3	2	2	3	4	4	19	24	51	57	108
	女	1	6	4	6	2	7	16	15	15		
11	男	6	6	3	6	2	7	10	30	70	89	159
	女	6	7	5	5	9	13	17	27	27		
12	男	3	7	5	5	6	4	13	35	78	62	140
	女	8	3	4	3	5	12	10	17	17		
1	男	13	2	1	1	8	11	15	37	88	102	190
	女	6	5	2	5	11	18	14	41	41		
2	男	2	2	1	3	6	9	18	39	80	118	198
	女	1	5	5	5	10	24	20	48	48		
3	男	2	3	2	1	2	9	5	34	58	91	149
	女	9	5	3	3	10	18	17	26	26		
計		129	98	81	80	135	223	286	658	737	953	1690

表2 昭和43年度利用者数とその延数

月別	利用者数	利用延数	一日平均数
4	135	712	23.7
5	119	1,117	36
6	162	1,306	40.3
7	89	708	22.8
8	103	661	21.3
9	138	793	26.4
10	108	859	27.5
11	159	796	26.5
12	140	512	16.4
1	190	1,373	44
2	198	1,352	48
3	149	1,173	37.6
計	1,690	11,392	31.1

表3 利用者滞在者数

月別	3日以内	4~6日	7~13日	14日以上	計
4月	44	19	57	15	135
5月	39	13	28	39	119
6月	18	56	48	40	162
7月	23	20	25	21	89
8月	45	31	8	19	103
9月	35	15	70	18	138
10月	28	22	25	33	108
11月	53	62	20	24	159
12月	9	101	23	7	140
1月	47	32	86	25	190
2月	30	23	132	13	198
3月	29	35	57	28	149
計	400	429	579	282	1690

図2 湯治期間

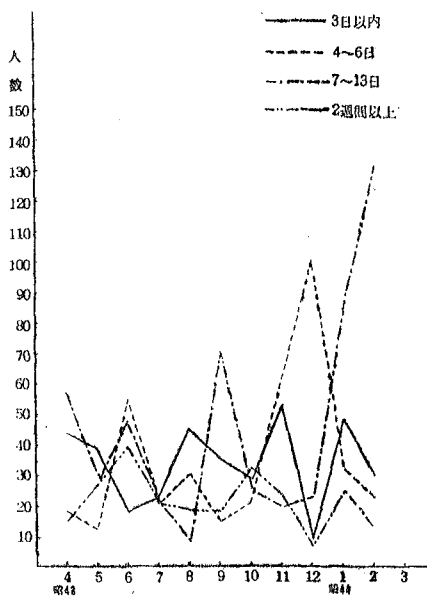


表4 被爆状況

km	例数	遮蔽		不明
		+	-	
0.9>	2	1	1	0
1.0	4	3	1	0
1.5	1	0	0	1
1.8	4	3	1	0
2.0	11	6	5	0
3.0	2	1	1	0
4.0	0	0	0	0
5.0>	0	0	0	0
爆後入市	9	0	0	0
不明	0	0	0	0
計	33	14	9	10

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	75~95%
白血球数	5,000~8,000/mm ³
最高血圧	100~150mmHg
尿タンパク	陰性
尿糖	陰性
尿ウロビリノーゲン	正常
デヴィス反応	陰性

表6 湯治前後のバラつき頻度 (33例)

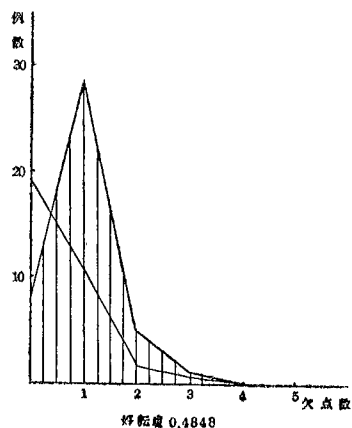
検査項目	湯治前	湯治後	
		全例	残留例
赤血球数減少	3(9.1)	0	0(0)
血色素量減少	2(6.1)	1(3)	1(3)
白血球数減少	6(18.1)	2(6.1)	0(0)
最高血圧異常	12(36.3)	8(24.3)	8(24.3)
尿タンパク陽性	0(0)	0(0)	0(0)
尿糖陽性	0(0)	0(0)	0(0)
尿ウロビリノーゲン異常	2(6.1)	1(3)	1(3)
デヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

多い。

いま各項目について前回の値と比較すると、湯治前では赤血球減少は9.1%で前回の1.7%より高いが、湯治後ではこれ等の例は集中値限界に回復している。

血色素減少は例6.1%で前回の12.2%より低い。その湯治成績では残留例も集中値限界に近づいている。

図3 好転度 0.4848



白血球異常例24.3%は前回の47.3%より低い。その湯治成績は6.1%と好転をみせている。

最高血圧異常例36.3%は前回の21.1%より高いが、その湯治成績は残留例24.3%と、かなりの好結果を得ている。

尿ウロビリノーゲン陽性例0%、尿ディヴィス反応陽性例0%であった。

以上の結果より検討すると湯治の成績は、ほぼ従来のごとくであって、特に白血球異常例及び赤血球減少に著明な効果を得ている。

更に詳細に検討してみると、湯治前には異常なく、湯治後にかえて出現した異常例は本年度にはみと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し引き、これを被検者総数で割って算出すると0.4848となり前回の0.2807よりはるかに高い。

要するに本年度は入浴の意義が良く一般に知られ、これが正しく守られたことを示している。すなわち利用者実数、毎月の利用者差が比較的少ないこと、長期滞在者の割合がこれまでとかわらないことなどこのことを裏付けるものであろう。

共同研究者（九大温研）

辻 秀男	中村 泰也	石川 晃	松山 家昌	久上 衷
曾我部輝久	和田 浩一	河野 保彦	山田とみ子	有馬 正士

主 要 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(4) 529 昭35
4. 八田：大分県温泉調査研究会 第13号 昭37
5. 八田：大分県温泉調査研究会 第18号 昭42
6. 八田：大分県温泉調査研究会 第19号 昭43
7. Osamu Hatta: Balneo-therapy for the survivors of Atomic Bomb Injuries.
8. Saito: Z. angew. Baderu. Klimaheilk.

