

大分県温泉調査研究会

報告 第46号

平成7年3月

目次

庄内温泉における化学成分濃度の経年変化 (その2)	川野田実夫	(1)
伽藍岳の地熱調査	由佐悠紀	(5)
	大北竹福	
	佐沢岡村田	
	悠信豪惠洋	
庄内町大分川河床にみられる火砕流の研究	竹村惠二	(15)
	由佐岡	
	悠豪	
別府地域の重力調査(2)	福田洋	(19)
	瀬楠本成哲	
	楠馬本秀寿	
	竹由村悠二	
	佐村悠二	
強酸性温泉水系に適用可能な地化学温度計の開発 ...	大由信二	(29)
	大川沢悠和	
	野上野田	
不整脈と温泉(6)	矢永尚士	(43)
	牧野直樹	
	松井寛輔	
慢性関節リウマチのQOLに対する温泉浴の効果 ...	安田正之	(47)
	松林代子	
	野村祥子	
	末永祥夫	
	赤山祥子	
温泉権紛争の調査と研究(V)	大野保治	(51)

序

大分県温泉調査研究会は昭和24年7月に設立という長い歴史を持っています。その前年の昭和23年に温泉法が施行され、昭和24年には大分県温泉条例が制定された経緯から見ても、行政における温泉法の円滑な運用と本研究会による調査研究とが表裏一体の関係を持つことは言うまでもありません。昭和54年に本会の発行した「30年のあゆみ」の中に、当時の副会長である栗原県環境保健部長が、「温泉調査研究会の30年の歴史はまさに温泉行政の30年でもある」と記されているのは、その後の年数を加えながらもなお、本研究会の性格を端的に表現した言葉だと思えます。そして、続いて書かれた次のような文章が印象に残ります。「これまでの研究会の活動をみると、非常に学術的、専門的で、全国にも高い評価を受けている。しかし、行政の立場からみれば、それらの研究を利用した行政に対するアドバイスこそが最も欲しいものである。今後も、日本一の温泉県にふさわしいより良きコンサルタントになって欲しいと願う」

現在の温泉調査研究会にとっても、この言葉はそのまま貴重な示唆として受けとめられねばなりません。本研究会の大きな特徴は、大学や行政機関の研究者・技術者と県や市町村の実務担当者と同じ会員として、たがいに評価し合い、語り合えることと思えます。研究者の中も、地質学、地球物理学、化学、法社会学、医学などさまざまな専門に分かれています。そのそれぞれが自分の専門分野から見た温泉という現象、温泉が自然の中、社会の中で果たしている役割の解析に真剣に取り組む、研究資料を発表し、質疑を重ねることはもとより重要です。それと同時に、あるいはそれを乗り越えて、分野や役割の違う相手の身になって考え、相手の立場で自分の仕事を見つめ直すゆとりの姿勢が本研究会の活動に特に必要だと考えます。本会がそのような場を提供でき、会員諸氏による問題提起とその解決策への模索の場へと発展するならば、それにまさる喜びはありません。近年、深部温泉源の探査、新源泉の掘削への需要はますます強く、温泉利用への意欲は全国すみずみまで拡大の傾向にあります。温泉に対する価値観の高まりはこれまで常に学問や行政に先行して進んできました。そのような価値観の所以を分析し、温泉が全国的に拡散してゆく中で大分県の温泉がその拠点として果たすべき役割をさぐることも本研究会の仕事のひとつと思えます。このような仕事には学問、行政の分野を超えた共同作業が必要であり、本研究会のような組織こそ、それに適していると思えるからです。

研究会報告はここに第46号を重ねることとなりました。調査研究を担当された会員諸氏の御協力に敬意を表すると共に、御援助、御協力をいただいた関係行政機関に厚く御礼申し上げます。

大分県温泉調査研究会

会長 吉川 恭三

庄内温泉における化学成分濃度の経年変化(その2)

大分大学教育学部
川野 田実夫

1 はじめに

大分川中・下流域の温泉開発は、昭和40年代後半から60年代にかけて活発に行われ、現在、大分市、野津原町、挾間町、庄内町の温泉と鉱泉の泉源数は200を越えようとしている。その内、庄内町の泉源数は64を数え、社会福祉施設、旅館や個人の浴用として利用されている。

筆者は昭和61年から63年にかけて庄内温泉の化学成分について調査研究を行った中で、同一泉源でも採水時が異なれば成分濃度が変化する泉源があることを報告した¹⁾²⁾。また、平成5年度の本報告では、東長宝の泉源の場合、揚水ポンプの停止や作動を繰り返す中で、塩化物イオン濃度が2倍以上変化する現象を報告した³⁾。

今回は昨年に続いて東長宝、小野屋、畑田及び五ヶ瀬の各地区に分布する温泉の中から各地区1孔の温泉を採水し、化学分析を行ったので簡単に報告する。

2 調査方法

図1に今回調査を行った泉源を示す。

現地調査は1995年3月30日に行い主要化学成分を分析した。

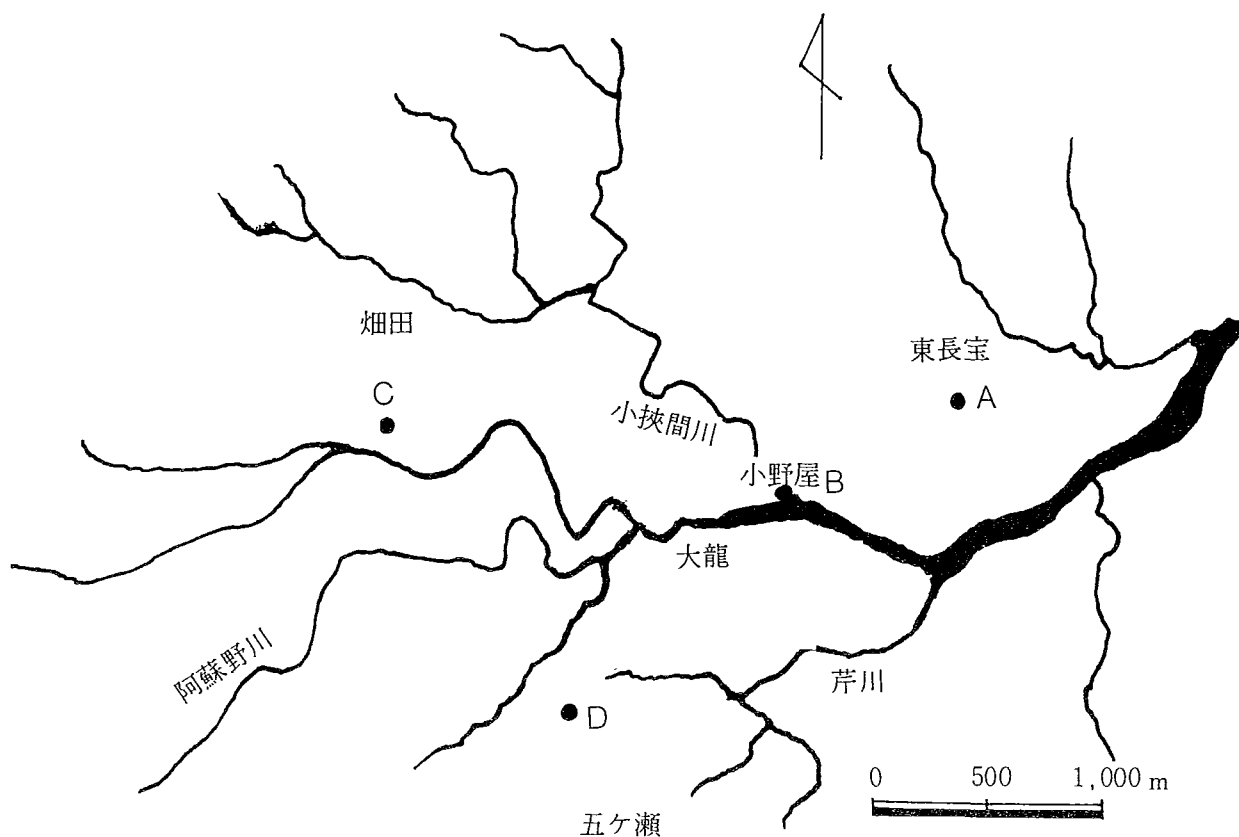


図1 調査泉源の位置図

3 化学成分濃度の変化

庄内温泉は大分市街地の温泉と同様にフミン質を含む深層熱水型の温泉である。泉質は主要化学成分の濃度と組成から、溶存成分量が1,000mg/l以下の単純泉とナトリウム-硫酸塩・塩化物泉に分類される。単純泉は掘削深度が海水面下400m以浅の温泉で、硫酸イオンを多く含む温泉はそれ以深の温泉に多い。

表1は昭和55年9月に東長宝で地表面からの掘削深度600mの泉源である。開発当初は典型的なナトリウム-硫酸塩・塩化物泉の組成を示していたが、漸次ナトリウム、硫酸イオン、塩化物イオン濃度が低下してきた温泉で、現在は単純泉に分類される。硫酸イオン濃度の値がこの表に記載されていないが、1980年は3,590mg/l、1985年は798mg/l、1993年は465mg/lと102mg/lである。前回報告したようにこの泉源は、揚水ポンプを一定時間止めて、再作動した時に一時的に成分濃度の低い濃度が湧出する。1993年4月8日の測定値が2つ記載されているのは、電気伝導度が当日の最大と最小を記録した試水である。

おそらくこの泉源の場合、温泉使用量が成分濃度の高い熱水の供給速度を上回って、それよりも浅い位置にある低濃度の熱水が浸透してくることによってこのような結果になったのであろう。

今回の観測でも揚水ポンプの作動直後に電気伝導度の低い温泉が湧出し、時間の経過と共に電気伝導度が高くなる現象が観測された。表に示した測定結果は、電気伝導度が最高点に達した時に採水したものである。この値を1993年のものと比較すると、ナトリウムイオンと塩化物イオンが些少であるが低下していることを示している。

表1 泉源A(東長宝)の分析結果の記録

採水年月日	泉温(°C)	Na(mg/l)	Cl(mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	備 考
1980. 9. 8	58.0	1,650	417	140	九大温研
1985.12.10	49.3	451	127	137	大分大学
1993. 4. 8	48.4	291	80.1	139	大分大学
1993. 4. 8	48.0	106	36.7	131	大分大学
1995. 3.30	46.7	263	73.5	133	大分大学

表2は庄内町で最初に掘削された温泉で、当初は自噴泉であった泉源である。その後、昭和52年12月に新たな掘削が行われている。最初の掘削後の分析記録は大分県と野田等⁴⁾のものがあるが、7年間の経過の中で特に目立った泉質の変化はない。

この泉源の最初の掘削深度は地表から400mで、2回目は500mである。この深度の増加によって泉温が約5°C上昇し、化学成分では塩化物イオンの上昇と炭酸水素イオンの低下がみられるが、泉質の上からは大きな変化は見られない。

今回の測定結果を約10年前のものと比較すると泉温、ナトリウムイオン及び塩化物イオン濃度がわずかながら低下している。

表2 泉源B(小野屋)の分析結果の記録

採水年月日	泉温(°C)	Na(mg/l)	Cl(mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	備 考
1968.10. 8	44.0	69.0	10.3	133	大分県
1975. 9.28	45.0	57	5.03	147	野田、北岡 ⁴⁾
1985.12.10	50.5	64.0	22.6	96	大分大学
1995. 3.30	48.6	55.8	18.6	93	大分大学

表3は温泉使用量が極めて少ない畑田の泉源である。掘削は昭和52年9月で、当初泉温は40℃であったとの記録があるが、近年は温度低下でほとんど使用されていない。この温泉の主要化学成分濃度は1985年から1994年の9年間でほとんど変化していない。また今回の測定結果からも有意な変化はみられなかった。

表3 泉源C(畑田)の分析結果の記録

採水年月日	泉温(℃)	Na(mg/ℓ)	Cl(mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備 考
1985.12.10		32.5	11.3	80.2	大分県
1987.12.12		34.0	3.3	76.4	大分大学
1994. 2.22		33.8	6.5	79.2	大分大学
1995. 3.30		31.5	4.2	75.0	大分大学

表4は五ヶ瀬の泉源で複数の温泉管理組合員が利用している。揚水ポンプは水位センサーによって自動的に作動し、貯水タンクの水温は温泉の使用量に応じて41℃から48℃まで大きく変化する。この泉源では揚水される試水を直接採取することが出来なかったが、貯水タンク内の水の電気伝導度は270 μ S/cmを中心に \pm 5 μ S/cm程度変化することが確認された。それに伴う化学成分濃度の変動幅はナトリウムイオンと塩化物イオンが10%で、炭酸水素イオン濃度は変動がなかった。表に示されたナトリウムイオン濃度は漸次低下の傾向を示しているが、変動幅は日変化量の範囲内にあり、経年変化があるとは判断できない。

表4 泉源D(五ヶ瀬)の分析結果の記録

採水年月日	泉温(℃)	Na(mg/ℓ)	Cl(mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備 考
1985.12.10	41.0	51.0	22.6	105	大分大学
1987.12.22		47.5	15.8	97.7	大分大学
1993. 4. 7	48.0	46.8	24.2	84.2	大分大学
1995. 3.30	46.0	48.2	21.6	90.3	大分大学

4 おわりに

今回の報告が筆者の怠慢によって極めて些末なものになったことを関係者に深くお詫びする。

参考文献

- 1) 川野田実夫、志賀史光、山口哲郎：大分川流域温泉の化学組成，大分県温泉調査研究会報告，37，昭和62年
- 2) 川野田実夫、志賀史光、中村千恵子：庄内町の温泉の現況，大分県温泉調査研究会報告，38，昭和63年
- 3) 川野田実夫、北岡豪一、大沢信二：庄内温泉の化学成分濃度の経時変化，大分県温泉調査研究会報告，45，平成6年
- 4) 野田徹郎、北岡豪一：狭間町ならびにその周辺の温泉調査(その2)，大分県温泉調査研究会報告，28，昭和52年

伽藍岳の地熱調査

京都大学理学部

由佐悠紀・大沢信二
北岡豪一・竹村恵二
福田洋一

1 はじめに

伽藍岳（硫黄山）は、別府地域における地熱温泉活動の熱源域に当たる鶴見連山の北端部に位置する（図1）。伽藍岳の地質・地形については、小林（1984）や星住ら（1988）の報告がある。また、岩石の化学組成については、竹村ら（1994）が報告している。鶴見連山の主峰である鶴見岳と同様に、角閃石安山岩類から成る鐘状火山で、底部の径は約1.5km、比高は350mである。山頂部は東西2つの溶岩円頂丘に分かれており、それぞれの標高は、東が1,045m、西が1,014mである。これらの円頂丘の南側には径300mほどの円弧状の崩壊地形が発達し、その内側に過熱蒸気の噴出を含む噴気活動があり、また、強酸性の温泉水が湧出している。このような地熱活動により岩石類は高度に変質し、オパール化の著しいもの（珪酸白土）は、「別府白土」として採取されてきた（木下、1961）。

地熱現象に関しては、かつて通商産業省（1978）が調査したことがあるほか、ヘリコプターに搭載した赤外映像装置を用いた放熱量の調査が行われている（湯原ら、1987）。しかしながら、それらは単発的に行われたために、調査結果は分散しており、この地域の地熱活動の大きさ（熱・水の放出量など）がまとまった形で提示されているとは言い難い。他方、北岡ら（1993）は蒸気凝縮水の水素と酸素の安定同位体比を分析し、

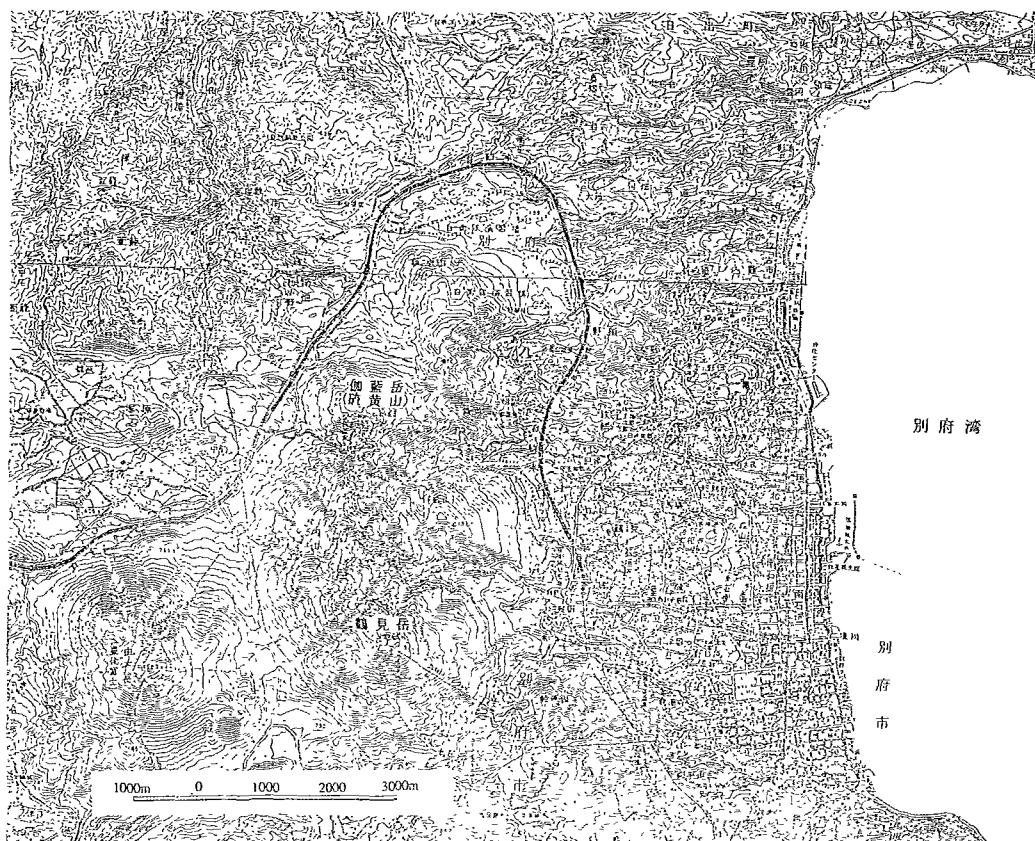


図1 伽藍岳位置図

（国土地理院発行，50,000分の1地形図「別府・大分・豊岡・豊後杵築」を使用）

それらの値は天水起源の地熱水の沸騰・蒸発の機構で説明される範囲内にあることを示した。しかしながら、地下深部の情報の有力な指標とされる非凝縮性ガスについては、調べられていない。また、地熱現象と密接に関わり合う火山体内の水文過程は、ほとんど分かっていない。こうした状況に鑑み、伽藍岳の地熱調査が計画された。

本報告では、伽藍岳の地熱活動に関して今回実施した現地調査の結果を、データの提示を中心にして述べる。

2 水文調査

噴気地を中心とした区域の水収支状態に関する基礎資料とするため、降水量と溪流の流量を測定した。

(1) 降水量

降水量は、図2に示す6点(GP1040, GP930, GP910, GP850, GP800, GP760)に手製の簡易雨量計(図

3:口径6cmのローレットを付けた、2リットル規格のポリビン)を設置し、随時現地を訪れて2回の調査の間の積算量を計り、ローレットの断面積で除して、その間の降水量とする。なお、各測定点に付けた数字は標高を表している。簡易雨量計の設置に先立ち、口径20cmの通常の雨量計と比較して、その精度を検定し

た。簡易雨量計での測定値の方が7.9%大きいので、その効果を補正する必要がある。

簡易雨量計による降水量測定は、1993年9月20日から開始した。諸般の事情のため、現在まで、1994年の4月28日と7月11日の2回しか測定されていないが、表1に結果を示した。直線距離850m、比高280mという狭い範囲でも雨の降り方がかなり異なっており、頂上に近いGP1040と、その直下のGP910での降水量が小さい傾向がある。

比較のため、表1には別府南部域の低地(標高約80m)に位置する京大地球物理学研究施設での降水量を掲げた。1993

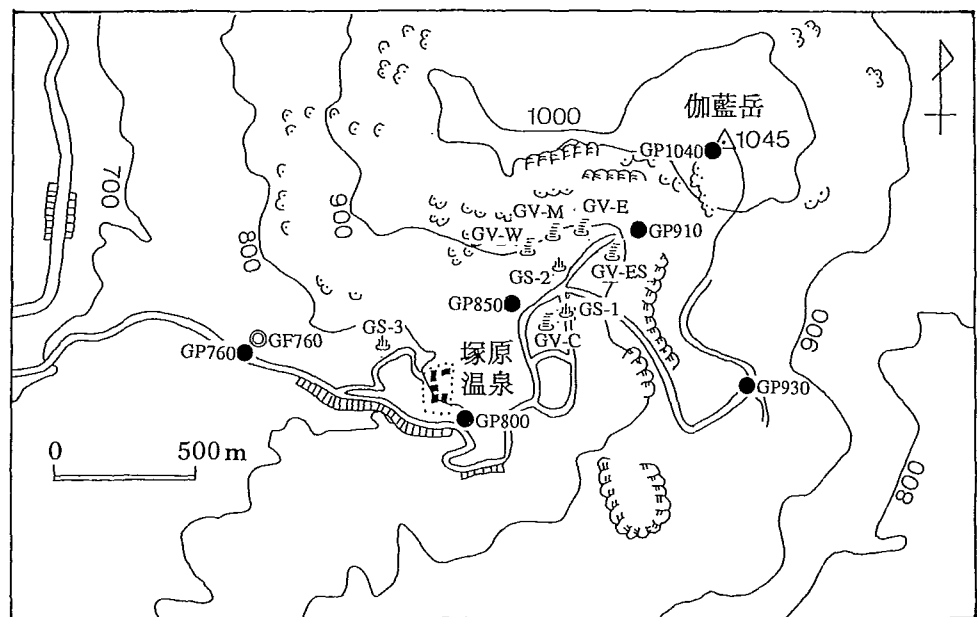


図2 伽藍岳の噴気孔群と温泉および測定点

雨水採取機能をもった簡易雨量計

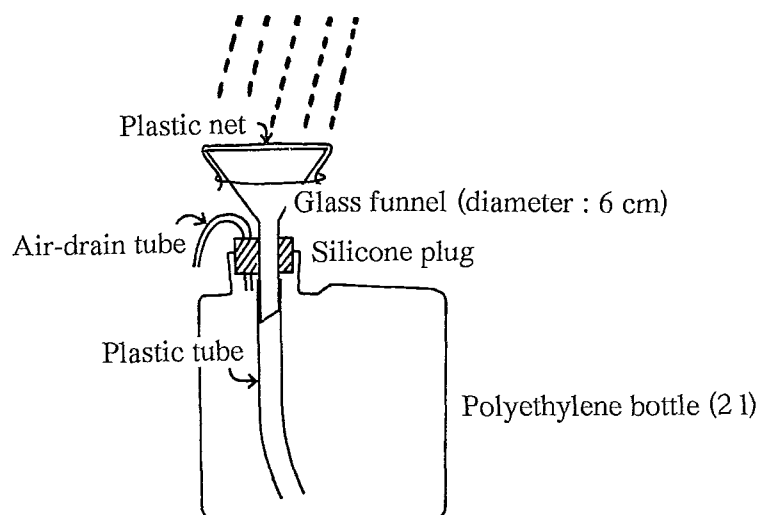


図3 簡易雨量計

年9月から1994年4月の間では京大での降水量が大きく、1994年5月から7月の間では、逆に伽藍岳での降水量が大きい。したがって、低地での観測から山地での値を押し量ることは不合理であり、現地での観測が必要である。

なお、表1中には降水のpHと電導度を掲げた。噴気地の北端に位置するGP910で、噴気の影響が大きく現れている。

表1 伽藍岳における降水

(1) 観測期間：1993年9月20日～1994年4月28日			
測定点	積算降水量	pH	電導度
GP1040	623 mm	4.54	23.8 μS/cm (25°C)
GP930	681	4.56	19.7
GP910	565	4.12	54.3
GP850	644	4.47	21.4
GP800	684	4.50	22.3
GP760	674	4.51	19.6
京都大学	880		

(2) 表面流出量

噴気地を囲む小流域からの表面流出は、この小流域を貫く溪流に集まるので、GP760の近くに測定点(GF760)を設けて測定した。この調査を開始して以来、著しい小雨傾向となった。1994年4月28日には37.7l/minの流量があったが、1994年7月11日には流水は全く見られなかった(表2)。また、1995年4月4日にも、流水は無かった。

(2) 観測期間：1994年4月28日～1994年7月11日			
測定点	積算降水量	pH	電導度
GP1040	231 mm	4.93	11.35 μS/cm (25°C)
GP930	332	4.91	9.76
GP910	208	4.06	48.4
GP850	390	4.56	18.1
GP800	370	4.77	12.5
GP760	345	4.52	20.9
京都大学	197		

以上のように、水文状態を解析するに足る調査は行えなかった。ただし、小雨であったとはいえ、この流域での表面流出は小さく、地下への浸透が大きいものと考えられる。今後、水文調査を再開して、この点を調べる予定である。

表2 伽藍岳の湿泉水と渓流水

測定年月日	測定点	流量	温度	pH	電導度
1993.10.06	GS-1	2.5 l/min	55.4°C	不測	不測
	GS-2	25.7	58.4	不測	不測
	GS-3	8.9	62.5	不測	不測
1994.04.28	GS-1	17.8	65.9	1.90	6.62 mS/cm (25°C)
	GS-2	不測	不測	不測	不測
	GS-3	17.4	58.8	1.66	12.21
	GF760	37.7	不測	1.63	12.87
1994.04.28	GS-1	0	-	-	-
	GS-2	0.85	73.1	2.06	5.25
	GS-3	4.9	63.5	1.78	11.16
	GF760	0	-	-	-
1995.04.04	GS-3より極く微量の流出あり：直ちに伏流 GS-1・GS-2・GF760は流量0				

3 温泉・地熱活動による水と熱の放出

(1) 温泉による放出

伽藍岳の温泉、すなわち塚原温泉は、典型的な強酸性の温泉として有名である。温泉水は、噴気地を通過してくる表流水(一部では伏流する)を集めたものである。そのほかにも、溪流の側面や白土採取地の崖からも湧出している。

