

積雪地帯の地熱エネルギー資源としての地下水熱の有効利用

村下敏夫* 岸 和男*

MURASHITA, T. and KISHI, K. (1986) Utility of ground water geotherm as local energy resource in snowy regions. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 37(3), p. 139-148.

Abstract: In this report, the feasibility of the utility of the ground water geotherm specially for the snow-melting on the road and for the indoor heating in heavy snow regions is assessed. It is concluded that the ground water might be evaluated as one of the useful local energy resources for its non-exhausted, renewable and inexpensive characteristics, provided that the ground water was recycled carefully to maintain the ground water level stable and to minimize the chemical pollution as far as possible.

The first method on the snow-melting, sprinkling the ground water on the road, which had been started in Nagaoka City in 1961, has been prevailed to various regions. This method, however, proved to cause the serious ground water problems such as depression of ground water level and land subsidence.

The alternative method, snow-melting on the road by supplying heat of the ground water through pipes which were installed under the street (Water Pipe Heating System), has been developed in Yamagata Prefecture and now well accepted by regional inhabitants.

Owing to the technical innovations, the construction of the facilities for the above systems are expected to be less expensive and the utility of the ground water heat may be really popular in various places. It will be recognized that the active development of the local energy resources such as the ground water geotherm contribute to the progress of regional economy and to promote public welfare.

要 旨

エネルギーをめぐる国際情勢がきわめて流動的ななかで、我が国が今後とも順調に経済発展をとげ、福祉の向上をはかっていくためには、脱石油を含めたエネルギーの安定供給を確保することが、もっとも重要な課題である。

こうしたなかで、エネルギーの安定供給に寄与するものとして、地域エネルギー資源の開発を積極的に行って、地域の振興・福祉のために利用していくことが認識され、かつ一部で実用化されている。地域エネルギー資源のなかでも地下水資源は、適正な利用法をもってすれば非枯渇性であり再生可能な資源であって、我が国に広く賦存する数少ない低廉な国産のエネルギー資源である。

我が国の積雪地帯では、厳冬の快適な生活環境づくりの目的で、地下水を直接道路に散水して消雪する方法

が昭和36年に豪雪地長岡市で始めて行われ、各地に普及した。しかし、冬期間の地下水利用は、水位の低下、地盤の沈下等の地下水問題発生の原因となった。最近、山形県内では、地下水熱をヒートポンプで加熱して室内暖房を行い、またそれを直接利用して無散水で道路の消雪を行う。地下水問題を伴わない新しい方法が開発された。地域住民に好評な地下水熱利用は、暖房では床暖房、道路では無散水消雪である。

このような地下水熱利用は、技術革新によって設備費等が低廉になれば、積雪地帯以外の地域でも今後ますます普及するであろう。ただ、地下水を汲上げる冬期間はその補給量がきわめて少ないので、揚水井戸と戻水井戸とを併用する手法を採用して、地下水位の平衡を保つとともに、熱あるいは化学物質による地下水汚染が発生しないよう留意する必要がある。

1. ま え が き

地下水は、我が国では生活用水としては古くから開発された水源であるが、工業用等として大量に利用されは

* 環境地質部

じめたのは明治の末頃からである。

我が国の地下水は、一般に良質であることから、生活用としての使用価値が高く、これにさらに低温かつ恒温という特性を利用して、工業用水として価値が一層高い。例えば、繊維工業・化学工業はそれぞれ温度調節・冷却の用途に全補給水量の大半を消費するので、水価が安くかつ品質管理のために一定の温度の水を必要とする。したがって、昭和30年代までは、水温が少なくとも20°C以下の地下水が難なく採取できるところを選んで、工場が立地した(村下, 1976)。

地下水熱の有効利用という観点からみると、我が国では上述のとおり工業が以前から積極的に行っていた。これが地域の福祉・振興に貢献するものと見直されたのは、いわゆる石油ショック以降で、石油代替エネルギーのなかでも自然エネルギー資源、すなわち地域エネルギー資源としての開発・利用である(玉ノ井, 1978)。

積雪寒冷地における地下水熱の利用は、昭和36年から始められた新潟県長岡市での生活道路の消雪が有名で、以来新潟県下をはじめ隣接の各県で実施されて来た。その結果、冬期間の生活道路は無雪に近い状態で確保できたものの、地下水汲上げに起因する地下水位の低下、水井戸の枯渇、地盤の沈下等のいわゆる地下水障害が冬期に発生し、地域社会問題として今日に及んでいる。

しかし、筆者らは地下水障害の未然防止を計りながら地下水熱の有効利用を行う方法があると考えて、経常研究費をもって上記の有効利用に関する研究を計画し、昭和56年度から実施した。

研究対象地域には、本研究目的に適していると考えた山形県下を選んだ。ただし、対象とする地下水は、研究成果を無雪地帯にも活用する観点からごく普通に賦存する低温の地下水であったが、地域内には温泉水利用の施設もあったので、本文では若干の説明を加えて情報提供の形をとった。

