

総説

温泉の熱エネルギーの利用

九州大学工学部 湯原浩三

(昭和56年5月25日受理)

Utilization of Thermal Energy of Hot Springs

Kozo YUHARA

Faculty of Engineering, Kyushu University

Abstract

The total water output of hot springs in Japan is about 2.4×10^6 ton/day, and the thermal energy released amounts to 87.3×10^{12} cal/day or 1.4×10^{24} erg/year. It has been utilized mainly for bathing, for which reasonable water quantity can be estimated to be about 1.7×10^6 ton/day. Then, the remainder, about 0.7×10^6 ton/day, may be wasted, and should be considered to utilize its heat as energy sources. The space heating, the snow melting for roads, the agricultural uses and the fish breeding are suitable for the utilization of surplus thermal water. It may contribute to the new soft energy system in Japan.

1. 温泉の熱エネルギー

昭和53年度の環境庁の調査¹⁾によれば、日本の温泉地数は2012、活動中の源泉総数は18,678、そのうち約65%が42°C以上の泉温をもっている。また湧出量は1,639,520 l/分、と報告されているから、1日に約240万トンの湯が湧き出し続けていることになる。

温泉の湧出によって地下から地表へ運び出されている熱エネルギーを正確に見積るためには、それぞれの泉温毎に湧出量を乗じて積算しなければならない。さらに地下にある熱源によってもたらされるものだけを知ろうとすると、泉温は年平均地表面温度（ほぼ年平均気温に等しい）を基準にした温度を採らなければならないし、その年平均地表面温度は当然温泉湧出地毎に異なるものである。このような計算は原理的には簡単であるが、現実問題としては大変な作業になるので、ここではおおよその見当をつけるために、平均泉温として報告されている値²⁾ 52.0°Cと東京の年平均気温15.0°Cの差に湧出量を乗じて求めてみると、60,662,240 kcal/分となる。これは 3639.73×10^9 cal/時で、 87353.62×10^9 cal/日、 31.88×10^{15} cal/年、 1.4×10^{24} erg/年に相当する。これは筆者が先に求めた値³⁾ 1.1×10^{24} erg/年より約30%増加している。それは開発が進み湧出量が増加したためである。この温泉の熱エネルギーを他の自然エネルギーと比較すると火山噴火のエネルギー⁴⁾の約2倍、噴気地の約7倍、日本全体の地殻熱流量の約1/5である。

また、石油の発熱量を 9.4×10^3 kcal/l とすると339万klの石油を燃焼したことになり、これは昭和54年度原油輸入量、2億7714万klの約1.2%に相当する。

2. 温泉の熱エネルギー利用の現状

日本の温泉の大部分は浴用に利用されている。この点が欧米をはじめとする諸外国と著しく異なる点である。欧米の温泉は主として温泉療養に用いられてきたので、その熱エネルギーそのものはあまり利用されていない。日本でも医療効果が全く無視されているわけではないけれども、浴用すなわち、主として身体を温めることと洗うことに用いられている。したがって日本では温泉の溶解成分よりも熱エネルギーを利用していると云える。それでは熱エネルギーをどの程度有効に利用しているであろうか。

日本の温泉地の宿泊施設数は昭和53年現在15,200、収容人員は1,022,690、年間延宿泊者数は107,269,376と報告されている¹⁾。益子、細谷他⁵⁾によれば1名当り入浴に必要な適正湯量 W l/d は次式で与えられることが示されている。

