

松川地熱地帯 の物理探査

いままで地質ニュースには 度々地熱の記事がのせられ 松川地熱地帯 (No. 54 1959-2) についても一般的な記事はのせられていたので ここでは重複するような事柄は省略して この地域で物理探査を行うようになった経緯や またその方法などについて概略を述べてみよう。

火山や温泉は岩漿と称する地下の高熱部分が地表近くまで接近している所で 一般に地殻の弱線に沿って現われる。すなわち 地下深部の岩漿は地殻の弱線に沿ってその上部へ絞り出され岩漿溜をつくる。これが巨大な熱源となり この部分からさらに岩石のすきまを通過して熱・蒸気・熱水等が地殻上層部に浸透上昇する。

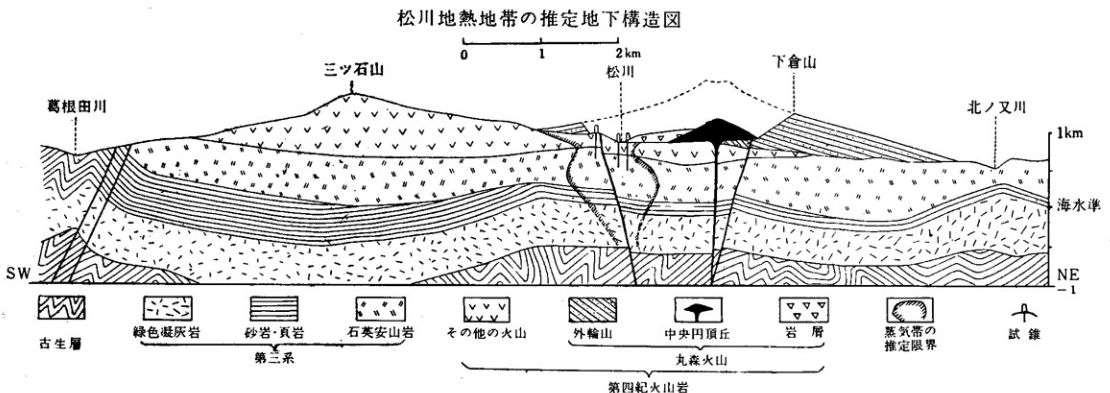
これらはもともと岩漿に含まれていた水など 揮発成分が高温高压の蒸気帯を形成したものであるが その外にこの熱によって温められた地下水も加わり それらが天然に地表に漏出すれば いわゆる天然蒸気となり また帽岩によって蒸気が地下にたくわえられ 人工的に掘りあてられれば それが地熱発電用の噴気となると考えられる。

地熱調査は 天然蒸気の調査・研究と同じく 岩漿の研究・火山現象等の火山学の基礎の上に立つものであって 地熱を利用するためには 地熱地域の地質構造・岩相・天然蒸気の成因・賦存状態および試錐技術等の総合研究が必要である。

イタリアでは40万kwの地熱発電を ニュージーランドでは2万kw (将来12万5千kw) の発電を行っていることは周知の通りであるが これらの国における地熱調査に物理探査の果たした役割は大きい。たとえば イタリアの場合はフランスの物理探査技術陣による 大々的な電気探査が行なわれ ニュージーランドの場合には地震・重力・空中磁力・電気等の方法が使われている。なお直接地下の状態を知る方法としては 検層を行うのが最も確実な方法である。

わが国においては過去数年来 地熱調査に物理探査を利用してきた。現在はまだ研究の段階であるが 今後の発展は期待されている。

さて 地質調査所では以上のような見地から 地熱調査の主旨にもとずき 昭和33年度から 岩手県岩手郡松



尾村松川地域において地質調査を行い それと併行して電気探査を 引きつづき 34 年度においては 電気探査および地震探査を行ったのである。

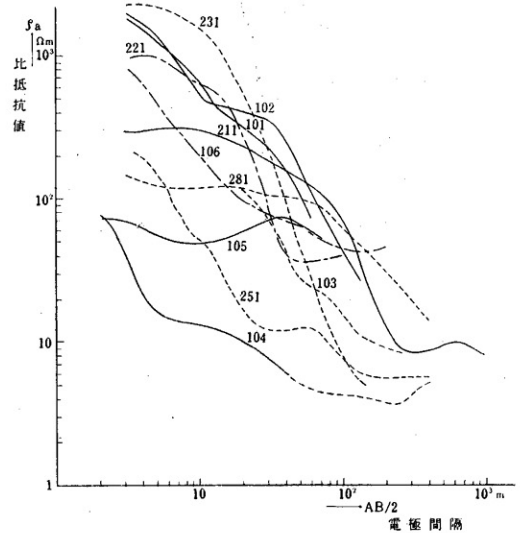
この松川地域は 丸森火山砕屑物 (debris) 松川熔岩または 外輪山熔岩におおわれ 地表面には地熱蒸気の露頭はみられない。しかし 調査地域全般にカオリンまたはモンモリロナイトの変質帯が 広く分布しておりかつ 150 ~ 300 m 深さの 7 個の試錐井がある。

