

地表およびその近傍の地質学的問題点と物理探査②

調査研究の方法とその結果（その1）

山田正春 武居由之 小林創 高橋博

前回の「その1」で 表題の「おいたちとそのあゆみ」についてくわしく述べたので このシリーズで述べんとするところは 概ねご理解願えたものと思っている。

今回は「その2」として前回に述べた4つの問題点すなわち

- ① 「表土」の厚さとその形態の確認
 - ② 鉱体中の空洞の存否とその内容物の探査
 - ③ 鉱床の形態と賦存状態の把握
 - ④ 鉱体中の夾みの有無と 品位分布の予知
- 注1 「表土」の定義は前号でくわしく述べた。
注2 鉱体 鉱床は 岩体あるいは岩層 地層とおきかえていただいてもよい訳である。

などについて どんな方法で取組んだのか その内容はまたその結果はどうであったのかを中心として

- A. 電気探査（主として比抵抗法）
- B. 流電々位法
- C. 地震探査法
- D. I. P 法

の順に述べてゆく所存である。

なおこのうち本号では A. についてのべ B. 以下の項目は次号で述べることにする。

A. 電気探査（主として比抵抗法）

電気探査は物理探査のなかで 弾性波探査(地震探査)と並んで主要なものである。とくに電気探査は 経費人員の点で割安で 経済性に富むため広く普及している方法である。

電気探査の方法には 自然電位法 比抵抗法 電気検層などがある(流電々位法 I. P 法は 編集の都合上本項では別項目として取扱った)。自然電位法は大地の持っている(すなわち自然の)電位の分布を測定して地下の構造を推定する方法である。比抵抗法は大地の電気伝導度(逆にいえば電気抵抗)を測定して 地下の構造を知ろうとするものである。電気検層はボーリング孔などにおいて 自然電位や比抵抗を測定して岩石の変化を知ろうとするものである。これらの適応性の優劣は 実施技術面よりも 対象物の物理的性質のコントラストが大きいかなにかによるものである。このためには 物性の測定と実例研究の積み重ねが きわめて大きい意味を持つてくるのである。

電気探査の各方法のうち 比抵抗法はもっとも普及した方法であり またこの調査研究でもほとんど比抵抗法によったので 比抵抗についてすこし詳しく述べてみよう。

大地の電気抵抗を測定するには 自然の電流すなわち

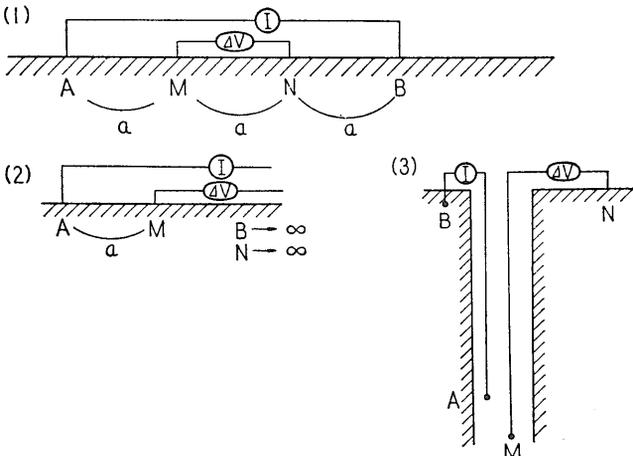


図1 電気探査の電極配置
(1) 4極法(Wenner法) (2) 2極法 (3) 電気検層(2極法)
A, B: 電流電極 M, N: 測定(電位)電極

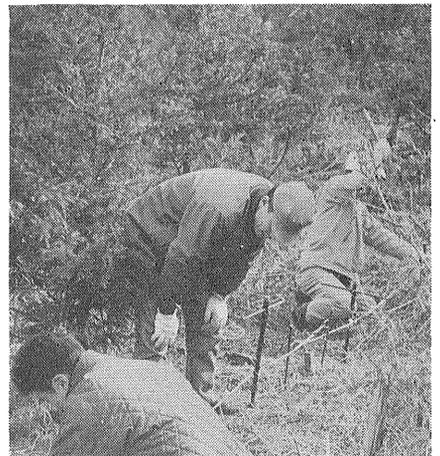


写真1 Wenner 配置による比抵抗法垂直探査の電極打ち込み作業

地電流を用いる場合と人為的に流した電流を用いる場合とがある。今日一般に普及しまた通常比抵抗法と称されているのは後者である。大地の電気伝導度の測定は19世紀の終り頃から試みられたが電極の接地抵抗がきくので実用にはならなかった。1916年に F. WENNER は2個の電極間に電流を流しその中に2個の電位電極をおいて大地の比抵抗を測定する方法を考案した。この方法だと電極の接地抵抗がきかないのと電極の間隔と探査深度の間に関係があり地下の構造を調べるのに適しているのだから比抵抗法の標準的方法とみなされるにいたった。1925年には O. H. GISH と W. J. ROONEY によってその実用的な装置が完成された。地質調査所型もこれを範としたものである。なおこれらと並んでメガー式測定器があり国産の L-10 型大地比抵抗測定器がこの型であった。これは手動発電機で電流電極に流した電流(I)と電位電極で受けた電位(V)とを誘導線輪で組み合わせて $\frac{V}{I}$ を直読出来るようになっていた。しかし現在はこれの改良型として 3244 型大地比抵抗測定器がある。

比抵抗法は垂直探査法と水平探査法に大別される。垂直探査法は比抵抗の垂直分布を水平探査法は比抵抗の水平分布を測定することによって地下の構造を推定せんとするものである。したがって両者の間には本質的な相違はないが方法上多少の相違がある。

