

距離規制の妥当性について検証するための事例

ここでは、過去に枯渇化現象が生じた3つの温泉地を取り上げ、どのような源泉間の距離でなら枯渇化現象が生じないかを探ることとする。

なお、ここで考える源泉分布域とは、温泉を集水する地域としての性格を考慮していることから、主要な源泉を真円で包含させることができる面積として考えた。また、源泉の温泉湧出能力は地域毎、源泉毎で変化に富むことから、その温泉地内にある源泉数から適正な源泉距離を考察するのではなく、その温泉地からどれほどの温泉を採取していたのかを検証し、これを1源泉当たり湧出量の全国平均である100L/分で除すことでその地域内の源泉数に換算。その数値から1源泉が必要とする面積を算出し、また、その数値から源泉間距離を逆算した。

その検討結果を以下に示す。

(1) A温泉

枯渇化現象の状況	<p>A温泉は、当初は自噴利用が中心であったのが、昭和31年以降、動力揚湯が行われ始め、昭和33年2月には自噴利用から揚湯利用への変更を迫認し、昭和36年10月の審議内規の改正では動力揚湯を正式に認めるに至った。これに伴い、湧出量が増加し、枯渇化現象が出現し始めた。具体的な状況は以下の通りである。</p> <p>昭和29年当時のA温泉は利用源泉数が63で、自然水位は0～-1.0m、揚湯水位は-0.10～-3.0m、1井当りの平均湧出量は14.91L/分、全湧出量は約940L/分（日量1353m³）であって、自然湧出量の範囲内で需要に答えてきた。</p> <p>ところが、昭和33年4月の役場の調査によると、総湧出量（1556m³/日）は昭和31（1956）年4月以降、18%の増加を示した。</p> <p>昭和34年には利用源泉数が68と微増し、総湧出量は昭和29年時の940L/分から1,345L/分へと43%増加した。</p> <p>さらに昭和39年の調査時に、利用源泉数が63に減ったものの、総湧出量は1,424L/分（51.5%増加）に増加している。その結果、揚湯水位は-0.1～-3.0mから-4.7～-9.02mへと低下し、周辺あるいは上部から地下水の浸入を招来し、孔底温度と泉温の低下、溶存分量の減少となって現れてきた。</p> <p>以上のような経緯から、A温泉が洪積層の温泉層（第2次温泉源）から採湯している限り、昭和29年時の湧出量（約940L/分）にもどらなければ、過剰揚湯といわざるを得ない状況であることが指摘された。</p>
現在の状況	<p>平成17年当時のA温泉の利用源泉数は44に減り、総湧出量は1,100L/分台に減じ、平均温度は37.3℃から40.5℃へと回復している。温泉水位は昭和39年当時より若干低下している傾向があるものの、目立った低下ではなく、</p>

	昭和 39 年当時よりも健全化（回復）しているといえる。しかし、昭和 29 年時に比較すれば、平均温度は未だ低く、温泉水位も最大 10m 近く低下しているので、A 温泉の適正湧出量は昭和 29 年時の 940L/分程度として、大きな間違いはないものと思われる。
源泉分布面積	1.400km ²
源泉密度と源泉間距離	A 温泉における昭和 29 年当時の温泉湧出量 100L/分当たりの面積は 0.149km ² となり、その状態での源泉間距離は 413m となる（表 1 参照）。

(2) B 温泉

枯渇現象の状況	B 温泉は、大正末期頃までは自然湧出あるいは掘削自噴の状態が続いていた。戦後の高度成長期に入ると、多数の人が競うように新規の掘削を行い、揚湯を行うようになった。昭和 52 年当時で合計 137 もの源泉が所在した。その結果、温泉水位は急激に低下し、昭和 26 年当時には地表面下 20m 位であったものが、35 年頃には 100m（利用源泉数は 65、総湧出量は約 2,600L/分）になり、50 年頃には 200m（利用源泉数は 95、総湧出量は約 3,300L/分）にまで低下した。これにより、昭和 35 年には 1 井当たり 7.94 馬力で足りていた動力が、昭和 50 年には 15.78 馬力もの動力が必要となり、1 馬力当たりで揚湯できる量は逆に減少する事態となった。なお、昭和 38 年以降、平均温度の低下はほとんどない（おおむね 58℃程度）。
現在の状況	昭和 53 年から集中管理による給湯が行われている。これにより、稼働源泉数は 55→53 に減じ、総湧出量も約 2500L/分程度まで減少させた。その結果、昭和 56 年には温泉水位は地表面下 140m 台にまで回復している。
源泉分布面積	4.400km ²
源泉密度と源泉間距離	昭和 53 年の集中管理以後の湧出量 100L/分当たりの面積は 0.176km ² で、その状態での源泉間距離は 449m となる（表 1 参照）。

(3) C 温泉

枯渇現象の状況	C 温泉は、明治 31 年の記録では源泉数は 20、昭和 10 年代までは自然湧出泉や掘削自噴泉が存在し、昭和 21 年までは自然湧出泉と小規模揚湯泉とが共存した。しかし、昭和 22 年以降乱掘・増掘競争が始まり、昭和 25 年には自噴泉が姿を消した。 これまでの温泉湧出量や温度、温泉水位の変化状況は以下のとおりである。																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>年</th> <th>源泉数</th> <th>平均温度</th> <th>温泉採取量</th> <th>温泉水位（標高）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>昭和 15 年</td> <td>16</td> <td>66.0℃</td> <td>約 540L/分</td> <td>約 90m</td> </tr> <tr> <td>昭和 30 年</td> <td>30</td> <td>60.9℃</td> <td>約 1,280L/分</td> <td>約 70m</td> </tr> <tr> <td>昭和 35 年</td> <td>45</td> <td>58.2℃</td> <td>約 2,260L/分</td> <td>約 30m</td> </tr> <tr> <td>昭和 44 年</td> <td>58</td> <td>53.7℃</td> <td>約 2,000L/分</td> <td>約 14m</td> </tr> <tr> <td>昭和 50 年</td> <td>54</td> <td>54.0℃</td> <td>約 1,700L/分</td> <td>約 18m</td> </tr> </tbody> </table>	年	源泉数	平均温度	温泉採取量	温泉水位（標高）	昭和 15 年	16	66.0℃	約 540L/分	約 90m	昭和 30 年	30	60.9℃	約 1,280L/分	約 70m	昭和 35 年	45	58.2℃	約 2,260L/分	約 30m	昭和 44 年	58	53.7℃	約 2,000L/分	約 14m	昭和 50 年	54	54.0℃	約 1,700L/分	約 18m
年	源泉数	平均温度	温泉採取量	温泉水位（標高）																											
昭和 15 年	16	66.0℃	約 540L/分	約 90m																											
昭和 30 年	30	60.9℃	約 1,280L/分	約 70m																											
昭和 35 年	45	58.2℃	約 2,260L/分	約 30m																											
昭和 44 年	58	53.7℃	約 2,000L/分	約 14m																											
昭和 50 年	54	54.0℃	約 1,700L/分	約 18m																											

現在の状況	昭和 56 年から集中管理による給湯が行われ、それまでと比較して総湧出量は約 1,800L/分でありあまり変わらないものの、稼働源泉数は 34 に減じた。その結果、昭和 57 年には温度は 60.8℃に、温泉水位は海拔 80m 程度に回復した。稼働源泉数の減少にはその後も努力し、平成年代に入ると 22~24 井となっている。この間の総湧出量は 1,700~1,900L/分の範囲で推移し、温泉水位も海拔 70m 程度で安定している。
源泉分布面積	2.030km ²
枯渇現象発生時の源泉の密度	枯渇化の進行を止めることができた集中管理以後の湧出量 100L/分当たりの面積は 0.119km ² で、その状態での源泉間距離は 369m となる（表 1 参照）。

以上のとおり、現状（資源保護のための対策実施後）又は枯渇化現象発生前の温泉採取量から、1 源泉当たりの所要面積を計算すると 0.119~0.176 k m²となる。これが温泉資源の枯渇化現象を抑えるために必要な源泉密度となり、この密度の源泉を均等に配置するために必要な源泉間の距離は 369~449m となる。

（参考）

最も高い密度で源泉を配置した場合の 1 源泉あたりの所要面積

($0.866 \alpha^2 \text{ k m}^2$ ($=\sqrt{3}/2 \alpha^2 \text{ k m}^2$)) の考え方

距離規制の距離を $\alpha \text{ km}$ とした場合、最も高い密度で源泉を配置する方法は、一辺 $\alpha \text{ km}$ の正三角形の各頂点に源泉がある形である。それら正三角形の集合体からなる平面を源泉を中心とする四角形でモザイク状に剥ぎ取ると仮定すると、四角形は (α) と ($\sqrt{3}/2 \alpha$) を 2 辺とする長方形となる。ただし、長方形を用いたのは、区域内の空間を隙間なく均等に見積もるためであり、水文学的な考えを反映したものではない。

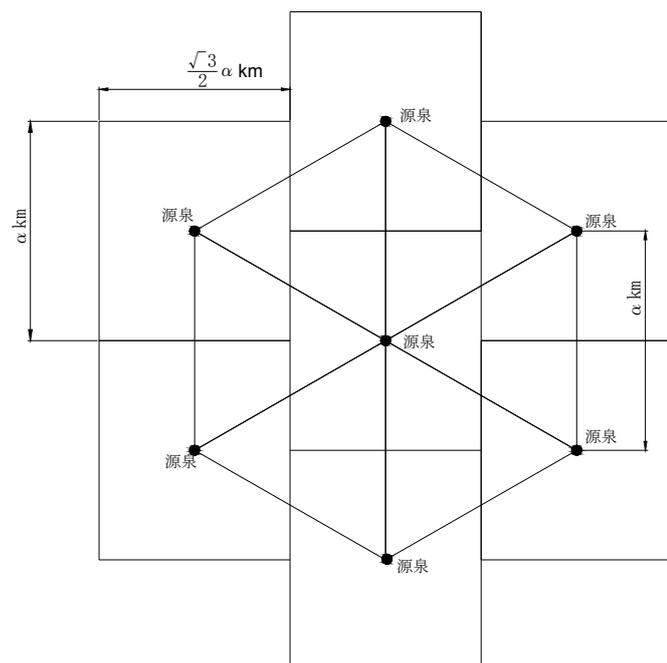


表 1 源泉分布面積と 100L/分当たり所要面積、源泉間距離

	A 温泉	B 温泉	C 温泉
①源泉分布面積 (km ²)	1.400	4.400	2.030
②合計温泉湧出量 (L/分)	940	2500	1700
③1 源泉 (100L/分) 当たりの所要面積 (km ²)	0.149	0.176	0.119
④上記に必要な源泉間距離 (=1.07√③, m)	413	449	369

距離規制の距離を α k m とした場合、最も高い密度で源泉を配置する方法は、一辺 α k m の正三角形の各頂点に源泉がある形である。その場合の 1 源泉当たりの面積は、 $0.866 \alpha^2 \text{ k m}^2 (= \sqrt{3}/2 \alpha^2 \text{ k m}^2)$ となる。逆に、1 源泉当たりの面積として $\beta \text{ k m}^2$ を確保するためには、各源泉の間に $1.07\sqrt{\beta} \text{ k m}$ 以上の距離を取れば十分となる。

熱収支について

熱収支の考えは、温泉を採取することで地下から奪われる熱量と、地球内部からの熱伝導で獲得できる熱量とを比較し、両者が釣り合うことで熱量的な均衡を取ることができる面積を検討したものである。

計算条件として、温泉の温度は 45℃、当該地域の気温は 15℃とし、1 源泉当たりの湧出量の全国平均である 100L/分 (≒100,000g/min) を採取したとすると、地下から採取する熱量 (Q_s とする) は以下の通りとなる。

$$Q_s = ((45 [^{\circ}\text{C}] - 15 [^{\circ}\text{C}]) \times 100000 [\text{g}/\text{min}]) / 60$$

$$= 50,000 \text{cal}/\text{sec}$$

一方、地球内部から熱伝導によって運ばれる熱量は、地殻熱流量^(※)と呼ばれる。日本における地殻熱流量は様々な文献等で公表・紹介されているが、ここでは地質調査所 (1980) による「日本温泉放熱量分布図」にコンターマップとして表現されているので、参照とされたい。

※地殻熱流量 (Q : cal/cm²·sec) とは、地球内部から地表に向かう熱の流れの量を意味する。地表付近ではほとんどの熱伝導で運ばれていると考えられるので、ある場所で地温勾配 (dT/dZ、T : 温度、Z : 深さ) と熱伝導率 K を測定することで、熱流量は次式により求められる。

$$Q = K \cdot (dT/dZ)$$

(新版地学事典 : 1996 による)

なお、1cal は常用的には 1g (≒1mL) の水の温度を 1℃上げるのに必要な熱量を指す。

これによると、我が国の非火山地域における地殻熱流量は 0.5~1.5HFU (1 HFU は 1 × 10⁻⁶cal/cm²·sec) の範囲にある。仮に、上記の温泉採取地点の地殻熱流量が 1.0HFU の地域であるとする、そこで獲得できる熱量 (Q_e とする) は 1 × 10⁻⁶cal/cm²·sec であり、1km² 当たり換算すると 10,000cal/km²·sec となる。したがって、上記の温泉採取によって奪われる熱量 (Q_s) を、熱伝導によって運ばれる熱量 (Q_e) で補填するには、Q_s/Q_e=5km² の面積が必要となる。これは半径 1.26km の円に相当する。

同様の計算を、いくつかの HFU 値に対応して試算した結果を表 1 に示しておく。

表 1 熱収支による集水必要面積試算例

地殻熱流量	HFU	0.5	1	1.5	2
同上（単位換算）	cal/cm ² ・sec	0.0000005	0.000001	0.0000015	0.000002
同上（1km ² 当たり）	cal/km ² ・sec	5,000	10,000	15,000	20,000
必要面積	km ²	10	5	3.33	2.50
半径	km	1.78	1.26	1.03	0.89

注:温泉の温度は45℃、当該地域の気温は15℃とし、湧出量は100L/分(=100,000g/min)としたので、温泉の熱量は50,000cal/secとなる。

経年的な水位低下について

以下の報告から、箱根カルデラと湯河原カルデラでは、1950年代後半から70年台にかけて著しい水位・温度・成分の低下が生じていたと考えられる。大山(1984^{(*)1}、1985^{(*)2})は、両カルデラにおける水がそれぞれ閉じた循環系を形成しているとみなし、当時の温泉総採取量と降水量の比を、箱根で2.3%、湯河原で5.5%と見積もっている。同報告によれば、カルデラへの平均降水量は箱根で2,830mm(108km²)、湯河原で2,200mm(30km²)である。一方、1979年度の温泉総湧出量は箱根で約27,000L/分、湯河原で約7,000L/分(いずれも神奈川県統計資料による)であり、温泉湧出量が降水量に占める割合は、箱根で4.6%、湯河原で5.5%となる。

*1: 大山正雄・広田 茂・迫 茂樹・栗屋 徹、1984: 湯河原の水位(1982年)、神奈川県温泉地学研究所報告、第15巻、第5号、183-191

*2: 大山正雄・平野富雄・大木靖衛、1985: 箱根の地下水とその利用、神奈川県衛生部

1. 湯河原温泉

- ① 大山・大木(1974) 湯河原温泉の水位の変遷、神奈川県温泉研究所報告、第6巻、第1号、31-46.

