

大分県温泉調査研究会報告

第 50 号

平成 11 年 7 月

目 次

別府地域の地震(4)	由 佐 悠 紀	(1)
	馬 渡 秀 夫	
くじゅう火山群の湧水と河川水の安定同位体比とトリチウム濃度	北 岡 豪 一	(15)
	河 野 忠	
長湯温泉の温泉遊離ガスについて	大 沢 信 二	(19)
	大 上 和 敏	
	網 田 和 宏	
	由 佐 悠 紀	
噴気ガス化学組成の経時変化に関する研究	網 田 和 宏	(27)
	大 沢 信 二	
	由 佐 悠 紀	
温泉利用のできるリハビリテーション施設における問題点と 将来の方向性に関する検討(III)	安 田 正 之	(33)
環境行政と温泉法・温泉権(III) —21世紀へ向けて回顧と展望—	大 野 保 治	(37)
硫黄山水蒸気爆発に伴う周辺温泉の実態調査—第2報—	樋 田 俊 英	(53)
	西 海 政 憲	
	神 田 尚 徳	
温泉保全対策について	西 海 政 憲	(57)
	樋 田 俊 英	
	神 田 尚 徳	

序

大分県温泉調査研究会は、創立総会を昭和24（1979）年7月16日に挙げて発足し、本年で丸50年が経過しました。その機関誌「大分県温泉調査研究会報告」も、昭和25年3月に第1号が発行されて以来、途切れることなく毎年発行されて、ここに第50号を重ねることになりました。地方の研究団体が、これほどまでに長期にわたって存続し、しかも、大分県という限られた地域の温泉を対象として調査・研究を継続して行い、その成果を公表し続けてきたことは、高く評価されるべきものと思います。これはひとえに、歴代会員のご努力と関係行政機関並びに温泉所有者の方々のご理解・ご援助によるものであり、深い敬意と感謝を捧げる次第です。

この機に、初期の頃を振り返ってみますと、第2次世界大戦直後の物資不足を反映して、報告書の紙質は劣悪で、第3号などはわら半紙にガリ版刷りでした。また、故山下幸三郎先生が創立30周年記念誌「30年のあゆみ」で述べておられますように、温泉湧出量の測定に不可欠なストップウォッチさえ入手困難でした。そうした状況にありながら、きちんとした野外調査や温泉水の化学分析が行なわれていることに、驚きを禁じえません。

その後の社会の安定化と経済復興にともない、報告書の体裁も整って、第45号からはB5判からA4判へと大型化されました。また、調査研究の内容は、初期の温泉行政のための資料収集から、学術的な色彩の濃いものへと変化してきました。

本会の特徴の1つは、会員が多彩なこと（大学・行政機関の研究者・技術者と県市町村の実務担当者から成り、かつ、研究者の専門分野も地球科学・医学・法社会学とさまざまであること）ですが、もう1つの特徴は、調査研究課題のほとんどが研究者の自由な選択に任されていることでしょう。これが、本会を永続させてきた一因と思われます。しかし、反面、その学術性と専門性ゆえに、成果の地元社会への還元は、必ずしも十分ではないように見えます。このことについては、すでに「30年のあゆみ」に当時の副会長・栗原県環境保健部長が指摘しておられ、第43号の序文では、故吉川恭三前会長がその反省に基づいて、業績内容の普及に努めることの重要性を説いておられます。

本会の報告書が第50号の節目を迎えた今、温泉が私たちの生活と深く関わりあっていることに改めて思いをいたすとき、そうした方向への活動が、本会の今後のあり方の重要な側面になるであろうと考えております。

半世紀もの長い歴史を刻んできた大分県温泉調査研究会は、次への世紀に向かって新たな一歩を踏み出そうとしております。この重要な時に、長年にわたって本会を導いて来られた吉川先生を失い、微力の身でありながら、はからずも会長の務めを仰せ付かることになりました。本会のさらなる発展のため、会員の皆様を始め関係各位のなお一層のご鞭撻とご協力をお願い申し上げます。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

別府地域の地震(4)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
由佐悠紀・馬渡秀夫

1. はじめに

別府地域では局所的な地震が頻発する。その特徴は、谷(1937)によって初めて報告された。それから50年を経て、より詳細な観測と解析が行われたが、観測点数が不十分なこともあって、震源決定の信頼性に問題が残っているとされた(須藤, 1987)。他方、1989年から実施された別府地域一帯の地下構造調査の結果、この地域が活発な造構運動の場であることが確認され(由佐・竹村, 1994)、地震観測の高精度化はますます必要となった。

こうした点に鑑み、1993年3月より、京都大学地球物理学研究施設(現:地球熱学研究施設[BGRL])が構築した地震観測システムによる微小地震観測が開始された。システムの概要と1997年までの観測結果は、本報告47・48・49号(由佐ら; 1996, 1997, 1998)に公表されている。観測は引き続き実施され、さらにデータが蓄積されつつある。ここでは、1998年の観測結果を述べるとともに、1993年以降6年間のデータを整理して、地震活動の実態を報告する。

2. 1998年の概要

1998年1月から12月までの1年間に、観測された近地震の数は127個であった。末尾には、そのリストが掲げられている。なお、ここでの近地震とは、BGRLにおける初期微動継続時間(S-P時間)が約3秒以内のものである。観測された127個の地震のうちの70個は、九州管区気象台のネットワークでも観測された(震源リストに○印を付したもの)。最大マグニチュードは3.12で、この地震は8月13日4時25分頃、鶴見連山の内山山頂付近の海面下4.5kmで発生した。

図1に、1998年の震源分布を示す。前年までとほぼ同様に、ほとんど全ての地震が、別府北断層と朝見川一由布院断層に挟まれた地溝内で発生している。発生の様相も、従来と同様に群発的なものが多い。中でも明瞭な群発地震は、堀田一南立石で2月20日から21日にかけて発生したもの、および、伽藍岳の北西部で6月5日に発生したものである。前者では、およそ28時間の間に12個発生した(末尾の表では13であるが、内1個は亀川で発生した)。他方、後者では、およそ19時間30分の間に17個発生した。ただし、内3個は位置がやや外れている(図8の右下図参照)。

震源の深さは、従来と同様に、発生域の中央部で浅く、これから離れるにつれて深くなる傾向があるが、1998年には中央部でもやや深い地震が発生した。代表的なものは、12月17日16時16分32秒から18時51分4秒の間に、鉄輪で発生した3個の地震である(海面下14.6km, 21.8km, 17.8km)。

図2は、1998年におけるマグニチュード(M値)の頻度分布である。分布パターンは、M=1を中心にしており、前年までのものと比べて、最大マグニチュードがやや小さく、また、Mが1より大きい地震の頻度も小さい。

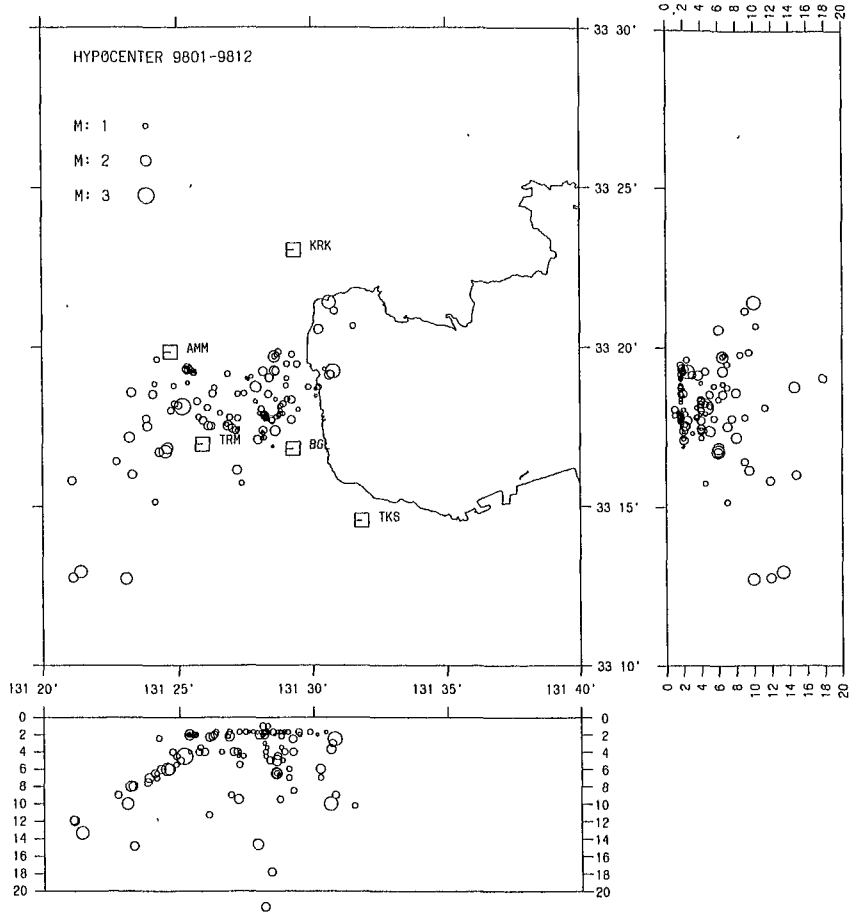


図1 1998年1月から12月における震源分布
 □印は観測点 (K R K : 唐木山, A M M : 天間, T R M : 鶴見岳,
 B G L : 京大地球熱学研究施設, T K S : 高崎山)

1998

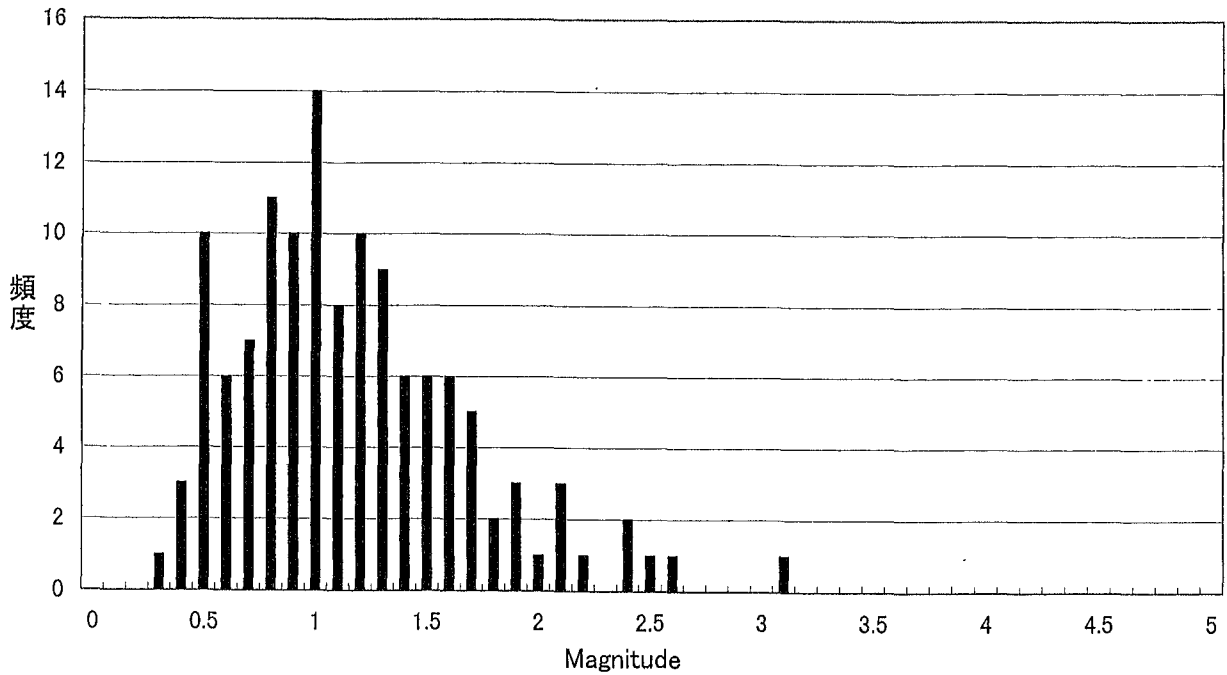


図2 マグニチュードの頻度分布：1998年1月-12月

3. 過去約6年間の地震活動

(震源分布)

この約6年間に観測された812個の地震(表1)の震源位置を、図3に示す。図中には、この地域の代表的な断層を描き加えた(活断層研究会, 1991)。ほとんどの地震が、北と南の断層群の内部(陥没帯)で発生していることが分かる。全体としては北東-南西に配列しているように見えるが、発生域はいくつかのブロックに分けられるようである。すなわち、亀川沖、鉄輪、扇山-南立石-堀田、鶴見岳-由布岳から南西方向に延びる範囲、および伽藍岳の北西部などである。このうち、扇山-南立石-堀田と鶴見岳-由布岳から南西方向に延びる範囲の2つのブロックで地震活動がとくに活発であり、これらの中間部は地震の空白域に近い状態にある。

他方、全体的な配列と共役的に北西-南東の2本の配列が見える。しかし、これらは震源決定手法の不備によるみかけのものである可能性もあるので、ここでは暫定的なものとし、今後のより詳しい解析をまちたい。

震源の深さは、大多数が海面下10kmより浅く、それより深い地震は少数である。また、1998年の震源分布(図1)について述べたように、地域の中央部で浅く、これから離れるにつれて深くなる傾向がある。

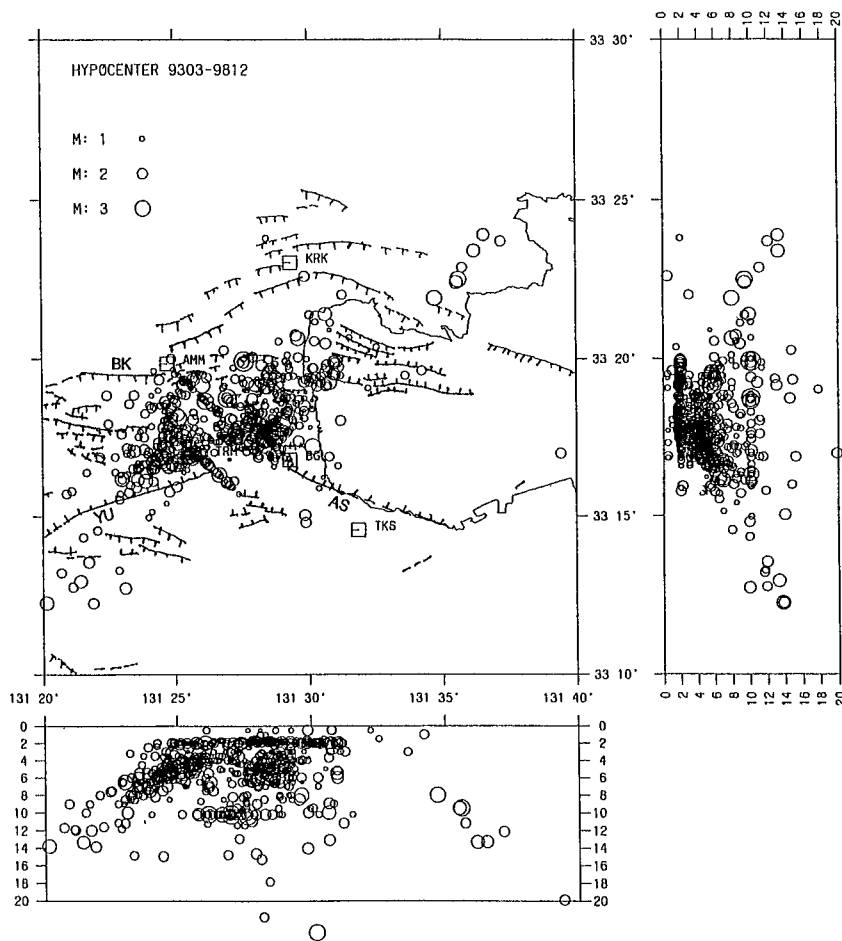


図3 別府地域の震源分布：1997年1月-12月
 線群は代表的な断層(毛羽を付けた側が落ち)
 BK：別府北断層，YU：由布院断層，AS：朝見川断層

(地震活動の変化)

1993年3月28日から1998年12月31日までに観測された近地地震の数を年別に集計して、表1に示す。ただし、1993年は3月28日以降の数である。また、図4には日別の頻度を示す。観測が開始される以前の1993年の1月から3月にかけても、しばしば地震が発生していたこと（京大地球熱学研究施設における有感地震の記録による）を参照すれば、1993年・94年・95年と年とともに静穏化に向かった活動の傾向が、96年・97年には一転して活発化し、98年には静穏化するというように、地震活動に消長のあることが分かる。また、図4より、地震の発生は、群発的なものの多いことが読み取れる。なお、1995年は全体としては静穏であったが、3月7日から15日にかけて、群発地震が発生したことを注記しておきたい。

表1 年別の地震数

年	地震数	備考
1993	91	3月28日以降
1994	96	
1995	81	
1996	173	
1997	244	
1998	127	
合計	812	

地震の日別頻度

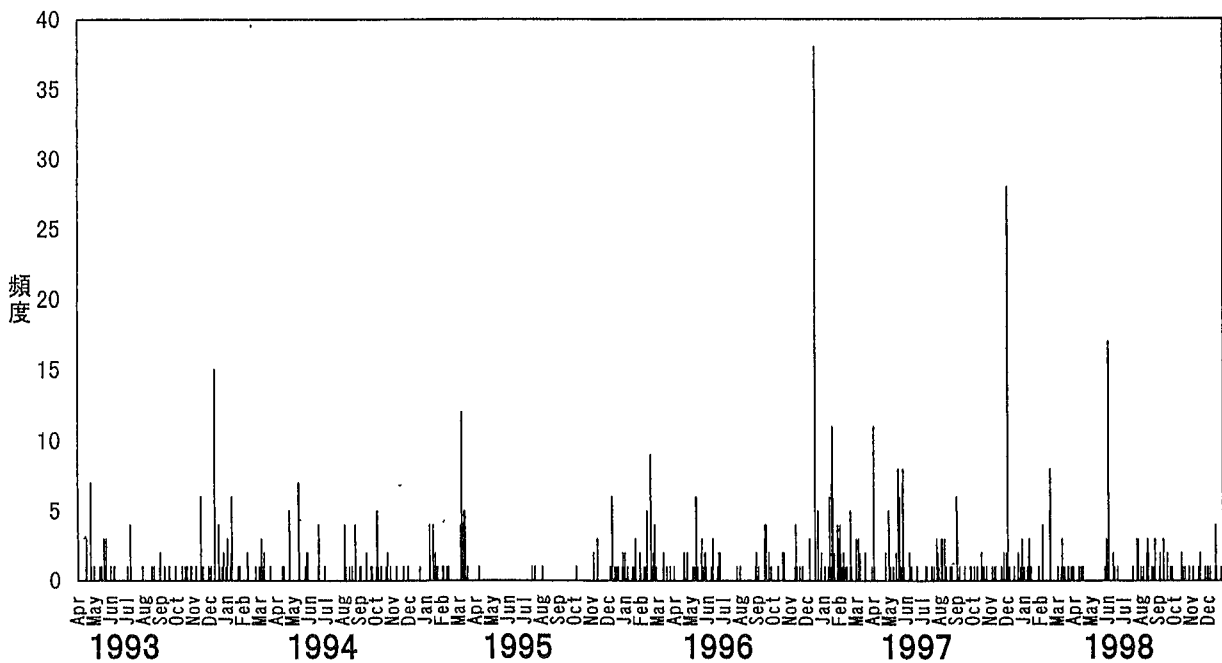


図4 地震の日別頻度：1993年3月28日－1998年12月31日

図5は、約6年間の全ての地震のM値を0.1刻みで集計した規模別頻度分布である。M値は0.3から3.7の範囲にあり、頻度のピークはM=1、また、M<0.8の地震の数は少ない。このことは、この観測システムによるサンプリングの代表的なマグニチュードの閾値が0.8-1.0付近にあることを示唆しているように思われる。

図6には、M値に対する累積地震数の関係を示した。点の分布は、浸透理論から予測されるような上に凸の傾向にあり（宇津，1984）、閾値は必ずしも明確ではない。図中の直線は、試みにM≥

0.80の範囲を対象に最小二乗法によって求めた回帰線であり、 b 値は0.93である。この値は、全世界の地震について一般的な値の範囲にある（宇津，1984）。なお、 $M \geq 1.00$ での b 値は0.97、直線性が比較的明瞭な $1.60 \leq M < 3.30$ での b 値は0.98と、若干大きい程度である。

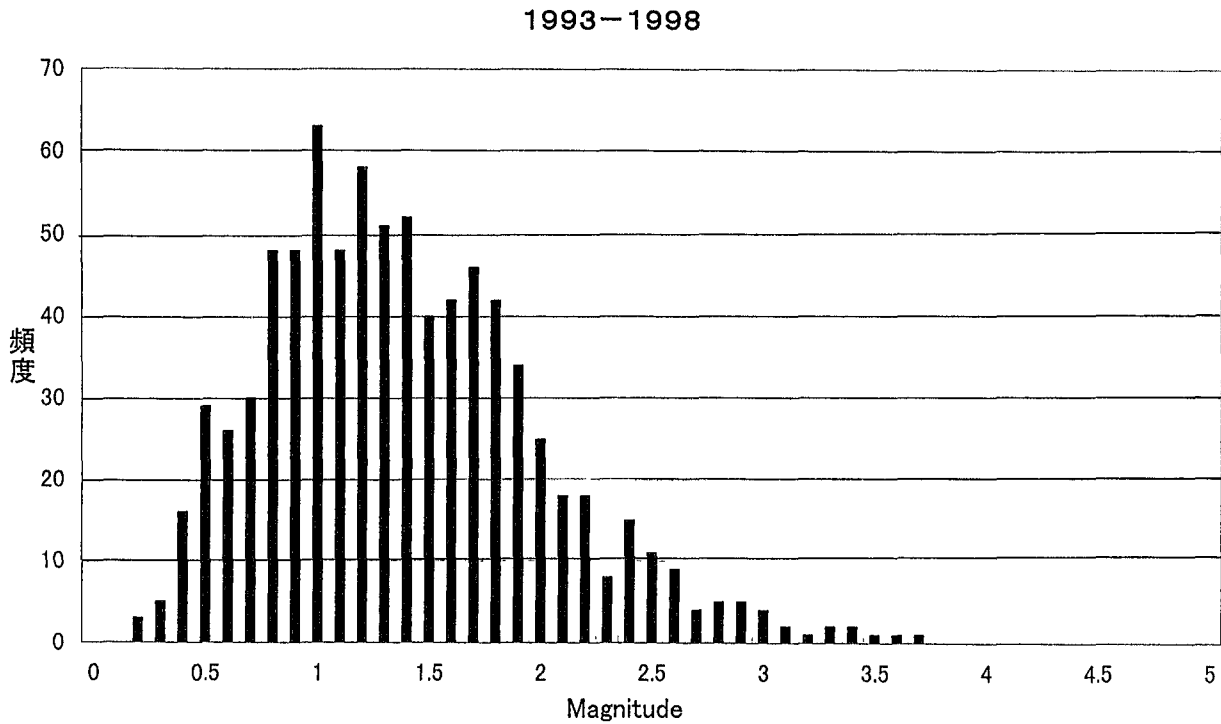


図5 マグニチュードの頻度分布：1993年3月28日－1998年12月31日

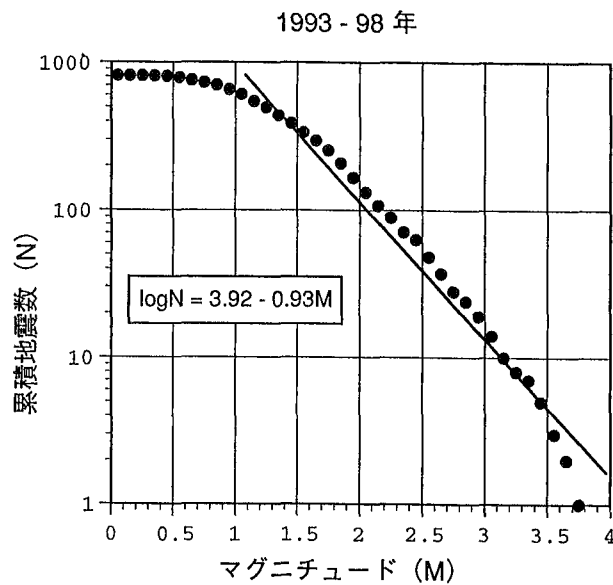


図6 マグニチュード(M)と累積地震数(N)の関係：
1993年3月28日－1998年12月31日
直線は、 $M \geq 0.8$ の地震に対する回帰線 ($b = 0.93$)

須藤（1987）は、1985年3月から1986年6月までに鶴見岳山頂の地震計で観測された記録から、鶴見山頂付近で発生する地震群Aとその他の地域で発生する地震群Bの2種類の地震を見いだして

いる。ここで報告している地震は、その発生場所と地震波形からみて、すべて地震群Bに属し、地震群Aは観測されていない。当時の観測結果から、地震群Bのb値として1.1が示唆されたが、ここに得られたb値は小さい。

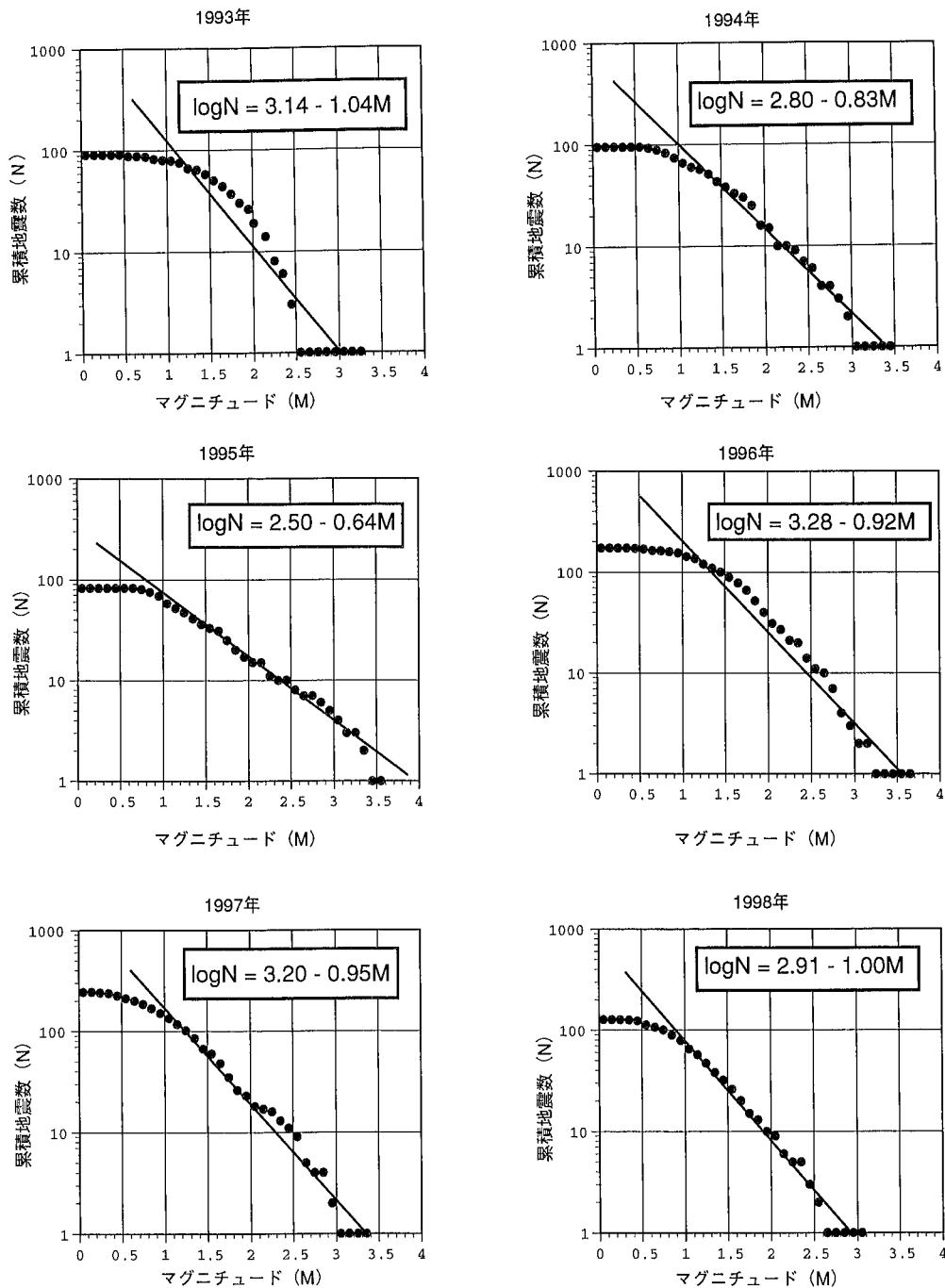


図7 各年におけるマグニチュード(M)と累積地震数(N)の関係

さてb値は、地震の集団の性質を表わす重要なパラメータであり(宇津, 1984)、地域により、また同じ地域でも時期により異なる(たとえば、須藤, 1981)。別府地域においては、図4に見られるように、地震活動の時間的消長が顕著であり、また、時期によって主要な活動域が変動する。そこで、b値の変動を大づかみにみるため、試みに、各年におけるM値と累積地震数の関係(図7)

