

大分県温泉調査研究会

報 告 第 49 号

平成 10 年 7 月

目 次

くじゅう火山域の自然湧出水、地下水等の化学組成 (地球化学的モニタリング)	川 野 田実夫	(1)
	河 崎 安 範	
伽藍岳の地熱調査(4) ー噴気ガスの地球化学ー	大 沢 信 二	(5)
	大 上 和 敏	
	由 佐 悠 紀	
九重硫黄山におけるマグマ性流体の流出過程	北 岡 豪 一	(11)
ICP発光分析法による温泉水中の主要アルカリ元素の定量	大 上 和 敏	(21)
	大 沢 信 二	
	由 佐 悠 紀	
温泉利用のできるリハビリテーション施設における問題点と 将来の方向性に関する検討 ー中間報告IIー	安 田 正 之	(27)
環境行政と温泉法・温泉権(II) ー21世紀へ向けて回顧と展望ー	大 野 保 治	(31)
硫黄山水蒸気爆発に伴う周辺温泉の実態調査	宮 崎 正	(43)
	樋 田 俊 英	
	首 藤 武 臣	
ー資 料ー 別府地域の地震(3)		(49)

序

大分県温泉調査研究会は、昭和24年7月に発足し、本年で50年目を迎え、報告第49号が出版されることになりました。この間、資料の収集、調査研究活動に尽された歴代会員の御努力と関係行政機関の御理解、御援助に対し深い敬意を表したいと思えます。

本会の創立以来、その発展に尽された吉川恭三京都大学名誉教授は、私共の祈りも空しく本年6月4日に御逝去になりました。先生の永年の御業績に心から敬意を表し、深い哀悼の意を表したいと思えます。

温泉調査研究会では地球物理学、温泉医学、温泉権をめぐる紛争などについて、京都大学、九州大学、大分大学の発表が続けられて参りました。特に京都大学地球物理学研究施設を中心とする研究は、故吉川恭三名誉教授より由佐悠紀教授に引継がれ、研究所は地球熱学研究施設に発展しております。一方、昭和6年に創設された九州大学温泉治療学研究所は、昭和57年に九州大学生体防御医学研究所に改組されました。これは分子生物学の導入により、遺伝子レベルから病気のメカニズムの解明が進み、遺伝子診断、遺伝子治療が現実のものとなり、時代の進展に対応したものであります。温泉医学研究も従来の伝統医学的アプローチだけでなく、分子生物学的アプローチからの温泉の作用のメカニズムの解明が進むことが期待されます。

21世紀を迎えるにあたり少子・高齢化社会の到来、医療保険財政の悪化が心配されています。平成12年には介護保険法も実施されます。保養地の整備、リハビリにおける温泉の有効利用も忘れられません。最近、地球温暖化、大気汚染など地球環境の悪化が、健康に悪影響を及ぼすことが心配されていますが、環境保全は健康保全ということをご今日ほど、痛切に感じることはありません。豊かな自然に恵まれ、日本一の温泉資源を持つ大分県は日本の環境保全のリーダーとして期待されていると思えます。本調査研究会もその重要な担い手の一つであると思えます。

大分県温泉調査研究会が21世紀に向けてさらに進展することを祈念し、関係各位のなお一層の御指導と御鞭撻をお願い申し上げる次第です。

大分県温泉調査研究会

副会長 矢 永 尚 士

くじゅう火山域の自然湧出泉、地下水等の化学組成

大分大学教育学部

川野 田実夫・河崎 安範

1. 調査の目的と方法

湧水や温泉の化学成分量や組成比の変化は河川水など表流水と比べると小さいといわれている。しかし温泉開発が進行している長湯温泉では成分濃度の経年変化が報告されている¹⁾。今回このような変化と、1995年のくじゅう火山噴火に伴って地下水の化学組成に何らかの変化を生じたか否かを見るために、この周辺域の温泉や地下水そして河川水の主要化学成分の測定を行った。調査地点は図1に示したとおりで、番号は試料番号ある。調査試料の名称等と採水年月日は表1に示している。

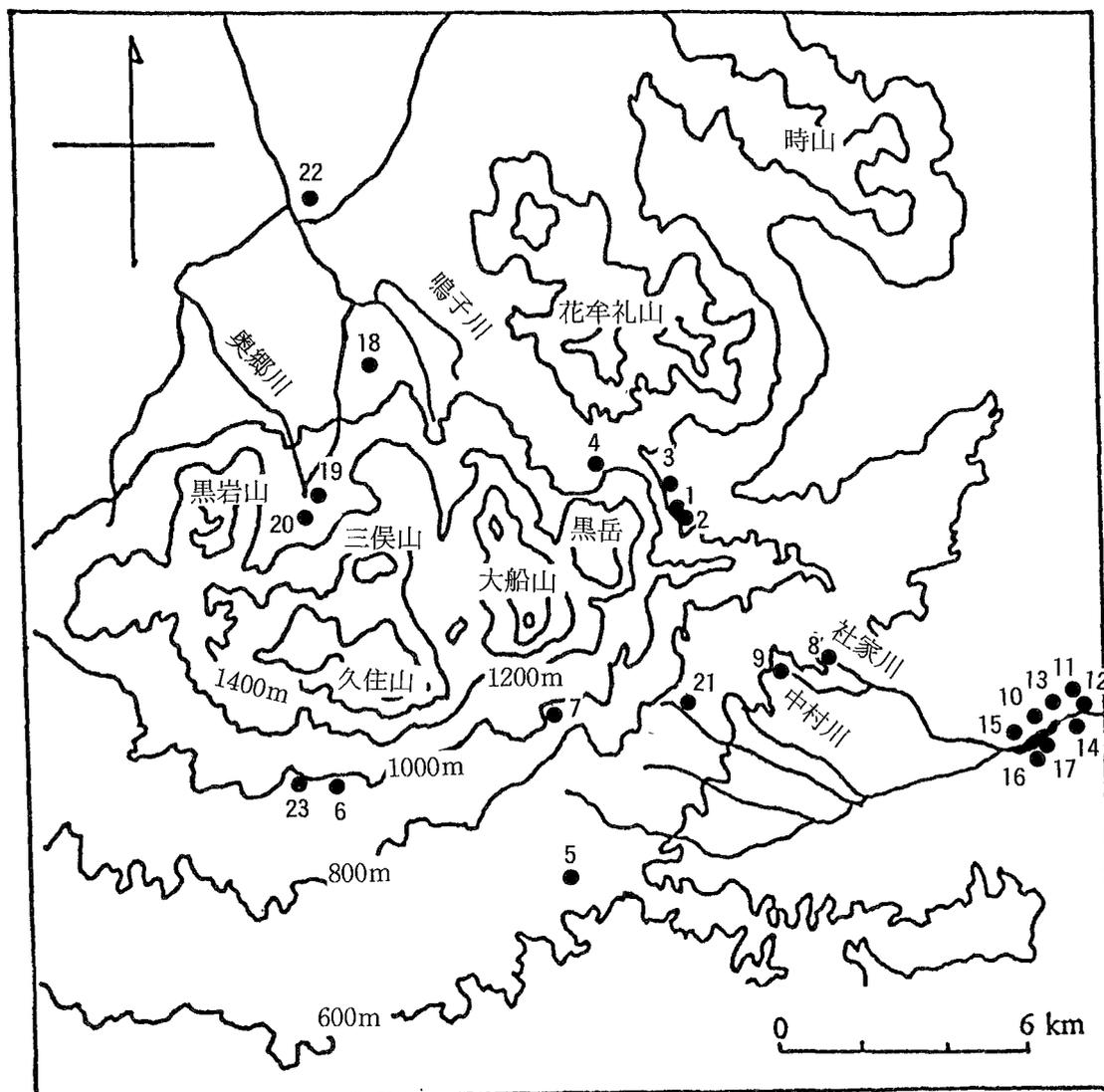


図1 調査地点

2. 結果

組成変化がほとんど認められない試料

3 白泉荘(白水鉱泉)、4 男池、5 納池、7 毒水、21 七里田温泉長寿会：この5試料は、筆者らが1985年に実施した調査結果²⁾ とほぼ濃度、化学組成共に一致していた。

一定傾向の経年変化が認められた試料

14 天満湯：本温泉のデータは1966、67、68、73、83年の5個が温泉調査研究会に報告されている。この温泉の塩化物イオン量を順を追って示せば、175、145、164、152、138各々mg/l、そして今回の測定値は63mg/lを示し、1968年より今回まで一貫して減少傾向をみせている。

その他の試料

20 星生温泉：表2に、1971年³⁾ と今回の測定値を対比して示す。

表1 分析表(1997年)

試水	水温 ℃	pH	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l	
1 黒獄荘 1	12月12日	8.8	4.90	10.1	1.3	29.8	3.2	3.5	10.0	121
2 2	10月12日	10.9	4.64	8.3	1.5	17.3	2.1	2.3	5.0	81.6
3 白泉荘	10月12日	8.4	5.08	12	1.8	42.5	6.0	3.0	14.6	174
4 男池	10月12日	12.2	5.51	9.3	2.6	34.1	6.8	7.1	40.8	102
5 納池	10月12日	13.9	5.97	7.1	2.7	14.0	4.0	4.4	13.9	57.4
6 沢水キャンプ場	10月12日	12.1	6.02	4.3	1.8	8.2	1.7	3.7	13.3	22.5
7 毒水	10月12日	11.4	5.01	8.6	2.4	42.9	6.8	4.7	55.7	114
8 社家川	11月12日	13.9	6.02	4.5	2.7	5.5	1.2	2.2	2.5	31.8
9 中村川	11月12日	13.1	6.54	4.3	2.8	4.9	0.8	2.5	1.6	30.0
10 御前湯	12月2日	47.9	6.73	42.6	86.2	219	252	170	263	2490
11 大丸旅館 新	12月2日	40.4	6.61	36.9	65.0	197	215	168	285	2024
12 旧	12月2日	41.3	6.74	422	68.9	211	248	186	305	2347
13 長生湯	12月2日	44.3	6.72	404	78.4	219	238	183	254	2347
14 天満湯	12月2日	37.1	7.10	192	34.5	163	144	63.0	76.6	1534
15 愛泉館 西	12月2日	34.0	6.39	274	38.3	137	176	115	212	1449
16 国民宿舎 東	12月2日	42.9	6.82	539	76.6	261	324	224	415	2959
17 西	12月2日	29.0	6.69	223	32.5	110	112	81.0	196	1096
18 湯沢温泉	12月12日	49.6	5.97	191	39.9	466	136	693	923	356
19 寒の地獄	*2月3日	13.6	4.20	11.6	4.1	38.1	7.8	15.6	96.3	4.2
20 星生温泉	12月12日	31.7	2.47	56.4	17.7	114	41.6	386	1388	0
21 七里田温泉 長寿会	12月16日	35.5	6.28	326	63.8	176	200	280	477	1400
22 笠ノ口 新清館	12月16日	47.5	6.35	292	73.1	194	120	242	331	1231
23 赤川温泉	12月16日	26.4	5.49	46.6	10.2	364	51.5	32.0	967	255

*は1998年

表2 星生温泉の主要化学成分濃度

単位：mg/l(泉温、pHを除く)

試水	水温 ℃	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
星生温泉 1997	31.7	2.5	56.4	17.7	114	41.6	386	1388	0
1971	44.0	2.0	93.6	16.1	166	54.7	201	1880	0

1971年と今回のを測定値を比べると硫酸イオンが減少し、塩化物イオンが上昇している。

参 考 文 献

- 1) 由佐悠紀、神山孝吉、志賀史光、川野田実夫：長湯温泉の現況調査、大分県温泉調査研究会報告第35号 1 - 9 (1984)
- 2) 川野田実夫、金子敦、志賀史光：くじゅう地域陸水の水質、阿蘇くじゅう国立公園くじゅう地域学術調査報告書、15-20(1988)
- 3) 志賀史光、川野田実夫：くじゅう火山の温泉群(7)、大分県温泉調査研究会報告第23号、50-55 (1972)

伽藍岳の地熱調査(4)

— 噴気ガスの地球化学 —

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・大 上 和 敏

由 佐 悠 紀

1. はじめに

別府温泉の熱源域と考えられている鶴見連山の北端部に位置する伽藍岳地域は、京都大学理学部附属地球物理学研究施設(現、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設)により平成6年度から本格的な調査が行われるようになり、今年度で4年目を迎える。初年度は、放熱形態と放熱量、温泉水・噴気ガスの化学的特性、岩石の変質状態などに関する基礎資料が得られた(由佐ほか, 1995)。続く平成7年度は、既存資料を用いた、やや深部に至る地熱構造モデルについての考察が行われた(由佐ほか, 1996)。3年目にあたる昨年度(平成8年度)は、予備的な自然電位測定と比抵抗調査が行われ、それらの調査結果と若干の考察結果が報告された(大羽ほか, 1997)。

今年度は、初年度の研究の一環として行われた噴気ガスの調査をさらに進め、データの取得のみが行われた水素、メタン、炭酸ガスなどの化学的に活性な成分を取り上げ、それらの解析から地中で起こっている地熱流体の物理的・化学的变化や地下温度などについて考察したので報告する。

2. 試料採取および化学・同位体組成分析

噴気孔に挿入したアルミ製パイプに導入される噴気ガスを、アルカリ溶液(5モル/リットルの水酸化カリウム溶液)を含む2口注射器に採取した。パイプ-注射器間及びパイプ同士をつなぐシリコンチューブには、アスベストリボンを巻き付けパイプ中での水蒸気の凝縮を防ぎ、一方で注射器を水冷することにより注射器内への噴気ガスの流入を容易にした。噴気ガス放出の勢いが弱いときは、2重管を噴気孔に挿入し、噴気ガスを内管と外管の間にも流して内管中を流れるガスを保温し、これを採取するか、あるいは、パイプの先端にロートを取り付け、ロートの部分を噴気孔にあてがい、その周縁を土封してパイプの他端から噴出するものを採取した。噴気ガスは、図1中の黒丸(●)で示した5地点において、1996年10月30日と1997年9月30日に計

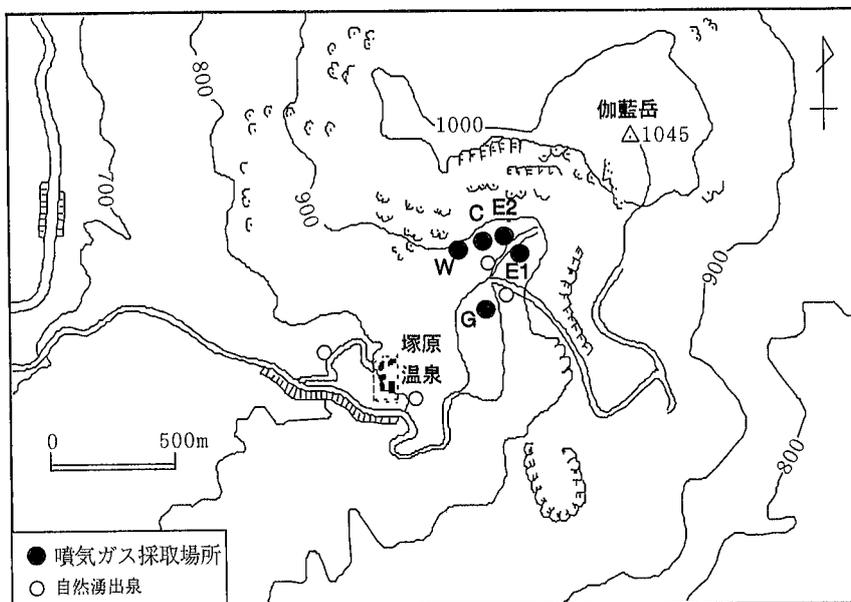


図1 伽藍岳における噴気ガス試料の採取地点

測した。

5 試料を採取した。噴気ガスの温度は、熱電対方式のデジタル温度計で測定した。

注射器に採取した噴気ガスは、次の方法により分析した。〔1〕H₂O(水蒸気が凝縮したものは、試料採取前後の注射器の重量差より求めた。〔2〕アルカリ溶液に吸収されなかったガス(He, H₂, Ar, N₂, CH₄:ヘリウム, 水素, アルゴン, 窒素, メタン)は、小型注射器に移して測容した後、酸素ガスをキャリアーガスとする大倉理研製AFG-555S型ガスクロマトグラフで分析した。〔3〕CO₂(炭酸ガス)は、アルカリ吸収液をH₂O₂水(過酸化水素水)で酸化処理した後(以後、酸化アルカリ吸収液と呼ぶ。)、検液を硫酸酸性にして炭酸ガス電極(東亜電波製CE-235)で分析した。出力電位は、同社のIM-1B型イオンメータで記録した。〔4〕H₂S(硫化水素)については、酸化アルカリ吸収液をH形陽イオン交換樹脂に通して中和し、これを東亜電波製ノンサプレッサ型イオンクロマトグラフ(ICA-5000 SYSTEM)で分析した。なお、噴気ガス中のもう一つの主要な硫黄化学種であるSO₂(二酸化硫黄)の分析は、北川式ガス検知管を用いて現地で行ったが、全く検出されなかった。〔5〕CO₂の炭素安定同位体組成は、酸化アルカリ吸収液に水酸化ストロンチウムを加えて炭酸ストロンチウムを沈殿させ、溶液から分離して自然乾燥した後、リン酸を添加して発生する炭酸ガスの値を質量分析計で測定した。測定は、IGNS(ニュージーランド)のガス質量分析計で行い、測定値は、IAEA勧告のV-PDBスケール上で表示した($\delta^{13}\text{C}$)。なお、 $\delta^{13}\text{C}$ は、以下の式により定義される。

$$\delta^{13}\text{C} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{試料}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{標準物質}}] / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{標準物質}} \times 10^3 (\text{‰})$$

噴気ガスの化学分析の結果とCO₂の炭素同位体組成を、表1に示す。

表1 伽藍岳から噴出する噴気ガスの化学・同位体分析結果

試料番号	採取日	噴気孔口温度 (°C)	H ₂ O(%)	CO ₂ (%)	H ₂ S(%)	He(%)	H ₂ (%)	Ar(%)	N ₂ (%)	CH ₄ (%)	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂ (‰)
W	96/10/30	114.7	99.07	0.774	0.148	0.000012	0.00087	0.00012	0.0091	0.00083	-5.37
G	96/10/30	97.9	99.33	0.547	0.113	0.0000077	0.00053	0.000057	0.0050	0.00025	-5.81
E1	96/10/30	97.7	98.87	0.940	0.181	0.000013	0.00047	0.000089	0.0080	0.00070	-4.85
C	97/9/30	96.6	98.78	1.02	0.199	0.0000074	0.0011	0.000066	0.0062	0.00035	-4.81
E2	97/9/30	96.8	98.37	1.42	0.200	0.0000029	0.00014	0.00010	0.0098	0.00035	-4.65

3. 考察

表1に示された化学成分のうち、化学的に活性なものは、H₂O, CO₂, H₂S, H₂, CH₄の5成分である。これら以外のHe, Ar, N₂は水熱条件下では不活性ないし比較的安定な化学種であり、これら3成分の割合が地熱地域の浅部で生じる物理過程(例えば、熱水の沸騰や蒸気の凝縮)によって大きく変化することがないため、より深部の地学現象の解明に利用されている(例

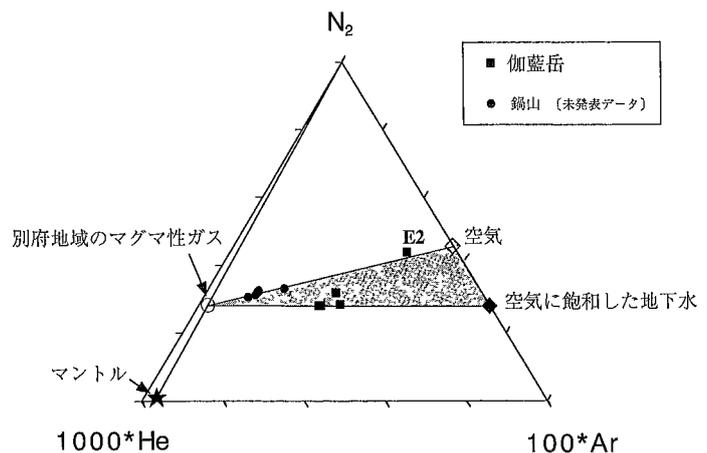
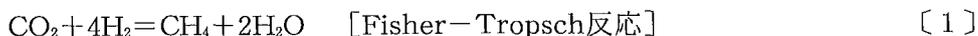


図2 伽藍岳から放出される噴気ガスのHe-Ar-N₂図

えば、大沢ほか, 1997)。今回得られた伽藍岳の噴気ガスのデータをHe—Ar—N₂図にプロットしたのが、図2である。由佐ほか(1995)でも述べられているように、Heに富んだマグマ性ガスが含まれている可能性をこの図は示唆している。

さて、先に示した噴気ガスに含まれる活性な化学成分のうち、H₂O, CO₂, H₂およびCH₄の濃度(正確には分圧あるいはフガシチー)は、高温条件下のH₂O—CO₂—H₂—CH₄系の平衡反応(式〔1〕)によりコントロールされていると考えられている(Ellis and Mahon, 1977)。



ここで、H₂O, CO₂, H₂およびCH₄のモル分率をそれぞれX_{H₂O}, X_{CO₂}, X_{H₂}, X_{CH₄}とし、系の全圧をPtで表すと、〔2〕式が成立する。

$$X_{\text{CH}_4} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot X_{\text{CO}_2}^{-1} \cdot X_{\text{H}_2}^{-4} \cdot \text{Pt}^{-2} = K \quad [2]$$

ここに、Kは平衡定数である。

〔2〕式は、両辺の対数を取ると、〔3〕式のように変形される。

$$\log X_{\text{CH}_4} + 2 \log X_{\text{H}_2\text{O}} = \log X_{\text{CO}_2} + 4 \log X_{\text{H}_2} + (\log K + 2 \log \text{Pt}) \quad [3]$$

ある温度・圧力下において、H₂O, CO₂, H₂, CH₄の4成分が、式〔1〕に示した化学反応により平衡関係にあれば、log X_{CH₄} + 2 log X_{H₂O}とlog X_{CO₂} + 4 log X_{H₂}の差は、その温度・圧力値に対応するlog K + 2 log Ptに等しくなる。

