

# 大分県温泉調査研究会報告

## 第 51 号

平成 12 年 7 月

### 目 次

別府温泉の年齢 .....	由 佐 悠 紀 .....	( 1 )
大分市温泉の試錐資料による地下地質の研究 .....	日 高 稔 .....	( 11 )
	森 山 善 蔵	
噴気ガスの化学・同位体組成からみた別府温泉の地熱流体の 起源及び性状 .....	大 沢 信 二 .....	( 19 )
硫黄山噴火前後の周辺湧水の動向 .....	河 野 忠 .....	( 29 )
慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化( I ) .....	安 田 正 之 .....	( 35 )
環境行政と温泉法・温泉権( IV ) - 21世紀へ向けて回顧と展望 - .....	大 野 保 治 .....	( 39 )
飲用温( 鉱 ) 泉の実態と利用状況について- 第 1 報 - .....	大分県衛生環境研究センター .....	( 53 )
温泉保全対策について- 第 2 報 - .....	大分県衛生環境研究センター .....	( 59 )
別府地域の地震( 5 )- 資料 - .....	京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 .....	( 61 )
くじゅう連山の湧水調査( II ) .....	北 岡 豪 一 .....	( 73 )
	河 野 忠	

# 序

大分県温泉調査研究会は、昨年、創立50周年を迎えました。この報告第51号は、平成11年度における、会員を始めとする関係各位のご努力の記録であると同時に、本調査研究会が、これまでの活動に立脚して、次の世代に向かって新たな一步を踏み出した証でもあります。

本報告には10篇の調査・研究成果が掲載されていますが、いずれの課題も会員が自主的に選択したもので、取扱われている内容は理学・医学の自然科学から法社会学までと多岐にわたり、本調査研究会の伝統的な特徴が現れております。加えて、新しいテーマとして飲用温（鉱）泉の調査が取り上げられ、その第1報が公表されております。飲用は、入浴とともに、あるいは世界的に見ますと、それ以上に、温泉利用の重要な側面であります。しかし、大分県はもとより、わが国における飲用の実態はあまり明確ではありません。これを契機として、科学的な調査が進むことを期待したいと思います。

先に「これまでの活動に立脚して」と書きましたが、本報告に掲載されている、その具体的な例を述べたいと思います。私自身が関わりあっておりますので、いささか面はゆいのですが、第1番目の報告「別府温泉の年齢」が、その例であります。

ボーリングで得られた岩石試料中の異常に高いカリウム濃度から、別府温泉水系のこれまでの継続年数（年齢）が、約5万年と見積もられています。これが可能となったのは、地下における温泉水の滞留時間（地下の温泉水が入れ替わるのに要する年数）が推定されていたからです。この推定の基になったのは、本会の事業として、ここ数十年間にわたって断続的に実施された、温泉採取量や化学成分濃度の変化に関する調査結果です。少し具体的に申しますと、1960年代に別府の山の手一帯で沸騰泉（塩素イオン濃度が高い）の開発が進み、この影響を受けて、低地部温泉の塩素イオン濃度が経年的に低下しました。この低下現象はゆるやかですから、変化のデータを得るまでに10年以上の年月を要したわけですが、これによってユニークな解析が可能となりました。この結果は、学術的なものですが、将来における温泉資源の保全を考える上で、重要な基礎を提供するものであります。

このように息の長い地味な調査を遂行できることこそが、本会の真骨頂のひとつであると思います。

上に記したような本会の伝統を踏まえ、本会がさらに発展するよう祈念いたしますと共に、本報告第51号の出版にご協力いただいた会員諸氏と、ご支援をいただいた関係行政機関に深く御礼申し上げます。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

# 別府温泉の年齢

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・大沢信二

## 1. はじめに

別府温泉は、九州を北東から南西に横切る別府-島原地溝の東端に位置する。その温泉活動は、鶴見火山群から東麓の別府湾岸まで展開しており、火山群の地下に存在するナトリウム-塩化物型の地熱水によって涵養されている (Allis and Yusa, 1989)。別府市の中央部は、背後の火山群から流出してきた安山岩類の碎屑物によって埋められた扇状地であり、その南縁と北縁はそれぞれ東西方向に走る断層によって境されている。山岳部地下の地熱水は、これら2つの断層 (朝見川断層と亀川断層) に沿って海岸方向に流動している。Allis and Yusa (1989) は、Seno (1940) を始めとする数多くの調査研究を参考にして、南の流動系を Beppu thermal zone (別府温泉域)、北の流動系を Kamegawa thermal zone (亀川温泉域) と名付けた (図1)。

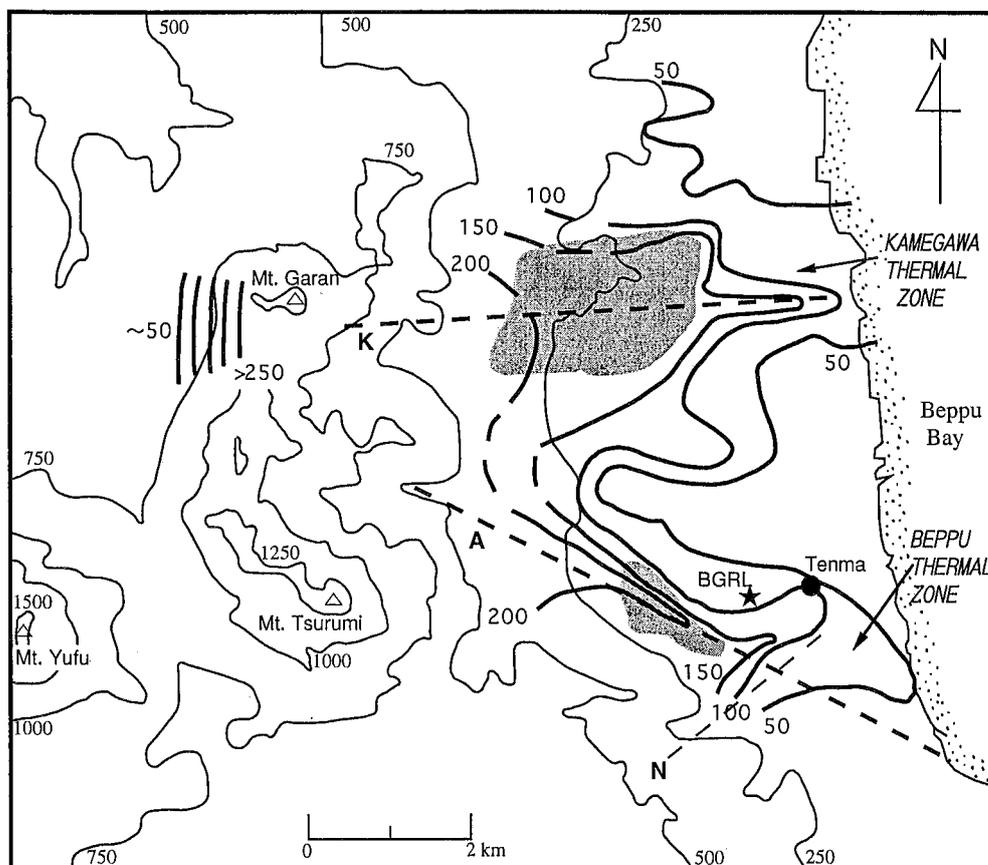


図1 別府温泉の概略図、および京大地球熱学研究施設井 (BGRL) と天満温泉 (Tenma) の位置。太い曲線群は海面下100mにおける等温線 (°C)。影の部分は二相流体の存在域。破線AとKはそれぞれ朝見川断層および亀川断層。破線Nは埋没した断層 (無名)。細かい曲線群は等高線 (m)。

1987年11月から1988年2月にかけて、別府温泉域に位置する京都大学地球熱学研究施設（以下、BGRLと略称する）構内において300m深の掘削が行われ（以下、この井戸をBGRL井と呼ぶ）、岩石のコアやカッティングス試料および50m深毎の温泉水試料が採取され、また、温度の鉛直分布が測定された（由佐ら，1994）。得られた注目すべきデータの1つは、250m以深の岩石試料中のカリウム濃度が異常に高いことであり、これは、温泉水の流動経路における岩石-水相互作用によって、カリウム代謝が進行したことを示唆している（Gianelli et al., 1992）。

Gianelli et al. (1992) は、この現象に注目して岩石-水系におけるカリウム収支を評価し、この系の年齢を予察的に約 100,000年と見積もった。しかしながら、この見積りには不備な点が含まれていることが判明したので、再検討した結果を報告する。

## 2. BGRL井における層序

従来の研究より、BGRL（海岸からの距離：約2 km、標高：79.3m）付近の地下では、深部熱水型（塩化物泉型）と蒸気加熱型（炭酸水素塩泉型）の2種の温泉水が錯綜して流動していると考えられていた。このことを確かめることがBGRL井掘削の最大の目的であったので、図2右側の井戸構造に示されているように、50m深ごとに採水し、その度に口径を小さくしながら掘削が行われた。なお、採水のためのストレーナーの位置は、図2・3に描かれている。

この井戸から得られたさまざまなデータは由佐ら（1994）により報告されているが、若干の改定とコメントを付して、ここに再掲する。

地層は、井戸底まで堆積物より成り、図2左側の柱状図のように、3つの層に大別される。最上部の第1層（地表面から61.5m深まで）は転石を含む砂礫層であり、熱水変質は受けていない。それらの岩質は角閃石安山岩であることからみて、この地域の最も新しい火山である鶴見火山群から流出してきたものと思われる。この層の地下水は不圧地下水であり、水面は地表下約35mにあった（1987年12月）。採水時における揚水量と井戸水面低下等から見積もられた透水係数は  $2 \times 10^{-5}$  m/s程度と、かなり大きい。

第2層（61.5mから150m深まで）は、非変質で固結度の低い凝灰角礫岩から成る。その岩質は、第1層と類似である。透水係数は第1層よりやや小さく、この層の上面が不圧地下水の基底となっているものと思われる。

第3層（150m深から井戸底まで）も凝灰角礫岩から成るが、熱水変質のため粘土化している。特に、150mから192.4m深までの粘土化は著しく、掘削は困難であった。また、この強変質部を含む189mから200m深での揚水は困難であった。当然、透水係数は非常に小さく、 $10^{-8} \sim 10^{-7}$  m/sのオーダーである。他方、この強変質部より下方での透水係数はやや大きく、 $10^{-6}$  m/sのオーダーである。実際、肉眼観察によれば、200m以深の粘土化の度合いはやや弱いようである。

## 3. BGRL井における温度・水質の鉛直分布

掘削が終了して3週間後に測定された温度鉛直分布を図3に示す。浅層で徐々に上昇したのち、130m深付近から急上昇して、230m深で最高温度151.3℃に達し、これ以深では低下して、井戸底では96.0℃となった。この特徴的な温度プロファイルは、高温水が横方向から流動（側方流動）してきていることを示している。図1の別府温泉域に描かれている150℃と100℃の等温線は、側方流動が南西から北東方向に向かっていることを示唆している。図3のプロファイルから見て、この側方流動の厚さは数十メートルと推定される。

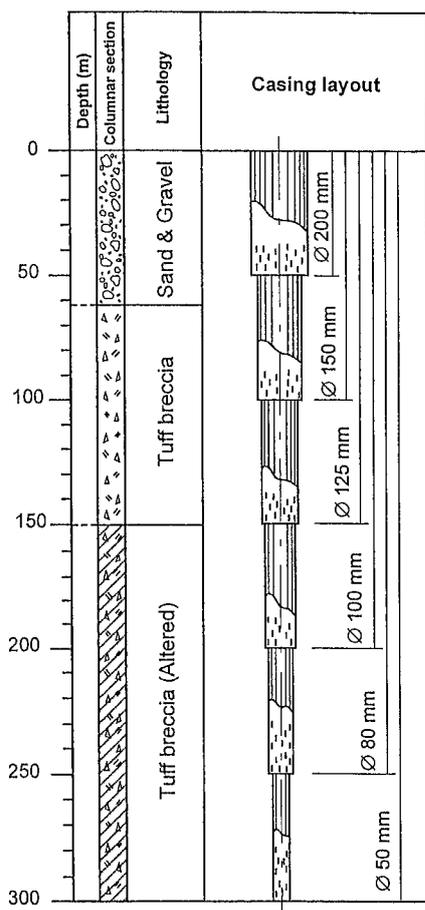


図2 BGRL井における層序と井戸の構造。井戸に付けた短い線群はストレーナーを示す。

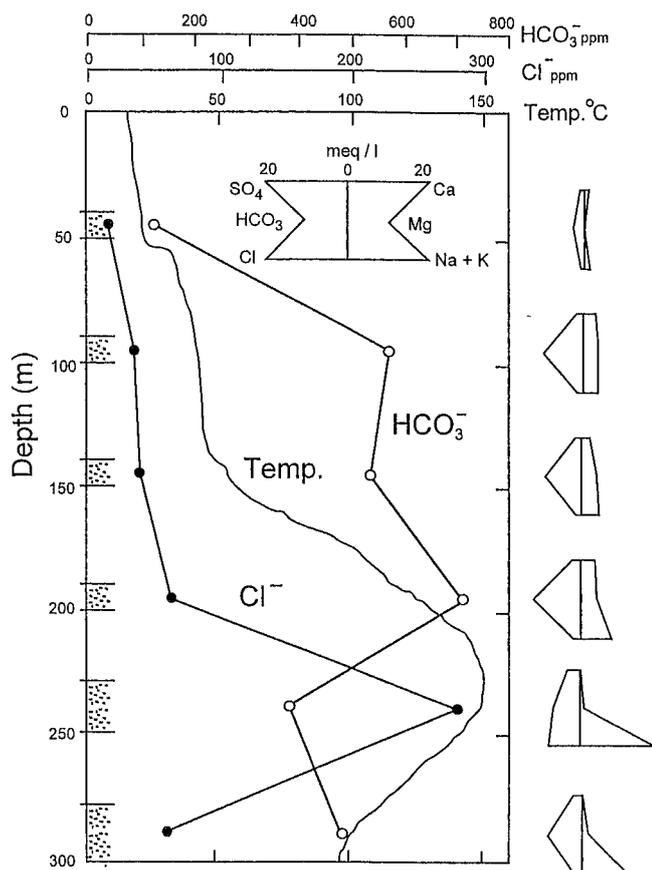


図3 BGRL井における水質と温度の鉛直分布。左縦軸に付けた影はストレーナーの位置。図右端に、主要成分の組成をヘキサプロットで示す。

表1に、50m深ごとに採取された水試料の主要化学組成を示す（由佐ら，1994）。表中の温度は、各深度におけるストレーナー間の平均値である。また、図3には、塩化物イオン濃度（Cl<sup>-</sup>）と炭酸水素イオン濃度（HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）、および主要成分組成の鉛直分布をヘキサダイアグラムで示した。6つの試水のうち、100・150・200・300m深の水は、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を主成分としており、蒸気加熱型の温泉水である。最上部（50m深）の水は、この地域における通常の地下水であるが、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型を示し、いくらか蒸気による加熱の影響を受けているようである。

以上の水に対し、最高温部付近から採取された250m深の水は異質で、かなりの量のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を含有しているものの、Cl<sup>-</sup>を主成分としており、前述した側方流動する温泉水は主に深部熱水を起源としていることが分かる。

表1 BGRL井から採取された温泉水の化学組成：pH以外の単位は mg/l

採取深度：m	温度：℃	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
39-50	20.9	7.3	32.3	3.6	20.5	10.5	17.5	127	34
89-100	42.0	6.9	73.8	13.1	57.9	46.7	36.9	569	60
139-150	54.4	7.0	97.5	13.3	41.5	44.2	42.1	536	78
189-200	125.6	7.2	154.0	16.8	65.4	48.2	65.7	714	84
228-250	147.9	8.8	380.0	23.0	1.4	7.1	282.0	390	166
278-300	101.8	8.4	229.0	17.9	5.8	6.1	64.6	487	85

表2 BGRL井岩石化学組成（重量％）と密度（kg/m<sup>3</sup>）：R-49 は49m深の岩石を意味する。

	R-49	R-100	R-150	R-200	R-250	R-300
SiO <sub>2</sub>	55.73	58.87	57.09	54.62	61.87	60.57
TiO <sub>2</sub>	1.38	1.16	1.01	1.30	0.92	0.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.15	15.72	14.56	16.76	15.64	14.90
MnO	0.20	0.19	0.17	0.16	0.09	0.11
MgO	3.99	3.71	3.22	3.34	2.37	2.48
CaO	6.42	6.31	5.39	6.91	4.18	4.36
Na <sub>2</sub> O	3.12	3.35	3.17	1.94	1.48	1.05
K <sub>2</sub> O	1.41	1.60	1.62	1.02	6.10	6.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18
L.O.I	1.02	0.80	1.70	6.89	3.23	4.65
合計	100.39	102.11	96.80	101.51	101.53	101.72
密度	2300	2430	不測	2300	1960	2410

#### 4. BGRL井から得られた岩石のカリウム濃度

採水場所とほぼ同じ所から採取された岩石試料の化学組成を表2に示す（Gianelli et al., 1992）。変質が見られない150m以浅の3試料の組成は、別府地域の角閃石安山岩の一般的な組成（山下, 1984）と類似である。変質している200m深の組成は、前2者と比べてアルカリ金属の割合が低いけれども、やはりこの地域の安山岩の組成と大きくは異ならない。これらに対して、250mおよび300m深の試料は、明らかにカリウム濃度が異常に高い。このことを明確に示すため、各試料のK<sub>2</sub>O重量％の鉛直分布を図4に示す。後2者の濃度は、前4者の濃度の4倍を超えている。

Gianelli et al. (1992) は、カリウム含有鉱物は氷長石であること、また、高温の塩化物泉型水が浅層起源の低温炭酸水素塩泉型水と混合する過程での温度低下にともなって、熱水から氷長石が沈積し、一次鉱物である斜長石と置換されていることを明らかにした。このことは、温泉水の流動経路における岩石-水相互作用が、岩石中のカリウム濃度を高めたことを意味する。

なお、カッティングス試料の鉱物組成も参照すれば、氷長石は225m付近から出現する。また、斜長石は、225mと300mではわずかに残っているが、250mと275mでは全く存在せず、氷長石によって完全に置き換えられている。

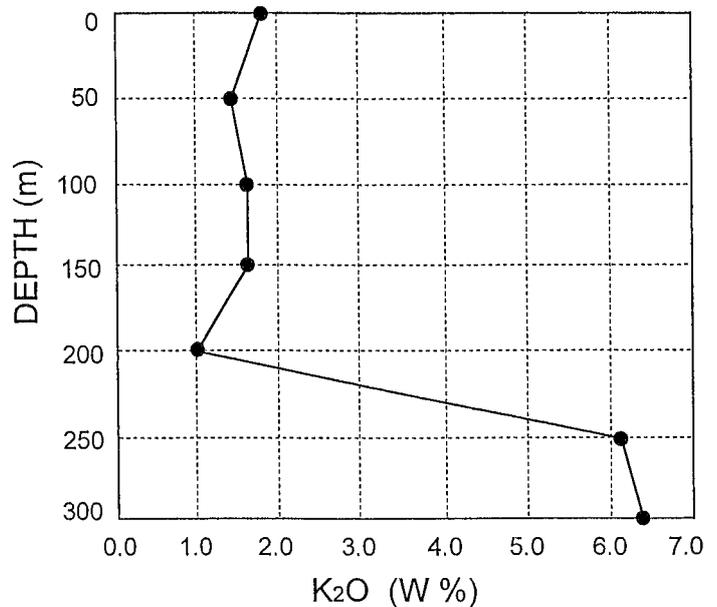


図4 BGRL井から採取された岩石コアのカリウム濃度（重量％）鉛直分布。

## 5. 温泉水系の年齢（水-岩石相互作用の継続時間）

### 5-1. カリウム収支に基づく計算手法

Gianelli et al. (1992) は、前節に述べた知見に基づき、過剰のカリウムが沈積するのに要する時間の見積もった。その考え方は、岩石と温泉水間のカリウム収支であり、図5は、そのブラックボックス模式図である。この間、領域の体積は不変とし、高温塩化物型水が低温炭酸水素塩泉型水によって希釈されて低温化するという一方向の過程を、想定している。

図5に描かれたカリウム収支は、次のように表される。

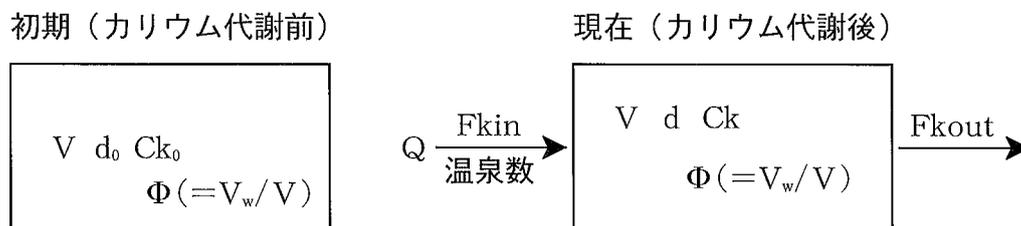


図5 水-岩石相互作用の継続時間に関する概念モデル

#### 【岩石側が受け取ったカリウム量】

$$V \times (d \times Ck - d_0 \times Ck_0). \quad (1)$$

ここに、 $V$ は領域の体積、 $d_0$ と $d$ はそれぞれ初期（非変質）および現在の岩石の密度、 $Ck_0$ と $Ck$ はそれぞれ初期および現在の岩石のカリウム濃度である。

#### 【温泉水から沈積したカリウム量】

$$t \times Q \times (Fkin - Fkout). \quad (2)$$

ここに、 $t$ は経過時間、 $Q$ は領域を通過する温泉水の流量、 $Fkin$ と $Fkout$ はそれぞれ領域に流入および領域から流出する温泉水のカリウム濃度である。

上の両者は等しいから、整理すると、年齢 $t$ は次のように求められる。

$$t = \frac{V \times (d \times Ck - d_0 \times Ck_0)}{Q \times (Fkin - Fkout)}, \quad (3)$$

または、

$$t = \frac{V_w}{Q} \times \frac{d \times Ck - d_0 \times Ck_0}{\Phi \times (Fkin - Fkout)}. \quad (4)$$

ここに、 $V_w (= \Phi \times V)$ は領域中の水の体積、 $\Phi$ は岩石の空隙率であり、 $V_w/Q$ はこの領域における水の平均滞留時間である。なお、ここでは、全ての空隙は水で満たされ、その水は全て流動にあずかると仮定している。

Gianelli et al. (1992) は、式(4)の近似式 ( $d=d_0$ ) を用い、 $Fkin$ に現在の250m深における温泉水のカリウム濃度を与え、その全てが沈積するとして（すなわち $Fkout=0$ ）、時間 $t$ を算出し、それを最短時間とした。しかし、 $Fkin$ には領域に流入する温泉水の濃度を、 $Fkout$ には領域から流出する濃度を与えなければならない。また、 $d=d_0$ の近似にも問題があろう。

### 5-2. 岩石密度

岩石密度は、乾燥試料のカサ体積と重量から求められた。その結果は、表2の最下部に示されている。なお、150mの試料は、測定できなかった。非変質試料（50mと100m）および粘土化しているが斜長石が著量に残存する試料（200m）の値が大きく、斜長石が完全に氷長石によって置換されている試料（250m）の値は小さい。また、氷長石を著量に含むが斜長石が残存する最深部の試料（300m）の値は、非変質試料の値と同等である。

ここでは、非変質岩石の密度として50m深での値 ( $d_0=2300\text{kg/m}^3$ )を、カリウム代謝後の密度として250m深での値 ( $d=1960\text{kg/m}^3$ )を採用する。

### 5-3. 温泉水のカリウム濃度

別府温泉では、1960年代を中心に、高地部で塩化物泉型温泉水の開発が急速に進んだ。この影響を受けて深部の塩化物泉型温泉水の圧力が低下したため、この層に浅層水が浸入し、塩化物イオン濃度が低下した（由佐，1984）。

大沢ら（1994）は、BGRL井から得られた温泉水の化学組成（表1）と別府温泉域に分布する温泉水の化学組成と比較して、5種の温泉水を見いだすとともに、それぞれの流動経路を明らかにした（図6）。図には、塩化物泉型温泉水（Na-Cl type）の流動経路が明瞭に示されている。先に述べた塩化物泉型温泉水の開発は、この流路に沿って行われた。その最下流側に位置する沸騰泉が、1966年に掘削された天満温泉であり（図6中のT）、掘削当時、典型的な塩化物泉型水が噴出していた。天満温泉は現在も沸騰しているが、温泉水の化学組成は、塩化物泉型から炭酸水素塩泉型に変質している（由佐ら，1989）。

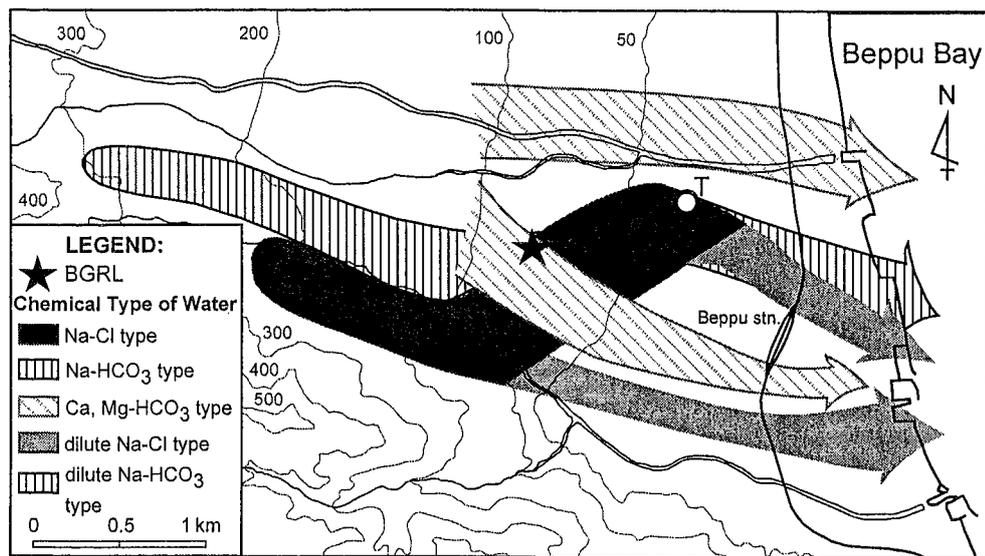


図6 別府温泉域における温泉水の流動経路. Tは天満温泉

本報告では、図5のブラックボックス領域を通過・流出する温泉水として、開発の影響が少ない1966年当時の天満温泉水を用いることとし、大分県（1967）により報告されている分析値を表3に示す。すなわち、 $F_{\text{kout}}=0.0645\text{kg/m}^3$ である。

カリウム代謝が進行した領域に流入する温泉水の組成を実測することは不可能である。そこで、鶴見火山群の地下に存在する源地熱水は、岩石と熱力学的に平衡状態にあるとして、その化学組成

を理論的に算出し、それが天満温泉水の塩化物イオン濃度まで単純に希釈されたときの濃度を採用することとした。計算手法の概要は、本報告末尾の付録に記されている。

計算を実行するのに必要なデータは、温度と塩化物イオン濃度であるが、それらは、Allis and Yusa (1889)により、それぞれ250～300℃および1400～1600kg/m<sup>3</sup>と見積もられており、ここでは、その大きい方の値、すなわち、300℃および1600kg/m<sup>3</sup>を採用した。得られた源地熱水および仮想的な天満温泉水の組成を表4に示すが（ただし、Cl濃度は丸めて850mg/lとした）、F<sub>kin</sub>=0.105kg/m<sup>3</sup>である。

表3 天満温泉水の化学組成（1966年5月17日）：pH以外の単位はmg/l

pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
8.5	616	64.5	31.2	2.4	849	165	105

「大分県温泉調査報告 温泉分析書第18号（1967）」による。表の値は、原分析値を3桁に丸めたものである。

表4 源地熱水および仮想的な天満温泉水の化学組成：pH以外の単位はmg/l

	温度(℃)	Cl	pH	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
源地熱水	300	1600	7.6	936	197	2.0	0.019	20	20	805
天満温泉水		850		497	105	1.1	0.010	11	11	428

表5 水-岩石相互作用継続時間の算出に用いた諸量の値

量	値	出典
滞留時間 (V <sub>w</sub> /Q)	7.8年	由佐 (1984)
初期岩石の密度 (d <sub>0</sub> )	2300kg/m <sup>3</sup>	本報告
代謝後岩石の密度 (d)	1960kg/m <sup>3</sup>	本報告
岩石の空隙率 (Φ)	0.2696	NEDO (1990)
初期岩石のカリウム濃度 (Ck <sub>0</sub> :重量比)	0.0133	Gianelli et al. (1992)
代謝後岩石のカリウム濃度 (Ck:重量比)	0.0506	Gianelli et al. (1992)
流入温泉水のカリウム濃度 (F <sub>kin</sub> )	0.105kg/m <sup>3</sup>	本報告
代謝後流出温泉水のカリウム濃度 (F <sub>kout</sub> )	0.0645kg/m <sup>3</sup>	大分県 (1966)

#### 5-4. 結果

式(4)による計算に必要な諸量について、先にGianelli et al. (1992)が採用した値および今回検討した値から、最終的に選んだ値を表5に示す。これらの値より、別府温泉域における水-岩石相互作用（カリウム代謝）の継続年数（系の年齢）が、約5万年と算出される。

#### 5. おわりに

近年、岩石中に含まれる微量な放射性物質の量を測定する技術が格段に進歩したことにより、火成岩の生成年代を高精度で求めることが可能となり、さまざまな地域における火山活動史が明らかになってきている。しかしながら、火山地域に付随する熱水系の形成時期あるいは継続時間などについては、適当な手法が見いだされていないために、ほとんど研究されていない。このことが、熱水系を総合的に理解する上での限界となっている。

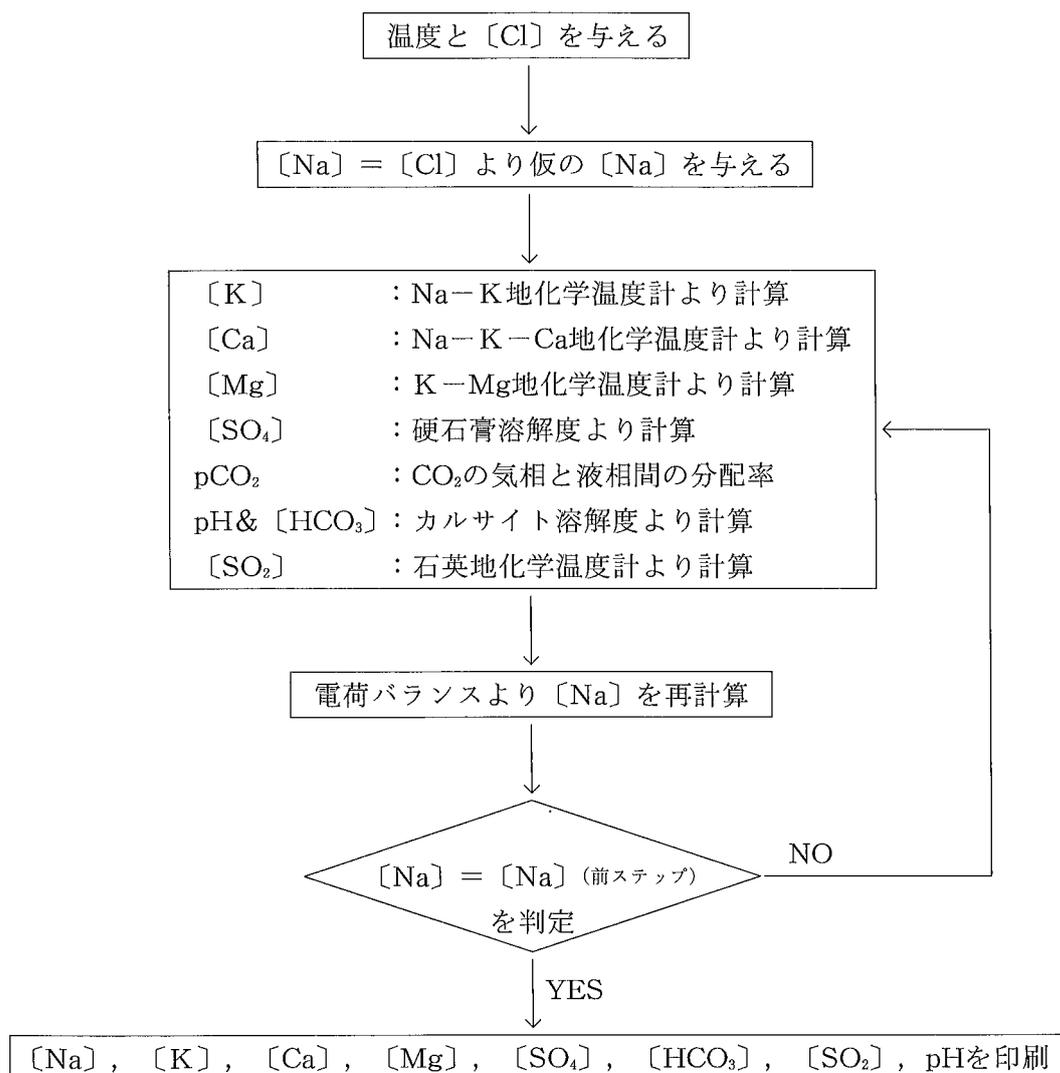
別府温泉域に位置する京都大学地球熱学研究施設構内の300m深掘削井から得られた、岩石のカリウム濃度鉛直分布は、熱水系の継続時間（年齢）の見積りを可能とする貴重なデータであり、岩石—水間のカリウム収支を評価することによって、カリウム代謝の継続時間が約5万年と求められた。これは、熱水（温泉水）系の継続時間の目安となり、今後の温泉研究に資するものと思われる。

本報告を終えるに当たり、この見積りが可能となったのは、この地域の温泉水流動系が明らかにされていたこと、および、温泉水の滞留時間が求められていたこと、言い換えれば、温泉水系への理解が進んでいたことが大きく与っていることを付記する。

#### 参考文献

- Allis, R.G. and Yusa, Y. (1989): Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, 18, 743–759.
- 大分県(1967): 大分県温泉調査報告・温泉分析書, 18, 60p.
- 大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一(1994): 別府温泉南部域における温泉水の流動経路. *温泉科学*, 44, 199–208.
- Gianelli, G., Yusa, Y., Battaglia, S. and Takemura, K. (1992): Water—rock interaction in a zone of lateral flow: A natural example from the active geothermal field and gold—mineralized zone of Beppu (Kyushu Island, Japan). *Mineralogy and Petrology*, 45, 247–259.
- 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岳地域地熱調査成果図集, 86p.
- Seno, K. (1940): Distribution of certain geophysical elements in the hot springs district of Beppu. *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 15, 265–294.
- 山下幸三郎(1984): 温泉水中の溶存物質の起源について. *温泉科学*, 35, 20–33.
- 由佐悠紀(1984): 温泉採取にともなう地下温泉水系の変化(2)別府温泉南部域における塩素イオン濃度低下と地下温泉水層の水理学的特性. *温泉科学*, 34, 92–104.
- 由佐悠紀・神山孝吉・川野田実夫(1989): 別府温泉南部域の化学成分長期変化について(2). 大分県温泉調査研究会報告, 40, 21–29.
- 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—別府温泉南部域での試み—. *温泉科学*, 44, 39–44.

