

## 特集 地熱資源とその開発

# 地熱資源とその探査の進め方について

佐藤 光之助

国際的なエネルギー危機の時代を迎えて 従来の化石燃料依存から新しい代替エネルギー開発の動きがにわかに台頭し その1つの重要なエネルギーとして地熱資源が注目されるようになってきた。ここに 地熱エネルギーのもつ資源的な意義 地熱資源の性格およびその探査の進め方について述べることにする。

### 地熱資源：米国と日本との場合

先進工業国として発展した石油消費国にとっては如何にしてエネルギーを確保するかということは 国の将来を左右するきわめて重大な課題としてとり組んでおり 石油に代わるべき新エネルギーの開発に大いに力を注いでいるところである。その1つの重要なエネルギー源として地熱資源が注目されるようになってきた。地熱エネルギーは資源存在地点付近において発電その他に利用が限られるものであって 地熱資源が必ずしも各国一様に存在するものでないため 先進各国は同様に地熱開発にとり組んでいるわけではない。しかし 化石燃料核燃料の豊富に存在する米国においても地熱エネルギーの開発利用に大いに力を注いでいることは この資源の価値を大きく評価しているものとして注目すべきことのように思われる。米国においては エネルギー自給を目標とする Project Independence が発足し 各種エネルギー 特に代替エネルギー開発の研究をおし進めており地熱に関しては1985年までに石油 100 万バレル/日相当の地熱発電の開発を計画している。その内容は

- i) 地熱エネルギーの探査とその評価
- ii) 環境に及ぼす影響およびその対策
- iii) 地熱エネルギー利用技術

などを促進するものであり 米国内の各組織体を動員し幅広い技術開発を進めるとともに 国際的な研究協力の促進も計画している。一方民間企業 特に代替エネルギー開発に力を注いでいる大手石油企業などは地熱開発についてきわめて積極的であり 1973年度において米国の30の企業がカリフォルニア州を始め 米国西部の8州において探査活動を開始している。

米国における地熱開発の特色は政府が多額資金を研究技術開発に投資し 米国地質調査所を中心とする調査研究活動を盛に行なうとともに さらに 原子力委員会に

おいて地下核爆発実験に関連して育成された地下深部工学的技術 石油大企業において発展した石油開発技術などを基盤として 技術開発の発展を計っていることが見られる。また 石油関係の大企業による地熱開発のための投資が重要な役割りを果たすように思われる。

環境問題に関連し 地熱発電は環境に与える影響が比較的小さいということで注目されている。発電が環境に与える影響を正しく評価するためには「地熱か 核か 化石燃料かというだけでなく 燃料が採掘され 処理され 運搬され 廃棄物を処理するまでのサイクル全般にわたって考察する必要がある」という考え方をもっている。この観点からみると 地熱発電が環境に与える影響は核や化石燃料によるものより格段に小さいと考えられている。米国環境保護局では環境問題に関し 地熱開発を特に規制するようなことはなく 関係政府機関で行なわれている地熱開発の環境への影響についての調査研究にまかせているようである。

ところで わが国の場合 地熱資源はエネルギー確保の上からどのような意義をもつであろうか。

まず 国産エネルギー資源として国際的な情勢に支配されない安定したエネルギー資源として 一種の安全弁的役割りを果たすであろう。エネルギー資源量からみれば当分の間石油資源が主流をなすのはもちろんでありこれに比べれば地熱エネルギーの量は少ないものであるが 将来は水力を上回るエネルギー源となり得ることが考えられている。そして このエネルギーは国際的に規制を受けるような石油資源に上乗せして 日本独自の努力によって増産し得る性格のものである。核融合などの21世紀のエネルギー源が開発されるまでは わが国としては外国から多量の石油資源を輸入せざるを得ないであろう。石油資源の開発については 生産地において相当の公害をおこしており またその量も次第に枯渇の傾向をたどるであろう。このような情勢のなかで 大石油消費国であるわが国がただ輸入にたよるだけでなく 可能な国産エネルギーの開発に努力することは 国際的観点からみて欠くべからざる課題であるように思われる。

このようにわが国にとって重要なエネルギーである地熱資源の開発は 松川 大岳を始め6カ所において着手されたところであるが いわば地熱微候地を中心として

比較的限られた範囲において探査開発が進められてきた。このことは初期の段階としては止むを得ないことと思われるが、これからの探査開発の進め方としては、広域にわたる基礎調査を基として手順をおって組織的に探査を展開することが必要である。先年来、全国地熱基礎調査が開始され、また構造試験なども国によって行なわれるようになったことは、きわめて意義あることである。

