伊豆修善寺温泉地域の地質及び温泉

佐 藤 幸 二*

(1958 年 10 月 16 日受理)

On the Geology and Hot Spring in the Neighborhood of the
Shuzenji Spa, Izu, Japan

(Hot Spring Research Center)

Koji SATO

(Abstract)

The geology of the neighborhood of the Shuzenji Spa, Izu, consists of the Shuzenji white dacitic tuff, which occupies the upper part of the Yugashima group. Its strike is N20-30°W, and the dip is 10-20°SW, but in the western part of the area the former is N-S and the latter is 10-20°W. This formation forms the west wing of an anticline of N-S direction passing through the Ohito Mine, northeast of the spa. The lower part of the Shuzenji white tuff is an alternation of several dacite lava flows and dacitic tuff, and the upper part consists of dacitic pumiceous tuff, volcanic breccia and tuffaceous sandstone.

The temperatures of the water from the drilling wells distributed along the River Katsura show that they are higher in the southwest than in the northeast. The chemical characteristics of the water refer them to the common salt spring.

It is deduced that the spring water rises obliquely through the dacitic tuff alternating with the dacite lava flows, from the southwest part of the spa towards the northeast.

When the drilling well penetrates the dacite lava flow, which forms the base of the hot spring water zone, the temperature of the well water becomes lower and the concentration of the solute more dilute.

Comparing the mechanisms of the hot spring water zones of Ohito, Shuzenji and Izu-Nagaoka spas, the following features are recognized:

Ohito.....Issuing from fissures of dacite (neck ?) in the Yugashima propylites; lower part of the Yugashima group.

Shuzenji.....Rises through the tuff alternating with the dacite lava flows of the Shuzenji white tuff; the upper part of the Yugashima group.

Izu-Nagaoka

(Kona area).....Rises along the fault in the Enoura tuff.

(Nagaoka area).....Rises along the bedding plane of the Enoura tuff, after reaching the formation along a fault or fissure accompanying with its bending.

The $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ content ratios in the Kona area of the Izu-Nagaoka spa exceed that in the Nagaoka area of the spa. To explain this phenomenon, the ion reaction, exchanging Ca^{2+} of the spring water for Na^{+} of the acidic country rock, is introduced: when the water migrates

* 中央温泉研究所

地質学雑誌 第 65 巻 第 762 号 1959 年 3 月

slowly along the bedding of the acidic pumiceous Enoura tuff, the ion exchange reaction becomes large than in the case where the water rises rapidly along a fault or fissure.

Comparison of the $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ content ratios of three spas is as follows:

Ohito > Shuzenji > Izu-Nagaoka (Kona) > Izu-Nagaoka (Nagaoka)

The differentiation of the $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ content ratios above mentioned may depend on the existence of the ion exchange reaction between the spring water and the country rock.

If Cl^{-} of the spring water is dissolved from the fossil water of the Yugashima group of marine sediments, Cl^{-} concentration of the spring water may vary according to the amounts of the ion exchange reaction, between the spring water and the country rock.

Namely, the spring water of the Ohito spa issues from the fissures of the dacite (neck?), and there may be neither the ion exchange reaction nor the isolation of Cl^{-} from the country rock to the spring water. At the Shuzenji spa, the spring water reacts with the dacitic Shuzenji white tuff, then the Ca^{2+} concentration is decreased and the Na^{+} and Cl^{-} concentrations are increased. In the case of the Izu-Nagaoka spa, the spring water reacts with the Enoura tuff similarly, but it is seems that the isolation of Cl^{-} from the country rock does not occur, probably because the rock does not contain fossil water such as in the case of the Yugashima group.

第1図 伊豆半島温泉分布図

1: 湯河原温泉 2: 伊豆山温泉 3: 熱海温泉 4: 多賀温泉 5: 網代温泉 6: 伊東温泉 7: 畑毛温泉 8: 奈古谷温泉 9: 伊豆長岡温泉 10: 大仁温泉 11: 修善寺温泉 12: 土肥温泉 13: 矢熊温泉 14: 月ヶ瀬温泉 15: 嵯峨沢温泉 16: 船原温泉 17: 吉奈温泉 18: 湯ヶ島温泉 19: 熱川温泉 20: 片瀬温泉 21: 白田温泉 22: 稲取温泉 23: 谷津温泉 24: 峯温泉 25: 湯ヶ野温泉 26: 大滝温泉 27: 大沢温泉 28: 横川温泉 29: 河内温泉 30: 蓮台寺温泉 31: 下賀茂温泉

1 ま え が き

伊豆半島には、約 30 個所の温泉が分布しており(第1図)、熱海・伊東・修善寺・伊豆長岡などは特に有名である。また、本半島には、天城・大室・天子・達磨・棚場・猫越などの新期火山が多く存在するにもかかわらず、これら温泉の殆んどがそのような火山からは離れており、湯ヶ島層群と呼ばれる地層の分布地域に存在し、温泉水もその地層から湧出するといわれている。このような伊豆半島の温泉の諸性質を吟味する為の基礎的な資料として、伊東温泉・伊豆長岡温泉の調査に続いて、今回修善寺温泉を調査する機会を得、その湧出機構について考察した。

