

伊豆大島における直流法による電気探査について

—深部物理探査研究 第7報—

小野 吉彦* 陶山 淳治* 高木 慎一郎*

On the Electrical Prospecting by the Direct Current Method
in Izu-Oshima Island

by

Yoshihiko Ono, Junji Suyama & Shin'ichirō Takagi

Abstract

The paper describes the possibilities in applying geoelectrical method to the investigation of sub-structure in Izu-Oshima island, especially, to the hydrological researches in this island.

In 1958~1959 the writers carried out vertical electrical soundings (by means of direct current method) using the Schlumberger's electrode configuration, in the northwestern plain of this island, Oshima park—Yuba district and caldera of Oshima volcano. These are the deepest electrical soundings which have been applied in Japan.

The hydrological problems which may be solved by geoelectrical measurements are as follows:

- 1) estimation of depth of seawater intrusion
- 2) detection of the possible water-bearing zone
- 3) contribution to the estimation of existence of hot water zone or to the delineation of this zone.
- 4) investigation of vertical or horizontal distribution of volcanic sediments.

Although the numbers of VES diagrams which had been obtained in this study is not necessarily sufficient and the studies concerning D.C. method have just started, it was recognized that the D.C. method would be useful for the purpose of deeper sounding.

要 旨

伊豆大島の構造探査，ことに水理学的問題に対する電気探査の適応性について述べたものである。この研究は電気探査の探査深度の増大を目標とした研究の一環として，大島で 1953~1954 の両年に前後 3 回にわたって直流法の実験を行なったものの一部である。この実験によってまた直流法の深部探査に対する使用可能性を実証することができた。

測定は同島北西部低地帯，大島公園一湯場地域および三原山外輪山カルデラ内の各地区で実施された。最大電流電極間隔は 3,000 m (AB/2=1,500 m) であった。

この結果，火山堆積物の堆積状況に関する知識を得たほか，次のような興味ある結果が得られた。

- 1) 海水の浸入の状況
- 2) 基底地下水の存在を暗示させる VES 曲線の歪み
- 3) 帯温水可能層の拡がり

1. 緒 言

伊豆大島が多くの火山学者・地質学者ならびに地球物理学者達の火山学的興味の対象として，こんにちまで彼らのおびたゞしい数の研究報告の源泉となっていたことは周知の事実である。

一方，このような研究所産を負うていながら，開発に

* 物理探査部

関する問題には研究の眼は余り注がれなかったといつてよいだろう。島民の飲料水の問題一つとってみても、こんにちなお、天水の依存率は大きく、上水道施設も普及されたといつても、水源の数ならびに規模の点に大きな制約を有しているのが現状である。

こうした事態の下では、同島の開発に関連した種々の地質的問題、特に水理地質学の問題の研究と解決は、同島にとつても、また類似の問題を内蔵している他の地域のためにもまず考慮してよいことがらの一つであろう。

上記の問題の研究の武器として電気探査が試用されたのは比較的新しいことである。戦後、農林省蔵田(現在地質調査所所員)らが地下水調査を目的として同島東南部フノー滝西方地域で比抵抗法による垂直探査を実施したのが大島における電気探査適用の最初ではなかったかと思われる。この調査結果は一部、同氏著“水理地質学”(1955)に引用されているが、こゝで特筆するほどのものではない。

その後、しばしば、電気探査が実施された。昭和31年10月には本所物理探査部の手によって、元町・湯場および三原山カルデラ内の各地区で垂直法を主体とする比抵抗探査が行なわれ(藤田興業 K.K. 受託)、また昭和33~34年には同和鉱業物探班が前後2回にわたり、大島北西部、三原山カルデラ内および東麓の各地区で調査を実施している。なお、これとほぼ同じ頃より大島開発 K.K. は地の岡・岡田・余背等で構造試錐を行なっている。

一方、上に述べた目的で地質調査も行なわれるようになり、最近では、比較的新しい火山堆積物の様子もわかってきている。

かくて、伊豆大島は単に火山学的対象であるに止まらず、地下水・温泉ないし地熱といったいわば、地下資源開発の面においてもはなはだ興味ある問題を提供しつつある。

そして、電気探査は、同島にとつて確かに有用であったといえようけれども、当面する問題の解決のためには充分であったとはいきれなかったように思われる。それは同島に限らず一般的に、こんにちまで使用されてきた比抵抗法の探査深度の不足に起因して、地下構造に関して得られる知識の乏しかったことによる。

比抵抗法の探査深度は普通に考えられているよりもっと浅く、たかだか数10mのもので条件の良いところでさえも100m前後にすぎないと思われる。探査深度からの制約は電気探査法の有するきわめてすぐれた特徴の一つである広い分野における適応性を制限し、なかんずく、構造探査法としての有効性を減じている。そのため、わが国においては、これまで深部探査の問題は全く

地震探査にゆだねられていて、電気探査法はむしろきわめて浅所の構造の問題に限定して考えられていた。したがって意図すると否とにかかわらず、電気探査が同島の応用地質学の問題の解決という要求に応じ切れなかったのはむしろ当然であった。

ところで、古くから電気探査を積極的に研究してきたフランスやソビエトの技術者達は比抵抗法を深部構造探査法の地位に高め、すでに実験的段階を経て実用的段階まで進めて相当の成果を上げている。

筆者らも以前より、比抵抗法の深部探査能力の増大について検討し、その可能性に関して見通しを得るまでになったので大島で現場実験を行なうこととした。特に、昭和34年度には“深部物理探査の研究”の一部として本所特別研究に指定されたので一層組織的研究を行なうに至った。

本報告は、いわゆる“直流法”の深部構造探査に対する利用の可能性の検討と、それに関する技術的問題の発見に主眼をおいて実験して得た結果である。しかしこれを大島の地下構造と電気探査という観点で整理を行なったものであるために、また、上記の方法が研究の途上にあるという点からも、不備であることを認めざるを得ない。この点に関しては今後の研究発表について補足する予定である。

実験期間、調査員および探査地域等は一括して第1表に表示しておく。

第1表

実験期間	調査員	探査地区	測点番号
昭33. 1.下 ~2.上	陶山・高木・小野	大島西北部低地帯	100
33.12.上 ~12.中	陶山・小野・高木・本間・田村	同上ならびに三原山外輪山、カルデラ内	101~106 301
34. 5.中 ~6.上	小野・本間・馬場・田中	大島公園一湯場地区、三原山東麓一帯	201~206 302~309

なお、実験に際し、種々協力を賜った大島開発 K.K., 東海汽船 K.K., 大島町当局に対し、紙上を借りて厚く感謝する次第である。

2. 直流法の概要と使用器械

比抵抗法の探査深度を事実上支配する要件は大別して3つある。すなわち、(1) 使用電流の強度および性質(波形および周波数等)、(2) 人工電場の利用の仕方(人工電場の作り方、その観測の仕方、あるいは電極の配列様式、間隔等)、(3) 構造的条件(大地内の導電率の分布)である。

比抵抗法を深部構造探査に利用しようとする試みは古くから各国の電気探査技術者によってなされてきた。わが国においても、幾多の研究者達はその線に沿った努力を払ってきた。地質調査所でもその例外ではなく、深部探査への道を歩んできた。

ところで、比抵抗法の発展の歴史からみれば、この方法は出発当初から2つの学派に分かれて、ほとんど別々に発展の道をたどってきたといえよう。その一つは Schlumberger 兄弟を始祖とするフランス学派であり、他の一つは Wenner, Gish-Rooney の流れをくむアメリカ学派である。前者は Schlumberger 法を採用し、直流をしばしば使用しているのに対し、後者は、

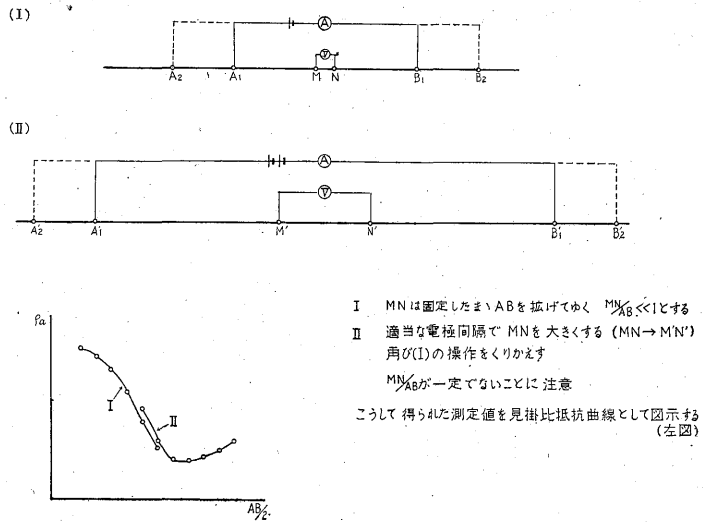
Wenner 法を用い、流電流として矩形波状の交替直流を普通用いている。わが国では比抵抗法の研究は各国に較べて遜色のないほど幾多の研究成果が発表されているが、従来アメリカ学派の影響をより多く受けていたものと考えられる。

戦後、フランス・ソビエトおよびドイツ等の各国ではいろいろな深部構造探査に電気探査を適用して成功を取めたいくつもの事例を発表している。彼らは直流を用いて、Schlumberger 法もしくはソビエトで発展した Dipole 法によって数 km ~ 数 10 km という深部構造を探査し得る可能性を示した。しかし、具体的な事情がわかってきたのは比較的最近のことである。

