

地熱地帯の地下構造解明への地球物理学の役割

早川 正 巳

ひと頃日本ではむずかしいと思われていた地熱発電に対する考え方が最近はいよいよ変わってきた。それは松川や大岳 ひいては鬼首 大白川 岳の湯等においてようやく本格的な地熱発電を目標とするボーリングに逐次曙光を見出しうようになってきたからである。

もちろん 分らないことや やらなければならないことは まだまだ一ぱいあるが とも角 日本の地下からも開発に適する地熱蒸気が得られることだけは はっきりしてきた。これは実に大切なことである。時がたつて後になれば いつとはなしに当り前のことがらになってしまうのであるが いざ開発にふみ切れるかどうかという瀬戸際に立って それを乗り越えることは 関係当事者にとって容易なことではないからである。

ひとことでいってしまえば 地熱蒸気による発電そのものは 原理的には至って簡単なことである。つまり手近かな例でいえば お釜の中にある水が下から熱せられて口から蒸気として噴き出すのといたりよったりのものである。しかし 現実には その容れ物となる地層の性質一つとってみても簡単なものではない。

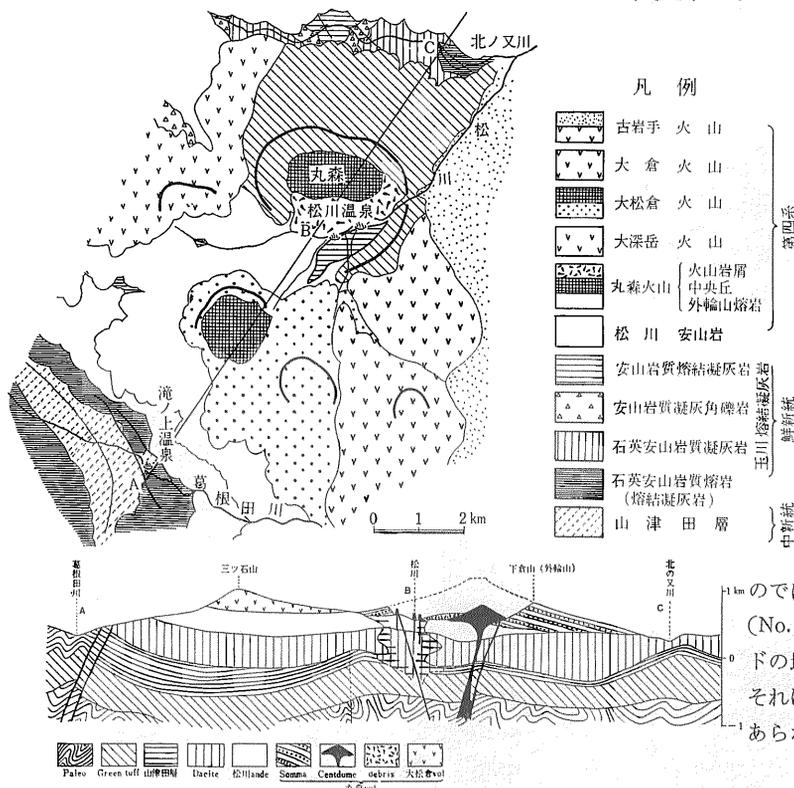
日本にはよくいわれているように 多くの活火山 休火山がある。にもかかわらず 今日まで 地熱発電の開発が成功しなかったのには色々の理由がある。筆者は そのおもだったものとして 次の4つをあげる。

- 第1は日本の地質構造が複雑なこと
- 第2は最有望地はすでに温泉地として開発利用されていてそこに手をつけるわけにはゆかないこと
- 第3は開発を成功させるためのボーリングの技術資金の問題
- 第4は外国技術を頼みにしすぎたこと 等である

この中 第2はいずれ長い目で見れば(法的にも)解決されることであろう。第3のあとの問題に対しては今後世論が高まることを期待する。最後の問題にはわれわれも責任を感じるのであるが 「日本でもはじめから過熱天然蒸気しか使えない」と外国人技師からいわれた時にあえて強く反対できなかったことで これにはすでに日本の地熱技術者はみんな反省済みである。

さて第1の問題であるが これはどうしてもわれわれ地殻の研究者が解決せなければならない問題であったし今もそうである。これには地質 地球物理 地球化学の基礎的総合的研究が必要で テストボーリング及びその技術もちろん関係してくる。ここには これらの中から主として地球物理的な問題を取り上げて論じよう。

ボーリングの口から勢いよく噴出する蒸気を見た人は 一度はきっと考えたであろう。「一体あの蒸気はどこで どの位の深さの所で 何時 どのようにしてでき そして 何時までつづくのであろうか」と。おそらくすぐにこの問いに完全にこたえられる人はいないであろう。しかし 段々調べてゆく中にある程度実際に近い状態は想像し得るのではなからうか。最近の地質ニュース(No. 116)に馬場健三技官がニュージーランドの地熱地帯の構造のことを書いていますが それには実によく現在の知識の限界をいあらわしている。ここではなるべく重複



第1図 松川地熱地帯の地質(上)と断面図(下)