放射線障害の温泉療法 (第26報)

中性子と γ 線障害に対する温泉効果について の実験的研究 (2報)

原子爆弾被爆者別府温泉利用研究所

所 長 八 田 秋
九大 温研外科 有 馬 正 士

原子爆弾の爆発時に生じる放射線は主に γ 線と中性子線よりなり、中性子線は距離に反比例して減衰する。

われわれは数年来原子爆弾被爆者の温泉治療の効果を種々の角よ度り発表し、 γ 線障害、中性子線には障害に対する温泉効果の実験的研究に山田、豊永の報告がある。

わたくしは昨年、大分県温泉調査研究会報告第19号に中性子線と γ 線 (^{137}Cs) の混合照射による実験的研究につき報告し、血液所見、特に白血球、網状赤血球の回復に温泉効果のあったことを報告した。

今回は放射線障害の組織学的所見より、その泉浴効果を追求した。

実験動物はddN純系マウス、体重20~25g、生後約7~8週の♂を使用した。1群を30匹とし、照射後1日、3日、5日、10日、15日、21日に5匹づつ屠殺し、胃、小腸、大腸、肝臓、睾丸、脾臓、腎臓の組織学的所見を検討した。

照射方法は回転照射法によりFast neutron(200±20)rad、 γ 線 (^{137}Cs)300rad、計(500±20)radの照射を行なった。

使用した泉種は、無浴群を対照とし淡水浴、原爆センター泉、柳湯、海地獄泉、修飾泉(温研泉にCo1.7mg/kg、ColloidS2 mg/kg付加)の5群である。

泉浴方法として照射翌日より1日1回、38℃、10分間、20日間の速浴を行なった。本論文では検査にもちいた臓器で泉浴効果のもつともよくみられた脾臓組織につきのべる。

照射後1日目には対照群を含め各群とも、全体として細胞成分の減少、萎縮像がみられる。リンパ球の崩壊像が目立ち、濾胞ではリンパ球の減少にともない基礎構造がかなり露出する。ウツ血像強くヘモンデリン沈着のみとめられるものもある。

脾中の髓外造血組織では、骨髓巨核球の増多のみとめられるものもあるが、多くは減少を示し、顆粒球、赤芽球は減少をはじめめる。

照射後3日目になると照射後1日目にみられた変化が各群とも更に強くなる。

すなわち、著明なウツ血像をみとめ、濾胞の萎縮は強まり、リンパ球の破壊像はすすみ、髓外造血組織はほとんどその機能が低下している。

全程過をつうじ、もっとも障害の強い印象をうける。

照射後5日目になると、各群の多くの動物は、照射後3日目の状態とほぼ同じ変化を示すが、泉浴群、とくに原爆センター泉群、修飾泉群には軽度であるがすでに細胞成分の増加、軽度の濾胞再生をみとめるものもあるが、ウツ血像はなお強い。細網内皮系細胞は少なく、髓外造血組織では赤芽球の出現をみとめるものもある。

照射後10日目になると各群とも回復の過程がみられるようになり、濾胞がやや拡大し、胚芽中心の

発達がよくなり、リンパ球が増加し、細網内皮系細胞が発達し、Sinushistiocytosisの出現、赤芽球増加を主体とする髄外造血組織の高度の回復がみられるが、その回復過程は対照群にくらべ泉浴群により強く、その著しい順位は修飾泉群、柳湯泉群、原爆センター泉群であった。

照射後15日目になると更に回復過程はすすみ、泉浴群では、濾胞の拡大が更に強まり、胚芽中心の形成は良好となる。円形細胞の回復が目立ち、細網内皮系細胞の増加が著明で非常に強いSinushistiocytosisがみられる。髄外造血組織では顆粒球増多にともない赤芽球減少がみられ、組織学的には正常像に回復したものもかなりみられる。

対照群でも上記回復過程は多少みとめられるが、その程度わよわく、回復過程の最良の修飾泉に比較すると、その照射後10日目の修飾泉の程度にすぎない。

照射後21日目になると泉浴群ではほとんど照射前の像に回復しているか、また過形成の像を示す。ウツ血像はほとんど消失し、細胞成分の回復、濾胞、胚芽中心、髄外造血組織の正常化がみられる。Sinushistiocytosisは強く、細網内皮系細胞の活ばつな像が印象的である。

なお、修飾泉浴群、原爆センター泉浴群、では過剰再生をしめすものすらみられた。

対照群でも回復過程はすすむが、修飾泉浴群、柳湯泉浴群、原爆センター群に比較すると回復は遅れ、濾胞の回復、sinushistiocytosisの強さなど、あきらかにおとっていた。

対照群照射後21日目の組織像は、修飾泉群、柳湯群、原爆センター群の照射後15日目の組織像に相当し、約1週間のずれがあった。

以上を要約すると、照射後1日目から5日目までは対照群と泉浴群との間に組織学的所見に差異はほとんどないが、照射後10日目になり対照群と泉浴群との間に組織学的差異をみとめるようになる。

