

大分県温泉調査研究会報告

第 53 号

平成 14 年 7 月

目 次

別府温泉における温泉水系の変動	由 佐 悠 紀	(1)
	大 沢 信 二	
	北 岡 豪 一	
検知管による温泉水中の塩化物イオンの簡易定量	大 沢 信 二	(13)
大分県中部火山地域における湧水・地下水の水文化的研究	河 野 忠	(21)
大分県の地熱・温泉地帯に生息する好熱性微生物		
－その 1 温泉水中に生息する好熱性微生物－	大 上 和 敏	(29)
	森 口 充 瞭	
温泉利用の出来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		
－(IV)総合リハビリテーション施設への		
アプローチと温泉の利用に関して－	安 田 正 之	(37)
環境行政と温泉法・温泉権 (完稿)		
－21世紀へ向けての回顧と展望－	大 野 保 治	(41)
地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(2)	田 中 良 和	(57)
	宇津木 充	
	橋 本 武 志	
大分川流域温泉の化学成分経年変化	川 野 田 実 夫	(65)

序

環境省から公表される「都道府県別温泉利用状況」によれば、平成13年3月末現在、わが国の源泉総数は26,505孔と数えられています。その18%に当たる4,762孔が大分県に存在し、それらから採取される温泉水量は全国の10%を占めます。また、泉温が42℃以上の源泉の割合は、全国で60%弱であるのに対し、大分県では85%を超えています。とくに高温の噴気・沸騰泉は、全国の総数1,057孔の約40%に当たる413孔が大分県にあります。無機的な数字が並ぶこの統計から、大分県が日本を代表する温泉県であることを再認識させられますが、さらに大分県の面積が国土総面積のわずか2%にも満たないことを考え併せると、温泉資源の密度が質・量ともに群を抜いて高い地域であるという姿が浮かび上がってきます。

他方、1981年の統計と比較しますと、この20年間に全国の源泉総数は35%増加し、温泉採取量は63%増加しました。開発・発展の観点からは歓迎すべきことのように見えますが、この採取量増加の90%以上は動力を用いた汲上げによるということに注目しなければなりません。すなわち、温泉資源の過剰開発の疑いがあるのではないかと危惧されます。これほどではありませんが、大分県においても同様な傾向が続いており、平成13年3月に公表された「大分県温泉管理基本計画」では、温泉資源の有効利用とともに保護の必要性が、危機感をもって謳われています。このような問題に対処する施策は、温泉に関する科学的な調査研究に裏付けられたものでなければならないのは、言うまでもありません。そしてまた、大分県地域の温泉現象の多様性や温泉と人々との深い繋がりを思うとき、多面からの調査研究が望まれます。この役割を担ってきた大分県温泉調査研究会の存在意義は、ますます大きくなっているものと思われれます。

昭和24年に発足以来、毎年欠けることなく発行されてきた調査研究会報告は、ここに第53号を重ねることになりました。内容は理学・医学・法社会学と多岐にわたっていますが、今回は、微生物に関する研究が新たに付け加えられました。本調査研究会の持続的発展には、従来からの調査研究の深化とともにこうした新規課題の導入が不可欠であり、その方向への努力が必要と考えております。

本報告を発行するに当たり、調査研究をご担当いただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を捧げ、引き続いてのご協力をお願いいたします。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

別府温泉における温泉水系の変動

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・大 沢 信 二

岡山理科大学理学部基礎理学科

北 岡 豪 一

要 旨

別府温泉での温泉井掘削は、主に低地部において1880年代に始まり、1910年頃までに源泉数はおよそ1000孔に達した。このため、地下温泉水の圧力が低下し、海岸域では温泉帯水層への海水浸入が発生した。1960年代には温泉開発が急速に進展し、活動源泉数は2300孔を超え、高地部では高温で塩化物イオン高濃度の温泉水が大量に採取された。これによって、深部の塩化物型水の圧力が低下し、高地から低地へ向かう塩化物型水の流量が減少し、また、深部の塩化物型水へ浅部の蒸気加熱型水が浸入した。

1. はじめに

19世紀後半以降、わが国の近代化に伴い、別府温泉では、古来からの自然湧出温泉に加えて、温泉や噴気の採取量を増やすための温泉井掘削が推進された。その結果として、鶴見火山群の東麓に海岸まで広がる東西5 km・南北8 kmの範囲に2300孔を超える活動源泉が分布するようになり、それらから流出する温泉水量（噴気も含む）は一日当たり5万トン、その熱量は350MWに達する。

本報告では、別府における温泉開発のあゆみを簡単に述べ、その結果生じた温泉水系の変化を概観する。

2. 温泉開発のあゆみ

別府温泉におけるかつての自然温泉徴候の場所を、図1に示す（鈴木，1937）。図中の太い曲線群は、1960年代に得られた地温データに基づく海面下100mでの等温線であるが（Allis and Yusa, 1989）、古来の温泉徴候地は地下の高温部に沿って分布していたことが分かる。

別府温泉における温泉井掘削は、孟宗竹の弾力と人力を用いた「上総掘り」によって、1880年代頃に始まったと言われる（安部，1987）。この温泉掘削は明治30年代（1900年頃）に最盛期を迎えた。別府における第一次温泉開発ブームと言える。明治末期（1910年頃）には、別府全域で1000孔に近い源泉があったのではないかとと思われる。

その後の全世界的な経済活動の衰退は、別府における温泉開発にも影響し、第二次世界大戦が終わるまで、新たな温泉井掘削はごくわずかでしかなかったようである。実際、第二次大戦直後の昭和24年（1949）における活動源泉数は1070孔と、明治末期の数とあまり変わらない。したがって、図3に示されている1949年当時の源泉分布は、20世紀初頭の分布とほぼ同じと見なしてよく、源泉の分布域はかつての自然徴候地とその周辺部に限られていたことが分かる。

第二次大戦後の経済復興と社会の安定化にともない、再び温泉開発が行われるようになった。図2は1949年以降の源泉数の変化、図3は源泉位置の分布の変化である。図2に明かなように、特に

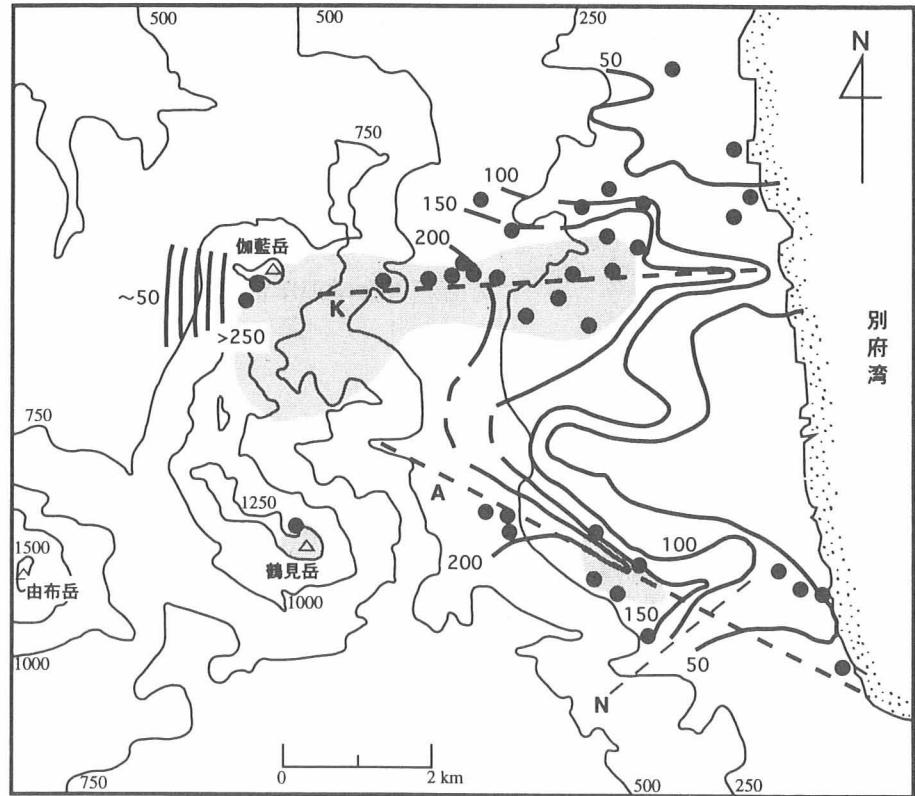


図1 別府温泉における自然温泉徴候 (●) の分布 [鈴木 (1937) による]. 太い曲線群は平均海面下100mでの等温線 (°C). 影を付した範囲は二相流領域. 破線AとKはそれぞれ朝見川断層および亀川断層. 破線Nは推定断層 [吉川・北岡 (1983) による]. 等高線 (m) は平均海面からの高さ.

1960年代における開発は急激で、年間およそ100孔の割合で温泉井が掘削され、これによって源泉数は倍増するに至った。また、古い井戸の改掘も進んだ。これが第二次温泉開発ブームである。

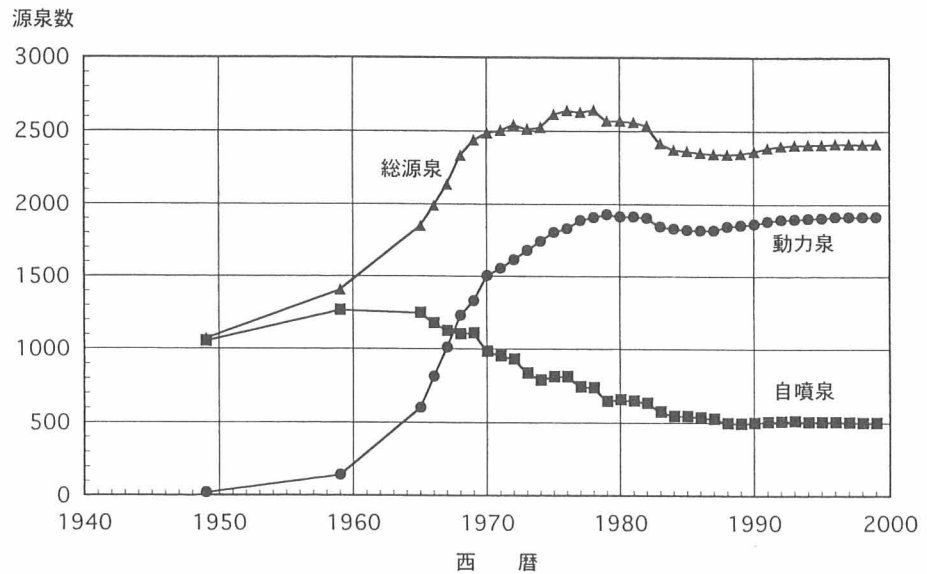


図2 別府温泉における掘削源泉数の変化 [別府市統計書による：出典は別府保健所 (現：中央保健所)]. 自噴井には、低地部の一般温泉と高地部の噴気・沸騰泉が含まれる。1990年代以降の低地部における自噴井はおよそ270孔である。

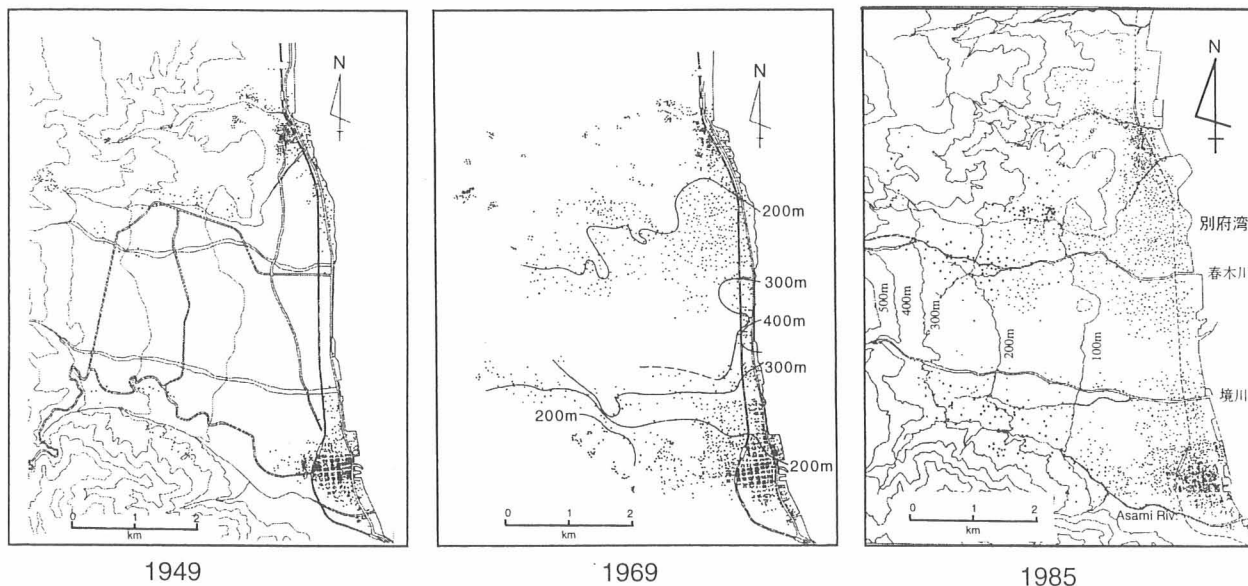


図3 別府温泉における掘削源泉分布の変化。1969年の図中の曲線群は井戸深を示す。

他方、温泉資源の枯渇が憂慮され、昭和43年（1968）における特別保護地域（新規掘削の禁止域）の設定を始めとして、新規掘削に当たっての既存源泉からの距離の制限や井戸口径の制限および動力揚湯量の制限などの資源保護対策が実施されるようになった。こうした保護対策と市街域拡大の傾向とがあいまって、温泉井の掘削は新開地へと拡がり、鶴見火山群東麓に広がる扇状地のほぼ全域に源泉が分布するまでになった（図3）。現在一部の地域を除いて新規掘削の余地は少なくなり、別府における源泉数も源泉分布範囲も限界に近づいているようである。図2に見られるように、1970年代以降の総源泉数はほぼ横ばい状態にある。したがって、現在（2003年）の源泉分布は、図3に示されている1985年当時の分布とほとんど同じと考えてよい。

京都大学地球熱学研究施設（BGRL）が蓄積してきた資料をまとめて、1924年以降の源泉数および流出温泉水量・流出熱量の変遷を表1に示す。先に述べたように、1960年代の急激な開発によって別府全域での源泉数が倍増し、これに伴い流出温泉水量・流出熱量の両者とも増加した。中でも、特に流出熱量の増加は大きく、1949年当時の3倍以上となったことが注目される。これは、高地部において高温の温泉水や蒸気が開発されたことによる。

表1 別府温泉の源泉数および流出水量と流出熱量の変遷

	地域	1924	1949	1959-61	1973-75	1985-87
源泉数	南部	826	674	785	1132	975
	北部	?	305	535	1250	1269
	全域	?	979	1320	2382	2244
流出水量 (kg/s)	南部	189	218	213	266	226
	北部	?	213	252	390	353
	全域	?	431	465	656	579
流出熱量 (MW)	南部	43	48	67	119	126
	北部	?	52	86	231	226
	全域	?	100	153	350	352

1924年と1949年のデータには、沸騰泉および噴気は含まれない。
源泉数が図2の数と若干異なるのは、データ収集法の違いのためである。

3. 温泉水系の変化—開発の影響—

3-1. 温泉水位の変化

温泉井が掘削され始めた19世紀の後半から1950年頃までは、海岸近くの源泉のほとんどは自噴していた。最初の温泉水位の調査は、別府温泉南部域の海岸部において、1933年から1938年にかけて行われ、海岸近傍の水位は平均海面より2 m以上高く、内陸に向かうにつれて上昇することが知られた（図4：瀬野，1938）。これにより、地下の温泉水は内陸から海岸に向かって流動していることの証拠が与えられた。また、温泉水位の勾配は地表面の勾配より緩やかなため、海岸から800mないし1000m離れると水位は地表面より低くなり（図4の右図）、自噴しなくなることも分かった。これが当時の自噴域の範囲であった。

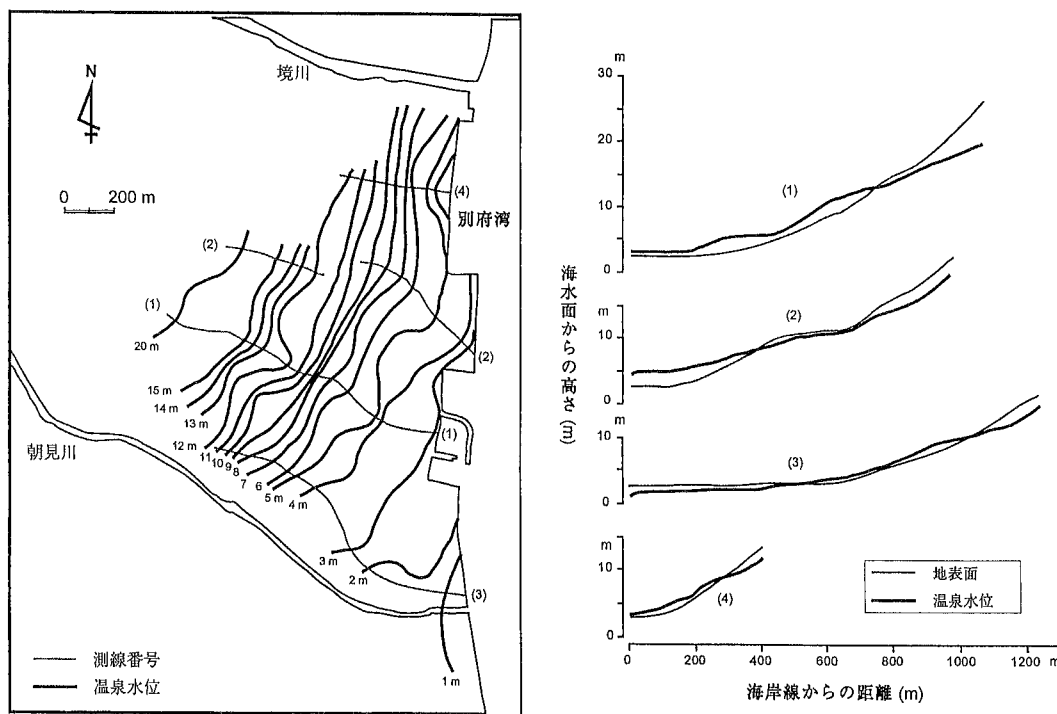


図4 1933～38年に測定された、別府南部域海岸部における温泉水位（平均海面からの高さ：m）の分布。図の右方に描かれた水位と地表面の比較から、当時の自噴域の範囲が分かる。

同じ地域で、第二次開発ブームが始まりかけた1960年に再調査がなされた。その結果、前回に比べて、温泉水位の概略的な分布に大きな変化はないものの、海岸近傍の水位は1～2 m低下していることが知られた（瀬野・吉川，1961）。この低下は、20世紀初頭頃までに進んだ温泉井掘削の影響と思われる。

その後、温泉水位の系統的な測定は実施されていないが、別府保健所（現：中央保健所）による統計資料（図2）から、おおよその傾向を推定することができる。図2によれば、1960年以前はほとんどの源泉が自噴していたのに対し、第二次開発ブーム頃より自噴泉数が大きく減少しはじめ、この傾向は1985年頃まで続いている。すなわち、開発の進展によって地下温泉水圧が低下したことは明かである。しかし、新開発がほとんど出来なくなった近年は横ばい状態にあり、温泉水圧も安定化したことがうかがわれる。また、自噴の有無に関するアンケート調査（吉川・由佐，1976；由佐・大石，1988）によれば、1975年から1987年の間に、南部域海岸部で自噴域の縮小が認められたが、亀川地区海岸部での縮小はそれほど顕著ではなかった。

以上を総合すると、温泉開発によって海岸部における温泉水圧の低下が進んだことは明かである。しかし、低下が比較的大きい南部域においても、現在もなお自噴井が残っていることから、自然状態と比較した低下量は2 m程度までと思われる。

図5は、1960年代に測定された水位データに基づく、別府全域における海面下100mでの温泉水位分布である（Allis and Yusa, 1989）。図中の数字は、平均海面からの高さ（m）である。温泉水位の急勾配は、全体として温泉水が鶴見火山群から海岸に向かって流動していることを示している。

また、南部では等水位線の明瞭な谷が存在し、北部においても同様な谷が認められ、これらに沿って特に強い温泉水の流動があることがうかがわれる。図1の等温線と比較すれば、これらの谷が熱水の通路になっていることが分かる。図5において注目すべきは、等水位線にいくつかの極小域が存在することであり、これらは温泉開発に伴う水位低下と考えられる。中でも、北部・鉄輪地区には周辺域より50mも低い水位の異常域が存在する。この範囲では多数の沸騰泉や噴気井が掘削されており、異常な低水位は大量の熱水・蒸気の流出による影響と思われる。

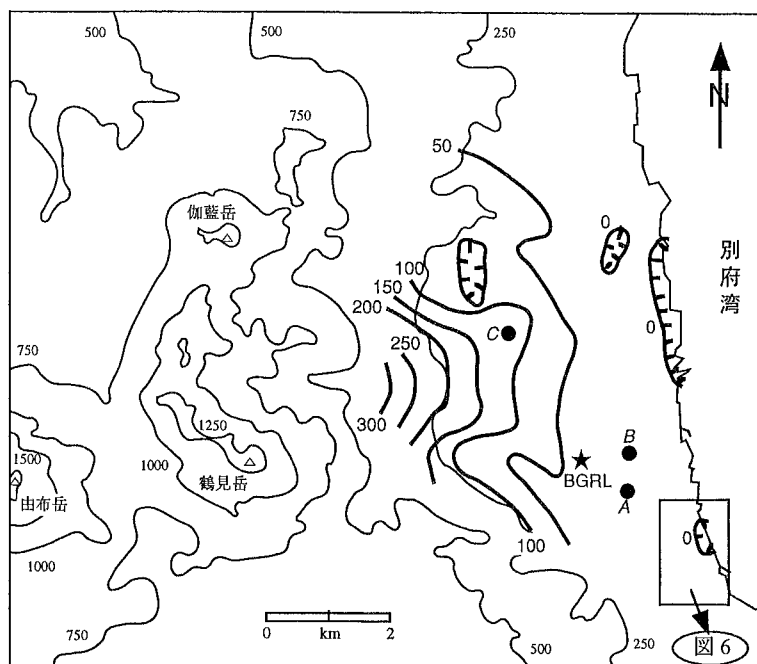


図5 別府温泉全域の温泉水位分布 [Allis and Yusa (1989) に基づく]。太い曲線群が等水位線（平均海面からの高さ：m）、細い曲線群は地形の等高線（平均海面からの高さ：m）。毛羽を付した範囲は水位の低異常域。A：図7の宮地獄神社，B：図8・9の天満温泉，C：図12・13の源泉，BGRL：京都大学地球熱学研究施設。

3-2. 海岸部における海水浸入

前節で述べた鉄輪地区の低水位異常に加えて、海岸部においても、海水位より水位の低い異常域が3カ所認められる。これらもまた、温泉水採取の影響であろう。このような海岸部での低水位は、温泉帯水層への海水浸入をもたらす可能性がある。

南部域・浜脇一帯（図5最南端部の低水位異常域）における温泉水の海水汚染は、1926年に実施された最初の地球化学的調査によって、既に検出されていた（山下ら，1937）。この地域はもともと干潟の埋立地であり、海水が出入りする状況にあった。図6は、この一帯における海水浸入域の変遷である。1926年の海水浸入域は朝見川より南の狭い範囲に限られていたが、1950年までに浸入域は朝見川を越えて北方に拡がり、その後も浸入域は徐々に北方へと拡がっている（吉川，1951；吉川ら，1964，吉川・北岡，1977）。この現象も、温泉水の汲み上げに起因する温泉水位低下の進展を示している。なお、朝見川に沿って浸入域の後退が見られるが、その理由は不明である。この地域以外にも、北部の亀川で海水浸入の可能性が示唆されている（北岡，1978）。

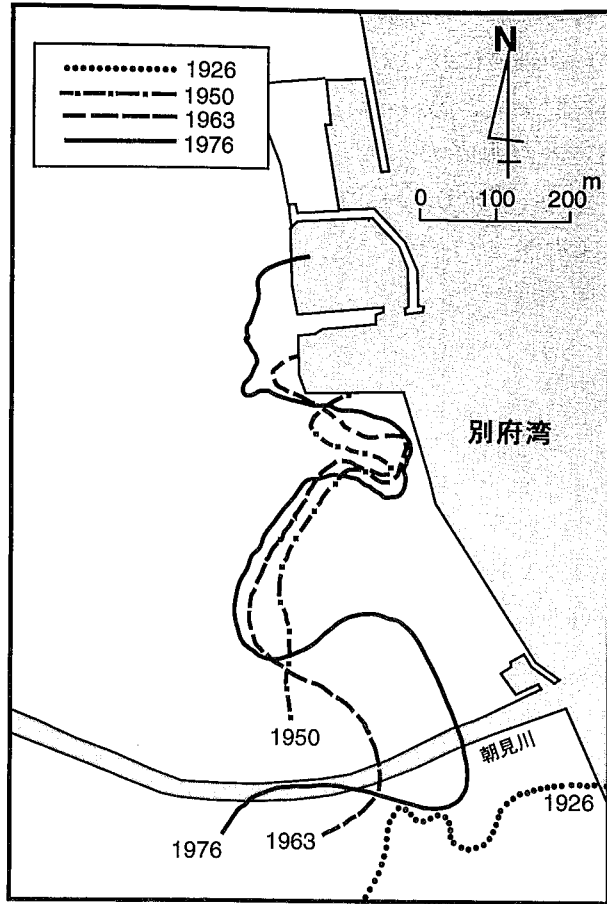


図6 海水浸入前線の変化. 場所は図5を参照.