2 地 質

伊豆半島の地質については、古くは石原初太郎(1898) 神津俣祐(1913)の報告があり、その後多くの調査研究が行われ、最近では地質調査所の下田図巾調査や渡部景隆らの研究が行われつつある。地質調査所の修善寺図巾¹⁾によれば、伊豆半島主部の地質層序は第1表の如くである。

イ. 修善寺温泉附近の地質

第1表に示されている諸岩層のうち、修善寺温泉附近に分布するものは、次の通りである。

3. 達磨火山噴出物

2. 旭滝玄武岩

1. 湯ヶ島層群 { 修善寺白色凝灰岩類
湯ヶ島変朽安山岩類

第1表 地質層序表

第 四 紀	現 世	沖 積 層	段 丘 堆 積 物	天 城 火 山
	更 新 世	達磨火山, 多賀火山 棚場火山, 井田火山		
新 第 三 紀	鮮 新 世	旭 滝 玄 武 岩		
	鮮 新 世	賀茂安山岩類 大小下田 狩野浦 内越		
	中 新 世	大見白色凝灰岩類 猫越綠色安山岩類 湯ヶ島層群 { 修善寺白色凝灰岩類 湯ヶ島変朽安山岩類		

修善寺白色凝灰岩類の一部或いは全部は湯ヶ島層群の上位であつて、南伊豆の白浜層群、北伊豆の江ノ浦凝灰岩、熱海凝灰岩などに対比できるものなのかも知れない¹¹⁾がここでは従来通り、湯ヶ島層群上部として記述を進める。

3. の達磨火山噴出物は、温泉の南方及び北方で、西方の達磨火山より東方に延びる山脚に見られ、下位の修善寺白色凝灰岩類を不整合におおっている。岩質は輝石安山岩熔岩流を主体としているが、局部的には下位層群との間に厚さ数mの凝灰角礫岩・火山灰の互層を伴う。熔岩は3mm程度の斜長石斑晶を有し、微斑晶状を呈するものが多く、石基は斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・ガラスからなる¹⁾。

2. の旭滝玄武岩は、修善寺温泉東南方の旭滝附近に認められる。普通輝石玄武岩であるが、普通輝石の核として鉄鋳に置換されたかんらん石がある。石基は斜長石・単斜輝石・鉄鋳・鱗珪石及び少量のガラスよりなる¹⁾。下位の修善寺白色凝灰岩類を不整合におおい岩質とその変質していることから、城層群の一員とされ、旭滝附近で貫入したのではないかと考えられている。

1. の湯ヶ島層群は、伊豆半島に露出する岩層のなかで、最も古く、半島の基盤をつくつて広く分布している。この岩層は2つに区分され、下部は安山岩質の湯ヶ島変朽安山岩類、上部は石英安山岩質の修善寺白色凝灰岩類と呼ばれる。前者は、その模式地、上狩野村湯ヶ島温泉附近で貝化石を多産し、後者も修善寺温泉の東方、下大見村下白岩部落・北狩野村大野部落で *Lepidocyclina* などの化石を産するので、本層群の時代は中新世とされている。

湯ヶ島変朽安山岩類は、主として変質して緑色を呈する玄武岩・安山岩と、それらの火山砕屑岩との互層からなり、砂岩・礫岩・頁岩をも伴う。層序は明確にされていないが、熔岩はおおむね塩基性のものが下位を、酸性のものが上位を占めるようである。本岩は一般によく凝結している。野外では緑色～暗緑色を呈し、カルセドニー・沸石などの細脈や各種の二次的沈澱物などが含まれる。修善寺温泉附近では、輝石安山岩及びその砕屑岩よりなつていて、温泉の東方、横瀬部落～大仁鋳山附近に認められる。

修善寺白色凝灰岩類は、主として軟弱な軽石質の石英安山岩質凝灰岩からなり、火山角礫岩・凝灰質砂岩・凝灰質頁岩などを伴う。修善寺温泉の東方から、温泉西方の北又・湯舟部落附近まで認められ、又狩野川の右岸にも広く分布している。下位の湯ヶ島変朽安山岩類を整合におおうところが修善寺温泉の東方、修善寺橋（狩野川）附近で認められる⁷⁾。火山岩としては石英安山岩及び輝石安山岩の熔岩流を伴う。

湯ヶ島層群の基本的な構造は、南北性の軸を有する褶曲構造と考えられている。修善寺温泉附近では、東北方の大仁鋳山附近に南北に走り、南へ沈下する背斜軸があり、その軸部に湯ヶ島変朽安山岩類、東西の両翼に修善寺白色凝灰岩類が分布する。修善寺温泉附近の地質図を第2図に示す。