なお、本研究を進めるにあたり、仙台通商産業局、山形大学工学部、山形県、最上町、日本地下水開発株式会社等から、有益な文献・資料・情報をいただいた。ここに厚く謝意を表する。

2. 地域エネルギー資源と開発利用の効果

2.1 地域エネルギー資源

石油代替エネルギーの主役は原子力、石炭であるが、一方これと同時にこれまで未利用であった地熱等の自然エネルギーや廃棄物エネルギーなどの、いわゆる地域エネルギー資源は、その需要特性に応じて効率的に供給されるエネルギーであって、民生部門や農林水産部門を

中心に可能なかぎり開発利用することが必要である。そこに地域エネルギーシステム(以下、システムを方式という)という概念が現出した。

地域エネルギー方式とは、我々の身近に存在し、かつて在来のエネルギー供給方式に必ずしも乗りにくかったエネルギー資源を、地域社会におけるエネルギーの利用実態に即応した需要と供給のあり方を有機的に結びつけていく、小規模でかつ地域分散型のエネルギー供給方式である。

また、この方式は、我々が現在大きく依存している石油・石炭等及びこれら得られる電力エネルギー等の大規模集中型エネルギー供給方式に比べて、次のような特性をもっている。

① 一般的にエネルギー密度が低く、また不安定なエネルギーである。

② エネルギーの需要地ないしは近辺に供給地を有するエネルギー供給方式であることから、エネルギーの転換損失や輸送損失が小さい。

③ 自然エネルギー資源は、賦存量に自ずと限度がある石油・石炭等の化石系エネルギー資源に対して、無尽蔵あるいは再生可能である。

④ 自然エネルギー資源や廃棄物エネルギー資源は、硫酸化物等の発生による環境への影響が認められる化石系エネルギー資源に比べて、一般に「クリーン」である。また、廃棄物エネルギー資源の有効利用は、公害防止及び廃棄物対策に直結する。

なお、この方式を構成する地域エネルギー資源は、次のとおり区分できる。

- ① 自然エネルギー資源
太陽・風力・中小水力・地熱・バイオマス・海洋
- ② 廃熱・廃棄物エネルギー資源
廃熱利用(ゴミ焼却廃熱、工場・発電所廃熱等、LNG 気化冷廃熱)
廃棄物利用(家庭廃棄物、人間・動物の排せつ物、工場廃棄物)

③ システム利用エネルギー
これらの組合わせや複合化による方式の利用

2.2 地域エネルギー資源開発利用の効果

地域エネルギー資源の開発は、既存のエネルギー供給を量的に補完するという面で、大きな意義を有するものである。量的補完に関しては、地域エネルギー資源の賦存量、開発可能量及び地域のエネルギー需要量、需要形態等を把握したうえで論じられるべきであろう。

地域エネルギー資源の開発利用による効果としては、次のことがあげられる。

2.2.1 地域の振興

従来、地域のエネルギー、例えば施設園芸ハウスや養鰻場の暖房などは石油に依存し、その価格に存立が左右されやすい状況にあった。しかし、本文でいう地域のエネルギーは、小規模分散型の産業の経営基盤強化に多大に貢献するものと考えられる。なかでも、この開発利用は、積雪寒冷地に将来新たな産業の立地を可能にするとともに、関連ある地域のエネルギー設備産業の誘発といった地域振興に寄与することが期待される。

2.2.2 地域の福祉

地域エネルギー方式は、地域の需要特性に応じた小規模分散型方式であるから、地域完結的といえる。

その有効利用にあたっては、前述の産業面のみならず地域の公共施設や一般家庭における暖房、給湯、照明の用途など、地域住民へ大きな利益を与えるものとして捉えることも重要である。特に、積雪寒冷地における生活道路の消雪、暖房や給湯事業への利用は、福祉の効果がきわめて大きいと考えられる。

このほか、広域的には必要不可欠の施設でありながら住民の反対が多いごみ処理や尿処理の施設などは、同施設から発生する廃棄物や廃熱エネルギーを、立地地点周辺の地域住民の福祉の向上に役立てていくことも大切である。

3. 地下水熱と有効利用の事例

3.1 地下水熱の特性

数多い地域エネルギー資源のなかで、地下水については下記のとおり特筆すべき特長がある。

地下水は一般的に①非枯渇性である、②再生可能である、③豊富に賦存する数少ない国産のエネルギー資源である、④浅部地下水熱の利用は技術的にも実用化されている、⑤今後の技術革新によって一層飛躍的な利用の拡大が期待できる。したがって、その量的、質的な有効利用実現の可能性は、他の国産代替エネルギー資源に比べてきわめて大きい(仙台通商産業局, 1982)。

いま、地下水熱の開発利用に関して、例えば山形県内において、積雪寒冷地というきびしい自然環境の下でのその開発利用は、おおむね次のような特性をそなえている、と考えられる(玉ノ井, 1978)。

まず、需要面においては冬期間の暖房である。石油供給の制約が生じた場合に、その影響を直接に受けやすい小都市、町村において、当面の地下水熱利用導入の目的は熱需要に対する量的補完である。加えて、従来の需要形態を一步踏みこえ、広域的暖房・給湯への地下水熱の有効利用である。