3-3. 浅井戸における水位と水温の低下

南部域の海岸から約1.1km内陸に位置する宮地獄神社(図5のA)境内に、かつて深さ8.5m、径70cmの浅井戸があった。1925年に初めて測定された水温は43.2℃と高温であり、これは水圧の高い深部温泉水の上昇によるものと解釈された(吉川, 1960)。

この井戸が枯渇した1967年までの40年間にわたって、ほとんど毎日測定された水温と水位の記録から求められた年平均値の変遷を図7に示す。水位は地面からの深さである。また、図中には、京大地球熱学研究施設(図5のBGRL)における年降水量も描かれている。

水位は降水量に対応して変化しながら、1950年代の半ば頃までは地面下およそ7m付近を変動していたが、その後は急速に低下し、1960年代の初めには一時的に上昇したものの、1967年には枯渇した。一方、水温は不規則に変動し、経年的には低下の傾向を示していたが、1950年頃までは30~40℃を保っていた。しかし、その後、1961-63年に一時的に上昇したが、30℃以下へと低下した。これらの現象も、温泉開発に伴う深部温泉水の圧力低下(水位低下)を示している(由佐, 1989)。

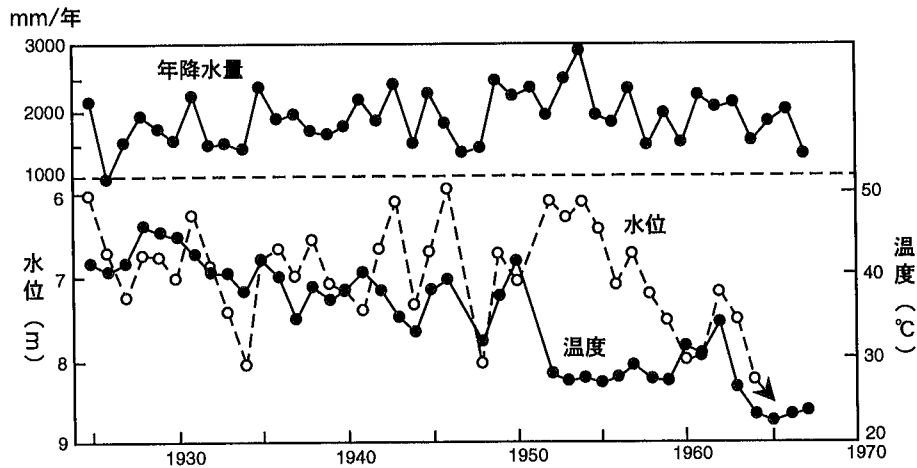


図7 宮地獄神社井戸 (図5のA) における水位 (地面からの深さ:m) と水温 (°C) の長期変化. 雨量はBGRLでの観測値 (mm/年).

3-4. 化学的な変化

1960年代における第二次温泉開発ブームの間に、特に高地部で掘削された井戸 (沸騰泉) から、高温のナトリウム-塩化物泉型の温泉水が大量に流出するようになった。表1に見られる流出水量と流出熱量の増大のほとんどは、それら沸騰泉からの流出によるものである。以来、別府全域において塩化物イオン濃度低下などの化学的变化が明瞭に現れるようになった (由佐ら, 1989, 1990)。

3-4-1. 南部域

塩化物イオン濃度の低下は南部域の沸騰泉で最も顕著であり、1975年から1986年の間に、いくつかの源泉では50%以下になった (図8 a)。これに対し、炭酸水素イオン濃度は増加した (図8 b)。図9は、低地部にある沸騰泉 (図5のB:天満温泉) で観測された、時間的变化が明瞭な例である。この源泉では、1968年にモニタリングが開始されて以来、塩化物イオン濃度は1/4にまで減じ、炭酸水素イオン濃度は3倍まで増加した。温泉開発が一段落し総源泉数が横ばいとなってからは、両イオン濃度の変化は小さくなったが、それぞれの変化は明らかに逆方向を示している。

海水浸入域を除いた低地部の一般温泉における、1978年と1989年の塩化物イオンと炭酸

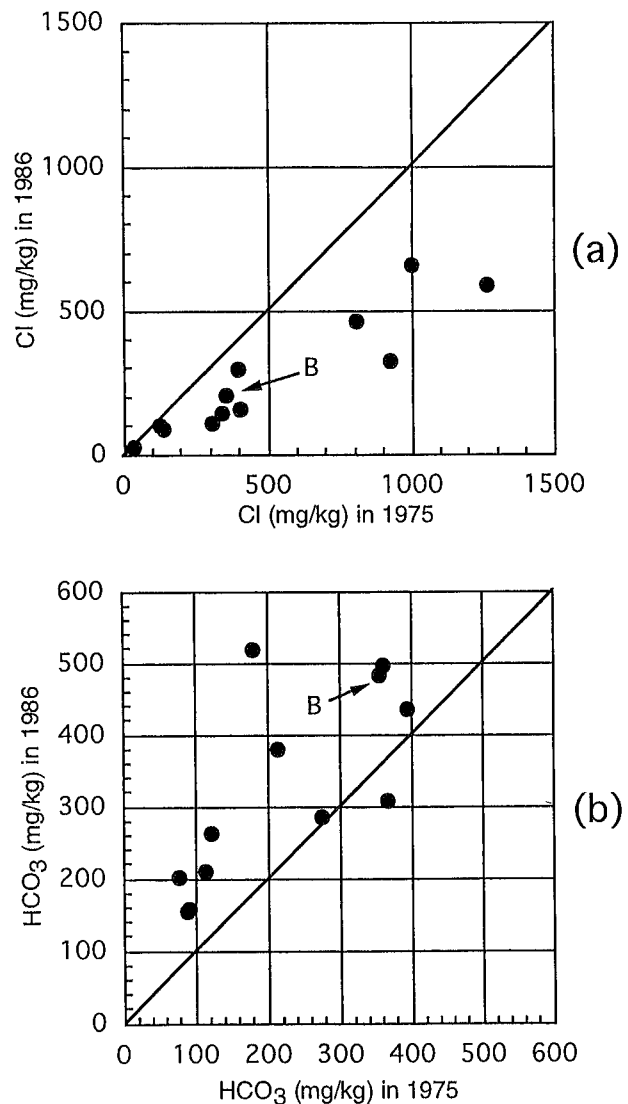


図8 別府温泉南部域の沸騰泉で1975年と1986年に測定された塩化物イオン濃度 (a) と炭酸水素イオン濃度 (b) の比較. Bは天満温泉.

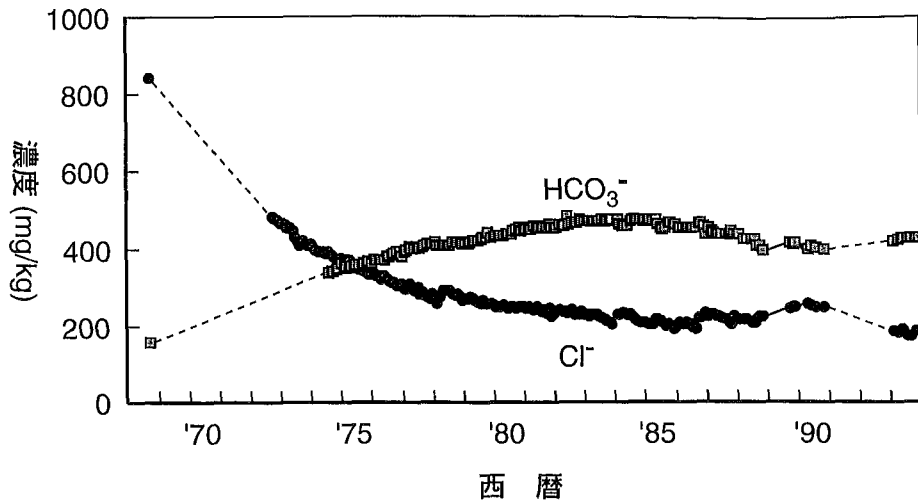


図9 天満温泉における塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度の経年変化。

水素イオンの濃度を、図10に対比して示した。もともと塩化物イオン濃度の高かった源泉で、その濃度の低下が顕著である。他方、炭酸水素イオン濃度の変化ははっきりしない。しかしながら、塩化物イオン濃度が比較的高い源泉について、1978年以前のデータも合わせて比較すると（図11）、塩化物イオン濃度は低下し、炭酸水素イオン濃度は上昇したことが明かである。ただし、図の最上部に描いた源泉では、例外的に硫酸イオン濃度が増加している。

別府南部域の温泉水は、ごく一部に硫酸型水が存在するが、主に塩化物型水と炭酸水素型水の混合によって形成されている。このうち、塩化物水は深部の地熱水起源であり、炭酸水素型水と硫酸型水は浅部で生成した蒸気加熱水である（たとえば、Allis and Yusa, 1989）。したがって、別府南部域で観測された塩化物イオン濃度と炭酸水素イオン（または硫酸イオン）濃度の変化（すなわち塩化物型水の混合比の低下）は、深部の塩化物型水の圧力低下を示しており、これは1960年代に特に高地部で進行した沸騰泉開発の影響と考えられる。

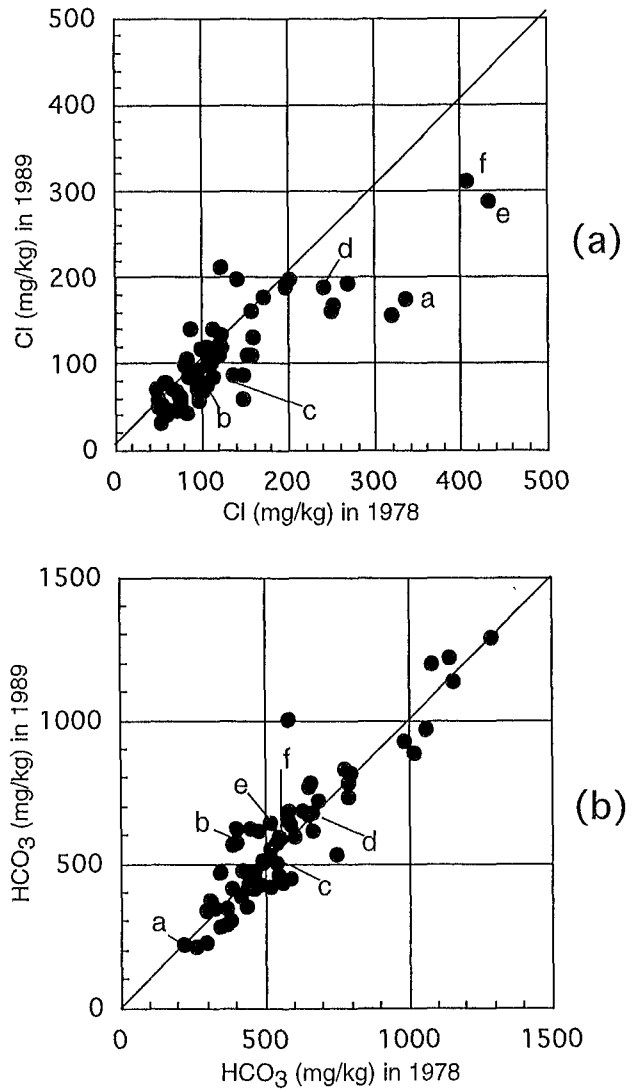


図10 別府温泉南部域の一般温泉で1978年と1989年に測定された塩化物イオン濃度（a）と炭酸水素イオン濃度（b）の比較。図中のaからfの記号は、図11の記号に対応。

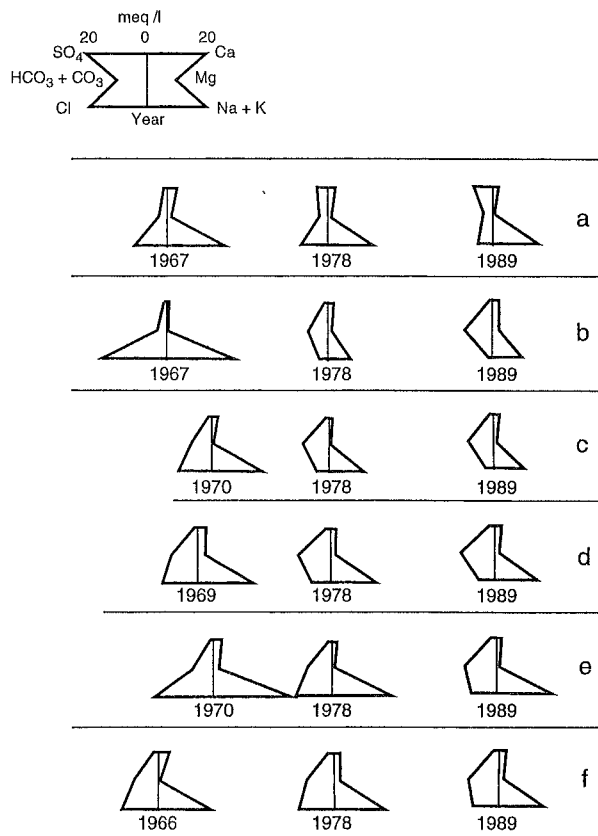


図11 別府温泉南部域における一般温泉の化学組成変化の例。数字は西暦を表す。

3-4-2. 北部域

北部域においても、多くの沸騰泉で塩化物イオン濃度の低下が観測され（図12 a）、比較的低位の源泉では沸騰が停止したものもある。これもまた、南部域におけると同様に、深部地熱水の圧力低下に起因する塩化物型水の混合比の低下を示している。この解釈は、図13に描かれている陰イオン濃度の時間変化の例（塩化物イオン濃度の低下、硫酸イオン濃度の上昇）からも、支持される。加えて、一般温泉においても、塩化物イオン濃度の低下傾向が観測されている（図12 b）。

図12 a において、いくつかの源泉で塩化物イオン濃度が上昇しているが、それらはいずれも、源泉が密集する低水位異常域（図5）に位置している。また、それらの温泉水のほとんどはpHが低下した。この周辺部における塩化物イオン濃度とpHの水平分布を見ると、上流部に酸性で塩化物イオン濃度の高い温泉水が存在している。これらのことから、大量の温泉水流出による圧力低下のために、酸性で高塩化物イオン濃度の水がこの地域に向かって流入したのではないかと考えられる。

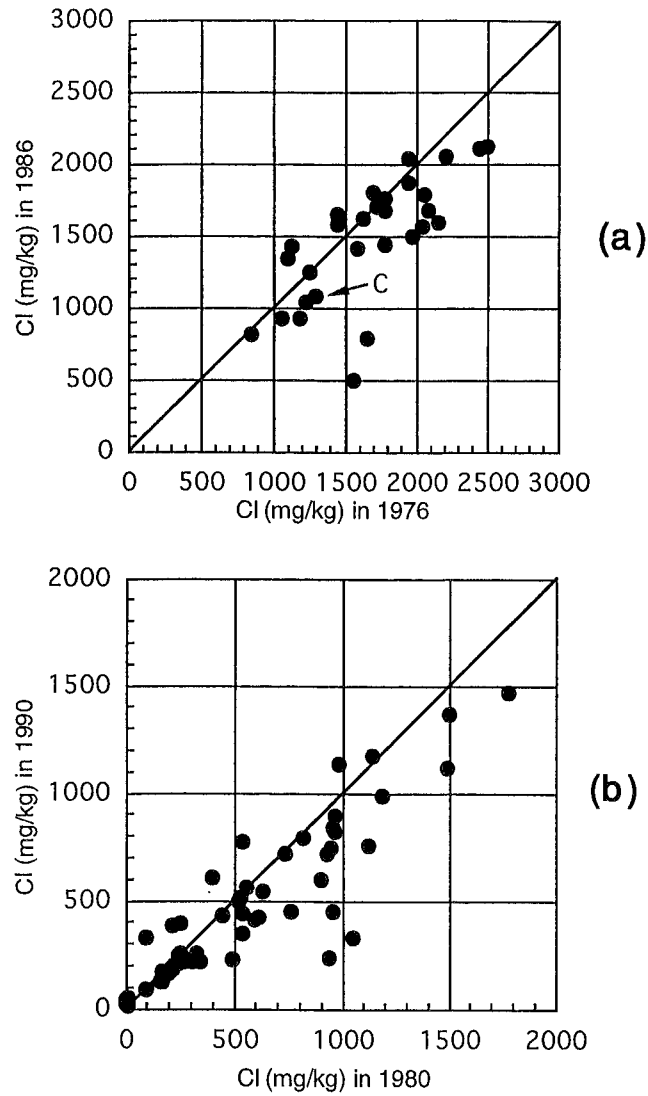


図12 別府温泉北部域における塩化物イオン濃度の変化：(a) 沸騰泉の1976年と1986年の濃度の比較 (Cの位置は図5参照)，(b) 一般温泉の1980年と1990年の濃度の比較。

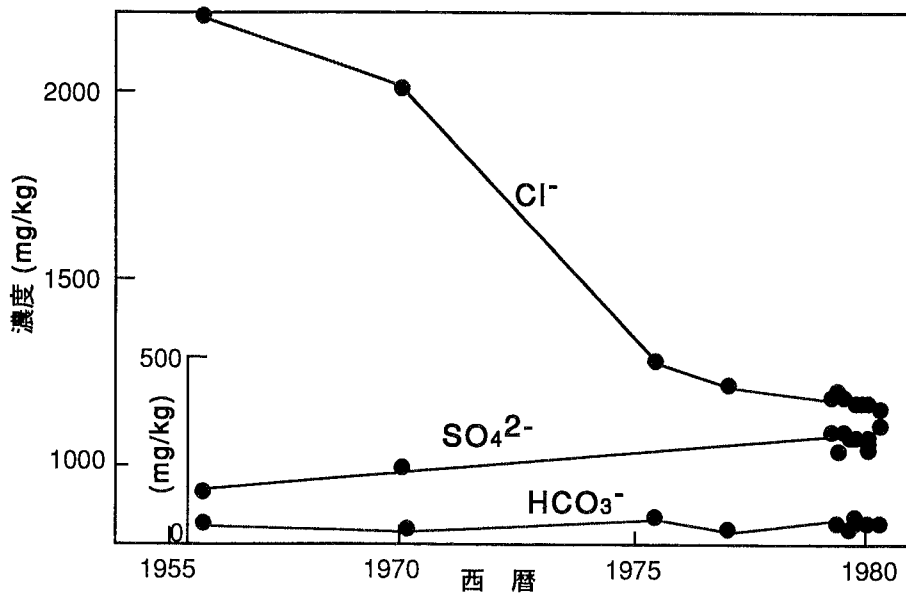


図13 別府温泉北部域の沸騰泉C (図5)における主要陰イオン濃度の経年変化。

4. まとめ

別府温泉南部域では、1880年代以来の温泉井掘削によって、海岸部での温泉水位の低下、海岸近傍での海水浸入、および浅い帯水層での水位と水温の低下が生じた。

特に、1960年代における高地部での塩化物型水の流出量の増大は、深部の塩化物型水の圧力低下をもたらした。また、高地から低地へ向かう塩化物型水の流量を減少させた。こうした一連の現象によって、深部の塩化物型水へ浅部の蒸気加熱型水が浸入した。そのため、別府全域で塩化物イオン濃度が低下し、炭酸水素イオン（または硫酸イオン）濃度が上昇した。

謝辞

本報告は、別府市で開催された西暦2000年世界地熱会議（WGC2000）に提出した論文を元にしており、その草稿の作成にはR.G.Allis博士（現在アメリカ合衆国ユタ大学）が貢献された。本報告に盛られている多数のデータは、BGRLの歴代職員の長年にわたる努力によって蓄積されたものであり、また、1949年以降のデータの多くは、大分県温泉調査研究会の事業の一環として収集された。ここに特記し、関係諸氏・諸団体に感謝の意を捧げる。

参考文献

- 安部 巖(1987)：別府温泉湯治場大事典，創思社出版，p330.
- Allis, R.G. and Yusa, Y. (1989)：Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, 19, 743-759.
- 北岡豪一(1978)：別府北部温泉地域への海水浸入. 大分県温泉調査研究会報告, 29, 21-30.
- 吉川恭三(1951)：化学二成分より見たる別府市街温泉の水系. 大分県温泉調査研究会報告, 2, 53-73.
- 吉川恭三(1960)：地下二透水層間の水の交流を示す別府温泉での観測例. *陸水学雑誌*, 21, 9-16.
- 吉川恭三・志賀史光・岩上寿子(1964)：別府海岸部における温泉の化学組成. 大分県温泉調査研究会報告, 15, 6-14.
- 吉川恭三・由佐悠紀(1976)：別府温泉の現況調査(3). 大分県温泉調査研究会報告, 27, 1-15.
- 吉川恭三・北岡豪一(1977)：別府南部温泉地域への海水侵入. 大分県温泉調査研究会報告, 28, 17-25.
- 鈴木政達(1937)：別府付近の地史と温泉脈. *地球物理*, 1, 6-9.
- 瀬野錦蔵(1938)：別府市街地の温泉水頭分布. *地球物理*, 2, 280-290.
- 瀬野錦蔵・吉川恭三(1961)：別府市街地温泉の静止水頭調査. 大分県温泉調査研究会報告, 12, 23-30.
- 山下逸二郎・木戸隆・丸田頼三(1937)：別府市内温泉のクロール量分布. *地球物理*, 1, 89-93.
- 由佐悠紀・大石郁朗(1988)：別府温泉の統計. 大分県温泉調査研究会報告, 39, 1-6.
- 由佐悠紀(1989)：別府温泉における近年の変化. *地熱エネルギー*, 14, 127-135.
- 由佐悠紀・神山孝吉・川野田実夫(1989)：別府温泉南部域の化学成分長期変化について(2). 大分県温泉調査研究会報告, 40, 21-29.
- 由佐悠紀・神山孝吉・川野田実夫(1990)：別府温泉北部域の化学成分長期変化について(2). 大分県温泉調査研究会報告, 41, 13-24.

