

11. 青森県天間林地域における磁気探鉱

地震研究所 横山 泉

(昭和29年12月21日発表—昭和29年12月31日受理)

§1. ま え が き

昭和29年3月、青森県上北郡天間林(てんまばやし)地域において、砂鉄層を対象とした磁気探鉱を行った。この地域は奥羽山脈の北端に位置する八甲田山塊の東側山麓であり、太平洋に面する平地からの立ち上りに相当する地域である(第1図)。このほぼ南北に走る山麓線を境として、西側山地は安山岩及び集塊岩からなり、東側は第三紀層の上を洪積層、沖積層が被っているようである。概して第三紀層は割合浅い沢に露出しているが、その傾斜は約E60°あるいは更に大きいことが認められていて、主として脆軟な砂岩、泥岩、砂鉄層からなっている。

この地域内南北約10kmにわたる間に、点々として砂鉄層の露頭がほぼ一直線上に発見されている。現在、この地域の中央に位置する底田(そこた)地区(第2図)

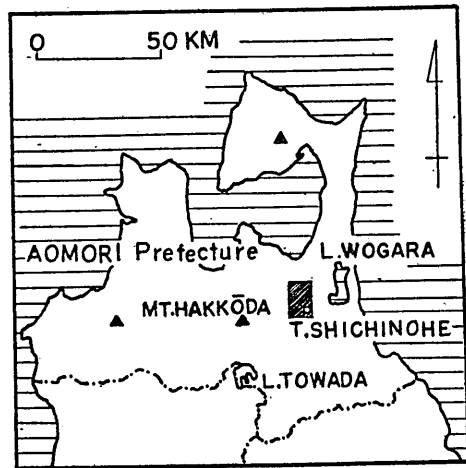


Fig. 1. Temmabayashi District.

においては、地下32m及び45mの坑内掘りによつて砂鉄が採行されているので、少くともこの部分に存する砂鉄層の状況は幾らか想像出来るわけである。

今回行なつた磁気探鉱の目的は、上記のほぼ南北の一直線上に点在する露頭をよりどころとして、砂鉄層の存在区域を確かめ、更に出来得ればその存在状況を量的に検討することであつた。勿論、そのためには現在迄に行われた地質調査等をもなるべく利用するように努めた。地下探査法としての磁気探鉱は鉄鉱床に対しては最も有力な方法と考えられているが、その測定成果の解析に際しては、その原理上それ相当の限界があり、又一般に幾多の仮定を採用せねばならぬ故、その結論には当然制限及び条件が伴うことを念頭におかねばならぬ。本報文において筆者は、従来から広く用いられている、地下に磁化鉱体の適当なモデルを設定して、実測結果と調和させようとする方法を避けて、なるべく実測結果から解析的に出発して手数を省くように試みた。但しその方法は特に新しいというものではなく、既知のものを応用したに過ぎない。

