

大地の恵み 地熱資源を求めて

佐脇 貴幸¹⁾・大谷 具幸¹⁾・水垣 桂子¹⁾

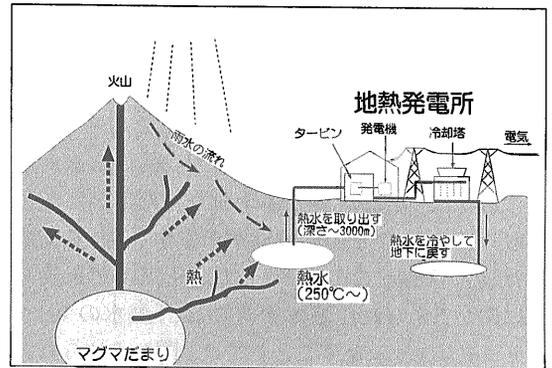
1. はじめに

地質調査所では、地熱発電に必要な熱水(お湯と蒸気)を探すための基礎的な研究を行っています。山陰地質情報展では、地熱発電の仕組みとともに、地下深くにある熱水の研究方法(流体包有物の研究)やそれを採り出す方法(ボーリング)等について展示・紹介しました。また、山陰地方に分布する温泉の特徴やろう石鉱床のできかたについて、地学的な観点から紹介しました。

これらのうち、地熱発電の仕組み、ボーリングの仕組み、流体包有物に関しては、1999年の中部地質情報展での展示内容(水垣, 2000; 水垣ほか, 2000)とほぼ同じものを展示・紹介しましたので、それらの展示内容の紹介は簡略に記すとともに、今回新たに展示した山陰地方の温泉とろう石鉱床について以下に紹介します。

2. 地熱発電

地熱発電では、地下の割れ目にたまっている天然の蒸気を取り出して、その圧力でタービンを回転させて発電します。地熱発電を行うには、まず蒸気を取り出すための坑井(生産井)を掘ります。坑井を掘ることをボーリングといいます。深さは500~3,000m、地下の温度は250~320℃くらいです(第1図)。普通は蒸気とお湯が混ざった状態ので出てくるので、蒸気とお湯を分離する装置を通します。分離した蒸気は、パイプラインでタービンに送られます。タービンに入る時には120~200℃くらいになります。タービンには発電機がつながっていて、これで発電します。発電に使った後の蒸気は、冷却塔で蒸らしてぬるいお湯にします。このお湯と、



第1図 地熱発電の仕組み。

最初に分離したお湯は、還元井から地下の割れ目に戻します。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。

日本には、九州に8カ所(うち1カ所は休止中)、東北地方に7カ所、北海道に1カ所、八丈島に1カ所、合計17カ所に地熱発電所があります。発電量は全部で533MWです。世界には、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、エルサルバドル161MW、コスタリカ115MWなどが主なところで、1998年12月現在では、日本は世界第6位になります(日本地熱調査会, 2000)。

3. 流体包有物 -熱水のマイクロカプセル-

冷蔵庫で作った氷は、白く不透明に見えることがよくあります。これは、氷そのものは透明なのです

キーワード：地熱資源、地熱発電、流体包有物、温泉、ろう石、熱水活動

1) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

が、中に細かい空気の泡がたくさん含まれているので、全体として白く濁って見えるのです。このように、固体の中に液体や気体（まとめて流体ともいう）が閉じこめられているものを流体包有物といいます。自然界では、氷はもちろんですが、鉱物でも同じような現象がみられます。

