

岩手県滝の上および松川地熱地域における電気探査

馬場 健三* 本間 一郎* 武居 由之*

Electrical Prospecting at Takinoue and Matsukawa Geothermal Areas

By

Kenzō BABA, Ichirō HONMA & Yoshiyuki TAKEI

Abstract

The electrical resistivity prospecting was carried out to know the underground structure at Takinoue and Matsukawa area in Iwate prefecture.

At Takinoue which is about 7 km apart from Matsukawa, there are many hot springs and steaming grounds. The grounds which show geothermal activity correspond to very low resistivity of less than 10 Ω m. We found that the comparatively low resistive layer (less than 20 Ω m) extended to the deep place even under the surface ground which showed no geothermal activity. The high resistive layer was found under the low resistive layer and the shape of its surface could be made clear.

At Matsukawa where four productive wells of geothermal steam are and the electric station by utilizing them is now under construction, we can scarcely find surface geothermal activities. But the vertical distribution of electric resistivity obtained here was generally quite similar to those at Takinoue area. Judging from the result of resistivity sounding near one of productive wells, we think that they are discharging steam from the comparatively high resistive part which is under the low resistive one. The shape of surface of the high resistive layer under prospected area was made clear as done at Takinoue.

1. 地域の簡単な説明と謝辞

1964年と1965年の夏季、筆者らは岩手県岩手郡雫石町の滝の上地域と同郡松尾村の松川地域において、比抵抗法による電気探査を行なった。この報文はそれらの探査結果について記すものである。

両地域は三ツ石山を中にして相互約7km離れてあり、滝の上地域においては、葛根田川沿いに幾多の自然の噴気孔・温泉などがみられる¹⁾。一方、松川地域においては、ごく少数の温度のあまり高くない温泉を除いてけん著ないわゆる地熱の地表徴候は認められていない²⁾。

しかし、両地域の地質は地質構造の観点からは一連のものであると考えられている。第1図に、中村・角による構造図を引用した注1)。中村らによれば滝の上地域の噴気・温泉地帯は第三紀中新世の山津田層(砂岩・頁岩)を湧出母岩とし、かつこの地帯が地質構造的弱帯にあ

* 物理探査部

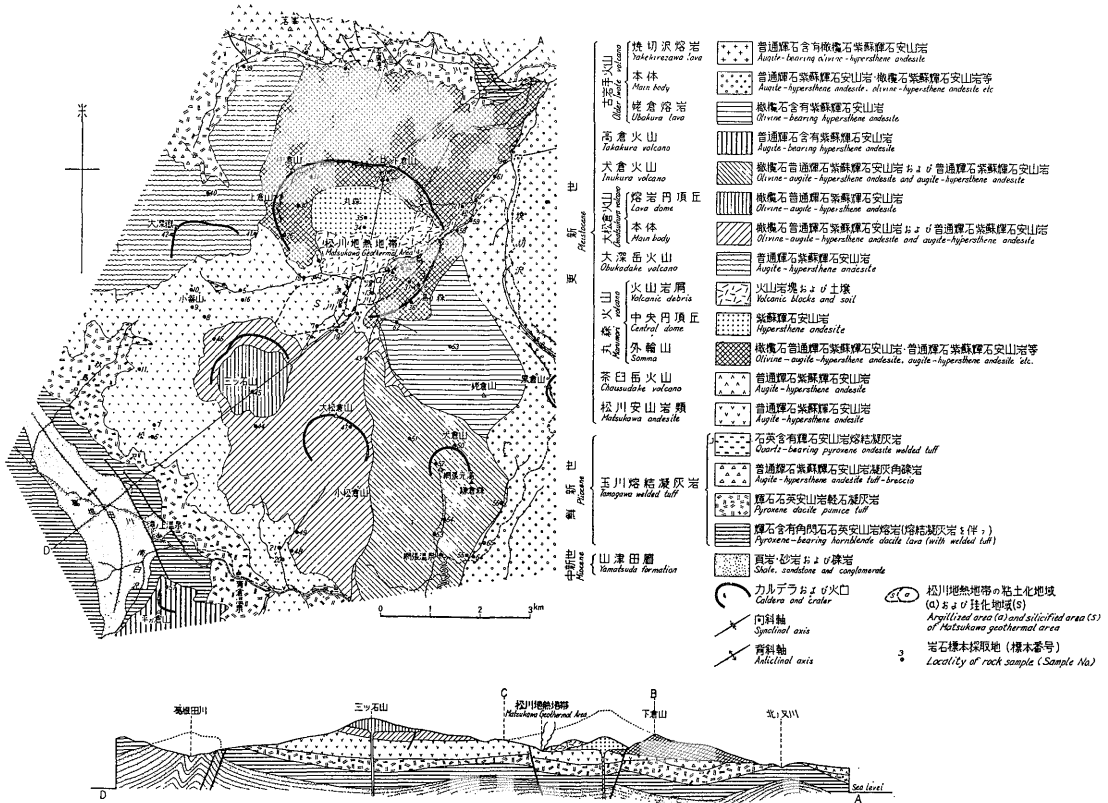
注1) 第1図は文献3)によるものであるが、中村・角はその後の調査に基づき若干の改定をこれに加えているが未公開なので改定前のものをここに掲げた。

