



総 説

山形県上山温泉における新源泉開発について

益 子 保¹⁾

(平成 27 年 4 月 30 日受付, 平成 27 年 6 月 1 日受理)

On the Development of New Wells in Kaminoyama Onsen, Yamagata Prefecture

Tamotsu MASHIKO¹⁾

Abstract

At the Kaminoyama Onsen, management of centralized utilization of the thermal water was done in 3 wells. In order to assure the further stabilization of thermal water supply, new 2 wells were developed in July 2009. It succeeded in superior hot spring wells development, and stability supply of the thermal water became firm. On the other hand, it was verified that influence to the existing wells by the new wells using is large. Development of new hot springs has possibility of becoming excess picking of thermal water. In this report, status of new wells and topic of the future utilization of the new wells are described.

Key words : new well development, pumping test, influence to existing wells, centralized utilization of thermal water, Effective utilization of thermal water

要 旨

上山温泉では、これまで3源泉で温泉の集中管理を行ってきたが、温泉供給のさらなる安定化を図るために、2009年7月に新たな源泉開発を2ヶ所で行った。その結果、これまでの源泉と同程度か、それを上回る新たな源泉開発に成功し、これによって温泉の安定供給が強固なものとなった。その反面で、新源泉の揚湯による既存源泉への影響も大きいことも確認され、既存温泉地での新たな温泉開発は、地域として過剰な温泉採取の原因になりやすいことも示された。本報告は、新源泉開発の状況と新源泉の今後の利用にあたっての課題について取りまとめた。

キーワード：温泉開発、揚湯試験、既存源泉への影響、温泉の集中管理、温泉の有効利用

¹⁾公益財団法人中央温泉研究所 〒171-0033 東京都豊島区高田 3-42-10. ¹⁾Hot Spring Research Center, 3-42-10 Takada, Toshima-ku, Tokyo, 171-0033, Japan. E-mail t-mashiko@onken.or.jp, TEL 03-3987-0751, FAX 03-3987-0755.

1. はじめに

ある地域における新たに温泉開発は、温泉採取量を増加させることが可能な行為であり、温泉採取に計画性を伴わなければ、温泉資源にとっては衰退化傾向を強める行為となる。しかし、温泉経営（温泉地経営）の観点からみると、源泉は人工構造物であるので、その機能が低下することにより、何時かは温泉供給の一部もしくは全部が損なわれる可能性があり、1 源泉のみで温泉施設（温泉地）を運営することは、温泉の安定的供給という観点では危うさを持っている。多くの温泉施設（温泉地）において、経済的に許されるならば予備源泉を持つことを希求しているのは、こうした背景がある。

温泉採取量を増やすことのみを目的として、源泉数を増やすことは慎重であるべきだが、複数源泉からの温泉採取を計画的に行ったり、温泉採取量を増大させることなく、温泉採取を複数の源泉に分散させたりすることは、むしろ温泉資源保護につながる事が期待される。

山形県上山温泉は、上山温泉利用協同組合が温泉の集中管理を行っている温泉地であるが、地域的には上山地区と葉山地区とに別れ、両地域間を分断するかのように主要国道が縦貫していることから、両地区の温泉配管網はつながっていない。従来、上山地区では 2 源泉（上山 1, 2 号源泉）を、葉山地区では 1 源泉（葉山 1 号源泉）を利用していたが、上述したような背景から、特に葉山地区では予備源泉開発の必要性が急務であった。上山地区においても、2 源泉を同時利用しているのが実態のため、温泉供給に不安を持っており、やはり予備源泉の開発が必要であった。

こうした背景から、葉山 2 号源泉、上山 3 号源泉の開発工事が、2009 年 7 月から同 9 月半ばにかけて行われた（施工は日本地下水開発株式会社）。掘削深度は葉山 2 号が 350m、上山 3 号が 402m であり、揚湯試験最終日の温泉分析の結果では、上山 3 号は 66.8℃、502L/min、葉山 2 号は 68.8℃、502L/min の温泉湧出状況が確認された。

本論では、この掘削結果に基づいて上山温泉の温泉賦存・流動状況について検討するとともに、新源泉による既存源泉への干渉問題、上山温泉における温泉資源を保護するための新源泉の活用方法等について報告する。

2. 上山温泉の源泉

山形県上山温泉（群）は、湯町、新湯、河崎温泉、高松温泉、葉山温泉の 5 地区の総称とされ（山形県、1986）、これにさらに十日町温泉を加えることもある（山形県観光情報ポータル（<http://yamagatakanko.com>）>温泉三味>かみのやま温泉）。湯町、新湯、十日町は現在の上山城の周りの地域であり、湯町は上山城の北東、同じく新湯は西、十日町は東南に位置する。河崎温泉、高松温泉、葉山温泉は、湯町・新湯の南方約 1km の虚空蔵山の山裾に位置する。地域的には、湯町、新湯、十日町はほぼひとかたまり、河崎温泉、高松温泉、葉山温泉もほぼひとかたまりとなっており、前者を上山地区、後者を葉山地区と称することが多い。

田宮（2009）によると、かつて（藩政時代）の上山温泉には湯町しかなかったが、山形県の湯野浜温泉と福島県の東山温泉とを加えて奥羽三楽郷と呼ばれたことから、すでに相応の規模の温泉地になっていたものと推察される。湯町以外の温泉は後発の開発によっており、新湯は 1921 年、高松は 1932 年、葉山は 1948 年、河崎温泉は 1953 年に温泉掘削に成功した温泉である（田宮、2009；山形県、1986；山形県温泉協会、1973）。

温泉の集中管理前の源泉も含めた源泉分布図を Fig. 1 に示す（山形県温泉協会、1973 を元に作成）。温泉の集中管理前の源泉は、北北東—南南西方向にほぼ一直線上に並んでいて、この配列方向で示

される主要な裂か (A—B の主要裂か) が上山温泉の温泉湧出を規制していると考えられ, 典型的な裂か泉であるといわれている (田宮, 2009). 温泉の集中管理に伴って, 旧源泉を整理し, 新たな源泉 (既存の集中管理源泉) 整備が行われているが, その開発地点もこの主要な裂か沿いに求められている. 今回掘削した源泉 (上山3号, 葉山2号) も, この直線上で掘削されている.