1993年10月6日に行った現地調査時には、3箇所での温泉水の湧出が確認された。それらの位置を図2中にGS-1・GS-2・GS-3で示し、それぞれの温度・湧出量・電気伝導度・pHは表2に示されている。

このうちGS-1は白土採取地の崖の割れ目から流出していたが、崖を流下後全量が浸透して消滅する。また、1994年7月11日、1995年3月14日および4月4日には流出が無かった。すなわち、降水量が小さいと涸れてしまう一時的なものである。

GS-2 は北西側斜面の噴気地の下部から湧き出ていた。この一部は塚原温泉の源泉として利用されていたようであるが、1994年7月11日にはごく微量となり、1995年には涸れてしまった。

GS-3 は、噴気地の下流の細い溪流の側面から滴り落ちている。ごく少量ではあるが、これまでに涸れたことはない。この水は、流量が比較的大きいときには溪流を流下するが、小流量時には伏流して消滅する。

以上のように、この地熱地域から温泉水として放出される水量と熱量はごくわずかである。ただし、今回の調査期は異常な小雨であったので、多雨時の状態については、今後調べる必要がある。この小雨に伴う温泉水量の減少は、塚原温泉の経営を困難にする大きな要因となり、歴史のある温泉場は閉鎖されるに至った。

(2) 地熱活動による放出

2つの溶岩円頂丘の南側に発達する噴気地には、噴出勢力の微弱なものから強勢なものまで、多数の噴気孔が存在する。噴出する蒸気には過熱状態を呈するものもあり、今回の調査で測定された最高温度は、120.7℃であった。最も活発な噴気活動は北西の斜面で見られ、ほぼ東西に並ぶ3つの噴気孔群に分けられる。それらより東側には無数の小さな噴気孔から成る噴気地があり、また、南の窪地にはやや強勢な噴気活動がある。それら5箇所の位置は、それぞれにGV-W・GV-M・GV-E・GV-ES・GV-Cと名称を付けて、図2に示してある。これらの外にも噴気が散見されるが、いずれも弱いものばかりである。なお、GV-Eの噴気孔の1つには雨水が溜ってマッドポットとなることがあり、その泥水のpHが1以下の強酸性を示すことが見いだされている(大沢ら、1995)。また、多雨時にはGV-Cにも雨水が溜ることがある。

以上の5箇所の噴気孔群の中から代表的な噴気孔を選び、ピトー管とマンメーターによる簡便法を用いて、噴出量を測定した。さらに、遠方から目視して、それら噴気の強さを判別し、測定結果と照らし合せて、それぞれの噴気孔群からの放出量を見積り、

表3 噴気活動を通して伽藍岳から放出される水量と熱量

(1993年10月～1995年3月に測定：熱量は0℃の水基準)

噴気孔群名	代表温度 (℃)	放出水量 (g/s)	放出熱量 (MW)
GV-W	120.7	545	1.5
GV-M	-	55	0.2
GV-E	97.7	545	1.5
GV-ES	99.3	40	0.1
GV-C	99.8	215	0.6
合計		1400	3.9

全放出蒸気量 1.4kg/s、0℃の水を基準とした全放出熱量 3.9MW という結果が得られた(表3)。この地の年平均気温を 14℃とすれば、その温度の水を基準とした放出熱量は 3.8MW である。

他方、1984年に実施された赤外映像装置を用いた測定によれば(湯原ら、1987)、伽藍岳の地表面からの熱放射量として 19.3～19.6MW という値が報告されている。これは、今回得られた蒸気による放出熱量よりはるかに大きく、伽藍岳からの熱放出の主体は放射過程によることになる。伽藍岳の山体内には、液相の水と気相の水(蒸気)が共存する二相流系が存在しているものと考えられている(Allis and Yusa、1989)。二相流系においては、蒸気は上昇し潜熱を放出して凝縮する一方、凝縮水は下降する。この過程により、多量の熱が上方に輸送される(由佐、1993)。伽藍岳では、そのような二相流が地下深部から地表へと効率よく熱を輸送して地表の温度を高め、その結果、放射過程による熱の放出量が高められているのかもしれない。

4 温泉水の化学組成

1993年10月6日にGS-1・GS-2・GS-3から採取された温泉水の化学組成を、表4に示す。また、

GV-E 噴気孔群のマッドポットの泥水の化学組成は本報告書の別の報告に掲げてある（大沢ら、1995）。いずれも硫酸による強酸性を呈し、雨水が噴気ガスと混合して生成される典型的な蒸気加熱型の温泉水の特徴を示している。なお、塩化物イオン濃度は非常に低く、伽藍岳の噴気ガスの HCl 濃度が低いこと（表 6）と対応している。

5 地熱ガスの化学組成

ここで言う地熱ガスとは、噴出蒸気に含まれる、H₂O を除く非凝縮性ガスのことである。伽藍岳から噴出する蒸気の地熱ガス組成は十分に調べられていないので、GV-W・GV-E・GV-C から代表的な蒸気を採取し、表 5 に示すような方法を用いて分析した。その結果は、表 6 に示されている。なお、図 4 は、我々が採用している地熱ガス採取法である。硫黄に関する成分は全硫黄（ΣS）として表してあるが、ほとんどは H₂S であると考えられる。

図 5 に、CO₂・ΣS・R-gas の組成を三角図で示した。R-gas とは、アルカリ溶液（今回は

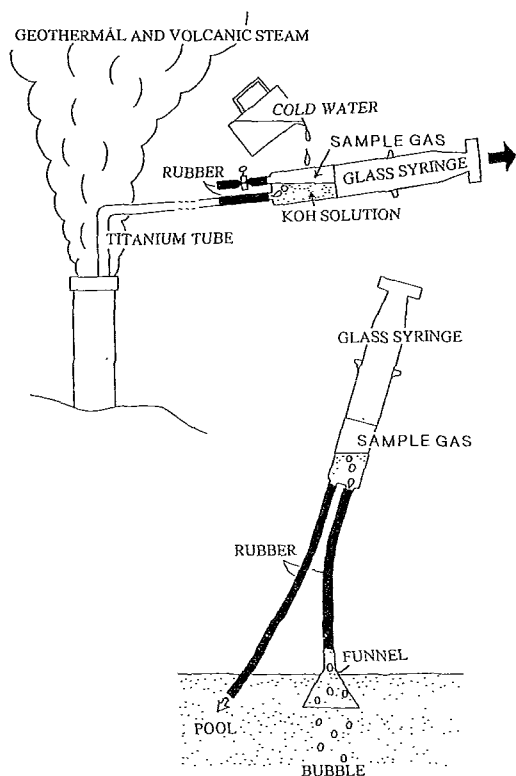


図 4 地熱ガスの採取法

表 4 伽藍岳の温泉水の化学組成
(1993年10月6日に採取：濃度の単位はmg/l)

温泉名	GS-1	GS-2	GS-3
pH(25°C)	1.9	2.1	1.7
Na	31.2	25.8	77.2
K	15.6	7.9	37.2
Ca	68.9	64.1	170
Mg	21.6	19.1	64.8
Al	81.5	40.2	292
ΣFe	42.3	13.6	133
Cl	0.9	1.6	0.5
SO ₄	1960	1130	4930
SiO ₂	229	207	282

(注) ΣFe = Fe²⁺ + Fe³⁺

表 5 地熱ガスの分析法

H ₂ O	重量測定	ガス試料採取前後の採取容器の重量差を測定した
CO ₂	炭酸ガス電極法	試料ガスを吸収させたアルカリ溶液に H ₂ O ₂ を加えて硫黄化合物を酸化させたものを検液とした
ΣS, HCl	イオンクロマトグラフ法	CO ₂ 分析のために前処理を施したアルカリ吸収液の一部を H 型イオン交換樹脂で処理した溶液を検液とした
H ₂ , He, Ar, N ₂ , CH ₄	ガスクロマトグラフ法	アルカリ溶液に吸収されなかった残留ガスを分析試料とした

表 6 伽藍岳の地熱ガスの化学組成

(CO₂, ΣS, HCl の単位は mmol/mol H₂O :
He~CH₄ の単位は μmol/mol H₂O)

噴気孔群名	GV-C	GV-E	GV-W
採取年月日	1995.4.4	1995.4.4	1994.8.19
温度 (°C)	98.1	97.7	118.6
CO ₂	4.86	7.21	6.46
ΣS	1.03	1.59	1.27
HCl	0.0249	0.0013	<0.003
He	0.069	0.119	0.086
H ₂	21.6	1.53	104
Ar	1.49	1.00	1.72
N ₂	109	93.2	135
CH ₄	1.80	4.06	2.98

注：ΣS は、ほとんどが H₂S であると考えられる。

KOHを用いた) に不溶のガスで、He・H₂・Ar・N₂・CH₄の総量である。CO₂の量が圧倒的に大きく、ΣSがそれに次ぎ、R-gasは微量である。比較のため、図5には、別府の掘削井から噴出する蒸気や沸騰水に伴うガス組成も描いてある。別府地域の地熱ガスの中では、伽藍岳の蒸気が硫黄成分を最も多量に含んでいることが分かる。

一方、表6に示されているように、R-gasの中ではN₂の濃度が最も大きい。このN₂ガスの多くは大気に由来すると考えられるが、マグマ起源のガスにも含まれていることが報告されている(Kiyosu, 1986; 平林ら, 1992; Shinohara et al., 1993)。そこで、これらのR-gasの起源を議論するのによく用いられるN₂-Ar-Heダイアグラムを作成し、図6に示した。図6には、別府地域の地熱ガスのデータもプロットした。また、同図の左隅近くには、玄武岩質マグマから放出されるガスの一般的な組成を「マグマ起源ガス(別府-島原地溝)」と仮定して描いた。なお、雲仙普賢岳で採取されたガスも同様の組成を示している(平林ら, 1992)。

別府地域から流出する多くの地熱ガスが、このマグマ性ガスを一方のエンドメンバーとし、空気(大気)および地下水

に飽和した空気を他方のエンドメンバーとする混合領域にプロットされている。また、別府-島原地溝内の代表的な地熱地域である九重硫黄山の地熱ガスも、同一領域にある。これに対し、東北日本や九州南部の地熱ガスの組成は異なっており、N₂の大きい領域にプロットされる(由佐ら, 1995)。

したがって、図6の左隅のガス組成は別府-島原地溝のマグマ性ガスを代表するものではないかと考えられる。そして、伽藍岳の地熱ガスを始めとして、別府地域の地熱ガスには、マグマ性ガスが含まれている可能性がある。これらについては、今後データを集積して検討する予定である。

6 変質鉱物

伽藍岳の噴気地を中心として、岩石類は地熱温泉活動の影響により高度に変質している。先に触れたように、オパール化の著しいものは別府白土として採掘され、良質の白土はほとんどが採りつくされている。この白土採取のために作られた広い範囲にわたる採掘面には、地熱流体が流動した通路など、過去の地熱活動の痕跡が残されている。

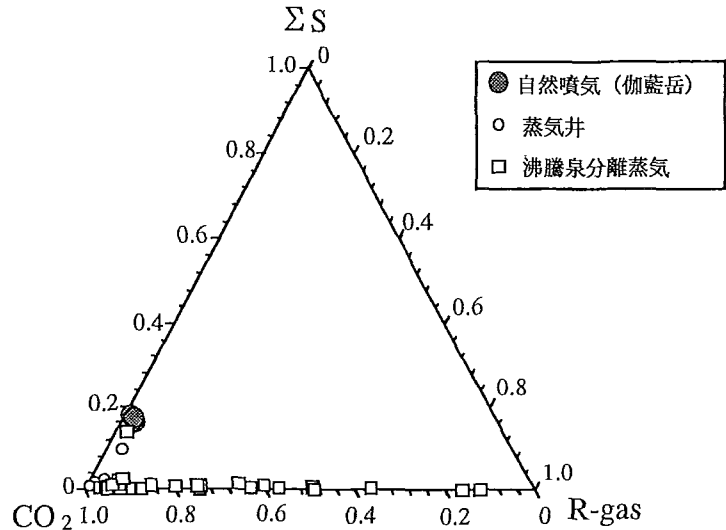


図5 地熱ガスの組成

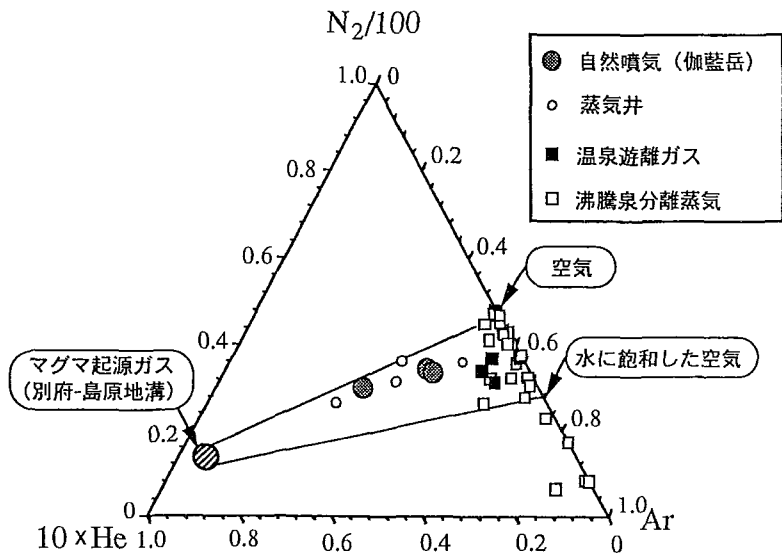


図6 地熱ガスのN₂-Ar-Heダイアグラム

今回の調査では、岩石の変質状態を調べるため、いくつかの岩石試料を採取し、蛍光 X 線分析装置を用いて主要な 10 成分の組成を分析した。その結果を表 7 に示す。また、同表には、比較のために、伽藍岳で採取された非変質岩（以下、原岩）2 試料の平均組成（竹村ら、1994）も示した。なお、単位は重量%である。山頂付近の試料（891125-2）の組成は原岩とほぼ同じであるが、その他の試料は高度に変質していることが明らかである。とくに、MgO は検出限界以下である。

こうした変質は、酸性水と原岩との化学的な相互作用によって生じたに違いない。すなわち、酸性水を介して元素が移動したものと考えられる。その移動の度合いを見るため、下のように定義される移動度 (Mob) を求め、その結果を表 8 に示した。基準に選んだ Ti は、溶液の pH が 0 に近いときを除き、化学的に安定で移動しにくいとされており、こうした解析の基準元素としてよく用いられる元素である。

$$\text{Mob} = ([A]/[\text{Ti}])_a / ([A]/[\text{Ti}]_n)$$

ここに、[Ti] は試料の Ti の濃度（質量%）、[A] は Ti 以外の元素の濃度であり、添字の a と n はそれぞれ変質岩および原岩を表している。定義から明らかなように、Mob 値はつぎのような意味をもっている。

Mob < 1 元素の正味の溶脱； Mob = 1 元素の正味の移動無し； Mob > 1 元素の正味の付加。

表 7 伽藍岳の変質岩の蛍光 X 線分析結果

(単位は重量%；分析法は竹村ら (1994) を参照)

試料番号	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	備考
891125-2	61.71	0.77	18.35	6.44	0.13	2.70	5.00	3.29	1.76	0.18	100.33	山頂溶岩
931020-1	76.96	1.09	10.46	7.95	0.01	nd	0.17	0.33	2.27	0.15	99.39	灰色
931020-3	88.00	0.87	8.62	0.32	0.00	nd	0.16	0.27	1.73	0.18	100.16	白色
931020-4A	70.17	1.02	20.92	5.58	0.01	nd	0.27	0.51	1.00	0.17	99.66	灰色
931020-5B	65.17	0.86	23.73	7.27	0.03	nd	0.21	0.31	1.72	0.16	99.45	灰色
原岩平均	60.73	0.82	16.53	6.09	0.14	2.93	6.23	3.31	1.80	0.17	98.75	

注：nd は検出限界以下を示す

表 8 より、先に述べた試料 891125-2 の各成分の Mob 値は 1.0 付近にあり、ほとんど変質していないことが分かる。Ca はわずかに溶脱されているかもしれない。そのほかの試料においては、Mg が完全に溶脱され、Mn・Ca・Na も著しく溶脱されている。

表 8 Ti を基準とした各元素の移動度 (Mob)

試料番号	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P
891125-2	1.08	1.18	1.12	0.99	0.98	0.85	1.06	1.04	1.13
931020-1	0.95	0.48	0.98	0.05	0.00	0.02	0.07	0.95	0.66
931020-3	1.36	0.49	0.05	0.00	0.00	0.02	0.09	0.90	1.00
931020-4A	1.09	1.02	0.74	0.06	0.00	0.03	0.12	0.45	0.80
931020-5B	1.02	1.37	1.14	0.20	0.00	0.03	0.09	0.91	0.90

原岩の主要成分である Si の Mob 値は、1 つの例外を除けば 1.0 に近く、正味の移動は無かったことを示している。しかし、例外の試料 931020-3 の Mob 値は、1.36 と異常に大きいことが注目される。この試料は、表 7 の組成においても、SiO₂ 濃度が 88% もの高い値を示している。別府白土として良質のもの SiO₂ 濃度は 90% を越えていた（別府白土産業株式会社のデータによる）ことからみて、こうした SiO₂ 濃度の高い変質岩は、この地域では例外的なものではないとみなすべきであろう。往古における酸性水からの SiO₂ の沈積・付加によって、このように高い SiO₂ 濃度が生じたのではないかと考えられる。

Fe は、原岩と同様の組成を示すものから、高度に溶脱されたもの (931020-3) までである。後者は白色であるのに対し、前者は灰色を呈する。粉末 X 線回折によれば (大沢ら、1995)、灰色を呈する試料は全て黄鉄鉱を含むが、白色のものは含んでいない。したがって、Fe は黄鉄鉱によるものであり、変質岩の黄鉄鉱は変質後に付加されたものと考えられる。

変質岩では Mg・Mn・Ca・Na などが著しく溶脱されているにもかかわらず、Al と K の正味の移動量はそれほど大きくない。むしろ、931020-5B のように Al の Mob 値が大きく、付加されたものもある。粉末 X 線回折によれば、これらには共通して、Al と K の鉱物である明礬石が含まれている（大沢ら、1995）。変質の過程において原岩からいったんは溶脱されたにしても、明礬石が生成されたために、結果として比較的高い濃度を保っているのであろう。

7 おわりに

伽藍岳は、別府地域でもっとも地熱活動が活発であり、人々によく知られた山であるにもかかわらず、その地熱活動の実態はほとんど知られていなかった。本報告では、いくつかの項目について現地調査を実施した結果を述べた。調査は不完全ではあるが、つぎのようにいくつかの結果が得られた。

- (1) 放出熱量は約 23MW である。その内、噴気活動によるものが約 4MW、地表面からの放射過程によるものが約 19MW である。すなわち、熱放出の主体は放射過程であるらしい。
- (2) 温泉水は、典型的な蒸気加熱型である。
- (3) 地熱ガスにはマグマ性ガスが含まれている可能性がある。
- (4) 変質岩では Mg・Mn・Ca・Na が著しく溶脱されている。正味の移動量が小さい他の元素は、その一部が熱水を通して付加されたものと考えられる。

上記の結果のうち、(2)は以前から知られていたことである。他方、(1)と(3)は今回得られた知見であり、伽藍岳を含む別府地域の地熱活動を理解する上で重要であると思われる。また、(4)は岩石-水相互作用に関する研究の基礎的な資料となる。

今後は、この地域の地熱活動のモデル化を目指して、さらに調査を継続し、資料を蓄積したいと考えている。

本調査において、変質岩の採取等の現地調査にあたっては W. A. Elders 教授（アメリカ、カリフォルニア大学）の、岩石の蛍光 X 線分析は巽好幸助教（京都大学総合人間学部）のご協力をいただいた。また、馬渡秀夫氏（京都大学理学部地球物理学研究施設）には、現地調査全般についてご協力いただいた。深く感謝します。

参考文献

- 1) Allis, R. G. and Yusa, Y. (1989) : Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan, *Geothermics*, 18, 743-759.
- 2) 平林順一・ほか (1992) : 雲仙岳火山活動と地球化学的観測、雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究（文部省科学研究費・成果報告書），99-111.
- 3) 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) : 別府地域の地質 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，131p.
- 4) 木下亀城（編）(1972) : 日本地方鉱床誌 9 九州地方，朝倉書店，695p.
- 5) 北岡豪一・由佐悠紀・神山孝吉・大沢信二・M. K. Stewart・日下部実 (1993) : 水素と酸素の安定同位体からみた別府温泉における地熱流体の移動過程，*地下水学会誌*，35，287-305.
- 6) Kiyosu, Y. (1986) : Variations in N_2/Ar and He/Ar ratios of gases from some volcanic areas Northeastern Japan, *Geochemical Journal*, 19, 275-281.
- 7) 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*，24，93-108.
- 8) 大沢信二・由佐悠紀・大上和敏・川野田実夫 (1995) : 強酸性温泉水系に適用可能な地化学温度計の開発，*大分県温泉調査研究会報告*，46，29-41.

- 9) Shinohara, H., Giggenbach, W. F., Kazahaya, K. and Hedenquist, J. W. (1993) : Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan : Following Matsuo, *Geochemical Journal*, 27, 271–285.
- 10) 竹村恵二・由佐悠紀・馬渡秀夫 (1994) : 別府地域の火山岩調査 (2), 大分県温泉調査研究会報告, 45, 11–14.
- 11) 通商産業省 (1978) : 地熱開発基礎調査報告書 No.6 伽藍岳・黒川その 1, 132p.
- 12) 湯原浩三・江原幸雄・原 幸・藤光康宏 (1987) : ヘリコプターより観測した九州の火山・地熱地域の熱映像, *日本地熱学会誌*, 9, 307–355.
- 13) 由佐悠紀 (1993) : 二相流による鉛直熱輸送 (II), 文部省科学研究費・重点「多様なエネルギー資源の利用」平成 4 年度成果報告書, 215–218.
- 14) 由佐悠紀・福田洋一・大沢信二・須藤靖明 (1995) : 地熱性微小地震のフラクタル解析と地熱構造モデル—別府地熱地域における地震活動および地熱ガス—, 文部省科学研究費・重点「フラクタルと抽熱」平成 6 年度成果報告書, 13–18.

庄内町大分川河床にみられる火砕流の研究

京都大学理学部

竹 村 恵 二
由 佐 悠 紀
北 岡 豪 一

1 はじめに

大分県下には多数の火砕流堆積物が分布している(小野、1963; 星住ほか、1988 など)。これらの火砕流堆積物は、火山活動の時期や規模を知る上で重要であるとともに、温泉活動との関係も注目される。今回は庄内町付近の大分川流域に分布する火砕流についての研究結果を報告する。庄内町付近の大分川では、過去100万年間に数回の火砕流堆積物が観察される。また、最近、火砕流との関係で注目される埋もれ木の話が九州各地で報告されている。特に大規模火砕流である阿蘇4火砕流や入戸火砕流との関連での報告が多い(下山ほか、1994 など)。大分川河床でも庄内町と挾間町の境界付近で発見された炭化木の産状とそれを産した地層の特徴について報告された(竹村・星住、1994)。発見者は大分市在住の小野林氏で、発見後、テレビ大分(TOS)報道部へ連絡したことにより調査が開始された。この地域は、庄内町と挾間町の境界地域であり、従来から温泉の泉質の面からも注目される地域であった。今回は、現在までに明らかにされているこの地域の河床の火砕流の特徴についてのべ、今回測定された絶対年代についてのべる。

2 大分川にみられる層序・火砕流の特徴と年代測定用試料

竹村・星住(1994)による予察的な調査の結果、この付近の河床には、星住ほか(1988)に記載されたように、下位より神屋敷火砕流堆積物及び由布川火砕流堆積物が分布していることが明らかになった。その結果を主として、層序についてのべる。下位の神屋敷火砕流は黒雲母流紋岩質火砕流堆積物と挾在する水成堆積物からなる。火砕サージ堆積物・軽石流堆積物を主とし、水成再堆積物を伴い、互層する。火砕サージ堆積物は細かく成層した細粒ガラス火山灰層でデユーン構造がみられる。火山豆石を含む。由布川火砕流はここでは最下部に層厚2mの降下軽石層があり、その中央部では岩片の含有量が高い。由布川火砕流本体がその上位に重なっている。少量の紫蘇輝石・普通輝石を含む普通角閃石黒雲母流紋岩質軽石流堆積物である。立木状の炭化木は少なくとも10本は由布川火砕流中に観察される。全てが炭化が進んでいる。また特徴的な現象として、倒木と関連して、煙の化石とよばれる構造が明瞭に残されている。

年代測定用試料は由布川火砕流本体の最下部から採取された(図1)。

3 フィッション・トラック年代測定結果と考察

年代測定はフィッション・トラック法により行われた。測定には(株)京都フィッション・トラックの協力を得た。以下、測定方法及び測定結果について報告し、周辺の火砕流の年代との関連についてのべる。

フィッション・トラック法による年代測定の基本的な原理は以下のとおりである。²³⁸Uは核分裂(fission)をおこす性質をもっており、核分裂壊変率は一定である。核分裂をおこす際に、電荷をもった核分裂片がウランを含んでいる結晶を通過することにより損傷が生じる。その損傷が飛跡(track)とよばれる。したがってトラックの数はU含有量と年代によってきまるので、試料中のU量を定量して、トラックの数を顕微鏡をもちいて調べることによって年代が求められる。

フィッション・トラック法による年代測定は、IUGS地質年代サブコミッションによって年代測定標準化勧告(Hurford, 1990a, b)がなされたzeta較正法(Hurford and Green, 1983)を用いた。具体的な測定