垂直探査法は普通米国の Wenner (等間隔配置) 法か欧州正統派の Schlumberger (微分型配置) 法(ともに4極法)が最も多く使用されているがその他双極子配置法もある。Wenner 法は簡便さ測定作業の易しさに利点があるが Schlumberger 法には直流の使用と相まって深部探査能力と作業数に大いに利点がある。いま電流電極を A・B 電位電極を M・N とし $AB=L$ $MN=a$ とすると Wenner 法は $AM=MN=BN=a$ という等間隔の電極配置をとる。(図1—(1) 写真1) Schlumberger 法の場合は $AM=BN$ で $L \geq 5a$ となるような配置である。Wenner 法の場合の比抵抗(ρ)はつぎのようになる。

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \quad \begin{array}{l} I : \text{流した電流の強さ} \\ V : MN \text{ 間の電位差} \end{array}$$

両対数方眼紙の縦軸にこの比抵抗値(ρ)を横軸に極間隔を取ってプロットしたものを ρ -a 曲線あるいは VES 曲線という。

地下への電流の透入状態は電極間隔に依存するので測定したい地点を中心にして電極間隔を広げながら測定

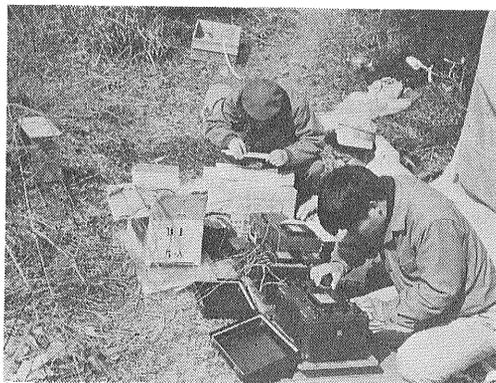


写真2 比抵抗測定本部と小型電探機
山岳地帯の電気探査は装置の軽量化も重視している

してゆくと電極間隔に対応した地下深部までの比抵抗(見かけ比抵抗)をうることができる。見かけ比抵抗は a が狭い時は地表付近の岩石の比抵抗を示し a が広がるにしたがい下部に異なった比抵抗をもつ岩石が分布している場合しだいに下層の岩石の比抵抗に近づく。 ρ -a 曲線をすでに計算してある標準曲線とあわせて解析することにより地下の構造を知ることが出来る。したがって垂直法は一種の電気的なボーリングと見ることができよう。しかし注意すべきことは比抵抗法は水平で均質な地層が無限に広がっている場合を想定して理論がたてられていることと電気抵抗からみた構造であって一般に地質学でいう地質構造と対応するとは限らないことである。

水平探査法には種々の電極配置法がある。いずれも MN (2極法なら AM の間隔) を一定にして水平測線を移動させて一定の深度の見かけ比抵抗の分布をとって地下の地質構造の水平的変化を知ろうとするものである。2極法の場合の電極の配置は図1—(2)の通りで他の方法より深度効果が大きいことと移動極数が少ないので探査能率が高い利点がある。しかし地表が表層で覆われ異常物が地下に埋没している場合は探知能力は深さの3~4乗に逆比例して減少するので構成要素である物質の比抵抗コントラストが5~6倍以上と充分にあること比抵抗値と岩石との対応が明確であること地下構造はなるべく簡単な推定し易いものであることなどが要件になる。

前号でのべたように従来より非金属鉱床に対する物理探査の適用例は極めて少なく(前号表1)とくに石灰石のような高抵抗体そのものを対象とした探査研究の実例は皆無に等しかった。しかし比抵抗法による探査は地質の状況や構成している岩層の地中における比抵抗を知っているほど探査効果があるものである。しかるに

表1 石灰石 鈎床構成岩石の比抵抗値

		葛生地区	磐戸 鈎山
(水平探査法による見かけ値)			
鹿沼土	300~500	$\Omega\text{-m}$	100~ 300 400~1,100 以上
ローム	80~150		
輝緑凝灰岩	80~150		
石灰石			
(垂直探査法による解析値)			
チャート	150~500	$\Omega\text{-m}$	{ 浅部 60~180 深部 200~400 2,000~4,000 以上
輝緑凝灰岩			
石灰石	1,000~7,500		
(電気検層による値)			
石灰石	1,500~>7,000	$\Omega\text{-m}$	
ドロマイト	2,500~>8,000		

石灰石鈎床を構成する岩石の地中の比抵抗値についての資料がまったくなかったのははじめはまず鈎床を形成している岩石の一つ一つについて その電氣的常数の測定を行うことから始めなければならなかった、というのは岩石の比抵抗は地中においては含まれている水分やその他の物質の物理的 化学的条件によって非常に変わるので 標本によって得た測定値では意味がなく 地中の実際の存在状態における値を知る必要があるからである。

初年度の調査研究地点として栃木県葛生地区を選定した。これは筆者らの一部を含めた当所の関係者一同による石灰石・ドロマイトを対象とした総合的な地質鈎床の調査研究が実施された地区であるので 地質鈎床の状況がよくわかっており また現地鈎山の側からも全面的な協力がえられ 細部にわたる試錐資料の提供など 電気探査の結果を早急にチェックすることが可能であってしかもこの研究結果が問題点に対し たとえ試験的なものではあっても 成功する可能性が高かったことなどに

よるものである。

以下に各地区における研究結果の概要についてのべる。

1. 栃木県葛生地区

本地区の周辺には 水平的には大きな馬蹄形をなしてベーズン状に秩父古生層が広く発達し この中に石灰石ドロマイトの大鈎床が賦存することで著名で 多くの鈎山によって採掘され 各種の用途に供されている。