これらの多くは天然蒸気 または過熱水をもっていることが明らかにされているが なかなか現在第 7 号抗井は深さ 160m の所から蒸気を噴出しており 付近の村営温泉に暖房用として供給している。

電 気 探 査

地熱調査に最も普通に用いられている電気探査法は比抵抗法である。この方法はこれまでも地質ニュースで度々紹介されてきたように 地表に一對の流電電極を設けて大地に電流を流し込み 生じた電場の模様を一對の電位電極を通して観測し これから比抵抗の垂直ないし水平的分布を求めて 地下構造あるいは地下賦存の物質を推定しようとするものである。とくに 地表近くの水平的地質構造の変化を求めようとする観点から発達した水平探査法と 層状水平構造についての知識を得ようとするために案出された垂直探査法とがある。前者は脈状鉱床のような脈状構造探査に有効であり 後者は地下水・土木調査に多く使われている。

地熱に関係あると思われる変質帯の性質や水平的広がりを求めるために これまでも多くの地域で水平探査法が用いられてきた。この方法は 被覆層が比較的薄くて 水平的変動のみを問題にする場合には有効であるけれども 被覆層が十分厚かったり 垂直的変動を対象に



松川地熱地帯の電気探査で得られた比抵抗曲線の一例

する場合には 垂直探査法が有効である。

松川地熱帯は松川南岸では変質帯が地上に露出しているけれども 北岸一帯は丸森火山の岩屑で被われていてその厚さも十分厚く 簡単に下部の模様を知ることがむずかしい。そこで電極間隔を順次増してゆき これに相応して見掛け比抵抗を測定して いわゆる比抵抗図表を作り これから垂直的比抵抗分布を求める方法 すなわち 垂直探査法を適用することにした。

垂直探査に用いられる電極配列型式として代表的なものは 従来わが国で最もよく使われている Wenner 型 (等間隔 4 極法) とヨーロッパで発達した Schlumberger 型 (微分型 4 極法) とであって 流入電流として 普通前者では 低周波矩形波状交通 (10 数サイクル) が 後者では 直流が用いられている。

今回の調査では 次のような理由で 後者の方法を採用した。

- (1) 山岳地帯であり 人里離れた場所でもあるので いわゆる迷走電流の影響が小さく 直流の方がノイズの影響を受け難い
- (2) 被覆層が岩屑で高比抵抗で 下部が低比抵抗であるので微小電位差を測定することになる

が 直流の方が精度よく測定できる

- (3) 起伏多く また水平的擾乱物の影響も受けやすいので これらと下部の反映とを曲線上で識別しやすい微分型配置の方が有利である
- (4) 微分型の方が測定は困難であるけれども 下部の構造を短い電流電極間隔で検出しやすい点で作業上極めて好都合である

測定は構造探査用電気探鉱器（自然電位補償器を付した特殊電位差計を主体にしたもの）によって行われ 電線は特殊加工のものが使われた。被覆土が岩層で接地抵抗が高く 電流が流れ難いので 流電電極として数本ないし10数本のステンレス製鉄棒を地中に打ち込み 電位電極としてはズック製の無成極電極（Cu-CuSO₄）を使用した。電流の読み I と電位差 V の測定から電流電極間隔の半分（AB/2）に対応して 次の式から見掛け比抵抗を算出し この値を両対数方眼紙上に図示し 順次増大する AB/2 に応じて曲線として結び できあがった曲線（比抵抗図表）を解析して 各層（各帯）の真の平均比抵抗を求める。

$$\rho_a = \pi \left\{ \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right\} \frac{V}{I}$$