検知管による温泉水中の塩化物イオンの簡易定量

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二

要 旨

塩化物イオンに感応し変色によって濃度を指示する検知管を使って、温泉水中の塩化物イオンを現地で簡便・迅速に定量する方法を構築した。半定量用の市販品であるが、検知管に刻印された濃度目盛の間隔と読みの関係を表す関数を導出し、その関数を用いて変色層の長さから有効数字2桁程度で温泉水中の塩化物イオンを定量できることが判った。酸性温泉水には直接利用できないが、試験液の水温が80℃であっても測定に全く支障がないことが示された。

1. はじめに

温泉水の化学分析は、採取した試料を実験室に持ち帰って行われることが多く、現地で測定されるのは電気伝導度とpHくらいである。通常はこれで調査・研究の目的を達することができるが、持ち帰れる試料数が限定されている場合（私たちは開発途上国での温泉調査でこのようなケースに遭遇したことがある）や水質の短時間の変動をモニターする必要がある場合（例えば、掘削井の揚湯試験）には、電気伝導度やpHのように現地で簡便・迅速に測定できるのが望ましい。これまでも、例えばイオン電極の応用が試みられてきたが、不斉電位による指示値の時間変動、電極の耐久性といった問題を抱えており、また一方で、指示値の温度補正やイオン強度の調整などを必要とし、未だに温泉水の現地測定法として定着していない。

筆者は、ガス検知管を用いた温泉水中の溶存硫化水素と亜硫酸の化学分析や噴気ガスの二酸化硫黄／硫化水素比の測定を現地で行った経験を有し、簡素な道具ではあるが、地球化学的な解析に十分耐えるクオリティーのデータを提供してくれることを示した（大沢, 1992; 大沢ほか, 2000）。最近では、水溶液中の塩化物イオンの半定量用に検知管が市販されており、手ごろな値段で入手できる（1箱10本入りで1600円程度）。塩化物イオンは、地下における温泉水の流動や混合のトレーサとして用いられるなど温泉の調査・研究において頻繁に分析される重要な成分である。そこで本研究では、市販の塩化物イオン検知管を使った温泉水の現地定量分析の可能性について種々の検討を行った。

2. 塩化物イオン検知管

本研究で使用した塩化物イオン検知管は、光明理化学工業株式会社製のもので、高濃度用（SA型：10～2000ppm）と低濃度用（SB型：3～200ppm）がある（検出下限はそれぞれ3 ppmと1 ppm）。外筒は長さ15cm、直径5 mmのガラス管で、内部に反応試薬を含む茶色い検知剤が封入されている（図1）。使用直前にニッパなどを使って両端をカットし、流入口（図1のIN）を下にして試験液に

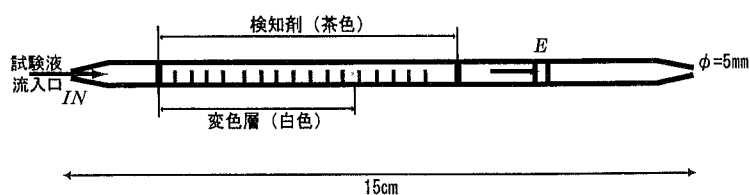
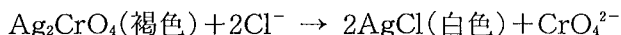


図1 塩化物イオン検知管の外観。

浸漬する。試験液は自力で管内を浸透・上昇し、上部綿栓（図1のE）に達すると浸透は停止する（浸透停止は綿栓が黄色くなることで判断できる）。この試験液の浸透にともない、含まれる塩化物イオンによって検知剤は白い変色層を形成する（図1）。変色層の長さから塩化物イオン濃度は1対1に対応しており、検知管に刻印された目盛を使って、変色層の先端から濃度を読み取れるように設計されている。しかし、検知管の濃度目盛は等間隔でないため濃度を細かく読み取ることは難しく、元々この検知管はおおよその濃度を知るために提供されているものである。

検知剤にはクロム酸銀（ Ag_2CrO_4 ）が含まれており、浸透してきた試験液中の塩化物イオン（ Cl^- ）と下記のように反応して、不溶性の塩化銀が生成するのを測定原理として利用している。



この原理は、水溶液中の塩化物イオンの滴定分析法であるモール法の原理と基本的に同じであり、この滴定法が温泉分析にも汎用されてきたことから、塩化物イオン検知管は温泉の研究・技術者にとっては取り組み易い測定器具であると言えよう。例えば、「臭化物イオン（ Br^- ）、ヨウ化物イオン（ I^- ）、シアノ化物イオン（ CN^- ）が共存すると指示が高くなり、溶存硫化物（ S^{2-} ）が共存すると測定を妨害し、試験液のpHが3.5~11以外では指示値が高くなる」という測定上の注意事項も理解し易い。

3. 定量化への工夫

前述のように、検知管の濃度目盛は等間隔ではなく、これをそのまま利用する限り厳密な定量分析への応用は期待できない。そこで、検知管の濃度目盛の間隔を測り、目盛の読みとの関係を調べたところ、両者の関係は表1に示した関数で表わされることが判った。そして、この関係をグラフにしたものが図2である。メーカーによれば、型番の数字（SAに続く27やSBの後の30）が同じロットでは、濃度目盛の刻印間隔は同じであるということなので、あらかじめ型番ごとにこのような関数を求めておけば、変色層の長さを読み取り、その関数を使って濃度を算出することができる。

イオンクロマトグラフィーにより塩化物イオンが定量されている温泉水試料に検知管を浸漬し、変色層の長さを測って表1の関数から濃度を求めたところ（表2）、図3に示すように、ほとんどの試料水において、2つの方法による定量値の間に1：1の良好な関係が認められた。ここで検知管による定量値の方がかなり高く得られている3つの試料は、いずれも酸性温泉水であり、使用上の注意に記されている内容と矛盾しない結果となっている。ただし、使用上の注意ではpHの許容下限は3.5となっているが、pH4.3の試料水（No. 7）でもかなり高めに定量値が得られていることから、pH6未満の強酸性～弱酸性の温泉水（湯原・瀬野，1969）の直接測定は避けたほうがよい。さて、詳細な比較の結果には（表2の最後の欄）、検知管による定量値がイオンクロマトグラフィーによるそれより低目に得られる傾向が示されている。しかし、イオンクロマトグラフィーによる定量値が正しいとしても、検知管の測定

表1 検知管の濃度目盛の読み（C）と間隔（原点から濃度目盛までの長さ：L）の関係を表す関数。R0, R1, R2, R3, R4, R5は相関係数を表す。

SA-27
$C = 5.377499 \times 10^{-6} \times L^5 - 6.816209 \times 10^{-4} \times L^4 + 3.115398 \times 10^{-2} \times L^3 - 3.520104 \times 10^{-1} \times L^2 + 8.309847 \times L + 2.478694$
$R5^2 = 0.9202978, R4^2 = 0.9568836, R3^2 = 0.9858915, R2^2 = 0.9841034, R1^2 = 0.8721519, R0^2 = 0.9998833$

SB-30
$C = 3.263462 \times 10^{-6} \times L^5 - 3.749456 \times 10^{-4} \times L^4 + 1.462145 \times 10^{-2} \times L^3 - 1.487532 \times 10^{-1} \times L^2 + 1.908798 \times L + 0.2603245$
$R5^2 = 0.85056300, R4^2 = 0.8671158, R3^2 = 0.9371047, R2^2 = 0.9946997, R1^2 = 0.9488477, R0^2 = 0.9999497$

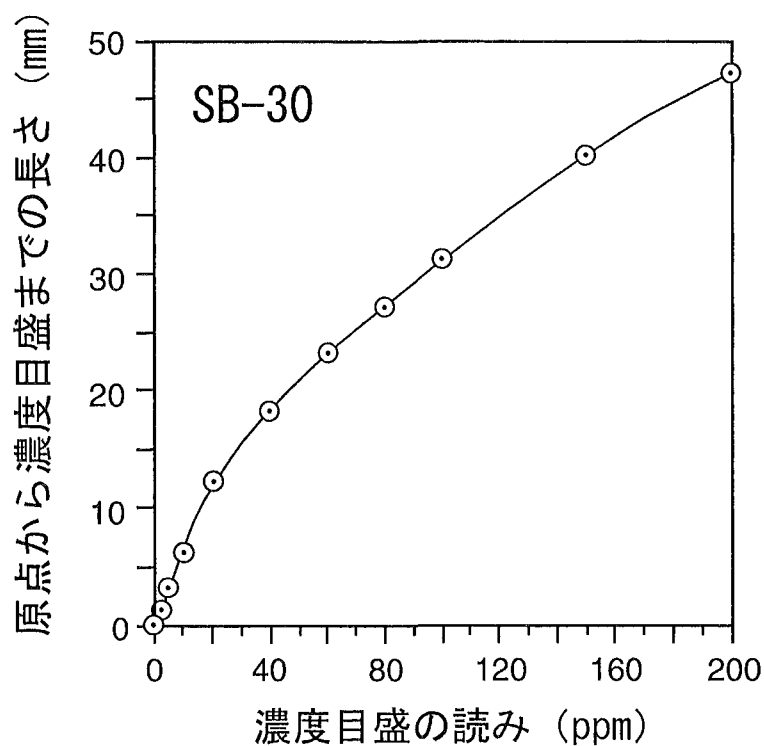
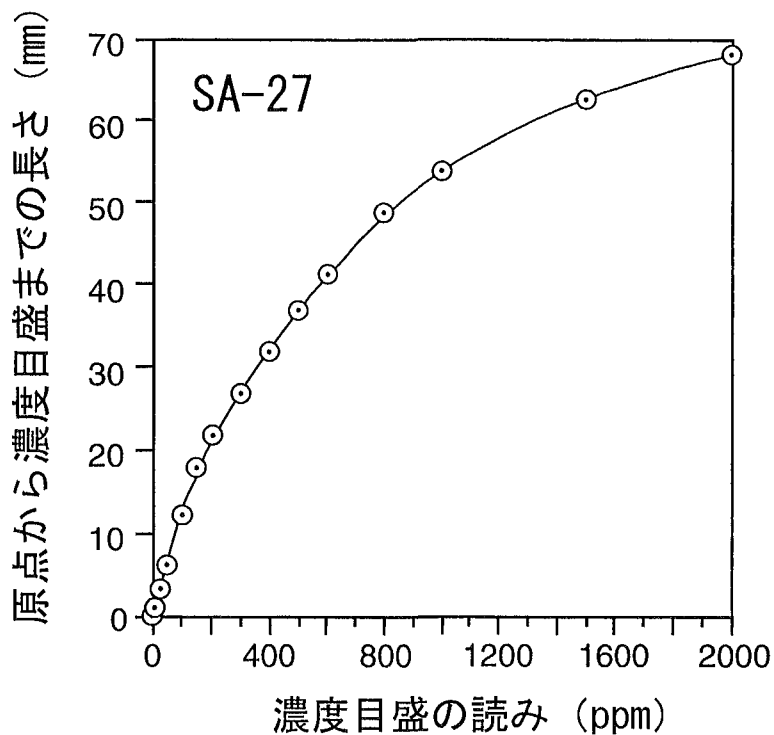


図2 検知管の濃度目盛の間隔と読みとの関係. ppm=mg/l.

精度は20%未満であり (No. 2 だけが例外的に-29%)、検知管法の簡便さ・測定の迅速性を考慮すれば、十分に満足できる性能である。

表2 検知管法およびイオンクロマトグラフィーによる温泉水試料の塩化物イオンの定量結果.

試料番号	pH	水質タイプ	イオンクロマトグラフィーによる定量値 (mg Cl/l) : A	検知管による定量値 (mg Cl/l) : B	(B-A)/B×100
1	6.7	Ca-HCO ₃	8.7	8	-8
2	7.2	Na-HCO ₃	26.9	19	-29
3	7.4	Na-HCO ₃	18.6	19	+2
4	6.4	Na-HCO ₃	92.5	89	-4
5	5.7	Ca-HCO ₃	6.2	6	-3
6	2.4	H-SO ₄	3.7	24	+549
7	4.3	H-SO ₄	3.5	155	+4329
8	8.3	Na-HCO ₃	4.7	4	-15
9	7.7	Na-HCO ₃	11.9	11	-8
10	8.4	Na-HCO ₃	8.5	7	-18
11	2.1	H-SO ₄	2.8	120	+4186
12	6.6	Na-HCO ₃	234	200	-15
13	6.7	Na-HCO ₃	190	165	-13
14	6.8	Na-HCO ₃	218	185	-15
15	6.8	Na-HCO ₃	227	200	-12
16	7.6	Na-Cl (-SO ₄)	631	620	-2
17	7.8	Na-Cl (-SO ₄)	463	457	-1
18	7.9	Na-Cl	1850	1980	+7
19	7.9	Na-Cl	1420	1560	+10
20	8.4	Na-Cl	4920	4530 [#]	-8
21	8.0	Na-Cl	4500	4350 [#]	-3
22	7.8	Na-Cl-HCO ₃	5170	4820 [#]	-7

試験液を5倍に薄めて測定

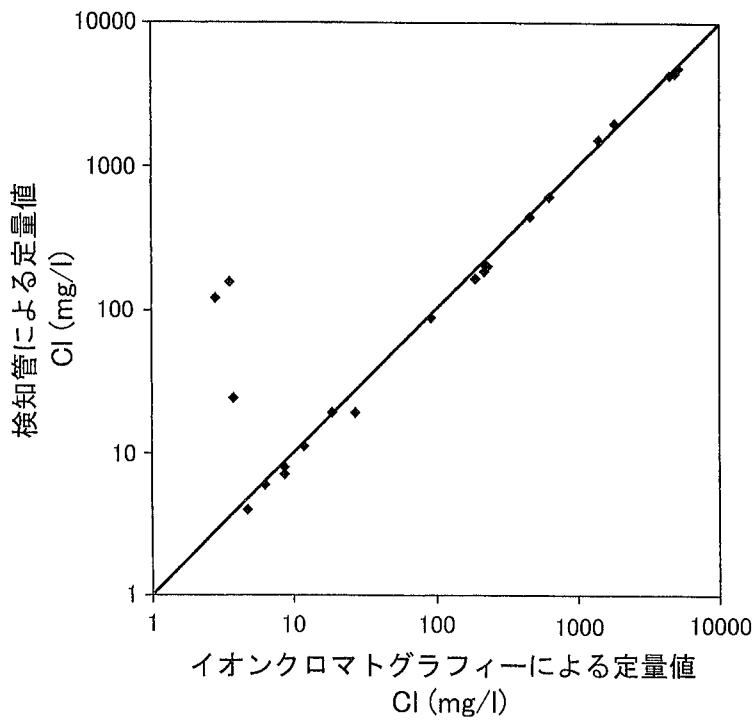


図3 実際の温泉水を用いた検知管法とイオンクロマトグラフィーによる塩化物イオンの定量値の比較. 使用したデータは表2に掲載してあるもの.

4. 実試料への応用性

前節の検討は室温条件で行ったが、野外における実際の測定では、温泉水試料がまだ高温にある状態で行う可能性が高い。検知管の使用上の注意には、「5～80℃の温度では測定に影響は無い」と記されているが、一応これを確かめるために、高温のまま測定する機会が多いと予想されるNa-Cl型の温泉水（食塩泉）を用いて検討を加えた。試料水を入れたビーカーをホットプレート・スターで加熱・攪拌し、検知管を直接浸漬して濃度測定を行った。検討結果を図4に示す。図中の2本の破線は、室温条件で行った測定の再現性の検討結果（後述）を元にして求めた測定データの誤差の巾（ $\pm\sigma_1$ ）を示す。測定値は、室温から80℃の間で誤差の範囲内で一致しており、少なくともこの温度範囲内では測定に支障を来ささないことが確認された。このことから、温泉水を採取した後、試料水が十分に冷却するのを待って測定を行わなくてもよいことが示された。

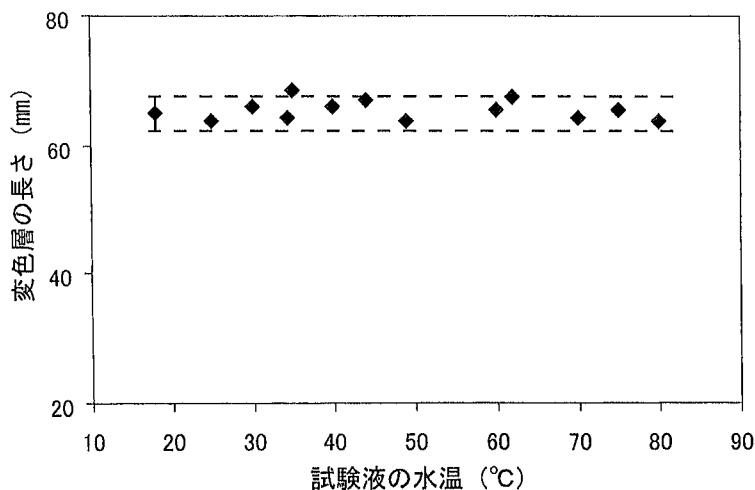


図4 塩化物イオン濃度測定における水温の影響。2本の破線は室温条件で行った測定の再現性の検討結果（表3）をもとにして求めた測定データの誤差の巾（ $\pm\sigma_1$ ）を示す。

最後に、実際の試料水を用いて、検知管法の再現性の検討を行った。高濃度タイプ（SA型：10～2000ppm）はNa-Cl型の温泉水で、一方、低濃度タイプ（SB型：3～200ppm）はNa-HCO₃-SO₄型の温泉水を用いて室温下で実験した。測定は7回ずつ行い、平均値と標準偏差および変動係数（C.V.%）を求めた。表3に示すように、現地測定法の変動係数としては十分満足できるものであり、数値の実際のばらつきを見ても、SA型で1600～1780 mg/l、SB型で134～146mg/lであり、有効数字2桁ほどの定量値が期待できる分析法であることが判った。

表3 検知管による塩化物イオン濃度測定の再現性。Meanは平均値、 σ_1 は標準偏差、C.V.%は変動係数（ $=\sigma_1/\text{Mean} \times 100$ ）。

検知管の型	SA	SB
試料水の水質	Na-Cl	Na-HCO ₃ -SO ₄
1	1780 mg/l	146 mg/l
2	1690	140
3	1780	134
4	1680	140
5	1730	137
6	1600	140
7	1640	140
Mean	1700 mg/l	140 mg/l
σ_1	63	3.4
C.V.%	3.7	2.4

5. おわりに

塩化物イオンの半定量用に市販されている検知管を使い、温泉水中の塩化物イオンを現地で簡便・迅速に定量する方法を構築した。本方法では、検知管に刻印された濃度目盛の間隔と読みの関係を表す関数を導出し、その関数を用いて変色層の長さから有効数字2桁程度で定量値が得られる。室温から80℃の試験液に検知管を直接浸漬しても定量上は全く問題ないが、強酸性～弱酸性の温泉水へは直接適用されないことが示された。そのような水試料については、水酸化ナトリウム試薬（錠剤）を投入して中和した後に測定を行うなどの対応策が考えられるが、今後さらに詳細な検討を加えてみたい。

本研究では、試験液に浸漬した検知管の変色層の長さから塩化物イオンの濃度を求めるのに、検知管に刻印された濃度目盛の間隔と読みの関係を表す関数を用いたが、その関数は複雑であり変色層の長さから濃度を算出するには計算機を使用しなければならず、野外では不便である。そこで例えば現地には表4に示したような換算表を携行し、その場で濃度を求めるのが現実的であろう。

表4 検知管の変色層の長さ（L）から塩化物イオン濃度（C）を読み取るための換算表。CはLの数値を0.5mm間隔で表1の式に代入して求めた。ppm=mg/ℓ。

塩化物イオン検知管 濃度算出表 1

SA-27 L: 変色層の長さ, C: 塩化物イオン濃度

L (mm)	Conc. (ppm)	L (mm)	Conc. (ppm)	L (mm)	Conc. (ppm)
1	10	24	247	47	757
1.5	14	24.5	255	47.5	772
2	18	25	263	48	788
2.5	22	25.5	272	48.5	803
3	25	26	281	49	819
3.5	28	26.5	289	49.5	836
4	32	27	298	50	853
4.5	35	27.5	307	50.5	870
5	39	28	317	51	887
5.5	42	28.5	326	51.5	905
6	46	29	335	52	924
6.5	49	29.5	345	52.5	943
7	53	30	355	53	963
7.5	56	30.5	364	53.5	983
8	60	31	374	54	1000
8.5	63	31.5	384	54.5	1030
9	67	32	394	55	1050
9.5	71	32.5	405	55.5	1070
10	75	33	415	56	1090
10.5	79	33.5	425	56.5	1120
11	84	34	436	57	1140
11.5	88	34.5	447	57.5	1170
12	93	35	457	58	1200
12.5	97	35.5	468	58.5	1220
13	102	36	479	59	1250
13.5	107	36.5	490	59.5	1280
14	112	37	502	60	1310
14.5	117	37.5	513	60.5	1340
15	123	38	524	61	1380
15.5	128	38.5	536	61.5	1410
16	134	39	547	62	1440
16.5	140	39.5	559	62.5	1480
17	146	40	571	63	1520
17.5	152	40.5	583	63.5	1560
18	158	41	596	64	1600
18.5	165	41.5	608	64.5	1640
19	171	42	620	65	1680
19.5	178	42.5	633	65.5	1730
20	185	43	646	66	1780
20.5	192	43.5	659	66.5	1820
21	200	44	672	67	1870
21.5	207	44.5	686	67.5	1930
22	215	45	700	68	1980
22.5	222	45.5	714	68.5	2040
23	230	46	728	69	2090
23.5	238	46.5	742	69.5	2160

塩化物イオン検知管 濃度算出表 2

SB-30 L: 変色層の長さ, C: 塩化物イオン濃度

L (mm)	Conc. (ppm)	L (mm)	Conc. (ppm)	L (mm)	Conc. (ppm)
1	2	24	64	47	198
1.5	3	24.5	66	47.5	203
2	4	25	69	48	207
2.5	4	25.5	71		
3	5	26	74		
3.5	6	26.5	76		
4	6	27	79		
4.5	7	27.5	81		
5	8	28	84		
5.5	8	28.5	86		
6	9	29	89		
6.5	10	29.5	91		
7	11	30	94		
7.5	11	30.5	97		
8	12	31	99		
8.5	13	31.5	102		
9	14	32	104		
9.5	15	32.5	107		
10	16	33	110		
10.5	17	33.5	112		
11	18	34	115		
11.5	19	34.5	118		
12	20	35	120		
12.5	21	35.5	123		
13	23	36	126		
13.5	24	36.5	129		
14	25	37	131		
14.5	27	37.5	134		
15	28	38	137		
15.5	30	38.5	140		
16	31	39	143		
16.5	33	39.5	146		
17	35	40	149		
17.5	37	40.5	152		
18	39	41	155		
18.5	40	41.5	158		
19	42	42	161		
19.5	44	42.5	164		
20	46	43	168		
20.5	48	43.5	171		
21	51	44	175		
21.5	53	44.5	178		
22	55	45	182		
22.5	57	45.5	186		
23	59	46	190		
23.5	62	46.5	194		

現在では、検知管以外にも現地において化学分析ができる簡便な道具が多数市販されている（その多くが環境試料を対象にした半定量分析用）。その中で温泉の調査・研究に利用価値が認められるものについては（例えば、溶存シリカのパックテスト）、今後積極的に検討を加えてみたい。

謝辞

光明理化学工業株式会社の岩崎禎氏は、塩化物イオン検知管に用いられている原理や濃度目盛の刻印の仕方について快く情報を提供され、論文への記述を許可された。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 大沢信二（1992）水溶液中の準安定硫黄化合物の挙動に関する地球化学的研究—火山学への応用—。
東京大学学位論文，185p.
- 大沢信二・由佐悠紀・大山正雄（2000）噴気ガスの化学組成から得られる箱根火山の地熱情報．温
泉科学，49：151—161.
- 湯原浩三・瀬野錦蔵（1969）温泉水の性質による分類．「温泉学」，pp7—14，地人書館，東京．

大分県中部火山地域における湧水・地下水の水文学的研究

日本文理大学環境科学研究所
河野 忠

要 旨

大分県中部地域における湧水・地下水について、自然科学的観点や温泉の涵養源、防災的な観点からも重要な基礎データを得ることを目的に、既存資料や聞き取り調査などから湧水・地下水を徹底的に洗い出し、現地調査を実施した200ヶ所近くのサンプルから水文学的な特徴を考察した。その結果、湧出量が非常に多く、水質はほぼ一定のパターンを示すことが解った。これは火山地域特有の性質を示しており、水質パターンなどから、堆積岩地域から湧出する湧水・地下水と容易に分離できると考えられる。