この秩父古生層の上には ローム 鹿沼土などがあるが これらを模式化すると前号の図2のようになる。

このうち 黒土とローム層はともに土状であり またテラロッサと思われるものもやはり粘性の高い土状のものである。これら土状の地層の下に「ハク」と称される上部石灰岩層が直接現われる場合と チャート(アド山層)を挟んで上部石灰岩となる場合とがある。この他に石灰岩中に輝緑凝灰岩があり また一部には石灰洞内に砂礫質の洪積世の堆積物が存在する場合がある。

石灰石鈎床にとって除かるべき「表土」は これら「ハク」を除いたすべてで その厚さは2~3 mから10数mときにはそれ以上に達することもある。

本地区の「表土」はこのような複雑なものであるがこの「表土」の各層およびその他の主要な地層について電氣的常数の測定をまず行なった。測定方法は ローム 鹿沼土 輝緑凝灰岩のような薄層をなして地表付近に露出するものは水平探査法により 石灰石・ドロマイト・チャートのように層厚が厚く 地表下に分布するものは垂直探査法と電気検層によって測定した。これらの測定結果を要約して垂直探査の結果は図2に 水平探査の結果は図3に 電気検層の結果は図4に またこれらを整理して後述する群馬県磐戸鈎山の場合も含めて表1に示した。これらはいずれも既知の地質分布に対して

その比抵抗値のおおよその傾向を知るために行なったものである。

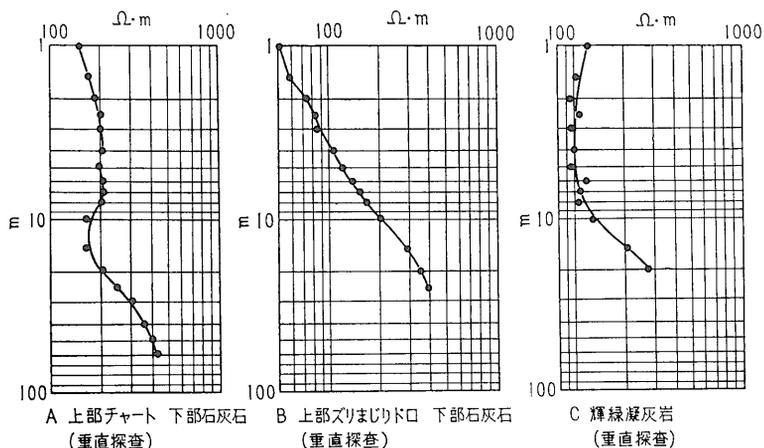


図2 葛生地区比抵抗値(垂直探査)測定結果図

表1で明らかなように 石灰石とドロマイトは予想通り他に比較して顕著な高比抵抗値を示すが 石灰石とドロマイトとの比抵抗値の差は著しいものとはいえない。意外に感ぜられるのは チャートの比抵抗値が低いことであろう。一般にはチャートのような高比抵抗体の下

の石灰石鉱床の探査は かなり困難なものと考えられやすい。しかし「ハク」の上のチャートは褐色を呈し割れ目が発達していて その間にロームなどの「表土」と水が浸透し 全体にざくざくでブルトラーで除去できるものである(前号写真5)。このため他の「表土」と同程度の低抵抗を示すのであろう。このように石灰石鉱床を覆うチャートが変質しているのは 1つの考え方として 地表近くに石灰岩がある場合 石灰岩はチャート層の割れ目から浸透してきた雨水の炭酸によって溶蝕され そのため石灰岩上のチャートはおそらく不等沈下をおこして地層に折損を生じ その結果透水性がよくなりその下の石灰岩の溶蝕をさらに進め そのためチャートの割れ目は一層増えて透水性はさらによくなる。このようにしてざくざくのチャートが形成されたものと考えている。

輝緑凝灰岩も本地区で観察されたものは ざくざくになっているかなり軟い岩質のもので その比抵抗値はチャートの値に近似している。また鹿沼土は 予想よりもかなり高い値を示した。

これらの予備調査の結果から 各層の比抵抗値を総合検討すると 「表土」と石灰石・ドロマイトの間には明らかな相違があり 石灰石鉱床の「表土」の深さについて電気探査が可能であるという結論を得た。したがって石灰石・ドロマイト鉱床の地下における状態を明らかにして 鉱床の賦存状況を把握し 開発の資料とすることは可能であろうという結論である。

さていよいよこれらの資料に基づいて 実際の探査に着手したのであるが その場所はボーリング調査も終り剝土作業に着手したばかりで 電気探査の結果を早急にチェック出来る所を選定した。この場所で 比抵抗法(垂直探査)を行なったのであるが その測線図と代表的な測定結果を図5 6示した。この結果図6のように 比抵抗値が地表より下部に向って高低高という分布

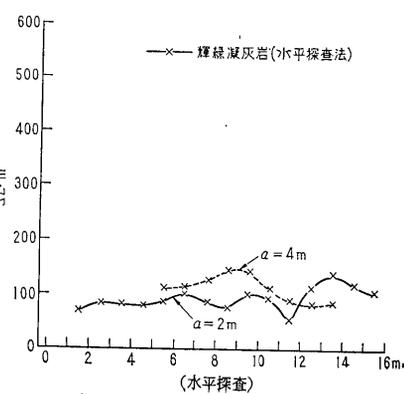
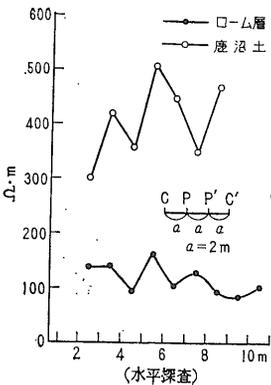


