

大分県温泉調査研究会報告

第 52 号

平成 13 年 7 月

目 次

- 別府扇状地における地下水位変動 …………… 由 佐 悠 紀 …… (1)
- 地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究 …………… 田 中 良 和 …… (9)
宇津木 充
- 瀬戸内火山帯の西端
—大分県に分布する新第三紀火山岩類の
K-Ar 年代と化学的特徴— …… 巽 好 幸 …… (15)
佐 藤 佳 子
- 大分平野に産する深層熱水中の炭酸成分の起源 …………… 大 沢 信 二 …… (21)
- 大分県南部地域湧水の水文化的研究 …………… 河 野 忠 …… (27)
- 別府血の池地獄の変遷過程の解説 …………… 大 上 和 敏 …… (37)
大 沢 信 二
由 佐 悠 紀
- 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(II) …………… 安 田 正 之 …… (45)
- 環境行政と温泉法・温泉権(V)
—21世紀へ向けての回顧と展望— …………… 大 野 保 治 …… (49)
- 大分市街地温泉の化学成分経年変化 …………… 川 野 田 實 夫 …… (59)
本 多 真 美
- 飲用温(鉱)泉の実態と利用状況について—第2報— …… 大分県衛生環境研究センター …… (63)

序

昭和24年に発足した大分県温泉調査研究会は、半世紀を超える歴史を刻んで、ここに21世紀最初の報告第52号を、平成12年度の事業の一環として発行することになりました。これは、ひとえに会員諸氏のご努力はもとより、関係行政機関並びに事務局の方々の絶大なご支援のたまものであると、厚く御礼申し上げます。

大分県という限られた地域の温泉を対象にした調査研究団体が、このように長期わたって、その活動を継続し、しかも新しい資料・知見を提供し続けていくことができたのは、歴代の会員諸氏が常に新しい調査研究課題を模索・開拓してきたからであります。見方を変えれば、この地域に展開している多種多様な温泉現象が、そうした新課題の導入を可能にするだけの豊かさを秘めているということでありましょう。

本報告に掲載されている10篇の調査研究成果は、理学・医学・法社会学さらには利用の実態など多岐にわたっています。いずれもが会員の自主的な選択によって実施されたものです。それらのうち、地磁気変化に関する研究と火山岩の年代に関する研究は、今回新たに登場した分野です。

平成12年度には、温泉とも関係のある大きな国際会議（西暦2000年世界地熱会議）が、別府市で開催されました。会議の主目的は21世紀における地熱エネルギーの開発・利用の在り方を探ることでしたが、各国の温泉についても発表され、多くの国における市民生活が温泉と深く関わっている姿が浮き彫りにされました。これまで、温泉に関する国際的交流は決して大きくはありませんでしたが、今後は国際的な情報化が進むであろうという気配が感じられます。これに実質的に応えるには、本調査研究会で実施されてきたような、地域に根ざした地道な調査研究が不可欠であります。

他方、平成13年3月、全国に先駆けて、将来の温泉行政の指針となる「大分県温泉管理基本計画」が公表されました。これは、大分県民の温泉に対する深い認識の現れですが、その認識の形成には、本調査研究会の活動が貢献した部分が大きいものと自負しております。豊かな温泉の存在をステータス・シンボルとする大分県にとって、本調査研究会の持続的発展は重要なことに違いありません。そのためにも、新会員の参加とともに、新規課題の導入を計るよう、今後とも努力を重ねなければならないと思っております。関係各位のなお一層のご理解とご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

会 長 由 佐 悠 紀

別府扇状地における地下水位変動

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

1. はじめに

温泉水の起源は温泉研究の中心的課題の一つであり、別府温泉においても、これまで研究が重ねられてきた。この問題を正面から取り上げた最初の研究は、野満ら（1938）によるものと思われる。野満らは、大正14年から昭和9年の間に蓄積された、いくつかの源泉における湧出量データを解析し、降雨などの影響を明らかにするとともに、年間の温泉湧出量が年総雨量の16%に相当することを求め、また、その内の55%は雨量とは無関係のいわゆる処女水（地球内部から上昇してきた水）であろうとした。しかしながら、この量は永年にわたる平均的な基底湧出量とみなすべきものであって、温泉水中に処女水が含まれているかどうかは、別の証拠を求めなければならない。

時代が下がり、水分子を構成する水素と酸素の安定同位体を用いて、水の起源を調べることが可能となり、別府温泉の温泉水は天水起源であることが明かとなった（北岡ら、1993）。したがって、降水の浸透によって涵養される浅い地下水の変動記録は、将来における温泉資源評価の基礎資料として重要である。別府地域においては、昭和43（1968）年に京都大学地球物理学研究施設（現地球熱学研究施設）構内に、深さ40mの浅井戸が掘られ、欠測期間や井戸の変更があったものの、継続して地下水位観測が行われ、また、これに関連した重力変動の調査も行われてきた。そこで本稿では、これまでに得られた記録を整理して地下水変動の特徴を述べるとともに、今後の課題にも触れることとしたい。

2. 観測井の位置と観測方法

観測井は海岸から約2 km内陸の、標高およそ80mの京都大学地球熱学研究施設敷地にある（図1・図2）。1968年に敷地の北東部に深さ40mの井戸（図2の地下水実験井1）が掘られ、予備観測が行われた後、1970年6月より主に触針型水位計による連続観測が開始された。落雷による故障などのため、連続観測はしばしば中断したが、手計りによる1日1回の観測は継続された。1986年には、実験井1から約120m西方に深さ60mの実験井2が掘

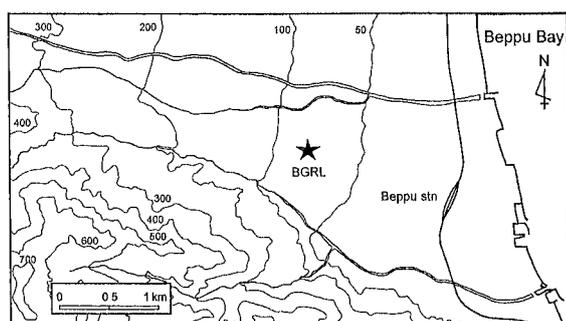


図1 地下水観測井の位置(BGRL).

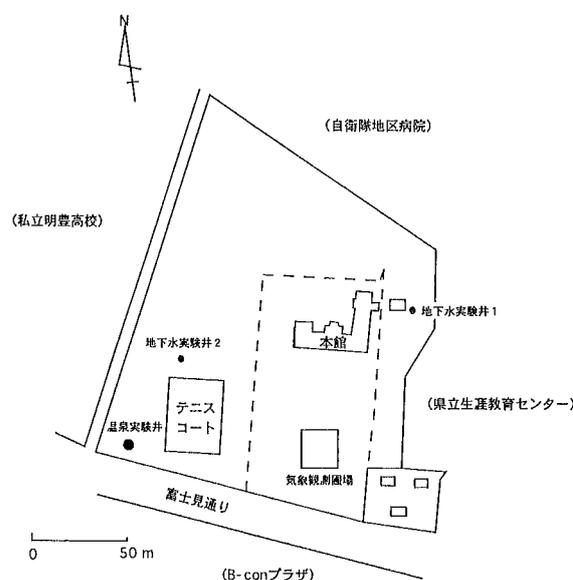


図2 地下水実験井(観測井)の配置.

られ、ここにおいても触針型水位計による連続観測が行われた。1996年頃まで、中断しながらも両井戸で観測が行われた。この間、水位計は圧力式のものに更新され、またデジタル記録方式に変更された。この両井戸での水位変動の様相はほとんど同じであることが分かったこともあって、現在は実験井2だけで観測が続けられている。後に示す記録は、連続性を考慮して、すべて実験井1での水位として整理されている。

3. 気圧変化に伴う変動

2つの実験井で観測されているのは、地下の最浅部を流動している不圧地下水である。多くの場所におけると同様に、別府扇状地においても、地下水面の勾配が地面のそれより緩やかなため、地下水面の深さは内陸に向かうにしたがって深くなり、この実験井付近では、地面下30m程度になる。水位変動でまず注目されたのは、個々の雨の効果が不明瞭で、非常にゆるやかな変動を示すことであった。記録が集積することにより、その変動パターンは雨季と乾季を反映した年周的変動であることが分かった。同時に注目されたのは、その緩やかな変動に、気圧変動ときわめてよく対応する変動が常に重畳して現れることであった。その様相は図3から読み取れるが、特徴は以下のようである。

- (1) 気圧上昇（下降）時に、水位は下降（上昇）する。
- (2) 水位変動は気圧変動より先行する。
- (3) 先行の度合は、周期の長い変動ほど大きい。
- (4) 気圧変動に対する水位変動の振幅比は、周期の長いものほど小さい。

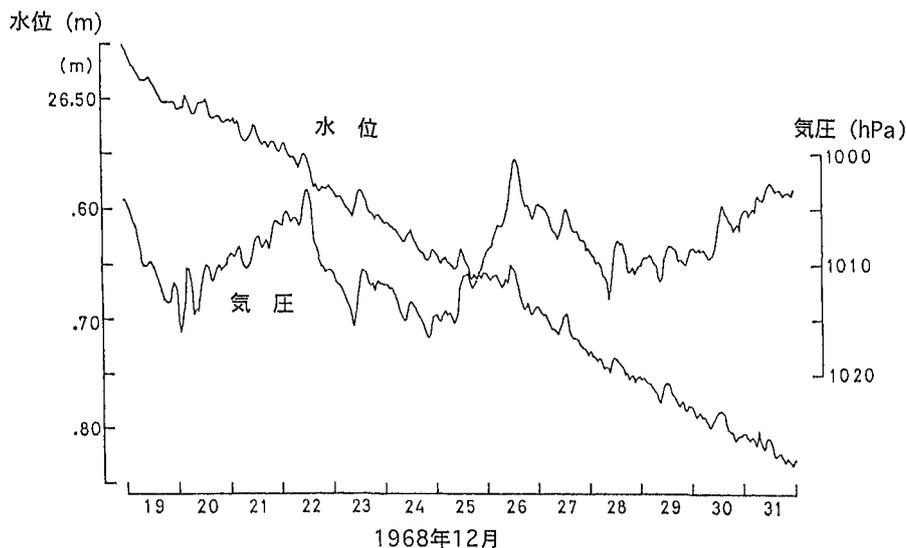


図3 気圧変動に伴う地下水位の変動。気圧の昇降が逆転して描かれていることに注意。

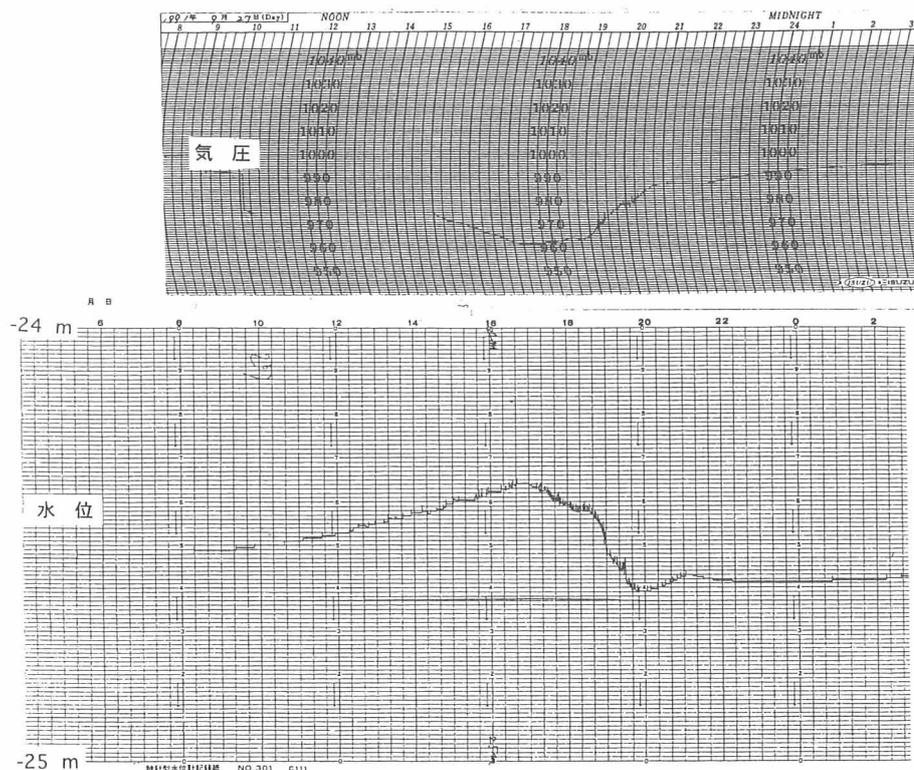


図4 1991年9月27日の台風19号通過時における気圧と地下水位の変動。

以上の特徴は、地面から地下水面に至るまでの地層（水分の不飽和層）が30mにも達するほど厚いため、地層を通しての圧力伝播が遅れかつ歪むためであることが理論的に明らかにされた（Yusa, 1969）。不飽和層が薄い所では、このようは現象は生じないので、これが別府における不圧地下水変動の特徴の一つであると言えることができる。

また、台風通過時における変動も、気圧変動の効果が現れる典型的な例であり、図4は、1991年9月27日に大分地方を通過して大被害をもたらした台風19号に伴う地下水位変動の記録である。気圧記録と水位記録との時間は、それぞれの時計が十分に正確でないため細部まで比較することは出来ないし、気圧の絶対値も若干の補正が必要である（相対値はほぼ正しい）が、台風接近による気圧の急激な低下に伴って水位は上昇し、台風通過後の気圧の上昇に伴って水位は低下したことが分かる。約30hPaの気圧変動によって生じた水位変動は約25cmである。

4. 降雨に伴う変動

4-1. 年周変動

図5は、1970年6月24日から1998年9月27日における、実験井1での水位と日降水量を一括して描いたものである。水位データは、地表面からの深さで表示した日平均値または午前10時の値である。なお、1993年前後の空白部分は、水位計の不調による欠測期間である。また、1996年4月17日以降は、実験井2での観測値を実験井1に換算したものである（前者の標高が高いため、水位は6m13cm深い）。

前節で述べたように、観測井での水位変動の主パターンは、明らかに雨季と乾季を反映した年周

的変動である。しかも、その変動幅は非常に大きく、1980年のように10mを超えている年もある。しかしながら、個々の降雨の影響は不明瞭である。これもまた、不飽和層が厚いために、降水の浸透が拡散的に変形されているためと考えられる。その解釈を、由佐（1979）およびYusa（1987）にしたがって概述する。

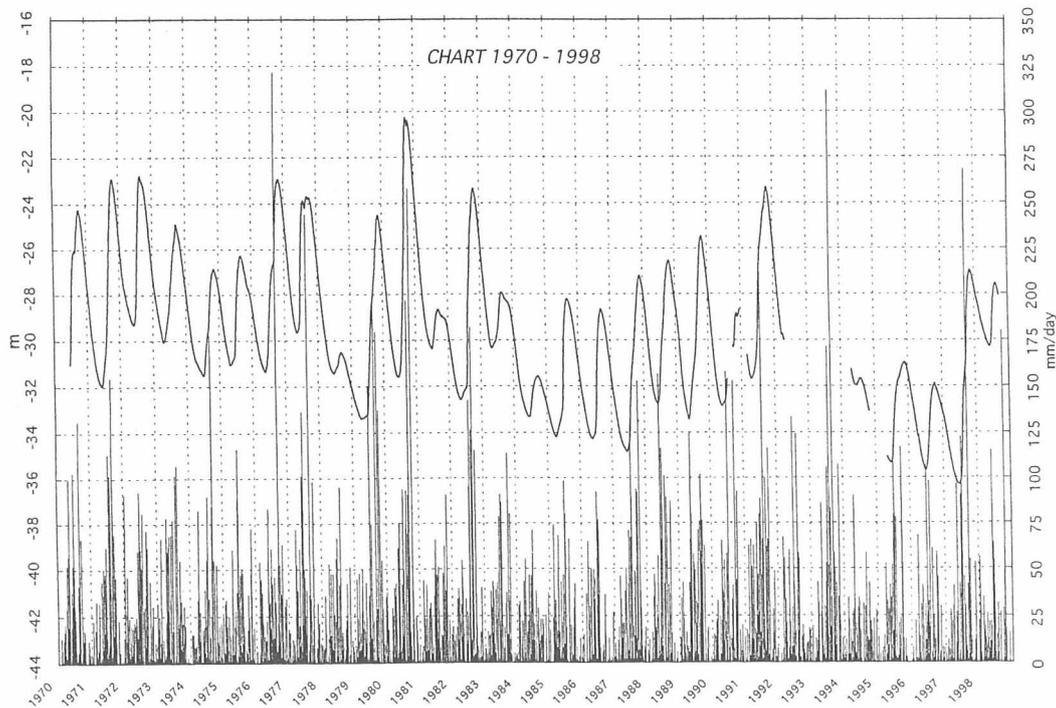


図5 1970年から1998年における雨量と地下水位の関係。棒グラフが雨量(mm/day)、折れ線グラフが水位(m)

図6は、1979年における観測例である。最上図に示した日平均の水位（地表面からの深さ： h ）を、日降水量（最下図：Rainfall）と比べると、先に述べたように、乾季（冬から春）には水位が低下し、雨季（夏から秋）には上昇しており、雨の影響で水位が昇降していることは明らかであるが、一つ一つの雨の効果は読み取れない。上から2番目の図は、水位の日変化率（ dh/dt ）であり、正の値は上昇を負の値は低下を表している。この図では、雨季においては降雨の後に上昇していることが明瞭で、また、変動パターンは降雨に対応しているように見えるが、その様相は降雨のそれとはかなり異なる。

図7は、1970年から1984年における、月平均の日雨量（Rainfall）、月平均の水位の日変化率（ $\overline{dh/dt}$ ）、月平均水位（ \bar{h} ）などを対比したものである。いずれも季節変化を示しているが、水位および水位変化率の変動は、降雨のそれよりゆるやかであり、また、時間的なずれが認められる。

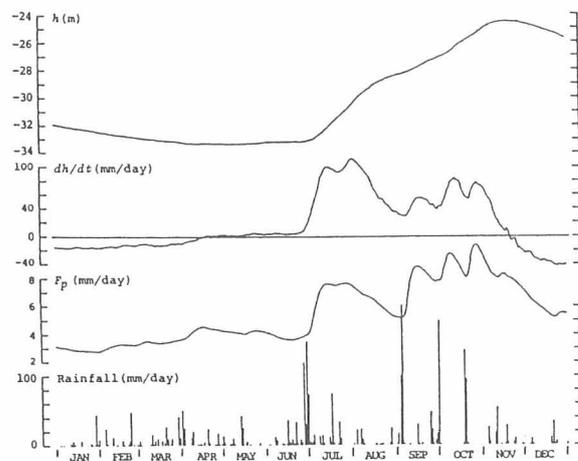


図6 1979年における地下水位(h)、水位日変化(dh/dt)、変形された雨量(地下水供給量： F_p)および雨量(Rainfall)

以上のように、降雨と水位との間には明瞭な相関があるが、降雨が水位に変換するとき、平滑化を始めとする変形が生じている。図8は、年周変動における平均的な変形の特徴をみるために、15年間における月々の平均値を求めて（すなわち、1月の平均・2月の平均・3月の平均・・・というように）対比した。図中に描いた曲線は調和解析結果であり、年周変動の特徴が明らかにされている。これより、降雨変動に対する時間の関係をみると、水位は3.7か月、水位変化率は0.7か月、それぞれ遅れている。この結果は、原因から結果が遅れて生じると言う点で、当然のようにみえるけれども、この遅れこそが、地表に降った雨が地下水を涵養する機構を推定する重要な鍵となる。

理論的考察によれば、降雨が直接地下水面に到達するような場合には、水位変動は3か月以上は遅れないし、水位変化率の変動は降雨に先行しなければならない。後者は、見掛け上、結果が原因に先立っているのが不思議に思われるが、これは、水の涵養が無いときには、水位はその高さに見合って低下するというごく普通の現象の結果、そうなるのである。したがって、図8に見られる関係は、地下水面への水の供給が降雨から遅れて生じていることを意味している。

由佐(1979)は、この遅れを評価するために、降雨によって与えられた水分が不飽和層中を移動する過程を拡散方程式で表現し、地下水面に供給される水量とその変化を推算した。図6の上から3番目の図(F_p)、図7の上から2番目の図($\overline{F_p}$)、図8の上から2番目の図($\overline{F_p}$)は、そうして得られた地下水面への水の供給量を表したものであり、図6・図7をみると、供給量と水位変化率が良く対応していることが分かる。なお、この計算に当たっては、日々の変動を示す図6で両者の時間差ができるだけ無いようにされたが、その結果をまとめた年変化を示す図7では、水位変化率が供給量よりごくわずかに先行しており、さきに述べた理論的結果と合致している。1970年から1984年までの15年間における平均では、図8にみられるように約1か月先行している。

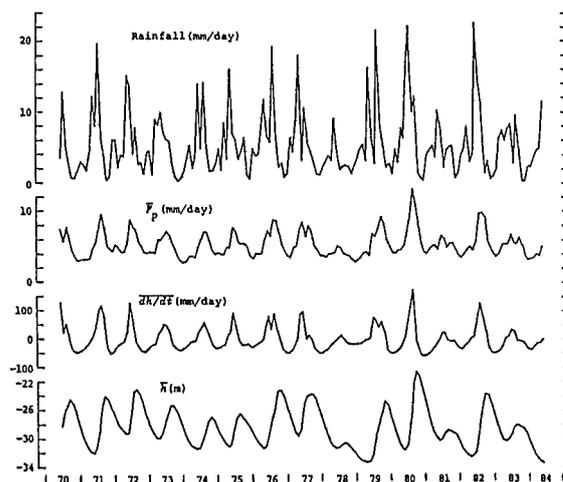


図7 1970年から1984年における月平均の日雨量(Rainfall)、地下水供給量(F_p)、水位変化(dh/dt)および地下水位(h)

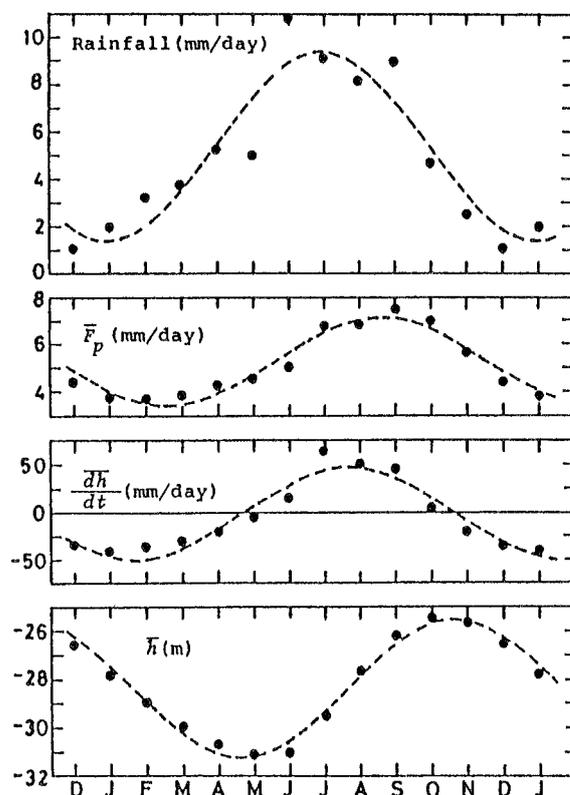


図8 1970年から1984年における日雨量(Rainfall)、地下水供給量($\overline{F_p}$)、水位変化($\overline{dh/dt}$)および地下水位(\overline{h})の年周変動パターン。曲線は調和解析の結果。

4-2. 長期変動

多雨年と小雨年があるように、雨量が年によって大きく異なることは、図5などをみても明らかである。そうした長期にわたる降水の違いが地下水位にどのように反映されるかは、例えば年平均値を比較することによって調べることができる。図9は、1970年12月から1998年3月までにおける雨量と水位の365日間の平均値を一日ずつずらしながら求めて（移動平均という）、比較したものである。図に明らかなように、こうした長期変動においては、両者が良く対応し、多雨の期間は平均水位が高く、小雨の期間は平均水位が低い。もちろん、拡散モデルによって降雨を地下水面供給量に変換すれば、対応はもっと良くなるはずであるが、今後の課題としたい。

この図で注目されるのは、雨量は変動しながらも、そのレベルに大きな変化（たとえば、一方的な増加あるいは減少など）は認められないのに対し、水位は、このおよそ30年間に、全体として低下の方向にあるようにみえることである。この原因を考察するに足る資料は持ち合わせていないけれども、舗装面積の増大など都市化の進展に伴う浸透量の減少、あるいは、より深部の温泉水圧の低下に起因する下方への移動量の増加、の2つの要因が考えられ、今後の動向が注目される。

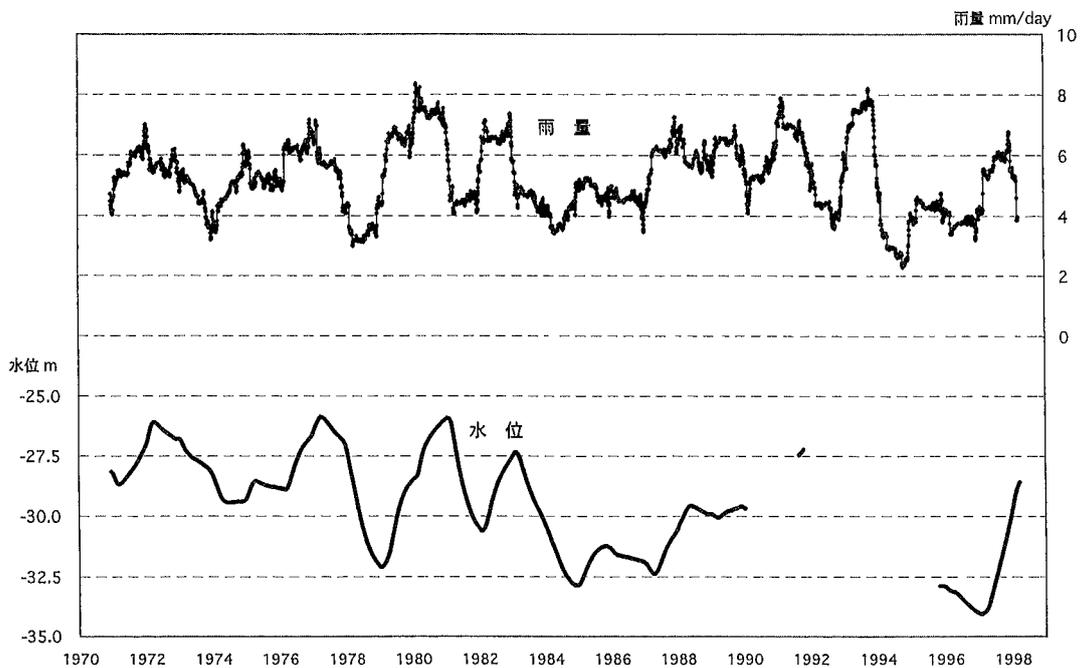


図9 1970年から1998年における日雨量と地下水位の365日移動平均。

5. おわりに—水貯留のあり方（将来の課題）—

前節で述べた水位記録と雨量（地下水面への供給量）の対比より、不圧地下水層の水貯留の特性である貯留係数（または有効空隙率）が、0.037と求められた（由佐，1979）。他方、降雨に伴う地中水量の直接的な評価を一つの目的として、1993年2月から1998年1月の間に、おおむね1回の割合で重力の繰返し測定が行われた。その結果、重力変動と地下水位変動との間に良い対応のあることが知られ、1997年1月までのデータの解析より、貯留係数として0.167が推定された（福田ら，1996，1997）。

このように貯留係数の2つの見積値が違いすぎる原因は、前者では水で飽和している地下水層の水量変動を対象としているのに対し、後者では不飽和層中の水をも一括して取扱っているためと考

えられる。そうとすれば、重力変動には、飽和層の水（すなわち地下水）の変動より不飽和層の水
量変動の方が、むしろ大きくあざかっていることになる。ひるがえって考えれば、地表面に与えら
れた降水が、浸透過程で変形するという由佐（1979）の所論は、不飽和層中に水が貯留されること
を主張しているのである。不飽和層における水貯留については、観測が困難こともあって、これま
で評価された例は非常に少ない。その評価が将来の課題であり、最近その試みが行われて興味深い
結果が得られているが（筒井，2001）、より詳細な解析が期待される。

謝辞

地下水位観測が、途中で欠測を含みながらも、30年にわたって続いてきたことは、京都大学地球
物理学研究施設（現地球熱学研究施設）の歴代職員の努力に負うものである。記して、謝意を表す
る。

参考文献

- 北岡豪一・由佐悠紀・神山孝吉・大沢信二・M.K.STEWART・日下部実(1993)：水素と酸素の
安定同位体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．
- 筒井和男(2001)：別府扇状地における地下の水貯留が重力の時間変化に及ぼす影響．平成12年度京
都大学理学研究科修士論文．
- 野満隆治・池田亮二郎・瀬野錦蔵(1938)：別府温泉涵養源としての雨量．地球物理，2，97－126．
- 福田洋一・馬渡秀夫・由佐悠紀・T.Hunt(1996)：精密重力測定による別府地域の地下水変動の研
究．測地学会誌，42，85－97．
- 福田洋一・馬渡秀夫・由佐悠紀(1997)：別府地域の地下水変動と重力変化．大分県温泉調査研究会
報告，48，31－39．
- Yusa, Y. (1969)：The fluctuation of the level of the water table due to barometric
change. Special Contrib. Geophys. Inst., Kyoto Univ., 9, 15－28.
- 由佐悠紀(1979)：深い地下水面への浸透供給過程の解析．陸水学雑誌，40，40－48．
- Yusa, Y. (1987)：Significance of thickness of unsaturated zone in infiltration process.
Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and
Application, Honolulu, 572－581.

