



Title	2. 桂岡鉄山に於ける鉱床探査
Author(s)	音田, 功; ONDA, Isao; 高田, 雄次 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 5, 11-25
Issue Date	1957-10-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.5.11">https://doi.org/10.14943/gbhu.5.11</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13806">https://hdl.handle.net/2115/13806</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_p11-25.pdf



## 2. 桂岡鉄山に於ける鉱床探査

音田 功・高田雄次・武内俊昭

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和32年7月受理 —

### I. 緒 言

我々は、1956年10月10日より11月1日迄延22日にわたつて、北海道地下資源調査所により桂岡鉄山に於いて行なわれた電気探査及び磁気探鉱に参加した。その解析結果について報告する。

桂岡鉄山は北海道渡島半島南部にあり、地理調査所刊5万分ノ1地図「上ノ国」(函館14号)のほぼ中央部天ノ川の一流厚志内沢の東側斜面にある。本鉄山の事務所は国鉄江差線桂岡駅より東方200m附近の字早瀬にあり、採鉱場は厚志内沢を溯る事約10kmにある。

附近一帯の地形は満壮年期の様相を呈し、谷は深くえぐられ、各所に急崖を作っている。

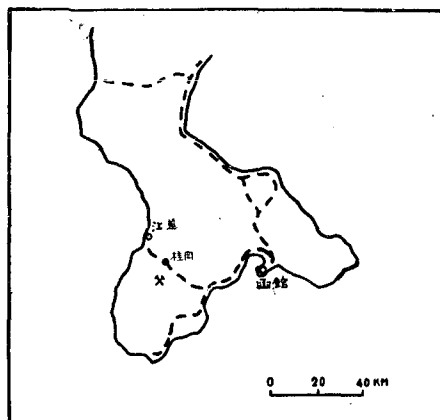
本鉄山一帯は粘板岩等を含む所謂古生層を基盤に持ち、その上に不整合の関係を持つて新第三紀層がのつている。調査区域内では古生層に属するものは珪岩、輝緑岩、珪質粘板岩、閃緑岩である。一方新第三紀層は緑色化を受けた堆積岩及びこれらと泥岩との互層からなつており、中新統とみられる。併し、調査区域に於いては、詳しい層順を決定する事は不可能であつた。

鉱床は珪岩を上盤、下盤として、輝緑岩を交代している。鉱石は磁鉄鉱を主とし、磁硫鉄鉱、黄鉄鉱を伴ない、二次鉱物として褐鉄鉱がある。

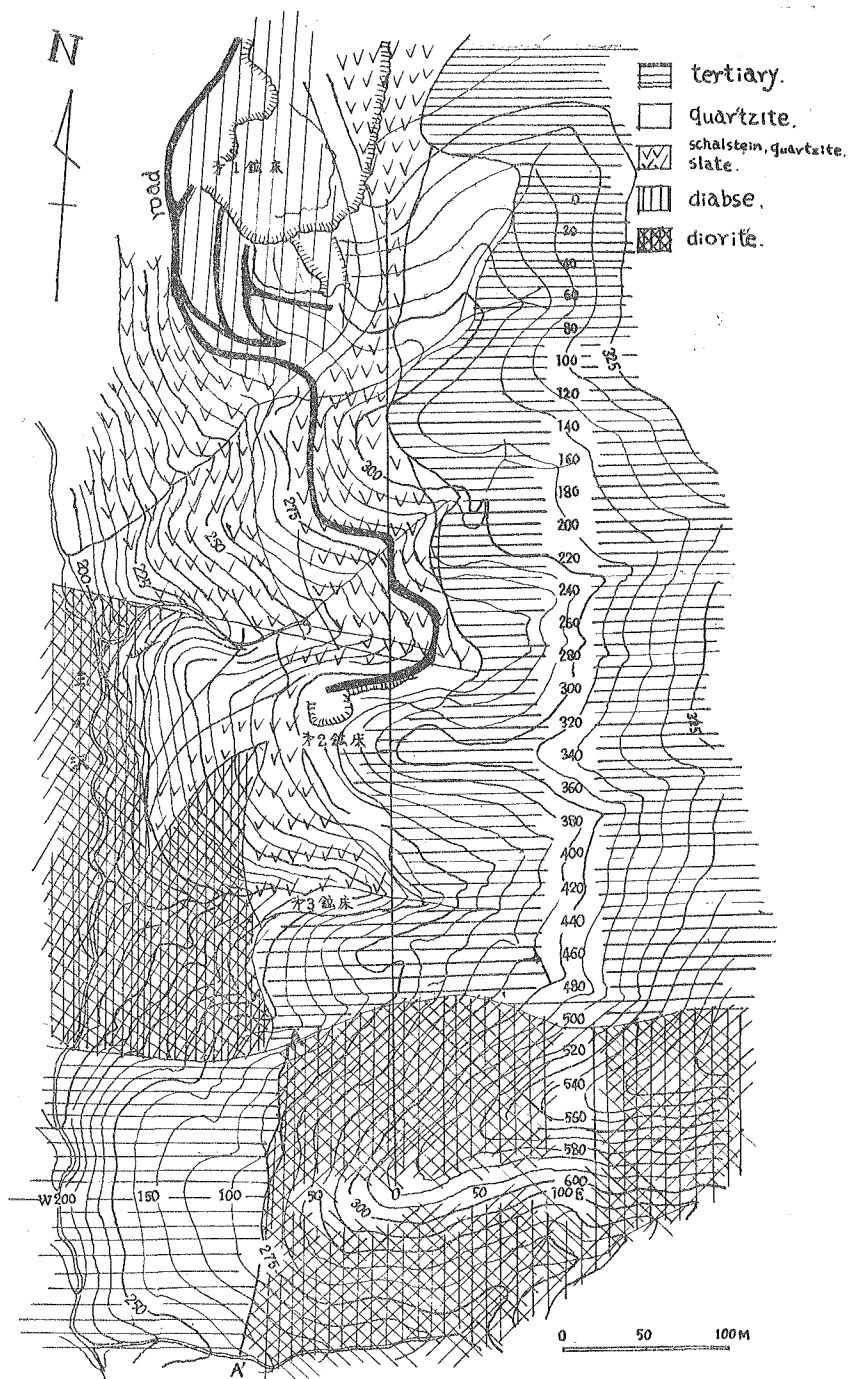
鉱床を有する露頭は調査区域附近では3ヶ所あり、北側より第1鉱床、第2鉱床、第3鉱床と名づけられて既に採掘が進んでいる。これら3ヶの鉱体を含んで、南北600m、東西最大300mの区域を自然電位法、比抵抗法及び磁力探鉱法で探査した。