図3 葛生地区石灰石鉱床比抵抗値測定結果

を示す型 (No. 4, 10, 12, 13) と 低高という分布を示す型 (No. 1, 2, 6, 7) の2つの典型がみられ その他高低高型であるが 浅い部分の値に乱れの目立つもの (No. 8, 9, 11) や 後者に属するが多少前者の傾向を示すもの (No. 3, 5) がある。これらは平面的には 高低高型は図5の左上に 低高型は右下にそれぞれ集中し その他はこれら両極の周辺に分布している。高低高型は 地表面にうすくではあるが かなり抵抗の高いものが存在することを示すもので その実体はチャート質「表土」の乾燥したものではないかと推察している。ただしこれは「表土」としては問題になるものではない。測定結果を解析して得た断面に この電気探査以前に実施されたボーリング調査の結果から推定された断面を重ねて図7に示した。この図で明らかなことは 一部を除いてボーリングによるより 電気探査による推定断面の方が 「表土」の深さが10m程度あるいはそれ以上深くでているのが殆んどであるということである。このような相違を生じた原因について検討してみると その第1はすでにのべたように(前号図1) ボーリングやピットによる調査では 鉱体の表面の犬歯状突起の頂部やその近く あるいは根無しの鉱石にあたって鉱体の位置を浅目に推定することもある(図8)。これに対し電気探査の場合 比抵抗値 逆にいえば 電気伝導度が 「表土」は石灰石の数10倍以上であることと 鉱体が「表土」に接している部分は溶蝕されて粗ほうとなり水分を含んでいることなどから 電気的には石灰石鉱体表面の犬歯状の部分は 間をみだしている 「表土」に近い値を示すと考えてよいのであろう。したがって

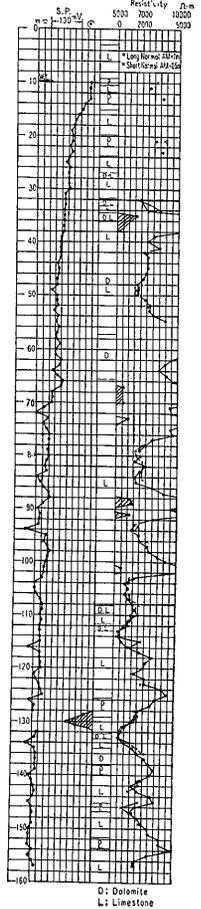


図4 電気検層図(葛生地区)

電気探査の場合 石灰石鉱体の表面の凹凸部を除いた真の鉱体部を表わしているものと考えられるから ボーリングなどの調査より鉱体を深めに推定することになる。しかしこの境界付近の中間帯は 厚さ数mないしそれ以上あり 比抵抗値は実際には連続的に変化することとなるから 鉱体があまり深くない場合は 2層構造として解析することに問題があるのかも知れない。なお後に実際に剝土を行なった結果は おおむねボーリングに

よるより電気探査の結果に近かったと聞いている。

ところで図7で最大の問題は ボーリング位置の番号P. 124の所で 2つの結果がまったく違っていることである。すなわち電気探査の結果は「表土」の厚さ約15mと普通の値を示しているのに対し ボーリングの結果はここで石灰石鉱床が深くおちこみ a断面とb断面の間で落差が40m位あることになっている。これはP. 124の所に幅はせまいが ほぼ垂直の岩脈状の輝緑凝灰岩層があって ボーリングがたまたまこの中を突き切ったため生じたことである。すなわち輝緑凝灰岩も石灰石を覆っている場合には除かるべき「表土」であるので産状が異なるにも拘らず被覆層として解釈してしまったためである。一方電気探査の方は平均的な性質をとらえ