湯河原温泉の沿革を整理するとともに、1900年代初頭から1970年代までの、源泉総数、総湧出量の推移と、静水位の低下についてまとめている。湯河原温泉の開発が顕著だったのは1935~40年頃と、1950年以降の2時期であった。1935年頃の開発により、それまで自噴していた掘抜井戸が動力揚湯への切替えを余儀なくされる事態が発生したが、特に急激な水位低下が始まったのは1950年以降であり、総湧出量は1958年の5,400L/分(利用源泉数67)から、1978年の7,000L/分(利用源泉数103)まで増加している。これに伴う温泉井の水位低下は、1960年までは、温泉の揚湯が集中している地域を中心に水位低下が顕著であったが、その後も続いた温泉の掘削・利用の増加により、水位の低下範囲は湯河原温泉全体に拡大していった。1957年と1972年とで比較すると、水位低下の最大量は中心部で70m以上、周辺部でも40m程度であった。以上の結果から、湯河原温泉の総湧出量は、著しい水位低下が起きる前の毎分4,500~5,000L/分程度が適当であるとしている。

- ② 平野・栗屋・大山・大木(1976) 湯河原温泉の地下水位低下と温泉の冷地下水化 — こそめ橋周辺の古い源泉の場合 —、神奈川県温泉研究所報告、第7巻、第2号、53-68.

湯河原温泉の中心部(こそめ橋周辺)で古くから利用されている源泉について、井戸の深さ、温泉温度と湧出量、化学組成の推移や揚湯装置の変遷について検討

した。各源泉とも、水位の低下にともない、揚湯装置の設置、増掘、揚湯能力の強化といった経過をたどることで源泉の維持に努めてきているが、1960年以降は、水位・温度の低下だけでなく、溶存成分の減少、成分比率(Cl/SO₄比)の変化が観測されるなど、温泉の冷地下水化(浅層地下水の混入割合増加)が進行していることが明らかになった。

2. 箱根温泉

③大山・伊東・大木(1985) 箱根温泉の温度と湧出量の観測 昭和57-58年、神奈川県温泉地学研究所報告、第16巻、第5号、41-52.

箱根を代表する湯本・塔ノ沢、蛇骨、姥子、芦ノ湯の各温泉地で、温度・湧出量の連続観測を行った結果について検討した。このうち、湯本・塔ノ沢地域では、地域の総温泉湧出量の約8%を湧出する竪穴湧泉において、1958年から1970年にかけて泉温の低下が著しかった。また、蛇骨湧泉では、箱根の火山活動活発化の影響による温度上昇が観測されたものの、1968年以降、湧出量の減少傾向が続いていた。

④大山・久保寺・小鷹・伊東・迫(1985) 箱根火山中央火口丘東麓の温泉水位、神奈川県温泉地学研究所報告、第16巻、第5号、53-62.

箱根中央地区で1978(昭和53)年から行っている観測井の水位観測結果と、過去の水位の記録のある温泉井のデータについて検討し、1960年から1980年にかけての温泉水位の低下速度を、箱根中央部で0.3~0.5m/年、山麓周辺で0.8~1.0m/年、基盤岩中で0.7~0.8m/年と見積もった。

⑤平野・広田・小鷹・栗屋・大木(1976) 箱根塔ノ沢温泉の温度と化学成分、神奈川県温泉研究所報告、第7巻、第2号、85-92.

⑥平野・広田・大木(1977) 箱根湯本、下茶屋地区の温泉の湧出量と溶存成分の減少について、神奈川県温泉研究所報告、第8巻、第2号、51-66.

湯本・塔ノ沢温泉では、温泉総湧出量が、1953年の毎分2,810Lから、1983年には、その2倍以上にあたる6,023L/分に増加したのにもない、自然湧泉の枯渇、温泉の水位、温度、湧出量、溶存成分の低下が進行していることを報告している。

温泉採取制限事例

本地域では、掘削当初は大量に自噴する温泉が多くあった。しかし、源泉数及びそれに伴う温泉採取量の増加と共に水位(圧力)が低下し動力揚湯泉が多くなり、資源が急速に衰退していった。そのため、行政により資源動向調査と、モニタリングが行われ、現在は地域の温泉採取量を制限することで水位低下傾向を抑えることに成功している。なお、資源動向調査とモニタリングについては現在も実施されている。

1. 温泉資源動向

本地域の地下構造は平野が1つの大きな構造的な堆積盆を形成しており、層状に貯留された温泉である。浴用以外にもハウス暖房等の農業利用も行われている。

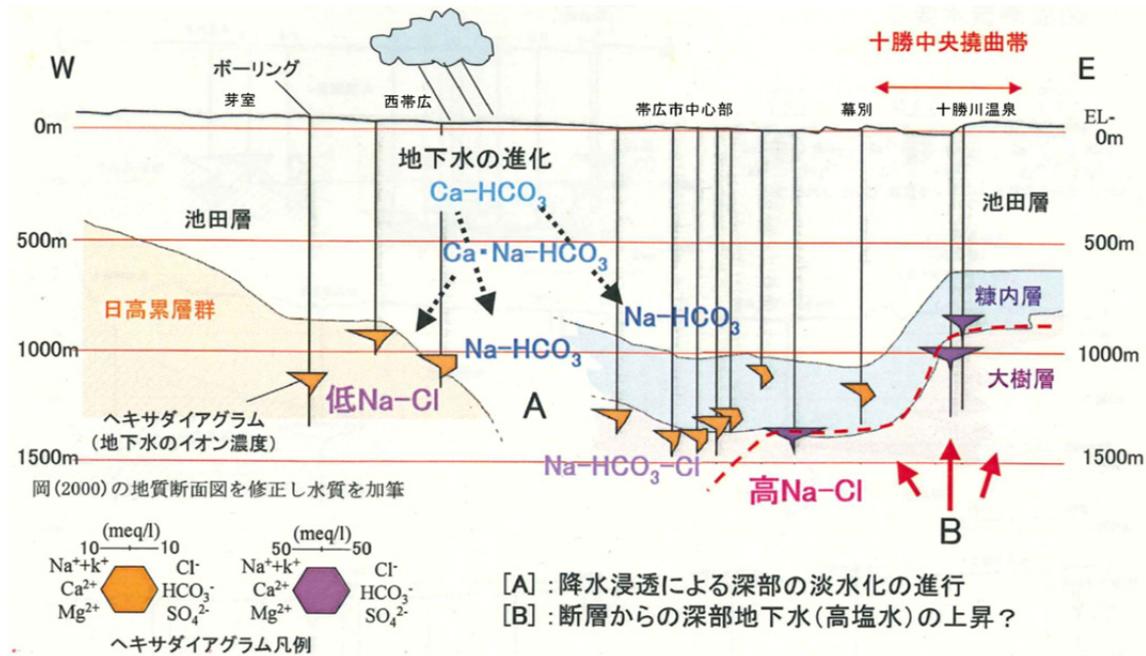


図1 十勝平野の温泉賦存状況 (宮川・馬原, 2005)

帯広市周辺では1960年～1973年にかけて、深度300～600m級のボーリングによる温泉開発が始まった。1974年と1976年には掘削深度850mと935mの掘削が行われ、湧出量600～800L/分、40℃弱の温度で自噴が確認された。これが帯広市付近での本格的な温泉開発の先駆けである。その後は開発ラッシュとなり、

1984年には掘削深度が1617mに達した。温泉の開発は1981年までの開発開始時期、1982～1986年の開発ラッシュ時期、1987～2004年の温泉保護時期、2005年以降の採取制限時期に区分される。1994年時における源泉総数は帯広市内で31源泉、周辺地域で32源泉となっている。温泉開発は1982年～1986年の5年間に集中している（図2参照）。

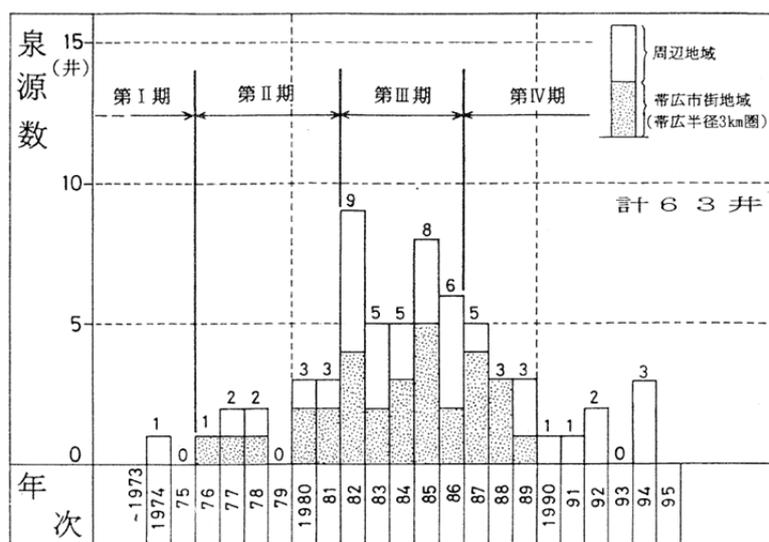


図2 掘削深度800m以上の源泉数の推移

水位変動に関しては長期に渡る詳細な水位モニタリングデータが存在し、温泉地総採取量と水位の関係は図3に示される。

帯広市内地域の総湧出量は、1982年に4056L/分であった。その後は増加し、1984年には9156L/分のピークに達したが、それ以降は、動力泉数が増えるとともに湧出量は減少傾向となる。1992年以降はほぼ6000L/分前後で横ばい状態となっている。現在では自噴源泉数とその湧出量は少なくなりほとんどの源泉が動力による揚湯を行っている。

自然水位分布は、1980年代に著しい低下を示している。各観測源泉では、1987年以後の保護地域設定が行われるまでにおおよそ20m以上にも及ぶ著しい低下が認められる。その後の1990年代に入ってから、保護地域・準保護地域指定により一時的に水位の低下傾向が緩やかとなるも1990年代後半からは保護地域（帯広市）周辺での掘削が増加したため再び低下傾向を示すこととなる。近年は、準保護地域の拡大とともに、保護地域は1源泉あたりの揚湯量を最大150L/分、準保護地域は300L/分に制限したことによる効果で徐々に低下速度が緩やかとなっている。

