

# 大分県温泉調査研究会

## 報 告 第 2 4 号

昭 和 4 8 年 3 月

---

### 目 次

別府温泉の地下構造 (2) .....	吉 川 恭 三..... (1)
由布院温泉の化学成分からみた 水系とその流界 .....	川 村 政 和..... (7) 山 下 幸 三 郎
別府流域の利用水量と地下水涵養量 .....	由 佐 悠 紀..... (22)
地熱地域における浅層地下水に 関する研究 .....	川 村 政 和..... (27)
温泉法の問題点の考察 (I) .....	大 野 保 治..... (40)
原爆被爆者の温泉療法 (第4報) .....	八 田 秋..... (46) 辻 秀 男
カドミウム中毒に対する温泉の影響 .....	局 敏 郎..... (52) 広 瀬 忠 男
別府地熱地帯の噴気ガス成分 .....	古 賀 昭 人..... (55) 野 田 徹 郎
九重・大岳八丁原地区深部熱水の 微量成分 .....	野 田 徹 郎..... (64) 古 賀 昭 人
八丁原大岳地区熱水の生成機構 (1) .....	山 下 幸 三 郎..... (74)
くじゅう火山の温泉群 (8) .....	志 賀 史 光..... (82) 川 野 田 実 夫 広 田 寧 孝
地熱発電熱水の河川に対する影響調査 ...	溝 口 昇..... (88) 藤 野 卓 見 矢 野 行 雄

## 別府温泉の地下構造 (2)

京都大学理学部 吉 川 恭 三

### 5 地質環境との関係

前報告<sup>1)</sup>の要点は、別府温泉における熱活動の分布が、一次的には地下の食塩泉型熱水の流動状態を反映したものだということであった。流動状態という表現には二つの面を含んでいる。一つは流動している層の所在という幾何学的なもの、他は流動の方向、速度など力学的なものである。そして、その地中温度の分布で最も特徴的なのは、南北両断層近くで地温が高く、中央部で低いということであった。その低温化して行く状態は南と北とで違っている。南部高温域は南北方向に比較的狭い範囲に限られ、境川のやや南から北に向って急激に低温化し、そこには熱水からのガスを起源とした重炭酸イオンの多い温泉が分布してその高温域の北限を造っている。それに対し、北部高温域での等温線は南に向っていくらか深まりながらもかなり広い範囲に高温域を示し、実相寺山と大平山を結ぶ線よりやや南側まで続いている。この状態は前報告、図2のc、f断面での地温分布からもうかがえるし、またもっと上流の横断道路に沿う掘削資料でも、坊主地獄近所の深度110mで153°から南に向って、扇山会館で深度300mの185°、イトーピア泉源の500mで176°、労銀住宅の500m、162°、さらに多中原の林興産での550m、146°と、そこから熱水が採取されるかどうかは別として、高温範囲がゆるやかな傾斜で深まりながら広がっていることが示される。残された低温域には深い掘削例がないために等温線の分布がどこまで深くなるのか分らないが、下流部での状態から見て、もし150°の等温線が書けるとしてもかなりの深さと考えなければならない。この帯状低温域を上流に延長すると、森山による境川火山岩<sup>2)</sup>の分布範囲に当る境川上流のいわゆる鶴見溪谷に及ぶ。

こういう地温分布の特性と地質条件との結び付きは、近年、森山らの研究で明るみに出てきた<sup>3)</sup>。南部高温域は堀田付近から境川のやや南をまっすぐ西に向う線と朝見川断層とはさまれた三角形の地域に含まれており、これは掘削深度内に筑紫溶岩と呼ばれる輝石安山岩が存在し、それが角閃石安山岩である山陰系新期安山岩類の堆積で被覆された範囲に当る。この筑紫溶岩は朝見川断層以南の小鹿、鹿鳴越火山岩類と同質で、それが北落ち断層作用により沈降しさらに崩壊、堆積したものを含むと考えられ、上記の角閃石安山岩は主に鶴見岳火山岩の崩壊、沈積によるものに違いない。この筑紫溶岩は南部高温域の北端で、さらに北に向って大きく沈下したものの如く、この線より北では500m以深の掘削例でもその存在は確かめられていない。この輝石安山岩の分布と地下等温線の分布、ひいては温泉水の塩素イオン含有量の分布とがその傾向としてはよく一致することから、この輝石安山岩の層が南部高温域での熱水貯湯層と考えられている。

しかし、輝石安山岩と角閃石安山岩との岩石の質の違いをただちにそこを流れる温泉水の性質の違いに関係づけることはできない。北部高温域で同様な食塩泉型熱水の流動している範囲には、山陰系火山岩類の角閃石安山岩だけで輝石安山岩は見出されていない。森山により地質資料のはっきりしている実相寺山、大観山以東の海岸地域について言うと、高温で熱水の流動しているとみられる層は、上部を鶴見岳火山岩の堆積でおおわれたそれより旧期の水口山溶岩の分布する範囲に当る。もっと西方の地熱域における地下試料は変質が烈しいためまだ明らかにされていない。しかし、これまでに分っている範囲について別府温泉の南部、北部の高温域に共通に言えることは、新しい火山岩に被覆されたもう一つ以前の火山岩層内を高温な地下熱水が流動していることである。そしてそれより上部の新期火山岩層からは、その熱水から発した地下蒸気で加熱された温泉水が採取されている。このことは地下熱水の流動範囲をきめる要素がその貯湯岩層の性質にあるのではなく、火山岩又はその堆積物の層序関係に基づく水理的因子にあることを示す。その要因としては、各岩層の接触部付近に透水性

の悪い、例えば凝灰岩層などが存在し上層又は中央低温帯への熱水の流入を妨げている効果が考えられる。しかしすでに述べたように、一般上流域では地下水の downward の浸透、供給が行なわれ、地熱域では upward の蒸気の上昇流動が存在している。又、下流域の一部では下層から高温水が上昇して来る地域もあるなど、この挟在層の不透水性は完全なものではなく、またその存在する範囲に地域的な違いがあるとみななければならない。南部のいわゆる海門寺温泉脈のやや北側から境川さらに餅ヶ浜付近にかけ等地温泉が急傾斜に移る地域では、輝石安山岩が出始める地下 100m 程度以深に炭化した植物化石を含む火山灰層の混在が示されている。また北にとんで春木川川口での試料には角閃石安山岩の堆積の中に同様のものが地下 100m 付近に現われている。この出現し始める深度がほぼ同じことからこれらの地域はその時期にほぼ同様な堆積環境にあったろうと推定される。一ボーリング業者の話によると、このような炭質土は境川付近ではかなり奥の野口原あたりにまで見られると言う。こういう地域はこの堆積時期にさらに深くまでへこんだ低地であったことは確かだし、逆に、こういう炭質土の現われぬ海門寺温泉脈以南、餅ヶ浜から観光港の間、さらに春木川以北の地域ではこの堆積時期にすでに山体を成していた高地部と考えられる。これら山体からの崩壊物がこの谷状部分を埋め、その後の沖積作用と共に現在の地形に近づいたのであろう。

この春木川川口での -100m 付近の炭質土につき、学習院大学の木越教授に  $C^{14}$  法による絶対年代測定を依頼したところ、19,200±400年 B.P. (1950年以前の年数) という結果が得られた。この年代はウルム氷期の最盛期とほぼ一致する。絶対海水位を示すユースタティック曲線によると、この氷期による海面低下は18,000年 B.P. 頃に最高の -120m 程度に達しており、九州近海でもほぼ同様の推移を示したと言われている。これからすると、この炭質土を含む層は海面最低時にやや先立つ急速な海退期の後半に形成されたことになる。もしこの谷状部分を満たしていた海水が海退に応じて外海に流出したとすると、その時までにはこの低地部に堆積していた土砂も同時に洗い流されてしまったはずである。したがって、この植物化石などが今日までその地層中に蓄積、保存されてきた事実を説明するためには、その堆積時期までにこの地域の水面低下がほぼ安定し、水底への堆積の環境となっていたか、又は、この谷を形成したような地形の沈降作用が海進期に転じて後におこり、それまでに他の高地部に堆積していた物が沈降した低地へ崩れ込んで来たかのいずれかとみななければならない。いずれにしても、この植物化石はその生成時期からみて海退に伴う陸の崩壊と無関係ではない。

この海退期にはこの地域での北落ち断層活動がかなり進んでいたとして前者の考をとることになると、現在別府湾盆状地形の東縁を成している神崎から国東沖にかけての深さ45m 程度の高地部も当時すでに安定し、海退期後半を通じて別府湾は塩湖として取り残されていたとみられ、上記の火山灰や凝灰岩の層はその湖底に沈積したものと成る。もし、その時の湖面が -50m 程度であったとし、また南部温泉域の輝石安山岩層の上面が現在の角閃石安山岩との境界面に近い状態であったとすると、その湖は境川沿いに刻まれた非常に深い谷状地形を含みながら南部温泉域のかなり広い部分をおおった事になる。森山の資料から見ると、これは海門寺温泉脈と称せられる範囲全体を含み、恐らくは別府駅から山の手中学を結ぶ線より北の部分すべてに当るであろう。こう考えると、かねて言われていた、田の湯温泉脈は開放温泉脈であるのに対し海門寺温泉脈は地下に隠された温泉脈であったという違いや、前報告の図4と5における等地温線の分布が海岸からそれぞれ1km、1.5km 位の距離から変わってくるという特徴、また、熱水から地下水への蒸気、炭酸ガスの供給、逆に深層温泉水への浅層地下水の供給など両層間の交流地域が上流部に保存されている理由を説明するのに都合がよい。これらの事は湖面が -50m までの低下にとどまらず、たとえば -120m まで下ったとしても本質的には変わらない。晩氷期以後の海進期を通じてそれより浅に角閃石安山岩の礫を主とする堆積作用が継続され、海岸部には粘土層による水理的な遮断も造られたであろうが、現在の別府温泉における温泉活動にとりそれらが本質的な影響を与えているとは思えない。最も重要な因子は、南部では輝石安山岩と角閃石安山岩との境界近く、北部では山陰系旧期火山岩と新期火山岩との境界近くが一般的な海退期

中にも堆積環境におかれたかどうかである。温泉掘削中の地下資料と前報告での地温分布などを対照すると、その頃に山体高地部を形成していたとみられる地域は現在も地温が高く熱水の流動が認められ、谷状の低地部では地温が低い。これは溶岩又はその陸成堆積物から成る範囲には透水性を特に阻害するような層がなく、その中の熱水流動がある程度様に行なわれているのに対し、谷状部分との境には厚い水成堆積が行なわれて透水性が乏しくなり、そこを通過して熱水が漏れ出しにくい状態になっていると考えられる。

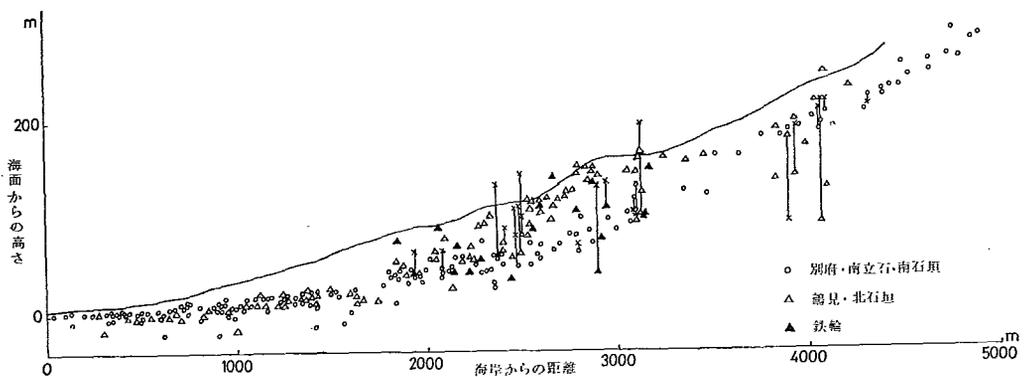
以上は沖積期の堆積物を除いた地形が海退期から後にはあまり大きく変わっていないという前者の仮定に立った上での議論であった。しかしこれには異論がある。この地域の全般的な地形に最も大きい影響を与えたのは断層活動による地溝帯の形成であることは言うまでもない。首藤、日高は、この断層の活動時期につき約33,000年前の新紀阿蘇火砕流堆積後、沖積層堆積前と約20,000年の巾を持たせながらも、主ウルム氷期の海退期以後の可能性の多いことを指摘している。その理由は前記の別府湾海盆地形の東縁をなす-45mの高地部に河谷の刻まれた形跡がなく、それ以下までの海面低下による侵蝕を経験していないものとの推定による。そうすると、谷状部分に見られる-100m以深の火山灰層の起源は前記の後者の立場に当り、もっと高地で生成された物が沈降活動以後に低地部へ崩壊、堆積したことになる。今のところこのどちらとも断定できる根拠はない。ただ後者の立場では、植物化石がヨシの類とされ当時の海水または湖水の近くに繁茂していたと考えられること、炭質土の現われる深さが境川沿いとかかなり離れた春木川川口とではほぼ同様なことを説明するのが難しく、また、境川沿いの地帯帯での-120m以深の地層が陸成堆積物ということになれば、熱水の流入を妨げて現在のような高温域と低温域の区別をはっきり造る機構を別に考えねばならないなど、別府温泉における資料については前者の立場をとる方が都合よく思える。次におこる疑問は、由布、鶴見の火山活動は新期阿蘇火砕流以前に始まり、断層活動時にはすでに鶴見火山群の大体の形は造られていたはずで、植物化石の生成年代以前にもその崩壊、堆積が行なわれていて南部地域の炭質土以深にも角閃石安山岩が入っていてよいはずだと言うことである。それに答えるためには、以前の鶴見火山岩の堆積物は海退に伴ない別府湾中に洗い流されて行き、その後の植物が堆積したとの考も可能である。以上を総合すると、朝見川断層、また境川沿いの断層など北落ちの活動は海退、海進期を通じて次第に進行して行ったと考えるのが妥当と思える。いずれにしろ、ウルム氷期による海退、海進、それに伴う崩壊、侵蝕、堆積、さらに北落ち断層活動の進行と、地下構造に致命的な影響を与える諸作用が比較的短い期間にあい次いで起ったとみななければならず、これが別府温泉の地下構造を複雑にすると共に一段と興味深くしたと言える。温泉活動に対し岩層接触部の持つ水理的影響は単に南部の輝石安山岩と角閃石安山岩、北部の水口山溶岩と鶴見岳溶岩との境界だけの問題ではなく、さらに深い地層についても同様のことが考えられるであろう。これまでに、例えば輝石安山岩を熱水貯湯層としてきたのは、この中で熱水が生れるというのではなく熱水の貯留、流動の媒体としての意味であるから、それよりさらに深い岩層にも当然貯湯層としての意味が与えられてよいわけである。一般に安山岩は巨視的な意味での透水性がよいことで知られている。別府市でも、朝見川断層以南の輝石安山岩の露出域にある志高湖、神楽女池での地下浸透の大きいことは知られており、又、その地域の地下を大分川に結ぶ利水トンネル内での大量の湧水からもその透水性のよさはうかがわれる。その湧水が主に由布川軽石流との境界近くに見られることから、その接触部に水を通しにくい溶結凝灰層があり筑紫溶岩中の地下水流に対して基盤としての役割を果しているものと推定される。この利水トンネル内の資料および城島高原でのボーリング資料から、南部温泉域の輝石安山岩の下にはこの由布川軽石流の地層が存在し、その接触部のやや不透水性の層が熱水の流動を支えているものと思われる。ただし、由布川軽石流の本体は軽石砂層、軽石質凝灰角礫岩などから成り、その内部はやはり熱水を流動さす貯湯層の役割を果すであろう。このようにして貯湯層はさらに下層の新第三紀層に及び、深部に存在すると考えられる花崗岩との接触部にまで続く可能性がある。以上のように別府温泉でこれまで知られ

てきた地温分布、地下熱水流動の状態と地質環境との対比は熱水生成の機構を直接示すものではなく、それを示唆するための一材料にすぎず、むしろ熱水流動における媒体としての水理地質学的な意味に大きい興味を持たれる。

## 6 断層の影響

別府温泉の地熱地域は南北の断層周辺に分布しており、熱水活動にこの南北両断層の持つ影響の大きさを示す資料は多い。一般に温泉が断層に沿って分布している例は数多く知られており、地質学上の断層の所在が温泉探査における有力な目安ともなっているが、現実にはそれと一致しない例も多い。別府温泉でも、たしかに朝見川断層に沿う堀田、観海寺にかけては噴気が多く地温も高く熱水活動は活発である。しかし、深部の輝石安山岩の分布から朝見川断層以上に北落ちの烈しかったと思われる中央低温帯の縁では、断層に沿い温泉活動が活発だとはお義理にも言えない状態である。むしろ熱水の流動を遮断している効果が強い。もし別府温泉の熱源、熱水源を山陰系新期火山活動とするならば、鶴見岳、大平山などを含む中央部地下に熱水又は蒸気が流れ、その南縁をなすこの境川沿いの断層部にこそ活発な温泉活動が分布してよさそうに思えるが、現実にはこれを越えて朝見川断層との間の地域にだけ熱水活動や噴気井の分布が見られる。北部高温域でも同様のことが言える。一見して地熱活動の最も活発なのは明礬から鉄輪にかけてで、この線は一つの断層を成すものとみられる。またそれより南の丘の湯、照湯付近の自然噴気の分布はそれに平行した別の断層を想定させる。ところが鉄輪付近から南にこの想定断層を過ぎるほど地下の熱水は採取しにくくなり、その深度が深まると共に静止水頭もかなり下ってくる。これは南部で考えたように、こういう断層に沿い透水性の悪い層が出来ていて、熱水がそれを通過して流れるためにはかなりの水頭傾斜が必要なためであろう。その水頭低下による水圧降下のため、所によっては熱水の沸騰で地下に蒸気層の造られる場所もあり、自然噴気、又は比較的重炭酸イオンの多い温泉も分布している。このような水頭低下の典型は中央低温帯に当る南石垣での鶴見病院、鶴見丘高校付近の温泉に見られる。その範囲で比較的高温の温泉を得るためには、500~600mを掘削し上層の地下水を遮断することが必要である。ところがそうすることによってその井戸の水頭はかなり下り、揚湯も難しくなると共に井戸を上昇途中の冷却のため泉温も低くなる。図6はほぼ全域にわたる各温泉井につき、井戸掘削終了時、又は動力装置設置時に測定された大分県の資料をもとに、その静止水位を海岸からの距離に対して描いた図である。図中の地面高度を表わす線は、南部温泉域における一例を参考のため取ったもので、全地域にわたりこれと同じではないが傾向としては同様である。×印は前報告の図4、5と同じく掘削途中で測定された水位を示す。前報告で述べたように、上流部地熱域で蒸気層又は蒸気で加熱された温泉水層と深部の熱水層との水頭の違いは明らかで、温泉水系の立体構造がうかがわれる。その傾向は中央部に近い鶴見地

図6 静止水頭の分布



区に特に顕著で、また鉄輪地区での深度の違いによる水頭差の大きいことにも注目される。海岸から2,000m以内の下流部で、主として境川から餅ヶ浜、観光港にかけての南石垣地区に、全般的に静止水頭の低い中に点と海面下20m程度に水位の低い井戸が散在している。北石垣の春木川沿いにも同様な井戸が見つけられる。地下水流として完全な意味での静止水頭なら海面下に下ることはない。このように低い値が得られるということは、ここは比較的源泉が少なく揚湯量も小さい地域であるにもかかわらず、他の井戸やその井戸自身の揚湯の影響が他地域にくらべて長く残っていると考えねばならない。高温水の流入を保つためには、かなり無理をして水頭を下げておかねばならぬ地域と考えられる。以上のように別府温泉での一般的傾向として、深部の高温水の水頭は南北両断層近くで高く中央部で低く、そのため中央部での高温水採取は難しい。

一般に断層の持つ水理学的意義には次の二通りが考えられる。一つは、土地の一ブロックの境界となり、透水性の悪い面を造って隣接ブロックとの水の交流を妨げること、もう一つは、断層周辺に破砕帯を形成し、水平方向はもちろん、特に垂直方向への透水性がすぐれた帯状の範囲を造ることである。そしてこの両作用相まって、断層に沿い上昇流をおこしやすく、地下水では泉、熱水では地下での沸騰による噴気を造る。温泉の場合、その破砕帯の垂直方向の割れ目が深く火山性の熱源にまで続き、熱水又は蒸気の通路として温泉現象に支配的な役割を果すとの考えもあるが、これが実際に確かめられた例は聞かない。別府温泉では上記のように、その扇状地中央部の熱水頭が低いことから、最も新しい火山とされている大平山の下から出て来た熱水が南北両断層の遮断効果で上昇しているとは考えにくい。むしろ大平山溶岩は西側からの地下水の流動を妨げ、熱水はその南と北とに分れてそれぞれの破砕帯内を流動しているように見られる。つまり、断層破砕帯は直接熱源に続くものではなく、たまたまそこに入って来た熱水の流動媒体としての役割を果しているのではなからうか。これを押し進めると、鶴見岳もまた熱水の供給源というより、地下の流動を遮断し、熱水を南と北に分ける役割の方が大きいのではないかという疑もおこる。これまでに鶴見岳下底から別府温泉へ熱水が供給されているという根拠は与えられていない。

さらに押し進めると、南部断層に沿う深部熱水の流動は由布院温泉へ続き、さらに九重山<sup>9)</sup>へ延びることになる。かって由布院温泉と別府温泉とのつながりの可能性を考えられたことはあるが、その後その中間の城島高原付近での試掘で高温水の得られなかった事からあまり問題とされずに経過した。しかし前記のように熱水貯湯層を筑紫溶岩から由布川軽石流、さらに下層の新第三紀層にまで広げる時、比較的浅層の地下水流動には地形の影響が大きくても、深層にはそれと直接関係しない熱水流動があると考えすることはできる。別府温泉でこれまで測定された深層熱水頭の東西方向の傾斜を九重山まで延長してもそれほど大きい矛盾はないし、また、由布院温泉での塩素イオン量と泉温、又は重碳酸イオン量との関係を別府温泉南部域の地下蒸気で熱せられた温泉水でのそれらの関係と比較してもそう大きくは違はないことから、このような状態を考えるのも意義あることと思える。

われわれが深部に熱水貯湯層というものを想定する第一の理由は、人工的影響以外では長年間安定した状態を保ち続ける一般の温泉現象を説明するに好都合だからである。熱活動の源を火山性と考えた場合、たぶん場所的にも時期的にも断続的におこるであろう供給効果を一たん貯留して平均化してしまう熱水のたまりが必要と思える。それには多量の水と共に、地層内の鉱物や粘土鉱物の結晶構造に蓄えられている熱量も含めて大きい熱容量を持つ層の存在が望ましい。温泉活動を地表近くの流域一つ一つに分れた小地域ごとに別別の熱対流と考えるよりも、熱や水の供給はそのあちこちで行なわれ、またあちこちで分流を作りながらも、もっと広い範囲にわたる一貫した熱水系とみた方が現象を説明しやすい点が多いのではないかと思える。

## 参 考 文 献

- 1) 吉川恭三：別府温泉の地下構造(1)、大分県温泉調査研究会報、23号、pp.1—9、1972

- 2) 森山善藏：別府地方の地質図と岩石について、同上、pp.43—49、1972
- 3) 森山善藏：別府温泉の貯湯岩層について、九大理研報（地質）、9巻、1号、pp.207—217、1969
- 4) 森山善藏：大分県温泉調査研究会報、15号、p.60、1964、16号、p.66、1965、19号、p.82、1968
- 5) 森山善藏：同上、17号、p.27、1966
- 6) 首藤次男、日高稔：大分地方の沖積層、とくに別府湾の起源について、九大理研報（地質）、11巻、1号、pp.87—104、1971
- 7) 森山善藏：由布川軽石流の花崗岩の岩片、Research Bull. Fac. Education, Oita Univ., 4、(1)、(Nat. Sci.)pp.65—74、1971
- 8) 瀬野錦藏：別府温泉の地球物理、地学より見た別府、別府市、p.46、1952
- 9) 軽部末藏：大分県由布院温泉における  $Cl'$ 、 $HCO_3'$ 、 $SO_4''$  の分布について、大分県温泉調査研究会報、2号、pp.27—34、1951

# 由布院温泉の化学成分からみた 水系とその流界

京都大学理学部 川 村 政 和  
山 下 幸 三 郎

## 緒言

筆者らは昭和45・46年に由布院温泉全域にわたる 310孔で静止水頭調査<sup>1)</sup>を行い、その結果4つの高水頭域が存在しこれらの地域からの温泉水の流動状態が明らかになったが、高水頭域の温泉水が別系統の温泉水であるか否か、又、その涵養領域について明確な判断はできなかった。今回は化学成分について調査し、その分布状態及び成分相互間の関係と静止水頭調査の結果とを比較対照することにより由布院温泉の伏流状態が一層明確になった。

由布院温泉の化学成分による水系の調査はこれまで軽部<sup>2)</sup>(昭和25年)と山下<sup>3)</sup>(昭和45年)が行っている。軽部は  $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{--}$  の主要アニオン間の関係が同じ傾向をもつことから唯一つの温泉水系によって涵養されていると結論した。これに対し山下は更に  $\text{Na}^+ \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Li}^+$  についても分析を行い、その結果南部山の手にある石松地区の温泉は成分相互間の関係において低地部の温泉とは異なる傾向をもつことから2つの温泉水系の存在を指摘した。

今回の調査では由布院温泉全域にわたり活動孔数の半数を越える 288孔で昭和47年7～12月の期間に採水し、主要な化学成分である  $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{--} \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++}$  量及び微量元素の  $\text{Li}^+ \cdot \text{Rb}^+ \cdot \text{Cs}^+$  量について分析した。又、泉温は自噴泉のみで測定した。

## 化学成分の分布について

図1～7は主要化学成分である  $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{--} \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++}$  量の分布図で図中・印は採水した温泉井の位置を示す。

$\text{Cl}^-$  量(図1)と  $\text{Na}^+$  量(図2)は同じ様な分布を示し、いずれも北部の佐土原・中島地区・南部の石松地区で濃度が高く中央の低地部に向けて等量線が張り出しており、静止水頭分布と良く似ている。石松地区には沸騰泉が数多く存在するがその中に高温でも化学成分量の極めて少い温泉が混在している。北部の佐土原の高温地帯でもこれと似た温泉分布を示し、地下熱水構造の特殊性を暗示している。

$\text{HCO}_3^-$  量分布図(図3)は  $\text{Cl}^-$  量のそれとは異り、乙丸から石松地区にかけて等量線が南北にのびている。その濃度は並柳・佐土原・中島地区・石松地区及び宮ノ原地区で高く、 $\text{Cl}^-$  量と似た傾向を示すが両者の高濃度域は完全には一致しない。又、下流域にあたる平地区の南西部でも濃度が高くなっている。

$\text{SO}_4^{--}$  量の分布(図4)は  $\text{HCO}_3^-$  量の場合とは逆に中央部で等量線が東西方向にのびている。南部では  $\text{Cl}^-$  量とほぼ似た分布を示すが、北部では並柳と佐土原の中間部及び岳本地区に高濃度域がある。

$\text{K}^+$  量(図5)については上述のいずれとも異った分布を示し、その等量線は北東から南西方向に傾いている。濃度は宮ノ原地区で最も高く、この他は同地区を囲むように津江・岳本地区から湯の坪を経て田中市地区に至るむしろ低地部で高いのが特徴である。

$\text{Ca}^{++}$  量の分布(図6)は  $\text{HCO}_3^-$  量のそれに良く似ているが、並柳地区から佐土原を経て中島地区

图1 Cl<sup>-</sup>量分布图  
(单位: mg/l)

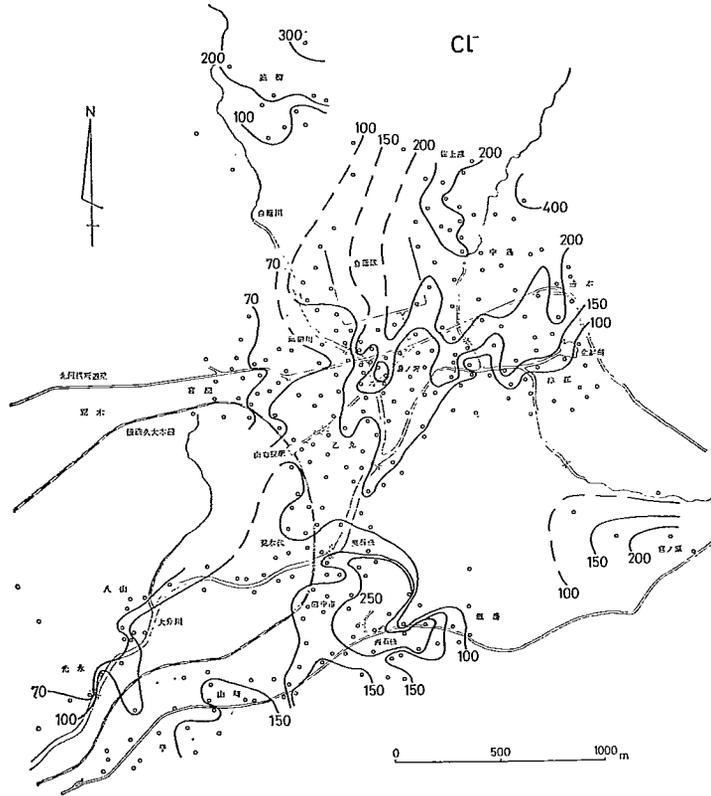


图2 Na<sup>+</sup>量分布图  
(单位: mg/l)

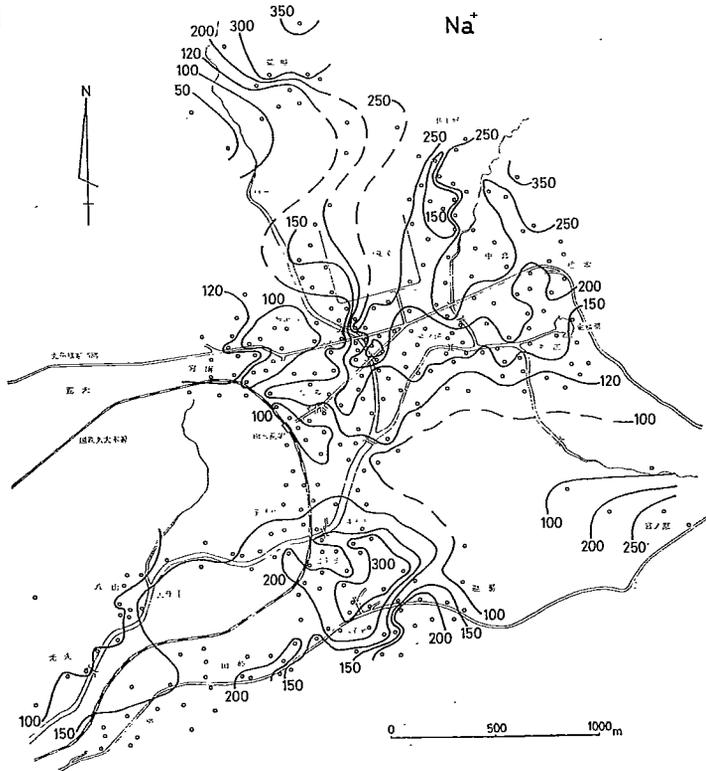
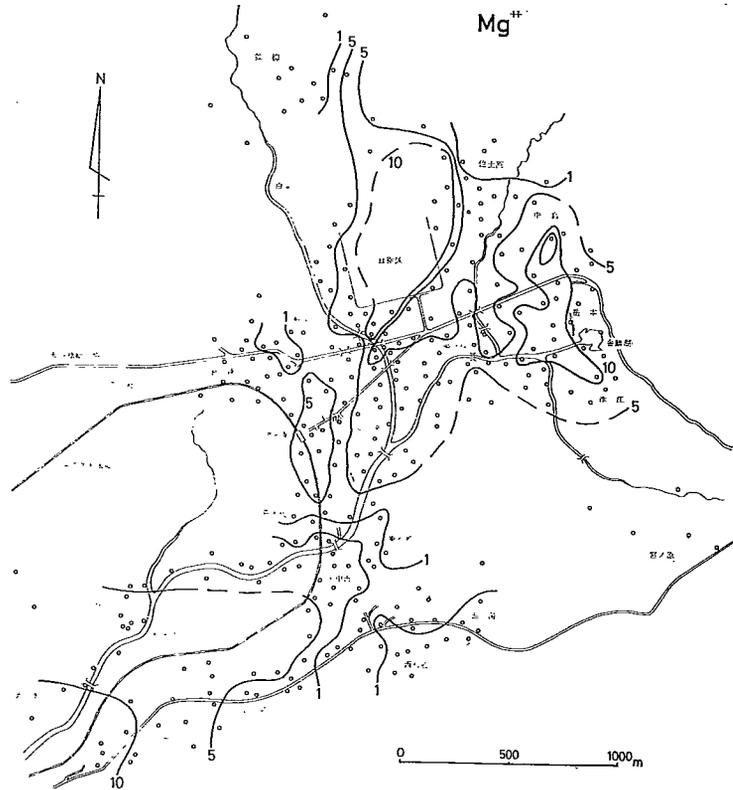




図7 Mg<sup>++</sup>量分布図  
(単位: mg/ℓ)



にわたる北部域で濃度が高い。又、南部では山崎・平地区の下流域で高くなる傾向が現れている。

Mg<sup>++</sup>量(図7)は佐土原地区の一部と中島地区で最も多いが、下流部とみられる地域で濃度が高くなる傾向がある。このような分布は流動の過程における地下水の混入や炭酸物質による溶出などに関係があると思われる。

微量成分であるLi<sup>+</sup>・Cs<sup>+</sup>量の分布はCl<sup>-</sup>・Na<sup>+</sup>量の分布と、又、Rb<sup>+</sup>量の分布はK<sup>+</sup>量の分布とそれぞれ非常によく似た分布状態を示す。

これらの分布図において、佐土原・宮園・西石松地区でその周囲より化学成分量の少い地帯があるが、これは冷地下水の混入が多いためと思われる。又、佐土原地区から流下して乙丸地区に至る白滝川沿いに化学成分濃度が高くその西側で急激な低下を示している地帯があるが、これは地下状態に何らかの原因があると思われる。

静止水頭分布では西石松地区と山崎地区の間でわずか80mを隔て、36m以上もの水頭差があり、これに対する化学成分分布は石松側に濃度の低い温泉の入り込みが見られる。この事から、この付近には湯山方面とは異なる化学成分の少い地下水が流入しているものと考えられる。化学成分分布では静止水頭分布に見られる程大きな差が現われていないがその傾向はあり、湯山方面から田中市地区方面への流下も見られる。

#### 化学成分相互間の関係

Na<sup>+</sup>量とCl<sup>-</sup>量は図8に見られるようにほぼ一時的な関係にあり、石松地区の沸騰泉及び佐土原・中島地区の温泉がより高い値を示している。しかしここで特徴的なことはCl<sup>-</sup>量に対するNa<sup>+</sup>量が等当量線からはずれて多い点である。これはHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>と結びついて溶出されてきたNa<sup>+</sup>のあることを示している。

Cl<sup>-</sup>量とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量との関係(図9)はCl<sup>-</sup>量が250mg/ℓ以下では直線的な関係を示すが、石松地区

と並柳・佐土原・中島地区の温泉のいくつかは $\text{Cl}^-$ 量が $200\text{mg}/\ell$ 以上になると $\text{HCO}_3^-$ 量は逆に減少し全体的に鍵型の分布を示す。これらの温泉はいずれも高温でそれぞれの地区の高水頭域に属している点から源温泉水に近いものと考えられる。この相関図から地域的な相関関係を調べると、宮ノ原・津

図8  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 量相関図

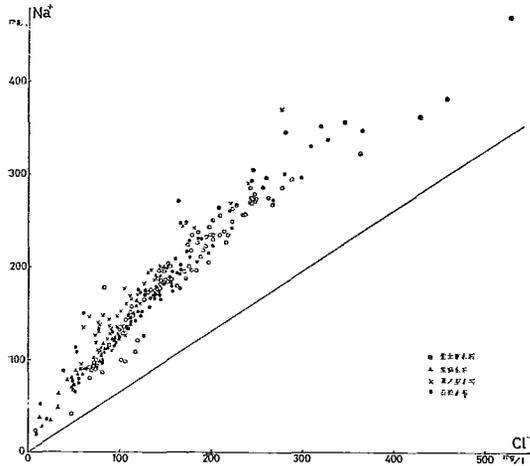


図9  $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 量相関図

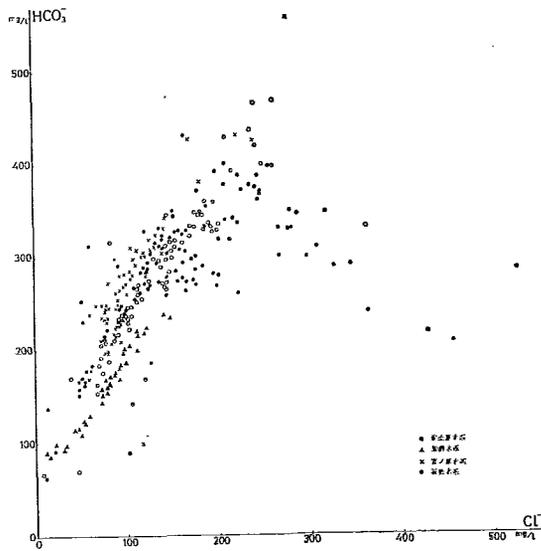
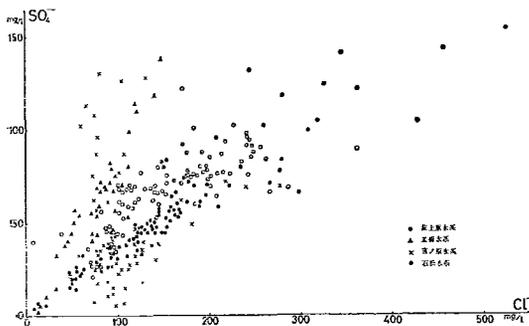


図10  $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 量相関図



江・荒木代地区、岳本・湯ノ坪・乙丸・宮園・平・八山・光永地区、並柳・無田川・乙丸・佐土原・中島・田中市・山崎地区それに並柳・佐土原・西石松・温湯地区の4系列に分けることができる。ここではじめの3系列は $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 量の相関関係を表す直線が平行しており、この事は軽部の指摘したことに一致している。3番目の系列に関しては田中市・山崎地区の温泉を境にして並柳・無田川・乙丸地区と佐土原・中島地区の温泉とはっきり分れる。この区別は図10・11に示している $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^-$ 量の相関図にはっきり現れている。

$\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 量相関図(図10)の場合、並柳・無田川・乙丸地区系列の温泉は津江地区を除く他地区の温泉に比べ $\text{Cl}^-$ 量に対し $\text{SO}_4^{2-}$ 量が多く独自の直線的関係をもつ。津江地区と乙丸・荒木代地区の温泉は $\text{Cl}^-$ 量が同じ程度であるのに対し $\text{SO}_4^{2-}$ 量にはっきりとした差が見られる。田中市・山崎及び八山・光永地区の温泉はここでは石松・温湯地区温泉の系列にある。又、岳本・湯ノ坪・乙丸地区にわたる温泉は佐土原・中島地区と並柳・無田川・乙丸地区の温泉との混合を思わせる位置にある。

図11に示す $\text{Ca}^{++}$ 量と $\text{HCO}_3^-$ 量の間関係は、津江地区を除きその様相が $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 量相関図とほぼ同じである。又、この図でも並柳・無田川・乙丸地区の温泉が独自の直線関係をなしている。

以上、主要成分間関係について考察してきたが、それらと $\text{Li}^+ \cdot \text{Rb}^+ \cdot \text{Cs}^+$ 量との相関については図12・13に示している。

まず $\text{Na}^+$ 量と $\text{Li}^+$ 量の間(図12)では、石松・温湯地区の温泉と離れて直線関係をなし、 $\text{Na}^+$ 量が最も多い。荒木代・山崎・平及び八山・光永地区の温泉はこの直接関係からはずれてはいるもの、石松地区の $\text{Cl}^-$ 量の多い温泉に連なる様相を呈している。他地区の温泉は $\text{Li}^+$ 量が少く更に別な系列を形造っている。又、これまで同じ様な性質を示した石松地区と並柳・佐土原地区の温泉はそれぞれの地域の関係直線

図11 Ca<sup>++</sup>—HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量相関図

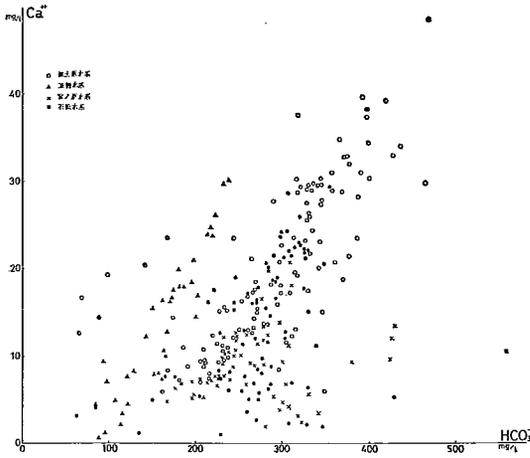


図12 Na<sup>+</sup>—Li<sup>+</sup>量相関図

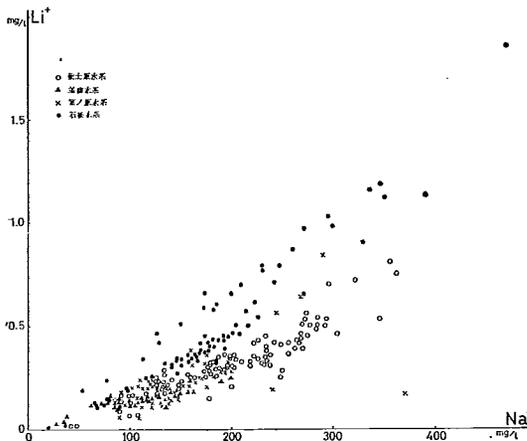
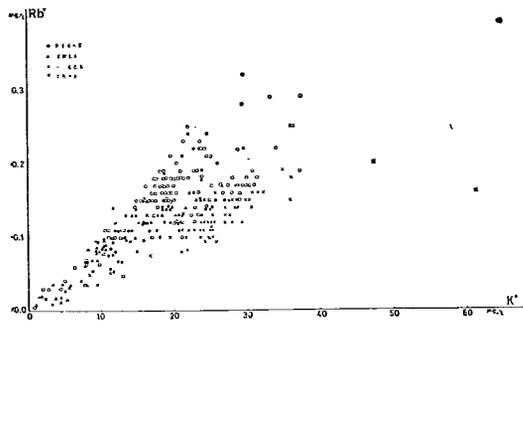


図13 K<sup>+</sup>—Rb<sup>+</sup>量相関図



上に並んでいる。Cl<sup>-</sup>—Li<sup>+</sup>、Li<sup>+</sup>—Rb<sup>+</sup>量の関係もこれと同じような関係を示す。

K<sup>+</sup>—Rb<sup>+</sup>量の相関図は図13のようにクサビ状の分布を示す。宮ノ原・津江・乙丸地区の温泉と石松・温湯地区及び並柳・佐土原・中島・無田川地区の温泉は対称的な位置にある。Na<sup>+</sup>—Cs<sup>+</sup>及びRb<sup>+</sup>—Cs<sup>+</sup>量の相関図もこれとほとんど同じ傾向を示している。

静止水頭分布と水系

既に明らかにされている静止水頭分布では、北部の並柳及び佐土原地区、東部の岳本・宮ノ原地区これに南部の石松地区に高水頭域のあることからそれぞれの水系の存在が予想されたが化学成分量分布の上からもほぼ同様の結果が得られた。ただ岳本地区についてはK<sup>+</sup>・Rb<sup>+</sup>量の分布にそれらしき徴候が見られるだけで他成分については確認できず、Cl<sup>-</sup>・Na<sup>+</sup>量分布に現れている様に佐土原高水頭域の一部であると考えられる。

これらの事から由布院温泉は冷地下水を除いて並柳・佐土原・宮ノ原・石松地区にそれぞれ温泉源をもつ4つの水系によって涵養されていると思われる。これらを並柳・佐土原・宮ノ原・石松水系とすると、それぞれの化学成分量における特徴は表1ようになる。佐土原・石松水系は他水系と比べほとんどの化学成分量濃度が高いが、Na<sup>+</sup>量に対するLi<sup>+</sup>量の割合は佐土原水系で非常に低い。並柳水系は逆にほとんど

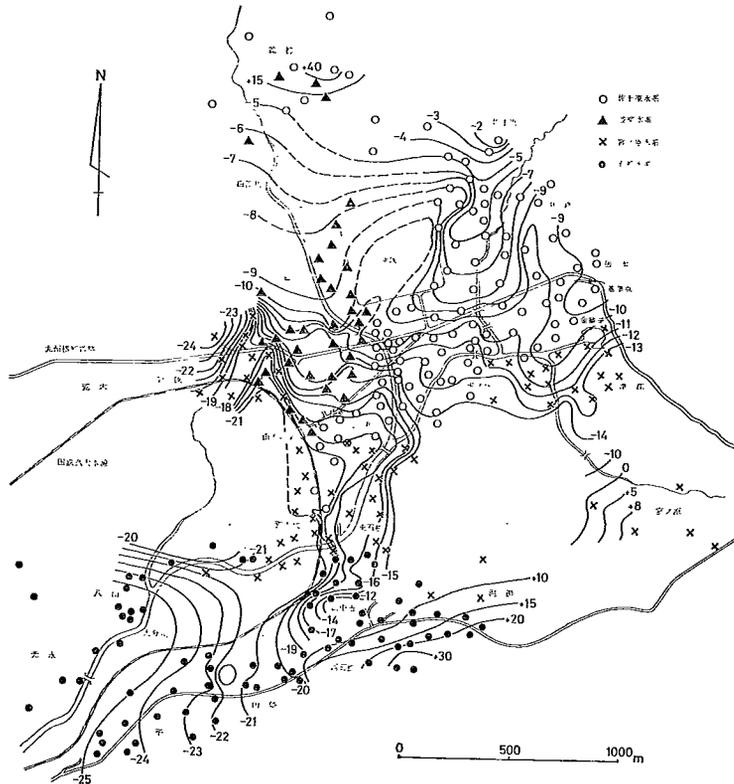
表1 各温泉水系における化学成分濃度の比較 (◎多い、○普通、一少ない)

