

大分県温泉調査研究会

報告 第34号

昭和58年3月

目次

地熱系のラドンの起原と行動……………	古	賀	昭	人…(1)
熱水流動経路におけるセパレータモデル… の導入	吉 北	川 岡	恭 豪	三…(10) 一
由布院温泉の化学成分長期変化……………	由	佐	悠	紀…(18)
温泉地療養：ことに運動療法の肺機能に… 及ぼす影響	辻 麻 竹	生 内	秀 義	男…(30) 宰 彦
リュマチの温泉治療：慢性関節リュマチ… に対する寒の地獄泉の影響（第2報）	延 吉	永 田	正 史	郎…(35)
温泉法と地熱開発をめぐる法的諸問題… (中)	大	野	保	治…(40)
大分市街地の温泉：リン・窒素および有… 機体炭素の分布	川 志	野 賀	田 史	実夫…(53) 光
原爆被爆者の温泉療法（第15報）……………	大	内	太	門…(59) 男
湯平温泉における現地調査並びに講演会… 深部地熱構造に関する研究会	大分県	環境	管理	課…(67)

地熱系のラドンの起原と行動

- I 別府地熱地帯の噴気中のラドン
- II 地熱探査や断層指示元素としてのラドン

九州大学生産科学研究所 古賀昭人

緒言

温泉、鉱泉の放射性成分については1910年以来、本邦では多くの研究がなされて来たが、主として「温泉水」についてなされたもので、温泉ガスや噴気についての測定はそれほど多くはない。別府においても例外ではなく、昭和32年著者らによる別府温泉水50個中のラドン、ラジウムの定量は「温泉水」に限られている。他に温泉沈澱物中のラジウムの測定がなされたが、温泉ガスや噴気については未測定であった。しかし、もともと気体元素であるラドンの行動を見る場合に温泉ガスの研究は極めて重要である。

ラドンはほとんど不活性ガスで、沸点は -61.8°C 、天然では気体として存在する。 Rn^{222} 、 Rn^{220} 、 Rn^{219} のアイソトープがあるが、それぞれ U^{238} 、 Th^{232} 、 U^{235} から作られたものである。 Rn^{222} の半減期は3,825日、 Rn^{220} (Tn)は54.5秒、 Rn^{219} (Ac)は3.92秒でアクチノンと呼ばれている。

本邦でのラドンの放射能測定には通常IM泉効計が使用されているが、最近は液体シンチレーションカウンターを使うこともある。今回、著者は α 線検出器を購入したので、それをを用いて別府地熱地帯の噴気ガス中のラドンの測定を行うと共に、土壤空気中のラドン、トロンの測定から、それらが地熱探査の有力な指示元素となりうるかどうかを考察した。

I 別府地熱地帯の噴気中のラドン

I-1 噴気ガス中のラドン測定法

ラドン測定は国際電子工業株式会社製のRD-200とRDU-200を用いた。RD-200は α 線検出器であり、容積170mlのセルの内部にZnS (Ag)をコーティングしたものと光電子増倍管からなり、電池により操作できる。1、2、5、10、30、60分間についてカウンティングできる。試料が気体であればセルに入れればよいが、液体であればラドンを分離する必要がある、最初にRDU-200を用いてラドンを試料から追出して真空セルに入れ、RD-200の α 線検出器でラドン含量を測定する。

一方、噴気ガス中のラドン測定には図1のような器具を必要とする。すなわち、噴気孔と内容5lのガラス球とつなぎ、更にトラップのついたコンデンサーと接ぐ。冷水でガラス球を冷しながら小型ポンプを用い

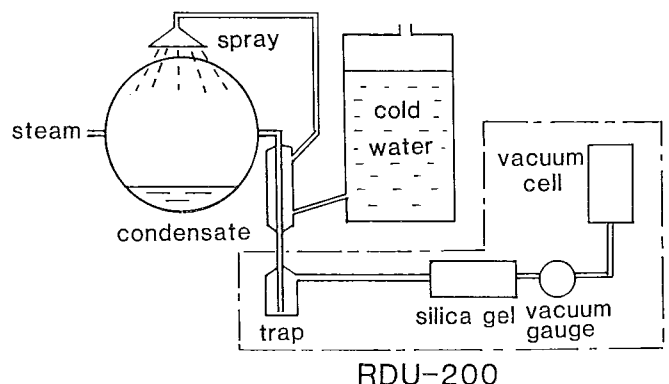


図1 噴気ガス中のラドン分離装置

て充分内部を噴気ガスと置換する。ついで、RDU-200に接ぎ、前もって真空にしたセル(内容170ml)に水蒸気から分離したガスをゆっくり導入する。入っているかどうかは真空ゲージにより判断できる。真空セルをRDU-200から離し、RD-200の α 線検出器でカウントを測定する。なお、同一試料をIM泉効計でラドンを測定し、 $1\text{cpm}=0.0103\text{nCi}/\ell$ なる関係を得たので、以後はこの換算値を用いた。また、放射能は約3時間まで増大するので復元係数を用いて採取時の値に戻す必要がある。

1-2 別府地熱地帯の噴気中のラドン

別府地熱地帯の29個の噴気中のラドンを測定したが、その位置ならびに測定値は図2と表1にあ

Location Map of Sampling Points for Rn Measurements in Beppu Geothermal Area

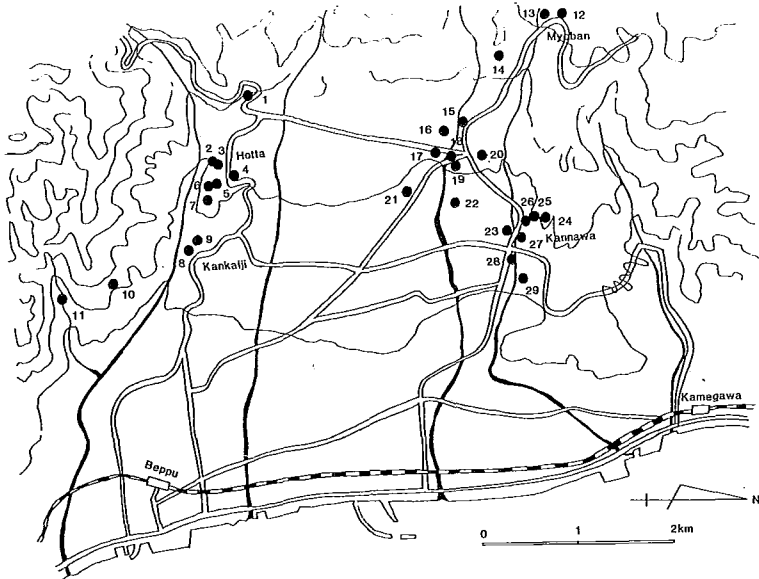


図2 別府地熱地帯でラドン測定した噴気の所在地

表1 別府地熱地帯の噴気ガス中のラドン含有量

No.	地区	泉名	測定日	Rn nCi/ℓ	No.	地区	泉名	測定日	Rn nCi/ℓ
1		向井病院	'82. 3. 11	0.83	16		松山荘	'82. 4. 5	2.62
2	堀田	堀田①	〃	1.51	17	小倉	湯の香荘	〃	11.30
3		堀田②	〃	3.04	18		神丘温泉	'82. 4. 15	0.70
4		嘉麻興業	〃	0.81	19		大野	〃	1.20
5		荒金(寺)	〃	0.26	20		本坊主地獄	'82. 4. 8	10.20
6		熊谷	〃	0.13	21		桑原	'82. 3. 23	7.26
7		荒金(正)	〃	0.29	22		宮前温泉	'82. 3. 25	0.42
8		観海寺	慶松園	〃	1.08		23	鉄輪	熱帯植物園
9	八幡地獄		'82. 4. 12	4.43	24	神和苑	〃		0.24
10	中間温泉横		〃	1.93	25	十万地獄	〃		0.67
11	ラクテンチ		〃	4.44	26	十万地獄横	'82. 4. 13		0.39
12	明礬	明礬	'82. 4. 8	2.05	27	金竜地獄	〃	0.35	
13		やまなみ荘	〃	7.63	28	かなわ荘	〃	0.16	
14		むつみ会	〃	4.10	29	松屋別館	'82. 4. 5	4.87	
15		照湯	'82. 3. 23	8.72					

げられる。温泉ガスの放射能は通常 $Tn \gg Rn$ であるから（たとえば、玉川 16.4 号泉の噴出ガスでは $Tn=4,250 \times 10^{-10} \text{ Ci}/\ell$ 、 $Rn=24 \times 10^{-10} \text{ Ci}/\ell$ 、指宿の鯉温泉1号では $Tn=14,650 \times 10^{-10} \text{ Ci}/\ell$ 、 $Rn=1,060 \times 10^{-10} \text{ Ci}/\ell$ ）、もちろん両者を測定すべきであるが噴気の場合は蒸気を凝縮させてガスと分離する必要がある、図1の如き前処理をするので時間がかかり、 Tn の半減期(54.5秒)からは到底 Tn を満足に測定するのはむずかしいと思われる。そのため、表1は噴気中の水蒸気を除外したガス相のラドン Rn^{222} だけの値を示した。

ラドンの濃度が高いのは主として小倉地区に集まっており、鉄輪地区は少ない方に属し、以前に測定した水銀のように蒸気系の方に熱水系より濃縮されているとするほど単純ではない。別府全地区で $gas/steam$ と Rn の間には相関はなかった。水銀は地下温度に極めて鋭敏であり、深部の地熱流体から気相へ、気相へと移って行くからであるが、ラドンの場合のソースは意外に浅所にあると考えられるので、気体ではあるが水銀ほどはつきりしないのであろう。もちろん、本質的には蒸気系の方が熱水系よりラドンの濃度は高いはずであるが、D'Amoreら(1976)はイタリアのラルデレロ地熱地帯で、ラドンの最高値地帯はrecharge地帯で熱水系の所であったと述べている。すなわちそこは透過性がよく熱水系の所でエンタルピーも小さく $gas/steam$ 比は小さい所であった。そしてエンタルピーが増大し、 $gas/steam$ 比が増大するにつれ、ラドン量も減じたという。このような相反する現象はラドンが深部起原でなく、ソースが極めて浅いことを示すのであろう。

古賀ら(1957)が前に行った別府温泉水のラドン測定では明礬地区の温泉水が多かったが、この地区は地下水を噴気で加熱して造られた型なので、ラドンは恐らく噴気から加えられたものと思われる。また、同時に行ったラジウム定量の結果は別府温泉水のラドンのほとんどは、他の本邦の温泉と同様にラジウムとは独立に温泉水に入って来たことを示していた。

別府地区には放射能泉はなく、噴気中にも多くはない。岩崎ら(1951)はラドン含有量と噴気の噴出量間に一般に負の相関があるとし、鎌田(1961)も霧島の栗野岳地域で同様な結論を得ているが、別府では濃度が小さいためか判然としなかった。

放射能の供給源の問題は多くの研究者、たとえば鎌田(1961)により詳細に論じられているが、火山ではマグマ、他は地下あまり深くない所にある火山昇華物や温泉沈澱物などであるとしている。鎌田はマグマが地表に現われた場合をのぞいて、一般の噴気孔においては地下比較的浅所にラドンやトロン供給帯があり、地下深部から来るガスがその供給帯を通る時にガス中に供給されたものと結論した。彼は、これを実証すべく松川地熱地帯の自然の噴気がある地帯にボーリング孔がある地域を調査し、深度の深いものほど、ガスの由来する深度が深いほどラドン含有量が小さいことを認めている。

今回の調査で、八丁原発電所内の復水器の排気についてラドンを測定した結果、 $1.45 \text{ nCi}/\ell$ であった。鎌田(1961)がかつて行なった大岳のボーリング孔5個の測定平均は $8.45 \text{ nCi}/\ell$ としているので、現在もそう変化していないとすれば大岳の方が浅いのでラドン値の大岳 $>$ 八丁原は当然かとも思われる。また、鎌田によれば小松地獄(7試料)、大岳地獄(13試料)の平均値は夫々29.8と $32.4 \text{ nCi}/\ell$ を与えているので、自然の噴気孔の方が附近のボーリング孔より、ラドン量が多いのは九重でもふつう現象と認められる。

結局、別府地区では小倉附近にラドンが多いのは、この地帯の貯溜層の透過性が大きく、ソースからの距離が短いのかも知れない。しかし、この問題はラドンと一緒に半減期の短いトロン(55秒)も同時に測定して討議すべきだと思われる。通常、地熱地帯の生産井のラドン濃度の測定は、リザーバーのモニタリングに必要であろう。長期間における生産井のラドンの測定はエンタルピーとの関連において重要であり、その濃度の変化は地下の種々の情報をもたらすものと期待される。そのためにも、ラドンと一緒にトロンの測定も是非やらねばならないだろう。

II 地熱探査や断層指示元素としてのラドン

II-1 地熱系のラドンの生成と移動

ラドンは不活性ガスで水にとけ α 崩壊する放射性元素である。地表附近のラドンの異常から断層を知ったり、ウラン鉱物を発見したり、地熱探査の一手段とする方法には多くの研究がある。

これら放射能探査は、かつて物理探鉱法の一手段として用いられたようだが、放射性元素の分布や移動を考えると地球化学的因子に支配されていると思わねばならない。地表附近に存在する放射能は主としてRnとTnであるが、地中空気に停滞しているガス中の放射能は地上の開放された空気に比して遥かに大きいと思われる。

これらのラドンの生成はどこでなされるであろうか？ D'Amore, et al, (1978, 1979) によれば母岩からでてくるRn²²²の量は次のパラメーターによるとしている。岩石中のRaの量、その分布の仕方、逸散する面積の広さ、母岩における応力場、温度、更に岩石の孔を充している液体の物理化学的性質などである。

地熱系におけるラドンの生成には、次の二つのステップがある。一つは、親元素からの崩壊による生成と結晶構造からの逸脱であり、それが拡散や輸送により移動して行くプロセスの二つである。ラドンが結晶構造から逸脱する場合は粒子の大きさに反比例しており、新鮮な岩石よりも風化した変質を受けた岩石の方が出やすいと言われている (Starik, Melikova, 1957)。StokerとKruger (1975) は地熱流体のラドンはリザーバーの多孔性と破碎帯の分布により決まるとしている。地熱流体に入ったラドンは拡散や輸送によるプロセスで移動するが、拡散による生成源からの距離は僅かである。湿った状態では更に短くなるであろう。しかし、対流現象が起これば、ラドンは容易に地表に到達する。高い温度勾配があれば強い対流が起こればラドン量は増加する。ラドンはガスであるから、地表近くになって圧力が減少すれば非凝縮ガス層に流体から移るであろう。また、半減期 (Rn=3.82日, Tn=55秒) は輸送距離に当然かかわって来る。この問題については次節に述べる。

II-2 地熱探査や断層指示元素としてのラドン

本邦におけるラドンを指示元素とする探査は幾つかあり、たとえば杉原 (1953) は三朝温泉で天然水中の放射能をIM泉効計で測定して放射能泉の掘削位置を決めたり、島 (1953) は増富温泉でポータブルのGMカウンターで道路沿いに放射能を測定し探査に用いた。また、岡部 (1956, 1958) は別府市内や別府中部地区の地表の放射能を測定し、地下熱源との関連を見出している。一方、飯島ら (1981) は硝酸セルローズフィルムを用いたラドン定量法と液体シンチレーションカウンターによる方法を松代温泉地域の既知の断層線を横切る測定ラインで行い、好結果を得た。

外国においても土壤空気中のラドン測定は硝酸セルローズフィルムを使う方法が主流を占めているが (Nielson, 1978, Whitehead, 1981, 1982, 1983, Cox, 1980)、回収までに1~2か月を要しており、その間に多くの天候、気温の変動、降雨の影響もあって、結果の解釈に必ずしも満足がいく方法であるとは思われない。

これに反し、現在我々が使用している α 線検出器は計算によりRnとTnとに分けて値を出すことができる。これは画期的なことで今までTn>RnがふつうであるのにTnの半減期 (55秒) の短かきの故に測定がむずかしかつたが、RnもTnも同時に測定しようとすれば、半減期が異なる二元素の量の比較は地下の未知の情報を提供するかも知れない。しかも測定はかんたんであり、1か所あたり数分ですむから1日に40個所の測定は可能であろう。また、土壤空気中のラドンの生成は前述のように気圧、降雨、風により影響を受けるので、できるだけ短期間に集中してやる必要があり、国際電子工業K.KのRD-200による測定はフィルム法より多くの利点があると思われる。

測定は図3のようにして行う。直径5 cm、長さ1 mの中空のパイプを50cmの深さまでハンマーで打込み、引抜いた後に塩化ビニールパイプ（約10cm）を入れて孔を固める。ついでRD-200を図のように連結しゴム球ポンプで孔の中の空気をラドン検出器のセル（容量170ml）に送り込む。数回ポンプを押してセル内の空気と孔中の空気を均一にした後、検出器のボタンを押して続けて3回、1分間値をカウントさせる。Rnは次式により計算できる。

$$Rn^{222} = 0.87C_3 + 0.32C_2 - 0.34C_1$$

ここで C_1 、 C_2 、 C_3 はバックグラウンドを差し引いた1分間ずつの値である。トロンはしたがって

$$Rn^{220} \text{ (トロン)} = \sum C_{x_{net}} - \text{calculated } Rn^{222}$$

$$\text{ここで、} C_{x_{net}} = \text{net count} = C_{\text{observed}} - Bg \text{ count}$$

で計算できる。次の場所へ移る場合はバックグラウンドをできるだけ下げの必要があり、ポンプを用いて外気で洗って、少なくとも20cpm以下にする。強い放射能を測定した場合は他のセルと交換する。

これらの測定は一定間隔毎に行ったり、適当な間隔で地図上に測定点を書きこんで測定するが一般には、炭酸ガス、水銀など同時に調査することが多い。注意すべきことは深度であり、一定にする要があり、通常50cmをとっている。一般に表層より深くなるほどソイルエア中のラドンは増加すると言われているからである（Kristianssonら、1982）。

かくして得られた結果は必ずしも他の指示元素と同じ結果を得るとは限らない。たとえばラドンは水銀と異なり、熱に対してそれ程鋭敏でなく（その点ではむしろ炭酸ガスの行動に近い）、むしろ表層に向う透過性の強い地帯を指示していると思われる。Whitehead (1981) はワイラケイで2つの断層が交差する所で最大であったと述べ、Cuff (1982) は断層や破碎帯のような透過性のある構造を通して上昇して来る対流がある所にラドンが多いといい、降下流か静止流の所はラドンもなく透過性がない所であるとしている。また、Whitehead (1981) は地図上に書かれた断層が果たして深部でも存在しているかどうかの保証はないとし、古い断層ではクラックがシリカにより塞がっているのもあり、不透性になっていればラドンは上昇しないから、地下の透過性を知るのに好都合であると述べている。

もし、断層が地質学や地球物理学的に存在するとされている所でラドンが少なければ、1) その断層はシールされていてラドンの上昇を妨げているか、2) その地点で強力な冷地下水の降下があってラドンの上昇を妨げているか、更に3) 地質図に書かれた断層の位置がずれていて正確でない、のいずれかであろう。

II-3 土壤空気中のRn/Tn比

断層ラインや地下構造が判然としている地帯でラドン測定を行ってみるのは興味があるが、古賀ら (1982) はニュージーランドのBroadlandsとNgawhaで他の指示成分たる炭酸ガスや水銀と共にラドン調査を行った。図4、5、6はBroadlandsの断層ライン、土壤空気中のラドン+トロン、同じくRn/Tnの比である。断層ラインはワイカト川左岸では地表まで現われているが、右

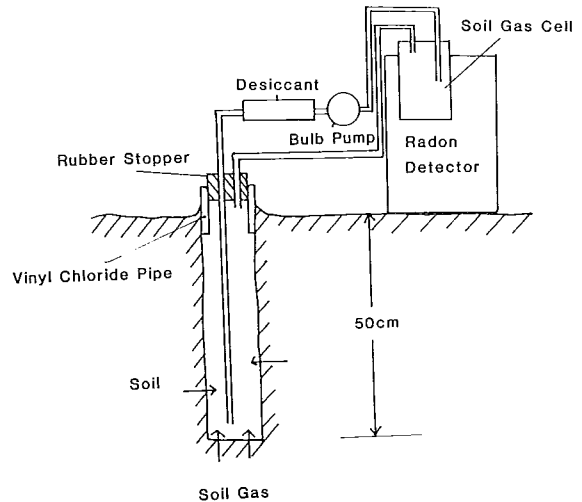


図3 α線検出器による土壤空気中のラドン測定法

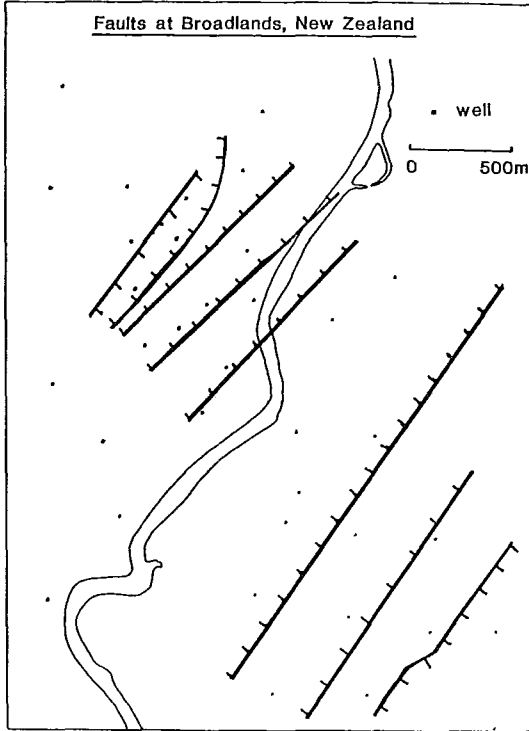


図4 ニュージーランド、Broadlands地区の断層ライン

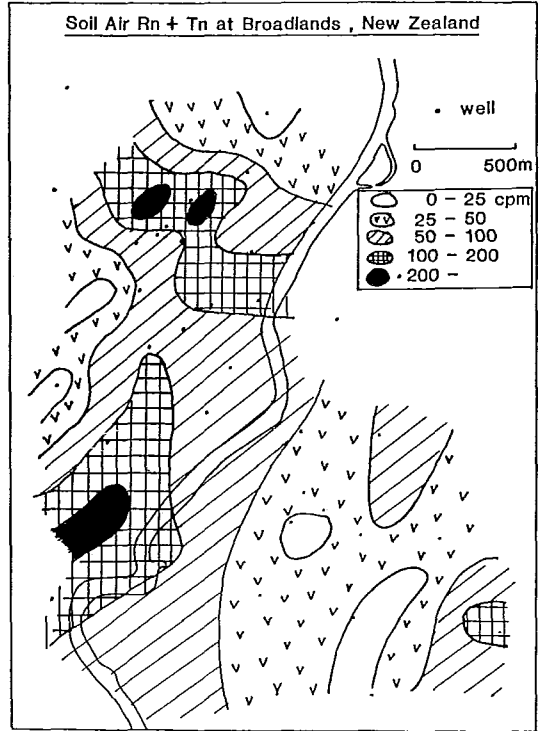


図5 ニュージーランド、Broadlands地区の土壤空气中のRn+Tn

岸では泥岩が厚く（300mに及ぶ）地表に現われていない。泥岩の厚さはそのまま揮発性成分の地表への逸出を妨げており、ラドンも例外ではない。図5は破碎帯を示しており、地表微候（地下1m深温度）とよい相関をもっている。しかし、図6のようにRn/Tn比をとってみると図4の断層ラインによく似た興味ある結果を得ることができた。

土壤空气中のRnとTnを同時に測定した例としてIsraelら（1966）があるが、断層ラインの上で幾つかは全く放射能がなく、他には2つの型、すなわちRn >> Tnの所と、RnとTnとも両者多い所があった。Rn >> Tnの所は土壤が乾燥して透過度のよい所であり、断層に沿って相当深い所から上昇して来たとしている。また、siliceous sinterの多い所もRn/Tn比は大であると述べている。一方、Rn、Tnとも多い所やTn > Rnの所は浅部からそれらがやって来たとしている。

土壤空気ではないが、鎌田（1961）は自然噴気孔やボーリング孔のRn、Tnを測定し、

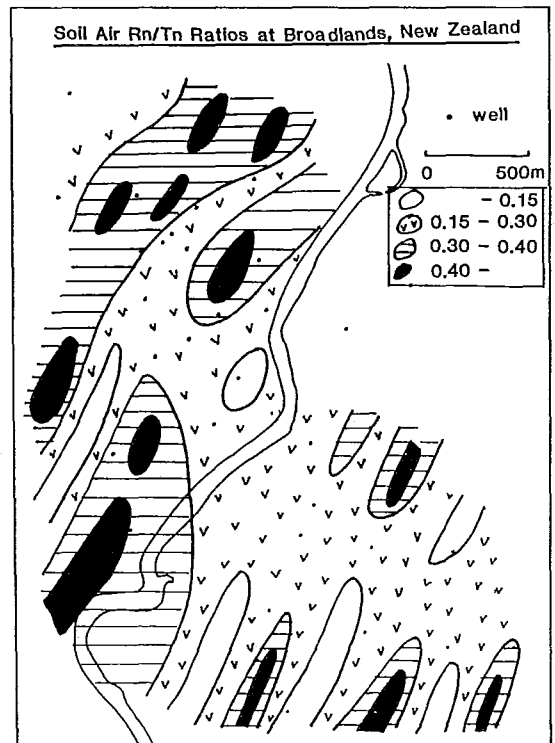


図6 ニュージーランド、Broadlands地区の土壤空气中のRn/Tn比

浅いほどRn/Tn比は小さいことを述べ、Rn、Tnの供給帯は浅所にあり、activityの大きいほど、Rn/Tn比は小さいとしている。そして大岳の場合、Tnの大部分、Rnの相当部分を供給している源はせいぜい300 m以浅であるとしている。

以上の考察ならびに図6からRn/Tn比の高い所が断層ラインを指示するとも思われるが、断層だけあっても地熱による上昇気流、たとえば水蒸気による輸送がある地帯と、地熱がない所では、もちろんRnやTnの量や比が異なるはずである。しかしながら、それらの量や比が場所により異なるのは地下構造の違いによるものだから、断層その他を想定するのは正しいと考えられる。

図7、8、9はニュージーランドのNgawha地区の同じく断層ライン、土壤空気中のRn+Tn、同じくRn/Tn比である。Ngawhaは目下開発中であり、井戸の数も少なく地下構造は必ずしも判然としていないが、図7のA、B、Cラインに沿っての断層、破碎帯があるように考えられる。CラインはRn/Tn比に出なくて、むしろ図8のRn+Tn図に出ている。

