

浴槽からの熱損出

Heat loss of geothermal water in a bathtub

藤本 和徳・大津 直
Kazunori FUJIMOTO・Sunao OHTSU

まえがき

地熱水の利用のなかでは浴用が最も多い。市町村などの地方自治体が地熱泉源の利用計画を立てるにあたっては、浴用と、暖房などの直接利用を併用することが多い。

たとえば、新たに建設する施設において、湧出した地熱水を浴用に利用し、残った地熱水量に見合う面積の暖房に利用する計画があるとする。この場合、暖房面積を決定するには、残った地熱水の量を明らかにする必要がある。このためには、浴用に使用する地熱水の量を確定する必要がある。

地熱の直接利用を推進するためにも、浴用利用の設計を、現実に近いものにするのが重要である。

一般に、浴用の設計は、まず、利用するであろう人数を設定して浴槽規模を決定する。浴槽の規模が決定されると、浴槽内の温度と清潔度を維持するために注湯する地熱水の温度と量を決定する。また、温度が低い場合はボイラー、量が少ない場合には濾過器が必要となり、これらの規模を決定する。

本報告では、浴槽内の清潔度には触れず、浴槽からの放熱量を明らかにするため、浴槽内の温度等を計測したので結果について述べる。

計測は、平成 7 年 11 月に、津別町上里の「つべつ町森の健康館」ホテル・フォレスターにおいて行なった。フォレスターは、森林とのふれあいをテーマにした町営の宿泊施設である。計測を行なった浴槽は男子用の内風呂と露天風呂である。これらの浴槽は循環方式を採らず、新しい地熱水をオーバーフローさせる方法である。なお、利用泉源は 1987 年に津別町が開発した上里 1 号井（北海道地熱・温泉ボーリングデータ集コード番号：159-001）である。

報告に先立ち、計測機器類の設置に便宜を図ってくださった津別町の清野地域開発係長、フォレス

ターの町井副支配人に感謝の意を表する。

I 浴槽内の温度差

浴槽へ注湯している温泉の温度は、浴槽内の温泉の温度より高く、密度差により浴槽内の上側と下側で温度差が生じている。注湯口が浴槽の上側にある場合は、より明確にこの現象が現われる。今回計測した内風呂では注湯口が上側、露天風呂では中間に位置している。浴槽の規模は第 1 表に示した。

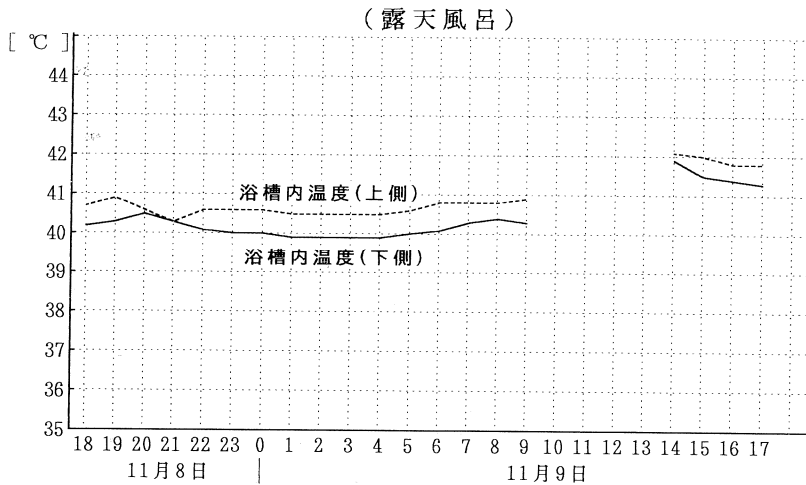
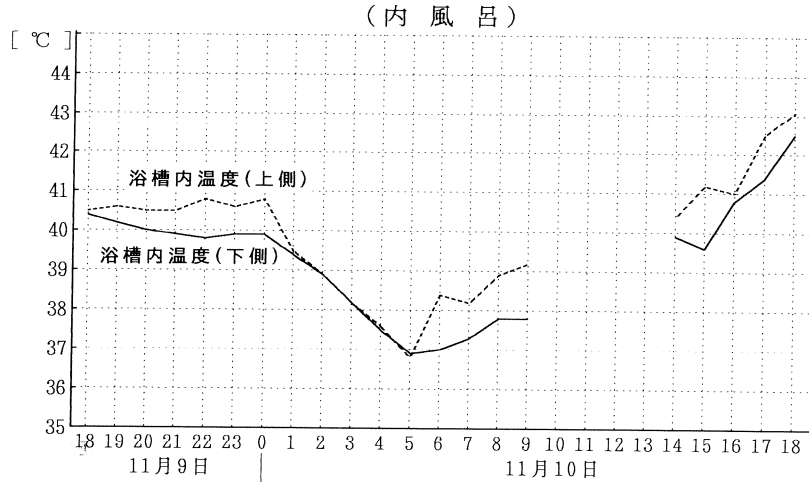
第 1 表 浴槽の規模
Table 1 Area and depth of bathtub