地熱開発と環境維持については、十分調和をはかって進めるべきであろう。前にも述べたように、他のエネルギー資源に比べてその影響は小さいものであるが、わが国のように狭い国土のなかでの開発であるので、環境対策技術の促進をはかり、かつ地元への福祉などについて十分配慮して、納得のいく開発を進めることが必要であろう。

地熱発電の例として、しばしばあげられるラルデレロガイサーズ、松川などは、いわゆる Dry Steam によるもので、地熱資源としてはきわめて良い条件をそなえたものといえよう。一般的に地熱資源はいろいろな性質のものがあり、Dry Steam のみを期待することはできないので、その利用については早急に技術の開発をはかることが必要であり、これによって地熱エネルギーの利用は著しく拡大することができよう。

以上述べたように、わが国において、地熱資源の探査、地熱資源の利用技術、環境対策技術は地熱開発を行なうための3つの大きな柱として促進することが必要であり、「サンシャイン計画」などによって大きく取り上げられている課題である。特に、地熱資源の探査、評価は先行して行なうべきものと思われ、このためには他の地下資源において行なわれているように、組織的な探査を進めることが緊要であろう。

### 地熱資源の性質

地熱資源は地殻に含まれる天然の熱エネルギーである。しかし有用な金属が鉱床のなかに、また石油が石油貯留層に濃縮されているのと同じように、限られた範囲に濃縮されているところだけが資源としての対象となるのである。地殻は巨大な熱量を包蔵しているにもかかわらず、この熱の大部分は経済的に回収するにはあまりに広く拡散しすぎている。したがって熱の濃縮の度合が地熱資源の規模を左右するとともに、これらの熱を地上に如何に運び利用するかということが、資源の経済性に大きな影響を与え、また技術開発の重要な課題となっている。ところで、現在、地熱資源の利用は生産された天然蒸気を用いて、蒸気タービンによって発電するものである。

したがって生産的な地熱システムには循環する熱水系

を想定しなければならない。この熱水系は深部の熱源から地熱貯留層まで熱を運ぶのに役立ち、また地熱貯留層から地表まで熱を運ぶ役割りを果たすものである。

生産される地熱流体については、地熱蒸気のみのものであるが、多くの場合、蒸気および熱水の混合体で、この内の蒸気のみを利用しているのである。したがって、地熱貯留層の温度は少なくとも $180^{\circ}\text{C}$ 以上必要であるといわれており、貯留層は十分な浸透率を有することが条件となる。また発電プラントを建設し長期的に発電を実施するためには熱水系の十分な量、障害的な性質がないことが要求されるのである。この点について米国地質調査所の WHITE 博士は、地熱貯留層の容積は $5\text{km}^3$ 以上必要とするであろうといっている。これは貯留層の孔隙率 $10\%$ とし、それに熱水が満されると仮定し、 $10\text{t/h}$ の地熱蒸気によって $1\text{MW}$ の発電が行なわれるとすると、 $5\text{km}^3$ の全熱水が蒸気として得られる場合には、 $5,000\text{MWyear}$ の発電、全熱水の $1/5$ が蒸気として得られる場合は、 $1,000\text{MWyear}$ の発電が可能となる。

$180^{\circ}\text{C}$ 以下の熱水系については、ソ連の小規模の実験プラントを除いては、発電以外の利用しか行なわれていないが、低沸点媒体を活用した熱水発電は可能であり、日本でも「サンシャイン計画」によりその技術開発が行なわれているので、近い将来地熱発電のこの分野の発展が期待されるので、資源の探査対象として考慮すべきであろう。地熱地帯には地下で高温を保っているが、熱水系を胚胎するに十分な岩石の孔隙率、浸透率を有しないもの、あるいは地下構造的に熱水系の生成しにくいものなどがある。これらの場合には、自然の地熱流体の噴出が十分期待できないので、地下の熱エネルギーを効率的に地表に運ぶことができない。このような地熱システムについては、水圧フラクチャリング、爆破などを活用して人工的に熱水系を造成して、地下エネルギーの抽出を行なうことが研究されている。このような高温岩体も将来の地熱資源の対象となろう。

### 地熱探査の考え方

地熱現象は一般的には広義の地質現象の一種とみなされるものであるが、地熱システムの熱的状态は地下数 $\text{km}$ にある熱源としての火成岩体に基本的には規制され、地下における熱の貯留が行なわれるのであって、地熱地帯を構成する地質が主体となるものではない。したがって熱の探査が地熱システムのポテンシャルを評価する直接的な方法として重要なものである。

しかし、地熱システムの性質は構成する地質条件に大きな影響を受けるものであって、地熱探査における地質構造の解明は不可欠なものであり、これらの結果に基づ

く考察は 地熱資源の性質およびその賦存状態推定に重要な示唆を与えるものであろう。高温の熱水対流システムがあると 周囲の岩石に変質を与えることから 過去から現在にかけての地熱活動の示徴として変質帯調査が 地熱探査における重要な指針の1つとなっている。

