

城崎温泉に於ける揚水試験*

吉川 恭三*

1. 緒言

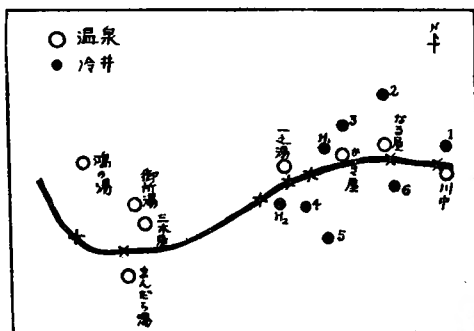
松山博士等は1930~31年にわたる城崎温泉の調査に¹⁾当り、新泉源の湧出によつてその近辺の既存温泉の湧出量に大きい変化を生じたことに注目し、更に人工的に一泉源の湧出量を増減せしめて他泉源への影響を測定した。その結果、温泉相互に影響し合うという事實は明瞭となつたが、何分にも其等の操作が小規模であつた為、局所的な影響の測定のみに終つている。

筆者等は城崎温泉全域にわたるもつと大規模なこの種の関係を求め、其に基いて地下に於ける余剰温泉水量を推定しようとの目的の下に1949年4月、2日間連続のポンプ揚水を試みて其の間の消息を明かにし得た。

2. 城崎温泉概観

第一図に示す如く、城崎温泉の泉源はその殆どが町の中央を流れる大谿川の川岸及び川底に湧出して居り、其等の二三つを導管にて一つの湯溜槽に導き、その槽内に溜つた温泉水をポンプにて浴槽に汲み上げる仕組になつて居り、泉源保存についてはかなりの注意が払われていることが分る。其等の湯溜槽を所有している温泉には「鴻の湯」「曼陀羅湯」「御所湯」「一之湯」「地藏湯」「三木屋」の六箇があり、その他に川の下流に放流してあるもの一つ（今、便宜上之を「川中」とよぶ。）がある。湧出量測定はすべてこの湯溜槽で行つたが唯、「地藏湯」についてはその引湯途中にある「かき屋」前で行つた。

第一図 城崎温泉
測定温泉及び不圧井戸略図



先に行われている化学分析の結果は、之等各温泉での温泉水の化学成分含有量が略々近似し、その成分相互比をとると殆んど一致することを示す。之と、先の松山博士による泉源相互の密接な関係から、城崎温泉の各泉源はすべて同一層から得られているものと推定

* 昭和24年11月 日本地震学会例会にて講演 * 京都大学地球物理学教室

される。

3. 測定方法

観測は1949年4月12日より17日に至る6日間にわたり行われた。温泉地域の略々中央に位置して現在使用を停止している「なる屋」前泉源にポンプを据えつけ、昼夜とも連続揚水を行い、その2日間の揚水期間中及びその前後に、他の泉源での湧出量及び各井戸に於ける不圧地下水の水位を測定した。揚水量は全期間を通じ、93~101 l/min で±4%の誤差で殆ど一定とみてよい。湧出量の測定は泉源の一つ一つについては測定が不能であつた為、湯溜槽内の温水をポンプ又はバケツにて汲み出して後の水位上昇時間を記録し、之と湯溜槽の断面積より湧出量を求めた。この測定操作では泉源の湧出量に影響を及ぼすことはない。唯、「川中」については、放流してある温水をバケツで受け、其に溜る時間を測定したが、之は満潮時、川の水位が高まつた時には測定し得なかつた。

4. 揚水による湧出量の変化

湧出量を測定した結果を第1表に示し、その変化の状況、即ち、揚水前の湧出量に対する揚水中及びその停止後の湧出量の比の変化する状況を第2図に示す。城崎温泉に於ける

第1表 揚水前後に於ける各泉源湧出量の変化

温泉名	4月14日				4月15日			
	11時 ~12.30	16.10 ~17.10	17.10 ~18.10	18.10 ~19.10	9.40 ~10.40	10.40 ~11.40	13.0 ~14.0	18.10 ~19.10
かき屋	68.7 l/min	50.2	49.5	49.5	46.7	45.9	45.9	47.6
一之湯	75.7	70.9	68.4	66.8	62.0	60.7	65.8	65.8
川中	95.1	揚水開始	87.8	—	87.8	83.5	83.5	85.1
三木屋	11.3	10.4	10.4	10.1	10.2	10.3	10.4	10.6
御所湯	124.9	113.2	113.2	101.2	132.5	139.1	130.4	124.0
曼陀羅湯	19.4	18.6	17.4	18.7	18.5	18.6	18.2	18.4
鴻の湯	28.4	24.2	25.4	26.2	25.6	29.9	28.0	26.6
揚水量+湧出量	424.5	—	473.1	—	440.7	—	475.7	477.2

