

## 坑内検層から推定される坑井内での温泉水挙動 —弟子屈町川湯調査井を例として—

### Flow of thermal water in well inferred from well logging —Case study of Kawayu test well in Teshikaga town—

鈴木 隆広・高橋 徹哉・藤本 和徳  
Takahiro Suzuki, Tetsuya Takahashi and Kazunori Fujimoto

#### Abstract

Some kinds of well loggings are available for understanding complex flow of thermal water discharged from several depths .

Temperature logging, electric conductivity logging and spinner logging were examined in Kawayu test well. Well loggings revealed that aquifer of thermal water is located at the depth of 690m and 890m. But the thermal water flow into the well at 660m, 765m and 890m.

Almost of the thermal water of 690m flow into at 660m, and the rest at 765m. All thermal water of 890m flow into at 890m.

キーワード：温泉水, 温度検層, 電気伝導度検層, 流速検層, 化学組成, 北海道

Key words: thermal water, temperature logging, electric conductivity logging, spinner logging, chemical composition, Hokkaido

## I はじめに

一般的に温泉ボーリングでは、坑井内の保護のためにケーシングパイプを挿入する。最終仕上げの段階では、温泉水が賦存していると推定される箇所にストレーナーパイプを配置する。地熱兆候のある地域で掘削される深度の浅い温泉井を除くと、深度1000m級の温泉ボーリングでは、ストレーナーパイプの長さが数100mになることが多い。

また、ボーリング井からの温泉の湧出(もしくは揚湯)に着目すると、湧出深度が1箇所の井戸もあれば、複数箇所の井戸もある。複数箇所から湧出する場合、それぞれの箇所から生産される温泉水の温度や泉質は、類似することもあれば、異なることもある。複数箇所からの温泉水の流入量配分は、各湧出層の能力(静水位、比湧出量など)により決まるため、人為的に湧出量(揚湯量)を変化させることで湧出量配分も変化することがある。

当所では1998年に弟子屈町川湯地域で温泉ボーリング調査を行い、坑井地質や温泉資源の分布などの調査結果については別に報告した(鈴木ほか;印刷中)。鈴木ほか(印刷中)では、掘削状況や坑内物理検層の結果から、深度690m付近に主帯水層(以下:主帯水層)が、深度890m付近に副帯水層(以下:副帯水層)があると報告している。

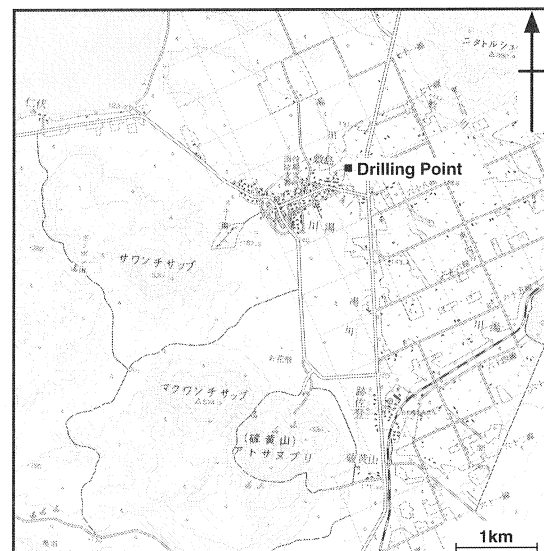
ここでは、揚湯試験結果と坑内物理検層の結果、および温泉水の化学組成を報告するとともに、これらの手法を用いた坑井内での温泉水挙動について考察する。

## II ケーシングプログラムと揚湯試験

第1図に調査井の位置を示した。以下に本調査井のケーシングプログラムと揚湯試験について概要を述べる。

### II. 1 ケーシングプログラム

ケーシングプログラムを第2図に示した。ケーシング状況は、深度54.27mまでが250A SGP, 深度227.42mまでが200A SGP, 深度662.31mまでが150A SGPをそれぞれ挿入し、2栓式フルホールセメンチングを行った。以深は深度1080mまで120A SGP(当所特注管)を挿入し、150Aとの接続・遮水にゴムリングパッカーを



第1図 川湯調査井の位置 (国土地理院発行5万分の1地形図「屈斜路湖」を使用)

Fig. 1 Location of Kawayu test well.