地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究

京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設
火山研究センター

田中良和・宇津木 充

1 はじめに

火山の噴火に際し、地下の熱的状态に対する情報を得る為の方法として、地磁気変化の観測が広く行われている。これは、マグマの上昇に伴う地殻岩石の熱消磁などにより引き起こされる磁場変化を観測するもので、噴火活動の推移を知るために有効な手段の一つとして認識されており、観測・解析の手法もほぼ確立されている。

一方近年になり、活動的な火山だけではなく、静穏な状態にある火山においても磁場変化が生じることが、阿蘇¹⁾の例等からも認識されつつある。また、我々が九重火山で行っている磁場観測では、1995年の水蒸気爆発以降も非常に大きな経年の磁場変化が得られている²⁾。九重火山のような地熱変質が進んだ火山で、しかも現在のように殆ど定常状態にあるような火山で有意な磁場変化が得られるとはこれまで考えられていなかった。しかし、こうした一見、定常的な状態にある火山でも、地下水による地下の熱源のゆっくりとした冷却、地下からの熱供給と地表からの熱放出のわずかな不釣り合いによる蓄熱・放熱などといった準静的な熱的变化を反映して磁場変化が起こりうる事が明らかになった。

ところで、こうした磁場変化は火山ばかりではなく、地熱兆候を示す地熱変質帯などにおいても(火山の場合に比べればもっと小規模なものではあるだろうが)十分起こり得ると考えられる。従って、火山噴火のモニタリングで用いられている磁場観測の方法をこうした場に適用することで、地熱地帯の地下での熱的状态の時間推移を明らかにする事が可能であると我々は考えた。

しかしそうした解釈を行うためには、磁場変化をもたらす地熱系についての考察、モデルの構築を多くの場について進めなければならず、またそうした考察を通して初めて系統的な解釈が可能となるであろう。こうした事から我々は、地熱活動が活発な幾つかの地域において磁場観測を行っている。本稿では、ここに述べた着想の元となった九重火山における磁場観測について紹介すると共に、今回行った磁場観測で有意な変化が認められた伽藍岳の結果について報告する。

2 磁場変化の観測方法について

地球磁場は、磁気圏や電離層電流に起因するもの、地球深部ダイナモ、地殻岩石の残留磁化によるものなどいくつかの原因を持つものに分かれる。我々の目的は、地殻の温度や圧力変化にかかわる磁場変化を検出することであるから、他はノイズとして除去しなければならない。しかし、地球ダイナモ、磁気圏、電離層電流に起因する磁場は、その空間スケールを考慮すると、ソースから十分離れた地表の狭い範囲ではほぼ一様であるとみなすことができる。従って、対象となる火山からやや離れた点を基準として単純差を取ることでこれらの影響を除去することができる。また、Sqダイナモと呼ばれる電離層電流起源の磁場変化及び、それにより大地に誘導される磁場は、前述のものよりローカリティーが大きい、その影響は夜間に小さくなるので、連続観測の場合夜間値を扱うことでその影響を小さくすることができる。

こうした方法で、連続観測では1 nT、場合によってはそれ以下のオーダーを議論できる精度の

データが得られる。しかし、連続観測の場合、観測点の保守が難しく、欠測無くデータを取ることは困難である。また空間的に十分な密度で観測点を設置することはコストの面からも現実的でない。一方、繰り返し磁気測量による磁場測定では、測定時の磁場擾乱の程度により精度が数nTのオーダーでばらつく。反面、観測点の保守に手間がかからないために高密度で測点の展開が可能で、また確実にデータを取る事ができるという利点を持つ。こうしたことから、幾つか主要な点で連続観測を行い、その間を繰り返し観測で補完し、また両者のデータを比較することで繰り返し観測の誤差を見積もるといような観測をおこなうことが望ましい。

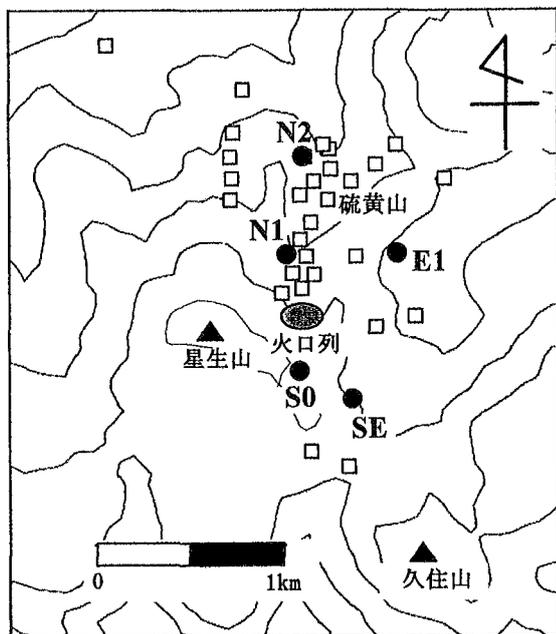


図1 九重山の磁場連続観測点(黒丸)および繰り返し観測点(白抜き四角)

が困難になり、1999年3月から繰り返し観測に切り替えた。またこの時、磁場変化の様相を空間的に細かく見るために、新火口の周囲約1km程の範囲に計35点の繰り返し観測点を設けた(図1)。

連続観測では、鉛蓄電池駆動型KM622プロトン磁力計を用い、5分間隔で計測を行っている。繰り返し観測では、GEM Systems社のオーバーハウザー磁力計を用い、これまでに、1999年3月、8月、2000年1月及び2000年6月の計4回測定が行われた。これらの計測では、一点につき10秒サンプリングで約5分間測定し、1分毎の平均値を求めている。こうして得られたデータについて、広域に生じる地磁気日変化を除去するために同時刻の基準観測点(京都大学火山研究センター)との

観測点	磁場変化 / 年
N2	-18nT
N1	44nT
E1	-2nT
S0	14nT
SE	8nT

差をとり磁場変化を求めた。連続観測については、地磁気擾乱の影響が比較的少ない夜間(午前0時~4時)について平均したものを1日の代表値とした。図2に得られた磁場変化の結果を示す。この図から、観測点N2で減少、その南側の観測点N1, S0, SEで増加の顕著な経年的変化が見られる。1年あたりのおおよその磁場変化率は左表の通りである。

一般に、磁場はさまざまな要因で経年的に変化し得るが、そうした場合に見られる変化の振幅はせいぜい数nT程度であり、それに

我々はこうした連続観測・繰り返し測定を併用した磁気観測を、九重火山において1995年の水蒸気爆発の直後から行ってきた。次節ではこの観測で得られた磁場変化と、それを説明するために構築されたモデルについて概要を述べる。

3 九重火山における磁場観測

九重火山においては、1995年10月11日、九重山系星生山の北東稜線部で小規模な水蒸気爆発が発生した。この活動で東西約300m、南北約100mの範囲に新火口列(a1, a2, a3, b, c, d, e)が出現した。主たる噴気活動はd火口周辺に見られ、熱放出量は、噴火初期に数Gワットに達したが、1996年1月以降は数百Mワットで推移している。

この活動に対して、我々は1995年11月から新火口列周辺に6点の全磁力連続観測点を設置した。しかし、これらの内の2点については、火山ガスや地表の侵食の影響などで連続点を維持することが

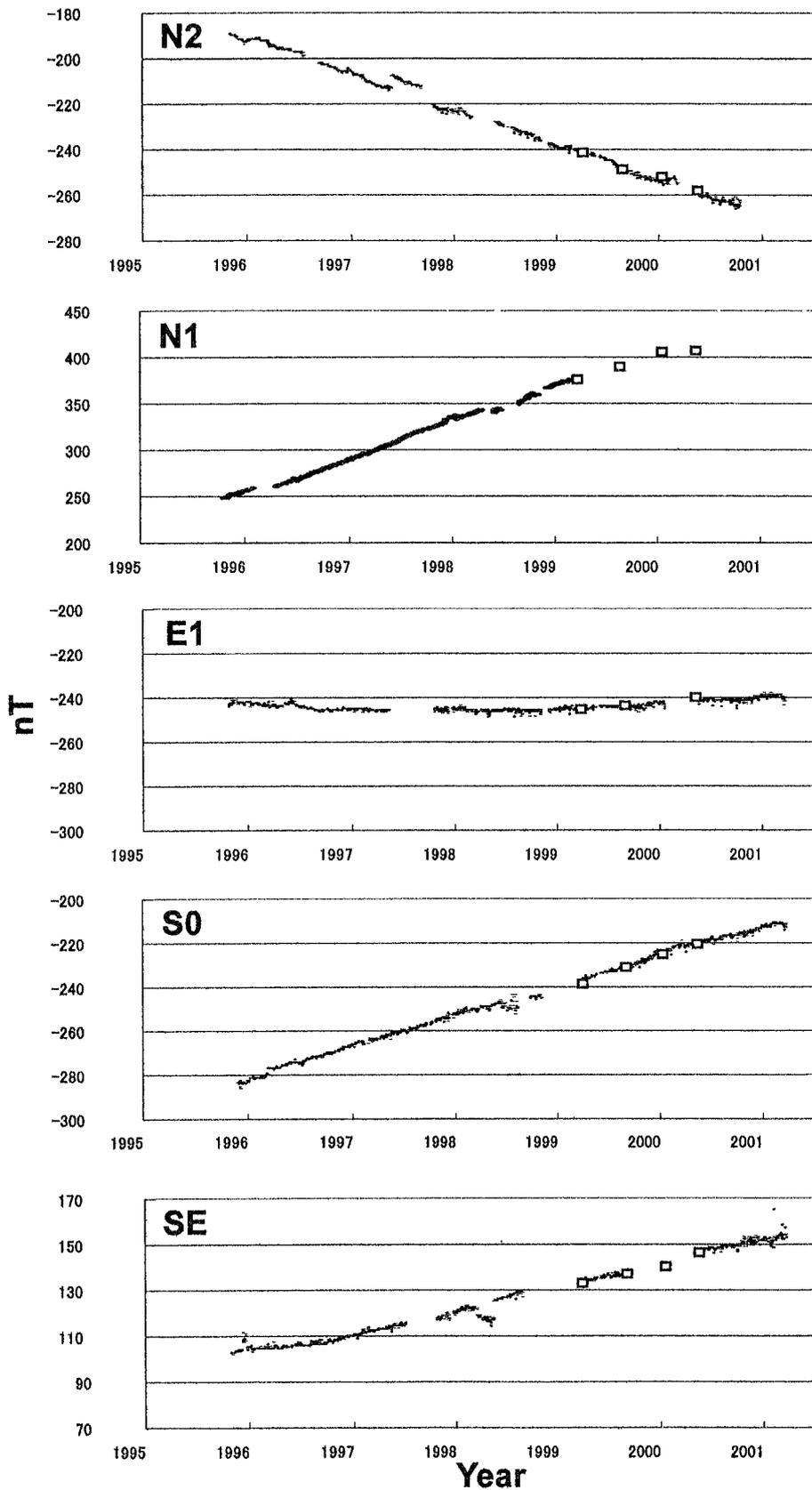


図2 連続観測から得られた九重山における磁場変化

図中の黒点は、連続観測から得られた磁場データについて、地磁気擾乱の影響が比較的少ない夜間(午前0時～4時)について平均したものを表す。白抜きの方角は繰り返し磁気測量から得られた磁場変化を表す。

比すると九重で観測された変化量は非常に大きなものである。

この経年的磁場変化を説明するために田中²⁾は地下の球殻状領域が冷却し磁化獲得していると仮定し等価磁気源の位置、磁化強度を見積もっている。彼らの解は、星生山の北460m、東200mの海拔1032mに位置し、球殻の半径300~400mで、この領域が年間15~30mずつ冷却し再帯磁することで観測された磁場変化率を説明できるとしている。ただしこの計算では火山岩の帯磁率を 2×10^{-3} emu/ccと仮定している。この等価磁気源の位置はA領域と呼ばれる在来噴気の直下で、地表からの深さは約500mに当たる。

ここで、一般に安山岩の磁化の主役はマグネタイトやチタノマグネタイトが担っているが、マグネタイトのキュリー点温度は約580℃、チタノマグネタイトはチタンの含有率にもよるが250~500℃程度である。また、200~400℃の温度領域では、熱磁化曲線の傾きが急になるため熱エネルギーあたりの磁化変化率が良くなる。そこで、前述の球殻状領域が年間200℃の温度降下をすると仮定した場合、冷却に要する時間熱量は約470Mワットとなり1996年夏以降観測されている平均的放熱量とよく一致する。

この球殻モデルの物理的イメージとして田中²⁾は次のようなものを考えている。水で飽和した地殻中に熱源がある場合、熱源周辺には蒸気膜が形成され、このため水は熱源に近づくことはできない。ところが、何らかの原因で水蒸気の抜け口が形成されれば、蒸気圧が減少し水は熱源に近づくことができる。この際多量の水蒸気が発生するが、この蒸気は新規に形成された水蒸気の抜け口から放出されるので、内圧を高めることなく近づく水を制止しない。この為地下では浸透係数に応じた比率で高温域を冷却することができる。九重山では、1995年の水蒸気爆発が新たな水蒸気の逃げ口の形成をもたらしたと考えられる。

4 伽藍岳における磁場観測

前節で述べたように、数十nTにも及ぶ経年変化が進行している。このような変化が、表面的には殆ど定常状態に見える現在においても継続していることは特筆すべきであり、こうした現象はあまり報告の例がない。しかし、これは九重山が非常に特異な変化を呈しているというよりも、定常状態にある、しかも非常に熱変質が進んだ場で有意な磁場変化が生じ得ることが一般に認識されて

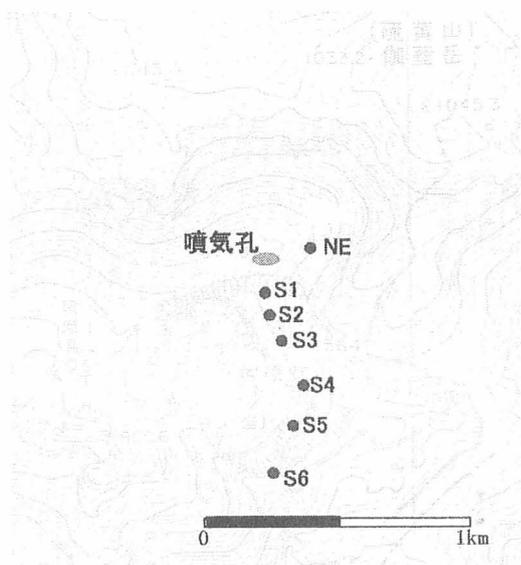


図3 伽藍岳周辺の繰り返し磁気測量点

おらず、為にそうした場での観測が殆ど行われていなかった事が原因である。実際、九重山以外の地熱変質帯においても同様の変化が見られると推察される。そこで我々は、こうした場に九重山で行われた観測手法を適応することにより、地熱変質帯における地熱推移を考察する事が可能であると考えた。そのための手始めとして、鶴見岳、伽藍岳、霧島などの幾つかの地熱変質帯で繰り返し磁場観測を行った。このうち伽藍岳では、繰り返し観測の精度に比して有意な磁場変化が認められた。以下に観測の概要と結果を述べる。

伽藍岳は、鶴見連山北端に位置する比高350mの鐘状火山で、同連山の中でもっとも強い地熱兆候を示している。伽藍岳山頂の南側には、直径約300m程の円弧状の崩壊地形が発達しており、その内部で活発な噴

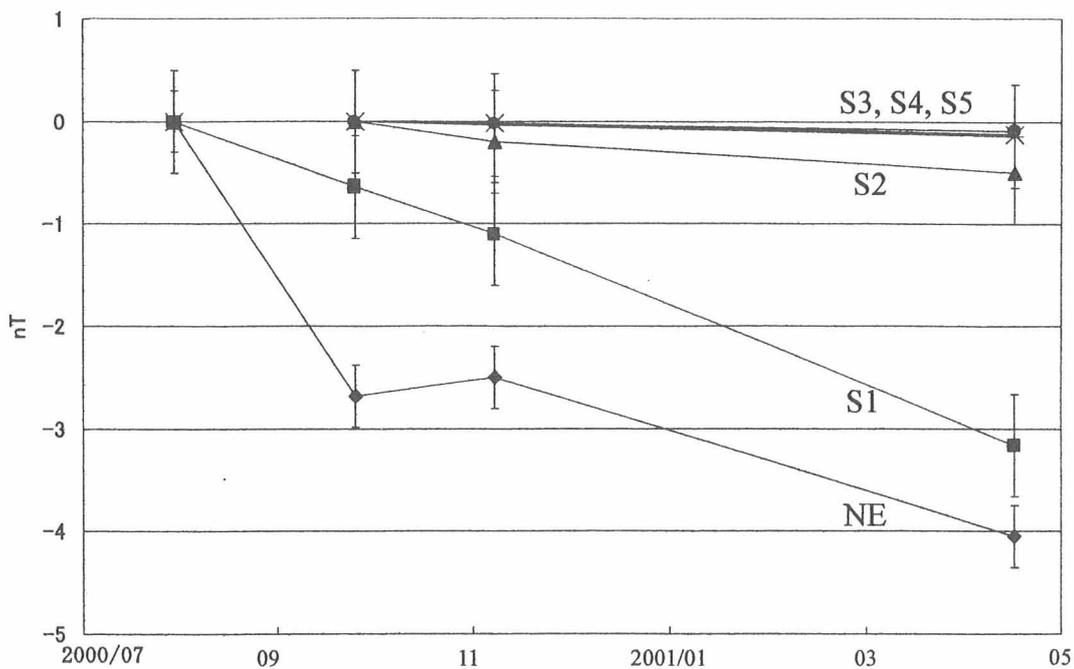


図4 伽藍岳で観測された磁場変化

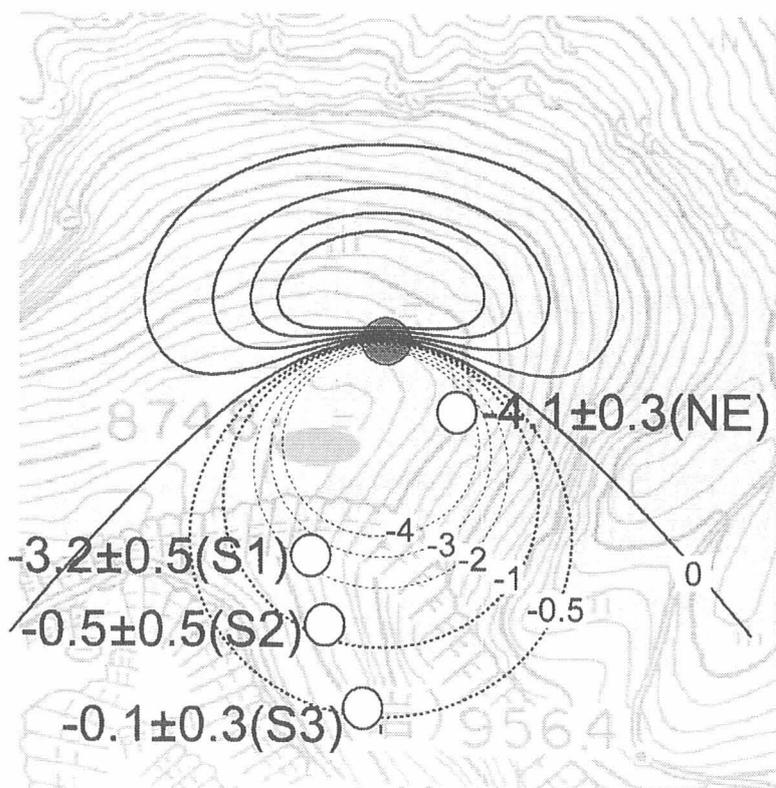


図5 繰り返し磁気測量で求められた伽藍岳における磁場変化とそれを説明するための最適解。消磁源の位置は噴気孔の北東50mの地下100m(図中の黒丸)で、岩石の磁化を $1 \times 10^{-3} \text{ emu/cc}$ とし、消磁源の形状を球と仮定した場合、その直径は約30mになる。

気活動が見られる。特に崩壊地形の南端部には活発に水蒸気を放出する噴気孔が見られる。繰り返し観測の測点は、伽藍南斜面東側の噴気孔から、北に約50mおきに6点、噴気孔の北東約50mに1点の計7点である(図3)。測定にはオーバーハウザー型磁力計を用い、これまでに2000年7月、9月、11月及び2001年4月の4回計測を行った。オーバーハウザー磁力計のセンサー高は2.3mである。この観測から得られた磁場変化の結果を図4に示す。繰り返し測定 of 1分平均値と火山研究センターの参照点での1分値とのばらつきから、繰り返し測定 of 計測誤差は0.6~1 nT程度である。この図から噴気孔付近で全磁力が減少していることがわかる。約9ヶ月間での変化量は、噴気孔に最も近いNEの点で約4 nT、その振幅は噴気孔から遠ざかるに従い小さくなる傾向を持っている。一般に、消磁が進行している場合には、磁気源の北側で全磁力増加、南側で減少となる。磁気源が噴気孔の北側の地下に存在すると考えれば、今回得られた変化のセンスは消磁の場合と一致する。ただし、噴気孔の北東縁のNEも負の変化域に含まれていることから、消磁源は噴気孔のさらに北側に位置することが推定される。仮に磁気源の形状を球(つまりダイポールの点源を仮定)、岩石の磁化を 1×10^{-3} emu/ccと仮定すると、噴気孔の北東50mの地下100mに直径30mの消磁源を置くことで観測値を最もよく説明することが出来る(図5)。この消磁が、蓄熱に伴う熱消磁によるものであると考えると、年あたりの蓄熱量は約5 MWとなる。この地域の放熱量は年率約23MW(由佐ほか³⁾)、そのうち噴気孔から放出される熱量は3.8MW(由佐ほか⁴⁾)であり、従って、噴気孔から放出される熱量に相当する熱が地下に蓄積されつづけていることになる。この噴気孔の南100mの地点では、93年に泥噴火が発生しており、或いはこうした現象の準備過程が現在進行していることも考えられる。

5 今後の展望

今回の観測で、伽藍岳において時間変化と見られる磁場変化が検出されたが、これが有意なものであるか否かを検証するためには、引き続き観測を継続し長期間についてその推移を見る必要がある。また、磁気源についての議論を進めるためには空間的にもう少し広い範囲で観測を行う必要がある。ただし、繰り返し観測だけでは大きな測定誤差が出てしまうので、九重火山で行われているように連続観測を併用した観測を行うことが望ましい。但し、今回伽藍岳で求められた年間数nT程度という僅少な変化を対象にする場合、参照点としてどのような点を用いるかが問題になる。現在は伽藍岳と100km以上離れた阿蘇の観測点を参照点として用いているが、 S_q による磁場の空間的なスケールの影響が無視できなくなる可能性がある。従って、伽藍岳の付近に新たな基準点を作ることも考慮に入れなければならない。

参考文献

- 1) Tanaka, Y. (1993) Eruption mechanism as interred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso volcano, J. Volcan, Geotherm. Res., 56, 319-338.
- 2) 田中良和(1998) 火口浅部でのマグマと水の相互作用に関する研究, 平成8~9年度科学研究費補助金(基礎研究C)研究成果報告書, 8-24.
- 3) 由佐悠紀, 大沢信二, 北岡豪一, 福岡洋一(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.
- 4) 由佐悠紀, 大沢信二, 北岡豪一, 竹村恵二, 福岡洋一(1995) 伽藍岳の地熱調査, 大分県温泉調査研究会報告46, 5-13.