その他、山崎断層のような水素を著量出している活断層(Wakita, et, al (1980))でRn/Tn比が

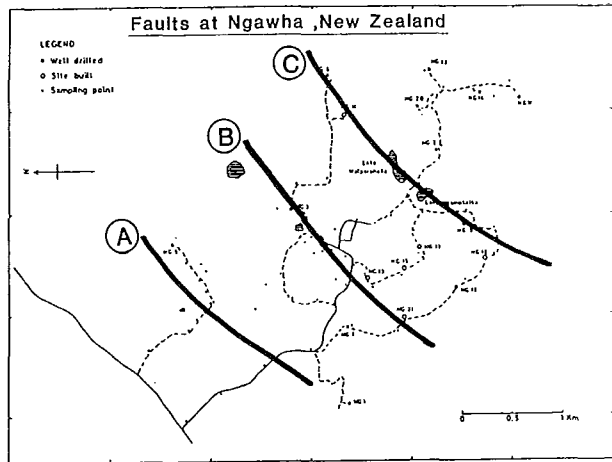


図7 ニュージーランド、Ngawha地区の断層ライン

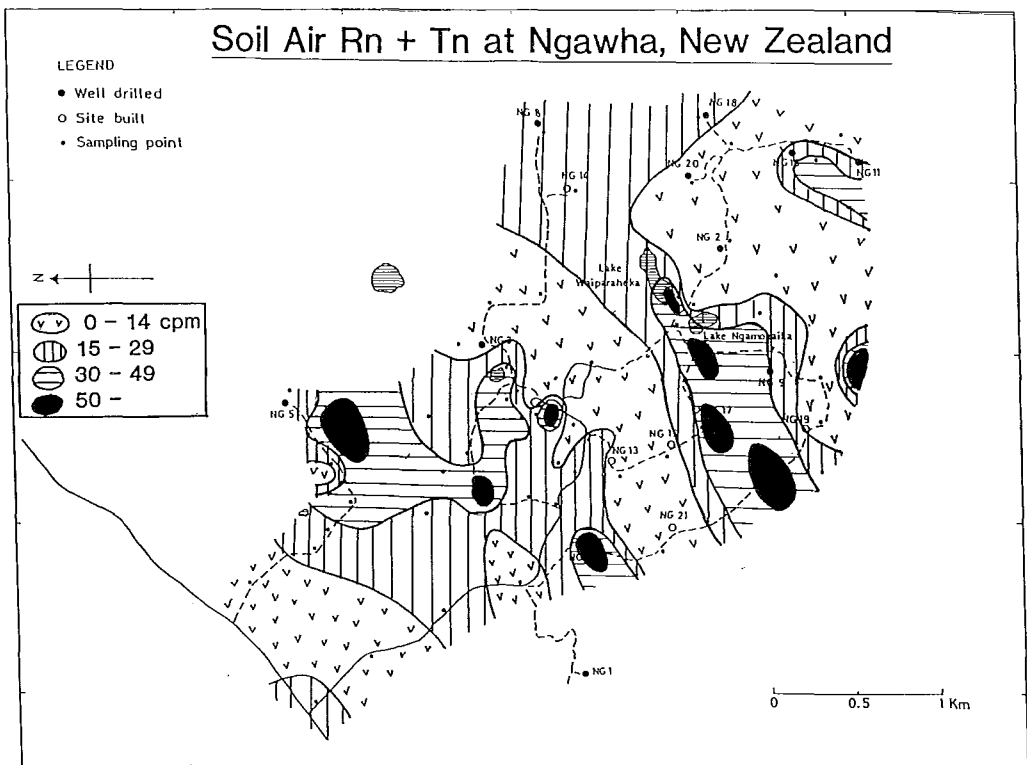


図8 ニュージーランド、Ngawha地区の土壤空気中のRn+Tn

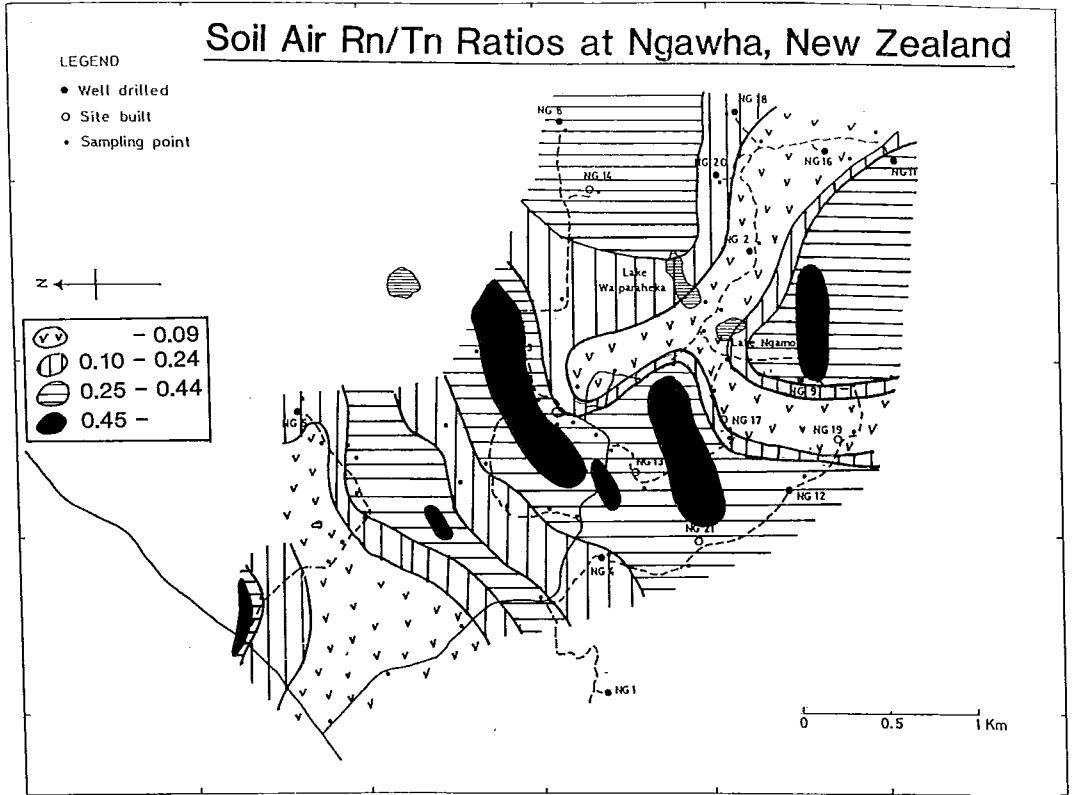


図9 ニュージーランド、Ngawha地区の土壤空气中のRn/Tn比

どうなっているか、大いに興味ある問題である。

文 献

- 1 Cox et al (1980)、Geotherm, Resour, Counc, Trans, Vol.4, P 451
- 2 Cuff (1982)、Pacific Geother, Conference 1982, Proceedings, Auckland, P461
- 3 D'Amore et.al (1976)、International Congress on Thermal Waters, Geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area, Proceedings, Athens, Vol. 1 P104, (1978、1979)、Pageoph, Vol.117, P253
- 4 飯島、堀内、村上 (1981)、温泉科学、32巻 P 42
- 5 Israel et al (1967)、Z, Geophys, Vol.33 P 48
- 6 岩崎、石森、波多江 (1951)、日化 72巻 P 736
- 7 鎌田 (1961) 日化、82巻 P 1000、1005、1008、1143、1147、1153、1337、1342、1346、
- 8 古賀、野崎、川上 (1957)、日化 78巻 P 642
- 9 古賀、田口 (1982)、日本地熱学会講演要旨集 P 56
- 10 Koga, Taguchi, Mahon (1982)、Pacific Conference 1982, Proceedings, Auckland, N. Z. P 135
- 11 Kristiansson et al (1982)、Geophysics, Vol.47, P1444
- 12 Nielson (1978)、Earth Science Laboratory Rept., Univ. Utah Research Institute, No, EG-78-C-07-1701
- 13 岡部 (1956、1958)、大分県温泉調査研究会報告、第7号、P27、9号、P39

- 14 島 (1953)、温泉科学 5 卷 P53
- 15 杉原 (1953)、岡大温研報 9 卷 P37
- 16 Whitehead (1981)、N. Z. J. Science, Vol.24 P59
- 17 Whitehead et al (1983)、J. Volcanology and Geothermal Research, Vol.15 P 339
- 18 Wakita, et al (1980)、Science, Vol.210 P188
- 19 Wollenberg (1975)、2 nd U N Symp, Devel, Use of Geothermal Resources, San Francisco, Vol.2 P1283

熱水流動経路におけるセパレータ モデルの導入

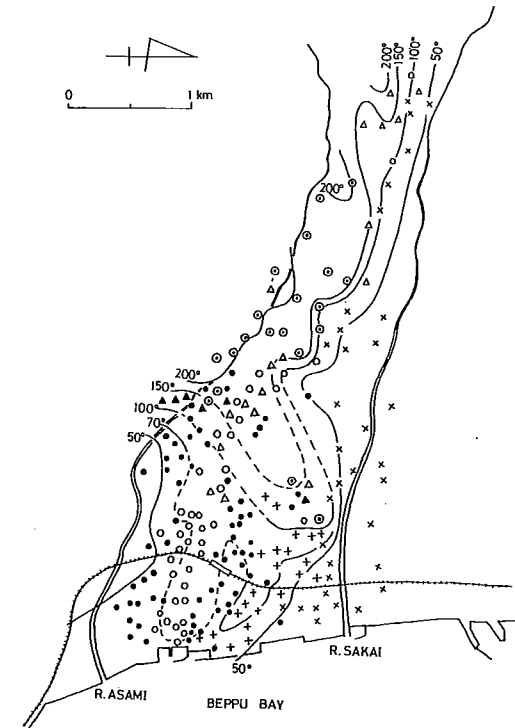
京都大学理学部 吉川 恭三
北岡 豪一

1 別府南部温泉地域

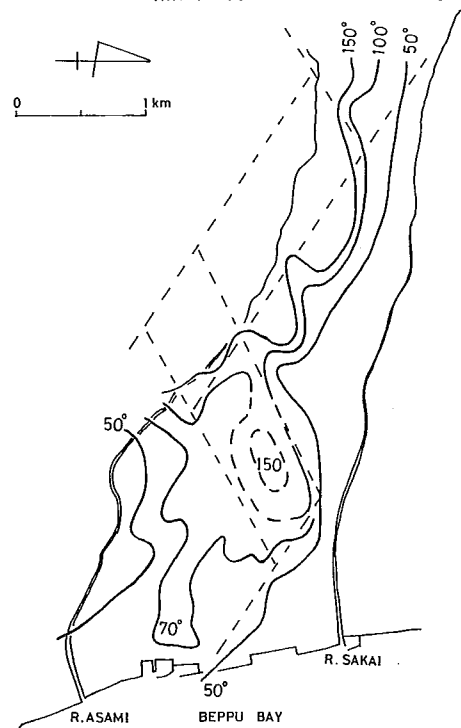
温泉地の中には、食塩泉型の高熱水が地下水に熱や成分を供給することで温泉水が形成され、その供給される経路の違いにより、温泉水の温度や化学成分の分布に特徴がうまれている場合が多い。そういう場所での温泉は、熱水が液体のまま混入した熱水型と、地層中で熱水から分離した蒸気が供給された蒸気型の2種に大別される。昨年度に報告した別府市南部の温泉では、熱水の供給源が北西部丘陵地域、即ちラクテンチ付近から観海寺を経て堀田に至る帯状の地熱変質帯の地下にある。その熱水に起源を持つ蒸気が地下水に加わる時の条件の違いにより、蒸気性温泉水にBとCの2種の型が作られ、それと熱水型Aとの混合で形成される扇状地の温泉は、蒸気性温泉水の型の違いにより第1地域と第2地域の2種の地域分布に区分される。

第1地域の蒸気性温泉水は、蒸気が比較的浅層で地下水中に供給された状態を示すC型で、第1図中に○印で示した温泉がその代表である。それに隣接して分布する●印はそれに熱水型がいくらか混合した形の温泉水とみられる。

第2地域の蒸気性温泉水は第1図中に×印で示されたやや低温のもので、その分布は堀田温泉と境川との中間あたりから海岸まで、第1図の地温等温線50°の線に沿って分布し、別府南部温泉地域の北限を作っている。第1地域のC型が浅層で地下水に供給された蒸気を源としているのに対し、



第1図 温泉水の分布と地下200mでの地温分布



第2図 地下150mでの地温分布
点線は仮想された地質構造を示す。

第2地域のB型は深層の地下水に供給された蒸気の影響を示す。Cを浅層地下水中に噴出して、地面に逃げて行く蒸気の影響とすれば、Bは水圧の高い地下水が難透水層を通して蒸気層中に浸入し、蒸気を食いつぶして行く時にできる温泉水と解釈される²⁾。

下流市街地でこの第2地域の温泉に隣接して分布する十印の温泉はそれに熱水型Aがかなり混合したもので、第1図の地温分布において、その流動範囲が周辺にくらべ高温となっていることに注目される。

2 市街地のいわゆる温泉脈

別府南部温泉地域が今のように拡大しておらず、源泉分布がほぼ国鉄線路以東ぐらいの範囲に限定されていた往時から、二つのほぼ平行した温泉脈の存在が指摘されていた³⁾。

一つは田の湯温泉付近から不老泉を経て旧別府さん橋へと流川通りにやや斜交する形で走る田の湯温泉脈、もう一つは海門寺温泉脈と呼ばれ、野口方面から海門寺付近を通り、北浜ヨットハーバの北端に至る脈状地域である。それらは周辺にくらべ地温が高く、泉温の高い温泉が得られるということ、また、ある深さで急に地温の高くなる躍層があることなどの特徴から温泉脈と名付けられたものである。ただし、田の湯温泉脈には古来、自然湧出泉が並び、地温の躍層もごく浅層にあるのに対し、海門寺温泉脈には自然湧出泉がなく、掘さくによって初めてその存在が認められたものであり、躍層も地下70m以深にあるなどの違いが示されていた。

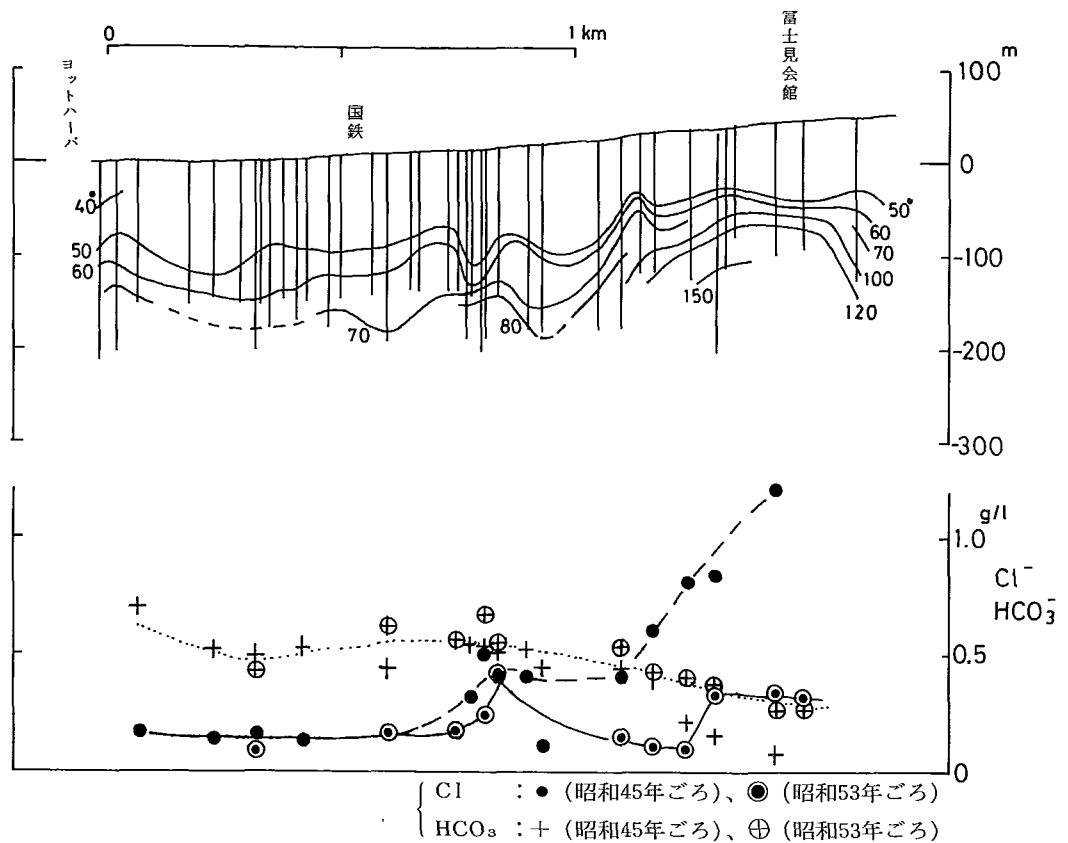
その後もこの温泉脈を中心に多くの調査が行われ、さらに上流部の温泉掘さくが広がると共に、別府温泉の中でこの温泉脈の占める位置が次第に明らかとなった。同じく温泉脈と称しても、田の湯温泉脈は蒸気性温泉水を代表する形の HCO_3^- の多い化学組成を持つものに対し、海門寺温泉脈はむしろ熱水型に近い Cl^- の多い形を持つという違いのあることが知られてきた⁴⁾。

第1図の200m深度の地温分布では、70°の等温線が市街地に向け二つに分かれた突出部を持ち、それぞれが上記の温泉脈に対応する。そのうち田の湯温泉脈上の温泉はほとんどが○印で表わされ、第1地域の蒸気性温泉水Cからなり、一方、海門寺温泉脈では十印で、蒸気性温泉水B型と熱水型Aとの混合として示されている。田の湯温泉脈を上流に延長すると、○印の分布は山の手町から南立石の前八幡地獄付近に至り、このあたりで地熱域からの蒸気と地下水との混合がおこり、浅層地下水の温泉化が行われていることが分かる。海門寺温泉脈の十印は100°の等温線が北東方向に突出した尖端、即ち、富士見会館から天満温泉を結ぶ線付近から始まっており、×印で示された蒸気性温泉水B型に対して、このあたりから熱水型Aの混合がおこり、その混合した温泉水が南東方向へ流れ、温泉脈を形成している状態がうかがえる。

蒸気性温泉水B、Cの性質は長年間安定して保たれているにもかかわらず、この海門寺温泉脈に混合する熱水性温泉水Aは1970年以降、源泉分布が上流域へ急速に拡大した時代に、その Cl^- 量を減少させ、かつての熱水が地下水または蒸気性温泉水Cによりうすめられつつある状態¹⁾が示された。

第3図はほぼ海門寺温泉脈に沿い、掘さく中の地温の資料と温泉化学分析の資料のある源泉を選び、地温分布と共に昭和45年頃と昭和53年頃との Cl^- 量、 HCO_3^- 量の分析値を対比したものである。同じ源泉でもこの期間内に掘さくし直したものがあり、特に泉温の高いものでは、井戸の中に沈殿物が付着しやすいため、深度を浅くに掘り直したものがあるから、同じ地層の中でこのような泉質の変化がおこったとは一概には言えないが、特に上流部で採湯される高温水に泉質変化の大きい傾向が示される。これは海門寺温泉脈に限らず、別府南部温泉地域⁵⁾の高温帯全域に共通した現象であることが指摘されている。

第2図は第1図と同じ資料を用い、深度150mでの地温分布を示したものである。全体の傾向は200m深度の分布と大差ないが、この深度でも田の湯温泉脈の高温帯は明瞭に現われているのに対し、海門寺温泉脈の特徴は明らかでなく、この温泉脈を作る高温水の流れが深層にあることを示す。



第3図 海門寺温泉脈に沿う断面

この図で注目されるのは、田の湯温泉脈の上流、山の手町あたりで100°の等温線が上流へ向け屈曲し、まわりより地温の低いくぼみを作っていることである。地熱域内でこのように局所的に見られる低温部分は、浅層の地下水が下向きに動き、より下方から伝わる地熱を押し下げる形をとる場所におこる。第1図の200m深度の地温分布にはこのようなくぼみが見われていないことから、この場所の深さ100mから150mあたりに大きい下降流を許す地質条件があるとみなければならない。そのため、前八幡地獄から杉の井ホテル崖下あたりにかけ浅層で作られた蒸気性温泉水は、この付近に至って地下水と共に地中深くへ浸透降下し、市街地の堆積層中へ流れ込み、田の湯温泉脈の温泉水を形成しているものと考えられる。

このように地温分布に特徴を作るほどの地下水の下降流があるとすると、その場所の地層には垂直方向の流動を活発にするような局所的な破碎構造が発達しているに違いない。このことも含めて田の湯温泉脈の分布を見ると、この温泉脈の形成には、単に堆積層中の良好な透水層の存在というだけではなく、それより深い地盤も含めた構造上の特徴が寄与しているように思える。

別府温泉のほぼ南縁を流れる朝見川は、その上流部で南立石の台地内に深い谷を刻み、まっすぐな谷として観海寺温泉場を切断する形で流れた後、扇状地に入って流れをやや南に変え、乙原台地の崖下に沿って流れる。この川が台地内に作る深い谷と、扇状地での流向とがあまりに対照的であることから、これは上流台地部では土地の隆起、下流部では沈降という土地のブロック状に分かれた不連続な動きを示唆するもので、その動きが近年に至るまで引続き行われてきたものではないかとの考えをおこさせる。この上流部の深谷の線をそのまま東へ延長すれば、上記の地温等温線のくぼみに至り、さらに延長すれば、田の湯温泉脈高温帯の南縁に沿って進むことになる。このように朝見川の流路の特徴と田の湯温泉脈の形成とには無関係と言いきれぬ相関があり、これは、温泉水

の生成や流動経路に対し、土地のブロック的な動きとそれに応じて作られた地盤の破碎構造が影響していることを示す一つの現われとみられる。

従来、別府での温泉水の流れについての研究は、下流の堆積地層中の温泉をおもな対象としてきたため、平面的に広がる被圧透水層の組み合わせとして取扱える現象に主点が置かれていた。しかし、現在のように対象となる温泉が上流の高地部に広がると、その流路が岩石層中にあるものが多く、また扇状地堆積層であってもその高度が高いため、水中に沈殿、堆積してできた地下水層ではなく、不透水層、透水層の層序区別のつきにくい地層を温泉水の通り道として取扱わねばならなくなってきた。そういう地層での流動を支配する要素は、地層の堆積環境よりも、その地層が経てきた断層破碎作用など地質構造の影響の方が大きいに違いない。したがって今後の温泉研究の方向は、地質構造を主体とし、温泉水の流動や、熱水と蒸気の分離、流出に対するその影響の解析に主眼が移るとみられる。その方向に進む試みの一つとして、熱水供給経路への地質構造の影響に仮説を置き、別府南部温泉地域における温泉脈とか温泉水系という概念を、それに結び付けて整理しようとするのが本報告の目的の一つでもある。

3 地温分布と地質構造

第1図の地温分布でまず気がつく特徴は、全体として西北西から東南東へ延びる等温線の優越している点である。特に噴気、沸騰泉の多い南立石地区にこの特徴が顕著で、地上に現われた現象でも、地熱変質帯や噴気活動はすべて、杉の井ホテル下から堀田温泉北側に至る線と、それより南方にそれと平行な、ラクテンチ付近から乙原山を斜に切る方向の線との間に分布し、上記の方向に帯状に連なる。この帯状の地熱域は朝見川断層の活動に伴い作られた破碎構造から成り、深部からの熱水やそれから発生した蒸気を上昇させる流路の役割を持つものと考えられる。上記の等温線の方向がこの帯状地熱域の分布にほぼ平行しているのは、地温分布を形成する基礎がここからの熱水や蒸気の供給にあることから当然予想される通りである。ここで200°から50°までの等温線がかなり密集して並んでいることは、南側地熱域と北側温泉域との間にかなり鋭い境界があることを示す。これはこの境界に断層が走り、それを横切る熱水の流動を妨げている状態を推定させる。

ところが、図中の150°以下の等温線が山の手町付近から急に東北東方向に曲り、自衛隊跡地を含む富士見通り北側までの間に矩形状の高温突出部を作り、この高温帯が市街地温泉の上流部一帯を斜断する形で分布していることに注目される。

泉質の点から見ると、図中に×印で表わしたやや深部の蒸気性温泉水B型のものは100°以下の地温の部分にしかなく、堀田温泉北側から東向きに流れてきた温泉水がこの高温突出部内に入れず、その外側を境川近くまで回って後に再び東南東方向へ向きを変え、市街地北部へ流れ込む状態を示す。このことから、この高温突出部はその北西側に断層の壁を持ち、その外側からの深い温泉水の流入を遮断する状態とみられる。一方、海門寺温泉脈を作る十印の温泉水は高温突出部の先端付近に端を発しており、その構成要素である熱水型温泉水Aが乙原方面からこの付近にまで流れてきて後、市街地に向け流出していることを物語る。

以上から、市街地の温泉はその西側上流域からの温泉水がそのまま市街地堆積層中へ流れて作られたものではなく、その熱源である乙原から堀田にかけての地熱地帯中の熱水や蒸気が一たん自衛隊跡地を含む矩形地域内に入り、そこで整理されて後に市街地へ供給されているとみななければならない。この意味から、山の手町から自衛隊跡地にかけての一帯は地熱と温泉をつなぐ緩衝地帯としての役割を持ち、市街地の温泉に、田の湯温泉脈、海門寺温泉脈など泉質的にも異なる温泉水の種々の分布を与える原因を作る地域と言える。

地温分布から次に注目されるのは、上記の堀田から乙原に至る地熱地帯がラクテンチ付近で終り、それより東の朝見川に沿う部分はむしろ地温が低く、温度の取りにくい地域に変ることである。こ

の付近に、100°の等温線の方向で示されるような地熱地帯を切断する断層があり、それを横切る熱水の通過を妨げているとみなければならない。

以上を総合して、別府南部温泉地域では、地熱地帯の分布に代表されるような西北西から東南東へ向う方向と、それに斜交する南西から北東へ向う方向の二つの異なる方向を持った断層線の組み合わせで枠組が作られ、その枠組により地温分布の大要が決定されていると見ることができる。この状態を第2図の地温分布に重ねて点線で記入した。

前者の方向は朝見川断層と呼ばれる別府湾を限る構造線の一つに平行であり、後者が堀田と湯布院町の川西を結ぶ中部九州の主要構造線の一つにほぼ平行していることは興味深い。

4 断層の役割

(1) 不透水性

これまでたびたび用いた断層という言葉は地質学上の断層とは若干異なる意味を持つ。ここでの断層は破碎帯のふちを限る面であり、隣接する地塊がブロック状に別々に動く一連の断層活動のため、ある幅を持って帯状に連なる破碎帯が生じ、その側面を作り、それを横切る水の流動を妨げる不透水性の壁としての役割を与えられたものである。断層と断層に挟まれた破碎帯にはおもに断層に平行した多くの割目が生まれ、特に垂直方向の流動が優越する傾向がある。

(2) 熱水と蒸気の選別

断層で作られる不透水性の壁は深層ほど顕著で、浅層では断層活動後の2次的影響のため弱くなるか、または全く影響を与えなくなる。そのため、深層の水は断層で遮断されても、浅層では断層を越えた水の流動がおこり得る。このことは地熱地域の境界を作る断層部分で特に大きな効果を現わし、隣接温泉地域の温泉水形成過程に重要な影響を及ぼす。こういう所では、深部の熱水は断層に妨げられて通りにくく、発生した蒸気、または浅層で作られた温泉水だけがそれを越えて地下水に熱を供給し、断層を通過することで、熱水性の温泉水をへらし、蒸気性の温泉水をふやすという選別作用が行われる。田の湯温泉脈はその典型である。

断層にかこまれた地熱地帯で、沸騰泉として熱水を採取すると、熱水の存在範囲が次第に深くなる。そのため、かつては断層を越えて流出できる浅さまで熱水があり、Cl⁻量の大きい熱水が下流に供給されていた地区でも、熱水存在範囲の深まりと共にその流出量が減少し、蒸気として熱を受けた温泉水の割合がふえる。そのため下流の温泉水はCl⁻量がへり、HCO₃⁻量がふえる経過をたどる場合が多く、その傾向は特に地熱域との境界に近い沸騰泉に著しい。

(3) 断層の交差による影響

別府市南部温泉地域には、上記のように、二種の方向を持ち、それぞれが平行した何本かの断層活動があった。既存の断層をそれに斜交する断層が新しく切った場合、新しい断層はそこに不透水性の壁を作るが、それに切られた既存の断層の壁は破壊され、その切断面に平行な多くの割目が作られる。その部分を通して新しい断層に沿った水の流動がおこり、それと既存の断層に沿って流れてきた流動方向の異なる水との混合がおこる。

前記の自衛隊跡地を含む高温突出部は、乙原付近の地熱地帯をそれに斜交する断層が切り、その交差部を経て深部の熱水が流入してきた地域である。その熱水は深層を北東方向へ流れ、高温突出部尖端の富士見通り北側付近で新たにそれに斜交する断層で切られる。その交差部からは、第1図の地温50°等温線に沿い上流から流れてきた蒸気性温泉水B型が高温帯に流入し、熱水と混合しながら市街地深層の洪積層中に流れ、海門寺温泉脈を形成している。この交差部から流入しなかったB型温泉水は高温突出部の外側を回り、海門寺温泉脈より北の市街地温泉を作っている。

山の手町から自衛隊跡地にかけては、この深部熱水のほか、断層頂部を越えた浅層の熱水や蒸気性温泉水が存在し、田の湯温泉脈など市街地の温泉に向け流れると同時に、一部は深層にまで浸透

し、上記の深部熱水をうすめる役割を果たしている。海門寺温泉脈上流で富士見通り付近の高温泉が開発されるにつれ、B型蒸気性温泉水に混合する熱水のCl⁻量がへってきている事実は、このような浅層からの浸透、稀釈によるものである。

市街地堆積層内の角閃石安山岩と輝石安山岩との境界の深さから、この高温突出部から市街地方向に向け、地盤の沈下した傾向がうかがえる。したがって、この矩形状ブロックでは、上流北西側から流入する地下水より、南東側に向け流出する地下水の方が断層不透水性の壁の頂部を越えられる範囲が厚く、比較的高温の水が流出しやすい傾向にある。この矩形状高温域を取り巻く等温線の分布が北西側に密集し、南東側にゆるやかで、市街地に前記の二温泉脈以外にも広く一帯に温泉水が流れている状態はこの理由による所が大きいと考えられる。

5 セパレータモデル

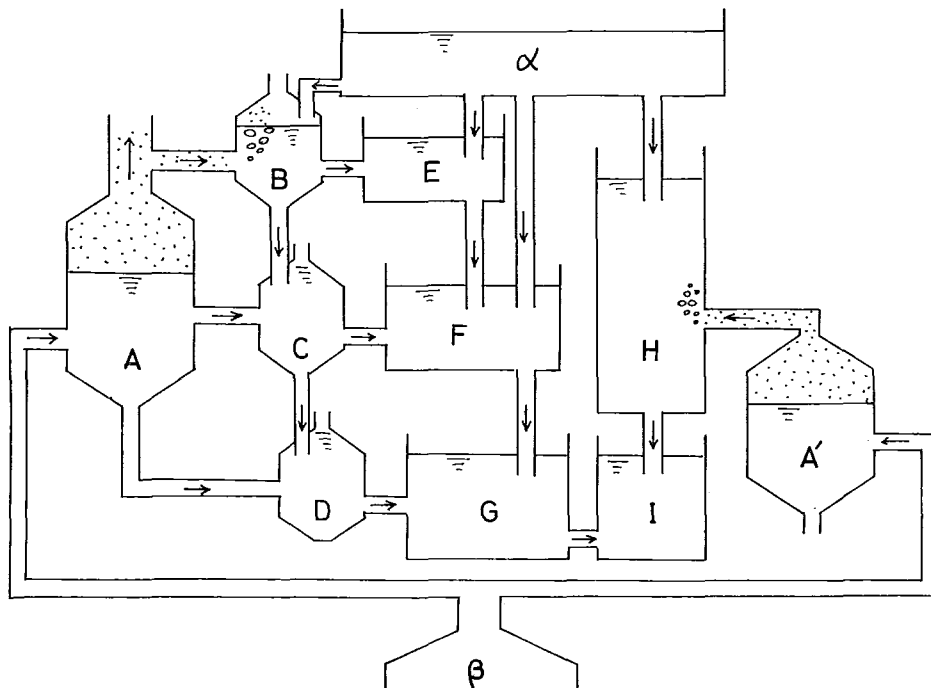
これまで、水成の堆積層以外、特に岩石層内の温泉水の動きには地質構造の影響が大きいことを記した。この地質構造とは、地層を断層で限られたブロック状の破碎帯に分け、それぞれを独立したタンクとみなして、その中では比較的自由に水の流動が行われると仮想できる状態を言う。そうして各タンク間には不完全ながらも水理的に結合され、その結合状態を仮想しながら、実状に最もふさわしい温泉水の流動機構を求めようとするのがこの報告の主旨である。このように流域をタンクの組み合わせとしてモデル化し、実状に適合させようとする試みは、既にタンクモデルとして河川水の流出解析に広く使用されている。これを地下水の流動に用いる場合、仮想したタンク内も、各タンクをつなぐ流路も、すべて空隙媒体、即ちダルシ法則で支配される領域と考える。ただ、その透水係数がタンク内の方がかなり大きいという違いだけで、実際には10倍以上程度の違いがあれば、相対的には、タンクの中の水頭勾配はほとんど無視でき、大きい空洞の中の水の動きと同様に考えても差支えない程度となる。