本鉄山は4年程前から稼業を開始し、3年前には300 tons/dayの鉱石を産出していたが、第1鉱床は掘り尽され、調査当時には第2鉱床を掘り始め、第1及び第2両鉱床から合せて60 tons/dayの鉱石を搬出していた。

第2図に探査区域附近の地形及び地質図を示す。



第1図 渡島半島南部の略地図



第2図 地形及び地質図

## II. 物理探鉱

本鉄山の如く磁鉄鉱を主産物とする鉱床に於いては、磁力探鉱が最も有力である。併し、未知鉱床の探査区域の設定、地質構造の解明に対しては電気探鉱も補助手段となりうる見込はある。電気探鉱に於いては自然電位法及び、比抵抗法を採用した。自然電位法に於いては、黄鉄鉱を含む本鉱床では明らかに異常が予想される。比抵抗法は地質構造の判定に役立つものと思われる。

### (1) 自然電位法

島津製 E・P 型電位差計を用いて、測定区域を2日間にわたって2班で測定した。

基準点は測点 200~0 に設定した(第3図, ⊙印)。測定結果は第3図の如くであった。

若しも鉱床自体黄鉄鉱を多量に含んでおれば、S・P の負中心が鉱体上に現われる筈であるから、未知鉱床を負中心に期待する事が出来る。然るに、負中心を連ねた地域の方向及び範囲は、地質的に考察した珪岩又は珪化帯の分布範囲と一致する。この事は鉱床中に存在する黄鉄鉱の含有量が僅少であるか、或いは黄鉄鉱の分極作用よりも珪岩又は珪化帯の分極作用の方が大きいかの何れかであることを意味している。この結果この鉱山の鉱床に於いては、未知鉱床の存在範囲をこれ等 S・P の負中心地域に期待することは出来ない。寧ろ既知鉱床の位置から考えて、これらの負中心線に狭まれた地域に鉱床を期待する方が良いと思われる。何となれば既知鉱床の上盤及び下盤が珪岩であるからである。上述の事柄を考慮して自然電位分布図を見ると、少なくとも地表附近には未知鉱床の兆候を示している箇所が見当たらない。

基準点が古生層に設定されたにも拘らず、基準点と等電位を示す地域が新第三紀層の分布地域(第3図斜線部)にあるのは、表土層、地形及び電極接地等の諸条件だけでは解釈がつかない。第3図に示した零 mV 等電位線は第2図にある断層 A-A' の影響を受けているものと考えられる。