【付録】地熱水化学組成の計算法





# 大分市温泉の試錐資料による地下地質の研究

日本文理大学

日高 稔・森山 善蔵

## はじめに

大分市内の温泉は昭和39年に西大分で初めて掘削されて以来今日まで開発が進み掘削井の数は160井を越えている。掘削深度はほとんど600mから700mと深く、近年では800mまで掘り進んでいるものも少なくない。

当初は大分平野西部から大分川流域に多かった温泉掘削は現在では大分平野全域におよんでいる。筆者らは昭和55年から当地域の温泉の地質環境を解明するために断続的ではあるが調査・研究に取り組み、既に本調査研究会報告第32号（1981）、第36号（1985）、第37号（1986）において成果の報告をおこなってきた。

今回近年掘削された16本の温泉孔の試錐資料を入手できたのでそれらを記載し、さらに地表地質調査を含む地質学的研究をおこない、いくつかの新知見を得たのでここに報告するしだいである。

## 1 試錐資料を収集した温泉孔の位置

今回収集した資料は16本で平成5年から9年にかけて掘削された温泉孔のものである。今回は大分平野の西部から中部にかけての地域の他に東部の下徳丸、大在といった今まで資料の乏しかった地域のものも含まれている。

各温泉孔の分布状況を図-1に示す。さらにそれら温泉孔の位置、掘削深度および湧出泉温はつぎのとおりである。

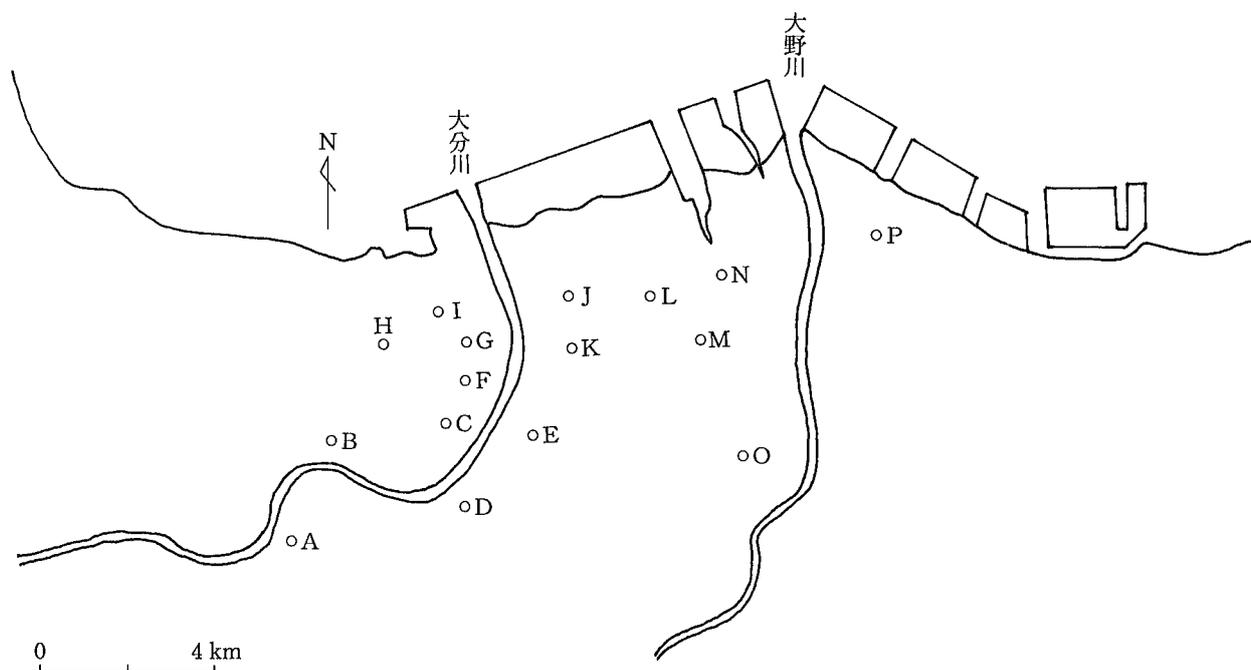


図-1 今回試錐資料を収集した温泉孔の位置

A	大分市大字田原字高木26-2	(掘削深度700m、湧出泉温48℃)
B	〃 〃 賀来字中島203	( 〃 750m、 〃 54℃)
C	〃 〃 古国府字下新田953	( 〃 700m、 〃 53℃)
D	〃 〃 光吉字向川原931	( 〃 700m、 〃 50℃)
E	〃 〃 津守字山崎2742	( 〃 800m、 〃 47℃)
F	〃 上野丘西309-2	( 〃 150m、 〃 30℃)
G	〃 大字上野字丁の平818	( 〃 750m、 〃 50℃)
H	〃 田室町92-1	( 〃 800m、 〃 50℃)
I	〃 新町8組	( 〃 700m、 〃 48℃)
J	〃 大字下郡2941	( 〃 700m、 〃 52℃)
K	〃 〃 下郡字七歩1716	( 〃 711m、 〃 54℃)
L	〃 〃 猪野字山野1430	( 〃 800m、 〃 48℃)
M	〃 〃 森字六反田596	( 〃 700m、 〃 49℃)
N	〃 〃 皆春町字1520	( 〃 800m、 〃 52℃)
O	〃 〃 下徳丸字西上鶴	( 〃 800m、 〃 52℃)
P	〃 〃 角子原字大西表463	( 〃 800m、 〃 50℃)

上記のうちO、Pは今まで得た試錐資料のなかでは最も大分市東部にあり、特にOは大分-熊本構造線に沿って東側に露出する三波川結晶片岩類の分布地に最も近い位置にある。また、F、Lはそれぞれ段丘面上からの試錐であり、他の沖積面上からの掘削とは異なる地質断面を示すことが特徴である。

## 2 地質概要

地表に露出する岩石、地層など地質の調査・研究に基づいて大分市の地質をまとめると概要は次のようになる。

当地域は地体構造上、大分-熊本構造線と松山-伊万里構造線に挟まれた陥没帯である別府-島原地溝帯に属する後期新生代堆積盆地である。

東部には大分-熊本構造線を境に東側に古生代の三波川結晶片岩類、北方には松山-伊万里構造線の北側に点々と中生代領家帯花こう岩類、南部には中生代の野川層群(砂岩・けつ岩等)・領家帯花こう岩などが露出している。

これら古期岩類が陥没した地帯に中新世以降の火山岩、火山噴出物を多く含む堆積層、非火山性堆積層などが広く、厚く分布している。堆積層には海成のものもあるが淡水成のものが多い。すなわち、上記古期岩類を基盤にして後期新生代の諸岩層が形成されたものと考えられる。

当地域に分布する諸岩層の層序を大きくまとめると表-1のようになる。

表-1 大分市の地質層序

地質時代名			地層名・岩石名		
新生代	第四紀	完新世	沖積層		
		更新世	阿蘇火砕流堆積物		
			段丘堆積層		
			高崎山火山岩（山陰系火山岩）		
	新第三紀	鮮新世	大分層群	鶴崎層	
				筑紫熔岩	
			滝尾層	下郡部層	
				羽田火砕岩層	
				片島部層	
			碩南層群	東植田層	古城部層
敷戸火砕岩層					
光吉部層					
		判田層			
中生代			大野川層群		
			領家帯花こう岩類		
古生代			三波川結晶片岩類		

上記表の岩石・地層ごとの詳しい地質学的説明は筆者ら（1981, 1986）が記載してあるので本報告では簡潔に触れることとする。

ア 古期岩類 大分市地域で最も古いものが古生代の三波川結晶片岩類で佐賀関半島から大分市東部に広く分布し、北東-南西方向の断層が発達する。中生代のものとして領家帯花こう岩類が野津原付近に、大野川層群の堅硬な砂岩、けつ岩などが大分市南部に広く分布する。

イ 碩南層群 大分平野南部の丘陵地に広く分布し、一般走向ほぼ東西で緩いしゅう曲構造を示しつつ全体として南方へ傾斜している。淡水成の地層で主に泥岩、砂岩、れき岩からなるが、ところによってはけい藻土層が発達することがある。また敷戸付近には火砕流堆積物が分布し本層群の中部層の特徴をなし、敷戸火砕岩層とよび、主として軽石層、軽石凝灰岩層、凝灰角れき岩層などからなり黒雲母両輝石安山岩質である。

ウ 大分層群 大分平野北半部の丘陵地に広く分布し一般走向ほぼ東-西～東北東-西南西で北へ傾斜するほぼ単傾構造をしている。下部と上部はれき岩、砂岩、泥岩などを主体としつつ色々な層位に軽石や火山灰などの火山噴出物を含む。さらに中部には火砕流堆積物が発達し、羽田付近に分布し、羽田火砕岩層とよぶ。軽石層、軽石質凝灰角れき岩層からなり、角閃石黒雲母安山岩質である。本層群は全体的には海成層が多いが上部に一部淡水成の部分がある。

エ 段丘堆積層等 明野台地、丹生台地をはじめ各台地には大分層群や碩南層群をベースにして段丘が形成され、れき層を主体とする堆積物が分布する。阿蘇火砕流堆積物も中位段丘面には分布するところもある。

沖積層は大分川下流域、大野川下流域で厚く、特に大分川右岸から三佐にかけての地域で最も厚く80mに達する。

### 3 地下地質

#### (1) 大分市地域の地下に分布すると想定される岩石・地層

表一1は大分市内の地表に分布している諸岩層を層序区分したものであり、それぞれ地下にも分布していると考えられるが、これらの他に大分市地域の地下に分布している可能性のある岩層として、大分市近隣の地表に分布しているもののうち次の2つのものが考えられる。

ア 宇佐層群 大分市の北側別府地域及びその北方から西方に分布する。プロピライトを含み青緑色を帯びた中新世のもので層序的には上記表の碩南層群の下位で大野川層群の上位に位置することとなるが大分市内には露出が見られない。

イ 瀬戸内系火山岩 大分市の西側の庄内町南部に分布する。堅硬ち密な斜方輝石安山岩で層序的には碩南層群の上部に位置し、大分市内に分布する火山岩より古い火山活動に属するものである。

#### (2) 基盤の深度

大分市温泉の貯留層と考えられる後期新生代堆積層の基盤をなしているものは地表地質から推定して、大分市南部では中生代大野川層群、南部から西部では領家帯花こう岩、東部では三波川結晶片岩であろうと考えられる。しかし、今までに筆者らが収集した試錐資料の中にはこれら基盤岩まで掘削したものはなかった。掘削深度としては800mに達するものは何本もあるがいずれも基盤に達したものは見られなかったが、今回の調査において初めて基盤に達した試錐資料を1本ではあるが見いだした。それは大分市東部下徳丸の温泉孔試錐(O)である。深度670mから結晶片岩に到達し、800mまで結晶片岩の中を掘削している。この試錐地点Oから東南東方向約4kmには三波川結晶片岩類の露頭が広がっていることから、この試錐に現れた結晶片岩は三波川結晶片岩類に属するものと考えられる。この結晶片岩の上には砂れき層・シルト混じり砂れき層互層が厚く堆積しさらに上位にいくにつれて、粘土層、れき層などがある。地温をみると深度650mで52℃、750mで52℃、800mでも52℃もあり、結晶片岩の中では地温上昇が見られない。

前記結晶片岩の露出地とO地点とが大分一熊本構造線を挟んで東側と西側に位置することは、断層によりO地点側の基盤が670m以上は落ちているものと考えられる。他の地点についての基盤深度を知る資料がないため多くを論じられないが、別府地区については吉川・北岡(1985)が花こう岩が深度2000mにある可能性を示唆しているが大分市地域については触れていない。しかしこのことから大分市西部については別府地域に近いことから東部より基盤が深く、領家帯花こう岩が基盤をなしている可能性もあると考えられる。いずれにしても、別府一鳥原地溝帯の落ち込みの深さと基盤岩を示唆する証拠が大分市東部だけで得られたことは今後の大分市温泉の地質環境を解明する上で重要な資料となるものである。

#### (3) 温泉貯留層

大分市の温泉は深層熱水型温泉(吉川・北岡 1985)であり、筆者ら(1986)は、南層群および大分層群を温泉貯留層と推定した。この両地層群は大分市内の丘陵地に広く分布するとともに大分平野の地下の沖積層下に広くかつ厚く堆積しており、掘削地点と深度によって、温泉は碩南層群または大分層群の中から汲み上げられていると考えられる。図一2の柱状図と地表地質に基づいて温泉貯留層を中心に地下地質を検討してみると次のように考えることができる。

大分市西部のA地点では深度700mで凝灰角れき岩層、B地点では深度750mで凝灰岩層、C地点では深度700mで凝灰岩層からの汲み上げであるが、これらの火山砕せつ岩は地表の分布状況からみて大分市南西部から南部にかけて広く分布する碩南層群に属するものであろう。A地点の凝灰角

れき岩層には層位的には碩南層群の南方向への傾斜からみてこれら3層の中では最も上位のものと考えられる。もし、吉川・北岡(1985)の宇佐層群が大分市地域の地下に存在するとすれば深度700m程度の深さで試錐に現れると推定できるのは西部であるが今回の試錐には現れていないものとする。大分川下流域にいくほど碩南層群とその上位の大分層群は厚くなり、宇佐層群が碩南層群の下に存在するとしても800m程度の試錐には現れないであろう。

大分市南部のD地点では下部に少量の凝灰岩を含むが砂岩、泥岩、粘土などの細粒碎せつ物を主体とする非火山性堆積物からなり、これは碩南層群の中位の東植田層光吉部層にあたり、火山性堆積物を色々な層準多く含む傾向のある碩南・大分両層群のなかにあつて特徴的な岩相を呈している。D地点より少し北方のE地点は碩南層群とそれを傾斜不整合におおう大分層群との境界付近にあり試錐断面の上部の泥岩・砂岩・れき岩層は大分層群の下部の片島部層であり、その下に続く凝灰岩主体の地層は碩南層群に属し、深度800mの凝灰岩中から温泉を汲み上げている。

大分市中心部のF地点では段丘面上からの掘削であるため地表近くは段丘れき層であるが柱状断面ではれき層が深度100mまで続くことから下位の大分層群との境界が推定できないが、このれき層のなかのいずれかの層準にあるであろう。この試錐は深度150mまでの掘削で終了し30℃の温泉を汲み上げている。F地点近くのG地点では深度750mの凝灰岩から汲み上げているが、これは地表地質の分布からみて大分層群を貫いて下位の碩南層群中に達しているものと推定される。

大分市中部の大分川下流右岸域のJ地点、K地点では深度700mの凝灰岩から温泉を汲み上げているがともに大分層群滝尾層の下部ないし中部に属するものと推定される。J地点では50m以降は総て凝灰岩質でその中の幾つかの層準に凝灰角れき岩層が発達しているのが特徴的であり、これは羽田火砕岩層に対比されるのではないかと考えられる。近くのK地点では深度400mまでは一部粘土層を挟むがれき層が主体で、それ以深は厚い凝灰岩層である。地中温度は孔底で60℃あり、一般的に深度700mの地中温度としては高い方である。L地点では深度400mまでは厚いれき層からなり、これは大分層群鶴崎層に属し、れき層の下の凝灰岩層は滝尾層上部のものであり、深度800mのこの凝灰岩層から温泉を汲み上げている。

大分市東部のM地点では深度700mでれき層から汲み上げているが、他の地点ではこの深度前後ではほとんど凝灰質岩層から採湯していることからみて例外的である。地中温度は深度600m、700mでともにれき層でそれぞれ49℃、54℃であり、これは凝灰岩質の場合とあまり変わらない。孔底まで殆どれき層で下部には粘土層がれき層中に何枚か挟まれており、大分層群滝尾層上部に属すると思われる。M地点の北のN地点では深度800mで凝灰岩から採湯しており試錐断面全体が凝灰岩からなることから地表地質との関係でどの層準にあたるか推定が困難であるが大分層群であることは間違いない。層序から考えれば孔底付近は滝尾層で上位のどこからか鶴崎層になるであろう。

大分市東部のO地点では掘削深度800mであるが670m以深は結晶片岩であり、基盤岩であることから貯留層は670mより上のシルト混じりれき層とれき層であり、これは碩南層群下部で堆積縁辺相にあたるものと考えられる。上位のれき層は大分層群の下部で堆積縁辺相にあたり、堆積盆地の東縁で基盤岩にアバットしていることが推定される。

O地点とは大野川を挟んで右岸下流域にあるP地点は大在地区にあり、大分市温泉の最東部に位置し、前記O地点に次いで大分一熊本構造線や結晶片岩の分布地に近いのが特徴である。深度800mで凝灰岩層から採湯しており、地中温度55℃である。丹生台地の北端が切れて沖積面に移った所にある。沖積層下から深度320mまでは厚い凝灰岩層の他にれき層が発達しており、その下は凝灰岩とシルトや粘土等の細粒層が交互に現れる。地表地質の分布からみてこれらは大分層群に属し、孔底付近は滝尾層上部であり、その上位は鶴崎層下部と考えられる。

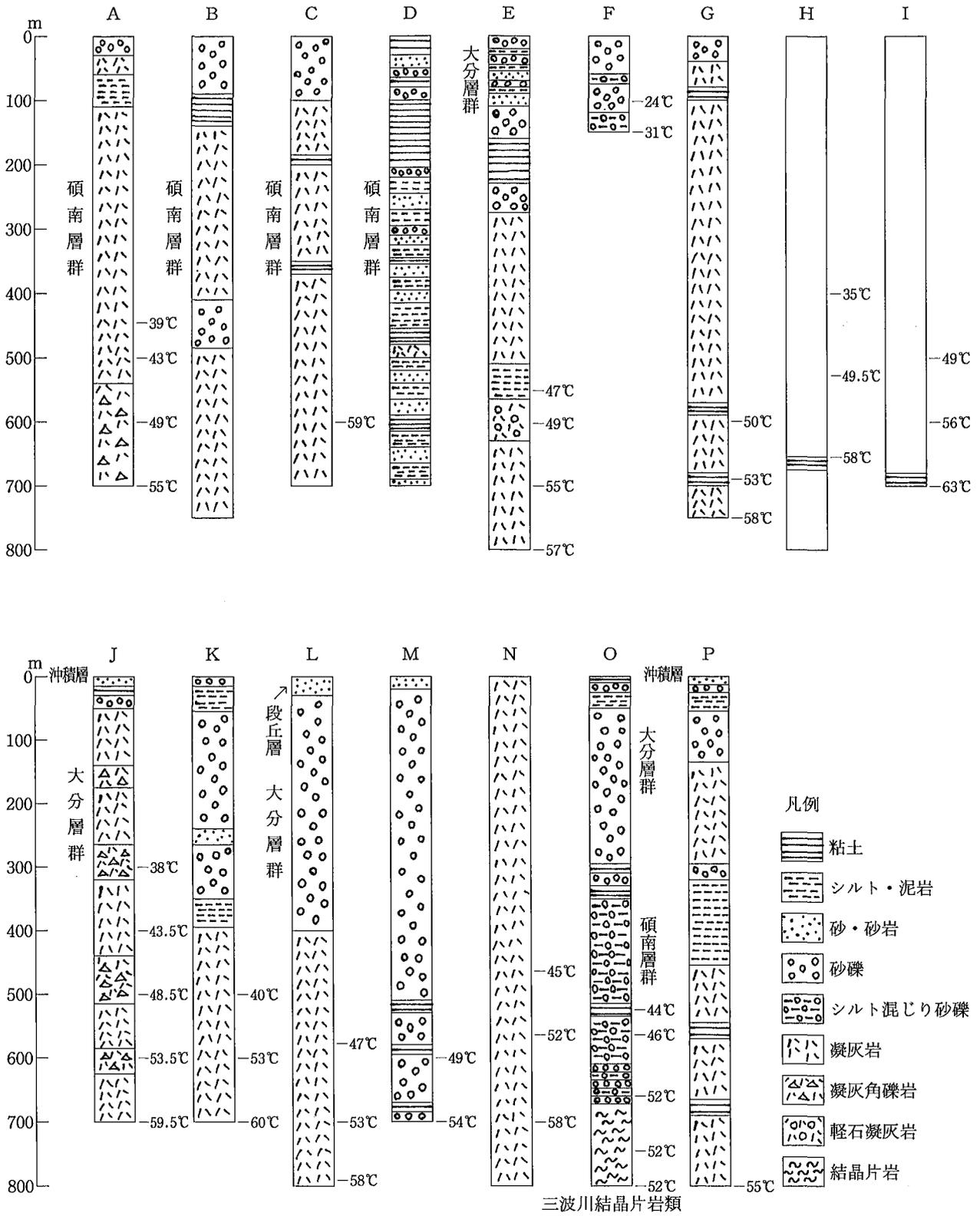


図-2 温泉孔の地質柱状図及び地中温度

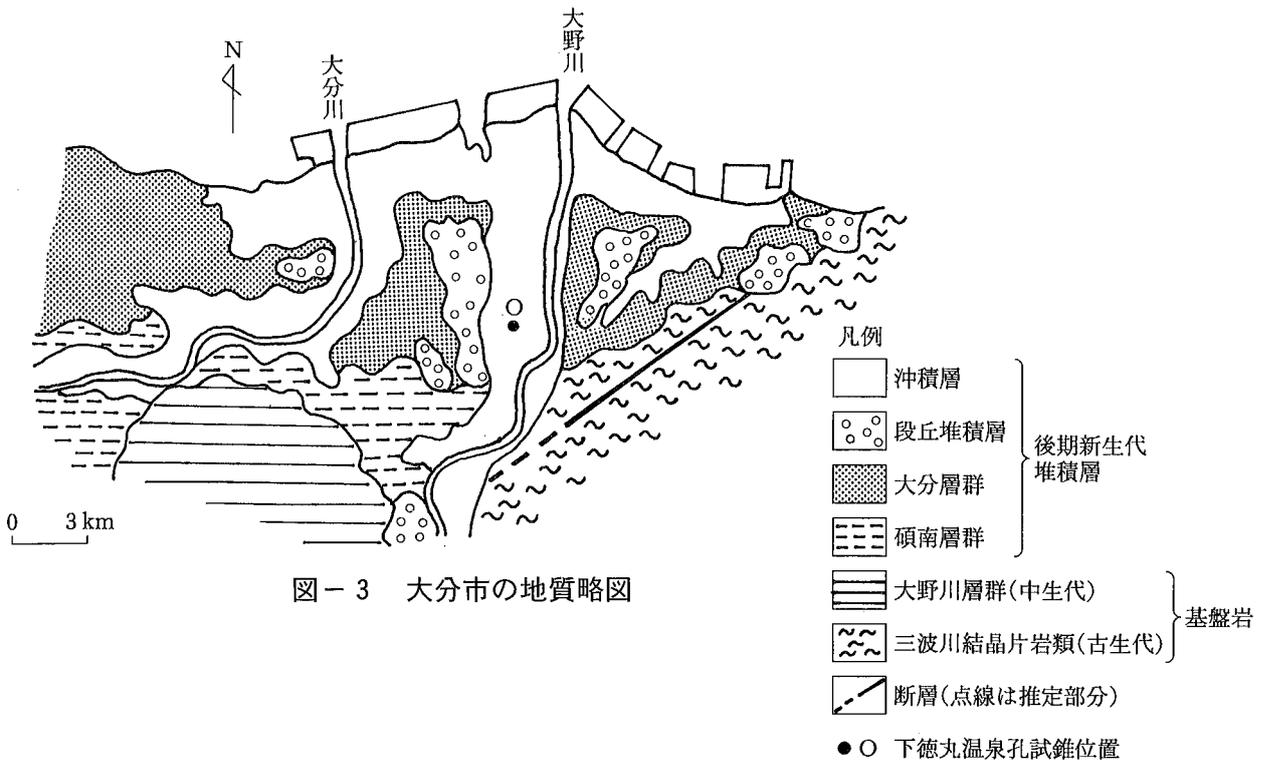


図-3 大分市の地質略図

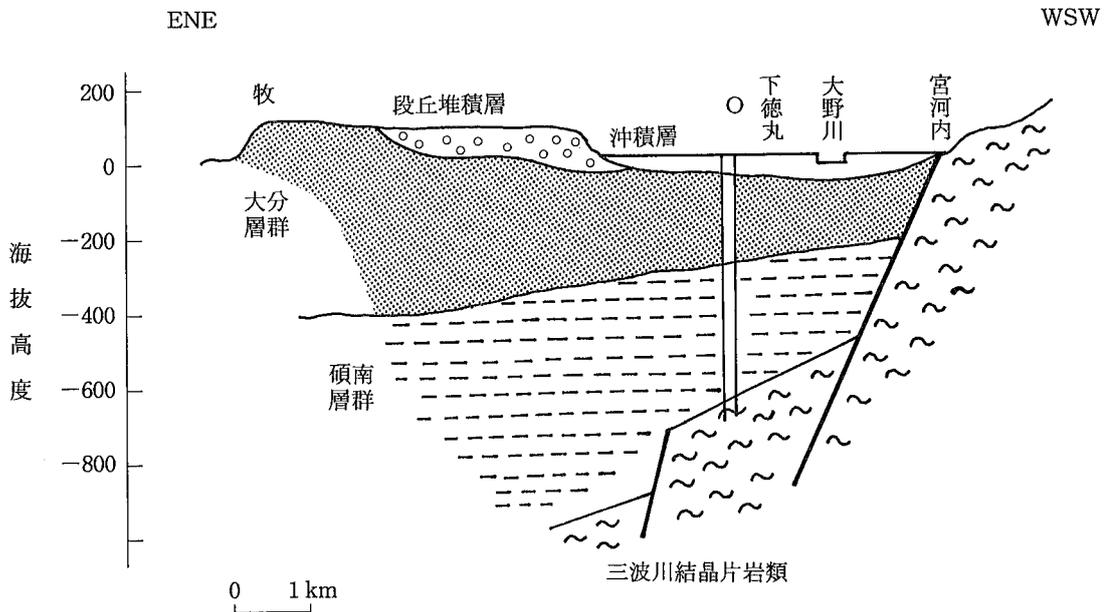


図-4 大分市東部下徳丸付近の地下地質概念図 (Oは温泉孔試錐)

以上今回の収集資料によって主に試錐地点毎に地下地質を推定してきたが図-2の柱状図のうちH、Iについては採湯部分の岩層と地中温度に関する資料のみしか得られていないので層序学的な推定は難しいが、前者は深度650mで粘土層、地温58℃、後者は深度700mで粘土層、地温63℃で、両地点間の距離2 km弱であること、これら両地点に近い東春日、都町での掘削資料(筆者ら1986)からみて滝尾層下部または碩南層群上部の可能性が考えられる。さて、前述の大分市の北方や西方地域で分布の見られる碩南層群の下位にある中新世宇佐層群は大分市地域の掘削資料からは

今回の調査でも見いだすことができなかったが、さらに深いところにはあるのか、さらに大分市のどの地域の地下にあるのか等明らかになることによって温泉貯留層の推定等に役立つ重要な資料となるはずである。また、庄内町に分布する瀬戸内系火山岩も今回大分市の掘削では見いだされていない。これは、碩南層群堆積終了時に引き続いてあったとされる火山活動が大分市西方の庄内町地域に限定されていたことを示すのか、または大分市地域の地下もっと深くに存在し温泉の熱源としての役割をはたしたのか等の推定に必要な資料であり、今後さらに調査してみたい。

## おわりに

今回16本の温泉孔についての地質状態を記載し、およそ次のような点を明らかにすることができた。

まず、大分市東部の○地点（下徳丸）で深度670mに基盤の三波川結晶片岩が見いだされたことは重要な発見である。大分市温泉の掘削で三波川結晶片岩のみならず基盤岩に達したのはこれが初めてであり、従来別府一島原地溝帯の基盤深度についての確実な資料が無かったが、一地点ではあるがデータを得たことは基盤や貯留量等を論じるとき貴重な資料になると思われる。

さらに、今まで得られなかった東部の大野川流域両岸での深い掘削資料が2地点ではあるが得られたことは、大分市地域の後期新生代堆積盆地の東部縁辺相の解明および堆積環境の推定にとって重要な資料となるものである。

また、温泉貯留層については今までの推定どおり、今回の研究でも大分市南半は鮮新世碩南層群、北半は更新世大分層群であるとするのが妥当であろうと考えられ、大沢（1996）の地化学的推定とほぼ整合性があるように見える。

さて、試錐資料が少ないため不十分な研究に終わったが、今後もっと多くの深く、かつ広範囲にわたる試錐資料の収集につとめ、大分市温泉の地質環境の解明への取り組みを進めてみたい。

## 参考文献

- 1) 森山善三・日高稔(1981)：大分市温泉の地質 大分県温泉研究会報告32、65-70
- 2) 森山善三・日高稔(1985)：大分市温泉の岩芯のX線分析による鉱物学的研究 大分県温泉調査研究会報告36
- 3) 吉川恭三・北岡豪一(1985)：いわゆる深層熱水型温泉について 大分県温泉調査研究会報告36、1-12
- 4) 森山善三・日高稔(1986)：大分市の温泉地質 大分県温泉調査研究会報告37、38-49
- 5) 大沢信二(1996)：大分平野の温泉水の起源について 大分県温泉調査研究会報告47、37-42

# 噴気ガスの化学・同位体組成からみた 別府温泉の地熱流体の起源及び性状

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二

## 1. はじめに

別府温泉で印象深い風景の一つに、所せましと立ち並んだ家屋の間のあちこちから立ち上る湯煙をあげることができる。ところが温泉地であることを特徴づけるこの湯気や水蒸気を取り扱った温泉科学的研究は、温泉水の研究に比べてかなり立ち遅れている。その中でも地球化学的な取り組みは、これまでほとんどなされてこなかったと言っても過言ではない。それは、噴気試料を採取・分析することによって何が分かるかという科学的な意義付けが明確でなかったことが一因と考えられるが、最大の理由は採取や保存など試料の取り扱いが温泉水に比べてかなり難しく、相当の経験と熟練を要することにあつたと思われる。

別府における噴気ガスの地球化学的研究は、九州大学温泉治療学研究所の古賀と野田により先鞭がつけられ、噴気ガスの化学データから地下の情報を入手できそうであることが示された（例えば、古賀・野田, 1973）。その後、数多くの有用なデータ解析法が国内外の研究者によって提案され、噴気ガスの地球化学的研究の意義が広く認識されるようになった（例えば、Nicholson, 1993を参照）。このような背景の下、京都大学地球物理学研究施設（現地球熱学研究施設）でも噴気ガスの地球化学的研究が行われることになった。分析装置の選定と立ち上げ、試料採取方法の策定と度重なる改良などを経て、分析データが日常的に生産できるようになり（大沢ほか, 1998a）、噴気ガス成分の起源・地下における流体の温度や存在状態・流体の挙動などを議論できるようになった（大沢ほか, 1997；大沢ほか, 1999；Ohsawa et al., 2000）。本報告では、これまでに別府において採取した噴気ガス試料の化学分析値およびいくつかの化学成分の同位体組成を示し、それらを用いた種々の解析結果を提示して、地下に存在する地熱流体の温度と存在状態ならびに含有成分の起源について議論したい。

## 2. 噴気ガスの測定データ

別府には、地熱温泉活動にともなつた噴気ガスとして以下のものが存在する。

- (1) 自然の噴気孔から放出される噴気ガス
- (2) 蒸気井からの噴気ガス
- (3) 温泉井からの熱水をともなつた噴気ガス（沸騰泉）

(3)の熱水混じりの噴気ガスは、熱水を完全に分離して採取する必要があるが、技術的に困難である場合が多い。そこで、本研究では、(1)の自然噴気ガスと(2)の蒸気井噴気ガスを測定対象とした。また、これら以外にもかつては低温の自噴温泉水から遊離してくるガスを見ることができたいが、現在この種の温泉井では揚湯をエアリフトに頼っており、自然状態のままガスを採取することは困難である。従つて、このような温泉遊離ガスも測定の対象から除外した。

自然噴気の温度はおおむね噴出地点における水の沸点に近い温度を示すが、伽藍岳西斜面の塚原噴気地帯には過熱蒸気の噴出が認められる。一方、蒸気井からは過熱状態にある蒸気が噴出することはめずらしくないが、やはり水の沸点に近い温度で噴出するものが多い。我々がこれまでに採取

したガス試料の主要および微量成分の化学分析値を噴出温度とともに表1に、また水蒸気の水素・酸素同位体組成<sup>#1</sup>、ヘリウムの同位体比<sup>#2</sup>、二酸化炭素の炭素同位体組成<sup>#3</sup>を表2に示す。また、採取した噴気ガスの噴出地点を、図1に示した。