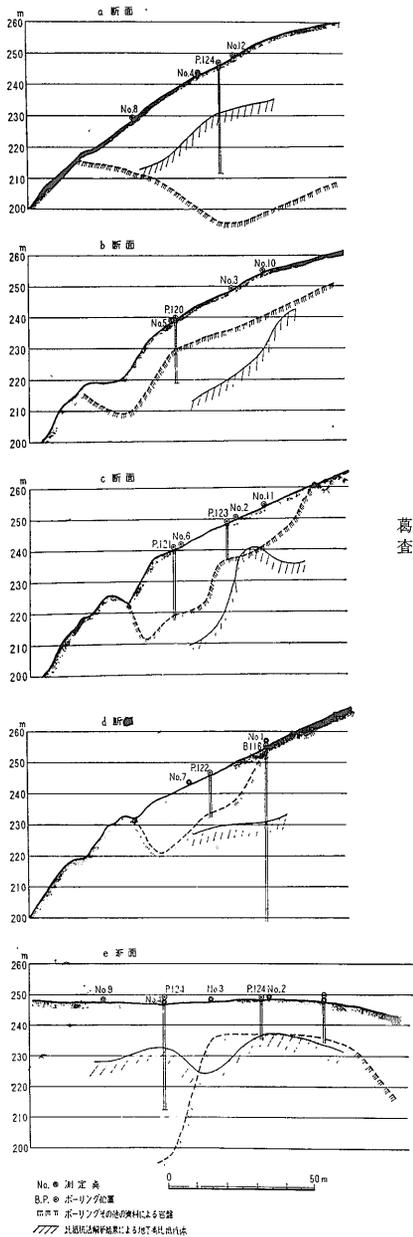


図7 葛生地区探査結果解析断面図

図5 葛生地区電気探査地点地形および測線図

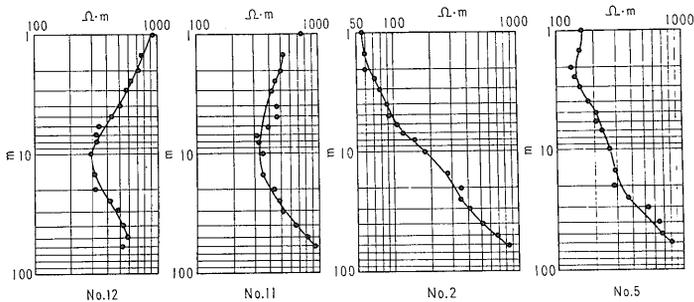
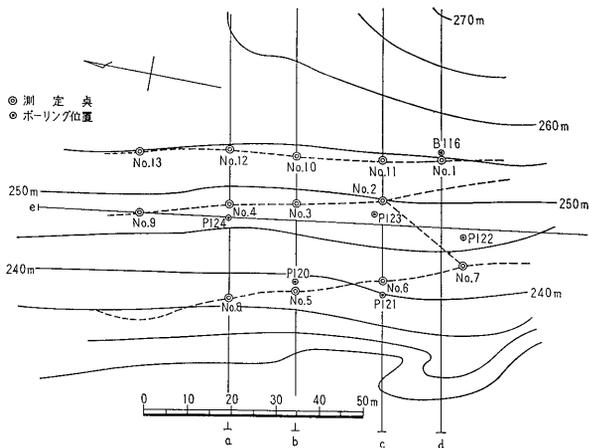


図6 垂直探査結果図実例

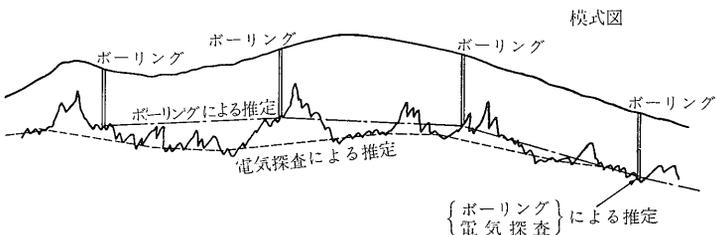


図8 電気探査による結果とボーリング結果との差違を表現した模式図

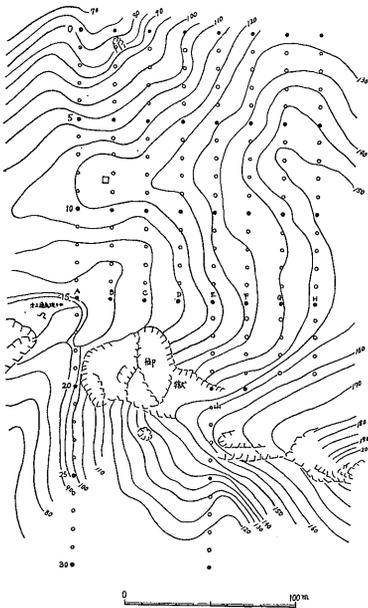


図9 群馬県警戸鉱山御岳地区地形ならびに電気探査測線図

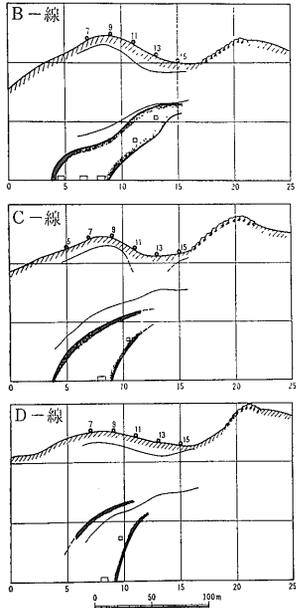


図10 警戸鉱山断面図(電気探査解析結果)

るので幅のせまい低抵抗体(輝緑凝灰岩)があっても大局的な高抵抗体すなわち石灰岩層の深さをとらえたのである。結局電気探査の方が一般的構造をとらえる点で正しかったのである。しかしこの2つの方法の長短すなわちボーリングは掘進した所の性質のみを伝えて大局的構造を直接的にはとらえないし 電気探査は大局的な構造をとらえるが あまりせまい部分の性質はとらえ得ないという それぞれの特色と欠点を教科書的に示す実例となったのである。

2. 群馬県警戸地区

警戸鉱山は群馬県甘楽郡南牧村に所在し 主として鉄鋼用に低磷石灰石を採掘している鉱山である。前年度に引き続いて 本鉱山の御岳地区において比抵抗法による垂直探査および水平探査を行なった。今回の調査研究は 本地区における諸岩の自然の状況下における電気的性質の検討ならびに鉱床探査の実例について それぞれ資料をうることを目標とした。

本地区の地質は 古生層の石灰岩と輝緑凝灰岩よりなり 石灰石鉱床の上盤の輝緑凝灰岩はかなり厚く 地表近くでは軟弱化している。表1の浅部とあるのはこの軟弱化した部分で 深部とあるのはその下の岩状部分である。石灰岩の下盤も同じく輝緑凝灰岩である。

電気探査は Wenner 配置による垂直探査および2極法による水平探査を行なった。その地形および測線図は図9に 垂直探査の解析結果を地形ならびに鉱床賦存

位置(鉱山側で確認のもの)と共に断面図として表わして図10に 水平探査法による $a=10m$ $a=20m$ $a=40m$ の測定結果を図11にそれぞれ示した。そして今回の調査研究から得た結果をとりまとめ 諸岩質の比抵抗値を表1に示した。表1のように本地区でも 葛生地区における測定結果とほぼ同様の比抵抗値を示すが 輝緑凝灰岩の浅部と深部の相違も前述のような岩質であるので首肯出来るところである。