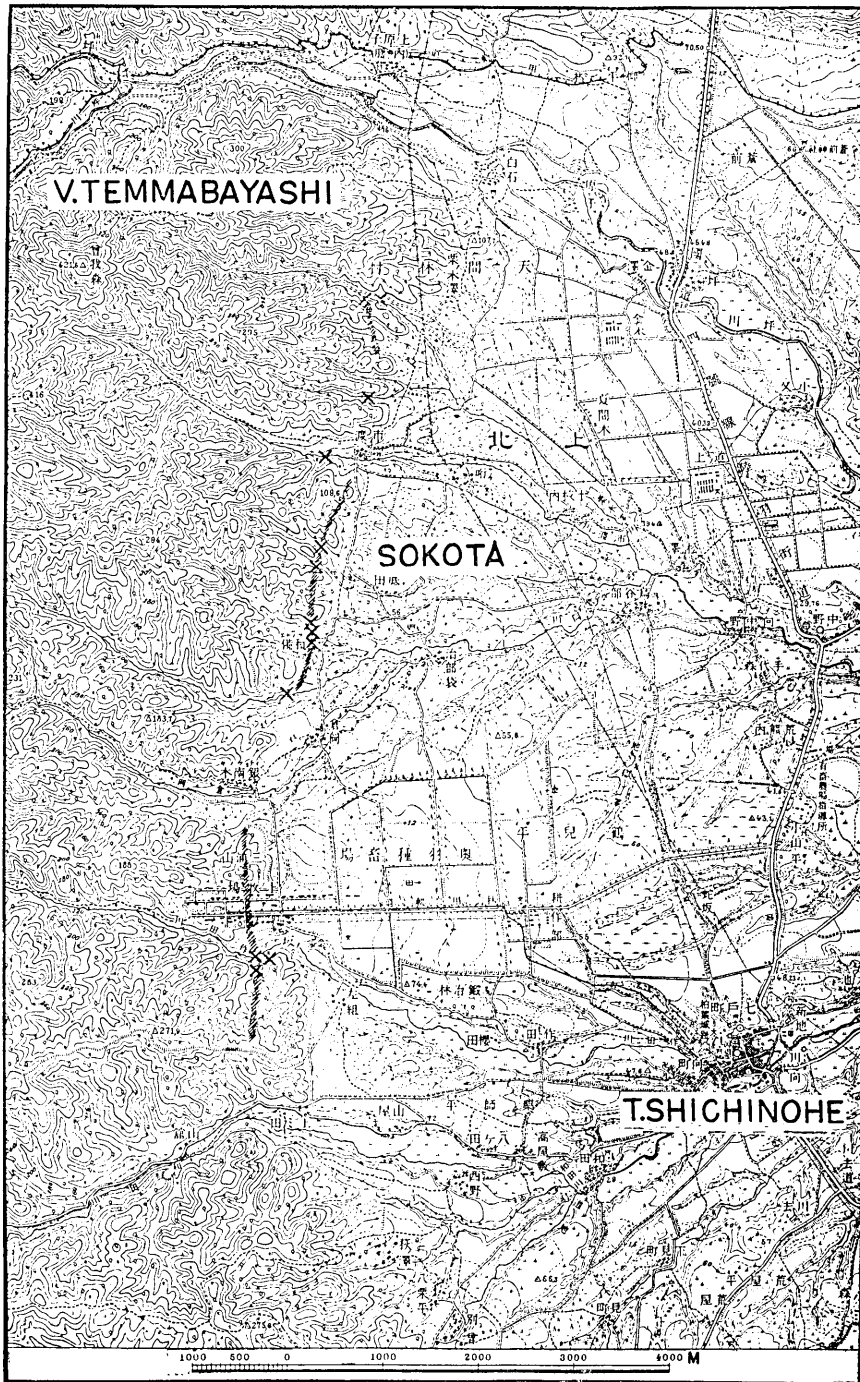


Fig. 2. Topographical map of Temmabayashi District.

× Out-crop of sand-iron

▨ Geomagnetically anomalous region

§2. 使用器械

磁気探鉱の全期間を通じて、底田にある基地に地磁気変化連続記録装置を設け、偏角及び鉛直分力の変化を観測し、磁気測量結果の補正に利用した。幸にして著しい擾乱には遭遇しなかつた。偏角変化計の感度は $0.55'/\text{mm}$ 、鉛直分力変化計 (Watson type) のそれは $2.687/\text{mm}$ で、記録の送りは毎時 11 mm であつた。

既報¹⁾のように地磁気鉛直分力の短周期変化には著しい地域性があるので、これは現地において観測したが、水平分力は柿岡及び女満別の値を参考にした。

直接、磁気探鉱に用いた器械は次の三つである。

- a) 小型磁気感应儀²⁾ 地磁気伏角の測定に用い、精度は $1'$ である (第 3a 図)。
- b) 地理調査所型二等磁気儀³⁾ 偏角、伏角及び水平分力をそれぞれ $0.1'$ 、 $0.1'$ 及び $1r$ の精度で絶対測定をなし得る (第 3b 図)。
- c) 地磁気鉛直傾度計 鉦体による異常磁場の鉛直傾度を測定するために、先年永田武教授⁴⁾が試作したものを参考として、次のような要目のものを作り、今回の探鉱に用いた (第 3c 図)。