既存源泉も含めた源泉状況は Table 1 に示した通りであり, 掘削深度は 237~402m までの範囲



Fig. 1 Distribution of Hot Spring Wells of Kaminoyama Onsen Area
 ○ : Existing wells before centralized utilization of hot springs
 ● : New development wells After Centralized utilization of hot springs
 ★ : New development wells in this report
 A-B : Main fracture related Hot spring discharge

Table 1 Status of Kaminoyama Hot Springs

| Well Name | Depth (m) | El. m | Latency depth of Granitic Rock | Discharge Rate (L/min) | Water Temp. (°C) | Pumping Water Level |
|-------------------|-----------|-------|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------------------|
| Kaminoyama 1 | 350 | 189.0 | GL. -301m (EL. -112m) | 503 | 62.4 | GL. -39.32 (EL. 149.68m) |
| Kaminoyama 2 | 281 | 186.1 | GL. -233m (EL. -46.9m) | 459 | 69.0 | GL. -35.58 (EL. 146.52m) |
| Kaminoyama 3(New) | 402 | 192.3 | GL. -321m (EL. -128.8m) | 502 | 66.8 | GL. -45.7 (EL. 146.6m) |
| Hayama 1 | 237 | 192.8 | GL. -171m (EL. 21.8m) | 346 | 64.5 | GL. -45.52 (EL. 147.28m) |
| Hayama 2(New) | 350 | 192.7 | GL. -216m (EL. -23.3m) | 502 | 68.8 | GL. -40.6 (EL. 152.10m) |

に及ぶものの、湧出温度は 60~70℃、湧出量は 346~503L/min と似通っている。総じて、比較的浅い掘削深度であるにもかかわらず、高温・多量の温泉を湧出するのが上山温泉の源泉の特徴である。

3. 新源泉の地質状況

上山温泉地域の地質図を Fig. 2 に示した (山形県温泉協会, 1973)。段丘堆積物、蔵王泥流、沖積層など明らかに温泉賦存に関係しない地層を別とすると、地表部には第三系吉野層に属する上山頁岩部層、竜沢斜長石石英粗面岩部層、太平山斜長石石英粗面岩部層といった地層が分布する (山形県温泉協会, 1973; 山形県, 1983)。しかし、Fig. 2 の地質図には記載されていないが、以下に記すように、本地域の地下には第三紀層の基盤をなし、温泉の湧出母岩になっていると推定される花崗閃緑岩質岩が広く分布していることが明らかとなっている (田宮, 2009)。

3-1. 上山 3 号源泉 (Fig. 3)

この源泉では、380m 付近に顕著な逸泥があった他、380m 以浅にも温度や電気伝導度が細かく変化する場所があり、温泉湧出層は比較的多く捕捉できている。温泉湧出層としては、240~305m 程度までの凝灰角礫岩 (Fig. 2 の竜沢斜長石石英粗面岩部層、太平山斜長石石英粗面岩部層に対応) の亀裂、321m 付近の凝灰角礫岩と花崗閃緑岩との境界部とその下部の花崗閃緑岩、350~402m 間の花崗閃緑岩の亀裂などが上げられる。この源泉では 402m までに温泉湧出の期待が持てる部位