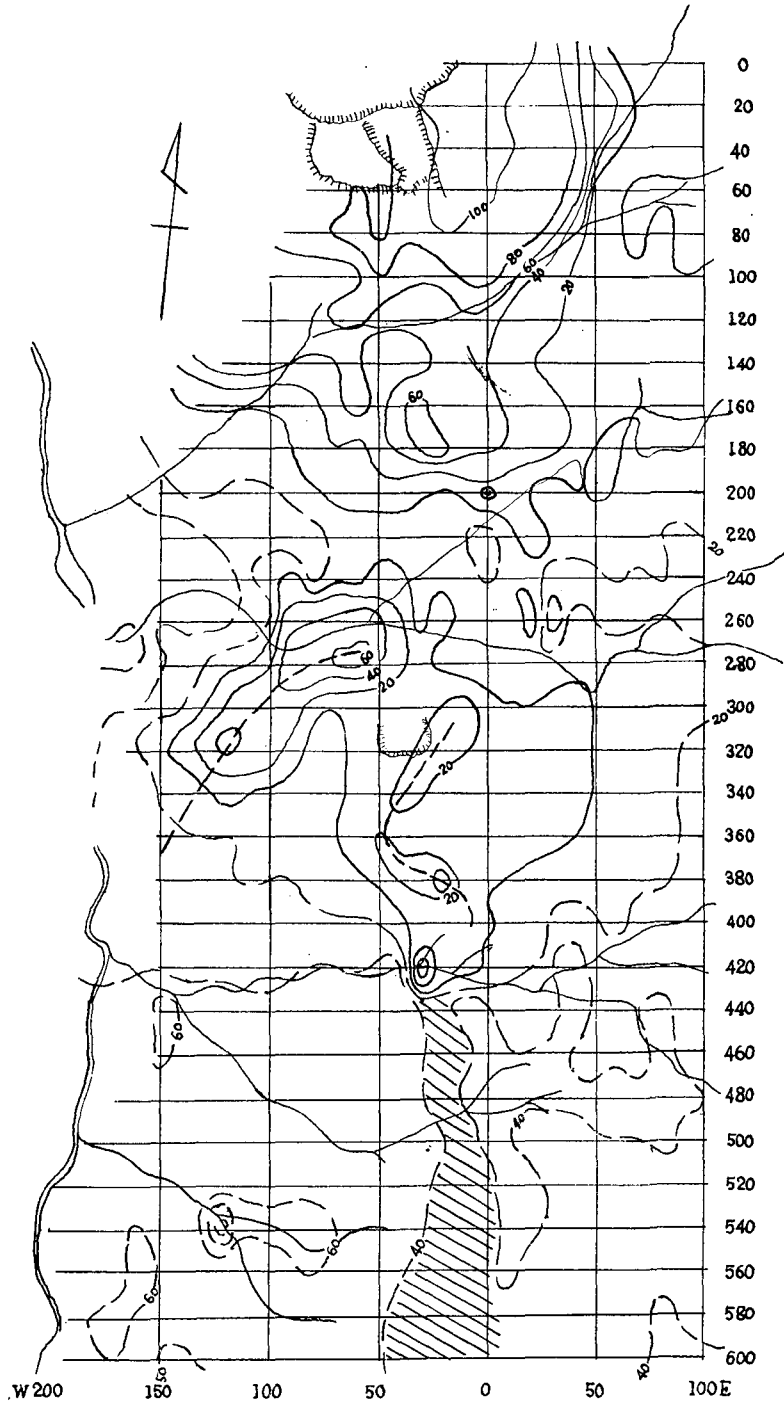
### (2) 比抵抗法

測定には横河製 L-10 型大地比抵抗測定器を、又電極配列には2極法を用いた。電極間隔は、5 m, 10 m, 及び 20 m の3種類を選び7日間にわたって測定した。

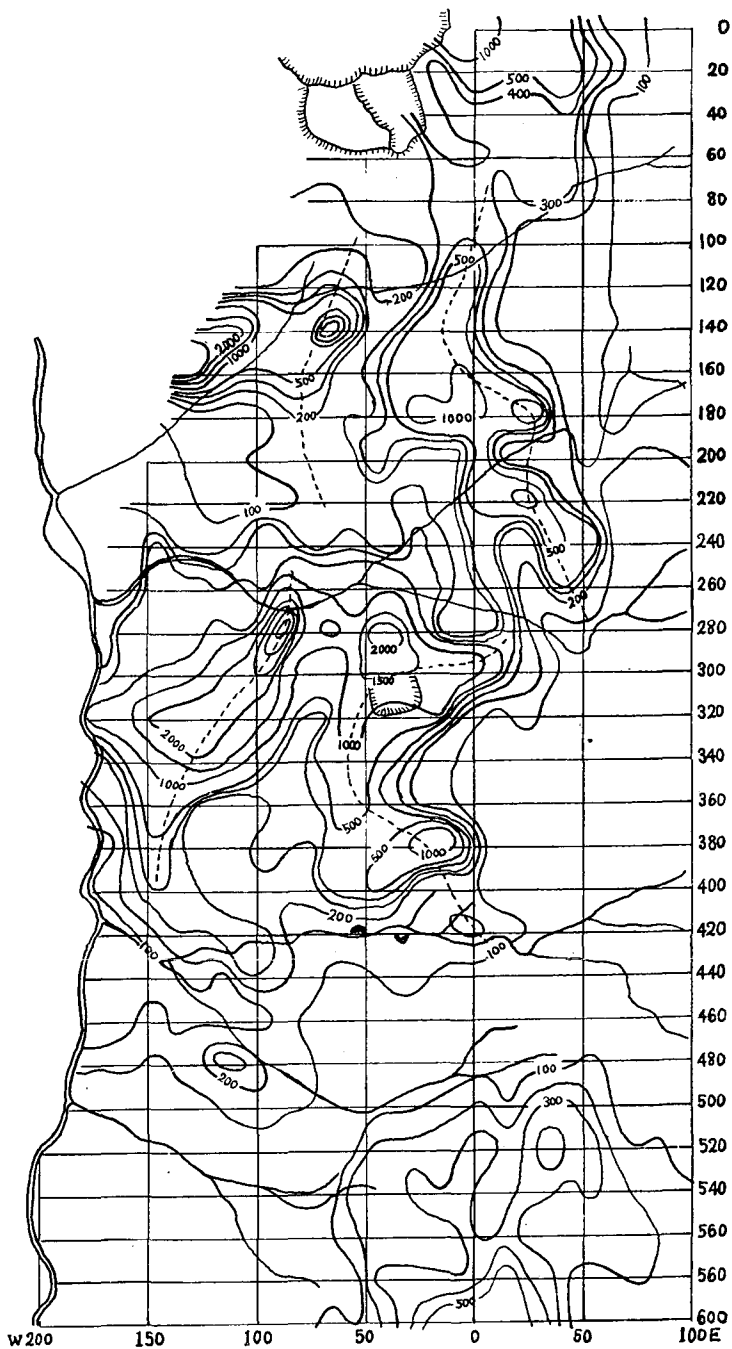
この結果を第4a, 4b, 4c 図に示す。

これ等の比抵抗図を比較すると電極間隔が大きくなるに従い、比抵抗値も小さくなっている。この事は電極間隔が大きくなる程、表土層の影響がなくなり、下層の比抵抗値に近づいている事を示している。例外として、測定区域の北東部に電極間隔の増大と共に比抵抗値が漸増している処がある。これは新第三紀層が高比抵抗体である珪岩を不整合に蔽っているためと考えられる。然し相対的に地形が東に高くなっていることから、電極間隔 20 m 位では珪岩の分布姿態を論じることは出来ない。