表1 自然噴気と蒸気井から噴出する噴気ガスの化学分析値

No.	Locality and sample description	Sampling Date	Temp. (°C)	SO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub> ΣS HCl			He H <sub>2</sub> Ar N <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>					Reference
					(mmol / mol H <sub>2</sub> O)			(μmol / mol H <sub>2</sub> O)					
1	Nabeyama 1, fumarole	Oct. 20, 1997	97.1	<0.01	8.11	1.98	n.d.	0.085	3.4	0.34	56.1	17.0	a
2	Nabeyama 2, fumarole	Oct. 20, 1997	95.6	<0.01	8.50	1.21	n.d.	0.074	2.2	0.18	41.7	14.0	a
3	Nabeyama 3, fumarole	Oct. 20, 1997	96.4	<0.01	10.3	2.15	n.d.	0.082	3.2	0.20	47.1	16.0	a
4	Nabeyama 4, fumarole	Nov. 12, 1997	97.2	<0.01	6.72	1.66	n.d.	0.061	11.9	0.14	32.6	11.7	a
5	Nabeyama 5, fumarole	Nov. 12, 1997	97.3	<0.01	7.44	1.63	n.d.	0.065	4.4	0.13	32.8	11.2	a
6	Tsukahara 1, fumarole	Oct. 30, 1996	115	<0.01	7.81	1.49	n.d.	0.12	8.8	1.2	91.4	8.4	a
7	Tsukahara 2, fumarole	Oct. 30, 1996	97.9	<0.01	5.51	1.14	n.d.	0.078	5.4	0.57	50.0	2.5	a
8	Tsukahara 3, fumarole	Oct. 30, 1996	97.7	<0.01	9.51	1.83	n.d.	0.13	4.8	0.90	80.4	7.0	a
9	Tsukahara 4, fumarole	Sept. 30, 1997	96.6	<0.01	13.3	2.01	n.d.	0.075	11.5	0.67	62.8	3.5	a
10	Tsukahara 1, fumarole	Aug. 19, 1994	119	—	6.46	1.27	n.d.	0.086	104	1.7	135	3.0	b
11	Horita, steam well	Aug. 18, 1994	129	—	21.6	0.37	n.d.	0.26	16.1	3.4	273	16.4	b
12	Horita, steam well	Aug. 18, 1994	132	—	37.7	0.33	n.d.	0.36	16.4	2.2	208	9.9	b
13	Yuyama, steam well	Aug. 19, 1994	120	—	3.96	0.43	n.d.	0.056	2.3	2.1	150	16.1	b
14	Ogura, steam well	Aug. 19, 1994	98.7	—	3.73	0.095	n.d.	0.082	3.0	1.2	112	15.3	b

(Remarks) a: This work, b: Sturchio et al. (1996), n.d.: not detected, —: not analyzed

別府の噴気ガスはいずれも、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)・硫化水素 (H<sub>2</sub>S) を含む水蒸気であり、水素 (H<sub>2</sub>)・メタン (CH<sub>4</sub>) という大気中に極く僅かにしか存在しない化学成分を著量に含み、これらが地下の高温条件下で生成したものであることを表している。大気を構成する主要成分である窒素 (N<sub>2</sub>) とアルゴン (Ar) も含まれる。これらは化学的に不活性であることから、Arの全てが大気起源であるならば (Giggenach and Goguel, 1989)、N<sub>2</sub>/Ar比は噴気ガスに大気起源以外のN<sub>2</sub>が含まれていることを示している (表2)。同様に、噴気ガス中には大気起源以外のヘリウム (He) も含まれていることが示される (表2)。分析結果に示されているもうひとつの特徴は、水溶性成分である塩化水

表2 噴気ガス中の不活性ガスの濃度比と化学成分 (水蒸気・ヘリウム・二酸化炭素) の同位体組成

No.	N <sub>2</sub> /Ar	He/Ar	δ D H <sub>2</sub> O δ 18O H <sub>2</sub> O		<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He (R <sub>atm</sub> )	<sup>4</sup> He/ <sup>20</sup> Ne	δ <sup>13</sup> C CO <sub>2</sub> (‰)	Reference
			(‰)					
1	165	0.25	—	—	—	—	—	a
2	232	0.41	—	—	—	—	—	a
3	236	0.41	—	—	—	—	—	a
4	233	0.44	—	—	—	—	—	a
5	252	0.50	—	—	—	—	—	a
6	76	0.10	—	—	—	—	—	a
7	88	0.14	—	—	—	—	—	a
8	89	0.14	—	—	—	—	—	a
9	94	0.11	—	—	—	—	—	a
10	79	0.051	-53	-8.8	6.1	4.8	-6.6	b
11	80	0.076	-49	-6.9	6.3	100	-7.0	b
12	95	0.16	-54	-8.6	6.4	4.6	-6.9	b
13	71	0.027	-54	-8.9	4.8	1.6	-7.2	b
14	93	0.068	-50	-7.8	6.0	216	-6.8	b
Air	83	0.00056						

(Remarks) a: This work, b: Sturchio et al. (1996), —: not analyzed

素と二酸化硫黄が検出されないことであり、九重硫黄山の高温噴気ガスと対照的である（例えば、大沢ほか，1997）。これは、別府の噴気ガスが地下では熱水と共存していたもので、沸騰により熱水から分離してきたものであることを示唆している。

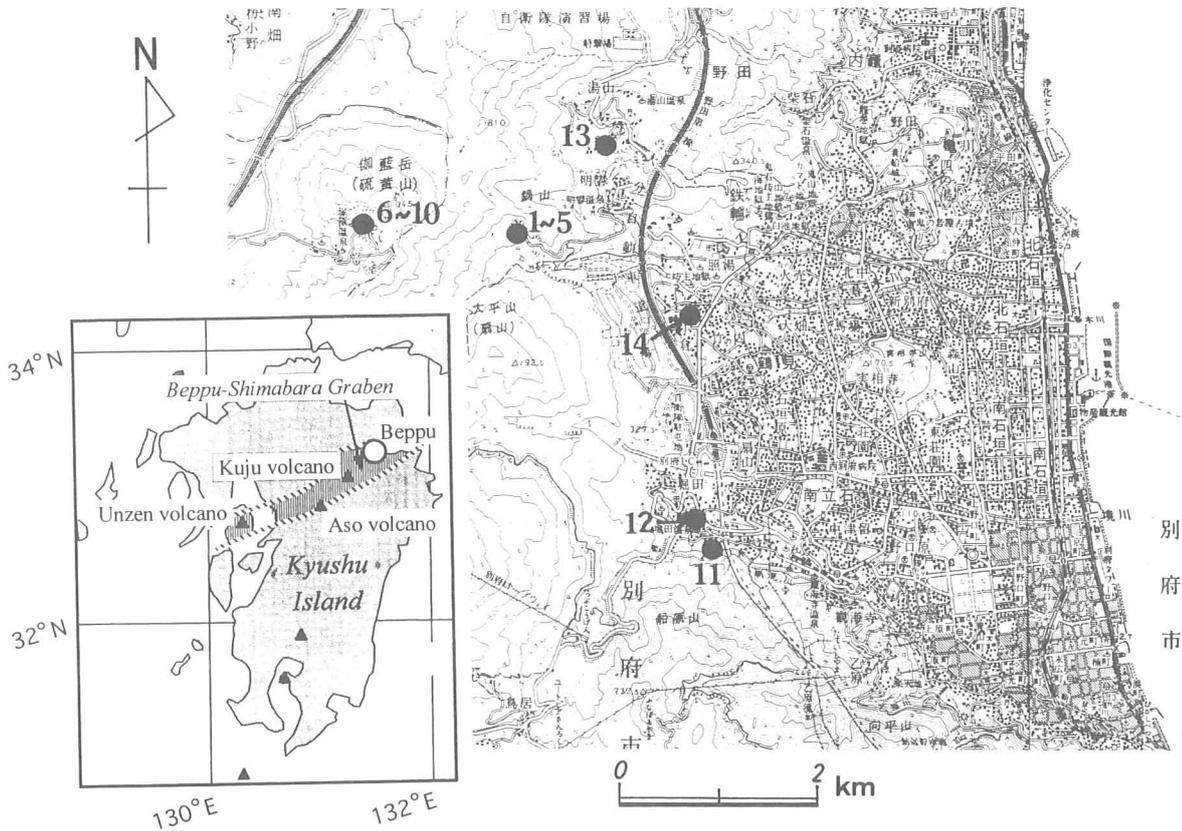


図1 噴気ガス試料の採取場所

### 3. データの解析結果および考察

#### 3-1. 水蒸気

噴気ガスの主体をなす水蒸気の起源を知る最も有効な方法は、その安定同位体の組成（ $\delta D$ と $\delta^{18}O$ ）を調べることである。図2に表2のデータおよび北岡ほか（1993）の論文に記載されているデータをプロットした $\delta D$ - $\delta^{18}O$ ダイアグラムを示す。図中の直線は別府地域の天水線（Local meteoric water line）であり、降水や浅層地下水（湧水・浅井戸）のデータはこれに沿って分布し、 $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 13$ の関係が与えられている（北岡ほか，1993）。別府温泉の地下の温泉水は全て天水線に隣接

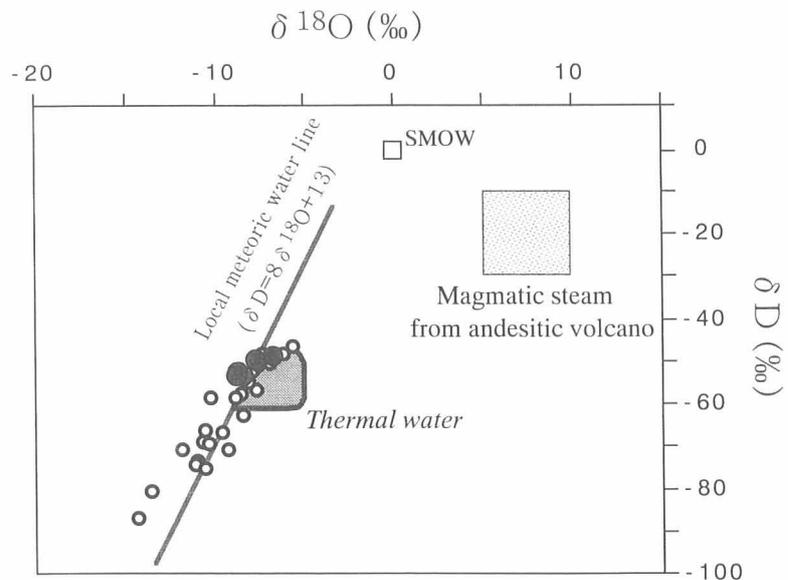


図2 水蒸気の水素・酸素同位体組成（ $\delta D$ - $\delta^{18}O$ ダイアグラム）  
白抜き丸で表したデータは、北岡ほか（1993）より引用

するハッチを付けたボックス内の値を示し (Thermal water)、降水起源の地下水が水熱条件下で岩石と反応し同位体交換反応を受けたものであるとして説明されている (北岡ほか, 1993)。この天水線からのずれは、世界各地の地熱地帯や温泉地域でも観測されており、Oxygen isotope shiftとして知られている現象である。噴気ガスのデータは、別府の噴気蒸気がそのような地下の温泉水の沸騰により生成した蒸気であるとして説明できることを示しており、図中に示されたマグマ性蒸気 (Magmatic steam from andesitic volcano) の寄与を考慮する必要はない。

以上のような沸騰による蒸気-熱水間の平衡同位体分別 (閉鎖系) を考えた場合、蒸気と熱水の同位体比の差は温度の関数として表され、蒸気と熱水の同位体比が与えられれば分離の際の温度を推定することができる。このような手続きで地下の温泉水 (熱水) の温度を求めると最高でおよそ 300°C という値が得られた。この値は、Allis and Yusa (1989) が、温泉水の化学分析データから推定した本源熱水の 250°C~300°C の最大値と一致した。

### 3-2. 非凝縮性ガス

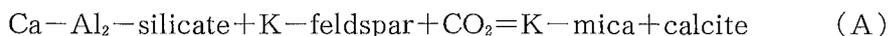
2. でも述べたように、噴気ガスには水蒸気以外に僅かではあるがその他のガス成分が含まれる (表1)。これら水蒸気以外の成分は、水蒸気が容易に凝縮し液体になるのに対し、水熱条件下では凝縮しないという意味で非凝縮性ガスと呼ばれる。これらの内のいくつかは (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>など)、水蒸気や熱水との間で様々な化学反応や同位体交換反応などを起こし、濃度比や同位体組成の差から地下の流体の温度や存在状態を推定することが可能である (反応性ガス)。また、地下浅部で起こる地熱流体の気液分離過程 (凝縮と沸騰) を除けば、非凝縮性ガスは、通常、水蒸気や熱水と共に地下を流動するので、化学的に反応性に乏しいガス成分 (He, N<sub>2</sub>など) の濃度比や同位体組成から地熱流体の起源を議論することができる (不活性ガス)。

#### 3-2-1. 反応性ガスの濃度比から推定される地熱流体の温度及び存在状態

3-1 で述べたように、別府の噴気蒸気は天水起源の熱水から分離したものである。このように天水によって涵養される熱水系については、流体の温度や存在状態を推定するいくつかの有用な解析方法が提案されている。ここでは、Giggenbach and Goguel (1989) に報告されている方法による解析結果を示す。

#### CO<sub>2</sub>/Ar-H<sub>2</sub>/Arダイアグラム

このダイアグラム (図3) は、地下に潜在する熱水系の物理・化学的状态を予測する方法として、岩石と流体の相互作用を想定した化学平衡にもとづいて作成されたものである。厳密には流体の貯留層で下に示すような反応が起こっていないなければならないが、天水性の熱水系の実状をよく表現する実用的な解析図である (例えば、大沢ほか, 1998a; 大沢ほか, 1999)。



なお、少なくとも反応 (A) は、日本の地熱系では成立しているという報告がある (Chiba, 1991)。

この解析図によれば、地下に存在する熱水系が熱水卓越型であれば、それに由来する噴気ガスの分析データ (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Ar) は、図中のEquilibrium liquid線上にプロットされ、プロットされたポイントから流体の温度を知ることができる。一方、熱水卓越型熱水系の対局にある蒸気卓越型熱水系の場合、理論的には図中のEquilibrium vapor線上にプロットされるはずであるが、少なくとも我々は今のところそのようなデータに出会っていない。これは、地熱開発に関わる多くの熱水系

の調査結果が示すように、熱水系のほとんどが熱水卓越型であるという事実と無関係ではないであろう。しかし一方で、蒸気卓越型熱水系は蒸気と熱水の混合流体（気液二相流体）であるとする考えもあり、この考えに従えばEquilibrium vapor線の上にプロットされるデータが見られないのは当然であり、むしろEquilibrium liquid線とEquilibrium vapor線に挟まれた領域にプロットされることが予想される。我々はそのようなデータを箱根火山の噴気地帯で得ている（大沢ほか，2000）。

さて、別府の噴気ガスのデータがプロットされた図3を見ると、データのほとんどがEquilibrium liquid線付近にあり、噴気ガスが熱水卓越型の熱水系に由来するものであることを示している。なお、大半のデータがEquilibrium liquid線よりCO<sub>2</sub>/Ar軸側にプロットされているのは、H<sub>2</sub>-Ar系の化学平衡の移動速度が大きく、ガスが高温の状態から地表へ移動する間に、化学平衡が低温側へシフトするためであると考えられている（Giggenbach and Goguel, 1989）。流体の温度は、200℃～300℃程度と推定され、得られる最高温度（約300℃）は、水蒸気の同位体組成の解析結果と一致する（3-1参照）。ところで、データのひとつ（No.10試料：塚原の自然噴気孔）がEquilibrium liquid線とEquilibrium vapor線に挟まれた領域にプロット

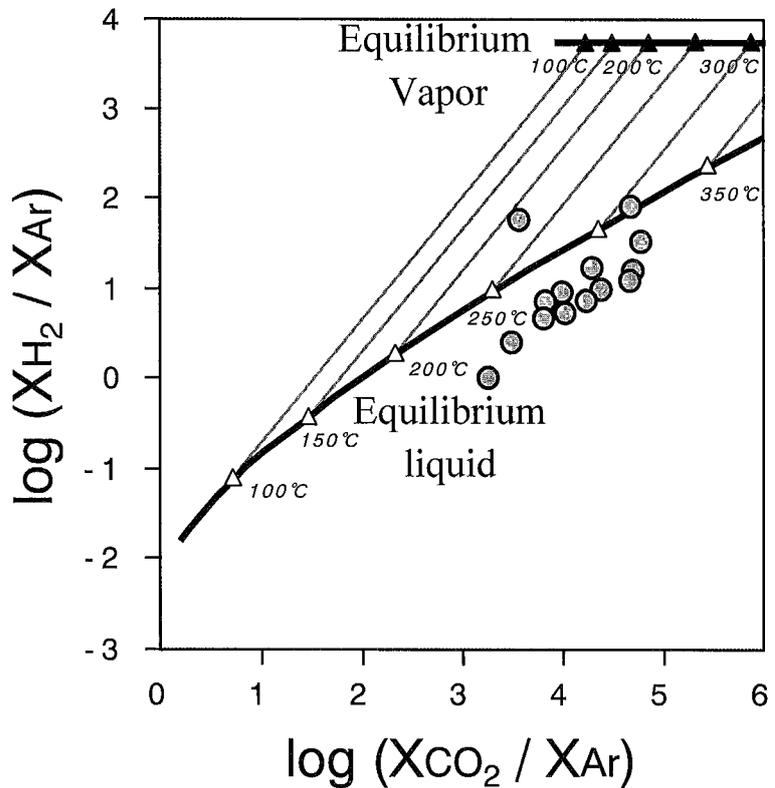


図3 噴気ガスの化学分析値（CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Ar）を用いた地熱流体の温度・存在状態の評価図（CO<sub>2</sub>/Ar-H<sub>2</sub>/Arダイアグラム）

されているが、これと同じ噴気孔から別の日に採取したNo. 6 試料はそのような特異な位置にプロットされていない。また、近傍から噴出する噴気ガスのデータ（Nos 7, 8, 9）もそのような特異な値を示さないことから、これは何らかの一時的な突発的現象で生じた異常値であると考えられる。例えば、ガスの通路で水蒸気の凝縮が起こり、気液二相流として挙動していたといったことが想像される。

### 3-2-2. 不活性ガスの同位体組成・濃度比が示すそれらの起源

地上に噴出するガスに含まれる不活性ガスの同位体組成や濃度比から、それらの起源を推定する方法の発展には日本の研究者が重要な役割を果たしてきた（例えば、Sano and Wakita, 1985；Kiyosu, 1986）。ここでは、それらの方法による解析結果を示す。

#### <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He-<sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Neダイアグラム

ヘリウム同位体（<sup>3</sup>Heと<sup>4</sup>He）のうち、<sup>3</sup>Heは地球生成時に地球内部のマントルに取り込まれた始源的な成分と考えられている。地球内部物質の地表への噴出口である中央海嶺の玄武岩が示す<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比は太平洋、大西洋を問わず一様であり（8 Ratm）、上部マントルを代表する値であるとさ

れている（佐野，1996）。一方、 $^4\text{He}$ は地殻岩石中のウランやトリウム放射壊変により放出される $\alpha$ 粒子に由来する放射性起源のヘリウムである。島弧などの沈み込み帯の火山から放出されるヘリウムの同位体比の上限は7～8  $\text{Ratm}$ と中央海嶺からのものに比べやや低く、これは上部マントル由来のヘリウムに沈み込む海底堆積物やスラブの放射性起源ヘリウムが付加したものと解釈されている（Sano and Wakita, 1985）。

縦軸にヘリウム同位体比を、横軸にヘリウムとネオンの同位体比をとった $^3\text{He}/^4\text{He}-^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ダイアグラム（図4）は、採取されたガス試料中のヘリウムの起源を推定するのに汎用される。 $^{20}\text{Ne}$ はマグマ性の気体にはほとんど含まれないので、試料中の $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比が高いほどマグマ性ヘリウムの混入率が高いことを示す。一方で沈み込み帯のマグマ性ヘリウムは上述のような特徴的な同位体比をもつことから、図4の★印で示されるような位置にプロットされる。

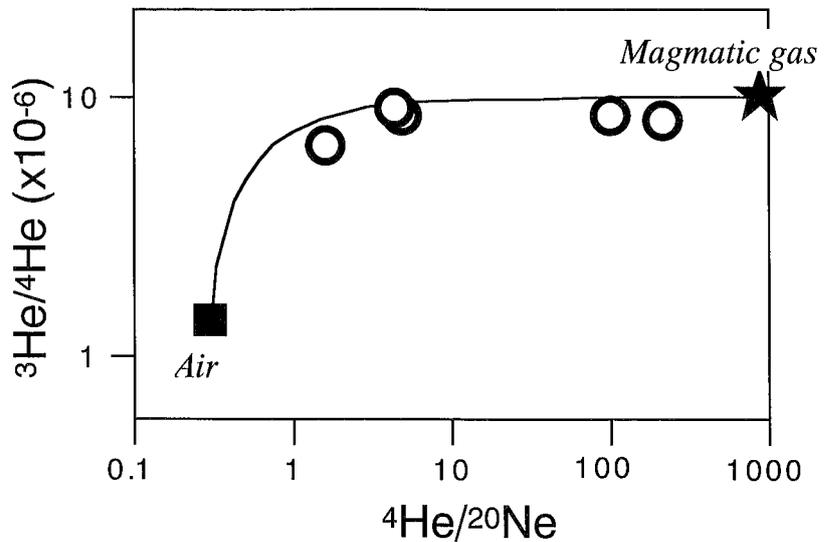


図4 噴気ガス中のヘリウム同位体組成 ( $^3\text{He}/^4\text{He}-^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ダイアグラム)

実はこの図に表現されているマグマ性ガス (Magmatic gas) は、Kita et al. (1993) により別府で得られたもので、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が $9.9 \times 10^{-6}$ 、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比は日本列島の火山地熱系気体の最も高い領域に達する893の値を与えている（北，1996）。私たちが得た噴気ガス試料の同位体データは、このマグマ性ガスと空気 (Air) の混合線上に沿ってプロットされ、別府の噴気ガス中のヘリウムが、マグマ性ヘリウムと大気ヘリウムの混じったものであることを示している。私たちは北たちが得たような典型的なマグマ性ヘリウムを含む噴気試料を入手しておらず、追試を必要とすると考えているが、いずれにせよ別府の温泉水を涵養する地熱流体には相当のマグマ性ガスの混入があるとみてよいだろう。

#### He-N<sub>2</sub>-Arダイアグラム

Kiyosu (1986) は、東北日本の火山や地熱地帯から放出される噴気ガスの不活性ガス成分の比 ( $\text{He}/\text{Ar}$ 比と $\text{N}_2/\text{Ar}$ 比) が、マグマ性ガスと空気ないし空気に飽和した地下水の単純混合で説明できることを示した。また、Kita et al. (1993) は、別府-島原地溝内に噴出するマグマ性ガスの $\text{He}/\text{Ar}$ 比は東北日本のそれとほとんど同じであるのに対し (約2)、前者の $\text{N}_2/\text{Ar}$ 比 (424) が後者のそれ (4250) より桁違いに低いことを明らかにし、その違いを太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込み状態の違いにより説明した。なお、一方で、大沢ほか (1997; 1998b) は、そのような $\text{N}_2/\text{Ar}$ 比 (あるいは $\text{N}_2/\text{He}$ 比) の違いをプレートの沈み込み状態の違いに求める必要はなく、基盤地質の違いにより説明可能であるとしている。

図5は、不活性ガス (He, N<sub>2</sub>, Ar) の相対組成を三角図により表現したもので (例えば、Giggenbach, 1992)、Kiyosu (1986) やKita et al. (1993) が用いている表現方法 ( $\text{He}/\text{Ar}$ 比対 $\text{N}_2/\text{Ar}$ 比の図) と本質的に変わらない。図5にプロットされた別府の噴気ガスのデータは、マグマ

性ガス (Kita et al., 1993より引用) と空気の単純混合により説明できることを示しており、先のヘリウム同位体組成が示す結果と調和的である。

さて、以上の $^3\text{He}/^4\text{He}$ — $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ダイアグラムと $\text{He}$ — $\text{N}_2$ — $\text{Ar}$ ダイアグラムを用いた解析の結果は、以下に示す新たな問題を提起する。

- (1) 噴気ガスの水蒸気の同位体組成がマグマ性蒸気の混入を明瞭に示さないのに、なぜヘリウム同位体組成や不活性ガスの相対組成はマグマ性ガスの混入を明確に示すのか？  
(「成分のパラドックス」と呼ぶことにする。)

- (2) マグマ性ガスと混合するものは、現実的には空気よりも空気に飽和した地下水の方が考えやすい。ところが、噴気ガスの化学組成はあくまで空気であることを示しているのはなぜか？  
(「混合のパラドックス」とする。)

ここで示したような結果は、別府以外の火山・地熱地帯でもしばしば観測され、解決しなければならない基本的な問題であると考えている。現在その答えを得るべく研究を進めているところであり、結果が得られ次第公表したいと考えている(網田・大沢, 未発表)。

ところで、最近、酸素( $\text{O}_2$ )を定量できる分析システムを構築し、鍋山の噴気地帯(図1の試料番号1~5を付けた場所)で採取した噴気ガス試料の分析を行ったところ、 $\text{O}_2$ はほとんど含まれないことが示された(網田, 未発表データ)。この結果は、私たちの試料採取法が大気汚染を受けにくい方法であることを示すと同時に、 $\text{He}$ — $\text{N}_2$ — $\text{Ar}$ ダイアグラム(図5)上に示された空気(Air)の実体が、我々が呼吸している空気そのものではなく、酸素に乏しい土壌空気のようなものであることを示唆している。この点についてもさらにデータを収集して、議論をしなければならないと考えている。

### 3-3. その他の特記事項：噴気二酸化炭素の炭素同位体組成

地球内部のマントルから火成活動によって地表へもたらされたと考えられている岩石・鉱物や火山ガスの二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )の炭素同位体比の測定値から、マントルを代表する $\delta^{13}\text{C}$ 値として $-10\sim-4\%$ が与えられている。一方、光合成によって大気中の $\text{CO}_2$ を固定した陸上植物に由来する物質や石油・石炭などの有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、約 $-25\%$ と非常に低い。また、石灰岩などの海洋性の炭酸塩堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、 $-0\%$ 前後である。

別府の噴気ガス中の $\text{CO}_2$ の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、 $-6.6\sim-7.2\%$ であり(表1)、マントルの値の範囲にある。しかし、佐野(1996)が指摘しているように、地殻物質のうち有機物起源の炭素と炭酸塩起源の炭素を適当な割合で混合するとマントルの $\delta^{13}\text{C}$ 値と区別できなくなる。そこで、噴気ガスの $\text{CO}_2$ の起源を議論する場合、炭素同位体比以外の情報が必要となり、最近、 $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ 比を使う方法が

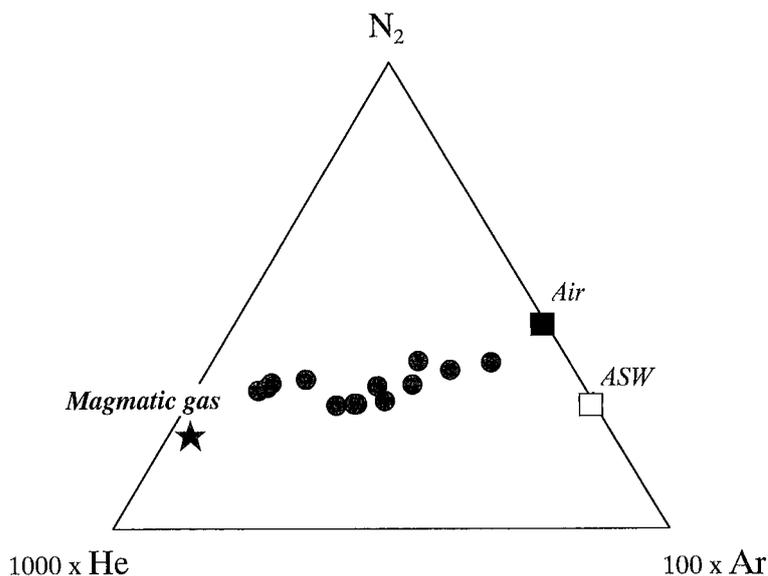


図5 噴気ガス中の不活性ガスの相対組成 ( $\text{He}$ — $\text{N}_2$ — $\text{Ar}$ ダイアグラム)

提案されている。議論の詳細は別の機会に譲るが、佐野（1996）に示されている方法に従って解析を行うと、別府の噴気CO<sub>2</sub>の炭素はマントル起源が28%、炭酸塩起源が70%、残りの僅か2%が有機物起源であるという結果が得られ、プレートの沈み込み運動によりマントル内に持ち込まれた海洋性炭酸塩が熱分解して二酸化炭素となり、火山・地熱活動を通して再び地表に噴出するという有様が想像される。

最近、私たちは、熱水中の塩化物イオンのほとんどを深部起源の塩素が占めることを、別府全域の温泉水の塩素収支計算から示した（由佐，1996；由佐・大沢，1998）。ここで示した二酸化炭素や先のヘリウムの例も含め、熱水や噴気ガスの化学成分のいくつかは、地球深部に起源を持つことがしだいに明らかにされつつあり、今後それらの供給源を特定しなければならないと考えている。前述のような噴気成分に関するパラドックスの問題とともに、別府温泉におけるこれからの温泉科学の重要な研究テーマである。

#### 4. おわりに

別府地域において採取した噴気ガス試料の化学分析値およびいくつかの化学成分の同位体組成から、地下に存在する地熱流体の温度と存在状態ならびに含有成分の起源について議論した。それにより、以下のことがらが示された。

- (1) 自然噴気や蒸気井から噴出する蒸気は、地下に存在する天水性の熱水の沸騰により生じたものである。
- (2) 地熱流体の温度の上限値は、約300℃である。
- (3) 噴気ガス成分のうち、不活性ガス（ヘリウムと窒素）・二酸化炭素の一部はマグマ起源であり、地熱流体の形成にはマグマ性流体の関与が示唆される。

以上の他に、今後明らかにしていかなければならない以下のような問題が提起された。

- (I) 水蒸気同位体組成はマグマ性蒸気の混入を明確に示さないのに、一方でヘリウム同位体組成や不活性ガスの相対組成がマグマ性ガスの混入を明瞭に示すのはなぜか。
- (II) 噴気ガスには試料採取時の空気汚染を原因としない大気起源の窒素やヘリウムが混じっている。それでは、大気は地下のどのような場所でどのような過程を経て地熱流体と混合するのであろうか。
- (III) 噴気ガス中の二酸化炭素の炭素の供給源を特定する。これは温泉水中の塩化物の起源とともに重要な研究課題である。

#### 謝辞

噴気ガスに関する研究を遂行するために、研究環境を提供された京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設長の由佐悠紀教授に感謝します。また、試料採取に協力された大上和敏氏、網田和宏氏、岩倉一敏氏に感謝します。

#### 注記

- # 1) 水素には安定な同位体として質量数が1と2の核種 (<sup>1</sup>Hと<sup>2</sup>H) が、また酸素には質量数16と18の安定同位体 (<sup>16</sup>Oと<sup>18</sup>O) が存在する。試料の同位体比 (<sup>2</sup>H/<sup>1</sup>Hと<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O) は、国際標準物質であるV-SMOW（標準平均海水）の同位体比（それぞれ $1.5576 \times 10^{-3}$ ， $2.0052 \times 10^{-2}$ ）を基準にして、そのずれを千分偏差で表す。これらはそれぞれ  $\delta D$  値・ $\delta^{18}O$  値とよばれ、単位は‰（パーミル）で表される。

- # 2) ヘリウムには質量数が3と4の核種が存在する ( $^3\text{He}$ と $^4\text{He}$ )。大気中のヘリウムの同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) は緯度・経度にかかわらず世界中で一定の値を示す ( $1.4 \times 10^{-6}$ ) ので、試料の同位体比をこれで規格化して表すこともある (Ratm)。
- # 3) 炭素には安定な同位体として質量数が12 ( $^{12}\text{C}$ ) と13 ( $^{13}\text{C}$ ) のものが存在する。試料の炭素同位体比 ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) は、国際的な標準物質であるV-PDB (Pee Dee層のベレムナイト化石) の同位体比を基準にして、その値 ( $1.12372 \times 10^{-2}$ ) からのずれを千分偏差で表す ( $\delta^{13}\text{C}$ 値; 単位は‰)。

## 参考文献

- Allis, R.G. and Yusa, Y. (1989) Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, 18, 743–759.
- Chiba, H. (1991) Attainment of solution and gas equilibrium in Japanese geothermal system. *Geochemical J.*, 25, 335–355.
- Giggenbach, W.F. and Goguel, R.L. (1989) Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges. Fourth Edition. Report CD2401, Chemistry Division, DSIR, 81p., New Zealand.
- 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.
- Kita, I., Nitta, K., Nagao, K., Taguchi, S. and Koga, A. (1993) Difference in  $\text{N}_2/\text{Ar}$  ratio of magmatic gases from northeast and southwest Japan: New evidence for different states of plate subduction, *Geology*, 21, 391–394.
- 北逸郎 (1996) 別府–島原地溝下のプレートの沈み込み状態の怪—そのマグマ性 $\text{N}_2/\text{Ar}$ 比と $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の意味—. *地質ニュース*, 488, 19–23.
- 北岡豪一・由佐悠紀・神山孝吉・大沢信二・Stewart, M.K.・日下部実 (1993) 水素と酸素の安定同位体比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.
- Kiyosu, Y. (1986) Variations in  $\text{N}_2/\text{Ar}$  and  $\text{He}/\text{Ar}$  ratios of gases from Some volcanic areas in northeastern Japan. *Geochemical J.*, 19, 275–281.
- 古賀昭人・野田徹郎 (1973) 別府地熱地帯の噴気ガス成分. *大分県温泉調査研究会報告*, 24, 55–63.
- Nicholson, K. (1993) *Geothermal Fluids—Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, 263p., Germany.
- 大沢信二・由佐悠紀・大上和敏・北岡豪一 (1997) 阿蘇火山地域から放出される噴気ガスの不活性ガス組成. *温泉科学*, 47, 56–67.
- 大沢信二・由佐悠紀・大上和敏 (1998a) 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, 289–292.
- 大沢信二・由佐悠紀・大上和敏・北岡豪一 (1998b) 海洋地域の沈み込み帯から放出される低 $\text{N}_2/\text{He}$ 比のマグマ性ガス—伊豆・マリアナ弧の小笠原硫黄島について—. *温泉科学*, 48, 9–14.
- 大沢信二・由佐悠紀・大山正雄 (2000) 噴気ガスの化学組成から得られる箱根火山の地熱情報. *温泉科学*, 49, 151–161.
- Ohsawa, S., Yusa, Y., Oue, K., Amita, K. (2000) Entrainment of atmospheric air into the volcanic system during the 1995 phreatic eruption of Kuju volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 96, 33–43.