瀬戸内火山帯の西端

— 大分県に分布する新第三紀火山岩類のK-Ar年代と化学的特徴 —

海洋科学技術センター・固体地球統合フロンティア研究所

巽 好幸・佐藤 佳子

1. はじめに

固体地球の表層部は「地殻」と呼ばれる部分で構成される。その中で、殆どの陸域を構成する地殻（「大陸地殻」と呼ぶ）は、全固体地球の化学組成とは著しく異なる安山岩質の組成を有している。従って、安山岩質地殻の形成過程を明らかにすることは、固体地球の進化を理解する上で重要な鍵となる。これまで、さまざまな安山岩質地殻成因論が展開されてきた。その中で、現時点でも有力な説と考えられているものは、マントルで生成された比較的MgOに富む安山岩（high-Mg andesite : HMA）が、結晶分化作用を経て、安山岩質の地殻の主要部分を形作った、とするものである。この考えは、例えば太古代に形成されたカナダ地域の盾状地には、HMAが平均地殻組成とほぼ同一の組成を有する安山岩質岩石と密接に産すること、から導かれたものである。もし、この説が正しいとするならば、HMAの生成条件を明らかにすることが、大陸地殻の成因、ひいては固体地球の進化を理解する上で、本質的な問題となる。

このような観点から、HMAの成因はこれまで活発に議論されてきた。HMAは通常の安山岩に比べてその産出は稀であり、限られた地域にのみ分布している。その1つが、瀬戸内海沿岸地域である（第1図）。この地域では、今から約1200万年前に（第2図、データはTatsumi et al., 2001）、HMAを含むさまざまな火山活動が認められ、「瀬戸内火山帯」と呼ばれている。この火山帯は、

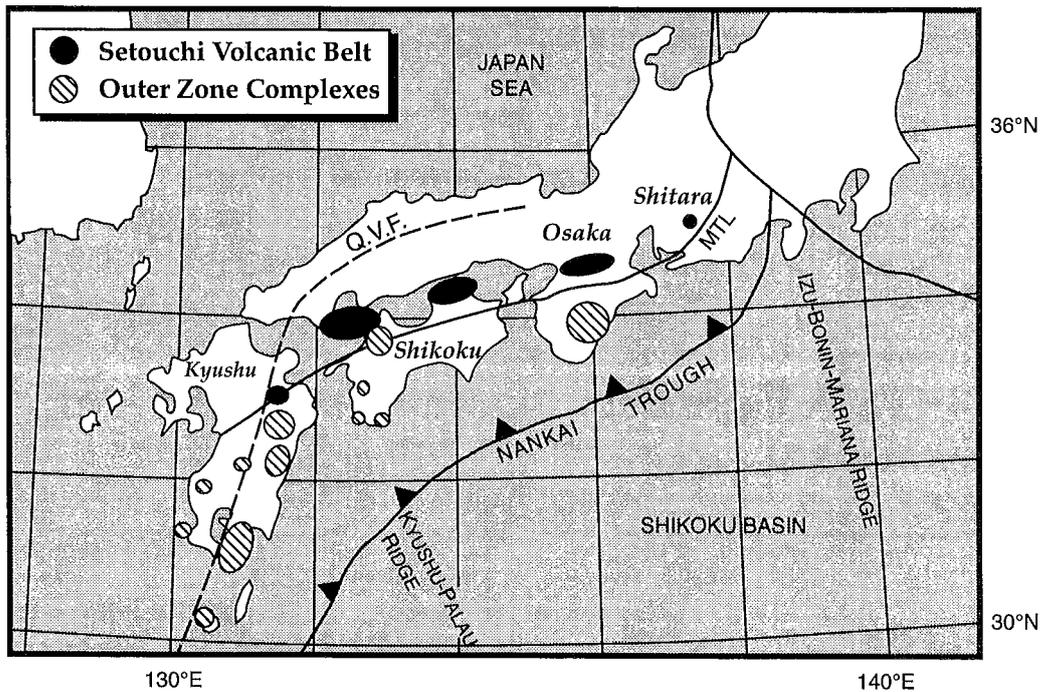


図1 瀬戸内火山帯(黒塗り)および同時代に活動した外帯火山岩類の分布。

Q.V.F.は第四紀の火山前線を示す。瀬戸内火山帯は、第四紀と比べて海溝(南海トラフ)に近い領域(前弧域)で活動した。

地質学的な時間スケールから見ると、突如として誕生し、短寿命な活動の後突如としてその活動を停止した、特異な火山帯である。言い換えると、短期間のみ、HMAを含むマグマの発生条件が満たされていたことになる。従って、なぜこのような特異な条件が発生したのか、を明らかにすることが重要であり、その理解を通して、大陸地殻の成因を解く手がかりを得ることができると考えられる。

本報告では、上述のように特異な条件が満たされていた範囲を特定すること、つまり、瀬戸内火山帯の端を特定することを目的として、大分県に産する新第三紀火山岩類に対して、その噴出年代をK-Ar年代測定法により決定し、その化学的特徴と併せて、瀬戸内火山帯の西端であるか否か、について考察する。

2. 試料

今回解析した試料はいずれも、これまで層序学的検討から新第三紀の火山岩とされてきたものであり、その採集地点を表1に示す。5試料は大野郡、1試料は大分県西部の日田郡で採取したものである。

各試料の斑晶鉱物組み合わせ、および含有量を表1に示す。これらの試料には、瀬戸内火山帯を特徴付けるサヌキトイド（斑晶に斜長石を含まない安山岩～玄武岩）と同一の特徴を示すものが含まれる。

3. 分析結果および議論

K-Ar年代を得る為のAr同位体比測定およびKの定量は山形大学理学部で、全岩化学組成（主成分元素および微量成分元素）の分析は、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設で行った。分析結果を表1に示す。

3.1 年代

朝地町三宅山東斜面に岩脈として産するOT6.2は、顕微鏡観察においてもカンラン石斑晶が緑泥石あるいは蛇紋石に変質しており、その影響で主要元素の総重量%も100%より有為に低い。無水に換算するとSiO₂含有量は約53.5%で、玄武岩質安山岩と呼ぶのが適切である。さらに、この岩石は、瀬戸内火山帯に特徴的に産するHMAと以下の2つの共通の特徴を有する。まず、MgO含有量が通常の玄武岩質安山岩に比べて極めて高く、またFeO*/MgO比も1より小さく、従って、

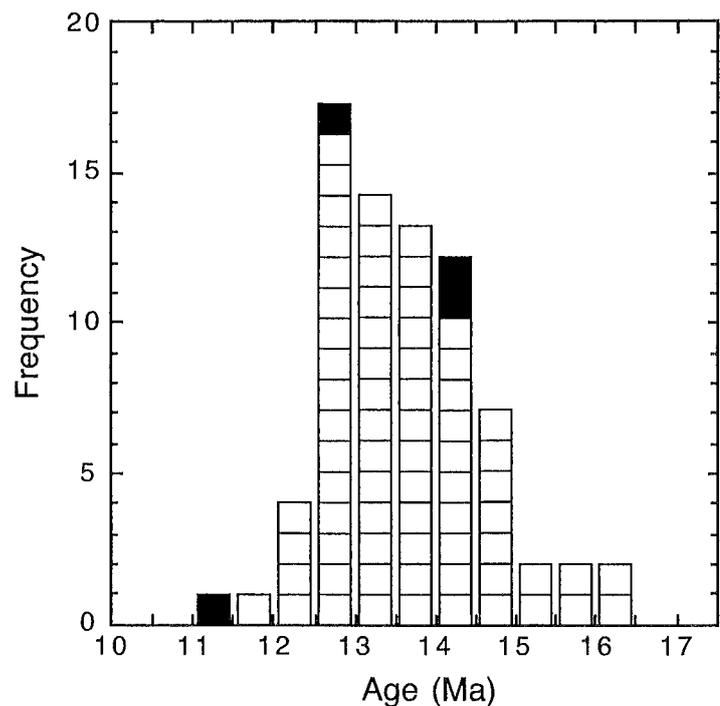


図2 今回得られたK-Ar年代値(黒箱)と、これまで得られている四国および大阪周辺地域の瀬戸内火山岩類に対するK-Ar年代値(白抜き)。

マントル物質と平衡共存できる。また、斑晶カンラン石中に包有されるスピネル相としてクロムスピネルが存在し、玄武岩中のスピネル相（クロミアンチタノマグネタイト）と明瞭に異なる。この岩石は、上述のように変質が著しく、今回の年代測定でも誤差が大きく、しかも大気アルゴンの混入率が86%と高い。従って、得られた 15.2 ± 1.5 Ma (Maは100万年前、を表す) という値は、マグマの貫入年代を示すとは言えない。白木他(1996)は、今回の試料採集地点周辺の転石として産するHMAに対して、 13.5 ± 0.7 MaのK-Ar年代を報告している。白木の記載によれば、この試料は今回のものほぼ同一の化学組成を有し、また記載岩石学的特徴も一致する。新鮮な試料を得ることが困難な状況である為に、確定的なことは言えないが、瀬戸内火山帯の活動とほぼ同時代にHMAの生成が九州東部でも起こったことを考えられる。

その他の大野町、朝地町に産する新第三紀火山岩類は、瀬戸内火山帯の活動時期とほぼ同一のK-Ar年代を示す(表1, 図2)。さらに、サヌキトイドに属する岩石(OT-3)も産することから、瀬戸内火山帯の活動が九州東部に及んだことが明らかになった。一方、中津江村の安山岩(TO-2.2)は瀬戸内火山岩類に比べて著しく若い年代を示しており(表1)、瀬戸内火山帯とは異なる火山活動によるものである。

表1.

	OT-1	OT-3	OT6.2	OT-8	OT-9	TO-2.2
SiO ₂ (wt.%)	60.79	60.63	51.68	61.24	59.45	54.97
TiO ₂	1.22	1.21	0.93	1.23	1.15	1.10
Al ₂ O ₃	16.94	16.97	13.68	17.21	16.93	18.50
Fe ₂ O ₃ *	5.99	5.80	8.36	5.76	6.57	8.53
MnO	0.12	0.10	0.13	0.10	0.11	0.15
MgO	2.63	2.68	10.39	2.65	3.42	4.15
CaO	5.76	5.74	7.52	5.76	6.20	8.23
Na ₂ O	3.05	3.02	2.41	3.12	2.97	3.25
K ₂ O	2.96	2.85	1.39	2.98	2.26	1.33
P ₂ O ₅	0.26	0.26	0.19	0.26	0.22	0.27
Total	99.73	99.26	96.67	100.29	99.27	100.49
Ba (ppm)	479	462	297	467	348	373
Nb	12	12	6	12	10	9
Ni	9	9	208	9	7	-
Pb	17	17	7.4	16	15	6.6
Rb	98	99	46	100	80	30
Sr	316	320	301	317	306	641
Th	8.8	8.6	3.4	8.6	7.0	3.2
Y	23	23	14	23	20	26
Zr	232	231	114	232	184	116
olivine	none	none	**	none	none	*
orthopyroxene	*	*	none	*	*	none
clinopyroxene	*	*	none	*	*	*
plagioclase	**	none	none	*	*	**
K-Ar age (Ma)	12.7 ± 0.3	14.2 ± 0.4	(15.2 ± 1.5)	11.1 ± 0.5	14.0 ± 0.3	1.88 ± 0.16

Fe₂O₃*: Total iron as Fe₂O₃.

*, 0-5%; **, 5-10%.

OT-1, 大野郡大野町王寺山北東斜面; OT-3, 大野郡大野町代三五山;

OT-6.2, 大野郡朝地町三宅山東斜面; OT-8, 大野郡朝地町徳ノ原西;

OT-9, 大野郡大野町小倉木東; TO-2.2, 日田郡中津江村田ノ口

OT-6.2の()内の年代値は参考値。

3.2 化学組成

図3に、四国大阪周辺地域の瀬戸内火山岩類と今回の試料の主成分元素組成の比較を示す。今回の試料にはややTiに富む安山岩が含まれるが、ほぼ瀬戸内火山岩類の組成範囲と一致する。またこの傾向は、液相濃集元素組成においても認められる(図4)。ただし、瀬戸内火山岩類は年代的に異なる試料は、例えばRbやSrにおいて、瀬戸内火山岩類とはかけ離れた組成を有している。

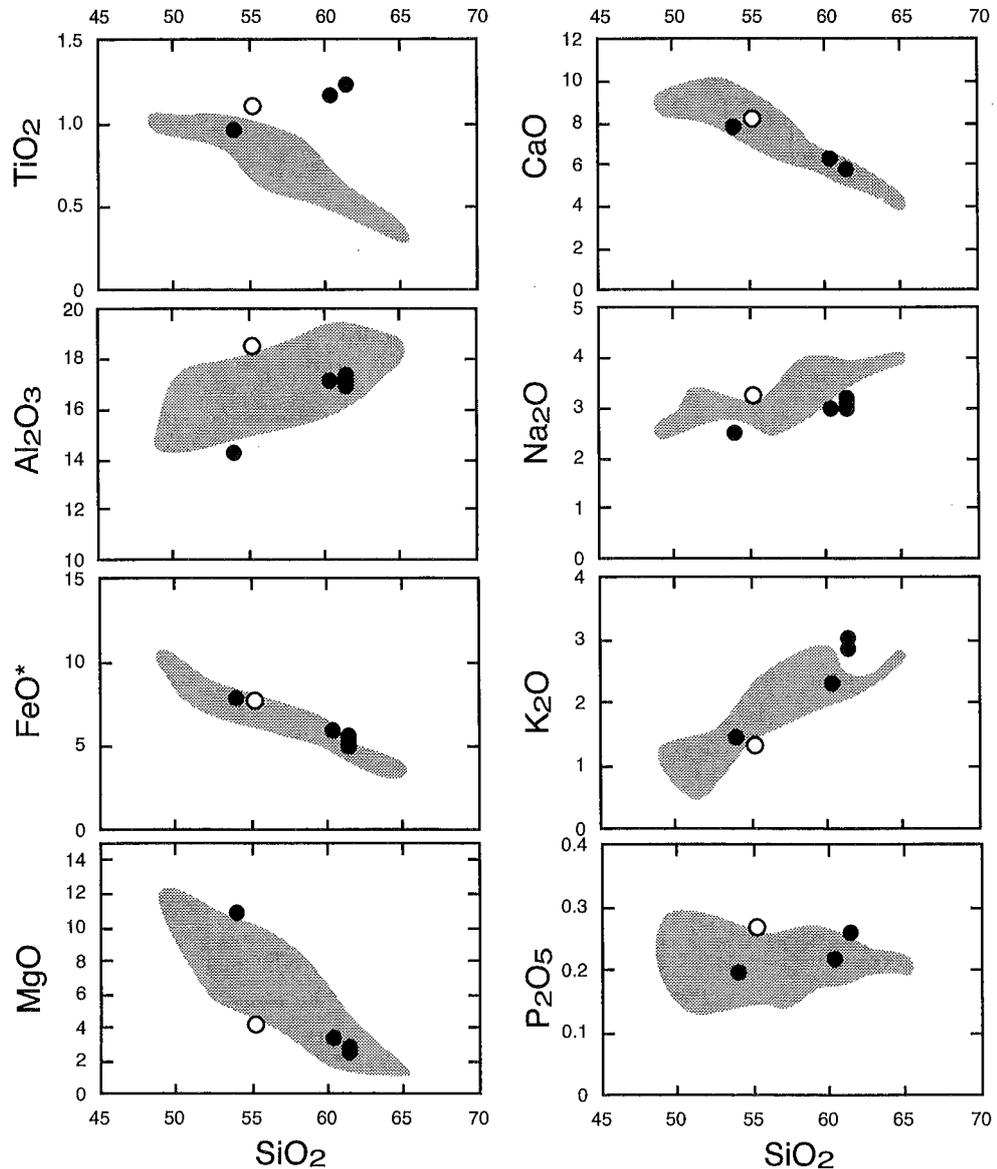


図3 分析試料の主成分元素組成。プロットした値は、無水再計算したものである。黒丸は瀬戸内火山帯と同一の年代を示す試料、白丸は1.88Maの年代を示す試料、網かけ部は四国および大阪周辺の瀬戸内火山岩類の組成範囲を表す。FeO*は全鉄をFeOで表わしたものの。

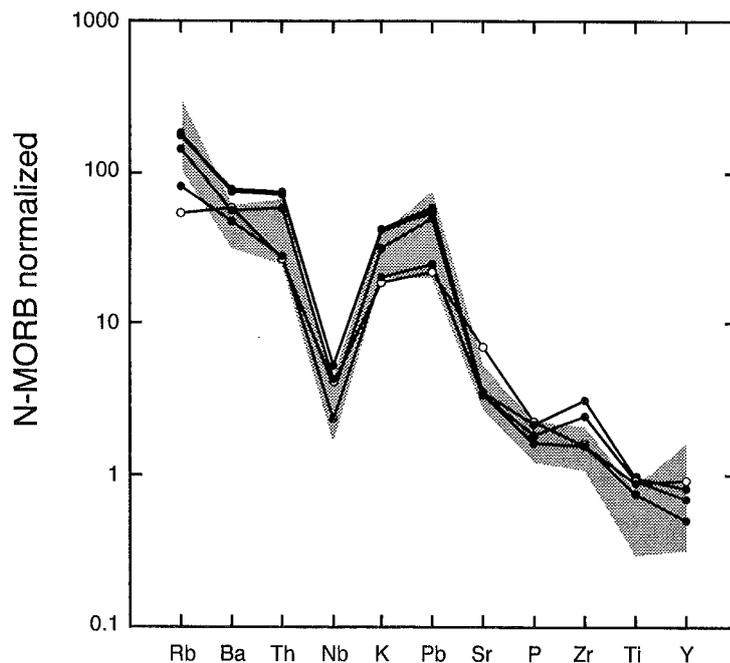


図4 分析試料に対する、標準的な深海底玄武岩(N-MORB)で規格化した液相濃集元素含有量。シンボルは図3と同一。

3.3 瀬戸内火山帯の西端

今回の年代測定および化学分析の結果、瀬戸内火山帯は九州東部大分県まで活動していたことが明らかになった。九州西部にもサヌキトイド様の安山岩の産出が知られているが、少なくともこれらの岩石の一部は1000万年より若い時代の火山活動にともたらされたものである(巽他、1980)。従って、火山活動時期が1100-1600万年前であること、HMAが産すること、それに液相濃集元素含有量の特徴、の3点から、瀬戸内火山帯の西端は九州東部域である、と考えられる。

引用文献

- 白木敬一・中山由紀・松尾守人・吉岡賢二・松本征夫・小野晃司(1996) 島弧形成過程の研究(科学研究費補助金報告書) 128-131.
- 巽好幸・鳥居雅之・石坂恭一(1980) 火山, 25, 171-179.
- Tatsumi, Y., Ishikawa, N., Anno, K., Ishizaka, K., and Itaya, T. (2001), Geophys. J. Intern., 144, 625-635.

大分平野に産する深層熱水中の炭酸成分の起源

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

深層熱水とは、それが貯留される地域を流れる伝導形の熱によって地下水が加熱されたものを言い、被圧地下水起源のものと化石海水起源のものがあり、熱水の温度は貯留層の深度と地域の地殻熱流量の大きさによって左右されるとされている（森・陶山, 1980）。大分市・挾間町・庄内町で掘削によって得られた熱水も典型的な深層熱水であると考えられており（北岡・川野, 1991）、鮮新世から更新世にかけて形成された堆積岩中（碩南層群や大分層群滝尾層）に貯留されているとされている（森山・日高, 1986）。600m~800mに達する深い掘削によって得られた30℃~55℃の水には、数g/lにも達する多量の炭酸成分が含まれており、その中のいくつかは炭酸ガス（CO₂）を主成分とするガスをともない自噴している（野田・北岡, 1981a）。また、あるものは、腐植性有機成分（フミン酸様物質）により茶褐色を呈したのも見られ（野田・北岡, 1981b）、地層中の有機物と溶存炭酸成分との関係も示唆されている（志賀・川野, 1970）。以上のように、大分平野に産する深層熱水中の炭酸成分は、この地域の温泉水を特徴付ける化学成分であり、その起源（供給源）を明らかにすることは、十分に意義があると考えられる。

黒部川扇状地や庄川扇状地（富山県）の浅層地下水の溶存炭酸の供給源を特定することを目的として、溶存全炭酸（CO_{2(aq)}+HCO₃⁻+CO₃²⁻）の炭素同位体比（δ¹³C）の測定が行われた（水谷, 1995）。それによると、溶存全炭酸（DTC）のδ¹³Cと濃度の逆数の間に見られる直線関係は、河川から涵養された地下水に土壌CO₂起源の炭酸が加えられたということを示しており、化学分析だけからは入手が困難であった地下水中の溶存炭酸の供給源や挙動に関する情報が同位体地球化学的データから手に入ることが示された。そこで、同様な手法を大分平野の深層熱水の既存データ（NEDO, 1989）に応用したところ、炭酸成分の起源に関して興味深い結果が得られた。本年度は、平成8年度に行った研究報告（大沢, 1996）に続き、これについて報告する。

2. 解析データ

解析に利用したデータをTable 1に、また、それらが得られた泉源の位置をFig. 1に示した。泉源はすべて掘削井であり、掘削深度はおおむね500mである（深さの不明なものが2井ある）。それ以深のものが2井、以浅のものが3井あるが、200mより浅いものと800mより深いものは存在しない。

熱水は中性から弱アルカリ性を呈し（pH: 6.5~8.6）、泉温は30℃~55℃を示すが、掘削の深いものほど泉温は高い傾向にある。また、水の水素・酸素同位体組成から（NEDO, 1989）、水自体は天水起源であることが示される。しかし、いくつかの泉源で付随ガスのヘリウム同位体組成（³He/⁴He）が測定されており（試料97, 99, 102）、その中のいくつかは8.0x10⁻⁶~8.7x10⁻⁶と高い値を示し（Table 1）、マグマ性ヘリウムの混入が示唆される（島弧のマグマ性ヘリウムの同位体組成は約10x10⁻⁶~11x10⁻⁶; 佐野, 1996）。

Table 1 解析に利用した化学データ

No.	Locality	Depth of well (m)	WT (°C)	pH	DTC (mg/l)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DTC}}$ (‰)	Cl (mg/l)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ ($\times 10^{-6}$)
94	Shonai	800	53.5	8.1	144	-16.3	466	
329	ditto	450	35.5	7.8	116	-19.3	4.1	
330	ditto	550	42.3	8.5	80	-20.2	5.3	
331	ditto	500	47.5	8.4	122	-17.7	8.1	
332	ditto	500	55.1	8.1	217	-12.9	196	
333	ditto	500	49.8	8.0	192	-14.5	16.6	
334	ditto	500	39.3	8.3	184	-12.4	73.3	
96	Hazama	480	39.9	8.3	455	-13.0	76.1	
97	ditto	400	39.8	6.6	4440	-3.3	6020	4.4
99	ditto	200	30.2	6.9	3180	-5.8	853	8.7
102	ditto	—	39.4	6.5	3330	-5.6	643	8.0
105	Oita	300	38.7	6.5	3810	-9.7	2760	
112	ditto	—	55.0	7.6	2740	-6.3	2020	
117	ditto	520	39.4	8.4	443	-10.1	4.5	
121	ditto	600	44.0	8.6	426	-11.3	7.0	
132	ditto	700	41.9	8.0	1010	-11.2	1760	

(Remarks) DTC (Dissolved Total Carbonate): $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-$

DTC concentration is expressed in terms of CO_2 concentration.

WT: Water temperature

全て、NEDO(1989)による。

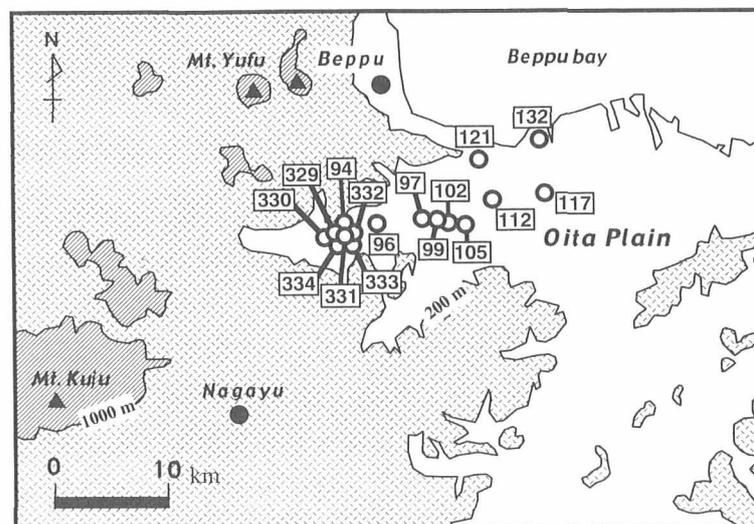


Fig. 1 泉源の位置

泉源番号は、NEDOの調査番号を踏襲した。

3. 解析及び考察

3-1. 同位体組成から見た炭酸成分の起源

本研究で取り上げた深層熱水の溶存全炭酸 (DTC) の炭素安定同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$) は、 -3.3‰ から -20.2‰ の広い範囲の値を示す。溶存全炭酸 (DTC) 濃度が高いほど同位体組成は高くなる傾向が認められ (Fig. 2)、両者の間には以下の関係が見られる。

$$\delta^{13}\text{C} = -27.90 \times 1/\text{DTC} - 7.19 \quad (\text{相関係数} : 0.838) \quad [1]$$

Fig. 2 に示されるように、16試料の中で最低レベルの溶存全炭酸濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 値を示すもの (試料 329, 330, 331) は、水谷 (1995) が富山県の黒部川扇状地と庄川扇状地で得た多くの地下水がプロットされる領域 (Cold Groundwater) に位置している。水谷 (1995) は、それらの扇状地の地下水の溶存全炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ および濃度が河川から涵養された地下水に一定の $\delta^{13}\text{C}$ をもった炭酸が加えられることによって変化していると仮定し、同位体収支から、加えられた炭酸の起源を土壌 CO_2 であると結論した。

土壌 CO_2 は、一般に植物根の呼吸や好氣的な細菌による動植物の遺体 (リター) の分解により生成するものである (鶴田, 1994)、大分平野の 400m~600m にも及ぶ大深度において、現在そのようなプロセスで CO_2 が生成しているとは考えにくい。一方、土壌 CO_2 と同様な $\delta^{13}\text{C}$ 値をもつ物質として堆積性有機物が知られており (水谷, 1995)、むしろ、埋没地層内の地下水中 (地殻熱流により浅層地下水よりも水温が高くなっている。) において、そのような有機物が分解し (例えば、 $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{C}$ (有機炭素) $\rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{S}^{2-}$; 志賀・川野, 1970)、低い $\delta^{13}\text{C}$ 値をもつ CO_2 の供給源になっていると考えるのが妥当である。

そこで、大分平野の深層熱水の溶存全炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ および濃度は、地下深所の埋没地層中に貯留され、有機物起源の CO_2 を溶解した地下水に一定の $\delta^{13}\text{C}$ 値をもった CO_2 が加えられることによって変化していると仮定すると、水谷 (1995) に習い、同位体収支から次の関係式を導くことができる。

$$\delta^{13}\text{C}_m = A \times (1/\text{DTC}_m) + \delta^{13}\text{C}_{ad} \quad [2]$$

$$A = \text{DTC}_0 \times (\delta^{13}\text{C}_0 - \delta^{13}\text{C}_{ad}) \quad [3]$$

ここで、DTC は溶存全炭酸の濃度、m は混合物 (= 深層熱水)、O は地層中に貯留された地下水、ad は加えられた CO_2 を表す。このモデルを上記の結果 (Fig. 2) にあてはめると、加えられた CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ は関係式 [1] の切片の値として導かれ (-7.2‰)、火山性の CO_2 の範囲 (-2.5‰ ~ -12‰ ; Fischer et al., 1997) に入る。一方、貯留層中に石灰岩の礫などが含まれていれば、下記の反応による石灰岩の溶解により溶存炭酸の同位体組成が増加し (石灰岩の $\delta^{13}\text{C}$ は高い。

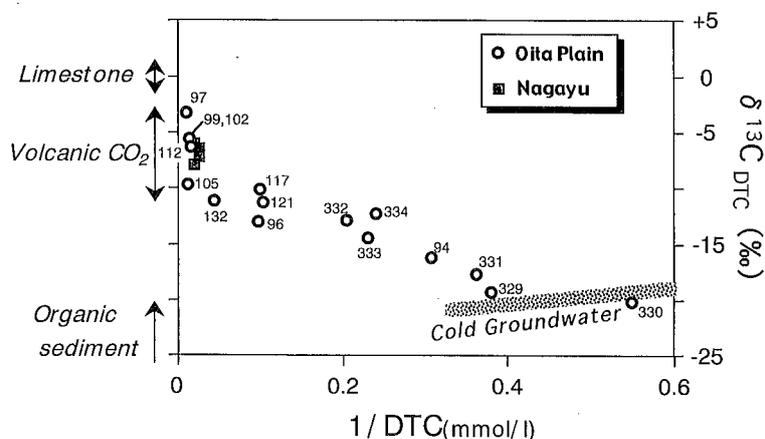


Fig. 2 深層熱水の溶存全炭酸(DTC)の濃度と炭素安定同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DTC}}$) との関係