4月16日					17日
10.10 ~11.10	11.30 ~12.30	14.00 ~15.00	16.00 ~17.00	18.00 ~19.00	7.00 ~8.00
47.6	56.5	58.7	59.1	62.2	59.1
64.3	68.3	70.2	69.4	71.8	68.8
83.5 揚水	85.6	95.1	—	—	87.2
10.1 水	10.6	10.5	10.9	10.7	10.5
139.3 停止	133.8	132.8	104.2	107.7	104.2
18.5	19.3	18.8	19.1	19.1	19.0
23.9	28.4	28.2	23.9	30.6	26.1
486.3	392.5	384.3	—	—	374.9

湧出量の日変化等については之迄未だ精細に調査されたことがない。故に、今回測定した湧出量変化にも何か潮汐、気圧の影響が含まれているのではないかと考えられるが、気圧について調べた所、全く対応性は認められず、又潮汐についても、

満潮で「川中」が測定出来なかつた時でも他泉源では湧出量が低下している事実より、こ

湧出量変化には気圧・潮汐の影響よりも、揚水の影響の方が遙に大きく表われていると考えられる。

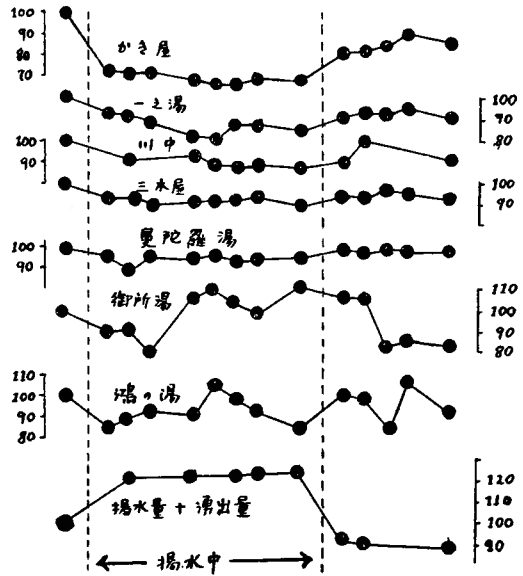
第2図から、七つの測定箇所湧出量変化が大体二つの型に分けられる。第一は揚水中の湧出量が揚水前後の湧出量に比し、一様に小さいもので、「かき屋」「一之湯」「川中」「三木屋」「曼陀羅湯」が其に属し、第二は湧出量の変化が甚だ複雑なもので「御所湯」「鴻の湯」が之に属している。此の後者の型のもは前者に較べ揚水箇所よりの距離が遠く且、上流に位置している。之等より考え、前者には揚水の影響が表われているものであり、後者には其が明かでなく、他の何かの影響があるのかも知れないが、其については現在、不明である。今、この前者に属するものの湧出量変化に基づいて、揚水による他泉源への影響につき検討を試みようとする。この問題は地下水域に於ける過剰揚水の影響とか地下水槽の Transmissibility 及び Storage 係数の決定等に関係して各地で理論的、实际的に研究を続けられているものである。

今、その変化の実状から明かに示される事実を述べれば次の通りである。

第一に、影響は非常に迅速に表われることで、揚水開始後40分の第一回観測で既に湧出量は減少して其の後略々一定値を保ち、揚水停止後10分の観測で影響圏内の泉源は悉くその湧出量を略々回復している。

第二に、之等の影響の強さがやはり距離に関係にしていることが見出される。理論的には、揚水箇所よりの距離の対数函数に近似して湧出量の減少を見るべきであるが、城崎では其程の規則的な関係は見出されなかつた。之は地下の状態が理論で仮定された理想的なものとは離れていると考えられることから当然の帰結であるが、然し、ともかく距離の大きな程、影響が小となる傾向は次表に示される通りである。

第二図 揚水前後に於ける温泉湧出量の変化。揚水前の値を100とする。



測定箇所	かき屋	一之湯	川中	三木屋	曼陀羅湯
揚水箇所よりの距離 (m)	60	120	180	410	470
湧出量減少率 (%)	30	13	11	9	4

湧出量測定箇所は其々位置の異なる二三の泉源の合流点なる故、揚水箇所より各泉源迄直線的にとつた距離の平均値で以て、その温泉の揚水箇所よりの距離とする。又、各温泉につき揚水前の湧出量と揚水中の平均湧出量との差を揚水前の湧出量で割つた値を百分率で示して、その温泉の湧出量減少率とする。