一方、Wenner 法によって、それほど深い構造を探査した例をきかない。普通、教科書の解くところによれば 100~300 m までであるという。事実、われわれの経験によれば 300 m の深さはきわめて好条件の下で得られるものであって、探査深度はせいぜい数 10~100 m であるように思われる。

われわれのこれまでの経験と研究から推して、浅部の問題を扱う限り、直流法でも交流法でも大差はないように思われる。むしろ、計測面の多様性からすれば後の方が優っているとさえいえる。しかし、深部の問題に対しては後者では幾多の技術的難点のため成功を取め得ないのではないかと考えるに至り、直流法の組織的研究を進めることとし、当面の問題として、直流法による垂直探査技術の検討を行なっている。

ところで、深部探査における直流の使用の主張は大地深部への電流透入度の周波数に対する依存性(表皮効果)に基づいている。この問題は、わが国では全く無視



第1図 Schlumberger 型電極配置の概念図

されていたのか、比抵抗法を扱った教科書・研究報告であまり見当たらないようである。その最も大きな理由はこの効果が問題になるほど深部の問題を扱っていなかったことによる(例えば、清野武“電気探査”(1947)にはこの効果が紹介されているが、比抵抗法の問題としてではない)。むしろ、一般には直流の使用は分極作用の影響という点から好ましくないと考えられていた。しかし、問題は分極作用の深部からの情報に対する擾乱の程度であって、作用そのものではない点に留意すべきであろう。

とはいうものの、ノイズの実態はおろか、その程度についての知識さえも貧しいのが現状である。このような問題については、今後検討してゆくとし、さしあたって、比較的ノイズの少ないと思われる地域を選んで直流法の使用に関する可能性を中心とした実験を行なうことになった。伊豆大島が実験地に選ばれた最も大きな理由はこの点にある。

次に本実験で採用された電極配置の概要を説明しよう。

電極配置は Schlumberger 方式に準拠した。もともとこの配置は一对の電流電極間の中心部における電位勾配を観測しようとするものであって、一様な電場を利用しようとする思想に基づいている。この思想はわが国でも淵田の新しい2極法の提唱にあらわれている(1952)。

Schlumberger 法の見掛比抵抗の算式を次に掲げよう。

$$\rho_a = -\frac{\pi R^2}{I} \frac{dV}{dR} \quad (\text{理論式}) \quad (1)$$

こゝに、 R は電流電極間隔の半分、すなわち $AB/2$ である。実際の測定では電位電極間隔を $2l$ 、測定電位

差を ΔV として

$$\rho_a = \left. \begin{aligned} & \frac{\pi R^2}{I} \left(1 - \frac{l^2}{R^2}\right) \frac{\Delta V}{2l} \\ & = \frac{\pi(R-l)(R+l)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \end{aligned} \right\} \text{(實際式)} \quad (2)$$

が使用される。

水平層状構造の場合には

$$l/R \leq 1/5 \quad (3)$$

ならば、上の (1) と (2) とは近似的に等しくなるので、Wenner 法の場合のように電極の相対的配置はそのまゝにして電極間隔をひろげる必要はなく、その代り (3) の条件の下で、電位電極を固定しておいて電流電極間隔を大きくさせて垂直直査を行なうことができる。この点は作業上のみならず、測定上においても、Wenner 法に比較してはるかに有利であるといひ得る。また、直流の使用に伴って観測されるノイズを小さくするためにも、電位電極の間隔の小さいことは有利となる。たゞ、実際の作業においては、電流電極間隔の増大が電位差 ΔV の値を微小にして測定を困難にすることもあるので、(3) の条件の下で、 l を時々大きくする必要がある。すなわち、電位電極は半固定の状態とする。 l をかえる場合には同じ $AB/2$ について2種類の l に対する見掛比抵抗値を測定し、それによって、測定精度を吟味したり、電位電極付近の局部異常を検出したりするのも利用し得る。また、測定曲線を理想的 Schlumberger 曲線 ($l \rightarrow 0$) に修正することも可能である。

Schlumberger 法のもつ第2の長所は水平層状構造の示徴と地表付近の局部異常の擾乱効果との識別が容易に行なわれることである。一般に水平層直査においては単に対象となる地層の検出能を高くするのみならず、ノイズ構造の影響をあまり受けないような電極配置がのぞましい。このような観点から研究されたものとして、例えば平均3極法がある (佐藤, 1949)。

これに現われた思想は擾乱効果を平均化することによって打消そうとするものであって、一般に VES 曲線は平滑曲線になる。しかしこの場合、擾乱効果が消去されて、層状構造の影響のみを観測し得るならばなほは都合であるけれども、一般にはノイズ構造の規模と深さに応じた見掛比抵抗の擾乱的变化が消去し切れないまま、層状構造によって生じた緩慢な見掛比抵抗変化に付加されて、平滑な曲線として観測されるために、平滑化された局部異常による擾乱的变化を層状構造の影響であると誤認する恐れが多分にある。

Schlumberger 法では、局部異常を鋭敏に曲線に反映し、層状構造による緩慢な平滑見掛比抵抗変化に付加し

て観測曲線の平滑化を失わしめる。この場合、電位電極の位置および間隔の固定性と選択性によって、局部異常による擾乱効果を層状構造の影響から分離することが可能である。すなわち、わが国で普通に用いられている電極配置のいずれもが、相対配置を一定しているのに Schlumberger 法はすでに述べた不等式の条件で満足されるものである点が長所になっているといえよう。

上に述べたことから、Schlumberger 法を採用すれば、探査地点付近が層状構造を満足しているか否かについての吟味を行なうことも可能となる。

第三のしかもきわめて重要な特徴は Wenner 法に比して検出能が高く、また同一電流電極間隔で下部層の影響を示し易いことである。このことは、比抵抗法が一般に浅部の影響を受け易く、深部に存在する物質の影響を示し難いという欠点を若干でも救っている。

一方、上記の長所を充分發揮させるための必要条件は流電電流を大きくすることと、測定器の感度を高めることであるが、従来の測定様式 (Gish-Rooney 型) の場合よりも比較的容易に遂行できる。

測定曲線は Wenner 法の場合と同様に、両対数方眼紙上に図示される。ただし、この場合には横軸には $AB/2$ が使われる。曲線の解析は標準曲線法によって行なわれる。

以上の一般的説明にもかかわらず、われわれが採用したのは (3) より甘い条件

$$l/R \leq 1/3 \quad (4)$$

であった。この条件は一つの極限が Wenner 法の場合に相当するものである。現段階ではまだ種々の欠陥を有しているため、いわば甘い条件の下で測定を行なったけれども、このことによって、Schlumberger 法の本質までも失なうには至っていないと信じている。

$AB/2$ は対数方眼紙上でほぼ等間隔になるように選ばれ、相隣る電流電極間隔の比は $\sqrt{2}$ に近くなるようにされた。 $AB/2$ は 3m から始めて、最高 1000~1500m に達している。また電位電極の固定の程度は1つの $MN/2$ に対して多くの場合 5 個の $AB/2$ が選ばれた (これは $MN/2=1m$ の場合は例外である)。この実験で実際に採用された $AB/2$ と $MN/2$ との値は第2表に表示してある。たゞ、作業上の都合から多少この値と異なることもあった。

使用した探鉱器は手製のものである。直流法の探鉱器については例えば Dakhnov (1953) や Lasfargues (1957) 等の教科書に紹介されているが、われわれの使用したのもこれらと同じ設計原理に基づくものである。一般に直流型探鉱器は直流電位差計本体に自然電位補償器と誘

第2表 AB/2(R) と MN/2(I) の値

AB/2 (m)	MN/2 (m)	
3	1	
4.5		
6		
9		
12		
15	5	
25		
40		
65		
100		
150	20	
225		
325		
500		
750		
1000	75	
1250		
1500		
		250

導補償器とを付したものである。誘導補償器は電流電極間隔の充分大きいところで必要となるが、今回の実験に使用した器械には備えつけられてはいない。電位差計の測定範囲は0.05~550mVであって、4種類の動作電流(0.05, 0.2, 1 および 5mA)によって range の切りかえが行なわれる。補償抵抗は2個のノッチ型抵抗(0~100Ω, 0~10Ω)からなり摺動線は使われていない。上記のような動作電流と補償抵抗の選定によって1~550mVの間で読み取り誤差を1/20以下に収めることが可能である。また、動作電流の若干の変動も、電流値を電位差計を使用して、同じ range で測定を行なえば、 $\Delta V/I$ また I の値が真値から異なっても、 $\Delta V/I$ したがって見掛比抵抗には影響を与えない。自然電位補償器はノイズである自然電位分を打消して人工電位分だけ取り出して測定し得るように、あらかじめ大地内に逆起電力を与えてやる働きをする。ノイズ電位が直流でない場合例えば、非常に大きい地電流変化を示す地域、あるいは電車電流のような迷走電流が卓越している地域での測定はこうした測定方式からでは困難である^{註1)}。

流電用の電線は鋼線入り、ポリエチレンおよびナイロンの二重被覆の外径約6mmの特殊電線である。こうして必要な絶縁性と抗張力を保持している。この電線は500m単位にドラムに巻きとられ、電線の接続はコネクタによって行なわれている。測定用電線は普通の電気探査で使用されているビニール線が利用された。

電流電極は打込み式ステンレス電極で、必要に応じてその使用本数は増減された。一般的には電極間隔の小さいところで1~2本、大きいところでは15本まで(1

電極につき)使用された。その直径は2cm、長さは1mである。このような電極によって接地抵抗を減少させ、できるだけ大きな電流を流そうと試みた。

電位電極については、作業上からいえば金属製電極の方が望ましいとおもわれるが、安定性に問題があるので、これを使用せず、いわゆる非分極性電極によった。素焼筒状電極の他にズック製電極(いずれも銅硫酸銅電極)が用いられた。これらは数個を並列接続して埋没された。