図3は、横軸をlog X_{CH₄} + 2 log X_{H₂O}で、縦軸をlog X_{CO₂} + 4 log X_{H₂}で表した図であり、図中の4本の斜めの直線は、100℃, 200℃, 300℃, 360℃における平衡線を示す。ただし、伽藍岳における放熱形態が流体の気液二相状態を強く示唆することから(由佐ほか, 1996)、ここでは、H₂O, CO₂, H₂, CH₄を含むガス相は、熱水相と共存するものとした。また、ガス相のほぼ99%がH₂Oであることから(表1)、全圧Ptの値にはその温度における水蒸気圧を代入した。

今回得られた5つデータが図3の中にプロットされているが、いずれも水の臨界温度374℃をはるかに越す領域にあり、気液二相状態にあるという前提と矛盾する結果となっている。この矛盾は、前提が成り立っていないか、あるいは深部で平衡状態にあった流体が浅部へ上昇してくる過程で系外と物質のやりとりを行ったことが原因で生じていると考えられるが本報告では後者の立場に立ち、さらに考察を続けてみる。

系(流体)と系外との間での物質のやりとりとしては、図3に示されている矢印Aに対応する系へのH₂ないしCO₂の付加、および矢印Bに相当する系外へのCH₄あるいはH₂O(水蒸気)の除去が考えられる。以下では、これらについて検討を加えることにする。

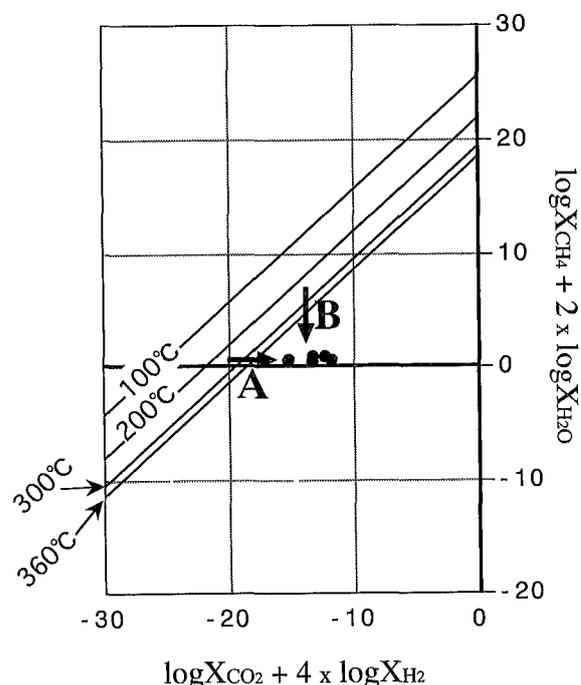


図3 H₂O—CO₂—H₂—CH₄組成を用いた伽藍岳の噴気ガスに関する平衡状態の評価図

H₂の付加：図4は、H₂—CO₂—Ar組成を用いた平衡状態の評価図である(Giggenbach and

Goguel, 1989)。三角印(▲)を結んだ線上にあるデータは、H₂-CO₂-Ar系が完全な平衡状態にあることを示す。伽藍岳のデータは、E2を除きこの平衡曲線からいくぶんはずれる程度であり、試料はほぼ平衡状態を記録していることを示している。例外的な試料であるE2は、He/Ar比が0.11~0.14である他の試料に比べて0.029と低く(図2参照)、大気由来のArがより多く混入しているため、他の試料に比べてH₂/Ar比がより低くなっているものと考えられる。このように考えると、ほぼ平衡状態を保っているとした試料がわずかに低H₂/Ar比側にずれているのは、Arのわずかな付加があるためであるとして説明できる。

ところで、Arの混入の影響は、CO₂/Ar比の低下にも現れるはずであるが、図3からはそのような様子はいかがいえない。これは、CO₂はH₂やArに比べ桁違いに存在量が多いため(表1参照)、Ar量の変化がCO₂/Ar比を大きく変化させることがないからであろう。

以上の考察から、H₂が系内へ付け加わった形跡はなく、上記のH₂O-CO₂-H₂-CH₄系の平衡状態の不成立に関わるH₂の寄与は無視できる。

CO₂の付加：噴気ガスの化学組成から地熱系の深部温度を推定する方法として、CO₂-Ar地化学温度計(式〔4〕)が知られている(Giggenbach and Goguel, 1989)。

$$\log (X_{CO_2}/X_{Ar}) = 0.0277 \cdot T [^{\circ}C] - 7.53 + 2048 / (T [^{\circ}C] + 273) \quad [4]$$

表1のデータをこの式に代入すると275~292℃、平均値として285℃が得られ、Allis and Yusa(1989)が推定した別府地域の本源熱水の温度；250~300℃の範囲内にあり、伽藍岳の地熱二相流系の下部にはそのような本源熱水が存在し、熱と物質の供給源となっていることを示唆する。

さて、元々平衡状態にあったH₂O-CO₂-H₂-CH₄系に系外からCO₂が付け加えられて平衡状態にずれが生じていると考えるならば、上記の計算温度で式〔3〕が成立するようにCO₂濃度を引き算することで、全CO₂に占める付け加わったCO₂の割合を導き出すことができる。このようにして求められる値は99.999%以上となり、噴気ガス中のCO₂のほとんど全部が、深部で平衡状態にあった流体が地表に移動する過程で外部から取り込まれたものとしなければならない。地下数キロメートルまでの浅

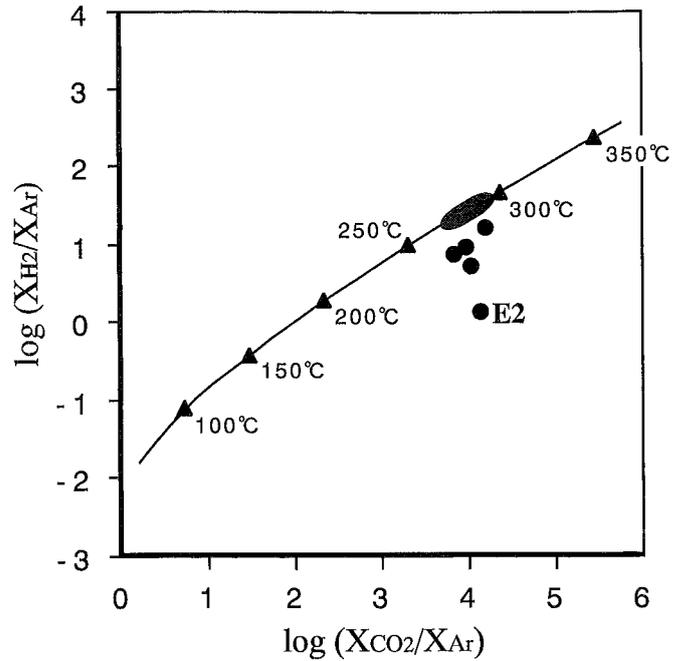


図4 H₂-CO₂-Ar組成を用いた伽藍岳の噴気ガスについての平衡状態の評価図

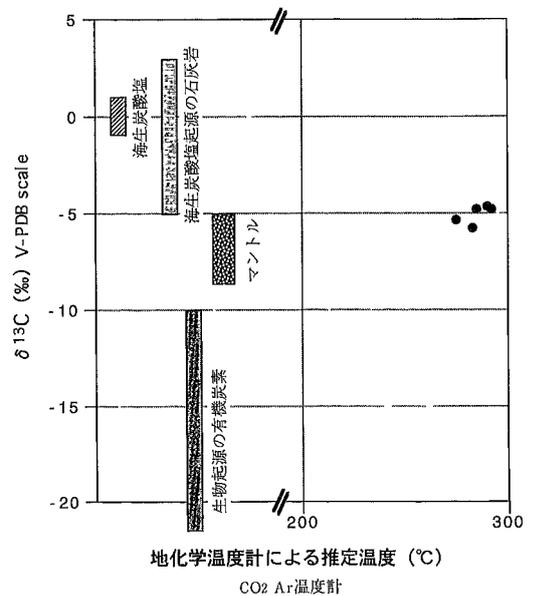


図5 CO₂-Ar気体温度計により推定される伽藍岳深部の流体温度と噴気ガス中のCO₂の炭素安定同位体比

部に存在する炭素の供給源としては、海生炭酸塩やそれを起源とする石灰岩あるいは堆積岩や堆積物に含まれる有機炭素を挙げることができるので、噴気ガス中のCO₂の炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)は、それらが持つ値に一致するはずである。しかし、図5に示されるように、噴気値(-5.81~-4.65‰)は、海生炭酸塩起源の石灰岩(-5~+3‰)とマントル(-8~-5‰)の両方にまたがっており、系外からの混入を積極的に支持する証拠には成りえない。

CH₄の除去：元々平衡状態にあったH₂O-CO₂-H₂-CH₄系からCH₄が系外へ取り除かれて平衡状態にずれが生じているとし、上記のCO₂-Ar平衡温度を代入した式〔3〕を用いて平衡時のCH₄濃度をわりだすことができる。このようにして計算した濃度は、例外的なE2(H₂の除去の項参照)を除外すると、CO₂濃度が0.21~0.47%であるのに対して47~79%と極めて高い値を示す。これは、地熱井からの噴気ガスでCO₂<CH₄の濃度関係にあるものはないことから見て、明らかに不自然である。したがって、CH₄の除去が、H₂O-CO₂-H₂-CH₄系を非平衡状態にする主たる原因である可能性はない。

H₂O(水蒸気)の除去：CH₄と同じ手続きにより、285℃における平衡時のH₂O濃度を算出したところ、99.84~99.98%となり、平衡状態における全H₂Oに対する除去されたH₂Oの割合を算出すると、90~99%に達する。水熱条件下にある水蒸気は容易に液体の水に変化しうるので、ここで示された大量のH₂Oの除去は凝縮という形で起こったと考えることができよう。

以上、H₂O-CO₂-H₂-CH₄系の平衡状態からのずれの原因を探ってきたが、系外へのH₂Oの除去、すなわち水蒸気の凝縮が最も合理的な説明であると考えられる。250℃以下でCH₄はH₂を含む反応系から化学的に排除されるとされるので(Giggenbach and Goguel, 1989)、おそらく285℃で平衡状態にあった流体が化学平衡の移動速度を上回る勢いで急速に浅部に上昇して250℃以下となり、285℃時のH₂O-CO₂-H₂-CH₄系の平衡が一旦凍結された後に大量の水蒸気の凝縮が起こったのであろう。このように考えれば、CO₂やH₂などの非凝縮性ガス(CO₂/Ar比やH₂/Ar比など)に深部の温度情報が記録されていることもうまく説明できる。

4. まとめ

本研究では、伽藍岳から放出される噴気ガスの化学分析値およびCO₂の炭素安定同位体組成データを取得し、それらの化学的解析から地下温度や地中で起こっている地熱流体の物理的・化学的変化について考察を加えた。その結果、次のようなことが示された。

- (1) 地中に存在する蒸気の温度は、285℃程度と推定された。この蒸気は、より深部に存在する熱水(別府地域の本源熱水)から分離したものであると考えられる。
- (2) 深部蒸気の大半(90%以上)は、地表への移動過程で凝縮し(おそらく250℃以下で)、わずかな残分が噴気ガスとして地表へ放出されていると考えられる。したがって、地表と深部熱水の間には、蒸気と凝縮水が混在する気液二相状態の流体が存在すると推定される。

以上を模式的に図示したのが、図6である。

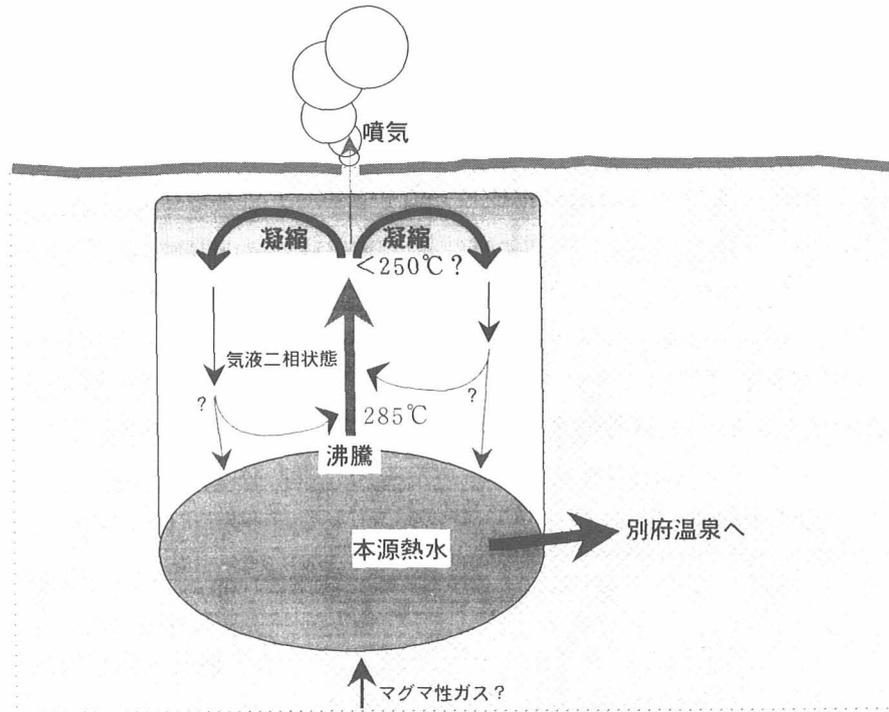


図6 伽藍岳地熱系の地球化学モデル

文 献

- Allis, R.G. and Yusa, Y.(1989) : Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan, Geothermics, 18, 743-759.
- Ellis, A.J. and Mahon, W.A.(1977) : Chemistry and Geothermal System, Academic Press, Inc., Orlando, Florida, 392p.
- Giggenbach, W.F. and Goguel, R.L.(1989) : Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharges, Fourth Edition, DSIR Report No. CD2401,81p.
- 大羽成征, 田中良和, 由佐悠紀(1997) : 伽藍岳の地熱調査(3)自然電位測定による熱水流動系解明の試み, 大分県温泉調査研究会報告 48, 13-20.
- 大沢信二, 由佐悠紀, 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.
- 網田和宏, 大沢信二, 由佐悠紀 : 未発表データ(別府鍋山地域の噴気ガスの地球化学データ).
- 由佐悠紀, 大沢信二, 北岡豪一, 竹村恵二, 福田洋一(1995) : 伽藍岳の地熱調査, 大分県温泉調査研究会報告 46, 5-13.
- 由佐悠紀, 大沢信二, 北岡豪一, 福田洋一(1996) : 伽藍岳の地熱調査(2)伽藍岳を中心とする地熱構造モデル, 大分県温泉調査研究会報告 47, 7-11.

九重硫黄山におけるマグマ性流体の流出過程

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
北岡 豪 一

1. はじめに

活火山、九重硫黄山の噴気孔群から噴出する蒸気には、天水に比べ、水素と酸素の安定同位体比の著しく高い水が含まれている(松葉谷ほか, 1975; Mizutani, et al., 1986)。その同位体組成が世界の安山岩質火山から噴出する蒸気と共通の範囲内にあることから、そのような蒸気はマグマ性の水であると考えられている(日下部・松葉谷, 1990)。また、噴気地の縁辺部から温泉水が流出していて、それにも、天水に比べて同位体比の高い水が含まれている。この火山は、水について、気体と液体の両面からアプローチできる特徴をもち、マグマ性の水と天水の相互作用を対象とする研究にすぐれた条件を備えている。

1995年の水蒸気爆発前の約5年間と、その後何度か測定された噴気凝縮水、温泉水、冷湧水、及び河川水の水素と酸素の安定同位体及び放射性同位体(トリチウム)の濃度から、火山の比較的浅部における水の状態やその移動状況についていくつかの知見が得られた(北岡ほか, 1993, 1996a, 1996b, 1997)。安定同位体からは、

- (1) 温泉水の高い同位体比は、天水の一部が水の臨界点(374℃, 22.1 MPa)付近の温度まで循環していることを示唆する。天水には、さらに高温の超臨界領域まで高温化(蒸気化)している部分が存在するものと推定される。
- (2) 噴気の高同位体比は、下から上昇するマグマ性の蒸気が天水の超臨界蒸気と混合しながら流出している状況を示唆する。ここでも、天水の超臨界蒸気が存在が推定される。
- (3) 臨界温度以下の蒸気卓越系及び液相系の領域では、天水の循環が支配しており、それにマグマ起源の水が入っているとしても、その量は無視できる程度である。

一方、トリチウムからは、

- (4) 冷湧水、河川水の流出に関係する浅層の循環系における天水の平均滞留時間は、5年前後である。
- (5) 温泉湧出に関係する深部循環系(液相)における天水の平均滞留時間は、100年を越える。
- (4) マグマ性蒸気と混合する天水蒸気の滞留時間は、5年程度以下である。

本報告では、以上のことを念頭において、活火山の地下で起こる天水とマグマ由来の水との混合、及びそれらの移動過程につき考察を試みる。

2. 問題点

九重硫黄山の噴気でこれまでに観測された温度の最高は508℃であり(Mizutani et al., 1986)、それは臨界温度以上の過熱蒸気である。地面から噴出する弱い蒸気では、大気圧における水の沸点付近の温度をもつものが多く、地下でもある範囲で二相平衡系が形成されているものと考えられる。山体の比較的浅層には、臨界温度以下の低温蒸気相が形成されていることは明らかで、低温の蒸気卓越系の範囲内に、マグマ性の超臨界蒸気が上昇する通路が形成されている状況が推定される。

一方、噴気地の縁辺部から湧出する温泉水の安定同位体比は、天水が蒸発及び岩石と反応しながら

ら浸透して臨界温度付近まで高温化し、それが上昇して地表近くで沸騰を起こす範囲(天水の同位体が最も濃縮される過程)内にあるので、温泉湧出は、基本的に天水の循環系の一部であるとみて差し支えないであろう。また、温泉水の同位体比は、蒸発を伴わないが深部の高温域まで循環する水と、蒸気卓越系と接触して蒸発や沸騰を伴いながら循環する水とが混合していることを示している(北岡ほか, 1996)。

マグマ性の超臨界蒸気は、上記のように、浅層では低温蒸気系の範囲を通過していると考えられるが、それが低温蒸気系やさらにそれに接触する液体系に浸出しているかどうか、マグマ性流体の正味放出量を見積もる上に本質的な問題となる。少なくとも、水蒸気爆発前の比較的最近においては、噴気同位体比は、マグマ性蒸気が天水蒸気と活発に混合する状況にあったことを示しており(後述)、また、噴気地の地下(半径500m、深さ2kmの筒状範囲)で地震が多発している(江原ほか, 1990)ことなどから見て、マグマ性流体の通路は周囲の低温蒸気系あるいはそれに接する液相系から完全に遮断されているとは言えず、両者の間には何らかの交流が行われているとみるべきであろう。

安定同位体比の高い温泉水に、マグマ性の流体が混入しているとみることは可能であるのかも知れない。しかし、上記のように、温泉水の最も高い同位体比の値に着目しても、天水がその深部循環系で高温化し、岩石との反応・蒸発・凝縮の諸過程で濃縮される範囲内にあるため、その限りでは、同位体比の高いマグマ性の水の寄与を考慮する必要はない。マグマ性の流体が天水の循環系に浸出しているとしても、天水の循環系で十分に希釈されるのかも知れない。マグマ性流体が天水循環系に浸出することについては必ずしも否定されないが、少なくとも噴気地で湧出する温泉水の同位体比に顕著に現れるほどの、マグマ性流体の大量の流出はないと言えよう。もしそうであれば、マグマ性の蒸気はそれらよりもはるかに高い同位体比を有しているので、さらに同位体比の高い温泉水が見いだされてよいと考えられるからである。この火山では、少なくとも1995年の水蒸気爆発の前の状態では、マグマ性流体はその通路から天水の循環系にそれほど浸出してないのではないかと思われる。

上昇するマグマ性の超臨界蒸気は、その通路内における圧力が周囲地層中の天水循環系の圧力よりも低ければ、周囲の天水循環系に浸出できず、逆に天水蒸気の混入を受ける。活発な噴気活動は、少なくとも地表付近で、通路蒸気の圧力が大気圧よりも高い状態にあることを示すが、深部に通じた蒸気の上昇通路内で、その圧力が周囲よりも低い条件がありうるであろうか。

3. マグマ性蒸気と天水の交流

長期にわたる噴気活動によってマグマ性蒸気の上昇通路の周囲には定常的な温度場が形成されているので、通路から周囲地層への熱伝導による伝熱量は、通路内の熱輸送量に比べて十分小さいと考えられる。通路内の蒸気の流れに着目しようとするとき、通路に断熱壁の近似は可能であろう。断熱流れは等エントロピー過程である。一方、断熱流れにおいても、粘性と熱伝導性によってエントロピーは常に生成される。実在の流れでは速度と温度は常に勾配を伴うので、厳密には等エントロピーの過程は実在しない。もし、深部に発する超臨界蒸気の流れに等エントロピーの過程が適用できれば、地上の観測量から深部貯気槽の熱力学的状態やそれから発した流れの熱力学的状態について議論が可能となる。

岩体中の割れ目通路の深部では、超臨界流体の流れが等エントロピー過程にならないことは、たとえば、深部貯気槽に500℃の温度を想定し、それに発する蒸気が等エントロピー的に上昇し、二相が共存する温度まで低温化するものとすれば、音速以上の速い流れが形成されなければならない

(Appendix 1)、割れ目通路内で超音速の流れが生じると、粘性によって流れはただちに減衰してしまうことが確かめられるからである (Appendix 2)。空洞におけるような局所的な過程は別として、貯気槽から地表に至る蒸気上昇系の全体に等エントロピーの過程を仮定することは非現実的である。そこで、より現実的な粘性が支配する過程について検討する。