水系名	並柳	佐土原	宮ノ原	石松
地区	並柳 無田川 乙丸	佐土原 中島 湯ノ坪	宮ノ原 津江 乙丸 荒木	石松・温湯 中市 山崎 平八 光永
Cl <sup>-</sup>	—	◎	○	◎
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	○	◎	◎	◎
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	○	◎	○	◎
Na <sup>+</sup>	—	◎	○	◎
K <sup>+</sup>	—	○	◎	—
Ca <sup>++</sup>	—	◎	—	○
Mg <sup>++</sup>	—	◎	—	○
Li <sup>+</sup>	—	○	○	◎
Rb <sup>+</sup>	—	○	◎	○
Cs <sup>+</sup>	—	○	○	◎

の化学成分量が少ないが、 $\text{Cl}^-$  量に対する  $\text{SO}_4^{--}$  量及び  $\text{HCO}_3^-$  量に対する  $\text{Ca}^{++}$  量の割合は他水系に比べ非常に高い。宮ノ原水系は  $\text{Cl}^-$  量に対し  $\text{HCO}_3^-$  量の割合が高く、又、 $\text{K}^+$  量に対する  $\text{Rb}^+$  量の低い点が特徴である。

これらの水系を静止水頭分布上に表したのが図14であるが、ほぼ良い一致を示している。こゝで最も顕著な事は北部の佐土原水系と南部の石松水系が非常に優勢なことで、この2水系で由布院温泉を南

図14 静止水頭分布における  
温泉水系と流界  
(単位: m)



北に二分しそのほとんどを涵養している。又、乙丸地区から田中市地区にかけての等水頭線は南北にのびていることから、そこにおける東から西に向う流れは宮ノ原水系に属すると考えられるので、北部の並柳・佐土原水系は南部の温泉にはそれ程大きな影響を与えていないように思われる。  $\text{Mg}^{++}$  量の分布はそれを暗示しており、北部の佐土原水系で途中岩石から  $\text{Mg}^{++}$  を溶出して流下した温泉水が下流部の乙丸地区に至って濃度が高くなる。しかるに荒木代・田中市地区では濃度が低く、これはその地区に宮ノ原・石松水系の温泉が流下しているためで、それが平・光永地区に流下していく過程で  $\text{Mg}^{++}$  を溶出するため、下流部で再びその濃度が高くなっていると思われる。

又、これまでになされた揚水試験の結果とこれらの水系とを比較したが、そのほとんどが同じ水系内で行われており特別な傾向はみられない。しかし、昭和45年3月26日になされた乙丸地区の川崎井(図14中⊗印)における揚水試験ではその北東方面にある2孔で湧出停止が生じ方向性のある事を指摘されているが、この方向はこの水系の上流部を示しており注目される。

## 結 語

由布院温泉全域にわたる化学成分量の分布状態及びそれらの相関関係に対する考察をし、既に報告されている静止水頭分布との関連で4つの水系の存在が明らかとなった。しかしながら乙丸・荒木代地区では東から西に向う温泉の流れが推定されるにもかかわらずその東西両側で全く温泉が見られな

い点、又、宮園地区のようにまだ不明確な温泉もあり、これから更に検討される必要があると思われる。

終りに、本調査に御協力下さった湯布院町役場・各温泉所有者並に京大地球物理学研究施設の堀清和の諸氏に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 川村政和・山下幸三郎：由布院温泉の静止水頭分布  
大分県温泉調査研究会報告、23号、昭和47年
- 2) 軽部末蔵：大分県由布院温泉に於けるCl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の分布について  
大分県温泉調査研究会報告、2号、昭和26年
- 3) KOSABURŌ YAMASHITA : Hydrothermal System in Yufuin Geothermal Field,  
Ōita Prefecture *Special Contributions, Geophys. Inst. Kyoto Univ., No. 7, 1967*
- 4) 由佐悠紀・川村政和：湯布院温泉における揚水試験（第1報）  
大分県温泉調査研究会報告、21号、昭和45年

分析表 (単位: mg/ℓ)

湧出 (N: 自然湧出、A: 自噴、B: 沸騰泉、L: エアリフト、P: 吸上ポンプ)

並柳・佐土原地区

温泉名	湧出	泉温 (°C)	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	採水	
由布院ピラ	L	70.6	8.2	42	0.8	16.6	0.2	0.02	0.006	0.005*	47	69	23	7.26	
安部 一三	〃		7.6	48	1.0	9.4	0.4	0.02	0.008	0.005*	33	94	15	〃	
浦田 健市	A		6.9	234	6.4	37.4	0.7	0.40	0.060	0.058	201	318	85	〃	
穴井 豊造	L	72.0	7.1	140	3.4	23.8	0.2	0.18	0.037	0.038	112	219	53	〃	
並柳 共同	A		6.7	304	22.4	20.6	0.7	0.46	0.13	0.060	245	361	132	〃	
岩尾 力	L	85.5	7.8	100	2.1	14.4	0.5	0.07	0.031	0.006	102	89	55	〃	
福田 博治	〃		7.8	108	2.8	19.2	0.4	0.07	0.030	0.020	117	99	58	〃	
安部 力	〃		7.8	100	1.6	12.2	0.1	0.07	0.020	0.022	73	143	44	〃	
近藤 建規	〃		7.4	90	1.7	15.4	0.1	0.09	0.020	0.024	73	151	40	〃	
右田 徳一	〃		7.9	356	17.4	27.6	0.6	0.81	0.15	0.111	345	290	141	〃	
穴井 秀人	〃		7.5	346	20.4	6.0	1.4	0.53	0.12	0.005	280	349	118	〃	
右田 正水	〃		7.7	296	13.0	38.0	5.8	0.70	0.048	0.038	260	397	102	〃	
太田 耕平	〃		8.0	134	7.8	7.2	2.4	0.21	0.036	0.020	90	217	46	〃	
右田 ハツ子	〃		7.9	126	8.0	23.4	7.9	0.25	0.070	0.045	106	245	43	〃	
荻 忠広	〃		8.0	248	37.4	8.4	1.0	0.25	0.29	0.022	172	297	122	7.24	
衛藤 功一	〃	70.2	6.9	274	16.0	48.4	13.1	0.56	0.15	0.068	262	468	84	〃	
衛藤 源治	〃		7.7	178	8.0	13.0	0.3	0.15	0.064	0.012	83	315	56	〃	
衛藤 磯幸	〃		7.5	250	11.2	13.6	0.5	0.28	0.10	0.053	201	279	70	〃	
溝口 武彦	〃		7.5	88	5.0	8.4	0.4	0.10	0.042	0.023	39	169	44	〃	
佐土原共同	〃		7.3	194	11.8	29.2	16.9	0.36	0.10	0.038	170	321	71	〃	
乙津 権平	〃		6.6	322	23.8	26.2	4.2	0.72	0.22	0.100	362	331	89	〃	
衛藤 清彦	〃		7.3	294	20.4	29.4	3.2	0.53	0.20	0.097	287	345	68	〃	
吉野 森夫	A		49.3	8.3	24	4.5	12.6	1.0	0.00	0.031	0.005*	8	66	39	〃
吉岩 利夫	L		(70.2)	7.5	270	18.6	29.4	3.8	0.51	0.19	0.088	267	330	66	〃
衛藤 三八	〃		7.4	272	17.4	34.2	17.2	0.53	0.18	0.072	249	399	88	〃	
鈴木 久男	〃	7.8	226	15.6	39.4	23.0	0.43	0.15	0.055	216	392	77	〃		

佐藤 環	L		7.5	248	15.0	29.6	5.0	0.41	0.15	0.062	223	336	72	7.24
荻 政夫	〃		7.6	100	12.8	14.4	3.8	0.13	0.10	0.033	74	175	54	〃
衛藤 麦之助	〃		7.9	121	13.2	23.5	3.8	0.22	0.11	0.025	120	168	61	12.7
衛藤 新一	〃		7.3	98	10.4	20.3	5.7	0.19	0.078	0.018	106	142	60	〃
衛藤 栄八	〃		7.8	285	20.5	28.9	6.3	0.54	0.18	0.059	277	329	78	〃

中島・岳本地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
中島 共同	L		7.4	285	19.4	37.2	3.1	0.50	0.16	0.056	256	397	90	7.24
浦田 由吉	〃		7.4	256	17.0	31.8	6.9	0.42	0.15	0.066	235	377	80	〃
溝口 タマエ	〃		8.0	268	18.6	32.6	5.8	0.44	0.18	0.082	242	374	93	〃
古庄 衛	〃		8.0	180	9.8	21.0	5.1	0.27	0.064	0.022	145	265	79	〃
徳丸 勝一	A	96.0	8.9	362	29.4	8.0	0.3	0.75	0.28	0.193	428	216	104	〃
菊 の 井	L		8.1	270	19.6	28.6	9.4	0.39	0.21	0.074	247	369	85	〃
溝口 信	〃		7.9	234	16.0	32.8	23.6	0.38	0.15	0.061	209	428	64	〃
田代 恵	〃		8.0	200	23.6	22.6	4.1	0.21	0.23	0.070	176	300	88	〃
由布 修道院	〃		8.2	232	22.0	23.0	5.0	0.31	0.25	0.068	194	326	77	〃
佐藤 英一	〃		8.0	234	18.2	29.4	8.1	0.33	0.19	0.066	218	341	94	〃
加藤 哲雄	〃		7.7	256	19.6	33.8	14.8	0.42	0.18	0.074	236	436	83	〃
八川 利昭	〃		8.0	238	21.0	23.0	6.0	0.31	0.18	0.060	184	345	101	〃
川野 若子	〃		7.5	196	23.4	27.6	12.4	0.31	0.16	0.059	182	346	76	〃
佐藤 義雄	〃		7.9	178	29.0	23.4	8.6	0.28	0.16	0.050	163	314	73	〃
吉永 重三郎	A	69.3	6.9	218	26.4	15.0	12.4	0.31	0.17	0.033	177	347	78	7.25
佐藤 億造	〃	70.5	6.9	196	21.2	27.2	13.0	0.30	0.18	0.034	180	345	76	〃
工藤 政憲	〃	70.6	7.1	210	20.0	28.8	12.8	0.33	0.18	0.062	187	358	75	7.24
石川 豊子	〃	74.2	7.1	186	21.0	25.8	9.8	0.29	0.19	0.060	172	331	92	〃
日野 岳彦	L		7.7	230	21.4	28.8	5.3	0.32	0.23	0.064	202	334	74	〃
金鱗湖 旅館	A	57.2	7.1	140	24.0	12.0	5.9	0.14	0.12	0.020	76	232	108	〃
石井 巖	L		7.4	238	16.0	28.6	3.8	0.36	0.15	0.070	214	318	87	〃
八川 正士	〃		8.1	200	16.9	30.1	12.0	0.30	0.15	0.029	317	317	69	12.8
島末 義夫	〃		7.9	268	16.7	30.1	3.8	0.46	0.15	0.052	243	344	76	12.7

津江・宮ノ原地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
亀の井 別荘	A	64.7	7.0	194	32.2	20.6	10.5	0.28	0.16	0.009	131	309	128	7.25
中谷 兄弟社	〃	60.2	7.2	176	27.0	16.4	9.4	0.20	0.14	0.009	105	276	126	〃
角 小三郎	L		7.7	146	25.0	12.2	8.1	0.19	0.11	0.005	67	247	113	7.24
力武 文四郎	〃		7.5	134	21.8	10.4	7.3	0.12	0.083	0.005*	60	237	120	〃
山口 キクヨ	〃		7.4	148	24.2	16.4	11.5	0.16	0.094	0.006	81	271	130	〃
小松 清次	〃		7.9	118	25.2	10.4	5.4	0.20	0.10	0.005	74	234	62	7.25
津江 共同	〃		7.8	110	25.8	10.0	8.1	0.24	0.094	0.005	91	253	34	7.24
西田 定夫	〃		7.7	138	23.6	12.6	8.6	0.15	0.11	0.007	78	247	96	〃
西部 ガス	〃		7.8	90	8.4	6.4	3.1	0.06	0.050	0.005	60	177	23	〃
寿 産 業(1)	〃		8.2	290	61.2	9.6	1.7	0.84	0.16	0.045	240	424	69	7.25
〃 (2)	〃		8.2	244	47.2	12.0	4.9	0.56	0.20	0.042	169	426	61	〃
龍雲 山荘	〃		7.7	160	35.8	9.0	3.8	0.38	0.15	0.024	121	279	47	〃
光 和 建設	〃		8.4	268	64.6	13.4	4.8	0.64	0.39	0.070	221	430	72	10.27

湯ノ坪地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
鈴木 久子	L		7.3	278	18.8	34.6	3.3	0.50	0.17	0.080	247	366	91	7.24
後藤 清勝	〃		8.1	226	17.4	25.4	4.8	0.34	0.16	0.061	185	329	60	〃
自 衛 隊	〃		8.0	234	14.8	27.4	4.0	0.35	0.14	0.059	199	328	73	〃
鈴木民次郎	〃		7.4	262	23.2	28.0	9.2	0.39	0.19	0.040	223	387	76	〃
衛藤 八郎	〃		7.4	204	37.2	30.8	10.3	0.34	0.19	0.060	197	358	80	〃
佐藤 文夫	〃		8.0	218	34.0	24.2	5.2	0.33	0.22	0.068	191	335	80	〃
権藤 静夫	A	70.0	7.2	158	17.0	16.2	4.2	0.21	0.16	0.050	118	254	69	7.25
佐藤 億造	L		7.8	112	21.0	7.6	5.5	0.20	0.080	0.006	79	229	28	〃
清水産業	A	62.0	7.2	134	25.0	10.0	6.5	0.14	0.12	0.008	77	244	87	〃
山口 純二	〃	58.0	7.2	126	24.0	11.8	6.9	0.16	0.11	0.008	73	247	75	〃
小塩藤次郎	〃	62.0	7.1	152	28.6	12.4	7.7	0.21	0.14	0.009	101	259	77	〃
浅野 昌男	L		7.8	130	28.0	8.8	5.5	0.20	0.12	0.008	77	244	57	〃
生嶋 源	A	67.0	6.9	186	29.8	19.2	10.5	0.26	0.17	0.024	155	317	70	〃
青木 正行	〃	58.2	7.1	136	25.2	10.0	6.2	0.20	0.13	0.020	89	244	61	〃
加藤 元信	〃	62.3	7.1	160	29.8	13.4	9.6	0.25	0.15	0.012	107	279	87	〃
小野 繁敏	L		7.6	108	24.6	9.8	3.9	0.21	0.10	0.008	80	233	23	〃
渡辺 保雄	A	47.8	7.0	116	22.8	10.8	4.6	0.17	0.12	0.008	88	210	47	〃
福田惣次郎	L		7.5	128	20.2	11.4	4.7	0.17	0.12	0.020	92	225	47	〃
玉 乃 湯	A	68.1	7.1	186	27.4	11.6	8.6	0.26	0.17	0.033	150	305	80	7.26
木下千枝子	〃	62.8	7.0	148	28.0	13.0	5.2	0.20	0.16	0.032	112	251	68	7.25
杜多 清憲	〃	62.7	7.1	164	30.4	15.2	6.5	0.25	0.17	0.024	126	271	77	〃
藤野ミツ子	〃	58.6	6.8	148	31.0	12.8	5.7	0.21	0.17	0.020	114	260	69	〃
水内 治登	L		7.5	100	21.2	9.4	5.4	0.17	0.10	0.006	77	207	27	〃
宮崎 康輔	A	60.0	6.9	134	31.4	11.2	6.9	0.26	0.18	0.030	102	231	70	〃
北川 政一	〃	56.0	7.0	134	18.8	12.4	5.6	0.17	0.15	0.028	105	221	67	7.24
江藤 重行	〃	59.8	7.0	134	28.8	12.0	12.0	0.28	0.15	0.030	103	245	68	〃
江藤 文夫	L		7.4	134	20.0	15.0	5.2	0.20	0.15	0.030	103	229	60	7.25
麻生 健一	A	64.2	7.0	158	30.0	14.2	7.7	0.26	0.18	0.027	114	268	68	〃
江崎 芳子	〃	62.2	7.1	174	20.0	15.8	6.5	0.28	0.17	0.042	135	294	68	〃
月星 ゴム	〃	68.6	7.0	184	23.8	16.6	5.7	0.33	0.18	0.064	145	297	59	〃
ホテル湯元	〃	70.0	7.2	184	28.0	18.0	5.2	0.29	0.18	0.040	151	298	65	7.24
工藤 守	〃	55.8	6.9	92	17.0	6.0	2.7	0.12	0.10	0.008	68	162	36	〃
笠置スミエ	〃	72.0	7.6	222	36.0	21.6	3.5	0.35	0.25	0.060	193	332	88	〃
日野 真一	L		8.2	256	33.2	21.2	5.0	0.37	0.29	0.059	209	377	76	7.25
手嶋 一二	A	82.3	6.9	274	24.2	23.4	5.0	0.45	0.22	0.078	244	387	94	〃
河原 福蔵	〃	50.5	6.8	80	11.0	15.2	4.9	0.12	0.11	0.030	68	153	40	〃
木崎 文夫	〃	69.6	7.0	196	18.8	12.2	4.7	0.31	0.17	0.070	143	311	53	〃
萬 象 苑	〃		7.0	174	19.4	18.2	5.2	0.28	0.15	0.045	140	288	63	〃
清良 清見	〃	67.0	6.9	196	18.6	19.4	4.1	0.31	0.16	0.065	149	315	83	〃
佐藤 実	〃	73.0	6.9	264	17.4	30.2	6.1	0.43	0.18	0.085	208	400	95	〃
大谷 昇	〃	69.7	6.9	200	25.0	17.2	3.0	0.35	0.21	0.062	154	309	75	〃
鈴木 勇亮	〃	82.6	6.7	266	17.4	32.6	4.4	0.42	0.17	0.070	227	372	102	〃
古庄二三人	L	(71.0)	7.6	242	18.8	30.6	10.5	0.42	0.16	0.046	198	391	78	〃
秋吉 久男	〃	(69.5)	7.9	292	16.2	29.6	21.4	0.50	0.17	0.078	241	465	98	〃
生嶋 喜年	〃	(67.0)	8.4	234	19.0	18.6	8.8	0.45	0.17	0.043	179	370	75	〃
白 菊 荘	A	76.7	7.3	285	18.8	39.0	7.4	0.49	0.18	0.071	243	419	96	12.7
下郡 昭一	〃	66.2	7.0	188	22.8	15.0	1.8	0.35	0.19	0.043	141	271	70	〃
宝 鶴 荘	L		7.8	173	19.6	20.7	6.1	0.25	0.16	0.031	131	296	68	〃

無田川、宮園地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
野田 伸子	L	(40.0)	8.1	200	8.2	29.6	2.2	0.25	0.084	0.033	148	233	138	7.26
釘宮 武夫	〃		8.4	190	10.6	30.0	3.6	0.25	0.090	0.030	141	238	118	〃
和田 武定	〃		6.9	162	9.4	26.0	4.9	0.18	0.080	0.020	122	223	110	10.26
矢野 孝男	〃		8.1	159	10.4	24.6	5.9	0.18	0.098	0.020	120	218	114	〃
二宮喜久枝	〃		7.7	145	12.0	20.9	4.2	0.17	0.12	0.025	112	199	80	〃
加藤光三郎	〃		7.8	127	11.3	17.8	4.7	0.16	0.10	0.016	98	186	75	〃
深草 茂生	〃		7.9	148	9.4	23.8	5.7	0.17	0.096	0.024	113	215	99	〃
工藤 辰一	〃		8.3	122	10.4	17.8	5.1	0.15	0.096	0.016	93	183	79	〃
渡辺 茂	〃		7.8	112	10.4	16.6	5.1	0.14	0.088	0.010	86	173	69	〃
赤嶺 敏幸	〃		7.8	108	10.6	16.3	5.1	0.13	0.084	0.010	82	171	72	〃
無田川温泉	〃		7.7	105	9.4	16.3	5.5	0.12	0.086	0.010	80	162	58	〃
今井 六夫	〃		7.9	85	8.8	8.3	2.1	0.11	0.069	0.003	59	129	54	〃
河野 竹彦	〃		8.1	78	4.5	2.3	1.0	0.13	0.019	0.002*	43	114	38	〃
佐藤 富子	〃		7.9	85	5.6	7.7	2.2	0.13	0.033	0.002*	54	121	57	〃
二宮 公子	〃		8.3	88	5.3	4.5	0.8	0.14	0.016	0.002*	53	122	50	〃
原 金次	〃		8.3	38	3.2	0.7	0.1	0.064	0.009	0.002*	13	89	2	〃
加藤 鉄馬	〃		8.1	115	9.3	17.5	5.5	0.14	0.082	0.011	87	175	68	〃
高倉 明	〃		8.1	127	24.6	6.6	3.0	0.13	0.10	0.004	90	224	39	〃
秋吉 善平	〃		8.2	127	25.5	7.7	2.5	0.13	0.12	0.002	89	223	37	〃
加藤 定広	〃		8.1	108	22.0	7.1	2.7	0.12	0.11	0.003	77	196	35	〃
樋口 福一	〃	8.2	130	23.6	5.3	3.2	0.13	0.10	0.002	94	208	46	〃	
木村 雄蔵	〃	7.9	122	24.6	7.3	3.2	0.13	0.12	0.005	87	216	37	〃	
立川 正	〃	7.7	122	25.5	7.0	3.0	0.13	0.12	0.003	88	214	37	〃	
九州林産	〃	(53.6)	7.6	108	22.8	5.3	3.2	0.14	0.11	0.003	78	196	33	〃
田代 恵	A	59.9	7.1	107	25.2	5.6	2.6	0.15	0.11	0.004	80	198	35	〃
立川二十一	L	7.9	112	25.0	7.4	3.6	0.11	0.11	0.002	84	206	38	〃	
大野 金爾	〃	7.9	130	28.6	7.5	2.7	0.17	0.15	0.006	94	227	41	〃	
工藤 元喜	〃	8.0	127	27.6	7.7	2.6	0.14	0.13	0.004	93	227	46	〃	
日野 正久	〃	7.7	28	5.8	4.4	1.3	0.028	0.035	0.002*	15	85	5	〃	
溝口 幸義	〃	8.3	63	3.8	1.3	0.3	0.12	0.018	0.002*	33	96	32	〃	
溝口米子治	〃	(40.8)	7.8	36	7.9	7.1	2.3	0.035	0.036	0.002	22	98	10	12.7
溝口 武雄	〃	8.2	95	16.7	4.9	1.5	0.12	0.076	0.003	58	167	33	〃	
立川 安夫	〃	8.2	132	27.6	9.2	2.8	0.14	0.15	0.006	94	231	44	〃	
見 成 寺	〃	8.4	79	4.4	3.5	0.6	0.16	0.012	0.001	46	115	40	〃	
下郡 坂喜	〃	7.9	100	9.7	16.8	5.0	0.12	0.081	0.009	78	160	68	〃	

乙丸地区

泉温名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
立川ケイ子	L	48.2	7.8	130	27.0	7.7	3.4	0.15	0.12	0.005	94	231	44	10.26
鉄道管理局	〃		7.8	73	9.5	5.0	3.0	0.12	0.069	0.004	50	108	44	〃
日 乃 新	P		7.3	100	16.8	10.6	7.4	0.13	0.12	0.009	81	164	67	〃
湯布院町	L		7.4	134	20.3	16.9	5.9	0.11	0.13	0.0096	103	204	70	〃
衛藤 安子	〃		7.5	117	14.4	12.7	6.1	0.16	0.10	0.0096	92	168	82	〃
今井 功	〃		7.6	102	12.6	8.0	2.6	0.16	0.11	0.005	72	157	55	〃
渡辺 吉彦	〃		7.5	122	15.2	18.4	4.3	0.14	0.12	0.013	96	196	67	〃
たつみ旅館	〃		7.6	177	20.3	17.3	3.1	0.30	0.18	0.054	142	268	65	〃
岩男 顯一	A		6.9	117	14.0	19.8	4.6	0.14	0.11	0.016	92	181	72	〃

下谷澄久恵	A	65.5	7.0	182	28.8	13.7	4.5	0.32	0.22	0.034	148	283	66	10.26
乙丸温泉	〃	60.4	6.8	159	25.2	13.0	5.3	0.24	0.17	0.023	124	266	63	〃
岩尾豊善	〃	60.3	6.8	120	30.8	9.3	6.4	0.22	0.19	0.020	93	228	46	〃
渡辺頼光	〃	58.4	6.8	133	29.5	9.9	5.7	0.23	0.17	0.020	100	237	44	〃
宮永尚平	〃	57.0	6.9	124	26.8	9.7	5.2	0.24	0.16	0.014	95	233	37	〃
田中豊	L		6.9	151	21.9	12.8	6.0	0.23	0.18	0.026	112	265	59	〃
農業協同組合	〃		8.0	92	23.5	7.3	4.4	0.16	0.13	0.015	71	183	29	〃
佐藤萬一	〃		7.6	98	24.6	7.0	4.8	0.19	0.14	0.008	73	206	21	〃
秋吉八百記	A	56.0	6.8	119	31.5	9.2	6.3	0.20	0.16	0.005	93	263	12	〃
一氏隆盛	L		7.6	119	24.1	10.6	5.3	0.23	0.15	0.011	92	247	26	〃
立川ヨツギ	A	55.0	6.9	128	27.9	11.8	5.4	0.16	0.15	0.002*	93	279	15	〃
山水館	L		7.3	161	36.4	6.8	2.4	0.31	0.25	0.011	119	304	32	〃
佐藤寛之	〃		7.6	111	21.1	7.2	3.5	0.16	0.13	0.008	77	240	18	〃
加藤幸男	〃		7.5	90	24.9	8.8	4.5	0.15	0.15	0.015	72	191	27	〃
大津留博正	〃		6.7	87	23.0	10.9	8.2	0.14	0.14	0.008	81	187	26	〃
浦田寅次	P		6.9	119	20.3	15.4	7.7	0.21	0.16	0.007	96	234	35	〃
小野力	L		7.3	98	18.4	7.9	5.2	0.14	0.13	0.008	78	153	44	〃
高倉重美	A	53.0	7.0	121	19.7	14.4	3.5	0.11	0.14	0.008	99	201	56	〃
佐々木武生	〃	69.0	7.1	223	24.6	17.4	5.4	0.42	0.21	0.052	175	330	75	12.7
岩男病院	L	(62.6)	7.7	180	18.2	18.4	3.7	0.32	0.17	0.043	143	270	66	〃
溝口義記	〃		7.9	100	13.0	17.2	3.5	0.12	0.10	0.010	77	167	54	〃
溝口守人	〃		8.2	203	10.6	20.0	13.5	0.36	0.11	0.043	152	343	83	〃
溝口彦六	〃		8.1	142	19.0	15.2	3.5	0.24	0.15	0.022	107	236	52	〃

荒木代、田中市地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
有吉保彦	L		7.2	133	16.2	17.7	8.9	0.13	0.13	0.006	106	309	7	10.26
立川成文	〃		7.4	124	29.5	11.5	7.2	0.21	0.22	0.010	100	270	23	〃
首藤英敏	A	52.1	7.0	135	25.7	9.0	4.2	0.20	0.16	0.008	97	267	29	〃
二村計知	〃	51.2	7.0	128	17.8	11.0	5.0	0.23	0.14	0.014	96	237	42	〃
平井宗人	L		7.2	122	17.3	10.5	4.9	0.22	0.13	0.017	93	232	39	〃
みかど旅館	A		7.2	188	30.2	5.7	1.3	0.28	0.15	0.010	141	331	30	〃
小山田ヲカメ	〃	66.4	7.2	174	24.9	11.2	1.2	0.32	0.14	0.020	128	307	40	〃
宿利秀雄	L		8.0	143	28.5	3.9	0.9	0.18	0.14	0.005	88	297	11	〃
阿部建設	A	56.0	7.2	128	26.5	6.8	2.8	0.20	0.17	0.005	89	259	19	〃
末綱米彦	〃	64.0	7.3	182	29.3	3.2	0.9	0.26	0.12	0.003	126	318	35	〃
志手範男	〃	59.0	7.2	167	27.0	4.2	1.7	0.24	0.13	0.004	112	307	26	〃
日野ハルエ	〃	66.0	7.1	164	21.6	9.3	2.9	0.23	0.14	0.008	118	300	39	10.27
笠置甚吉	〃	80.1	6.8	174	28.7	12.0	4.3	0.36	0.17	0.023	141	304	45	〃
日隈隆美	〃	75.4	7.3	196	21.6	2.5	0.3	0.32	0.10	0.005	133	323	47	〃
秋吉直	〃	74.4	7.0	200	30.7	3.5	1.1	0.28	0.16	0.005	144	342	39	〃
的野正太郎	B		7.4	193	23.0	16.5	1.6	0.43	0.15	0.050	162	293	57	〃
井上佐一	〃		7.8	205	23.8	18.5	2.9	0.50	0.15	0.052	184	289	70	〃
小野満	A	85.6	6.7	177	27.0	24.2	8.7	0.42	0.15	0.032	165	305	60	〃
古町富男	B	95.0	8.1	223	22.2	6.9	1.9	0.61	0.16	0.059	199	268	70	〃
後藤孝史	〃		7.9	214	22.7	15.4	2.7	0.57	0.16	0.055	196	281	64	〃
後藤直喜	〃	97.0	9.0	330	23.8	2.5	0.6	0.90	0.19	0.10	309	309	99	〃
松本武博	L		7.2	174	12.0	28.4	5.9	0.66	0.11	0.034	158	307	51	〃
真菜清太郎	A	68.5	6.8	170	13.7	12.6	4.9	0.42	0.11	0.020	127	303	46	〃
富永岩夫	〃	88.0	6.6	167	24.6	12.8	3.5	0.37	0.14	0.037	144	258	54	〃

水月荘	A	72.1	6.9	240	21.1	9.4	5.3	0.19	0.11	0.003	181	380	49	10.26
加藤光	〃	64.3	7.4	126	20.7	8.3	3.2	0.21	0.11	0.010	91	228	37	12.7
春義志定	〃	72.3	7.0	147	23.7	11.4	3.5	0.27	0.13	0.019	110	255	33	〃
安藤茂信	〃	78.0	6.9	159	25.0	16.1	3.7	0.33	0.14	0.029	126	269	45	〃
杉田勇人	L		8.1	168	19.5	5.4	1.1	0.25	0.10	0.003	111	290	26	〃

石松、温湯地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
田中辰己	B	97.0	8.9	300	26.0	6.4	0.2	0.98	0.20	0.11	280	330	83	10.27
日野病院	〃		8.9	242	23.8	3.7	0.9	0.71	0.18	0.080	222	260	70	〃
田中邦彦	L		8.0	370	21.1	10.5	2.0	0.17	0.12	0.003	277	558	69	〃
森山武夫	A	65.3	7.4	170	23.8	4.7	0.7	0.25	0.12	0.005	120	301	29	〃
興禅院	〃	60.0	7.4	147	30.6	2.0	0.4	0.15	0.14	0.007	97	281	5	〃
徳永弘明	L		8.0	102	29.0	9.5	2.7	0.20	0.00	0.018	77	211	25	〃
鶴原隆則	A		7.4	135	35.9	13.7	7.2	0.16	0.18	0.003	108	297	15	10.26
狭霧荘	〃	55.0	7.0	92	21.3	9.2	7.4	0.18	0.12	0.008	75	211	25	〃
立川チトセ	〃	58.0	6.9	129	34.9	12.4	6.0	0.23	0.19	0.004	104	283	25	〃
榎田正男	〃	55.0	6.9	92	20.8	8.8	6.1	0.18	0.12	0.005	73	210	8	〃
松岡永涉	〃	42.5	8.4	20	6.1	3.3	0.1*	0.010	0.00	0.002	9	63	4	10.27
加藤光幸	〃	39.8	7.8	36	5.0	4.3	1.4	0.028	0.028	0.002*	21	91	6	〃
野上政幸	〃	70.3	7.1	129	8.1	21.2	4.8	0.42	0.069	0.021	91	290	28	〃
道路公団	〃	80.2	7.1	185	11.6	21.9	3.2	0.60	0.10	0.032	137	329	38	〃
厚生省(1)	〃	86.0	6.8	182	12.4	25.8	4.1	0.58	0.11	0.041	149	320	44	〃
後藤隆一郎	〃	92.0	7.0	230	14.2	29.1	5.5	0.77	0.13	0.056	189	355	59	10.26
厚生省(2)	〃	92.0	7.1	271	18.7	24.0	2.7	0.97	0.19	0.092	267	299	71	10.27
湯布院町	B		9.0	470	29.5	6.3	0.1*	1.85	0.32	0.17	526	284	154	〃
森山松夫	A	67.8	8.7	108	11.3	1.0	0.1*	0.058	0.052	0.002*	53	229	15	10.26
佐藤活水	B		9.2	391	24.6	5.5	0.1	1.13	0.24	0.12	457	206	143	10.27
衛藤雅夫	〃		8.9	347	22.8	6.2	0.3	1.18	0.22	0.11	363	239	122	〃
立川文人	A	94.1	8.3	77	4.7	5.0	0.2	0.24	0.037	0.010	48	150	15	〃
九州林産	B	89.0	8.3	296	21.1	23.5	0.9	1.03	0.21	0.11	298	299	64	〃
志手駒男	A	71.0	6.6	126	9.5	17.6	1.7	0.47	0.095	0.043	126	185	36	〃
カリンビール	B	76.5	7.6	172	10.2	21.6	2.5	0.59	0.086	0.034	121	326	35	〃
湯山共同(1)	L		7.9	230	14.8	15.0	3.5	0.79	0.13	0.052	187	331	60	〃
〃(2)	〃	71.0	8.0	200	11.3	20.4	5.6	0.66	0.085	0.025	152	348	44	〃
志手盛保	〃		8.4	150	8.1	6.9	0.8	0.51	0.068	0.024	61	311	33	〃
田中貞夫	B	97.0	8.1	260	15.8	11.2	0.7	0.87	0.15	0.052	210	339	58	〃
由布開発工業	〃	82.0	8.1	210	13.4	14.5	1.2	0.70	0.13	0.054	176	286	62	〃
吉村格哉	〃	(75.0)	8.1	336	22.0	8.8	0.6	1.16	0.24	0.12	327	288	124	〃
志手康二	〃		9.0	352	23.6	2.0	0.2	1.12	0.22	0.080	319	347	104	〃
石松温泉	〃	80.0	9.0	247	14.8	23.3	0.3	0.79	0.14	0.058	167	328	55	〃
山本文人	L		8.5	271	25.7	5.3	0.2	0.65	0.15	0.010	164	429	66	〃
アサヒビール	〃		8.4	53	2.3	1.2	0.2	0.19	0.018	0.004	13	135	7	〃
志手重久	〃		8.3	180	23.6	15.6	8.0	0.40	0.15	0.030	157	273	57	〃

山崎、平地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
夢想園	L		8.5	208	19.0	17.6	3.8	0.46	0.14	0.030	160	325	65	10.27
後藤俊章	〃		9.0	227	18.4	2.7	1.6	0.54	0.14	0.045	177	270	73	〃

秋吉 省邦	L		8.5	113	7.8	6.1	1.6	0.34	0.062	0.017	52	251	20	10.27
豆田 拓	〃		8.7	174	12.9	6.8	4.3	0.45	0.10	0.027	121	288	43	〃
豆田 豊	〃		8.5	182	17.6	9.7	5.7	0.43	0.13	0.032	145	278	54	〃
高木 幹司	〃		8.1	166	15.6	18.3	5.4	0.35	0.12	0.027	134	292	50	〃
小野 昶市	〃		8.5	202	18.7	5.1	4.5	0.46	0.15	0.045	166	273	56	〃
山崎 英治	〃		8.6	216	19.0	5.8	3.7	0.50	0.15	0.039	174	274	74	〃
古野 美義	〃		8.5	170	16.1	12.4	5.3	0.38	0.12	0.025	137	273	49	〃
古野 忠信	〃	(71.3)	8.3	187	11.7	22.1	6.5	0.43	0.14	0.038	154	326	52	〃
渡辺 昶	〃		8.4	194	16.6	21.2	6.8	0.39	0.11	0.019	158	327	58	〃
日野 萬一	〃		8.2	160	18.7	18.8	5.6	0.34	0.12	0.021	124	294	47	〃
立川九州男	〃		8.2	170	19.7	21.2	7.3	0.38	0.12	0.024	145	303	58	〃
立川 三郎	〃		8.5	135	11.6	16.0	8.9	0.32	0.094	0.019	109	266	38	〃
豊田 賢雄	〃		8.7	197	19.2	5.1	4.0	0.45	0.14	0.041	166	263	54	12.7
渡辺 哲夫	〃		8.4	193	19.4	8.0	5.5	0.45	0.14	0.035	163	276	54	〃
長谷川文夫	〃		8.3	183	18.5	11.7	6.6	0.40	0.14	0.033	155	284	48	〃
佐藤 貢	〃		8.3	178	16.2	21.9	7.5	0.38	0.12	0.034	141	309	47	〃
佐藤 恒男	〃		8.4	141	13.4	20.5	9.0	0.31	0.097	0.024	117	283	42	〃
大久保 康	〃		8.4	170	16.0	22.8	8.5	0.38	0.12	0.023	140	320	47	〃
後藤 文男	〃		8.3	168	15.8	22.6	12.4	0.37	0.097	0.014	140	321	50	〃
東友会(1)	〃		8.6	166	14.5	21.3	12.7	0.34	0.099	0.019	136	311	51	〃
〃 (2)	〃		8.1	157	14.5	22.3	12.4	0.36	0.10	0.019	132	314	45	〃
佐藤 武夫	〃		8.4	151	14.0	20.0	10.3	0.34	0.095	0.021	123	284	40	〃
多田 菊治	〃		8.3	122	11.8	16.1	7.8	0.25	0.080	0.011	93	245	32	〃
多田 計次	A	56.0	7.3	97	11.6	16.1	8.6	0.20	0.078	0.018	77	214	29	〃

八山、光永地区

温泉名	湧出	泉温	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	採水
中依 共同	N	62.0	7.4	147	14.0	19.5	9.6	0.34	0.11	0.030	123	285	45	12.7
湯の鼻共同	L		7.8	65	7.2	11.9	9.8	0.13	0.042	0.004	51	169	20	〃
幸田 勝男	〃		7.4	115	11.0	18.9	11.6	0.25	0.076	0.016	94	246	33	〃
光永 共同	N		7.4	97	8.8	17.5	10.5	0.19	0.055	0.009	80	221	31	〃
河野 太	L		8.1	75	12.3	7.4	5.0	0.12	0.068	0.005	55	162	24	〃
光永上組共同	〃		8.3	90	14.9	6.9	5.0	0.15	0.081	0.010	62	183	25	〃
大久保一二三	〃		7.2	122	18.0	12.6	7.2	0.24	0.10	0.017	92	229	34	〃
立川 和男	N	52.1	7.5	67	9.5	10.0	7.8	0.12	0.037	0.002	49	166	17	〃
協栄産業(1)	〃	69.7	7.3	126	17.6	15.2	7.7	0.25	0.11	0.018	100	244	37	〃
東邦生命	〃	72.2	7.5	141	20.5	17.0	8.0	0.30	0.12	0.023	115	261	42	〃
協栄産業(2)	〃	71.8	7.3	151	20.7	17.7	8.3	0.31	0.13	0.025	121	271	48	〃
厚 正人	L		7.9	69	11.2	7.6	5.2	0.11	0.058	0.004	48	157	21	〃
高田 日本	〃		8.0	80	12.8	7.6	4.6	0.14	0.068	0.006	55	165	26	〃
森田 寛	〃		7.9	90	11.6	7.6	4.8	0.11	0.054	0.002	59	177	22	〃
石武 共同	A		7.4	132	21.1	8.2	2.2	0.20	0.13	0.009	98	239	31	〃

\* 印はそれ以下の値を示す

# 別府流域の利用水量と地下水涵養量

京都大学理学部 由 佐 悠 紀

## 1 まえがき

別府流域における水収支の評価は、別府温泉の涵養水源を明らかにしてゆく上で有力な手段の一つである。これまでも、いろいろな方法を用いて、この種の調査、考察が行なわれてきたが、別府南半部域を対象としたものであった。

本報告は、別府流域全体に対する水収支評価の基礎資料とするため、流域内の表面、中間流出および浅層地下水のうち、実際に利用されている水量につき資料を集め、まとめたもので、さらにきわめて粗っぽいものではあるが、これらの資料を基に、降雨から地下水系への涵養量を見積ったものである。なお、ここで云う別府流域は東別府—小鹿山—鶴見岳—内山—伽藍岳—温水を結ぶ線にかこまれた59.8km<sup>2</sup>の範囲である。

## 2 資料について

本報告で対象とした利用水は、上水道水および噴気による加熱温泉用水である。加熱温泉水量については、これまでもしばしば統計がなされているが、過去の調査時の水源は、おもに河川水などの表流水と隧道水であった。近年、表流水の汚濁化などのため、新たな水源の開発が要求されるようになり、春木川沿いの一部では、浅層地下水を採取し、加熱温泉用水源としている所も出はじめ、事情が変化しつつある。そこで、今回は、水源の形態を観察し、数ヶ所で流量を測定した。また測定ができなかったものについては、これまでの資料<sup>5)</sup>や、水源所有者の資料を参照して推定した。

上水道水については、別府市水道局の資料（昭和42年4月以降）を閲覧利用した。これらの資料について、地域別、水源の形態別、および利用の種類別に水量を統計したものが表1と表2である。この表に漏れているものもあるかも知れないが、比較的大量に利用されているものは、含まれている。なお、この流域の北側の別流域に属する温泉水源の資料も参考までに記した。ただし、以下の取扱いではこの量は除外する。表3、4は表1、2の資料をさらにまとめたもので、後に述べる生成された加熱温泉水量と別府流域の雨量も掲げた。

雨量は、京大地球物理学研究所で、昭和42年4月から昭和47年3月の間に測定されたものの平均日雨量（4.67mm/day）を別府流域の雨量とした。流域の受水面積（59.8km<sup>2</sup>）との積をとれば、平均の全日雨量は2.8×10<sup>5</sup>m<sup>3</sup>/dayとなる。一方、利用水量は2.6×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/dayであるから、これは降雨量の約10%に当る。また、現在加熱用水として利用されている水量は約8800m<sup>3</sup>/dayで、全利用水のおよそ30%である。

表1 南部地区利用水量

水源名	水源の種類	水量(m <sup>3</sup> /day)	利用の種類	備 考
乙 原	表 流 水	4,020	上 水 道	大分川の水を含む  内280m <sup>3</sup> /dayは未利用
〃	〃	680	加 熱 用 水	
鮎 返	〃	4,140	上 水 道	
朝 見 川	〃	1,530	上水道及雑用	
〃	〃	3,510	加 熱 用 水	
〃	隧道および湧水	1,110	〃	
観 海 寺	隧 道 水	1,120	上 水 道	
〃	〃	570	加 熱 用 水	
	合 計	16,680		

表2 北部地区利用水量

水源名	水源の種類	水量(m <sup>3</sup> /day)	利用の種類	備 考
扇山	表流水	2,840	上水道	境川水源  内560m <sup>3</sup> /dayは未利用
春木川	表流水	420	加熱用水	
春木川沿	隧道水	50	〃	
〃	不圧地下水	1,000	上水道	
〃	〃	2,470	加熱用水	
湯山	湧水	2,500	上水道	
	合 計	9,280		
温水	湧水	15,000	上水道	

注：上水道の統計期間は期間は昭和42年4月から昭和47年3月まで。

表3 水源の種類によるまとめと流域の平均日降水量

水源の種類	水量(m <sup>3</sup> /day)
表流水	17,140
隧道および湧水	5,350
不圧地下水	3,470
合 計	25,960
平均日雨量	280,000

表4 利用の種類によるまとめ

利用の種類	水量(m <sup>3</sup> /day)	備 考
上水道および雑用水	17,150	内840m <sup>3</sup> /dayは未利用
加熱用水	8,810	
加熱温水量	12,000	見積値

### 3 噴気による加熱温泉水量の見積り

給湯事業用温泉水の大部分は、噴気による加熱水である。昭和36年頃、吉川<sup>3)</sup>らにより調査された当時の加熱用水源は、地表流水、伏流水、ゆう水であった。先に記したように、近年浅層冷地下水が新たな水源として登場し、その量は約2,500m<sup>3</sup>/dayで加熱用水の30%弱と、かなりの部分を占めており、水源の形態が変化しつつあるので、現時点での加熱温泉水量を改めて見積ることとする。

前節に記した水量は、噴気による加熱以前の水量であり、加熱後の温水量には、さらに噴気からの付加量が加算されねばならない。

いくつかの加熱槽で加熱前と加熱直後の温度を測定し、湯原<sup>7)</sup>により測定された噴気の熱的性質を用いて、付加量を見積ることとする。

噴気からの付加量と冷水量をそれぞれ  $Q_1$ 、 $Q_2$  とし、噴気、冷水、加熱直後の温水のエンタルピーをそれぞれ  $i_1$ 、 $i_2$  および  $i_3$  とすれば、 $Q_1$  と  $Q_2$  の比は次の様に求められる。

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{i_3 - i_2}{i_1 - i_3}$$

表5には、その計算例を掲げた。みられるように、噴気からの付加量は冷水量の50%におよび、したがって、生成温水量は冷水量の約1.5倍となる。他のものについても、この割合を適用すると、実際に利用されている冷水量は約8,000m<sup>3</sup>/dayであるから、温水量は約12,000m<sup>3</sup>/dayとなる。表6には

過去の記録と今回の結果を併せて記したが、引湯事業による供給温泉水量には、ほとんど変化がないと云える。

表5 噴気からの付加量

噴 気	冷 水 温 度	加 熱 後 の 温 度	噴 気 の エ ン タ ル ピ ー <sup>7)</sup>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>2</sub>
別 府 白 湯(観海寺)	28.5℃	66.0℃	146cal/g	0.47
嘉 麻 興 業(南立石)	28.0	85*	223	0.41
泉 都 土 地(小 倉)	24.0	75.0	175	0.51

注：\*印は別府保健所の資料による。

表6 加熱温泉水の変遷

調 査 時 期	昭 和 24 年 <sup>8)</sup>	昭 和 36 年 <sup>9)</sup>	昭 和 47年(今回)
加 熱 温 泉 水 量	9,900m <sup>3</sup> /day	12,027	12,000

#### 4 山岳部小取水域からの表面、中間流出量

山麓扇状地の地下水は、山岳部における降水量によりその大部分を涵養されるものであろう。この意味から、流域全体の水収支を明らかにしてゆく道程で、そのモデル地域として、山岳部の小流域に着目することは有効である。別府流域においては、これまで、そのような試みがなされたことはなく山岳部の降水の何%が表面流出あるいは中間流出の形で流出し、何%が地下に浸透して地下水系を涵養するかについては、ほとんどわかっていないし、またその見積りに役立つ資料もこれまで知られていなかった。

今回の資料収集の際、限られた地域ではあるが、表面、中間流出量の降水量に対する割合をおおまかに推定できそうな資料に遭遇したので以下に記述する。くわしい調査を行なったわけではないから資料として上質とは云い難いし、またこの地域における蒸発量など他の水収支要素も測定されていないことをおことわりする。

