

平成7年6月

原 著

## 城崎温泉の構造と新泉源

京都大学大学院理学系研究科\*1, 大谷大学文学部\*2

西村 進\*1・桂 郁雄\*1, 西田潤 一\*2

(平成7年3月22日受付, 平成7年5月17日受理)

## Geological Structure of Kinosaki Spa and its New Hot Spring

Susumu NISHIMURA\*1, Ikuo KATSURA\*1, Junichi NISHIDA\*2

\*1 Faculty of Science, Kyoto University

\*2 Faculty of Literature, Otani University

### Abstract

Kinosaki Spa is situated in the northern part of Kinki District. It is one of the well-known hot springs in Japan. Geological and geophysical surveys evidenced that the location of springs and the flow of thermal waters in this area are controlled by the fault system.

A 500-m drilling into the estimated fracture zone found successfully a high-temperature spring at the Yakusi Garden of Onsenji Temple, western part of Yusima, Kinosaki.

### 1. はじめに

兵庫県の東北端円山川の支流大谿川の両側に散在する泉源をもつ城崎温泉は、約1400年前舒命天皇の時代に「鴻の湯」の自然湧出が認められたことに始まると伝える古くから親しまれてきた温泉である。その後養老4(721)年に「まんだら湯」が掘り出され、鎌倉時代に「御所の湯」、江戸時代になって「一の湯」、「柳の湯」、「地藏湯」がそれぞれ掘り出されて、現在の外湯が出揃った。城崎温泉の浴効と山川の美が次第に知れわたり、その名が広く知られるようになった。日清戦争の不況にあって68軒の宿屋も28軒と少なくなりさびれたが、山陰線の開通で、日々賑わってきた。大正14(1925)年の但後大震災により壊滅し廃墟となった後、復旧に努めまた繁栄したが、第二次世界大戦の影響、城崎内湯訴訟問題や、温泉ブームで栄枯盛衰の歴史をたどっている。