照射後15日目には泉浴群とくに修飾泉浴群、原爆センター泉浴群、柳湯泉浴群で約80%は正常に回復している。

照射後21日目には泉浴群は正常に回復し、中には過形成を示すものもあるのに反して、対照群では回復がおくれ照射後21日目の組織像群は泉浴の照射後15日目に相当し、回復の遷延がみられた。

泉浴群では、修飾泉浴群、柳湯泉浴群、原爆センター泉浴群、海地獄群、淡水浴群の順であった。

チロジナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究

第 6 報

イオウコロイドの影響

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科

大分市医師会立病院

野 崎 秀 俊

緒 言

ここ数年来ポリオキシダーゼ活性値に対する温泉水の働きを調査研究して来たが、明パン地区温泉水の活性促進能或は抑制能について、微量成分、亜鉛、銅、ニッケル等 2 価元素の促進能と硫化水素等の抑制能の兼ね合いであり、更にモデル実験で、亜鉛と硫化水素のモル濃度比、 Zn/H_2S 3:1 の割合の場合最も強い活性促進能を有することを報告した。

第1表 明ばん地区温泉添加による放射性
反応生成物量

No.	泉 名	反応時 緩衝pH	反応生 成物量
1	地 ぞ う 泉	6.4	107.3
2	露 天 風 呂	5.8	917.4
3	平野屋上源泉(岡本屋)	6.3	727.3
4	鶴 寿 泉	6.2	540.5
5	硫黄源泉(えびす屋)	6.8	132.3
6	えびす屋硫黄泉	6.8	456.4
7	えびす屋炭酸泉	7.0	114.5
8	岡本屋硫黄泉	6.8	317.2
9	岡本屋薄明ばん泉	6.7	427.4
10	岡本屋明ばん泉	6.8	516.5

※対照 150.3cpm

その際の泉中に含有されるイオウコロイド粒子について不明な点が多く、一応後日に譲っていたが今回そのコロイドイオウのポリオキシダーゼ活性能に及ぼす影響について研究を行ったので報告する

実験方法

1) 測定法

バルビタール酢酸ソーダ授衝液 1 ml
¹⁴C チロジン溶液 0.5ml
 試 料 0.5ml

以上にチロジナーゼ水溶液0.5mlを加え、37 5°C の恒温槽中で30分間反応させ、後5μのミリポアフィルターでろ過、低バックガスフロー測定器で測定。

○バルビタール酢酸ソーダ緩衝液

14.7gのバルビタールソーダと9.7gの酢酸ソーダを蒸溜水500mlに溶解、この液5mlに、 $\frac{1}{10}$ N塩酸6.5ml、0.85%食塩水2ml、蒸溜水11.5mlを加える (pH6.7)

○¹⁴Cチロジン溶液

Lチロジン ¹⁴C (u) をLチロジン飽和水溶液に溶解、使用時の放射能は0.5mlあたり約10,000cpmであった。

○チロジナーゼ水溶液

500unit/mg のものを用時1 mg/mlとなる様に調製。

第2表 明ばん地区温泉の亜鉛、銅及び硫化水素量

No.	泉 名	蒸発 残渣 mg/ℓ	pH	亜鉛 mcg/ℓ	銅 mcg/ℓ	硫化 水素 mg/ℓ
1	地 ぞ う 泉	420	2.26	24.3	6.2	25.0
2	露 天 風 呂	948	1.95	30.2	7.6	4.61
3	平野屋上源泉 (岡本屋)	664	2.17	27.4	10.4	5.04
4	鶴 寿 泉	592	2.20	32.4	7.5	1.55
5	硫 黄 泉 源 泉 (えびす屋)		2.62	10.7	6.8	15.6
6	えびす屋硫黄泉	520	2.70	10.3	6.8	3.41
7	えびす屋炭酸泉	224	7.90	5.3	4.2	1.52
8	岡本屋硫黄泉	421	2.62	6.0	6.4	1.26
9	岡本屋薄明ばん泉	462	2.52	25.6	7.0	1.21
10	岡本屋明ばん泉	596	2.30	26.3	9.6	1.31

◦ GM測定器

窓ナシガスフローカウンター、日本無線β線用バックランド1.5cpm。

2) コロイド溶液作整法

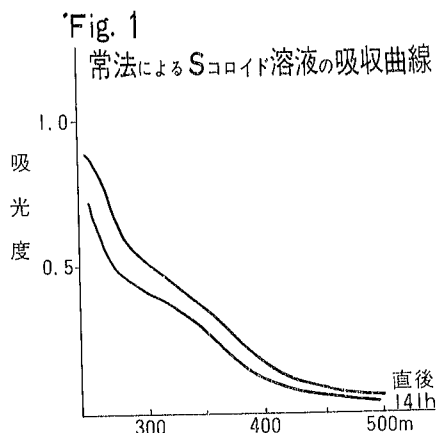
1.5N硫酸溶液 1 mlに水995mlを加え、37°Cに暖め、1.5N チオ硫酸ソーダ溶液 1 mlを加え、更に水を加え、1 ℓとする。