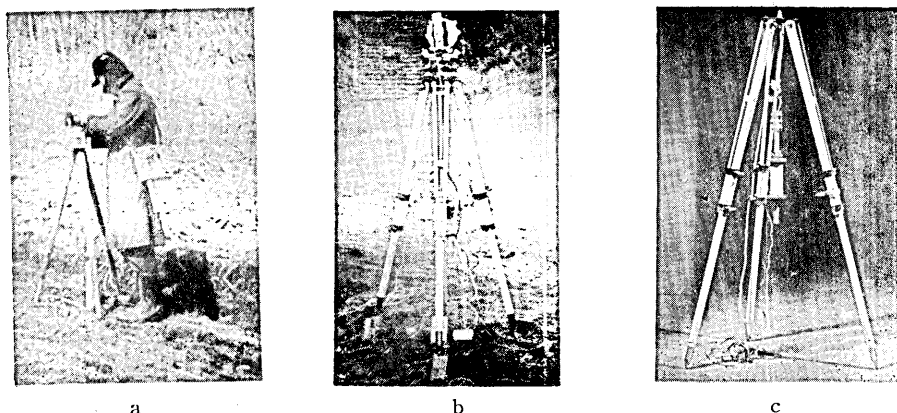


Fig. 3 Instruments used in the survey.

線輪 線輪の上下移動をなるべく短時間に、しかもその間における傾斜変化をなるべく少くするために、線輪の自重を大きくしてこれを安定に自然落下させる方式を用いた。高導磁率芯は直径 15 mm 、長さ 330 mm のセンダスト棒で、見かけの導磁率は約 200 である。巻線は直径 0.27 mm のエナメル線を用い、総巻数 27000 、全抵抗 $1200\ \Omega$ で線輪長は 150 mm である。

- 1) T. RIKITAKE, I. YOKOYAMA and Y. HISHIYAMA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **31** (1953), 89.
- 2) T. RIKITAKE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **29** (1951), 147.
- 3) I. YOKOYAMA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **31** (1953), 211.
- 4) 永田武・渡辺健 地質鉦床と物理探鉱 下巻 (1950), 106~118.

検流計 横河製函型 L-2 検流計で感度 3.7×10^{-8} Amp/mm, 外部臨界制動抵抗 1200 Ω で周期は 2.8 sec である。

この装置によつて、高低両位置における磁束変化を弾動法によつて測定するのであるが、その感度は検流計の読みについて 40.5 r/mm を得た (第 3c 図)。

探鉱に際しては先ず、小型地磁気感应儀を用いて伏角測量を全地域にわたつて行い磁気異常の存在を調べた。今の場合伏角の異常は近似的に鉛直分力の異常に換算出来るものである。次に代表的な鉱床と見做されている底田鉱山において、地理調型二等磁気儀を用いて地磁気三成分の精密測定を行い、伏角測量の成果を吟味する場合の参考にした。最後に、地磁気鉛直傾度計を用いて異常磁場の鉛直傾度を直接測定して鉱体の深さの決定に利用した。

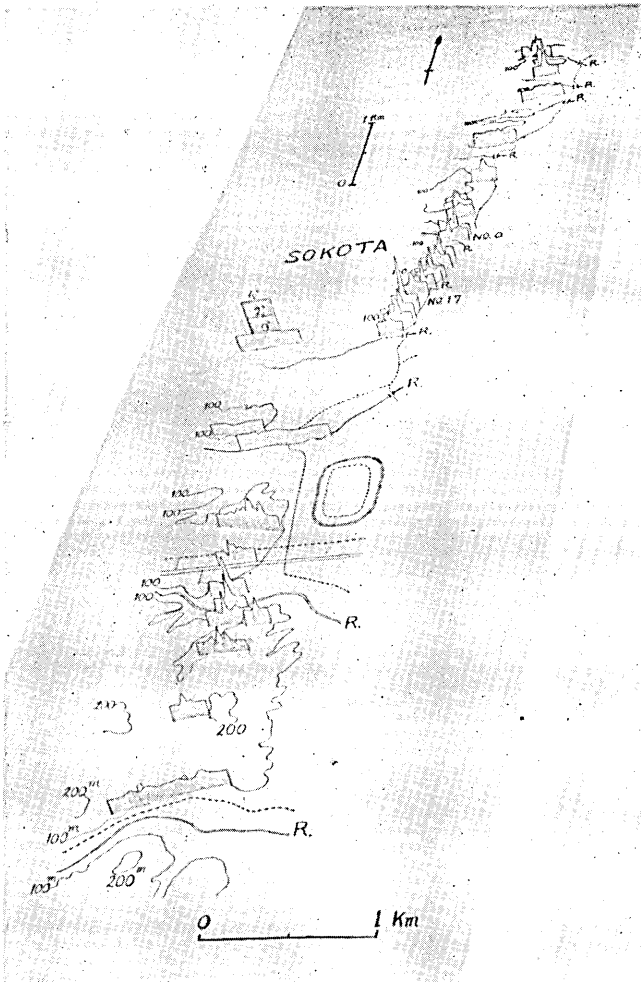


Fig. 4 Model of magnetic profiles.

