

地熱エネルギーの将来

(地質調査所創立100周年記念講演要旨 1982.9.30)

角 清 愛 (地殻熱部)
Kiyoshi SUMI

本日 地熱エネルギーの将来と題してお話しをするにあたり「日本に巨大地熱田はあるか」という問題に焦点をしばってみたいと思います。地熱田 これは炭田や油田になぞらえた言葉で 最近よく使われるようになっていますが 地熱の生産地域 いわゆる地熱地帯のことをいいます。英語のフィールドの訳であります。問題は“巨大” 英語でいうジャイアントという形容詞です。今日の石油文明が中東その他の巨大油田によって支えられていることはよく知られていますが 油田の場合 可採埋蔵量8,000万kl 以上を巨大としております。地熱田の場合は50万kW×50年で石油換算5,000万kl となりますから この辺からジャイアントという形容詞をつけてもおかしくないと思います。

実はこの地熱田は油田に較べて 遜色のないものであります。日本でも小型に属する秋田県の大沼地熱田 その35t/h 井 3,500kW 井は石油換算で日産18kl ですから 中東の巨大油田とは較べものにならないものの日本や米国の石油井の平均値の6～8倍の生産性があることとなります。イメージとしては毎分13lの割りでトロトロと黒い原油が湧き出しているという感じなのです。石油はその一滴は血の一滴などとあがめられているのに 地熱はただのお湯じゃないかといわれているのは大いなる誤解ということでしょう。

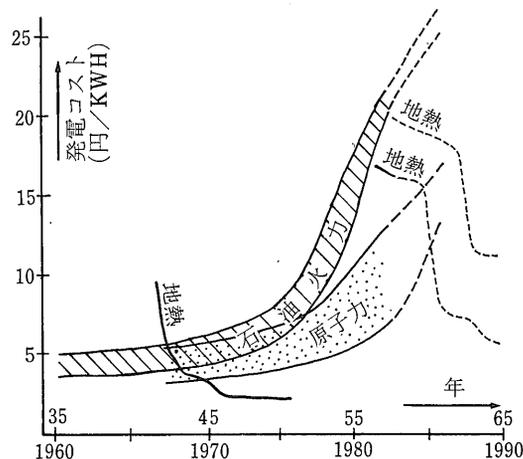
石油火力の発電コストは昭和30年代は kWh あたり4～5円でしたが昭和48年以降10～15円 そして近々20円の大台を突破するといわれています。地熱は昭和30年代は1円50銭位 そして 2円50銭 6円 10円 と上ってはいますが 大体石油の1/2位を維持しており その上燃料費はただなので 古い住宅と同じで古い発電所は価格すえおきですから 石油との格差は大きくなるばかりです (第1図)。

ところで 現在 日本では22.2万kWの地熱発電が行われており 日本全体の1億3,000万kWの0.18%にあたります。まことに微々たるものですが イタリアの国鉄が昔から地熱でまかなわれていると聞いていますので 日本の場合はどうかと計算してみますと 日本の国鉄の電車運転動力の1/4をまかなえることとなります。今年開通しました東北新幹線は平均負荷が2万kWであ



るので 同じ東北地方にある松川発電所だけで動かせると思うと何となくよい気持ちになって来るのです。 (演者註2)

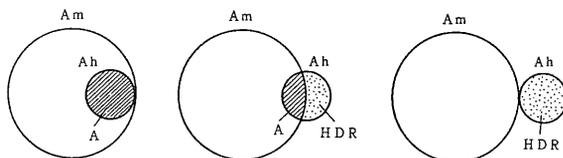
さて今から90年前の1892年に琵琶湖の水力発電が行われ それが世界でも最初に近いものであることはよく知られていますが 地熱も古いもので今年で78年になるのです。発電事業を大相撲にたとえてみますと 発電機が出来た つまり相撲という制度が出来たのがわずかに112年前ですから 水力も地熱も最古参の力士です。水力は始めから三役であったし 後輩の石油・原子力がどんどん横綱・大関に昇進しているのに地熱は62年間幕下・十両をうろろろし 16年前 松川開業でやっと幕



第1図 石油火力・原子力・地熱発電の発電コスト (演者註1)

第1表 総合エネルギー調査会によるエネルギー供給目標
(57.4.21)

年	総需要 (石油換算kℓ)	地熱 (石油換算kℓ)	地熱発電 (kW)
1990(昭65)	5.9億	600万(1%)	300万
2000(昭75)	7.7億	1500万(2%)	750万



