

大分県温泉調査研究会

報 告 第 44 号

平成 5 年 3 月

目 次

庄内温泉の化学成分濃度の経時変化……………	川野田 実 夫……………(1)
	北 岡 豪 一
	大 沢 信 二
県内温泉の微量成分(2)……………	大 沢 信 二……………(7)
	由 佐 悠 紀
	北 岡 豪 一
別府地域の火山岩調査……………	竹 村 惠 二……………(15)
	由 佐 悠 紀
九重硫黄山における噴気と湧出……………	北 岡 豪 一……………(25)
温泉水の安定同位体比	由 佐 悠 紀
	大 沢 信 二
	竹 村 惠 二
	福 田 洋 一
不整脈と温泉(4)……………	矢 永 尚 士……………(39)
	畑 洋 知 二
	畑 野 崎 一 彦
	野 舛 友 居 光 洋
	武 居 村 光 熙 雄
	川 村 熙 子
	牧 野 直 樹
慢性関節リウマチに対する温泉の……………	延 永 正……………(47)
作用機序	立 川 啓 二
	吉 田 史 郎
温泉権紛争の調査と研究(Ⅲ)……………	大 野 保 治……………(53)
県内温泉現況調査……………	大 分 県 環 境 保 全 課……………(65)
(湯平温泉)	大 分 保 健 所

序

大分県温泉調査研究会は県内の大学研究者や行政関係者が共同して、温泉の調査研究を継続して行う全国でも珍しい組織です。その活動は温泉地の実状を反覆調査し、資料の収集、蓄積をはかることに重点が置かれ、毎年欠かさず刊行された報告書は本年で第44号を数えることとなりました。温泉という天然資源の開発利用の過程に、これほど息長く密着し、調査の続けられた例は少ないと思います。行政主導で行われる調査研究が、ともすれば、事業の計画段階、または開発過程で対応に迫られる問題発生時のみに限られがちの中で、このように地味な資料の蓄積を毎年欠かさず続けてこれたことは温泉県大分ならではの事業であり、われわれの誇りとする所であります。このような長期の調査は温泉の適正な開発利用を進める上で極めて有用な資料を提供するだけでなく、その資料収集の作業を通して、温泉源の成立状態や特徴が地域ごとにモデル化され、各会員の頭の中に熟成されてきた功績も見逃せません。資料の蓄積はまた頭脳の蓄積にも通じます。これらは各地温泉源の開発過程でおくる諸問題への対応に効果的に発揮されることでしょう。

近年、技術工学上の課題として、開発努力が機械の頭脳部分に偏重し、骨や筋肉に当る部分への対応が手薄になりすぎたことが指摘されています。そのため、技術の特に尖端的でない基本部分でのミスや故障が目立ち、しかも企業内にそれに対応できる技術者がいなくなったという極端な例があげられています。骨や筋肉は頭脳の命令に従い、一方、骨や筋肉の自由な動きが頭脳を刺激して活性化を促し、三者の協同作業が技術の開発には欠かせません。しかし、現代は人間の体も社会の組織も、どうしても頭脳偏重になりがちで、またそうでなければ生存してゆけないのが実状です。そのため、目立たぬ所で意識的に骨や筋肉の動きを鍛練する必要が生まれ、人間の体については、各人が日常的にそれを実行している姿が数多くみられます。しかし、社会の組織ではこれまで遅れていた頭脳の拡充に力が向けられるあまり、骨や筋肉の軽視される傾向のみが目立つため、将来に備えて意識的な体力鍛練の場を作る必要が感じられます。本温泉調査研究会でも、かつては当たり前とされていた調査資料の収集活動を一段と意識的に強め、足腰を鍛えていかなければならぬ時代と考えています。会員諸氏の御努力を期待すると共に、関係行政機関の御理解、御援助をお願いするものであります。

大分県温泉調査研究会会長

吉川 恭三

庄内温泉の化学成分濃度の経時変化

大分大学教育学部 川 野 田実夫
 京都大学理学部 北 岡 豪 一
 京都大学理学部 大 沢 信 二

1 はじめに

庄内温泉は深層熱水型の温泉である。「温泉県」大分の名を内外に知らしめてきた別府、湯布院、天ヶ瀬等の温泉は地下深部の熱水や蒸気が断層や扇状地堆積物の裂け目を通して上昇し、湧出するものである。庄内温泉にも代表される深層熱水は、堆積地帯の地下深部の貯留水で、いわば宙づりされた熱水である。この熱水も、天然水の循環サイクルの一部分に組み込まれる要素を持つと思われるが、その流速は決して大きいものではない。従って、熱水の温泉利用の観点に立てば、従来の温泉が循環水であるので無尽蔵に近い温泉資源、深層熱水は貯留水であるので、有限の温泉資源との見方も成立する。

日本での深層熱水の温泉利用は、この四半世紀に大分市や鹿児島市、弘前市などの都市平野を中心に始まった¹⁾。大分県においてもその後、日出町、杵築市、豊後高田市などの平野部や安心院町や山国町等の盆地や大分川の中流域で積極的な深層熱水の開発が進められてきた。

庄内町の温泉開発は昭和 50 年から 60 年にかけて活発になされ、現在 60 を越える泉源がある。この温泉の理学的調査は本温泉調査研究会の野田、北岡²⁾、吉川等¹⁾が開発当初から熱心に取り組み多くの知見を得ている。これらの研究報告の中で、庄内温泉の自噴が停止した例や、化学成分濃度が大きく変動することなどが述べられている。筆者等は本誌第 39 号で庄内温泉の化学成分濃度の変動が減少なり増加なりの一定傾向を示すのではなく、そのパターンは泉源によってまちまちである³⁾ことを報告している。

今回の調査は調査泉源の数を東長宝、大龍、五ヶ瀬の各地区の 3 泉源に絞り、当初は 1 週間毎の経時観測を試みた。この観測は平成 4 年度の 11 月から 2 月にかけて実施したのであるが変動のパターンの規則性を見いだすことができなかった。そこで平成 4 年 4 月 7, 8 日に 3 泉源について連続観察を行い、東長宝の泉源について温泉成分濃度の変動が揚水ポンプの作動と関係があることを確認した。

2 連続観測の概要

表 1 に示した調査泉源について 1~2 時間毎に採水を行い、現地で泉温、電気伝導度を測定し、庄内町当局の好意で用意された公民館内の実験室に試水を持ち帰り、pH、塩化物イオンおよびアルカリ度を測定した。

表 1 調査泉源の概要

泉源名	所在地	深度 (m)	揚湯量 (l/m)	備 考
A	東長宝	600	160	ポンプは水位センサーにより自動点滅
B	大 龍	600	76	連続揚湯
C	五ヶ瀬	530	測定不能	貯留タンクから採水

採水試料のうち、泉源 A と B については最大濃度と最小濃度を示す試料を、また泉源 C は 1 試料をそれぞれ研究室に持ち帰り、けい酸を除く 7 主要成分を測定した。

3 結 果

(1) 泉 源 A

この泉源は東長宝の団地世帯に配湯する泉源で、大型の貯留タンクを備えている。揚湯ポンプは水位センサーを備えており、タンク内の水位が一定以下に下がれば自動的にスイッチが入り、タンクに水が貯まればポンプは停止する。観測初日は時間毎に、ポンプが作動している時はそのまま給湯口で採水し、停止している時はセンサーを外して強制的にポンプを作動させて採水を行った。この泉源で使用されているパイプの直径は 80mm、長さは 600m、ポンプの揚水能力は 160 l/分であるので、パイプの水が入れ替わるのに要する時間は 20 分弱ということになる。

この観測では、電気伝導度が 561~1,580 $\mu\text{s/cm}$ 、塩化物イオン濃度は 36.7~80.1mg/l の幅広い変動を観測した。表 2 は採水した 45 試料の中で電気伝導度が最小と最大を記録した化学成分の測定結果である。また、この表には筆者らが昭和 60 年に得た測定結果⁴⁾も併記した。

表 2 泉源 A の電気伝導度が最小、最大時の成分濃度 (mg/l)

記号	試料	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mini.	電気伝導最小時	106	16.3	2.8	0.12	36.7	102	131
Max.	最大時	291	36.9	20.9	0.50	80.1	455	139
R	Max./Mini.	2.75	2.26	7.5	4.2	2.2	4.5	1.1
	昭和 60 年 12 月 10 日 ⁴⁾	451	64.4	28.9	1.6	127	798	137

庄内温泉の泉質は、電気伝導度が数千 $\mu\text{S/cm}$ に達する高塩分泉と電気伝導度が 200 $\mu\text{S/cm}$ 以下の単純泉の二つの型がある。図 1 にレーダーチャートで示しているように前者は硫酸ナトリウム型で後者は炭酸水素ナトリウム型である。

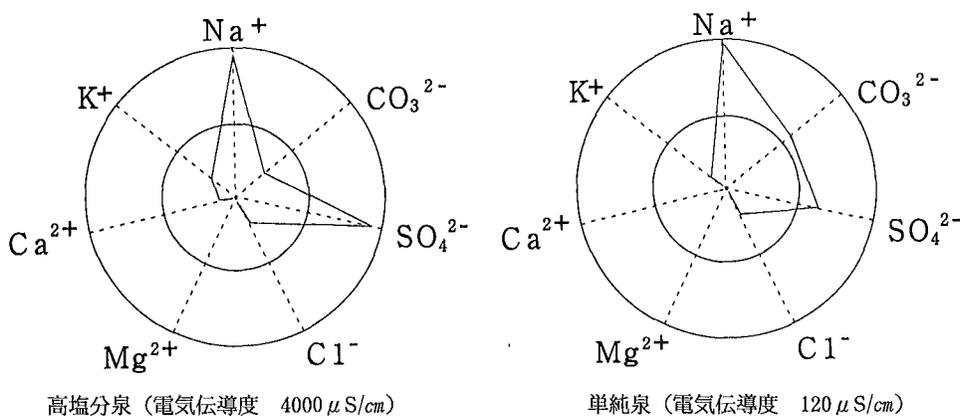


図 1 庄内温泉の高塩分泉と単純泉の化学組成図

泉源 A の最大濃度時と最小濃度時の化学組成を同じようにレーダーチャートで示すと図 2 のようになり、この泉源の濃度変動は比較的塩分濃度の高い硫酸ナトリウム型の熱水と炭酸水素ナトリウム型の低塩分熱水の希釈混合の結果であることがわかる。

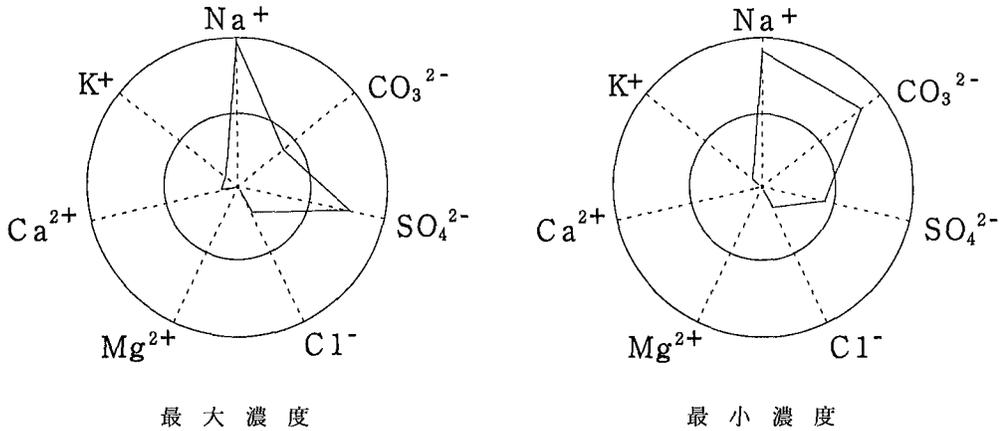


図2 泉源Aの最大濃度時と最小濃度時の化学組成

表2中に同一泉源の昭和60年の測定値を示しているが、各成分濃度を今回の最大濃度時のものと比べると、炭酸水素イオン以外の成分はいずれも今回低くなっている。

短時間に化学成分濃度が大きく変化する要因については、連続観測の開始直後は手がかりを掴めなかったが、観測を繰り返す中で、揚水ポンプを始動させてからの時間の経過と関係があることがつかめた。この泉源の揚水ポンプはこれまで度々述べているように、水位センサーによって

始動、停止を繰り返す機構になっている。ポンプの作動開始後の12、3分間に揚水される水は前回パイプに残った水で比較的高塩分の水であるが、それが排出された後になると低塩分の水が揚水される現象がはっきりと観測された。しかし、この低塩分の水の揚水はそれほど継続せず、再び高塩分の水が揚水されるようになる。

図3はポンプを約2時間停止させた後始動させ、72分間連続運転させた時の電気伝導度と経過時間を表したものである。

電気伝導度は塩化物イオン濃度と高い正の相関関係がある。

作動開始後の13分間は電気伝導度1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の値が続くが、そこから急速に値が低下し、15分で633、17分で極小値572を記録した。その後は緩やかにこの値は上昇し、ポンプ作動後30分で640に達した。急激な電気伝導度の上昇は35分の

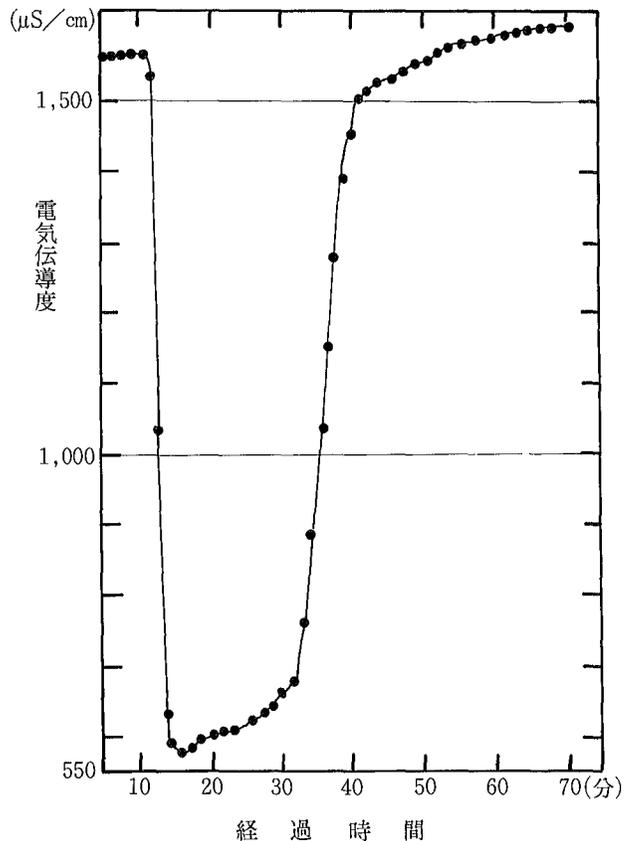


図3 揚水ポンプ再作動後の経過時間と電気伝導度の変化

経過後始まり、40分1,400、42分で1,500を越えた。その後も電気伝導度は徐々に上昇傾向を続け、72分の経過時間で1,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に達した。

このように泉源Aの化学成分濃度は揚水ポンプの再始動によって電気伝導度で2.5倍の大きな変化を示すが、貯留タンクに溜められた水の電気伝導度は600~700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で、その変動は比較的小さい。従ってタンクの水を分析してもこの泉源の代表値を得ることはできない。これは通常の場合、ポンプの運転時間が20ないし30分間で途切れるために低塩分の水がタンクに溜められる比率が高くなるからである。

今回の調査では、地下の熱水溜まりの構造や複数の貯留水の混合の機構についてモデルで考察することに至っていないが、この泉源ではポンプが停止されている間にストレナー周辺に低塩分の熱水が少量貯えられ、作動直後にこれが排出され、その後は比較的高塩分の熱水が汲み上げられることが観察された。

(2) 泉源 B

泉源Bは庄内町の福祉施設の泉源で、施設の好意で24時間ポンプを作動して泉温と電気伝導度を連続自記記録した。測定結果の一部を表3と表4に示す。

表3 泉源Bの経時観測結果

採水時刻	泉温(°C)	電気伝導度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl(mg/l)	アルカリ度(meq/l)
Apr.7 11:58	37.8	2,200	186	3.04
12:04	—	2,600	237	2.71
14:37	47.2	2,320	174	3.02
15:50	47.6	2,310	173	3.06
17:22	48.1	2,320	171	3.00
19:17	48.9	2,350	170	3.00
20:30	49.3	2,360	170	3.00
Apr.8 08:30	49.9	2,380	168	3.00

表4 泉源Bの主要7成分濃度変化

採水時刻	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Apr.7 11:58	315	34.7	7.2	0.068	186	362	185
12:04	373	35.0	9.4	0.084	237	365	165
Apr.8 08:30	304	33.6	6.9	0.075	168	276	183
12:04/08:30	(1.2)	(1.0)	(1.4)	(1.2)	(1.4)	(1.3)	(1.1)

表3と表4中に示した11:56の水は揚水ポンプを始動させて10分経過した時の試水である。また、12:04の試水は電気伝導度の自記記録計の指針が急上昇した時のもので、この高い値は約15分間継続し、再び元の値に戻った。その後は水温、電気伝導度とも極微増を続け、21時間後は泉温49.9°C、電気伝導度は2,380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に達した。この泉源でも連続観測で化学成分濃度に実験誤差を越える有意な差を記録したが、前述の泉源Aに比べるとその変位の差は小さい。

揚水ポンプの始動後の水質変動はこの泉源でも観察され、スイッチ投入後の10~30分間の間

に異なる水質の水の揚水が認められた。すなわち、始動直後は Cl 186mg/l、アルカリ度 3.0meq/l に近い水が揚水されていたものが、始動後 10～30 間は Cl 240mg/l、アルカリ度 2.7meq/l の水に変化し、その後は Cl 170mg/l、アルカリ度 3.00meq/l の一定した濃度の水に変わる。

(3) 泉源 C

表 5 に泉源 C の測定結果を示す。

表 5 泉源 C の経時観測結果

採水時刻	泉温(°C)	電気伝導度(μS/cm)	Cl(mg/l)	アルカリ度(meq/l)
Apr.7 14:04	42.3	276	20.7	1.66
15:40	43.0	275	23.8	1.62
17:08	44.5	275	24.4	1.58
21:10 ^{*1}	48.0	264	24.2	1.58

*1 Na 46.8, K 11.3, Ca 1.7, Mg 0.33, SO₄ 11.4, HCO₃ 84.2 各mg/l

泉源 C は低塩分の温泉として選んだ泉源である。揚水ポンプは水位センサーを備えた自動スイッチで作動されるものである。この泉源は汲み上げパイプから直接採水を行うことが出来なかったため、貯水タンクに貯まった水を採水した。従って、泉温の値は直接意味を持たないものである。泉温が調査の回数が進むにつれて上昇しているのは、夕刻に近づいて温泉の使用量が増加することによって、タンク内の水の入れ替わりが早くなり、汲み上げて間がない高温の水が増えた結果であろう。

Cl とアルカリ度の測定値は 14:04 の Cl が他に比べて低いが、それ以外のものについては有意な差が認められなかった。

4 おわりに

庄内町の温泉において同一泉源の化学成分濃度が採水の都度変動している場合が指摘されてきたが、今回の調査で、その変動が揚水ポンプの作動と停止に関係している現象を観察することが出来た。本報告はその現象の記述のみに終始した観がある。深層熱水が利用されるようになっての歴史は浅く、温泉の利用と保全に関する観点から、その研究の継続が望まれる。筆者等は化学成分の変動が直接温泉の衰退や枯渇に結びつくと考えている訳ではないが、その危険性も考慮の一部に備えている。

今回の調査で、私有財産である温泉について動力を長時間使って調査することの問題を痛感させられた。今回は幸運にも所有者や庄内町当局の理解と協力を頂き、目的を達することが出来た。特に、庄内町公民館を実験室として開放して頂いたことは調査の能率と精度を大変高めてくれた。館長以下職員の皆様に心からお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 吉川恭三：いわゆる深層熱水型温泉について，本報告第 36 号，1985.
- 2) 野田徹郎・北岡豪一：挟間町ならびにその周辺の温泉調査，本報告第 28 号，1977.
- 3) 川野田実夫・北岡豪一・中村千恵子：庄内町の温泉の現況，本報告第 39 号，1988.
- 4) 大分大学教育学部化学教室資料

県内温泉の微量成分 (2)

—アルミニウムの定量の意義と分析上の問題点—

京都大学理学部

大 沢 信 二

由 佐 悠 紀

北 岡 豪 一

1 はじめに

温泉の研究テーマには実に様々なものがあるが、その中に水質形成に関するものがある。これは研究者が最も興味を示すテーマの一つであるとともに、一般の人々が無意識の内に強い関心を示している事柄でもある。我々が各地の温泉調査を行った際にしばしば投げかけられる質問に温泉の効能、泉質、飲用の可否等があるが、先に示した研究テーマはこれらの中の泉質に関係の深いものであり、それを決定している要因を知ることである。

アルミニウムは、強酸性 (pH 2 未満) の温泉水を除き溶存量が僅かなこと (通常 1mg/l 未満) や分析が容易でない元素の一つであるために化学分析の項目から外されることが多く、泉質の形成過程で重要な役割を果たしているとは認識されることは少ない。本報告では、まず温泉水の水質形成過程を理解する上でアルミニウムの化学分析が不可欠であることを岩石-水相互作用の立場から解説する。続いてアルミニウムに関する良質のデータを生産する際の分析上の問題点を、これまでの著者らの経験にもとづいて論じる。

2 アルミニウムの定量の意義

活動的な火山のごく周辺や海岸地帯の温泉などの一部の例を除けば、温泉の水は一般に天水に由来する。身近な例を挙げれば、別府温泉がそうであり、ほとんど全ての温泉の水が天水起源であることが明らかにされた (北岡ほか, 1992)。天水に溶存している物質の量は、温泉水のそれに比べて桁違いに少なく (三宅・杉浦, 1957)、温泉水から見れば蒸留水に近い。従って、温泉水に溶けている物質のほとんどが、天水が地下に浸み込み温泉水として再び地表へ現れる一連の過程の中で、水の移動中に会う岩石から溶け出てきたものであると直感的に理解することが出来る。しかし、岩石を構成する元素は同様に水中に溶け出るものではなく、その場所の温度・圧力などの物理条件や元素や化合物の化学的性質などに依存して、溶出の程度に差が現れる。例えば、ホウ素や塩素などは水中に移動し易く、チタンやジルコニウムなどは容易に水中に溶け出さない。また、一旦温泉水のもととなる熱水*中に溶出した元素でも、熱水が地中で流動する道程での温度変化、あるいは、別種の水との混合などの種々の条件変化にともなって、水中から排除され、岩石へ付け加わることもある。一口に温泉の水質形成とは言っても、以上のように多くの過程から成り立ち、一見複雑な様相を呈する。温泉水は比較的限られた種類の泉質に分類されるとは言え、溶存元素の濃度が実に変化に富んでいるという事実は、おそらくこのようなことが原因となっているからであろう。しかし、見方を変えれば、この一見複雑な現象も、岩石-水間の元素の移動、即ち、岩石を構成する鉱物の水に対する溶解平衡といういたって基本的な化学法則に支配された現象と見ることも出来る。このような立場から地熱水や温泉水の成り立ちをとらえようとする研究が最近しばしば行われるように

*本報告では、温度が高く溶存成分濃度の高い水について、地下にあるものを熱水、それが地表へ温泉として現れたものを温泉水と区別して取り扱う。

表 1 地熱水の溶液化学種組成計算に用いた分析データ

試料採取地点; 天満温泉 (別府), 沸騰泉水	
pH...8.8	
Na...338	Cl...219
K...18.2	SO ₄ ...95.1
Ca...1.12	HCO ₃ ...468
Mg...0.18	SiO ₂ ...227
Al...0.09	(単位; mg/l)
蒸気	
試料採取時の蒸気分離度...0.136 #1	
水蒸気を除くガスの体積分率...0.24 #2	
CO ₂ ...12.0	
H ₂ S...0.01 (単位; %)	

データの出典

- #1 由佐, 大石 (1986)
- #2 古賀, 野田 (1973)
- その他 NEDO (1989)

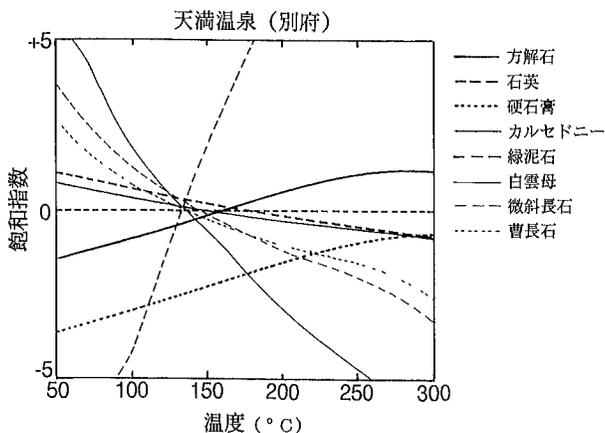


図 1 天満温泉の鉱物飽和指数 - 温度図
飽和指数 = 活動度積 - 溶解度数, 縦軸は対数スケール

なった (例えば、竹野, 1988 ; 千葉, 1990)。このような考えや取り組みは以前からあったが (例えば、由佐, 1971)、鉱物の溶解平衡や溶存化学種間の化学平衡の計算量が膨大なため、ある特定の鉱物種と温泉水中の 2、3 の化学元素に議論が限られていた。研究者が、幾種類もの鉱物種と水中の溶存化学種の化学平衡に関する計算を、一度に、しかも天然に近い条件 (高温) に対応させて処理することが出来るようになったのは、近年のパーソナル・コンピュータの普及と高温条件下の鉱物種の溶解平衡や溶存化学種間の化学平衡に関する熱力学データの整備に負うところが大きい。本報告はこの種の計算について論ずることを目的とはしていないので、計算過程の詳しい説明は既に公表されている論文に譲ることとし (例えば、千葉, 1985)、ここでは身近にある温泉のデータを用いて計算を実行した例を示す。

計算を行った温泉は別府の天満温泉である。計算に用いたデータセットを表 1 に示す。計算に必要な温泉水の化学分析値としては、通常分析される成分に加えて本報告の主題となっているアルミニウムのデータがなくてはならない。アルミニウムの分析値が必要な理由は、地下に存在する熱水と共存している鉱物の多くが、アルミニウムを主成分の一つとするいわゆるアルミノケイ酸塩鉱物であり、これらの溶解平衡には当然水中に溶存するアルミニウムが関与するからである。天満温泉の地下にアルミノケイ酸塩鉱物が存在するという仮定は、天満温泉と地理的に近い位置にある京大地球物理学研

究施設構内に設けられた温泉実験井のコア試料の観察結果 (Gianelli et al., 1992) から考えて、極めて妥当であると思われる。また表 1 の中に示されているように、沸騰ないし沸騰に近い温泉では、温泉水だけではなく温泉水と分離した蒸気も採取し、少なくとも試料採取時の蒸気分離度、水蒸気を除くガスの体積分率、ガス中の二酸化炭素と硫化水素の体積分率を求める必要がある。なぜならば温泉水のもととなる地下の熱水の化学的な性状を正しく知るためには、分離した蒸気に関するデータから次に示す沸騰にともなう現象を補正しなければならないからである。即ち、沸騰にともなう蒸気分離により温泉水の溶存成分は地下の熱水に比べて幾分濃縮されていること、そして熱水に溶けていた二酸化炭素や硫化水素の一部が逸散するために、温泉水の pH は地下の熱水のそれより一般に大きくなることである。大分県下の温泉に関しては、以上の観測・分析値を一度に揃えた報告書は著書らの知る限り皆無に等しく、表 1 に示したデータは複数の報告書から引用したもので