§ 3. 全地域の伏角測定結果

露頭の走向がほぼ南北なる故、これを東西にきる測線を適当に設け、この測線に沿つて 2~10m 毎に、小型地磁気感应儀を用いて伏角の測定を行つた。測線の数は約 40 に達し、測定回数は 500 を越した。この結果を東西方向のプロファイルとして、この地域の略図上に表現したものが第 4 図である。1~5° に及ぶ著しい伏角異常が数 10m の狭い帯状をなしてきれいに南北に断続している。そしてこの帯は必ずしも 1 本ではなく場所によつては数本から成るものようである。この結果から判断して、磁気異常の存在する地区を示すと第 2 図のようである。露頭の見出されるその場所に磁気異常の存

在しないこともある。

前述のように、この地域においては伏角の異常 $1'$ が鉛直分力の異常約 15γ に対応するものである故、この伏角のプロファイルは近似的に鉛直分力のそれと見做し得るものである。

§ 4. 底田地区における地磁気三成分及び鉛直傾度の測定結果

底田地区において現在稼行されている鉄脈をほぼ東西に横切る測線番号 [0] について、二等磁気儀を用いて地磁気三成分の絶対測定を行った。測線を平地になるべく長く

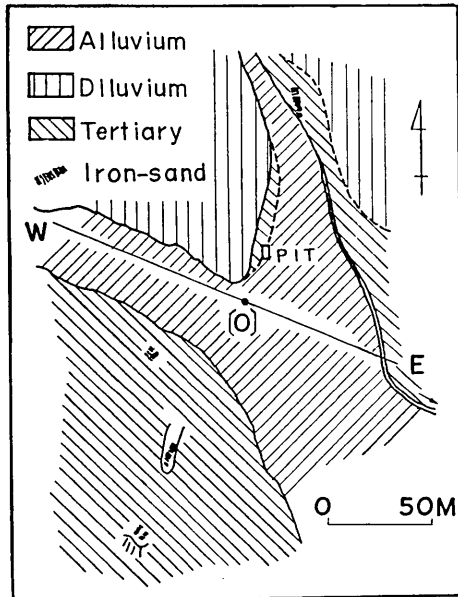


Fig. 5. Geological sketch-map of Sokota. [0] denotes the survey-line No. [0].

とるために、その方向は約 $N66^{\circ}W$ とならざるを得なかつた (第 5 図参照)。測定結果はそれぞれ第 6 図及び第 7 図に示す。この結果よりすれば、この測線下の鉄体は [0] 点から約 $10mW$ の地下にあり、ほぼ南北に走り殆ど直角に立っている底の深い鉄脈の示す代表的磁気異常を伴っているようである。第 8 図は全磁力の異常及び東西の鉛直面内の異常ベクトルを示すものである。これから見ると、鉄体は僅かながら東へ傾いているようである。なおこの鉄脈から東へそれぞれ約 $500m$ (底田部落) 及び $1000m$ (鳥谷部) はなれた二点の地磁気成分を示すと第 I 表のようである。

鉛直傾度の測定結果を底田地区の測線 [0] 及び古和備地区の測線 [17] について示すと第 9 図の通りである。測点 [17] は

第 I 表

	500 m (底田部落)	1000 m (鳥谷部)
時刻 1954 年 3 月 30 日	14h 09m	10h 23m
伏 角	$54^{\circ} 32.4'$	$54^{\circ} 34.2'$
水 平 分 力	28388γ	28197γ
鉛 直 分 力	39857γ	39648γ