る。同じく松川地域においては、山津田層およびその上位にある鮮新世の玉川熔結凝灰岩類中に、熱水・蒸気が胚胎しているとしている。

両地域は、いわゆる地熱発電を目的とした天然蒸気の開発の対象としてとり上げられているところであり、ことに松川地域については、地質調査所と協同調査研究を行ってきた東化工KKが、これまでの調査結果にもとづき発電の企業化にふみ切り、1964年1月最初の開発井を成功裡に掘削した。一方、滝の上地域においてはまだ開発段階には至っていないが、有望な地域として関係者の注目をあびているところである。

なお、この調査は滝の上地域については当所の特別研究費により、松川地域については経常研究費によってなされたが、測線の設定および探査の実施面などにつき、東化工KKの多くの御協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

また、この調査の計画立案をはじめとして、全般的に本所陶山淳治および小野吉彦両技官の有益な助言をいただいた。滝の上地域の測線設定については本所桂島茂技官がこれを分担した。松川地域における現地作業では、田村芳雄技官の協力をいただいた。上記各氏に厚く



第1図 中村・角による松川地熱地帯とその付近の地質断面図

御礼申し上げる。

2. 探査の方法

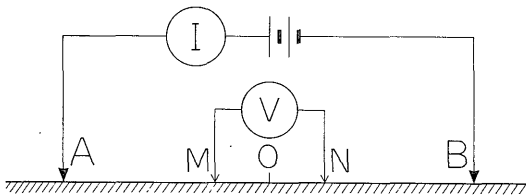
電気探査の方法としては、直流法による垂直探査 (VES) を主とした。

比抵抗法における電極配置としては、わが国では Wenner 法とよばれる等間隔4極法の採用がもっとも普及しているものの一つであるが、一方、Schlumberger 法 (第2図) とよばれる微分型4極法の使用も最近多くなってきた。一般に、後者による方が微小電位差を観測することになるので計測上の困難があるにもかかわらず、これを採用するのは、それにもましてこの方法が多くの長所をもつからである。今回の探査においては後者の方法を

とることとした。

両地域で VES を行なった測点の位置については、後述するが、電極の最大展開距離は、滝の上地域においては $AB/2=500\text{m}$ 以上、松川地域においては $AB/2=1,000\text{m}$ 以上をねらった。各測点の最大電流電極間隔は次のとおりである。

滝の上地域		松川地域	
測点番号	最大の $AB/2$ (m)	測点番号	最大の $AB/2$ (m)
3	500	305	1000
4	750	306	1250
5	1000	307	1500
6	1250	308	1750
7	1250	309	2000
補点	1250	310	1750
8	1000	311	1500
9	1000	312	1250
10	1250	313	1000
11	1000		
12	750		
13	500		