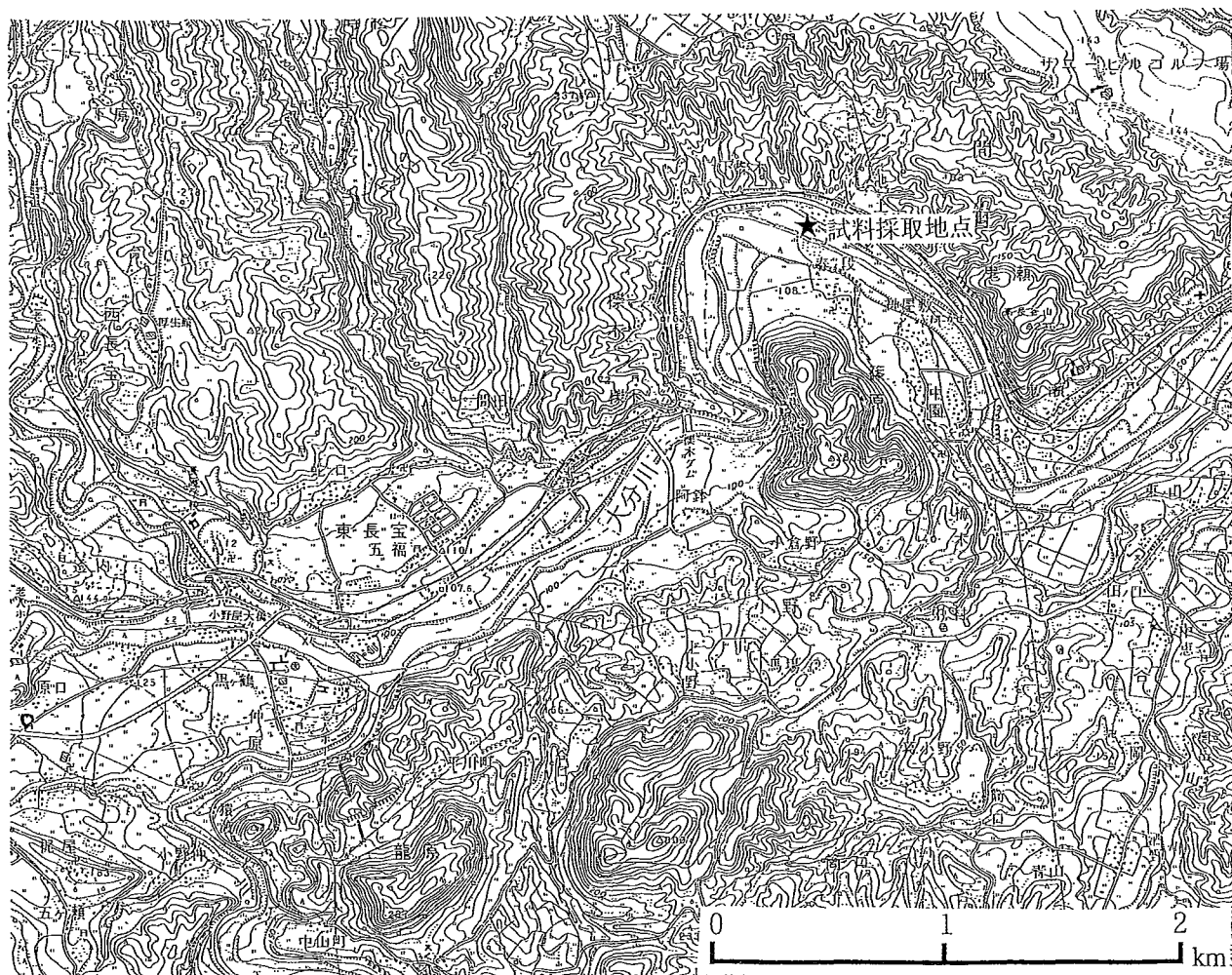


図1 試料採取地点 (国土地理院発行2万5千分の1 小野屋の一部を使用)

手順の詳細は Danhara et al. (1991) に準拠した。今回の測定では、結晶面外部面を用いた外部ディテクター法が用いられた。

分析試料は火砕流堆積物 1kg を水洗後、4mm以上の粒径の軽石 (110g) を集め、その軽石からジルコン粒子を抽出した。測定結果は表 1 に示される。粒子 30 個について行った測定で、粒子ごとの測定結果の検討から 1 粒子をのぞき、粒子 29 個での平均自発トラック密度は $3.05 \times 10^4 \text{ (cm}^{-2}\text{)}$ で、平均誘導トラック密度は $1.40 \times 10^6 \text{ (cm}^{-2}\text{)}$ であり、フィッション・トラック年代値 $0.68 \pm 0.14 \text{ Ma}$ (Ma は 100 万年前を意味する) が算出された。参考値として 30 個すべての平均による測定値も表 1 に示した。また結晶 1 粒ごとの年代測定結果を表 2 に示した。

測定値について考察する。検討項目は年代試料としての適格性 (岩質、本質結晶含有率、粒子の均質性、含有結晶量、トラック計数作業の難易性、結晶表面の状態、外部効果、試料の再加熱履歴など) および各粒子の測定結果のまとめりである。試料の処理段階の双眼実体顕微鏡観察では、ジルコン粒子はすべて自形をなし、晶癖、色調も均質であるので、すべて本質結晶と考えられる。今回抽出したジルコン粒子は年代測定試料として適していると判断される。含有量は軽石 110g 中約 300 個あり、測定に十分な量があった。結晶表面は平滑でトラック計数作業は容易であり、短いエッチピットは認められなかった。粒子ごとの測定データは、自発トラック密度が低いので粒子年代はばらつくものの、ウラン濃度のまとめりはよい。No.22 の結晶 (表 2) のみ統計的に異質性が大きい。統計的に平均粒子データから大きくはずれた値を持つものと判断し、No.22 粒子を除外して残り 29 個で年代値を算出した。

表 1 大分川河床に露出する火砕流のフィッション・トラック年代測定結果

試料名	(1)				(2)
	測定鉱物	結晶数 (個)	自発核分裂片飛跡 ρ_s (cm^{-2})	誘発核分裂片飛跡 ρ_i (cm^{-2})	χ^2 検定 P (χ^2) (%)
大分川 (No.22 除く)	Zr	29	3.05×10^4 (25)	1.40×10^6 (1,148)	72
同上 (全粒子)	Zr	30	3.38×10^4 (28)	1.42×10^6 (1,172)	38

試料名	(3,4)	(5)	(6,7,8,9)		(10)
	熱中性子線量 ρ_d (Nd) ($10^4 \times \text{cm}^{-2}$)	相関係数 r	ウラン濃度 (ppm)	年代値 (Ma) Age $\pm 1\sigma$	測定方法
大分川 (No.22 除く)	8.41 (1,295)	0.311	130	0.68 ± 0.14	ED2
同上 (全粒子)	8.41 (1,295)	0.519	140	(参) 0.75 ± 0.14	ED2

- (1) 測定鉱物 Zr:ジルコン, Ap:アパタイト, Sp:スフェーン
- (2) P (χ^2): χ^2 値の自由度 n-1 の χ^2 分布における上側確率 (Galbraith, 1981)
- (3) 熱中性子線量測定用標準ガラス: NBS-SRM612
- (4) 照射場所: 立教大学原子炉 TRIGA MARK II 回転試料棚
- (5) r: ρ_s と ρ_i の相関係数
- (6) 年代値: $T = \ln(1 + \lambda_b \cdot \zeta \cdot \rho_d \cdot \rho_s / \rho_i) / \lambda_b$ (ED1 は $\rho_s * 1/2$)
- (7) 誤差: $\sigma_t = T * [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/\Sigma N_d + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$
- (8) ^{238}U の全壊変定数: $\lambda_b = 1.480 \times 10^{-10} / \text{yr}$
- (9) $\zeta_{ED1} = 370 \pm 4$; $\zeta_{ED2} = 372 \pm 5$ (Danbara et al., 1991)
- (10) 測定方法: 外部ダイテクター法 (内部面: ED1, 外部面: ED2)

表 2 結晶 1 粒ごとの年代一覧

試料名: 大分川
線量 ρ_d : 8.41×10^4 (cm^{-2}) (立教大学原子炉: 95-02-08 照射)
測定方法: ED2 法

Zeta ζ : 372 ± 5

No.	Ns	Ni	S $\times 10^{-5}$ (cm^2)	ρ_s $\times 10^4$ (cm^{-2})	ρ_i $\times 10^6$ (cm^{-2})	Ns/Ni	T (Ma)	No.	Ns	Ni	S $\times 10^{-5}$ (cm^2)	ρ_s $\times 10^4$ (cm^{-2})	ρ_i $\times 10^6$ (cm^{-2})	Ns/Ni	T (Ma)
1	2	86	4.98	4.02	1.73	0.02	0.73	16	0	31	1.66	0.00	1.87	0.00	0.00
2	2	51	3.05	6.56	1.67	0.04	1.23	17	4	57	4.79	8.35	1.19	0.07	2.20
3	1	23	2.77	3.61	0.83	0.04	1.36	18	0	10	0.83	0.00	1.20	0.00	0.00
4	0	88	8.48	0.00	1.04	0.00	0.00	19	1	57	2.39	4.18	2.38	0.02	0.55
5	0	18	3.60	0.00	0.50	0.00	0.00	20	0	13	1.11	0.00	1.17	0.00	0.00
6	0	30	2.95	0.00	1.02	0.00	0.00	21	2	62	3.69	5.42	1.68	0.03	1.01
7	1	15	2.77	3.61	0.54	0.07	2.09	22	3	24	0.83	36.14	2.89	0.13	3.91
8	0	31	2.77	0.00	1.12	0.00	0.00	23	0	41	2.48	0.00	1.65	0.00	0.00
9	2	72	3.32	6.02	2.17	0.03	0.87	24	2	33	1.94	10.31	1.70	0.06	1.90
10	1	32	3.32	3.01	0.96	0.03	0.98	25	1	50	1.66	6.02	3.01	0.02	0.63
11	1	23	1.48	6.76	1.55	0.04	1.36	26	1	24	3.05	3.28	0.79	0.04	1.30
12	1	41	2.58	3.88	1.59	0.02	0.76	27	0	39	3.13	0.00	1.25	0.00	0.00
13	0	41	2.58	0.00	1.59	0.00	0.00	28	0	9	0.83	0.00	1.08	0.00	0.00
14	1	71	3.87	2.58	1.83	0.01	0.44	29	0	16	1.11	0.00	1.44	0.00	0.00
15	2	33	2.21	9.05	1.49	0.06	1.90	30	0	51	2.58	0.00	1.98	0.00	0.00

No.: 結晶番号
Ns: 自発トラック数
Ni: 誘導トラック数
T: 結晶 1 粒ごとのみかけ年代
S: 結晶面積
 ρ_s : 自発トラック密度
 ρ_i : 誘導トラック密度

これまでも、由布川火砕流に関する年代に議論がなされてきた。由布川火砕流は中部九州の東部に広く分布し、火山活動史の重要な鍵層の役割を持っている。星住・鎌田（1991）は由布川火砕流上下の火山岩類の K-Ar 年代と古地磁気測定結果から、約 0.6Ma と推定した。竹村・檀原（1993）は由布川溪谷の弱溶結火砕流部から試料を採取し、 0.60 ± 0.10 Ma の測定結果を報告した。地質調査で由布川火砕流に対比された大分川河床に分布する立ち木状炭化木を含む火砕流が、今回の年代測定結果から由布川火砕流として矛盾がないと判断される。

今後の課題としては、この火砕流の古地磁気調査を行い対比と年代の根拠を増やすこと、炭化木の樹種の同定、年輪の計測、花粉などによる古環境の調査、また火砕流の温度推定などの調査とともに、庄内地域と挾間町地域の温泉生成のメカニズムとの関連からの構造調査も必要となる。

4 参考文献

- 1) Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H., and Yamashita, T. (1991) : Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 97, 977-985.
- 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) 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田轍郎（1988）：別府地域の地質. *地域地質研究報告*（5 万分の 1 地質図幅）. 地質調査所, 131p.
- 4) Hurford, A.J. and Green, P.F. (1983) : The Zeta age calibration of fission track dating. *Isotope Geoscience*, 1, 285-317.
- 5) Hurford, A.J. (1990a) : Standardization of fission track dating calibration : Recommendation by Fission Track Working Group of the I.U.G.S. Subcommission of Geochronology. *Chemical Geology*, 80, 171-178.
- 6) Hurford, A.J. (1990b) : International Union of Geological Sciences Subcommission on Geochronology recommendation for the standardization of fission track dating calibration and data reporting. *Nuclear Tracks Radiation Measurement*, 17, 233-236.
- 7) 小野晃司（1963）：5 万分の 1 地質図幅久住及び同説明書. 地質調査所, 124p.
- 8) 下山正一・渡辺一徳・西田民雄・原田大介・鶴田浩二・小松 讓（1994）：Aso-4 火砕流に焼かれた巨木 — 佐賀県上峰町で出土した後期更新世樹木群 — . *第四紀研究*, 33, 107-112.
- 9) 竹村恵二・檀原 徹（1993）：由布川火砕流のフィッション・トラック年代. *火山*, 38, 63-66.
- 10) 竹村恵二・星住英夫（1994）：大分川河床で発見された立ち木状炭化木と由布川火砕流. *日本地質学会西日本支部 130 回大会（大分）要旨*.

別府地域の重力調査 (2)

京都大学理学部

福田 洋 一・瀬 木 哲
 楠 本 成 寿・馬 渡 秀 夫
 竹 村 恵 二・由 佐 悠 紀

1 はじめに

別府および周辺地域の断層系の調査を主要な目的として、1993年度（平成5年度）を初年度に、精密重力探査の手法を用いた地下構造探査を実施している。本研究の意義や方法論等については、初年度の調査の概要と共に、昨年度の報告書（福田ほか、1994）に述べられているので、ここでは、平成6年度に新たに実施した野外調査の概要ならびに、1993年度（平成5年度）に実施した朝見川断層調査についてのデータ解析結果について報告する。

2 1994年度実施調査およびその結果

別府地域は、南と北を東西性の断層に挟まれた地溝地域として特徴づけられるが、1993年度には、その南側の境界にあたる由布院断層ならびに朝見川断層を対象として、由布・鶴見エコーライン沿いの測線、ならびに、別府扇状地内で朝見川に直交する複数の測線に沿っての調査を実施している。1994年度の調査では、これらの調査を踏まえ、由布・鶴見エコーラインの延長上で、大分自動車道から別府北断層を横切る測線（以下、北測線と呼ぶ）、ならびに、由布院断層の南から由布院盆地、北断層を横断し、安心院町に至る測線（以下、由布院測線と呼ぶ）について、新たに測定を実施した。以下では、それぞれの測線についての調査の概要について述べる。なお、図1に、別府周辺の主要な断層と重力測定点（1993年度の測定も含む）の概略位置を示す。

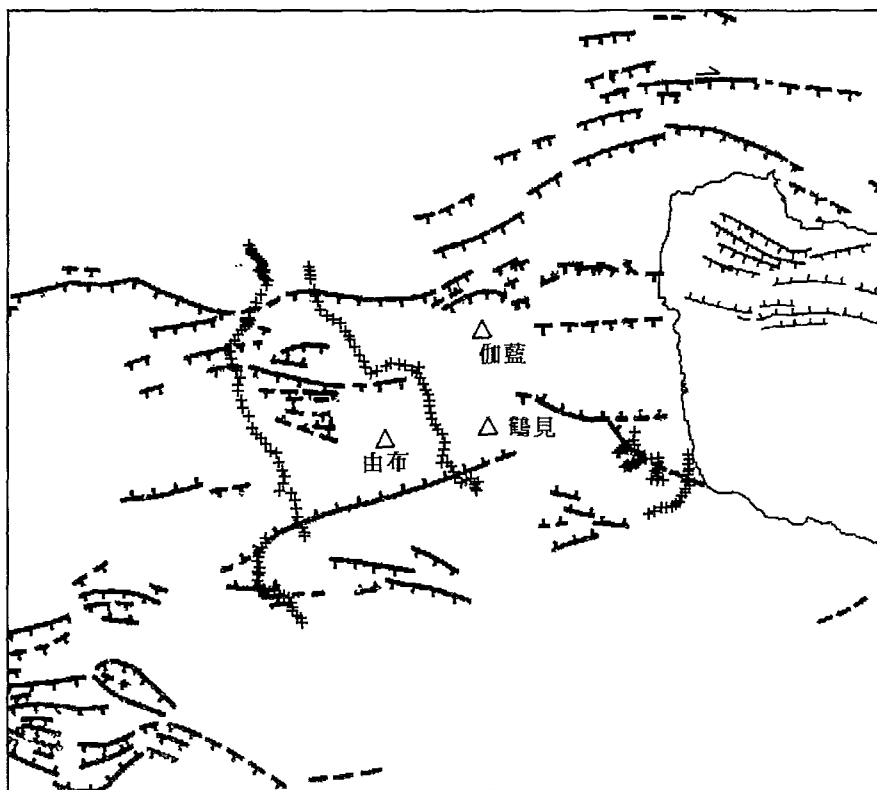


図1 別府周辺の断層と重力測定点 (+)

断層の分布は活断層研究会編（1991）〔新編〕日本の活断層より編集

2-1 北 測 線

本測線は、1993年度に実施した城島高原から猪の瀬戸を経て大分自動車道に至る、由布・鶴見エコーライン沿いの測線の北方へ延長上にあたるものであり、図2に示すように、測点 EL28 (1993年度の最終測点) から塚原牧場を経て筥の口に至る道路沿いに設定した。重力測定の方法については、昨年度とほぼ同様であり、測定点の間隔はおよそ 200~300m、ラコスト重力計 (G-534) を使用した往復測定で、往復差の大きな測点については再測を行った。このようにして得られた重力測定データについて、精密重力測定の際の一般的な諸補正 (例えば、中井・中川、1983) を施した後、JGSN'75 (国土地理院、1976) に準拠した重力値を算出した。この結果、最終的な重力値の精度についても、0.05mgal の相対精度を確保している。

また、各測定点の標高についても、昨年度と同様に、ウィルド社製 NA3000 デジタル・レベルを用いた片道の水準測量を実施しており、相対精度として 10cm より十分に良い精度での標高値を得ている。ただし、水準測量の基準点については、近傍に適当な水準点が無いことから、1993年度の最終点である EL28 を仮の原点としており、1993年度の測線との連続性については問題はないが、標高の絶対値については、依然、最大 1m 程度の誤差の含まれる可能性があることに注意しておく。

測定結果の一覧を、表1に示す。表中の緯度、経度は、1/25,000 地形図から読み取ったものであり、また、標高の値については、先に述べた理由で、昨年度と同様に、今後、改訂される可能性がある。

図3は、横軸に測定点の並びをとり、それぞれの標高とフリーエア異常を示したものである。図3の一般的な傾向として、標高とフリーエア異常との良い相関関係が認められる。また、やや広域な特徴として、南側の測定点で標高の変化に比してフリーエアの値が小さく、この付近の密度が相対的に小さいことを、

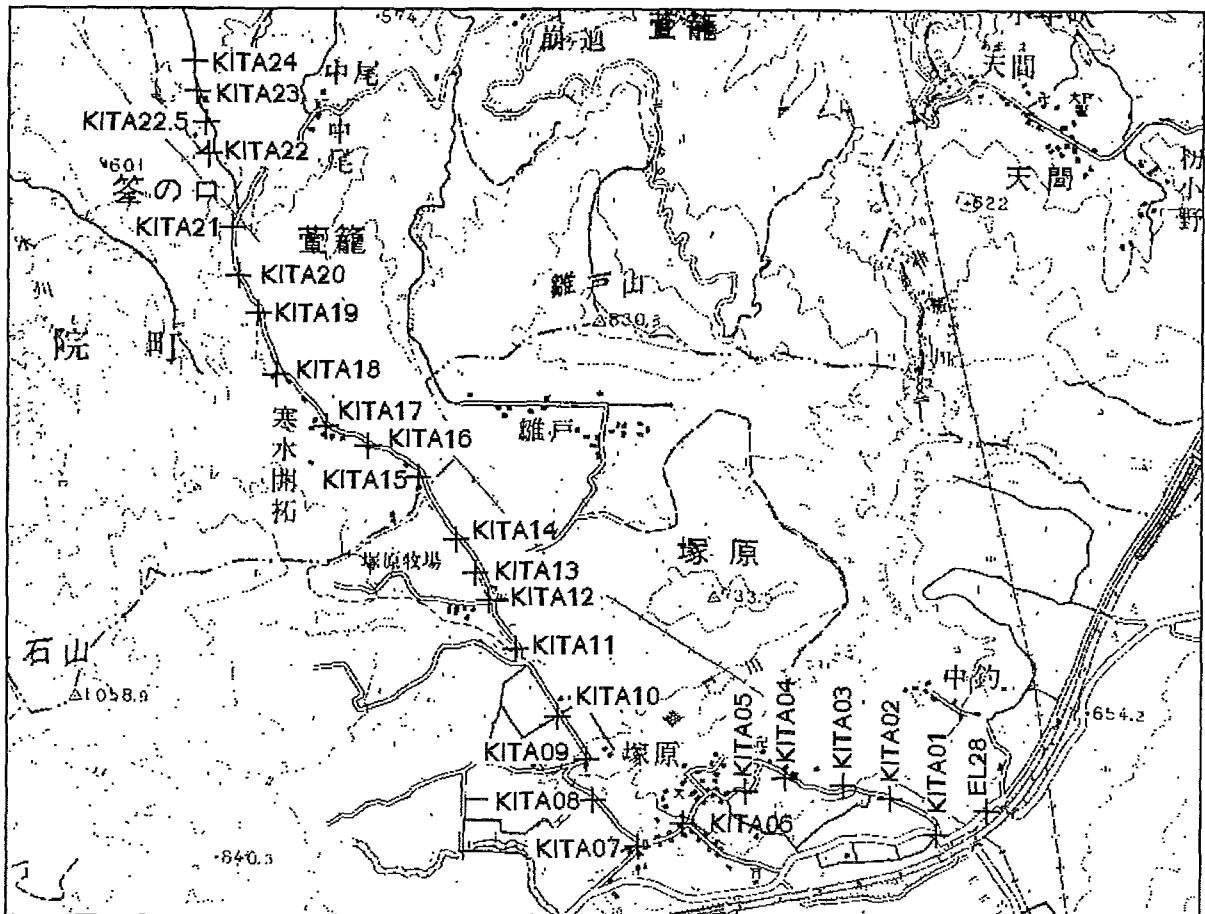


図2 北測線重力調査測定点

EL28 (1993年度実施測定点) は本年度調査の基準点として使用

表1 重力および水準測量結果 (北測線)

STATION NAME	LATITUDE 33°		LONGITUDE 131°		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	MIN	SEC	MIN	SEC			
EL28	18	9.2	24	20.1	628.96	979430.401	33.25
KITA01	18	5.3	24	10.7	627.24	979430.913	33.32
KITA02	18	11.0	24	1.8	610.94	979435.785	33.03
KITA03	18	13.0	23	53.1	597.39	979439.611	32.63
KITA04	18	14.0	23	41.9	589.93	979442.327	33.02
KITA05	18	11.8	23	34.4	592.81	979441.881	33.52
KITA06	18	6.3	23	22.5	598.03	979440.463	33.84
KITA07	18	2.6	23	14.0	605.46	979438.345	34.10
KITA08	18	9.9	23	5.3	601.07	979440.611	34.84
KITA09	18	16.4	23	3.9	596.66	979442.069	34.79
KITA10	18	23.3	22	58.5	608.10	979440.360	36.45
KITA11	18	33.8	22	50.6	621.91	979439.406	39.51
KITA12	18	41.4	22	45.2	640.24	979436.810	42.40
KITA13	18	45.8	22	42.8	635.63	979438.269	42.34
KITA14	18	51.0	22	39.0	638.23	979437.711	42.46
KITA15	19	0.7	22	31.6	639.80	979437.869	42.88
KITA16	19	5.4	22	21.9	636.04	979439.190	42.93
KITA17	19	8.5	22	13.8	641.25	979438.343	43.62
KITA18	19	16.7	22	4.6	654.09	979436.700	45.75
KITA19	19	26.2	22	1.0	654.96	979437.528	46.63
KITA20	19	32.1	21	57.0	633.82	979443.338	45.78
KITA21	19	39.5	21	55.9	618.89	979447.733	45.39
KITA22	19	51.4	21	51.3	577.13	979458.135	42.64
KITA22.5	19	56.4	21	50.7	562.81	979461.790	41.76
KITA23	20	1.2	21	48.8	553.13	979464.071	40.94
KITA24	20	6.0	21	48.2	537.56	979467.659	39.61

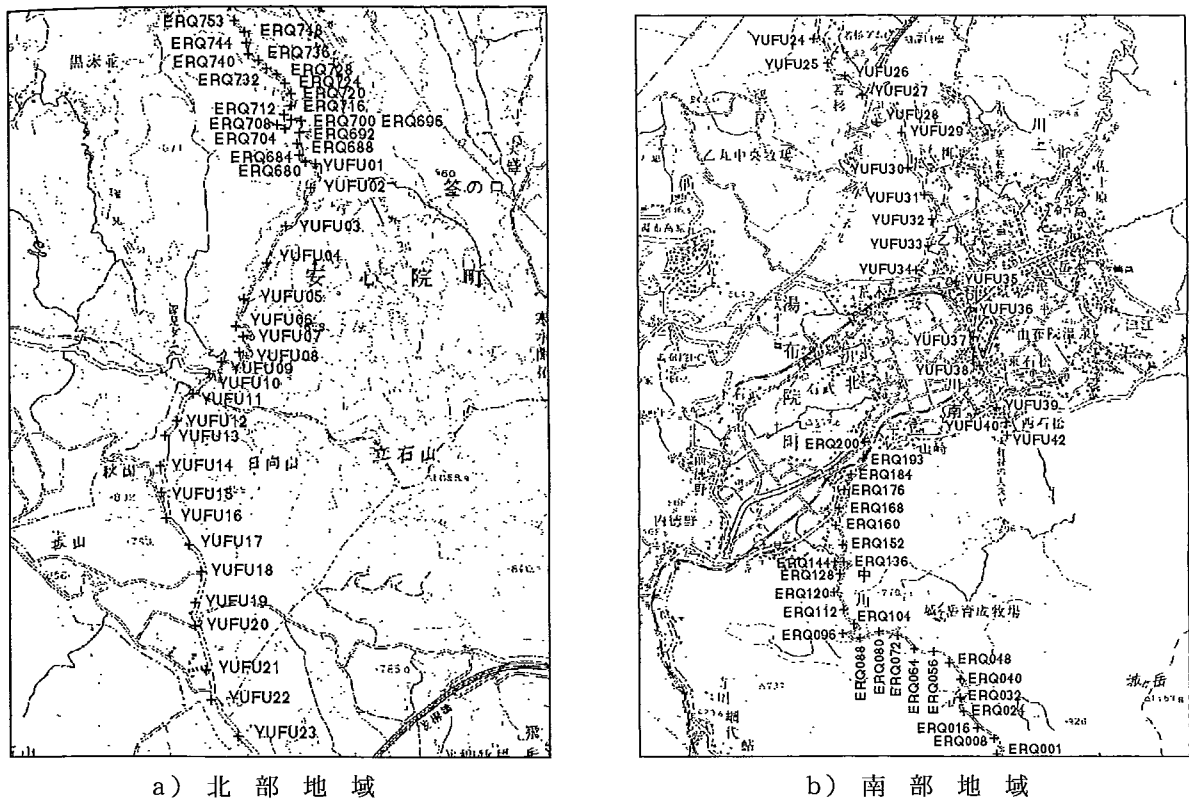


図4 由布院測線重力調査測定点

表2 重力および水準測量結果(由布院測線)