着目した小流域は図1に掲げたが、別府市中央部山手の鶴見岳、内山、大平山にかこまれた、境川の水源地帯を形成するおよそ3.7km<sup>2</sup>の範囲である。この地域は狭まった谷あいによって、山麓部扇状地へと口を開いている。その開口部に別府市水道局の扇山水源が設けられているが、地形から、この流域からの表面流出水と中間流出水の大部分が、ここに集まっていると判断される。その流量は別府市水道局の手で毎日測定されており、昭和45年7月以後の月毎の平均日流量を図2に掲げた。これらの資料から、昭和42年4月から昭和47年3月までの平均日流量は2,840m<sup>3</sup>/day(表2)と求められるこの間の雨量として、京大地球物理学研究所の測定値4.67mm/dayを用いると、平均日降水量は1.7×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/dayとなり、上記流出量はこれの約17%に当たる。

同様に、乙原取水域(2.9km<sup>2</sup>)では、約30%の流出量となり、合計についての降水量に対する流出量の割合は22%となる。これを、おおまかに別府流域における表面および中間流出の割合とみなせば、全域からの流出量は6×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/day程度と見積られ、このうちのおよそ30%が、上水道水と加熱用水に制用されていることになる。

図2中には、京大地球物理学研究所敷地内で測定された不圧地下水の月平均水位(地面からの深さ)と平均日降水量を記入したが、扇山水源の流出量は降水量より、むしろ地下水位記録と良い対応があり、とくに経年変化の様な長周期の変動ほどその対応が良いようで興味深い。このことは、別府の山岳部からの流出量に、いったん地下にもぐった水が再び地表へと表われる中間流出の形をとる部分の寄与が大きいことを示しているのかも知れないが、ここではその事実のあることを記すにとどめ、これ以上の取扱いは将来にゆずりたい。

図1 扇山水源取水域

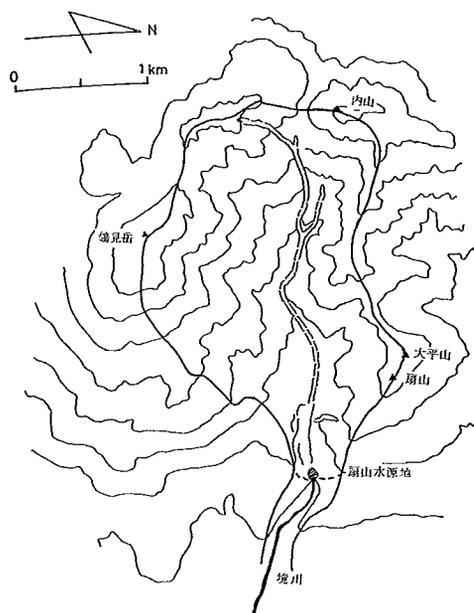
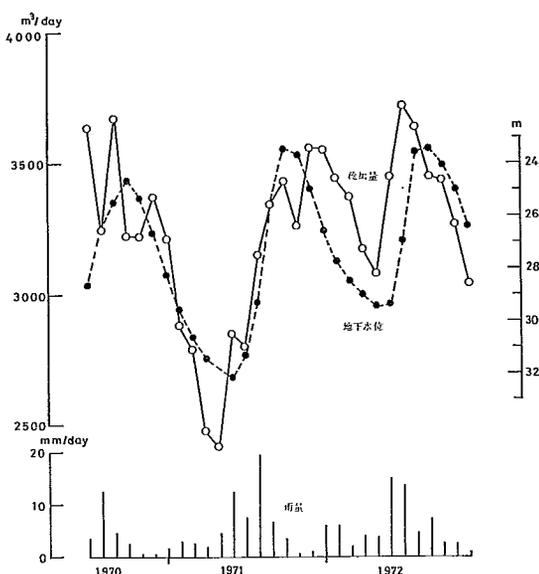


図2 扇山水源流量、日雨量および京大地球物理学研究所の地下水位



### 5 別府流域における地下水涵養量

以上の資料を用いて、別府流域における、降水から地下水への涵養量を見積る。先にことわったように、資料の精度には不満な点が多いが、地下水涵養量の一部が深層温泉水への重要な保給源であることを考えると、このような見積りを行なうことの重要性が認識される。

別府流域内の降水の一部は蒸発散により、大気へと還り、一部は表面、中間流出として流出し、残りが地下水系を形成して、流域の地下を海岸へ向け流動してゆく。したがって、表面、中間流出の他に、流域内の蒸発量を見積らねばならないが、よく云われるように、この量の見積りは非常に困難である。そこで、これもまた、きわめておおまかであるが、以前に京大地球物理学研究所で測定されていた蒸発パンによる日々の記録を利用することにする。用いたデータは、昭和38年11月から昭和42年10月までの4ケ年のデータである。表面・中間流出量の統計期間とは、ごくわずかの間しかオーバーラップしないが、年により非常に異なるわけではないだろう（ここで行なう程度の精度では）。この期間の平均日蒸発量は $2.92mm/day$ と求められた。これまでの研究により、<sup>8)</sup>地表面からの蒸発散量は、蒸発パンからの蒸発量の7~8割程度といわれており、ここでは係数0.7を採用すると、平均日蒸発散量は $2.04mm/day$ 、したがって、全流域からの値は $1.2 \times 10^5 m^3/day$ 程度と求められる。

一方、山岳部の2つの小流域の資料から推定した全流域からの流出量は $6 \times 10^4 m^3/day$ であったから、地下水涵養量は、降水量から上の2つの量を差し引いた残量、 $1.0 \times 10^5 m^3/day$ 程度と推算される。そして、これが地下を流動する過程で、熱水などと混じり合って、温泉水系を形成し、その一部は流域下流部で温泉水として採取される。表7には、以上の見積り値をまとめて掲げた。

表7 別府流域の水収支表(単位は $10^5 m^3/day$ )

降水量	流出量	蒸発量	地下水涵養量
2.8	0.6	1.2	1.0

## 6 まとめ

- (1)別府流域の降水量の約10%が上水道水および加熱温泉用水として利用されている。
- (2)加熱用水は利用水量の30%（したがって降水量の約3%）を占める。その内訳は、表流水、ゆう水、隧道水が70%、不在地下水が30%である。
- (3)噴気により生成される加熱温泉水量は、 $12,000\text{m}^3/\text{day}$ で、これまでの記録と変わらない。
- (4)別府流域の表面・中間流出量は、山岳部の資料をもとに、降雨量の22%と推定される。
- (5)地下水涵養量は、1日当り10万 $\text{m}^3$ のオーダーと見積られた。

報告を終えるにあたり、資料を提供していただいた別府市水道局、調査に御協力いただいた大分県別府保健所、各給湯事業関係者ならびに京大地球物理学研究所森忠敬氏に厚く御礼申しあげる。

## 参 考 文 献

- 1) 野満隆治、池田亮二郎、瀬野錦蔵：別府温泉涵養源としての雨量、地球物理、2巻2号、pp.97~126、1938
- 2) 吉川恭三：A Method to Analyse the Effect of Precipitation on the Ground Water Stream, Special Contr. Geophys. Inst., Kyoto Univ., 9, pp.1~14、1969
- 3) 吉川恭三、矢野行雄：別府温泉における引湯（第1報）、大分県温泉調査研究会報告、13号、pp.20~27、1962
- 4) 山下幸三郎：別府温泉の総調査の結果について、地球物理、8巻、2—4号、1950
- 5) 大分県別府保健所：別府温泉の現況と問題点、1971
- 6) 別府市水道局：別府市水道事業統計年報、昭和47年度版、1972
- 7) 湯原浩三：別府周辺噴気孔の噴出熱量と熱力学的性質、大分県温泉調査研究会報告、15号、pp.15~25、1964
- 8) 山本莊毅編：陸水（地球科学講座9）、共立出版社、p.76、1970

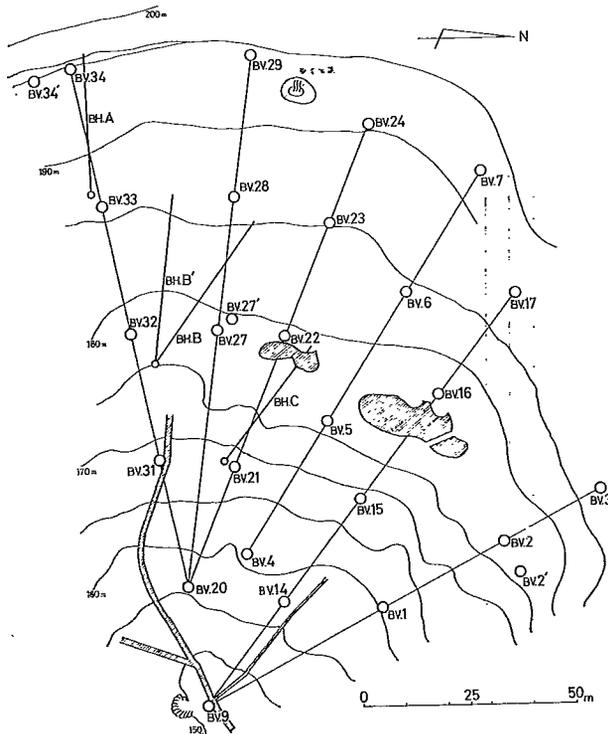
# 地熱地域における浅層地下水に関する研究

京都大学理学部 川 村 政 和

## 緒 言

地熱地域では、その地層中の岩石が熱水や噴気ガスの作用により変質して粘土化するが、別府の明礬や乙原地域でもそのような現象が見られる。これらの地域における岩石の変質状態については既に吉川・由佐によって詳しい調査がなされ報告<sup>1,2)</sup>されている。

図1 地質調査孔及び水抜き孔の分布



乙原地熱地域の場合、図1に示すようにその約2500㎡の範囲に地滑り対策用の29本の地質調査用縦孔と34本の水抜き用横孔が掘られており、前者はほぼ15~30mの間隔で分布しているが、これらのボーリングコア及び地下水質からこの地域の岩石や水質の変質過程について考察<sup>2)</sup>されている。それによるとこの地域には全体的にモンモリロナイトがあり、又、カオリン鉱物層は地表下数mに見られるがこの上限は地下水面にほぼ一致している。更にクリストパライトは表層部に、カルサイトはこれより下部に存在しており、その他黄鉄鉱や石英・長石・ハロイサイト等の存在が確認されている。

地下水については水温が87℃以上を示す孔もあるが、Cl<sup>-</sup>量が非常に少ないことから、浅層地下水が地熱や地下からの蒸気によって熱せられたものであるとされている。その水質にはCa<sup>++</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型とCa<sup>++</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>型とがあり、これは地下

からCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>S・SO<sub>2</sub>が供給されることによって酸性水ができ、これにカルサイト等が溶解されてCa<sup>++</sup>・Mg<sup>++</sup>・HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を生ずると考えられているが、その成分量は各孔毎にかなり大きな差がある。又、pHは一般に中性であるが一部に酸性のものもあり、これはカルサイトの溶解によって充分中和されていないため、まだ変質過程にあることによる<sup>3)</sup>と報告されている。

由佐はその後7月まで更に5回にわたって水質観測を続けたが、この結果各孔における化学成分量は地域的に差があるだけでなく時期的にもかなり大きな変動をすることが知られた。

## 地下水質の変動について

この変動の原因を調査するため、昭和46年6月から翌年10月まで10回にわたって水質観測を行った。又地下水位の変動も何らかの関連をもつと思われたのでそれも併せて観測した。これらの観測は採水可能な総ての地質調査孔BV.1・2・2'・3・4・5・6・7・14・15・20・21・22・24・27・27'・28・29・31・34・34'と水抜き孔BH.A・B・B'・Cの計25孔で行い、その結果を文末に表示してい

る。

水温はBV.5・6・21・28・29・31それにBH.B・B'・Cで50℃以上を示し、最高はBH.B・B'の約87℃である。又、ここから最も遠いところに位置するBV.2・2'・3・14では25℃以下の低温でこれらの事は地熱活動がBV.32附近で最も盛であるという推定を裏付けている。

pHについてはBV.1・14・20及び27・27'・28・34で5以下の値を示したことがあり、この内BV.20・27・27'・28は常に酸性状態にある。BV.1・14・20はいずれも標高160m以下の低地部にあり、BV.9も酸性であったことが報告されているから、調査地域における酸性域はこの下流部とBV.27・27'・28附近の2ヶ所であることが知られる。又、これらはいずれも後述するCa<sup>++</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>型水質の分布域内にある。

Cl<sup>-</sup>量は30~70mg/ℓの濃度を示したBV.3・7・28以外は10mg/ℓ前後と非常に少なく、やはり浅層地下水が地熱等で熱せられたものと思われる。

この地域の水質が主にCa<sup>++</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型又はCa<sup>++</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>型であることは既述したが、これを由佐の調査結果とも合わせて地図上に表したのが図2である。それによると、Ca<sup>++</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型と

図2 地下水の水質分布

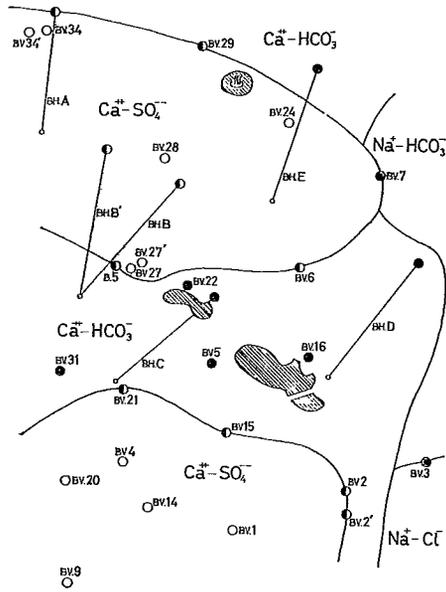


図3 BV.7における水質変動

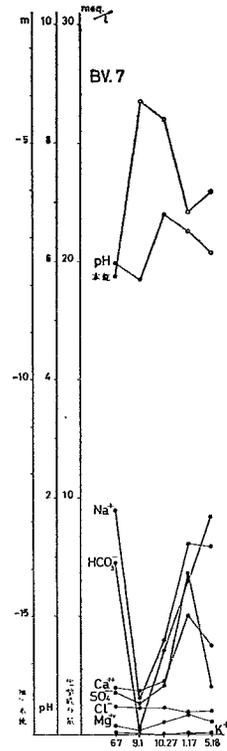
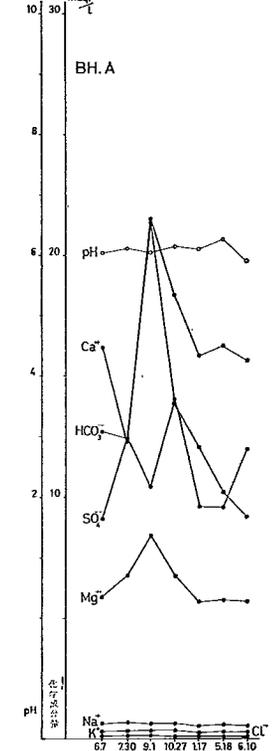


図4 BH.Aにおける水質変動



Ca<sup>++</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>型の水が上流部から下流部にかけて交互に分布していることが知られる。又、北側のBV.7からBV.3にかけてはNa<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型とNa<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup>型の水があり、BV.7では図3に見られるようにNa<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量とCa<sup>++</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>量の変動が非常に異なっていることから2種類の水系の存在を思わせ、これは他孔で見られない特徴となっている。

水質の変動については、多量の降雨があった直後にかなり大きく急激に起るが、降雨が無い時はそれ以前の状態への回復を除いて大きな変動はしないことが明らかになった。降雨の地下水水位に対する影響は、大分県が昭和45年度に当地域で行った地滑り調査の際に報告されているが、今回の調査結果

もほぼ一致している。又、その報告で降雨による水位上昇は、降雨量が10mm程度の場合は30cm以下にとどまるが100mmになると60~200cmにも達することが明らかにされている。

地下水位の変動に伴う化学成分量の変化は、前者が大きい傾向がある。水抜き孔のBH, B・B'は観測孔中最も高温で化学成分量も多いが、降雨による影響はほとんど受けない。これは水温も高いことから地下の割合深部からの湧出を暗示しており、そのため浅部地下水の影響が少ないのであろう。降雨による地下水位の上昇に伴い、全体的には化学成分量の減少とそれに pH 値もやゝ低下をきたすが、BV, 5・6・27・27'及びBH, Aで見られるように化学成分量の増加する場合がある。この一例としてBH, Aの場合を図4に示しているが、これによると各化学成分量は複雑な変動をしていることが窺われ、特に $\text{HCO}_3^-$ 量と $\text{SO}_4^{--}$ 量の関係に注目される。

図5 昭和47年5月18日における $\text{HCO}_3^-$ 量分布  
(単位: mg/l) ・観測孔

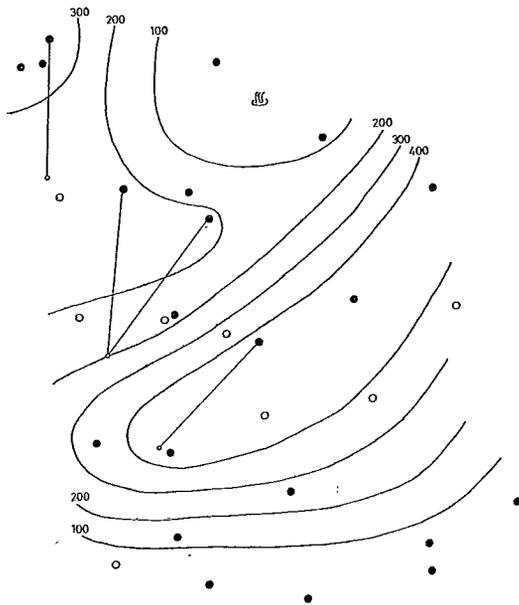
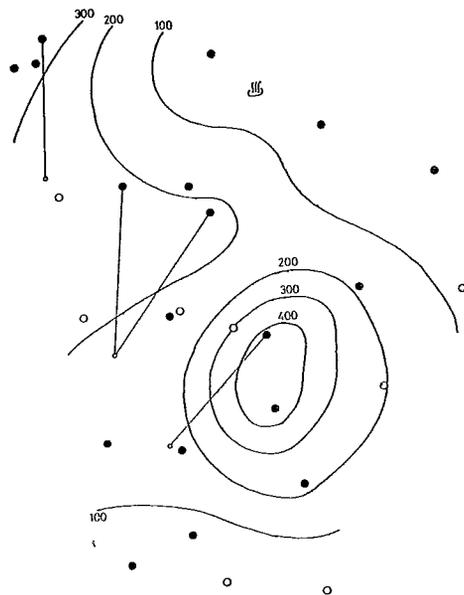


図6 昭和46年9月1日における $\text{HCO}_3^-$ 量分布  
(単位: mg/l) ・観測孔



$\text{HCO}_3^-$ ・ $\text{SO}_4^{--}$ ・ $\text{Ca}^{++}$ 量分布を前調査より更に広く全域にわたって検討したが、ほぼ同様の傾向にあることが知られた。但し、上述の如く降雨によってその成分量はかなり大きく変動するが、分布の傾向そのものに変化は見られない。例えば $\text{HCO}_3^-$ ・ $\text{SO}_4^{--}$ 量について、比較的降雨量が少く広域にわたって採水を行った昭和47年5月18日の分布と、観測前の4日間に249.54mmという多量の降雨があった前年9月1日の分布を図5~8に示している。

これによると $\text{HCO}_3^-$ 量の多いのはBV, 7からBV, 21にかけて(図5)であるが、多量の降雨があるとその範囲はBV, 5を中心として狭ばまる(図6)だけで、その後再び以前の状態に戻ることが知られた。 $\text{Ca}^{++}$ 量の分布や変動もこれと全く同じである。

$\text{SO}_4^{--}$ 量の場合はその高濃度域がBV, 34-6-4と鍵型に分布している(図7)が、降雨の影響を受けるとやゝその形がくずれてしまう(図8)だけで分布状態そのものに変化は見出せない。

以上の観測結果から地下水質の変動が降雨と密接な関係を持つことが知られたので、昭和47年6・7・8・10月に3~13日間の連続観測を試みた。まず6月7・8日に80.27mmの降雨があった後BV, 4・6・7・14・27・27'・28・31・34・34'及びBH, A・Bにおいて3日間観測を続け、これらの内から特徴的な変動をするBV, 6・7・27・27'・28の5孔についてその後の3回の連続観測を行った。8・10月の調査は降雨影響に対する連続観測結果と比較するため、逆に降雨量が少ない場合の変動について観測している。これらの結果についても文末に表示してあるが、この5孔の内BV, 6・27・27'の変

図7 昭和47年5月18日における $\text{SO}_4^{--}$ 量分布  
(単位:  $\text{mg}/\ell$ ) ・観測孔

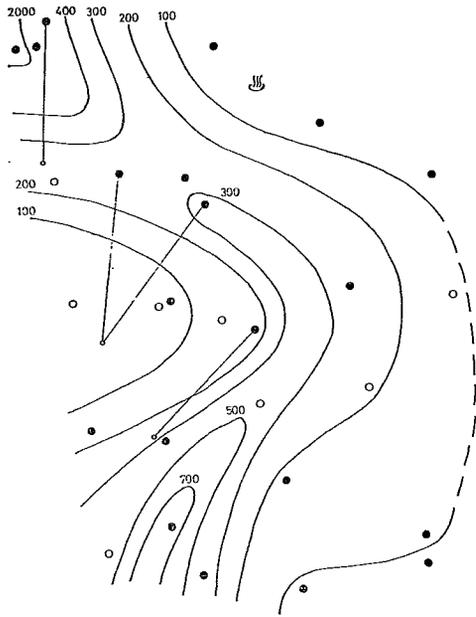


図8 昭和46年9月1日における $\text{SO}_4^{--}$ 量分布  
(単位:  $\text{mg}/\ell$ ) ・観測孔

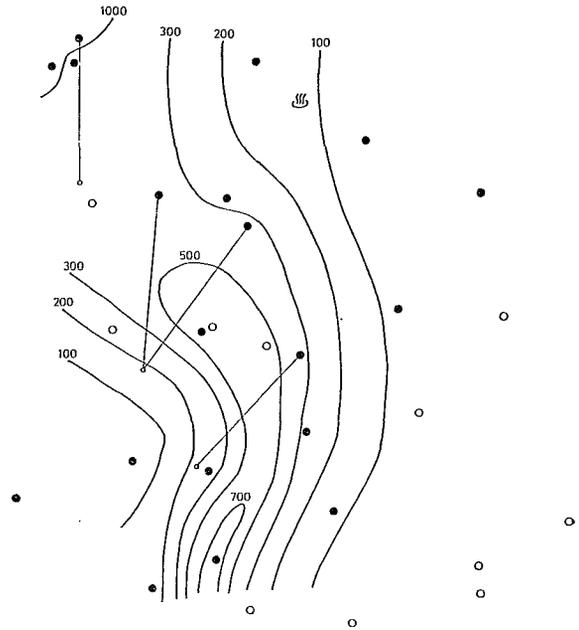


図9 BV.6における水質変動

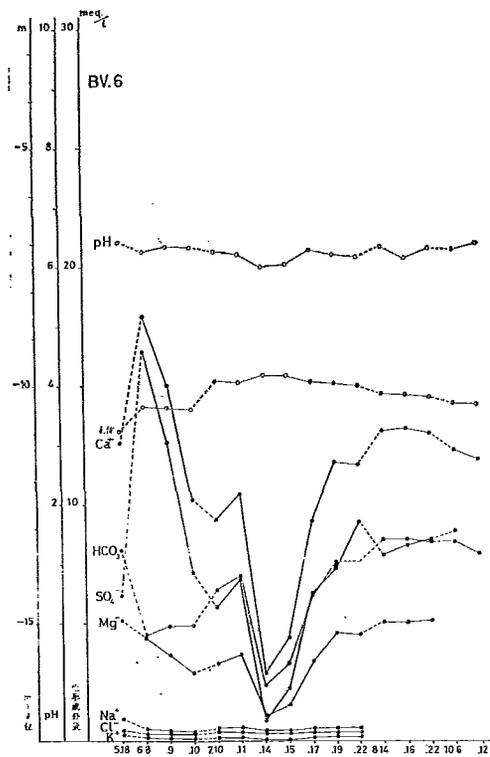


図10 BV.27における水質変動

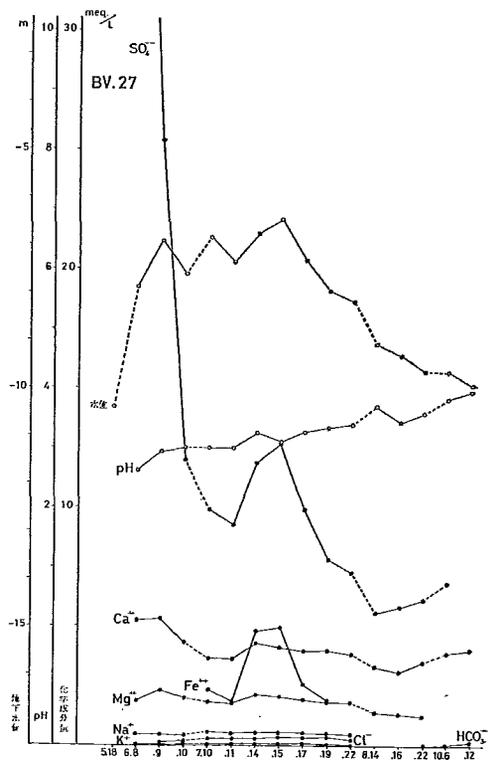
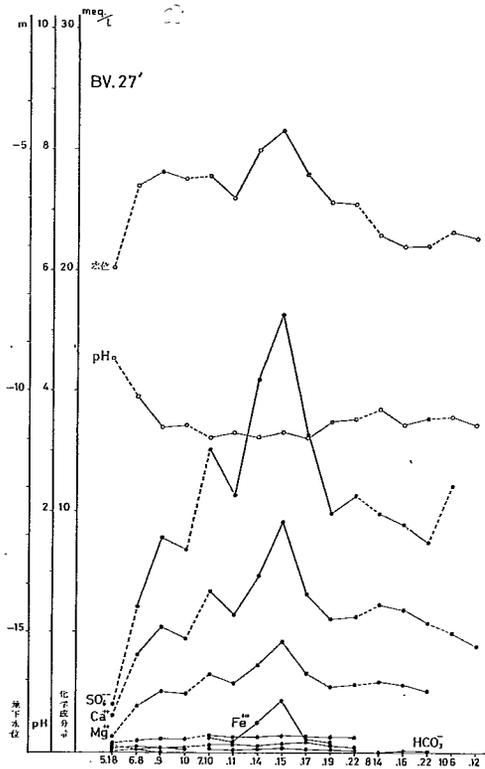


図11 BV.27'における水質変動



8月14～22日の観測では21・22日に計21.23mmの降雨があったが、地下水位は低下する傾向があるだけで、化学成分量にもほとんど影響が無い。又、10月6・12日の観測も8～10日の3日間に計2.10mmという少量があったのみで、化学成分量にその影響は見られない。

しかしながら、これらの約4ヶ月にわたる観測結果を通して比較すると、地下水位の低下に伴いpH値の上昇とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量の増加の傾向があり、これは降雨が無い場合の水質を暗示するものと思われる。

以上の観測から多量の降雨があった直後、地下水位の上昇と共にCa<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>・Fe・SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量の増加することが確認された。これについては、地表面と地下水面との間でカルシウムや鉄等の硫酸化物に富む層があり、降雨によって地下水面が上昇してその層が水没した場合、それらの物質が溶解されるからであると考えられる。だが由佐も報告しているように、CaSO<sub>4</sub>はX線回折による分析ではボーリングコア試料中に検出されないため、Ca<sup>2+</sup>はH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>によりカルサイト等から溶出されたと思われる。FeSO<sub>4</sub>及びFe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>は後述の式(2)・(3)によってH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を生ずることが知られており、この他Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>もあると予想される。

#### ボーリングコア試料による溶出実験について

これまでの観測結果から、地下の割合浅い地層中に鉄やアルミニウムの硫酸化物の存在が予想されたが、昭和46年10月27日の試水をその採水時に一緒に得られる様々の色をした泥と共に放置し、約3ヶ月後にBV.27'・28・29の3試水について分析した。その結果は表1に示してあるが、これによるといずれもpH値の低下、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量の減少、他化学成分量の増加が明らかである。特にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量の増加が著しくBV.28では倍以上になっているが、これに対し陽イオンの増加が足りないため鉄イオンについて分析した結果そのほとんどがFe<sup>3+</sup>であることが知られた。

動をグラフに表し図9～11に示した。

6月8～10日の観測(図9)については前述の如く7・8両日に計80.27mmの降雨があり、これによる影響を前回(5月18日)の観測結果と比較したがBV.6・27でCa<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>・SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量に増加が見られた。ただBV.27の場合、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量の著しい増加にもかかわらずCa<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>量は全く増えていないがその性状から鉄イオンの非常に多いことが予想された。

7月10～22日の観測は上述の結果からBV.6・7・27・27'・28の5孔を選んで行ったが、11～13日に90.41mmというかなり多量の降雨があり、その前後にわたる化学成分量の変動を観測できた。又、前回の結果からFe(=Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup>)量についても分析を行った。これよりBV.27・27'でCa<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>・SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及びFe量は地下水位と全く同じ変動を示したことが知られる。BV.27については前回の調査の際の推定通り、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量はFe量と共に変動することが確認された。BV.6では前回と逆の結果になったことに注目される。尚、図上で鉄イオン量は、後述の採水泥からの溶出結果より全てFe<sup>3+</sup>として表している。

表1 採水泥からの溶出 (単位: mg/l)

	BV.27'		BV.28		BV.29	
	S46.10	S47.1	S46.10	S47.1	S46.10	S47.1
pH	3.84	3.00	4.12	3.01	5.75	4.70
Na <sup>+</sup>	11.2	22.0	13.7	22.0	14.8	—
K <sup>+</sup>	4.2	5.4	8.4	10.9	2.5	—
Ca <sup>++</sup>	57.2	59.6	49.7	90.5	110	128
Mg <sup>++</sup>	18.0	19.0	11.7	20.2	24.1	26.4
* Fe <sup>++</sup>	—	0.9	—	0.0	—	0.5
* Fe <sup>+++</sup>	—	14.3	—	9.0	—	—
Cl <sup>-</sup>	8.4	—	11.8	—	7.2	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0	0.0	8.0	0.0	210	15.3
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	282	364	192	428	217	420

\* 分析者: 野田徹郎

表2 ボーリングコア試料からの溶出 (単位: mg/l)

	深度 (m)	pH	Fe	Al <sup>+++</sup>	Ca <sup>++</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
BV.6	2	6.57	22.2	—	3.7	53.0
	5	6.75	34.0	53.0	8.4	348
	7	3.02	137	117	321	1970
	10	7.88	2.5	10.5	33.5	73.0
	11	8.06	1.2	2.7	26.0	59.2
	12	7.96	0.6	1.2	25.5	85.2
BV.27	1	4.73	—	2.0	3.5	—
	3	2.68	250	232	26.5	2000
	6	4.91	—	1.5	3.5	21.2
	8	8.40	3.6	7.0	12.0	60.0
BV.28	1	4.53	0.4	1.2	3.9	19.2
	3	2.60	526	43.0	238	2390
	5	2.53	346	20.4	202	1510
	8	2.85	1.6	5.2	21.5	49.0
	15.5	8.20	7.3	17.4	131	21.2

以上の観察及び考察から、連続観測を行ったBV.6・27・28についてこれらの地質調査孔のボーリングコア試料の溶出実験を行った。既述した通りBV.27・28の地下水は酸性を呈しており、又、BV.6・27では降雨直後に化学成分量が増加している。試料は各深度の岩石を5gメノウのすり鉢で粉にし、それを50ccの蒸留水に混ぜよく攪拌した。これを一昼夜放置した後で、そのpH値及びFe・Al<sup>+++</sup>・Ca<sup>++</sup>・SO<sub>4</sub><sup>--</sup>量を測定し、その値を表2に示している。

この結果、いずれの孔でも割合浅いところに酸性を呈する層があり、そこでは各化学成分共その上下層に比べ極端に多い溶出があった。SO<sub>4</sub><sup>--</sup>量と他の陽イオン総量は当量とほぼ一致するところからやはりFeSO<sub>4</sub>・Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>・Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>が地層中にあると思われ、事実コア試料のX線回折による分析からもそれらの加水物の存在が確認された。一方、BV.6・28ではかなり多くのCa<sup>++</sup>が溶出されたが、BV.6の7m深の試料について溶出実験前後のX線回折像を比べた結果長石の溶脱が著しく、Ca<sup>++</sup>は主にそれから生じたものと思われる。これに対しBV.27の3m深の試料では長石が検出されず更にCa<sup>++</sup>の溶出量も少いことはその推定の裏付けとなるであろう。

鉄やアルミニウムの硫酸化物はいわゆる「湯の花」であり、その生成過程については古賀により既

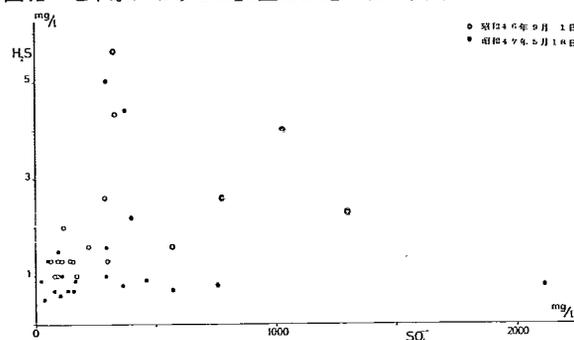
に詳細な報告がなされているが、乙原地域についても同様の事が考えられ、現在も一様に分布していると思われる。

以上の事から次のように考えられる。浅層地下水面上にある不飽和層において地下から  $H_2S \cdot SO_2$  の供給を受け、これが  $O_2$  と反応して  $H_2SO_4$  をつくる。このため岩石は変質して  $FeSO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3 \cdot Al_2(SO_4)_3$  等を生ずる一方  $H_2SO_4$  自体もそのまま残り、そこに酸性層を形成する。多量の降雨によってこの不飽和層が水没するとそれらの物質から  $Fe^{++} \cdot Fe^{+++} \cdot Al^{+++} \cdot SO_4^{--}$  等を溶出するが、これによって生ずる  $H_2SO_4$  は岩石中の長石・カルサイトあるいはモンモリロナイト等から  $Ca^{++} \cdot Mg^{++} \cdot HCO_3^-$  等を溶出する。

しかしながらこれらは時期的にも地域的にも不規則な変動を示し、特にBV. 6で観測されたように同じ程度の降雨量でも全く逆の現象を生ずる点等に注目される。これらの事が不飽和層の岩石・降雨の間隔・地下水位の上昇程度等によって左右されるとしても疑問が多い。又、溶出実験を行ったコア試料自体について、そのボーリングの際に送水があったかどうか等の不明な点もあり一概に論ぜられないが、地層中に酸性層の存在することは確かである。

地層中で酸性層を形成する上に問題となるのは  $O_2$  及び  $H_2S \cdot SO_2$  の供給量それに  $Fe^{++} \cdot Fe^{+++} \cdot Al^{+++}$  の賦存量である。上述の化学反応過程にはかなりの  $O_2$  量が必要であるが、降雨による以外に次のような供給機構が考えられる。即ち、この乙原地域は降雨に伴う地下水水位変動が激しいことからこの地下水自体がポンプの役目を果し、その水位が低下する際に空気を地層中に引き込む。その空気中の  $O_2$  は不飽和層中の  $H_2O$  に溶けたり鉄を酸化したりするが、地下から供給される  $H_2S \cdot SO_2$  と反応して  $H_2SO_4$  を生ずる。これらの事が繰返されてかなりの硫酸ができるが、これが岩石中の  $Fe^{++} \cdot Fe^{+++} \cdot Al^{+++}$  に作用してそれらの硫酸化物を生成すると思われる。溶出実験に用いたコアでは、いずれの孔でも現在の地下水位より数 m 程上部に酸性層のあった事はこれらの仮定に合致している。又地表近くで pH がそれ程低くなかったのは、少量の降雨によっても地層が洗われ易いためであると思われる。この観点からすると、表流水が集中し地下への滲透が多い地域で地下水が常に酸性状態にあることが考えられ、BV.27 付近の地形にはそのような徴候も見られるが、これはまだ推測にすぎない。

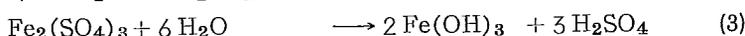
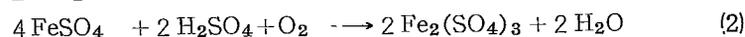
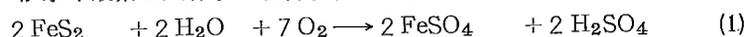
図12 地下水における  $H_2S$  量と  $SO_4^{--}$  量の関係



$H_2S \cdot SO_2$  量については、野田の話によるとこの地区唯一の噴気井である「観音地獄」において前者は全体のわずか0.15%にすぎず後者についてはほとんど無いということで明礬地区に比べ非常に少ない。又、同氏により昭和46年9月1日、翌年5月18日の2回にわたってその試水中の  $H_2S$  量が測定され、これと  $SO_4^{--}$  量の関係を表したのが図12である。それによると、地下の割合深いところから湧出

しているとみられる水抜き孔以外ではその溶存量はあまり多くないことが知られ、 $SO_4^{--}$  量との間にも特に関係は見出せない。最も  $H_2S$  溶存量が多いBH. B' は高温であるため  $O_2$  量が少く充分酸化が進んでいないことによると思われる。

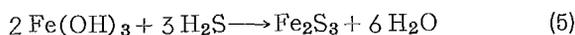
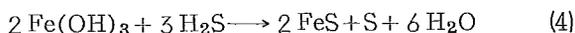
だが  $H_2S$  の供給については地区的に差があることも考えられる。これが少ない場合でも黄鉄鉱 ( $FeS_2$ ) が水や酸素と共存する場合、次のような反応により硫酸を生ずることが知られている。



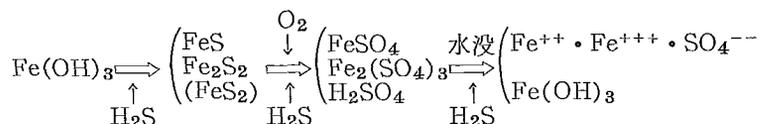
黄鉄鉱はX線回折による分析からコア試料中にも存在することが確かめられているのでその反応も考

えられるが、BV.27の酸性層の3 m深コア試料中には全く検出されないし、又、これまでに溶脱してしまっていて当然であるとも言える。

熊井は酸素を含まないFe(OH)<sub>3</sub>の懸濁液にH<sub>2</sub>Sを通し、次なる反応で硫化鉄が生成することを確かめた。



この事から酸素の無い場合、式(3)によって沈澱したFe(OH)<sub>3</sub>は上記の反応から硫化鉄になるが、地下水の変動によりそこに酸素を含む空気が送り込まれると、黄鉄鉱と共に酸化して硫酸鉄に変る一方で硫酸が生ずる。これが地下水水位の上昇によって水没した際溶解するが、再びFe(OH)<sub>3</sub>を沈澱させて元に戻るといふモデルが考えられる。



いずれにしても、この乙原地域が明礬地域に比べて岩石の変質がそれ程進んでいないのは、地下からのH<sub>2</sub>S・SO<sub>2</sub>の供給が少いためであるかもしれない。

## 結 語

以上、多量の降雨があった直後に浅層地下水の化学成分量が急激に増加にする現象について考察を行い、その原因が明らかとなった。しかしながらこれは一時的な現象にすぎず、一部地域に見られるように地下水を常に酸性状態に保つ機構との関連が問題となる。又、これら酸性状態にある地質調査孔でも、その深部コアには多量のカルサイトが含まれていることから、地下水の上部と下部では水質の異なることも考えられ、未だ追求されなければならない点が多く今後の研究の続行が望まれる。尚、降雨量は京都大学地球物理学研究施設で観測された資料を用いた。

終りにあたり、本研究に対し御指導いただいた京都大学地球物理学研究施設吉川恭三・山下幸三郎両博士、並に貴重なる資料を御提供いただいた上終止適切なる御助言・御協力を下さった同研究施設由佐悠紀助手・九州大学温泉治療学研究所野田徹郎助手に厚く感謝の意を表す。又、本研究の調査に御協力いただいたケーブルラクテンチ・九州土地開発株式会社の諸氏に厚く御礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 吉川恭三・由佐悠紀：明ばん地熱変質帯における地下検層——変質粘土の分布——  
大分県温泉調査研究会報告、19号、昭和43年
- 2) 由佐悠紀：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  
大分県温泉調査研究会報告、20号、昭和44年
- 3) 由佐悠紀：未発表
- 4) 大分県：乙原地区地すべり調査  
昭和45年度地対第8の1号
- 5) 古賀昭人：湯の花の生成過程について  
大分県温泉調査研究会報告、16号、昭和40年
- 6) 湯原浩三・瀬野錦蔵：「温泉学」p165
- 7) 熊井俊彦：水酸化第二鉄と硫化水素の反応の研究 (第1報) 水酸化第二鉄懸濁液による硫化水素の吸収  
日本化学雑誌、78巻、8号、昭和32年
- 8) 熊井俊彦：水酸化第二鉄と硫化水素の反応の研究 (第2報) 硫化第一鉄の生成について  
日本化学雑誌、79巻、6号、昭和33年

調査資料 (単位: mg/ℓ)

観測孔	採水	地下水位 (-m)	水温 (°C)	pH	Na+	K+	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	備考
BV.1	46. 6. 7	10.16	30.6	5.08	7.2	1.1	17.3	4.0	9.4	18.2	48.2	水位:6/2
	47. 5.18	9.87	31.3	4.90	5.9	0.9	13.2	4.1	7.2	11.0	35.8	H <sub>2</sub> S:0.3
BV.2	46. 6. 2	7.62										
	47. 5.18	7.17	24.5	5.85	6.2	0.8	76.2	8.4	7.0	60.1	110	H <sub>2</sub> S:0.8
BV.2'	46. 6. 2	4.36										
	47. 5.18	3.87	23.0	6.11	9.3	1.4	11.1	4.3	8.4	39.9	20.0	H <sub>2</sub> S:0.7
BV.3	46. 6. 7	6.20	21.0	5.74	72.4	1.5	2.2	1.1	68.9	59.7	19.0	水位:6/2
	47. 5.18	9.09	23.0	6.12	31.5	0.5	1.9	0.2	10.8	46.5	18.4	H <sub>2</sub> S:0.7
BV.4	46. 6. 2	12.11										
	7.30	11.14	44.1	5.48	16.2	3.6	300	84.8	7.5	126	925	
	9. 1	10.86		5.02	13.5	4.7	226	66.4	10.7	56.3	780	H <sub>2</sub> S:2.6
	10.27	11.16	43.5	5.50	14.8	3.5	239	68.0	6.3	101	832	
	47. 1.17	12.31	45.2	5.45	13.4	3.5	229	66.0	6.2	101	740	
	5.18	12.38	46.0	5.56	16.0	4.0	309	81.0	7.9	145	760	H <sub>2</sub> S:0.6
	6. 8	10.93	42.0	5.00	28.6	1.9	149	42.4	5.6	40.2	510	
	9	11.11	43.5	5.14	11.9	2.8	235	66.0	6.5	56.5	720	
	10	11.31	44.1	5.13	13.4	3.2	274	74.8	8.9	67.8	840	
	BV.5	46. 6. 7	14.93	48.5	6.10	18.8	5.1	229	59.0	13.2	720	148
7.30		14.68	50.6	6.25	17.8	4.5	214	60.0	10.6	758	252	
9. 1		14.63		6.12	16.7	4.5	222	59.4	13.1	720	300	H <sub>2</sub> S:1.3
10.27		14.83	48.6	6.22	17.2	4.8	233	64.2	3.7	756	243	
47. 1.17		15.31										
BV.6	46. 7.30	10.49	60.1	6.70	13.1	3.4	161	32.4	10.1	357	226	
	9. 1	9.91		6.32	10.0	1.9	50.5	10.9	11.7	121	86.0	H <sub>2</sub> S:1.0
	10.27	10.50	58.5	6.52	13.5	7.1	229	52.0	10.4	613	282	
	47. 1.17	11.52	59.6	6.32	15.0	8.4	257	60.0	11.3	493	380	
	5.18	10.98	59.0	6.40	20.5	8.6	253	62.0	15.3	490	296	H <sub>2</sub> S:1.6
	6. 8	10.46	58.0	6.24	11.5	4.0	358	53.2	9.7	271	786	
	9	10.48	58.0	6.31	10.7	3.2	301	44.0	9.9	295	604	
	10	10.52	57.8	6.30	10.3	3.0	205	35.2	10.3	295	342	
	7.10	9.94	55.0	6.23	11.9	4.1	187	39.4	12.8	387	272	Fe: 0.9
	11	9.96	54.0	6.18	12.1	4.6	209	44.4	12.4	424	329	◇ 1.0
	14	9.81	49.6	5.97	9.3	1.7	57.6	12.8	10.7	142	40	◇ 1.5
	15	9.83	51.0	6.01	9.7	2.2	87.3	18.9	10.8	198	106	◇ 0.9
	17	9.95	55.9	6.24	11.8	4.4	185	40.9	12.4	374	298	◇ 1.1
	19	10.00	57.7	6.17	12.2	5.7	234	54.8	12.8	459	361	◇ 0.8
	22	10.05		6.12	16.1	5.7	233	54.6	12.7		442	
8.14	10.22	59.6	6.30			261	60.6		516	375		
16	10.25	59.8	6.10			262	60.8		517	395		
22	10.31	59.2	6.26			258	61.0		510	404		
10. 6	10.43	58.6	6.24			244			510	423		
12	11.46	59.6	6.34			237			478			
BV.7	46. 6. 7	7.83	30.0	5.95	216	1.9	38.0	4.0	39.8	440	82.5	水位:6'2
	9. 1	4.10	29.0	5.72	36.2	2.1	17.9	2.9	40.5	22.4	66.0	H <sub>2</sub> S:1.3
	10.27	4.49	30.8	6.80	93.0	1.8	45.6	7.0	40.0	216	98.1	
	47. 1.17	6.43	33.1	6.53	186	3.3	101	10.2	33.8	395	332	
5.18	6.02	32.5	6.10	183	2.2	75.2	6.9	35.2	563	97.0	H <sub>2</sub> S:0.4	