電源には乾電池(B1)が使用され、直列もしくは並列接続して最高450Vまで上げて、最大1Aの電流が大地に流入された。なお最低観測電位差は0.5mV程度であった。

3. 北西部地帯における垂直探査

元町・岡田および乳ヶ崎を頂点とする三角形の地域は大島で最も広い平坦部を形成している。この地域に7測点を選定して垂直探査を行なった(第2図参照)。電極配置の方向は作業上等の制約もあって必ずしも一定していないが、測点106を除きいずれも北から東の方に偏れている。各測点における最大電極間隔は $AB/2=1500m$ (100, 103 および 104) または 1000m (その他の測点) である。

測定結果はVES曲線^{註2)}として表現され、第3図・第4図a~eおよび第5図に収録されている。

各VES曲線がいくつかの分枝からなっているのはMNの大きさを時々変える(第2表参照)ためであって、理想的成層構造の場合には各分枝は互いに漸近するはずである。102および104にみられる著しい差異をMN/ABの差異に責任を負わせることはできない。電位電極近傍の不均質な比抵抗分布、あるいはもっと一般的に水平方向の表層比抵抗の非一様性によって生じたものと考えられる。かかる妨害物の影響を除去して曲線を理想的曲線に補正することは一般的には不可能だとしても、比較的単純な形であらわれているので、第6図のように修正しても大きな誤りはおかしていないであろう。これらの曲線は106を除けばいずれも類似な特性を有している。これらを特性曲線Iと呼び、106曲線を特性曲線IIと名付けて別々に考察しよう。曲線Iは概略凸型3層構造特性を有しているもので、曲線IIは下降階段型曲線である。このような類似と相違とは地下構造の類似と相違との産物であると解釈される。

Iのグループに属する各曲線の最小電極間隔(AB/2

註1) この難点も電磁オッシロの使用によって克服されている(前記教科書参照)。

註2) VESはVertical Electrical Soundingの略、VES曲線はWenner法では ρ -a曲線と呼ばれている。



第2図 伊豆大島における電気探査測点配置図

=3 m) における見掛比抵抗値 ρ_{ai} , 最高値 ρ_{am} および最大電極間隔 ($AB/2=1,500$ または $1,000$ m) における見掛比抵抗値 ρ_{at} と解析して得られた各層の真比抵抗値を第3表に示す。

凸型3層曲線では常に $\rho_1 \leq \rho_{ai}$, $\rho_2 \geq \rho_{am}$ および $\rho_3 \leq \rho_{at}$ であり, 第1層が厚ければ厚いほど ρ_{ai} は ρ_1 に近づき, 同様に第2層が厚ければ ρ_{am} は ρ_2 に近づく。また $AB/2$ を大きくとれば ρ_{at} は ρ_3 の値に接近する。あるいは, 他のパラメータが一定で第2層の厚さのみ変動するとき, その厚さが大きいほど, ρ_{am} は大きくなる。さて, 次表の解析値の中, ρ_1 と ρ_2 とは2層標準曲線法から, ρ_3 は右の分枝の漸近性から求められたも

のであるが, 各層の真比抵抗値に変動があるので, 上記の定性的解釈から第2層の厚さの変動の様態を推定することは難しい。しかし, この曲線の得られた範囲全域にわたって, 相当高い比抵抗層 ($1000\Omega\text{m}$ 台) の下部にきわめて厚い低比抵抗層 ($1\Omega\text{m}$ の桁) が存在していることを結論づけることは容易である。

次に, これらの比抵抗値の要因について考察することにして。

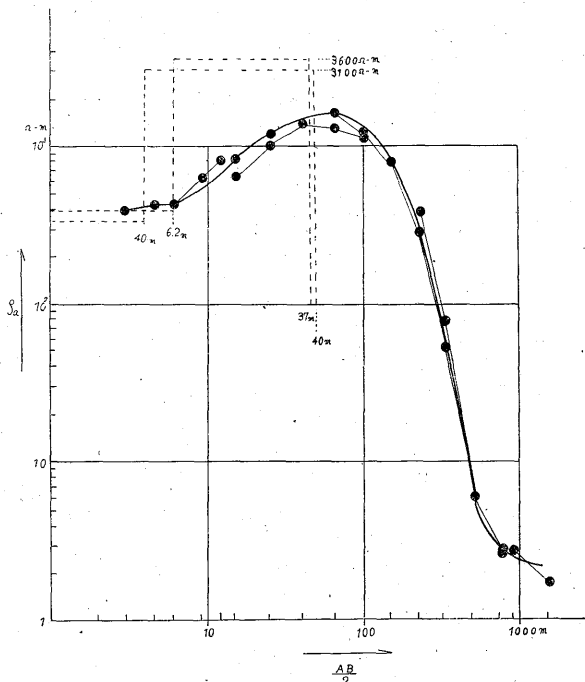
表層比抵抗 ρ_1 の値は 102 を除けば $500\Omega\text{m}$ 以下で, 平均 $300\Omega\text{m}$ である。この値は同地域一帯を覆っている厚さ数 m の新期大島層群の火山灰によるものとみて差支えない。102 の $1000\Omega\text{m}$ という値は高すぎると考

第3表 特性曲線Iの比抵抗特性

曲線 番号	ρ_{ai}	ρ_{am}	ρ_{at}	ρ_1	ρ_2	ρ_3
100	400	1400	1.6	400(340)	3600(3100)	2
101	230	1800	3.5	90(150)	3600(3000)	52
102	1700	2700	15	1000	3000	〃
103	370(310)*	2300	12	300	5700	〃
104	400	2100	11	240	2100	〃
105	480	1600	4	470	3300	4

註) () * は 4.5m のときの値である。

(単位 Ωm)



第3図 大島飛行場内 100 測点における VES 曲線

えられるが、多分、測線が道路沿いに選ばれているため火山灰がはぎとられてしまったためではないかと推測される。

ρ_2 値は 103 の他は 2,000~4,000 Ωm で、外輪山熔岩ならびにスコリアによってもたらされたものと判断される。この層の比抵抗値の変動は主として、熔岩とスコリアの厚さの比もしくは熔岩内の間隙の程度によると考えられるが、いずれにせよこの比抵抗層の認められる深度範囲に有望な帯水層を求めることは不可能であろう。

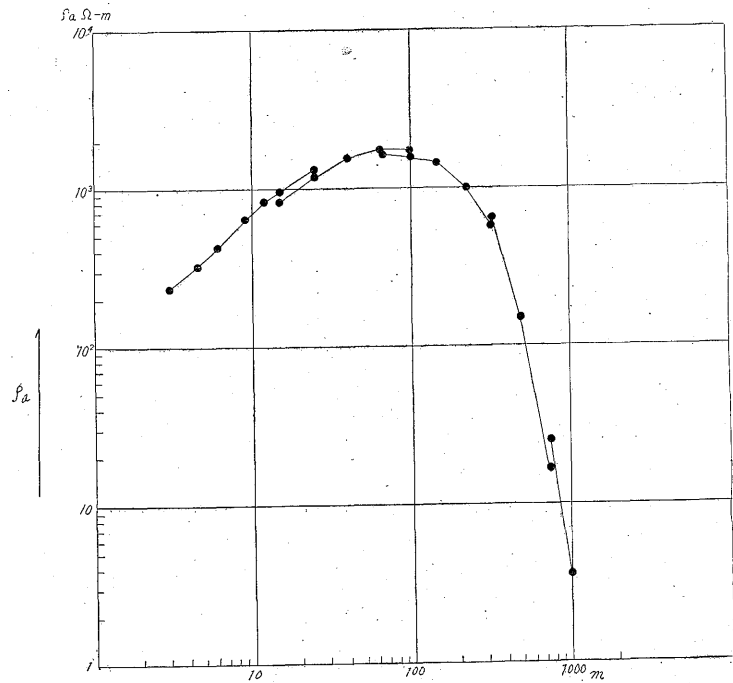
第3層の著しく低い比抵抗の原因については種々の可能性が想像されるが、最も見込みのあるのは海水の影響である。

海水の比抵抗は 0.2~0.3 Ωm で、一方地表で観測された低比抵抗値はたかだか数 Ωm であるが、なお、海水より1桁高い値である。この層は第2層と同様、熔岩

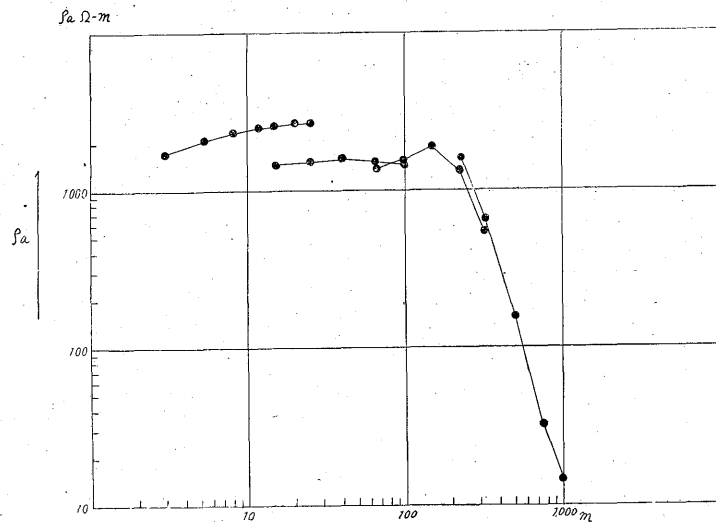
とスコリアの互層を主体とするものと考えられることができるならば、巨視的にはこの比抵抗層は巨視異方性ないし擬似異方性を有する比抵抗層であるとみなし得る。しかし、簡単のため等方性であると仮定しよう。そうすれば、地層係数の概念を利用して巨視的有效孔隙率を推測することができる。比抵抗 ρ_w なる海水で飽和した地層 (比抵抗 ρ_s) の地層係数 F は著名な Archie の経験式 $F = \rho_s / \rho_w = 1 / \phi^m$ から求められる。もし、われわれの場合、海水の影響だと仮定すれば F の値は 5~15 となる。かりに $F=10$ として $m=1.3$ で ϕ (孔隙率) は 17% 2.2 で 36% となる。つまり、この層の孔隙率は 17% から 36% の範囲にあるとみてよい。この値は大島で見られる熔岩もしくはスコリアの性状から判断してそれほど無意味な値であるまい。以上が低比抵抗の要因が海水にあると考える一つの根拠である。そして、 F の値の変動 (すなわち、 ρ_3 の変動) はこの比抵抗層内の熔岩とスコリアの厚さの比の変化の示徴であるか、熔岩の有孔性の表示となる可能性もっている。