からb値を求めてみた。図中の直線は、図6と同様に $M \geq 0.80$ について求めた回帰線である。1993年を除けば、b値は、図中の回帰式に示されているように、0.64から1.00の範囲にある。この内、b値が小さいのは地震数が少なかった1994年と1995年であり、地震数が増えた1996年と1997年はb値が大きい。以上の各年における最大のマグニチュードに大きな変化は無いので、地震数の増加は、比較的大きな地震（M値が1.5より大きい）の増加によると言える。他方、1998年は地震数は減少したが、b値は大きい。これは、前述のように、M値の大きな地震が少なかったが、最大マグニチュードも小さかったことによるようである。

なお、1993年は観測システムが未完成の状態であったので、他の年と同列に取扱うことはできないかもしれないが、累積地震数の分布が直線的にみえる $1.90 \leq M < 2.40$ でのb値はかなり大きく、1.82と求められた。累積地震数の分布からみても、須藤（1987）による1985年3月から1986年6月までの状態と似通っている。

以上のように、年単位で求めたb値は、必ずしも明瞭ではないが、地震活動が活発化する（地震数が増大する）と大きくなるような傾向がある。これは阿蘇で得られた結果（須藤，1987）と逆であり、統計法の検討も含めて、今後の課題としたい。

4. 群発地震

群発地震の定義は必ずしも明確ではないが、一般的には「限られた時間・空間の範囲内に一群の地震が発生したとき、それらの大きさが同程度で、前震・本震・余震の区別ができにくいもの」と理解しておけばよいようである。ただし、地震群の発生範囲も継続時間もまちまちで、ひとつの群発地震は数時間から数週間、ときには数年あるいはより長期にわたって継続する（浅田，1972）。これまでのところ、別府地域の地震は、消長があるとは言え、前震・本震・余震の区別はできにくいので、地震全体を1つの群発地震と解することもできるかもしれない。しかし、ここでは、より小地域・短期間に発生する地震群に着目する。

たとえば、谷（1937）は1930年4月25日から30日にかけて、Wiechert地震計を用いて222個の地震を観測した。現在の観測システムならば、より多数の地震を観測したに違いない。須藤（1987）は、1985年3月から1986年6月の間に、鶴見山頂の地震計によって、地震群Aについて20回、地震群Bについて11回の群発地震を観測している。1993年3月末以降の、新しい観測システムによっても、図4からうかがわれるように、多数の群発的な地震が観測されている。ただし、5カ所の地震計から成るこのシステムでは、3カ所以上で波動が検出されたものだけを地震とみなすので、規模の小さい地震は記録されず、したがって1回の群発地震に含まれる地震の数は少なくなっているものと思われる。

この約6年間において、発生域が限られている群発あるいは群発の疑いのあるものは、少なくとも41回を数えた。多発する場所は、（震源分布）の項に記されたブロックである。継続時間は、短いもので数分、長いもので9日、多くは数時間から十数時間である。この内、一群に含まれる地震数が10個以上のものが11回あった。表2は、そのリストである。亀川沖がリストに

表2 10個以上の地震を含む群発地震

期間：年.月.日.(時:分) - 月.日.(時:分)	地震数	マグニチュード	発生場所
1993.12.12.(12:10) - 12.12.(17:18)	14	0.72 - 3.29	堀田北
1995.03.07.(13:33) - 03.15.(20:05)	33	0.74 - 3.54	南立石
1996.12.19.(12:03) - 12.19.(17:43)	38	1.30 - 3.05	鶴見-由布
1997.01.20.(13:27) - 01.21.(05:23)	17	1.06 - 2.66	鶴見-由布
1997.04.05.(22:17) - 04.06.(00:00)	12	0.24 - 1.89	扇山東麓
1997.05.19.(18:16) - 05.20.(02:10)	10	0.77 - 2.90	扇山東麓
1997.05.27.(15:26) - 05.28.(10:24)	11	0.59 - 2.62	鉄輪東
1997.09.04.(20:39) - 09.05.(09:54)	11	0.49 - 1.49	扇山東麓
1997.12.05.(01:21) - 12.05.(06:59)	28	0.78 - 3.02	鶴見-由布
1998.02.20.(10:04) - 02.21.(13:52)	12	0.51 - 1.67	堀田-南立石
1998.06.05.(00:32) - 06.05.(19:57)	18	0.34 - 1.98	伽藍岳北西

挙げられていないのは、1回の地震数が10個未満だからである。

表2の群発地震の中から、代表的な6回の震源位置およびM値と累積地震数の関係を、それぞれ図8および図9に示した。

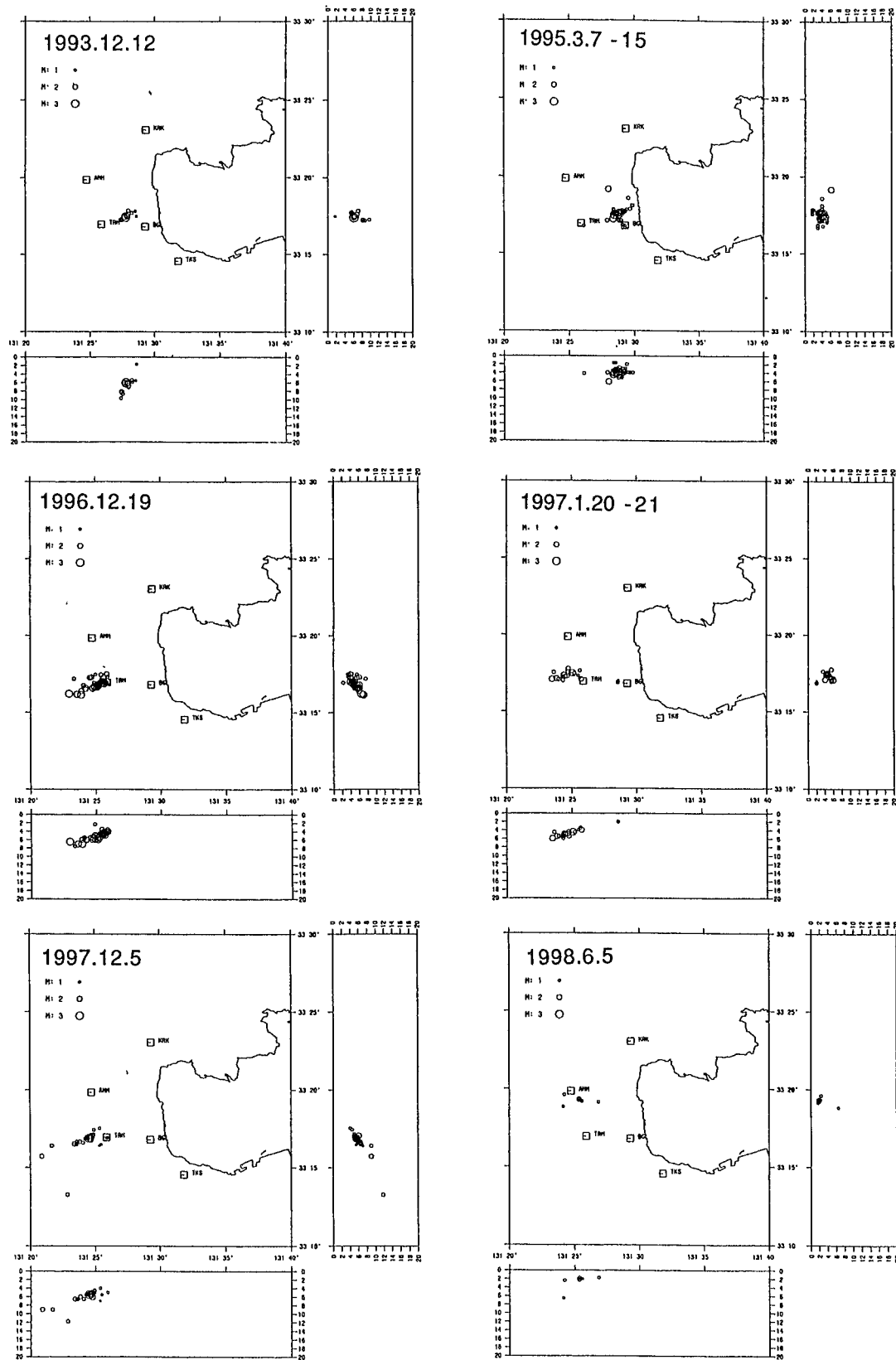


図8 代表的な群発地震の震源位置

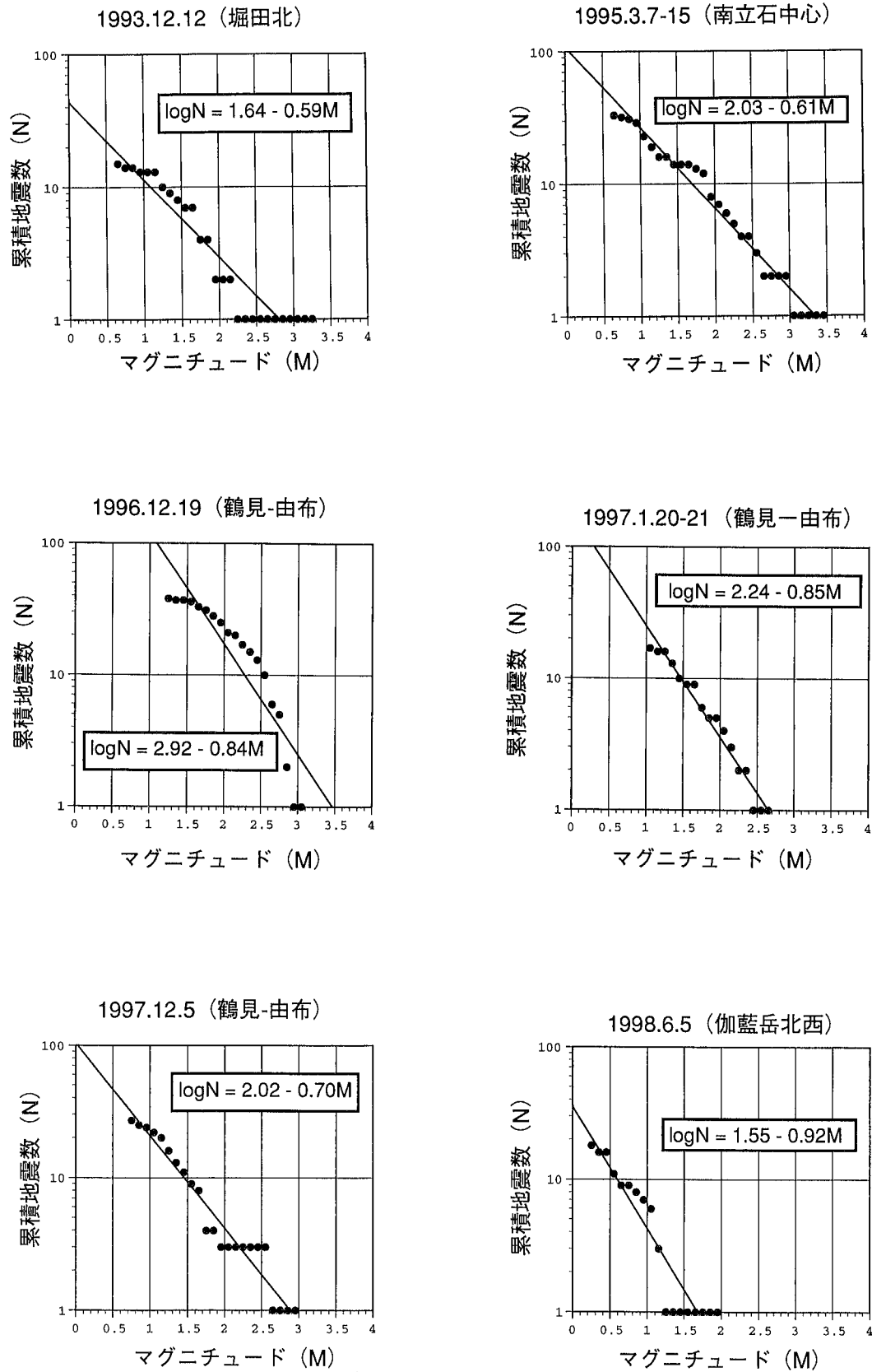


図9 図8の群発地震に対するマグニチュード(M)と累積地震数(N)の関係
各直線は、それぞれの群発地震に対する回帰線

1998年6月5日のもの（伽藍岳北西）を除く5回の群発地震は、西南西—東北東の由布院断層に平行して発生している。震源の深さは互いに似通っているが、鶴見岳より西の地震は、西ほど、また南ほど深くなっている。M値と累積地震数の関係を示す図9には、各回それぞれの全ての地震に対する回帰線を描いたが、発生場所と発生期間により微妙に異なっている。中でも、鶴見岳—由布岳一帯で発生した1996年12月19日の群発地震は、特異であり、他に比べてM値の大きいものが揃っている（図中の回帰線では、 $b=0.84$ となっているが、もっと大きいと見なすべきであろう）。この頃は、約6年間の間で地震活動が最も活発な時期であり（図4参照）、これを反映してか、1カ月後の1997年1月20—21日の群発地震でも、b値がやや大きい。

伽藍岳の北西部・松塚付近でも、時折り群発地震が発生する。1998年6月5日のものが、その代表例である。マグニチュードは小さく、震源は浅く、継続時間は短い、という特徴がある。

（1995年3月7—15日の群発地震）

1995年3月7日から15日にかけての群発地震について、付言しておきたい。この群発地震は、表2に示されているように、8日間余にわたって継続した。ただし、3月8日と14日には観測されなかった。震源位置は、図8の右上に示されている。この間に観測された地震数は33個であるが、その内、北方と西方（鶴見岳）の2個は場所が離れているので、これらを除外すると、震源の深さは海面下1.7kmから5.2kmの範囲にある。そのM値や深さには時間的な変化があり、最初の4個（3月7日）はM値が小さくて（0.74—0.98）震源は浅く（1.7km）、3月8日に中断した後（3月9—13日）はM値の大きいものを含み（0.78—3.54）震源は深く（3.0—5.2km）、最後のもの（3月15日）はM値がやや大きくて（0.98—2.11）震源はやや浅い（2.0—3.2km）。したがって、この群発地震は、時間・マグニチュード・深度の面から、3段階に分けられる。

図10には震央の位置を拡大して示したが、地震の配列に2つの系統が見られる。すなわち、1つは由布院断層に平行する西南西—北北東の配列であり、もう1つはそれに共役的な配列（朝見川断層にほぼ平行）である。上の3つの群発の内、最初と最後の地震は共役的な配列に沿って発生し、中間の深い地震は両方の配列を含んでいる。そして、比較的M値の大きい地震は、2つの配列の交点付近に集中している。別府地域の代表的な断層である由布院断層と朝見川断層の会合部とも見なせる場所を中心に、互いに共役するような配列の地震が群発したことは、この地域における発震機構を考える上で注目すべきことのように思われる。なお、1998年2月20—21日には、これよりやや山側（西側）で群発地震があった。

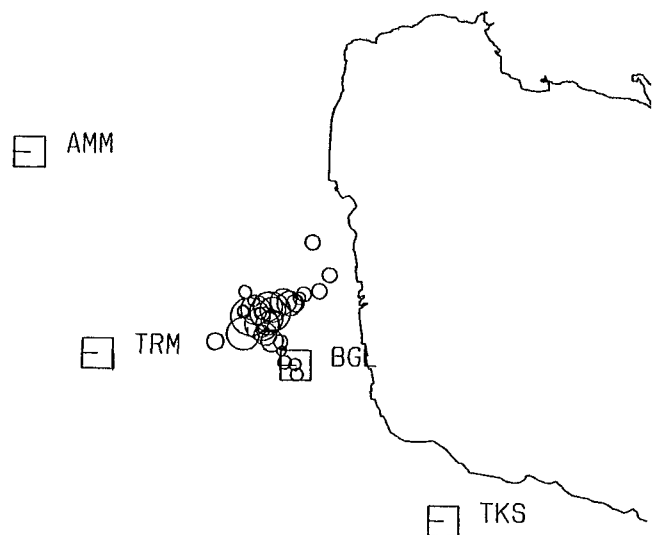


図10 1995年3月7—15日における群発地震の震源位置

5. おわりに

本報告では、別府地域で頻発する地震について、まず1998年における活動の概要を述べ、次いで、1993年3月以降1998年12月までの約6年間に蓄積された地震記録を整理し、見いだされた特徴を記

述した。地震は静穏期を含みながらも間断なく発生していること、また、地震が多発するいくつかのブロックのあることが確認された。地震の集団の性質を表わす重要なパラメータである b 値は、時期により、また場所により、変化している。

最後に、本文中では取り上げなかった現象を述べておきたい。

その1つは、 $M > 3.8$ の地震が無かったことである。地盤が高度に破碎された別府地域では、地震の規模に上限の閾値があるのかもしれない。

その2つは、初動の「押し・引き」の分布である。すなわち、由布院断層の走向に並ぶ地震（ほとんどの地震が含まれる）では、高崎山・BGRL・鶴見岳の3カ所の観測点での初動が「引き」であるのに対し天間・唐木山観測点では「押し」であり、他方、伽藍岳北西の地震では、天間のみが「引き」で他の4点では「押し」である。前者については、同様のこと（BGRLで「引き」）が既に知られており、その発震機構が解析されている（谷，1937；須藤，1987）。しかし、後者は今回見いだされたものである。

その3つは、鶴見岳観測点における地震波形では、総じて高周波成分が減衰しているように見えることである。これは、地震波の伝播経路の状態を反映している可能性がある。

以上の3点を含めて、今後のより詳しい解析を期待したい。

参考文献

- 浅田 敏(1972)：地震 発生・災害・予知，東京大学出版会，259p.
- 宇津徳治(1984)：地震学，共立出版社，310p.
- 活断層研究会(1991)：〔新編〕日本の活断層，東京大学出版会，437p.
- 須藤靖明(1981)：阿蘇カルデラ西部地域の地震活動，火山第2集，26，263-279.
- 須藤靖明(1987)：鶴見岳火山及びその周辺の地震活動，火山第2集，32，205-218.
- 谷 貞夫(1937)：九州地方及び別府温泉地帯の地震概論，地球物理，1，165-196.
- 由佐悠紀・竹村恵二(1994)：別府湾地域のテクトニクス，大分県温泉調査研究会報告，45，5-10.
- 由佐悠紀・北岡豪一・竹村恵二・福田洋一・大沢信二・馬渡秀夫(1996)：別府地域の地震，大分県温泉調査研究会報告，47，13-20.
- 由佐悠紀・北岡豪一・福田洋一・大沢信二・馬渡秀夫(1997)：別府地域の地震(2)，大分県温泉調査研究会報告，48，7-11.
- 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設(1998)：別府地域の地震(3)，大分県温泉調査研究会報告，49，49-56.

震源リスト

○：九州管区気象台で観測されたもの

発震時(JST)		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1998/01/02	17:39:09.06	33 16.72'	131 24.31'	6.00	1.64	
1998/01/04	02:56:16.95	33 17.94'	131 26.56'	4.00	0.96	
1998/01/10	20:12:18.42	33 18.37'	131 29.07'	6.00	1.03	○
1998/01/12	23:09:15.65	33 17.92'	131 28.20'	4.50	0.88	
1998/01/12	23:10:12.13	33 18.35'	131 29.23'	4.00	1.43	○
1998/01/13	00:06:30.24	33 18.22'	131 28.91'	4.00	1.20	
1998/01/13	00:33:00.93	33 18.16'	131 28.83'	5.00	0.94	
1998/01/13	01:15:07.22	33 18.12'	131 28.79'	3.50	0.80	
1998/01/16	00:29:12.68	33 17.77'	131 27.22'	5.50	1.21	
1998/01/31	05:08:42.29	33 18.55'	131 26.29'	2.00	1.41	○
1998/02/07	01:44:55.49	33 17.57'	131 26.81'	2.20	0.80	○
1998/02/07	01:48:46.59	33 17.54'	131 26.11'	2.26	1.66	○
1998/02/07	01:49:09.76	33 17.54'	131 26.85'	2.20	1.86	○
1998/02/07	01:55:11.63	33 17.52'	131 26.22'	2.20	1.49	○
1998/02/20	10:04:02.84	33 17.73'	131 28.25'	1.70	0.69	
1998/02/20	16:50:28.73	33 17.88'	131 28.16'	1.70	1.17	
1998/02/20	17:09:34.61	33 17.93'	131 28.03'	1.70	0.81	
1998/02/20	17:10:09.52	33 17.81'	131 28.19'	1.70	0.96	
1998/02/20	17:17:37.82	33 18.06'	131 28.10'	1.00	1.23	
1998/02/21	01:15:11.21	33 18.74'	131 29.85'	1.70	1.06	
1998/02/21	05:41:15.89	33 17.35'	131 28.13'	2.00	0.51	
1998/02/21	05:42:00.87	33 17.91'	131 28.18'	1.70	0.67	
1998/02/21	05:45:39.49	33 17.20'	131 28.16'	2.00	0.51	
1998/02/21	07:09:39.80	33 17.14'	131 28.11'	2.00	0.80	
1998/02/21	07:11:28.87	33 17.91'	131 28.23'	1.70	1.19	
1998/02/21	07:25:40.94	33 17.09'	131 27.96'	2.00	1.63	○
1998/02/21	13:51:51.70	33 17.38'	131 28.15'	2.00	1.57	
1998/03/04	19:33:25.00	33 18.74'	131 30.24'	7.00	1.09	○
1998/03/10	18:28:48.30	33 16.83'	131 24.61'	6.00	2.11	○
1998/03/11	05:46:56.84	33 16.73'	131 24.54'	6.00	2.42	○
1998/03/12	01:43:08.84	33 17.52'	131 23.85'	7.00	1.71	○
1998/03/12	02:31:31.86	33 17.76'	131 23.82'	7.50	1.43	○
1998/03/12	05:59:03.26	33 17.17'	131 23.19'	8.00	1.94	○
1998/03/14	00:02:51.97	33 19.25'	131 28.61'	6.50	1.86	○
1998/03/17	03:11:49.84	33 20.66'	131 31.52'	10.21	1.09	
1998/03/22	06:30:26.18	33 17.38'	131 28.61'	5.00	1.94	
1998/03/24	09:35:45.82	33 18.10'	131 26.09'	11.27	1.22	
1998/03/28	14:52:13.65	33 18.53'	131 24.07'	6.50	1.52	○
1998/04/01	14:11:12.28	33 12.94'	131 21.40'	13.34	2.40	
1998/04/02	01:19:46.58	33 17.44'	131 27.24'	4.00	0.58	
1998/04/12	21:39:47.06	33 18.88'	131 25.36'	4.00	0.73	
1998/04/16	15:43:10.06	33 18.05'	131 29.47'	2.00	0.82	○
1998/04/19	03:41:32.04	33 18.22'	131 24.87'	4.50	1.22	○
1998/05/29	18:06:11.28	33 17.92'	131 28.80'	2.20	1.01	○
1998/06/01	22:53:17.46	33 16.89'	131 28.53'	2.00	0.51	
1998/06/01	23:11:47.14	33 17.74'	131 28.48'	1.70	1.31	○
1998/06/01	23:38:30.87	33 17.74'	131 28.47'	1.70	1.35	○
1998/06/04	04:35:55.49	33 21.41'	131 30.63'	10.00	2.57	○
1998/06/05	00:32:06.01	33 18.85'	131 24.14'	6.50	0.93	○
1998/06/05	00:36:19.77	33 19.37'	131 25.35'	2.00	0.58	○

震源リスト

○：九州管区気象台で観測されたもの

発震時(JST)		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1998/06/05	00:40:26.24	33 19.61'	131 24.23'	2.39	1.11	○
1998/06/05	00:46:38.90	33 19.36'	131 25.32'	2.00	0.50	○
1998/06/05	00:50:31.23	33 19.28'	131 25.50'	2.00	1.18	○
1998/06/05	01:01:21.70	33 19.37'	131 25.27'	2.00	0.51	○
1998/06/05	01:06:08.67	33 19.26'	131 25.43'	2.00	0.84	○
1998/06/05	01:10:07.45	33 19.32'	131 25.36'	2.00	1.98	○
1998/06/05	01:13:58.37	33 19.35'	131 25.46'	2.00	0.49	○
1998/06/05	01:16:54.83	33 19.29'	131 25.65'	2.00	0.34	○
1998/06/05	01:18:30.30	33 19.28'	131 25.34'	2.00	1.00	○
1998/06/05	01:21:07.22	33 19.22'	131 25.59'	2.00	0.49	○
1998/06/05	01:21:50.42	33 19.22'	131 25.56'	2.00	1.21	○
1998/06/05	01:25:04.83	33 19.19'	131 25.60'	2.00	1.05	○
1998/06/05	01:25:44.19	33 19.24'	131 25.63'	2.00	0.61	○
1998/06/05	03:19:03.89	33 19.15'	131 26.85'	1.70	1.06	○
1998/06/05	19:57:26.25	33 19.40'	131 25.45'	2.00	0.52	○
1998/06/13	16:09:51.43	33 19.24'	131 30.78'	2.50	2.68	○
1998/06/13	16:13:01.03	33 19.13'	131 30.64'	3.70	1.76	○
1998/06/16	01:46:26.80	33 19.14'	131 30.70'	3.00	1.42	○
1998/06/21	18:52:41.26	33 18.02'	131 24.73'	4.00	1.26	○
1998/07/18	21:21:10.15	33 16.42'	131 22.73'	9.00	1.36	○
1998/07/19	00:56:07.77	33 15.81'	131 21.09'	11.88	1.57	○
1998/07/26	02:03:28.21	33 17.71'	131 25.92'	4.00	1.46	○
1998/07/26	10:23:00.50	33 18.53'	131 27.23'	1.70	1.04	○
1998/07/26	13:12:30.64	33 19.02'	131 29.05'	1.70	0.90	○
1998/07/28	18:26:11.56	33 19.70'	131 28.60'	6.50	2.16	○
1998/07/28	18:36:27.22	33 19.71'	131 28.62'	6.50	1.07	○
1998/07/28	21:39:30.11	33 19.75'	131 28.70'	6.70	0.86	○
1998/08/03	07:03:09.99	33 17.74'	131 28.34'	1.70	0.82	○
1998/08/07	12:50:32.08	33 18.30'	131 27.89'	1.70	0.76	○
1998/08/13	04:25:39.73	33 18.14'	131 25.16'	4.50	3.12	○
1998/08/13	07:38:18.61	33 18.18'	131 25.01'	5.00	1.38	○
1998/08/15	00:39:45.23	33 18.69'	131 30.13'	2.00	0.61	○
1998/08/15	09:09:46.40	33 12.76'	131 21.12'	11.96	1.77	○
1998/08/15	09:11:56.14	33 15.15'	131 24.14'	7.00	1.07	○
1998/08/16	06:30:56.32	33 20.55'	131 30.24'	6.00	1.79	○
1998/08/16	06:51:04.80	33 21.14'	131 30.82'	9.00	1.38	○
1998/08/22	07:17:34.98	33 19.47'	131 29.06'	7.00	1.10	○
1998/08/23	04:13:38.65	33 12.74'	131 19.21'	16.15	2.10	○
1998/08/26	09:16:55.32	33 17.80'	131 26.92'	9.00	1.18	○
1998/08/28	02:49:59.18	33 19.02'	131 27.58'	1.70	0.59	○
1998/08/28	02:55:12.26	33 19.06'	131 27.74'	1.70	0.75	○
1998/08/28	02:56:44.05	33 18.97'	131 27.62'	1.70	0.43	○
1998/09/06	00:00:15.01	33 18.55'	131 27.47'	1.70	1.06	○
1998/09/07	00:00:10.67	33 19.77'	131 29.25'	8.50	1.15	○
1998/09/07	00:00:09.38	33 19.84'	131 28.75'	9.50	1.24	○
1998/09/13	13:06:08.91	33 17.70'	131 28.50'	1.70	1.20	○
1998/09/13	17:33:10.63	33 17.84'	131 28.76'	1.70	0.90	○
1998/09/13	18:12:36.64	33 17.88'	131 28.29'	1.00	0.98	○
1998/09/14	02:42:55.47	33 18.00'	131 28.81'	1.70	0.78	○
1998/09/20	15:50:16.05	33 17.91'	131 28.90'	1.70	0.89	○