つぎに、積雪時における交通を維持するための生活道路の消雪と、住宅の屋根の人力による雪おろしに代わる消雪への地下水熱の利用である。

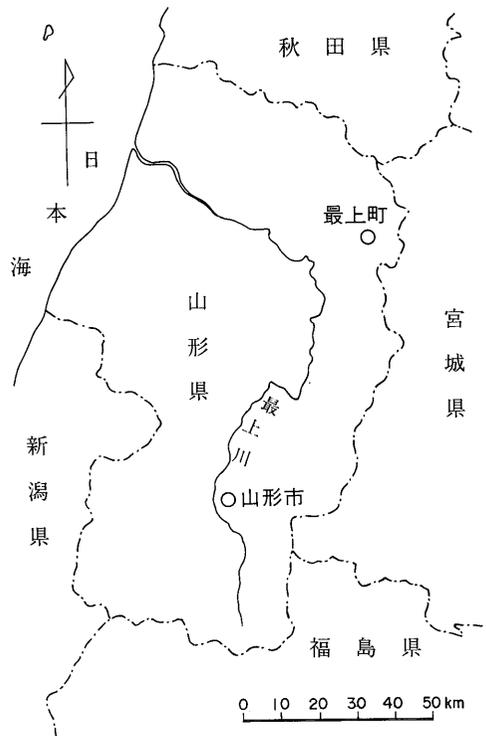
現在、山形県内で冬期間に実行されている地下水熱の利用例を、次に紹介する。

3.2 最上町の「微温水利用の暖房給湯事業」

最上町(第1図参照)は、山形県内最高の豪雪地域の一つである。したがって、冬期間は暖房等のエネルギー需要が大きく、町民一人当たりのエネルギー消費は県内最大であることから、昨今のきびしいエネルギー情勢のなかで、地域エネルギー資源の活用が急務となっている。

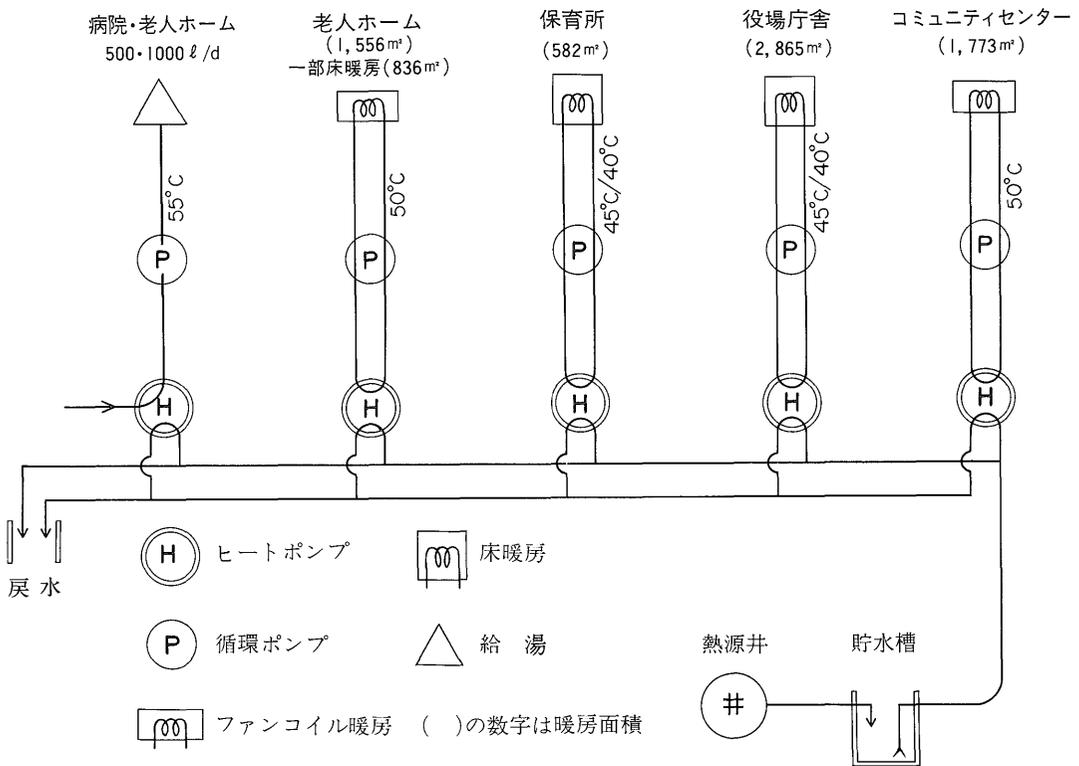
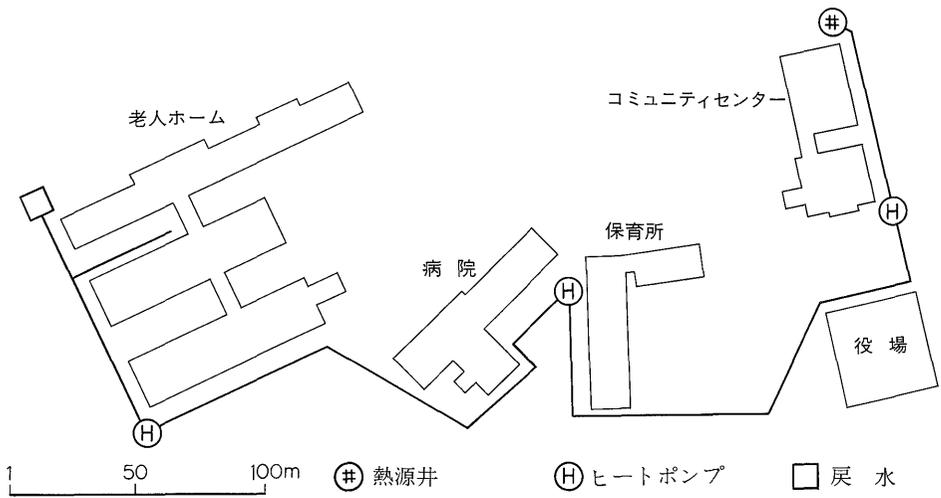
同町は、同町のほぼ全域に水温15°C前後の地下水が賦存することに着目し、この熱を有効に活用して、地域における石油等のエネルギーの負担を軽減し、住民福祉の向上をはかることを計画した。そして、微温水¹⁾熱の活用モデルとして普及啓発効果をねらうことを目的とする通商産業省「昭和56年度地域エネルギー開発利用モデル事業」の指定を受けた。