観測孔	採水	地下水位 (-m)	水温 (°C)	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	備考
	5.18	10.38										
	6.8	7.86	38.5	2.63	11.5	2.0	106	23.2		0.0	2290	H <sub>2</sub> S:1.6
	9	6.88	38.5	2.94	10.8	2.3	107	28.5	5.1	0.0	1220	
	10	7.58	40.8	3.00	10.3	2.2	87.3	24.6	6.8	0.0	575	
	7.10	6.83	39.7	2.99	13.2	3.0	73.6	22.4	12.7	0.0	478	Fe: 44.2
	11	7.34	41.0	3.02	12.3	2.8	73.2	21.9	11.4	0.0	446	◇ 34.4
	14	6.75	40.0	3.26	13.0	3.0	86.7	26.2	11.4	0.0	572	◇ 89.4
	15	6.44	37.1	3.10	13.0	3.1	83.3	25.1	12.7	0.0	612	◇ 92.4
	17	7.28	41.3	3.27	12.5	3.0	79.9	23.6	12.2	0.0	478	◇ 48.2
	19	7.94	43.9	3.36	12.1	2.7	80.4	22.3	13.1	0.0	376	◇ 35.0
	22	8.16		3.40	11.8	2.5	77.5	22.2	9.9	0.0	350	
	8.14	9.05	55.0	3.51			66.7	17.2		0.0	270	
	16	9.28	56.0	3.45			62.8	16.2		0.0	282	
	22	9.61	57.0	3.60			71.1	15.5		2.0	297	
	10.6	9.63	56.7	3.85			79.0			5.4	330	
	12	9.92	57.6	3.97			80.7			10.1		
BV.27'	46.6.2	7.61										
	10.27	6.58	44.4	3.84	11.2	4.2	57.2	18.0	8.4	0.0	282	
	47.1.17	6.79	45.9	4.87	6.9	2.5	18.2	5.8	6.6	15.3	74.8	
	5.18	7.74	48.8	4.54	8.8	2.7	30.9	8.3	6.2	20.9	96.5	H <sub>2</sub> S:1.3
	6.8	5.75	41.0	3.90	11.5	4.6	81.2	23.3	9.0	8.6	295	
	9	5.46	38.5	3.40	13.3	5.7	104	31.1	7.3	0.0	429	
	10	5.61	38.5	3.43	13.1	5.4	94.9	29.8	8.4	0.0	406	
	7.10	5.55	39.4	3.23	17.0	7.1	134	40.0	12.7	0.0	604	Fe: 12.1
	11	6.00	(41.0)	3.32	15.8	6.3	115	35.4	12.1	0.0	516	◇ 8.2
	14	5.02	34.8	3.25	15.4	7.4	147	44.2	12.0	0.0	744	◇ 22.8
	15	4.59	33.9	3.33	16.7	8.4	192	56.6	15.3	0.0	876	◇ 41.1
	17	5.52	37.0	3.23	16.0	7.6	132	40.4	16.6	0.0	632	◇ 11.1
	19	6.08	43.1	3.50	15.8	6.3	112	33.6	11.3	0.0	480	◇ 8.7
	22	6.13		3.54	15.4	5.0	114	34.8	9.4		512	
	8.14	6.76	46.3	3.71			124	36.0		3.0	478	
	16	6.99	47.0	3.45			119	34.8		4.7	456	
	22	6.98	47.0	3.55			108	31.6		4.4	420	
	10.6	6.70	46.0	3.58			100			0.0	533	
	12	6.83	46.7	3.45			88.9			0.0		
BV.28	46.6.2	7.74										
	7.30	6.56	52.3	4.15	17.2	12.9	80.6	23.8	12.9	6.5	380	
	9.1	5.86		3.74	11.3	11.1	43.4	12.6	11.8	0.0	220	H <sub>2</sub> S:1.6
	10.27	7.15	58.2	4.12	13.7	8.4	49.7	11.7	11.8	8.0	192	
	47.1.17	7.36	57.4	4.58	16.3	9.9	68.0	14.5	20.1	17.9	227	
	5.18	7.24	57.0	4.43	18.4	8.5	88.7	17.9	25.2	21.9	295	H <sub>2</sub> S:0.8
	6.8	6.63	53.0	4.40	17.4	11.1	88.4	18.0	31.4	17.3	240	
	9	6.90	56.0	4.25	16.9	10.1	85.6	18.0	30.5	14.0	247	
	10	7.01	56.1	4.37	16.9	9.6	87.5	17.7	28.1	16.6	246	
	7.10	6.68	55.1	3.95	16.9	9.9	73.8	16.4	25.2	7.7	280	Fe: 2.1
	11	6.66	(55.9)	3.90	17.1	9.6	74.9	16.6	24.5	9.1	285	◇ 2.4
	14	6.27	53.4	3.78	15.6	11.3	68.2	15.7	24.9	5.4	226	◇ 1.5
	15	6.46	54.8	3.75	15.8	10.6	70.6	16.0	25.6	9.1	245	◇ 2.8
	17	6.65	(54.5)	4.03	16.0	9.9	73.8	16.2	26.0	13.4	270	◇ 2.1

観測孔	採水	地下水位 (-m)	水温 (°C)	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	備考	
BV.29	19	6.72	56.2	4.20	17.0	9.8	77.1	16.3	24.6	14.1	270	" 2.8	
	22	6.79		4.45	16.8	8.3	84.5	18.0	21.8		357		
	8.14	6.85	57.0	4.74			86.7	17.8		26.9	271		
	16	6.77	56.9	5.04			106	21.1		61.1	300		
	22	6.68	55.9	5.03			91.9	19.0		45.4	259		
	10.6	7.01	56.8	5.99			179			263	427		
	12	6.98	56.7	6.14			222			388			
	46.6.7	4.79	52.5	6.14	13.2	2.0	63.7	14.8	6.5	114	130		水位:6/2
	9.1	2.21	48.8	5.44	10.6	3.0	41.7	11.3	7.9	37.3	145		H <sub>2</sub> S:1.3
	10.27	3.76	50.0	5.75	14.8	2.5	110	24.1	7.2	210	217		
BV.31	47.1.17	3.50	49.9	5.70	8.2	1.8	34.0	8.0	5.6	67.8	85.0	H <sub>2</sub> S:1.1 水位:6/2	
	5.18	3.05	49.5	5.80	7.3	1.7	33.2	6.0	6.3	66.8	55.0		
	46.6.7	10.04	51.0	6.45	12.1	2.1	161	33.4	6.3	470	91.5		
	7.30	9.06	53.0	6.65	13.1	2.1	116	28.6	7.0	330	127		
	9.1	8.31		6.41	9.1	1.6	66.5	12.6	9.6	162	95		H <sub>2</sub> S:1.3
	10.27	9.67	52.2	6.52	16.2	2.4	223	55.6	7.7	638	243		
	47.1.17	10.17	52.1	6.30	11.9	2.5	173	44.4	10.0	492	160		
	5.18	9.36	51.5	6.78	15.4	2.0	147	45.3	11.1	371	163		H <sub>2</sub> S:0.7
	6.8	5.77	43.5	6.75	6.5	0.9	51.0	7.7	6.3	121	408		
	9	8.53	48.0	7.01	7.1	1.1	65.2	13.2	6.5	168	532		
BV.32	10	8.72	49.4	7.01	7.8	1.2	75.1	16.2	7.0	188	73.2		
	46.6.2	8.88											
BV.34	9.1	8.65											
	46.6.7	4.11	23.0	3.50	16.6	5.8	43.6	7.2	6.3	0.0	148	水位:6/2	
BV.34'	7.30	3.44	28.9	5.90	17.3	7.6	124	28.2	6.3	162	314	H <sub>2</sub> S:1.3 H <sub>2</sub> S:0.5	
	9.1	2.78	27.0	5.74	10.1	6.3	51.2	8.6	10.1	31.9	157		
	10.27	2.72	27.7	5.94	18.2	8.0	156	35.6	13.0	155	471		
	47.1.17	4.14	28.0	6.23	16.7	8.4	137	30.0	8.3	164	351		
	5.18	3.94	26.0	5.79	19.8	6.2	202	50.6	11.5	259	572		
	6.8	3.32	24.2	4.65	9.6	5.1	24.8	3.0	4.8	11.6	88.0		
	9	3.81	27.0	5.34	10.4	5.4	33.9	5.9	3.4	18.3	114		
	10	3.74	27.2	5.55	11.6	5.8	56.9	11.1	7.9	48.2	157		
	46.6.2	6.13											
	7.30	4.95	31.0	6.10	35.7	4.5	433	118	5.0	382	1440		
BH.A	9.1	3.77	29.1	6.06	50.5	4.3	375	102	27.9	348	1300	H <sub>2</sub> S:2.3	
	10.27	4.92	30.0	6.10	29.0	4.1	456	116	18.6	427	1560		
	47.1.17	6.67											
	5.18	5.70	31.0	6.12	33.8	5.4	600	140	9.4	413	2115	H <sub>2</sub> S:0.6	
	6.8	5.51	32.0	6.05	26.0	4.4	533	88.4	5.1	348	1886		
	9	5.37	32.0	6.11	25.6	4.3	537	134	6.4	460	1848		
	10	5.26	32.0	6.00	25.4	4.3	516	132	6.4	440	1848		
	46.6.7	(湧出量) t/sec)	28.1	6.05	14.5	4.5	324	71.2	9.7	774	436		
	7.30		30.8	6.12	15.2	4.5	246	82.0	10.7	757	594		
	9.1		30.7	6.04	14.6	5.1	431	102	12.0	636	1030	H <sub>2</sub> S:4.0	
BH.A	10.27		29.9	6.16	13.8	4.2	369	81.2	11.1	849	672		
	47.1.17		29.0	6.13	12.0	4.5	319	69.2	8.4	739	462		
	5.18	1.48	29.3	6.03	13.4	4.3	327	69.6	10.4	621	460	H <sub>2</sub> S:0.7	
	25	1.50	29.0	6.08	13.2	4.2	332	68.8	11.4	614	482		
	6.8	1.68	29.3	6.00	12.8	3.9	324	70.2	10.8	540	580		

観測孔	採水	湧出量	水温 (°C)	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	備考	
BH.B	9	1.89	29.6	6.03	12.9	3.9	322	70.0	10.4	546	558		
	10	2.00	29.7	5.94	12.8	3.8	315	69.2	11.1	502	580		
	46. 6. 7		86.0	6.15	77.2	13.0	102	29.7	2.8	250	305		
	7.30		87.6	6.55	77.6	14.0	107	32.2	12.9	273	312		
	9. 1			6.50	78.5	13.1	111	34.8	2.3	291	330		H <sub>2</sub> S:4.3
	10.27		86.0	6.68	76.5	12.3	116	34.5	2.4	313	295		
BH.B'	47. 1.17		86.3	6.57	74.5	14.7	111	29.9	2.0	266	337		
	5.18	2.73	86.5	6.41	74.6	12.7	119	34.6	11.1	278	376		H <sub>2</sub> S:4.2
	6. 8	2.66	84.3	6.42	70.8	10.8	129	44.0	10.0	287	369		
	46. 9. 1		86.6	6.54	81.0	13.4	106	31.2	3.0	282	325		H <sub>2</sub> S:4.8
BH.C	47. 1.17		86.6	6.55	75.0	14.8	110	29.5	2.1	263	314		
	5.18		86.5	6.38	74.8	13.0	114	30.4	10.7	269	295		H <sub>2</sub> S:5.6
	46. 6. 7		53.6	6.08	28.0	3.9	143	52.4	10.0	538	107		
排水溝 流水 観音地 獄池水	9. 1			6.44	23.3	4.1	148	54.6	12.4	544	173		
	10.27		54.2	6.24	21.9	3.4	150	51.9	8.6	543	145		
	47. 1.17		53.2	6.27	7.3	4.1	138	49.5	7.9	455	173		
	5.18	1.21	55.5	6.57	23.0	3.9	147	48.2	9.2	495	154		H <sub>2</sub> S:0.5
	46. 7.30			6.87	8.1	2.8	18.4	4.2	5.2	67.3	15.9		
	47. 1.17		55.0	7.15	0.4	0.3	3.3	0.1	1.4	27.9	4.5		

雨量記録 (単位: mm)

観測: 京都大学地球物理学研究施設

昭和46年	月日	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	7.26	7.27	7.28	7.29	7.30
	雨量	8.30	24.50	42.00	47.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	月日	8.28	8.29	8.30	8.31	9.1	10.23	10.24	10.25	10.26	10.27
	雨量	0.57	93.52	154.55	0.90	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
昭和47年	月日	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	5.14	5.15	5.16	5.17	5.18
	雨量	0.50	0.00	0.29	0.75	0.00	4.46	0.00	0.00	0.00	0.00
	月日	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	7.6	7.7	7.8
	雨量	11.02	0.00	0.00	55.23	25.04	0.00	0.00	21.51	0.00	0.00
	月日	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13	7.14	7.15	7.16	7.17	7.18
	雨量	0.40	0.00	1.57	50.91	37.93	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
	月日	7.19	7.20	7.21	7.22	8.10	8.11	8.12	8.13	8.14	8.15
雨量	0.00	1.30	0.80	0.00	28.27	0.00	0.90	0.00	0.05	0.00	
月日	8.16	8.17	8.18	8.19	8.20	8.21	8.22	10.2	10.3	10.4	
雨量	29.80	0.00	0.00	0.00	0.00	19.21	2.02	0.00	0.00	0.00	
月日	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10	10.11	10.12			
雨量	0.00	0.00	0.00	0.70	1.36	0.04	0.00	0.00			

# 温泉法の問題点の考察 (I)

大分大学教育学部 大 野 保 治

わが国の温泉は、古くからおおいに人びとに親しまれ、国民の保健休養、レクリエーションからレジャー等の中心となって利用されており、今後とも、こうした傾向はますます助長され、拍車をかけられるものと思われる。

現在、周知のように、温泉に関する法規については、戦後昭和二十三年に制定された「温泉法」(法律 125号)が主になっているが、この温泉法は、公法・私法に関連するところ甚だ広範に及んでおり、また、本法の解釈や運用をめぐって多々疑問や混乱が生じ、世の温泉関係者や識者からも何らかの法的措置を要望する声がつとに挙がっていることは、ここに指摘するまでもないところである。

本稿では、本県における温泉法にかかる具体的問題点にも触れつつ、温泉法がもつ問題点若干について批判や検討を加えながら、ささやかな試見を述べんとするものである。(なお、本稿は未完である。)

## 1) 温泉法の性格

### (1) 行政法規として

温泉法のもつ、法規としての基本的性格や法的構成は種々の点において明確性を欠くが、現在のところ、それは「温泉の掘さくおよび利用に関する行政的監督ないし取締を内容とするもの」<sup>(1)</sup>であって、主として社会の衛生・保健の視点から規制する<行政法規>のそれと解されている。この点に関連して、当該温泉法はその目的として、「温泉の保護」と「利用の適正」化によって「公共の福祉の増進に寄与する」ことを挙げている(第一条)。これは、いわゆる一般的かつ抽象的表現をとる普遍条項であるため、社会生活の実態に即した運用面で多くの矛盾や不合理を招来していることは周知の事実である。

上述のように当該温泉法は、本来的には行政法規に属するものであって、温泉に関する私法上の権利関係を規定する実体法規ではないところに根本的な問題がひそんでおり、先ず、この点を指摘しておかねばならないだろう。

### (2) 戦前の温泉法令

ここで、戦前の温泉行政と法令を一瞥しておくことも、あながち無益ではあるまい。周知のごとく戦前において、温泉行政の所轄官庁は警察当局であり、温泉の掘さくや利用は警察権のコントロール下に置かれていた。すなわち、主として公安的観点(保健・衛生)から行政上の規制が加えられるとともに、法令の上でも温泉に関する独立の「法律」はなく、専ら地方長官の定める「命令」(すなわち「府県令」)のみであった。本県に例をとれば「大分県鉱泉取締規則」(明45.6.5 県令第32号)が存し、戦前(昭 16.11現在)このような府県令をもっていたのは、全国で一道一府二九県に及んでいたことを知り得る<sup>(2)</sup>。ここにいう「命令」とは、講学上、いわゆる警察命令であると解されており、この「警察命令」は、明治憲法第九条に定める「公共ノ安寧秩序ヲ保持シ及臣民の幸福ヲ増進スル為ニ必要ナ命令」を指すのであり、天皇の大権事項に属していたのであるが、戦後、新憲法の制定でその効力を失ったことから、政府はこれに代わる「法律」として現行温泉法を制定せざるを得なかった<sup>(3)</sup>のである。

さて、警察命令たる前記諸温泉取締規則の内容は、温泉の試掘、浚渫、修理、増掘等に当たって、あるいは温泉を利用する——自然湧出泉の利用をも含めて——に際して、地方長官の許可を要するというのである。行政学上、この「許可」の性格については、権利設定の行政処分か警察許可であるの

か争いがあったが、<sup>(4)</sup>詳細はさて置き、当時一般に認容されていた私法学者を中心とした支配的見解は、温泉の掘さく行為は温泉採取権を公的に設定するものではなく、温泉に関する権利はすでに〈私法上の権利〉（私権）として存在することを前提として、濫掘によって近隣の温泉に異変を生ずることを抑止する目的のものであったとする。前述したとおり、当時としても、一部公法学者の中には温泉を鉱泉と観念することから、これを採取・利用する権利すなわち鉱泉採取権は、地下にある「公物」を使用する権利すなわち「公物使用権」<sup>(5)</sup>であるとして法的構成し、〈公法上の権利〉（公権）と解する見解がなかった訳ではないのである。地下の温泉を公権・私権のいずれの対象とするかの見解は後述するとして、叙上の警察命令の趣旨を現行温泉法が基本的に継承していることに疑念をささむ余地は、先ずなさそうである。

要するに、旧憲法下における警察命令においても、現行温泉法においても、これら法令の中心的課題は、温泉利用に関する権利の設定ではなく、温泉を湧出させる目的の土地掘さくの許可に存したのである。ちなみに、ここにいう「許可（行為）」とは行政法学上、「一般的な禁止（不作意義務）を特定の場合に解除し、適法に一定の行為をなすことを得しめる行為」と解されている。

ところで、戦前の温泉行政の意向を受けた現温泉法は、鉱泉取締規則とは若干趣を異にして「温泉の利用一般を統制しているのではな<sup>(6)</sup>く、本温泉法で「県知事の許可を受けねばならない」のは温泉の掘さく（第三条）や増掘または動力装置（第八条）等の〈事実行為〉であって、温泉の〈権利自体〉でないことは前述のとおりである。現行の温泉法が、温泉権の私権性を確認しているとは言っても、温泉の利用を全面的に統制しないというのではなく、例えば、次のような場合には、国家権力の統制をも認めているのである。すなわち、第一に、知事は「温泉源保護のために必要があると認めるときは、温泉源より温泉を採取する者に対して、温泉の採取の制限を命ずることができる。」（第9条）としている。この文言から、戦前の公物使用権の見解を暗に容認するかのごとき厚生省の姿勢を感じることができるであろう。また第二に、「温泉を公共の浴用又は飲用に供しようとする者は……都道府県知事に申請してその許可を受けなければならない。」（第十二条）として、温泉の営業の自由にも制限を加えている。このことは、浴場を営む場合と同様である。

### (3) 温泉法の法的枠組

つぎに、温泉法を構成する機構ないしは法的枠組（frame of reference）について考察してみる。その骨子は述べるまでもなく、およそ次のように構成される。すなわち、「温泉をゆう出させる目的で土地を掘さくしようとする者」は、「都道府県知事に申請してその許可を受けなければならない」（第三条一項）のであって、掘さくの目的はあくまで〈温泉のゆう出〉であり、また掘さくする土地も必ずしも自己の所有にかかる土地とは限らない。掘さくに必要な土地につき、何らかの法律上の権利を有すればよい。つづいて第四条で、都道府県知事は「温泉のゆう出量、温度若しくは成分に影響を及ぼしその他公益を害する虞があると認めるときの外は」掘さくの「許可を与えなければならない。」というのである。本条は、本温泉法の解釈論上、最も問題を胚みかつ運用をめぐって物議をかもし易い条項であるが、この論考については次号以下で取り上げる所存である。

要するに、当該温泉法に規定する許可・不許可の行政処分こそ本法中の基軸に据えらるべきものであり、したがって、温泉法における泉源保護の眼目とも称さるべきものであるばかりか、こうした行政処分の適否が社会の現実態に妥当するか否かに温泉法の真価がかかっていると看做しても、敢えて過言ではないであろう。

## 2) 温泉権の概念とその権利の態様

### (1) 温泉権の概念

温泉権とは、そもそも法律上———ということは国家法の次元で———いかなる権利であり、またどのような法的構成をとるのであろうか。世上では、それは「温泉に対する権利」とか「温泉を使用する

権利」とか漠然と観念されており、裁判所によって確定される段階にまで達している訳ではないようである。もっとも、温泉権の概念が示された判例としては、当県での大分地裁判決(昭36・9・15判)を挙げることができ、ここでは「湧出温泉につき増掘浚渫ないしは引湯などの利用をなし得る直接排他的な支配権」として<一種の物権>としての説明を加えた上で、さらに「この権利はその鉱泉地と離れて独立の財産権である」(傍点は引用者)と判示している。こうした大分地裁での温泉権の概念構成の上で、温泉の権利なるものがいかなる性格のもとに、いかに法的構成なされ得るであろうかは甚だ興味があるばかりか、またそれは困難な問題でもあるのである。

地下温泉源については次項で論述するので、結論のみ示せば、地中の温泉(源)はその土地の構成物すなわち土砂礫等とは異なり、客体としての特定性を欠くことから直ちにこれに対して民法が定めるところの「所有権」を構成するには難が存するとの指摘は、今日ではすでに一般化しておるようである。次に、大分地裁判決にも示されているように、本県の多くの温泉地、ことに別府温泉地方では社会経済上、源泉地土地所有権とは別個の財産(権)として取引の対象とされているのが実情であるから、これに対する権利を源泉地盤所有権の一権能として構成することは必ずしも適切ではないように思われる。こうしたことから、温泉に対する権利、すなわち温泉権は、川島教授がいみじくも教示するように、第一次的には、温泉に対する排他的かつ包括的な支配権——と直ちに説明を加えることには多分に問題が存するとしても——で民法の「所有権」と同型の物権——敢えて「温泉所有権」とも称されるべきもの——として処理されて然るべきものであり、第二次的には、第一次権利者の同意に基づいて派生する物権的な分湯利用者(すなわち「分湯権」)と債権的な利用者(すなわち「配湯権」)が成立するものとして処理され、構成されるものと考えらるべきであろう(後述)。

### (2) 旧慣温泉権と近代的温泉権

温泉は、大別して「自然湧出泉」と「人工掘さく泉」とに分けられる。全国的に概観するなら、明治末期までは多くの温泉場は自然湧出泉が主であり、大正期に入って掘さく技術の開発がなされるにつれて自然湧出泉はその姿を消し、逆に人工掘さく泉が漸増していくというプロセスをたどる。こうした過程を、権利の体系の側面から見れば、先ず自然湧出泉を中心とした温泉利用の型態は入会権や漁業権、慣行水利権の Gewere 的性格と軌を同じうする近代以前の旧慣上の温泉権すなわち <旧慣温泉権>に、人工掘さく泉を中心とした権利秩序は明治初期における私有財産制度——その典型としての私的所有権制度——の導入によって確立された近代法の枠の中での近代法的権利すなわち <近代(法)的温泉権>に照応するものであり、いわば二つの異質の colorary ないしは category として把握できよう。また、これを温泉権をめぐる権利の対抗関係として見れば、旧慣温泉権と近代的温泉権、並びに近代的温泉権相互の対抗関係として理解することができるであろう。<sup>(10)</sup>

このように見てくると、戦前の前掲諸鉱泉取締規則は早期制定されたもので明治十年代、遅くとも昭和初・中期に制定されたものであって、これらは旧温泉権が明治以降、変質もしくは解体していく過程で新しく成長してきた近代的温泉権との対抗関係の中で、旧慣温泉権秩序を維持・防衛する機能を果たしてきたものと言えよう。ところで、上述の二系列(範ちゅう)の権利の間には、相互的な移行・影響があるのであって、したがって両者の間の差異は流動的であり、相互に関連しながら、窮局的には近代法的温泉権が国家法の次元で優位を占めていく過程をとるという訳である。

### (3) 地下温泉源の所有関係

地下の温泉源ないし温泉脈の所有関係は前項でも触れたように困難な問題であるが、一応のところ「地下水」の analogy が参考になるであろう。その最も古典的・伝統的な法律観念は、土地所有権者に、その権利を帰属せしめるという考え方である。説明するまでもなく、それは民法上の「土地所有権はその上下に及ぶ」とする規定(第207条)に基づく。この構想と立論は大陸法諸国の基本的法理に由来すると言われ、また英米法系のコモン・ロー中心の諸国でも同様であるとされる。こうした法的見解の下では、地下温泉源(泉脈)も、それ自体として独自の法律制度を形成するものではなく

土地法とくに土地所有権法の一環として、その地位が認められているに止まる。地下温泉源が土地所有権に包含・帰属するとす見解は、今日といえどもなお根強く支持されているように思われる。事実、全国主要温泉場の法律実態調査資料<sup>(12)</sup>によれば、土地所有権と温泉権（源泉権）とが合体して取引の対象となり、これを分離して処分するという社会的慣行が存しない温泉場も決して少なくはないのである。

ところで、地下泉源の所有権の帰属をめぐって、叙上のように源泉地盤の土地所有権とこの地面に湧出する源泉権とを合体して把握する見解——戦前比較的多かった——に対して、これを否定的に解する見解もなかった訳ではない。例えば、我妻榮教授は、「地下水」を地下停水（止水・滲透水）と地下流水とが存することを前提として、前者はともかく、後者は土地所有権の客体となることは必ずしも適切ではない旨の見解を示しておられる<sup>(13)</sup>。また、戦前の地下水研究者であった武田軍治氏も、その著作（昭17）で、前記諸鉱泉取締規則の中に見られる「所有者」について、「土地所有権」の意であるのか「土地所有権より独立したる温泉自体の所有権の存在をも認めんとする意なりやは明確を欠く。然し、少なくともこれに依って、温泉所有者なるものは、道府県等の公共団体以外、私人たり得べく、而してその所属決定に就いては、本件命令の敢えて関せざるところなることを表明したるものと解する。」<sup>(14)</sup>（傍点は原文のまま）と述べておられる。一方、川島武宜教授は、地下の泉脈については、「いわゆる流水であろうと止水であろうと……地上における空気のごとく不断に流動しているのであって、権利客体としての特定性を欠くから、これに対して近代法上の『所有権』が成立する余地はない。」<sup>(15)</sup>と明言しておられる。

ちなみに、この点、アメリカでは地下水の水利権について地下流水と同じく、専用権主義を採用している州が若干あるようである<sup>(16)</sup>。これは、地下水の利用関係の面での制度に関するとはいえ、その前提として、地下流水につき所有権を否定するものと言い得るであろう。わが国では、地下水利権は、土地所有権を根拠として認められるのが原則である——事実に基づく慣行として認められる場合も勿論ある——から、民法上（第207条）、土地所有権の支配からこれを除外する旨の「法律」の規定が存しない限り、これに対して独立の物権の成立を認めるには、特にそのような慣習法が存在するのでない限りは許されないと考えるのが妥当であろう。

#### (4) 湯口に対する権利

温泉は地中深く存する限り、現実支配は不可能と言わねばならない。温泉が現実採取・利用できる状態は、指摘するまでもなく地上に湧出をみてからであり、温泉の「湯口」において先ず温泉の権利は形成される。これ、すなわち「湯口権」ないしは「源泉権」と称するべきものであり、近代的温泉権にあっては、人工的な掘さく手段を通して現実支配が可能となる。本節では、旧慣上の温泉権については次稿に譲るとして、近代法的な温泉権についてその概要を述べるに止める。

温泉に対する近代法的な管理・支配の主体（個人・会社・民法上の組合等）は、その成立の初め、すなわち掘さくの時、源泉地の土地所有権とにかかわっている。別府温泉においては、掘さく申請の多くは自らの土地に単独で掘さくするのであるが、必ずしも申請者自身の土地でない場合もまま存する。また、先の大分地裁判決にも示されたように、掘さく湧出後、源泉地盤所有権<sup>(17)</sup>と源泉権とが分離されて、両者がそれぞれ別の主体に譲渡される場合も少なからず存在するのである。このような社会的事実が別府地方に存する理由として、①温泉掘さくには多額の経費を要するばかりか投機性も強いこと、②温泉自体が高額の商品（財産権）として取引されるが、それは③千軒に近い観光業者（ホテル・旅館・レジャー施設等）から多量の湯の需要があること、④市街地にあっては掘さくする土地がなく、あっても狭少であることなどが挙げられる。こうした経済的・社会的要因は必然的に発生したものであり、社会的実態に即して法制度を考慮する限り、叙上の点を国家法の次元にも反映させて、やはり源泉地盤所有権とは別の独立した物権として評価・承認されることが望ましいと考える。この点、裁判所は「法令に規定なき事項」は地方慣習法をもって「法律と同一ノ効力ヲ有ス」（法例

第二条)るものだと承認していることから一定した見解は採っていない。たまたま前掲大分地裁判決は一見安易に慣習(法)の存在を肯定しているが、この点に触れて川島教授は「同地の掘さく温泉については旧慣温泉権の慣習の影響があることが推測され、また裁判所も旧慣温泉権と別異の取扱いを避けるという政策的考慮をしたであろうことも推測される」(傍点は引用者)と述べておられる。つづいて、同教授は、福岡県二日市温泉の、これまた有名な温泉訴訟での福岡高裁判決(昭31.11.16判)を引用して批判を加える。すなわち、同高裁判決の中で、二日市温泉については「かような地方的慣習法が成立していることを認めるに足るべき証拠は全くない」と判示した点に触れて、このような「法律論、すなわち源泉権が独立の物権であるためには『多年の慣習』が必要であるという点、また『独占権』が慣習法によって生ずるという点には賛成し得ない。」と言う。その理由として、「温泉権が独立の物権として認められるべきであるのは」[「経済的必要によるのであって『多年の』慣習を要するのではないと認むべきである」と言うのである。浅学の筆者には、同教授の鋭い問題提起に対しあげつろう学力を持たないが、法社会学の基本的な出発点——「法は事実から出発する、——から立論する限り、慣習法の有無を社会学的に実証することは甚だ困難な作業であるばかりか、さほどの学問的有意義性は少ないのではあるまいか。

ここで、旧慣温泉権との相関性について考察しておく。近代法的温泉権が成立するのは、従前に管理・支配がなかった温泉に対してであり、近代法体系(特に民法)のもとで村落共同体等の旧慣上の権利主体が管理・支配する温泉については、これが成立する余地がないからである。

① 温泉に対してすでに旧慣上の管理・支配があった場合

旧慣上の温泉権の承継取得がなされたときは、旧慣上の慣習を何より優先・尊重させるべきで、新たな近代法的源泉権の成立を観念してその法的関係を処理すべきではないことは言うまでもない。

② 村落共同体のごとき旧慣上の権利主体が源泉に対して新たに管理・支配を開始した場合

たとえ近代法体系が制度上確立された後(特に民法典制定後)であっても、非近代的な総有的な権利関係を生じ、その権利内容は当該村落共同体の内部秩序によって決定されるべきである。

(5) 分湯と配湯(第二次温泉利用権)

叙上の温泉権、すなわち源泉権ないし湯口権を第一次の温泉権と称するならば、源泉権者以外による温泉利用のそれは第二次の温泉権であり、この源泉権から派生した温泉利用の権利関係は、源泉権者の同意に基づいてのみ成立するものである。

さて、この第二次の温泉関係の法的型態としては、大きく次の二つに分けられる。すなわち、一つは源泉者がその管理・支配する温泉の一部の管理・支配を他人に譲渡する場合であり、これは<分湯>と称され得るものである。他の一つは、水道や電気等の継続的供給契約のように、特定の量の温泉を動産として一定の導管施設により継続的に配湯することを約する場合であり、これは<配湯>と呼び得るものである。

① 分湯 分湯においては、譲渡人の源泉権の内容そのものが分けられる場合であって、これにはまた二つの型が考えられる。

① 源泉権そのものの分割で、譲受人は譲渡人とともに共同の源泉権者となる。民法上では「温泉権の共有」、より正確には「源泉権の準共有」と称されるものである。②譲受人が譲渡人(源泉権者)と対等の管理・支配の権能をもつのではなく、基本的には譲渡人のみとその権能を有し、譲受人は限られた範囲内でしかその権能を行使できない場合であって、これは源泉所有権に対する一種の他物権的利用権である。以上を一般的に言うなら、源泉権の一部譲渡が永代にわたって確定的なものが①の場合であり、①ほど明確でない場合が②の場合と考えてよいであろう。

別府温泉でも、過去何件かの温泉訴訟は、①②のいずれであるか明確でないことから争われた。②の場合にあっては、分湯の契約内容や第三者対抗要件(次号以下)など早急に法的措置を講じておく必要があるばかりか、抜本的な利用関係確立のため何らかの立法対策が望まれる。

② 配湯 これは配湯義務者である源泉権者が、配湯を受ける権利者（配湯権利者）に対して配湯管敷設を施して継続的に供給する債務を負う債権契約である。この場合、供給契約の内容として、配湯する温泉の量や温度、期間などが問題となる他、配湯が第三者に妨害された場合の、配湯義務者に対する妨害排除請求権が存在すること、また第三者対抗要件として「一定の明認方法」を備えることなど困難な問題がある。

なお、付言するなら、上記の「分湯」「配湯」と紛らわしい用語に＜給湯＞と＜引湯＞とがある。＜給湯＞は上掲②の債権契約で温泉「給付」の意味をもつものとして使用さるべきである。また、＜引湯＞の用語は、文字通り或る特定の地点から或る地点に導管を通じて温泉水を移動する意味において使用さるべきであって、＜引湯権＞の用語も＜受湯権＞とともに極力避ける方が望ましい（別府温泉では日常用語としてよく使われているのであるが）。（未完）

## 註 記

- (1) 「注釈民法」(7) (有斐閣1967年) 後注③温泉権 p.610
- (2) 武田軍治「地下水利用権論」(岩波書店昭17) p.42～46
- (3) 久世公堯「地方自治条例論」(日本評論社昭46) p.18
- (4) 前掲武田著p.54以下
- (5) 川島武宜他「温泉法の研究」(勁草書房1964年) p.9 戦前のものとしては法律時報第3巻第7号美濃部達吉論文(判例に見なれたる水法) p.5以下など
- (6) 田中二郎「行政法上」(弘文堂昭47) p.108
- (7) 前掲川島他編 p.414
- (8) 川島武宜「民法Ⅰ」(有斐閣1965年) p.125
- (9) 前掲川島他編 p.13
- (10) 渡辺洋三「日本の社会と法(財産)」(日本評論社1965年) p.126以下
- (11) 比較法学会「地下水の法的問題」(金沢良雄) p.50
- (12) 厚生省国立公園局管理「温泉の利用に関する諸権利の実態の法律的意義に関する研究」(プリント版)
- (13) 我妻栄「物権法(民法講義Ⅱ)」
- (14) 前掲武田著 p.52
- (15) 前掲「注釈民法(7)」 p.614
- (16) 金沢良雄「水法」(法律学全集15) 前掲金沢論文 p.51
- (17) 拙稿「最近の別府における温泉権の問題状況」(大分大学紀要第3巻第3号)
- (18) 同判決では「…当裁判所に顕著な事実」であるとして論証を避けている(民訴第257条)
- (19) ～②前掲川島「注釈民法(7)」 p.618～619
- (20) 筆者が担当した当地での温泉訴訟については「生活と科学」第10号参照

## 原爆被爆者の温泉療法（第4報）

原爆センター 八 田 秋  
 九大温研 辻 秀 男

### はじめに

改築後第2年を迎えた原爆センター（原爆被爆者別府温泉療養研究所）は、はげしく転変する社会状況、ことに異常な諸物価の値上りに伴う種々の困難を克服しながら、職員らの献身的な協力に支えられて、その設立の目的達成のため、日夜努力をつづけてきた。この1年間の成果をまとめて、ここに報告する。

### 利用者概況

昭和47年4月から、昭和48年3月末までの1年間の利用者実数（表Ⅰ）は、3,396名で、4月、10月、11月などに多く、7月と12月に比較的少なかったことは、ほぼ例年と同様であった。利用者延数は18,780名で、20,000名には少しく達しなかった。利用率は平均1日51.5名、71.5%となる。利用年の男女別、年齢別（表Ⅱ）では、男女比はほぼ4：7、年齢的には、60才以上が $\frac{2}{3}$ あまりを占めてゐる。滞在日数別（表Ⅲ）では、1週間以上が約 $\frac{1}{3}$ 、3日>が $\frac{1}{3}$ 、4～6日が $\frac{1}{3}$ であった。昨年度に比べて4～6日の滞在者がやや増している。

### 診療例

種々の努力にかかわらず、主として経済的な理由から、適当なナースがえられなかったので、系統的な検査を適時行なうことができなかった。しかし何らかの訴えをもって、診療を求めた症例は、108例で、昨年度のその2倍を越えた（表Ⅳ）。

これらの症例は、ほとんどすべて、滞在中の内服薬を主治医からもらってきているので、必要な症例にのみ、投薬が行なわれたに過ぎない。そのため実際には、表中に記載した薬剤以上のものが、用いられているわけである。なお若干例に注射ならびにマイクロウェーブ療法が併用された。

表Ⅰ 利用者とその延数

月別	利用者数	利用延数	平均一日延数
4	356	1,985	66.2
5	246	1,655	53.4
6	230	1,518	50.6
7	217	1,004	32.4
8	296	1,247	40.2
9	252	1,252	41.7
10	332	1,917	61.8
11	333	1,857	61.9
12	254	1,195	38.5
1	287	1,720	55.5
2	296	1,761	62.9
3	297	1,669	53.8
合計	3,396	18,780	51.5

表Ⅲ 温療期間

月別	温療日数				合計
	3日>	4日～6日	7日～13日	14日<	
4	103	106	140	7	356
5	62	60	110	14	246
6	57	64	101	8	230
7	126	38	44	9	217
8	159	96	40	1	296
9	119	38	79	16	252
10	99	85	135	13	332
11	89	176	59	9	333
12	87	140	27	0	254
1	82	95	107	3	287
2	65	66	163	2	296
3	73	137	74	13	297
合計	1,121	1,101	1,079	95	3,396

表II 利用者男女別年令表

月別	年令	年令								男	女	計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66才<			
4	男	5	2	3	2	3	6	14	98	133	223	356
	女	5	7	7	13	6	27	20	138			
5	男	1	5	3	5	7	8	10	42	81	165	246
	女	4	7	5	6	14	17	22	90			
6	男	0	0	3	0	1	5	13	50	72	158	230
	女	3	2	2	9	12	20	38	72			
7	男	7	5	5	4	4	6	13	39	83	134	217
	女	12	13	5	7	9	14	24	50			
8	男	36	8	10	8	6	9	18	27	122	174	296
	女	22	10	12	14	20	18	35	43			
9	男	3	2	2	1	3	12	6	48	77	175	252
	女	6	2	2	10	13	14	30	98			
10	男	2	0	0	0	3	12	9	93	119	213	332
	女	1	2	1	6	18	27	29	129			
11	男	0	2	0	3	4	13	16	105	143	190	333
	女	2	5	7	8	15	27	31	95			
12	男	0	3	1	0	6	10	17	95	132	122	254
	女	2	5	2	7	5	10	17	74			
1	男	10	0	2	5	4	15	13	47	96	191	287
	女	11	0	3	11	13	28	36	89			
2	男	0	2	8	1	8	8	19	67	113	183	296
	女	1	0	0	6	8	28	42	98			
3	男	9	1	2	2	12	22	21	56	125	172	297
	女	13	4	7	8	18	12	43	67			
合計	男	73	30	39	31	61	126	169	767	1,296	2,100	3,396
	女	82	57	53	105	151	242	367	1,043			

表IV 診療症例

№	月日	姓	性	年	病名	滞在日数	治療法	転帰	備考
1	4.10	今	♀	62	リウマチ・下痢	7		軽快	3.0km+
2	〃	米	♂	68	左偏癱・高血圧	11		〃	入市
3	12	岡	♀	70	肥胖症・蛋白尿	7		〃	1.5km-
4	13	田	♀	62	不整脈・高血圧	10	微温浴	〃	
5	〃	重	♂	71	喘息・右偏癱	12	〃	〃	1.3km+
6	〃	重	♀	70	高血圧	12	〃	〃	1.3km+
7	〃	沖	♀	70	高血圧・心肥大	3	〃	〃	入市
8	〃	国	♀	75	不眠症	10		〃	入市
9	16	松	♂	70	頭痛	7	セデス	〃	入市
10	〃	景	♂	64	高血圧・神経痛	7	〃	〃	2.0km+
11	〃	山	♂	61	弁膜症	8	微温浴	不変	1.5km+
12	〃	平	♀	63	軟骨ヘルニア	7		軽快	1.0km+
13	〃	有	♂	73	変形性腰椎炎・両側膝関節炎	7		〃	入市

14	16	貫	♀	41	背筋痛	7	泥浴併用	軽快	1.5km-
15	19	村	♀	64	ダンヒング症候群	9		ク	1.5km+
16	5.3	藤	♂	75	不眠症	7	セデス	ク	—
17	10	木	♀	70	高血圧・心肥大・便秘	7		ク	0.9km+
18	ク	別	♂	77	胃潰瘍	11		ク	2.0km-
19	ク	国	♀	74	高血圧・右膝関節炎	7	微温浴	ク	1.1km+
20	12	金	♀	64	左膝関節炎	14		ク	2.5km+
21	ク	安	♀	70	両膝関節炎・高血圧	14	微温浴	ク	2.0km+
22	ク	土	♀	75	下半身麻痺	14	アリナミン	ク	2.5km-
23	15	蔵	♀	66	右膝関節炎	17	サポーター	ク	1.7km+
24	16	木	♀	57	リウマチ	8		ク	入市
25	17	山	♂	77	高血圧・右足麻痺	65	オーゴスペル	ク	1.6km+
26	6.1	高	♂	66	蛋白尿	14	微温浴	ク	入市
27	ク	高	♀	61	両五十肩・胃切除後	14	マイクロ	ク	入市
28	2	梅	♂	64	慢性下痢	26	飲泉併用	ク	入市
29	6	吉	♀	48	喘息	23	(ストメリンD)	ク	1.7km-
30	7	小	♂	65	右膝関節炎・十二指腸潰瘍	7	マイクロ	ク	1.3km-
31	ク	近	♀	62	高血圧・蛋白尿	7	微温浴	ク	入市
32	11	深	♀	71	心肥大・頸部浮腫	8	マイクロ	ク	入市
33	14	田	♀	68	貧血・急性腸炎	8	クロマイ	全治	1.3km+
34	20	下	♂	65	高血圧・下肢麻痺	11	性ホルモン	軽快	3.0km+
35	26	杉	♀	67	高血圧	14	微温浴・コントロール	ク	2.0km-
36	ク	藤	♂	79	両側膝関節炎	9	セデス・罨法	ク	2.0km-
37	ク	宮	♀	61	右側膝関節炎	10	マイクロ	ク	2.5km±
38	7.1	若	♀	77	乾癬症	73	明ばん浴併用	ク	1.8km+
39	4	中	♀	67	高血圧・右膝関節炎	15	マイクロ・微温浴	ク	2.0km+
40	6	重	♂	71	喘息・右偏麻	10	微温浴	ク	1.3km+
41	ク	重	♀	70	高血圧・胆石術後	10	ク	ク	1.3km+
42	15	八	♀	75	接触性皮膚炎	23	アレルギー錠	ク	ク
43	20	泉	♀	71	高血圧・右膝関節炎	10	微温浴・マイクロ	ク	1.5km+
44	25	吉	♀	48	喘息	7		ク	入市
45	ク	恩	♀	51	術後血清肝炎	13	チオクタン	ク	2.0km+
46	ク	松	♂	69	両下肢麻痺・慢性気管支炎	18	浴中訓練	ク	2.0km+
47	27	太	♂	27	高血圧・薬疹	15	微温浴・アレルギー	ク	1.8km+
48	8.2	田	♀	62	術後血清肝炎	7	Au-Ag検査(-)	ク	2.3km-
49	14	竹	♂	63	膀胱腫瘍術後	5	1日1回入浴	ク	2.0km+
50	ク	竹	♀	54	高血圧・糖尿病・リウマチ	5	微温浴	軽快	2.0km+
51	24	木	♂	68	左偏麻	12	アリナミン	ク	4.0km-
52	ク	中	♂	68	胆嚢術後	12	チオクタン	ク	1.5km+
53	9.14	神	♀	61	関節リウマチ・高血圧	21	微温浴	ク	2.5km-
54	ク	沖	♂	76	変形性腰椎炎	10	マイクロ	ク	1.5km-
55	ク	新	♂	65	全上	15	ク	ク	—
56	21	繩	♀	54	高血圧・肝炎・甲状腺腫	14	半身浴	ク	0.8km+
57	ク	福	♀	72	糖尿病・発作性心頻拍症	16	ラスチノン・強心剤	ク	入市
58	ク	宮	♀	30	右頸肩腕症候群	13	マイクロ	ク	1.7km+
59	ク	尾	♀	64	メニエール氏病・変形性腰椎症	11	ク	ク	1.5km-
60	28	口	♀	74	両膝関節炎	14	ク	ク	ク
61	ク	田	♀	52	幽門癒壜・肩こり	7	マイクロ・プリンペラン・飲泉	ク	入市
62	ク	山	♀	63	右十二肋骨折後	10	マイクロ	ク	3.0km-
63	10.6	寺	♂	73	右膝関節炎	15	インダシン	ク	入市
64	13	吉	♂	80	腰椎骨折後	14	マイクロ	ク	1.4km+