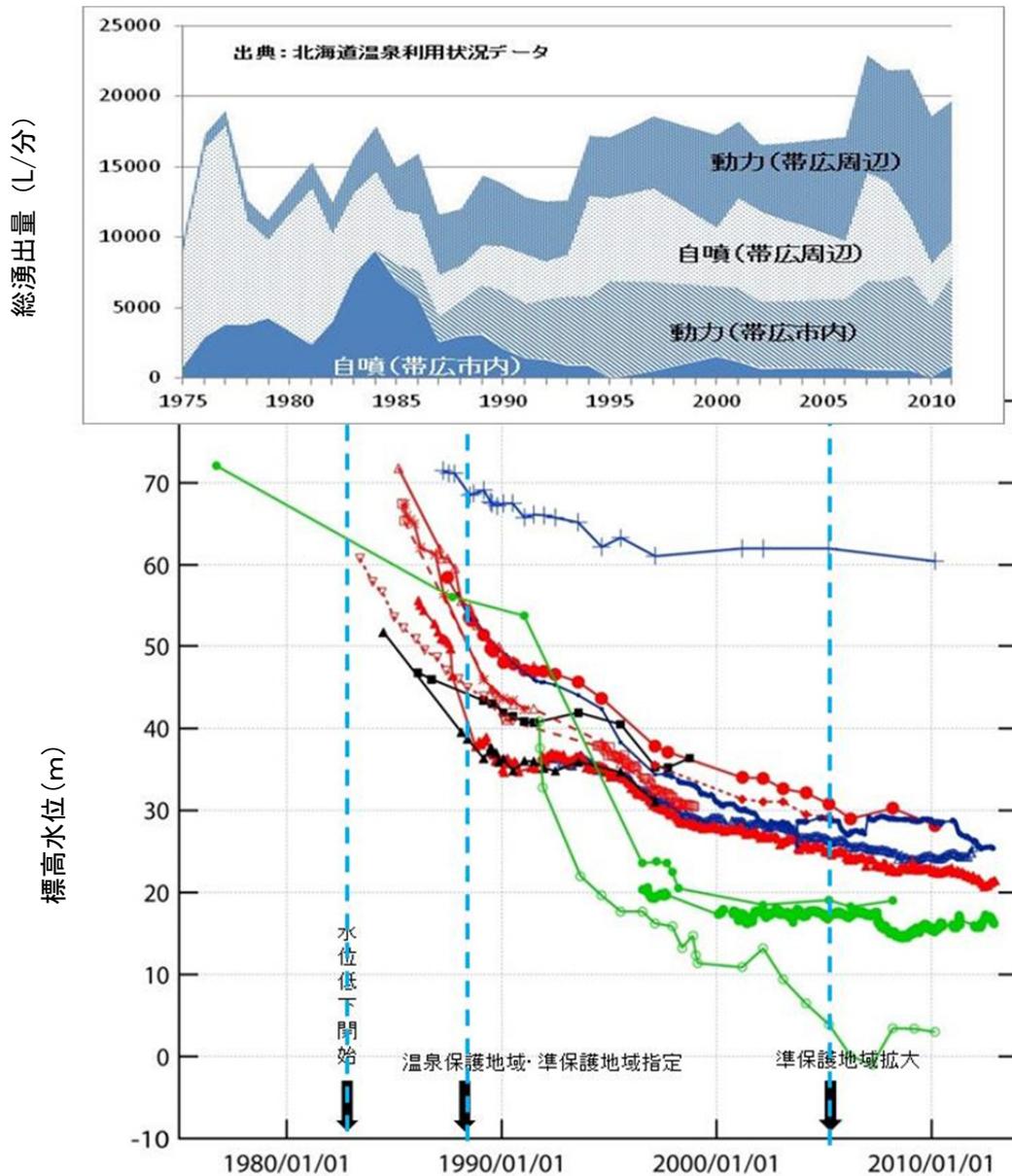


図3 帯広市及び周辺地域の温泉水位と総採取量の経年変化

2. 当地域における温泉賦存状況とこれまでの行政対応

温泉の量的評価を行う場合、温泉胚胎層に流入する量と流出する量のバランスを考える必要がある。バランスが崩れると地下水位の変動となって現れ、各源泉間の相互干渉などを発生させる原因となる。

道は、1985年以降地域の温泉資源が衰退を示したことから、源泉群全体が互いに影響しあう相互干渉状態を示すものと判断した。1986年12月より帯広市街地域について、温泉保護対策を実施し、引き続き監視を強めるとともに水位観

測等のモニタリングを開始した。1988年12月からは帯広市街地域を保護地域（原則として、新規掘削を禁止等）、隣接する西帯広地域については、準保護地域の措置（制限距離500m内は原則として新規掘削を禁止等）がとられている。

その結果、水位については帯広市街では、1983、1984年に年間5mの低下を記録した後は、徐々に緩やかな低下傾向となり1988年には同2m、1991～1994年には同0.5m程度でほぼ横ばい状態となり、保護対策の効果が現れている。その後も、周辺部での開発により、水位低下傾向が続いたため、2005年5月に準保護地域（音更町、幕別町の一部）を拡大するとともに、揚湯量の制限も実施した。

ただし、現在でも水位低下は続いており、安定した状態には見えない。したがって、当地域の温泉採取量は涵養存量よりも上回っていると考えられる。

昭和 51(1976)年 十勝川温泉温泉保護地域指定

昭和 63(1988)年 帯広市中心部保護地域
西帯広準保護地域指定

平成 17(2005)年 音更町、幕別町準保護地域指定

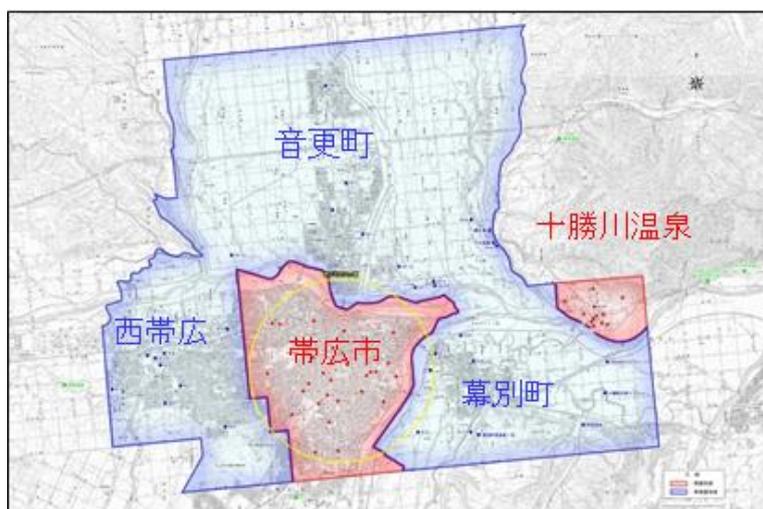


図4 保護地域の設定区域

3. 引用文献

北海道立地下資源調査所（1995）地質資源調査所ニュース 北海道立地下資源調査所広報誌， vol. 11， No4.

宮川公雄・馬原保典(2005)：地下水流動における断層破碎帯影響評価手法―地下水化学的調査の適用と系統的評価手段の提案―. 電力中央研究所報告, No4039, 26p.

表1 帯広市を中心とした温泉開発の変遷と資源動向及び行政対応

年代	開発動向	資源状況	資源動向モニタリングの取り組み	行政の取り組み
～1975年	1970年頃から1000m位浅の開発が行われる。	～40℃の温泉が大量自噴（毎分数千リットル規模）	開発当初から現在まで、地下資源調査所（現地質研究所）は資源状況のモニタリングを様々な形で継続	
1976～1981年	帯広市内で本格的な温泉開発が始まり、計11源泉が掘削される。	開発深度1000m前後で40～48℃の温泉が大量自噴（毎分数千リットル規模）		1980年頃から地元自治体等で深層熱水への関心が高まり、調査掘削等が行われる。
1982～1986年	帯広市内及び周辺地域での開発ラッシュ。計33源泉の掘削が行われる。	開発深度は最深1600mに達するようになり、掘削当初は大量に自噴する。最高温度は58℃を示した。その後、自噴量は徐々に減少し、既存源泉は徐々に水位低下した。	1986年5月、1源泉で水位観測を開始	1982年頃から帯広市内での水位低下・資源枯渇問題について道衛生部・温泉審議会での検討を開始。1986年12月より、市内中心部半径3km圏について準保護地域に指定する。
1987～2003年	1988年の保護対策施行後は開発地域が保護地域・準保護地域に隣接する場所で活発に開発が行われるようになった。1996年までに11源泉の開発が行われた。	自噴源泉の自噴量は減少し動力揚湯への切り替え、水位低下が継続する。保護対策施行後、一時的に水位低下の鈍化傾向が現れたが1996年頃から再び水位低下率が大きくなる。	1987年10月、1源泉で水位測定開始。1987年12月衛生部、温泉保護対策調査開始（業務課・帯広保健所、地下資源調査所共同）、1988年10月以後、市で2源泉水位測定開始、以降2源泉でも水位の測定が始まる。1992年6月には地下資源調査所、1源泉で水位測定を開始する。	1987年7月、市の温泉保護対策懇話会発足、1988年12月より市中心部を保護地域指定、隣接する西帯広地域について準保護地域指定が行われる。
2004年～	2004年以降は、準保護地域で若干掘削されているが、源泉総数はほとんど増加していない。	化石燃料価格の高騰等により、温泉熱利用が積極的に行われている地区もあり、汲み上げ量は減っていないようである。	現在のモニタリング体制、道保健福祉部が中心となり、毎年1～2回、湧出量、泉温、水位等の現地調査を実施している。連続モニタリングに関しては、温泉水位観測4箇所、泉温は3箇所、他地下水井3箇所です水位観測も行われている。	2005年5月より準保護地域が拡大、保護地域は1源泉当たりの揚湯量を最大150L/分、準保護地域は300L/分に制限する。

動力装置の際の影響調査実施手法及び揚湯試験実施手法

I 影響調査

1. 観測源泉の選定

動力の装置が「温泉のゆう出量、温度又は成分に影響を及ぼす」か否かを判断するため、動力を装置しようとする源泉（以下「対象源泉」）の周辺の既存源泉を「観測源泉」として捉え、当該観測源泉における影響の程度を調査する。

観測源泉の選定に当たっては、対象源泉からの距離、温泉採取深度、地質の構造、泉質の類似性等を考慮した上での位置関係、予測される影響範囲、測定の実易度等を考慮して、抽出することが適当である。なお、観測源泉数については、地域の特性や予想される影響の範囲を考慮し、設定すべきと考える。

2. 測定項目

2-1 観測源泉

源泉間の影響関係でもっとも鋭敏に反応するのは水位（自噴の場合には湧出量と孔口圧力（静止水頭））であり、温泉の温度や成分等への影響は、一般的に上記の項目に次いで変化が現れる項目である。

このため、影響調査で必須の測定項目は、水位（自噴では孔口圧力）、湧出量、次いで温度である。温泉法に基づく温泉成分分析は状況に応じて適宜測定すべき項目となるが、観測源泉の温度や成分濃度の変化が問題となることが予測される場合は、重要な成分項目を把握することが必要となる。なお、主要な成分分析のほかに、電気伝導率の測定が簡易的な状況把握の方法として挙げられる。

2-2 対象源泉

対象源泉においても、観測源泉との影響関係を検討するために、原則として観測源泉と同一の項目を測定する必要がある。

3. 測定に使用する機器

測定に使用する機器は例として以下のような機器があり、現場の状況に応じて、自動記録方式、機器の指示値の読み取り、現地測定を組み合わせた測定態勢を取ること

になる。電気伝導率は携帯型測定器を用いて測定することが可能である。

なお、観測源泉において、これらの機器の設置ができない場合、あるいは複数の項目が測定困難な場合は、測定可能な項目をもって影響の有無を判断せざるをえない。しかし、水位、湧出量がともに測定できない場合は、観測源泉としては不向きであるので別の周辺源泉を観測源泉とする等の対応も考えられる。なお、他に測定に適した源泉が存在しない場合は、単一井（対象源泉のみ）による影響調査を行うことも考えられる。

3-1 機器による測定

測定項目	主な機種等	規格
水位	圧力式等	±0.1% FS（フルスケール）程度
湧出量	電磁式等	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器等	測定精度±1% FS
温度	測温抵抗体等	分解能 0.1℃
記録方式	アナログ記録、デジタル記録、表示値の読み取り等	連続記録、定時での記録

3-2 観測員による定時測定

測定項目	主な機種等	測定
水位	触針式（ロープ式）等	1cm 単位以下で読み取り
湧出量	容積法、ノッチ法等	L/分単位で有効数字三桁程度
孔口圧力	ブルドン管式等（測定精度±1.6% FS 程度）	機器の指示値
温度	デジタル温度計等（分解能 0.1℃）と標準温度計の併用	0.1℃単位で現地測定
記録方式	—	現地測定・記録

4. 影響調査の実施期間

影響調査に当たっては、対象源泉を揚湯しない状態での測定（事前調査）、対象源泉を揚湯した状態での測定（本調査）、対象源泉の揚湯を停止した後の状態での測定（事後調査）の3つの期間を設定する。以下に実施期間の目処を記すが、温泉の採取層の特性や実情（距離、地質の構造、採取深度等）により、必要とされる日数は、大きく変わること留意し、影響による変動が継続し安定しない等、影響の程度を把握することが困難な場合は、調査期間を延長する、もしくは対象源泉の採取量を変更する等の対応が必要とされる。

4-1 事前調査

観測源泉の通常期（対象源泉による揚湯が行われていない状態）の湧出状況を把握するためのものである。測定に必要とする期間は源泉の特性によるが、変動が少なく安定している源泉であれば3日間程度を目処とする。変動が大きい場合には、調査前の状況を詳細に把握するために、より長い期間を要することに留意する。この調査期間の測定内容は以下の通りとする（重要な項目から順に記す）。

a) 対象源泉での測定

水位（静水位）

b) 観測源泉での測定

揚湯の場合：水位（静水位、動水位）、湧出量、温度、
その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

自噴の場合：孔口圧力（静止水頭）、湧出量、温度、
その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

4-2 本調査（1段階で1日程度、5段階を目処）

観測源泉において、対象源泉の湧出量に応じた影響の有無とその程度を確認するため、対象源泉の湧出量を段階的に増やす方式を推奨する。湧出量の設定は、動力揚湯の場合、下限は使用するポンプで制限可能な最小揚湯量、上限は採取制限量が定められている場合には許可制限量、もしくは対象源泉の適正揚湯量又は計画採取量とし、5段階程度に区分する。1段階の揚湯期間は1日程度を目安とするが、最終的な影響の程度の確認が重要となるので状況により調整する。この間での揚湯時間（例えば、終日運転か昼間のみの運転か等）については、温泉の採取状況等を勘案して決定する。

対象源泉の5段階以上の揚湯量の設定が困難な場合は、状況に応じて段階を設定することとし、調査期間はその段階設定に対応することになる。

なお、この調査期間の測定内容は以下の通りとする（対象源泉・観測源泉ともに共通であり、重要な項目から順に記す）。

- ・水位（自噴の場合は孔口圧力（静止水頭））
- ・湧出量
- ・温度
- ・その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

4-3 事後調査

影響調査時に出現した変動が対象源泉によるものか否か（影響要因となるか否か）を再確認するものであり、対象源泉揚湯停止後の変動を測定する。測定に必要とする期間は源泉の特性により異なるが、本調査の結果を目処に判断する（3日間程度を目処）。本調査時に明確な変動がなければ、事後調査の実施は省略することもできる。この調査期間の測定内容は以下のとおりとする（重要な項目から順に記す）。

a) 対象源泉での測定

水位（静水位）

b) 観測源泉での測定

揚湯の場合：水位（静水位、動水位）、湧出量、温度、その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

自噴の場合：湧出量又は孔口圧力（静止水頭）、温度、その他（電気伝導率、重要な成分項目の分析等）

5. 測定方法

5-1 自動記録

アナログ記録計（ペン式又は打点式）では連続記録、デジタル記録計による場合のデータサンプリング間隔は10分程度を目安とし、前者の場合は連続記録をそのまま図化するかもしくは10分間隔程度でデータを読み取る。