同事業の概要は、下記のとおりである(斎藤, 1984)。



第1図 最上町の位置

1) 本論文では、ごく普通に賦存し、水温が地域の年平均気温とあまり差がない地下水を、「微温水」と呼称する。



第2図 最上町における微温水利用の暖房及び給湯事業の概要

同町のコミュニティセンターのそばに、熱源井(深度は340 m, 採水層は230.0-334.5 mの凝灰質岩, 自噴水量は1.5 m³/min, 水温は15.0°C)を設け, 自噴水の熱を低温側から高温側へ汲上げるヒート(熱)ポンプで吸熱・加熱して45-50°Cの温水を造り, 同センター, 役場庁舎, 保育所, 特別養護老人ホーム等の公共施設の暖房や給湯の用に供する。

地下水は, ヒートポンプで約8°Cの熱を失った後, 戻水池に送られて地下浸透する。微温水から熱をうばったヒートポンプは, 各施設から還ってくる暖房後の温水を加熱し, 温水は再度各施設の暖房に送られる。

同町が, 暖房・給湯方式の設計に特に留意した点は, ①既存施設(重油タンク, 温水管, ファンコイル等)の最大限の活用, ②ヒートポンプの分散方式(対象施設の稼働時間や加温循環温水の温度低下が相違するため)の採用, ③重油燃焼ディーゼルエンジン式ヒートポンプ(現有重油タンクの活用と暖房の季節的偏重性のため)の採用, ④床暖房(役場, 保育所)の採用, ⑤騒音(ディーゼルエンジン駆動)・低周波振動の防止, ⑥揚水ポンプの電力料削減のために自噴熱源井の掘さく, ⑦戻水池の設置, 等であった。

昭和57・58年冬期間の運転による暖房・給湯の結果, 各施設から下記のような長所・短所があげられている。(長所)

①床暖房の蓄熱効果大きい(コンクリート埋設方式の床暖房は蓄熱効果がきわめて大きいので, これがひいては重油節減の効果につながる)。

②床暖房の暖房効果がすぐれている²⁾(床暖房は従来の室温を24-26°Cに暖める対流型暖房に比べて足元が暖かく頭部分の温度が低い頭寒足熱の暖房なので, 仕事の能率向上につながる。特に, 女子職員に好評であり, 保育園児は素足でいることの快適さを感じとっている。老人ホームでは床暖房の病室への入室希望者が圧倒的に多い)。

③ヒートポンプの時差運転ができる(貯湯槽, 電磁弁, リリーフ弁, 床暖房タイマーなどの組み合わせによって, 給湯低下を最小限に防止することができた)。

(短所)

①厳寒日のヒートポンプの運転時間が長い(日曜日・祝祭日は暖房稼働をしないので, 翌日はヒートポンプの立ち上がり時間が長くなるから, 早朝からの運転に入る必要がある)。

②職員の無配置は不可能である。小規模のトラブルがあるので, 従来のボイラー担当職員が点検業務に従事している)。

③施設の改善が必要である(建物全体が一重のガラス窓のところでは, 熱放出が大きいので, 暖房効果を高めるためには施設の改善が必要である)。

同事業のヒートポンプ方式の総合省エネルギーの効果は, 以前の重油燃焼ボイラー方式と比較して要約すると次のとおりである(斎藤, 1984)。

①昭和56年1月と58年1月の比較では, 総合省エネルギー効果は21.34%の節減, 重油では40.05%の節約であったが電力料金は18.12%の増であった。

②上記2年の2月の比較では, 総合省エネルギー効果は25.9%の節減, 重油では49.5%の節約であったが電力料金は42.2%増加した。

同町は, ヒートポンプ等設備の維持・管理費の低減をはかるために, 現在実施している冬期間だけのヒートポンプの運転を, 夏期間にも行って学校の温水プール, 室内の冷房に拡大することを検討している。