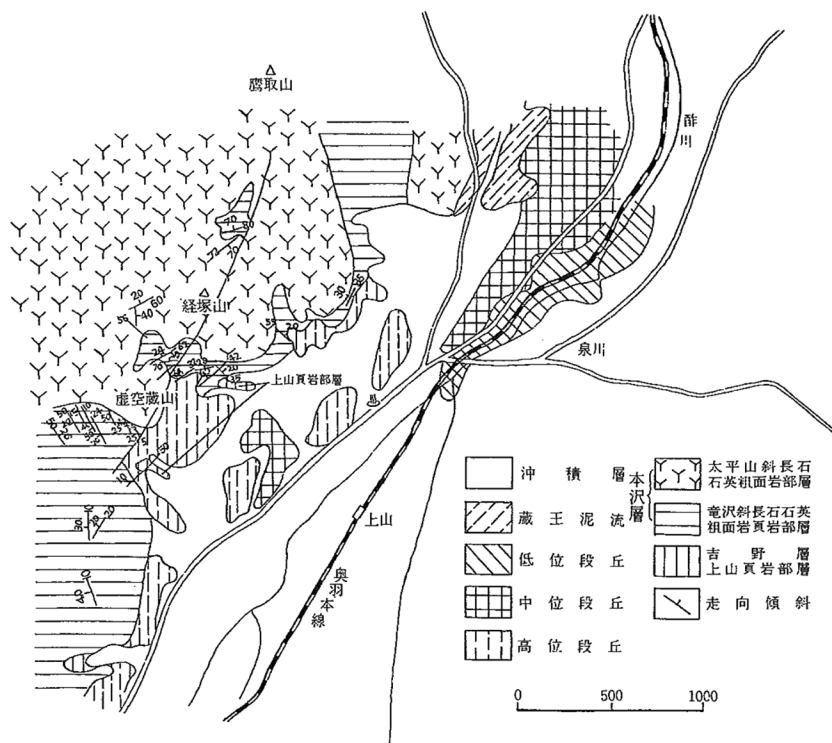


Fig. 2 Geological Map of Kaminoyama Onsen Area

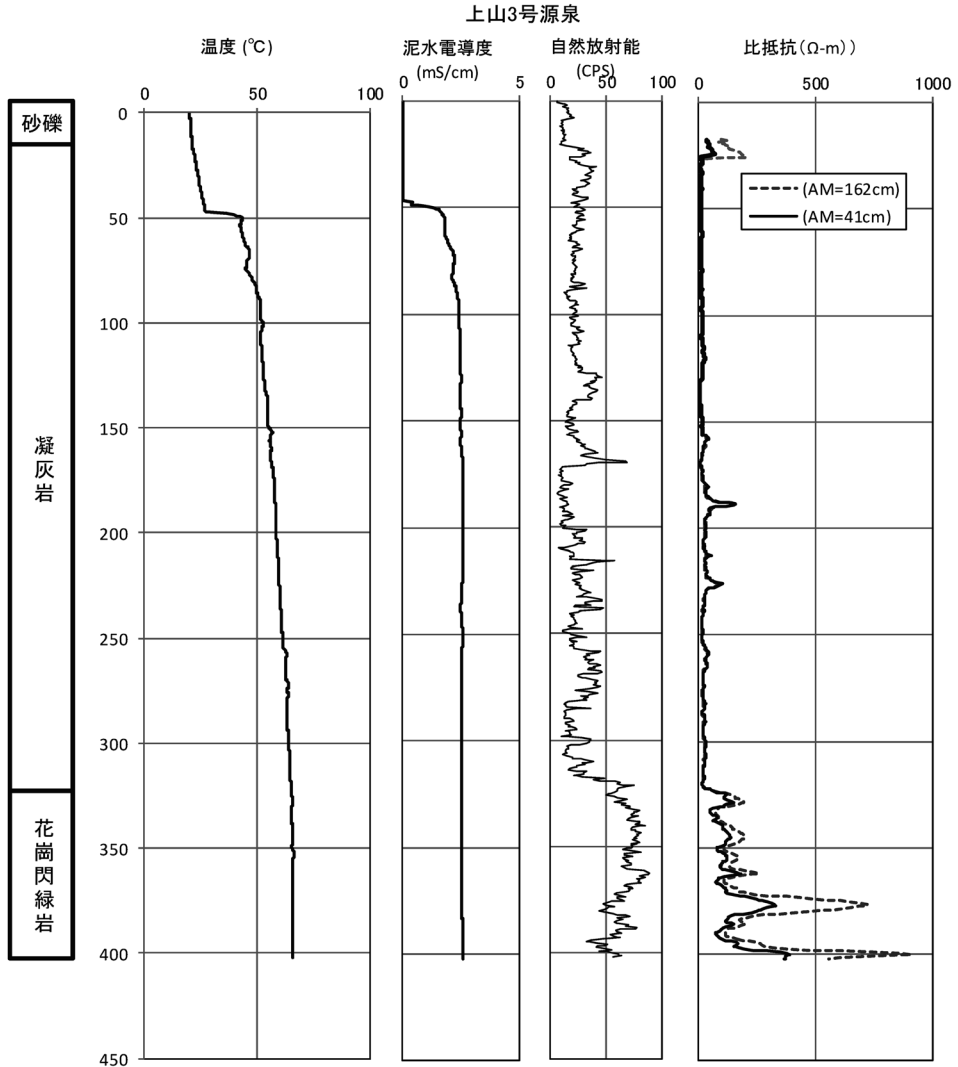


Fig. 3 Geological Log of Kaminoyama No. 3 Well

をいくつも捕捉しており、402m以深を増掘する効果は小さいと判断し、掘り止めとした。

3-2. 葉山2号源泉 (Fig. 4)

花崗岩との境界部 (216m) と花崗岩体内の2ヶ所 (250m 付近, 270m 付近) に温度躍層があり、温湧出層の存在を伺わせる他、342m 付近で少量ながら逸泥がみられた。温泉湧出層としては、凝灰角礫岩 (Fig. 2 の竜沢斜長石石英粗面岩部層, 太平山斜長石石英粗面岩部層に対応) の内部、花崗閃緑岩との境界部、花崗閃緑岩の中の色相変化部、孔底部などが上げられる。350m 付近は比抵抗値が高くなっており、これ以深を掘削しても温泉湧出層の捕捉は期待できないものと考え、掘り止めとした。

温泉採取とは関係しないが、本源泉の深度70~90m間は温度と電気伝導度の変化が大きく、比

抵抗値は凝灰岩の中にあってはやや高いことから、地下水の湧出層を捕捉していると思われる。このことは 90 m で全量逸泥があったことから裏付けられる。この部位の温度は 30℃ 程度あり、低温ながら温泉に適合するのに十分な温度である。今後、30℃ 程度の低温泉の開発が必要になった場合には、この付近の低温泉湧出層がターゲットとなり得る。