ある。従って、今後大分県下の温泉の水質形成に関する研究を行っていくためには、ここで示した分析項目を整えていかなければならない。

天満温泉に関するデータセット（表1）を用いて、天満温泉の地下に存在する熱水の各種鉱物に対する飽和の状況（鉱物の溶解平衡）を計算した。なお、計算に用いたコンピュータ・コードはPC-SOLVEQ（千葉，1990）である。結果を図1に示す。縦軸（飽和指数という鉱物の水に対する飽和の状況を表すパラメータ：常用対数スケール）は、0のときは飽和を、正の値のときは過飽和を、負の値のときは不飽和の状態を示す。図中の凡例に示した鉱物種の内、硬石膏を除くものについては全て150°C前後で飽和している。この温度は、天満温泉の地下を流れる熱水と密接な関係にあると考えられる京大地球物理学研究施設構内に設けられた温泉実験井の250m深の熱水とほぼ同じ温度であること（147.9°C；Gianelli et al., 1992）やアルカリ比地化学温度計によって求められた温度（129-185°C）の範囲内におさまることから、天満温泉の地下231m（由佐・大石，1986）に存在する熱水の温度は150°Cであり、その熱水は方解石、シリカ鉱物、緑泥石、曹長石、カリ長石などに飽和し、温泉水中のナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、炭酸物質、シリカの濃度はこれらの鉱物により決められていると言える。しかし、一方で天満温泉の地下の熱水は、硬石膏（CaSO₄）に不飽和であり、地熱発電に用いられるような優勢な地熱水が硬石膏に飽和しているという特徴（Chiba, 1991）と明らかに相違する。この特徴は、別府地域の地下を流れる熱水の流動状態や硫酸イオンの起源を知る手がかりを与えてくれるかも知れない。この点は今後観測・分析データを増やし検討していきたい。

以上のように、不十分なデータであるにもかかわらず、パーソナル・コンピュータ支援による岩石-水相互作用の数値シミュレーションから、天満温泉の水質を決定している要因をうきぼりにすることが出来た。このような取り組みにより、一見複雑と思われる温泉水の水質形成過程を岩石-水相互作用という枠組の中で統一的に理解できるものと期待できる。そのためにも温泉水中のアルミニウムの信頼できる分析値を迅速・簡便に、しかも日常的に生産できるようにしておかなければならない。このようなアルミニウムの分析の必要性は千葉（1990）によっても指摘されている。

3 アルミニウム分析の問題点

アルミニウムの特異的な化学反応は極めて希であることから、その化学分析は最も難しいものの一つとされている。現に岩石試料の古典的な湿式分析では、アルミニウムは直接定量されない。その後、化学分析に物理現象を利用する、いわゆる機器分析が発達し、アルミニウムの分析は、それまでに比べると格段に進歩した。しかし、天然物を分析対象とした場合、一般に共存する元素の影響が大きく、分離法などを併用するために操作が繁雑となり、分析精度が低下するという新たな問題が生じた。このような状況は著者らの知る限り改善されてはいない。著者らはこれまでに温泉水中のアルミニウムの迅速・簡便な分析法をいくつか検討してきた（原子吸光分析、ICP発光分光分析、吸光光度分析）。本章では、主にこれらの分析法の抱える問題点を指摘したい。

3-1 原子吸光分析

原子吸光法による分析では、アルミニウムが熱的に安定な化合物（例えば、酸化アルミニウム）を作るといった化学的な特徴を持つため、アルミニウムの原子化には高温（3,000°C）の亜酸化窒素-アセチレン炎を用いる。なお通常用いられる空気-アセチレン炎は温度が低すぎるため（2,300°C）、十分な感度が得られない。

分析条件の一例を図2の脚注に示す。検出感度は高々0.5mg/l程度であり、検量線は1mg/lから5mg/lの濃度範囲のものを使用する。この結果は佐藤・高崎（1966）の報告と矛盾しない。従っ

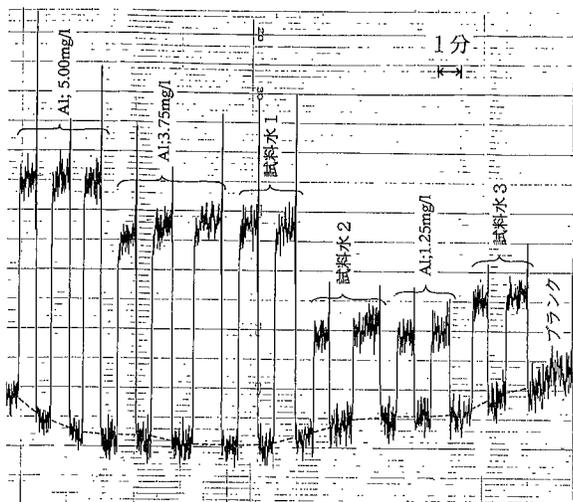


図2 原子吸光法（亜酸化窒素－アセチレン炎）による温泉水中のAlの分析例－記録計への出力結果

分析条件等（島津 AA－640－12型）：波長；309.3nm．ランプ電流；9mA，スリット幅；0.38nm，アセチレン流量；6.31/min.，亜酸化窒素流量；71/min.，バーナー高さ；6mm，ゲイン；x 4.5，チャート送り速度；10mm/min.，レコーダーレンジ；20mV

時間を要する。また、本分析法で用いられている亜酸化窒素は高価なガスであり（ボンベ1本当たり約10万円）、日常的な分析には不向きと思われる。

3-2 ICP発光分光分析

本分析法は測定試料の気化－原子化部が光源を兼ねており、原子吸光分析のように一元素の測定に一つの光源という機器構成になっていないため、多元素の同時測定ができ、微量成分から主成分までを一挙に分析することを可能としているのが特徴である。また、試料の気化－原子化にアルゴンのプラズマを利用しているため、極めて高い温度（6,000Kから10,000K）が得られ、測定元素を効率よく原子化（一部はイオン化状態にまで達する）できる。このため、共存元素の影響がなく化学分析における最終兵器とまでいわれた時期があった。しかし、この評価は過大であり、本分析法も他の分析法同様、天然試料に応用する際に共存元素の影響を受ける（特に分光干渉、原口、1986）。

ここでは温泉水中の微量のアルミニウムの分析の際に起こるカルシウムの干渉例を示す。表2に示すようにアルミニウムに対してカルシウムが1,500倍量共存すると、カルシウムが共存しない場合に比べてアルミ

で、強酸性以外の温泉水に直接この方法を適用することはできず、なんらかの濃縮法（数10倍以上）を併用しなければならない。天然試料（強酸性の温泉水）を用いた繰り返し精度の検討では、変動係数にして1.5%という結果が得られたが、実際は5%程度の測定精度と見るのがよい。本分析法の最大の欠点は、炎の不安定性に起因すると思われるベースラインの大きな変動にある。その一例を図2に示す。僅か25分程度の中にアルミニウムの濃度に換算して1mg/l程度の変動を示す。従って、一試料の測定（標準溶液も含む）ごとにブランク溶液の信号を記録し、ベースライン補正を行わなければならない。この操作は非常に面倒であり、分析時間を長引かせる結果となる。このような測定操作に加えて複雑な濃縮法が組み合わさると、多くの分析データを獲得するのに多大な労力と

表2 ICP発光分光法によるAlの定量の際の共存Caの干渉

共存するCa濃度 (mg/l)	Alの発光強度	相対発光強度 #
0	0.091	1
20	0.962	11
50	1.91	21
150	4.00	44

Alの濃度；0.1mg/l

Caが共存しない場合のAlの発光強度と比較した相対値

分析条件等（島津 ICPQ-100）

波長；396.1nm（原子線），高周波出力値；1.1kW，トーチ高さ；11mm，Ar冷却ガス流量；10.51/min.，Ar補助ガス流量；1.51/min.，Arキャリアーガス流量；1.61/min.，検水の酸濃度；0.12M（HCl），検量線の直線性の下限；0.03mg/l，検出下限；0.01mg/l

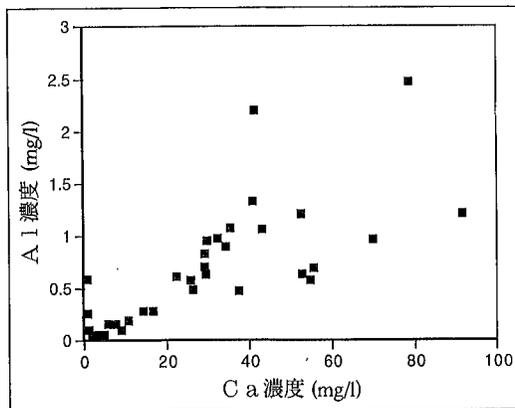


図3 別府地域の沸騰泉のCa濃度とAl濃度の関係（試料水を未処理のままプラズマ中に導入するICP発光分光分析による）

データは由佐, 北岡, 神山 (1992) より引用

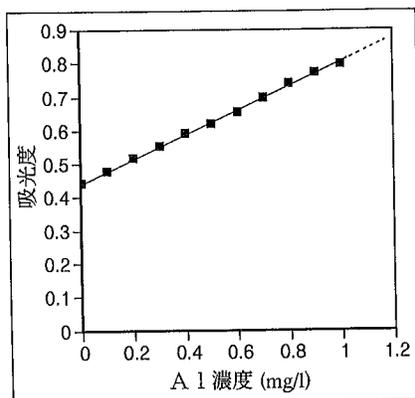


図4 タイロン(ドータイト試薬)を発色試薬とした吸光度分析におけるAlの検量線
分析条件等(日立101型):波長;310nm,セルサイズ;10mmx10mm,検水のpH;5.4(ヘキサメチレンテトラミン緩衝液),発色試薬の濃度;0.025%,発色時間;1min.,鉄のマスキング;オルトフェナントロリン溶液添加

ニウムの発光強度は見かけ上、実に44倍にも達する。この現象はカルシウムの共存による増感ではなく、単なるバックグラウンドの増加に起因するものであった。しかも、目的のアルミニウムの信号はバックグラウンドの中に完全に埋もれてしまい、アルミニウムの分析を不可能にする。なお、同様な報告は、木村ほか(1985)によってもなされている。本分析法を温泉水の化学分析に応用する際、温泉水のカルシウム濃度から考えてこのような影響は十分に起こり得る。図3は、昨年度に報告されたICP発光分光分析法による別府地域の沸騰泉の微量元素の分析データ(由佐ほか, 1992)を用い、カルシウム濃度とアルミニウム濃度との関係を示したものである。大筋においてこれら二元素の濃度の間には正の相関が認められ、アルミニウム濃度の測定の際に共存しているカルシウムが妨害していた疑いがある。この正の相関が上述のように分析に起因するのか、あるいは実際の天然の情報に基づくものかを判定するには、分離方法を含めた詳細な分析操作の検討を行い良質の分析値を得る努力をしなければならない。いずれにせよ、原子吸光分析同様、分析に多大な労力と時間を費やすことになり、日常的な温泉水のルーチン分析には適さないものとなるであろう。また、ICP発光分光分析器は、現在かなり普及しているとはいえ、まだまだ高価な分析機器である(1993年現在で数1,000万円)。

3-3 吸光光度分析

アルミニウムの吸光光度分析は、古くから多くの方法が検討されている。しかし、その多くが精度に難点を抱えており、実際の温泉水分析に積極的に利用されている例を著者らは知らない。ただ

しオキシンを発色試薬に用いた方法は、現在までに提案されているアルミニウムの分析法の中にあつて、分析コストが低く比較的安定な条件で分析が行えることもあり、しばしば利用されている。しかし、この方法は有機溶媒による抽出操作をとまなうので、その操作に起因するある程度の分析精度の低下は避けられない。また、操作が複雑で、多試料の分析には多くの時間を要する。

我々が検討した方法はタイロン(チロンとも呼ばれる)を発色試薬に用いた方法である。この方法はオキシソ法と異なり一連の操作は全て水溶液系で行われる。タイロンはもともとチタンと鉄の吸光光度分析用に合成されたものであり(ドータイト試薬)、四ツ柳ほか(1967)によってアルミニウムとも反応することが見い出された。発色に要する時間が約30秒以内と極めて反応性に富み、用い方によっては水溶液中に存在する様々なアルミニウムの化学種を区別して定量できる可能性も持つ。この方法を温泉水に応用する場合は、鉄の共存に注意することが必要である。これはタイロン

がもともと鉄の分析用に作られたものであることから当然の結果である（3価の状態の鉄と反応して紫色を呈する化合物を作る）が、2価の状態にしてオルトフェナントロリンで隠蔽すれば、アルミニウムの5倍量の鉄の共存は分析結果に影響を及ぼさない。なお、この方法をとることにより、同一検水から鉄の分析値も得ることができるようになった。検量線と分析条件を図4に示す。図に示されているように本分析法の最大の欠点は、バックグラウンド信号が大きいという点であり、このため測定点にばらつきが見られる。この欠点を除けば少なくとも0.1mg/lから1mg/lまでの濃度範囲のアルミニウムが定量でき、検出下限値は原子吸光分析よりも一桁程小さい。しかし、酸性の温泉水を除く試料に応用するにはまだ感度は十分とはいえず、適当な濃縮法を併用しなければならない。前処理を行わなければならないという点に関しては、原子吸光分析やICP発光分光分析となら変わるところはない。

さて、これまで2、3のアルミニウム分析法の問題点を指摘してきたが、どの方法にも欠点があり、最終的な結論としては微量のアルミニウムを定量するためには現状では適当な分離・濃縮法を見いだす方向で検討を行っていくしかない。そして、その方法はできる限り簡便で短時間の内に終了できるものであることが望ましい。たとえ多大な労力と時間を必要とすることがあっても、それを補ってあまりある内容（例えば、前処理をほどこした試料水から多くの元素の分析値が得られるなど）が含まなければならないと考える。

4 おわりに

温泉水中の微量のアルミニウムの定量的意義と分析の問題点を解説・議論した。温泉水の水質の形成過程を知るためには、通常分析されている元素・化合物のデータに加え信頼度の高いアルミニウムの分析値を得ることが不可欠であることを岩石-水相互作用の数値シミュレーションという研究手法によって示した。アルミニウムの化学分析法は概して検出感度が十分でなく、また共存元素の影響を受けることが多く、温泉水に直接応用できるものはほとんどないことを具体例を挙げながら示した。従って、地球化学的解析に耐えうる分析値を得るためには、迅速にして簡便な分離・濃縮法を構築する必要がある。次年度からは、これらの課題に一つ一つ段階を踏んで取り組んで行きたい。さしあたって温泉水中の微量アルミニウムの定量に関する分析化学的研究を行う予定である。

最後に、本報告で用いたコンピュータ・コード(PC-SOLVEQ)は九州大学理学部の千葉仁助教授から大沢が直接個人的に譲り受けたものであることを明記するとともに、同氏に謝意を表す。また、アルミニウムの分析化学的な特徴についていろいろと御教示して下さった東京大学の綿抜邦彦名誉教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 千葉仁 (1985) : 地熱水の溶存化学種組成の推定とその応用, 地熱エネルギー, 10, 279-292.
- 2) 千葉仁 (1990) : 地熱水の化学種組成の計算 - 地熱流体への適用と問題点 -, 日本地熱学会誌, 12, 113-128.
- 3) Chiba, H. (1991) : Attainment of solution and gas equilibrium in Japanese geothermal systems, *Geochemical Journal*, 25, 335-355.
- 4) Gianelli, G., Yusa, Y., Battaglia, S. and Takemura, K. (1992) : Water-Rock Interaction in a Zone of Lateral Flow : A Natural Example from the Active Geothermal Field and Gold-Mineralized Zone of Beppu (Kyushu Island, Japan), *Mineralogy and Petrology*, 45, 247-259.

- 5) 原口紘亮 (1986) : “ICP発光分析の基礎と応用”, 講談社サイエンティフィック, 東京, 291 p.
- 6) 木村晴美・横山拓史・中村善弘・清水 晨・今泉幸雄・樽谷俊和 (1985) : 誘導結合プラズマ発光分光分析法による地熱熱水中のアルミニウムの定量, 地熱, 22, 14-18.
- 7) 北岡豪一・由佐悠紀・神山孝吉・Stewart, M. K. (1992) : 別府温泉の水素・酸素安定同位体比 (2) 別府北部地域, 大分県温泉調査研究報告, 43, 3-15.
- 8) 古賀昭人・野田徹郎 (1973) : 別府地熱地帯の噴気ガス成分, 大分県温泉調査研究会報告, 24, 55-63.
- 9) 三宅康雄・杉浦吉雄 (1957) : “降水の化学”, 地人書館, 東京, 109 p.
- 10) N E D O (1989) : “昭和 63 年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査鶴見岳地域報告書”, 342 p.
- 11) 佐藤 彰・高橋正直 (1966) : 酸性泉に溶存する微量元素の分析研究, 温泉工学会誌, 7, 141-154.
- 12) 竹野直人 (1988) : コンピュータ実験による水・岩石間の化学反応, 地質ニュース, 414, 48-56.
- 13) 四ツ柳隆夫・後藤克巳・永山政一 (1967) : チロンによるアルミニウムの吸光光度定量 - アルミニウム錯体の溶存状態分析への応用 -, 日本化学雑誌, 88, 1282-1287.
- 14) 由佐悠紀 (1971) : 重碳酸イオンを主成分とする温泉水中のカルシウムとマグネシウムイオン濃度, 温泉科学, 22, 27-37.
- 15) 由佐悠紀・大石郁朗 (1986) : 別府市における噴気・沸騰泉の調査 (1) 春木川以南域, 大分県温泉調査研究会報告, 37, 1-9.
- 16) 由佐悠紀・北岡豪一・神山孝吉 (1992) : 県内温泉の微量成分 (1) 高周波プラズマ分析装置 (ICP Q) による分析の試み, 大分県温泉調査研究会報告, 43, 21-28.

別府地域の火山岩調査

京都大学理学部

竹村 恵 二
由 佐 悠 紀

はじめに

別府湾から由布院盆地にかけては由布・鶴見地溝（星住ほか，1988）や速見地溝（池田，1979）とよばれる地溝状地形を呈している。この地溝地域には第四紀の火山活動が活発に起こっており、現在もその中央部に鶴見岳・伽藍岳の活火山が位置している。これらの火山岩類の年代や層序については、星住ほか（1988）によりまとめが行われている。今回はこれらの火山岩類の主要成分の分析を中心として、別府南部地域の各岩石の化学的特徴をまとめることにする。分析・試料採取にあたっては、京都大学理学部の馬渡秀夫氏と I. Graham 博士（ニュージーランド）にご協力いただいた。また標準試料入手については地質調査所安藤厚氏にお世話になった。今回分析に用いた阿蘇火山の試料は京大火山研究施設の須藤靖明博士より、また大分庄内町の掘削試料は新エネルギー開発機構より提供いただいた試料である。記して感謝いたします。

別府周辺の地形・地質概略

別府地域の地形は火山性地形（溶岩台地，溶岩円頂丘，火砕流台地）と断層地形によって特徴づけられ、東西性の断層により中央の地溝地域と南北の山地に区分できる（図1）。地溝地域は由布一

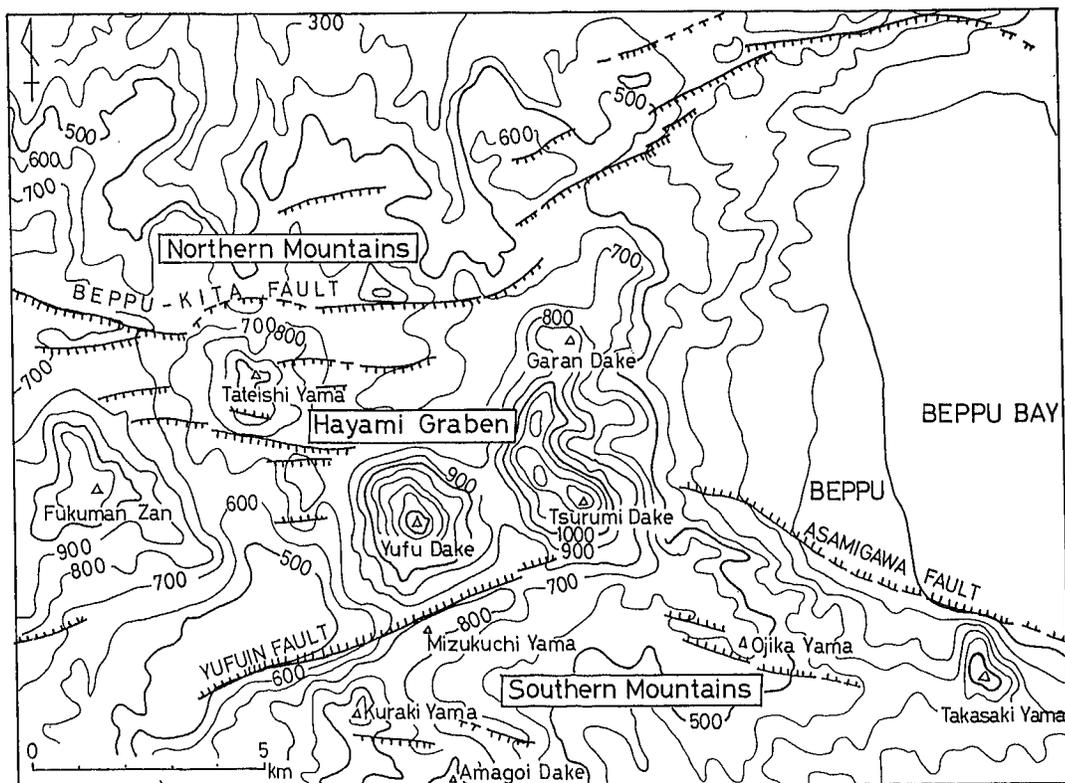


図1 別府地域の地形（池田，1979より編集）

鶴見地溝（星住ほか，1988）、速見地溝（池田，1979）とよばれる。地溝の北側は別府北断層によって画され、南側は由布院断層（西側）と朝見川断層（東側）で境される。地溝中央部には由布岳（標高 1,584m）・鶴見岳（標高 1,375m）を中心とした火山群が位置している。鶴見岳は北側の伽藍岳とともに活火山とされ、現在もその山頂付近に噴気活動がみられる。鶴見岳東山麓から海岸にかけて海拔 300—10m の火山性扇状地がひろがっている。南部山地西部には城ヶ岳、雨乞岳などのなだらかな山地がひろがり、東部には北縁に小鹿山・船原山などの火山があり、山地全体が南へなだらかに傾斜し、由布川火砕流堆積物が下刻されて形成された溪谷がみられる。北部山地は海拔 600—800 m の台地状地形からなっている。

別府地域の地質に関する報告は多数あり（鈴木，1937；笠間，1953；首藤，1953；森山，1972；吉川・森山，1974 など）、1988 年には地質調査所により 5 万分の 1 地質図つきの図幅が発行された（星住ほか，1988）。これが別府周辺の地質に関する最近の重要な情報である。以下は、星住ほか（1988）を参照して別府地域の地質についてのべる（表 1、図 2）。

別府地域の地質はほとんど第四紀の火山岩類から構成されている。別府の約 1.5km 北方に中生代の花コウ岩が露出しており、この花コウ岩が別府地域の基盤岩として地下 2—4km に存在していると推測され、城島高原での掘削でも採取されている。

別府地域に露出するもっとも古い岩石は観海寺安山岩で、別府南部山地の朝見川断層に沿って観海寺付近に分布する。主にプロピライト（変質した輝石安山岩溶岩など）からなる。この年代は中新世と考えられた（笠間，1953 など）が、星住ほか（1988）は鮮新世の火山活動と考えている。

続いて、輝石安山岩からなる倉木山安山岩の活動が前期更新世末にみとめられる。

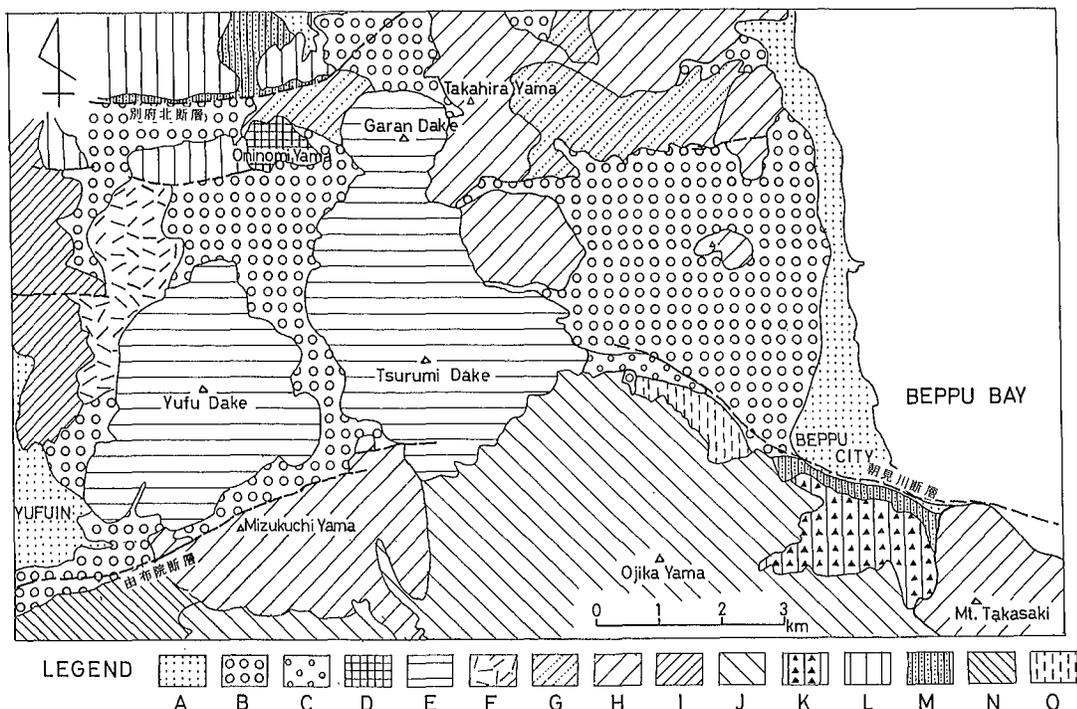


図 2 別府地域の地質図（星住ほか，1988 より編集）

- A：沖積層，B：扇状地堆積物，C：段丘堆積物，D：鬼箕山火山，E：由布—鶴見火山群，F：池代火砕流堆積物，G：岩屑なだれ堆積物，H：高平山—水口山火山群，I：福万山—立石山火山群，J：小鹿山—雨乞岳火山群，K：由布川火砕流，L：高陣ヶ尾安山岩，M：浜脇層および寒水川層，N：倉木山安山岩，O：観海寺安山岩

表 1 別府地域の地質層序表 (星住ほか, 1988 より編集)

時代	南部山地	地溝地域	北部山地
完新世		沖積層	
更新世後期		扇状地堆積物 鬼箕山火山 由布-鶴見火山群	
更新世中期	高崎山火山 水口山火山	高平山火山 実相寺山火山	西ノ台流紋岩 雑戸山安山岩
	小鹿山-雨乞岳 火山群 由布川火砕流 浜脇層	福万山-立石山 火山群	
更新世前期	倉木山安山岩		
鮮新世	観海寺安山岩		

浜脇層 (森山, 1972) は別府市浜脇付近で朝見川断層に沿って分布する。別府地域では少ない水成堆積物で、層厚 100m 以上、砂・れき・シルトと軽石砂岩の互層よりなる。

浜脇層の上位には由布川火砕流堆積物が重なる。噴出年代は約 60 万年前とされる (星住・鎌田, 1991; 竹村・檀原, 1993)。火砕流堆積物は角閃石-黒雲母流紋岩質で、弱溶結-非溶結である。基底に降下軽石層がみられる。別府南方山地に広く分布しているが、別府市街の扇状地域でのボーリングでも見いだされており、その結果として朝見川断層の平均的垂直変位速度が約 0.5mm/年と計算されている (竹村・檀原, 1993)。

小鹿山-雨乞岳火山群が由布川火砕流の活動後形成された。南部山地のほとんどの部分を占め、輝石安山岩からなる。北部山地の鹿鳴越の輝石安山岩もこの時期の活動である。また、地溝西部では角閃石安山岩からなる福万山-立石山火山群の活動が起こっている。

この後、地溝内での角閃石安山岩の火山活動が顕著になり、高平山・水口山・実相寺山などが形成された。約 20-30 万年前である。

最新の火山活動は由布岳・鶴見岳を形成した地溝中央部の角閃石安山岩の活動である。これらは 3 万 5 千年前以前から現在まで活動を続けている (小林, 1984)。この時期、伽藍岳の西方塚原ではかんらん石安山岩質の活動があり、鬼箕山とよばれるスコリア丘が形成された。

別府市街が広がる火山性扇状地は、少なくとも 500m の厚さがあり、輝石安山岩質のれきを主体とする下部と角閃石安山岩を主とする上部にわけられている (森山, 1972)。