昭和6(1931)年、当時の京都大学理学部松山基範教授、昭和24(1949)年同瀬野錦蔵教授の泉源

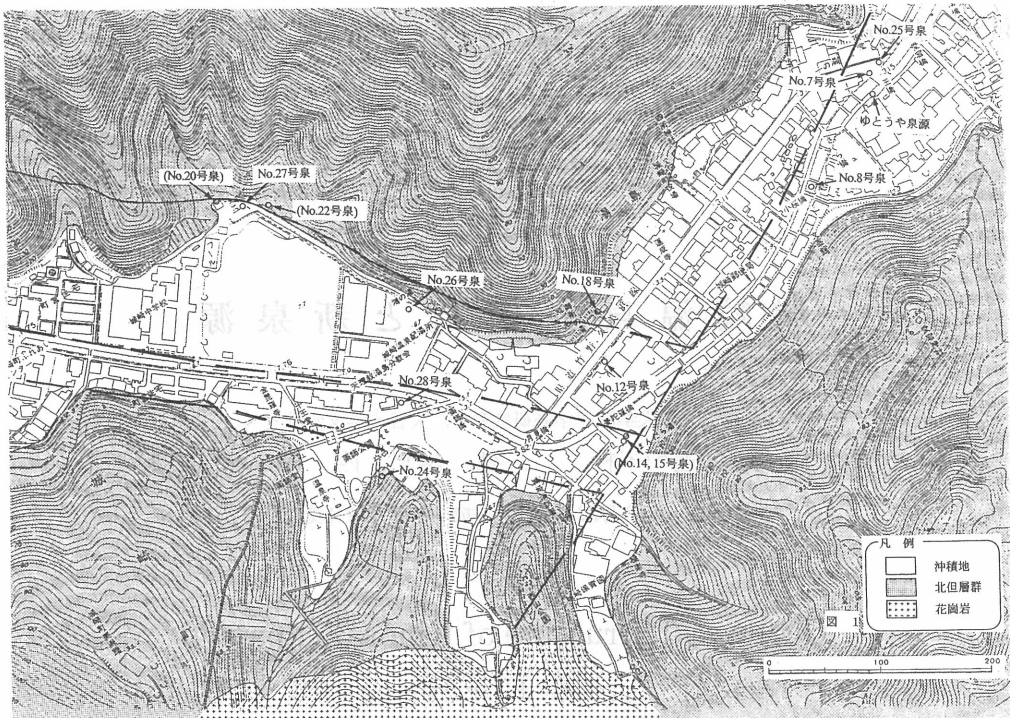


図1 城崎温泉近傍の地質および城崎現在利用泉源。

ただし、( ) のものは現在利用していない。

調査が実施され、その結果、9本目の掘さく井(泉源番号20号)の成功をみて、昭和31(1964)年10月旅館内湯配湯が実施された(泉源分布を図1に示す)。その後、更に21~23号の掘さく井が掘られた。昭和38(1963)年から昭和40(1965)年にかけて「城崎温泉新泉源掘さく拡充計画」が同吉澤 甫、初田甚一郎両教授のもと筆者の一人も参加して実施された。

昭和47(1972)年3月15日のボーリング(泉源番号24号)が成功し、それをもとに集中配湯管理施設が10月に完成した。これらの経緯は昭和54(1979)年11月城崎町温泉課によって、「城崎温泉と温泉集中配湯管理施設」という冊子にまとめられている<sup>1)</sup>。

昭和59(1984)年、60(1985)年、泉源統合について、筆者らを中心として調査を始め、その成果として、16番目の掘さく井(泉源番号25号)を一の湯の前、17番目の掘さく井(泉源番号26号)を鴻の湯の南横に成功させて、更に昭和63(1988)年末、20号、22号泉源の統合井として27号泉源を中学校裏で成功させた(西村、1994)<sup>2)</sup>。これらの経緯については平成3(1991)年3月に「城崎温泉と温泉集中配湯管理施設」(城崎町温泉課)の冊子

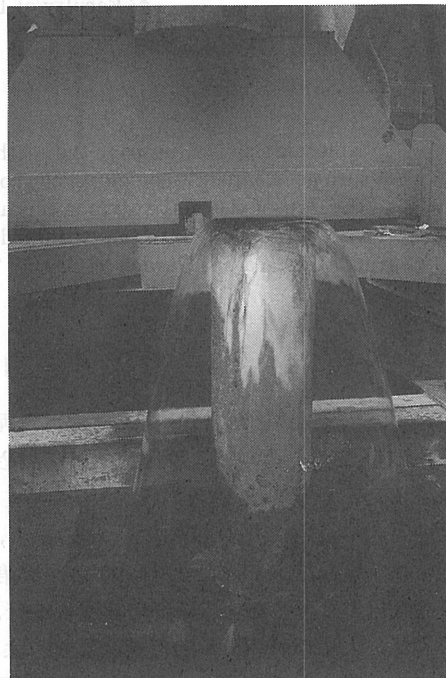


写真1 城崎第28号泉源の自噴状況

にまとめられている<sup>3)</sup>。

平成5(1993)年度「温泉の多目的利用にあわせた湯量の確保について」の計画で、もう一度、城崎町の温泉構造を見直すこととし、詳細な地表地質調査、放射能探査、高密電気探査を実施した。その結果をもとに、薬師公園北東大谿川右岸で、28号泉源の掘さくを試み、平成6(1994)年10月500mの掘さくが完了し、120 l/分、67℃の自噴をみるに至った(写真1)。ここに、これらの成果をまとめて報告する。

この報告に関して城崎町には多くの資料や便宜をはかっていただいた。ここに感謝する。

## 2. 城崎町近辺の地質

### 2.1 地表地質調査

城崎町では特に、湯島区はほとんど家で密集していて、露頭が少ないことから、地質調査はきわめて難しい。しかし、出来る限りの地質の調査を行い、月見橋から南西にのびる谷奥に花崗岩が露出している他、湯島区の北西はたる橋近辺から竹野町にかけて花崗岩が露出することを見出し、それらを覆って北但層群、更にその上部に大谿川沿いに薄い沖積層が認められる。月見橋南西の谷奥では、旅館の改築に伴う崖の露出や、庭の崖の花崗岩風化部があり、不整合で北但層群が覆っていることが認められた。以前の調査では、ここでは断層で花崗岩と北但層群が接しているとされ、行者山断層の露頭と考えられていたが、それをここに訂正することにした。

