

## 揚湯利用から見た温泉井評価

—“温泉井の揚湯指標階級”の提案—

松波 武雄・藤本 和徳・鈴木 豊重

### まえがき

ここ数年来の温泉開発の高まりを反映し、1991~1995年間に道内で試みられた温泉ボーリング数は300坑近くに達しており、それらの多くは何かの方法で揚湯されている(北海道立地下資源調査所, 1996 a,b)。温泉開発の試みは従来の温泉空白地域に及んでおり、開発深度・ポンプ設置深度は年々深くなる傾向にある。温泉井における温度と量は動水位によって変化する。このため、温泉を単に温度と量、すなわちエネルギー量のみで語ることは不適當な状況になりつつある。一方、温泉揚湯コスト(イニシャルコスト・ランニングコスト・メンテナンスコストなど)は水位の如何に大きく依存する。このため、利用の立場からも新たな温泉井評価基準を設定することが望ましいと考えられる。

今後とも新しい温泉はボーリングにより増加していく情勢にあることから、筆者らは水位の変動を考慮した上で温泉井の能力評価を行なう必要があると考える。そこで、温泉井の湧出能力を評価する“温泉井の比湧出量階級(Specific Capacity Class)”およびこれとは別に動水位から算定される“温泉井の揚湯指標(Pumping Index)”を提起し、“揚湯指標”をいくつかの階級に分け評価することを提案する。提案された“温泉井の揚湯指標階級(Pumping Class)”は、開発された温泉井の揚湯コストの目安を提供するとともに、温泉探査・ボーリング結果の評価を与える。

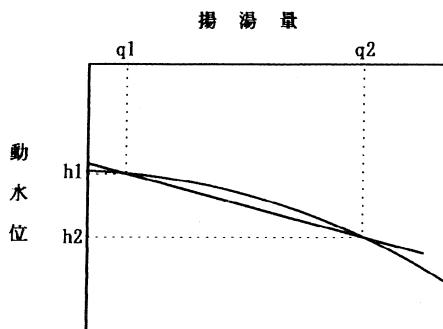
本論をまとめるに当たっては、丸石基礎工業株式会社斎藤尚志常務・当所和氣 徹所長に貴重なご意見をいただいた。明記してお礼申し上げます。

### I 比湧出量と“温泉井の比湧出量階級”

温泉井に限らずボーリング井では、一般に水位を

降下させることにより湧出量を増加させることができる。単位水位降下量あたりの揚湯量は比湧出量と呼ばれる。温泉井の場合の単位は、一般に $l/min/m$ で表される。

動水位と揚湯量の関係は、第1図に示したように曲線関係にあるため、この曲線の接線勾配から求められる比湧出量は、動水位が低いほど徐々に小さくなる。ここでは静水位あるいは揚湯量の少ない時( $q_1$ )の動水位( $h_1$ )と、揚湯量の多い時( $q_2$ )の動水位( $h_2$ )から便宜的に比湧出量を求め、一定量として扱うこととする。



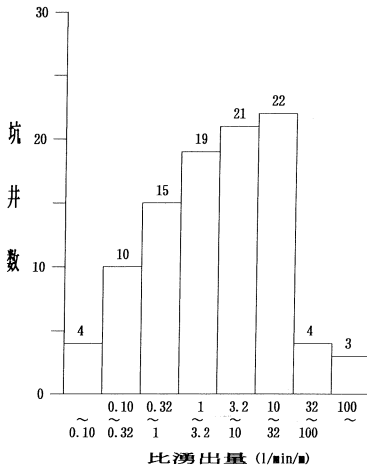
第1図 動水位と揚湯量の関係

Fig. 1 Relationship between running water level and pumping rate.