由布岳・鶴見岳の最新の活動は、2,000 年から 1,500 年前頃の山頂溶岩の流出 (小林, 1984) がもっとも顕著なものであるが、歴史時代にも三代実録に貞観 9 年 (867 年) 鶴見岳噴火の記録が残されている。

分析試料

今回は別府地域南部に分布する火山岩類の分析を主に行った。比較試料として庄内町で行われた

表2 分析試料リスト

試料番号	採取地点・地層名・火山岩類	岩石名
90030902	鶴見岳	角閃石-(輝石)安山岩
90030904	鶴見岳	角閃石-(輝石)安山岩
91071505	鶴見岳	角閃石安山岩
91071504	鶴見岳	角閃石安山岩
91071504A	鶴見岳	角閃石安山岩
91071709	鶴見岳	角閃石安山岩
91072302	由布岳	角閃石安山岩
91072303	由布岳	角閃石安山岩
91100202	由布岳	角閃石安山岩
91071703	由布岳	角閃石安山岩
91071506	由布岳	角閃石安山岩
91071503	由布岳	角閃石安山岩
91071702	由布岳	角閃石安山岩
91071704	由布岳	角閃石安山岩
91071501	水口山	角閃石安山岩
91071502	水口山	角閃石安山岩
91100403	水口山	角閃石安山岩
A15	高崎山	角閃石安山岩
91082401	高崎山	角閃石安山岩
91071710	大平山(扇山)	角閃石安山岩
D8	大平山(扇山)	角閃石安山岩
91072501	実相寺山	角閃石安山岩
91072502	実相寺山	角閃石安山岩
91100402	小鹿山	輝石安山岩
91100315	小鹿山	輝石安山岩
91100401	小鹿山	輝石安山岩
91082402	小鹿山	輝石安山岩
90031001	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
90031002	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
90031004	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
90031006	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
90030915	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
A27	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
A37	小鹿山(乙原)	輝石安山岩
91072406	由布川火砕流堆積物	流紋岩
A36	観海寺安山岩	プロピライト
013-1684	庄内町(領家帯基盤)	花コウ岩
AS022	阿蘇掘削試料	輝石安山岩
AS058	阿蘇掘削試料	輝石安山岩
AS0135	阿蘇掘削試料	輝石安山岩

掘削により得られた花コウ岩と、阿蘇火山で得られた試料も合わせて分析した。試料番号・採取地点（火山岩類、地層名）・岩石名は表 2 に示される。層序的には下位より花コウ岩、観海寺安山岩、由布川火砕流堆積物、小鹿山—雨乞岳火山岩類、水口山安山岩・高崎山安山岩・実相寺安山岩・大平山（扇山）安山岩、由布岳—鶴見岳安山岩である。阿蘇火山と庄内町掘削試料を除く試料採取地点は図 3 に示される。

分析手法

分析は蛍光 X 線分析により行った。蛍光 X 線分析は、試料に X 線を照射したときに発生する元素に固有の特性 X 線（蛍光 X 線）の波長とその強度から構成元素の濃度を測定する分析法である。分析は以下の手順で行った。

- ：岩石をある程度細かく砕き、さらにタングステンカーバイトミルを用いて粉末にする。
- ：粉末試料（0.5 g）と四ほう酸リチウム（無水）（和光純薬製；蛍光 X 線分析用試薬）（5 g）を混合し、ガラスビード作成機（東京科学製）を用いてガラスビードを作る。
- ：測定は R I G A K U システム 3030 を用いて行った。

測定結果の定量化は標準試料に工業技術院地質調査所より提供を受けた J シリーズの岩石粉末試料（JA-2, JG-1a, JR-1, JB-1a, JP-1）と京都大学総合人間学部巽好幸助教授より分析いただいた 4 試料を用い、絶対検量線法により行った。

分析結果と考察

分析結果として、主要 10 成分（ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 ）が示される（表 3）。分析結果は分析試料を大きく A, B, C, D, E のグループに分けて図示される（図 4, 5, 6）。以下、 SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Al_2O_3 のデータに着目して分析結果の考察を行う。

A グループは由布—鶴見火山群の試料で、角閃石安山岩である。鶴見岳火山よりの 6 試料、由布岳火山よりの 8 試料について分析した。これらの岩石は SiO_2 の割合が 58.2–63.2% の範囲で、鶴見岳の平均値が 59.9%、由布岳の平均値が 60.6%、全体の平均値が 60.3% である。 Fe_2O_3 は 4.6–7.2% の範囲で、鶴見岳の平均が 6.3%、由布岳の平均が 6.0% で、全平均値は 6.1% である。 MgO については 1.9–3.5% の範囲で、鶴見岳の平均が 3%、由布岳の平均が 3%、全体の平均も 3% である。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は 4.9–5.6% の範囲で、平均値は鶴見岳が 5.2%、由布岳が 5.2% で全体も 5.2% である。 Al_2O_3 は 15.6–17.5% の範囲で、平均値は鶴見岳が 16.9%、由布岳が 16.5% で全体で 16.7% である。

B グループは、更新世中期とされる角閃石安山岩である。試料は水口山から 3 試料、高崎山から 2 試料、太平山（扇山）から 2 試料、実相寺山から 2 試料の計 9 試料である。これらの岩石は SiO_2 が 59.4–64.6% の範囲で、平均値が 62.6% である。 Fe_2O_3 は 4.6–6.5% の範囲で、平均値は 5.3% である。 MgO については 1.7–2.7% の範囲で、平均は 2.2% である。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は 4.9–5.7% の範囲で、平均値は 5.5% である。 Al_2O_3 は 15.8–17.1% の範囲で、平均値は 16.4% である。

C グループは更新世中期の輝石安山岩類で主に小鹿山と乙原で採取した 11 試料である。これらの岩石は SiO_2 が 53.6–60.5% の範囲で、平均値が 57.4% である。 Fe_2O_3 は 6.1–8.0% の範囲で、平均値は 7.1% である。 MgO については 2.6–4.4% の範囲で、平均は 3.5% である。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は 3.5–5.4% の範囲で、平均値は 4.4% である。 Al_2O_3 は 16.0–19.0% の範囲で、平均値は 17.8% である。

D グループは由布川火砕流堆積物中の軽石（図 4, 6 では y と表現）、観海寺安山岩（図 4, 6 では k と表現）、大分県庄内町の掘削で得られた花こう岩（図 4, 6 では g と表現）、の 3 試料である。

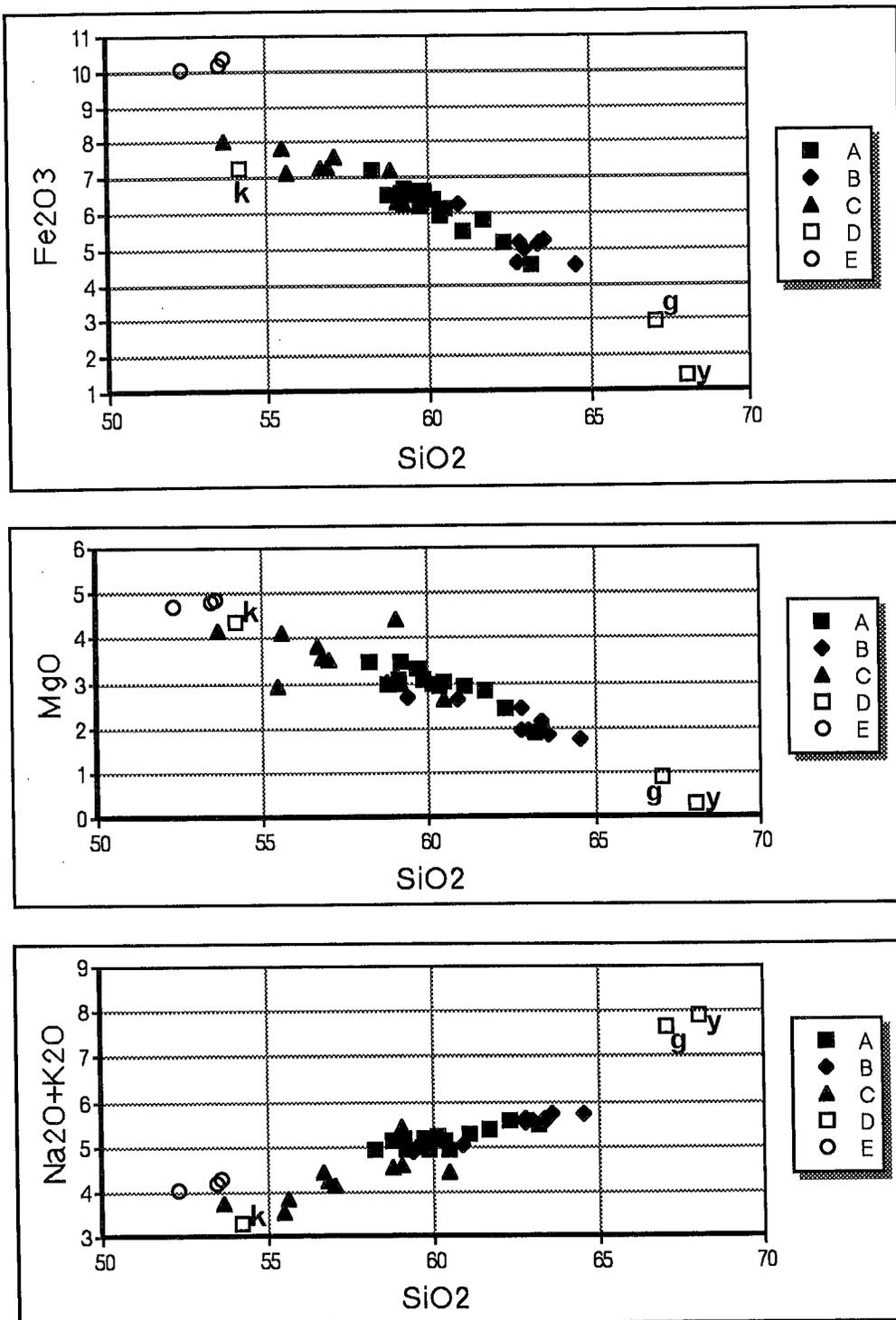


図4 SiO₂ と Fe₂O₃, MgO, Na₂O+K₂O の関係図

A: 由布一鶴見火山群, B: 高崎山・水口山・実相寺山・大平山, C: 小麓山火山群, D: 由布川火砕流堆積物 (y)・観海寺安山岩 (k)・庄内町花コウ岩掘削試料 (g), E: 阿蘇火山掘削試料

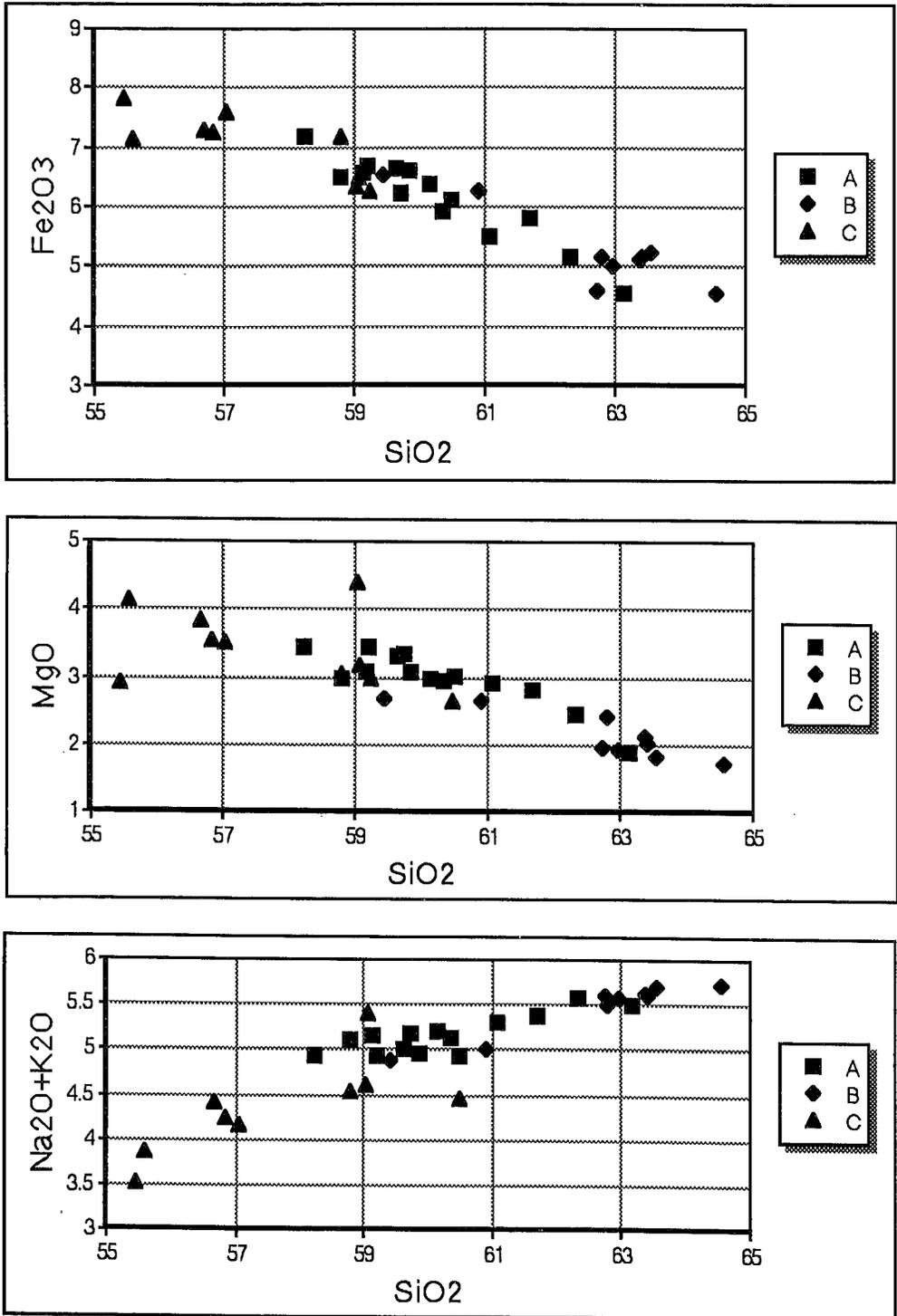


図5 SiO₂ と Fe₂O₃, MgO, Na₂O+K₂O の関係図

A: 由布-鶴見火山群, B: 高崎山・水口山・実相寺山・大平山, C: 小鹿山火山群

表3 蛍光X線分析による主要10成分分析結果

SAMPLE NO.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
90030902	58.22	0.84	17.51	7.19	0.14	3.45	7.75	3.19	1.74	0.22	100.25
90030904	62.32	0.66	16.33	5.18	0.12	2.44	5.90	3.67	1.91	0.17	98.70
91071505	60.15	0.84	16.54	6.38	0.14	2.99	6.64	3.47	1.75	0.20	99.08
91071504	58.78	0.86	17.39	6.49	0.14	2.98	6.83	3.48	1.63	0.19	98.78
91071504A	59.14	0.87	17.07	6.56	0.14	3.08	7.07	3.66	1.51	0.19	99.27
91071709	60.50	0.78	16.83	6.13	0.14	3.00	6.36	3.35	1.58	0.19	98.85
91072302	59.63	0.87	16.69	6.66	0.13	3.32	7.35	3.29	1.71	0.19	99.84
91072303	59.20	0.87	16.90	6.68	0.13	3.46	7.34	3.33	1.61	0.19	99.71
91100202	59.72	0.79	16.31	6.22	0.13	3.35	7.15	3.52	1.66	0.18	99.02
91071703	61.08	0.71	16.58	5.50	0.12	2.90	6.19	3.56	1.73	0.18	98.55
91071506	60.35	0.73	16.68	5.93	0.12	2.94	6.14	3.43	1.70	0.19	98.21
91071503	63.15	0.55	15.61	4.57	0.12	1.90	4.83	3.45	2.05	0.15	96.38
91071702	59.85	0.74	17.04	6.60	0.13	3.08	6.94	3.43	1.53	0.18	99.50
91071704	61.70	0.72	16.36	5.80	0.13	2.81	6.44	3.45	1.92	0.16	99.49
91071501	62.75	0.55	16.36	4.59	0.11	1.95	5.40	3.67	1.94	0.16	97.47
91071502	62.79	0.59	15.80	5.17	0.13	2.41	5.38	3.54	1.97	0.17	97.95
91100403	84.56	0.55	15.94	4.57	0.11	1.72	4.77	3.57	2.16	0.17	98.13
A15	63.41	0.71	16.34	5.15	0.12	2.02	5.55	3.64	1.95	0.16	99.04
91082401	63.56	0.70	16.32	5.23	0.11	1.84	5.49	3.69	2.03	0.17	99.13
91071710	60.90	0.75	17.10	6.27	0.14	2.65	6.34	3.49	1.52	0.20	99.35
D8	59.42	0.76	17.07	6.52	0.14	2.67	6.55	3.51	1.37	0.21	98.21
91072501	62.97	0.64	16.84	5.01	0.12	1.94	5.40	3.41	2.18	0.14	98.64
91072502	63.38	0.62	16.07	5.11	0.12	2.12	5.44	3.58	2.06	0.15	98.64
91100402	59.03	0.74	15.97	6.34	0.14	4.41	7.16	3.58	1.02	0.18	98.58
91100315	59.22	0.86	17.23	6.26	0.14	2.98	7.16	3.84	1.10	0.17	98.96
91100401	55.45	1.06	18.83	7.82	0.18	2.93	7.23	3.31	0.23	0.24	97.25
91082402	59.05	0.87	17.20	6.49	0.13	3.17	7.33	4.34	1.08	0.18	99.85
90031001	58.78	0.99	18.01	7.19	0.14	3.04	7.36	3.51	1.02	0.24	100.29
90031002	60.49	0.93	17.88	6.13	0.13	2.64	6.65	3.80	0.66	0.22	99.52
90031004	55.58	1.25	19.03	7.13	0.13	4.14	8.58	3.30	0.56	0.23	99.92
90031006	53.62	1.29	17.29	8.04	0.16	4.17	8.10	3.16	0.61	0.26	96.69
90030915	56.67	1.28	18.18	7.28	0.13	3.83	7.91	3.52	0.90	0.26	99.98
A27	56.82	1.20	17.83	7.25	0.14	3.56	7.58	3.38	0.87	0.26	98.89
A37	57.04	1.20	18.06	7.60	0.14	3.51	7.60	3.28	0.87	0.28	99.58
91072406	68.03	0.27	12.86	1.45	0.08	0.29	1.67	3.70	4.22	0.06	92.63
A36	54.16	1.27	16.90	7.24	0.13	4.34	7.67	2.45	0.83	0.27	95.27
O13-1684	67.06	0.48	15.18	2.98	0.05	0.89	2.06	4.76	2.90	0.10	96.45
ASO22	53.47	1.02	16.94	10.15	0.16	4.80	9.52	2.63	1.58	0.29	100.55
ASO58	53.61	1.03	17.16	10.35	0.16	4.86	9.43	2.70	1.57	0.28	101.14
ASO135	52.29	0.99	17.11	10.02	0.16	4.69	9.68	2.68	1.37	0.27	99.26

この3試料はいずれも含水量が多い(強熱減量の測定による)が、軽石はSiO₂が68%で、Fe₂O₃が12.9%、MgOが0.3%、Na₂O+K₂Oが7.9%、Al₂O₃が12.9%である。観海寺安山岩はSiO₂が54.2%で、Fe₂O₃が7.2%、MgOが4.3%、Na₂O+K₂Oが3.3%、Al₂O₃が16.9%である。花コウ岩はSiO₂が67.1%で、Fe₂O₃が3%、MgOが0.9%、Na₂O+K₂Oが7.7%、Al₂O₃が15.2%である。

Eグループは阿蘇山中央火口丘の掘削によって得られた輝石安山岩3試料である。これらの岩石はSiO₂が52.3-53.6%の範囲で、平均値が53.1%である。Fe₂O₃は10-10.4%の範囲で、平均値は10.2%である。MgOについては4.7-4.9%の範囲で、平均は4.8%である。Na₂O+K₂Oは4.1-4.3%の範囲で、平均値は4.2%である。Al₂O₃は16.9-17.2%の範囲で、平均値は17.1%である。

これらのデータをSiO₂-Fe₂O₃、SiO₂-MgO、SiO₂-Na₂O+K₂Oの関係図(図4, 5)とFe₂O₃-MgO-Na₂O+K₂O三角ダイアグラム(図6)にプロットした。A, B, Cの3グループに観海寺安山岩を加えて、SiO₂-Fe₂O₃図では明らかな負の相関、SiO₂-MgO図では明らかな負の相関、SiO₂-

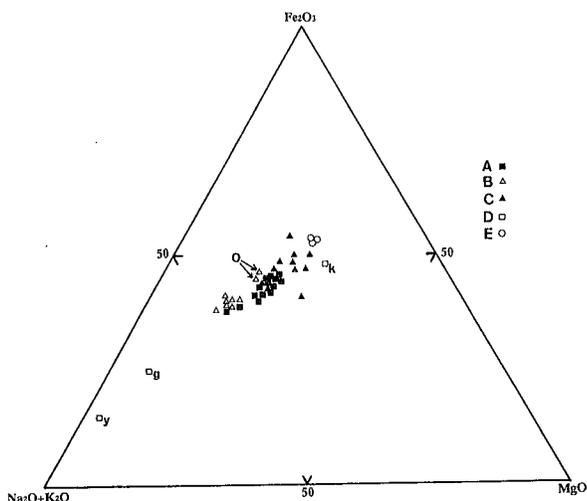


図6 Fe₂O₃-MgO-Na₂O+K₂O 三角ダイアグラム

A: 由布-鶴見火山群, B: 高崎山・水口山・実相寺山・大平山 (O), C: 小鹿山火山群, D: 由布川火砕流堆積物 (y)・観海寺安山岩 (k)・庄内町花こう岩掘削試料 (g), E: 阿蘇火山掘削試料

-Na₂O+K₂O 図では明らかな正の相関が認められる。

また、データのばらつきはあるものの別府地域に広く分布する A, B, C グループにはそれぞれ以下の特徴があることが明らかになった。C グループは鉱物組成にも輝石が卓越する特徴があるが、他の A, B の 2 グループと比較して、SiO₂ が少なく、Fe₂O₃ と MgO が多く、Na₂O+K₂O のアルカリ量が少ない傾向が明らかである。A, B については類似した鉱物組成や組織を持ち、区別はかなり困難であった。今回の分析結果では A グループ (若い角閃石安山岩) が B グループと比較して SiO₂ 量が少なく、Fe₂O₃ と MgO 量が多く、Na₂O+K₂O のアルカリ量が少ない傾向であることが明らかになり、従来の区別のほとんどは化学成分からみても区分可能である。ただ、別府扇状地の西に位置

する扇山 (太平山) が中期更新世のグループに属する (星住ほか, 1988) のか、後期更新世の若いグループに属する (小林, 1984) のかの問題が提出されていた。今回の分析では星住ほか (1988) に従い、中期更新世のグループとして記載したが、三角ダイアグラムの分布にみられるように扇山の試料 (図 6 白三角に O と表示) は明らかに若いグループ A にはいる可能性が指摘される。この点については詳細な鉱物組成比較や分析試料を増やすなどしてさらに検討を加える予定である。

引用文献

- 1) 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988): 「別府地域の地質」5 万分の 1 地質図幅及び説明書, 131 頁.
- 2) 星住英夫・鎌田浩毅 (1991): 由布川火砕流の噴出年代. 火山, 36, 393-401.
- 3) 池田安隆 (1979): 大分県中部火山地域の活断層系. 地理学評論, 52, 10-29.
- 4) 笠間太郎 (1953): 速見火山区の地質-新生代火山活動史を中心に-. 地質学雑誌, 59, 161-172.
- 5) 吉川恭三・森山善蔵 (1974): I. 由布・鶴見火山群の地形と地質. 由布・鶴見火山群学術調査報告書 <奥別府の自然>, 4-15.
- 6) 小林哲夫 (1984): 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. 地質学論集, 24 号, 93-108.
- 7) 森山善蔵 (1972): 別府地方の地質図と岩石について. 大分県温泉調査研究会報告, 23, 43-49.
- 8) 首藤次男 (1953): 豊州累層群の地史学的研究 (I) (II). 地質学雑誌, 59, 225-240, 372-384.
- 9) 鈴木政達 (1937): 別府附近の地史と温泉脈. 地球物理, 1, 6-19.
- 10) 竹村恵二・檀原 徹 (1993): 由布川火砕流のフィッシュン・トラック年代. 火山 (印刷中)

九重硫黄山における噴気と湧出温泉水の安定同位体比

京都大学理学部

北岡 豪 一、由佐 悠 紀
大沢 信 二、竹村 恵 二
福田 洋 一

1 はじめに

九重火山群の一つ、星生山の北東斜面で展開している噴気活動は、長者原から遠望される。この噴気地は、硫黄の採取が行われた時期があり、硫黄山と呼ばれている。硫黄山から噴出するガスは、薩摩硫黄島、有珠山、昭和山、さらにニュージーランドのホワイトアイランド火山など、島弧系の安山岩質火山から放出される火山ガスに共通した特徴的な同位体組成をもつことで知られている (Stewart and Hulston, 1975; 松葉谷ほか, 1975; Mizutani et al., 1986; 日下部・松葉谷, 1989; Matsuhisa, 1992 など)。すなわち、噴出する蒸気は、天水に比べて著しく高い水素と酸素の同位体比を有し、マグマ由来であるとの説が有力である。

江原らは、この噴気地からの放熱量を約 100MW、噴気・温泉として放出される水量を 1 日約 5,600 トンと見積もった (江原ほか, 1981)。また、噴気の最高温度として、Mizutani et al. (1986) によって 508°C が観測されている。Mizutani et al. は多くの噴気について温度、同位体比、化学成分などを測定し、同位体比の異なる種々の噴気があり、温度の高い噴気で水素、酸素同位体比が高く、塩化物イオン濃度が高い (水 1 kg 当たり 8 g 前後) ことを明らかにした。噴気地周辺では、変質帯と新鮮な岩石との境界が比較的明瞭であり (竹村・由佐, 1991)、土壌ガス中の水銀や二酸化炭素などに特徴的な分布が見られる (糸井, 1993)。現在、地表では、谷部を含む約 350m × 600m の範囲内で噴気活動があり、谷部斜面では酸性の強い高温、高塩分の水が随所に湧出し、溪流を形成している。九重硫黄山では、このように比較的限られた範囲から多量のエネルギーと物質が放出されている。

九重火山群の周辺には、古くからの温泉地が散在する。また、硫黄山の北西約 4~5km には大岳、八丁原の地熱発電所があり、北西 2~2.5km の牧の戸地区には噴気井が見られる。この地域の深部には、食塩型の熱水系が発達しているものと推定される。現在、九重硫黄山の山体内、あるいはその周辺地下では、深部から上昇した火山性のエネルギーと物質によって、熱水系が形成されつつあるとの考えは可能であるかも知れない。地下深部からの高温蒸気が、地表からの天水とどのように混合し、流出するのかを明らかにすることは、火山性流体の流出機構や熱水系の形成過程を研究する上に重要な問題であると考えられる。

このような観点から、われわれは、九重硫黄山の噴気地から流出する渓流水を主な対象として、水文学的な観測を 1990 年に開始し、冬季を除き、月 1 回の観測を続けている。渓流水について安定同位体比のデータがある程度蓄積されたので、その測定結果を中間的に報告し、詳しい解析は別の機会に行う。なお、水素と酸素の安定同位体比の測定は、岡山大学地球内部研究センターで行った。

2 溪流の全般的な状況

噴気地に発する溪流に沿って、1990 年 7 月に簡易測量を行い、流量、温度などの分布を調べ、観測の定点を定めた。定点は、標高 1,430m の噴気地の末端部と標高 1,200m の中流点、そして、標高 1,050m の白水川 (長者原) である。後に、標高 1,530m の源流点を加えた。溪流定点には標高に F



図1：噴気地と観測定点（降水と溪流）、および採水点の位置

の頭文字を付し（ただし、源流点はSの頭文字とした）、その位置を図1と図2（左図）に示した。図2には、1990年7月と12月、および1992年7月に測定した流量、温度、pHの溪流に沿う分布を示した。