65	10.13	佐	♂	73	両膝関節炎・肝炎	14	マイクロ・チオクタン	軽快	入市
66	〃	福	♂	78	両膝関節炎・胃ポリープ	11	マイクロ	〃	〃
67	〃	馬	♀	53	膀胱炎・胃炎・糖尿病	16	リンコシン・ウガロン・ラスチノン	〃	2.2km+
68	26	石	♀	39	自律神経失調症	28	〃	〃	1.4km+
69	11.8	持	♂	78	不整脈・胃炎	11	半身浴、ウガロン	〃	1.0km-
70	10	深	♀	71	高血圧・左五十肩・ヘルペス	10	マイクロ・降圧剤・フルコート	〃	入市
71	17	山	♂	69	心房細動・腰痛	8	微温浴・マイクロ	〃	3.0km+
72	〃	富	♂	77	胃術後・糖尿病	7	1日1回浴・ラスチノン	〃	入市
73	〃	三	♂	71	心・肝・脾肥大	7	ネオフィリン	不変	入市
74	〃	吉	♂	71	神経症・便秘	7	ベレルガール・コントロール・プリンペラン	軽快	入市
75	12.1	吉	♀	48	喘息	10	〃	〃	1.7km-
76	15	大	♂	76	両下肢麻痺	7	〃	〃	入市
77	〃	藤	♂	68	高血圧	11	微温浴	〃	2.7km+
78	22	山	♂	69	心房細動・腰痛	8	〃 マイクロ	〃	3.0km+
79	1.12	福	♀	63	高血圧・痔核	7	微温浴・ボラギノール	〃	入市
80	〃	福	♂	78	左腰部打撲症	7	マイクロ・罨法・鎮痛剤	〃	入市
81	〃	日	♀	64	高血圧	7	微温浴	〃	1.5km-
82	〃	玉	♂	69	胃ポリープ・両膝関節炎	7	マイクロ	〃	入市
83	19	西	♀	72	幽門狭窄	11	ブドウ糖・アリナミン	不変	入市
84	〃	橋	♀	60	右五十肩	5	マイクロ・消炎剤	軽快	入市
85	26	二	♂	71	肝炎・変形性腰椎症	8	チオクタン・鎮痛剤	〃	入市
86	〃	木	♀	65	心肥大・頭痛	14	半身浴・鎮痛剤	〃	入市
87	〃	前	♀	59	腸癒着・不眠症	14	ウガロン・セデス	〃	入市
88	〃	三	♀	68	高血圧・肝炎	14	微温浴・チオクタン	〃	入市
89	2.2	金	♂	75	じんま疹・頭痛	3	アタラックス・セデス	〃	1.5km+
90	〃	藤	♂	75	筋無力症・低血圧・心筋炎	8	フロロミン	〃	入市
91	9	浜	♀	70	腹部癒痕ヘルニア・肝炎	24	ラキサトール	〃	0.5km-
92	23	本	♀	57	心筋炎	10	心臓剤・半身浴	〃	入市
93	〃	本	♂	66	右偏麻	10	アリナミン	〃	1.5km+
94	〃	石	♂	73	自律神経失調症	7	サークレチン	〃	入市
95	〃	中	♀	70	高血圧・胃がん術後	7	微温・1回浴	〃	2.0km-
96	〃	内	♀	65	慢性胃炎・黄皮膚症	7	胃薬	〃	入市
97	〃	奥	♂	74	前立腺肥大・不眠症	14	両性ホルモン・コントロール	〃	入市
98	3.2	河	♂	44	頸部湿疹・肝炎	7	チオグタン	〃	2.0km+
99	〃	齊	♀	53	高血圧・関節リウマチ	14	マイクロ・アリナミン注	〃	1.5km+
100	〃	木	♂	57	じんま疹・慢性胃炎	20	アタラックス・ウガロン	〃	入市
101	9	田	♂	69	関節リウマチ・感冒	15	リンコシン	〃	入市
102	〃	田	♀	69	肺気腫・感冒	20	〃	〃	1.5km+
103	〃	西	♂	70	右偏麻・肝炎	19	チオクタン・アリナミン注	〃	入市
104	〃	津	♀	59	神経痛・感冒	8	リンコシン・アリナミン注	〃	長崎
105	〃	田	♂	81	慢性気管支炎・頸椎軟骨症・両膝変形性関節炎	20	強心剤・マイクロ・アリナミン注	〃	0.3km+
106	16	吉	♂	63	右五十肩・便秘	10	マイクロ・緩下剤	〃	1.3km+
107	23	島	♂	60	腹部術後障害・肝炎	10	チオクタン・アリナミン注	〃	入市
108	13	新	♀	67	両膝関節炎	13	マイクロ	〃	1.5km+

備考欄：被爆距離・遮蔽

表V 疾患別分類

病 名	例数	病 名	例数
リウマチ	6	高血圧症	26
膝関節炎	17	低血圧症	1
変形性椎炎	5	貧血	1
軟骨ヘルニア	2	頸部浮腫	1
五十肩	4	胃・十二指腸潰瘍	3
頸腕症候群	1	胃炎・ポリープ	6
骨折後	2	幽門狭窄	2
神経症	1	下痢症	3
神経痛	2	便秘症	3
腰痛	3	ダンピング症候群	1
偏麻	6	腸癒着	1
下半身麻痺	5	肝炎	8
頭痛	3	血清肝	2
メニエール	1	蛋白尿	3
自律神経失調症	2	膀胱炎	1
不眠症	4	前立腺肥大	1
筋無力症	1	痔	1
筋痛	1	各種術後	7
気管支炎	2	糖尿病	4
肺気腫	1	甲状腺腫	1
喘息	5	肥胖症	1
感冒	3	皮膚炎	1
心肥大	4	じんま疹	2
べん膜症・心筋炎	3	薬疹	1
不整脈	4	ヘルペス	1
突発性頻拍症	1	黄皮症	1

いまこれを疾患別にみると、表Vの如くである。疾患の種類は52種類に分られ、高血圧症26例、膝関節炎17例などが多く、肝炎8例各種術後7例、偏麻、リウマチ、胃炎・ポリープなどが各6例、変形性脊椎炎、下半身麻痺、喘息などが各5例で多かった。肝炎の多かったのは、尿中ウロビリノーゲン陽性例を入れたためである。

診療例では1例を除き、いずれも滞在日数は7日以上で、73日におよんだ1例があり、多少とも病状の軽快を示した。

### 血圧測定

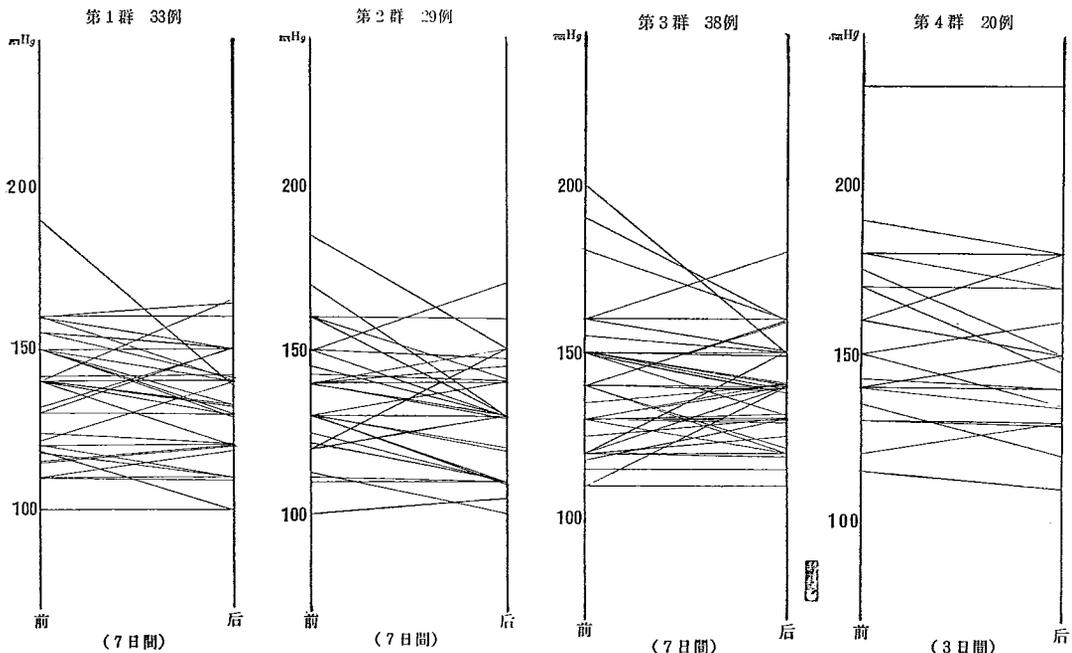
入所者に、温療方法の適切な指示を与えるための1助として、入所時に可及的速やかに血圧測定を行なっている。

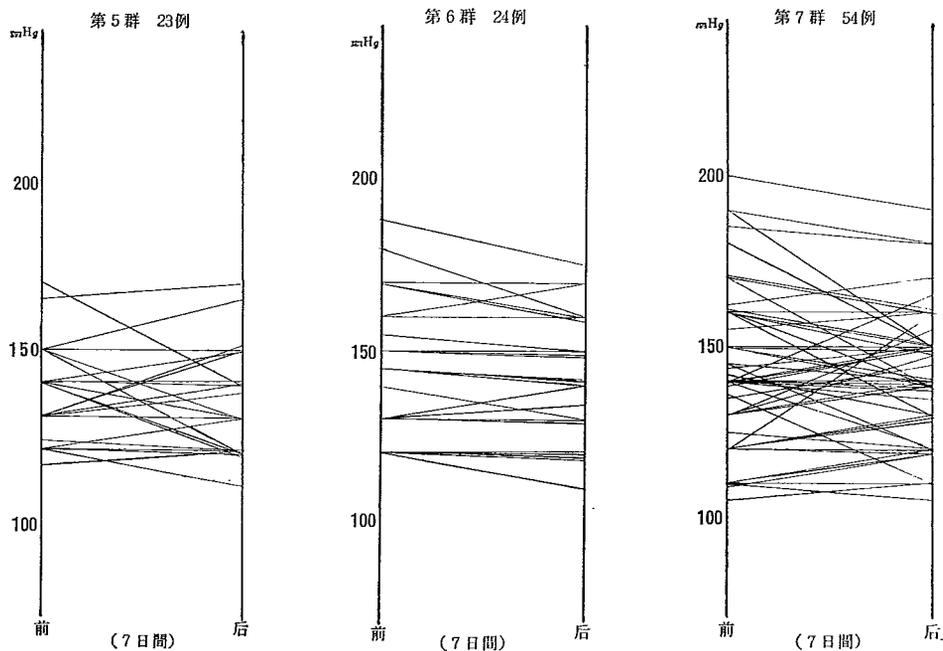
高血圧のものには高温法をさけ、37℃~40℃の微温浴を指示している。なお心疾患には半身浴、ガンの手術後のものには、控目に1日1回浴にとどめるよう指示を与えている。

この中で、退所時に再度血圧測定を行ないえたものは、7群、222例で、その成績は図1の如くである。

各群とも7日間の滞在が多いが、比較的よく正常化傾向を示している。血圧の測定に当

図1 温療前後の最高血圧





って、は浴直後や、運動後をさけ、少なくとも2時間後にする必要がある。

### むすび

本年1月から、宿泊料を1,200円としたが、物価の著しい値上りに追いつけず、並々ならぬ苦心をしているほか、予約者の中の相当数が種々の事情で来所できなかったものがあった。なお遂に適当なナースが得られなかったし、加うるに、2、3の病院で、被爆者に働きかけて、保険扱いにしているなど、数々の困難があったのかかわらず、この程度の成果を挙げたことは、被爆者たちの温療に対する理解と、職員たちの献身的な努力、ならびに温研の諸君の好意ある協力にまつところが多い。記して深甚の謝意を表するものである。

参考文献 第3報に同じ

# カドミウム中毒に対する温泉の影響

九州大学温泉治療学研究所内科

局 敏 郎  
広 瀬 忠 男

## はじめに

温泉は多くの慢性疾患に利用され有効であるが、中毒に対しての研究はほとんど見あたらない。これは中毒そのものが比較的まれなものであったため医学者の関心がうすかったためと思われる。

しかし近年工業の発達とともに公害問題がおこり、公害病でも重金属の中毒は重篤な症状をおこし社会問題となっているのでこれに対する温泉治療法を検討することが、今後の重要な課題と考え、はじめにカドミウム中毒に対する温泉の影響をしらべた。実験にはマウス、またはラットをもちい、これにカドミウムをあたえたのち、別府市明礬地区の地蔵泉（酸性硫化水素泉）を飲ませ動物におこる変化を種々な角度から追求した。

### 1 成長におよぼす影響

1gあたり1mgの塩化カドミウムを含む飼料でマウスを飼うと、マウスの体重は減少しはじめるがその程度は一様でなく波状の成長曲線を示す。水道水を与えた対照群では、カドミウム添加飼料を投与後1週間は14.0%と著明な体重減少を示したがその後回復し2週間までは体重増加し、その後再び急激な体重減少を示し、3週間で12.1%の体重の減少を示した。飲泉を行なった群ではカドミウム投与後1週間の体重減少は軽度で2週間まではゆるやかに体重の減少がおこるが第3週に入ると対照と同じく体重の減少がつよくなり、平均して3週間で18.8%の減少を示した。

これから飲泉がカドミウムによる初期の成長阻害を防ぐことがうかがわれるが、カドミウムの長期投与では、蓄積量が増し温泉の効果がうち消されるのではないかと想像される。

表1 カドミウム投与によるマウスの体重変化

(日)	飲 泉 群					対 照 群					
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	5	平均
0	22.4	17.0	19.2	15.2	18.4±9.6	22.2	18.9	20.0	17.0	15.0	18.6±7.6
2	21.5	18.5	18.7	14.6	18.3±8.0	20.6	19.6	18.7	16.9	15.5	18.2±4.2
4	22.2	19.7	18.0	14.6	18.3±4.5	18.7	19.4	17.6	16.2	13.0	16.9±6.4
6	21.2	20.0	18.3	14.2	18.4±9.3	16.2	19.2	17.0	16.2	11.5	16.0±7.8
10	17.7	20.5	16.5	13.5	17.0±8.4	19.5	21.1	19.7	18.0	13.3	18.3±9.0
14	19.0	21.1	17.0	13.7	17.7±9.9	20.0	21.0	21.0	18.0	13.5	18.7±9.9
17	18.0	19.2	16.7	13.0	16.7±7.2	18.6	20.1	18.2	16.2	12.5	17.1±8.6
20	16.2	16.6	16.1	11.6	15.1±5.5	18.5	18.2	17.2	16.0	12.0	16.3±6.9

### 2 造血機能に及ぼす影響

造血機能に及ぼす影響をみるためラットにあらかじめ2日間温泉をあたえておき、塩化カドミウムを皮下注射したのちなほ2日間飲泉させ、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値、赤血球数白血球数をしらべた。ヘマトクリット値は対照群、飲泉群とも変りがないが、ヘモグロビン量、赤血球数ともに

飲泉群が高値を示し、飲泉群では造血器の抑制が防止されることがうかがわれる。白血球は逆に対照群に高値を示している。が、白血球の増加が刺激に対する反応としておこることから対照群では生体に対するカドミウムの刺激がより大きいものと考えられる。

### 3 血清酵素に及ぼす影響

血清中の glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) glutamic pyruvic transaminase (GPT) については無処置ラットのものに比べカドミウム投与されたラットではいくぶん低値を示したが、飲泉群と対照群の間には差異は認められなかった。alkaliphosphatase については、無処置ラットに比べカドミウム投与されたラットでは著しく高い値を示したが、これも飲泉群と対照群の間には差異は認められていない。GOT、GPTについてはあまりしられていないが、血清 alkaliphosphatase はカドミウム中毒患者で増加することが知られており、臓器を組織化学的に検索すると腎にもっとも活性がつよくあらわれるので血清における AI-P の増加は腎由来のものと考えられる。

表3 Cd投与後の血清に於ける変化

	Fe ( $\mu$ /dl)	Ca (mg/dl)	P (mg/dl)	GOT	GPT	AL-P (Bessey)
正 常	403	9.2	7.5	103	33	4.5
	250	9.4	7.3	96	33	3.45
	170	9.2	6.1	86	25	—
平 均	274.3	9.27	6.97	95	30.3	3.97
飲 泉 (4日)	204	7.1	8.0	63	29.5	8.4
	193	8.7	8.2	63.5	26	11.1
	132	8.1	8.0	95.5	26	9.0
	137	7.9	6.5	84	18.5	9.0
	108	9.5	7.6	95	29	15.9
平 均	154.8	8.26	7.66	80.2	25.8	10.68
対 照 (4日)	94	8.5	8.5	95	25	11.2
	198	8.7	—	95	29	14.9
	90	7.9	7.2	79	22	6.2
	86	7.7	8.6	66	22	6.9
	139	9.4	—	66	20	12.7
平 均	121.4	8.44	8.13	80.2	23.6	10.38

### 4 血清無機質の変化

ラットにカドミウムを与えると血清鉄に著明な減少が認められたが、飲泉させたものはそうでないものに比べ減少の程度が軽いことが認められた。血清カルシウムについてもカドミウム投与によって減少するのが認められたが、飲泉群と対照群間には差異は認められなかった。血清無機燐はカドミウム投与によって増加を示したが、その増加の程度は飲泉群の方が少なかった。

表2 造血機能におよぼす影響

	Ht (%)	Hb (%)	RBC ( $\times 10^4$ )	WBC
対 照 群	45	87	634	10400
	41	85	589	12600
	40	85	525	4900
平 均	42	85.7	582.7	9300
飲 泉 群	—	91	699	6350
	43	108	594	6900
	43	100	676	5150
平 均	43	99.7	656.3	6133

## 5 カドミウムの臓器への蓄積

カドミウムを生体に与えた場合もっとも多く蓄積する臓器は腎で、次いで毛、歯、肝などである。飲泉によって臓器へのカドミウムの蓄積状態が変わることが予想されるので、放射性カドミウムをつかって、肝、腎へのあつまりを観察した。 $^{115m}\text{CdCl}_2$ をラットに注射し、温泉又は水道水を与えて3日及び6日後に肝、腎の放射能をしらべると、いずれも肝には腎に比べ30倍程度の放射能が認められた。飲泉群を対照群と比較すると、肝では3日後も6日後にも飲泉群に放射能がよく認められ、腎では逆に対照群に放射能がつよく認められた。肝の放射能を腎の放射能で除した値は3日間の実験では飲泉32.6、対照29.3で、6日間では飲泉28.5、対照21.1でいずれも飲泉群の方が値が大きく、時間が長く経過するにつれて両者の間の値のひらきは大きくなった。飲泉によってカドミウムが肝により多く集まるといことは生体にとって不利な状態にみえるが、肝は解毒の中枢でありふつう有毒物質はここで処理されるので、体内の他の部分にあるカドミウムがここに運ばれきているとも考えられる。肝、腎の放射能の比をしらべてみると飲泉群の方が大きく、時間の経過とともに、そのひらきが大きくなることをみれば、上にあげた可能性も充分考えられる。

表4 カドミウムの肝腎における蓄積

	肝		腎	
	飲泉群 (cpm)	対照群 (cpm)	飲泉群 (cpm)	対照群 (cpm)
3 日 間	62118	45487.1	1945	1345
	51107.7	55815.9	1770	1715
	52070.7	50590.2	1400	2320
平 均	55098.8	50631	1705	1793
6 日 間	52231.6	41149.0	1310	1880
	49935.8	45033.4	1945	2741.5
	51465.3	54543.3	2565	2168.5
平 均	51210.9	46908.6	1940	22633

## む す び

動物に同じ重金属あるいは他の金属をあらかじめあたえておくと、のち大量に与えても中毒症状がおきえられるということがわかっている。その機序は不明であるが、温泉には多くの無機物を含むのでこれを与えておけば同様の効果があるのではないかと期待して以上のような実験をおこなったのであるが、飲泉後カドミウム投与ともなう成長、造血機能、血清無機質などの変動がおきえられる結果を得た。また飲泉後時間の経過とともにカドミウムの体内分布に変化がくることなどからこの機序を更に詳細に追求すれば温泉が重金属中毒の治療にも役立つときがくるものと思われる。

# 別府地熱地帯の噴気ガス成分

九州大学温泉治療学研究所 温泉理学科

古 賀 昭 人

野 田 徹 郎

## 1 はじめに

別府地熱地帯には数多くの硫気孔や噴気孔、さらにボーリングによる蒸気のみ噴気孔や熱水を伴った沸とう泉があり、それは明礬—小倉—鉄輪—照波園地区と、堀田—観海寺地区の二大断層地域に大別される。

もちろん、これら地帯は地下温度が高く active な所であるが、これら噴出しているガス成分の分析結果から、1) 別府地熱地帯の深部熱水だまりの性質や構造を知る、2) 堀田—観海寺地区は明礬—小倉—鉄輪地区に比し、なぜに酸性泉がないか、などを知るために大がかりな本研究を行った。別府の噴気ガス成分の測定は極めて少なく、僅かに野口 (1952) が行った白竜地獄のデータがあるにすぎない。

## 2 分析方法

別府地熱地帯全般にわたり81個の噴気ガスが採集されたが、明礬の湯の花採集地をのぞき、80個はすべてボーリングされた井戸からのものである。したがって採集方法は両方にコックを持った内容500mlのガス採集ビンにビニールパイプを用いて噴気孔と接続し、しばらく噴気を流しながら空気を追い出したあと、下のコックを閉じ、採集ビンを冷水中で冷やしてガスを採集する。ある程度凝縮水がたまったら(10~50ml) 上のコックを閉じ実験室で重量を測って凝縮水の量を知り、ついで外気圧と平衡になるまで下のコックから水を入れる。その重量から採集したガスの量を計算することができる。つぎに5M-KOHを加え激しく振って噴気ガス中のCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Sを吸収させ、あとは常法の適定法によってこれらを定量する。一般に噴気ガス成分は水蒸気をのぞけばCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Sであるから、結果は表1のように噴気中のガス%、水蒸気中のCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Sのモル濃度で示し、またCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Sのモル比を計算した。一方、噴気の凝縮水を別にとり、NH<sub>4</sub>とF(どちらも揮発成分)について、ネスラー法およびアルフツソン試薬を用いた比色法により、それぞれ定量した。

## 3 結果と考察

図1にサンプリング地点、表1にその分析結果を示す。採集期間は昭和47年11月から12月にわたっている。採集した噴気ガスは明礬—小倉—鉄輪—照波園地区で53個、堀田—観海寺地区で28個であり上記の方法で採集できない弱い噴気孔は除外した。

### 3.1 噴気中のガス含有量

図2に示すように噴気中のガス含有量は堀田—観海寺地区に多く、明礬—小倉—鉄輪地区はそれ程大きくはない。特に堀田地区の噴気で見返り坂附近の噴気中にガス成分が多く5~10%を占めるのがあり南西方向に次第に減少して行くが、再びラクテンチ附近になってガス量の増大が見られる。

一方、明礬—小倉—鉄輪方面では海地獄近くの山—ホテル所有の噴気(約12%)をのぞき全部2%以下であり大部分は1%以下である。その中でも大きいのは明礬地区や小倉地区に集中している。

総じて、地熱地帯の深部に巨大な熱水だまりがあるとすれば、その熱水はガス成分を溶存しているそして、水圧が地下で沸とうする位のものであれば、ガスは蒸気相と液相に分配される。水蒸気の方

図1 別府地熱地帯の噴気試料採集個所

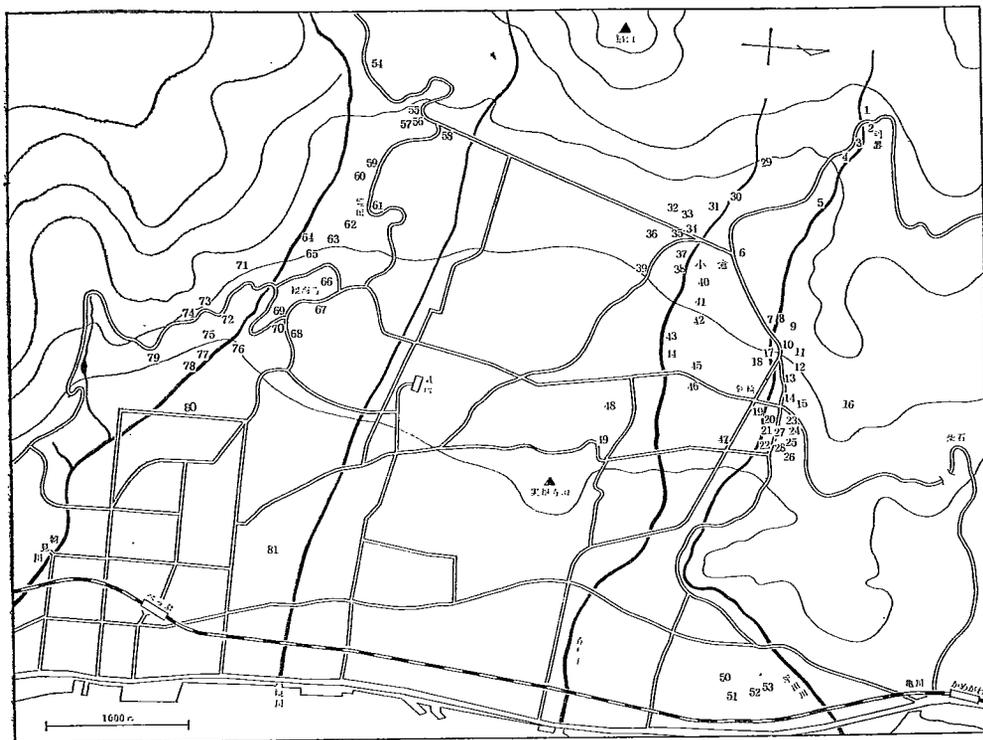


図2 別府の噴気中のガス含有量

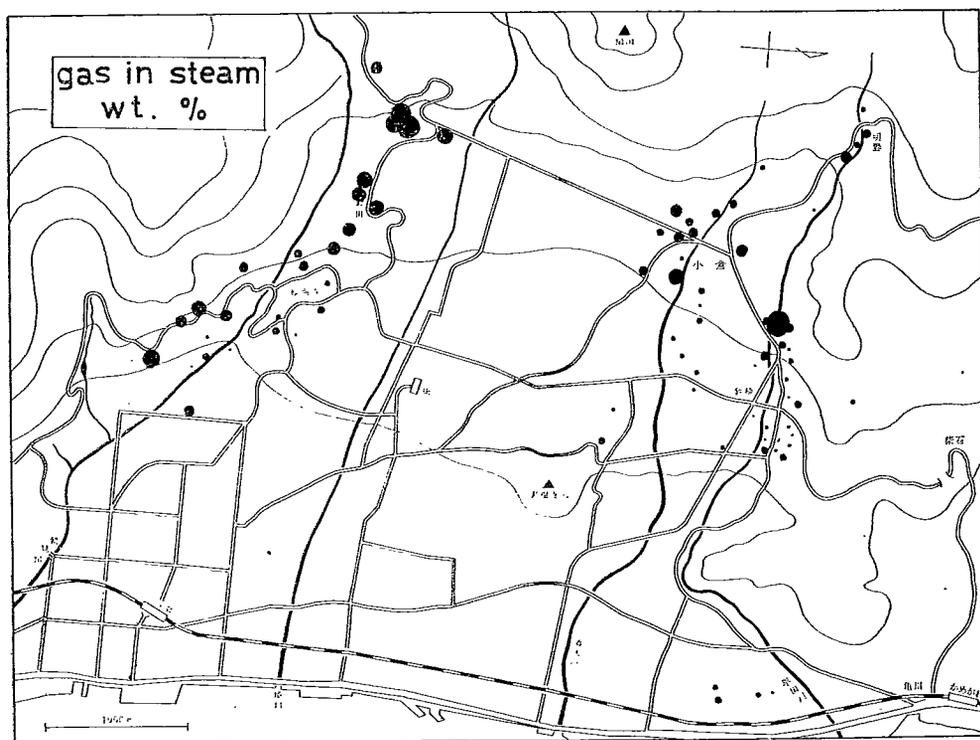
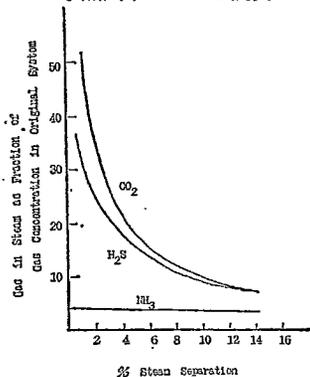


表1 別府地熱地帯の噴気ガス成分

地 区	No.	名 称	噴 気				凝 縮 水	
			wt. % gas in steam	m.mol/H <sub>2</sub> Omol		mol ratio CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	PPM NH <sub>4</sub>	PPM F
				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S			
明 礬 — 小 倉 — 鉄 輪 — 照 波 園	1	えびす屋泉源	0.46	5.29	1.08	4.9	1.3	0.08
	2	湯の花採集地	1.14	9.48	3.20	3.0	7.4	0.10
	3	岡本屋泉源	0.60	5.48	1.33	4.1	0.8	0.00
	4	厚生年金老人センター上	1.69	14.11	0.86	16.4	0.9	0.00
	5	農協リハビリセンターNo.4	0.10	1.43	0.083	17.2	1.8	0.02
	6	本坊主地獄	1.70	7.26	0.51	14.2	0.3	0.00
	7	鶴見山荘	1.10	4.37	0.26	16.7	0.8	0.00
	8	山一ホテル所有	11.92	27.40	1.31	20.9	2.6	0.00
	9	海地獄	1.68	3.91	0.203	19.3	1.8	0.16
	10	〃〃入口	0.94	2.20	0.069	31.9	0.1	0.71
	11	山地獄	0.28	2.27	0.035	31.1	0.5	0.35
	12	神和苑	0.54	1.51	0.063	24.0	0.0	0.00
	13	鬼山地獄	0.32	0.91	0.019	48.6	0.0	0.05
	14	金竜〃	0.02	0.54	0.012	46.7	0.2	0.55
	15	山一ホテル	1.20	4.30	0.110	40.7	1.1	0.00
	16	矢田方	0.33	4.31	0.132	32.8	1.4	0.07
	17	県農研	1.50	3.77	0.088	42.9	2.6	0.00
	18	山本アパーク	0.06	0.62	0.015	42.0	0.2	0.00
	19	可奈和荘	0.10	0.75	0.023	32.9	1.2	0.12
	20	国奈東荘	0.33	0.66	0.009	76.0	0.6	0.04
	21	ひょうたるん風呂	0.10	1.35	0.018	200.0	2.5	0.10
	22	つたるん屋	0.75	0.82	0.007	119	0.5	0.16
	23	大黒屋	0.31	2.28	0.058	39.2	0.0	0.05
	24	上富士屋	0.05	0.33	0.008	40.0	0.0	0.03
	25	筑前屋	0.16	0.47	0.016	29.0	0.0	0.02
	26	松屋別館	0.57	0.80	0.022	37.3	0.4	0.10
	27	鉄輪地獄	0.12	0.90	0.015	61.9	0.0	0.08
	28	双葉荘	0.27	0.76	0.020	38.3	1.1	0.14
	29	陸葉会	0.56	5.54	0.364	15.2	1.9	2.38
	30	照葉湯	0.91	7.28	0.235	31.0	1.4	0.00
	31	松山荘	0.94	7.18	0.215	33.4	2.9	0.00
	32	グリーンハイツ	1.62	15.00	0.271	55.3	1.6	0.06
	33	永野	0.86	8.22	0.223	36.8	1.7	0.02
	34	原田	0.99	6.66	0.218	30.6	2.7	0.00
	35	湯の丘荘	1.02	3.71	0.105	35.4	2.7	0.09
	36	〇〇7	0.76	3.14	0.078	40.2	1.6	0.12
	37	早稲田	0.28	2.27	0.051	44.7	1.6	0.17
	38	国武原	1.94	3.76	0.050	75.2	7.3	0.14
	39	桑原渡	1.00	2.66	0.061	44.0	2.3	0.10
	40	大平	0.51	1.59	0.030	53.0	1.7	0.12
	41	加藤新市	0.19	1.70	0.035	48.3	2.2	0.02
	42	安部欣一	0.46	0.82	0.013	65.3	0.0	0.00
	43	原	0.39	1.06	0.014	73.8	0.0	0.15
	44	見返り地獄	0.22	1.42	0.014	101	1.8	0.06
	45	鶴見	0.43	2.92	0.031	94.5	4.3	0.05

	46	松川温泉	0.31	4.64	0.043	107	3.0	0.00
	47	風月	0.30	1.61	0.009	186	0.7	0.00
	48	平松	0.28	1.59	0.042	37.9	0.0	0.08
	49	後藤ミサ子	0.65	1.28	0.009	141	1.9	0.01
	50	山本勝己	0.50	1.62	0.007	242	1.8	0.07
	51	住友金属寮	0.61	0.64	0.004	147	1.6	0.10
	52	荒金寮	0.40	1.93	0.021	95.0	0.6	0.00
	53	三菱化成寮	0.16	1.82	0.009	195	2.7	0.00
堀田—観海寺	54	見返り温泉	1.99	21.81	0.681	32.0	3.2	0.38
	55	遠島恭芳	6.67	60.32	0.836	72.2	3.6	0.06
	56	首藤成一	9.42	83.98	0.900	93.3	3.0	0.05
	57	加藤静義	5.89	56.63	0.844	67.1	3.5	0.08
	58	扇山観光ホテル	3.08	28.81	0.401	71.8	3.6	0.34
	59	佐藤豊	4.51	40.10	0.684	58.6	4.5	0.11
	60	荒金吉夫	3.03	24.52	0.417	58.9	4.4	0.04
	61	嘉麻興業	3.11	25.72	0.424	60.7	5.1	0.03
	62	松上仙	2.22	22.20	0.383	58.0	4.5	0.05
	63	荒金吉三郎	2.15	19.30	0.285	64.3	5.6	0.07
	64	杉ノ井源泉①	0.82	2.27	0.072	31.4	5.8	0.07
	65	〃〃〃②	1.12	5.70	0.093	61.2	3.5	0.07
	66	姫野	0.45	1.88	0.028	66.7	3.7	0.02
	67	みつま旅館	1.01	9.63	0.191	50.4	4.5	0.01
	68	椋野	0.19	1.56	0.031	51.3	3.2	0.00
	69	鴨住ホテル	0.52	7.00	0.038	185	2.9	0.03
	70	美濃部正	0.75	6.22	0.078	80.1	3.1	0.01
	71	三ヶ月地獄	1.33	7.05	0.172	41.1	5.2	0.33
	72	ホテルキャッスル	1.51	1.34	0.024	56.9	6.3	0.01
	73	キャッスル泉源	3.77	30.33	0.336	90.2	2.3	0.02
	74	ラクテンチ泉源	1.73	16.93	0.290	58.3	4.6	0.07
75	キャッスル南	0.18	1.32	0.023	57.1	5.2	0.01	
76	林興産	0.23	1.43	0.027	53.5	7.3	0.04	
77	一の出温泉	1.02	2.56	0.022	120	5.5	0.03	
78	中島	0.17	1.25	0.024	53.0	5.2	0.07	
79	観音地獄	4.70	42.37	0.405	105	6.0	0.12	
80	後藤豊三郎	1.82	5.90	0.029	197	7.6	0.01	
81	天満温泉	0.24	3.10	0.021	146	3.6	0.01	

図3 熱水から平衡分離した水蒸気中のガスの濃度



離が小さければ、その水蒸気中のガス濃度は高く、その液相中のガス濃度は低いはずである。図3は蒸気相におけるCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>の濃度が水蒸気からの分離によりどう変わるかを示している。(Ellis(1971)) 図3は260℃の場合だが、温度が下れば蒸気相中のガス濃度は上昇する。

別府地熱地帯において、多くの噴気孔は掘さくされたもので(200~300m)、大部分は熱水を伴わない井戸が多く、熱水だまりの所まで達していない。したがって、図3の単一熱水系から分離した水蒸気中のガス濃度と水蒸気からの分離度との関係を別府地熱地帯で適用するのはむづかしい。すなわち、別府地熱地帯の噴気孔でガス成分が多いのは水蒸気からの分離が少なかったということにはならず、

図4 別府の噴気中のCO<sub>2</sub>量

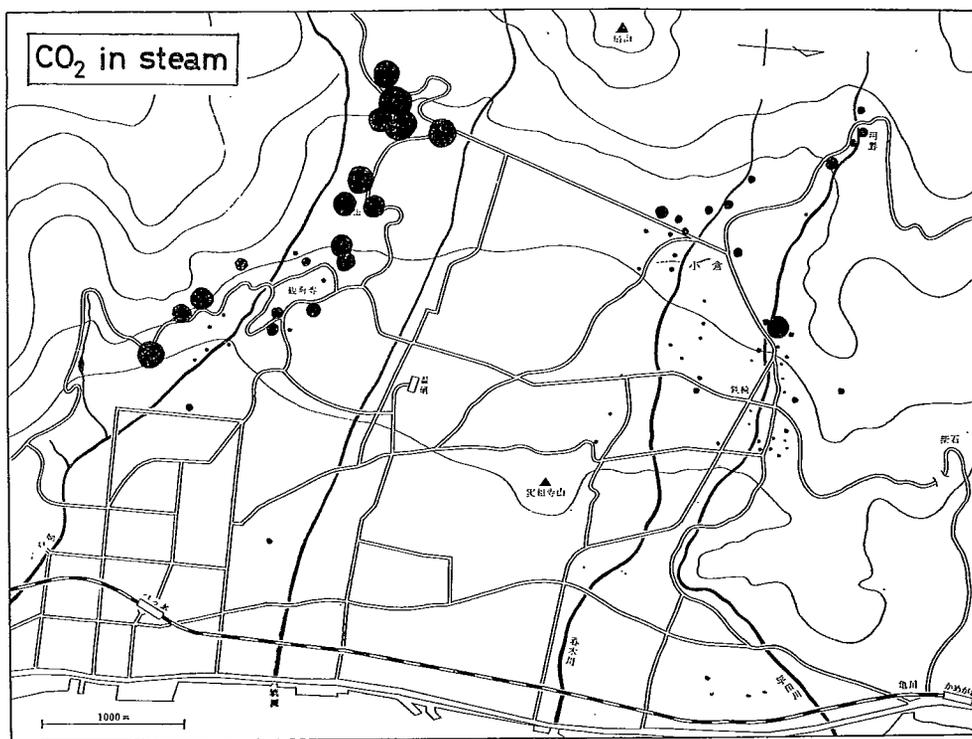
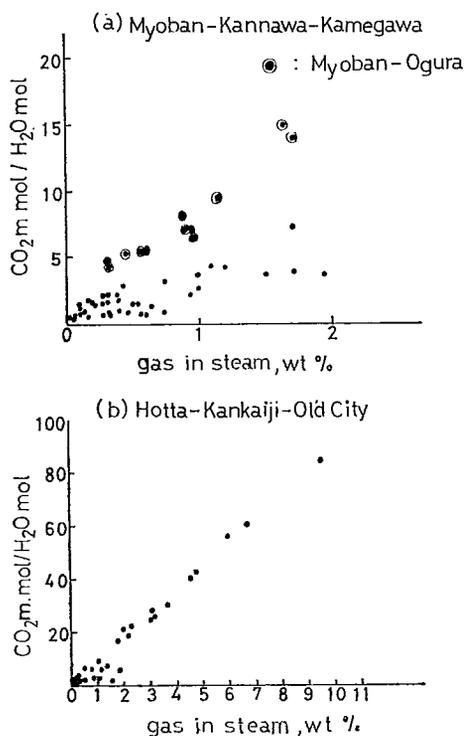


図5 別府の噴気中のガス濃度とCO<sub>2</sub>との関係



多段階に分離して生じた蒸気系のものにガス成分が多いようである。このことは堀田一観海寺地区にドライな蒸気系が多く、鉄輪一照波園地区の熱水系のものにガス成分が少ないのからも知られる。

### 3.2 ガス成分中のCO<sub>2</sub>

測定したCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Sは、1モル中の水蒸気中の、それぞれのミリモル量で含有量を示した。噴気中のCO<sub>2</sub>量の大小は図4に示す。これによると、やはり堀田一観海寺地区が多く明礬一小倉一鉄輪一照波園地区は少ない。CO<sub>2</sub>はガス成分の中で一番の主要成分であるから、噴気中のガス成分とCO<sub>2</sub>との間に比例関係があるだろうと予想されるが図5に示すように堀田一観海寺地区は規則正しい正比例関係があるのに(図5b)、明礬一小倉一鉄輪一照波園地区はばらつきが多い(図5a)。しかしよく検討すれば明礬一小倉地区など熱水を伴わない蒸気系においては正比例の関係があり、熱水系では違った比例関係があるように見える。

別府地熱地帯の噴気中のCO<sub>2</sub>量は84m.mol/H<sub>2</sub>Omolから0.54m.mol/H<sub>2</sub>Omolまであり、特に堀田一観海寺地区に多いけれども、この地区のコアの

図6 別府の噴気中のH<sub>2</sub>S量

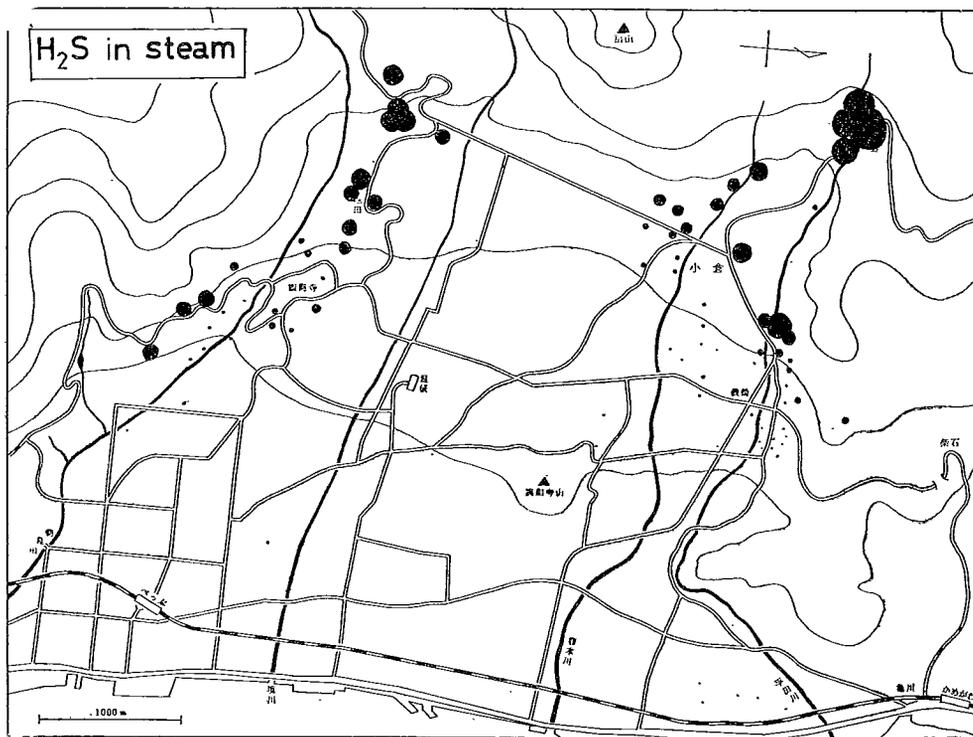
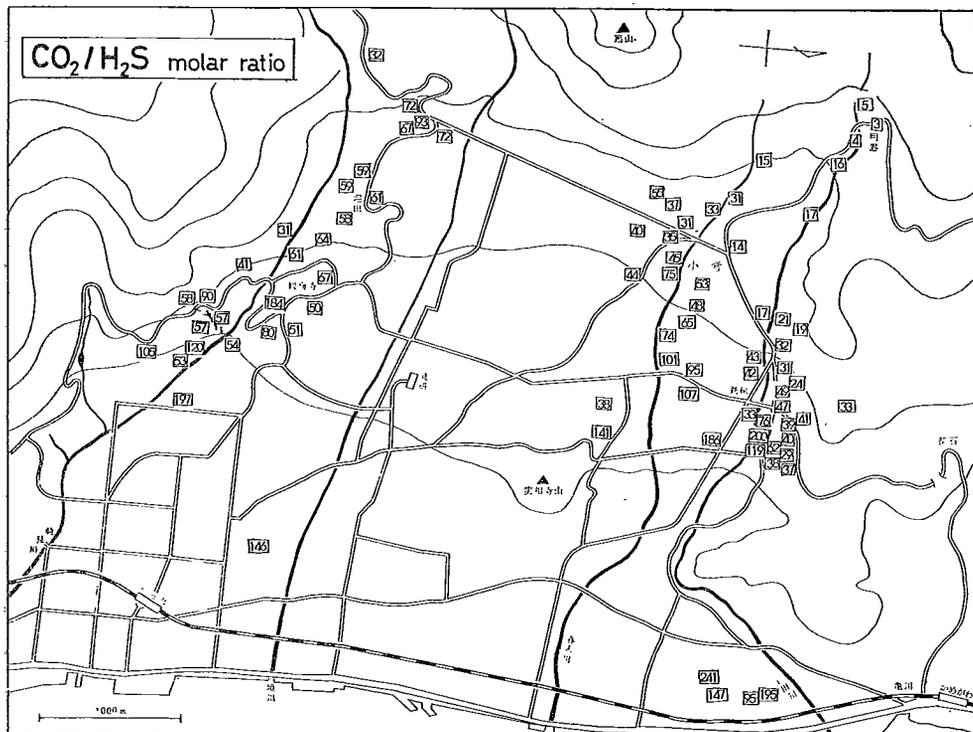


図7 別府の噴気ガス中のCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比



中には多くの  $\text{CaCO}_3$  が見出されている。このことは、この地区で深部熱水をとれば当然  $\text{CaCO}_3$  の沈積などのトラブルがパイプ中に生じることを物語っている。

また、別府で  $\text{HCO}_3^-$  が多い所は境川に沿った地帯から海岸にかけてであり、遊離炭酸を含むものこの地区だけに限られ、鉄輪—亀川地区に見出されないのは、特に堀田—観海寺地区の噴気に  $\text{CO}_2$  が多いからである。 $\text{HCO}_3^-$  は  $\text{CO}_2$  を含む水と堆積層との反応により生じたものである。そして別府旧市内における温泉水中の  $\text{HCO}_3^-$  の濃度分布は堀田—観海寺地区からの  $\text{CO}_2$  移動の在り方を示していると云えよう。

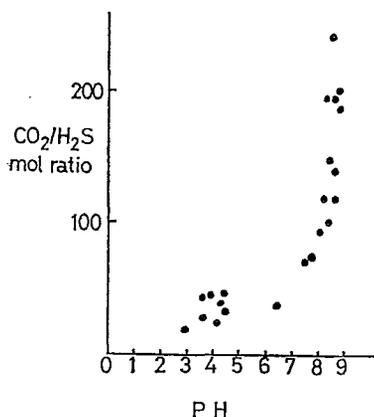
### 3.3 ガス成分中の $\text{H}_2\text{S}$

$\text{H}_2\text{S}$  の含有量は  $3.2 \text{ m. mol}$  から  $0.004 \text{ m. mol/H}_2\text{O mol}$  まで広がっているが、図6に示すように山手の方に多く、東へ下るにつれて  $\text{H}_2\text{S}$  の含有量は減少している。また、 $\text{H}_2\text{S}$  の多い噴気孔はすべて熱水を伴わない蒸気系である。明礬地区は当然  $\text{H}_2\text{S}$  の含有量が多く、噴気孔にイオウの沈積も見られており  $\text{H}_2\text{S}$  臭も強い。しかし、熱水系のものでは殆んど臭いは感じられない。

### 3.4 ガス成分中の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比

ガス成分中の  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{S}$  のモル比を計算すれば図7のようになり極めて興味ある結果を得ている。たとえば明礬から鉄輪にかけて、その比は次第に大きくなるが鉄輪では大きいのと小さいのが混在しており照波園はその比が高い。一方、堀田—観海寺地区はその比が一般に大で明礬—小倉—鉄輪地区と好対照を示している。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比の大小は熱水系の場合、その pH と関係があるように見え、図8