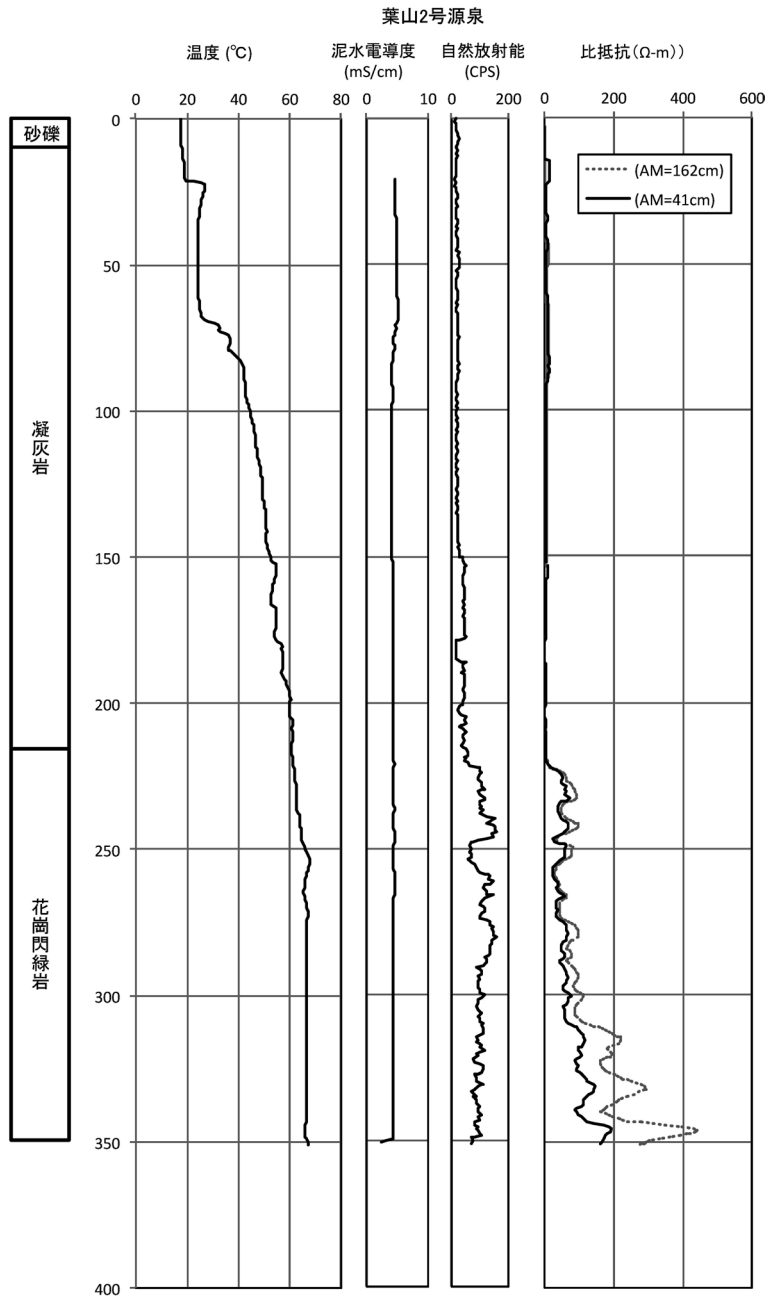


Fig. 4 Geological Log of Hayama No. 2 Well

3-3. 地質断面図

既存源泉を含めて、源泉の配列方向に沿った NNE-SSW 方向の地質断面図を作成した (Fig 5). いずれの源泉も、浅部には吉野層に相当する凝灰岩類が存在し、その下位には花崗閃緑岩が伏在する。掘削時には、この断面線方向に存在する主要な裂か逢着したことを示す現象は確認されていないが、上部にある凝灰岩類は比抵抗値が小さく、開口性のある裂かが維持されている可能性は小さい。主要な裂かは、この花崗閃緑岩類中に発達し、これが温泉の賦存範囲を決定しているものと思われる。

既存源泉の地温情報は限定されているため、湧出温度を花崗閃緑岩上面の地温を代表するとみなして等温線を描くと、地温分布には大きな乱れはなく、上山 2 号源泉～葉山 2 号源泉付近に高温部の高まりが存在することが推定される。

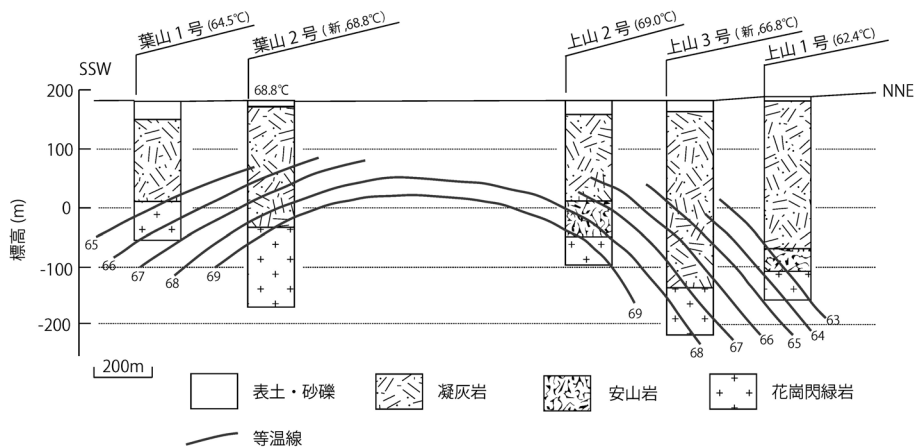


Fig. 5 Geological profile of A-B Section in Fig. 1

4. 新源泉の揚湯試験

4-1. 段階揚湯試験

揚湯試験に用いた動力装置の仕様と設置深度は以下の通りである。

上山 3 号源泉：型式 SP60-12 (吐出量 $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$ - 全揚程 122 m), 吐出管口径 65A, 出力 22 kW, 設置深度 100 m

葉山 2 号源泉：型式 SP30-17 (吐出量 $0.333 \text{ m}^3/\text{min}$ - 全揚程 161 m), 吐出管口径 65A, 出力 15 kW, 設置深度 140 m

後述するが、上山 3 号源泉は葉山 2 号源泉より動水位が深くなっている (大きな水位低下量が発生している) にもかかわらず、より多くの揚湯が行えているのは、設置したポンプの仕様の違いによっている。

段階揚湯試験時における 1 段階の揚湯継続時間は 90 分である。その動水位の変化 (Fig. 6) を見ると、葉山 2 号源泉では第 1~4 段階の動水位はほぼ安定化しているが、第 5, 6 段階の水位は十分安定化していない。上山 3 号源泉では各段階共に水位の安定化が見られた。しかし、水位低下量は上山 3 号源泉よりも葉山 2 号源泉の方が小さい。