- 
- Sano, Y. and Wakita, H. (1985) Geographical Distribution of  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in Japan : Implications for Arc Tectonics and Incipient Magmatism. *J. Geophysical Res.*, 90, 8729–8741.
- 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.
- Sturchio, N.C., Ohsawa, S., Sano, Y., Arehart, G., Kitaoka, K. and Yusa, Y. (1996) Geochemical Characteristics of the Yufuin Outflow Plume, Beppu Hydrothermal System, Japan. *Geothermics*, 25, 215–230.
- 由佐悠紀 (1996) 温泉の起源 (塩素の起源に関して). *温泉科学*, 46, 105–108.
- 由佐悠紀・大沢信二 (1998) 温泉水の塩化物の起源—問題提起と研究戦略—, 平成7～9年度科学研究費補助金 (基盤研究 (A)) (1) 「発達史的観点を取り入れた地熱構造の解明とその地熱資源探査への応用に関する研究」 : 研究代表者 江原幸雄) 研究成果報告書, 125–137.

# 硫黄山噴火前後の周辺湧水の動向

日本文理大学  
河野 忠

## 1. はじめに

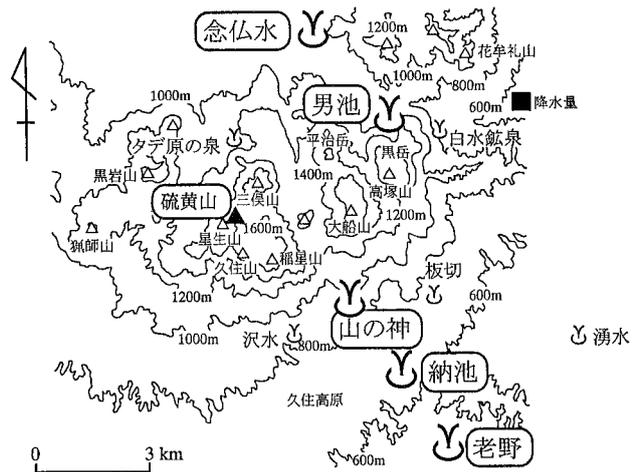
大分県南西部に位置する久住山系硫黄山は1995年10月12日、320年ぶりに突如噴火した。地質調査所は、今回の噴火はマグマの移動ではなく、熱水対流系の移動によるものとコメントしている。したがって、噴火は硫黄山周辺の地下水へ大きな影響を及ぼしたと考えられる。筆者は噴火予知とは全く別の目的で九重山系周辺の湧水で湧出量や水温、水質の定期観測を実施していたが、これらの湧水観測結果の中に硫黄山噴火の影響と考えられるデータを得ることができた。また、噴火後1999年5月まで観測を継続し、噴火後の湧水湧出量や水温、水質の動向に関する知見を得ることができたので、ここに報告する。

## 2. 地域の概要と噴火の推移

第1図に硫黄山周辺地域の概要および湧水の分布図を示す。松本（1984）・大分県（1988）によると、九重山系は第四紀洪積世の角閃石安山岩からなる多数のトロイデ群を構成する。大きく分けて大船火山群、九重火山群、黒岩火山群、花傘礼火山群などに分かれ、硫黄山は九重火山群に属している。硫黄山は星生山の北東に位置し、以前硫黄鉱山があったところである。

硫黄山は1995年10月12日、320年ぶりに突如噴火した。硫黄山は少量の火山灰を噴出した後、噴煙を盛んに吹き上げ、1995年12月と1996年11月に小噴火した。1997年1月に群発地震を生じたが、その後沈静化し、1997年12月頃硫黄山の噴火活動が終息した。

参考までに噴火以前に目撃した現象について述べておく。噴火の半年ほど前、白水鉱泉に入る林道に無数の地ミミズがいるのを目撃した。前日に大雨が降っており、その影響だろうと考えていたが、すぐ近くの男池の水温が上昇（後述）していたことを考えると、ミミズが地温の変化を感知していたのではないかと考えられる。



第1図 硫黄山周辺の概要と湧水の分布

## 3. 研究方法

定期観測を実施している湧水は、九重山系南麓の老野、納池、山の神湧水と北麓の念仏水と男池湧水である。これらの湧水は、九重山系への降水が火山の地下水流動系に従って湧出するものと考えられるが、念仏水は花傘礼火山群の地下水流動系に属している。

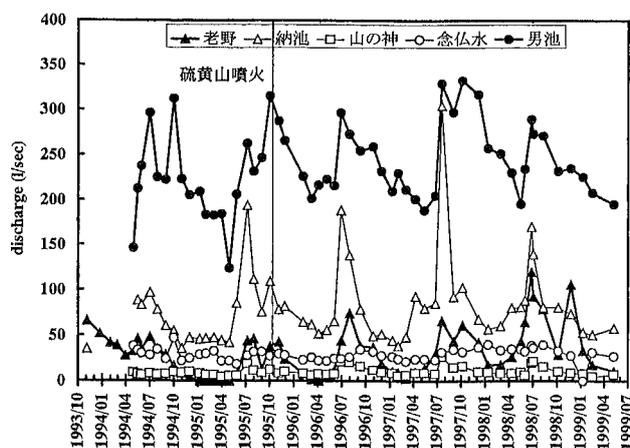
現地での観測項目は、湧出量、水温、電気伝導度（以下EC）、pH、RpH、である。湧出量の測定は、三協精密製SV-101型微流速計を用いて流速を測定し、その断面積から計算した。水温とEC

はTOA社製電気伝導度計CM-11Pを使用し、水銀温度計を用いて水温を補正した。ECは25℃の値に補正した。pH、RpHは、比色法を用いた。RpHは試料水を5分間十分攪拌した後測定した。また、無機主要成分を明らかにするために水質分析を実施した。水質分析項目は、主要無機成分の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SiO}_2$ の10成分である。サンプルは調査地点において250ccのポリビンを試料水で十分共洗いした後、満水するまで試料水を気泡が入らないように流し込んで密栓したものを氷冷しながら実験室に持ち帰り実地した。実験室内での保存方法は4℃以下の冷蔵庫で保存した。分析には、ダイオネクス社製イオンクロマトグラフDXA Q-1211を用いた。試料水は、富士フィルム製0.2 $\mu\text{m}$ のディスクカプセルにより濾過した後、イオンクロマトグラフに用いた。 $\text{HCO}_3^-$ は、JIS K-0101に基づき、pH4.8アルカリ度として定量した。 $\text{SiO}_2$ はハック社製DR-2000分光光度計を用いて、モリブデン黄法により分析した。

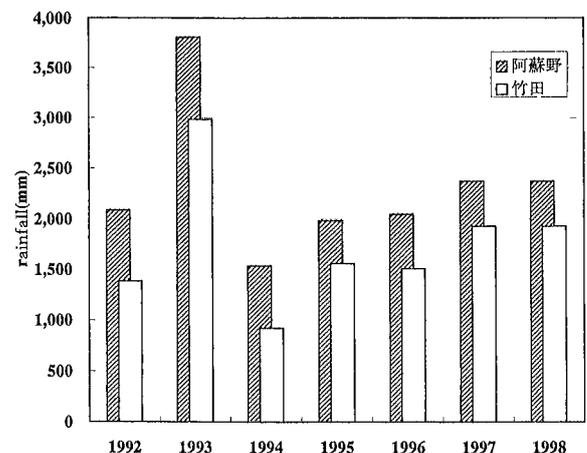
調査期間は1993年11月より1999年5月までで、ほぼ月1回の割合で測定した。また、1996年より長者原から雨ヶ池登山道脇にあるタデ原の湧水と池山水源においても不定期に水質分析と水温の自記観測を実施しているが、観測期間が短いので、今回は見送ることとする。特に水温は1996年よりONSET社製自記温度計OpticStowAwayを用いて連続観測を実施している。しかし、観光客や水汲み客が多数訪れる湧水でもあり、悪戯による観測記録の喪失期間があるので、この結果は別の機会に譲りたい。

#### 4. 観測結果と考察

第2図に湧出量の経年変化を示す。老野、納池、男池湧水の湧出量には季節変化が見られ、かつ噴火前後の変動が大きいことがわかる。なかでも老野湧水は1994年12月から1995年4月まで涸渇し、湧出復活後も変化が非常に激しいことが認められる。地元の古老によると老野湧水は一度も涸渇したことはない、とのことであった。この湧水の涸渇はこの期間のみで以降再び涸渇することはなかった。したがってこれは硫黄山噴火の前兆現象と推定されるが、噴火前年の1994年は記録的な渇水年(第3図)であり、その影響が表れているとも考えることができる。1995年以降、降水量は徐々に増加傾向にあり、それに応じて湧出量も安定する傾向にある。今後継続的な観測が望まれる。



第2図 湧出量の経年変化



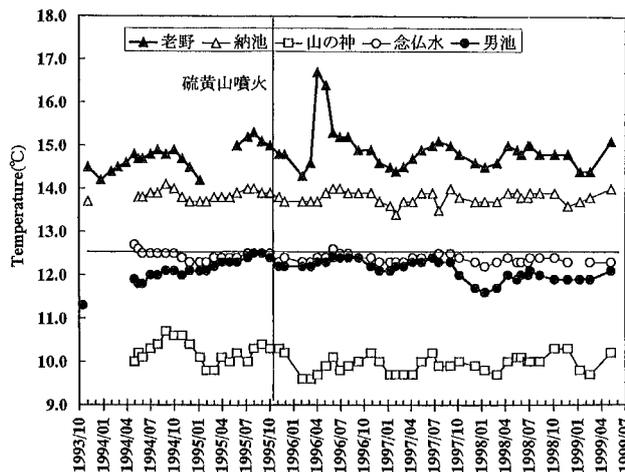
第3図 阿蘇野と竹田の降水量

湧水の水温経年変化を第4図に示す。庄内町(1990)によると、男池湧水の水温の1986年2月から1987年9月までの水温和、年間を通してほぼ12.6℃と一定であった。今回の水温度観測結果では、男池湧水の水温が12.0℃からじわじわと上昇し、噴火直前に12.5℃に達しているのがわかる。噴火後一時水温和は低下するが、再び上昇し始め1996年11月の小噴火後、再び低下した。その後1997年11月頃までに噴火以前のレベルまで低下した。この時期は硫黄山噴火活動の終息時期とほぼ一致する。男池は硫黄山から5 km程の所に位置し、地形的にも直接影響があるとは考えにくい。しかし、僅かな水温度変動ではあるものの硫黄山の噴火活動に対応している点で注目値する。もしこれが今回の硫黄山噴火に結びつく現象であるならば、噴火の予知という意味で今後重要な情報となりうるであろう。

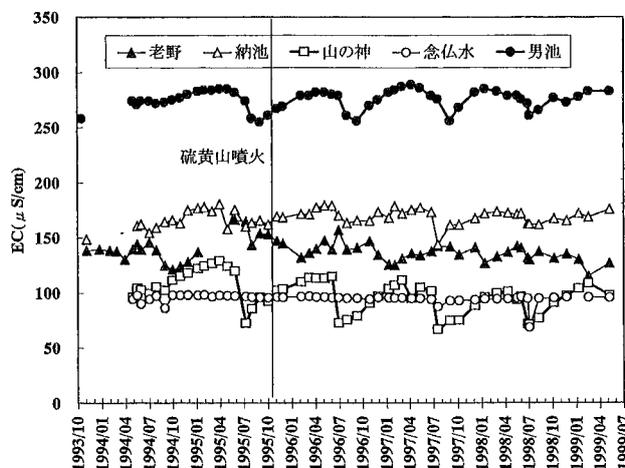
男池湧水が噴火前から水温度変動が現れたのに対して、老野湧水は噴火後の変動が顕著に現れ、噴火後半年ほどで急激に2.5℃も上昇した。その後、すぐに通常の水温度に戻ったことから、これは熱水系の移動による地温の上昇により、老野湧水へ流動する地下水が間接的に影響を受けたものと考えられる。またこの水温度変化から、老野湧水は九重山付近で涵養された地下水が半年から1年ほどで流動しているものと推定することができる。

ECの経年変化(第5図)をみると、納池、山の神と男池湧水は定期的な変化を示している。これは夏季の降水による希釈効果と考えられる。また、山の神湧水はEC値が年々低下していることが認められる。1994年の記録的な少雨以降は年々降水量が増加していることから、降水の影響を非常に受けやすい湧水と考えることができる。

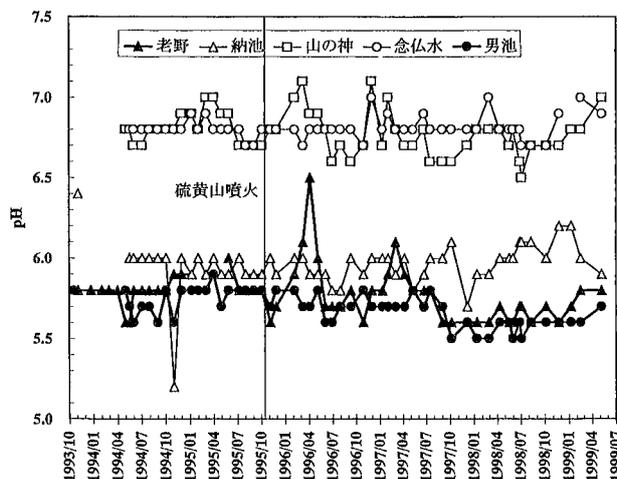
第6図にpHの経年変化を示す。老野湧水ではpH変化が最も顕著に見られ、1996年と1997年の春に大きなpH値の上昇を示している。また山の神湧水でも同様の変化が認められる。大分地方気象台による地震観測結果(第7図)によると1996年1月と1997年1月に地震回数が急増しているが、二つの湧水のpH変化はこれ



第4図 水温度の経年変化



第5図 ECの経年変化

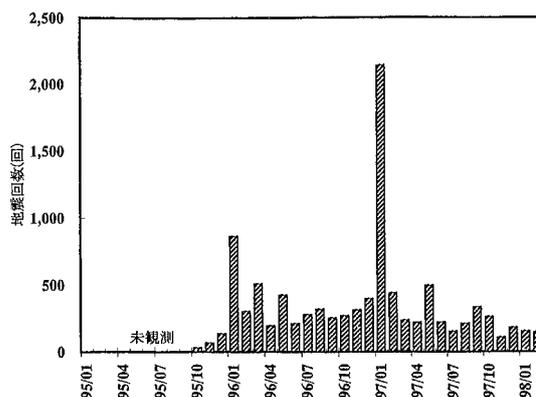


第6図 pHの経年変化

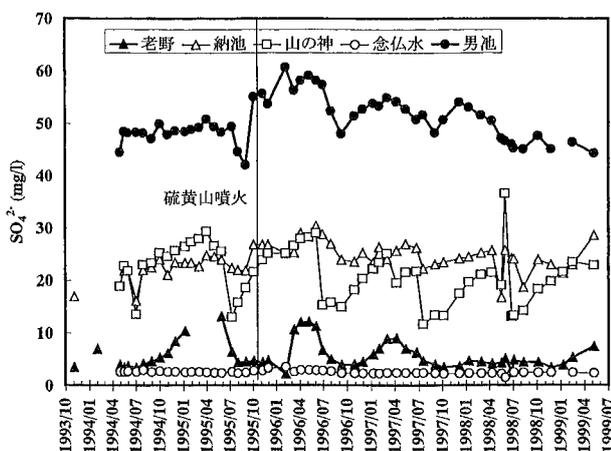
によく対応している。高村・河野（1996）によると兵庫県南部地震の際に淡路島の地下水・湧水の重炭酸イオン濃度が上昇したことから考えて、地震動により地下水中の二酸化炭素が追い出されるためにpH値が上昇するものと推定される。

主要無機成分にも各湧水で大きな変化が認められる。中でも硫酸イオンは顕著な変化が認められる（第8図）。老野と山の神湧水では特に大きな季節変化を示し、EC値同様、年々低下傾向にある。しかし、そのパターンは異なっており、山の神湧水は降水量の増加による希釈効果と考えられるが、老野湧水は非常に大きな硫酸

イオン濃度の変動が次第に安定しつつあることを示している。九重山系周辺の熱水は硫酸イオンと重炭酸イオンが多いことが特徴である（大分大学，1968・大分県，1988）。そこで老野湧水における湧出量と硫酸イオン濃度の変化を第9図に示す。湧出量と硫酸イオン濃度はきれいに対応しているが、湧出量が40 l/sec以上になると硫酸イオン濃度はほぼ安定することがわかる。これは硫黄山付近から流動する地下水に、硫酸イオンに富む熱水が一定量流入し、浅層地下水の季節変化に対応して濃度が変化するものと考えられる。



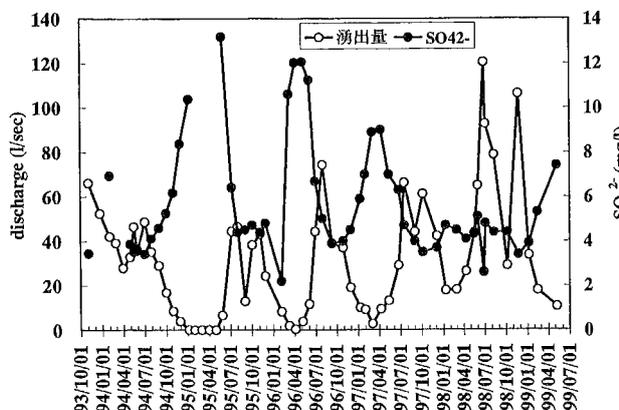
第7図 硫黄山周辺の地震回数



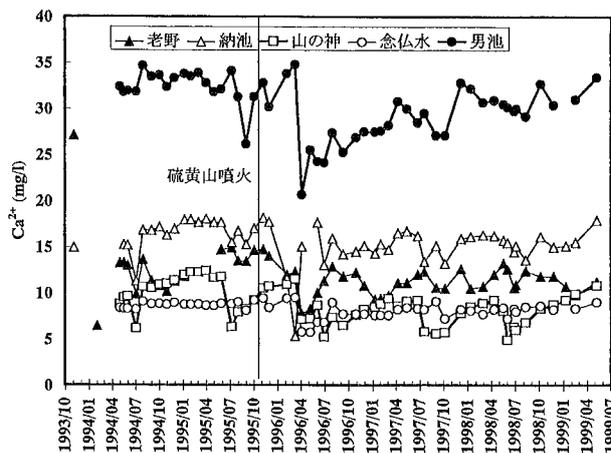
第8図 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経年変化

カルシウムイオン濃度（第10図）は、噴火後半年ほどですべての湧水が低下している。これは熱水が地下水へ流入した影響と火山灰によるものが考えられる。その他にも、老野や男池湧水で噴火直前の重炭酸イオン濃度の急激な上昇や溶存ケイ酸濃度の変動がみられた。

九重山系周辺湧水の水質データからヘキサダイアグラムを作成した（第11図）。これによると湧水の水質は一見バラバラのように見える。しかし、トリリニアダイアグラム（第12図）から、塩化物イオンの割合はほぼ一定であり、硫



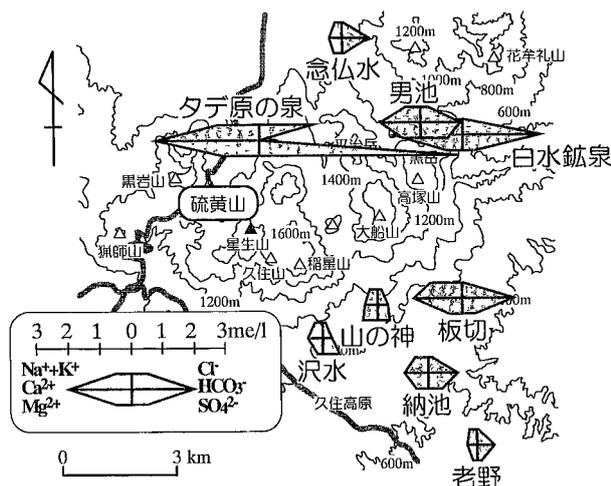
第9図 老野湧水における湧出量とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の経年変化



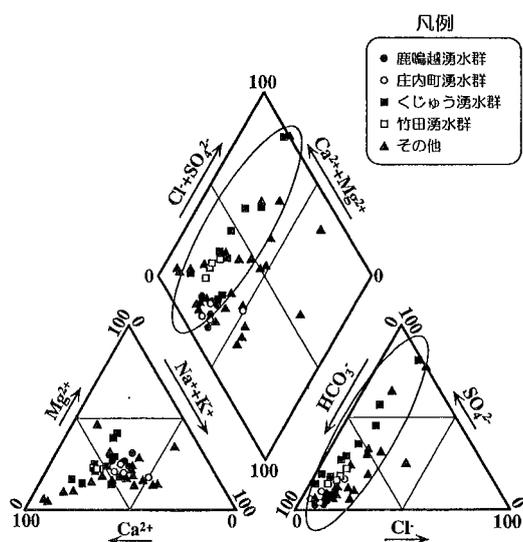
第10図 Ca<sup>2+</sup>の経年変化

酸イオンと重炭酸イオンとの比が異なることにより水質が決定していることがわかる。このことは、九重山系の地下水の水質は本来同じものであり、硫酸イオンに富む熱水がどの程度の割合で浅層地下水に混入するかによって水質が決まってくることを表している。

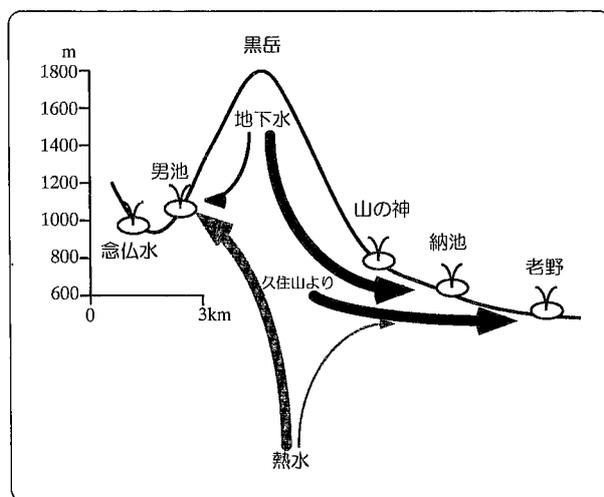
以上のことから推定される九重山系湧水群の湧出モデルを第13図に示す。



第11図 ヘキサダイアグラム



第12図 トリリニアダイアグラム



第13図 九重山系の湧水湧出モデル

## 6. おわりに

1995年10月に噴火した九重山系硫黄山はその周辺の地下水に様々な影響をもたらした。硫黄山から5～8 kmとかなり距離のある湧水にも関わらず、湧出量と水温にその前兆現象や噴火後の地下水流動に伴う変化が認められた。また、噴火前後で水質の変動が大きくなっており、噴火の原因が地質調査所の発表通り、熱水系の移動であることを示唆している。また熱水の活動は噴火の1年ほど前から始まり、1996年1月、1997年1月をピークに1997年秋にはその活動を終了したものと考えられる。老野と男池湧水は明らかに噴火により様々な影響を受けているが、山の神はその中間的な変動を示している。降水量の変動が大きかった時期だけに、その影響がどの程度あるのかを今後の継続調査により明らかにしていく必要があるものと考えている。

最後に本研究が九重山系火山群の噴火予知、災害防止に多少なりとも役立つことを願っている。

## 謝辞

今回の研究にあたり、実験室およびイオンクロマトグラフをこころよく提供していただいた日本文理大学環境科学研究所長村谷俊雄先生には心より感謝申し上げます。また、執筆する機会をいただいた岡山理科大学教授北岡豪一先生に感謝申し上げます。また現地調査では、日本文理大学工学部工業化学科学生諸君に協力いただいた。あわせて感謝申し上げます。

## 参考文献

- ・大分県(1988)：阿蘇くじゅう国立公園くじゅう地域学術調査報告書. 大分県, 180p.
- ・大分大学教育学部(1968)：「くじゅう総合学術調査報告書」. 741p.
- ・小林芳正ほか(1996)：1995年10月九重火山の水蒸気爆発の発生機構と火山活動推移の調査・研究, 科研費突発災害調査研究成果.
- ・庄内町誌編集委員会(1990)：「庄内町誌」庄内町.
- ・高村弘毅・河野 忠(1996)：淡路島における兵庫県南部地震後の湧水・地下水の挙動. 日本地下水学会誌, Vol.38, No. 4, 331～338.
- ・松本柁夫(1984)：九重火山群. アーバンクボタ, No.22, 50～55.

# 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(I)

国立別府病院リウマチ・膠原病センター

安田 正之

## 緒言

慢性関節リウマチは慢性炎症性疾患であり、炎症の成立には数多くの液性因子であるサイトカインが関与するとされている[1]。慢性関節リウマチでは、それらサイトカインの血中濃度や関節液中の濃度が高値であるとされている。サイトカインの中でもTNF- $\alpha$ はより上流に位置しており、TNF- $\alpha$ に対するモノクロナル抗体の投与は炎症を劇的に軽減するのみならず、他のサイトカインの血中濃度を低下させることが示されている [2]。

我々は、慢性関節リウマチの患者は抑鬱的な気分を持つが、リハビリテーション訓練や温泉浴によりそれらが軽減することを報じてきた[3,4]。慢性関節リウマチ患者に限らず、人は適度な運動や人との話らい、入浴や温泉地療法により爽快な気分を味わえることはよく知られている。吉野らは、慢性関節リウマチ患者に落語を聞かせると、気分を表すface scaleや疼痛の程度を示すvisual scale analogの改善とともに、起炎物質の一つであるIL-6濃度が低下することを報告している [5,6]。

今回我々は、リハビリテーション・温泉浴が同様の効果を有するのではないかと考え、リハビリテーション・温泉浴の前後の炎症性サイトカインの変化を検討したので報告する。

## 方法

3人の慢性関節リウマチと1人のコントロールを対象とした。午前9時30分に前採血し、リハビリテーション・温泉浴へ行き、PT/OT訓練に続いて運動浴や温泉浴を行い、10時30分から11時までの間に帰棟すると同時に後採血した。血清を分離し、-30℃に保存し、10-20日後にSRLに依頼して各種サイトカインを測定した。

慢性関節リウマチ患者3人のうち第一例(RA1: AY)は、肋骨骨折のためベッド上安静を余儀なくされていたがようやく1週間前からリハビリテーションを開始したばかりの患者であり、RA2: KMは、温泉治療を目的に入院し、症状はかなり軽快したにも拘わらず依然CRP2.0mg/dlと炎症が持続している。RA3: ATは、免疫抑制剤により完全寛解となっている患者である。すなわち、RA1とRA2は活動性炎症を有しており、RA3は非活動性慢性関節リウマチ患者である。コントロール患者C1は肺繊維症のために中等量の副腎皮質ステロイド剤 (prednisolone 15mg/day) が投与されており、良好なコントロール下にある患者である。

表1 リハビリテーション・温泉浴前後の血中サイトカイン値

		RA 1 (AY)		RA 2 (KM)		RA 3 (AT)		Cont(AE)	
		前	後	前	後	前	後	前	後
IL-6	pg/ml	51.5	24.2	47.2	33.4	3.5	3.2	3.7	4.5
TNF- $\alpha$	pg/ml	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
IL-1 $\beta$	pg/ml	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cortisole	$\mu$ g/dl	4.4	4.5	11.2	12.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. not determined

## 結果

表1に示すように、活動性慢性関節リウマチ患者(RA1, RA2)の血中IL-6濃度は、前採血で正常値(4.0pg/ml以下)を上回っている。しかしながら、後採血では、その低下を認めている(図1)。一方、より強力な起炎物質であるTNF- $\alpha$ やIL-1 $\beta$ は全例正常値(測定感度以下)であった。さらに、IL-6濃度と強い関連性を有するとされる血中コーチゾールレベル(正常値4.0-18.3 $\mu$ g/dl)はRA1, RA2では変化していなかった。なお、完全寛解にあるRA3では、IL-6の上昇は認めなかった。

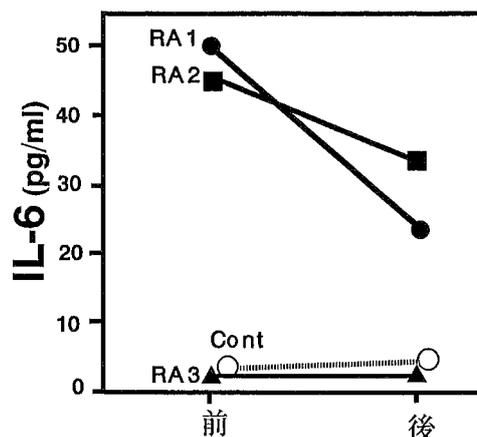


図1 リハビリテーション・温泉浴

## 考察

IL-6の血中濃度は慢性関節リウマチの炎症の程度を反映するとされている[1]。炎症性疾患以外では、マラソンのような強度の運動で上昇し、筋の挫滅を反映するとされている[7,8]。また、鬱病や精神分裂病では高値であるとされている[9]。吉野らは、neuro-endocrino-immune systemの相互作用と説明しているが[6]、慢性関節リウマチによく見られる「朝のこわばり」と精神疾患における無動や全身の筋緊張と類似したメカニズムにより発生する可能性を示唆しており、大変興味深い。また、軽い運動や入浴が筋肉の強張りを緩和し、気分の改善に有効であることもよく知られている。我々の示したデータは、「リハビリテーションと温泉で肩も回るようになって気分がすっきりしました」と帰棟した患者におけるIL-6の低下を示している。コーチゾールレベルはIL-6濃度を低下させることが示されているが[10,11]、IL-6が低下した2人の患者(RA1, RA2)のコーチゾールレベルは変化していないので、IL-6の低下と強い関連性を持っているとは考えがたい。

吉野らによる「落語」の効果に対するメカニズムは十分に説明されていない[5,6]。吉野らの試みはIL-6やIFN- $\gamma$ の低下を示したが、IL-6を低減する効果を持つとされるコーチゾールレベルの変化は認められていない。また、コントロール群でのIL-6値が低下しないことは、IL-6の低下が単に日内変動に基づくのではないことを示している[6]。さらに、作用の源が「落語」にあり、「笑い」によってもたらされたとの証明もなされていない。観劇ではいけないのか？講演会ではだめなのか？・・・と言った疑問がある。

今回の我々の結果には、主として「体を動かすこと」と「温泉にはいること」が関与している。既報のように、「体を動かすこと」と「温泉にはいること」は慢性関節リウマチ患者の気分の改善をもたらすが[3,4]、今回の結果と同様に、この効果がいずれによるのか、双方とも必要なのか、あるいはその他の因子によるのかなどの疑問には全く答えられない。吉野らの報告との共通点としては、「楽しい気分(温泉/笑い)」、「体動(リハビリ/笑い)」、そして「別の場所への移動(リハビリ室へ/落語のある講堂へ)」が考えられる。「別の場所への移動」は、転地療法としてその有用性は知られているし、また、「温泉(地)療法に出かけよう」との決心がすでに治療の開始を意味することを考えれば[12]、決心して準備することによる気分の高揚が、何らかの因子を介してIL-6のような起炎物質の低下を促すのかも知れない。

今回の実験成果を確認するには、より多くの患者を対象に、リハビリテーション訓練・温泉浴を行わない日と比較すること、などの検討が必要であろう。

文献

- [1]Feldmann M, Brennan FM, Maini RN. Role of cytokine in rheumatoid arthritis. *Ann Rev Immunol* 1996;14:397-440.
- [2]Maini RN, Breedveld FC, Kalden JR, Davis D, Macfarlane JD, et al. Therapeutic efficacy of multiple intravenous infusions of anti-tumor necrosis factor  $\alpha$  monoclonal antibody combined with low-dose weekly methotrexate in rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 1998;41:1552-63.
- [3]安田正之、松林幹代子、野村祥子、末永康夫、赤山祥子. 慢性関節リウマチのQOLに対する温泉浴の効果. 大分県温泉調査研究会報告 46:47-50、1995.
- [4]安田正之. 慢性関節リウマチのQOLに対する温泉浴の効果. -II 運動浴および温泉浴の効果-. 大分県温泉調査研究会報告 46:47-49、1996.
- [5]Yoshino S, Fujimori J, Kohda M. Effects of mirthful laughter on neuroendocrine and immune systems in patients with rheumatoid arthritis[letter]. *J Rheumatol* 1996;23:793-4.
- [6]Nakajima A, Hirai H, Yoshino S. Reassessment of mirthful laughter in rheumatoid arthritis [letter]. *J Rheumatol* 1999; 26:512-3.
- [7] Ostrowski K, Rohde T, Zacho M, Asp S, Pedersen BK. Evidence that interleukin-6 is produced in human skeletal muscle during prolonged running. *J Physiol (Lond)* 1998;508:949-53.
- [8]Drenth JP, Van Uum SH, Van Deuren M, Pesman GJ, Van der Ven-Jongekrijg J, Van der Meer JW. Endurance run increases circulating IL-6 and IL-1ra but downregulates ex vivo TNF-alpha and IL-1 beta production. *J Appl Physiol* 1995 ;79:1497-503.
- [9]Frommberger UH, Bauer J, Haselbauer R, et al. Interleukin-6 plasma levels in depression and schizophrenia: comparison between the acute state and after remission. *Eur Arch Psych Clin Neurosci* 1997;247: 228-33.
- [10]Arvidson NG, Gudbjornsson B, Elfman L, Ryden AC, Totterman TH, Hallgren R. Circadian rhythm of serum interleukin-6 in rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis.*1994;53:521-4.
- [11]DeRijk R, Michelson D, Karp B, Petrides J, Galliven E, Deuster P, Paciotti G, Gold PW, Sternberg EM. Exercise and circadian rhythm-induced variations in plasma cortisol differentially regulate interleukin-1 beta(IL-1 beta), IL-6, and tumor necrosis factor-alpha (TNF alpha) production in humans: high sensitivity of TNF alpha and resistance of IL-6. *J Clin Endocrinol Metab* 1997;82:2182-91.
- [12]安田正之. 温泉の医学的利用—九大温研の取り組みの歴史と今後の展望—温泉科学 48;94-97, 1998.