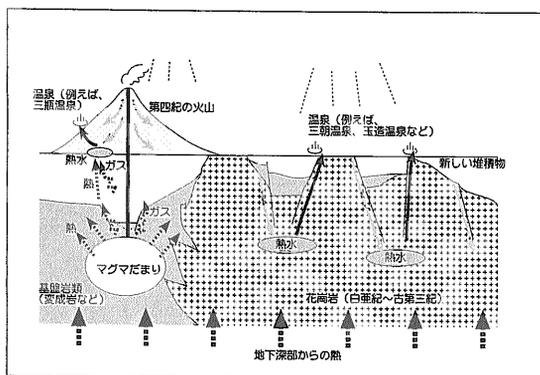
流体包有物はいろいろな原因で形成されます。一例を挙げると、地下の深いところに高温の流体が存在する場所があり、そのまわりにある鉱物が何らかの原因で割れると、その割れ目に熱水が入り込みます。その割れ目がもう一度閉じると、流体が閉じこめられて流体包有物になることがあります（これを二次包有物という）。また、鉱物結晶が成長する時に、結晶成長が不十分だった部分に流体が取り込まれてできることもあります（これを初成包有物という）。このようにして地下深部で鉱物の中に閉じこめられた流体包有物は、「熱水のマイクロカプセル」とみなすことができ、閉じこめられた時の温度や圧力、成分などをそのまま記録しています。ですから、流体包有物を調べると、通常ではなかなかうかがい知ることのできない地下深部での熱水の状態（温度や圧力など）や成分を知ることができ、ひいては、その熱水が地熱発電に使えるかどうか調べることができます（水垣ほか, 2000）。

4. 山陰地方の温泉

4.1 温泉の起源

温泉はどうやってできるのでしょうか？ 雨や雪として降った水は地中にしみ込んで地下水となります。その水が深いところまで循環して温められたり、いろいろな成分を溶かし込んだりしたものが温泉水で、それが地表に湧き出したものが温泉です。日本では、法律（温泉法）によって、地下水のうち25℃以上のもの、または一定の濃度以上の成分が含まれているものを温泉と呼ぶことになっています。一方それより温度の低いものは鉱泉（冷鉱泉）と呼ばれます。また、温泉・鉱泉は、成分によって11に大別されます。代表的なものは、単純泉、食塩泉、硫黄泉、放射能泉等です。

活火山の地下には熱いマグマがあるので、活火山の近くではマグマの熱で暖められた温泉が多く、非常に熱い温泉もよくあります（第2図）。しかし、



第2図 山陰地方の温泉の成因モデル。

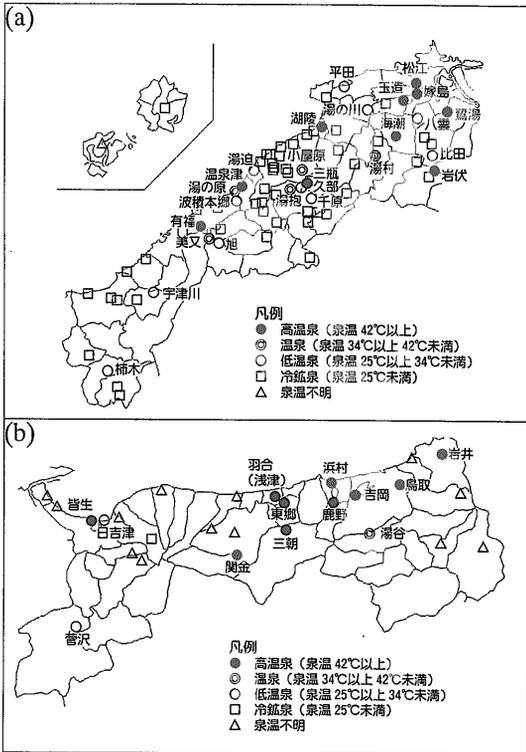
マグマのような特別熱いものがない場所であっても、地下深くにいくにつれて、地球深部からやってくる熱により、温度は少しずつ高くなっていきます。その割合は100m深くなる毎に約3℃温度が上がっていきます。地表近くの地下水の温度は約15℃ですから、深さ1,000mのところでは、温度が30℃くらい上昇して45℃くらいになります。

4.2 山陰地方の温泉とその特徴

中国地方には201の温泉・鉱泉が知られています。このうち、泉温42℃以上の温泉は、鳥取県と島根県の山陰地方に集中しています（第3図；日本の地質「中国地方」編集委員会, 1987）。

