

トリチウム含有量よりみた人吉・霧島・指宿の諸温泉

| | |
|----------|--|
| 著者 | 露木 利貞 |
| 雑誌名 | 鹿児島大学理学部紀要．地学・生物学 |
| 巻 | 9 |
| ページ | 75-86 |
| 別言語のタイトル | Tritium Content of the Thermal-waters of Hitoyoshi, Kirishima and Ibusuki Hot Springs, South Kyusyu, Japan |
| URL | http://hdl.handle.net/10232/00001702 |

トリチウム含有量よりみた人吉・霧島・指宿の諸温泉

露 木 利 貞*

(1976 年 9 月 30 日受理)

Tritium Content of the Thermal-waters of Hitoyoshi, Kirishima
and Ibusuki Hot Springs, South Kyushu, Japan

Toshisada TSUYUKI*

Abstract

Measurements of tritium content of the thermal-water samples from Hitoyoshi, Kirishima and Ibusuki Hot Springs were carried out to elucidate the relations between thermal-water and surface-water. Besides, the author also intends to explain the hydrogeologic environments of these hot springs through this investigation.

Tritium abundance, temperatures and chlorine contents of the waters sampled from these hot springs are shown in Table 1 to 3. Based on these data into account, the following generalizations may be made.

In the Hitoyoshi Hot Spring, situated in the western part of the Hitoyoshi basin, thermal-waters obtained from the depth of 450 m or more in the drill holes, are not affected by post-thermonuclear water. However, thermal-waters from the wells, which are faulty in construction or situated more marginal part of the basin, reflect the contribution of recharge by precipitation of high tritium concentration as they move toward the surface.

In the thermal areas of the Kirishima volcanic district exist the thermal springs of active volcanic (fumarolic) type which are characterized by acidic waters. Tritium abundance of thermal-water of this type of spring indicates that the water is mostly originated by heating the post-thermonuclear precipitation at or just beneath the ground surface.

In the Ibusuki Hot Spring, thermal-water originated at the western mountain region of high underground temperature flows seawards through the aquifer and discharges at the coast. Therefore, the tritium content of the thermal-water from the shallower aquifer shows the effect of mixing with present-day precipitation as it flows through the aquifer. But the low tritium concentration obtained for the water stored in the fissure of andesitic lava at the depth of 250 m under the alluvial aquifer indicates that the thermal-water in such spring system has not been affected by the post-bomb tritium.

Although it remains uncertain whether the low concentration of tritium in the water is due to the radioactive decay of the tritium or to the small contribution of precipitation, the present studies on Hitoyoshi, Kirishima and Ibusuki Hot Springs suggest that the hydrogeological environments or the systems of the hot springs well reflect on the tritium content of thermal-waters.

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

I. ま え が き

半減期 12.262 年の水素の同位元素トリチウム (^3H) は水の循環を考察するに際し、きわめて有効な元素として注目されてきた。天然の条件において、トリチウムは宇宙線によって大気圏上層部で常に一定の割合で生成されており、その量は、 $0.75 \pm 0.4 \text{ atoms/sec} \cdot \text{cm}^2$ といわれている (GILETTI *et al.*; 1958)。1952 年の水爆実験以降は核爆発によって人工的に生成されたトリチウムが大気中に広く拡散し、天然のものの 10~100 倍に達し、降水中に 2000 T. U. 以上の測定されている例も珍らしくない (例えば BROWN, 1961; DAVIS, 1967; TAKAHASHI, 1965)。

このため、1952 年暮以降、急速に増大したトリチウムをトレーサーとして利用し、この時点より以前の古い水と、新しい水を区別する試みがなされ、さらに、これらを識別することにより水の循環、流動、流出機構などを解明しようという研究も行なわれている (落合, 1968; DAVIS, 1967)。

温泉も地下水の一種であることを考えると、温泉水の起源や流動を論じ、温泉構造を究明する場合にも、トリチウムを 1 つの指標として有効に用いることができるはずである。本邦の温泉水中のトリチウムについては、既に別府温泉 (古賀他, 1970)、箱根温泉 (村上他, 1970)、瀬良馬温泉 (田口, 1972) などで測定されているが、その数は必ずしも多いとはいえない。筆者は、従来から、南九州地域に湧出する温泉について、おもに温泉地質学的な立場から研究を行ってきた。その結果、一部の温泉については、その温泉構造上の特徴や温泉水の地下での賦存、流動状況が明らかになってきた。今回は、当地域において比較的規模の大きい人吉温泉、霧島温泉および指宿温泉において、温泉水中のトリチウム含有量を測定し、さらにその結果と温泉構造との関係などについて若干の考察を加えた。

本研究に際し、トリチウム測定の便宜を与えて下さった東京教育大学山本莊毅教授、田口雄作博士、京都大学吉川恭三教授および種々ご教示下さった鹿児島大学教育学部塚田公彦助教授に深謝する次第である。