垂直探査法の結果を解析すると 深部における比抵抗値には大きな増加はなく 200~400Ω-m を示すことが明らかとなった。図10に断面図を

示したが 解析にあたっては まず石灰岩上縁部の深度を求めため 水平探査の結果を考慮に入れて浅部の変化に余り拘泥せず2層構造として解析を行ない その後浅部に対してはさらに2層構造の解析をし これを等価層におきかえて前者の結果と比較験を行なって修正を行ない 3層構造の結果を得る方法をとった。その第1層は 60~180Ω-mの土壌まじりの軟弱化した浅部輝緑凝灰岩 第2層は 200~400Ω-mの深部輝緑凝灰岩 第3層は石灰岩および下盤である。解析結果は図10にみられるように 鉱山側の調査結果とよく合っている。

ただし葛生地区の場合とは反対に 電気探査の方が鉱体が浅く推定されている。警戸鉱山の場合は 葛生の場合とちがって「表土」(上盤)が非常に厚く 石灰岩は反対に比較的薄く その下盤は再び輝緑凝灰岩となるので 鉱体下限の位置の推定も重要な問題であろう。なお図10のC断面で 第1層が落ち込んでいるような結果を得ているが これは以前穴だった所を埋めたため 人為的に「表土」が厚くなった所である。この事実から地下に埋没されたドリーネや陥没地の探査も可能であることがうかがえる。

水平探査の結果(図11)では 石灰石鉱床はおおむね 400Ω-m 以上の高比抵抗部に相当し おもに露頭を中心としてその分布が認められるが 地区内では他に石灰岩と判断されるような高比抵抗部は認められなかった。この結果から考察すれば水平探査は鉱床賦存地帯の分布と 潜在鉱床の探査に有効と思われる。また水平探査

による比抵抗分布が垂直探査の結果の解析にあたり 有利な情報であることも明らかである。

3. 静岡県白岩 岩水地区

本地区は 静岡県引佐郡引佐町栲窪に所在する白岩鉱山栲窪鉱床および静岡県浜北市に所在する岩水鉱山の2つからなり いずれも住友セメント(株)のセメント用石灰石鉱山である。本地区では

- (1)石灰岩体の内部不均質を電気探査による比抵抗値からの推定
- (2)石灰岩層の上盤および下盤の深さの推定
- (3)石灰岩層の上面の犬歯状部の平均的深さの把握

の3点を探査目標とし 探査方法は Wenner 配置を採用した垂直探査を $a = 1$ mより60mまで展開して行った。

本地区の地質は 秩父古生層に属する輝緑凝灰岩および同岩中にレンズ状をなして分布する石灰岩よりなるが岩水鉱山ではこの上部が砂礫層などの新期堆積物によって覆われている。

探査の結果石灰岩の比抵抗値は $1,500 \sim 20,000 \Omega\text{-m}$ とかなりの幅があるが このうち岩体に粘土質物が入るとその多少により $1,500 \sim 10,000 \Omega\text{-m}$ となり 表土の撤去が未了か または岩体上部の凹部に土砂が存在する時などは 数 $100 \sim 1,000 \Omega\text{-m}$ とやや低抵抗体となる。しかし剝土を完了した地帯では $3,000 \sim 5,000 \Omega\text{-m}$ で 大体葛生 磐戸地区に類似する値が得られた。輝緑凝灰岩はやはり浅部型と深部型に分けられるが 前者は 100

$\sim 600 \Omega\text{-m}$ 後者は $1,000 \Omega\text{-m}$ 以下の値となっている。

白岩鉱山栲窪鉱床の 160m ベンチ1号および2号ではボーリングにより石灰岩の深度 6m および 9m がそれぞれ確認されているのに 電気探査ではこれを認めなかったが これは表層の層比抵抗が割合高い場合か あるいは石灰岩の犬歯状部の頭部または浮石に試錐点をとった場合のいずれかによるためであろう。

また岩体の走向方向である深部に 石灰岩の分布を把握すべく「表土」の厚さを推定するための探査を行なった結果 地表下 $5 \sim 15\text{m}$ で高抵抗体 ($10^3 \Omega\text{-m}$) が解析され 石灰岩層が走向方向にさらに連続して分布していることおよびその深さが推定できた。なお岩水鉱山においても「表土」の砂礫層の厚さを探査したが 石灰岩体の頂部まで $15 \sim 20\text{m}$ の結果を得た。

これらを要約すると 上盤あるいは被覆層の厚さの推定は可能であること 上盤が均質で低抵抗である場合は解析が容易であること 本地区の石灰岩は $1.5 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4 \Omega\text{-m}$ とかなり幅のある比抵抗値を示すが 探査解釈上では一率に高抵抗物質とみて差支えないことなどである。また露頭から下盤の推定は 下盤が極く浅い場合は割合鋭敏に解析出来たが 上盤上からの探査で下盤面をも推定しようとするには電極間隔をさらに拡大する必要があり 拡大すれば電流電極が水平成層構造から逸脱して解析が困難となった。なお全般的に探査対象の比抵抗差が著しいために単純な定量的取扱いは不適当で当初予定した深部探査法の適用は行なわなかった。外国の石灰岩地帯探査の例では 石灰岩の著しい異方性 Carsification 地下水面の位置などが比抵抗分布を支配する要素とされているが 今回の探査ではこれらの要素の影響は特に認めていない。