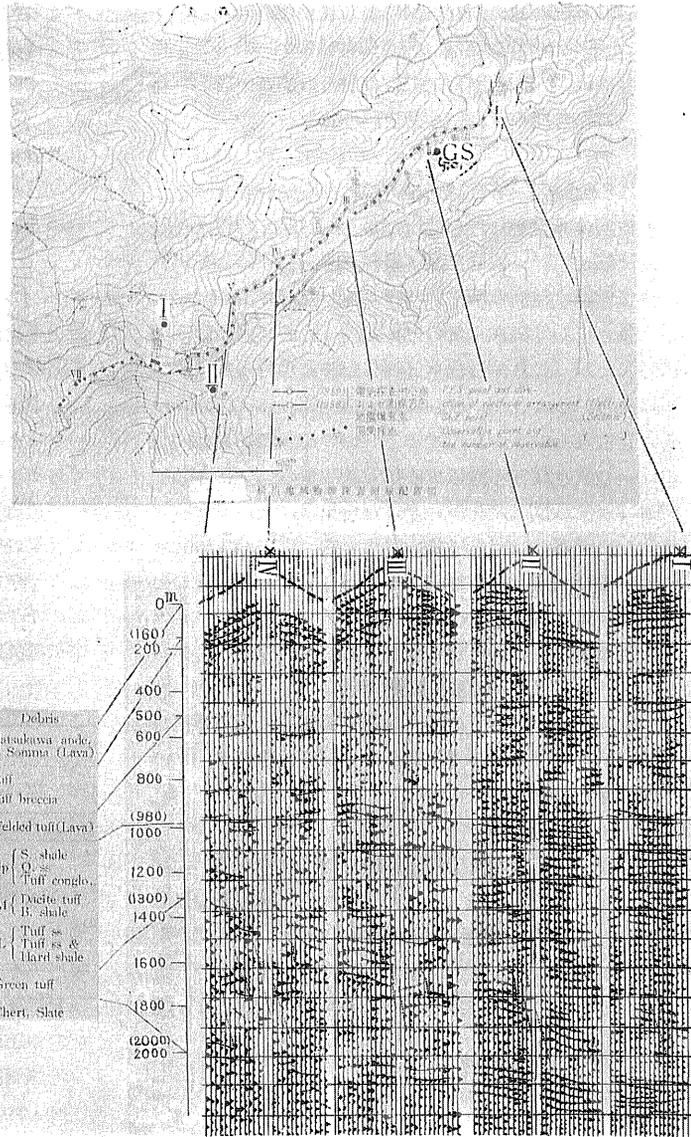
はさけるように試みるが ごく一部はやむを得ず同じような点にふれざるを得ないところもあるかと思う。 読者のご諒承を願う。

はじめに述べたように最近いくつかの地域で地熱蒸気を得ることに成功したがここでは まず筆者の関係した松川を例にして述べてみたい。

この地域では地元の人をはじめ温泉開発の目的でボーリングを試みたところ温泉の代わりに蒸気が噴出した。 それ以来被覆層(Cover)のある地熱地帯として注目されてきた。 そこで地質調査所においては東化工K.K.との共同研究としてはじめ概査 次いで精密な地質調査 変質帯の調査を行ない その結果 第1図に示すような地下断面図を得たのであるすなわち この地は1つの複式の死火山で外輪山と その中心が陥没して生じたカルデラ さらにその中に中央火口丘があるらしいことが分ってきた。 もちろんカルデラと考えること自体に問題があり あるいは大きな火口内の地すべりを考えることができる。 しかし いずれにしても 地熱地帯の構造を考える限りにおいては 今のところこの何れでもさしつかえない。 蒸気を出したボーリングはこのいわゆるカルデラの南壁にほぼ分布している。 そこで これらの地質調査の結果の裏付け ならびに定量的な解釈のため 当地では地震探査と電気探査および井戸を掘る過程において物理検層等を実施した。 まず地震探査について述べよう。

まず地震探査の可能性を調べるために あらかじめこの付近の岩石露頭や試錐のコアサンプルを用いて 室内で岩石中の地震波速度(超音波) 密度 孔隙率等の測定を行なった。 その結果 地質の方から推定される地下各地層相互間に地震波速度の差異のあることが分かったので 地震探査を実施することにした。

今回は反射法を主として行なった。 このような地熱地帯ではノイズが多いので 磁気録音テープ式の地震計を用いた。 現地における地震探査実施後 室内における数多くの再生実験の結果 このような火山地帯としては かなりきれいな反射層の記録がとれた。 それらの



第2図 松川地熱地帯における地震探査の記録の一例

数枚をつなぎ合わせて第2図に示した。

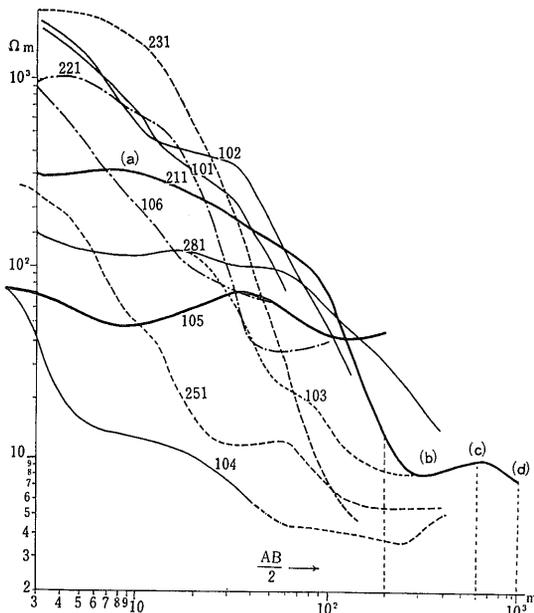
もちろん それら反射層がそれぞれどの地層の境になつているかということ この記録からだけではいえない。 しかしながら 地層境界面での反射インピーダンスの違いは それぞれおおよそはじめに実験的に分っているし また地質調査の方の結果を考えに入れて こういうことはあり得ないというような部分は除くという考え方をすると だいたいの推定がつかうのである。

それによると 平均して地表面から160m位までが松川安山岩 その下500m位までが主として石英安山岩質凝灰岩 さらにその下980m位までが石英安山岩質熔岩(又は熔結凝灰岩) そしてその下にくる堆積岩の山津田

層(秋田の油田の女川層に当る)と 緑色凝灰岩 (green tuff) との境界面は 地表から1300m おしまいにこの green tuff とその下の古生層との境は地表から約2 km の深さにあるだろうという見当があった。