使用して坑井を仕上げた。

逸泥現象(深度690m)および温度検層・自然電位検層の異常を示す深度(深度690mと深度890m)に、温泉水の賦存層が存在すると推定し、より高温の温泉水を得るために、深度690mを外して858m～942mと954m～1074mの区間にストレーナーパイプを配置した。

坑井仕上げ後、エアリフト法による予備揚湯試験や水中モーターポンプによる段階揚湯試験を行なったが、十分な温泉湧出には至らなかった。このためストレーナーパイプの最上部よりも浅部(深度858m以浅)で温泉湧出可能性のある箇所をスプリッターによって開孔した。開孔区間は深度764m～772m, 769m～772m, 777m～780m, 782m～785m, 813m～816m, 817m～820mの計6ヶ所とした。

## II. 2 揚湯試験

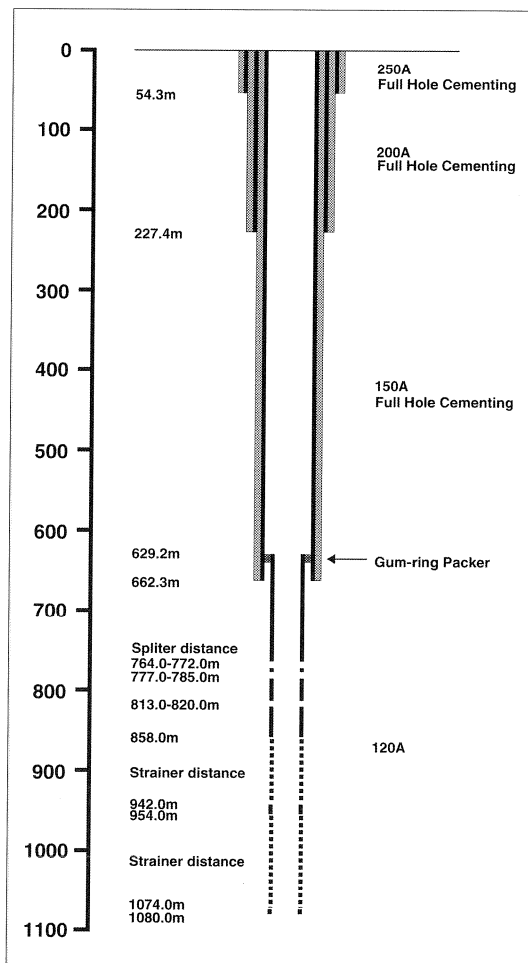
### II. 2. 1 スプリッターによる開孔前

スプリッター開孔前の揚湯試験経過を第3図に示した。揚湯試験の際は、動水位と泉温を連続自動記録とし、揚湯量は、容器を用いて計測した。揚湯量は揚湯開始時に8L/minに調整したが、水位が急激に降下したため、試験開始5時間後に3L/minとした。その後は水位が回復したため、バルブを徐々に開き、29時間後には21L/minの揚湯量となった。

この試験結果を動水位、揚湯量、泉温の関係として示したのが、第5図である。静水位0mと揚湯量16L/min時の動水位-265mから得られる比湧出量(第3図で著しく、水位変化する前の揚湯量を使用)は、 $(16-0)L/min \div (0-(-265))m = 0.06L/min/m$ となり、この数値は副帯水層の湧出能力を示していると考えられる。

第3図で興味深いのは、27時間後の水位の変化である。この変化の1時間程前にバルブを若干開放した。この結果、揚湯量は増加して水位が低下した。しかし、低下の途中でバルブを操作しないのに急激に水位が回復した。

この変化の原因は、スプリッター開孔後の比湧出量が開孔前と比べて著しく大きくなったことを考慮すれば、深度890mにある帯水層(副帯水層)の湧出能力が増加したと考えるより、主帯水層から湧出する温泉水



第2図 川湯調査井のケーシングプログラム  
Fig. 2 Casing program of Kawayu test well.

が、ケーシングパイプの外側を通過して下降し、坑井内に流入してくる経路が形成されたためと考えた方が良いと思われる。

### II. 2. 2 スプリッターによる開孔後

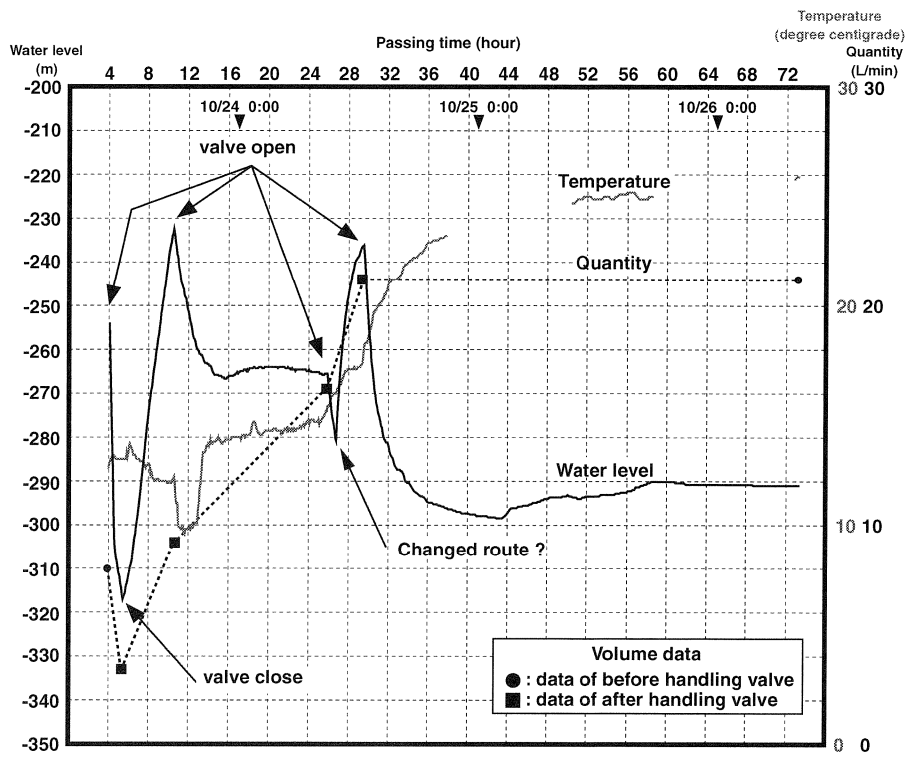
スプリッター開孔後の揚湯試験経過を第4図に示した。揚湯試験の際は、動水位、泉温および揚湯量を連続自動記録とした。試験は揚湯量を5段階に変えて行った。

