

## 宮城県細倉鉱山における自然電位分布姿態の研究

柴 藤 喜 平\*

### Studies of the Spontaneous-Polarization Method at the Hosokura Mine, Miyagi Prefecture

by

Kihei Shibato

#### Abstract

The writer carried out the field study of the Spontaneous-polarization Potential at the Hosokura zinc, galena, copper vein in September 1956.

On the surface :

He drilled five vertical borings (about 10m in depth) at the anomalous zone on the surface and carried out the SP-logging in them. And from the above-stated data, he could presume the vertical potential distribution on the near surface.

In the drifts :

He studied the distribution of anomalous Spontaneous-polarization Potential crossing each vein at the walls and in the horizontal holes of the drifts. He could not find a distinct connection between the Spontaneous-polarization Potential and wall rock alteration.

Lastly the writer studied some experiments concerning the contact potential between electrode and minerals or rocks on the walls of the drifts. And he found that the measured result shows solution potential surrounding ore body but not ore body itself.

#### 要 旨

自然電位法の結果、鉛・亜鉛・銅の鉱脈を発見したといわれている、細倉鉱山の鹿の子地区において、その鉱脈を対象として、坑内外から自然電位の分布姿態の研究を行なった。

鹿の子地区の地質・鉱床は、第三紀中新世に属する変朽安山岩の裂隙に沿って併入した浅熱水性の鉱脈で、地表附近の岩石は、同時代の緑色凝灰岩に移り変わっている。

研究は、地表からは再度自然電位法を行ない、前回の結果と比較し、自然電位分布の変化状態を研究した。次にその負電位地帯を横断するように、Packsack により深度約 10m の垂直ボーリングを5本行ない、自然電位検層を行なった。

その結果から、地表附近の自然電位の立体分布姿態を推定した。

坑内においては、立入坑道に沿って、または坑内ボーリングにより、主要鉱脈を横切つて、自然電位の測定を

行ない、鉱脈附近の母岩の変質と自然電位の変化状態との関連性等につき研究した結果、母岩の種類、変質と、自然電位の異常との間には、明瞭な関係は認められないように思われた。

最後に、坑内において硫酸銅電極を鉱体に直接押しあてて測定することの意味について研究した。その結果、これは鉱体を取りまく液体の電位を測定していることがわかった。

#### 1. 緒 言

本研究は、昭和30年宇久須鉱山において行なわれた「自然電位分布姿態の研究」に次いで第2年目にあたるもので、昭和31年9月初旬から中旬にかけて、宮城県の細倉鉱山において実施した。ここにその結果を報告する。

細倉鉱山は、東北地方に最も多く存在し、かつわれわれがよく遭遇する第三紀緑色凝灰岩、および変朽安山岩を母岩とする銅・鉛・亜鉛鉱床の代表的なものの1つである。

このような型の鉱床に対し、自然電位の分布について研究を行なうことは、自然電位法の適用に際し、有意義

\* 物理探査部

であると考えられる。

なお本研究に対し、物理探鉱技術協会の自然電位研究会は、深い関心をよせられ、共同的に研究を実施された。

本実験の実施に際しては、三菱鉱業本社ならびに細倉鉱業所の方々から多大の御支援を賜わった。紙上をもって厚く御礼申上げる次第である。

## 2. 位置および交通

本実験は宮城県栗原郡鶯沢町細倉鉱山鹿の子地区において行なつた。

交通は、東北本線石越駅から栗原鉄道に乗換え、終点の細倉駅にて下車すれば、徒歩約10分で大鉱業所に至る。

鹿の子地区は、本鉱業所の西方約3kmの所にあたり、徒歩で約1時間、ジープで約15分を要する小高い山頂附近にある。

## 3. 地質および鉱床

本地域の地質鉱床に関しては、三菱鉱業株式会社細倉鉱業所において詳しく調査が行なわれている。その概略は次のようである。

細倉鉱山は、主として第三紀中新世に属するいわゆる緑色凝灰岩と、変質した安山岩(変朽安山岩)、およびこれらを覆っている鮮新世の石英安山岩質の凝灰岩・凝灰岩質砂岩からなり、これらが先第三紀の基盤上に不整合に広く分布している。

鉱床は、第三紀末期の火山活動の後火成作用として生成されたもので、前記変朽安山岩・緑色凝灰岩および石英粗面岩を母岩とする浅熱水性裂隙充填鉱床である。

当山における鉱床の母岩の主体をなすものは変朽安山岩で、その産状、変質の程度は一様でない。鉱山ではこれを(変朽安山岩 I...Pr<sub>1</sub>; 同 II...Pr<sub>2</sub>; 同 III...Pr<sub>3</sub>)に分けてあつて、硬度も変質程度も元来次のように分類説明されている。

I > II > III

色はIは緑色、IIは灰緑色、IIIは灰色であつて、近來IIIは粘土化作用を受けたものを指していつているようである。

これらの変朽安山岩化作用のほかに、さらに明らかに鉱化作用の結果と考えられている珪化作用、および粘土化作用をも蒙っている。

今回、研究を行なつた鹿の子地区の地質は、地表附近はきわめて薄い緑色凝灰岩であるが、地下の鉱脈の存在する附近においては、変朽安山岩に変わつている。

鹿の子鍾は第1図のように、前鍾・本鍾・奥鍾の3本があつて、総延長約600m、深さ約150m、傾斜70～

80°Eである。本鍾の脈勢はきわめて優勢で、前鍾・奥鍾はいくぶん劣り、奥鍾の端は、石英脈だけになつている。

鉱石鉱物は主として閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱であつて、その他黄鉄鉱・赤鉄鉱・白鉄鉱等がある。