長湯温泉のデータは岩倉ほか(1999; 2000)から、冷地下水 (Cold Groundwater) の範囲は水谷(1995)から引用した。番号は、泉源番号を表す。

: 約 0% ; 水谷, 1995) 、同様な高い値を取る可能性がある。



しかし、このような石灰岩の分解過程では、付随ガスの高いヘリウム同位体組成 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比: $8.0 \times 10^{-6} \sim 8.7 \times 10^{-6}$; Table 1) を説明できず、火山性 CO_2 の付加と考えるのが妥当である (ヘリウムのような微量ガスが、キャリアーとなるガスなしに単独で地球深部より上昇してくるとは考えにくい)。

以上の考察から、大分平野の深層熱水の炭酸成分は、火山性の CO_2 が、地殻熱流により加熱された地下水中の有機物起源 CO_2 と混ざったものとみることができる。火山性 CO_2 を多く含む深層熱水は、源泉番号 97, 99, 102, 112, 105 のもので、比較のためにあげた火山性 CO_2 を溶解する長湯の温泉水 (岩倉ほか, 1999; 2000) も、同様な領域にプロットされる (Fig. 2) 。そこで、これらの源泉の地理的な分布を見てみたところ、大量の火山性 CO_2 を溶かし込んだ深層熱水は挾間町や大分市に位置することが判った。この地域の近傍で、活発な火山性 CO_2 の噴出がある場所は別府温泉であり、そこに噴出する噴気中の CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ 値が $-6.6\text{‰} \sim -7.2\text{‰}$ (平均 -6.9‰) (大沢, 2000) と、先に推定した大分平野の深層熱水中に混入してくる火山性 CO_2 の値 (-7.2‰) に近く、別府温泉の地熱活動との関連が示唆されて興味深い。一方、ほとんど有機物に由来する炭酸成分を含む深層熱水は、源泉番号 329, 330, 331 のものであり、庄内町の極く限られた地域に分布する。

3-2. 泉質との関係

大分平野に産出する温泉水の泉質は、ナトリウムイオン (Na^+) と塩化物イオン (Cl^-) を主成分とする高塩分型、ナトリウムイオン (Na^+) と炭酸水素イオン (HCO_3^-) を主成分とし、塩化物イオン濃度が非常に低い弱アルカリ型と、それらの中間型に大別される。そこで、今回の16源泉の深層熱水について、塩化物イオン濃度と炭酸成分 (溶存全炭酸: DTC) の濃度の関係を検討した (Fig. 3) 。ここでも、塩化物イオン濃度が 1000mg/l 程度以上で、かつ 1000mg/l 以上の炭酸成分を含有する高塩分型 (High-salinity type) 、通常の地下水と同程度の塩化物イオン濃度 (10mg/l 程度以下) をもつ弱アルカリ型 (Weakly-alkaline type) と、それらの中間的な塩化物イオン濃度を示す中間型 (Intermediate type) に分類することができる。

前項 (3-1) で行った考察結果と合わせて検討してみると、火山性 CO_2 の混入の極めて多いもの (試料 97, 99, 102, 112, 105)

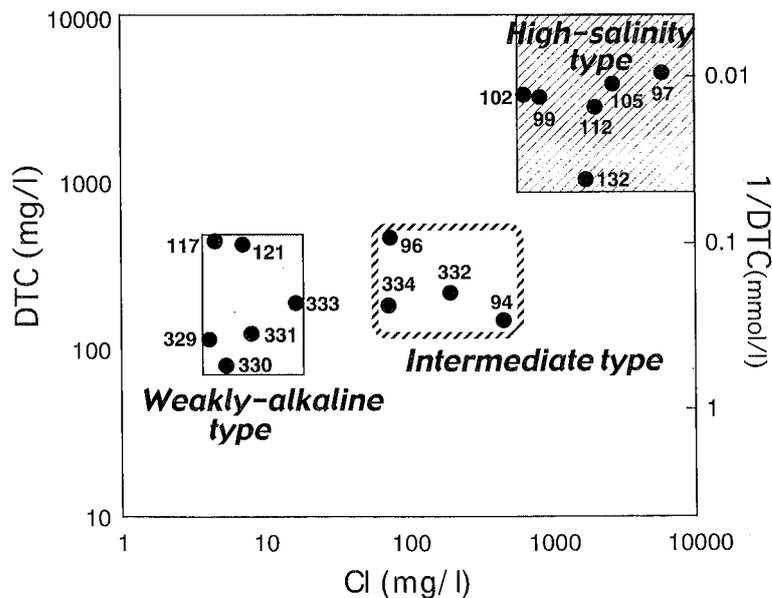


Fig. 3 塩化物イオン(Cl)濃度と溶存全炭酸(DTC)濃度の関係に基づく深層熱水の泉質分類

番号は、源泉番号を表す。

は、高塩分型 (High-salinity type) に、また、ほとんど有機物起源CO₂のみを含むもの (試料329, 330, 331) は、弱アルカリ型 (Weakly-alkaline type) に分類されることが判る。一方、中間型 (Intermediate type) に分類されたもの (試料94, 96, 332, 334) は、火山性CO₂と有機物起源CO₂の混合タイプであり、また、混合タイプのもので高塩分型ないし弱アルカリ型にあたるものでも (試料117, 121, 132, 333)、溶存全炭酸濃度が中間的な値を示し (192~1010mg/l)、典型的なものとは区別される。検討に供したデータ数が少ないが、以上の結果を見るかぎり、高塩分型深層熱水の炭酸成分の大半が火山性CO₂に由来し、一方、弱アルカリ型深層熱水の炭酸成分は堆積性有機物起源であると結論できる。

4. おわりに

大分平野の地下深所には、地層中に閉じ込められた地下水が地殻熱流により加熱されて温水化した、いわゆる深層熱水が貯留されている。この深層熱水に含まれる炭酸成分の起源を知るために、溶存全炭酸の炭素安定同位体組成 (¹³C) と濃度の関係を調べた。その結果、大分平野の深層熱水の炭酸成分は、火山性のCO₂が堆積性有機物起源のCO₂と様々な割合で混ざったものであることが判った。また、水質との比較検討から、高塩分型深層熱水の炭酸成分の大半が火山性CO₂に由来し、弱アルカリ型深層熱水の炭酸成分は堆積性有機物起源であると結論された。

今後の研究課題としては、(1) 深層熱水に混入している火山性のCO₂がどこからもたらされているのかを明らかにすることと、(2) 堆積性有機物起源CO₂の放射性炭素 (¹⁴C) 濃度を調べ、深層熱水の貯留年代を求めることが考えられる。

5. 参考文献

- Fischer, T.P., Sturchio, N.C., Stix, J., Arehart, G.B., Counce, D. and Williams, S.N. (1997) The chemical and isotopic composition of fumarolic gases and spring discharges from Galeras Volcano, Colombia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 77, 229-253.
- 岩倉一敏・大沢信二・高松信樹・大上和敏・野津憲治・由佐悠紀・今橋正征 (2000) 長湯温泉 (大分県) から放出される二酸化炭素の起源. *温泉科学*, 50, 86-93.
- 岩倉一敏・大沢信二・大上和敏・網田和宏・高松信樹・今橋正征・野津憲治・由佐悠紀 (1999) 長湯温泉の温泉遊離ガスについて. *大分県温泉調査研究会報告*, 50, 19-25.
- 北岡豪一・川野田実夫 (1991) 大分市温泉の化学成分の分布とその変化. *大分県温泉調査研究会報告*, 42, 1-10.
- 森康夫・陶山淳治 (1980) 「地熱エネルギー読本」, 232p., オーム社, 東京.
- 森山善蔵・日高稔 (1986) 大分市温泉の地質. *大分県温泉調査研究会報告*, 37, 38-50.
- 水谷義彦 (1995) 地下水の地化学特性. 島崎英彦・新藤静夫・吉田鎮男編, 「放射性廃棄物と地質科学 地層処分 の現状と課題」, 123-146, 東京大学出版会, 東京.
- NEDO (1989) 「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 流体地化学調査報告書要旨」, 236p.
- 野田徹郎・北岡豪一 (1981a) 大分川流域温泉の高塩分泉の付随ガスについて. *大分県温泉調査研究会報告*, 32, 43-55.
- 野田徹郎・北岡豪一 (1981b) 大分川流域温泉の継続観測の総括. *大分県温泉調査研究会報告*, 32, 43-55.

- 大沢信二(2000) 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. 大分県温泉調査研究会報告, 51, 19-28.
- 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.
- 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.
- 志賀史光・川野田実夫(1970) くじゅう火山の温泉群(5) くじゅう北東部の炭酸泉. 大分県温泉調査研究会報告, 21, 70-77.
- 鶴田治雄(1994) 二酸化炭素. 陽捷行編, 「土壌圏と大気圏」, 29-54, 朝倉書店, 東京.

大分県南部地域湧水の水文化学的研究

日本文理大学環境科学研究所

河野 忠

1. はじめに

大分県は霧島火山帯に属し、鶴見岳、由布岳、久住山などの火山に恵まれている。それに付随して火山性の湧水が無数に存在し、全国的にも湧水の豊富な地域である。しかし、大分県内には水の乏しい地域や石灰岩地帯などがあり、湧水の分布や性質は決して一様ではない。平成11年度の研究「硫黄山噴火後の周辺湧水の動向」（河野、2000a）から、湧水の水文化学的研究は、地下水や熱水系の変化を事前に表すことを示唆することができた。また、北岡・河野（1999・2000）ではくじゅう山周辺の湧水と河川水から涵養湧出機構を明らかにしておくことの重要性を述べた。そこで県内の湧水について水文化学的特性を明らかにしておくことは、自然化学的観点のみならず、防災観点からの基礎データとしても重要である。

筆者は1993年度より大分県内の湧水マップを作成する目的で、県内各地の湧水を探し出し、その湧出量及び水質分析を行ってきた。現在では県内の主な湧水のほぼ8割方終了した状況であるが、県内全体の傾向はほぼ把握できた。まだまだ不十分な段階ではあるが、近年の名水ブームや湧水により湧水の存在が注目されている状況を鑑み、ここである程度のまとめを行うことも重要であると考えた。そこで本研究では大分県内に存在する湧水の水文化学的特徴、およびその利用状況や水文化的な特徴を南部地域を中心に明らかにすることを目的とする。

2. 調査地域の概要

大分県は北東部に国東半島が位置し、主に北部はなだらかな丘陵と小規模な沖積平野の続く地形を示す。中部は鹿鳴越山群から、鶴見岳、由布岳を通り、くじゅう山へと続く火山地域である。南部は中央構造線の外帯に位置し、ほとんど平野が見られず山がちな地形である。

大分県北部は第三紀の地質が占めており、国東半島はその代表的な地域である。中部地域は、鹿鳴越山群、鶴見岳、由布岳、さらにはくじゅう連山へと続く第四紀の火山地域であり、それらの噴出物と阿蘇火山が噴出した火砕流堆積物によって覆われている。南部地域は中央構造線付近に存在する典型的な堆積岩地域であり、砂岩や泥岩、頁岩などの堆積岩・変性岩地域で、臼杵市、津久見市付近には一部石灰岩が挟在している。

3. 調査方法

本研究は大分県に存在する湧水の悉皆調査を目的とするため、役所をはじめとして様々な情報を集め現地での水文化学的調査と利用状況などの聞き取り調査を実施した。調査は1993年より随時実施してきた。各湧水の調査時期は一定ではないので、特に湧出量の比較は困難であるが、大分県内の湧水の概要を知るためには問題ないと思われる。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、一部のサンプルのみORPの測定も行っている。

湧出量の測定は、三協精密製SV-101型微流速計で横断方向に3ヶ所以上の流速を測定し、それぞれ断面積をかけたものを合計して湧出量とした。またパイプなどから湧出しその全量を取水でき

る場合は、大きな肉厚のビニール袋で一定時間を取水し、その量をメスシリンダーで測定して湧出量とした。水温とECはTOA電波製CM-11P型電気伝導度計を使用し、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はサンプルを試験管にとり、5分間攪拌した後測定した。ORPはTOA電波製ORP Meter RM-10型を使用した。

表1 大分県南部地域の湧水・地下水水質分析結果

No.	名 称	所 在 地	測定日	湧出量		水温 ℃	EC(25) μS/cm	pH	RpH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	種類	
				l/sec	t/day															
1	熊野神社湧水	大分県大分市川原	95/05/02	0.03		2	14.9	164	6.9	7.6	15.4	11.0	13.5	5.2	21.2	14.1	55.7	22.3	64.8	S
2	再進峠南西湧水	大分県大分市如再進峠南西	98/05/04	4.28		370	13.5	85	7.0	7.4	3.7	0.6	6.3	3.5	5.1	4.9	25.6	6.2	14.7	S
3	御手洗神社湧水	大分県大分市松岡字菟田御手洗神社	98/05/04	0.00		0	14.5	101	6.0	6.5	9.0	2.5	1.8	2.3	17.4	10.9	4.9	2.7	52.8	S
4	白髪泉水	大分県大分市松岡小牧山	99/04/25			13.2	151	6.1	7.7	11.3	1.3	8.8	6.0	7.5	6.6	65.7	0.5	40.1	S	
5	鷹の果泉水	大分県北高部郡佐賀岡町木佐上字大舞	94/08/29	1.53		132	21.3	140	7.5	7.8	7.2	0.5	16.7	2.6	13.6	5.4	45.2	3.6	13.3	S
6	六ヶ追温泉	大分県臼杵市藤河内字六ヶ追	94/08/29			17.0	5140	5.6	8.0	693.4	59.5	154.0	48.2	4.0	605.4	1167.9	0.0	64.7	S	
7	阿部川内湧水	大分県臼杵市藤河内字阿部河内	97/11/07			18.7	170	6.0	7.3	7.4	2.8	10.8	4.5	20.0	12.3	23.2	18.5	18.0	S	
8	清水井戸	大分県臼杵市藤河内字徳尾	95/05/02	-0.05		-4	16.3	358	6.0	7.5	23.2	9.9	22.7	10.0	22.9	26.4	35.9	83.3	62.8	S
9	清水	大分県臼杵市下の江字中村	97/11/03	0.19		16	17.2	243	6.9	7.6	18.4	7.5	15.5	6.2	27.6	24.1	41.5	28.3	34.8	S
10	延命水	大分県臼杵市井村字津浦	97/11/03	0.01		1	16.8	450	7.2	7.9	18.5	4.4	49.4	11.1	59.0	19.9	164.8	0.0	31.6	S
11	少年自然の家	大分県臼杵市津浦少年自然の家近く	97/07/23	0.06		5	21.3	81	7.0	7.0	10.8	0.7	2.9	1.2	8.2	10.9	15.9	0.0	2.7	S
12	大清水	大分県臼杵市大野字大清水	95/05/02	1.20		104	16.8	290	6.1	7.6	19.3	7.4	23.2	6.5	31.6	17.3	58.8	37.2	62.2	S
13	三島神社湧水	大分県臼杵市井村三島神社	97/11/03			18.1	285	6.2	7.6	18.8	11.7	18.1	6.1	26.5	22.9	41.0	55.0	56.4	S	
14	内園湧水	大分県臼杵市井村字内園	97/11/03	0.20		17	17.6	366	6.0	7.3	17.5	7.7	23.6	7.0	37.1	20.9	32.2	87.4	57.0	S
15	末広久保湧水	大分県臼杵市末広字久保	97/11/03			14.7	163	7.0	7.4	15.7	6.3	6.9	6.0	30.4	7.7	38.8	0.6	54.8	S	
16	久保湧水	大分県臼杵市末広字久保	95/05/04	-0.05		-4	13.8	176	6.1	7.6	14.4	0.5	14.8	3.4	21.0	15.3	43.4	0.2	23.5	S
17	一ノ井	大分県臼杵市江無田	97/11/07			14.2	220	6.7	7.4	14.7	4.0	9.6	4.3	18.6	18.6	56.4	21.2	57.6	S	
18	通間湧水	大分県臼杵市戸室字通間	97/11/07			16.3	251	6.3	7.4	19.9	7.9	13.2	7.0	22.9	17.6	53.0	39.0	53.0	S	
19	竹之下湧水	大分県臼杵市戸室御蓋社	97/11/07			17.4	296	6.6	7.4	20.6	13.3	16.2	6.8	33.5	19.5	50.8	51.2	51.2	S	
20	山村湧水	大分県臼杵市戸室字久保	97/11/07	0.80		69	18.0	291	6.4	7.5	19.9	10.3	17.1	7.8	23.3	25.0	56.6	39.6	53.3	S
21	近衛水	大分県臼杵市浜	97/11/07			17.1	291	6.2	7.4	21.5	8.8	15.1	9.1	32.0	23.1	58.6	36.5	58.0	S	
22	門前湧水	大分県臼杵市稲田字門前	97/11/04			13.1	221	6.9	7.1	17.3	7.9	12.2	5.9	35.1	12.8	33.4	31.9	59.1	S	
23	平尾宅湧水	大分県臼杵市前田字荒田平尾宅	97/11/04	0.16		14	16.6	282	6.6	7.4	20.5	10.4	14.1	7.7	26.7	24.6	43.0	47.7	57.5	S
24	松原湧水	大分県臼杵市原字松原	97/11/04	0.03		2	16.0	81	7.0	7.0	8.9	2.9	2.0	1.1	10.8	7.0	17.1	0.9	57.1	S
25	吉水の井戸	大分県臼杵市吉小野字井ノ上	96/04/23	0.14		12	15.0	161	6.3	7.6	7.9	3.7	10.1	3.7	18.7	8.5	37.8	12.9	42.3	S
26	中臼杵湧水	大分県臼杵市中臼杵字広原	94/08/29	-0.20		-17	22.7	425	7.7	8.0	23.1	13.7	30.5	13.5	18.1	26.1	83.5	78.8	80.0	S
27	竹場湧水左	大分県臼杵市振儀字竹場	97/11/04	0.10		9	17.8	175	7.0	7.2	9.4	3.9	9.3	4.5	30.1	8.4	23.4	31.1	46.4	S
28	竹場湧水右	大分県臼杵市振儀字竹場	97/11/04	0.50		43	18.1	206	7.1	7.2	12.4	7.9	13.9	6.7	37.0	8.8	23.4	40.3	45.6	S
29	観音の水	大分県臼杵市中尾臼杵石仏	97/11/04	0.03		2	15.7	150	7.1	7.4	9.6	4.1	7.4	4.2	17.7	5.6	45.9	7.3	55.1	S
30	化粧の井戸	大分県臼杵市深田	97/11/04			12.7	145	7.1	7.3	8.6	5.0	7.2	3.3	13.7	6.6	27.3	19.0	53.0	S	
31	平清水	大分県臼杵市福良字平清水	97/11/04	0.14		12	16.6	248	6.5	7.5	19.6	9.9	14.7	5.9	23.2	17.7	58.1	28.5	50.8	S
32	辻井戸	大分県臼杵市田原字辻	97/11/07			19.9	441	7.0	7.9	29.7	14.0	29.5	8.2	23.3	30.0	166.0	38.8	25.4	S	
33	切通しの井戸	大分県臼杵市三王座	95/05/02			17.9	198	6.8	7.8	9.6	7.6	20.7	3.7	12.4	7.0	72.5	13.0	54.7	W	
34	山下の井戸	大分県臼杵市三王座	97/11/04			15.4	361	6.9	7.8	18.1	0.7	34.4	11.2	42.1	13.6	137.2	5.0	19.7	S	
35	内畑湧水	大分県臼杵市福海字内畑	97/11/04			16.0	145	7.1	7.6	6.7	0.4	11.1	0.5	5.3	7.2	61.8	0.8	14.6	S	
36	森木上湧水	大分県臼杵市海添字森木	97/11/04	0.02		2	16.2	172	7.3	7.6	7.3	0.5	14.7	5.4	12.4	7.1	69.1	0.7	15.7	S
37	森木下湧水	大分県臼杵市海添字森木	97/11/04	0.12		10	12.8	137	7.3	7.6	7.4	3.5	11.6	6.1	3.8	6.9	59.8	1.3	16.9	S
38	御口屋井戸	大分県臼杵市海添	95/05/02			14.8	209	6.6	7.8	9.7	2.5	16.2	9.4	15.6	10.3	71.5	12.2	19.3	W	
39	板知屋湧水	大分県臼杵市板知屋	97/11/04			16.0	158	5.9	6.9	19.4	0.4	2.7	2.3	28.0	15.4	11.5	20.5	22.3	S	
40	大泊湧水	大分県臼杵市大泊	97/11/04	0.14		12	12.0	120	7.0	7.2	8.6	0.5	6.2	2.2	18.6	10.0	20.5	2.0	11.4	S
41	水のみ地蔵	大分県臼杵市福良鎮南山中腹	95/05/04	0.16		14	11.5	79	6.4	7.2	6.7	0.3	5.0	1.5	8.0	7.8	12.9	2.8	14.7	S
42	山鹿寺湧水	大分県臼杵市福良鎮南山山鹿寺	95/05/04	0.19		16	11.6	77	6.3	7.2	6.8	0.3	5.2	1.4	8.4	4.9	15.4	5.0	17.7	S
43	山鹿寺井戸	大分県臼杵市福良鎮南山山鹿寺	95/05/04			11.4	101	6.8	7.4	6.5	0.4	8.6	1.9	8.7	4.5	28.8	4.0	19.0	W	
44	賢遊湧水	大分県臼杵市野田	97/11/06			11.7	117	7.1	7.3	7.4	0.4	9.7	2.1	11.1	6.1	37.6	1.7	15.7	S	
45	新名湧水	大分県臼杵市東神野字上忠野	97/11/04	0.05		5	17.6	189	6.9	7.5	4.2	0.3	44.5	1.6	7.1	7.8	67.1	5.7	7.5	S
46	久保谷湧水上	大分県臼杵市東神野	95/05/02	32.43		2,802	15.0	233	7.5	8.1	3.1	0.3	43.2	1.5	5.5	4.8	124.7	4.0	5.5	S
47	久保谷湧水下	大分県臼杵市東神野	95/05/02	12.31		1,064	15.0	234	7.5	8.0	3.1	6.3	43.4	1.5	5.5	4.8	125.5	4.1	9.2	S
48	神の井	大分県佐伯市日向泊(大入島)	96/04/23			16.4	166	7.0	7.7	12.1	0.6	10.2	3.0	18.5	20.5	33.0	3.5	8.3	S	
49	神の井(1m深)	大分県佐伯市日向泊(大入島)	96/04/23			13.9	166	7.1	7.6	12.0	0.6	10.2	3.1	18.6	20.0	31.7	3.5	12.5	W	
50	大入島湧水	大分県佐伯市石間浦(大入島)	96/04/23	0.04		3	12.6	129	6.6	7.0	12.2	0.2	3.4	2.4	17.1	22.5	6.1	0.3	12.6	S
51	加茂神社湧水	大分県佐伯市高松浦加茂神社(大入島)	96/04/23	-1.00		-86	11.6	180	7.1	7.8	10.1	0.5	15.0	3.4	20.7	16.0	48.8	2.3	12.6	S
52	彦岳の湧水	大分県佐伯市野生彦岳登山口	98/10/10	0.13		11	16.0	211	6.6	7.8	7.0	0.7	23.9	2.5	10.0	4.8	90.3	4.3	52.1	S
53	お大師様の水	大分県津久見市保戸島	96/07/29			0	19.3	198	5.4	7.1	25.3	3.5	4.4	5.3	16.6	33.5	8.5	0.0	15.0	S
54	県道脇湧水	大分県津久見市上青江郷岳県道沿い	95/05/02	0.29		25	15.3	180	7.4	7.9	6.1	0.5	26.4	2.1	23.4	4.1	70.5	0.7	15.0	S
55	虫月の湧水	大分県南海部郡本耶村上津川虫月	95/12/12	3.46		299	15.4	115	7.7	7.8	4.6	0.5	17.0	1.5	6.8	4.8	49.3	1.4	11.1	S
56	滝光寺湧水	大分県南海部郡宇目町木浦山字落木	95/12/12	9.05		781	15.1	118	7.8	7.9	3.3	0.7	19.2	1.5	3.7	3.9	57.4	3.2	16.5	S
57	御手洗神社湧水	大分県大野郡三重町上田原御手洗神社	95/12/12	8.21		709	13.6	133	6.1	7.6	9.5	6.0	9.8	4.1	12.7	7.0	42.7	12.4	47.7	S
58	石仏トンネル	大分県大野郡三重町浅瀬石仏トンネル	96/04/15	0.17		15	16.4	164	6.5	7.7	9.2	3.7	9.5	4.4	11.5	8.2	56.1	13.7	66.3	S
59	稲積の湧泉	大分県大野郡三重町津留稲積湧泉	95/12/12	-200.00		-17,280	15.3	144	7.6	7.9	5.6	0.6	22.7	1.5	5.4	5.0	71.3	1.4	10.2	S
60	岩清水	大分県大野郡三重町伏野字鹿野	95/12/12	0.08		7	13.6	60	6.8	7.4	5.8	2.7	2.2	2.0	2.1	6.8	27.8	2.5	34.2	S
61	高畑湧水	大分県大野郡千歳村高畑	96/04/15			16.1	159	6.1	7.6	9.9	6.2	7.1	2.9	11.9	8.7	41.5	14.9	68.6	S	
62	宇田姫社湧水	大分県大野郡清川村三玉字宇田	96/04/15	0.14		12	13.5	76	6.8	7.5	6.1	2.4	3.0	1.3	5.9	5.3	25.4	2.9	67.2	S
63	伏野湧水	大分県大野郡清川村伏野字伏野	96/04/15	0.38		33	15.9	150	6.0	7.6	8.1	4.7	8.6	3.0	15.4	7.8	36.1	13.2	69.1	S
64	いのこ	大分県大野郡清川村伏野字伏野	96/04/15			14.8	164	6.0	7.4	6.5	6.1	10.0	3.3	18.8	6.1	27.1	26.8	44.7	S	
65	風蓮鐘乳湧水	大分県大野郡津野町追風鐘乳湧	95/05/02	-100.00																

水質分析は湧出地点で250ccのポリビンに採水し、氷冷して実験室に持ち帰り実施した。水質分析項目は、主要無機成分の Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 SiO_2 である。一部のサンプルを除く無機主要成分の分析には、日本文理大学環境科学研究所のダイオネクス社製イオンクロマトグラフDXAQ-1211を用いた。サンプル水は、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。 HCO_3^- は、JIS-K0101に基づき、 $\text{pH}4.8$ アルカリ度として定量、換算した。 SiO_2 はHach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。今回は南部地域の水質データのみ表1に示す。

4. 水文学的特徴

(1) 湧水の分布とその湧出形態

図1に大分県内の湧水・地下水の分布図、図2に湧水の湧出量を示す。この図には未調査の湧水も数ヶ所含まれている。また、北部と西部地域は密な調査を実施していないので、もっと多くの湧水が存在していると考えられる。分布図から、大分県内にはまとまって湧水が存在し、かつ大きな湧出量を有する地域が4つ存在していることがわかる。本稿ではそれぞれの湧水群を、鹿鳴越湧水群、庄内湧水群、くじゅう湧水群、竹田湧水群と呼ぶ。