II. 温泉の概況およびトリチウム含有量

南九州はわが国でも温泉分布密度の大きい地域で、温泉地数 30、温泉数は 1000 孔に達する。この地域でも、最近の傾向として自然湧出泉が少なくなり、反面掘さく泉が激増した。しかし、その結果、温泉掘さく資料が集積され、掘さく井の多い温泉地では地下の構造や温泉賦存状況などが比較的明らかになってきた。今回、人吉、霧島、指宿の諸温泉を選んだ理由の 1 つはこの点である。今 1 つの理由は、これら 3 温泉はそれぞれ異った性格をもった温泉であることによる。すなわち、人吉温泉は堆積盆地内の層状泉、霧島温泉は火山地域の温泉、さらに指宿温泉はカルデラ内に存在する海岸温泉である。

これらの温泉の位置を第 1 図に示し、以下それぞれの温泉の概要、特徴について簡単に述べ、併せてトリチウム濃度の測定結果を示す。

なお、トリチウム濃度の測定は、温泉水 2000 cc を電解槽によって 2 cc 程度に電解濃縮したのち、Packard 社製液体シンチレーション・カウンター Model 3320 で行なった。

(1) 人吉温泉

熊本県南部、人吉盆地西部の球磨川沿いに湧出する温泉である。最初、下流部に当たる林温泉 (H-7) 付近に自然湧出していたのであるが、次第に上流部に開発が及び、源泉数が増加する



第1図 トリチウム濃度を測定した温泉の位置図

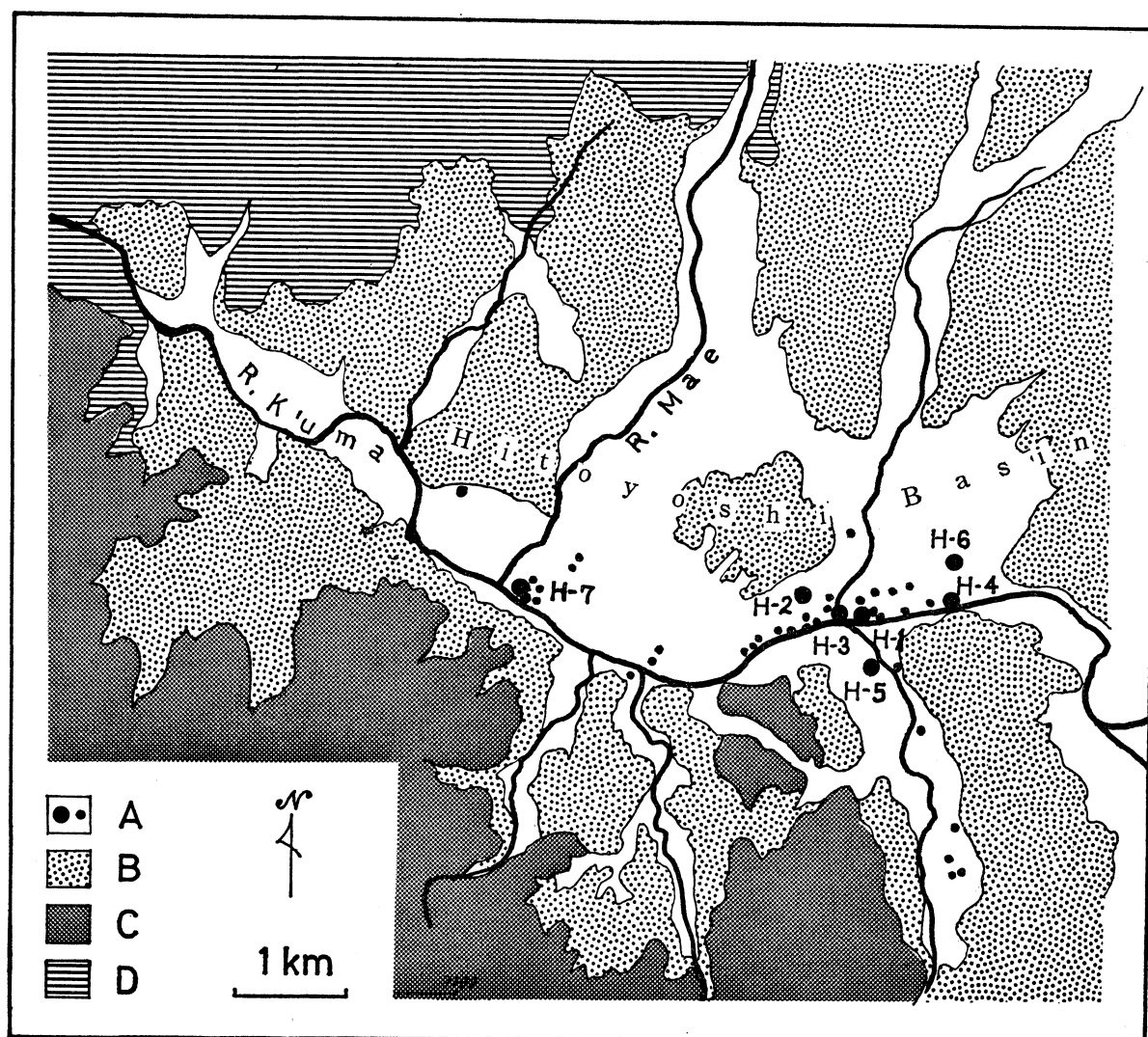
とともに、全体の温泉の静止水頭が低下し、現在では40個の源泉のうち自噴しているものはわずか4孔にすぎない。