脈石鉱物としては、石英・緑泥石・粘土鉱物(カオリン・モンモリロナイト・セリサイト)がおもで、ときに方解石もある。

脈の幅は平均して、本鍾3m前後、前鍾および奥鍾1～2m以下である。

## 4. 鹿の子地区の状況

鹿の子地区は、昭和29年6月に地表において、自然電位法が実施され、比較的顕著な自然電位の負異常が認められた。この結果によつて、この負異常の下部に向かつて坑道を掘進したところ、鉱体を発見することができた。

その後、第1図のように、下部から通洞坑・上1坑・上2坑・上3坑の各坑道が、レベル差30mをもつて鍾に沿つて掘さくされた(しかしまだその各坑道間の鉱石は、未採掘のままである)。地表の異常電位分布地帯における上3坑道までの深度は、約60mである。

また、坑道内からは、探鉱用横向き坑内ボーリングが多数掘られている。それらの関係位置は第1図に示す。

## 5. 自然電位法の研究

### 5.1 目的

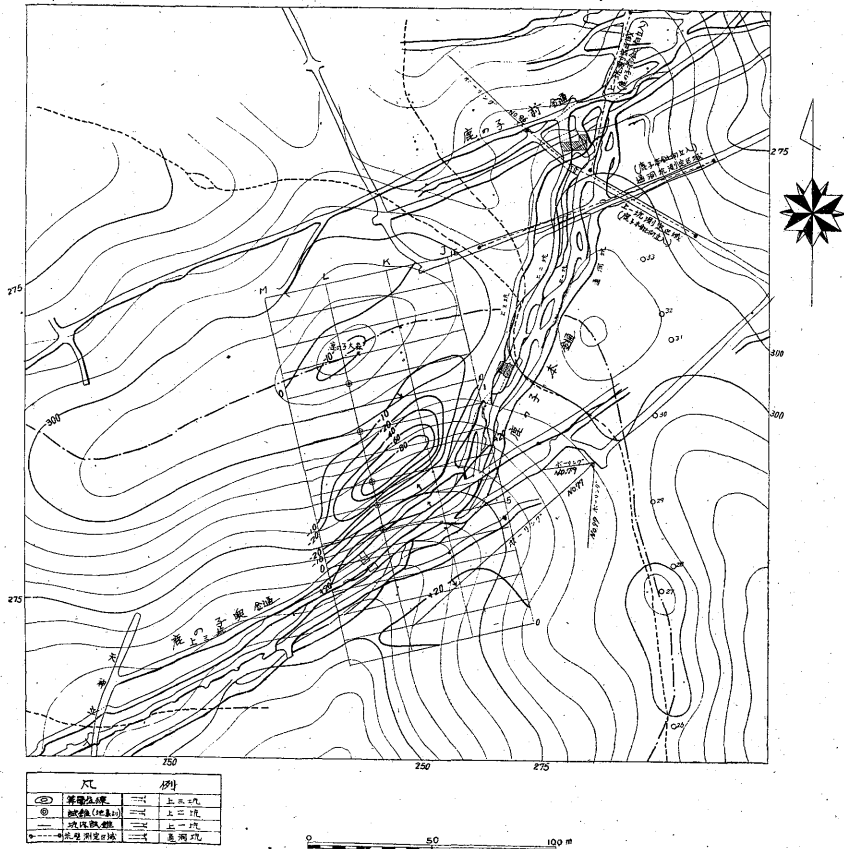
本研究は、東北地方の代表的鉱脈型鉱床に対し、鉱脈周辺および地表附近の自然電位の現象を究明し、自然電位法についての参考資料を得るために行なつたものである。実験は地表からと坑内からとに分け、地表においては鉱体上部の表層内自然電位の立体分布を推定し、それと岩質・変質および鉱体による電位との関連性を検討するために、坑内においては、鉱脈周辺の電位の変化状況、およびそれと母岩との関連性についての参考資料を得るために行なつたものである。

このほかに異種の電極等を用いて、1, 2の実験を行なつた。これは、坑内等において、われわれは、硫酸銅電極を鉱体に直接押しあてて、鉱体の上の電位を測定することが多い。したがつて、この測定電位がどのような意味をもつものであるかということについて、明らかにしたいという目的で行なつたものである。

### 5.2 研究方法および測定結果

#### 5.2.1 地表からの研究方法

昭和29年6月に、鉱山当事者において、鹿の子地区の自然電位の測定が行なわれたが、その結果、異常が現



第1図 細倉鉾山鹿の子鉾床上部等電位線図

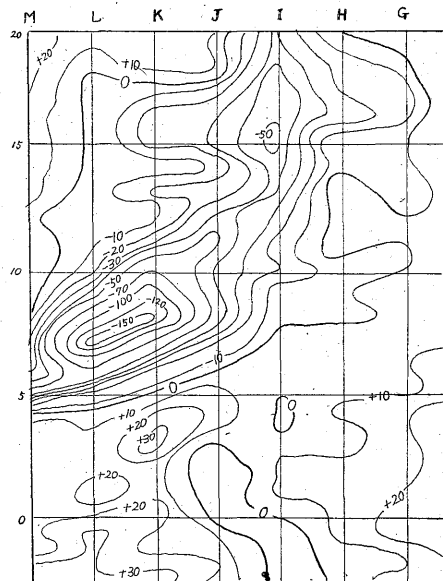
われた地域を再測定し、その異常を検討して、その異常区域に深度 10 m 程度のボーリング孔を数本掘さくし、その孔内の自然電位の検層を行ない、地表附近の立体電位分布を推定し、鉾体による電位および岩質・変質等との関連性を検討する。