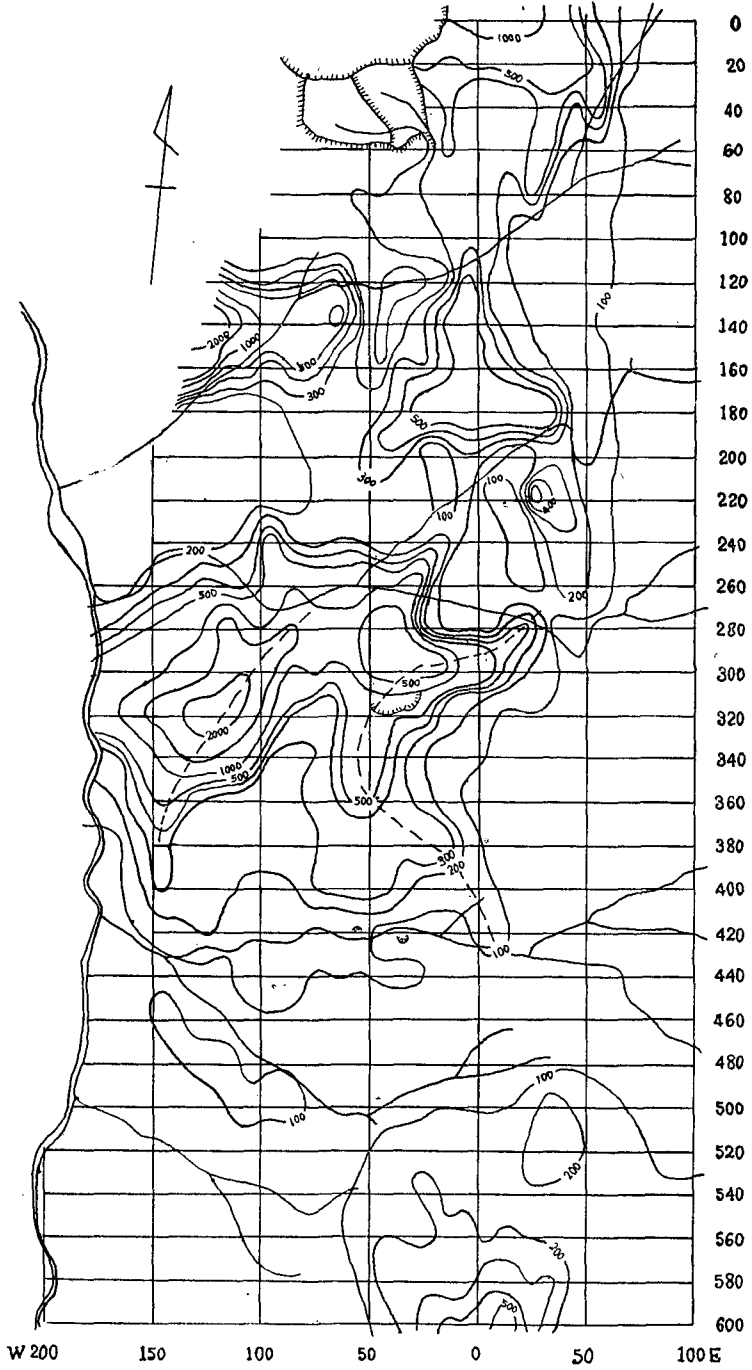
一般に新第三紀層の比抵抗は 100  $\Omega$ m 以下であり、輝緑岩は 200~400  $\Omega$ m, 珪岩は 400~



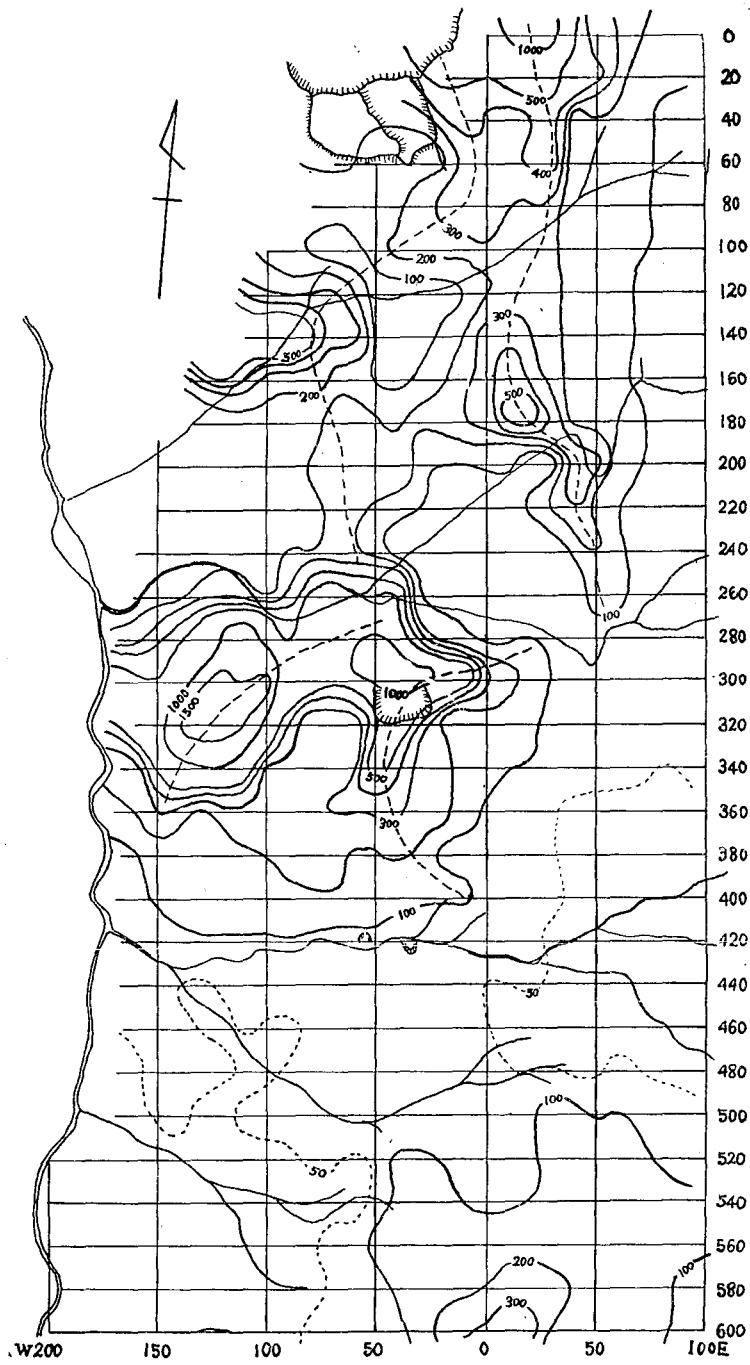
第3図 自然電位分布 (単位 mV, 破線  $\Omega m$ )