なお, 同事業の方式を町営国民年金保養センターに57年に導入し, 温度27°C, 水量0.3 m³/minの水を重油燃焼ボイラーによって加温していたのを, 電気駆動式ヒートポンプに切替えた結果, 月当り33万円の節約となった。

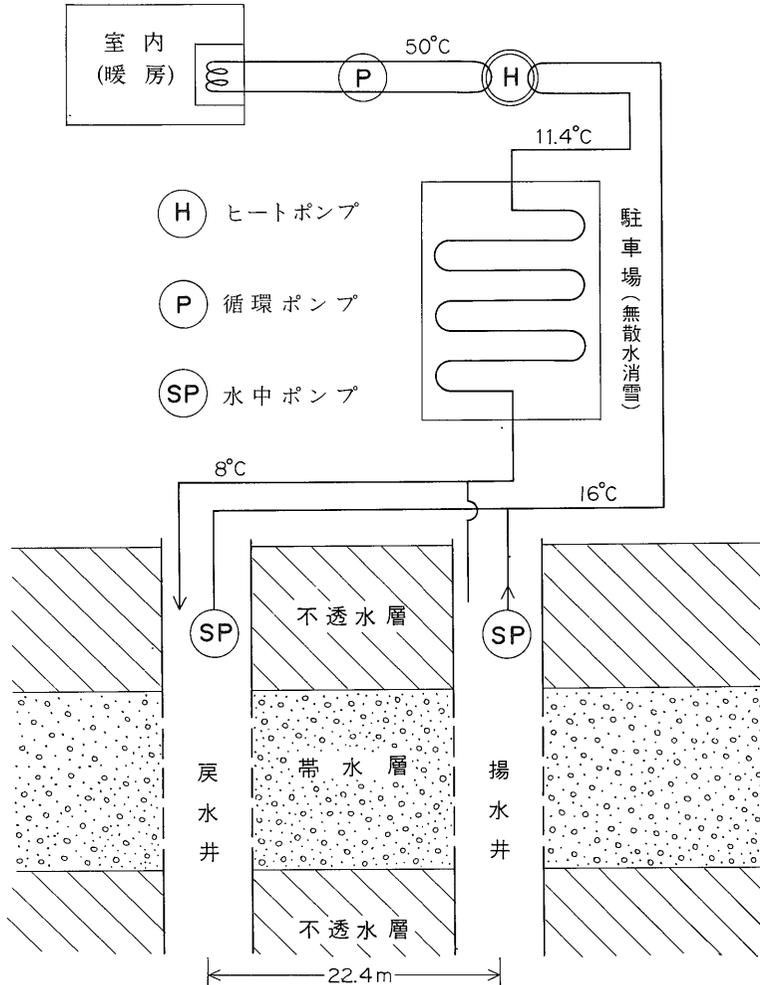
3.3 山形市の「帯水層の蓄熱利用による暖・冷房事業」

帯水層の蓄熱利用に関する研究は, 井戸法による地下水の人工涵養の手法をとり入れて, 帯水層から汲上げた地下水の熱を活用し, 使用した後の水を同一帯水層に戻すという内容のもので, 山形市において長年に亘って実験が進められた。その結果, 地下水は水位の平衡が保たれ, 熱汚染が生じないことが実証された(横山ら, 1980)。

この研究成果に基づいて実用化を図るために, 「年周期法による帯水層の蓄熱利用」が, 石油依存型の暖・冷房を地下水熱の利用に変えて, 石油消費量の節減を計ろうとする目的で行われた。

前記の最上町の事例と本質的に異なる点は, 夏期の温水を帯水層に蓄えて半年後の冬期に暖房用の熱源として利用し, また冬期の冷水を帯水層に蓄えて半年後の夏期に冷房用熱源として利用するところにある。実用化の実験には, 暖・冷房のほかに地下水熱を新しい方法で駐車場路面の消雪に利用する試みも加えられた。さらには, 路面の消雪や夏期の温水造りに, 太陽熱コレクターも設備されて効果をあげている(桂木・飛山, 1983)が, これ

2) 保育所の例。56年12月9日, 床温21°C, 室温15-16°C。町役場の例。58年2月22日, 入口1階のカウンター19°C, 2階事務室22-23°C。



第3図 山形市における帯水層の蓄熱利用及び路面消雪事業の概要(温度は第1回実験時の値)

については本文では割愛する。

実験場は、国鉄奥羽本線蔵王駅の西方約200mに位置する日本地下水開発株式会社構内である。水井戸は3本あって、正三角形になるように配置され、北井戸(深度105m)と南井戸(同、90m)は揚水用、戻水用³⁾で、井戸間隔は22.4m、あとの1本は水位観測井(同、85m)である。