しかし、これを温泉に適用する場合には、タンクモデルの結合だけでは不十分である。先に断層の役割として、熱水と蒸気の選別作用をあげたように、地熱地帯を作るブロックの内部には蒸気と熱水が共存し、その相互作用とそれぞれの流出状態が温泉水の形成や流動に決定的な役割を果たしているからである。その観点から、地熱地域と温泉地域とをつなぐタンクに熱水と蒸気を分離するセパレータの役割を持たせ、これを従来のタンクと組み合わせることにより温泉水の生成、流出の研究を行う試みがここに言うセパレータモデルである。かつて福富らは、アトサヌプリ地熱地域から川湯温泉に至る過程で、地下に空洞を仮想し、そこで熱水と蒸気が分離され、別々の通路から流出するとした示唆に富む研究を行った⁷⁾。セパレータモデルはこの考え方を敷衍したものである。

セパレータに流入した深部熱水は、その温度、圧力で平衡した熱水と蒸気に分かれ、蒸気は噴気として地面に出るもの、地下水中に流入して蒸気性温泉水を作るものに分かれながら流出する。熱水は断層頂部を越え、あるいは断層交差部を経て、それぞれ別のセパレータやタンクに流出してゆく。こういうセパレータとタンクを幾つか組み合わせ、実状にあうように組み立てるのがこのモデルの目的である。

一例として、昨年から引続き行った本報告の主旨をまとめてモデル化したのが第4図、第5図である。第4図は地熱域からの蒸気と熱水が温泉域に移ってゆく過程、すなわち主として上流部の現象を図示したもので、第5図はそうして作られた温泉水が堆積層中を流れて行く、主として下流部での状態を示したものである。これらはその主旨をできるだけ簡潔に表示しようとしたものにすぎず、今後の研究目的に応じては、もっと精細に、もっと多数のセパレータやタンクに分けた方法がとられることもあろう。

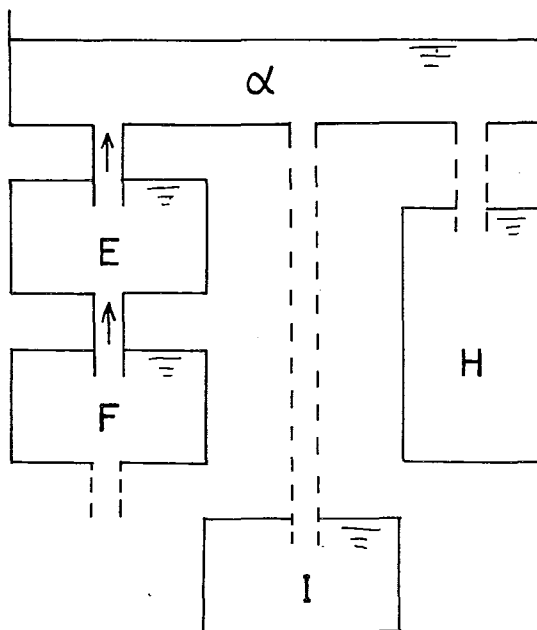
温泉水を基本的には浅層地下水 α と深層熱水 β との混合でうまれたものとする。 β の容量がどれほどのものかは明かでない。これまでのところ、温泉水が長期間安定して湧出していることからみ



第4図 セパレータモデルによる温泉水生成過程の例

て、この容量は非常に大きいものと仮想し、差
当っては、流動の全経路にわたって定常的な流
れが保たれていると仮定したモデル化を行う。

β からの熱水がセパレータAに入り、そこで
蒸気との分離がおこる。蒸気の一部はA からB
に進んで蒸気性温泉水を作り、残りは噴気とし
て地面に達し、その中には地面近くで強酸性の
温泉水を作るものもある。熱水の一部は断層の
交差した破碎部を通してDに入る。このような
破碎部分がない一般の地熱域では、このA から
Dへの流路はかなり強く制限されているであろ
う。しかし、Aで分離する蒸気は β から流入し
てきた熱水の一部に過ぎないから、Aから蒸気
だけが噴出して、熱水は全く流れ出さないとい
うことは定常的にはあり得ない。こういう深部
のAからDへの熱水の流出が制限されているセ
パレータでは、その中の熱水面が高くなり、断
層の頂部を越えて熱水が流出する。AからCへ
の流路はこれを表わしたものである。したがって、
A、Cは場合によると蒸気の流路にも変ることも
あり得る。



第5図 タンクモデルによる下流部温泉水の流動

セパレータとして表示されたB、C、Dは地熱域周辺の噴気、沸騰泉の地層を仮想したものである。そこから採湯を続ける時には地層中で沸騰が始まり、蒸気が発生する可能性があるとしてセパレータとしたものだから、必ずしもセパレータとしては働かず、タンクとして表示されても構わぬ場合が多い。これらには、浅層の地下水が直接または間接に流入し、温泉水が形成される。100°以下と

なった温泉水はタンクE、F、Gに流入し、市街地の温泉に流れて行く。ここではGを自衛隊跡地を通して天満温泉方向に流れる間の領域と仮想した。

一方、セパレータA'として表示したものは、本来Aに連続するものでその区別をつけにくい。ここではA'はAより上流の堀田温泉付近の状態と仮想している。第2図での堀田—川西構造線と朝見川断層との交差部付近では、かなり深層まで蒸気の占める範囲があり、その蒸気がぶ厚い地下水層Hに混入して蒸気性温泉水を作る。この温泉水は下流に流れ、一部はタンクIに入り、そこで自衛隊跡地深部を通るタンクGからの熱水と混合し、市街地の海門寺温泉脈を形成する。

このような上流域では、蒸気が上向きに動くのと反対に、液体の地下水、温泉水は下向きに深層へと流れる傾向にある。ところが、第5図に示した下流域では、地層中に蒸気は存在しなくなり、液体の温泉水だけが、水平からむしろ上向きへと流れる状態になる。温泉水の流れに対する地質の影響としては、洪積期における地形とその後、沖積期に水中に堆積してできた粘土層の果たす役割が強く、ごく近年までの断層活動による田の湯温泉脈の破碎帯を除くと、各透水層は粘土層によりおおわれた被圧地下水層の性状を示す。図中の各タンクを結ぶ点線部分は、この粘土による透水性の悪い層を示し、そこに水が通るとしても、解析上は漏水影響として取扱われる程度の流れしかない所である。

各セパレータ、タンクの中から人工的に直接採湯されると、圧力が変化し、水、蒸気の分配率や温度が変る。その結果、他のタンクとの水理的な連絡も変るなど、将来研究されるべき問題は多い。これまでタンクモデルでは流域の実状に合わせながらこの種の問題が取扱われてきているが、蒸気を含むセパレータについてはあまり問題とされたことがなく、これからの興味ある課題を与える。

ここに念のため記しておきたいことは、このようなセパレータやタンクのモデルは地中の実状そのものを記述したものではなく、研究を進める上の方法の一つに過ぎないということである。かつての別府温泉の研究では、温泉水の流れを不透水層を隔てた不圧地下水、被圧地下水の組み合わせとして取扱った。その後、この不透水層は完全な不透水性ではないとして、漏水型地下水層の組み合わせとしての研究が進められた。さらに、流域規模のように範囲が広く、時間的にも長い定常的と言える流れの特徴を示すためには、不透水層、透水層の区別を無視し、様な透水性の領域として、その中に供給域、流出域の区別を伴う流域地下水層のモデルが使われる。このように一見矛盾の思える種々のモデルは、実状そのものの記述ではなく、実状のうち、どの現象を優先的に取扱うかという研究面の要求から作られたものである。だから、各モデルそれぞれは実状の一面を捕えたものに過ぎず、取扱う現象の空間的、時間的広がりに応じて使い分けをする必要があり、ここに与えたセパレータ、タンクモデルもその一つに過ぎない。自然界の理解のためには、ただ一つのモデルに固執することなく、目的に応じて、自然科学的に矛盾なく作られた各種モデルを自由に使いこなすことこそ最も有効な方法と考える。セパレータモデルもその観点から利用され、さらに発展させられるよう望みたい。

参 考 文 献

- 1) 吉川恭三、北岡豪一：大分県温泉調査研究会報告33号、pp.1—10 (1982)
- 2) 吉川恭三、由佐悠紀：同上23号、pp. 11—19 (1972)
- 3) 野満隆治、山下馨：地球物理、2巻3号、pp. 233—259 (1938)
- 4) 吉川恭三：大分県温泉調査研究会報告23号、pp. 1—10 (1972)
- 5) 由佐悠紀：同上30号、pp. 10—18 (1979)
- 6) 森山善蔵：九大理学部研究報告、地質学、9巻1号、pp. 207—217 (1969)
- 7) 福富孝治ら：北大地球物理学研究報告16号、pp. 63—81 (1966)

由布院温泉の化学成分長期変化

京都大学理学部 由 佐 悠 紀

1 ま え が き

由布院温泉は由布院盆地の中央部にある自然ゆう出の温泉地帯を中心に発展してきた。依田によって最初の学術調査が行われた大正11年当時¹⁾には、自然ゆう出泉61口、掘さくされた自噴泉34口、計95口の活動温泉が知られていた¹⁾。その後の開発については、昭和47年までの進展状況が大分保健所の管内温泉概況にまとめられている²⁾。とくに昭和40年代以降の開発は活発で、それまで温泉のなかった地域にまで盛んに温泉井が掘さくされ、動力による揚湯も行われるようになった。それにともない、自然ゆう出泉や自噴泉からのゆう出量が減少したり、場所によってはゆう出が停止するなど、地下温泉水圧の低下が目立ちはじめた。

このような温泉水圧の低下は、浅層地下水層から温泉水層への浸透量を増加させ、その結果、温泉水の化学成分濃度の低下をまねく可能性がある。そこで、近年の化学成分濃度変化の有無を調べることを目的とした調査を、昭和57年10月から11月にかけて行ったので報告する。

2 最近10年間の温泉開発と採湯状態の変化

温泉統計が行われた昭和47年4月以降においても、かなりの数の温泉が掘さくされたので、現状を把握するため、温泉台帳に基づいて昭和57年10月における温泉井の総数・活動温泉数・採湯方法などを調べた。採水した温泉を含む227口は、現地で採湯状態を調べたが、全体の7割強の温泉については台帳の記載をそのまま用いたので、筆者の思い違いもあるかもしれないことをお断りしておく。

正確な数字は今後の現地調査をまたねばならないが、温泉総数は820口と、この10年間に160口増した。地区別に見ると、従来から温泉のもっとも多かった大字川上で97口、次いで大字川南で34口、大字川北で29口増えている。このうち活動温泉数は668口で、152口増加した。

自然ゆう出泉と自噴泉の現在数を台帳だけから把握することはむづかしいが、昭和47年に246口あった自噴泉（自然ゆう出泉を含む）のうち、少なくとも105口で動力装置（おもにエアーリフト）が設置されたようであり、温泉水圧の低下はさらに進んでいると思われる。

3 調査の概要

由布院温泉の公共用温泉については、温泉法の規定にしたがった化学分析が大分県公害衛生センターと九州大学温泉治療学研究所の手によって行われてきた。それとは別に、温泉水系の解明を主目的とした組織的調査が、これまで昭和25年³⁾、42年⁴⁾および47年⁵⁾に行われた。

温泉井の分布域が現在とほぼ同じ範囲にまで拡大した昭和47年における調査では、由布院温泉全域にまんべんなく散らばるように選んだ288口の温泉について主要成分濃度が測定され、その分布や温泉水頭分布状態から、佐土原・並柳・宮ノ原・石松という四つの温泉水系が見出された⁵⁾。そのおおよその流界を図1および後出の図3・4に破線で描いた。

今回の調査では、図1に印した211口について採水・分析を行った。そのうち206口が昭和47年の調査温泉と同じものである。

ただし、7口では、この間に改掘や増掘がなされている。

調査の主目的は化学成分濃度の変化の有無であるから、 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^-$ および参考のためpHだ

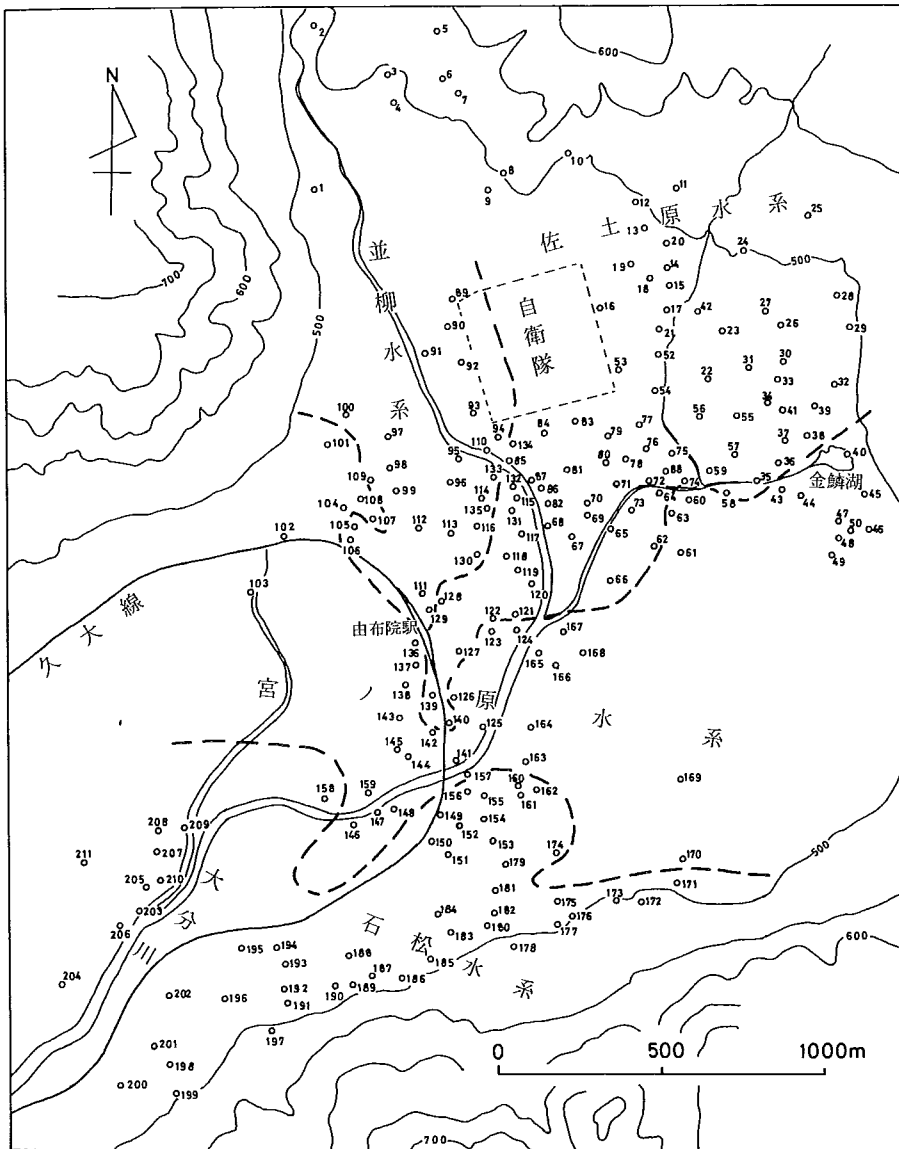


図1 調査温泉井の位置 (番号は末尾の表中のものに対応する)

けを分析した。その結果は採湯方法や泉温などとともに末尾の表に掲げた。表中の番号は図1の番号に一致する。また、表の地域の区分と各温泉の配列は、比較しやすいように、昭和47年の調査結果の表と同じようにしてある。動力揚湯泉の泉温は、温度が十分に上昇しないうちに測ったものもあり、やむを得ずタンク内に溜まった水の温度を測った場合もあるので、精度は劣る。

4 化学成分濃度の変化

組織的な化学成分の調査は、今回も含めて4回行われたが、前2回の調査温泉と後2回の調査温泉とは一致しているものが少なく、また、その間に改掘または増掘されているものが多いため、ここでは後2回、すなわち昭和47年と57年の結果を比較して、最近10年間の変化を見ることにする。

図2には、横軸に Cl^- 濃度を、縦軸に HCO_3^- 濃度をとって、水系毎に異なった印で各温泉の値をプロットした。 Cl^- の低濃度側では両者の間に明瞭な正の直線関係があるのに対し、高濃度側ではそ

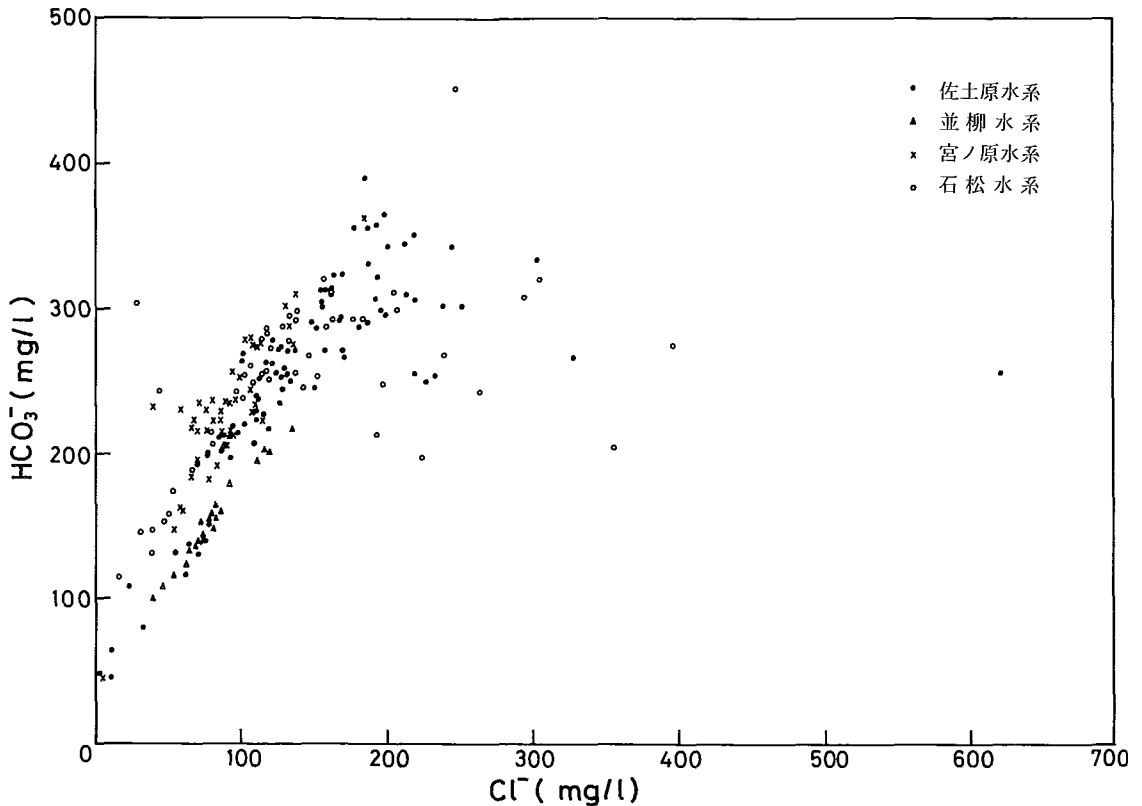


図2 Cl⁻濃度とHCO₃⁻濃度の関係

の関係が崩れて、むしろ負の直線関係になるというように、全体としては鍵型の分布を示すこと、および低濃度側での直線関係の勾配は、昭和47年の結果と同様である。しかし、今回のプロットは、前回のものに比べて低濃度側で密であり、Cl⁻・HCO₃⁻ともに低濃度化していることが認められる。また、全体的にわずかに下方に下がっていて、Cl⁻濃度に対してHCO₃⁻濃度の低下の度合いが大きいことを示している。さらに、両者が正の直線関係から負の関係に移る点は、昭和47年にはCl⁻濃度が約250mg/l付近にあったが、今回の結果では約200mg/l付近へとずれているようである。

次には、各成分につき、地域毎の変化を調べる。

4-1 Cl⁻濃度の変化

昭和47年のCl⁻濃度に対する今回の濃度比を求め、その値が0.9より小さいもの、0.9以上0.95未満のもの、0.95以上1.05以下のもの、および1.05より大きいものの四段階にわけて図3にプロットした。ただし、この間に改掘または増掘された温泉、および濃度が極端に低下し、埋設管が破損している可能性のあるものは除いた。

比の値が0.9より小さく、明らかに濃度が低下したのは、佐土原水系の大部分と並柳水系の下流部一帯、および石松水系の西部の地域である。

それに対し、並柳水系の大部分と大分川沿いの低地部では、濃度の増加したもの、減少したもの、変化のないものがいり混じって分布しており、顕著な変化は無いとみなしてよいようである。

石松水系の東部一帯には沸騰泉や高温の温泉があるが、そのうち東端部のものでは濃度が増加している。佐土原の沸騰泉については1口だけしか調査しなかったが、かなり大きく濃度が増した。また、宮ノ原水系の東端部に当る金鱗湖付近の低濃度の温泉でも濃度が若干増している。

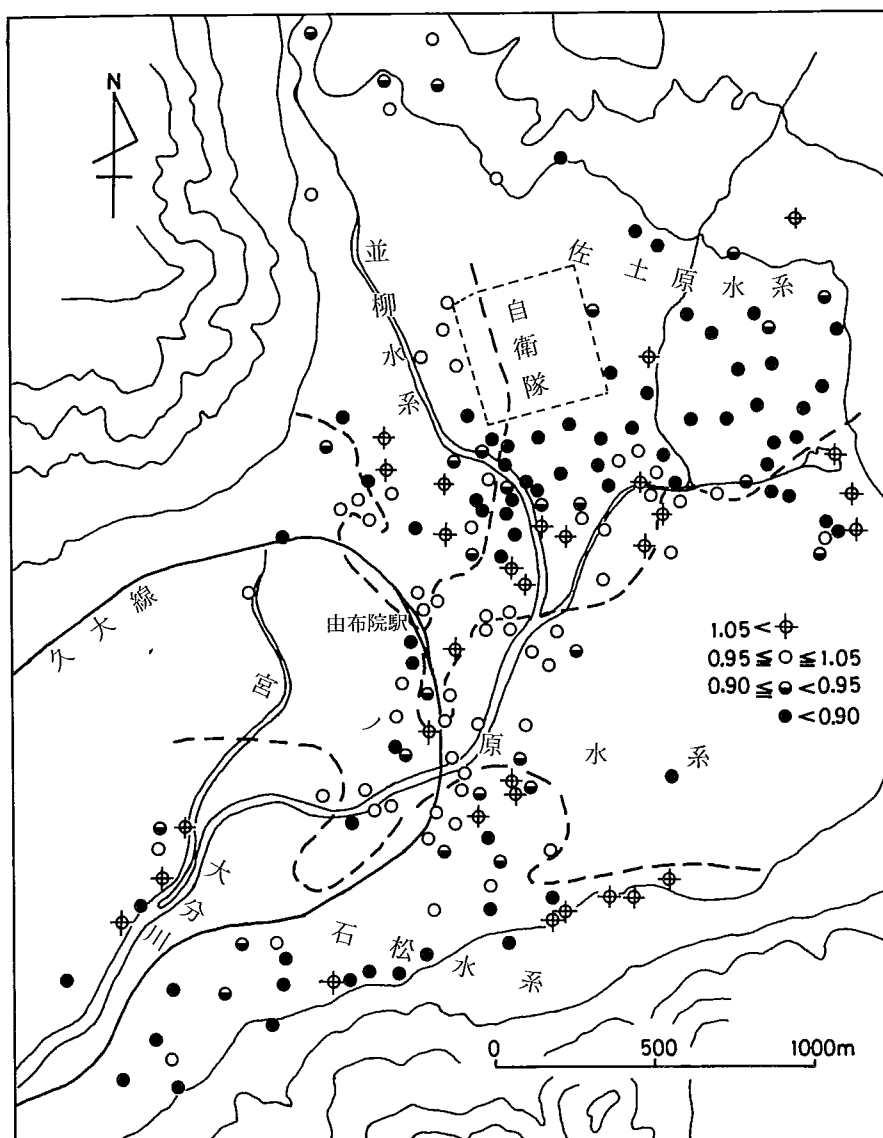


図3 Cl⁻濃度変化の分布 (昭和47年の濃度に対する今回の濃度の比)

昭和47年と今回の分析結果のうち、個々の対応がつくものだけについて水系毎にCl⁻平均濃度を求め、表1に比較して示した(佐土原の沸騰泉は除いた)。全体として濃度は低下したが、とくに佐土原水系と石松水系の低下が明瞭であり、もともと低濃度であった並柳水系と宮ノ原水系ではあまり変化していない。

4-2 HCO₃⁻濃度の変化

前項のCl⁻濃度と同様に、昭和47年のHCO₃⁻濃度に対する今回の濃度比を求め、四段階にわけて図4にプロットした。また、表1には各水系毎の平均濃度を示した。佐土原水系や石松水系に属する沸騰泉や低地部の温泉で濃度の増えたものもあるが、その数は少なく、全域にわたって濃度低下の起こっていることが明らかである。

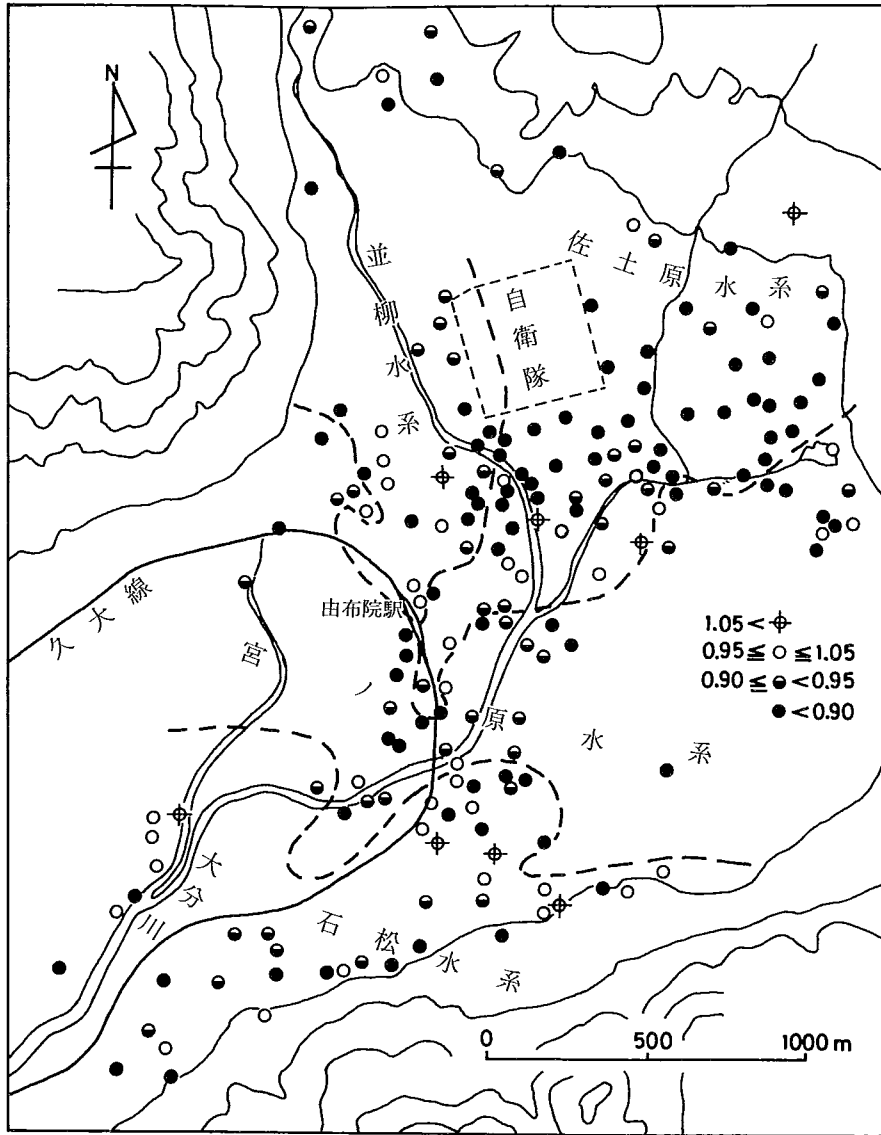


図4 HCO_3^- 濃度変化の分布(昭和47年の濃度に対する今回の濃度の比)

5 ま と め

以上述べたように、由布院温泉では、 Cl^- と HCO_3^- の両者とも低濃度化していることが見出された。とくに、比較的濃度の高い佐土原水系と石松水系での低下が顕著である。両水系とも近年温泉開発が急速に進められた水系であり、自噴が停止したり、自噴量が減少するなど、地下温泉水圧の低下が進んでいる。本報告のはじめに予想したように、この温泉水圧の低下にともなって、浅層地下水層から温泉水層への浸透量が増したため、化学成分濃度が低下したと考えられ、今後も継続的な調査が望まれる。一部の沸騰泉では濃度の増加が認められたが、これについても今後の動向に興味を持たれる。

表1 各温泉水系における塩素イオンおよび炭酸水素イオン平均濃度の変化

水 系	Cl ⁻ (mg/ℓ)		HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	
	1972	1982	1972	1982
佐 土 原	167	147	303	265
並 柳	84	81	169	154
宮 ノ 原	96	91	259	231
石 松	161	152	278	260

終わりに、本調査にご協力いただいた湯布院町役場をはじめ、各温泉所有者・京大地球物理学研究施設堀清和・京大学生大石郁郎の諸氏に深く御礼申しあげる。

参 考 文 献

- 1) 依田和四郎：由布院温泉地帯の地温分布，地球物理 1 卷 4 号 pp. 285-304 1937.
- 2) 大分保健所：管内温泉概況，1972.
- 3) 軽部末藏：大分県由布院温泉における Cl⁻・HCO₃⁻・SO₄⁻² の分布について、大分県温泉調査研究会報告，2 号，pp. 27-34，1951.
- 4) Yamashita, K. : Hydrothermal System in Yufuin Geothermal Field, Ōita Prefecture, Special Contrib. Geophys. Inst. Kyoto Univ., No. 7, pp. 125-132, 1967.
- 5) 川村政和・山下幸三郎：由布院温泉の化学成分からみた水系とその流界，大分県温泉調査研究会報告，24号，pp. 7-21，1973.