この試験結果を動水位、揚湯量、泉温の関係として示したのが、第5図である。自噴状態(静水位0.7mで7L/min)と段階5での揚湯時(動水位-69.0mで421L/min)から得られる比湧出量は、

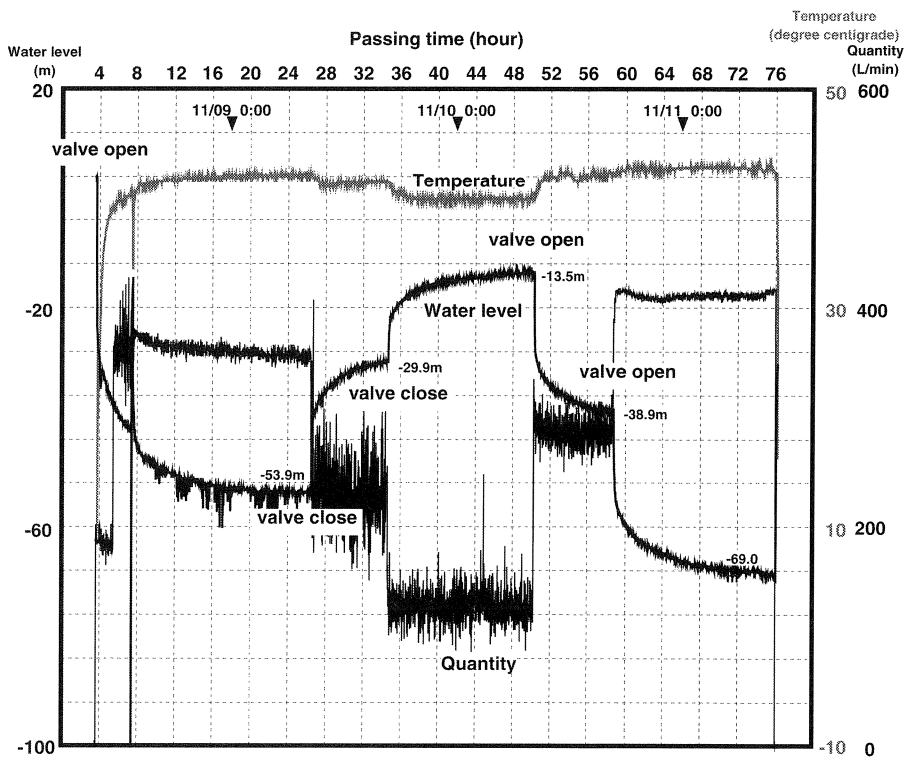
$$(421-7)L/min \div (0.7-(-69.0)) = 5.94L/min/m$$

第1表 坑井と温泉水の状況(スプリッターによる開孔後)  
Table 1 Circumstance of well and thermal water(after splitting)

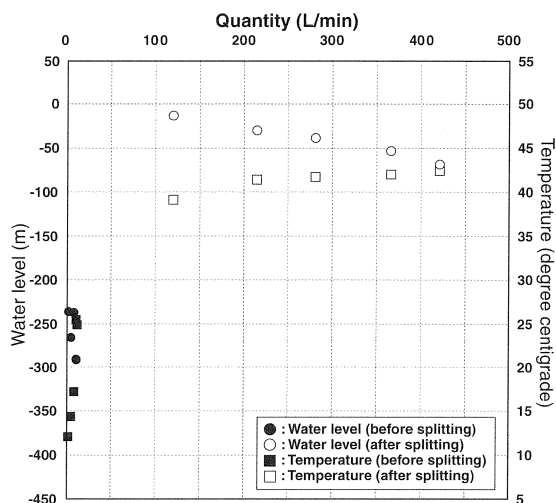
No	Date	Standing time (hour)	Quantity (L/min)	Water level (m)	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Well logging	Analysis of thermal water
No.0	1998.11.11	0	425	-69.0	41.4	1.78	×	○
No.1	1998.11.11	4	0	-	-	-	○	×
No.2	1998.11.12	22	0	-2.9	-	-	○	×
No.3	1998.11.16	118	0	0.3	-	-	○	×
No.4	1998.11.29	430	7	flowing	9.0	1.29	○	×
No.5	1999.1.19	2924	20	flowing	23.4	1.27	○	○
No.6	1999.3.29	3168	23	flowing	25.6	1.41	○	○
No.7	1999.5.21	4584	45	flowing	30.5	1.54	×	○