5.2.2 地表からの測定結果 (第1,2図比較参照)

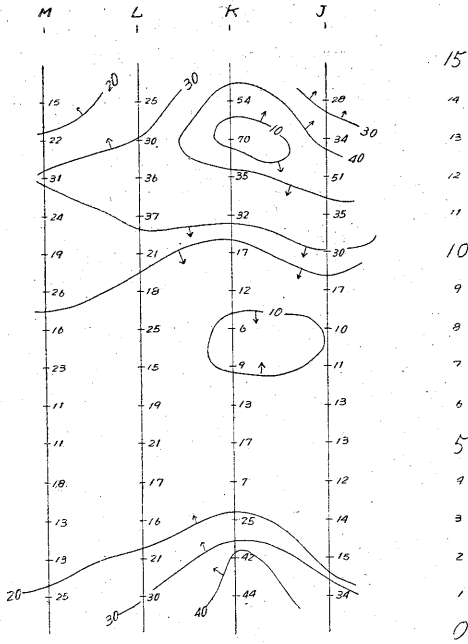
地表からの自然電位の測定結果を、昭和29年6月、鉾山当事者によつて行なわれたものと比較すると、第1図と第2図のようになる。すなわち、第1図は今回行なつた結果で、第2図は29年6月に行なつたものである。

これら両異常の関係を比較するとわかるように、異常の中心は大体において一致する。そして、ともにこれらの異常電位地帯は丁度鉾脈の傾斜方向における延長線と、地表との交わる附近に現われている。すなわち推定される露頭線にくる。しかしながら、両異常値の大きさおよび異常地帯の広がりは大分異なり、今回の結果はいくぶん小さく、かつ狭くなつている。

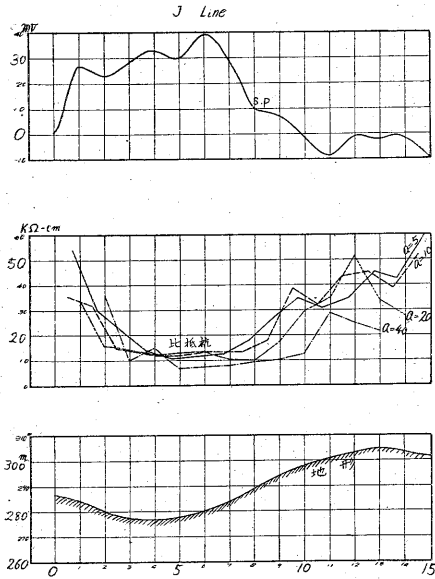
第3図は、同地域に比抵抗法(2極法  $a=5\text{ m}, 10\text{ m}$ ,



第2図 自然電位分布図(昭和29年6月測定)

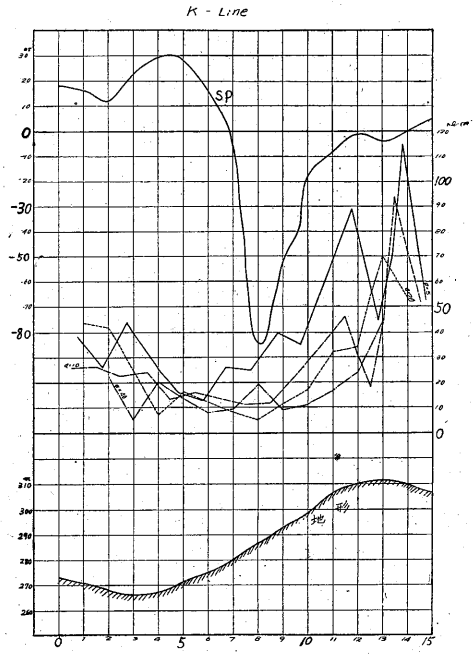


第3図 鹿の子地区比抵抗分布図 (2 極法  $a=20\text{m}$ )

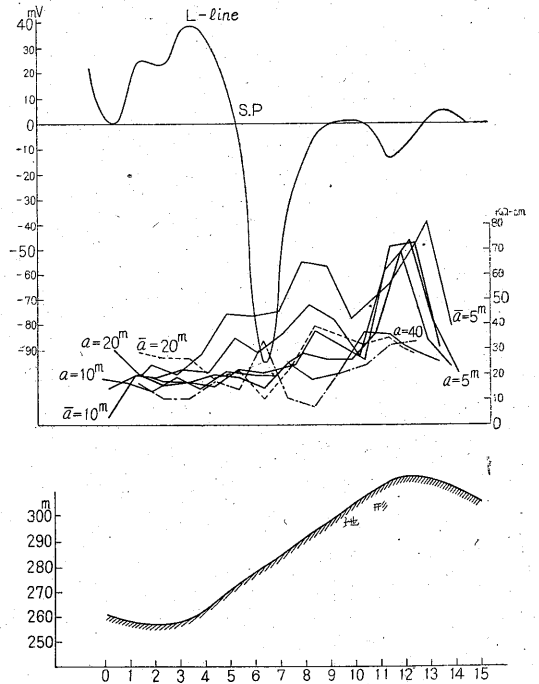


第4図 地形および測定結果断面図

20m, 40m)を行なったもののうち、 $a=20\text{m}$ の結果である。これらのいずれの結果も、大体に第3図と同一傾向を示し、地形の高い「M-12」~「J-13」にかけて高比抵抗が分布し、沢附近に低比抵抗地帯があつて、外見上は地形と関連があるように見える。また鉦脈の影響によると思われる比抵抗異常は、顕著なものはなく、見掛比抵抗断面図(第4~7図)において、一部分に微弱な変