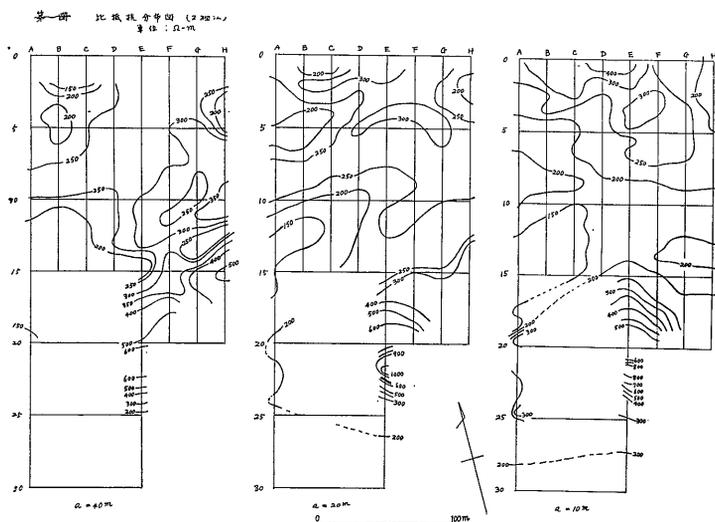


図11 磐戸鉱山比抵抗(水平探査)測定結果図

4. 青森県八戸地区

本地区は青森県八戸市寺地および三戸郡階上村小坂橋に所在し 住友セメント(株)によりセメント用石灰石鉱山として稼行されている。

本地区の地質は 古生層の粘板岩 砂岩 チャート 石灰岩 輝緑凝灰岩およびこれらを覆う火山灰 火山岩層 砂礫 粘土 古植物層などの洪積世の堆積物からなっている。本地区で探査目標としたのはつぎの3点で

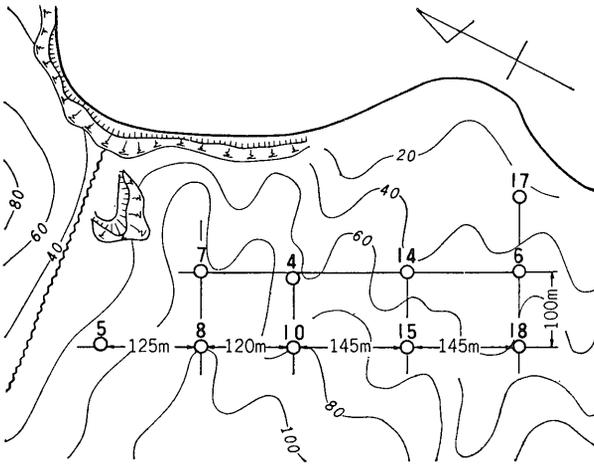


図12 八戸地区ボーリングならびに電気探査実施地点

ある。

- (1) 「表土」の厚さとその形態の把握
- (2) 石灰岩層の下盤面の推定
- (3) 石灰岩体内部の夾雑物の探査

このため比抵抗法による垂直探査を行なってまず本地区の諸岩層の比抵抗値を得た。これは Wenner 配置を採り $a = 1$ mより60mまでで 浅部を対象とした場合は10~15mまで 深部を対象とした場合は最大 100mまで展開した。その結果を要約すると 剝土物質は $70 \sim 150 \Omega \cdot m$ で 「表土」は $30 \sim 50 \Omega \cdot m$ である。この「表土」は砂礫および粘土層で この中に1m内外の埋木層を挟有するが これは $35 \sim 55 \Omega \cdot m$ と最も低い値を示す。しかし分布が限られていて 層厚も比較的うすいので 「表土」の比抵抗範囲を大きく変えることはない。石灰岩は14点での測定結果は $1,500 \Omega \cdot m$ 以上であるが 最下段レベルでは $5,000 \Omega \cdot m$ であった。なお田代川西岸の旧採掘場では 表面に土砂が薄く覆っていたため 表層の比抵抗は低く 石灰岩は $1,000 \Omega \cdot m$ 台であり 粘板岩は $200 \sim 300 \Omega \cdot m$ 程度であった。なお採掘面内に幅 2mの垂直な挟雑物を挟んだ場合 探査曲線に著しい差が現われている。これは岩石異方性の検討のため試みたものであるが 挟雑物の探査にきわめて有効であることが明らかになった。

以上にのべた自然状況下の各岩層の電気的資料を基礎にして 本鉱山において探査を目的として 地表から多数の試錐を行なわれる予定の場所を選んで 各試錐予定点で Wenner 配置による垂直探査を行なった。この結果とその後実施された各試錐結果を比較して種々の問

表2 八戸地区 ρ -a 曲線の各種解析法による解析結果の比較表

調査地	ボーリング結果	標準曲線による解析	小野曲線による解析	2層構造としての解析	直視法
No. 5	26.65m	46.0m	44.4m	34.0m	23.0m
No. 7	41.0	51.0	49.8	46.0	44.0
No. 8	19.50	26.0	26.7	21.5	16.0
No. 4	19.65	29.0	30.6	29.0	21.0
No. 10	22.0	31.5	33.6	34.0	22.0
No. 15	14.5	15.4	16.5	13.0	12.0
No. 14	7.6	12.0	11.7	10.9	8.0
No. 18	3.5	6.1	5.1	5.1	9.0
No. 17	9.8	6.2	6.7	9.0	3.3

題点を検討したわけである。ボーリングならびに電気探査実施地点は図12に その結果の ρ -a 曲線は図13に示した。これらの結果から一見してわかることは 「表土」の下部に石灰岩らしい高比抵抗層の存在が非常にはっきりしていることである。また 「表土」の大部分は地表から2~3m間は高比抵抗を示しているので 全体の傾向は3層曲線になっているものが大部分である。ただ図13-No. 5 は中途に異常物の存在があるし図13-No. 18は石灰岩に入ってから異常物の存在があるらしく正常な3層曲線を示していない。しかしこれらもそのつもりで曲線を補正して解析すればよいわけである。これらの3層曲線を解析した結果を表2に示した。これらの解析結果は いずれもかなりの差異があり 解析のむずかしさがうかがわれる。これらの結果をボーリング結果と比較すると 平均してボーリング結果に一番近い値を示すのは 直視法を除けば2層構造として解析したものであることがわかる。またこの表では偶然ではあるが 直視法の結果が割合よくあっているものが多い。しかし No. 17, 18の結果からもわかるように 条件次第ではきわめて異なった結果を示すので 原則的には決してよい方法とはいえないようである。図14にボーリングの結果と2層構造として解析した結果を断面図に表現した。この結果からは 2層構造として解析した結果と ボーリングの結果には大きな差異はないように感ぜられる。