第三に注目すべきは揚水開始と共に減少した湧出量が、その後殆ど一定値を保ち、中には揚水中に逆に増加してゆくものもある。先に原因不明とした「御所湯」「鴻の湯」がその典形である。このような現象は後に行われた別府温泉での揚水試験²⁾にても観測せられたが、その原因は明かでなく、之が一般的な問題であるか否かは更に多数の実測を必要とする。

最後に、揚水量と湧出量との和、即ち地上に持ち来らされる温泉水の全量の変化をみれば、揚水中は揚水前よりも約20%の増加をして居り、地下に尙、余剰の温泉水が存在していることを示しているが、揚水停止後、各泉源の湧出量がすべて揚水前に及ばぬ為、その総量が揚水前よりも尙、約10%減少している。観測は揚水停止後20時間にわたり続行されているが、湧出量がこの観測期間後に完全に恢復するものかどうかは不明である。

尙、1930年松山博士等により行われた観測で、大津屋新泉源の湧出を押圧した時の他泉源¹⁾での湧出量の増加に関する報告があるが、押圧後、及び押圧停止後の湧出量の変化、恢復の資料に現在得た結果と類似したものが見出される。

5. 揚水による不圧地下水位の変化

之迄、種々の温泉現象につき他の地下水系よりの影響が論じられて来て居り、地下水と温泉との間に密接な関係の存在することは知られていたが、温泉が地下水に及ぼす影響については未だその報告を見ていない。今、城崎温泉の揚水試験に於て、温泉の揚水が地下水位に變動を及ぼす事実が実測せられ、其の間の相互関係を如実に示し得た。

温泉湧出量の測定と併行して不圧地下水位の測定が第一図に於ける8個の井戸で継続して行われ、第三図に見られるような不圧地下水位の変化の状況を示した。井戸番号 H_1 H_2 は其々もと温泉湧出口であつたものが、其の後、温泉が衰え地下水が混入して現在では全く普通の井戸となつているものである。

其等の測定値は第2表中に、揚水前の水位を0とし其れよりの低下量を負、上昇量を正として cm で示される。

(1), (2), (6), (H_1). に於て地下水位は揚水にやや遅れて明かに低下している。之等の井戸水位は大体揚水中は略々一定値を保ち、揚水停止後尙、揚水前には及ばなくても回復の傾向を示しているに拘わらず、唯 (2) のみは揚水中どんどん水位を低下し、揚水停止後も

第 2 表 井戸水位の変化

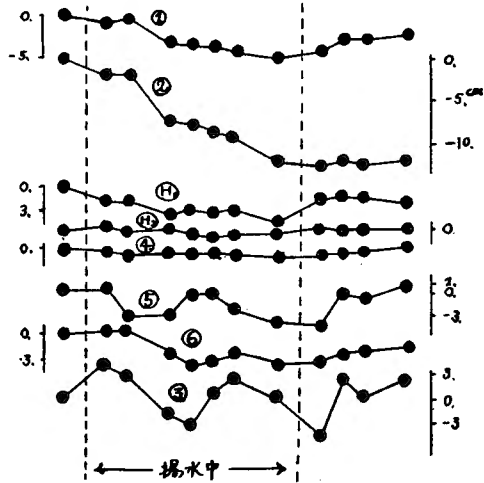
井戸番号	4 月 14 日			4 月 15 日				4 月	
	時 10.30 ~11.30	時 16.10 ~17.10	時 17.10 ~18.10	時 9.40 ~10.40	時 10.40 ~11.40	時 13.10 ~14.30	時 18.30 ~19.30	時 10.15 ~11.15	時 14.10 ~15.10
1	0cm	-1.0	-0.7	-3.3	-3.5	-3.8	-4.3	-5.0	-4.1
2	0	揚 -2.0	-2.0	-7.2	-7.7	-8.7	-9.2	-12.2	揚 -12.5
3	0	水 4.0	2.5	-1.9	-3.1	0.9	2.3	0.2	水 -4.3
4	0	開 -0.4	-0.7	-0.2	-0.6	-0.4	-0.6	-0.9	停 -0.6
5	0	始 0.2	-3	-2.7	-0.5	-0.2	-1.9	-3.5	止 -4
6	0	0.8	0.6	-2.4	-3.6	-3	-2	-3.8	-3.1
H ₁	0	-1.9	-1.8	-3.2	-2.8	-3.1	-3.0	-4.2	-1.5
H ₂	0	0.3	-0.5	-0.1	-0.6	-1	-0.7	-0.6	0

16 日		17 日
時 16.20 ~17.20	時 18.20 ~19.20	時 7.20 ~8.20
-2.7	-2.7	-2.2
-12.0	-12.5	-12.0
2.5	0.2	2.5
-0.4	-0.3	0.5
-0.1	-0.6	1.2
-2.4	-2.0	-1.5
-1.1	-1.1	-1.7
-0.2	-0.2	0