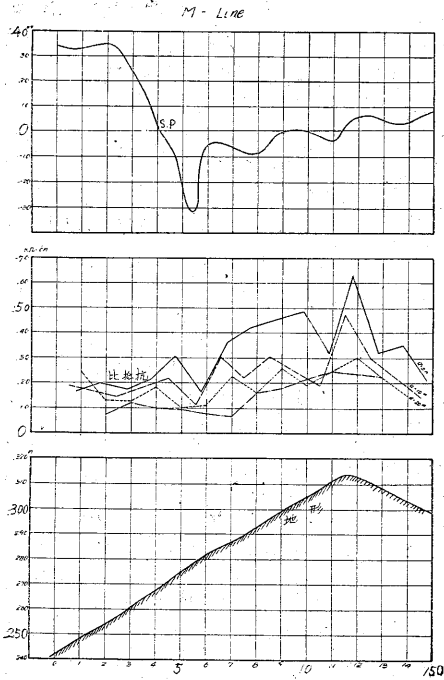
第5図 地形および測定結果断面図



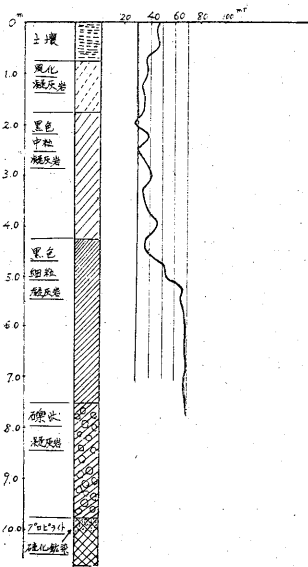
第6図 地形および測定結果断面図

化(低比抵抗)が現われている程度である。今回測定した自然電位・比抵抗および地形の関係を第4~7図に示した。

次に、この結果から異常地帯を横断するように選んだ



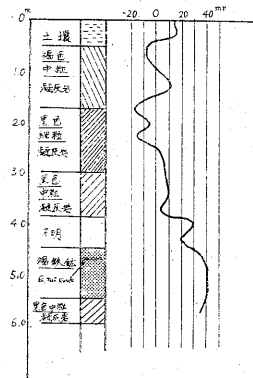
第7図 地形および測定結果断面図



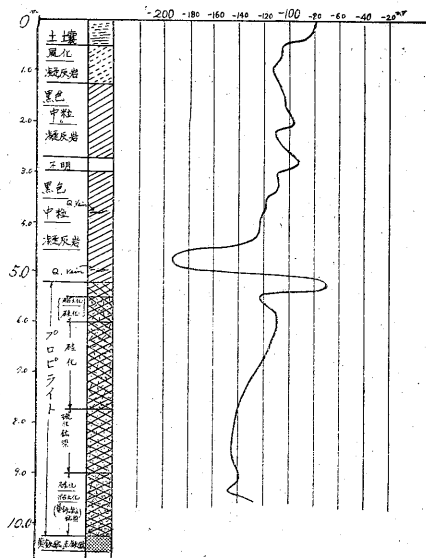
第8図 L-5 Bore Hole 内 SP-Logging

「L-5」「L-6」「L-7」「L-9」「L-11」の5点に、深度10m内外のボーリングを行ない、その孔内の自然電位測定を行なった。その自然電位柱状図と地質柱状図との対比を第8～12図に示す。

これらの各電位柱状図を、各試錐孔の地質柱状図と比較検討すると、表層地質の差異による電位差は少ない。



第9図 L-6 Bore Hole 内 SP-Logging



第10図 L-7 Bore Hole 内 SP-Logging

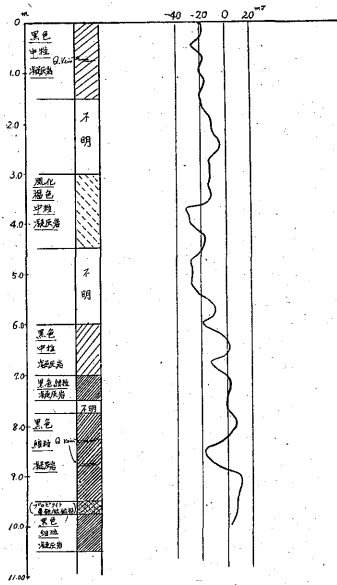
また鉾脈の真上に相当する「L-7」点を除いたほかは、深くなるにしたがってすべて高電位の方へ移行していく傾向がある。

第13図は上述の自然電位柱状図と地形断面図との相対関係を示したもので、これらの自然電位柱状図の結果は、全体からみるときわめて浅い地表附近の電位分布を示しているにすぎない。しかしこれらの結果を総合してみると、大体第10図の点線で書いたような立体的等電位推定線を一応描くことができる。

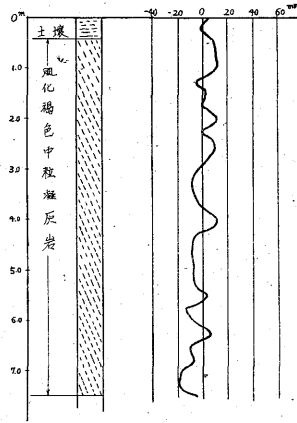
この推定線によれば、等電位線は山の頂上の方へは拡がり大きい、沢の方へは拡がり小さいという様相を示している。