震源リスト

○：九州管区気象台で観測されたもの

発震時(JST) 年/月/日 時:分:秒	北緯 度 分	東経 度 分	深さ km	MAG	備考
1998/09/20 16:04:10.58	33 17.81'	131 28.66'	1.70	0.88	
1998/09/25 04:26:17.40	33 18.47'	131 30.14'	2.00	0.57	
1998/09/26 03:10:56.51	33 12.72'	131 23.08'	10.00	2.22	○
1998/09/29 01:42:35.50	33 18.31'	131 25.71'	4.00	1.36	
1998/10/15 03:06:00.28	33 19.46'	131 29.44'	1.70	1.23	○
1998/10/15 21:15:55.71	33 18.36'	131 28.64'	1.70	0.74	
1998/10/16 01:23:33.17	33 17.83'	131 28.25'	3.50	0.74	
1998/10/18 14:38:41.99	33 19.31'	131 30.46'	1.70	0.66	
1998/10/22 01:58:02.29	33 18.79'	131 24.85'	5.50	1.00	○
1998/10/30 14:23:08.75	33 18.58'	131 23.29'	8.00	1.69	○
1998/11/06 23:02:53.09	33 17.31'	131 28.16'	3.00	0.71	
1998/11/16 10:14:26.21	33 19.25'	131 28.65'	4.50	1.39	
1998/11/18 11:54:57.13	33 18.72'	131 26.35'	1.70	1.04	○
1998/11/19 15:29:02.37	33 17.38'	131 27.14'	4.00	1.38	○
1998/11/19 21:46:19.28	33 17.38'	131 27.18'	4.50	0.67	
1998/11/28 07:25:54.67	33 16.00'	131 23.31'	14.85	1.63	
1998/12/02 23:34:47.47	33 18.53'	131 28.37'	5.00	1.38	○
1998/12/03 07:09:28.38	33 18.79'	131 29.03'	1.70	0.97	
1998/12/07 04:53:22.65	33 17.45'	131 27.02'	4.00	1.55	
1998/12/16 12:26:49.59	33 17.73'	131 29.22'	2.50	1.50	○
1998/12/17 16:16:32.07	33 18.75'	131 27.90'	14.64	2.01	○
1998/12/17 18:09:19.08	33 17.16'	131 28.19'	4.00	0.98	
1998/12/17 18:24:41.42	33 19.24'	131 28.17'	21.80	1.67	
1998/12/17 18:51:03.55	33 19.04'	131 28.41'	17.82	1.56	
1998/12/18 10:32:07.06	33 17.81'	131 25.76'	3.50	1.10	
1998/12/26 19:35:20.59	33 16.14'	131 27.20'	9.50	1.72	○
1998/12/28 03:53:27.72	33 15.73'	131 27.37'	4.50	0.96	○

くじゅう火山群の湧水と河川水の安定同位体比とトリチウム濃度

岡山理科大学理学部 北岡 豪 一
日本文理大学 河野 忠

1. はじめに

1995年に、九重硫黄山噴気地の南方500m弱の尾根付近で水蒸気爆発が発生した。硫黄山から放出される水蒸気中の水素と酸素の安定同位体比は、1960年ころから水蒸気爆発の直前までの長期にわたり測定データがある。噴気蒸気の同位体比にはかなり高い値のものが含まれていて、比較的最近になって、そのような組成はマグマ性の水を表すと考えられるようになった。それに基づけば、1960年ころは、マグマ性の蒸気そのものといっている蒸気が噴出していたことになる。ところが、それから数十年後の水蒸気爆発前には、噴気蒸気の大部分は天水の蒸気で占められ、マグマ性蒸気の寄与はかなり低下していたものと考えられる。この火山では、少なくとも数十年にわたり、マグマ性蒸気の放出量に変化があったものと推定される。

この火山の内部では、マグマの熱で駆動された天水の深い対流が形成されている。安定同位体とトリチウムの研究から、噴気地の地下では、天水の蒸気化を伴う速い循環系が少なくとも深さ数kmまで形成されており、それに附随して温泉湧出に関係する液体の遅い循環系も存在するものと推定される。

火山性の蒸気と天水の相互作用によって形成された温泉水の一部は噴気地の縁辺部で湧出し、湧出した温泉水は表流と伏流を経ながら地形的に沿うように、北に向かって流出しているものと考えられる。温泉水は、そういう表層部だけではなく、ある程度の深さ範囲にわたりほかの方向でも流出している可能性が考えられる。それは、噴気地とその周辺部に形成される深い循環過程で、種々の深さで温泉水が形成されると考えられるからである。火山性の流体は、周囲山麓部の地下水流動系に何らかの影響を与えている可能性が考えられる。マグマ性蒸気の流出量に数十年にわたる変動があるとすれば、それが何らかの形で周辺部の地下水流動系に現れる可能性も考えられる。それを明らかにするためには、山麓部の湧水で長期にわたる観測が必要であろう。

また、噴気活動に伴う深い水循環にどのような天水が関わっているか、噴気地周辺部の降水に限られるのか、という問題も、火山全体の水循環を明らかにする上に重要であると考えられる。

本研究は、そのような問題に手がかりを求めることを目指し、くじゅう山系周辺地域の水循環の状態を、そのバックグラウンドとして、同位体水文学的に明らかにしておこうとするものである。本年度は、主に、くじゅう山系の南部地域を調査の対象とした。調査は、湧水、河川水につき、温度、pH、電気伝導度の測定と、主要化学成分と安定同位体とトリチウムの分析である。トリチウムには測定途中のものもあるので、本報告は中間的なものとし、議論と考察は来年度に詳しく報告する予定である。

2. 採水点

採水点の位置を図1に、その分析結果を表1に示す。湧水と河川水以外に、この地域で地表水として最高の高度に存在する大船山の御池と中岳の御池の水も採取した。なお、トリチウム濃度は、計測時間が十分な精度に達してない段階における測定結果であることを記しておく。安定同位体比は、ニュージーランドの地質学及び核科学研究所の分析によるものである。

表1 くじゅう火山の湧水と河川水の観測及び分析結果

Name	Type	Date	Tw °C	pH	EC mS/cm	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	TRITIUM TU ±TU	δ D ‰	δ ¹⁸ O ‰	Symbol
念仏水	湧水	980704	12.6	6.7	68.7	2.4	2.4	47.6		-62.2	-9.44	NENB
仙人の水	湧水	980704	10.9	6.5	55.8	2.0	10.1	12.7	3.9 0.4	-62.8	-9.04	SENN
老野湧水	湧水	980704	15.2	5.7	130.1	3.5	4.8	58.8	6.0 0.5	-58.3	-8.47	OINO
納池	湧水	980704	14.0	6.1	162.4	5.1	24.1	54.4	4.7 0.4	-60.4	-8.68	NOIK
山の神	湧水	980704	10.3	6.5	71.0	3.2	13.3	14.4	3.7 0.4	-56.3	-8.70	YAMA
男池	湧水	980704	12.2	5.5	261.0	8.1	45.3	83.7	5.9 0.4	-58.4	-9.14	OIKE
稲葉川 中飛田	河川水	980826	23.8	7.6	131.1	4.6	13.7	48.3	4.9 0.4	-54.4	-8.09	INAN
稲葉川 松尾橋	河川水	980826	22.1	7.4	122.4	4.0	16.1	40.8	3.9 0.5	-54.5	-8.22	INAM
久住川 住吉橋	河川水	980826	21.5	7.4	135.6	4.9	13.5	52.5	4.6 0.5	-54.0	-8.27	KJSM
住吉橋河床湧水	湧水	980826	17.1	6.2	156.6	6.7	15.4	58.6	4.9 0.5	-52.4	-7.99	KJSP
久住川支流 笹川	河川水	980826	23.2	7.5	128.7	5.9	11.3	47.1	4.4 0.5	-56.1	-8.16	KJBS
久住川本流 笹川橋	河川水	980826	20.9	7.5	133.2	4.5	13.2	50.0	5.0 0.5	-55.5	-8.43	KJMS
妙見の池	湧水	980826	17.1	5.9	176.0	7.1	30.6	35.4	4.9 0.5	-49.6	-7.55	MYOK
産山川 米賀橋	河川水	980826	23.7	7.4	94.6	3.2	8.5	39.8	4.1 0.5	-53.5	-8.38	UBUY
産山川 小園	河川水	980826	19.4	7.4	96.4	2.6	10.0	37.3	5.1 0.5	-56.8	-8.59	UBUK
池山水源	湧水	980826	13.0	6.5	83.5	2.6	8.0	32.7	7.4 0.6	-56.5	-8.70	IKEY
京大飯田観測所湧水	湧水	9809				2.8	4.0	30.8	4.9 0.5	-60.8	-8.85	HAND
タダ原の泉	湧水	9809				58.6	236.8	0.0	4.5 0.5	-59.7	-9.20	TADE
F1200点湧水	湧水	9809				116.0	534.6	0.0	4.4 0.6	-63.4	-8.74	F1200
白水川(長者原)	河川水	981104				27.2	154.9	0.0	4.2 0.6	-59.9	-9.14	F1050
法華院温泉上湧水	湧水	981003				11.0	130.2	0.0	3.4 0.5	-61.0	-9.47	HOKK
鳴子川	河川水	981003				4.5	33.0	22.5	3.9 0.5	-60.6	-9.28	NARU
大船山御池	池水	981003				1.4	4.6	0.0	2.5 0.5	-40.8	-6.16	DIAM
坊ガツルキャンプ場水道水	湧水	981003				4.1	20.1	28.8		-60.4	-9.20	BOGA
中岳御池	池水	981104				1.4	6.0	0.0	2.6 0.6	-53.4	-7.84	NAKM

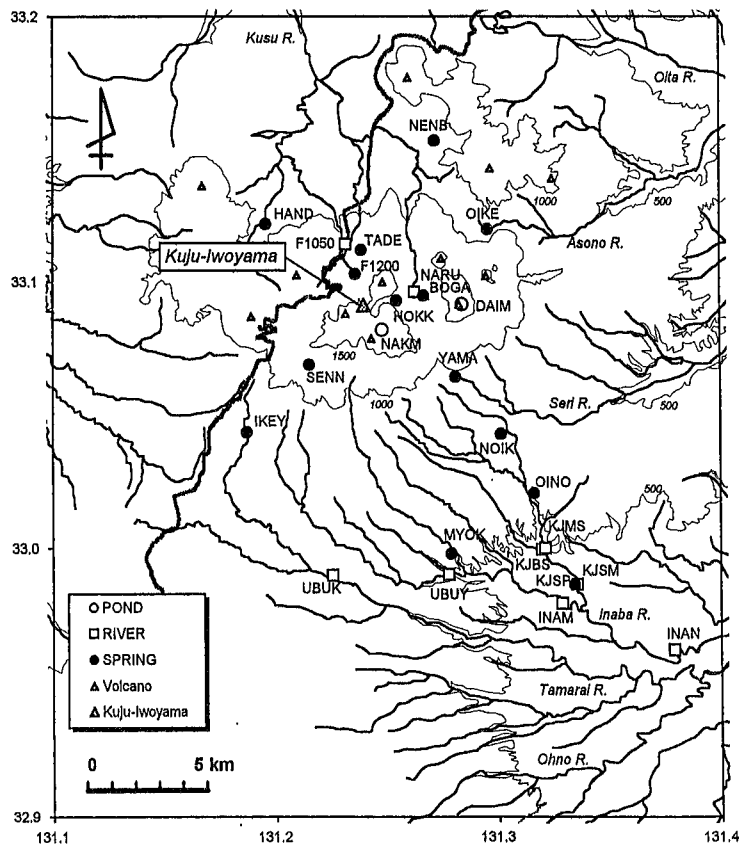


図1 採水点

3. $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係

図2は、重水素濃度（以降、 δD と記す）と重酸素濃度（ $\delta^{18}\text{O}$ ）の関係を示したものである。湧水、河川水、及び池水は、全体的に、2本の天水線（ $\delta\text{D} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 8$ と $\delta\text{D} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 15$ ）の間に分布する。従って、この地域の湧水、河川水は、当然であるが、天水そのものである。ただ、九重硫黄山の白水川源流の標高1200mからの湧水（F1200）は、いくらか $\delta^{18}\text{O}$ の高い側にずれた組成を有している。これは、硫黄山で高温域を経て酸素同位体比をシフトさせた温泉水の混入が現れているためと考えられる。この湧水は、他の湧水に比べ顕著に Cl と SO_4 成分に富む。

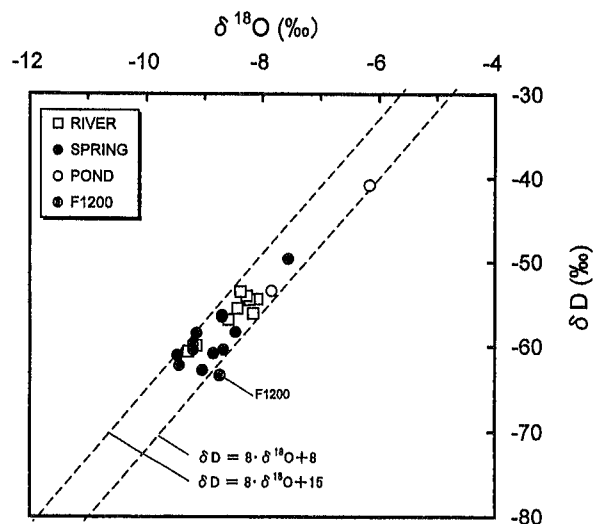


図2 δD と $\delta^{18}\text{O}$ の関係

4. 諸要素の高度との関係

図3は、温度と採水高度の関係を示したものである。湧水温度には明らかな高度効果が認められる。河川水の温度が湧水と異なる関係を示すのは、気温の影響を受けているためである。

図4と図5は、それぞれ、 δD と $\delta^{18}\text{O}$ を採水高度と対比させたものである。これら安定同位体比には、湧水と河川水とで区別できない高度効果が認められる。これらは、降水が面的にほぼ一様に浸透していることを表しているものと考えられる。なお、大船山の御池と中岳の御池の水は、高度との関係が他のものから大幅にずれ、高度の割にかなり高い値を示している。これらは、いずれも閉塞された池であり、天水が蒸発によって濃縮された結果であろうと考えられる。

なお、トリチウム濃度には、図6に示したように、安定同位体におけるような顕著な高度効果が現れていない。トリチウムに顕著な高度効果が現れないのは、トリチウム濃度には、精度以前の問題として、流動途中の過程が濃度に支配的に影響しているためである。湧水や河川水のトリチウム濃度は、全体的に、地下で類似した流動過程を経たものであることを示唆している。ただ、一部の湧水で相対的に高い濃度を示しており、流動経路の異なる水系の存在もうかがわれる。

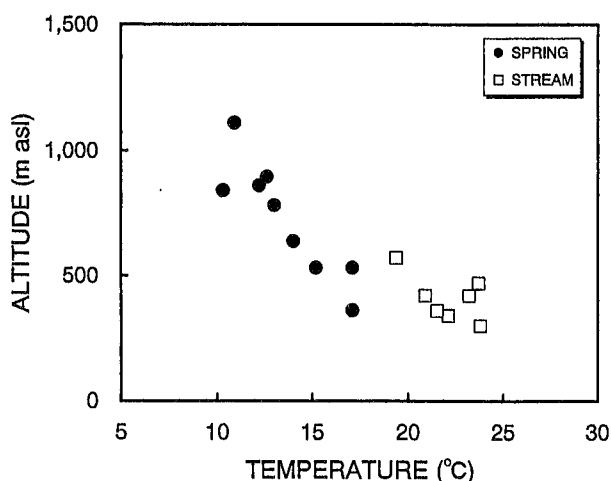


図3 温度と標高の関係

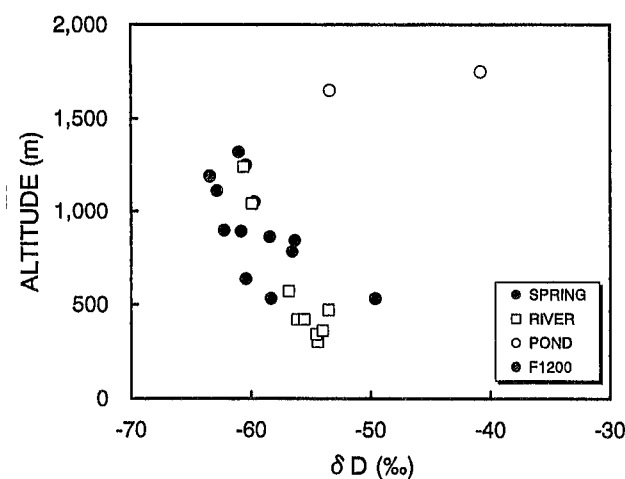


図4 δD と標高の関係

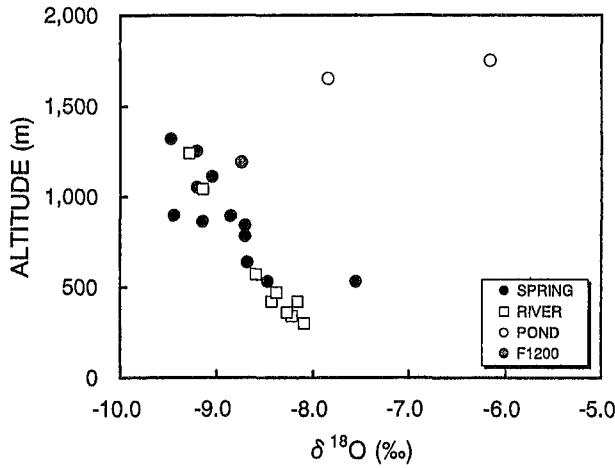


図5 δ¹⁸Oと標高の関係

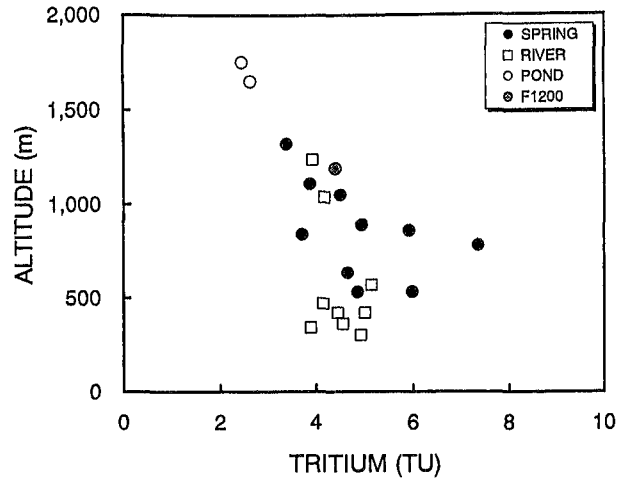


図6 トリチウム濃度と標高の関係

5. SO₄濃度とCl濃度の関係

九重硫黄山の噴気地からClとSO₄に富む温泉水が湧出するが、そのような水質は、白水川に沿う一帯に流出し、広がっているものと考えられる。

図7は、SO₄濃度をCl濃度と対比させたものであるが、地形的に、明らかに九重硫黄山から流出していると見られるF1200点湧水とF1050点（白水川）河川水は、この図で高濃度側にプロットされる。タデ原の泉もそれと同じ相関に位置する。そういうClとSO₄で特徴付けられる水質を、ここでは、火山性の水と呼ぶことにすれば、火山性の水が、くじゅう山系の南麓地域にも流出している可能性が考えられる。

長者原以外の地域で採取される湧水や河川水のCl濃度やSO₄濃度は、火山性の水に比べるとかなり低いですが、図7で見られるように、それらも、火山性の水の示すClとSO₄の相関とほぼ同じ関係にあることに注目される。これは、くじゅう南麓域一帯の湧水や河川水に、いくらかの火山性の水が混じっていることを示していると見てよいであろう。

ただ、湧水や河川水のCl濃度が火山性の水に比べて著しく低いので、δ¹⁸O及びδDとCl濃度の関係から、火山性の水の影響を論じることは、同位体比に高度効果があるとはいえ、難しい。

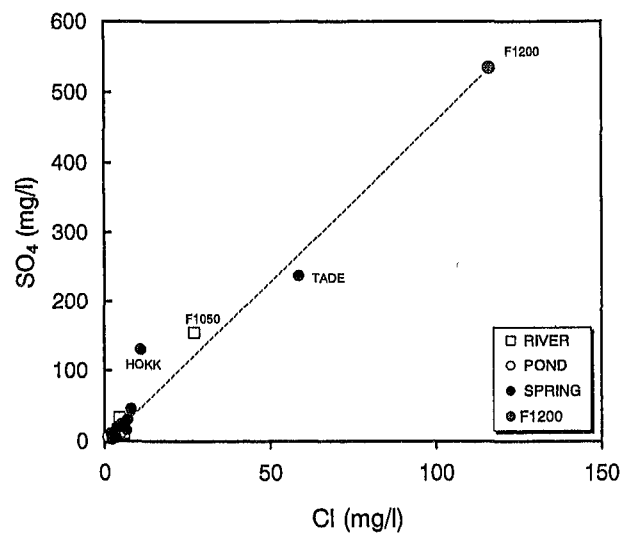


図7 SO₄とClの関係

6. 終わりに

くじゅう火山の南麓地域では、水温、δ¹⁸O、δDにおいて、明らかな高度効果が見られた。これらは、降水の浸透が面的に起こり、それらの積分されたものが湧出していることを示しているといえよう。また、南麓地域の湧水や河川水には、ClとSO₄成分で特徴付けられる火山性の水がいくらか混じっている徴候が見られた。したがって、そういう水の水質や温度の変化には、火山活動の消長が含まれている可能性がある。

長湯温泉の温泉遊離ガスについて

岩倉一敏¹⁾・大沢信二²⁾・大上和敏²⁾
 網田和宏²⁾・高松信樹¹⁾・今橋正征¹⁾
 野津憲治³⁾・由佐悠紀²⁾

1) 東邦大学理学部 2) 京都大学大学院理学研究科
 3) 東京大学大学院理学系研究科

1. はじめに

長湯温泉の源泉は、主に大分川の支流芹川に沿う約3 kmの带状範囲に分布している。もともとは芹川の中に湧出する自然湧出泉であった。昭和60年以降に掘削された源泉は、やや高地部のものを除き、多量のCO₂ガスを伴いながら噴出する、いわゆる噴騰泉の状態を呈している。湧出口周辺や温泉水の流路には、黄褐色を帯びた炭酸カルシウム（アラゴナイト）の沈澱が見られる。自然湧出時代の泉温は、多くが40℃以下の低温であったが、掘削泉では最高50.2℃、平均44.7℃の温泉水が湧出している。泉質は、中性の炭酸水素塩泉で、陽イオンとしてMgを多量に含有しているのが大きな特徴である（由佐，1988）。

昭和26年に山下（1952）が初めて長湯温泉の調査に着手して以降これまでに数多くの研究が行われている（例えば、西日本技術開発株式会社，1997）。それら多くの研究成果により長湯の温泉水は、九重火山群の標高の高い地域で降った雨水が地下深部まで浸透したものであり、周辺の岩石と長時間反応して形成された、Cl濃度が高く・CO₂ガスを多く含む熱水が地下水と混合してできたものであると推定されている。ところが、長湯温泉を特徴付ける、温泉水から遊離しているガスについての物理・化学的性状はほとんど明らかにされていない。そこで、今回我々は、ガス試料を採取して化学分析ならびにヘリウム同位体比、二酸化炭素の炭素同位体比の測定を行い、遊離ガス成分の起源を推定したので報告する。

2. 試料の採取と分析

化学分析用のガス試料は、空気の直接汚染の恐れがなく、水上置換法により多量に採取可能な場所で採取した。図1に示した全12箇所のガスは、水上置換法で容積約2 lのビニール袋に集めた後、現地でただちにアルカリ溶液（5M—KOH）を含む2口注射器（100 ml）に移した（図2）。この操作によりガス容積の大半を占めると考えられるCO₂ガスがアルカリ溶液に吸収されるため、吸収されないガス成分（いわゆるRガス）の容積を5～10mlとして実験室に持

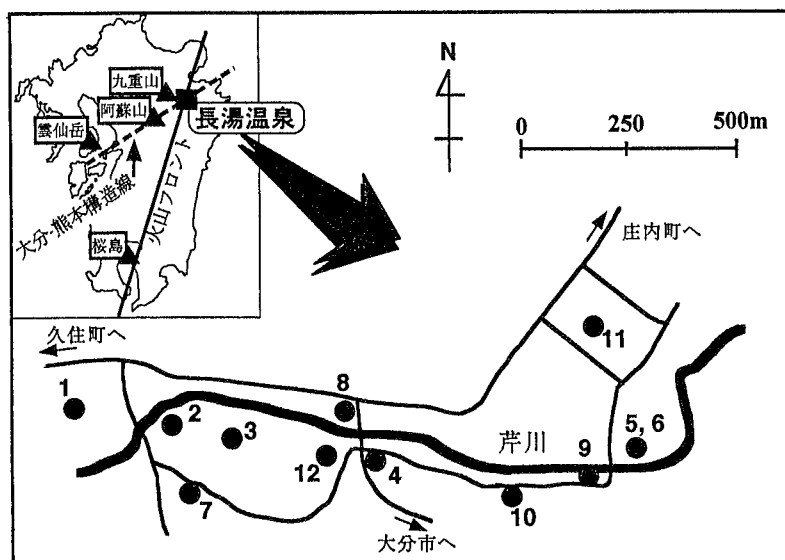


図1 長湯温泉の遊離ガス採取地点

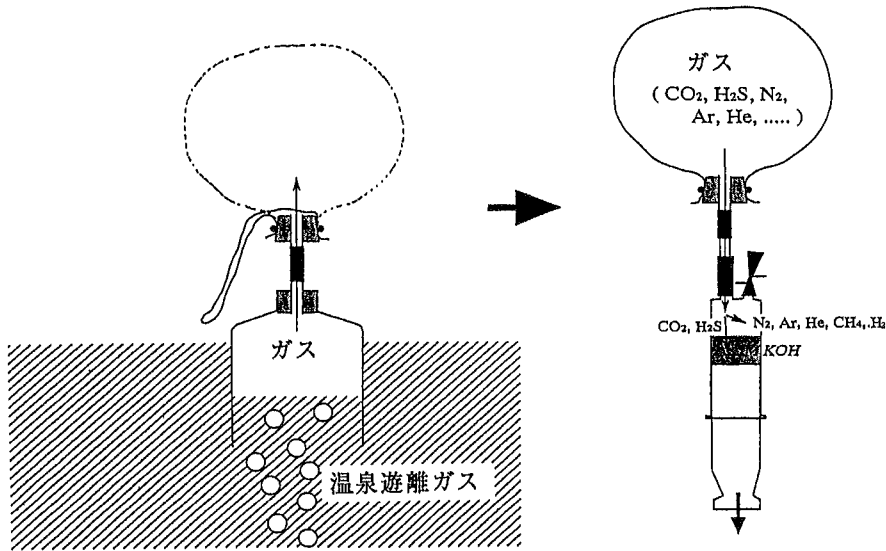


図2 温泉遊離ガスの採取方法

水上置換法により遊離ガスをビニール袋に集めた後、5M-KOH 約15mlを含む二口注射器に採取する。採取されたガスのうちCO₂ガスがアルカリに吸収され、N₂, Ar, HeなどのRガスが注射器のヘッドスペースに残る。