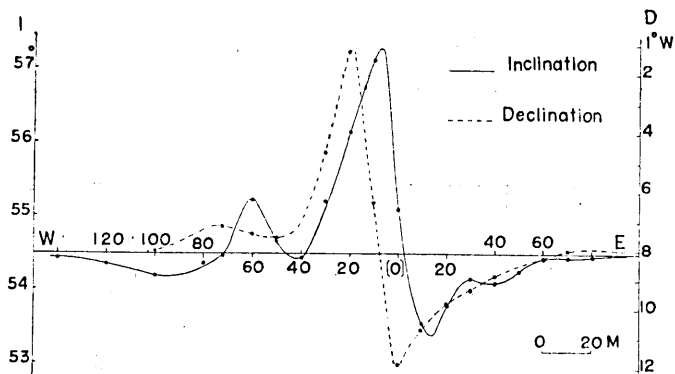


Fig. 6. Distributions of inclination and declination.

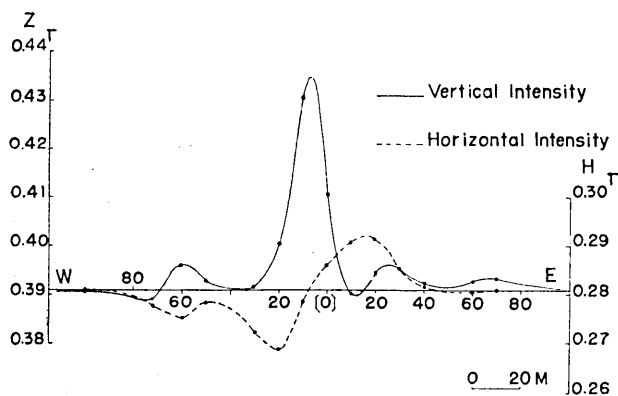


Fig. 7. Distributions of vertical and horizontal components.

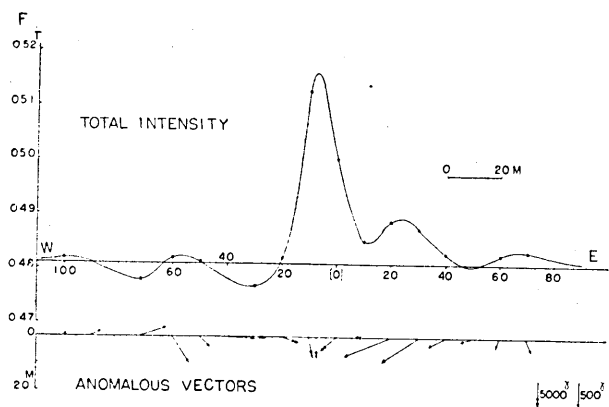


Fig. 8. Distributions of total intensity and anomalous vectors in vertical plane along the survey-line No. [0].

砂鉄層の露頭の直上であり、余りに大き過ぎて測定不可能であつた。磁気異常が最大と考えられる測点において、鉛直傾度と高さとの関係を調べると第 10 図に示す通りである。測線 [17] についてはその値が余りに大きいので、最高位置の一点しか求められなかつた。