### 5.2.3 坑内における研究方法

第1図でわかるように、坑内では鹿の子本鍾に向かつて立入坑道が数本あり、また鍾押坑道からほぼ水平に探



第11図 L-9 Bore Hole 内 SP-Logging



第12図 L-11 Bore Hole 内 SP-Logging

り、母岩の変質と電位の関係、母岩の相違と電位等について研究することとした。

また鍾勢の弱い石英脈を横切った天神立入坑道上での電位の変化状況等について、測定することにした。

5.2.4 坑内における測定結果

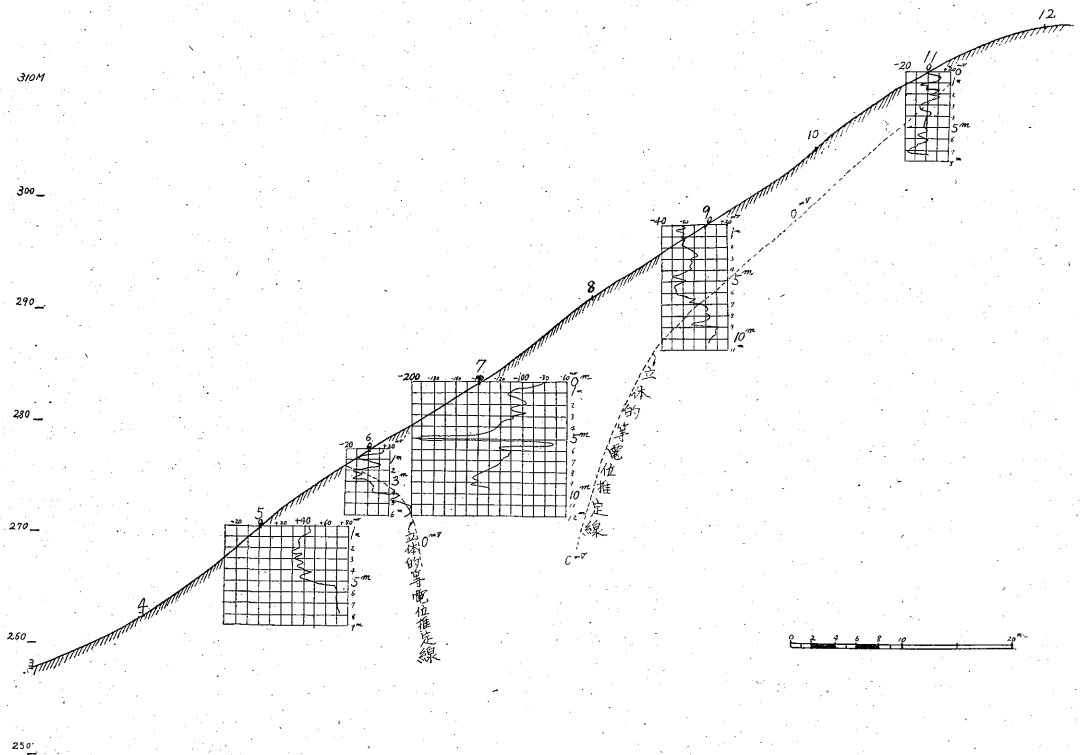
坑道壁の測定は、通洞坑地並と上I坑地並とにおいて、鹿の子本鍾を横切っている2本の立入坑道に沿って行なつた。そのおのこの関係位置は、第1図に示した。その結果は第14、15図に示したように、自然電位の負異常は、いずれの結果も鍾の両側において相当拡がっていることがわかる。また比抵抗法(4極法  $a=1\text{m}, 3\text{m}, 9\text{m}$ )の結果は、 $a=9\text{m}$ の場合を除いては、ほとんど鉱脈の近くで比抵抗が降下している。

次に、探鉱用横向きボーリング孔で、電位を測定した結果と、地質柱状図との

対比を第16、17図に示した。この各ボーリングの関係位置は、第1図に示す通りである。

対比を第16、17図に示した。

この各ボーリングの関係位置は、第1図に示す通りである。



第13図 L-線地形断面および自然電位柱状図

第16図は、No. 79 ボーリング孔内の結果で、第1図に示すような方向をもち、20 m で奥鐘にあつている。この結果では奥鐘に近づくと10 m 位前から電位が徐々に降下しているが、その間にある小さい脈によると思われる異常の幅は、きわめて狭い。すなわち大きい脈は、小さいものより遙かに広い範囲の異常帯を伴うようである。

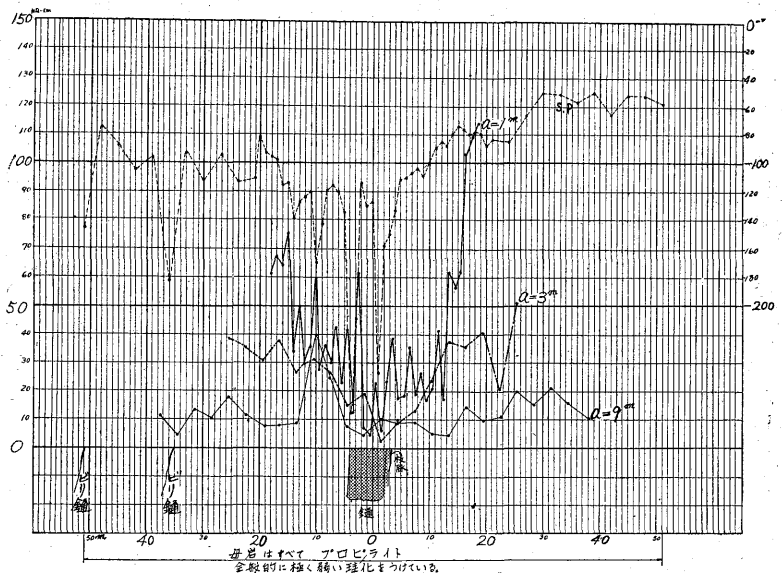
第17図は、No. 86 ボーリング孔内の結果で、第1図のような方向をもつている。この結果も脈のところで電位が降下している。この異常箇所を3回測定した結果、脈の両側における異常帯の拡がりの範囲が、毎回少しずつ喰違つている。