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などの堆積岩地域などがあり、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」の研究結果（河野，2000b）では、湧水の水文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 a）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学的特性を明らかにしておくことは、自然科学的観点のみならず、温泉の涵養源や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。河野（2001）では、南部の湧水と大分県内の湧水の概況を報告した。本年度は3年計画（総括を入れて4年）の中間年度に当たるので、詳細な検討は次々年度の最終報告に譲るが、中部地域の湧水の概況について報告する。

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く、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ものについては、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。測定困難な湧水は、目測により推定した。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。なおECは25℃の値に補正した。pH、RpHは比色法を用いたが、2000年前後からはHORIBA製Twin-pHを用い、pHのみの測定を行っている。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。

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+} 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 F^- 、 SiO_2 である。一部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と島津科学製PIA-1000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、pH4.8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。水質分析結果を表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・地下水の分布図を示す。河野（2001）で述べたように大分県の湧水・地下水の分布は次の三地域に分類できる。

- 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

これらのうち大分県中部地域にはまともって湧水が存在し、かつ大きな湧出量を有する地域が4つ存在している。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。

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

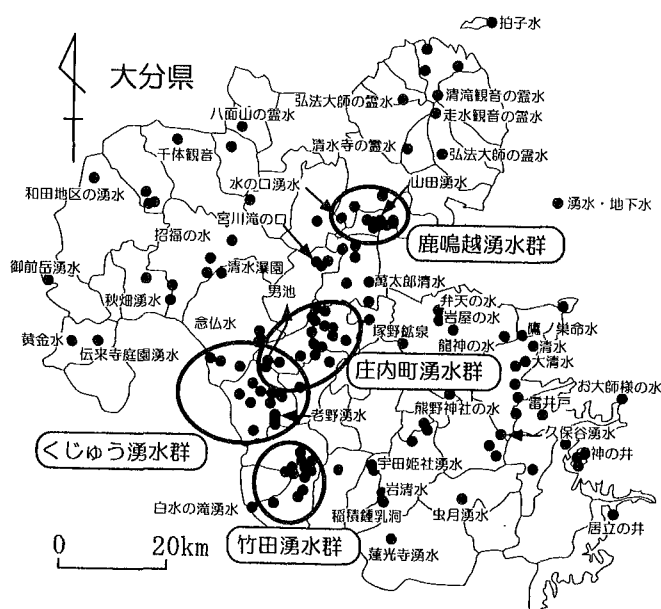


図1 大分県内の主な湧水・地下水の分布

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陽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（1996a）、河野ほか（1996b）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。

(2) 水質の特徴

図2に湧水・地下水のトリリニアダイアグラムを示す。大分県中部地域は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。ほとんどの湧水・地下水がCa-HCO₃型の水質を示し、大分県における火山地域の湧水・地下水は基本的に同じパターンを示すと考えて良いであろう。一部Ca-SO₄型を示すサンプルがあるが、これらは久住山周辺地域の火山活動の影響を受けていると考えられる湧水群で、熱水が混入する割合により、より強いCa-SO₄型を示している。その他のパターンを示すサンプルは挟在する堆積岩地域から湧出し、河野（2001）の中で指摘した南部地域の湧水群と共通した特徴を示す。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堆積岩地域の地下水水質はそれぞれ特徴が見られるので、容易に分離することが可能である。

大分県の湧水は中部地域に限らず伝説のある湧水が多いが、中部地域の湧水で特筆すべきものは、阿蘇火砕流に覆われた地域に、

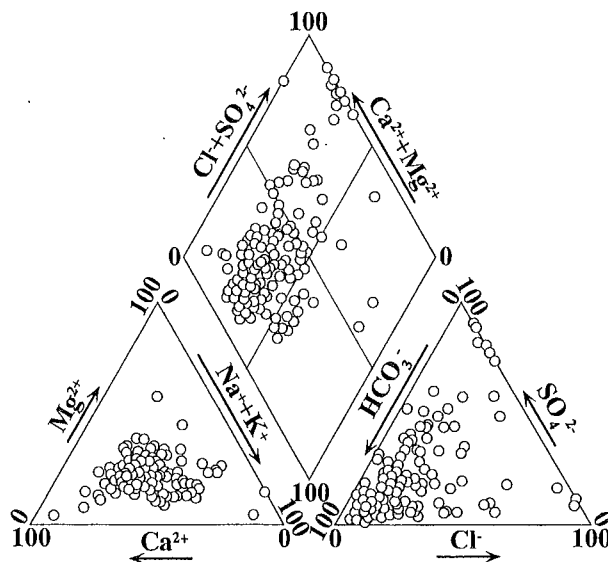


図2 トリリニアダイアグラム

「疣水」というイボや皮膚病に効能があるという水が多いことである。「疣水」は、これまでの調査で大分市斗代、臼杵市大清水、臼杵市深田、竹田市竈目権現、竹田市落水、竹田市疣水に知られている。阿蘇火砕流が溶結した凝灰岩から湧出する水は、比較的NO₃⁻濃度の高い傾向が認められる。医学的な因果関係は不明であるが、病気に効能のある水は特異な水質を示すことが多いことが解っている（河野、2000c）。

5. おわりに

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。この中で、大分県中部地域の湧水・地下水は多量の湧出量と一定の水質を示すことが特徴といえるであろう。

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り、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教授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る。

参考文献

- 河野 忠(1996 a)：大分県日出町の海底湧水と地下水．日本文理大学紀要，Vol.24，No.2，103～109.
- 河野 忠・田川豊治・藤原秀二(1996 b)：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.
- 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.
- 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.
- 北岡豪一・河野 忠(2000 a)：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(2000 b)：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(2000 c)：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(2001)：大分県南部地域湧水の水文化的研究．大分県温泉調査研究会報告，No.52，27～35.

大分県の地熱・温泉地帯に生息する好熱性微生物

— その1 温泉水中に生息する好熱性微生物 —

大分大学工学部応用化学科

大 上 和 敏・森 口 充 瞭

要 旨

大分県は、別府温泉をはじめ多くの地熱・温泉地帯に恵まれている温泉県である。これらの温泉地帯について、化学的・物理的側面から様々な研究が行われており、温泉水の成因や分布等について明らかになってきているが、生物学的な研究はほとんど行われていない。そこで本研究は、大分県の温泉水中に生息している好熱性微生物の分布状況の解析と、それらが有している新規な耐熱性酵素の探索を目的とし、別府市および大分市の温泉水から好熱性微生物の分離して、それらの遺伝子の塩基配列に基づいた系統学的分類を行った。

1 はじめに

地球上に存在する様々な環境には、そこに適度な水分があれば、それぞれの環境に適応した様々な微生物が生息している。その中には生物が生きていけるとは思えないような、いわば極限環境を好んで生きているものもある。火山や温泉地帯などのような高温環境には、好熱菌と呼ばれる高温の環境を好む微生物が生息しており、逆に南極大陸のような極端に温度が低い環境には、好冷菌と呼ばれる低温の環境を好む微生物が生息している。化学的な条件では、極端に酸性やアルカリ性の環境などに、好酸性菌、好アルカリ性菌と呼ばれる微生物類が生息している¹⁾²⁾。

このような特殊環境を好む微生物の中で、近年特に注目されているのが、高温環境を好む好熱菌・超好熱菌と呼ばれている微生物類である。例えば、土壌などに生息している *Bacillus stearothermophilus* (最高育成温度65~75℃) や、温泉水から単離された *Thermus thermophilus* (80℃以上) などは、広く温泉・地熱地帯等に分布している代表的な好熱菌である³⁾。最近では、ブラックスモーカー・ホワイトスモーカーと呼ばれる240~300℃の熱水が噴出している深海の熱水噴出口の周辺から、熱水と共に噴出されている鉄や硫黄を酸化することにより生命維持のエネルギーを得ている超好熱菌類もみつかっており、このような海底火山や海底熱水孔周辺の温度や化学的な条件が、原始の地球環境に似ていることから、これら超好熱性細菌に生命誕生の鍵が隠されているとも考えられている⁴⁾。また、好熱菌・超好熱菌の持っている酵素が、熱に対して安定であることから、これらの微生物が有している耐熱性酵素や、それらの遺伝子学的な情報を利用し、新しく設計された酵素が食品・医薬品の加工などへの工業的にも様々な分野で応用されている⁵⁾⁶⁾。

大分県は、別府温泉をはじめ多くの地熱・温泉地帯に恵まれている温泉県である。これらの温泉地帯について、化学的・物理的側面から様々な研究が行われており、温泉水の成因や分布等について明らかになってきている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。しかし、生物学的な研究はほとんど行われておらず、新規な耐熱性酵素を有する好熱性細菌の探索を行うには絶好のフィールドである。そこで本研究では、火山性温泉である別府市の温泉水と、非火山性温泉である大分市の温泉水から、それらに生息している好熱性微生物を分離し、温泉水の化学組成ごとにそれらの分布状況の検討を行った。

2 実験方法

試料の採取

別府市に分布している温泉は、鶴見岳を熱源とする火山性の温泉である。高温でナトリウムイオンと塩化物イオンに富んだ食塩型の熱水を中心とし、それから分離した硫化水素や二酸化炭素が地下水等に吹き込むことにより形成されている硫酸酸性型温泉と炭酸型温泉が、海岸線に向かって流下している⁸⁾⁹⁾。一方、大分市に分布している温泉水は、地下深部まで掘削し、水成堆積層の深部に古くから貯留している熱水を地表まで汲み上げた、深層熱水型と呼ばれる非火山性の温泉である。

別府市および大分市の温泉水試料の採取地点を図1および図2に示す。検討に用いた温泉水試料は、周辺の細菌等の汚染を防ぐため、可能な限り泉源に近いところより採取した。試料は化学分析用として250mlをポリエチレン製サンプル瓶に、微生物単離用には、滅菌処理した10mlスチロール製サンプル瓶にそれぞれ採取した。

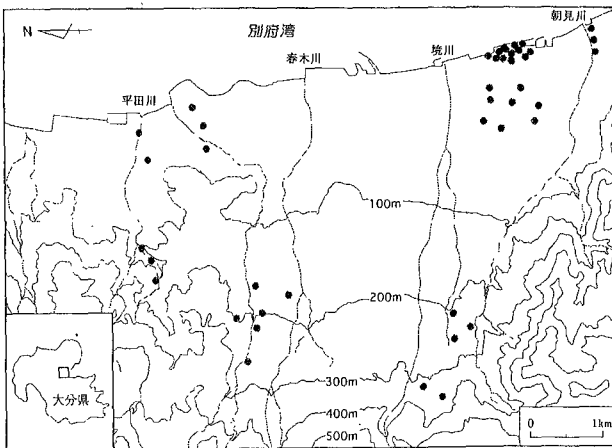


図1-1 試料採取地点（別府市）

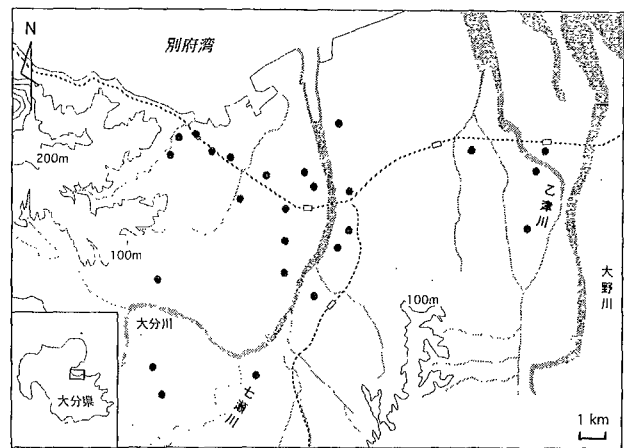


図1-2 試料採取地点（大分市）

温泉水の化学組成

温泉水の化学組成は、Na、K、Mg、Ca、Cl、SO₄については、イオンクロマトグラフィー（DIONEX社製 DX-100）で分析し。SiO₂は、モリブデン酸法による吸光度法で、HCO₃については、pH4.3アルカリ度法で定量を行った。

温泉水中の微生物の分離

採取した温泉水試料をスクリーニング培地（pH 6.8：可溶性デンプン 0.5%、(NH₄)₂SO₄ 0.5%、KH₂PO₄ 0.1%、K₂HPO₄ 0.1%、MgSO₄・7H₂O 0.01%、酵母エキス 0.05%）に植菌し、24時間、60℃で振とう培養した。液体培地が白濁したものについて、培養した液体培地100μlをプレート培地（pH 6.8：可溶性デンプン 0.5%、(NH₄)₂SO₄ 0.5%、KH₂PO₄ 0.1%、K₂HPO₄ 0.1%、MgSO₄・7H₂O 0.01%、酵母エキス 0.05%、寒天 2%）に塗布し24時間、60℃で静置培養した。培養後、プレート培地上にコロニーを形成しているものをプレート培地と同じ組成の保存用斜面培地に植菌し保存した。

細菌の系統分類

単離した菌株について、生物の系統分類の指標として広く認められているリボソームRNA遺伝

子 (16S rRNA) の塩基配列を、ダイレクトシーケンスにより解析した¹⁰⁾¹¹⁾。得られた配列データをインターネットを通じて国立遺伝学研究所生命情報研究センターの日本DNAデータバンク (DDBJ) へ送信し、分離菌の系統分類を行った。

3 結果と考察

温泉水は、主要陰イオンである塩素イオン (Cl^-)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-}) によって、塩化物泉、重炭酸塩泉、硫酸塩泉と大きく3種類に分類され、さらに主要陽イオンを組み合わせるにより細かく分類することができる。そこで、別府市と大分市の温泉水それぞれについて、化学組成別に菌体の生育状況および分離できた菌株の系統分類を行った。

別府市から採取した温泉水では、55試料のうち25試料の温泉水を添加した液体培地から細菌の生育がみられた。これらのうち19試料でプレート培地上にコロニーを形成したので、菌株を分離することができた。温泉水の化学組成別では、 $\text{Na}-\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 型の温泉水は全ての試料から生育がみられ、次いで $\text{Na}-\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}$ 型、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の温泉水からも比較的多くの試料から生育がみられた (表1-1)。16S rRNA遺伝子の塩基配列をに基づく系統分類では、 $\text{Na}-\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 型、 $\text{Na}-\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}$ 型の温泉水から、代表的な好熱菌類である *Thermus* 属に属する細菌が多く分離できていた。一方、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型およびその他の化学組成の温泉水からは、*Bacillus* 属の細菌類が多く分離できていた (表2-1)。

大分市の温泉水では、26試料のうち11試料の温泉水を添加した液体培地から菌体の成育がみられ、そのうち10試料からプレート培地上のコロニーとして菌株を分離することができた。化学組成別にみると、 $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の温泉水では3試料から、 $\text{Na}-\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 型の温泉水では7試料から $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型では2試料からそれぞれ細菌の生育がみられた (表1-2)。16S rRNA遺伝子の系統分類では、別府市の温泉水とは分離できた菌株の種類の傾向が異なっており、*Thermus* 属の細菌は $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の温泉水にみられ、*Bacillus* 属の細菌は $\text{Na}-\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 型の温泉水から分離できていた (表2-2)。

別府市と大分市では、温泉水の化学組成と分離できた菌株の系統性に違いがあることについて、現段階では明確な答えをだすことができない。しかし、理由の一つとしては、別府市の温泉は地下のマグマを熱源とする火山性温泉であるのに対し、大分市の温泉水はフミン酸等の有機物質を多く含んだ深層熱水型の温泉水であることが関係していると考えられる。

表1-1 別府市の温泉水の化学組成

No.	W.T (°C)	pH	Type of thermal water	(mg/l)									Total	growth of bacterium
				Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂			
1	0.3	7.7	Na-Cl	1090	104	0	117	1960	225	55.1	318	3869.1		
2	62.0	6.3		1440	187	2	46.5	2300	307	10.5	117	4410.0		
3	100.0	6.3		1410	181	2	45.9	2240	306	12.2	126	4323.1	* †	
4		6.5		1360	181	1.8	50.9	2230	302	13.4	143	4282.1		
5	98.2	6.9		1250	78.9	0	83.2	2220	146	27.1	89.7	3894.9		
6	98.4	4.3		1240	187	3.4	49.7	1980	350	0	434	4244.1	* †	
7	97.5	3.1		1180	163	5.5	47.4	1700	443	0	467	4005.9		
8	89.8	6.7		441	30.8	11.1	72.1	664	207	24.2	252	1702.2	*	
21	45.7	7.3	Na-Cl・HCO ₃	736	81.3	80	165	1420	72.5	643	135	3332.8	*	
22	43.0	7.8		278	37.8	15.2	41.6	379	74.6	182	153	1161.2	* †	
23	54.1	7.6		703	74.9	30.8	108	955	81.5	664	137	2754.2	* †	
24	56.8	7.1		145	15.5	5.2	17.9	158	64.9	156	114	676.5	* †	
25	40.3	7.9		333	33.2	53.2	78.1	456	51.3	514	123	1641.8	* †	
26	54.1	7.7		250	22.8	2	11.8	216	133	210	143	988.6	* †	
27	77.6	8.3		211	20.8	1.1	13.3	197	80	216	126	865.2	* †	
28	40.1	8.0		386	39.7	6.1	26.5	228	147	532	142	1507.3	*	
29	50.9	7.8	Na-HCO ₃ ・Cl	411	39.4	11.7	40.6	345	14	715	131	1707.7	* †	
30	89.7	8.4		299	14.9	0.2	1.3	189	67	444	151	1166.4		
31	53.0	7.7		341	67.7	34	60.6	280	95.9	717	138	1734.2		
32	55.2	7.9		271	38.3	2	13.7	139	100	443	123	1130.0		
33	53.7	7.3		327	66.7	37.1	82.9	240	126	808	138	1825.7	* †	
34	53.9	7.9		292	30.6	7.6	26.4	123	119	500	104	1202.6	*	
35	55.8	7.2		138	15.2	21.7	35.6	99.8	59.9	390	125	885.2	* †	
36	52.3	7.8		351	52.9	16.6	60.8	220	35.4	755	104	1595.7		
37	45.5	7.3		306	77.2	46.2	76.5	219	89	900	118	1831.9		
38	58.0	7.7		279	39.8	28.9	46.0	140	64.7	692	160	1450.4		
39	48.1	7.7		318	48.9	63.8	85.4	316	60.1	781	138	1811.2	* †	
40	49.8	7.1	Na-HCO ₃	125	13.7	20.6	35.7	41.7	53.8	458	149	897.5		
41	46.3	7.5		150	14.8	22.3	39.9	45.7	49.7	490	143	955.4	* †	
42	56.5	7.1		161	22	23.5	42.0	41.5	56.2	538	159	1043.2	* †	
43	50.2	7.1		126	15.8	21.7	38.3	33.4	54.3	468	146	903.5	*	
44	52.4	7.9		237	18.2	24.2	36.9	102	59.3	620	148	1245.6	*	

*液体培地に細菌が生育したもの

†プレート培地に細菌が生育したもの

表 1 - 1 別府市の温泉水の化学組成

No.	W.T (°C)	pH	Type of thermal water	(mg/l)									Total	growth of bacterium
				Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂			
13	36.3	3.7	Na—Cl · SO ₄	755	113	7.2	48.6	1150	359	0	452	2884.8		
14	92.6	8.2		699	62	0.5	18.6	731	266	102	208	2087.1		
15	52.4	7.1		111	13.3	11.3	22.5	148	79.3	56.1	79	520.5	* †	
16	61.2	2.6		571	109	19.6	56.7	921	600	0	173	2450.3		
17	58.9	3.6		611	75.1	9.3	97.3	802	601	0	148	2343.7		
18	65.3	7.0		396	59.2	20.9	52.2	440	341	160	208	1677.3		
19	66.2	6.0		387	71.3	11.7	52.5	466	400	8.3	150	1546.8		
20	57.0	7.4		245	24.1	9.5	35.2	227	231	139	110	1020.8		
50	49.0	5.9	Na—SO ₄ · Cl	151	29.8	6.2	19.8	152	213	20.5	143	735.3		
51	53.3	3.4		155	33.5	5.9	15.4	158	236	0	146	749.8		
52	54.0	3.2		152	35.7	5.9	15.3	157	240	0	143	748.9		
53	72.9	7.7		465	21.9	1.3	42.4	342	532	126	94.9	1625.5	* †	
9	52.2	7.2	Na · Ca—Cl	1560	165	265	668	4410	223	525	133	7949.0	* †	
10	55.1	7.4		895	118	173	337	2470	89.2	519	139	4740.2	* †	
11	41.5	7.3		174	23.9	56.5	94.1	452	80.2	148	149	1177.7		
45	48.2	7.4	Na · Ca—HCO ₃	113	26.5	23.3	49.6	38.8	58.4	410	141	860.6		
12	42.5	7.0	Na · Mg—Cl	933	60	184	163	1780	241	500	120	3981.0		
46	54.5	7.2	Na · Mg—HCO ₃	162	21.4	48.3	64.3	77.7	39.6	649	141	1203.3		
47	46.3	7.9		117	12.5	25.1	38.1	51	59.8	432	139	874.5	* †	
48	33.3	5.8	Mg · Ca—HCO ₃	45.2	11.4	30.9	45.2	37.5	175	264	123	732.2		
49	42.0	2.5	Ca · Mg—SO ₄	13.8	7.9	9.8	27.3	470	631	799	147	2105.8		
54	55.8	2.7	Ca · Na—SO ₄	40	9.4	10.8	36.9	13	356	0	93.1	559.2		
55	89.5	3.2	Ca · Mg—SO ₄	16.2	4.3	16.5	36.8	1.2	322	0	97.9	494.9		

* 液体培地に細菌が生育したもの

† プレート培地に細菌が生育したもの

表1-2 大分市の温泉水の化学組成

No.	W.T (°C)	pH	Type of thermal water	(mg/l)									Total	growth of bacterium
				Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂			
1	45.3	7.4	Na-Cl	2100	282	121.0	443.0	4550	171.0	216	119	8002.0		
2	44.0	7.9		1190	13.4	12.5	62.0	1960	0.5	309	45.1	3592.5	* †	
3	48.1	8.0		1430	17.1	7.6	95.1	2140	0.2	405	77.6	4172.6	* †	
4	45.2	7.5		928	92.7	2.9	35.9	1350	0.4	295	134	2838.9		
5	43.4	7.5		353	42.8	4.8	31.0	514	35.5	142	119	1242.1		
6	54.7	8.3		543	49.1	0.0	13.0	711	25.3	281	150	1772.4	* †	
7	44.8	8.0	Na-Cl · HCO ₃	846	92.8	0.5	16.9	1160	1.8	492	139	2749.0	*	
8	42.9	6.7		5330	369	751.0	539.0	9340	0.0	4460	120	20909.0	*	
9	57.3	8.1		765	92.6	14.7	0.4	1010	2.0	541	132	2557.7	* †	
10	35.3	7.4		1500	127	34.9	87.5	2030	0.0	1330	135	5244.4		
11	46.0	8.0		502	26.5	0.2	4.6	556	1.4	395	107	1592.7		
12	43.2	8.3		792	34.1	2.8	13.5	907	0.3	686	78.2	2513.9	* †	
13	45.8	8.2		721	42.1	1.0	15.3	685	0.7	813	124	2402.1	* †	
14	37.2	6.8		1150	46.2	131.9	89.7	1250	0.0	1950	90.4	4708.2	* †	
15	57.5	8.2	Na-HCO ₃ · Cl	374	51.3	0.4	5.5	240	0.8	659	127	1458.0	* †	
16	28.9	7.6		471	22.8	18.7	50.1	344	0.0	987	79.3	1972.9		
17	18.1	7.8		177	36.8	21.9	28.9	141	5.9	479	71.3	961.8		
18	39.4	8.1	Na-HCO ₃	330	66.8	1.0	9.2	112	0.8	818	161	1498.8		
19	35.2	8.3		423	28.1	5.6	1.0	78.5	0.6	1030	129	1695.8	* †	
20	44.8	8.2		55.3	7.2	0.0	1.7	6.8	3.0	151	125	350.0		
21	45.9	7.6		189	28.2	0.1	2.6	21.5	1.4	463	143	848.8		
22	50.3	8.0		296	52.5	0.3	4.8	29.8	1.1	749	132	1265.5		
23	51.4	8.0		288	62.9	0.2	6.5	25.2	2.1	794	157	1335.9		
24	37.2	8.3		211	30.8	0.3	3.9	12.9	3.1	560	108	930.0	* †	
25	35.0	7.9		288	43.5	0.2	5.7	18	1.0	786	125	1267.4		
26	37.7	8.1		245	46.8	0.1	5.4	12.3	2.1	647	136	1094.7		