段階揚湯試験の最終的な状況を Table 2 に、その結果から揚湯量と水位降下量との関係を図化し

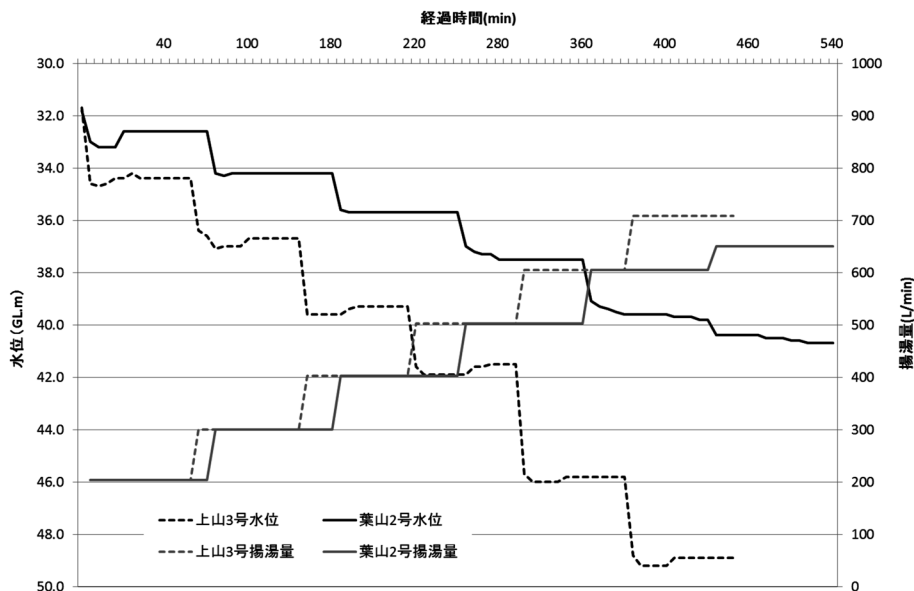


Fig. 6 Results of Step Pumping Test

Table 2 Results of Step Pumping Test

| Step | Kaminoyama 3 | | | Hayama 2 | | |
|------|-------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| | Discharge Rate L/min | Water Level GL. -m | Drawdown m | Discharge Rate L/min | Water Level GL. -m | Drawdown m |
| | 0 | 31.7 | 0 | 0 | 31.8 | 0 |
| 1st | 204 | 34.4 | 2.70 | 204 | 32.6 | 0.80 |
| 2nd | 300 | 36.7 | 5.00 | 300 | 34.2 | 2.40 |
| 3rd | 402 | 39.3 | 7.60 | 402 | 35.7 | 3.90 |
| 4th | 502 | 41.5 | 9.80 | 502 | 37.5 | 5.70 |
| 5th | 605 | 45.8 | 14.10 | 605 | 39.8 | 8.00 |
| 6th | 708 | 48.9 | 17.20 | 650 | 40.7 | 8.90 |

たのが Fig. 7 である。

段階揚湯試験により得られた揚湯量 (Q) と水位降下量 (sw) との関係を両対数グラフにプロットした時、両者の関係が傾斜の異なる二つの直線 (直線の傾斜は揚湯量が多い時に大きくなる) で近似される場合、その二つの直線の交点 (屈曲点) を限界揚湯量、この限界揚湯量に安全率 (多くは 80%) を乗じた値を適正揚湯量としている。この考え方は多くの自治体で温泉資源保護のための行政指導に採用され、環境省 (2014) の「温泉資源の保護に関するガイドライン (改訂)」にも揚湯試験の実施要領や限界揚湯量及び適正揚湯量の判断事例として紹介されている (同ガイドラインの別紙 5)。村下 (1975) は、この直線の勾配が 45° の場合、それ以外の場合での帯水層の状況について考察しているが、こうした現象が出現する背景として、(公社) 日本地下水学会のホームページでは、揚湯量を多くすることによって井戸周辺の地下水の流れが層流から乱流に変わり、井戸近

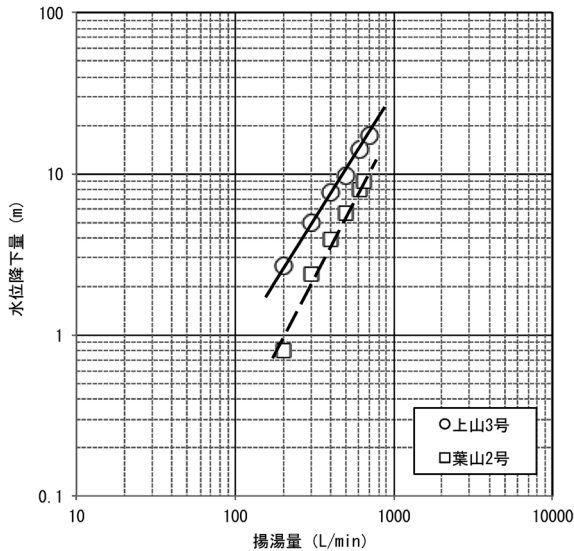


Fig. 7 Relations of Pump discharge and Water Level Drawdown in Step Pumping Test

が多いようである。

今回の場合、葉山2号源泉においては第4段階の揚湯量 502 L/min では水位の安定化が見られ、これ以上では水位の安定化が確認できなかったことから、502 L/min 程度を適正揚湯量として設定することとした。一方、上山3号源泉ではどの段階でも動水は安定化してはいるが、水位低下量は葉山2号源泉に比較して大きい。このことから、上山3号源泉でも葉山2号源泉と同じ 502 L/min を仮の適正揚湯量として、次のステップとなる連続揚湯試験を実施することとした。

なお、2つの源泉の揚湯能力に関しては、地質状況や検層結果からは上山3号源泉の方が上回ると見られたが、段階揚湯試験の結果によれば、同じ揚湯量での水位降下量は葉山2号源泉の方が小さく、また、揚湯量と水位降下量とが作る直線の傾きも葉山2号源泉の方が緩いことから、上山3号源泉よりも葉山2号源泉の方が揚湯能力は高いことになる (Fig. 7 参照)。

4-2. 連続揚湯試験・回復試験

5日間行われた連続揚湯試験～回復試験時の水位変化グラフを Fig. 8 に、最終的な揚湯量、泉温、動水位の状況を Table 3 に、それぞれ示した。

段階揚湯試験時には、上山3号源泉では最大 708 L/min の揚湯でも水位の安定化が見られ、葉山2号源泉では 502 L/min の揚湯量までは一応の水位の安定化が見られた。しかし、連続揚湯試験期間中は両源泉ともに水位は低下し続けており、安定化の兆しは見られない。同一揚湯量における段階揚湯試験時と連続揚湯試験時の動水位を比較すると、上山3号源泉では 4.2 m、葉山2号源泉では 3.1 m、連続揚湯試験時の方が低くなっている。

5日間の連続揚湯試験は標準的な長さではあるが、水位の安定化が確認できなかったことを鑑みると、両源泉ともに 502 L/min という揚湯量は過大であった可能性があり、揚湯量を減らして連続揚湯試験をやり直すか、揚湯期間を延長する必要があったとの反省が残る。しかし、掘削工事の一環として行われる揚湯試験は期間的な制約等があるため、長期にわたる揚湯試験の実施は困難なことも多い。当該源泉の運用後に、温泉水位をより長期にわたって継続的に監視し、温泉水位が安定化