18号泉源と14、15号泉源の干渉が、昭和38~40(1963~1965)年の調査で認められ、昭和63(1988)年27号泉源の揚湯テストのとき、660 l/分を汲み出したとき、20号泉源で水温の低下、18号泉源と26号泉源で水位低下という干渉が認められた。しかし、このとき大谿川をはさむ24号泉源には干渉しなかった。

城崎大会議会館前の大谿川で、2、3の湧き水が認められる。昭和38~40(1963~1965)年の電気探査(比抵抗法)で、現在の町営住宅と大谿川の間に、比抵抗の不連続が認められた(当時この位置と前記の月見橋の南西の谷奥での花崗岩の露頭を結び、行者山断層とされた)。24号泉源で332 m深度、27号泉源では202 m深度で、花崗岩に達している。平成3(1991)年城崎中学校校庭での増改築のボーリングによる地質調査及び大谿川をはさむ保健福祉センター建築に伴うボーリングによる地質調査の結果、北但層群に達する深度に差があることが認められている。新泉源28号の掘さくでは115 mで花崗岩に達し、24号、27号とともに深度差があることがわかった。

### 2.2 放射能探査

天然に存在する放射性核種である $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ は、気体元素のため地中での移動性が高く、また地下水、温泉水に過飽和に溶存し、断層面に沿って上昇する。しかし、 $^{220}\text{Rn}$ は半減期が51.5秒と短く、地下を遠くまで移動するのは主として $^{222}\text{Rn}$ (半減期3.8日)である。その娘元素である $^{214}\text{Pb}$ や $^{214}\text{Bi}$ は断層破碎帯の被覆層に集積しやすい。これらが出す $\gamma$ 線を利用して、地中ガスや地下水の移動する断層の位置や走向を推定することが可能である(Hatuda, 1954; Nishimura and Katsura, 1990)<sup>4,5)</sup>。今回の $\gamma$ 線測定には携帯用シンチレーションカウンター(Aloka TCS-131)を用いた。

$\gamma$ 線強度には、放射性元素の壊変に伴うゆらぎがあるので、通常は多くの読み取り値の平均値として求められる必要がある。今回は5秒ごとに12回読み取り、1分間に得られる12回の値の中から最大値と最小値を除いた10個の平均値をその測点での値とした。

広い地域の放射能探査を行う場合、地表 $\gamma$ 線測定で得られる $\gamma$ 線強度は、測点下の狭い範囲の

放射性物質の出す $\gamma$ 線量と測点近傍に広く分布する岩石の出す $\gamma$ 線量の和である。

測線を図2に示す。測点は15m間隔である。結果を図3に示す。その結果、

- ①月見橋-西山公園測線では、測点1, 2の所、測点10で極大値、測点17~31は花崗岩地域の高放射能域が見られる。
- ②城崎中学校グラウンド-温泉寺測線(測線A)では、測点15, 16及び測点20, 22に極大値が見られる。
- ③27号泉-鴻の湯線では、測点1~20はほぼ高放射能線上にある。
- ④町営住宅-学校給食センター測線では、測点22に極大値、他は山地に入って高放射能域が見られる。
- ⑤城崎大会議館横測線(測線B)では、測点11と12, 18及び23で極大値。
- ⑥西測線では測点9及び13出極大値。

が認められた。

### 2.3 高密度電気探査

高密度電気探査はリニアメントや地表地質踏査にて推定された断層のより詳細な位置および地下数10mまでの比抵抗構造を把握するために実施するものである。断層に沿って粘土の存在や温泉水などの変質により、通常、低比抵抗値を示すことが多い。

今回は、建物の密集および人工的ノイズのため他の物理探査の手法はとれず、高密度電気探査を採用したが、300mの測線をとることがやっとであった(図2)。測線Aは測線長300m電極間隔6m(電極番号26~30の間では6mではない)で51本、測線Bは測線長300m電極間隔6m(電極番号34~35の間は12m)で50本であった。