以上の変法（濃法）として1.5N硫酸溶液 1 mlに 1.5Nチオ硫酸ソーダ溶液 1 mlを加え、水でそれぞれ50ml、100ml、500ml、1 ℓとする。

結果及び考察

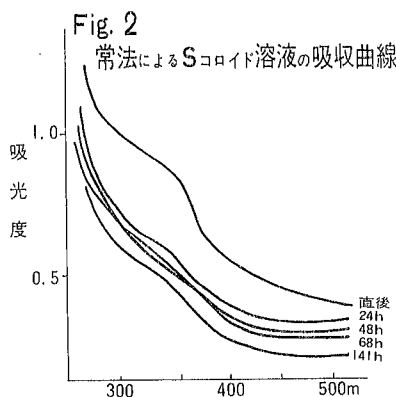
(a) コロイドイオウについて

作られたコロイドイオウ溶液の粒子の大きさということがこの実験を行う上で、最も重要なことでその為に吸収曲線を求めた。通常の方法で得られた溶液の吸収曲線は Fig 1に見られる様に作整直後



後と放置後のものとたいした違いは見られない。変法 1 ℓ法で得られた吸収曲線は Fig 2の通りで作整直後と放置後のものとかかなりの差が見られる。特に350mμの吸収カーブのブの変化が著るしい。

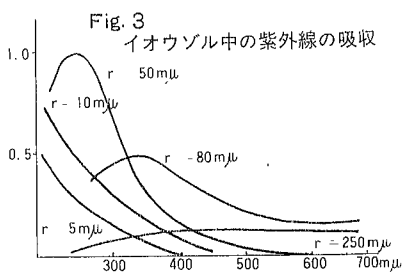
既知の粒子の大きさのコロイドイオウ溶液の吸収曲線はFig 3に示す通りで350mμに吸収を有する粒は半径80mμ 程度のもので、このことより、作製したコロイド溶液の粒子の大きさは種々の大きさのものの混合であろうが、特に濃法で作ったものは80mμ 程度の粒子のものがかなり多く、時間と共に粒子が大きくなり特有の350mμの吸収カーブが小さくなるものと考えられる。



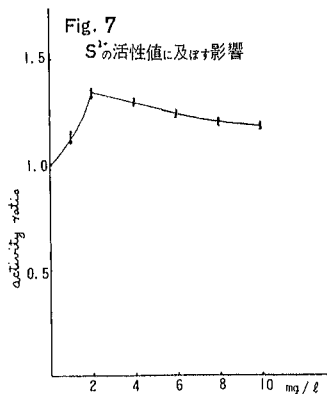
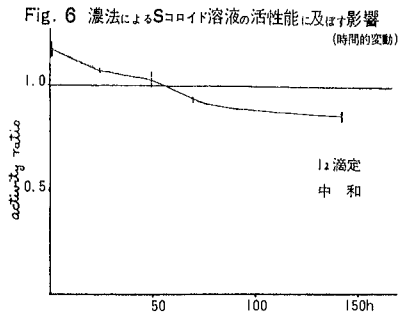
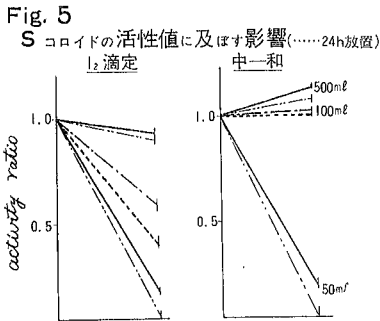
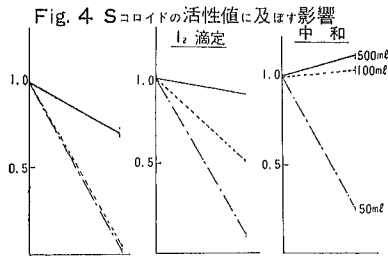
(b) ポリフェノールオキシダーゼ活性値に及ぼす影響

この実験に、濃法によるコロイド溶液 50ml、100mlのものを使用し、試料対照蒸溜水のものをも1とし、活性値比で表した。Fig 4の左に見られる様にすべて対照に比し強い抑制能を有する。ここで考えられることは未反応のチオ硫酸ソーダ及びコロイド溶液を作る際に加えた硫酸によるpHのことが問題となって来る。

そこで、ヨード溶液で滴定、チオ硫酸イオンを除き、水化ナトリウム溶液で、pH を7にもっていった図に見られる様に、ヨード滴定の操作で抑制能は弱まり、更に中和することにより、50ml法がかなり強い抑制能を示すで100ml法、500ml法の試料では賦活的に働くことが判明した。この場合、作製直後の溶液であり、粒子の大きさは変わらないと考えられるので、溶液中に含まれる粒子濃度の差からこの様な活性値に及ぼす影響の差が出たと考えられ、コロイド粒子濃度の高いものは抑制的、低いものは賦活的に働くものと思われる。



コロイド溶液作製後のものについて放置することにより、どの様な変化が起るか、活性値影響力について



実験を行った。24時間放置では、抑制能の強いものについては抑制能の弱化、賦活能のあるものは逆に賦活能の低下として現れた。粒子濃度の差により、抑制的賦活的に働くが、時間の経過と共にその力は弱るものである。

濃法、500mlの時間の経過による、活性比についてその経過を追ったが約50時間後賦活的な能力が逆に抑制的に転ずることが判明した。

(c) イオウイオンについて

前報で明バン地区温泉水の抑制能、賦活能種々様々な出現に対し、硫化水素が最も大きな働きをするであろうとの観点から実験をし、更にその実験で裏付けをし得ないものについてS²⁻イオン等の働きも加味されるものとした。