実験は、3回に分けて行われ、下記の結果が得られた(桂木・飛山, 1984)。

3) 加熱/冷却の目的で汲上げた水を再び帯水層に戻す井戸(return well)を本文では戻水井戸と呼ぶ。戻水の水質は汲上げた水と本質的に同じ。このほかに、淡水の補給/保護の目的で、単層/多層に圧力・重力で淡水層を汚染しない水を注入する井戸(recharge well)、汚水処理や層圧維持の目的で加圧・重力流のもとで水・ガス・流体汚水を入れる井戸(injection well)がある(Gass, 1981)。

第1回の実験(昭和58年2月20日-4月30日)は、暖房と消雪、冷水の帯水層蓄熱を目的とした。昼間は南井戸から汲上げた温度16.0°Cの水を電気駆動式ヒートポンプで吸熱・加熱した約50°Cの温水で社屋の暖房を行い、次に熱を奪われて低温となった11.4°Cの水を、社屋前の駐車場路面内に埋設した放熱管の中を通して路面上の降雪を消す。夜間は、暖房が不要となるのでヒートポンプの運転を停止し、井戸水を直接放熱管に送って路面の消雪を行った。実験期間中の地下水汲上げ総量は約9,520 m³で、全量を北井戸に戻した。

第2回の実験(58年7月18日-10月20日)は、冬期間に帯水層に貯蔵した冷水を汲上げて社屋の冷房を行い、熱を吸収した温水を同一帯水層に戻すことを目的として実施した。夏期間の揚水井戸は北井戸で、社屋の冷房と除

湿を行った後の水を駐車場路面内のパイプに送って太陽熱を吸収し、高温(平均27.2°C)となった水を南井戸に戻した。地下水の汲上げ総量は約4,170 m³、第1回の実験で帯水層に戻した冷熱の回収率は約14%であった。

冷熱の回収率が低かったのは、実験の夏期は例年に比べて涼しく、冷房期間が短かったことにある。また、地下水の集熱総量は53.045 Mcalで、重油に換算して約6,000 l分の熱量となる。

第3回の実験(58年10月21日-翌年4月30日)は、第1回の実験と同様の目的・手法で行われたが、結果についてはまだ公表されていない。

以上の実験期間中揚水してその熱を利用した後全水量を帯水層に戻しても、水質に変化は認められなかった(桂木・飛山, 1983)。

本実験の蓄熱利用方式による暖・冷房費を、他の方式と比較した結果は、概略次のとおりである(桂木・飛山, 1983)。

① 59年のヒートポンプによる電力料金は、53-57年の重油燃焼ボイラーの運転費用の約36%の低減であった。

② 蓄熱利用方式の年間暖・冷房及び消雪の費用は、従来の方法より約50%節約(冬日に7時-19時の連続運転の場合、一冬の重油購入代金は150万円、電力料金は70-80万円)できた。

③ 社屋の暖・冷房は快適であり、合わせて駐車場の無散水消雪が可能なが実証できた。

3.4 無散水法による道路消雪

積雪地帯においては、冬期間の経済・運輸・文化活動

等を、他の季節と同様に円滑にすすめることは、地域住民の長年の願望であった。したがって、住民の生活に直接関係がある道路の除雪が、機械除雪、熱-地下水熱利用、電熱線利用、赤外線利用による消雪、薬剤消雪等の方法で試みられてきた。

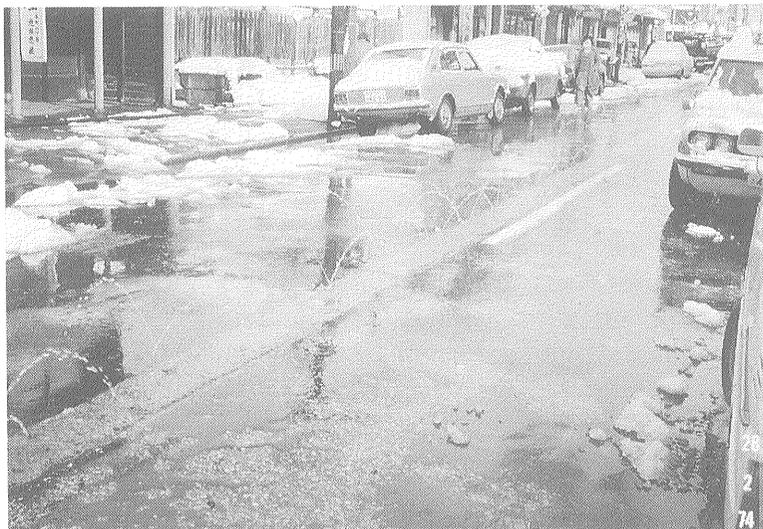
なかでも、井戸水を道路の表面に散水して消雪する方法は、昭和36年に豪雪地長岡市で初めて行われた。以来機械除雪が困難な市街地の中心部や人家が密集している狭い道路で、この方法が採用され、他の除雪・消雪の方法に比べて安価であることから、画期的な道路消雪の方法として普及した。