ところで一方 電気探査の方はどうかというと ちょうど地震の方でテープを用いたように 新しい技術として直流法を用い 電位を測る観測点をまん中にして両方に電気を流す電極の手をひろげ 端から端まで2 km という長さにして実験したのである。 その結果を第3図に示したが これから色々面白いことが分ってきた。 図に見られるように 縦軸に比抵抗 横軸にその測線の長さをとるというふうにすると この測線の長さというのは つまり深さに対応する訳であるから 結果として深さに対する抵抗のちがいを図から見る事ができる。 それから見ると 非常に長い測線 ($\frac{ab}{2}$ が1 km) つまり両端まで2 km になる測線から分ることは 一番上のところに非常に高い抵抗(a)のものがあり (これが松川安山岩に当る) それから今度は抵抗の低い(b)ものがある (これが石英安山岩質凝灰岩)。 そして も一度高い(c)所ができて (これが熔結凝灰岩層) 再び抵抗が低く(d)なる (これが山津田層の上部に対応する) という顔付きをしている。

ここで地震探査と電気探査の結果を対比してみると大切なことが分ってくる。 すなわち まず 松川安山岩であるが この所は地震波速度の大きいこと 孔隙率の小さいこと 見掛けと真の密度との差のないこと それに比抵抗の高いことなどから cover (cap) rock つまり帽



第3図 松川地熱地帯における電気探査結果の一例

岩として適している。 次の石英安山岩質凝灰岩層は地震波速度の小さいこと 孔隙率の大きいこと 見掛けと真の密度差の大きいこと それに比抵抗の低いことなどから 物理検層や地質の方からも考えられているように凝灰岩を主とする地層で 中には含まれている熔岩の中の割れ目には熱水が溜って入っているというようないわゆる貯溜岩層ということができよう。

本来 このような問題を扱う場合は孔隙率ばかりでなく浸透率を用いるべきであるが 当地域の岩石では一般に孔隙率の大きいものは浸透率も大きいので ここでは孔隙率の方で説明した。 また上にあえて熱水の貯溜層ということばを用いたが これは次のような理由によるのである。 貯溜層になり得るという可能性については上に述べたような岩相の説明で諒解されると思うが ではなぜその中に熱水が溜っていると考えられるのか。 理由の一つには電気抵抗が低いことがあげられる。 岩石だけでこれ位の低い抵抗はちょっと説明し切れない。 電気抵抗が低いということは地層が液体を含んでいること その温度が高いこと その塩分濃度が高いこと等いろいろの原因によって説明されるが そのいずれかであるかをいい切ることはそれだけではむずかしい。 しかし井戸の中の物理検層から 抵抗の高い自然電位の negativeの大きい部分 つまり熔岩のある部分の中の割れ目の所で温度の高い水が湧き出しており しかもこれは沸騰曲線のすぐ内側にあることが分ったので熱水貯溜層とした。 地震探査の記録をよく調べてみると同じ地層内でも 熱水や蒸気のある所はその変質作用のため反射記録がはっきりしていない。

次に熔結凝灰岩層であるが ここでも上に用いたと同じく地震波速度 孔隙率 密度 比抵抗等から第2の cover (cap) rock つまり帽岩層と考えることができる。 ただし この帽岩は一番上の松川安山岩層よりは割れ目の多い したがって割れ目の中には熱水の存在が期待されるような帽岩である。 さらにその下の山津田層 これにも同じような材料から第二の熱水あるいは蒸気の貯溜層を考えたのである。 上記の物理検層で 地表面から500m までの温度の上昇曲線からさらに深くで急に温度が下ることが考えられないばかりでなく かなりの温度上昇率が推定されたので ここに示したような熱水又は蒸気の貯溜層としたのである。

地熱蒸気を現実に発電に開発利用するという点から考えれば これより深い green tuff や古生層はボーリングの対象にはならない。 しかし 熱の通りみちとしての意味あいでは非常に大切である。

すなわち 第2図の地震探査の記録をよくみれば分るように 古生層から green tuff を通って浅い部分へ通ずる割れ目がいくつか見られる。とくにいわゆるカルデラ壁に近い所にはこの割れ目が多い。このことは地質学的な解釈とも矛盾しない。

そうすると 地下数 km の所にある残 漿 (Residual magma) から この割れ目を通して熱を持ったガス又は蒸気 あるいは熱水が地表に向って上ってくる。この際 当然のことであるが もしその温度が 374°C 以上であれば そのものは液体としては存在し得ない。しかしこの温度以下であれば その部分の圧力 (formation pressure) に応じて液相あるいは気相のいずれかの形で存在する。

さて この場合 岩漿からだけのガス 蒸気又は熱水だけではとても大量の地熱発電用の蒸気を得ることはむずかしい。しかし外から雨や河水 雪どけ水が長い時間かかって わずかのすき間を通して さきほど述べた第1第2の貯溜層内に浸透していることはじゅうぶん考えられる。このことはテストボーリングの段階においてたしかめられた事であるが いわゆる第1貯溜層内の上半部においては時間的に熱水の量 および温度が変化している。しかもそれは年間の降雨期から数ヶ月おくてキッチンと起こる現象である。そして深いところの割れ目からくるガス 蒸気および熱水は cover になるような岩相の所では余り浸透しない共孔隙率の大きい地層のところになると 徐々に広がってゆき そしてそれが一つの熱水の貯溜層をつくる。このことは第1貯溜層の場合は熱水を考えてよいが 第2貯溜層の場合は熱水又はすでに蒸気と考えられる。ここでその理由を述べよう。そのためにはまず地下の温度分布のことを考えてみればよい。

一般に地下の温度分布はその場所々々の岩石熔点と断熱圧縮から考えられる温度の間にあるものと考えられている。しかしこれには非常に幅がある。また 地震波速度分布の方からも物性論的にこれを推算することはできる。このような考えはかなりの深さの問題に利用されているのが普通で 浅い所の地下温度分布の推定には 熱伝導という立場からはテストボーリングなどを利用して その地下増温率とコアサンプルによる熱伝導の測定結果を使って ボーリング坑底よりさらに深くの温度を推算している。