*液体培地に細菌が生育したもの

†プレート培地に細菌が生育したもの

表 2 - 1 別府市の温泉水から分離した菌株の系統分類

type of thermal water	isolated organisms		species
Na - Cl		—	No. 1
		—	No. 2
Na—Cl · HCO ₃	<i>Proteobacteria Gamma subdivision</i>	<i>Serratia marcesce</i> : 97.6%	No. 8
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Meiothermus silbanus</i> : 100.0%	No. 9
	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 97.1%, <i>Bacillus sp.</i> : 94.6%	No. 10
	<i>Proteobacteria Beta subdivision</i>	<i>Tepidimonas ignav</i> : 98.9%	No. 11
		—	No. 12
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Meiothermus ruber</i> : 100.0%	No. 13
Na—HCO ₃ · Cl	<i>Proteobacteria Beta subdivision</i>	<i>Dehydroabietic acid-degrading bact</i> 95.8%	No. 14
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Thermus sp.</i> : 98.7%	No. 15
		—	No. 16
Na—HCO ₃		—	No. 17
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Deinococcus geothermalis</i> : 100.0%	No. 18
	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 97.8%, <i>Bacillus sp.</i> : 96.3%	No. 19
Na—Cl · SO ₄	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>B. subtilis</i> : 97.7%	No. 7
Na—SO ₄ · Cl	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 96.3%, <i>Bacillus sp.</i> : 94.4%	No. 22
Na · Ca—Cl		—	No. 3
	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 96.4%, <i>Bacillus sp.</i> : 94.0%	No. 4
	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 97.6%, <i>Bacillus sp.</i> : 95.7%	No. 5
		—	No. 6
Na · Mg—HCO ₃	<i>Proteobacteria-Gamma subdivision</i>	<i>Serratia marcescens</i> : 97.3%, <i>Escheria coli</i> : 95.9%	No. 21

—:not analyze

表 2 - 2 大分市の温泉水から分離した菌株の系統分類

type of thermal water	isolated organisms		species
Na - Cl	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Deinococcus geothermalis</i> : 99.4%	No. 23
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Meiothermus ruber</i> : 99.2%	No. 24
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Meiothermus ruber</i> : 99.2%	No. 25
	—	—	No. 26
	—	—	No. 27
Na—Cl · HCO ₃	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Thermal soil bacterium</i> : 96.7% , <i>Bacillus sp.</i> : 94.6%	No. 29
	<i>Proteobacteria-Gamma subdivision</i>	<i>Serratia marcescens</i> : 99.2%	No. 30
	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Brevibacillus agri</i> : 96.8%	No. 31
	—	—	No. 32
Na—HCO ₃ · Cl	—	—	No. 33
Na—HCO ₃	<i>Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus subdivision</i>	<i>Brevibacillus agri</i> : 100.0%	No. 34
	<i>Deinococcus-Thermus Subdivision</i>	<i>Meiothermus ruber</i> : 96.1%	No. 35

—:not analyze

6 引用文献

- 1) 小沢正昭：ミクロ生物の不思議な力，研成社（1982）
- 2) 畝本 力：特殊環境に生きる細菌の巧みなライフスタイル，共立出版株式会社（1987）
- 3) 大島泰郎：好熱性細菌，東京大学出版会（1978）
- 4) 山中健生：無機物だけで生きてゆける細菌，共立出版株式会社（1987）
- 5) 野本政雄：酵素工学，学会出版センター，75-132（1993）
- 6) 堀越弘毅：極限微生物—新しい遺伝子資源—，講談社，138-166（1988）
- 7) 湯原浩三，瀬野錦蔵：温泉学，地人書館（1969）
- 8) Yusa, Y., Ohsawa, S., Kitaoka, K.: Long-term changes associated with exploitation of the Beppu hydrothermal system, Japan, *Geothermics*, 29, 609-625 (2000)
- 9) Allis, R. G., Yusa, Y.: Fluid flow process in the Beppu geothermal system. Japan., *Geothermics*, 19, 743-759 (1989)
- 10) Kolbert, P. C.: Ribosomal DNA sequencing as a tool for identification of bacterial pathogens. *Current Opinion in Microbiology.*, 2: 299-305 (1999)
- 11) 篠田吉史，加藤暢夫，森田直樹：16S rRNA遺伝子解析による細菌の系統分類法，島津評論，57；121-132（2000）

温泉利用の出来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

— (Ⅳ)総合リハビリテーション施設へのアプローチと温泉の利用に関して —

国立別府病院リウマチ膠原病センター
安田正之

要 旨

国立別府病院リハビリテーション施設の収入を総合リハビリテーション施設としてシミュレーションすると、理学療法では約24%の増収となる。一方で、温泉浴と泥浴は削除され、ホットパックとハード浴は温泉熱利用型から電気加熱型となり、温泉利用は運動浴のみとなっている。より高いレベルのリハビリテーションと収入を得るためには、PT/OTによるマンツーマン指導と早期加算をはじめとする各種加算を採り入れることが必要である。大きな問題となると危惧されることは、このような視野には“健康増進”が入ってこないことである。

1. 目 的

本研究会において3年間にわたり、温泉を利用できる医療機関における温泉の利用方法について検討してきた(第48^報、49^報、50号^報)。平成14年4月の保険改訂により、リハビリテーションは入院医療に特化した、より早期からのPT/OTによる関わりが条件とされるように変化しつつある。我々は、平成13年度において、当院を総合リハビリテーション施設として格上げしてその中に温泉治療をいかに組込むかを検討してきたので報告する。

2. 成 績

1) 総合リハビリテーション施設による収入増

平成13年7-10月のリハビリテーション施設の収入を、表1に従い総合リハビリテーション施設としてシミュレーションすると、理学療法では、約24%の増収となる。また、九州管内の総合リハビリテーション施設であるA施設では、当院よりも取扱件数が少ないにも拘わらず高収入を得ている(図1)。この点からしても総合リハビリテーション施設に格上げすることは大きなメリットを有している。ただし、総合リハビリテーション施設であるためには、現3名のPTが5名に、現2名のOTが3名(精神科リハビリテーションも行うので4名)になることが必要である。

表1 現施設基準(Ⅱ)と総合リハビリテーション(Ⅰ)との点数比較

		理学療法 (Ⅰ)	理学療法 (Ⅱ)	作業療法 (Ⅰ)	作業療法 (Ⅱ)	一 件 あ た り 増 収
複 雑	6ヶ月内	660点	530点	660点	530点	130点
		710点	580点	710点	580点	130点
	6ヶ月超	570点	480点	570点	480点	90点
		600点	510点	600点	510点	90点
簡 単	6ヶ月内	185点	170点	185点	170点	15点
		200点	185点	200点	185点	15点
	6ヶ月超	170点	155点	170点	155点	15点
		175点	160点	175点	160点	15点

早期理学療法(Ⅰ)	早期理学療法(Ⅱ)	一件あたり増収
710点	590点	120点
760点	640点	120点

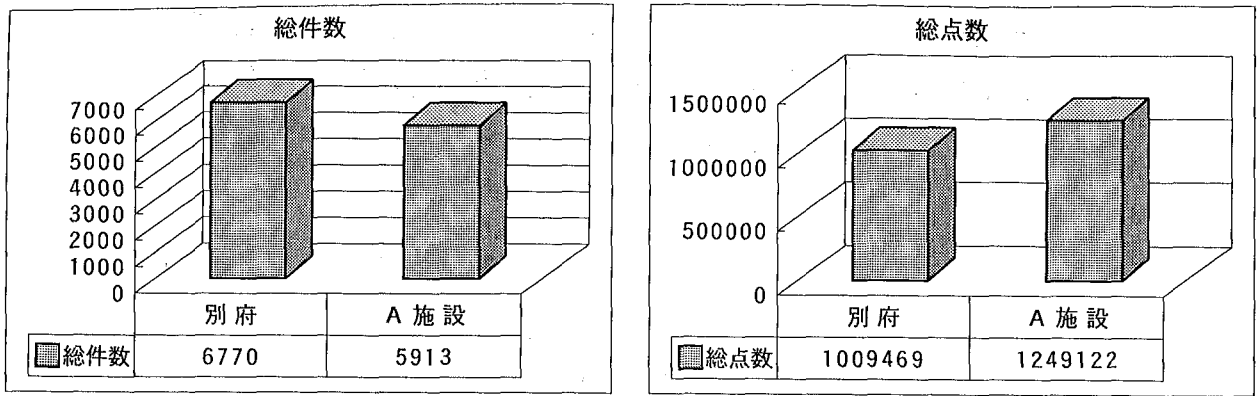


図1 国立別府病院と総合リハビリテーション施設との比較

2) 温泉治療の組み込み

この中に温泉治療を組み込むことになるが、現実には、現施設中の温泉浴と泥浴は削除し、ホットパックは温泉熱利用型から電気加熱型となり、ハバード浴も電気加熱型となっている(図2)。さらに、運動浴室内に設置された小浴槽は(図2)、保清(風呂)目的に利用されていたが、リハビリ職員が監視していることが不可能であるため、リハビリテーション手段から除外し、看護婦の責任の下での例外的な保清利用に限定された。

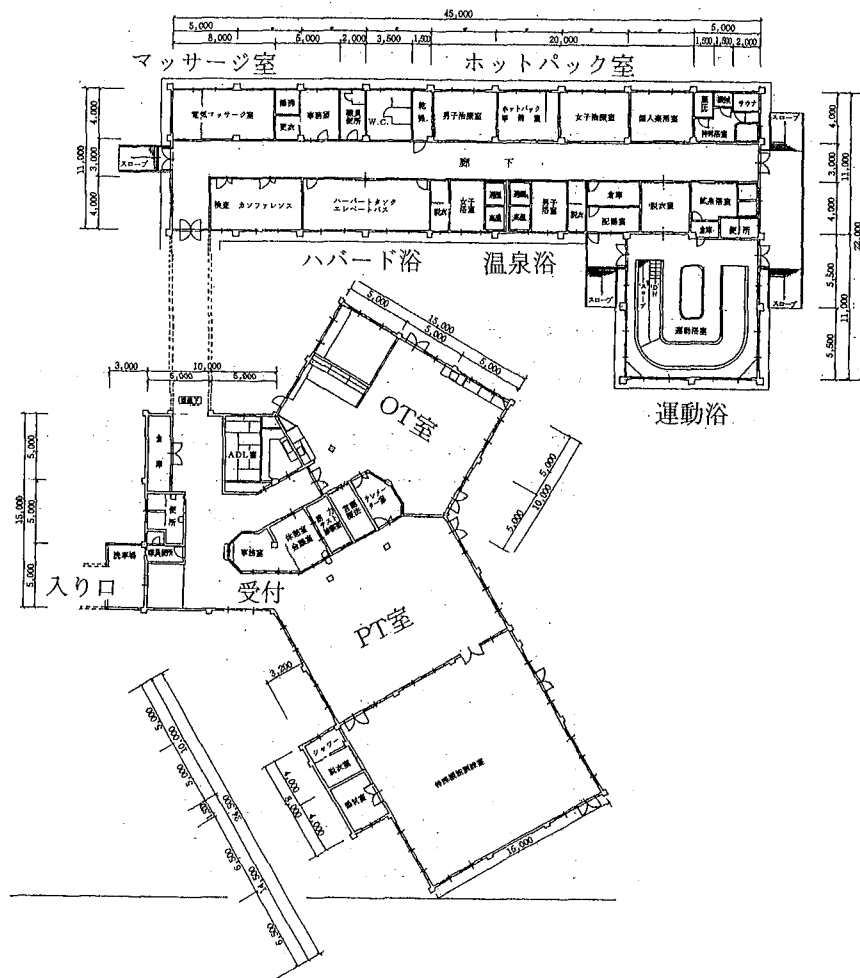


図2 現施設

この結果、温泉を利用するのは、運動浴のみとなっている。その運動浴は、時に浴槽外からの監視の下に訓練を行うが、原則として訓練士が浴槽に入っているマンツーマンの指導とし、自主訓練は制限する方向にある。助手たちによる訓練は、床や種々の器具を使った筋力訓練、ROMの改善などの訓練が中心となってゆく。PT/OTは、訓練施設での直接指導と病棟での早期リハビリテーションを目的に、病棟でのリハビリテーションへとシフトしてゆくことになる。

3. 考察

1) 今後の取り組み

より高いレベルのリハビリテーションと収入を得るためには、PT/OTによるマンツーマン指導を原則とし、超早期・早期加算をはじめとする各種加算を採り入れることが必要である。また、現在の主対象である慢性関節リウマチや整形外科的疾患における四肢機能（運動機能）訓練や脳血管障害後遺症に対する訓練のみならず、心疾患、糖尿病、呼吸器疾患、人工関節手術前後の訓練を積極的に採り入れる必要がある。これらにより、計3名（精神科リハビリを含めば4名）の増員に対する複雑リハビリテーションのニーズを十分に提供できると思われる。なお、言語・嚥下訓練は、OT訓練の一つとして積極的に取り組むべき領域である。

2) 温泉を利用したリハビリテーションの将来

保険診療による収入を得られない訓練を続けることは困難であるし、水治療に対する特別の扱いはないので、キーワードは、運動浴槽における監視下での運動療法や運動浴内でのマンツーマン指導をいかに採り入れるかにかかっている。問題は、保険診療の適応を考える視点からは、“健康増進”が視野に入っていないことである。温泉浴により心身をリフレッシュさせることは、51号⁴⁾、52号⁵⁾の報告のように起炎物質であるIL-6の低下を伴っており、客観的な事実としてその効果を示すことが出来ている。単なる水と温熱としての温泉利用では収入に結びつかないので、リハビリテーションにおける温泉の利用・活用を展開をするためには、温泉利用により改善される事実を科学的観察に基づく証拠として提示しようと常に念頭に置いて取り組むことが大きな課題の一つであろう。

参考文献

- 1) 安田正之. 温泉利用の出来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-. 大分県温泉調査研究会報告 48: 53-58, 1997.
- 2) 安田正之. 温泉利用の出来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-. 大分県温泉調査研究会報告 49: 27-30, 1998.
- 3) 安田正之. 温泉利用の出来るリハビリテーション施設における問題点と将来の方向性に関する検討(III). 大分県温泉調査研究会報告 50: 33-36, 1999.
- 4) 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書 51: 35-37, 2000.
- 5) 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(II). 大分県温泉調査研究会報告 52: 45-47, 2001.

環境行政と温泉法・温泉権(完稿)

— 21世紀へ向けての回顧と展望 —

(元大分大学)

大野保治

要 旨

本稿は、平成9(1997)年より「環境行政と温泉法・温泉権—21世紀へ向けての回顧と展望—」と題するシリーズの第6回で、最終稿である。

大分県下の「温泉をめぐる環境行政の推移」を第1回に、「戦後の温泉法・温泉権の展開」を第2回、「温泉の権利に関する諸問題」の第3回とつづく。以上が当該シリーズの前半で総論的把握であるのに対して、後半は県下の温泉地それぞれの現状把握(認識)と将来展望(予測)を筆者なりに試みたもの、である。

昨年(2001年)春、県下各界の代表者から成る温泉管理検討懇話会の意見を聴いて纏めた県生活環境部の『大分県温泉管理基本計画』が公刊されたのを機会に、本シリーズを完稿として締め括ることにする。

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・温泉権の展開

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 別府温泉と温泉源の保護

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

(以上「会報」第49・50号所収)

2 別府温泉の将来展望

(以上「会報」第51号所収)

3 湯平温泉と集中管理問題

(以上「会報」第52号所収)

V 総 括

はじめに

1 「大分県温泉管理基本計画」の概要

2 温泉地の諸タイプの分類

3 各型の温泉地の特性と具体的施策について

4 温泉行政のさらなる推進と検討課題

5 結 び

(以上本号掲載)

V 総 括

はじめに

筆者の課題報告シリーズは、頭初、第5回をもって完稿の予定であった。ところが執筆の過程で、別府市の3特別保護地域および2保護地域の調査研究に予想外の時間がかかり、加えて筆者の健康上の理由もあって、予定どおり完稿をみななかったことを深くお詫びする。

昨年（2001年、平成13年）3月、大分県生活環境部（同名課）に成る「大分県温泉管理基本計画」が発刊された。その検討懇話会委員の1人に選ばれたこともあって、急遽、当初の計画を変更して、これまでの5編の〈総括〉として当該「計画書」の要諦と考えられる2項目を基軸に、本稿を纏めることにした。時宜に合った県当局の計画書なので、県下の温泉関係者に深い認識と将来を展望する一助ともなれば、と念願する次第である。会員諸兄の何ぶんのご海容を願いたい。

1 「大分県温泉管理基本計画」の概要

この「基本計画」書は、大分県の行財政運営の総合的指針として、平成11年（1998）12月に策定した「おおいた新世紀創造計画」及び平成10年（1997）3月に策定した大分県環境基本計画「豊の国エコプラン」に掲げた目標―「温泉資源の保護と適正利用の推進」を達成するために必要な策定を示すとともに、21世紀の本県の温泉行政の基本計画とするものである（冒頭第1節「計画の基本的な考え方」より）。

この計画には、大別して①県がおこなう施策・事業はもとより、②市町村が主体となる施策から③県民自らが実施すべき事項がコンパクトに系統的に纏められている。

そのため、計画の推進と実施に際しては、市町村の積極的な参画が期待されるとともに、県民に対しても、この計画に示す考え方や施策について理解と協力を求めている。

当該基本計画の「目標」は、およそ次のとおりである。

（第2節）温泉資源の保護を図りながら、温泉の有効・適正利用に努め、もって県民の健康と福祉の増進に寄与することを目的とする。

―これまで本シリーズの諸箇所でも述べしてきたように、我々のふるさと「大分県」は自然環境に恵まれ、特に温泉資源が豊富で、県下58市町村の中で温泉の湧出をみているのは実に39市町村（平成14年3月末現在）に達し、源泉数は、日本一の全国屈指の“温泉県”である。

温泉をこよなく愛する日本人、そして県民は、本県でも浴用を中心に、疾病等の治療手段から観光資源、さらに農産業まで広範多岐にわたって利用してきた。近年では、オイルショック（第一次・二次の昭和50年代）以来、クリーンなエネルギー資源としても注目を集め、また農業領域（温室栽培用や養魚場など）でも多様な利用を展開してきていることは、ここに指摘するまでもないところである。

とりわけ、温泉資源は高齢者の増加による福祉施設での活用と若壮年者層の余暇利用の増大にともない、県民の「健康づくり」の一環として再認識されてきている。一面、掘削技術の進歩によってこれまで湧出をみななかった地域でも温泉が実現し、その結果、地方分権と「地域振興」の視点からも新たな温泉利用の展望が開かれている。本稿シリーズの意図と課題意識も、まさにこの点に在った。

こうした社会環境から、温泉を取りまく自然環境問題も複雑多様化してきている。有限な温泉資源の保護と適正利用のために、今後21世紀の温泉行政の指針となる当該「基本計画」の策定は、緊急を要するものであった。当該計画の示す方向性を基軸として、市町村の参画はもとより県民1人ひとりの問題意識を高めることが何より肝要となってきたのである。

2 温泉地の諸タイプの分類

全国ではもちろん、大分県下でも「〇〇温泉（地）」と自称する温泉場は決して少なくない（稿末の「表」参照）。

これら数多くの温泉地を整理し、その効率的利用を高めるためにも当該温泉地の特徴（特異性）を総対的・系統的に把握し、広く世にPRすることが「大衆（マス・メディア）社会」の今日、傍観できないところであろう。

だが、その作業に当たり、温泉地の何をメルクマール（指標）とし、どのようなカテゴリー（ギリシャ語の「カテゴリー」から出た述語。一般的概念、例えば実体・因果関係・値・量など）に分類するかとなると、事はさほど容易ではない。

そのような難題はさて置き、全国的に共鳴を呼び、共通の社会通念から是認されてきた（将来も是認されるであろう）ような温泉地の評価を基準にした「分類」なら、必ずしも不可能とは考えられない。叙上のごとき趣旨に適う分類手法として、当該「基本計画」は、以下の7つのカテゴリーを抽出している。

- | | |
|-----------|-------------|
| ①観光都市型温泉地 | ⑤療養型温泉地 |
| ②リゾート型温泉地 | ⑥地熱利用型温泉地 |
| ③秘湯型温泉地 | ⑦農村（漁村）型温泉地 |
| ④湯治場型温泉地 | |

このような分類カテゴリーに抛り、当該温泉地の特異性の実態なり問題点、また施策はどうあるべきか等に検討を加えてみることにしたい。

その前に、7タイプの中での「相関性」に触れることにする。①の観光都市型と⑦の農村（漁村）型とは、温泉地の立地条件が「都市か農村（漁村）か」の対極的關係にあり、②リゾート型と秘湯型の2タイプも人文地理的要因に因る視点での相違である。さらに④湯治型と⑤療養型とは、その温泉地のもつ医療効果の視点からの抽出である。⑥の地熱利用型のそれは、地下温泉源のもつ特性（熱エネルギー）を産業面に利用する、いわば亜種に属する特殊型として掌握することが可能であろう。

これらの温泉（地）の立地や効能・利用目的などに因る7つの分類化（概念の系統的整理と構成）は、もとより1温泉が1つの型に専属するといったものではなく、2ないし3のカテゴリーに分属する。例えば広義の別府温泉、すなわち「別府八湯」はそれぞれの温泉が特有の性格を持っていることから、⑥の地熱利用型の特殊型を除き、全ての5型を併せ持つ包括的温泉地と規定できよう（⑥の型も将来、実現可能性をもっていることは否定できない）。

3 各型の温泉地の検討と具体的施策

前節のような分類体系により、県下39市町村に湧出する温泉地について、①「どのタイプに属するか」、②「そこには温泉行政上、どのような社会的要請—温泉利用が求められるか」で、具体的な検討の作業を進めてみることにしたい。

① 観光都市型温泉地—別府温泉（狭義）

筆者のこれまで5回にわたる報告の中で、とりわけ問題視してきたのは、説くまでもなく別府温泉のそれであった。当該「基本計画」もまた、そのような幅広い視点からコンパクトに、かつ具体的施策を有効にまとめておられるので、次に紹介する。

①の型の基本的特徴として、まず「観光資源となり得る温泉をもっている観光地」として定義する。この上で、さらに「温泉のシンボルとなる諸施設をつくり、観光客の印象に残ることが重要である」と提言する。例えば古都・京都では千を越えるといわれる神社仏閣があり、史蹟の多い奈良には、その代表的建造物として東大寺の大仏殿がある（別府温泉では「湯けむり」の原風景）。提言は、さらに続く。「地獄や多種多様な温泉資源をもつ地域では、これらと温泉利用施設とを結びつけることにより、温泉利用客の増加を目指す」、と。その具体例として「例えば史跡・文化財（建造物等）の多い地域に遊歩道等を整備し、観光ルートを設けるなど温泉と観光を結びつける取り組みをすること」が挙げられている。この点、最近の別府亀川温泉でのシンボリックな「浜田温泉の建物保存」が有識者のグループで叫ばれ、市当局の配慮で検討が加えられていることは喜ばしい。

つづいて「自然の恩恵を受ける観光資源となっている温泉地も多いので、特に温泉資源の保護対策については厳しいものとすべきである」点も、論述するまでもない。筆者もまた、これまでの論稿で力説してきたところである（「会報」第48・49・50号所収）。