5-2 観測員による定時測定

a) 水位又は孔口圧力（静止水頭）（対象源泉・観測源泉ともに共通）

対象源泉の揚湯開始又は停止を起点として、最初は短い間隔で測定し、変動が小さくなるに従い徐々に測定間隔を長くすることが考えられる。測定例を以下に示す。

《測定例》

経過時間	測定間隔
0 ～30分	: 1～5分
30 ～60分	: 5～10分
60 ～120分	: 10～30分
120分～	: 30～60分（より長期の場合も60分を目処とする）

b) 湧出量・温度（対象源泉・観測源泉ともに共通）

原則 60 分間隔を目安とする。

c) 上記の実施が困難な場合

夜間の観測員による定時測定が場所や利用状態によっては困難となることもある。そのため、測定間隔は柔軟に対処し、これに応じて測定の実施期間も変更すべきである。

5-3 影響調査時の観測源泉の状態

影響調査時の観測源泉は、未利用休止状態で水位（静水位）や孔口圧力（静止水頭）を測定するのが理想であるが、実際は温泉を利用しているために水位等の測定が困難なケースが多い。利用している源泉では、長期にわたり揚湯（自噴）を休止することは困難であるので、影響調査期間中は観測源泉および周辺源泉の揚湯（自噴）状態をできる限り一定とすることが望ましい。

特に間欠的な揚湯を行っている源泉の場合は、対象源泉の影響を誤認しないように、調査期間中はできれば一定の揚湯状態を維持すること。これが実現困難な場合は、通常状態における運転状況を観察・記録し、その影響の程度を把握することが考えられる。

6. その他特記事項

6-1 関連データの収集

一般的に浅深度で湧出する温泉は、降水量や潮汐等の自然的要因を含む周辺環境の影響を受け、常に変化するものである。影響調査時には、直近の気象観測点の気象データ（降水量、気温、気圧等）とともに、付近の河川水位や潮位等のデータも収集・整理し参考とする（国土交通省、気象庁等の公表データ等を活用する）。

また、温泉の湧出状況は、地下水位の影響も受けていることがある。源泉分布域の中に水井戸が存在していることが確認できる場合、その揚水量や揚水時間、水位等を測定して参考資料とすることも考えられる。大深度掘削泉の場合は、事前調査の状況から上記した項目から必要な資料を判断する。

6-2 測定間隔や揚湯期間の変更

対象源泉、観測源泉の水位は、揚湯後速やかに安定する場合と、安定しない場合とがある。影響調査での揚湯期間は 1 段階につき 1 日程度としたが、早期に水位が

安定する場合は、これよりも短い揚湯期間で影響判断が可能なこともある。一方で、水位が低下し続け安定しない場合は、揚湯期間を延長する必要もあり得る。要は、状況に応じた適切な方法を採用し、影響量を確認することが重要であり、測定間隔をより短くしたり、測定期間をより長くしたりすることは差し支えない。

6-3 調査の協力が得られない場合について

既存源泉所有者等にとっては、温泉資源への影響調査を通じて、源泉の状態把握や異常の有無等により、自己が所有する源泉の健全性の確認や井戸の適切な維持・管理が可能となる。また併せて、将来、近傍で新たな温泉掘削等が行われる場合において、当該温泉掘削等により所有源泉に影響が生じた際の科学的根拠となる貴重なデータともなる。

また、既存源泉所有者は調査に協力しない場合に、所有源泉に何らかの影響が生じたことを主張する際には、源泉所有者自身が影響関係を科学的に証明しなければならないこともある。影響調査に関する趣旨の説明は、事前に周知するほか、都道府県が既存源泉所有者に協力を依頼する際に個々に説明を実施する方法も考えられ、それらに併せて説明の経緯や調査への協力の有無を記録しておくこともあり得る。どうしても協力が得られない場合は、例えば揚湯試験結果から単一井による推定を実施したり、他源泉への影響量から推定を実施する等、他の方法により推定を行うことも可能であると考えられる。なお、既存源泉所有者は可能な限り協力することが重要であり、所有源泉をはじめとする地域の温泉資源保護のためにも、こうした協力は源泉所有者に求められることである。

II 揚湯試験（集湯能力調査）

1. 揚湯試験の種類と目的

段階揚湯試験による限界揚湯量とその結果から判断する当該井戸の能力評価の適正揚湯量の検討は、その後の連続揚湯試験での設定揚湯量を調べるための調査であり、連続揚湯試験により過度な水位低下を招くことのない水位の安定を確認し、持続的に安定して採取できる温泉の量に調整することで、温泉資源の保護を図ることが主目的である。ただし、個々の源泉における揚湯試験で適正と判断した適正揚湯量の総計が、必ずしも地域の適正揚湯量ではなく、過大となることがあることにも注意が必要である。そのため、適正揚湯量の検討には、揚湯試験結果だけではなく前述した影響調査結果やモニタリングによる温泉資源動向も考慮しての判断が必要とされることもある。

1-1 予備揚湯試験

孔内洗浄の後、実際にポンプを使用して揚湯を行って揚湯量と水位との関係を確認し、段階揚湯試験等の計画を立てるための基礎資料を得るのが予備揚湯試験である。調査期間は1日程度を目処とする。このため予備揚湯試験の結果を踏まえて、段階揚湯試験、連続揚湯試験においては、それぞれの試験に適合する能力のポンプを準備する必要がある。なお、孔内洗浄が不十分であったり、試験の条件に適合しないポンプでは揚湯試験が適切に行えない場合もある。

1-2 段階揚湯試験

この試験は、揚湯量を段階的に変えて、その段階ごとの揚湯量と水位（水位降下量）との関係の調査であり、5段階以上で実施することを基本とする。設定する最大揚湯量は、湧出量に関する採取制限量が定められている場合にはその制限量を、採取制限量が定められていない場合は使用するポンプの能力又はその源泉から採取可能な量とし、最小揚湯量は使用するポンプで制限可能な量とする。

1段階の揚湯時間は、最低1時間とするが、調査時間を延長しても水位が安定しない場合は、おおよその水位の安定をもって次の段階に移行せざるを得ない場合もある。なお、採取可能な量が少ないときは、その採取量の範囲内で可能な段階を設定するものとし、さらに少なければ、次の連続揚湯試験のみを実施することになる。

1-3 連続揚湯試験

段階揚湯試験で得られたデータを基に、湧出量に関する採取制限量が定められている場合には、その制限量の範囲内で、試験実施者がその源泉で適正と算出した量又は将来的に採取することになる計画採取量に設定して、一定の量で長期間の揚湯を行う試験である。この試験の所要日数は、水位が安定化するまでを基本とし、3～7日間程度を目処に安定を確認する。

揚湯変動試験におけるおおよその安定の目安は段階揚湯試験では、1時間当たりの水位変動量が全体水位変動量のおおむね0.2%以内となるまでとする。連続揚湯試験では、6時間当たりの水位変化量が全体水位変化量のおおむね0.2%以内となるまでを目安とする（なお、平成21年3月策定のガイドラインでは、全体水位変化量の0.1%以内と示していたが、温泉では一般的な地下水と異なり様々なケースが考えられるため目安を0.2%以内と変更した）。ただし、こういった数値は目標値であり、例えばガスを多く含むような温泉では、測定が難しくどうしても安定しないこともある。また、0.2%以内でも継続的に水位が低下しているような場合は、完全に安定しているとは言えないこともあり、水位が安定しない場合は、試験期間を延長したり、使用する機器の精度や温泉の特性、水位変化の様相も考慮しての総合的な判断が重要となる。

1-4 回復試験

連続揚湯試験から引き続く試験であり、揚湯を停止した後の水位回復状況を測定するものである。測定期間は1日以上とする。

2. 揚湯試験の測定項目と測定方法

揚湯試験で測定すべき項目と測定間隔は、「I 影響調査 5. 測定方法 5-2 観測員による定時測定」と同様に実施すること。

3. 揚湯試験の測定機器

揚湯試験に使用する測定機器は、「I 影響調査」の項で記した測定機器を援用すること。

4. 揚湯試験の測定期間

対象源泉の水位は、試験開始後速やかに安定する場合と、安定しない場合とがある。

速やかに水位が安定する場合は、上記に示したよりも短い揚湯期間で影響判断が可能なのこともある。一方で水位が安定しない場合は、揚湯期間を延長する必要もあり得る。

5. 特殊な事例

揚湯に伴い水位が上昇する、湧出量が少なく上記した通常の揚湯試験が行えないなどの特殊事例については、水位が安定する適正揚湯量を何らかの方法で判断する必要がある。参考までに事例について別紙 12Ⅱ及びⅢに紹介する。

6. 揚湯試験実施要領事例

都道府県によっては揚湯試験に関する実施要領を作成し申請手続きの円滑化を図っているところがある。以下に、神奈川県小田原保健福祉事務所の例を揚湯試験実施要領と記載例の抜粋を紹介する。

揚 湯 試 験 実 施 要 領

1 目的

源泉の適正揚湯量を把握して、温泉資源の保護を図ることを目的とする。

2 実施方法

揚湯試験は、段階揚湯試験、連続揚湯試験及び水位回復試験とし、この順で実施する。

(1) 測定値の記述について

泉温（℃）：小数点以下第1位まで測定する。

水位（m）：地表面を基準とし、小数点以下第2位まで測定する。

揚湯量（L/分）：整数で表示する。

(2) 揚湯試験を行う前に、事前準備として孔内洗浄及び予備揚湯を行い、動力や源泉井戸の揚湯特性の概要を把握する。

(3) 段階揚湯試験

① 自然水位（揚湯していない状態での水位）を測定する。自噴泉の場合も可能な限り測定する。

ア 自噴していない源泉の場合

動力を用いて揚湯している温泉などは温泉水頭が地表下に位置しているの

で、その静水位を測定して自然水位とする。

イ 自噴している源泉の場合

自噴状態の泉温及び湧出量を測定する。測定後、湧出口を地表よりも高くしていくと自噴量が減少し、ある高さになると全く停止する。このときの高さを自然水位とする。

- ② 5段階以上の揚湯量を決定する。利用計画に基づいた必要な揚湯量を基準にして、それよりも少ない揚湯量、多い揚湯量をそれぞれ2～3段階設定する。あるいは揚湯試験に用いる動力装置による最大揚湯可能量を5等分して基準にする方法などがある。
- ③ ②で設定した揚湯量について、最小揚湯量から順に各段階の揚湯量で継続して揚湯しながら、時間の経過と共に動水位及び水温の変化を測定する。各段階の試験は動水位が安定するまで（目安としては水位の低下速度が1時間に0.1m以下となるまで）行う。
- ④ 測定により得られた結果から、各段階における揚湯量（Q）を横軸に、自然水位からの水位降下量（S）を縦軸に取った揚湯量－水位降下量図（Q－S図）を作成する。揚湯量－水位降下量図は両対数グラフで作成し、縦軸と横軸の目盛りは等倍であることが望ましい。
- ⑤ 揚湯量－水位降下量図において、揚湯量と水位降下量の関係を示す線が、両対数グラフの対角線（傾き1の直線）よりも急になる最初の点の揚湯量が限界揚湯量となり、その80%を適正揚湯量とする。揚湯量－水位降下量図により限界揚湯量が見出せない場合、段階揚湯試験を実施した最大の揚湯量を限界揚湯量とみなすこととする。

（4） 連続揚湯試験

段階揚湯試験により設定した適正揚湯量で連続して揚湯し、時間の経過と共に動水位及び泉温の変化を測定する。連続揚湯試験は動水位が安定するまで（水位の低下速度が1時間に0.1m以下となるまで）行う。

（5） 水位回復試験

連続揚湯試験の終了と共に揚湯を停止し、時間と共に水位、温度がどのように回復するかを測定する。水位が自然水位まで回復し、安定（水位の上昇速度が1時間に0.1m以下となるまで）した時点で終了する。

3 結果のまとめ

揚湯試験の結果は以下のように整理する。（2）～（4）については記載例を参

考に作成すること。

- | | | |
|-----|--------------------|-------------------|
| (1) | 揚湯試験結果表 | (別紙①) |
| (2) | 段階揚湯試験結果 | (記載例 1 - 1、1 - 2) |
| (3) | 連続揚湯試験・水位回復試験結果 | (記載例 2) |
| (4) | 揚湯量－水位降下量図 (Q－S 図) | (記載例 3) |

4 その他

(1) 上記の規定により試験を実施することが困難な場合は、個別に指導するものとする。

(2) 試験においては排水、騒音など周辺環境に配慮して行うこと。

(3) 水位、温度の測定間隔の目安

各試験の測定時間の間隔は、開始直後はできるだけ細かく測定し、間隔を開けるのは水位の変化が緩やかになってからにすること。

例) 開始後10分までは1分間隔、10分から30分までは5分間隔、30分から60分までは10分間隔、60分以降は30分、60分間隔など。

(別紙①)

揚 湯 試 験 結 果 表

試験 実施日	年 月 日 ~ 年 月 日					
試験 実施者	住所	TEL - -				
	氏名	(担当者氏名 :)				
源泉 所有者	住所	TEL - -				
	名称					
源 泉	所在地					
	名 称					
	深 度	m	掘削口径	mm	水止め位置	m
動力の 能力,形式						
試 験 結 果						
区分	揚湯量 (L/分)	動水位 GL-(m)	水位降下量 (m)	泉温 (℃)	揚湯時間 (分)	備 考
自然水位						
第1段階						
第2段階						
第3段階						
第4段階						
第5段階						
連続 揚湯試験						