温泉は人吉盆地内を埋積して厚く分布する湖成堆積層中に被圧温泉水として貯留されているもので、いまは500～550 m掘さくしてこれを採取している。したがって地下における温泉分布範囲は広く、湧出可能面積は15 km²に達するものと推定される。湧出温度35～51℃(単純平均温度43.0℃)、孔底温度60℃、湧出量3200 kl/日、現在の源泉分布域5.5 km²より計算すると、当温泉の比湧出量は5.8 kl/日/haとなる。

第1表 人吉温泉におけるトリチウム含有量

| 温 泉 名 | トリチウム濃度 (T. U.) | 泉 温 (°C) | 深 度 (m) | Cl ⁻ 含 量 (mg/l) |
|---------|--------------------|-------------|------------|-------------------------------|
| H-1 鮎 里 | 5.0 | 48 | 493 | 390 |
| H-2 青 柳 | 3.6 | 51 | 500 | 360 |
| H-3 新 効 | 3.5 | 43 | 460 | 110 |
| H-4 妙 効 | 4.4 | 42 | 520 | 90 |
| H-5 堤 | 21.3 | 35 | (510) | 15 |
| H-6 願成寺 | 4.6 | 47 | 500 | 380 |
| H-7 林 湯 | 17.5 | 44 | 180 | 160 |
| H-8 湯 山 | 10.1 | 37 | 10 | 15 |

* H-8 湯山温泉は人吉温泉の東方60 km、市房山麓にあり、湧出母岩および構造を他と異にする。



第2図 人吉温泉付近の地質略図および人吉温泉の源泉分布図
 A; 源泉 B; 人吉層および溶結凝灰岩、段丘礫層
 C; 安山岩類 D; 四万十層群

人吉温泉のいくつかの源泉（第2図）より採取した温泉水のトリチウム濃度は第1表の如くである。（採水年月：1972, Sep. ~Dec.）

(2) 霧島温泉群

鹿児島県と宮崎県にまたがる霧島火山群およびその山麓台地に湧出する温泉群を一括して霧島温泉群とよんでいる。

霧島火山は高千穂、韓国岳、新燃岳などの活火山を有し、中腹部以上には多くの噴気孔、硫気孔が存在し、その地点を中心として活地熱帯が存在する。これら活地熱帯は一般に温泉を伴い、またいわゆる「地獄」を形成している。温泉は比較的高温な酸性明ばん緑ばん泉、硫黄泉などの泉質をもった活火山性温泉（噴気性温泉）で自然湧出し、雨季および乾季における湧出量の増減が著しい。しかしこれらの地域では、近年さかんに噴気井の掘さくが行なわれ、得られた噴気によって加熱した「噴気造成型」の温泉が大量につくられる傾向にあり、従来の自然

湧出泉は次第に消失しむしろ稀になりつつある。

一方、高温な噴気性温泉の存在する地熱変質帯より 100 m~2, 3 km 離れた下流部のやや低い位置に自然湧出泉がみられる場合がある。これらは噴気性温泉に近い場合には硫化水素泉などの泉質をもつが、一般には比較的低温な石こう泉、塩類泉、重碳酸土類泉、重碳酸鉄泉、炭酸泉などが多い。(K-3~K-9) この種の温泉について、筆者は、火山体中の高温部で生成されたものが、溶岩あるいは透水性に富む火山噴出物中を徐々に流動して、地表にまで湧出してきたものと考えている。したがって、いわゆる深部熱水が上昇してきたものではなく、またこれらに含有される成分は、流動の途中において周囲の岩石から獲得したものである(露木, 1961)。

このように霧島温泉には各種の温泉型態のものが存在し、泉質も変化に富んでいる。総源泉数 100 孔に達し、湧出範囲もきわめて広いことが推定される。現在のところ、湧出温度 35°~100° C, 湧出量は噴気造成温泉まで含めると、16,000 kl/日以上に達する。

霧島温泉群のいくつかの源泉(第3図)より採水して測定したトリチウム濃度は第2表の如くである。(採水年月: 1972, Sep. ~Dec.)

(3) 指宿温泉

鹿児島県の薩摩半島南端部には阿多カルデラが存在し、このカルデラ内にはきわめて広範囲に温泉が分布する。このなかで、現在の指宿市域に湧出するものを指宿温泉と称する。指宿温泉の西部山腹には権現、南などに小規模の噴気のみられ変質帯を伴う。これら噴気地帯に隣接した山麓部には掘さくによる噴気井が存在し噴騰泉もみられる。さらに山麓部から平野部一帯にかけては、海岸に至るまで広範囲に温泉が分布する。

掘さく孔数は 600 をこえ、現在活動中のものでも 400 個に達する大規模な食塩泉、弱食塩泉である。かつては海岸部に自然湧出泉が広くみられたが、開発の進んだ現在はほとんど消滅し、海岸部でも数 m 以上の掘さくをして温泉を得ている。一般には 100 m~250 m 掘さくし、動力で揚湯するものが多く、揚湯量を含めて総湧出量 30,000 kl/日と推定され、温泉分布範囲を 15 km² とし比湧出量を求めると 15 kl/ha・日、という大きい値がえられる。