ち帰った。採取されたガスの化学成分は、以下の方法により分析した。アルカリ吸収液を過酸化水素で酸化処理した後定容し、分取した検液を硫酸酸性にして、東亜電波製CE-235型ガス電極を用いCO₂を分析した。一方、Rガスは容積を測容した後、一定量をO₂をキャリアーガスとした大倉理研製AFG-555S型ガスクロマトグラフに注入することにより、He, H₂, Ar, N₂, CH₄を分析した。

CO₂ガスの炭素同位体比 (¹³C/¹²C比) は、上記の化学分析用のアルカリ溶液の一部に水酸化ストロンチウムを加えてSrCO₃として沈殿・分離し、これに濃リン酸を滴下して発生するCO₂を質量分析計 (IGNS のNuclide Associates 6-60 mass spectrometer) に導入し測定した。なお、遊離ガスの発生 (発砲) 時にガス相のCO₂と水相の炭酸成分との間では、同位体分別が起きていることが考えられるため、これを補正するためにガス/水比の測定と、水相の全炭酸濃度および炭素同位体組成の測定も行なった。ガス/水比の測定はビニール袋を用いた簡便法 (図3) で行い、全炭酸濃度および同位体比の分析は前述のガス相の測定法に準じた。なお、温泉水からは採取後も炭酸ガス

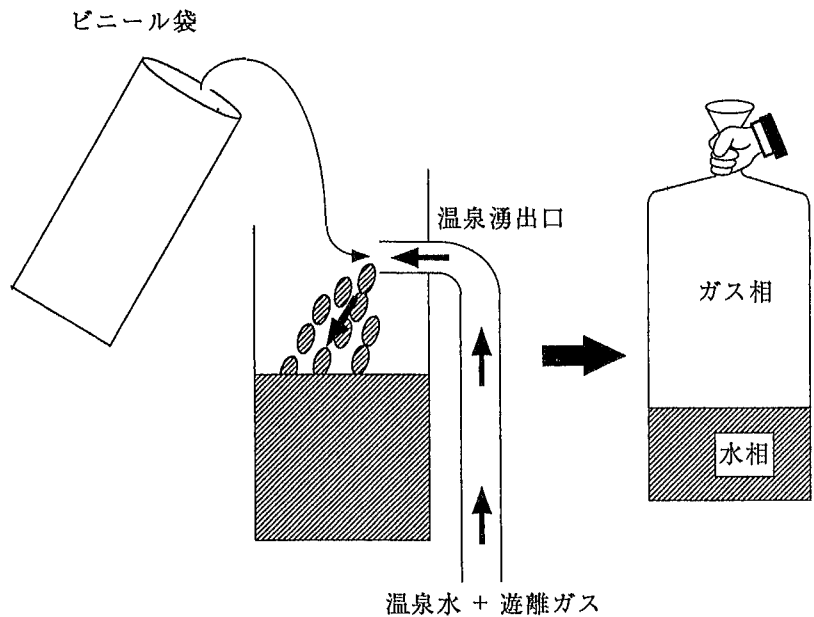


図3 ガス/水比測定法

あらかじめ測容した容積約15 lのビニール袋を源泉の湧出口にあてがい、温泉水と遊離ガスを同時にビニール袋に導き入れる。ビニール袋がガスと水で満たされたら、水の体積を測定し、ビニール袋の容積との差し引きでガスの体積を求め、その体積比をガス/水比とした。

が徐々に遊離してくるため、試料は現地において蒸留水で1/10に希釈した。

ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) 測定用のガス試料は、両端にストップコックのついた鉛ガラス製採気瓶に採取した。採取は原則として水上置換によったが、ガスが採気瓶に入りにくい場合は、化学分析用の試料採取と同様に一旦遊離ガスをビニール袋に集め、これから採気瓶に移した。同位体比の測定は東京大学大学院理学研究科附属地殻化学実験施設の質量分析計 (VG Isotope社製VG 5400) により行なった。

3. 分析結果

ガス試料の化学組成、ガス/水比および同位体比測定 (炭素・ヘリウム) の結果をそれぞれ表1、表2に示す。

遊離ガスはその大半が CO_2 ガスであり、数%を占めるその他の成分で主要なものは N_2 であった。微量ではあるが0.00014%~0.0015%のHeを含み、He/Ar比は最高で0.083と空気のそれ (0.00056) より大きく、深部由来のHeが含まれることを示す。

表1 温泉遊離ガスの化学組成 (試料番号は、図1の採取地点番号に対応)

No.	水温 ℃	CO_2 %	He %	H_2 %	Ar %	N_2 %	CH_4 %	調査日
1	49.9	98.0	0.00090	0.000023	0.018	1.8	0.0038	'97.11.6
2	47.9	98.2	0.00066	0.0000020	0.015	1.5	0.0027	'97.11.7
3	43.7	90.9	0.00025	0.000050	0.078	7.2	0.00080	'97.11.6
4	45.7	96.8	0.00053	0.000020	0.034	2.6	0.0094	'97.11.6
5	45.6	33.0	0.00052	0.000036	0.59	52.4	0.0013	'97.11.6
6	40.7	96.8	0.00014	0.0000088	0.033	2.5	0.0015	'97.11.6
7	45.1	97.0	0.0015	0.000022	0.018	2.9	0.0089	'97.11.7
8	45.2	97.8	0.00053	0.000022	0.022	2.0	0.0051	'98.8.28
9	43.8	98.1	0.00064	0.000032	0.017	1.8	0.0048	'98.8.28
10	41.5	98.2	0.00062	n.d.	0.019	1.6	0.014	'98.8.28
11	49.7	97.9	0.00059	0.000036	0.020	1.9	0.0043	'98.8.28
12	43.6	99.0	0.00031	0.000055	0.010	0.90	0.0051	'98.9.1

注) n.d.; 検出されず

表2 温泉遊離ガスならびに温泉水中の炭酸成分の炭素同位体組成と遊離ガス中のヘリウムの同位体比

No.	ガス/水比 (体積比)	ガス相 [遊離ガス]		水相 [温泉水]		補正 $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$) (‰)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (R/R_{atm}) [#]
		CO_2 (%)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (‰)	ΣCO_2 (mg/l)	$\delta^{13}\text{C}_{\Sigma \text{CO}_2}$ (‰)		
8	1.86	97.8	-8.71	1760	-7.25	-8.20	6.74
9	2.74	98.1	-9.07	2150	-6.06	-8.14	6.82
10	0.57	98.2	-8.74	1760	-6.46	-7.47	6.48
12	3.74	99.0	-8.71	2350	-6.11	-8.61	6.27

; $R/R_{\text{atm}} = (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{sample}} / (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{air}}$, $(^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{air}} = 1.39 \times 10^{-6}$

炭素同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) は、国際標準物質のV-PDB (Peedee層のベレムナイト化石) の同位体比を基準として、その値からのずれを千分偏差で示した ($\delta^{13}\text{C}$; 単位‰)。前述の炭素同位体比

関する同位体分別の補正は、以下に示す式（同位体に関する保存の式）を用いて行なった。

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} \times X_{\text{CO}_2} + \delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2} \times X_{\Sigma\text{CO}_2}$$

ここに、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2}$ はそれぞれ、ガス相の CO_2 および水相の炭酸成分の炭素同位体比を示す。また、 X_{CO_2} 、 $X_{\Sigma\text{CO}_2}$ は、それぞれガス相の CO_2 および水相の炭酸成分のモル分率を表し、ガス/水比とガス相および水相の CO_2 含量から求められる。このようにして補正を加えた炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ ）の値を表2に示した。補正を施した $\delta^{13}\text{C}$ 値は、 $-7.47\text{‰} \sim -8.61\text{‰}$ の範囲にあり、発泡により CO_2 ガスは $0.1\text{‰} \sim 0.9\text{‰}$ 軽くなっていることがわかった。これらの値（ $-7.47\text{‰} \sim -8.61\text{‰}$ ）は、マントルから火成活動により運ばれたと考えられる火成炭酸塩岩やマントルを代表するとされる中央海嶺の玄武岩の流体包有物の値、沈み込み帯の火山ガスの値（Sano and Marty,

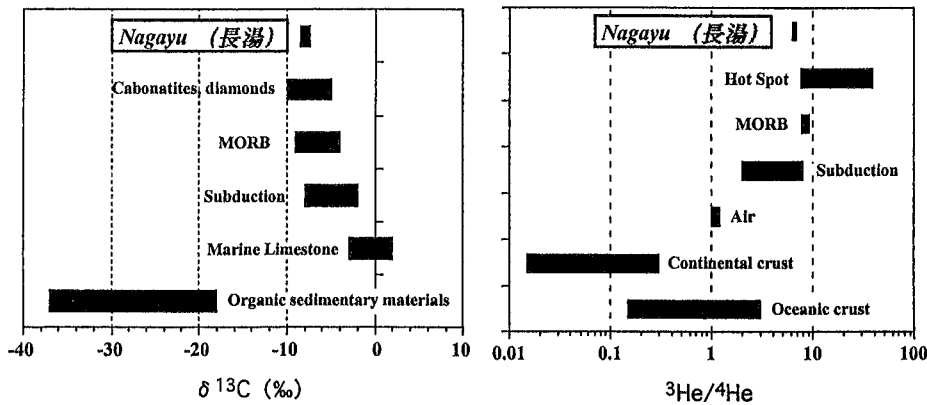


図4 長湯の炭酸成分の炭素同位体比とヘリウム同位体比

他の物質の値はHoef (1980), 佐野 (1988) より引用した。

1995)に近い(図4)。しかし、炭素同位体比は地殻の有機物起源の炭素と炭酸塩起源の炭素が適当に混合するとこれらのものに近い同位体比の値になるので、炭素同位体比のみからガス中の炭素の起源を論ずるのは難しく、それ以外の情報が必要となる(佐野, 1996)。これについては次章で詳しく論じる。

ヘリウム同位体比は、測定によって得られた同位体比(R)を空気のそれ(R_{atm})で規格化した値として表すと(R/R_{atm}単位)、6.27~6.82を示した。これらの値は、沈み込み帯の火山ガスの値の範囲(佐野, 1988; 佐野, 1996)にある(図4)。ヘリウム同位体比とヘリウム濃度から求められる³Heおよび⁴Heの濃度とCO₂濃度の関係を表すCO₂-³He-⁴He図(図5)にプロットされた長湯温泉のデータは、ここから放出されるCO₂とHeが、古い地殻岩石から放出されるもの(crustal gases)ではなく、明らかにマグマ起源であることを示している。

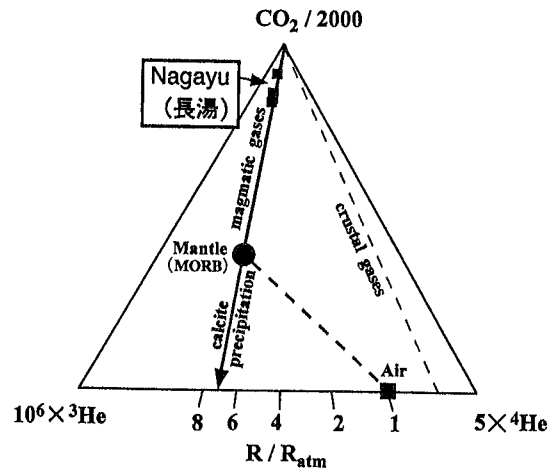


図5 長湯の遊離ガスのCO₂-³He-⁴He 相対組成

原図は、Ono et al. (1993)より引用した。沈み込み帯のマグマ性ガス(magmatic gases)は、マントル由来のガス(Mantle[MORB])とCO₂端を結ぶ線上に位置する。温泉水から炭酸塩鉱物が沈澱する場合は、矢印で示した方向に向かって変化する(calcite precipitation)。また、深刻な空気汚染を受けた試料は、Airで示された点に向かう位置にプロットされる。岩石中のウランやトリウムの放射壊変にともなうα粒子(⁴He)を起源とするHeを含む古い大陸地殻より放出されるガスは、crustal gasesで示される線上に位置する。

4. 二酸化炭素の起源

長湯温泉を特徴付ける遊離ガスの90%以上を占めるCO₂ (表1) は、温泉水の特性を決める重要な成分であり、その起源を明らかにすることは最も重要な課題の1つである。Sano and Marty (1995) は、噴出ガス中の炭素の起源をCO₂のδ¹³C値とCO₂/³He比を用いて推定できるとした。図6に、今回得られたデータをプロットしたδ¹³C値—CO₂/³He比図を示した。Sano and Marty (1995) によれば、沈み込み帯の火山・地熱地域から放出されるガスは、マントル (MORB)、地殻堆積物中の有機炭素 (Sediment) ならびにプレートとともに沈み込んだ海成炭酸塩 (Limestone) の端成分の混合により説明でき、長湯のCO₂ガスもこれら3つの成分から成り立っていることが示されている。試料番号8, 9および10は、図6のダイアグラムのほぼ同じ位置にプロットされるが、試料番号12は、これら3試料に比べてマントル成分から遠ざかる位置にプロットされていることから、地表近くに存在する炭素 (おそらく表層土壌中の炭素) が混入したと推測される。

Sano and Marty (1995) は、さらに、上記3成分の混合を仮定し、以下の式からそれらの混合割合を導き出す方法を提案した。

$$(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Obs}} = (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{MORB}} \cdot M + (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Lim}} \cdot L + (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Sed}} \cdot S \quad (1)$$

$$1 / (\text{CO}_2 / ^3\text{He})_{\text{Obs}} = M / (\text{CO}_2 / ^3\text{He})_{\text{MORB}} + L / (\text{CO}_2 / ^3\text{He})_{\text{Lim}} + S / (\text{CO}_2 / ^3\text{He})_{\text{Sed}} \quad (2)$$

$$M + S + L = 1 \quad (3)$$

ここに、添字のObs, MORB, Lim, Sedは、それぞれ測定対象のガス試料、マントル起源ガス、沈み込む海成炭酸塩、地殻堆積物中の有機炭素を表し、M, L, Sは、それぞれマントル起源ガス、沈み込む海成炭酸塩、地殻堆積物中の有機炭素の混合比を表す。これらの式を用いて、地表近くに存在する炭素の混入を受けたと推定された試料番号12を除く3試料について、3成分の混合割合を算出した結果を表3に示した。

なお、マントル起源ガス (MORB)、沈み込む海成炭酸塩 (Lim)、地殻堆積物中の有機炭素 (Sed) の¹³C/¹²C比、CO₂/³He比は、Sano and Marty (1995) の用いた値を代入した。マントル起源ガス、沈み込む海成炭酸塩、地殻堆積物中の有機炭素

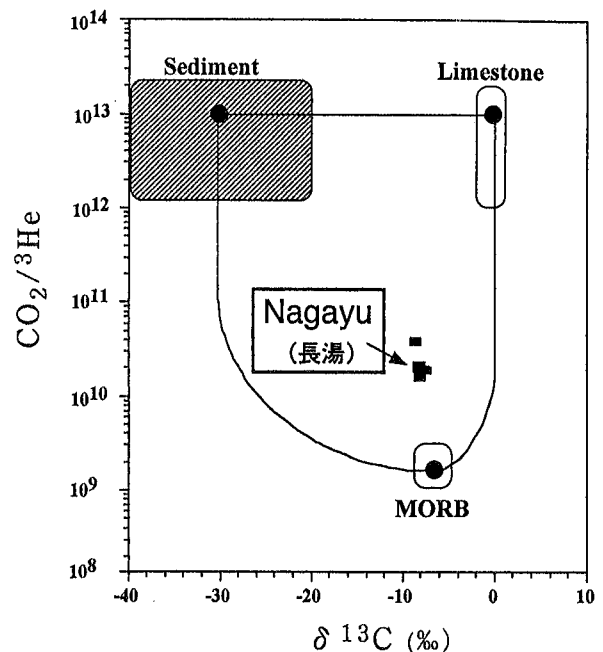


図6 長湯のCO₂/³HeとCO₂のδ¹³C(‰)の関係

表3 長湯温泉の二酸化炭素の起源

No.	起源炭素の混合率 (%)		
	マントル [MORB]	沈み込む海成炭酸塩 [Limestone]	地殻堆積物の有機炭素 [Sediment]
8	8	67	25
9	9	66	25
10	9	68	23
平均	9	67	25

の混合割合は、それぞれ9%、67%、25%程度であり（試料8, 9, 10の平均値）、島弧（沈み込み帯）の火山から放出されるガスのように（佐野, 1996）、沈み込む海成炭酸塩の寄与が最も大きく、マントル起源ガスのそれは10%にも満たない。しかし一方で、地殻堆積物中の有機炭素の混合割合（23~25%）は、九州の活火山である薩摩硫黄島、霧島、雲仙のそれ（10%強；佐野, 1996）にくらべて明らかに大きい。これは、長湯温泉のガスの起源となるマグマ性流体が、地表に噴出するまでの移動距離が長い、あるいは移動速度が小さいために、地殻物質の混染の機会が多いことを表しているのかもしれない。

5. おわりに

長湯温泉において、温泉水とともに噴出するガス（遊離ガス）を採取し、化学および同位体分析を行なったところ、以下のことが明らかとなった。

- (1) 遊離ガスの大半がCO₂であることがわかった（96%以上、最高値99.0%）。また、ヘリウム/アルゴン比（He/Ar）の最高値は0.083を示し、空気のもの（0.00056）より高く、深部由来のHeが含まれていることを示唆した。
- (2) 遊離ガス（気相）中のCO₂と温泉水（液相）中の炭酸成分の炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）は、それぞれ-8.71‰~-9.07‰、-6.06‰~-7.25‰であった。両相間での炭素同位体に関する物質収支に基づき、気液比（遊離ガス/温泉水比）ならびに遊離ガスと温泉水の炭酸濃度をも実測して、ガスが遊離する前の二酸化炭素の炭素同位体組成を求めたところ、-7.47‰~-8.61‰という値が得られ、発泡により発生するCO₂ガスの炭素同位体比は、0.1‰~0.9‰低くなることが示された。
- (3) 遊離ガス中のヘリウムの同位体比（³He/⁴He）は、6.27~6.82R/R_{atm}であった。CO₂-³He-⁴He相対組成の検討から、CO₂とHeはマグマ起源であることが分かった。
- (4) CO₂の $\delta^{13}\text{C}$ 値とCO₂/³He比を用いてCO₂の起源を考察したところ、長湯から放出されるガス中のCO₂に占めるマントル起源ガス、プレートとともに沈み込む海成炭酸塩、地殻堆積物中の有機炭素の寄与率は、それぞれ9%、67%、25%程度であるという結果が得られた。長湯のCO₂ガスは、島弧（沈み込み帯）の火山から放出されるガスと同様にマントル起源ガスの占める割合は低く、沈み込む海成炭酸塩に由来する炭素が多くを占めることが示された。しかし一方で、地殻堆積物中の有機炭素の占める割合は、九州の活火山から放出されるCO₂ガスのそれ（10%強）より大きく、マグマ性流体が地表に噴出するまでの間に地殻物質の混染の機会が多いことを表わしていると考えられた。

謝辞

試料の採取を快諾していただいた、大分県直入町長湯温泉のみなさまに深謝致します。また、炭素の同位体比測定に便宜をはかられたニュージーランド地質・核科学研究所（IGNS）、核科学センターのG.L.Lyon博士とW.Gooley氏に感謝します。

参考文献

Hoefs, J. (1980) Stable Isotope Geochemistry, Springer, Berlin, 208pp.

西日本技術開発株式会社（1997）平成8年度長湯温泉賦存量調査報告書，3-69，大分県保健環境部，大分。

-
- Ono, A., Sano, Y., Wakita, H. and Giggenbach, W.F. (1993) Carbon isotopes of methane and carbon dioxide in hydrothermal gases of Japan. *Geochem. J.*, 27, 287–295.
- 佐野有司 (1988) ヘリウム同位体比とテクトニクス, *地球化学*, 22, 1–11.
- Sano, Y. and Marty, B. (1995) Origin of carbon in fumarolic gas from island arc. *Chem. Geol.*, 119, 265–274.
- 佐野有司 (1996) ヘリウム・炭素同位体比からみたマグマ起源ガスと地殻物質との相互作用, *地質学論集*, 46, 83–90.
- 山下幸三朗 (1952) 大分県長湯温泉調査報告, *大分県温泉調査研究会報告*, 3, 12–28.
- 由佐悠紀 (1988) くじゅう地域の温泉, *阿蘇くじゅう国立公園くじゅう地域学術調査報告*, 21–24, 大分県.

噴気ガス化学組成の経時変化に関する研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

網田和宏・大沢信二

由佐悠紀

1. はじめに

火山地帯に噴出するガスの一部は、地下にある熱源物質から揮発性成分が分離して地表に到達したものである。噴気ガスの化学組成は、その起源となる熱源物質の情報を保持していると考えられるため、これまでに多くの火山で噴気ガスの化学成分に関する研究が行われてきた（例えば、松尾, 1974）。そのような、ガス成分の起源、すなわち熱源物質に関する情報を得る研究以外にも、火山活動の指標としての化学成分のモニターなども行われてきた。特に、後者に関しては、噴火前と噴火後で噴気ガスの化学組成が異なる事例も報告され、噴火予知を目指した研究が近年も盛んに行われている（例えば、高岡, 1985；風早ほか, 1988）。

噴気ガスを用いて火山の活動度を推定する場合、噴気孔ガスの組成が時間的にどのように変化するかを追跡し、その中から活動度を表す情報を読み取る必要がある。この場合、ガスの中のどの化学種に着目するかが重要な問題であるが、ひとつの重要な研究例として希ガス（ヘリウム、アルゴン、ネオンなど）の組成に着目した研究（高岡, 1985）をあげることが出来る。

希ガスは、化学的に不活性であり、熱源物質から地表まで移動する間に化学反応によって変化しないという特徴を有している。この特徴は、HClやSO₂などの反応性にとんだ他の元素の化合物と大きく異なる点であり、そのためガス中の希ガスの相対組成は、熱源における活動度の変化をより直接的に反映したものであると考えられる。

噴気ガス中に含まれるヘリウム（He）は、そのほとんどがマグマ起源であると考えられている。一方、アルゴン（Ar）はその大部分が地表水や大気中からガスに供給されていると考えられている。そのため両者の比をとったHe/Ar比は、ガス中におけるマグマ起源ガスの関与の度合を表す指標となる。従って、噴気ガス中のHe/Ar比の時間変化から、熱源における活動度の変化をモニターすることが可能になると考えられる。さらにHe/Ar比は、まったく違う指標として用いられる場合もある。熱源の活動が比較的平穏な状態を保っている地域では、本源ガス中のHe/Ar比はある期間、ある程度一定に保たれていることが予想される。そのような地域では、He/Ar比は噴気孔（噴出場所）と熱源物質との間の距離を表す指標として扱うことが出来ると考えられる。つまり、多点で観測されたHe/Ar比を比べた場合、その値が大きいほど、ガスが得られた噴気孔が熱源物質に近いと評価するわけである。

以上のように、火山地帯の噴気ガス中の希ガスの化学組成から、地下深部の重要な情報を得ることが出来る。しかし、噴気ガスについて従来行われてきた研究の多くは、数回のサンプリングによって行われたものがほとんどで、連続的にガス成分を調査した研究例は少ない。また、ガスを連続観測している場合でも、H₂やCO₂などの反応性成分を測定するケースが多く、HeやArなどの希ガスを取り扱った研究はほとんど見られない。さらに、観測頻度も連続観測システムを使用できる場合（例えば、CO₂、O₂、H₂、SO₂：下池ほか, 1997）を除けば、1年に1回の頻度で数年間の変動を調べたり、あるいは1時間間隔でサンプリングを行って1日のなかでの変動を調べたものが主で、

月周期や年周期で希ガスの組成変化を追跡した研究は過去に行われていない（研究者のスケジュールに多分に依存しているものと想像される）。

そこで、本研究では、特にHe/Ar比の組成が月周期や年周期で変動するのか、また変動するとすれば、どのくらいの幅をもった変動であるのか、を明らかにすることに主眼をおき、噴気ガスの化学的モニタリングを行った。研究は現在も継続中であるが、観測開始から約1年間のデータが得られたので、現段階までに明らかになっていることを報告する。

なお、噴気ガスの化学成分を長期的にモニタリングする際に、観測点の選定は非常に重要な問題である。特に今回の研究では繰り返し観測が基本となるため、観測点は比較的アクセスしやすく、噴気孔は長期間にわたって継続的な噴出が行われていることが望ましい。また、ガスの化学組成の時間変動を追跡したいので、適度なHe/Ar比を示す噴気ガスを用いるのが好ましい。これらについては本論中でふれることにする。

2. 調査地域の概要

中部九州、別府—島原地溝の東端に位置する別府温泉は、放出熱量350MW、流出量 5×10^4 t/dayの湯量を有する日本でも最大級の地熱地帯として知られている。標高1000mを越える鶴見火山群から海岸に至る東西約5km・南北8kmの範囲に、噴気・沸騰泉・一般温泉・高温湖沼・地熱変質帯と多種多様な地熱温泉現象が展開している。

鍋山は、別府地域の山岳部にあたる、鶴見火山群を構成する伽藍岳の東方約1kmに位置する噴気変質地帯である（図1）。いたるところから放出される噴気によって、酸性変質が進行し、周辺の岩石は白色を呈している。さらに、噴気地帯の一角からは蒸気加熱型の温泉の湧出もみられ、典型的な噴気活動域の特徴を有している。鍋山は周辺に人工の建造物などもなく、自然状態が保たれている場所であるが、市街地からのアクセスは比較的容易で、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設から噴気地帯の入り口付近までが、車で30分程度の距離にある。

別府の各地では、過去にガスの採取と化学分析が行われており、そこに報告されているデータを見ると、鍋山で得られたガスのHe/Ar比（0.221）は、別府地域の他の点で得られているHe/Ar比に比べて高い値をとる。特に、鶴見岳や塚原（伽藍岳）などで得られたHe/Ar比（それぞれ、0.015、0.11~0.14）と比較しても鍋山のHe/Ar比の方が数倍大きく、深部地熱流体の上昇域にあたる可能性がある。

島弧のマグマ性ガスのHe/Ar比は一般に1~6の値を取ると言われている（Mazor, 1977）。

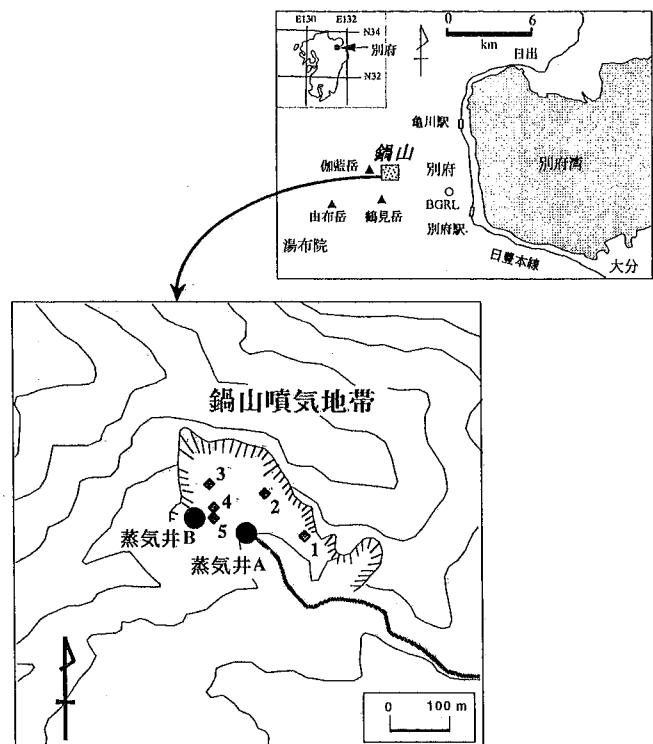


図1 別府地域鍋山噴気帯におけるガス試料の採取場所

●：連続観測点、■：予備調査時のガス採取点

日本において観測されたマグマ性ガスのHe/Ar比の最高値は約2である (Kita et al, 1993)。それに対して、大気のHe/Ar比と地下水に溶存するガスのHe/Ar比はそれぞれ0.00056、0.00015である (Giggenbach, 1992)。火山地帯の噴気ガスは、マグマ性ガスと大気・地下水成分の混合により形成され、そのHe/Ar比は両者の中間の値を取る (Kiyosu, 1986)。前述の鍋山のHe/Ar比 (0.221) は、同様に0.001~2の間にあり、しかもどちらの値にも近すぎないため、He/Ar比の変動を追跡するには適度な値である。以上より鍋山噴気地帯が、定期観測点として適当であると判断した。