	浴槽面積	浴槽深さ
内風呂	17.2m ²	0.62m
露天風呂	12.1m ²	0.70m

浴槽内の温度は、内風呂、露天風呂ともに、浴槽のほぼ中央の水面下約 5 cm (浴槽上側)と底面上約 5 cm (浴槽下側)に温度センサーを設置して計測した。記録計はハブリッドレコーダ (横河北辰電機製 3087 型) を使用した。1 時間毎の値をプロットして第 1 図に示した。

9 時から 14 時までは、浴槽内の温泉排出・掃除・貯湯の時間である。注湯量は連続して計測出来る場所がないため、貯湯時に浴槽に貯る湯の割合を計測して求めた。測定は 11 月 9 日の 11 時に一度行っただけであり、結果は、内風呂で 25 l/分、露天風呂で 40 l/分であった。第 1 図においてこの量が該当する時間帯は、内風呂では掃除前、露天風呂では掃除後である。注湯温度は、内風呂で 46°C ± 1°C、露天風呂で 50°C ± 1°C であった。掃除前は、両者ともに浴槽内の温度が 41°C 以下であり、浴用としてはぬるい状況であった。

浴槽内の上側と下側の温度差の値は、浴槽の形状



第 1 図 浴槽内の地熱水の温度差

Fig. 1 Temperature difference of geothermal water in a bathtub.

や注湯する温泉の量・温度によって異なるが、第 1 図より内風呂で平均 0.8°C、露天風呂で平均 0.5°C であった。

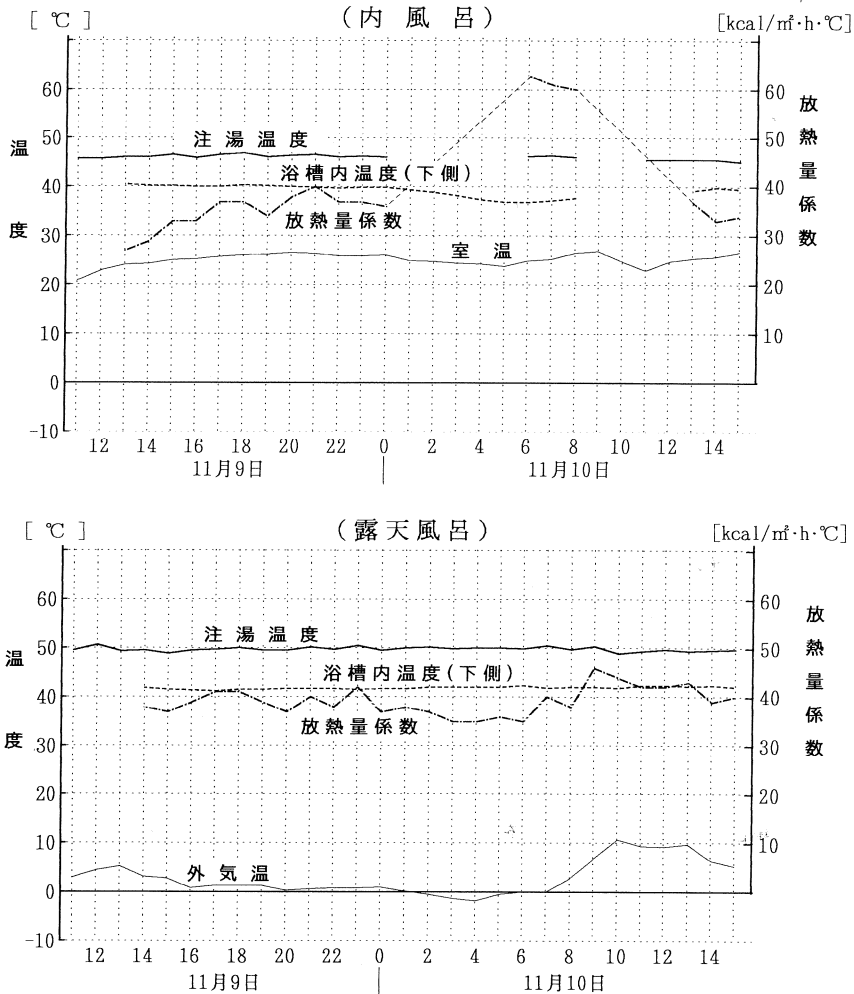
露天風呂における 20~21 時では、上側と下側の温度差が無くなっている。これは、下側の温度が上昇し、上側の温度が低下していることから、人が入浴したことで、攪拌されたためと考えられる。