2本の電極棒から地盤に交換直流を流したときに形成される他の2本の電極の電位分布から地

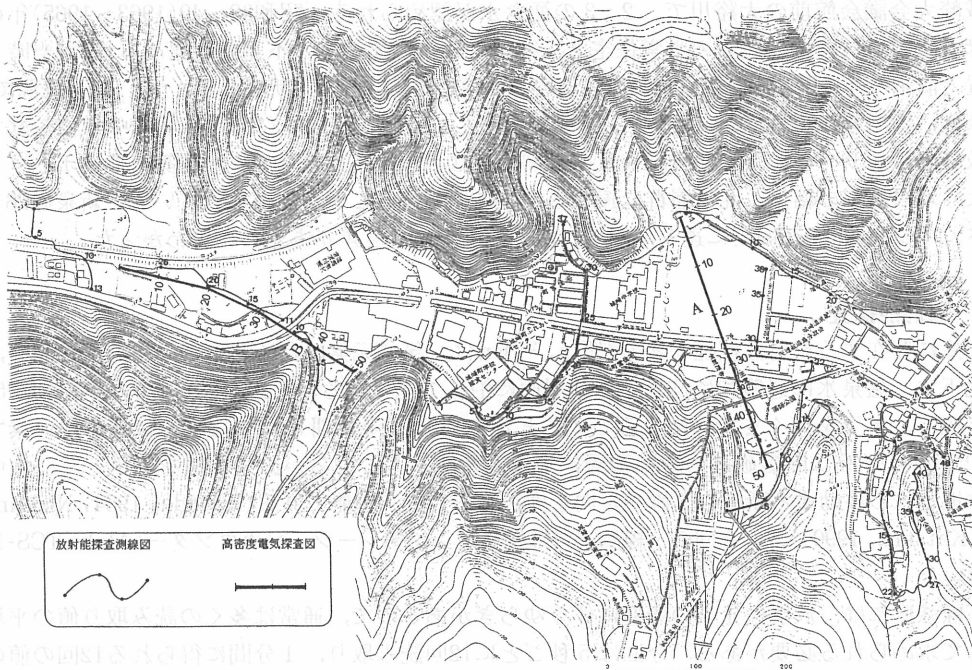


図2 放射能探査ならびに高密度電気探査測線測点図



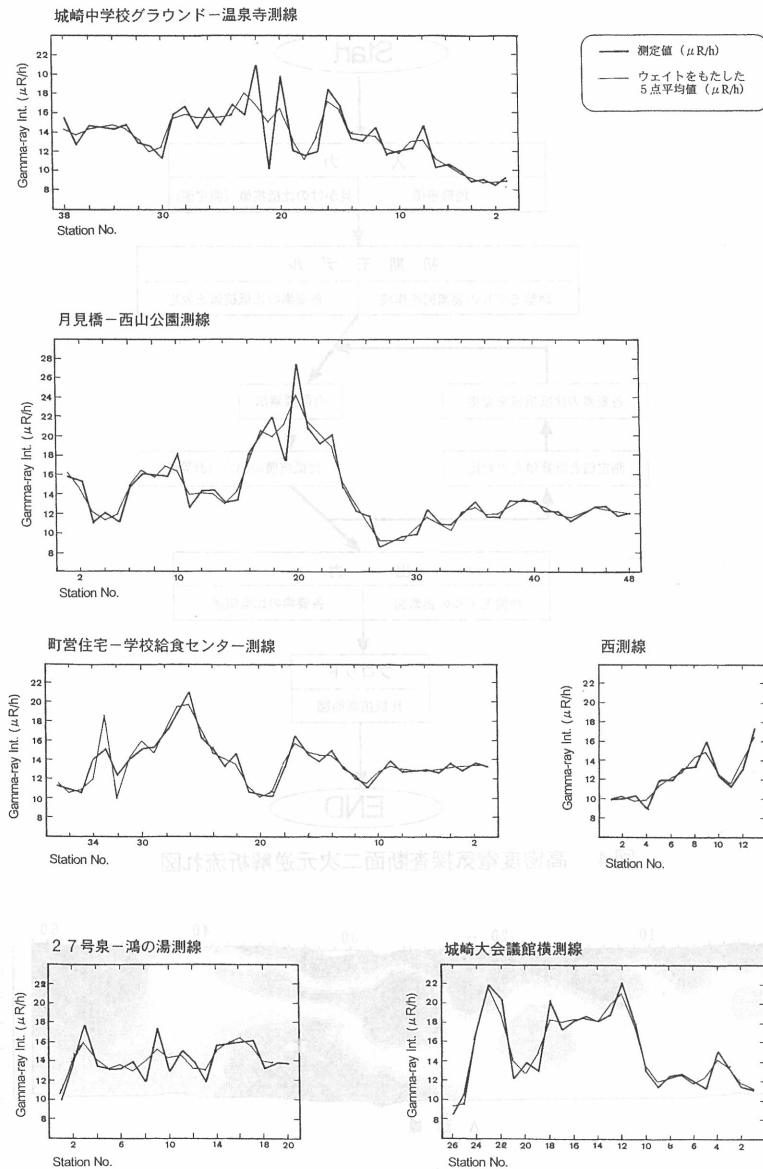


図3 放射能探査結果

下の比抵抗値を求める方法で、ウェンナー電極配置とエルトラン電極配置の各測定値からみかけの比抵抗値を求め、その結果を二次元解析した。その流れ図を図4に示す。そのインバージョンの結果を図5に示す。

A測線の断面から、①測点30の所(駐車場)で大谿川をはさんで基盤深度が異なる。その北側で低い比抵抗の部分が見られて、②測点40の所にも比較的抵抗値の低い部分が見られる。