低比抵抗を海水の責に帰す他の論拠は第3層までの深さに求められる。第6図を概観して $AB/2$ の小さいところで曲線が下降しはじめるものは海岸に近い低地で得られ、海岸から離れた標高の大きい測点の VES 曲線は $AB/2$ の大きいところで下降がはじまることがわかる。他の条件が等しければ曲線の下降のはじまる電極間隔は低比抵抗層の深さに関係するので、上の観測結果は低比抵抗層までの深さが海岸からの距離または標高と何らかの関連性を有していることを暗示している。そこで、第2層までの深さを h_1 、第3層までの深さを h_2 として解釈した結果を概略の標高値とともに表示してみよう (第4表)。

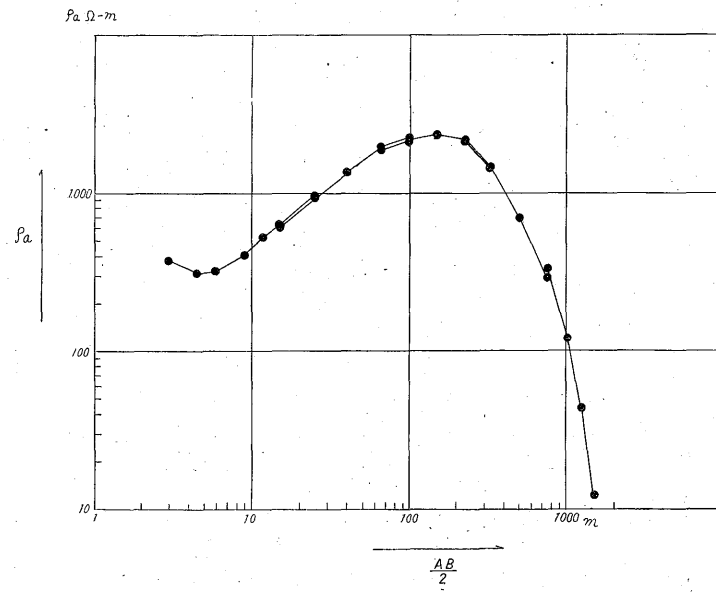
すなわち海岸に近いところでは h_2 は海水面までの深さにほぼ等しく、山側にゆくにしたがって海水面より深くなる。この傾向は孤島における海水浸入に関する静水



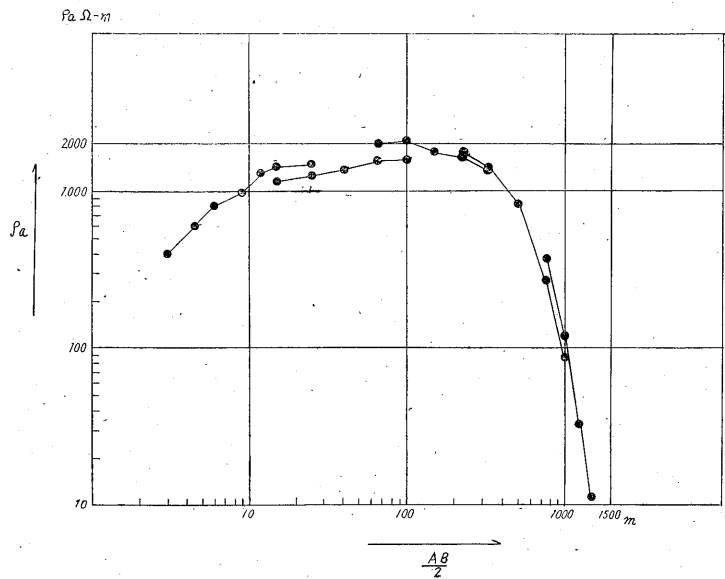
第4図の (a)



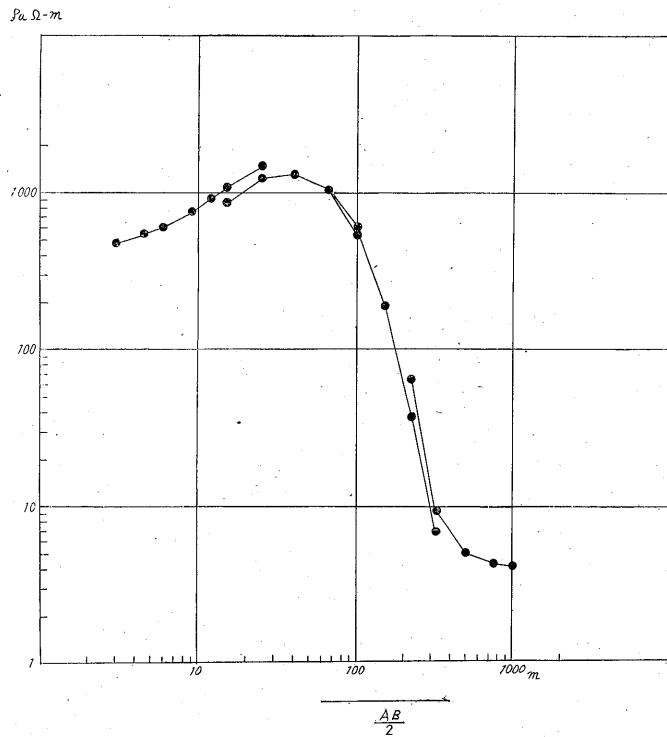
第4図の (b)



第4図の (c)



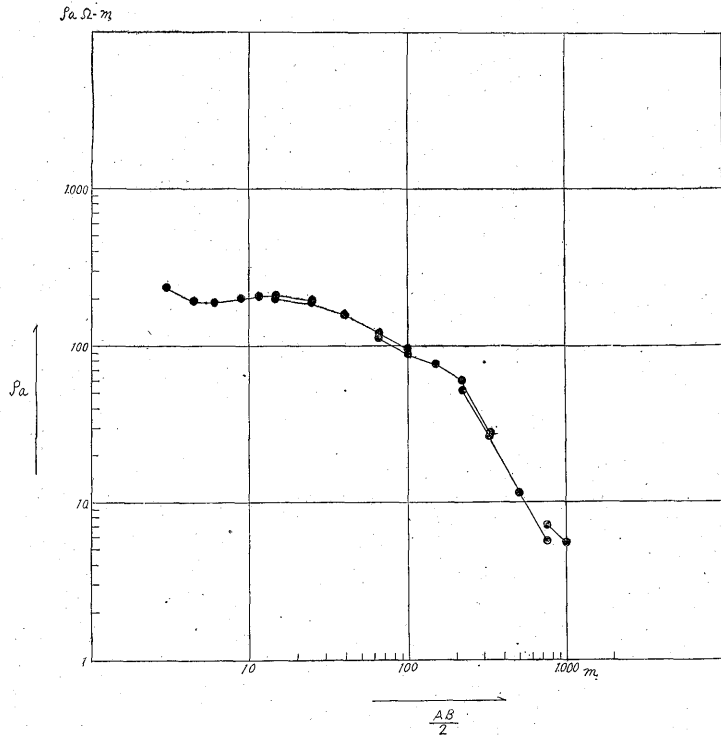
第4図の(d)



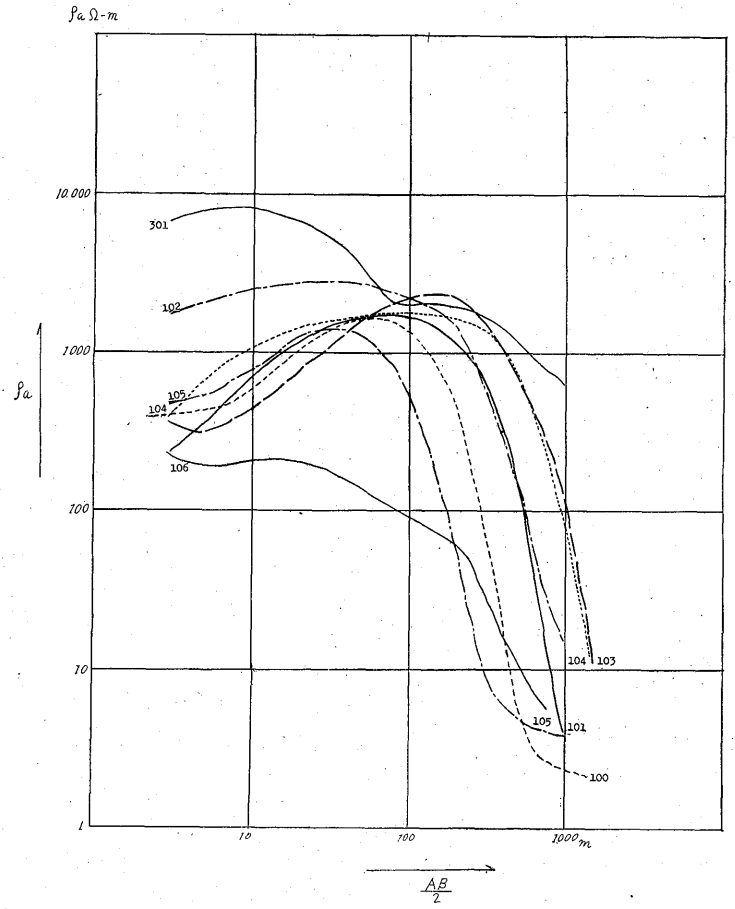
第4図の(e)

