

空中磁気探査法による活断層の地下構造解析

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1997年12月

株式会社エースヘリコプター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

空中磁気探査法による活断層の地下構造解析

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1997年12月

株式会社エースヘリコプター

限定資料
PNC ZJ 7459 97-002
1997年12月

空中磁気探査法による活断層の地下構造解析*

小野 傳**、奥野 孝晴**、佐々木 進**

要 旨

東北日本の横手盆地東縁に位置する千屋断層の周辺地区で、岩石試料の帯磁率測定を行い、反射法地震探査測線とほぼ一致する断面について、同探査解析結果を参考にして、磁気断面解析を行い、地下2kmまでの磁気断面解析図を作成して、断層周辺の地質構造を検討することを目的として、2.5次元磁気断面半自動解析を実施した。

地区内で採取された岩石試料(計15個)の帯磁率は、荒川安山岩>弥勒層軽石凝灰岩>弥勒層泥岩>真昼川層ハイアロクラスタイト>真昼川層凝灰角礫岩の順に低くなっている。

反射法地震探査で得られた地質構造断面を、帯磁率にしたがって5グループに分けた後、地質体を多角形プリズムで近似して、初期モデルを作成し、磁気異常を計算したが、観測値と計算値が全く一致しなかった。次に、荒川安山岩と凝灰岩類の帯磁率のみを変数として解析を行った。観測値と計算値が見かけ上一致したが、負の帯磁率が得られ、妥当でないと判断した。このため、断面西部の横手盆地に貫入岩体を想定したモデルを設定し、反射法地震探査で確定した断層位置を切らないことを制約条件として、荒川安山岩と貫入岩体の帯磁率と形状・深度を未知数として半自動解析を行った結果、観測値と計算値の良い一致が得られた。

2.5次元磁気断面半自動解析の結果、次のようなことが判明した。

本地区の地質構造は断層により規制されている。解析された貫入岩体(頂部深度:-0.6km ASL以深)は千屋断層西側の真昼川層角礫凝灰岩中に分布し、西傾斜を示し、断層西側の横手盆地は断層東側とは地質構造が異なっていると考えられる。貫入岩体は、本地区北西方の仙北村真山地区で確認された安山岩あるいは粗粒玄武岩の貫入岩類に対応するものと考えられる。一方、第四紀断層の東側に分布する荒川安山岩は、地震探査で推定されたほど東に厚く張り出しておらず、見かけ上、幅500m程度で西に傾斜して分布している。

帯磁率測定岩石試料はすべて地表採取試料のため、風化、変質等の影響を受けて帯磁率が低下したものと考えられる。今後、空中磁気データの解析を行う場合には、できる限り、風化・変質を受けていない岩芯等の帯磁率データを収集し、解析に使用することが望まれる。

本解析のように、反射法地震探査結果のような異なる物性による解析結果を利用して、解析を行うことにより、より精度が高く、より詳細な構造を把握することが可能であることが判明した。今後、活断層調査を含む地質構造調査を行う場合、数種類の調査法を組み合わせた総合的な解析を行うことが望まれる。

* 本報告書は、株式会社エースヘリコプターが動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号: 09C0696

事業団担当部課室: 東濃地科学センター 地質安定性研究室

** 株式会社エースヘリコプター

COMMERTIAL PROPRIETARY
PNC ZJ 7459 97-002
Dec., 1997

Comprehensive analysis of subsurface structure of the active fault using airborne magnetic data*

Tsutou Ono**, Takaharu Okuno**, and Susumu Sasaki**

Abstract

In the province of the Senya Fault, located at the eastern fringe of the Yokote Basin of the Northeast Japan, semi-automatic analysis of a 2.5-D magnetic section was adopted to discuss the geological structure near the fault, using the magnetic susceptibility data, and the seismic reflection survey result.

Fifteen rock samples were collected in the province of the Senya Fault, and those magnetic susceptibilities were measured. The results are as follows: Arakawa Andesite >> Mudstone of Miroku, Mahirukawa and Yosizawagawa formations > Hyaloclastite of Mahirugawa Formaiton > Tuff breccia of Mahirugawa Formaiton.

After the seismic structures obtained from the reflection survey were classified into five (5) groups according to the magnetic susceptibility data, those were approximated by polygons and the primary model was built. Magnetic anomaly curves due to the primary model was calculated and showed no fit with the observed curve.

Next, magnetic susceptibilities of Arakawa Andesite and tuffs were set to unknown parameters and 2.5-D semi-automatic inversion adopted. This result showed good fit between the calculated and observed anomalies, but the negative magnetic susceptibilities for several polygons were obtained which can not be allowed.

Finally, three intrusive rocks were assumed in the tuff breccia of the Mahirugawa Formation below the Yokote Basin at the west of the Senya Fault. 2.5-D inversions were carried out, setting depths, shapes and magnetic susceptibilities of Arakawa Andesites and intrusive rocks to be unknown parameters, on the condition that each polygon does not cross any faults decided by the reflection seismic survey. Inversion result showed good fit between the observed and calculated magnetic anomalies.