分 析 表 (単位 mg/l)

採湯 (N:自然湧出, A:自噴, B:沸騰泉, L:エアリフト, P:吸上げポンプ)

並柳・佐土原地区

番号	温 泉 名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備 考
1	安 部 一 三	L	34.1	8.36	33	81	10. 26	
2	浦 田 健 市	A	69.1	7.38	181	288	〃	
3	並 柳 共 同	〃	71.2	6.86	220	307	〃	
4	近 藤 建 規	L	55.6	7.98	71	131	〃	
5	右 田 徳 一	〃	88.5	8.10	328	268	〃	
6	穴 井 秀 人	〃	56.9	7.81	252	303	〃	
7	右 田 正 水	〃		8.03	63	117	〃	
8	太 田 耕 平	〃		8.11	88	203	〃	
9	右 田 ハツ子	〃		6.85	4	48	〃	
10	荻 忠 広	〃		8.30	151	245	〃	
11	衛 藤 磯 幸	〃	50.4	7.91	76	242	〃	
12	溝 口 武 彦	〃		7.72	120	218	〃	
13	乙 津 権 平	〃		7.10	304	335	〃	
14	吉 野 森 夫	〃	40.4	8.21	234	255	〃	S47. A
15	吉 岩 利 夫	〃		7.45	214	311	〃	S52. 増掘
16	鈴 木 久 男	〃	54.1	8.18	201	344	10. 29	
17	荻 政 夫	〃	45.0	7.55	12	64	10. 26	
18	衛 藤 麦之助	〃	83.0	7.85	219	256	〃	S51. 改掘
19	衛 藤 新 一	〃	(29.8)	7.40	245	344	〃	S56. 増掘
20	衛 藤 栄 八	〃	67.4	8.05	239	303	〃	S50. 管取替え
21	鈴 木 宗 雄	〃	75.3	8.40	193	308	10. 27	S47. 分析なし

中島・岳本地区

番号	温 泉 名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備 考
22	中 島 共 同	L		6.60	12	46	10. 29	
23	溝 口 タマエ	〃	(40.5)	7.55	213	346	10. 27	
24	古 庄 一 衛	〃		8.08	137	236	〃	
25	徳 丸 勝 一	B		9.28	621	256	〃	
26	菊 の 井	L		7.83	228	351	〃	
27	溝 口 信	〃	(31.5)	7.79	178	357	〃	
28	田 代 恵	〃		7.82	170	272	〃	
29	由 布 修 道 院	〃	62.3	8.30	171	267	〃	
30	佐 藤 英 一	〃	60.9	8.09	187	292	〃	
31	加 藤 哲 雄	〃	56.1	7.88	193	359	〃	S50. 管取替え
32	八 川 利 昭	〃	58.0	7.98	156	305	〃	
33	川 野 若 子	〃	59.3	7.85	170	325	〃	S52. 増掘
34	佐 藤 義 雄	〃	57.2	7.78	134	255	〃	
35	吉 永 肇	〃	57.3	7.78	159	314	〃	S47. A
36	佐 藤 億 藏	A, L	53.6	7.60	78	201	〃	少量自噴
37	工 藤 政 憲	〃	65.0	7.42	157	314	〃	

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
38	石川豊子	A	67.1	7.21	137	272	10. 29	S54. 管取替え
39	日野武彦	L	63.7	7.83	158	272	10. 27	
40	金鱗湖旅館	A	62.5	7.38	116	224	〃	
41	八川正士	L	57.9	7.85	101	264	〃	
42	島末義夫	〃	69.0	7.60	199	297	〃	

津江・宮ノ原地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
43	亀の井別荘	A,L	58.8	7.48	96	214	10. 27	少量自噴
44	中谷兄弟社	〃	53.6	7.68	93	235	〃	〃
45	角小三郎	L	42.7	7.47	109	229	〃	
46	力武文四郎	〃	45.3	7.80	69	224	10. 28	
47	山口キクヨ	〃	44.6	7.97	40	233	〃	
48	小松清次	〃	47.0	8.10	73	236	〃	
49	津江共同	〃	45.5	8.15	82	224	〃	
50	西田定夫	〃		8.78	67	219	〃	
51	西部ガス	〃	34.7	8.10	59	163	〃	地図外(東方)

湯ノ坪地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
52	鈴木久子	L	87.6	7.94	262	310	10. 29	
53	後藤清勝	〃		8.38	102	269	〃	
54	鈴木民次郎	〃	57.9	8.30	194	323	〃	
55	衛藤八郎	〃	47.3	8.01	156	302	10. 28	
56	佐藤文夫	〃	67.9	8.15	167	293	〃	
57	権藤静夫	〃	34.8	8.05	24	109	〃	S47. A
58	生島源	〃	56.1	7.93	149	291	〃	〃
59	加藤元信	P	59.1	7.72	162	315	〃	S47. 分析なし
60	加藤元信	L	53.3	7.93	107	245	10. 29	S47. A
61	小野繁敏	〃		7.89	78	217	10. 28	
62	渡辺保雄	〃	46.8	7.67	111	225	〃	S47. A
63	福田惣次郎	〃	56.4	7.59	111	235	〃	
64	玉乃湯	A	69.7	7.25	152	287	〃	
65	杜多清憲	L	49.0	7.87	127	253	〃	S47. A
66	水内治登	〃	53.3	7.71	78	200	〃	
67	江藤重行	A	61.6	7.28	112	241	10. 29	
68	江藤文夫	L	60.3	7.96	132	272	〃	
69	麻生健一	〃	58.4	7.79	113	239	〃	S47. A : 夏自噴
70	江崎芳子	A	62.6	7.41	126	272	〃	
71	月星ゴム	A, L	65.8	7.78	127	273	〃	少量自噴
72	ホテル湯元	〃	55.5	8.08	169	295	〃	〃
73	工藤守	A	61.7	7.22	116	228	10. 28	S47. 分析なし
74	工藤守	P	57.1	7.55	56	132	10. 29	S47. A
75	笠置スミエ	L	67.2	8.12	162	278	〃	〃

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
76	日野真一	L	56.5	8.43	219	352	10. 29	
77	手嶋一二	A	81.5	7.73	188	332	〃	
78	河原福藏	L	46.5	7.77	65	138	〃	S47. A
79	木崎文夫	〃	56.8	7.82	118	263	〃	〃
80	万象苑	A, L	53.7	7.78	95	220	〃	少量自噴
81	清良清見	L	60.0	7.80	114	253	〃	S47. A : 夏自噴
82	佐藤実実	〃	64.0	7.90	187	357	〃	S47. A
83	鈴木勇亮	〃	70.4	7.70	196	300	〃	〃
84	古庄二三人	〃	63.3	7.99	164	324	〃	
85	秋吉久男	〃	57.3	8.12	185	391	〃	
86	白菊荘	A	72.8	7.36	195	366	〃	
87	町田時夫	A, L	59.0	7.27	110	208	〃	S47. 下郡昭一
88	宝鶴荘	L	64.9	7.80	134	250	〃	

無田川・宮園地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
89	釘宮武夫	L		8.15	136	218	11. 2	
90	和田武定	〃		8.20	117	204	〃	
91	矢野孝男	〃		8.21	121	202	〃	
92	深草茂生	〃		8.30	112	196	〃	
93	渡辺茂	〃		7.86	75	144	〃	
94	赤嶺敏幸	〃		7.78	71	140	〃	
95	無田川温泉	〃		7.65	75	145	〃	
96	今井六夫	〃		7.92	69	138	〃	
97	河野竹彦	〃		8.11	48	109	〃	
98	佐藤富子	〃		8.01	64	125	〃	
99	二宮公子	〃		8.32	55	117	11. 1	
100	加藤鉄馬	〃		8.05	65	134	11. 2	
101	高倉明	〃		8.01	85	192	〃	
102	立川正	〃	45.5	7.60	55	149	〃	
103	九州林産	〃	54.6	7.52	79	183	〃	
104	工藤元喜	〃		8.08	95	212	〃	
105	日野正久	〃		7.61	93	213	〃	
106	溝口米子治	〃	43.6	7.60	89	207	〃	S52. 改掘
107	溝口武雄	〃	57.9	7.98	60	162	〃	
108	立川安夫	〃		7.77	94	217	〃	
109	見成寺	〃	46.7	8.16	41	101	〃	
110	下郡坂喜	〃		7.81	72	141	〃	

乙丸地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
111	日乃新	P	46.0	7.05	84	165	11. 1	
112	衛藤安子	L		7.49	82	149	11. 2	
113	今井功	〃	47.0	7.79	80	156	11. 1	

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
114	渡 辺 吉 彦	L	44.2	7.72	84	156	11. 1	
115	た つ み 旅 館	〃	58.5	8.01	114	221	〃	
116	岩 男 真 治	〃	46.8	7.62	88	161	〃	S47. A
117	下 谷 澄久恵	A	59.0	8.02	129	245	〃	
118	乙 丸 温 泉	〃	55.8	7.23	110	230	〃	
119	岩 尾 豊 善	〃	58.1	7.21	103	221	〃	
120	渡 辺 頼 光	A, L	54.0	7.72	108	228	〃	S47. A
121	宮 永 尚 平	L	54.0	7.51	98	215	〃	〃
122	佐 藤 万 一	〃	55.3	7.72	71	194	11. 5	
123	秋 吉 八百記	〃	52.3	7.70	88	230	11. 1	S47. A
124	一 氏 隆 盛	〃	52.6	7.49	87	224	〃	
125	山 水 館	A, P	69.0	7.41	115	277	11. 2	少量自噴
126	佐 藤 寛 之	L	48.5	7.62	77	231	11. 1	
127	加 藤 幸 男	〃	53.2	7.48	86	212	〃	
128	浦 田 寅 次	P	49.5	6.90	94	198	〃	
129	小 野 力	L	50.2	7.50	81	149	〃	
130	高 倉 重 夫	〃	52.5	7.89	93	180	〃	S47. A
131	佐々木 武 生	〃	62.8	7.98	124	255	〃	〃
132	岩 男 病 院	〃	57.2	7.90	130	259	〃	
133	溝 口 義 記	〃	47.2	7.80	73	154	〃	
134	溝 口 守 人	〃	50.0	8.32	121	262	〃	
135	溝 口 彦 六	〃	48.5	7.87	79	151	〃	

荒木代・田中市地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
136	有 吉 保 彦	L	52.0	7.38	91	206	11. 1	
137	立 川 成 文	〃	53.0	7.78	59	231	〃	
138	首 藤 英 敏	〃	48.1	7.55	97	238	〃	S47. A
139	二 村 計 知	〃	51.5	7.48	90	213	〃	〃
140	平 井 宗 人	〃	49.2	7.51	88	206	〃	
141	みかど 旅 館	〃	70.3	8.22	138	311	〃	S47. A
142	宿 利 秀 雄	〃	50.1	7.75	134	289	〃	
143	阿 部 建 設	〃		7.40	91	237	〃	S47. A
144	末 綱 米 彦	A	61.5	7.39	113	275	〃	
145	志 手 範 雄	A, P	61.0	7.21	88	216	〃	S47. A
146	日 野 ハルエ	〃	50.7	7.11	71	217	11. 4	〃
147	笠 置 甚 吉	A	75.5	7.46	136	277	〃	
148	日 隈 隆 美	〃	72.4	7.66	132	303	〃	
149	的 野 正太郎	B	96.3	7.32	159	288	〃	
150	佐 藤 雄 也	〃	(92.7)	7.57	177	293	〃	S47. 井上佐一
151	古 野 富 男	L	84.8	7.78	184	293	11. 4	S47. B
152	後 藤 孝 史	B	96.4	8.45	198	249	〃	
153	後 藤 直 喜	L	89.8	8.54	240	269	〃	S47. B
154	松 木 武 博	〃	79.9	8.55	207	300	11. 2	
155	真 菜 清太郎	A, P	63.8	7.20	115	256	11. 4	S47. A

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
156	富永岩夫	A	86.7	7.01	143	247	11. 2	S47. A 〃
157	水月荘	L	57.1	8.25	186	363	〃	
158	安藤茂信	〃	63.0	8.23	120	252	11. 1	
159	杉田勇人	〃	53.0	7.79	107	281	〃	

石松・温湯地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
160	田中辰己	B	97.2	9.18	397	275	11. 4	S47. A 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 S49. 改掘 〃 S47. A 〃 S47. 分析なし 〃 S51. 管取替え
161	日野病院	〃	(93.1)	9.09	265	244	〃	
162	田中国彦	L	76.2	8.32	248	453	〃	
163	森山武夫	A	62.1	7.98	110	276	〃	
164	興禅院	A, L	53.7	8.20	96	258	〃	
165	鶴原隆則	L	41.6	7.52	104	280	〃	
166	狭霧荘	〃	54.7	7.58	71	196	11. 5	
167	立川チトセ	〃	48.1	7.50	100	253	〃	
168	榊田正男	A, L		7.49	67	185	〃	
169	松岡永涉	A	34.5	7.77	6	45	11. 4	
170	加藤光幸	〃	53.2	7.55	82	238	〃	
171	野上政幸	〃	71.1	7.24	134	296	〃	
172	道路公団	L	73.7	7.81	162	311	〃	
173	後藤隆一郎	〃	92.8	7.99	205	312	〃	
174	衛藤雅夫	B	(93.3)	9.02	356	205	〃	
175	九州林産	A	87.7	7.29	163	293	〃	
176	志手駒男	〃	91.7	7.24	193	214	〃	
177	キリンビール	〃	65.4	7.42	157	321	〃	
178	志手盛保	L	58.9	8.40	45	244	〃	
179	吉村格哉	A	80.8	9.29	296	309	〃	
180	吉村格哉	〃	71.4	8.37	29	304	〃	
181	志手康二	〃	66.6	9.22	306	322	〃	
182	石松共同	〃	88.9	8.20	138	299	〃	
183	アサヒビール	L	44.5	8.46	95	274	〃	
184	志手重久	〃	87.5	8.57	153	254	〃	

山崎・平地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
185	夢想園	L	72.1	8.65	107	262	11. 5	
186	豆田拡	〃	66.8	8.60	102	239	〃	
187	豆田豊	〃	75.1	8.59	118	258	〃	
188	高木幹司	〃	40.7	8.02	17	115	〃	
189	小野卯市	〃	71.9	8.44	146	268	〃	
190	山崎英治	〃	67.5	8.48	225	198	〃	
191	古野美義	〃		8.28	39	132	〃	
192	古野忠信	〃		8.22	130	288	〃	
193	渡辺	〃	61.7	8.26	138	293	〃	

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
194	日野万一	L		8.10	121	274	11. 5	
195	立川九州男	〃		7.83	133	279	〃	
196	立川三郎	〃	63.7	8.44	98	244	〃	
197	豊田賢雄	〃		8.51	138	257	〃	
198	佐藤恒男	〃		8.10	118	284	〃	
199	大久保康	〃	45.6	8.25	115	280	〃	
200	後藤文夫	〃		8.15	118	286	〃	
201	佐藤武夫	〃		8.28	102	255	〃	
202	多田菊治	〃		8.42	32	146	〃	

八山・光永地区

番号	温泉名	採湯	泉温(℃)	PH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	採水日	備考
203	湯の鼻共同	L		7.60	40	148	11. 5	
204	幸田勝男	〃		7.73	79	214	〃	
205	大久保一二三	〃	52.7	8.13	82	208	〃	S56. 増掘
206	立川和男	N		8.12	54	175	〃	微量
207	厚正人	L	49.5	7.95	48	154	〃	
208	高田日本	〃		7.99	51	158	〃	
209	森田寛	〃	49.3	7.73	67	189	〃	
210	石武共同	N	57.7	7.69	110	250	〃	
211	高田直	L		8.01	63	186	〃	S47. 分析なし

温泉地療養・ことに運動療法の肺機能に及ぼす影響

九州大学生体防御医学研究所 辻 秀 男
麻 生 幸
竹 内 義 彦

1 はじめに

温泉治療は入浴や飲泉などの狭義の温泉治療だけでなく、気候その他の環境要因を利用した療法をも含む温泉地療養であることはいうまでもない。近年体力作りへの関心が高まり、健康と運動との関係が検討されているが、温泉地療養学では疾病治療における運動の意義が検討されてきている。著者らはこれまで外科入院患者を対象として運動療法を含めた温泉地療養について種々検討し、患者術前状態の改善に有効なことを報告してきた。

運動は筋での酸素需要の亢進に伴い、呼吸循環系を中心とする生体の酸素運搬系を賦活する。したがって運動の反復は呼吸機能に何らかの影響を及ぼすことが考えられる。今回はこれまでと同様に術前患者を対象として、とくに肺機能変化の面について検討した。

2 対象と方法

消化器手術のため当科に入院した患者のうち、以下の基準を満たす23例を対象とした。すなわち、病歴、理学所見、胸部X線検査から特別な肺炎患がないと診断されたもので、かつ%肺活量(%VC)が80%以下、1秒率(%FEV_{1.0})が70%以下、肺泡気動脈血酸素分圧較差(A-aDO₂)が30mmHg以上のいずれかに該当するものを選んだ。年齢は39歳から86歳まで(平均65歳)であり、胃または胆嚢疾患が大部分であった(表1)。

表1 対象症例の病名、運動トレーニング方法、体力の変化

症例	年	性	病名	トレーニング期間(日)	トレーニング方法	PC係数	
						前	後
深○	39	男	胃潰瘍	6	W+S		
竹○	41	女	胆石症	6	W+S	26	
山○	49	女	胆石症	6	W+S+B		
佐○	55	男	食道癌	34	W(平均2.8km/日)+S	29	25
木○	57	女	胆石症	8	W(平均1.5km/日)+S+B	150	32
村○	57	男	胃癌	10	W+S		
豊○	58	男	胃癌	5	W(平均3.5km/日)+S+B	25	
森○	59	女	胆石症	7	W(平均3.9km/日)+S+B		
安○	60	男	肝癌	6	W(平均4.2km/日)+S+B	18	
松○	63	男	食道癌	8	W(平均2.8km/日)+S		
山○	64	男	胃癌	4	W(平均2.7km/日)+S	25	
河○	65	男	胃潰瘍	7	W(平均4.8km/日)+S	21	18
別○	65	女	結腸癌	7	W(平均2.1km/日)+S	25	
成○	66	男	胃癌	4	W+S		

症例	年	性	病名	トレーニング期間(日)	トレーニング方法	PC係数	
						前	後
古○	70	女	胃 癌	5	W (平均 2.6km/日) + S + B	28	
浜○	71	女	胃 癌	10	W (平均 1.6km/日) + S	22	21
後○	75	男	胃 癌	10	W (平均 1.8km/日) + S	34	32
松○	75	女	胆石症	7	W (平均 1.8km/日) + S	25	
高○	76	男	胃 癌	21	W (平均 1.6km/日) + S + B	25	23
田○	76	女	胃 癌	5	W (平均 1.7km/日) + S	25	
松○	78	男	食道癌	35	W (平均 1.7km/日) + S	25	
麻○	84	男	胃 癌	13	W (平均 1.3km/日) + S	21	18
牧○	86	女	胆石症	8	W (平均 2.7km/日) + S	59	23

W：自由平地歩行運動 S：自由階段昇降運動 B：自転車エルゴメーター運動（300KPM/分、10分間、1日2～3回）

また12例が喫煙者であった。これらの患者に対して、検査や点滴などによる拘束時間を除いてはつとめて安静を避け、後述するように積極的な運動を奨励した。1日1回の入浴（温研泉、42℃、約15分間の通常の浴方法）を行わせ、喫煙者には禁煙を守らせ、かつ以下の方法で運動トレーニングを行った。全員に歩数計をつけさせ、廊下や戸外の歩行、階段昇降を自主的に行わせた。歩数を毎日記録することにより患者の運動意欲を刺激するとともに、およその歩行距離を推定した（男子は1歩40cm、女子は30cmとして推定）。6例の患者ではそれらに加えて自転車エルゴメーターを用いてペダル踏み運動（300KPM/分）を1日10分間、1日2～3回行わせた。トレーニング期間は体力、病状に応じて個々に異り、最短4日、最長35日間、多くは1週間前後であった（表1）。

トレーニング期間の前後に肺機能を測定した。立位でノーズクリップを装着させ、熱線式自動呼吸機能測定装置（ミナト製、AS-4500）を用いて%VC、%努力性肺活量（%FVC）、1秒量（FEV_{1.0}）、%FEV_{1.0}、最大呼気流量（PEFR）、 \dot{V}_{50} 、 \dot{V}_{25} を測定した。数回の練習の後3～4回反復測定し、最高値を測定結果として採用した。また10分間安静臥床、室内空気呼吸下に桡骨動脈より採血し、自動血液ガス分析装置（ラジオメーター社製、ABL-3）で酸素分圧（PaO₂）および炭酸ガス分圧（PaCO₂）を測定した。以下の肺胞式よりA-aDO₂（room air）を計算した。

$$A - aDO_2 = 150 - 1.25PaCO_2 - PaO_2$$

入院時に体力低下の予想された症例および高令者では、トレッドミル運動負荷テスト¹⁾により体力を測定した。うち8例ではトレーニング終了後にも同様の方法で再度体力測定を行い比較検討した。

3 結 果

1) 体力の変化

トレーニング開始前にトレッドミル運動負荷時の心拍数より導いた体力指標であるPC係数¹⁾が30以上の体力不良例が3例認められた。そのうちPC係数が150、59と著しく不良であったものはトレーニング後にそれぞれ32、23と著明に改善した。その他、トレーニング前に正常域の体力であったものも含めて、トレーニング後には全例体力の増強が認められた（表1）。

2) スパイロメトリーおよびフローボリューム曲線の変化

%VCはトレーニング前に平均89±18%であった。トレーニング後、1例のみ不変であったが他はいずれも増加し、98±17%となった。トレーニング前後では有意差が認められた（P<0.001）。

表2 運動トレーニング前後の肺機能の変化

(平均値±標準偏差)

肺機能	n	トレーニング前	トレーニング後
%VC (%)	13	89±18	98±17*
%FVC (%)	13	81±18	87±19
FEV _{1.0} (ℓ)	13	1.8±0.5	1.8±0.5
%FEV _{1.0} (%)	13	73±12	71±13
PEFR (ℓ/sec)	13	4.1±1.4	4.5±1.4
\dot{V}_{50} (ℓ/sec)	12	2.0±1.1	2.0±1.1
\dot{V}_{25} (ℓ/sec)	12	0.8±0.6	0.6±0.5
PaO ₂ (mmHg)	19	76±11	85±7*
PaCO ₂ (mmHg)	19	36±3	35±3
A-aDO ₂ (mmHg)	19	29±11	21±8*

* P<0.001

%FVC、FEV_{1.0}、%FEV_{1.0}のいずれにもトレーニング前後で有意の変化は認められなかった。またフローボリューム曲線から求めたPEFR、 \dot{V}_{50} 、 \dot{V}_{25} のいずれにもトレーニング前後に有意差は認められなかった(表2)。

3) 血液ガスの変化

PaO₂は19例で検討したうち、1例がトレーニング後に7mmHg低下、2例が不変であり、他は上昇した。トレーニング前後の平均値の間には有意差が認められた(P<0.001)。PaCO₂は

トレーニングによって有意の変化はみられなかった。A-aDO₂はトレーニング前の平均値が29±11mmHgであったが、トレーニング後には有意に縮小し(P<0.001)、平均21±8mmHgとなった(表2)。

症例：76歳 男性 胃癌

胃癌手術の目的で入院。身長164cm、体重80kgと肥満体。喫煙1日10本、咳痰を認めた。しかし、理学所見、胸部レ線検査にて異常を認めず。入院時、%VC 81%、%FEV_{1.0} 82%といずれも良好であったが、PaO₂ 56mmHg、PaCO₂ 36mmHg、A-aDO₂ 49mmHgであり、肺での酸素取り込みの低下が認められた。ただちに禁煙させ、前述の如き歩行(平均1.6km/日)、階段昇降訓練に加え自転車エルゴメーター運動300KPM/分、1日10~20分、1日2回を21日間施行した。この運動トレーニング後には図1に示すように%VCは増加し、PaO₂ 81mmHg、A-aDO₂ 26mmHgと著明な改善が認められた。また、入院時には歩行に杖を用いていたが、運動トレーニング後には筋力増強し杖は不要になり、歩行が速やかになった。胃癌根治手術を行ったが、術直後に舌根沈下のため一過性のhypercarbiaとhypoxemiaを来したのみで、術後肺合併症はみられず順調に経過し退院した。

4 考 察

平均年齢65歳の消化器外科術前入院患者で、かつ特定の肺疾患をもたないにもかかわらず、肺機能低下の認められたものを対象として運動トレーニングの影響を検討した。その結果、%VC、PaO₂およびA-aDO₂に有意の改善がみられ、また体力の改善も認められた。

運動トレーニングと肺機能の関係については、これまで主として慢性呼吸器疾患(慢性閉塞性肺疾患など)の患者を対象とした報告が多い²⁾³⁾⁴⁾。これらに共通した点は、トレーニング期間が12週~10ヵ月程度と長期にわたるにもかかわらず、VC、FVC、FEV_{1.0}などの改善はみられないかまたは少なく、それに対して体力や自覚症状の改善がみられる点である。正常人を対象として運動トレーニングの肺機能への影響を検討した報告は比較的少ない⁵⁾。Niinimaa & Shephardは60~76歳の正常老人を対象として11週間の運動トレーニングを行った結果、体力の増強は認められたが、肺気量、クローキングボリューム、肺拡散能には変化がみられなかったことを報告している。これらの報告とは異なり、著者らの運動トレーニングは多くは1週間前後の短期間であったにもかかわらず、%VCの有意の改善が認められた。この差異については

不明であるが、1つには著者らの対象が正常な呼吸器を有する患者であり、手術を要する消化器疾患のため入院前における程度の安静状態におかれていたという条件を考慮せねばならない。安静のために胸郭弾性が一時的に低下し、これが比較的短期間の運動トレーニングにより改善したことが考えられる。Adams & de Vries⁶⁾, Barry⁷⁾ら de Vries⁸⁾らによれば、老人で肺活量の悪いものは運動トレーニングにより改善するが、肺活量が正常のものは改善しないといわれる。著者らの対象は前者に近いと思われ一致した成績と考えられる。

約半数が喫煙者であり、禁煙の肺機能への影響も考えられる。しかし非喫煙者でも呼吸機能の改善がみられたことから禁煙によるデータへの影響は比較的少ないと考えられる。検査への慣れに伴う検査値の改善は呼吸機能検査では避け難く、本研究の結果についてもその影響は全くは否定できない。しかし練習を含めて5～6回の測定のうち最高値を用いたので、熟練の影響は最少限度にできていると考えられる。

大部分の例でPaO₂の上昇とA-aDO₂の縮小が認められた点は興味ある成績と考えられる。Harlley⁹⁾らは平均年齢47歳の正常中老年を対象として8～10週間の走行トレーニングを行ったが、A-aDO₂、PaO₂には変化がみられなかったことを報告している。この報告と著者らの結果との差異も前述の如く著者らの対象が安静状態にあった(呼吸器以外の)有病者であったという点が関係していると考えられる。A-aDO₂は肺シャントや換気血流不均等分布などによって影響される肺ガス交換能の総合的指標である。対象でのトレーニング前のA-aDO₂は平均29mmHgであり、これは同一年令層での予測値に比較して著しく開大している。Saltin¹⁰⁾らは運動トレーニングにより肺拡散能および換気血流比が改善したと報告している。ガス交換能におよぼす安静と運動の影響については今後も検討が必要と考えられる。

5 おわりに

中・老年入院患者では運動トレーニングによる肺機能の改善が可能であった。今後、呼吸器疾患患者をも含めて温泉地療養におけるこの面の検討が望まれる。

文 献

- 1) 麻生幸、辻秀男、宮部雅次：有疾患者体力の表示方法について。温研紀要，29：85—92，1977.
- 2) McGavin, C. R., Gupta, S. P., Lloyd, E. L. and McHardy, J. R. : Physical rehabilitation for chronic bronchitic : results of a controlled trial of exercise in the home. Thorax, 32 : 307—311, 1977.
- 3) Sinclair, D. J. M. and Ingram, C. G. : Controlled trial of supervised exercise training in chronic bronchitis. Brit. Med. J., 23 : 519—521, 1980.
- 4) Alison, J. A., Samios, R. and Anderson, S. D. : Evaluation of exercise training in patients with chronic airway obstruction, Physical Therapy, 61 : 1273—1277, 1981.
- 5) Niinimaa, V. and Shephard, R. J. : Training and oxygen conductance in the elderly. I. The respiratory system. J. Gerontology, 33 : 354—361, 1978.
- 6) Adams, G. M. and de Vries, H. A. : Physiological effects of an exercise training regimen upon women aged 52 to 79. J. Gerontology, 28 : 50—55, 1973.
- 7) Barry, A. J., Daly, J. W., Pruet, E. D. R. et al. : The effects of physical conditioning on older individuals. 1. Work capacity, circulatory-respiratory function, and work electrocardiogram. J. Gerontology, 21 : 182—191, 1966.