## 環境行政と温泉法・温泉権(Ⅳ)

— 21世紀へ向けて回顧と展望 —

(大分大学・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
- II 戦後の温泉法と温泉行政の展開
- III 温泉の権利に関する諸問題

(以上 会報第48号掲載)

### IV 県下の温泉地の将来展望

#### (1) 別府温泉と温泉の保護

- A 別府市南部(特別)保護地域  
(以上 会報第50号掲載)
- B 別府市鉄輪(特別)保護地域
- C 別府市亀川(特別)保護地域  
(以上 会報第49号掲載)

#### 総括—別府温泉の将来展望

- 1 はじめに—一本調査報告の視点
- 2 源泉の数量や湧出状況など実態把握の必要性

- 3 各種規制要件の再検討
- 4 温泉の集中管理について
- 5 多目的の温泉利用の一層の推進を
- 6 大深度掘削と地熱開発(発電)の現状と対策
- 7 温泉資源の保護と周辺環境との関係
- 8 結び

(以上 本号報告)

- (2) 湯布院温泉と湯平温泉  
(次年度号報告予定)

### 総括—別府温泉の将来展望

#### 1 はじめに

本報告のシリーズ第1回は、平成9年度の会報誌第48号からである。

その初回の報告は、いわば総論の部分に該当する。つづく第49号と第50号の2回は、県下の温泉地であって、また全国のそれでも無視することの出来ない<別府温泉>をまず取り上げてみることにした。すなわち、第49号では⑧鉄輪温泉と⑨亀川温泉の実情を、さらに昨年度の第50号では、⑩狭義(別府八湯の1つ)の別府温泉を調査の対象とした。

両年度の実態調査に際しては、社会学で説くanalysed Methodの手法を採り、調査対象地域をさらに幾つかの地区(area)に分け、micro(ミクロ)の視点から各種のデータ(date)収集に努めた。

以上の方法で得られた各データを解析して、源泉の現況の客観的把握と温泉利用の実態認識を視野に入れ、その上で問題の所在や対策から将来の展望を立論しようとしたものである。会員諸氏のご検討を頂きたい。

#### 2 源泉の数や湧出状況など実態把握の必要性

まず、大分県下の温泉地の概況と別府温泉の特異な性格を見てみよう。

県全域の源泉総数は、平成11年3月末現在で4778孔であり、その数は、全国都道府県で第1位に

ランクされている。また、湧出量（ℓ／分）では、北海道のそれ（28万8226ℓ）に次いで26万1804ℓと、全国第2位を占めている。

ついで、別府市全域での温泉の概況を見よう。源泉孔の総数は、同じく平成11年3月末現在で2901孔、これは県全域の実に60%を占める。一方、温泉の湧出量は、県の湧出総量のうち33%に当たる9万5276ℓで、いずれも県下の湧出市町村35のうち群を抜いて際立っている。

別府市域のほぼ全域で、地域（地区）により源泉分布の密度の差はあれ、温泉利用の面では「市民皆浴」のスローガンは大筋としては実現していると言ってもよいだろう。もっとも戦後の町村合併で、市圏に新たに組み込まれた市街地西方に位置する鶴見岳山麓南丘陵地一帯の東山・内成の両地域にあっては、湧出の源泉数は今日なお5泉と少ない。

一歴史的に見て、広義の別府温泉は、周知の「別府八湯」の名称で現に親しまれている一大温泉文化圏であった。第二次大戦以前にあっては、この名称の8温泉場以外（その周縁部を除く）の地域は古来温泉の湧出は不可能だとして観念され、事実、温泉利用は、これら温泉場の周辺の源泉（噴気・沸騰泉など高熱源泉）からの引湯による共同利用が主であった。だが、このような利便に浴しえない居住者も少なくなかったのである。

しかし、第二次大戦後は温泉利用の社会環境も激変した。すなわち、掘削技術の躍進と利用者の経済力の向上と相まって待望の温泉湧出が実現し、源泉の分布状況も、昨今では目を見張るまでに変貌を遂げてきている。

〔第1表〕別府市（八湯）現在の源泉分布状況

地区別	源泉総数	利用泉	未利用	湧出量 (ℓ／分)	備考
浜 脇	20	17	3	773	
別 府	1,015	847	168	33,930	観海寺を含む
石 垣	539	487	52	23,153	南・北の石垣
南 立 石	151	128	23	5,098	堀田・東山
鶴 見	382	299	83	9,644	明礬を含む
鉄 輪	120	91	29	3,619	
亀 川	622	547	75	18,721	柴石・野田を含む
合 計	2,849	2,416	433	94,938	

(平成10年『県環境白書』により作成)

この表が示すように目覚ましく躍進したのは石垣地域であり（かつての南石垣と北石垣）、つづいて鶴見地域（旧朝日校区のうち、竹の内・大畑・実相寺・森山）である。両地域とも戦前は純農村地区であり、1部を除いて温泉利用の途は阻まれていた。もっとも新別府地区（森山）は大正初期、温泉付き別荘・会社保養所用に宅地造成され全国に売り出された（供給源泉は海地獄の高熱泉、別府土地開発会社一大正2年創立）。戦後の両地域の源泉数の激増とそれに拠る温泉利用地域の拡大は、前掲の「別府八湯」を基軸にした温泉利用の秩序を根底から動揺させたばかりか、温泉都市として人文的（経済的）側面にも大きな影響を与えてきている。

また、かつての別府温泉（狭義）と並んで、温泉町として明治期一大正期に政治的・経済的覇権を競ってきた浜脇温泉も、大戦終了後は凋落の一途をたどり、別府温泉の経済圏に吸収されて温泉街としては独自の存在感を稀薄化させた（政治的には、浜脇町と別府町との2町合併は明治39年）。

観海寺温泉も、戦後の一時期を除いて、「別府八湯」時代の名を留めてはいるが、盛況時の面影は見られない。そればかりでなく、堀田温泉も地の利を活して旧市街地・荘園地区への給湯基地に、明礬温泉と柴石両温泉はそれぞれ独自の活路を探しているといった実情である。

このように温泉を取り巻く社会環境は、戦後半世紀を経た今日、大きく変容を見せている。そのことは、また温泉源や源泉の湧出や利用状況など自然現象と深く結びつき、それらの変遷の上に現象化していると考えられる。それだけに、現時点でアプローチしなければならない点は、温泉の社会関係を構成する個々の源泉の種々のデータを正確に収集し、その上で将来の進むべき、また在るべき将来を展望することであると考える。

### 3 各種の規制要件の再検討

大分県自然環境保全審議会温泉部会の内規によれば、その第9条で「審議基準」が定められている。

その(1)では一温泉湧出目的での土地掘削は、既設泉から60m（噴気・沸騰泉からは150m）以上離れることが要求される。また、代替掘削をする場合は、湧出口から1m以内の地点と定められている。但し、やむを得ない公共事業のそれはこの限りではない、とされる。

この距離制限で、既設泉との間隔60mないし150mのそれが果たして妥当なものであるかについては、かつて何回か過去の審議会や当研究会の席で問題視された。また、代替掘削の際の1m以内のそれも同様であった。しかし、これらの規制事項が定められてから、今日まで約30年の年月が経過しており、それが審議基準として妥当視されて広く一般に承認されてきているという歴史的実態を直視する限り、今後とも継続して認めざるを得ないのではあるまいか。法の目的（の1つ）は、法のもつ「安定性」（法的安定性）にあるからである。これらの基準に付随して生じた解釈の上から採られてきた例外規定にしても、それがいわば慣習化して妥当している（慣習法的妥当性）社会的機能に着目する以上、加えて温泉法そのものが民事法の性格が強く（強制法規でなく、行政の指導による柔軟性を持つ）、温泉権じたいも私権性の領域を多分に残していること等を想えば、叙上の審議基準は現段階では変更を加えないことが温泉行政の遂行上、望ましいと思料する。

内規のその(3)は一掘削時の埋設管の口径の基準である。温泉の場合の口径は、公共浴場の場合が50mm以内、自家浴用が40mm以内（いずれも内径）、さらに噴気・沸騰泉の場合が原則として80mm以内と定められている。自家浴用の40mmは問題ないとして、「公共浴用」の場合は、問題を生じる余地が残されている。この場合も、温泉利用の実態に即して判断することが求められよう。すなわち、温泉利用者（とりわけ接客業の営業者）の経営の規模に応じた浴槽数、入浴者数、温泉使用（汲み上げ）量、利用時間（終日24時間か、それとも1日に何時間ていどか）等を総合的に判断して「公共性」の正確な実態を明らかにする必要があるだろう。温泉営業者にとって、営業の成否は1にかかって源泉の確保にあり、それも湧出量（引湯量）が多量で安定的供給が得られるか否か、にある。かつて昭和30年代後半から40年代初期にかけて、全国の温泉場で源泉確保に狂奔し濫掘と温泉濫用が原因で“温泉（地）危機”の社会問題を惹起したことを忘れてはなるまい。

現今とてもまた、泉源や泉脈賦存の立地環境が狭隘で湧出可能量も限定されている温泉場にあつては、強大な資本と社会的影響力を行使しうる立場にある営業者の独断的・恣意的利用に任せてはならず、諸種の規制を強化する以外に問題解決への途はなさそうである。

一また周知のように、当別府温泉全域には、特別保護地域が3地域（別府市南部、同鉄輪、同亀川一以上ともに昭和43年指定）と別に保護地域が2地域（同南部保護地域一同47年指定、同北部の

それ一同48年指定)がある。このような地域の地下賦存の泉脈ないし泉源保護の視点からする地域特定の“線引き”も、今日では早くも30年を経過しており、その間、源泉の分布も、また温度・湧出量・成分(泉質)などの湧出状況も変ってきていることが当然予測される。また、保護地域の周縁部でも、既設泉や新規掘削源泉の出現で事情が変容してきている。とりわけ、新規掘削を全く認めないとする特別保護地域内にあつては、数年に1回ていどは現況の諸データを精密に把握した上で範囲の適否を再検討してみる必要があるのではあるまいか。

当該特別地域内の各源泉の湧出状況や温泉利用の実態の把握と並んで、これまで30年間の変動状況の要因をデータの面でしかと分析し把握しておくことが何より重要と考える。本会報誌第49号と第50号の両誌で、当該3特別地域をさらに何区かに細分して各地区ごとの問題点や各地区の特殊性を客観的に探ろうとした(もともと源泉地所在の現地調査でなく、保健所温泉手帳を通してではあつたが)のも、このような趣旨から実施してみたに他ならない。地域内の源泉所有者に2、3年に1回ていどは、現況や湧出変動の調査をアンケート方式で回答させ、その時点での温泉行政の上に反映させることも肝要と思われる。定期的にデータを集積し、源泉と温泉利用の将来を予見するミクロ・マクロの観察がこれからも必要であろう。

#### 4 温泉の集中管理について

温泉利用に見られる集中管理方式の採用は、現代日本の大企業における経営システムの論理を温泉の効率的活用を技術面で採用したものと考えられる。

要するに、それは、温泉資源の保護と利用者への安定的供給を意図した合理的・効率的かつ計画的な利用システムである。すなわち、温泉供給(配湯)の可能な一定の地域に、極力少数の源泉を供給源にして当該地域内に居住するより多くの需要者(受湯者)に定額の使用料金で配給しようとするものである。その法的形態は、日常生活で継続的かつ定型的に供給者と需要者との両者間で締結する「供給契約」—例えば電気・水道・ガスなどの類の契約—の一種である。歴史的に言えば、生活用水の井戸水や流水の個別的利用から上水道(貯水槽)の設備と配水の組織化による集団的利用への転換のアナロジー(Analogy類推)と観念してよいであろう。

現在、温泉利用の社会面で原型と見られている個別的利用から脱して、このような集団的計画的利用への管理方式を採用している温泉地は、数の上では、全国でさほど多くはない。本県では、湯平温泉(湯布院町)の1件のみである。(財)中央温泉研究所(東京都)調査になる全国でのデータは、稿末参考資料に示すとおりである。

- |   |               |
|---|---------------|
| ① 地方公共団体(財産区、公営企業体などを含む)が管理主体となって実施しているもの |               |
|   | 67温泉場         |
| ② 組合等の団体が実施しているもの                         | 34温泉場         |
| ③ 民間企業が実施しているもの                           | 17温泉場         |
|   | 合計 118温泉場(全国) |

これは全国温泉場2,615(前掲「研究所」調べ)のうち、約4.5%に当たり、数の上から必ずしも多くはない。上に述べたように、当大分県では湯平温泉1件のみで、叙上②の型態に属し、管理主体は「湯平温泉集中管理事業組合」である。現在、組合員は旅館(会社療養所)などの営業者が約40軒、一般住民や商店など約20軒が利用している。なお、以前から地域住民が利用していた共同浴場施設にも給湯がなされている。

別府市で、かつての温泉利用の基本構想について、その経緯をここで参考までに再録する。

昭和49年（第1次オイル危機当時）、市では、学識経験者に市民代表（市議）を加えた「別府市温泉利用委員会」（吉川恭三京大教授を会長に、委員・幹事合計10名）を設け、実態調査した上で将来の温泉利用基本構想の答申を提出している。その要旨は「別府温泉は、すでに採湯可能量の上限に近づいているため採湯を制限し、利用には適正配分と効率の向上を計る必要がある。然し、長年にわたって私的に開発利用されてきた温泉を直ちに公的利用に転換することは、あまりにも障害や問題が大きい。市では、公的熱源を開発し、温泉の地域的格差の解消、高冷地域の暖房・給湯を推進して温泉の利用秩序を確立すべきである。別府市域にあって集中管理のモデル地域としては、鶴見と石垣の両地区が適当であり、その管理と運営は既存の給湯業者の協力を得て、公社的な事業体が望ましい」という内容のものであった。

このような社会的気運を背景にして、市では、昭和51年度に市全域の温泉利用の実情調査をし、翌52年度には、市温泉利用の全体計画の設計を（財）日本地熱開発促進センター（のち新エネルギー財団に名称変更）に委託した（調査費3,000余万円）。こうして「集中管理」の実施に向け、その第一歩を踏み出したのであった。

当該実施計画の概要について。前掲センターでは、その調査地区を①市の南部地区、②鶴見・石垣地区、③鉄輪・上人地区、④亀川地区の4地区に大別し、地区別配湯（需要）量と利用人口（推計）を調査策定した。併せて各地区ごとに、既存給湯の入浴人員・給湯量と給湯希望の需要戸数・利用人数（人／日）、給湯可能量（m<sup>3</sup>／日）を計上している。

〔第2表〕給湯地区別配湯（需要）計画

（別府市提供）

地区	区 分	入 浴 人 員 (人／日)	給 湯 量 (m <sup>3</sup> ／日)	備 考
南 部	既 存 給 湯	10,245	1,154	公共施設 30ヶ所
	新 規 給 湯	9,000	2,100	給湯戸数 3,000戸
	計	19,245	3,254	
鶴 見・石 垣	既 存 給 湯	4,132	673	公共施設 23ヶ所
	新 規 給 湯	6,000	1,400	給湯戸数 2,000戸
	計	10,132	2,073	
鉄 輪・上 人	既 存 給 湯	3,568	453	公共施設 15ヶ所
	新 規 給 湯	4,500	1,050	給湯戸数 1,500戸
	計	8,068	1,503	
亀 川	既 存 給 湯	1,396	180	公共施設 6ヶ所
	新 規 給 湯	2,100	490	給湯戸数 700戸
	計	3,496	670	
既 存 給 湯 計		19,341	2,460	公共施設 74ヶ所
新 規 給 湯 計		21,600	5,040	給湯戸数 7,200戸
合 計		40,941	7,500	

（注） 上記表中以外に観光用公衆浴場、温泉噴水、温泉手洗所等も、管網の各端末に適時設けることも考慮に入れ、約1,000m<sup>3</sup>／日程度の余裕量を見るものとした。

市では、4地区のうち最も必要性（需要度）の高いと予測される「鶴見・石垣地区」（戦後、共同浴場のなかった地区）を第1期工事（予定）地域と定め、両地区住民にアンケート調査を実施す

るとともに管理主体は準公営事業とする方針を樹立した。その上で昭和52年秋には、全体計画および実施地域の具体策を上述センターに委託した。その結果、同53年4月に当該鶴見・石垣両地域の実施に必要な青写真も完成して、ただ着工を待つばかりになったのである。

こうして別府市では、当該資料に基づき同54年度を初年度とする10ヶ年計画を推進する段階となった。ところが、この実施に当たっては「集中管理には多大な経費を要し、市財政では到底困難である。（他に急がねばならぬ公共の高い事業も山積していることから）当分の間、延期せざるを得ない」との最終結論をみたのであった（その詳細な経緯については昭和60年版『別府市誌』第二編第二章第一節を参照されたい）。

—全国118ヶ所の集中管理方式を実施している温泉場を概観するとき、そこに共通して読み取れる要件—とりわけ立地条件としては温泉環境の狭隘、湧出量の限界、源泉場規模と観光客（入湯浴客者）の限定、地域住民の集中管理への理解と熱意、町村役場の積極的応援等々が挙げられる。別府温泉全域の温泉環境（立地条件）を熟視するとき、この方式のストレートな採用はなじまないものがあるように思われる。明治以降、今日まで温泉利用の叡智の集大成ともみるべき各種の利用形態のメカニズムを有効に利用するほうが賢明ではあるまいか。

## 5 多目的の温泉利用の一層の推進を

本県での温泉利用は歴史的にも早く、すでに『豊後風土記』（和銅6年、713年）に「速見の湯」と呼ばれて別府温泉が登上している。豊後水道対岸の道後温泉（松山市）も『伊豫国風土記』に見られ、速見の湯から下樋を通して引湯し、大国主命らが病気治療に使った旨の記述が載っている。市内亀川野田所在の「赤湯の泉」（血の池地獄）の泥土を家の柱や壁に塗った旨の記述もある。

観光資源として（温泉湧出の全く見られない地方の人たちに）異様な噴気・沸騰泉が俗称“地獄”として観覧用の対象にされたのは、小型バスが普及してからである（その嚆矢は昭和2年春、別府観光宣伝の先達、油屋熊八が自動車4台を購入し、乗車賃1円で「地獄巡り」を開始したときと伝えられる—『別府市誌』昭和8年刊）。熱源を産業用に着目し利用を始めたのは、物資不足の第二次大戦最中であり、燃料不足からシイタケや製茶の乾燥、製塩、ヒヨコの孵化、味噌醤油アミノ酸醸造の速成など広範囲に利用された。もっとも、農業用温室栽培の熱源に熱湯が利用されたのは昭和初期であった（明星学園西方の「麻生農園」）。

医療面で温泉療法が取り入れられた最初は日露戦争（明治37—8年）後の傷痍軍人の陸軍病院（明治41年市内の民家を借用して試された陸軍療養所開設、ひきつづき同45年2月現別府公園隣接地に小倉衛戍病院別府分院が開設された—「前掲書」）であった。なお、九州帝大（現九大）温泉治療研究所の開設（昭和3年着工し同6年末完成、治療開始は翌7年1月18日—同上）は全国で画期的なものであった。

—現在（平成11年3月末）、大分県全域で温泉の多目的（浴用以外の他目的）利用が見られる領域と源泉数は次のとおりである。

・園芸農業	61孔	・養殖漁業	26孔
・“湯の花”製造	49孔	・施設暖房	19孔
・発電事業	41孔	・観覧用	18孔
		・その他	21孔（治療用など）

合 計 235孔

なお、別府温泉全域でのそれは、以下のとおりである。

- ・園芸農業 36孔
- ・“湯の花”製造 20孔
- ・発電事業 8孔
- ・暖房用 8孔
- ・“地獄”など観光用 8孔

一別府温泉での温泉利用は、その大部分が古くから浴用の単一利用であり一全国の温泉地でも、ほぼ同様の傾向であろう一せっかくの温泉の有効な利用量は推計ではあるが、せいぜい湧出全量の2、3割ていどではないか、と指摘されてきた。

これまで県下の温泉場所在の市町村で幾つかの公共団体や民間有士による主催の“温泉サミット (samitt)”に招かれた温泉研究権威者の共通した意見は一別府でこれだけ豊富な温泉があるのにその利用が充分でない、もっと多方面で利用したらとの声を報道機関は伝えている。

### 6 大深度掘削と地熱開発（発電）の現状と対策

昭和40年代後半、第1次オイル・ショック危機前後から、地下の石油資源に替わる地球深層部賦存の地熱開発（発電の熱資源用とする）に脚光が集まり、大深度掘削（掘削許可深度1,000m以上のもの）が増加してきている。本県が日本一の“温泉県”であるだけに、地熱開発の諸団体が県下中央部の高原地帯（九重・久住一帯）で、その深部探査掘削を実施している。

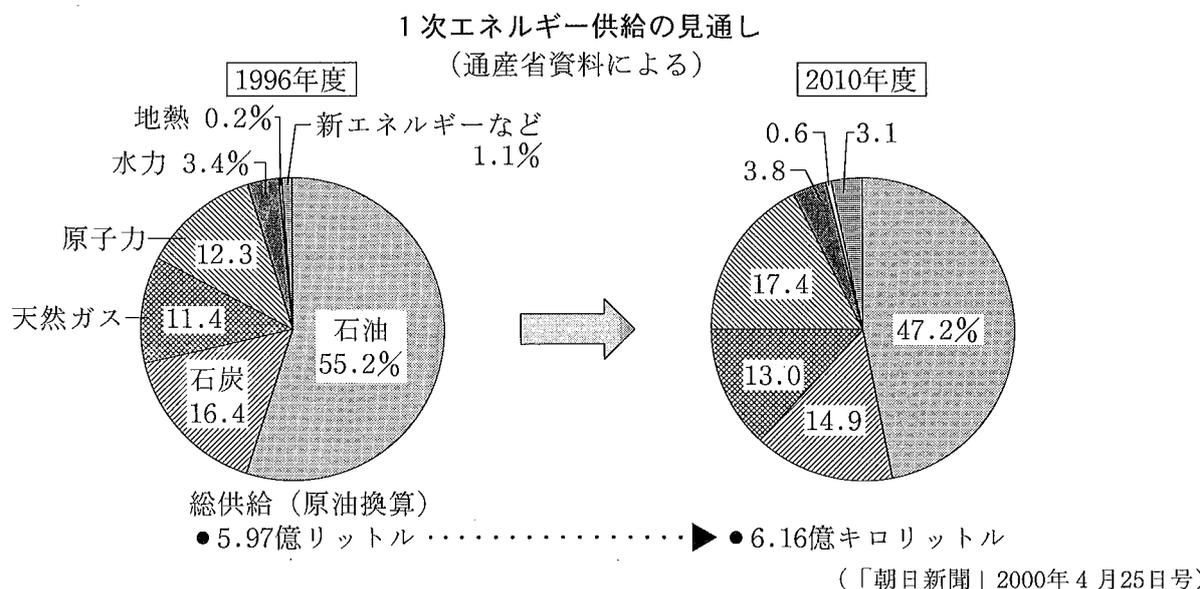
大分県で、かかる大深度の掘削申請件数も、昨今では目ざましく伸びてきている。県提供の資料によれば、その許可件数は以下のとおりである。

- ・昭和58年度 全県総許可件数 108件中4件（8.7%）
- ・平成10年度 同上 82件中19件（23.2%）

かつて別府市近郊の鶴見山系北西部に位置する伽藍岳中腹地点で地熱開発（探査）掘削申請をめぐり、地域住民と諸市民団体（明礬と鉄輪両地区）とが大分県・別府市（議会）に対して温泉源枯渇を訴え、大きな政治的・社会的問題に発展したことはなお記憶に新しい（当会報誌第33、34、35号の拙稿で詳述）。

一地下に埋蔵（賦存）する地球の石油資源は無限でありえず、あと数十年で枯渇するであろうと説かれている。地球規模でのオイル危機当初から、代替エネルギー資源として急浮上したのが「原子力発電」構想の再認識であり、世界諸国では現にその施設の増強政策が進められてきている。

（左の表参照）



すでにマスコミ機関に取り上げられているように、原子力発電の立地条件の難航、とりわけ運転作業上の「安全性」の問題が日本でも大きな壁に阻まれている。

担当行政機関の通産省並びに（外局）資源エネルギー庁がエネルギー環境の激変を受け、10年振りに設置した「総合エネルギー調査会」（通産省の諮問機関）が現在、従前の施策の見直しを進めている模様である。地熱開発—発電の他に注目されるのが風力や太陽光など新供給源によるもので、その研究が実現化に近づいている。これらの開発は環境への影響が小さい反面、既設電力の2～6倍に上る高コストが難点とされる。また、それと並んで出力が不安定であることであり、そのため蓄電池などの技術開発の促進が急務とされている。

21世紀へ向けて、国や電力会社に自然エネルギーの導入促進を義務づける法律案を超党派議員連盟が準備するなど、自然エネルギーへの政策転換は国民から広い支持を集めている。しかし、通産省では「新自然エネルギーによる発電にはまだ問題が多く、当面の間は原子力発電を見直しながら、基本は原子力推進に変わりはない」と語っている。

ちなみに政府は、エネルギー政策のより処として掲げた平成10年（1998年）策定の長期エネルギー需要見通しで「2010年度までの原発16～20基増設」の決定は、わずかに2年で挫折をみた。その結果、上掲の調査会では、今年（平成12年）3月末にまとめた計画では「2010年までの増設基数は13基」に急減して決まったようである。一方、経済の景気不況の影響で、1998年の日本の全国年間エネルギー消費量は16年振りに前年比マイナスに転じている（同上H12・4・25「朝日新聞」より）。

前頁の「表」に見られるように、地熱発電の供給量は僅かに1%にも満たない（55万キロワット）。しかし、“火山国、日本”にとっては数少ない貴重な熱エネルギー資源であるだけに、設備投資が高価につくことや温泉利用と競合して「温泉公害」の社会問題を惹起しやすいなどの難点を克服して、今後とも開発を促進してゆく努力を忘れてはなるまい。

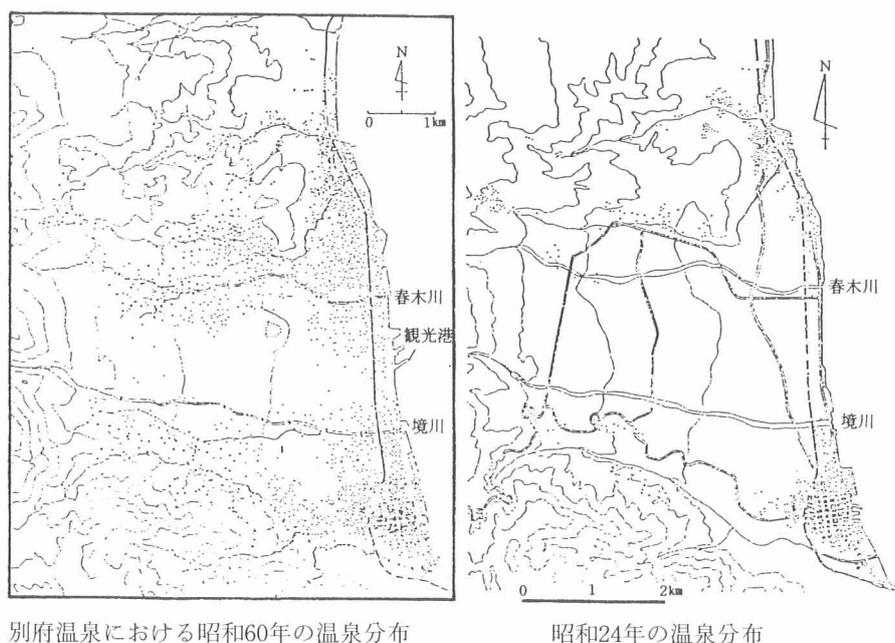
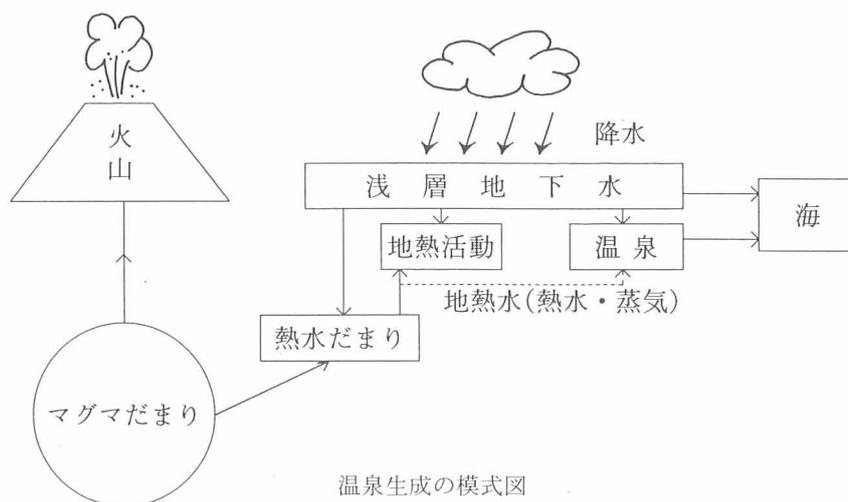
## 7 温泉資源の保護と周辺環境との関係

地表の限られた地域に湧出する温泉と、未だ地中に賦存する地下水との相互の自然界の法則も、学理上、無視できない問題であろう。

温泉水の起源、特に「水」の起源は、最近の酸素・水素の\*同位体比の研究によって、そのほとんどが“循環水”であることが判明したと言われている。すなわち、降雨・降雪などによる天水が地下に浸透し、マグマの熱で熱水（若しくは水蒸気）となって湧出（噴出）する。この時、水と岩石との相互作用や地層中に閉じこめられていた化石水、場合によってはマグマ\*\*発散物などの寄与で化学成分が付与されて「種々の泉質を形成する」と説かれている。

※同位体：原子番号が同じで、質量数が異なる元素（isotope）。すなわち、陽子の数が同じで、中性子の数の異なる原子核をもつ原子。水素と重水素の類。「同位体」は周期表上で同じ場所を占めるので、ギリシャ語のisos（同じ）とtopos（場所）を合成してアイソトープ（isotops）の原語が与えられた。

※※マグマ（magma）：溶融した造岩物質（メルト）を主体とする、地下に存在する流動物体。メルト中に結晶を含み、水などの揮発成分が融けこんでいるのが普通。地上に出れば火山ガスと溶岩流などになる。一般に固結すれば火成岩となる。また「マグマ溜り」は地下のマグマがたまっている部分で、多くは火山の下、数キロぐらいの深さにあって、火山噴火の際のエネルギーおよび噴出物を供給する。



(野口原所在一京大地球熱学研究施設提供資料)

そして、降雨・降雪などの浸透地域は広大であるのに対して、一方、温泉は比較的に狭い範囲から湧出してくるのが特徴である。このように、温泉水の涵養源である天水（循環水）の「浸透地域」と温泉の「湧出地域」とに二分して考えると、そこにどのような関連が見られるのであろうか。以前から説かれているように、一般的に前者では、地温の深度に対する上昇度合いが低く、後者にあっては逆に上昇度合いが高くなる。さらに水が循環する素になる駆動力は、下降流による低温の水と上昇流のより高温な水の比較差、涵養地域と温泉湧出地域との標高差などが考えられる、とする。

一般に温泉資源の保護を考える場合、通常は温泉の湧出地域のみを取り上げ、これまで纏述してきたように、そこでは保護地域の策定、掘削時や温泉汲み上げ量など種々の規制・方策が主に講じられている。このようにミクロの視点（Micros Analysis）からのみでなく、マクロ（Macros）の上に立った解析が必要なのではあるまいか。すなわち、天水の大循環システムを視野に入れて「涵養源である循環水の浸透地域を含めた広範囲」を対象にした保護政策を考えることが必要になってきているからである。

当別府温泉地方のみならず、全国の温泉場にあつては、最近までダムやトンネルの構築、スキー場やゴルフ場の建設、宅地造成による樹林伐採、道路整備、河川改修をはじめ、特に温泉地における高層の大規模の建造物、地下水の汲み上げ等々（一般に、温泉地の「都市化現象」と呼ばれている社会現象）といった水文学<sup>\*</sup>的環境を変化させる種々の要因が展開している。

※水文学（すいもんがく）：地球上の「水」の状態や変化を水の循環の立場から研究する学問（『広辞苑』）。

以上のような自然環境の保護と人間の営為になる開発・発展の論理とは、元来、相矛盾する行政の施策である。その政策決定のいかんは将来、21世紀における温泉場の死活を分ける政治的問題であり、それだけに温泉を保有する各市町村（県下に35存在する）にあつては、温泉資源保護のため、安易な開発は慎重でなければならぬだろう。

## 8 結び

別府温泉の将来を展望するとき、そこに幾つかの視点の設定が必要ではないか、と考える。一般市民にとって共通する将来の展望としては、温泉観光文化都市（市の基本法ともみるべき略称「別観法」—昭和25年制定）としての経済的側面からする“温泉危機”“泉源問題（濫掘・濫用の温泉利用”であろう。しかし、当該調査研究会では「温泉法」に立脚し、温泉資源の保護と利用の適正の立場からする温泉すべてに関わる社会的危機意識（科学的認識に基づく将来の予見性）の問題視点が必要ではあるまいか。

このような科学的認識とマクロ・ミクロの展望や分析に拠る課題テーゼ（These定立・提議）の所見は、昨年度号（会報第50号）の稿末に<(3)現況の分析と問題点>として記述しておいた。この機会に、本稿と併せて併読することを願いたい。そこに取り上げた〔問題点〕のみを再録する。

〔問題点1〕 浜脇温泉の教訓

〔問題点2〕 戦前からの古い源泉の保護

〔問題点3〕 北浜地区での温泉利用の再検討

〔問題点4〕 源泉数の全面的把握と“湯けむり”の効率的活用を

〔問題点5〕 その他—地域別の検討、規制と監督の強化、温泉台帳の整備等

〔参考資料〕第1表 「集中管理」実施（全国）の温泉地調査表

- Ⓐ 地方公共団体で実施している温泉場の数
- Ⓑ 組合等の団体が実施しているもの
- Ⓒ 民間企業が実施しているもの

（注 （財）中央温泉研究所調べ）

道府県	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	計	道府県	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	計
北海道	5	3	0	8	岐阜	0	1	0	1
青森	2	1	0	3	愛知	1	0	0	1
岩手	1	0	2	3	三重	0	0	1	1
宮城	1	0	1	2	滋賀	1	0	0	1
秋田	1	0	0	1	兵庫	3	0	0	3
山形	1	8	2	11	和歌山	2	0	0	2
福島	6	0	1	7	鳥取	3	3	1	7
茨城	1	0	0	1	島根	3	0	0	3
栃木	2	0	1	3	岡山	1	0	1	2
群馬	2	1	0	3	山口	0	1	1	2
東京	1	0	0	1	愛媛	1	0	0	1
神奈川	1	0	1	2	福岡	0	1	0	1
新潟	4	2	0	6	佐賀	1	0	0	1
石川	1	3	1	5	長崎	1	0	0	1
富山	0	0	1	1	熊本	0	2	0	2
福井	1	0	0	1	大分	0	1	0	1
山梨	2	0	0	2	鹿児島	3	0	0	3
長野	10	4	2	16					
静岡	5	3	1	9	合計	67	34	17	118

（注）全国の温泉地名は省略した。

〔参考資料〕第2表 別府市営給湯状況表

別府市温泉課資料  
(昭和60年4月現在)