ロ. 修善寺温泉の地質

修善寺温泉には上述のように、修善寺白色凝灰岩類が分布し、その岩層は石英安山岩質凝灰岩類を主とし、安山岩礫を含む角礫凝灰岩、軽石を多く含む凝灰岩などがある。同岩類の下部即ちみゆき橋から桂川下流方向には暗色～黒色の石英安山岩の熔岩流が数枚認められるが、上部即ち虎溪橋附近よ

- 連磨火山噴出物(輝石安山岩熔岩流)
 - 黒岩玄武岩(城層群)
 - 修善寺白色凝灰岩類
 - 同岩類中の石英安山岩熔岩流
 - 湯ヶ島変成安山岩類
- } 湯ヶ島層群
- 背斜軸
- 石切場

第2図 修善寺温泉附近地質図

あるとのことで、薄いものも数えれば、みゆき橋下に見られる熔岩の上位すなわち東方にも、3～4枚の熔岩流があるようである。

3. 温 泉

修善寺温泉は、神代に発見されたと伝えられる程の古い温泉で、自然湧出が長く続いて来たが、昭和17～18年頃より自然湧出泉が減少しはじめ、更に昭和23年以降急減し、現在では自然湧出泉は全く見られなくなつた。掘さく源泉井の本数・深度の増加に伴つて自然湧出泉は減少し、現在は利用掘さく源泉数30本近く、掘さく長も500mを越えるものがある。温泉の水位も年々低下し、1年間に3m程度の低下を続けている。揚湯ポンプはエア・リフト・ポンプを用いているが、その動力も増大しつつある。これら湧出量・泉温・深度等の変化については、現地の温泉組合によつて近年調査が続けられている(第3表 折込参照)。

イ. 源泉井の分布と深度

修善寺温泉で利用している源泉井は、昭和32年4月現在で28本であるが、その分布は比較的局限され、桂川沿いに東限はみゆき橋、西限は滝下橋上流200m附近である。(1本はみゆき橋より東にあるが、それは泉温も低く含有成分も少ない。)(第3図参照)

過去の自然湧出泉の分布はみゆき橋と桂橋との間に限られ、独站の湯(第3図×印)附近が一番西に

り上流では熔岩流は認められない。最も厚い熔岩流はみゆき橋下から渡月橋下に続くもので、その厚さは50m前後と思われる。これは角閃石石英安山岩であり、石英・斜長石・緑泥石よりなる石基に斜長石・石英・角閃石の斑晶を有しているが、石英斑晶は少量である。この熔岩流は上部(渡月橋から虎溪橋にかけて)が温泉作用を受けて変質しており、灰褐色の石基中に長さ5mm以下の角閃石の斑晶が目立つようになる。上位の凝灰岩層は殆ど軽石質凝灰岩であるが、部分的に安山岩の角礫又は円礫を含む。この凝灰岩層は、一般に弱い変質作用を受け、灰白または黄褐色、緑色を呈しているが、修善寺温泉を離れると変質作用は弱いようで、西方の小学校附近から採石場(第2図)に至れば、真白い新鮮な凝灰岩が見られる。

層理は明瞭とはいえないが、地層は一般に南北の走向を有し、西に傾斜している。即ち、温泉の東方から滝下橋上流まで、 $N30^{\circ}W$ 、 $20\sim 30^{\circ}SW$ であり、滝下橋上流100m附近から西の方は、 $N-S$ 、 $10\sim 20^{\circ}W$ となる。

この温泉では、昭和10年代より数10本のさく井が行われたと思われるが、いずれも衝撃式の掘さくであり、その記録も保存されておらず、地下の地質状況ははつきりしない。然し、掘さく業者の談話では、凝灰岩層中に安山岩の熔岩が数枚

第3図 修善寺温泉等温線図 源泉番号は第3表参照

なっていた。従つて源泉の分布区域は、東の方には延びず、主として西の方に拡がつて来たことになる。桂川を離れて、北方及び南方に源泉井が存在するが、北側には数が少なく、南の方に拡がつており、桂川から 200m 程度離れた源泉もある。

深度は最初の自然湧出から現在の最深 537m まで達したわけであるが、大きく見て東の部分の源泉井は浅く、西の部分の源泉井は深い。

ロ. 泉 温

多数の源泉がすべて自然湧出泉の場合は泉温、湧出量及び温泉水位などは直接自然の温泉水体の状況を示すが、源泉が掘さく井の場合は採湯技術が大きく影響し、直接自然の温泉水体の状態を示さないようになる。

修善寺温泉の利用源泉井 28 本について、その泉温を調べた結果は第3表（折込参照）に示してある。最高温は万葉泉（21）の 78.0°C、最低温は万寿の湯（27）の 38.0°C である。これらの諸井の平面温度分布は第3図の如くである。同図によれば修善寺温泉では南西部が高温で、北東部が低温である。又、桂川の北側に南西—北東方向に延びる温度の急傾斜部があり、この傾斜部はまた虎溪橋と桂橋との間で、ほぼ北西—南東方向に桂川を横切っている。従つて、高温部は温泉の西南部から北東方向に延び、桂橋附近から東方に張り出している形となり、低温部は渡月橋附近から北東方に存在する。

