

日本温泉科学会第57回大会

公開講演 2

地下深部の温泉の問題点

NPO シンクタンク京都自然史研究所

西村 進

On the problems on the deep drilling for hot-springs
in the deep sediments and in the rock-body

Susumu NISHIMURA

NPO Think tank Kyoto Institute of Natural History

1. はじめに

地下深部での温泉・地下水の胚胎の状況について述べ、その問題点を探る。海岸の平野を除き、殆どの地域が地下浅くて岩盤であるところが多い。近畿地方は新しい火山活動のないところであり、温泉は地温度勾配による温度上昇を利用して、地下深部(700m~1,300m)の掘削により、厚い堆積物中の地下水を汲み上げ、また、岩盤中の断層・亀裂の被圧裂隙水を掘削し、汲み上げて温泉法に適合する温泉源を得ている。

2. 温泉・地下水の分類

温泉・地下水の区別は、現状では温泉法に適合するかしないかであり、同様に扱える。

温泉・地下水を分類すると、堆積物中の地下水は、比較的浅部の①伏流水と、深部の②被圧地下水に分けられ、岩盤中の地下水は③被圧しない地層中や断層亀裂に停滞している裂カ水と、④被圧裂カ水に分類できる。

温泉法によると、「温泉とは地中から湧出する温水、鉱水および水蒸気その他のガス(炭化水素を主成分とする天然ガスを除く)で、別表に掲げる温度(25℃以上)または物質を有するもの」である。別表には、規定されている成分とその規定量が表示されている。

堆積物中の地下水は、多くの調査・研究がなされ、種々の量的検討法がまとめられている(山本, 1972)。例えば、井戸の揚水試験が正確にでき、限界揚水量や適正揚水量が求められる。最近ヒットアンドベイで仕事を取り、揚水された温度と量とで価格を決めることがあり、非常に深い深度に特殊なポンプを挿入することがあるが、これはメンテナンス費用に困り、維持していくのに大変である。動水位の深さで制限している韓国の温泉法が非常に合理的であるように思われる(佐藤, 2003)。

“あなたの庭にも温泉が出る”などの著者がでたりして、一般の人だけでなく一部の業者でもそのように考えていることが多い。これは非常な誤りであり、正しい知識を持ち適切な調査が必要である。

3. 厚い堆積物中の深い部分の地下水を汲み上げる場合

厚い堆積物が堆積する堆積盆があり、そこで、地温勾配を利用した深度の地下水を掘削により汲み上げて、火山性などの熱源のないところで温泉が得られている。早くは三重県桑名郡長島町の長島温泉、東京都東京温泉がこれにあたる。現在は各地方で多く掘削されている。深部ほど被圧する傾向があるが、岩盤中よりも一般に被圧は低い。また、通常広く地下水が存在し、透水係数も岩盤中とは比べようもなく大きい。

地下水の利用は古くから多くの調査・研究がなされて、種々の量的検討法も確立されている。ただ、近くに同様の井戸から揚水すると干渉域が広く、箱根では1,000 m程度あるとされ、大阪でも800 m程度と推定されている。

このような堆積盆で温泉を得るには、通常700 m以上の掘削が必要である。探査は堆積盆の構造を探査すればよく、重力調査や地震探査が有効である。

問題はこのような地下水は、海水面より深く、停滞していて嫌気性であることが多い。その場合炭質物を胚胎していることが多く、水溶性メタンがメタン生成菌により生じていることも多い。炭酸水素イオンを含む場合は、滅菌方法を適正にする必要がある。また、工業用水を地下水に頼っていたときに地盤沈下をもたらしたのと同じことが起きないように、揚水量も制限する必要がある。

4. 第三紀層の石油・天然ガスに共存する塩水のような停滞水を汲み上げる場合

石油・天然ガスの下部には化石海水などの停滞水が胚胎する。東北地方日本海側では、このような地下水を汲み上げて温泉として使われている。この探査は石油・天然ガスの探査と同じく、地質調査、重力調査、地震探査が有効である。ただし、石油・天然ガスを混じらないように掘削地点を決める必要がある。また、海水を閉じ込めている場合が多く、塩分が強く利用法に注意する必要がある。また、このような地下水は量的に限られている場合が多いので揚水試験がそのままいつまでも当てはまることなく、注意する必要がある。

5. 岩盤中の亀裂・断層中の被圧裂隙水を汲み上げる場合

岩盤中の地下水は、岩盤中の断層・亀裂に水位の異なるところを、連通管のように胚胎するとして推定できる。ただその管の中にはなんらかの粘土や岩石の破砕物があり、通り易さ「透水係数」がどれも異なる。それで、岩盤中の地下水は、掘削井それぞれに個性があり、種々の量的検討が難しい。揚水テストも簡単に結論が出せないことが多い（西村，2001）。適正揚水量は結果的に見て、掘削後洗浄などを的確にして予備揚水を長くし、水質が安定してから、72時間以上の連続揚水で動水位が変わらない状態を見出し、それがほぼ限界揚湯量とすることが良い。