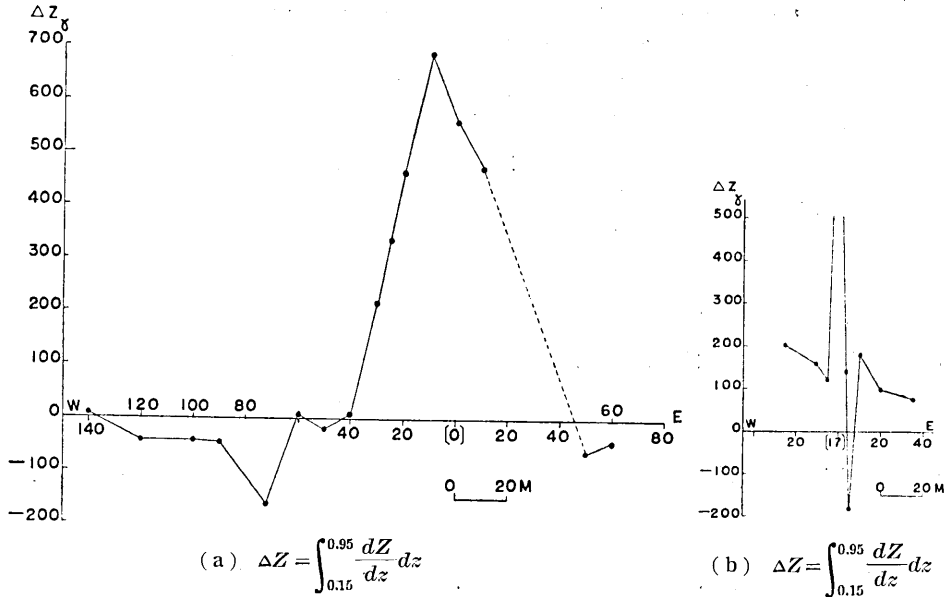


Fig. 9

§5. 測定成果の解析

この地域では鉱脈がほぼ南北に連つていることが予想されたので、これを直角にきる多数のプロファイルを作つたわけであるが、果して前述のような成果が得られた。いま底田地区の測線 [0] について解析をすすめよう。

a) 地磁気分力を距離の冪級数に展開することにより、磁化鉱体までの深さの決定。磁化物質の存在は、地磁気分力 ΔX , ΔY , ΔZ , あるいは ΔF を距離 r の函数と見做した場合、その特異点に対応するという事実に基づくものである。いま磁気異常の最大なる地点を原点として、これから地表に r を測る。 $\Delta F(r)$ を原点において r に関する冪級数に展開すると、

$$\Delta F(r) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n r^n, \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{但し } A_n = (1/n!) \left(\frac{d^n \Delta F(r)}{dr^n} \right)_{r=0} \dots \dots \dots (2)$$

函数論より、この級数の収斂域は

$$d = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{(|A_n|)^{1/n}} \right], \dots\dots\dots (3)$$

すなわち半径 d なる収斂円周上に求める特異点が存在することになる。

第 8 図の ΔF を 10mW なる点を原点としてその両側に平均し、この曲線を $h=2$ m 毎に読取つて、展開係数を求める。このとき次の数値微分の公式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} hF'(0) &= \delta F(0) - (1/6)\delta^3 F(0) + (1/30)\delta^5 F(0) - (1/140)\delta^7 F(0) + \dots, \\ h^2 F''(0) &= \delta^2 F(0) - (1/12)\delta^4 F(0) + (1/90)\delta^6 F(0) - (1/560)\delta^8 F(0) + \dots, \\ h^3 F'''(0) &= \delta^3 F(0) - (1/4)\delta^5 F(0) + (7/120)\delta^7 F(0) + \dots, \\ h^4 F^{IV}(0) &= \delta^4 F(0) - (1/6)\delta^6 F(0) + (7/240)\delta^8 F(10) + \dots, \\ h^5 F^{V}(0) &= \delta^5 F(0) - (1/3)\delta^7 F(0) + \dots, \\ h^6 F^{VI}(0) &= \delta^6 F(0) - (1/4)\delta^8 F(0) + \dots, \\ h^7 F^{VII}(0) &= \delta^7 F(0) + \dots, \\ h^8 F^{VIII}(0) &= \delta^8 F(0) + \dots. \end{aligned} \right\} (4)$$

いまの場合の展開係数は次のように求まる。

$n=0$	2	4	6	8
$d=0$	0.2	1.6	2.4	2.8

すなわち測定点から約 3 m——地表から約 2 m——の所に磁化鉄体の上端があるということになる。

b) 鉛直傾度の高さに対する分布から、磁化鉄体までの深さの決定。

磁化鉄体による異常磁場の傾度はそれからの距離が増加するに従つて急激に減少する。故に地下の鉄体の上端と地表測点との距離が鉄体の大きさと同程度以上の範囲では、上端附近の磁化だけが大きく効き、下端の磁化は無視出来て、単磁極と見做して解析出来るわけである。

強さ m の単磁極の直上 D なる点における異常磁力は

$$(\Delta Z)_{z=0} = \frac{2m}{D^3}$$

なる故

$$\left(\frac{dZ}{dz} \right)_{z=0} = -\frac{6m}{D^4} \dots\dots\dots (5)$$

地表面から単磁極までの距離を d とすれば

$$D = d + h$$

第 10 図に示した実測結果から最少自乗法によつて d を求めると $d=3.8$ m を得る。

c) 磁気異常が単磁層によると考えた場合のその強さの分布の決定。

前述の結果から考えて、測線 [0] の最大の磁気異常は 10 mW の地点、地表下約 2~3 m の深さから下に存在する底の深い鉄体によるものである。次にこの測線上の他の小