多孔質媒体中の流れは、流体の粘性に支配されて一般に遅い。そのような流れでは、単位断面積当たりの流量は圧力勾配に比例する。地下水学ではDarcyの法則として広く適用されている。その比例定数(透水係数)は、多孔質媒体内の空隙分布の幾何学的因子(透過係数)、及び流体の密度と粘性係数の関数である。Darcyの法則では、単位面積当たりの質量流量 Q は、一次元の流れでは、

$$Q = - \frac{\rho k}{\mu} \left[\frac{d p}{d s} - \rho g \right] \quad (1)$$

で表される。ここに、 p は流体の圧力、 ρ は密度、 μ は粘性係数、 g は重力の加速度、 s は流れに沿う座標である。 k は透過係数で $[m^2]$ の次元を持つ。気体の密度は小さいので、重力項は圧力勾配に比べて小さいとして省略すれば、圧力勾配は、

$$\frac{d p}{d s} = - \frac{\mu Q}{\rho k} \quad (2)$$

で近似される。また、流体粒子の平均速度 ν は、有効空隙率 n の媒体では、

$$\nu = \frac{Q}{\rho n} \quad (3)$$

とみなせる。

さて、ある割れ目における高温蒸気の上昇流を考える。上昇流動にともなう圧力勾配が静水圧の勾配程度よりも大きければ、通路内の圧力は途中で周囲の圧力よりも低くなり、周囲の水や蒸気が通路に浸入するようになる。地層の間隙水圧は静水圧とは異なるが、大雑把な議論を進めるため、地下蒸気の流れにDarcyの法則を適用し、まず、それによる圧力勾配を静水圧勾配と比較してみる。静水圧勾配は、深さ1 km当たり9.8MPaである。

九重硫黄山で、1979年に江原らが観測した蒸気の総放出量は、45.8kg/sである(江原ほか, 1981)。これは、噴気面積 $1.3 \cdot 10^5 m^2$ 内の噴気孔及び地面から放出される蒸気の総量である。蒸気はその噴気面積から一様に流出しているものとし、有効空隙率を0.05とすれば(溶岩の割れ目を想定)、蒸気通過の有効断面積は $6.5 \cdot 10^3 m^2$ となる。300℃飽和水蒸気の密度(46.2kg/m³)を用いると、粒子流速は $1.5 \cdot 10^{-4} m/s$ と計算され、極めて遅いものである。このような遅い流れでは流動に伴う圧力の変化も小さい。実際、Darcyの法則が成り立つとして、透過係数 $1 \cdot 10^{-12} m^2$ (1 darcyの透水係数に相当)の媒体を想定し、300℃水蒸気の密度と粘性係数($1.93 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s$)を用いると、その圧力勾配は、0.15 MPa/kmに過ぎない。

そこで、地下で蒸気通路の存在する範囲が、地表の噴気地面積の1%であると仮定してみる。有効空隙率を0.05とすれば、通過断面積は $65 m^2$ であり、それでも空隙中の蒸気粒子の平均速度は300℃の蒸気密度で $1.5 \cdot 10^{-2} m/s$ に過ぎない。しかし、この流れによる圧力勾配は、透過係数が $1 \cdot 10^{-12} m^2$ の媒体では、15MPa/kmの値が計算され、それは、静水圧勾配と同じオーダーとなる。もし、通路の透過係数と空隙率の積をその10倍にすれば、Darcy則による圧力勾配は1/10になる。

地下水学における1 darcyの透水係数($1 \cdot 10^{-12} \text{m}^2$ の透過係数に対応)は、未固結物では砂～シルト質砂である。割れ目のある火成岩・変成岩では、 $10^{-4} \sim 10$ darcyの範囲にあるとされている。また、割れ目のある風化した火成岩では、空隙率は2～10%であるとされている(山本, 1983)。

実測された蒸気の噴出量は、蒸気の通路が噴気地面積の1%程度の範囲に局在していて、かつ有効空隙率が0.05、透過係数が $1 \cdot 10^{-12} \text{m}^2$ の程度であれば、蒸気通路の圧力勾配が静水圧勾配のオーダーに対応されることが知られた。蒸気通路の存在範囲がこれより広い場合や、有効空隙率がより大きい場合、さらに、透過係数が $1 \cdot 10^{-12} \text{m}^2$ よりも大きい場合には、蒸気通路の圧力勾配は静水圧勾配よりもさらに小さくなる。別府の伽藍岳では、白土採鉱を目的に噴気地が掘り起こされていて、かつ活動のあった噴気孔の断面が観察される。噴気孔跡の直下に筒状の空洞が鉛直に発達している状況は、蒸気の通路がかなり透過性のよいものであることを思わせ、上昇する蒸気の浅層における圧力勾配はかなり小さいものであろうと推定される。

蒸気の流速が小さければ、流れは等エントロピー過程(断熱、非粘性、非熱伝導性)で近似できるようになる。さらに流れに沿う流速の変化が小さく(通路の断面積の変化が小さい場合)、かつ理想気体であれば、流れは等温等圧の過程となる。従って、比較的浅層をゆっくり上昇する蒸気の流れに限ることにすれば、通路に沿う圧力、温度の勾配は小さいと考えられる。

まず、深部から上昇した蒸気の圧力が、水の臨界圧力よりも低く、少なくとも、二相系が形成されている範囲では、通路に沿う圧力勾配は十分に小さいものとする。上昇してきた蒸気の温度と圧力が、例えば、図1のA(過熱蒸気)であるとする。その蒸気圧力に等しい飽和蒸気圧は沸騰曲線上のB点であるので、通路の周囲に二相系(蒸気卓越系)が発達しておれば、二相系の圧力はBよりも高温側では、通路内の過熱蒸気の圧力よりも高いことになる。すなわち、

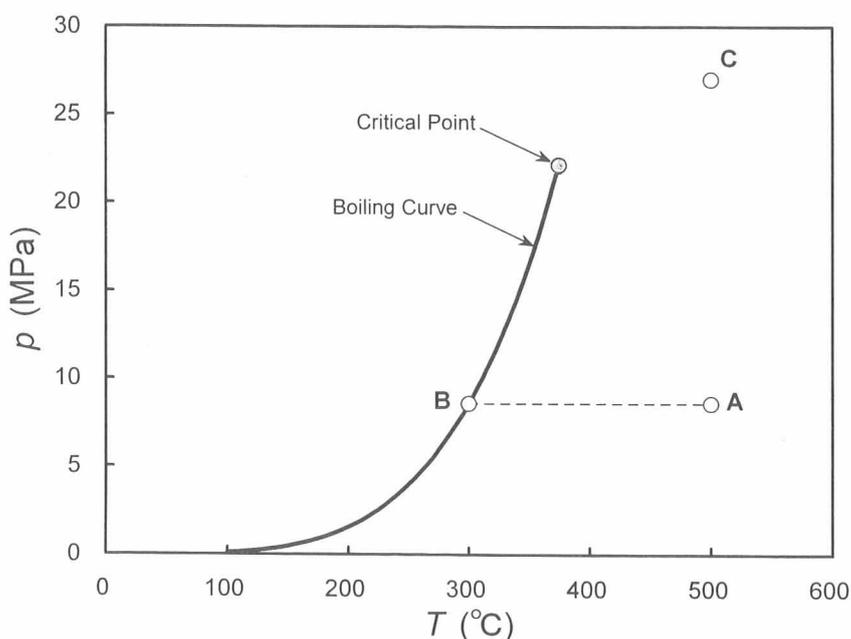


図1：沸騰曲線と想定マグマ蒸気

Bよりも高温側(普通は深部側)では、二相系の蒸気が通路内に浸入することができる。また、Bよりも低温側(浅部側)では、通路蒸気の圧力の方が二相系の圧力よりも高いので、通路蒸気が二相系に浸出できる。一方、臨界圧力以上の高温蒸気Cが上昇してきた場合は、通路内の圧力は二相系のすべての圧力よりも高いので、通路蒸気は周囲の二相系に浸出できる。

このように、上昇する流体が臨界圧力以下の過熱蒸気(図1のAの場合)に限り、周囲の二相系の高温側部分で、二相系から通路に蒸気が浸入できる。天水蒸気の浸入が活発であれば、通路の蒸気は低温化し、圧力も下がるので、ますます天水の浸入する範囲は拡大する。天水の浸入を受けて希釈されたマグマ蒸気は、低温側(浅層)で周囲に浸出する。浸出した蒸気は、おそらく、二相系の全領域まで拡散することなく、上方に移動して地表から出てゆくであろう。これら諸過程は、同位体

から推定された、マグマ性蒸気が天水蒸気で希釈される過程や、マグマ性蒸気が天水の循環系にほとんど浸出してないことと定性的に符合する。

臨界点よりも高温高压の領域でも、通路内蒸気と周囲地層中の間隙水(蒸気)との交流は両者の圧力差に依存するであろう(厳密には、水の移動はGibbsの自由エネルギーの勾配(理想気体では $T \ln p$ の勾配)に依存するであろう)。通路内の圧力は蒸気の流動に伴うエントロピーの生成によって低下する。地層では、その空隙率や透水性は深さとともに減少し、従って空隙の水の量と流れも減少する。水の主たる循環は、臨界圧力程度以下の、地下数km程度までの範囲であろうと思われる。

こうして、噴気地の下で、比較的深部では周囲から蒸気通路に蒸気が浸入し、浅部で通路蒸気が周囲に浸出できる条件の存在しうることが知られた。天水が蒸気の通路内に浸入できるためには、深部からのマグマ性蒸気が上昇して浅層の二相系領域に達するまでに臨界圧力以下まで圧力を低下させていることが必要であるが、そのような圧力低下は、上記試算からみて、透過係数と空隙率の組み合わせで、十分にありうると考えられる。

4. 水・蒸気系のモデル

以上の考察から想定される、マグマ性蒸気-天水の相互交流モデルを図2の(a)図に示す。マグマに発する超臨界蒸気は、割れ目通路を通して地表までもたらされる。熱伝導により通路の周りにも臨界温度を超える過熱蒸気が形成される。さらにその外側の臨界温度以下の領域には、二相領域(蒸気卓越系)が形成される。臨界圧力よりも高い圧力領域では、気相と液相の区別はなく、相は連続的に遷移する。図2で、臨界圧力よりも高い領域に描いた境界は、液相から気相に連続的に遷移する状態を表したものである。臨界圧力以上の圧力で、液体の水を加熱してゆくと、液体は蒸発することなく(相の分離を伴わないで)蒸気の状態に移行する。液体を等圧加熱すると、比熱が極大、あるいは粘性が極小になる点があり、この点の軌跡は臨界点を通る等容線とはほぼ一致する(谷下, 1966)。図の境界はそのような遷移のおこるところであり、その形状は温度と圧力の関数である。

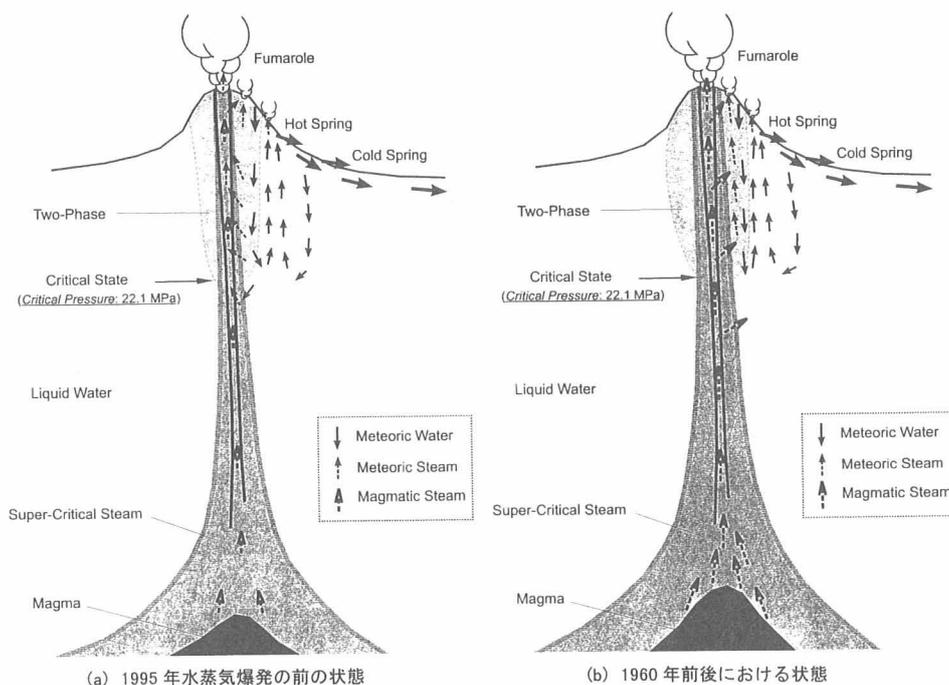


図2：九重硫黄山における水／蒸気移動の模式図

1995年の水蒸気爆発前の、比較的最近における、この火山では、比較的浅層の、少なくとも、二相系の存在する範囲で、通路内の蒸気圧力が周囲地層を満たす流体の圧力よりも低い部分が存在していたと考えられる(図2の(a)の場合)。そこでは、二相系の蒸気が通路内に浸入できる。二相系は基本的には天水の循環系の一部である。地表から浸透した水は、蒸発しながら深部に移動し、分離した蒸気は、上方に移動する。その蒸気の一部は地表の弱い噴気孔から放出されるが、多くは、圧力の低いマグマ性蒸気の通路に向かう。通路に向かう二相系の天水蒸気は、高温化して乾き蒸気になり、さらに臨界温度以上の過熱蒸気になる。通路付近に形成された天水の過熱蒸気はより低圧の通路に入り、マグマ性蒸気を含む超臨界蒸気と混合する。

このように、天水は、いったん臨界温度以上まで高温化してから、マグマ性の蒸気と混合しているものと考えられる。安定同位体比から、マグマ性蒸気と混合する天水蒸気は超臨界状態にあることが推定されたが、それと矛盾しない。また、地表近くでは、通路内の蒸気圧力は周囲の二相系の圧力よりも相対的に高くなる。上昇の過程ですでに天水による希釈を受けたマグマ性の蒸気は浅層で通路から二相系に浸出する。二相系に浸出した蒸気は、天水の循環系の一部としてそのまま上方に移動し、地上に放出される。

なお、噴気蒸気中のトリチウム濃度は、マグマ性蒸気と混合する天水蒸気の平均滞留時間が5年程度以下であることを示唆する(北岡ほか, 1997)。その短い滞留時間は、二相系の範囲で天水蒸気がマグマ性蒸気の通路に入るものとするれば理解できる。天水蒸気の下からのマグマ性蒸気の通路に浸入し、その後は直ちに地表に流出すると考えれば、天水蒸気の滞留時間は二相系(蒸気卓越系)の状態を反映していることになる。この活火山では、噴気放出に関する蒸気卓越系では滞留時間が数年の程度と非常に短く、温泉湧出に関する液相循環系では滞留時間が極めて長い(100年以上)という、著しい対照を示す(Appendix 3)。

5. 噴気活動の変化との関連について

1960年前後に測定された噴気凝縮水の安定同位体比の値は、噴出蒸気がマグマ性の蒸気そのものといってよいことを示唆する。測定された噴気温度の最高値508℃はその当時のものである。マグマ性蒸気そのまま地表まで到達するためには、通路全体にわたり、蒸気の圧力が周囲の水、蒸気の圧力よりも高くなっていて、天水が通路に浸入できない状況が考えられる。そのような条件として、上昇通路の通気性がよく粘性による圧力低下が小さいこと、あるいは、深部貯気槽の圧力が高まっていたことが考えられる。その場合、マグマ性流体は天水の循環系に浸出できる(図1のC、及び図2の(b)の場合)。Mizutaniほかの観測から数10年経過した後であるが、温泉水中にマグマ性流体がはっきりと認められないのは、当時二相系に浸出したマグマ性の水が天水の循環系で十分に希釈されているためと考えられる。それは、マグマ性蒸気の圧力が水の臨界圧力よりも下がり、それまでとは逆に、周囲の二相系(蒸気卓越系)の蒸気がマグマ性蒸気の通路に入るようになると、二相系の蒸気は数年の時定数(滞留時間)で新しい天水(蒸気)で置き換えられるからである。

図3は、九重硫黄山でこれまでに観測された噴気凝縮水中の水素と酸素の安定同位体比及びCl濃度を時間の流れに対してプロットしたものである(北岡ほか, 1996)。時間の経過とともに、両同位体比及びCl濃度が低下し、1995年の水蒸気爆発の直前では、同位体比はほとんど天水蒸気(超臨界状態)の値CSになっている。これは、この間に、蒸気中に占める天水の混合割合が増加してきたことを意味する。マグマ性蒸気の通路へ浸入する天水の量が相対的に時間とともに増してきたことは、通路内の蒸気圧力が二相系の圧力に対して相対的に徐々に低下し、ますます天水を呼び寄せてきた

ことを意味する。通路の圧力低下には、蒸気通路の途中で透過性と空隙率の低下(目詰まり)、あるいは、深部貯気槽における圧力低下が考えられる。

また、数10年にわたり噴出蒸気中の天水/マグマ水の比が増加してきたことは、マグマ蒸気通路に向かう天水の移動量が増加し続けてきたことを示唆する。それは、周囲の液相系から蒸気系への水の移動量の増加であり、噴気地及びその周辺の地下における熱的収支や、蒸気系の分布範囲にも影響が及び、蒸気系の周辺部から温度低下が進行している可能性が考えられる。最近の地磁気観測によると、その傾向を示唆するデータが採取されつつある。しかし、その傾向が1995年の爆発以前まで延長できるかどうかには問題がある(田中良和, 私信)。噴出蒸気同位体組成の変化は地下における蒸気排出系に何らかの変化が進行してきたことを示唆するものであり、それが1995に発生した水蒸気爆発と関連したものであるのかどうか注目される。

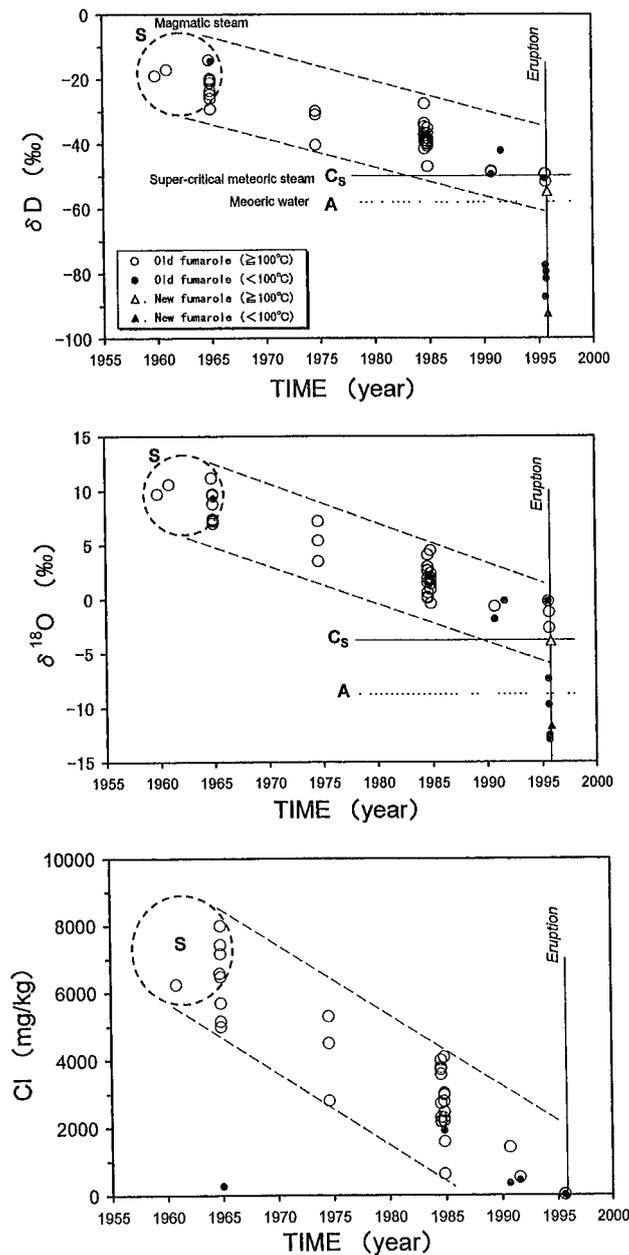


図3：九重硫黄山における噴気凝縮水中の δD 、 $\delta^{18}O$ 、及びClの長期変化(北岡ほか, 1996)

謝辞

本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費基盤研究(C)(研究代表者 北岡豪一)、並びに基盤研究(A)(研究代表者 江原幸雄)によるものである。有益なご意見を賜った京都大学地球熱学研究施設の由佐悠紀教授、並びに議論していただいた田中良和助教授に謝意を表す。

Appendix 1：理想気体の等エントロピー流れについて

気体力学によれば、流体のある流管に沿う断熱エネルギー式： $h + (1/2)u^2 = \text{const.}$ は、内部で粘性や熱伝導があっても成り立つ。ここに、 h は比エンタルピー、 u は流管断面の平均流速である。理想気体では、 $h = c_p T$ であるので、断熱エネルギー式は、

$$c_p T + \frac{1}{2} u^2 = c_p T_0 \quad (\text{A.1})$$

である。ここに、 T は絶対温度、 T_0 は $u = 0$ のよどみ点(貯気槽)における平衡温度、 c_p は定圧比熱である。気体の音速 a は、圧縮率との間に、 $a^2 = (\partial P / \partial \rho)_s$ の関係がある。ここに、 p は圧力、 ρ は密度である。理想気体の等エントロピー過程では、 $a = \gamma p / \rho = \gamma RT$ である。 γ は気体定数 R と定圧比熱 c_p と間に $(1 - \gamma) / \gamma = c_p / R$ の関係がある。エネルギー式は、音速の関係を入れると、

$$\frac{a_0^2}{a^2} = \frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \quad (\text{A.2})$$

となる。ここに M はマッハ数($M = u/a$)である。たとえば、温度500℃の貯気槽に発した蒸気が断熱膨張で300℃のまで温度を低下させた場合、マッハ数は約2.0と計算される。

なお、等エントロピー過程では、温度と圧力の変化は流速の変化によって起こる。流速は、断面積によって変化するので、流管内の連続の式と運動の式(非粘性)、及び音速の定義から、断面積とマッハ数(従って、温度、圧力)の関係が求められる。しかし、火山内部における蒸気の速い流れでは粘性による圧力損失が大きいので(Appendix 2)、このような等エントロピー過程を想定することはできない。

Appendix 2：粘性による圧力低下

Darcyの法則は、遅い地下水の流れ(層流)に適用され、流れが速くなると、慣性が影響を与えるようになり、成り立たなくなる。非Darcy流には普遍化された表現はないが、たとえば、Ward(1964)が提案した表現(Bear, 1979)には新たなパラメータが導入されてなく、かつ適用が容易である。本文と同じ記号を用いると、

$$\nabla p = - \frac{\mu Q}{\rho k} - \frac{0.55 \cdot Q^2}{\rho \sqrt{k}} \quad (\text{A.3})$$