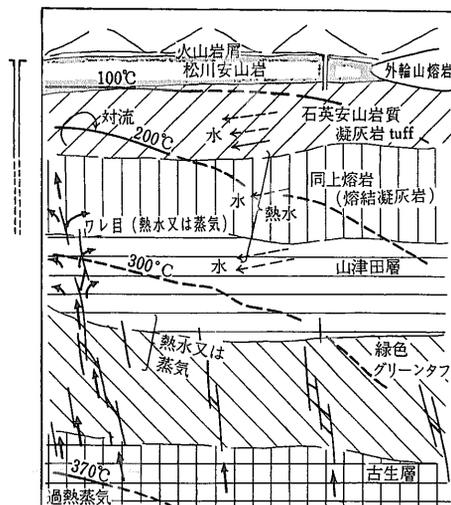
これは熱伝導だけによるわけであるが 今のような地熱地帯においては 伝導よりもはるかに 割れ目を通じての物質による熱の移動と 外部から浸透してきた水を

あたためることの方が大きな影響を持つと思われる。

松川地域では それらのことを考慮に入れて テストボーリング (500m深さまでの) の温度分布を利用して この地域の地表から 2 km 深さ (green tuff と古生層との境界面まで) の温度分布を計算すると 第4図のようになる。

以上は過去数年の間に行なった結果であるが 幸なことに昨年夏以上の調査結果を検討の上「新技術開発事業団」が当地において地熱発電を行なうためのボーリングの計画を取り上げ「東化工K.K.」に委託し 作業は「帝国石油K.K.富作井K.K.」が実施することとなり 昨年秋から第1号のボーリングに着手し 本年1月はじめ完成同月14日 有望な多量の噴気をうることに成功した。その間 地質調査所においても コアの調査 坑井内の物理検層 噴気ガス 凝縮水等の地球化学的の調査や熱量熱機構の研究を行なった。つづいて 1号井と 300mはなれた地点において今年の春から第2号井に着手 去る7月中旬 井戸を完成 7月31日 1号井と同じく有望な多量の噴気を得ることに成功した。その間 われわれが種々の調査研究を行なったことは1号井の場合と同様である。さてこの1 2号井を通じて得られた結果が すでに上に述べたような推測結果に非常に近い (構造のみならず状態もが) ものであったことは われわれとしては大へんうれいことであった。すなわち はじめに述べたように種々の地球化学的方法の基礎的組織的かつ総合的な研究調査がいかに重要なものであるかを如実に示されたからである。

もちろん 細部にわたっては異なった点もあり いろいろ改良研究すべきところであるが 今はボーリング結果の詳細やその後の測定成果について未だ発表できない事情があるので 残念ながら今の所は上の程度のことを

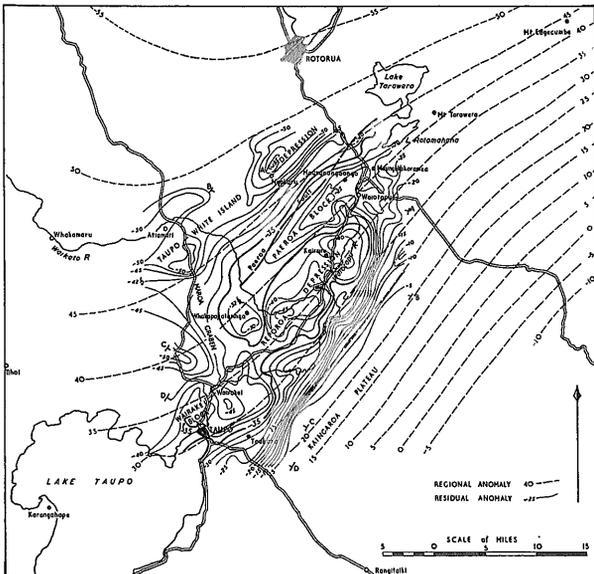


第4図 松川地熱地帯における推定温度分布図

ししておく。しかし 以上で大略の様子は諒解されたと思う。同じような地質 地球物理 地球化学的な調査研究のやり方は 日本の他の地熱地帯においても最近は大同小異行なわれてきた。すなわち 九州電力K.K.は大岳地区において 地質 重力 磁気 電気探査 テストボーリング そして開発井へと順序立ってスタートし すでに第5 6 7号井と相次いで成功をおさめつつある状態である。また 電源開発K.K.においても同様 総合的な調査研究により成功してきている。もちろん 地下構造や熱水貯溜の状態にそれぞれ相異はある。たとえば 松川の場合の貯溜層は割れ目と地層の孔隙部であったが 大岳の場合は 岩石自体はさらに硬いものであるが その中に大きな割れ目がたくさん発達していて全体として大きな貯溜網のようなものと考えている。つまり しいて外国の例にこれをたとえれば 松川の場合はニュージーランド型であるが 大岳のはニュージーランドとイタリアの合の子的な構造ともいえるのではなかろうか。

ニュージーランドのことがでたので 付け加えるがここに面白いことがある。それは ニュージーランドのたとえば有名なワイラケイなどにおいては最初は帽岩の下にくる貯溜層の熱水からだけ蒸気を取っていたが 最近ではその下にくる第二の cover (イグニンプライト) のさらに第二貯溜層までボーリングして 優勢な蒸気を取るようになってきた このことはちょうど松川の場合と非常によく似ている。なおここに参考までにニュージーランド北島地熱地帯における重力と空中磁気測定の結果を示しておく。(第5図 第6図)

すなわち これを見てすぐ分ることは 大きくいえば



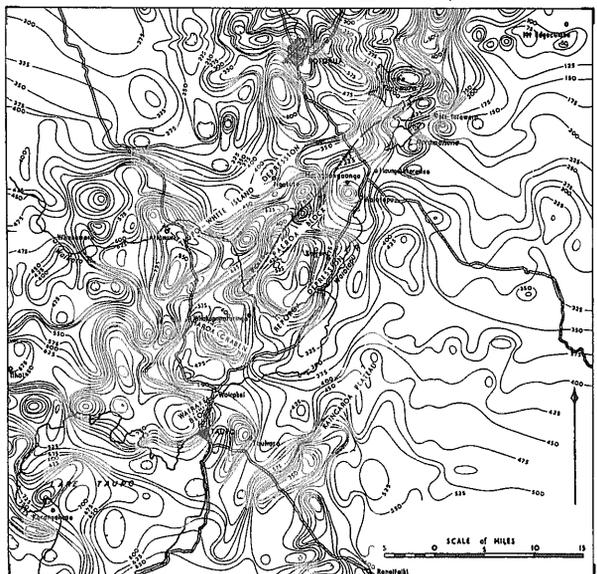
第5図 ニュージーランド地熱地帯のブーゲー重力異常図 (実線は Residual) コントゥールは5 および2½ミリガル間隔 (Modriniak と Studt による)