くの水位降下が大きくなる (井戸損失が大きくなる) ためと説明されることが多い、と紹介している。そして、帯水層を破壊せず (排砂を伴わず)、なるべく長期にわたって多くの揚水量を確保するための経験的・実用的な値として有用とされている。

今回の段階揚湯試験の結果 (Fig. 7) は、葉山2号源泉、上山3号源泉ともに、揚湯量と水位降下量との関係はひとつの直線上に乗っていて、この直線の勾配は 45° よりも大きいものの、試験した揚湯量の範囲では限界揚湯量は見出せず、適正揚湯量も決定はできないこと (試験時に設定した揚湯量よりも多い量) になる。こうしたケースでは、設定した揚湯量の最大値を仮の限界揚湯量として、その 80% 程度を適正揚湯量としておく場合

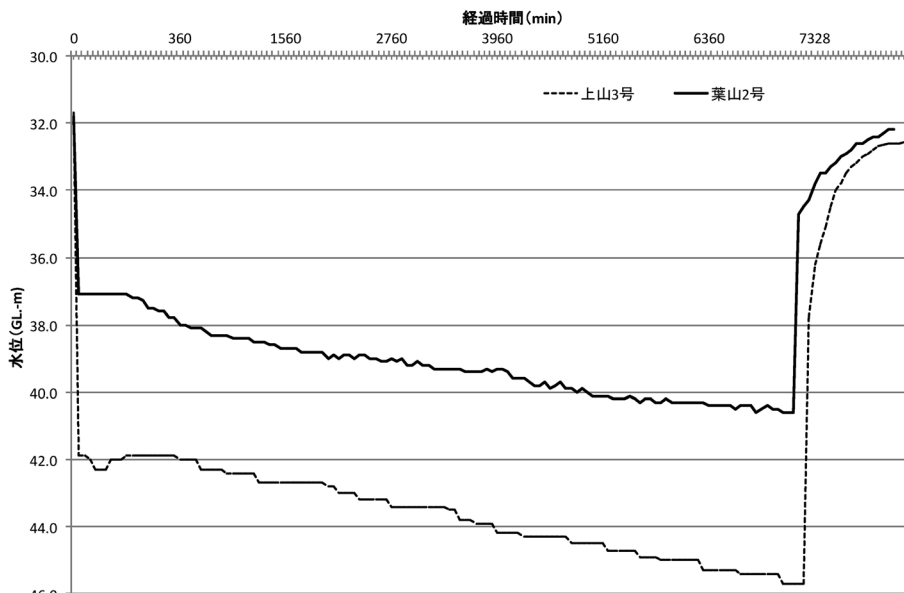


Fig. 8 Results of Fixed Quantity Pumping Test

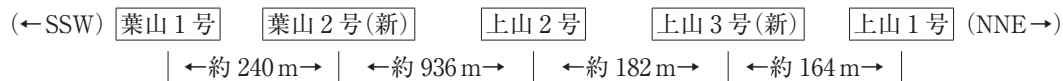
Table 3 Final Results of Fixed Quantity Pumping Test

| Well Name | Discharge Rate L/min | Water Temp. ℃ | Pumping Water Level GL. -m | Static Water Level GL. -m |
|--------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Kaminoyama 3 | 502 | 66.8 | 45.7 | 31.7 |
| Hayama 2 | 502 | 68.8 | 40.6 | 31.8 |

する揚湯量を見出したり、温泉水位の継続的低下が発生しないような揚湯量を設定したりすることが何より重要であろう。

4-3. 新源泉の揚湯に伴う既存源泉への影響について

今回の新源泉開発は、既存源泉と同じ温泉湧出裂かから温泉を採取しており、しかも既存源泉との距離関係は以下の通り近接している。



新源泉の揚湯に伴う既存源泉への影響の有無や程度を確認するため、揚湯試験前後にわたって既存源泉の動水位を測定した。測定は原則として午前（10時頃）と午後（16時頃）の2回である。その結果を Fig. 9 に示した。各既存源泉とも、新源泉の連続揚湯試験時には水位が低下しており、その水位低下量（影響量）は、上山1, 2号源泉で2m 強、葉山1号源泉で4m 弱となり、極めて大きい。上山2号源泉と葉山2号源泉とは1km 近く離れているため、上山1, 2号源泉での2m 強の影響は上山2号源泉によるもの、葉山1号源泉での4m 弱の影響は葉山2号源泉によるもの、と考えてよいであろう。

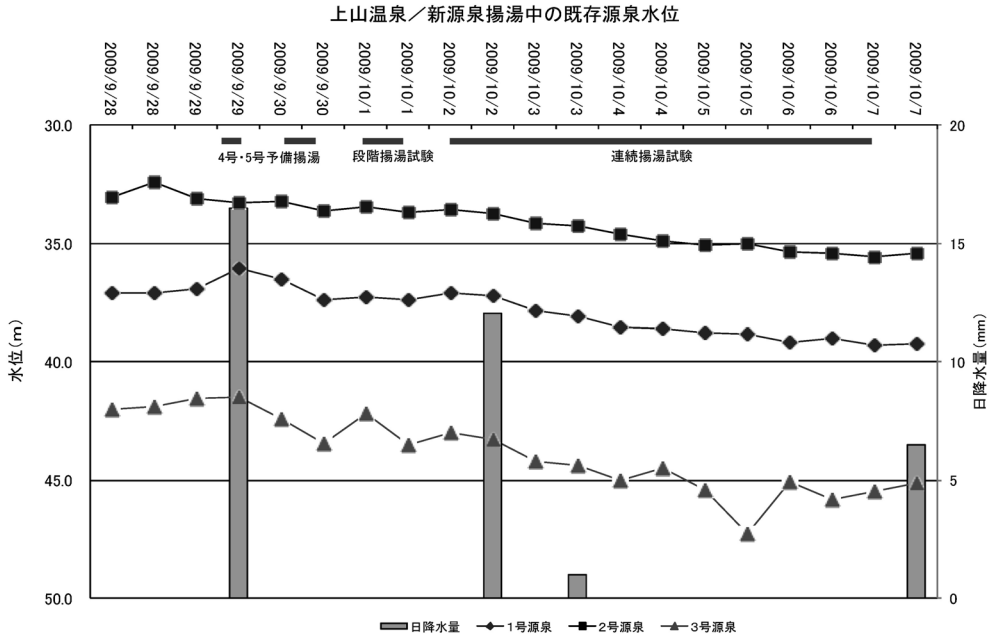


Fig. 9 Changes of Water Level in Utilization 3 Wells During Fixed Quantity Pumping Test Period