図14を検討するに 電気探査の結果のほとんどが ボーリングの結果より幾分深くなっている。これは葛生地区の項でのべたことと同じ傾向であって (図8 前号図1) その解釈もまた同じに考えて差支あるまい。したがって逆にいえば ボーリングの結果と電気探査の結果との差異が大きい所 (多数の測定点で) は 犬歯状の

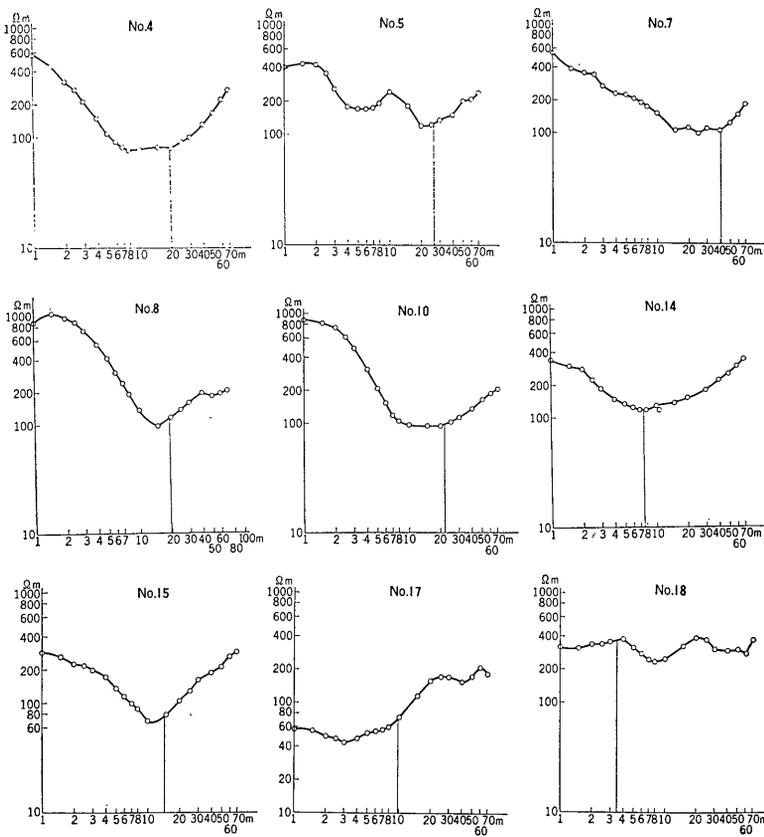


図13 ρ-a 曲線 縦線はボーリングによる石灰岩の深度

凹凸のはげしい地帯ではないかという推定も可能である。

5. まとめ

冒頭に研究目標とした4つの問題点を記した。これらに対して主として比抵抗法による電気探査によって取組んだ結果を各地区別にのべた。これらを要約すると②はドリネなどの推定にある程度の見透しを得たし

③は岩体の賦存状態や 上下盤の推定が おおむね可能であることを ④は地層中に存在する挟雑物の解析についてある程度の結論をと それぞれ成果を得た。

しかし ①の「表土」の問題については おおむね所期の目的を果せたものと考えている。比抵抗法は ボーリングなどに比べて 経済性においてかなり優位にある。すなわち 経費の点で安価でしかも作業能率が高く 短時日でかなりの測定が可能であるという利点がある。したがって今後——「表土」の厚さとその形態の確認——という問題に対しては ボーリングに先行して行えばきわめて有効な方法として普及してゆくことと考えている次第である 事実すでにいくつかの地区で この方法が行なわれた実例があるが いずれも好結果を得たと聞いている。さら

にこの方法が前号で述べた 災害防止 地表の環境保全をはじめ一部のエコロジーに関連する問題など 今日的な多方面にわたる諸問題に対しても 何らかの役割を果してゆければ 幸と考えている次第である。

なお次号では「その2」の(2)として 各問題に対してB. 流電々位法 C. 地震探査法 D. I.P法などによって行なった研究結果についてのべる。(つづく)

(筆者らは 釜床部 物理探査部 国立防災センター)

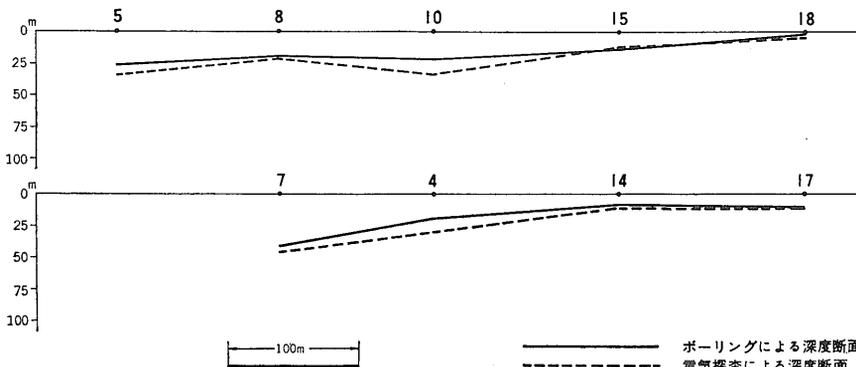


図14 八戸地区ボーリング結果と2層構造として解析した結果との断面比較図