第2図 地熱田の形成条件としての熱源地域と水源地域
Am: 水源地域 Ah: 熱源地域
A: 地熱田 HDR: 高温岩体

内に上りました。昭和48年のオイルショックで 前頭の位も2~3枚上ったかなあとという所でしょう。

このオイルショックの前後の世界の地熱への対応の変化は実に大きいもので オイルショックの前 1970年頃は石油を持たない発展途上国の経済的離陸のトリガーにするための 先進国からの技術援助のムードが一ぱいでした。しかしオイルショックの後の1975年頃になりますと 先進国自身が競って自国の代替エネルギーとして開発を始めたのです。それは今も続いておりまして 数字で申しますと 米国では一昨年度 82本 延181km 東海道線で静岡あたりまでの地熱ボーリングが行われていますし 日本では昨年度54本 延74km 小田原近くまでのボーリングが行われております。

わが国の地熱発電は今後 1990年に300万kW 2,000年に750万kWとそれぞれ総需要の1%あるいは2%をまかなうという目標が 総合エネルギー調査会によってたてられております(第1表)。この目標はそれぞれ現在の14倍 34倍ですから実際はなかなか大変なことであり もし冒頭に述べた巨大地熱田が発見されれば この目標達成はぐっと現実味を帯びて参ります。

世界で巨大な地熱田といい得るものは出力40万kWのラルデレロ地熱田と 100万kWのガイサーズ地熱田でしょう。これら両地熱田の規模を念頭において 日本にも同じようなものがあるだろうかということを考えてゆかねばなりません。

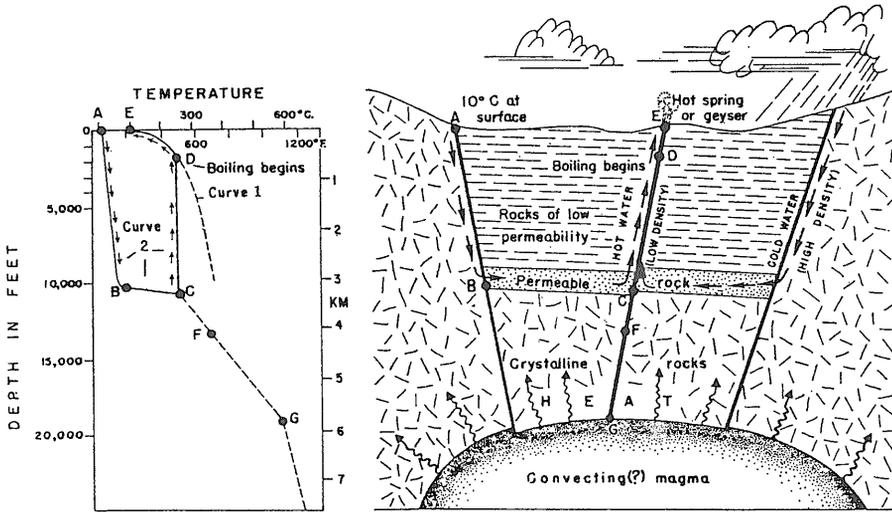
油田の生成条件としては石油根源岩 高い熱流量および貯留構造が必要とされています。石油探鉱の失敗はこの3条件のどれかが欠けている場合に起こるといわれています。地熱田についてはどうでしょうか。これは熱源・水源および貯留構造の3条件におきかえることができます(第2図)。したがって 大地熱田を探すにはこれら3条件それぞれについて巨大性が求められることになります。とくに第2の条件 巨大水源が従来どうも等閑視されて来たふしがあり とくにその重要性について注意を喚起したいと思います。本来なら噴火口から瞬間的に放出されてしまう火山エネルギーが その上に水がめがあるために 水が緩衝剤となって 我われに利用可能な資源が形づくられるとみることができるのです。

ラルデレロとガイサーズという2巨大地熱田には あたかも申合せたかのように500km²の熱源域と約300km²の水源域があり両者の干渉ゾーンに120~150km²の地熱田が形成されているのです。そして 開発深度は2.7あるいは3.4kmに達しています。これに引きかえ 日本で地熱田とされているものは1万kW級で0.1km² 深度0.5~1km 5万kW級で0.5km² 深度1~2kmですから いかにか小さいものが対象となっているかが理解できます(第2表)。

地質調査所では6年ほど前から日本における巨大地熱田の可能性について研究をしておりますが これはとく

第2表 地熱田の規模

地熱田	熱源地域 (km ²)	水源地域 (km ²)	地熱田 (km ²)	開発深度 (km)
日本1万kW級	?	?	0.1	0.5~1
日本5万kW級	?	?	0.5	1~2
ラルデレロ(40万kW)	500	300	149	~2.7
ガイサーズ(100万kW)	500	>300	120	~3.4
日本の巨大地熱田	50~300?	100~1000?	100?	2~3?