である(Q : 単位面積当たりの質量流量、 p : 圧力、 ρ : 密度、 μ : 粘性係数、 k : 透過係数)。もし、 $k: 1 \cdot 10^{-12} \text{m}^2$ (1 darcy)、 $n: 0.05$ の媒体を300℃の蒸気がマッハ数1で通過する場合と仮想して、(A.3)式の各項を計算すると、第一項(Darcy項)が 10^5MPa/m 、第二項(非Darcy項)が 10^9MPa/m のオーダーに見積もられる。これは、そのような速い流れは実在しないことを意味する。

Appendix 3：熱水及び蒸気の滞留時間

地面から一様に供給される地下水流動系では、その平均滞留時間は単位面積当たりの地下水量と単位面積当たりの通過量(浸透量)の比で表される(Kitaoka, 1987)。温泉湧出に關係する液相循環系では、温泉水のトリチウム濃度の解析結果(北岡, 1997)を考慮して水の滞留時間を150年とし、空隙率を0.1~0.05、浸透量を1m/yとすれば、循環系の鉛直規模は1.5~3kmとなる。これは、ほぼ二相系の存在範囲、すなわち、臨界温度程度までの範囲である。一方、蒸気卓越系の滞留時間を3年として同様に行うと、密度1000kg/m³の水では30~60mの厚みになる。蒸気系の範囲を、水の臨界圧力を考慮して、2.3kmの厚さとすれば、空隙を満たす流体の平均密度は、13~26kg/m³となる。これは225~265℃における飽和水蒸気の密度に対応されるものである。天水蒸気の短い滞留時間は蒸気卓越系における速い水循環を表していると言えよう。このような深い循環系は、マグマの熱で駆動された対流によるものである。

参考文献

- 江原幸雄・湯原浩三・野田徹郎：九重硫黄山からの放熱量・噴出水量・火山ガス放出量とそれから推定される熱水系と火山ガスの起源、火山第2集、26(1)、35-56、1981。
- 江原幸雄・尾藤晃彰・大井豊樹・笠井弘幸：活動的な噴気地域下の微小地震活動—九重硫黄山の例—、日本地熱学会誌、12、263-281、1990。
- Kitaoka, K.: A model of quality distribution in groundwater with reference to natural tritium concentration. *Journal of Groundwater Hydrology*, 30, 158-171, 1987.
- 北岡豪一・由佐悠紀・大沢信二・竹村恵二・福田洋一：九重硫黄山における噴気と温泉水の安定同位体比、大分県温泉調査研究会報告、44号、25-38、1993。
- 北岡豪一・大沢信二・由佐悠紀・日下部 実：九重硫黄山における深部循環水の沸騰による化学及び同位体組成の変化、温泉科学、46、156-175、1996a。
- 北岡豪一・大沢信二・大上和敏：九重硫黄山における噴気と温泉水のトリチウム濃度、大分県温泉調査研究会報告、47号、21-28、1996b。
- 北岡豪一・大沢信二・大上和敏・由佐悠紀：トリチウムから推定される九重硫黄山における深部水循環、大分県温泉調査研究会報告、48号、21-29、1997。
- 日下部 実、松葉谷 治：マグマ性揮発物質・火山ガス・地熱水、火山第2集、30、S267-S283、1990。
- 田中良和：私信
- 谷下市松：「工業熱力学」、pp.325、裳華房、1966。
- 松葉谷 治・上田 昇・日下部 実・松久幸敬・酒井 均・佐々木 昭：薩摩硫黄島および九州の2、3の地域の火山ならびに温泉についての同位体化学的調査報告、地質調査所月報、26、375-392、1975。
- Mizutani, Y., Hayashi, S. and Sugiura, T.: Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Kuju-Iwoyama, Kyushu, Japan. *Geochem. J.*, 20, 273-285, 1986.
- 山本莊毅：「新版地下水調査法」、pp.490、古今書院、1983。
- Bear, J.: "Hydraulics of Groundwater", pp.567、McGraw-Hill、1979。

ICP発光分析法による温泉水中の主要アルカリ元素の定量

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 上 和 敏・大 沢 信 二
由 佐 悠 紀

1 はじめに

ICP発光分析法(以下、ICP-AES)が新しい分析法として開発されてから、20年あまりが過ぎた。ICP-AESは高感度であり、多元素を一斉に分析することが可能であるという特徴を有しており、現在では装置が比較的安価に入手出来るようになったので、通常の実験装置として多くの研究機関や大学の研究室などに普及するようになった。また、その汎用性の高さから、河川・湖沼水、温泉水や工業廃水などの主要・微量成分の分析に多方面で広く利用されている¹⁾。

ところが、アルカリ金属の分析においては、測定元素の励起源であるプラズマの温度が高すぎるために、プラズマ内で原子のほとんどがイオン化され、感度が著しく低下するという問題などがあり、例えば、温泉分析への利用においては消極的な研究者が多い。しかし、これを何とか解決できれば、その他の元素(例えば、Ca、Mg、Fe、Al、Bなど)と一斉に分析値が得られるようになり、極めて有益である。

本研究では、このようにICP-AESでは分析が難しいといわれているアルカリ金属のうちNaとKについて、発光強度の再現性、共存元素の影響および回収率について実験を行い、温泉水分析への実用性を検討したところ、十分に適用可能であることが示されたので報告する。

2 装置・試料

2-1 装置および分析条件

本研究では、ジョバン・イボン社(現在、インスツルメンツ社)製JY-24型ICP-AESを使用した。この装置は、他社の製品には見られない以下のようないくつかの特徴を有する。

- ① アルカリ金属に代表されるイオン化されやすい元素を分析する際に、冷却ガス(シースガス)の流量を増加させて、プラズマの温度を一時的に低下させることにより、アルカリ金属の分析でも比較的高感度に分析することが可能になっている。また、シースガス流量の増加により、トーチへの塩の付着が防止される。
- ② 2つの分光器を装備しており、内標準法で分析を行う場合、内標準元素の発光強度と測定元素の発光強度を同時に測定することが可能である。

本研究における分析条件を表1に示す。検液はペリスタリックポンプを用い、一定流量で導入した(20mL・min⁻¹)。

表1 分析条件

プラズマ出力	1 kW
キャリアーガス	0.45 L・min ⁻¹
補助ガス(プラズマガス)	14.0 L・min ⁻¹
冷却ガス(シースガス)	0.08 L・min ⁻¹
分析線:	
Na: 589.592nm	K: 766.490nm
Y(内標準): 371.0nm	

2-2 試薬および試料溶液の調整

温泉水は河川水や地下水などに比べて一般に塩濃度が高いので、分析に際しては、試料溶液の粘

性のために生じる物理的干渉や、測定元素以外の高濃度の共存元素や化合物の発光によって生じる分光干渉に十分に配慮する必要がある。そこで、イットリウム(以下、Y)を内標準元素とし、測定元素(Na、K)の発光強度をYのそれとの比として計測した。

試料水は、成分の含有量により、デジタルピペットを用いて、50mLメスフラスコに一定量分取し、ミリポア社製超純水製造装置CPW-100で作製したイオン交換水($>18\text{M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$)で定容した。試料および標準溶液には内標準元素のY濃度が5 mg/Lとなるように添加した。なお、標準溶液と内標準元素溶液には、原子吸光分析用標準溶液(和光純薬製)を希釈して用いた。

3 実験

3-1 発光強度の再現性

NaとKの5 mg/L溶液を140分間、10分間隔で測定し、発光強度の変動を調べた。測定結果を図1に示す。

発光強度はNa、Kのいずれにおいても、一方向への増加あるいは減少といった傾向は見られない。この結果は、装置が安定して作動しており、発光強度のばらつきが主にプラズマ炎に固有のゆらぎにより生じていることを示唆している。

発光強度のばらつき具合は、NaとKについてそれぞれ標準偏差にして0.79%、0.86%であった。ICP-AESでは、感度の良い元素でも1~2%程度の発光強度のばらつきがあるといわれているので²⁾、これらの値は良好であると判断される。

3-2 共存元素の影響

Na濃度5 mg/Lの溶液に、5 mg/Lから500mg/LまでのK、Ca、Mg、Fe、Alを共存させ、Naの発光強度を計測した。Kについても同様に、Na、Ca、Mg、Fe、Alを共存させ、Kの発光強度を調べた。測定結果を図2および図3に示す。

Naに対して、Mg、Alは影響を及ぼさないが、多量のK、Ca、Feの共存は発光強度の低下を引き起こした。Kについては、Na、Alの共存は問題ないが、多量のCa、Feの共存により発光強度の低下がおり、共存するMgが多いと逆に強度の増加が見られた。

影響を及ぼし始める濃度を検討した結果、Naについては、K、Ca、Mg、Fe、Alのそれぞれ20倍、10倍、100倍、10倍、20倍までの共存は許容でき、他方Kに対しては、Na、Ca、Mg、Fe、Alがそれぞれ40倍、10倍、10倍、10倍、100倍を下回る濃度であれば影響を受けないことが示された。温泉水中の溶存成分の化学組成(元素濃度比)を考えると、実際の分析では少なくとも検討に用いた元素の共存による妨害は起こらないものと予想される。しかし、実試料では、共存元素の組み合わせによる影響や微量成分の思わぬ妨害などの可能性が全くないとは言い切れない。分析化学実験では、実試料中での共存元素の妨害の有無を判断するために添加回収実験がしばしば行われ、得られる回収率が100%に近いほど共存元素の影響が小さいと判断する。そこで、本研究でも実際の温泉水を用いて同様の実験を行った(第3-3項)。

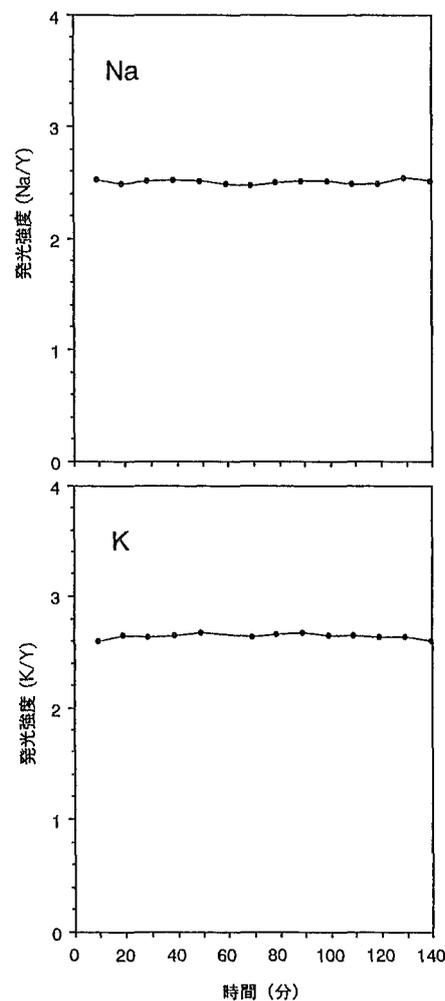


図1 NaとKの発光強度の時間変化

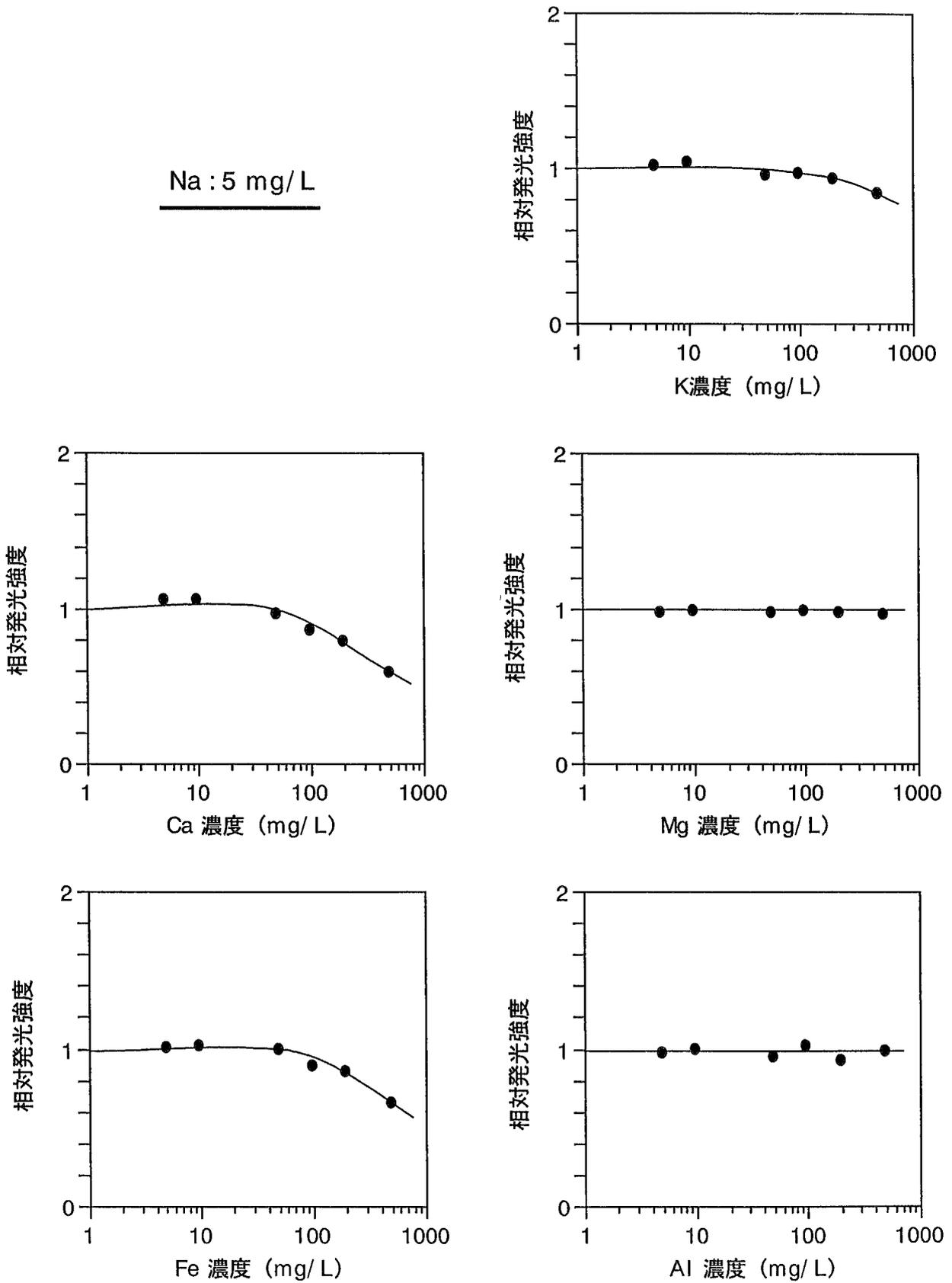


図2 Naの発光強度に及ぼす共存元素の影響
縦軸は、共存元素が存在しない場合の発光強度を1としたときの相対強度

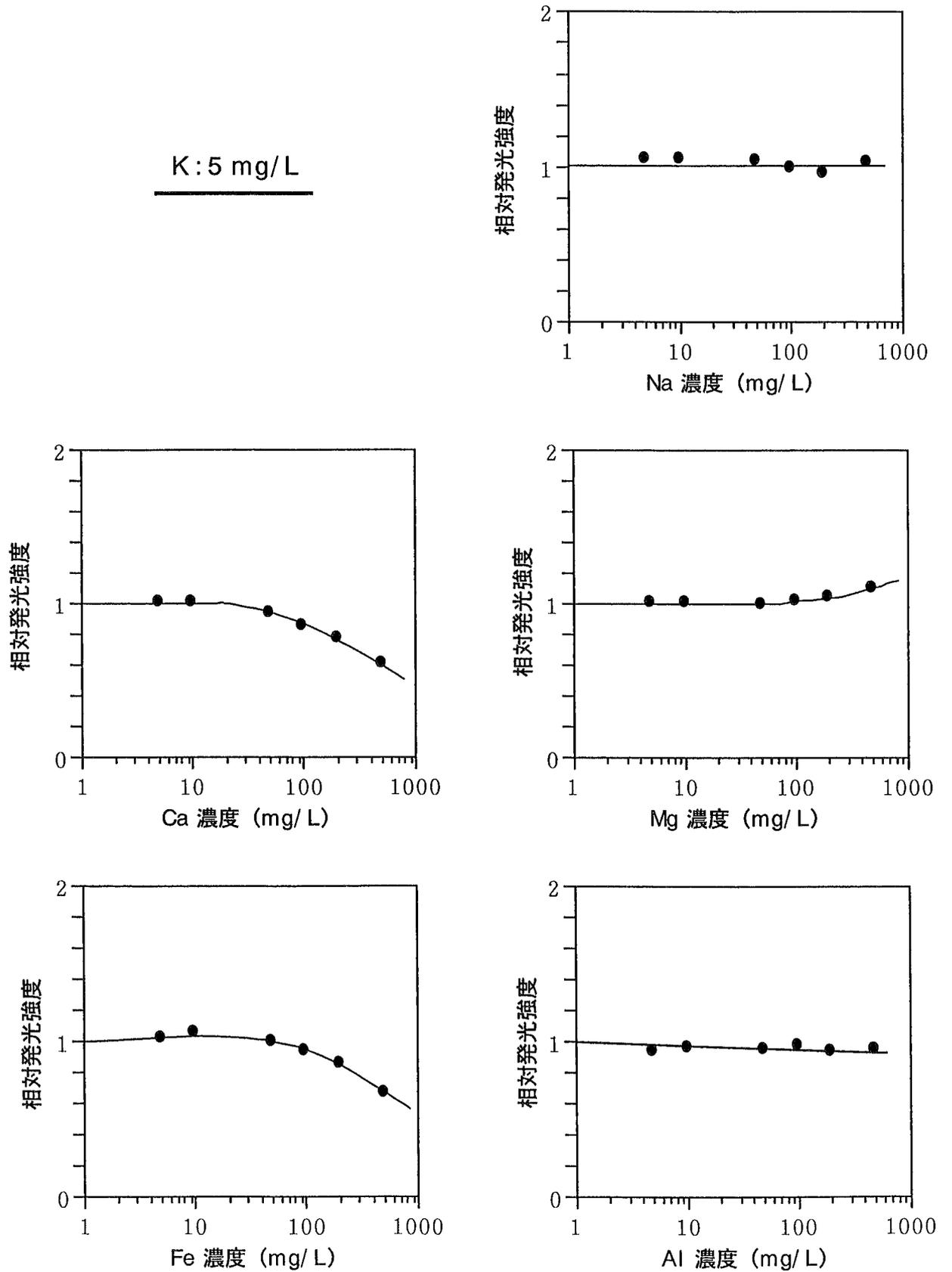


図3 Kの発光強度に及ぼす共存元素の影響

縦軸は、共存元素が存在しない場合の発光強度を1としたときの相対強度

3-3 回収率の検討

添加回収実験は、次の様に行った。

- (1) 温泉水試料を適当な希釈倍率(10~50倍)で分析し、Na濃度を求める([Na]_A)。
- (2) (1)と同じ希釈倍率になるように試料水を量り取り、これに既知量のNa標準液を添加し、高純度イオン交換水で定容して、同じ分析条件でNa濃度を定量する([Na]_B)。
- (3) [Na]_A、 [Na]_Bと添加したNaの濃度([Na]_{add})から、次式により回収率を求める。

$$\text{回収率} = ([Na]_B - [Na]_A) / [Na]_{add} \times 100$$

また、Kについても同様の実験を行った。実験には、種々の泉質の温泉水試料を用いた。使用した温泉水は、塚原温泉(湯布院町)：H-SO₄、血の池地獄(別府市)：H-Na-Cl-SO₄型、農協共済リハビリセンター(別府市)：

Na-Cl型、天満温泉(別府市)：Na-Cl-HCO₃型である。結果を表2に示す。

Na、Kの回収率は、それぞれ99.0~105%、93.5~102%であり、3-1項で示された本法の測定精度(相対誤差2~3%)を考慮すると比較的良好な値であることが分かる。以上から、実際の温泉水分析では、共存する様々な元素・化合物の妨害は無視できるものである。

表2 添加実験における回収率

試料	測定元素	添加量 (mg/L)	回収量 (mg/L)	回収率 (%)
血の池地獄 ^{#1}	Na	2.00	2.01	101
塚原温泉 ^{#2}		2.00	1.98	99.0
農協共済リハビリセンター ^{#3}		2.00	2.00	100
天満温泉 ^{#4}		2.00	2.09	105
血の池地獄 ^{#1}	K	2.00	1.98	99.0
塚原温泉 ^{#2}		1.00	0.94	93.5
農協共済リハビリセンター ^{#3}		2.00	2.05	102
天満温泉 ^{#4}		1.00	0.96	96.4

(注) #1：H-Na-Cl-SO₄型、 #2：H-SO₄型、 #3：Na-Cl型、 #4：Na-Cl-HCO₃型

3-4 実試料の分析

分析に供した試料は、中国雲南省の騰冲火山区で採取された温泉水³⁾と湯布院町塚原温泉の温泉水である。分析は表1の分析条件で、Yを用いた内標準法により行い、試料調整は高純度イオン交換水による希釈操作のみによった。分析結果を表3に示す。分析に供した温泉水は、すでに常法により分析値が得られているので、それらも併せて示した。

両者の比較から、分析はほぼ問題なく行われていることが分かった。なお、分析時間は一試料あたり、1分程度であった。

表3 実試料の分析結果

単位：mg/L

測定波長 (nm)	Rehai·II		Ruidian·II		Longling·I		Tengchong		塚原温泉		
	本法	文献値 ³⁾	本法	文献値 ³⁾	本法	文献値 ³⁾	本法	文献値 ³⁾	本法	文献値	
Na	587.592	753	687	452	392	261	217	8.9	6.1	95.0	89.7
K	766.490	98.2	99.4	40.4	40.5	16.1	21.2	1.8	2.4	28.4	19.8