ハ. 温泉水の化学成分

修善寺温泉の分析については、明治 14 年、大正 2 年及び昭和 18 年に、何れも衛生試験所が調査した報告^{4,9)}があり、その後は静岡県衛生研究所が昭和 25 年以来分析を行つており⁹⁾ 2 源泉を除いては、分析資料が存在する（第2表折込参照）。

これら分析資料によれば、陽イオンでは Na^+ と Ca^{2+} 、陰イオンでは Cl^- と SO_4^{2-} とが主要成分であり、時に HCO_3^- がこれに加わることがある。 Cl^- 含量は 200~370mg/kg の間にあり、最高は万葉泉の 368.8mg/kg である。200mg/kg 以下の源泉は根の湯（1）、谷の湯（2）及び喜康泉（3）の 3 源泉である。 SO_4^{2-} 含量は 140~300mg/kg の間の値を示すものが圧倒的に多い。 SO_4^{2-} が 300mg/kg 以上の源泉は寿の湯（6）、明治霊泉（16）及び寿康泉（19）の 3 源泉で、410~440mg/kg の値を示す。谷の湯（2）及び喜康泉（3）の 2 源泉は 100mg/kg 以下の含量である。 HCO_3^- は 200mg/kg 以下の含量を示し、明治霊泉のみが 510mg/kg という飛び離れた値を示す。

陽イオンでは、 Na^+ は 110~380mg/kg の値を示し、小山の湯（25）のみが 80mg/kg となつてゐる。 Ca^{2+} 含量は大半が 100mg/kg 以下の値で、数源泉が 230mg/kg 迄の間の値を示す。 Ca^{2+} 含量が 20mg/kg 以下のものは、谷の湯（2）及び喜康泉（3）の 2 源泉である。（蓮華の湯（14）及び万寿の湯（27）の 2 源泉の分析成績が存在しないので、上の記述にはこの 2 源泉を除外してゐる。）

谷の湯 (2) 及び喜康泉 (3) の2源泉は Cl^- 、 SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} において、又、根の湯 (1) の源泉は Cl^- において、何れも他の源泉よりも含量が小さい。(この点については後述する。)

次に各成分の mval% を見ると、 Na^+ が Ca^{2+} より多いもの、又 Cl^- が SO_4^{2-} より大きい割合を占めるものが大部分なので、修善寺温泉の泉質は弱食塩泉若しくは食塩泉の単純温泉が大部分であり、副成分として石膏や芒硝等を伴うものとする。これらの成分と泉温との関係は、明確でないが、 Cl^- 、 Na^+ 及び SO_4^{2-} 含量は泉温の高い源泉でその濃度が高い傾向がある。

4 地質構造と温泉の湧出機構

イ. 湧出機構

深所からの温泉水は、高温の為周囲の冷地下水と比較して比重・粘性ともに小さく、また冷地下水の圧に押されるため上昇する力を有している。この上向きの力を有する温泉水は、附近の地質構造に応じて最も抵抗の少ない所を選んで上昇する。

修善寺温泉の場合は、地質の項で述べたように、石英安山岩熔岩を伴った凝灰岩層が、大仁鉾山附近を通る背斜軸の西翼として $\text{N}30^\circ\text{W}$ 、 $20\sim30^\circ\text{SW}$ の走向・傾斜で分布している。その安山岩熔岩は固く透水性が非常に小さいのに、凝灰岩層は石英安山岩と比較して透水性が大きい。従つて温泉水は、 $20\sim30^\circ\text{SW}$ の傾きをもつ石英安山岩によつて周囲への逸散を抑えられつつ凝灰岩層中を上昇することになる。また凝灰岩といつてもその層準によつて構成・固結度が異なり、一般には層理に従つて流動する方が抵抗が少ない。

ここで、修善寺温泉の利用源泉井の位置、過去の自然湧出泉の位置を見ると、みゆき橋（この橋下で、石英安山岩熔岩が地表に露出している）よりも西に分布しているのであるから、深部からの温泉水はみゆき橋下に露出する石英安山岩熔岩を底として、それより上位の凝灰岩中を石英安山岩の熔岩に夾まれて上昇するものと考えられる。みゆき橋下の石英安山岩熔岩が温泉水に対して帽岩のように働いているのであれば、過去の自然湧出泉はもつとみゆき橋に近く、更にその東方に拡がるような分布を示すべきである。従つて、みゆき橋下の安山岩の下位には、温泉水は存在しないと一応考えられる。

利用源泉井の掘さく深度は、一般に東の方向浅く、西の方向深い。東の方にも 250m 程度の掘さく源泉があるが、泉温は 50°C 未満であり、大部分は 200m 程度であるが西の方では 200m 以浅の源泉井数は少ない。即ち、西の方では深く温泉水があり、東の方では浅く温泉水が存在する。更に温度分布は第3図に見られる如く、西南部に高温の部分がある。これらの事実は、温泉水が西南部の深所から東北部の浅所へと斜めに上昇することを示している。この上昇の途中で、また揚湯の過程で、温泉水に冷地下水が混入したり、温泉水が変化を受ければ、地上に採取された温泉水は、多様の濃度・泉温・泉質のものとなる筈である。修善寺温泉の湧出機構をほぼ桂川に沿う北東—南西方向の断面上に模式的に示したのが第4図である。