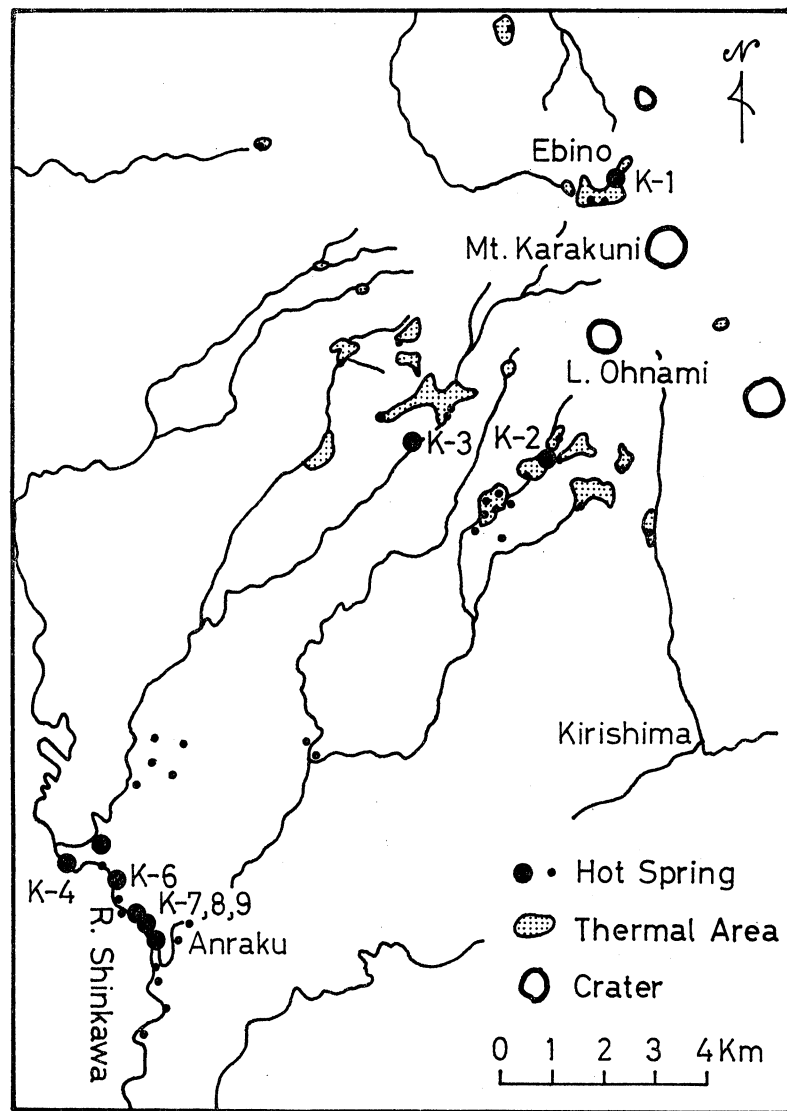
指宿温泉の源泉(第4図)より採水して測定したトリチウム測定値は第3表に示す如くである。(1974, Oct. 採水)

III. 考 察

1952 年以降、大気中に大量に生成されたトリチウムが降水を通じて水の循環系のなかに取りこまれ、この時点より降水中におけるトリチウム濃度は激増した。このため、トレーサーとし

第2表 霧島温泉群におけるトリチウム含有量

| 温 泉 名 | トリチウム濃度 (T. U.) | 泉 温 (°C) | 深 度 (m) | Cl ⁻ 含 量 (mg/l) |
|---------|--------------------|-------------|------------|-------------------------------|
| K-1 えびの | 22.3 | 43 | 自 然 湧 出 | 490 |
| K-2 林 田 | 9.3 | 63 | 自 然 湧 出 | 42 |
| K-3 関 平 | 8.3 | 48 | 自 然 湧 出 | |
| K-4 ラムネ | 5.3 | 32 | 自 然 湧 出 | |
| K-5 塩 浸 | 3.0 | 54 | 40 | 170 |
| K-6 山の湯 | 4.1 | 58 | 140 | 180 |
| K-7 安楽1 | 3.1 | 56 | 150 | 150 |
| K-8 安楽2 | 4.0 | 50 | 140 | 160 |
| K-9 安楽3 | 5.9 | 53 | 150 | 150 |



第3図 霧島温泉の源泉分布およびトリチウム濃度測定源泉位置図

てトリチウムは、地下水の流速の測定、深層水と浅層水の区分および両者の混合比の測定など多くの水文学上の問題を解明する1つの手段として利用されてきた。ことに12.262年の半減期を用いて水の年代が測定できる点で注目されてきた。

LIBBY *et* KAUFMAN (1954) によれば、天然におけるトリチウム濃度は常に8 T. U. 以下で、少し古い深層地下水にあっては、5 T. U. 以下であるという。1952年以降の雨水中のトリチウム濃度も測定場所、測定時日によって変動が大きく、1965年以来次第に漸減する傾向にある(BROWN, 1961)。筆者が1972~1974年に測定した値は鹿児島市の雨水では58 T. U., 40 T. U. といずれも比較的小さい値を示す。