(記載例 1 - 1)

段階揚湯試験結果

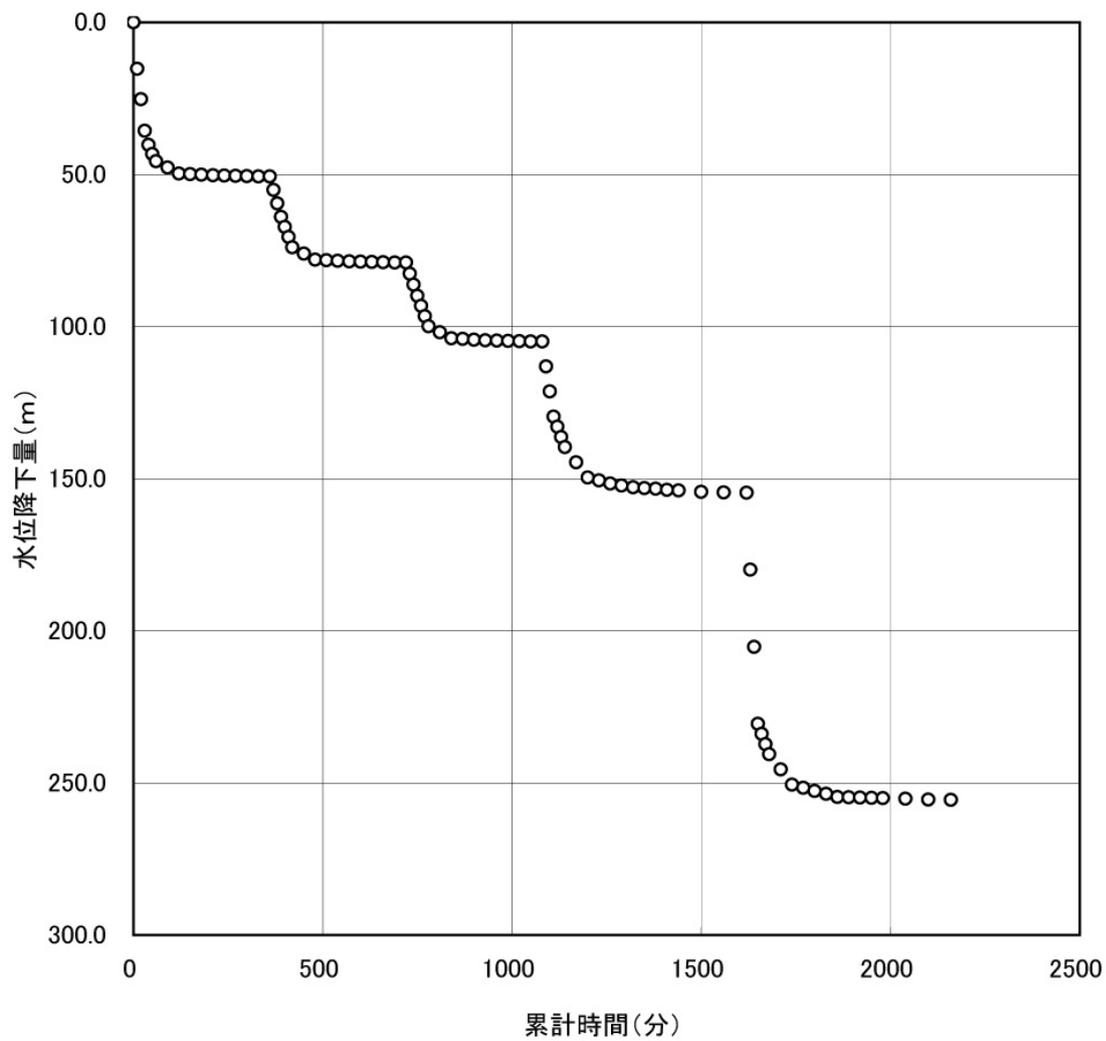
(平成 年 月 日 ~ 平成 年 月 日)

時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (°C)	揚湯量 (L/分)
0	0	77.7	0.0		0
10	10	93.0	15.3		50
20	20	103.0	25.3		50
30	30	113.4	35.7		50
40	40	118.0	40.3		50
50	50	121.0	43.3		50
60	60	123.4	45.7		50
90	90	125.4	47.7		50
120	120	127.4	49.7		50
150	150	127.6	49.9		50
180	180	127.8	50.1	27.8	50
210	210	128.0	50.3		50
240	240	128.1	50.4		50
270	270	128.2	50.5		50
300	300	128.3	50.6		50
330	330	128.4	50.7		50
360	360	128.4	50.7	28.0	50
10	370	132.8	55.1		80
20	380	137.2	59.5		80
30	390	141.7	64.0		80
40	400	145.0	67.3		80
50	410	148.3	70.6		80
60	420	151.7	74.0		80
90	450	153.7	76.0		80
120	480	155.7	78.0		80
150	510	155.9	78.2		80
180	540	156.1	78.4	28.3	80
210	570	156.3	78.6		80
240	600	156.4	78.7		80
270	630	156.5	78.8		80
300	660	156.6	78.9		80
330	690	156.7	79.0		80
360	720	156.7	79.0	28.5	80
10	730	160.3	82.6		110
20	740	163.9	86.2		110
30	750	167.6	89.9		110
40	760	170.9	93.2		110
50	770	174.3	96.6		110
60	780	177.6	99.9		110
90	810	179.6	101.9		110
120	840	181.6	103.9		110
150	870	181.8	104.1		110
180	900	182.0	104.3	29.3	110
210	930	182.2	104.5		110
240	960	182.3	104.6		110
270	990	182.4	104.7		110
300	1020	182.5	104.8		110
330	1050	182.6	104.9		110
360	1080	182.6	104.9	29.5	110

時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (°C)	揚湯量 (L/分)
10	1090	190.8	113.1		130
20	1100	199.0	121.3		130
30	1110	207.3	129.6		130
40	1120	210.6	132.9		130
50	1130	214.0	136.3		130
60	1140	217.3	139.6		130
90	1170	222.3	144.6		130
120	1200	227.3	149.6		130
150	1230	228.3	150.6		130
180	1260	229.3	151.6	31.2	130
210	1290	230.0	152.3		130
240	1320	230.5	152.8		130
270	1350	230.8	153.1		130
300	1380	231.0	153.3		130
330	1410	231.4	153.7		130
360	1440	231.6	153.9	31.3	130
420	1500	232.0	154.3		130
480	1560	232.2	154.5		130
540	1620	232.3	154.6	31.5	130
10	1630	257.6	179.9		160
20	1640	283.0	205.3		160
30	1650	308.3	230.6		160
40	1660	311.6	233.9		160
50	1670	315.0	237.3		160
60	1680	318.3	240.6		160
90	1710	323.3	245.6		160
120	1740	328.3	250.6		160
150	1770	329.3	251.6		160
180	1800	330.3	252.6	33.5	160
210	1830	331.3	253.6		160
240	1860	332.3	254.6		160
270	1890	332.4	254.7		160
300	1920	332.5	254.8		160
330	1950	332.6	254.9		160
360	1980	332.7	255.0	33.6	160
420	2040	332.9	255.2		160
480	2100	333.2	255.5		160
540	2160	333.3	255.6	33.8	160

(記載例 1 - 2)

段階揚湯試験結果



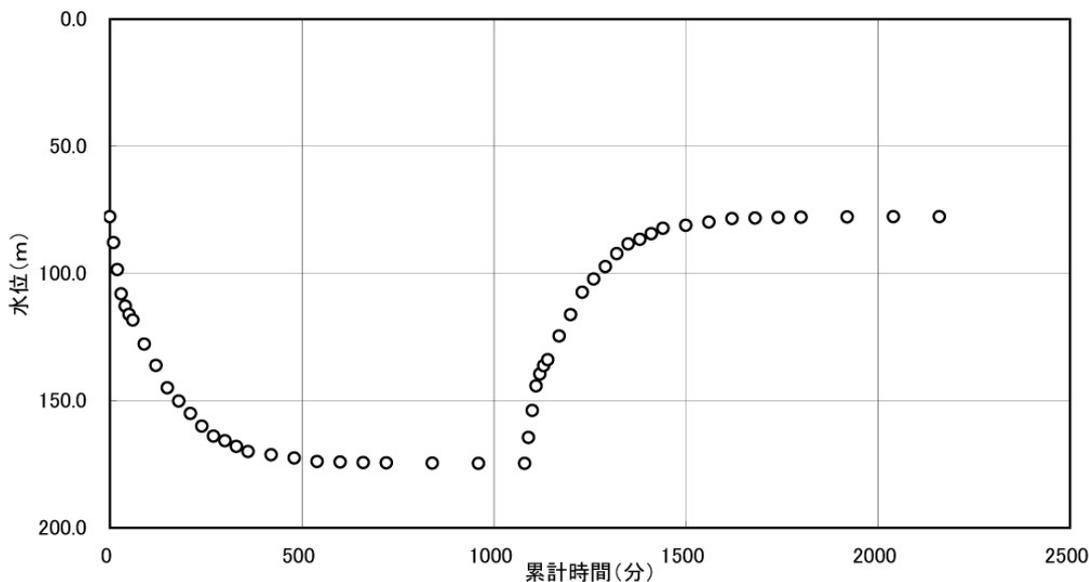
(記載例2)

連続揚湯試験・水位回復試験結果

(平成 年 月 日 ~ 平成 年 月 日)

時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (°C)	揚湯量 (L/分)	時間 (分)	累計時間 (分)	水位 (m)	水位 降下量 (m)	泉温 (°C)	揚湯量 (L/分)
0	0	77.7	0.0		100	10	1090	164.5	86.8		-
10	10	87.9	10.2		100	20	1100	153.9	76.2		-
20	20	98.5	20.8		100	30	1110	144.3	66.6		-
30	30	108.1	30.4		100	40	1120	139.6	61.9		-
40	40	112.8	35.1		100	50	1130	136.3	58.6		-
50	50	116.1	38.4		100	60	1140	134.0	56.3		-
60	60	118.4	40.7		100	90	1170	124.6	46.9		-
90	90	127.8	50.1		100	120	1200	116.2	38.5		-
120	120	136.2	58.5		100	150	1230	107.4	29.7		-
150	150	145.0	67.3		100	180	1260	102.2	24.5		-
180	180	150.2	72.5	28.8	100	210	1290	97.3	19.6		-
210	210	155.1	77.4		100	240	1320	92.3	14.6		-
240	240	160.1	82.4		100	270	1350	88.4	10.7		-
270	270	164.0	86.3		100	300	1380	86.6	8.9		-
300	300	165.8	88.1		100	330	1410	84.4	6.7		-
330	330	168.0	90.3		100	360	1440	82.3	4.6		-
360	360	170.1	92.4	29.0	100	420	1500	81.1	3.4		-
420	420	171.3	93.6		100	480	1560	79.8	2.1		-
480	480	172.6	94.9		100	540	1620	78.4	0.7		-
540	540	174.0	96.3		100	600	1680	78.2	0.5		-
600	600	174.2	96.5		100	660	1740	78.0	0.3		-
660	660	174.4	96.7		100	720	1800	77.9	0.2		-
720	720	174.5	96.8		100	840	1920	77.8	0.1		-
840	840	174.6	96.9		100	960	2040	77.7	0.0		-
960	960	174.7	97.0		100	1080	2160	77.7	0.0		-
1080	1080	174.7	97.0	29.1	100						

連続揚湯試験、回復試験結果



(記載例3)

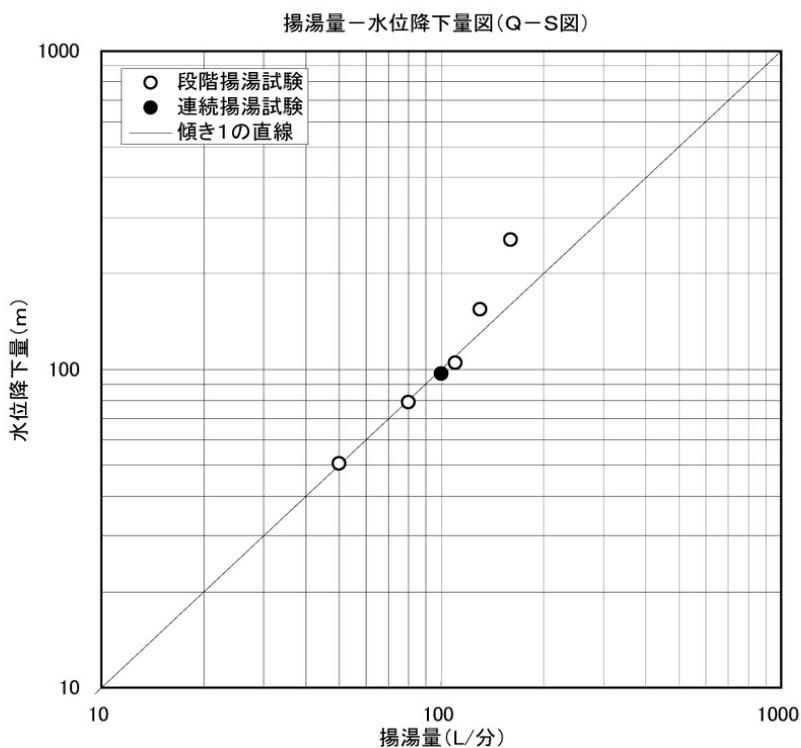
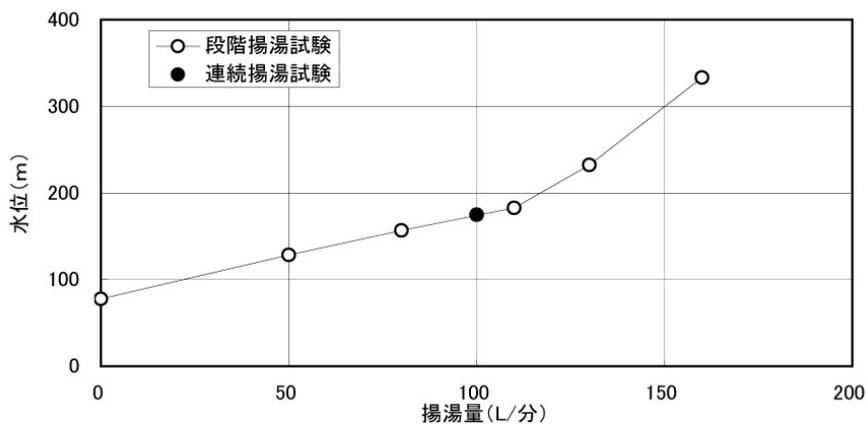
揚湯量－水位降下量図