② リゾート型温泉地—湯布院温泉など

このタイプに属する温泉地の特徴としては「豊富な温泉とスポーツ・レクリエーション・教養文化活動を結びつけた、長期的滞在のリゾート型温泉地としての整備を目指す温泉地」と定義づける。

このタイプに属する温泉地としては、県下では由布院温泉が適例であり、全国に注目されて年間3,4百万の観光客を集めている。提言はつづき「スポーツ施設や集会施設・宿泊施設等を整備し、県民が余暇を利用しながら、保養・休養の場となる温泉地づくりをする」ことを指摘している。

この種のリゾート型温泉地にあっては、①「周辺の自然景観が保存されていることが最重要である」はもちろん、②「長期滞在型の利用者のために宿泊費等の価格を抑える工夫も必要である」こと。また、開発にあたっては「周辺の温泉資源の影響については十分な調査を実施すること」等の指摘には、謙虚に耳を傾けるべきである。

③ 秘湯型温泉地—くじゅう高原温泉群など

このタイプの温泉地の基本的特徴としては、まず「自然環境に恵まれた山間溪谷の閑静な温泉地」を挙げることができよう。

さらに、温泉の「利用施設」としては①露天風呂が整備されていること、②施設も和風の建造物が望まれることに異存はあるまい。さらに③温泉の泉質については「何らかの特徴があること」も望まれる。そうしたことから、この種の温泉地の社会的条件としては④規模の小さな鄙びた温泉場で⑤温泉資源の賦存量も当然ながら余り多くないこと、を指摘することが出来るであろう。

こうした結果、「地下の温泉資源の湧出メカニズムの解明に努め、周辺地域の保全を含めた広い範囲での保護対策が必要であろう」と当該基本計画は提言する。また、現実問題として、このような秘境的温泉地は交通手段の便が悪く、社会資本の整備が遅れているところが多い。しかし、このような特性の存在があればこそ、“秘湯”が維持されるのであるから、むやみな開発・造成をせず原始的な環境の雰囲気を漂よわせることが肝要である。①の都市観光型温泉地が若年層に飽かっている現今、当該秘湯型の温泉地こそ温存させる必要があるのである。

県下では、この種の温泉は「くじゅう（久住・九重）高原地帯」に多く見られる。これらの温泉群が見られる町村にあっては相互に連携を取りあい、「点」より「面」を広げて②のリゾート型へと発展させることが考えられよう。

④ 湯治場的温泉地—湯平、長湯、天ヶ瀬の各温泉など

このタイプの温泉地の特徴としては、永い年月を重ね歴史の実績に支えられてきた温泉地に多く、その温泉地に特有な「治療効果」（医学上の効能の評価）が広く世人に認識されている（社会的承認）ことであろう。

したがって、当該温泉地の地域住民（とりわけ温泉利用の営業関係者）は、他の温泉地に比較して概して温泉資源への理解と共同利用への愛着が深く、それだけに温泉資源の保護の点でも積極的な取り組みが見られるように思われる。

当基本計画の提言事項としては、「④比較的安価で長期間滞在できる利用施設の整備が必要である」とした上で「㊦街並みの景観保全、㊧伝統的な入浴施設や鉱泉の利用方法など」、さらに「㊨温泉治療だけでなく、利用者への心の安らぎ・癒しの場となるような温泉地づくりを進める」を挙げている。

それとともに、永年にわたり遵守してきた地域住民の「温泉文化」を尊重し、併せて地域指導者にその人（グループ）を得ることが望まれる。

さらに提言は「共同浴場があり、外湯巡りができ、併せて街並みの景観が楽しめるものであること、なお泉質に特性があり、それらが最大限に活かされていること」を挙げている。

別府八湯の中では、この型に属する適例は指摘するまでもなく、鉄輪温泉である。八湯の中でも、いち早く「町（温泉）起し運動」に立ち上ったのも当温泉場であった。ここでは戦前から、提言にあるような未来志向のリーダーや団体があって今日を支えている。

別府八湯の鉄輪温泉の他にも、湯布院町の湯平温泉、直入郡の長湯温泉、玖珠郡の天ヶ瀬温泉等も、このタイプに属して戦前からの伝統を守り今日の繁栄をつづけている。

⑤ 療養型温泉地—別府温泉ほか

前掲「基本計画」では、この型に、さらに次の2つのタイプがあるとしている。

㊦ 老人対象型

健康増進、すなわち「健康な老人であり続けるため」心身のリハビリのための療養型

㊧ 高齢障害者型

「軽度・中程度の慢性的障害をもつ高齢者等のリハビリのため」の療養型

前者の㊦タイプには、さらに注釈を加えて「一定期間滞在してレクリエーションや音楽・講演・芸術を楽しむなど、ゆったりした環境を楽しみ、その上で湯治は、その1部として利用されている場合が多い」としている。

一方、後者の㊧タイプの場合は「これのみを目的とした温泉地が経営的に成り立つとは思えない」ことから、「リゾート型温泉地や観光型温泉地としての機能を併せ持たせ、多くの労働力を確保しながら高齢者や身体障害者に優しい療養型の温泉地づくりを目的とすべきである」と提言する。

前者が一般高齢者を対象にした湯治・療養だけではなく、働らき盛りの人々の心身のリフレッシュの場になるようにすべきであるのに対して、後者の場合、その具体的な施設としては㊦療養型病床をもつ医療機関、㊦リハビリ専門施設、㊦老人保健施設、㊦特別養護老人ホームなどの介護保健施設等を整備してリハビリ手段として温泉を利用することになる」と提言している。

さらに、そうならば当然、医療福祉部門の専門家の配備が必須条件であり、人材の確保も「温泉地づくりのためには重要」と指摘している。また、「軽スポーツができる程度のレジャー施設をつくっておくこともよい」、と。周辺施設には自然環境や遊歩道の整備、安らぎの場・リフレッシュ

の場となる温泉地を目指すべきである、とも提言する。

⑥ 地熱利用型温泉地—筋湯温泉

この温泉地は「豊富な地熱資源を利用した地熱発電所等が近くにある温泉地」と定義づけている。豊富な地熱エネルギーを地域の産業振興にも役立てている地域である。県下の温泉地としては、筋湯温泉（直入郡）が好適例である。

—この温泉地はくじゅう温泉群の1角を占め、かつては「珍珠10湯」とも呼ばれていた。この温泉群は標高1000メートル内外の飯田高原周辺の間麓や谷間に点在する牧の戸温泉・星生温泉・寒の地獄などがあり、いずれも④の秘湯型に属する。

このタイプの温泉地では、地熱発電に莫大な量の熱エネルギーが使用され、大量の熱騰泉が必要とされることから、「地熱発電に当たっては周辺の温泉資源に及ぼす影響について、十分な調査を必要とする」ことは言をまたないところである。

⑦ 農村（漁村）型温泉地

このタイプは、農村風景（海岸部の温泉にあつては「漁村」）に見られる地帯の中に湧出する温泉を利用した地域が特徴。春はレンゲ・菜の花が見られ、夏は蛍が飛びかい、秋は黄金の稲穂から里山の紅葉、冬は雪景色の中の露天風呂といったふうに田園（漁村）特有の原風景を遺し、併せて自然環境を最大限に生かした温泉場である。

農村部や海岸沿いの温泉地では、農作業や漁場の疲れを癒して保養をも兼ねる。この点、明治末期から大正初期までの浜脇温泉と別府温泉（狭義）には、このような入湯風勢が多かれ少なかれ見られたが、大正末期には観光都市型の温泉地へと変遷していった。

くじゅう温泉群や由布院・湯平温泉等は農村型のそれよりも高原や山の湯の温泉地といったイメージが、天瀬温泉は山溪の河（珍珠川）両岸に発展した温泉地の感が深い。直入郡の長湯温泉は、療養型と農村型の両者を感じる。

(3)の検討課題（温泉資源と多目的利用の推進）について

ここで取り上げたいのは、県全域58市町村のうち38市町村で、現時点の温泉湧出（供給）と利用（需要）の実態を正しく把握することである。平成13（2001）年3月末現在の「温泉」の概況は、次のとおりである。

④ 源泉総数および利用目的 （県全域）

源泉総数	4,762孔
浴用・飲用利用	4,012孔（83%）
他目的利用	201孔（4%）
未利用	654孔（13%）

多（他）目的利用の主な用途—

- ・園芸 54孔
- ・湯の花 20孔
- ・地熱発電 42孔
- ・養殖 26孔
- ・暖房 19孔
- ・観賞 18孔
- ・その他 22孔
- 合計 201孔

③ 湧出量など

湧 出 総 量	266,228 ℓ / 分
自 噴 泉	103,017 ℓ / 分 (39%)
動 力 揚 場 泉	163,211 ℓ / 分 (61%)
湧出温泉(市町村数)	38市町村 (66%)

①表中の源泉総数では、本県が全国で第1位であり、第2位は鹿児島県、第3位は静岡県、第4位は北海道、第5位は熊本県の順である。③表中の湧出量では北海道の第1位(30万920ℓ/分)につづき、本県が第2位の26万6228ℓ/分で、第3位は鹿児島県、第4位は青森県、さらに第5位は長野県の順となっている(平成13年3月末現在)。

なお、①表中の中で「他目的利用」の201孔のうち、105孔は浴用・飲用にも利用して重複している(その結果、総合計が必ずしも総数に符号していない点に配慮されたい)。

—①表で真先に気付く点は、記すまでもなく「未利用」(13%)の多い点であろう。何故に利用しないかを源泉所有者ごとに調査し、極力利用するよう行政指導すべきであろう。本年度(平成14年度)から、県担当課では、実態把握のため個別によるアンケート基礎調査を全県的に開始したので、早晚、具体的な取り組みが展開すると思われる。

なお、「多目的利用」の源泉数は予想外に少ない。これは現代社会の経済的不況と農業(農村部)不振、後継者不足が阻害要件になっていると考えられる。また、源泉利用の用途別の中で異色の存在は「地熱発電」用という産業面でのエネルギー資源の確保という視点からのものである。

<クリーンエネルギー：地熱開発>について

地球温暖化を招く「温室効果ガス」の削減が21世紀の大きな課題となっている。本県では、環境への負荷が少ない「地熱」、太陽光・風力・潮流などによるクリーンエネルギー発電の開発に乗り出している。地域の特性を生かした当該開発の方向性や将来の発電目標量を盛りこんだ県構想を策定した。経済成長にともなって、エネルギー需要が増大しているアジア諸国への技術供与も視野に入れて「クリーンエネルギーの先進県」を目指している(大分合同新聞「環境の21世紀幕開け」、2001年1月10日号)。

—資源エネルギー庁のデータによると、世界の掘削可能な石油埋蔵量は1兆160億バレル。約40年で掘り尽くされるとされ、その枯渇が懸念されている。一方で石油・石炭を燃やした時に発生する一酸化炭素などによる「地球温暖化」が深刻な国際問題となってきている。

現在、県内では①地熱、②廃棄物、③風力、④太陽光による発電が実施されている。地熱発電の掘削手続については、県温泉審議会と当調査研究会でも何回か問題提起されてきた経緯が存する。地熱発電を目的とする特殊な温泉利用が、温泉法に基づく手続きでよいかどうか、の深刻で解決困難な問題が根底にあるからである(かつて厚生省では、これを肯定している。『逐条解説：温泉法』『温泉必携』環境庁監修)。

4 温泉行政のさらなる推進と検討課題

県下の温泉地において、将来の目標の設定と、それを達成するための施策および検討をどう進めるか。この課題も、各地の温泉地にとっては緊急を要する問題であろう。

当該「基本計画」はまた、このような視点から、極めて示唆に富んだ施策と具体的取り組みを提言している。筆者は、多少の主観をまじえて、その大綱を次に纏めてみる。

(1) 温泉資源の保護と検討課題

- ① 温泉法に基づく規制や指導を徹底すること
- ② 各温泉地の温泉賦存量の把握に努めること
- ③ 源泉衰退化の実態把握と未然の防止策等を検討してみること
- ④ 各種の開発から温泉資源を保護するような基本原則を確認すること

(2) 温泉の適正利用の推進と検討課題

- ① 温泉利用で適正利用の基準を作成すること
- ② 温泉成分等の適正な揭示を徹底すること
- ③ 温泉の利用形態にかかわる表示を推進すること
- ④ 温泉利用施設の安全性の確保および維持管理を徹底すること
- ⑤ 温泉廃水の適正処理に向けた対策を検討すること

(3) 資源の有効利用と多目的利用の増進

- ① 観光資源と結びつけて一層の温泉利用を考えること
- ② 農業・水産業の利用面で、さらなる利用はできないかを検討してみること
- ③ 熱エネルギー資源としての利用の増進と、その阻害要件は何かを検討し除去する施策を考えてみる

(4) 「特色ある温泉地づくり」をめぐる問題点

- ① 自然環境と調和した温泉地の整備をどう進めるか
- ② 高齢者や障害者の温泉利用での問題点は何か、またどう進めるか
- ③ 別府温泉での市民による「町おこし運動」について、現状把握と問題点を検討すること
- ④ 一般的に、温泉地の「町おこし運動」はどうかあるべきか

(5) 普及啓発の推進と調査研究のあり方

- ① 温泉資源の保護意識の昂揚を図ること
- ② 温泉にかかわる情報の提供と広報活動をどう進めるか
- ③ 温泉調査研究の一層の推進をどうするか、を考察する
- ④ 調査研究の成果の公表と有効活用の進め方は、どうかあるべきか

以上の(1)の検討課題（温泉資源の保護）について

ここでの主役は、温泉行政を直接に担当所管する県生活環境部・同名課であり、これに側面から協力する（県の諮問に答える）旧称・県温泉審議会、現在の呼称・県環境保全審議会温泉部会である（その法的根拠は温泉法第4条および同第28条）。当該執行機関をバックアップするのは、県の本会・県温泉調査研究会であり、あくまで科学的な調査研究資料を提供して県の温泉行政の推進に寄与する。

ここで、県所轄当局と関連諸機関が共働して、まず取り組むべき事項としては温泉部会内規の「審議基準」の見直し、であろう。それは、すなわち—

- ㊶ 特別保護地域と保護地域の指定とその追加、もしくは見直し
- ㊷ 代替掘削に対する制限等の検討
- ㊸ 将来の未開発地における温泉資源の開発、その他

これらで留意すべき事項としては、先に掲げた②各温泉地の温泉賦存量の把握と③の源泉荒廃の未然の防止策とである。温泉湧出をめぐる、この2事項は密接に連携しており、両者の間には長年

月の湧出の過程で（例えば30年、ないしは50年～100年のサイクル）で湧出量減退・温度低下の方向に進む。②の誘因（温泉資源の濫掘と濫用）に因り、③の自然現象の必然の結末を招くことは、過去の温泉地の歴史が実証しているところである（例えば別府八湯の中の浜脇温泉）。

戦後の「温泉ブーム」の時代（昭和40年代）、著名な温泉地（の源泉の中）には、温泉資源の無規則・無秩序の濫用から危機的状況に陥ったものも散見される。将来を予見できる（予見可能性）だけに未然の防止策を講ずべきであり、この点、有識者の声に耳を傾けるべきであろう。

そのため、「総量規制」の制度を導入して各施設が適正な揚湯量を遵守することにより、当該温泉地の、いわゆる“温泉の寿命”を少しでも持続させることが緊急の課題となるのである。また、現時点では、明確な衰退化現象が見られていない温泉地にあっても、賦存量に基づく総量規制を導入することによって、将来にわたる温泉の安定的供給が可能となる。この場合、問題となるのは①同じ温泉帯水層（温泉脈）を利用していると考えられる範囲をどう限定するか、②賦存量の正確な把握がどこまで可能か、の極めて難しい点である（いずれも「蓋然性」の要素を持つ程度の問題であろう）。

現在、本県で、これまで賦存量調査を実施してきた温泉地は、温泉湧出の総量（温泉の供給）と利用（同需要）がバランスを欠き、「温泉騒動」を過去に惹起した温泉地で、また当該調査が比較的に実施しやすい小規模地下構造の次の4温泉地であった。

- ・湯平（湯布院町） 平成5～6年
- ・長湯（直入町） 平成7～8年
- ・宝泉寺（九重町） 平成9～10年
- ・天瀬（天瀬町） 平成11～12年

最後に、温泉の定期監視のための「モニター（monitor）制度」について提言は触れている。

保護地域の指定を受けた温泉地にあつては、温泉湧出状況の監視のために「モニタリング調査」の必要があると考えられる。しかし、これまで本県では、その態勢が整備されていないようである。

具体的に、この制度の事業主体や調査源泉の対象の選択、さらにその手続等の詳細については、すでに実施している他県のそれを参考にして早急の実現化する必要があるであろう。県当局では本年（2002年）早々、県下の温泉地での源泉所有者（約4千件）に対して、アンケート方式による個別的基本（基礎）調査を実施している。その結果をまっけて、今後の具体的取り組みが行なわれるものと期待したい。

(2)の課題（温泉の適正利用の推進）について

ここでの課題は、まず本県各地に湧出する温泉の特性や利用の実態に即して「温泉利用の基準」の見直しをおこなうことである。さらには泉質ごとの基準や、高齢者・障害者が安心して利用できる温泉施設の「安全づくり」等々、考えられる領域での〈基準づくり〉が検討課題の眼目となるであろう。

この検討で留意すべきは、まず第1に、温泉法にも規定されている「温泉の飲用」（第13条）にかかわる点であろう。

この点はまた、戦前の衛生取締上の行政法規の性格をもつ『鉱泉法』の主要な眼目でもあった。戦後に制定された『温泉法』（昭和23年、法第125号）の原型モデル法規とされた当該鉱泉法の「鉱泉」の概念は、「鉱物質又はガスを多量に含む泉」と「単純泉・塩類泉・酸性泉・硫黄泉などがある」とされ、広義には「温泉」と「冷泉」との総称であり、狭義には冷泉だけをいった（『法

学辞典』)。古来、日本人は薬用として、その医療的効能を期待して飲用にも供してきた。但し、その飲用は、一步誤れば人間の生命にもかかわる社会問題であることから、その所轄は、内務省の医務局であった。その内務省から分離して「厚生省」が創設されたのは、支那事件勃発の頃の昭和13（1938）年のことである。

最近、民間での衛生観念がとみに向上し、その結果、生活用水として公共の上水道や井戸水、さらには河川水などの利用が警戒され、全国各地で知られた「天然名水」なるものが大型食品店舗で自由に入手されて一種のブームとなってきている。

そうした社会的影響もあって、地下から湧き出る天恵の「温泉は安全」と、何らの科学的認識も問題意識もなく、無造作に飲用する入湯客・観光客が増加してきていると新聞は伝えている（朝日新聞：札幌国際大学教授・松田忠徳教授（温泉文化論）2002年2月16日号「私の視点」投稿記事）。それ故、温泉水の「飲用許可基準」の追加や見直し、これから緊急を要する課題と思われるのである。

—具体的な取り組みとしては、例えば①温泉に含まれるカドミウム（注1）の濃度を分析して飲用許可量を設定したり、②腐食質（注2）のものから、③鉄分（注3）、硫黄（注4）などの成分を含む温泉にあつては「安全な衛生基準の徹底を図ること」が望まれているのである。

（注1）カドミウム 金属元素の1つで元素記号cd、原子番号48、原子量112.4で亜鉛に伴い産出する。電池の電極に利用され、原子炉では制御棒に用いる。化合物は有害でイタイイタイ病（新潟県）の原因とされた。

（注2）腐食質 腐食生物の死体、その分解生成物や排泄物など

（注3）鉄 金属元素の1つで元素記号Fe、原子番号26、原子量55.85、比重7.86、化合物としては土壌・岩石・鉱物中に存在する。

（注4）硫黄 非金属元素の1つ。元素記号S、原子番号16、原子量32.07、黄色の樹脂光沢のあるもろい結晶で、水には溶けない。火を点ずれば青い炎をあげて燃える。遊離して火山地方に多く産し、化合物としては硫化鉄・硫化銀・硫化銅などの硫化物として産出。火薬・マッチ・ゴム等の製造、薬用、漂白用などに使用する。

参考—「硫黄泉」について。

硫黄泉は多量の硫化水素を含む。白濁して卵の腐ったような臭気とする。概して高温で皮膚病に特効があり、わが国の温泉の約3分の1はこれに属する。別府では明礬の温泉、その他、全国では草津温泉（群馬県）・那須温泉（栃木県）・箱根^{あし}の湯（神奈川県）などがこれに属する。（『国民百科事典』平凡社など）

つづいて、温泉利用施設での衛生安全管理について。—これについては、平成8年に起きた関西地区での病原性大腸菌O-157事件が記憶になお新しい。また、アメリカ大陸で発見されたという①レジオネラ菌による感染被害事件（注1）、さらには湧出温泉を有効に利用するための②循環濾過式温泉の安全性にかかわる問題（注2）などがある。

（注1）レジオネラ菌（症）が最初に認識されたのは1976年のこと（legionnaires' disease）。米国フィラデルフィアで在郷軍人の総会が開催された時、各地から参加した221名が帰郷後に原因不明の重症肺炎を発病し、そのうち34名が死亡した。このレジオネラ症は肺炎型だけではなく、インフルエンザのような熱性疾患型とがある。わが国での公共温泉での発病は、最近（数年前）茨城県石岡市の市営温泉でレジオネラ菌による肺炎で3人が死亡した事例が挙げられている（資料「保健所等検査技師研修会」では1986

年、片山津温泉（石川県）で59名死亡ほか1996年まで14症例が報告されている）。

（注2）資料「循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアルについて」（H13.9.11厚生労働省健康局 通達）これによると「循環式浴槽」とは、温泉水や水道水の使用量を少なくする目的で、浴槽の湯を濾過器を通して循環させることにより、浴槽内の湯を清浄に保つ構造の浴槽をいう、と定義している。

さらには大型公衆浴場や社会福祉施設での衛生管理の問題などが検討されねばならないであろう。温泉利用の叙上のような施設では、突如として起きるアクシデントの発生に備えて「分析と検査体制の整備」と「関係機関の迅速な対応」とが各地の保健所や衛生研究所等に求められている。

また、県所轄課が取り組むべき施策の1つとして、温泉の「成分等の揭示」の問題もある。これについても、現在まで何回か温泉審議会（部会）の審議終了後や当該温泉調査研究会総会での席上で検討された経緯が存する。

これを要するに、温泉法第14条の規定に基づき、温泉の成分、^{きんき}禁忌症（症状を悪化させたり治療の目的にそぐわない病症）及び入浴又は飲用上の注意を浴場内の見やすい場所に揭示することが義務づけられていることもよく知られている。それが適正な内容になっているかという、何とも疑わしい。すなわち、戦後温泉法が制定された当時の「温泉」そのものが、現在では多様な様相を呈してきている（「温泉」の概念の複雑化）からである。

問題とされるのは、人工造成温泉たとえば天然温泉を加温したり、河川水や地下水、井戸水を増量に使用して人工的に造成した温泉、噴気を利用した吹き込みや熱交換式の温泉、濾過式の循環温泉など、紛らわしい温泉の成分等をどう取り扱うか（どのように揭示するか）、である。かつての天然生成の源泉を加工した人工温泉が果して温泉法でいう「温泉」と同位概念と見なしてよいか、といった問題である。紛らわしい温泉の成分や温度はどの時点で測定し、利用者に揭示するにはその手段・方法などをどうするかも難しい問題であり、今後の課題でもあろう。

5 結 び

半世紀前に、わが国は第二次世界大戦で敗戦を経験し、そして戦後の復興を成し遂げた。その間、われわれの郷土「温泉県・大分」の既成の温泉地は、温泉（利用）をめぐる、どのような変遷を遂げてきたのであろうか。

戦後、全国各地に散在する温泉地にあつて^{せんぼう}羨望の的とされたモデル・ケース（代表例）は、説くまでもなく「東の熱海、西の別府」と謳われた両温泉であった。往時、この両温泉は、明治以降に都市志向・観光娯楽の①型のタイプをたどってきたことは否定できないであろう。