温泉開発の最終段階においては、通常段階揚湯試験が実施され比湧出量が算定される。揚湯コストには水位降下量が大きく反映されることから、温泉井の比湧出量をいくつかの階級に分け評価することが望ましいと考えられる。

道内市町村によりボーリングされた温泉井(北海道立地下資源調査所, 1995)中、比湧出量が算定される98坑の比湧出量は、 $0.04 \sim 150.00 l/min/m$ と極めて大きな幅がある。全体の70%が $10.00 l/min/m$ 以下であり、低比湧出量域に極めて偏っている。

このため、温泉井の比湧出量を区分する際、階級幅を等間隔にすることは適当ではない。後に述べるように、対数間隔による階級の相違は揚湯コストに大きく反映される。このため、対数間隔により比湧出量を区分することが最適と考えられる(第 2 図)。この区分を“温泉井の比湧出量階級 (Specific Capacity Class)”と呼称し、階級 00・0 および I~IV の 6 階級に区分することを提案する(第 1 表)。各階級の境界の比湧出量は、 $10^{-1} \cdot 10^{-0.5} \cdot 10^0 \cdot 10^{0.5}$  および  $10^1$  l/min/m である。第 1 表にそれぞれの階級における 100 l/min 揚湯時の最大水位降下量をしめした。



第 2 図 比湧出量のヒストグラム (道内市町村温泉井)

Fig. 2 Histogram of specific capacity of hot spring wells in towns of Hokkaido.

“温泉井の比湧出量階級”の 1 階級の相違は  $10^{0.5}$  倍としていることから、2 階級で湧出能力に 10 倍の相違があることとなる。“温泉井の比湧出量階級”00 および 0 の意義については後に述べる。

比湧出量は温泉貯留域の透水性を反映することから、地質構成・地質構造などにより異なる。このため、“温泉井の比湧出量階級”とこれらの関係について検討することから、道内の温泉資源に対する新たな見方が生まれることが期待される。

## II 静水位と比湧出量

一方、温泉井の静水位は様々である。温泉井の揚湯コストを考慮した場合、静水位の相違は無視しえない。

第 1 表 温泉井の比湧出量階級  
Table 1 Specific Capacity Class of Hot Spring Well.

比湧出量 (l/min/m)	比湧出量階級	100 l/min 揚湯時の最大水位降下量
10 ( $10^1$ ) ~	IV	10m
3.2 ( $10^{0.5}$ ) ~ 10 ( $10^1$ )	III	32m
1 ( $10^0$ ) ~ 3.2 ( $10^{0.5}$ )	II	100m
0.32 ( $10^{-0.5}$ ) ~ 1 ( $10^0$ )	I	316m
0.10 ( $10^{-1}$ ) ~ 0.32 ( $10^{-0.5}$ )	0	1 000m
~0.10 ( $10^{-1}$ )	00	

第 3 図に静水位・比湧出量の異なる 4 坑井の動水位と揚湯量の関係をしめした。それぞれの坑井の特徴は以下のとおりである。

A 坑は自噴もしくは静水位が浅く、比湧出量の大きい坑井である。

B 坑は自噴もしくは静水位が浅いが、比湧出量の小さい坑井である。

C 坑は静水位が深いが、比湧出量の大きい坑井である。

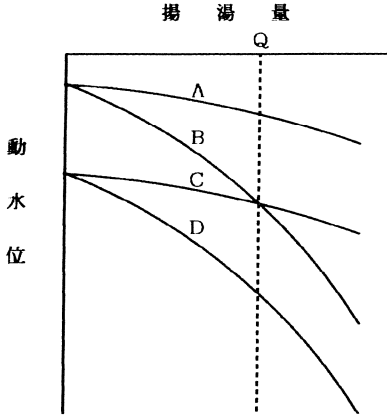
D 坑は静水位が深く、比湧出量も小さい坑井である。

A 坑と B 坑、C 坑と D 坑をそれぞれ比較すると、B 坑よりも A 坑、D 坑よりも C 坑が湧出能力がすぐれており、揚湯コストは比湧出量のみで評価しえる。