$$W = \frac{0.145 \times 50 \times (T_1 - T_0)}{T_2 - T_1} \times 24$$

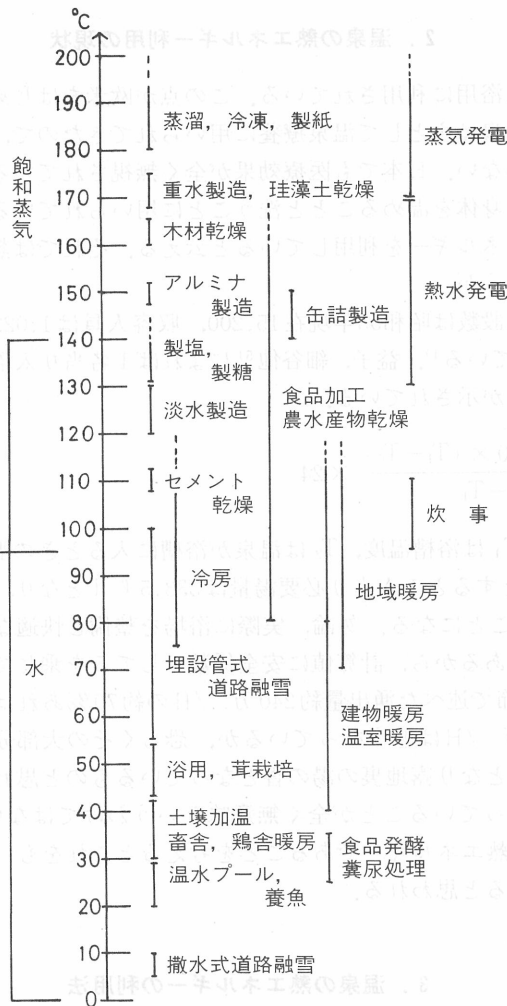
ここに T_0 は浴室温度、 T_1 は浴槽温度、 T_2 は温泉が浴槽に入るときの温度である。今、 $T_0 = 20$ 、 $T_1 = 43^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 55^\circ\text{C}$ とすると1人当り必要湯量は333.5 l/d となり、上記収容人員に対しては341,067,115 l/d ということになる。勿論、実際に浴場を整備し快適な入浴をするためには湯量にかなりの余裕が必要であるから、計算値に安全係数として5を乗じて、必要湯量は約170万 l/日にとどまり、第1節で述べた湧出量約240万 l/日の約70%あれば浴用として十分であることになる。残りの約70万 l/日はどうなっているか、恐らくその大部分は使用されずに放流され、温泉街の溝から出る湯煙となり露地裏の湯の香となっているものと思われる。このように所謂温泉情緒を作り出す源となっていることが全く無意味というわけではないが、やはり 17.7×10^6 kcal/分にも及ぶ貴重な熱エネルギーであることを考えるとこれをもっと有効に利用することを考えるべき時期に来ていると思われる。

3. 温泉の熱エネルギーの利用法

これまでも温泉が浴用以外に利用されている例がないわけではない。しかしいずれも小規模なものであって、化石燃料資源に替る自然エネルギーとして、有効利用が真剣に考えられるようになったのは最近のことである。

温泉熱を利用するに際して、その温度によって利用目的が異なるのは当然であって、第1図に温度別利用目的のおよその見当を示す。これを見れば、温泉の熱エネルギーも、食品加工、暖房、給湯、農業利用、道路融雪、養魚等と用途は広い。蒸気も含めて、現在世界各国で実際に行われている地熱エネルギーの直接利用は次のとおりである⁶⁾。

地域	暖房・給湯	アイスランド、米国、ソ連、ニュージーランド、ハンガリー、フランス
地域	給湯	日本、
建物	暖房	米国、日本
温室	加温	アイスランド、ソ連、イタリア、ハンガリー、日本、米国、ニュージーランド、トルコ
畜舎	暖房	ソ連、日本、ニュージーランド
魚類	養殖	日本、アイスランド
海草	乾燥	アイスランド



第1図 地熱の温度別利用目的の概要

パルプ, 製紙: ニューゼーランド

合板乾燥: ニューゼーランド

木材乾燥: ニューゼーランド, アイスランド

珪藻土乾燥: アイスランド

製塩: フィリピン

穀物乾燥: フィリピン

魚類乾燥: アイスランド

コンクリート養生: アイスランド

道路融雪: 日本, 米国

食品加工: 日本

化学物質抽出: 日本, 米国, イタリア

なお現在はまだ行われていないが, 食品の冷蔵・冷凍, 重水製造, 淡水製造等も将来商業ベースで行われる可能性がある。

第1図を見ると、利用目的によって必要とする温度が異なるから、高温の温泉があればそれを多段階に多くの目的に利用することができ、利用システム全体の経済性を高めることができる。どのような利用法を組合せると最も効果的になるかという最適利用システムの研究も北海道の層雲峡地区や岩手県雫石地区で行われたことがある⁷⁾。