No.	給湯先	量	No.	給湯先	量	No.	給湯先	量
(浜脇・富士見線)			32	浜脇温泉	144	62	下熱の湯	27
1	板地温泉	144	33	浜脇高等温泉	144	63	北中温泉	18
2	南立石小学校	7.2	34	東町温泉	45	64	御幸温泉	14.4
3	前八幡温泉	14.4	35	大和温泉	63	65	上人温泉	18
4	丸尾温泉	14.4	36	富士見第一温泉	541	66	地獄原温泉	27
5	鶴見園大浴場	150	37	富士見第二温泉	541	67	大師湯	36
6	上原温泉	36	(石垣線)			68	湯の川温泉	7.2
7	簡易裁判所	18	38	堀田西温泉	36	69	市の原温泉	36
8	雲泉寺温泉	7.2	39	堀田東温泉	36	70	実相寺温泉	36
9	祇園温泉	54	40	紅葉温泉	54	71	春木温泉	36
10	青山公園	18	41	生目温泉	18	72	円通寺温泉	21.6
11	山の手保育所	7.2	42	西別府市団地温泉	21.6	73	桜ヶ丘温泉	36
12	青山保育所	7.2	43	向原温泉	18	74	中須賀温泉	54
13	青山温泉	36	44	扇山温泉	36	75	海上保安庁	7.2
14	裁判所	14.4	45	扇山老人ホーム	18	76	前田温泉	36
15	検察庁	14.4	46	西別府病院	43.2	(亀陽泉場)		
16	電話局	21.6	47	九大温研	7.2	77	亀陽泉	108
17	税務署	21.6	48	整肢園	81	(柴石線)		
18	月見温泉	45	49	母子休養ホーム	14.4	78	柴石共同温泉	36
19	錦栄温泉	72	50	養護学校	43.2	79	むしゅ	} 140
20	花月荘	7.2	51	光の園	14.4	80	滝湯	
21	朝見温泉	36	52	白菊寮	21.6	(亀川線)		
22	八幡温泉	45	53	鶴見病院	7.2	81	浜田温泉	36
23	山田温泉	45	54	北部温泉	36	82	亀川駅前温泉	36
24	此の花温泉	45	55	吉弘第1温泉	54	83	入江温泉	45
25	末広温泉	45	56	南石垣温泉	50.4	84	古市第一温泉	30
26	中央保育所	7.2	(鉄輪・上人線)			85	古市第二温泉	30
27	西蓮田温泉	45	57	上渋の湯	54	86	古市第三温泉	30
28	東蓮田温泉	45	58	下渋の湯	27	(鉄輪線)		
29	南小学校	7.2	59	むし湯	27	87	競輪温泉	19.2
30	住吉温泉	54	60	筋湯	27	88	運輸省寮	14.4
31	日の出温泉	54	61	上熱の湯	54			

(注) 現在(平成12年)は多少とも変更があると思われる。

(単位 kℓ/日)

〔参考資料〕 第3表 別府市内配湯管図

(昭和60年現在)





# 飲用温（鉱）泉の実態と利用状況について

## － 第 1 報 －

大分県衛生環境研究センター

牧 克 年・西 海 政 憲  
刈 祐 一・神 田 尚 徳

### 1 はじめに

温（鉱）泉は古くから県民の医療、保養、休養に大きな役割を果たしている。特に、近年、健康への関心が高まる中で、一部の温（鉱）泉が飲用として利用されている。

一方、温（鉱）泉には種々の成分が含まれており、利用方法を誤れば健康に悪影響を与えることが懸念される。

そのため、温（鉱）泉を飲用に供しようとする施設は、温泉法に基づいて許可を受けなければならない。そこで、これら県内施設の飲用温（鉱）泉について、その飲用に係る成分の分析及びアンケート調査を行い、その結果をまとめたので報告する。

### 2 調査方法

#### 2-1 調査内容

##### ① 温（鉱）泉の分析

飲用口から温（鉱）泉を採水し、飲用に係る成分（ヒ素、銅、フッ素、鉛、水銀、遊離炭酸）を鉱泉分析法指針により分析した。また、一般細菌数、大腸菌群、過マンガン酸カリウム消費量については環境庁自然保護局施設整備課長通知（平成元年12月6日付）に基づいて分析を行った。

##### ② 飲用者に対するアンケート調査

調査対象施設に調査用紙を置き、アンケートを行った。なお、調査用紙は2～3週間後に回収した。

#### 2-2 調査期間

平成11年8月から平成12年2月

#### 2-3 調査施設

川原温泉（豊後高田市）、夷谷温泉（香々地町）、国見町老人憩いの家、国見町研修センター（国見町）、柴石温泉、テルマス（別府市）、金の湯、銀の湯（湯布院町）、七里田温泉館外部飲泉場及び内部飲泉場（久住町）、葛刈温泉、コロナダ、ドイツ村、長生湯（直入町）の14か所について調査を行った。

なお、七里田温泉外部飲泉場、コロナダ、ドイツ村の3か所については、飲用設備が屋外にあり、調査用紙回収箱の設置ができなかった。

### 3 調査結果

検査をした飲用温（鉱）泉の分析結果を表1に示す。それによると14施設のいずれも飲用利用基準（表3）に定める飲用許容量及び微生物学的衛生管理の各項目について、すべて基準に適合していた。

久住町七里田、直入町長湯の温泉水は遊離炭酸濃度（分析結果最大値572mg/kg）が高いことで知られているが、アンケート調査結果では基準を超える飲用者はいなかった。

アンケート調査結果を表2に示す。

11か所でアンケートを行った結果、139人の利用者から回答があった。利用者の年齢は60歳代が38人（回答者の30％）で最も多かった。男女別では男性が66人（同52％）とやや多かった。

飲用の目的については、慢性消化器系の治療に期待する人が23人（同22％）と最も多く、次いで肥満症が20人（同19％）、慢性便秘が15人（同15％）、糖尿病が13人（同13％）と続いている。特に、肥満症に期待する利用者が意外と多かった。このことについては、最近の食生活の向上と健康に対する意識の高まりによるものと思われる。

1回の飲用量については、76～150ml（同43％）が最も多く、次いで151～250ml（同21％）であり、251～500mlが19人（同20％）であった。

1日の飲用回数については、1～2回が62人（同73％）で最も多く、最高は7回で4人（同8％）であった。また、1日の飲用量についても51～300mlが22人（同69％）で最も多く、2000ml飲用する人が2人（同6％）であった。

本調査結果では飲用利用基準を超えての飲用者はいなかったが、1回の飲用量、1日の飲用量については、環境庁通知（昭和57年5月25日）で示されている飲用量を超える飲用者がいた。

※環境庁通知（飲用上の注意事項：温泉の飲用の1回の量は一般に100mlないし200ml程度とし、その1日の量はおおむね200mlないし1000mlまでとすること。）

飲用時期については、食間の飲用者が16人（同42％）と最も多く、次いで食前が12人（同32％）、食後が4人（同11％）であった。

飲用期間については、1か月以上継続している飲用者が43人（同60％）で、その内1年以上が24人（同33％）となっている。また、初めての飲用者が8人（同11％）で温泉飲用に対する関心が高いものと考えられる。

飲用効果では、「良くなった」が42人（同61％）であり、「悪くなった」との回答者はなかった。

温泉の持ち帰りについては、42人（全回答者の30％）が持ち帰っている。持ち帰り量は0.5～3.0Lが20人（回答者の48％）と約半数を占めていた。

持ち帰り後の保存状況は28人（同80％）が冷暗所または冷蔵庫に保管している。また、飲み終わるまでの期間については、17人（同52％）が1週間以内に飲み終えていた。しかし、飲み終わるまでに21～31日間の長期保存をしている飲用者が8人（同24％）もいることから、衛生知識の指導、啓発が必要と考えられる。

#### 4 まとめ

11年度は飲用許可を受けている22か所の調査を予定していたが、施設がすでに廃止されたり、飲用に供していないなどの理由ですべての調査ができなかった。

今回調査した飲用温泉では、飲用利用基準にすべて適合していた。しかし、1回の飲用量や1日の飲用量については、環境庁通知の飲用上の注意事項で示されている飲用量を超えて飲用している利用者があるので、飲用温（鉱）泉設置者に対し、今後とも継続して指導する必要があると思われる。

なお、12年度も引き続き調査を行うことにしている。

表1 飲用温（鉱）泉 分析結果

施設名	川原温泉	夷谷温泉	国見町老人ホーム	国見町研修センター	柴石温泉
検体採取年月日	11.08.18	11.08.18	11.08.18	11.08.18	11.11.19
ヒ素 (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.089
銅 (〃)	0.011	0.001	0.001	0.001	0.008
フッ素 (〃)	0.19	0.44	0.46	0.35	0.39
鉛 (〃)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.020
水銀 (〃)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (〃)	605	16.5	0	0	66.0
一般細菌 (100ml中)	3	0	0	1	0
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
過マンガン酸カリウム消費量	1.9	4.8	8.6	8.2	4.6

施設名	テルマス	金の湯	銀の湯	七里田.外	七里田.中
検体採取年月日	11.11.9	11.10.13	11.10.13	11.11.30	11.11.30
ヒ素 (mg/l)	0.042	0.120	0.102	0.005	0.006
銅 (〃)	0.004	0.001	0.003	0.008	0.003
フッ素 (〃)	0.128	0.203	0.918	0.229	0.244
鉛 (〃)	0.039	<0.01	<0.01	0.027	0.015
水銀 (〃)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (〃)	20	0	0	495	506
一般細菌 (100ml中)	2	0	0	0	0
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
過マンガン酸カリウム消費量	3.9	2.3	1.6	2.3	2.3

施設名	葛洩温泉	コロナダ	ドイツ村	長生湯
検体採取年月日	11.11.30	11.11.30	12.02.16	12.02.16
ヒ素 (mg/l)	0.006	0.005	0.0011	<0.001
銅 (〃)	0.007	0.002	0.008	0.007
フッ素 (〃)	0.264	0.29	0.09	0.40
鉛 (〃)	0.025	0.026	<0.01	<0.01
水銀 (〃)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (〃)	539	572	198	484
一般細菌 (100ml中)	0	0	14	3
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)
過マンガン酸カリウム消費量	18	2.5	1.8	3.4

表2 飲用温（鉱）泉アンケート集計結果

1 概要

施設数	11ヵ所
回答者数	139人

2 アンケート協力者の状況

県内	132人	県外	7人	合計	139人				
県外の内訳		福岡	4人	鹿児島	1人	兵庫	1人	岡山	1人

3 年齢・性別

年齢	20歳未満	20代	30代	40代	50代	60代	70代	80歳以上	計
男	1人	4人	6人	9人	12人	20人	12人	2人	66人
女	3人	6人	5人	7人	13人	18人	9人	1人	62人
						無回答	11人	合計	139人

4 飲用の目的（複数回答あり）

区分	慢性消化器病	肥満症	慢性便秘	糖尿病	痛風
回答数	23人	20人	15人	13人	9人
区分	肝臓病	貧血	慢性胆嚢炎	胆石症	その他
回答数	8人	8人	2人	2人	3人
計	103人	無回答	48人	合計	151人

5 飲用の形態

① 1回の飲用量（単位 ml）

飲用量	10未満	10～75	76～150	151～250	251～350	351～500	計	無回答	合計
回答数	11人	5人	42人	20人	12人	7人	97人	42人	139人

② 1日の飲用回数

回数	1回	2回	3回	4回	5回	7回	計	無回答	合計
回答数	37人	25人	10人	4人	5人	4人	85人	54人	139人

※ 最高は7回で、6回の記載はなかった

③ 1日の飲用量（単位 ml）

量	50未満	51～150	151～300	301～500	1000	2000	計	無回答	合計
回答数	1人	10人	12人	5人	2人	2人	32人	107人	139人

④ 飲用の時期

飲用時期	食前	食間	食後	その他	計	無回答	合計
回答数	12人	16人	4人	6人	38人	101人	139人

6 飲用の効果

① 飲み始めてからの期間

区分	初めて	2-3日	1週間	2週間	1か月	2か月	3か月	
回答数	8人	3人	13人	5人	10人	2人	4人	
区分	半年	1年	2年	5年	10年以上	計	無回答	合計
回答数	3人	8人	8人	3人	5人	72人	67人	139人

② 今までの効果

	良くなった	悪くなった	わからない	計	無回答	合計
回答数	42人	0人	28人	42人	97人	139人

7 温泉の持ち帰りについて

① 1回の持ち帰り量(単位 L)

量	0.5未満	0.5~1.5	1.6~3.0	10	20	40	計	無回答	合計
回答数	6人	9人	11人	6人	8人	2人	42人	97人	139人

※ 3L以上については、端数の記載はなかった。

② 持ち帰ってからの保存状況

保存状況	室温	冷暗所	冷蔵庫	その他	計	無回答	合計
回答数	6人	12人	16人	1人	35人	104人	139人

③ 持ち帰って飲み終えるまでの期間

区分	3日以内	4~5日	6~7日	8~10日	11~20日	21~31日	計	無回答	合計
回答数	5人	9人	3人	4人	4人	8人	33人	106人	139人

④ 飲用以外に利用する場合

記載なし

表 3

飲用利用基準 (環境庁通知 平元年12月6日)

1 飲用許容量 (1日の総摂取量・大人)

項目	総 摂 取 量
ヒ素	0.3mg
銅	2.0mg
フッ素	1.6mg
鉛	0.2mg
水銀	0.002mg
遊離炭酸	1000mg (1回につき)

飲用の総量 (ml) = (総摂取量/A) × 1000

A: 当該温泉の1kg中に含まれる成分の重量 (mg単位) の数値

2 微生物学的衛生管理

検 査 項 目	基 準 値
一般細菌	100/ml以下
大腸菌群	検出されないこと
※過マンガン酸カリウム消費量	10mg/l以下であること

※ただし、鉄、硫黄腐食質を含む温泉については参考にならない

飲用に供する温泉は、飲泉口において採取したものについて、年1回、一般細菌数、大腸菌群について検査を行い、基準値に適合していることを確認すること。

# 温泉保全対策について

- 第 2 報 -

大分県衛生環境研究センター

西海政憲・牧 克年  
神田尚徳

## 1 はじめに

昨年に引き続いて、温泉保護対策のための基礎資料を得るために、泉質の実態調査を行った。

## 2 調査結果

別府市及び湯布院町内の6つの温泉について、過去の分析結果と今回の調査結果を表1及び表2に示した。

表1 調査結果（湯布院町）

泉名		健康温泉館（新）		健康温泉館（旧）		由布山荘	
湧出地		①		②		③	
検体採取年月日		01.11.21	11.10.12	63.11.02	11.10.12	04.03.07	11.10.12
泉温（℃）		55.9	54.5	57.0	57.1	57.8	56.0
pH		8.1	7.9	7.9	7.9	7.9	8.1
密度（g/cm <sup>3</sup> ）		0.9989	0.9986	0.9989	0.9986	0.9986	0.9985
蒸発残留物（g/L）		0.5380	0.5716	0.5700	0.5214	0.5828	0.5642
陽イオン	(mg/L)						
	Li	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2
	Na	103.0	120.0	109.0	107.0	114.7	118.0
	K	28.1	26.3	23.6	23.6	27.4	27.6
	Ca	9.1	14.5	9.6	8.5	7.9	11.0
	Mg	7.5	11.0	7.5	6.6	6.3	7.2
	NH <sub>4</sub>	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
陰イオン	Fe	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	F	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2
	Cl	70.9	85.2	71.0	81.1	81.8	107.6
	SO <sub>4</sub>	16.2	45.6	24.3	27.3	45.8	58.2
その他	HCO <sub>3</sub>	190.0	220.0	217.0	220.0	168.6	207.0
	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	202.0	192.1	170.0	199.1	167.2	189.3
	HBO <sub>2</sub>	10.0	13.8	7.3	12.6	3.4	6.5
	CO <sub>2</sub>	2.0	4.4	5.8	2.9	1.9	2.2

表2 調査結果 (別府市)

泉 名		つるみ荘 (新)		つるみ荘 (旧)		永石温泉	
湧 出 地		④		⑤		⑥	
検体採取年月日		06.01.13	11.12.17	61.02.03	11.12.17	09.12.18	11.12.17
泉 温 (°C)		63.6	58.9	53.1	58.9	51.1	50.5
pH		8.3	8.2	8.1	8.2	7.3	7.5
密 度 (g/cm <sup>3</sup> )		0.9990	0.9992	0.9987	0.9992	0.9991	0.9991
蒸発残留物 (g/L)		1.0980	1.0748	0.8550	0.9166	0.7624	0.7568
(mg/L)							
陽 イ オ ン	Li	2.5	2.7	1.3	1.6	0.9	0.7
	Na	319.2	292.0	199.0	193.0	169.5	144.0
	K	17.0	18.6	23.5	18.7	18.3	17.0
	Ca	33.0	25.5	35.7	30.6	39.1	48.5
	Mg	15.5	13.8	24.3	19.8	31.6	28.3
	NH <sub>4</sub>	0.3	0.8	0.2	0.9	0.2	0.8
	Fe	<0.1	0.4	0.8	0.5	0.2	0.9
陰 イ オ ン	F	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2
	Cl	280.3	221.0	99.3	94.0	163.0	144.5
	SO <sub>4</sub>	61.7	88.0	79.6	91.0	95.9	60.0
	HCO <sub>3</sub>	454.9	433.0	466.0	398.0	337.1	351.0
そ の 他	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	157.3	119.3	205.0	174.2	141.4	143.5
	HBO <sub>2</sub>	13.6	—	9.6	—	6.9	—
	CO <sub>2</sub>	2.4	3.3	6.2	2.9	25.0	22.0

# 別府地域の地震(5)

- 資料 -

京都大学大学院理学研究科附属  
地球熱学研究施設

京都大学地球熱学研究施設 (BGRL) の微小地震観測システムによって観測された、1998年12月までの別府地域の近地地震〔BGRLにおける初期微動継続時間 (S-P時間) が約3秒以内の地震〕については、本報告第47号・第48号・第49号・第50号に述べられている (由佐ほか, 1996, 1997, 1998, 1999)。前回までの報告に引続き、1999年1月から12月までの記録をここに報告する。

## 【地震活動の概要】

1999年1月から12月までの1年間に観測された393個の近地地震の発生時間・震源位置・マグニチュードを末尾のリストに、また、1993年以降の日別発生頻度を図1に、それぞれ示す。なお、末尾のリストで、○印が付されているものは、九州管区気象台のネットワークでも観測されたものである。

地震の日別頻度

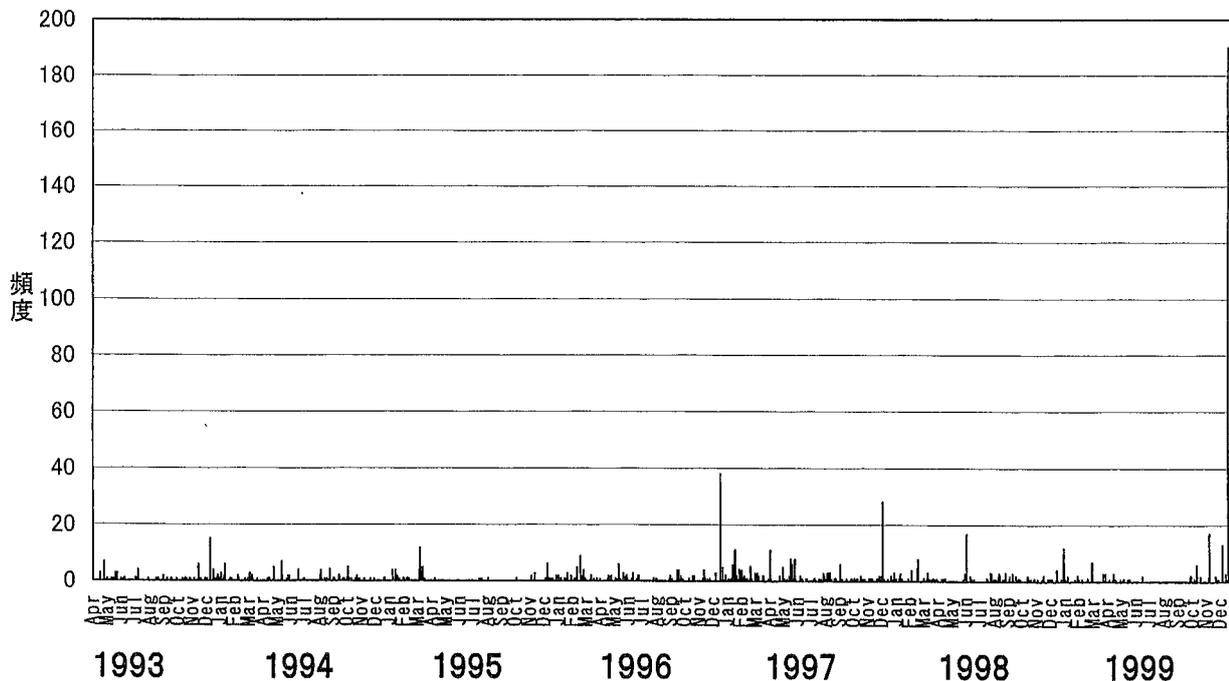


図1 日別の地震発生頻度：1993年3月28日 - 1999年12月31日

1999年の地震活動は、別府市北西端の天間付近で、1月1日23時30分頃から1月2日3時30分頃にかけて発生した、群発性地震で始まった。観測された地震数は21個、震源の深さは、いずれも海面下約2 kmである。マグニチュードは最初の地震の3.69が最も大きく、別府地域の群発性地震としては、主震が比較的明瞭であった。

末尾のリストや図1に明らかなように、6月中旬頃までは断続的に地震が発生したが、例年に比

べて発生数は少なく、6月下旬から9月末までの約3カ月間は全く観測されなかった。その後、10月頃から徐々に活発化し、11月9日から10日、および12月8日の群発地震などを経て、12月20日9時55分頃から規模の大きい群発地震が発生した。この群発地震は、12月22日12時45分頃まで継続し、この間に観測された地震数は264個で、1999年における総数の7割弱に当たる。マグニチュードは、3を超えたものが7回あり、最大は12月20日17時33分30秒の3.82であった。これは、1993年3月にこのシステムで観測が開始されて以来、最も大きいマグニチュードである。

### 【震源分布】

1999年に発生した地震の震源分布を図2に示す。これまでと同様に、全ての地震が、別府北断層と朝見川-由布院断層に挟まれた地溝内の、海面下14kmより浅い範囲で発生している。発生の様相は、先に述べたように群発性のものが多く、発生域はいくつかのブロックに限られている。この内、12月20日から22日にかけての群発地震の震源分布を図3に示すが、大平山（扇山）東麓の鶴見地区を中心として、北東-南西を長軸とする、楕円状のかなり広い範囲にわたっている。この長軸の方向は、これまで別府地域で発生した群発地震（例えば1995年3月の群発地震）の発生域の主方向とほぼ同じである。

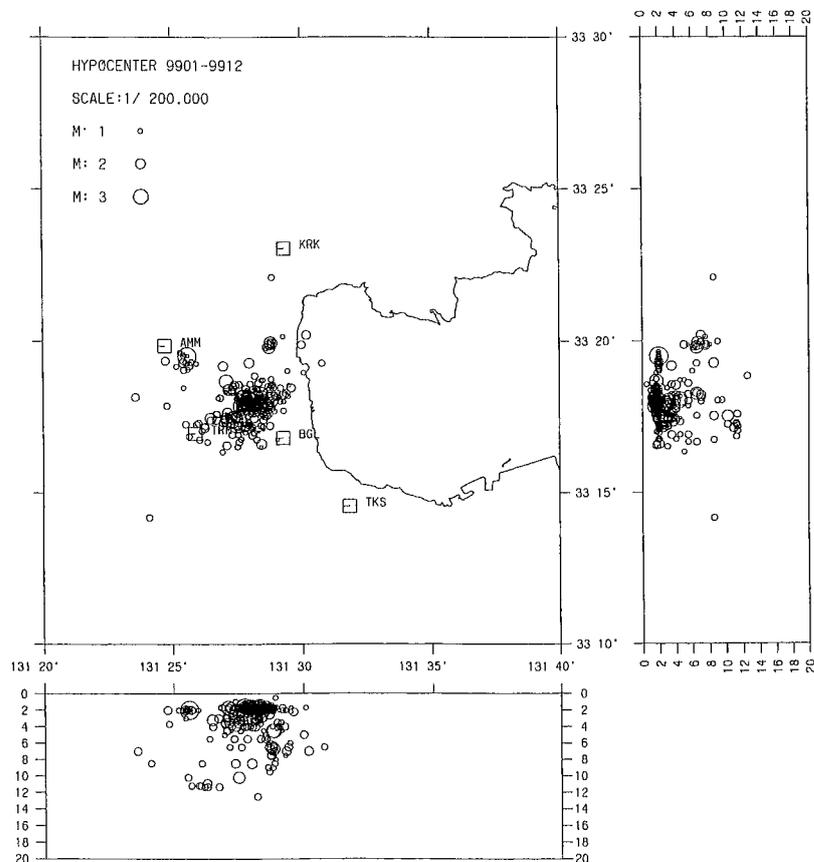


図2 1999年1月-12月における別府地域の震源分布

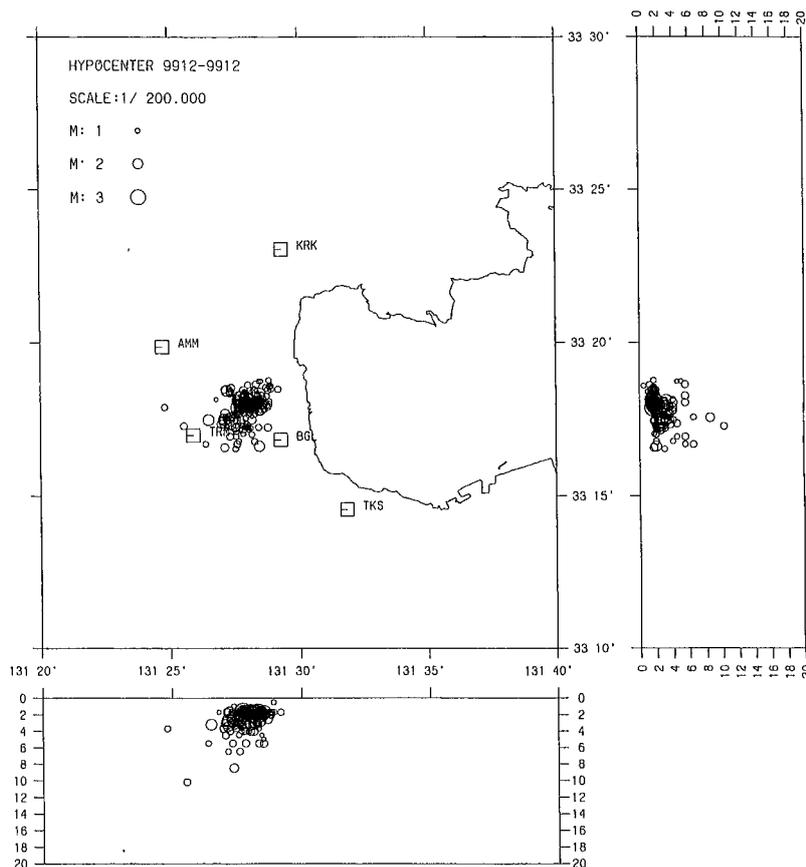


図3 1999年12月20日から22日に発生した群発地震の震源分布

【マグニチュードの頻度】

ある地域で発生する地震の特徴を表現する手法の一つとして、マグニチュード (M) と累積地震数 (N) の関係が用いられ、一般に次の回帰式 ( $\log N = a - bM$ ) で表される。

図4は1993年から1999年の全ての地震、図5は1999年の地震、また、図6は1999年12月20日から22日の群発地震、における関係である。図中の直線は、 $M \geq 0.8$ の地震に対して求められた回帰線である。地震集団の性質を示すパラメータb値は、1999年の全地震および12月の群発地震が若干小さいが、別府地域でこれまでに求められているb値の変動幅の間にある (由佐ら, 1999)。

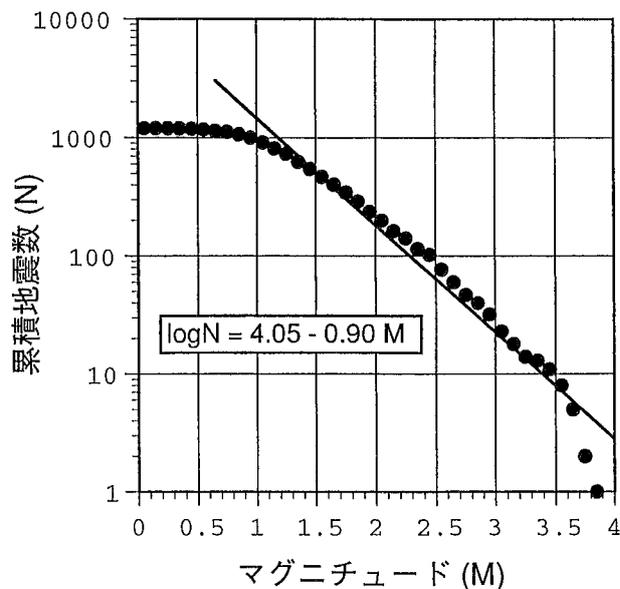


図4 1993年3月から1999年12月までの地震のマグニチュード (M) と累積地震数 (N) の関係：直線は $M \geq 0.8$ の地震に対する回帰線 ( $b=0.90$ )

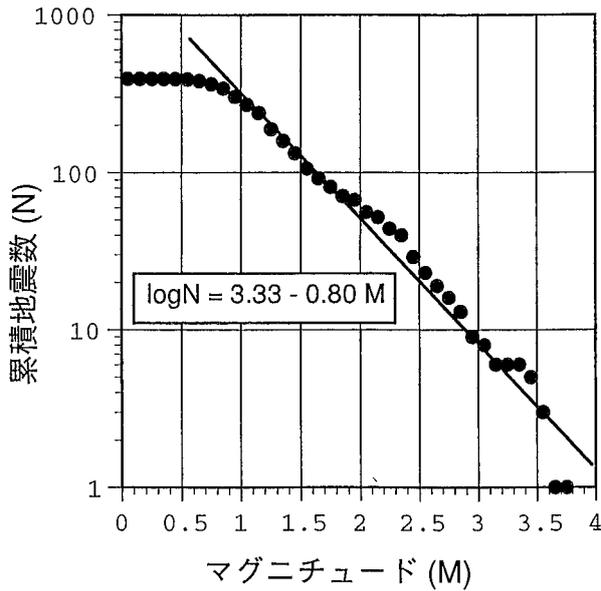


図5 1999年の地震のマグニチュード (M) と累積地震数 (N) の関係：直線は  $M \geq 0.8$  の地震に対する回帰線 ( $b=0.80$ )

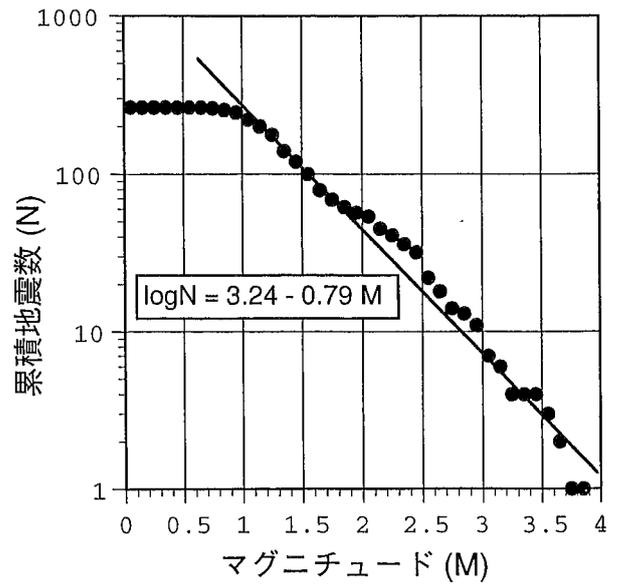


図6 1999年12月20日から22日に発生した群発地震のマグニチュード (M) と累積地震数 (N) の関係：直線は  $M \geq 0.8$  の地震に対する回帰線 ( $b=0.79$ )

参考文献

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)-資料-，大分県温泉調査研究会報告，49，49-56.  
由佐悠紀・馬渡秀夫(1999)：別府地域の地震(4)，大分県温泉調査研究会報告，50，1-14.