ロ. 温泉水体の規模

温泉水体の規模を考える場合は、温泉水と冷地下水との境界面を考えればよい。境界とはいつても、両者は混り合つて漸移していることが多いので、明確な境界面は存在しない。

修善寺温泉の利用している温泉水体の規模を明らかにするには、なお問題が残っているが、現在の段階で、できるだけ推定を試みる。ここでは、便宜的に 50°C 前後の温度を有する部分を温泉水と冷地下水との境界としよう。修善寺温泉が昭和 32 年 4 月現在、採取利用している温泉水体の境界面のうち一番はつきりしているのは東側の境界である。それはみゆき橋附近に露出し、 $20\sim30^\circ\text{SW}$ に

傾斜している石英安山岩熔岩である。北の境界は、源泉井の分布、等温線図（第3図）から、桂川の谷と達磨山山脚との境界にほぼ一致するものと考えられる。南側の境界は、達磨山山脚の方に幾分ずれているようである。西の境界は現在の所不明であり、地質の項で述べた走向・傾斜の変化がどのような意味をもつかも明らかでない。下の境界面は、東側の境界面をなす石英安山岩熔岩であつて、 $20 \sim 30^\circ \text{SW}$ の傾斜をもっている。上の境界面は、下の境界面のように南西方向に傾いたものであることは確かであるが、その角度は幾分小さいものであろう。上の境界面は地表に露われていない。即ち、この温泉水体の形は、くさび状で、北東の地下浅所で薄く、南西の地下深くで厚くなっている。

第4図 修善寺温泉湧出機構模式図

A井: 深い冷地下水のみを採取	E井: 浅い冷地下水のみを採取
B・C井: 温泉水と深い冷地下水とを採取	F井: 比較的優勢な温泉水を採取
D井: 辛うじて温泉水を採取	
1 冷地下水を含む凝灰岩層	2 温泉水を含む凝灰岩層
3 石英安山岩熔岩流	

これらの境界面のうち、東及び下の境界面をなす石英安山岩熔岩は移動することはないが、他の方面の境界面では温泉水と冷地下水とが直接接しているのであるから、境界面は常に移動している。温泉水体の圧が周囲の冷地下水の圧と比較して減少すれば、境界面は温泉水体の内部へと移動し、温泉水体は縮小する。第3表にある各源泉井の掘さく長を第4図と同じ方向の断面上にプロットしたのが第5図である。揚湯して地表に採取された温泉水の温度一泉温は、地下の温泉水体の状況の他にその揚湯の方法や技術などの人為的な要素によつて影響を受けた結果のものである。第5図を検討する場合にも各源泉井について、このような点、即ち、掘さく井のどの深さの温泉水を採取し、どの深さの冷地下水をどのように遮水しているかを考慮しなければならない。然しこの点については何等の資料も存在しない。

この図から見れば、瑞泉 (8) は一見温泉水体の下限を抜いて下の冷地下水を採取しているように思われるが、泉温は 65°C と高温である。温泉水体の下限は、第5図に示したような完全な平面ではなく、凹凸のあるものであろうから、この瑞泉 (8) は温泉水体の下限を抜いていないのかも知れない。また、下限を抜いていても、下位の冷地下水を完全に遮水していれば、優勢な温泉水のみを採取することができる。さく井の記録が保存されていないので、何れの場合に相当するかを確かめることができない。

化学成分の項では、根の湯 (1)、谷の湯 (2) 及び喜康泉 (3) 3 源泉の Cl^- 含量が他源泉に比較して少ないこと、谷の湯 (2) 及び喜康泉 (3) の 2 源泉の SO_4^{2-} 含量及び Ca^{2+} 含量が他源泉よりも少ないことを指摘している。第5図によると、谷の湯 (2) 及び喜康泉 (3) が温泉水体の下限を抜いて下の冷地下水をも採取していること、根の湯 (1) にもその疑いがあること、万寿の湯 (27) の如きは温泉水体を全く離れていることが判る。また、調査の後に三代の湯 (17) で増掘を行つた所、

180m 程度で安山岩層があり、それを抜いて水脈に当り、泉温が 41°C に低下した*とのことであり、この位置では 180m 前後に温泉水体の下限があることがわかる。

ハ．修善寺温泉の変遷

前項に述べたような温泉水体を考えると修善寺温泉が当初自然湧出を続けていたのは、深部からの温泉水が石英安山岩熔

第5図 源泉井の掘さく長 | : 掘さく深度, 27: 源泉番号
(源泉番号は第3表参照)