第4図 大島西北部低地帯で測定されたVES曲線

- | | |
|------------|------------|
| (a) 101 測点 | (d) 104 測点 |
| (b) 102 測点 | (e) 105 測点 |
| (c) 103 測点 | |



第5図 106測点におけるVES曲線



第6図 西伊豆大島におけるVES曲線の特性
(砂漠で得られたVES曲線が併示されている)

第4表 特性曲線Iの解析結果

測点番号	標高 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)
100	40	6	35~40
101	80	1~2	100
102	75	1	110
103	150	6	130~150
104	140	1	240
105	15	5	15~20

理学的考察結果と定性的には一致する。

第4表で注目すべきは曲線103より得られた h_2 の値が標高値よりむしろ小さいこと、またこれと同標高の104でははるかに大きい h_2 の値を得ている点である。このことは次のようにして説明され得るであろう。例えば103や105曲線にみられるように、測定曲線は3層曲線としては若干歪んでいる。したがって、測定曲線を凸型3層曲線とみるより凸型と下降階段型の混合した4層曲線($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$)とみなす方が妥当であろう。この場合、中間 ρ_3 層は相対厚度が小さいため、その示徴が不明瞭となっていると考えられる。解釈に際してその層の存在を無視した場合、絶対厚度も小さければ何ら問題にするには当たらないが、相対厚度が小さいにもかかわらず絶対厚度の大きいような場合には解析結果に種々の疑問点を残すことがある。残念ながら4層曲線の一般解釈法はまだ必ずしも満足な状態にあるとはいえない。こうした解析法の不備が103や104にみられるような若干疑問視される h_2 を生んだとも考えられる。

さて、もし中間 ρ_3 層が事実存在するならばこの層は淡水含有層ないし淡塩水混合帯に相当する可能性を有している。もちろん、われわれのデータからでは厚さや比抵抗は判然とはしない。しかしながら、もしこの層が下部の低比抵抗層に較べて巨視的な地層係数にはなほだしい差異を有していないならば、巨視的有効孔隙率においても、下部層と同様な値が期待される。上部の高比抵抗層の中に帯水層を期待できないにもかかわらず、下部層と同様な有孔性に富むならば、地下に浸透した水は浸入海水の上におちこみ、淡水層を形成するに至るであろう。これが中間 ρ_3 層の形成に寄与するものとみられる。

結局、各比抵抗層間の境界面は岩質の相違に起因するものではなく、したがって、曲線から求められた3桁に及ぶ比抵抗値の変動は巨視的地層係数の差異によるものではなく、むしろ、含有水分の量もしくは質の差異によるものと考えられるのもっともらしい推論であろう。すなわち、高比抵抗の第2層は透水性を有するが、適当な不透水面を有しないために水を保有するに至らない部分であ

り、中間 ρ_3 層は海水飽和の低比抵抗部に支えられた淡水ないし淡塩水混合帯となっているものと考えられる。

そして、歪みの著しい103と歪みの不明瞭な104の差異は各測点付近の地下構造における岩質の変動もしくは構成物質の分布に関係があると想像される。たとえば103の第2層の $5,700\Omega\text{m}$ という値に比して104では $2,100\Omega\text{m}$ という低い値になっているのは、前者は後者より緻密な岩質となっているか、前者では上部に熔岩が集まり下部にスコリアまたは多孔質熔岩が集中しているのに対し、後者ではこのような集中性がみられないために生じた現象ではないかと考えられる。

以上の調査結果は地ノ岡に掘られた井戸(標高64m)の仕上げを行なうに当って非常に参考になった。この井戸の柱状図によれば、海水面より数m上の約60mの深さまで、地表から厚さ4mの火山灰を除いて熔岩とスコリアの互層が続き、最も厚い熔岩は深さ39~59mのものである。この下部に相当厚いスコリア(または脆弱な熔岩)が79mまで続いて再び熔岩になる。そしてほぼ海水面に一致する深度から急激に塩分は増大し、その上に淡水性の湧水がみられている。この井戸の供水能力からみて現在大島で求められている水源の中で最も有用するものの一つとなるであろう。

この地域で地下水を求めるには海水上面の淡水(基底地下水)を利用するよりほかはないと考えられる。しかし、そのためには帯水層たる役割のスコリアが都合よく存在するか否かが問題になるわけであるが、地表の電気探査によってこのような個々の層まで識別することは困難で、定性的に解釈することができるだけである。

次に、測点106で観測されたVES曲線(特性曲線II)について考察しよう。すでに説明したようにこの曲線は下降階段曲線である(第5図参照)。解析結果を第5表に示す。

第5表 特性曲線IIの解析結果

測点番号	標高 (m)	ρ_1 (Ωm)	h_1 (m)	ρ_2 (Ωm)	h_2 (m)	ρ_3 (Ωm)
106	90	200	21	80	150	4.6

上の表から明らかのように、第1層の比抵抗値が特性曲線Iで得られた表層のそれと同じ桁の値であり、次層の $80\Omega\text{m}$ という値は前の場合の対応層の比抵抗値に比較してはるかに低い。また、最下層の $4.6\Omega\text{m}$ という値は前に示した低比抵抗値とほぼ等しく、この場合も前と同様、海水の影響とみなし得る。

第1層の主体が火山灰質堆積物であることは表層の観測から明らかであるが、第2層の比抵抗値から推測し

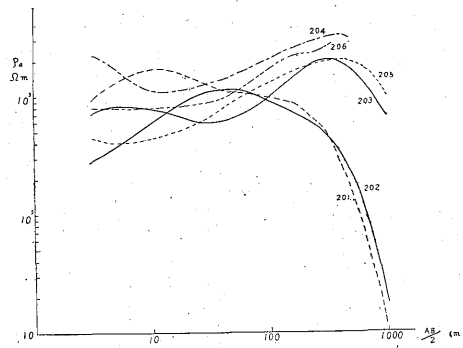
て、その主体をなすものが熔岩類ではなく、火山灰質のものである。しからば、同じく火山灰質のものと想像される両者の比抵抗値の差異はどのような原因に基づいて生じたものであろうか。火山灰質の堆積物は一般に新しいものほど比抵抗が高い傾向がある。新しいものほどゆるく充填しており、堆積が続くにつれ充填度が大きくなり、したがって孔隙率も小さくなる傾向がある。この傾向はむしろ比抵抗を大きくするものである。ところで、多くの場合地表に近い深さでは地下水で飽和するに至らず、むしろ単に各粒子に水が付着するに止まる。その場合、空隙は絶縁体であり、各粒子は湿分と結びついて一つの導電性粒子として作用する。そのため、充填度の大きいものほど導電率は大きくなると考えられる。しかも、一般に地表近くより深い方が含水率も大となり、各種のイオンを付着水の中を含み易いから、一層比抵抗を小さくする方向を辿るに至る。

測点から数 100 m へだてたほぼ同標高 (83 m) の試錐柱状図 (岡田 1 号井) によれば、火山灰からなる厚さ数 m の新期大島層群の下に、火山灰質の古期大島層群が深さ約 90 m まで続き、次いで 2~3 m のスコリア層が不透水層を形成している風化土の上ののっている。以下岡田玄武岩類となるが、中に著しい崩解部を含んでいる。この試錐孔は測点より東側にあり、岡田玄武岩は西おちの傾向をもっているから、第一近似として、この測点の近傍では低比抵抗層の上限と岡田玄武岩類の上面とが一致するとみなして差支えないであろう。

おな、岡田玄武岩上面の湧水層は海水面より 10 m ほど深い、大島小湧園の水源はこの層に相当する海岸近くの部分を利用したものである。

4. 大島公園一湯場区域垂直探査

前節に示したように、北部低地帯では、著しく発達した低比抵抗の電気的基盤が存在することが判明した。そして、同節でこの低比抵抗層の存在がこの地域における水理地質学の問題を解くうえにすこぶる重要な役割を演ずるのであろうと説明した。しからば、もっと山の手へ進めば、いかなる型の VES 曲線が得られるであろうか。換言すればいかなる電気的地下構造が求められるであろうか。また、その結果からどんな有用な地質構造に関する知識がひき出されるであろうか。こうした質問に答えるにはまず測線の選定の仕方がはなはだ重要な問題となるわけであるが、検討すべき資料もないままに、調査日数と作業上の制約とから、大島公園から湯場方面に向かう測線を選んだ。こうした事情で、調査もいきおい概査的となり、得られた結果もはなはだ不十分なそしりはまぬかれないけれども、それでも、なお若干の有用な結果が