既存の温泉地で余剰熱エネルギーを副次的に利用する場合は、あまり大規模なものは期待できないが前記の各種の利用法を浴用利用と組合せれば大きな効果があげられる。たとえば浴用するには泉温の高すぎる温泉は、その前に建物の暖房や埋設管式道路融雪に使うことによってエネルギーを有効利用し、しかも浴用に適した温度まで下げられて水でうめる必要がなくなるという一石二鳥の効果が期待できる。また浴用に利用した後の廃湯もまだかなりの熱エネルギーを持っているから、これを熱交換すれば、温水プール、養魚、撒水式道路融雪に十分利用できる。

4. 地域暖房・給湯の実例

大規模な地熱利用暖房はアイスランドのレイキャビク、フランスのムラン、米国のクラマスフォールズで行われており、日本では従来から松川、大沼、大岳、八丁原の各地熱発電所の周辺で小規模に行われて来た(第1表)。

第1表 地域暖房・給湯の実例(1979現在)

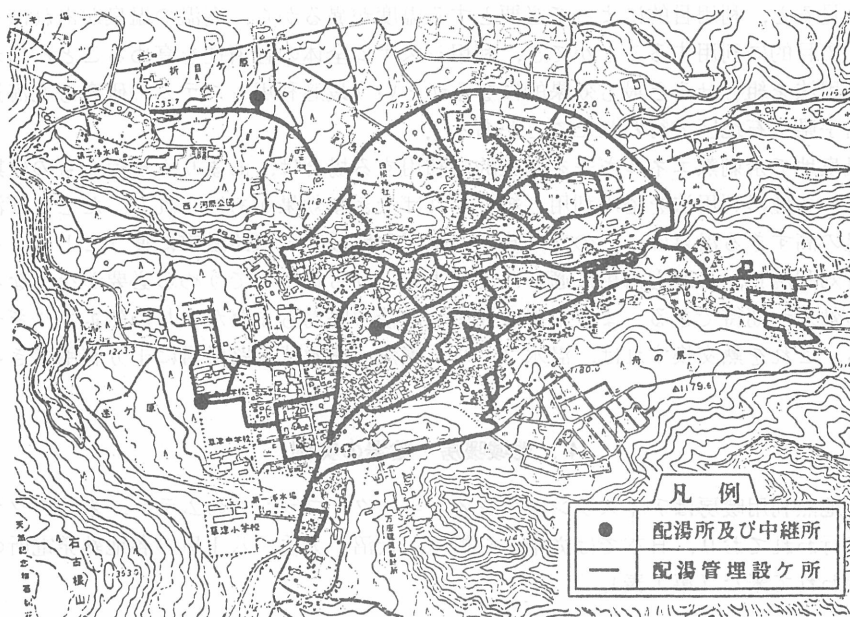
	レイキャビク (アイスランド)	ムラン (フランス)	クラマスフォールズ (アメリカ)	松川	大沼	大岳・八丁原	草津
利用種別	暖房・給湯	暖房・給湯	暖房・給湯	給湯	給湯	暖房・給湯	給湯
熱源種別	温泉	深層熱水	温泉	発電所蒸気	発電所熱水	発電所熱水	温泉
熱源温度℃	85	73	38-110	183	96	92	96
利用方式	直接	熱交換	熱交換	熱交換	熱交換	熱交換	熱交換
使用水	—	水道水	水道水	湧水	河川水	河川水	水道水
給湯温度℃	85	40以上	—	64	65	60-70	56以上
最大給湯量t/h	3,000,000	—	—	60	15	240	100
最大負荷kcal/h	—	35×10 ⁶	4.8×10 ⁶	—	—	—	—
対象戸数	—	2,500	500*	171	6	170	—
対象人口	90,000	—	—	—	—	—	9,000
事業体	公社	STG(組合)	各戸	八幡平温泉開発㈱	鹿角市	九州電力	草津町