4 まとめ

これまで、温泉水中のNa、KをICP-AESで分析することは困難であると考えられてきた。しかし、ICP-AESのもつ特徴(迅速性・高感度など)を生かし、同一試料からその他の元素、例えばCa、Mg、Fe、Al、Li、Bなどと共に分析値を得ることができれば、実用上極めて有益である。そこで、本研究では、アルカリ元素の分析に適した性能を有するジョバン・イボン社製JY-24型ICP-AESを用い、発光強度の再現性、共存元素の影響、回収率に関する検討ならびに常法による分析との比較検討を行った。その結果、ICP-AESは温泉水中のNaとKの定量分析にも十分利用可能であり、煩雑な分離・濃縮などの試料前処理を施すことなく、希釈操作と内標準元素の添加のみにより簡便・迅速に分析を行えることが示された。

参考文献

- 1) 小倉久子(1991)：内標準法を用いる誘導結合プラズマ発光分析法による工場排水中の重金属の定量、分析化学、40、T101-T106。
- 2) 原口紘丞・久保田正明・森田昌敏・宮崎 章・不破敬一郎・古田直紀(1998)：ICP発光分析法、p 171-177、共立出版株式会社。
- 3) 大沢信二・由佐悠紀・王 雲飛(1995)：中国雲南省騰冲火山区における熱水系の地球化学モデル、温泉科学、45、13-25。

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

— 中間報告Ⅱ —

国立別府病院リウマチ膠原病内科、リハビリテーション科
安田正之

I. 緒言

国立別府病院リハビリテーション施設は、慢性関節リウマチ、整形外科的疾患、脳血管障害を主たる対象としている。平成8年4月、「理学診療科」より「リハビリテーション科」に改称され、平成9年4月にはリウマチ科が併設された。リハビリテーション施設において温泉利用が可能であることは、リハビリテーションへの意欲を高め、温熱費の節減にもつながるため、施設の利用・運営にとって有利である。国立別府病院のスタッフに対するアンケート結果より、リハビリ施設の問題点を整理し、その解決方法を考察した。

II. 問題点の整理と取り組み

〔1〕 共通事項

アンケート結果から得られたリハビリテーション施設の解決すべき問題点を表1のように整理した。問題点〔1〕#1—#4は表2のように取り組み、管理診療会議へ報告した。〔2〕#5に対しては、リハビリテーション施設連絡箋を作成し、主治医からのリハビリテーション内容の変更の申し込みを受け、リハビリテーション施設からはリハビリテーションの進行状況の報告を行い、さらに、6カ月ごとに外来患者のリハビリテーション指示を更新のために使用した。

表1 リハビリテーション施設の問題点

〔1〕 共通事項	〔2〕 水治療に関して
#1. 受付時間	#1. 運動浴
#2. 患者さんの病棟までの送り迎え	#2. リフト浴
#3. トイレの問題	#3. ハバード浴
#4. 訓練担当士が休暇をとる時の対応	#4. 入浴介助
#5. 治療過程の開示	

表2 管理診療会議への報告

〔1〕 共通事項	
#1. 受付時間	
① 玄関を開く	8:30
② 受付開始	8:45
③ 治療開始	8:45
④ 昼休み	12:00—1:00
⑤ 受付終了	3:40
⑥ 訓練終了	4:00

- # 2. 患者さんの病棟までの送迎
 - ・病棟からの依頼に応じて連れに行く事は、時間的・物理的に困難です。
 - ・病棟出張訓練の後で訓練室への移動が必要な場合や、訓練室から病棟リハビリに出るときには、PT・OTが車椅子で看護婦詰所まで送る事は現在でも行っています。
- # 3. リハビリテーション訓練中の排尿・排便
 - ・これまでと同様に、トイレまで連れて行き、介助致します。
 - ・パンツ式のおむつの導入を考慮してください。
- # 4: 訓練担当士の休暇
 - I. 理学療法および作業療法
 - 1) 急性期患者 係で代行します
 - 2) 慢性期患者 自主訓練とします
 - 3) ベッドサイド 主治医と相談して代行あるいは中止します
 - 4) 外来患者 自主訓練あるいは来院日を変更して頂きます
 - II. 物理療法
 - ホットパック: 通常通り行います
 - マイクロウェーブ: ホットパックで代用します
 - マッサージ: 昼から入院患者のみを対象に行います
 - 低周波: 昼から入院患者のみを対象に行います
 - レーザー: 中止します
 - III. 水治療
 - 1) 運動浴(PT): 通常通り行います
 - 薬浴: 主治医と相談して決めます
 - 2) その他
 - ハバード浴: 通常通り使用可能です
 - 温泉浴・保清目的の入浴: 通常通り使用可能です
 - IV. 言語療法
 - 1) 急性期患者 係で代行します
 - 2) 慢性期患者 自主訓練の予定です
 - 3) ベッドサイド 主治医と相談して代行あるいは中止します
 - 4) 外来患者 自主訓練あるいは来院日を変更して頂きます
 - V. 嚥下訓練 リスクを伴うため中止します

〔2〕水治療

水治療に関する病院スタッフからの代表的意見を表3に、それに対するリハビリテーションスタッフの考えを表4に記した。

水治療は2つの案を試行した。第1案は、運動浴槽を用いた訓練はPT・OT指導のもとに行うと限定し、自主訓練を行わないこととした。すなわち、患者はギャッジチェアに座り、病棟スタッフが中央の小温泉槽を使って保清を行い、リフト操作は物理療法担当者が担当した。月火木の午後にPT・OTの監視下で入院患者のみを対象に運動浴槽で1時間の訓練・治療を行う事とした。

第2案は、第1案と同様に午前中にリフト操作を物理療法担当者が担当し、病棟スタッフが患者をギャッジチェアに座らせて中央の小温泉槽を使って保清を行う。午後は、月木に男女を交代しながら30分間PTが運動浴槽で治療・訓練を行い、その時間を含めて一時間は自主訓練可能な外来患者と入院患者の両方が運動浴槽を使用して訓練を行う。ハバード浴は、訓練と保清のいずれにも使用するが、午後に使用することにした。

なお、PT・OTの訓練が無く不在の時間帯は、主として物理療法担当者が監視し、監視者不在のまま運動浴槽を使用することを禁止した。

表3 水治療へのアンケートサマリー

〔1〕運動浴

- ・専任のPT、OTが開始時の説明など個々の患者に適した指導が必要。
- ・介助を要する患者には、現状では看護婦付きとなっていますが、全面的にリハビリ施設で出来ないでしょうか。

〔2〕リフト浴・ハーバード浴

- ・現段階ではリハビリというより入浴するだけに終わっている。運動の仕方を具体的に指導して欲しい。

〔3〕入浴の介助

- ・リハビリ施設で入浴介助が出来ないか。
- ・午後からの入浴で要介助の人は、リハビリ施設の助手が入浴させて欲しい。

表4 リハビリテーション施設スタッフの考え

- 1・水治療を効果的に行うためには、水着が必要である。
- 2・水着を着用して水治療を受ける前に、消毒槽を通るようにして温泉水の入った施設の清潔を図ってはどうか。
- 3・温泉浴に入浴する日はホットパックはせず、入浴しない日に行うようにすれば、相互の負担も軽減できるのではないか。
- 4・リハビリ職員は保清を行わないので、訓練目的の運動浴と保清目的の入浴を明確に区別し、後者であれば病棟職員が行って欲しい。
- 5・医師は定期的なリハビリテーション訓練の効果を評価し、効果なしとの判断であれば速やかに中止・変更を指示して欲しい。
- 6・運動浴の入り方、注意事項などパンフレットにして示してはどうか。

III. 考察

国立別府病院リハビリテーション施設は、豊富な温泉を利用した施設として50年間の歴史を有するが、その歴史と温泉を利用できることが、一方では、施設がリハビリテーション以外の目的にも利用される現実を生んでいる。すなわち、一部のスタッフや患者には施設は温泉入浴のためとの認識があり、入院患者のみならず外来患者の中にも単に入浴のためだけに通ってくる患者を生じている。

当院の水治療施設としては、運動浴室（1. 運動浴槽、2. ギャッチチェアとリフト装置および3. 小温泉槽）、ハーバード浴室、温泉浴室が主たるリハビリテーション関連設備として用意されている。このうち、運動浴室には水深約1mの運動浴槽が「コ」の字型に設置されており、その中央部に下肢・駆幹機能が不十分な患者を運動浴槽に移動させるためのギャッチチェアとリフト装置が設置されている。ギャッチチェアの横には小温泉槽がある。

この小温泉槽が従来保清目的に使用されている。その理由は、「理学診療科」の対象としてきた疾患の大半が脳血管障害後遺症であったため、中等以上の身体障害者全ての保清を病棟風呂のみではまかないきれなかったことにある。訓練目的の水治療と保清とが同一訓練室内で行われるために、保清のみを目的とする場合にも利用される結果を生んだと思われる。入浴目的で利用される限りPT・OTは関与できないし、また、関与を望むはずもない。その結果、治療・訓練を目的に指示を出した医師、施設まで送り迎えをして入浴介助をする看護婦、リハビリテーション施設スタッフの3者から使用目的と利用の現状が一貫していないとの不満が寄せられる結果となっていると思われる。

この点を改善すべく2つの案を考えた。両案とも治療の効果を挙げ不測の事態を予防するためには、運動浴槽を用いた治療・訓練はPT・OT・リハビリスタッフの監視のもとに行われるべきであるとの考えに基づいている。第1案では、PT・OTの指導下でのみ運動浴槽を使用し、PT・OT不在時には安全を第一に優先するためにその使用を制限した。しかしながら、予想に反してPT・OTが直接指導して水中運動訓練を行わねばならない件数は多くなく、また、整形外科手術後の訓練開始時期などを除けば多くは一度のPT・OTの指導で目的は果たされていた。むしろPT・OTに対しては、ベッドサイドリハビリテーションに出向くことのニーズが大きく、より多くの時間を病棟出張に振り分けねばならなかった。また、安全のために停止した運動浴槽での自主訓練は外来患者・入院患者ともにニーズが大きくなり、自主訓練を厳しく制限することは困難と判断した。よって、第2案では、PT・OTあるいは物理療法担当者の監視のもとに行う自主訓練の枠を拡大することにした。

温泉浴は身体機能に大きな支障が無く自立できている患者が使用する。ハバード浴は訓練・保清の両目的に利用されるが、ハバード浴でないと困難な患者は多くなく、長時間を割く必要はなかった。なお、鉱泥浴のニーズはきわめて少なく、鉱泥代や電気代、清掃など負担が大きいため削除した。

病院スタッフのコンセンサスが得られれば、第2案に沿って水治療を行い、更に良い環境になるように図ることが必要と思われる。

環境行政と温泉法・温泉権(II)

— 21世紀へ向けて回顧と展望 —

(大分大・大分医科大)

大野 保治

はじめに

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> I 温泉をめぐる環境行政の推移 II 戦後の温泉法・温泉行政の展開 III 温泉の権利に関する諸問題 <ul style="list-style-type: none"> 1 温泉の権利の史的展開 2 温泉の掘削をめぐる
(昨年度報告) 3 温泉の集中管理 4 地熱開発の問題点
(後続号で報告予定) | <ul style="list-style-type: none"> IV 県下の温泉地の将来展望 <ul style="list-style-type: none"> 1 別府温泉と温泉の保護(保護地域) <ul style="list-style-type: none"> A 別府市南部特別保護地域 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 本号報告) 2 県下の温泉地については続報予定 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

1 別府温泉と温泉の保護

1 概況

昭和30年代後半から40年代にかけて、日本経済の高度成長の中で全国的に温泉掘削ブーム(過剰掘削、乱掘)が起き、その結果、温泉(権)紛争や温泉公害といった社会問題が発生した。とりわけ、全国有数の“温泉県”を誇る本県では、温泉行政の推進上、その対策に追われたところである。

本県で温泉、とくに源泉についての保護対策(掘削の規制)は、昨年度号(会報第48号)の本課題シリーズ(1)で、すでに報告したところである。

再び、その概要を摘記してみることにしよう。——深刻な全国の温泉地での過熱した掘削ブームは、すでに昭和30年代に入って、別府温泉でも暗い影を落とし始めた。すなわち、昭和34年4月の段階で大分県温泉審議会(当時、現在は大分県自然環境保全審議会温泉部会に改称)では、その運営規程に、審議会の恣意的な裁量(自由裁量)を認めないで、客観的な基準に基づく「審議基準」(羈束裁量)を確立しようという気運を生じた。その結果、別府温泉で最も早い時期に社会問題となった鶴水園北浜埋立地域を対象にした「別府市特別保護地域」が設定されるに至った。しかし、この審議会運営規程による初の当該地域での「新規掘削禁止」の設定も、さほどの効果はみられなかったという(本研究会創立30周年記念誌『30年のあゆみ』昭和54年3月刊 大分県温泉調査研究会編)。

合理的かつ実効性のある温泉の保護の施策としては、昭和40年代に入って「(特別)保護地域」指定制度が採用されてからである。すなわち、同43年4月、大分県温泉審議会では厚生省(のち環境庁)の指導もあり、本温泉調査研究会メンバーの実証的な調査データに基づき、別府八湯を含む全域(広義の「別府温泉」)にわたり、新規掘削を全面的に認めないとする内容の「特別保護地域」の3地域と、掘削距離制限や揚湯量制限を定める内容の「保護地域」2地域を設定したのであった。これらの掘削規制により、温泉法(第1条)の趣旨に適う温泉の保護と利用の適正が確保されるに至った。別府温泉の上記の保護地域設定の経過と現況については、のちに述べるところである。

2 別府温泉と温泉の保護(序説)

今から30年前の昭和43年4月、大分県温泉審議会(当時)では、別府温泉(全域)について「温泉の保護」のため、保護地域の設定が制度化された。周知のごとく、「特別保護地域」が3地域(別府市南部・鉄輪・亀川)と「保護地域」が2地区(同じく別府市南部・鉄輪)がそれである。これらの地域では、前者で新規掘削の全面禁止、後者で掘削の規制がおこなわれることになった。

「温泉の保護」と1口に言っても、温泉そのものが民法上の「物」(第85・86条)としての特定性・客体性に欠けるため、法理上、温泉は把握しにくい存在である。そのため、「温泉」そのものに対して、法社会的視点から極力アプローチしてみる必要がある。

—— 元来、温泉は、地中に在って未だ人間が現実的に物理的支配を及ぼしえない状態にある場合、そのような温泉を「泉源」もしくは「泉脈」と呼び、これに対して温泉が未だ土地から分離されてはいないが、いつでも人間がこれを分離しうるような状態にある場合、そのような温泉を「源泉」と呼ぶ。また、この源泉が地表に湧出する(人為的・自然的にかかわらず)場所を「湯口」、湯口に出た湯を一般に「温泉」(温泉法ではその第2条で、この温泉の定義をしている)と呼ぶことにしたい、と川島武宜教授(東大)は提案している(『注釈民法(7)』有斐閣)。本稿でも、川島教授の叙上の概念構成を承認した上で、これらの用語を使用することとする。

以上の視座から、「温泉の保護」という一般的(抽象的)概念を捉えるなら、地中の温泉が未だ泉源もしくは泉脈の状態にある限り、人間が物理的に、また直接に支配することは不可能であろう。だが温泉が地中(地下何百m)から「源泉」の状態に立ち至る過程で、人為的に保護を加えることは、あながち不可能ではない。温泉の湧出は、人工の技術による「掘削」という事実行為を通じてのみ実現をみることができる。また、その湧出する「湯口」はその地盤(権利の側面からいえば土地所有権ないしは利用権)と無関係には存立しえない。こうして人間の支配下に入った温泉に対して「温泉利用」という現実の法律問題が起きるのである。

以上は「温泉の開発」と「温泉の利用」をめぐる法律問題で、いわば“序説”である。これから本論(具体論)に入るのであるが、その内容については次号で報告する所存である。

3 別府温泉の泉源・泉脈について

別府温泉の地中の泉源もしくは泉脈については、筆者の専門領域ではないのであるが、これまでの自然科学者(本研究会の会員)の研究成果を記述してみよう。

—— 別府温泉は、東は別府湾に面し、北・西・南の三方は地下の火山脈に囲まれ、東西は約5km、南北は約8kmにわたり展開している。その南縁と北縁には、それぞれ東西に走る断層がある。この断層により、地熱地帯の境界が示されている。

温泉は、地中の温泉井から地表に湧出されて「源泉」となるが、現在、別府市のほぼ全域にわたり温泉利用が展開されている。かつて湧出しない地区と認識されていた領域でも掘削技術の向上から湧出をみるに至り、また湧出しなくとも引湯(配湯)による温泉利用が可能となったため、ほぼ全市民が“市民皆浴”の恩恵に浴してきている。

むろん、全市域で均一に湧出をみるわけではない。地下泉脈が石垣原扇状丘陵地の南縁と北縁に集中していることは、別府八湯が所在する地点の分布からも明白である。ここに指摘するまでもなく、南縁に沿う泉脈とは堀田—観海寺—(往時は浜脇)の線であり、北縁のそれは明礬—鉄輪(地獄地帯)—血の池地獄—亀川の線である。この2大泉脈は、断層帯そのものといってよく、したがって噴気・沸騰泉・自然噴気が分布する地熱(高熱)地帯である。

この地熱の分布泉脈から離れた扇状丘陵地の中間地帯と別府湾に沿った南北の沿岸地帯は、ごく限られた地区に幾つかの沸騰泉もしくは高熱泉が見られたものの、概して一般温泉の湧出地帯といつてよい(以上の要旨——『別府市誌』昭和8年版・同48年版・同60年版、その他)。

このような分布状況の中で、鉄輪温泉と亀川温泉とを併せみていくと、西部山手(鶴見山系)ぎわに噴気泉が多く、鉄輪温泉には噴気・沸騰(高熱)泉・一般温泉の混在が見られ、さらに亀川温泉には一部に高熱泉が見られるものの、大部分が一般温泉である。このように、西部山手から別府湾に向い東部下流にいくほど噴気—沸騰泉—高熱泉—一般温泉の下温現象が見られるというのが「他の温泉地には見られない別府温泉のきわだった特徴(である)」と指摘されている(『別府市誌』昭和60年版 吉川本研究会・会長の論稿参照)。

4 本報告の趣旨

別府市全域にわたり、温泉(源)の保護と温泉の利用(適正)を目的とする〈温泉の保護〉の諸施策が採られるようになって30年の歳月が経過した。

このような機会に、本県を代表する存在ともいべき別府温泉について、温泉法施行以来50年の温泉行政を回顧するとともに、21世紀の温泉法・温泉権の在るべき姿を展望することは、あながち無益なことではないであろう。昨年度号(本会報第48号)から課題シリーズとして取り上げた狙いも、ここにあったのである。(なお、お断わりしなければならないのは、筆者の健康上の理由や調査期間に余裕がないこと。そのため内容の不備や誤解・間違いもあろうと考えるが、何ぶんのご容赦を頂きたい。)

A 別府市南部特別保護地域(次号報告)

B 別府市鉄輪特別保護地域

〔鉄輪(かなわ)温泉の概要〕

鉄輪温泉は、別府市の中心街から西北へ約5 kmに在る温泉郷で、述べるまでもなく「別府八湯」の有力な1つを形成する。

この地域は、石垣原扇状地の北辺に位置し、幾十条もの湯けむりに象徴されるように、噴気・沸騰泉の多い地熱(高熱)地帯である。また、別府観光の目玉、海地獄をはじめとする地獄めぐりコースも含まれる。加えて、温泉の泉質や湧出(噴出)の形状、医療の面、また温泉利用の側面でも多彩な展開を遂げており、別府八湯の中でも特異な地位を占めている。

地名である鉄輪の謂われは——「豊後風土記」(和銅6年 713年)によれば、河直(かなお)山が転じて鉄輪山(当温泉場の西北部にあり40.5m)になったことに始まる、と説かれてきた。この説に対して「豊後国(弘安)国田帳」(弘安8年 1285年)には、かなわの地点に「加納(かなう)」の字名が付されていることから、これに由来するとする説もある。いずれにしろ、決定的な文献が遺されていないことから、現在のところ、鉄輪—河直説が通説となっている。

なお、歴史的には、当該温泉場の開設は往時、時宗の開祖で伊予の国(現愛媛県)の出の一遍上人(別名、遊行上人 1239~1289年)が建治2年(1276)、この地に来て地の神の怒りを鎮めんと“蒸し湯”を開き、衆生の救済に当たったのが始まり、と語り継がれている。

さらに降って、明治期の鉄輪村は、これまで南・北に分かれていたが同17年、連合して鉄輪村に統一され、さらに同22年4月1日施行の市制町村制で南隣接の鶴見村とが合併し、(旧)朝日村を構

成した。別府市への編入は、昭和に入って同10年9月4日、1町(亀川町)2村(朝日村と石垣村)とともに合併した時である。以来、かつての町村名は別府市の大字として現在に至っている。

現在、当温泉場で、観光客を主な対象とする旅館・ホテルは約70軒。宿泊施設で特徴的なことは、長期滞在の湯治客のため、貸間かしまもしくは間貸まがしと呼ばれる湯宿が今日なお残されている(およそ数十軒)ことで、往年の鄙ひなびた湯治場の風情を今にとどめている。なお、会社等の保養所・療養所も少ない。

かつて大正期の浴客は約7万人、昭和12～15年の支那事変最中でも年間10万人は下らず、第二次大戦中はさすがに閑古鳥が啼く淋しさであったが、戦争が激しさを増した末期、旅館・保養所等はすべて陸海軍の傷痍軍人用の医療施設として借上げられた。

昭和39年秋、九州横断道路の起点、別府観光港から、いわゆる“やまなみ道路”が当温泉場の南端を通過するようになると、急速に温泉場の近代化がすすんで脚光を浴び、今日の繁栄の基礎が固められた。そうしたことから、一面では近代的観光温泉地として、他面では鄙ひなびた(前近代の)湯治場の性格を併せもつ温泉街として、別府八湯の中でも異彩を放つ存在として、今後一層の発展が期待されている。

〔源泉の分布の概況〕

当該鉄輪温泉は、すでに上述したとおり、旧朝日村のほぼ北半分を占める大字鉄輪に属し、温泉の湧出(噴出)は、その領域の大半にわたる。また、およそ総面積のうち6割(推計)が<(別府市)鉄輪特別保護地域>に指定されており、残余の4割が<(同)鉄輪保護地域>(昭和43年4月)に、同48年2月から<(同)北部保護地域>に領域が拡大された。(これについては、のちに項を改めて述べる。)