段階揚湯試験結果

揚湯量 (L/分)	水位 (m)	水位降下量 (m)	経過時間 (分)	泉温 (°C)
0	77.7	-	-	-
50	128.4	50.7	360	28.0
80	156.7	79.0	360	28.5
110	182.6	104.9	360	29.5
130	232.3	154.6	540	31.5
160	333.3	255.6	540	33.8

連続揚湯試験結果

揚湯量 (L/分)	水位 (m)	水位降下量 (m)	経過時間 (分)	泉温 (°C)
0	77.7	-	-	-
100	174.7	97.0	1080	29.1



揚湯試験実施要領

<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/2985.pdf>

揚湯試験実施要領記載例

<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/2986.pdf>

(2011年3月31日更新)

影響調査事例

I 掘削深度の浅い温泉での事例

1. 影響調査の背景および源泉状況

別府温泉の事例を紹介する。各源泉の掘削深度はおおむね 100～200m であり、狭い範囲に数多く分布している。当時、別府温泉及びその周辺では揚湯泉の増加と共に自噴泉の数や湧出量が減じたことから揚湯に伴う既存源泉への影響調査が数多く行われている。ここでは、昭和 43 年から 44 年に北石垣地区と鉄輪地区で実施された調査結果事例の一部を抜粋する。

2. 調査の方法

ある源泉で揚湯を行い、揚湯源泉から半径 100m 以内にある既存源泉の水位変化、湧出量変化を測定している（図中の円の半径は 100m）。

当時は、自噴源泉数が減少し、代わりにエアリフトポンプによる揚湯泉が増加していた。影響調査中に周辺で不定期的な揚湯があれば、その影響が測定結果に現れて解析を困難にするおそれがあるため、温泉が揚湯停止状態にあると考えられる 9 時から 17 時の間を選び、揚湯源泉から半径 100m 以内の温泉は停止状態にあることを確かめて調査が行われている。

3. 調査の結果

3-1. 北石垣地区温泉

No. 1064 源泉の揚湯試験では、No. 1064 の 50L/分程度の揚湯開始及び揚湯停止に伴って、No. 1077、No. 1065、No. 1063 源泉に水位の低下と回復という反応が認められたが、揚湯源泉に最も近い No. 1062 では明確な反応が認められなかった（図 1）。これは、No. 1062 源泉はケーシング管が傷んでおり、湧出温度も他の温泉に比べ低いことから、浅い層からも温泉水を採取していることが考えられる。

3-2. 鉄輪地区温泉

No. 237 源泉の揚湯試験では、No. 237 の 40L/分程度の揚湯開始及び揚湯停止に伴い、白垣、河野、原、林田源泉には、水位の低下と回復という反応が認

められる。一方、揚湯源泉の北東方向に位置する No221 の湧出量の変動は不明瞭なものとなっており、影響量は小さいことが伺える（図 3）。

4. まとめ

影響による水位低下量は、揚湯泉に近いほど大きい傾向があるが、方向性が認められ、中には揚湯泉よりも離れている場所がかえって大きい水位低下量が現れていることもある。このような結果は、測定法の問題もあるかもしれないが、各源泉の採取層の違いや、地質構造の不均一性などにも由来するところが大きいと考えられる。

5. 引用文献

山下幸三郎・由佐悠紀（1969）別府温泉の源泉保護について（Ⅲ）北石垣、鉄輪地区温泉の揚水影響，大分県温泉調査研究会報告，209 - 32.

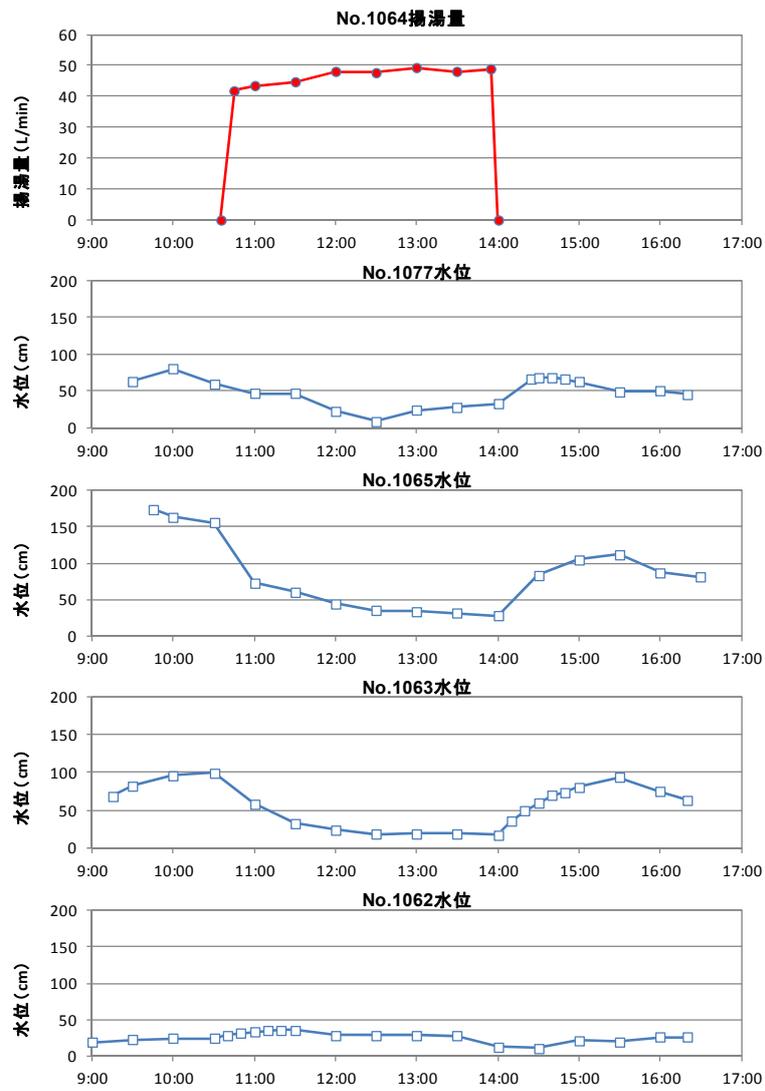


図1 北石垣 No. 1064 の揚湯に伴う周辺温泉水位変化

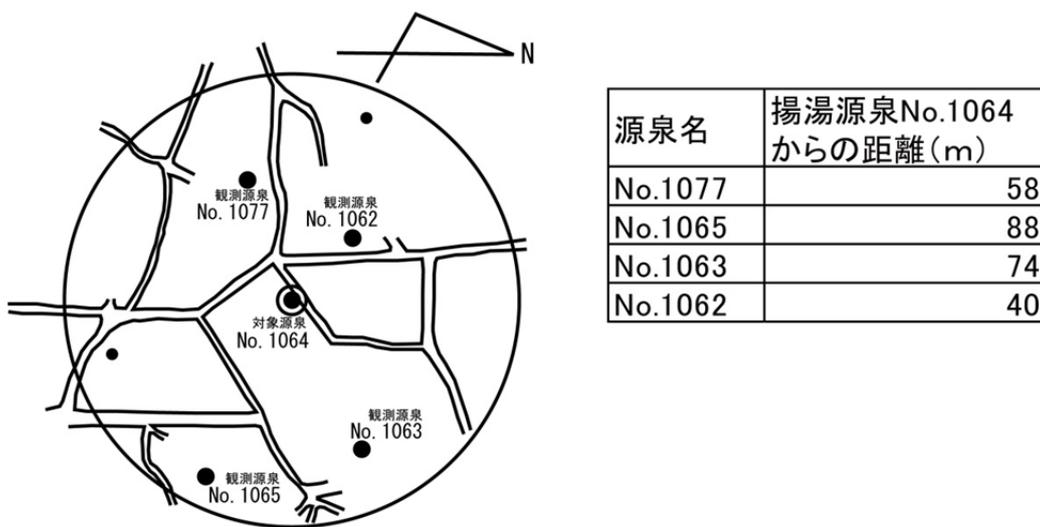


図2 北石垣 No. 1064 周辺源泉位置と距離関係

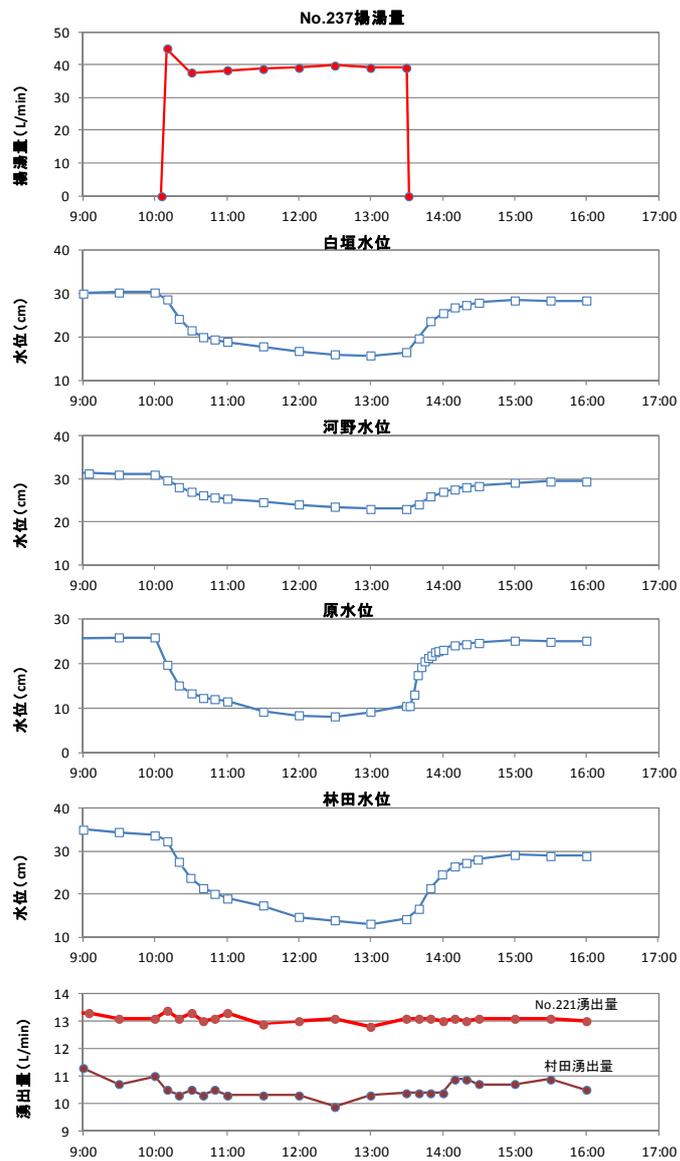


図3 鉄輪 No. 237 の揚湯に伴う周辺温泉水位または湧出量変化

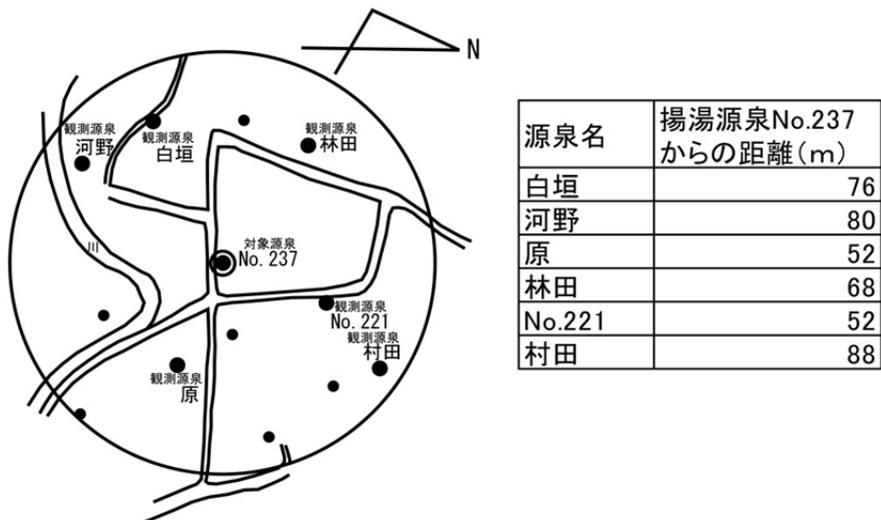


図4 鉄輪 No. 237 周辺源泉位置と距離関係

Ⅱ 大深度掘削泉での事例

1. 影響調査の背景および源泉状況

当該温泉地では掘削深度約 1400m の 1 源泉を複数の利用施設で分湯し利用がなされていた。そこから約 550m 離れた場所に掘削深度約 1300m の新たな温泉掘削が行われ、予備揚湯および揚湯試験時に影響調査が実施された。

既存源泉では普段から、温度、水位の機器モニタリングが行われており、間欠揚湯のため、1 日の最高値と最低値が各々記録されている。調査期間中はできるだけ一定周期での間欠揚湯利用とし揚湯量を出来るだけ変えないようにはしている。

