

非火山性地域の地熱資源 — 深層熱水 —

茂野 博 (地殻熱部)

Hiroshi SHIGENO

1. はじめに

現在 寿命が長くないと予想されている石油の代替となるエネルギー資源・技術の研究・開発が精力的に進められている。しかし 大量で 安定した 環境を悪化させない 低価で さらに短い期間に開発可能なものという条件は簡単には充足されそうにない。このような状況の中では 今後エネルギー・ロスを技術的にできる限り減少させる一方 場合によっては不必要なエネルギーの使用を停止する(最も難しい価値や倫理の問題を含む)とともに 目的に応じて低品位のエネルギー資源をも最適の方法で利用して行かなければならないであろう。

エネルギー需要の中で比重の大きい熱形態での需要には 住宅冷暖房 農漁業利用(温室 畜産 養魚など) 工業利用(乾燥 化学反応促進など) 融雪など 100°C 以下の温度で充分に行えるものが分散的にしかし多量に存在する。このような需要に対して 高品位エネルギー資源を何度も変換して遠距離よりエネルギーを運搬して来ることは非常な無駄であると言わざるを得ない。

このような需要に答える低温熱エネルギー資源の1つとして 深層熱水資源がある。

2. 深層熱水資源

放射性元素の壊変などにより歴史的に地球内部へ蓄積した熱は より低温の地表へと移動して行くが にはさまざまな様式がある。プレート・テクトニクス説に従えばプレートの境界のような場ではマントルでマグマが発生し マグマの上昇に伴われて地球内部の熱が濃集した形で急速に地殻へと伝達される。このような地域は火山性地域と呼ばれている。一方 地球内部の熱は 非火山性地域を含めてマントルから地殻へと伝導によってゆっくりと伝えられている。地殻へと移動して来た熱は さらに水などの流体の移動に伴われてあるいは伝導により地表へと伝達されている。このような地球内部から地表への熱の移動は 地下増温率や地殻熱流量の形で観測することが可能で 非火山性地域において前者の平均は $1,000\text{m}$ 深くなるごとに約 30°C の上昇 後者は約 $1.5 \times 10^{-6}\text{cal/cm}^2/\text{s}$ 程度といわれている。

地熱エネルギーの開発は 従来火山性地域の地下に存在する 150°C 程度以上の蒸気・熱水を用いた発電を中心

に進められる傾向が強かった。しかし 多くの都市が位置する非火山性地域においても 一般に堆積盆地などでは地下深部に大規模な層状の熱水貯留層が存在しており ボーリングにより多量の熱水が採取・利用できる。このような型の地熱資源は深層熱水と呼ばれている。

深層熱水資源の開発は 経済的および地質学的条件に応じてさまざまな型のものが現在までにフランス ハンガリー ソビエト連邦などで進められており アメリカ合衆国 西ドイツ イギリス 中国 それに日本などで開発の可能性の実証的な検討が進められている。次に各国の現状を簡単に紹介する。

(1) ハンガリー

Dinaric Alps 山脈 Carpathians 山脈などで囲まれる Carpathian Basin は 第四紀の火山はほとんど存在していないが マントルが深さ約 25km 程度まで上昇して来ており ヨーロッパで最も地殻熱流量の高い地域の1つとなっている。この地域の深層熱水は 広域的に新第三紀以降の砂岩・砂層およびそれ以前の炭酸塩岩の中に貯留されており その水圧は静水圧よりやや高い程度で 塩濃度は海水の半分以下の場合が多い。ハンガリーの全域で1962年以降急速に進行した深度数 $100 \sim 2,000\text{m}$ 程度のボーリング井 約500本より $35 \sim 100^{\circ}\text{C}$ の熱水が $2.5 \times 10^4\%$ 程度湧出している。熱水の利用は $1.5 \times 10^6\text{m}^2$ 以上に及ぶ温室などの農業利用を中心に 地域暖房や医療などに広がっており 総利用エネルギーは $4.0 \times 10^{15}\text{cal/year}$ に達している。なお 地下 3km 以浅の熱水の熱資源量は $1.2 \times 10^{22}\text{cal}$ 程度であると見積られている。

(2) フランス

フランス本土には第四紀の火山はほとんど存在していないが 地殻熱流量が $2.0 \times 10^{-6}\text{cal/cm}^2/\text{s}$ より高い地域が多い。特に Paris Basin Aquitaine Basin Alsace などでは 主に中生代の砂層 砂岩 炭酸塩岩中に多数の熱水貯留層が広域的に存在しており 深度約 $3,000\text{m}$ で 100°C 程度の温度になっている。熱水の水圧は一般に静水圧よりもやや高く その塩濃度は変化に富むが海水より低い場合が多いようである。1968年頃より Paris 近郊の Melun 市で 深度約 $1,800\text{m}$ の1本の