STATION NAME	LATITUDE 33°		LONGITUDE 131°		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	MIN	SEC	MIN	SEC			
ERQ001	13	15.0	21	40.0	601.50	979422.587	23.74
ERQ008	13	19.8	21	39.1	608.50	979420.657	23.86
ERQ016	13	23.1	21	32.7	608.40	979421.819	24.91
ERQ024	13	27.9	21	27.6	613.10	979421.670	26.10
ERQ032	13	32.4	21	26.2	635.60	979417.718	28.99
ERQ040	13	38.1	21	26.1	649.40	979414.325	29.73
ERQ048	13	43.2	21	22.0	651.10	979414.338	30.14
ERQ056	13	46.5	21	16.0	660.10	979413.055	31.56
ERQ064	13	47.4	21	8.4	677.20	979409.841	33.61
ERQ072	13	51.4	21	2.4	687.90	979407.925	34.90
ERQ080	13	52.5	20	55.2	681.70	979409.767	34.80
ERQ088	13	50.6	20	48.0	670.40	979412.419	34.01
ERQ096	13	52.0	20	41.6	649.60	979416.872	32.02
ERQ104	13	54.9	20	45.5	637.90	979419.673	31.14
ERQ112	13	59.2	20	41.7	613.00	979425.055	28.74

STATION NAME	LATITUDE 33°		LONGITUDE 131°		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	MIN	SEC	MIN	SEC			
ERQ120	14	4.9	20	38.1	590.10	979430.028	26.51
ERQ128	14	10.6	20	40.5	567.10	979435.597	24.85
ERQ136	14	14.5	20	41.8	547.30	979440.119	23.17
ERQ144	14	14.4	20	38.4	526.40	979444.230	20.84
ERQ152	14	20.0	20	41.4	515.70	979446.916	20.09
ERQ160	14	25.9	20	38.6	500.70	979450.424	18.83
ERQ168	14	31.9	20	40.1	483.00	979454.532	17.34
ERQ176	14	37.6	20	42.1	483.50	979454.898	17.73
ERQ184	14	42.6	20	44.7	466.40	979458.153	15.59
ERQ193	14	47.6	20	49.1	454.90	979460.588	14.37
ERQ200	14	53.0	20	49.9	450.50	979462.296	14.59
ERQ680	19	51.7	20	48.9	560.00	979462.908	42.12
ERQ684	19	53.6	20	46.9	556.00	979464.369	42.30
ERQ688	19	56.6	20	46.3	549.70	979465.386	41.30
ERQ692	19	59.8	20	46.9	541.40	979466.949	40.23
ERQ696	20	2.9	20	47.6	534.20	979468.659	39.65
ERQ700	20	3.4	20	44.3	528.60	979470.991	40.24
ERQ704	20	0.7	20	42.4	522.30	979471.880	39.25
ERQ708	20	2.0	20	39.7	515.50	979473.040	38.28
ERQ712	20	4.6	20	42.0	508.50	979474.646	37.67
ERQ716	20	7.2	20	44.1	500.80	979475.722	36.30
ERQ720	20	10.4	20	44.1	493.00	979477.319	35.42
ERQ724	20	13.2	20	42.2	485.20	979479.291	34.92
ERQ728	20	15.6	20	39.6	477.60	979481.804	35.03
ERQ732	20	17.3	20	36.4	469.10	979484.197	34.76
ERQ736	20	19.4	20	33.8	462.00	979486.983	35.31
ERQ740	20	21.0	20	30.4	453.60	979489.340	35.04
ERQ744	20	24.0	20	29.8	445.60	979492.353	35.51
ERQ748	20	27.1	20	29.2	437.60	979495.257	35.88
ERQ753	20	30.0	20	25.9	426.80	979498.487	35.71
YUFU01	19	51.2	20	52.2	563.61	979461.227	41.56
YUFU02	19	44.7	20	50.3	563.42	979462.071	42.50
YUFU03	19	34.3	20	42.4	562.71	979463.168	43.62
YUFU04	19	24.0	20	36.1	566.30	979462.251	44.04
YUFU05	19	14.2	20	28.8	585.74	979457.723	45.74
YUFU06	19	6.6	20	26.1	608.06	979452.365	47.44

STATION NAME	LATITUDE		LONGITUDE		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	33°		131°				
	MIN	SEC	MIN	SEC			
YUFU07	19	4.0	20	28.5	629.16	979447.067	48.72
YUFU08	18	59.5	20	27.2	648.64	979442.543	50.31
YUFU09	18	56.7	20	21.3	669.03	979438.722	52.84
YUFU10	18	53.5	20	17.3	646.19	979443.937	51.09
YUFU11	18	48.0	20	11.7	641.12	979444.392	50.10
YUFU12	18	40.4	20	6.5	641.86	979442.457	48.57
YUFU13	18	36.4	20	2.9	642.18	979442.130	48.43
YUFU14	18	27.7	20	1.2	648.44	979440.321	48.76
YUFU15	18	20.3	20	1.7	653.49	979438.292	48.46
YUFU16	18	13.3	20	3.2	660.25	979435.370	47.78
YUFU17	18	5.8	20	10.7	667.15	979433.040	47.76
YUFU18	17	58.4	20	14.5	675.04	979430.267	47.59
YUFU19	17	49.9	20	12.6	661.14	979432.025	45.25
YUFU20	17	43.5	20	12.7	658.71	979432.020	44.64
YUFU21	17	31.8	20	16.5	665.44	979429.326	44.30
YUFU22	17	23.8	20	18.1	664.53	979428.203	43.08
YUFU23	17	14.3	20	26.9	652.89	979429.008	40.51
YUFU24	17	0.6	20	31.3	627.65	979432.547	36.57
YUFU25	16	53.1	20	36.8	629.20	979431.792	36.47
YUFU26	16	48.7	20	43.4	614.16	979434.323	34.46
YUFU27	16	42.8	20	49.8	596.18	979436.754	31.48
YUFU28	16	34.4	20	55.1	580.30	979439.057	29.07
YUFU29	16	31.1	21	4.5	544.84	979446.063	25.21
YUFU30	16	19.8	21	6.7	524.83	979447.963	21.20
YUFU31	16	11.3	21	12.8	505.53	979451.452	18.93
YUFU32	16	3.6	21	15.9	497.51	979452.841	18.02
YUFU33	15	55.3	21	14.3	495.64	979452.914	17.70
YUFU34	15	47.5	21	9.7	486.13	979454.410	16.45
YUFU35	15	44.0	21	25.1	462.93	979457.649	13.46
YUFU36	15	35.6	21	30.4	454.76	979458.916	11.55
YUFU37	15	26.5	21	31.5	453.69	979458.610	11.12
YUFU38	15	17.3	21	33.8	453.57	979457.758	10.44
YUFU39	15	4.1	21	39.9	481.15	979452.594	14.09
YUFU40	14	59.6	21	43.5	504.07	979447.891	16.57
YUFU42	14	55.4	21	43.9	531.95	979441.914	19.29

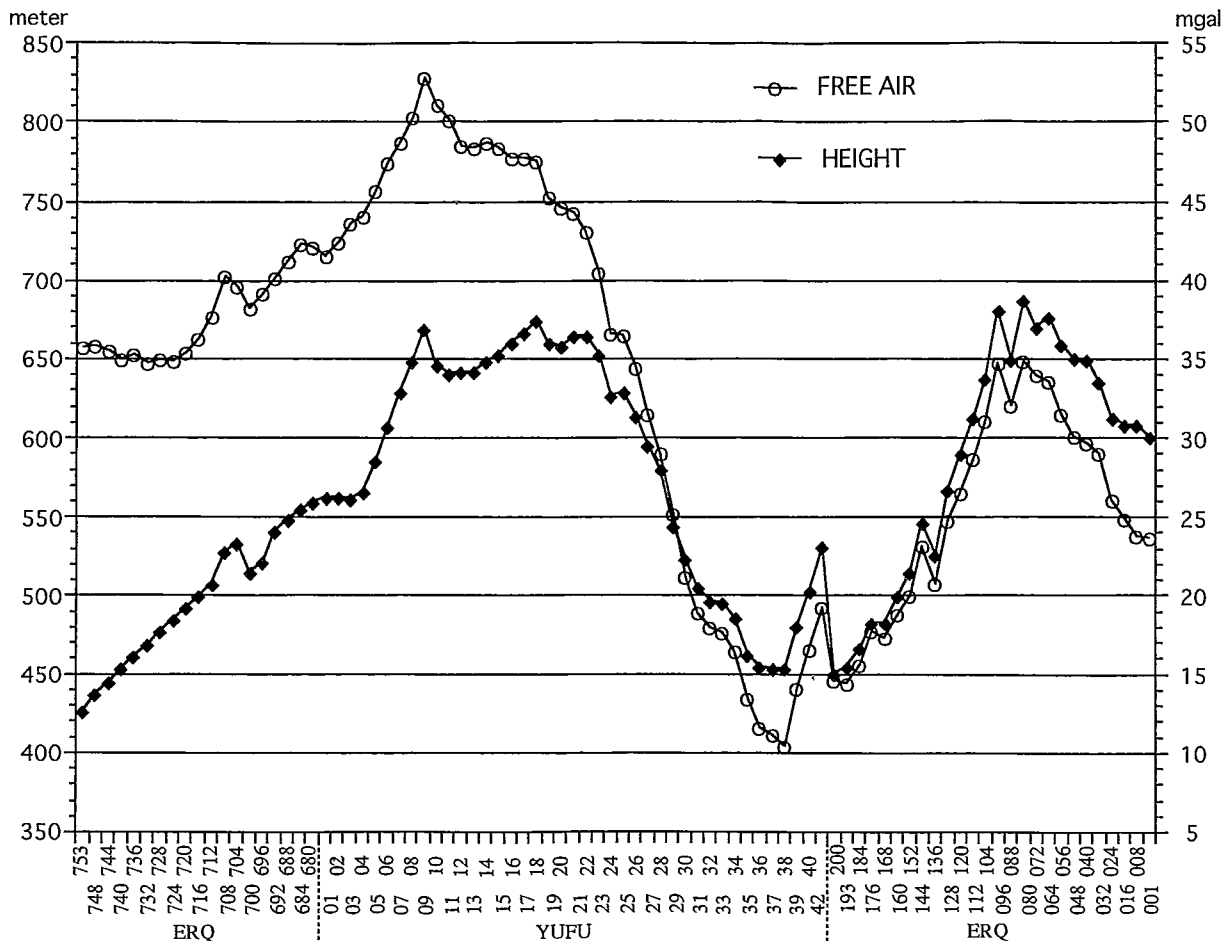


図5 フリーエア異常と標高(由布院測線)

3 朝見川断層系精密解析

1993年度に実施した朝見川断層系について、周辺の地形や地質情報を考慮した精密解析を実施した。フリーエア異常は、基本的には平均的な密度を持つ地球楕円体からの密度異常を表したものであり、すでに見てきたように局所的には、地表付近の地形の影響を最も大きく受けている。このような地形による重力値への影響をモデル化するため、北緯33度15分～17分、東経131度28.5分～31.5分内の領域について、格子間隔50mの地形データを新たに作成した。また、図6に示す同地域の地質図(竹村・由佐、1993; 竹村、1994)を参考に、由布川火砕流堆積物、小杉火砕流堆積物、浜脇層・寒水川層、段丘堆積物、扇状地堆積物および沖積層に分類されている地域を碎屑物堆積層類とし、また、観海寺安山岩、乙原溶岩および高平山-水口山火山群に分類されている地域を火成岩類として、それぞれ、異なる密度を持つ地域として分類することにした。

このような地表面での分類に対して、地下での境界がどのようなになっているかを知ることは、ボーリング等の情報が無い限り、一般には極めて困難なことであり、重力異常を用いた地下構造解析は、このような問題に対して、適当な仮定による地下の密度構造の妥当性のチェックに他ならない。ここでは、先に述べた地表面における地質区分を基に、さらに、

- 1) 別府扇状地内の堆積層は扇状地の中心に向かい厚くなり、最深部で約300m程度である、
- 2) 新第三系鮮新統の岩である観海寺安山岩はこの地域の基盤をなす、
- 3) 乙原溶岩および高平山-水口山火山群は由布川火砕流堆積物を覆う。すなわち、これらの火山岩類の下部には低密度の碎屑物堆積層類が存在する、

と言った、地質学的な知見を加味して、図7に模式的に示すような地下密度構造モデルを仮定した。なお、3)による乙原溶岩あるいは高平山-水口山火山群をどの程度の厚さに仮定するかについては、確固とした根拠があるわけではないので、以下では、それぞれ、厚さを10mと仮定した場合、および、100mと仮定した場合について計算を行った。また、碎屑物堆積層類および火山岩類の密度をどの程度に選ぶかが問題となるが、この点については、仮定密度を一定としたテスト計算ならびに、重力値と標高の関係から平均密度を推定する、いわゆる、 $g-H$ 関係図(萩原、1978)による結果などを考慮して、碎屑物堆積層類の密度を 2.00 g/cm^3 、火山岩類の密度を 2.40 g/cm^3 と仮定した。

図8は、図6中に示されているHM01~HM19の測線について、上記の地下構造モデルの内、3)の火山岩類の厚さを10mと仮定した場合の重力値への影響を、各点のフリーエア異常の値から差し引いた残差重力異常をプロットしたものである。なお、図8の横軸は、それぞれの測点位置を、HM01とHM19を結ぶ直線上に投影した場合の実距離を示している。また、この測線は、由布川火砕流、浜脇層および沖積層を通る測線であり、上記の火山岩類の厚さの仮定の誤りは、最終結果にほとんど影響しないことに注意しておく。

図8の第一の特長は、南側の山地から扇状地方向にかけて、図中の直線で示したように、およそ -2 mgal/km 程度の勾配で残差重力異常が小さくなっていくことである。これは、この地域のより深部の密度構造、あるいは、広域的な重力異常の傾向を示したものであり、今問題としている断層構造とは直接的には関係しない。従って、浅部の密度構造を議論する場合には、図8中の直線、あるいは、それに相当する重力勾配からのずれの部分に着目する必要がある。

以上の点を考慮したうえで、図8のひとつの解釈として、以下のようなことが考えられる。まず、

- 親海寺安山岩
- 乙原溶岩
- 高平山-水口山火山岩
- 由布川火砕流
- 小杉・他火砕流
- 浜脇層・寒水川層
- 段丘堆積層
- 扇状地堆積層
- 沖積層

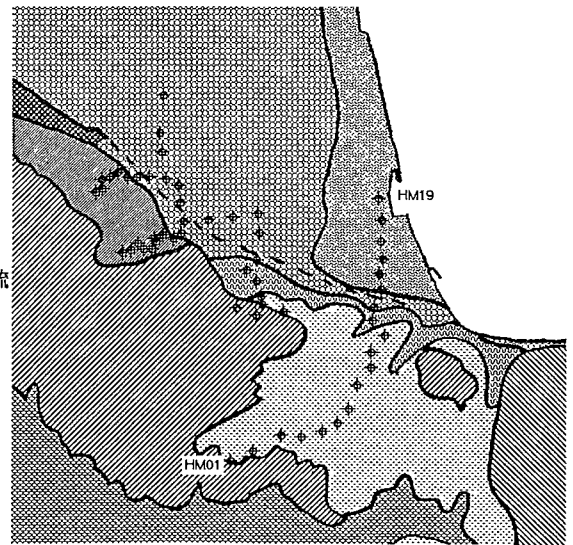


図6 朝見川測線(1993年度実施)周辺地質図および重力測定点

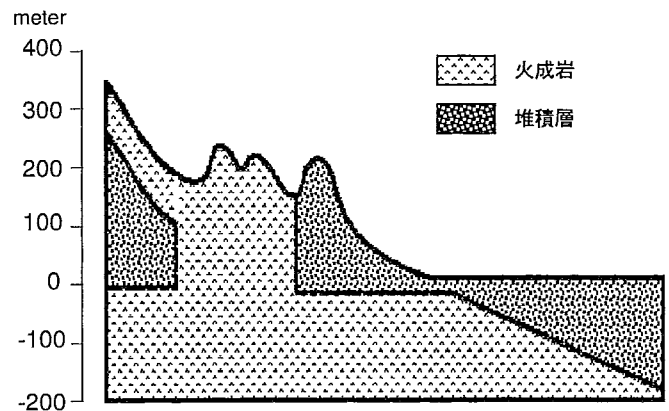


図7 地下密度構造模式図(断面図)

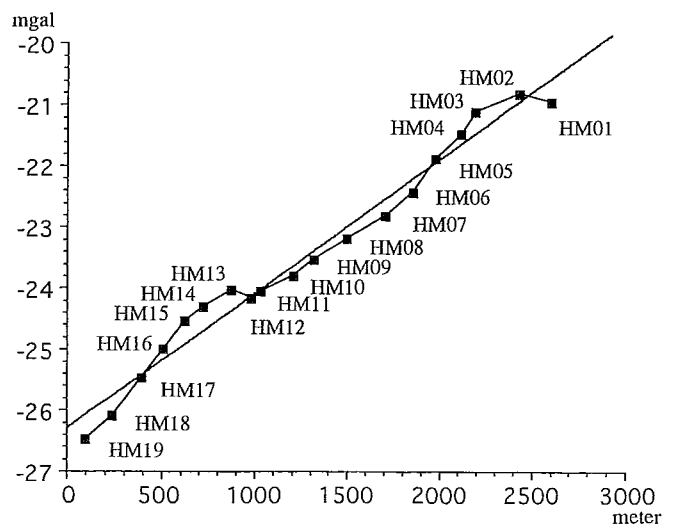


図8 残差重力異常(HM測線)
直線は広域的な重力異常傾向を示す

HM6~HM12の測定点で、全体の傾向線に比べて小さな残差を示しているが、この区間は、ほぼ、由布川火砕流に対応しており、その岩石密度は、モデル計算の際仮定した 2.00 g/cm^3 より小さい可能性があり(新エネルギー・産業技術総合開発機構、1990)、そのことを反映したものと思われる。次ぎに、HM13から15までの勾配が、HM17、18にかけてやや急になり、HM19で、また元に戻るよう見受けられるが、もし、これが真実であれば、地下の断層構造の存在を示している可能性がある。また、この場合の断層位置は、地形的に予想されている位置よりも扇状地の内側になる。しかし、図に現れた上記の傾向は極めて微弱であり、図8から断層の存在、あるいは、その位置を決定することは、實際上、極めて困難である。なお、図6に示した他の測線についても、概ね、同様の傾向であり、また、もし、断層の存在が予想される位置より扇状地の内側になる場合、他の測線では、それを横切っていない可能性が高い。

これらの点を総合すると、現在得られているデータからは、断層構造が存在するにしても、その信号は極めて小さく、1)断層の落差はそれほど大きくない(概ね100m以下)、2)断層の上の堆積層がかなり厚い(概ね300m以上)、3)断層を挟んでの密度差が小さい(概ね 0.1 g/cm^3)等の、何れかの可能性、あるいは、これらが複合している可能性が考えられる。また、断層構造の影響が、HM測線の重力データに現れていると考えるならば、その位置に関しては、地形的に予想される位置よりは扇状地の内側になる可能性が高い。従って、今後、断層構造のより明瞭な検出を目指し、また、その可能性があるとするれば、扇状地内において、空間的により高密度(概ね50mより密な間隔)での重力探査が必要であろう。

4 おわりに

1994年度に実施した北断層ならびに由布院盆地横断の精密重力調査の概要、および、1993年度に実施した朝見川断層系調査の解析結果について報告した。エコラインから北断層にかけての測線、ならびに、由布院盆地横断測線についての精密なデータ解析は、今後の課題であるが、特に、由布院盆地横断測線については、同時に反射波地震探査も実施されており、両者を統合した解析を実施する予定である。

一方、朝見川断層系については、周辺地域の地形や地質構造を考慮した解析を行ったが、1993年度に実施した測定データだけからは、断層位置やその構造を推定するには至らなかった。断層が存在するにしても、重力異常として現れる信号は当初の予想よりかなり小さく、それを検出するためには、より高密度での重力探査が必要と思われる。今後、測線の設定場所を含めた測定計画の再検討を行う予定である。

最後に、重力測定ならびに水準測定に際して、京都大学理学部地球物理学教室の学生諸氏の協力をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 福田洋一・瀬木 哲・馬渡秀夫・竹村恵二・由佐悠紀(1994)：別府地域の重力調査 — 由布院断層、朝見川断層調査 —，大分県温泉調査会報告，45，15-23.
- 2) 萩原幸男(1978)：地球重力論，共立全書，pp.242.
- 3) 活断層研究会編(1991)：[新編]日本の活断層，東京大学出版会，pp.493.
- 4) 国土地理院(1976)：日本重力基準網1975の設定，測地学会誌，22，65-76.
- 5) 中井新二・中川一郎(1983)：LaCoste 重力計(G型)による精密重力測定および国際重力結合における問題点，月刊地球，45，175-178.
- 6) 竹村恵二・由佐悠紀(1993)：別府地域の火山岩調査，大分県温泉調査会報告，44，15-24.
- 7) 竹村恵二(1994)：別府周辺地域の地質図，別府の自然，別府市自然環境調査報告書，別府市.
- 8) 新エネルギー・産業技術開発機構(1990)：広域熱水流動系調査，鶴見岳地域，地熱調査成果図集，平成元年度全国地熱資源総合調査(第3次)，pp.86.
- 9) 由佐悠紀・竹村恵二(1994)：別府湾地域のテクトニクス，大分県温泉調査会報告，45，5-10.

強酸性温泉水系に適用可能な地化学温度計の開発

京都大学理学部

大沢 信二・由佐 悠紀

大分大学教育学部

大上 和敏・川野 田実夫

1 はじめに ～地化学温度計開発の意義について～

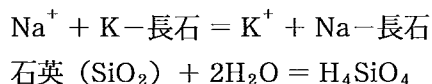
温泉水の形成過程や地下における流動過程などを研究するとき、ふつう、自然湧出の温泉水や噴気、浴用のために掘削された温泉井や蒸気井などを調べる。もちろん研究目的の温泉井掘削は、極めて重要な研究手法であり、その有用性が報告されている（由佐ほか, 1994: 大沢ほか, 1994）。しかし、資金の調達や用地の確保など実際の掘削以前に解決すべき問題が多く、それらを解決できたとしても、ただ井戸を掘れば必ずすばらしい研究成果が得られるとは限らない。一般に、調査用温泉井の掘削は、モデルの検証といった、研究の締めくくりに行われるべきであり、前述の研究（由佐ほか, 1994: 大沢ほか, 1994）で行われた掘削はまさにこのような目的で行われた。そのような事情は、浴用の温泉井を掘るときも同じであろう。掘削に選ばれる場所は、付近に地熱兆候があるとか、すでに周辺で温泉井が掘削され揚湯に成功したといったことなどを参考にして選ばれているはずである。

自然湧出の温泉水や噴気、温泉井、蒸気井などの調査では、水温や湧出量を測ったり、温泉水や蒸気を採取し、化学分析を行ったりして、解析用の資料の収集が行われる。そして、その資料をもとに、地下で起っていることを矛盾のないように科学的に推理する。したがって、集める資料が多ければ多いほど、また多岐にわたるほど我々はより真実に接近できる。京都大学地球物理学研究施設では、主に浴用の温泉井を利用し、長年そのような研究手法により別府温泉の研究に取り組み、重要な研究成果を公表してきた。しかし、その研究手法が、万能であるかという点、必ずしもそうとは言えない。前述のように、自然湧出ではなく、浴用の温泉井であるということに関係があり、温泉研究では重要な情報である地下の温度を、掘削井内の実測値から得ているということにやや難点がある。すなわち、温泉井の存在しない温泉地では、その効力を十分に発揮できないうらみがあるということである。その弱点を埋めるためには、自然湧出の温泉から地下の温度を決めるなんらかの方法を準備しておく必要がある。これは、一見不可能なことのように見えるが、先人の絶えまぬ努力によって可能になり、すでに実用段階に入っている。それが地化学温度計とよばれるものである。

地化学温度計とは、地表で採取された温泉水の化学成分濃度や溶存化学種の同位体比などから、地下の温度を推定するテクニックに付けられた名称である。これまで、さまざまな地化学温度計が考案され、温泉・地熱探査や温泉の基礎研究などに盛んに利用されている（例えば、高橋, 1991: Nicholson, 1993）。本研究でも、利用頻度の高い2種類の地化学温度計を、別府温泉や大岳の地熱井などから得られた温泉水に適用した研究が報告されている（古賀, 1968）。しかし、これまでの研究成果をみると、弱酸性から弱アルカリ性の温泉水にのみ利用できるものがほとんどであり、強酸性の温泉水に適用可能なものは見当たらない。溶存化学種間の同位体交換反応の温度依存性を利用した地化学温度計が報告されてはいるが（Robinson, 1973）、利用に当たっての前提条件が現実的ではないという問題を抱えているように思われる。また、その温度計は、同位体比測定用の機器を所有している一部の人間に優先的に利用できる方法である。地化学温度計が研究や探査のための道具である以上、どのような機関でも利用できることが望ましいということに議論の余地はないであろう。無論、満足できる精度をもつことは必要であり、そのような地化学温度計を“製作”することが、本研究の目的である。