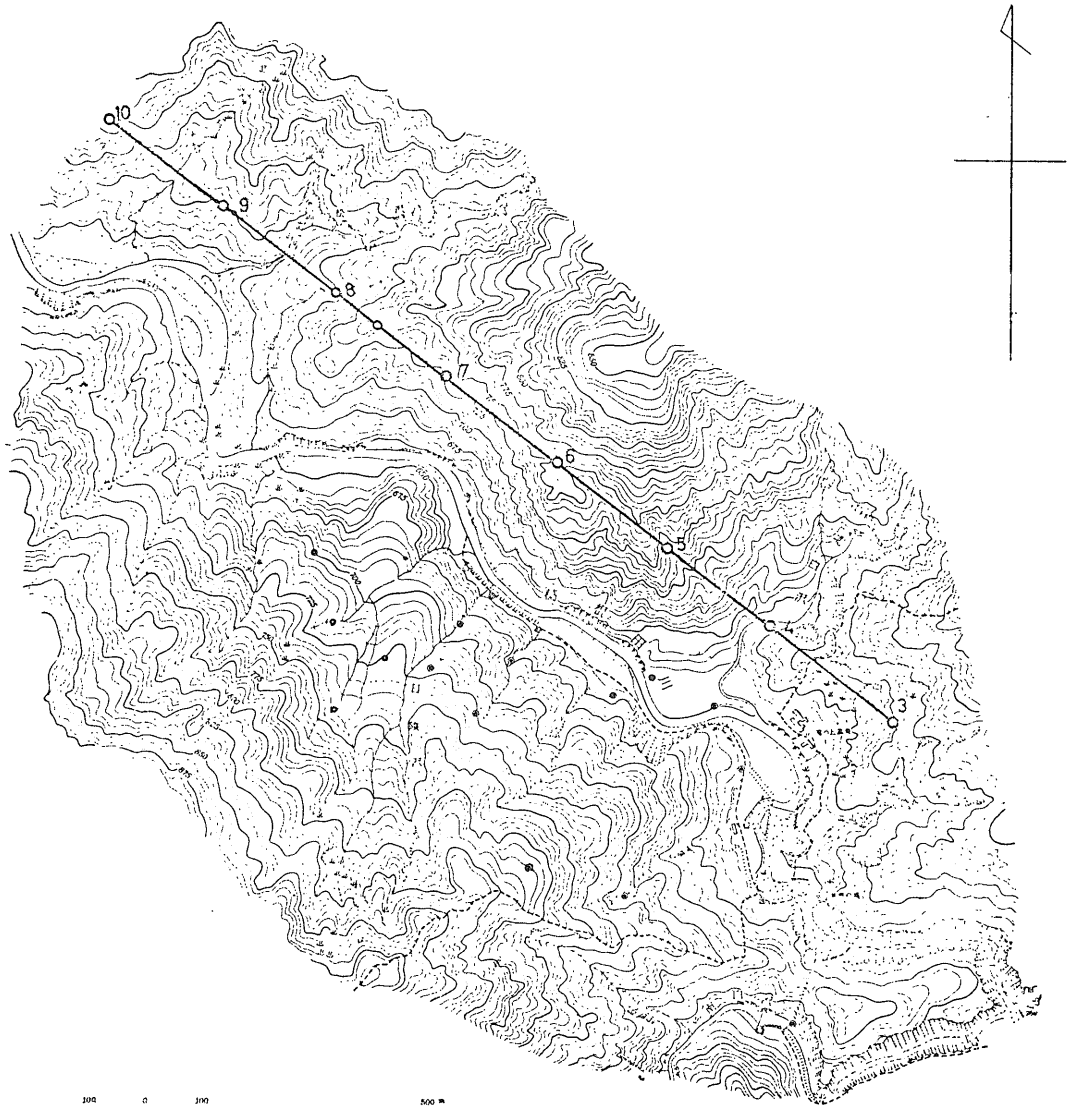
第2図 電極配置説明図

3. 滝の上地域における探査

3.1 これまでに行なわれた調査と今回の測点

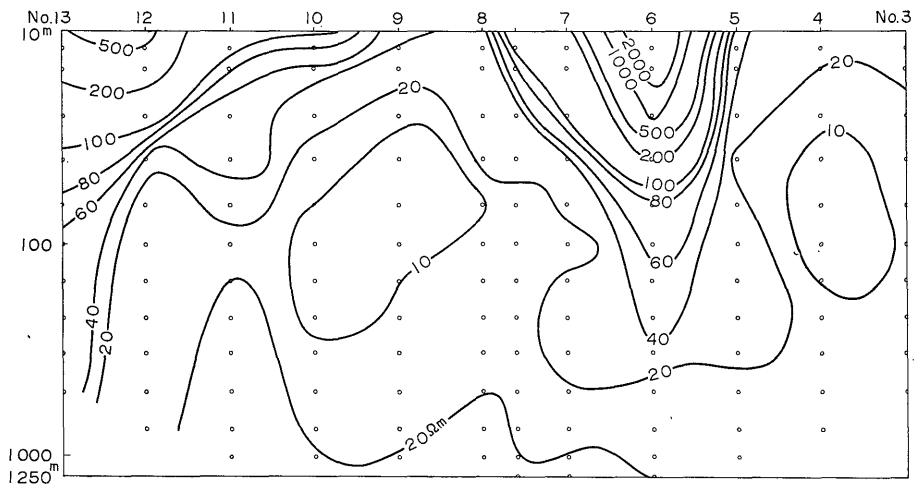
地熱エネルギーの開発の可能性の有無を知ることを最終的目標として、この地域が地質調査所ではじめてとり上げられたのは1956年のことであった。まず温泉地質学的な基礎調査が中村らによって行なわれた¹⁾。その結果、先に述べたように、第三紀層中に天然蒸気ないしは熱水が貯留されていることが期待できるという開発上有望な結論がえられた。その後、この結論をさらに検討、裏付けするなどの意味から調査が企てられ、1960年から