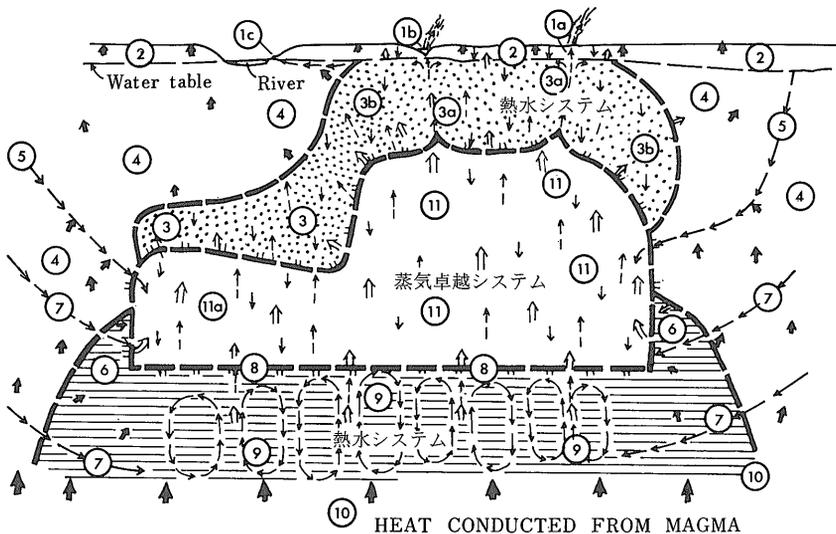


第3図
ホワイト (1968) による
地熱貯留層の熱水対流モ
デル

に巨大水源という要素に着目したものであります。この結果によりますと日本にも候補地が12か所位はありそうだということになっております。そのサイズは熱源地域が50~300km² 水源地域100~1,000km² 地熱田100km² 深度2~3kmのオーダーのものと想定しております。

昭和53年度から九州の豊肥 55年度から東北の仙岩・栗駒両地域で日本の巨大地熱田のモデルの検証の調査研究が始まりました。新エネルギー総合開発機構を中心とし地熱界の総力をあげてその推進にとりくんでおります。豊肥では3kmクラスの井戸の掘削段階に入っておりますがその過程で巨大地熱田に関連するいくつ

かの重要なことがわかって参りました。第1は少なくとも3kmにも達する大規模な熱水対流が確認されたことです。それは1968年に地熱研究の世界的先覚者である米国地質調査所のホワイト氏が提唱した熱水対流モデル(第3図)です。まさにその通り1.5kmの深さまで地温が15°Cと一定であったり深さ2.6kmにわたって地温が一定の200°Cを保っていたりという現象が観測されました。熱的に伝導性の環境にある油田・炭田地帯では想像も出来ない異常な現象で熱水の上昇流地表水の下降流によってのみ説明することが出来ます。第2は注水量1万トンクラスの巨大な割れ目が2kmあるいは2.5kmの深さでみつかったことです。このプロジェクトのスタートにあたっては土木地質 石油地質の



第4図
ホワイト (1971) による地熱貯
留層の蒸気分化モデル

方面から深部割れ目の有無について大きい懸念が示されていましてこれは従来の常識を破る大発見であり先ほど述べた深部熱水対流と表裏一体の現象とみることが出来ましょう。第3はこれは最も重要な点ですがこのような深部熱水対流が 予め予想された巨大熱源域と巨大水源域との干渉ゾーンにみられることであり 探査のターゲットは次第にせばめられて来ております。

