

# 静岡の地熱資源・温泉と地中熱利用

佐脇 貴幸<sup>1)</sup>・玉生 志郎<sup>1)</sup>・大谷 具幸<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 (<http://unit.aist.go.jp/georesenv/>) では, 研究開発テーマの1つとして, 地熱発電と地熱資源探査に関わる研究を行っています。「地質情報展2003 しずおか プレートの出会う場所で」では, 地熱資源の基礎, 静岡地域の温泉の分布, 日本の地熱発電所, 地中熱利用の原理等について展示・紹介しました。ここではその展示内容の概略について記します。

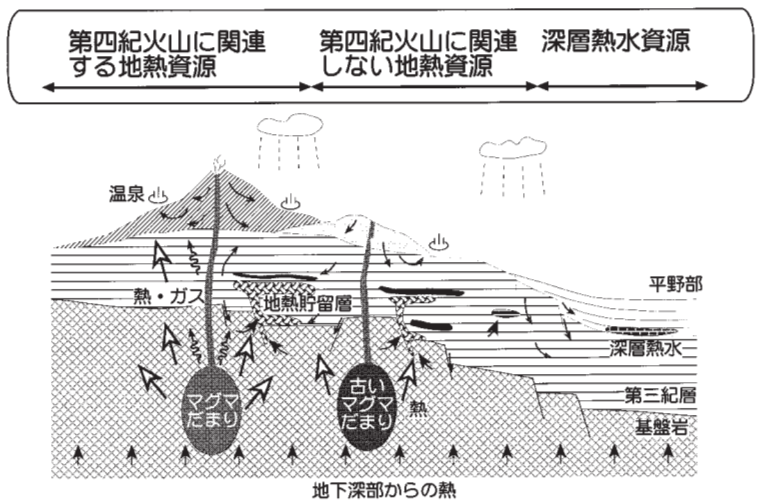
## 2. 地熱資源と地熱発電

地熱とは文字どおり「地下にたくわえられた熱」です。火山地域では地下数km~10km程度に高温のマグマ溜まりがありますが, 地層中の割れ目を通じて地表から染み込んだ水は, このマグマ溜まりの熱で熱せられ高温の「熱水」となります。このような熱水が地下の割れ目に溜まっているところを「地熱貯留層」と呼びます(第1図)。すなわち, 地熱資源とはこのような高温の熱水のことを指します。

さて, 地下深くに眠る地熱資源を効率よく利用するためには, どこにどのような地熱資源があるかを見極めなければなりません。このために(1)地震波・電磁気・重力などを測定する地球物理学的探査法, (2)地表の岩石や温泉水などから地下の様子を推定する地質学的・地球化学的探査法が使われる

こととなります。産業技術総合研究所ではこれらの手法を研究・開発しています。

このような手法を使って探し当てた地熱資源を利用して発電するのが地熱発電です。地熱発電では, 地下500~3,000m程度の深さまで井戸を掘削し(これをボーリングと言います), 地熱貯留層から200℃以上の熱水を取り出します。この熱水から蒸気を分離し, それを使って発電機のタービンを回して発電します。発電に使った蒸気や分離したお湯は還元井と呼ばれる井戸から地下に戻します。このように, 地熱発電では一度使った熱水は捨てずに地下に戻し, 再度加熱されて戻ってくるものを利用して(リサイクル)できるようにしています。このため, 地熱エネルギーは「再生可能エネルギー」と呼ばれています。また, 世界有数の火山国である日本にとって, 地熱資源は豊富に存在する自然エネルギーであり, かつ石炭や石油などを燃やす火力発電と異なり, CO<sub>2</sub>を排出しない「クリーンエネルギー」で



第1図 さまざまな地熱資源(阪口・玉生, 2002を修正)。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門  
2) 岐阜大学工学部(産総研 地圏資源環境研究部門に併任)

キーワード: 地熱資源, 地熱発電, 温泉, 地中熱



第2図 日本の地熱発電所(佐脇ほか, 2003).

もあります。

地熱発電所は、国内では主に九州・東北地方の火山地帯に建設されており、その数は合計17カ所、発電量は全部で533MWとなっています(第2図)。世界的には、アメリカ合衆国2,545MW、フィリピン1,908MW、イタリア785MW、メキシコ780MW、インドネシア770MW、ニュージーランド441MW、アイスランド170MWなどが主なところで、1998年12月時点では、日本は世界第6位です(日本地熱調査会, 2000)。今後は100℃前後の比較的低温の熱水を利用したバイナリーサイクル発電の普及も期待されています。なお、地熱発電に関する情報は湯原(1992)、<http://www.tohoku.meti.go.jp/geo/>、<http://www.enecho.meti.go.jp/energy/index.htm> などでも得ることができます。