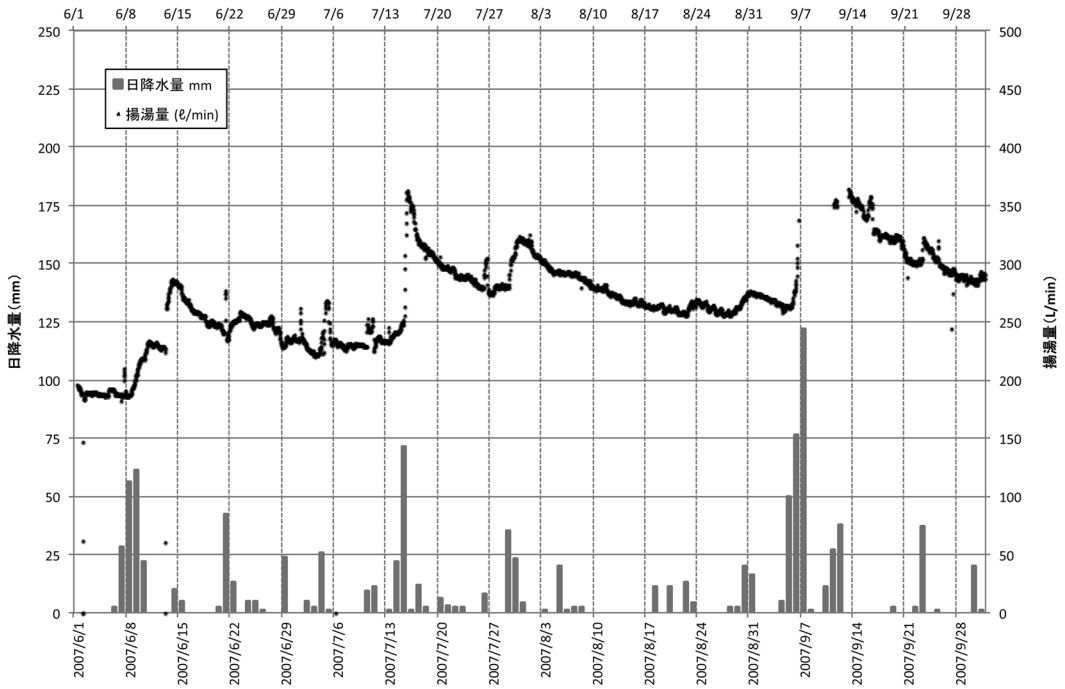


Fig. 10 Example of Relation between Hot Spring Discharge Rate and River Water Level

なお、温泉水位は河川水位などの周辺水文環境の影響を受けやすい。Fig. 10 は栃木県内において、新源泉開発に伴う影響監視のための事前観測時に得られた記録で、温泉の揚湯量と源泉上流域の降水量との対応関係である。温泉水位と降水量との関係を検討したものではないが、この源泉は陸上設置の渦巻きポンプによる揚湯源泉であって、揚湯量の多少は温泉水位の浅深を反映していると考えられ、降水に対応して揚湯量が増加する様子がよく表現されている。

今回の揚湯試験期間中に降水はあったものの、まとまった量ではなく、温泉地周辺の地下水位は全体として低下傾向を示している可能性もある。このことから、上記の水位低下量の全てが、新源泉の揚湯に起因しているとは限らない。

4-4. 帯水層係数の算出

新源泉の揚湯試験結果と既存源泉での水位観測値から、チームの平衡式に基づいて透水量係数を算出した。その結果を Table 4 に示す。ここで、 r_1 は揚湯井の井戸半径で代用した。透水量係数は、上山 3 号源泉で $5.2 \sim 5.4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ ($8.7 \sim 9.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$)、葉山 2 号源泉で $1.3 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{min}$ ($2.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$) であり、温泉地としては大きめの値を示す。

Table 4 Calculated Transmissivity from Pumping Test

| Pumping Well | | | | Observation Well | | | Transmissivity:T | |
|--------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| Well Name | Q m ³ /min | r ₁ m | s ₁ m | Well Name | r ₂ m | s ₂ m | | |
| | | | | | | | m ² /min | m ² /s |
| Kaminoyama 3 | 0.502 | 0.075 | 14.0 | Kaminoyama 1 | 164 | 2.21 | 5.21E-02 | 8.68E-04 |
| | | | | Kaminoyama 2 | 182 | 2.48 | 5.40E-02 | 9.00E-04 |
| Hayama 2 | 0.502 | 0.075 | 8.8 | Hayama 1 | 240 | 3.81 | 1.29E-01 | 2.15E-03 |

$$T = [2.3 \cdot Q \cdot \log(r_2/r_1) / 2 \cdot \pi (s_1 - s_2)]$$

4-5. 温泉分析結果

上山温泉の既存、新源泉の分析結果を Table 5 に示す。泉質はいずれも Na・Ca-Cl・SO₄ 温泉である。

5. まとめと今後の課題

上山温泉における今回の新源泉開発は、既存源泉と同程度か、それを上回る湧出能力の源泉確保に成功した。特に、葉山 2 号源泉は既存の葉山 1 号源泉に比較して、より浅い動水位で（小さな水位降下で）、温度は 4℃ 以上高く、量も 150 L/min 以上多い温泉が確保できている。上山 3 号源泉は、既存の上山 1、2 号源泉に比較して動水位は深く（水位降下量が大きい）、温度は中位、量は多めとなっている。ただし、揚湯量については、両源泉ともに連続揚湯試験において水位の安定化が見られなかったことから、源泉の運用中に水位の動向を継続して監視し、水位の継続的低下が生じないように管理・調整する必要がある。