第3図 スプリッターによる開孔前の揚湯試験経過  
Fig. 3 Result of pumping test before splitting.



第4図 スプリッターによる開孔後の揚湯試験経過  
Fig. 4 Result of pumping test after splitting.



第5図 動水位-揚湯量-泉質ダイアグラム  
Fig. 5 Water level-Volume-Temperature diagram.

となり、この数値は主帯水層と副帯水層の湧出能力を合わせた能力を示していると考えられる。

### III 温泉水挙動

本調査ではスプリッターによる開孔後に実施した揚湯試験の後、坑井内の経時変化を明らかにするために、温度検層、電気伝導度検層および流速検層を実施するとともに、温泉水の泉質分析を適時行なった(第1表)。

これらの各坑内物理検層結果と泉質分析結果は、類似性が認められるものの全て異なっており、この結果から温泉水は時間の経過とともに坑井内で流動していることが考えられる。以下からは各調査項目別に述べる。

#### III. 1 温度検層と電気伝導度検層

第6図に温度検層と電気伝導度検層の結果を示した。左端(No.1)が揚湯停止直後、右端(No.6)が停止後132日間(3168時間)放置した状態での測定結果である。揚湯直後は水位が地表面以下であったが、水位が徐々に上昇して118時間後(No.3)~430時間後(No.4)の間に自噴を始め、自噴量は徐々に増加した。湧出温度は自噴量の増加に伴い上昇した。

温度検層結果に着目すると、全結果について深度680~710mに折線状の温度異常が認められ、それ以深は深度とともに直線的に温度が上昇している。一方、それ以浅をみると、No.3以前は温度が低下して真の地温に近づいている。No.4以降は自噴によって坑井内が加温され、温度が上昇している。これらのことから、以下のことが推定される。

- (1)折線状の温度異常深度(680~710m)は、主帯水層に相当する。
- (2)温度異常を示す深度以深の流体の動きは、非常に少なく無視できる程度である。

(3)上記の2項から自噴している温泉水は、ほとんどが主帯水層の温泉水である。

電気伝導度検層結果に着目すると、電気伝導度の値は大きく1-2mS/cm, 6-7mS/cm, 8-9mS/cmの3つに分かれる。各電気伝導度値の境界は階段状に変化し、その深度は全て異なっている。しかし、変化のパターンは類似しており、深度890m付近に8-9mS/cmのピーク、深度660m以浅は1-2mS/cm、その間に6-7mS/cmが出現する。これらのことから、以下のことが推定される。

- (4)深度890m付近には8-9mS/cmの電気伝導度を持つ温泉水が存在する(=副帯水層)。
- (5)深度690mの温泉水は1-2mS/cmの電気伝導度を持つ(=主帯水層)。
- (6)6-7mS/cmの電気伝導度を示す区間は、両温泉水の混合層に相当する。

#### III. 2 泉質分析

各段階で採取した温泉水の化学組成を第2表に示した。No.0は水中モーターポンプ揚湯時に、No.5~7は自噴状態で採取した。電気伝導度と主要イオン合計値は、ともに動力揚湯時が最も大きく、自噴状態では時間の経過とともに大きくなっている。