1964年の間に30m深度の試錐孔を約50掘削し、地質調査および地温測定などがなされた(調査結果は未公開)。その結果、蒸気・熱水の賦存の状態を推察するに有力な手掛りを与えた。ここで報告しようとする調査は上記調査に引続いて行なわれたものであり、比抵抗法によって当地域の地下構造の解明の資料とすることを目的としたものである。第3図は、この地域の地形図(桂島技官による)上に今回のVESの測点を示したものである。図上の番号(3~10)を付した250mごとの○印が各VESの中心点位置である。この図にはVES 11~13^{注2)}の各測点がのっていないが、図の各測点を結ぶ直線の延長上に数



第3図 滝の上地域における測点配置図

注2) 測点 No. 3 で行なわれた測定を VES 3 というように表現する。

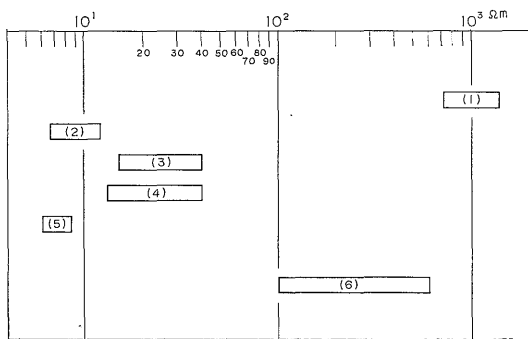


第4図 見掛比抵抗断面図

字の順に 250m間隔でNo. 11~13の各点が設けられた。また、No. 7とNo. 8の間に補点を1点設けた。各VESの電極の展開方向は、各測点を結ぶ直線上にとられた。測点の総計はわずか12点であり、滝の上地熱地域のごく限られたところに分布するのみで、さらに今後調査規模を増すことが期待される。

3.2 探査結果の概要と解釈

測定結果を見掛比抵抗断面図に表現したものを第4図に示した。これは横軸に VES 点の位置をとり、垂直軸に各VESで測定された見掛比抵抗 ρ_a を対応する $AB/2$ ごとに対数目盛で表わし、その軸上に記入し、これをもとに等見掛比抵抗線を画いたものである。このようにして画かれた見掛比抵抗断面図は、実際の地下の比抵抗分布



第5図 露頭比抵抗

露頭比抵抗は測定結果が大略図で示した範囲にあることを意味する各番号はそれぞれ次に対応する

- (1) 新鮮な石英安山岩
- (2) 噴気を有する凝灰質集塊岩
- (3) 混じり又は多少変質している凝灰質集塊岩
- (4) 頁岩
- (5) 風化のはげしい石英安山岩
- (6) 鬼首地熱地域の緑色凝灰岩類 (露頭比抵抗値ではない)

のもつ特性をある程度反映していると考えられる。

測定された見掛比抵抗値は 5.6 Ωm から 2,700 Ωm の広い範囲にわたるが、第5図の露頭比抵抗の測定結果からみて、このような広い範囲の見掛比抵抗変化は理解できる。No. 5~6およびNo. 12~13付近の表層をなしている石英安山岩 (玉川熔結凝灰岩類) の比抵抗は変質を受けていないものは数 1,000 Ωm であり、変質を受けているものは 10Ωm 以下にもなる。その次の層準になる凝灰岩質集塊岩 (玉川熔結凝灰岩類) および頁岩 (山津田層) などについても、変質の度合いに応じた比抵抗の変化がみられる。また、この地域では露頭としてはみられないが、上記各地層の下位にあると考えられる緑色凝灰岩類の比抵抗は数 100 Ωm 程度と予想される。これは宮城県鬼首地域の電気探査の結果から引用した値である。

さて、第4図によれば、20 Ωm以下の低見掛比抵抗部が測線の地下全般に分布していることがわかる。しかし、No. 13ではそれほど低くはなく、このような低比抵抗層がさらに測線の延長方向にのびていることには多少疑問がある。No. 5~7における浅部の著しい高見掛比抵抗は地質図(中村らによる)の安山岩表示部と一致し、変質をあまり受けていない安山岩の存在を示す。No. 3~4, 8~9における浅部の低見掛比抵抗は地表の噴気徴候のあるところと一致するが、深部ではさらに低くなる傾向が断面から判断される。ことに、No. 8~9についてはNo. 10の方向にのびていると考えられる。これらの低比抵抗は変質をはげしく受け、かつ混じり状態にある層の存在を示すものであろう。