*オレゴン大学等の大規模利用が含まれている

最近草津町では鉾山開発時に湧出した温泉を利用して地域給湯事業が始められた。ここでは96℃の温泉水を用い、熱交換器で水道水を加熱して56℃以上の湯がつけられ、これが第2図⁸⁾に示した配管網を通して需要先へ給湯されている。1日最大給湯量は2400m³で、給湯計画人口20000人、1978年9月現在9000人に給湯されている。ここでは54℃程度に冷却された温泉水自身も分配されている。

5. 道路融雪の実例

寒冷多雪地では冬季交通路の確保が大問題である。地熱地域からの熱水を利用して路面上の積雪と凍結を防止できれば、その地域の人々に益するところが大きい。温泉水を道路融雪に利用す



第2図 草津町の地域給湯管網図

るには埋設管方式と撒水方式がある。前者は路面下に埋設した管内を温泉水または熱交換した熱水を通過させる方式で、後者は常温の地下水を路面上に撒水する方式で温泉水利用というよりも地下水利用といった方が適切かもしれない。

埋設管方式で大きな成果をあげているのは札幌近郊の定山溪温泉で⁹⁾、ここでは1966年以来、温泉街の主要道路を融雪道路にする工事が続けられており、1978年現在、その延長は1328m、融雪面積は10400m²に達している(第3図)。融雪道路に使う熱源は豊平川の河床に湧く約80℃の温泉で融雪後は入浴に適した温度になるということである。この方式では路面は乾燥し、交通量の多い坂道や小径には非常に適している。

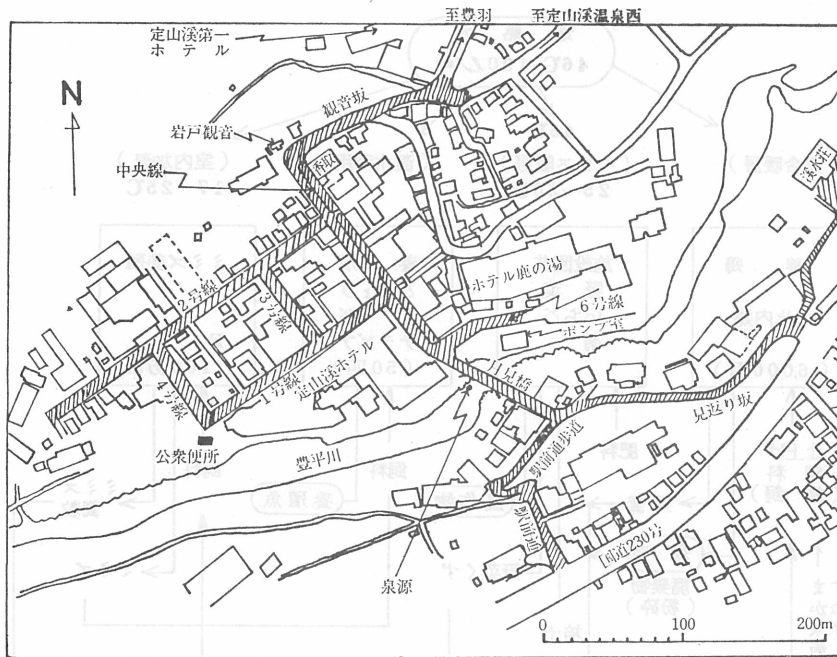
群馬県草津町でも湯畑の温泉水を用いて埋設管式道路融雪を行っており、1978年現在湯畑からバスターミナルに通じるメインストリート等、延長190mが完成している。

6. 農業・水産業利用の実例

日本の園芸施設の面積は1977年度で27000haに達するが、そのうち約40%では主として石油による暖房が行われている。このようなエネルギー多消費型の施設園芸への温泉熱利用は石油の節約という面からも大いに促進しなければならない。

施設園芸への温泉熱利用は小規模なものを含めれば殆んどの温泉地で見られるが、やや大規模なものとしては北海道森町濁川地区と鹿児島指宿市のものがある⁶⁾。前者では1978年現在31戸、170棟、施設面積は計36500m²でキウリ、トマト等の野菜を栽培している。泉源は深さ60~120mのもの合計75本、温度は30~90℃、湯量は20~200ℓ/minである。指宿では温泉熱利用の施設園芸集中管理モデル団地が建設され、70℃前後の温泉水1500ℓ/minでガラス温室3949m²、ビニールハウス40269m²を加温し観葉植物の栽培を行っている。