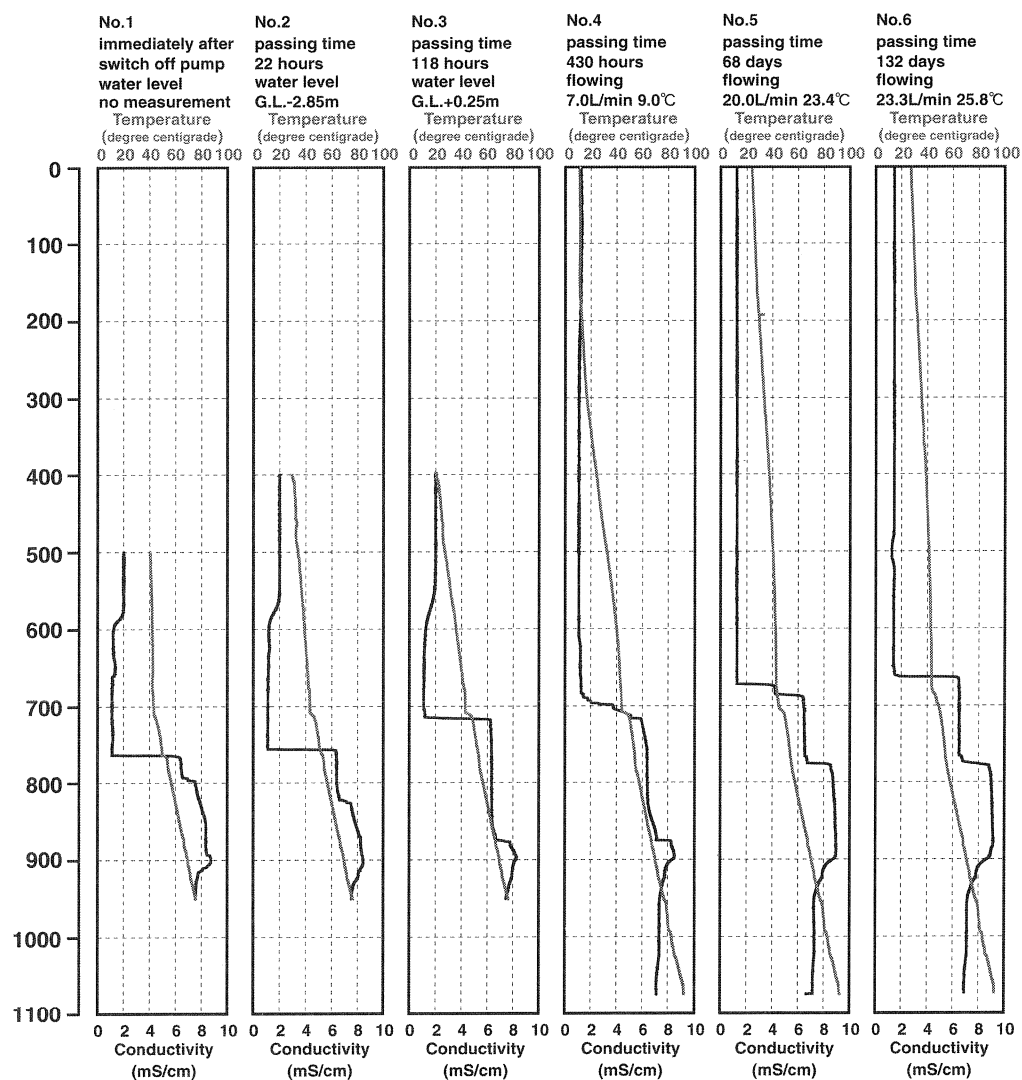
主要イオン合計値が最も小さい温泉水の化学組成は、前述の電気伝導度検層結果(第6図No.5)から、おおむね主帯水層の温泉水を示していると考えられ、その他の温泉水は主帯水層の温泉水に副帯水層の温泉水が混合していると考えられる。これらのことから、以下のことが推定される。

- (7)動力揚湯では主帯水層と副帯水層の両者の温泉水が湧出している。
- (8)自噴している温泉水は、始めは主帯水層の温泉水だけだったが、時間の経過とともに副帯水層の温泉水の混合量が増加してきている。

#### III. 3 流速検層

第7図に流速検層の概念図を示した。流速検層はスピナー法を用いた。計測時には23L/minの自噴があり、計測した速度からゾンデの降下速度を差し引いたものを自噴している流体の上昇速度とした。また、流速とスピナーの回転数には1次関数の関係が成り立つことから(第7図)、この式に各数値を代入して各深度での湧出量を計算した。

第8図に流量検層結果から計算した深度に対する湧出量をケーシング状況と併せて示した。その結果、深度630m~660mの区間で湧出量が増加している。この状況は一般的に考えれば、流体が深度660mで坑井内に流入し、深度630mで坑井外に流出していることになる。しかし、このような現象は考えにくいので、ケーシングパイプの内径が変化するために乱流が生じているか、



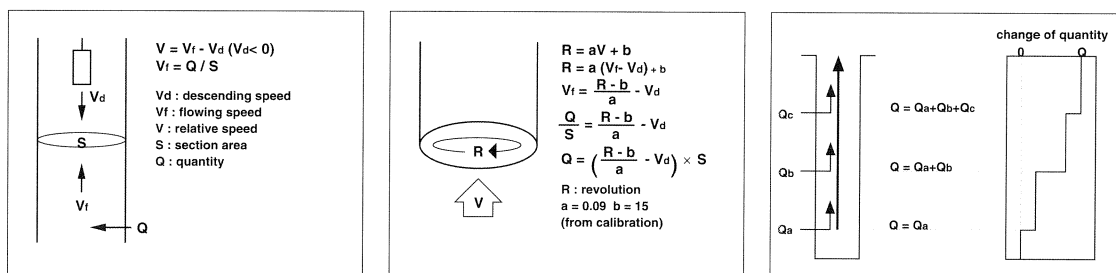
第 6 図 温度検層と電気伝導度検層の変遷 (スプリッターによる開孔後)

Fig. 6 Transition of temperature logging and electric conductivity logging(after splitting).