一方で、新源泉の揚湯による影響は既存源泉に大きく出現しており、既存温泉地での新たな温泉開発は、既存源泉に影響を与える可能性も高いことを示している。上山温泉のこのケースでは、段階揚湯試験において適正揚湯量が求められたわけではないが、同試験による揚湯量と水位降下量との関係から見ると、限界揚湯量の範囲内の揚湯量で連続揚湯試験を行っている。そうした揚湯量であっても、結果的には周辺既存源泉に大きな影響を与えていることになる。段階揚湯試験で求めら

Table 5 Chemical Analysis Result of Kaminoyama Hot Springs

| Well Name | Kaminoyama 1 | Kaminoyama 2 | Kaminoyama 3 | Hayama 1 | Hayama 2 |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Date | 2003/5/20 | 2003/5/20 | 2009/10/7 | 2003/5/20 | 2009/10/7 |
| Water Temp : °C | 62.4 | 69.0 | 66.8 | 64.5 | 68.8 |
| pH (In Situ) | 7.8 | 7.8 | 7.6 | 8.0 | 8.0 |
| pH (laboratory) | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.9 | 8.1 |
| Density | 1.0003 | 1.0003 | 1.0008 | 1.0002 | 1.0007 |
| Evaporation Residue | 2470 | 2523 | 2741 | 2390 | 2623 |
| Na ⁺ | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| Na ⁺ | 539.8 | 540.6 | 523.3 | 591.9 | 571.2 |
| K ⁺ | 11.8 | 12.5 | 12.8 | 16.9 | 16.7 |
| Mg ²⁺ | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.2 |
| Ca ²⁺ | 342.9 | 348.9 | 323.4 | 275.8 | 267.6 |
| F ⁻ | 3.9 | 4.4 | 4.1 | 4.8 | 6.1 |
| Cl ⁻ | 738.9 | 793.1 | 822.9 | 846.5 | 852.8 |
| Br ⁻ | 1.8 | 1.7 | 2.3 | 1.7 | 2.4 |
| I ⁻ | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| SO ₄ ²⁻ | 770.0 | 742.9 | 815.5 | 631.9 | 691.3 |
| HCO ₃ ⁻ | 58.5 | 54.1 | 21.8 | 47.3 | 18.3 |
| CO ₃ ²⁻ | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.1 |
| H ₂ SiO ₃ | 64.6 | 65.8 | 61.0 | 76.0 | 57.7 |
| HBO ₂ | 7.0 | 6.6 | 10.4 | 7.3 | 8.8 |
| HAsO ₂ | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| CO ₂ | 1.6 | 1.4 | 15.4 | 0.8 | 0.3 |
| Total of Dissolved Matter | 2541 | 2573 | 2600 | 2502 | 2495 |
| Spring Type | Na・Ca-Cl・SO ₄ | Na・Ca-Cl・SO ₄ | Na・Ca-Cl・SO ₄ | Na・Ca-Cl・SO ₄ | Na・Ca-Cl・SO ₄ |
| Organization of Analysis *1 | A | A | B | A | B |

Unit from Evaporation Residue to Total of Dissolved Matter are mg/kg.

*1 A:Yamagata Pref. Institute of Public Health (山形県衛生研究所)

B:Japan Environment Science Co.,Ltd. (日本環境科学(株))

れる適正揚湯量は、あくまで個々の源泉における揚湯量と水位降下量との関係のみから求められるものであって、周辺既存源泉への影響には配慮していない。したがって、新源泉の揚湯量が適正揚湯量の範囲内であったとしても、既存源泉への影響が回避できるわけではない。周辺に既存源泉がある場所での新源泉開発にあたっては、このことに常に留意すべきである。

源泉間の影響問題は、影響を生じさせた源泉と、影響を被った源泉とがあり、それら是一对の関係ばかりでなく、互いに複数の源泉から構成されることもある。たとえ最初の影響が量的に小さくても、影響を被った源泉がその影響を克服するため、ポンプの増馬力や設置深度の深部化といった何らかの措置を講ずることで、影響関係はさらに重複化・増幅化し、地域として過剰な温泉採取に陥る可能性が高い。これまでに我が国で発生した温泉資源の枯渇化現象は、こうした源泉間の影響関係が錯綜し、影響量が昂じた結果である。

しかし、源泉間の影響関係を十分に認識・把握した上で、計画的に管理された温泉採取を行っていけば、源泉間の影響関係を昂じさせることなく、温泉の安定供給を実現することも可能である。同時に、温泉採取地点を空間的に、また時間的に分散させる（例えば、複数の源泉を交互に利用する）ことで、ある特定源泉からの温泉採取に依存する（例えば、高温泉のみを利用し続ける）こと

がなくなり、結果的には温泉地全体としての温泉資源保全に資することも可能と思われる。

上山温泉では、全ての源泉を上山温泉利用協同組合が管理し、温泉供給していることから、今回確認された源泉間の影響関係をことさら重大視したり、問題視したりする必要はない。要は、上山温泉地域全体の温泉資源を枯渇化させないために、温泉水位や温度、温泉の質などを指標として、これらに継続的な低下や変化がないように揚湯量を調整することが重要なのである。

最後に、本報の発表に快くご同意頂いた上山温泉利用協同組合の皆様、この源泉開発にご尽力頂いた日本地下水開発株式会社の皆様、そして本報を査読して頂き、有益なご助言を賜った査読者、これらの方々に本紙面を借りて厚く御礼申し上げあげる。

引用文献

環境省 (2014) : 温泉資源の保護に関するガイドライン (改訂), 93 p. 東京.

村下敏夫 (1970) : 改著地下水学要論, 211 p. 昭晃堂, 東京.

田宮良一 (2009) : 上山温泉物語岩と人の因果が湯に報いる話, かみのやま温泉セミナー講演集, 上山温泉.

山形県 (1983) : 土地分類基本調査「赤湯・上山」, 5 万分の 1, 山形.

山形県 (1986) : やまがたの温泉～温泉 50 年のあゆみ～, 177 p. 山形.

山形県温泉協会 (1973) : 山形県温泉誌, 541 p. 山形.

(本研究の一部は、2012 年 9 月 28 日、日本温泉科学会第 65 回大会 (登別温泉) において口頭発表を行った)