図8 別府地熱地帯の熱水のpHとその噴気ガス中の  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比



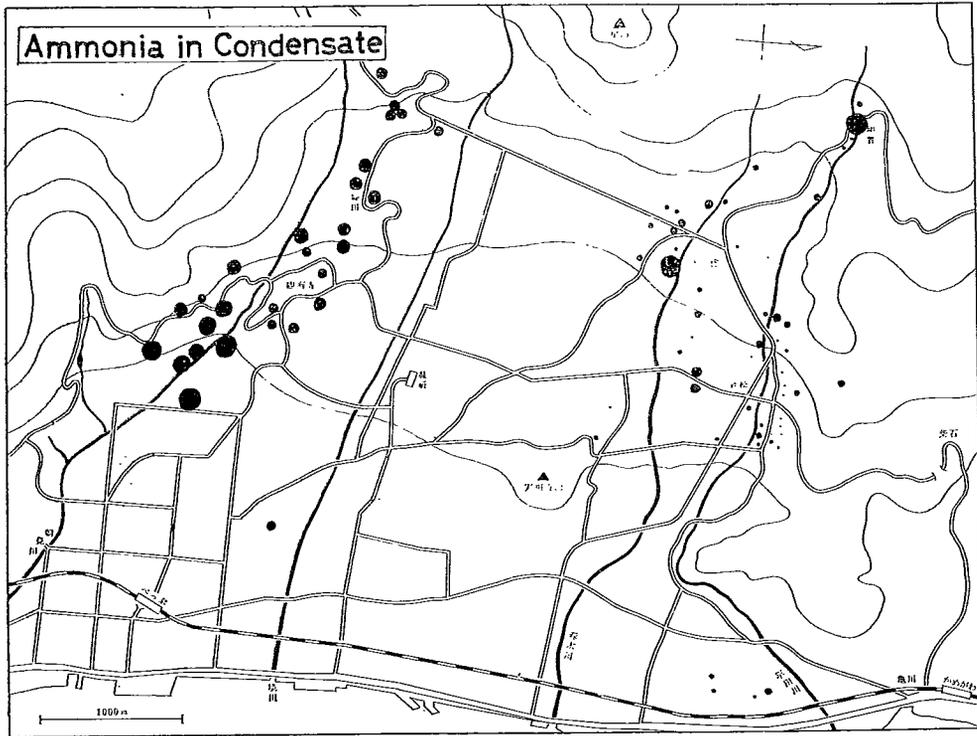
は随伴してくる熱水の pH と蒸気中の  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比との関係だが pH が高くなるにつれ  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が急上昇することが分る。このことは、逆に云えば熱水系の噴気ガスを分析して  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が高ければ、その熱水の pH は中性ないしアルカリ性を示していると云える。鉄輪地区で酸性泉とアルカリ泉とが混在しているが、これは各々の  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が異なるためである。一方蒸気系の方の  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が小さいとは云えず、たとえば堀田—観海寺地区で、蒸気だけで熱水を伴わないものに硫化水素臭の強いものがあるが、 $\text{CO}_2$  も多く  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は比較的が高い。このことは堀田地区でも地下深部に中性の深部熱水のあることを示しており、なぜ明礬—小倉—鉄輪地区には酸性食塩泉が散在するのに、堀田—観海寺地区にはなぜ存在しないかの解釈になるであろう。

一般に、地熱地帯で噴気ガスを分析した場合、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比の小さい程、地下熱水だまりから最短ルートを通って地表に現われたものとされている (Mahon 1970)。地表までの距離が長い程、 $\text{CO}_2$  に比し  $\text{H}_2\text{S}$  が消費されるからであろう。しかし、一方、別府地区の地熱地帯で図8の結果から、深部熱水が中性ないしアルカリ性であれば、それから分離した水蒸気中の  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は高いことが知られており、未知の地熱地帯での噴気ガスの分析により  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比が高ければ、1) その噴気ガスは地下熱水だまりからの距離が遠いか、2) 深部の熱水は酸性でなく中性ないしアルカリ性である、と云えそうである。

### 3.5 凝縮水中の $\text{NH}_4$ と F

アムモニヤやフッ素は揮発しやすい成分であるから、もし熱水中にこれら成分が多ければ当然、噴気凝縮水にも多いことが予想される。図9に  $\text{NH}_4$  の分布を示すが、堀田—観海寺地区は  $7.3\text{—}2.9 \text{ ppm}$  と多量に含むのに反し、明礬—小倉—鉄輪—照波園では  $7.4\text{—}0.0 \text{ ppm}$  と大多数は極めて少なく  $\text{CO}_2$  と同じく好対照を示している。このことは堀田—観海寺地区が堆積層に富むことを意味し、特にホテルキヤッスルからラクテンチ南にかけて  $\text{NH}_4$  が多く、これらは有機物の分解によるものと思われる。

図9 別府の噴気凝縮水中のNH<sub>4</sub>量



一方、F は別府の温泉水には少ないためか（野田、1971）、噴気凝縮水にも少なく検出できないのも多量にあった。そして全体的にも興味ある現象は見られていない。

#### 4 おわりに

別府地熱地帯の81個の噴気ガスの分析結果から次のような結論をうることができる。

- 1) 堀田一観海寺地区と明礬一小倉一鉄輪一照波園地区とでは噴気の性質に明らかな差が見出されるすなわち、噴気中のガス含有量、ガス成分中の CO<sub>2</sub>量および凝縮水中の NH<sub>4</sub>量は堀田一観海寺地区の方が相当多量に含まれている。
- 2) ガス成分中の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比は堀田一観海寺地区は比較的大きいのに対し、明礬一小倉一鉄輪一照波園地区は小さいのから大きいまであり好対照を示している。熱水を附随する噴気については、熱水のpHとCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比とが比例する傾向があり、鉄輪地区で酸性食塩泉と中性食塩泉とが混在しているが、それを判断するには噴気ガスを分析すれば可能である。また、堀田一観海寺地区には、なぜ酸性の食塩泉が存在しないのかは噴気中の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比から説明できる。
- 3) 熱水系に関して、熱水の化学分析結果から、その熱水だまりの温度を計算でき、また熱水中の Na の濃度やCaの濃度から、地下のその温度で平衡にあるCO<sub>2</sub>の濃度を計算できるが (Ellis, 1971) それらの研究はもっと地下の構造が判ったあとに報告する。また、オートクレーブを使って熱水の温度、pH によりどう噴気ガスの成分が変化するかなど興味あるモデル実験が残されている。一方、蒸気系で噴気中の成分から地下の温度や状態を指示する方法も研究されており、次回に詳しく報告される予定である。

(終りに本研究費の一部を負担いただいた大分県温泉調査研究会に感謝する。)

文 献

Ellis,A.J. (1971) : 熱水の地球化学、地熱 NO.27、p.45~59

工業技術庁 (1952) : 地熱発電試験研究報告書第1集、p.80

Mahon, W.A.J.(1970); Chemistry in the Exploration and Exploitation of Hydrothermal System, U.N.Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, V/4

野田徹郎 (1971) : 別府温泉中のフッ素、大分県温泉調査報告 第22号、p.66

# 九重・大岳八丁原地区

## 深部熱水の微量成分

九州大学温泉治療学研究所 温泉理学科

野 田 徹 郎  
古 賀 昭 人

### 1 緒 言

大分県と、一部は熊本県にまたがり、九州の屋根と呼称される九重山群は、新生代第三期から第四期にかけて活発に活動した火山群で、その活動の名残りは、各所に湧出する温泉、噴気、硫黄山などに形を変えて現在に至っている。これら天然の現象、更にはこの現象を捉えての地質学、地球物理学、地球化学的探査は、この地区に良好な地熱資源が存在することを示唆した。これらの調査に基づいて、大岳地区、ひきつづき八丁原地区で地熱発電用の井戸が掘削され、強勢な熱蒸気が多量の熱水を伴って噴出した。現在、その一部は実際に発電に供され、更に発電量を増やす計画が着々と進行しつつあり、同地区の地熱発電は隆盛の一途をたどっている。

大岳八丁原地区に噴出する熱水は同地区が九重山群の中心部に近く、1000mに至らんとするボーリング深度、更に、湧出母岩が九州の代表的な火山岩の輝石安山岩である点で、九州を代表する深部熱水だと云える。従って、化学成分からみた場合も、高濃度の食塩泉であることは勿論、深部熱水に特有の性質、成分を備えている筈であり、深部熱水本来の姿を示していると考えられる。この傾向は、主成分以外の微量成分にも受け継がれ、同様に深部熱水に特徴的な量、動向を示しているはずである。本報告はこの微量成分に着眼し、含量、成分相互の関係から深部熱水中の微量成分について広い範囲にわたって地球化学的に考察したものである。

### 2 実験と考察

便宜的に、1) アルカリ金属、2) ハロゲン、3) 金属元素に分類して検討を進めた。微量成分について考察する上で、主成分は無視することができない。両者の関係は密接であり、適当な成分どうしの比をとっての議論がしばしば行なわれている。筆者らは九重地区地熱開発の初期より年数回の採水を行ってきたが、主成分含量がどの程度かを、最近の1972年2月に採水した大岳7号、8号、9号、10号井、八丁原3号、6号井、1970年8月に採水した八丁原2号井、1970年11月の八丁原1号井について表1及び図1に掲げる。尚、後述の微量元素についても同一の試料を分析した。

いずれも図1に見るように深部熱水特有のかなり高濃度の食塩泉であり、主成分は陽イオンではナトリウム、陰イオンでは塩素である。pHは八丁原2号が酸性、同3号が弱酸性、同6号がほぼ中性、他はすべて弱アルカリ性で、このpHの違いは後述の微量元素のうち特に金属元素の含量や溶存形を大きく左右

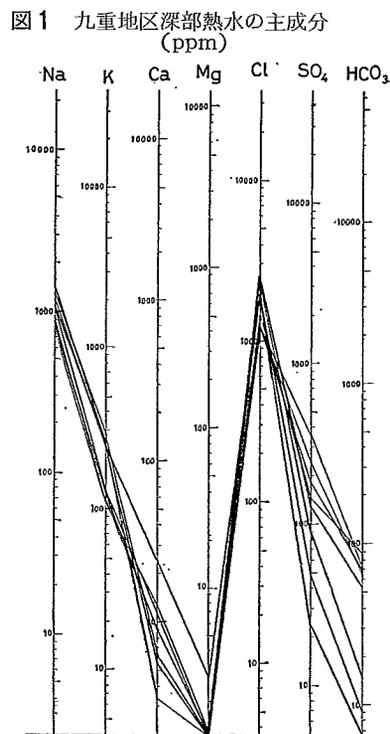


表1 九重地区熱水の主要成分含量 (pHを除く単位はppm)

	大 岳				八 丁 原			
	7	8	9	10	1	2	3	6
pH	8.3	8.3	8.4	8.6	8.25	3.4	5.1	6.9
Na	890	770	850	1050	1450	1140	1270	1380
K	118	108	128	139	259	235	245	280
Ca	9.1	13.4	8.9	11.9	3.3	26.4	5.5	6.2
Mg	0.020	0.096	0.142	0.022	0.005	2.800	0.595	0.297
Cl	1330	1210	1360	1660	2510	1930	2110	2260
HCO <sub>3</sub>	64.4	70.5	67.5	88.9	54.0	0.0	9.2	15.3
SO <sub>4</sub>	240	350	185	150	133	240	49	90
SiO <sub>2</sub>	530	590	710	680	1020	670	980	1050
HBO <sub>2</sub>	89	72	89	106	129	96	138	152

する要因である。総じて大岳井より八丁原井の方、中でも1号、3号、6号がCl濃度は大きく、地下温度の尺度となるNa/K比が小で、SiO<sub>2</sub>濃度が大きであることも八丁原1号、3号、6号井が地熱発電井として好適なことを示している。その他、アルカリ土類Ca、Mgの含量、そのNaとの比、Mg/Caそれぞれが小さいことやHBO<sub>2</sub>が多いこともこれら発電井の地下での高温を裏付け、高温であることが一部の微量元素、特にアルカリ金属には大きく影響し、その含量を増やしている。Mgは八丁原2号井を除いて非常に少なく、ほとんど微量元素の範ちゅうに入る。火山岩中で熱水中のMgに関して平衡にあると考えられる普通のMg 鉱物、緑泥石の平衡定数は(Mg)/(H<sup>+</sup>)<sup>2</sup>であらわされ、その値は25℃で10<sup>14.2</sup>、60℃で10<sup>11.5</sup>、190~300℃で10<sup>6.9</sup>~10<sup>1.7</sup>と温度の高いほどMg量が減少し、pHが低いほど増加して、大岳八丁原地区熱水に関して、量的な問題も含めてうまく説明している。このように熱水とある鉱物の平衡を考えることは熱水中の化学成分の起源や、含有量についての考察で試みるべき思考方法である。

## 2.1 アルカリ金属元素

熱水中のアルカリ金属としては、主成分のNa/Kの他にLi、Rb、Csが検討されるべき元素である。これらの元素は原子吸光分析によって有効に測定される。これらアルカリ金属は地下貯溜層の温度と

表一2 九重地区熱水のアルカリ金属含量 (ppm)、原子比、地下温度(℃)

(\*酸性ではNaよりKがより多く溶けるため、Na/K比は小さくなり、推定温度も高めとなるので注意を要する)

		大 岳				八 丁 原			
		7	8	9	10	1	2	3	6
微量 元素	Li	3.6	3.3	3.8	4.4	11.3	5.8	6.7	7.7
	Rb	1.86	1.88	2.27	2.15	5.30	3.50	4.46	4.95
	Cs	0.84	0.78	0.88	1.05	1.60	1.15	1.54	1.68
主要 元素	Na	890	770	850	1050	1450	1140	1270	1380
	K	118	108	128	139	259	235	245	280
原子 比	Na/Li	74.4	69.8	68.5	71.4	38.7	59.5	56.9	54.1
	Na/K	12.8	12.1	11.3	12.9	9.5	8.2	8.8	8.4
	Na/Rb	1780	1520	1390	1830	800	1210	1060	1040
	Na/Cs	6130	5700	5580	5780	5240	5730	4770	4750
地下 温度	T Na/K	218	225	233	217	260	284 *	272	280
	T SiO <sub>2</sub>	228	236	251	248	294	246	280	287

無縁ではないので、Na/K比から推定した温度 $T_{Na/K}$ 、 $SiO_2$ 濃度から推定した温度 $T_{SiO_2}$ を付記し、後での議論に役立つ原子比 Na/K、Na/Li、Na/Rb、Na/Cs も併せ記した。

山下は九重火山地域<sup>3)</sup>の岩石の平均アルカリ金属含有量を求めており、それによると豊肥火山岩（安山岩）で Na 2.5%、K 1.91%、Li 10ppm、Rb 110ppm、Cs 0.39ppm である。これらに関して主成分 Na との原子比 Na/K、Na/Li、Na/Rb、Na/Cs、はそれぞれ 2.23、755、844、370、000 でありこれを熱水での溶存原子比と比較すると、熱水の平均原子比は Na/K 10.5、Na/Li 617、Na/Rb 1330、Na/Cs 5460 だから、平均的にみて  $K < Rb < Na < Li < Cs$  の順に熱水中への溶出傾向が大きく、云いかえればその順に熱水への濃縮度が増している。ここで取り上げた熱水の化学成分が貯溜層で周囲の母岩との反応で溶かし出されたとする考えは、アルカリ金属のみならず、他の元素にも適用できる考え方である。K と Rb はイオン化ポテンシャルがそれぞれ 0.75、0.67 と他のアルカリ元素に比べて近接しており、化学的な挙動、特に熱水と岩石の平衡関係で同じ挙動をとると思われるが、実際の熱水中の関係は確かにそれに沿ったものである。高温の熱水、八丁原 1、3、6 号では Na/K 比が小さいが、Na/Rb 比も小さく、Rb と K が温度の上昇により溶存量を増加することを示している。Na 以外の元素が高温でより高濃度で溶存する傾向は K、Rb に限らず Li、Cs にもみられる。230°C 前後の大岳 7、8、9、10 号と 280°C 前後の八丁原 1、3、6 号を比べると Na/Li、Na/Cs 比は明らかに前者で大きく、高温では Na に比べて Li、Cs がより溶けやすいことが分る。高温では Na より他のアルカリ金属がより高濃度に溶存する、云いかえると (Na/Na 以外のアルカリ金属) 比が高温で小さくなることが判明したが、中でどれが高温での濃度の増加率が大きいかは興味ある問題である。低温 (230°C 前後) と高温 (280°C 前後) での場合を比較するため、大岳 7、8、9、10 号と八丁原 1、3、6 号の各アルカリ金属の平均含有量を求め、それぞれの元素についてとりあえず高温に対する溶存量増加率を求めた。(表 3)

(八丁原地区は大岳に比し高温のため、採水した試料は深部熱水に対しよけい濃縮された形となっているが、それを考慮に入れても八丁原地区の方が大岳地区よりアルカリ元素の濃度は高い。) この際八丁原 2 号井は酸性であり、そのために岩石と熱水の平衡関係で酸性に特徴的な反応を起すので除外した。数字の上からは高温での溶け出しは、いずれの元素も低温の場合より大きく  $Na < Cs < K < Li \approx Rb$  の順に大きくなっている。つまり、あとの元素ほど、高温でのほかの元素との溶出比が大きくなっている。この結果を説明するには K と Rb がイオン化ポテンシャルが等しいから挙動も等しいだ

ろうとするかなり定性的な議論では不十分な面もあるし、厳密には、これらの元素を供給している鉱物を考えて、熱水と共存させたモデルについて熱力学的計算を行なうことが手段として望まれる。海水については既に Kramer らによって、このような試みが行なわれ、よい成果を収めている。しかし、Na、K 以外の微量元素についてはまだ熱力学的データが得られていないし、Cs のように岩石中に非常に少ない元素については量的な制約を考えねばならず、今後問題を残している。

表一三 大岳 7、8、9、10号と八丁原 1、3、6号のアルカリ金属平均含量(ppm)と両者を比較した増加率、並びにそれぞれの平均地下温度(°C)

	大岳7、8、9、10号	八丁原1、3、6号	溶存量増加率(倍)
Li	3.8	8.6	2.37
Na	890	1370	1.54
K	125	261	2.12
Rb	2.04	4.90	2.40
Cs	0.89	1.61	1.81
$T_{Na/K}$	223	271	
$T_{SiO_2}$	241	287	

## 2. 2 ハロゲン元素 (表 4)

F の分析法は従来、F の化合物が揮発性であることを利用して、一旦試水から分離し各種の定量法が適用されてきたが、最近では F とのキレート<sup>4)</sup>の直接発色を利用した ALC 試薬 (ドータイト・アルフゾン等) を用いた定量法が開発され簡便になった。筆者らもこの方法を用いた。

表一四 九重地区熱水のハロゲン含量(ppm)と原子比

		大 岳				八 丁 原			
		7	8	9	10	1	2	3	6
微量 元素	F	3.73	4.38	4.21	4.06	5.43	6.80	5.82	5.02
	Br	3.45	2.55	3.06	4.17	7.83	5.74	5.65	5.36
	I	0.299	0.343	0.276	0.460	0.597	0.329	0.574	0.574
Cl		1330	1210	1360	1660	2510	1930	2110	2260
原 子 比	Cl/F	191	148	173	219	247	152	194	241
	Cl/Br	870	1070	1000	900	720	760	840	950
	Cl/I	15900	12600	17600	12900	15000	21000	13200	14100
	Br/I	18.3	11.8	17.6	14.4	20.8	27.7	15.6	14.9

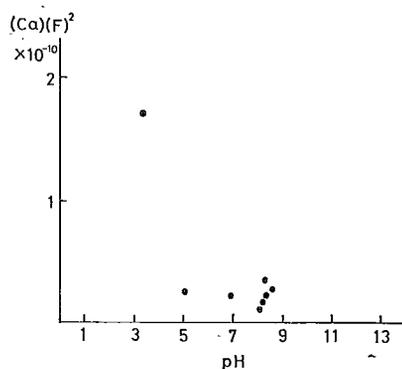
Br、Iはサラシ粉で酸化して  $\text{BrO}_3^-$ 、 $\text{IO}_3^-$  に変えたのち KI を加え遊離した  $\text{I}_2$  をチオ硫酸ソーダで滴定した。Br、I の定量法として最近の注目を集めている方法はイオン電極法である。それぞれのイオンに対して通過可能な膜をもつ電極で直接電位を測定し、直接定量できる方法であるが、温泉に適用するには、これらのイオンと同時に存在する Cl が妨害を与え、電位も安定な値を与えないので現状では前述の方法が最良だと思われる。

F の最高値は八丁原 2 号井の 6.80ppm である。F の含有量は熱水型の温泉、例えば別府温泉では酸性でかなり多く、中性で少なく、アルカリでやや大きい関係があるが、これは F の起源物質としてホタル石  $\text{CaF}_2$  や燐灰石  $\text{Ca}(\text{F},\text{Cl})\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_3$  を考えて pH を変えた溶出実験の結果とよく一致している。このことから八丁原 2 号井で F 含量が大きいのは、同井が酸性であることを考えると理解できる。この事実をはっきりさせるには各井熱水に含まれる Ca と F についてそれぞれの活動度を 1 とした  $(\text{Ca})(\text{F})^2$  なるイオン積をつくり検討すればよい。図 2 で pH と  $(\text{Ca})(\text{F})^2$  の関係をみると八丁原 2 号井がとび抜けて高値で、あとは同じレベルであり、F の起源鉱物をホタル石や燐灰石と考えても矛盾しない。ホタル石の熱水への溶解度は石膏や方解石と同様、温度が上昇するにつれて減少し、200℃以上では増加するが大きくは変わらず、又、 $\text{SiO}_2$  濃度が飽和に近いほど溶解度は増すが、大岳八丁原熱水は同程度の  $\text{SiO}_2$  飽和を示すので、この影響も小さく、結局、八丁原 2 号井を除いては同じ  $(\text{Ca})(\text{F})^2$  値をもつ。普通の温泉では温度が低く、 $\text{CaF}_2$  の溶解度は大きい Ca の溶存量も大きいため溶解度積で制限を受け、現象的には熱水の方が F 含量が大なのが普通である。 $\text{HCO}_3^-$  が多い温泉では、F が  $\text{HCO}_3^-$  によって溶かし出される例がエチオピアなどに観測され、別府でも一部その傾向がみられるが、九重程度の  $\text{HCO}_3^-$  濃度では影響ないと思われる。

一般にハロゲンは非反応性即ち熱水に溶け込んでからの周囲との反応性は小さく、殊に F 以外のハロゲンはこの性質を有する。ということは、一旦、熱水中のハロゲン組成がきまると、それがなかなか変化せず、地表水などによる希釈をうけてもその相互間の比は一定のまま保存されるということである。九重各熱水中のハロゲン原子比 Cl/Br、Cl/I、Br/I はそれぞれ約 900、18,000、18 前後で多少の凹凸はあるものの、その違いが特別な意味をもつとは考えられない。九重の Br、I 含有量は、別府の海岸部を除く食塩泉地帯よりもかなり多いが、それだけ Cl も多く Cl/Br、Cl/I 比としては大きい違いはない。

九重地区の Cl/Br、Cl/I、Br/I 比を海水、安山岩のそれ

図 2 九重地区熱水の  $(\text{Ca})(\text{F})^2$  と pH の関係



と比べてみよう。ハロゲン比を示す表5を作製するにあたり、安山岩については地球化学的標準試料AGV—1中の濃度を用いた。<sup>8)</sup> 岩崎らは桜島の安山岩をつかい、減圧加熱によってハロゲンを揮発させて分別の模様を調べているが、<sup>9)</sup> そのとき発散されたハロゲンについての比を比較のために記した。温泉水中のハロゲンの起源については、大別して、1) マグマ発散物、2) 火成岩を起源とする2説が有力である。温泉水のCl/I、Br/Iは海水のそれとは甚だしく異なるので、海水と無縁であることは分るが、マグマ発散物として直接溶け込んだものか、あるいはそれが一旦、岩石中に貯えられて火成岩からの溶出の形をとるのかは判然としない。この点、山下は九重地域温泉のCl量を熱水変質を受ける前後のCl量の変化から説明できるとしており、<sup>10)</sup> 注目に値する。

表一五 九重地区熱水、海水、安山岩、マグマ発散分別実験のハロゲン原子比の比較

	九重地区熱水(平均値)	海 水	安 山 岩	マグマ発散分別実験
Cl/Br	890	660	740	1,140
Cl/I	15,900	1,400,000	2,200	6,900
Br/I	17.6	2,100	3.0	6.1

### 2. 3 金 属 元 素

温泉水中に存在を知られている微量金属元素は多数あるが、量的にかなり溶存し、何らかの特徴を示す成分としてMn、Cu、Zn、Cd、Pb、As、Fe、Ni、Mo、Geを選んだ。これらの金属はその化学的な親和力に従って、親石、親銅、親鉄元素に分類できる。

親石元素：— Mn、(Fe)

親銅元素：— Cu、Zn、Cd、(Ge)、Pb、As、(Fe)、(Mo)

親鉄元素：— Fe、Ni、Mo、Ge、(Pb)、(As)

即ち、親石元素は珪酸塩、親銅元素は硫化物、親鉄元素は金属として最も多く岩石中に分化し存在している。起源物質を考えるには、この分類にのっとった普遍的な鉱物を考えねばならないが、必ずしもこの分類は厳密なものではない。親鉄元素の多くは最終的には珪酸塩鉱物にとりこまれたり、硫黄の作用をうけて硫化物に変わる。ここではこれら微量金属の起源物質を硫化物と考え考察を進めた

#### 分 析 法 の 検 討

Mn：— 各熱水とも原子吸光法で定量可能な濃度をもっている。高温熱水に特有の多量のSiO<sub>2</sub>の存在は測定に誤差を与えるので妨害を避けるためにLaの溶液を加えねばならない。

Fe：— 原子吸光法で測定可測であるが、微量しか含まれない試料はオキシンの錯体をつくりクロロホルムに抽出するなどの操作が必要である。

Cu、Zn、Cd、Pb、Ni：— 原子吸光法で測定可能であるが、一部を除きいずれも含有量が少ないため、何らかの濃縮方法をこじねばならない。現在、この種の金属の濃縮法として最も頻繁に行なわれている方法は、APDCとの錯体をMIBK又は酢酸ブチルなどの有機溶媒に抽出し、直接噴霧ないしは一度乾固ののち酸に溶解して噴霧して測定するやり方であるが、有機溶媒のままだと定常な炎が得られず、又、抽出の際に試料が熱水である場合は特に相互の分離がうまくいかず、筆者の経験では同一試料について一定値を与えなかった。もう一つの方法はキレート樹脂(例えばChelex×100)を用いる方法で、pHを調整した温泉水を活性化した樹脂層に通し、吸着した金属を希硝酸で流出させ、流出液を原子吸光分析に供する。この方法は海水中の微量金属を定量するのに用いられるが、温泉水にも充分適用できる。筆者は前記の金属を定量するのにこの方法を用いた。

As：— 酸性で全てのAsをAs<sup>3+</sup>に還元したのち、亜鉛粒を入れて水素とともに発生するAsH<sub>3</sub>をジエチルジチオカルバミン酸銀のピリジン溶液に吸収させる。吸収液はAsの存在で赤色を呈し、

直接比色定量できる。

Ge : — アルカリを加え濃縮した試料水に濃塩酸を加え加熱すると Ge は塩化物となり気化するから、水に吸収させフェニルフルオロンを加えて比色定量する。

Mo : — 酸性で還元剤を加え、更にチオシアン酸アンモニウムを与えると Mo 錯体は橙色となり酢酸ブチルに抽出され、比色定量できる。

以上の分析法によって定量した九重地区熱水の主な微量金属成分とその含量は表6に掲げた通りである。これら微量金属成分の起源は壁岩からの溶出によるとする説が妥当である。熱水貯溜層の壁岩たる輝石安山岩中には多くの金属元素が珪酸塩や硫化物として含まれている。九重地区の熱水を包蔵している輝石安山岩層の金属含量は明らかでないが、同じ安山岩（地球化学的標準試料 AGV-1）中の存在量をここで取りあげた金属について引用すると、ppm 単位で、Mn 728、Cu 63.7、Zn 112、Cd 0.017、Pb 35.4、As <30、Fe 47,500、Ni 17.8、Mo 3.7、Ge 1.0 存在している。このうち親銅元素 Cu、Zn、Cd、Hg、Pb、As は主に硫化物として存在する。Ni、Mo、Ge も一部は硫化物として存在し、残りは珪酸塩中にイオン半径が等しく、電荷の等しい金属と置換して、いわゆる擬装という形で入りこむ。Mn の殆んど、Fe の大部分はそれ自身で珪酸塩をつくっている場合が多い。この他 Fe には、磁鉄鉱  $Fe_3O_4$  として存在するものも多い。九重地区の輝石安山岩を粉末にして磁石でかき回すと黒い小粒がたくさん付着するのがこれである。又、同じ試料の X 線回折による分析を行なうと黄鉄鉱  $FeS_2$  の存在も明らかであり、輝石安山岩を構成する一般的な造岩鉱物となっている。このように Fe には珪酸塩、酸化物、硫化物がそれぞれかなりの量存在する。一方、安山岩中には 170 ppm 程度の S が含まれており、一部は石膏  $CaCO_4$  のような硫酸塩として、残りは親銅元素や Fe と硫化物を形成している。又、各所にこれらの金属の濃縮した鉱床の存在も知られている。環境的にみて、九重地域は硫化物を作り易い条件を備えている。現在も活動中の硫黄山の存在は地下に高温の反応的にみて活性な硫黄があり、珪酸塩中に捕獲されている金属と結びつく機会を待っていることを示している。又、硫黄泉、硫化水素泉といった泉質の温泉も少なくなく、多量の硫黄、あるいは硫化水素の存在をものがたっている。

この安山岩中の微量金属の存在から、温泉中の溶存を説明するには、Mn 以外の金属については硫化物を考えることが重要であることを知る。そこでこれらの硫化物と熱水との反応で熱水にもたらされる金属の溶出のもようについてモデル実験を行ない、実際の温泉水の場合と比較しようと試みた。

溶出実験に用いた硫化物は、黄銅鉱  $CuFeS_2$ 、閃亜鉛鉱  $ZnS$ 、方鉛鉱  $PnS$ 、鶏冠石  $AsS$ 、黄鉄鉱  $FeS_2$ 、硫砒ニッケル鉱  $NiAsS$ 、輝水鉛鉱  $MoS_2$  の 7 種類である。これら硫化鉱物の純度はま

表一六 九重地区熱水の微量金属含量 (pHを除く単位はppm)

	大 岳				八 丁 原			
	7	8	9	10	1	2	3	6
pH	8.3	8.3	8.4	8.6	8.25	3.4	5.1	6.9
Mn	.008	.021	.038	.017	.068	1.146	.252	.172
Cu	.001	.001	.003	.001	.000	.104	.001	.001
Zn	.018	.012	.021	.046	.001	.121	.054	.014
Cd	検 出 で き ず							
Pb	.005	.000	.001	.005	.001	.033	.000	.000
As	1.41	1.85	0.97	1.31	3.20	1.86	2.55	2.65
Fe	0.07	0.03	0.03	0.03	0.22	33.6	0.52	0.11
Ni	検 出 で き ず							
Mo	.038	.040	.041	.044	.071	.011	.048	.064
Ge	.042	.065	.083	.112	.150	.060	.156	.141

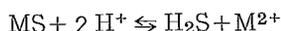
ちであるが、それは考慮に入れず、粉末化したそれぞれの硫化物を等量とり混合したものを試料とした。

溶出条件は、この混合試料 1 g をナス型コルベンに入れ 0.1NH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、蒸留水、0.1NNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> についてそれぞれ 100ml をとり、還流冷却器を付け 1 時間沸騰加熱した。沪別冷却後、反応液にもたらされた金属含量をそれぞれの分析法に従い定量した。その結果表 7 の金属濃度を得た。

実験に用いた硫化鉱物の中に Cd の鉱物は含まれていないが、溶出液中にはその存在を認めた。他の金属に混在して硫化物として存在していたもの

であろう。Mn の鉱物も特に考慮しなかったが、かなりの量が溶出されており、硫化物と共存した珪酸塩鉱物に多量の Mn が存在し、熱水との反応で溶出したことを示している。

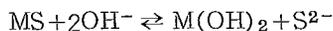
一般に硫化物は不溶又は難溶と云われるが、実験ではかなりの溶出をみた。硫化物の溶解度の小ささは、酸との反応



での平衡定数

$$K = \frac{a_{H_2S} \cdot a_{M^{2+}}}{(a_{H^+})^2}$$

が非常に小さいことから知られる。a<sub>H<sub>2</sub>S</sub> を一定だと考えると a<sub>M<sup>2+</sup></sub> と (a<sup>H<sup>+</sup></sup>)<sup>2</sup> (金属濃度と pH の関係と云ってもよい) は相関的な動きを示し、酸性での金属濃度の上昇と見合っている。酸性の 0.1NH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> をつかった実験では、H<sub>2</sub>S の発生がその臭気によって知られ、この反応の右側への進行をものがたっている。又、両性を示す一部の金属は、アルカリ性で、たとえば



のような反応で、オキシアニオン MO<sub>2</sub><sup>2-</sup> をつくって溶解することもある。

以上を考慮に入れると溶出実験の結果と実際に温泉水に含まれる元素量から、次の 2 つの溶出型に分類できる。

- i) 酸性で最も多量に存在し、中性、アルカリ性では溶容量が少ない元素群  
Mn、Cu、Zn、Cd、Hg、Pb、Fe、Ni
- ii) 酸性ばかりでなくアルカリ性でも多量に存在し、時にはアルカリでの溶容量が酸性でのそれにあたる元素群 As、Mo、Ge

硫化物の溶出実験の結果から考えると、i) の元素群はその硫化物が酸性でよく溶けることを示し、ii) の元素はそれに加えて、アルカリ性でオキシアニオンの形で溶けうることを示している。

i) ii) それぞれについて、その特徴をもう少し詳しく述べてみる。

i) Mn、Cu、Zn、Cd、Pb、Fe、Ni： いずれも酸性側で多量に存在する。熱水中の金属濃度が溶出実験での溶出濃度より大きいのは溶出実験の条件の硫化鉱物量が前述の火成岩中の硫化物存在量より多いことを第一の理由とする。その点で量に関する厳密な議論はできないが、その pH に対する溶容量のパターンが硫化物を金属の溶出起源とすることに妥当性を与えている。Mn、Cu、Zn、Pb、Fe ともによく似たパターンである。(図 3-1、2、3、4、5) Mn に関しては硫化物より珪酸塩の方を重視すべきなので、この場合は硫化物と共存した珪酸塩中の Mn が溶け出したとするのが妥当である。

Fe は珪酸塩、酸化物、硫化物と多様な形態で存在するが、硫化物からの溶出を否定する事実は見

表一 7 溶出実験で硫化鉱物から溶出された金属濃度 (pH を除く単位は ppm)

	0.1NH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	蒸 留 水	0.1NNa <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
PH	0.8	5.0	10.6
Mn	30.8	3.7	0.0
Cu	0.94	0.03	0.05
Zn	23.3	0.3	0.1
Cd	0.289	0.000	0.029
Pb	19.7	0.0	0.0
As	40.6	18.7	77.4
Fe	45.1	0.0	0.1
Ni	15.7	0.5	0.3
Mo	0.51	0.54	0.745

図3-1 九重地区熱水のMn濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

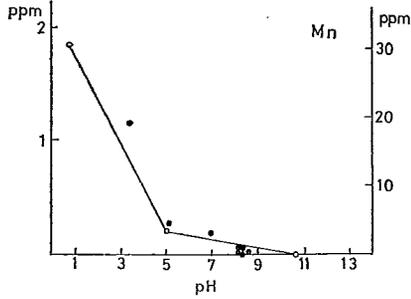


図3-2 九重地区熱水のCu濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

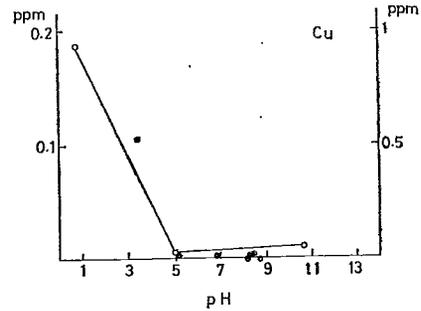


図3-3 九重地区熱水のZn濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

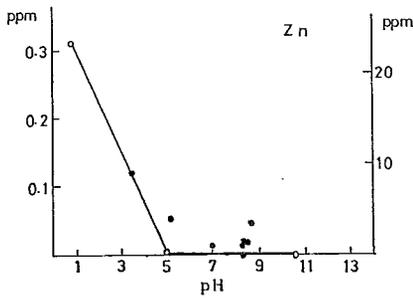


図3-4 九重地区熱水のPb濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

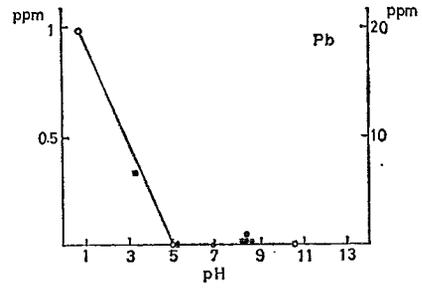


図3-5 九重地区熱水のFe濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

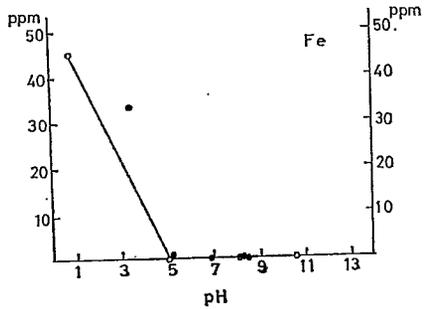


図4-1 九重地区熱水のAs濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

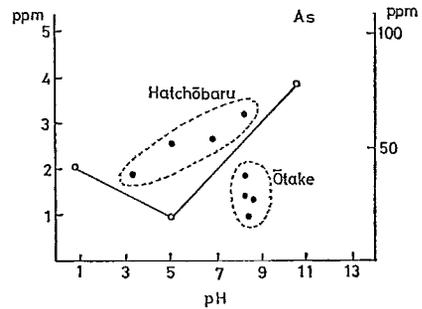


図4-2 九重地区熱水のMo濃度(●)、モデル実験の溶出濃度(○—○)とpHの関係

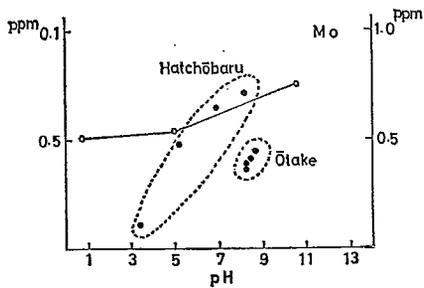
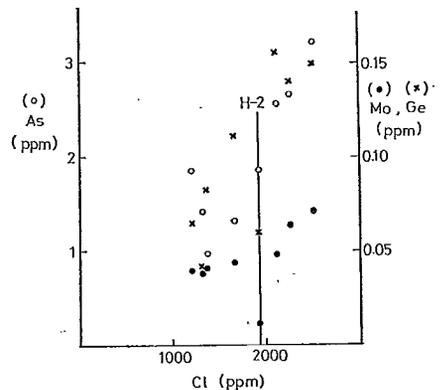


図5 九重地区熱水のAs、Mo、Ge量とCl量の関係



当らない。Feの起源に関しては、酸性の八丁原2号井での掘削パイプの腐蝕に伴なう溶出も見逃せない。実際、同井のFe含量は極めて大きいし、腐蝕状況の甚だしさは現地にもみることができ。もしパイプにFe以外の成分があれば、それらも溶かし出されて温泉成分の一部となっていよう。Cd、Niは火成岩中の含量から、多量に存在することは期待できないが、実際温泉水中には検出できなかった。もし、温泉水中のCd、Niがもっと微量まで定量可能であれば、溶出実験と同じパターンをとることは確実である。又、Ellisも指摘しているように金属の一部は熱水のClとクロロ錯体を形成し溶けている可能性がある<sup>12)</sup>。

ii) As、Mo、Ge：一溶出実験の結果はAs、Moが、酸性よりむしろアルカリ性で多量溶存する可能性を示している。Geの溶出実験は行っていないが、ヒ素族としてAsやMoと同じ挙動を示すことが期待できる。実際の温泉水中でのこれらの金属の溶存状態は、大岳、八丁原と分けてみたとき、ほぼ溶出実験の結果に沿ったものであるが、一方、同程度のpHであっても八丁原の方が大岳より高濃度であることは注意せねばならない。(図4—1、2)温泉水中の保存元素として引き合いに出されるClとの関係を見ると、八丁原2号井を除くと、金属—Cl間に明らかな正相関が認められる。

これらの金属の酸性での溶存状態は単独元素の陽イオンであるが、酸性以外ではオキシアニオンなので、当然挙動も違って来る筈で、八丁原2号井は除外して考えねばならない。さて、Clとの正相関は九重だけでなく各地にみられる関係である。この関係の説明としては、これらの<sup>13)</sup>金属の塩化物が比較的低温であるためにClと一諸にマグマから供給されたとする説明があるが、一方、古賀はニュージーランドの火山岩を使った溶出実験で、食塩濃度の濃い方がMoの溶出が大であることを認めている<sup>14)</sup>。これらの元素は中性、アルカリ性ではオキシアニオンとしての挙動をとると、Clとクロロコンプレックスを作って可溶性になるためかも知れない。

### 3 結 論

代表的な深部熱水である九重地区発電井熱水に含まれる各微量成分は、熱水に特徴的な溶存のしかたをしている。その最も顕著な例はアルカリ金属で、熱水が高温であることを反映して、普通の温泉よりも多量に存在している。又、ナトリウムとの原子比Na/Li、Na/Rb、Na/Csは高温ほど小さい。逆に云えばこれらの元素の量、ナトリウムとの比は地熱系の指示元素となりうる。

ハロゲン元素は主要アニオンのClがハロゲンであるため一諸に挙動すると考えられ、Clの濃い熱水ではF、Br、I、ともに多く存在する。Br、Iの起源はClの起源と共に、更に研究すべき問題であるが、Fに関してはCaF<sub>2</sub>系の鉱物を起源と考えて差し支えあるまい。

九重地区のみならず火山地帯では、特有の硫化作用をうけ生成した硫化鉱物が広く存在している。これらの硫化鉱物をつかったモデル溶出実験と、実際温泉水でのpHに対する濃度パターンがよく似ており、これらの硫化物が熱水中の微量金属元素の起源としての働らきに占めるウェイトの大きさが察せられる。このうちオキシアニオンとして挙動するAs、Mo、Geは高濃度のClとの関係も深いようである。

(終りに、アルカリ金属の定量に便宜をはかっていただいた京大地球物理学研究施設の諸氏、硫化鉱物の一部を提供された大分大学教育学部森山教授、現地での採水に協力下さった九州電力大岳発電所諸氏、並びに、研究費の一部を負担いただいた大分県温泉調査研究会に深く感謝する。)

### 文 献

- 1) J. R. Kramer, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 29, 921 (1965)
- 2) A. J. Ellis, *Am. J. Science*, 271, 48 1(1971)
- 3) 山下幸三郎、大分県温泉調査研究会報告、23号、20 (1972)

- 4) 1)と同じ
- 5) 野田徹郎、大分県温泉調査研究会報告、22号、66 (1971)
- 6) A. J. Ellis & W. A. J. Mahon, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1323 (1964)
- 7) 古賀昭人、地熱、31号、23 (1971)
- 8) F. J. Flanagan, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 81 (1969)
- 9) M. Yoshida, I. Makino, N. Yonehara, I. Iwasaki, *Bull. Chem. Soc. Japan*,  
38, 1436 (1965)
- 10) 山下幸三郎、大分県温泉調査研究会報告、20号、1 (1969)
- 11) 8)と同じ
- 12) A. J. Ellis, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32, 1356 (1968)
- 13) 阪上正信、日本化学雑誌、81, 1118 (1960)
- 14) A. Koga, *N. Z. J. Science*, 10, 428 (1967)

# 八丁原、大岳地区熱水の生成機構 (1)

## 八丁原における地下岩石中の硫酸塩鉱物から みた熱水の動向

京大文学部 山下幸三郎

### 1 緒言

八丁原における地熱開発のボーリングで得られた地下の岩石には浅層では酸性条件下で生成された明礬石があり、地下 400m 附近から深部には石膏、硬石膏、カルサイト、雲母、その他の変質鉱物があって、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ルビジュウム、リチウムなどの集積がある。

一方深部から噴出する熱水は食塩泉で、クロール、ナトリウム、カリウムなどのイオンは多いが、カルシウム、マグネシウム、硫酸などのイオンは少ない。このような地下岩石の化学成分の溶脱集積の様相と熱水の性質とから八丁原地区では浅層の硫酸酸性熱水が深部へと渗透流下し、その間熱水の化学成分は変質鉱物の生成により熱水からの離脱、或は岩石からの溶脱により変化して深部の熱水が生成されたと推察した。しかし論拠に重要な役割をしているカルシウムの集積には石膏、硬石膏の外カルサイトにも関係がある。硫酸カルシウムの溶解度は温度の上昇と共に減少し、又硫酸イオンは浅層においてのみ生成されるとするならば、この鉱物の追跡が前述の結論を検証するのに最も適した鉱物であると思われるので、今回岩石の $\text{SO}_4$ の含有量を測定し、地下における硫酸カルシウムの沈積量の様相から地温とその変化、熱水の動向などについて再検討を行った。

### 2 岩石中の $\text{SO}_4$ の定量について

資料の約 0.5gr を細粉し、硬石膏の飽和度が50%以下になるように水を加え一週間放置後、溶液についてジトロスルホナゾⅢを指示薬として塩化バリウム溶液 (0.01N) による沈澱滴定を行った。硬石膏の溶解度を増加させるため硫酸アンモニウム溶液による溶出を行なったが、水の場合と全く一致した。