ここで、鉄輪温泉全域の源泉数の動向をみてみよう。

年 度	源泉総数	枯 渇 泉 数	利用源泉数	湧出量(毎分)
昭 和 43 年	246 (泉)	128 (泉)	118 (泉)	2,581 (ℓ)
〃 53 年	249	135	107	2,555
〃 63 年	199	83	84	3,430
平 成 9 年	200	81	119	3,227

(県・中央保健所 資料)

つづいて、源泉の概況をみよう。公図上の小字あざを手懸りに、地勢・歴史的背景・湧出状況・温泉利用などの諸要因を総合的に配慮して次の5地区に大別し、その上で、各地区の概況なり特徴を捉えることにする。

① 第1地区——鉄輪温泉南部地区

温泉場の南部の地熱集中地区で、もちろん特別保護地域。共浴施設・旅館・ホテル・貸間・商店(土産店)・一般住宅などの密集地区。

小字名……風呂本ふろもとを中心に向ノ原むかい、脇ノ前わきの一部を含む。

② 第2地区——同上 北部地区

同上北部で、その特徴は南部に相似している。鉄輪温泉の地熱地帯を形成し、特別保護地域。

小字名……ウカリユ(湯)を中心、ギ丁ちようバ(儀丁場)の一部を含む。

③ 第3地区——鉄輪(西山手の)地獄地区

海地獄をはじめ山・鬼山・金竜・白池・カマドなど、いわゆる「地獄」密集地区で特別保護地域である。

小字名……海地獄・鬼山・渋湯^{しぶゆ}・フロムシ・脇ノ前(の一部)

④ 第4地区——鉄輪温泉東(下)地区

この地区の特徴は、高熱泉(沸騰泉)の噴出する地区と一般温泉湧出地区とが混在していることである。また、保護地域に含まれる。

小字名……大平井・ヲリ立・鹿ノ首・ダラギ・平ノ口

⑤ 第5地区——鉄輪温泉近郊地区

この各地区(西北部・北部・東部)は地熱(高熱)地帯から外れているため温泉開発が遅れた地区である。最近、試掘して湧出した地区もあれば、他地区から引湯してすでに住宅化している地区もある。保護地域。

小字名……水落・トノヤシキ・宮ノ上・宇土山・原・中平・白畑・梶屋^{かじや}・井出・向山・木船・大観山^{たいかんやま}など、大字鉄輪の周辺部の小字。

〔第1・第2地区の概況(特別保護地域)〕

当該両地区は古来、噴気・沸騰泉をはじめとする地熱地帯であった(豊後国風土記一玖倍理湯^{くべりゆ})。また、今日の鉄輪温泉を形成してきた中核の地区である。市有(公営)の渋の湯・むし湯・熱の湯をはじめ、温泉組合(利用者組合)の共浴施設、個人有・会社有・共有のものから、一般観光客・市内外の温泉愛好者のためのレジャー温泉(ヤング温泉・ひょうたん温泉・美岩^{びがん}の湯、それにホテル所属の露天風呂など、いずれも有料)があちこちにあり、したがって温泉利用の法的形態(温泉権主体)も多彩で広範にわたっている。

つづいて、源泉の分布を公図(小字)中心にみていこう。源泉の集中している小字^{こあざ}は第1地区では風呂本^{ふろもと}であり、現在、保健所の温泉台帳によれば、この字には16泉が記載されている。そのすべてが噴気か沸騰高熱泉であるが、特別保護地域に指定されてからは代替掘削したのものも見られる。掘削の態様をみると、口径が40mm(2泉)と80mm(1泉)を除き、すべて50mm(ないし53mm)である。また深度も、自然噴出泉の29mの例外を除いて、平均して150m前後。最深のものでも250mである。

第2地区も、第1地区の南部と同性格の地区である。ここでの字名はウカリユ(湯)が中心で、源泉は6泉を数える。内訳として、大正期開設されたもの1泉(大正12年、市有区営の熱の湯共浴場)、昭和40年代2泉、同60年代1泉で、他の1泉は大正期開発されたが現在は湧出が停止し枯渇している。温度は3泉が98度～100度で噴気・沸騰泉である。掘削深度は56mの1泉を除き、150m～200mでいどである。

〔第3地区の概要(特別保護地域)〕

すでに述べたように、この地区は噴気(地獄)の集中している地獄地帯で、もちろん特別保護地域。小字別にみると、海地獄に4泉、多田に同じく4泉、脇ノ前に3泉、甲川^{こう}に2泉、鬼山に4泉、合計17泉が数えられる。いずれも噴気か沸騰泉であり、その多くが観光用として観覧に供されている。そのほとんどが98度～100度の高熱で、その噴出状況や泉質、泉色、それに周囲の環境からそれぞれ特異性を発揮している。他の温泉場には見られない数少ない観光資源として、地域経済の浮揚に貢献している。

その利用目的も、叙上の観光事業用から給湯事業、暖房用・園芸栽培用・動物飼育用・医療用な

ど多岐にわたっている。参考までに、第二次大戦直後のエネルギー資源(主に石炭・石油)不足のとき、味噌・醤油・アミノ酸の醸造用、椎茸・製茶・製菓の乾燥熱源用、また製塩や鶏卵のふ化などに広く利用されていたが、それ以後はほとんど利用されなくなった。

〔第4地区の概要(保護地域)〕

当温泉場で戦前“地獄原”と地域住民が称し、甘藷や大豆(醸造用)の蒸しに利用していた地区、それに加えてその東方・鉄輪東(下)地区の^い一帯である。この地区には、高温の沸騰泉噴出地区(大平井)と一般温泉が湧出する鹿ノ首地区とが混在している。

前者での源泉(活動中)数は7泉あり、いずれも93度～100度、口径は例外的な1泉(80mm)を除いて、すべて50mm。深度は50m～210mとなっている。一方、その南方に位置する(字)鹿ノ首とダラギの源泉は併せて9泉あり、口径は50mmの2泉を除き、すべて40mm。温度は特に低い34.5度の1泉を除き、45度～87度と比較的に高温となっている。地勢から地下水位が高いためか、と考えられる。

〔第5地区の概要(保護地域)〕

この地区は鉄輪温泉周辺の郊外地にあたり、将来、温泉開発が予想される地区。西北部の字名は山ノ上・水落・宮ノ上、北部(北鉄輪北辺)にはトノヤシキ・宮園・原・梶屋・中平・井手が、ついで北東部と東部周辺には木船・向山、それに小高い丘陵地の大観山^{だいかんやま}がある。この(字)大観山は、町名も大観山町(1組～7組)で、いち早く昭和40年代後半、宅地造成会社が温泉付き分譲地として売り出した。源泉は、この地区には湧出しないことから、約2km西方の鶴見地区(県社・火男火売神社^{ほのお ほのめ}背後の個人有源泉地)から引湯して配湯している。

この大観山以外の各地区は、各字に1、2泉、それも試掘として掘削されたと考えられるものが多く、したがって深度も200m～300mとかなり深い。温度も、噴気・沸騰泉の噴出で91度～100度のものもかなりある(木船・水落・宮園・宮ノ上・井手・宇土山・園田など)。将来、住宅用地として温泉利用がすすめば、発展することが予測される地区で、大観山町のように引湯による造成開発がすすむことも予想される。

〔鉄輪温泉と特別保護地域・保護地域〕

鉄輪温泉は、旧朝日村の大字鉄輪の領域に在り(徳川期は南鉄輪村)、別府湾に注ぐ^{はらいがわ}祓川—ハツ川(中流)—平田川(下流)を挟んで大字鶴見(同じく鶴見村)に対峙し、そのほぼ北半分の領域を占めている。

大字鉄輪には、当時から小字の数が50ほどある(昭和60年版『別府市誌』巻末資料参照)。うち、温泉が湧出するか噴気が見られる字は27を数えることができる(筆者の温泉台帳調査による)。いま、温泉孔の多い字からみていくと、次のとおりである。

- ① 鹿ノ首(第4地区) 20泉
- ② 風呂本(第1地区) 16泉
- ③ 大平井・ヲリ立(第4地区) 各8泉
- ④ ウカリユ(第2地区) 6泉

すでに述べてきたように、第1・2・3各地区は地熱地帯で噴気・沸騰泉が集中していることから、昭和43年に<別府市鉄輪特別保護地域>に指定された(第100回温泉審議会)。

大字鉄輪の領域で特別保護地域の指定に外れた残余は、この時、<鉄輪保護地域>に指定されていた。しかし、昭和48年2月に至り、東隣接の亀川温泉で同じく特別保護に外れた領域(四の湯町2区と大字内カマド地区)にも新規掘削による源泉が増加し、温泉源保護の上から掘削を制限する

必要性が認められる状況になったことから、当該鉄輪保護地域はその範囲を拡張して亀川温泉地区をも併せて〈別府市北部保護地域〉に改められた(昭和48年、第177回温泉審議会)。

〔温泉の権利と利用の態様〕

鉄輪温泉にみられる温泉の権利(温泉権)の展開は、筆者がこれまで本会報誌でその都度、述べてきたように、基本的には地域住民集団(温泉利用団体)の慣習に基づく古典的(前近代的)な旧慣温泉権のそれである。

換言すれば、温泉利用の原型は元来、地域住民集団が温泉団体の組織と団体員の資格に基づき、それぞれ利用し^あ会ってきたものである。それは、往時の山林・原野の入会権や河川・海岸の原始的な沿岸漁業権の権利に類似したものであった。

だが明治以降は、近代国家の法整備で、国家法の次元で実定法たる「明治民法」(同32年制定)が制定され、土地私有制度が認められるようになったため、個人の土地(私有地)はその所有権の効果として掘削による温泉利用が増加し、その結果、温泉の地域的・集団的利用は地域社会の解体にともなって分解の途をたどり、温泉利用の権利主体もしだいに個人中心の利用形態へと変質していったのである(温泉の権利の個別化、近代的な個人温泉権の増加による集団的利用権の解体)。

このような全国の温泉地にみられる温泉権の変容(近代的な温泉権への展開)は、当該鉄輪温泉でも、また次節に取り上げる亀川温泉でも同様に見られるところである。このような意味で、法社会的に把握するとき、注目に価する温泉場として興味を呼ぶ。鉄輪温泉が近代的側面の温泉利用と前近代の鄙びた温泉場としての調和の上に成りたっている現在、これが将来どのような形で進展していくかは、温泉研究者にとっては興味を呼ぶところである。

C 別府市亀川特別保護地域

〔亀川温泉の概要〕

亀川温泉も、別府八湯の1つである。別府市全域では北辺部、鉄輪温泉の東方に位置して別府湾に沿い、西部は鉄輪に、南部は北石垣、北部は速見郡日出町(豊岡)に接している。

歴史的沿革について。——明治初期、亀川村の周辺には小浦・小坂・古市・内カマド・野田・平田などの諸村(邑)があった。これらは明治6年(1873)、大小区制設置で第2大区13小区に組み込まれた。同11年、大小区制にかわる郡区町村制施行で、第2大区は再び「速見郡」となり、郡役場は日出町に置かれた。

明治17年、亀川村と内カマド村とが連合町村の編成で「亀川村」となり、さらに同22年4月施行の市制町村制で「御越村」に改称、この時以内、旧村名の亀川は大字として残され現在に至っている。この御越村が「亀川町」と町に昇格したのは明治34年11月1日のことである。のち昭和に入り、この亀川町と朝日・石垣の2村とが同10年9月4日、別府市に合併したのである(昭和48年版『別府市誌』参照)。

亀川温泉の概要について。——別府市中心街より北方約3kmの別府湾沿いに在り、町を東西に二分する形でJR日豊本線と旧国道とがほぼ平行し、また沿岸寄りに国道10号線が別府湾に沿って走っている。亀川駅より旧国道に沿って亀陽泉・筋湯・蕩耶泉・浜田温泉・四の湯などの共浴施設が散在し、これらを取り囲んで旅館(ホテル)・商店・一般住宅が混在し、当該温泉場を南北に形成している。

旅館(ホテル)は約30軒。農閑期には、鉄輪温泉とともに農山村部や岸岸の農漁民に広く湯治場として親しまれてきた。しかし、昨今では、鉄輪温泉に先を越された感が強い。亀川駅の西山手の方

角に広大な敷地をもつ国立別府病院(戦前は海軍病院)があり、温泉治療施設もあって地域医療に寄与している。また、その東には、身障者のための社会復帰授産施設「太陽の家」(社会福祉法人、昭和40年開設、現在745人)が設けられ、国際的にも注目を浴びている。その他、会社等の保養所・療養所も少なくない。一般住民も、多くが自家温泉、公営・私営の共浴場、配湯(引湯)など何らかの形で温泉利用の恩恵に浴している。

当該亀川温泉の西北部山奥には、市道(鉄輪～亀川線)に沿って血の池地獄と竜巻地獄(間歇泉)の個性的な噴気(観賞用)が見られ、地獄めぐりコースにも組み込まれている。さらにその上流、柴石川の溪谷には、別府八湯で秘湯の「柴石温泉」が存在する。旅館は2、3軒、民家も十数軒ほど。

この柴石温泉は、八湯の中でも“秘湯”として知られ、戦前から一部のの人に親しまれていた。昨年(平成9年)春、市で泉源の修復と環境の整備がなされ、木造和風の入湯諸施設と駐車場が完備してからは観光客はもちろん、市内外の温泉愛好者の中で人気を博し、過去1年間の利用客は予定目標8万人をはるかに超える21万5,195人と予想外のブームを呼び、とかく低迷ぎみの別府観光にあって万乗の気を吐いている。なお、この地域は亀川特別地域には含まれず、大字内カマド・大字野田とともに「別府市北部保護地域」に指定されている。

〔亀川温泉と特別保護地域・保護地域〕

さきにく別府市亀川特別保護地域の指定領域からみよう。温泉行政の諮問機関である県環境保全審議会温泉部会の内規によれば、大字亀川の地で指定された特別保護地域の街区は、亀川中央町と四の湯町の全部、それに亀川東町(地先を含む)と規程されている。ここにいう「地先」とは、西隣接の平田町(往年の平田村)全域と思われる。

また、昭和43年県の保護地域指定の時点で亀川特別保護地域から外された地域については、上掲鉄輪温泉の節で指摘しておいたように、同48年2月に至り鉄輪保護地域と合併して「別府市北部保護地域」に拡張指定された(第177回温泉審議会)。この保護地域はかなり広範囲で、大字鶴見のほとんどと大字鉄輪の残部、大字野田・同内カマドの全域、また大字北石垣のうち国道500号線(やまなみ道路)以北の部分が含まれる。かつて(戦前)、これらの領域の多くは温泉の湧出しない地区と考えられていた。しかし、戦後は、掘削技術の向上と引湯範囲の拡大とで温泉利用がすすんだ。

〔源泉の分布状況〕

まず、亀川温泉全域における源泉数の変動(30年間)を下の表により見てみよう。

年 度	源泉総数	枯 渴 泉 数	利用源泉数	湧出量(毎分)
昭 和 43 年	426 (泉)	120 (泉)	305 (泉)	8,296 (ℓ)
〃 53 年	459	92	355	9,984
〃 63 年	423	58	350	9,876
平 成 9 年	426	57	369	10,568

(県・中央保健所 資料)

すでに見てきた鉄輪温泉と同様に、基本的傾向としては、30年間大きな変動は見られなかったと言ってよいだろう。もっとも、ミクロの視点では、枯渴源泉数が30年間に半減した結果、その分だけ利用源泉数と湧出総量が増加した。この点については、注目されてよい。

つづいて、各地区別に検討する前に、ここでも鉄輪温泉の報告手順にしたがい、亀川温泉全域を

次の4地区に大別し、それぞれについて概況なり特徴を見ていくことにしたい。

(1) 第1地区——亀川中央町周辺地区(特別保護地域)

小字名……汐入 由原 蕩耶泉 亀川町 亀ノ甲 板山 ^{みょうちんすじ} 妙珍筋

(2) 第2地区——亀川四の湯町周辺地区(同上)

小字名……湯ノ元 湯ノ上 風呂ノ坂 ^{はき} 櫛ノ元 清原庵 寺ノ上 自応寺など

以上の第1・第2地区とも古来、温泉の湧出(自然)地区で、温泉街形成の中心的地区であった。

(3) 第3地区——亀川東町・平田町周辺地区(特別保護地域)

小字名……弁天町 天神町 石無 定石 北別府 ウカリ(1部)

この地区は、歴史的にみれば、第1・第2地区に遅れて温泉開発が進められた地区。戦後の掘削泉が多い住宅地区である。

(4) 第4地区——四の湯町2区周辺地区(保護地域)

小字名……観音寺 ヒヤケ 峯田 広町 水引 布蔵田 前田 ハニクチ 恵良迫 平口
銅面 台 花房 ツル 幸原 論田 ^{なる} 鳴 亀ヶ平 向原 山添 向平

この地区は温泉未開発地であったが、昭和40年代に入って温泉開発がすすめられた。ほとんどの字での温泉孔は1又は2泉で試掘として掘削され湧出したものである。

[第1・第2地区の概要(特別保護地域)]

亀川温泉は古来、自然湧出(高熱泉)地帯で大正期に開発されたものが多く、湧出する小字も上掲のごとく、第1地区で汐入・由原・蕩耶泉・亀川町・亀ノ甲・板山があり、第2地区では四の湯共浴温泉を取りまく数小字がある。これらの源泉が亀川温泉発祥の中核となって、現在に至っている。第1・第2の両地区で、第二次大戦後に掘削された人工温泉をも併せると、その総数はおよそ150泉を超える(もっとも推計、筆者の調査)。

このうち、約1割が古来の、もしくは明治後半期から大正期に開発された温泉である。ちなみに、県の温泉台帳によれば、汐入地区で温泉の掘削許可(又は自然湧出泉の認定)を受けたものは、18泉中大正期のそれが2件、由原地区が5件(20泉中)、蕩耶泉が6件(8泉中)、亀ノ甲が3件(21泉中)見られる。また、四の湯地区周辺でも3件(21泉中)がそうである。これらの事実は、亀川温泉場の形成が自然湧出の源泉を中心になされ、歴史的には明治後期～大正期に発達したものであることを実証している。

さて、当時は、源泉の数が少なかったことから温度も比較的が高く、沸騰泉や高熱泉も少なくなかったという(古老の談)。大正初期、上総掘りと呼ばれる工法が採り入れられ(別府温泉では、明治12年仲町の^{よろずや}万屋儀助が^{つきゆ}突湯の元祖という)、源泉の数が増えるにしたがい温度も下がったといわれている。

温泉利用の態様も、ほとんどが共浴場に地域住民と外来浴客とが入り会っていた(入会権的な温泉利用権)。ところが、このような「外湯(主義)」中心の共同利用がしだいに変容を遂げるに至った。その社会的背景には、明治民法の制定と私有財産制の確立(土地所有権の保障、現行憲法では第29条=財産権の尊重)による個人意識の高揚、第一次世界大戦がもたらした経済の好況、それに掘削技術の向上、温泉旅館の増大などを指摘することができよう。こうした結果、温泉利用も個人有源泉による「内湯(主義)」志向へとしだいに移り、温泉街を形成して温泉町(都市)へと進展していったのである。

ここで、地区(小字)での源泉の現況を「汐入地区」に限定してみよう。温泉台帳によれば、

すでに述べた大正期のもの2泉の他は第二次大戦後の昭和30年代が5泉、同40年代が同じく5泉、50年代が3泉、同60年代以降は3泉となっている(総数18泉)。もっとも、特別保護地域に指定されてからは新規掘削は認められないことから、代替掘削による掘り替えである。掘削口径は50mmの1泉を除き、すべて40mm。深度は40m～100mで、最深のものは120m(1泉)である。これは、鉄輪温泉のそれに比べて浅い。温度も45度～57度で、大半が入浴適温の46度から48度である。湧出量は毎分、平均で20数ℓとなっている。

〔第3地区の源泉の概況(特別保護地域)〕

この地区は、現在の街区では、亀川東町と平田町の全域である。詳しく述べれば、国道10号線を挟んで海岸寄りが東町、西寄りが平田町である。第3地区の南の境界ラインは隣接する照波園町との直線、また北の境界ラインは、平田川に架設された平田橋から下流に七福橋・天神橋(第1・2)、さらに新平田橋に至る川の線である(西地先は平田橋より鋭角になっている)。

当該地区には、東町に市営の競輪場と中央浄化センターが所在し、平田町には主として一般市民の住宅と会社の別荘・保養所(数件)とが見られる。なお、小字名で言えば、石無・定石^{じょうせき}・天神町・弁天町(一部)が当該地区に含まれる。

つぎに、当該地区の源泉の概況について。——筆者の調査によれば、この地区には67泉が数えられる。その内訳として、大正期のもの2泉(噴気・沸騰泉)をはじめとして、昭和元年～20年に掘削されたもの5泉、戦後の昭和20年代が4泉、同30年代15泉、同40年代23泉、同50年代10泉、同60年代3泉、平成に入ってから5泉となっている。この数字に実証されるように、この地区は、第1・第2の源泉集中地区から地勢上外れていることから温泉開発が遅れ、昭和30年代から40年代にかけての過剰掘削期に掘られた人工源泉が主軸となっている。そのため、掘削深度も100m以下のものは少なく(数件)、ほとんどが100m～200mである。温度も入浴適温の43度～50度前後が多く、60度を超えるものは約1割ほどである。

〔第4地区の概要(保護地域)〕

この地区は、亀川四の湯温泉地区と鉄輪(下)温泉に挟まれ旧市道(亀川～平田線)に沿った新興住宅地区である。戦前は全く温泉の出ない地区であったが、現在は行政街区も四の湯町2区として発展し、温泉利用が見られるに至った。西方部の丘陵地にはイトーピアの造成振興住宅があり、引湯による温泉利用(日本地熱興業KKの配湯による)がなされている。戸数は大観山町で122世帯。(ちなみに、小字「大観山」は、南鉄輪村当時の図面では大字鉄輪内に表示されているが、『別府市誌』の資料(付表字名表)によれば、大字亀川の中の1字とされている。)