岩の上にのり、周囲の冷地下水に圧されて地表に達していた状態である。自然湧出泉がみゆき橋と桂橋との間に存在していたのであるから、この場合の温泉水体の上の境界面は、桂橋附近で地表に露われ、そこから南西の地下へと傾いた面であつた。また、深部からこの温泉水体に供給された量と自然に湧出する量とはほぼひとしい。その後の掘さくは、温泉水体の圧の逸出口を多くすることであつて、これが進めば自然湧出・掘さく自噴の力も小さくなる。機械揚湯は、当初は深部から温泉水体への温泉水の供給量を増加させることがあるかも知れないが、揚湯力が大きくなるにつれて、温泉水体への温泉水の供給量以上に揚湯することになり、温泉水体は縮小し、温泉の水位は地表下に入ってしまう。ところが温泉水体の下限は、 $20\sim 30^{\circ}\text{SW}$ と傾斜しているのであるから、温泉水位の低下、温泉水体の縮小は、平面的には温泉水体の東限が南西方向に移動する現象となつてあらわれる。

修善寺温泉においては、現在も1年に3m程度ずつ温泉の水位が低下を続けているのであるが、この場合、温泉水体の東限は南西方向へ年間6~7m程度移動するであろう。第3表(折込参照)は修善寺温泉の年代による変遷を示したものである。泉温・湧出量は互いに関連を有するとともに、掘さく長や揚湯ポンプの馬力数に左右されるものであるが、揚湯ポンプの馬力数の資料は保存されていない。それでも一般的な傾向として、源泉数の増加、泉温の低下、自然湧出泉の潰滅、掘さく長の増大等の現象がうかがえる。

5 附近温泉との比較

イ．伊豆長岡温泉の地質構造と化学性

伊豆長岡温泉附近を構成する岩層は、湯ヶ島層群よりも上位にある江ノ浦凝灰岩層であるが、350m程度の掘さく井のうちには湯ヶ島層群に到達しているものがあるかも知れない。また、温泉水は断層や撓曲軸に沿う裂隙による「たて」の通路を通つて江ノ浦凝灰岩層に達し同層中をほぼ層理に従つて「よこ」の湯脈をなして流動している¹⁰⁾が、その温泉水が湯ヶ島層群に由来するものであることが予想される。何故なら、伊豆半島の諸温泉は殆んどが湯ヶ島層群に由来するとされ、事実湯ヶ島層群の分布区域に湧出する温泉が圧倒的であり、それらの温泉水の化学成分と、伊豆長岡温泉のそれとに大きな差は認められないからである。即ち、第4表に見られるように、何れも硫酸塩を主体とし(SO_4^{2-} の mval% は $60\sim 90\%$)、副成分として塩化物を伴う(Cl^- の mval% は 35% 以下)という組成

* 修善寺温泉野田八太夫氏の私信による。

第4表 湯ヶ島層群分布区域に湧出する温泉の主要化学成分

温 泉 名	泉温 °C	pH	Na ⁺		Ca ²⁺		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		溶存物質 総量 mg	泉 質	分析機関 及び年度
			mg	mval %	mg	mval %	mg	mval %	mg	mval %			
伊 東	55	8.2	157.8	66.11	68.6	32.95	75.58	20.51	351.4	70.50	706	単純温泉	中央温研 昭27*
(岡 125)													
吉 奈	48.0	7.6	161.0	80.88	29.74	10.09	53.70	17.18	310.0	73.20	649.28	単純温泉	中央温研 昭33††
船 原	52.5	7.60	262.8	76.63	64.3	21.51	180.8	34.18	462.5	64.53	1029	芒 硝 泉	東京衛試 昭10†
湯 ヶ 島	58.5	7.8	202.5	41.57	244.9	57.56	59.00	7.57	970.32	91.05	1561.0	含石膏芒 硝泉	中央温研 昭33††
(世古大湯)													
矢 熊	37.8	9.1	43.00	82.90	6.188	13.21	6.680	7.97	55.14	48.65	200.59	単純温泉	中央温研 昭33††
月 ヶ 瀬	41.5	8.2	132.0	79.74	26.36	18.09	30.11	11.20	292.5	80.56	576.08	単純温泉	中央温研 昭33††
(慶大温研)													
嵯 峨 沢	55.0	7.4	355.0	74.21	101.1	24.19	97.14	12.89	865.8	84.87	1514.9	含石膏芒 硝泉	中央温研 昭33††
土 肥	52.2	7.50	134.3	30.12	234.3	60.34	182.5	26.54	659.7	70.82	1312.8	石 膏 泉	東京衛試 昭 6†
湯 ヶ 野	52.5	8.3	63.78	12.42	235.72	52.68	82.37	10.37	692.82	64.61	1478.5	石 膏 泉	静岡衛研 昭27†
伊豆長岡	68.0	8.3	19.25	88.30	21.0	11.05	99.11	30.45	271.4	61.66	740.3	単純温泉	中央温研 昭29***
(古奈1号)													