また、A 坑と C 坑、B 坑と D 坑をそれぞれ比較すると、C 坑よりも A 坑、D 坑よりも B 坑が静水位の相違だけ、揚湯コストが軽減される。

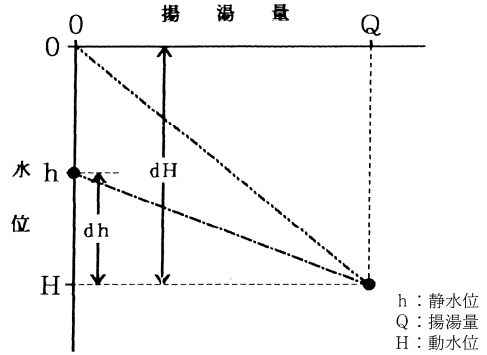
一方、B 坑と C 坑を比較した場合、揚湯量 Q までは B 坑が低コストで利用しえるが、揚湯量 Q 以上揚湯した場合 C 坑の方が低コストで利用しえることとなる。

上に述べた比較から、揚湯コスト (動水位) は揚湯量が少ない時は静水位の影響が大きく、揚湯量が多くなると比湧出量の影響が大きくなっていくこと



第3図 静水位と揚湯量の関係

Fig. 3 Relationship between static water level and pumping rate.



第4図 水位と揚湯量の関係

Fig. 4 Relationship between water level and pumping rate.

がわかる。

以上のことから、揚湯コストを考慮した温泉井間の能力比較には、動水位を考慮した新たな指標が必要となる。

### III 動水位と“揚湯指標”

上に述べたように、揚湯コストを考慮にいれ温泉井を比較する場合、動水位を基準に論じなければならない。

第4図に、静水位 (h; m) と揚湯量 (Q; l/min) における動水位 (H; m) の関係をしめた。

比湧出量 (k; l/min/m) は水位降下量 (dh) に対する揚湯量 (Q) の割合であり、以下のように表される。

$$k = Q/dh = Q/(h - H) \dots\dots\dots(1)$$

したがって、

$$H = h - Q/k \dots\dots\dots(1')$$

ここで、“揚湯指標 (Pumping Index)” を地表からの水位降下量 (dH) に対する揚湯量 (Q) の割合と定義すると、以下の式で表される。

$$PI = Q/dH = Q/-H, \text{ただし, } H < 0 \dots\dots\dots(2)$$

揚湯指標は、あくまでも汲み揚げの指標であることから、動水位 (H) は地表以下、すなわち  $H < 0$  である。ちなみに、 $H \geq 0$  は自噴をしめす。

式(1)を式(2)に代入すると、以下ようになる。

$$PI = Q/(Q/k - h) \dots\dots\dots(3)$$

揚湯指標 (PI) は比湧出量 (k) と同じディメンジョンをもつ。揚湯指標 (PI) により、比湧出量が同じでも静水位が異なる坑井間の比較が可能になる。

### IV “温泉井の揚湯指標および揚湯指標階級”

第3図にしめたように、“揚湯指標”によって温泉井を評価する場合には、揚湯量を定める必要がある。温泉開発においてどの位の量が湧出したら成功とみなすかは、一概に決定することは適当でないかもしれない。しかし、ボーリングという開発経費を投入する以上、浴用利用にしろ温泉熱直接利用にしろ最低期待量はあるはずである。

環境庁自然保護局により、全国都道府県の温泉統計が毎年集計されている。当集計では利用源泉数・未利用源泉数・湧出量などが明らかにされている。これによると平成8年3月末(1996)の全国湧出量総計は2504700 l/min、源泉総数は25129である。これより1源泉当たりの湧出量を求めると99.71/minとなる(平成7年3月末:98.31/min)。環境庁資料では天然湧出泉とボーリング井の区別はなされておらず、ボーリング井1井当たりの湧出量は明らかではない。近年の源泉数や湧出量の増加はボーリング井によるものと推定されることから、湧出量のかなりの部分はボーリング井がしめているものと予想される。このことから、全国的にはボーリング井からほぼ100 l/minが湧出すれば成功とみなしてもよいのではないかと思われる。ちなみに、北海道では1源泉当たり140 l/min(平成8年3月末)である。