2 地化学温度計の原理

ある鉱物が、ある温度において強酸性の熱水中で溶解平衡に達していれば（飽和していれば）、その溶解平衡に関係する化学種の熱水中における濃度と組成は一義的に決まる（通常の熱水条件下では、鉱物の溶解平衡の圧力依存性は小さいとされている）。この関係を逆に利用すれば、熱水（実際には、この熱水に由来する温泉水）中の化学種の濃度や組成から地下に存在する熱水の温度（正確には、対象とした鉱物に対する熱水の飽和温度）を求めることができる。これが、地化学温度計の根本的な原理であり、代表的なものに Na/K 比温度計とシリカ温度計がある。これら 2 つの原理となる水と岩石の平衡反応は、それぞれ以下のとおりである。



熱水と長石とが平衡にあると、熱水の Na/K 比は長石と接している熱水の温度により一義的に決まる。この熱水が温泉水として地表に湧出する途中で、ある程度希釈されたり冷却されたとしても、地表で得られた温泉水の Na/K 比から、地下の熱水の温度が推定できるのである。熱水と長石との平衡反応は低温では進行しにくく、また、地表水や冷地下水の Na と K の絶対濃度は熱水のそれに比べて格段に低いので、多少の地表水や冷地下水の混入は熱水の Na/K 比を大きく変えることはなく、その値はほとんどそのまま温泉水の Na/K 比として記録される。これらが、地表に湧出した温泉水の Na/K 比から地下の熱水の温度を推定できる理由である。

一方、熱水と石英が溶解平衡にあると、熱水のシリカ濃度は熱水の温度により一義的に決まる。この性質を利用した地化学温度計が、熱水と長石の化学平衡を利用したものと大きく異なる点は、熱水中のシリカ (H_4SiO_4) は、冷却されても過飽和状態で冷却前の状態を凍結する特徴をもち、これを巧みに利用していることである。すなわち、石英の溶解度は高温ほど大きく低温ほど小さいが、熱水が急速に冷却されてもしはらくは高温時のシリカ濃度を記録したままというものである。このような温泉水の Na/K 比やシリカ濃度あるいは他の化学種から、地下の熱水の温度を計算するための式、すなわち地化学温度計が多くの人々により与えられており (Nicholson, 1993)、これらの方法で地下の熱水の温度を $\pm 10^\circ\text{C}$ の精度で推定できる場合が多いとされている (綿抜, 1984)。

しかしながら、これらの地化学温度計は強酸性の熱水には適用できない。もし、前述したように、強酸性の熱水と平衡状態で共存しうる鉱物が存在すれば、同様の原理に基づく強酸性熱水用の地化学温度計を求めることができるはずである。以下では、これを目的として、

- (1) 強酸性 (pH < 3) 熱水と溶解平衡にある鉱物の検討
- (2) 熱水 (地下) 温度算出のためのコンピュータ・プログラムの作成
- (3) 地化学温度計の検定

を行う。そして最後に、構築した地化学温度計を実際の温泉水に応用し、その結果に対して若干の考察を力える。

3 強酸性 (pH < 3) 熱水と溶解平衡にある鉱物

強酸性の温泉水との間で溶解平衡の状態をとりうる鉱物を見出す作業を行った。作業は、以下のことから念頭に置き、さまざまな研究資料や試料分析などの情報をもとに行った。すなわち、

- (A) 強酸性の熱水と普遍的に共存する鉱物であること、
- (B) 既存の岩石が地表を流れる水や噴気によって変質を受けて生成する、いわゆる変朽物質ではなく、熱水から沈殿したと明らかに判定できる鉱物であること、
- (C) 現在の地下の熱水の温度を反映するように、鉱物の溶解平衡の平衡移動速度が充分速いものであること

の3点である。

しかし、以上の条件を全て確実に満足する鉱物を見出すことは容易ではなく、その判定にある程度の主観性が入ることを否定できない。そこで、選択の過程で論理的な矛盾がなければ、選ばれた鉱物が3条件を満足するものとりあえず考え、次の作業（温度計算用コンピュータ・プログラムの製作）に進み、最後に適当な検証を加えるという方法をとった。

これまで行われてきた数多くの熱水変質鉱物に関する研究（例えば、歌田，1977）によれば、「強酸性の熱水と共存しうる鉱物」の候補として、表1中の鉱物が挙げられる。これらの鉱物それぞれについて、先の3条件の内の(B)と(C)について検討

表1 酸性変質帯に生成する代表的な鉱物

蛋白石 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)	石英・クリストバル石 (SiO_2)	アロフェン
ハロイサイト ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	メタハロイサイ ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$)	
カオリナイト ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	ディッカイト ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	
パイロフィライト ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)	絹雲母 ($\text{K}_2\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$)	
ペーマイト (AlOOH)	ダイアスポア (AlOOH)	コランダム (Al_2O_3)
褐鉄鉱 (FeOOH)	明バン石 ($\text{KA1}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)	黄鉄鉱 (FeS_2)
石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	硬石膏 (CaSO_4)	ルチル (TiO_2)

し、いずれの条件も満足するものを目的の鉱物とすれば、作業が完了するということになる。しかし、それらの結果の多くが、現在は中性に近い天水の影響を受けた環境にある変質地帯での観察から導かれたものである。したがって、熱水系から

熱水が去った後でも強酸性で安定な鉱物が存在しうる理由を示しておく必要がある。最も納得のいく説明としては、「中性の環境に変化しているが、温度が低下しているため強酸性下で安定である鉱物の溶解あるいは分解の反応速度が著しく小さく、本来不安定であるはずの鉱物が一見安定に存在する」といったものであろう。しかし、これを受け入れるとすれば、実は先の条件(C)を満足しなくなる恐れがある。

表1中の熱水変質鉱物の中で、低温でも準安定状態で存在しうるものを知るために、実際に塚原鉱山（湯布院町）の酸性変質帯を調査し、採取した試料の粉末 X 線回折分析を行った。塚原鉱山では、珪石採取のために表土が広範囲にはぎ取られており、地下における過去の熱水変質の状況を観察するには適したフィールドである。その結果を表2に示す。

表2 塚原鉱山にみられる酸性変質鉱物（粉末 X 線回折分析による）

試料	鉱物
891125-2	クリストバル石、黄鉄鉱
931020-1	クリストバル石、黄鉄鉱、トリディマイト、明バン石
931020-3	クリストバル石、明バン石、石英
931020-4	クリストバル石、石英
931020-4A	クリストバル石、黄鉄鉱、明バン石、カオリナイト
931020-4B	クリストバル石、明バン石
931020-5A	クリストバル石、明バン石
931020-5B	クリストバル石、黄鉄鉱、明バン石、カオリナイト

石英、クリストバル石、明バン石、カオリナイト、黄鉄鉱が検出され（X線では検出されないが、おそらく非晶質のシリカ（蛋白石）も存在する）、これらの酸性変質帯に見出される鉱物は、低温の中性の環境下で準安定状態で存在しうる。なお、これらの鉱物は、各地の酸性変質地帯で普通に見られる鉱物

であり、塚原鉱山特有のものではない。前述のように、これらの鉱物は、条件(C)を満たさない可能性が大きく、地化学温度計に用いるにはさらに多くの検討を要するであろう（例えば、溶解速度などの速度論的な研究）。したがって、今回はこれらを利用することは見合わせた。表1中の鉱物から、以上のものを除くと、アロフェン、ハロイサイト、メタハロイサイト、ディッカイト、パイロフィライト、絹雲母、ペーマイト、ダイアスポア、コランダム、褐鉄鉱、石膏、硬石膏、ルチルが残る。これらの中で、石膏、硬石膏、ルチル以外は、その結晶構造上、また経験的にも、強酸性（ $\text{pH} < 3$ ）で安定であるとは考えにくい。その根拠の一例として、強酸性火口湖の湖底堆積物中にそれらが検出されることはめったにないことがあげられる。ルチルについては、その主要構成元素であるチタンが水中では微量な元素であり、定量が比較的難しいという難点がある。

表3 活火山山頂の強酸性火口湖

名前(場所)	直径/深度 (m)	水温(°C) 表面/湖底	pH	Cl(mg/l)	SO ₄ (mg/l)	文献
ポアス(コスタリカ)	210/40	40-60/約63	0.0	25400-31300	49500-64800	1
ルアペフ(ニュージーランド)	450/140	9-46.7/177	0.63-0.87	3983-6989	12400-21400	2
カワイジェン(インドネシア)	1000/250	36.0-43.7/38	0.18-0.28	21832-24460	59305-74133	3
ケリムツ#(インドネシア)	430/127	28.2-32.7/?	0.3-0.5	25100-26700	47000-49350	4
草津白根(日本)「湯釜」	350/15	13.2-20.2/24.3	1.0-1.54	1820-5010	2450-5340	5
阿蘇中岳(日本)「湯溜」	200/?	66/?	0.69	15700	14100	6

(備考)#: ティウ・ヌア・ムリ・クーヒ・ファ湖

1: Brantley et al. (1987)、2: Christenson & Wood (1993); Christenson (1994)、

3: Delmelle & Bernard (1994)、4: Pasternack & Varekamp (1994)、5: 大沢(1989)、6: 本研究

ある。以上のように、消去法で目的の鉱物を探っていくと、最後に、石膏と硬石膏が残る。石膏と硬石膏は、いずれも化学的には硫酸カルシウムであり、前者が2個の水分子を持っているのに対し(CaSO₄・2H₂O)、後者には水分子が存在しない(CaSO₄)。両者は、環境の温度によりお互いに容易に移行でき、その転移温度は、溶液のイオン強度にも依存するが、42°Cであるとされている(森本ほか, 1975)。したがって、100°Cを越す熱水環境の温度を算出する目的に合うのは、硬石膏ということになる。しかし、ここで最終的な結論を下す前に、塚原鉱山の過去の変質地帯に硬石膏が見い出されなかった理由を明確にしておく必要がある。なぜならば、見い出されなかったということは地化学温度計の原理となる溶解平衡の条件(前記)の(A)を満足しないということにつながる可能性もあるからである。

天水の影響を受けている環境(例えば、塚原鉱山)で硬石膏が見い出されなかった理由としては、硬石膏の溶解反応が低温でも極めて速いためであると考え、一応説明できる。塚原鉱山の酸性熱水の変質活動が終わった直後に、そこをトレンチすれば、硬石膏が検出されたと考えるわけであるが、それは過去の出来事であり、残念ながら現在これを検証することは不可能である。現在活動している適当な強酸性の熱水系を実際に掘削してみることが、それを立証する最も確実な方法であるが、豊富な資金を必要とし、単一の

表4 強酸性火口湖における噴火の際の噴出物中の鉱物

名前	ルアペフ	草津白根	阿蘇中岳 \$
試料採取年(噴火)	1971-1981	1982	1993
[シリカ鉱物]			
クリストパル石	○	○	○
非晶質シリカ&石英	○	○	
[硫酸塩鉱物]			
硬石膏	○	○	○
明バン石	○		○
石膏	○	○	○#
[硫化物]			
黄鉄鉱	○	○	
[その他]	硫黄	パイロフィライト	硫黄(SS)
	パイロフィライト	カオリナイト	
	トリディマイト		
	赤鉄鉱		
文献	Christenson & Wood (1993)	曾屋ほか(1983)	本研究

[[備考]]

& : 粉末X線回折分析では同定困難

: 湖水の蒸発残渣中にも検出

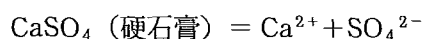
SS: 湖水中の懸濁物

\$: 粉末X線回折条件; Cu(Ni filter), 30kV-15mA, Slit 1°-0.15-1°, Scan 2θ 1°/min., HV 1200V, TC 1sec.

目的のためにこれを行うことは現実的ではない。

活火山山頂には、しばしば強酸性 ($\text{pH} < 2$) の水を湛えた火口湖が存在し (表 3)、これらの直下には強酸性の熱水系が形成されていると考えられている (例えば、Cristenson, 1993; 大沢, 1992)。そのような湖底下の熱水系内に存在する岩石・鉱物が、噴火の際に火口外に噴出することは十分に考えられる。実際に、それらの噴出物のほとんどが湿っていることから見て、それらが噴出直前まで水と共存していたとすることは妥当である。研究例は多いとは言えないが、そのような噴出物中には必ず硬石膏が検出されており (表 4)、この事実は、強酸性熱水と硬石膏が平衡状態で共存しうることの重要な証拠と見なせる。したがって、地下の熱水環境では硬石膏は普遍的に存在する鉱物であるが、それがいったん地表の天水影響の環境下に置かれると、極めて大きな溶解速度を持つため、早い時期に消失してしまい、我々の目にとまるのが困難となっているものと考えられる。

以上を受け入れれば、上述の地化学温度計の原理として用いるための条件の(C)は、自動的に満たすことになる。また、条件の(B)についても、地表に露出した環境で見出しにくいことから、十分に満足できることを示している。なお、硬石膏の溶解度は高温ほど小さいので (Reed and Spycher, 1992)、高温状態の熱水が地表に湧出するまでの冷却過程で、熱水から Ca^{2+} と SO_4^{2-} が沈殿することはない。この性質は、地化学温度計に適している。最後に硬石膏の溶解平衡の化学式を下に示す。



4 計算過程 ～コンピュータ・プログラム「CALTEMP」について～

硬石膏 (CaSO_4) の溶解平衡反応に基づいて、地下における熱水の温度を計算するための具体的な作業は次のような順序で行う。

- (O) 温泉水の化学分析を行う ($\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Cl}, \text{SO}_4, \text{SiO}_2$ および pH)。
- (I) 25~300°Cの間 (50, 100, 150, 200, 250, 300°C) における熱水中の Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} の活量 ($a_{\text{Ca}^{2+}}$ 、 $a_{\text{SO}_4^{2-}}$) を温泉水の分析データに基づいて算出する。
- (II) (I) の各温度における硬石膏の飽和指数 (Saturation Index; SI) を先に求めた Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} の活量と硬石膏の溶解度積 (K_{sp}) から算出する。
- (III) 先に算出した各温度における飽和指数から、それが 0 となる温度を求める。その温度を地下における熱水の温度とする。

以下ではさらに個々の作業についてやや詳しく述べる。

- (O) ここに挙げた計算に必要な化学分析値は、いずれも主要化学成分のものであるため、比較的容易にデータを得ることができる。ただし、 pH の大きな測定誤差は後の計算で好ましくない結果を与えるので、その測定には注意をする必要がある。筆者らは、測定の標準として、シュウ酸塩 ($\text{pH}=1.68$) とフタル酸塩 ($\text{pH}=4.01$) の pH 緩衝溶液を使用している。
- (I) 活量の算出、特に高温条件におけるそれを導き出すためには、手計算では極めて煩雑であるため、パーソナル・コンピュータを使用する。高温下における強酸性水中の溶存化学種の組成計算法については、既存のものがあるのでこれを利用する (大沢ほか, 1988)。計算の概略は次の通りである。
 - (1) 地表で採取した温泉水の化学分析値を用い、熱力学平衡定数を代用して考える溶存化学種の濃度を計算し、イオン強度を算出する。
 - (2) このイオン強度と Extended Debye-Hückel の式を用いて活量係数を計算し、濃度平衡定数を導出する。
 - (3) 質量作用の式と質量保存の式を連立させて各化学種の濃度を計算する。
 - (4) (3)で得られた各化学種の濃度からイオン強度を計算し、(1)で算出したイオン強度と比較してその差

が一定の値におさまるまで(2)~(4)を繰り返す。計算が収束したら計算結果 (Ca^{2+} と SO_4^{2-} の濃度・活量係数・活量、両者の活量積 ($a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}$) および陽イオンと陰イオンのチャージ・バランス) を出力する。

以上は、25°Cにおける計算であるが、これ以上の高温条件では、さらに pH に関する保存量が一定であるという条件をつけ、(1)~(5)の計算を行う。このプログラムは、千葉 (1990) により作成された計算プログラム (SOLVEQ) を改変したものであるが、考慮した溶存化学種の種類などが違うのみで計算の本筋はそのまま踏襲されている。詳細はそちらを参照されたい。

(II) 各温度 (50, 100, 150, 200, 250, 300°C) における飽和指数 (SI) を次式によって算出する。

$$\text{SI} = a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}} - K_{\text{sp}}$$

ここでは、各温度における硬石膏の溶解度積 (K_{sp}) は、Reed と Spycher の収集値を用いた (Reed and Spycher, 1992)。

(III) 最後に、先に導き出した各温度における飽和指数から、それが 0 となる温度を求める。それをコンピュータで行わせるためには、まず、データ・セット (温度 T と飽和指数 SI) に最も良くフィットする関数を求める。本研究では、連立一次方程式の数値解法であるガウス・ジョルダンの消去法を用い、5 次の関数を求めた。関数の次数は大きければ大きいほどデータをきれいに補間するというわけではなく、また、次数が大きくなるとプログラムは煩雑になる。いくつかの次数の関数を試してみたところ、5 次関数で充分満足できることが分かった。なお、フィッティング操作で得られた式は、その係数が出力される ($\text{SI} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3 + e \cdot T^4 + f \cdot T^5$)。続いて、得られた 5 次関数を用いて、飽和指数 SI が 0 となる温度 T を求める。本研究では、ニュートン・ラプソンの近似解法を用いた。その計算結果は、地下における熱水の温度として出力される。

以上の計算のためのプログラムは、MS-DOS 版 N88BASIC で書かれており、全てがリンクされ一連のものとなっているため、途中で人間が関与することは一切ない。すなわち、化学分析データを入力するだけで、あとは全てコンピュータが自動的に処理し、必要な結果を出力するように設計されている。なお、今回作成したプログラムでは、硬石膏以外の明ばん石、石英、クリストバル石 (α 型)、非晶質シリカの飽和温度に基づいた温度も同時に出力されるようになっている。

5 温度計の検定

塚原鉱山には、過去の変質地帯の北側に隣接するかたちで、活発な噴気活動地帯が存在する (図 1)。多数の噴気孔は、大きく 3 つの噴気孔群に分類され、ほぼ東西に配列する。東側の噴気孔群は、噴気放出の最も活発な場所で、噴気の温度は、おおむねその標高における水の沸点を示す (97°C)。その中には、2、3 の大きな噴気孔が存在し、その一つには雨水が溜り、黒色の泥水を湛えたマッドポットが見られる。1994 年の 4 月 28 日に現地を調査したおり、この泥水の pH が 1

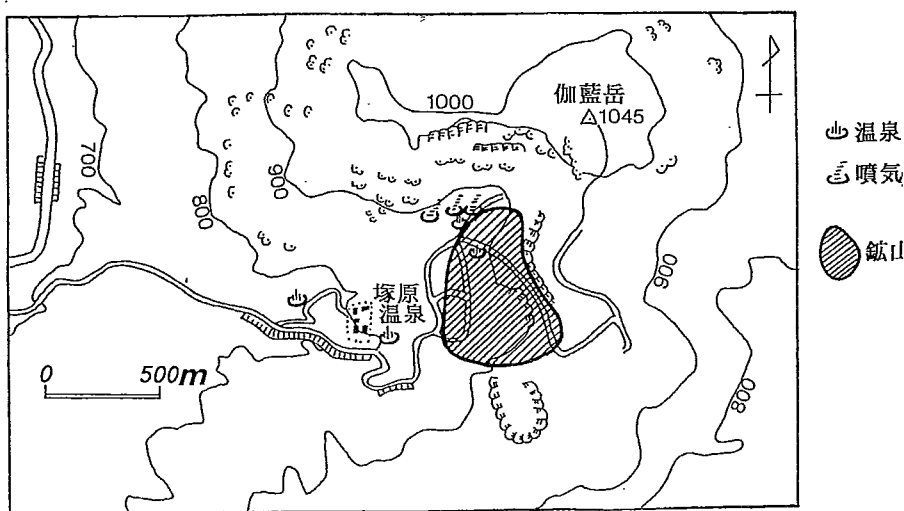


図 1 塚原鉱山周辺の地形

以下であることを知り、この泥水が温度計の検定に利用できると考えた。泥水はポリ瓶に採取して実験室に持ち帰り、速やかに0.45 μmのメンブランフィルターでろ過した。ろ過により温泉水と分離された泥は、蒸留水ですばやく洗浄して風乾した。温泉水については、地化学温度計に入力する化学成分の分析を行った。一方、泥については、メノウ乳鉢で粉碎して、粉末X線回折計にかけ、含有鉱物の同定を行った。それらの結果をそれぞれ表5と図2に示す。図2の結果から、泥の中には、明バン石、石英、クリストバル石、黄鉄鉱そして硬石膏が含まれることが分かった（バックグラウンドの状態から、非晶質のシリカも含まれていると思われる）。硬石膏以外の鉱物は、噴気孔周辺の変質岩石に含まれていることから（表2）、水中で生成したもののか、マッドポットの外から流れ込んできたものか区別できない。しかし、硬石膏については、水中から直接生成した温泉沈殿物であるとしてほぼ間違いない。

水の分析データ（表5）を、ここで開発した強酸性水用の地化学温度計に入力した（その結果は付録に示す）ところ、硬石膏についての地化学温度は99℃を示し、マッドポット周辺に存在する噴気の温度である97℃に極めて近いという結果が得られた。水と共存する泥の中に硬石膏が検出されたこととこの結果から、まだ一例にすぎないが、硬石膏を利用した強酸性水用地化学温度計の実用性が示されたと言える。マッドポットでは、温度計の検定が容易に行えるため、今後同じような作業をいろいろな場所の強酸性のマッドポットで行いたいと考えている。なお、硬石膏以外の鉱物の溶解平衡を利用した地化学温度計については、目的の鉱物（明バン石、石英、クリストバル石、非晶質シリカ；黄鉄鉱は硫化水素の分析値を得なかったので検定は行わなかった）が、先に述べたように、噴気孔周辺の変質岩石がマッドポットの外から流れ込んできたものである可能性を否定できないため、それを明確にしない限り、これ以上議論をすることはほとんど意味をなさない。これらを利用した地化学温度計については、適当な検証方法を考え、改めて検討したいと考えている。複数の地化学温度計が開発されれば、(1)算出温度の信頼性が上がることに加え、(2)熱水の流動経路における熱水の沸騰や地下水の混入などを検知するなど多様な応用の道が開ける可能性がある。

表5 塚原鉱山マッドポット（東側噴気群内）の泥水の水質分析
(pH以外の単位：mg/l)

水温 (°C)	93.0
標高 (m)	875
標高における水の沸点 (°C)	約97

pH	0.89
Na	629
K	894
Ca	338
Mg	218
Fe	926
Al	5460
Cl	検出されず(<0.1)
SO ₄	54300
SiO ₂	194

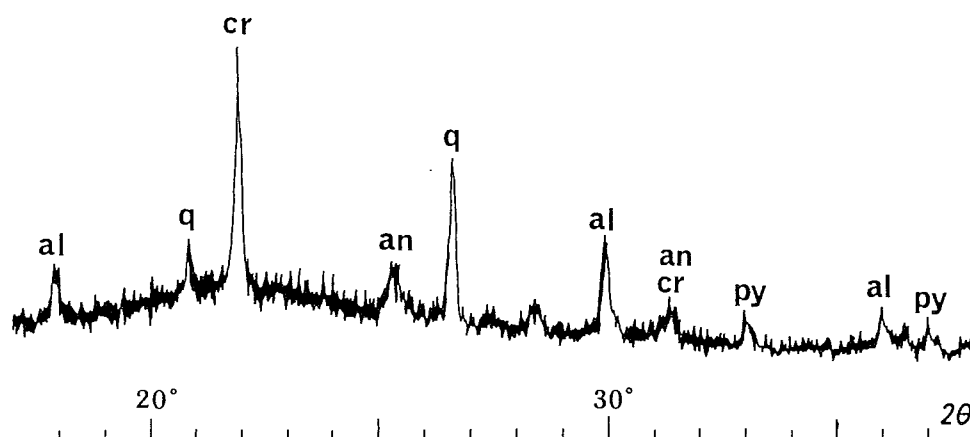


図2 塚原鉱山マッドポット（東側噴気群内）の泥の粉末X線回折結果

al：明バン石、q：石英、cr：クリストバル石（α型）、an：硬石膏、py：黄鉄鉱
測定条件：Cu (Ni-filter) ,30kV-15mA, Slit 1°-0.15-1°,
Scan2θ0.5°/min., HV1200V, TC 2sec.