以上第16, 17図を通じて、岩石の地質学的変質状態〔変朽安山岩化作用の程度 (Pr<sub>1</sub>, Pr<sub>2</sub>, Pr<sub>3</sub>) 粘土化作用・珪化作用〕と自然電位の異常との間に、明瞭な関係は認められないように思われる。

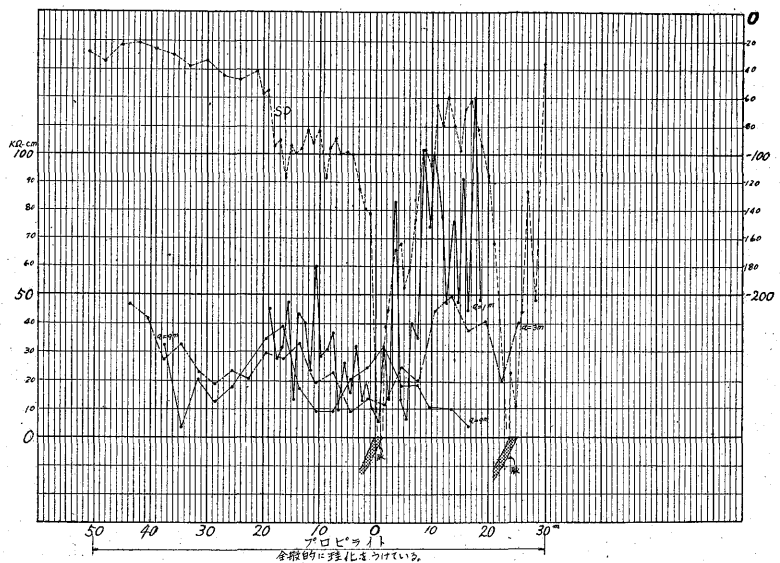
次に、(1) 鹿の子奥鐘の鐘先(ほとんど石英脈になつている)が、天神立入に交わる附近の天神立入坑道における電位変化および(2) 上3坑道に現われている変朽安山岩と凝灰岩とにおいて、岩石の差異に基づく電位変化の2つを知るために、これらの坑道壁の電位変化を測定した。

これらの結果は第18図に示す通りで、そのうち(1)は鹿の子奥鐘の鐘先(ほとんど石英脈)が、天神立入坑道と交わる附近は、天神立入坑の No. 10~30 附近で顕著な異常は、現われなかつたが、いくぶん周囲より低電位になる傾向がみられた。(2)は上3坑道の No. 15 附近が、両岩石の境界に相当し、この附近においてはなんら電位の変化は認められない。むしろ、No. 20 附近に硫化鉄のドリ鐘による影響が顕著に現われた。

(3)は異種電極を用いての実験(i)(ii)とその結果である。



第14図 通洞鹿の子本鐘向立入坑道における坑壁測定結果



第15図 上1坑鹿の子本鐘向立入坑道における坑壁測定結果

(i) 坑内において、われわれは硫酸銅電極を鉦石の上に直接押しつけて測定するが、鉦体の電位をメタリックに直接とりだしたら、どのような電位を示すかということを実験するために、第19図のように坑道の一断面において測点を設けて、尖つた鉛電極を移動極として、鐘を横切つて測定した(たゞし固定極は硫酸銅電極)。

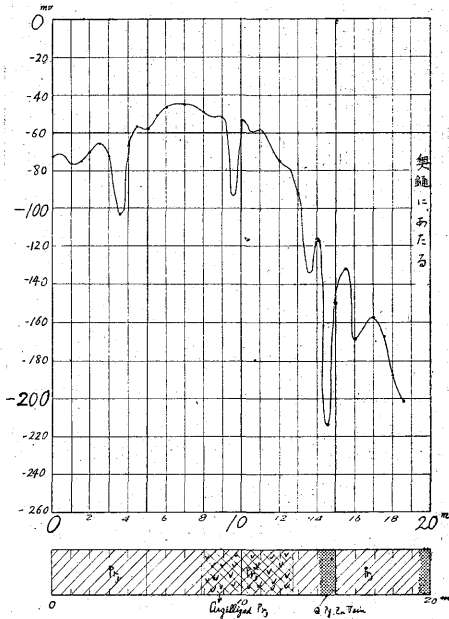
この結果は第20図の実験のようである。第20図において、電極を接着したところの岩石および鉦石の名称を次の記号で示した。

(変朽安山岩:P 方鉛鉦:Pb 黄銅鉦:chal Py 石

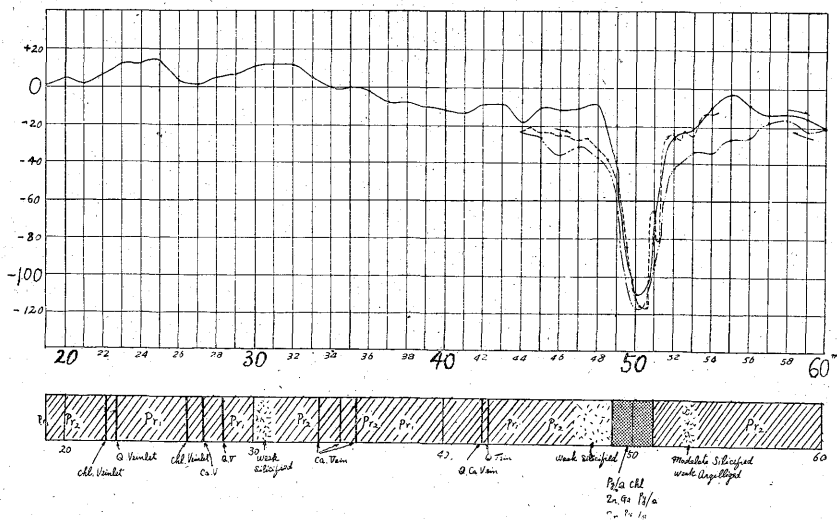
英: Qz 黄鉄鉱: Py 閃亜鉛鉱: Zn

これで見ると、方鉛鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱は変朽安山岩・石英・閃亜鉛鉱より高電位を示すことがわかる。