No. 5~7においては低見掛比抵抗部の分布は少ないが、これは浅部の高比抵抗の影響の反映である。

得られた VES 曲線は全般的に、ほぼ3層のH型曲線

（中間層が上下の層より低い比抵抗を示す場合）とみなすことができる。例外として、VES 3 および 5 があるが、これらについてもさらに大きい AB/2 を測定すれば H 型を示すであろう。測定曲線から最下層の比抵抗値は約 100 Ωm あるいはそれ以上と判断される。

この高比抵抗層までの地表からの深度について考えてみる。その深度の傾向は第 4 図の下部の 20 Ωm の等見掛比抵抗線に反映されていると考えてよい。すなわち、No. 8 および 7 の間の補助測点を境として、番号の大きい方が小さい方よりも高比抵抗層までの深度が相対的に浅いと判断できる。測点の両端 (No. 3, 4, 12, 13) については、展開した最大の AB/2 間隔が小さく、等 20 Ωm 線が画けないが、No. 3, 4 についてはそれらの VES 曲線の形状より推して、問題としている高比抵抗層までの深度がとくに浅くにあるとは考えられない。この結果は、中村らが測点 5, 6 付近は基盤（緑色凝灰岩類）の比較的浅く、測点 8, 9 付近は比較的深いと推定していることに矛盾しない。

この地域では、まだ深部の坑井掘削がなされていないし、また今回は VES 測点も非常に限られた数を行なったのみであるので本報告では以上の解釈にとどめ、今後のデータの集積をまってさらに定量的解釈を今後に行なうつもりである。

3.3 電気探査の結論

滝の上地域の今回の調査の結果得られた結論は次のとおりである。

(1) 測線範囲中の地下の比抵抗分布は、中間層が 20 Ωm 以下のいわゆる 3 層の H 型構造のそれとみなすことができる。

(2) 全般に分布する中間層（低比抵抗層）の比抵抗値が相対的に低いと考えられるのは、No. 9 を中心として No. 8 から No. 10 付近までと No. 3 ~ 4 の範囲である。

(3) 最下部の高比抵抗層までの地表からの深度について考えると No. 7, 8 間の補助測点付近を境として北西側が南東側より相対的に浅いと判断できる。

4. 松川地域における探査

4.1 これまで行なわれた調査と今回の測点

松川地熱地域の調査の歴史は古い。その詳細は他にゆずり、ここでは簡単にのべる。

地質調査所がこの地域を地熱エネルギー開発のための調査の対象としてえらんだのは 1955 年のことで、それ以来調査が行なわれている。その内容は地表の地質調査²⁾、試錐調査、温泉水などの化学分析、地震探査法³⁾ および比抵抗法⁴⁾ などの物理探査などであり、1963 年には

東化工 K K による開発井の掘削がはじまったことは 1 章にのべたとおりである。小野らによってなされた 1957 ~ 58 年の電気探査の結果、10 Ωm 以下の低い比抵抗層が地下数 10 ~ 300 m 以深に広く存在することがみだされ、この低比抵抗層の上限の形状が明らかにされた。そしてこの低比抵抗は原岩の変質の程度の大きいことを示すものとの推察がなされた。

今回の測点を地形図上に示したものを第 6 図に掲げた。小野らによる前回の VES 測点の 100 番号および 200 番号と区別するため、今回のそれには 300 番号の番号を付した。No. 305 ~ 313 がそれらである。これらは図に示したように、測点は一直線上に 250 m 間隔にとり、電極の展開方向もこの直線にそっている。今回の調査では、先述のように最大の AB/2 を大きくとることができたので、前回の小野らの調査ではほとんどえられなかったさらに深い所の比抵抗分布の推測ができた。

開発井の掘削によって約 1,000 m 深度で確認された。いわゆる緑色凝灰岩類、その上位の第三系の山津田層および玉川熔結凝灰岩類の変質の少ない部分が示すと考えられる高比抵抗のために、AB/2 を大きくすると下降傾向の VES 曲線の右枝が上昇に転ずることは容易に予想できることである。そのような VES 曲線を得ることにより、いわゆる低比抵抗層の形状を明らかにすることができる訳で、今回の調査のねらいもそこにあった。測定結果はおおむねその期待にそむかず、前記測点付近の地下のいわゆる低比抵抗層の下限の形状、換言すれば、その下の高比抵抗層の上面の形状を明らかにすることができた。しかし今回行なった測点の数はわずか 9 点であり、これだけの結果では、松川地域全体の構造を論ずるにはいかにも資料不足であり、この種の調査の継続が今後に期待される。