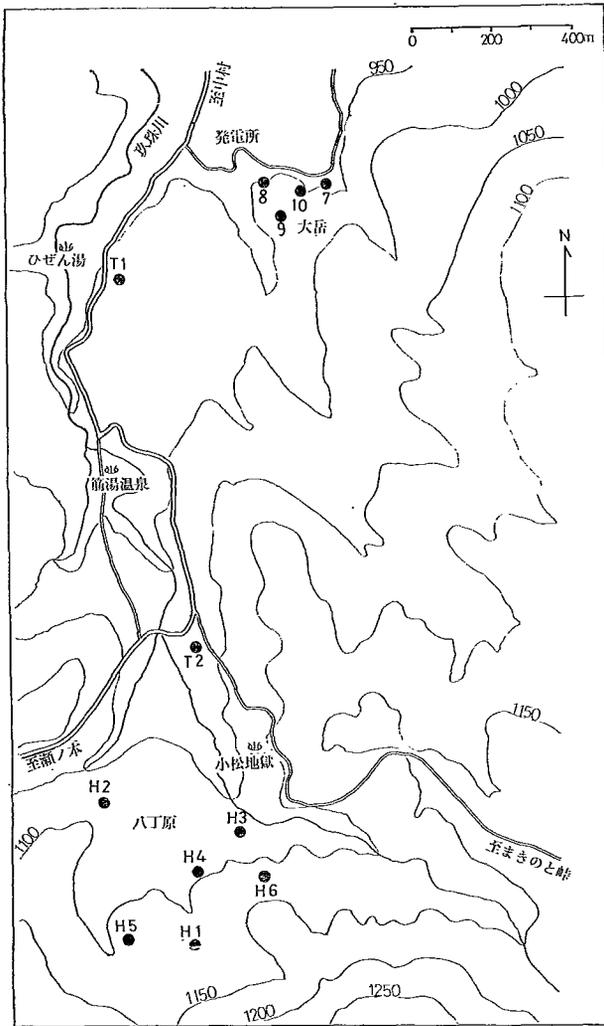
志賀らの九重火山の岩石についての化学成分の溶出実験によれば、変質していない岩石からの $\text{SO}_4$ の溶出は0.04%程度であり、今回の分析値と比較すれば、測定誤差に近い値である。したがって岩石中の $\text{SO}_4$ は熱水変質鉱物によって附加されたものと思われる。又資料の殆んどに硫化鉄があり、これが酸化によるものがあると考えられるが、溶出後の残存鉱物についてX線回析を行った結果、石膏及び硬石膏の回折線は完全に消えているが、硫化鉄は尚残存しているので硫化鉄の酸化による量は極めて少ないと思われる。

### 3 岩石中の $\text{SO}_4$ 量の変化

分析した資料を採取した地点は第1図のH.3、5、6井である。

第2図は地下岩石中の $\text{SO}_4$ 量の変化であるが、図によればH3、6井では浅部 400m までは全般に少量であるが、各所に集積した所があり、X線回析によればこれらの地点には明礬石〔(Na,K)  $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 〕の沈積がある。400m 以深において急激に多量の沈積した地層があり、この層以深では沈積量に幾分の変化があるが漸次減少している。これらの地層には硫酸塩鉱物として石膏 (Ca $\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )、又は硬石膏 (Ca $\text{SO}_4$ ) の沈積がある。石膏は沈積の存在する最も浅層にあって少量であり、主要なものは硬石膏である。したがって $\text{SO}_4$ の含有量の増加は硬石膏の沈積によるものと

図1 八丁原大岳地区発電井分布



て硬石膏の沈積は地下を流動する熱水の硬石膏の溶解度と地温上昇とに密接な関係があると思われる。

#### 4 硬石膏の溶解度と沈積原因について

硬石膏の溶解度は溶液の温度、共存するイオンの濃度、水圧などに関係することが知られている。<sup>3,4,5)</sup>したがって次の如き函数である。

$$C = f(\theta, \mu, P) \dots \dots (1)$$

ここにCは硬石膏の溶解度(mol)、 $\theta$ は溶液の温度(°C)、 $\mu$ は溶液のイオン強度、Pは水圧である。

八丁原地区における水圧は現在掘られている井戸深度では地温での水の飽和蒸気圧より高いがその差は小さく、沈積が起きている温度では飽和蒸気圧下で測定された値に近いのでこの地域について考える場合は水圧による関係は考慮しなくてもよいと思われる。しかし食塩の濃度はH.3井では0.043 mol、H.6井では0.037molでこの影響は可成り大きく、特に高温では同じ濃度でも影響は大きくなるのでこれを無視することは出来ない。

Marshall らは一定温度における食塩水中での硫酸カルシウムの溶解度を測定し理論的な考察を行

推察される。

H5井はH.3、6の400m~500mで最大含有量になるのに対し、750m附近から含有量が増大し900m附近で最大となる。これより以深では幾分減少する傾向はあるも可成り大きい変化がある。これは後述の地温やその変化が硬石膏の沈積に重要な役割をしているからである。

硫酸カルシウムのSO<sub>4</sub>に対応するカルシウムの含有量を図示し比較すると、浅層では両者は全く無関係な変化をしている。これはSO<sub>4</sub>の沈積を起す鉱物が明礬石であるから、カルシウムとは無関係であり、しかも酸性水によりカルシウムは溶脱されるからである。深部ではSO<sub>4</sub>の多い層ではカルシウムも多いが、SO<sub>4</sub>の少ない層では両者の関係は明確でない。カルシウムはカルサイトや残晶鉱物中にもあるので、両者の量的関係まで一致しないからである。

このような硬石膏の多量な沈積は地層中を流動する熱水中に溶存する硫酸カルシウムが地温の上昇により溶解度が減少して晶出したからであろう。一方噴出する熱水では深部の高温な熱水程カルシウムイオンや硫酸イオンが減少している傾向がある。したがっ

図 2.A H6 井における地下岩石中のSO<sub>4</sub>、CaO含有量及び孔底温度変化

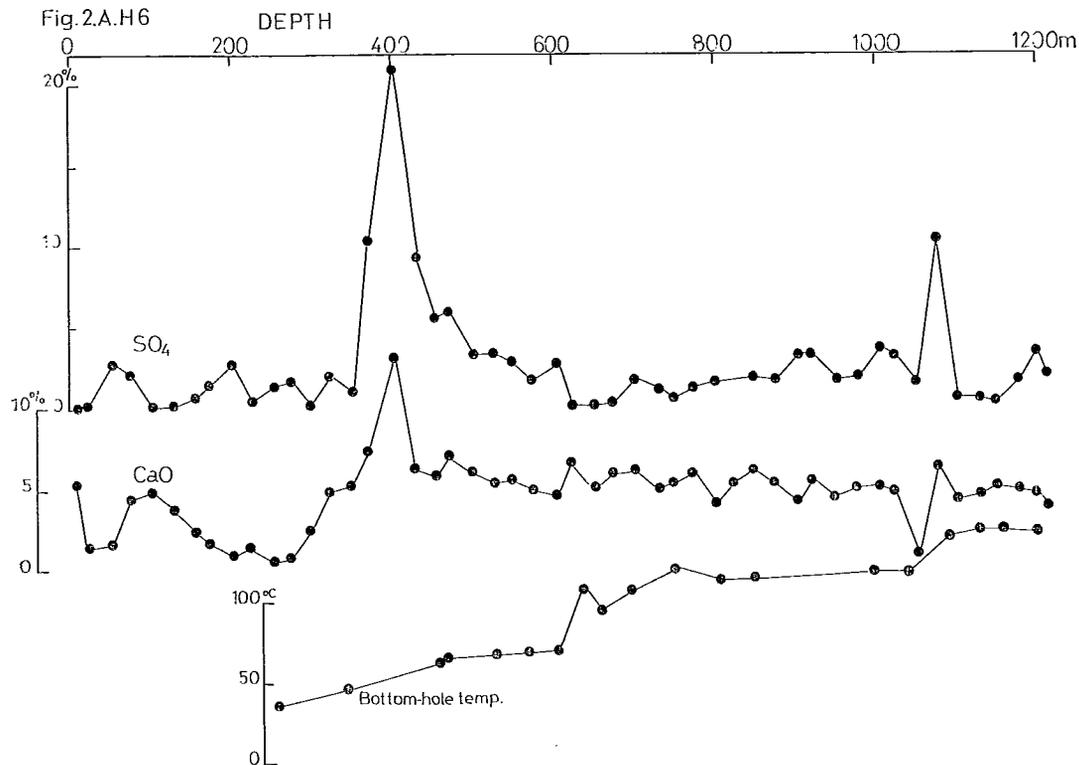


図 2.B H3 井における地下岩石中のSO<sub>4</sub>、CaO含有量及び孔底温度変化

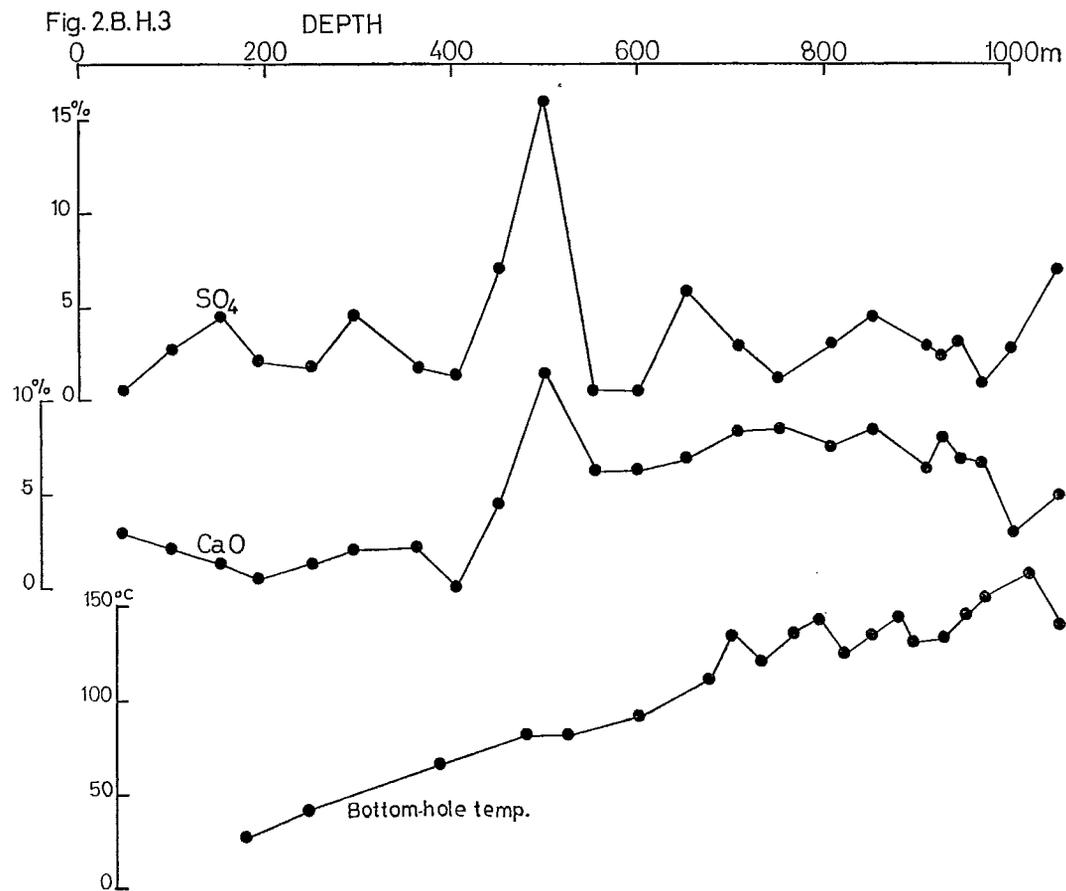
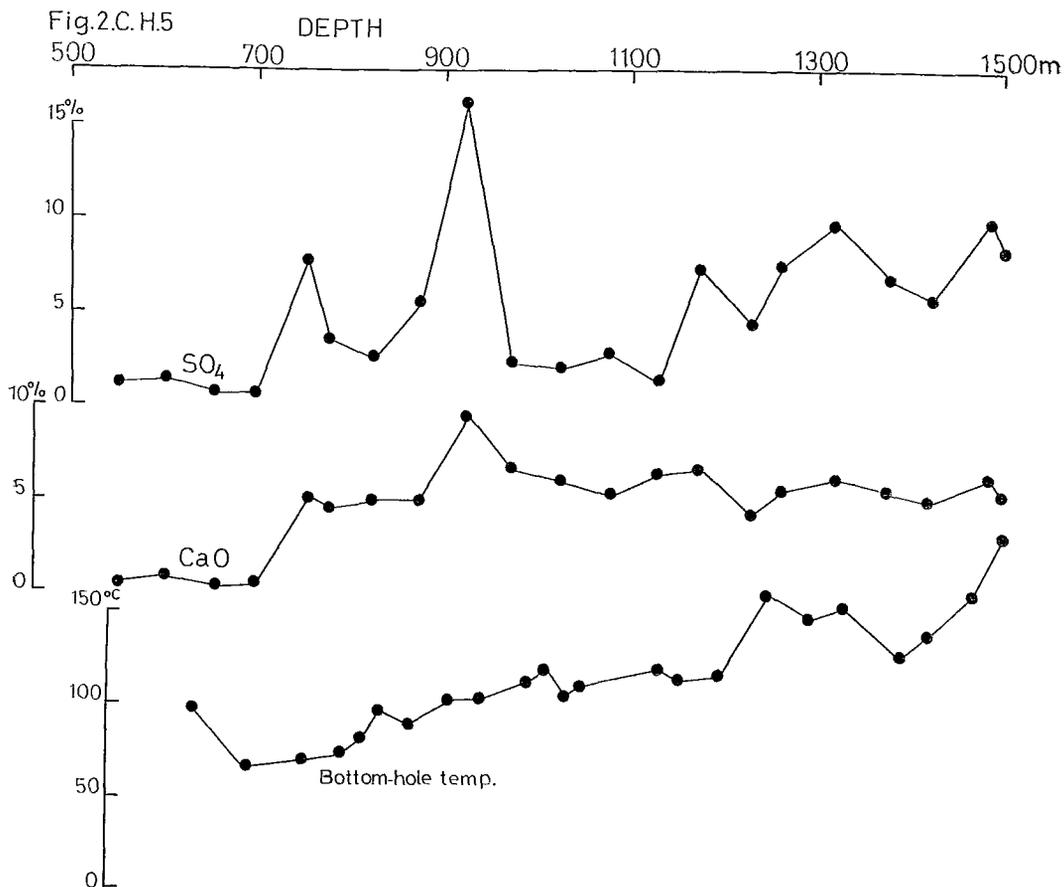


図 2.C H 5 井における地下岩石中のSO<sub>4</sub>、CaO含有量及び孔底温度変化



なった結果、硬石膏については次の如き関係のあることを示した。<sup>7)</sup>

$$\ln C = A \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1.5\sqrt{\mu}} + \ln C' \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここにAは一定温度において溶媒である水に特有の定数、C'は $\mu = 0$ における仮想された溶解度である。

共存イオンがない場合の溶解度をC<sub>0</sub>とすれば

(2)式より

$$\ln C' = \ln C_0 - A\alpha \quad \dots\dots\dots(3) \quad \alpha = \frac{\sqrt{\mu_0}}{1 + 1.5\sqrt{\mu_0}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに $\mu_0$ は硬石膏の溶液のイオン強度である。

(2)、(3)式から

$$\ln C = A \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1.5\sqrt{\mu}} - \alpha \right) + \ln C_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

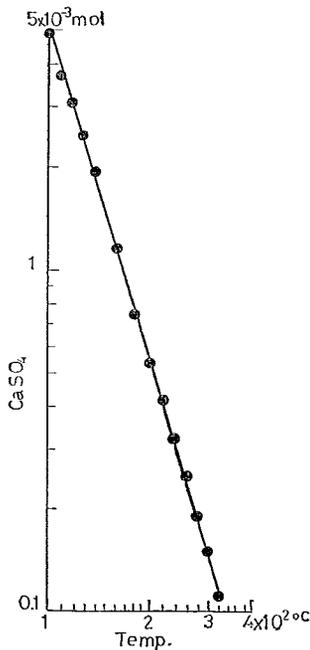
硬石膏の溶解度は水圧がその温度における蒸気圧である場合は温度のみの函数であり、100°C以上の温度では両者の対数値をとると図3のように略一次関係が成立する。したがって両者の関係を求めると次式のようなになる。

$$\ln C_0 = -3.23 \ln \theta + 9.62 \quad \dots\dots\dots(6)$$

表1 八丁原における地下岩石のCaO、SO<sub>4</sub>含有量(重量百分率)

H 3			H 5			H 6			H 6		
深度(m)	CaO	SO <sub>4</sub>									
47	2.85	0.52	552	0.46	1.22	11	5.36	0.12	673	6.16	0.48
100	2.10	2.71	601	0.84	1.54	23	1.42	0.20	703	6.18	1.92
153	1.32	4.67	654	0.34	0.74	54	1.68	2.93	732	5.16	1.35
194	0.45	2.20	697	0.43	0.62	76	4.59	2.13	749	5.45	0.78
251	1.40	1.82	754	5.19	7.96	101	4.87	0.13	774	6.04	1.40
294	2.10	4.55	778	4.36	3.66	128	3.88	0.30	801	4.11	1.83
364	2.08	1.68	826	4.94	2.65	159	2.43	0.71	826	5.51	—
406	0	1.40	876	4.98	5.72	173	1.78	1.65	850	6.31	2.13
451	4.46	7.02	924	9.53	16.30	206	1.04	2.79	876	5.53	1.88
500	11.5	15.96	972	6.64	2.27	228	1.54	0.44	907	4.22	3.46
553	6.25	0.91	1027	6.06	2.04	253	0.63	1.41	620	5.60	3.45
600	6.38	0.46	1075	5.22	2.95	276	0.78	1.72	952	4.58	1.84
649	7.72	5.85	1030	5.15	1.41	299	2.44	1.34	979	5.11	2.09
709	8.48	2.87	1172	6.60	7.45	326	4.97	2.11	1006	5.21	3.85
752	8.49	1.20	1229	4.26	4.42	350	5.22	1.17	1025	4.97	3.42
808	7.47	3.03	1262	5.11	7.64	373	7.40	10.56	1051	1.05	1.63
850	8.24	4.45	1321	6.19	9.92	403	13.2	21.04	1077	6.54	10.63
909	6.35	2.90	1375	5.55	6.91	429	6.39	9.65	1103	4.48	0.72
927	8.02	2.36	1423	4.43	5.84	453	5.82	5.63	1129	4.73	0.77
944	6.84	3.16	1487	6.23	10.03	472	7.20	6.04	1150	5.24	0.50
973	6.61	0.93	1500	5.32	8.42	502	6.19	3.42	1177	5.04	1.84
1002	2.85	2.82				528	5.50	3.58	1200	3.84	3.62
1052	4.83	7.17				549	5.72	3.13	1212	2.91	2.31
						575	5.05	1.96			
						606	4.71	2.96			
						625	6.72	0.38			
						649	5.14	0.37			

図3 硬石膏の溶解度



(5)、(6)式から

$$C = \exp(-3.23 \ln \theta + 9.62 \cdot \exp \left[ A \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1.5\sqrt{\mu}} - \alpha \right) \right]) \dots\dots(7)$$

深部に行くにしたがって地温が上昇する地層があって、この地層に硫酸カルシウム溶液を透過流下させると溶液濃度が硬石膏の溶解度より高い地温の層に達したならば沈澱が始まり、深部に行くにしたがって地温が上昇するのでそれにしたがって沈澱は継続される。このような現象によって生成された硬石膏の沈積は地温の上昇による硬石膏の溶解度の変化に支配される。したがってある地層での沈積量はその層に流入する溶液の濃度とその地層における地温の上昇による溶解度の減少量、及びその層を通過した溶液量に関係し、次式が成立する。

$$D = \frac{dc}{dz} \int_0^t Q(t) dt \dots\dots\dots(8)$$

ここにDは沈積量、zは地表面からの深さ(-)、Q(t)はこの地層を通過した溶液の流量である。θ及びμをzの函数とすれば(7)式から

$$\frac{dc}{dz} = \exp(-3.23 \ln \theta + 9.62) \cdot \exp \left[ A \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1.5\sqrt{\mu}} - \alpha \right) \right] \left[ -\frac{3.23}{\theta} \frac{d\theta}{dz} + \frac{\partial A}{\partial \mu} \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1.5\sqrt{\mu}} - \alpha \right) \frac{d\mu}{dz} \right] \dots \dots \dots (9)$$

H5井において掘さく終了後 Swabbing を行い、孔内水を汲上げると共に汲上げ前後における孔内温度の測定を行い、次表のような結果を得ている。

表2 H5井の孔内温度 (九電総合研究所調査)

測定年月日	深度(m)	630	650	750	1000	備考
1972. 8. 2		—	235~238℃	—	247~255℃	Swabbing 前
" 8. 4		107~109℃	107~109℃	141~144℃	—	" 後
" 8. 6		105~108℃	—	139~142℃	—	" "

表3 H5井揚水の化学成分(mg/ℓ)

年 月 日	汲上げ回数	汲上げ量	pH	Na	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	[Ca][SO <sub>4</sub> ]
1972 8.4	1回目	15.7m <sup>3</sup>	6.3	220	41.0	150	390	4.14×10 <sup>-6</sup>
"	2 "	11.6	6.6	190	31.4	150	340	2.77 "
"	3 "	9.1	6.2	190	29.0	180	326	2.46 "
"	4 "	13.7	6.3	192	29.0	135	330	2.49 "
"	5 "	7.0	6.2	192	28.1	150	360	2.65 "
8.5	1 "	14.6	6.3	188	29.8	157	310	2.40 "
"	3 "	22.3	6.5	175	32.4	157	313	2.63 "
"	5 "	31.7	6.5	177	28.0	157	325	2.36 "
8.6	1 "	15.3	6.1	175	25.6	180	325	2.16 "

分析者 古賀昭人、山下幸三郎

汲上げた水の化学成分を分析した結果を表3に示す。水圧及び食塩濃度は溶解度に大きい影響を及ぼすまでに至っていないのでこれを無視し、硬石膏の溶解度積から水温を求めると 140~150℃ となる。

測温結果では 750m で示された温度に略等しい。図2で明らかなようにH5井では硬石膏の沈積は750m 附近から始まっている。この結果から推察すれば他の H.3、6井の地点においても略同じ地温の地層から沈積が始まっていると思われる。

深部から噴出する熱水について分析したカルシウム、硫酸イオンの濃度から熱水の蒸気化による濃縮を補正し、更に上述の食塩濃度を考慮して求めた深部熱水の温度は H.3、6井では 260~270℃ と推測される。九電総合研究所で測定した深部熱水のエンタルピーは H3井で 280kcal/kg、H6井で315kcal/kgでこれに対応する水温はH.3井では 268℃、H.6井では295℃ になり、H.3井は上記推算値と略一致するが、H.6は可成高い値を示す。

石膏の沈積が始まる深さ及び地温と孔底における地温が推定されたので地温の増温状態及び熱水の食塩濃度の変化状態がわかれば地層中の沈積量の相対的な関係が(9)式によって求められる。しかし食塩濃度は深層の熱水程高いことは明らかであるが、深さとの関係が明確でないので、一応食塩濃度の影響を無視すると(8)、(9)式から

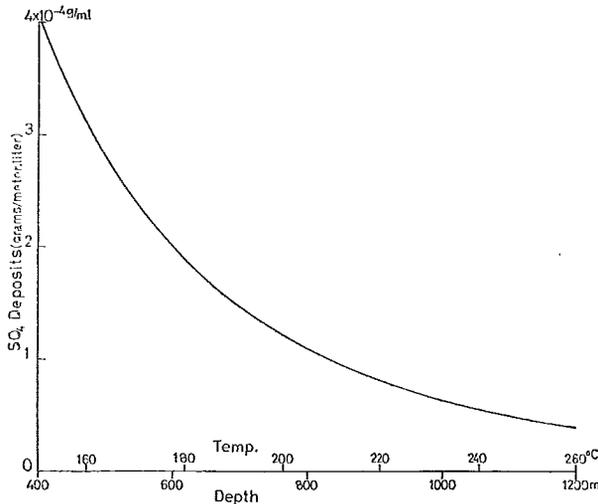
$$D \propto \frac{dc}{dz} = -\frac{3.23}{\theta} \exp(-3.23 \ln \theta + 9.62) \cdot \frac{d\theta}{dz} \dots \dots (10)$$

H6井の状態即ち400m で 150℃、1200m で260℃である場合を例にとり、地下増温率が一定であるとし、又流下する 溶液は途中において蒸気化による濃縮や領域外への流出がないとして (10)式により

SO<sub>4</sub>の沈積の相対的な関係を求めると図4の如くなる。これと図2のSO<sub>4</sub>量と比較すると、H.3 H.6では全体的な様相は略一致している。H.5では深部に多量の沈積があって H.3、H.6のようには明確でない。又H.3、H.6でも深部に沈積の多い層がある。一般に地熱地帯では地温上昇は不規則で、段階的な上昇をする場合が多く、沈積には地下増温率の変化が重要な関係をもっているので、ボーリング途中で泥水の注入を2～4時間停止後に測定した孔底温度とSO<sub>4</sub>量を比較すると、図2のように沈積の多い地層と地温の上昇率の大きい地層とが可成りよく一致している。特に H5井ではH.3、H.6に比較して深部における地下層温率が大きく変化しているので深部の沈積量の増大が起ったと思われる。しかしここに示された孔底温度はボーリング用泥水の冷却によって地温が降下し低い値を示し、特に孔底で約100°Cの違いがある。したがって全く合致することは望めない。

深部熱水の食塩濃度は上述のように硬石膏の溶解度に可成の影響を与えるので深部程地温の上昇による溶解度の減少は小さくなる。

図4 SO<sub>4</sub>の沈積量変化



したがって沈積量は深部に行くにしたがって図4に示す量より急激に減少することが推測され、H6井ではこのような傾向が認められる。

硬石膏の沈積層には同時にカルサイトの沈積したところがあり、これが晶出が硬石膏の晶出と相互に影響することが考えられる。しかしカルサイトの溶解度は低温では硬石膏より小さいが、高温では硬石膏の溶解度の急激な減少と、食塩水中では硬石膏より溶解度が急激に増大するなどの関係から150°C以上で両者の値は逆転する。又前報告で示したようにカルシウムの原岩と比較しての増加量はSO<sub>4</sub>量の最も多い地層で最も多く、深部

に行くにしたがって少なくなり、SO<sub>4</sub>量の変化と略一致することから、カルサイトの生成におけるカルシウムは原岩中から供給されていると思われる。したがって両鉱物の沈積は全く無関係とは思われないが、硬石膏の沈積に大きい影響を及ぼしているとは思われない。

## 5 結語

地熱地帯における熱水変質鉱物の地下における分布状態はこれが生成に関与する熱水の動向をも暗示しているであろう。この観点から八丁原地熱地帯の地下岩石中に多量に見出される硬石膏について溶解度が温度の上昇によって減少する性質から熱水の動向を追跡した結果、次のように推察した。

八丁原地熱地帯では浅層で生成された硫酸酸性熱水が深層へと滲透流下する途中、浅層の低温で酸性条件下にある地層では明礬石の生成によって硫酸イオンは消費され減少して行くと共に酸度は低下する。深部に行くにしたがって地温が上昇し、石膏、硬石膏の溶解度が低下して遂に熱水の濃度が溶解度以上になればここから沈積が始まり、硬石膏の溶解度は温度の上昇と共に減少するので沈積は地温の上昇と共に継続されるが、高温での溶解度は著しく小さくなるので温度の変化による溶解度差も小さくなり沈積量は減少して行くと共に、熱水中のカルシウムイオンや硫酸イオンの含有量は減少して酸性から中性、アルカリ性へと変化する。

一方岩石中のクロールは岩石の変質によって溶出され易い状態になり、熱水中に溶脱されこれに伴い岩石中のアルカリ金属が溶脱され硫酸塩型熱水から食塩型の熱水へと変質して行き、アルカリ性食

塩型の深部高温熱水が生成されたと推察される。

終りに本研究に資料を提供された九電総合研究所並に大岳調査所の諸氏に厚く感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 山下幸三郎：九重火山地域における温泉の水系（Ⅲ）、大分県温泉調査研究会報告、22、1971
- 2) 志賀史光、小石哲史：くじゅう火山の温泉群(3) 全 上 19、1968
- 3) Landolt-Bornstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, Band 2, Teil 2, 1962
- 4) Marshall, W.L.,R. Slusher, and E.V.Jones: Aqueous systems at high temperature. XIV. J.Chem. and Eng. Data,187-191, 1964
- 5) Dickson, F.W,C.W.Blount, and G. Tunell: Use of hydrothermal solution equipment to determine the solubility of anhydrite in water from 100°C to 275°C and from 1bar to 1000 bars pressrue: Am. J.Sci.261,61-78,1963
- 6) 5)に同じ
- 7) 4)に同じ
- 8) 3)に同じ
- 9) Ellis, A. J: The solubility of calcite in carbon dioxide solutions, Am. J.Sci.257,354-365,1959b
- 10) 1)に同じ

# くじょう火山の温泉群 (8)

## 九重涌蓋山周辺の温泉群中の重金属 と筋湯川水系のひ素含量

大分大学教育学部

志 賀 史 光  
川 野 田 実 夫  
広 田 寧 孝

### 1 まえがき

筆者らはさきに九重町湯坪、田野および町田地区温泉群中の重金属含量について報告したが、今回は大岳、八丁原地区を再調査すると共に九重涌蓋山周辺の温泉群中、熊本県側の黒川温泉、田原温泉、岳の湯沸騰泉および北里温泉等についてもその重金属含量を調査することにした。

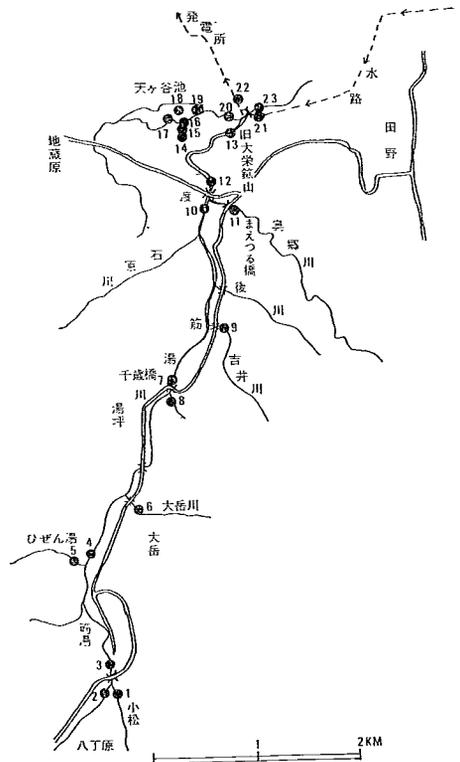
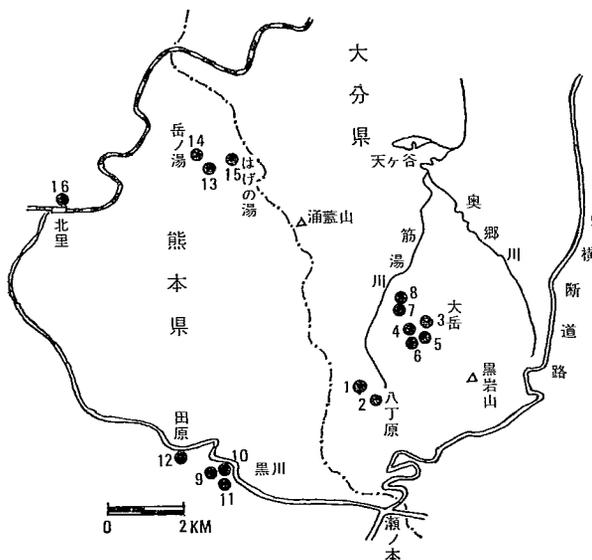
また筆者らは本会報告第22号（昭和45年度）において大岳、八丁原地区にある地熱発電井の噴気随熱水中にひ素が高濃度に含まれていることを指摘したが、その後昭和46年12月に出された環境庁告示第59号に、水質汚濁に係わる環境基準として公共用水域中のひ素含量は 0.05ppm 以下と定められた。よって今回あらためてこの地区の熱水について再調査を行なうと共に、それが筋湯川におよぼしている影響を調査することにした。

図2 筋湯川水系採水点

### 2 採水状況

調査温泉の位置を図1に、筋湯川水系の採水点を図2に示した。

図1 調査温泉採水点略図



調査期日 温泉 昭和47年11月9日  
 昭和48年3月5日  
 筋湯川水系 昭和47年12月19日  
 昭和48年3月5日

筋湯川水系の採水点のうち、№2小松Bは八丁原熱水の影響を受けない最上流の採水点で、№4筋湯温泉下Aは小松地獄からの川水と筋湯地区に給湯した八丁原熱水等の流入する地点である。№11 まえつる橋は支川奥郷川の採水点で、この上流の大將軍谷にはいくつかの炭酸を含んだ石こう型の温泉が湧出している。№13の採水点には白鉄鉱を採取していた旧大栄鉱山の抗内水が少量ではあるが流入している。№14～19は天ヶ谷貯水池の採水点で、この池は地蔵原の流水をせきとめたものであるが、現在これに大岳の熱水の一部が流入している。この天ヶ谷の水と筋湯川の水と水路によって導かれてきた №21 鳴子川の水（2号蓋渠）とが一緒になって №22 7号開渠を通して野上の発電所にひかれている。

### 3 分析方法と結果

分析方法は本会報告第22号と同じ。

分析結果

温泉の分析結果を表1(84頁)に、筋湯川水系等の分析結果を表2(85頁)に記した。表1、2中の番号は図12中の番号と同じである。

### 4 調査温泉中の重金属

調査温泉および他の地域の温泉中の重金属の平均含量を表3に示す。

表3 重金属の地域別平均含量 ppm

		Fe	Mn	Zn	cu	Pb	Cd	As
涌蓋山 周辺 温泉	八丁原熱水	0.29	0.40	0.008	0.007	0.006	0.000	3.2
	大岳熱水	0.045	0.18	0.005	0.002	0.004	0.000	2.4
	黒川温泉	0.27	4.72	0.012	0.003	0.003	0.000	0.54
	岳ノ湯、北里温泉	0.30	0.38	0.007	0.002	0.006	0.000	0.08
	筋湯温泉 1)	2.37	0.15	0.031	0.003	0.012	0.000	0.17
	釜ノ口温泉 2)	7.41	0.63	0.015	0.010	0.013	0.000	0.13
	町田地区温泉 3)	0.044	0.06	0.014	0.005	0.012	0.000	0.09
別府温泉平均 3)		1.64	1.1	0.31	0.01	—	—	0.22
本邦温泉平均 4)		311	2.3	0.90	0.80	—	—	0.34

1) 本会本報22号、2) 本会報告23号、3) 古賀昭人：温泉科学、10.2 (1959)

4) 岩崎岩次：火山科学 (1970)

調査温泉中の重金属類の平均含量は別府温泉や本邦温泉の平均値にくらべると一般に小さく、特に亜鉛や銅の含量が小さく、カドミウムはいずれの温泉においても検出されなかった。

一方八丁原、大岳熱水中のひ素と黒川温泉のマンガンとは他の温泉にくらべて高い値を示している。八丁原、大岳にみられるようにこの地域の塩素量の多い高温熱水はひ素を多く含み鉄を僅かしか含んでいないが、筋湯温泉、釜の口温泉のように酸性もしくは炭酸成分を多く含む温泉は鉄を多く含有しているがひ素含量は高くなく、別府温泉の平均値よりも下まわっている。マンガンは黒川温泉のように硫酸根の多い温泉に多く含まれる傾向を示しており、このことは前報でのべた長者原周辺の温泉群と同様である。

表1 調査温泉中の重金屬と主要化学成分含量 単位ppm

順	番 号・泉 名	泉温℃	pH	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	採水日
1	丸亀 八丁原 3号井	96.0	5.10	0.37	0.50	0.008	0.008	0.008	0.000	3.3	1180	230	7.6	0.7	2091	67.0	1.7	832	S48. 3.5
2	" 6号井	96.5	6.80	0.21	0.30	0.009	0.005	0.004	0.000	3.0	1420	274	10.4	0.4	2362	76.5	9.1	916	"
3	" 大岳 7号井	95.4	8.60	0.09	0.20	0.004	0.003	0.003	0.000	2.3	920	107	15.8	0.1	1358	175.0	70.5	490	"
4	" 8号井	91.0	8.68	0.03	0.16	0.004	0.002	0.003	0.000	2.1	800	102	21.2	0.1	1209	223.0	59.5	650	"
5	" 9号井	95.0	8.79	0.03	0.20	0.004	0.002	0.004	0.000	2.2	900	116	13.9	0.2	1374	150.0	58.8	580	"
6	" 10号井	96.5	8.94	0.04	0.18	0.003	0.002	0.003	0.000	3.0	1050	129	17.6	0.1	1623	120.0	77.7	582	"
7	" 滞留槽	89.0	8.80	0.04	0.16	0.008	0.002	0.004	0.000	2.2	970	120	16.2	0.1	1462	158.0	64.7	600	"
8	" 還元井	87.5	8.45	0.04	0.20	0.007	0.003	0.004	0.000	2.5	1050	157	13.6	0.3	1683	120.0	44.2	596	"
9	黒川温泉 地藏湯	74.5	3.32	0.34	4.72	0.009	0.005	0.001	0.000	0.620	330	79	42.0	9.4	449	331.0	0.00	91	S47.11.9
10	" 共同湯	83.0	3.12	0.17	4.60	0.017	0.002	0.006	0.000	0.640	330	78	40.5	9.3	435	331.0	0.00	84	"
11	" 湯本	88.4	3.15	0.30	4.86	0.011	0.002	0.002	0.000	0.370	365	82	41.5	9.5	457	325.0	0.00	100	"
12	田原温泉 共同湯	60.2	6.84	0.26	1.20	0.005	0.002	0.002	0.000	0.060	250	65	45.5	31.0	233	253.0	333.4	149	"
13	岳ノ湯、通産省調査井	96.7	8.30	0.12	0.00	0.006	0.002	0.013	0.000	0.290	900	117	14.0	0.1	1328	80.0	56.2	377	"
14	" 熊本県企業局井	89.8	9.30	0.04	0.00	0.008	0.002	0.004	0.000	0.030	210	12	1.5	0.1	37.1	62.5	412.1	238	"
15	はげの湯	77.0	6.65	1.00	1.00	0.006	0.003	0.003	0.000	0.029	35	18	93.0	9.6	4.5	62.0	370.8	98	"
16	北里温泉 似留湯	36.8	5.71	0.05	0.50	0.006	0.002	0.005	0.000	0.000	80	12	87.0	0.2	37.2	330.0	53.4	79	"

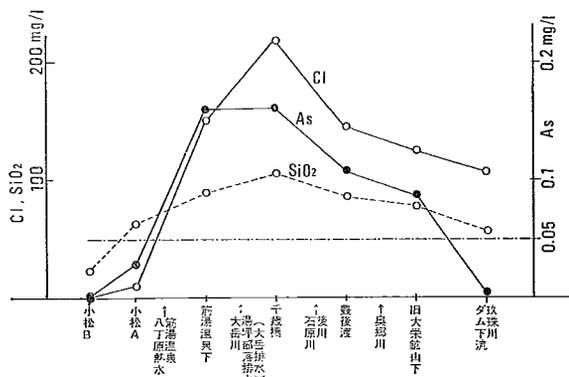
表2 筋湯川(玖珠川上流)水系の重金屬と主要化学成分含量 単位ppm 昭和48年3月5日採水

順	番号・調査地点	水温℃	pH	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Pb	As	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	採水日
1	筋湯川小松 A	4.5	5.25	0.74	0.30	0.014	0.002	0.004	0.000	0.028	35.5	7.7	5.8	1.0	9.7	35.5	1.6	62.5	
2	" B	6.0	7.11	0.03	0.10	0.008	0.004	0.004	0.000	0.000	4.5	1.2	2.0	0.7	2.0	3.8	10.2	22.8	
3	" C	12.2	5.92	0.77	0.26	0.028	0.003	0.004	0.000	0.044	44.0	9.6	5.4	1.9	—	29.0	2.3	62.0	
4	" 筋湯温泉下 A	11.0	6.85	2.25	0.30	0.020	0.004	0.004	0.000	0.160	98.0	16.8	5.3	1.5	150	25.7	9.1	89.0	
5	" B	6.2	6.62	0.25	0.12	0.009	0.002	tr.	0.000	0.000	3.3	1.2	3.9	1.3	2.4	18.2	6.7	33.5	
6	" 支川大岳川	9.5	7.21	0.58	0.20	0.014	0.002	0.004	0.000	0.012	25.2	5.5	5.2	1.5	45.0	18.5	10.4	56.5	
7	" 干歳橋	11.0	7.22	0.55	0.20	0.008	0.001	0.002	0.000	0.160	135.0	21.2	7.1	2.0	218	34.0	13.6	105.0	
8	" 支川湯坪小川	9.0	7.40	0.10	0.20	0.005	0.001	tr.	0.000	0.044	26.0	5.5	5.0	1.5	56.0	7.6	29.2	54.0	
9	" 支川吉井川	8.3	7.35	0.14	0.10	0.005	0.001	tr.	0.000	0.000	5.3	3.0	6.7	2.9	6.5	10.0	30.4	47.5	
10	" 豊後渡上	12.8	7.28	0.32	0.18	0.007	0.001	0.004	0.000	0.108	82.0	14.2	9.4	3.5	145	26.4	50.7	86.0	
11	" 支川奥郷川まえつる橋	8.5	7.80	0.36	0.30	0.006	0.002	0.004	0.000	0.000	16.5	2.3	55.6	23.2	46.0	86.0	44.8	53.0	
12	" 豊後渡下	11.0	7.30	0.36	0.14	0.008	0.002	0.004	0.000	0.088	66.0	13.4	13.2	5.4	125	39.8	40.4	79.0	
13	" 旧大架鉾山下	9.0	7.15	2.04	0.20	0.013	0.004	0.004	0.000	0.088	67.5	15.0	13.7	5.5	124	49.2	32.5	76.8	
14	天ヶ谷池、大岳排水流入口	73.0	8.35	0.09	0.30	—	—	—	0.000	2.7	1070	166	13.2	0.3	1677	132	44.0	658	
15	" A	52.0	8.30	0.17	0.30	0.004	0.002	0.003	0.000	1.7	940	138	13.4	0.4	1533	129	41.9	620	
16	" B	10.0	7.82	0.44	0.18	—	—	—	0.000	0.330	195	31.5	5.8	1.1	327	25.0	27.9	166	
17	" C	20.0	7.82	0.41	0.26	0.006	0.001	0.003	0.000	0.240	430	27.0	8.6	0.9	350	30.4	27.7	170	
18	" D	9.0	7.70	0.40	0.16	0.007	0.003	0.002	0.000	0.300	165	24.0	5.4	1.1	286	22.0	27.2	155	
19	" E	9.0	7.70	0.42	0.12	0.005	0.003	0.003	0.000	0.224	165	25.0	5.6	1.1	275	23.6	26.9	255	
20	天ヶ谷排水路	8.0	7.55	0.41	0.18	0.007	0.002	0.004	0.000	0.212	168	25.0	6.0	1.1	286	23.8	27.2	92.6	
21	天ヶ谷下第2号蓋渠	6.5	7.50	0.45	0.40	0.007	0.001	0.003	0.000	0.000	15.5	3.6	22.6	10.3	43.0	72.0	51.7	30.0	
22	" 第7号開渠	9.6	7.15	1.46	0.12	0.010	0.003	0.002	0.000	0.124	96.0	18.5	11.6	4.3	165	41.4	31.3	79.6	
23	" 玖珠川	9.0	7.35	0.13	0.30	0.006	0.001	0.004	0.000	0.004	23.5	6.8	24.4	10.0	107	12.3	52.0	56.0	

### 5 筋湯川水系および天ヶ谷貯水池のひ素含量

調査時における八丁原、大岳地区から排出される熱水の量は、八丁原のテストボーリング井から240トン/時、大岳の地熱発電所から430トン/時で、合計670トン/時である。このうち350~400トンは筋湯温泉と湯坪部落に送られ浴用その他に使われており、70~80トンは天ヶ谷貯水池に送られ、のこりの230トンは還元井に送られ、圧入して地下に還元している。筋湯温泉と湯坪部落に送られた熱水は浴用等に利用されたのちは筋湯川に放出され、同川の塩素、ひ素、けい酸等の濃度を高める。この

図3 筋湯川におけるCl、SiO<sub>2</sub>およびAsの変動  
(1973.3.5調査)

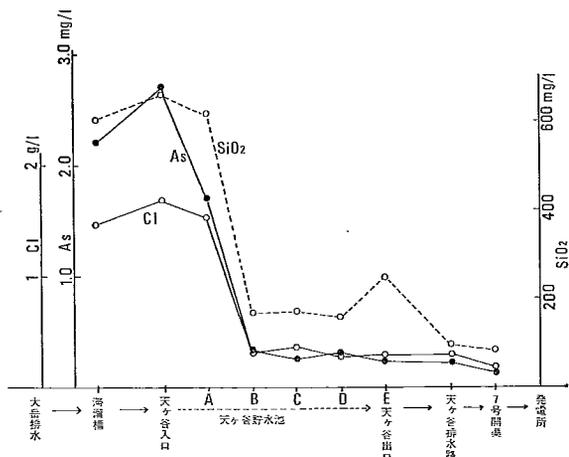


模様を図るに示した。これらの成分のうち特に環境汚染の点から問題になるのはひ素の濃度である。このひ素濃度は筋湯温泉が放出されることから急激に高まり、筋湯温泉下では0.16ppmを示し、河川的环境基準0.05ppmの3.2倍になる。筋湯温泉自体も持っているひ素量は表るに示しているように平均して0.17ppmであるから、この地点における高濃度は八丁原熱水の流入によって引き起されたものといえる。これより下流では、途中で石原川、後川、奥郷川等の流入によって希釈され、その含量は漸次低下するが、最下流の旧大栄鉱山の下に

あるダムのところでもなお0.09ppmで、環境基準を大きく上まわっている。このように筋湯川全域が地熱発電関係の熱水中に含まれるひ素によって汚染されていることが今回の調査であきらかになったが、このことは農作物への影響のみならず人の健康にもかかわる問題をひき起こすおそれがあるので関係当局で一日も早く対策を構じられることを希望する。

天ヶ谷の貯水地に送られる部分については図4に示した。大岳の滞留槽を出た熱水中のひ素は最初2.2ppmであったのが途中で蒸発濃縮されて天ヶ谷入口では2.7ppmと更に高濃度になるが、天ヶ谷の貯水池に入ると希釈されて急速に低下する。各成分の低下の割合は天ヶ谷の入口と天ヶ谷B点とをくらべた場合、塩素は約1/6、けい酸は1/4、ひ素は1/9になっている。そして最後は筋湯川、鳴子川(2号蓋渠)等の水を集めて7号開渠を通過して野上の発電所に送られている。この7号開渠では塩素は約1/10、けい酸は1/8、ひ素は1/22と更に低下している。このようにひ素の低下率は他の成分よりも大きく、ダムによる水質浄化の効果がみられるけれども、反面その分だけ池底に沈降堆積していることになり、底質のひ素汚染が進んでいることを意味する。

図4 天ヶ谷におけるCl、SiO<sub>2</sub>およびAs量の低下  
(1973.3.5調査)