しかし、冬期間は一般に地下水位が低いうえに、降雪時に水井戸を一斉に稼働させるので、水位が極端に下がり、井戸相互の干渉が著しくなって、汲上げ量の減少や井戸の枯渇で消雪水量が不足がちとなり、地盤が軟弱な地帯では地盤沈下を誘発するなどの地下水障害が発生している。

このために、地下水を直接路面に散水して行う消雪方法に代って、山形市で始められた地下水障害を誘発しない無散水の消雪方法が目ざされ、現在、小規模ではあるが山形県下をはじめ北海道・青森県・秋田県・宮城県・福島県・富山県で、実施例がある。

この方法の概要と特長は、次のように列挙できる。

① 舗装の中に放熱管を適正な位置に埋設し、この管の中に適量の地下水を通し、その熱を舗装体の内側から外側へ効率よく伝導させることによって、路面温度の上昇をはかり、路面の消雪または凍結の防止を行うもので



第4図 散水消雪法による道路(長岡市)



第5図 無散水消雪法による道路(山形市)

ある。

② 水源井は、揚水井戸と戻水井戸の2本を設ける。揚水井戸からの地下水は、放熱管を通して閉鎖系で戻水井戸に戻る。

③ 特長は、路面に直接散水しないので、歩行が快適であって無雪時には路面が乾燥し、また路面の損耗が少ない。

④ 揚水して利用された地下水は、井戸法による地下水人工涵養の手法で同一帯水層に戻されるので、水収支の面で均衡が保たれ、地下水位の低下やそれに起因する地下水障害は発生しない。

この方法による消雪は、車道・歩道のほかに、歩道橋・駐車場・飛行車・駅のプラットホーム・屋根⁴⁾等でも利用できる。一方、水源は、地下水以外に温泉水や工場等の温排水でもよい。

ただし、この方法を道路消雪に応用する場合には、建設費が割高である。これについては考察で述べる。

3.5 その他の地下水熱の使用例

地下水熱を利用して、工業団地内の道路、駐車場、資材置場、共用の(会議場、厚生、福祉)施設等の消雪を計画しているところがある。例えば新庄中核工業団地がそれであって、豪雪地での企業活動を年間を通じて活発にしようという試みである。

山形市周辺における温泉熱を利用した床暖房は、寒河

江市と隣接の山辺町にある。寒河江市は、市民浴場の床暖房に、深度800mの温度52°Cの温泉水を利用している。山辺町は、温泉保養センターの床暖房と給湯用に、深度800mの温度36°Cの温泉水を電気駆動式ヒートポンプで50°Cに加熱している。床暖房は、いずれも施設の利用客にも頭寒足熱で快適と好評である。

温泉水の直接利用による淡水魚養殖の事例は、最上町と山形市近郊にある。最上町では、昭和52年に養鰻の実験に成功し、54年から本格的に養鰻事業に、さらに58年からセラピア養殖に着手した。源泉は、小国川右岸にある深度180m・温度26.5°Cと、300m・34.0°Cの井戸2本である。山形市近郊の養鰻場は、深度200m、29°Cの温泉水を利用している。いずれの場合も、成魚になる期間が短いので、寒冷地での養殖であっても企業として十分採算が合うという。

温泉地の排湯の熱を道路の無散水消雪に利用している例は、蔵王温泉街の一角にある。温泉水は泉質がよくないので、熱交換によって淡水を暖めて使用している。

4. 考 察

地下水熱は、産業の用途を除き、現在では積雪寒冷地において地域福祉の向上等のために、暖房や消雪に広く利用されるようになった。

4.1 床暖房について

地下水熱の床暖房への利用は、石油代替エネルギーの地域活用を目的としているから、両エネルギーの使用の比較は、まず経費の面から行うのが妥当であろう。

4) 熱源を地下水とする消雪法の研究(使用する管の材質、管内を通過する水の単位時間当りの量・流速等)が、山形大学工学部梅宮研究室ですすめられている。

① 石油の価格は、いわゆる石油ショック当時に比べて約10年後の現在ではかなり低廉となった。一方、地下水熱利用の機器や施設等に改良が加えられて、最近では熱効率がよくなっている。したがって、両者の比較はむずかしいが、現段階での判断では経費の差は縮まっているのではないかと考える。

② 冬期間の石油の消費量は天候に大きく影響されることも、上記の比較に考慮すべき要件であろう。

③ 床暖房の効率は、最上町のように庁舎の一部を改造する場合と、新築の段階で床暖房の施設を造る場合とでは相違するであろう。

④ 貯湯タンクの容量が大であれば、ヒートポンプの

容量は小でよい、といわれている。

⑤ 頭寒足熱型の床暖房は、生活者にとって従来の灯油・ガス、電気使用のストーブによる温風対流型の室内暖房よりも快適であるという共通の評価は、特筆すべき事柄である。

4.2 道路消雪について

冬期間の生活道路を無雪状態にすることは地域住民の長年の願望であり、そのために地下水の直接散水による消雪方法、無散水消雪の方法が考案され実施されている。

両者の損失は、山形市での例では概略次のとおりである。

項目	消雪法	散水法	無散水法
舗装道路の付帯工事		中央分離帯に散水管を布設	舗装下に放熱管を布設
工事費の害合(井戸を除く)		1	1.4
井戸の本数		1(揚水井)	2(揚水井・戻水井)
排水施設		側溝	不要
消雪最適地下水熱(°C)		10-15	10-15
路面1m ² 当り水使用量(l/min)		0.24	0.7
消雪速度		早い	おそい
路面の状態		常に湿潤	降雪時外は乾燥
地下水障害		排水による汚濁、地下水位の低下等	無