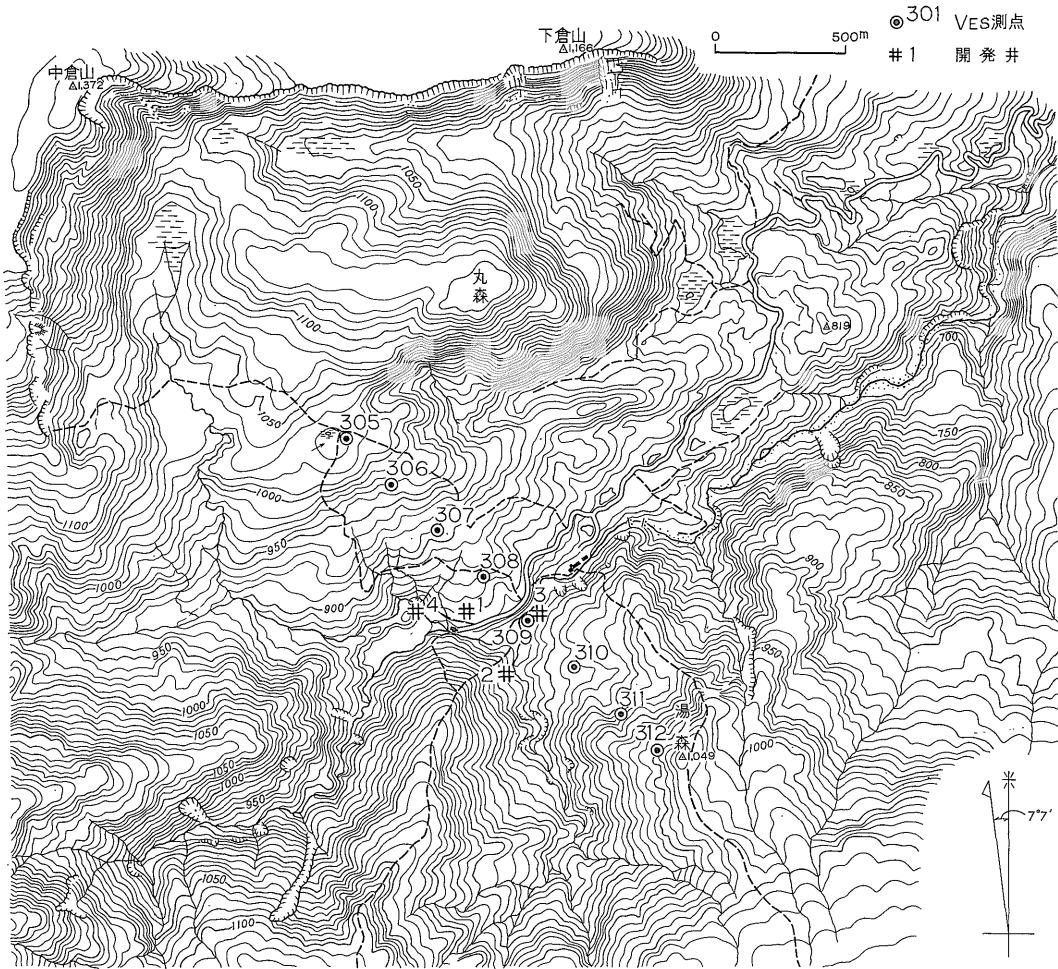
4.2 探査結果の概要と解釈

小野・他⁴⁾ は先のこの地域の調査の結果、この地域を構成する比抵抗層を次の 4 つに分類した。

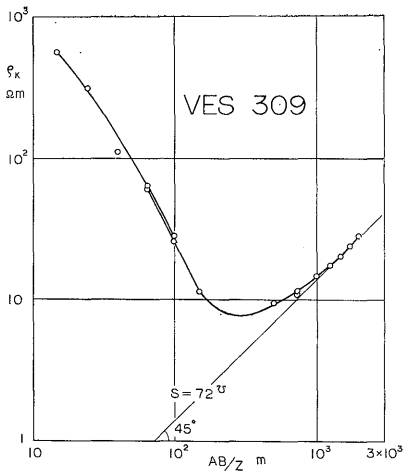
- すなわち [I] 10² Ωm 台比抵抗層
- [II] 10² Ωm 台比抵抗層
- [III] 10 Ωm 台比抵抗層
- [IV] 数 Ωm 台比抵抗層