B測線の断面から、①測点34と35の間に比抵抗域をみる事ができる。②測点34と35で基盤の比抵抗値が異なる。

以上のことからA測線の測点30~31の所とB測線の測点34と35の間に断層が走るものと解析される。

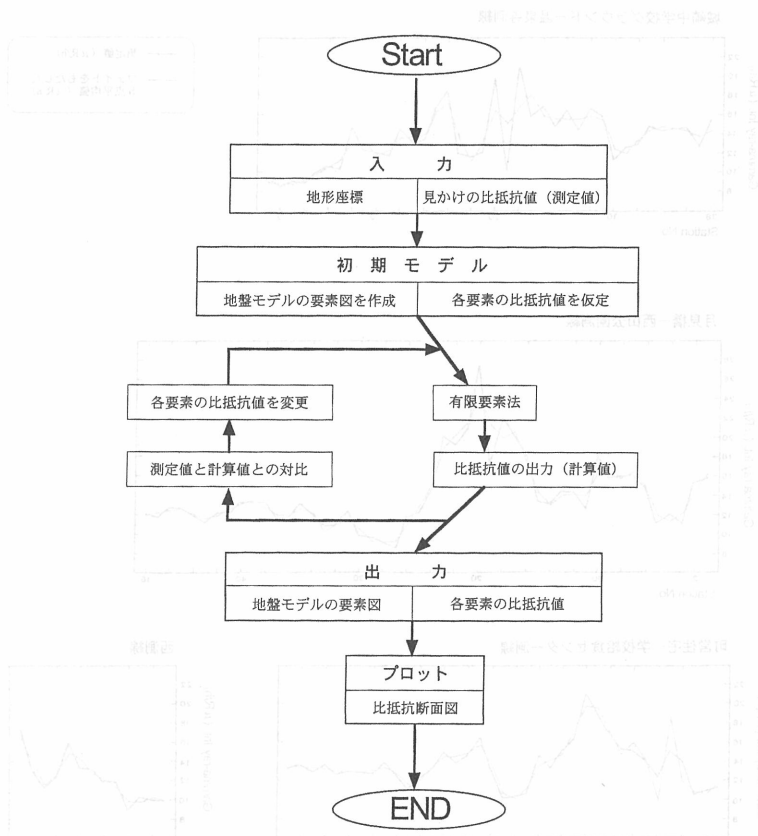


図4 高密度電気探査断面二次元逆解析流れ図

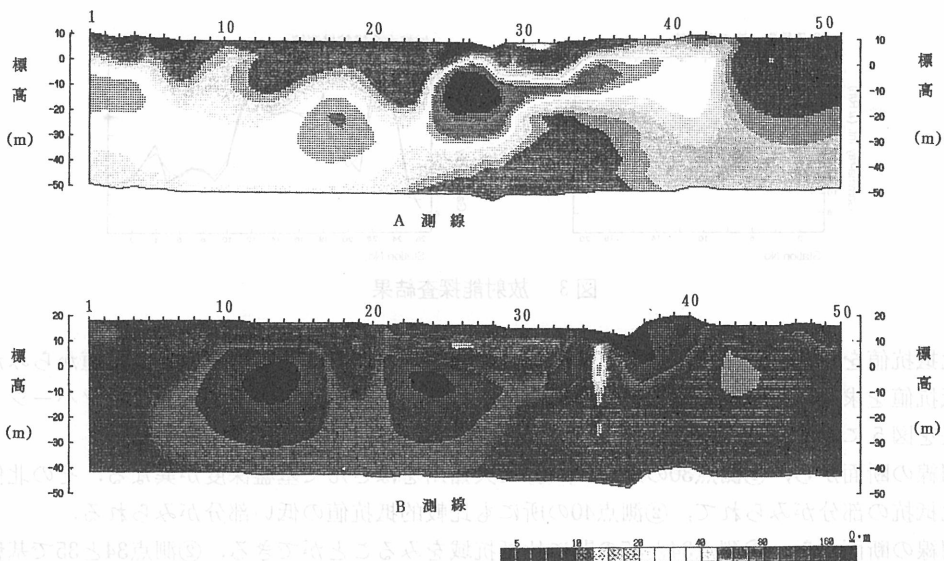


図5 比抵抗断面図

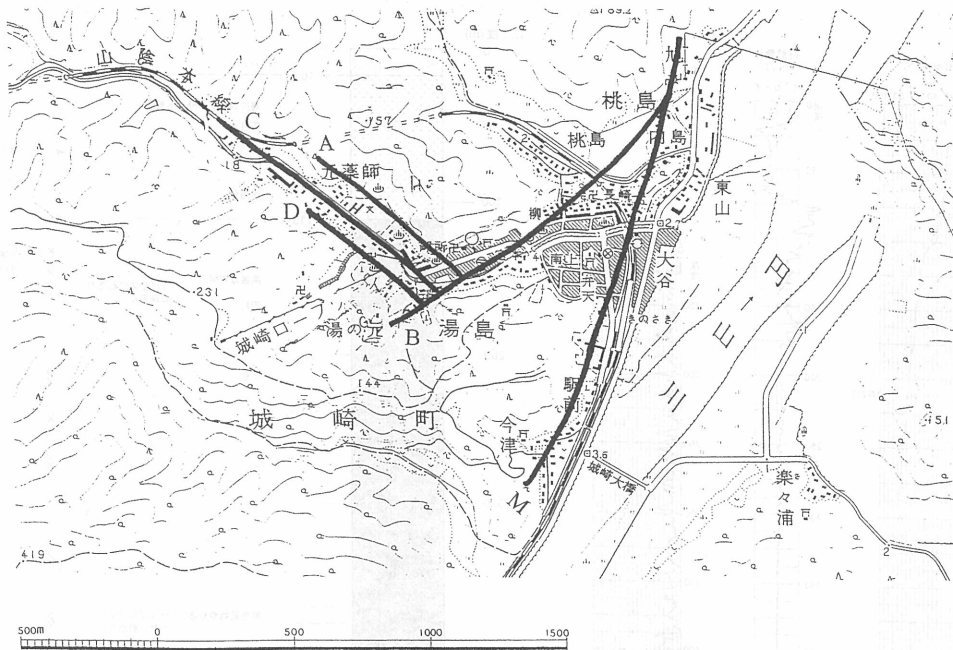


図6 断層図

### 3. 城崎温泉の泉源を規定している断層

地表地質踏査, 放射能探査, 高密度電気探査, 温泉掘さく, 建物の基礎調査の結果から, この城崎の高温泉源は断層によって規制されることがわかり, 図6に示す断層Mは円山川沿いのもので, これは多くの地質調査, 温泉掘さくの結果からみて, この断層の東では浅いところに高温の部分のみられない. この地域では温泉も少なくとも1000m程度掘さくしなければならない. 断層Bは桃島での物理探査, 湯島と桃島間の峠での露頭, まんだら湯の南と極楽寺の露頭から認められ, これより南は円山川の東側ほどではないが(豊岡地域温度勾配(未公表)からみて), 浅部に高温泉源が認められない. 断層Aは, まんだら湯, 中学校, 27号泉源にかけて泉源の干渉の状況からみて高温泉源の得られる断層と認められる. 今回, 断層Cが新しく調査によって認められた. 種々の探査からみてこの断層が高温泉のもっとも源となる断層でないかと推察された. また, 城崎消防署, 24号泉源, 薬師公園の山すそに沿う小断層も認められた. しかし, 行者山断層は存在しないことがわかった.