一方、浴槽に著しい汚染を与えないためには、入浴者1人当たり1 l/minの給湯量が必要とされている(室井・小幡, 1969)。また、1日あたり250人程度入浴する浴槽で不足を感じない給湯量は70 l/

minとされている(藤本ほか, 1979)。これらのことから, 循環濾過を用いない浴用施設にとって 100 l/min の湧出量は十分な値と考えられる。

以上のことから, 揚湯量 100 l/min を基準量とした揚湯指標 (PI) を“温泉井の揚湯指標”と呼称する。“温泉井の揚湯指標”は以下のように定義される。  
 $PI = Q / (Q/k - h)$ ,  $Q = 100 \text{ l/min}$ .

“温泉井の揚湯指標”は, 比湧出量と同じディメンジョンをもつことから, “温泉井の比湧出量階級”と同様に“温泉井の揚湯指標”を対数間隔で区分する。これを“温泉井の揚湯指標階級 (Pumping Class)”と呼称し, 階級 0・0 および I~IV の 6 階級に区分することを提案する (第 2 表)。

なお, 地表レベルで 100 l/min 以上自噴する坑井では“温泉井の揚湯指標”は求まらないが, 便宜的に階級 IV にランクさせることとする。

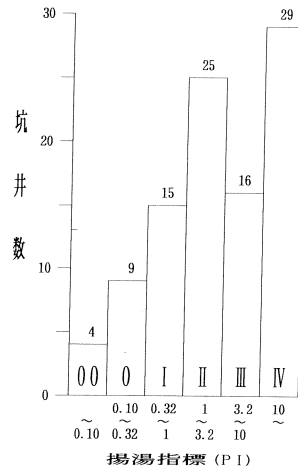
第 2 表 温泉井の揚湯指標階級  
 Table 2 Pumping Class of Hot Spring Well.

揚湯指標 PI	揚湯指標階級	100 l/min 揚湯時の最大動水位(地表レベル)
10(10 <sup>1</sup> )~	IV	-10m
3.2(10 <sup>0.5</sup> )~ 10(10 <sup>1</sup> )	III	-32m
1(10 <sup>0</sup> )~ 3.2(10 <sup>0.5</sup> )	II	-100m
0.32(10 <sup>-0.5</sup> )~ 1(10 <sup>0</sup> )	I	-316m
0.10(10 <sup>-1</sup> )~ 0.32(10 <sup>-0.5</sup> )	0	-1 000m
~0.10(10 <sup>-1</sup> )	00	

第 5 図に先に述べた道内の 98 坑の“温泉井の揚湯指標階級”のヒストグラムをしめした。第 2 図と第 5 図を比べると, “比湧出量階級 III”の坑井のいくつかは, “揚湯指標階級 II”に移行していることがうかがわれる。

第 6 図に静水位-比湧出量図における“温泉井の揚湯指標階級”の領域をしめした。第 6 図にしめし

たように, 静水位が 0 m (地表レベル) の坑井は揚湯指数=比湧出量となる。また, 静水位がプラスであるが揚湯を必要とする坑井は揚湯指数>比湧出量, 静水位がマイナスの坑井は揚湯指数<比湧出量の関係にあることが明らかである。