図1 大分県内の主な湧水・地下水の分布

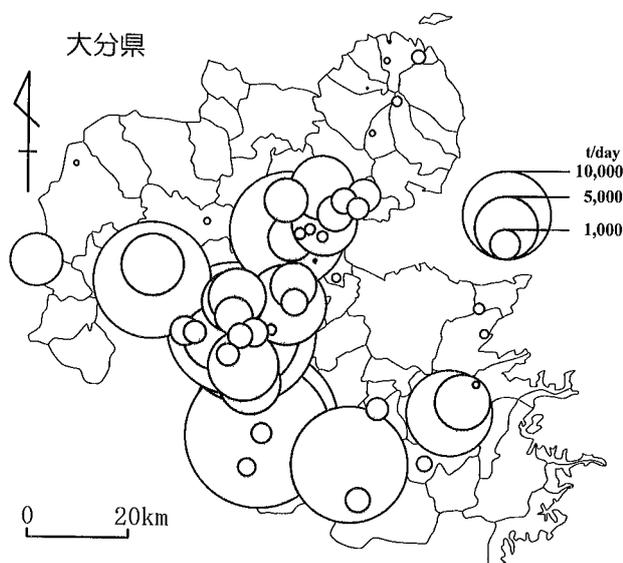


図2 湧水の湧出量分布

1) 鹿鳴越湧水群

鹿鳴越山群は、東西10km、南北8kmの輝石安山岩からなる第四紀火山で、標高612mの経塚山を主峰として、鳥屋岳や唐木山といった標高約600mの山々が東西方向に連なっている。国東半島とは安芸川地溝帯によって接続し、北西は八坂川と三川を境界として別府の鶴見岳火山群と接している。地質は、ほとんど第四紀の輝石安山岩から成っており、北麓の一部を安山岩質凝灰角礫岩が覆っている。鹿鳴越山群の南東麓にある日出町湯谷城沖には鹿鳴越を涵養源とする海底湧水が存在し、この湧水が大分県名産の「城下カレイ」の味を引き立てていると言われている。鹿鳴越湧水群は、すでに河野ほか(1996)で概要を明らかにしたが、隣接する鶴見岳と由布岳を含めた大きな火山地域としての湧水群とみなすこともできる。しかし、第四紀火山である鶴見岳

と由布岳には大きな湧水が数ヶ所あるが、数はあまり多くない。

2) 庄内湧水群

庄内湧水群はくじゅう男池を水源とする阿蘇野川と大分川流域に存在している。この地域は両河川の形成する河岸段丘と山麓緩斜面が卓越し、傾斜の変換点や段丘崖から多量の湧水が見られる。

3) くじゅう湧水群

くじゅう湧水群は、くじゅう火山群周辺から多くの湧水が見られる地域である。くじゅう山体の基盤岩とくじゅう山、阿蘇山の火砕流堆積物が厚く堆積していることから、良好な帯水層を形成し、そこから大量の湧出がみられる。

4) 竹田湧水群

竹田湧水群は阿蘇火砕流の中を流動する地下水が竹田盆地に湧出したもので環境庁の選定した、日本の名水百選にも指定されている。しかし、竹田市北部はくじゅう山系から流動する地下水と考えられる湧水があり、南部には祖母・傾山系が涵養源と考えられる湧水も存在する。

この4つの湧水群以外では、国東半島地域の湧水が1つのまとまった湧水群と考えることもできる。森山ほか(1983)によると、国東半島は両子山を中心とした新第三紀火山噴出物の輝石安山岩質凝灰角礫岩を主とする成層集塊岩からなる第三紀火山とみなすことができる。非常に開析の進んだ火山であるが、両子山や文殊山のごく一部に第四紀に噴出した角閃安山岩が載っている。したがって、この地域は、河野ほか(1996)で述べたように、火山としての大きな地下水流動系に属する湧水はなく、局地的な涵養湧出機構を持つ湧水の集まりであるにすぎない。

大分県南部は大きな湧水群は見られないが、それぞれ特徴を持った湧水が散在している。最も特徴的な湧水は、久保谷湧水や風連鍾乳洞などの石灰岩が堆積岩中に挟在する地域から湧出し、極端に大きな湧出量を示す湧水である。また多くの湧水は、堆積岩地域の崖線や岩盤の割れ目などから湧出する小規模な湧水で、沿岸部や島嶼部には、海岸であるにもかかわらず塩分の非常に低い淡水の湧出する湧水もあり、独特な涵養湧出機構を示している。

以上のことから大分県内各湧水の涵養湧出機構を考慮すると、次の三地域に分類できる(図3)。

- 1) 北部第三紀地域
- 2) 中部第四紀火山地域
- 3) 南部堆積岩地域

(2) 水質の特徴

ヘキサダイアグラム(図4)から大分県の湧水を考察すると、北部地域の湧水は、一つ一つのパターンが異なることから、やはり独立し局地的な涵養湧出機構を有する湧水といえるであろう。中部地域は、くじゅう湧水群の一部の湧水を除きほぼ一定の水質を示しており、安山岩質の第四紀

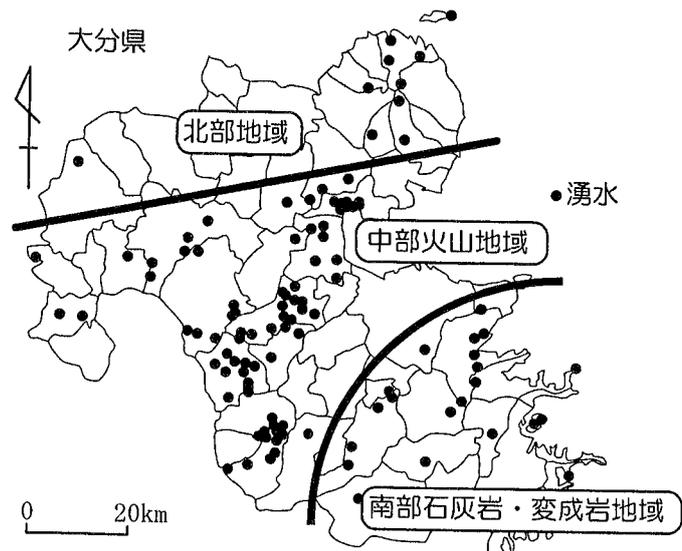


図3 大分県内に分布する湧水の地域区分

火山としての大きな涵養湧出機構の中で流動する地下水の湧出である。南部地域は石灰岩の典型的なCa-HCO₃型の水質を示す湧水と、他の堆積岩地域でNa-Cl型などの水質を示す湧水とが対照的である。また、河野・長田（1999）で述べたように、阿蘇火砕流を帯水層として流動する地下水とその他の地下水の水質はそれぞれ特徴が見られる。図5、図6に南部地域の湧水・地下水のヘキサダイアグラムとトリリニアダイアグラムを示す。図5から南部地域の水質には、石灰岩地域の特徴を示すものと、海岸付近に存在し、風送塩の影響を受けていると考えられるものなど、様々な特徴を持った水質が見られる。図6からはCa-HCO₃型の水質は半分ほどで、その他汚染や風送塩の影響と考えられる水質が多いことを改めて示している。

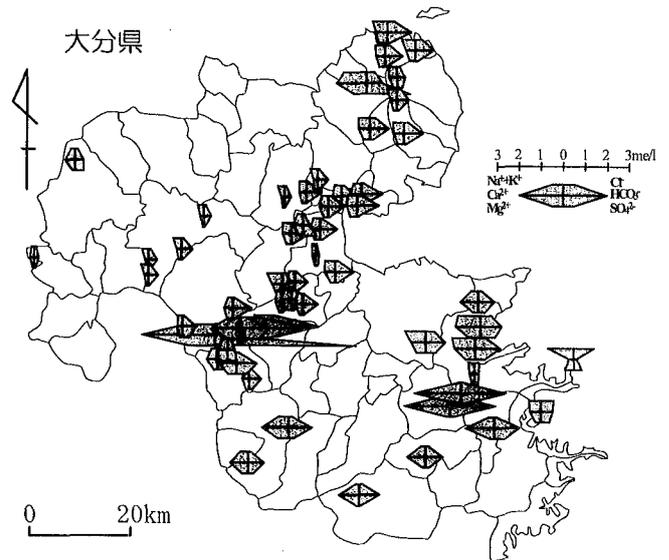


図4 ヘキサダイアグラム

(3) 溶存性シリカ

図7に各湧水の溶存シリカ濃度を示す。シリカは、地下での流動時間に応じて濃度が増加することが知られている（Haines, T.S. and Lloyd, J.W., 1985）。北部地域の湧水には特徴を見いだすことはできないが、中部火山地域の湧水群では山頂付近でのシリカ濃度が低く、標高が低下するに伴って、シリカ濃度が高くなる傾向が見いだせる。これは、火山の帯水層中を地下水が流動するに伴いシリカ濃度が増加していることを示している。南部地域にある湧水のシリカ濃度は、ほとんどの湧水で低く、堆積岩地域の特徴がでている。

(4) 人為汚染

人為的汚染を判断するためにはいくつかの指標があるが、本稿では、Cl⁻とNO₃⁻を用いて考察する（表1参照）。NO₃⁻は一部の湧水を除き10mg/l以下で、ほとんど汚染は認められない。しかし、いくつかの湧水で非常に高濃度の汚染が認められる。また、Cl⁻は比較的低濃度ではあるが、その中にもいくつか濃度の高いサンプルがある。基本的には山間部の湧水・地下水の汚染はほとんどないと考えてよいが、平野部周辺にはかなり高濃度の汚染地域があることが推察される。

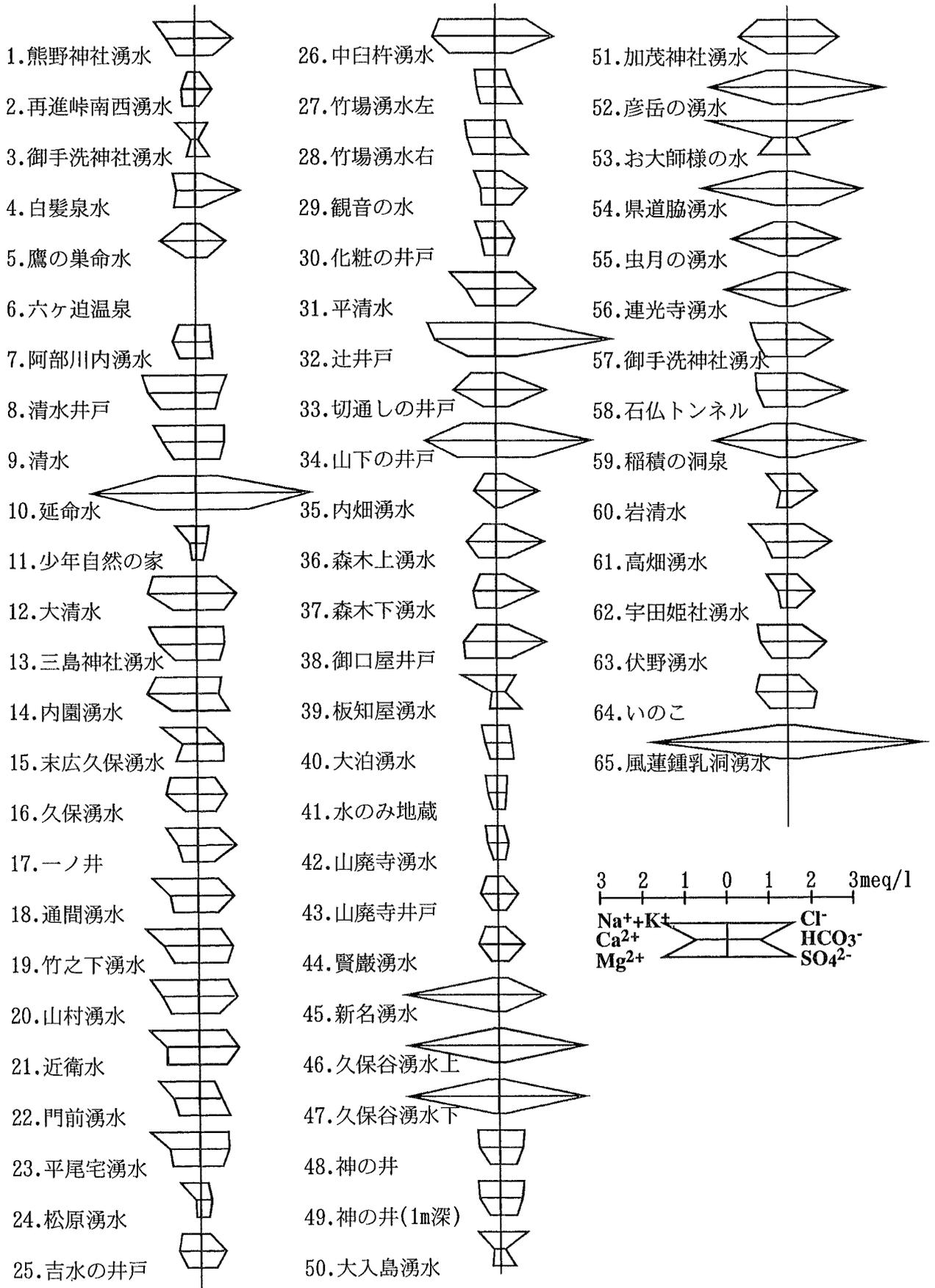


図5 大分県南部湧水・地下水の水質ヘキサダイアグラム

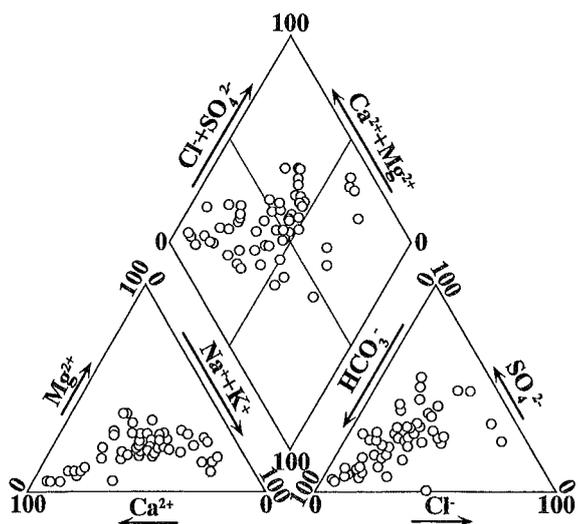


図6 大分県南部湧水・地下水のトリリニアダイアグラム

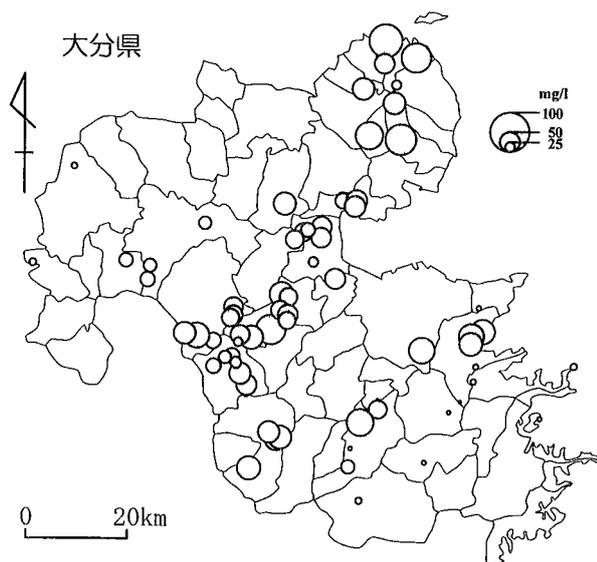


図7 SiO₂濃度分布

5. 湧水の利用状況と水文化

大分県内の各湧水は、その水文化学的特徴や周辺地域の状況に応じて様々な利用方法がみられる。本稿では、図8に示すとおり飲料水、灌漑用水、薬水・霊水、その他の分類によってそれぞれの湧水を分類した。この分布図によると大分県北部国東半島の湧水と南部沿岸部島嶼部にある湧水は、薬水・霊水としての水利用が卓越している。いずれの地域も昔から水不足による飢饉の発生しやすい地域であり、水を大切に利用してきた地域である。また、河野(2000b)は、こういった地域に共通する特徴として、弘法大師にまつわる湧水が多い(図9)ことを明らかにした。椿堂御霊水は霊験あらたかな水として、大分県以外からも参拝に訪れる人々が後を絶たない湧水である。津久見市保戸島には、柳田国男の海南小記にも出てくるお大師様の水と呼ばれる湧水があり、昔から島民の命の水として大切に利用されてきた。

また、湧水自体が御神体とされているところも多い。姫島の拍子水や佐伯市大入島の神の井が代表的な湧水であるが、なかでも国東半島文珠仙寺奥の院にある智慧の水は、正月と年2回の大祭時のみ開放されるという非常に珍しい湧水である。

大分県中央部の4つの湧水群周辺地域では、その豊富な湧水の一部は飲料水として利用されているものの、そのほとんどが灌漑用水として利用されている。最近の名水ブームによって、これらの湧水を訪れる人が急激に増加している。

南部に散在する湧水は、大量の湧出が見られるものは、石灰岩地域の特徴であまり

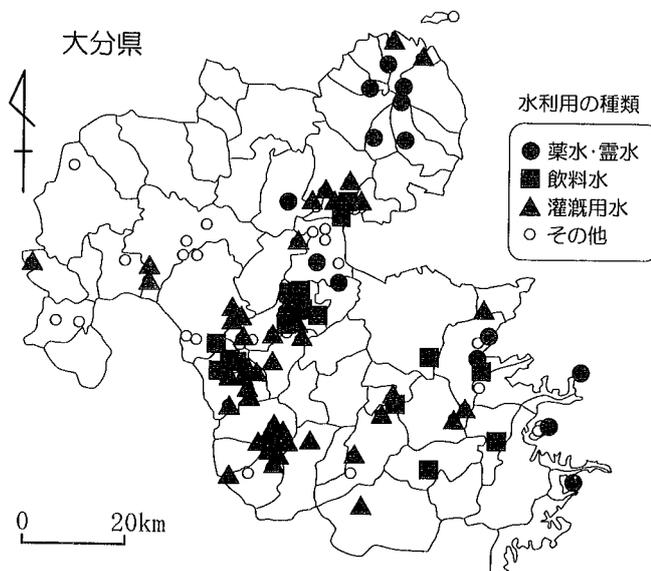


図8 水利用から見た湧水の分類

水質がよくないために、飲料水として利用されることはあまりなく、主に灌漑用水として利用されている。他の堆積岩地域にある湧水は、その湧出量が少ないために積極的に利用されているものは少なく、開発などによって汚染され、利用されなくなった湧水が多く見られた。

大分県の湧水に共通してみられる特徴の一つに、日本各地で一般的に湧出地点で見られる水船形式の仕切りがほとんどないことがあげられる。水神様を祭っているところも少なく、あまり湧水を大事にしているとは思えないところが多い。大分県は水の豊富な地域であり、河川水を飲料水や灌漑用水として利用してきた経緯があるために、湧水を省みることがほとんどなく、湧水への関心が薄かったのではないかと考えられる。また、その豊富な湧出量を持つ湧水のほとんどは山地にあり、人口が少なく利用し難かった点もその要因の一つであろう。

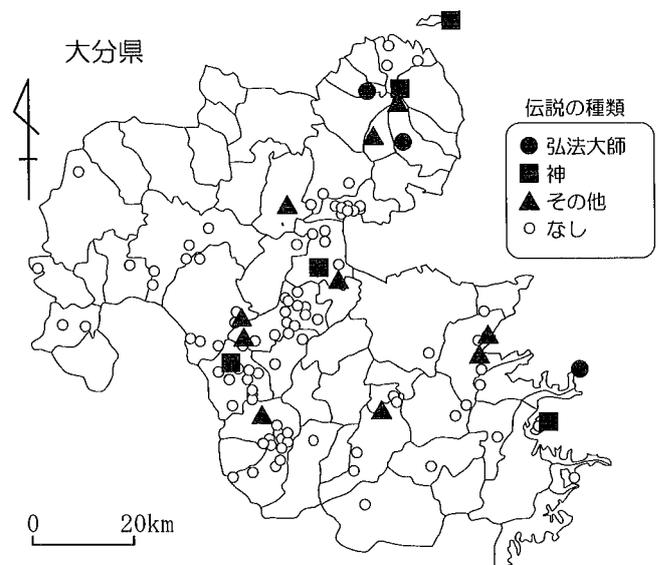


図9 湧水にまつわる伝説の分類

6. まとめ

大分県内には数多くの湧水が存在するが、その分布は偏っている。その分布状態から、北部の非常に湧水の少ない地域、中部の火山地域に分布する多数の湧水、南部の数は少ないが、バラエティーに富んだ地域の3地域に分類される。

国東半島と沿岸地域、島嶼部には弘法大師に由来する湧水が多くみられた。いずれも昔から干ばつに悩まされた地域であり、当時の人々の苦勞が偲ばれる。

近年の名水ブームで大分県各地の湧水は休日ともなると県内、県外から多数の人々が訪れ賑わっているが、湧水は地下水環境のよい指標であり、将来の水資源としても貴重なものである。災害防止の観点からも湧水の動向には非常に注目すべき点があるので、現在の環境に安心することなく、しっかりとした保全体制をとってほしいと願う次第である。

謝辞

日本文理大学環境科学研究所所長村谷俊雄先生には実験室およびイオンクロマトグラフを快く使用させていただいた。大分県民の方々には多くの情報をいただき、湧水を紹介していただいた。また日本文理大学工業化学科学生諸君には現地調査を手伝っていただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 北岡豪一・河野 忠(1999)：くじゅう火山群の湧水と河川水の安定同位体比とトリチウム濃度。大分県温泉調査研究会報告, No.50, 15~18.
- 北岡豪一・河野 忠(2000)：くじゅう連山の湧水調査(II)。大分県温泉調査研究会報告, No.51, 73~80.

- 河野 忠(2000a)：硫黄山噴火前後の周辺湧水の動向．大分県温泉調査研究会報告，No.51，29～34.
- 河野 忠(2000b)：地下水・湧水の湧出形態と水質形成機構の解明 —弘法水を例として—．河川整備基金助成事業研究成果報告書，69p.
- 河野 忠・田川豊治・藤原秀二(1996)：国東半島と鹿鳴越山群の名水．地下水学会誌，Vol.38，No. 2，137～143.
- 河野 忠・長田美智子(1999)：大分県臼杵市の名水 ～その現状と水文学的特徴～．日本文理大学環境科学研究所報告，No. 2，20～29.
- 森山善蔵・日高 稔・堀 五郎・津崎俊幸(1983)：国東半島の地質，『国東半島 —自然・社会・教育—』大分大学教育学部，29～62
- 安原正也・丸井敦尚・田中 正・高山茂美(1990)：河川水の涵養に果たす賦存深度の異なる地下水の役割—SiO₂濃度に基づく事例研究—，*ハイドロロジー*，Vol.20，No. 2，83～95.
- Haines,T.S.and Lloyd,J.W.(1985)：Controls on silica in groundwater environments in the United Kingdom, *J.Hydrol.*, 81, 277～295.

別府血の池地獄の変遷過程の解読

大分大学工学部応用化学科
大 上 和 敏

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・由 佐 悠 紀

1 はじめに

ある地域の熱水活動がいつ頃から始まり、現在どの活動ステージにあるかを把握する事は、限りある地熱資源を有効に利用するために重要である。これまでに、地熱変質岩の年代測定（高島，1980；森藤ほか，1989）や、岩石中のK濃度の増加に基づいた温泉水系の継続年代の推定（由佐・大沢，1996）などが行われ、「温泉活動がいつ頃から始まったか」ということにはある程度答えられるようになった。しかし、「どのような変遷過程を経て、現在どの状態にあるか」という疑問に答えられるような研究はほとんど行われていない。

過去に起こった地学的現象は、その痕跡を湖沼や海洋の堆積物の中にとどめていることが多く、堆積物の掘削試料を用いて、過去の火山活動の追跡や、太古の地球環境の推定などが行われている。これらと同様に、地熱・温泉現象の産物が何らかの形で、適当な場所に堆積していれば、それを分析・解析することによって、地熱・温泉活動の変遷を解読できるはずである。

大分県の別府温泉には、血の池地獄と呼ばれる高温湖沼が存在している（図1）。血の池地獄は、その湖沼底に名前の由来ともなった赤色の沈殿物が堆積している高温湖沼で、その歴史は大変古く、8世紀初頭に記された「豊後風土記」の中には「赤池地獄」として記述されている。

現在までの研究成果で、血の池地獄では、温泉沈殿物が層状に堆積していること（高松ほか，1998）、また、温泉沈殿物の鉱物組成は熱水の温度や化学組成の変化を鋭敏に反映していること（大上ほか，1997）が分かっている。そこで、過去に堆積した温泉沈殿物から、血の池地獄周辺の地熱・温泉活動の変遷に関する情報を入手できると考え、血の池地獄に堆積している沈殿物から柱状試料を採取し、その沈殿物の鉱物・化学組成に基づいて、周辺の熱水系の変遷過程の解読を行った。

2 試料採取

血の池地獄は、一辺がおよそ45mの正三角

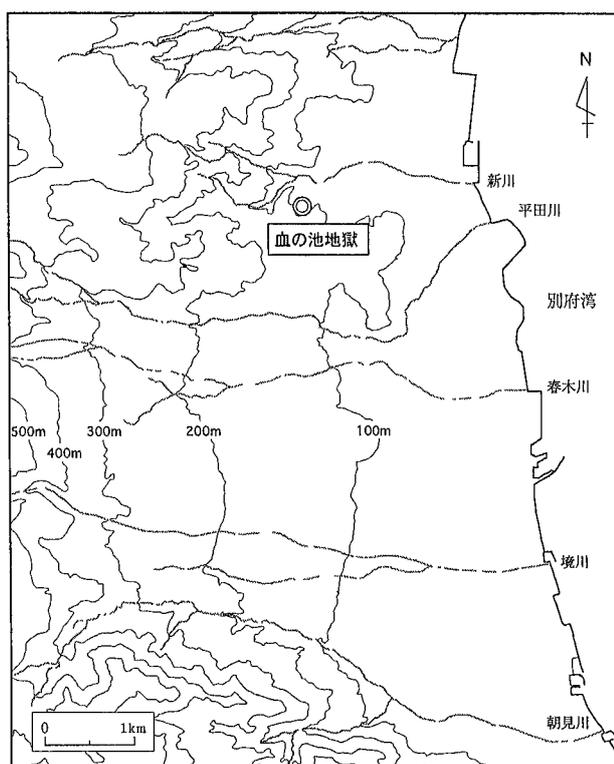


図1 別府血の池地獄周辺

形に近い形状をしている（図2）。湯沼の西半部は深く、上方に開く漏斗状の凹地を形成しており、最深部は26mであり、その最深部付近に湧出口があるとされている（吉田ほか，1978）。東半分は数10cmの浅瀬になっており、そこに赤色の沈殿物が堆積している（図2）。

試験的な掘削により、二つの流出口付近で成層状態が良好な試料が得られることが示されたので（高松ほか，1998）、この地点で柱状試料を採取した（図2）。試料採取時の沈殿物の攪乱を防ぐため、試料採取には不攪乱柱状採泥器と呼ばれる装置を用いた（図3）。