3. 試料採取と分析方法

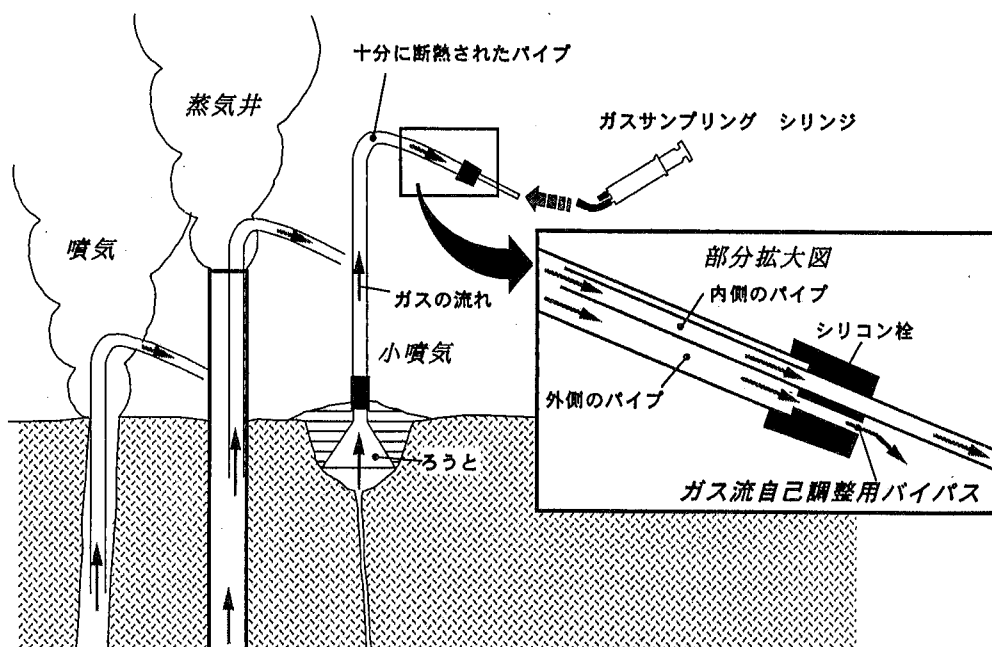


図2 ガス試料の採取方法の概略

鍋山噴気地帯を図1に、試料の採取方法の概略を図2に示す。噴出口から放出されているガスを、5M-KOH溶液を入れたガラス注射器に採取した。鍋山には自然の噴気孔からも、ガスが噴出している。そこでまず、ガスの採取が可能な全ての場所においてサンプリングを行い、He/Ar比を求めた。分析結果を別府地域の他の場所で得られたデータとともに、表1に示す。噴気地帯の周辺部で採取したNo. 1の試料 (表中の鍋山1) を除き、どのサンプリングポイ

表1 別府各地の噴気・蒸気井から放出されるガスの化学分析値
鍋山1~5は本研究で採取された自然噴気で、試料番号は図1のガス採取点の数字に対応している。

採取場所	噴気温度 (°C)	He Ar N ₂ H ₂ CH ₄					He/Ar
		(vol.% in R-gas)					
湯山#1	120	0.033	1.24	88.0	1.3	9.4	0.026
明礬#2	—	0.008	1.06	47.5	25.3	26.1	0.008
鶴見#2	—	0.018	1.23	69.2	25.2	4.3	0.015
鍋山1	97.1	0.110	0.44	73.0	4.4	22.1	0.250
鍋山2	95.6	0.127	0.30	71.7	3.8	24.0	0.423
鍋山3	96.4	0.124	0.30	70.7	4.8	24.1	0.413
鍋山4	97.2	0.109	0.25	57.8	21.1	20.7	0.436
鍋山5	97.3	0.134	0.27	67.5	9.1	23.0	0.496
塚原1#3	115	0.113	1.07	83.2	8.0	7.6	0.106
塚原2#3	97.9	0.133	0.98	85.5	9.1	4.3	0.136
塚原3#3	97.7	0.135	0.96	86.2	5.1	7.5	0.141
塚原4#3	96.6	0.095	0.85	80.0	14.6	4.5	0.112

備考) #1; 大沢ほか (1995), #2; NEDO (1990), #3; 大沢ほか (1998)

ントでも同程度のHe/Ar比であることが判明した。

今回の研究の性質上、長期にわたってデータが得られることが好ましいので、モニタリング用の試料採取点として噴気地帯内に掘削された蒸気井を利用することにした。この蒸気井から噴出されるガスの温度は、年間通じて 97 ± 1 ℃と100℃以下であるため、噴出ガス中にはHClやSO₂などの腐食性ガスは含まれていないと判断することができる。そこでガスの導管には軽くて携行しやすいアルミ管を使用することにした。また断熱されたアルミ製のガス導管と注射器のつなぎの部分には、ガスの一部を逃がすバイパスを設けた。これにより、注射器の取り付け作業時も導管内ではたえずガスの流動が行われ、水蒸気の凝縮やそれに伴うガス流動の停止をさけることが出来る。また、このようにガス導管にバイパスを設けることは、注射器内へ導入されるガスの流速を一定に保つ効果も生み、特に噴出力の弱いガスを採取する際などに有効である（大沢ほか，1998）。以上の装置によってガスの採取を行ったが、採取中は氷水で常に注射器の表面を冷却し、注射器内で効率良く水蒸気が凝縮し、炭酸ガスなどが速やかに5M-KOH溶液に溶解するようにして、今回の分析対象となる、He、Arが含まれるR-ガス（5M-KOH溶液に吸収されなかった残留ガス）をできるだけ多く採取できるようにした。

R-ガスは小型注射器に移して測容した後、大倉理研製AFG-555S型ガスクロマトグラフ（O₂キャリアー）を使用してHe、ArならびにH₂、N₂、CH₄を分析した。なお、分析の精度は、He；1%以下、H₂、N₂；1～2%、Ar、CH₄；2～3%（変動係数）である。

4. 結果と考察

1997年10月7日から1999年4月11日までに得られた分析結果を表2に示す。さらにHe/Ar比を時間軸上にプロットしたものを図3に示す。図3において、1998年5月でデータが途切れているのは、観測開始当初に定点と定めた蒸気井（A）からのガスの噴出がこの時期に停止してしまったためである。そのため、7月以降は新たに別の蒸気井を定点として観測を継続した（蒸気井B；図1）。

現在までに約1年間のデータが得られている蒸気井BのHe/Ar比は、0.4から0.5の間をなめらかに変動している。一方、蒸気井AのHe/Ar比も0.1程度の範囲内で変化していた。

蒸気井Bの変動パターンを見ると1998年7月と1999年2月のHe/Ar比は最高値の約0.5であり、その間の1998年10月や1999年4月に最低値の約0.4の値を取ることがわかる。ここで注

表2 鍋山噴気帯の蒸気井定期観測点から放出されるガスの化学分析値

採取日	試料採取 噴気井	噴気温度 (℃)	He Ar N ₂ H ₂ CH ₄					He/Ar
			(vol.% in R-gas)					
1997/10/7	A	97.6	0.126	0.330	64.8	6.29	28.4	0.382
1997/11/1	A	97.0	0.124	0.358	64.4	5.85	29.3	0.346
1997/12/5	A	96.5	0.129	0.360	65.2	4.84	29.5	0.358
1998/1/7	A	96.8	0.133	0.365	66.9	4.93	27.7	0.364
1998/2/3	A	96.6	0.130	0.369	65.3	5.32	28.9	0.352
1998/3/12	A	96.4	0.125	0.403	64.2	4.68	30.6	0.310
1998/4/7	A	96.6	0.132	0.439	66.2	4.70	28.6	0.301
1998/5/8	A	96.6	0.130	0.459	67.5	4.55	27.4	0.283
1998/3/12	B	97.1	0.145	0.304	69.1	-	-	0.475
1998/6/5	B	97.2	0.131	0.259	63.7	4.99	31.0	0.506
1998/7/1	B	97.4	0.142	0.278	65.7	4.72	29.1	0.511
1998/8/11	B	97.3	0.132	0.271	65.7	4.57	29.3	0.487
1998/9/2	B	97.0	0.134	0.303	64.9	4.25	30.4	0.422
1998/10/8	B	-	0.132	0.330	64.8	4.59	30.2	0.400
1998/11/6	B	97.4	0.133	0.309	66.7	4.37	28.5	0.429
1998/12/15	B	97.5	0.135	0.309	66.1	4.30	29.2	0.437
1999/1/20	B	97.4	0.149	0.317	73.7	4.78	30.8	0.469
1999/2/9	B	97.7	0.135	0.274	67.1	4.57	30.9	0.493
1999/3/15	B	97.1	0.129	0.315	68.0	4.28	30.6	0.411
1999/4/11	B	97.3	0.138	0.347	70.3	4.41	30.4	0.399

注) 1998年6月に、蒸気井Aからの蒸気噴出が完全に停止した為、観測定点を蒸気井Bに変更した

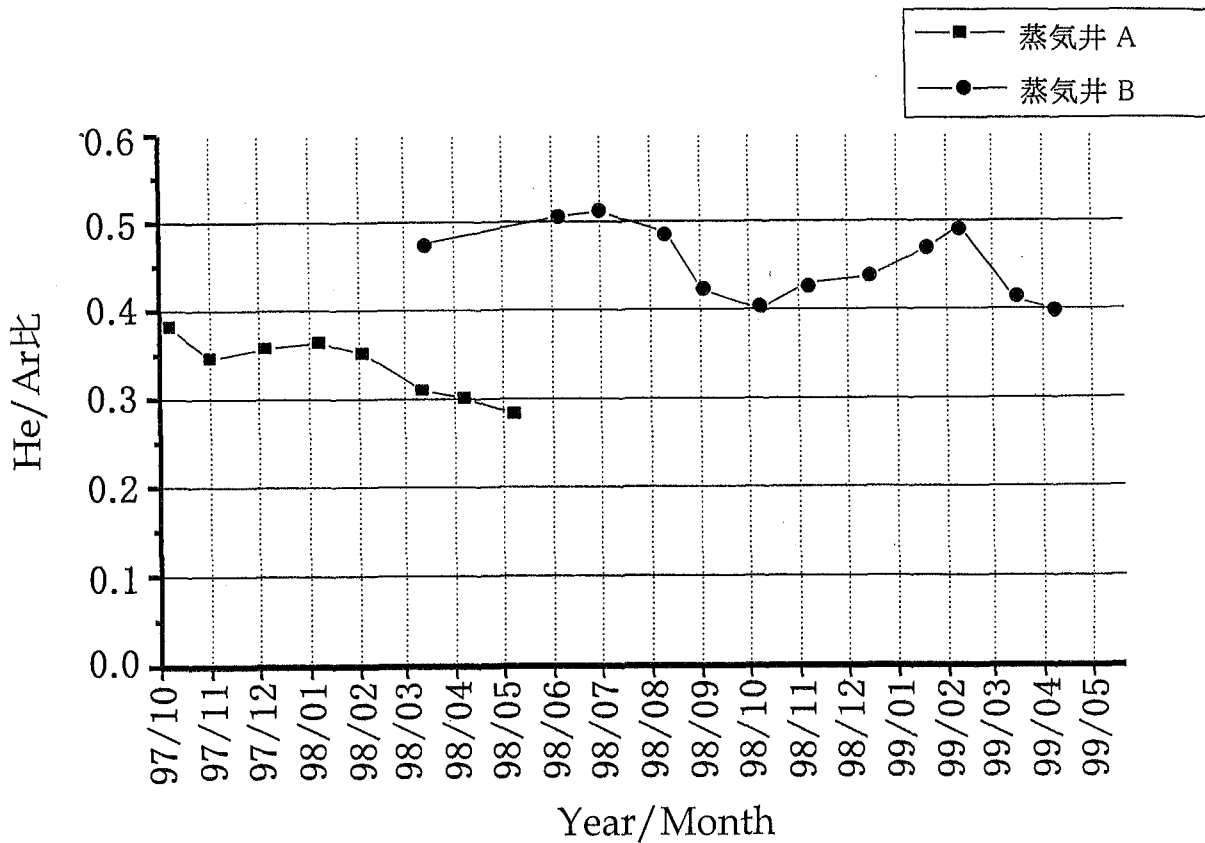


図3 鍋山噴気帯の蒸気井から放出されるガスのHe/Ar比の時間変化

目すべき点は、He/Ar比が最低値から最高値を取るまでに数ヶ月を必要としていることに対して、値が下がる場合は1、2ヶ月の間で最低値まで下がることである。これは、He/Ar比が低下する場合は“パッと”、増加する場合は“じわじわ”と変化する可能性を示しており、意味ありげな観測結果であるように思われる。

蒸気井Aについては、1998年2月以降、He/Ar比は下がり続け、5月の段階では0.3を下回っている。1998年の4月と5月の蒸気井Bのデータが無いので詳しい議論はできないが、蒸気井AとBのHe/Ar比の3月から6月の間の変化を比較すると、それぞれの値は上昇と下降の異なる挙動を示しているように見える。蒸気井Aは最終的に1998年5月に噴気が止まってしまった事を考慮すれば、この蒸気井Aでの噴気活動は、すでに低下の一途をたどっており、そのため相対的に大気起源のArの混入率が増加し、He/Ar比の低下を引き起こしたと考えることも出来よう。

5. まとめ

別府地域の鍋山噴気地帯において月に1回の頻度で噴気ガスを採取・分析し、約1年間、ガスの化学成分（特にHe/Ar比）のモニターを行った。その結果、以下の事が明らかとなった。

- (1) 鍋山地域におけるHe/Ar比は、0.4~0.5の間を変動した。
- (2) He/Ar比は低下する時は1ヶ月程度で急激に変化し、増加する場合は数ヶ月かけて徐々に変化する傾向を示した。

今後はHe/Ar比の変化に規則性があるのか、あるとすればそれを支配している要因は何なのかといったことを明らかにしていくために、さらに継続して観測を続けていく必要があると思われる。

今回の研究の結果では、少なくとも、化学的に不活性とされているガス成分であっても、それらの相対組成は年間を通じてある程度の幅の中で変動を行っていることが明らかになった。これは、たとえ同じ人物が同じ手法で分析したとしても、複数の点で別々の日に採取された噴気ガスの化学組成を単純に比較し、議論することは危険であることを示唆している。そのため、ある点における噴気ガスの化学組成を、観測事実に基づいて、正当に評価する姿勢が重要であると考えられる。

参考文献

- Giggenbach, W. F. (1992) The composition of gases in geothermal and volcanic systems as a function of tectonic setting. In : Proceedings of the seventh International Symposium on Water-Rock Interaction, Park City, Utah, **99**, 873–878.
- 風早康平、高橋誠、大隅多加志、曾也龍典、安藤直行、平林順一、日下部実、浜田隆治 (1988) 伊豆大島三原山における火口ガスの連続化学観測、火山、**33**、1、13–19.
- Kita, I., Nitta, K., Taguchi, S. and Koga, A. (1993) Difference in N_2/Ar Ratio of Magmatic Gases from Northeast and Southwest Japan : New Evidence for Different States of Plate Subduction. *Geology*, **21**, 391–394.
- Kiyosu, Y. (1986) Variations in N_2/Ar and He/Ar ratios of gases from some volcanic areas in Northeastern Japan. *Geochemical Journal*, **19**, 275–281.
- 松尾禎士 (1974) 火山ガス—その化学的性質を探る—、現代化学、10–17.
- Mazor, E. (1977) Geochemical Tracing with Atmospheric and Radiogenic Noble Gases. *Geothermics*, **5**, 21–36.
- 水谷義彦、松尾禎士 (1958) 昭和新山噴気孔ガス凝縮水中の化学成分の連続観測、火山、**3**、119–127.
- NEDO (1990) 平成元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地域流体化学調査報告書、236p.
- 大沢信二、由佐悠紀、大上和敏 (1998) 岳湯地熱地域 (熊本県小国町) の噴気・蒸気井から放出されるガスの化学組成、日本地熱学会誌、**20**、4、289–292.
- 大沢信二、由佐悠紀、北岡豪一 (1995) 霧島火山群の噴気不活性ガス組成、温泉科学、**45**、4、290–294.
- 大沢信二、大上和敏、由佐悠紀 (1998) 伽藍岳の地熱調査(4)—噴気ガスの地球化学—、大分県温泉調査研究会報告、**49**、5–10.
- 下池洋一、野津憲治、脇田宏 (1997) 火山ガス連続測定装置の作成と伊豆大島における観測、地球化学、**31**、111–117.
- 高岡宣雄 (1985) 希ガス同位体による火山ガスの研究—噴火予知を目指して—、火山、**30**、3、185–195.

温泉利用のできるリハビリテーション施設における 問題点と将来の方向性に関する検討(Ⅲ)

国立別府病院リウマチ膠原病内科・リハビリテーション科

安田正之

1. 目的

本研究会において2年間に渡り、温泉を利用できるリハビリテーション施設をより有効に活用する方策を報告してきた(第1報:第48号、第2報:第49号)。すなわち、リハビリテーション施設の利用時間、リハビリテーション中の患者へのスタッフの対応、水治療における主として運動浴の使用規則を検討してきた。国立別府病院リハビリテーション施設の持つ最大の特徴の一つは温泉利用が可能なことであるので、今回、リハビリテーションを行う場である温泉治療棟と機能訓練棟がより強い連携の下に結びついた施設を考えた。

2. 諸言

国立別府病院リハビリテーション棟のうち、機能訓練棟は、昭和23年設立の温泉治療棟の南側に肢体機能回復訓練室として昭和36年に設立され、昭和50年には温泉治療棟とは別個に新築された。昭和54年、現温泉治療棟が機能訓練棟に隣接して廊下でつながった施設として併設され、リハビリテーション棟と命名されて今日に至っている。したがって、機能訓練棟と温泉治療棟は相互に独立しており、必ずしも両者が機能的にアレンジされてはいない。

また、平成9年度に臨床科名としての理学診療科は廃止されてリハビリテーション科と改名され、患者の中心も脳血管障害後遺症一辺倒からリウマチ・膠原病、整形外科的疾患へと変化してきた。スタッフも、リハビリテーション訓練士(PT/OT)や言語訓練士が国家資格になり、より専門性の高いリハビリテーションへと誘導されつつある。さらに、温泉治療には特異性は存在しないとの認識がなされ、医療法の改正で長期入院が制限されるにつれ温泉治療の適応は縮小されつつある。しかしながら、依然として多くの患者は温泉を利用した温熱・物理療法を望んでいる。

3. 基本的コンセプト

- ・温泉を利用出来るリハビリテーション施設であること。
- ・温泉を利用した総合的リハビリテーションが用意されていること。
 - ・リハビリテーションの目的は病院から家庭や社会への復帰を図ることであるので、家庭での生活に対応したリハビリテーションプログラムや住居環境の改善助言が出来るなどのプログラムが用意されていること。
- ・特殊領域のリハビリテーションに対応できること。
 - ・精神科リハビリテーション(デイケアなど)
 - ・言語訓練・燕下訓練
- ・リハビリテーション訓練が訓練のみではなく、それ自身が楽しめるものであること。
 - ・リハビリテーション施設に居ること気分をリラックスさせるような空間であること。
- ・病院職員にも利用できる憩いの場であり得ること。

4. 現施設と未来のリハビリテーション施設

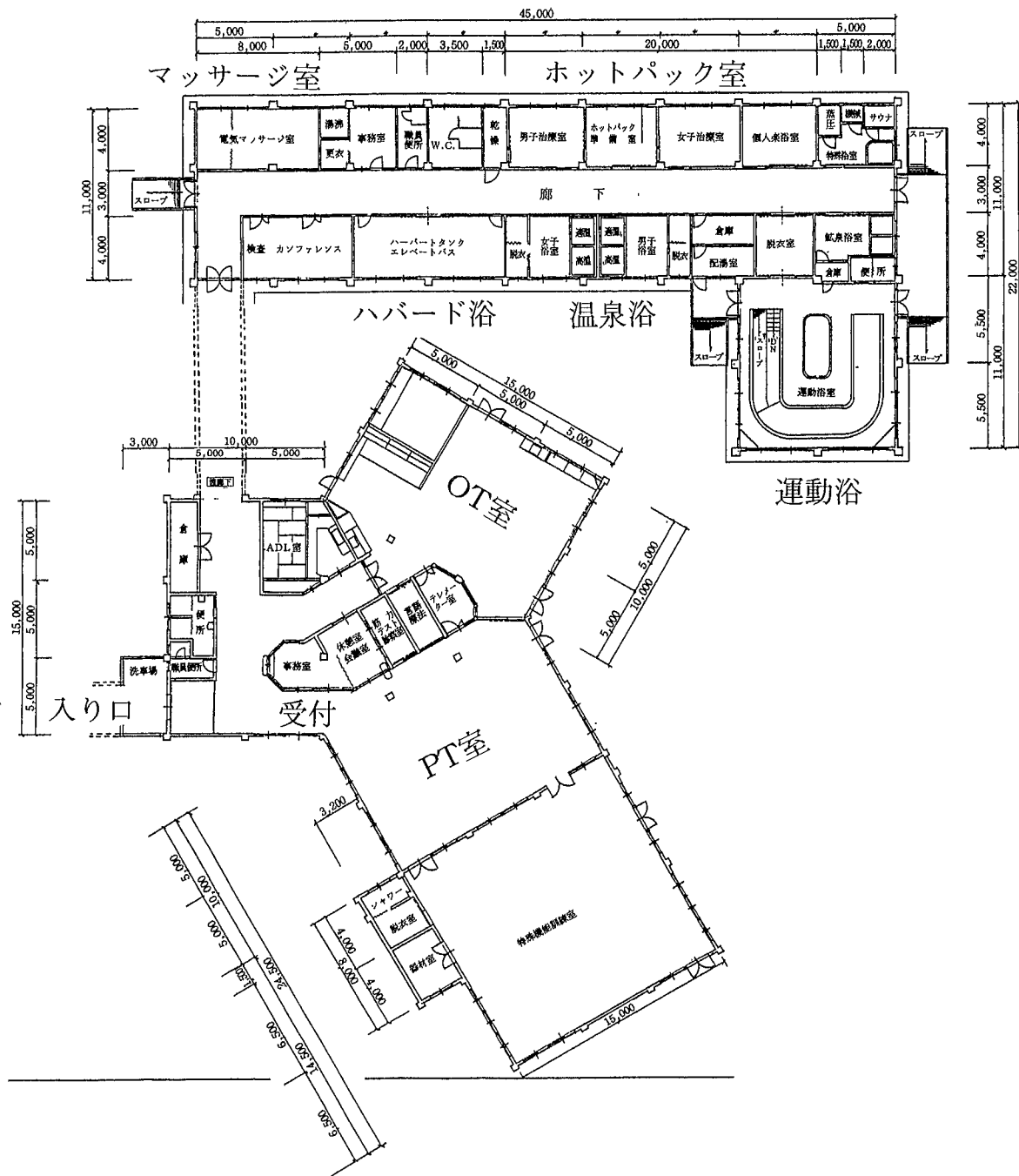
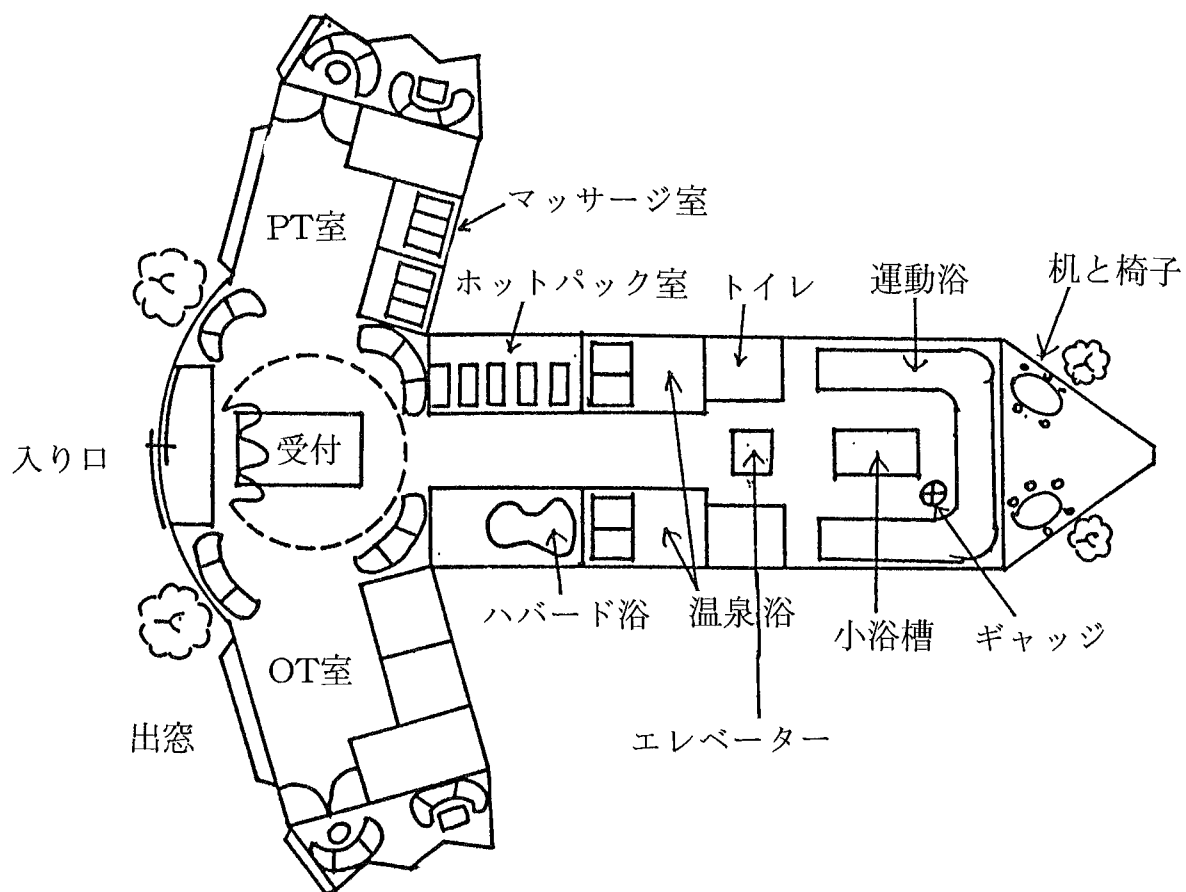


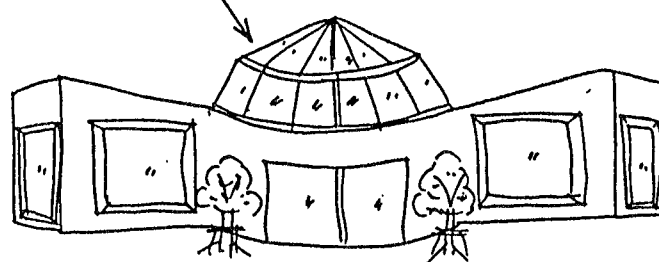
図1 現施設

図上半分は温泉治療棟であり、下半分は機能訓練棟となっている。両施設は廊下で繋がっている。温泉治療棟は運動浴、温泉浴をはじめ、サウナ浴、薬浴、泥浴、ハバード浴より成る水治療施設と、マッサージ室、ホットパック室および言語訓練室（カンファレンス室を使用）より成る。機能訓練室は、PT室の奥は循環器訓練室であったが現在は畳を敷き、関節可動域改善を図ったり、筋力測定・筋力訓練機を置いている。OT室は陶芸も可能であり、調理はADL室で行われている。



机と椅子

ガラス(スタンドグラス)



吹き抜け

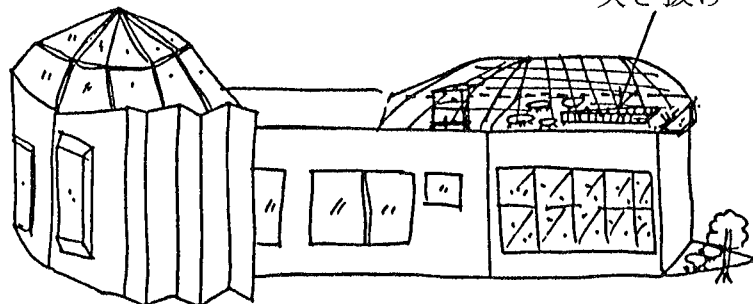


図2 未来のリハビリテーション施設

建物全体は鳥をイメージし、明るい未来へ飛び立つためのしばしの憩いの場であることを願い、建物の形、立木、調度で鳥の形を模した。また、外光を多く採り入れ、明るさを強調した。

温泉治療棟は、運動浴と温泉浴が水治療の中心であり、ハバード浴や小浴槽は筋力低下が著明な患者の訓練や入浴を行う。ホットパック室は、温泉熱を利用して疼痛局所を暖める。PT/OT室は現機能をカバーするが、PT室の中にマッサージ室を、OT室の中に言語訓練室を設ける。受け付け周辺には、ソファを置き、PT/OT室には談話スペースを用意する。受け付け上部はステンドグラス張りとして外光を採り入れ、明るさと美しさを強調する。

運動浴室の手前にエレベーターを設け、2階へ上がれるようにする。2階は、中央部分を吹き抜けとし、運動浴室の天井から外光を採り入れる。吹き抜けの周囲にはテーブルと椅子を置き、先端部分をテラスとする。眼前に別府湾を望み、患者達の気分転換を図る。2階部分は一般職員にも開放し、会議や集会に利用する。

5. 考 案

九州大学温泉治療学研究所による温泉治療学の歴史は、温泉の効果が非特異的刺激作用に基づいており、特定の湯や成分が特定の疾患や病態に効くものではないことを示している（安田、1998）。「温泉は、病気をアタックしようとする治療ではない。温泉は特異的な形で効くのではなく、非特異的に体のレベルを上げることによって、治療や健康増進に役立つ」とされている（辻、1996）。また、1990年当初より治療医学にはQuality of life (QOL) への考慮が強く求められたので、我々は、温泉とQOLの関わりを慢性関節リウマチ患者を対象に検討し（第1報：第46号、第2報：第47号）、温泉浴や温泉を利用したりハビリテーション訓練の有するQOLへの効果を報告した。

次に、開拓せねばならない温泉利用は、高齢化社会対策の一手段としての利用であろう。目前に迫った21世紀高齢化社会に対し平成12年度には介護保険制度が開始されるが、この制度の対象は、急増する“病気を持たない高齢者”である。したがって、彼らが病気を持つ場合は、それに要する医療費とマンパワー、経済的負担はさらに大きくなる。したがって、“病気を持たない高齢者”であり続けるよう図らねばならないが、温泉はその有望な一手段として考慮されるべきであろう。心身のリフレッシュを図り、障害に対する早期リハビリテーションの手段としての温泉の意義を見直すべき時である。温泉を利用できるリハビリテーション施設の充実は、国立病院の医療としてのみならず、地域リハビリテーションとしても有効・重要な課題であろう。

参考文献

- ・辻 秀夫(1996). 温泉と健康. 平成8年度博物館、少年自然の家などにおける科学教室等特別事業の研究開発事業 野外学習講座事業実施報告書：31-33.
- ・安田正之(1998). 温泉の医学的利用 一九州大学温泉治療学研究所の取り組みの歴史と今後の展望一. 温泉科学48：94-97.