生産より得られる約70°C 90%の熱水を用いた閉鎖系の熱交換方式(熱交換後深層熱水は1本の還元井より同一地下水準に還元)により 約2,500世帯の暖房および給湯をおこなっている(冬期の最大熱需要時には補助ボイラーを併用)のを始め 現在20地域以上で深度1,800m 温度60~70°C程度の深層熱水の地域暖房や農業への利用が開始あるいは計画されている。

(3) アメリカ合衆国

Texas州やLouisiana州が位置するGulf of Mexico Basinでは 堆積盆地の基底部に存在するジュラ紀の岩塩層から多数のドームが上昇して来ており 岩塩の熱伝導率が高いために全般的に地下増温率が高くなっていると考えられている。この地域では白亜紀以降海成の頁岩と砂岩とが10km以上に及ぶ厚さで堆積し 砂岩の一部は堆積時より生成する海岸線に平行な多数の断層によってブロック化されて厚い頁岩中に存在している。頁岩は堆積-続成作用が進行するにつれて孔隙率および透水率が急激に低下するが 一方頁岩中の粘土鉱物からは多量の層間水などが放出される。このため 温度が100°C程度となる深度以深では異常高圧層と言われる水圧が静水圧を越えて岩圧に近づいた状態が形成される。特にブロック状の砂岩層には放出された水が集積することとなり 深部からの流体移動によって温度が急増するとともに 堆積物中の有機物が分解することによって生成するメタンガスが移動集積している。熱水は一般に地下4,000mで150°C程度で より深部では250°C以上の温度も観測されており その塩濃度は変化に富むが一般に海水程度となっている。このような深層熱水資源は岩圧水型(geopressured-geothermal resources)と呼ばれており 2次媒体を用いる発電(バイナリー発電)とともに分離するメタンガスの利用が検討されている。

U.S.G.S.の評価によれば 海域を含む北部Gulf of Mexico Basinにおける深度6.86kmまでの岩圧水型資源の総熱エネルギーは 2.4×10^{22} cal 総溶存メタンガス量は 2.0×10^{15} m³(標準状態)程度で それぞれ約10%が砂岩中にあり このうち合計最大 1×10^{21} cal程度のエネルギーが採取可能であると考えられている。現在

DOEを中心に岩圧水型資源開発の経済性の実証的研究として 主に熱水中の溶存メタンガス濃度および1本の井戸からのエネルギー可採量を明らかにするために 数本のボーリング井を用いた噴出試験がおこなわれている。

(4) 日本

日本においても国の新エネルギー研究開発の中で 深層熱水の研究が進められている。昭和52~53年度には

基礎調査として 既存の資料をもとに深層熱水の存在が期待できる30地域の堆積盆地について 熱エネルギー需要 貯留層構造 地下温度構造 熱水の化学的特性などの概要についてとりまとめ 各地域の資源量評価がおこなわれた。選定された地域は 厚く分布する新第三紀以降の堆積岩類中に貯留層が存在すると考えられる裏日本の秋田・新潟平野 東北地方の山間盆地 石狩平野などのほか 花崗岩類が貯留層となっていると考えられる甲府盆地 熊本平野などを含んでいる。日本の堆積平野・盆地は一般に地下増温率が30°C/1,000mより高い場合が多く 30地域に存在する深層熱水の利用可能な熱エネルギーは 1.2×10^{20} cal程度であると予想された。

この結果を基礎に昭和54年度より開始され 現在新エネルギー総合開発機構によって秋田空港が位置する雄和町周辺において進められている深層熱水供給システム開発は 昭和58年度を目標に地熱エネルギーの多目的利用の確立を目ざして 最適採取・還元システムの検討を行っている。昭和55年度に掘さくされた試験1号井(深さ1,300m)では 貯留層となっている船川層中部の和田礫質砂岩層(層厚約350m)から 水中ポンプ揚湯により口元温度約65°C 約40%の熱水が採取可能である。なお 熱水の塩濃度は海水の半分程度で 若干のメタンガスが付随している。今後 還元井および観測井の掘さく後 産出・還元試験 採取還元試験施設製作 トレーサー試験などのほか シミュレーション研究や地盤変動調査を加えた総合解析がおこなわれる予定である。

3. おわりに

以上述べたように 低温熱エネルギー資源である深層熱水の大規模な利用は世界的にも最近開始されたものである。このため 開発・利用技術 環境への影響 それに経済性など開発地域の条件に応じて具体的に研究されなければならない問題がまだ数多く残されている。一方 今後深層熱水の地球科学的状態・成因の解明とともに 資源量の把握もより精密におこなっていく必要がある。特に日本においては 秋田・新潟平野などの深い堆積盆地の深部における岩圧水型深層熱水 あるいは東北山間盆地などの火山フロントに近い堆積盆地の深部における第四紀火山の熱の影響を受けた“深層熱水”などについて 存在の可能性を検討するとともにその資源量を明らかにして行く必要があると思われる。

深層熱水資源は 価値ある大規模な純粋の国産エネルギー資源である。しかし 前述した平均地殻熱流量から計算すれば 深層熱水資源が化石の熱資源であることは間違いない。今後 長期的な展望を持って 深層熱水資源を研究・開発して行くことが重要である。