地熱地帯の岩石の物理的性質が地熱システムによって影響されること また時には特異な現象を伴うことなどから 物理探査が地熱探査の間接的な方法として しばしば適用されているが さらに地質構造解明のための方法としても用いられている。地化学探査は 地熱示徴を推定する方法として用いられ また地熱流体の地化学的データは温度推定の資料となり さらに地熱利用に際しての有力な材料を与えるものである。

以上のような探査に対する考え方を基として どのような手順にしたがって探査を進めるかを考察しよう。

### 地熱探査の進め方

まず第1に地熱エネルギーの分布を如何に把握するかの問題である。温泉 噴気などの地熱徴候を明らかにするとともに その化学的データ 自然放熱量が測られる。さらに 地熱変質帯分布が地熱の示徴として解明される。これらの結果は局所的な構造に多分に支配されるものであるので 地下での拡りを関連づけることが重要である。このため用いられるのが物理探査 地化学探査および浅掘孔井を利用した地温探査 物理 化学 検層 地質調査などである。物理探査については 電気 磁気 重力 地震などが用いられているが 地質構造的異常と地熱示徴的異常とを如何に区別するかが重要な課題である。浅掘孔井としては 3mから数10m程度のものが用いられるが 場合により 季節的温度変化 高度的温度変化などを十分補正することが必要であり また地下浅所の地下水の影響について十分考慮して解析を行なわなければならない。

上記の調査と併行して 地熱地帯の地質構造を解明するとともに これと地熱エネルギー分布との関連性について究明し 地熱資源の賦存状況 性質についての推定を進めることが行なわれる。すなわち 地熱地帯の地質層序 その分布および火成岩の賦存状態などを解明する。分布する岩石の性質を検討し 特に滲透率 孔隙率などから 透水層 帽岩の存在を推定する。地熱の場合にはしばしば破碎構造がその貯留に大きな役割を果たすことがあるので 岩石片に対する滲透テストだけでは解明できない場合が多く 断層 破碎帯などの構造が重要な要素をなすものと思われる。特に水平に分布する破碎構造が 貯留層として重要な役割を果たす場合があると報じられていることはきわめて注目すべきことで

ある。

地熱活動と関連性のある断層 破碎構造は重要な役割を演じるもので これが解明されれば地熱探査上重要な手掛りとなるであろう。また火山活動に関連する地質構造が地熱胚胎を規制しているような場合もある。

地塁—地溝の構造は地熱地帯にしばしば認められるもので これらが熱水系生成に重要な役割を果たしている場合が多い。このような種類の地質構造と地熱エネルギー分布との関係から 地熱資源の賦存状態 性質についての推定を行なうことが可能となることがある。

以上述べたような 地熱エネルギー分布 地質構造などの観点から 主として地表から一部浅掘孔井を利用して調査が行なわれる。これは地熱探査における基礎調査といえよう。ところで 地熱資源は前にも述べたように十分な量 温度 圧力などの条件を満たす必要があり 単に地表に表われた地熱徴候地周辺だけでなく 広く地下に潜在するものがなければならない。したがって 地表付近の探査から さらに地下深部への探査を進展させることが必要である。このためには 地熱資源がどのような条件のもとで地下に賦存しているか その性質はどのようなものか また熱水系が存在する場合にはその生産性はどの程度であるかを解明しなければならない。これは 地表調査を中心とした基礎調査に対応して基礎試錐調査ともいべきものである。

基礎試錐によって地熱資源の賦存状態の傾向およびその性質が明らかになった段階で さらに地熱開発のための調査井が掘さくされる。これによって地熱エネルギー利用面からの有利な条件をそなえた区域を探査し 地熱貯留層の形態 地熱エネルギー生産性 その性質およびその賦存範囲が推定され 開発方式 開発規模の立案および生産井掘さくの計画がたえられるのである。

### むすび

本文は地熱資源の重要性について米国との比較において論ずるとともに 地熱探査の進め方について概説した。

地熱探査を進めるに際しては 目下数多くの技術的課題をかかえているが 新に発足した「サンシャイン計画」により技術的發展が行なわれることを期待するものである。また 地熱資源の探査開発については 国による基礎調査 精密調査が行なわれる一方 民間企業による探査開発が進められているが これらが有機的に効率よく推進されるような施策の確立が望まれる。

本文を草するに当り 通産省 外務省 工業技術院 地質調査所 日本地熱調査会 同和鉱業株式会社に負うところが多い。ここに関係各位に深くお礼申上げる次第である。