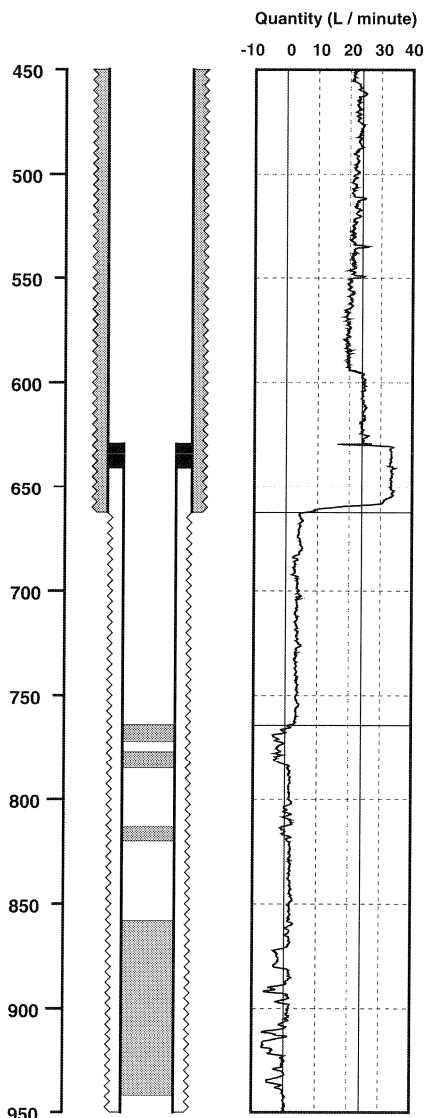
第 2 表 温泉水の化学組成

Table 1 Chemical composition of thermal water.

No	Date		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Total cation	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Total anion	Total ion
No.0	1998.11.11	mg/kg	350	21.2	36.9	5.2	413.2	425	221	122.0	768.0	1181.2
		mval%	84.42	3.00	10.21	2.37	100.00	64.49	24.75	10.76	100.00	
No.5	1999.1.19	mg/kg	227	14.8	18.8	2.4	263.0	260	130	112.9	502.9	765.9
		mval%	86.70	3.33	8.24	1.73	100.00	61.68	22.76	15.56	100.00	
No.6	1999.3.29	mg/kg	266	16.2	19.5	2.5	304.2	286	145	116.0	547.0	851.2
		mval%	87.90	3.15	7.39	1.56	100.00	62.12	23.24	14.64	100.00	
No.7	1999.5.21	mg/kg	289	18.6	22.4	3.1	333.1	313	159	125.1	597.1	930.2
		mval%	87.18	3.30	7.75	1.77	100.00	62.22	23.33	14.45	100.00	



第7図 流速検層の概念図 (左:坑井内の流速 中:流速と湧出量の関係 右:流量の変化  
Fig. 7 Concept of spinner logging (left:velocity of flowing fluid in well center:relation between velocity of flowing fluid and flowing quantity right:transition of flowing quantity).



第8図 流速検層から求めた流量の変化  
Fig. 8 Flowing quantity calculated from spinner logging.

流速計のキャリブレーションが不足しているためと思われる。よって、ここでは630m~660mの区間も増加分を無視し、自噴量の23L/minとして取り扱うこととする。

湧出量は、深度0~660mまでが自噴量の23L/minと変わらないが、深度660mで3~4L/minに減少し、さ

らにスプリッター最上部の深度765mでほぼ0L/minになる。これらのことから、以下のことが推定される。  
(9)主帯水層から湧出する温泉水のほとんど(80-90%)は、深度660m付近のケーシングパイプから坑井内に流入している(この部分にはスプリッター加工をしていないが、なんらかの原因で穴が開いていると考えるしかない)。  
(10)残りの10-20%は、深度765m付近(スプリッター最上部)から坑井内に流入している。