である。

また、これらの比抵抗層と地質との対応を次のように推定した。すなわち [I] 岩屑あるいは松川河成堆積物。[II] 松川安山岩類が主としてこれに対応し、岩屑あるいは非変質ないし弱変質岩石。[III] 粘土化作用をうけた岩石か粘土、もしくは泥土質の岩屑を主体としたもの。[IV] 地下の温泉水などで湿潤した粘土質岩石。



第6図 松川地域における測点配置図

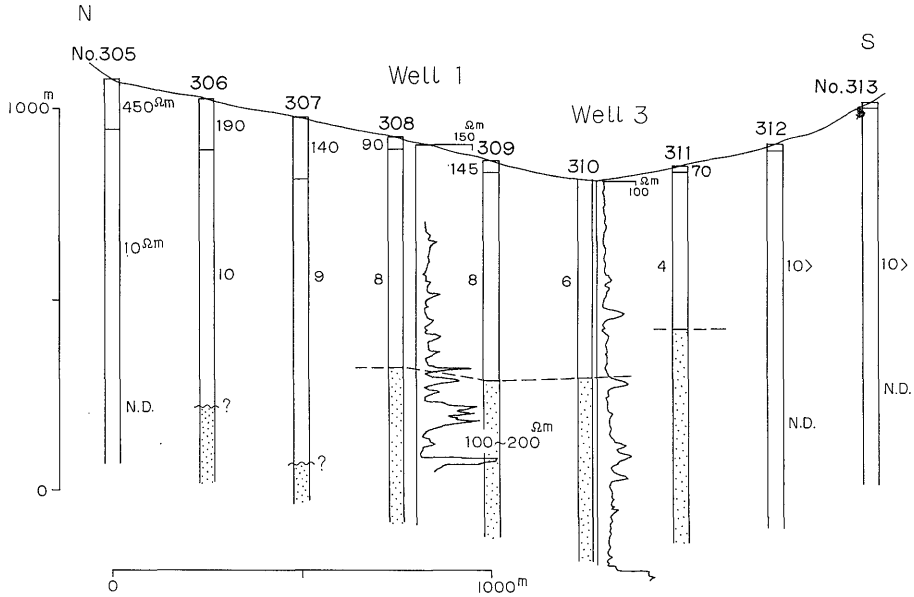


第7図 VES曲線の一例

以上の推定は、今回の調査結果を論ずるに当たって、そのまま踏しゅうできる。しかし、今回の調査では最下部にきわめて比抵抗の大きい層の存在が明らかになったので、これを[V]の比抵抗層とする。[V]に対応するものとしては弱変質の玉川熔結凝灰岩下部、山津田層、緑色凝灰岩類などが考えられる。

開発の初期においては、この地域では玉川熔結凝灰岩類の下位にくる山津田層が熱水の良好な貯留層をなしているという考え方がとられたが、掘削の結果、山津田層に相当すると考えられる地層はここでは孔隙率も乏しく地層中の割れ目なども発達していないようで、熱水の貯留層としての性質を充分に有してはいないと判断される。

得られたVES曲線は、最大の $AB/2$ が小さかったVES 305および313のQ型注3)を除いては、すべて3層のH型注3) Q型曲線とは $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ からなる3層構造からえられるVES曲線。



第8図 解析結果断面図

または4層のQH型^{注4)}の曲線とみなすことができる。しかもそれらの最下層の高比抵抗の存在を示す両対数グラフ上に表示されたVES曲線の右枝の上昇部は第7図の例のようにほぼ45°の勾配の直線に漸近し、これは最下部の比抵抗層が理論上絶縁性であることを示す。しかし、実際にはその比抵抗値が上位の数Ωm台比抵抗の数10倍であればこのような形状を示す。事実後に示す検層結果でも100~200Ωmの比抵抗を示している。

VES曲線の解析に当たっては、45°漸近線がひけるものについてはいわゆる縦電導度(S)を利用する方法⁶⁾をとった。

解析の主眼を先述の比抵抗層〔Ⅳ〕および〔Ⅴ〕の形状においた。事実、これらの形状がこの地域の熱水・蒸気の地下における賦存状態に関係をもっていると考えられるからである。したがって、第8図に示した断面では〔Ⅰ〕~〔Ⅲ〕については、そのうち卓越したものを代表的に一層として表示するにとどめた。VES 305, 312, 313については〔Ⅴ〕の深度がきめられなかったため図には表示していない。これらはVES 305および313においてはAB/2=1,000 m, VES 312においてはAB/2=1,250 mにおいてもまだVES曲線の右枝が上昇に転じていない。これらがさらに大きいAB/2において他と同様45°漸近線をもつような形状を呈すと考えて縦電導度Sを推測してみると少なくとも百数十Ω以下にはならない。〔Ⅳ〕の比抵抗