その低下したままの水位を維持するという特異な現象を示す。之が位相の遅れによるもので、いつか回復することは予想されるが、又何かの原因によりもはや水位を回復出来ないという場合も考えられぬでもない。

(4) (H₂) に於ても微弱乍ら影響が見られる。

第三図 揚水前後に於ける不圧井戸の水位変化、揚水前の値を 0 とする。



6. 温泉水と地下水との相関

上記の如く、揚水により不圧地下水位に迄、変化を来すことは温泉水層と不圧地下水層との間に緊密な連絡のあることを示すものであるが、更に之を証拠づけると思われる事実が存在する。

即ち、揚水停止直前の観測と直後の観測に於て、その温泉水を採水し、Cl⁻含有量を分析で求めた所、その両者の間にかなりの差異のあることが判明した。

揚水影響の大きい「かき屋」「一之湯」「三木屋」で揚水中 Cl⁻量のかかなりの減少が認められ、一方揚水影響の小さい泉源では殆ど変化がなかつたことが知られる。

之により、揚水の為、温泉水圧が低下して、地下水圧以下になつた箇所から地下水が温泉水層中へ透過混入して温泉水を稀釈するという事実が推定され、その為、揚水中の低下

第3表 揚水停止前後に於ける温泉Cl⁻含有量の変化。

	揚 水 中 Cl ⁻ 量 g/l	停 止 後 Cl ⁻ 量 g/l
な る 屋	2.17	1.95
か き 屋	2.17	2.60
一 之 湯	2.51	2.73
三 木 屋	1.88	2.57
曼 陀 羅 湯	1.88	1.88
御 所 湯	2.37	2.34
鴻 の 湯	2.14	2.15

くに存在している為に起つた現象と解釈されるが、其を確める為には尙、綿密な観測が必要である。

以上により、一般に地下水層内の圧力変化を扱う研究では、他の層との間の水の交換について常に考慮を払う必要があると信じられる。

7. 結 論

城崎温泉では、湧出量に対する揚水の影響は迅速に表われ、その影響の強さは揚水箇所よりの距離に関係する。揚水期間中には他泉源の湧出量は減少したままの略々一定値を保ち、遠く離れた泉源で逆に湧出量を増加するものもある。全泉源からの湧出総量と揚水量との和は、揚水中、揚水前より約20%増加し、余剰温泉水の地下に於ける存在を示しているように思える。

不圧地下水位も揚水により低下を示して、その変化は温泉湧出量の変化にやや遅れて略々対応して居る。又、揚水影響を大きく受ける泉源からの湧出水が揚水中その化学成分の減少を示している事実から、温泉水層と不圧地下水層との間の密接な関係が推定され、一般地下水理学上の取扱に重要な示唆を与える。

〔追 記〕

尙、この研究の後、昭和27年「御所湯」のやや西方に新泉源が掘さくせられたが、最近、その位置より相当距離隔つた旧掘さく廃井に川水の注入試験を行つたところ、その新泉源の湧出量にかなりの増加が見られた。この事実には各温泉間の水理的關係や温泉水の人工補給の可能性を示す興味深い問題として更に継続的な研究が期待されている。

終に、この研究に終始御指導を賜つた瀬野博士、観測に協力せられた当時の京大地球物理学教室学生諸君並びに地元各位に対して深甚の謝意を述べる次第である。

この研究に要した費用は大部分城崎町にて負担せられ、その一部は文部省科学研究費によつた。

参 考 文 献

- 1) 松山 基範：「城崎温泉について」地球 第27卷 第1号 第2号 (1937) pp. 3—14, pp. 79—91
- 2) 瀬野 錦蔵. 山下幸三郎：「別府温泉に於ける湧出量の相互関係について」地球物理 第8卷, 第2～4号 pp. 1—27.

Pumping Test in Kinosaki Springs, Hyōgo Prefecture.

Kyozo KIKKAWA

Abstract.

Discharge-rates of the observed springs were affected by the heavy draft continued for two days from a test well in Kinosaki Spä. Pumping effect diminished according to the distance from the test well and some increases in discharge were rather found at the furthest two springs. The total amounts of discharge and draft showed about 20% of increase from those before pumping.

Gradual lowerings in the level of unconfined groundwater were also found in some wells after pumping began. Cl⁻ contents in the thermal springs greatly affected by pumping decreased their amounts during the period of the test, while those in other springs maintained almost constant values. These informations show the close relation for interchange of the water between confined and unconfined aquifers.