この採泥器は、アクリル管を内装しており、採取した試料を採泥器から取り出す際の試料の攪乱を防ぐようにできている。今回は、あらかじめアクリル管を縦割りにしておき、採取後にアクリル管を割って中の沈殿物試料を取り出した。沈殿物試料は1cm間隔でスライスし、室温で風乾した後、めのう乳鉢で微粉碎した。

3 実験方法

3-1 分析方法

沈殿物に含まれている鉱物は、粉末X線回折分析装置で同定を行った。沈殿物中の含有元素で比較的高濃度であるK、Fe、Alについては、エネルギー分散型蛍光X線分析装置で定量し、比較的低濃度の成分（Na、Ca、Mg）については、沈殿物試料を6N-HCl溶液中で加熱溶解した後、ICP発光分析装置で定量を行った。

3-2 沈殿物の堆積年代の推定

柱状試料中の沈殿物の堆積年代は、湖沼堆積物や沿岸の海洋性堆積物の堆積速度の推定に利用されている ^{210}Pb 法を用いて推定した。 ^{210}Pb 法は、堆積物中に含まれている ^{210}Pb （質量数が210の鉛の放射性同位体で、半減期が22.3年である）の濃度に基づいて堆積物の堆積速度を推定する方法で、堆積年代が10～100年の堆積物の年代推定に適している。

岩石や土壌に含まれるウラン系列の放射性核種である ^{226}Ra の放射壊変から生じた ^{222}Rn は大気中に拡散し、それから生じた ^{210}Pb はエアロゾルなどに付着し雨水などによって、地表の湖水や堆積物等に取り込まれる（Faure 1986）。堆積物中の ^{210}Pb 濃度は、時間の関数として一定の半減期（22.3年）で減少していくので、堆積物に取り込まれてからt時間後の ^{210}Pb 濃度は次式で表される。

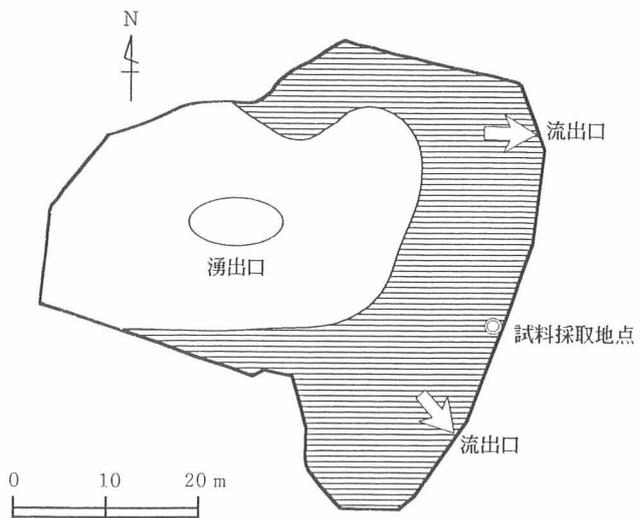


図2 柱状試料の採取場所

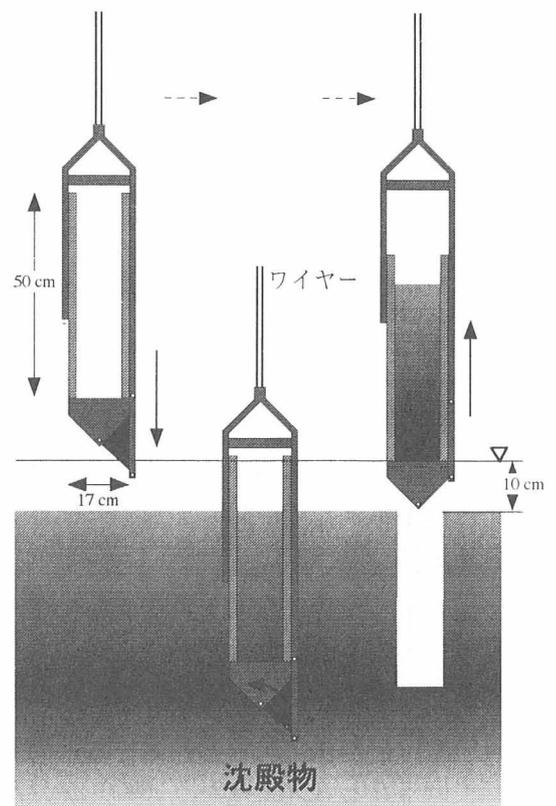


図3 柱状試料の採取

不攪乱柱状採泥器(離合社製 HR型)

$$[^{210}\text{Pb}] = [^{210}\text{Pb}_0] e^{-\lambda t} \dots \dots (1)$$

$[^{210}\text{Pb}]$: 深さ h (cm) における堆積物中の ^{210}Pb 濃度 (pCi/g)

$[^{210}\text{Pb}_0]$: 着底時の ^{210}Pb 濃度 (pCi/g)

λ : ^{210}Pb の壊変定数 ($3.11 \times 10^{-2} \text{y}^{-1}$)

t : 沈殿物の年代 (y)

一方、一定の堆積速度 a (cm/y) で沈殿物が h (cm) 堆積したとすると、

$$a = h/t \dots \dots (2)$$

の関係が成り立つ。ここで、(1)式と(2)式から、次の式が得られる。

$$\log [^{210}\text{Pb}] = \log [^{210}\text{Pb}_0] - \frac{\lambda h}{2.303 a} \dots \dots (3)$$

この式より、ある深度 h における ^{210}Pb 濃度を数カ所の深度で測定し、深さ h と ^{210}Pb 濃度の関係を表す回帰直線の傾きから堆積速度 a が得られる。さらに、求めた堆積速度から(2)式を用いて、深度 h における沈殿物の年代を推定することができる。

沈殿物中の ^{210}Pb 濃度は、ベータ壊変によって生じる娘元素の ^{210}Bi 濃度より求めた。試料中の ^{210}Bi はガスフロー型比例計数管(Berthold model 770)で計測した。なお ^{210}Pb の分析はTeledyne Isotope社に依頼して行った。

4 柱状試料の含有鉱物および化学組成

柱状試料中の沈殿物のX線回折分析結果を図4に示す。沈殿物中には、クリストバライト、カオリナイト、ヘマタイト、ジャロサイト、石英が検出されている。

ジャロサイトとヘマタイトのピーク強度は、深度に伴って変化しているが、クリストバライト、カオリナイトのピークはほとんど一定の強度を示している。ジャロサイトのピーク強度は、深度8-9cmで最も強く、そこより下部に向かうにつれて弱くなり、深度20-21cm辺りでは、ほとんど検出できなくなっている。一方でヘマタイトのピーク強度は、表層から24cm付近までは顕著な変化はみられないが、24cm以深で急激に小さくなっている。

沈殿物中の主要化学成分の鉛直分布を図5に示す。 K_2O および SO_3 含有量は、深度8cmから26cmまで減少し、そこからはほぼ一定の値を示している。 Fe_2O_3

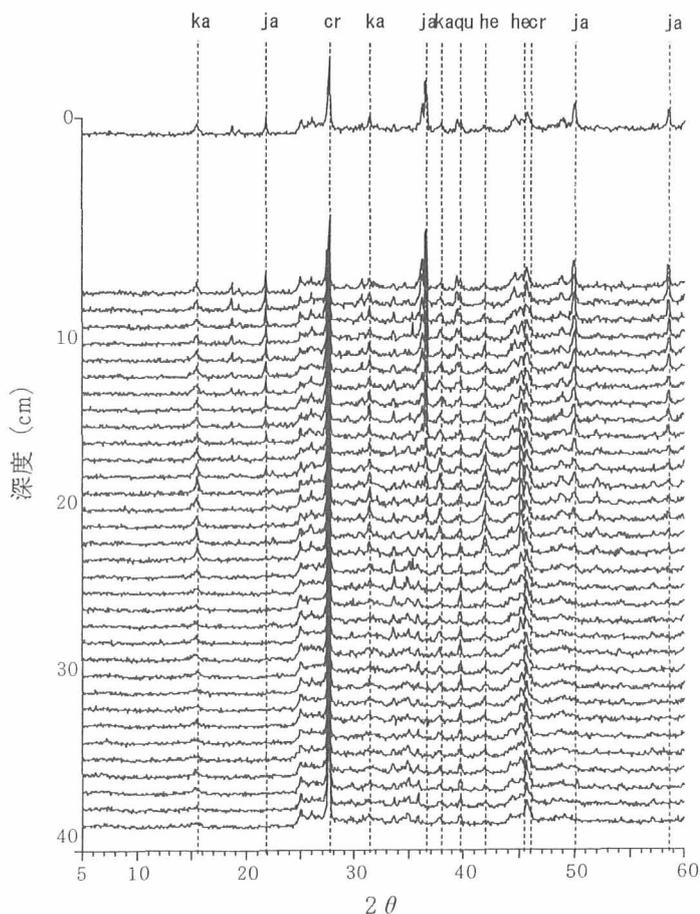


図4 血の池地獄の沈殿物の粉末X線回折分析結果
cr: クリストバライト、he: ヘマタイト、ja: ジャロサイト、ka: カオリナイ、qu: 石英

は、表層から24cmまではほぼ一定であるが、そこから底部に向かって減少している。SiO₂は、底部に向かうほど増加している。Al₂O₃のみが表層から40cmまでほとんど一定の値であった。

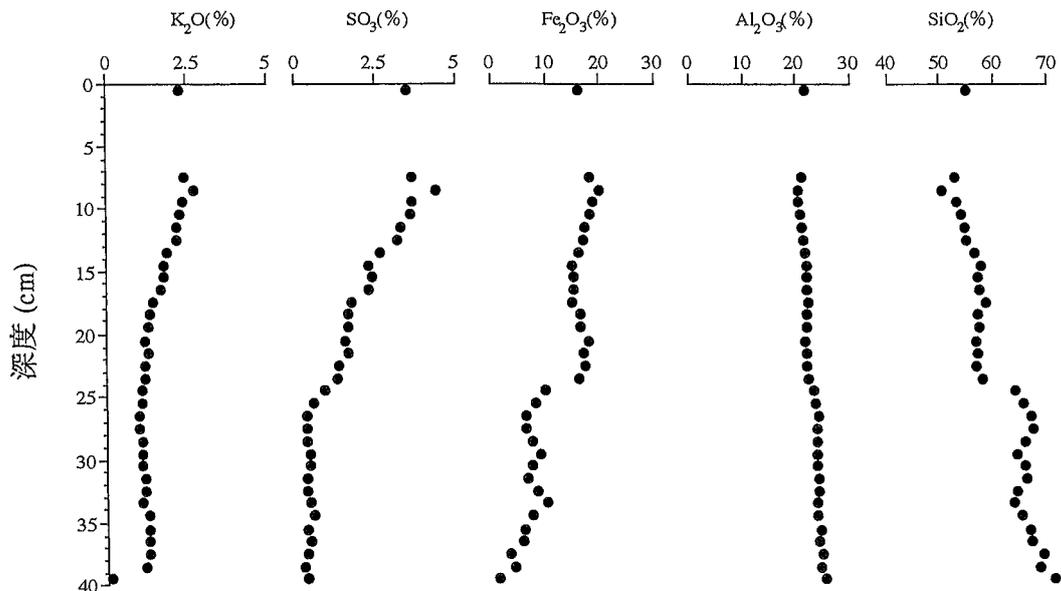


図5 血の池地獄の沈殿物中に含まれる化学成分の鉛直分布

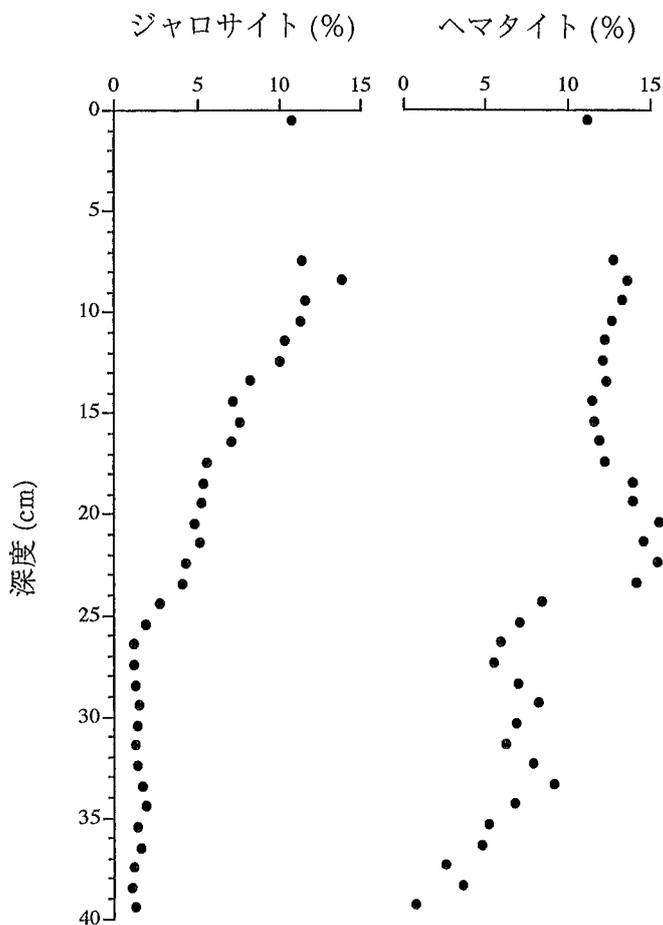


図6 血の池地獄の沈殿物中のジャロサイトとヘマタイト含有量の鉛直分布

沈殿物中には、ジャロサイト ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) 以外に SO_3 を組成にもつ鉱物が検出されていないので、 SO_3 のほとんどはジャロサイトに由来すると考えられる。また、 Fe_2O_3 (Fe^{3+}) を組成にもつ鉱物はジャロサイトとヘマタイトしか検出されていないので、 Fe_2O_3 はこれらの鉱物に由来するものと考えられる。そこで、 SO_3 と Fe_2O_3 含有量に基づいて、沈殿物中のジャロサイト ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) とヘマタイト (Fe_2O_3) の含有量を推定した (図 6)。

ジャロサイト含有量は 8 - 9 cm で最大になり、そこから 26 cm までは減少し、それ以深ではほぼ一定である。一方で、ヘマタイト含有量は最上部から 22 cm まではほぼ一定の値を示し、22 ~ 26 cm の間で急激に減少し、それ以深も減少傾向を示している。これらの含有量の変化は粉末 X 線回折分析の結果 (図 4) とほぼ一致している。

5 沈殿物の年代の推定

^{210}Pb 濃度を深度 (h cm) に対してプロットしたものを図 7 に示す。 ^{210}Pb 濃度には、測定点間ごとにはばらつきがあるので、 ^{210}Pb 測定点間ごとにおいて堆積速度が一定であると仮定して、測定点間ごとに堆積速度 (a cm/year) を求めた (図 7)。得られた堆積速度に基づいて、沈殿物の年代を計算すると、コア試料の最下部 (40 cm) の試料は、 130 ± 20 年前に堆積した沈殿物と推定される。

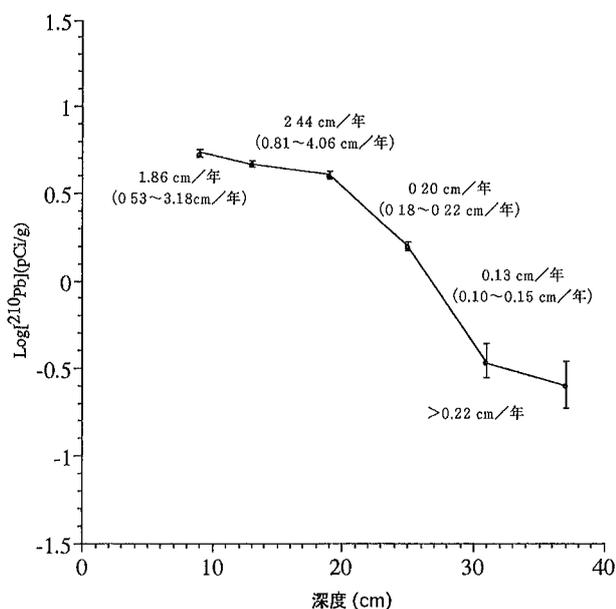


図 7 血の池地獄の沈殿物中の ^{210}Pb 濃度の鉛直分布

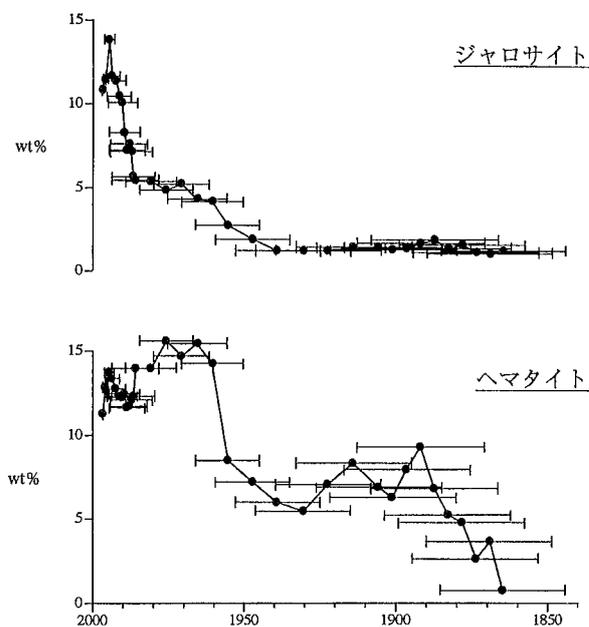


図 8 血の池地獄の沈殿物中に占めるジャロサイトとヘマタイト含有量の経年変化

6 血の池地獄周辺の熱水系の変遷

図 8 は、沈殿物中のジャロサイトとヘマタイトの含有量を、沈殿物の年代に対してプロットしたものである。沈殿物中のジャロサイトは 1950 年代から増加し始めており、ヘマタイトは 1850 ~ 1910 年と、1950 ~ 1970 年の間でそれぞれ増加している。

血の池地獄で湧出している温泉水は、高温の食塩型熱水 (250 ~ 300 °C) と、比較的低温の硫酸酸性型熱水 (~100 °C) が混合することにより形成されており、沈殿物中に含まれているジャロサイトとヘマタイトの含有量は、これら二種類の熱水の混合割合と密接に関わっている (図 9) (大上ほか, 1997)。血の池地獄地下周辺の熱水中に占める低温の硫酸酸性熱水の混合割合が増加し、熱

水系の温度が低下すると、沈殿物中のジャロサイト含有量が増加して、ヘマタイト含有量は減少する。逆に、硫酸酸性型熱水の混合割合が減少し、熱水系の温度が高くなると、ヘマタイト含有量が増加して、ジャロサイトの含有量は減少する（大上ほか，1997）。そこで、熱水系に流入する2種類の熱水と沈殿物中のジャロサイトとヘマタイトの含有量の関係に基づいて、今回採取したコアサンプル中の沈殿物の鉱物組成から、血の池地獄の地下に形成されている熱水系の変遷過程の解説を行った。

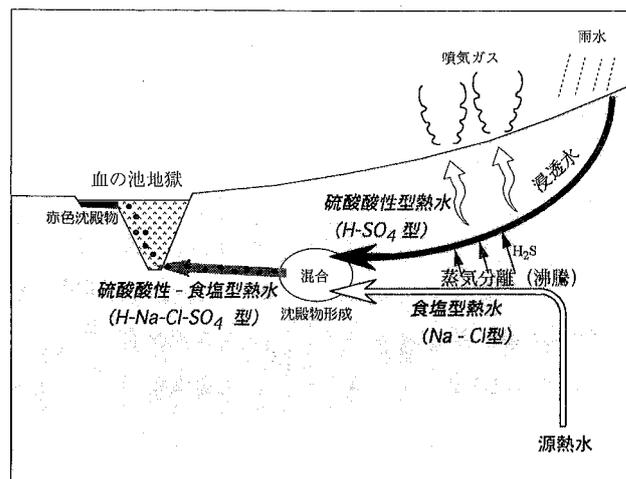


図9 血の池地獄周辺に形成されている熱水系モデル

(a) 1850年代：

沈殿物中のジャロサイト、ヘマタイト含有量はともに少ない。

この頃、血の池地獄地下近傍に形成されている熱水系中に占める硫酸酸性型熱水の割合が、食塩型熱水に対して極端に少なく、熱水中の鉄イオン濃度が低いため、ジャロサイト、ヘマタイトともに生成されなかった。また、熱水系の温度も食塩型熱水に近く、非常に高温であった。

(b) 1850年代～1950年代

沈殿物中に、ジャロサイトはほとんど含まれておらず、ヘマタイト含有量のみ徐々に増加し始めている。

この期間、熱水系に流入する硫酸酸性型の熱水の割合が徐々に増加し、鉄イオン濃度が高くなり始め、ヘマタイトが生成されるようになった。しかし、高温の食塩型熱水の割合の方が、硫酸酸性型熱水に比べて圧倒的に多いため、熱水系の温度が高く、ジャロサイトはほとんど生成されなかった。

(c) 1950年代～1970年代

ヘマタイト含有量が急激に増加し、ジャロサイト含有量も少しずつ増加し始めている。

この期間、熱水系に占める硫酸酸性型の熱水の割合がさらに増加し、熱水系の温度が幾分低下しはじめた。そのため、ヘマタイトの含有量が急激に増加する一方で、ジャロサイトも沈殿物に含まれるようになってきた。

(d) 1970年代～現在

ジャロサイト含有量が急激に増加して、ヘマタイトの含有量が若干減少している。

硫酸酸性型熱水の混合割合が急激に増加した。そのため、熱水系の温度が低下し、低温状態で安定なジャロサイトの含有量が著しく増加して、ヘマタイトの含有量が減少した。

7 おわりに

血の池地獄から採取したコア試料に、湖沼堆積物の堆積速度の推定に利用されている²¹⁰Pb法を適

用することにより、湖沼底に堆積している沈殿物の年代を推定することができた。また、推定した沈殿物の年代と、コア試料中の沈殿物の鉱物・化学組成に基づいて、血の池地獄周辺に形成されている熱水系の変遷を解説することができた。

今回は、主に温度とジャロサイトとヘマタイトの安定関係を中心にして、熱水系の変遷過程の解析を行ったが、今後は熱水の化学組成にも注目して、さらに詳細な変遷過程の解説を行う予定である。

8 引用文献

- 大沢信二・大上和敏・由佐悠紀(1996) 別府血の池地獄の温泉沈殿物の色彩変化, 温泉科学, 46, 13~19.
- Faure, G. (1986) Principles of Isotope Geology, John Willey & Sons, New York 294~297.
- 大上和敏・大沢信二・中川理恵子・高松信樹・由佐悠紀(1997) 別府血の池地獄の色彩変化に関する沈殿物の鉱物組成・温泉水の化学組成の変化, 温泉科学, 47, 159~167.
- 高松信樹・大上和敏・大沢信二・加藤尚之・由佐悠紀(1998) 別府血の池地獄堆積物コアの主要および微量成分の垂直分布, 温泉科学, 48, 36~43.
- 高島勲(1980) 発光法による地熱変質帯の年代決定法の基礎的研究, 日本地熱学会誌, 2, 81~86.
- Takemura, T. (1995) Holocene Eruptive Activity Recorder as Volcanic Glass in the Sediments of Beppu Bay, Central Kyushu, Japan. Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Science of Geol. & Mineral., Vol LVII, 2, 1~10, 1995.
- Takemura, T. (1994) A Method for Determination of Volcanic Glass Concentrations in Sedimentary Sequences and Its Application to Quaternary Studies. Geoarchaeology, 9, 301~316.
- 森藤本行・田口幸洋・林 正雄(1989) 地熱変質石英のESR年代測定, 日本地熱学会誌, 11, 21~30.
- 由佐悠紀・大沢信二(1996) カリウム収支から推定される別府地熱系の年齢, 日本地熱学会平成8年学術講演会講演要旨集, A34.
- 吉田哲雄・湯原浩三・中江保夫・野田徹郎(1978) 別府「血の池地獄」の温泉水及び沈殿物について, 温泉科学, 29, 10~18.

慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(II)

国立別府病院リウマチ・膠原病センター

安田 正之

緒言

慢性関節リウマチの慢性炎症に関与するサイトカインとして、TNF- α は上流に位置し他のサイトカインの血中濃度の変動に強く関与することが知られつつある[1]。慢性関節リウマチでは、それらサイトカインのうちIL-6濃度が高値を示すが、吉野らは落語を聞かせるとIL-6濃度が低下することを示した[2,3,4]。我々も、抑鬱的な気分がリハビリテーション訓練や温泉浴により軽減することを報じてきた[5,6]。

昨年度の報告書において、リハビリテーション・温泉浴がIL-6濃度を低下させることを報告したが[7]、今回は、リハビリテーション・温泉浴が行われないためにベッド上安静にする日のIL-6濃度と比較したので報告する。

方法

3人の活動性慢性関節リウマチを対象とした。日曜日の午前9時30分および10時30分に採血し、翌月曜日に前報告に準じて午前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[7]。血清は-30℃に保存し、SRLに依頼してIL-6濃度を測定した。

結果

図1に示すように、慢性関節リウマチ患者の血中IL-6濃度は正常値(4.0pg/ml以下)を上回っている。日曜日には、わずかな低下傾向を示すが、月曜日のリハビリテーション訓練・温泉浴後には前報告同様に高値を示していたIL-6濃度が半減した。

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が[1]、正常人においては、朝高く、夕に最も低くなる日内変動が示されている[8]。炎症性疾患以外では、図2に示すように、マラソンで強い上昇を呈するとされており、筋由来のIL-6を反映するとされている[9,10]。一方、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。前回・今回の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の低下は、日内変動以上の大きな変動であることを示している。

今回の実験成果を確認するために、より多くの患者を対象とした検討が必要であろう。

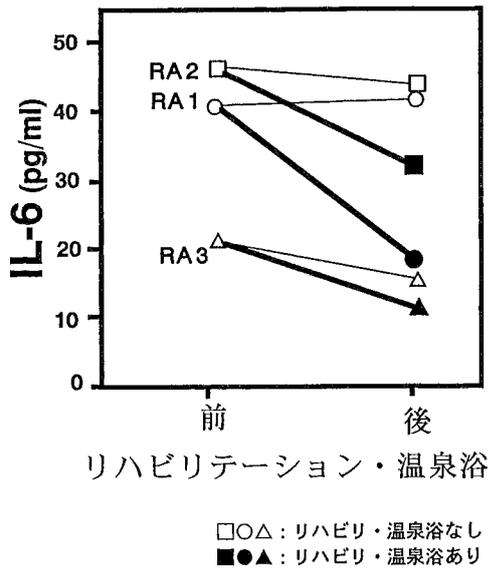


図1 リハビリテーション・温泉浴の有無によるIL-6の変化

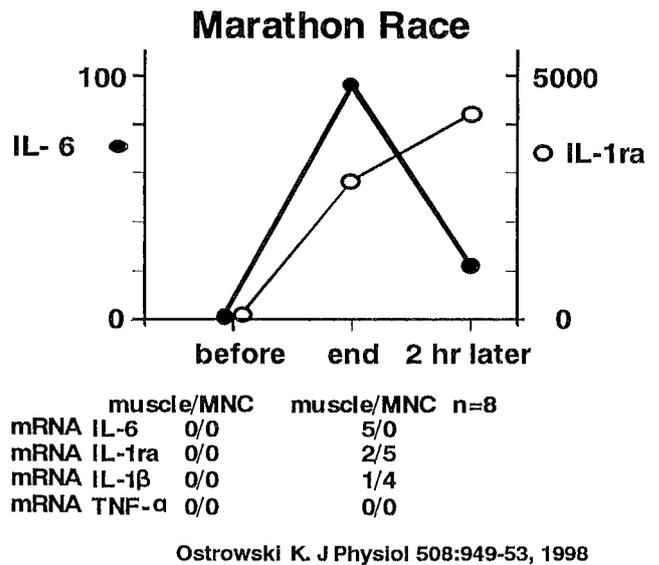


図2 マラソン後のIL-6, IL-1raの変動

文献

[1] Feldmann M, Brennan FM, Maini RN. Role of cytokine in rheumatoid arthritis. *Ann Rev Immunol* 1996; 14: 397-440.