* 文献 8) ** 文献 10) † 文献 5) †† 未発表

を有している。溶存物質総量は、2,000mg/kg 程度が最高値であり、泉温は 50°C 台が圧倒的に多く、最高 80°C 前後である。pH は 7~9 の弱アルカリ——アルカリ性である。

伊豆長岡温泉は、有城^{うじょう}と呼ばれる山によつて、その東の古奈地区と、西の長岡地区とに分けられるが、両者の温泉水の化学的な性質を検討してみよう。

陽イオンでは、どちらも Na⁺ の含量は Ca²⁺ の含量よりも遙かに多いが、長岡地区は比較的 Na⁺ に富み、Ca²⁺ に乏しく、溶存物質総量が少量であるのに反し、古奈地区では Ca²⁺ が多くなり、溶存物質総量も稍多いことが認められる。

陰イオンでは、長岡地区が Cl⁻、SO₄²⁻とも古奈地区と比較して含量が少なく、全体として Cl⁻、SO₄²⁻は溶存物質総量と比例している。

この両地区で採取している温泉水が本来同一のものならば、このような差異は温泉水の流動の途中で、また揚湯の過程で生じたものでなければならない。揚湯方法は大きく見てその差が認められないから、温泉水が流動している間に変化して、このような差異があらわれたと考えるべきである。

長岡地区の北部では層理に沿う「よこ」の湯脈が多く、「たて」の湯脈は少ないので深部からの温泉水は比較的長時間にわたつて、江ノ浦凝灰岩層中を流動し、変質を受ける。温泉水の過去の通路と見なされる部分が真白に漂白されている事実から、現在の地下においても同じような変質が行われていることは容易に推測される。その場合、江ノ浦凝灰岩層は酸性岩に属する浮石質凝灰岩であるから温泉水中の Na⁺ は増加し Ca²⁺ は減少するというようなイオン交換作用の行われることが考えられる。古奈地区では、層理に沿う「よこ」の湯脈の他に断層砕裂帯が非常に有力な「たて」の湯脈となつて温泉水の上昇通路となつている。その上昇速度は長岡地区に比較すれば遙かに大きく、従つてイオン交換を充分に行う暇がないのであろう。その結果、温泉水中の Ca²⁺ は左程減少せず、Na⁺との相対的な量は長岡地区よりも大きいものとなる。

両地区の場合とも、温泉水に混入する冷地下水も、上に述べたと同じようなイオン交換を受けるであろうから、採取される温泉水においては、Ca²⁺ 含量に対する Na⁺ 含量は一段と大きくなる。

溶存物質総量の大小は、冷地下水の混入量が最も大きく影響するであろう。

長岡地区の南部では、古奈地区における断層碎裂帯の代りに、江ノ浦凝灰岩層の撓曲軸に沿う裂罅が存在していて、古奈地区と同じような現象が起つていると考えられる。

ロ．大仁温泉の化学性

修善寺温泉の東北方には、大仁温泉が存在する。地質の項で述べたように、大仁鉱山附近には、南北に走り南に沈下する背斜軸があり、湯ヶ島層群下部の湯ヶ島変朽安山岩類が露出している。鉱山の坑内では岩株と思われる石英安山岩が認められ、温泉水はその割目より湧出している。その主要化学成分は第5表に示す通りである。

ハ．修善寺温泉と伊豆長岡温泉、大仁温泉との比較

修善寺温泉の地質構造と化学性については、これ迄述べてきた通りであるが、伊豆長岡温泉及び大仁温泉と比較してみよう。

構成地質について見ると、

大仁温泉 湯ヶ島層群下部、湯ヶ島変朽安山岩類中の石英安山岩（岩株？）の割目より湧出

修善寺温泉 湯ヶ島層群上部、石英安山岩質の修善寺白色凝灰岩類中を層理に沿って上昇

伊豆長岡温泉 断層によつて軽石質の江ノ浦凝灰岩層に達し、その層理に沿って上昇

地質的にこのような違いのある温泉の化学成分を比較して見ると、第5表（折込参照）に示すようになる。即ち、 $\text{Na}^+\text{mval}\%$ は伊豆長岡温泉→修善寺温泉→大仁温泉の順に小さくなり、 $\text{Ca}^{2+}\text{mval}\%$ は上記の順に大きくなる。これは、温泉水とイオン交換を行う岩層の有無、その作用の大小によるものと考えることができよう。

即ち、伊豆長岡温泉の場合は江ノ浦凝灰岩層が、イオン交換作用を行う岩層である。修善寺温泉の場合は修善寺白色凝灰岩層が割合に透水性を有し、その岩質も石英安山岩質なので、その中を流動する温泉水とイオン交換を行い、温泉水中の Ca^{2+} 含量が減少し Na^+ 含量が増すことが考えられる。