〔亀川温泉と温泉の保護〕

亀川温泉の領域は、遺されている公図(別府法務局)によれば大字亀川に所属する。この大字には、小字が104数えられる(昭和60年版『別府市誌』資料編「大字名字名」表)。このうち、温泉の湧出する小字は過半数の53を数える(筆者の調査、但し推計)。また、当該温泉場で特別保護地域に指定されている小字の数は約40、残余は保護地域に含まれている。

この特別保護地域には、先に見てきた鉄輪温泉、それに次号(来年度号)で取り上げる別府市南部特別保護地域と同様に、狭隘な街区面積の中に源泉が極端なまでに密集している。

亀川温泉全域の源泉総数は426泉(平成9年度)。このうち、約250泉(推計)が第1・第2・第3の地区に集中している。このような別府温泉(3特別保護地域)に見られる傾向は「全国の温泉場には全く類を見ない(別府温泉の)最大の特徴である」。そしてまた、源泉が多い割には「源泉1孔当りの採湯量(湧出量)が他県のそれに比べて格段に低い」旨の指摘がなされている(本会報第25号吉川

恭三論稿「温泉利用と温泉保護における問題点」参照)。

別府温泉にあって、「温泉の保護」という行政施策の下に「温泉開発」と「温泉利用」とが、このような(吉川教授の)指摘のように源泉の分布現象として結実している社会的事実は注目され、かつ評価されてよいのではあるまいか。そこでは開発と利用という基軸概念が調和的に温泉行政の上で利用秩序を維持し、ひいては市民の「公共の福祉」に貢献していると考えられるからである。

(あしがき)

本報告書作成に当たって、今回もまた、県生活環境課温泉担当の御杳氏、県中央保健所(旧別府保健所)の塚崎氏、土師氏に何かと協力して頂き、貴重な助言を下された。ここに記して、厚く御礼を申し上げる。

なお、残念なことは先日、吉川恭三教授の訃報に接したことである。約40年間、教授の大分県温泉行政に尽された業績はあまりに大きい。想い起せば筆者が昭和40年、東大に内地留学し川島武宜教授(民法・法社会学、故人)研究室で温泉法・温泉権の研究グループに加えられた時以来、そしてまた筆者が昭和44年度に温泉審議会委員を拝命して今日に至るまで、温泉の自然科学の基礎知識にうとい私に懇切ていねいにご指導・ご教示を頂いた。私にとって、その学恩はあまりに深く、大きい。旅立たれた先生を深悼し、ただただご冥福を祈るばかりである。

梅雨空に影ひとつ連れ逝きにけり

硫黄山水蒸気爆発に伴う周辺温泉の実態調査

大分県衛生環境研究センター

宮崎 正^{*1}・樋田 俊英
首藤 武巨^{*2}

はじめに

1995年(平成7年)10月11日夕べに257年ぶりに水蒸気爆発を起こし、活発な活動を始めた硫黄山の周辺は、九重火山温泉群として、県内でも有数の温泉地域である。今回の水蒸気爆発がこの周辺に湧出する温泉の泉温、泉質等に影響を与えることになれば、温泉の適応症・禁忌症にも影響を与えるおそれがある。そこで、水蒸気爆発後の泉質と水蒸気爆発前の泉質の比較検討を行った。なお、この調査は、1995年(平成7年)12月から定期的実施されてきており、今回、1998年度(平成9年度)調査結果もあわせて概略のとりまとめを行ったので報告する。

調査方法

硫黄山の噴気の影響を比較的受けやすいと思われる硫黄山周辺の温泉を主調査地点とした。筋湯のホテル花草原は、平成7～8年度の調査から河川水の流入等が窺える結果が出たので調査地点から除外し、新たに筋湯温泉の代表的な自然湧出泉である薬師湯と久住町の赤川温泉(赤川荘源泉)を調査地点として追加した。また、星生温泉は、星生谷八合目の湧出量の多い2カ所の源泉を約2km引湯したものであるが、平成9年10月の調査で送湯パイプ補修の影響がでたり、pH、蒸発残渣量、イオン量等から他の異なった源泉の影響が推察され、源泉の再調査を計画したが、冬季の積雪や崩壊により詳細な源泉調査は実施されていない。

調査地点：レゾネイトくじゅう(久住高原)、星生平(長者原)、新清館(笠ノ口)、法華院温泉(法華院)、星生温泉(星生谷)、大丸旅館(長湯)、花草原(筋湯)、赤川温泉(赤川)、薬師湯(筋湯)

調査年月：1995年(平成7年)12月、1996年(平成8年)1月、3月、5月、7月、11月、1997年(平成9年)3月、7月、10月、1998年(平成10年)2月に現地調査及び試料採取を行った。

調査分析方法：鉱泉分析法指針に基づく中分析によった。pH、炭酸物質及び遊離鉱酸は現地で測定し、 H_2S 、 S_2O_3 、 Fe^{2+} (pH4以下の時)、重金属類等は現地で前処理を行い、試料とした。なお、Li、Na、K、Ca、Mg、Al、T-Fe、Mn等はICPで、Cl、Br、 NO_3 、 SO_4 等はイオンクロマトグラフで測定した。

調査結果

各調査地点の主な調査結果は、表1～4のとおりである。水蒸気爆発前の調査年月日は1993年(平成5年)、1994年(平成6年)であるが、法華院温泉、星生温泉は、大分県温泉調査報告書¹⁾及び大分県鉱泉誌²⁾より1981年(昭和56年)、1958年(昭和33年)のデータを、赤川温泉及び薬師湯はそれぞれ1986年(昭和61年)、1981年(昭和56年)のデータを引用した。

泉温は星生平を除いてほとんど変化はなかった。星生平は、水蒸気爆発前に比較して泉温が若干上昇しており、噴気を利用した温泉でもあることから、水蒸気爆発による噴気の影響も考えられる。

ま と め

水蒸気爆発後、温泉中のガス成分であるCO₂やH₂Sに変化があった。1996年(平成8年)11月の調査以降、レゾネイトくじゅうで温泉のCO₂含有量が上昇したまま安定している。また、H₂Sについては、法華院温泉で水蒸気爆発後減少し、痕跡程度となっている。これが一時的なものかどうか調査を総括する。

噴気を利用した星生平の泉温の上昇や、レゾネイトくじゅうでSO₄の上昇傾向がみられたことは、硫黄山水蒸気爆発による噴気の影響があったことが推察される。

その他の温泉の主成分についての変化はほとんどなく、これ等の温泉成分の成因等に対する噴気の影響はあまりなかったものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 大分県温泉調査報告 温泉分析書 第33号：大分県(1982)
- 2) 大分県鉱泉誌：大分県(1970)
- 3) 昭和55年度 地熱発電による大気汚染防止基礎調査：大分県(1980)

別府地域の地震(3)

— 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(由佐ほか, 1996)によって観測された、1996年12月までの別府地域の地震データについては、本報告第47号および第48号に述べられている(由佐ほか, 1996, 1997)。前回までの報告に引続き、1997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】

1997年1月から12月までの1年間に、観測された近地地震の数は244個であった(末尾の震源リスト参照)。なお、ここでの近地地震とは、BGRLにおける初期微動継続時間(S-P時間)が約3秒以内のものである。最大マグニチュードは3.41で、この地震は1月15日1時5分頃、大平山付近の海面下4.5kmで発生した。

1996年の近地地震は173個で、このシステムが稼働しはじめて以来、もっとも活動が活発であったが、1997年はさらに活発であったと言える(図1)。観測された244個の地震のうち、九州管区気象台のネットワークでも観測されたのは(震源リストに○印を付したもの)57個だけである。

地震の発生頻度(日別)

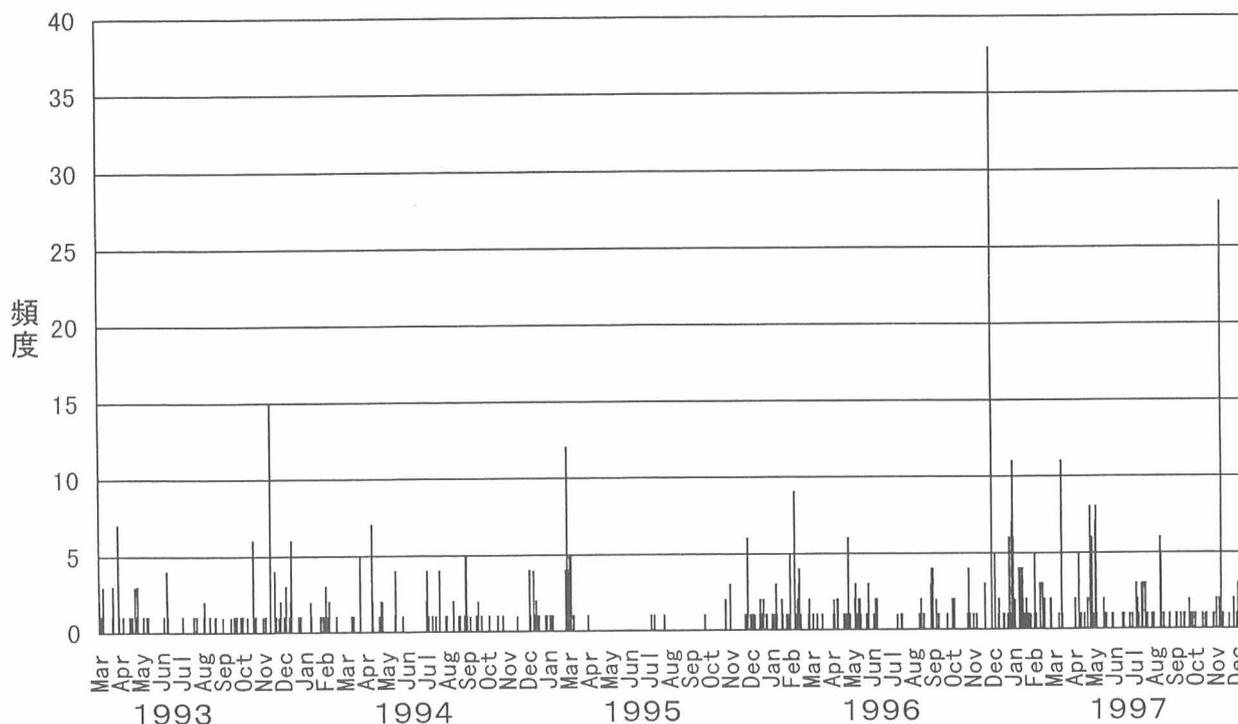


図1 日別の地震発生頻度：1993年3月28日 - 1997年12月31日

1997年の震源分布を図2に示す。前年までとほぼ同様に、ほとんど全ての地震が、別府北断層と朝見川-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、従来と同様に群発的なものが多く、由布院断層沿い、および太平山近辺に集中している。震源の深さは、発生域の中心部(鶴見岳一带：図のTRM付近)で浅く、これから離れるにつれて深くなっているのが特徴的である。しかも、中心部に地震の空白域が認められる。

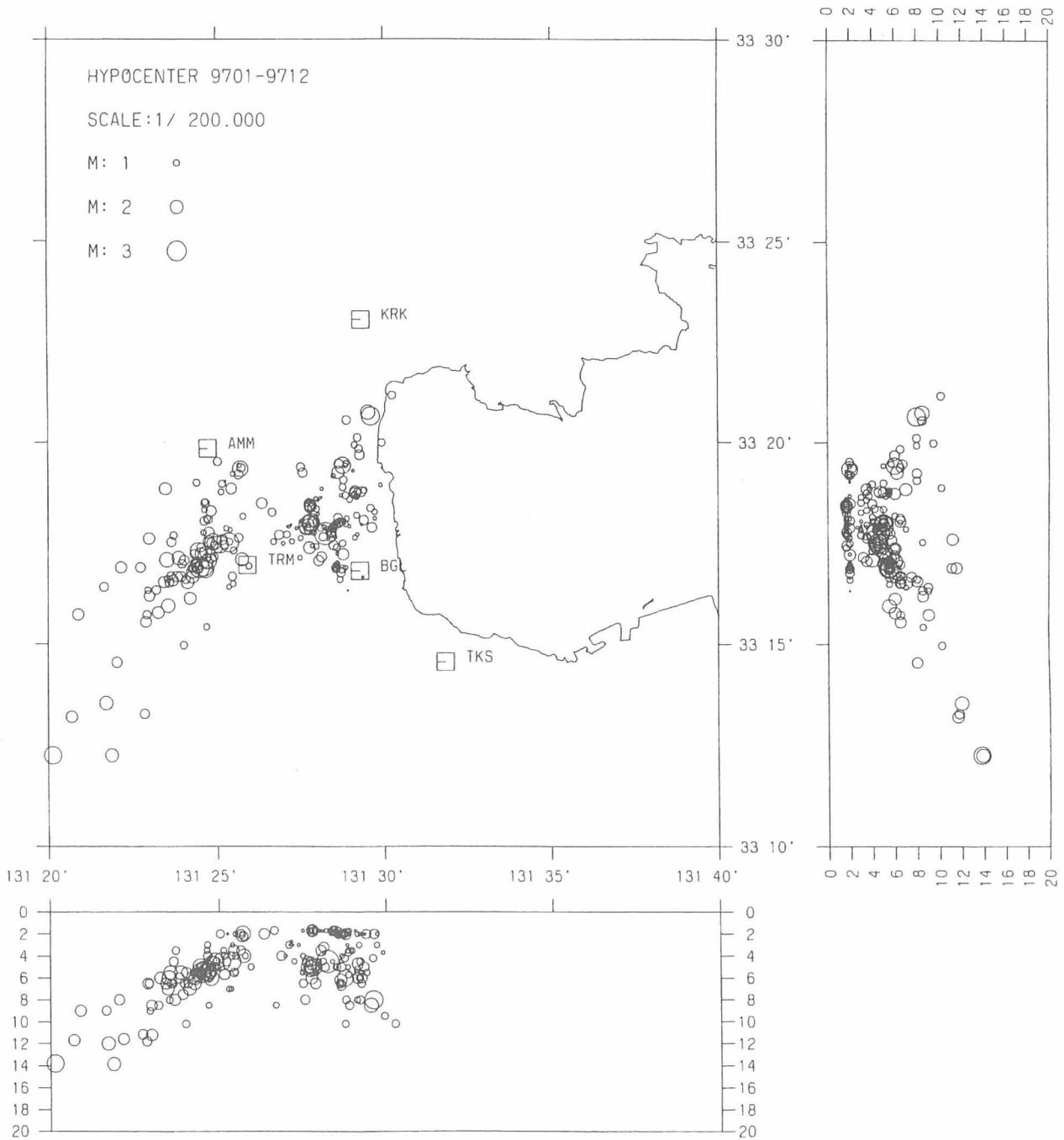


図2 別府地域の震源分布：1997年1月-12月

図3は、1997年におけるマグニチュードの頻度分布である。分布パターンは、前年までのものと比べて、マグニチュードが1より小さい地震の頻度がやや大きい、際立った違いは認められない。参考のため、1993年から1997年までのすべての地震の頻度分布を、図4に示した。

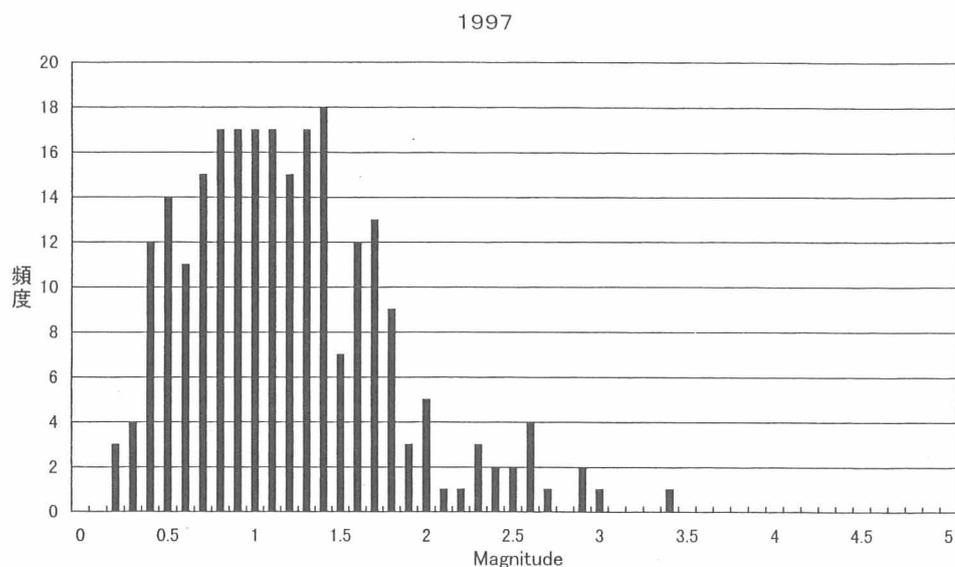


図3 マグニチュードの頻度分布：1997年1月－12月

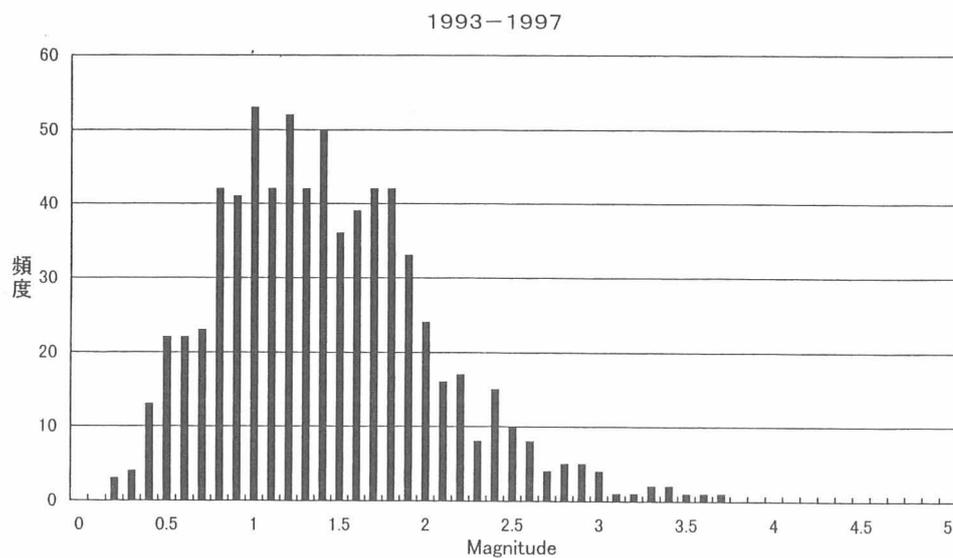


図4 マグニチュードの頻度分布：1993年3月28日－1997年12月31日

なお、観測システムの保守とデータ整理は、主に馬渡秀夫が担当した。（文責：由佐悠紀）

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.

震源リスト

○:九州管区気象台で観測されたもの

1997

発震時(JST) 年/月/日 時:分:秒	北緯 度 分	東経 度 分	深さ km	MAG	備考
1997/01/06 12:28:58.46	33 18.50'	131 26.35'	2.00	1.64	
1997/01/07 20:48:34.69	33 19.26'	131 28.64'	6.20	1.90	○
1997/01/12 05:06:47.88	33 20.55'	131 28.90'	8.50	1.32	
1997/01/13 20:26:10.67	33 16.32'	131 28.92'	2.00	0.23	
1997/01/14 22:35:40.81	33 16.66'	131 29.37'	2.00	0.40	
1997/01/15 01:05:30.18	33 17.75'	131 28.25'	4.50	3.41	○
1997/01/15 01:47:53.94	33 18.12'	131 29.73'	2.00	0.56	
1997/01/15 02:23:21.67	33 17.98'	131 29.34'	2.00	0.37	
1997/01/15 03:44:09.32	33 17.93'	131 28.98'	3.50	0.52	
1997/01/15 08:34:34.09	33 18.04'	131 28.76'	4.20	1.10	
1997/01/15 08:35:56.73	33 18.08'	131 29.41'	2.00	1.42	
1997/01/16 10:28:34.62	33 17.52'	131 25.36'	4.50	2.91	○
1997/01/19 00:15:56.45	33 16.92'	131 28.62'	2.00	0.91	
1997/01/19 01:05:01.69	33 16.87'	131 28.57'	2.00	1.14	
1997/01/19 01:44:39.24	33 16.91'	131 28.65'	2.00	0.61	
1997/01/19 02:16:14.17	33 16.88'	131 28.57'	2.00	1.36	
1997/01/19 02:19:18.99	33 16.98'	131 28.53'	2.00	0.52	
1997/01/19 07:30:06.67	33 17.03'	131 28.61'	2.00	0.48	
1997/01/19 09:41:45.35	33 16.99'	131 28.62'	2.00	0.79	
1997/01/20 13:26:57.77	33 17.77'	131 24.76'	5.50	1.71	
1997/01/20 13:56:22.29	33 17.55'	131 24.75'	4.50	1.73	
1997/01/20 13:57:24.84	33 17.54'	131 23.64'	4.50	1.40	
1997/01/20 14:02:37.75	33 17.13'	131 23.86'	5.50	2.06	○
1997/01/20 14:03:09.74	33 17.09'	131 23.51'	6.00	2.24	○
1997/01/20 14:20:04.66	33 17.32'	131 24.44'	5.00	2.42	○
1997/01/20 14:25:34.97	33 17.23'	131 24.32'	6.00	1.28	
1997/01/20 14:48:35.10	33 17.47'	131 25.08'	4.50	2.66	○
1997/01/20 16:06:48.21	33 17.08'	131 24.02'	5.50	1.54	
1997/01/20 21:14:48.79	33 17.37'	131 25.02'	5.00	1.32	
1997/01/20 23:17:45.76	33 17.28'	131 24.66'	5.00	1.83	○
1997/01/21 00:55:26.93	33 17.00'	131 24.34'	5.50	1.42	
1997/01/21 04:43:25.30	33 17.32'	131 25.50'	4.00	1.06	
1997/01/21 05:06:58.28	33 17.46'	131 25.22'	4.50	1.31	
1997/01/21 05:07:16.86	33 17.24'	131 24.51'	5.00	1.74	
1997/01/21 05:12:56.75	33 17.10'	131 25.74'	4.00	2.04	○
1997/01/21 05:23:00.30	33 17.64'	131 25.65'	3.50	1.35	○
1997/01/24 05:55:12.05	33 18.08'	131 28.68'	4.00	0.73	
1997/01/24 23:31:10.24	33 18.28'	131 29.72'	3.00	0.87	
1997/01/30 08:12:39.28	33 16.67'	131 23.92'	7.50	1.54	
1997/01/30 08:59:44.68	33 16.52'	131 24.12'	7.00	1.93	
1997/01/30 14:06:06.05	33 16.57'	131 23.68'	8.00	1.68	
1997/01/30 15:26:33.01	33 16.19'	131 22.99'	8.50	1.63	
1997/01/31 03:21:27.46	33 18.20'	131 29.19'	6.00	0.93	
1997/01/31 16:07:14.33	33 17.74'	131 28.44'	1.70	1.19	
1997/01/31 16:17:47.47	33 16.86'	131 28.54'	2.00	0.48	
1997/01/31 16:28:00.53	33 17.75'	131 28.35'	1.70	0.66	
1997/02/02 12:49:31.04	33 18.86'	131 25.43'	3.50	1.67	
1997/02/03 03:27:09.54	33 15.78'	131 23.25'	6.00	1.77	
1997/02/03 08:47:38.47	33 15.72'	131 22.91'	6.50	1.25	
1997/02/03 11:32:00.38	33 18.14'	131 28.63'	6.50	1.35	