### 4. 新泉源の掘さく

上記探査の結果24号泉の老朽化に伴い, 24号泉の代わりに新しく掘さくすることを決め, 図1の第28号泉源のところに500mの掘さくを行った.

平成6(1994)年7月20日掘さくを開始し, 途中8月13日掘さくを2日間休止して温度検層, 10月5日に500m掘さく完了, 10月7日温度検層と電気検層を実施した(図7). 地質柱状図を図8に示す. この場所での着盤は, 16.5mで北但層群に達し, 115m深度で黒雲母花崗岩に達したが, ほとんど全体にわたって破碎帯を掘さくしているものと思われる. その中でも深度130~165m間, 210~280m間, 330~340m間, 370~380m間, 430m以深でとくに破碎が多く, とくに490m前後

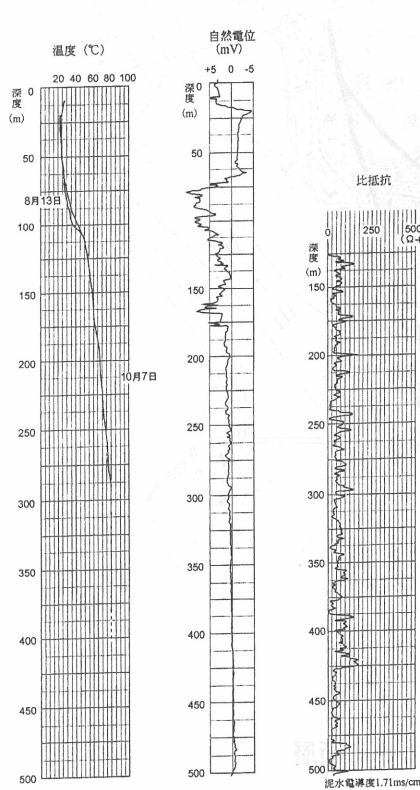


図7 第28号泉検層図

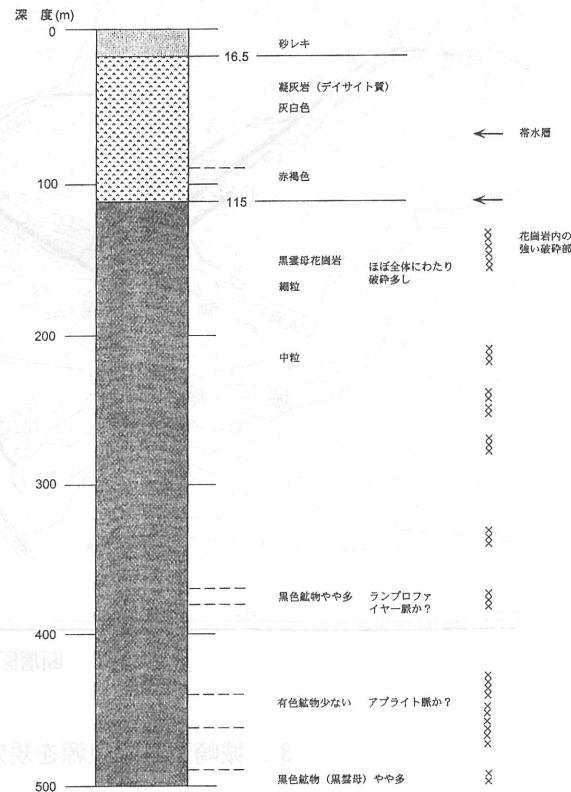


図8 第28号泉地質柱状図

で逸水した。孔内温度は115m深度の花崗岩に当たるまで急上昇し、北但層群がキャップロックになっていることを示し、115mから300mはほぼ141℃/kmの勾配で、以深はほぼ81℃で500mまで一定であった。水洗後、自噴を始めガスを含み300 l/分、70℃程度であったが次第に減少し、ガスも含まなくなり揚湯試験時には120 l/分、69～67℃程度であった\*。揚湯テストにかかると24号泉源は自噴を停止し水位を下げている、600 l/分の揚湯をすると27号泉源の水位がわずか下がることがわかった。このことは24号泉と新泉源28号泉源は干渉しあうが、その干渉は直接的干渉よりも影響が小さい。27号泉源の水位低下は、多分新泉源が過剰揚湯となり浅部がわずか干渉し、深部は干渉しない(温度変化からみて)ことがわかった。

以上のことから、新泉源に関しては①新泉源の状況から見て、城崎温泉のもっとも高温部は断層Cに沿ったものである。②新泉源は断層Cのわずか温泉寺側で掘さくしたことがわかった。

## 5. まとめ

- ①城崎温泉を規制している断層群の位置を明確にすることができた。
- ②新しく決めた断層Cが城崎温泉でもっとも優勢な温泉脈をなしている。
- ③断層Mの東側と西側では地下の温度構造が全く異なる。更に断層Bの北側に高温度の泉源が集

\*この自噴は11月中旬から温度上昇し、自噴量が多くなりだし、1月17日兵庫県南部地震後80℃に上昇し、4月中旬でもそのままである。この地震と近畿地方北部の温泉の出方の変化は、まとめて別に報告したい。



中する。

④高温の泉源は新泉源の温度検層の結果、北但層群が花崗岩の上部を覆っていると熱伝導が悪い地層であるので、良好なキャブロックとなる。このことから高温泉源の得られる北側の範囲がある程度決まる。

などが理解され、今後の温泉保護の検討ができる。

## 文 献

- 1) 城崎町温泉課：城崎温泉と温泉集中配湯管理施設. p.16, 1979
- 2) 西村進：城崎温泉と城崎近辺の温泉. 温泉科学, **43**, 128-135, 1994
- 3) 城崎町温泉課：城崎温泉と温泉集中配湯管理施設(改訂版). p.25, 1992
- 4) Hatuda, Z.: Radioactive method for geological exploration. Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B., **21**, 231-271, 1954