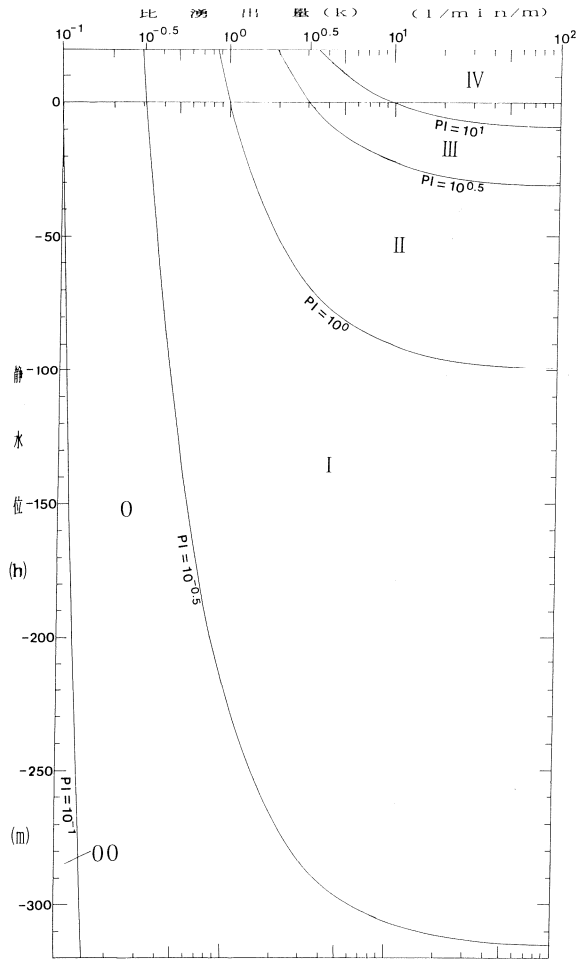
第 5 図 温泉井の揚湯指標階級のヒストグラム  
 Fig. 5 Histogram of “Pumping Class of Hot Spring Well” for hot spring wells in towns of Hokkaido.

### V “温泉井の揚湯指標階級”の意義

“温泉井の揚湯指標階級”は温泉井の揚湯コストを考慮し温泉井をいくつかの階級に分け評価しようというものである。

近年の揚湯技術の進歩は目覚ましく, 100 l/min 揚湯の場合, 国産ポンプでは 500 m 程度の揚湯が可能となっている。さらに外国産ポンプでは 1 000 m 程度の揚湯が可能となっており, 現にこれらのポンプが使用されている例もみられてきている。このように, 単に 100 l/min の揚湯ということであれば, “温泉井の揚湯指標”が 0.1 (10<sup>-1</sup>) 以上をもつ坑井はすべて可能ということになる。ちなみに, 先に述べた 98 坑中では 94 坑 (96%) が該当する。なお, “温泉井の揚湯指標” 0.1 以下の 4 坑は現に利用されていない。

筆者らは, 100 l/min 揚湯の際の動水位を -300 m 程度以内におさめるべきと考えている。すなわち“温泉井の揚湯指標” 0.32 (10<sup>-0.5</sup>) 以上の温泉井の開発をめざすべきと考えている。最大動水位を -316 m



第6図 静水位と比湧出量の関係 (00~IV; 温泉井揚湯指標階級)  
 Fig. 6 Relationship between static water level and specific capacity.  
 (00~IV; Pumping Class of Hot Spring Well)

とした明確な根拠は必ずしも十分ではない。筆者らは、温泉井の揚湯コスト（イニシャルコスト・ランニングコスト・メンテナンスコストなど）を考えた場合、-316 mは低すぎるのではないかと考えている。しかし、道内の市町村で利用されている温泉井の動水位の下限がほぼこの線にあること（北海道立地下資源調査所，1995）から、一応の目安になるのではないかと考える。このような観点から、“温泉井の揚湯指標” 0.10~0.32 ( $10^{-1}$ ~ $10^{-0.5}$ ) の“温泉井の揚湯指標階級”を0，“温泉井の揚湯指標” 0.10 ( $10^{-1}$ ) 以下の揚湯不能の階級を00とした。