(文責：由佐悠紀)

1999年に別府地域で発生した地震 (○は九州管区気象台のネットでも観測されたもの)

発震時 ( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/01/01	23:30:05.73	33 19.51'	131 25.61'	2.00	3.69	○
1999/01/01	23:32:27.24	33 19.06'	131 25.48'	2.00	1.37	○
1999/01/01	23:33:17.60	33 19.07'	131 25.64'	2.00	0.95	○
1999/01/01	23:34:21.05	33 19.28'	131 25.62'	2.00	0.89	○
1999/01/01	23:34:49.34	33 19.55'	131 25.50'	2.00	0.76	○
1999/01/01	23:35:27.45	33 19.36'	131 24.76'	2.00	1.60	○
1999/01/01	23:49:06.04	33 19.19'	131 25.70'	2.00	1.51	○
1999/01/01	23:57:13.93	33 19.28'	131 25.46'	2.00	1.83	○
1999/01/01	23:57:37.33	33 19.52'	131 25.46'	2.00	1.00	○
1999/01/02	00:11:55.42	33 19.60'	131 25.44'	2.00	0.77	○
1999/01/02	00:22:02.18	33 19.21'	131 25.67'	2.00	1.68	○
1999/01/02	00:28:20.02	33 19.64'	131 25.32'	2.00	0.93	○
1999/01/02	00:57:51.40	33 19.17'	131 25.19'	2.00	1.03	○
1999/01/02	01:05:54.86	33 19.32'	131 25.77'	2.00	1.14	○
1999/01/02	01:38:24.74	33 18.47'	131 25.46'	3.00	0.97	○
1999/01/02	01:42:01.98	33 18.69'	131 27.11'	1.70	2.74	○
1999/01/02	01:46:52.25	33 18.34'	131 27.08'	1.70	0.82	○
1999/01/02	01:52:45.38	33 18.50'	131 27.27'	1.70	0.83	○
1999/01/02	02:53:39.69	33 19.26'	131 25.96'	2.00	0.90	○
1999/01/02	02:57:46.78	33 19.32'	131 25.52'	2.00	0.83	○
1999/01/02	03:31:48.35	33 19.52'	131 25.62'	2.00	0.64	○
1999/01/03	03:33:12.66	33 19.26'	131 25.61'	2.00	0.74	○
1999/01/03	11:53:32.31	33 18.14'	131 26.87'	1.70	1.38	○
1999/01/05	07:54:53.13	33 18.87'	131 28.20'	12.54	1.34	
1999/01/10	04:40:01.26	33 18.00'	131 28.71'	1.70	1.13	
1999/01/10	04:41:11.72	33 17.92'	131 28.70'	1.70	2.23	○
1999/01/26	20:53:12.32	33 19.03'	131 29.47'	6.00	1.00	
1999/02/01	15:14:09.64	33 18.58'	131 27.59'	3.50	1.41	○
1999/02/01	15:20:26.66	33 18.56'	131 27.42'	4.00	1.82	○
1999/02/03	20:36:25.67	33 18.47'	131 29.60'	2.20	1.65	○
1999/02/04	06:52:26.45	33 17.54'	131 27.49'	10.20	2.26	○
1999/02/10	22:28:03.25	33 22.10'	131 28.87'	8.50	1.21	○
1999/02/22	07:18:11.67	33 18.60'	131 27.39'	1.70	0.74	
1999/03/01	18:55:02.20	33 18.10'	131 28.86'	4.50	2.82	○
1999/03/01	18:56:49.74	33 18.16'	131 29.13'	3.50	1.13	
1999/03/01	18:59:08.81	33 18.03'	131 28.82'	4.50	2.75	○
1999/03/01	19:02:49.97	33 17.87'	131 28.58'	5.50	0.96	
1999/03/01	19:04:26.02	33 18.00'	131 28.80'	4.00	0.98	
1999/03/01	19:10:29.72	33 18.01'	131 28.73'	7.00	1.13	
1999/03/01	21:02:16.90	33 17.99'	131 28.85'	2.20	0.65	
1999/03/02	01:35:34.93	33 18.07'	131 28.67'	9.50	1.25	
1999/03/02	02:22:54.31	33 18.23'	131 29.26'	4.00	1.58	○
1999/03/02	05:45:53.83	33 18.15'	131 29.11'	4.20	0.93	○
1999/03/02	05:48:01.42	33 18.30'	131 29.41'	6.50	1.56	
1999/03/02	07:34:40.80	33 18.97'	131 30.07'	1.70	0.95	
1999/03/02	09:47:00.33	33 18.24'	131 29.33'	7.00	1.73	○
1999/03/02	14:48:02.93	33 18.12'	131 29.40'	10.00	3.56	○
1999/03/03	01:13:12.80	33 18.17'	131 29.16'	4.50	0.74	○
1999/03/25	11:12:03.94	33 18.28'	131 28.74'	6.50	2.45	○
1999/03/25	11:23:18.46	33 18.13'	131 29.05'	4.00	1.03	

発震時( JST )		北緯	東経	深さ	MAG
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km	
1999/03/25	11:48:47.15	33 18.27'	131 29.36'	2.00	0.86
1999/03/30	03:37:43.01	33 18.22'	131 28.98'	3.50	1.36 ○
1999/03/30	03:39:14.55	33 18.14'	131 28.97'	4.20	0.91
1999/03/30	04:56:36.27	33 18.15'	131 28.99'	4.00	1.34 ○
1999/04/08	03:09:11.31	33 17.47'	131 27.22'	4.50	0.68
1999/04/16	17:06:24.06	33 19.30'	131 27.99'	8.50	1.96 ○
1999/04/17	02:59:28.45	33 17.88'	131 28.25'	1.70	0.79
1999/04/17	03:04:00.61	33 17.69'	131 28.27'	1.70	0.64
1999/04/17	03:22:44.01	33 17.60'	131 28.06'	1.70	1.06 ○
1999/04/21	13:26:15.01	33 16.35'	131 26.96'	5.00	1.04
1999/05/01	12:43:32.27	33 19.19'	131 26.99'	3.50	1.87 ○
1999/05/08	20:37:40.17	33 14.18'	131 24.12'	8.50	1.29 ○
1999/05/17	07:52:01.32	33 16.51'	131 28.44'	2.00	0.66 ○
1999/05/21	17:02:43.60	33 17.71'	131 29.31'	2.00	1.13
1999/06/18	00:21:09.63	33 18.46'	131 28.32'	3.00	0.88 ○
1999/06/18	00:35:17.86	33 17.81'	131 27.77'	3.50	0.90
1999/09/29	21:16:50.33	33 17.09'	131 28.53'	2.00	0.47
1999/09/30	08:39:25.57	33 17.18'	131 28.50'	2.00	1.08
1999/09/30	08:43:44.84	33 16.91'	131 28.10'	3.50	1.56 ○
1999/10/01	01:56:00.86	33 17.02'	131 28.34'	2.00	0.52
1999/10/01	09:47:41.72	33 17.12'	131 28.34'	2.00	1.26 ○
1999/10/08	04:52:48.57	33 18.16'	131 23.59'	7.00	1.57 ○
1999/10/13	17:26:12.84	33 17.05'	131 26.18'	11.35	1.26
1999/10/13	19:40:45.06	33 17.60'	131 26.74'	11.34	1.40
1999/10/13	20:56:02.68	33 17.30'	131 26.04'	11.22	1.32
1999/10/13	22:11:05.19	33 16.75'	131 26.08'	8.50	1.26
1999/10/13	22:12:33.72	33 16.86'	131 25.67'	11.22	1.24
1999/10/13	22:36:19.66	33 17.26'	131 25.97'	11.22	1.34
1999/10/14	06:24:52.27	33 17.15'	131 26.28'	10.93	1.71
1999/10/14	07:06:14.74	33 17.20'	131 26.29'	11.34	1.36
1999/10/21	20:24:44.72	33 18.04'	131 28.63'	1.70	0.49
1999/10/21	21:40:20.24	33 17.11'	131 28.12'	2.00	0.97
1999/11/09	19:47:18.91	33 17.70'	131 28.95'	1.70	1.07
1999/11/09	20:37:44.22	33 17.56'	131 28.64'	1.70	1.72 ○
1999/11/10	00:29:33.35	33 17.72'	131 28.57'	1.70	1.09 ○
1999/11/10	01:45:15.19	33 17.67'	131 28.54'	1.70	1.09 ○
1999/11/10	02:19:19.56	33 17.69'	131 28.66'	1.70	0.79 ○
1999/11/10	02:42:45.79	33 17.69'	131 28.51'	1.70	2.24 ○
1999/11/10	02:45:02.79	33 17.65'	131 28.59'	1.70	2.01 ○
1999/11/10	03:34:29.99	33 17.62'	131 28.58'	1.70	0.83 ○
1999/11/10	03:43:46.20	33 17.73'	131 28.53'	1.70	0.78 ○
1999/11/10	03:53:17.30	33 17.56'	131 28.60'	1.70	1.00 ○
1999/11/10	04:16:20.96	33 17.58'	131 28.62'	1.70	2.06 ○
1999/11/10	04:19:58.96	33 17.41'	131 28.53'	1.70	1.48 ○
1999/11/10	04:27:06.50	33 17.68'	131 28.69'	1.70	0.86 ○
1999/11/10	05:58:10.86	33 17.78'	131 28.74'	1.70	0.99 ○
1999/11/10	06:17:41.84	33 17.63'	131 28.71'	1.70	1.81 ○
1999/11/10	06:56:34.13	33 17.69'	131 28.76'	1.70	0.96 ○
1999/11/10	08:25:49.59	33 17.76'	131 28.54'	1.70	0.98 ○
1999/11/10	10:04:08.43	33 17.80'	131 28.87'	1.70	1.23 ○

発震時 ( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/11/10	13:16:19.87	33 16.76'	131 29.06'	2.00	0.76	○
1999/11/23	03:27:48.23	33 19.81'	131 28.61'	6.50	1.20	○
1999/11/23	04:07:26.64	33 19.77'	131 28.66'	6.20	0.96	○
1999/11/25	21:27:53.08	33 17.40'	131 26.51'	4.00	1.47	
1999/11/29	12:14:14.58	33 17.83'	131 27.66'	1.70	1.33	
1999/12/08	05:40:09.22	33 19.88'	131 28.75'	7.50	1.82	○
1999/12/08	05:40:33.59	33 19.81'	131 28.75'	6.50	2.50	○
1999/12/08	05:44:54.48	33 19.88'	131 28.65'	5.50	0.63	
1999/12/08	05:45:37.89	33 19.90'	131 28.92'	8.00	0.84	
1999/12/08	05:46:58.77	33 19.95'	131 28.78'	6.50	0.76	
1999/12/08	05:55:34.08	33 19.90'	131 28.73'	7.50	1.45	○
1999/12/08	07:30:25.53	33 19.97'	131 28.86'	7.00	1.45	○
1999/12/08	07:34:30.75	33 20.00'	131 28.80'	9.00	1.18	
1999/12/08	07:48:20.89	33 19.91'	131 28.83'	6.50	1.37	○
1999/12/08	12:41:00.09	33 19.94'	131 28.82'	6.70	2.58	○
1999/12/08	13:05:41.15	33 19.98'	131 28.83'	7.00	1.12	
1999/12/08	18:17:47.39	33 19.87'	131 28.85'	6.20	1.24	○
1999/12/08	18:18:53.05	33 20.15'	131 29.29'	7.50	0.89	○
1999/12/14	11:43:30.64	33 18.11'	131 27.74'	1.70	1.21	
1999/12/15	04:12:24.50	33 17.41'	131 26.73'	3.00	1.63	
1999/12/15	06:52:35.27	33 20.20'	131 30.18'	7.00	1.74	○
1999/12/15	14:46:28.78	33 19.88'	131 30.00'	5.00	1.55	○
1999/12/18	06:59:12.18	33 18.16'	131 27.70'	1.70	1.04	
1999/12/19	06:07:47.75	33 19.28'	131 30.78'	6.50	1.28	
1999/12/20	09:54:49.15	33 17.46'	131 26.50'	3.20	2.17	○
1999/12/20	09:55:10.93	33 18.38'	131 27.38'	1.00	1.05	○
1999/12/20	14:36:03.69	33 17.47'	131 27.10'	3.00	2.37	○
1999/12/20	15:13:38.86	33 18.19'	131 27.72'	1.70	2.66	○
1999/12/20	15:42:55.47	33 17.48'	131 27.52'	2.50	2.16	○
1999/12/20	15:43:42.58	33 18.19'	131 27.82'	1.70	1.42	○
1999/12/20	16:30:28.04	33 18.76'	131 28.83'	1.70	1.14	○
1999/12/20	17:09:58.13	33 18.12'	131 27.95'	1.70	2.91	○
1999/12/20	17:15:42.98	33 18.11'	131 28.00'	1.70	3.17	○
1999/12/20	17:16:26.55	33 18.20'	131 28.16'	1.70	1.29	○
1999/12/20	17:21:26.55	33 18.45'	131 28.25'	2.00	1.34	○
1999/12/20	17:22:13.69	33 18.13'	131 27.91'	1.70	1.26	○
1999/12/20	17:23:03.91	33 18.36'	131 28.19'	1.70	1.28	○
1999/12/20	17:24:49.13	33 18.31'	131 27.97'	1.70	1.23	○
1999/12/20	17:33:30.12	33 17.42'	131 27.49'	2.50	3.82	○
1999/12/20	17:35:48.20	33 18.09'	131 27.93'	1.70	1.03	○
1999/12/20	17:37:00.42	33 18.03'	131 27.79'	1.70	1.23	○
1999/12/20	17:39:58.30	33 18.11'	131 28.07'	1.70	2.40	○
1999/12/20	17:40:58.17	33 18.05'	131 27.97'	1.70	0.96	○
1999/12/20	17:42:27.64	33 18.08'	131 28.21'	1.70	0.92	○
1999/12/20	17:42:56.45	33 18.44'	131 28.30'	1.70	1.29	○
1999/12/20	17:43:32.05	33 17.90'	131 27.77'	1.70	2.01	○
1999/12/20	17:44:02.15	33 18.04'	131 27.90'	1.70	2.45	○
1999/12/20	17:44:46.15	33 17.28'	131 27.40'	3.00	1.45	○
1999/12/20	17:45:15.99	33 17.49'	131 27.35'	2.70	2.61	○
1999/12/20	17:45:29.03	33 18.12'	131 28.12'	3.20	2.04	○

発震時( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/12/20	17:46:06.59	33 17.48'	131 27.29'	3.00	1.56	○
1999/12/20	17:48:16.42	33 18.01'	131 27.72'	1.70	1.52	○
1999/12/20	17:49:40.97	33 17.17'	131 27.61'	2.50	2.09	○
1999/12/20	17:50:27.99	33 17.47'	131 27.39'	3.00	1.23	○
1999/12/20	17:51:09.94	33 17.95'	131 27.98'	1.70	1.23	○
1999/12/20	17:51:46.82	33 18.05'	131 28.03'	1.70	1.55	○
1999/12/20	17:52:18.41	33 18.04'	131 27.79'	1.70	1.08	○
1999/12/20	17:53:44.76	33 18.16'	131 27.93'	1.70	1.12	○
1999/12/20	17:55:02.79	33 18.18'	131 27.64'	1.70	1.45	○
1999/12/20	17:55:40.09	33 18.26'	131 28.31'	1.70	1.45	○
1999/12/20	17:57:42.37	33 17.74'	131 27.99'	1.70	0.94	○
1999/12/20	17:58:02.43	33 17.82'	131 27.92'	1.70	1.41	○
1999/12/20	17:58:29.58	33 18.24'	131 27.74'	1.70	1.85	○
1999/12/20	18:00:04.29	33 17.92'	131 27.93'	1.70	2.32	○
1999/12/20	18:00:32.77	33 18.06'	131 27.70'	1.70	2.21	○
1999/12/20	18:01:50.27	33 17.10'	131 27.55'	2.50	1.30	○
1999/12/20	18:06:20.68	33 17.95'	131 27.86'	1.70	2.39	○
1999/12/20	18:08:01.34	33 18.01'	131 27.66'	1.70	1.65	○
1999/12/20	18:09:11.32	33 17.78'	131 28.01'	1.70	0.93	○
1999/12/20	18:10:57.87	33 17.90'	131 27.81'	1.70	1.20	○
1999/12/20	18:12:12.92	33 17.29'	131 28.05'	2.00	0.93	○
1999/12/20	18:13:31.24	33 17.50'	131 27.92'	2.00	1.04	○
1999/12/20	18:14:27.25	33 16.52'	131 27.54'	3.00	1.13	○
1999/12/20	18:15:08.67	33 18.61'	131 28.02'	1.20	1.24	○
1999/12/20	18:15:33.44	33 18.18'	131 28.21'	2.00	1.16	○
1999/12/20	18:24:32.85	33 17.90'	131 27.88'	1.70	2.19	○
1999/12/20	18:25:58.08	33 17.92'	131 28.02'	1.70	1.13	○
1999/12/20	18:28:15.85	33 17.94'	131 28.00'	1.70	1.25	○
1999/12/20	18:28:55.10	33 18.01'	131 27.98'	1.70	0.84	○
1999/12/20	18:31:03.48	33 17.94'	131 27.85'	1.70	1.82	○
1999/12/20	18:37:49.19	33 17.20'	131 27.56'	3.00	1.58	○
1999/12/20	18:38:49.55	33 17.92'	131 27.78'	1.70	2.98	○
1999/12/20	18:39:15.84	33 17.88'	131 27.74'	1.70	2.58	○
1999/12/20	18:39:55.07	33 17.86'	131 27.72'	1.70	2.03	○
1999/12/20	18:40:24.48	33 18.33'	131 27.90'	1.70	1.55	○
1999/12/20	18:41:18.58	33 17.29'	131 27.56'	2.50	1.13	○
1999/12/20	18:42:22.17	33 17.98'	131 28.39'	1.70	1.26	○
1999/12/20	18:42:56.81	33 18.23'	131 28.74'	1.70	1.22	○
1999/12/20	18:43:26.70	33 17.95'	131 28.27'	1.70	1.66	○
1999/12/20	18:43:58.45	33 18.17'	131 27.90'	1.70	0.90	○
1999/12/20	18:44:21.44	33 17.84'	131 27.70'	1.70	1.60	○
1999/12/20	18:44:44.38	33 17.84'	131 27.78'	1.70	1.75	○
1999/12/20	18:45:25.98	33 17.92'	131 27.83'	1.70	1.52	○
1999/12/20	18:45:54.12	33 17.65'	131 27.15'	3.50	1.99	○
1999/12/20	18:48:50.70	33 17.95'	131 27.79'	1.70	0.76	○
1999/12/20	18:50:32.95	33 17.94'	131 27.89'	1.70	2.24	○
1999/12/20	18:51:06.61	33 17.97'	131 27.93'	1.70	2.45	○
1999/12/20	18:51:53.31	33 18.05'	131 27.89'	1.70	2.20	○
1999/12/20	18:52:37.49	33 16.76'	131 28.27'	2.00	1.28	○
1999/12/20	18:52:59.64	33 18.47'	131 29.19'	1.70	1.29	○

発震時( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/12/20	18:54:46.23	33 17.93'	131 28.24'	1.70	2.47	○
1999/12/20	18:55:37.60	33 18.11'	131 27.76'	1.70	3.58	○
1999/12/20	18:56:51.97	33 17.92'	131 28.26'	1.70	3.03	○
1999/12/20	18:57:03.20	33 17.94'	131 28.22'	1.70	3.13	○
1999/12/20	18:57:27.26	33 17.98'	131 28.13'	1.70	2.43	○
1999/12/20	18:57:54.27	33 17.99'	131 27.90'	1.70	2.94	○
1999/12/20	18:57:54.27	33 18.00'	131 27.87'	1.70	2.94	○
1999/12/20	18:58:19.28	33 18.05'	131 28.44'	1.70	2.40	○
1999/12/20	18:59:19.99	33 18.14'	131 28.33'	1.70	1.27	○
1999/12/20	18:59:57.63	33 17.89'	131 27.75'	1.70	1.28	○
1999/12/20	19:00:53.18	33 17.87'	131 27.72'	1.70	3.64	○
1999/12/20	19:01:55.48	33 18.12'	131 27.89'	1.70	2.08	○
1999/12/20	19:02:14.96	33 18.05'	131 28.40'	1.70	1.30	○
1999/12/20	19:03:02.24	33 18.08'	131 28.28'	1.70	3.41	○
1999/12/20	19:03:57.33	33 18.02'	131 28.17'	1.70	1.35	○
1999/12/20	19:04:24.98	33 16.57'	131 27.12'	1.70	1.62	○
1999/12/20	19:04:49.72	33 17.00'	131 27.83'	1.70	0.97	○
1999/12/20	19:05:10.02	33 18.03'	131 28.55'	1.70	2.65	○
1999/12/20	19:06:09.93	33 17.94'	131 27.79'	1.70	1.08	○
1999/12/20	19:06:28.23	33 17.73'	131 28.47'	1.70	1.57	○
1999/12/20	19:07:10.85	33 17.89'	131 27.80'	1.70	1.40	○
1999/12/20	19:07:50.66	33 17.40'	131 27.15'	2.70	2.50	○
1999/12/20	19:09:58.58	33 18.30'	131 28.40'	1.70	1.20	○
1999/12/20	19:10:22.36	33 17.55'	131 27.39'	3.50	1.14	○
1999/12/20	19:13:56.40	33 17.81'	131 28.66'	2.00	1.26	○
1999/12/20	19:15:10.44	33 16.61'	131 28.45'	2.00	2.05	○
1999/12/20	19:15:25.55	33 17.94'	131 28.05'	1.70	2.09	○
1999/12/20	19:16:12.46	33 18.10'	131 28.40'	1.70	1.44	○
1999/12/20	19:17:08.76	33 18.06'	131 28.13'	1.70	0.89	○
1999/12/20	19:17:36.92	33 17.94'	131 28.39'	1.70	2.49	○
1999/12/20	19:18:31.61	33 17.44'	131 27.47'	1.70	1.51	○
1999/12/20	19:18:52.61	33 17.23'	131 27.70'	2.50	1.67	○
1999/12/20	19:20:07.80	33 17.24'	131 27.53'	2.50	1.58	○
1999/12/20	19:20:59.85	33 17.85'	131 28.22'	1.70	1.79	○
1999/12/20	19:21:17.54	33 17.90'	131 28.30'	1.70	1.55	○
1999/12/20	19:22:11.84	33 18.14'	131 28.60'	1.70	1.45	○
1999/12/20	19:23:36.14	33 18.08'	131 28.30'	1.70	0.97	○
1999/12/20	19:23:56.65	33 18.10'	131 28.48'	1.70	1.73	○
1999/12/20	19:25:39.47	33 18.57'	131 28.91'	0.50	1.03	○
1999/12/20	19:28:08.04	33 17.46'	131 28.17'	2.50	1.65	○
1999/12/20	19:31:34.51	33 18.08'	131 27.93'	1.70	1.19	○
1999/12/20	19:33:51.41	33 17.74'	131 27.64'	1.70	1.40	○
1999/12/20	19:38:00.74	33 17.13'	131 27.83'	2.20	1.33	○
1999/12/20	19:38:17.62	33 17.21'	131 28.79'	2.00	1.45	○
1999/12/20	19:38:45.30	33 18.04'	131 28.17'	1.70	0.66	○
1999/12/20	19:40:43.83	33 18.17'	131 28.50'	1.70	1.38	○
1999/12/20	19:44:41.75	33 17.99'	131 27.82'	1.70	1.03	○
1999/12/20	19:46:39.92	33 17.31'	131 27.98'	2.00	1.27	○
1999/12/20	19:48:28.71	33 17.23'	131 27.93'	2.00	1.18	○
1999/12/20	19:51:40.79	33 17.23'	131 27.97'	2.00	1.44	○

発震時( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/12/20	19:55:09.38	33 17.92'	131 28.20'	1.70	1.34	○
1999/12/20	19:56:35.15	33 18.03'	131 28.44'	1.70	1.66	○
1999/12/20	19:57:07.94	33 18.02'	131 28.25'	1.70	2.60	○
1999/12/20	20:05:24.98	33 17.43'	131 27.26'	3.50	1.33	○
1999/12/20	20:08:47.84	33 17.13'	131 28.04'	2.20	0.91	○
1999/12/20	20:12:44.24	33 18.06'	131 27.64'	1.70	1.00	○
1999/12/20	20:14:29.89	33 16.77'	131 27.67'	4.00	1.06	○
1999/12/20	20:15:05.33	33 18.06'	131 27.97'	1.70	1.06	○
1999/12/20	20:18:06.08	33 16.92'	131 27.56'	4.50	1.09	○
1999/12/20	20:18:44.36	33 17.67'	131 27.91'	1.70	1.12	○
1999/12/20	20:21:07.56	33 18.42'	131 27.86'	1.70	1.64	○
1999/12/20	20:21:51.30	33 16.67'	131 27.60'	6.50	1.35	○
1999/12/20	20:26:34.38	33 17.89'	131 28.24'	1.70	1.38	○
1999/12/20	20:29:00.31	33 17.98'	131 28.03'	1.70	1.47	○
1999/12/20	20:31:18.49	33 17.71'	131 28.20'	2.50	2.16	○
1999/12/20	20:33:49.47	33 18.21'	131 27.58'	1.70	1.04	○
1999/12/20	20:41:15.70	33 17.45'	131 27.02'	3.00	1.39	○
1999/12/20	20:42:51.39	33 17.43'	131 27.29'	1.70	1.17	○
1999/12/20	20:52:48.41	33 17.83'	131 28.02'	1.70	0.88	○
1999/12/20	20:55:29.36	33 18.22'	131 27.86'	1.70	1.18	○
1999/12/20	21:01:46.74	33 18.07'	131 28.11'	1.70	0.94	○
1999/12/20	21:06:37.83	33 18.06'	131 28.84'	1.70	1.25	○
1999/12/20	21:08:21.64	33 17.27'	131 27.85'	2.50	1.28	○
1999/12/20	21:14:09.29	33 18.04'	131 27.82'	1.70	0.93	○
1999/12/20	21:17:35.11	33 18.03'	131 27.82'	1.70	1.42	○
1999/12/20	21:21:50.55	33 18.04'	131 28.50'	2.00	1.37	○
1999/12/20	21:23:11.21	33 17.78'	131 28.18'	2.50	0.93	○
1999/12/20	21:25:07.92	33 18.02'	131 28.06'	1.70	1.10	○
1999/12/20	21:32:55.64	33 17.78'	131 28.30'	2.50	0.90	○
1999/12/20	21:57:17.11	33 17.94'	131 28.16'	1.70	1.81	○
1999/12/20	22:00:10.36	33 18.06'	131 28.11'	1.70	0.88	○
1999/12/20	22:02:22.31	33 17.60'	131 27.53'	3.00	1.16	○
1999/12/20	22:10:38.93	33 18.03'	131 28.18'	1.70	0.90	○
1999/12/20	22:11:41.52	33 18.56'	131 28.81'	1.70	0.91	○
1999/12/20	22:12:35.56	33 18.72'	131 28.44'	4.50	0.86	○
1999/12/20	22:14:02.82	33 18.63'	131 28.34'	5.50	1.44	○
1999/12/20	22:20:41.94	33 17.60'	131 28.17'	2.50	0.72	○
1999/12/20	22:21:59.82	33 17.56'	131 28.17'	2.70	0.74	○
1999/12/20	22:25:46.63	33 18.32'	131 28.40'	2.00	1.11	○
1999/12/20	22:26:52.90	33 18.32'	131 27.86'	1.70	1.26	○
1999/12/20	22:37:26.95	33 18.20'	131 28.63'	2.00	0.91	○
1999/12/20	22:39:33.63	33 17.25'	131 28.02'	2.00	1.08	○
1999/12/20	22:40:16.49	33 17.24'	131 28.06'	2.00	0.72	○
1999/12/20	22:44:51.56	33 17.54'	131 27.37'	8.50	1.74	○
1999/12/20	22:45:36.59	33 17.77'	131 28.50'	2.00	0.90	○
1999/12/20	22:47:00.15	33 17.92'	131 28.59'	2.00	1.23	○
1999/12/20	22:48:15.22	33 17.80'	131 28.34'	2.00	0.82	○
1999/12/20	22:48:55.76	33 18.06'	131 28.58'	2.50	0.68	○
1999/12/20	22:51:24.86	33 17.84'	131 28.46'	2.00	2.71	○
1999/12/20	22:51:50.09	33 17.97'	131 27.74'	1.70	2.58	○

発震時( JST )		北緯	東経	深さ		備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km	MAG	
1999/12/20	23:03:10.14	33 18.25'	131 28.76'	1.70	1.03	○
1999/12/20	23:22:43.12	33 17.78'	131 28.51'	2.00	2.06	○
1999/12/20	23:24:22.11	33 17.87'	131 28.46'	2.00	2.85	○
1999/12/20	23:27:47.63	33 17.79'	131 28.26'	2.00	0.94	○
1999/12/20	23:29:44.59	33 18.07'	131 28.26'	2.50	0.98	○
1999/12/20	23:37:15.39	33 17.25'	131 27.23'	2.50	0.90	○
1999/12/20	23:42:36.73	33 18.54'	131 28.85'	1.70	1.20	○
1999/12/20	23:48:38.20	33 17.94'	131 28.13'	1.70	1.13	○
1999/12/20	23:50:25.11	33 17.86'	131 28.37'	3.00	1.78	○
1999/12/20	23:51:51.90	33 17.71'	131 27.61'	1.70	1.51	○
1999/12/20	23:54:40.36	33 17.33'	131 26.98'	3.70	1.64	○
1999/12/20	23:54:57.08	33 17.43'	131 27.07'	3.00	1.55	○
1999/12/20	23:58:02.56	33 17.87'	131 27.82'	4.00	1.47	○
1999/12/20	23:58:34.97	33 17.29'	131 27.96'	2.00	0.84	○
1999/12/21	00:08:34.39	33 17.94'	131 28.30'	3.20	1.32	○
1999/12/21	00:10:55.12	33 18.44'	131 28.80'	1.70	1.39	○
1999/12/21	00:14:12.78	33 18.25'	131 28.52'	5.50	1.53	○
1999/12/21	00:16:41.03	33 18.04'	131 27.83'	5.50	1.49	○
1999/12/21	00:18:06.02	33 17.81'	131 28.20'	1.70	1.10	○
1999/12/21	00:19:17.76	33 18.11'	131 28.46'	3.00	1.29	○
1999/12/21	00:33:23.50	33 17.26'	131 27.90'	2.20	0.67	○
1999/12/21	00:33:47.78	33 18.04'	131 28.49'	2.00	1.54	○
1999/12/21	00:45:12.24	33 17.93'	131 27.75'	1.70	0.93	○
1999/12/21	00:53:47.22	33 18.14'	131 26.80'	1.70	0.84	○
1999/12/21	00:57:13.34	33 17.87'	131 28.00'	4.00	1.70	○
1999/12/21	01:03:34.68	33 17.87'	131 28.23'	2.00	1.29	○
1999/12/21	01:13:53.92	33 18.00'	131 28.24'	3.00	1.31	○
1999/12/21	01:17:04.61	33 18.27'	131 27.96'	1.70	1.12	○
1999/12/21	01:24:56.44	33 18.30'	131 28.44'	1.70	2.48	○
1999/12/21	01:27:20.48	33 16.98'	131 28.16'	2.00	1.14	○
1999/12/21	01:29:12.31	33 18.19'	131 28.07'	1.70	1.22	○
1999/12/21	01:42:59.20	33 18.47'	131 28.91'	1.70	1.25	○
1999/12/21	01:48:16.70	33 18.18'	131 28.02'	1.70	0.98	○
1999/12/21	02:13:02.68	33 17.81'	131 27.64'	1.70	1.21	○
1999/12/21	02:15:52.59	33 17.98'	131 28.59'	2.00	1.53	○
1999/12/21	02:16:16.02	33 17.96'	131 28.68'	2.50	1.87	○
1999/12/21	02:18:04.56	33 17.96'	131 28.63'	2.00	1.58	○
1999/12/21	02:21:12.05	33 17.97'	131 28.40'	2.50	1.21	○
1999/12/21	02:53:55.74	33 18.73'	131 28.51'	5.00	0.92	○
1999/12/21	02:54:13.13	33 18.38'	131 27.89'	1.70	0.94	○
1999/12/21	03:45:20.67	33 17.68'	131 28.01'	2.50	0.78	○
1999/12/21	03:47:46.19	33 16.68'	131 26.38'	5.50	1.14	○
1999/12/21	06:00:06.47	33 18.13'	131 28.17'	1.70	2.88	○
1999/12/21	06:06:39.69	33 17.54'	131 27.95'	2.50	1.18	○
1999/12/21	06:53:24.24	33 17.97'	131 28.80'	2.00	1.59	○
1999/12/21	06:53:42.54	33 17.88'	131 28.81'	2.00	1.08	○
1999/12/21	06:58:56.80	33 17.19'	131 28.11'	2.00	1.06	○
1999/12/21	07:01:54.12	33 17.14'	131 28.07'	2.00	1.04	○
1999/12/21	09:13:44.05	33 17.92'	131 28.06'	1.70	0.86	○
1999/12/21	10:02:08.49	33 17.76'	131 27.80'	4.00	1.27	○

発震時( JST )		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1999/12/21	12:12:20.57	33 17.47'	131 27.47'	3.50	1.94	○
1999/12/21	12:13:51.67	33 18.51'	131 28.72'	1.70	1.37	○
1999/12/21	12:15:27.20	33 17.46'	131 27.22'	4.00	1.43	○
1999/12/21	15:18:21.21	33 18.39'	131 27.34'	1.70	1.56	○
1999/12/21	15:27:51.51	33 18.13'	131 27.94'	4.00	1.17	○
1999/12/21	15:31:04.26	33 17.68'	131 27.68'	3.50	1.33	○
1999/12/21	16:07:38.88	33 17.77'	131 27.71'	4.00	1.59	○
1999/12/21	17:04:25.38	33 17.34'	131 27.05'	4.50	1.45	○
1999/12/21	17:30:43.56	33 16.92'	131 27.32'	5.50	1.39	○
1999/12/21	17:33:07.05	33 17.64'	131 27.66'	3.00	1.25	○
1999/12/21	18:42:40.80	33 18.34'	131 27.34'	1.70	1.45	○
1999/12/21	19:44:16.90	33 18.11'	131 27.82'	1.70	1.25	○
1999/12/21	21:28:17.29	33 17.26'	131 25.54'	10.20	1.38	○
1999/12/21	21:33:42.82	33 17.91'	131 28.19'	3.00	2.47	○
1999/12/21	21:37:02.05	33 17.91'	131 28.30'	2.50	1.95	○
1999/12/21	21:37:57.36	33 18.02'	131 28.49'	2.00	2.36	○
1999/12/21	21:37:57.36	33 17.99'	131 28.38'	2.70	2.40	○
1999/12/21	21:39:24.03	33 18.04'	131 28.26'	3.00	1.53	○
1999/12/21	21:42:54.09	33 18.04'	131 27.96'	2.00	1.04	○
1999/12/21	21:50:10.42	33 17.88'	131 28.07'	3.00	2.58	○
1999/12/21	21:51:33.01	33 17.97'	131 28.32'	3.70	1.04	○
1999/12/21	21:53:42.73	33 17.92'	131 28.20'	3.00	2.06	○
1999/12/21	21:55:01.31	33 17.91'	131 27.98'	3.50	1.64	○
1999/12/21	21:55:22.99	33 18.03'	131 28.13'	4.00	1.76	○
1999/12/21	21:59:39.80	33 18.19'	131 28.34'	1.70	0.89	○
1999/12/21	22:12:02.72	33 17.99'	131 28.13'	3.20	1.26	○
1999/12/21	22:28:18.86	33 17.94'	131 28.17'	3.00	1.82	○
1999/12/21	23:20:20.62	33 18.28'	131 27.78'	1.70	0.78	○
1999/12/22	03:12:00.26	33 18.42'	131 27.21'	1.70	2.28	○
1999/12/22	03:15:30.26	33 18.42'	131 27.22'	1.70	2.20	○
1999/12/22	03:35:44.60	33 18.12'	131 28.48'	2.00	1.01	○
1999/12/22	04:02:01.15	33 18.39'	131 27.31'	1.70	1.30	○
1999/12/22	04:03:36.97	33 18.47'	131 27.30'	1.70	1.06	○
1999/12/22	04:10:15.12	33 17.87'	131 24.82'	3.70	1.25	○
1999/12/22	04:11:47.99	33 17.22'	131 28.43'	2.00	1.25	○
1999/12/22	04:44:18.12	33 17.55'	131 27.15'	6.50	1.17	○
1999/12/22	05:13:54.59	33 18.46'	131 27.12'	1.70	1.42	○
1999/12/22	12:43:22.63	33 18.51'	131 27.38'	1.70	1.50	○
1999/12/29	05:27:54.49	33 18.56'	131 29.51'	1.70	0.76	
1999/12/29	08:32:02.15	33 18.19'	131 29.49'	2.20	0.90	
1999/12/29	13:21:19.04	33 18.01'	131 29.31'	2.00	0.88	
1999/12/30	01:16:35.59	33 18.01'	131 29.19'	2.00	1.07	○
1999/12/31	21:36:26.13	33 18.06'	131 28.62'	9.00	1.26	○