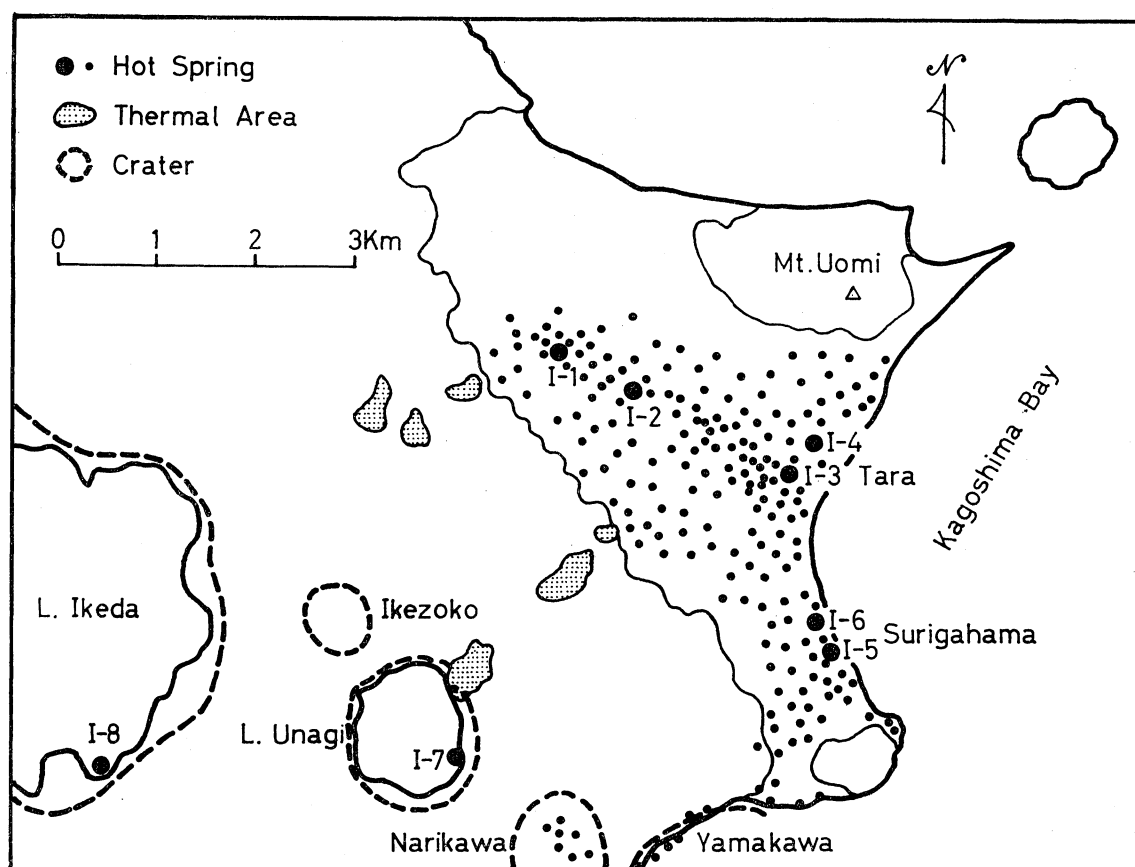
いずれにしても、トリチウム濃度8 T. U. 以上を示す水は少なくとも1952年より新しい核実験後の水による影響の認められるものであり、10 T. U. 以上の水は明瞭に新しい年代の降水の存在を示すもといえる。

筆者はトリチウム濃度より推定される以上の特性を温泉に適用し、温泉水に新しい年代の降

第3表 指宿温泉におけるトリチウム含有量

| 温 泉 名 | トリチウム濃度 (T.U.) | 泉 温 (°C) | 深 度 (m) | Cl ⁻ 含 量 (mg/l) |
|-----------|-------------------|-------------|------------|-------------------------------|
| I-1 河 原 | 7 | 76 | 110 | 3200 |
| I-2 指宿二月田 | 2 | 71 | 350 | 4830 |
| I-3 多良(1) | 8 | 58 | 130 | 2200 |
| I-4 多良(2) | 6 | 59 | 130 | 2250 |
| I-5 摺ヶ浜 | 17 | 60 | 40 | 7500 |
| I-6 京 屋 | 17 | 40 | 10 | 2400 |
| I-7 鰻 池 | 33 | 21 | — | 10 |
| I-8 池田湖 | 27 | 21 | — | 10 |

* I-7, I-8 は湖水表面で採水した。



第4図 指宿温泉における源泉分布およびトリチウム濃度測定源泉位置図

水の混入する過程について考察を行なった。

温泉の水の起源については古くから岩漿水性 (magmatic) か循環水性 (meteoric) かという論争がある。現在は従来岩漿水性といわれてきたものも、水の大部分は循環水性のものであり、前者の占める割合は多くとも 10% を越えないという (WHITE, 1968)。一方、温泉には噴気性温泉のように、明らかに表層水が直接的に関与し加熱されて生成されたものが噴気孔、硫気孔周辺にみられる。反面、地層水や化石水などとよばれる地質時代の古い年代の水が、その後熱を賦与されて温泉化したものが、地下に貯留され、あるいは温泉として地表に上昇してくるものがある。また両者の中間にあるものとして、循環水が地下に滲透し温泉化されて貯留され、

または地表にまで再び上昇してきた温泉が考えられる。循環水型温泉については、その起源について以上の3類型に大別される。これと全く成因を異にするものとして岩漿水的な水があり、地下から液相または気相として上昇し温泉の生成に関与する。