第 7 図 大島公園一湯場測線 VES 曲線特性

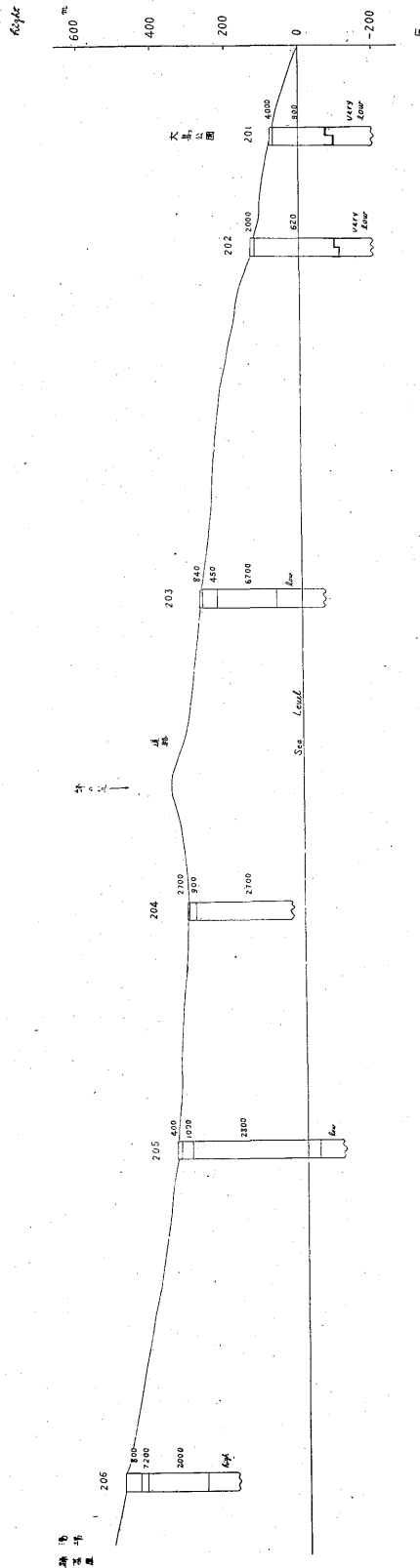
得られたと信じている。なお、この測線上で最も海岸寄りの大島公園付近では北部と同様に、多分低比抵抗部の存在を暗示する VES 曲線が得られるであろうという予想の下に探査を実施したものである。同測線には 6 個の測点が並び、各測点で得られた VES 曲線は一括して第 7 図に示されている。

同図から明らかなように、採用された電極間隔は前の場合に準じており、 $AB/2=3\sim 1,000$ m であるが、一部の VES 曲線は $AB/2$ が 500 m またはそれ以内で終わっている。電極配列方向は全く一定していない。これはすべて作業上の制約による。

探査曲線は 2 種類の曲線型に分類され得るであろう。一つは 201 および 202 として示されるような凸型ならびに下降階段型の混合型であり、他の一つは 205 で代表される凸型曲線 (曲線のはじめの部分は若干乱れが見られる) である。

まず、前者の VES 曲線について考察しよう。それらは $AB/2$ がそれぞれ 15 m, 40 m のとき極大見掛比抵抗値 ($1,000\Omega m$ 以上) を示し、それから先は、曲線は下降を迎える。ことに 150 m より大きい電極間隔で、曲線は急激な降下を続け (両対数方眼紙上)、 $AB/2=1,000$ m では ρ_a 値は $20\Omega m$ 以下にまで減少を示して、さらに減少傾向を有するものである。曲線の下降の仕方から判断すれば、 $10\Omega m$ 以下の低比抵抗底層が存在することは想像に難くない。こうして、予想は適中したわけであるが、前節で述べた低比抵抗の原因に関する考察がこの場合にも適用され得るものならば、この低比抵抗は塩水浸入によってもたらされたものである。たゞ、その上部層に相当する鈍化した曲線部分の発生をどのような要因の責任に帰せしむるかは意見の分れるところであろう。

低比抵抗層の存在は岩質の相違を指示するというよりむしろ状態の差異に基づくものと解釈されるべきであったが、この層がいわば中間的状态 (含有水の量および質



第8図 大島公園湯場測線(比抵抗断面図)

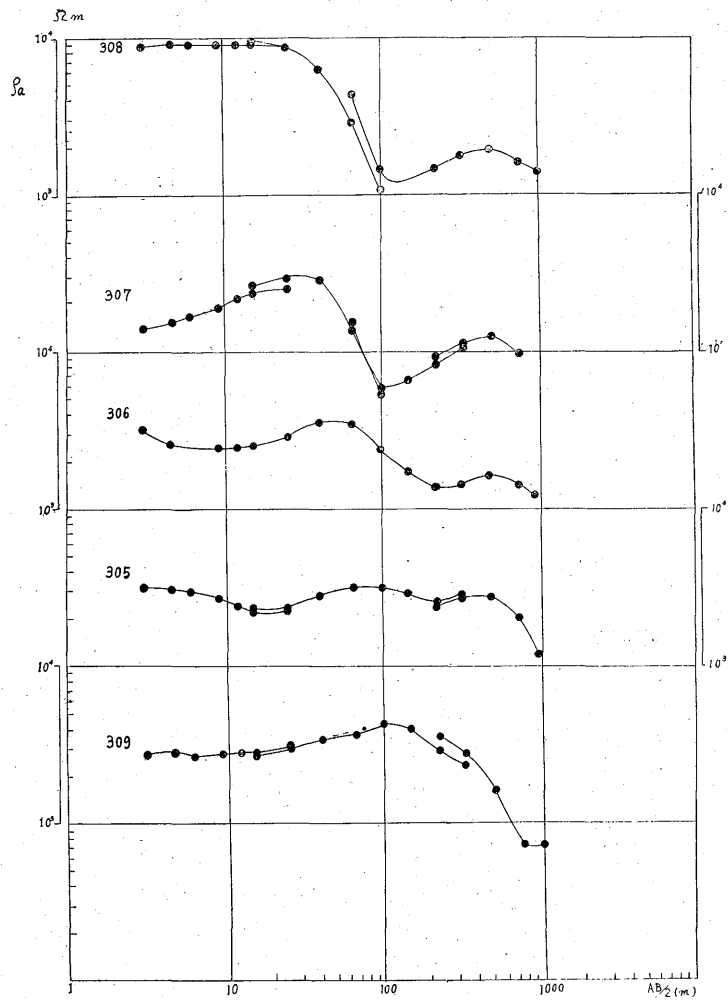
という点で)を示すものなのか、あるいは、岩質的要因によるものなのかを推論する資料に乏しい。

解析結果(第8図)はこの比抵抗層の比抵抗値として、 $900\Omega\text{m}$ あるいは $600\Omega\text{m}$ なる値を得ているが、この値から判断して、凝灰岩質のものを主体(相対厚度の意味で)とする可能性は少ない。一方、底層との境界面は海岸に近接しているにもかかわらず、相当深いところ(海面下約 100m)にみられる。このように深くって塩水の影響があらわれることは塩水の浸入をさえぎる不透水性の地層が海水面下に存在していることを暗示するものである。不透水性物質として考えられるものは緻密質熔岩か凝灰岩質地層である。前者は高比抵抗、後者は比較的低い比抵抗であるのが普通である。後者の例はすでに106でみられた。現在の場合、前者に相当するものであれば、この明瞭な比抵抗の不連続面は岩質の差異に基づくと考えられるが、後者の場合に属するならば、薄いけれども相当不透水性のものが塩水をさえぎっているのではないかと想像される(例えば、風化土壌のような)。この場合には、その上に透水性堆積物があれば帯水層としての条件は充される。もちろん、両者の結合した様式も考えられる。いずれにせよ、帯水の可能性を求めるならばこの比抵抗層内である。

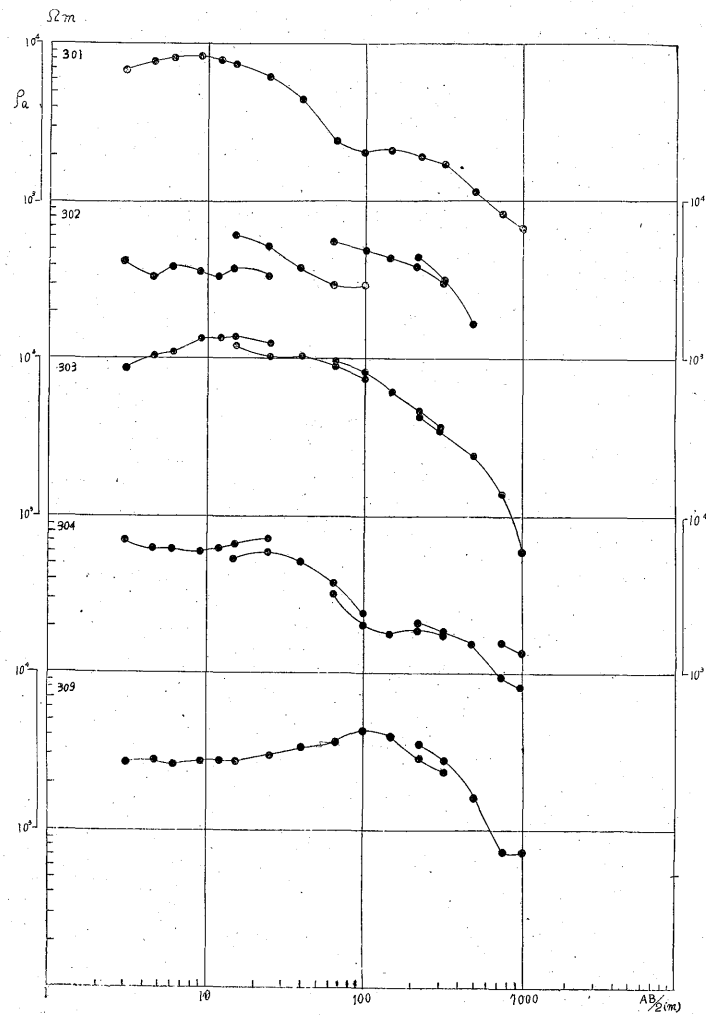
次にこの比抵抗層の上部に $2,000\Omega\text{m}$ 以上の高比抵抗層が認められる。この比抵抗層は熔岩に相当すると判定される。たゞ、北西部で得られた高比抵抗部とこの層との関連性についてはわれわれの電気的資料は全く何らの知識をも与えてはくれない。