それから さしあたり直面している課題は地熱流体の蒸発による気相・液相分化モデルです。これもやはりホワイト氏が提案しておりますが 第4図のように下部熱水層 中部蒸気層および蒸気の断熱冷却によって生成した上部熱水層の3層構造から成立っています。下部層は塩分に富み 中部・上部層は塩分に乏しい特徴もっています。この構造は地球上の水圏と大気圏との相互作用に余りにもよく類似しております。海水が蒸発して水蒸気となり 断熱冷却によって雲が発生します。システムの中には水分子の垂直流もあれば水平流もあります。この構造は世界でまだどこでも検証されていませんが ラルデレロ巨大地熱田が今検証の一手前まで行っています。最近 そこで4092mの構造試験が完工したとのことで 下部層までキャッチされているかも知れません。ホットなニュースが待たれています。

地熱田のすがたが 熱源・水源・貯留層構造という構成要素の面から解明されてゆくことにより 地熱田の位置および規模を正しく認識してゆくことができます。わが国は世界の活火山の9.2%も持っており 熱源については 世界最大といえますが 水源につきましても火山近傍に面積100km² 深度数kmの巨大陥没地が多く分布し この面からも 巨大地熱田賦存の可能性は大きいといえましょう。

さて最後に 巨大であるためのもう一つの必要条件 枯渇せずに定常的エネルギー抽出が出来ることです。これには当然 抽出量が適切であることが前提となります。日本は世界最大の温泉利用国でありますがこの利用は数10～数100mの人工開発と定常利用を前提とする形態をとっています。私はとくにその定常性に注目したいと思います。実際我われは 温泉は半永久的に湧出を続けるものと安心してお風呂につかっているのです。

全国の1970年の温泉利用量は447万kWですが 人工開発以前の利用量は多分一けた下の50万kWクラスであったと推定する根拠があります。したがって数kmの人工開発による1けた上の5,000万kWオーダーの定常的エネルギー抽出は可能と考えられるのです。定常利用のよい見本はラルデレロの78年 松川の16年などがあ

り 特に松川のように開発以前の放熱量がほとんどゼロであった場所での2万kWの定常的エネルギー抽出はとくに注目されます。何故このようなことが起り得るのでしょうか。これは貯留層へのより深部からの熱供給がなければあり得ないはずですが そのメカニズムの解明は今後の最大の研究課題の一つといえましょう。

地質調査所では昭和22年^{演者註3)}以来35年にわたって地熱エネルギー資源の探査技術 資源評価 環境および実態解明の4つの研究を行っております。最後の実態解明はとくに重要と思われれます。と申しますのもこれが前の3つの研究の前提となるからです。たとえば探査技術を例にとりますと 国際的にみましても 技術革新時代に入り 宇宙技術 石油探査技術等の応用問題が多くなっており それだけに地熱田特有の熱源・水源・貯留構造の三要素の観点に立つ探査情報の取得・分析・総合のプロセスが必要と思われれます。私どもは現在約45名のスタッフでこれに取り組んでおります。今後とも一層の御支援・御鞭撻をいただきますようこの席を借りてお願いする次第であります。

演者註1)

発電コストのデータの出所

瀬野錦蔵・原田 久・森 恒忠・江崎康彦(1960):地熱発電, 技術, no. 29, p. 1-23.

森 信昭(1975):地熱発電の経済性. 火力原子力発電, vol. 26, no. 9, p. 129-133.

森 信昭(1976):地熱開発の現状. 日本地熱資源開発促進センター昭和51年度地熱開発技術講習会テキスト, p. I-1~I-37.

日刊電気通信, no. 8068, 1981年7月17日.

日刊工業新聞, 1981年8月7日.

平凡社世界大百科事典, no. 9, p. 452, 1972年.

演者註2)

国鉄本社北局変電課によれば東北新幹線の大宮・白河間の平均車輻動力は37.7kWh/km・1,000tonであるという。

1列車12輛連結で704ton 送変電ロス15% 大宮・盛岡間505km 上下 延べ20本 大宮・仙台間320km 上下延べ20本とすると合計約50万kWhとなる。これを24時間に平均すると約2万kWとなる。なお昭和55年度の国鉄全部の運転動力の総計は81億kWhである。これを1年に平均すると92.5万kWとなる。

演者註3)

昭和22年9月 商工省の決定に基づき 地質調査所内に地熱開発技術委員会が設立された。メンバーは電気試験所 機械試験所 東京工業試験所および地質調査所の技術者で委員長には東京試験所長の井上春成氏が就任した。とりあえず地質調査所経費・文部省科学研究費を充当してスタートしたといわれる。

謝辞 演者註のデータ収集については電源開発株式会社地熱開発室の御協力を得た。ここに謝意を表します。