重力は基盤の構造 つまりそれをおおっている若い地層の厚さを示しているのに対し 磁気の方は帽岩の下の火山岩の分布をむしろ示していることである。もっともさらに詳細に見れば重力の方でも たとえばワイラケイ地熱地帯は 地溝帯の中でも比較的基盤が浅くなったところに当たっていることがわかる。ここはいわゆる「ワイラケイハイ」と呼ばれていてそれが断層による地層構造と考えられていることは すでに馬場技官も述べている所である。

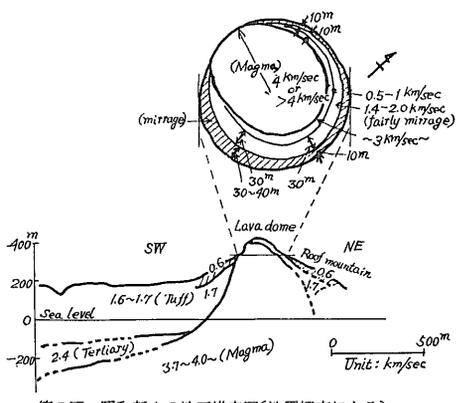
さて 以上は地熱蒸気なり熱水をためる構造のことなどをおもにして述べたが それでは割れ目を通じてそこに熱をもたらし元々の熱源の有様は一体どんなものであろうか。それについては松川 大岳 その他においては未だその熱源までをたしかめる調査研究は行なわれていないが 色々の材料からその様子をおし測ることはもちろんできる。ただし それにはかなり地球化学的な基礎が必要である。松川や大岳においてではないが熱源を調べる地球物理的な研究を行なったことがある。それは北海道の昭和新山においてである。将来は遂次同様な方法が松川その他の地熱地帯でも実施されると思われるので その概略だけをここに述べておこう。

昭和18年の暮れから那須火山帯の北端に近い北海道有珠火山の山麓の地面が数多くの地震を伴いながらもぐもぐと盛り上りはじめ 昭和20年の中頃には遂に406mもの標高(もとの同地の海面からの高さは約90m以下)を持つ新しい火山が出現した。昭和の御代にできた新しい火山というわけで これが昭和新山と呼ばれるようになったことはすでによく知られているところである。

さて この昭和新山は昔からあつた地面のもち上げられた部分(屋根の形をしているので屋根山と呼ばれてい



第6図 ニュージーランド地熱地帯における空中磁気(全磁力)分布図(5,000 フィート高さ) コントゥールは25ガンマ間隔 (Gerard と Lawrie による 1955)



第7図 昭和新山の地下推定図(地震探査による)

る)とその真ん中からニョキッと下から突出して頭を出した熔岩塔(ドーム)とから成り立っている。

この熔岩塔が地下でどのような状態になっているかを調べるため地質 地球物理 地球化学的な総合調査を行なった。その中でわれわれが行なった地球物理的な調査について少し述べてみよう。

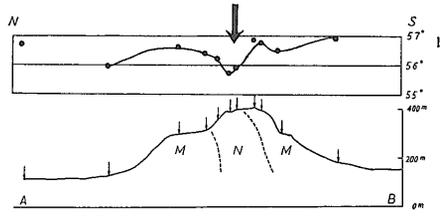
まず重力測定を行ないその分布を調べてみた。その結果この火山のできる1年半の過程において地下のマグマが活動したと思われるみちすぢに相当するところに重力の異常帯があらわれたのである。そこはちょうど数多くの地震を伴いながら地面が順次盛り上がりつてきた所でもあった。次に地震探査を実施した。反射および屈折の両方法を用いまた三成分地震計をも用いて縦波のみならず横波をも記録させた。その結果第7図に示すようなこの新火山内部におけるマグマの様子を知り得たのであった。

ところでわれわれは現地において同じく新熔岩の温度の高い所(800°C)から低い所(100°C以下)までの地震波速度の変化を知り得たが一方 故佐久間教授や

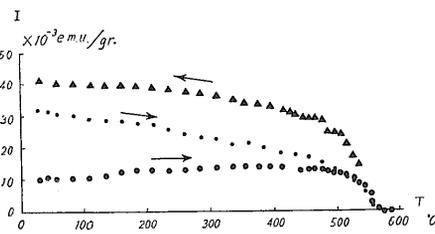
下鶴助教授等の協力により実験室内における これら同じサンプルによる温度上昇に伴う地震波速度の変化測定を知ることができた。その結果は現地の実験で得た結果とよく一致していたのでこれらの資料と地震波速度分布とを用いてこの火山体内部のマグマの温度を計算した。それによると内部はまだ950°Cないし1000°C近くの温度を保っていることが分つた。またかなりの剛性率を持っていることも横波や粘性の観測から分つた。これは今から約10年前の測定結果であるが現在でもまだまだ内部の温度はそんなに下ってはいない。(このことは後でもう一度ふれる)

地震とは別に磁気測定も行なつた。その結果 熔岩塔上部ではむしろ負の異常を得た(第8図①)。このことは内部温度がその岩石の中の磁性鉱物のキュリー点以上にあることを裏書きしているもので室内実験の結果それは磁鉄鉱のキュリー点 少なくとも560°C以上の温度にあることが考えられる(第8図③)。このことは地震の結果を裏付けしているものである。面白いことには すぐ近くにある親火山 つまり有珠火山の大有珠ドームにおいては反対に正の異常がでた(第8図②)。このことは大有珠においてはすでに内部はそんなに高い温度にはないことを示しているのであろう。