6 応 用

本研究で構築した強酸性水用の地化学温度計に、既存の温泉水の分析データ、あるいは今回新たに得た分

表6 強酸性温泉への硬石膏地化学温度計の応用

試料	計算温度 (°C)	湧出温度 (°C)	チャージ バランス(%)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	pH	文献
伽藍1	171	55.4	-3.4	0.9	1960	1.9	本研究
伽藍2	173	58.4	-0.9	1.6	1130	2.1	本研究
伽藍3	108	62.5	-4.9	0.5	4930	1.7	本研究
塚原	175	67.1	-4.9	11.4	5140	1.6	NEDO(1990)
明礬	150	43.6	-4.1	4.9	2650	1.9	NEDO(1990)
九重	232	89.0	+2.7	423	3540	1.5	江原ほか(1981)
星生1	144	58.2	+0.9	241	1590	1.9	江原ほか(1981)
星生2	144	50.2	+1.6	141	1500	2.0	江原ほか(1981)
薩摩硫黄島2	145	45.6	+5.7	469	2200	1.9	Nogami et al.(1993)
薩摩硫黄島4	136	60.0	+5.7	3480	6390	1.5	Nogami et al.(1993)
立山1	290	91.3	+5.0	12340	1314	0.7	野口・西井戸(1969)
立山2	292	85.7	+8.6	10840	1192	0.7	野口・西井戸(1969)
立山4	248	59.0	+8.3	5273	2958	1.2	野口・西井戸(1969)
草津	245	60.0	+3.0	465	883	1.9	本研究
万座	249	80.0	+4.0	1110	4920	1.4	本研究
玉川	280	100	+3.0	2218	889	1.3	梅津(1993)

析値を入力し、地下における熱水の温度を算出した。結果を表6に示す。なお、利用した分析データの出典は、表の最後列に示してある。算出された温度と湧出温度との関係を図3に示す。両者の間に正の相関関係が存在する。一般に地下の熱水温度が高いものほど、その熱水から派生した温泉水の湧出温度は高いと考えられ、正の相関関係は推定温度の妥当性を示唆していると思われる。なお、立山4と草津のデータは、他のデータに比べ、湧出温度に対して地下の熱水温度が高めに現れている。これは地下の熱水が地表へ湧出する以前に、成分濃度の低い地下水の混入を受けたとすることで説明できる。その根拠は、硬石膏の溶解度は高温ほど小さくなることにある。すなわち、本温度計は硬石膏の飽和温度に基づくものであるため、希薄な冷地下水の混合により元の熱水が薄められたとすると、混合後の温度が混合前のそれより高く算出されてしまうからである。また、冷地下水の混入は、温泉の湧出温度の低下も同時に招くため、冷地下水の混入を受けなかった熱水に比べ、図3上の左上にプロットされる傾向を持つようになる。これが正しければ、このような計算上の欠点をむしろ積極的に利用し、地下における熱水の分化現象の解析に用いることも可能になるであろう。しかし、そのような例外的なものが現れるのはあまり好ましくない。さしあたって本地化学温度計の運用に際しては、調査地域の温泉水をできるだけ多く採取し、先に行ったような温泉水の湧出温度と地下の熱水温度の計算値との関係を検討してみることが肝要であろう。第5節の最後に述べたように、複数の地化学温度計を用いることができれば、ここで取り上げた難点は比較的容易に解決できるであろう。その意味でも、硬石膏以外の鉱物の溶解平衡を原理に用いた地化学温度計の構築は今後是非とも必要である。

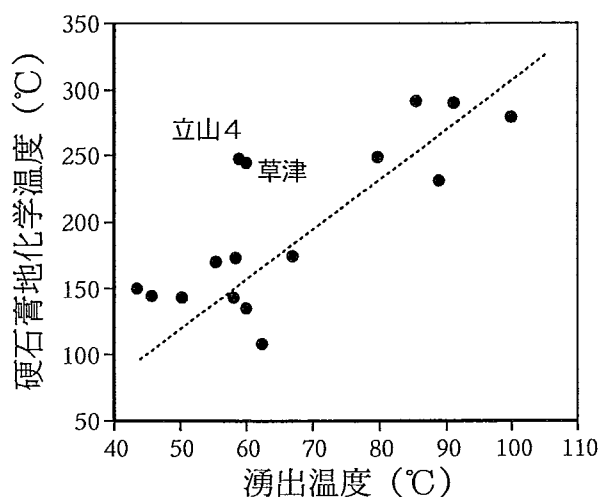


図3 強酸性温泉の湧出温度と硬石膏地化学温度の比較

7 おわりに

本研究では、これまでほとんど検討されていなかった強酸性の温泉水に適用可能な地化学温度計の開発を行った。まず、地化学温度計の基礎となる強酸性熱水と溶解平衡にある鉱物を見出すために、野外観察や文献調査を行った。その結果、強酸性の熱水中で溶解・沈殿を行う鉱物として硬石膏が見い出された。次に、この硬石膏の溶解平衡を組み込んだ熱水温度算出用のコンピュータ・プログラム (MS-DOS 版 N88 BASIC) を製作した (CALTEMP)。このプログラムを用いることで、強酸性温泉水の主要化学成分 (Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Cl, SO₄ および pH) の分析値を入力するだけで、直ちに (数分以内) 地下における熱水の温度を算出することができる。さまざまな検討から熱水中での硬石膏の溶解と沈殿は速やかに行われると結論づけられるため、算出された温度は現在の熱水のそれに対応するものと考えられる。続いて、開発した地化学温度計の検定を、天然のマッドポットの泥水を用いて行った。泥中には硬石膏が含まれること、また、算出した温度が泥水の実際のそれと良い一致を示したことから (+2°C)、今回開発した地化学温度計は使用にたえることが示された。最後に、いくつかの温泉水に本地化学温度計を応用した。算出された温度は温泉水の湧出温度と高い正の相関関係を持ち、温度計の実際の運用において特に深刻な問題は起こらないことを示した。

今回設定した研究課題は、筆者らの知るかぎり前例がない。これまで、同様な研究が行われなかった理由は、強酸性の温泉水やそのような水で特徴づけられる温泉水系や地熱環境などがあまり興味の対象とならなかったことにあると思われる。しかし、最近では、金鉱床の成因に関する研究や火山活動との関連性についての研究などで、多くの研究者が強酸性の温泉水や熱水系に関心を寄せ始めている。

著者の一人は、すでに強酸性熱水用の地化学温度計に関する与察的な研究結果を 1990 年に公表したが (大沢ほか, 1990)、以後今日までさまざまな理由により大きな進展を見ることがなかった。幸いにも今回、本調査会の研究テーマとして採択され、また、日産科学振興財団より多額の研究助成をしていただき、研究を再開できるはこびとなった。それらの関係各位に深く感謝の意を表したい。なお、本研究のように萌芽期にあるものは、1 年ほどの短い研究期間で完結するようなものではない。現実には、研究期間の大半を温度計の“製作”に費やし、その“検定”は、必要最小限にとどまったことはこれを如実に語っている。今後、オートクレーブを用いた高温実験などを行うなどして、より完成度の高い“温度計”にして行きたいと考えている。最後に、塚原鉱山での温泉水や変質岩石の採取では、京都大学理学部附属地球物理学研究施設の北岡豪一助教授、竹村恵二助教授、福田洋一助教授、馬渡秀夫技官の協力を得た。これらの方々に謝意を表す。

参考文献

- 1) Brantley, S.L., Borgia, A., Rowe, G., Fernandez, J.F. and Reynolds, J.R. (1987) : Poas volcano crater lake acts as a condenser for acid metal-rich brine, *Nature*, 330, 470-472.
- 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) Christenson, B.W. and Wood, C.P. (1993) : Evolution of a vent-hosted hydrothermal system beneath Ruapehu Crater Lake, New Zealand, *Bull. Volcanol.*, 55, 547-565.
- 4) Christenson, B.W. (1994) : Convection and stratification in Ruapehu Crater Lake, New Zealand : Implications for Lake Nyos-type gas release eruptions, *Geochemical Journal*, 28, 185-197.
- 5) Delmelle, P. and Bernard, A. (1994) : Geochemistry, mineralogy, and chemical modeling of the acid crater lake of Kawah Ijen Volcano, Indonesia, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 2445-2460.

- 6) 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.
- 7) 古賀昭人(1968) : 地熱地帯における温度指示元素による化学温度計の適用, 大分県温泉調査研究会報告, 19, 21-26.
- 8) 森本信男・砂川一郎・都城秋穂(1975) : 鉱物学, 岩波書店, 640p., 東京.
- 9) NEDO(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要旨, 342p.
- 10) Nicholson, K. (1993) : Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, 263p., Germany.
- 11) Nogami, K., Yoshida, M. and Oosaka, J. (1993) : Chemical Composition of Discolored around Satsuma-Iwojima, Kagoshima, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 38, 71-77.
- 12) 野口喜三雄・西井戸敏夫(1969) : 富山県立山地獄谷温泉における銅, 亜鉛, 鉛の挙動, 日本化学雑誌, 90, 780-786.
- 13) 大沢信二・綿抜邦彦・高野穆一郎(1988) : コンピュータ・シミュレーションによる北投石生成機構, 温泉科学, 38, 154-162.
- 14) 大沢信二(1989) : 溶液化学的手法による火山噴火予知に関する研究, 東京大学修士論文, 95p.
- 15) 大沢信二・綿抜邦彦・高野穆一郎(1990) : 強酸性温泉の貯留層温度推定の試み, 温泉科学, 41, 93.
- 16) 大沢信二(1992) : 水溶液中における準安定硫黄化合物の挙動に関する地球化学的研究 — 火山学への応用 —, 東京大学博士論文, 185p.
- 17) 大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一(1994) : 別府温泉南部地域における温泉水の流動経路, 温泉科学, 44, 199-208.
- 18) Pasternack, G. B. and Verekamp, J. C. (1994) : The geochemistry of the Keli Mutu crater lakes, Flores, Indonesia, Geochemical Journal, 28, 243-263.
- 19) Reed, M. H. and Spycher, N. F. (1992) : SOLTHERM : Data Base of Equilibrium Constants for Aqueous-Mineral-Gas Equilibria, Dept. of Geological Science, University of Oregon.
- 20) Robinson, B. W. (1973) : Sulfur isotope equilibrium during sulfur hydrolysis at high-temperatures, Earth Planet. Sci. Lett., 18, 443-450.
- 21) 曾屋龍典・宇都浩三・下谷昌幸(1983) : 草津白根山1982年10月26日の水蒸気爆発, 地質ニュース, 341, 7-16.
- 22) 高橋正明(1991) : 地化学温度計の現在, 地熱, 28, 79-94.
- 23) 歌田実(1977) : 鉱床母岩の変質作用, 「現代鉱床学の基礎: 立見辰雄編」, 145-159, 東京大学出版会, 東京.
- 24) 梅津芳生(1993) : 玉川温泉酸性水の中和に伴う沈殿物生成, 温泉科学, 43, 78-86.
- 25) 綿抜邦彦(1984) : 水圏化学よりみた温泉, 温泉科学, 34, 144-150.
- 26) 由佐悠紀・北岡豪一・神山孝吉・竹村恵二(1994) : 掘削による地下温泉水の層構造の検出 — 別府温泉南部地域での試み —, 温泉科学, 44, 39-44.

付 録

強酸性温泉水への硬石膏地化学温度計の適用例 (塚原鉱山マッドポット内泥水) ~ コンピュータの出力結果

```
PROGRAM caltemp 95/02/09 11:54:26
*****
TUKAHARA-MINE MUD POT under E-fumarole
BASE FILE: TKHRMP2
*****
```

CONCENTRATIONS of LIQUID PHASE
CONCENTRATION (mg/l)

pH	0.89	1.2883E-01
Cl-	0.00	1.0000E-35
SO4=	54300.00	5.6526E-01
S=	0.00	1.0000E-35
H4SiO4	194.00	3.2288E-03
Na+	629.00	2.7360E-02
K+	894.00	2.2863E-02
Ca++	338.00	8.4331E-03
Mg++	218.00	8.9668E-03
Fe++	926.00	1.6581E-02
Al+++	5460.00	2.0236E-01
Pb++	0.00	1.0000E-35
Ba++	0.00	1.0000E-35

SPECIATION AT 25 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	8.3217E-02	0.137	-1.942
Ca++	5.6985E-03	0.206	-2.931
K+	2.1375E-02	0.536	-1.941
Al+++	5.1872E-02	0.070	-2.437
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	1.4247E-13	0.558	-13.100
H+	1.8433E-01	0.699	-0.890

CHARGE BALANCE= 2.11

Ca*SO4 = -4.87
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH) = -7.80
H4SiO4 = -2.49

SPECIATION AT 50 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	6.8239E-02	0.148	-1.997
Ca++	5.4102E-03	0.216	-2.932
K+	2.1024E-02	0.553	-1.935
Al+++	4.6093E-02	0.075	-2.462
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	1.1263E-12	0.574	-12.190
H+	1.1850E-01	0.711	-1.075

Ca*SO4 = -4.93
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH) = -6.87
H4SiO4 = -2.49

SPECIATION AT 100 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	2.3860E-02	0.144	-2.465
Ca++	6.2948E-03	0.212	-2.875
K+	2.1586E-02	0.547	-1.928
Al+++	6.7653E-02	0.073	-2.306
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	1.5694E-11	0.568	-11.050
H+	9.0755E-02	0.707	-1.193

Ca*SO4 = -5.34
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH) = -6.62
H4SiO4 = -2.49

SPECIATION AT 150 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	5.5491E-03	0.131	-3.140
Ca++	7.3701E-03	0.199	-2.834
K+	2.2312E-02	0.525	-1.931
Al+++	8.9909E-02	0.068	-2.216
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	6.9970E-11	0.548	-10.417
H+	9.7724E-02	0.693	-1.169
Ca*SO4	=	-5.97	
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH)	=	-7.84	
H4SiO4	=	-2.49	

SPECIATION AT 200 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	1.6736E-03	0.135	-3.645
Ca++	7.5382E-03	0.204	-2.813
K+	2.2482E-02	0.534	-1.921
Al+++	1.8842E-02	0.070	-2.882
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	2.3704E-10	0.555	-9.881
H+	6.4826E-02	0.698	-1.344
Ca*SO4	=	-6.46	
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH)	=	-9.79	
H4SiO4	=	-2.49	

SPECIATION AT 250 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	2.0996E-04	0.137	-4.543
Ca++	8.0733E-03	0.205	-2.781
K+	2.2741E-02	0.535	-1.914
Al+++	1.1394E-03	0.070	-4.098
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	3.2173E-10	0.557	-9.746
H+	6.4891E-02	0.699	-1.343
Ca*SO4	=	-7.32	
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH)	=	-15.23	
H4SiO4	=	-2.49	

SPECIATION AT 300 DEGREE C. (TOTAL IONIZABLE HYDROGEN)

SPECIES	CONCENTRATION	R	LOG(ACTIVITY)
SO4=	1.5081E-04	0.136	-4.687
Ca++	8.1422E-03	0.205	-2.778
K+	2.2764E-02	0.535	-1.914
Al+++	9.0611E-04	0.070	-4.197
H4SiO4	3.2288E-03	1.000	-2.491
OH-	3.0947E-10	0.557	-9.763
H+	6.4883E-02	0.699	-1.343
Ca*SO4	=	-7.46	
K*3(Al)*2(SO4)*6(OH)	=	-15.82	
H4SiO4	=	-2.49	

SATURATION INDEXES OF MINERALS AT ELEVATED TEMPERATURES
 FILE NAME : TKHRMP2

MINERAL	25	50	100	150	200	250	300
(DEGREE C.)							
anhydrite	-0.61	-0.35	0.01	0.24	0.75	1.12	2.75
gypsum	-0.43	-0.41	-0.47	-0.60	-0.40	-0.31	1.09
alunite	-8.46	-4.61	0.58	3.54	5.52	4.35	9.64
a-cristobalite	0.96	0.64	0.19	-0.13	-0.37	-0.56	-0.71
b-cristobalite	0.51	0.25	-0.12	-0.37	-0.57	-0.74	-0.86
amorph.-silica	0.22	0.02	-0.29	-0.51	-0.68	-0.81	-0.89
quartz	1.51	1.14	0.60	0.23	-0.06	-0.30	-0.48

OUTPUT OF COEFFICIENTS OF EQUATIONS FOR CURVE FITTING

$$S.I. = a + b * TEMP. + c * TEMP.^2 + d * TEMP.^3 + e * TEMP.^4 + f * TEMP.^5$$

FILE NAME : TKHRMP2

MINERAL	a	b	c	d
	e	f		
anhydrite	-6.236E-01	-1.063E-03	1.468E-04	-8.962E-07
	1.549E-09	8.738E-13		
a-cristobalite	1.305E+00	-1.504E-02	3.454E-05	1.021E-07
	-7.793E-10	1.210E-12		
quartz	1.910E+00	-1.737E-02	3.885E-05	1.096E-07
	-8.390E-10	1.301E-12		
alunite	-1.080E+01	8.790E-02	8.243E-04	-6.437E-06
	7.782E-09	1.258E-11		
amorph.-silica	4.456E-01	-9.570E-03	1.977E-05	5.622E-08
	-4.129E-10	6.500E-13		

OUTPUT OF SATURATION TEMPERATURES OF MINERALS
 ==> RESERVIOR TEMP. OF ACID THERMAL WATER

FILE NAME : TKHRMP2

MINERAL	TEMP. (DEGREE C.)
anhydrite	99
a-cristobalite	127
quartz	189
alunite	93
amorph.-silica	53

不整脈と温泉(6)

九大生体防御医学研究所気候内科

矢永尚士・牧野直樹
松井寛輔

1 はじめに

不整脈は心室性頻拍のような突然死の原因となるものから、心室性期外収縮のような軽症のものまで、その重症度のスペクトルは広い。その治療法も薬物療法から非薬物療法まで存在する。非薬物療法としては手術、ペースメーカー、除細動、アブレーション、植込み式除細動器が含まれる。軽症の不整脈には薬物療法は必要でない。できるだけ自然療法が好ましい。

温泉には鎮静作用、自律神経調整作用、生体リズムの正常化作用が報告されている。不整脈の成因には、虚血、肥大、心筋変性以外に精神、自律神経系の異常が含まれる。温泉療法は精神ストレス、自律神経緊張異常の治療に有用である。

最近、望ましい医療とは単なる延命でなく、生活・生命の質(QOL)を改善するものでなければならぬといわれている。そこで不整脈を含む循環器疾患について温泉療法とQOLの観点から検討した。

2 方法

当科を受診した循環器疾患患者を対象として、表1に示す如きアンケート調査を行った。アンケート調査表は身体症状のみならず、表2に示す如く幸福感・満足感、周囲との調和が評価できるよう配慮した(表2)。表3は疾患の内訳を示した。

表1 心臓病患者さんへのアンケートのお願い

1 記述した日	平成7年 ____ 月 ____ 日
2 あなたの性別は	(男・女)
3 あなたの年齢は	(40以下、40~50、50~60、60~70、70~80、80才以上)
4 あなたは週に、あるいは一日に何回お風呂に入りますか?	(一日に ____ 回、週に ____ 回)
5 お風呂は温泉ですか?	(はい・いいえ)
6 お風呂の温度はおよそ何度位ですか?	(____ °C、不明)
7 お風呂にはどのくらいの時間入りますか?	(約 ____ 分)
8 お風呂にはどの深さまで入りますか?	(首まで・胸まで・下半身のみ)
9 入浴中にどうかあったことがありますか?	(ある・ない)
「ある」と答えた人でどんな症状がありましたか?	(胸の痛み、胸の圧迫感、胸の不快感、動悸、その他 ____)
10 お風呂に入った後の感じはどうですか?	(そう快感、体調がよい、その他 ____)
11 最近のあなたの健康状態についてお聞きします。	
(1) 一般症状	
(a) 頭痛、頭重感	(ある、時々ある、たまにある、なし)
(b) めまい、立ちくらみ	(ある、時々ある、たまにある、なし)
(c) 肩こり	(ある、時々ある、たまにある、なし)
(d) 動悸	(ある、時々ある、たまにある、なし)
(e) しびれ感	(ある、時々ある、たまにある、なし)

- (f) むくみ (ある、時々ある、たまにある、なし)
- (g) 息切れ (ある、時々ある、たまにある、なし)
- (h) 便秘 (ある、時々ある、たまにある、なし)
- (2) 身体症状
- (a) あなたは今、風邪を引いていますか？ (はい、いいえ)
- (b) 風邪を引きやすいですか？ (はい、いいえ)
- (c) 年に何回くらい風邪を引きますか？ (年に ___ 回)
- (d) 疲れやすいですか？ (はい、少し、いいえ)
- (e) 食欲はありますか？ (はい、いいえ)
- (f) 食べ物はおいしいですか？ (はい、いいえ)
- (g) 朝起きたとき疲れが残っていますか？ (はい、少し、いいえ)
- (3) 睡眠尺度
- (a) 寝つきはよろしいですか？ (良い、余り良くない、悪い)
- (b) 夜間排尿（小便）に起きますか？ (よく起きる、時々、いいえ)
- (c) 寝てもすぐ目が覚めますか？ (はい、時々、いいえ)
- (d) 悪い夢をよく見ますか？ (はい、時々、いいえ)
- (4) 情緒状況
- (a) 気分はそう快ですか？ (はい、普通、そう快でない)
- (b) いらいらすることがありますか？ (よくある、時々、ない)
- (c) 何となく不安にかられる事がありますか？ (よくある、時々、ない)
- (d) 気分が沈むことがありますか？ (よくある、時々、ない)
- (e) 物忘れしやすいですか？ (よくする、時々、しない)
- (f) 道に迷ったりすることがありますか？ (よくする、時々、しない)
- (6) 社会的関係
- (a) まわりの人と談話の機会がありますか？ (ある、時々、ない)
- (7) 生活満足感
- (a) 家族や廻りの人とうまくいっていますか？ (うまくいっています、普通、うまくいってない)
- (b) 生き甲斐を感じていますか？ (いる、普通、感じない)

以上でアンケートは終了いたします。

最後にあなた様のお名前を記入願います。

氏名 _____

ご協力どうもありがとうございました。

表2 アンケート質問内容

- (1) 入浴中の心血管系に関する症状
胸痛、動悸、胸部不快感
- (2) 一般症状
頭痛、めまい立ち眩み、肩こり、動悸、しびれ感、むくみ、息切れ、便秘
- (3) 身体症状
風邪を引きやすいか？ 疲れやすいか？ 食欲は？ 睡眠状態は？
- (4) 情緒状況
気分は良いか？ いらいらするか？ 気分が沈むか？ 物忘れするか？

表3 疾患内訳

	温泉 (-)	温泉 (+)		温泉 (-)	温泉 (+)
虚血性心臓病	16	14	不整脈	14	11
陳旧性心筋梗塞	(6)	(5)	心筋症	3	1
狭心症	(10)	(9)	弁膜症	4	0
高血圧	24	19	その他	2	4

3 成 績

表4は循環器疾患患者の入浴に関するアンケート調査の結果を示したものである。入浴回数は温泉利用者が温泉非利用者に比し多く、入浴時間は短かった。

図1に示す如く動悸のないものは温泉群の方が多かった。図2に示す如くしびれ感は温泉群の方が少なかった。

温泉利用群に「肩こり」のある例は少なく、便秘症のない例が多く見られたが、その他の症状には明らかな差はみられなかった。

表4 循環器疾患患者の入浴に関するアンケート調査

(1) 期 間	平成7年1月～3月
(2) 対 象	当科外来通院患者
a)	男性 50名 (平均年齢 62 ± 4歳) 女性 51名 (平均年齢 64 ± 3歳)
ib)	温泉利用：男性21人、女性27人 (平均年齢 = 68.1歳) 温泉非利用：男性29人、女性24人 (平均年齢 = 64.0歳)
(3) 入浴回数	温泉利用：6.77 ± 10.30回/週 温泉非利用：5.50 ± 2.60回/週
(4) 入浴時間	温泉利用：16.8 ± 10.3分 温泉非利用：19.9 ± 10.0分

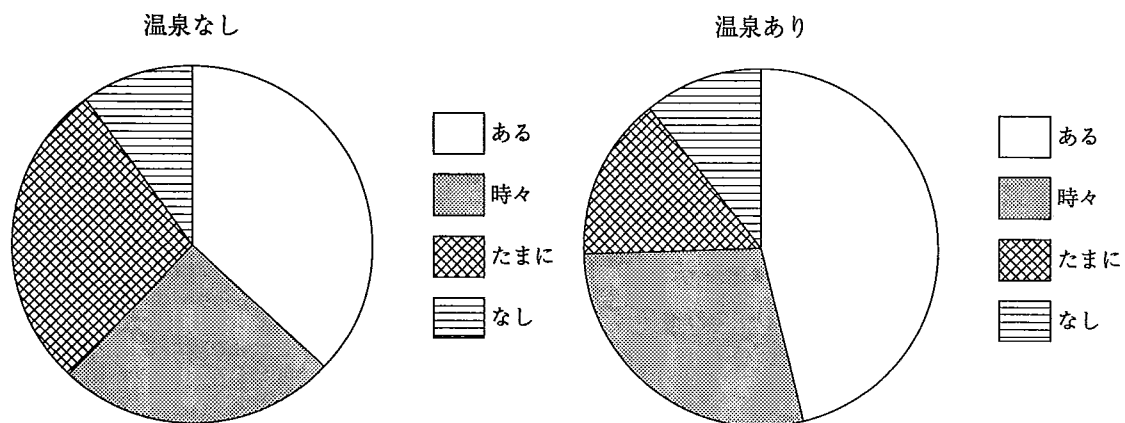


図1 動 悸

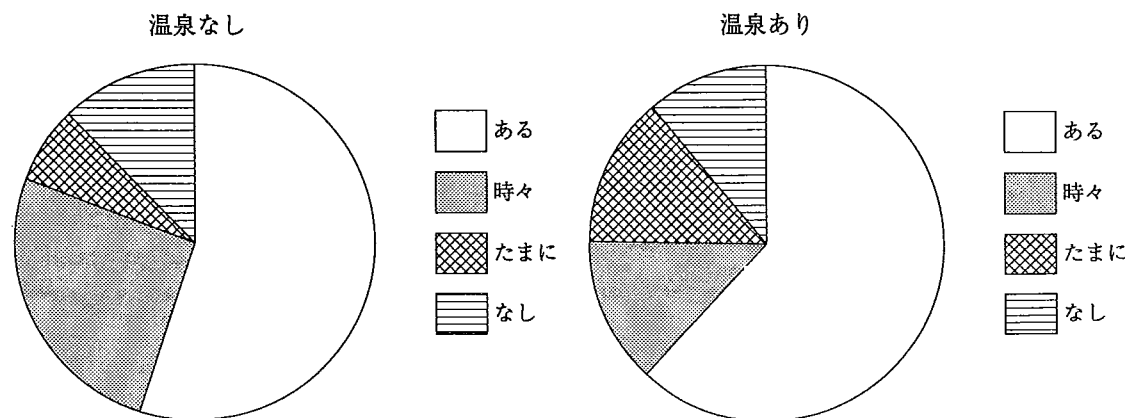


図2 しびれ感

4 考 察

不整脈については温泉を利用しているものが少なく、温泉療法の QOL について検討できなかったが、その他の循環器疾患については QOL の改善傾向が観察された。

平成 7 年 4 月に名古屋市で開催された、第 24 回日本医学会総会の学術講演の中で、日野原重明氏（聖路加国際病院）が「患者の QOL—望ましい医療とは」をテーマに講演し、次の 4 つをあげた。

- (1) 病む患者の社会生活の能力をできるだけ高く保たせること。
- (2) 患者が病んでも、その感性や知性が高く保たれるようにすること。
- (3) 患者の痛み、その他の苦しみを十分に緩和すること。
- (4) 長期の患者や末期患者にも患者にとっての生き甲斐を持たせるように緩和すること。

さらに平成 7 年 5 月に修善寺で開催された、第 60 回日本温泉気候物理医学会総会のシンポジウムのなかで、「温泉療法と QOL」がとりあげられ、関節リウマチ、糖尿病、循環器疾患、気管支喘息、脳卒中、アトピー性皮膚炎などの諸疾患と QOL が論じられたが、教室の牧野らは循環器疾患における温泉療法と QOL について報告した。