ここで重要なことは消雪に適正な地下水熱であろう。散水法の場合、熱源が低いと気温が極度に下がる夜間に路面が凍結する恐れがあり、逆に気温よりはるかに高いと路面に水蒸気が発生して車の運行が危険に陥る。無散水法の場合、山形市での最適温度は上表のとおりであるが、旭川市での実験では気温-16°Cのときに11°Cの地下水を利用して、実験路面に積雪がなく凍結の恐れもないことが確認された。このほか、無散水法による道路の消雪が行われている前記各県下の利用地下水の温度は12-22°Cである。

なお、道路の無散水消雪で大きな役目をする舗装下の伝熱管からコンクリートや下位の土壌へ伝導される熱は、道路表面下約1mの深さに達するまで蓄えられ、積雪時にはこの蓄熱帯から路面への熱供給が行われて消雪能力が増大するという研究結果がある(羽賀ら, 1983)。

別の道路消雪法に、舗装の下に布設する放熱管に代わってヒートパイプを使用する方法があり(河原, 1984)、青森市で試みられている。熱源は18°Cの地下水で、ヒートポンプで50°Cに加熱し、放熱後の9°Cの水は井戸

を通して地中に戻される。

この方法が使用できる環境と放熱管使用の無散水消雪法との経済性を含めた比較検討は、今後の課題である。

4.3 無散水法における地下水の水質の問題

地下水熱の利用は、地域住民の福祉向上のために公共施設の床暖房、生活道路や屋根の消雪のほかに、園芸等農林水産部門(内山, 1984)においても行われている。

この利用を無散水法で行うには、揚水と戻水のために2本の井戸が必要である。2井が同一帯水層に達している場合には、水は閉鎖系で流れるから地下水の水質に変化は生じないと考えられる。

しかし、一般には井戸深度が異なる場合が多い。これは、全体の工事費を節減するために行われるのであろうが、揚水帯水層の水質が悪いと戻水帯水層の水質を汚染する(内山, 1984)ことが起こる。このことは十分に注意すべきことであり、少なくとも工事前に、両者の水質を調査しておく必要がある。

5. あとがき

積雪寒冷地において、普遍的に賦存する地下水熱を地

域エネルギー資源として利用することは、公共施設の床暖房や道路・屋根の消雪のみならず、技術の進歩によって個人住宅に組み込む装置が低廉になると、厳冬の快適な住環境づくりに特に床暖房が広く普及することが予測される。

地下水熱を利用する場合には、冬期間は地下水の補給量がきわめて少ない季節であるから、地下水収支が平衡を保つように、同一帯水層に達する揚水用と戻水用の井戸を併設する方式の採用が切望される。さらに、熱または化学物質による地下水汚染の発生は、絶対に避けなければならない。

文 献

GASSE Tyler(1981) Injection, Recharge and Return Wells. *Water Well Journal*, Oct., p. 36-37.

羽賀恵寿・梅宮弘道・阿部政吉・小林泰男(1983) 地下水と土壤蓄熱効果を利用した無雪道路の研究. 山形大学紀要(工学), vol. 17, no. 2, p. 269-281.

桂木公平・飛山隆幸(1983) 積雪地帯における地下水熱の有効利用—暖房と消雪—. 工業用水, no. 300, p. 73-78.

—————(1984) 年周期法による帯水層

の蓄熱利用. 山形県工業技術センター第33回研究発表会講演要旨, p. 1-4.

河原能久(1984) ヒートパイプによる地熱の融雪への利用. 地下水と井戸とポンプ, vol. 26, no. 10, p. 10-22.

村下敏夫(1976) 地下水温の使われ方. 水温の研究, vol. 20, no. 2, p. 23-25.

斎藤邦清(1984) 利用者側からみた「微温水利用の暖房給湯事業」. (財)新エネルギー財団ローカルエネルギー講習会テキスト, p. 45-66.

仙台通商産業局エネルギー対策課編(1982) コミュニティに密着する東北のローカルエネルギー(Ⅰ), 207p.

玉ノ井正俊(1978) 省エネルギーの立場から見た地下水の有効利用. 工業用水, no. 236, p. 2-10.

内山久和(1984) 地下水の循環利用について. 天の水地の水, no. 70, p. 5-15.

横山孝男・梅宮弘道・寺岡達夫・渡辺英男・桂木公平・笠原敬介(1980) 帯水層を用いた季節的蓄熱利用. 日本機械学会論文集, no. 402, p. 322-330.

(受付: 1985年12月24日; 受理: 1986年1月27日)