第4a図 比抵抗分布図 ( $\alpha=5m$ , 単位  $\Omega m$ )



第4b圖 比抵抗分布圖 ( $a=10\text{ m}$ , 單位  $\Omega\text{m}$ )



第4図c 比抵抗分布図 ( $a=20$  m, 単位  $\Omega$ m)

600  $\Omega\text{m}$  である。硅岩中硅化作用が進んでいる所は、それ以上の値を示す。これらのことは、この附近の地質構造と関連づけることができる。

第二鉱床で直接比抵抗を計つた値は 400~600  $\Omega\text{m}$  であつた。比抵抗分布から鉱床の存在を結論することは出来ないが、未知鉱床があるとすれば高比抵抗体に含まれることは間違いない。

地下構造の深さを数量的に取扱うには、比抵抗法に於ける各種の電極配列のうちで 4 極法が一番便利であり且つ最も信頼性があるが、本調査では 2 極法を用いたので数量的な取扱いは行い難い。然し今第 3 鉱床について球状良導体を仮定してその大いさを計算して見よう。

観測された見掛け比抵抗値と鉱体の大いさとの関係は、次の式で<sup>1)</sup>表される。

$$\frac{\rho_a - \rho}{\rho} = \frac{R^3}{a^3} \frac{4(1-m^2-n^2)}{\left\{(1+m^2)+n^2\right\}^{\frac{3}{2}} \left\{(1-m^2)+n^2\right\}^{\frac{3}{2}}}$$

但し  $\rho_a$ : 測定された見掛け比抵抗

$\rho$ : 鉱体の比抵抗

$R$ : 球の半径

$2a$ : 電極間隔

$x$ : 鉱体の中心から電極間隔の中心までの距離

$y$ : 地表からの深さ

深さ  $y$  を仮定し (i) 比抵抗分布図より考えられる鉱体の中心 W 35 と (ii) 磁気異常の中心 W 20 とを考える。

(i)(ii) に於いて、未知数は、 $R$ 、 $m$  及び  $\rho$  の 3 つである。 $\rho_a$  の値には電極間隔 5 m, 10 m 及び 20 m の測定値を使つて、 $n$  に対する  $m$  の値を  $k$  個取れば、 $k$  個の連立方程式が出来る。これより  $R$ 、 $\rho$  を求め、この平均値を  $\bar{R}$ 、 $\bar{\rho}$  とすれば、これらの値は第 1 表に示した如くなる。但し (ii) に於いては、 $\rho=500 \Omega\text{m}$  として計算を行つた。この結果、第 3 鉱床の大きさは深さ 5

第 1 表

$y$		$\bar{\rho}$		$\bar{R}$	
(i)	(ii)	(i)	(ii)	(i)	(ii)
5	5	390	500	7.1	8.0
10	10	210	500	9.8	12.3
12		150		11.8	
13		121		13.2	
15	15	58	500	16.0	17.4
20	20	63	500	22.3	19.9
	30		500		28.9

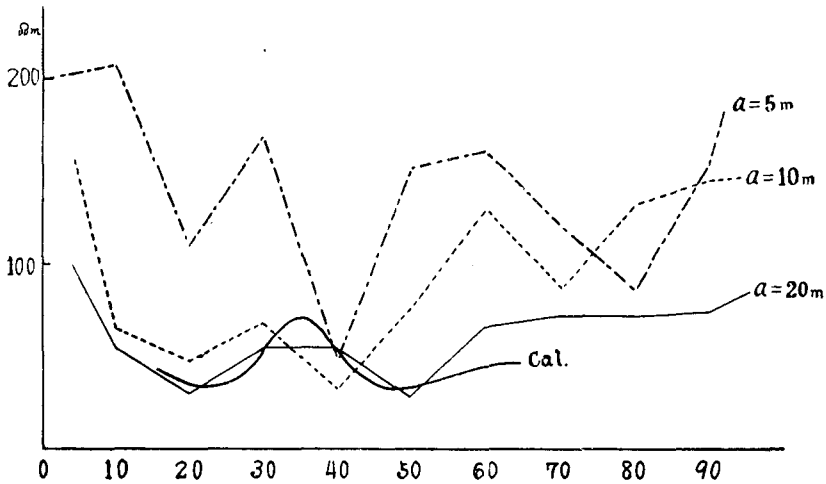
1) 萩原尊礼; 物理探鉱法 (1951), 166 頁, 朝倉書店。

mで半径7~8mの鉱床と思われる。中心は磁気探査の資料と比抵抗値とを考え合せるとW35の方が良いと思われる。

$y=5\text{ m}$ ,  $R=7\text{ m}$ ,  $\rho=500\ \Omega\text{m}$ , と仮定しW35に中心がある場合、電極間隔を20mとして測定され得る値 $\rho_a$ を計算すると第2表の如くなる。これを実測値と較べると第5図に見られる様に良く一致している。