このような園芸利用では、加温を必要としない時期の利用が問題になるが、吸収式冷凍機を用



第3図 定山溪温泉街地図。斜線部分は融雪道路

いた地熱利用冷暖房システムによって野菜の冷房栽培実験が行われ好成績をあげている¹⁰⁾。

外国ではハンガリーが最も盛んで、地下1500~2000mにある35~90℃の豊富な地熱水を利用してガラス温室55ha、ビニールハウス130haに達する地熱利用施設園芸が国の施策として大規模に行われている。その他イタリア、ソ連、アイスランド、アメリカ等でも行われているが、規模の大きなものはない。

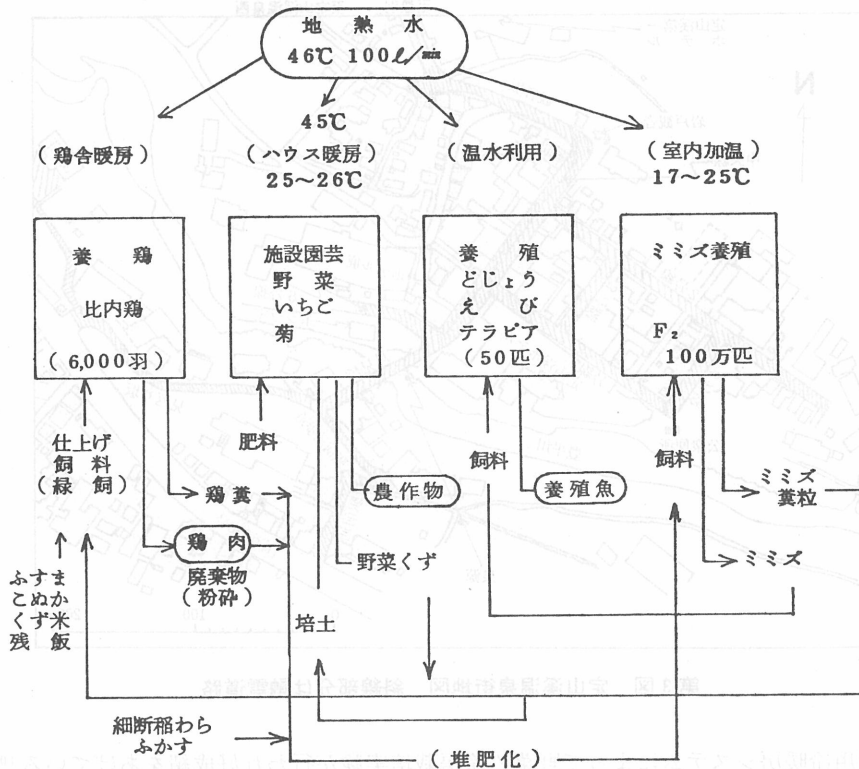
畜産利用としては、日本では別府、南伊豆、大館でブロイラーや産卵鶏の飼育が行われており外国でもハンガリーで、ブロイラー、産卵鶏、七面鳥、肉用豚の飼育に地熱暖房が用いられている。

水産利用としては鰻の養殖が最も一般的で、北海道、伊豆、九州の各地で行われており、その他テラピア、オニテナガエビ、スッポン等の養殖も行われているが規模の大きいものはない。また諸外国における水産利用の例は少ない。

農業・水産利用の範囲内で、いろいろな目的への地熱利用を有機的に結びつけて大きな成果をあげている例がある。秋田県大館市の石川氏¹¹⁾は第4図に示す様な地熱利用サイクル農業を行っている。すなわち、温泉水暖房鶏舎で6000羽の養鶏を行い、その鶏糞と解体処理後の廃棄物を飼料として、加温された室内でミミズを養飼し、ミミズは養殖魚の餌とし、その糞は施設園芸の肥料とし、野菜くずは鶏の餌とするといった具合である。このようなサイクルに用いる熱源としての温泉水の温度は46℃、湯量100 l/minといわれている。