なお、1991年6月の豪雨によって、この溪流で土石流が発生し、河道の状況が大きく変化した。とくに、標高1,530m付近から1,430m付近までの範囲で、河床に堆積していた土石がほとんど完全に洗い流され、標高1,530m付近に、新たな湧水点が見られた（それ以前は1,480m付近を源流点とみなしていた）。新しい源流点S1530の下流側では溶岩が露出し、標高1,480m付近から

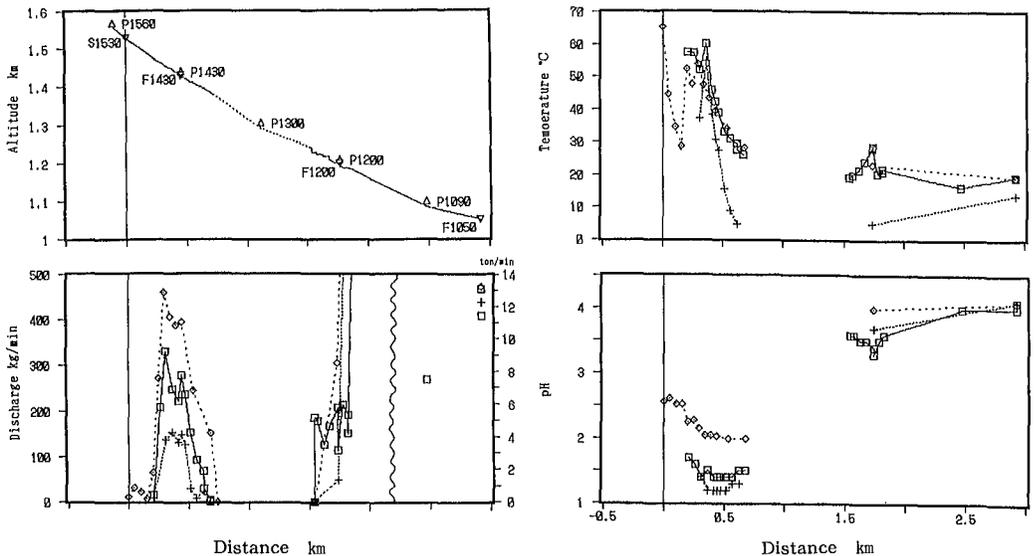


図2：観測定点（△：降水、▽：溪流）と河床（点線部分は伏流）の高度分布、および1990年7月（□）、12月（+）と1992年7月（◇）における溪流の流量、温度、pHの分布
横軸は源流点S1530からの水平距離を表す。ただし、pHの計測は、1990年は比色計、1992年はデジタルpHメータによる。

1,430m 付近までの河床には凝灰角礫岩状に固結した不透水性の層が現れた。標高 1,530m の噴気地で湧出した高温の水は、側方から湧出する高温の水の供給を受けながら溶岩の上を流れ、1,490m 付近で一旦堆積土砂の中にはいる。そして、1,480m 付近より側方から高温水の供給を受けて再び流量を増しながら凹状の固結層の上面を流れる。F1430 点における流量は、夏期には 400kg/min 程度 (最高 940kg/min)、冬季には 150kg/min 程度である。1,430m 付近から下流は未固結の土石流堆積物の上を流れ、流量を次第に減少させてスガモリ越え登山道付近で消失する。そして、1,230m 付近で再び湧出し、その後は連続した流れとなって白水川となる。白水川の F1050 点における流量は比較的安定して 10~15ton/min (最高 22ton/min) である。

降水量の測定と採水を行うため、手製の簡易雨量計 (口径 6cm) を溪流に沿う標高 1,090m、1,200m、1,300m、1,430m、1,560m の 5 箇所に設置した。後に、湯坪の標高 900m 地点 (京都大学飯田観測所) を追加した。図 1 と図 2 に、標高に P の頭文字をつけて設置場所を示した。降水量の測定と採水は、渓流水の観測日に行った。

また、1990 年 9 月と 91 年 8 月に、計 4 個の噴気の凝縮水を採取した。その他、星生山北斜面や、北千里、法華院温泉、坊ガツル、長者原、湯坪の湧水と沢水についても観測、採取した。

測定結果は、まとめて末尾の表に示した。

3 降水の同位体比

降水の水素と酸素の同位体比は、時期によって大きく変動するが、同じ時期では各定点で類似した値をとる。図 3 は、降水の δD と $\delta^{18}O$ の関係を示す。□は、降水量で加重平均したものである。加重平均は、降水量と同位体比がすべての定点で測定された期間の降水について行ったため、年間の降水量による平均値となっていない。降水の測定値および平均値は、いわゆる d 値が 11.5‰ の線 ($\delta D = 8 * \delta^{18}O + d$) 付近にある。しかし、硫黄山流域の湧水や河川水の同位体比は、d 値として 14‰ 付近のものが多い。

なお、図示していないが、噴気地に近づくにつれて降水の pH が低下し、電気伝導度 (EC) が上昇する顕著な傾向が常に観測される。この傾向は噴気地の北方少なくとも 2km の距離から明瞭であり、かなり広範囲の降水に硫黄山の噴気活動の影響の及んでいることが知られる。

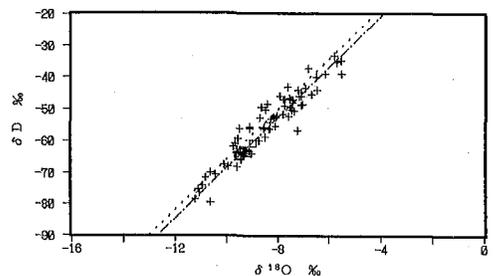


図 3：降水の水素と酸素の同位体比
□：降水による加重平均値、鎖線と点線は、それぞれ、d 値が 11.5‰ と 14.0‰ の天水線を表す。

4 渓流水、湧水の同位体比

図 4 に、1990 年 7 月と 1992 年 7 月における渓流水の水素、酸素同位体比の溪流に沿う分布を示

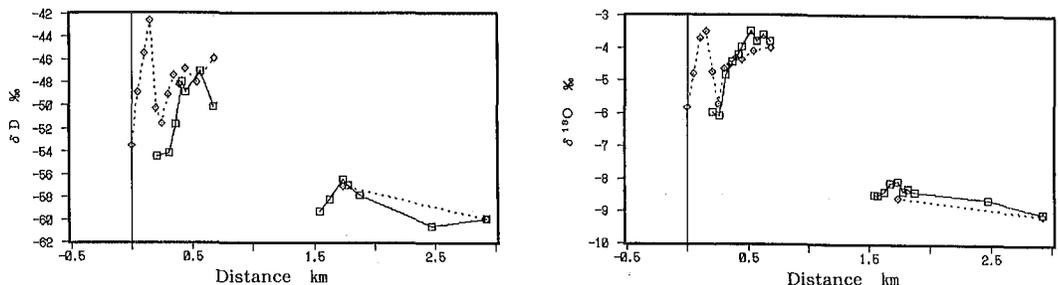


図 4：渓流水の水素と酸素の同位体比の分布
□：1990 年 7 月、◇：1992 年 7 月 横軸は図 2 と同じ。

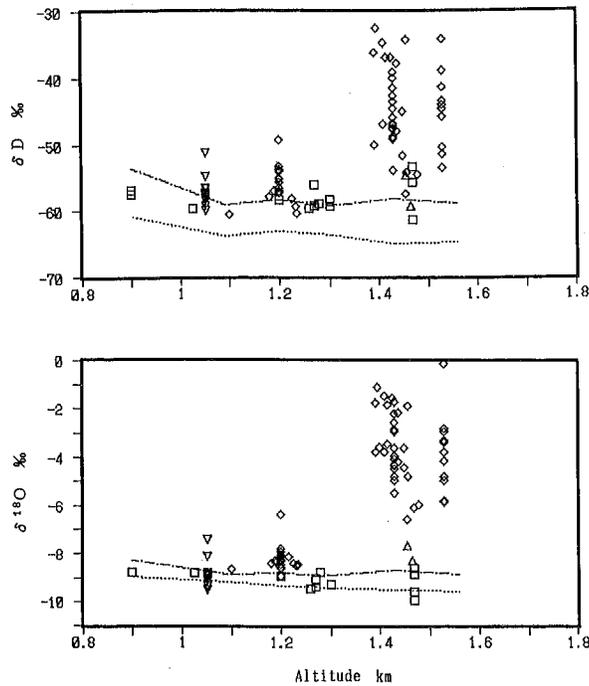


図5：降水、湧水、渓流水の水素と酸素の同位体比と標高との関係
 ◇：硫黄山噴気地に発する溪流の上流部 (KIS)、▽：白水川 (長者原)、△：星生山北斜面の湧水、□：北千里、坊ガツル、法華院温泉、長者原 (タテ原の泉)、湯坪 (京大飯田観測所) の湧水と沢水。点線：降水の加重平均、鎖線：降水の単純平均。

す (横軸の距離縮尺は図2と同じ)。図5は、渓流水、湧水、河川水の水素と酸素の同位体比の値を、採取高度に対してプロットしたものである。◇は硫黄山の噴気地に発する溪流 (KIS) の上流部、▽がその下流の白水川 (長者原) である。その他、△は、星生山北斜面で湧出する温泉水、□は、北千里、坊ガツル、法華院温泉、長者原、湯坪の湧水と沢水である。点線は降水の加重平均値、鎖線は降水の単純平均値である (単純平均値は、定点ごとに測定値を単に平均したものである)。降水の同位体比は、加重平均、単純平均ともに、標高が増すにつれて低くなる傾向がある。渓流水 (KIS) の同位体比は、上流部で降水の平均値よりもかなり高いが、噴気地から離れ、標高1,230mの湧水点以下の高度になると、採取地点の降水値の程度となる。

図6は、これらを一括して $D - \delta^{18}O$ 図上にプロットしたものである。+は降水の加重平均を表し、天水線の d 値は14%である。硫黄山の渓流水 (KIS) は、天水よりも水素、酸素ともに同位体比が高く、天水線から系統的に離れる。

図7は、溪流の観測定点で水素と酸素の同位体比を流量と対比させたものである。各定点で流量が減少すると同位体比の高まる傾向がある。

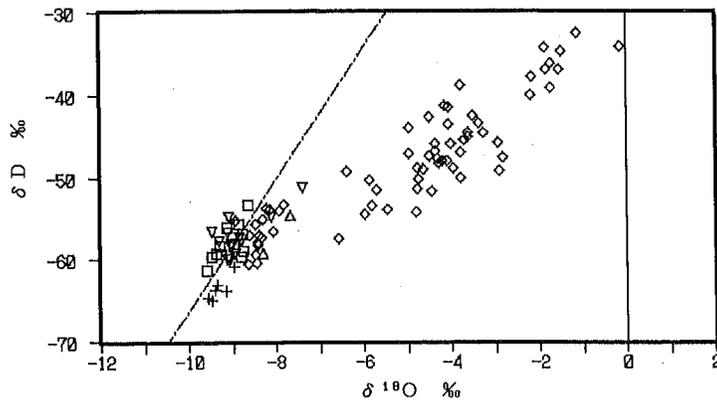


図6：降水、湧水、渓流水の水素同位体比と酸素同位体比の関係
 記号は、図5と同じ。ただし、+：降水の加重平均、鎖線： $d=14\%$ の天水線

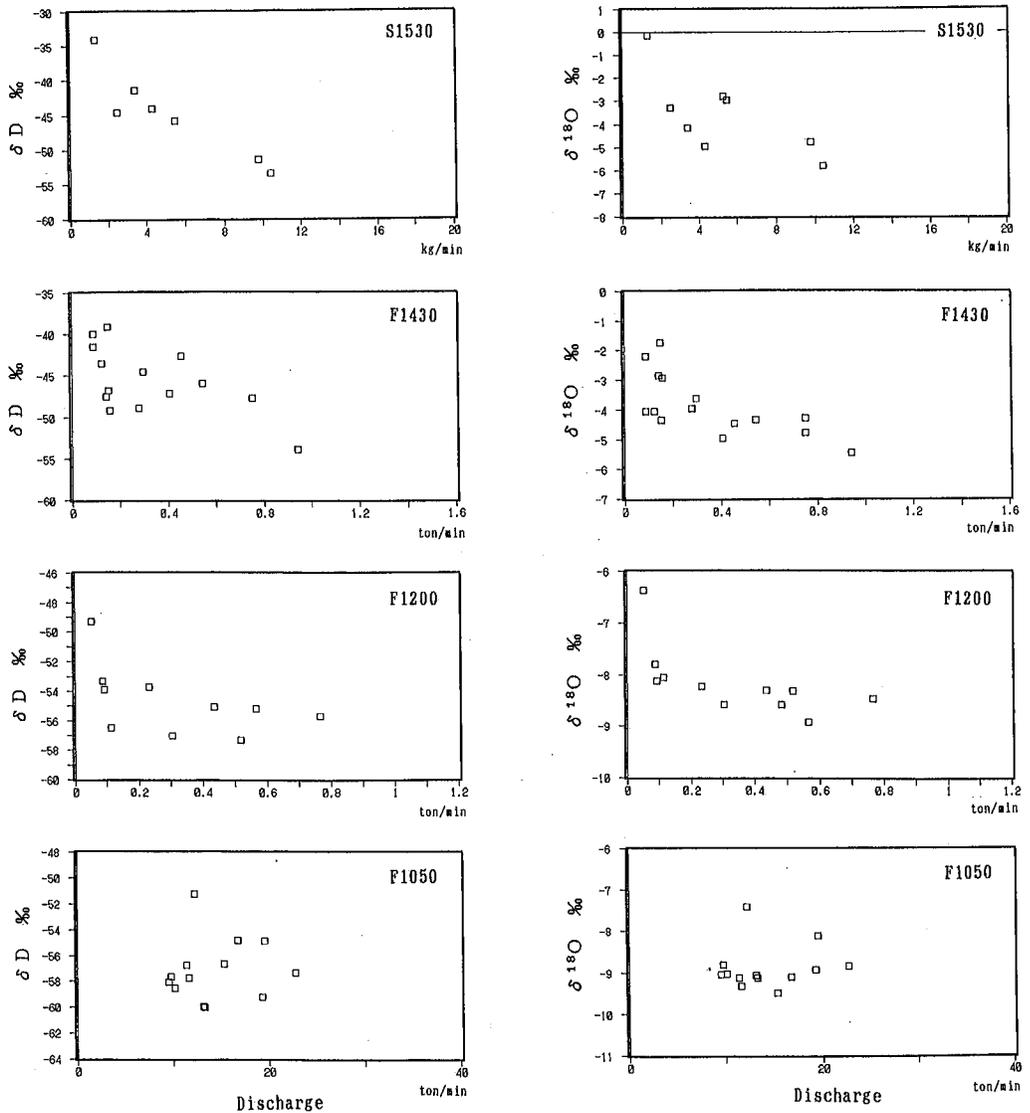


図7：溪流の観測地点における水素、酸素の同位体比と流量の関係

5 噴気および溪流水の水素と酸素の同位体比の関係

Mizutani et al. (1986) によって、1960年から1984年にかけて、噴気の精力的な調査が行われ、温度、同位体比（水素、酸素、炭素、硫黄）、化学成分など、多くの貴重なデータが得られている。今回行った溪流水の測定結果を、噴気データと比較してみる。噴気データには、Mizutani et al. (1986) のデータの他に松葉谷ら (1975、3個) と今回 (4個) のデータを追加する。噴気同位体比は、 δD が -49.3‰ から -14.0‰ 、 $\delta^{18}O$ が -1.84‰ から $+11.2\text{‰}$ の範囲にある (図8)。同位体比の最高値は KH-3 噴気 (350°C) からのものであり、最低値は、今回測定した噴気 (96.3°C) である。

Mizutani et al. (1986) は、水素、酸素同位体比が高く測定された噴気にはマグマ性の蒸気が含まれているとし、それと天水との混合を論じている。また、噴気同位体比は、時期によって大きく変動し、1959-64年に比べると1984年の噴気同位体比が水素、酸素ともに全体的に低く測定されている。噴気同位体比の変動に噴気活動の消長が反映されている可能性が指摘されている。

□マークは、最高温度を記録した噴気 KH-1 の時期による違いを示したものである。

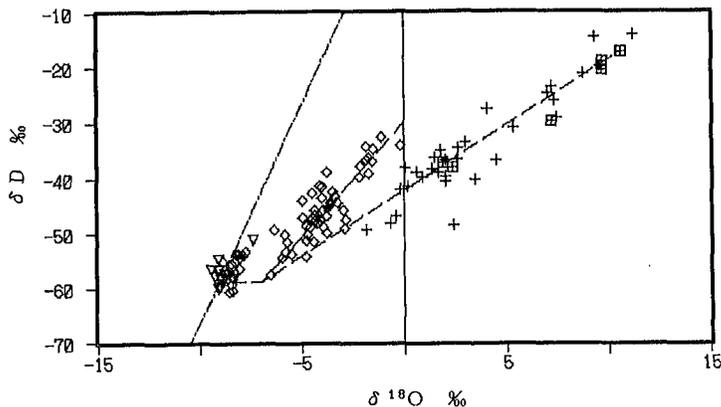


図8： 渓流水（◇：KIS上流部、▽：白水川）と噴気（+）の水素同位体比と酸素同位体比の関係。
□：最高温度を示した噴気 KH-1 の時期による違いを示す。天水線の d 値は 14.0‰。

ところで、噴気は、 $\delta D - \delta^{18}O$ 図上で、破線に沿うように系統的に分布する。しかし、その線を同位体比の低い側に延長させても、渓流水 (KIS) の一部をかすめる程度で、天水線付近には、地域の地下水を反映する湧水や川水がない。

一方、渓流水は、 $\delta D - \delta^{18}O$ 図で、天水線と一連の噴気の間位置し、噴気とは別の破線の周りに散らばりながら分布する。この 2 本の破線が交差する点は、天水が O シフトしたとみて差し支えない同位体組成である。これは、浸透した雨水が高温下で岩石との間で酸素の交換をおこして O シフトし、それが蒸気通路に入り、蒸気と混合する状況を思わせる。その混入過程で、同位体分別効果が明瞭でないで、水は、霧吹き器のように、液体のまま蒸気の通路に入り、全部蒸発する過程を想像させる。

渓流水の水素と酸素の同位体比の関係は、噴気と異なる同位体比の高い地熱水と、O シフトした地下水との混合、あるいは、地下水の蒸発濃縮の過程を暗示する。図 7 の同位体比と流量の関係は、地熱水が天水で希釈される状態、あるいは、地下水の蒸発濃縮の度合いが流量が減ると増す状態を示唆する。そのような同位体比の高い地熱水は、地下水の蒸発濃縮の他に、同位体比の高い蒸気が地下水に混入し、さらに 2 次的に気液分別を起こすことによっても形成される。いずれにせよ、噴気地から湧出する水は、山体内で気液分別過程を経たものであると推定される。渓流水の散らばりをこの破線で代表させ、それが気液平衡状態を反映するものとすれば、その勾配約 4.2 は、140°C 前後の平衡温度に対応される (Truesdell and Nathensen, 1977)。

6 渓流水および噴気同位体比と塩化物イオン濃度の関係

図 9 は、噴気と渓流水の水素と酸素の同位体比を塩化物イオン濃度と対比させたものである。噴気の水素、酸素同位体比はそれぞれ Cl 濃度との間で正の相関がある。渓流水にも、水素、酸素同位体比は Cl 濃度との間に別の正の相関が認められる。ここでも、地下水が蒸発濃縮を受けている可能性や、また、その直線的な関係の延長に噴気が存在するので蒸気混入を受けている可能性が示唆されている。

ただ、噴気に関しては、 $\delta D - \delta^{18}O$ 図で、同位対比の高い蒸気と O シフトした天水との混合が推定されたが、Cl 濃度の低い噴気同位体比は、O シフトした天水の値とは明らかに異なっている。

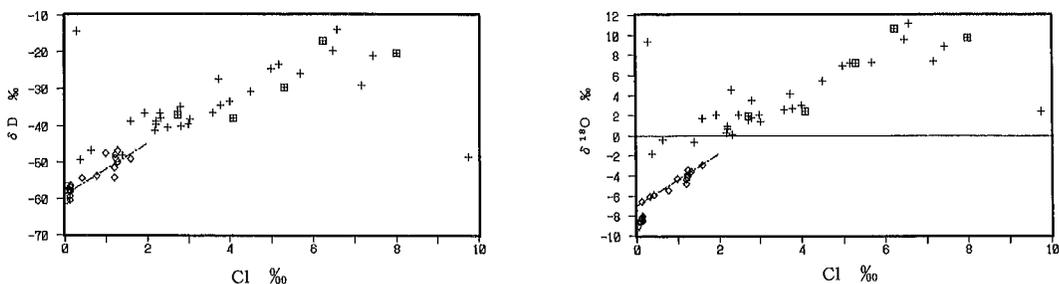


図9：渓流水 (KIS) と噴気の水素および酸素同位体比と Cl 濃度との関係
記号は、図8と同じ。

7 渓流水および噴気同位体比と温度の関係

大気圧の下で温度 508°C の過熱蒸気は、約 837cal/g の比エンタルピーを持つ。蒸気が上昇する途中に気液 2 相系を經過すれば、蒸気の比エンタルピーは約 670cal/g を越える値をとりえないので、このような高い比エンタルピーをもつ蒸気は、途中に気液 2 相を介さない、おそらくマグマ起源の水が直接上昇したものであろうと推定される。Mizutani et al. (1986) は、深部で化学的な平衡状態を想定し、600°C の平衡温度を推定した。

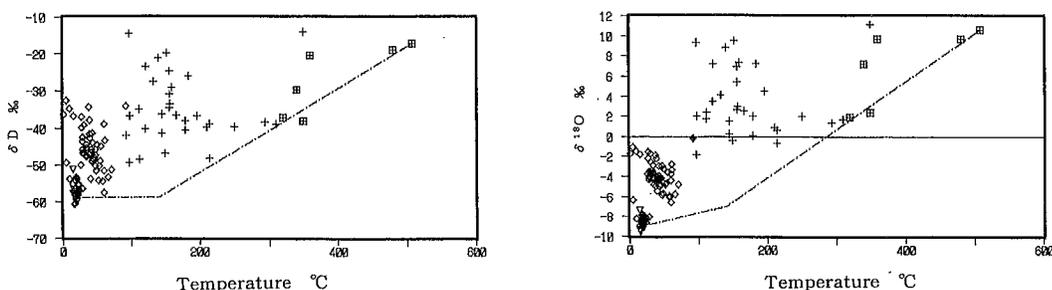


図10：渓流水 (KIS) と噴気同位体比と温度との関係 記号は、図8と同じ。

図10は、噴気と渓流水について、水素と酸素の同位体比を温度と対比させたものである。破線は、Oシフトした天水（液体）が 140°C であるとして、それと最高温度（508°C）を示した時の噴気 KH-1 とを結んだものである。蒸気の比熱はこの温度範囲でかなり変わるので、直線で結ぶには問題があるが、水素、酸素同位体比のそれぞれで、噴気の測定温度がほぼこの線を上限とするような値をとっている。KH-1 噴気は、□印で表したように、いずれの時期においても 320°C 以上の高温を維持している。しかし、それ以外の大部分の噴気は、種々の同位体比を持ちながら 100°C から 200°C の間にある。

δD - δ¹⁸O 図 (図8) では、同位体比の最も高い噴気 (マグマ由来の水) と Oシフトした天水とがほぼ等量ずつ混合したような組成をもつ噴気が多く見られる。ところが、これら噴気の中で、温度の低い噴気に着目すると、Cl 濃度は、等量混合した場合の約 4g/l よりも低い、2~4g/l のものが多い (図9)。また、前記のように、Cl 濃度の低い噴気同位体比は、蒸気に混入すると考えられる Oシフトした天水の同位体比と異なる。噴気に見られる、Cl と同位体との異なる挙動は、噴気の主成分のひとつである HCl に関して、たとえば、温度の低下とともに HCl が蒸気から除かれるような過程が存在することを暗示する。NaCl に関しては、蒸気への溶解度が水の臨界温度を越えると急激に増加するという実験結果があるが (Sourirajan and Kennedy, 1962)、HCl にも類似した特性

があるのかも知れない。Cl 濃度の最も低い噴気は、同位体比が最も低く、天水の混合割合は高いと考えられる。これら低温、低 Cl 濃度、低同位体比の噴気温度はほぼ 100°C である。 $\delta D - \delta^{18}O$ (図 8) で、噴気同位体比が最も低くプロットされた点は、蒸気として存在しうる下限を表す可能性がある。

江原ら (1990) の 2 相系モデルの計算結果によると、地下 2km 以浅に 2 相系が推定されている。茂木 (1993) は、MT 法による比抵抗構造探査を行い、山体内の浅層 (100m 深以浅) に顕著な低比抵抗帯の存在することを見出し、それが周辺にも比較的広範囲に分布する状態を明らかにした。前記のように、噴気地から湧出する水の水素、酸素同位体比の勾配から、湧出水は 140°C 前後の気液平衡系を経由した可能性を持つ。その温度における平衡圧力は 3.7kg/cm² であり、水柱にして約 27m の深さに対応される。最高温度を示した蒸気 (837cal/g の比エンタルピー) が 140°C の水と等量ずつ混合するものとすれば、混合後の流体のエンタルピーは 489cal/g と計算される。これは、臨界点の値 (503cal/g) に近いが、それよりも低いため、気液 2 相状態を形成させる (もし 300°C の温度になれば、湿り度は 0.50、200°C で 0.38、140°C で 0.32 となる)。硫黄山の噴気地の地下浅所には、気液 2 相の状態が推定されてよいと思われる。しかし、KH-1 噴気や KH-3 噴気のように、上昇途中に 2 相系を経ない高エンタルピーの蒸気もあり、周りと物質の交流のない蒸気通路の存在する範囲もある (KH-1 と KH-3 の噴気孔は図 1 の C 付近に位置する)。

前記のように、噴気同位体比は、天水と火山性蒸気との混合を推定させるが、天水が蒸気の通路に入るためには水の圧力が通路内の蒸気圧力を越える条件が必要である。高温の蒸気が低温化し、低圧化する過程として、蒸気の上昇通路断面の拡大などによる断熱膨張が考えられる。しかし、深部の蒸気に対して、化学平衡温度を推定することはできても、圧力を推定することは一般に困難なため、その冷却過程を議論することはむずかしく、蒸気に天水が取り込まれる過程の問題は残される。

噴気および天水とは異なる同位体比をもつ渓流水には、山体内で展開する、深部からの火山性の蒸気と地表からの天水との相互作用が反映されていると言える。そのような特徴的な同位体比をもつ水は、高温環境下で、地下水が流動しながら連続的に蒸発することによっても、また、地下水に同位体比の高い火山性蒸気が混入し、さらに 2 次的に気液分別を起こすことによっても形成される。しかし、同位体比の低い 2 次蒸気はまだこのフィールドでは見いだされていない。噴気および渓流水の水素、酸素同位体比は、火山性の蒸気に地下水 (天水) が取り込まれる過程だけではなく、蒸気が地下水中に混入する過程の存在を示唆する。循環性の天水が火山性流体の流出過程にどういった役割をし、また、どういう過程で熱水系が形成されるのか、さらに基礎的なデータを収集しつつ、明らかにしてゆきたい。

おわりに、水素と酸素の同位体比の測定にご協力いただいた岡山大学地球内部研究センターの日下部実教授と野儀多鶴恵技官、また、現地観測と化学分析にご協力いただいた、京都大学地球物理学研究施設の馬渡秀夫技官に感謝する。

参考文献

- 1) 糸井龍一 (1993) : 土壌ガス探査、「火山発電に関する基礎的研究—九重火山・九重硫黄山における熱構造・熱過程・熱抽出に関するケーススタディー」, 平成 1~4 年度科学研究費補助金研究成果報告書 (代表者 江原幸雄), 104-114.
- 2) 江原幸雄 (1990) : 活動的な噴気地域下の熱過程と火山エネルギー抽出可能性の検討—九重硫黄

- 山の例一, 日本地熱学会誌, 12 (1), 49-61.
- 3) 江原幸雄・湯原浩三・野田徹郎 (1981): 九重硫黄山からの放熱量・噴出水量・火山ガス放出量とそれから推定される熱水系と火山ガスの起源, 火山, 26, 35-56.
 - 4) 日下部実・蔦木康宏・吉田実 (1977): 本邦火山ガス凝縮水の水素および酸素同位体比, 地球化学, 11, 14-23.
 - 5) 日下部実・松葉谷治 (1989): マグマ性揮発物質・火山ガス・地熱水, 火山, 第2集, 30, S267-S283.
 - 6) 竹村恵二・由佐悠紀 (1990): 九重硫黄山の変質帯, 大分県温泉調査研究会報告, 42, 23-27.
 - 7) 松葉谷治・上田昇・日下部実・松久幸敬・酒井均・佐々木昭 (1975): 薩摩硫黄島および九州の2, 3の地域の火山ならびに温泉についての同位体化学的調査報告, 地質調査所月報, 26, 375-392.
 - 8) 茂木透 (1993): 比抵抗構造, 「火山発電に関する基礎的研究-九重火山・九重硫黄山における熱構造・熱過程・熱抽出に関するケーススタディー」, 平成1~4年度科学研究費補助金研究成果報告書 (代表者 江原幸雄), 25-42.
 - 9) Matsuhisa, Y. (1992): Origin of magmatic waters in subduction zones: Stable isotopic constraints. Extended abstracts of the Japan-U.S. Seminar on "Magmatic contributions to hydrothermal systems" held at Kagoshima and Ebino, November, 1991 (edited by Hedenquist, J.W.), *Rept. Geol. Surv. Japan*, 279, 104-109.
 - 10) Mizutani, Y., Hayashi, S. and Sugiura, T. (1986): Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Kuju-Iwoyama, Kyushu, Japan. *Geochemical Journal*, 20, 273-285.
 - 11) Sourirajan, S. and Kennedy, G. C. (1962): The system H₂O-NaCl at elevated temperatures and pressures. *Amer. Jour. Sci.*, 260, 115-141.
 - 12) Stewart, M. K. and Hulston, J. R. (1975): Stable isotope ratios of volcanic steam from White Island, New Zealand. *Bull. Volcanol.*, XXXIX, 28-46.
 - 13) Truesdell, A. H. and Nathenson, M. (1977): The effects of subsurface boiling and dilution on the isotopic compositions of Yellow stone thermal waters. *Jour. Geophys. Res.*, 82 (26), 3694-3704.