注4) QH型曲線とは $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3, \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ の4層構造からえられるVES曲線。

抗値が約10Ωmと推定されるNo. 305においては、〔Ⅴ〕の上面はかなり深くなると考えられる、一方、No. 312および313については、測定値にかなりのバラツキがあり〔Ⅳ〕の比抵抗値がきめ難かったため図のように表示したが、いずれにせよ数Ωmと推測できる。したがってNo. 311と同程度の水準あるいは同程度の深度に、〔Ⅴ〕の上面が連続することも考えられるが確定的でないため図には示さなかった。

VES 307, 306について、〔Ⅴ〕の上面の深度をユニークにそれぞれ図示のところで定めるには、若干測定データが不足(AB/2の展開が不充分)であるので、一応疑問のマークをつけたが、大きな違いは考えられない。

なお、第8図には第1および第3号井の電気検層結果^{注5)}(ノルマルa=1 m)を付記した。

〔Ⅴ〕の比抵抗層の上面の形状について図から推定できることは、No. 307~8およびNo. 310~11のおのおの間にかなりのくいちがいがあることである。

第1号井の掘削のとき、どの深度までを水止め管とし、どの深度より孔明管とするかが慎重に検討されたが、坑内地質の状況が約560m付近で深で比較的堅くしかも処々割れ目が発達していると考えられ、この位置にあった試験井(深度450m)において、いちおうの蒸気噴出はみたものの年間を通じて安定せずまもなく止まってしまった経緯があった。以上のことから、第1号井の

注5) 高木慎一郎・田中信一・馬場健三(物理探査部)による。

蒸気採取箇所としては少なくとも450m以深で、しかも比較的堅くかつ割れ目のある地層が賦存すると判定される。560m以深をねらい成功をみた訳である。

以後、第2～4号井と同様な考えでケーシング位置の決定が行なわれ現在に至っている。

今回の電気探査の結果をこのような熱水(蒸気)の地下におけるあり方と併せ考えると、低比抵抗層の下部にある〔V〕の高比抵抗層が安定した蒸気流のえられる通路を有するものと考えられ、〔V〕の層の存在が蒸気採取という観点からより本質的な意味をもつものと考えてよさそうである。現在ある生産井(試験井もそうだが)が設けられた範囲は、第8図の断面中では、No. 308～310の区間に限られている。このNo. 308～310の区間では、第8図に示したように、〔V〕の上面は3つのVESの結果いずれもほぼ一つの水平面にある。

この区間をはずれその北側、南側における〔V〕の上面の形状には不確定な要素が多く、高比抵抗層自体の連続性とその内部に熱水・蒸気の供給通路が期待できるかどうかについてはいまのところなんともいえない。

以上のように、えられた比抵抗層の構造が丸森火山の地質構造とどのような関係があるのか、またそこにどのような熱水系が考えられるかなど、いろいろの問題がここで提起される訳で、今後も機会をみてこの地域での調査を発展させて行きたいと考えている。

4.3 電気探査の結論

松川地域の今回の調査の結果えられた結論は次のとお

りである。

(1) 高比抵抗層〔V〕の上面の形状が第8図に示したように明らかになった。そして、その上面までの深度については、現在の生産地域の両端部においてかなりのくい違いが推定できる。

(2) 低比抵抗層〔IV〕の比抵抗値についてみると、生産地域の南側ではかなり低く、さらにまたその南側においてもこの低い傾向が続いていると推定できる。

(昭和41年6月稿)

文 献

- 1) 中村久由・他(1960): 岩手県滝の上地熱地帯の温泉地質学的研究, 地質調月, vol. 11, no. 2
- 2) 安藤 武・他(1957): 岩手県松川温泉地熱調査報告, 地質調月, vol. 8, no. 10
- 3) 中村久由・他(1961): 岩手県松川地熱地帯の温泉地質学的研究, 地質調月, vol. 12, no. 2
- 4) 小野吉彦・他(1961): 松川地域地熱電気探査, 地質調月, vol. 12, no. 9
- 5) 早川正己・他(1962): 松川地熱地帯における地震探査, 地質調月, vol. 13, no. 8
- 6) DAKHNOV, V. N. (1965): 石油・ガス鉱床の電気探査(その2), 地質調月, vol. 16, no. 11, (大野博教訳)