環境行政と温泉法・温泉権(Ⅲ)

— 21世紀へ向けて回顧と展望 —

(大分大・大分医科大)

大野 保治

はじめに

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| I 温泉をめぐる環境行政の推移 | IV 県下の温泉地の将来展望(※) |
| II 戦後の温泉法・温泉行政の展開 | 1 別府温泉と温泉の保護 |
| III 温泉の権利に関する諸問題
(以上一第48号既報) | A 別府市南部特別保護地域<本号報告> |
| | B 同 鉄輪特別保護地域 |
| | C 同 亀川特別保護地域
(Aを除き一第49号既報) |
| | 2 県下の温泉地については続報予定 |

※IV 県下の温泉地の将来展望

1 別府温泉と温泉の保護

- (1) 概況
- (2) 別府温泉と温泉の保護(序説)
- (3) 別府温泉の泉源・泉脈
- (4) 本報告の趣旨

(以上一前号で報告)

A 別府市南部特別保護地域

(1) 浜脇温泉と別府温泉(狭義)の概要

広義の、通常称するところの「別府温泉」は、周知のとおり、別府市全域で広範囲に所在する8温泉場(言うところの「別府八湯」)で構成されている。本報告で取り上げる<別府市南部特別保護地域>には、この八湯中、かつての浜脇温泉地区と狭義の別府温泉地区とを含むが、前者の浜脇温泉は温泉町としては凋落したが、後者の別府温泉は、現在もなお重樞な地歩を占めている。

当該特別保護地域の指定区域は、大分県環境保全審議会温泉部会内規(平成4年4月1日施行)の別表によって特定されている。その街区を南の方から順に列挙してみよう。

浜脇1丁目 同2丁目 同3丁目 浜町 松原町 南町 立田町 千代町 末広町 楠町 秋葉町 元町 中央町 北浜1丁目 同2丁目 同3丁目 駅前町 駅前本町 田の湯町 野口元町 西野口町・光町の特定地番 上田の湯町

— 以上のように、当該特別保護地域は旧別府市街地で主要な部分を占めている。この特別保護地域に含まれない残部の大半は<別府市南部保護地域>に指定されている(後述)。

当該特別地域が旧市街地で広範な領域を占めていることから、本号では、昨年会報(第49号)のB別府市鉄輪特別保護地域、およびC同亀川特別保護地域の地区割の手法に準じて、各方面別の5地区に分け、各地区での概要なり特異性、将来の展望などを述べることにしたい。

<第1地区—浜脇温泉>

この地区は、日豊線の線路により区切られた東側で、東端は浜脇埋立地の海岸線、北縁は朝見川（左岸）に囲まれた地域である。街区としては一浜脇1丁目（地先を含む）、同2丁目、同3丁目の全域が含まれる。かつて別府温泉（狭義）と並んで浜脇温泉は、温泉町として覇権を競った古い湯治場であった。第二次大戦後、しだいに温泉町としては衰退に向い、最近では都市再計画で再生して住宅化した。現在、温泉町としては、独自の存在価値を失うまでになってきている。かつての湯治町としての華やかな賑いは、全く想像もできない。

<第2地区—南町・楠町周辺>

この地区は、朝見川（右岸）と流川通りの以南の範囲で、西方は日豊線の線路敷き、東は海岸埋立地に囲まれた区画である。街区としては、西山手に向い海岸より順に浜町・松原町・南町・千代町・立田町・末広町・秋葉町・楠町の8町（このうち、浜町と楠町は地先を含む）にわたる広域である。この地区は、かつての別府温泉で、流川通りを挟んで別府駅・元町・北浜（次の第3地区）とに二分されていた。

この地区には、旧別府町（大正12年より別府市）の庁舎・（旧）警察署・消防署・築港（棧橋）・青果魚市場・松原公園（繁華街）・商店街・土産品店などが軒を並べ、かつての別府温泉の繁栄を支えていた主要な地域であった。

<第3地区—元町・北浜周辺>

この地区は、流川通りより以北の元町の全域、および大正末期から昭和初期に埋立てられた北浜一帯から成る。北縁は富士見通りで、この区画の中から別府駅前（東玄関口）の3町（第4地区）を除外した領域である。

徳川末期には、海門寺を中心にした別府村であり、明治中期から後期にかけて発展を遂げ、とくに明治44年7月の別府駅開通をみて陸上交通の要衝として別府町発展の基礎を固めた。主要な施設としては（旧）別府郵便局・海門寺（公園）・北小学校（別府学校の発祥地）、それに海岸通りの旅館街、別府築港時の波止場神社、竹瓦温泉などが在り、前掲の第2地区と並んで別府町の発展に大きく寄与した地区でもある。

<第4地区—別府駅前周辺>

この地区は、日豊線別府駅の東口周辺の繁華街で、街区としては駅前町・駅前本町・中央町の3町全域が含まれる。前記第3地区と一体となって明治後期、とくに別大間の電車開通（同33年）後に発展を遂げてきた。第二次大戦後も、市勢が北に伸びたこともあって、流川通り以南の第2地区の凋落とは裏腹に、現在の別府温泉の経済を支えている。とりわけ戦後、旅館・ホテル観光業者が北浜（鶴水園）地区に集中したことにより、一層の発展が期待されている。

<第5地区—別府駅山手方面住宅地区>

この地区は、別府駅西口の山手側の一画であり、街区としては野口元町・野口南町・田の湯町の3町全域と、流川通り以南の光町の一部（日豊線の線路より西側の地先部分の地番10～14）、上田の湯町の1・6・7・12・13・14・17の諸番地、西野口町の1・6・7・8・11～14番地が含まれる。その南北の道路限界線は、南端は流川通り南方に位置する光町から、北端は富士見通り東西の線で画され、ほぼ市道の中央に別府中央公民館（旧別府中央公会堂）が所在する。当該第5地区の街区形状は、ほぼ矩形となっている。

〔第1地区—浜脇温泉の概況〕

明治初期の浜脇村と別府村とは、別府湾の奥深い湾沿いの月並みな農漁村で、住民の中には家業のかたわら湯治宿を兼ねるものもいた。明治9年(1876)に編まれた『豊後国速見郡村誌』(当時の郡役場による地誌)をひもとくと、往時の両村の実態がうかがえて興味深い。

浜脇村—人口2,439人 日本形船83艘(うち漁船67艘 荷船4艘その他)人力車30輛…

別府村—人口3,182人 牛338頭 馬35頭 人力車30輛…

当時、海岸には天然の砂湯(潮湯)もあり、満潮時には「青天井下ノ浮風呂」風景も見られた。共同浴場では、夕方から肌を赤銅色に焼いた漁民や在住の男女が混浴し、昼間は主に、湯治客が入湯を楽しんでいた。

また、浜脇と別府の港には「春秋ノ交、舟ニ乗り来遊シ、港ニ填湮(煮たきすること)ス」と、いわゆる“湯治舟”で賑わい、情趣豊かな出で湯の街のことが誌されている。

明治も中期(同20年～)に入ると、両村の相もしだいに変わる。政府による「町村制」の施行は同22年4月である(浜脇役場は字湯の上に在った)。当時、浜脇温泉の共浴施設は東ノ湯(以前の名称は弦月泉)、西ノ湯(同じく精華泉)、それに浜脇薬師湯の3泉があった。入湯客数も同12年ごろ、東ノ湯4,200人、西ノ湯2,980人(年間)が3年後の同15年には、どちらも約2万5,000人と急速に伸びている(「大分県統計書」)。

町村制が施行された4年後の明治26年4月には、浜脇村も別府村も、同時に町制を布く。

浜脇町—戸数 676戸 人口 3,208人

別府町— 〃 1,033戸 人口 4,677人

この頃には、掘削技術も向上し、上総掘りと呼ばれる新技術の開発で「突湯」がつぎつぎに出現した。この技法は、別府奥地特産の竹を割り長く継いだ「へね竹」を数人の手で操作し、竹が弓矢にそった反動で深く掘り進むといったもので、国内で石油井の掘削技法を転用したものという。この結果、個人所有の源泉(個人専用泉)が増加する。一方、旧来の共浴温泉も、公権的な運営と管理の下に「町営温泉」として再編成された。

参考までに、両町の町勢(地位)を見ると、明治25年時の「全国温泉調査一覧」の番付表(報知新聞主催、人気投票)には、浜脇温泉が西の“前頭4枚目”に対して、別府温泉は同じく“7枚目”にランクされており、浜脇の往時の繁栄振りが偲ばれて興味を呼ぶ(『大分県史近代編Ⅲ』「別府市の成立」拙稿参照)。

明治30年代に入り、浜脇町の躍進の姿を項目を迫って偲ぶことにしよう。

- ・別大電車開通—明治33年5月10日

起点—南町(九電別府支店前(のちに北浜まで延長))より新川(のちに大分駅まで) 終点
所要時間50分 上等(1等)20銭 下等(2等)15銭 二両連結

- ・浜脇郵便局創業—同37年1月
- ・3共浴施設大改修—同年5月
- ・浜脇町・別府町の合併—明治39年4月(新「別府町」へ)

初代町長・日名子太郎 人口 1万4,045人

- ・日豊線浜脇(のち東別府)駅開通—同44年11月1日 年間乗降客数(45年度) 10万9,707人
- ・浜脇海岸埋立着工—同44年11月(完工大正2年9月)

こうして源泉数の増加も、目を見張るものがあつた。同44年9月、別府町初の温泉実態調査での結果は—全町内に湧出する源泉数は町有のもの24個(自然湧出7、突湯17、浴槽数合計104)に対

して、個人有源泉は、実に569個を数えた（同じく10、559、714）。このような源泉数の激増は、温泉利用が共浴場中心（いわゆる「外湯主義」）から、入浴に便利な「内湯主義」へと移った事情を物語っている（こうした温泉利用の趨勢は、全国の著名温泉地ではほぼ同じである）。

浜脇温泉の全盛期は、こうして大正末期までつづく。だが浜脇で温泉の濫掘と温泉利用の濫用の結果、暗い影がさし始める。

この浜脇温泉での「温泉の危機的状況」は、市に昇格した（大正13年4月1日市制施行、市長・神沢又市郎、人口 3万6,276人）ばかりの市議会でも、また当時のマスコミ（豊州新報、大分新聞など）にも大きく取り上げられた。しかし、市民は、さほど強い危機意識を持つこともなく、放漫の裡に経過した。

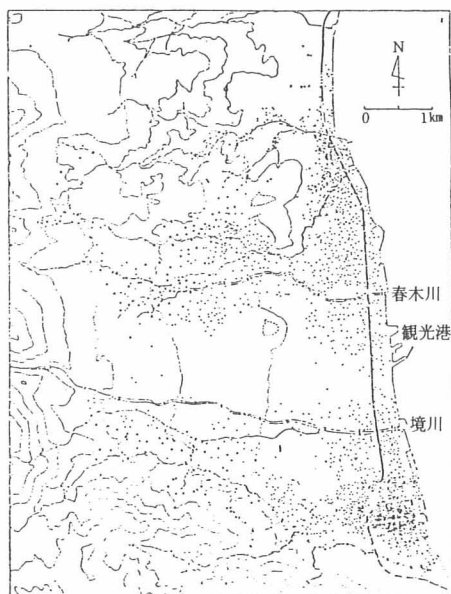
温泉の危機（衰退現象）が叫ばれながらも、第二次大戦を挟んでなお余命を保っていた当該浜脇温泉場が、決定的な打撃を受けて“温泉街の灯”を消すのは、戦後も昭和40年代に入ってからであった。

詳細な報告はさて置き、別府温泉全域（別府八湯を含む）で温泉の保護と適正な利用を目指し〈特別保護地域〉と〈保護地域〉の指定がなされた昭和43年以降、10年間隔の源泉数と湧出量等の推移を示すのが次表である。

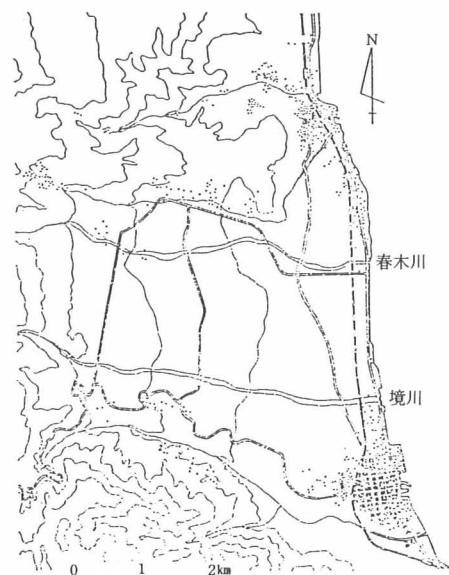
（第1表）浜脇温泉の源泉数等の推移

年 度	源泉総数 (口)	枯渇未利用 (口)	利用源泉 (口)	湧出量(分) (ℓ)	備 考
昭和43年	194	163	31	890	
同 53	196	165	25	833	
同 63	53	33	16	572	
平成 9	20	3	17	773	

なお、資料としてはいささか古いのが、昭和50年の温泉分布と戦後、同24年「温泉法」制定直後の源泉数の図（第1・2図）を対比すれば、その激増振りが容易に判るだろう。



第1図 別府温泉における昭和50年の温泉分布



第2図 昭和24年の温泉分布

（『別府市誌』昭和60年版より）

〔第2地区一楠町・南町周辺の概況〕

第1地区でも触れたように、明治初期の『速見郡村誌』に見るとおり、別府村は浜脇村に比べて農地が広がったことから、地区住民は主に農業を営むかわら、入湯宿屋（旅籠、のちに木賃宿）や土産品店を営むものが次第に増加した。その頃（明治12年「大分県統計書」）の宿屋は21軒、同17年には40軒に増え、同20年代に入って

「大小ノ客舎ハ70余戸、貸席ノ業ヲ営ム者20余戸、年中ノ浴客ハ3万人ニ達セリ。……」
というまでに至った（佐藤蔵太郎著『別府温泉記』など）。

明治中期以降、政府の「町村制」施行（同22年4月）と日本資本主義の台頭と発展で、温泉の町も“近代化への途”を歩き始める。別府温泉でも、楠温泉・永石温泉（第2地区）、竹瓦温泉・田の湯温泉（第3地区）の共浴場を中心に、町勢は次第に北の方へと伸びてゆく。

都市の発展に大きく寄与するのは、今も昔も変わりなく、陸海（現代では空路）の交通手段のいかにある。維新直後の日田県令（松方正義）や廃藩置県の初代県令（森下景端）の別府築港や共浴施設の整備、道路の改造などの先見の明は明治末期から大正期にかけて結実し、別府温泉は温泉町としての確乎たる地歩を築いていく。この辺の事情を項目別に列記してみよう。

- ・明治30年代—(旧)別府港・埠頭の整備と客船（大阪商船）の利用客数12万9,943人（同35年「県統計書」）
- ・同44年7月16日—日豊線別府駅開通、年間（同45年度）乗降客数35万2,662人
- ・同45年2月—陸軍病院・小倉衛戍病院別府分院の開所（田の湯）
- ・明治末期—電灯の町内普及（門外灯670、屋内灯6,386 アーチ灯4）
- ・大正2年—大阪商船（くれない丸、1000トン）就航 アメリカ観光団来遊
- ・同9年—地獄遊覧自動車営業開始 泉都自動車会社（小型車6人乗り）
- ・同11年11月—別大電車の発着地、南町（永石通り入口）から北町（北浜）へ延長

こうした温泉町としての飛躍的發展から、温泉行政もまた充実する。明治43年、別府町（浜脇町・別府町の合併—同39年）では上等温泉取締規則、入湯人待遇法（要綱）、並びに海岸砂湯管理規則が定められ、温泉事業組合もつくられた。町役場に、初めて「温泉係」（大正期に「温泉課」に昇格）が設置された（同42年6月）。

大分県においても、明治45年6月、鉱泉（主に温泉を対象）に対する厚生上の取締規則で行政法規の性格をもつ「大分県鉱泉取締規則」（県令第32号）を制定した。この規則は、戦後の昭和22年に全国に適用される「温泉法」に継承された。

この取締規則の制定以後、泉源（泉脈）の保護や温泉の管理は、公権力による統制と監督の下に置かれることになった（その権限を行使するのは内務省所属の警察衛生局であった）。しかし、当該規則は、厚生行政的取締の視点からのもので温泉の権利・義務を定める実体法規ではないことから、温泉掘削の濫削や温泉利用の濫用などの社会問題（その他、温泉争議など）に対して、法的効果は期待すべくもなかった。それが、大正末期の浜脇温泉での温泉危機に対処できなかったことは、言うまでもないことであった。

一戦前までの〔別府温泉（狭義）の歴史的推移〕はさて置き、第2地区の楠町・南町周辺8町（流川通りの日豊線踏切より海岸までから以南、朝見川までの街区）の「現況」を見ていくことにしよう。

温泉台帳登載（県中央保健所）の第2地区8町の源泉数は、全部で123口を数えた。これが温泉採取者（採湯権者）の所有形態別にみると一個人有のもの（法形式の上での法人や医療機関名を含

む)は88口(72%)を占め、2人以上で共有するもの(権利の視点からは分湯権と物権的利用権と思われるものを含む)は24口(30%)である。その他、市有源泉(公衆共同浴場に利用するもの)は9口、温泉組合形式のもの2口が見られた。

つぎに、温泉掘削の申請に不可欠の要件である揚湯泉孔の「口径」と掘削「深度」をみていこう。

全123口のうち、揚湯孔の口径が40mm(38mm、1.5吋を含む)のものは89口(72%)、50mm(53mm、2吋を含む)は約3分の1の33%を占める。ただ1口のみ、市有源泉の口径65mmが例外として認められている。掘削の「深度」と汲上げ口での温泉の「温度」を示すのが次表である(第2表)。

(第2表)

掘 削 深 度		温 度	
100m未満	35 口	28 %	40~45 ℃
100~150	70	57	45~50
150~200	9	7	50~60
200以上	0	0	60以上
(未記入)	9	7	(未記入)
合 計	123 口	100 %	合 計
			123 口
			100 %

掘削の「深度」のことに関する限り、次に述べる第3地区に比較して深度は総体的に浅く、150m以下が85%と、その大半を占めていることは注目に価する。もっとも、未記入の9口を除外すれば、その占有率は92%にまで達する。しかし、将来、当該第2地区での源泉の掘削深度がこのままの状態を保持できるかとなると、疑念が生じる。次の第3地区、とりわけ北浜地区のように深度が深くなりつつある現段階では、注目しておくことが必要であろう。

つぎに、湧出温泉の汲上げ口での「温度」を見よう。当地区で温度が50℃以上のものが約8割を占めている。入浴に値する適温としては、この地区では現在のところ、安定的供給がなされているとみても良いのではあるまいか。

最後に、温泉の「湧出量」(毎分の量ℓ/m)と、各源泉の「掘削年次」の趨勢を概観してみよう。

(第3表) 別府温泉(第2地区)の湧出量と掘削年度

湧 出 量(ℓ/m)		掘 削 年 度	
10ℓ未満	8 口	7 %	大正末期まで
10~20	42	34	昭和20年まで
20~30	33	27	昭和20年代
30~40	13	10	同 30年代
40以上	19	15	同 40年代
(未記入)	8	6	同 50年代
合 計	123 口	100 %	同60年以降
			3
			123 口
			100 %

(「県温泉台帳」により作成)

当該地区の源泉の湧出量の動向については、後に別府温泉(狭義)の総湧出量において取り上げることにした。

つづいて、源泉の出現(掘削申請と掘削という事実行為の完了による公認)の時期を、年代別に

見ていくと、第二次世界大戦終戦までに掘削されたものが全123口のうちの69口もあり、過半数の56%を占めている。このような明治期以降の温泉口（権利の側面から見れば、自然湧出泉を主とした旧慣温泉権から次第に個人有温泉権の近代的温泉権に変質したものが多い）が、とにもかくにも、今日まで温泉の生命を保って温泉利用に貢献してきたという社会的事実、やはり注目に値しよう。いふならば、温泉文化での“文化財的存在”として後世に遺す必要があるのではあるまいか。もとより、かような戦前からの源泉も、戦後新たに掘られたものも、現行法規「温泉法」の適用の上では対等の存在であり、差等を付けるべきものではない（法の下の平等—憲法第14条）。

しかし、歴史的由緒のあるような、たとえば「竹瓦温泉」「楠温泉」「永石温泉」「田の湯温泉」などの共浴施設は、公共性（したがって公益上）も高いことから、貴重な温泉資源として後世に遺したいものである。

〔第3地区一元町・北浜周辺の概況〕

この旧別府市内の元町と北浜1～3丁目の街区に掘られた源泉総数は、筆者の調査したところによれば、全部で238口が数えられた（元町100、北浜138）。

これを採湯者の所有形態別に分類すると、個人所有が183口と72%を占め、2人以上数人の共有、もしくはこれに準ずる権利の性格のものが42口（18%）である。すなわち、8割足らずのものが個人所有泉である。これは、昭和55年3月時点での別府温泉全域の調査資料と、ほぼ符合する。すなわち、総源泉数2,861口のうち、個人所有のものは2,210口（77%）、残余は源泉共有者であり、さらに1源泉当たりの利用（権）者の平均は4.5人（採湯者総数は3,256人）となっている（『別府市誌』昭和60年版による）。

つづいて、揚湯泉の汲上げ口での「口径」「深度」「温度」「湧出量」を順に見ていくことにしよう。

掘削申請に対し許可される口径の基準は、一般住宅の場合は原則として40mmであり、これに該当するものは145口の61%、これに対してホテル・旅館用・共同浴場用のそれは50mmで、これが78口（32%）あり、他に未記入が5口見られた。先述の第2地区に比較して口径50mmが約10%ほど多くなっている。この動向は、当該地区とくに北浜周辺に、多量の温泉を必要とする（温泉使用量の多い）ホテル・旅館業者が密集していることと無関係ではあるまい。だが、この点で、温泉の自然界による湧出量（自然の生産力による供給量）と温泉需要者の温泉使用量との均衡が保たれている期間は社会問題となり得ないとしても、将来必ずや、このバランスが崩れることが予測されることから、緊急に何らかの対策を検討してみる必要があるのではあるまいか（後述）。

つづいて、掘削の深度と温度の動向を示すのが、次表である。

（第4表）同じく第3地区の深度と温度

掘 削 深 度				温 度						
100m未満	39	口	16	%	40～45	℃	2	口	0.1	%
100～150	111		46		45～50		13		5	
150～200	20		8		50～60		113		50	
200以上	39		16		60以上		78		34	
（未記入）	29		12		（未記入）		22		10	
合 計	238	口	100	%	合 計		238	口	100	%

（「県温泉台帳」により作成）

深度の点では、150m未満のものが150口の63%を占めていることが判る。前述の第2地区と比較してほぼ同傾向で、この限りでは、ひとまず安定的供給がなされているとみてよからう。問題とすべきは、次の点にあると考える。

旧市内の別府温泉において、研究者（1部）によれば、掘削深度の許容範囲は200mまでと言われている。だが、この地区で、200mを超えるものが39口（16%）あり、加えて口径50mmで揚湯量も毎分50ℓ以上の源泉は、そのほとんどがホテル・旅館営業者のそれである。最高深度400mの市有源泉（共浴場）1口が見られるが、これは一般住民の公共の需要に応えるという点で、例外的なものとして認めざるを得ないだろう。

深度200m以上の39口のうち、深度300m以上が14口含まれており、うち1口を除いて13口が大量に湯を汲み上げていることは、これを無視できず、将来、社会問題に発展する余地を多分に残している。後述するように、別府温泉の1日当たりの温泉使用量は、ほぼ限界にきていると考えられるからである。それがホテル・旅館の宿泊観光客用に利用されているだけに、いちがいに非難できないにしても、再検討を要するだろう。

つづいて、温泉の「温度」について見よう。

全238口のうち、50度C未満のものが15口の6%であるのに対して、50度C台のものが最も多く113口、60度Cが78口で併せて193口で80%を占めている。現在のところ、温泉の「温度」の点では、第2地区と同様に安定的供給がなされているとみてよからう。とはいえ、これとて使用量の如何によっては、不安定要因（枯渇現象）になりかねないであろう。

さらに、湧出量と源泉の掘削年度（出現）の動向を示すのが下表である。

（第5表）同じく湧出量と掘削年度

湧 出 量 (ℓ / m)			掘 削 年 度		
10ℓ未満	5 口	2 %	大正末期まで	69 口	} 37 %
10~20	28	12	昭和20年まで	20	
20~30	64	27	同 20~30	8	} 63
30~40	39	16	同 30~40	46	
40以上	75	32	同 40~50	44	
(未記入)	27	11	同 50~60	32	} 19
合 計	238 口	100 %	同60年以降	19	
(「県温泉台帳」により作成)			合 計	238 口	100 %