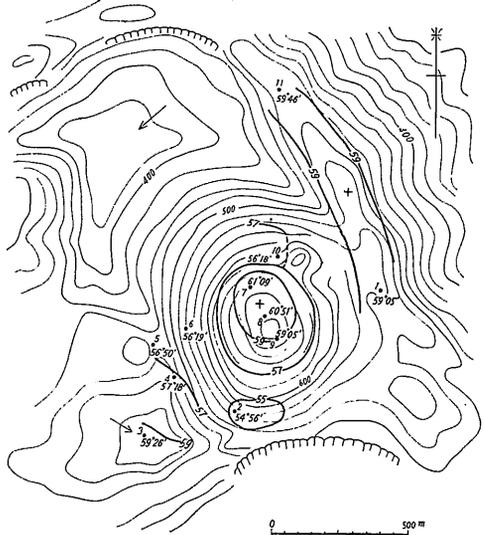
磁気測定結果で今1つ特筆すべきことがある。それは 有珠山における昭和新山活動のすぐ前の活動はそれから約33年前の明治43年 洞爺湖畔に起こったいわゆる四十三山(明治新山)の発生であるが この山においてわれわれが行なつた磁気測定の結果である。そこで得られた異常は(第9図)単に地形の影響だけでは説明し切れない つまり内部に潜在円頂丘(マグマ)の存在を考えざるを得ないような形をしている。現実にここでは土地の隆起とともに数多くの火口を生じたが昭和



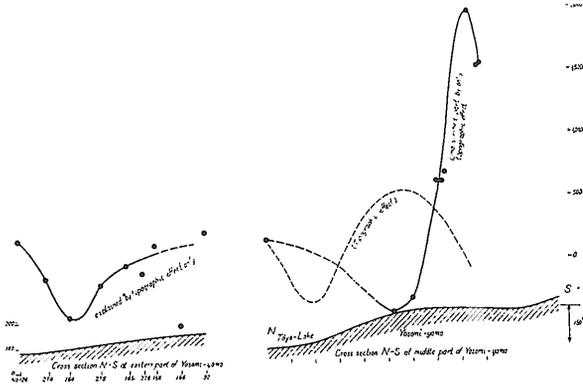
第8図① 昭和新山ドーム付近の磁気伏角測定結果



第8図③ 昭和新山の新熔岩の熱残留磁気1測定結果



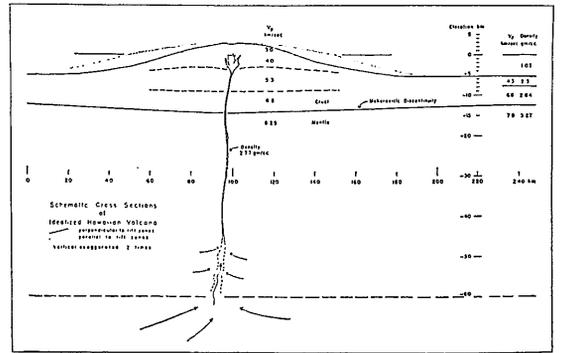
第8図② 大有珠のドームにおける磁気伏角測定結果



第9図 四十三山における鉛直磁気測定

新山におけるような熔岩塔は地表にはあらわれなかつた。それで地質学者は潜在円頂丘の存在を仮定していたのであつて われわれの調査結果はそれをよく裏書きしたものである。いずれにしても 地下の熱源—マグマの様子がこのような方法で知られたことは興味あることである。なお 当地においては地球化学的な方法でも内部温度を1060°~1080°Cと推定している。

熱源からマグマの本体を知ろうという試みはもちろん外国でも盛んである。たとえば ソビエトのゴルシコフは日本に起こつた地震の地震波のカムチャッカでの記録を整理して その中から縦波だけしか記録されないつまり横波の欠けているものを見付けた。そして その原因として地下に液体的部分 すなわちマグマを考えその深さや大きさを推算したのであつた。もちろんゴルシコフのこのやり方には解析波 その他いろいろの



第10図 ハワイ火山の推定地下構造図

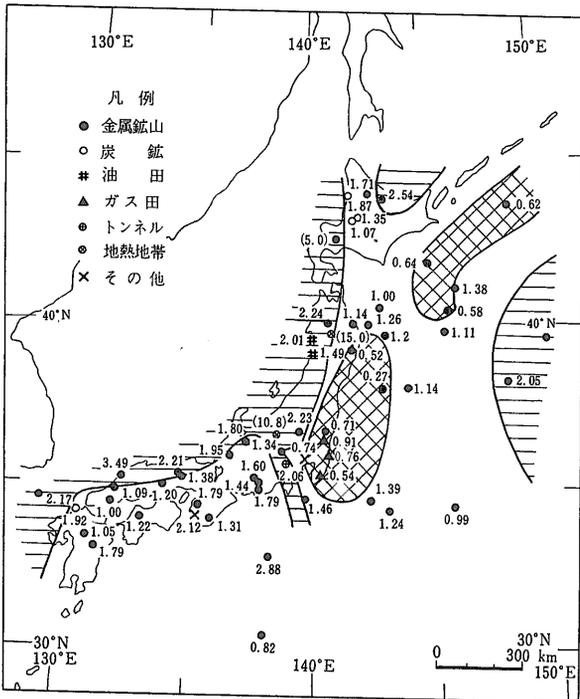
面からなお疑問があるが このような試みも決して無駄でないことが近い将来いえるようになることと思う。今一つの例はハワイのキラウエアの例である(第10図)。地震観測の方から地下のマグマの動きをとらえようとしている努力がよくうかがわれる。

ところで マグマが地下どの位の深さで 地下温度上昇と圧力—熔融曲線との関係でどのようにしてできるかとか マグマの状態がいったん生じて後 冷却の過程において地熱蒸気を生ずるまでの有様等については すでに機会ある毎に度々述べたので省略することにする。ただ 次のことは地熱のことを考えるのに永い目で見て大切だと思われるのであえてしるしておく。