Fig. 7に見られる様にZnで賦活したものについての抑制実験である為か、Sの僅かの添加で、活性値の増強が起り量の増加と共に抑制的となる。

(d) ZnSについて

前報で硫化水素、亜鉛の量的な関係についてZn/H₂S 当量比3の場合、最も強い賦活作用があると報告し、それについては何故が不明であると報告した今回のイオウイオンについての実験でも、似た様な結果で硫化水素特有な働きでなく、イオウイオンでも起り得ることが判明した。考えられることはこれらが亜鉛と反応しZnSを作ること、これらが微量の状態の反応である為に、コロイド的な粒子となるのではないかとの考えのもとにZnSo₄とNa₂S溶液から計算量のZnSを作り、その溶液にZnを添加して酵素活性に及ぼす影響を観察した。

結果はFig. 8に見られる様に、Zn、ZnS比2:1の場合、最も強い賦活作用を有することが判った。これはZnとイオウの量的な比は3:1で前報で硫化水素と亜鉛の関係、Zn/H₂S、3と報告したのと良く一致する。これは結局ZnS粒子とZnとの関係で今回のイオウコロイドの実験でも見られる様に、新製の細いZnSが本酵素に賦活的に働く為であろう。

微細なコロイドイオウがどの様な皮膚通過を行なうか不明であるが、S²⁻イオン、HS⁻イオン或は硫化水素の皮膚或は吸気中よりの体内浸により、体内のZn蓄積部分へ到達し、新生ZnSコロイドが出来、酵素系へ賦活的に働くことが考えられる。このことは、微量金属が亜鉛のみならずS²⁻イオンH₂S或はHS⁻イオンの体内浸入により、硫化物の微細粒子となり、影響を

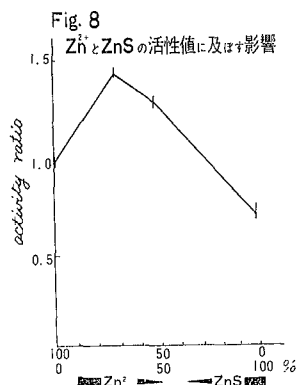


Fig. 9 イオウコロイドの電子顕微鏡写真

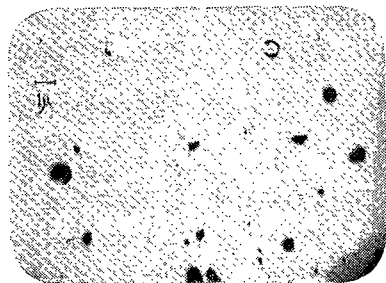


Fig. 10 イオウコロイドの電子顕微鏡写真

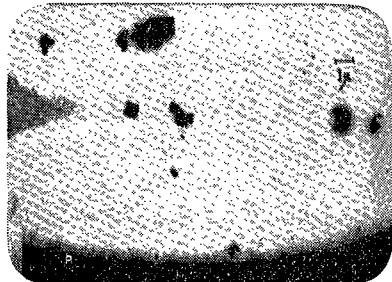
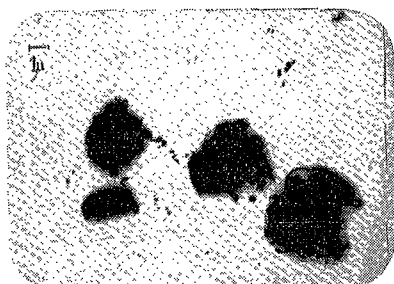


Fig. 11 イオウコロイドの電子顕微鏡写真 (放置後)



当え得ることを示唆するものであろう。

(e) イオウコロイド粒子について

(a)で吸収曲線より作製直後の粒子の大きさを直径160m μ 程度のもので推定したが電子顕微鏡で得られた写真から100m μ から200m μ 程度の粒子を主とし、勿論更に小さい粒子も有るわけであるが、時間と共にFig.11に見られる様に大きな粒子へと移行する。唯この場合、今まで我々は粒子の成長と云う言葉で表現していたが、イオウコロイドの大粒子化はこの写真で見るところでは成長でなく凝集という表現が最適であると考えられる。

む す び

チロジナーゼ酵素の活性に対するイオウ粒子の働きについて研究を行ない、一見反応性がないと見られる様な粒子が、非常に小さい状態では酵素賦活的に働き、時間と共に凝集し、その能力を失ない、遂には酵素阻害的に働く経過を知ることが出来た。

Zn, ZnSの実験よりイオウ粒子のみでなく、ZnSの如き粒子も新製の状態で粒子が酵素賦活的に働くことが考えられ、泉水よりHS⁻, S²⁻の浸入、吸気或は皮膚よりのH₂Sの浸入により、体内で新製の金属-Sコロイドが出来、酵素系に賦活的に働くであろうことが推察された。

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致します。尚、本研究は昭和43年7月 日本温泉科学会総会で発表致しました。

終わりにあたり御指導御鞭撻いただいた矢野所長、古賀教授、電子顕微鏡の御便宜をいただいた辻教授並びに二宮研究員に深く感謝致します。

主 要 文 献

- 1) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 14, 15 (1963)
- 2) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 15, 51 (1964)
- 3) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 16, 21 (1965)
- 4) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 17, 51 (1966)
- 5) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 18, 71 (1967)
- 6) VK.Lamer and M.D.Barnes : J.Phys.Colloid Chem. 54, 806 (1950)