当該第3地区においても、湧出量については、のちの「問題点」のところでも取り上げる。なお、未記入が多いことは、戦前からの源泉が3分の1を超える37%もあり（うち3口は自然湧出泉の認定となっている）、現在まで継続して利用されてきたものなのか未利用泉であるのか、温泉台帳の上からでは直ちに判別しがたい。

一掘削申請（もしくは完工）の年度別を示すのが上表（第5表）である。戦前からの源泉数が先の第2地区では56%占めていたものが、この地区では37%と少なくなっている。

なお、当該第3地区は、第2地区に比較して指定地域の面積がさほど広くない。にも拘わらず、源泉数は多い。このことは、それだけ源泉が密集して存在していること、併せて一定区画で可能な限界まで汲上げていることを意味する。自然界の原理に基づく限りある源泉生成量に対して、人間

(社会)の営為に拠る温泉使用量が増大することで温泉の危機を招く可能性が高い、と言わねばならないだろう。

この点に関しては、稿末の〈問題点〉で取り上げることにする。

〔第4地区と第5地区〕

第4地区は、別府駅駅前（東玄関口）の3町一駅前町・駅前本町・中央町一の全域である。つぎの第5地区は、別府駅西口（山手側）周辺の野口元町・野口南町・田の湯町の3町全域と、その周辺（若干の地番の地先）を含む。

両地区は、別府駅と日豊線線路を挟んで東西に対峙している。別府村当初の西方村域の集落は、この鉄道線路までとされ（住宅化していない村外れに、鉄道が湾曲して敷設されたと伝えられる）、線路から山手方面一帯は主に松林と原野であった。大正期に入って、線路以東の町並みが現状のように区画整理の対象とされるに至った。

すなわち、別府町と浜脇町とが合併した後、明治42年（1909）3月の別府町議会で、市区改正と上水道敷設規則（案）が承認可決された。同44年3月、別府第1耕地整理組合が設立され、つづいて第2～6整地組合が順次作られ、次第に近代的な温泉町に相を変えていく。こうして、現在のように碁盤目状に整然と区画された温泉町が形成された。その全貌を項目を挙げて示せば、次のとおりである（大正年間の関連事項も）。

- ・工事着手（明治44年3月）—完工（昭和3年9月） 経年期間—約18年間 総工事費—約100万円（当時）
- ・新設の街区—18 町—62 通り—19
- ・北海岸埋立工事 大正3年～同8年（完工）
- ・「新別府」（大字鶴見）の温泉付き別荘分譲地の造成開始—大正3年（新別府温泉土地株式会社）完工、分譲開始は同5年ごろから
- ・乙原・鮎返川水源の上水道工事（同4年）
- ・流川を埋立て「流川通り」とする（同6年）
- ・地獄めぐり回遊道路（県道）完成（同10年）
- ・京都大学地球物理学研究所設置（同13年）
- ・遊園地「鶴見園」開業（同14年）

—これらは、当時の別府町にとっては「^{こうと}眩古の大事業」であった。この頃の日本は資本主義の確立期であり、第一次世界大戦（大正3年～8年）の好景気と相まって、別府は、全国の温泉場では「東の熱海」に対して「西の別府」として君臨するまでになった。

別府町が待望の市制を施行して「別府市」に躍進するのは、大正13年4月1日のことである。この時の市勢は次のとおり—

- ・戸数 7,404戸 ・人口 3万6,276人（県下第2位） ・初代市長—神沢又市郎
- ・市議会議員 24名 ・市資産概況 合計 332万4,575円（不動産・家宅を含む）

（詳細は『大分県史』近代編Ⅲ「別府市の成立」拙稿参照）

今回の温泉実態調査で〔第4・5地区〕は時間的余裕がなく、加えて私事ながら体調不良〔眼病〕で見送らざるを得なかった。今回は、浜脇温泉の往年の繁栄と現況に、また旧市街地の別府温泉にあっては、その中心的区画を占めていた〔第2地区〕と、流川通りを挟んで以北の現別府温泉の中核地区を占める〔第3地区〕とに焦点を併せて調査した。今回、調査に洩れた地域については、後

日稿を改めて実施する所存である。

(2) 別府市南部保護地域

当該保護地域の指定地域の概況をみよう。

かつての旧別府村と旧南石垣村との境界とされてきた「境川」を左岸に沿って山手方面に西上し（海岸より新境川橋—天満町—大学橋（九大生研）—南立石公園（右岸は国立西別府病院）—南立石生目町—扇山橋）、扇山橋より主要な地方道路である別府—1の宮線に入り、これを南進して黒土ダムと乙原橋を直線に結び、さらに乙原川右岸を下り（乙原橋—平安橋—木村橋）、朝見川の合流点から朝見川右岸に沿って下る線（木付橋—中島町—光町—蓮田橋—中央橋—朝見川橋—朝日橋—浜脇港）、および海岸線で囲まれる区域のうち、〈別府市南部特別保護地域〉を除外した区域が、当該〈同上保護地域〉である。

この特別地域も、今回は調査できなかった。いつの日か機会をみて本会報誌で報告したい。

(3) 現況の分析と問題点

〔問題点1〕 浜脇温泉の教訓

旧別府市内を主とした別府温泉（狭義）は、第二次大戦まで、それほどの“温泉危機”ともいふべき社会問題も起きず、ともかくも平穩の裡に過ぎてきたとあってよいだろう。

だが、別府八湯の中で大きな波紋を投じたのは、別府温泉と並んで繁栄してきた、かつての浜脇温泉場である。その危機の兆候が現われ始めたのは大正末期であることも、すでに述べたとおりである。

当時、浜脇温泉の総源泉数は、およそ2百数十口（推定）とされる。浜脇温泉を含む別府全市（旧市内）の源泉総数とその湧出状況は、下表のとおりである。

（第6表）浜脇・別府（旧市内）両温泉の源泉状況

調査年度	源泉(活動)数	平均温度	揚湯量	備考
大正13年	826 (口)	53.4 (°C)	16.3 ^{千m} /日	別府市調査資料(同年度)
昭和8年	756	54.0	18.8	「別府市誌」資料(昭和8年版)
同24年	674	52.1	18.8	県保健所資料
同34年	738	52.1	14.8	同上

この浜脇温泉の異変—温泉の衰退傾向（枯渇現象）—は、浜脇町地域住民だけでなく、別府市民全体の共通の理解と認識の下に、別府温泉の「第1の危機」として問題意識を持つべきであっただろう。

浜脇温泉衰退の要因として考えられるのは—専門外の筆者の推論（仮説）を敢て発表させていただくなら—、自然の営む地球熱学のメカニズムによる要因（自然的要件）と人為的な社会的要件の2つが考えられる。

前者のその第1は、温泉の湧出地域としての立地性である。すなわち、地下の泉脈が南縁の幹線（鶴見岳マグマ溜り—堀田温泉—観海寺温泉—朝見川—浜脇温泉—別府湾）に当たり、その末端に位置すること、また補充するに足だけの熱エネルギーと地下水が弱体であったこと、海岸域に近いことから温泉層に海水が入り込み、温泉水位の低下を招き温泉利用を不可能にしたことなどが

考えられる。

一方、人為的な社会的要因としては、地域住民による温泉孔の濫掘と温泉利用の濫用をまず挙げねばなるまい。つぎに、町形成の中核が徐々に北の方へと移動していったという事実にも求められよう。第二次大戦までの別府市の市勢は、旧市役所・同警察署・同消防署などの行政役所、経済的には旅館や商店街・土産品店が並び共浴施設のある記述の第2地区・第3地区に集中していた。交通機関もまた陸上交通の別府駅と海上交通の旧別府港（埠頭）がその役を果たしていた。

浜脇温泉の町の趨勢も、大正期から昭和期には旧市内の北方へと移動し、また現今においても、その中枢は別府駅と駅前通りを東西の軸に、さらに以北の富士見通り、観光港一帯の旧石垣地域に暫時移ってきていることは、記すまでもない。何十年という年月の経過の中で起きた社会現象ではあるが、浜脇温泉の栄枯盛衰もまた、このような要因にかかわっていたと考える。

別府温泉にあって、天恵の温泉を享受するものは、浜脇温泉に見られた自然現象（枯湯衰退現象）を直視して、温泉の生命を極力永らえる対策を講ずべきではあるまいか。筆者は、温泉エネルギーの生命は、その生命の誕生—生長—全盛—衰微—消滅のメカニズムとして永い歴史的（時間的）経過の中で、人間の生命のそれと軌を同じくするものと解している。結論を急げば、現在の別府温泉は、その全盛期を過ぎて衰退の方向へと進んでいると考えざるを得ない。それだけに、浜脇温泉の大正末期を想起して、市民独り1人が温泉への危機意識を共有して前車の轍を踏んではならない、ということを訴えたい。

〔問題点2〕 戦前からの古い源泉の保護

旧市内の第2・3地区の概況で見てきたとおり、これらの地区で注目すべきは、明治期～大正期、さらに昭和前期に掘られた古い源泉—明治期はほとんどが自然湧出泉か、もしくは「突湯」^{つきゆ}で得られたもの—が今日、なお余命を保っており、温泉利用に供されているという事実である。

その数は、第2区では、全123口のうち実に69口あり、過半数の56%を占める。つづいて第3区でも、全数238口のうち89口あり、3分の1を超えて37%に達する。

これらの源泉の、温泉権としての性格は旧慣温泉権ないしはそれを継承するもの、である。元来、温泉利用は、地域社会（集落）の住民により共同的に利用して維持・管理されてきたが、別府温泉においても、それは例外ではなかった。しかし、資本主義が日本社会に（日清・日露の両戦争を契機に）発展する過程で、共同体的な温泉秩序はしだいに解体しはじめ、これに代るものとして国家法（基本的には「民法」）による規制の対象となってきたのである。これを受けて、別府町役場による温泉の取締や管理の規則が作成され、つづいて大分県による温泉の取締や監督指導など温泉行政が推進されたことについては、既述したとおりである。しかし、これら温泉に関する諸法令も、大正末期の浜脇温泉の危機的状況に対して、何らの歯止めとなり得なかった（法的効果が期待しえなかった）ことも、触れたところである。

別府温泉（広義）では、すでに旧慣温泉が枯湯化して名称のみの温泉場も無くはない。たとえば堀田温泉（別府八湯の1つ）では旅館は皆無となり、源泉のみが給湯（配湯）用として残っている。2、3年前までの柴石温泉も、地域の狭隘や交通の不便など立地条件の劣弱性から温泉場としては衰微していたが、別府市の再興計画で、再起してきている。

戦後の別府温泉（広義）では、他のどの温泉場（鉄輪・亀川・明礬の諸温泉）も、戦前からの古い体質の旧慣温泉権と、戦後新しく「温泉法」の下に掘られた近代的温泉権の性格の温泉が混在し、温泉利用がなされている。こうした温泉源の湧出状況は、必ずしも別府温泉の特徴とはいえない（戦前からの著名な温泉場も、このような傾向を多かれ少なかれ持っている）かも知れない。

とはいえ、第2地区・第3地区に見たごとく、全口数に占める割合は、必ずしも無視することの出来ない数値である。この視点からも、温泉行政を推進するに当って配慮したい。とりわけ歴史的由緒の深い共同浴場施設、たとえば「竹瓦温泉」「楠温泉」「田の湯温泉」等々は、温泉界での“文化財的存在”であるから、温泉資源を大切に後世に遺したいものである。

〔問題点3〕 北浜地区での温泉利用

周知のとおり、別府温泉全域（広義）の3つの「特別保護地域」では、新規の掘削は認められず、温泉利用もまた規制の対象とされている（本シリーズ(I)(II)）。このような地域の指定は、述べるまでもなく、源泉の数と温泉使用量（湧出量）とがほぼ限界に達しており、これ以上放置すれば“温泉の危機”を招き、ひいては衰退枯渇に向かうであろうことが必定だからである。

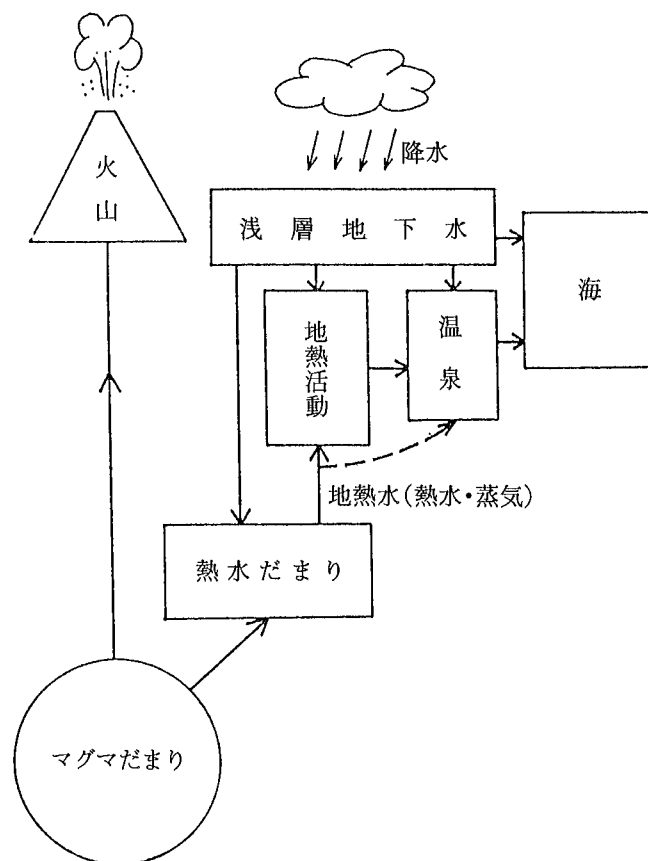
かかる意味で、保護地域設定（昭和43年）以降、約30年間にどのような変容が現われたかの検討は、大きな課題となり得るところである。仮にも、温泉利用で危機的兆候が見られ始めたとすれば、早期の段階で具体的施策を講じる必要があるからである。

問題の要諦は—自然界のメカニズムに拠る温泉生成の量（自然生産＝供給量）と人間（社会）の営為による源泉の汲上げ量（温泉使用量）との、いわゆる源泉の「需要と供給のバランス（調整）」にある、と筆者は考えている。前者が、自然界のメカニズムで客観的・決定的ともいうべき人間の思惟を超えた原理であるとするなら、後者は、人間（社会）の手になる（営為）の「可能」な社会問題として理解することができよう。源泉の自然界による供給と人間の需要とのバランスが期待されている限り、温泉（利用）秩序は安定的であるといえる。

しかし、両者のバランスの上で、自然生産量に対して温泉使用量が上回れば、当然—ということは自然界そして人間界の必然の理として温泉の危機、ひいては枯渇衰退の現象が惹起される。温泉（地下源泉）の場合は、低温の地下水（海岸域にあっては、塩分を多く含んだ海水）が温泉水層に入り込み、温泉の温度低下や泉質に変化が生じて利用不能に陥るのである。こうした経過をたどって、浜脇温泉が衰退していった歴史は、これまで縷言してきたところである。

さて、旧別府市内（南部特別保護地域と南部保護地域）では、1日当たりの自然生産量と温泉使用量とのバランスの状況は、どうなっているのだろうか。

—京大地球熱学研究施設の貴重な調査資料によると、昭和61年（1986）の時点で、旧市内の1日当たりの温泉使用量は約5万トン、とされる。これに対して、温泉の自然生産量は、降水量などから試算して、同じく6～7万トンと推定された。なお、別府八湯を含む別府市全域では、1日当たりの湧出量（汲上



第3図 温泉生成の模式図

（『別府市誌』より引用）

げ量)は約13万トンと推定されている(「大分合同新聞」平成11年4月13日夕刊参照)。

最近の30年間、10年間隔の別府温泉(旧市内)での源泉数と湧出量の推移を示すのが下表である(大分県中央保健所提供)。

(第7表) 旧市内の別府温泉の概況

年 度	源泉総数	枯 渴 泉	利用源泉	毎分湧出量	旧湧出量
昭和43年	1,429 ^(口)	405 ^(口)	1,024 ^(口)	28,711 ^(ℓ)	41,344 ^(トン)
〃 53〃	1,439	367	1,072	33,541	48,299
〃 63〃	1,428	412	1,016	33,275	47,916
平成9年	1,016	—	848	33,996	48,954

昭和43年以降、約20年間で温泉台帳上の枯渴泉は淘汰され整理されており、温泉利用の源泉数の実数は、同60年代までは1,000口の台に乗っていたが、平成期になって下降傾向を示し、現在では約800前後である。一方、毎分の湧出量では、同50年代に入って2万8,000ℓから3万ℓ台に上昇し、ここ20年間は3万3,000ℓ台に止まっている。1日当たりのそれに換算すれば、ここ20年間、4万8,000ℓ台を維持してきている。

上表の示す限りでは、利用源泉数が1,000口の台を割り、800口代まで下降してきているにもかかわらず、1日当たりの湧出量(使用量)が3万8,000ℓ台から減少していないという事実は、1口当たりの汲上げ量はその分だけ増加していることを如実に示している。この事実は、現時点では、見逃すことの出来ない人為の現象(濫用傾向)として注目されてよいであろう。

つぎに、温泉の掘削深度の動向をみよう。

一各地区の「概況」ですで見えてきたとおり、第2地区では、深度200m以上の温泉孔は皆無であった。だが第3地区では39口(16%)もあり、また口径も50mmのものが39%、毎分50ℓ以上汲上げのものが39%を占めている。この事実もまた、無視できないところである。こうした実態を見る限り、「現在の温泉使用料はほぼ限界に近い」と警鐘を鳴らす前掲新聞の由佐・施設長の見解を全面的に支持したい。

また将来、温泉供給源周辺(恐らくは鶴見岳地下数kmのマグマ溜りによる堀田、内山溪谷、扇山山麓周辺か)の開発造成などが進むと、地下水の浸透率が下がることも充分予測される(予見性)ことから、現段階では、温泉利用の制限や雨水・河川水の地下への浸透を妨げないような具体的対策を講じる必要があるのではあるまいか。

〔問題点4〕 源泉の全面的把握と“湯けむり”の効率的活用を

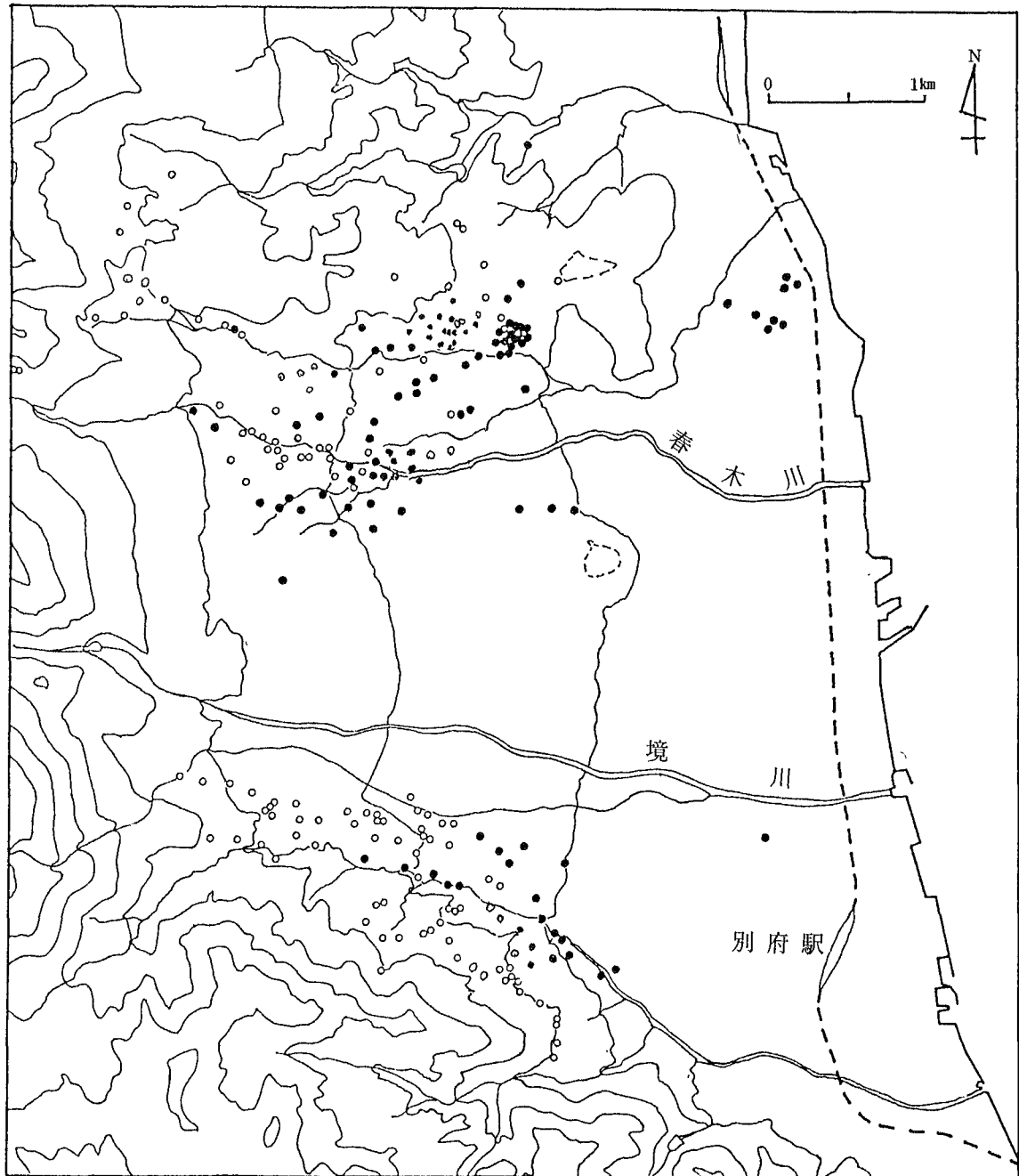
別府温泉の地勢は、かつて活火山であった鶴見岳(貞観9年=867年正月20日、大爆發)と、その山系に属する(内山・鍋山・ガラン岳)大平山(別名、扇山)から、別府湾に向いスロープ状に視野を広げる丘陵地で形成されている。東西の線は約5km、南北は約8kmで、この範囲に別府八湯が散在する。その南縁と北縁に東西の方向に活断層が走り、それにほぼ沿って温泉脈が左右に、また中央部にも存在するとされている(本シリーズ(I)(II))。

別府温泉全域における噴気泉と沸騰泉の分布状況を示すのが、次頁の第4図である。

- ① 鶴見岳山系の深層マグマの熱源により、山麓地帯より東方海岸域に向って、概して噴気→沸騰泉→高熱温泉→一般温泉の順に展開していること。
- ② 噴気・沸騰泉の数は、全温泉口(孔)の1割足らずであること。
- ③ 南縁泉脈帯には、堀田(立石)地区に噴気が主に多く、東方に下って朝見川上流地区に沸騰

泉が多く見られること。

- ④ 北縁泉脈帯にあっては、春木川上流と明礬温泉・鉄輪温泉西山手を中心に噴気泉・沸騰泉とが混在して密集していること。
- ⑤ 北縁泉脈の末端、海岸線に沿う亀川温泉地域は、戦前ほど噴気・沸騰泉の数は見られなくなり、現在では数えるほどしか無いこと。
- ⑥ 市域の中央領域（境川以西の荘園—石垣—餅カ海岸線）には、全くといってよいほど存在しないこと。



第4図 別府温泉における噴気(○)と沸騰泉(●)の分布

つぎに、問題の多い温泉の湧出量と（使用量）について（県『環境白書』平成9年度版）。
資料（「別府市誌」（昭和60年版））によると、自噴泉（655口）が毎分13,940ℓ、動力揚湯泉

(1,913口) が同じく 7万2,095ℓ、合計 9万5,215ℓ となっている。これを 1日あたりに換算すると、別府市全域で13万7,110トンとなる。もちろん、これには噴気の方は含まれておらず、また1日当たりの稼働（汲上げ）時間数は4時間30分として計算している。一般住宅の温泉汲上げ時間として、計算の論拠は不明であるが、筆者の調査では多少少ないように思われる。加えてホテル・旅館営業用のそれは、どのように時間の計算したのかも、不明である。

参考までに、昭和55年時点での自然湧出泉と動力揚湯泉の数の対比は<25対75>である。その経年の動向を見ると、10年前の同43年度では<46対54>となっている。戦前までは自然湧出泉が主で自噴泉もかなり見られたが、戦後は、掘削技術の向上と経済力の浮揚で動力泉が次第に数を増やし、その地位は逆転しているばかりか、自然湧出泉はまだ減少するであろう。したがって、温泉汲上げ量（温泉使用量）も、まだまだ増加することが予測される（第5図参照）。

それはさて置き、湾岸に立って西方山麓を見るとき、幾十条もの“湯けむり”が立ちならび、自然景観に情緒を添えている。かつて大正期～昭和初期まで見られた浜脇・別府両港の“湯治舟”に代わる山の風物詩として、この湯煙りが温泉町のシンボルとまでなっている。それはそれとして、これら多数の噴気孔を通して膨大な熱エネルギーが空間に無為に放出されている。この熱量（熱源）を有効に使って「温泉造成」すれば、多量の人工温泉が得られるであろう。

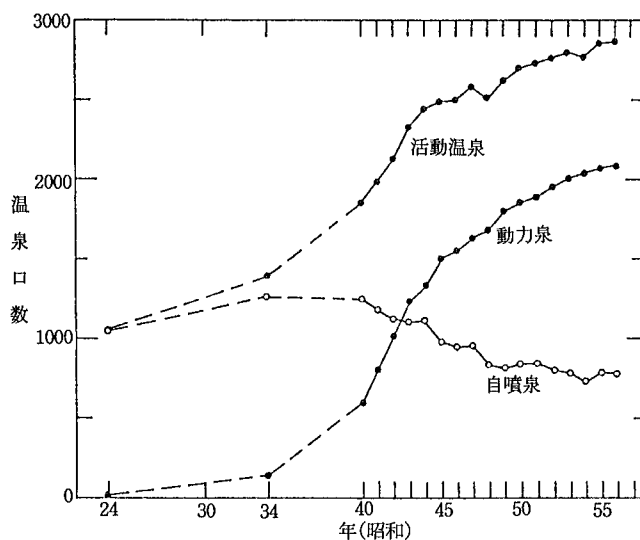
筆者は、かつて数年前、的ヶ浜公園に建設された観光共浴施設「テルヌス」騒動で、市議（2人）に聞き質したところ、人工の温泉造成には巨額の経費を要するとのことであった。この湯煙りの実体（孔数、利用の現状、可能性など）を調査し、造成用の水量や水源などの獲得方法なども検討してみても、どうであろうか。

〔問題点5〕その他一地区別の検討、規制と監督の強化、温泉台帳の整備等

別府温泉（広義）で3つの特別保護地域では、すでに保護地域指定の段階で温泉数とその利用は限定状態に達している。そのため、いかにして温泉（源）の生命を接続させ枯渇による社会問題を惹起させないか、にあったと考えられる。だが昨今では、見逃すことの出来ない危機の前兆が見られることも、また事実である。

自然科学の分野での法則や原理に疎い筆者であるが、勇を鼓して、ここに幾つかの問題点を摘出し対策を述べてみたい。もとより、素人の問題提起であるから、のちに御教示を頂きたい。

- ① 大筋として言えることは、特別保護地域内での温泉利用は、法（温泉法の趣旨を受けた県条例や施行規則など）の規制でその効果を発揮し、おおむね安定的供給がなされてきた。しかし、一部では、再検討を加えた上で何らかの対策を必要とする段階にきていること。
- ② 本報告で取り上げた旧別府市街地（浜脇地区を除く）では、まず北浜（鶴水園）の第3地区に問題が多い、と考える。もとより、当該地区のみに限定するわけにはいかぬが、当地区に視



第5図 別府温泉における活動温泉・動力泉・自噴泉数の経年変化（大分県温泉調査研究会および別府保健所の資料による）

点を合わせた上で旧市街地全域に対して適切な施策を講ずべきである。具体的には、口径基準の検討、揚湯量（汲上げ量）の制限、海岸部温泉層への海水（食塩型）の侵入対策、使用後の温泉の再利用、代替掘削の在り様、等々である。

- ③ 温泉の需給関係の諸問題—自然界に抛る温泉生産量と市民の温泉使用量の関係、自然湧出泉と動力泉との相関性、一般住宅用と共浴施設（ホテル・旅館の営業用を含む）との関連性、配湯業者の温泉供給で生じる問題、未利用源泉の取扱い、廃湯・余湯の処理、等々が課題となろう。