地球内部からの熱は当然のことながら マントルを通じて地球の表面に向つて流れ 地表面から逃げてゆく筈である。しかしながら 岩石の熱の伝導度はあまりよくないからゆっくりと冷えてゆく。一方 このように冷えてゆく間に 地殻ごく表面の酸性岩 たたとえば花崗岩のようなものの中に放射性物質が濃集し それが崩壊して熱を生ずる。この熱がまたバカにならないもので現在地表面から外に向つて流れ出る熱の大部分は 表面から平均30kmまでの花崗岩層の中における放射性物質の崩壊によって生ずる熱によって ほとんどが説明されている。もちろんいろいろの問題はあるが 地表面から外へ流れ出してゆく熱量は永い目で見た場合 今のところ間接的ではあるかも知れないが地熱開発の大きな一つの目安となる。

東京大学の上田誠也氏等は全国の鉱山 炭鉱 油田 ガス田の協力により本邦の ”あたりまえ,, の場所での地熱流量の実測を行なつた。また 海底からの地殻熱流量も陸上同様重要性があるので 気象庁や水路部の観測船の協力により 同氏等は本邦周辺海域での観測を行なつた。その結果は第11図にみられる通りである。

この分布図はなかなか興味深いものである。まず第一に 地殻熱流量の高い地域は本邦の新生代の火成活動



第11図 日本およびその周辺での地殻熱流量の分布 (単位 10^{-1} カロリー/cm 2 秒) [上田による]

に一致している。このことは当り前のようにもみえるが火山や地熱地帯を生む原因が広い分布をもちこのため現在その場所には火山そのものはなくともその地域全体が熱流量の高い地域となっていることを意味しているであろう。

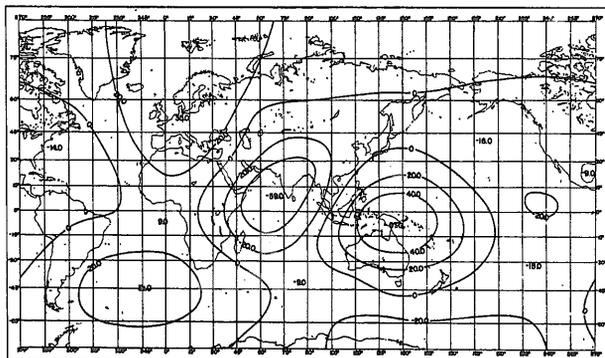
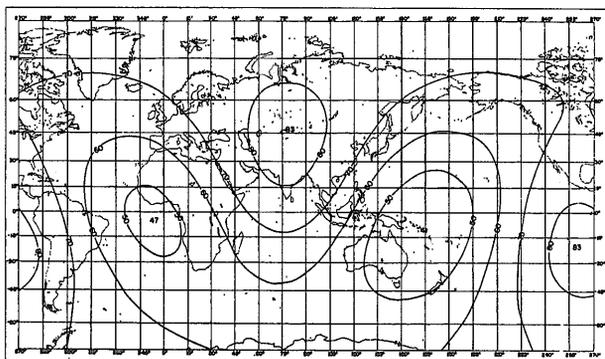
ちなみに近着の Geo Times に A. L. Hales 氏が Lee 氏と Mac Donald (1963) 氏との世界中の地殻熱流量の調和分析図について議論していたがその結果地殻熱流量は人工衛星による観測から算出したジオイドの高さと関係あることを示していた。(第12図)

すなわち地殻熱流量の多い所とジオイドの低い部分(地殻の厚さがうすくマントルが地表に近いこと)とがよく一致しているがこれはマントルの対流を考慮に入るとよく解釈がつくというのである。また大陸と大洋底の平均熱流量がほぼ等しいということ(第13図)は暗に大陸下と大洋底の温度が異なることを暗示しているつまり大陸下では地表から外への熱の $\frac{1}{2}$ ないしは $\frac{2}{3}$ は地殻中の放射性物質の崩壊によるということそして大洋底の地殻の厚さはうすくしたがってその熱はuppermantleの持つ放射性によるものもかなりの役割りを演じているだろうというのである。(Clark & Ringwood, 1964)ともあれはじめにも述べたように地殻熱流量の問題は永い目でみた場合地熱開発にも大きな影響を持つものと思われる。

最後に地熱蒸気の寿命の問題について考えてみよう。その前にそれに関連してちょっと昭和火山に話を戻そう。昭和20年秋この火山がすっかりでき上がった直後熔岩塔の割れ目からみえる中の温度は950°C~1000°C程度あった。そしてわれわれが約10年前先述の地球物理的な調査をやった頃は813°Cであった。ところで最近はどうかというと同じ割れ目の所で600°C程度という値がでている。しかしすぐ近くの割れ目の所ではいぜん720°Cの値が観測された。

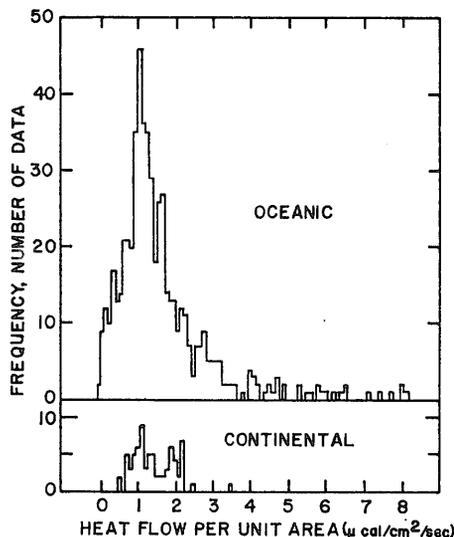
しかしこれらの値は地表面付近の値であってこれらの値から察するに実際には中はもっとあついに違くない。すなわち火山ができ上げてすでに20年になるがそれにも拘らず表面でもまだこれだけの値があるということはこの程度の大きさの山としては熱伝導だけでは考えられず何かこの塔体と中をつなぐ割れ目又は通路があって現在でもガスか蒸気が下から補給されていると考えざるを得ないのである。これは新しい火山の例であるがここでたとえば松川のような古い火山の場合を考えてみよう。一般的にいつてマグマの冷却にはその大きさにはよるけれども数十万年の年月を要する。そして冷却の過程においてもその深さ及び大きさに応じて条件さえよければ外部からの浸透水をあたため熱水または蒸気をつくって貯溜層に供給するのである。