同位体比の測定結果

降水

Stn	Period	Prec. mm	δD ‰	$\delta 18O$ ‰	pH	EC $\mu S/cm$	Memo
P1560	07/13 - 09/20 '90	601	-64.8	-9.31			
	09/20 - 10/29 '90	383	-56.3	-9.48			
	10/29 - 12/04 '90	111	-63.3	-9.13			
	12/04 - 04/16 '91	344	-39.9	-6.49			
	04/16 - 06/24 '91	677	-44.0	-6.44			
	06/24 - 07/23 '91	701	-56.0	-8.30			
	07/23 - 09/11 '91	424	-55.6	-8.51		565	
	09/11 - 10/11 '91		-70.7	-10.43		1065	破損
	10/11 - 11/15 '91	60	-49.4	-7.51		2620	
	11/15 - 04/28 '92	735	-52.7	-8.72	2.97	961	満杯 ?
	04/28 - 05/26 '92	191	-47.1	-7.38	2.75	1466	
	05/26 - 07/07 '92	413	-100.6	-14.14	3.13	805	
07/07 - 07/23 '92	212	-64.3	-9.01	3.38	5110		
P1430	07/13 - 08/09 '90	99	-45.8	-7.07			
	08/09 - 09/20 '90	509	-68.1	-9.94			
	09/20 - 10/29 '90	408	-59.3	-9.55			
	10/29 - 12/04 '90	131	-56.6	-7.21			
	12/04 - 04/16 '91	307	-38.9	-5.49			
	04/16 - 06/24 '91	718	-45.4	-6.66			
	06/24 - 07/23 '91	737	-55.5	-8.09			
	07/23 - 09/11 '91	398	-54.0	-8.31		259	
	09/11 - 10/11 '91	263	-74.3	-10.95		358	
	10/11 - 11/15 '91	45	-50.2	-8.49		659	
	11/15 - 04/28 '92	718	-55.6	-9.07	3.37	332	満杯
	04/28 - 05/26 '92	146	-46.8	-7.72	3.12	629	
05/26 - 07/07 '92	371	-101.9	-13.97	3.39	432		
07/07 - 07/23 '92	207	-63.3	-9.28	3.72	333		
P1300	07/13 - 08/09 '90	85	-50.4	-7.34			
	08/09 - 09/20 '90	569	-66.1	-9.42			
	09/20 - 10/29 '90	450	-61.9	-9.74			
	10/29 - 12/04 '90	137	-71.6	-10.81			
	12/04 - 04/16 '91	322	-34.6	-5.52			
	04/16 - 06/24 '91	726	-47.9	-7.43			
	06/24 - 07/23 '91	679	-56.4	-8.33			
	07/23 - 09/11 '91	466	-52.6	-8.18		61	
	09/11 - 10/11 '91	349	-75.7	-11.10		85	
	10/11 - 11/15 '91	72	-45.8	-7.92		100	
	11/15 - 04/28 '92						採取不能
	04/28 - 05/26 '92	176	-46.6	-7.54	4.07	66	
05/26 - 07/07 '92	424	-99.9	-13.71	4.04	104		
07/07 - 07/23 '92	236	-59.9	-8.75	4.56	38		
P1200	07/13 - 08/09 '90	88	-48.8	-7.08			
	08/09 - 09/20 '90	567	-68.4	-9.59			
	09/20 - 10/29 '90	447	-60.7	-9.65			
	10/29 - 12/04 '90	127	-70.0	-10.62			

	12/04 - 04/16 '91	267	-35.3	-5.69					
	04/16 - 06/24 '91	729	-49.0	-7.74					
	06/24 - 07/23 '91	735	-52.2	-7.57					
	07/23 - 09/11 '91	425	-51.9	-8.04				27	
	09/11 - 10/11 '91	317	-76.5	-11.06				22	
	10/11 - 11/15 '91	53	-46.8	-7.75				74	
	11/15 - 04/28 '92	740	-56.1	-9.10		4.27		36	满杯 ?
	04/28 - 05/26 '92	152	-45.9	-7.18		4.34		45	
	05/26 - 07/07 '92	353	-98.6	-13.65		4.37		59	
	07/07 - 07/23 '92	189	-56.2	-8.55		4.77		25	
P1090	07/13 - 08/09 '90	90	-48.5	-7.00					
	08/09 - 09/20 '90	580	-64.2	-9.38					
	09/20 - 10/29 '90	424	-62.7	-9.60					
	10/29 - 12/04 '90	140	-67.5	-10.10					
	12/04 - 04/16 '91	281	-38.9	-6.14					
	07/23 - 09/11 '91	434	-51.5	-7.79				21	
	09/11 - 10/11 '91	324	-79.6	-10.64				31	
	10/11 - 11/15 '91	67	-43.1	-7.62				42	
	11/15 - 04/28 '92	729	-49.3	-8.63		4.50		26	满杯 ?
	04/28 - 05/26 '92	165	-44.1	-7.21		4.72		27	
	05/26 - 07/07 '92	354	-100.6	-13.44		4.50		40	
	07/07 - 07/23 '92	207	-58.7	-8.50		4.81		21	
P900	12/04 - 04/16 '91	257	-33.3	-5.77					
	04/16 - 06/24 '91	730	-44.7	-7.07					
	06/24 - 07/23 '91	745	-53.1	-8.27					
	07/23 - 09/11 '91	323	-50.4	-7.46				19	
	09/11 - 10/11 '91	270	-78.7	-11.23				23	
	10/11 - 11/15 '91	59	-36.9	-6.79				56	
	11/15 - 04/28 '92	736	-48.4	-8.41		4.89		24	满杯 ?
	04/28 - 05/26 '92	154	-43.2	-6.92		4.87		37	
	05/26 - 07/07 '92	321	-95.8	-12.99		4.86		48	
	07/07 - 07/23 '92	184	-52.6	-8.08		4.59		26	

溪流水(KIS)

Alt. m	Stn	Date	δD ‰	$\delta 18O$ ‰	Temp. °C	Air T. °C	pH	EC $\mu S/cm$	Cl ppm	FLOW l/min	Memo	
1530	S1530	07/23 '91	-38.9	-3.77	59.6	22.5	2.33				源流点	
		08/08 '91	-50.4	-5.85	46.9	22.1	2.38	3460				
		09/11 '91	-41.4	-4.15	42.6	22.7	2.27	4240		3.4		
		10/11 '91	-44.1	-4.95	43.3	10.5	2.33	4490		4.3		
		11/15 '91	-34.1	-0.14	91.9	5.2	2.72	3970		1.34		
		04/28 '92	-44.6	-3.27	49.3	18.8	2.20	7100		2.48		
		05/26 '92	-45.8	-2.94	47.0	10.4	2.23	7240		5.5		
		B1	07/22 '92	-53.5	-5.81	65.3	25.9	2.56	4380			10.4
		09/02 '92	-51.5	-4.78	70.5	26.2	2.76	4650		9.8		
		10/27 '92	-43.5	-3.37	60.6	10.7	2.07	5590				
	11/29 '92		-2.80	60.8	8.4	1.97	6340		5.3			
1519	B2	07/22 '92	-48.9	-4.77	44.7	23.1	2.62	5220		31.6		
1508	B3	07/22 '92	-45.5	-3.71	34.5	27.5	2.53	6010		21.3		
1497	B4	07/22 '92	-42.6	-3.50	28.6	24.1	2.52	6090		7.9		

1486	B5	07/22 '92	-50.3	-4.74	52.5	27.0	2.25	9340		64.6	
1480	A1	07/23 '90	-54.5	-5.97	57.5		1.7		408	15	
1474	B7	07/22 '92	-51.6	-5.70	47.8	24.4	2.28	9340		271	
1470	A2	07/23 '90		-6.08	57.4		1.6		308	208	
1463	B8	07/22 '92	-49.1	-4.62	53.9	25.5	2.15	12910		460	
1458	A3	07/23 '90	-54.2	-4.80	52.2		1.4		1203	331	
		12/03 '90	-34.3	-1.86	37.2	0.2	1.4			137	
1452	B9	07/22 '92	-47.4	-4.50	47.4	24.6	2.05	13890		405	
1450	A4	07/23 '90	-51.7	-4.43	60.3		1.5		1200	247	
		12/03 '90	-45.1	-3.62	54.9	-3.5	1.2			153	
		04/27 '90	-46.3	-3.88	47.4	14.3	1.5	>10000	3965	600	1450m付近
1441	B10	07/22 '92	-48.2	-4.28	43.5	25.5	2.04	14500		387	
1438	A5	07/23 '90	-48.0	-4.19	45.9		1.4		1210	222	
		12/03 '90	-37.8	-2.17	38.2	-3.4	1.2			131	
1430	F1430	07/12 '90	-47.7	-4.29	35.5	18.3			987	750	
		07/13 '90		-4.78	35.5					750	
		07/23 '90	-48.9	-3.95	42.4		1.4		1208	278	
		08/08 '90	-49.2	-2.91	42.0	27.8	1.4		1591	158	
		09/20 '90	-53.9	-5.46	39.8	16.8	1.3		768	943	
		12/03 '90	-39.2	-1.72	30.7	-0.8	1.2			147	
		04/16 '91	-44.6	-3.61	34.2	18.2	1.6			298	
		06/24 '91	-46.0	-4.35	40.7	23.4	1.5			545	
	A0	07/23 '91	-42.7	-4.48	39.0	25.3	1.64			457	
		08/08 '91	-47.2	-4.97	37.1	19.2	1.52	14310		407	
		09/11 '91	-41.6	-4.05	38.2	24.1	1.40	16530		87	
		10/11 '91	-43.6	-4.05	28.2	11.2	1.50	18700		124	
		11/15 '91	-40.0	-2.19	27.2	5.7	1.43	22700		87	
		04/28 '92	-47.6	-2.83	34.6	19.4	1.66	19500		142	
		05/26 '92		-2.55	30.3	10.4	1.67	21800			
	B11	07/22 '92	-46.8	-4.35	39.5	25.0	2.03	15040		395	
1426	A6	07/23 '90			39.1		1.4			236	
		12/03 '90	-37.0	-1.54	27.4	-1.8	1.2			125	
1417	A7	07/23 '90		-3.46	33.1		1.4		1240	154	
		12/03 '90	-36.9	-1.83	15.4	-3.0	1.2			30	
1410	A8	07/24 '90	-47.0	-3.77	31.1	23.6	1.4		1273	92	
		12/03 '90	-34.8	-1.48	8.9	-2.6	1.3			7.5	
1408	B13	07/22 '92	-48.0	-4.08	34.2	25.0	1.99	15770		246	
1400	A9	07/13 '90							925		
		07/24 '90		-3.59	29.5	23.8	1.5		1305	68	
1397	A9'	07/24 '90			27.7					30	
		12/03 '90	-32.5	-1.11	4.6	-2.8	1.3			22	
1394		07/24 '90								8	
1392	A10	07/24 '90	-50.1	-3.77	28.1	22.4	1.5		1275	3	
		12/03 '90	-36.2	-1.73	1.5	-2.8	1.3			0	
1375	B16	07/22 '92	-45.9	-3.99	28.2	23.8	1.99	16720		152	
1234		08/08 '90	-60.4	-8.45	17.9	24.7	3.8		121		
1232	A15	08/08 '90	-59.3	-8.47	19.1	24.7	3.6		126	186	
1230	A14	08/08 '90		-8.50	19.9	25.3	3.6		128	179	
1225	A13	08/08 '90	-58.2	-8.41	21.5	26.1	3.5		126	127	
1215	A12	08/08 '90		-8.11	24.0	27.2	3.5		127	168	

1200	F1200	07/12 '90		-8.58	19.4	20.3				91	482	
		07/24 '90			28.1	-	3.4				208	
	A11	08/08 '90	-56.5	-8.05	28.7	28.5	3.3			129	114	
		12/03 '90	-49.3	-6.37	4.9	-1.9	3.7				51	
		04/16 '91	-53.3	-7.80	18.7	17.3	3.6				88	
		06/24 '91	-57.3	-8.32	20.2	22.4	3.4				518	
		07/23 '91	-55.7	-8.46	22.8	26.5	3.60				767	
		09/11 '91	-55.1	-8.30	22.8	23.5	3.60	1390			435	
		10/11 '91	-55.2	-8.92	13.9	12.3	3.78	1420			566	
		11/15 '91	-53.7	-8.23	9.8	6.4	3.75	1682			234	
		04/28 '92	-53.9	-8.13	20.5	19.0	3.90	1701			93	
		05/26 '92	-54.1	-7.92	18.1	10.3	3.40	1778				
		07/22 '92	-57.0	-8.59	23.0	25.8	4.00	1464			306	
1190	A16	08/08 '90	-57.0	-8.38	20.3	22.3	3.5			126	214	
1188	A17	08/08 '90		-8.29	20.8	23.3	3.6			126	192	
1180	A18	08/08 '90	-57.9	-8.40	21.6	22.5	3.6			125	151	
1100	A19	07/12 '90	-60.6	-8.63	16.3	19.2				30	7528	
1050	F1050	07/24 '90	-59.9	-9.07	19.5	28.0	4.0				13140	白水川
1050	A20	08/08 '90	-56.8	-9.12	19.0	26.5	4.1			39	11460	
1050		12/04 '90	-51.2	-7.41	13.7	3.5	4.1				12300	
1050		04/16 '91	-57.7	-8.80	17.1	17.7	4.2				9790	
1050		06/24 '91	-54.8	-8.10	17.4	23.8	4.0				19600	
1050		07/23 '91	-57.4	-8.85	18.1	25.4	4.10				22840	
1050		08/08 '91	-59.2	-8.94	17.2	20.6	4.31	460			19320	
1050		09/11 '91	-54.8	-9.10	17.8	23.0	4.29	466			16800	
1050		10/11 '91	-56.6	-9.49	15.0	13.3	4.41	477			15360	
1050		11/15 '91	-57.7	-9.32	13.6	5.6	4.44	477			11640	
1050		04/28 '92	-58.0	-9.04	17.6	19.5	4.37	464			9540	
1050		05/26 '92	-58.5	-9.03	17.3	14.3	4.55	468			10170	
1050		07/22 '92	-60.0	-9.12	19.0	21.4	4.09	560			13300	

噴気凝縮水

Alt. m	Sample	Date	δD ‰	$\delta 18O$ ‰	Temp. °C	Air T. °C	pH	EC $\mu S/cm$	Cl ppm	FLOW l/min	Memo
1480	FUM-A	09/21 '90	-48.3	-0.68	>214				1398		左岸
		08/06 '91	-42.0	-0.18	92.0						
1470	FUM-B	09/21 '90	-48.6	2.45	112.0				9750		右岸
1560	FUM-C	09/21 '90	-49.3	-1.84	96.8				369		分水界

その他

Alt. m	Sample	Date	δD ‰	$\delta 18O$ ‰	Temp. °C	Air T. °C	pH	EC $\mu S/cm$	Cl ppm	FLOW l/min	Memo
1480	S1480	04/27 '90		-4.09	94.7	18.5	1.7	>10000	2928		湧水
1470	IS-1	08/07 '91	-53.4	-8.62	15.6	18.7	2.05	3690			湧水
		07/23 '92			17.3	22.3	2.61	776			
1470	IS-2	08/07 '91	-61.3	-9.59	18.2	17.4	3.75	264			沢水
		07/23 '92			21.1	19.7	3.82	392			
1470	IS-3	08/07 '91	-55.7	-8.84	16.3	16.3	2.86	864			湧水
1465	HS-2	04/27 '90	-59.2	-8.29	46.8	15.0	2.1	>10000	2074	20	湧水
1455	HS-1	04/27 '90	-54.6	-7.67	40.1	15.0	2.2	4600	1219	30	湧水

1455	S1455	09/21 '90	-57.5	-6.57	60.1	14.9			123		湧水
1300	HO-5	08/07 '91	-59.3	-9.27	15.4	20.0	5.09	266		12500	湧水
1300	HH-S	08/07 '91	-58.4	-9.28	19.8	20.0	5.83	433		16.5	湧水
1300	HH-B	08/07 '91	-58.3	-9.30	37.1	20.0	5.91	859			井戸水
1280	HO-1	08/07 '91	-59.0	-8.75	16.9	19.2	4.48	61			湧水
1270	HO-2	08/07 '91	-56.2	-9.11	12.6	19.5	4.72	68		19.5	沢水
1270	HO-3	08/07 '91	-59.2	-9.36	10.1	19.5	6.39	91		1200	沢水
1260	HO-4	08/07 '91	-59.7	-9.47	9.9	18.4	6.18	153		5000	沢水
1200	HO-T	08/07 '91	-58.4	-8.95	14.1	17.3	6.69	161			川水
1025	TADE	07/13 '90	-59.7	-8.80	14.9					48	湧水
900	HAND	04/28 '92	-57.5		16.6		7.47	78			湧水
900		05/26 '92	-56.8	-8.76	15.3		7.54	8			

HS:星生山北斜面, IS:北千里, HO:法華院(坊ガッル), HH:法華院温泉, TADE:タデ原の泉,
HAND:京大飯田観測所, S1480:FUM-Aの谷側, S1455:FUM-Bの谷側

不整脈と温泉(4)

九州大学生体防御医学研究所生気候学部門

矢永尚士、畑洋一
(畑病院副院長)

畑知二、野崎雅彦
舛友一洋、武居光雄
川村熙子、牧野直樹

背景

不整脈や狭心症の発症、軽快、悪化には自律神経緊張度が深く関与している。温泉がもし不整脈抑制作用をもつならば、自律神経緊張正常化作用が認められる筈である。最近、心電図R-R間隔のスペクトル解析により交感神経成分、副交感神経成分およびそのバランスの分離・定量が試みられている。しかし不整脈患者の温泉浴前後でスペクトル解析を行った研究はみられない。

目的

硫酸ナトリウム含有(炭酸ガス)発泡浴剤の不整脈に及ぼす効果について検討した。

方法

対象は当内科に入院中の心室性期外収縮を有する5例(うち1例脱落)で年齢 57.7 ± 12.4 歳(男2例、女2例)であった。入浴は淡水浴2週間、ついで人工温泉浴2週間の連浴とし、各浴最終日に血圧、心エコー図、血液成分、ホルター心電図等の検査を行った。

入浴法は 40°C の全身浴、10分間とし、硫酸ナトリウム含有(炭酸ガス)発泡浴の浴剤使用濃度は、1錠(40g)/200Lとした。

心拍変動性の測定には、まずホルター心電図テープを用いて、R-R間隔変動スペクトル解析プログラム(フクダ電子製)により、高速フーリエ解析を行った。分析条件はサンプル数512秒、不整脈処理方法はV補間、データ前処理方法はスプライン、DC成分は除去、窓関数はハミング窓、スペクトル分解能は 0.008Hz であった。

測定項目は、平均R-R間隔、標準偏差、変動係数、LF成分パワー($0.04 \sim 0.15\text{Hz}$)、HF成分パワー($0.15 \sim 0.40\text{Hz}$)およびその比LF/HFであった。

成績

Figure 1は症例について人工炭酸浴の心室性期外収縮に対する作用を、ホルター心電図を用いて例示したものである。温浴前(上段)に比し、後は(下段)、心室性期外収縮数が3個から1個へ減少している。

Figure 2, 3は温浴前、後の心室性期外収縮の頻度(上段)、心拍数(下段)のトレンドグラムを示す。後は心室性期外収縮数が減少していることが明らかである。

Figure 4, 5はそれぞれ温浴前、後のR-R間隔変動の高速フーリエ解析(Fast Fourier Transformation FFT)を行ったものである。下段にR-Rタコグラム、パワースペクトル、ヒストグラムを示す。前、後でトータルのパワーは不変であるが、後は分散が小となり、HFのパワーの高さが高いことが明らかである。

Table 1 は温浴の心拍数、心室性期外収縮、上室性期外収縮、収縮期血圧、拡張期血圧に対する作用を示す。いずれも有意の変動はみられない。

Table 2 は温浴の心拍変動性に対する作用を示す。L F、L/H は不変であるが、H F は増加傾向を示す。

Table 3 は温浴の心エコー図に対する作用を示す。いずれも有意の変動はみられない。

Table 4 は温浴の血液ガス、血清カテコールアミン、血清Kに対する作用を示す。何れも有意の変動は見られない。

考 察

温泉の不整脈患者に対する有効性を、R-R間隔のスペクトル解析を用いて検討した。

最近、Holter 心電図のR-R間隔時系列変化のスペクトル解析により、自律神経活動評価を行なう試みが盛んである。これは、心臓が自律神経の影響を受け、R-R間隔変動は自律神経活動の表現と考えられることに基づいている。一般に心拍変動性の低下は副交感神経機能低下を表し、スペクトル解析における低周波成分(L F)は副交感神経に修飾された交感神経活動を、高周波成分(H F)は副交感神経活動を、L F/H Fは両者のバランスを表すと考えられている。

本研究ではL F、L F/H Fは不変であるが、H Fの増加傾向が示された。ただし統計上有意に達しなかったのは症例数が少ないためと考えられる。

結 論

温浴は副交感神経の安定化を示す。これが温浴による不整脈の治療に有用と考えられる。自律神経活動の定量的評価にR-R間隔変動のスペクトル解析が有用である。

T.S. 55y male

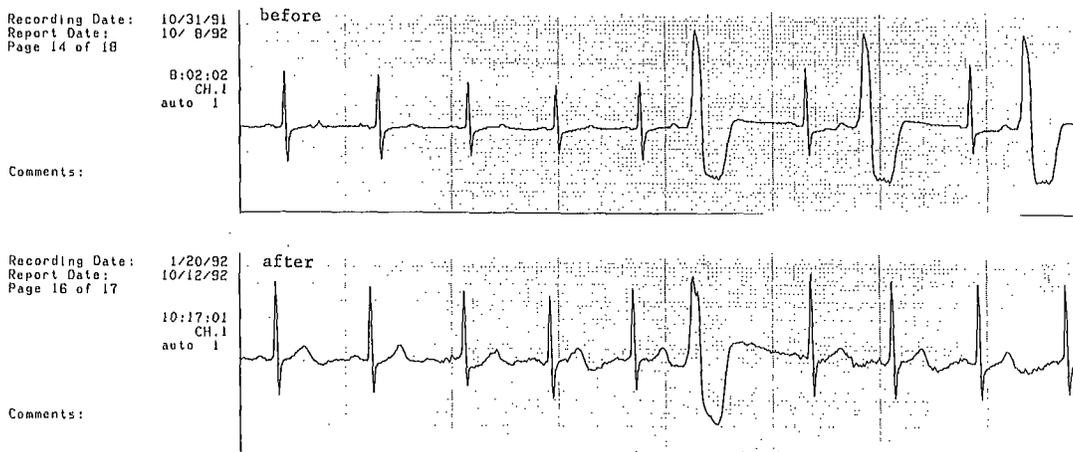


Figure 1 Effect of Artificial CO₂ Bathing on 24-hour Electrocardiogram

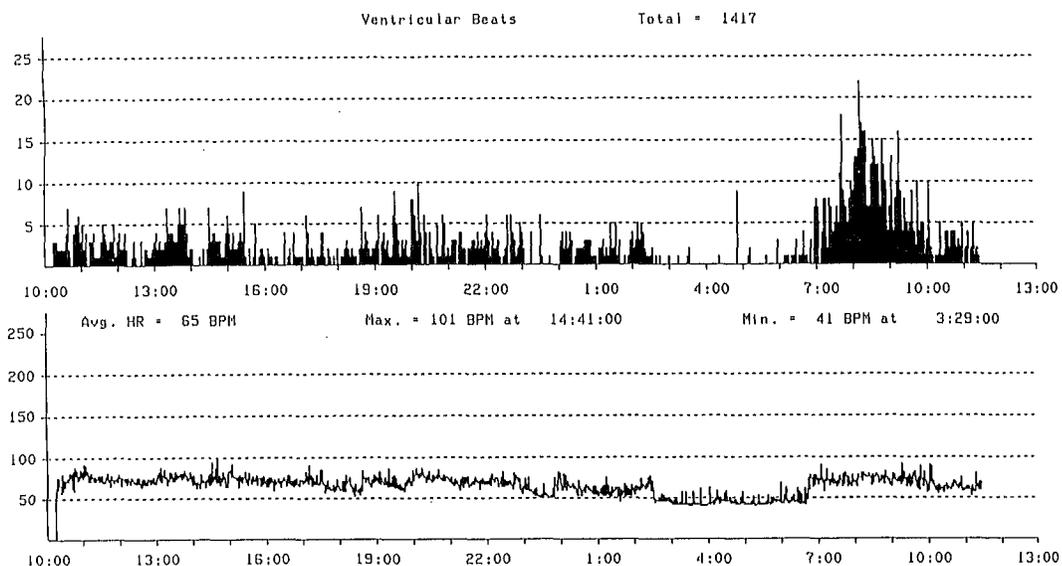


Figure 2 Trends of VPC and Heart Rate before Bathing

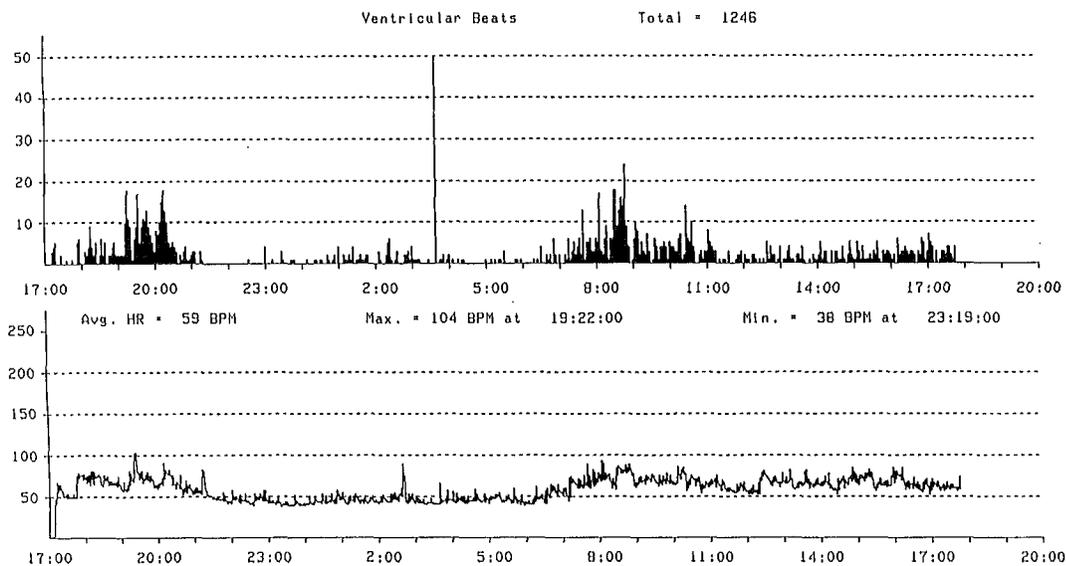


Figure 3 Trends of VPC and Heart Rate after Bathing

《分析結果一覧》

第 2 8 8 5 ビートから 5 1 2 秒
(1 18:00:00)