[2] 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.

[3] Nakajima A, Hirai H, Yoshino S. Reassessment of mirthful laughter in rheumatoid arthritis [letter]. *J Rheumatol* 1999; 26: 512-3.

[4] 吉野慎一, 小山泰朗. 楽しい笑いと慢性関節リウマチ患者. *リウマチ* 40: 651-658, 2000

[5] 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.

[6] 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.

[7] 安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(I). *大分県温泉調査研究会報告* 51: 35-38, 2000.

[8] 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.

[9] 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.

- [10] 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.
- [10] 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.

環境行政と温泉法・温泉権(V)

— 21世紀へ向けての回顧と展望 —

(大分大学)

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・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号所収)

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

B 別府市鉄輪(特別・北部)保護地域

C 別府市亀川(特別・北部)保護地域

(A—「会報」第50号所収)

(B・C—「会報」第49号所収) ↗

2 別府温泉の将来展望

3 湯平温泉と「集中管理」の諸問題

(以上 本号報告)

4 由布院温泉、天瀬温泉、長湯温泉、宝泉寺温泉の将来展望

5 結語

(以上 次号報告予定)

2 別府温泉の将来展望

(1) 「別府八湯」の沿革

別府温泉(狭義:旧別府市内を領域とした温泉圏の別称)は、昨今“別府八湯”の名称で全国に広く喧伝され、新鮮なイメージを呼んでいる。

だが、この呼称の沿革は、すでに戦前にまでさかのぼる。昭和10年(1935)9月4日、旧別府市(大正10年4月、市制を敷く)と周辺域の1町2村(旧亀川町と旧朝日村、旧石垣村)とを合併し、“大別府市”として観光面から広域温泉圏が形成されて市勢昂揚の基盤が固められたのであった。

(参考)大正13年4月1日 市制執行

戸数—7404戸 人口—3万6276人

昭和10年9月4日 1町2村合併

鉄輪温泉 明礬温泉 柴石温泉 堀田温泉 観海寺温泉 亀川温泉

浜脇温泉 別府温泉(狭義)

「別府八湯」 戸数—不明 人口—6万2000人

この頃から、広域・別府八湯の構想が潜在的に生み出されたと考えられる。例えば、別大電車(大分—別府—亀川駅)の軌道を、さらに拡充して別府駅—北浜—流川入口—流川通り—鶴見園—観海寺温泉入口—八幡地獄—石垣原(古戦場)—鶴見原—新別府入口—鉄輪温泉—柴石温泉—野田(内かまど)—亀川町—亀川駅の路線計画が埒み、新会社も設立されて着工寸前にまで進んだのであった。だが、実現には到らなかった(大分合同新聞社『別府今昔』参照)。

広域の温泉郷「別府八湯」が進展を見せ始めたのは、第二次大戦後であり、とりわけ昭和25年制定の「別府国際観光温泉文化都市法」(略して別観法)が実現してからである。

昭和30年代に入って、全国的に観光行政の進展で“温泉ブーム”が捲き起り、観光経済浮揚のた

めに「別府八湯」の呼称が人口に膾炙^{かいしや}するに至った。全国の温泉地で昭和40年代に入って温泉資源の濫掘・濫用による“温泉の危機”が大きく社会問題になって、温泉資源の保護と温泉の適正利用とが呼ばれてから、脚光を浴びたのが当該「集中管理」方式の導入であったのである。

① 別府市内における特別保護地域および保護地域（前者は3地域、後者は2地域）の設定は、昭和43～48年であり、以来、当該5地域の変更はなされていない（当該シリーズ第49・50号参照）。

近年の別府市内における温泉の新規掘削申請は、普通（一般）地域のもが多くなってきており、特別保護地域もしくは保護地域への影響の有無については調査する必要がある、そのためには当該地域の温泉の湧出量や温度の変化の実態を極力、正確に把握する必要がある。

その結果については、掘削規制の地域指定の追加や特別保護地域での代替掘削の制限など保護対策を強化する必要もあろう。

② 温泉利用について。個人有源泉の温泉利用の多い地域であることから、有効適正利用のためにも無駄使いしないよう、市民各人の自覚と啓発活動が将来とも望まれる。

当温泉場は国際的にも知られた都市型温泉地であることから、温泉利用施設の面でも、外国人観光客へも多様な利用者を想定した判りやすい掲示表式や医療効果内容の告示などに努めるべきであろう。

また、今後とも、市（温泉課）は源泉供給基地を整備拡充して公共温泉の配湯事業をおこなうとともに、極力、地区住民のために「市民皆浴」の機会と共浴施設を増やし、その徹底をはかることが望まれる。

③ 別府八湯の個性化と地域的連携。ここに説くまでもなく、各八湯がそれぞれの特徴を発揮し、積極的にアピールする。八湯を有機的に結合するルートの整備や、温泉情緒を多く残す建物や周辺の文化財史跡（神社仏閣）、地獄、砂湯、泥湯、湯けむり観賞など、温泉資源を観光名所として最大限に利用するなど、すでに先覚者（村おこし・町おこし運動家）が実施しているところである。将来に向けて、こうした若い人たちの人材養成にも心がける必要があるであろう。

3 湯平温泉と「集中管理」の諸問題

(1) はじめに

筆者が湯（の）平温泉を調査研究の課題テーマに取り上げたのは、前後2回である。初回は、昭和47年（1972）3月刊の本「会報」第23号である。その題目は「湯平における温泉権の実態—集中管理の展開と法律問題」であった。

筆者が大分県温泉審議会（当時、現「大分県環境保全審議会温泉部会」）委員を拝命したのは、確か昭和44年であった。その時から、当該温泉調査研究会のメンバーになり、初めての調査課題であった。自来、30余年が経過しており、感慨ひとしおのものがある。

その論稿の項目を再び掲出して、会員の諸題理解の一助に供したい。

〔本誌第23号〕

1 まえがき

2 湯平温泉の沿革と概況

(1) 明治期 (3) 戦後期

(2) 大正—昭和前期 (4) 総括

3 「集中管理」の実態

(1) 経過と目的 (3) 配湯契約

- (1) 集中管理の社会的要件
- (2) 温泉権そのものの集中
- (3) 第二次温泉権の集中
- (4) 集中された温泉権の管理

3 集中管理の法的諸型態

- (1) 公共団体型の集中管理
- (2) 組合型の集中管理
- (3) 会社型の集中管理

つづいて、第38号（昭和62年3月刊）のシリーズ（中）の構成項目は、次のとおりである。

〔本誌第38号〕

4 湯（の）平温泉における「集中管理」の実情と問題点

- (1) 湯平の現況と「集中管理」の展開
- (2) 集中管理をめぐる「温泉（権）裁判」（昭和47年（ワ）第321号 温泉供給請求権存在確認訴訟事件）
- (3) 「集中管理」の法的問題点

(2) 「集中管理」の法（社会）学的視点

① 集中管理の一般的概念

全国の温泉地において、ほぼ共通の認識に達していると考えられる一般的概念（定義）は、およそ次のようなものであろう。

温泉の集中管理とは、㉗1つの温泉地において、㉘採取される温泉の全域を、㉙単一の経営主体が管理し、㉚これを合理的配湯システムを設定することによって、㉛全温泉の最も効率的な消費（利用）を行なうことを目的とする。

以上のような定義（概念構成）に対して、これに異論をさしはさむ余地はなさそうである。

このうち、㉗は立地的限定（事業の適用区画）要件、㉘は事業者の支配（管理）する温泉の対象が全量に及ぶこと、㉙管理体制が単一の経営体に所属し、個人・団体を問わずそれ以外の温泉利用を認めないこと、㉚の合理的配湯システムには、物理的・技術的工作の要素がかかわること。㉛には経営的要素および「公共の福祉」に奉仕する社会目的的要素も考慮しなければならないであろう（後述）。

ちなみに、大分県温泉行政担当部局（県生活環境課温泉係）の行政資料によれば、一平成10年（1998）12月末日現在、全国2615の温泉地のうち、その4.5%に当たる118温泉地で当該「集中管理」方式が導入されているに過ぎない（大分県『県温泉管理基本計画』）。

蓋し、温泉利用の「集中管理」と称する効率合理的な配湯工作の技術概念は、往年のドイツ社会学者マックス・ウェーバー（Max Weber 1864～1920）の説く「理念型」（Idea typus）の重要な概念の1つである。それは、或る現象について、現実的には分散している諸特徴を取り出し、それらを純粋に理想的極限にまで結合したもの、と講説している（『社会学辞典』）。

また、それは、現実に対する規範といったものではなく、実在の現象を測定し、比較し、またその社会文化的意義を明らかにするための手法でもある、と説かれる。

それにしても、大分県下で叙上の社会的認識の理念に適う「集中管理」技術採用の温泉地は、1ヵ所のみである。本県がこれまで、全国で“全国一の温泉県”の地歩を占めているだけに、少々少な

いのではないかとの感を拭えない。

こうしたことから、温泉利用の当該（技術）概念を敷衍して広義に解し、市町村有など公営公浴場利用、温泉配湯会社の配湯や温泉組合による組合員の集団利用などにまで適用範囲を拡げれば、県下のほとんどの温泉湧出の市町村（35に上ぼる）においては、何らかの形式（typus）の集中管理を実施しているといっても過言ではあるまい。一方、多くの源泉を持つ市町村（とりわけ別府温泉）では、まだまだ温泉利用に無駄が多く、貴重な温泉資源を濫用していると言わねばならない。

② 法学的視点から見た「集中管理」

当該課題の問題核心を一言でいえば、複数の温泉（とりわけ源泉）を集中して1つの法的主体に支配（管理）させるということに尽きる。

別言すれば一複数の温泉権、それも源泉権（第一次温泉権）と第二次温泉権がそれぞれの権利主体によって独立・個別に利用される（私的自治・支配の原則の、いわば発動である）のではなく、何らかの仕方で統一的に利用されるということの意味する。

それ故、温泉の「集中管理」の法学的意味は、それぞれの権利が承認されるところの利用および処分の権能（すなわち「管理権」）を1つの事業主体に集中することに他ならない、のである。

民法上の法理を演繹して述べれば、通常「温泉」という名で呼ばれる特殊な液体（H₂O）は、有体物である地下水の一種であり、広く「物」（民法典第二編一物権法）として法的に処理される（註①）。その権利の性格は、権利の体系としては公権に対する私権の領域に属すると解するのが、戦後の通説である（川島武宜『温泉権の研究』岩波書店）。

かつて第二次大戦以前にあっては、温泉は冷泉とともに「公権」として取り扱われ、公物使用権説が優力であった（とりわけ公法・行政法学者）。したがって、その担当行政も公安衛生的見地から、とかく高圧的・権力的な警察行政の手にゆだねられていたのである。

戦後、温泉行政は、民主的な保健所行政（県行政）へと移され、温泉権の権利の性格も、特異な「温泉所有権」であると類推され、その権利者は温泉に対する自由な利用権と処分権を行使することが出来る、と解されているのである。

（参考）民法第85条 本法において、物とは有体物をいう。 同第86条 土地およびその定着物は、それを不動産とする。その他のものはすべて動産とする。

同206条 法令の範囲内で、所有者は、その所有物を使用、収益および処分をなす権利を有する。

③ 「集中管理」の法律問題

前節(1)で述べたように、法律の意味での「集中管理」によって発生する場合の問題点は、具体的に大別して次の2点に集約することができるであろう。

(A) 温泉の個別的権利を「集中」するプロセスで発生する問題

(B) 集中された全温泉を「管理」するプロセスで発生する問題

さらに両問題点を解析して具体的に検討すれば、次のような課題に集約・整序することが可能と考えられる。

< 1 > 温泉権そのものの集中

① 掘削権そのものの集中

② 源泉権の譲渡による集中

③ 源泉権そのものの出資による集中

< 2 > 第二次温泉権の集中

① 物権的温泉利用権（註①）を設定することによる集中

② 債権的温泉利用権（註②）を設定することによる集中

< 3 > 集中による温泉の管理（温泉の配給方式）

① 既設温泉権者への優先的配湯（優先受給権）

② 公益的事業ないし公共団体への優先的配湯

③ 上記以外の一般地域住民への配湯

註① 民法講釈上、私権を大別して物権（第二編—「物権法」）と債権（第三編—「債権法」）とに分ち、併せて「財産法」を構成する。

参考までに、第四編は親族法、第五編は相続法で、併せて「家族法」（戦前は「身分法」）とも称した。

註② 講説上、物権とは「（人の）物に対する支配権」と説き、別名「対物権」とも称する。

これに対して、債権とは「人の人に対する請求権」で、別名「対人権」とも称する。

物権の権能として、代表的なものが「所有権」であり、債権の典型は日常生活で多くは契約の締結によって発生し、その種類は13の類型に分類される。それは人間が支配する物が移転する売買契約（と贈与契約と交換契約）、物の貸借を内容とする賃貸権（と消費・使用）契約、労務をとまなり請負（と委任・雇傭）契約、それに寄託・組合・終身定期・和解の諸契約である。

(3) 湯平温泉と「集中管理」問題の特徴

① 当温泉場の自然的与件

前節(1)で述べたように、「集中管理」方式の企画段階での基盤的諸条件の第1は、自然的与件（立地・地勢的諸条件および地下構造の泉脈・泉源の賦存量など）のいかんにある、と考えられる。

当該温泉場の地下構造としては、東西系に湯平断層がはしり、東南域に阿蘇野北断層が見られ、^{いにとろ}両断層に囲繞された山間地帯を流れる花合野川が溪谷を形成して温泉場を発展させた。

これまでの地質学者等の調査報告資料によると一当温泉地区が揚湯利用している温泉原水は、すべて同じ起源のものと推定されている。すなわち、温泉帯水層に賦存する温泉水は、東西系の断層に沿って、西側から供給されて深部から浅部へと上昇する200℃程度の高熱水と、40℃程度に加温された地下水との混合によって生成されている、と考えられている。なお、浅部温泉帯水層（地下110m程度まで）の賦存量は240ℓ/分と見積られている（大分県生活環境課『大分県温泉管理基本計画』平成13年3月末刊）。

以上のように、当温泉場のいわば地球熱学的与件性は、地表の地形（地勢）的要件と相まって、極めて限定的・特定の決定づけられている、と言ってもよいのではあるまいか。花合野川の溪流沿いに密集する旅館・土産店・共浴場（5温泉）・一般住宅地が温泉街を形成し、同川に並んで傾斜のある（7～8度か）坂道には石畳が敷きつめられ、今日なお温泉街情緒を醸もし出している。

② 集中管理と「独占禁止法」との関連

これまで再三縷述してきたように、「集中管理」方式を導入・実用化するためには、法理上（もちろん工作技術的にも）、あらゆる温泉（とりわけ源泉）を集中して、個人の個々の掘削を認めないという極めて解決困難な法律問題を克服しなければ、到底、実現の見込みはないのである。

そこで、懸念すべき問題が生じるであろう。それは、このような温泉（権）の集中が「独占禁止法」（昭22：法第54号、略して「独禁法」）に抵触しないか、の問題である。

この法は、終戦後、公正かつ自由な競争を基調とする民主的な国民経済の確立をはかるために制定された。財閥が解体された後、経済民主化の一環として建設されるべき経済の基本方針を示した経済立法で、また「産業憲法」とも称されるべきものである（末川博編『法学辞典』日本評論社）。

筆者は、この課題に対して、次のように理解する。

一温泉の集中管理で基本的問題となるのは、「掘削の自由」との関連であろう。この自由は、温泉法の規定では、確かに保障されている（法第4条（許可の基準）都道府県知事は、温泉を掘削しようとする者に対して、……と認めるときの外は、掘削を許可しなければならない）。だが、どこまで許可されるべきかは、確かに解釈上、問題はある。それにしても、掘削申請者のほとんどが法の条件を充たしている限り、掘削許可が出されているのが実情であり、これはまた周知の事実なのである。

温泉の集中管理を効果的に行なうためには、当該地域での新規掘削を許さないことが絶対的条件である。それ故、この方式の事業主体者（多くは地方公共団体、すなわち市町村や財産区など）は、当該事業の目的がなへん（那邊）に在るかを推察すれば、結論は、自ら導き出されるであろう。

独禁法が予定しているような「営利活動」ではなく、それは「公共の福祉」の趣旨に合致する公益事業であり、あたかも市町村が経営するガスや水道、バス事業と軌を同じくするものである。独禁法に抵触しないばかりか、むしろ温泉利用にあたって国民の健康増進（とりわけ老人層）に奉仕することなのであり、問題視することこそ問題、と解すべきであろう。

③ 源泉の集中過程で起きた温泉権裁判

当温泉地で「集中管理」に取り組み始めた当初の温泉所有の情況は、次のとおりである。

資料（玖珠保健所所管）によると一昭和46年3月末現在、源泉総数は23口、その内訳として自然湧出泉は13口（56%、権利の性格は前近代の旧温泉権）、人工の掘削泉（同じく近代的温泉権）は7口、涸渇泉（休止中）は3口となっている。なお、所有形態別にみると、町有源泉が6口あるのに対して、個人有源泉は13口、会社名義のものは4口、合併17口（70%）である。

なお、泉温は、いずれも60℃～90℃と概して高熱泉（1部は沸騰泉）である。総湧出量は、1日につき約300立方メートル（約1,500石）で、戦前・戦後とさして変わらない、とされている。

以上の源泉状況を概観してみる限り、当温泉地の特性として、次の事項を指摘することが出来るであろう。

①源泉数が周縁の温泉地に比較して総じて少数であること

②同じく、温度が比較的に高温（沸騰泉）であること（加温を要しない）

③町有源泉が6口あり、いずれも（当町）町営の共浴温泉に利用していたこと

④戦後（昭和30年代）に掘削された個人有（会社を含む）源泉が17口より、源泉の集中に阻害要因となっていること

⑤温泉の湧出量がこれまで安定的であったこと

⑥戦前から、当温泉地は外湯（中心）主義の慣行があり、観光温泉地より湯治者中心の浴客が主であったこと、など

昭和30年代後半期から全国的に迎えた温泉ブームに加え、九州横断道路の開通（昭和39年秋）もあって、由布院温泉地とともに鄙びた山間溪谷の“いで湯”（炭酸泉で胃腸病に特効ありとされた）として県内外の浴客に人気を集める温泉町になってきた。このような社会的要請があって旅館の数

も増え施設も向上したため、温泉の供給量に不足をきたすようになり、識者から「源泉の危機」の警鐘が鳴らされたのであった。

こうした「集中管理」構想が大きく一步前進した段階で起きたのが、次の温泉権確認訴訟であった。当該訴訟事件（昭和47年（ワ）第321号 温泉供給請求権存在確認請求訴訟事件）の概要を次に掲げる（詳細は本誌第38号参照）。

（概要）昭和47年5月31日、原告5名（地元旅館業者）は町が有力な新2号泉を掘削したため、いずれも自家源泉が枯渇し内湯の使用が不可能になったとして、湯布院町を相手どり配湯を停止するよう仮処分命令を求めて提訴した。

これに対して町では、起訴の申立てを求めた上で、湯平温泉配湯事業者（事業者は「湯平温泉集中管理事業組合」）は、原告等5名に対して入会金と同45年10月以降の温泉使用料を支払うよう訴求した（原告等は、同事業組合より無償で受湯していた）。

こうした町の請求に対して、原告等は、不服ながらも配湯が差し止められることを恐れて、入会金を支払った。だが、温泉使用料については、（係争中を理由に）譲歩しなかった。この上で、町有新2号泉の掘削と原告等所有の内湯への損害との間の因果関係をめぐる立証問題へと訴訟の核心が移っていった（民法第709条）。

因果関係の立証については、容易に結論が出ず、当時の県温泉審議会委員の山下教授（京大）が仲介の労をとることになった。同教授の見解は「原告各自が所有する内湯（源泉）への影響（枯渇ないしは減量）の原因は、2号泉新規掘削と大湯源泉の掃除による影響が全然無かったとは言い難い」といったものであった。

同教授の調停で、その後、原告・被告双方は5項目の和解案を了承して示談が成立したのである（昭和50年8月5日）。

（参考）民法第709条（不法行為の要件と効果） 故意又は過失に因って他人の権利を侵害したる者は、之に因りて生じたる損害を賠償する責に任ず。

同第695号（和解の意義） 和解は当事者が互いに譲歩して其の間に存する争いを止めることに因りて其の効力を発す。

—本訴訟事件の問題点—

これについて筆者は、先掲の会報誌第38号の稿末で、次のように講述しているので、再びここに掲げて^{かくひつ}擲筆することにする。

温泉地で集中管理を進めるに際しては、その地区のすべての源泉を網羅的に単一主体（事業団体）に集中するのでなければ、その実効性は期待しえないであろう。

また、一部の権利者（源泉既得権者）が集中管理への参加をしぶしぶ承知したものの、個別利用になお固執した場合、事業団体からの「受湯権」はどのような権利の性格で、かつ、その権利は完全に確保されるのかといった純法律問題についても、疑問なしとしない。本件の温泉訴訟は、かかる意味で、このような課題を含む典型的な事例ではなかったかと考えるのである。

（予号完結）

図2 設立当初の配湯見取図（昭和48年）

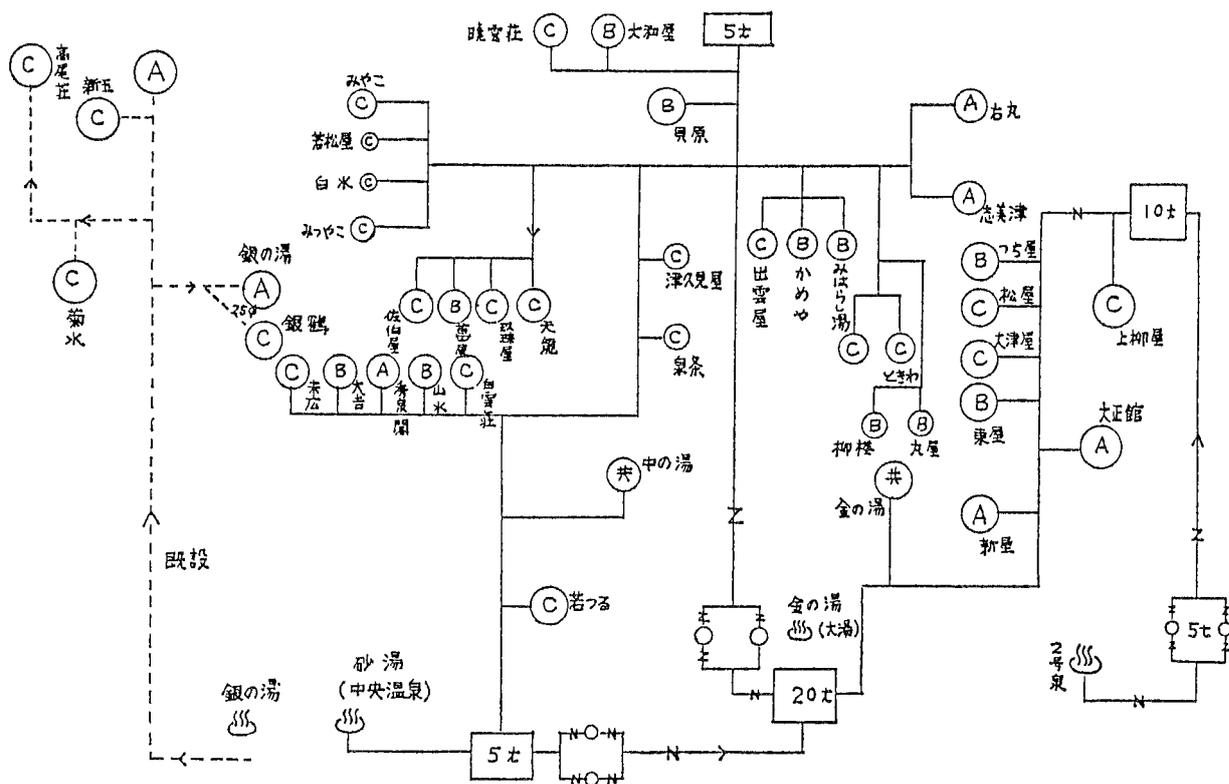


表1 料金負担表

工事費負担額	ランク	パイプ口径 インチ	基本トン数 (月)50トン	基本料金
60万円	A	1	(月)50トン	5,000円
45	B	0.8	40	3,500
30	C	0.6	30	2,000
25	D	0.4	25	1,500

(注)超過分については、1トンにつき50円の使用料を納める。

表2 町有湯平温泉配湯使用料

種別	区分	単位	金額	摘要
1. 基本料金	A	月70屯まで	6,000円	
	B	〃50屯まで	4,200円	
	C	〃30屯まで	2,500円	
	D	〃25屯まで	2,000円	
2. 超過料金		1屯につき	100円	

この条例は昭和47年4月1日から施行。

表3 町有湯平温泉使用料

種別	区別	単位	年額	備考
業態割	内湯を有する旅館	1世帯	3,000円	
	内湯を有する商店	〃	2,500円	
	内湯を有しない旅館	〃	3,000円	
	内湯を有しない商店	〃	2,500円	
	特別営業者		3,600円	大分バスKK湯平(営)
居住者割	内湯を有しない旅館	1人	1,000円	
	内湯を有しない商店	〃	1,000円	
	花合野、中山上湯平地区		600円	
	温泉場地区	1人	1,000円	
	特別地区 A	〃	1,000円	
〃 B	〃	600円		

大分市街地温泉の化学成分経年変化

大分大学教育福祉科学部

川野田実夫・本多真美

1 はじめに

大分市の源泉数は2000年4月現在、183孔の開発、その内9孔が廃孔で174孔と記録されている。所有者はホテル、医療機関、スポーツ施設及び公衆浴場等の経営者や個人である。利用形態は浴用が主であるが、一部に施設園芸や養魚にも利用されている。

この地域の温泉はいわゆる深層熱水型の温泉で、水生堆積層の深部に貯留されている熱水を利用するものであるため、熱水溜まりの規模によっては、温泉の枯渇の恐れも考えられる。そのような事態を未然に防ぐためには、きめ細かなモニタリングが必要であることはいうまでもない。

今回大分市街地の源泉26孔を抽出して採水し、主要化学成分を測定して、その経年変化をみた。調査源泉の抽出に当たっては、泉質や分布地域に偏りがなく、清水（1997）及び天田（1983）の値と比較可能であること等を考慮した。