いずれの型の温泉にしても、ある場所である時点に温泉水が貯留され、温泉水体として存続しているということは、温泉水体とその周縁をとりまく非温泉水体とが圧力的にはほぼ平衡を保っている状態にあることを意味する。また温泉が地表に湧出してくることは、温泉自体のもつ上昇力によって周囲の非温泉水を排除して水体が移動ないし流動を行なっている結果である(露木, 1964)。したがって地下においては、両水体の部分的置換(replace)はあっても両水体の混合が完全に行なわれることはない。ただ両水体の境界部において部分的混合現象が認められるのみである。故に、温泉水中にトリチウム濃度8 T.U.以上をもつ新しい降下性の水の存在が認められた場合には、その原因は次のいずれかによるものと解釈すべきである。

A 降水の直接温泉化

A-1 噴気性温泉……降水がきわめて浅所で噴気・地熱によって温泉化されたもの。

A-2 循環水型温泉……降水が地下に降下し、その循環の過程で熱を賦与されて温泉化したもの。この場合、循環水が湧出するまでの期間が短くなくては新しい水は存在しない。

B 降水の混入

B-1 降下水混入型温泉……既に最表部にまで上昇してきている温泉水体(T.U.の値の小さい)または流下性温泉水体に下降性(滲透性)地下水が直接混入したもの。

B-2 地下水混入型温泉……動力揚水やパイプの破損などの理由から、既に浅層地下水体を構成している降水が混入したもの。

B-3 接触混合型温泉……温泉水体周辺部において、これと接する冷地下水体や海水とのコンタミネーションによるもの。もちろん混入する地下水は新しい地下水(T.U.の値の大きい)でなければならない。

以上の論議を基にして、今回の測定結果を各温泉地の地質構造と対比して考察する。

(1) 人吉温泉

人吉温泉の存在する人吉盆地の基底をなすものは四万十層群および一部旧期安山岩であるが、盆地内には鮮新世～更新世の人吉層が広くかつ厚く分布し、これをおおって、新期安山岩・溶結凝灰岩・シラスおよび段丘堆積物が丘陵、段丘をつくって盆地内とその周辺に分布する。

人吉層そのものは、より新しい岩類におおわれており、地表の露出はすくないが、盆地埋積堆積物として普遍的に存在し、中央部での掘さく資料などから層厚550 m以上に達することが明らかである。人吉層の下半部は砂岩・礫岩および集塊岩質岩石に富み、上半部は白色の凝灰岩質頁岩や泥岩よりなる。一部に小規模の背斜・向斜がみられ、また小断層が認められるが、全体としては盆地中央部に向って5～10°の緩傾斜を示し、周縁部になるにしたがって傾斜を増し20～25°となる。

温泉水は、人吉層下部の礫岩および集塊岩質礫層中におもに賦存する。また下部層中には数10 cm、ときに1 mに達する亜炭層をはさむことがある。この礫層および集塊岩質岩石のもつ個有の透水性と連続性のため、中にみられる割れ目を通じ温泉水の連続性が保たれているものと解せられる。したがってこの温泉は層状の温泉貯留体をつくり、湧出可能区域はきわめて広範囲に及び、現在開発されている面積も5.5 km²に達する。

人吉温泉の温泉水中のトリチウム濃度をみると H-1~H-4, H-6 では新しい降水の影響はないものといえる。つまり盆地中央部に近い場所の深度 450 m 以深の人吉層中に貯留されている温泉水は湧出量、温泉、成分などには多少の差はあるが水そのものは 1952 年以降の新しい水ではない。H-5 は温度も低く Cl⁻-含有量などもきわめて少なく、井戸構造の破損などの原因で揚水すると浅層地下水が吸引され直接混入する結果トリチウム濃度が異常に高くなったもので、さきの区分では B-2 に属する。また盆地周縁下流部に位置する林温泉 (H-7) は深度が浅く、球磨川とその支流万江川の優勢な伏流水の影響を受け、井戸構築の粗雑さも加わって新しい表層水の混入をきたしているもので、同じく B-2 に区分されるものである。湯山 (H-8) は人吉温泉東方 60 km、市房山麓に自然湧出する単純温泉、単純硫化水素泉で、四万十層群とこの中に中新世後期に貫入した花崗岩との境界部においてその砂岩側より湧出する裂か泉である。温泉水はこの境界部の網状裂か中を地表まで上昇しているのであるが、湧出温泉水中には新しい浅層水の存在が認められる。これは温泉構造上からみると、網状裂か泉の縁辺部をとり囲んでいる冷地下体からのもので、B-3 に近いものと考えられる。

(2) 霧島温泉

霧島火山群は大小 30 の火山体からなり、その主峯は NNW-SSE に配列する。四万十層群を基盤岩類とし、鮮新世安山岩類が火山体の基底部にみられるが、更新世の輝石安山岩溶岩、火山角礫岩、火山岩滓などよりなる霧島旧期火山群が火山体の主部を構成する。さらに、更新世末期から現在に至る新期火山群が主峯を構成している。