“温泉井の揚湯指標階級” 0の温泉井は、温泉探査・ボーリング結果の評価としても低くならざるをえない。なお、“温泉井の揚湯指標階級” 0の温泉井は透水性が極めて低いと見られることから、大量に揚湯した場合には、“温泉井の揚湯指標階級” 00に落ちる危険性を持つことに留意する必要があると考えられる。“温泉井の揚湯指標階級”は“温泉井の比湧出量階級”と同様の区分にあるため、揚湯指標階級における2階級の相違は、温泉探査・ボーリング結果の評価としても10倍の相違をもつと考えられる。

## あとがき

近年の温泉開発の実情から, 温泉井の評価基準として, エネルギー量とは別に揚湯による水位の変動を考慮し評価する必要がある. そのような基準として“温泉井の比湧出量階級 (Specific Capacity Class)” および “温泉井の揚湯指標 (Pumping Index)” に基づく “温泉井の揚湯指標階級 (Pumping Class)” を提案した. 提案された “温泉井の揚湯指標階級” は揚湯コストを考慮した温泉井の評価となるとともに, 温泉探査・ボーリング結果の評価ともなる.

筆者らは, 開発深度や揚湯深度が深くなる傾向にあるなかで, 利用上で大きな負担を伴わないためには, 少なくとも “温泉井の揚湯指標階級” I 以上の温泉開発を目標とすべきと考えている.

昭和 23 年 (1948) に制定された温泉法では, 温泉の温度と質については規定されているが, 量については規定されていない. 温泉を資源として見た場合, 温度・質・量および経済性が問われなければならない

い. 本論では, 温度・質についてはふれていない. これは利用上で大きな負担にならない温泉開発をまず心がける必要があるとの考えに基づいている.

温泉を資源として全体的にとらえる試みは今後の課題としたい.

## 参考文献

- 藤本和徳・竹林 勇・鈴木豊重 (1979) : 神恵内村温泉試すい調査報告. 地下資源調査所報告, 51, 63-72.
- 北海道立地下資源調査所 (1995) : 北海道市町村の地熱・温泉ボーリング—地域エネルギー開発利用施設整備施設整備事業—(昭和 55 年度～平成 5 年度). 258 p.
- (1996 a) : 北海道地熱・温泉ボーリング井データ集, 1991~1995. 82 p.
- (1996 b) : 北海道地熱・温泉ボーリング井索引図, 1991~1995. 118 p.
- 室井渡・小幡利勝 (1969) : 温泉の開発と設計. 地人書館. 423 p.

## Pumping Class of Hot Spring Well

Takeo MATSUNAMI, Kazunori FUJIMOTO and Toyoshige SUZUKI

### Abstract

Hot spring resources are recently developed toward the depth by drilling, therefore, pumping point has a tendency to become deeper and deeper. Discharged hot water from drilling wells can not be evaluated by only thermal energy, because that pumping cost greatly depends on static and running water levels. Therefore, a new guideline for drilling wells is necessary. From the data of average discharge rate of hot springs throughout Japan, the authors consider that the hot spring wells by drilling are need to discharging of hot water at 100 l/min at minimum.

A “pumping index of hot spring well” which is led from a running water level for 100 l/min pumping, is proposed here as follows ;

$PI=Q/(Q/k-h)$  ;  $Q=100$  l/min, where  $h$  is static water level in meter and  $K$  is specific capacity in l/min/m. Based on this “pumping index of hot spring well”, hot spring wells can be classified into the following six categories ; Class 00  $\sim 0.10$ , Class 0  $0.10\sim 0.32$ , Class I  $0.32\sim 1$ , Class II  $1\sim 3.2$ , Class III  $3.2\sim 10$  and Class IV  $10\sim$ . This classification is called “pumping class of hot spring well”.

The “pumping class of hot spring well” contribute to assessment of utility for pumping, and to evaluation of the exploration of hot spring resources. The authors emphasize that exploration of drilling wells of more than the Class I should be aimed.