#### IV 考察

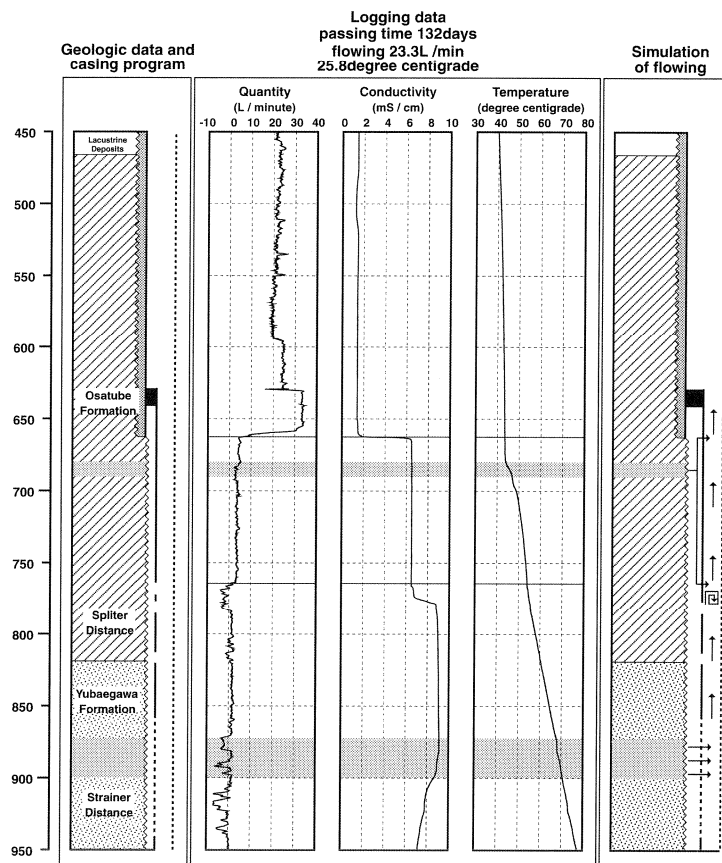
地質柱状図とケーシングプログラム、流量測定結果、電気伝導度検層と温度検層の結果およびⅢ章の(1)~(10)の推定事項を総合的に解釈し、温泉水挙動のシミュレーションを対比させたものを第9図に示した。

流量の変化する深度と坑内の温泉水の電気伝導度が変化する深度は、ほとんど一致しており、主帯水層から湧出している温泉水は、深度660mと深度765mから坑井内に流入していると考えられる。

また、温度分布では、温度異常のある深度690m~765mの区間の温度上昇の割合が9.6°C/100mであるのに対し、深度765m以深では12.5°C/100mと前者に比較して3°C/100mも高い割合で温度上昇をしている。この温度勾配の違いと第6図のNo.1で深度690m~765mの区間の電気伝導度が1mS/cmであることから、主帯水層の温泉水が、ケーシングパイプの外側を通過して降下し、スプリッター最上部の深度765mからの流入していることを示している。

3つの検層項目から測定時(No.6)の温泉水挙動を推定すると、主帯水層から湧出する温泉水のほとんどは深度660mの未知の穴から坑井内に流入するが、一部はケーシングパイプの外側を通過して降下し、深度765mから坑井内に流入する。一方、副帯水層から湧出する温泉水(=9mS/cm)は、自噴量としては非常に少量ではあるが上昇し、深度765mで深度660mの温泉水と混合して6mS/cmの温泉水となる。この混合温泉水はさらに上昇し、深度660mで再び混合して1mS/cmの温泉水となって地表に達すると思われる。

第10図に時間の経過と温泉水挙動について示した。



第9図 地質柱状-坑内検層-シミュレーション対比図  
 Fig. 9 Comparison diagram of geologic column, well loggings and simulation.

水中モーターポンプ停止直後は、坑井内が充分に加温されていない。このため深度765mから坑井内に流入していた主帯水層の温泉水は、温度が低い(比重が大きい)ため降下し、副帯水層から湧出した温泉水と混合していく。一方、副帯水層の温泉水は、水頭圧(No.4時の890mでの水頭圧:  $88.49\text{kg/cm}^2$ )のため上昇できない。このため混合層が浅部・深部に広がっていったと考えられる。自噴を続けるうちに坑井内は徐々に加温され、温泉水の比重が小さくなるために水頭圧(No.6時の890mでの水頭圧:  $88.25\text{kg/cm}^2$ )が減少して副帯水層の温泉水が上昇できるようになると、主帯水層の温泉水も765mから流入できるようになったと考えられる。890mにかかるNo.4時とNo.6時の水頭圧差は $0.24\text{kg/cm}^2$ であり、この値は水位に変換すると0.24mの水位差となる。この0.24mに比湧出量 $5.94\text{L/min/m}$ をかけると、約 $14\text{L/min}$ となり、No.4時とNo.6時の自噴量の差、約 $16\text{L/min}$ とほぼ等しくなる。さらに坑井内が加温されることで自噴量が増加し、副帯水層の温泉水の割合も相対的に増加することで主要イオン合計値も大きくなると考えられる。