- 5) Nishimura, S. and Katsura, I.: Radon in soil gas: Applications in exploration and earthquake prediction in geochemistry of gaseous elements and compounds. E. A. Durrance, et al. eds., pp.497-533, Theophrastus Pub. 1990

### Abstract

The area studied is located in the northwestern part of Naga Park. Several hot springs are distributed in this area. Drilling data show that the subsurface geology of this area consists of Mesozoic and Cenozoic formations. The Kinugawa granite is tilted up with Quaternary and Tertiary sediments. The Tertiary formations are composed of sandstone, sandstone and silt. The thermal water are mainly reserved in the Tertiary formations. The total amount of sparging out hot waters is more than 2300 L/day. The temperature of thermal water is ranging from 57°C to 63°C. Chemical compositions of the thermal water were classified into two types as sodium-chloride and sodium-bicarbonate types. It is concluded that the Sata's fault zone line, which coincides with the western boundary of Kinugawa granite may have close relation to the distribution of subsurface temperature.

### おわりに

本論文は、城崎町の温泉資源の調査の一環として、城崎町温泉課の協力を得て、城崎温泉の構造と新泉源の調査を行ったものである。調査の結果、城崎温泉の構造は、北但層群が花崗岩の上部を覆っており、良好なキャブロックとなっていることがわかった。また、新泉源の調査結果から、高温泉源の得られる北側の範囲がある程度決まることがわかった。これらの結果は、今後の温泉保護の検討に役立つものと思われる。また、城崎温泉の構造と新泉源の調査結果は、城崎町の温泉資源の調査の一環として、城崎町温泉課の協力を得て、城崎温泉の構造と新泉源の調査を行ったものである。調査の結果、城崎温泉の構造は、北但層群が花崗岩の上部を覆っており、良好なキャブロックとなっていることがわかった。また、新泉源の調査結果から、高温泉源の得られる北側の範囲がある程度決まることがわかった。これらの結果は、今後の温泉保護の検討に役立つものと思われる。