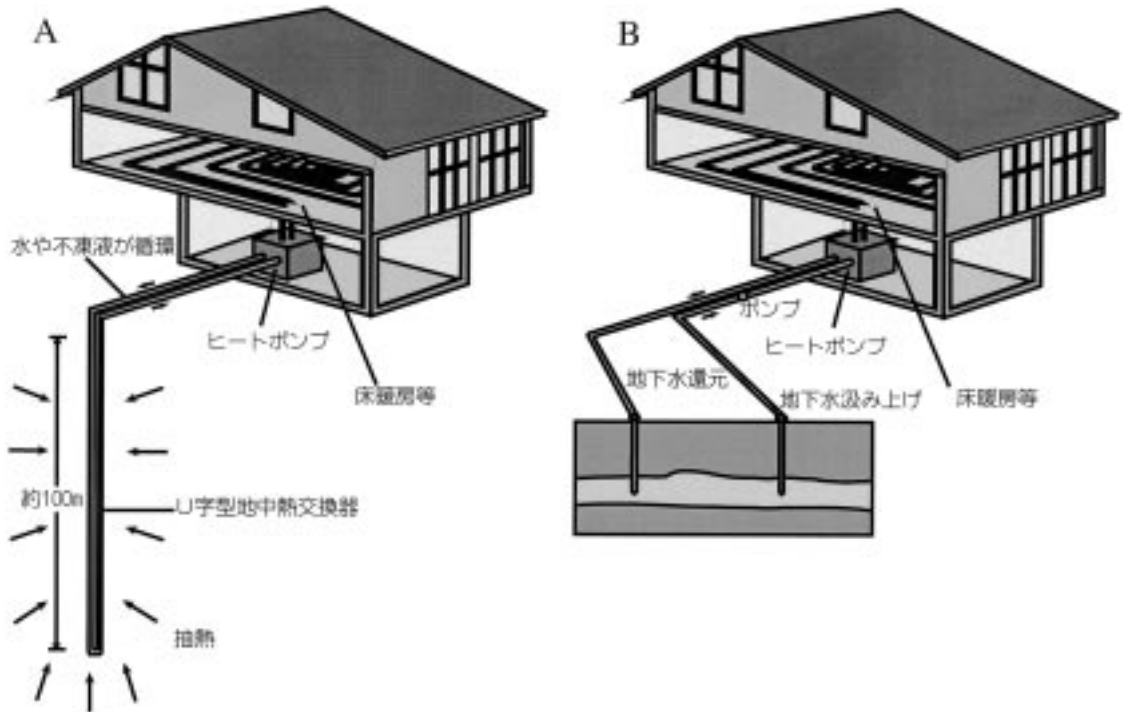
### 3. 温泉

温泉のお湯(温泉水)の源には、どんなものがあるのでしょうか? 雨水や雪が地下にしみ込んできた地下水はそのひとつです。このような地下水

が地下の深いところまで循環して温められたり、地下深くの地層から様々な成分を溶かし込んだりしたものが温泉水となります。特に、比較的新しい(第四紀)火山の近くでは、高温のマグマによって地下水が熱せられたくさんの温泉ができます(第1図)。このようにしてできた温泉は「火山性温泉」と言い、しばしば沸騰泉も認められます。一方、特別に熱いものがない場所でも温泉はあります。地球は中心へ行くほど温度が高くなっており、日本付近では1km深くなると30℃くらい温度が上がります。もし地下水の温度が地表近くで20℃だったとすれば、単純に計算して地下1,000mでは50℃、3,000mでは100℃を超えることとなります。このような地球が放出する熱で温められている「火山性温泉」以外の温泉を「非火山性温泉」といいます。また、平野・盆地には地下水など温泉の水のもとをたくさん含んだ地層がある場合がありますが、これらが温められるとやはり温泉ができます。このようにしてできた「非火山性温泉」を「深層熱水」といいます(第1図)。火山から遠く離れた平野でも温泉が掘り当てられるのは、こうした深層熱水を利用しているためです。このような深層熱水は、近年平野部の大規模な温泉レジャー施設の源泉として利用されるようになってきました。ただし、比較的低温(60℃以下)のものが主で、沸騰泉となっていることは非常にまれです。

静岡県及びその周辺地域に分布する温泉の分布図を口絵4頁上に示します。静岡県では、高温の温泉は伊豆半島に集中して分布しています。これは箱根に代表されるような第四紀火山のマグマ溜まりが熱源となっているためです。一方、中～低温の温泉は、マグマ溜まりがなくても地下の温度上昇だけで形成されます(深層熱水)ので、県内各地に広く分布しています。これらの開発には、地下深いところまで穴を掘るボーリング技術が進歩したことも関係しています。

ところで、昔から「富士山が見えるところには温泉は湧かない」と言われてきましたがそれはなぜなのでしょう? 元来、温泉は水理学的に見れば谷筋に沿って自然湧出するものでした。そのため、昔からの温泉は皆谷筋にあり、富士山を望むことができませんでした。しかし、その後、温泉をボーリングで掘り当てるようになったため、富士山を眺望できる



第3図 地中熱利用の概要。A: 地中熱交換型ヒートポンプシステム, B: 地下水利用型ヒートポンプシステム。

高台でも温泉を開発できるようになりました。また、富士山のまわりには高温の温泉がありません。これはなぜでしょうか？先に述べたように、雨水が地下に浸み込んで、それが地熱で温められると温泉になります。このため十分に熱せられるまでのある程度の時間、水が地下に溜まっている必要があります。富士山は主に溶岩や火山噴出物（スコリア・火山灰など）からできていますが、これらは雨水を長時間にわたって保ちにくい構造になっています。このため、富士山の周りには良質な地下水が湧出しているものの、その一方で高温の温泉ができにくくなっているのです。