# くじゅう山系の湧水調査（北部地域）

岡山理科大学 北岡 豪 一  
日本文理大学 河野 忠

## 1. はじめに

昨年度は、くじゅう山系の南側地域における湧水の調査を行い、湧水中に、火山活動に関連する成分が含まれている可能性を見た。本年度は、くじゅうの北部地域についても、その可能性を調べるため、同様の調査を行った。データの解析は途上にあるので、今報告では、概要を述べるのみとする。

調査範囲は、図1に示したように、九重硫黄山から流れる白水川の湧水を南限とし、北側は、町田第2発電所までの玖珠川に沿う地域の湧水と河川水を対象にした。



図1 採水地点

## 2. 観測及び測定結果

採水地点における観測結果と試水の化学分析の結果を表1に示す。

表1：くじゅう北部地域における湧水の観測結果

観測地点	測定日	type	流量	水温	EC(25)	pH	RpH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			L/sec	°C	µS/cm			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
瀬の本避難小屋	99/08/19	S		12.0	51.3	6.3	7.2	1.9	1.3	3.6	1.4	1.5	10.0	0.1
九重の名水	99/08/19	S	0.075	20.3	53.1	6.4	7.5	1.6	1.2	3.5	1.4	1.4	3.8	0.0
少年自然の家	99/08/19	S		17.8	74.6	7.0	7.6	2.2	0.9	5.4	2.3	1.9	4.6	0.0
久重観光ホテル	99/08/20	S		12.6	61.6	4.8	6.5	1.4	1.0	3.2	0.9	3.0	10.3	0.2
F1200	99/08/20	S	5	16.4	916.0	3.3		18.6	2.7	69.5	16.7	65.0	361.7	0.0
久住山水源組合水源	99/08/20	S	1.28	15.2	126.1	5.8	7.0	4.0	1.7	7.1	3.6	4.6	34.0	0.2
町田第二発電所	99/12/28	R	1000	8.2	240.0	8.0	8.0	8.3	3.1	16.3	6.7	12.3	28.3	1.0
桂滝湧水	99/12/28	S	10	13.5	116.3	7.2	7.6	3.7	1.4	8.2	3.4	3.7	8.2	1.0
猪牟田湧水	99/12/28	S	0.1	8.9	91.2	7.2	7.6	3.7	2.0	5.2	2.3	2.9	6.5	1.1
鳴子川野上養魚場前	99/12/28	R	500	8.5	197.4	7.7	7.8	7.3	2.8	12.7	6.0	8.2	16.3	0.6
たなべ前湧水	99/12/28	S	0.5	12.9	80.3	7.3	7.6	2.8	1.5	5.4	2.2	1.6	2.3	0.6
願い水	99/12/28	S	0.2	13.0	309.0	6.3	7.5	10.1	4.9	19.6	7.8	21.2	48.1	3.3
天狗の滝	99/12/28	R	300	7.9	392.0	7.4	7.6	10.9	4.2	29.8	9.6	26.5	71.8	0.0
美味しい温泉	99/12/28	S	0.005	37.4	1,578.0	8.1		199.8	0.0	20.0	6.2	84.4	141.4	0.0
マズイ温泉	99/12/28	S	0.005	10.9	2,150.0	7.4		241.2	2.1	50.0	49.3	129.8	160.5	0.0
釜ノ口温泉	99/12/28	R	2000	8.1	282.0	7.3	7.7	7.6	2.9	22.6	7.5	15.2	47.3	0.7
釜ノ口エノハ湧水	99/12/28	S	30	11.8	125.7	6.9	7.6	3.8	1.6	8.9	4.3	2.2	4.0	0.7
あいのせ茶屋湧水	99/12/28	S	10	11.8	108.9	7.0	7.5	3.2	2.8	8.5	1.9	3.2	3.0	3.0
時松宅湧水	99/12/28	S	0.01	11.5	75.7	6.5	7.2	2.7	3.3	4.6	1.6	3.3	3.9	1.7
奥郷川	99/12/28	R	50	7.0	273.0	7.0	7.6	5.9	2.4	22.7	8.4	15.0	35.6	1.8

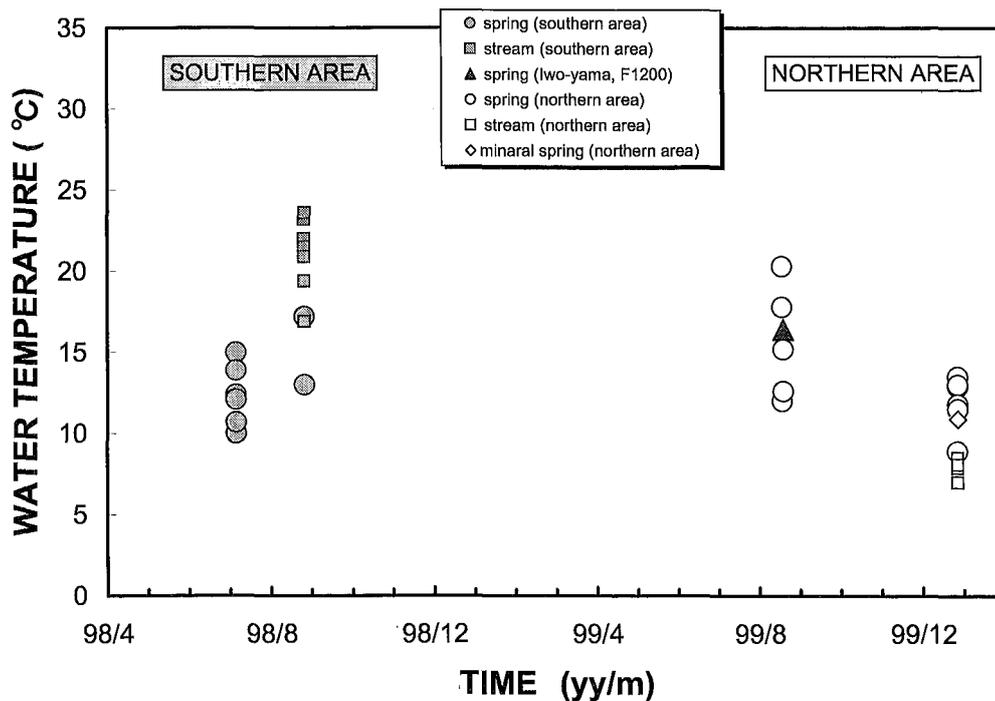


図2 調査時期と水温

図2は、調査時期による水温の違いを見たものである。表流水の水温は、夏季と冬季とでかなりの違いがあるが、気温の影響によるものと考えられる。湧水の温度だけに着目すると、夏季に高

く測定されたものがいくつかあるが、全体的には、北部地域と南部地域とほぼ同様の範囲にある（ただし、「美味しい温泉」の37℃は除く）。水温は、流量との間に顕著な相関はみられない（図3）。

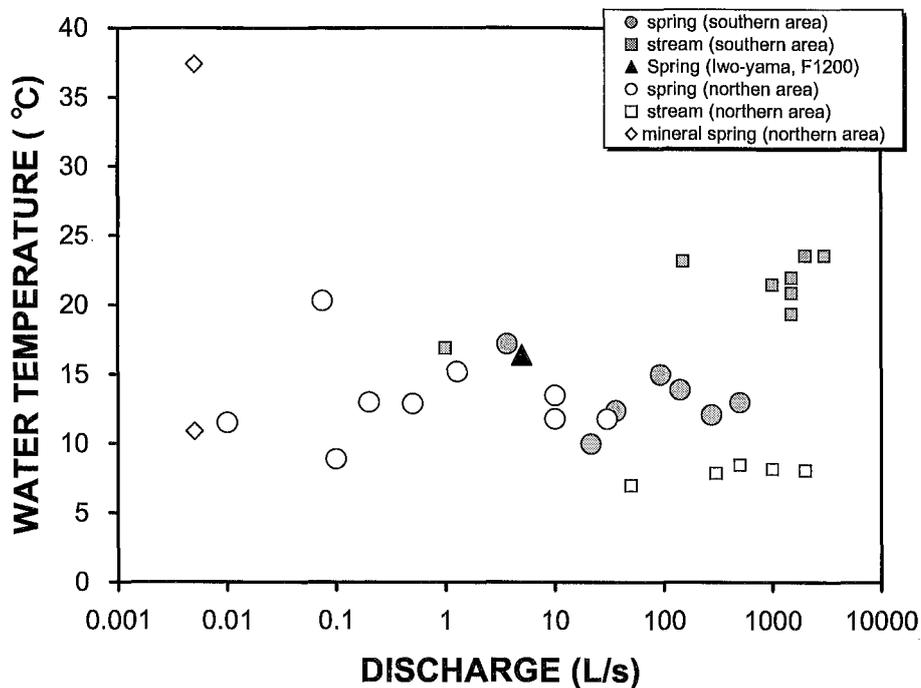


図3 水温と流量の関係

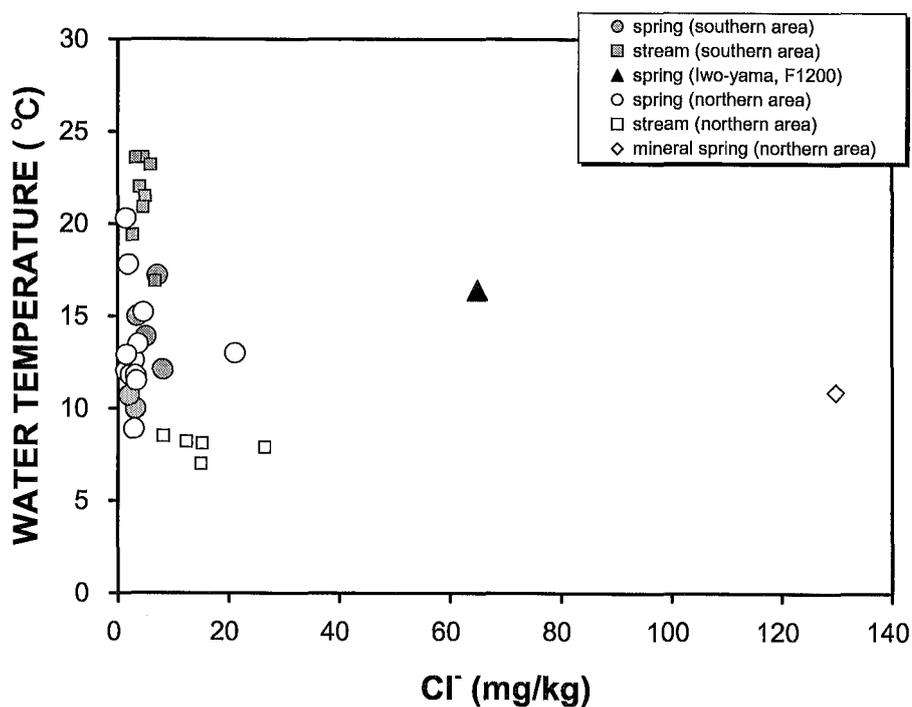


図4 水温とCl濃度の関係

図4は、水温をCl濃度に対比させたものである。Cl濃度は、最高が「マズイ温泉」の130mg/kg、次いで、九重硫黄山の湧水（F1200）の65mg/kgである。この2例を除けば、Cl濃度は、南側の地域と北側の地域で、ほぼ同様の範囲にある。ただ、表流水のCl濃度において、北部地域の方が南部地域にくらべて高いことに注目される。

### 3. Cl量及びSO<sub>4</sub>量と流量の関係

Cl濃度と流量、及びSO<sub>4</sub>濃度と流量との関係を、それぞれ、図5と図6に示す。湧水のCl濃度とSO<sub>4</sub>濃度は、いずれも、南側地域と北側地域とで顕著な違いは認められないが、表流水において、Cl濃度とSO<sub>4</sub>濃度は、ともに、北部域の方が南部域に比べて、同じ流量で相対的に高い傾向が見られる。

もし、降水の浸透量が南部地域も北部地域も同様であり、従って、河川の流量が流域面積に比例するものと仮定すれば、流域単位面積あたりに供給されるCl量とSO<sub>4</sub>量は、北部域の方が南部域にくらべて相対的に多いことを示す。

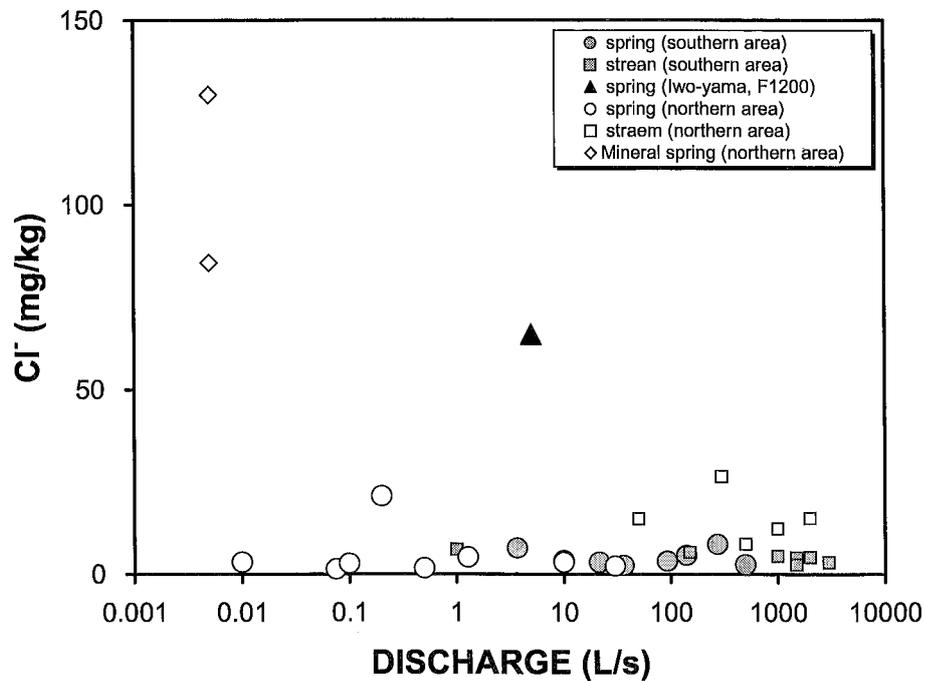


図5 Cl濃度と流量の関係

一方、NO<sub>3</sub>成分と流量の関係をみると、図7に示すように、NO<sub>3</sub>成分では、逆に、南部地域の方が高く現れている。NO<sub>3</sub>成分は、地表の条件（農業、牧畜などの人間活動や植生など）に依存する指標であると考えられる。実際、図8と図9に示したように、NO<sub>3</sub>濃度をCl濃度とSO<sub>4</sub>濃度と対比させると、NO<sub>3</sub>濃度の高い水は、Cl及びSO<sub>4</sub>成分量の低いところに現れ、Cl及びSO<sub>4</sub>成分量が高まるにつれてNO<sub>3</sub>濃度の高い水はなくなる。

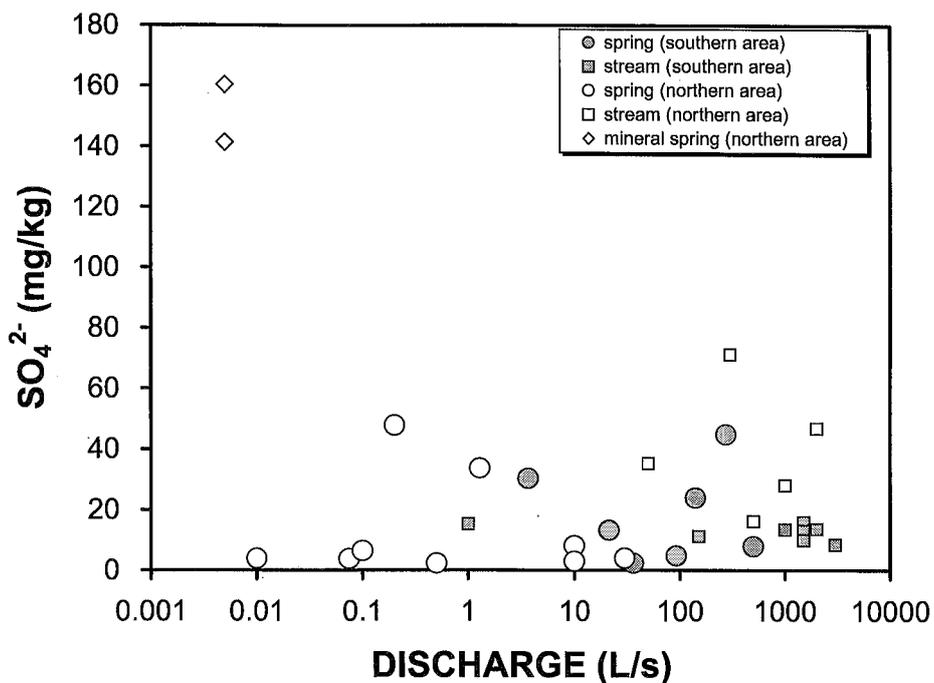


図6 SO<sub>4</sub>濃度と流量の関係

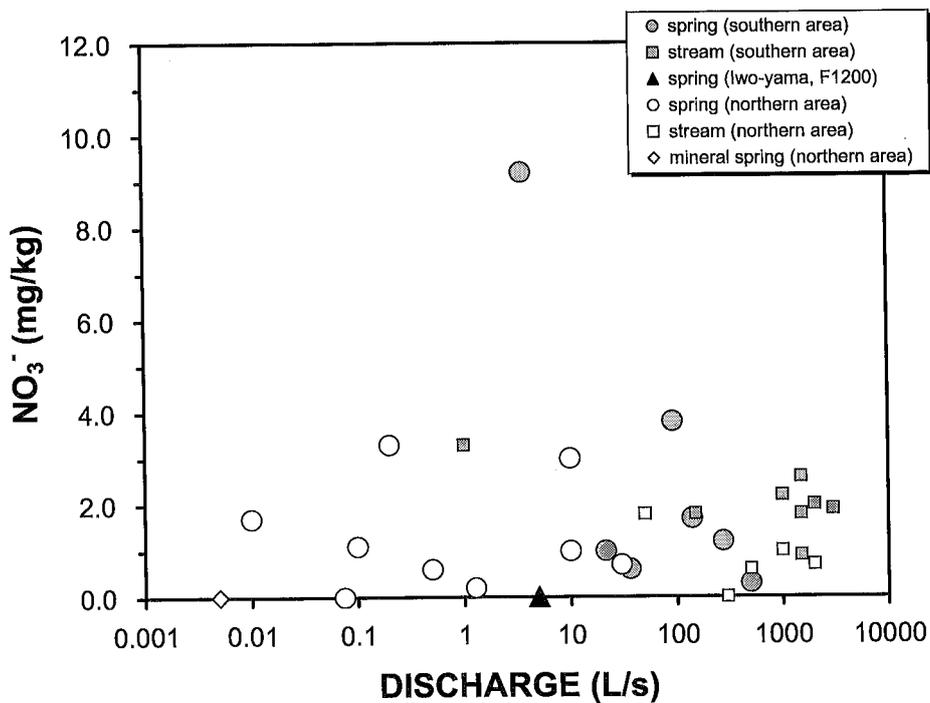


図7 NO<sub>3</sub>濃度と流量の関係

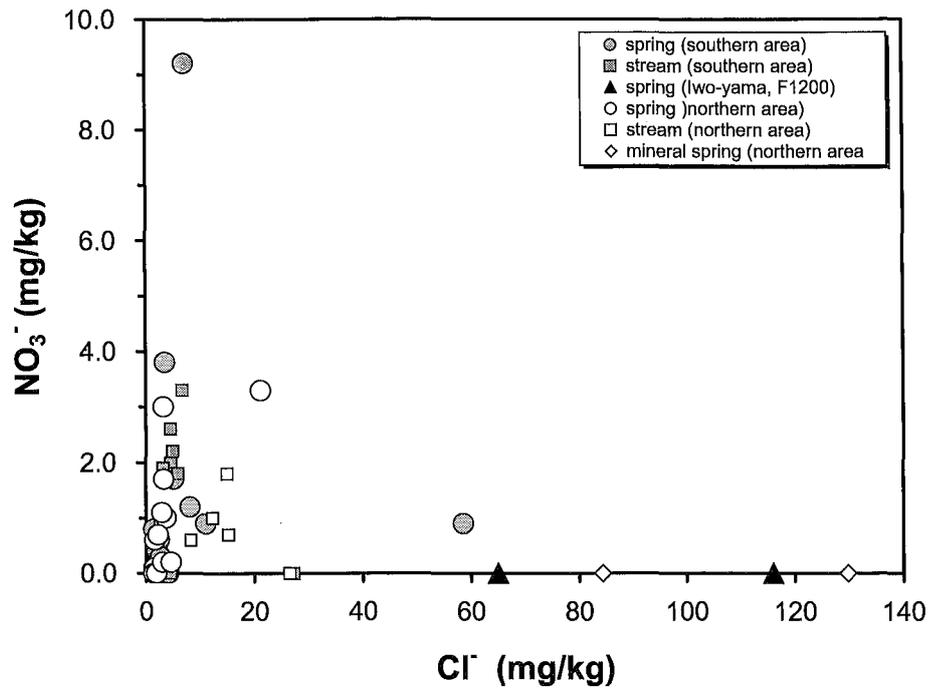


図8 NO<sub>3</sub>濃度とCl濃度の関係

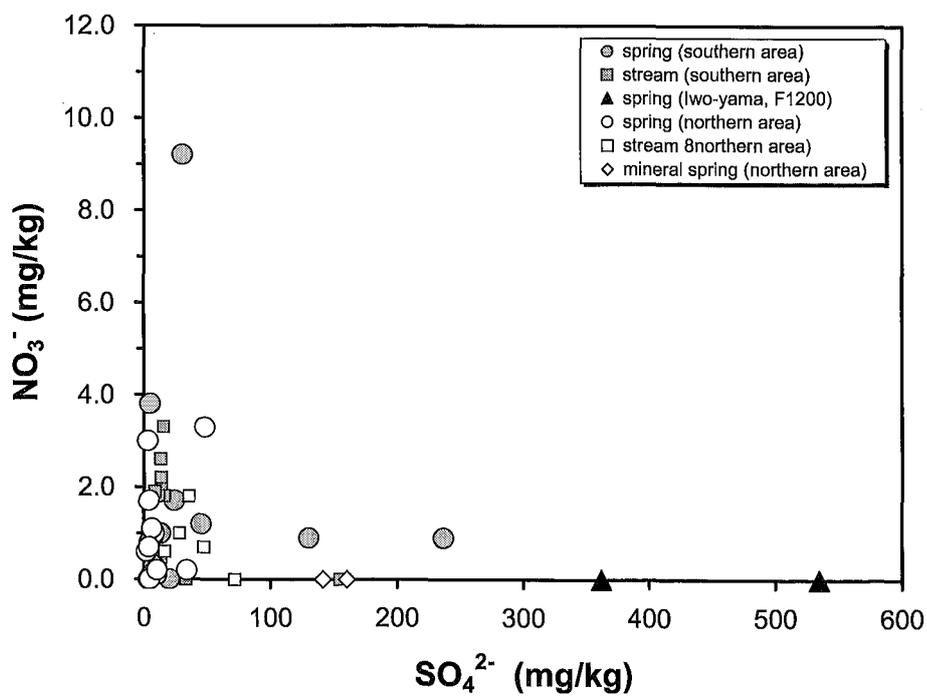


図9 NO<sub>3</sub>濃度とSO<sub>4</sub>濃度の関係

これは、Cl及びSO<sub>4</sub>成分と、NO<sub>3</sub>成分とが由来、あるいは経路の異なることを示すものである。地表の条件に依存するNO<sub>3</sub>成分と相関をまったく持たないCl及びSO<sub>4</sub>成分は、地表の条件からそれほど強く影響を受けてないものと推定される。地表水の採取時期が南側の地域と北側の地域とで

異なるので、同一時期の調査をしなければならないが、少なくともこれまでのデータからは、南側の地域の方が、地表における人間活動の影響をより強く受けている。

北部地域の表流水のClとSO<sub>4</sub>成分が南部地域に比べて相対的に多いことは、地表付近の条件による違いによるものではなく、循環水の経路となる地下水流動系の地質的条件、あるいは、火山活動の影響によるものであろうと考えられる。南北で地質的条件に大きい違いがないものとするれば、くじゅう火山群の火山活動に関連する成分は、北側の河川水の方が相対的に多く含まれているものと考えられる。

#### 4. SO<sub>4</sub>濃度とCl濃度の関係

次に、Cl濃度に対するSO<sub>4</sub>濃度に着目してみる。図10、及びそれを拡大した図11を見ると、全体的に、北部地域の方が南部地域よりもCl量に対するSO<sub>4</sub>成分量が低いようにみえる。表流水ではほとんど差は認められないが（図11）、湧水や温泉水のSO<sub>4</sub>成分は、南部地域の方がCl濃度に対してSO<sub>4</sub>濃度が高い。南部地域の湧水でみたように、SO<sub>4</sub>成分は、おそらく、くじゅう火山群における火山活動と関連したものであろう。

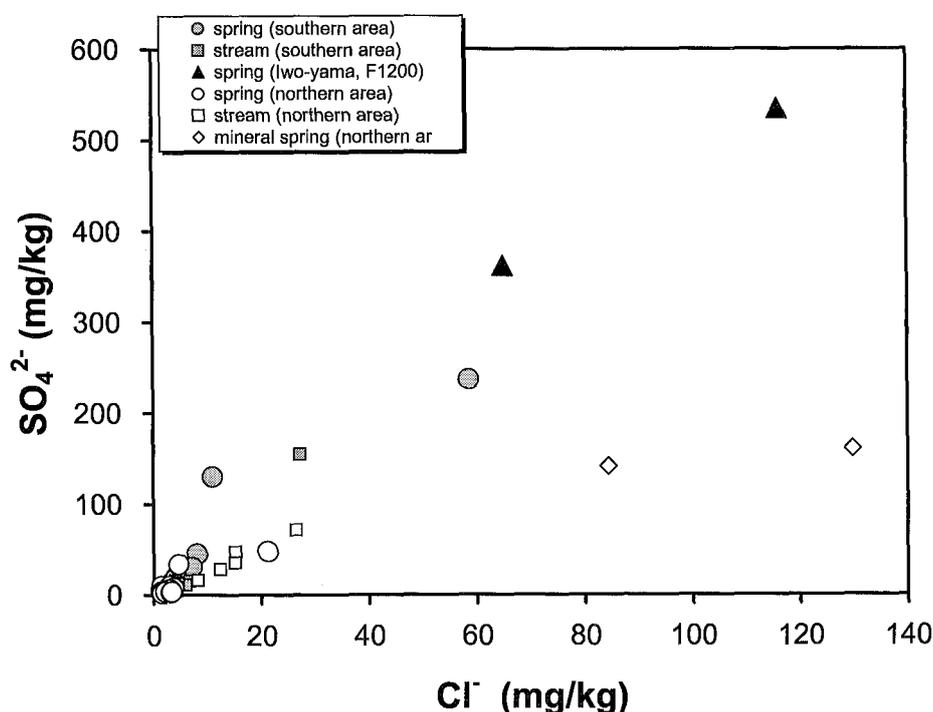


図10 SO<sub>4</sub>濃度とCl濃度の関係

以上のように、水質からみた北部地域と南部地域との違いは、表流水では、Cl濃度とSO<sub>4</sub>濃度が北部地域の方が高く、湧水では、Cl量に対するSO<sub>4</sub>成分量が南部地域の方が高いという傾向である。これらは、一見、矛盾しているように見えるが、このような違いは、成分によって流動経路が異なることを示している可能性が考えられる。南部地域から流出する水は、地表由来と考えられるNO<sub>3</sub>成分を相対的に多く含むので、おそらく、相対的に浅い流動系が関与しているものと思われる。地表由来のNO<sub>3</sub>成分が相対的に少ない北部地域では、（単位面積当りの）地下水量が相対的に多い流動系が関与するだけでなく、深部経由の水もかなり含まれている可能性がある。このように考

えると、SO<sub>4</sub>成分は、比較的浅い経路を経たものであり、Cl成分は、比較的深部を經由し、地表に流出したものであるのかも知れない。

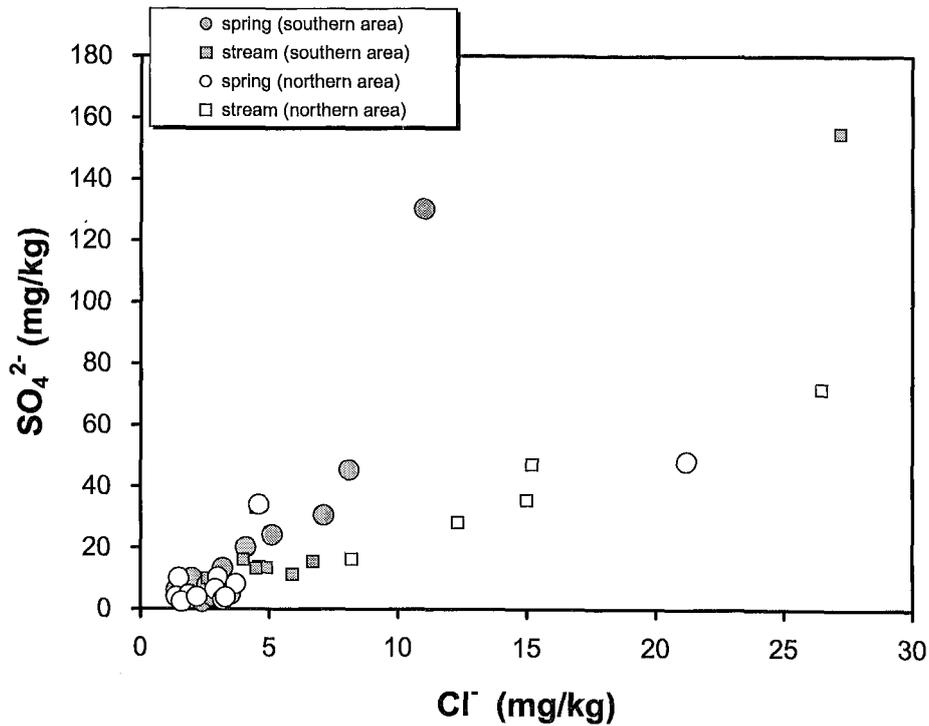


図11 SO<sub>4</sub>濃度とCl濃度の関係（図10の拡大）

### 5. おわりに

活火山、九重硫黄山をほぼ中心とする、標高1500m以上のくじゅう火山群の周辺地域一帯には、種々の標高に数多くの湧水群が分布し、豊富な水量と清浄な水を湧出するものが多い。無数の湧水から出た水は、最後は河川に流出するので、河川水には流域の平均的な特性が反映されている。今回の調査によって、くじゅう火山群の南側と北側とで、水質にいくらかの違いが認められた。特に、河川水中のCl濃度とSO<sub>4</sub>濃度は北部地域の方が高いが、湧水では、Cl量に対するSO<sub>4</sub>量は南部地域の方が高いという傾向が見られた。データ数の限られた段階であり、さらなる調査が必要であるが、南部地域と北部地域とで流動系の深さの違いや、成分による経路の違いなどが推定される。

くじゅう火山群から放出される火山性の物質が拡散しながら低地に流出する過程を明らかにするためには、さらに、調査点を増やし、同一時期に調査したり、また、河川水や湧水中のトリチウム濃度を測定して流動系の滞留時間を比較したり、さらに、水素と酸素の安定同位体を測定して水の供給域の違いを調べる必要がある。こうすることによって、火山性物質の成分による挙動の違いや、地下の地質的水理的条件の違いが明らかとなり、ひいては、熱水や温泉水の形成過程への基本課題にもつながりうるものと思われる。また、定点湧水で定期的な観測による時系列データが蓄積されれば、火山活動の動態を知る手がかりの得られる可能性は大きいと思われる、活火山を中心とした地域における、浅層流動系、深部流動系を念頭にいた研究の発展が望まれる。

おわりに、現地調査を進めるにあたり、大阪教育大学大学院学生の山田誠氏の協力を得たので、記して謝意を表します。

## 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12年7月21日現在)

顧 問

大分県議会福祉保健  
生活環境委員長 堀 田 庫 士

別府市議会議長 三ヶ尻 正 友

職 名	氏 名	備 考
京都大学大学院理学研究科教授	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	寺 司 昭 男	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 藏	理 事
元大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
大分大学教育福祉科学部教授	川 野 田 実 夫	理 事
日本文理大学工学部講師	日 高 稔	
国立別府病院リウマチ科医長	安 田 正 之	理 事
九州大学生体防御医学研究所教授	牧 野 直 樹	
岡山理科大学理学部教授	北 岡 豪 一	理 事
京都大学大学院理学研究科教授	巽 好 幸	
京都大学大学院理学研究科教授	田 中 良 和	
京都大学大学院理学研究科助教授	大 沢 信 二	
日本文理大学環境科学研究所研究員	河 野 忠	
大分大学工学部研究員	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	

職 名	氏 名	備 考
庄内町長	首藤 奉文	
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
三光村長	櫛木 晋一郎	
本耶馬溪町長	小野 和彦	
耶馬溪町長	馬場 勇	
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温泉企画係長	安部 和男	
中央保健所長	渡邊 英宣	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	野上 文史	理事
〃 化学部長	神田 尚徳	
〃 化学部主幹研究員	飛高 信雄	
〃 化学部主幹研究員	牧 克年	
大分県生活環境部生活環境課参事兼課長補佐	千葉 英樹	

(会員数 51名)

↓

書 記

職 名	氏 名	備 考
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	宗 安 英 亜	

(3名)

大分県温泉調査研究会報告 第51号

平成12年7月 印刷  
平成12年7月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会  
〒870-8501 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 097-536-1111 内線 3020  
F A X 097-532-7671

印刷者 〒870-0022 大分市大手町2丁目3番4号  
有限会社 舞鶴孔版  
電話 097-532-4231