新燃岳、御鉢などは有史以来もしばしば爆発をくりかえし、また韓国岳北側には硫黄山の激しい硫気活動がみられる。また白鳥、えびの、栗野岳、大霧一手洗、林田一栄尾、新湯、湯之野などの多くの噴気地熱地帯が存在するが、これらは、おもに火山体中腹部高度 600~800 m に位置し、霧島旧期安山岩類中に分布する。これら噴気帯には通常は温泉を伴い、いずれも噴気によって加熱された活火山性温泉の特徴をもっている。えびの露天風呂 (K-1) はその代表的なもので pH 1.6 の塩酸酸性の自然湧出泉である。激しい硫気孔群のみられる硫黄山山麓に湧出するもので、その位置からみても硫黄山地区の浅層地下水が加熱されて湧出してきた A-1 型のものであることを伺い知ることができるが、このことはトリチウム濃度からも確認できる。

噴気地帯の地下で生成された温泉が下流部に流動して 300~数 100 m 下流の渓谷部に湧出していると考えられる林田 (K-2)、関平 (K-3) は、トリチウム濃度 9.3 T.U., 8.3 T.U. で新しい降水の存在は明らかであるが、A-型、すなわち新しい水が温泉化して濃度が経年的に減少したものか、あるいは古い温泉水に流動途中で降下水が加わった B-型のものであるかについてはこれのみでは区別できない。K-4~K-9 については火山群山麓、新川渓谷沿いにおよそ 3 km にわたって湧出する石こう泉、炭酸土類泉で溶結凝灰岩の下位に存在する安山岩中から湧出するもので、安山岩溶岩にはさまれた礫層中にかなり広範囲かつ普遍的に貯留されている。多くは炭酸ガスを伴い、したがって湧出力は強く、掘さく井の数が増加する以前は渓谷に沿って自然に湧出していた。トリチウム含量からみると、低温のラムネ (K-4) および安楽 3 号 (K-9) をのぞくと新しい水の存在は否定的である。またこの両者も大量の地表水の混入は考えられない。筆者はかつて新川渓谷の温泉については、より北東部の霧島火山山腹地下の高温部で生成された温泉が、溶岩中を移動してきたものであると考えた (露木, 1961)。トリチウム濃度からみるかぎりでは、K-1, K-2, K-3 にみられるような極めて表層の新しい水が温泉化したものではなく、また流動途中での新しい地下水の混入もないところから、やや古い深い循環水が温泉化して貯留されており湧出してくるものと解釈すべきであろう。

(3) 指宿温泉

指宿温泉の源泉の分布する指宿平野は、その西部丘陵部の比較的低位に権現、南、玉利などの噴気露頭が存在する。これに隣接して、山麓部には高温な温泉および噴気井が掘さくされ、平野部においては海岸部に至るまで広範囲に温泉の湧出がみられる。

この平野部は地表下 100~200 m において輝石安山岩溶岩に達し、この溶岩の下位には凝灰岩、凝灰質砂岩、泥岩など難透水性の地層が分布するが、いまのところこの中には温泉の存在は認められない。またこの安山岩溶岩の上位には数 10 m の沖積洪積層がみられ、成層した透水性砂礫層は良好な帯温泉水層となり、温泉水は広く本層中に包蔵されている。したがって、指宿温泉全体は西側の噴気帯から高温帯を経て沿岸方面に舌状に延び、あたかも流下しているような形態をとる。しかし平野部の地下に存在する安山岩中の割れ目中にも高温泉水が貯留されているし (I-2)、さらに海岸部においては温泉水が直接海中に自然に湧出している。

以上のような温泉構造をもった温泉をトリチウム濃度から考察すると、河原 (I-1)、多良 (I-2, I-3) はいずれも平野部の沖積洪積砂礫層中の層状泉で、その深度も浅いため、新しい水の存在が認められる。しかしこの場合も A-2 型のものか、直接混入という B-2 ないし B-1 のものかという判定はいまのところ明らかでない。ただ、これらの温泉中の Cl^- 含有量は 2000g 程度と比較的多く、T. U. 濃度も 10 T. U. 以下であることから、仮りに新しい水の混入があるとしても、その割合は小さいといえる。二月田 (I-2) は深度 250 m、安山岩の割れ目中的のもので、新しい水の混入もなく、また新しい水でもないといえる。摺ヶ浜 (I-5, I-6) は共に現在の海岸より 20~30 m のきわめて近い地点にあり、 Cl^- 含有量からみても I-5 においては明らかに海水の影響がみられる。また I-6 は集水井戸によりきわめて浅層に存在する温泉を集水しているもので、ここでは冷地下水は存在せず浅井戸で直接温泉が得られる場所である。したがって摺ヶ浜温泉にあっては直接降水が混入していることは明らかで、T. U. の値も異常に大きい。

IV. お わ り に

南九州の温泉のなかで、比較的その地質的背景と温泉構造が明らかにされている人吉、霧島、指宿の諸温泉を選んで温泉水中のトリチウム濃度を測定し、その結果と従来知られているそれぞれの温泉の湧出構造とを比較検討した。

人吉温泉の 500 m 以下に貯留されている人吉層中の温泉、霧島温泉のなかで比較的古い地下水が温泉化して湧出してきていると考えられてきた新川溪谷沿いの温泉、および指宿温泉のうち 200 m 以深の安山岩中に胚胎している温泉などは、トリチウム濃度の高い新しい水の影響は受けていないものと考えてよい。しかし、その他のものについては、流動途中で降水が混入したり、揚水の際に混入したり、さらには温泉水体の周縁部において新しい地下水や現在の海水と接触し混合するなどの結果、新しい水の存在が認められた。また当然のことであるが、噴気性温泉においては新しい表層水が、浅所で直接加熱されて温泉化している表成型温泉であることを明らかにすることができた。