2. 調査方法と結果

源泉の利用状況に関しては稼働と停止を約 10 分おきに繰り返す間欠揚湯利用である。毎日の最高温度が揚湯時の温度、毎日の最低水位は揚湯時に記録されたものと考えて良い。この揚湯量に関してはモニタリングされていないが、利用施設への送湯状況から揚湯量はおおむね 200～220L/min 程度とされている。事前のモニタリング結果から浅層から低温水が侵入していることは判明しているので判断には注意を必要とした。

申請源泉の孔内洗浄、予備揚湯開始に伴い既存源泉の水位、水温（毎日の最高・最低値）はいずれも低下傾向を示しており、連続揚湯試験②中に最低値を示した後、申請源泉の揚湯停止後、回復傾向を示している。毎日の水位最低値の変化を見ると申請源泉の揚湯期間において、既存源泉水位には最大で 2m 以上の水位低下が認められる。このことから、申請源泉の揚湯量に応じて既存源泉の水位は変動していると判断され、両源泉間は相互に干渉している可能性が高いと考えられた。既存源泉の毎日の温度最高値（揚湯時水温）に 4～5℃もの変化が生じた原因は定かではないが、影響による水位の低下に伴い低温水混入量が増加したためではないかと推定されている。

3. 調査結果の判断とその後の対応

申請源泉の連続揚湯試験で設定した揚湯量 390L/min では、既存源泉へ影響していると判断される。本件の場合は、影響による水位低下も問題だが、温度が低下すると加温の必要が生じるため、低温化がより深刻な問題となった。また、揚湯試験期間中における影響は拡大を続け、申請源泉の揚湯に伴い水位低下傾向、温度低下傾向が継続している。短期間の調査では安定しないため、この揚湯量での影響量は十分に把握できていない。このようなことから、既存源泉に

影響を与えない、もしくは許容できる範囲に収まる申請源泉の採取可能量を調べるために、より長期間の影響調査が必要とされ、本調査による揚湯試験に伴う影響調査の後に、再度、影響調査が実施されている。

再調査における具体的内容は、申請源泉の揚湯量を大幅に制限し、かつ段階的(150L/分, 50L/分)に変化させて、揚湯量と影響量の関係についての調査を実施している。影響量を確認するには、既存源泉の影響による変動が収まり安定するまで、より長期の調査が必要となり、調査は3週間以上行われることとなった。なお、再調査にあたっては既存源泉の温泉採取量(揚湯量)も観測を行うこととし、再調査期間中は、間欠揚湯をせず、連続揚湯で一定量に保つように調整がなされ、正確な影響量の把握に努めている。その後、再調査結果に基づき申請源泉の揚湯量の調整が行われている。

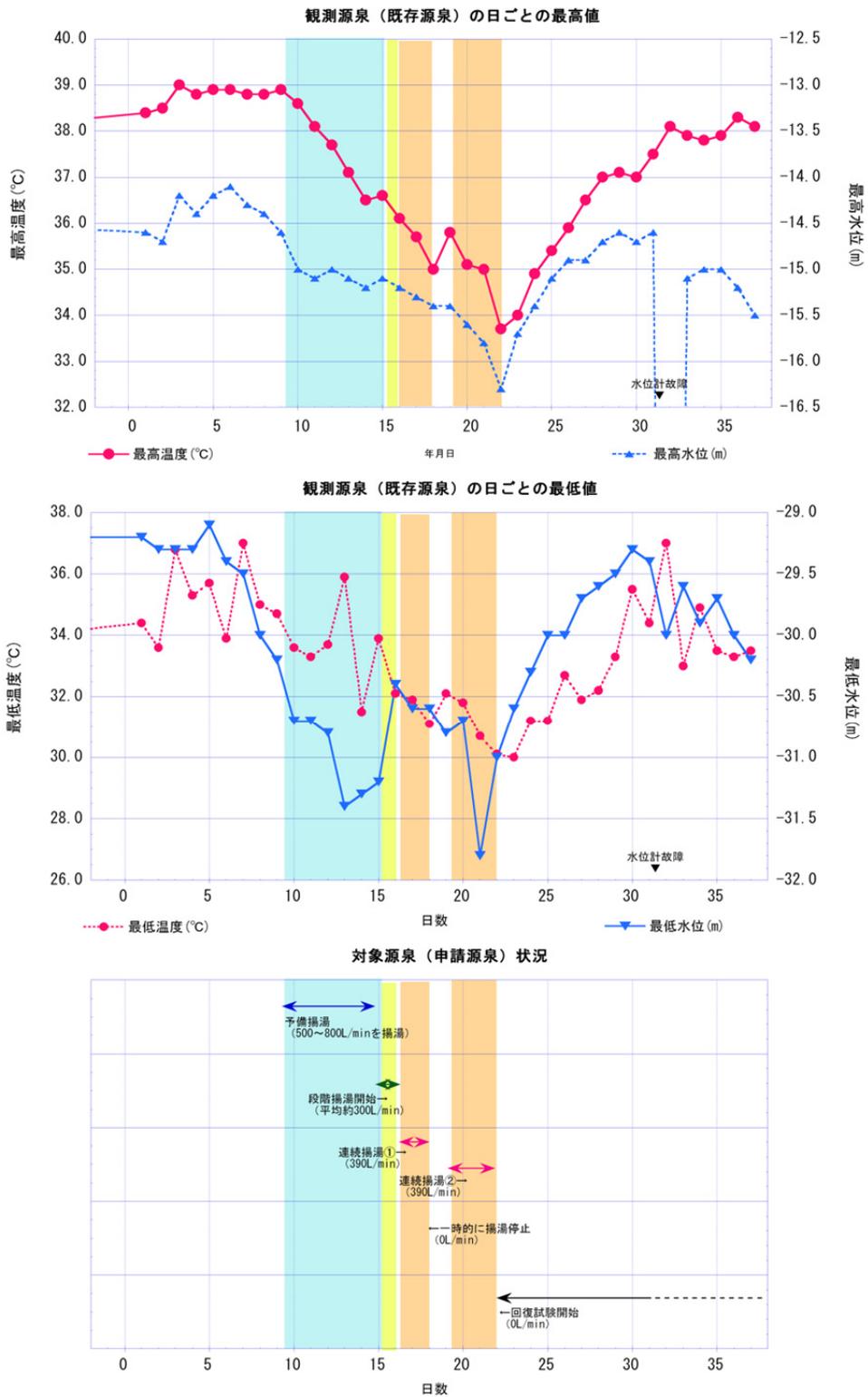


図5 揚湯試験に伴う影響調査

温泉モニタリング実施手法

I 自動観測

1. 観測源泉の選定

自動観測における観測機器の具体例は、次のとおりである（別紙 5 の「I 影響調査 3. 測定に使用する機器 3-1 機器による測定」に記した機器と基本的に同一である）。

測定項目	主な機種等	規格
温泉水位	圧力式等	±0.1% FS (フルスケール) 程度
湧出量	電磁式等	±2%指示値
孔口圧力	圧力発信器等	測定精度±1% FS
温度	測温抵抗体等	分解能 0.1℃
記録方式	アナログ記録、デジタル記録、表示値の読み取り等	連続記録、定時での記録

これら表示器・記録計の配置例を図 1 に示すので参考とされたい。なお、配置例において、流量計・温度計の前後にバイパス管を配置したのは、機材のメンテナンスや交換が容易に行えるように留意したものであり（図 2）、また、バイパス管にドレーンを設けたのは、この形式であれば通常状態時にはバイパス管に水が滞留するので、排除するためである。排除する必要性がなかったり、小さかったりする場合は、バイパス管やバイパス管ドレーンの設置は必要ない。

流量計の下流側（図の右側）には湧出量測定・温泉採取用の吐き出し管を設けており、これは、できるだけ源泉に近い所で温泉を採取できるようにすること、実測して流量計の指示値を確認できるようにする二つの目的がある（図 3）。

自動記録方式には、大きく分けるとアナログ記録（いわゆるペン式又は打点式レコーダーによる）とデジタル記録（自動記録計又はパソコン管理）があり、両者の特徴を併せ持つハイブリッド式の記録計もある。

アナログ記録は連続的な波形記録が行われ、あるイベントに対する変化が忠

実に再現される点がメリットだが、データ（記録紙）の読み取りが必要な場合があることと、その管理が悪いと後からの資料整理に支障を来す点がデメリットである。ペン式又は打点式レコーダーによる記録間隔は、記録紙の送り速度によって決められる。

デジタル記録は記録間隔が任意に決められ、データをパソコンに直接取り込むこともでき、データの管理も容易である。しかし、データの記録間隔よりも短い時間単位での変化は記録されないのがデメリットとなる。

記録間隔は、目的とする観測内容によって異なるが、標準的には1時間に1データの取得で充分であり、ある限られた期間において、細かい時間間隔で変化を把握したければ、さらに短い時間間隔でのデータ取得が可能であり、自動記録計やパソコンの記録容量、データ通信量等に余裕があれば、1分間隔での測定も十分に可能であるが、通常の観測であればその必要性は小さい。

2. 測定項目

a) 湧出量

湧出量の自動計測は、自動観測に対応した配管用の流量計（電磁流量計や超音波流量計等）による。

エアリフトによる源泉では、揚湯管内は空気と温泉との混合体となって、正確な流量が測定できない。そうした源泉では、温泉をタンク（気液分離槽）等に貯留していったん空気を抜き、そこからの配管（タンクからの送湯管）に流量計を設置するか、気液分離槽にノッチ箱の機能を持たせ、その溢流水深を自記水位計（圧力式、静電容量式その他、超音波式でも対応可能）で記録することになる。ただし、後者の場合には、水位測定値を流量に換算する演算機能が必要である。

可燃性天然ガスを含む温泉も、基本的にはエアリフト源泉と同様の処置が必要だが、可燃性天然ガスに対する所定の災害防止対策を施すことが求められる。

なお、スケールが生成しやすい温泉、腐食の激しい温泉、高温の温泉等では、このような観測機器は耐久性に乏しく、実用的ではないこともあるので注意が必要である。

b) 温度

温度の自動記録は、配管に温度センサー（測温抵抗体等）を設置して行う。後述する水位計には、測温機能が付帯されているものもあり、そうした水位計を用いていれば、地上部に温度センサーを配置する必要性はあえてない。ただし、測温機能付き水位計は、設置場所によっては湧出温度とは異なる温度を測定してしまう場合があるので、注意が必要である。

c) 水位・孔口圧力

水位の測定機器には、センサーを水中に浸すことなく測定する機器（上記した超音波式等の隔測式水位計）がある。ノッチ箱で水位測定する場合や、自然湧出泉等で広い水面を持ち、地表から水面までの深さが浅い場合には、このような隔測式水位計も適用可能である。

しかし、一般の源泉は口径が細く、温泉水位も深いために、隔測式水位計は使用できないことが多い。一般的な源泉では、圧力式等のセンサーを水没させる機器を用いる。設置深度が深い場合、センサーを後から挿入することは容易ではなく、通常はポンプ挿入時に水位センサーを揚湯管に拘束し、ポンプと同時に設置することになる。このため、センサーが故障した場合でも、それを交換するにはポンプの昇降作業が必要になる。また、温泉であるが故に、高温、ガスを含む、スケールが生成するといった特徴があり、これらが水位計の耐用を短くする。こうした温泉では、温泉水中に高価な機器が浸らない気泡式水位計を用いるのも一方法である。

なお、可燃性天然ガスを含む温泉では、例えばポンプ地上部で水位計のケーブルが通る部分に隙間ができると、そこからガスが地表に漏出する可能性があるため、所定の災害防止対策を施すことが求められる。

自噴源泉の場合の孔口圧力は、源泉孔口に圧力センサーを設置して自動観測化する。圧力計の選定に当たっては、当該源泉の最大圧力又は通常状態における圧力を考慮すべきである。

Ⅱ 現地観測（観測員による観測）

1. 観測機器

現地観測における観測機器の具体例は、次のとおりである。これは別紙 5 の「Ⅰ 影響調査 3. 測定に使用する機器 3-2 観測員による定時測定」に記した機器と基本的に同一であり、機器の指示値の読み取りであっても構わない。

測定項目	主な機種等	測定
温泉水位	触針式（ロープ式）等	1cm 単位以下で読み取り
湧出量	容積法、ノッチ法等	L/分単位で有効数字三桁程度
孔口圧力	ブルドン管式等（測定精度±1.6% FS 程度）	機器の指示値
温度	デジタル温度計等（分解能 0.1℃）と標準温度計の併用	0.1℃単位で現地測定
記録方式	—	現地測定・記録

※ 湧出量と温度を測定するために、源泉井戸近くに採取した温泉の全湧出量を吐き出すことができるバイパス管を設置する必要がある。

※ 湧出量の実測が困難な場合は、現地の状況に応じて工夫する（例：タンクからの流出を止め、タンク内の水位上昇速度を測定して量に換算する等）

測定記録の間隔は、目的とする観測内容によって異なる。現地観測では自動観測よりも頻繁な測定はできないが、1日1回～週1回程度の測定を標準とした。これが困難な場合であっても、月1回の測定頻度は確保すべきである。なお、測定は定時観測（毎回、ほぼ同一時刻で測定すること）、同一条件下（例えば、ポンプを自動運転している場合等では、ポンプの運転中か休止中かのいずれかに統一する）での測定を基本とする。また、高温の温泉や有害ガスを含む温泉では、専門機関に相談し、安全を確認した上で測定を行い、事故がないよう注意されたい。

2. 測定項目

a) 湧出量

現地での湧出量の測定方法は、容積法を主体とする。これは、吐出口を計測しやすい場所に設け容量既知の容器が満杯になるまで（あるいはある一定の容量に達するまで）の時間を計測し、【容量（L）÷時間（秒）×60（毎分への換算）】で湧出量を計算するものである。なお、測定ミスや湧出量の脈動