NAME :

【分析条件】

- ・分析アルゴリズム : FFT
- ・サンプリング数 : 512 秒
- ・不整脈処理方法 : V補間
- ・データ前処理方法 : スプライン
- ・DC成分の除去 : ON
- ・窓関数 : ハミング窓
- ・スペクトル分解能 : 0.008 HZ

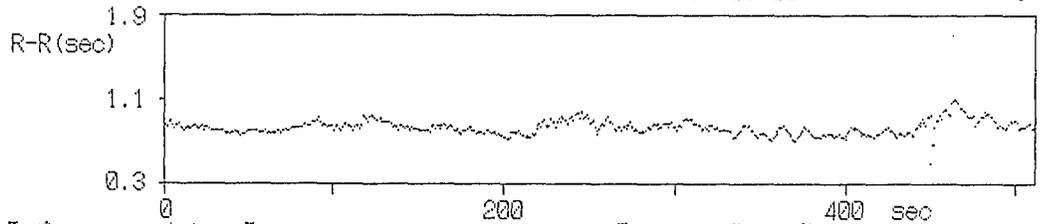
【測定データ】

- ・平均 R-R 間隔 : AV = 0.82 sec
- ・標準偏差 : SD = 0.06 sec
- ・変動係数 : CV = 7.90 %
- ・LF成分パワー : LF = 679.5 msec² (0.039 ~ 0.148 HZ)
- ・LF成分変動係数 : CVLF = 3.14 %
- ・HF成分パワー : HF = 196.2 msec² (0.148 ~ 0.398 HZ)
- ・HF成分変動係数 : CVHF = 1.69 %
- ・TF成分パワー : TF = 3476.6 msec² (0.000 ~ 4.000 HZ)
- ・TF成分変動係数 : CVTF = 7.11 %

【R-Rタコグラム】

第2885ビートから512秒
(1 18:00:00)

U = 3



【パワースペクトル】 LF= 680/HF= 196 【ヒストグラム】

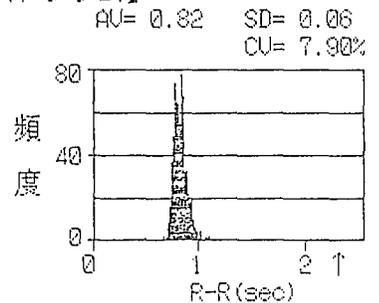
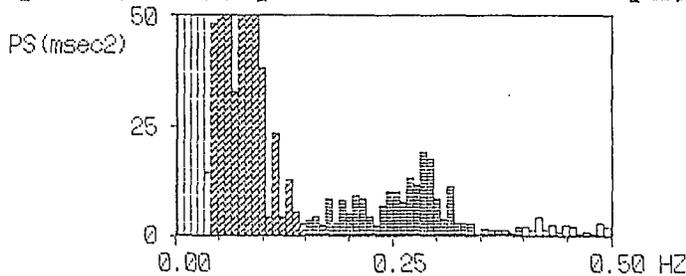


Figure 4 FFT Analysis of R-R Intervals before Bathing

《分析結果一覧》

第 4 7 4 0 4 ビートから 5 1 2 秒
(1 21:00:00)

NAME :

【分析条件】

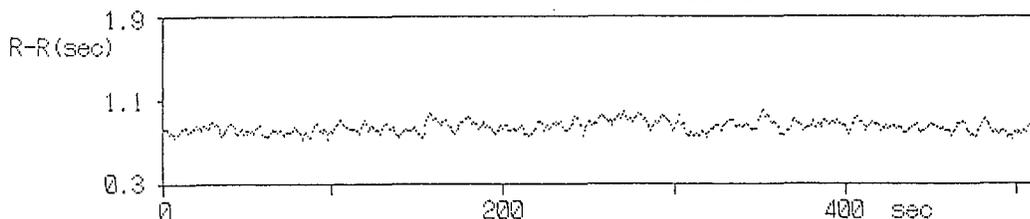
・分析アルゴリズム : FFT
 ・サンプリング数 : 512 秒
 ・不整脈処理方法 : V補間
 ・データ前処理方法 : スプライン
 ・DC成分の除去 : ON
 ・窓関数 : ハミング窓
 ・スペクトル分解能 : 0.008 Hz

【測定データ】

・平均 R-R 間隔 : AV = 0.83 sec
 ・標準偏差 : SD = 0.05 sec
 ・変動係数 : CV = 6.11 %
 ・LF 成分パワー : LF = 1235.8 msec²(0.039 ~ 0.148 Hz)
 ・LF 成分変動係数 : CVLF = 4.21 %
 ・HF 成分パワー : HF = 192.0 msec²(0.148 ~ 0.398 Hz)
 ・HF 成分変動係数 : CVHF = 1.66 %
 ・TF 成分パワー : TF = 3263.0 msec²(0.000 ~ 4.000 Hz)
 ・TF 成分変動係数 : CVTF = 6.84 %

【R-Rタコグラム】

第 4 7 4 0 4 ビートから 5 1 2 秒
(1 21:00:00) U = 6



【パワースペクトル】 LF= 1236/HF= 192 【ヒストグラム】

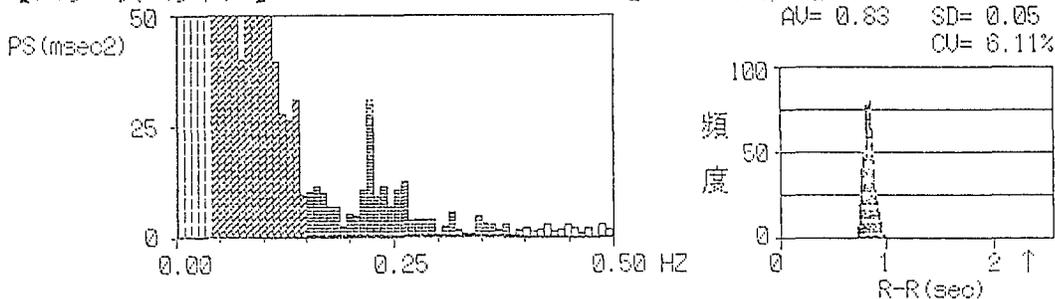


Figure 5 FFT Analysis of R-R Intervals after Bathing

Table 1 Effect of Artificial CO₂ Bathing on Heart Rate, Arrhythmias and Blood Pressures

	before		after		P value	r
	mean	S.D.	mean	S.D.		
Heart Rate (/min)						
maximum	119	12	112	7	n.s.	0.8273
minimum	42	6	44	6	n.s.	0.0781
mean	68	7	68	3	n.s.	0.6511
VPC(/day)	1135	807	2009	1487	n.s.	0.5807
APC(/day)	872	1408	549	768	n.s.	0.9971
syst. B.P. (mmHg)	132	6	130	6	n.s.	-0.6318
diast. B.P.	83	12	80	6	n.s.	0.9315

n=4 r: correlation coefficient, VPC: ventricular premature contraction, APC: atrial premature contraction, B.P. : blood pressure

Table 2 Effect of Artificial CO₂ Bathing on Heart Rate Variability

	before		after		P value	r
	mean	S.D.	mean	S.D.		
LF(msec ²)	291	231	298	266	n.s.	0.9089
HF(msec ²)	66	34	228	242	n.s.	0.3233
L/H max	8.8	13.4	11	16.6	n.s.	-0.3600
L/H min	2.5	2.5	2.2	2.1	n.s.	0.9100

n=4 max: maximal value in a day, min: minimal value in a day

Table 3 Effect of Artificial CO₂ Bathing on Echocardiogram

	before		after		P value	r
	mean	S.D.	mean	S.D.		
IVS(mm)	10.8	1.5	11.0	3.2	n.s.	0.7053
PWT(mm)	8.5	1.2	7.7	1.4	n.s.	0.1000
Dd(mm)	43.0	1.7	43.0	2.0	n.s.	0.7343
Ds(mm)	28.3	2.3	26.7	3.7	n.s.	0.7607
SV(ml)	52.6	14.0	55.8	12.0	n.s.	0.9999
CO(L/min)	3.2	0.8	3.7	0.3	n.s.	0.9351

n=4 IVS: intraventricular septum, PWT: posterior wall thickness, Ds: left ventricular systolic dimension, Dd: left ventricular enddiastolic dimension, SV: stroke volume, CO: cardiac output

Table 4 Effect of Artificial CO₂ Bathing on Blood Gas, serum Catecholamine and Electrolyte

	before		after		P value	r
	mean	S.D.	mean	S.D.		
Hb (g/dl)	9.7	0.3	9.6	0.4	n. s.	0.1889
pH	7.37	0.01	7.34	0.04	n. s.	0.9098
PO ₂ (mmHg)	27.1	5.5	28.9	13.1	n. s.	0.8403
PCO ₂ (mmHg)	49.4	1.0	52.2	4.8	n. s.	-0.1000
SaO ₂	45.6	13.7	45.9	26.7	n. s.	0.9664
E (pmol/ml)	2.0	0.3	1.0	0.5	n. s.	1.0000
NE (pmol/ml)	3.0	0.6	1.6	1.1	n. s.	-0.2923
PRA (pg/ml)	7.3	7.5	9.6	8.7	n. s.	0.9989
K (mEq/L)	4.5	0.2	4.4	0.5	n. s.	0.7924
Cl (mEq/l)	103	1.4	116	1.6	n. s.	0.5851

n=3. Hb: hemoglobin, PO₂ and PCO₂ in venous blood, E: epinephrine,
NE: norepinephrine, PRA: plasma renin activity

参考文献

矢永尚士・西村敏博：R-R間隔変動と自律神経機能，Medicina 28(1): 158-160, 1991.

謝 辞

本研究にさいし小幡寿美子、加藤有紀子、灘尾英子諸氏の援助を受けました。ここに謝意を表します。

慢性関節リウマチに対する温泉の作用機序

—冷泉浴の免疫系に及ぼす影響—

九州大学生体防御医学研究所臨床免疫学部門

延 永 正

立 川 啓 二

吉 田 史 郎

1 はじめに

慢性関節リウマチ (RA) の病因はなお不明であるが、病態に免疫異常があることは間違いなく、リウマトイド因子という自己抗体が見出されることより、自己免疫疾患と考えられている。したがってその治療は単なる鎮痛・抗炎症ではなく、免疫異常の是正に向けられなければならない。事実最近ではいわゆる免疫調節剤が RA 治療の中心的役割を果たすようになってきており、その効果も鎮痛・抗炎症剤に比べて大きいことが認められている。

温泉の RA に対する作用機序としては従来主として温熱作用、ホルモン分泌刺激作用、自律神経調節作用などが検討されたが、免疫系に対する作用についてはあまりなされていない。

われわれはかつて寒の地獄泉の RA に対する作用機序を検討し、3 回にわたってその結果を本調査会で報告した¹⁻³⁾が、その場合も免疫系に対する作用については言及していない。よって今回は免疫系に対する影響について検討した成績を報告したい。

2 対象と方法

対象と方法は以前の報告と同様である。すなわち対象は当科入院あるいは外来通院中の RA 患者で、女性 5 名、男性 4 名の合計 9 名である。年齢は平均 50.8 歳、罹病期間は平均 4 年 7 カ月であった。

入浴方法は寒の地獄泉 (年間を通じて泉温 13~14°C の単純硫化水素泉) に午前 10 時と午後 3 時に 1 回ずつ計 1 日 2 回入浴したが、入浴前後にストーブで十分保温を行った。入浴時間は、開始日より最初の 3 日間は 5 分間、4 日目より 7 日目までは 10 分間、それ以後は 15 分間として合計 21 日間行った。時期は 1981 年 8 月中旬から 9 月初旬にかけて実施された。

対象患者の薬物療法はそれまで行われていたものを変更することなく、本試験期間中継続した。

血清 γ グロブリン (γ -グ) は常法にしたがって総蛋白量と血清の電気泳動による γ -グ分画値より計算によって求めた。

リウマトイド因子 (RF) の測定はラテックス凝集反応を用いて半定量的に行った。すなわち陽性を示す血清の最大稀釈倍数をもって定量値とした (LFT 法)⁴⁾。

免疫複合体 (IC) の測定は 4% ポリエチレングリコール (PEG) による沈澱蛋白量によった。すなわち PEG-6000 を硼酸緩衝液 (pH8.4) で 8% 溶液とし、これに同じ緩衝液で 5 倍に稀釈した被検血清を等量加えて 4°C に 18 時間放置し、沈澱した蛋白の量を測定した⁵⁾。血清補体価は 50% 溶血補体価 (CH50) を Kent 法⁶⁾ により測定した。

末梢血リンパ球の subpopulation は末梢血採取後、Ficoll-Conray 法によって単核球を分離し、これに OKT3, OKT4 と OKT8 の各単クローン抗体を加え、4°C、30 分反応後、ウサギ補体を加えて 37°C、30 分反応せしめ当該リンパ球を死に至らしめ、その死細胞数を数えて単核球に対する比率で表した。すなわち抗体を加えない場合をコントロールとして下記の如く計算した。

$$\text{各 OKT 細胞 (\%)} = \frac{\text{各抗 OKT 抗体処理死細胞数} - \text{Control 死細胞数}}{\text{Control 生細胞数}} \times 100$$

3 結 果

(1) 血清 γ グロブリンに対する影響

図1に示すように寒の地獄泉連浴によってやや減少傾向を認めたものの有意の変動ではなかった。1週目に少し低下したのは連浴による血液稀釈の影響によるものと思われる。実際図2に示したように総蛋白量も1週目に低下、2週目に増加がみられている。

(2) リウマトイド因子に対する影響

表1に被検者9名のRF値と、その連浴による変動を示した。当初は陰性1名、40倍1名、320倍1名、1,280倍3名、2,560倍3名であったが、連浴2週以後は陰性が2名に、1,280倍が4名にそれぞれ増加し、40倍と2,560倍が1名ずつ減少した。すなわち2名が1段階ずつ改善した。当初320倍陽性を示した1例はその後640倍になったりしたが、固定して悪化したものはない。

表1 寒の地獄泉連浴によるリウマトイド因子の変動

	—	40x	320x	640X	1280X	2560x
入浴前	1	1	1	0	3	3
連浴1週後	1	1	0	1	3	3
連浴2週後	2	0	1	0	4	2
連浴3週後	2	0	0	1	4	2

(3) 血中免疫複合体に対する影響

4%PEG沈澱蛋白量は前値 $5.18 \pm 1.45\%$ 、1週後 $4.57 \pm 1.18\%$ 、2週後 $4.32 \pm 1.02\%$ 、3週後 $4.29 \pm 1.27\%$ と連浴によって次第に減少する傾向を示したが有意にはならなかった(図3)。ただ連浴2週目には血清蛋白量が図2のごとく上昇し、血液濃縮が起こっていることを示唆しているが、この時点でも減少がみられている。4%PEG沈澱蛋白量の正常値は1.2~2.4%であったので、被検者9名中8名は本蛋白の増加、すなわちIC陽性を示しており、それが寒の地獄泉入浴によって低下し、正常化する傾向がみられたことになる。

(4) 血清補体価に対する影響

図4に示したように1週後やや低下、2週後軽度上昇したが有意の変動ではなかった。図2に示した血清蛋白量の変動に照応したもので、血液の稀釈(1週後)、濃縮(2週後)を反映したものである。

(5) リンパ球サブセットに及ぼす影響

OKT3リンパ球(全Tリンパ球)数は前値が高値の場合は3週連浴後減少し、前値が低値の場合は3週後増加する傾向を示した。すなわち連浴による正常化傾向がうかがえた。因みにOKT3の正常基準値はリンパ球総数に対して $69.5 \pm 6.1\%$ とされるので、前値は高値のものが多い傾向である。かくて3週連浴後4例で減少、2例で増加、1例で不変であり、全体として3週浴後軽度減少したが有意ではなかった(図5)。

これに対して、OKT4(helper/inducer T細胞)数は5例で軽度ながら減少、2例はほとんど不変であり、全体としては3週浴後有意の低下($p < 0.05$)がみられた(図5)。OKT4の基準値はリンパ球総数に対して $38.1 \pm 6.9\%$ とされるので、前値は高値のものが多い傾向である。

OKT8(suppressor/cytotoxic T細胞)数は5例で減少、2例で増加し、全体として3週後軽度減少したが有意にはならなかった(図6)。本細胞の基準値はリンパ球数に対して $28.8 \pm 6.5\%$ とされるが、われわれの場合単核球数に対する比率であるため、それよりさらに少ないと思われる

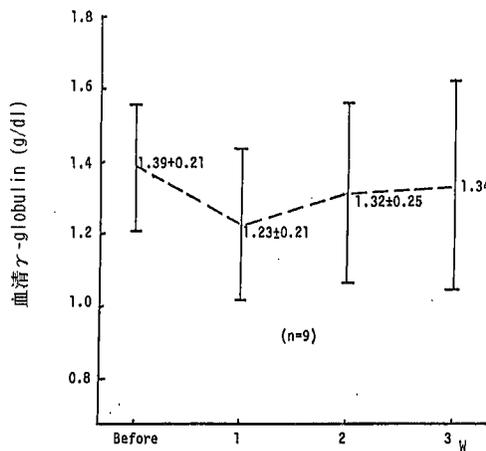


図1 寒の地獄泉連浴の血清γグロブリン値に及ぼす影響

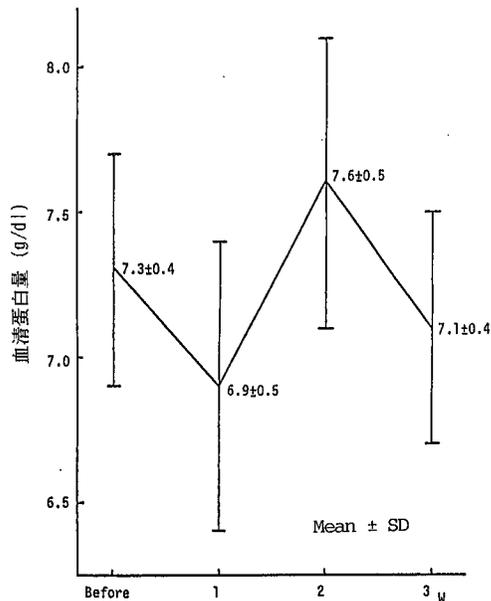


図2 寒の地獄泉連浴による血清総蛋白量の変動

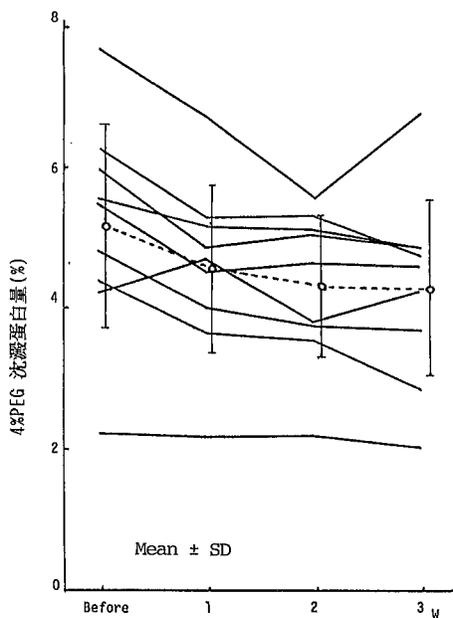


図3 寒の地獄泉連浴による4%PEG沈澱蛋白量の変動

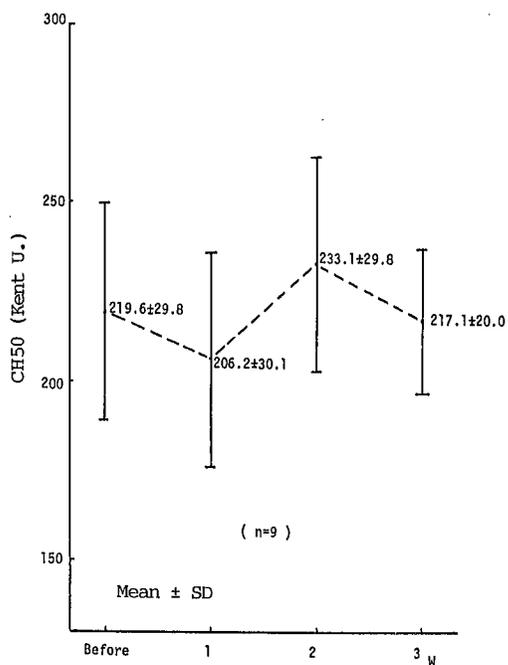


図4 寒の地獄泉連浴の血清補体価に及ぼす影響

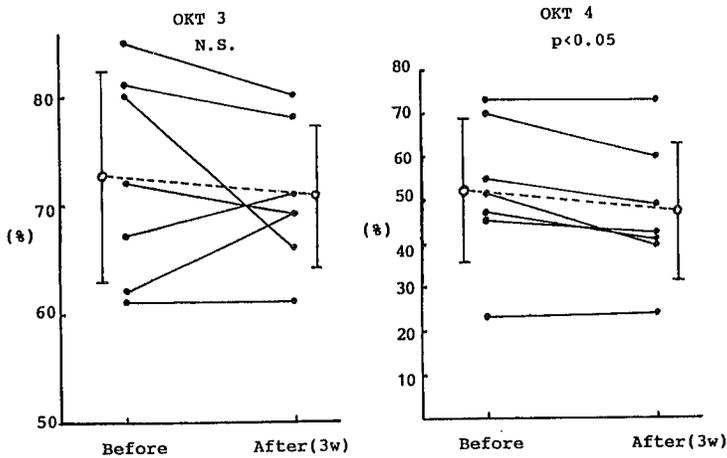


図5 寒の地獄泉連浴によるリンパ球サブセットの変動(1)

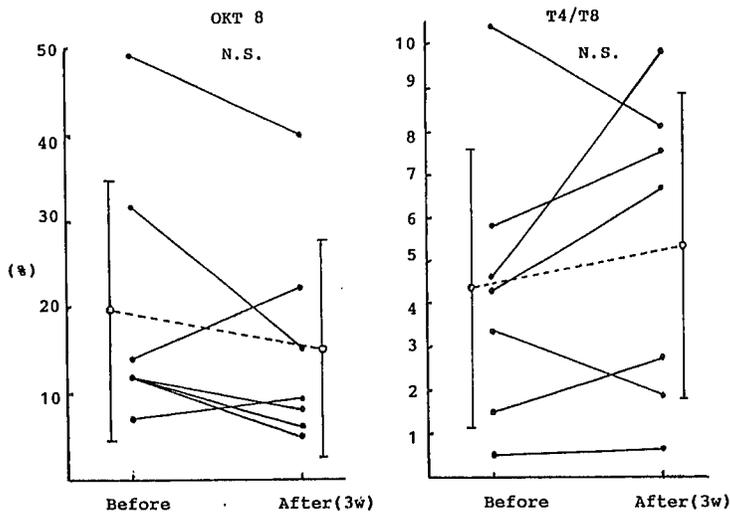


図6 寒の地獄泉連浴によるリンパ球サブセットの変動(2)

が、それでも前値は低値のものが多いといえる。

OKT4/OKT8は4例において上昇、2例において低下、1例は不変であり、全体として3週浴後軽度上昇したが、有意とはならなかった。OKT4/OKT8の基準値は 1.35 ± 0.45 とされるので、前値から既に高値であり、この傾向は3週連浴後さらに増強した。

なお全白血球数には3週を通じてほとんど変化はなかった。

4 考 案

先に寒の地獄泉浴がRAに対して良い影響を及ぼすことを報告した¹⁾が、その内容は朝のこわばり持続時間の短縮、握力の増加、ADLの改善など主として身体機能に対する効果であり、血沈やCRPの改善は明らかでなかった。したがってその作用機序は主として寒冷刺激による交感神経刺

激作用によるものであろうとした。血中ならびに尿中ノルアドレナリン (NA) が浴後有意に増加したからである。特に血中NAは入浴時間に比例して増加した³⁾。これに対してACTHやコルチゾールは有意な変動を示さなかった²⁾。

免疫異常疾患とされるRAにおいて冷泉浴が免疫系にどのような影響を及ぼすかは興味ある問題である。まずγグロブリンについては連浴によってやや減少傾向を認めたものの有意ではなかった。またRFについても8例中2例において1段階の改善を認めたが、これも有意ではなかった。さらに血中ICも有意にはならなかったものの、連浴後次第に減少していったし、補体価にはほとんど変動はみられなかった。このようにγグロブリン、RF、ICのいずれもが連浴によって減少傾向を示したことは本冷泉の免疫系に対する好影響を示唆するもので、少なくとも悪影響を及ぼすことはないと言えそうである。

T細胞サブセットに対する影響も興味深いものであった。すなわちOKT3、OKT4に対しては正常化傾向(前値が増加しているものは減少させ、前値が低下しているものは増加させる)がうかがえたからである。ただOKT8は、前値が低値であったにもかかわらず、連浴によってさらに減少するものがあつたために、OKT4/OKT8は前値がすでに高値であるにもかかわらず連浴後さらに高値となった。一般に活動性RAではOKT4は増加、OKT8は減少するのでOKT4/OKT8は正常よりも高値をとるものが多く、これが免疫調節剤の投与によって低下することが示されている⁷⁾が、今回の冷泉浴の場合には逆に上昇する傾向を示した。このことは先に示したγグロブリンやRF、ICの低下傾向とは照応しないように思われるが、いずれも有意の変動ではないので結論的なことは言えないであろう。なお今回の冷泉浴の治験では臨床的な効果とOKT4/OKT8の動きの間には一定の関係は認められなかった。いずれにせよリンパ球のサブセットが冷泉浴によって変動するのは興味深いことである。

5 結 語

泉温14℃の冷泉浴にRA患者を3週間連浴せしめ、免疫系に及ぼす影響を検討した。その結果、次のような成績が得られた。

- (1) 血清γグロブリン、リウマトイド因子、免疫複合体はいずれも連浴によって有意ではないが減少する傾向を示した。補体価にはほとんど変動がみられなかった。
- (2) リンパ球サブセットとしてOKT3とOKT4は正常化傾向、すなわち前値が高いものは連浴後低下したが、OKT8は前値が低いものも連浴後減少するものがあつたため、OKT4/OKT8は入浴前既に高値であつたものがさらに上昇する結果となった。

参考文献

- 1) 延永 正ほか：リウマチの温泉治療；慢性関節リウマチに対する寒の地獄泉の影響。大分県温泉調査研究会報告，33：60-62，1982。
- 2) 延永 正ほか：リウマチの温泉治療；慢性関節リウマチに対する寒の地獄泉の影響（第2報）。大分県温泉調査研究会報告，34：35-39，1983。
- 3) 吉田史郎ほか：慢性関節リウマチに対する冷泉浴の作用機序。大分県温泉調査研究会報告，35：39-42，1984。
- 4) Singer JM et al: The latex fixation test: Application to the serologic diagnosis of rheumatoid arthritis. Amer J Med 21: 888-892, 1956.
- 5) Creighton WD et al: Detection of antibodies and soluble antigen-antibody complexes by precipitation with polyethylene glycol. J Immunol 111: 1219-1227, 1973.

- 6) Kent JF et al : Precise standardization of reagents for complement fixation. *Amer J Trop Med Hyg* 12 : 103—116, 1963.
- 7) Veys EM et al : Determination of T lymphocyte subpopulations by monoclonal antibodies in rheumatoid arthritis. Influence of immunomodulating agents. *Int J Immunopharmac* 3 : 313—319, 1981.