- 8) de Vries, H. A. : Physiological effects of an exercise training regimen upon men aged 52 to 88. *J. Gerontology*, 25 : 325-336, 1970.
- 9) Hartley, L. H., Grimby, G., Åsa Kilbom et al. : Physical training in sedentary middle-aged and older men. III. Cardiac output and gas exchange at submaximal and maximal exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 24 : 335-344, 1969.
- 10) 近藤哲理, 太田保世 : A-aDx 臨床検査, 26 : 1121-1129, 1982.
- 11) Saltin, B., Blomqvist, G., Mitchell, J. H. et al. : Response to exercise after bedrest and training. *Circulation*, 38 Suppl. VII, 1968.

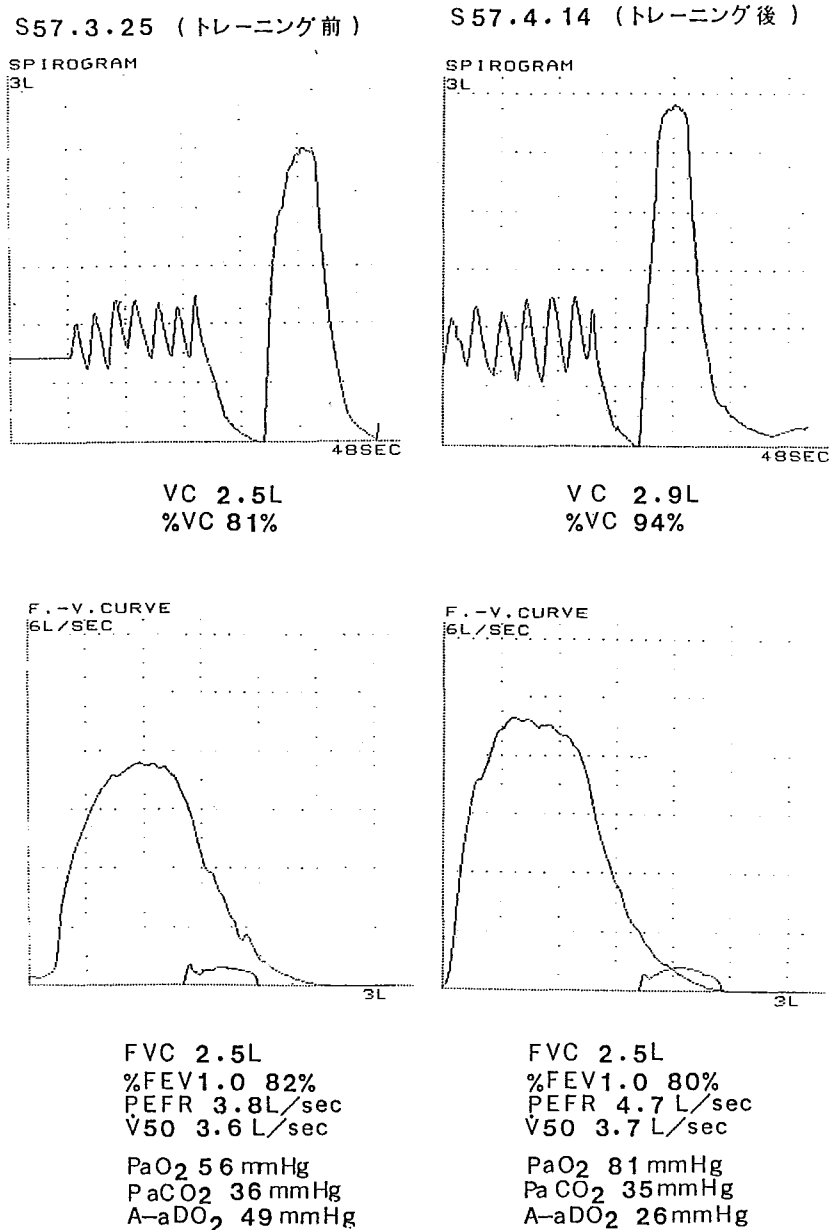


図1 高○例の肺機能変化

〈リウマチの温泉治療〉

慢性関節リウマチに対する 寒の地獄泉の影響(第二報)

—主として内分泌学的検討—

九州大学生体防御医学研究所 吉田 史郎
延 永 正

はじめに

これまでに我々は九重寒の地獄泉(単純硫化水素冷鉱泉、泉温13~14℃)の慢性関節リウマチ(RA)に及ぼす影響について検討し、自他覚的に有効に作用することを報告した。

今回は、その作用機序を明らかにすべく内分泌学的検索を行った。

対象と方法

対象は¹⁾ 昨年¹⁾の報告と同一で、アメリカリウマチ協会診断基準によるdefinite~classical RAの女性5名、男性4名、合計9名である。年齢は43才から62才までで平均年齢50.8才。骨関節X線像によるstage分類では、stage I 3名、II 3名、III 2名、IV 1名である。日常生活動作によるclass分類では、class Iは2名で他はIIである。罹病年数は8ヶ月から9年で平均4年7ヶ月である(表1)。

入浴方法は午前と午後の1日2回入浴で、その前後にストーブにて十分な保温を行った。

入浴時間は、開始日より最初の3日目までは5分間、4日目より7日目までは約10分間。それ以後は15分間として合計21日間行った。

結 果

1 血中コーチゾールに及ぼす影響

午前9時における血中コーチゾール値は、浴前に比べ浴後増加する傾向にあり、特に2週目に最高値を示したが有意ではなかった。(図1)。血中コーチゾールの日内変動を図2に示した。午前9時に高く、午後には低下する傾向は連浴によって特に変化しなかった。しかし、連浴後

表1 対象患者の内訳

Name	Sex	Age	Stage	Class
Y.I.	F	50	IV	2
H.I.	F	43	II	1
K.H.	F	53	III	2
M.E.	F	47	I	2
Y.Y.	F	50	I	1
H.S.	M	62	III	2
Y.S.	M	59	II	2
T.Y.	M	51	I	2
N.A.	M	51	II	2
mean		50.8		

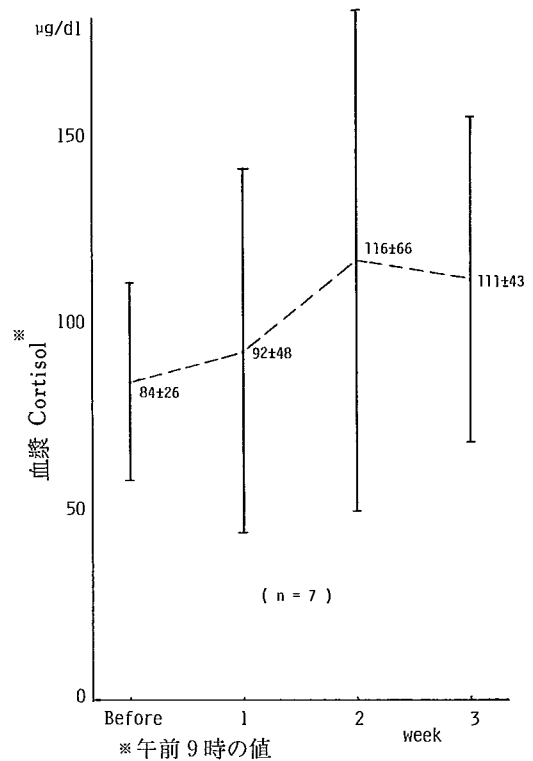


図1 寒の地獄泉連浴による血中コーチゾールの変動

全体として前値に比べ増加しており、特に2週目に最高であった。

5分間、10分間、15分間入浴前後のそれぞれの血中コーチゾールを測定した(図3)。その結果、いずれの場合も入浴後30分に著明に上昇し、60分後には前値に復する傾向を示した。

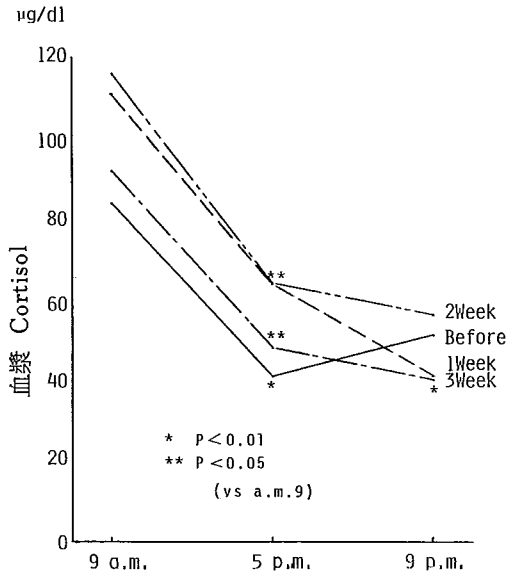


図2 寒の地獄泉連浴による血中コーチゾールの日内変動の推移

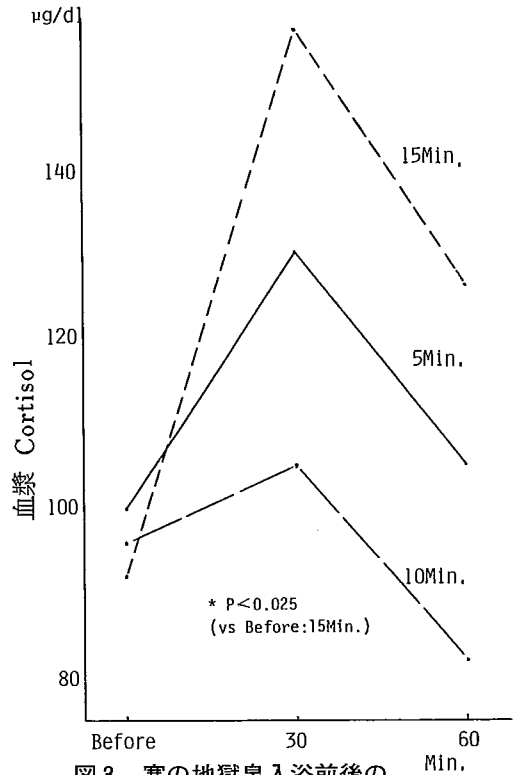


図3 寒の地獄泉入浴前後の血中コーチゾールの変動

2 血中 ACTH (adrenocorticotrophic hormone、副腎皮質刺激ホルモン) に及ぼす影響

連浴によって増加傾向を認めたが有意ではなかった。ただ、コーチゾールと異なり3週目に最高であった(図4)。

日内変動パターンは、連浴によってほとんど影響を受けなかったが、3週目には全体として著明な上昇を認めた。1、2週目の午後の値は、午前9時に比べ有意に低値であった(図5)。

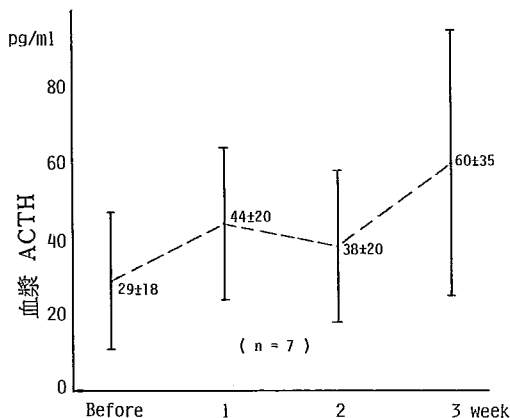


図4 寒の地獄泉連浴による血中ACTHの変動

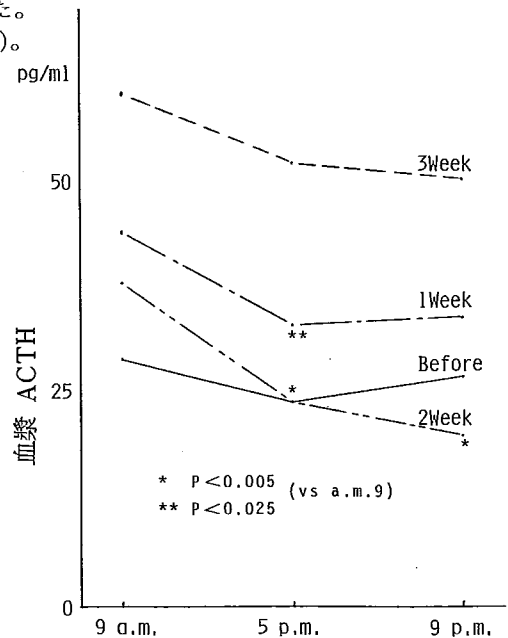


図5 寒の地獄泉連浴によるACTHの日内変動の推移

コーチゾールと同様に5、10、15分間入浴前後の血中ACTHを測定したが、コーチゾールと異なり増加傾向は認められなかった。特に15分間入浴後が最も低値であった(図6)。

3 尿中17-OHCS (17-hydroxycorticosteroid) の変動

連浴1、2週目に増加し、3週目には前値に戻る傾向を示した。特に1週目は有意($P < 0.05$)の増加であった(図7)。対象症例が4名と少ないのは、入浴前に24時間蓄尿を完全になしえた者だけを検討したからである。

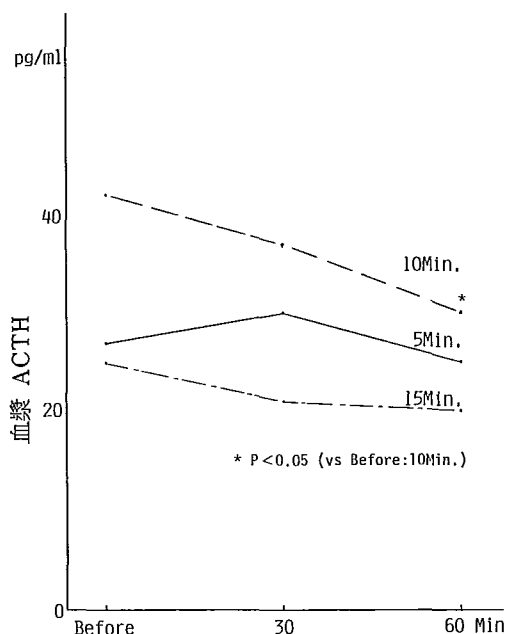


図6 寒の地獄泉入浴前後の血中ACTHの変動

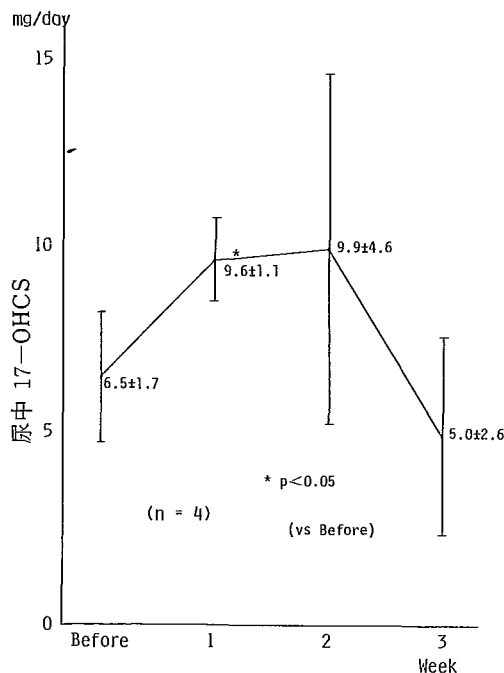


図7 寒の地獄泉連浴による尿中17-OHCSの変動

4 尿中17-KS (17-ketosteroid) の変動

17-OHCSと同様に4名を対象として測定した。図8の如くほとんど変化は見られなかった。

5 尿中カテコラミンの変動

同じく4名の尿中アドレナリン及びノルアドレナリンを測定した。アドレナリンは1、2週目に低下し、3週目に再び上昇する傾向を示したが有意ではなかった(図9)。一方ノルアドレナリンは経時的に増加傾向を示した(図10)。

6 サイクリックAMPの変動

1週目に有意に上昇、2週目からは減少傾向にあったが、2週目も前値に比べ有意に高く、3週目にはほぼ前値に戻った。(図11)。

7 プロスタグランジンEの変動

1週目より増加し始め、2週目には有意に上昇したが、3週目には再び前値近くまで低下した(図12)。

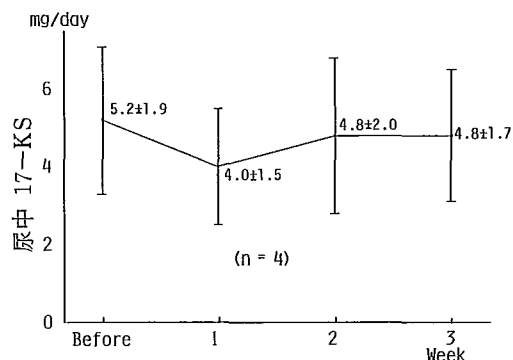


図8 寒の地獄泉連浴による尿中17-KSの変動

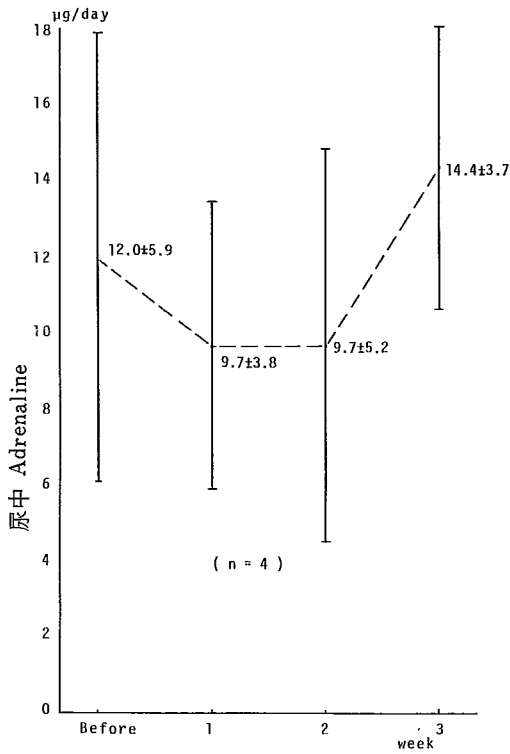


図9 寒の地獄泉連浴による尿中アドレナリンの変動

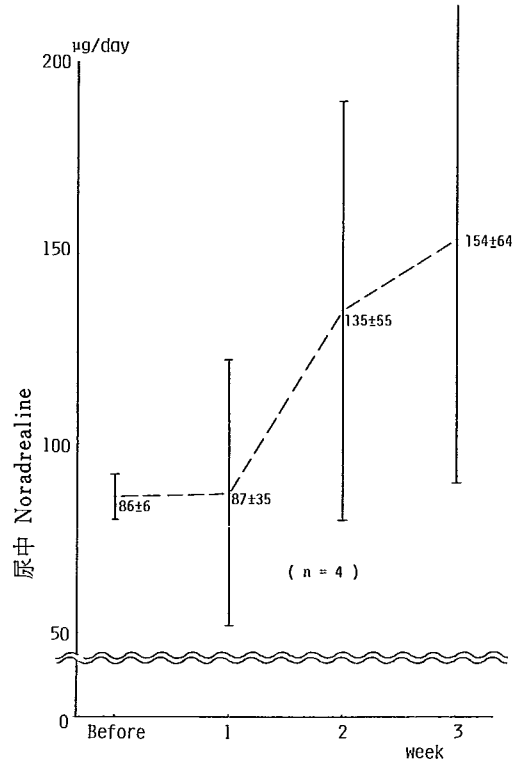


図10 寒の地獄泉連浴による尿中ノルアドレナリンの変動

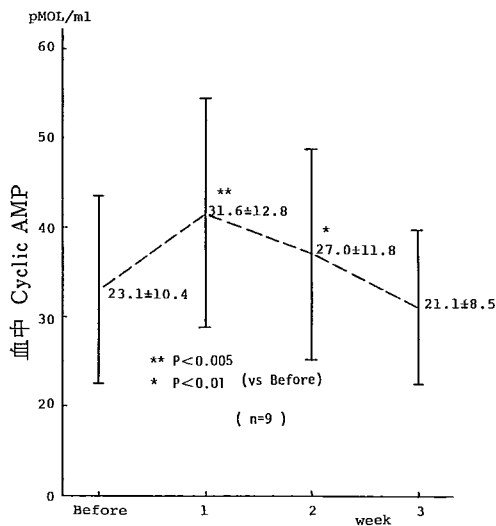


図11 寒の地獄泉連浴による血中サイクリックAMPの変動

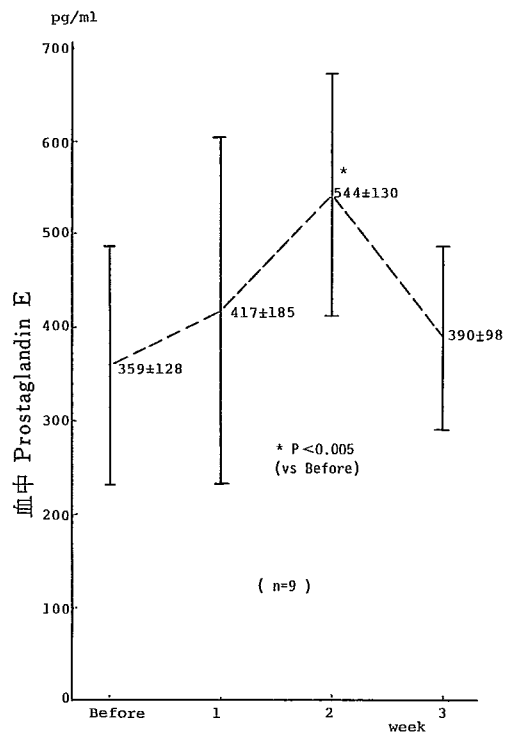


図12 寒の地獄泉連浴による血中プロスタグランジンEの変動

考 案

寒の地獄泉は13~14℃という極めて低温の鉱泉であるため、その入浴に際しては強い寒気をおぼえる程である。従って、この低温刺激作用が視床下部—下垂体—副腎系を刺激し、副腎皮質ホルモン分泌を促進することにより、RAの自覚症状が改善されるのではないかと考え今回検討した。

血中コーチゾールは、冷泉入浴後30分には著明に増加、また日内変動でも連浴後、前値に比べて増加傾向にあった。これは冷泉入浴により副腎が刺激され、副腎皮質ホルモンの分泌が増加したものであると思われる。しかしながら、入浴後30分ないし60分のACTHは増加せず、むしろ低下していた。このACTHの低下には二通りの理由が考えられる。一つは、入浴中あるいは入浴直後に視床下部—下垂体系が刺激され、ACTHは分泌されたものの、30分、60分後の測定時にはコーチゾールによるnegative feed backがかかり、ACTHは低下したということ。二つ目は、副腎皮質の直接刺激によるコーチゾールの増加のみで、ACTH分泌は関与しなかったということである。これに関しては、入浴中および入浴直後のACTH測定により、再度検討してみなければならない問題である。

一般に、温泉連浴では尿中17-OHCS²⁾とともに17-KSも増加すると言われている³⁾。しかし、今回の冷泉連浴による検討では、17-KSにはほとんど変化がなく、17-OHCSのみが、それも1、2週目に増加しており、3週目には元に戻るといった結果を得た。この尿中17-OHCSの増加からみても、冷泉連浴によって血中コーチゾールの分泌は増加するものと思われる。

尿中カテコラミンでは、アドレナリンは増加せず、ノルアドレナリンのみ増加した⁴⁾。一般に、温泉の連浴においては血中のカテコラミンは減少すると言われている。今回の我々のデータは血中ではなく尿中カテコラミンではあるが、逆に増加をみた。また、温泉連浴は副交感神経優位となると言われているが、この冷泉入浴ではノルアドレナリンが上昇しており、これは逆に交感神経優位と言える。従って温泉と冷泉の連浴では、自律神経刺激作用が全く逆であることが考えられる。

血中サイクリックAMPおよびプロスタグランディンEも冷泉入浴により増加した。これらの増加には種々の因子が関与していることが考えられるが、内分泌腺刺激による増加ととらえることも可能であろう。いずれにせよ、冷泉入浴によって細胞が刺激を受けることは確実と思われる。

今回の結果から考えると、寒の地獄泉入浴によるRA患者の自覚症状の改善が、視床下部—下垂体—副腎系への刺激によるホルモン分泌増加によるものとは断定できなかった。しかしながら、RA患者にとっては冷泉入浴がかなりのストレスであったことは間違いのないものと思われ、入浴後のコーチゾールの増加や、尿中17-OHCSの増加などから考え合わせると、冷泉入浴による内分泌腺刺激、つまり副腎皮質ホルモン分泌増加が、少なからず症状改善に関与している可能性は否定しえないと思われた。

いずれにせよ、冷泉も温泉と同様にRAに有効であることが示されたが、その最大の理由が内分泌腺刺激によるものかどうか、さらに検討する必要がある。

文 献

- 1) 延永正、吉田史郎：リウマチの温泉治療：慢性関節リウマチに対する寒の地獄泉の影響。大分県温泉調査研究会報告 33：60~62, 1982
- 2) 松尾武澄：リウマチ患者並びに泉浴家兔の副腎皮質機能に関する臨床的、実験的研究。温研紀要 8：193~216, 1956
- 3) 矢野良一：水治療法、病気の生化学第6巻、治療Ⅱ、中山書店、東京、p.282, 1966
- 4) 鈴木仁一：「温泉治療処方—その基礎と実際」脱ストレスの立場から、日温気物医誌 46：25~26, 1982

温泉法と地熱開発をめぐる法的諸問題（中）

大分大学教育学部 大野 保治

はじめに

- | | |
|----------------|-----------------|
| I 温泉法の実態とその問題点 | IV 地熱開発と温泉法との交錯 |
| II 温泉の権利をめぐる | V 地熱法の法制化をめぐる |
| III 温泉審議会の実情 | (以上 本号) |
| (以上 前号既報) | 補稿 |

資料

(次号 報告予定)

本稿は地熱開発セミナー（フジテクノシステムK・K主催）で昭和55年11月25日、翌年2月18日と2回、東京で研究報告したものを論文ふう書き改めたものである。

IV 地熱開発と温泉法との交錯

1 エネルギー資源としての「地熱」

(1) 地熱の再評価 石油の国際的需給事情の変化に伴って、工業国日本にとっても、エネルギー資源の安定確保、すなわちエネルギー安全保障の確立は重要国策となってきた。一方、わが国では、古来、温泉利用が盛んであり、ために戦後「温泉法」の制定をみて温泉資源の保護と適正な利用についての行政措置が採られてきた。しかし、輸入石油エネルギーを代替する国産エネルギーとして「地熱開発」が、がにわかに世の注目を集め、直接・密接な関連をもつ温泉資源との間に社会（経済）上、また法律上真剣な討議を要する事態となりつつある。

(2) 国の地熱開発の見通し 第二次石油ショックののち、先進工業国首脳が東京サミットを開いて、その対策を協議したことは周知の事実である。その合意を受けて、昭和54年に資源エネルギー庁は「長期エネルギー需給暫定見通し」を策定し、これを目標として官民挙げての努力を呼びかけた。この要点は、省エネルギーの推進を主軸としつつ、エネルギー源を輸入石油から原子力、石炭など多様化することにより、昭和52年度の実績の輸入石油依存率74.2%を、昭和70年度には43.1%にまで縮小し、しかも適正な経済成長率を確保していこうとするものである。そのためには、総エネルギー供給量の中できちんと小さな比率にしかならないにしても、「地熱開発」を再評価して日本のエネルギー資源体系の中に位置づけ、それによる発電を主軸として多目的利用をも含めてエネルギー供給の一助ともしようとするものである。

このように、高度工業国家の巨大エネルギー需要の僅か1～2%をまかなうに過ぎない地熱開発規模も、従来の温泉利用からみれば、巨大な開発規模であることを再発見・再認識する必要があるであろう。地熱懇談会がその調査資料（昭54・11 中間報告）で指摘しているように、第1に非枯渇性の石油代替エネルギーたりうること、第2にわが国に豊富に賦存する数少ない国産エネルギーであること、第3にすでに技術的に実用化をみていること、第4に今後の技術開発によっては一層

飛躍的な利用の拡大が期待できること、など考慮すべきである。それには、環境問題や公害紛争に慎重な配慮を払いつつ、過根を将来に残さぬよう推進してゆかねばならぬことは勿論（もちろん）である。

(3) 著名温泉地と地熱開発との熱エネルギー採取量対比 地熱開発は、昭和52年度実績では、年間石油換算15万キロリットルでほとんど発電用であり、当時発電量は8万キロワットであったものが3年後の昭和55年度には、設備容量15万7,500キロワット（実発電量13万1,800キロワット、稼働率83%）にまで増加している。ところで、地熱発電所における地熱流体および熱エネルギーの総採取量は、既存の温泉場の温泉利用のエネルギー採取量に対比した場合、どのようなことになるであろうか。静岡県資料（衛生部 昭55・2・1 現在）並びに大分県資料（企画総室「大分県地域エネルギー開発利用調査報告書」（要約編）昭56・3）のデータによれば、下記のとおりである。――

伊 東 温 泉		別 府 温 泉
揚 湯 源 泉 数	342 井	2,861 井（活動中）
総揚湯量（毎分）	28,689リットル	72,095リットル
採取熱量（毎分）	1,247,004キロカロリー	574,400,000キロカロリー

以上を年間量に換算すれば熱エネルギー量は膨大なものとなり、伊東温泉では6,550億キロカロリー、別府温泉にいたっては2兆9,650億キロカロリーにも達する。2つの温泉場の熱エネルギー採取量でさえかかる巨大数量であるが、昭和70年度における地熱流体の日本全土における総採取量は、資源エネルギー庁の試算によれば、年間実に30億トンにもものぼると説かれている（中央温泉研究所「温泉資源保護と地熱開発」のパンフ）。現在、10億トンといわれる温泉利用が日本全国の温泉地で枯渇現象や湧出量減退・温度低下の社会問題を頻発させている今日、地熱開発で将来30億トンもの地熱エネルギー採取が現実化するとき、さらにはまた地中の温泉源造出に必要なだとされる地下水問題もないがしろにできない事態を考慮に入れる限り、このような地熱開発の推進は、将来を展望する科学的予見性と検証可能性のもとに慎重なうえにも慎重を期してなされるべきであろう。

以上のような深刻な課題はまた、現行温泉法の法システムと現実社会との法的矛盾を拡大するばかりか、地熱開発をめぐる社会問題をなお複雑なものにしないではおかないであろう。