7. ソフトエネルギーパスと温泉熱

最近の世界の石油事情の悪化は、世界各国でエネルギー政策見直しの気運をひきおこした。日本でもこれまでは、将来のエネルギー需要の増大を見こし、それを巨大な火力発電や原子力発電



第4図 地熱利用サイクルシステムフロー図

でまかなおうといういわゆるハード・エネルギー・パスが採用されて来た。火力発電の燃料として石油がそういつまでも頼りにならない場合はこれを輸入炭に切り換えようというのもやはりハード・パスである。

しかし、原子力開発や石炭の大規模燃焼は環境上の問題や立地の困難さ等の問題で大きな壁にぶつかっている。またエネルギー需要の増大という最初の条件にも問題はあつたし、その他ハード・パスには社会的、経済的な多くの問題点が含まれている。

これに対して、効率のよい技術によって、機能を損わずにエネルギー需要を削減し、それを太陽熱、地熱、風力、小規模水力、バイオマス等の自然エネルギーでまかなおうというのがソフト・エネルギー・パスである。

この場合、将来のエネルギー需要を各々のエネルギーの質に注目して、電力、高温熱、中低温熱、動力、可搬燃料に整理して推定し、それらをそれに適した自然エネルギーで供給する。たとえば電力は水力を中心に風力、波力、太陽熱、地熱で支援し、高温熱は国内炭、バイオマスで、中低温熱は太陽熱と地熱、動力の直接利用は風力と小水力、可搬燃料はバイオマスと水素でまかなうといった具合である。これらの自然エネルギーの中で一般的には供給能力の大きいものは太陽、水力、バイオマスで地熱は小さい。しかし、これは地熱資源に限られたところにはかないからであつて、逆に地熱地域や温泉地ではその比重は大きい。

自然エネルギーの利用技術は従来は安い石油のために発展が阻害されてきたが、最近各方面で見直されつつある。地熱資源の利用技術もこれまで述べて来た様に基本的には確立されており、今後急速な発展が期待される。

ソフト・エネルギー・パスの目的は化石資源に依存することを少なくして、自然にとけこんだ永続的なエネルギー・システムを作り出すことにあって、そのためには小規模エネルギーを有効に利用することが必要であり、その意味で温泉のもつ熱エネルギーを有効に利用することを真剣に考えるべき時に来ていると信ずる。

文 献

- 1) 塚本忠之 (1979), 昭和53年度全国温泉利用状況一覧, 温泉工学会誌, **14**, 24-79
- 2) 松永信夫 (1956), わが国の温泉の統計的概況(2), 温泉研究, **7**, 20-26
- 3) Yuhara, K. (1970), Heat Transfer Measurement in a Geothermal Area, Tectonophysics, **10**, 19-30
- 4) Sugimura, A., et al (1963), Quantitative Distribution of Late Cenozoic Volcanic Materials in Japan, Bull. Volcanol., **26**, 125-140
- 5) 益子 安, 細谷 昇, 飯塚真二, 上条矢波, 礎谷 肇, 中島国雄 (1973), 温泉水の送配湯に関する研究 (その3), 温泉科学, **24**, 109
- 6) 資源調査会 (1980), 自然エネルギーの地域的利用システムに関する調査, 資源調査資料75号
- 7) 湯原浩三, 関岡 満 (1976), 地熱資源の最適利用システム作成のための線形計画法の応用, 地熱, **13**, 21-37
- 8) 草津町, 温水供給についてのお知らせ (パンフレット)
- 9) 佐藤 守, 関岡 満 (1979), 札幌市定山溪温泉における温泉利用融雪道路について, 温泉工学会誌 **13**, 146-159
- 10) 石橋真人, 田中淳一郎, 林 公紀 (1978), 地熱利用冷房栽培システムの開発 (第1報), 農業機械学会誌, **40**, 207-214
- 11) 石川嘉一 (1977), 地熱利用でサイクル, 農業用水と営農, **52**, 9-12