温泉権紛争の調査と研究（Ⅲ）

（大分大学）大野保治

目次

はじめに

- | | |
|------------------------------------------------|-------------------------|
| I 温泉の権利にかかわる紛争と形成要因 | 3 近代（法）的温泉権をめぐる紛争 |
| II 温泉の掘削にかかわる紛争と形成要因
（以上 会報第 42 号 — 報告（I）） | （以上 — 本号報告） |
| III 温泉権紛争の具体的事例 | IV 温泉の掘削紛争と具体的事例 |
| 1 序説 | V 温泉権紛争の防止と調停など |
| 2 旧慣温泉権の解体過程に現れた紛争事例
（以上 会報第 43 号 — 報告（II）） | VI 結 び
（以上 — 次号報告予定） |

3 近代（法）的温泉権をめぐる紛争

はじめに — 再び紛争要因について（要旨）

本稿は課題シリーズ（Ⅲ）であり、昨年度（会報第 43 号）の報告「旧慣温泉権の解体過程に現れた紛争事例」に続き、近代法的温泉権をめぐる紛争事例を県下の温泉地について調査・研究し、報告することを目的とする。そこで、再び近代法的温泉権（この呼称については、その実質において近代的温泉権と変わらないので以下「近代的温泉権」に改めて統一することにする）をめぐる紛争の形成要因について、その理論的枠組を整理して温泉権の紛争の未然防止と解決へのアプローチを試みたい。

旧慣温泉権に対する「近代的温泉権」は、主として資本を投下して土地を掘削することにより人工的に取得した温泉に対する支配権、である。したがって民法講学上、一定の物を直接に支配する権利、すなわち「物に対する支配権」（対物権、対世権とも称する）で、それは「物権」の категорияに属すると考えられる。この近代的温泉権は、前号での旧慣温泉権が旧慣に基づく前近代の総有的な支配権であったのとは異なり、近代法規とりわけ民法典を根拠とする個人の財産権（私有財産権）としての性格が強い。そして、この権利は、憲法第 29 条に謳う財産権尊重の対象となることは述べるまでもない。現代では、この種の近代的温泉権が権利システムでは主流を占めるまでになってきており、温泉権紛争の領域でも、その件数において多数を占める。この近代的温泉権の権利関係については、契約関係をも含めて、これを規律する法令が今日まで見当たらず、したがって私法の基本法たる民法（第二編物権・第三編債権＝財産法）の市民法理を準用ないしは援用するとともに、全国の温泉場に存する社会慣行がその法源と説かれている（『注釈民法（7）物件（2）』）。

1 紛争防止のための留意点

- (1) 温泉権紛争を未然に防止するため、第 1 に留意すべき点としては、今日、温泉の権利なり利用関係を説明するに際して明確な知識も理解もなく、それが不安定・不確実の権利（利用関係）であることすら十分に認識しないで使うため、いたずらに温泉法秩序を混乱に陥れ、そのため紛争に発展していると考えられることである。その対策には、温泉法上の基本概念を整理し、その明確化を図ることであろう。以下に、それらを摘出して分説してみることにする。

① 温泉権ないし湯口権

これは、地下の泉脈・泉源から湯が地表に湧出する（その湧出原泉を「源泉」と呼ぶ）地点、すなわち通常は掘削という事実行為により特定される掘削地点と、それを包含する一定の領域——これには温泉施設工作物を含む——を直接に支配する権利、である。この権利を温泉法（法社会学的）研究者の間では「源泉権」ないしは「湯口権」と呼ぶが、ときには「温泉所有権」とか「第1次温泉権」と呼ぶこともある。また、この支配権は、その権能として源泉地盤（地目の種別として「鉱泉地」）から湧出する湯に対する全面的かつ包括的な支配権、具体的には使用・収益・管理・処分などの権利（民法第206条参照）である。

② 分湯権ないし利用権

これは、源泉権者ないし温泉所有権者から何らかの契約により一定の湯を分けて（分湯）もらい、これを利用する権利である。この権利はまた、同じく研究者によっては「温泉利用権（略して利用権）」とか、ときに「第2次温泉権」と称している。なお、この権利は、次に述べるように物権的性格の強いものから債権的契約によるものまで継続して流動的に存在するものである。

- (2) 以上に関連して、第2の留意点は、紛争の要因が温泉法システムや権利の態様に明確性と限定性とを欠くことから生ずる法理上の混乱である。そもそも、温泉法自体が法の特殊な領域に属し、その権利の実質が形式本位・画一主義の国家統制法になじまない点にも要因があろう。そのような法規のもつ特殊性から、制定法の無欠缺性と形式論理の万能を信じる〈概念法学〉より、むしろ、社会慣行や「生ける法」を探究してやまない〈法社会学〉の研究方法论が重要視されるのである。その内容も、学理的研究のほかに、社会の実態や社会調査を論証の手段とする科学的実証主義の立場が採られている。

このような学問的視点から、いわゆる「温泉権」をめぐる次の3点について説明を試みることにしよう。

① 源泉権の法的性格

源泉を支配する権利、すなわち「源泉権」は、温泉の所有権（温泉所有権）と解される。また、それは、民法で説く物権法定主義（第175条）の枠内にあると考えられる。従来、裁判実務でも学説でも、温泉の権利に物権的性格を認めつつも、これを「物権」と明示した制定法上の根拠がないため、物権に準ずるもの（用益権）とか、特殊な不動産であるとか、物権法定主義の例外であるとか、慣習法もまた法であるとか、等々の苦しい説明がなされてきた。第二次大戦後、法社会学の新しい領域で先駆的業績をあげた碩学、川島武宜教授（東大名誉教授、平成4年5月21日に逝去）は、全国の主要な温泉場をつぶさに調査し、その実態を把握した上で、いわゆる温泉の権利の実体は「所有権のカテゴリーに入る」と解し、また「法令ニ規定ナキ事項」（法例第2条 明治31年法第10号）に該当するから民法第175条と矛盾しないことを正面から認めるべきだ、と訴えてきたのである（この見解の詳細は、法律時報特集号「川島法社会学の軌跡と展開」渡辺洋三氏論文を参照されたい）。

② 分湯権ないし利用権の態様

分湯は、大別して④源泉を共同支配する形態（A型）と⑤非源泉者がこれを利用する形態（B型）の2型に分けられる。B型は、さらに物権的効力を有するもの（B₁型）と債権的効力のもの（B₂型）とに分類されよう。A型の典型的タイプとしては、数人による共有から温泉組合の源泉などに見られ、順次に物権性を帯びたものに移行する。問題となり紛争の要因になりやすいのはB型、とりわけB₁型かB₂型への帰属いかんであろう。とはいえ、両者の差異はすこぶる流動的と言わざるを得ず、そのため帰属問題は、温泉利用の実態に即して判断す

る以外に決定的な方法は見出せないのが実情である。B₂型の中で比較的鮮明な性格を看取できるのは、債権の性格の濃い給湯契約に基づく配湯会社等の温泉利用である。

③ 分湯権ないし利用権の効力

この効力については、対人的な契約を通じて取得する権利なので、特定の人に対する請求権、すなわち「債権」（物権の対世権に対して対人権とも呼ぶ）とか「債権的利用権」とか説くのが従来の学説であった。この点でも、前出の川島教授は異論を唱えた。教授によると、外界の物に対する権利は、概念法学の上では〈物権か債権か〉に截然と区別されるが、法社会学から見た温泉の権利は、相対的に継続しながら現象化する流動的な存在である。分湯権といっても種々の形態のものが存在するから、その実態を見極めるには、各温泉地の取引慣行や契約内容など実証的に調査する以外に良い方法はないであろう、と。この種の紛争の具体的事例については、のちに詳しく触れる（→〈事例 11〉など）。

(3) 第3に留意すべき点としては、給湯契約の温泉利用をめぐる第2次温泉権の紛争である。それは、当該契約に謳う個別条項に関連して解釈や運用をめぐる起る。全国の著名な温泉地では、給湯事業をおこなう配湯会社や個人による営業者がみられ、温泉需要者（引湯者）との間に給湯者対受湯者という温泉利用関係が成立する。これらを含めて、債権的利用関係において紛争の要因となりやすいものには

- ㊶ 供給する温泉の質と量（とりわけ温度）
- ㊷ 契約の存続期間（絶対の永久権か相対権か〈事例 11〉）
- ㊸ 温泉利用権の処分の可否（例えば第三者への無断譲渡や提供→〈事例 19〉）
- ㊹ 温泉供給停止あるいは解約の要件
- ㊺ 利用者の負担や責任の度合い（例えば源泉の利用不能時の対応→〈事例 21〉）

などが考えられる。各温泉地の実情としては、配湯業者等が連携して同業者組合（別府では高熱温泉事業者組合）を結成して紛争防止規定が置かれているので、今日では、紛争事例もさほど多くはないようである。

(4) つぎに、温泉組合に関係する紛争が挙げられよう。本来の「温泉組合」は、数人ないし十数人、ときには数十人が出資して民法上の組合を結成し（第667条）、その上で温泉を掘削して源泉や温泉諸施設を組合財産として管理しながら、各組合員が温泉利用をする形態のものである（原型）。この他、源泉所有者が掘削後に予想外に多量の湧出をみた温泉を幾口にも分けて売り出し、これを買った者が温泉組合を結成して源泉者と共同管理するもの、宅地分譲業者から宅地とともに温泉の権利を購入した者が組合を作って利用するもの、また源泉枯渇や湯温低下で温泉利用が危機に陥ったため源泉所有者ないしは分湯者の管理下で温泉利用を継続するといったものもある。これらは温泉組合の亜種とも見るべきものであるが、中には「温泉事業協同組合」といった事業協同組合法式のものも見られる（中小企業等協同組合法参照）。

これら温泉組合による温泉利用の実態も、組合のコントロールの強いものから弱いものまで、種々見られる。いずれにしろ、組合員は、平等に温泉利用権をもつ点に特徴がある。そこで考えられる紛争要因としては

- ㊶ 組合財産（共有物）とその維持管理
- ㊷ 組合員の権利と義務、すなわち組合への加入・脱退・除名や組合費・管理費など→〈事例 16〉
- ㊸ 源泉の変動、とりわけ不可抗力による湧出停止（利用不能）事態への対応規定の存否→〈事例 20〉
- ㊹ 組合の解散など

温泉組合による温泉利用と並んで大事なものに、全国的に関心を呼んでいるのが「集中管理」方式による温泉利用である。温泉利用の主たる源泉が公有で、私有源泉が従といった旧慣温泉権中心の古い温泉場では、公有源泉を集中管理し効率的に温泉利用しようとするところから、少数の民間所有の源泉が利用不能に陥るため紛争に発展する。具体的には、総有の旧慣温泉権を再編成して近代的温泉権の公営（市町村営）温泉に改めるとき、両者の権利者間で起きるものなどで、その事例は、のちに取り上げる（→ <事例 18>）。

- (5) 第5は、源泉権と源泉地盤の土地所有権とにかかわる紛争である。源泉権がその湯口の土地所有権から独立した別個の物権であることは、判例・学説ともにこれを認めていることは上にも触れた。ところが実際は、この原則が必ずしも貫徹していない。全国の温泉地では、両者が一体不可分のものとして取引される慣行がなお見られるからである。また、源泉地所有者が財産区有・縣市町村有・国有地（河川敷地や国立公園用地）など公人である場合、それら土地所有権者により源泉権ないし温泉権が否定されるといった事例もないではない。本県下では、天カ瀬温泉やくじゅう温泉群の中にあつて過去にトラブルを生じた事例については、前号（会報第43号）で触れたところである。

また、源泉地盤の所有者が私人である場合、源泉者はその間に何らかの契約を客観的に文書化しておかないと、後日に紛争となることが当然ながら予想される（温泉掘削をめぐる紛争は来年度号で報告する予定である）。

また最近、リゾート開発ブームにのり、温泉地近郊で“温泉権付き別荘地分譲”が世の脚光を浴びている。このとき、宅地所有権に附従する「温泉権」がいかなる性格のものかについても、事前の予備知識と検討が不可欠であろう。別荘用の宅地の取引について、売買登記（所有権移転登記）は一般に周知されていても、温泉権の権利を国家法と事務手続の上でどのように表示して保全するかについては、分譲会社の側では進んで説明しないであろうから、この点が紛争の要因となるのである（→ <事例 15>）。

- (6) 最後に、重要な法律問題として指摘されるのが、温泉の譲渡などの取引と第三者対抗要件とに関するものである。温泉の購入に際して源泉権ないしは分湯権、もしくは利用権を買ったとき、第三者対抗要件をどう構成するかということは、裁判実務の面でも大きな争点となる。対抗要件としての主張・立証が明らかにされない限り、温泉権の物権的効力を裁判官に認めさせることは容易ではないからである。この点でも、前出の川島教授は、従来公示方法の目安とされてきた「地方庁（県）の温泉台帳への登載」について、これを権利変動の公示方法（民法第177条）とするには不十分であると批判して「根本的には現場確認第一主義の観点に立脚すべきである」と説く。そして、現場確認の理論的根拠として「継続的な温泉支配の事実」をもって「法律上の対抗要件として認めるべきである」、と主張する。この見解に対して渡辺洋三教授（東大名誉教授）は、キーワードともいうべき「継続とは何なのか」、それは山林（樹木）や未分離果実の場合と温泉とでは継続の意味が異なるのではないかと鋭い疑問を投げかけた上で「後輩研究者に残された今日の重要な課題」として受けとめておられる（以上 - 法律時報第65巻第1号 渡辺洋三論文「川島法学と入会権・温泉権論」参照）。

温泉権の権利変動の公示の具体的方法が確立をみていない今日、温泉権訴訟の中で判例を積み重ねていく以外に途は見出せないのではあるまいか（→ <事例 15>）。そのためにも、今後ますます法社会学者の温泉地での慣行調査や実態調査に基づく実証的な研究と理論構成への努力が待たれるのである。

2 具体的な紛争事例

〈事例 11〉 源泉所有者から多数口の温泉を購入して需要者に分けていた者が、源泉地を含めすべての権利を承継したとする者との間で訴訟となった事例（昭和 29 年 6 月 28 日 大分地裁 温泉権確認請求訴訟）

（事実の概要）

原告 A は、多量の湧出をみた源泉所有者 C から昭和 17 年一括して 36 口、さらに同 20 年に 6 口、合計 42 口分の温泉を譲り受け、その間 32 口分を他に譲り、現に 10 口分の権利を有していたところ、C から源泉地盤（土地所有権）をはじめ、すべての権利を承継したと僭称する被告 B が原告所有の温泉を認めないばかりか、その権利の行使を妨害したとして温泉権の確認を求めて提訴した。

（評 釈）

本事例は、訴訟法上では温泉権の確認訴訟である。この確認訴訟とは、特定の権利または法律関係の現在における存在または不存在を主張し、その確定を求める訴訟で、一般にその対象は具体的な法律効果である（『法学辞典』）。

本件の場合、温泉権または温泉の利用関係の存在・不存在であるが、原告が源泉者から譲り受けたとする温泉権（利用関係）が、そもそも、どのような権利内容のものであるかがまさに本裁判の争点であった。原告 A が一括して購入した温泉権は、A の立場からすれば「分湯権」、被告 B や訴外 C の立場からすれば単なる「利用権」と認識した上での権利主張も、首肯できぬわけではない。購入に当たり、A C 間に結ばれた契約書を詳細に検討しなければ断言できないが、本稿「はじめに」に述べたような問題が根底に存在する。思うに、A が源泉者 C から譲り受けた温泉権は、その利用の態様として源泉を共同支配する A 型ではなく、非源泉者がこれを利用する B 型であり、だとすれば、それは B₁型か B₂型のいずれかが次に問題となろう。極限すれば、物権的権利の温泉権（分湯権）か、債権的利用権かの、いずれかである。

大分地裁の判決文を見ると、「原告（A）が訴外 C との契約により取得した本件温泉に関する権利は、同訴外人に対して 20 年間一定量の温泉を配給すべきことを請求することができる対人的権利で、本件源泉地から湧出する温泉自体を直接かつ永久に支配することができる対世的権利ないし持分的な権利とは解しがたく……」（上傍点・・・は筆者）とその物権性を否定し、原告 A を敗訴させている。

この判決文で分かるように、争点となった温泉権は、民法講学上「人に対する請求権」とか「対人的権利（対人権）」と説かれる債権としての利用権（債権的利用関係）であると裁断し、それは「物に対する支配権」とか「対世的権利（対世権）」ないしは「持分的な権利（共有権）」ではない、と説示しているのである。現在おかれている温泉権をめぐる法的環境からして、このような裁断もやむを得ないことかと考える。なお、詳細は、大分大学教育学部研究紀要（第 3 巻第 5 号）の抽稿「別府温泉における温泉権の研究」（昭和 45 年 10 月刊）を参照して頂きたい。

〈事例 12〉 源泉を分けてもらい利用していた者らが、新たに分湯を受けたと称する者に引湯を妨害されたため訴訟となった事例（昭和 30 年(ワ)第 217 号 大分地裁 鉱泉権確認妨害排除請求訴訟）

〈事例 13〉 旅館の営業権とともに温泉の権利をすべて第三者に譲渡した者と、以前からこ

の温泉を利用していた者との間で訴訟となった事例（昭和 28 年(ワ)第 201 号 源泉権確認請求訴訟）

〈事例 14〉 旅館営業、観光施設それに給湯事業などすべての権利を譲り受けた者が、譲渡人の従業員に提供された温泉権を認めようとしなかったため起きた紛争事例（昭和 37 年(ワ)第 115 号 損害賠償請求訴訟）

（事実の概要）

上の 3 事例とも、共通した温泉権問題を孕む別府温泉での裁判事例である。〈事例 12〉〈同 13〉が確認訴訟であるのに対して〈事例 14〉は温泉権代償の金銭による損害賠償裁判である。その概要を述べると、源泉者で給湯事業をも併せ営む旅館業者 C からすべての権利を承継した会社 B（被告）がその譲渡後に、C がその支配人 A（原告）に退職金として提供した温泉 10 口分（うち 1 口は譲渡済み）の存在を認めようとしなかったため、A が B に対して残り 9 口分の損害賠償を請求したのが本件である。

（ 評 釈 ）

いずれの事例も、裁判で争われた対象物の温泉権が、「分湯権」か単なる「利用権」であるかは、それらの事件がもつ具体的事実即して判断する以外に途はないであろう。〈事例 12〉〈同 13〉とともに原告側が敗訴しているが、のちに当事間で和解が成立したようである。近代法体系下では、現行の温泉法は縷言してきたように衛生行政取締法規であって、温泉権自体を規律する実体法規の性格のものではない。かように不分別・不確定といわざるを得ない温泉の権利に対して「物権（的権利）か債権（的権利）か」の二者択一を迫る温泉権訴訟にあっては、やはり後者であると裁断して理論構成せざるを得ないというのが現状であろう。今日まで、土地所有権から分離した温泉権が「独立の物権」として国家法上で承認され保護される途が開かれていない以上、このような判決も、現実問題として認めざるを得ないのではあるまいか。しかしながら、かつての借地法・借家法上の権利や農業法上の小作権（耕作権）と同様に、社会的弱者の側に立たされる温泉利用者を保護すべき法的環境が整備されていない以上、やむを得ないものがあるとはいえ、上に見てきた温泉権訴訟の結論には承服しがたいものがある。源泉の共有はともかく、「分湯権」として物権性を認めた上で、その地位を安定させる社会的必要性があるのではあるまいか。そのためにも「分湯権はすべて物権とし、公示することによって第三者に対抗する」との立法政策論を展開してきた前出の川島教授の先見性には敬服するものがある。温泉権秩序を確立して紛争を未然に防止するためにも、早急な立法措置による解決が望まれるのである。

〈事例 15〉 別府に住む親戚に頼み別荘地を購入した遠隔者が温泉（権）の知識を欠いたため裁判となった事例（昭和 36 年 9 月 15 日 大分地裁 建物収去土地明渡請求訴訟）

（事実の概要）

京都在住の A（原告）は、別府に住む親戚筋の B に依頼して温泉付き別荘地を購入した。B は、A の委任状により宅地のみ登記し、その宅地内にある鉱泉地と湯口権とは 4 人持ちであることを理由に、その登記と登載（保健所）とは後日にこれをなす旨、通知した。その後 B は、A に無断で鉱泉地と湯口権（ともに持分権）を C に譲り、C はさらに D に転売した。その上で B は、自らも A 宅地内に自己名義の住宅と浴舎、さらに門扉・塀を築造して不法に占拠したため、害意を感じた A は B を相手取り、建物収去と宅地・鉱泉地の明渡し、並びに保健所の湯口権名義を A にするよう提訴したのが本件である。

(評 釈)

本裁判の判決（大分地裁）で注目したいのは、県の温泉台帳への名義登載が第三者對抗要件となりうるかを論じた点である。本判決は説示する——「（保健所（県）への温泉権の登載が）^{あたか}恰も物権につき登記をうけるに類似した事実上の公示作用を営んでいることは当裁判所にも顕著である」（・・・は筆者）、と。この点につき述べるなら、広く温泉の取引に当たり、現実温泉台帳がどのような社会的（法的）機能を果たしているか、詳言すれば、当事者たちがどの程度にまで問題意識をもって温泉台帳への記載を信頼するとともに利用しているか、また保健所がどの程度の意識をもって一般に周知させるとともに便宜を図っているか、である。当該判示に対して、温泉行政関係者は、ひとしく懐疑的な回答を下すのではあるまいか。ちなみに、昭和29年判の〈事例11〉大分地裁判決では、この点に関して「このような温泉台帳への記入が原告の有する本件温泉に関する権利の得喪を公示する手段として別府地方の慣習上確立していると認めるに足りる証拠はない」としている。この判決から7年の歳月を経た本件事例（昭和36年）では、「（そのような取引の慣行の事実）は当裁判所にも顕著である」という。そう判定するからには、それなりに社会的慣行の変更を立証しなければならないであろう。裁判所に都合のよい証明不要とされる便利な規定（民訴法第257条参照）を借りて立証責任を回避し、あたかも登記に代わる「明認方法」たりうるかのごとき説明を加えて名義変更手続請求権を是認しているのは、甚だ疑問だからである。この辺の問題状況については、前出の拙稿（「別府地方における温泉権の研究」）に論じているので参考にしたい。

〈事例16〉 温泉組合に見られる紛争防止のための諸規定（別府Y温泉組合）

（概要と講釈）

別府山の手に位置するY温泉組合は、昭和40年前後、大手開発業者の温泉付き分譲地（35区画）を購入した人たちが結成した温泉組合である。鉱泉地（地積6.06㎡）については、組合規約の上でそうになっているが、登記簿抄本によれば「宅地」名義（保存登記は同42年5月19日、以下「鉱泉地」として取り扱う）であり、ここに噴出する沸騰源泉（99℃）を各組合員が利用するという民法上の組合形式のものである。

本組合規約を一読する限り、第1に気付く点は、本稿冒頭に述べた「温泉権」用語の乱用・混用であろう。それはさて置き、本組合を構成する組合員は（イ）鉱泉地、所有者（登記権利者）、（ロ）引湯契約者（A）（地権者と同額組合費の負担者）、（ハ）（準組合員）引湯契約者（B）（管理費負担者）の三者に区分される（同規約第4条、原文のまま引用）。これによれば、（イ）の組合員は鉱泉地所有者（規約文では「地権者」）であると同時に、鉱泉地持分登記という法的手続を経た上で源泉権者として、その地位が保証される。それ故、当該（イ）の組合員こそが温泉組合本来の組合員であり、現在（平成5年3月末日）23名、その内訳として持分権35分の2が12名、残り11名が35分の1である。

この鉱泉地を共有する本来組合員（地権者組合員）に対して、（ロ）（ハ）の引湯契約者（A）（B）の両者は鉱泉地所有者ではなく、当温泉の利用権者（規約文では「引湯契約者」）であり、その権利の性格は、本稿冒頭に述べた分湯権B₁型ないしは利用権B₂型と考えられる。両者の違いは、（ロ）の引湯契約者（A）が正組合員として「当地区に居住する者」で「地権者と同額組合費の負担者」であるのに対して、（ハ）の引湯契約者（B）は準組合員として「当地区以外」に住み、また「管理費」のみを負担する。そのため「本規約は準組合員については、関係条項のみ適要する」^(マ)（同第2条、但し書き）ことになっている。温泉利用の面でも、

源泉（権）を共有する地権者組合員に対して（Ａ）組合員は一段と弱く、（Ｂ）準組合員はさらに不利な立場に立たされると考えられる。この（Ｂ）組合員までが組合参加を認められた背景には、同一源泉の利用集団という一体性もさることながら、共有物（組合財産）たる源泉の維持管理、とりわけ源泉が利用不能に陥ったときの復旧費や、温泉諸施設（揚湯タンクや引湯埋設管など）の維持管理に多額の経費を要する経済的理由が挙げられている。ちなみに（Ａ）組合員は現在３名、（Ｂ）準組合員は５名である（組合事務所資料）。

つぎに、組合員の資格とともに重視すべき点としては、温泉利用の特殊な与件ともみられる制約２点である。第１点は、すでに述べたように温泉利用者の地域・居住制限である（同第２条）。温泉の現実の利用には温泉権者の地域的限界が要求されることから、本来組合員はもとより（Ａ）組合員は「当地区（注一市内〇〇区１組）に居住する者」に限られ、当地区以外の（Ｂ）準組合員に対しては、その制限はない。第２点は、温泉（地）の譲渡制限である（同第５条）。「温泉権（地権）並びに引湯契約を譲渡する場合」、すなわち本来組合員がその鉱泉地（持分）——これと不可分に結びついている源泉権——か、引湯（Ａ）（Ｂ）の（準）組合員がその引湯権（規約文では「引湯契約」）を第三者に譲渡するときには事前に組合（注、事務所一会長宅）に届け出て組合の意見を聞き、その譲渡先も「当地区内に限る」こと、並びに「現に住んでいる住宅を第三者に譲渡する時にのみ限る」ことの３要件が明記されている。その意図するところは、①鉱泉地の土地所有権、②源泉権ないしは引湯権、並びに③温泉利用者の温泉施設（規約文では「現に住んでいる住宅」）の工作物所有権の三者が一体不可分のものとして分離して取引することを認めない趣旨であり、仮にもそれが分裂して譲渡された場合に起きる温泉利用秩序の混乱と温泉権紛争を未然に防止するための規定であることは、ここに説明を加えるまでもあるまい。仮に組合財産たる鉱泉地のみが取引の対象とされても「引湯設備の未設備の者」には組合加入を認めない旨の、二重の紛争防止の措置が採られている（同第６条(3)）。

この他、温泉組合の目的（同第１条）に違背するような基本的事項の変更には「組合員全員の賛同を必要とする」旨の規定も置かれている（同第９条(6)）。この規定は、組合の共同財産である鉱泉地とこれと一体を成す源泉権の共同形態が、民法講学上では「合有」（注一例えば複数の幼児が遺産相続する場合の共有の形態など）の性格のもと解されるため、各組合員は、共有財産に対して持分（権）は有するものの単独かつ自由に処分することは認められない、とする趣旨であろう。具体的には源泉休止や温泉利用で重大な事態に瀕した場合など、民法第２５１条（共有物の変更）を準用して組合の中での無用の対立やトラブルを避けるための対策、と考えられる。

＜事例 17＞ 宝泉寺地区に見られた温泉共同化をめぐる地域紛争の事例——古来の素朴な温泉利用から近代的法形式の「温泉共同組合」「温泉公社」「温泉事業協同組合」「配湯会社」構想への推移

（紛争の概要）

本事例は、宝泉寺温泉地区（玖珠郡九重町）において、昭和４０年代から同５０年代初頭にかけて、地域絡みの温泉共同化をめぐる一連の温泉（権）紛争として特徴づけられる。

くじゅう温泉群の一角を占める当該宝泉寺地区は、もともと温泉の湧出が町田川に沿って山間の狭隘な地区に限定されており、ここに有力なホテルから中小規模の旅館１０軒余りが軒を並べている。昭和３０年代後半に入り、近代的温泉地へと脱皮する過程で大量の温泉を必要としたが供給が間に合わず、そのため温泉とりわけ源泉の確保が旅館経営上の最優先課題

となっていた。

当温泉地区挙げての温泉（権）紛争は、その要因として源泉の確保と温泉利用の安定化とにあったのであり、それは温泉の確保に狂奔する旅館集団の内部分裂（有力な観光ホテルと中小業者との対立・不和）を招き、また他方では、旅館集団と温泉利用の機会に恵まれない地域一般住民との対立という、いわば二重の利害関係の絡み合うものでもあったのである。