次に鉱石の電位をメタリックに直接とりださないときを比較するために、前述の鉛電極の周囲に布をまきつけ坑内水をつけて同測点を再測した。これは硫酸銅電極を押しつける場合と同じ意味になる。この結果は第20図の点線の通りで、実線のときに高電位を示した測点が、点線ではおのおの約 400~500 mV 降下している。



第16図 No. 79 上1鹿の子立入西向ボーリング内電位分布 差込み



第17図 No. 86 上1鹿の子1号通向ボーリング内電位分布

(ii) 次に鉱体に直接硫酸銅電極を接着した場合、硫酸銅溶液と鉱体との化学変化による影響を調べるために、鉱体と硫酸銅電極を、直接押しつけた場合と、鉱体と硫酸銅電極との間に、湿った細長い繩を挟んで測定した場合とを比較検討した。

第21図はこの結果で、点線は硫酸銅電極を、直接鉱体または岩石につけた結果、実線は硫酸銅電極と鉱体との間に湿った繩を挟んで測定した結果で、1, 2カ所の例外はあるが、大体において両者は著しい電位差は示さなかつたようである。

### 5.3 研究結果の考察

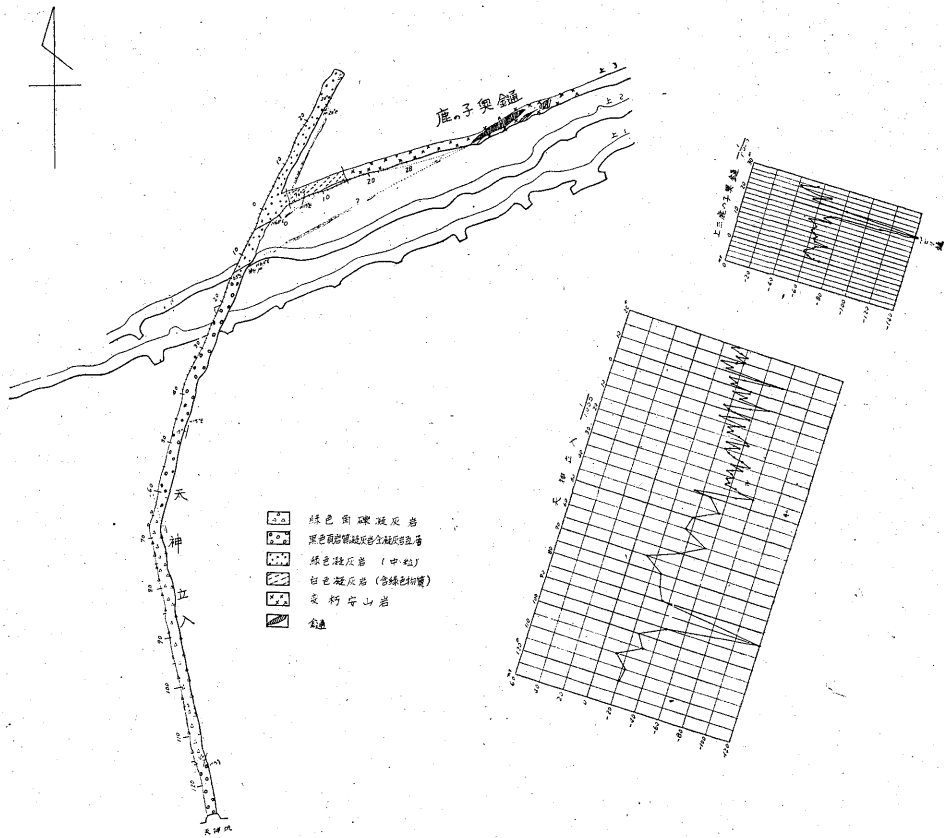
#### 5.3.1 地表からの測定結果の考察

第1図で明らかなように、地表での自然電位分布の異常は、鉱脈に關係のあるものであることは論をまたないが、この異常が約2カ年の前後で、割合顯著に変化をきたしていることについては問題があり、確実な推定はできないが、まず第一に、2カ年前後の相違として、鉱脈中に4レベルに坑道を掘さくした影響が大きいものと考えられる。またこのほかに、自然電位自身の時変化、日変化も考慮する必要があるように考えられる。その他表土の含水状態等の変化もいくぶん影響することも考えられる。

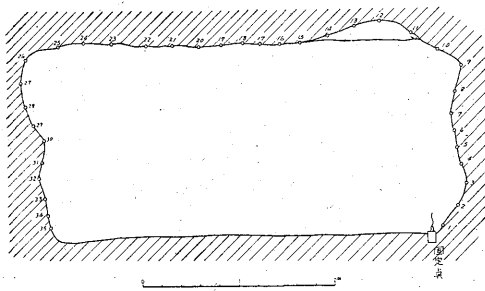
次に5本の試錐(垂直約10m)を、この負異常地帯を横切つて行なつた結果は、第8~12図の通りで、一応この結果からは、電位は鉱石または鉱染状態の分布とは關係があるが、凝灰岩の種類の違いおよび変質帯とは明らかな關係は認められないように考えられる。