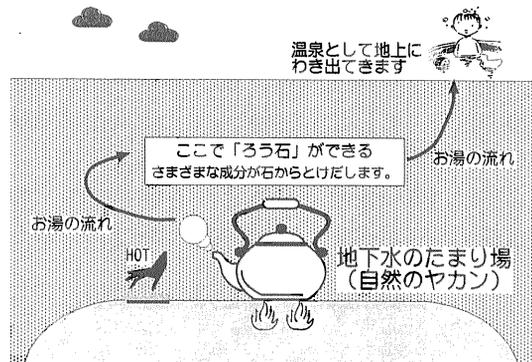
中国地方の温泉・鉱泉では放射能泉の数が多く、単純泉と食塩泉がそれに次いでいます。このように放射能泉が多いことは、他の地域に見られない特徴ですが、それは中国地方の広い範囲にわたって花崗岩が分布していることと深い関連性があると考えられています。すなわち、放射能泉ではラドンの濃度が高いことが知られていますが、そのラドンの起源は、他の岩石に比べ花崗岩に多く含まれている放射性元素に由来していると考えられています。中国地方の代表的な放射能泉としては、鳥取県の三朝、島根県の池田・玉造・湯抱・柿ノ木などがあります（角, 1975；日本の地質「中国地方」編集委員会, 1987；金原, 1992；鳥取県, 2000）。

また、山陰地方の温泉を地質学的な面から見ると、大きく分けて花崗岩に関連したものと火山に関連したものとに分けることができます。すなわち、白亜紀～古第三紀花崗岩体に関連した高温の温泉としては、三朝・関金・鷺湯・玉造・松江・海潮・

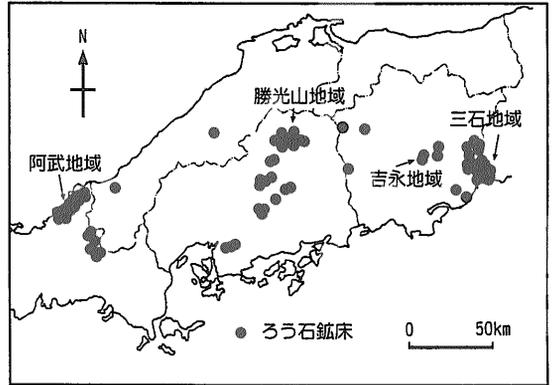


第3図 山陰地方の温泉・鉱泉の分布と主な温泉名。
 (a) 島根県の温泉・鉱泉(金原, 1992)
 (b) 鳥取県の温泉・鉱泉(金原, 1992; 鳥取県, 2000)

有福等があります。一方、他の地域で多く見られるような、第四紀の火山に関連した高温の温泉としては、三瓶火山の爆裂火口内から湧出している三瓶温泉のみとなっています(日本の地質「中国地方」編集委員会, 1987)。このように、第四紀の火山に関連しない高温の温泉が多く見られることも中国地方の特徴となっています。



第5図 ろう石鉱床のできかた。



第4図 中国地方のろう石鉱床(日本の地質「中国地方」編集委員会, 1987)。

5. 温泉が見つけた資源 - ろう石鉱床

温泉水には、地下資源を作る働きもあります。その一例を挙げておきましょう。

中国地方には昔は温泉だったところがたくさんあります。そのようなところでは、「ろう石」ができていることがあります(第4図)。ろう石はロウソクの「ロウ」のように見える石で、耐火レンガの材料になります。主な産地としては、阿武地域、勝光山地域、吉永地域、三石地域等があります。

ろう石は、地下深くで熱いお湯が岩石の間を流れたときに、岩石からさまざまな成分が流れ出た後に残った成分からできており(第5図)、アルミニウムに富む化学組成になっています。ろう石を作る鉱物としては、石英、紅柱石、パイロフィライト、コランダム、白雲母などがあります。

文 献

金原啓司(1992): 日本温泉・鉱泉分布図及び一覽。地質調査所, p.394.
 水垣桂子(2000): 大地のエネルギー・地熱発電。地質ニュース, no.548, 65-67.
 水垣桂子・佐脇貴幸・笹田政克(2000): 流体包有物 - ミクロの熱水サンプル。地質ニュース, no.547, 51-52.
 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, p.118.
 日本の地質「中国地方」編集委員会(1987): 日本の地質7「中国地方」。共立出版, p.290.
 角 清愛(1975): 日本温泉・鉱泉一覽。地質調査所, p.134.
 鳥取県(2000): 鳥取県の温泉。鳥取県, p.229.

SAWAKI Takayuki, OHTANI Tomoyuki and MIZUGAKI Keiko (2001): Search for geothermal resources - blessing from the earth -

< 受付: 2001年1月31日 >