だが戦後も、昭和40年代以降、経済成長が安定期に入ってから、多年続いてきた観光都市型のタイプがしだいに敬遠され、都市型にむしろ対蹠的で個性的（個別的特徴）な型の②～⑦のタイプに分岐していった。とりわけ、③のリゾート型温泉地が理想型（理念型＝マックス・ウェーバーの説く社会科学方法論の重要な概念の1つ）として世の耳目を集めた。この型は、温泉資源がもつ日常に欠かせない医療的效果が期待される④湯治型と⑤療養型に加えて、⑦農村型の3タイプを併有するからであろう。次に述べる湯布院町が、何故に今日、全国津々浦々にその名を刻するまでに著名になったか。これまでの温泉地のタイプの分析を試みると、本県の当該「温泉管理基本計画」がその謎を解くマニュアルになる、と考えられるのである。

この「リゾート型温泉地」を別の視点から把握するなら、例えば自然や環境（どちらのタイトルも多岐（多義）的で概念構成は難しい）から温泉の利用にアプローチするなら、これをく生活型温

泉地>と呼称することも出来るのではあるまいか。<生活>の内容も敷衍^{ふえん}して、人類が生存して生き永らえて幸福と健康の至高価値を目ざす生活の場とする基本理念の下に、温泉利用の本質に迫ろうとするのが筆者の見解である。そこで戦後、別府温泉のかつての発展のコースとは逆コースをたどった湯布院温泉地を「地方分権」「環境優先」「人権と生活」の視点から、地域住民がみずから編み出した発展の軌跡を追ってみることにして本稿を結ぶことにする。

* * * * *

戦前の由布院（当時）温泉は、泉都別府の“奥座敷（奥別府）”として、文人墨客の遊ぶ山里の鄙びた温泉地に過ぎなかった。それが今日「日本の湯布院へ」と飛躍のスタート・ラインに着いたのは、昭和30（1955）年に由布院町と湯平村とが合併し、当時青年医師であった初代町長（岩男^{しん}一^{いち}氏）誕生のときである。

この町長は、就任の所信で、町の将来展望として「産業、温泉、自然の山野をダイナミックに機能させる」と表明し、新生・湯布院の進むべき新たな指針としたのであった（以下も同じ、『町誌湯布院』平成元年2月刊行）。

一方、昭和30年代後半になると、旅館業を中心とした自営業者の二代目が次つぎに表舞台に登場する。この若きリーダーたちは独創的でしたたかな発想力と行動力を持ち、地域住民の先頭に立つ。その後の湯布院を引っ張り続けたリーダーたちの活躍が、ようやく草の根の“町起し運動”へと芽生え始めたのであった。

昭和39年には、待望の九州横断道路（別府～九重～熊本～長崎）も開通。同40年代に入って、県外からの観光客が増加する。同45年以降の観光客の飛躍振りは驚くばかり、である。

- ・昭和45年度 109万7000人
- ・昭和50年度 144万3000人
- ・昭和55年度 189万9000人

こうして湯布院の知名度はいっきに高まる。この頃になると県外資本の進出が相つぎ、その受け容れをめぐる紛糾する。緊迫した空気の中で「豊かな暮らしの中に包まれた観光地」を町政のコンセプト（concept 全体を貫ぬく統一的な視点や考え方）に同47年、町当局とリーダーたち識者は「自然環境保護条例」を制定した。つまり、①の都市型観光地への途を選ばず、自然環境と社会環境とを優先させる「生活型」志向とも言うべき新しい観光地づくりを目指したのであった。

さて、昭和50年7月、この時、予想もしなかった県中部地震が町一帯を襲った。だが、町を挙げて、この災難を振り払うかのように現在も好評の「客馬車」を走らせ、つづいて「ゆふいん音楽祭」「牛喰い絶叫大会」を開催、さらには「湯布院映画祭」と次つぎにイベントを打ち上げ、全国のマスコミに取り上げられて成功を収める。観光客はさらに増加し、やがて最盛期を迎える。

- ・平成元年度 338万4000人
- ・平成4年度 421万人

とピークを記録する。

かくして人口僅か1万1500人ほどの小さな温泉町に、これだけの観光客が年間ひしめくのである。ここ数年は、年間380万人のラインを停滞する。最近は、ようやく“翳（かげ）り”が見え始めた町当局、リーダーたちの嘆息が聞かれる。

原因は何か。一町の分析では①中心部の余地が狭く、慢性的な交通渋滞が深刻になり、②一般住民にとって、観光客の来集はむしろ住みにくい町に転じ、社会環境が損なわれ始めたこと、③自然

環境を無視した営業優先の出店舗が増加したこと、㊸本来の産業構造（農業社会）が存亡の危機に立っており、㊹その他、である。「生活型観光地」として安定しつつある湯布院町に赤ランプが点滅し、住民からの不平不満の声が噴き出してきたようである。

現状のままでは、湯布院はいずれ衰退するのでは……？—かつての町起しリーダーたちは昨年（2001年、平成13年）春、「ゆふいん政策戦略会議」を発足させた。その狙いは「潤いのある町づくり条例」のバックボーンをなす経済成長の管理論に基づき、小売店の出店をまず届出制に改め、町づくりのコンセプトに反するような業者を排除する手法を検討する、と郷土の新聞は報じている（2001年8月10日付「大分合同新聞」社説）。

一戦後の昭和30年代から今日まで活躍し、飛翔の途を切り拓いてきた町の先覚者たちも、2代目から3代目にバトン・タッチされようとしている。世の諺に「家を興すも滅ぼすも3代目」と言われる。転機に立つ湯布院温泉の今後の奮闘振りに声援を送るとともに、県民は静かにそれを見守ってゆきたいものである。

* * * * *

筆者の本誌『大分県温泉調査研究会報告』上で発表した文献は次のとおりですので、参考にして下されば幸甚です。なお、大分県温泉調査研究会では過去2回、記念行事として『30年のあゆみ』（昭和54年3月刊）と『50年のあゆみ』（平成11年7月刊）を総括して発刊しています。両書とも、巻末に＜文献抄録＞が載せられていますので、併せて活用されることを希望します。

会誌 No	報 告 題 名	会誌 No	報 告 題 名
第23号 (S45)	湯平における温泉権の実態	第39号	集中管理の法律問題(下)
第24号	温泉法の問題点の考察	第40号	九重温泉群の現状と問題点(上)
第25号	宝泉寺における温泉権の実態(上)	第41号	同 上 (下)
第26号	同 上 (下)	第42号	温泉権紛争の調査と研究(Ⅰ)
〃	別府温泉の「集中管理」構想	第43号	同 上 (Ⅱ)
第27号	筋湯における温泉権の実態(上)	第44号	同 上 (Ⅲ)
第28号	同 上 (下)	第45号	同 上 (Ⅳ)
第29号	長湯温泉の温泉権の実情	第46号	同 上 (Ⅴ)
第31号	天ヶ瀬における温泉権の実情	第47号	同 上 (Ⅵ)
第33号	温泉法と地熱開発の諸問題(上)	第48号	環境行政と温泉法・温泉権(Ⅰ)
第34号	同 上 (中)	第49号	同 上 (Ⅱ)
第35号	同 上 (下)	第50号	同 上 (Ⅲ)
第36号	大分市における温泉開発の現状	第51号	同 上 (Ⅳ)
第37号	集中管理の法律問題(上)	第52号	同 上 (Ⅴ)
第38号	同 上 (中)	第53号 (H14)	同 上 (Ⅵ)

〔資料1〕大分県「温泉地」一覧

(大分県)

市町村	温泉地	主な泉質	市町村	温泉地	主な泉質
別府市(8) (別府八湯)	別府(狭)	放射線以外全て	直入町	長湯	炭酸泉
	鉄輪	塩化物泉他多数	竹田市	竹田	単純泉
	明礬	硫黄泉	宇佐市	宇佐	—
	柴石	塩化物泉	安心院町(4)	安心院	単純泉
	堀田	炭酸泉		津房	〃
	観海寺	塩化物泉・単純泉		佐田	塩化物泉
	亀川	塩化物泉		下毛	〃
浜脇	塩化物泉・単純泉	院内町	院内	〃	
湯布院町(4)	湯布院	単純泉	宇佐市	長洲	〃
	塚原	酸性泉	大分市(2)	大分	塩化物泉
	湯平	弱食塩泉		塚野	炭酸泉
	奥江	単純泉	庄内町(2)	白水	〃
九重町(16)	長者原	炭酸泉	挾間町(2)	庄内	単純泉
	湯坪	単純泉		挾間	〃
	牧の戸	硫黄泉	白杵市	篠原	塩化物泉
	九酔溪	放射線泉		六ヶ迫	炭酸泉
	釜の口	炭酸泉	宇目町	宇目	放射線泉
	大岳	単純泉	直川村	直川	硫黄泉
	地藏原	—	大分市	丸亀	炭酸泉
	宝泉寺	単純泉	山国町	守実	単純泉
	竜門	〃	耶馬溪町(5)	耶馬溪	〃
	生竜	〃		鳴良	〃
	壁湯	〃		奈女川	—
	川底	〃		伊福	単純泉
	星生	酸性泉		折戸	〃
	寒の地獄	硫黄泉	日出	日出	塩化物泉
	筋湯	単純泉	別府市	城島	〃
	万年山	〃	本耶馬溪町	西谷	単純泉
玖珠町(3)	玖珠	〃	挾間町	鎰掛	〃
	ふる星	—	九重町	野矢	〃
	楠	単純泉	耶馬溪町	影平	〃
九重町	恵良	炭酸泉	真玉町	真玉	炭酸泉
天瀬町(2)	湯ノ釣	単純泉	国見町	赤根	硫黄泉
	天瀬	硫黄泉	姫島村	拍子水	炭酸泉
日田郡	日田	単純泉	日出町	赤松	単純泉
中津江村	津江	硫黄泉	杵築市	杵築	〃
久住町(5)	七里田	炭酸泉	山香町	山香	塩化物泉
	三船	—	香々地町	夷谷	—
	赤川	硫黄泉	宇佐市	春日野	炭酸泉
	法華院	〃	大分市	袖ノ木	〃
	久住	炭酸泉			

(注1) 出典：県立歴史博物館『湯浴み—湯の歴史と文化—』(平成11年10月8日刊)より

(注2) 「温泉地」の合計 81温泉地(県内)

〔資料2〕大分県温泉管理検討懇話会委員名簿

氏名	職名	その他
由佐悠紀	京都大学大学院理学研究科教授	大分県自然環境保全審議会委員 温泉部会長
大野保治	元大分大学教育学部教授	大分県自然環境保全審議会委員
小川雅代	別府市旅館組合連合会副会長	大分県自然環境保全審議会委員
安田正之	国立別府病院リウマチ科医長	大分県温泉調査研究会理事
浦野幸博 *松本正	西日本技術開発株式会社 取締役地熱部長 同社 地熱部長	掘削、地化学調査会社 温泉地賦存量調査業務委託先 (平成12年10月2日から)
河野充宏	大分県観光協会専務理事	
小嶋智憲	大分県農業協同組合中央会参事	
首藤廣行	別府市観光経済部長	
朝久野浩	大分県生活環境部次長	

*浦野委員の後任者

任期：平成11年11月30日から平成12年12月31日まで

〔資料3〕大分県自然環境保全審議会温泉部会委員名簿

平成14年3月現在

区分	職名	氏名	備考
学識経験者	京都大学大学院理学研究科教授	由佐悠紀	部会長
	九州大学名誉教授	矢永尚士	部会長代理
	元大分大学教育学部教授	大野保治	
	弁護士	千野博之	
	大分大学教育福祉科学部教授	千田昇	
	不動産鑑定士	開静子	
関係団体	別府市旅館組合連合会副会長	小川雅代	
県議会代表	大分県議会福祉保健生活環境委員長	井上伸史	
行政関係者	別府市長	井上信幸	
	湯布院町長	吉村格哉	
	直入町長	伊藤隆弘	
	九重町長	坂本和昭	
	合計	12名	

(あとがき) 本稿作成にあたっては、今年もまた県生活環境課の浏さんより、大腸菌O-157事件やレジオネラ菌など難しい病症の専門的な内容のご教示や温泉法の条文の間違いなどご指導を頂きました。記して厚くお礼を申し上げます。

地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(2)

京都大学大学院理学研究科附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
橋本武志

要 旨

別府鶴見岳赤池噴気孔の北部に1台のプロトン磁力計が設置され、縦走路から噴気孔に至る区間に4点の繰返し磁気点を設けて地磁気観測がなされている。阿蘇を基準とした単純差法では、数〜数十nTの地磁気変化が見いだせたが、連続観測結果に合致しない。地磁気3成分を用いて補正した結果、上述の変化は不十分な補正に起因することが明らかになった。

1. はじめに

火山岩には多くの磁性鉱物が含まれていて帯磁している。地球磁場環境下で冷却に伴う熱残留磁化を獲得したものである。この磁化は通常、200度以上で強い負の温度依存性を示し、約600度あたりで磁性を失う。熱変質などを受けない限り、温度変化に対して可逆的である。この性質を用いると、地表面での磁場観測から地下の温度状態を把握出来る。筆者らは阿蘇火山の火口近傍の多地点において地磁気の連続や繰返し観測を行って、活動火口直下の蓄熱状態の時間推移を把握し、火山活動の予測に役立てている(Tanaka 1993, 橋本ほか 2001)。また、九重火山では1995年の水蒸気噴火の直後から継続的な磁場観測を行い、在来噴気地域を中心として、ほぼ一定の割合で磁化が増加し続けていることを見いだしている。いくつかの仮定は必要だが、磁化の変化から地下の火山岩を冷却するために要した熱量を推定出来、数100メガワットの定常的な蒸気の放出と整合的な結果を得ている(田中1999, 坂中ほか 2001)。このような現象は、より小さな規模の地熱活動地域にも存在するに違いないと考え、2000年の夏から鶴見岳と伽藍岳の地熱活動地域でも磁場観測を開始した(田中ほか 2001)。この報告では、別府鶴見岳赤池噴気孔近傍での地磁気観測の現状を紹介し、磁場観測や解析の問題点を考察する。

2. 鶴見岳赤池噴気孔近傍での繰返し磁場変化

鶴見岳は角閃石安山岩からなる鐘状火山である。867年に噴火の記載があり、内山への縦走路の東部には赤池噴気孔が現存しており、活火山に上げられている(気象庁1975)。この噴気活動の消長は明らかではないが、磁場観測による蓄熱状態の把握を目標として、噴気孔の北50mあたりに1台のプロトン磁力計(KM622)を設置して5分値を測定している。また、縦走路から赤池噴気孔に至る区間に4点の繰返し磁気点を設けて、GSM-19型オーバーハウザープロトン磁力計を用いて繰返し測定を行っている(図1)。センサー中心の地上高さは2.38mで、支柱は非磁性の三脚と玉レベルを用いて鉛直を保っている。

観測された磁場には、Sq磁場変化(地上数100km上空の電離圏大気が熱せられて、電離層電流を生じることによって起因する)のみならず、磁気嵐時には、太陽活動に関連して磁気圏構造が乱され、不規則な磁場変化が加わっている。また、磁気嵐の後の数日間は短周期の磁場変化は生じていなく

ても、リカバリフェーズとしての影響が残る。このため、一地点における磁場観測からだけでは地殻内部に起因する磁場変化は抽出できない。ここに言及したような外部磁場変動の源は高度も高く、広域に比較的一様な場を作るから、2地点の差を求めると概略除去できる。この様にして参照地点との差を求めたものを単純差と称している。

初回のくり返し測定は、2000年9月25日で、2回目は2001年4月22日、3回目は2001年7月28日、第4回目は2002年の4月2日である。2002年1月13日には連続観測の保守に手間取り、TR1のみの

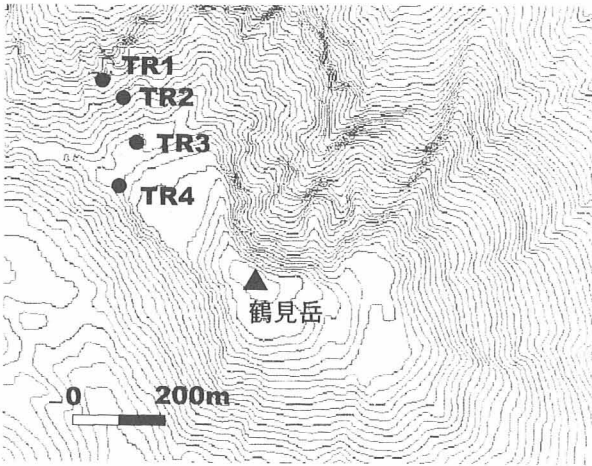


図1：赤池噴気近傍の地磁気観測地点

測定しか出来ていない。測定は10秒ごとに5分～10分間行い、阿蘇の火山研究センターの毎分観測を基準として変化を求めて図2に示した。

図2のように、TR3の3回目のデータは系統的な変化から外れていて、測定に何らかの問題があるかもしれない。TR1やTR3では約5 nTの増加、TR2においては20nTを超える減少が見いだされた。一般に、地下に微小な磁気双極子（地球磁場方向）が形成されると、その南側では磁場の増加、北側では減少が観測され、距離が離れると急速に変化量は小さくなる。しかし、観測された地磁気変化は、噴気の北側に位置するTR2,3,4で符号が異なり、観測地点の高度差を考慮しても、噴気孔

近傍の地下に存在する単一磁化の消長で説明するには困難がある。モデル構築に関しては、あと数年の観測を継続し、変化の様相を明確に把握した後にすべきであるから、ここでは深くは立ち入らない。しかし、次の一手を打つために、これらの磁場変化が地下の温度変化を反映したものか、磁場の化成に関わるものかを考察しておくことは大切である。幸い、TR2地点は連続観測に極めて近いので、以下に、連続観測データを用いて鶴見岳の地磁気補正問題を考察してみた。

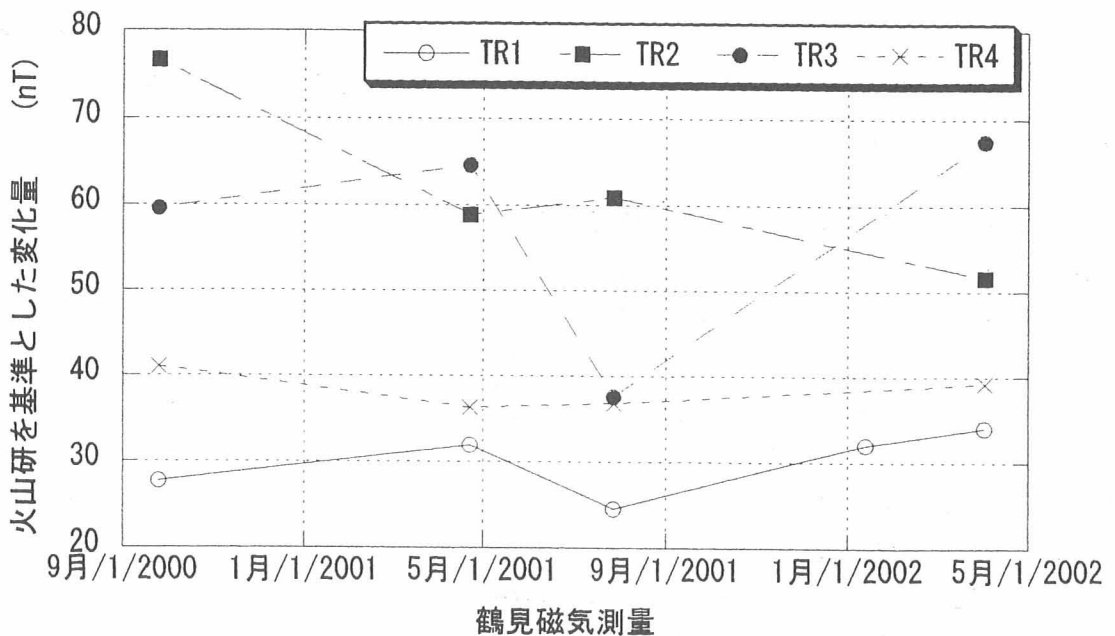


図2：繰り返し磁気測量結果

3. 鶴見岳赤池噴気孔近傍での地磁気連続観測

連続観測にはKM622プロトン磁力形を用い、記録集録装置はプラスチックのコンテナに入れて道端に置き、電力は太陽電池で賄っている。暫定的な観測であり、センサーは安定した樹木の高さ約3mに固定してある。

現場は高さ数mの樹木が生えると共に、急な北斜面をなすことから、十分な日照を得ることが困難である。このため、センサーケーブルや電池線は約20mと長い。これを安易に敷設したため、ケーブルが動物に噛まれたり、引っ張られたりして断線事故がしばしば発生した。これらの障害は逐次解決されつつあるが、未だ十分ではない。

プロトン磁力計は磁気勾配が強いと良質の信号が得られない。現場地域は熱変質を受けているとはいえ、帯磁の強い火山岩の露頭が点在していて観測に悪影響を与えている。

3. 1 火山研究センターを基準とした鶴見岳の地磁気変化

補正を施さない地磁気変化の概要を把握するために、京都大学火山研究センター（阿蘇カルデラの西端）の地磁気全磁力の時間変化を図3上部に示した。毎分の計測がなされているが、鶴見岳での観測に合わせるため、5分値を抜き出してある。数10nTの振幅で昼頃を中心としてsq日変化が見られる。10月5日や28日のように数100nTに及ぶ急峻な変化は地磁気嵐である。磁気嵐後の数日間はその影響が残っていて、静穏時に比べて全磁力は減少している。

このような擾乱磁場の影響を除くために、赤池噴気での観測値から同時刻の火山研究センター値を差し引いたものが図3下部に示してある。（3000nTを加えて正数としてある。）

鶴見岳では日照不足による電源低下がしばしば発生する。このことに起因する計測不良が離散的なノイズとして見える。これらを除外すると、磁気嵐に対応して10-20nTの変動が際立っている。11月中旬にはやや長周期の変動が見られるが、この単純差のままでは詳細な地磁気変化は読みとれない。顕著な変動の見られる磁気嵐の部分では、全磁力は減少しているが、差分はプラス変化をしている。これは赤池の地磁気変化が阿蘇に比べて若干小さいことを示している。ならば、変化に定数を乗じて補正すれば良いのではないかと思ひ至る。力武はこの様な方法を重価差法と呼び、赤道環電流などの緯度効果の除去に有効であるとしている。しかし田中らは、この原因を「地表近くの磁化が影響して地点毎に地球主磁場の大きさや方向が異なっている。これに空間的にほぼ様な磁場変化がベクトル合成されるので、スカラー量である地磁気全磁力は地磁気3成分を用いて補正すべきである」と指摘した（田中ほか 1978）。本稿では次章でこの問題を取り上げる。

この2地点の連続観測から得られる評価として、単純差による補正では磁気嵐に遭遇すれば20nT程度の偏差が見込まれ、5nT程度の偏差は日常的に出現するであろうことが示された。

3. 2 磁力計の改良

先述のように、赤池のデータは阿蘇との単純差を求めるだけでは十分ではない。より高度な解析手法を適用するには、まず磁力計のS/N比を改善すべきことが提唱できる。最も簡単な方法は磁力計の励起電流を増加させることである。既存の装置では電池の関係で12Vが用いられていたが、補助の電池（9V, 450mA H）を付加して、通常は主電池と並列にして充電しておき、計測時にはこれを直列に切り替えて20V励起が出来るように改良した。