次にこの結果を立体的に結んでみると、第13図のようになり、地表附近で拡がっており、とくに山頂に向か





第 18 図 天神立入地質および電位断面図

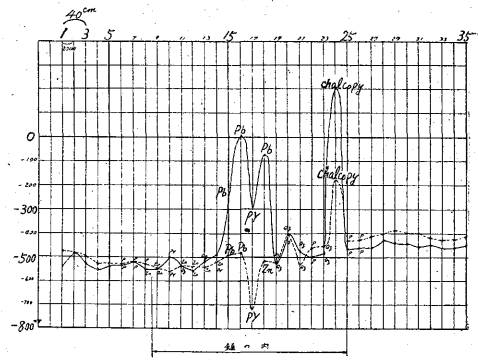


第 19 図 坑内実験実施箇所の坑道断面および測点図

つて拡がっていることがいえる。この原因については、もちろん、鉱体の酸化に基づく鉱体周辺の電流によるものと思われるが、そのほかに地表附近の鉱染部分が酸化するためではないかと考えられ、とくに山頂に向かつて拡がるのは、岩石抵抗の差または凝灰岩の厚さの差異に基づくものではないかと考えられる。

### 5.3.2 坑内での測定結果の考察

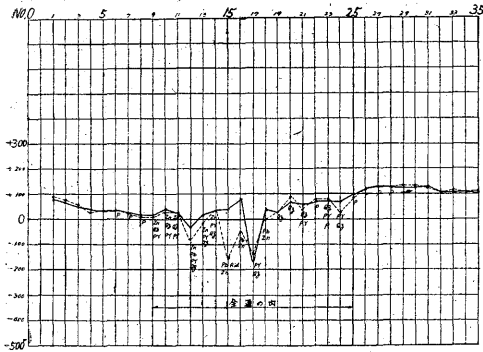
前述の結果からすれば、鍾の両側の電位の拡がり、大きい鍾ほど大きいことがわかる。そして鍾に近づくと



— Pb 電極使用(接点は Dry)  
 ..... 湿った布で被覆した電極使用(接点は Wet)

第 20 図 坑内実験(1) 鉱体電位の測定

急激に負異常が大きくなり、鍾のごく附近で段階的に負異常が変化するようである。これについて考えると、鉱体周辺の母岩の電位降下に対しては、現在のところ、2通り考えられる。その1つは、鉱体の酸化によって電流が流れ、そのために母岩中に電位が生ずると考えられるものと、母岩自身の変質または母岩中に含まれる微成分



第21図 坑内実験(2) 硫酸銅電極の接触電位測定

の相違によつて現われると考えられるものがある。今回の場合も、この2つがともに現われていると思われるが、その値がおのおのの程度のものであるかは、今後の研究にまたねばならない。

次に岩石の差異に基づく電位は、この場合安山岩と凝灰岩であるが、上3坑道の測定結果では(第18図参照)、ピリ鑛が境界にあるため明らかではないが、問題にするほどのものではないようであつた。

5.3.3 異種電極を用いての実験に対する考察

われわれが硫酸銅電極を使用して、鉍石の上で測定する場合、周囲の母岩より割合顕著な負異常が得られ、鉍体は周囲の母岩より低電位をもっているように考えられるが、上述の実験から考察すると、硫酸銅電極で測定しているものは、鉍体を取りまく周辺の液体の電位であつて、鉍体自身の電位は、周囲の母岩より高電位をもっていることがわかる。

次に硫酸銅電極を直接鉍体に押しあてて測定すると、硫酸銅溶液と鉍体との化学変化によつて、電位が変化するのでないかという疑問があつたが、上述の実験か

ら、われわれが測定するような短時間の間では、電位の変動はほとんど認められないことがわかつた。

6. 結論

以上の考察から、まだ今後に残された問題は多いが、一応現在までの考えを整理してみると、

(1) 鉍脈による地表の異常は、他の理由によることも考えられないこともないが、鉍脈中に坑道を切ることにより、いくぶん変化することがある。

(2) 約10m内外の表層の立体的自然電位分布は、ごく地表に近い附近で拮がつている。

(3) 鉍体周辺の母岩の電位降下に対しては、もちろんわれわれは坑道を掘つて測らねばならないので(掘らない前の分布は不明である)、こゝでは掘つた場合を考えると、掘ることによつて鉍体が酸化を受け、そのために生ずると考えられる分極電流による母岩中の電位と、母岩自身が熱変質、またはその他の変質で、物理的・化学的に変化をきたしたために生ずる電位変化が考えられ、この割合は、今後の研究にまたねばならない。

(4) 岩石の差異に基づく電位差は(この場合変朽安山岩と凝灰岩)問題にするようなものは認められなかつた。

(5) 地表の測定結果から、岩石比抵抗の差、または凝灰岩の厚さの相違によると推定される。自然電位の変化が、割合顕著に現われているので、今後この点について研究する必要がある。

(6) 硫酸銅電極で、鉍石の上の電位を測定するのは、鉍石自身の電位でなく、それをとりまく液体の電位である。

(7) 硫酸銅電極で、鉍体の上の電位を測定するとき、CuSO<sub>4</sub>溶液と鉍体との化学作用で、電位が変化するように考えられるが、われわれが測定しているような短時間では、電位変化はあまりないことがわかつた。

(昭和31年9月調査)