さな磁気異常を考察するために、これらも地表面に平行な一水平面上の単磁層によるものと仮定してその強さの分布を調べる。

プロファイルの方向を x 軸にとると、磁気異常ポテンシャルは

$$\Delta W = \sum e^{nz}(A_n \cos nx + B_n \sin nx), \dots\dots\dots (6)$$

これより、 $z=0$ においては

$$\Delta Z = \sum n(A_n \cos nx + B_n \sin nx), \dots\dots\dots (7)$$

観測された ΔZ をフーリエ分析して

$$\Delta Z = \sum (\alpha_n \cos nx + \beta_n \sin nx), \dots\dots\dots (8)$$

上の両式から係数 A_n 及び B_n が決定され、単層の強さは次の式で与えられる。

$$\sigma = (1/2\pi)e^{nz}(A_n \cos nx + B_n \sin nx). \dots\dots\dots (9)$$

いま地表下 2 m 及び 10 m に単磁層を考えると、その強さの分布はそれぞれ第 11 図に示すようになる。元の観測の分布密度を越える議論は出来ないが、30 mE 及び 60 mW の両地点附近においても、幾分深いところに鉱体の存在を認めるようである。厳密に言えば今迄の解析をプロファイルの山のそれぞれについて行うべきである。

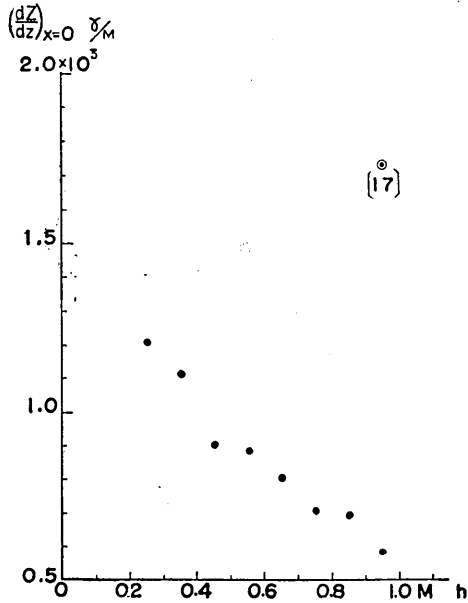


Fig. 10. Observed values of $(\frac{dZ}{dz})_{z=0}$ at various heights.

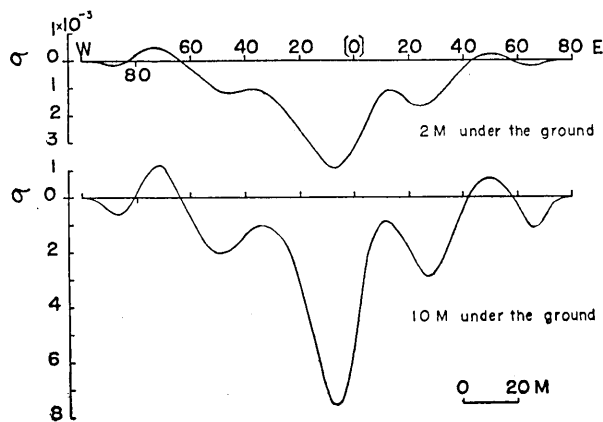


Fig. 11. Distribution of strength of single layer.

d) 地表近くに存在すると推定される鉱体の量の概略的推算

今回の磁気探鉱だけでは鉱脈の深い底を決定することは原理的に不可能と考えられる。然し地下の坑道内での測定というような資料が得られれば、議論は更に進む可能性もあるわけである。ここでは、前述の解析結果を利用して、地表近くに存在する分だけの鉱体の量を概算しよう。

底田地区の砂鉄についての分析結果は第 II 表に示す通りである。その磁気的性質に関しては、良品質の試料 1 筒について東京大学理学部地球物理学教室永田研究室の測定した結果によれば、帯磁率は $\chi=3.74 \times 10^{-2}$ emu/gr であり、 $Q=J_n/\chi F$ (J_n は自然残留磁気の強さ、 F は全磁力) の値は約 0.1 である。すなわちこの砂鉄の帯磁の大部分は現在の地球磁場により誘導されたものである。