溶存物質総量は、大仁温泉が最も大きく、伊豆長岡温泉が最小である。これは冷地下水の混入が大きく影響するものであろう。

このように、各温泉水に含まれる Na^+ と Ca^{2+} とを比較して見た限りでは、伊豆長岡温泉・修善寺温泉及び大仁温泉は、湧出途中で接する岩層とイオン交換反応を行い、また冷地下水の混入をうけて、本来はよく似た性質の温泉水が現在見られるような異つた性質を、各温泉地毎に示すようになると考えることができる。

然し、陰イオンについて考察して見ると、 $\text{Cl}^-\text{mval}\%$ は伊豆長岡温泉が最も小さく、修善寺温泉が最も大きい。また、 $\text{SO}_4^{2-}\text{mval}\%$ はその逆となり、修善寺温泉及び大仁温泉は $\text{SO}_4^{2-}\text{mval}\%$ よりも $\text{Cl}^-\text{mval}\%$ が大きく、湯ヶ島層群より湧出する温泉水の一般的な性質とは異つて、塩化物を主成分とし副成分として、硫酸塩を伴う形の組成を示すようになる。

この陰イオン含量の差異は、湧出途中で接する岩層が、修善寺温泉及び大仁温泉の場合は海成の湯ヶ島層群であることから、同層群中の化石海水の Cl^- が温泉水中に混入して来るものか、或いは Cl^- が元来そのような異つた含量を示し、温泉水は各温泉地毎にそれぞれ性質の異つたものなのか、現在の段階ではこれを明らかにし得ない。

湯ヶ島層群とはほぼ同時代で岩相においても類似しているいわゆる「緑色凝灰岩」が本邦には割合に広く分布しているが、その緑色凝灰岩中にはかなり塩分濃度の高い水が含まれていることが知られている⁶⁾。

採取された温泉水中の Cl^- が湯ヶ島層群中に含まれる同様の Cl^- によるものであり、大仁温泉、修善寺温泉及び伊豆長岡温泉の温泉水は本来は互いによく似た性質を有しているものとすれば、次の

ように考えることができる。

修善寺温泉の温泉水は、比較的多孔質な修善寺白色凝灰岩中を流動する間に、同岩層中の Cl^- をとり入れる。また附近の冷地下水も同じように Cl^- を含んだものとなる。地表に採取された温泉水は両者の混合したものであるから、 Cl^- の mval% は本来の温泉水より増加する。大仁温泉の場合は、 Na^+ 及び Ca^{2+} に見られるように、その受けるイオン交換作用は3温泉の中で最も小さい。これは結局、地層から温泉水への Cl^- の移動が小さいことを意味するのではなかろうか。大仁温泉が、岩株と思われる石英安山岩より湧出すること、また、湯ヶ島変朽安山岩類は修善寺白色凝灰岩類よりも一般に固結度が高いことは、イオン交換作用及び Cl^- の移動を小さくするものであろう。

伊豆長岡温泉は、イオン交換作用が3温泉の中で最も大きいのに、 Cl^- mval% が小さいことは江戸浦凝灰岩層中には湯ヶ島層群の場合のような化石水の Cl^- が存在せず、温泉水に混入する冷地下水も Cl^- に富んでいないものと考えられる。

6 む す び

今回の研究では、伊豆長岡温泉、大仁温泉及び修善寺温泉を扱ったが、伊豆半島にはその他に多くの温泉が湯ヶ島層群の分布区域に存在する。そのような温泉を調査検討して後に、はじめて湯ヶ島層群の地質構造とそれに伴う温泉水の化学性とを解明することが可能となるであろう。

終りに、終始御指導を賜った東京大学坂本峻雄教授、種々御便宜を計って下さった修善寺温泉野田八太夫氏他関係者の方々、主として化学的な方面で御助言をいただいた中央温泉研究所益子安化学部長・甘露寺泰雄所員に厚く感謝するものである。

文 献

- 1) 地質調査所 (1955): 5 万分 1 地質図巾 修善寺
- 2) 服部安蔵・武田義道・松本泰三 (1944): 鉱泉の触媒作用に関する研究 (第 8 報), 日本衛生化学会誌, 16, No. 1.
- 3) R. ISHIZU (1915): The Mineral Springs of Japan.
- 4) 厚生省衛生試験所 (1940): 日本鉱泉分析表, 衛生試験所彙報, 54.
- 5) 厚生省国立公園部 (1954): 日本鉱泉誌
- 6) 香山勲・横田陽子 (1956): 緑色凝灰岩の地球化学的研究, 地質雑, 62, No. 730.
- 7) 久野久・小池清 (1949): 伊豆修善寺附近の湯ヶ島層群について, 地質雑, 55, No. 641.
- 8) 益子安・宮松総介 (1953): 伊東温泉の化学成分の分類, 中央温泉研究所年報, 2.
- 9) 内務省衛生試験所 (1929): 日本鉱泉分析表, 衛生試験所彙報, 34.
- 10) 坂本峻雄・益子安・佐藤幸二 (1956): 温泉の地球化学的研究, 第 4 報 伊豆長岡温泉 温泉科学, 7, No. 4.
- 11) 角清愛・小野晃司 (1957): 日本地質学会関東支部総会討論会にて発表.