さて、第二の型の曲線に移ろう。この型は前の型と同様、 $AB/2$ の大きいところで下降を示している。それゆえ、下部に低い比抵抗の物質が存在していることは間違いないことであるが、この低い値が前と同様な原因によるとするには疑問の点がある。それはこの低比抵抗層の上限が海水面より上にあると判定されるからである。残念ながら $AB/2=1,000\text{m}$ 以上の測定は実施されておらず、曲線の下降の模様不明なために、この層の比抵抗の値の範囲を推測することができない。それで、照合するに必要な曲線部分の不足からくる層の比抵抗値と深さとの解析誤差を大きくしているとも考えられる。204や206ではまだ下降部さえも現われるには至っていないが、充分な電極間隔が与えられれば曲線は下降を示すことは充分予想されるところである。

各曲線はおおむね電極間隔の小さいところで緩慢な上昇特性を示し、 $AB/2=300\text{m}$ 以上で約 $2,000\Omega\text{m}$ の最大値に達している。この高比抵抗は熔岩(スコリアも含めて)に起因するであろうが、この層自体に帯水の可能性を求めることは無理であろう。上述のように下部低



第 9 图 a 三原山裏砂漠内南北測線 VES 曲線



第 9 图 b 三原山裏砂漠東西測線 VES 曲線

比抵抗層の性状は不明瞭であるが、あるいは3章における中間 ρ_s 層の役割を演じているかも知れない。

興味をひくのは 202 と 203 との間で連続性に欠けることである。多分、両者の間の堆積状態の差が曲線にあらわれたものと思われる。

なお、ごく浅い $1,000\Omega\text{m}$ 以下の比抵抗層が各測点で観測されているが、これは火山灰質のものであって、201, 202 では $1\sim 2\text{m}$ の厚さにすぎないけれども、湯場の方に向かうにつれて厚くなる傾向がある。ことに 206 では厚さが 40m に達している。この層が新期大島層群のものであるとすれば、普通、確認されているこの地層の厚さ (10m 以内) に比較して相当厚いことになる。

5. 三原山カルデラ内垂直探査

次に、三原山カルデラ内で実施された電気探査の説明に移ろう。同地域内の探査は技術的な観点からは無論のこと、火山地域の水理地質や地熱の問題のみならず、火山学的問題に対する電気探査の適応性という観点からはなほ興味深い問題を含んでいるように思われる。

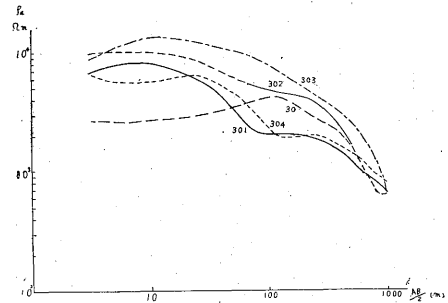
これまでも火山山麓地帯で地下水探査を目的とした電気探査はしばしば実施されてきた。しかしながら、火山地域の構造探査のための電気探査適用に関する一般的原理はまだ確立されていないようにおもわれる。そこで、まず、このような地域の電気的特性を得ることが必要となり、次いで、その結果に基づいてどんな問題に対して電気探査を適用すれば有益であるかを発見することに努めるべきであろう。その際、十分な深さまで探査が可能でなければ、實際上大した利用価値を示すには至らないであろう。

そこで、この地域における測定の主眼点は表層条件の劣悪な場所においてさえも、深部からの情報を得ることが可能であるか否かに向けられた。

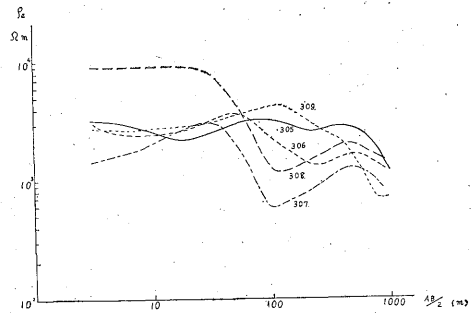
最初の測定は当時掘進中であった余背1号試錐孔付近で試験的に実施され(昭和33年12月)、 $1,000\text{m}$ までの $AB/2$ に対応した VES 曲線を得た (301)。その結果、この地域においても、おむね $AB/2=1,000\text{m}$ までの測定の可能性が求められた。次いで、昭和34年6月には、この地域における概略の電気的特性を知るために全く概査的に測定を行なった (302~309)。

測定結果は便宜上2つのグループに分けて収録し(第9図 a, b, および第10図 a, b)、解釈された垂直比抵抗構造も2つの対応する断面図として掲示した(第11, 12図)。

新しい火山地域の表層比抵抗は一般に高く、したがって、接地抵抗も高くなるため、精度よく測定を行なうことは困難であるのが普通である。この地域もその例外で



第10図 a 三原山裏砂漠内南北測線 VES 曲線の特性

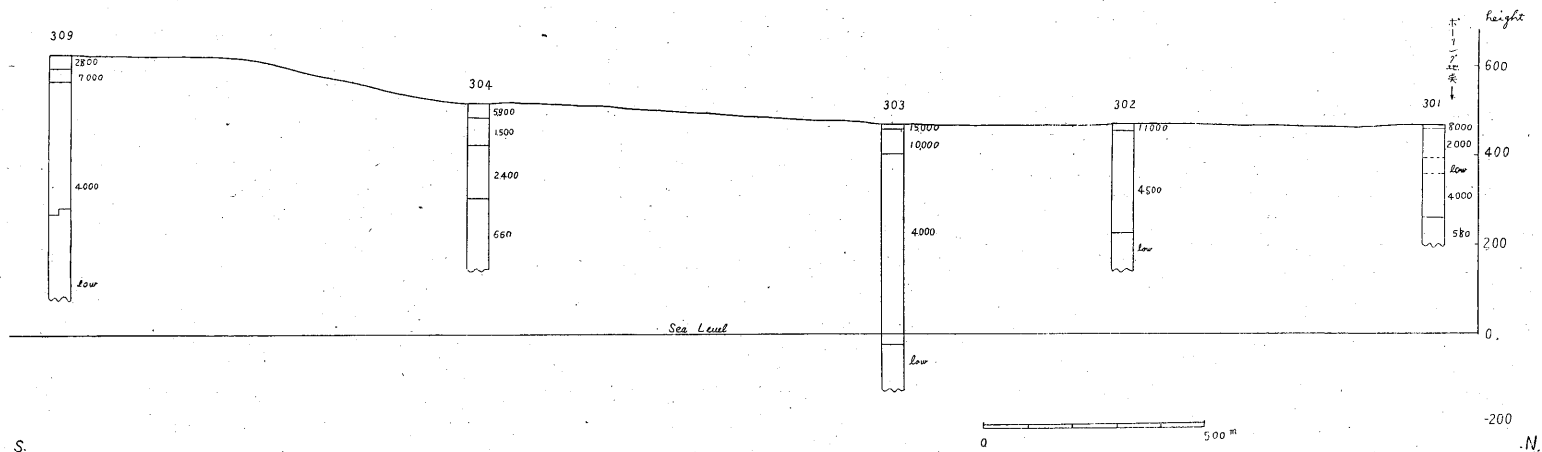


第10図 b 三原山裏砂漠東西測線 VES 曲線特性

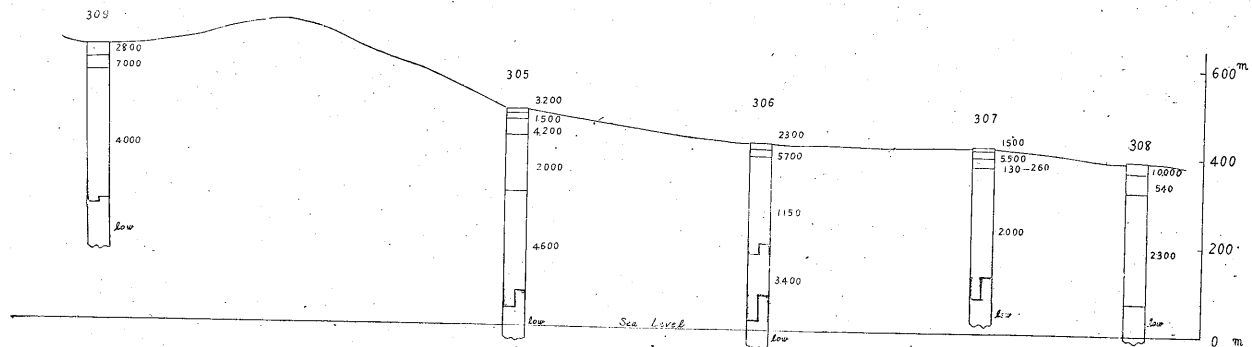
はなく、表層比抵抗が $10^4\Omega\text{m}$ に近い地点も少なくはなかった。それゆえ、接地抵抗が数 $10\text{k}\Omega$ をこえることもまれではなかった。そこで接地抵抗を下げるべく、種々の操作を施して測定を行なったものである。一方、地形は単純で、地形による作業面での制約は少なく、ジープの機能を十分に発揮することができた。たゞ、昭和熔岩の存在は測点の選定を妨害し、電流電極間隔を大きくするときの障害となった。