等に対処するため、測定は複数回行い、その平均値を採用すべきである。容積法による測定を行うためには、図 1~3 に示した吐き出し管が必要である。

こうした吐き出し管がない場合には、タンク流入部で測定したり、水道水等が混じらないようにして浴槽への流入口で測定したりするほかない。タンクからの流出を止め、タンク内の温泉の上昇速度から湧出量を求めることも可能だが、タンク容量（断面積）が正確に把握できていないと精度が落ちるので、注意が必要である。

蒸気量の測定に関しては、蒸気圧計や温度計、ガス流量計等を用いて計測する方法があるが、源泉の形状によっては、蒸気圧計やガス流量計を設置できない場合がある。自然噴気を温泉として利用している場合は、熱量や凝縮水の量を測定する等の対応が考えられるが、左記の対応が困難な場合等の際には、定点で撮影等を行うことも考えられる。なお、蒸気量の測定は、危険を伴うので測定には専門機関等への相談が必要である。

また、自動計測ではないが、現地指示又は遠隔指示による流量計を用いることも有用である。特に、温泉の採取が断続的である場合、上記の容積法では測定時間内の瞬間的な量しか把握できないことから、現地指示型であっても、積算機能がある流量計であれば、より実態に即した湧出量が把握できる。

ただし、スケールが生成しやすい温泉、腐食の激しい温泉等では、このような観測機器は耐久性に乏しく、実用的ではないこともある。実態に即した観測態勢を整えることが重要である。

b) 温度

温度の測定は、上記の吐き出し管があれば、デジタル型温度計や水銀温度計によって容易に測定できる。

c) 温泉水位・孔口圧力

高温、ガスを含む、スケールが生成するといった源泉で、水位計の耐用が難しい温泉では、触針式（ロープ式）水位計によって、地上部から温泉水位を測定する。源泉孔内には動力ケーブル等があり、水位計のスムーズな挿入を困難とするので、水位測定用の小口径のパイプを、水中ポンプ挿入時に同時設置することが必要である。源泉孔内にスペースが無ければ、あらかじめ

エアチューブを源泉に設置しておき、チューブから空気を送りその圧力から水位に換算する方法もある。

なお、可燃性天然ガスを含む温泉では、ポンプ地上部で水位測定管を通して可燃性天然ガスが地表に漏出する可能性や空気を源泉井戸孔内に送ることとなるので、所定の災害防止対策を施すことが求められる。

自噴源泉の場合の孔口圧力は、源泉孔口に圧力計（ブルドン管式等）を設置して、その指示値を記録することとする。圧力計の選定に当たっては、当該源泉の最大圧力もしくは通常状態における圧力を考慮すべきである。

通常状態

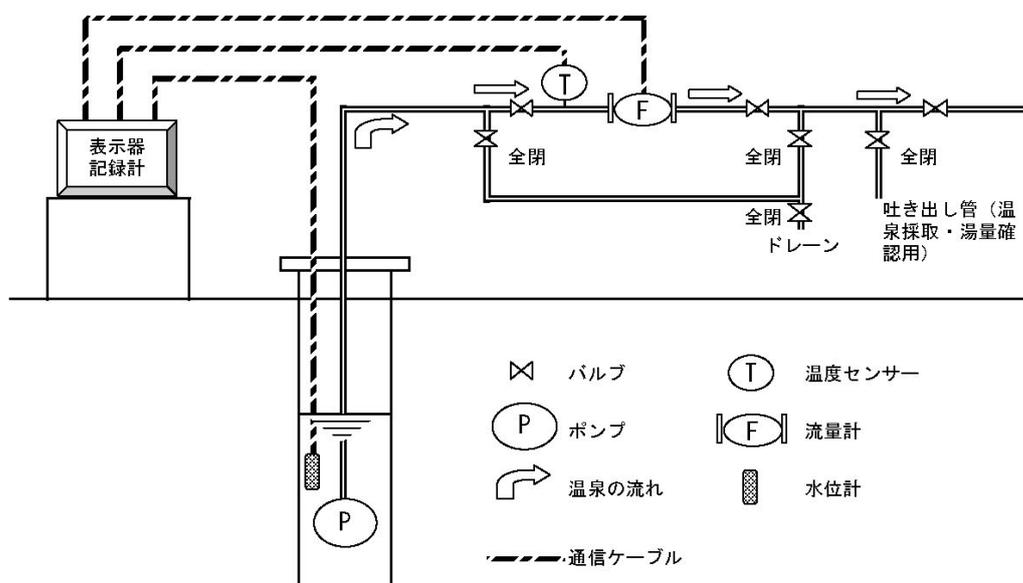


図1 観測機器設置事例（通常状態）

流量計などメンテナンス時

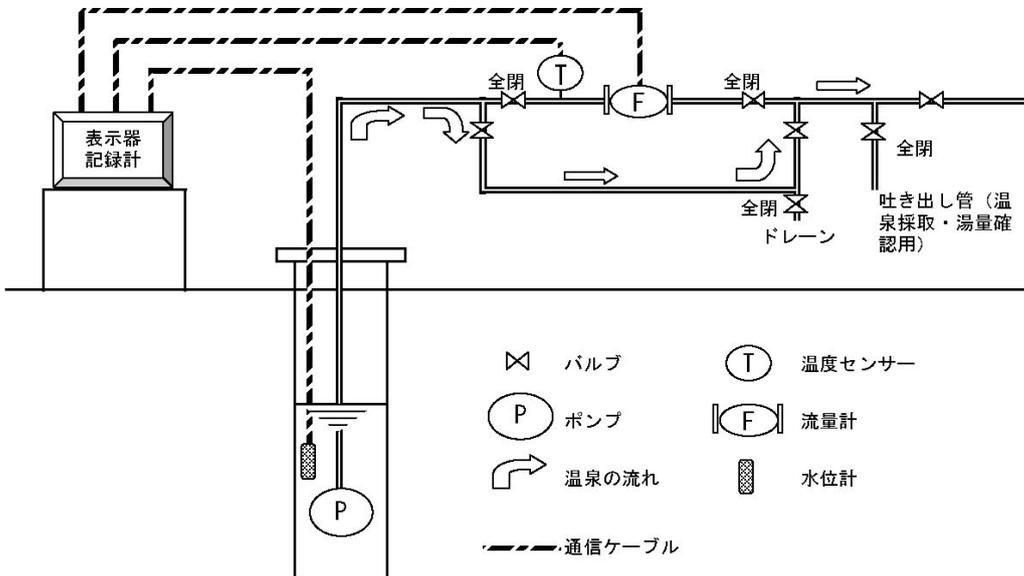


図2 観測機器設置事例 (メンテナンス時)

温泉採取・湯量確認時

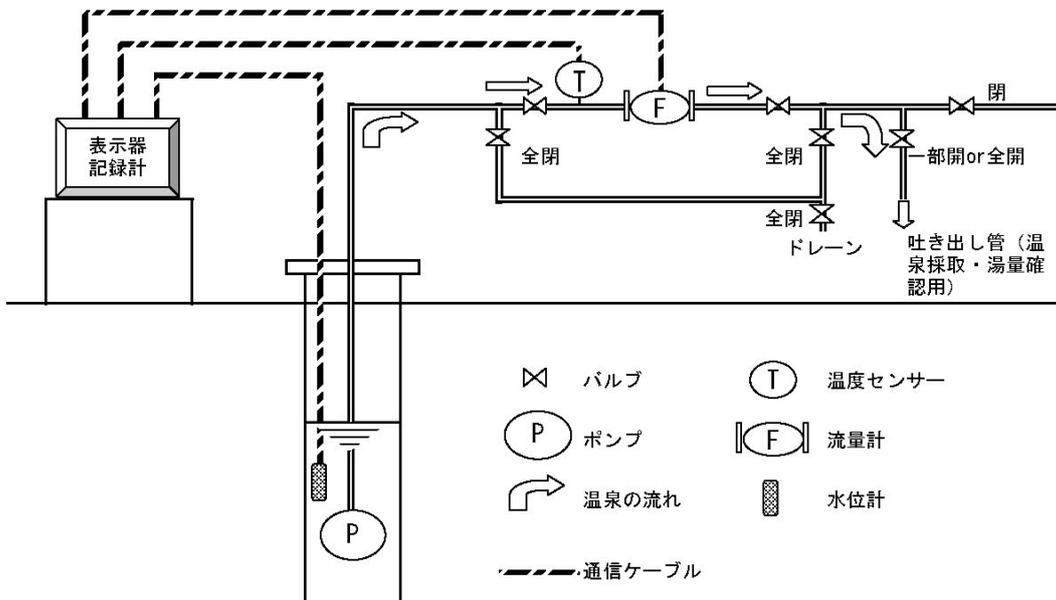


図3 観測機器設置事例 (湧出量測定時)

長期モニタリング事例

I 大深度掘削泉での事例

1. 調査の概要

当該源泉は掘削深度 1500m、水中ポンプ利用の掘削揚湯泉である。約 1100m 離れた場所に自然湧出泉が分布することから、温度、揚湯量、水位の項目について自動観測機器を用いた長期の詳細モニタリングによる資源動向の監視が実施されている。モニタリングは 1 時間ごとに記録されている。

2. モニタリング結果

当初の揚湯試験結果により、400L/分程度の温泉が適正揚湯量と判断されていたが、同地域の揚湯量規制の上限 200L/分に制限して、かつインバーター制御による揚湯利用が行われていた。しかし、かなり余裕をもった揚湯利用が行われていたにも拘わらず、水位の経年的な低下傾向が現れ継続したため、掘削から 6 年経過した 2012 年 7 月から平均 160L/分程度に減量調整を行った。その後、水位は回復傾向に転じ、安定することとなった（図 1）。また、この源泉では大深度掘削泉では珍しく降雨に伴う水位変動がモニタリングにより確認されている。

温泉モニタリングを実施していたことで、掘削当初の揚湯試験結果からは想定されなかった温泉水位の低下傾向が明らかとなり、揚湯量を抑えることで地域の持続的な温泉利用を目指している。なお、当該源泉では引き続きモニタリング調査が実施されており、周辺の既存源泉への影響は現在も確認されていない。

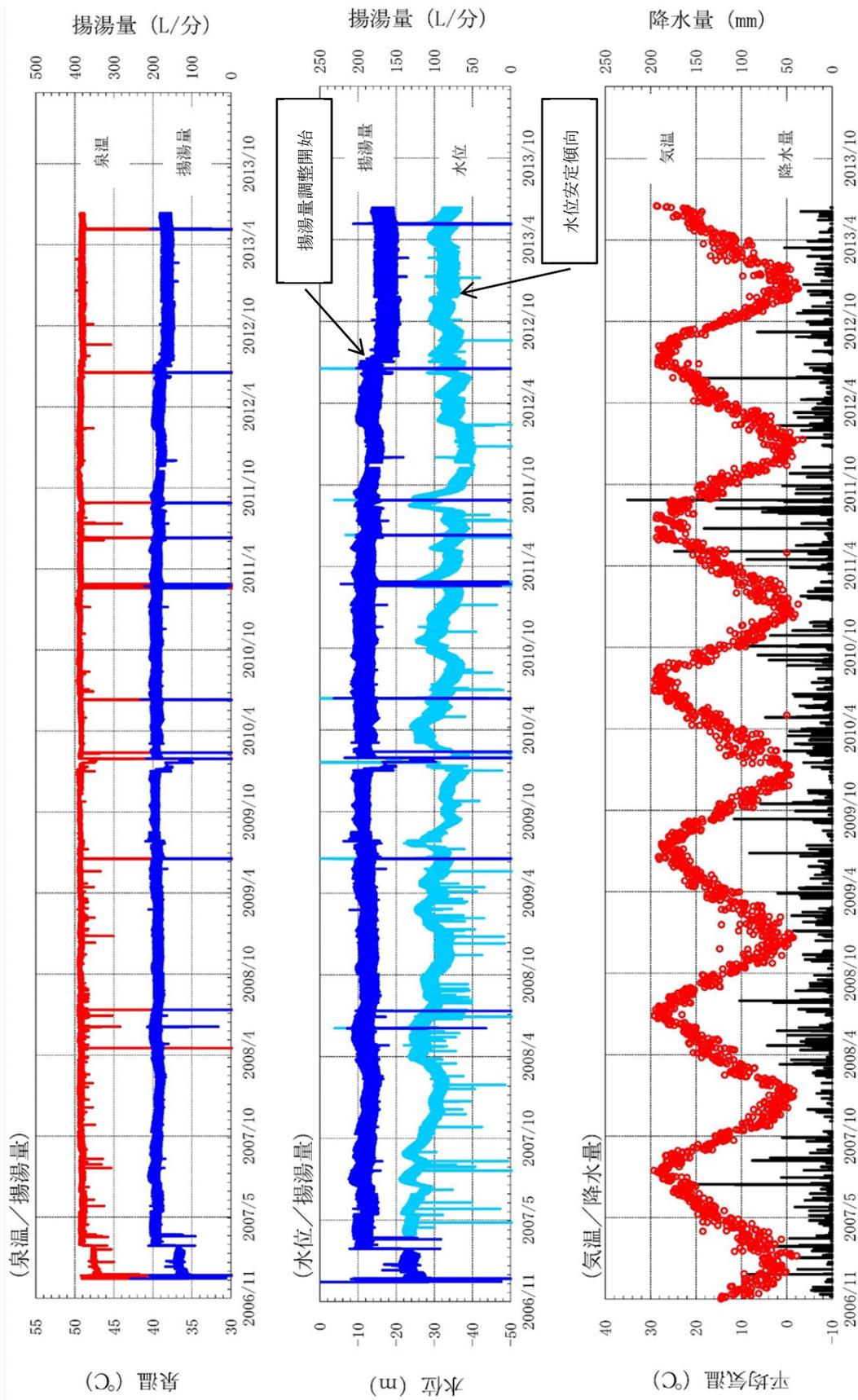


図1 大深度掘削泉における長期モニタリング