2 調査源泉と分析結果

図1に調査した源泉を泉質別に示し、表1に分析結果を示した。

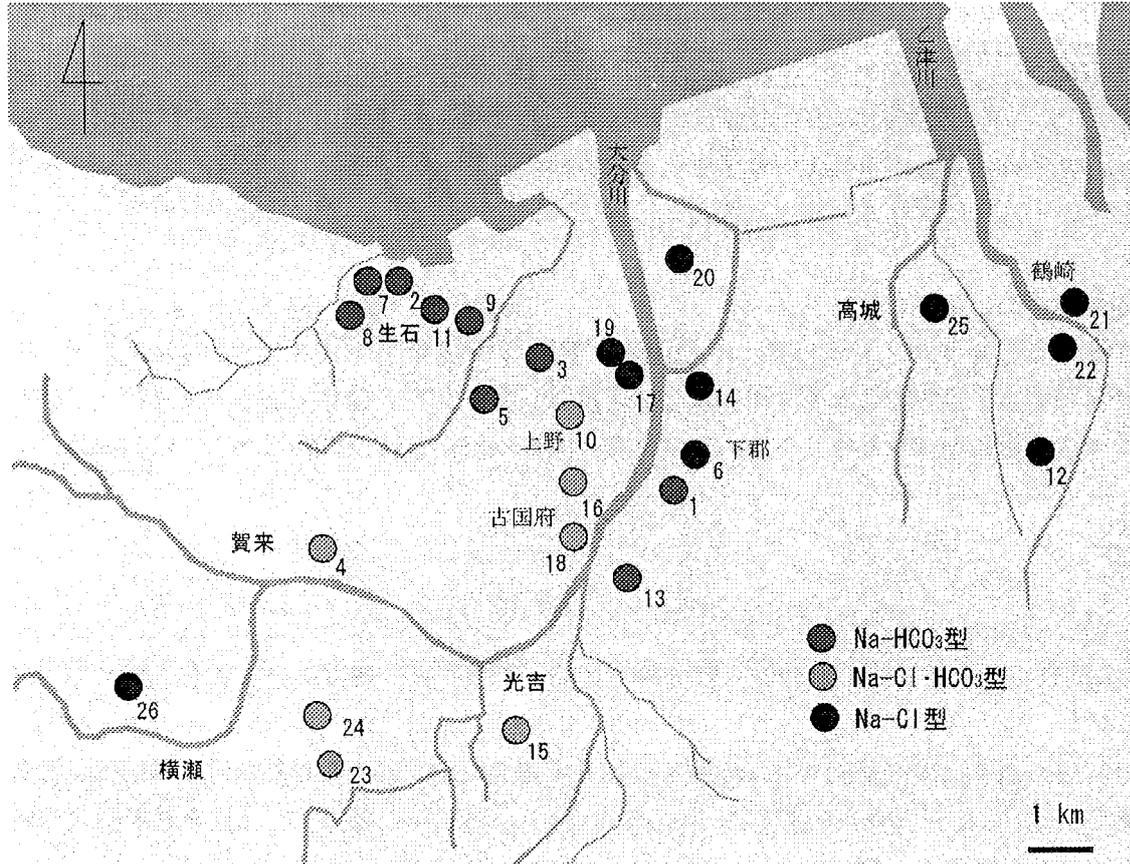


図1 調査源泉

表1 大分市街地温泉の化学成分と掘削深度

No.	採水地	採水日	泉温(℃)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	NO ₃	PO ₄	イオン成分量	掘削深度(m)
1	帝国カーボン	2000.10. 3	44	8.2	55.3	7.2	1.7	<0.1	6.8	3.0	151	125	0.8	3.3	225	500
2	新湊温泉	2000.10. 3	45	7.6	189	28.2	2.6	0.1	21.5	1.4	463	143	4.2	1.6	706	600
3	パークインホテル	2000.11.12	37	8.3	211	30.8	3.9	0.3	12.9	3.1	560	108	4.5	0.7	822	800
4	後藤学園	2000.10.30	18	7.8	177	36.8	28.9	21.9	141	5.9	479	71.3	6.6	1.5	890	800
5	永富脳神経外科	2000.10. 3	37	8.1	245	46.8	5.4	0.1	12.3	2.1	647	136	7.2	0.6	959	700
6	下郡温泉	2000.12. 5	43	7.5	353	42.8	31.0	4.8	514	35.5	142	119	6.3	2.5	1123	500
7	阿部歯科	2000.11. 6	39,(50)	8.0	296	52.5	4.8	0.3	29.8	1.1	749	132	4.9	0.9	1133	600
8	阿部アパート	2000.11. 6	35	7.9	288	43.5	5.7	0.2	18.0	1.0	786	125	4.3	0.6	1142	
9	スイミングスクール春日校	2000.10. 3	51	8.0	288	62.9	6.5	0.2	25.2	2.1	794	157	1.0	0.4	1179	700
10	本光寺	2000.11.12	57	8.2	374	51.3	5.5	0.4	240	0.8	659	127	3.7	1.2	1331	800
11	アスティオン学園通り	2000.10. 3	39	8.1	330	66.8	9.2	1.0	112	0.8	818	161	9.0	0.7	1337	800
12	こがね湯	2000.11.28	46	8.0	502	26.5	4.6	0.2	556	1.4	395	107	4.8	0.1	1486	800
13	首藤洋治	2000.12. 5	35	8.3	423	28.1	5.6	1.0	78.5	0.6	1030	129	7.2	1.2	1566	700
14	アサヒ温泉	2000.10. 3	54	8.3	543	49.1	13.0	<0.1	711	25.3	281	150	4.3	<0.1	1622	700
15	スイミングスクール光吉校	2000.10.30	28	7.6	471	22.8	50.1	18.7	344	<0.1	987	79.3	4.9	0.5	1893	400
16	仁医会病院	2000.12. 5	45	8.2	721	42.1	15.3	1.0	685	0.7	813	124	0.8	0.2	2277	710
17	錦温泉	2000.11. 6	52,(57)	8.1	765	92.6	14.7	0.4	1010	2.0	541	132	<0.1	<0.1	2425	700
18	豊の国荘	2000.11.12	43	8.3	792	34.1	13.5	2.8	907	0.3	686	78.2	4.9	<0.1	2437	800
19	大分泌尿器科医院	2000.11. 6	44	8.0	846	92.8	16.9	0.5	1160	1.8	492	139	13.8	<0.1	2610	700
20	イヤサカ大分販売	2000.12. 5	45	7.5	928	92.7	35.9	2.9	1350	0.4	295	134	0.7	0.6	2705	700
21	岡病院	2000.10. 3	44	7.9	1190	13.4	62.0	12.5	1960	0.5	309	45.1	0.4	<0.5*	3547	800
22	豊寿苑	2000.10. 3	48	8.0	1430	17.1	95.1	7.6	2140	0.2	405	77.6	<0.5*	<0.5*	4095	800
23	玉光苑	2000.11. 6	(37)	6.8	1150	46.2	89.7	131.9	1250	<0.1	1950	90.4	<0.5*	<0.5*	4618	600
24	仲宗根病院	2000.10.30	35	7.4	1500	127	87.5	34.9	2030	<0.5*	1330	135	<0.5*	<0.5*	5109	710
25	うめの湯	2000.11.28	45	7.4	2100	282	443	121	4550	171.0	216	119	<0.5*	<0.5*	7883	800
26	博愛診療所	2000.10.30	42	6.7	5330	369	539	751	9340	<0.5*	4460	120	<0.5*	<0.5*	20789	800

(単位: mg/l)

*Cl⁻の濃度が高すぎたため、今回の測定下限値は0.5mg/l未満であった。

泉温について……表内網掛けは調査時にエアリフトポンプを作動させ測定した泉温

() 内は聴取した泉温

3 化学成分の経年変化

表1に示したイオン成分量はNa,K,Ca,Mgの陽イオン成分とCl,SO₄及びHCO₃の陰イオン成分の合計量である。以下、これをイオン成分量とする。

イオン成分量の増減を健闘するために変動率・ΔSを次式によって求めた。

$$\Delta S (\%) = (St - Sb) / Sb \times 100$$

St: 今回のイオン成分量

Sb: 以前のイオン成分量

Sbの値はNo.2(新湊温泉、1982)は天田(1983)の値、No.15(大分スイミングスクール光吉校、1987)、No.21(岡病院、1982)、No.22(豊寿苑、1996)のそれぞれは大分県温泉調査報告、温泉分析書の値を採用した。()の数字は調査実施年を示す。上記以外の源泉は清水(1997)の値である。

図2はΔSの分布を示したものである。

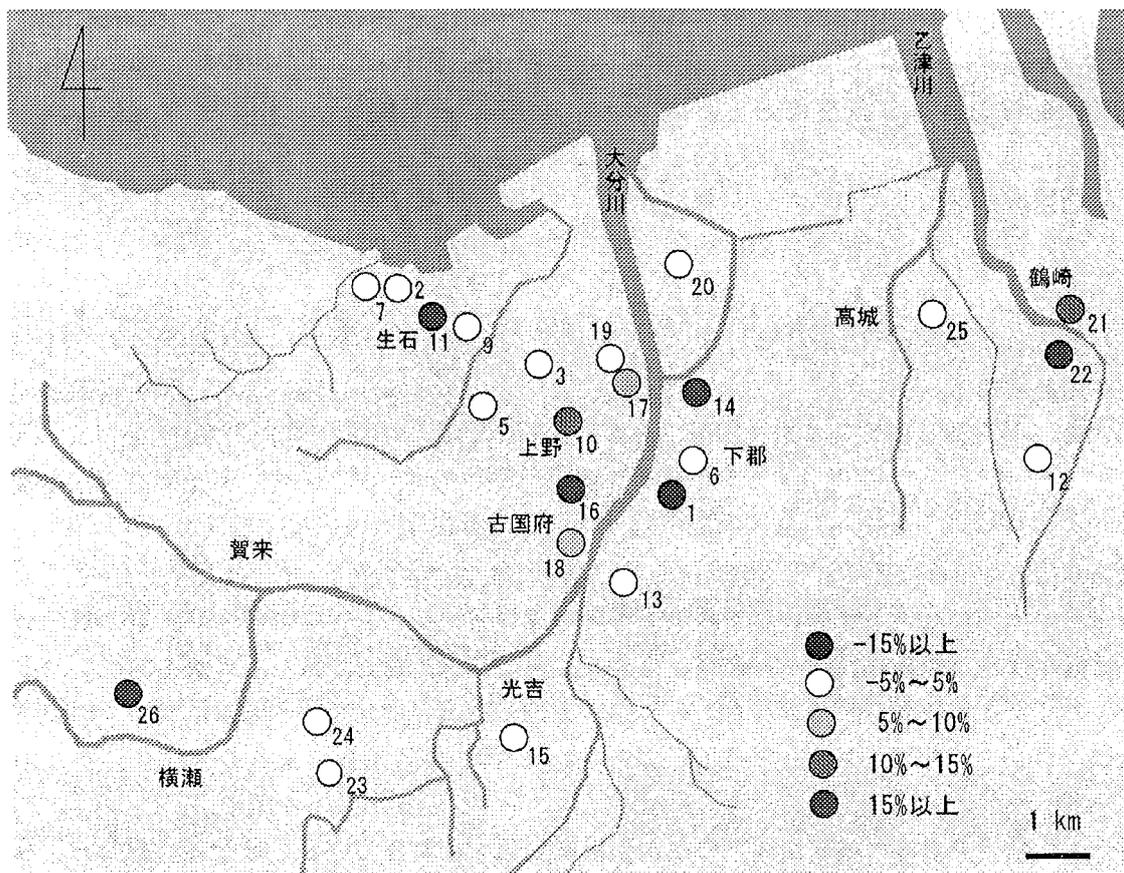


図2 変動率 ΔS の分布

変動率 ΔS の値が大きくマイナスを示した源泉はNo.1 (帝国カーボン工業) のみ、 ΔS が $\pm 5\%$ 以内でほとんど変動がないと見なされる源泉数は14で、調査源泉の過半数を占め、残りの源泉はイオン分量に増加の現象が認められた。この中で特に ΔS が大きかった源泉はNo.11 (アステイオン) で30%であった。

3-1 No.1 (帝国カーボン工業) の経年変化

この源泉は清水 (1997) に比べて ΔS が27%の減少を示したものである。そこで温泉分析書、天田 (1983) の値を引用してその経年変化を図3に示した。この図からは1981年から1996にかけてイオン分量が増加しそれ以降減少傾向しているかのようなパターンに見える。この源泉が位置する下郡地区には近接してNa-HCO₃型温泉とNa-Cl型温泉が分布し、異なった泉質の熱水溜まりが複雑に存在しているところである。したがってこの変動パターンが経年変化によるものか、揚湯量の大小や揚湯継続時間によるものであるか判断が困難である。

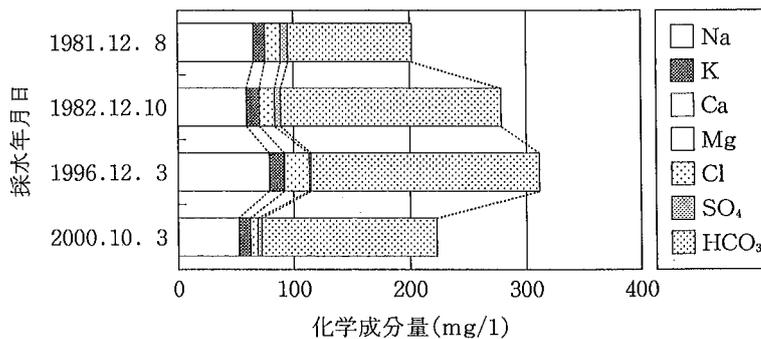


図3 No.1 (帝国カーボン工業) の化学成分経年変化

3-2 上野、古国府地区の源泉の経年変化

No.10（本光寺）、No.16（仁医会病院）、No.18（豊の国）は大分川左岸に分布するNa-Cl・HCO₃型の泉質を有する源泉である。

これらの源泉はいずれもΔSが増加傾向を示し、Cl濃度が増加していることが判明した。図4はNo.16（仁医会病院）の経年変化を示したものであり、泉質がNa-Cl・HCO₃からNa-Cl型に移行する傾向をみせている。

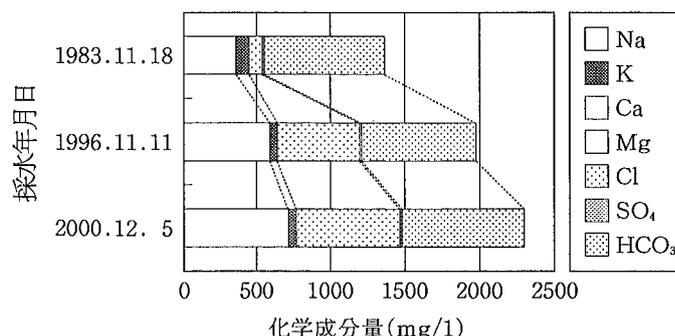


図4 No.16（仁医会病院）の化学成分経年変化

4 おわりに

大分市街地の26源泉の主要成分測定結果とイオン成分量の経年変化を報告した。過半数の源泉については経年変化が認められなかったが、溶存成分量の減少が確認されたものが1源泉、その他は微変動もしくは上昇傾向が観測された。その中で上野、古国府に分布する源泉についてCl濃度が漸次増加傾向にあり、泉質がNa-Cl・HCO₃からNa-Cl型に移行過程にあるのではないかと推察した。

温泉水中化学成分濃度の増減は地下の熱水の組成変化を反映していると考えられるので、今回変動の見られた源泉については、今後も定期的なモニタリングを続ける必要がある。

参考文献

- 天田 真(1983)：大分市内の温泉の温泉、卒業論文集18集、1-9, 大分大学教育学部化学教室
 清水 真紀(1997)：大分市の温泉の地球化学的研究、卒業論文集32集、13-22, 大分大学教育学部化学教室

飲用温（鉱）泉の実態と利用状況について

－ 第 2 報 －

大分県衛生環境研究センター

牧 克 年・西 海 政 憲
飛 高 信 雄・瀧 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、平成11年度、12年度の2か年にわたり県内施設の飲用温（鉱）泉について、その飲用許可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、利用基準が定められている成分（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、微生物学的衛生管理項目（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（表4）を置き、任意回答をお願いした。なお、調査用紙は2～3週間後に回収した。平成11年度は11か所（139枚回収）、平成12年度は7か所（201枚回収）、合計18か所（340枚）で調査を行った。

2-2 調査期間

平成11年8月から平成13年1月

2-3 調査施設

平成11年度は飲用許可を受けている14か所の飲用温（鉱）泉の分析調査を行った。（分析結果については温泉調査研究会報告第51号にて報告済み）

平成12年度は、13ヶ所で分析調査を行った。

3 調査結果

分析結果については表1に示す。平成12年度の結果によると県南の1施設で大腸菌群を検出した。同施設は現在、飲用に供していない施設であるが、管轄保健所に飲用に供する場合の注意事項について指導を依頼した。他の微生物学的衛生管理項目については適合していた。

また、久住町、直入町の温泉水は遊離炭酸濃度（分析結果最大値590mg/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（平成11年度、12年度合わせて集計）を表2に示す。

18か所でアンケートを行った結果、340人の利用者から回答があった。回答者は県内在住者289名（回答者の85%）、福岡県30名（同9%）をはじめ九州、中国近畿地方に分布している。回答者の年齢は60歳代が74人（同24%）で最も多かった。男女別では男性が156人（同51%）女性が147人（同49%）と、ほぼ同数であった。

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51人（同23%）と最も多く、次いで慢性便秘が46人（同21%）、肥満症が43人（同20%）、糖尿病が39人（同18%）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48%）が最も多く、次いで151~250ml（同24%）であり、251~500mlが19人（同10%）であった。

1日の飲用回数については、1~2回が111人（同65%）で最も多く、最高は7回で5人（同3%）であった。また、1日の飲用量についても51~300mlが62人（同61%）で最も多く、2000ml飲用する人が4人（同4%）であった。

本調査結果では飲用利用基準（表3）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、食前の飲用者が42人（同39%）と最も多く、次いで食間が39人（同36%）、食後が17人（同16%）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92人（同56%）で、その内1年以上が51人（同31%）となっている。また、初めての飲用者が35人（同21%）で温泉飲用に対する関心が高いものと考えられる。さらに、10年以上継続している飲用者は13人（同8%）となっている。

飲用効果では、「良くなった」が78人（同53%）であり、「悪くなった」との回答者は2名（同1%）であった。

温泉の持ち帰りについては、92人（全回答者の27%）が持ち帰っている。持ち帰り量は0.5~3.0Lが49人（回答者の53%）と半数以上を占め、持ち帰り後の保存状況は67人（同77%）が冷暗所または冷蔵庫に保管している。

飲み終えるまでの期間については、44人（同59%）が1週間以内に飲み終えていた。しかし、飲み終えるまでに21~31日間の長期保存をしている飲用者が12人（同16%）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。飲用だけでなく、少数ではあるがコーヒー、炊飯、みそ汁に利用する者がいた。

4 まとめ

平成12年度は飲用許可を受けている21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13か所について調査を行った。なお、2年間で調査予定43か所のうち、アンケート調査を18か所（アンケート回収340枚）飲用温（鉱）泉分析を27か所で実施した。

今回調査した飲用温泉では、大腸菌群が検出された1か所を除き、飲用利用基準（表3）の微生物学的衛生管理項目のすべてに適合していた。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。

表1 飲用温(鉱)泉 分析結果(平成11年度)

施設名	豊後高田	西国東A	西国東B	西国東C	別府市A
検体採取年月日	H11.08.18	H11.08.18	H11.08.18	H11.08.18	H11.11.19
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(1ml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	別府市B	大分郡A	大分郡B	直入郡A	直入郡B
検体採取年月日	H11.11.9	H11.10.13	H11.10.13	H11.11.30	H11.11.30
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(〃)	0.13	0.20	0.92	0.23	0.24
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(1ml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	直入郡C	直入郡D	直入郡E	直入郡F
検体採取年月日	H12.11.30	H12.11.30	H12.02.16	H12.02.16
ヒ素(mg/l)	0.006	0.005	0.0011	<0.001
銅(〃)	0.007	0.002	0.008	0.007
フッ素(〃)	0.26	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(1ml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

(単位: 過マンガン酸カリウム消費量 mg/l)

飲用温（鉱）泉 分析結果（平成12年度）

施設名	直入郡G	直入郡H	別府市C	大分郡C	宇佐郡A
検体採取年月日	12.04.10	12.04.10	12.07.10	12.07.17	12.08.22
ヒ素 (mg/kg)	0.005	0.006	0.033	0.005	0.003
銅 (mg/kg)	0.018	0.040	0.001	0.001	0.014
フッ素 (mg/kg)	0.27	0.24	0.24	0.14	1.4
鉛 (mg/kg)	0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01
水銀 (mg/kg)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (mg/kg)	528	572	22	0	33
一般細菌 (1ml中)	0	0	0	0	0
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
過マンガン酸カリウム消費量	2.9	3.5	5.1	0.7	9.0

施設名	西国東郡D	別府市D	直入郡I	直入郡J
検体採取年月日	12.08.22	12.08.22	12.10.16	12.10.16
ヒ素 (mg/kg)	0.003	0.068	0.001	<0.001
銅 (mg/kg)	0.040	0.020	0.046	0.014
フッ素 (mg/kg)	0.20	0.11	0.32	0.53
鉛 (mg/kg)	<0.01	0.03	<0.01	0.01
水銀 (mg/kg)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (mg/kg)	110	0	172	396
一般細菌 (1ml中)	14	0	11	1
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)
過マンガン酸カリウム消費量	1.8	1.4	3.1	2.9

施設名	直入郡K	大分郡D	直入郡L	南海部郡A
検体採取年月日	12.11.13	12.12.13	12.12.13	13.01.17
ヒ素 (mg/kg)	<0.001	0.004	0.003	<0.001
銅 (mg/kg)	<0.001	0.036	0.004	0.002
フッ素 (mg/kg)	0.19	0.21	0.22	6.2
鉛 (mg/kg)	0.01	0.01	<0.01	<0.01
水銀 (mg/kg)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
遊離炭酸 (mg/kg)	590	66	350	0
一般細菌 (1ml中)	2	0	0	17
大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(+)
過マンガン酸カリウム消費量	2.5	4.8	2.6	0.6

(単位：過マンガン酸カリウム消費量 mg/l)

表2 飲用温（鉱）泉アンケート集計結果（11、12年度集計）

1 概要

施設数	18か所
回答者数	340人

2 アンケート協力者の状況

県内	289人	県外	49人	無回答	2人	合計	340人		
県外の内訳		福岡	30人	佐賀	1人	熊本	1人	宮崎	4人
		鹿児島	1人	山口	6人	広島	1人	岡山	1人
		兵庫	1人	大阪	1人	京都	1人	奈良	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	12人	7人	13人	20人	27人	39人	30人	8人	156人	
女	11人	14人	8人	22人	29人	35人	22人	6人	147人	
							無回答	37人	合計	340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	51人	43人	46人	39人	16人
区分	肝臓病	貧血	慢性胆嚢炎	胆石症	その他
回答数	26人	21人	2人	2人	8人
回答者計	220人	無回答	120人	合計	340人

5 飲用の形態

5-1 1回の飲用量（単位 ml）

飲用量	10未	10~75	76~150	151~250	251~350	351~500	計	無回答	合計
回答数	16人	16人	108人	55人	22人	10人	227人	113人	340人

5-2 1日の飲用回数

回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	計	無回答	合計
回答数	56人	55人	33人	9人	11人	2人	5人	171人	169人	340人

5-3 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	4人	27人	35人	25人	6人	4人	101人	239人	340人

5-4 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	42人	39人	17人	9人	107人	233人	340人

6 飲用の効果

6-1 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	35人	9人	18人	9人	19人	2人	8人	
区分	半年	1年	2年	5年	10年以上	計	無回答	合計
回答数	12人	16人	15人	7人	13人	163人	177人	340人

6-2 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	78人	2人	66人	146人	194人	340人

7 温泉の持ち帰りについて

7-1 1回の持ち帰り量 (単位 L)

量	0.5未満	0.5~1.5	1.6~3.0	3~5	5~10	10~20	20~40	計	無回答	合計
回答数	6人	21人	22人	13人	8人	16人	6人	92人	248人	340人

7-2 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	17人	24人	43人	3人	87人	253人	340人

7-3 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	20人	15人	9人	8人	10人	12人	74人	266人	340人

7-4 飲用以外に利用する場合

区分	炊飯	コーヒー	みそ汁	計	無回答	合計
回答数	3人	3人	1人	7人	333人	340人

表 3

飲用利用基準 (環境庁通知 平成元年 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	0.3 mg
銅	2.0 mg
フッ素	1.6 mg
鉛	0.2 mg
水銀	0.002 mg
遊離炭酸	1000 mg (1回につき)

飲用の総量 (ml) = (総摂取量 / A) × 1000

A : 当該温泉の 1 kg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	10 mg/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。

表 4

温泉の飲用に関するアンケート

大分県衛生環境研究センターでは療養泉の適切な利用を図るため、温泉を利用される皆様方から温泉飲用の状況を直接お伺いすることとしました。つきましては、大変お手数戸は存じますが、下記の項目にお答えいただきこの用紙を備え付けのアンケート回収箱に入れてください。なお、ご回答は□内にはレ印を、また()には数字等でお答えください。

- 1 今日の日付 平成13年 月 日
- 2 お住まいの県名及び市町村名 (県 市町村)
- 3 年 齢 (歳) 4 性 別 (□ 男性 □ 女性)
- 5 飲用の目的
□ 慢性消化器病 □ 慢性便秘 □ 糖尿病 □ 痛風 □ 肝臓病
□ 慢性胆嚢炎 □ 胆石症 □ 肥満症 □ 貧血
その他の目的があればご記入ください。
()
- 6 飲用の形態 (コップ1杯100ml ぐらいを目安にして記入してください。)
 - 1) 一回に飲む量はどの位ですか (約 ml)
 - 2) 一日に何回ぐらい飲みますか (回)
 - 3) 一日に飲む量はどの位ですか (ml)
 - 4) 何日くらい続けて飲用しますか (日くらい)
 - 5) いつ飲用しますか □食前 □食間 □食後
□その他()
- 7 飲用の効果
 - 1) 飲み始めてからの期間はどの位ですか
□今日が初めて ()日間位 ()週間位 ()ヶ月間位
その他()
 - 2) 今までの効果
□良くなった □悪くなった □分からない その他()
- 8 温泉の持ち帰り (温泉を持ち帰って利用する方のみ答えて下さい。)
 - 1) 一回に持って帰る量 (約 L)
 - 2) 持ち帰って飲み終えるまでの期間 (約 日間)
 - 3) 持ち帰ってからの保存状況
□室温(台所などにそのまま置いておく) □冷暗所 □冷蔵庫 □その他()
 - 4) 飲用以外に利用する場合 (例;炊飯等)
- 9 その他、疑問点等があればご記入下さい。

< このアンケート調査に関する問い合わせ先 > 大分県衛生環境研究センター化学部

TEL 097-569-1452

ヒカ ノボ マキ カトシ

飛高 信雄、牧 克年

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たとき、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13年7月1日現在)

顧 問

大分県議会福祉保健
生活環境委員長 井 上 伸 史
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	安 部 裕	副 会 長
大分県生活環境部生活環境課長	平 田 眞 司	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
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	
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	理 事
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	
山 香 町 長	緒 方 喜 代 美	
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	池部 光	
別府市温泉課長	安部 和男	監事
別府市温泉課課長補佐兼温泉企画係長	脇 公彦	
中央保健所長	渡辺 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	浜内 正博	
〃 化学部副部長	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	田村 茂	

(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	安東 正憲	
〃 主幹	瀧 祐一	
〃 副主幹	稗田 彰一	

(3名)

大分県温泉調査研究会報告 第52号

平成13年7月 印刷
平成13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 3019
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