ただし MN は電位電極間隔である。

最大の AB/2 は 対象深度・作業上の制約・地形地質等の条件から必ずしも一定しないが 一般的にいえば対象境界までの深さの 3～5 倍とるのが安全である。

解析して得られた電気柱状図は 試錐・検層等の資料 岩石物性の知識 周囲の地質の知識等を考慮して解釈される。

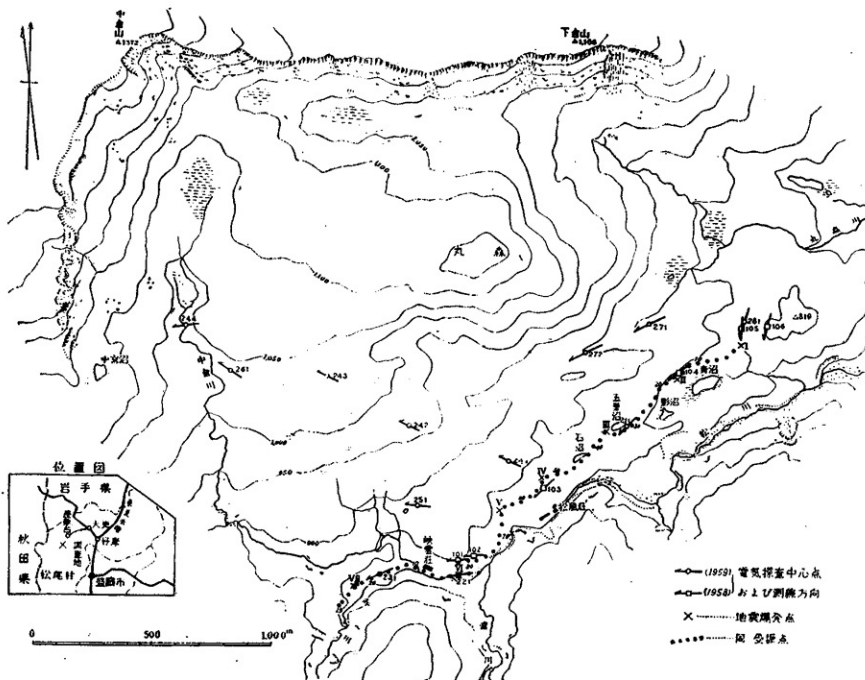
松川地域で得られた比抵抗図表の一例を示す（13P 右上図参照）各曲線からもうかがえるような 低比抵抗帯（多分主として粘土化帯からなると思われる）が 全調査地域にわたって下部に存在することが確認されたほか 深さ 100～200 m（一部数 100 m まで）の地下の大略の構造もしくは状態が推定できた。

地震探査

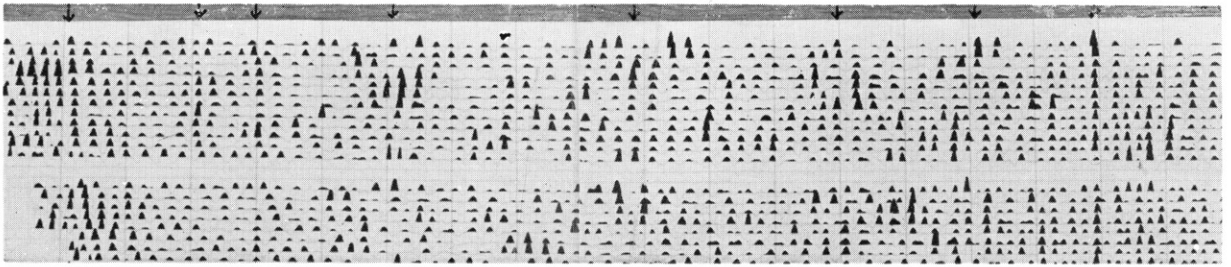
地震探査は磁気録音方式の反射地震探鉱器を使用した（地質ニュース No. 60 1959-8）点が特長である。

このような火山地帯における地下構造の調査は おそらく通常の地震探査方式では 無理であったらうと思われる。

なぜならば 火山表面では火薬爆発によって十分なエネルギーの波動を出させることも またそれをキャッチすることも容易ではないからである。このような意味から磁気録音式反射地震計（24成分）を使用した。また受振器の方もパラシリーズの9個ずつの



松川地域地震探査測線配置図



松川地熱地帯での地震探査反射記録の一例
 黒色のそろっているところ（矢じるしのところ）が反射層をあらわす

グルーピング（群設置）の方法を採用した。また爆破孔は単発のほか パターン（多孔爆発）の方法をも併用した。受振点間隔は20~30mで総延長は3kmになる。そして測点はカルデラ周辺の破砕帯から火山部へ向け選んだ。