2 著名温泉地での地熱開発 —— 別府温泉の場合

地熱開発にあたっての法的問題点は少なくないが、中でも地熱エネルギー資源が国立公園等の自然公園地帯にあること、また著名温泉地帯に賦存することが余りにも多いことから、悶着を起すことも少なくない。問題は、かかる場合、どのように対処するかにある。問題のキー・ポイントは、温泉地における従前の温泉利用と一方では国策の基本線にそう代替資源エネルギー開発をどう調整するか――または、どちらの政策を優先させるか――の、深刻・難解な政策判断にある。

既存温泉地（周辺）での地熱開発――但し、調査段階――で地域温泉関係住民との間で最近社会紛争を招いた事例として、当別府温泉でのそれがあるので、新聞報道記事を参照しつつ記述することにする。

(1) 紛争の概要 別府市とその西北後背地、湯布院町境にある伽藍岳（1,045メートル）の中腹国有地に、出光地熱開発株式会社（本社・東京）により調査井2孔のボーリング申請が昭和56年春、出された（申請書によれば、深度2,500メートル、口径73ミリ、利用目的は地熱調査）。

これに先立って、調査試掘地点に近い明礬温泉（掘削地点より1.5キロ～1.8キロ）鉄輪温泉（同じく2～3キロ）――両温泉とも別府八湯の1つ――を中心とする周近温泉関係者は、別府温泉に影響が出るのは必至として別府市、同議会、大分県へ慎重審議を申し入れた。大分県温泉審議会でも慎重審議の末、2回の審議会（第226回＝昭56・5・14、第227回＝同8・5）を異例の「継続審議」として県知事への答申を保留した。

(2) 紛争の経過 開発業者の申請が出される前後、地域住民約 300名は「別府温泉を守る会」を組織したが、のちに個人約 500人と各種団体15の合計約 1,500人がこれに参加している。当該「守る会」(略称)の活動状況としては、伽藍岳の現地調査、専門家による学習会、全市民運動にするためのアピールや署名運動(市民4万名を達成)、県や市への陳情、県内で地熱開発問題が起きているといわれる筋湯温泉(九重町)関係者との意見交換や懇談会の開催など、かなり広範に活動して同年8月1日「地熱開発反対」の決議をしている。

一方、出光地熱開発側でも、開発行為が直ちに既存温泉に与える影響を危惧する周辺温泉関係者に対して現地説明会を開き、当該開発行為の基本構想、姿勢、経過と今後の方針等を説明した。試掘調査の内容として、①当該地域での各種探査・精査の結果、同岳中腹の掘削地点が最有望であること、②掘削地点に一番近い明礬温泉の地下熱源とは別系統と思われること、③掘削に際しては既存泉への影響を第一に配慮し、環境保護をも併せ考慮すること、などが説かれた。企業側では、終始「地元側との共存共栄」を力説し、「開発までには最低10年はかかり、この間地元民との協議をすること」、「万一既設泉に影響が出れば、計画は直ちに中止すること」などを確約し、地元の協力と理解を訴えた。また温泉審議会に対しても、同年7月2日、同様の説明会をもって開発促進を要望している。

(3) 県・市等の対応 7月定例県議会で、県議2人がこの問題を取り上げ質議した。うち1人(共産党)は、昨年(昭55)11月に環境庁企画調整局が米国の地熱開発状況を視察した結果をまとめた報告書を示して、「報告によると、温泉や泥泉、飲料水または農業用水の水源である地下水を枯渇させる恐れがあるなど、問題が多いようだ」として開発調査をやめさせるよう県に求めた。他の1人(民主クラブ)も、「開発のルール(基準)を作れ」と主張した。これに対し、県知事は「地熱開発に民間の資金力と技術を活用することは必要だが、温泉の保護と権益が損われぬよう、温泉審議会の審議経過や答申を見守って慎重に対処したい」旨答えている。

別府市では、同年7月20日、「温泉資源保護と地熱開発」をテーマに財団法人・中央温泉研究所益子所長を招き、講演会を開催した。終了後、引き続き「別府温泉を守る会」では、講師に招いた群馬県温泉審議会委員某氏の草津温泉での地熱開発をめぐる実情を聴取した。両氏とも、それぞれの立場は異なるが、「地熱開発による地熱の過剰採取は、必ずや早晩、温泉枯渇現象につながるであろう」と資料を引用しながら述べ、基本的姿勢として温泉資源保護のため地熱開発は慎重を要する旨訴えた。

これらの動きとは別に、日本温泉協会では、昭和56年度総会(昭56・6・1 佐賀県嬉野温泉)で温泉地での地熱開発反対の決議をしたが、このほか群馬県草津温泉の町議会では、いち早く「調査中止」の意見書を採決している。これに連動してか別府市議会でも、調査井掘削に反対の意見書の採択をみた(同8・3臨時市議会)。別府市(長)や同商工会議所、同市観光協会など挙げて調査反対の中で開催された県温泉審議会では、前回の「継続審議」に合わせて再度結論を保留にした(同8・5)。その結果、同社による地熱開発構想は苦境に立たされることになり、のち同年末申請は取り下げられるに至った。

3 地熱開発紛争と法的問題

既存温泉地での、民間業者による地熱開発進出と温泉への影響を危惧する地域温泉関係者(とくに温泉営業者)の反対運動は、かつての大企業進出による工場群の出現と環境破壊、公害の発生、それに反対する住民闘争をほうふつとさせ、またその社会的性格や法律問題にも共通のアナロジーが存するように思われる。

問題の焦点は、次の2点にしばられよう。

—その1つは、上にも述べたように温泉源の保護と温泉利用、他方では地熱資源開発のいずれを

採るかの価値決定の政策問題であり、いま1つは、公害法理としての既設泉への影響の有無の認定と因果関係の立証、それに環境アセスメントにかかわる科学技術的な問題である。前者について、私見をきたんなく述べれば、既存温泉地にあつては、その地域的限界を設けたうえで何よりも温泉利用を最優先させるべきだ、と考える。よつて本節では、前者の問題を初めに取り上げのちに、公害法理の2テーマについてのみ論述することにする。

(1) 財産権・既得権としての温泉の尊重 一般に温泉地にあつて未開発地熱資源の多くは、

これまた温泉地が将来開発を期待している温泉資源でもある。しかも、歴史的に早期に開かれた著名温泉地にあつては、前章に縷述したとおり、温泉の権利は物権に極めて近い「一種の財産権」であり、それは、日本国憲法でも厚く保障されている。すなわち、フランス人権宣言（第17条 — 「所有権は不可侵かつ神聖な権利である」）の思想を受け継いだ日本国憲法（第29条）は、資本主義経済体制の基礎をなす私有財産制度を確立したうえで「財産権の不可侵」を宣言する（同条Ⅰ項）。他方、資本主義的私的所有から生ずる弊害を防止するため、いわゆる福祉国家・社会国家的立場から財産権の内容は「公共の福祉」に適合するように法律でこれを定める、と規定する（同条Ⅱ項）。その結果、「財産権」はかつてのような絶対不可侵のものではないにしても、基本的・原則的に財産権たる温泉権は手厚く保護されるべき生活権であり、ましてや温泉営業で生計を営む者にとっては、それは生存権（憲25条）の性格すらもつ基本的人権として理解されねばならないであろう。

財産権としての温泉の権利は、このように憲法上、原則的に保障されているばかりか、私法上もまた「既得権」としての性格を併せもつ。すなわち、既得権は、実定法上の権利に対して自然法上の権利（自然権）だとされ、主として私有財産について国家も侵すことのできない不可侵の権利として古来、社会的に承認されてきた権利である。もっとも、実定法を離れて近代国家の権利は存在しないということから、今日では、このような意味での既得権は認められないにしても、一定の主体に帰属することの明らかな権利 — とくに財産上の権利 — を指すことに、学界でも異存のないところである。

(2) 温泉の文化的・経済的役割 温泉の権利は公法（憲法）・私法（民法）を問わず、上述のように原則的に保護されているばかりか、地域社会にあつて温泉は、文化的・経済的（とくに観光経済的側面）に必須の広範な役割を荷なっている場合が多い。加えて温泉のもつ医療的効用も依然として軽視できず、将来予測される高齢化社会に向けての役割も決して僅少なものではないはずである。このように温泉地での温泉事業とその関連事業の経済的規模は、地熱開発で予見される社会的規模に比べて決して見おとりするものではなく、それだけに著名温泉地での地熱開発が当該温泉社会に及ぼす影響やインパクトは測りしれないものがあるであろう。その開発計画に慎重さが要望される所以（ゆえん）である。

— これは要するに、結論から言えば、当面、既存の相当規模の温泉地（周辺）での地熱開発は、利害関係者または団体のコンセンサスが得られたものは格別、そうでない場合は、競合しない方向での施策が賢明かつ適切であると考ええる。他方、かかる温泉地域を避けた地熱開発については、温泉法を弾力的に運用し、国策路線にそつた地熱開発を優先させるべきではあるまいか。さらにまた、同一の地熱有望地帯に複数の開発ディベロッパーが競合したような場合には、それを調整する基準・準則が存しない以上、業者間でそれぞれの技術・資金・計画面などを総合判断して自主的に解決すべく、どうしても調整不能となれば、国または県段階での積極的行政指導にまつて解決するのも一方法であろう。その際には、あくまで全国的・地域的な総合的視野に立つ強力な行政のリーダーシップが期待されよう（前節別府温泉でのそれも、九州電力と出光開発との自主的解決であつた）。

(3) 温泉公害と因果関係の立証 温泉地域での地熱開発進出とそれに伴う既設泉への影響を恐れる地域住民の「温泉公害」への懸念は、あまりにも一般公害のそれと相似している。

その最も重要な争点は、原因と結果との因果関係、すなわち地熱開発のための試掘ボーリングと

それに因る既存温泉への影響（被害事実）の「因果関係の立証」の問題である。一般に、人の事業活動の自由を前提とする伝統的な見方では、不法行為（民 709条）により損害賠償を請求するには、加害行為が真に被害発生の原因であることを被害者自身が証明しなければならない。けだし、損害発生の原因かもしれないとの疑惑から、直ちに賠償責任を認めるとすれば、とうてい、人の営業活動の自由（憲22条）は保障されがたいからである。いわく、「疑わしきは罰せず」の基本命題は、民事・刑事を問わず、個人の自由尊重を基調とする近代社会と近代法の一般原則とみてよい。

しかしながら、この原則をそのまま「温泉公害」の訴案に採用するとなれば、被害者である温泉関係住民に挙証責任があることになり、それは技術的にも経済的にも容易なことではない。一方、企業者にしてみれば、この点、比較的容易であろう。加えて企業者には、もともと危険な操業をする者として危険防止の責務、すなわち「危険負担の原則」も存するはずである。そこで、一般の不法行為訴訟とは異なり、因果関係に関する挙証責任を転換し、むしろ企業者の側において、その無害性を立証しない限り賠償責任を免れないと解するのが妥当であるばかりか、社会通念や社会的正義・公平にも合致しよう。したがって当該訴訟にあって、被害住民は、因果関係の、いわゆる「蓋然性」さえ立証すれば最早、十分であろうと学説は説く。この蓋然性の考え方は、上述のとおり被害者の経済的地位の弱体性、加害者の原因究明への非協力、公的調査機関の不備、調査技術の未発達などの理由を挙げ、被害者に要求される因果関係の証明は、それが存在することのかなりな程度——この「程度」こそがまさに問題なのだが——の蓋然性であれば十分であり、実質上の証明の責任を被害者から加害者に転換し、被害者救済の範囲を拡げるべきであると主張するものである。

さすれば、当温泉紛争が訴訟になったとして、私見によれば、被害者である周辺温泉関係住民が④地熱開発の試掘ボーリング実施が原因で既存温泉の一定地域に温泉法4条にいうような温泉異変の事実が現に発生しており、⑤当該地域において多くの被害事実がかなりの「程度」に生じていること——この2つの事実関係を立証さえすれば、当該裁判所は、因果関係ありと推定（認定）すべきであり、逆に被害企業が反証を挙げて因果関係の不存在を証明しない限り、企業の不法行為責任は免れないと考えるのが相当ではあるまいか（事実、現に最近の公害訴訟では、これに従う判例が多いようである——ジュリスト特集『公害総点検と環境問題の行方』昭54）。

(4) 環境アセスメント 環境影響事前評価、俗にいう「環境アセスメント」とは、一般に、環境開発等を実施するにあたり、それが自然環境や社会環境にどのような影響を与えるかを事前に調査予測し、その結果を関係機関や住民に詳しく公表し、関係者の意見を組み入れたあと、開発計画の適否なりその修正を決定してゆこうとする手法をいう（前掲—ジュリスト特集『公害総点検』原田尚彦「環境影響評価」P. 129、以下同じ）。

この手法は、米国において1969年に国家環境政策法（NEPA）が制定され、これによって連邦政府の開発行政の決定に際して広く導入されたものである。今日では、先進諸国の公害行政の中に多少とも導入され、実施をみるに至っているが、わが国では、周知のように未だ法制化は実現していない。この米国の制度では、連邦政府が公共事業その他公共政策を決定するに際して、とかく忘れがちであった環境面への配慮を慎重に行ったうえで適切な政策決定を担保するために、環境アセスメントが踏まれることになっている。端的にいえば米国では、連邦政府が環境配慮を自己拘束の手続として採用したのに対して、わが国では、政府事業と民間事業とを問わず、事業者が事業決定する場合、環境問題を十分配慮するよう事業者を義務づけるために行う、とする。要するに、わが国では、アセスメントの実施は事業者の義務とされ、行政機関は事業者がアセスメントを適正に実施するようこれを監視する立場、とされている。だから、わが国の制度のような場合、事業者が実施する調査・予測に過誤や手抜きがないかをしかと確認する公的チェック機関が必要とされねばならない。とくに評価の公正を考えるならば、最終評価は専ら事業者自身に委ねるのではなく、公的な第三者機関が何らかの形で関与する体制を採ることが望まれている。

このような環境アセスメントをめぐる内実は、当該温泉公害の事例にも妥当するであろう。前節2で報告したように、既存温泉地での地熱開発の可否の行政処分——実務的には、温泉審議会での掘削許可・不許可となって現われる——をめぐり、開発業者自身の手になる資料を自ら「自己採点」するような事態は決して望ましい姿ではないからである。幸いなことに温泉行政の場合、事業者のした予測評価を第三者機関の環境影響評価審議会ともいべき温泉審議会がこれを審査し（一般的には、然るべき公的機関に委嘱して検討させることも考えられる）、その意見に基づいて、自治体の首長（県知事）が最終的に事業者に対し評価意見を述べるといったシステムを採り得るであろう。このような環境アセスメント制度は、一刻も早く法制化する道を急がねばならないと考える。

4 大分県における地熱開発

(1) 県・九電の地熱開発 本県（大分県）は、全国でも有数の地熱地帯であり、この天恵の地熱資源を活用しながら、全国に先がけて「地熱エネルギー資源県」として最近とみに有望視されているところである。

すでに九重町大岳、八丁原では九州電力（株）の地熱発電が成功をみており、発電量も67,500キロワットに達している（昭56・8現在）。また現在、全国でただ1ヵ所、九重町を中心とした豊肥地区に国の予算約30億円で地熱構造試掘調査が行われており、大規模深部地熱発電が計画されている。国では当該計画をさらに促進中で、九重・久住両町から熊本県小国・南小国両町にまたがる豊肥地区に拡充し、その地熱開発も、最終的には地下4,000メートルに達して昭和60年代には25万キロワットの実現を目標としている。九重町野矢地区で現に実施中の県独自の掘削深度は700～1,500メートルの浅部地熱開発であり、これも小規模の発電所と熱水の有効利用を想定している。

わが国の地熱資源については、地下2キロメートル程度までの比較的浅部の支配領域にあっては、全国で約50地域が候補にのぼり、その発電量も約3,000万キロワット（石油換算一年間6,000万キロリットル）に相当する賦存量が期待されているという。地熱の利用分野も広範多岐にわたり、発電をはじめ多目的に利用される（暖房、配湯、農業用、養殖用、廃熱利用など）。その特性として考えられる利点は、①半永久的に安定した供給が期待されること（安定的確保）、②初期投資は比較的巨額でコストに占める固定費の割合が大きいが、長期には価格の安定性が高いこと（価格安定性）、③ローカル・エネルギーとして地域の電力その他多目的利用の需要に十分応ぜられる規模であること、このため地域住民の生活や福祉の向上、地場産業の振興に寄与できること（地元還元、地元福祉への寄与）など軽視できないところである。

(2) 阿蘇国立公園内での温泉利用 ここで、阿蘇国立公園（特別地域）内での温泉利用に触れておく。国立公園（もしくは国定公園）内での地熱開発とその法律問題については、拙稿を参照されたい。（拙稿「長者原温泉群の概況」「筋湯における温泉権の実態」大分県温泉調査研究第27号昭51・3）

——阿蘇・九重連山には九州横断道路（基点一別府～阿蘇～長崎）一帯にわたり九重（久住）温泉群（星生温泉、寒の地獄、筋湯温泉、宝泉寺温泉、長湯温泉など）が散在する。この周辺一帯は、阿蘇国立公園に編入されているが、こうした特別地域での温泉利用については、国有財産法や自然公園法等の厳しい規制を受けるとともに、国有林野にある温泉利用（新規ボーリングをも含む）についても、これを所管する林野庁（営林署）の法規制を受けねばならない。すなわち、自然公園法第17条3項（1・3・7号）の法規制を受けて、温泉掘削はもちろん、利用施設等の工作物の設置には環境庁長官の許可を必要とする。よって、温泉掘削の県への許可申請と国へのそれとが競合する形となるが、温泉法上の許可行為が最終的には優先すると考えられることから、現在では国（環境庁）の許可処分をまって県へ掘削申請を提出するよう行政指導がなされている。長者原温泉群での温泉利用の具体的事例として、国有林内に湧出する温泉利用についての「林野庁通達」にはいさ

さか問題があると思われるので、以下これについて付記する。

この林野庁通達（林野庁長官より各営林署長へ通達—林野政第738号 昭42・4・18）の内容は、国有林野内で温泉ボーリングしようとする者には、用地の使用許可に際して国3、ボーリング者7の割合で利用するというものである。当該林野庁通達——名称は「国有林野の管理処分の事務運営について」——は、林野庁が管理する国有地に湧出する温泉について、温泉施設の所有権ないしは管理権を同庁が留保し、土地利用者に配湯請求権のみを与える趣旨で一方的に温泉権を制限しているとしか考えられない性格のものである。もっとも、国3対ボーリング者7の対比はあくまで「基準」であり、その地方の実例等を勘案して両者が協議して定める割合で利用されること、また湯口は両者で管理することなどが定められてはいる。とはいえ、このような通達は、温泉利用の法社会学的側面をあまりにも軽視したものであり、地域社会における伝統的な慣習（法）を否定するがごとき内容であることから、違法の謗（そし）りは免れないのではないとも考えられる。

V 地熱法の法制化をめぐる

1 地熱開発と鉱業法

(1) はじめに 地熱法（地熱関係の法を仮称していうことにする）の法制化に際して、現在これと深く関連して複雑に絡み合うのは、これまで縷述してきた現行温泉法であり、温泉の権益が地熱開発・利用に極めて困難な法的問題を投げかけていることも、再三述べてきた。地熱の法的問題に関して、その地下資源性に視座を据えるとき、今1つ考えられるのは「鉱業法」との関連である。そこで、地熱法制化の方向を、この鉱業法との関係で考察してみることにする。

(2) 鉱業法と温泉法 温泉の掘削で、温泉法の不備が問われる1つに当該2法の交錯の問題がある。周知のように、鉱業法は、一定の資格要件のもとに鉱業権者が鉱物の採取のために土地を掘削することを認めている。当初、明治国家は、土地所有権の権能としての自由な処分権から「地下資源の鉱物についてもこれを自由に採取できる」という自由採取の原則を承認していた。しかし、明治民法制定（明31）後しばらくして、この民法の一般原則を廃止して地下資源の鉱物については「（旧）鉱業法」（明38 法第45号）を制定し、土地所有権とは切り離れた「鉱業権」の制定を設けて一定種類の鉱物を法定した。その上で、土地所有権の支配から解かれた法定鉱物は、鉱業権の設定がなければ掘削、利用、処分等ができない旨を定めたのである。こうして、鉱業権は、国の許可に基づく公法上の権利すなわち公権として「開発・利用についての排他的、独占的権利として民法の物権に準じ、土地所有権とは別個独立の権利として登録された未掘削鉱物を包括的に支配する」旨規定したのであった（舟橋諄一『物権法』法律学全集 P. 345）。

さて、問題となるのは、温泉地において温泉法上の掘削許可を受けられぬ者が鉱業法に基づいて試掘権ないしは採掘権を設定し、実は温泉の取得のために掘削するという事態が生ずることである。鉱業法に基づいて試掘する場合には、土地所有者の同意は必ずしも常に必要とはされていない。鉱業法は、ただ、「鉱物の採取により土地の利用を妨害すると認めるときは、通商産業局長は、採掘権の設定の出願した土地の区域に係る土地の所有者に出願があった旨を通知し、担当の期間を付して意見書を提出する機会を与えなければならない。」（第25条）と規定するにとどまる。例えば、当該鉱業権者の権利行使と第三者である土地所有者が行う井戸の掘削等の正当な権利行使とが衝突するときなど、両者の調整が必要となるが、鉱業法はこれを個々人の自由な意思に委ねず、一定の条件のもとに必要な場合、鉱業権者に地下における特別の使用権を認め、事業実施の困難な事態に対しては最終的に通産局長の許可処分により土地所有者を排除して一定の土地使用または土地収用を許容する措置を定めたのである。

以上のことから、鉱業法に基づく出願者は、一定の地域に鉱業権の設定を出願するにあたり、その土地の所有者の承諾を得る必要は必ずしもないのであり、誰でも出願が可能である。一方、この点、温泉法上の掘削申請者は「掘さくに必要な土地を掘さくのために使用する権利を有する者でなければならぬ」（第3条2項）から、温泉地の住民と全く関係のない者は、鉱業権による出願をする方が有利であるといえる。このように鉱業法に基づく出願は、温泉法の規制と全く別個な手続でなされ、しかも温泉湧出地には同時に鉱物が埋蔵されている箇所が少ないため、鉱業権の出願者が鉱物採取と温泉取得とを同時に意図する場合があり、ときには鉱物の採取は単なる名目にとどまり真の狙いは温泉取得にあるという事態すら生ずるのである（土肥温泉の例）。これは、まさに鉱業法を利用した形で行う「温泉法の脱法行為」にほかならない。温泉法の不備と盲点を巧みに突いたこのような行為は、今後の地熱法の法制化の過程で解決するよう検討すべきであろう（川島他編『温泉権の研究』P. 417～8）。

(3) 地熱開発と鉱業法 地熱資源の開発の段階は、鉱業法に定める鉱物資源の開発の法的プロセスに類似しており、地表調査→試掘→採掘（本掘）を経て事業化へと進む。鉱業の着手にあたっては、何よりも土地所有権（若しくは使用権）を前提とするが、その問題点は上述したとおりである。

現在、鉱業法は、鉱業権の客体としての法定鉱物を金・銀・銅のほか石炭・石油・天然ガス等に限り列挙して、地熱開発の対象物である地熱資源はこれに含まれていないため、同法の一部改正をまって地熱エネルギーを付加することで地熱開発の法制化を推進することも、一応考えられなくもない。しかしながら、地熱エネルギー資源（そしてまた温泉資源でもある）はその特質上、「物（客体）としての特定性を欠く」ことから、石材・砂利等と同じく鉱業法の対象鉱物にはなじみ難いものがあり、かつ、鉱業自由主義・万人機会均等の原則を掲げて千差万別の実体をなす鉱業経営に対して、地熱開発事業は、特殊の技術と巨額の資本を要することなどから「事業者」としての資格が限定される点、また鉱業の先願主義は地熱開発には必ずしも適用されえない点等を考慮する限り、鉱業法と同一の法制化において規制することは必ずしも適当ではないように思われる。

国では、戦後、エネルギー資源確保のため主要な鉱物資源の開発促進を実現してきた。例えば、「石炭及び可燃性天然ガス資源開発法」（昭27 法第162号）、「電源開発促進法」（昭27 法第283号）、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」（昭55 法第71号）等の特別立法により、いずれもわが国エネルギー開発促進を国が助成し、必要な施設を整備・拡充することによって産業の振興・発展に寄与せんとするものであった。かつて戦前の鉱業法（旧鉱業法一明38）と戦後全面的に改正された鉱業法にしても、鉱物資源を合理的に開発することで公共の福祉増進に寄与せんとする基本的制度を定めることを目的に単独立法されたものであり、民法上の土地所有権を制限する法律として鉱業を営む事業者の権利関係を安定せしめているのである。このことはまた、地熱開発の立法化を進めるにあたって、その方向性を示唆していると言わねばならないであろう。

2 温泉法の改正と地熱法制化

(1) 温泉法の改正による地熱法制化 鉱業法の一部改正にある地熱法改正への途は必ずしも容易ではないと判れば、やはり現行温泉法の枠組の中での改正をまって、地熱法制化への途は期待できないであろうかということである。

一応、考慮されるのは、現行温泉法の部分的改正である。例えば、温泉の定義（法第2条）を「温泉」と「地熱」とに分け、後者の地熱は、物権として鉱業権同様の法的権利性を付与せんとするのも一つの方法であろう。しかし、産業開発・代替エネルギー寄与という地熱開発法と温泉保全を掲げる温泉法とは、そもそも法定の立法意思（目的）もその機能も同一視できないものがあり、同一の法体系の中で併存させるのはいささか不自然であろう。これを想えば、温泉法の一部改正と

いうだけでは足りず、結局は、温泉法の全面的改正をまたねばならなくなるであろう。

(2) 温泉の権利の法制化 現行の温泉法には、温泉の権利を規定する明文規定はなく、また、これに対する判例上の取扱いも多様であり、不明確である。しかし、現実には、これらの権利は多く土地所有権から独立した財産権として取引の対象となり、温泉が湧出している地盤の所有権はかえってこれに従たるものとして取扱われている場合も少なくない。こうした傾向は、当該温泉地のおかれた社会（経済）的・歴史的諸条件に制約規定された中で、温泉とその権利関係が都市化・近代化を遂げた著名温泉地に一般に多く見られる。これは要するに、制定法および判例は、この現実の取引関係およびそれを裏づけている経済事情に即しているとは必ずしも言えず、むしろその不完全・不明確のゆえに温泉に関する権利関係を不安定にしている。しかも、温泉に対する権利は、近時ますますその経済的価値を高め、重要な財産権として取引も頻繁になってきており、これを立法によって明確化することは緊急を要する問題であるばかりか、地熱法の立法化にもおおきく貢献するであろう。

では次に、温泉を採取・利用・管理・処分する権利は、これを法制化するためにあたって、どのような権利として構成すべきか。川島東大名教授は、大要下記のような「立法提案」をしておられる（川島他編『続温泉権の研究』1980年 勁草書房 P. 389～）。――

①温泉は、個々の土地所有権とは別の――通常はこれより遥かに広大な――地域にわたり賦存することが多いことから地下鉱物に類似するが、「客体の特定性を欠く」という点でこれらの鉱物とは異なり、従って地下の温泉源そのものを「物」とし直接これを支配する「物権」として法律構成するのに適しない。よって、温泉に対する権利は、「特定の場所で温泉を採取利用する権利」として構成するのを適当とすること。

②温泉に対する権利を法制化する場合には、税法上の配慮から「鉱泉地」として分筆し独立の不動産とする登記制度、並びにこれに結びついた取引慣行があるのであるから、これを尊重する必要があること。（地盤所有権と温泉の権利とが一体となって取引されているような温泉地では、永年にわたって国民の意識の中に定着している慣行を法制化することで実際上の摩擦は少なくなるであろうと考えられる。）

③一方、「温泉に対する権利」は、源泉地盤の土地所有権から独立した経済的価値を認められ、またそのようなものとして取引されているのが常であるから、法制上も源泉地盤所有権の単なる一内容とするにとどめず、それから独立した権利とする必要があること。それ故、かかる権利を「温泉権」と呼称するのが望ましいこと。

④このような「温泉権」は、独立の物権として、公示（登記または登録）をその対抗要件とする。この温泉権の内容は、私的「所有権」と同一のカテゴリーの権利（包括的かつ永久の権利）とすること。採取した温泉は、温泉権利者の所有に帰することは勿論（もちろん）である。

⑤分湯の権利関係としては、源泉権を共同支配する温泉権の共有関係の場合と、温泉権者の同意を得て非温泉権者が温泉の利用採取をする場合、とがある。前者は、問題は少ないが、後者には、さらに分湯の利用が物権的効力を有する場合と債権的効力を有する場合、との2種類がある。そこで、温泉権者との契約による非温泉権者の温泉権は「分湯権」として物権とし、公示をもって第三者への対抗要件とすること。このような分湯権でない、例えば一時的な利用や余湯の利用、また好意的・恩恵的に無償の利用を認めるなどのような利用権を「債権的利用権」と呼んで、分湯義務者の承諾なしに処分できないとするが、公示すれば第三者に対抗できるとすべきであること。

(3) 温泉法全面改正の阻害要因と必要性 叙上のように、同教授は再三、傾聴すべき「立法提案」を叫ばれてきているが、温泉実体法の立法の必要性は、戦時中から一部の学究先達により唱えられてきたところである（例えば武田軍治『地下水利用権論』、清水澄「鉱泉法の制定を望む」

(『温泉』第2巻6号所収)。今日なお立法を遅らせている阻害要因としては、本稿で触れてきたように④温泉権の現実の慣行の多くが、今日のいわゆる「近代化」的な法体系と全く異質の旧慣秩序のもとにおいて成立し、多くの変化を経ながらも基本的にはその特質を維持しつつ今日に至っていること、⑤温泉権の旧慣が以上のような性格に対応して多様な地方差をもって現われていること、⑥旧慣上の温泉権が明治期導入の近代法体系の影響を受けて、解体・変質の過程をたどってきていること、⑦このような近代法体系のもとで、近代法的な権利としての温泉権やその取引が数多く発生してきていること、⑧このような権利形態の複雑性は権利主体者の利害の複雑性にほかならないのであり、それらの利害の対立が統一的立法にとって大きな障害となっていること、等々が指摘されている(前掲書——P. 1~3)。