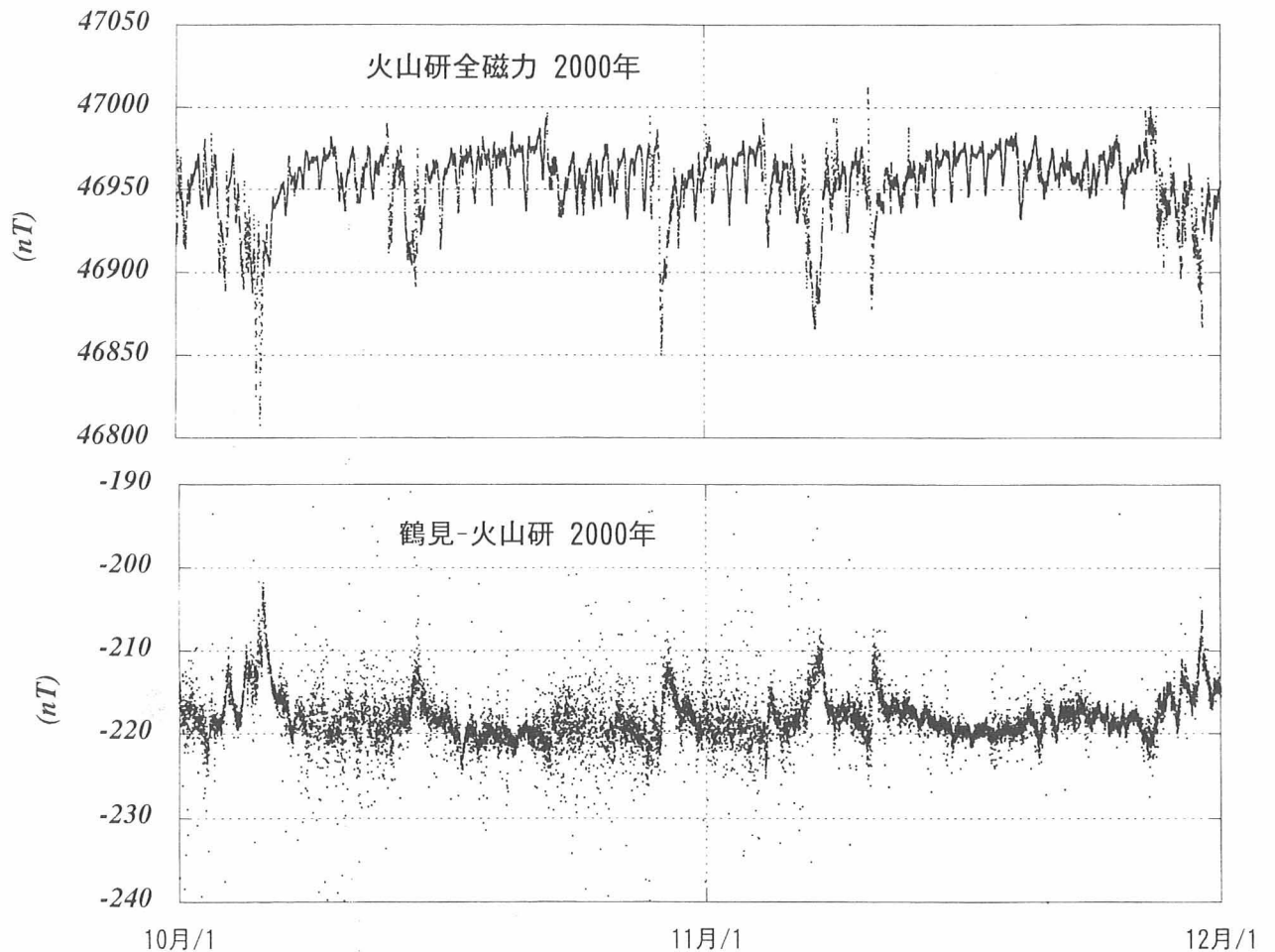


図3：鶴見岳における地磁気全磁力変化

結果は、図4下部に示す様に、1月下旬の数日を除いて満足のゆくデータが得られている。1月下旬には日照不足が生じてS/Nが劣化し始め、2月3日には記録が中断している。

2002年の地磁気変化は2000年秋に比べて静穏である。このことも手伝って、日変化の差は最大5 nT程度と小さい。長期の変化を図3と図4で比較すれば、2000年10-11月における2地点差の平均は780~785nT（正確には3000nTを減じるべきだが）であり、2002年1月では785~790nTである。単純に見ると約5 nTの増加であるが、この関係は繰り返し観測で求められたTR2の-20nTに符合しない。長期間、多数の地点で連続観測を維持することは大変であるから、繰り返し観測で代用することを模索しているが、ここまでの考察では問題の生じることが明らかである。以下に、地磁気の三成分観測を用いた補正の例を示し、検討する。

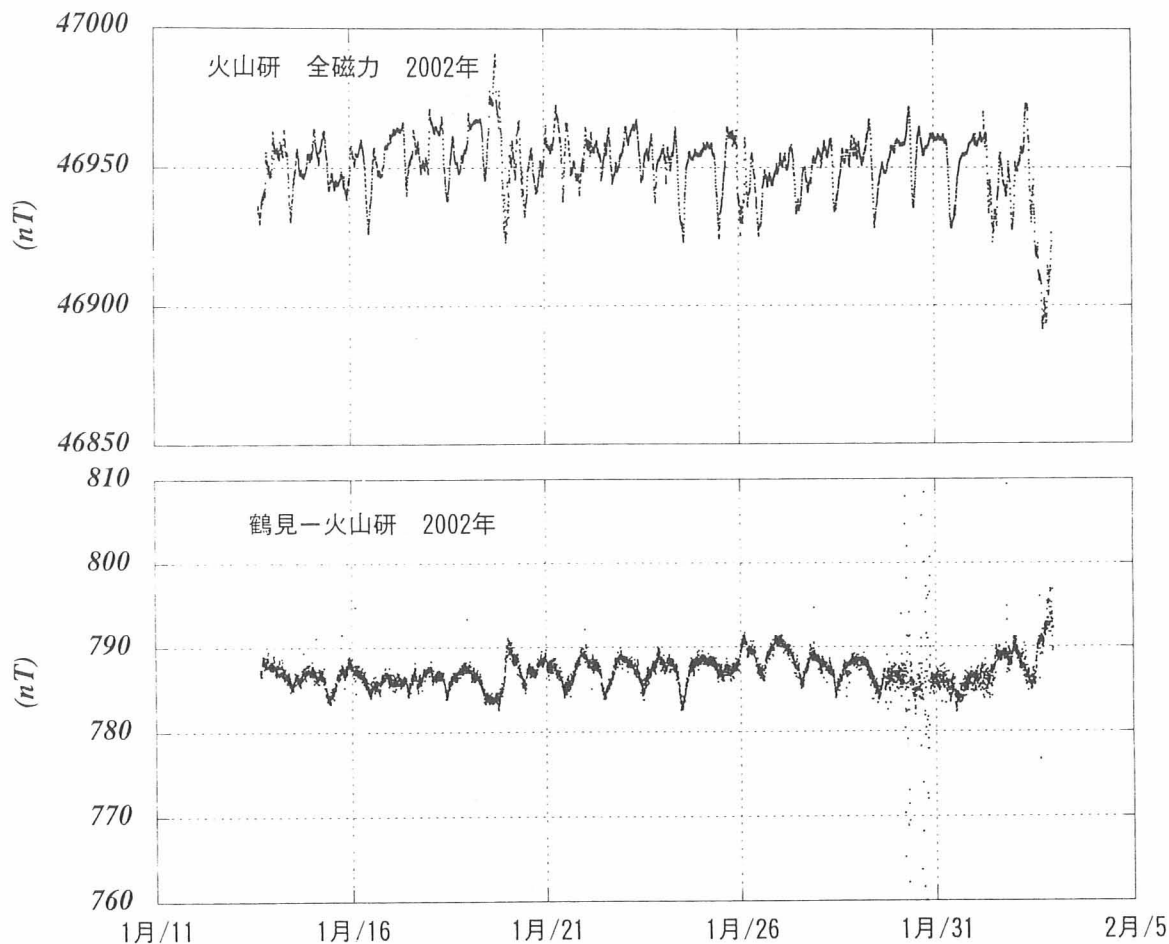


図4：磁力計改良後の連続観測結果（2002年）

5. 地磁気三成分補正

三成分補正の事例として、S/Nが良くなった2002年のデータを利用したいのであるが、阿蘇の成分観測が断続している。やむなく、2000年11月について図5に示す阿蘇の地磁気三成分の1時間平均値を補正関数として用いて、単純差の補正を試みた。先述したように、地球主磁場の偏角や伏角および強度が観測地点ごとに異なっている所に、空間的に一様な擾乱磁場が加わっている場合を想定して、

$$dF = F_1 - F_0 + (a * H' + b * Z' + c * D')$$

の分散を最小とする a, b, c を求める問題に帰着できる。

ここで、F1, F0は2地点の全磁力観測値、H', Z', D'は基準点の地磁気の水平分力、鉛直分力、偏角の変化分である。

今回は試行錯誤的に求めたので、概略値で示すが、a = -20、b = 25、c = 10 である。補正された結果は図6の上部に示してあり、単純差（図6の下部）で見えていた、11月上旬に高まり11月17日頃に低下する長周期の変動や、11月下旬の上昇変化は補正により消滅した。主に水平分力や鉛直分力の変動が全磁力の差を引き起こしていたもので、磁気嵐の影響も良く補正されている。若干のばらついたデータが存在するが、鶴見のS/Nの悪いデータ除去の不十分さに起因している。

安定した三成分の定常観測を維持することは労力面で大変であるが、地磁気3成分補正は極めて有効な手段である。この補正法に対する我々の仮説が正しければ、求められた補正係数は長期間有効であるから、繰り返し磁気点において約1ヶ月程度の連続観測を行って、補正係数を求めておけば、あとは比較的短時間のくり返し観測を行うのみで、基準観測地点の全磁力および3成分値を用いて精度良く補正できることが推奨される。

他方、地表に露出、あるいは地下浅部に分布する火山岩が気温による温度変化を受けて、観測磁場に年周変化として現れる事が指摘されている (Utada et. al, 2000)。鶴見岳赤池噴気地域でもこの問題に注意を払う必要がありそうで、精度1nTの壁は厚い。

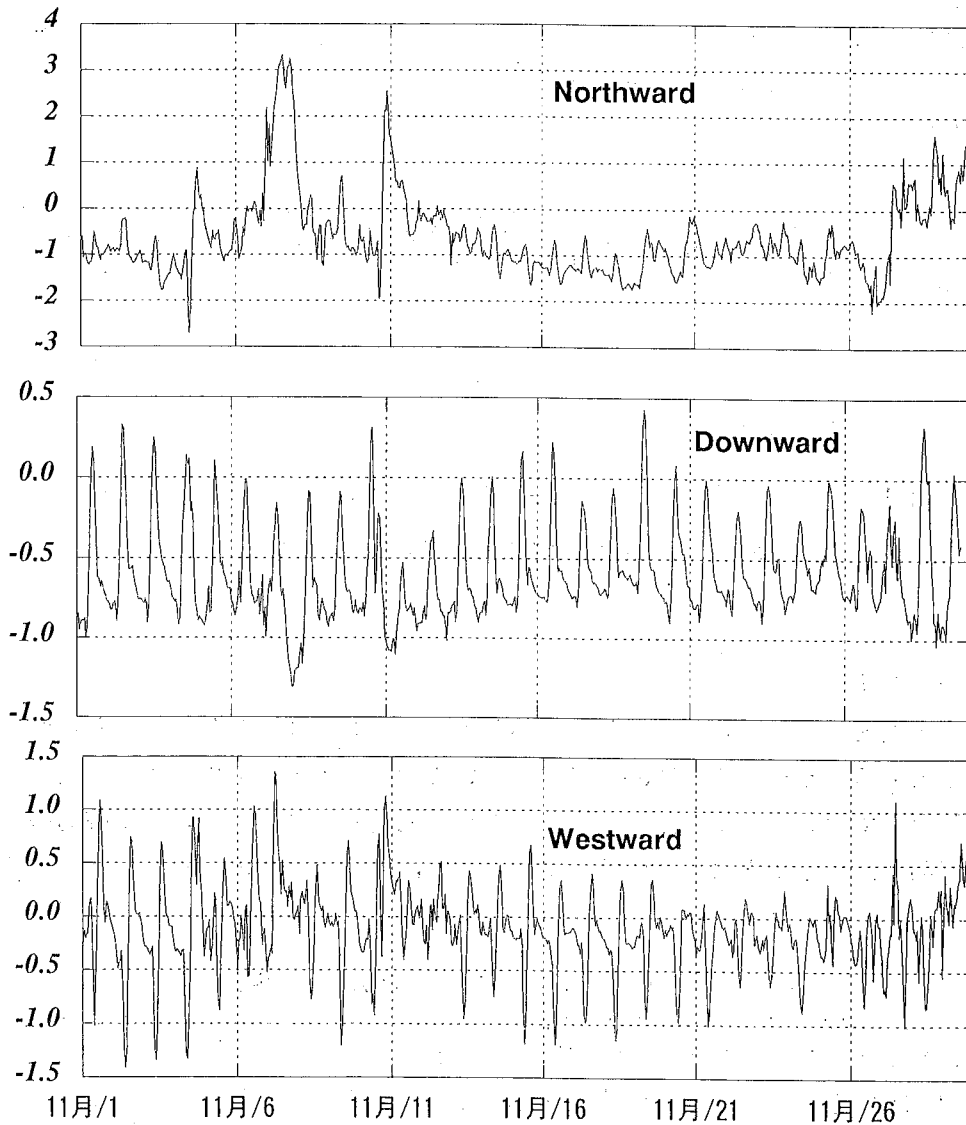


図5：補正に用いる火山研究センターの地磁気三成分の変化

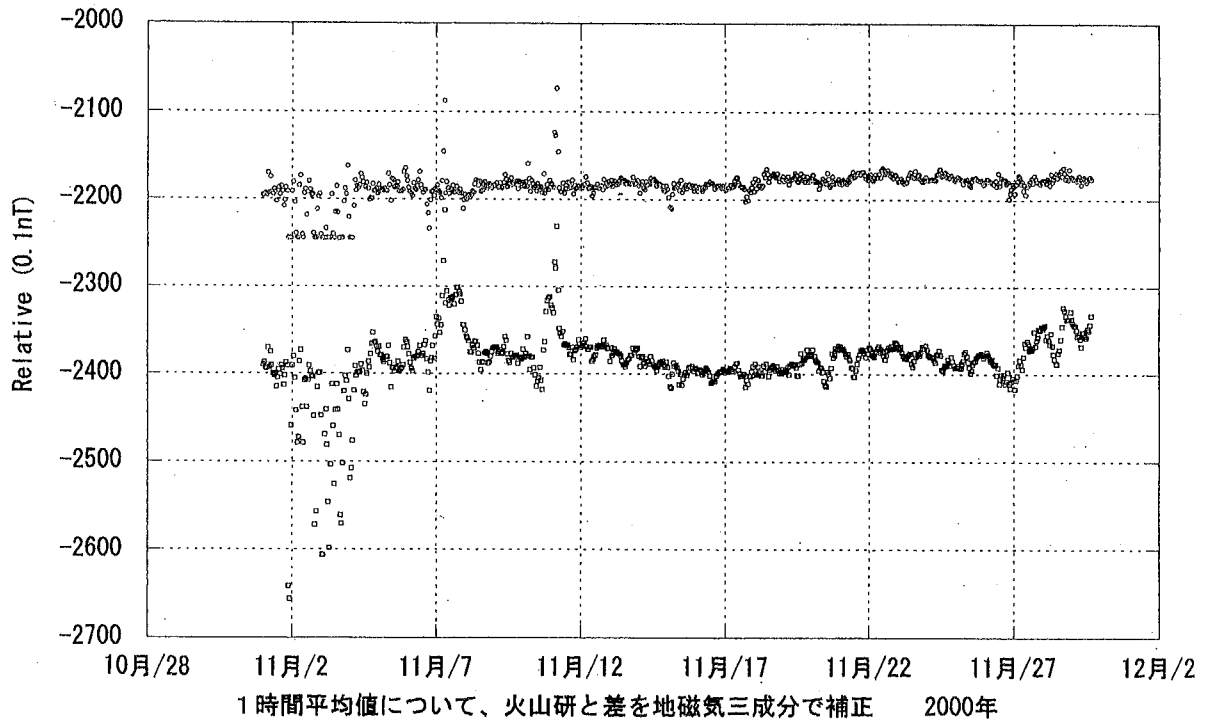


図6：三成分補正の結果

参考文献

橋本武志・田中良和・宇津木充(2001)：阿蘇火山における地磁気変化について(1991-2000年)，
 京都大学防災研究所年報，第44号B-1，333-343.

坂中伸也・田中良和・宇津木充・橋本武志(2000)：九重硫黄山での地磁気変化による噴気火道の形状推定，秋田大学工学資源学部研究報告，第22号，25-38.

Tanaka, Y. (1993) : Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso Volcano, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 56, 319-338.

田中良和・宇津木充(2001)：地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究，大分県温泉調査研究会報告，第52号9-14.

田中良和(1999)：火口浅部でのマグマと水の相互作用に関する研究，科学研究費補助金成果報告書「九州中部地域における地熱構造および熱水流動過程の研究」，175-191.

田中良和・増田秀晴・河村謙・大地洗・加藤諠司・馬場広成・吉野登志男(1978)：阿蘇火山地域での全磁力測量一(1977)，阿蘇火山の集中総合観測(第1回1977)報告，31-39.

気象庁，1975：日本活火山要覧，p 84.

H. Utada, M. Neki, and T. Kagiya (2000) : A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals, E.P.S, 52, 91-103.

大分川流域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

1 はじめに

大分川は流域面積646km²、幹川流露延長55kmの一級河川である。本川流域には湯布院、湯平温泉、庄内温泉、挟間温泉そして下流部の市街地にも温泉が多数分布している。また支流阿蘇野川流域には白水鉱泉、阿蘇野鉱泉が、芹川流域には久住温泉、七里田温泉、長湯がある。さらに七瀬川流域には野津原町の妙見泉をはじめとする炭酸鉱泉群が、その下流大分市には塚野鉱泉がある。また賀来川流域にも最近新しい温泉が掘削されている。そのために大分川の河川水中の塩化物イオン濃度は大野川に比べて高くなっている。

今回、大分川流域の温泉水中の化学成分の経年変化や流域の温泉開発や利用状況をマクロに把握するために河川水中の塩化物イオン濃度の経年変化の結果を報告し、流域別の温泉群モニタリングのあり方について若干の考察をする。

2 河川水中の塩化物イオン濃度の経年変化

表1に河川水中の塩化物イオン濃度を示す。この数値は公共水域測定結果、大分県、データベース¹⁾を筆者が加工したのものである。年間測定回数は川西橋と猿渡橋が隔月の6回で他は12回である。

表1 1997年度と1988年度塩化物イオン濃度の比較

調査地点	河川名	主要温泉群	Cl ⁻ (mg/l) 1997年度平均	1988年度平均
川西橋	大分川	湯布院	15.5	15.5
猿渡橋	芹川	長湯、七里田	8.0	8.2
天神橋	大分川	庄内、挟間	12.9	14.8(20.6)*
小野鶴橋	大分川	野田山、小野鶴	17.4	13.6
賀来橋	賀来川	由布川、城島	22.3	13.2

*大分大学教育学部化学教室資料(1979)

- (1) 川西橋 湯布院町川西の調査地点で、河川水中塩化物イオン濃度の変化量は湯布院温泉の盛衰や利用状況の変化を表していると思える。1997年度と1988年度の平均値は同値で温泉水の河川への影響割合に変化がないことを示している。
- (2) 猿渡橋 芹川下流、庄内町大竜に位置する調査地点である。七里田、長湯温泉に加えて、久住高原にいくつかの温泉が開発されているが、河川水中の塩化物イオン濃度には表に示した10年間で殆ど変化は見られない。
- (3) 天神橋 大分川本川、大分市と挟間町の境界線上の調査地点である。表中の()*に示した値は1978年当時の測定値である。この資料によれば同時期の篠原橋の塩化物イオン

濃度の値は7.4mg/lで天神橋での塩化物イオン濃度の上昇現象は挟間温泉群からの高塩分温泉水の供給で説明できる²⁾。1997年度と1988年度の塩化物イオン濃度の差は有意であるとすれば、挟間温泉の衰退、もしくは利用状況の低下などが、この値から推察される。

- (4) 小野鶴橋 大分川本川、大分市賀来の調査地点で、天神橋下流約2 kmに位置する。表中の10年間の間の平均値は有意な上昇傾向を示している。この要因として大分市野田山地区に掘削された高塩分泉（塩化物イオン4.5~9g/l）の影響が伺われる。
- (5) 賀来橋 賀来川下流の調査地点である。賀来川は由布川と石城川が合流した河川で、上・中流域には城島温泉や近年開発された「由布川温泉」がある。賀来橋の塩化物イオン濃度は表に示した10年間で2倍近い上昇を示している。

3 温泉モニタリングについて

河川水中の塩化物イオン濃度から温泉の盛衰、利用状況変化を考察した結果、湯布院温泉や芹川流域の温泉には1988年度から1997年度の10年間に顕著な差異はみとめられなかった。しかし、由佐ら³⁾は長湯温泉の現況調査で、温泉開発が進行する中で個々の温泉の化学成分排出量には衰退現象が見られるが、温泉群全体からの排出量には経年変化が少ないことを指摘している。したがって、長湯温泉、湯布院温泉についても定期的な源泉別の調査が必要である。

天神橋の塩化物イオン量は10年間で有意な減少傾向をしめしており、挟間温泉の個々の源泉の地化学調査、利用状況調査を施す必要がある。また、賀来川流域の温泉開発が近年急速にすすめられ、河川水中の塩化物イオン濃度が10年間で2倍近く上昇していることが分った。この後、この流域の温泉の調査を行うとともに河川水についての水質把握も重要であると思われる。

大分市街地の温泉が直接大分川に与える影響は少ないが、筆者らが⁴⁾昨年報告したように、いくつかの源泉で温度が低下したり、化学成分組成の変化が見られるものがあった。そこで今回、これらの温泉について無機体チッソの測定を試みた。これは比較的浅層地下水の混入があるかどうかの判別をするためである。その結果生石地区、長浜地区の源泉でNO₃-Nとして0.9~3.1mg/lという高い値を検出した。しかし、測定試料が少なかつたために十分な検討が加えられず今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 公共用水域及び地下水の水質測定結果、大分県生活環境部管理課（1998）
- 2) 河川、温泉水の水質：挟間町誌、12-17、挟間町（1983）
- 3) 由佐悠紀、神山孝吉、志賀史光、川野田実夫：長湯温泉現況調査、大分県温泉調査研究会報告第34号、18-29（1983）
- 4) 川野田実夫、本多真美、大分市街地温泉の化学成分経年変化：大分県温泉調査研究会報告第52号、59-62（2001）

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14年7月1日現在)

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	岩 本 隆 治	副 会 長
大分県生活環境部生活環境課長	矢 野 嘉 昭	常 務 理 事
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
九州大学名誉教授	延 永 正	
大分大学名誉教授	志 賀 史 光	
大分総合検診センター会長	辻 秀 男	
大分大学名誉教授	森 山 善 蔵	理 事
元大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
大分大学教育福祉科学部教授	川 野 田 実 夫	理 事
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	竹 村 恵 二	
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
日本文理大学工学部助教授	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	
京都大学大学院理学研究科助手	橋 本 武 志	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 知 二	
別府ONSEN地療法研究会(大分県中央保健所)	東 貴 子	
(株)エスピーシーテクノ九州(温泉登録分析機関)	植 木 和 宏	
(社)大分県薬剤師会検査センター(温泉登録分析機関)	炭 本 悟 朗	
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	八 坂 恭 介	
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	

職 名	氏 名	備 考
挾間町長	佐藤成己	
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	櫟木晋一郎	
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
別府市温泉課温泉企画係長	八坂秀幸	
大分県中央保健所長	渡辺英宣	監事
大分県中央保健所次長兼総務温泉企画課長	田中昭次	
大分県衛生環境研究センター所長	甲斐崇明	理事
〃 化学部長	浜内正博	
〃 微生物部長	帆足喜久雄	
〃 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 57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	渡辺政治	
〃 主幹	瀧 祐一	
〃 副主幹	稗田彰一	
〃 主事	立花優子	

(4名)

大分県温泉調査研究会報告 第53号

平成14年7月 印刷
平成14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 3018
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