由布院、湯平温泉細菌汚染調査について

薬務温泉課 佐藤 光 一
片岡 武 雄
衛生研究所 国 広 良 隆

浴用水には公衆浴湯法にもとづく水質基準があるが、本県では公衆浴場の汚染調査の例は非常に少ない。温泉の細菌汚染調査の例も少ない。

温泉公衆浴場は、浴槽から湯がいつもあふれている状態が多いので、汚染は問題にならないときめられがちであるが、はたしてどの程度のものか知るため、今回湯布院町宮浴場について由布院地区1回、湯平地区3回と塚原温泉1回の細菌検査を行なってみた。第1表は湯平の6浴場、第2表は由布院の5浴場と塚原の1浴場の成績である。

1 湯平地区

大湯源泉は湯平部落を流れる花合野川上流部の左岸にあり、湯平温泉の元湯というべき源泉である。設えつけの大ビシヤクで自由に汲取り部落や浴客の飲用その他につかわれている。また下流にある第1表の各浴場に引湯されている。たまたま第2回の調査の前後の頃、源泉上屋を鉄筋コンクリート製に改造工事中であった。泉質は高温の弱食塩泉である。

1) 金の湯

浴客の絶えまなく利用されているが洗場が狭く、やや暗い。大湯の直前にある。

2) 中の湯

金の湯の若干下流の右岸にある。

3) 砂湯

中央温泉とも呼ばれ、金の湯の少し下流の左岸にあり、入口に飲用にもされる源泉があり大湯からの湯とほぼ等量を元ばこで混ぜて使っている。

4) 銀の湯

右岸では最も下流に当る浴場。大腸菌の検出が他に比し多い。

5) 橋本湯

左岸最下流にあり、部落では一番下（北）に位する。浴室は最も広い。源泉は中の湯附近の右岸にある。

6) 見晴湯

部落の南の高台にあり、ポンプ揚湯によっているため深夜休止する。利用者も少ないためか汚染度も最も少ない。源泉は大湯の少し上流右岸にある。

2 由布院地区

いずれも重曹泉系の単純温泉であり、それぞれの源泉をもってあてられている。調査した浴場以外にも数ヶ所の公衆浴場が町内に散在しているが、代表的なもの5ヶ所について調査した。

1) 西石松温泉

板張りの間じきりで簡単に区別されているが、浴槽は男女共通の一槽である。源泉は沸騰泉で、湯だけが浴槽に導かれている。

2) 田中市温泉

現地の人のお話では最近非常に利用者が多いとのことであり、建物も改築されて新しいが、浴槽が同じものが男女2個ずつあるものの、いずれも小さく多人数の収容力はない。

3) 乙丸温泉

中心地にある浴場で建物も比較的大きい。入口の前に源泉があるが、簡単な蓋があるだけで元はこの湯溜ですでに汚染がみられることは管理面で改善を要するものと思われる。

4) 湯坪温泉

屋内浴槽と露天風呂とは、別々の源泉があてられている。男女は別の浴槽であるが、間じきりの下で一部穴で流通している。

5) 岳本湯

混浴の浴場で源泉ゆう出量も最も豊富である。38℃の温泉が水面下に別に、相当量でている。細菌数も最も少なく調査対象の中では一番良好であった。

3 塚原温泉

シーズンオフでもあり、人口も11人で調査日の浴客10人内外。強い酸性泉と谷水を混用している。外観は若干濁っているうえ少々ゴミの浮游も認められるが、細菌汚染は最低値であった。

総 括

いろいろな制約のため経時的変化をみる調査ができず、時点毎の状態をみるにとどまったが、おおよそそのところ

1. 一般細菌数からみると特に汚染度が大きいとはみられない。夕方の利用者の多い時刻でも最高値は湯平金の湯の21万個で全体でも10万以上検出されたのは9回であった。
2. 大腸菌も一部を除いて概して少ない。

設備からみると大部分の浴槽が縁が低く、最も低いものは砂湯の3 cm、銀の湯の4 cm。それに加えて洗場の面積が狭いものが多く、給湯量を増すかまたは浴槽の改造など公衆浴場としては改善の要があると思う。また乙丸温泉のように元ばこの湯溜で汚染のみられるものは源泉管理のうえからも改めなければならない。

今回は細菌検査のみしか行なわなかったが、これのみで汚染度の推移をみることは困難である。公衆浴場法の基準にもとづく化学及び物理的検査もあわせて行なえたならば、また詳しい検討も加えられたものと思う。終わりに本調査に協力いただいた湯布院町に感謝します。

第1表

湯平温泉公衆浴場汚染調査成績表

番 号	調査場所 及び区分	第1次 (11月5日)						第2次 (11月25日)								
		第1回			第2回			第1回			第2回					
		時刻	温度 ℃	浴 員	一般細菌 U/ml	大腸菌 U/ml	時刻	温度 ℃	浴 員	一般細菌 U/ml	大腸菌 U/ml	時刻	温度 ℃	浴 員	一般細菌 U/ml	大腸菌 U/ml
1	大湯源泉	11.45	86.5		0	0	11.50	82.0		6	0					
2	金の湯		82.0					79.0		9						
3	男		44.5	3	17,000	(1)	1	46.0	8.5	2	2,800	1	3,000	1	3,000	0
4	女		43.5	0	22,000		2	45.0	7.0	0	2,000	0	3,000	0	3,000	0
5	水道水							15.30		6	6	0				
6	中の湯	11.50	77.0		9			12.00		7	7	0				
7	男		48.0	0	18,000		15	44.0	6.0	1	3,400	3	8,400	0	8,400	0
8	女		47.5	0	73,000		1	47.0	6.0	0	480	0	4,800	(9)	8	3
9	砂湯	12.00	62.5		8			12.05	64.0		0	0				
10	男		44.5	0	3,000		4	50.0	8.5	0	7,000	0	7,300	1	7,300	1
11	女		45.0	0	1,400		1	43.0	12.0	0	5,600	0	8,400	0	8,400	0
12	銀の湯	12.05	54.0		7			12.10	61.0		2	0				
13	男		45.0	0	190,000	(105)	65	43.0	9.0	3	2,600	0	6,200	1	6,200	1
14	女		46.0	0	5,600	(15)	15	43.0	7.5	2	3,000	0	3,000	(8)	7	1
15	槽本湯	12.10	57.0		4			12.15	64.0		0	0				
16	男		45.0	2	7,000		2	46.0	14.0	1	8,400	1	7,000	0	7,000	0
17	女		45.5	3	3,200		1	43.0	12.0	2	12,000	0	8,400	0	8,400	0
18	見晴湯	12.20	58.0		10			12.25	59.0		1	0				
19	男		44.0	2	5,000		4	42.0	4.0	0	52	0	200	0	200	0
20	女		44.0	0	6,000		1	40.0	7.0	0	1,400	1	560	0	560	0