内風呂における注湯は 0 時に停止し 5 時に再開しており、第 1 図をみると、この間、浴槽内の温度は低下している。露天風呂は、夜間も注湯しているため、浴槽内の温度はほぼ一定値を維持している。また、内風呂では、注湯停止後の 1 時には上側と下側の温度がほぼ同一になっている。記録の原図で詳細

をみると、注湯停止 9 分後には、ほぼ同一になっている。このことから、注湯を停止すると、早い時期に (今回は 9 分後) 浴槽内の温度差は無くなり、温度低下の割合は上側と下側に差が無いことが解る。注湯再開後は、6 分後に温度差が生じている。

II 放出熱量

浴槽からの放出熱量は、浴槽内の湯の表面、浴槽の底面および側面からを考えなければならない。この場合、それぞれの面積のほか、湯の表面においては温泉の物性値 (温度・比熱・比重等) のほか室温・外気温・風の強さなど、底面および側面においては



第2図 湯面からの放熱量係数

Fig. 2 Heat transfer coefficient of the water surface.

タイル等の厚さ・熱伝導率, さらにその外側の物質の物性値や温度などを考慮にいれなければならない。

ところが, 一般的な温泉浴場における浴槽は, 洗い場床面の下側にあり, 地下に埋め込まれたような形状をなしている。このため, 底面および側面の保温効果は高く, 長時間温められていることから, 放出熱量は極めて小さな値と考えることができる。このことから, 設計における浴槽からの放出熱量(Q)は, 湯面(面積:A)からの放熱量だけに注目し, 放熱量係数(K)を用いて求めた値(式1)とされている。

$$(式1) : Q = A \times K \times (T1 - T2)$$

T1 : 浴槽内温度

T2 : 室温あるいは外気温

益子・細谷(1972)によると, Kの値は50 kcal/m²·h·°Cで充分とされているが, 本報告では実測値からこの値を求め検証する。

浴槽への注湯温度(Tin°C), 浴槽内の下側温度(Tb°C), 室温(Tr°C), 外気温(To°C)および計算によって求めた湯面からの放熱量係数を第2図に示した。それぞれは1時間毎の値を結んだものである。内風呂の0時から5時は注湯を停止している時間, 8時から14時までは掃除等の時間である。

放熱量係数は, 湯面(面積A m²)から放出する熱

量 (Q_1 kcal/h: 式 1) と, 浴槽へ注湯する地熱水 (注湯量 W ℓ/h) から吸収する熱量 (Q_2 kcal/h) は等しいとして求めた。ただし, 浴槽内の温度は T_b+dt とし, dt の値は浴槽内の上側と下側の温度差の 2 分の 1 とし, 前項から内風呂は 0.4°C , 露天風呂は 0.2°C とした。式は以下のとおりである。

$$Q_1 = A \times K \times ((T_b+dt) - T_r) : (\text{内風呂})$$

$$Q_1 = A \times K \times ((T_b+dt) - T_o) : (\text{露天風呂})$$

$$Q_2 = W \times (T_{in} - (T_b+dt))$$

$$Q_1 = Q_2$$

第 2 図において, 内風呂の 6 時から 8 時までを除いて放熱量係数をみると, その値は内風呂で $27 \sim 40$ kcal/m²・h・°C, 露天風呂で $35 \sim 46$ kcal/m²・h・°C の範囲であった。放熱量係数の変動は式からも解るが, 外気温あるいは室温が高いほど, あるいは注湯温度が高いほどその値は大きくなっている。

内風呂の 6 時から 8 時までは, 注湯停止により低下した浴槽内の温度が上昇過程にあるため定常状態ではない。すなわち, $Q_1 < Q_2$ の状態である。このため, $Q_1 = Q_2$ で計算すると, 放熱量係数が大きな値となってしまふ。