6. 岩盤中の特殊な温泉

岩盤中の温度勾配は所により異なる（Furukawa *et al.*, 1998）。とくに、火山の近くはマグマなど

の高温のものに温められて、地温勾配が高く、浅くて温泉が得られる。高温物質の量やその貫入の時代により影響が異なるが、核燃料サイクル開発機構の第二次レポート (1999) によると、火山の噴火中心から 15~20 km 以内にこのような温泉が見られる。その他の地域は、深部にまで掘削し、温度勾配を利用した温泉である。この他、近畿地方や四国地方の外帯側 (殆どは中央構造線より海洋側であるが、有馬温泉もこの種の温泉である) には、場所が限られて高温の温泉の湧出が見られる (西村, 2000 a, b; 2001)。これらの多くの温泉水は、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が高い。これは、マンツルの関与があることを示している (Sano and Wakita, 1983)。その湧出場所は付加体 (海洋プレートが大陸に沈み込むところで、堆積物を付加したものを言っている) のほぼ東西の構造に垂直な (フィリピン海プレートの沈み込む方向) 比較的短い南北の断層・亀裂からであり、とくに、この南北の方向に 12~15 Ma (Ma は百万年前を表す単位) に貫入した火成岩の縁に伴うことが多い。要するに地殻深くの破碎部に湧出していることが多い (西村, 2000 a, b; 2001; 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1996)。

この現象は、沈み込みのスラブから脱水し、マンツルの高温部を通ると考えると、この水はマンツルの融点を下げる。その結果、マンツルは部分溶融し、マグマをつくる。しかし、マンツルの低温部では、臨界点以上の水がマンツルの中の ^3He を含み地殻上部に上昇し、雨水に希釈されて湧出して、温泉が存在すると推定している (Tatsumi, 1989; 巽, 1996)。この脱水の現象は、中央海嶺の玄武岩 (MORB) の高温・高圧実験でも認められている (岡本ら, 1997)。

一方、日本海側に湯村温泉、城崎温泉など浅い掘削で高温の温泉が得られているが、丹後半島より西部では、地温勾配が高い。これらは、日本海ができたときの (20~14 Ma) 影響が残って、西南本州弧では特異な引っ張りの場となっている。そこでこの部分では、深部掘削で高温泉が多く得られている。

7. ま と め

近畿地方の様な火成作用による温泉が見られない地域では、特殊な場所の温泉を除き、2.0~2.8°C/100 m の温度勾配による温度上昇を利用した深部に胚胎する地下水を汲み上げて温泉が得られている。その場合は 700 m 以上の掘削が必要であり、地下水の保護、メンテナンスなどを考えて適正なところにポンプを据え、適正な動水位で揚水する必要がある。

限界揚水量は、①厚い堆積物中の地下水を汲み上げる場合は、通常の段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験を行い決定できる ②化石水の温度のように、地層中に存在する停滞水が対称の場合は、量に限りがあることが多いので、決められない ③岩盤中の被圧裂隙水を汲み上げるときは、断層・亀裂の厚さ、透水の難易により異なり、一般的に長い連続揚水試験 (72 時間以上) の連続揚水しても、動水位が変わらないときの揚水量がこれに当たる。

文 献

Furukawa, Y., Shinjoe, H. and Nishimura, S. (1998): Heat flow in the Japan Arc and its implication for thermal processes under arcs, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1087-1090.

西村 進 (1999): 温泉・地下水と地震, *温泉科学*, **48**, 142-153.

西村 進 (2000 a): 四国北部の地質構造と温泉, *温泉科学*, **50**, 113-119.

西村 進 (2000 b): 紀伊半島における前弧火成作用, *温泉科学* **49**, 207-216.

西村 進 (2001 a): 紀伊半島の温泉とその熱源, *温泉科学*, **51**, 98-107.

西村 進 (2001 b): 岩盤中の大深部掘削井の揚水テスト, *自然と環境*, **3**, 42-47.

- Nishimura, S. and Katsura, I. (1990) : Radon in soil gas : Application in cations in exploration and earthquake predictionl, in Geochemistry of gaseous elements and compounds, edits. Durrance *et al.*, p 497-533, THEOPHRASTSUS Pub., Greece, 533 p.
- 西村 進, 桂 郁雄 (1999) : 放射能探査の信頼性について, 自然と環境, **1**, 1-5.
- 岡本和明, Max Schmidt, 丸山茂徳 (1997) : 海水をマントルに運ぶ, 科学, **67**, 478-479.
- Sano, Y. and Wakita, H. (1983) : Geographic distributions of the $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in Japan— Implications for arc tectonics and incipient magmatism, Jour. Geophys. Res., **90**, 8729-8741.
- 佐藤幸二 (2003) : 韓国の温泉法 (2001) について, 温泉科学, **52**, 162-165.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1996), 本宮地域—地熱開発促進調査報告書, No. 37, 885 P.
- Tatsumi, Y. (1989) : Migration of fluid phases and genesis of basaltic magmas, Jour. Geophys. Res., **94**, 4697-4707.
- 巽 好幸 (1996) : 沈み込み帯のマグマ学, 全マントルダイナミクスに向けて, 東大出版, 186 p.
- 山本莊毅 (1972) : 揚水試験と井戸管理, 昭晃堂, 180 p.