() 内の数字は40時間室温放置後の菌数

() 内の数字は24時間室温放置後の菌数

註

番 号	調 査 場 所 及 び 区 分	第 3 次 (12月12日)												浴 槽 容 積 m ³	備 考		
		第 1 回				第 2 回				第 3 回							
		時刻	泉温 ℃	浴 員	一般細菌 □/ml	大腸菌 □/ml	時刻	浴 員	一般細菌 □/ml	大腸菌 □/ml	時刻	浴 員	一般細菌 □/ml			大腸菌 □/ml	
1	大腸源泉	11.07	88.0		1	0											
2	金の湯	11.10	83.0														
3	男	〃	45.5	6.5	6	2	30,000(0)	0	68,000	0	18.00	7	210,000	1	5.18		
4	女	〃	46.0	6.0	0	0	32,000	0	49,000	0	〃	3	180,000	2	5.18		
5	水道水	〃	17.0		3	0											
6	中の湯	11.15	76.0		4	0											
7	男	〃	45.0	5.0	1	1	15,000	0	66,000	0	18.02	4	70,000	0	2.52		
8	女	〃	41.0	6.0	1	0	20,000	0	46,000(0)	2	〃	0	82,000	1	2.52		
9	砂 湯	11.20	63.0		0	0											
10	男	〃	48.0	9.0	0	0	9,000	0	14,000	0	18.05	1	20,000	1	1.82	大腸源泉と	
11	女	〃	44.0	13.0	0	0	10,000	0	12,000	1	〃	3	40,000	0	1.82	ほぼ等量の	
12	銀の湯	11.25	58.0		0	0											
13	男	〃	43.0	5.5	2	1,200	12,000	1,200	70,000	500	18.08	1	72,000	160	2.34		
14	女	〃	45.0	7.0	4	45,000(1)	45,000(1)	5	120,000(10)	12	〃	0	120,000(9)	7	2.34		
15	橋本湯	11.28	61.0		0	0											
16	男	〃	46.0	15.0	0	0	11,000(2)	3	100,000	1	18.10	2	100,000	0	3.56		
17	女	〃	45.0	12.0	1	3,500	3,500	0	72,000	0	〃	0	110,000	0	3.56		
18	見晴湯	11.35	53.0		1	0											
19	男	〃	46.0	13.0	0	0	1,100	0	4,200	0	18.17	0	7,000	0	1.06		
20	女	〃	43.0	〃	0	0	3,500	0	19,000	0	〃	2	35,000	0	1.06		

() 内の数は24時間室温放置後の菌数

註

第2表

由布院温泉公衆浴場汚染調査成績表 43年11月12日

番 号	調査場所及び区分	第 1 回				第 2 回				槽 浴 容 m ³	備 考		
		時 刻	温 度 °C	浴 員	一般細菌 n/ml	大腸菌 n/ml	時 刻	温 度 °C	浴 員			一般細菌 n/ml	大腸菌 n/ml
1	西石松温泉 元ばこ 共通槽	11.25	83.5	—	0	0	—	—	—	—	—	泉量 7.5ℓ/m	
2		11.30	39.0	0	2,800	0	18.00	—	8,400	1	8.38		
3	田中市温泉 源 元ばこ 男 男 女 女	11.35	65.0	—	0	0	—	—	—	—	—	泉量 測定不能	
4		〃	59.0	—	70	0	—	—	—	—	—		
5		11.40	39.0	0	2,800	0	18.05	—	13,000	1	1.76		
6		〃	45.5	0	90,000	1	〃	—	52,000	0	1.75		
7		〃	45.5	0	19,000	0	〃	—	25,000	0	1.75		
8		〃	42.5	3	70,000	0	〃	—	110,000	0	1.65		
9	乙丸温泉 元ばこ 男 女	11.57	54.0	—	4,500	(76) 3	—	—	—	—	—	泉量 測定不能	
10		12.00	44.5	2	10,000	(140) 33	18.20	—	100,000	(4) 5	3.35		
11		〃	43.2	2	5,200	1	〃	—	60,000	3	2.84		
12	湯坪温泉 元ばこ 男 女 露	12.10	64.5	—	1	0	—	—	—	—	—	泉量 測定不能 露天風呂 源泉71.0°C	
13		〃	43.5	1	1,800	0	18.30	—	62,000	(4) 5	7.2		
14		〃	45.0	3	3,000	1	〃	—	26,000	3	7.2		
15		12.18	41.8	2	1,000	11	18.35	—	1,400	—	9.82		
16	岳本温泉 源 共通槽 露	12.30	71.0	—	0	0	—	—	—	—	—	泉量 30ℓ/m 他に38°Cの 源泉あり	
17		〃	43.5	0	30	0	18.40	—	300	0	2.65		
18		〃	—	—	—	—	〃	—	3,000	0	—		
19	塚原温泉 元ばこ 男 女	14.45	56.0	—	0	0	—	—	—	—	—	泉量 測定不能 用水の一般 細菌45	
20		〃	43.0	3	0	0	—	—	—	—	—		
21		〃	44.0	3	1	1	—	—	—	—	—		