第 2 表

$x_m$	$\rho_a\ \Omega\text{m, (cal)}$
0	75
10	34
20	45
30	49



第5図 420-E30附近の比抵抗値

磁気異常が認められた580-E50附近について、磁気計算より求めた $d=45\text{ m}$ を仮定して前記と同様に計算すると、 $\bar{R}=39\text{ m}$ ,  $\rho_{\text{max}}=200\ \Omega\text{m}$ が得られる。地形の影響と電極間隔が深さに較べて狭いことを考慮しても、この磁気異常が鉱体を示しているとは考えられない。

又140-E70を中心とする地域にも、この方法は適用されうるが、電極間隔が深さに較べて狭いため計算値は広範囲にばらついて、満足すべき結果はえられなかつた。

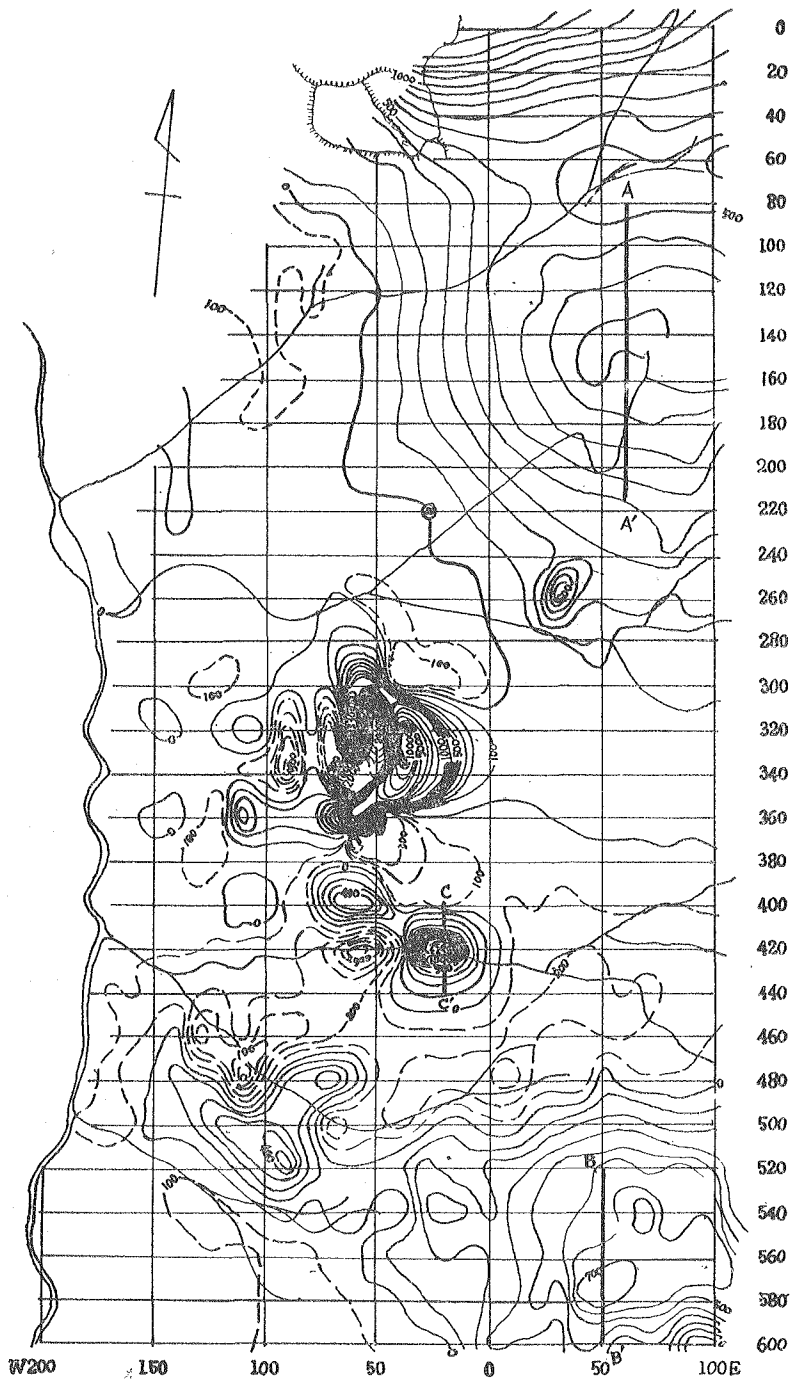
(3) 磁気探査

使用器械はSchmidt型磁力計で、scale valueは10.5rであつた。測定は全点で垂直成分について行なつた。

基準点は鉱床の影響がないと思われる測点200-W10(第6図, ⊙印)を選び、日変化の様子を測定した。尚この点の測定値は本鉱山事務所前に於ける測定値と一致していた。

昼間の定点観測の結果、日変化が30rに及ぶ事が判明、又温度による変化を測定すれば0.05~0.18 r/°C程度と求められた。従つて補正については、日変化に対する補正のみを考え、温度補正は省略した。

垂直成分の分布姿態を第6図に示す。明らかに第1鉱床(0-0)で1,500r, 第2鉱床(320-W50)で20,000r, 第3鉱床(420-W20)で2,500rの異常を示している。この他140-E50及び



第6圖 垂直磁気異常分布 (単位 r, 破線; 負)

580-E 50 附近に夫々値は大きくはないが、広い範囲にわたる異常が見られる。このうち、580-E 50 附近の磁気異常については、地質が閃緑岩である為、火成岩の自然残留磁気の影響を示していると考えられる。

さて、地下に simple pole の存在を仮定した時、地表での垂直成分の影響は pole の深さを  $d$  とすれば、垂直成分は pole の真上から  $3/4 d$  丈離れた点で  $1/2 Z_{\max}$ 、 $d$  だけ離れた点では  $1/3 Z_{\max}$  になる事が知られている<sup>2)</sup>。