第9図を通覧すると、 $AB/2$ の小さい部分で、見掛け比抵抗値は最低でも $2,000\Omega\text{m}$ 以上であり、最高 $10^4\Omega\text{m}$ をこえていることがわかる。 $AB/2$ が大きくなるにつれて多少の変化を伴いながらも、結局、下降を迎えて、 $AB/2=1,000\text{m}$ 付近では $10^3\Omega\text{m}$ 以下の値となっている。302 曲線の各分枝が離散の状態にある(第9図 a)のは、この付近の地表条件がことに悪く、熔岩流の乱乱たる性状のために惹起されたものにほかならない。301~304 の各曲線の間には多少の差異は認められるとしても、その一般的性状は類似している。また 309 曲線も $AB/2=100\text{m}$ 以上では他のものとかかり似た特性を呈している。たゞこの場合、 750m と $1,000\text{m}$ に対する見掛け比抵抗値が接近しているが、残念ながら、測定時に噴煙烈しく、果して、曲線が上昇するものなのか、全く局部的異常に基づくものなのか確認するに至らなかった。

一方、第10図にみられる曲線群の中で、最も目立っ



第11圖 三原山裏砂漠南北測線(比抵抗断面圖)



第12圖 三原山裏砂漠東西測線(比抵抗断面圖)

た特徴は 307 および 308 VES 曲線の $AB/2=100$ m 付近に認められる著しく発達した凹部である。なお、305~306 でも同様に凹部が見受けられるが、その極小の起きる電極間隔は 200 m 付近である。上の 4 曲線とも、500 m を過ぎる頃から下降がはじまっている。しかし、 $AB/2=1,000$ m でも $10^3 \Omega m$ を割っていない。309 は 200 m までは 305 と類似した形状を示しているが、屈曲部を示すに止まり、他の曲線よりも速かに降下している。305、306 および 309 の曲線のはじまりがほぼ重なっていることは表層部の状態が類似していることを示すといえよう。308 の高比抵抗 ($10^4 \Omega m$) はその部分の特性が第 1 のグループに似ていることを示している。最も低い出発をみせている 307 の測点は若干小高い丘部に設けられたもので、他より多少低い値はその丘の形成と関連を有するかも知れない。

2つのグループを比較すると、第 1 のグループでは曲線の最初の部分の見掛け比抵抗値が第 2 のグループより一般に高いが、目立った凹部を形成することなく下降を辿って $AB/2$ が 1,000 m に達しないうちに $10^3 \Omega m$ 以下に落ちてしまっているものに、第 2 のグループではおむね凹部を形成して 1,000 m でもなお $10^3 \Omega m$ 以下になっていない。そして、309 は最初の部分は第 2 のグループに属するが、電極間隔の大きいところではむしろ第 1 グループの曲線に似ている。また 304 は同時に第 2 グループの特徴である凹部を示しはじめている点で、移行型ともみられる。

さて、301 VES 曲線は 3 層曲線という仮定の下で解釈すれば、第 1 層: $8,000 \Omega m$ 、第 2 層: $2,000 \Omega m$ および第 3 層: $600 \Omega m$ となる。もし $AB/2=100$ m 以降の僅かな上昇に着目して解釈を行なえば、断面図に示されたような比抵抗分布が得られる。302 および 303 は 3 層曲線とみなして解釈したもので $4,500 \Omega m$ もしくは $4,000 \Omega m$ 比抵抗層は 301 の中間の 3 つの層に対比される。したがって、これらの層に対応する曲線の歪みが単一層によって生じたものか、若干個の層の合成効果のために起きたものかは不明であるが、301 ほどはっきりした屈曲を示していない点からすれば、中間 low 層が発達しているとは考え難い。そして、304 で再び中間層は 2 つに分かれ $1,500 \Omega m$ と $2,400 \Omega m$ の層となっている。この場合は 301 の中間 low 層に対応する層が $2,400 \Omega m$ 比抵抗層上面付近に存在する可能性がある。303 の $4,000 \Omega m$ 層が厚く判定されている嫌いはあるが、われわれの結果が対数尺で表示されているため、多少の相対誤差も絶対厚度に大きくひびいてくる可能性があるからである。しかし、そうだとすると、底層の深さが他の点より深いという特徴は失なわれることはあるまい。

下部層の数 $100 \Omega m$ という若干低い比抵抗層は少なくともこの付近一帯を被っている模様であるが、海水の影響を受けているとは考えられない。しかも上層とこれだけははっきりした差異を示して、全域にわたって分布していることは注目に値する。採水可能か否かは別として、中に含まれている水のあり方に差異があることが期待される。場合によっては温度の要因も考えられる。

掘進中の余背 1 号井は熔岩に挟まれたスコリア層中に存在を確認したが、これは 301 の中間部低比抵抗層に相当するものであった。さらに全域にわたって分布している低比抵抗層を目標にして約 300 m まで掘進を続けることにしたが 230 m 付近より温度の上昇を見、約 $70^\circ C$ の温水に遭遇している。

以上の結果、帯水可能層としては 100 m 前後の深度のスコリア層が最も有望で、それより上部では存在の可能性はうすい。しかし、このスコリア層は一般に薄く、また、局部的変動をきたすので、一般に、直接的に地表探査で見出すことは困難である。そこで、曲線の歪んだ部分に着目して対比を行なうか、屈曲部の著しい、むしろ、僅かに上昇さえ示しているような部分を目安として、間接的に対比するのがよい。曲線の上昇は下部が高比抵抗、すなわち、熔岩の緻密性を意味するのでその層と上層の間の不連続部に帯水層を有する可能性を生ずるからである。

なお、表層の約 $10^4 \Omega m$ というきわめて高い比抵抗値は昭和熔岩のものではなく、安永熔岩もしくはそれより古いものではあるが比較的新しい熔岩流によるものであろう。昭和熔岩は 303 測点と 304 測点の間に分布している。303 の付近でこのきわめて高い比抵抗の層が厚くなっているのは、この付近が比較的新しい期間に集中的に熔岩流を被ったからではなかろうか。

東西断面図では表層もしくはそれに近い浅部に数 $1,000 \Omega m$ の高比抵抗層が、さらにその下部に若干低い $1,000 \sim 2,000 \Omega m$ の比抵抗部 (305 および 306) か 10^3 の桁の比抵抗層 (307 および 308) が見受けられる。この両者は必ずしも対比はされるわけではない。前者の下部に再び数 $1,000 \Omega m$ の比抵抗層が、後者でも $2,000 \Omega m$ 台の比抵抗層がくるが、後者の厚さは前者に比してはるかに小さい。305~306 は 304 と類似性をもっと考えて、比抵抗分布は垂直的岩質変化を表わすものと解釈される。すなわち、上部の高比抵抗は多孔性ではあるが湿分の少ない熔岩か緻密なもので、次の若干低い値の層は多少湿分を有するものか、スコリアもしくは多孔質熔岩の占める割合が高くなっているかであり、その下部の高比抵抗層は比較的緻密な熔岩類であろう。一方、307~308 の低比抵抗層は火山灰質であるかスコリア層であ

る。前者であれば採水の可能性はうすいが後者であれば帯水層の可能性はある。この下の高比抵抗層は熔岩スコリアの互層であろう。最下層については前の南北断面での考察がそのまま適用し得ると思われる。もし、温度の影響をうけたものであれば、低比抵抗層の上限は下部の構造に支配された温水の上限を示すことになる。

ともかくも、307~308 で発達した低比抵抗物質の存在、306~307 との間における下部低比抵抗層上限に見られる構造的不連続は注目に値する。

6. 結 言

以上述べてきたことから明らかなように、直流法が大島の構造探査に有効であることが立証できたと思われる。たゞ、非常に変化し易い火山地域の構造を電気的な立場から追求してゆくためには、地表探査においては、測点密度を高めること、電気検層図もしくはこれにかかわる資料がある程度集められていることが必要である。

現在の結果は直流法がまだ試験的段階にあることと、裏付けになる資料の不足のため、具体的に物のいえる段階ではない。しかしながら、大きな尺度で観察した場合、地下構造に関する定性的ではあるが有用な知識が得られる可能性を示している。このことは、電気探査が火山地域においても、数 100 m までの深度の構造探査に役立つことを暗示するものであろう。

われわれは、まだ、幾つかの技術的問題を解決しなければ、現状程度の深さの問題に対してさえも、得られたデータを充分活用することはできないのであって、今後、直流法の詳細な検討を続けてゆく必要があると考えている。なお、今回の実験で得られた技術的問題の検討は別の機会に報告する予定である。

(昭和 33 年 1 月, 34 年 6 月調査)

文 献

- 1) Dakhnov, V.N.: Electrical Prospecting for Oil and Gas Deposits, 1953 (Дакнов, В. Н.: Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений, Гостоптехиздат, Москва)
- 2) 淵田隆門: 人工電位法の基礎的考察, 物理探鉱, Vol. 5, No. 1, 1952
- 3) 蔵田延男: 水理地質学, 朝倉書店, 1955
- 4) 清野 武: 電気探鉱, 古今書院, 1947
- 5) Lasfargues, P.: Prospection Electrique par courants continus (Masson & Cie, Paris)
- 6) 佐藤光之助: 平均 3 極法について, 物理探鉱, Vol. 2, No. 2, 1949