調査方法は 反射法に主眼をおき 速度の資料をうる目的で屈折法をも併用した。如何なる所で地震波が反射するであろうか まずその目安をつけるために地表調査の結果分った層序関係を引用し それに従って調査に出る前あらかじめ孔隙率・密度（真および見掛け）・岩石中の地震波速度を実験室内で測定した。

これは実験室内で測定した値であるから 実際の地層を構成している岩石の自然状態での物理的性質が どのようになっているか それは不明である。たとえばカルデラ壁に沿う破砕帯などでは 割れ目などのために地震波のエネルギーが吸収されるし またそういう所では地震波の速度も減少することが考えられる。しかしおおよその見当をつけるのには役に立った。このような準備の上で現地において調査を行った。（詳細は地質調査所月報に掲載予定）

途中の解析およびその結果図面は省略し ここではごく大まかな結論と 電気探査結果の比較についてだけをのべてみよう。

結果からみると カルデラ周辺ではあまりよい反射の記録は得られなかった。しかるにカルデラ内部に次第

にすすむに従い 予期したよりはるかに良好な反射記録が得られた。これは何も浅い所だけに限らず 深い所（地下2km程度）までもキレイな反射相がとれている。これらのことからこのカルデラ周辺の破砕帯や カルデラ内部を形づくる物質の構成状態（フォーメーションの様子）などから考え はなはだ興味あることであった。

得られた記録の1枚1枚を地質の第何層 何層に対応させるということは必ずしも容易ではないが 波形からかなり内部の状態が推定できることは考えられる。

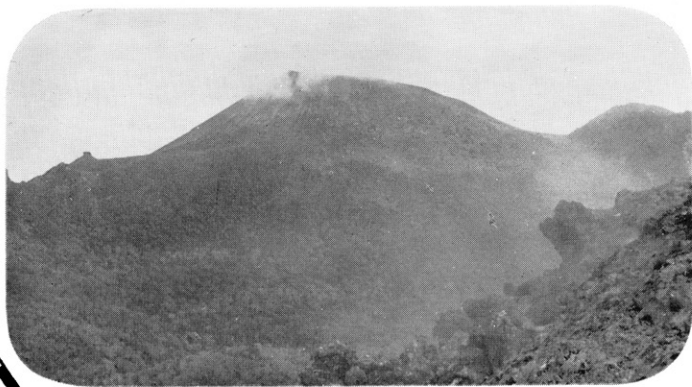
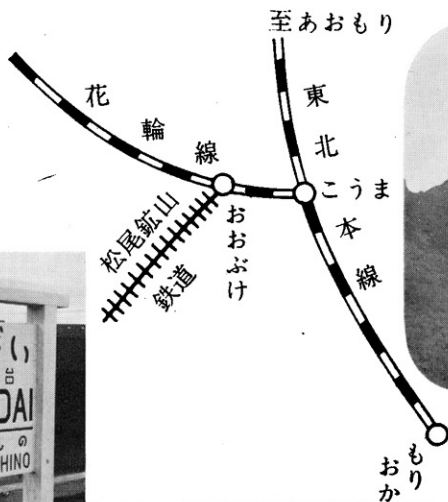
たとえば ボーリングによって確かめられたことであるが 地下の蒸気または熱水貯溜層にあたる所であまりいちじるしい反射は得られないで 帽岩なり 熔岩と考えられるところにキレイな反射層が出ている。

もちろん逆は必ずしも真ならずであるが うまく利用すれば地下の蒸気の貯溜層のひろがりなどの推定に 役立つことも考えられる。

最後に電気探査結果との比較であるが これまたはなはだ興味深い資料がえられている。たとえば前の深度比抵抗曲線で非常に低い抵抗のあらわれていることはすでに述べたが さらにその下部で再び抵抗が大きくなっている。