#### 4. 地中熱利用

井戸水に触れるとわかるように、地下水には夏は冷たく冬は暖かいという性質があります。これは、地中の温度はある程度の深さまで行くと季節の影響を受けずに一定になるためです。このような地表と地下の温度の違いを利用するのが地中熱利用です。具体的には、深さ100m程度の井戸を掘り、そこにU字管を埋め込んでその中を水や不凍液を循

環させたり、あるいは地下水を汲み上げたりし、それらを地中熱源ヒートポンプとつなげて熱交換を行います（第3図）。この地中熱ヒートポンプを冷暖房等に活用することにより、都市部でのヒートアイランド現象の緩和、石油消費量の減少とCO<sub>2</sub>の排出量削減等が期待されています。

しかしながら、地中熱利用はアメリカ、スイスでは進んでいるものの、日本ではいまひとつ進んでいません。その理由としては、日本における掘削費が高いこととともに地中熱利用のために必要な地質情報に関する研究が進んでいないことが挙げられます。例えば、日本では地下の地質構造が大陸地域に比べて複雑なため、地中の熱エネルギー分布の偏在性（かたより）が大きくなっています。したがって、地中熱を効率的に利用するためにはこの熱エネルギー分布を正確に把握することが不可欠です。また、実際の地中熱の利用に際しては、人工的な熱採取や熱排出による周辺への環境影響（例えば地下の高温化）が懸念され、その対策も考慮する必要があります。このような点を明らかにするために、産業技術総合研究所では平成13年度から3ヶ年計画の研究を行っています。この研究では、地下温度・地下



写真1 地質標本館から出張してきた地中熱利用の模型を利用しての説明。

水・地質の調査に基づいて地中熱利用施設を最適に配置するための手法を開発することを目指しています。また、環境への影響を調べ、適正使用熱量・適正揚水量等を算出する手法も開発しています。

## 5. おわりに

地熱発電所は、前記のように北海道・東北・九州に集中しているため、それ以外の地域ではほとんどその実態が知られていないようで、今回も含めてこれまで筆者が関わってきた地質情報展では、「え、もう実用化されているんですか?」、「日本にもあったんですか?」という来場者の方の反応が多かったように思います。これについては、来場者の方にできるだけわかりやすくその発電の原理、自然エネルギーとしての品質の良さ、発電所のある場所等を説明しました。説明を聞いていただいた後では、風力や太陽光という最近の自然エネルギーに対する関心の高さもあってか、概ね「こういう自然エネルギーの利用をもっと進めていけばいい」というように好感を持っていただきました。また、以前「地熱発電に関して説明した文書はないのか?」という指摘があったことを踏まえ、地熱発電に関する多数のパンフレットを置いておきましたが、次々に手に取っていたが、あっという間になくなってしまいました。

静岡県内には地熱発電所はありませんが、伊豆半島の高温泉やその他の県内には約50℃以下の温泉が多数存在しています。これらの温泉の成因は、高温泉は第四紀火山のマグマ活動に係わ



写真2 ボーリングビットの模型で掘削作業を実体験。

るものであるのに対して、中低温の温泉は第四紀火山のマグマとは関連せず、地下深部に向かって地温が増大することに起因していることを説明しました。地元の人には、興味のある話だったようです。

地中熱利用に関しては、地質標本館の展示物(模型)を会場に移設し、これとパネルを使って原理と実際の利用例について説明しましたが、やはりこのような設備を住宅に設置するためのコストを気にされる方が多かったように思いました。

その他に、例年通りボーリングビットの展示を行いました。小学生以下の方には、実際に手で少しずつ石(石灰岩の板)が削れるというところが面白かったようです。やはりこのような場では「体を使って何かをする、作る」という展示が大事だと感じた次第です。

## 文 献

- 金原啓司(1992):日本温泉・鉱泉分布図及び一覧. 地質調査所, 394p.  
 日本地熱調査会(2000):わが国の地熱発電の動向. 日本地熱調査会, 118p.  
 阪口圭一・玉生志郎(2002):第7章 陸と海の資源 7.7 地熱資源の種類と成因, 理科年表読本 コンピュータグラフィックス日本列島の地質CD-ROM版, 丸善(産業技術総合研究所 地質調査総合センター監修, 日本列島の地質編集委員会編).  
 佐脇貴幸・阪口圭一・玉生志郎(2003):地熱発電と新潟地域の地熱資源・温泉. 地質ニュース, no.583, 12-14.  
 湯原浩三(1992):大地のエネルギー 地熱. 古今書院, 182p.

SAWAKI Takayuki, TAMANYU Shiro and OHTANI Tomoyuki (2004): Geothermal resources and hot springs in the Shizuoka district, and underground thermal utilization.

<受付:2003年11月14日>