内風呂と露天風呂における放熱量係数の平均は, それぞれ 35 および 39 kcal/m²・h・°C であり, ほぼ同一値が得られた。

ここで, 湯面の単位面積から放出する熱量を ($Q_2 \div A$) kcal/m² として, その値を第 3 図に示した。内風呂で約 500 kcal/m²・h, 露天風呂で約 1500 kcal/m²・h であった。露天風呂からの放出熱量は内

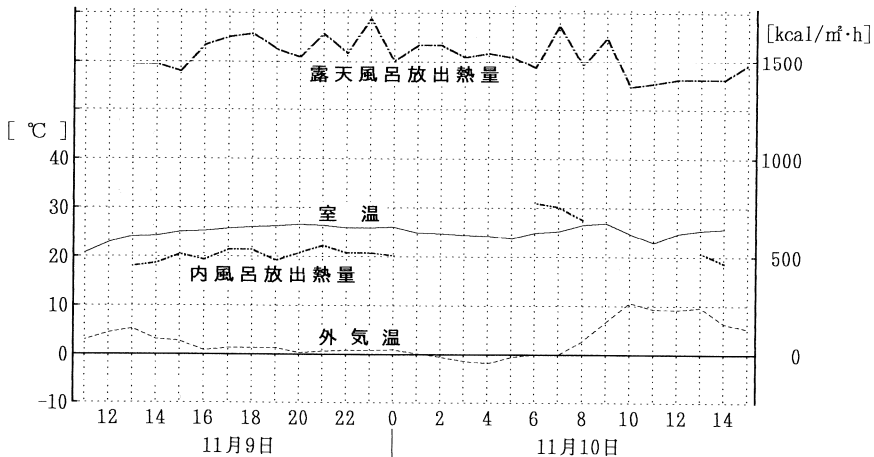
風呂の約 3 倍といえる。内風呂の 6 時から 8 時までの値は, それ以外の時間に比べて大きな値となっており, このことから上述したように, 浴槽内の温度が上昇過程にあることが解る。また, 11 月 10 日 10 時以降の露天風呂における放出熱量の減少は, 浴槽内の温度が 0.5°C 程度上昇したためであり, これは, 外気温の上昇により浴槽内の温泉と外気との温度差が小さくなったことを反映している。

また, 第 1 図の内風呂における 0 時から 5 時までの注湯停止時の温度低下データから, その低下量の平均を求めると 1 時間あたり 0.74°C である。この値と湯の体積から放出熱量を求めると 1 時間あたり 7844 kcal である。浴槽単位面積あたりの放出熱量は, 450 kcal/m²・h であり, 第 3 図の値と概ね整合がとれている。

あとがき

放熱量係数は, 概ね $35 \sim 39$ kcal/m²・h・°C という値が得られた。この数値から, 設計する場合に充分とされている 50 kcal/m²・h・°C という値を評価すると, 安全率のとり方にもよるが, やや大きめと考えられる。

ただし, 浴槽を床に直接据え置いたことで側面が空気に接している風呂や, 塀や壁がなく風の影響を直接受ける場所に設置された露天風呂などの放熱量は, 式 1 で求めた値より大きな値となることが予想され, 放熱量係数も大きくなると考えられる。



第 3 図 湯面の単位面積からの放出熱量
Fig. 3 Heat quantity of the water surface per unit area.

設計に用いる放熱量係数の値は、浴槽内を適温に保つべく設定した数値であり、大きな値で設計すると浴槽内は熱過ぎ、小さな値で設計すると浴槽内はぬるくなってしまふ。

浴槽管理者にとって特に問題となるのは、浴槽内がぬるいことである。解決の一方法として、浴槽への注湯量を増加することが考えられる。この場合、浴槽の形状などを考慮して検討する必要がある。たとえば、注湯口が、上側であるとともに洗い場側に位置しているため、注湯量を増やすとその一部が浴槽へ入らず直接溢れ出る構造になっている場合があ

る。

地熱利用における有効な利用方法とは、泉源に必要以上の負担をかけないこととランニングコストを如何に小さくするかである。そのためには、必要以上に地熱水を使用しないことである。

文 献

益子安・細谷昇 (1972) : 浴槽の熱管理の研究 (第 I 報), 温泉工学会誌, 8 (2), 57-64

直江正晴 (1994) : 温泉熱利用のケーススタディ, 第 32 回試錐研究会講演資料集, 51-62