温泉権の立法化の試みに対しては、各種団体・社会勢力の利益が鋭く対立して立法そのものを高度に社会(政治)問題化し、所轄事務官僚の立法作業を困難なものにしていることは、本稿中の「地熱開発紛争(別府温泉)」の一例が如実にこれを実証しているところである。今日まで全国的に温泉争訟も多くなっていることを想えば、またそれらの争訟を解決するための規準が制定法とか判例の形態でほとんど与えられない現在においては、温泉権に関する現実の具体的な規範関係が国家法の統一法規として明らかに定立されることが早急に望まれるのである。

3 地熱資源開発促進法案の検討

(1) 「促進法」のすすめ 現行温泉法の全面的改正をまって温泉の権利実体法を確定し、しかる後にこれに連動して地熱法の立法化を実現するのが最も望ましいと考えるが、過去の経緯と現今諸般の政治情勢を総合判断する限りでは、それは先ず不可能に近いであろう。そこで次に考えられるのは、温泉や地熱の本質に関する基本的論議を招来するであろう当該実体法の立法化をあきらめ、現行諸法令との共存・調和が可能な「促進法」形態の立法化を急ぐことが現実的かつ有効な対策ではあるまいか。

地熱開発・利用の先進諸国では、すでにこれら地熱関係法が整備され、計画行政のもとに着実に事業化が推進されている。例えば、アメリカでは「地熱蒸気法」(1970・12・24制定)、ニュージーランドでは「地熱エネルギー法」(1953・11・26)がすでに制定されており、イタリアでもいち早く1927年(昭2)に「鉱業法」が一般法として制定され、その中で工業用として開発できる鉱物資源や地下エネルギー資源を鉱物の一種として法定し、国が試掘権・採掘権を許可・付与することになっている。こうした諸外国に刺激を受けてか、わが国でも衆議院議員床次徳二氏により発案された「地熱開発資源促進法(案)」いわゆる「床次法案」は、この意味で注目されるばかりか検討に値する試案である。

(2) 床次法案の検討 この法案を見ると(添付資料参照——次号)、その第1条に目的を掲げる。すなわち、提案の趣旨によると、「地熱資源の利用の将来性にかんがみ、わが国における地熱資源の開発を促進するために必要な措置を定め、もってエネルギー資源の確保に資することを目的とする」とあるが、国策としての地熱資源の重要性を十分認識し、その開発の促進を図るため、その開発の順序等その他必要な事項について1つの秩序を定め、将来の順調な開発を図ってエネルギー資源の確保に資するという法制定の目的は、おおむね妥当性をもって容れられよう。

第2条は、「地下資源」の定義の条項であるが、それは温泉法第2条第1項に規定する「地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス」であり、同法第3条第1項の発電に利用するものであるから、従って同条第3項の規定により知事が許可を与える時は、あらかじめ地方通産局長と工業に使用する温泉として協議する必要がある。現行温泉法の枠組の中で、地熱開発のための掘削手続等は従前どおり温泉審議会にかけ、知事の許可を要するとのことから、何ら不都合は生じない。あえて問題とするなら、知事と通産局長との協議の仕方、また温泉審議会の審議手続等の在

り方など再考してみることである。

第3条は、国の責務の規定である。国が地熱資源の開発を行うにあたっては、自然環境の保全および公害の防止については十分意を尽し、地域住民の意思をも反映させるばかりか環境アセスメントについても、深刻に配慮をする必要があろう。続いて第4条は、基礎調査であるが、特に第4条で留意したいのは、放熱量とか地質、地下構造について国の先導的かつ積極的調査の役割である。国策として代替エネルギー資源問題を意欲的に推進するのであるなら、基礎調査には相当額の経費と年月を要するのであるから、ひとり民間業者の手に委ねるのではなく、国もまた責任をもって実施すべきであらう。この点、米国の地熱行政に学ぶ必要がありそうである。

第5条は、前第4条の基本調査の結果に基づき、地熱資源の開発の可能と認められる地域ごとに、当該地域における地熱資源の開発の基本となるべき地熱資源開発基本計画を決定しなければならない、としている。また通産大臣は、基本計画の決定を必要とする時にはあらかじめ地方公共団体の長の意見を聴くとともに、国の関係行政機関の長に協議しなければならないとしている。国が基礎調査として、地熱の開発ができると認めた地域について、通産大臣は、その地域を開発するのにどうすべきかという開発基本計画を定めるのである。これは通産大臣の一方的資源開発への歯止めの機能を果たし、前もって地元の知事、特に当該市町村長の意見を十分聴くとともに環境庁や林野庁、農林省などとも協議して、第3条にいうところの国の責務を自覚することを要請する。また通産大臣は、基本計画を策定した以上、これを公示しなければならない旨規定して利害関係者に知らしめることにしているが、民主政治の在り方として、国が積極的に情報公開して民意を問うという姿勢は時宜に合ったものであり、賛成こそすれ否定する謂（いわ）れは見出しがたい。

第6条は、基本計画の内容の規定である。先ず、①地熱資源の開発を行うべき地域の範囲を定め（適用範囲の特定）、②開発の規模、③発電の目標、④地熱発電以外の地域的利用に関する基本的計画、利用法についての基本的事項である。続く第7条は開発実施計画で、地熱の開発事業を実施しようとする者は、前述により国が定めた基本計画の条件に従って当該事業の開発実施計画を作成し、通産大臣の承認を受けなければならないのである。もしその後、当該計画を変更しようとする時も同様である。基本計画に対応する具体的条件が同条第2項に規定されており、それは①区域の位置、規模並びに実施区域とその周辺地域の状況、②工事の内容および期間、③発電の目標、④資金計画、⑤発電以外の地域利用の問題、⑥実施区域および周辺地域の自然環境の保全および地熱資源の開発に伴う公害防止に関する事項、⑦その他通産省令で定める事項、となっている。これらの事項について通産大臣の承認を得て実施することになるから、環境保全の問題とか公害防止の問題はこの時点で解決されることになる。

第8条は、通産大臣は、前条により開発事業を行う者からその実施状況の報告を受けることができるとして、必要な条件どおり事業が行われることを期しているのも、さほどの問題はない。続く第9条は、関係行政官庁の配慮を促している。ここにはかなり具体的に法律の適用の際の注意事項が述べられ、環境庁長官とか農林大臣、その出先機関、知事・市町村長などの関係行政機関の長、または関係行政機関は地熱資源に関する調査、または地熱資源の採取、もしくは利用のための竹木の伐採、土地の掘削、土石等の採取、施設の設置等にかかわる温泉法、自然公園法、その他の法律による許可処分をするに当たって地熱資源の開発が円滑に行われるように配慮する、といったものである。地熱開発をする場合、交錯する諸法規には国有林野法、森林法、砂防法、河川法、自然環境保全法、電気事業法など種々ある。そのため、地熱開発を遂行する上で面倒な手続を要するが、それぞれの法規を尊重しながら地熱資源の開発が円滑になされるよう配慮することは、利害関係者の基本権が微妙にかかわり合う以上、当然の措置であらう。要するに第9条設置の趣旨は、基本的には国の責務を定める第3条に対応して設けられたものである。

第10条は、資金の確保等の規定で、国は、開発実施計画に基づく開発事業の実施に必要な資金の

確保または融資のあっせん努力するものとする、と定める。地熱事業を行いうる会社は鉱山とか石油関係、重化学の会社等ごく少数に限られ、必要な資金がこれら企業者に流入するメカニズムが不備であることは問題で、資源エネルギー庁が最近始めた債務保障制度の飛躍的拡充、特別な金融会社の設立、第三セクター法人の設立（例えば、地方公共団体、電力会社、石油会社などの共同出資）などの金融対策と債務保障制度の創設等がぜひ必要であろう。この点、米国の金融対策に学ぶ必要がありそうである。第11条は、この法律の実施に必要な事項の通産省令への委任条項なので、さほどの問題はないと思われる。

(3) 結び 地熱開発法の新たな登場が既存諸法規とそれぞれの領域で、ときには矛盾し、ときには対立することは、現在日本の置かれた行政施策上、やむを得ないことではある。個々の法律はそれぞれ目的や機能を異にするばかりか、その手続などでも異なる。よって、差し当たっては、個別法の存在と設置目的とを尊重しながら新しい国策のエネルギー施策にそう地熱開発の方策を模索せざるを得ないのではあるまいか。当該地熱資源開発促進法案はかかる意味で、地熱開発に優先権を認めるといった趣旨ではなく、各種法規の目的と調和を図りつつ地熱開発を円滑かつ効率的に促進しようというものであり、世人の承認は得られるものと考えられる。

本促進法案が制定されたにしても、従来の温泉法の適用と温泉審議会の運営に重大な支障をきたすといったものでもなく、反面、その実効が挙がらぬではないかとの批判も当然起きることが予想されるが、国の地熱開発上の政策と開発促進の手続を明確にすること、国の基本計画樹立の上で事業者が事業計画を作成・実行すること、開発業者の乱立が防止されること、環境破壊や公害防止に何らかの歯止めがかけられること、国の融資制度の確立をみること、等々のプラス面を想えば、当該法案の成立はそれなりに大きな意味をもつのではあるまいか。筆者は、本稿で紹介した別府温泉での地熱開発紛争に直接タッチした者の1人として、叙上のことを痛感した次第である。

4 結語

以上の拙稿は、温泉法・温泉審議会に視座を据え「地熱開発（発電）」の法的諸問題をマイクロ・マクロに展望してきたのであるが、もはや割当てられた紙幅も少々超えているので、この辺で結稿することにしたい。

一言に言えば、地熱開発を進めるには、数々の法的困難がつきまとうということである。これを法令の側面から見れば、法体系の不整備・不統一、法構造の複雑性ということに尽きようか。社会動態的に把握すれば、開発事業者と地域住民との対立紛争である。原子力発電（原発）施設の立地問題にも示されたように、これら住民運動の参加者は、次第にそのサークルを拡げて広範囲の住民の関心事として施設周辺住民のみならず、市町村（並びにその議会）・県等の地方公共団体をもいや応なく巻き込んでくる。そして個々の企業者対地域社会の社会紛争は、やがては科学者、法律家の支援を得て、環境権あるいは適正手続の遵守を求めて国に対する当該計画の許認可等の行政処分取消訴訟へともつれ込む。原発の行政訴訟は、まさにこうして起きたのであった。

企業の側においては、かかる具体的事例を参考に前車の轍を踏まぬためにも、「地熱開発」には慎重な姿勢——合意と納得のゆく民主的態度——が要請されよう。何よりもパブリック・アクセプタンス（公的受容れ）がなければ事業推進はおぼつかぬからである。一方、行政の側においても、法体系の不備、複雑性に着眼するなら、法令の内容や構造の現状についてはそれなりの経緯なり理由もあろうが、そうであればあるほど、法の運用・執行としての行政過程が重要な役割を帯びてくることに深い配慮を払う必要があるだろう。近代福祉国家における行政機能の有効性は、実体法の有する非弾力性と事態即応性、これを補充する手段としての柔軟な、一面では強力な行政指導にまつところが大きいからである。行政に対する期待、そしてその反面としての不信がとかく法体系の不備・不完、法の運用への不平・不満、硬直化した官僚意識、事なかれ主義の傍観的姿勢などに帰因す

ることを想起すれば、法の信頼性に対する回復、そのための完備された法体系の創設がこれほど要請される分野は他にないであろうと考える。

—— 参考（引用）文献 ——

- 川島武宜他編『温泉権の研究』 勁草書房
川島武宜他編『続温泉権の研究』 勁草書房
川島武宜他編『注釈民法(7)』 有斐閣
渡辺洋三『日本の社会と法』 日本評論社
舟橋諄一『物権法』（法律学全集） 有斐閣
金沢良雄『水法』（法律学全集） 有斐閣
我妻栄他『鉱業法』（法律学全集） 有斐閣
武田軍治『地下水利用権論』 岩波書店
厚生省『温泉必携』 日本温泉協会
我妻栄『物権法』（民法講義Ⅱ） 岩波書店
山本他『未来社会と法』（現代法学全集） 筑摩書房
原田尚彦『公害と行政法』 弘文堂
ジュリスト特集『公害総点検と環境問題の行方』 有斐閣
ジュリスト特集『現代の水問題』 有斐閣
ジュリスト特集『行政法の争点』 有斐閣
大分県温泉調査研究会『30年のあゆみ』
大分県『大分県地域エネルギー開発利用報告書（要約）』
仲原武男『地熱資源の開発・利用に際し、当面する関連法制の現状と問題点』
（日本地熱資源開発促進センター）
板倉省吾『地熱開発のすすめ』（地熱技術3号）
益子安『温泉資源保護と地熱開発』（中央温泉研究所）
地熱懇談会資料『地熱の開発利用のあり方について』（中間報告）
日本開発銀行調査資料
別府市教委『別府市誌』の温泉編（拙稿）
その他 大分県温泉調査研究会誌の県下温泉地の温泉権の実態報告（拙稿）など

大分市街地の温泉

— リン・窒素および有機体炭素の分布 —

大分大学教育学部 川野 田実夫
志賀 史光

1 まえがき

近時、大分市では西大分地区から東方三ッ川地区にかけての市街地一帯で、急速に温泉開発が進行している。温泉の深さは600m~700mで、50℃内外の泉温を有しており、湧出量も比較的豊富であるために、ホテル・旅館業者や病院、あるいは浴場経営者等に広く利用されている。泉質は野田、北岡が報告しているように弱アルカリ性・単純泉のものが多く、この泉質の温泉は浴時の肌あたりが軟らかいということで利用価値が高い。

この地区の温泉については、野田等¹⁾の報告がある。この報告によると、弱アルカリ・単純泉は、地下水が熱やCO₂の供給をうけ、地層との反応により液性がアルカリ性になるほど長く地層に留まり、有機質を溶出するに至ったとされている。

今回、筆者等は大分市街地周辺の温泉20口を調査泉として選び、沖積層中有機物と関係があると思われる窒素・リンおよび有機体炭素(DOC)の分布を明らかにしたので報告する。

2 調査温泉の分布と分析方法

図1に調査した温泉および深井戸を示す。

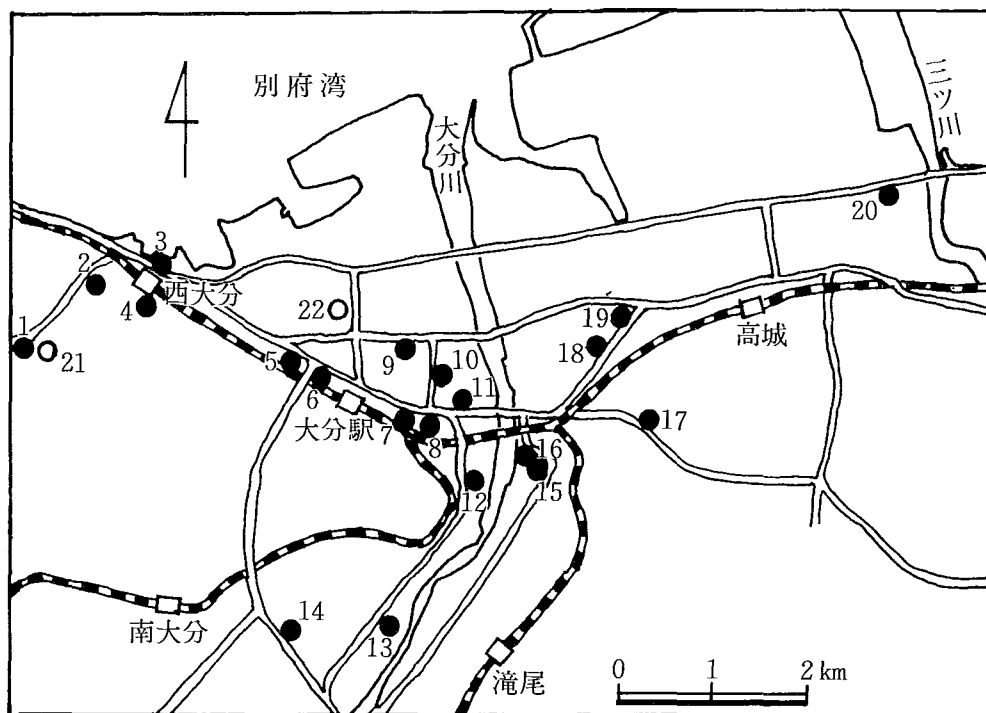


図1 調査温泉口の位置
図中の数字は表1分析表と同じ

● 温泉
○ 深井戸

以下に窒素・リンおよび有機体炭素の分析方法を述べる。

PO₄-P：アスコルビン酸によるモリブデン酸青法

NH₄-N：インドフェノール法

NO₂-N, NO₃-N：JIS K0102の方法

OrgN（有機体窒素）：F. D'Elia等の方法²⁾

DOC（溶存有機体炭素）：Menzel等の方法³⁾

3 主要成分からみた泉質

表1に主要成分の測定結果を示す。表中に泉温を記してあるが、大部分の泉温がエアリーフトとタンクまでが密閉されており、タンクの出口で測定せざるを得なかった。したがって参考値として見ていただきたい。

主要成分の測定にあたっては試水を0.45μのメンブレンフィルターでろ過した。またpHは実験室に持ち帰った試水を測定したもので、測定時の水温はほぼ室温である。

表1 主要成分分析表

単位 mg/ℓ

No.	温泉名	採水年月日	泉温 [※]	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄	SiO ₂
1	阿部 清	57. 11. 11	44.2	8.72	103	8.9	1.00	0.06	13.2	313	3.0	97.8
2	富士 紡	12. 10	46.9	8.59	234	33.1	2.62	0.44	16.0	725	3.8	129
3	新 湊 温泉	11. 11	42.5	8.17	160	23.9	2.00	0.26	27.8	482	2.2	85.9
4	阿部 豊 店	12. 10	46.3	8.28	260	59.7	4.56	0.37	43.8	875	3.2	145
5	ビジネスホテルオオイト	12. 10	—	8.62	228	38.9	4.39	tr	24.5	739	4.3	143
6	ホテルシャトー	11. 11	47.0	8.45	350	77.4	6.97	0.57	123	977	4.1	96.2
7	日名子 鉄勝	12. 10	49.5	8.42	283	49.6	4.21	0.08	81.1	885	3.2	131
8	テウス温泉	12. 10	48.2	8.72	363	59.6	6.58	0.05	281	851	2.9	143
9	中 村 病 院	12. 10	52.0	8.64	508	81.9	8.43	0.10	482	840	3.8	148
10	大分泌器科	12. 10	45.7	7.73	700	90.4	15.7	6.26	1120	547	1.6	154
11	錦 温 泉	12. 10	50.3	8.39	660	96.2	15.1	5.53	1020	617	3.4	146
12	帆秋精神病院	12. 10	52.2	8.09	423	70.2	15.0	0.21	518	589	2.6	131
13	ホテル パール	11. 11	40.9	8.41	561	59.8	9.72	1.15	442	1030	2.0	95.0
14	ホテル サンロマン	11. 11	38.6	7.92	409	82.0	20.7	6.00	593	433	2.1	91.1
15	帝国カーボン	12. 10	45.0	8.85	57.0	9.4	0.97	tr	12.1	190	4.9	124
16	下 郡 温 泉	11. 11	43.0	7.92	274	35.9	28.1	4.17	464	140	34	82.0
17	大分精神病院	12. 10	53.0	8.90	170	21.2	2.24	tr	96.0	448	8.9	146
18	林 正 吉	11. 11	42.0	8.04	403	40.6	8.17	0.68	634	178	16	89.9
19	第二大丸ビル	11. 11	41.2	7.71	1800	145	126	0.10	3360	135	83	79.6
20	ホテル ベルサイユ	11. 11	45.3	7.52	2660	23.2	305	5.89	5230	189	1.3	86.7
21	阿部清 (深井戸)	11. 11	19.5	7.73	12.0	0.7	14.4	7.15	8.7	134	1.2	65.4
22	杉村病院 (深井戸)	12. 10	21.4	7.32	710	54.7	63.4	73.15	1052	1180	3.8	57.3

※ 泉温は貯水タンクの出口で測定した。

測定結果から泉質をわかりやすくするために陽イオン、陰イオンそれぞれについて、当量百分率の三角キイダイヤグラムを図2に示す。陽イオンではアルカリ金属の頂点付近に各温泉がプロットされており、この地区の温泉のCaやMgの含有率が小さいことがわかる。(Na+K)の含有率はおおよそ88~98%で、K/Naの値は0.005~0.14であるので陽イオンの80%以上はNaによって占められていることになる。

陰イオンではHCO₃-Clの辺に沿ってプロットされており、SO₄の含有率は極めて小さい。

以上のことから市街地の泉質は次の3つの型に分類される。

- (1) NaHCO₃型. 図3はHCO₃の当量百分率が70%以上のものを○印で示した。西大分地区ではHCO₃の含有率が90%を越えているが、東方にずれるにしたがってこの含有率が低下する傾向にある。
- (2) NaCl型. Clの百分率が70%以上のものをこの型とした。この型の温泉は大分市古国府から北東にかけて分布している。
- (3) NaCl・HCO₃型. (1)と(2)の型の間のもので、地図で見ても(1)と(2)の型にはさまれて分布している。

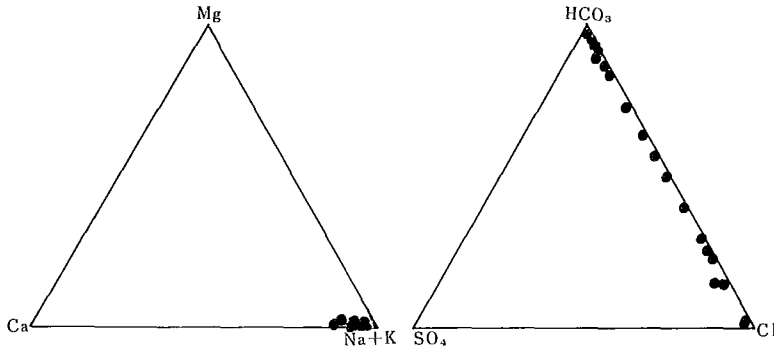


図2 主要陽イオン・陰イオンの三角キイダイヤグラム (当量百分率)

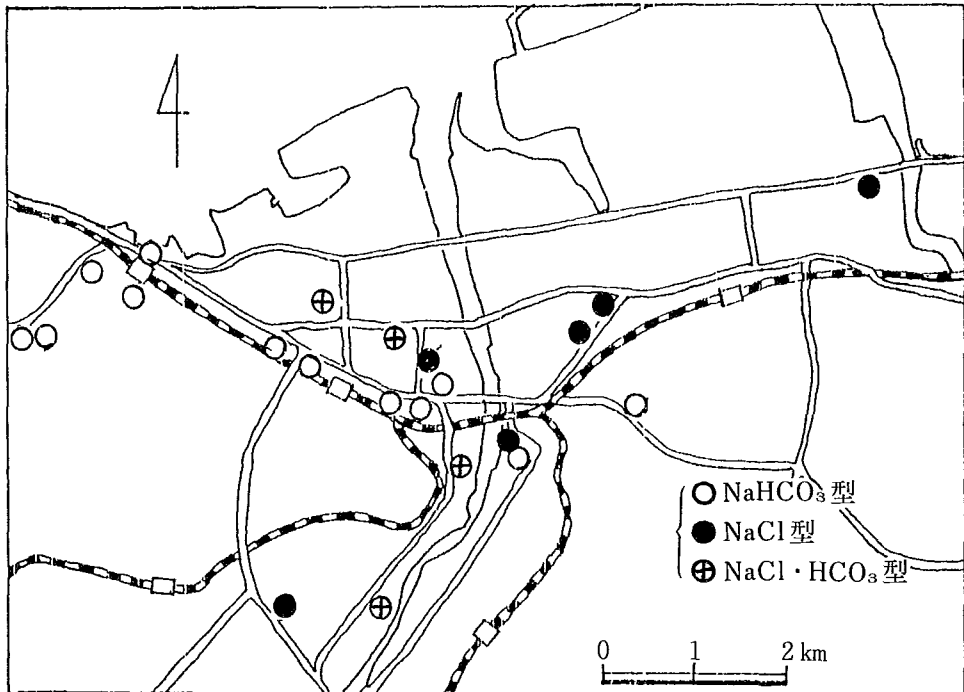


図3 泉質別の温泉分布

各温泉の泉質はおおむね地図上に別れて分布しているが、滝尾・下郡の下郡温泉と帝国カーボンは近接した温泉であるが前者はNaCl型に後者はNaHCO₃型になっている。

4 リン・窒素および有機体炭素

測定結果を表2に示す。表中の成分もすべて0.45μメンブレンフィルターでろ過して測定した。有機体炭素はTOC(全有機体炭素)の測定も試みたが浮遊物質を均一にして測定するのが困難で、測定値の再現性に乏しかったのでDOC(溶存有機体炭素)の結果を報告する。

(1) リンについて
温泉水中のリン濃度は奥野⁴⁾によれば日本平均値は2.1mg/ℓになっている。野田等の測定による大分県内の温泉はPO₄として0.1~4.8mg/ℓ¹⁾となっている。今回の測定値はPとして0.08~1.2mg/ℓの範囲に分布している。一般にNaCl型の温泉に少なく、NaHCO₃型の温泉

表2 N, Pおよび有機体炭素

単位 mg/ℓ

No	温泉名	PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	OrgN	DOC
1	阿部清	0.758	0.305	0.028	0.231	0.33	4.70
2	富士紡	0.515	0.209	0.050	0.771	0.88	6.50
3	新湊温泉	0.814	0.805	0.010	0.017	0.41	5.05
4	阿部豊店	0.490	0.093	0.055	1.37	0.37	6.28
5	ビジネスホテルオオイタ	0.421	0.569	0.023	0.824	0.00	7.00
6	ホテルシャトー	0.431	1.09	0.085	1.10	0.40	6.45
7	日名子鉄勝	0.604	1.54	0.015	0.000	0.75	1.28
8	デウス温泉	0.360	1.27	0.122	0.380	1.19	7.30
9	中村病院	0.340	1.26	0.019	0.026	1.31	9.05
10	大分泌尿器科	0.213	1.60	0.169	0.206	0.00	6.60
11	錦温泉	0.190	3.04	0.012	0.026	0.00	4.40
12	帆秋病院	0.189	2.80	0.003	0.010	0.44	3.40
13	ホテルパール	0.269	1.66	0.046	0.097	0.69	5.87
14	ホテルサンロマン	0.185	2.22	0.051	1.05	0.24	2.08
15	帝国カーボン	1.21	0.628	0.019	0.039	0.43	2.63
16	下郡温泉	1.06	0.555	0.121	1.52	0.00	4.00
17	大分精神病院	0.58	1.38	0.009	0.000	0.38	4.28
18	林正吉	0.133	0.554	0.108	1.41	0.03	1.65
19	第二大丸ビル	0.078	3.44	0.239	1.41	0.00	1.34
20	ホテルベルサイユ	0.091	12.5	1.02	0.14	0.00	5.03
21	阿部清(深井戸)	0.237	0.140	0.003	0.037	0.09	0.17
22	杉村病院(深井戸)	1.19	16.8	0.001	0.034	0.00	4.75

にく含まれている傾向がある。Pは岩石中にも含まれる元素であるので、岩石からの寄与を見る上で、PO₄-PとHCO₃、PO₄-PとSiO₂の関係をそれぞれ図4、図5に示した。

HCO₃との関係をみるとNaCl型の温泉では正の相関関係がみられ、NaHCO₃型の温泉では、逆もしくは負の相関関係を呈している。下郡地区の2つの温泉はPO₄-Pが1mg/ℓを越えており今回測定した中で最も高い値であった。NaHCO₃型の温泉について両者の関係をみると、西大分地区のHCO₃濃度の高い温泉と、下郡地区のHCO₃低濃度の水との希釈線付近にPO₄-Pがプロットされているともみえる。

SiO₂とPO₄-Pの関係は、図5にみられるようにNaCl型の温泉では両者に正の相関関係がみられる。関係方程式(回帰方程式)は、SiO₂=496・(PO₄-P)+28になり、相関係数は0.78を示した。この方程式からSiO₂とPO₄-Pの両方が岩石から溶出したとして両者の重量比を求めると、

1000 : 2 になる。ClarkとWashington⁵⁾によると火成岩、上部地殻のそれぞれにおける重量比は、

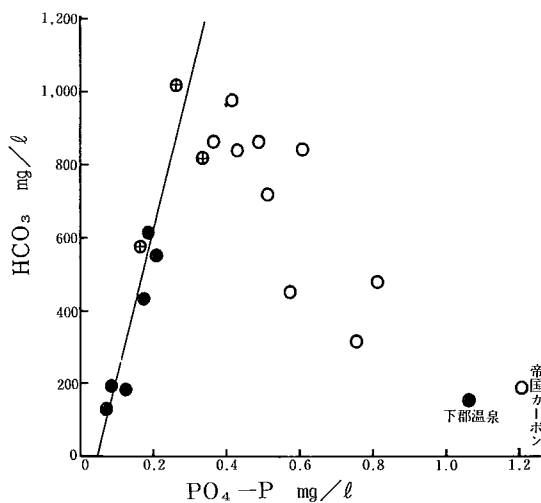


図4 PO₄-PとHCO₃との関係

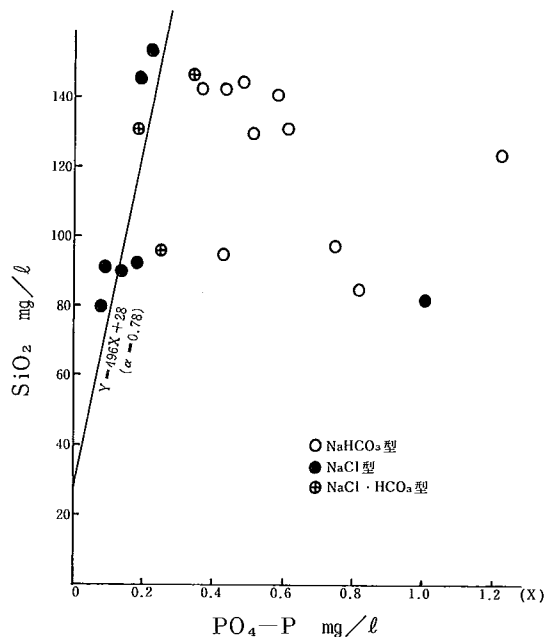


図5 PO₄-PとSiO₂との関係

1000 : 2.86、1000 : 1.73となっている。このことから大分市街地の温泉のうちNaCl型の温泉水中のリンの起源は岩石から溶出したものと考えることができる。