温浴の血行動態に及ぼす要因としては温熱作用、静水圧の効果、自律神経の関与、内分泌、代謝的效果があげられる。温浴の心行動態に及ぼす効果としては、急性効果には血管拡張作用、降圧作用、心拍出量の増大、血漿ノルアドレナリンの増加、慢性効果には抹消血管抵抗の低下、心拍出量の低下、血漿ノルアドレナリンの低下があげられる。さらに最近、温泉水は核磁気共鳴や近赤外線を用いて検討すると、異なった水の構造を有することが指摘されている。また温泉水の元素と放射能についても PIXE (particle induced X-ray emission) 分析法、Ge (Li) 半導体検出器を用いて新しい知見が報告されつつある。鹿児島大学医学部リハビリテーション科の田中らは、温泉浴を用いて約 7,000 万円／年の国保医療費の低下が見られたと報告した。その要因として温泉浴による感冒等の発生や骨関節、筋肉痛、疲労回復を予想している。

自然の素材を利用した温泉気候物理医学的治療法は、複合刺激療法として、先端医療の進歩のなかであっても益々その重要性を増すものと推測される。

5 む す び

不整脈を含む循環器疾患について温泉療法と QOL (生活の質) の関係について検討し、温泉療法の適応を禁忌に注意すれば、QOL の改善に有用であることを述べた。

慢性関節リウマチの QOL に対する温泉浴の効果

九州大学生体防御医学研究所

臨床免疫学部門

安田 正之・松林 幹代子
野村 祥子・末永康 夫
赤山 祥子

1 はじめに

慢性関節リウマチ (RA) に対する治療は、その炎症すなわち疼痛・腫脹・発赤をいかに良く取り除くかに主眼がおかれてきた。各種薬剤の有効性や有用性の判断もこの様な指標に基づいて成されてきた。近年、悪性腫瘍に対する治療目的がガンの除去にその大半が向けられていたことに対する反省から、治療を受ける患者の生活の質 (QOL) がいかに保たれているかが問われることとなった。この動きは 1980 年代半ばに RA の治療薬剤である Auranofin の開発に当たって、その効果を患者がいかに捉えるか、いかに生活の質を保証し得るか、経済的側面、社会文化面がいかに改善されるかが初めて検討された。¹⁾

RA に対する温泉治療の効用のひとつに、入浴後の気分的な改善があることは良く知られている。これらを客観的な尺度をもって検討することは容易ではないが、QOL 評価法をとりいれて検討することは興味深い。今回は、患者の QOL がいかなる状態にあるかを調査し、少数例ではあるが温泉治療前後で変化する因子があるか否かを検討した。

2 方 法

QOL 評価表は平成 3 年度厚生省リウマチ調査研究事業研究報告書に準じた (表 1)。²⁾ 患者にアンケート用紙を手渡し、項目 1-22 までの質問に回答を受けた。項目 1-20 までの質問は 4 段階にその答を用意した。1 が最も QOL への障害が少なく、4 が最も重大となるよう配列した。例えば、病気のために社会生活が、1: 変化無し、2: 軽度悪化した、3: 中等度悪化した、4: 高度の悪化を来たした、の様に配列した。また、項目 21 の病気の受容状態は 4 段階、項目 22 の幸福感は 6 段階とした (1: 非常に幸せ、2: 結構幸せ、3: まあまあ幸せ、4: やや不幸、5: かなり不幸、6: 全く不幸)。

同様のアンケートを外来通院中の患者 10 名に対して運動浴・作業療法の前後に手渡し、その回答を依頼した。

統計解析は、項目 21: 病気の受容状態および項目 22: 幸福感と各項目 (No1~21) 間との関連性をカイ 2 乗検定し、関連性が比較的高い項目間との重相関をロジスティック解析により検討した。

表 1 QOL 評価のための項目

I: 日常生活動作
1 シャツのいちばん上のボタンをはめる事ができる
2 一人で立ったり座ったりする事ができる
3 一人で入浴する事ができる
4 調理をすることができる
5 バスや電車などの交通機関を利用して外出できる
II: 医 療
6 痛みにより夜間目が覚めることがある
7 痛みによりしばしば憂鬱になることがある

- 8 治療を受けているにもかかわらず、痛みなどの症状が改善しない
- 9 リウマチのために支出が増えたか、収入が減った
- 10 リウマチのために家計が苦しくなった
- III：精神面
 - 11 家族の重荷になっていると感じることがある
 - 12 昼間、家に一人でいると不安を感じる事が有る
 - 13 病気について周囲の理解が得られない
 - 14 自分のやりたいことが思うようにできない
 - 15 自分が将来思うように動けなくなるような不安がある
- IV：社会・文化面
 - 16 近所づきあいができない
 - 17 外出する機会が減った
 - 18 仕事や家事にほとんど影響がない
 - 19 趣味が生かせる生活をしている
 - 20 旅行に出かけられる状態である
- V：総括質問
 - 21 あなたはリウマチという病気をどの程度受け入れるようになりましたか
 - 22 あなたは今の生活や人生をどの程度幸せだと感じていますか

3 結 果

I 対 象

284名の患者より回答を得た。男性50名と女性234名よりなり、平均年齢57.6±12.6才、平均罹病期間3.08±1.06年であった。また、温泉治療前後の回答は10名より得た（男性3名、女性7名、55.2才、3.4年）。

II 患者 QOL スコアの状況（表2）

患者の疼痛への治療効果は認められ、ほぼ6割の患者ではその程度が改善しており（No.6～8）、日常動作は比較的保たれている（No.1～5）。リウマチに罹患したために経済的な悪化は1/3に生じている（No.9, No.10）。周囲の理解や近所付き合いには70～80%は影響されないと答えているが（No.16, No.17）、病気や将来への不安（No.12, No.15）、家族への負担への心配（No.11）、やりたい事が出来ない（No.14）といった精神面の負担を感じる割合が高いことが示されている。

III 温泉浴による QOL スコアの変化

変化があった項目と点数は、No.2（-1）、No.7（-1）、No.8（-1）、No.10（+1）、No.11（-1）、No.12（-2）、No.14（+1）、No.15（-2）、No.21（-2）、No.22（-2）であり、その他の項目には変化を認めなかった。

IV 項目間の関連性。

病気の受容（項目No.21）とR²>0.09の関連を示した項目は、No.11, No.12, No.14 およびNo.19 であり、いずれも正相関であった。これら4項目とのロジスティック解析では、R²=0.2224（p=0.000）であった。各項目とは、No.11：p=0.1492, No.12：p=0.0010（図1）、No.14：

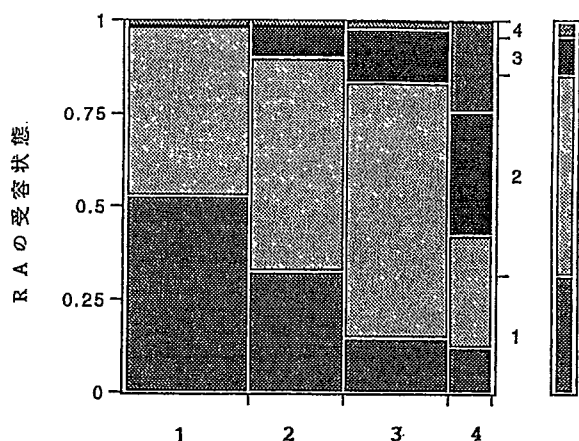
表2 QOL 評価項目への「変化無し・軽度の変化」が占める割合

項目	%	項目	%
1	87.8	11	36.4
2	85.4	12	59.2
3	87.9	13	81.4
4	82.9	14	48.8
5	73.9	15	13.6
6	59.3	16	71.1
7	54.6	17	31.8
8	76.9	18	28.6
9	67.9	19	45.7
10	67.4	20	50.9

No.21：1=31.5%, 2=53.8%, 3=10.1%, 4=4.7%.

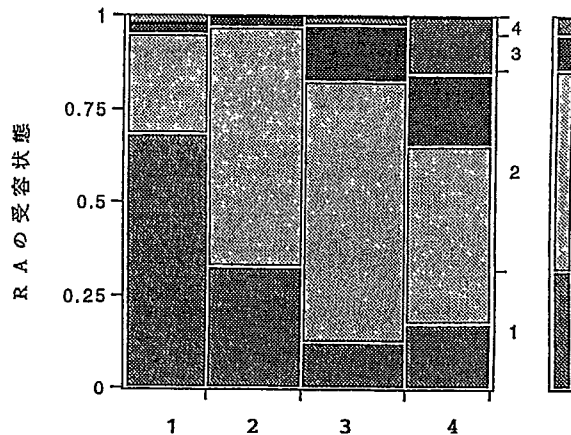
No.22：1=3.6%, 2=26.2%, 3=47.3%, 4=11.5%, 5=7.9%, 6=3.6%

p=0.0003 (図2), No.19 : p=0.0074 であった。また、幸福感 (項目No.22) を同様に解析すると、No.10 : p=0.0001 (図3), No.11 : p=0.1000, No.14 : p=0.0004 (図4), No.15 : p=0.0456 であり、総合すると $R^2=0.1657$ ($p=0.000$) の正相関を認めた。



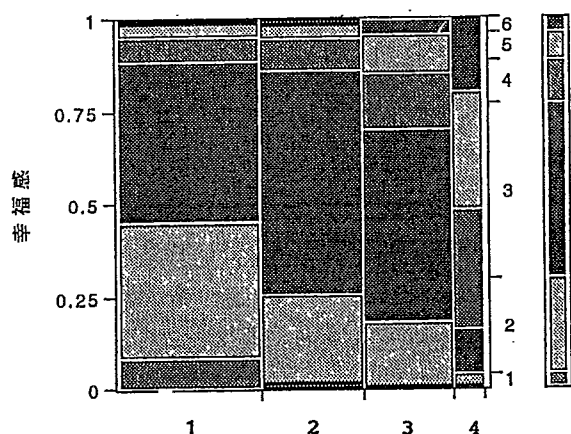
12 昼間、家に一人だと不安を感じることがある

図1 RAの受容と不安との関連性



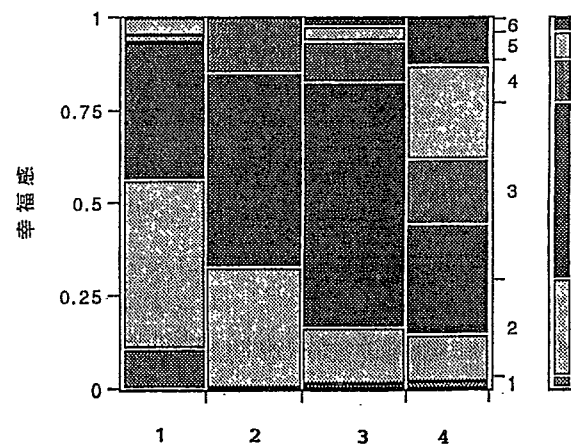
14 自分のやりたいことが思うようにできない

図2 RAの受容と運動障害への不満との関連性



10 リウマチのために家計が苦しくなった

図3 幸福感と家計の悪化との関連性



14 自分のやりたいことが思うようにできない

図4 幸福感と運動障害への不満との関連性

4 考 察

RA患者は病気や将来に対する不安や抑鬱的な漠たる不安感が強いことが示唆されたと言えよう。自らのRAを受け入れるには、これらの不安感ややりたいことができないという不満を整理できることが大きな条件となっているようである。また、幸福感は、家計が苦しくなったとか支出が増えたなどの経済的状況や、病気・将来への不安、そして動けない事による不満など、RAの受容と共通した因子がQOLや患者の気分の安寧を阻害していることが推察される。

これらの項目への改善効果を少数例ではあるが観察すると、No.12やNo.15のような不安感が少ないながらも軽減されており、これは、入浴により気分が良くなった事の反映と思われる。ただし、少数例である事に加え、相反して悪化した項目 (No.10, No.14) もあり、より多数例での観察が必要であろう。また、これらの変化のすべてが温泉のためでは有り得ず、運動浴を主としたリハビリテーションプログラムによる運動、患者間や作業療法士との会話などが好影響を与えたはずである。温泉のみの効果を検討するには、温泉入浴の

みによる変化を観察し、同時に対照として通常の温水浴を用意して行う必要があり、将来の検討課題である。

参考文献

- 1) Bombardier C, Ware J, Russel IJ, et al : Auranofin therapy and quality of life for patients with rheumatoid arthritis : results of a multicenter trial. Am J Med 81:565—578, 1986.
- 2) 水島裕 : QOL に関する研究。平成 3 年度厚生省リウマチ調査研究事業研究報告書 : 261—264, 1992.

温泉権紛争の調査と研究（V）

（大分医科大学）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 | IV 温泉の掘削紛争と具体的事例 |
| 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 会報第 45 号 — 報告（IV）） |
| III 温泉権紛争の具体的事例 | V 温泉権紛争の防止と行政手続法 |
| 1 序 説 | 1 温泉権紛争と「行政手続法」の制定 |
| 2 旧慣温泉権の解体過程に現われた紛争事例
（以上 会報第 43 号 — 報告（II）） | 2 温泉法と行政手続法 |
| 3 近代的温泉権をめぐる紛争事例
（以上 会報第 44 号 — 報告（III）） | 3 温泉権紛争と行政訴訟事件 |
| | 4 結 び
（以上 本報告第 46 号） |

V 温泉権紛争の防止と行政手続法

1 温泉権紛争と「行政手続法」の制定

(1) 序 説

温泉権紛争 — いわゆる温泉紛争の主要な部分を占めている — は、温泉掘削を試みようとする住民と行政実務を担当する行政機関（都道府県や保健所等）との間に発生する事例が少ないことは、これまでの調査報告で見えてきたところである（本課題シリーズ(1)）。大分県でも、かつて昭和 30 年（1955）代に温泉掘削の申請をしたとき、県知事の掘削許可をめぐる審査基準に不透明な点があり、また周辺源泉所有者の同意書の有無、掘削地における施設工作物（主に建物）の具体化などの問題で不安を覚えたり、また拒否処分 — 不許可処分はもとより施設の具体化を待っての保留の措置など — がなされても、その理由に正当な法的根拠を欠くことから、行政に不満と不信を抱くといった経験をした人も少なくなかったと聞いている。また、口頭で行政指導を受けても、その趣旨・内容があいまいで、加えて実務担当者が代わるとその説明も変わり、そのため困惑を経験した人もあったと伝えられる。

昭和 30 年代後半から同 40 年代にかけて、行政の側でも、叙上の住民の不満と批判に応じて不透明性の克服・除去にのり出し、審査基準の明確化、保護地域の指定、施設の具体化や周辺源泉者の掘削同意書の提出不要など逐一改めたことから、漸く温泉権紛争も下火に向かい、温泉行政もスムーズに展開するに至って現今に及んでいる状況である（上掲拙稿報告(1)）。

(2) 「行政手続法」の要請とその制定

現代行政国家の要請する「法による行政」の原則を補い、その運用の妙を発揮するためには、法を執行する行政が自ら公正かつ客観的な解釈と運用を確立することが何より肝要であろう。そのため、一般の行政法規は、その主体・内容・手続・形式のすべての点において、法令の定める条件に適合し、かつ公益と行政目的とに適合することが要請されている（『現代行政法講座』第 1 巻）。

したがって今日、行政法規は、その執行の段階で多くの領域に基準を設け、弾力的に運用している例が少ない。もっとも、政省令のそれは、技術的事項については比較的詳細な規定をおき、主要な政策的事項に関しては「通達」による基準が定められている。いわゆる「通達行政による運用」がこれで

あるが、これに対して当時の学界（主に公法学会）では批判の声が高かったことも、よく知られているところである。

行政一般に通用する基本法ともいべき行政の手続法の制定は、わが国では欧米先進国に遅れ、日の目を見ずに終わっていた。ところが、さる平成5年（1993）11月5日に成立し、同年11月12日に公布されたのがここに述べる「行政手続法」（法律第88号）であり、公法学界で長年の懸案が漸く実を結んだのであった。

この種の法律は昭和21年（1946）以降、米国をはじめ英国、ドイツ、デンマークなど先進諸国では常識とまで言われてきた。日本では—昭和23年（1948）、臨時行政機構改革審議会が行政運営法制定の必要性を認め、同25年10月にGHQの示唆に基づき、法制審議会に行政手続法部会が設置されている。しかし、その制定には、GHQもさほど熱心ではなかったという。昭和27年（1952）5月に至り、国家行政運営法案が第13回国会に提出され、継続審議に付されたが、第14回国会で廃案となった。のち10年を経過して、昭和37年（1957）に発足した第1臨調の提言で「行政手続法制定への灯」が再び点ぜられた。だが、この灯を燃焼させるだけの条件は、当時のわが国にはまだ存在しなかったのである（前掲『講座』第1巻）。

昭和54年（1979）ダグラス・グラマン事件の発生を機に、再び制定の機運が生じた。第1次研究会の要綱案の公表と第2次研究会（昭和60年）につづき、臨時行政改革推進審議会（第3次行革審）に行政手続部会が設けられ、行政手続法案が公表された。この法案が国会（第128回）に提出されたのは宮沢内閣の時であったが、衆議院解散で廃案になった。だが細川内閣に替わると再び提出され、これとともに「行政手続法の施行に伴う関係法律の整備に関する法律」が制定されたのであった（『ジュリスト』第985号参照）。第1次臨調の制定提言がなされてから、実に30年の歳月が経ったが、その背景に官僚の強い抵抗があったことは否定できない。この間、貿易摩擦とりわけ日米通商貿易で波紋を上げたが、アメリカ側の公正な貿易と外国企業の自由な参入を妨害するとする日米構造協議の“外圧”が追い風となり、辛うじて制定にこぎ着けたのであった。今日まで日本の行政の不透明性の“元凶”とまで言われてきた「行政指導」や「認許可」などを国民の眼にも分かりやすく、また明確なルールを白日の下におこうとする趣旨である。当該手続法の第1条には「行政運営における公正の確保と透明性の確保を図り、もって国民の権利利益の保護に資することを目的とする」とうたっている。

(3) 「行政手続法」の概要

平成6年（1994）10月1日施行の運びとなった「行政手続法」の概要を、この機会に、宇賀克也（東大教授）著『行政手続法の解説』（1994年 学陽書房）を参考に述べることにしよう。

—行政手続法は、情報公開や個人情報保護と比べて一般になじみが薄く、そのため、その重要性は必ずしも広く認識されていないように思われる。しかし、行政不服審査法や行政事件訴訟法のような事後的救済法とは異なり、事前手続について定めた当該手続法は、国民の生活により身近にかかわるものである。申請に対する処分については審査基準を定め、公にすることが義務づけられている（法第5条）ので、申請者はあらかじめ認許可等が与えられるか否か、どのような準備をしたらよいかについての見通しを持つことができるようになるし、標準処理期間作成の努力義務が課せられ、これが定められた時はそれを公にしなければならない（法第6条）とされ、かつ、申請がその事務所に到達した時は遅滞なく当該申請の審査を開始しなければならない（法第7条）ことが明記されたので、申請が長期間放置される事態の解消が期待される。また拒否処分については、原則として理由の提示が義務づけられたので、処分庁の判断の慎重合理性の担保と相手方の不服申し立ての便宜が図られることになる（法第8条）。

許可を取消したり、その効力を停止したりする不利益処分については、処分基準を作成し公にする努力義務が設けられ、また、原則として理由の提示が義務づけられている（法第14条）。なお、従前は、

不利益処分をする場合には名あて人となるべき者に事前に意見を述べる機会を与えていない法律が少なくなかったが、今回制定の手続法は、事前に意見を聴取する規定、すなわち聴聞規定を設けることが原則として必要である（法第13条）とし、この趣旨の一般原則が打ち立てられている。その際、許可の取消のような重大な不利益処分の場合には、聴聞手続が必要になり（法第13条1イ）、そこでは口頭で意見を述べる機会が保障され（法第20条2）、また当事者等に不利益処分の原因となる事実を証する資料の閲覧権も与えられている（法第18条）。

つづいて、内外からその不透明性について批判の強かった行政指導についても、当該行政指導の趣旨および内容並びに責任者を明確にしなければならないという原則が明記され（法第35条1）、行政指導が口頭でされた場合において、相手方からの書面交付請求に応ずべきことが定められた（法第35条2）。届出についても、形式上の要件に適合した届出が法令により当該届出の提出先にされている事務所に到達したときに、当該届出をすべき手続上の義務が履行されたものとするのが明記され（法第37条）、届出を受け取らないことにより実質的に届出制が許可制として運用されるという事態の解消が企図されている。

なお、この行政手続法は、国の機関の処分、国の機関に対する届出のみならず、地方公共団体の機関がおこなう処分や地方公共団体の機関に対する届出であっても、法律に根拠規定のあるものには適用されるし、また地方公共団体がおこなう行政指導や条例に根拠を有する処分・届出についても、本法の規定の趣旨にのっとり、行政運営における公正の確保と透明性の向上を図るため必要な措置を講ずるよう努めなければならないこととされている（法第2条）。

したがって、国家公務員であれ、地方公務員であれ、公務員一般にとってはその正しい理解は不可欠といえる。今後、この手続法が法の目的を理解し所期の効果を発揮しうるか否かは、行政と並んで国民一般が本法を積極的に活用しようとするか否かにかかわるところが大きいと考えられるのである。

温泉法と行政手続法

第二次大戦後、わが国で温泉に関する唯一の衛生取締法規として制定された温泉法（昭和23年 法律第125号）は、すでに上に述べた「行政手続法の施行に伴う法律関係の整備に関する法律」（平成5年 法律第89号）で、その一部が改正された。これと並んで、温泉施行令（昭和59年 政令第25号）と温泉施行規則（昭和23年 厚生省第35号）も、それぞれ、その一部が改正をみた。いずれも、当該行政手続法の施行に合わせて、平成6年（1994）10月1日から施行されている。

(1) 温泉法と知事の許可をめぐる問題の再検討

行政（法）学界で多年の懸案とされてきた行政手続法が制定されたのを機会に、温泉法に定める知事の許可をめぐる諸問題を、ここで再検討してみることにはしたい（環境庁自然保護局監修『逐条解説温泉法』参照）。

戦前にあって、温泉（鉱泉）は、強い国家権力の支配下で各地方長官のもとに所管され、とかく権力的・高圧的な警察行政として行われていた。戦後は、そのような警察権力から、民主的・非権力的な保健所行政に移管された。戦前の鉱泉取締規則（注一大分県のそれは明治45年6月5日制定 県令第32号）時代の歴史的背景と反省の上に作られた温泉法は、今回制定の行政手続法の趣旨をいわば先取りする形で、その行間に十分な配慮が加えられているように思われる。たとえば第3条（土地掘削の許可）、第4条（許可の基準）、第5条（工事の未着手又は中止による土地掘さく許可の取消）をはじめ、第7条（原状回復命令）、第8条（増掘及び動力装置の許可）、第9条（温泉採取制限命令）、第12条、第17条、第18条、さらに諮問及び聴聞の規定が第19～21条に置かれており、その内容は、行政手続法のそれと重複している点が少なくない。

以下に、それを具体的に見ていこう。

— 温泉法は、掘削許可の責任を明確にするとともに、不許可事由を明記して不透明性の除去に努めている。すなわち、その第4条で「都道府県知事は、……のときの外は、前条第1項の許可を与えなければならない」と明記し、民法上の法理（第206・207条）に因る「温泉掘削の自由」の原則を打ち出している（川島武宜他編『温泉権の研究』）。また、不許可の不利益処分を受けた場合には、申請人の人権利益の擁護に慎重な手続を設け、同条後段で「不許可の処分には、理由を付した書面をもってこれを行わなければならない」と義務づけている。

一般に、行政処分は、申請人の申請内容に拘束されない、いわゆる単独行為であるから、申請内容の中に不許可事由を生じるおそれ（虞）のある部分について許可を与えること——たとえば申請口径100mmを50mmにしぼって許可するなど——は差し支えない、と解される。なお、申請内容に不許可事由が存しない場合、その許可処分は羈束行為であるから、附款を付する余地がないことは述べるまでもない。だが、不許可事由が存するにもかかわらず、これを許可する場合は羈束裁量行為と考えられることから、一定の限度において必要な附款を付すること——たとえば既存の源泉を埋没すべき負担を課して新たな掘削を許可するなど——はできる、と解されている（上掲『温泉法』）。

つづいて第20条には、温泉審議会の意見を徴収（聴取）しなければならない場合として、第3条第1項、第4条、第8条第1項または第9条の規定による処分を挙げている。いずれも、これらの処分は、高度の専門的知識を要するものであり、かつ相手方および関係人の利益に関するところが大きいので、処分の適正を期するためのものである。

さて、第4条の許可・不許可の基準で問題となるのは、①知事の諮問を欠く処分と②持ち廻り審議による諮問の処分である。

①の問題——温泉審議会の答申は、知事の処分に対して法律上、拘束力を有するものではないが、諮問による答申は行政処分の適法要件と解されている。そのため、諮問を欠く答申は瑕疵あるものとし、原則として取消の対象になると考えられる。行政法学上、いわゆる「行政行為の瑕疵（または瑕疵ある行政行為）」の問題として、違法の場合（行政行為が法の定める要件に適合してない場合）または不当な場合（公益に反する場合）には、その行政行為は完全にはその効力を生じえない、と説かれている（『行政法講座』）。この問題にかかわる温泉行政訴訟事件で、最高裁は「（審議会の意見を聞かないでした）知事の許可処分は当然に無効になるものとは解しがたい」とした控訴審の見解を支持している。この点については、次節で述べることにする。

②の問題——本来、審議会の開会は、意見を異にする委員が一堂に会して専門的立場から討議し、結論を導き出すのが筋であるから、持ち廻り審議の方式は、たとえ緊急性があるからといっても変則的で、望ましいものでないことは明瞭であろう。これについても後に述べる。

さらに進んで、温泉法第21条以下の公開聴聞の規定を見よう。その趣旨は、第5条、第6条、第9条および第18条の規定による不利益処分に対して弁明の機会を与え、行政庁の一方的な処分により相手の利益が不当に侵害されることを防止しようとするものである。換言すれば、聴聞の制度は、その取消処分をするに当たって公正かつ透明な手続を法的に保障し、その処分の原因となる事実について、当事者（代理人）に対して自らの防禦権を行使する機会を付与するための手続なのである。したがって、この公開聴聞は、上記各条文に掲げる有効要件と解される。よって、聴聞を経ないで行った処分は、原則として「無効」と解してよいであろう。しかし、それはあくまで原則であり、例外が認められることもありうる（次節で触れる）。また、本人またはその代理人が「正当な事由」なく出頭しないときは、自ら弁明の機会を放棄したもの（防禦権の放棄）と認められるから、聴聞を経ることなく直ちに処分を行っても差し支えない。その法的根拠には、民事訴訟法第140条が準用されよう（当事者の一方が口頭弁論の期日に出頭しない場合は、相手方の主張する事実を認めたものとみなされる）。開会の場所については