震源リスト

○:九州管区気象台で観測されたもの

1997

発震時(JST)		北緯	東経	深さ		備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km	MAG	
1997/02/04	18:02:15.65	33 17.54'	131 26.69'	8.50	0.94	
1997/02/04	22:45:12.61	33 19.07'	131 28.80'	8.00	1.16	
1997/02/04	23:11:31.81	33 19.93'	131 29.13'	8.00	0.94	
1997/02/04	23:17:37.78	33 15.94'	131 23.54'	5.50	2.07	○
1997/02/05	11:08:37.93	33 15.55'	131 22.89'	6.50	1.66	
1997/02/05	20:14:55.64	33 17.15'	131 24.70'	6.00	1.28	
1997/02/06	16:34:32.72	33 17.85'	131 27.75'	4.50	1.49	
1997/02/07	09:55:57.80	33 14.55'	131 22.03'	8.00	1.57	
1997/02/09	21:46:52.60	33 17.90'	131 29.64'	2.00	1.48	○
1997/02/10	02:37:43.76	33 18.34'	131 24.63'	3.50	0.92	
1997/02/10	02:46:57.72	33 18.52'	131 24.65'	3.00	1.02	
1997/02/11	05:16:53.19	33 17.55'	131 27.25'	4.50	0.81	
1997/02/12	14:35:07.73	33 16.86'	131 28.75'	2.00	1.25	
1997/02/15	20:26:47.79	33 16.90'	131 28.86'	2.00	0.74	
1997/02/17	22:12:55.68	33 18.09'	131 24.74'	5.00	1.26	
1997/02/22	20:49:08.33	33 18.23'	131 28.03'	1.70	0.47	
1997/02/23	13:28:55.01	33 18.06'	131 27.51'	1.70	0.51	
1997/02/23	21:07:12.38	33 18.01'	131 28.66'	5.00	1.42	
1997/02/23	21:35:42.68	33 17.88'	131 28.39'	4.50	0.64	
1997/02/23	21:48:39.88	33 17.91'	131 28.54'	5.00	1.06	
1997/02/23	21:49:58.03	33 17.87'	131 28.49'	5.00	0.88	
1997/02/25	15:17:17.08	33 17.77'	131 24.60'	5.00	0.89	
1997/03/03	13:52:09.85	33 19.43'	131 28.78'	6.00	2.49	○
1997/03/03	14:05:34.32	33 19.43'	131 28.86'	5.00	0.73	
1997/03/03	14:19:31.60	33 19.30'	131 29.09'	1.70	0.44	
1997/03/07	07:27:28.39	33 19.69'	131 29.29'	6.00	1.49	
1997/03/07	07:32:16.16	33 19.84'	131 29.26'	6.50	1.20	
1997/03/07	22:41:34.75	33 17.63'	131 27.51'	4.00	0.80	
1997/03/10	11:07:30.68	33 16.77'	131 28.72'	2.00	1.35	
1997/03/10	11:28:33.66	33 16.83'	131 28.75'	2.00	0.87	
1997/03/19	00:31:08.24	33 17.44'	131 27.86'	5.00	0.63	
1997/03/19	00:57:07.79	33 17.43'	131 27.98'	4.50	0.92	
1997/03/20	16:13:06.27	33 19.25'	131 27.57'	8.00	1.41	
1997/03/20	16:20:23.08	33 19.39'	131 27.51'	6.50	1.26	
1997/04/01	08:56:04.76	33 18.36'	131 27.98'	5.00	1.00	
1997/04/05	22:17:13.95	33 18.39'	131 27.78'	1.70	1.66	○
1997/04/05	22:21:05.88	33 18.45'	131 27.78'	1.70	1.67	○
1997/04/05	22:36:10.30	33 18.50'	131 27.71'	1.70	0.99	
1997/04/05	22:45:37.01	33 18.55'	131 27.76'	1.70	0.87	
1997/04/05	23:40:24.02	33 18.63'	131 28.10'	1.70	0.45	
1997/04/05	23:43:14.39	33 18.65'	131 28.14'	1.70	0.24	
1997/04/05	23:47:07.53	33 17.91'	131 27.16'	2.70	0.47	
1997/04/05	23:48:48.61	33 17.96'	131 27.22'	3.00	0.31	
1997/04/05	23:49:24.01	33 17.92'	131 27.12'	3.00	0.33	
1997/04/05	23:50:08.45	33 18.43'	131 27.80'	1.70	1.84	○
1997/04/05	23:57:20.75	33 18.61'	131 27.97'	1.70	0.64	
1997/04/06	00:00:07.62	33 18.45'	131 27.80'	1.70	1.89	○
1997/04/26	02:00:19.08	33 19.37'	131 25.73'	2.20	1.30	○
1997/04/26	02:20:27.00	33 19.43'	131 25.68'	2.00	0.74	
1997/05/02	19:39:34.59	33 18.45'	131 27.89'	1.70	1.06	

震源リスト

1997

○:九州管区気象台で観測されたもの

発震時(JST)		北緯	東経	深さ		備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km	MAG	
1997/05/02	20:08:48.43	33 17.72'	131 27.10'	3.00	1.08	
1997/05/02	20:09:12.57	33 18.40'	131 27.83'	1.70	1.13	
1997/05/02	20:58:04.56	33 17.88'	131 27.39'	3.00	0.49	
1997/05/02	21:49:18.38	33 18.39'	131 27.90'	1.70	0.80	
1997/05/04	23:02:55.06	33 16.79'	131 24.28'	6.00	1.99	○
1997/05/05	03:08:55.01	33 17.30'	131 24.81'	5.50	1.12	
1997/05/10	21:28:58.44	33 17.62'	131 22.99'	11.21	1.75	
1997/05/15	11:24:29.10	33 19.17'	131 28.49'	2.00	0.71	
1997/05/15	22:33:26.29	33 17.97'	131 28.65'	4.50	0.61	
1997/05/19	18:15:35.02	33 18.02'	131 27.76'	5.00	2.37	○
1997/05/19	22:06:40.15	33 18.02'	131 27.83'	5.00	2.62	○
1997/05/19	22:15:11.90	33 18.06'	131 27.88'	6.50	1.65	
1997/05/19	22:30:11.55	33 17.95'	131 27.64'	4.70	0.77	
1997/05/19	22:48:36.64	33 17.95'	131 27.74'	5.00	2.90	○
1997/05/19	22:55:32.51	33 18.03'	131 27.89'	5.00	1.46	
1997/05/19	23:28:11.96	33 17.86'	131 27.65'	4.50	1.69	○
1997/05/19	23:43:24.24	33 17.97'	131 27.74'	5.00	0.88	
1997/05/20	00:16:25.55	33 18.04'	131 27.98'	5.00	1.04	
1997/05/20	02:09:36.74	33 17.96'	131 27.74'	5.00	1.88	○
1997/05/22	02:46:32.00	33 17.78'	131 27.90'	5.50	0.92	
1997/05/22	20:09:48.76	33 16.33'	131 23.19'	8.50	1.30	
1997/05/22	20:10:51.78	33 16.33'	131 22.95'	9.00	1.01	
1997/05/22	20:13:39.32	33 17.87'	131 25.28'	7.00	0.83	
1997/05/22	20:25:13.25	33 16.61'	131 23.52'	8.00	1.05	
1997/05/22	21:15:33.97	33 16.66'	131 24.27'	6.50	1.88	○
1997/05/25	04:13:59.45	33 17.75'	131 28.51'	1.70	0.71	
1997/05/27	15:23:20.97	33 12.25'	131 20.13'	13.80	2.62	
1997/05/27	15:26:22.20	33 18.66'	131 29.19'	3.00	0.87	
1997/05/27	16:03:14.01	33 18.79'	131 29.34'	5.00	1.48	○
1997/05/27	18:07:50.54	33 18.75'	131 29.16'	6.00	1.69	○
1997/05/27	18:17:15.80	33 18.78'	131 29.27'	5.50	0.80	
1997/05/27	19:49:40.46	33 18.73'	131 29.13'	5.50	0.79	
1997/05/27	23:58:50.68	33 18.79'	131 29.15'	4.70	1.72	○
1997/05/28	00:04:17.64	33 18.78'	131 29.23'	4.50	1.14	
1997/05/28	00:25:32.46	33 18.59'	131 28.98'	3.50	0.92	
1997/05/28	02:08:28.35	33 18.95'	131 29.90'	3.70	0.59	
1997/05/28	07:21:14.80	33 18.82'	131 29.42'	5.50	0.96	
1997/05/28	10:23:58.17	33 18.04'	131 28.63'	6.50	0.77	
1997/05/28	22:10:10.22	33 15.42'	131 24.68'	8.50	0.94	
1997/05/28	22:13:38.52	33 14.97'	131 24.01'	10.20	1.14	
1997/05/28	23:01:02.86	33 13.54'	131 21.71'	12.01	2.05	
1997/05/29	22:16:49.23	33 18.70'	131 29.13'	5.20	0.94	
1997/06/09	03:11:39.72	33 18.07'	131 28.84'	3.00	0.51	
1997/06/09	06:43:19.72	33 18.17'	131 25.78'	4.00	0.94	
1997/06/10	01:09:56.91	33 18.27'	131 26.65'	1.70	1.24	
1997/06/12	15:56:43.70	33 17.98'	131 28.87'	3.50	0.83	
1997/06/13	12:25:36.85	33 18.38'	131 29.60'	4.20	1.11	
1997/06/22	18:22:57.25	33 16.68'	131 25.45'	5.50	1.30	
1997/06/23	13:26:40.78	33 17.71'	131 26.86'	4.00	1.42	
1997/07/08	21:21:12.79	33 18.00'	131 28.80'	2.00	0.50	

震源リスト

○:九州管区気象台で観測されたもの

1997

発震時(JST)		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1997/07/10	13:01:41.36	33 19.47'	131 28.88'	5.70	0.92	
1997/07/19	02:02:10.35	33 17.84'	131 25.39'	3.00	0.70	
1997/07/23	02:47:43.90	33 17.50'	131 26.98'	4.00	0.60	
1997/07/29	15:13:15.95	33 16.60'	131 28.69'	2.00	0.95	
1997/07/29	20:29:05.24	33 17.07'	131 28.05'	3.50	1.60	
1997/07/29	22:42:54.92	33 17.16'	131 28.14'	3.20	1.56	○
1997/07/31	03:32:35.40	33 17.59'	131 25.15'	5.70	1.57	
1997/07/31	06:16:34.08	33 17.23'	131 28.79'	2.00	1.71	○
1997/08/01	20:27:46.87	33 17.70'	131 23.71'	3.50	1.15	
1997/08/02	07:24:50.98	33 19.99'	131 29.95'	9.50	1.11	
1997/08/06	02:51:40.32	33 18.50'	131 24.65'	4.00	1.36	
1997/08/06	02:56:35.57	33 19.04'	131 25.25'	2.00	0.34	
1997/08/06	03:01:49.82	33 18.77'	131 25.13'	3.50	0.90	
1997/08/08	09:21:13.68	33 19.00'	131 24.40'	5.00	1.05	
1997/08/08	09:22:30.34	33 18.85'	131 23.47'	7.00	1.85	
1997/08/08	09:28:39.47	33 18.98'	131 25.16'	4.00	1.07	
1997/08/12	12:39:57.38	33 21.17'	131 30.27'	10.20	1.19	
1997/08/12	13:14:53.14	33 20.74'	131 29.54'	8.50	2.17	○
1997/08/12	13:22:22.35	33 20.65'	131 29.62'	8.00	2.77	○
1997/08/15	05:50:48.05	33 18.06'	131 28.76'	1.70	0.53	
1997/08/22	22:37:17.74	33 17.65'	131 28.56'	1.70	0.48	
1997/08/24	16:45:34.66	33 16.13'	131 24.19'	6.00	1.82	
1997/08/25	03:51:56.07	33 18.06'	131 24.62'	5.50	1.32	
1997/09/04	20:39:19.98	33 17.50'	131 28.77'	2.00	1.05	
1997/09/04	20:42:10.41	33 17.24'	131 28.61'	2.00	0.50	
1997/09/04	20:47:48.21	33 17.83'	131 28.50'	1.70	0.65	
1997/09/04	21:03:20.39	33 17.80'	131 28.43'	1.70	1.49	
1997/09/04	21:03:41.95	33 17.96'	131 28.50'	1.70	0.75	
1997/09/04	21:27:37.80	33 17.92'	131 28.21'	1.70	0.69	
1997/09/05	01:25:35.48	33 17.96'	131 28.44'	1.70	0.54	
1997/09/05	04:25:47.93	33 17.83'	131 28.30'	1.70	0.49	
1997/09/05	04:26:30.38	33 17.87'	131 28.32'	1.70	0.67	
1997/09/05	08:59:17.18	33 17.81'	131 28.49'	1.70	0.59	
1997/09/05	09:53:48.14	33 18.00'	131 28.52'	1.70	0.64	
1997/09/09	09:52:34.77	33 17.67'	131 28.18'	5.00	1.25	
1997/09/18	05:58:47.71	33 17.40'	131 28.59'	1.70	1.05	
1997/09/28	22:16:43.38	33 20.12'	131 29.22'	8.00	1.21	
1997/09/29	01:56:29.80	33 16.90'	131 22.73'	11.16	1.50	
1997/10/05	03:20:52.52	33 13.20'	131 20.69'	11.69	1.76	
1997/10/10	02:53:22.77	33 12.24'	131 21.87'	13.86	2.00	
1997/10/11	18:29:18.39	33 17.46'	131 28.50'	1.70	1.47	
1997/10/18	08:39:32.48	33 17.53'	131 24.89'	4.50	2.57	○
1997/10/18	08:41:25.01	33 17.51'	131 24.83'	5.00	1.39	○
1997/10/19	15:22:54.92	33 17.40'	131 24.53'	6.00	1.33	○
1997/10/20	01:24:37.54	33 18.85'	131 28.15'	3.70	0.56	
1997/10/23	04:03:52.35	33 18.57'	131 28.03'	1.70	0.42	
1997/10/27	19:27:29.09	33 19.47'	131 28.66'	6.70	1.43	○
1997/11/07	01:35:49.37	33 18.11'	131 24.70'	5.00	1.10	○
1997/11/11	22:58:44.45	33 18.30'	131 24.83'	4.50	1.61	○
1997/11/13	13:23:00.94	33 17.14'	131 27.49'	5.50	0.73	

震源リスト

1997

○:九州管区気象台で観測されたもの

発震時(JST)		北緯	東経	深さ	MAG	備考
年/月/日	時:分:秒	度 分	度 分	km		
1997/11/23	21:23:44.49	33 17.93'	131 28.71'	1.70	0.22	
1997/11/24	10:31:57.52	33 19.22'	131 25.48'	2.00	0.81	○
1997/11/28	14:47:39.37	33 17.89'	131 28.12'	4.50	1.03	
1997/11/28	14:50:34.87	33 17.39'	131 27.77'	6.00	1.85	
1997/12/02	05:55:08.05	33 18.69'	131 28.73'	2.00	0.51	
1997/12/02	15:34:30.88	33 18.69'	131 28.86'	3.70	1.03	
1997/12/04	23:50:44.37	33 18.89'	131 28.78'	10.20	1.07	
1997/12/05	01:20:58.18	33 17.05'	131 24.76'	6.00	2.30	○
1997/12/05	01:27:00.59	33 16.51'	131 23.57'	6.50	1.31	○
1997/12/05	01:29:60.00	33 16.85'	131 24.65'	5.50	2.57	○
1997/12/05	01:30:00.01	33 16.89'	131 24.61'	5.50	2.60	○
1997/12/05	01:30:30.51	33 17.54'	131 25.36'	4.00	1.11	
1997/12/05	01:34:15.04	33 15.72'	131 20.89'	9.00	1.71	○
1997/12/05	01:34:56.01	33 16.41'	131 21.65'	9.00	1.39	○
1997/12/05	01:47:12.26	33 16.41'	131 25.35'	7.00	0.78	
1997/12/05	01:52:02.81	33 16.53'	131 23.42'	6.50	1.71	○
1997/12/05	01:53:01.36	33 13.28'	131 22.85'	11.80	1.43	
1997/12/05	01:55:09.04	33 16.93'	131 25.95'	5.00	0.97	○
1997/12/05	01:57:51.67	33 16.99'	131 24.38'	5.50	1.25	○
1997/12/05	02:05:58.04	33 16.60'	131 24.07'	6.50	1.29	
1997/12/05	02:15:16.51	33 17.01'	131 24.61'	5.50	1.48	○
1997/12/05	02:59:52.04	33 16.89'	131 24.40'	5.50	1.71	○
1997/12/05	03:04:08.05	33 17.13'	131 24.84'	5.00	1.46	○
1997/12/05	03:04:42.71	33 16.89'	131 24.47'	5.50	3.02	○
1997/12/05	03:13:57.88	33 16.88'	131 24.25'	5.50	1.24	○
1997/12/05	03:14:23.01	33 16.69'	131 23.63'	6.50	1.24	
1997/12/05	03:48:14.53	33 16.67'	131 23.81'	6.00	1.59	○
1997/12/05	03:56:05.45	33 16.86'	131 24.37'	5.50	0.82	
1997/12/05	04:22:45.51	33 17.16'	131 24.92'	5.00	1.19	
1997/12/05	04:44:41.35	33 16.49'	131 25.48'	5.50	0.89	○
1997/12/05	05:18:45.20	33 17.45'	131 24.91'	4.50	1.19	○
1997/12/05	05:29:03.33	33 17.08'	131 24.49'	5.50	1.03	
1997/12/05	06:01:53.76	33 17.01'	131 24.69'	5.00	1.85	○
1997/12/05	06:26:29.19	33 16.92'	131 24.44'	5.50	1.13	
1997/12/05	06:58:38.67	33 16.87'	131 24.42'	5.50	1.71	○
1997/12/06	00:12:02.75	33 17.60'	131 28.34'	2.00	0.43	
1997/12/08	13:00:25.77	33 16.99'	131 23.96'	6.50	1.33	○
1997/12/17	22:12:58.07	33 18.12'	131 28.90'	1.70	0.81	
1997/12/24	02:25:34.70	33 17.65'	131 29.14'	2.00	0.76	
1997/12/24	17:48:07.06	33 17.73'	131 29.22'	2.00	0.56	
1997/12/28	23:12:12.27	33 16.90'	131 22.16'	11.59	1.72	○
1997/12/31	16:22:20.87	33 19.52'	131 25.03'	2.00	1.26	○
1997/12/31	16:24:09.07	33 19.34'	131 25.71'	2.00	2.39	○
1997/12/31	23:05:49.94	33 19.20'	131 25.66'	2.00	1.40	○

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10年7月31日現在)

顧 問

大分県議会福祉保健
生活環境委員長 富 沢 泰 一
別府市議会議長 浜 野 弘

職 名	氏 名	備 考
京都大学名誉教授	吉 川 恭 三	会長(H10.6.4まで)
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	中 城 勝 喜	〃
大分県生活環境部生活環境課長	挾 間 健	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	
大分大学名誉教授	川 西 博	
大分総合検診センター会長	辻 秀 男	
日本文理大学工学部教授	森 山 善 蔵	理 事
前大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
京都大学理学部教授	由 佐 悠 紀	理 事
大分大学教育学部教授	川 野 田 実 夫	〃
大分県立上野丘高等学校長	日 高 稔	
国立別府病院リウマチ膠原病内科医長	安 田 正 之	理 事
九州大学生体防御医学研究所助教授	牧 野 直 樹	
京都大学理学部助教授	北 岡 豪 一	
京都大学理学部助教授	田 中 良 和	
日本文理大学講師	河 野 忠	
京都大学理学部助手	大 沢 信 二	
京都大学大学院理学研究科	大 上 和 敏	
京都大学大学院理学研究科	網 田 和 宏	
大 分 市 長	木 下 敬 之 助	理 事
別 府 市 長	井 上 信 幸	〃
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	

職 名	氏 名	備 考
挾間町長	佐藤成己	
庄内町長	佐藤三千生	
湯布院町長	吉村格哉	理事
久住町長	衛藤龍天	〃
直入町長	岩屋万一	〃
九重町長	坂本和昭	〃
玖珠町長	小林公明	
天瀬町長	高倉柳太	理事
本耶馬溪町長	小野和彦	
耶馬溪町長	北山義晴	
山国町長	吉峯高幸	
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	澤崎寛	
別府市温泉課長	岡部光瑞	監事
別府市温泉課課長補佐	遠島孜	
中央保健所長	高橋敏人	監事
中央保健所次長兼総務温泉企画課長	国枝尚宏	
大分県衛生環境研究センター所長	牧野芳大	理事
〃 化学部長	神田尚徳	
〃 主幹研究員	恵良雅彰	
〃 主幹研究員	西海政憲	
〃 主幹研究員	樋田俊英	
大分県生活環境部生活環境課課長補佐	木城敬二	

書 記

大分県生活環境部生活環境課課長補佐兼自然保護温泉係長	太田幸憲	
〃 主査	御杳稔弘	
〃 主任	松原弘之	

大分県温泉調査研究会報告 第49号

平成10年7月 印刷

平成10年7月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会
大分市大手町3丁目1番1号
大分県生活環境部生活環境課内
電話 536-1111 内線 3021

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