## V おわりに

本報告では弟子屈町川湯地区で掘削した調査井を例

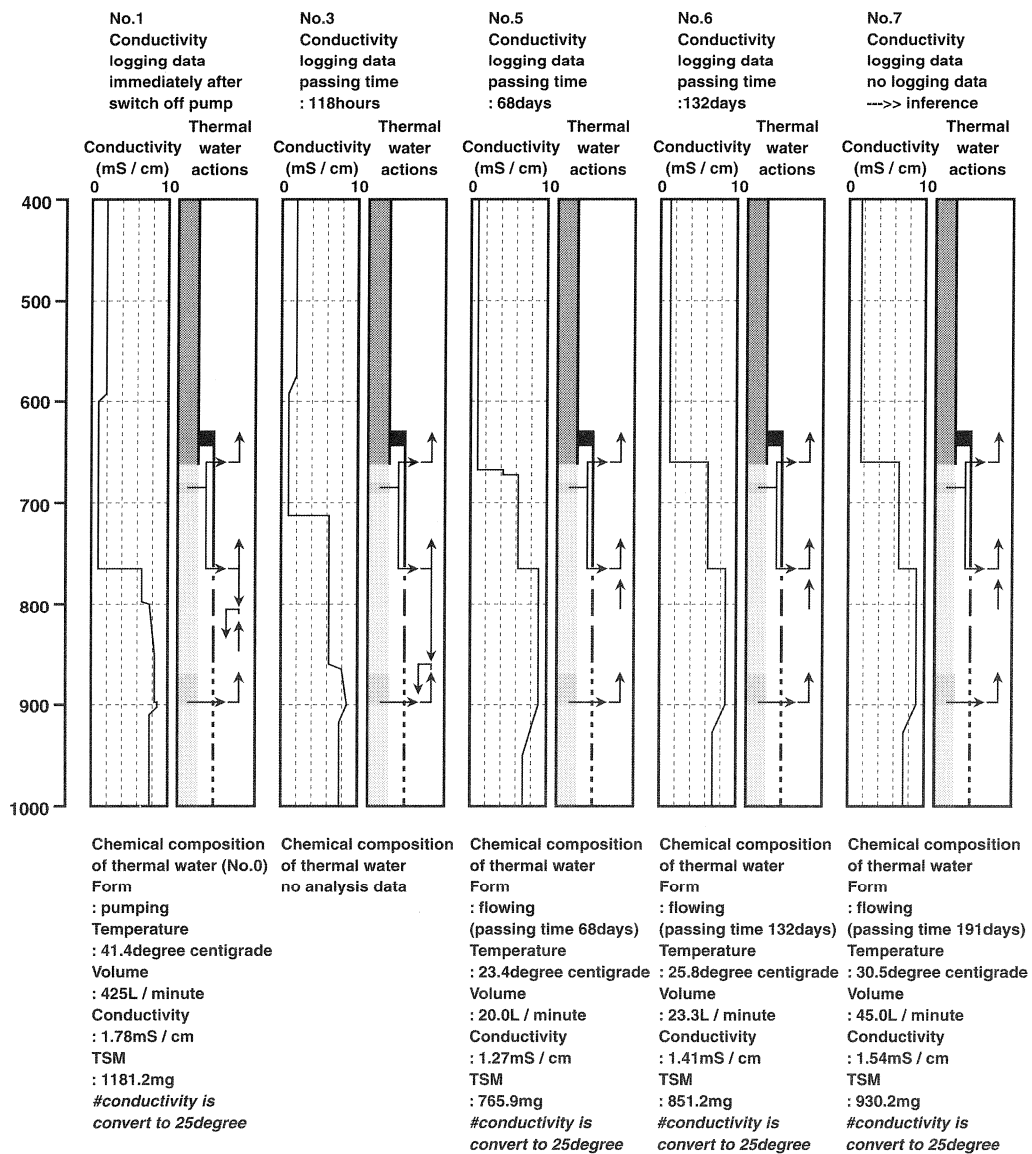
として、電気伝導度、流量、温度および温泉水の化学組成などの経時変化から温泉水挙動について考察した。

近年、温泉井の坑井障害を耳にすることが多くなった。おもに泉温の低下や泉質の変化、湧出量の減少といった現象である。これらの原因を探るには、検層データに依存することが多く、温度検層は温泉が湧出している地層の深度を、電気伝導度検層は坑井内での温泉水の動きや温泉水が坑井内に流入している深度を、流速検層は温泉水が坑井内に流入している深度および泉質をとらえることができる。このように、これらの検層は、坑井障害をとらえるためには有効な手法である。この報告が坑井障害対策の参考になれば幸いである。

また、深度660mに孔が開いている原因については、ここでは明らかにできなかったが、スプリッター降下中に誤って開孔してしまった可能性が考えられる。このような直接見なければ確認できない状況については、ボアホールテレビなどの坑内可視装置が有効である。

## 文 献

- 鈴木隆広・高橋徹哉・藤本和徳・川森博史(印刷中): 弟子屈町川湯温泉地域の深部温泉水-1998年地熱ボーリング調査結果から-。北海道立地質研究所報告, 71.



第10図 坑井内での温泉水挙動の経時変化  
 Fig. 10 Transition of thermal water flows in the well.