140-E 50 附近の異常について計算してみる。この附近は新第 3 紀層が薄くのみ、その下部に、古生層が不整合の関係をもつて分布している。140-E 60 で  $Z_{\max}=830 \tau$  を示し、 $1/2 Z_{\max}$  になる点は約 76 m 離れており、これから深さ  $d$  を求めると、 $d \doteq 105 \text{ m}$  となる。一方  $1/3 Z_{\max}$  の方から求めても、 $d \doteq 105 \text{ m}$  となつて両者は良く一致する。

又 simple pole でなく球状帯磁物の南北測線上の地表に表れた異常は次の式で表される<sup>3)</sup>。

$$Z = c Z_0 \frac{R^3}{r^5} \left( -x^2 + 2d^2 - 3xd \frac{H_0}{Z_0} \right), \quad (1)$$

$$c = \frac{4/3 \pi \kappa}{1 + 4/3 \pi \kappa},$$

但し  $Z_0$ : 正常地球磁場の垂直成分  
 $H_0$ : 正常地球磁場の水平成分  
 $\kappa$ : 帯磁率  
 $R$ : 球の半径

坪川等の出した式<sup>4)</sup>からこの土地の  $Z_0$ ,  $H_0$  を計算すると

$$\begin{cases} Z_0 = 42,000 \tau = 0.42 \text{ c. g. s.}, \\ H_0 = 28,000 \tau = 0.28 \text{ c. g. s.}, \end{cases}$$

となる。

(1)式で  $u = \frac{x}{d}$  とおけば

$$Z = -c Z_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3 \frac{u^2 + 3 \frac{H_0}{Z_0} u - 2}{(u^2 + 1)^{5/2}}, \quad (2)$$

(2)を  $u$  で微分すれば

$$\frac{\partial Z}{\partial u} = 3c Z_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3 (u^2 + 1)^{-7/2} \left( u^3 + 4 \frac{H_0}{Z_0} u^2 - 4u - \frac{H_0}{Z_0} \right) \quad (3)$$

故に  $\frac{\partial Z}{\partial u} = 0$

2) Nettlton; Geophysical prospecting for oil (1952), p. 208, McGraw-Hill.

3) Nettlton; loc. cit., p. 215.

4) 坪川家恒: Bull. Geogr. Res. Inst.: Vol. 3 (1954), p. 1.

即ち

$$u_m^3 + 4 \frac{H_0}{Z_0} u_m^2 - 4 u_m - \frac{H_0}{Z_0} = 0 \quad (4)$$

を満足する  $u_m$  は  $Z$  の極値を与える。然るに、これらの極値の中で、 $u_m=0$  の附近に対応するものは(2)から分る如く極大である。又  $Z$  の極大値を  $Z_m$  とすれば

$$Z_m = -c Z_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3 (u_m^2 + 1)^{-\frac{5}{2}} \left( u_m^2 + 3 \frac{H_0}{Z_0} u_m - 2 \right),$$

又  $u=0$  即ち球の中心上の  $Z$  の値を  $Z_1$  とすれば

$$Z_1 = 2c Z_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3$$

従つて

$$\frac{Z_1}{Z_m} = 2(u_m^2 + 1)^{\frac{5}{2}} \left( u_m^2 + 3 \frac{H_0}{Z_0} u_m - 2 \right)^{-1} \quad (5)$$

(5)に(4)で求められた  $u_m$  と、観測値から知れる  $Z_m$  を代入すると、 $Z_1$  が求まり、測定値がこの  $Z_1$  に一致する点が  $x=0$  即ち、帯磁球の真上の点を与える。 $Z_1$  を示す点から、 $Z_m$  を示す点までの距離は  $x_m$  であるから

$$u_m = \frac{x_m}{d},$$

なる式によつて  $d$  を求めうる。

これらの式に、上に求めた  $H_0$ ,  $Z_0$  とを代入すれば

$$u_m = -1.98, \quad +1.186, \quad -0.1541,$$

となり、これらの中、 $Z_{\max}$  に対応する  $u_m$  は

$$u_m = -0.1541,$$

である。これを(5)に代入して

$$\frac{Z_1}{Z_m} = 0.928.$$

$Z_m = 830 r$  を代入すると

$$Z_1 = 771 r.$$

第6図に於いて  $771 r$  に対応する座標は  $156 \text{ m}$  に当つている。又  $Z_{\max}$  になる座標は  $140 \text{ m}$  であるから

5) 3次方程式の一般的解法には Cardan の解法がある。

$$d = \frac{x_m}{u_m} = \frac{(140-156)}{-0.154} = 104 \text{ m.}$$

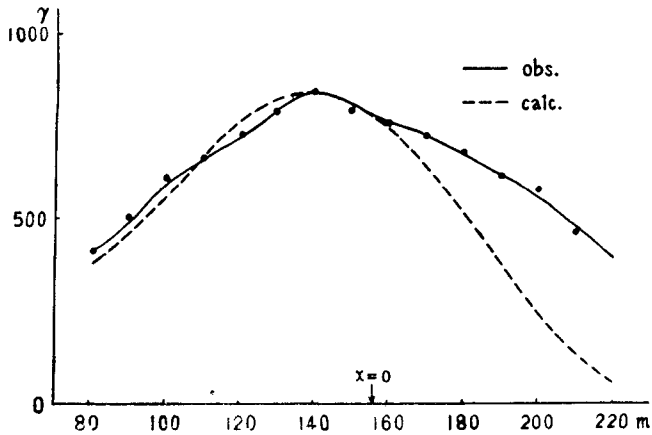
故に深さ 104 m の処に帯磁球の中心がある事になり, simple pole とした場合とよく一致する。次に半径  $R$  は, 鉱体の帯磁率  $\kappa$  を磁鉄鉱々床の平均帯磁率としてとられている 0.1 を採用して

$$Z_1 = 2cZ_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3,$$

に代入すると

$$R = d \sqrt[3]{\frac{Z_1}{2cZ_0}} = 32.9 \text{ m.}$$

ここで求めた値を用いて,  $Z$  を計算し, 観測値と合せてみると, 第7図の如くなる。即ち,  $x=0$  より北側では非常によく合っているが, 南側では *osb.-cal.* の値は  $x$  が増すに従つて大