これらの事実から、今回トリチウム濃度の測定を行なった 3 温泉に関するかぎりでは、次のようなことがいえる。

1. 人吉温泉にみられる如く、上部に比較的厚い難透水層をもつ層状温泉では、地下 500 m に貯留されている温泉水に 1952 年以降の新しい水の存在は認められないので、この期間では降水のここまでの浸透はない。

2. 同様なことが、指宿温泉においても平野部の地下 250 m の安山岩の割れ目中より湧出する高温でかつ Cl^- 含量の多い温泉についてもいえる。

3. また霧島温泉でも 100~150 m の安山岩中に賦存す温泉で炭酸ガスの圧力によって大量に湧出してくる温泉についても新しい水の混入は認められない。

4. しかし、噴気性温泉や沖積砂礫層中のきわめて浅層に存在する温泉、あるいは河川の伏流の影響をうけていると考えられるもの、井戸構造不良で直接浅層地下水を吸引するようなものでは、いずれも 17~22 T. U. と大きい数値を示し、新しい時代の降水による影響の大きいことを知ることができた。

5. トリチウム濃度 7~10 T. U. のものについては、T. U. 値の小さい温泉に新しい地下水が混入したものであるのか、または、T. U. 値の比較的大きい地下水が温泉または、その後の経過年月によってトリチウム濃度が減少したものか、両者の解釈ができて、これだけでは不明である。

6. いずれにしても、今回調査した3つの温泉については、温泉地質学的にみた温泉構造と、トリチウム濃度の測定結果は、よく符合することを確かめることができた。

しかし、この研究の他の一半の目的、つまり、トリチウムの短い半減期と 1952 年を境とした異常な濃度変化を利用して温泉生成の時代と流動速度を求めること、に関しては十分その目的を達することができず今後の測定と研究に俟つことになった。

終りに当り、現地での採水およびトリチウムの測定に協力された山口君男、牧野伸洋、竹田安裕の諸君に感謝する次第である。なお本研究に当っては文部省科学研究費の一部を使用した。

参 考 文 献

- BROWN, R.M. (1961); Hydrology of tritium in the Ottawa Valley. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, **21**, 199-216.
- DAVIS, G.H., PAYNE, B.R., DINCER, T., and FLORKOWSKI, T. (1967); Seasonal variations in the tritium content of ground waters of the Vienna Basin, Austria. *Isotope in Hydrol.*, I.A.E.A., 451-467.
- GILETTI, B.J., BAZAN, F., and KULP, J.L. (1958); The geochemistry of tritium., *Trans. Am. Geophys. Union*, **39** (5), 807-818.
- 波多江信広・露木利貞・鎌田政明・黒川達爾雄 (1965); 鹿児島県の諸温泉—指宿地区の温泉 (その 1), 鹿児島県, 70p.
- KAUFMAN, S. and LIBBY, W.F. (1954); The natural distribution of tritium. *Phys. Rev.*, **93**, 1337-1344.
- 木村重彦 (1969); トリチウムによる地下水の流れの解析 (I), 農土試技報 F-4, 17-36.
- 古賀昭人・吉川恭三 (1970); 別府温泉水中のトリチウム, 大分県温泉調査研究会報告 **21**, 1-4.
- 村上悠紀雄・野口 昶 (1970); トリチウムによる温泉水の湧出機構に関する研究 (1) 箱根温泉群, 温泉科学 **21**(2), 84-85.
- 落合敏郎 (1968); 関東平野における地下水の年代測定とその水文地質学的研究, 日本地下水学会会誌 **14**, 11-23.
- 沢村孝之助 (1957); 5 万分の 1 地質図幅及び説明書「霧島山」, 地質調査所.
- TAKAHASHI, T., HAMADA, T., and YAMASAKI, F. (1965); Measurement of tritium in rain, city water, ground water and hot spring, *Sci. Papers I.P.C.R.*, **59** (1), 49-51.
- 田口雄作・塚田公彦 (1972); 吐噶喇列島口之島瀬良馬温泉について, ハイドロロジー, **5**, 14-21.
- 田村 実・田上公輔・徳山康浩 (1962); 人吉盆地西部の地質概報, 熊大教育学部紀要, **10**, 49-56.
- 木下亀城 (1961); 日本地方鉱床誌「九州地方」, 朝倉書店.
- 露木利貞 (1961); 九州地方における温泉の地質学的研究 (第 2 報) いわゆる“火山性温泉”, 鹿大理科報告 **10**, 65-84.
- (1962); 九州地方における温泉の地質学的研究 (第 3 報) 末固結堆積層中における温泉水体, 鹿大

理科報告, **11**, 51-58.

—— (1969); 九州地方における温泉の地質学的研究 (第5報) 鹿児島地構内の温泉——特に温泉貯留体について, 鹿大理学部紀要, **2**, 85-101.

露木利貞・鎌田政明・黒川達爾雄 (1963, '64, '66); 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その1, 2, 3), 鹿児島県.