旧市街地内で得られる温泉生産（涵養）量はおよそ7万5,000トン（推定）に限られ、一方、1日当たりの温泉使用量は約5万トンと推定されている。だが使用の実情は、この数値を上回っていることが容易に推察できよう。こうしたことから、「現在の別府温泉は、ぎりぎりの所まで温泉が開発されていると見るべきである」との指摘（『別府市誌』第二編第二章 由佐教授執筆）や、また最近の「温泉の使用量、ほぼ限界—泉都に警鐘」の新聞記事（「大分合同新聞」平成11年4月13日朝刊、同上由佐教授）は謙虚に受け容れるべきであろう。

- ④ 本文中第4図に見られたように、浅層の地下水を降雨水や河川水を利用することで増量を図るとともに、「熱水溜り」の熱水源の補強を考へることなど、熱水と水循環の効率化を図ることも無視できない問題ではあるまいか。

同上の新聞記事によると—別府市温泉課の説くように「雨水の地下浸透策のために舗装道路の材質変更」や「海拔80m以上の地区での造成開発時に雨水浸透策を盛り込む」こと、さらには「奥別府（原野など）に植樹などで保水力を高めていく」などの建設的意見は、行政機関で是非とも実現して欲しいところである。また、市民の側においても、温泉に対する科学的知識を深め、“温泉危機”に対しても危機意識を強めるべきであろう。要は、浜脇温泉での轍を無為に踏んではならないということである。

- ⑤ その他、別府温泉の温泉源の衰退—枯渇現象に備えて、市民がそれぞれの立場から具体策を出し合い、賢明に対処すべきである。単なる観光の面だけで、また天恵の温泉の利便性のみで捉われることなく、今より千二、三百年の昔の「豊後風土記」にも“速見の湯”として別府温泉が紹介されていることにも想いを致し、歴史上の文化遺産として、また限りある資源として後世の子孫にまで遺したいものである。

（あと書き）

今回の調査でも、県中央保健所（旧別府保健所）の塚崎氏、土師氏が年度始めの忙しいなかにも諸資料の提供と貴重な意見を下さり助かった。厚く御礼を申し上げたい。

硫黄山水蒸気爆発に伴う周辺温泉の実態調査

— 第 2 報 —

大分県衛生環境研究センター

樋田俊英・西海政憲
神田尚徳

1 はじめに

1995年10月、257年ぶりに水蒸気爆発を起こし活発な活動を始めたくじゅう山系硫黄山の周辺は多くの人々に親しまれている県内でも有数の温泉地域である。

この火山活動が深層地下水を通じ湧出する温泉に影響を与え、泉温や泉質等を変化させると温泉を公共の福祉等に活用する場合の基礎となる温泉の適応症にも変更を生じる。

そこで、硫黄山周辺温泉に対する硫黄山の火山活動の影響を知るため、平成7年度から平成9年度にかけて硫黄山の火山活動の影響を受けやすいと思われる周辺温泉を9地点選定し、延べ52回にわたって鉱泉分析法指針に基づいた温泉分析を実施したところ、レゾネイトくじゅう（久住高原）、星生平（長者原）、新清館（笠ノ口温泉）、法華院温泉（法華院）の各温泉において、火山活動の影響が考えられる泉温、イオン成分、 SO_4 、 CO_2 、 H_2S 等の項目について硫黄山火山活動前のデータと比較すると変化が見られた⁽¹⁾。

そこで、平成10年度はこれら4個所の温泉に絞って調査を継続した。

2 調査方法

2-1 調査地点

レゾネイトくじゅう（久住高原）、星生平（長者原）、新清館（笠ノ口温泉）、法華院温泉（法華院）の調査地点を図1に示す。

2-2 調査年月

1998年10月と12月（法華院温泉は10月のみ）に現地調査及び試料採取を行った。

2-3 調査分析方法

鉱泉分析法指針に基づく鉱泉分析試験法により、pH、炭酸物質等は現地で測定し、 H_2S 、重金属類等は現地で前処理を行った。また、Li、Na、K、Ca、Mg、Al、T-Fe、Mn等はICPでCl、Br、 NO_3 、 SO_4 等はイオンクロマトグラフで測定した。

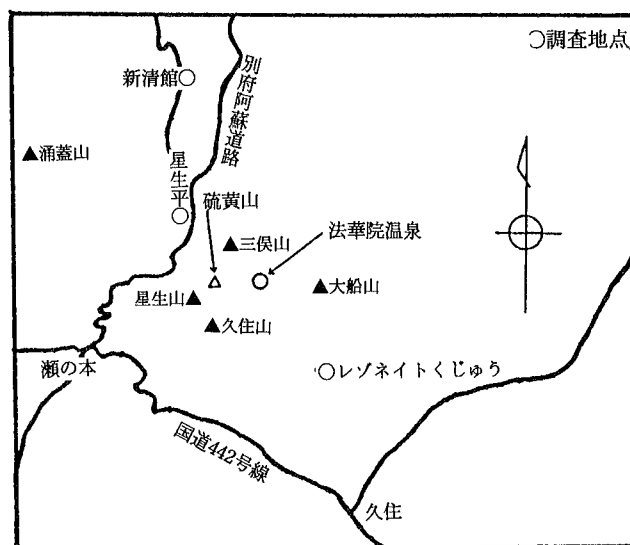


図1 調査地点位置

3 調査結果

対象とした4温泉の調査結果を表1から表4に示した。単位は蒸発残留物がg/L、他の成分はmg/Lである。なお、噴火前のデータは法華院温泉については1981年⁽²⁾、他の温泉については1993年⁽³⁾に依頼により調査したものである。

3-1 泉温

星生平では51.7℃から噴火直後の75.8℃さらに1998年2月の77.0℃まで上昇したが、最終の調査（1998年12月）では51.6℃と噴火前の状態にもどっている。また、法華院温泉では42.7℃から20.2℃まで低下している。他の温泉についてはほとんど変化はなかった。

3-2 pH、密度、蒸発残留物

どの温泉も多少の変動はあるものの、噴火前後での大きな変化は現れていない。ただし、法華院温泉の蒸発残留物は噴火後減少している。

3-3 CO₂、H₂S

CO₂はレゾネイトくじゅう、新清館において明らかに上昇し、一時は1000mg/Lを超過し泉質名が変化するところであったが、今回の調査では噴火前の状態に戻り、ほぼ安定している。H₂Sは法華院温泉で噴火前の32.6mg/Lから痕跡程度に減少しているが、この傾向は現地での聴き取り調査によると噴火前から見られたものの噴火後は、より顕著になったとのことである。

3-4 陽イオン成分

レゾネイトくじゅうにおいてNa、K及びMgが、また、新清館においてKが減少傾向にあったが、今回の調査でもその状態が続いている。法華院温泉では測定したすべての陽イオンが減少している。

3-5 Cl

星生平では低濃度ながら泉温に比例した増減の傾向があったが今回の調査では泉温の低下とともに噴火前の状態にもどっている。法華院温泉では噴火前より大きく減少したまま推移している。

3-6 HCO₃

レゾネイトくじゅう、法華院温泉で減少している。他の温泉では大きな変化は見られない。

3-7 SO₄

レゾネイトくじゅう、星生平で火山活動後若干増加していたが、今回の調査では噴火前の状態に戻っている。

3-8 泉質名

法華院温泉では噴火前の単純硫黄泉から単純温泉に変わり、さらに、冷鉱泉（温泉法で規定されたH₂SiO₃のみを規定量以上含む）に変化している。また、レゾネイトくじゅうでは陰イオン（HCO₃及びSO₄）の構成比の変化が泉質名をマグネシウム・カルシウム・カリウム—炭酸水素塩・硫酸塩泉からマグネシウム・カルシウム・カリウム—硫酸塩・炭酸水素塩泉に変わる時期もあったが現在では噴火前の泉質名に戻っている。なお、他の調査地点については泉質名が変更になるような大きな温泉成分の変化はなかった。

表1 レゾネイトくじゅう

	噴火前データ	1995年12月	1996年1月	1996年3月	1996年5月	1996年7月	1996年11月	1997年3月	1997年7月	1997年10月	1998年2月	1998年10月	1998年12月
泉 温	34.6	34.2	33.0	32.8	32.8	33.2	33.0	32.5	32.6	33.0	33.5	32.7	33.7
pH	6.5	6.0	6.2	6.2	6.0	6.1	6.0	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
密 度	1.0000	0.9998	1.0004	1.0002	0.9997	1.0000	1.0000	0.9998	0.9999	1.0001	1.0001	1.0000	1.0001
蒸発残留物	1.7754	1.6242	1.5526	1.6158	1.6586	1.6524	1.5978	1.6132	1.6230	1.6094	1.6252	1.6238	1.6214
CO ₂	613	715	619	276	529	481	2479	1570	962	1352	1095	872	684
H ₂ S													
Na	163.9	104	81.5	99.9	103	106	111	124	123	116	120	112	107
K	32.3	19.4	17.5	19.8	19.5	19.5	20.7	21.3	23.3	23.9	22.2	22.3	17.7
Mg	146.5	110	140	96.6	109	108	116	137	129	109	128	113	124
Ca	163.6	150	195	137	159	157	172	199	198	165	174	166	168
Cl	26.6	28.7	24.8	33.7	13.4	32.5	26.5	28.7	28.1	26.4	28	27.8	20.2
HCO ₃	1138	770	756	763	735	712	715	699	714	703	708	705	697
SO ₄	473	432	1525	577	492	617	714	714	718	708	719	576	468
SiO ₂	87	98.6	100.2	99	120.4	112.8	104.9	111.2	110.8	111.6	123.6	76.2	72.8

表2 星生平

	噴火前データ	1995年12月	1996年1月	1996年3月	1996年5月	1996年7月	1996年11月	1997年3月	1997年7月	1997年10月	1998年2月	1998年10月	1998年12月
泉 温	51.8	64.0	75.8	62.1	65.5	74.0	63.7	66.8	67.5	56.6	77.0	73.8	51.6
pH	6.1	5.9	6.9	6.4	5.6	6.1	6.0	5.9	6.1	5.9	6.3	6.1	6.0
密 度	0.9987	0.9984	0.9988	0.9988	0.9983	0.9984	0.9983	0.9982	0.9984	0.9984	0.9983	0.9983	0.9985
蒸発残留物	0.1816	0.1812	0.1650	0.1618	0.1672	0.1858	0.1802	0.2008	0.1874	0.1758	0.1806	0.1740	0.1780
CO ₂	72.7	19.8	0	2	77.3	21	566	590	91.2	149	134	62.9	149.6
H ₂ S													
Na	9.9	18.7	11.9	9.7	9.7	17.5	16.3	17.9	15.8	10.9	13.9	13.3	12.8
K	3.8	3.9	2.9	2.6	2.3	3.4	3.8	4.0	3.9	3.0	4.2	3.7	3.4
Mg	4.6	4.4	5.7	4.1	4.6	4.9	4.8	5.2	5.1	4.2	7.0	4.5	5.3
Ca	13.7	14.4	14.3	13.3	14.7	15.0	14.5	15.9	15.6	14.8	13.1	13.8	15.0
Cl	5.1	14.7	10.7	6.9	5.6	12.9	11.1	13.1	9.3	4.6	7.0	8.4	5.0
HCO ₃	68.9	75.1	81.2	68.1	51.3	60.5	48.2	51.2	56.7	59.4	66.4	54.5	62.8
SO ₄	29.7	28.2	29.0	34.4	31.9	40.1	43.7	48.2	44.6	35.9	37.7	31.0	26.6
SiO ₂	40.2	74.8	43.0	49.6	53.8	55.0	56.0	63.8	106.8	46.0	66.6	57.4	65.0

表3 新清館

	噴火前データ	1995年12月	1996年1月	1996年3月	1996年5月	1996年7月	1996年11月	1997年3月	1997年7月	1997年10月	1998年2月	1998年10月	1998年12月
泉 温	43.2	44.0	43.5	44.0	42.3	42.0	42.8		41.1	41.3	43.1	43.1	43.7
pH	6.8	6.6	6.7	6.4	6.2	6.2	6.4		6.1	6.1	6.1	6.1	6.9
密 度	0.9999	1.0003	1.0007	1.0003	1.0002	1.0001	1.0003		1.0000	1.0003	1.0002	1.0003	1.0002
蒸発残留物	1.8916	1.9358	1.8770	1.9302	1.9136	1.7494	1.9596		1.5748	1.7460	2.6038	1.7606	1.7672
CO ₂	562	220	128	279	692	684	933		1173	1093	1094	1044	966
H ₂ S													
Na	249.2	266	238	252	245	241	270		328	273	282	253	264
K	133.5	63.1	52.3	63.4	60.9	58.8	65.2		77.1	59.5	61.3	61.3	56.3
Mg	107.1	117.0	101.0	90.9	99.0	93.3	111.0		129.0	98.6	143.0	94.4	113.0
Ca	161.4	170	186	141	152	124	176		205	178	159	144	160
Cl	236.8	227	228	233	213	233	231		228	204	216	206	183
HCO ₃	1120	1200	1220	1277	1139	1013	1153		943	1111	1114	1036	1057
SO ₄	343	279	265	342	311	319	410		333	376	388	286	275
SiO ₂	136.8	110	132	136	152	149.6	151		148	149	89.6	107.8	148.8

表4 法華院温泉

	噴火前データ	1995年12月	1996年1月	1996年3月	1996年5月	1996年7月	1996年11月	1997年3月	1997年7月	1997年10月	1998年2月	1998年10月	1998年12月
泉 温	42.7					30.0	27.5	27.8	23.9	24.9	23.7	20.2	
pH	6.2					5.9	6.0	6.0	6.4	6.3	6.1	6.0	
密 度	0.9991					0.9987	0.9986	0.9986	0.9987	0.9986	0.9987	0.9987	
蒸発残留物	0.9520					0.5492	0.5296	0.5666	0.5054	0.5584	0.6826	0.6188	
CO ₂	172					75	600	627	15.5	50	158	75.0	
H ₂ S	32.6								0.012			0.22	
Na	71					44.1	44.7	45.2	37.3	39.9	46.5	36.5	
K	25.1					13.6	14.8	15.2	13	12.7	15.5	13.3	
Mg	42.3					21.7	25.2	26.1	22.7	24.6	37.3	29.3	
Ca	82.6					39.9	47.6	48.3	42.8	42.5	64.6	61.3	
Cl	98.9					20.8	18.3	16.3	15	15.4	19.6	21.6	
HCO ₃	174					59.6	51.8	50.9	43.3	43.6	57.3	48.4	
SO ₄	267					248	271	298	274	315	371	286	
SiO ₂	123.1					97.4	97.2	108.6	101	83.8	89	79.6	

4 まとめ

硫黄山水蒸気爆発後4年間にわたって周辺温泉成分の状況変化を調査した結果、調査地点によっては泉温上昇のほか、温泉中のガス成分であるCO₂やH₂Sの変化や火山ガス成分と関連があるSO₄が増加傾向を示したことは硫黄山水蒸気爆発が周辺温泉に影響を与えたことが推察された。このことは、硫黄山の火山活動がくじゅう山周辺の湧水にも影響を与えたとした報告⁽⁴⁾とも一致する。その他の温泉成分ではNa、K及びMgに減少傾向が見られた温泉があった。

なお、長崎県では1990年11月に噴火した雲仙普賢岳周辺の温泉泉質調査⁽⁶⁾を実施しているが、本県と同じ様な調査結果が得られている。しかし、温泉にはそれぞれの源泉に特徴があり、経年的な変化による影響や他の火山学的な情報も併せて考慮しなければ今回の硫黄山水蒸気爆発のみが周辺温泉に影響を与えたと考えることは出来ない。

また、温泉は利用者の都合により絶えず噴気吹込み量等の条件が変えられているので現地調査にあたってはこれらの条件を十分把握する必要がある。

参考文献

- (1) 宮崎 正・樋田俊英・首藤武巨：硫黄山水蒸気爆発に伴う周辺温泉の実態調査、大分県温泉調査研究会報告、49号、43-47、1998.
- (2) 大分県温泉調査報告、温泉分析書、33号、1982.
- (3) 大分県温泉調査報告、温泉分析書、45号、1994.
- (4) 河野 忠：1995年くじゅう山系硫黄山噴火前後の湧水の挙動、温泉科学、第48巻、第3号、120、1998.
- (5) 長崎県衛生公害研究所報（平成4年度論文集）、35号、361-366、1993.

温泉保全対策について

大分県衛生環境研究センター

西海政憲・樋田俊英
神田尚徳

1 はじめに

温泉は近年特に、深度掘削等の開発が進み、泉源保護対策の必要性が指摘されている。本県においても、掘削地の距離規制や一部地域での掘削規制等の保護対策が実施されている。しかし、地域によっては温泉利用がこのまま増大して行けば今後の利用に支障を生じることが憂慮される。このような中で、療養、保養に活用されている温泉を将来にわたって安定的に活用するためにも、状況に即した温泉保護対策をさらに検討する必要がある。

そこで、温泉保護対策のための基礎資料を得るために、県下主要温泉地毎に温泉の経年変化調査を実施し、湧出状況等温泉の保全状態の実態調査を行った。

2 調査方法

2-1 調査地点

県内の主要温泉地（別府、湯布院、湯平、長湯、くじゅう周辺、天瀬等）について、5年程度の間隔で順次モニタリング調査を実施することとし、平成10年度は次の温泉を対象とした。

長湯温泉：直入町営長生湯、緒方町立長湯憩いの家、葛湧温泉、上野屋旅館、かに湯

天瀬温泉：天瀬町営赤岩湯、神田の湯、ふれあい湯

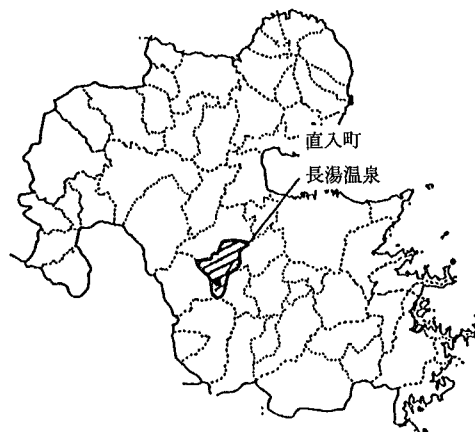
2-2 調査年月

平成10年12月及び平成11年2月

2-3 調査方法

鉱泉分析法指針にもとづいた鉱泉分析試験法により、pH、炭酸物質等は現地で測定し、 H_2S 、重金属類等は現地で前処理を行った。なお、Li、Na、K、Ca、Mg、Al、Mn等はICPでCl、Br、 NO_3 、 SO_4 等はイオンクロマトグラフで測定した。

また、比較した過去の温泉分析データは該当する年度の大分県温泉調査報告から抜粋した。



3 調査結果

長湯温泉の過去の分析結果と今回の調査結果を表1に示した。

全体的に見ると、上野屋旅館以外の泉源で、ほとんどの項目が過去の調査と比較して減少している。

長湯温泉の最大の特徴である遊離炭酸の含有量は、過去の調査では泉質名に影響する 1000mg/L を越える高い値を示していたところもあったが、今回の調査では調査したすべての泉源で約 500mg/L まで減少していた。

また、 HCO_3 についても減少化傾向が見られるが、特に、かに湯、葛洩温泉においてその傾向が顕著であった。

なお、この地区の泉質は、ほとんどの泉源で重碳酸土類泉となっているがその主要成分であるCa、Mgについても同様に減少していた。

個別に見ると葛洩温泉においては、陽イオンではNa、K、Ca、Mgが、陰イオンではCl、 SO_4 が半減しているが、これは蒸発残留物の減少にも反映されている。

以上のように、ほとんどの源泉で多くの測定値が減少しているが、上野屋旅館だけはFe、 H_2SiO_3 、 HBO_2 、 CO_2 を除く他の項目でその値が増加しており、なかでも、 HCO_3 値の増加は顕著であった。

今回の調査対象であった天瀬温泉の3カ所の温泉では過去に温泉分析を受けた泉源と異なった泉源が使われており、正確な比較検討ができなかった。

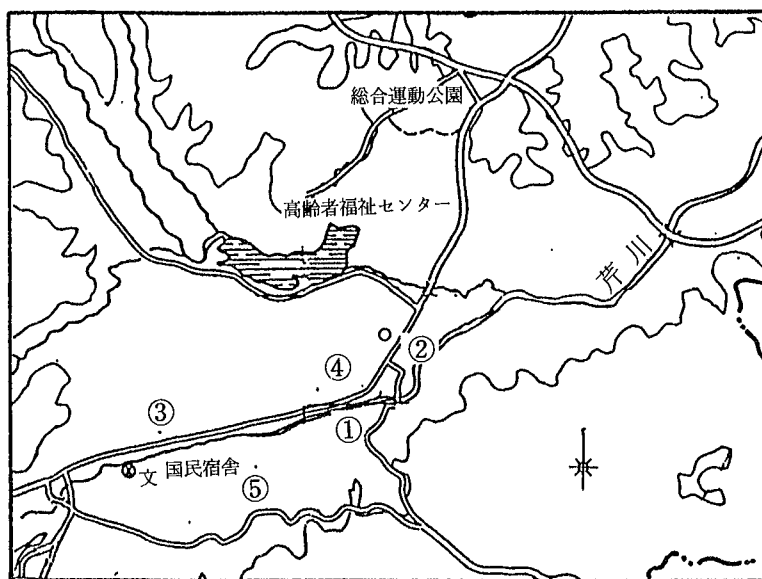


表1 調査結果

泉名	かに湯		上野屋旅館		葛洩温泉			長生湯			緒方町憩の家			
	湧出地		湧出地		湧出地			湧出地			湧出地			
	①		②		③			④			⑤			
検体採取年月	H11.5	H11.4	S37.7	H10.10	S34	S49.4	H11.4	S49.4	S63.11	H10.10	S54.10	H6.9	H10.10	
泉温(℃)	43.4	42.0	41	49.6	46	46	44	48	45.4	46.6	44.5	45.7	43.3	
pH	6.9	7.1	6.5	6.7	6.6	7.5	6.6	7.3	6.8	6.7	6.6	7.1	6.86	
密度(g/cm ³)	1.0025	1.0019	0.9999	1.0023	1.0005	1.0024	1.0011	1.0019	1.0020	1.0015	1.0027	1.0025	1.0021	
蒸発残留物(g/L)	3.5110	3.4142	3.1400	3.4932	5.0000	4.9550	2.5146	4.147	3.053	2.8522	3.75	3.7254	3.24	
	(mg/L)													
陽イオン	Li	0.6	0.355		0.055					0.6	0.005		0.3	0.113
	Na	383	315	289.8	460	488.7	492.2	220	376.4	416	381	503	695	464
	K	76.5	70	53.95	91.8	80.15	80.28	51.2	64.52	73.8	76.8	66.7	121	93.9
	Ca	241	146	124	202	218.6	217.6	120	201	216	174	231	55	165
	Mg	416	251	237.2	321	365.5	354	168	300.6	326	262	312	397	304
	NH ₄	1.0	2.3		2.297	0.202	0.9	1.8	0.95	1.7	1.916		2.0	2.170
	Fe	3.7		7.5	0.227	12.75	3.019		3.749	3.6	0.232	3.5	1.1	0.330
陰イオン	F	1.0	0.09		0.285		0.653	0.18	0.8	0.8	0.345			0.158
	Cl	155	169	116.3	231.1	217.9	247.1	140.6	213.7	178	179	210	192	173.8
	SO ₄	362	356.1	256.4	434.6	454.5	461.8	285.5	394	353	333.6	435	357	352.1
	HCO ₃	3499	2978	1932	2821	2983	2899	2059	2394	2851	2344	2910	3810	2837
その他	H ₂ SiO ₃	163	122.4	132.1	121.4	155.8	124	140.2	135.2	104.6	118.6	153.1	97.6	100.4
	HBO ₂	11.6	10.9	17.51	5.87	19.17	26.97	4.61	11.12	8.4	7.23	8.1	13.5	11.3
	CO ₂	569	407	1485	487.7	1785	402.3	616	464.2	164	502	927	611	583.6

4 まとめ

今回の調査結果をみると、長湯温泉の3つの特徴である遊離炭酸、重炭酸、アルカリ土類金属（Ca、Mg）の含有量がいずれも減少しているのがはっきり現れている。特に、遊離炭酸の減少は多くの温泉地で確認されていること⁽¹⁾とも一致している。

この温泉地域は、平成10年7月より大分県の温泉保護地域の指定を受け掘削が制限されているが、調査結果から見て、これからも注意深くその経過を観察していく必要があると思われる。

なお、これまでの調査では長湯温泉を中心に調査を実施してきたが今後は調査範囲を県下の他の温泉地域にも広げ温泉枯渇対策の資料を得たいと思っている。

参考文献

- (1) 本村 秀章・益田 宣弘・山口 道雄：島原温泉の泉質変化、長崎県衛生公害研究所報、27、154-155、1995.

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生活環境部生活環境課内に置き、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の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任期は前任者の残任期間とする。

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 会に下記の職員を置く。

- (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、専門委員会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。

この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。

この会則の改正は、平成9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)

(平成11年7月1日現在)

顧問

大分県議会福祉保健
生活環境委員長

佐藤 鍊

別府市議会議員

三ヶ尻 正友

職 名	氏 名	備 考
京都大学理学部教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学名誉教授	矢 永 尚 士	副 会 長
大分県生活環境部次長	朝 久 野 浩	副 会 長
大分県生活環境部生活環境課長	岩 本 隆 治	常 務 理 事
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
九州大学名誉教授	延 永 正	
大分大学名誉教授	志 賀 史 光	
大分総合検診センター会長	辻 秀 男	
大分大学名誉教授	森 山 善 蔵	理 事
元大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
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講師	日 高 稔	
国立別府病院理学診療科医長	安 田 正 之	理 事
九州大学生体防御医学研究所助教授	牧 野 直 樹	
岡山理科大学理学部教授	北 岡 豪 一	理 事
京都大学理学部助教授	田 中 良 和	
京都大学理学部助教授	大 沢 信 二	
日本文理大学環境科学研究所研究員	河 野 忠	
京都大学大学院理学研究科	大 上 和 敏	
京都大学大学院理学研究科	網 田 和 宏	
大 分 市 長	木 下 敬 之 助	理 事
別 府 市 長	井 上 信 幸	理 事
臼 杵 市 長	後 藤 國 利	
杵 築 市 長	石 田 徳	
真 玉 町 長	安 永 信 義	
国 見 町 長	金 山 尚 學	
挾 間 町 長	佐 藤 成 己	
庄 内 町 長	首 藤 奉 文	

職 名	氏 名	備 考
湯布院町長	吉 村 格 哉	理 事
久住町長	衛 藤 龍 天	理 事
直入町長	伊 藤 隆 弘	理 事
九重町長	坂 本 和 昭	理 事
玖珠町長	小 林 公 明	
天瀬町長	高 倉 柳 太	理 事
本耶馬溪町長	小 野 和 彦	
耶馬溪町長	北 山 義 晴	
山国町長	立 石 欣 丸	
院内町長	川 野 哲 也	
安心院町長	高 田 文 義	
別府市観光経済部長	首 藤 廣 行	
別府市温泉課長	岡 部 光 瑞	監 事
別府市温泉課課長補佐兼主査	手 島 修 一	
中央保健所長	高 橋 敏 人	監 事
中央保健所次長兼総務温泉企画課長	熊 野 秀 之	
大分県衛生環境研究センター所長	牧 野 芳 大	理 事
〃 化学部長	神 田 尚 徳	
〃 主幹研究員	山 下 秀 門	
〃 主幹研究員	西 海 政 憲	
〃 主幹研究員	牧 克 年	
大分県生活環境部生活環境課課長補佐	千 葉 英 樹	

書 記

大分県生活環境部生活環境課課長補佐兼自然保護温泉係長	太 田 幸 憲	
〃 主査	御 杳 稔 弘	
〃 主任	松 原 弘 之	

大分県温泉調査研究会報告 第50号

平成11年7月 印刷

平成11年7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
大分県生活環境部生活環境課内
電話 536-1111 内線 3020

印刷者 大分市大手町2丁目3番4号
有限会社 舞鶴孔版
電話 532-4231