特別の定めはなく、また、その通知は期日の約1週間前に到達すればよい、とされる（旅館業法第9条参照）。その方法は、公開でなければならない。

(2) 本県での掘削許可の取消と聴聞の実施（概要）

温泉法は、その第5条で「許可の日から1年以内に工事に着手せず、又は許可後1年以上その工事を中止したときは、都道府県知事は、その許可を取り消すことができる」と定める。だが、全国一の“温泉県”を誇る大分県では、本条をストレートに適用せず、同条の「但し書き」（やむを得ない事由がある場合はこの限りでない）の趣旨を尊重し、さらに猶予期間を1年延長し、2年経過してなお未着手または工事中止をその取消の対象としてきたのである（「掘削等許可取消事務処理要綱」）。

ここで、問題点は2つある、と考える。すなわち、それは①温泉掘削の「許可」処分の特異性であり、②未着手または工事中止の源泉（以下「未着手源泉」と称す）の果たす社会的＝法律的機能、である。第1点。— 本来、温泉の掘削「許可」処分は、単に温泉源を掘削することの許可に尽きるものではなく、掘削により湧出する温泉（源泉）を使用する利益を与えることに本旨があるのであって、かように温泉の使用を可能にする事実行為（掘削）を抜きにしては考えられない許可処分を、申請人の理由で全く着手せず、または着手しても未完成のままに放置すること（掘削の完全不履行または不完全履行）は、本来許されないというべきであろう。この点については、あとに触れる山口地裁の判決（昭和46年4月26日判決）が参考となろう（上掲『温泉法』P.307参照されたい）。

つぎに、第2点。— 掘削許可が一旦出されると、その後、それが未着手温泉であっても、いちおう法律上の権利——一般的禁止を解除するという「許可」処分に因り生じる社会的＝法律的利益——として、それは将来掘削により湧出可能な源泉として法的保護の対象となり、既設源泉と同様の距離制限の機能を事実上営むことになる点である。そうしたことから紛争を生じ、新規掘削者の掘削の自由を制約することは人権の侵害にもなりかねないであろう。温泉の適正利用の上からも、法のもつ公正性の上からも、それは許されることではない。

つづいて、本県での掘削許可取消と聴聞の実施状況を見てみよう。

大分県では、今年（平成7年）3月、県知事による温泉掘削許可の取消とその聴聞を実施した。根拠法規は、温泉法第5条・第21条と行政手続法第13条・第15～28条である。その実施手続として、聴聞の期日は第1回が3月14日、第2回が同16日、実施時間は両日とも午前9時から午後5時までで、場所は大分県婦人会館、方法は公開聴聞であった。その対象者は、①温泉掘削許可の日から2年を経過して工事に着手しないものと、②掘削工事を中止した日から2年を経過してなお工事を再開しないものであり、その該当件数は105件であった。このうち、所在の確認が判らない19件を除く86件（84人）に対して、聴聞期日の1週間ほど前に到達するよう県から通知状が発送された。

聴聞実施の理由（社会的背景）としては、④全県的に、温泉地での工事未着手または工事中止のまま放置の許可件数が増大したこと、⑤行政手続法の施行で聴聞手続が整備されて社会的機運が熟したこと、⑥長期間にわたり未着手や工事中止の状態に対して既設温泉権者や周辺住民の掘削申請者から苦情や改善の要請が高まってきたこと、⑦その他、温泉行政推進上、このまま放置できない事態となったこと、などが挙げられる。本県には温泉が多く、その湧出孔も全国のうち約1割を占めるほどであることから、県では温泉行政に鋭意努力を重ねた結果、温泉関係法令も年を逐って整備され、保護地域の指定や掘削距離制限などの規制が設けられるに至った。そのため、既設温泉権者どうしや新規掘削者との間でとかく紛争を生じ、温泉行政推進の上でも好ましくない事態が生じたことも否定できない事実であった。

つづいて聴聞実施の状況を見ると——聴聞に応じたのは第1回（3月14日）が38件（35人）、第2回（同16日）が32件（32人）で合計70件（67人）であった。聴聞の結果判明したことは、総件数86件

のうち、掘削工事が完了しているのは僅かに5件で、「掘削の意思なし」と認められたものは21件に及んだ。この21件に対しては、さる5月21日、知事名で掘削許可が正式に取り消された。

なお、聴聞の内容を分析した結果では、「やむを得ない理由がある」と認められたものは27件、聴聞の通知に対してなんら連絡なく出頭しなかった（聴聞不出頭）もの18件、また「やむを得ない理由がない」とされたものが7件となっている。県が「やむを得ない理由」（正当な事由）と認めた事例では、「掘削ボーリング業者（が多忙でその）順番待ち」が最も多く、なかには「風倒木（が邪魔して）で掘削機が搬入できない」（湯布院町）から「昨年夏から秋にかけての渇水で掘削工事に必要な水が確保できない」（九重町）といったケースも見られた。これらについては「正当な事由」に該当するとみなされ、着工の延期が認められることになった。逆に、「正当な事由なし」とされたのは「バブル経済の崩壊で資金繰りがつかない」がほとんどで、これらは先の不出頭18件とともに近く取消処分になる模様で、その件数は40数件に及びそうだと県では伝えている（県環境企画課温泉係提供資料）。

叙上のように今回の掘削許可処分の取消と聴聞の実施は、未着手の源泉を調査・整理して正確な実態を把握する一方、距離制限の規制の緩和につもつながり、併せて、最終的には「温泉の利用の適正化を図る」とする温泉法の目的にも合致すると考えられ、多くの県民に好感をもって迎えられている。参考までに、全国的に見て、毎年掘削許可の取消処分をしている県は鹿児島県1県のみであるが、過去5年間に取消処分を実施したことがあるのは11道府県を数えることができる。源泉孔数が多く（平成6年現在—4,534孔）、毎年かなりの数の各種申請が提出される本県では、毎年このような措置をとることは事務的に困難であるにしても、2、3年に一度程度の実施が望ましいと考える（私見であることをお断りしておく）。

3 温泉権紛争と行政訴訟事件

温泉権紛争は、当事者間で、または第三者による斡旋や調停で解決しないときは、温泉行政訴訟事件へと進む事例が見られることも、珍しいことではない。それらの訴訟形態は、その特異性から行政訴訟事件が多く、その類型としては行政処分取消請求訴訟、もしくは無効確認訴訟である。ここでは代表的な事例（2例）を取り上げ、温泉権紛争の視点から、その概要を述べることにする。

(1) 温泉掘削許可処分取消請求事件（福岡県二日市温泉）

第1審 福岡地裁 昭和29年6月2日判決

昭和27年（行）第43号 棄却 原告△△△△ 被告 福岡県知事

第2審 福岡高裁 昭和31年11月8日判決

昭和29年（ネ）第500号

上告審 最高裁 昭和37年7月1日判決

昭和39年（オ）第128号

本事案は、温泉法第4条にいう「公益を害する（^{おそれ}虞のある）」の公益の概念とその態様、公益と私益との関連などで争われたもので、先例として、その後の温泉権訴訟に重大な影響を与えたものである。最高裁判決をあえて極言するなら—温泉掘削に際しては既得温泉所有権の保護を考慮せず、温泉濫用の法理をも否定して、当該掘削をもって適法な権利行使として認める画期的結論を示したのである。

具体的に述べるなら、二日市温泉（福岡県）の温泉組合では、新しい掘削は既設の湯口から60間（注—1間は1.8m）以上隔てなければならぬ旨の申し合わせをしていたところ、この申し合わせを破って掘削した者が現れたため、既得温泉所有権が侵害されるとして掘削禁止の訴訟を起こしたものである（第1審）。第2審（福岡高裁）では、既設温泉所有者も新規掘削者も、自己の土地所有権の効果として「共に地下水の一種たる温泉を平等に利用する権利を有する」ことを認めた上で、新規掘削により既設温泉井の温度、湧出量、成分に与える影響が比較的軽微で、これがため既設温泉所有者に著しい損害を

及ぼし、または営業を困難ならしめる等のことがない限り、権利濫用（民法第1条③）とならず、掘削禁止を請求しえない、とした。その上告審である最高裁もまた、これを支持し、新潟県の掘削で既設温泉に軽微な影響があっても、権利濫用にならないとしたのである（詳細は『注釈民法』第7巻P.631～参照）。

叙上の最高裁の判旨に即する限り、掘削の許否は、新たに温泉の掘削が「公益を侵害するものであるか否か」を唯一の基準として決せられる、と解される。すなわち、その掘削が既存の温泉権者の私権を侵害するか否かは、これを問わないとしたのである。したがって、新たな掘削による既設温泉への影響について侵害者と被侵害者との間に私法上、協議が整っているからといっても、当該掘削が「公益を害する（虞がある）」と判断される以上は、これを不許可にすべきである、とする。また、不許可事由とされる影響は、必ずしも既存の温泉でなくてもよい。たとえば、これまで温泉の存在しない未開発の地方（未湧出地域）において、隣接した地点に新しい数件の掘削が同時に申請された場合、これらの全てを許可すれば相互の温泉に相当の影響を及ぼすことが予想されるときには、温泉源の保護に必要な範囲内で、その申請の一部を不許可にし、または申請内容を限定して許可することが望ましい、とする（以上、上掲『温泉法』）。なお、紙面の都合で、以上の報告内容について一切私見は加えないことにしたい。

(2) 温泉動力許可処分取消請求事件（島根県温泉津町）

第1審 松江地裁 昭和34年11月29日判決

昭和30年（行）第1号 原告△△△△ 被告島根県知事

第2審 広島高裁 昭和38年12月25日判決

昭和35年（ネ）第5号

上告審 最高裁 昭和46年1月22日判決

昭和39年（行、ツ）第20号 棄却

本事案の争点は、①温泉審議会の意見を欠く行政処分の有効性、②持ち廻り決議の方法による処分の妥当性、③原告適格性の適否の問題であった。

第1審（松江地裁）は、判決要点として、①温泉審議会の意見を欠くのは「重大な瑕疵」を有する処分であること、②持ち廻り決議の方法による意見は認められないとして許可処分は無効とした。第2審（広島地裁）は、①について審議会の意見を聞かないでした許可処分の瑕疵は、処分後に右意見が表明されたにしても「治癒されないと解すべきである」とした。だが、審議会の意見を聞かずにした許可処分も「当然無効ではないと解すべきである」とその有効性を認めている。最高裁もまた、この見解を支持しているのである。

この行政訴訟事件で興味を呼ぶのは、法第20条をめぐる裁判所の採った判断である。上にも触れたように、温泉審議会の諮問は、行政処分の適法要件と解されることから、諮問を欠く処分は瑕疵ある行政処分として取消の対象となりうると考えられている。しかし、この点に関して最高裁は、審議会の意見徴収は「知事の処分の内容を適正ならしめるためであり、利害関係人の利益の保護を直接の目的としたものではなく、また、知事は右の意見に拘束されるものではないと解される」として「その瑕疵は取消の要件としてはともかく、本件許可処分を無効ならしめるものということとはできない」として、第2審の結論を支持しているのである。

— 行政法学上、「瑕疵ある行政処分」は無効とされ、または取消の対象とされると解するのが一般的である。だが、相手方の信頼保護とか法的安定性の維持とかの見地から、例外的に、その無効または取消を主張しえないとされることもある（『現代行政法講座』）。本事案は、まさに最高裁により、その例外とされたケースである。思うに最高裁の判断は、その第2審で、たとえ控訴人（島根県知事）の控訴事実を認めても、その後の温泉行政運営の上で温泉法第8条の趣旨は活かされ適法に執行されるであろう

と期待する、いわゆる「瑕疵の治癒」の事後効果を認めたからではあるまいか（もちろん、私見に過ぎないが）。

つぎに、問題④の点である。本来、審議会の開会は取り立てて述べるまでもなく、意見を異にする委員が一堂に会して討議により統一的な意見を議決する会議制の機関であるから、いわゆる「持ち廻り審議」による諮問は、審議会設置の本旨に合わず極力、避けるべきであろう。第1審は、この見解をストレートに肯定するが、第2審では「控訴人（知事）は審議会を開いても、持ち廻り審議の方法によっても、同一の結論になることが明らかなきは、持ち廻り決議の方法も認められる」と主張するが、この見解は「独自の見解」で採用できない、と否定した。大方の賛同が得られるであろうと考える。

4 結 び

本課題「温泉権紛争の調査と研究」の報告シリーズも、本号で5回目を迎え、いちおう終ることになった。平成3年（1991）度～本誌第42号での第1回報告から、すでに5年の歳月が経っており、古稀を迎えた私にとっても、ある種の感慨を禁じえない。

県下の温泉地での紛争については、これまで度々報告してきた（注1）ところであるが、本題執筆の直接の動機となったのは、昭和56年（1980）に始まった「温泉法と地熱開発セミナー」東京研修会（注2）で、地熱開発の全国委員であったことから、講師の1人に選ばれて研究報告したときである。

将来、いつの日か、温泉権紛争のテーマで体系的な調査と研究を進めたいと思っていたが、その機会が実現したのが本シリーズであった。この5回の調査報告を回顧するとき、立論の方法論や展開内容、また具体的事例へのアプローチの甘さなど、今から想えば汗顔の至りである。

本シリーズ最後の本号で「行政手続法」の制定と施行に触れることができたのも、私の温泉法研究生活30年のうち、よい思い出となることだろう。この手続法の制定問題をめぐっては、私の所属する日本公法学会（会員数約800名）でも何回か研究テーマの1つに掲げられた。そこでの研究課題は、行政行為（紛争）をめぐって「法的予防システム」をどう構築するかなどの問題が熱心に討議されていたのを今、思い出す。また、日本法社会学会（同じく約400名）でも、過去何回か「法的紛争解決」「法的過程とコミュニケーション（争いと裁判）」などの問題が討議された。そこでは、紛争の発生を未然に防止するためには、予め「法の何たるか」を示すとともに「どのような要因で紛争が生じ、どのような形態を経て、どう解決しているか（いくべきか）」とか「具体的事例はどうか」（事例研究と体系的整序など）などが中心テーマであり、私の温泉権紛争の研究にもたいへん役立ったのであった。—「社会あるところ必ず法あり」の命題は、また「温泉のある社会に紛争は絶えることなし」にも通じるように思えてならない。

ここに報告した温泉の争訟事例も、戦前のような単純・平盤な争い——行政庁と、その相手方となって、不利益な処分を受けた市民との1対1の二面関係——ではなく、昨今のそれは、不利益（被害）の多面的複合的調整を要するものに質的に転化している、と考えられる。すなわち、従来のシステムは二面関係を中心にしてきたが、近時のそれは、環境問題・土地利用問題・消費者保護などを見ても分かるように、一方の者に利益を与えると同時に他の者には不利益を課することになる、いわゆる「複合的（二重効果的）行政処分が増えてきている」ことである（『基本法学（8—紛争）』）。こうした三面（角）関係の事例においては、行政処分により不利益を受ける第三者が救済を求めうるかが大きな問題となるが、こと温泉にあって県下の温泉地の実情は、第二次温泉権の利用が種々の形態で展開しており、不利益者の温泉利用の社会的需要を充たしているため、地域的紛争に発展した事例は、さほど多くない。しかし、それが紛争要因となってきた社会的事実、これを否定すべくもないところである。

本シリーズ（1）で、温泉に関する紛争類型を「権利紛争」と「掘削紛争」の2型に分けた私の立論に対しては、異論があるかもしれない。それは暫く置くとして、前者の紛争発生の法的基盤は温泉法の存立にある、と考える。すなわち、現行「温泉法」などの性格が基本的には衛生取締法規であって、権利義務の法律関係

や内容を規定する実体法（実質法）ではない、ということである。そのため、温泉に対する権利がそもそものような権利なのかで不透明性（不確実・不確定性）を残したまま、戦後、温泉法の解釈と運用がなされてきた事実を指摘せざるを得ない。温泉権の何たるかを法的に確立しないまま、判例の積み重ねで温泉争訟に臨まざるを得なかったことが、この権利紛争を一層混乱させたと言わざるを得ない。それについて解説を加える余裕は、ここにはない。今後、温泉に対する権利の内容や性格を明確にする実体法規の制定にまつ他に解決の道は見出せないであろう。

また、掘削紛争についても、権利紛争の要因と直接・間接に結び付いていることは、論ずるまでもない。これについても体系的にその類型を整理し、未然に紛争を防止するために、行政が適切な措置を講じることの必要性は、本稿での掘削未着手源泉の増加に伴って採られた本県での許可取消処分がそのよい前例となるであろうと考えられる。

注(1) 筆者の温泉法（権）関係の論稿の題目と発表雑誌名（年月日）は以下のとおり

① 「温泉権訴訟と鑑定書をめぐって」	「生活と科学」 第 10 号	昭和42年 3 月
② 「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	“ 43年10月
③ 「別府温泉の法社会学的研究」	「生活と科学」 第 11 号	“ 43年11月
④ 「由布院地方における温泉権の実態」	「大分大学紀要」 第 3 巻第 4 号	“ 44年10月
⑤ 「別府地方における温泉権の研究」	“ 第 3 巻第 5 号	“ 45年10月
⑥ 「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	“ 47年 3 月
⑦ 「温泉法に関する問題点の考察」	“ 第 24 号	“ 48年 3 月
⑧ 「温泉行政」	「別府市誌」 第 5 編	“ 48年 8 月
⑨ 「宝泉寺における温泉権の実態（上）」	「大分県温泉調査研究会報告」 第 25 条	“ 49年 3 月
⑩ 「 “ （下）」	“ 第 26 号	“ 50年 3 月
⑪ 「別府温泉における集中管理構想」	“ “	“ “
⑫ 「筋湯における温泉権の実態（上）」	“ 第 27 号	“ 51年 3 月
⑬ 「 “ （下）」	“ 第 28 号	“ 52年 3 月
⑭ 「長湯温泉の温泉権の実情」	“ 第 29 号	“ 53年 3 月
⑮ 「天ヶ瀬における温泉権の実情」	“ 第 32 号	“ 55年 3 月
⑯ 「温泉と地熱開発をめぐる法的諸問題（上）」	“ 第 33 号	“ 56年 3 月
⑰ 「 “ （中）」	“ 第 34 号	“ 57年 3 月
⑱ 「 “ （下）」	“ 第 35 号	“ 58年 3 月
⑲ 「地熱開発と温泉法」	F・T・S 社編『ローカル・エネルギー開発と関連法規』	“ 57年 9 月
⑳ 「大分市における温泉開発の現状と法的問題」	「大分県温泉調査研究会報告」 第 36 号	“ 59年 3 月
㉑ 「地熱開発と温泉法（Ⅰ）」	「地熱エネルギー」 第 10 巻第 1 号	“ 59年10月
㉒ 「 “ （Ⅱ）」	“ 第 10 巻第 2 号	“ 60年 4 月
㉓ 「県下の温泉地における集中管理（上）」	「大分県温泉調査研究会報告」 第 37 号	“ 61年 3 月
㉔ 「 “ （中）」	“ 第 38 号	“ 62年 3 月
㉕ 「 “ （下）」	“ 第 39 号	“ 63年 3 月

注(2) 本課題報告シリーズ（Ⅰ～Ⅴ）は、(財)新エネルギー財団が昭和 56 年度から同 61 年度にかけて例年主催した地熱開発セミナー（東京六本木 公務員研修センター霞会館にて）で、委員であった筆者が担当した講目「地熱開発と温泉法」のうち温泉権紛争の分野を、今回改めて論文として本誌に報告することにしたものである。

〔参考（引用）文献〕

- 1) 川島武宜著 『温泉権』（岩波書店）
- 2) 同上（他編） 『温泉権の研究』（勁草書房）
- 3) 同上 『続温泉権の研究』（同上）
- 4) 同上（編） 『注釈民法(7) 物権(2)』（有斐閣）
- 5) 同上（著作集） 『争いと法（第3巻）』（岩波書店）
- 6) 同上 『慣習法上の権利（第9巻）』（同上）
- 7) 同上（他編） 『社会と法（法社会学講座7）』（岩波書店）
- 8) 同上（他著） 『入会権の解体Ⅰ～Ⅲ』（同上）
- 9) 芦部信喜 他監修 『紛争（基本法学8）』（同上）
- 10) 環境庁自然保護局監修 『逐条解説温泉法』（ぎょうせい）
- 11) 厚生省国立公園局監修 『温泉必携』（日本温泉協会）
- 12) 大分県「温泉事務手引き」（平成2年3月）
- 13) 宇賀克也著 『行政手続法の解説』（学陽書房）
- 14) 南 博方著 『紛争の行政解決手法』（有斐閣）
- 15) 武田軍治著 『地下水利用権論』（岩波書店）
- 16) 雄川一郎著 『現代の行政』（岩波現代法講座4）
- 17) 三ヶ月章著 『現代の裁判』（同上 5）
- 18) 辻 清明編 『行政の理論（行政学講座1）』（東大出版会）
- 19) 同上 『行政の過程（同上 3）』（同上）
- 20) 成田頼明 他編 『行政法講座（上）』（青林書院）
- 21) 渡辺洋三著 『財産と法』（東大出版会）
- 22) 同上 『日本の社会と法』（日本評論社）
- 23) 山本草二 他編 『未来社会と法』（筑摩書房）
- 24) 金沢良雄著 『水 法（法律学全集15）』（有斐閣）
- 25) 舟橋淳一著 『物権法（同上 15）』（同上）
- 26) 我妻 栄著 『鉱業法（同上 51）』（同上）
- 27) 原田尚彦著 『公害と行政法』（弘文堂）
- 28) 同上 『環境権と裁判』（同上）
- 29) 法律時報臨時増刊 『公害裁判』（日本評論社）
- 30) 佐藤達夫共編 『法令用語辞典』（学陽書房）

（あ と が き）

5年間の当該研究報告シリーズの執筆中、忘れられないのは一昨年2月22日新聞の朝刊で川島武宜教授（東大名誉教授）の訃報に接したことである。教授は、日本の法学界で、戦前・戦後を通じて民法学の重鎮、とりわけ戦後は法社会学創立の先駆者として大きな足跡を遺され、82歳で学問一筋の生涯を閉じられた。

亡くなる前年の11月上旬上京した折、世田ヶ谷の自宅に文化功労賞受賞のお祝いの電話をさし上げた。一どこからかけているのか、上京しているなら会いたい、今どんな研究をしているんだ、など聞かれた。明

朝別府に帰らねばならないと言うと、さも残念そうだった。来春上京した時、お訪ねすると約束して電話を切った。年末にカボス1箱を贈ったところ、丁重な礼状を頂いた。

想えば、昭和40年(1965)、内地留学のときの指導教官であった先生は、何くれとなく指導して下さり、学問研究の方法論とともに愛知の苦しみと喜びを身をもって示された。爾来、30年経つ。この間、私の研究テーマは温泉法と温泉権とに向けられ、いつしかライフ・ワークとなった。上京時に世田ヶ谷の自宅に立ち寄ると、喜代子夫人がよく手作りのケーキや料理を馳走して下さいました。その夫人も先生の後を追うように他界されたことを学会誌で知った。今後とも研究を続けることで、先生ご夫妻の冥福を祈って深い学恩に報いたい。

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は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) 温泉に関する図書及び機関紙の発行
- (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 役員の任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員の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。ただし、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 監事は会計及び会務を監査する。

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るとき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会の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整し、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) 前年度の事業及び決算

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ることができる。

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)

顧 問

大分県議会福祉生活
保健環境委員長 岩 尾 憲 雄
別府市議会議長 内 田 有 彦

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	釘 宮 勇	副 会 長
九州大学生体防御医学研究所教授	矢 永 尚 士	”
大分県保健環境部環境企画課長	石 川 公 一	常 務 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 蔵	”
京都大学理学部教授	由 佐 悠 紀	”
国立別府病院	安 田 正 之	”
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
” 名誉教授	延 永 正	
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	
大分総合検診センター理事長	辻 秀 男	
大分県教育委員会教職員第二課長	日 高 稔	
京都大学理学部助教授	北 岡 豪 一	
” 助教授	福 田 洋 一	
” 助 手	大 沢 信 二	
	大 内 太 門	
	大 石 郁 朗	
大 分 市 長	木 下 敬 之 助	理 事
別 府 市 長	井 上 信 幸	”
臼 杵 市 長	芝 崎 敏 夫	
杵 築 市 長	石 田 徳	
真 玉 町 長	安 永 信 義	
国 見 町 長	矢 野 丈 夫	
挾 間 町 長	川 野 秀 夫	
庄 内 町 長	佐 藤 三 千 生	

職 名	氏 名	備 考
湯 布 院 町 長	佐 藤 雄 也	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	〃
天 瀬 町 長	高 倉 柳 太	〃
本 耶 馬 溪 町 長	井 上 次 男	
玖 珠 町 長	濱 田 欣 次	
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	高 田 文 義	
大分県衛生環境研究センター所長	橘 宣 祥	理 事
別 府 保 健 所 長	渡 辺 英 介	監 事
別 府 市 観 光 経 済 部 長	小 林 健 三	
別 府 市 温 泉 課 長	須 田 一 弘	監 事
別 府 市 温 泉 課 課 長 補 佐	梅 木 武	
大分県保健環境部環境企画課課長補佐	小 手 川 純 一	
別 府 保 健 所 次 長 兼 総 務 温 泉 課 長	藤 内 誠 一	
大分県衛生環境研究センター化学部長	首 藤 武 巨	
〃 主幹研究員	久 枝 和 生	
〃 主幹研究員	恵 良 雅 彰	
〃 主任研究員	小 野 文 生	
大分県保健環境部環境企画課係長	後 藤 一 昭	書 記
〃 主任	三 好 一 夫	〃
〃 主事	和 田 広 路	〃

大分県温泉調査研究会報告 第46号

平成7年3月 印刷

平成7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
備大分プリント社
電話 32-3717