NaHCO₃型の温泉については、SiO₂濃度と、Pの関係からみれば、0.2~0.8mg/lのPが、岩石以外から寄与をうけていることになる。

(2) 窒素について

NH₄-N

大分市街地の温泉水中の無機体窒素の大部分がNH₄である。測定値は 0.1~12mg/lの広い範囲

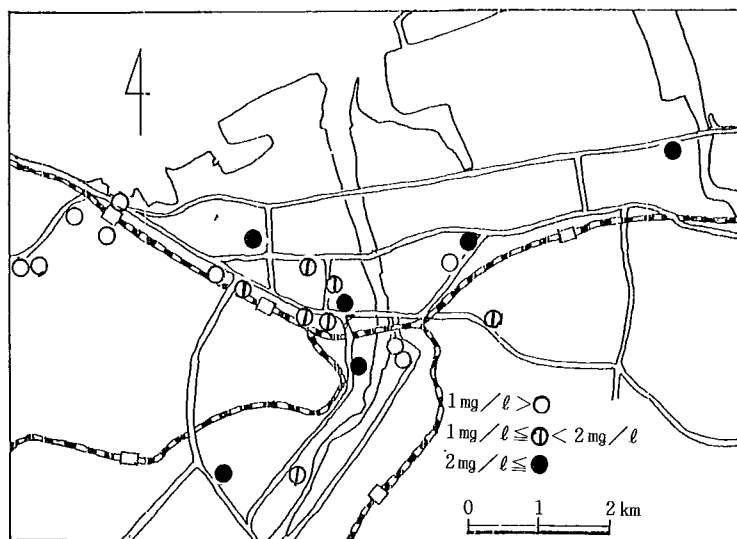


図6 NH₄-Nの濃度分布

に分布している。奥野の統計によれば、日本平均は $\text{NH}_4\text{-N}$ として $1.4\text{mg}/\ell$ である。また野田等¹⁾は狭間町の高塩分型泉で $\text{NH}_4\text{-N}$ として $2\sim 17\text{mg}/\ell$ を検出している。大分市街地においても、 NaCl 型の温泉水の方が NaHCO_3 型に比べて高く、野田等の結果と同じ傾向を示した。ただし、 NH_4 と他成分との顕著な関係は見い出せなかった。このことは還元状態での窒素の複雑な行動、堆積物中でのイオン吸着、離脱等今後解明しなければならない多様な問題を提示するものと思われる。¹⁾野田等の結果と今回の測定値から状況的に判断すれば、海水起源の温泉成分の組成変化（進化）と NH_4 は関係があると言える。

$\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{Org}\cdot\text{N}$

$\text{NO}_2\text{-N}$ は還元状態では NH_4 まで還元され、 NO_3 は脱硝（脱窒）作用により N_2 に変化することが知られている。したがって今回のような温泉水には溶存量が少なくなるのは当然である。

その中で下郡温泉、林正吉および第二大丸ビル等は $1.4\sim 1.5\text{mg}/\ell$ ($\text{NO}_3\text{-N}$) と浅層地下水に近い測定値を得ている。西大分の阿部豊店も $1.4\text{mg}/\ell$ を記録しており、泉質の型とは別に $\text{NO}_3\text{-N}$ が変化している。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の高い温泉については浅層地下水の混入とも考えられる。

$\text{Org}\cdot\text{N}$ （有機体窒素）

$\text{Org}\cdot\text{N}$ は $0.0\sim 1.3\text{mg}/\ell$ の範囲に分布しているが、特定成分との関係は見い出せなかった。

DOC （溶存有機体炭素）

大分市街地の温泉水は茶褐色を呈し、有機物の溶存が一見してわかる。 DOC の値は $1\sim 9\text{mg}/\ell$ (C)⁶⁾の範囲で、別府湾や津久見湾の $5\sim 10$ 倍の値である。 $\text{OrgN}\cdot\text{P}$ も同時に測定したが、この値は低い。したがって温泉水中の有機物は炭化水素や脂質に由来するものと思われる。

最後に、本報告の実験のため採水に快く協力された所有者の皆様へ感謝します。

参考文献

- 1) 野田徹郎、北岡豪一：大分県温泉調査研究会報告、28、31—41（1977）
- 2) F. D' Elia, et al : Limonol. Oceanogr. 22、760—764（1975）
- 3) Menzel, D. W and R. F. Vccaro : Limonol. Oceanogr. 9. 138—142（1964）
- 4) 湯原浩三、瀬野錦三：温泉学、PP158、地人書館、東京（1969）
- 5) 一國雅巳：無機地球化学、PP37、培風館、東京（1972）
- 6) 川野田実夫、未発表

原爆被爆者の温泉療法(第15報)

原爆被爆者別府温泉療養研究所 大内 太門
九州大学生体防御医学研究所 辻 秀男

1 はじめに

原爆被爆者の温泉療法の開拓者として、更に昭和35年2月からは当センターの運営・研究・診療に献身的に尽力された八田秋所長は昭和57年3月退任し、4月顧問となられた。

当センターは昭和57年度も関係各方面のご援助と職員各位の一致協力によって良好の成績をあげることが出来た。

2 利用者概況

昭和57年度のセンター利用者は延 3,972名、1日平均 62.69名(定員72名)で、利用率は87%であ

表Ⅰ 利用者の数とその延数

月 別	利用者数	利用延数	平均1日延数
4	323	2,198	73.23
5	376	1,920	61.94
6	247	1,572	52.40
7	226	1,249	40.29
8	314	1,442	46.52
9	292	1,852	61.73
10	392	2,143	69.13
11	381	2,210	73.67
12	327	1,525	56.48
1	365	2,304	74.32
2	340	2,091	74.68
3	389	2,105	67.90
合 計	3,972	22,611	62.69

表Ⅱ 利用者の年齢別と男女別

月別	年齢	<30	31~39	40~44	45~49	50~54	55~59	60~64	65~69	70<	計
4	男	1	0	1	0	4	1	13	16	74	110
	女	4	0	1	2	3	19	27	45	112	213
5	男	3	1	2	1	5	8	18	29	67	134
	女	1	3	1	2	10	28	39	43	115	242
6	男	0	0	0	0	1	8	12	20	45	86
	女	0	0	1	3	4	19	23	25	86	161
7	男	3	0	1	1	5	4	6	10	29	59
	女	14	3	2	2	10	19	28	44	45	167
8	男	29	8	4	2	6	9	7	14	32	111
	女	35	21	4	3	7	12	23	31	67	203
9	男	0	0	1	0	1	4	10	25	49	90
	女	4	1	2	3	7	11	35	50	89	202
10	男	2	3	0	1	1	5	15	30	76	133
	女	2	1	2	0	11	26	46	42	129	259
11	男	0	0	1	2	3	5	23	38	69	141
	女	0	0	1	3	7	30	35	66	98	240
12	男	2	2	3	4	6	10	16	34	66	143
	女	4	2	1	2	14	23	37	43	58	184
1	男	3	4	3	3	3	6	10	32	70	134
	女	14	5	2	4	8	25	38	50	85	231
2	男	2	0	1	1	2	4	8	24	77	119
	女	1	0	2	0	3	20	37	49	109	221
3	男	3	0	0	3	3	9	17	32	90	157
	女	3	0	1	2	9	22	46	48	101	232
合 計	男	48	18	17	18	40	73	155	304	744	1,417
	女	82	36	20	26	93	254	414	536	1,094	2,555
計		130	54	37	44	133	327	569	840	1,838	3,972

表Ⅲ 利用者の滞在日数

温泉日数 月別	3日>	4日 ~6日	7日 ~13日	14日<	計
4	48	102	157	16	323
5	135	140	96	5	376
6	51	94	91	11	247
7	95	58	61	12	226
8	156	95	56	7	314
9	60	95	117	20	292
10	104	208	53	27	392
11	78	233	65	5	381
12	162	85	74	6	327
1	114	71	165	15	365
2	101	85	146	8	340
3	142	129	106	12	389
計	1,246	1,395	1,187	144	3,972

った。月別にみると例年の通り冬（1月，2月）に多く、夏（7月，8月）は少ない。（表Ⅰ）
 年令別では65才以上が67.4%で、高令化が顕著となった。（表Ⅱ）滞在日数は1週間前後が多く3日以下は減って31.4%となっている。（表Ⅲ）

4月から利用料金を1日（3食付）3,200円に値上げした。医療費は被爆者手帳と老人保健又は被爆者手帳と国保、健保を併用すれば無料となる。広島県では老人保健の400円は帰ってから払戻がある。

3 温泉治療

宿泊室は2．3．4階にあつて全部和室である。温泉は構内に湧出し、泉質はナトリウム—塩化物泉、泉温83.5℃（昭和55年2月分析）

男女別大浴室、気泡浴、特殊浴室（炭酸ガスキャビン、渦流浴、薬浴）

マイクロ波治療器、低周波治療器、脊椎牽引装置

別棟のリハビリテーション棟に隣接して11月ゲートボール練習場を設けた。

センターは別府の市街地から離れ、海拔約200m、転地療養には好適の環境にある。

4 診 療

利用者のなかで希望者のみ週2日診療している。本年度の受診者は586名で、受診率14.8%である。年令別では70才以上が53.5%を占め、80才以上が77名と被爆者の高令化が進んできた。最高は93才であった。男女別では未亡人の増えたこともあり、男：女は1：2となった。（表Ⅳ）被爆者手帳による区分では1号*、2号**が473名（80.7%）であった。

* 1号 広島市の政令で定められた地域で8月6日被爆した者

** 2号 8月20日までに上記地域に入った者

温泉療養には3～4週間の滞在が望ましいが、患者の滞在日数は7日～13日が380名、14日以上が123名で、1～3週間が約80%である。（表Ⅴ）

表Ⅳ 受診患者男女別・年令別

年令	<39才		40～49才		50～59才		60～69才		70～79才		80才<		計	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
数	1	2	5	3	10	46	54	151	92	145	34	43	196	390
計	3		8		56		205		237		77		586	
%	0.5		1.4		9.6		35.0		40.4		13.1		100.0	

表Ⅴ 受診患者の滞在日数

療養日数	<3日		4日～6日		7日～13日		14日～20日		21日<		計	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
数	4	8	27	44	134	246	29	79	2	13	196	390
計	12		71		380		108		15		586	
%	2.0		12.1		64.8		18.5		2.6		100.0	

5 血圧測定

受診の有無にかかわらず入所時と退所前に血圧測定を行った。25グループ683名の測定成績を付図で示す。入所時血圧の高い者には特に療養心得を守るように注意する。（付図）

6 病 名

受診者の愁訴としては、軀幹、下肢の痛みが断然多く、次が高血圧、かぜ症候群、糖尿、便秘である。外傷は後遺症で新鮮例は少ない。感冒、熱傷、虫刺症などは船中あるいは入所して発病したものである。糖尿病が51例あるが、これが主病名とは限らない。病名は1人に2～3つくこともあるので患者数より多くなっている。(表VI)

表VI 受診患者の病名

病 名	<69才		70才<		計		計
	男	女	男	女	男	女	
変形性脊椎症	16	43	29	47	45	90	135
脊椎骨粗鬆症	5	5	2	15	7	20	27
腰 椎 じり 症	0	0	1	2	1	2	3
椎間板ヘルニア	1	5	1	1	2	6	8
脊椎圧迫骨折	2	5	3	4	5	9	14
腰 痛 症	4	15	6	18	10	33	43
頸肩腕症候群	1	6	0	1	1	7	8
肩関節周囲炎	5	18	5	14	10	32	42
肩 凝 症	1	7	3	7	4	14	18
関節リウマチ	0	5	0	2	0	7	7
外傷性関節炎	2	0	1	0	3	0	3
腱 鞘 炎	0	1	0	0	0	1	1
粘液のう炎	0	1	0	0	0	1	1
挫 傷	0	8	4	3	4	11	15
挫 創	0	1	1	1	1	2	3
捻 挫	1	1	4	5	5	6	11
骨 折	1	3	2	4	3	7	10
変形性膝関節症(膝関節痛を含む)	9	48	12	62	21	110	131
変形性股関節症	0	1	0	1	0	2	2
高血圧症	13	38	35	45	48	83	131
低血圧症	1	0	1	0	2	0	2
動脈硬化症	1	1	3	6	4	7	11
バージャー病	1	0	0	0	1	0	1
虚血性心臓病	1	3	7	8	8	11	19
高血圧性心臓病	0	1	1	2	1	3	4
脚ブロック	0	0	1	0	1	0	1
心 房 細 動	0	0	2	0	2	0	2
期外収縮	0	0	1	0	1	0	1
弁 膜 症	0	0	0	2	0	2	2
心 肥 大	0	2	0	2	0	4	4
痔 疾	0	3	0	1	0	4	4
感 冒	9	33	14	30	23	63	86
慢性気管支炎	2	3	6	5	8	8	16
気管支喘息	0	2	1	0	1	2	3

病 名	<69才		70才<		計		計
	男	女	男	女	男	女	
鼻 炎	0	0	0	1	0	1	1
口 内 炎	0	4	1	3	1	7	8
胃 炎	1	14	4	17	5	31	36
胃 腸 炎	0	0	0	1	0	1	1
腸 炎	0	0	1	0	1	0	1
肝炎・胆のう炎・胆石症	8	6	1	4	9	10	19
便 秘	1	19	12	16	13	35	48
胃 術 後	2	0	1	0	3	0	3
貧 血	1	1	3	6	4	7	11
高脂血症	0	2	0	0	0	2	2
高尿酸血症	0	0	1	0	1	0	1
糖 尿 病	12	16	18	5	30	21	51
甲状腺機能低下	0	1	0	0	0	1	1
腎 炎	1	0	1	0	2	0	2
膀 胱 炎	0	2	3	2	3	4	7
前立線肥大及術後	0	0	3	0	3	0	3
頭 痛	0	2	0	2	0	4	4
耳 鳴	0	0	1	1	1	1	2
め ま い	0	2	2	1	2	3	5
不 眠 症	0	3	9	5	9	8	17
片 麻 痺	4	0	3	2	7	2	9
顔面神経痙攣	0	1	0	0	0	1	1
パーキンソン病	0	0	1	0	1	0	1
自律神経失調症	3	9	2	4	5	13	18
坐骨神経痛	2	6	4	3	6	9	15
肋間神経痛	0	3	0	0	0	3	3
筋肉痛 (背腰部)	3	3	1	5	4	8	12
湯あたり	0	0	0	1	0	1	1
結 膜 炎	0	0	0	1	0	1	1
白 内 障	2	1	4	5	6	6	12
皮膚炎・湿疹	1	10	3	8	4	18	22
じん 麻 疹	0	0	1	2	1	2	3
帯 状 疱 疹	1	0	1	1	2	1	3
皮膚瘙癢症	0	0	1	0	1	0	1
白 癬 症	1	1	4	1	5	2	7
虫 刺 症	2	1	0	1	2	2	4
熱 傷	0	1	0	1	0	2	2
計	121	357	232	387	353	754	1,107

7 治 療

温泉浴は1日1～2回、症例によっては3回入浴。毎日マイクロ波治療、低周波治療を行う患者が多い。

糖尿病治療に薬浴（浴水1ℓに硫酸銅1.4mg、硫酸亜鉛11.4mgを添加する）を行う。（本年度は22例、162浴）

大部分の患者は主治医から薬剤を貰って来ているので、センターで出す薬剤は比較的少ない。

8 治療成績

慢性疾患の療養日数が10日前後の短期であるので、全例を治癒、軽快、不変、悪化に分けることは難しい。退所時、自・他覚症状の軽減するものが多く、年2回以上入所を希望する患者が少ないのであるが、その数が多いため予約申込に応じきれない状況にある。本年度2回以上入所、受診した患者は47名であった。

表Ⅶ 年間2回以上療養・受診した患者数

回数	男	女	計
2回	13	22	35
3回	0	5	5
4回	1	3	4
6回	2	0	2
8回	1	0	1
計	17	30	47

9 死亡例

この1年間に2名死亡した。2名共滞在中受診してないので、地元で診療を受けていたか否か不明である。

第1例 79才男 日曜日に浴衣を着て、単独で無断外出し、鉄輪の蒸湯に入り、浴場で倒れ、身元不明のまま救急車で病院に運ばれ死亡した。急性心不全

この事故があって早速センターの名称、電話番号などを記したプレートを作り、単独外出の際はこれを携帯することにした。

第2例 66才男 土曜日夜1時過ぎ寝床から立上った途端に倒れた（トイレに行くつもりか？）同室者が驚いて救急車を呼んだが即死で入院できなかった。急性心不全。土曜日の午後は同室者と連れ立って地獄見物に行き、月曜日に帰ることになっていたのであるが。

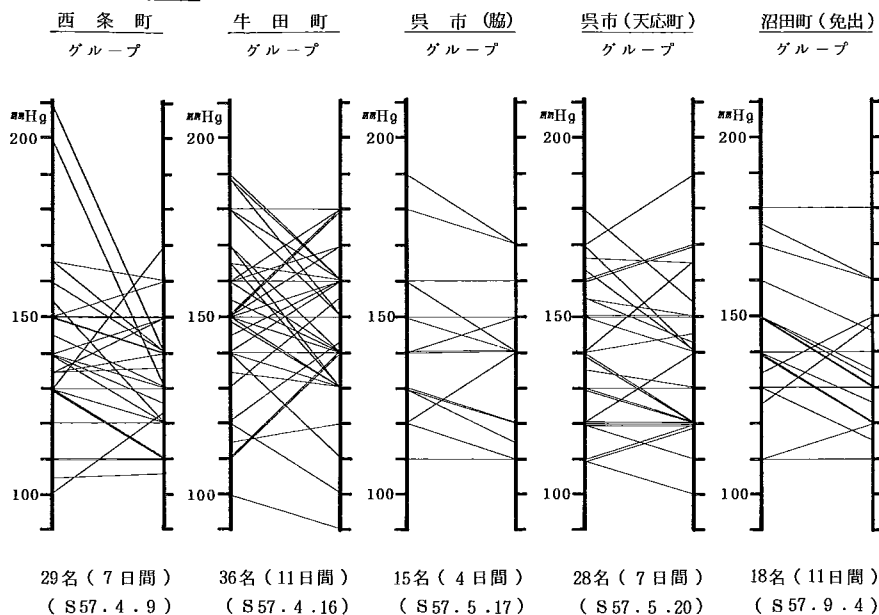
10 ま と め

昭和57年度のセンター利用者の延人数は3,972名、1日平均62.69名であった。

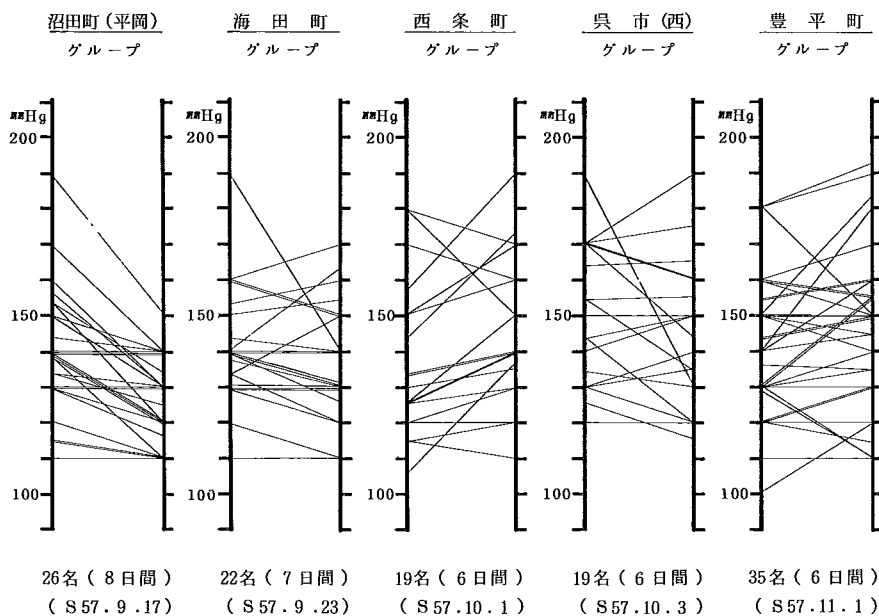
週2日の診察日に受診した患者は586名、受診率14.8%、男：女は1：2。年令別では70才以上が53.5%、このうち80才以上が77名と高令化が顕著となった。患者の愁訴は軀幹、下肢の痛みが最も多い。療養日数は10前後が多く、年2回以上入所が47名であった。

本年度は核禁会議から血小板・プリント基板測定装置、血小板用遠心器とマイクロ波治療器の寄贈を受けた。ご厚意に対し謹んで謝意を表します。

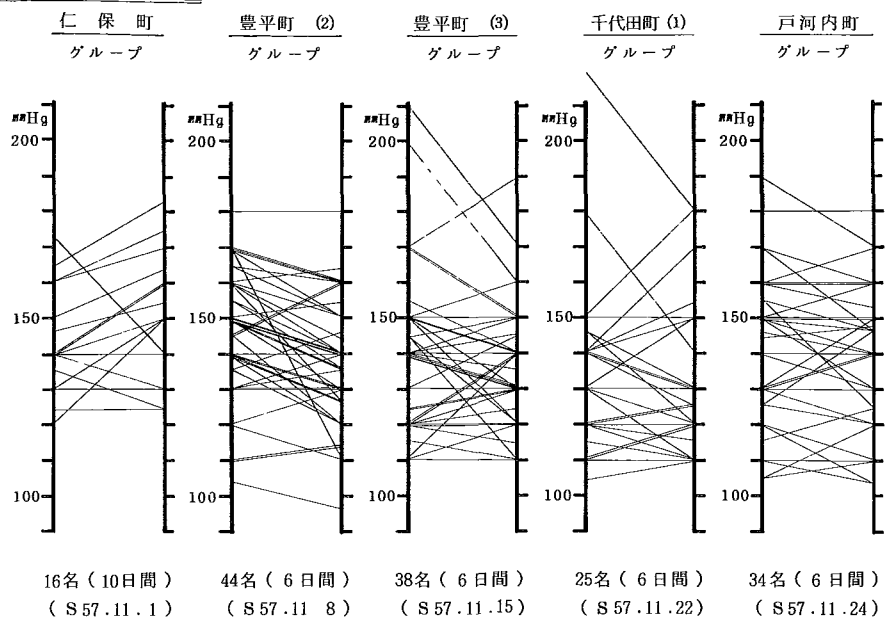
温療前後の最高血圧



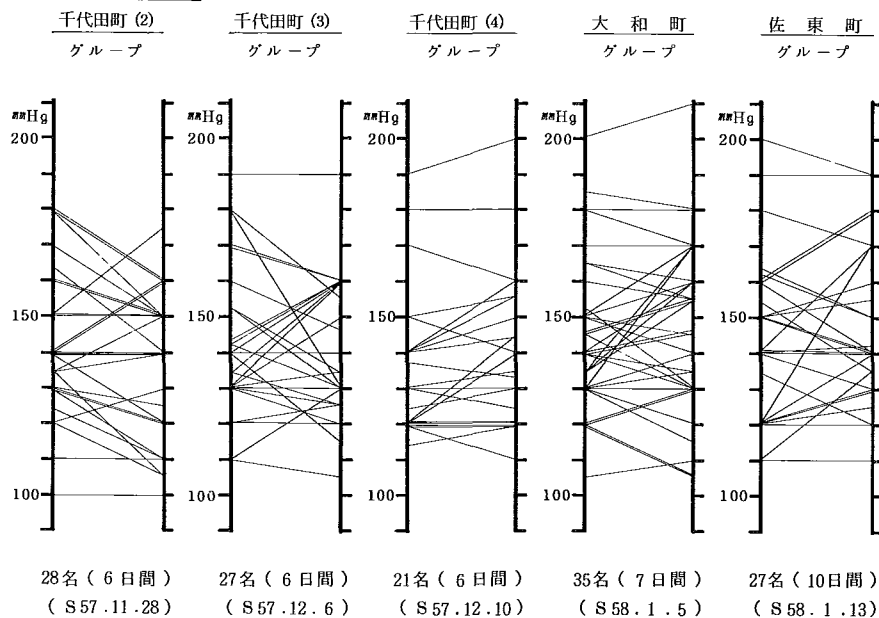
温療前後の最高血圧



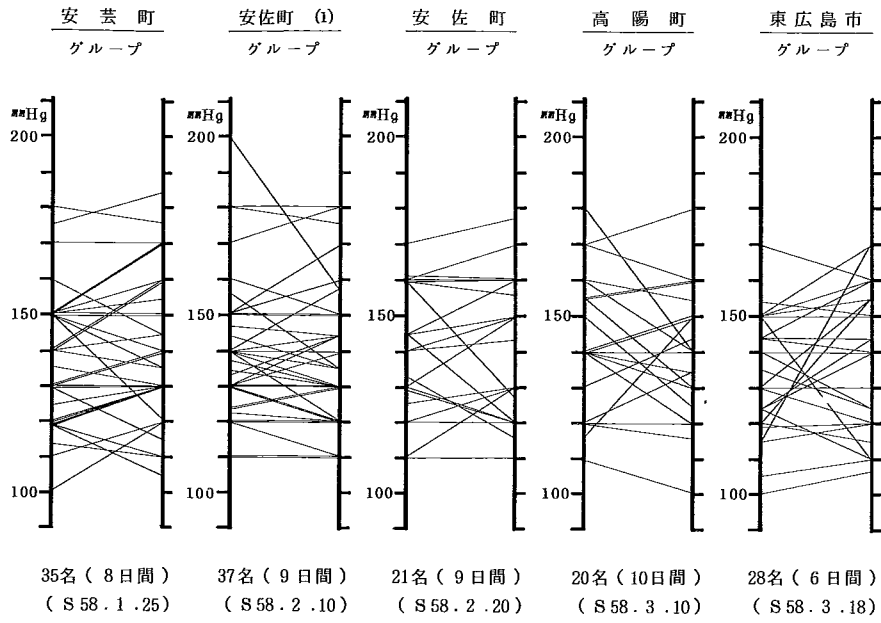
温療前後の最高血圧



温療前後の最高血圧



温療前後の最高血圧



◎湯平温泉における現地調査並びに講演会

日 時……昭和57年11月4日
場 所……湯平温泉
所在地……大分県大分郡湯布院町大字湯平
交通機関……国鉄…久大線湯平駅からバスで12分
バス…大分市内から大分バス湯の平
温泉行1時間30分
由布院温泉から40分
泉 源……町有4孔
湧 出 量……230ℓ /分
温 度……平均75℃

温泉の集中管理

管理主体……湯平温泉集中管理事業組合
総工事費……30,000,000円
地元（組合員）負担金 22,000,000円
A…… 600,000円……1ヶ月50㎡までの使用者
B…… 450,000円……1ヶ月40㎡までの使用者
C…… 300,000円……1ヶ月30㎡までの使用者
D…… 250,000円……1ヶ月25㎡までの使用者
銀行借入金 8,000,000円
配湯口数……60口
基本料金……（月額）

A……70㎡まで……12,000円
B……50㎡まで……10,200円
C……40㎡まで…… 8,500円
D……30㎡まで…… 7,000円
超過料金……1㎡につき150円
で配湯している。

湯治客のために旅館53軒が花合野川の溪流の両側に立並び、自炊の出来る旅館10軒がある。この温泉の泉質及び適応症は弱食塩泉・単純温泉で胃腸病に特効があり飲

用泉として有名である。

ここでは温泉水を地方発送している。まず温泉水をステンレス製タンクに入れて一度冷やしてから18ℓ入りのポリ容器に詰め、ダンボール箱に「湯平鉱泉」「天下の名湯」「胃腸病特効」などの文字を大きく印刷して出荷している。

講演会

現地調査の後、当地の湯平温泉事務所会議室にて、吉川・矢野両氏による温泉についての講演会を開催、同地区民及び湯治客等約50名が出席し温泉についての活発な質疑応答があった。

〈演 題〉

「温泉の出来かた……」

京都大学教授

京都大学理学部地球物理学研究施設長

吉川 恭 三

「湯平温泉の効用について」

九州大学名誉教授

矢野 良 一



◎ 深部地熱構造に関する研究会

昭和57年9月30日、別府市内の豊泉荘会議室において大分県温泉調査研究会会員、県総合エネルギー対策課職員等35名が出席し、県内における地熱開発の現況について地熱開発関係3社の講師から説明があった。

講 師

○九州電力株式会社火力部地熱課長 楠 兼 一

- (1) 大岳発電所・八丁原発電所の現況
- (2) 地熱調査井の地質構造及び噴出状況について

○出光地熱開発株式会社九州事務所長 山 本 博・近 藤 充

- (1) 滝上地区地熱調査について

- (イ) 地熱開発の進め方
- (ロ) 地熱探査実績・結果の概要

○電源開発株式会社 深部地熱調査豊肥事業所長 磯 山 泰 造

- (1) 深部地熱エネルギーの開発について
- (2) 地熱調査の現況
- (3) 大規模深部地熱発電所の環境保全実証調査について

(トータルシステムの計画・設計・地下調査・環境監視・環境影響調査・モニタリング)

以上の説明を受け、会員から個々の項目について活発な質疑応答があった。