第 II 表
試料分析表 (%)

T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P	S	Cu	V	Co
56.03	28.90	47.99	3.75	13.70	0.040	0.020	0.019	0.26	0.02

(東北電化株式会社八戸工場分析)

この地区の磁気異常の殆どが誘導によるものであるとすると、その鉱体の形の影響を考えねばならぬ。然るに形は勿論、その深さも未知で、ただ鉱体の上端が 2~3 m の深さにあることを確かめただけである。そこで測点の直下に球状の鉱体を仮定して、観測された磁気異常が磁気誘導によつて生ずるには、その半径が幾何であればよいかを検討する。この際、帯磁率の値としては上記のものを用いる。

$$\Delta Z = 2 \frac{\frac{4}{3} \pi R^3 \kappa}{1 + \frac{4}{3} \pi \kappa} \frac{Z_0}{d^3}, \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$\begin{cases} \Delta Z = 0.04, Z_0 = 0.48, \rho = 2.7, \\ \kappa = 1.01 \times 10^{-1} \text{ emu/cc} \\ d = 300 + R \end{cases}$$

これより $R=3.5$ m すなわち質量にして 500 t を得る。

底田地区においては、この程度の磁気異常が南北に殆ど 200 m 続いていると考えられるので、概算して約 1.5 万 t となる。これは勿論、地表近くに存在すると推定される鉱体の量を非常に粗な仮定の下に概算したものであるが、同地区に関して地質調査所の宮本弘道、丸山修司両氏⁵⁾は地質調査から 5.2 万 t の鉱量を推定している。

5) 宮本弘道・丸山修司 東北のチタン砂鉄資源 (1953), 78.

§ 6. 結 語

地下探査の一つの方法としての物理探査，そしてその中の一部門である磁気探査を行つただけであり，これだけで独立してその目的を達することは不可能であるが，一応測定成果を種々解析した。

なお，現地調査の後に，本地域の一部に関しては，既に昭和 19 年地質調査所早川正巳氏⁶⁾により磁気探鉱が行われたことを知つたが，勿論，測定成果は兩者殆ど合致していることを附記する。

最後に種々御指導を賜つた永田武教授，力武常次博士に深甚なる謝意を表すものである。又測定に終始協力して戴いた堀尾舟三君並びに絶大なる便宜を供与された東北電化工業株式会社佐々川清博士に深く感謝する次第である。

11. *Magnetic Survey in Temmabayashi District, Aomori Prefecture.*

By Izumi YOKOYAMA,

Earthquake Research Institute.

For the purpose of exploration of iron-sand body in Temmabayashi District on the foot of Mt. Hakkōda, magnetic surveys were carried out in 1954. Several outcrops of iron-sand had been discovered along a straight line running almost northward through this district and there is a vertical pit 45 meters depth under the ground for mining at Sokota (Fig. 2).

In order to verify the distribution of magnetized bodies, about 40 magnetic profiles running almost EW-direction were obtained by a miniature earth-inductor by which we can measure dip-angle with an accuracy of 1 minute of arc (Fig. 4).

To study the geomagnetic anomalies in detail, absolute measurements of three geomagnetic components with high accuracies—0.1 minute of arc and 1 γ —were made by the 2nd Order G.S.I. Type Magnetometer at Sokota. The results are shown as profiles in Figs. 6, 7 and 8. In addition to those measurements, vertical gradients of geomagnetic vertical components were observed along the survey-lines Nos. [0] and [17] (Fig. 9).

The analyses of the results obtained at Sokota were made as follows:

a) Determination of the depth from the earth's surface to the magnetized body by expanding the distribution of a particular geomagnetic component in power-series of distance.

b) Determination of the depth from the earth's surface to the magnetized body by using the observed values $\left(\frac{dZ}{dz}\right)_{z=0}$ at various heights under the assumption of the single pole (Fig. 10).

c) Estimation of the strength of the single layer which is assumed to be responsible for the anomaly from potential-theory using the observed ΔZ -distribution (Fig. 11).

d) Rough estimation of the extent of the magnetized body.

6) 早川正巳 地質調査所月報 2 (1952), 120~122.