地震探査の反対相の様子から言ってもこのことはうまい対応がつくのである。

以上はテストではあったが電気探査および地震探査により 地熱地帯の地下の状態をも含めての構造を知るのに役立つということがわかった。（物理探査部）



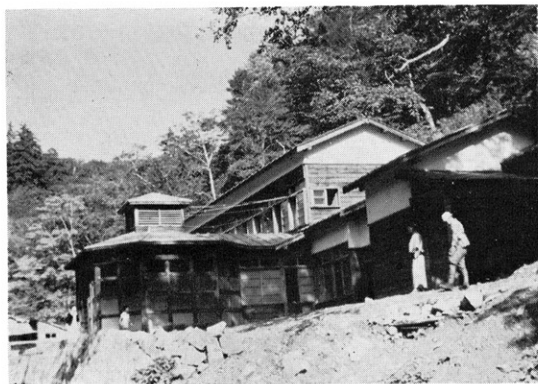
岩手山



松尾鉱山鉄道終点の屋敷台駅 (おおぶけ駅から約12km)



屋敷台駅の名所案内 松川温泉まではここから約8kバスの便あり



松川地熱地帯にある村営松川温泉映雲荘



映雲荘へ温泉を供給している 試錐7号井 (地下160m~300mの深さから噴出している天然蒸気)

電気探査



直流型電気探鉱器



ステンレス製の電極



測定中

地震探査



火山地帯では 火薬爆発によって生じた地震波エネルギーが土壌に吸収されるため 各測点でたくさんの受振器を同時に使用する群設置方法を用いるがこれはその方法である



道路に沿って地震探査の測線をもうけた 電気探査の測線も一部これに平行してもらわれた



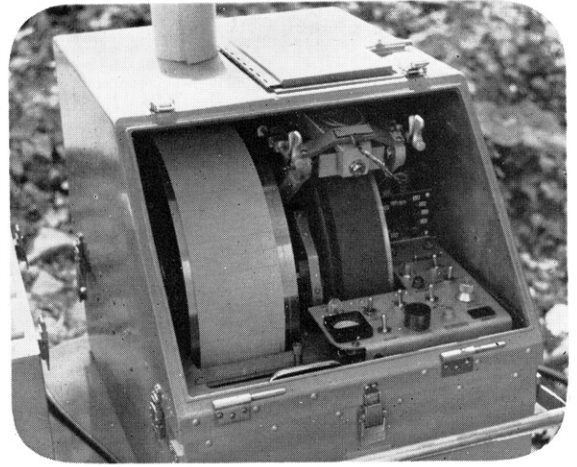
埋設された受振器



地震探鉱器の調整



磁気録音式反射地震探鉱器 (E T L 社製 FR-1 型)



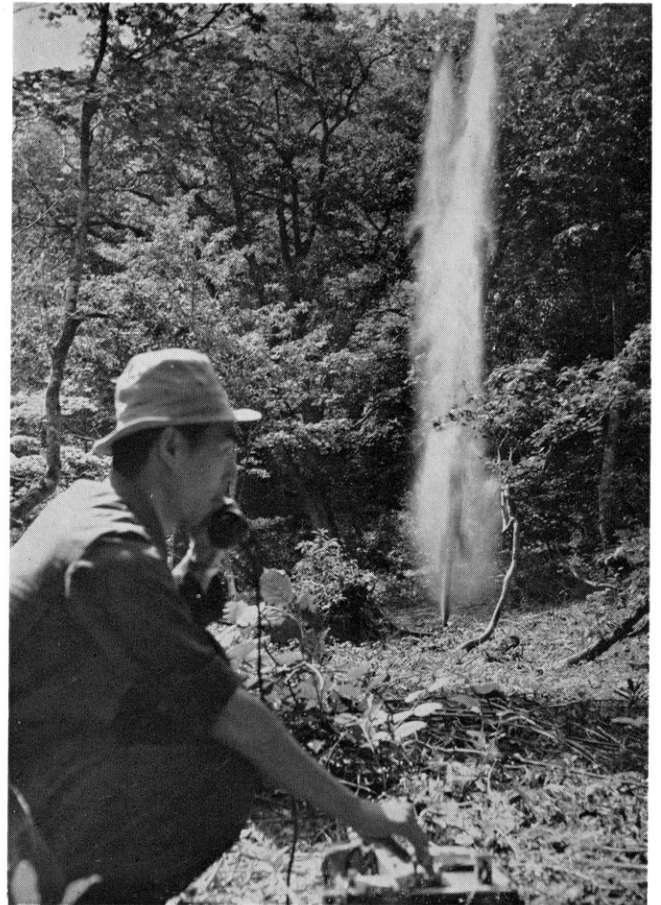
地震探鉱器の記録および再生ドラム



火薬 (5kg) を爆鉱孔に挿入する



本部からの指令電話により まさに発火器のスイッチを押さんとするところ



爆発の瞬間