ところでここに問題となるのは果たしてわれわれが現在ボーリングによって得ている蒸気は専ら貯溜層のものなのかそれ共下からの割れ目を通じてのガス又は蒸気のもたらした熱がかなりの役割りを演じているものかどうかという点である。この点について地質ニュース No. 116 に馬場技官もニュージーランドの場合にふれてるがたとえば松川においてもごく簡単に当てみると昔からの貯溜された熱水なり蒸気なりを考える一方

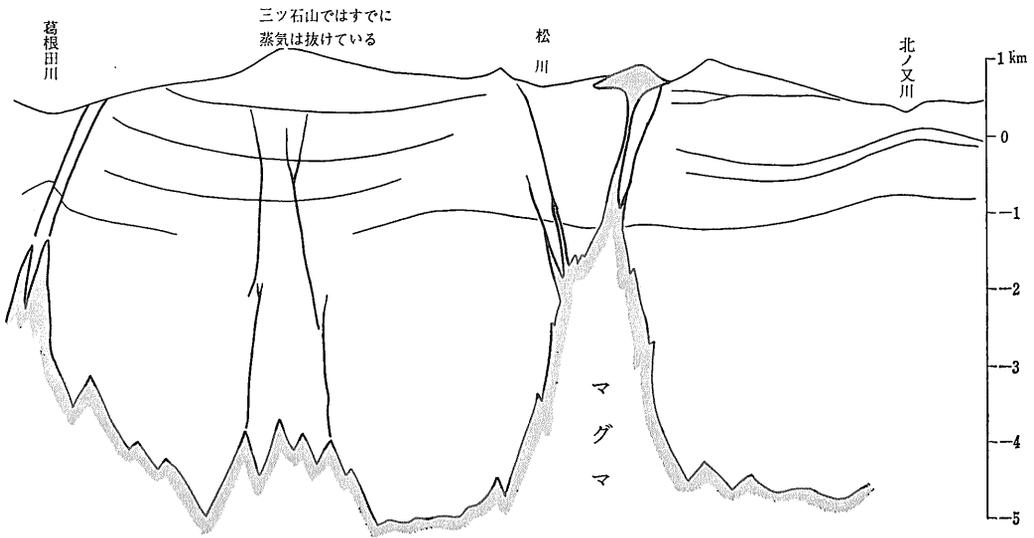


第12図 (上) Lee と Mac Donald による地殻熱流量分析図 (erg/cm²) (1963)

(下) Kaula による人工衛星を用いて算出したジオイド高さ(m単位)



第13図 W. H. K. Lee による大陸と大洋における地殻熱流量の比較 (1963)



第14図 マグマ推定図(岩手山のマグマと元においては通じていることが考えられる)

地下からの熱の供給ということも考えないでは解釈がつきにくい状態である。この場合 貯溜されていたものを使うのはひとまず別として 外部から入ってきた水を下からの熱で短時間にあたためるのは大へんなことである。すなわち ある程度は熱伝導によって周囲の岩石があためられていたことも考えられるが それだけではじゅうぶんでない。馬場技官は熱源を熔融マグマ及び対流に求める他に脱ガラス作用についても言及している。それはそれとして 実際 松川位古い火山のマグマが果たして現在 かなり莫大な量の熱をどうして供給しつづけるのであろうか。これがもし この火山をつくった時のマグマの残留のガス又は蒸気だけだとすると とても消費に並行する熱の供給源としてはどう計算しても足りない。そこで筆者は考えるのであるが本地域の地熱はこのような過去の熱の他に 新しい岩手山の活動の源となっているマグマの元と何等かの形においてつながっているのではなかろうか。つまり 大胆に書けば第14図に示すような地下構造を当地は持っていると考えるのである。このように考えられる理由は色々あるが それはここでは省略しその真偽のほどはいずれ将来 少し大規模な地球物理学的な調査を行えばはっきりすることであろう。

ところで 先ほども述べたように考えると 現在われわれが得ている地熱蒸気は果たして どの位の割合いで過去の貯金をつかい また どの位が直接現在地下から運ばれてくる熱でまかなわれているのであろうか。それを知るには水準測量と重力測定を時間をおいて(年1回位)行なうことが必要である。ニュージーランドで

もこのことに気がつき 最近はじめているが わが国でも是非今の中からやっておかなければならない。

も一つ大切なことは 上には単に昔の熱といったが 一体どの位の昔の熱水(つまり化石熱水)を使っているのであろうか。(これが分れば 地球物理的な計算でその時の温度やそれに関連した様子(要素)を知り得るのである) そのためには同位元素を使った地球化学的な力をかりなければならぬ。

以上 断片的ではあるが 地熱発電のための開発の基礎に地球物理がどのような役割を演じてきたか また今後行なわなければならないかを筆者なりに書いてみた。

もともと発展途上にある学問なり技術であるから 不完全なことばかりであるが 暗中模索から一步を踏み出したというのが正直な表現ではなかろうか。

すでに開発を行なっているイタリア ニュージランド アメリカ等においても 同じようなことがいえる。大切なことは 地質 地球物理 地球化学 試錐技術 坑井の保持 発電技術 といった一連の基礎的 組織的な総合調査研究がガッチリとなされれば 私は必ずや日本において非常に近い将来 この問題の大きな発展 開発が期待できると信じて疑わないものである。

誤解があるといけなないので最後に一言つけ加えておく。私ははじめに外国の技術にたよりすぎるなどといったが それは鵜のみにするなどといったわけで 外国の学問や技術の発展や その同化利用に常に留意していなければならないことは当然である。(筆者は物理探査部 試験課長)