なり、底質のひ素汚染が進んでいることを意味する。

## 6 結 言

今回、九重涌蓋山周辺の温泉についてその重金属含量を調査したが、いずれの温泉についてもその含量は別府温泉や本邦温泉の平均にくらべて極めて少なく、カドミウムはすべての温泉において検出されなかった。ただし、黒川温泉は長者原周辺の温泉と同様にマンガン含量が高く、前回のべたように硫酸根の多い温泉に多く含まれる傾向がみられる。

大岳、八丁原熱水中のひ素は前回（昭和45年度）の調査で平均 2.5ppm であったが、今回も八丁原3.2ppm、大岳 2.4ppm で相変わらず高濃度である。このひ素によって筋湯川全域が環境基準の0.05 ppmを大きく上まわっており、ひ素汚染による農作物、人の健康等について社会問題をひき起すおそれがあるので早急な対策が望まれる。また天ヶ谷の貯水池に入った場合、ひ素の低下率は他の成分よりも大きく、ダムによる水質浄化がうかがわれるが、それでもなおダムの出口で0.2ppmを示しており、環境基準の5倍の値である。九州電力大岳発電所においては、目下このひ素の除去について方策を構じつつあるとのことであるが、一日も早くこの問題を解決されることを切望する。

## 文 献

- 1) 志賀史光、川野田実夫：大分県温泉調査研究会報告、第22号、1971
- 2) 志賀史光、川野田実夫：大分県温泉調査研究会報告、第23号、1972

# 地熱発電熱水の河川に対する影響調査

大分県公害衛生センター

溝 口 昇  
 藤 野 卓 見  
 矢 野 行 雄  
 (業務温泉課)

## 1 緒 言

九電町大岳地区において、九電大岳発電所がその附近の豊富な温泉噴気を利用して、我国ではまだ珍しい地熱発電の方式により1万kwの規模で昭和42年10月より運転を開始した。なおこれより南約2.5kmの八丁原地区に出力5kwの地熱発電所が昭和48年6月着工、昭和50年7月運転開始の予定で、すでに数本の試掘井が湧出している。

これら地熱発電に利用される噴気は、多量の温泉熱水をとまっており、この熱水は一部を地元部落および筋湯温泉へ配湯し、残りを地蔵原貯水池に排湯していた。しかしこの熱水量があまりにも多く、また事業の拡大にともない更に増加が見込まれるため、湧出熱水を地下の熱水貯溜層へもどすための還元井を計画し、47年夏より230t/Hの還元を開始した。なお今後の計画では余剰熱水は全て原則として還元されることになっている。

地熱発電所開設当時より、その熱水の成分が食塩泉であり、クロールイオンとして2,000mgをこえる量を含み、またホウ酸100mg以上Asも数ppm程度含有することが、衛研および九大温研等の過去の分析データよりわかっていた。当時においては還元井もなく、その熱水の動向が明らかでなかったため、その熱水による環境水域に対する影響が心配された。

昭和45年、当時の県業務温泉課よりこの問題に対する協議があり、同年末第1回調査を合同で行った。その調査は熱水の流入の予想される筋湯川とその合流する玖珠川上流および地蔵原貯水池について行なったが、Cl<sup>-</sup> HBO<sub>2</sub>について貯水池で異常に高い数値を検出した他、筋湯温泉下流の相当広い範囲にわたり影響を認めた。その後46年8月第2回調査を行ない、同様の結果を得たが、たまたま47年に温泉調査研究会の事業として認められることになったので、その調査地点および調査項目を拡大し、47年9月、48年1月、48年3月の3回にわたり調査を行なったので、その調査の概況を報告する。

## 2 調査結果

(1)熱水のゆう出状況およびその動向(九電大岳発電所よりの聞取り調査による)別表Iのとおりである。

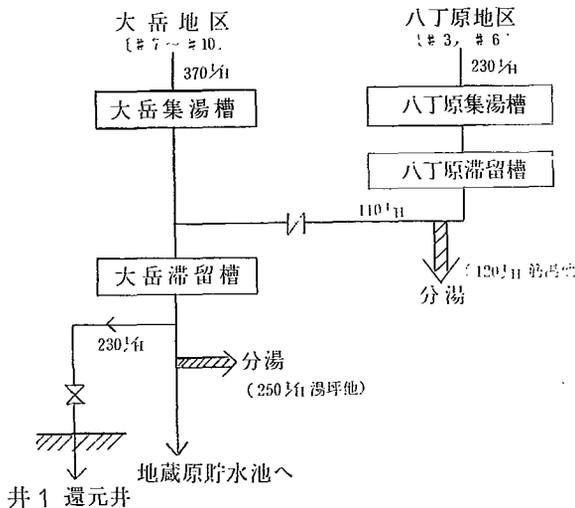
別表I 熱水のゆう出状況およびその動向

調査年月日	大 岳		八 丁 原		備 考
	蒸気井 $\mu$	熱水量	蒸気井 $\mu$	熱水量	
45.12.9	7号井	60t/H	1号井	約100t/H	八丁原200t/Hのうち50t/Hは筋湯に配湯残り150t/Hは大岳の滞留槽に送湯 地蔵原貯水池の排水量については特に変動はない
	8	28	3	〳100t/H	
	9	126	2、4	停止	
	10	163			

46. 9. 26	7 8 9 10	40 30 110 175	3 6 1、2、4	117 約80 停止	大岳の熱水は湯坪部落をはじめ保養所等に配湯（ゆ う出量の約20～30%）し、その他は従前どおり地蔵 原貯水池に流している。 八丁原197t/Hのうち約50t/Hは筋湯に配湯、残りは 大岳の滞留槽に送湯
47. 9. 27	7 8 9 10	58.2 40.0 134.4 161.8	3 6 1、2、4、5	140 92 停止	熱水総ゆう出熱水量626.4t/H 還元230t/H 湯の坪地区へ分湯約150t/H 筋湯温泉旅館へ分湯約150t/H 地蔵原貯水池へ排湯96.4t/H 但し還元井の検査のため27、28日朝まで熱水の還元 は中止し、貯水池に排水していた。（検査当日）
48. 1. 19	7、8、9、10	計360t/H	3、6	計 240	熱水総ゆう出量600t/H 筋湯へ120t/H 湯坪へ分湯250 t（うち貯水池へ約 70t/H放流）還元230t/H
48. 3. 15	7、8、9、10	計370t/H	3、6	計230t/H	熱水総ゆう出量600t/H 筋湯へ分湯120t/H 湯坪へ分湯250t/H 還元1号180t/H 2号50t/H 計230t/H 還元1号（従来のもの）は3月13日より呑みこみが 鈍くなったので還元井2号（蒸気井の目的で掘きく したがゆう出しなかったため還元井として認めたも の）を15日より使用している。

なお48年1月における熱水の動向を図Iに示した。

図1 熱水系統図



同時点における熱水収支と八丁原工期完  
成時の計画を別表IIにまとめた。

別表II

時 点	熱水産出量		還 元 量		分湯量	
	項目	t/H	項目	t/H	項目	t/H
現 在	大岳生産井 井7～井10	370	大岳還元井 (井1)	230	湯坪他	250
	八丁原生産井 井3井6	230	—	—	筋湯他	120
	計	600	計	230	計	370
計 画	大岳生産井 井7～井11	500	大岳還元井 井1 井2	500	湯坪他	115
	八丁原生産井 井1～井10	1000	八丁原還元井 井1井2井3	900	筋湯他	40
	計	1500	計	1400	計	155

(2)還元井の理論と構造

熱水還元の原理と構造を簡略に示すと図2、図3のようである。

図2 熱水還元の原理

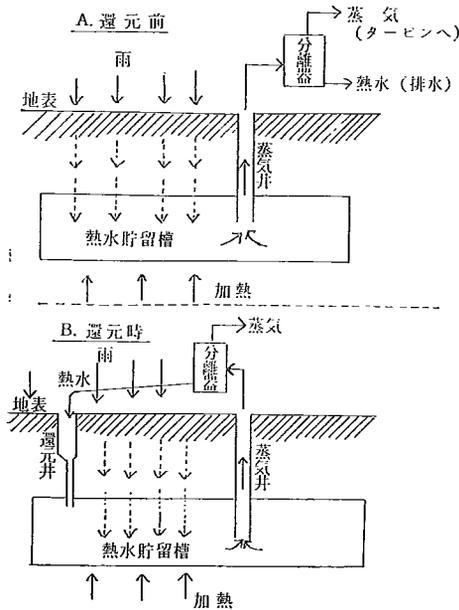
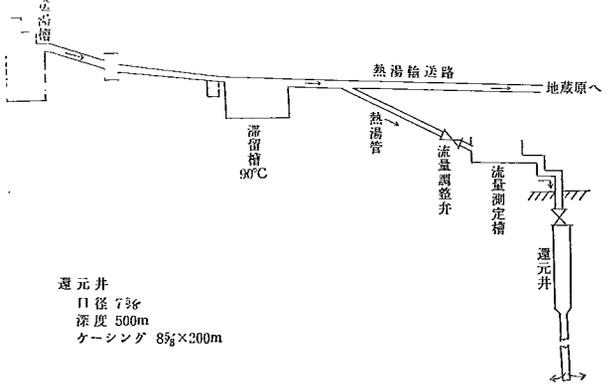


図3 還元井配管系統図



(3)分析結果

各時点の分析結果を別表Ⅱ～Ⅴに示す。調査地点は次のとおりである。

表Ⅱ 地熱発電影響調査

第 1 回 調 査 S45年12月9日 (晴)							
地点 No.	時 刻	気 温 ℃	水 温 ℃	pH	Cl <sup>-</sup> ppm	HBO <sub>2</sub> ppm	電 導 度 μ(C)/cm (20℃)
1	11.50	1.8	7.2	7.30	4.9	(—)	52.2
2	13.10	2.0	12.2	7.20	98.4	8.6	383
3	13.50	2.0	11.5	7.12	105.0	15.0	408
4	14.30	3.5	11.0	7.70	643.8	49.4	1000以上
5	14.50	3.5	—	7.15	90.8	6.4	442
7	15.30	6.0	9.2	7.50	64.4	4.3	346
8	15.35	6.0	9.5	7.78	5.9	(—)	68.2
第 2 回 調 査 S46年8月26日 (晴)							
1	11.45	24.1	15.5	7.2	6.0	(—)	63.4
2	13.00	24.8	20.2	7.1	52.3	3.1	229
3	13.30	27.8	21.4	7.1	50.4	1.6	223
4	14.15	26.8	29.8	7.7	496.4	34.3	1000以上
5	14.30	26.8	21.5	7.0	52.3	1.6	248
7	15.30	26.5	20.7	7.4	7.1	(—)	50.0
8	15.20	26.5	20.7	7.4	6.0	(—)	62.4
9	16.10	25.5	20.6	7.2	23.5	(—)	173

備考 源泉、八丁原1号泉 (分析45.1.28)  
 泉質 含ヒ素・ホウ酸一弱食塩泉  
 pH8.2 蒸発残留物5400mg/kg  
 Cl<sup>-</sup>2309mg/kg HBO<sub>2</sub>146.4mg/kg  
 筋湯 附近の温泉 (分析32年5月)  
 泉質 単純温泉 (食塩系)  
 pH3.3~3.6 蒸発残留物600~900mg/kg  
 Cl<sup>-</sup>200~300mg/kg HBO<sub>2</sub>15~20mg/kg

別表Ⅲ 地熱発電影響調査 (第3回) S47年9月27~28日(曇)

地点 No.	採水日時 日 時 分	気温 ℃	水温 ℃	透明度	pH 現地(試験室)	導電率 μS/cm(20℃)	Cl <sup>-</sup> ppm	HBO <sub>2</sub> ppm	As ppm	F <sup>-</sup> ppm	総硬度 (CaCO <sub>3</sub> ) ppm	COD ppm	BOD ppm	DO ppm (酸素飽和%)	SiO <sub>2</sub> ppm (溶性)
1	28. 9.45	15.0	12.6	30以上	7.1 (7.50)	62.2	2.8	0.	0.002	0.03	18.2	0.11	0.0	8.85 (86.0)	38.0
2	27.17.15	12.8	17.6	〃	7.1 (7.06)	402.5	84.4	6.0	0.094	0.27	22.6	0.19	0.45	8.11 (87.6)	73.2
3	〃 16.30	15.0	19.0	〃	7.1 (7.04)	426.5	88.3	4.6	0.089	0.25	24.2	0.37	0.26	8.01 (88.9)	69.6
4	〃 15.20	19.5	24.0	〃	7.6 (7.87)	1665.3	436.4	25.6	0.60	1.4	25.5	0.59	0.64	7.58 (92.1)	111.
5	〃 16.05	19.5	18.2	〃	6.9 (6.95)	94.5	72.2	4.6	0.065	0.14	38.3	0.11	0.0	7.64 (83.5)	65.6
6	〃 14.20	18.0	16.3	〃	7.6 (7.97)	229.0	20.9	1.2	0.006	0.01	64.0	0.32	0.0	9.10 (95.8)	54.0
7	〃 12.15	24.5	15.8	21	7.5 (7.60)	149.0	13.2	0.	0.010	0.03	36.8	0.51	0.21	9.36 (97.5)	49.6
8	〃 11.45	24.5	15.8	23	7.6 (7.75)	78.5	2.9	1.4	0.002	0.05	23.0	0.39	0.0	9.41 (98.0)	42.0
9	〃 13.45	25.0	16.2	25	7.4 (7.55)	286.5	31.4	1.8	0.018	0.14	67.5	0.30	0.0	8.85 (93.0)	55.2
10	〃 13.25	25.0	17.0	30以上	8.0 (8.34)	266.0	25.4	1.2	0.012	0.12	75.1	0.44	0.06	9.33 (99.6)	50.8
A	28. (熱湯)		56.0		(3.68)	1120	221.2	15.0	0.19	0.25	26.3	0.09	0.0		138.
B	27. (熱湯)		81.0		(8.26)	5840	1667	103.4	2.3	5.1	53.5	0.09	0.0		110.

別表Ⅳ 地熱発電影響調査 (第4回) S48年1月19日(晴……前日小雨)

地点 No.	採水日時 日 時 分	気温 ℃	水温 ℃	透明度	pH	導電率 μS/cm(20℃)	Cl <sup>-</sup> ppm	HBO <sub>2</sub> ppm	As ppm	F <sup>-</sup> ppm	総硬度 ppm (CaCO <sub>3</sub> )	SiO <sub>2</sub> ppm (溶性)
1	14.00	11.0	8.0	30以上	6.8	89.3	10.4	4.4	0.007	0.02	19.5	34.6
2	15.00	8.0	12.0	16.0	6.2	607.5	151.0	11.5	0.18	0.43	25.6	66.5
3	15.30	7.5	11.8	21.0	6.8	541.5	120.9	9.2	0.13	0.39	27.2	53.6
4	12.00	6.0	7.7	30以上	7.3	1050	292.7	18.5	0.58	0.96	25.3	73.5
5	12.30	6.0	13.0	〃	7.0	483.5	88.8	5.8	0.096	0.33	41.8	54.4
6	11.30	8.2	10.0	〃	7.8	292.0	43.3	2.5	0.016	0.18	65.2	42.6
7												
8	10.50	11.0	9.8	30以上	7.3	72.7	4.1	1.9	0.004	0.06	21.3	36.6
9	10.30	8.0	9.2	〃	7.2	331.0	52.6	5.8	0.040	0.21	69.6	45.0
10	10.10	8.0	9.2	〃	8.8	249.0	30.9	8.8	0.014	0.14	73.9	44.2

11	11.00	11.0	30以上	7.2	391.5	61.3	3.9	0.046	0.24	75.9	47.6
B	12.20	6.0	69.8	8.2	5480	1617	102.5	2.4	4.5	54.8	112
C	14.30	8.0	79.0	3.4	2800	697.7	42.7	0.60	0.72	54.8	157

別表V 地熱発電影響調査(第5回) S48年3月15日(晴)

地点 No	採水日時	気温 ℃	水温 ℃	透明度	pH	導電率 μv/cm(20℃)	Cl <sup>-</sup> ppm	HBO <sub>2</sub> ppm	As ppm	総硬度 ppm	SiO <sub>2</sub> (溶性) ppm	
1	13.10	9.0	9.2	30以上	7.0	71.80	5.8	2.2	0.009	18.0	38.0	
2'	13.45	10.0	20.9	12.0	6.4	1350	320.2	24.1	0.31	29.2	145	にごり
2	13.30	11.0	16.5	3.5	6.8	891.5	211.7	19.1	0.25	25.7	109	茶褐色
3	14.30	12.5	16.0	3.5	6.9	871.5	214.3	15.6	0.20	29.7	104	同上
4	15.30	8.2	11.0	30以上	7.4	1125	279.0	18.9	0.29	22.1	75.5	
4'	16.00	8.2	11.5	〃	7.6	1150	279.0	20.0	0.35	22.1	75.0	
4 II	17.00	12.0	15.2	〃	7.0	578.0	97.3	13.0	0.13	70.4	77.5	
4 II	17.20	6.0	12.5	〃	7.4	487.5	66.0	7.8	0.059	96.4	65.5	
5	14.50	12.2	16.3	〃	7.0	590.5	113.0	9.8	0.16	52.1	79.0	

- 地点No 場所
- 1 筋湯温泉大原源泉の約30m上流河川
  - 2 ひぜん湯前の河川
  - 2' せんしゃく湯前の河川
  - 3 河原湯温泉バス停前の河川
  - 4 地蔵原貯水池の発電送水口
  - 4' 4の対岸
  - 5 豊後渡橋の下
  - 6 鳴子川と湯坪川の合流点
  - 7 野上発電所より野上川に放水した下流
  - 8 放水地の上流
  - 9 中村 学校前
  - 10 町田川松平橋下
  - 11 野上発電所放水口
  - 4-I 発電所取水口 (図5参照)
  - 4-II 同上

- |       |                   |
|-------|-------------------|
| 地点No. | 場所                |
| A     | 筋湯温泉薬師湯源泉（自然ゆう出）  |
| B     | 地蔵原熱水放流口          |
| C     | 八丁原小松地獄堀さく泉（250m） |

図4 採水地点見取図

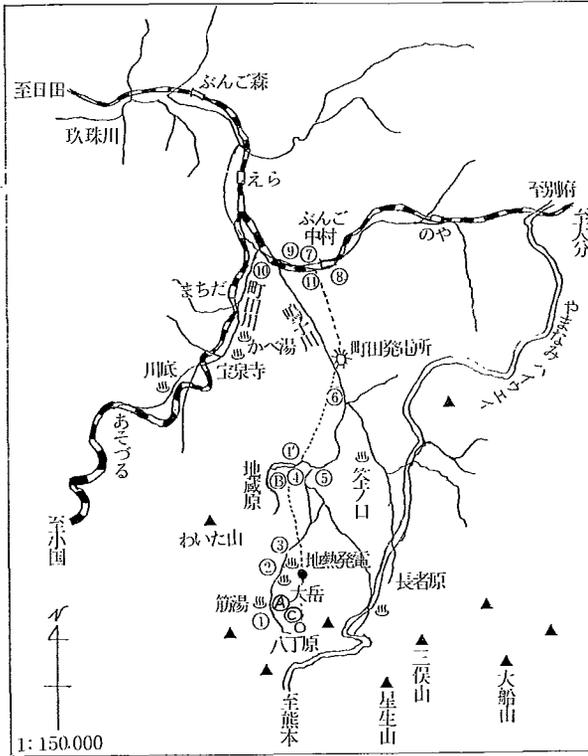
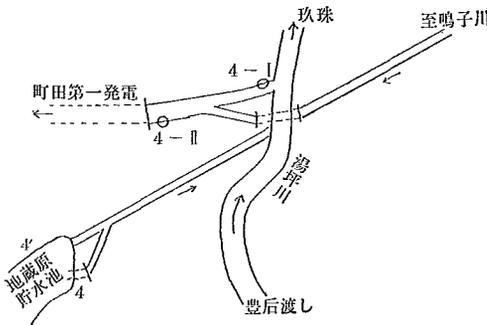


図5 発電所取水口見取図



として、薬師湯を、熱水は貯水池の流入口で測定したが、この成分を比較すると、薬師湯の成分はこの様な河川の水質変化を起し得ると思われず（特にF<sup>-</sup>では河川の値以下であった）発電用熱水の影響が最も大きいと推定された。ただ熱水には1000ppm程度のSiO<sub>2</sub>を予測していたのに放流熱水にはこの1/10量しか検出しなかった。これは滞留槽および距離の長い導湯管で沈澱を起すのか、又は我々の測定が総SiO<sub>2</sub>ではなく溶性SiO<sub>2</sub>の定量を行なったことによるのかは検討の余地がある。

なお最近九大温研で分析した熱水成分の分析書を表VI、VIIとして示す。

### 3 考察

初め2回の調査では、発電用熱水の主成分と見られるCl<sup>-</sup>、HBO<sub>2</sub>を中心にして調査を行なった。この調査で地蔵原貯水池に多量のCl<sup>-</sup>、HBO<sub>2</sub>を検出した。この検出値は、その後分析した流入熱水の成分から単純に計算して、熱水が約1/4に河水により稀釈された値と見ることが出来る。河水では筋湯温泉街の下流②地点で最高を示し、下流に行くに従って徐々に減少している。これは筋湯温泉街に分湯された熱水が河川に排水されることによるのであろうと予想されるが、しかし筋湯には従来より自然ゆう出の温泉も多く、又生活排水による汚染も考えられるので、この結果を全て発電熱水によるものと認めるには資料が不足していた。そこで、この調査が本温泉調査研究会の委託事業となった機会に、調査項目と範囲を拡大し、第3回以降の調査を行なった。

第3回調査では河川と比較して熱水中に含有する量の多いと予想されるAs、F、SiO<sub>2</sub>等を加え、またCOD、BOD、DO、等の有機物汚染の指標となる項目をあわせて調査した。これにより、COD、BODには全く問題はなく、生活排水汚染の影響は小さいことがわかった。DOより計算した酸素飽和率も下流になる程大きく、これは自然浄化機能がよく働いていることを示している。これに対してAs、F<sup>-</sup>はCl<sup>-</sup> HBO<sub>2</sub>と全く同様の傾向を示し、特にAsは環境基準の0.05ppmを各所で上まわり、貯水池においては排水基準（0.5ppm）を越す0.6ppmの値を示した。また附近の温泉の代表と

表VI 温泉分析書

現地試験 昭和48年2月2日

源泉 7、8、9、10号 (大岳滞留槽)

無色透明 微食塩味 無臭 泉温98°C 气温12°C

pH 現地8.2 試験室8.3 蒸発残留物4330mg/kg 比重1.0009 (20/4°)

CATION	mg	m.val	m.val%	ANION	mg	m.val	m.val%
K <sup>+</sup>	1177.8	4.548	8.66	Cl <sup>-</sup>	1673	47.18	88.32
Na <sup>+</sup>	1092	47.45	90.37	F <sup>-</sup>	4.045	0.213	0.40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.600	0.033	0.06	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	200.0	4.164	7.80
Ca <sup>2+</sup>	9.179	0.458	0.87	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.071	0.001	0.00
Mg <sup>2+</sup>	0.174	0.014	0.03	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.208	0.046	0.09
Fe <sup>2+</sup>	0.010	0.000	0.00	AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.094	0.001	0.00
Cu <sup>2+</sup>	0.019	0.001	0.00	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	70.52	0.156	2.16
Mn <sup>2+</sup>	0.008	0.003	0.01	HS <sup>-</sup>	1.494	0.045	0.08
Al <sup>3+</sup>	0.008	0.001	0.00	BO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	9.566	0.223	0.42
				HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	30.21	0.392	0.73
				SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.009	0.000	0.00
				OH <sup>-</sup>	0.027	0.002	0.00
Tota	1280	52.54	100.00	Total	1991	53.42	100.00

Total ION3271mg

FRE ACID	mg	m.mol	GAS	mg	m.mol
HAsO <sub>2</sub>	0.997	0.009	H <sub>2</sub> S	0.107	0.003
HBO <sub>2</sub>	102.8	2.346			
H <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	961.8	12.32			

溶存物質 4336mg 総量 4336mg

泉質 含ホウ酸食塩泉 分析 九大温研

表VII

現地試験 昭和48年2月2日

源泉 3号、6号 (八丁原滞留槽)

無色透明 微食塩味 微硫化水素臭 泉温98°C 气温10°C

pH 現地5.1 試験室6.05 蒸発残留物S460mg/kg 比重1.0017 (20/4°)

CATION	mg	m.val	m.val%	ANION	mg	m.val	m.val%
H <sup>+</sup>	0.001	0.001	0.00	Cl <sup>-</sup>	2249	63.43	96.28
K <sup>+</sup>	263.5	6.740	10.19	F <sup>-</sup>	4.862	0.256	0.39
Na <sup>+</sup>	1356	58.96	89.16	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	97.50	2.030	3.08
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.340	0.074	0.11	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.719	0.007	0.01
Ca <sup>2+</sup>	6.400	0.319	0.48	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.178	0.004	0.01
Mg <sup>2+</sup>	0.363	0.030	0.05	AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.003	0.000	0.00
Fe <sup>2+</sup>	0.044	0.002	0.00	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.322	0.136	0.21
Cu <sup>2+</sup>	0.019	0.001	0.00	HS <sup>-</sup>	0.310	0.009	0.01
Mn <sup>2+</sup>	0.193	0.007	0.01	BO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.100	0.002	0.00
Al <sup>3+</sup>	0.023	0.003	0.00	HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.331	0.004	0.01
Total	1628	96.14	100.00	Total	2361	65.88	100.00

TotalION 3989mg

FREE ACID	mg	m. mol	GAS	mg	m. mol
HAsO <sub>2</sub>	4.476	0.041	CO <sub>2</sub>	31.59	0.718
HBO <sub>2</sub>	137.0	3.126	H <sub>2</sub> S	2.809	0.082
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1341	17.17			

溶存物質 5467mg 総量 5501mg  
 泉質 含ホウ酸・食塩泉 分析 九大温研

この後第4回、第5回と調査を続けたが、これらの成分は当然のことではあるが河川の水量と大きな関係がある。今回は流量測定を行っていないので正確には云えないが、水量と影響を受ける成分量は反比例の関係にある。ただし、貯水池のみは水量には関係なく成分量は減少している。これは熱水の還元が行なわれるようになってから熱水流入量が少なくなったためである。

図6～10はブランク地点（熱水の影響の殆んどないと見られる地点①）および影響の最も大きい②～⑤地点の各成分の測定時別の濃度変化を示したものである。この成分変化のパターンをよく見ると硬度、SiO<sub>2</sub>を除き各成分共よく似た変化を示している。これは熱水の成分により河川水が影響を受けていることによると考えられるが、これを確かめるために縦軸にClppmを取り横軸に各成分量をとって座表を作ってみた。これが図11～図15である。これによるとSiO<sub>2</sub>、硬度を除き、はっきりした正の相関が認められる。これはブランクの①地点の水が熱水Bによって汚染してゆく状態をよく表わしていると思われる。SiO<sub>2</sub>と硬度は熱水そのものと河川水に大きな差がないので相関関係は認められない。

次に第5回の調査では汚染の最も進んでいる貯水池の水の動向について調査を行なった。最初は貯水池の水が単純に導水管により、町田第一、第二発電所を経て野上に至り玖珠川に放流されると考え

図6 熱水測定時別濃度変化（地点1）

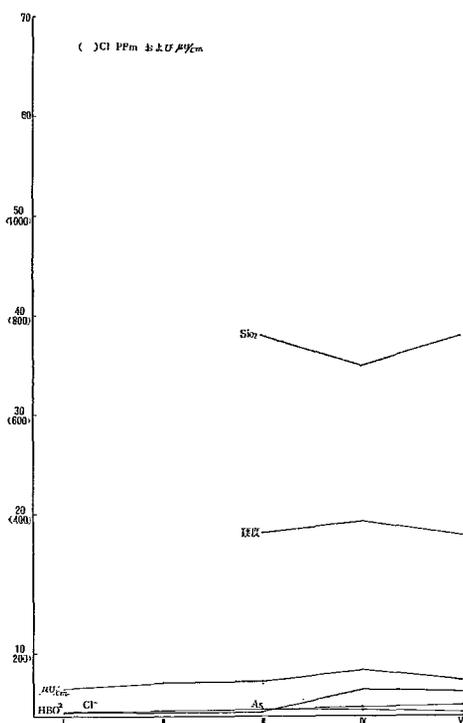


図7 熱水測定時別濃度変化（地点2）

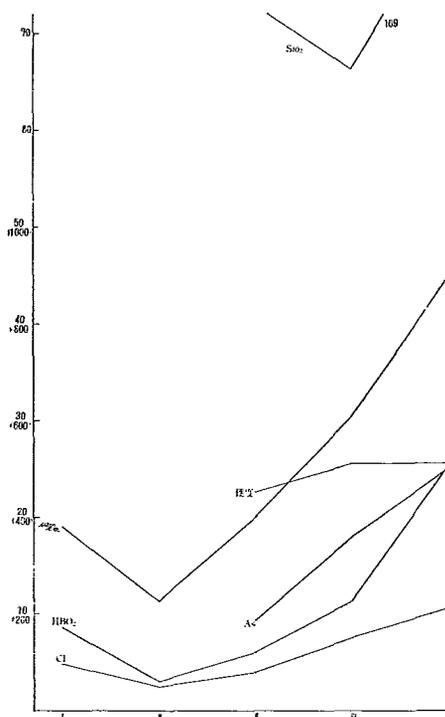


図8 測定特別濃度変化 (地点3)

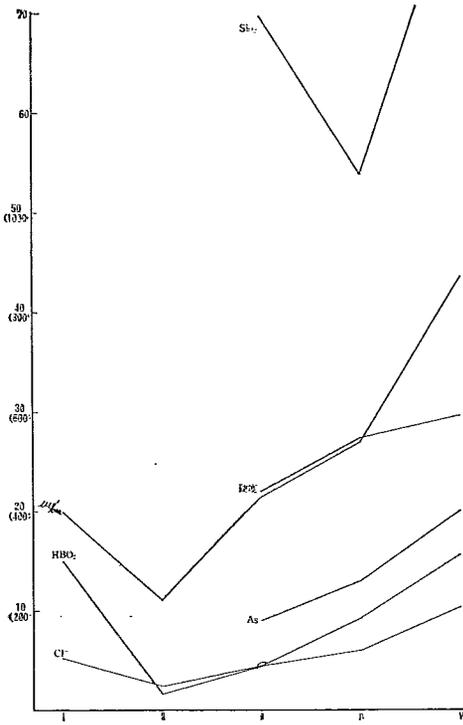


図9 測定特別濃度変化 (地点4)

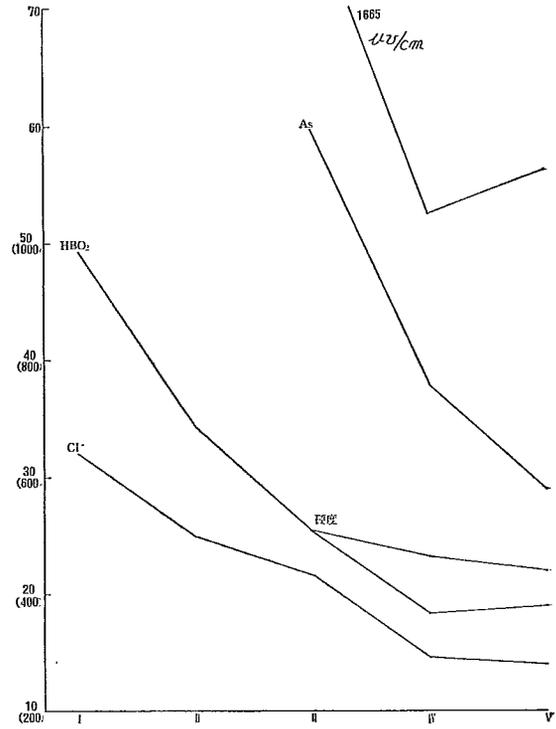
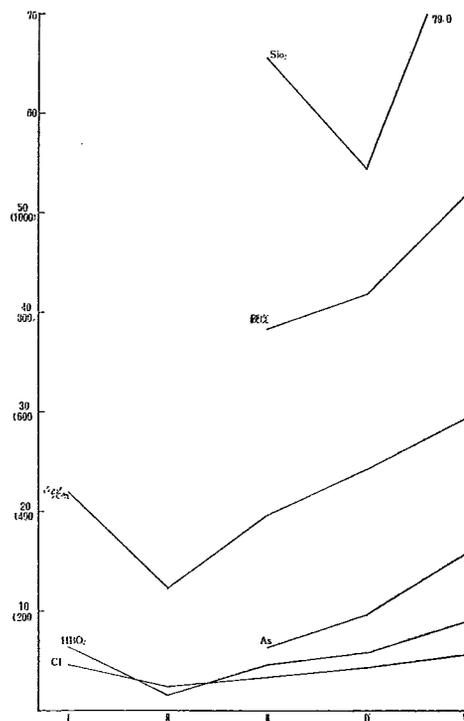


図10 測定特別濃度変化 (地点5)



(注) 調査月日

- I 45. 12. 9
- II 46. 8. 26
- III 47. 9. 27
- IV 48. 1. 19
- V 48. 3. 15

图11

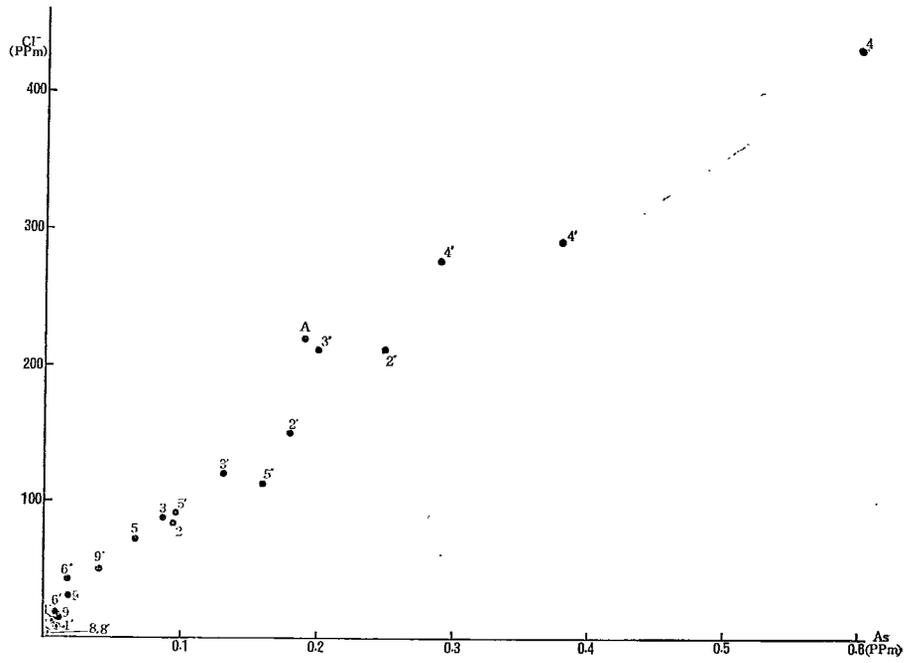


图12

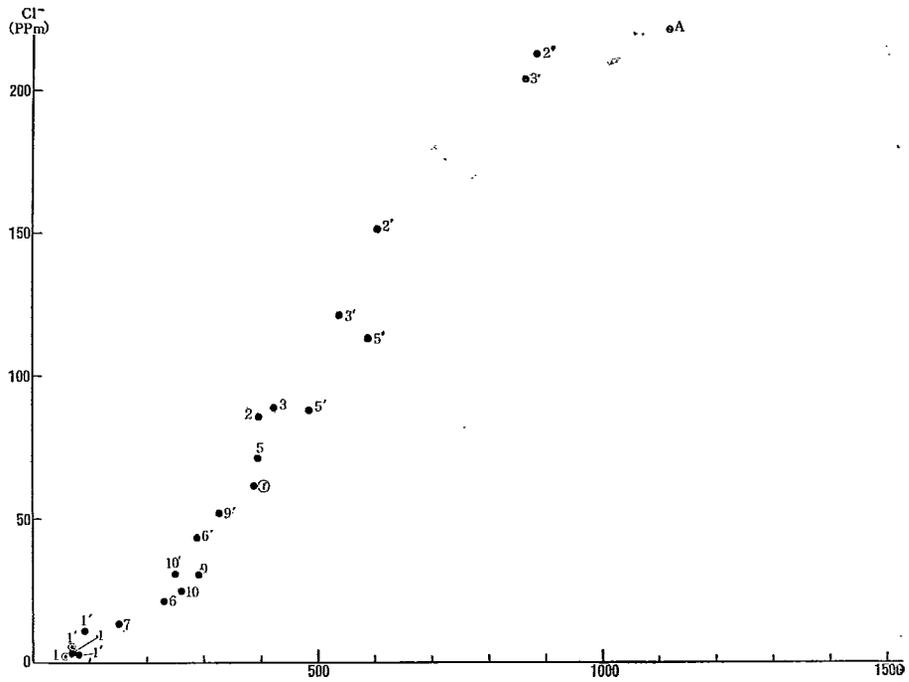


图13

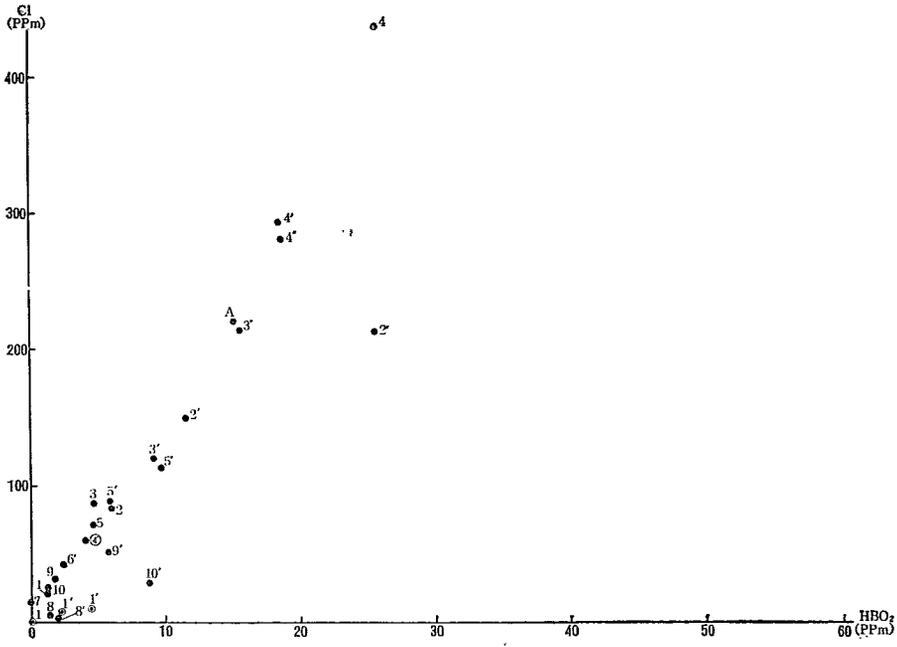
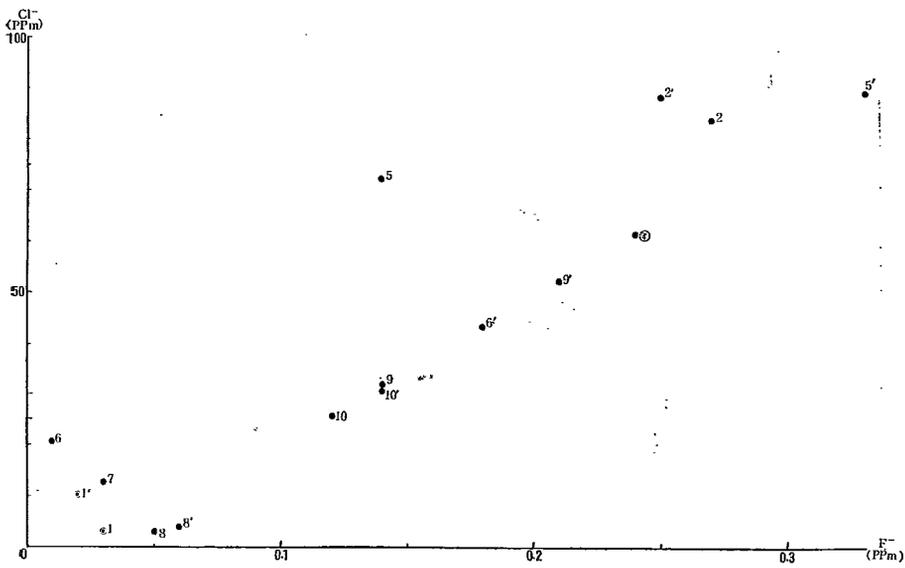
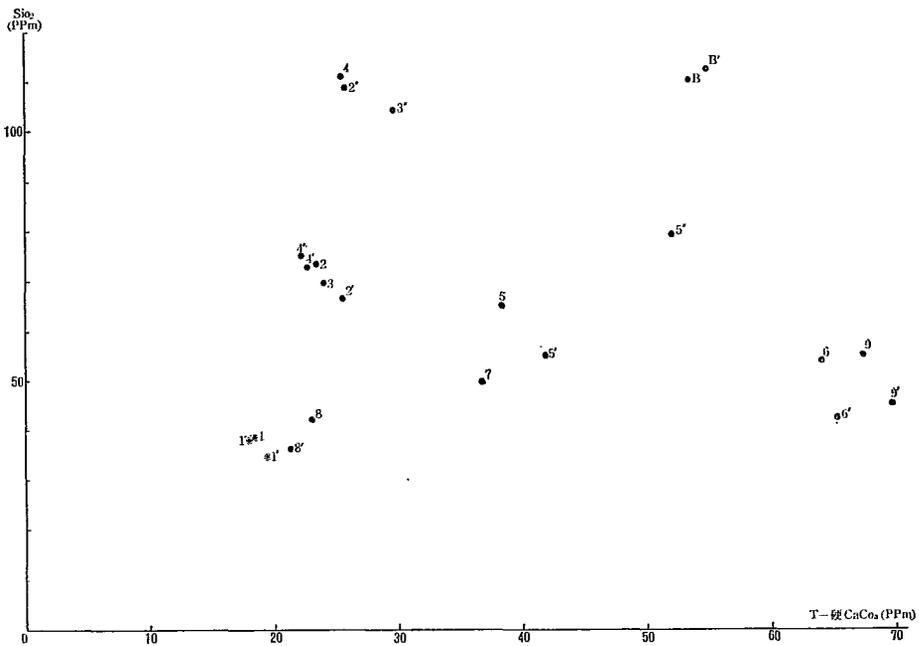


图14



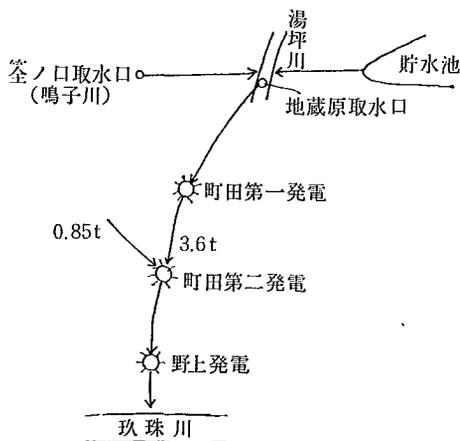
15図



ていたため、高濃度の As を含む貯水池の水が玖珠川本流を直接汚しているのではないかという心配が持たれた。それ故第 1 回調査時よりこの放水口附近の玖珠川本流の調査も定点に取り入れていた。調査の結果では影響はあるにしてもごくわずかであり問題にするにはたりないが、排水基準を越える量の As がもし排出されているとすれば行政上にも問題がある。このため第 4 回調査でこの排水口の水を調査したが（地点⑩）この値は排水基準の  $\frac{1}{10}$  に過ぎなかった。

第 5 回調査はこの排水の機構を知る目的で各発電所での水の採水を計画したが、丁度この日が一年度の導水管の清掃日ということで発電は全部中止していたためこの計画は実施に至らなかった。そのため発電所より貯水池の水の動向に対する聞きとり調査を行なった。これをまとめると図 16 のようである。

図 16 水の動向調査



これによると貯水池の水がかなり各所で稀釈されていることがわかる。また地蔵原取水口を実際に確認したのが前出の図 5 である。この取水口では、貯水池の水は 일단湯坪川に入り、これを再び取水してさらに釜ノ口よりの水と混合している。これにより発電用水は稀釈されるか逆に湯坪川は更に汚染を受ける結果になっている。

なおこの調査以外に第 3 回調査の直前、当時の公害局が休廃止鉱山総点検の一環として⑥地点近くの鉱山排水流入口の上、下流の水を採水し衛研公害部で分析した。この結果では鉱山下流よりもむしろ上流の方が As 値が高くこれは鉱山排水の影響は全く考えられず熱水によるものである。参考までにこの際の実験値を表 VIII として示す。

表Ⅷ 採水47.9.5～6（公害局）

	Cd	Pb	As	Cu	Zn	Fe
玖 珠 鉱 山 上 流	0.001以下	0.01 以下	0.054	0.011	0.05	0.11
〃 下 流	〃	〃	0.056	0.004	0.01以下	2.00

#### 4 まとめ

以上の調査結果を要約すると

- 1) 湯坪川（筋湯川）は発電熱水により熱水成分の影響を受けている。特に As についてはこのため環境基準をこえる場所が出ている。
- 2) 地蔵原貯水池の影響は特は大きく、第1回調査時点で排水基準をこえていた。ただし、この汚染度は熱水還元開始後漸減している。
- 3) 地蔵原取水口はその構造上、貯水池の水により湯坪川再汚染の危険がある。

これらの問題点の解決策としては、

- 1) 各温泉街、部落に対して行なわれている分湯量を最少限におさえる。——水圧、末端配湯等の点で問題がある。
- 2) 余剰熱水は全て還元処理を行なう。——発電所としてはその方向に進んでいる。
- 3) 熱水より As を除去する方法を開発する——九電においても研究中で「処理方法としては電解法と沈降法がある。現在沈降法で試験を実施しており除去の見通しはついた。従って実用規模の処理については計画中」とのことである。

今後の調査の課題としては

- 1) 測定点の定期的な監視調査
- 2) 湯坪川の現調査地点の下流がどの程度の範囲まで As 値に環境基準をこえる可能性があるか。
- 3) 貯水池が正常な水質にもどるにはどれ位の期間がかかるか。
- 4) 貯水池の魚類に対する As 含有量の定量等の調査が必要と思われる。

なお幸、湯坪川では飲料水としての使用は行なわれていない。

この報告書は、最終調査終了後時間的な余ゆうがなく、それに衛研より公衛センターへの機構改革係の配置転換等の内部事情により、データのくわしい解析が時間的に無理になったため、いろいろ不備の点が出来たことをおことわりします。

大分県温泉調査研究会報告 第24号

昭和48年3月 印刷

昭和48年3月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会  
大分市大手町3丁目1番1号  
大分県厚生部薬務温泉課内

印刷者 別府市野口中町6番20号  
日新印刷株式会社  
電話 ☎ 3288番