註 1. 塚原以外の稀釈用水は水道水で何れも細菌数は0であった。
2. () 中の数字は24時間室温放量後の菌数を示す。

直入地区（長湯、七里田、法華院、 久住、竹田）並びに日田地区（天瀬、 日田、杖立）温泉の現況調査

薬務温泉課

山 田 不 二 丸
佐 藤 光 一
矢 野 行 雄
羽 田 野 宗 人
片 岡 武 雄

直入、日田両地区内の温泉現況を把握するため、昭和44年1月下旬より4月上旬の間に調査を実施した。

調査方法については、従前どおり、温泉台帳登載の温泉について温度、ゆう出量、口径、深度、埋設管の種類別、ゆう出地の確認等を行い、あわせて字図上に分布図を作成した。

各地区温泉の概要は次のとおりである。

1 直入地区温泉

長湯、七里田、法華院、久住、竹田の5カ所の温泉群に分けて調査した。その調査状況は第1表のとおりである。

第1表 直入地区温泉

種別	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
地別	孔	孔	℃	℃	m	m	ℓ/m	ℓ/m
長 湯	35	20	50	39.6	192	84.3	117.3	2,345.7
法 華 院	7	5	45.5	41.2	60	26.6	54.0	270.0
七 里 田	3	1		38.5		50	237.3	237.3
久 住 (赤川含む)	5	2	26.5	25.5	280	163.7	39.5	79.0
竹 田	3	3	19.5	14.8			13.1	39.2
計	53	31		38.9		88.1	95.5	2,971.2

註 久住（赤川温泉を含む）温泉内九重硫黄鉱業所の硫黄採取用として利用している噴気は、源泉の温度測定ができなかったので本表には記載していない。

対象総孔数53孔のうち活動孔は31孔、他は停止又は現孔不明であった。

活動孔は掘さくによるもの27孔、自然ゆう出を利用しているものは4孔である。泉温は平均38.87℃（竹田は鉱泉のため除く）で低い温泉が多く、最高温度は長湯温泉の1孔の50℃である。

2 日田地区温泉

天瀬、日田、杖立の3カ所の温泉群がある、その調査状況を地別に統計すると第2表のとおりである。

第2表 日田地区温泉

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
		孔	°C	°C	m	m	m/ℓ	ℓ/m
天 瀬	自噴 動力揚湯 (水を混合) 動力揚湯 (直結)	8		71.8			98.5	788.0
		20		54.5			64.7	1,032.8
		14		64.2			32.4	421.3
小 計	73	42	100.5	61.6	300	51.4	60.6	2,242.1
日 田	8	3		38.7	700	647.6	240.0	720.0
杖 立	2	2		59.0	200	200.0	135	270.0
計	83	47		59.8			77.0	3,232.1

i) 天瀬温泉

天瀬温泉の多くは玖珠川の両岸の河敷よりゆう出している、温泉に河川水の直接混入を防ぐためにセメントの井戸枠を設けて、これに温泉を溜め、高温のものには水を混入し、温度を下げてポンプで浴場に揚げて利用している。

総孔数 73 孔のうち 42 孔が活動孔でその他は埋孔又は現孔不明である。おおむね温泉は高く最高 100.5°C の噴騰泉があり、測定できたものうち 80°C 以上の高温のものが 7 孔あった。

ii) 日田、杖立温泉

両地区内の活動孔 5 孔自噴泉はなし、ポンプ揚湯により浴用に供している。

3 温泉利用状況

温泉利用形態は旅館、保養所、公衆浴用（部落共同浴場を含む）のほか、個人、自家浴用に使われているが、その量は 5,547 ℓ/min で総ゆう出量の 90% に当る。また 76% は公共の浴用（旅館、保養所 3,580.5 ℓ/min、公衆浴用 1,168 ℓ/min）に供されている。

また、温泉地別にした利用率は日田、杖立、七里田温泉は 100%、天瀬 95%、長湯温泉は低温のため未利用のものが相当あり 78% の利用度を示している。その状況は第 3 表のとおりである。

第3表 利用状況

地 別	利 用 別	公 共 用				自家用	そ の 他	計
		旅 館 保 養 所	量	共同浴場 温泉会館	量			
			ℓ/m		ℓ/m	ℓ/m	未利用 ℓ/m	ℓ/m
長 湯	8	1086.8	4	301.9	446.0	511	2,345.7	
法 華 院	1	204.0	1	64.0	〃	2	270.0	
七 里 田 住			1	237.3			237.3	
久 川 含 む	1	77.0				2	79.0	
竹 田			2	24.2		15	39.2	
天 瀬	23	1442.7	7	320.6	352.8	126	2,242.1	
日 田	12	500.0	1	220.0			720.0	
杖 立	1	270.0					270.0	
計	46	3,580.5	16	1,168.0	798.8	656	6,203.3	

終りに本調査に協力していただいた、竹田保健所工藤文雄、岩下一蔵、日田保健所安藤文哉、兼子成人の諸氏に感謝いたします。