第7図 140-E 40 附近の磁気異常 (第6図 A-A')

きくなる。これは地形, 地質等の影響によるものか, 球状帯磁物を仮定したのがいけないのかその原因は不明である。但し磁力の影響が一番強く受ける  $x=0$  附近では非常によく合う事から考えて少なくとも第一近似では球状の帯磁物を仮定してもよいと云えるであろう。(2)式をみると

$$\left( u^2 + 3 \frac{H_0}{Z_0} u - 2 \right) \sqrt{(u^2 + 1)^{\frac{5}{2}}}$$

の係数は

$$cZ_0 \left( \frac{R}{d} \right)^3 = \frac{Z_1}{2},$$

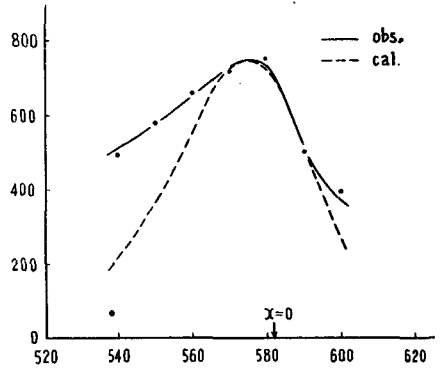
で一定値となつているので,  $Z_1$  を指定してしまえば, 第7図で  $Z$  の高さを変える事は出来ない。又帯磁率と球体の半径とは夫々独立には決定しえないので, 何れかを仮定しなければなら

ず、それらの唯一的な値を求める事は出来ない。

次に今行つたと同じ方法で、580-E 50 附近の磁気異常について計算すれば、 $x=0$ 、即ち帯磁物の中心の真上の点は 582-E 50 となり

$$d = 45 \text{ m}$$

をえた。この結果を用いて  $Z$  を計算し、観測値と比較すれば、第 8 図に示した如くなる。これを見ると両者は非常に良く一致する。又鉱体の半径を求めるために、帯磁率として深成岩系の最大値 0.004 を採用すれば  $R=39 \text{ m}$  となり、この値は半径の最小値を与える。一方前述の比抵抗法の値から算出した値は  $R=39 \text{ m}$  であり、両者はかなり一致する。故にこの地域の異常は深成岩等の残留磁気に原因するという考え方が妥当であろう。

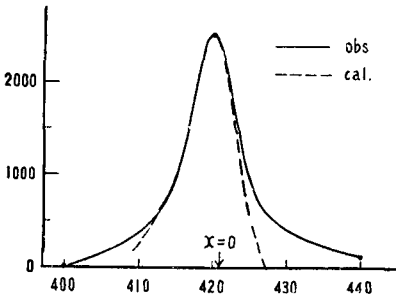


第 8 図 50-E 50 附近の磁気異常 (第 6 図 B-B')

更に同じ方法を第 3 鉱床について適用すると鉱床の真上の点は 421-E 50 であつて、計算の値は

$$d = 8 \text{ m}, R = 7.9 \text{ m}$$

となる。これらの値を用いて  $Z$  を計算してみると第 9 図に示した如く、再びよく合う事が判つた。



第 9 図 第三鉱床磁気異常 (第 6 図 C-C')

この結果は露頭による観察及び電探からの解析結果とも矛盾しない。

これ等異常地域では水平成分の測定も行つてい  
るのではあるが、補正の方法その他に不可解な点があつた為これを省略して、垂直成分の測定のみで解釈した。この水平成分を加味した夫々の異常地域に対する深さ等を、報告されたもの<sup>6)</sup>について比較してみると、筆者等の得た値の方が少しく大なる値を示している。併し大きな差はみられない。

140-E 60 附近の異常地域に対し、近々ボーリングが下ろされるので、その結果と比較したい。

### III. 結 語

筆者等は桂岡鉱山の調査に参加する機会を与えられ、更に調査方法並びに調査結果の解析について種々の御指導を頂いたことに対し道立地下資源調査所の、山口久之助、杉本良也、小原常弘、内田豊の各位に感謝の意を表したい。この調査の際には藤信鉱業 K.K. のお世話にな

6) 北海道地下資源調査資料, 36号, p. 1-18.

つた。又この調査報告は筆者等の卒業研究の一部であつて、田治米助教授の助言を受けた。

## 2. Geophysical Prospecting at Katsuraoka-Mine.

By ISAO ONDA, YUJI TAKADA and TOSHIKI TAKEUCHI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The natural current method, the resistivity method with two migrating electrodes and the magnetic method were used at the same time at Katsuraoka Mine from Oct. 10 to Nov. 1, 1956.

It has been already known in this mine that there are three ore-deposits, which are called respectively the 1st, the 2nd and the 3rd-deposit.

The above two electrical methods have suggested geological distributions, fault, unconformity, and so on. Especially from the lateral exploration the size of the 3rd-deposit is calculated by general way. Thus it has been obtained that the depth of the deposit centre and the radius of it are respectively 5 m and 7 m, consistent with the knowledge already known. The resistivity distribution measured, moreover, is agreed with the other data obtained this time.

The magnetic anomalies have been observed considerably such places as expected. However, a few new magnetic anomalies have also been found besides them. One of them has been analyzed with the aid of a reformed equation from H. Haalck's. From the result of this calculation it has been concluded that the depth of the centre of the new deposit and the radius of it are 104 m and 33 m respectively, and for the 3rd-deposit 8 m and 7.6 m respectively.