当初、昭和 41 年秋、地区有志により自発的に発足した宝泉寺地域温泉利用研究協議会では、温泉の共同利用について検討を試みた結果、実現可能な形態として、温泉組合と利用者組合とが併合した形での「宝泉寺地区温泉共同利用組合」を意図していた。しかし、その実現を目前にして挫折した背景には、源泉の集中管理方式による共同化に対して源泉者を主とした一部の有力なホテル・旅館業者が、源泉とその利用の既得権を主張して同意しなかったからだと言われている。本構想が画餅に帰したことから、各旅館と一部住民とは競って源泉の掘削や増強にのり出した。そのため、温泉の乱掘・乱用による社会秩序の混乱を危惧した県（保健所）や九重町当局が行政指導にのり出した。その結果、つぎに構想されたのが「宝泉寺地区温泉公社」という公的形態のもので、それは当時、別府温泉で執行されていた温泉公社方式をモデルにしたものであった（同 44 年 7 月）。

この構想も、ついに実現をみずに終わり、つぎに考え出されたのが協同組合方式の「宝泉寺温泉利用協同組合」から、さらには「宝泉寺配湯有限公司」という民間の配湯会社形式のものであった。いずれも陽の目を見ずに企画倒れに終始したが、それにはそれなりの要因があったのである。詳細な報告内容については、本誌第 25 号（昭和 49 年 3 月刊）と同第 26 号（同 50 年）の抽稿「宝泉寺における温泉権の実態（上）（下）」、並びに同第 38 号（同 62 年）「県下の温泉地における集中管理の法律問題（中）」を参照して頂きたい。

＜事例 18＞ 湯平温泉での集中管理方式採用の過程で起きた温泉権裁判（昭和 47 年(ワ)第 321 号 大分地裁 温泉供給請求権存在確認請求訴訟）
（訴訟の概要）

本裁判は、昭和 45 年 8 月、湯平温泉（大分郡湯布院町）において町の経営による「湯平温泉集中管理事業組合」への移行過程で起きた典型的ともいうべき温泉権裁判である。原告 5 名は、いずれも当温泉場で旅館を営むものであったが、町有源泉の開発掘削で自家源泉が枯渇し温泉利用が不可能に陥ったとして湯布院町を相手どり、集中管理方式による配湯を停止するよう仮処分を求めて提訴したものである。

温泉の集中管理方式による共同利用については、上記＜事例 17＞の宝泉寺地区での生々しい事例が示すように、紛争要因となりやすい。その詳細は、紙幅の都合で割愛せざるを得ないので、本紙第 38 号（昭和 62 年 3 月刊）の抽稿「県下の温泉地における集中管理の法律問題（中）」を参照して頂きたい。

＜事例 19＞ 親戚で共同して掘削したが、源泉の所有や温泉利用をめぐる後に紛争となった調停事件（昭和 46 年 3 月 22 日 大分家裁日田支部調停事件）
（事件の概要）

調停申立人 A と相手方 B とは、くじゅう温泉群の 1 地区で近隣に住む甥と叔父の関係にあった。A は幼くして父と死別したため、温泉旅館を営む B がその遺産を代償に、A を引き取り養育することになった。A は高校卒業後、B の旅館の従業員として働いていた。昭和 30 年代後半、この温泉場も発展をみて旅館施設の拡充にのり出した B は、自家源泉では湯量が

不足してきたことから、Aの宅地内に共同で温泉を掘削することにした。この時の取り決め事項は、①掘削名義人はAとし、②経費は全額Bの負担とすること、また③温泉利用については、Aが自家用に使用したあと残量をBの旅館用として永久に使うこと、などであった。紛争の要因となったのは、直接温泉にかかわることからではなく、Aの父が遺した遺産の評価とAが成人に達するまでの養育費・教育費・結婚費など評価の見込み違い、それに成人後同旅館で働いていた労賃などへの不満にあったことが推察できる。家裁での調停最中にAがBへの給湯を停止したことから紛糾し、その結果、温泉権問題に発展したものである。

調停申立人Aの主張は、④書面どおり源泉権の所有者は掘削名義人の自分(A)にあること、⑤温泉使用料として昭和38年から同44年10月までの80カ月分に併せて、⑥引湯管のA宅地内での土地使用料を支払うこと、また⑦今後の温泉利用については新たに契約を結ぶこと、その他であった。一方、Bのそれは、Aの行為は契約不履行であるから速やかに原状回復の上、旅館への給湯を再開すること、などであった。

大分家裁日田支部の調停案では、①Bは、A宅地内の源泉は名義人Aの所有であることを認めること、②Aは、Bの旅館用の温泉利用を保証すること、③今後の給湯については両者が協議して契約を結ぶことなどであった。当紛争の要因が温泉権それ自体から起きたものではないにしても、共同掘削の場合には、細部にわたり明確に取り決めておく必要性が痛感させられる事例であろう。詳細は、本誌第25号(昭和49年3月刊)の拙稿「宝泉寺における温泉権の実態(上)」を参照して頂きたい。

<事例20> 温泉組合(1)、配湯会社(2)の源泉が利用不能に陥ったため紛争となった事例(別府温泉)

(事実の概要)

(1) 別府近郊の住宅地で温泉権付き分譲地を購入した13名は、分譲会社から鉱泉地(共有)と温泉施設を領得したあと、温泉組合を結成して各自温泉利用をしていたところ、数年して源泉の湧出が突然停止した。当組合では、直ちに臨時総会を開催して打開策を検討したが、復旧(増掘もしくは代替掘削)の成否をめぐる賛否両論が出て紛糾し、結局のところ、復旧策は講じられないままに現在に及んでいる。

(2) 同じく別府近郊で、数十口の温泉を供給していた配湯会社の源泉が湧出を止めたため、温泉利用が不可能になった。当会社では、かかる場合の「天災など不可抗力による源泉の湧出停止には会社は責任を負わない」旨の規定を盾に、復旧にのり出そうとはしなかった。困惑した受湯者たちは、結局会社が提案する復旧費(再掘費など)として温泉1口分につき金10万円を分担することで合意が成立し、幸い復旧に成功して当該紛争も落着をみた。

(講 釈)

前半(1)の温泉組合による温泉利用の場合、各組合員が将来起きるであろう源泉と温泉利用について予見性を欠いていた点に要因が潜んでいたと考えられる。温泉組合にとり温泉利用の成否は、組合財産たる源泉の湧出いかに深く結びついている。個人所有の場合とは違って、組合など共有源泉の場合、源泉の非常事態に対処する規定を予定しておくことが何より肝要である。例えば、国では数年前、戦後建てられたマンションの老朽化による再建問題で管理組合が紛糾する事態が全国的に起きたため、マンション法(建物の区分所有等に関する法律)を改正し、組合員の5分の4以上の賛成があれば組合意思として認められる旨改められた。当温泉組合のように、緊急事態の際の組合意思成立の規定が特に定められていない場合には、どう解すればよいか。民法上の規定——第251条(共有物の変更)「各共有者ハ他

ノ共有者ノ同意アルニ非サレハ共有物ニ変更ヲ加フルコトヲ得ス」を援用して、組合員全員の同意を必要とする^と解せざるを得ないのではあるまいか。もっとも、共有物（鉱泉地）での温泉再掘という事実行為が「共有物の変更」に該当せず、共有物の管理行為（保存行為もしくは改良行為）と解することもあながち否定できず、そうだとすれば結論は自ら違ったものとなるであろう（今後の研究にまちたい）。

後半(2)の配湯会社による受湯者への供給については、上述のような源泉湧出停止の非常事態を予測して契約文書で対策が講じられていることが比較的が多いことから、深刻な紛争に発展する余地は少ないと考えられる。受湯者の側で復旧分担金を拒否すれば、会社側では、当然のこととして給湯を認めないであろう。問題を生じる点としては、温泉を購入してから源泉休止までの利用期間であり、仮に短期間（例えば1、2年）の利用で一律に同額負担となれば、温泉利用の期間で公正を欠き、不平・不満が生じるであろう。よって給湯契約を結ぶに当たって、詳細な規定を設けておくことが望まれる（実情を調査した上で、今後の研究にまちたい）。

〈事例 21〉 源泉者から受湯していた旅館業者が、近くに住む親戚の者に無断で余湯を使わせていたことが知れ紛争となった事例（別府温泉）

（事実の概要）

別府近郊の湯治場で、源泉者Aから契約により引湯していた旅館業者Bが、近隣に住む親戚CにAに無断で数年にわたって余湯を使わせていたことが発覚し、そのためAとBCとの間で紛争となったのが本事例である。

（講 釈）

旅館業者Bの温泉権が温泉利用権（第2次温泉権）であることに異論はないと考えられるが、Aに無断で使っていたとされる親戚Cの温泉権は、どのような性格のものであろうか。通常、給湯者と受湯者との間の給湯契約には、余（廃）湯を給湯者の承諾なくして第三者に使わせてはならない旨の条項が見られる。それはまた、家屋（部屋）の賃貸借契約において家主に無断で第三者への転貸や譲渡を禁ずる規定と同性格のものである。もし違反すれば、契約不履行による解約や損害賠償の問題が発生するのも当然である。

ところで、Cのもつ温泉利用権は、講学上「余湯利用権」と称され、それは第3次温泉権として位置づけられる。本事例の場合、BCの温泉利用は、余湯利用の権利としては確立していない単なる「恩惠的（好意的）利用」関係と解される。このようなケースには親戚や友人が多く、文書形式によらず簡単な口約束に基づくものが多いのも特徴である。文書作成に基づく他人が余湯利用権者であれば、その地位は法的に保護され保証されるのに対して、本事例のような利用者にとっては、その地位は、極めて不安定とならざるを得ない。したがって給湯者により、いつ何時給湯を停止されても止むを得ないものと考えられる。

本論争の結末はといえば、BCが源泉者Aに正式に謝罪するとともに、CがAに対して数年間無償で使った使用料として幾何かの金員を贈って解決した模様である。その背景には、当温泉場が豊富な熱源に恵まれた湯治場であることに加え、BCに取り立てて悪意があった訳でもなく、Bが使用した高温の廃湯を河川に放流するには忍びがたいものがあったと認められること（農業用水への温泉公害）、またAの側にも、権利意識や契約意識が稀薄であったことなどが考えられる。

（つづく）

ノ共有者ノ同意アルニ非サレハ共有物ニ変更ヲ加フルコトヲ得ス」を援用して、組合員全員の同意を必要とすると解せざるを得ないのではあるまいか。もっとも、共有物（鉱泉地）での温泉再掘という事実行為が「共有物の変更」に該当せず、共有物の管理行為（保存行為もしくは改良行為）と解することもあながち否定できず、そうだとすれば結論は自ら違ったものとなるであろう（今後の研究にまちたい）。

後半(2)の配湯会社による受湯者への供給については、上述のような源泉湧出停止の非常事態を予測して契約文書で対策が講じられていることが比較的が多いことから、深刻な紛争に発展する余地は少ないと考えられる。受湯者の側で復旧分担金を拒否すれば、会社側では、当然のこととして給湯を認めないであろう。問題を生じる点としては、温泉を購入してから源泉休止までの利用期間であり、仮に短期間（例えば1、2年）の利用で一律に同額負担となれば、温泉利用の期間で公正を欠き、不平・不満が生じるであろう。よって給湯契約を結ぶに当たって、詳細な規定を設けておくことが望まれる（実情を調査した上で、今後の研究にまちたい）。

<事例 21> 源泉者から受湯していた旅館業者が、近くに住む親戚の者に無断で余湯を使わせていたことが知れ紛争となった事例（別府温泉）

（事実の概要）

別府近郊の湯治場で、源泉者Aから契約により引湯していた旅館業者Bが、近隣に住む親戚CにAに無断で数年にわたって余湯を使わせていたことが発覚し、そのためAとB Cとの間で紛争となったのが本事例である。

（ 講 釈 ）

旅館業者Bの温泉権が温泉利用権（第2次温泉権）であることに異論はないと考えられるが、Aに無断で使っていたとされる親戚Cの温泉権は、どのような性格のものであろうか。通常、給湯者と受湯者との間の給湯契約には、余（廃）湯を給湯者の承諾なくして第三者に使わせてはならない旨の条項が見られる。それはまた、家屋（部屋）の賃貸借契約において家主に無断で第三者への転貸や譲渡を禁ずる規定と同性格のものである。もし違反すれば、契約不履行による解約や損害賠償の問題が発生するのも当然である。

ところで、Cのもつ温泉利用権は、講学上「余湯利用権」と称され、それは第3次温泉権として位置づけられる。本事例の場合、B Cの温泉利用は、余湯利用の権利としては確立していない単なる「恩恵的（好意的）利用」関係と解される。このようなケースには親戚や友人が多く、文書形式によらず簡単な口約束に基づくものが多いのも特徴である。文書作成に基づく他人が余湯利用権者であれば、その地位は法的に保護され保証されるのに対して、本事例のような利用者にとっては、その地位は、極めて不安定とならざるを得ない。したがって給湯者により、いつ何時給湯を停止されても止むを得ないものと考えられる。

本論争の結末はといえば、B Cが源泉者Aに正式に謝罪するとともに、CがAに対して数年間無償で使った使用料として幾何かの金具を贈って解決した模様である。その背景には、当温泉場が豊富な熱源に恵まれた湯治場であることに加え、B Cに取り立てて悪意があった訳でもなく、Bが使用した高温の廃湯を河川に放流するには忍びがたいものがあったと認められること（農業用水への温泉公害）、またAの側にも、権利意識や契約意識が稀薄であったことなどが考えられる。

（つづく）

県内温泉地現況調査

(湯平温泉)

大分県環境保全課
大分保健所

県内温泉地現況調査は、県内各温泉地の温泉の湧出量、泉温等の調査を実施し、その調査結果と既存資料との比較検討を行うことによって、その温泉地の現況を把握し、今後の温泉保護施策等の基礎資料とするため、昨年度から実施しているもので、本年度は湯平温泉について、11月17日に調査を実施した。

調査方法は昨年度のとおり、温泉台帳登載の源泉について泉温、湧出量の測定を行った。

調査結果

調査結果については第1表、第2表のとおりであり、過去の調査結果と比較してみた。

- (1) 調査孔数 12孔
- (2) 総湧出量 350m³/日
- (3) 平均湧出量 20.3ℓ/分
- (4) 平均泉温 62.5℃

第1表

No.	温泉所有者 (源泉名)	源泉所在地	掘削許可 年月日	口径	深度	動力装置種類出力	利用状況	温泉の湧出量及び泉温の記録		
								測定年月	湧出量	泉温
1	麻生 伸十郎 (白雲荘)	大字湯平 575-2	自然湧出				旅館浴用	S50.5	3.3	52.4
								S62.9	3.8	50.5
								H 4.11	1.0	28.0
2	湯布院町長 (砂湯)	大字湯平 568-2	自然湧出				公衆浴用(町営)	S50.5	不明	62.5
								S62.9	17.0	58.5
								H 4.11	21.0	55.6
3	榑 秀泉閣	大字湯平 553-3	自然湧出				旅館浴用	S50.5	不明	58.1
								S62.9	8.0	55.5
								H 4.11	12.0	52.0
4	榑 秀泉閣(2)	大字湯平 553-4	自然湧出				旅館浴用	H元年度	15.0	55.0
								H 4.11	14.0	46.6
5	湯布院町長 (橋本湯)	大字湯平	自然湧出				公衆浴用(町営)	S50.5	27.4	67.5
								S62.9	31.0	56.2
								H 4.11	17.0	58.5
6	湯布院町長 (銀湯)	大字湯平 551-2	T11. 7.21	不明	不明		公衆浴用(町営)	S50.5	16.7	69.5
								S62.9	42.0	69.0
								H 4.11	43.0	70.3
7	湯布院町長 (配湯1号泉)	大字湯平 1041-5	S51.10. 5	80	450	エアークリフト 1.5kW	配湯用	S51	50.0	72.0
								S62.9	19.0	69.1
								H 4.11	30.0	71.0
8	湯布院町長 (配湯2号泉)	大字湯平 1010-2	S52.10. 7	75	400	エアークリフト 5.5kW	配湯用	S53	90.0	77.0
								S62.9	19.0	72.0
								H 4.11	19.0	71.0
9	湯布院町長 (配湯3号泉)	大字湯平 817	S53. 9. 9	80	110	エアークリフト 5.5kW	配湯用	S53	80.0	90.0
								S62.9	38.0	88.3
								H 4. 2	7.3	82.5
10	湯布院町長 (中津留2号泉)	大字湯平 1099-3	S63.12.23	131	318	エアークリフト 15.0kW	配湯用	H 2	90.0	92.0
								H 4.11	噴気 (推定13.0)	82.0
11	湯布院町長 (大湯)	大字湯平 580	H 4. 3.26	53	20	自動式浅深ポンプ 0.4kW	公衆浴用(町営)	H 4.11	26.0	67.0
12	榑アルファ秀和	大字湯平 82-1	H 3. 3.16	106 81	250 350	水中ポンプ 3.7kW	分譲別荘	H 3		65.0
								H 4.11	40.0 40.0	65.0

現在、湯平温泉の活動源泉数は12孔であり、その所有者の内訳は、個人所有が4孔、町有が8孔である。

湧出状況については、橋本湯、砂湯、白雲荘、秀泉閣(1)・(2)の5孔が自然湧出泉であり、他の7孔は掘削泉で銀湯を除き動力揚湯がなされている。

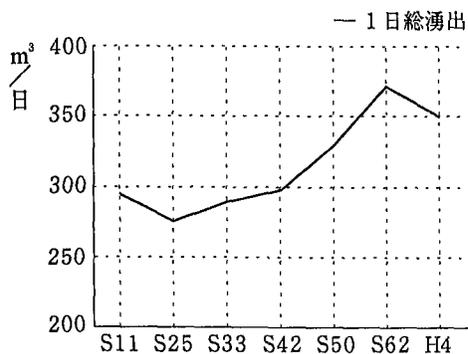
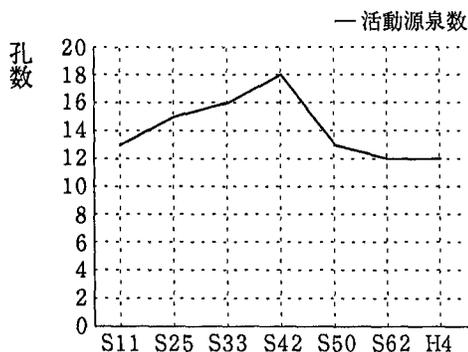
温泉利用形態については、配湯用4孔、町営公衆浴用4孔、旅館浴用3孔、分譲別荘浴用1孔であった。

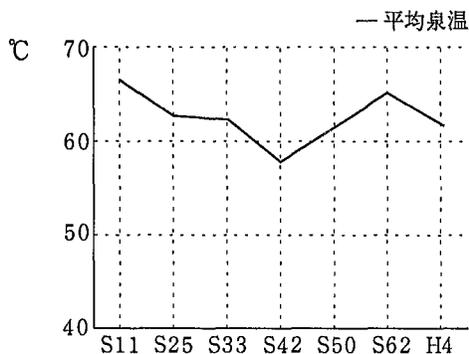
次に、現在の活動源泉について過去の調査結果と比較してみると、湧出量については、若干増加している源原もあるが、減少しているものがほとんどで、特に配湯2号泉、配湯3号泉、中津留2号泉などは著しく減少している。なお、大湯源泉は、平成4年1月に湧出停止しており、現在の大湯源泉は、平成4年5月に代替掘削されたものである。泉温については、自然湧出泉の全てが低下傾向にあり、特に白雲荘が著しく低下している。掘削泉についても、配湯2号、3号泉、中津留2号泉などが低下している。

第2表

種別 年次	活動孔数	最高泉温	平均泉温	平均 湧出量 (ℓ/分)	一日 総湧出量 (m ³)	備 考
昭和11年	13	86.7	66.5	15.7	295	
昭和25年	15	80.0	62.7	14.6	274	
昭和33年	16	87.2	62.2		288	
昭和42年	18	88.0	57.7	14.8	297	
昭和50年	13	88.4	61.4	17.6	330	S44 配湯1号泉許可
昭和62年	12	94.0	65.2	21.5	371	S53 配湯2、3号泉許可 S62 中津留1号泉許可
平成4年	12	82.5	62.5	20.3	350	H元 中津留2号泉許可 (中津留1号泉湧出停止)

次に、湯平温泉全体の経時変化をみると、総湧出量については、昭和11年から昭和42年の間は多少の増減はあるがほぼ横ばいで、昭和50年、昭和62年と増加傾向にあったが、今回の調査では、





前回調査時に比べ 21m³/日の減少であった。

泉温については、昭和 11 年から昭和 42 年までは低下が続き昭和 42 年には 60°C を下回ったが、その後上昇し、昭和 62 年には昭和 11 年の調査時にまで回復している。しかし、本年度の調査では前年度比で 2.7°C の低下であった。

終わりに、湯平温泉は、昭和 47 年に新規掘削を禁止する特別保護地域が設定され、温泉源の保護が図られてきたが、近年の掘削技術の向上等により、当時、温泉開発が困難とさ

れていた特別保護地域周辺の山林においても掘削が行われるようになり、これらによる温泉源への影響が懸念されている。今回の調査においても、湧出量、泉温がともに前回調査時に比べ減少するなど、変化が見られるので、今後の動向について、慎重な監視を続ける必要があると思われる。

参考文献

- 1) 瀬野錦蔵 (1940) : 大分県湯平温泉について, 地球物理 4 卷 4 号
- 2) 山下幸三郎 (1951) : 大分県湯平温泉調査報告, 大分県温泉調査研究会報告第 2 号
- 3) 湯原浩三 (1959) : 湯の平温泉調査報告, 大分県温泉調査研究会報告第 10 号
- 4) 山田不二丸 (1967) : 湯布院町温泉現況調査, 大分県温泉調査研究会報告第 18 号
- 5) 大野保治 (1972) : 湯平における温泉権の実態, 大分県温泉調査研究会報告第 23 号
- 6) 野田徹郎・古賀昭人 (1976) : 湯の平温泉の活動の消長と化学組織, 大分県温泉調査研究会報告第 27 号

大分県温泉調査研究会会則

第1条 この会は大分県温泉調査研究会（以下「会」という。）という。

第2条 会の事務所は大分県保健環境部環境保全課内に置き、調査研究の必要に応じて出張所を設けることができる。

第3条 会は大分県内における温泉の科学的調査研究をして公共の福祉増進に寄与することを目的とする。

第4条 会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

- (1) 温泉脈及び温泉孔の分布状況調査
- (2) 噴気に関する研究調査
- (3) 温泉に対する影響圏の調査
- (4) 化学分析による温泉調査
- (5) 療養的価値よりみたる温泉の調査
- (6) 温泉に関する図書並びに機関紙の発行
- (7) その他会の目的達成に必要な事業

第5条 会は下記の構成員をもって組織する。

学識経験者

県及び温泉所在地市・町・村の代表

関係行政庁の吏員

第6条 会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

会 長	1 名
副 会 長	2 名
常 務 理 事	1 名
理 事	若干名
監 事	2 名

2 役員任期は2年とする。但し、役員に欠員を生じた場合の補欠役員任期は前任者の残存期間とする。

第7条 会長は会務を総理し会議の議長となる。

2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。

- 3 常務理事は会長を補佐して会の常務に従事する。但し、会の出納事務は常務理事が処理するものとする。
- 4 理事は会務に従事する。
- 5 監事は会計並びに会務を監査する。

第8条 会に顧問を置くことができる。

- (1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。
- (2) 顧問は会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第9条 役員は名誉職とする。ただし、常時会務に従事しておる者及び職員はこの限りでない。

第10条 会に下記の役員を置く。

- (1) 書記 若干名
- (2) 書記は会長が任命又は委嘱する。
- (3) 書記は上司の指揮を受け庶務に従事する。

第11条 会議は総会及び役員会とする。

第12条 総会は会長が招集する。

- 2 総会は通常総会及び臨時総会とし、通常総会は毎年4月、臨時総会は会長が必要と認めたととき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会5日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第13条 総会において下記の事項を議決する。

- (1) 会則の変更
- (2) 役員を選出
- (3) 予算及び事業計画
- (4) 解散
- (5) その他重要事項

第14条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 3 議事に関しては議事録を調製し、会長の指名した2名以上の者がこれに署名しなければならない。

第15条 下記の事項について会長は専決することができる。

- (1) 総会の議決事項であっても軽易な事項
- (2) 臨時急を要する事項
- (3) 会員の入会・退会

2 下記の事項については総会に報告し、承認を得なければならない。

- (1) 前項の専決事項
- (2) 前年度の事業および決算

第16条 役員会は会長が招集する。

2 役員会は総会に付議する事項、顧問の推薦、その他会長が必要と認める事項を審議する。

第17条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。

第18条 会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員を設けることができる。

2 前項の委員会に関する事項は総会で定める。

第19条 会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。

第20条 会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

2 年度における余剰金は翌年度に繰越すことができる。

附 則

前条の規定にかかわらず、昭和24年度の会計年度は6月1日から始めるものとする。

附 則

この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。

この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿

(順不同)

職 名	氏 名	備 考
京都大学名誉教授	吉 川 恭 三	会 長
大分県保健環境部次長	荒 瀬 範 己	副 会 長
九州大学生体防御医学研究所教授	延 永 正	〃
大分県保健環境部環境保全課長	丹 生 皖 皓	常任理事
大分大学教育学部教授	川 野 田 実 夫	理 事
日本文理大学工学部教授	森 山 善 藏	〃
九州大学生体防御医学研究所教授	矢 永 尚 士	〃
京都大学理学部教授	由 佐 悠 紀	〃
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
大分大学名誉教授	志 賀 史 光	
〃 名誉教授	川 西 博	
前大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
原爆被爆者別府温泉療養研究所所長	大 内 太 門	
大分総合検診センター理事長	辻 秀 男	
山香町立病院外科部長	麻 生 幸	
大分県教育委員会教職員第二課参事	日 高 稔	
京都大学理学部助教授	北 岡 豪 一	
〃 助教授	竹 村 恵 二	
〃 助教授	福 田 洋 一	
〃 助 手	大 沢 信 二	
	山 下 幸 三 郎	
	大 石 郁 朗	
大 分 市 長	木 下 敬 之 助	理 事
別 府 市 長	中 村 太 郎	〃
臼 杵 市 長	芝 崎 敏 夫	
杵 築 市 長	石 田 徳	
真 玉 町 長	近 藤 正 勝	
国 見 町 長	矢 野 丈 夫	

職 名	氏 名	備 考
挾 間 町 長	川 野 秀 夫	
庄 内 町 長	佐 藤 三 千 生	
湯 布 院 町 長	吉 村 格 哉	理 事
久 住 町 長	衛 藤 龍 天	〃
直 入 町 長	岩 屋 万 一	〃
九 重 町 長	坂 本 和 昭	
玖 珠 町 長	濱 田 欣 次	
天 瀬 町 長	高 倉 柳 太	理 事
本 耶 馬 溪 町 長	井 上 次 男	
耶 馬 溪 町 長	平 田 宣 彦	
山 国 町 長	吉 峯 高 幸	
院 内 町 長	川 野 哲 也	
安 心 院 町 長	徳 光 正 則	
大分県衛生環境研究センター所長	大 友 信 也	理 事
別 府 保 健 所 長	溝 口 正 夫	監 事
別府市観光経済部長	大 津 良 雄	
別 府 市 温 泉 課 長	池 部 光	監 事
別府市温泉課温泉係長	竹 中 万 寿 夫	
大分県保健環境部環境保全課課長補佐	土 谷 浩	
別府保健所次長兼総務温泉課長	緒 方 節 治	
太分県衛生環境研究センター化学部長	首 藤 秀 樹	
〃 主幹研究員	菅 精 一	
〃 主任研究員	久 枝 和 生	
〃 主任研究員	小 野 文 生	
九州大学名誉教授	矢 野 良 一	顧 問
大分県議会福祉生活保健環境委員長	日 野 立 明	〃
別 府 市 議 会 議 長	伊 藤 敏 幸	〃
大分県保健環境部環境保全課課長補佐	徳 丸 一 守	書 記
〃 主 任	清 家 和 重	〃
〃 主 事	三 好 一 夫	〃

大分県温泉調査研究会報告 第44号

平成5年3月 印刷

平成5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
大分県保健環境部環境保全課内

印刷者 大分市新川町2-5-4

(有)大分プリント社

電話 32-3717