2.5-D inversion analysis are concluded as follows:

The geological structure in the area is controlled by fault systems.

Intrusive rocks calculated are distributed in the tuff breccia of the Mahirugawa Formation at the west of the Senya Fault at depths of deeper than -0.6 km ASL, and dip to the west. This suggests that the geological structure of the western side of the Fault differs from that of the eastern side. Intrusive rocks may correspond to andesite and/or dolerite confirmed by drilling at Mayama of Senboku Village at the west of the area.

Arakawa Andesite at the eastern side of the Fault does not extend to the east, while the reflection survey result show the eastern extension near the surface.

Magnetic susceptibilities are important factor for the analysis of aero-magnetic data., and affected by weathering and alteration. Then, it is desired to collect fresh rock samples such as drilling cores.

Comprehensive interpretation combining several survey results is a useful and effective tool to clarify the detailed geological structure. It is recommended to apply several exploration methods and to combine those results for clarification of the geological structure near the active fault.

* Works performed by Ace Helicopter Co., Ltd., under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development corporation.

PNC Liaison: Tono Geoscience Center, Neotectonics Research Section

** Ace Helicopter Co., Ltd.

目 次

I. 業務概要	1
1. 件名	1
2. 目的	1
3. 解析対象地域	1
4. 作業項目および作業量	1
(1) 岩石試料帶磁率測定	1
(2) 磁気断面解析	1
(3) 総合解析	2
5. 作業期間	2
II. 解析方法	3
1. 基本式	3
2. 最急降下法	5
III. 解析結果	7
1. 帯磁率測定結果	7
2. 断面解析結果	8
(1) 磁気解析曲線	11
(2) 2.5次元磁気断面解析	12
3. 総合解析	17
4. 考察	17
参考文献	19

図表一覧

表 1 帯磁率測定結果一覧表	5
図 1 解析の流れ図	6
図 2 岩石試料採取位置図	9
図 3 磁気異常図および磁気解析断面位置図	10
図 4 反射法地震探査解析断面図	10
図 5 初期構造断面および磁気異常断面	11
図 6 構造断面および磁気異常断面(帯磁率のみ変化)	13
図 7 構造断面および磁気異常断面(貫入岩類追加)	14
図 8 磁気構造断面および磁気異常断面	16
図 9 岩石の帯磁率	18

I . 業 務 概 要

I. 業務概要

1. 件名

空中磁気探査法による活断層の地下構造解析

2. 目的

平成8年度に、東北日本の横手盆地東縁に位置する千屋断層を対象として空中物理探査(電磁・磁気・放射能)が実施され、このうち、空中磁気探査の4本の断面解析結果から千屋断層西部の横手盆地に高磁性の貫入岩体の存在が多数推定された。しかしながら、調査地域内の岩石の磁性データがなく、また、千屋断層西部については地質構造が不明であったために、計算で求められた貫入岩体が断層を切るなどの問題点が指摘された。

本作業は、岩石試料の帯磁率測定を行うとともに、反射法地震探査測線(花岡～善知鳥間)とほぼ一致するD-E-F断面について、反射法地震探査解析結果を参考にして、磁気断面解析を行い、地下2kmまでの磁気断面解析図を作成し、断層周辺の地質構造を検討することを目的とする。

3. 解析対象地域

秋田県仙北郡千畠町地内 (7km×7km)

4. 作業項目および作業量

(1) 岩石試料帶磁率測定

岩石試料数 15個

断面解析に必要な基礎データを得るために、現地で採取した岩石試料の帶磁率を測定する。対象試料は以下の5種類である。

- ・真昼川層の凝灰角礫岩またはその中の礫
- ・真昼川層の安山岩、デイサイト
- ・弥勒層の軽石質凝灰岩
- ・真昼川層、吉沢川層、弥勒層の泥岩
- ・荒川安山岩

(2) 磁気断面解析

断面数 1本 (D-E-F断面)

断面解析は、下記の2ケースに分けて行う。

① 反射法地震探査によって得られた地質構造断面の情報および(1)で取得する岩石の帶磁率を基に磁気解析曲線を作成し、測定曲線との比較を行う。

② 反射法地震探査によって得られた地質構造断面を初期モデルとして、

各地質体の形状と深度を順次変えて、空中磁気探査で取得した全磁力データ(測定曲線)に最も良く解析曲線が一致するように磁気断面解析図の修正を行う。ただし、断層の位置のみは変更せず、また、帯磁率の値は、原則として(1)で得たデータを使用する。磁気断面解析は、2.5 次元半自動解析法で行う。

(3) 総合解析

断面解析結果に基づき、地下 2 km、東西 6 km の断層に直交する 2 次元の地質構造を推定する。

5. 作業期間

解析：平成 9 年 9 月 4 日～同年 12 月 12 日

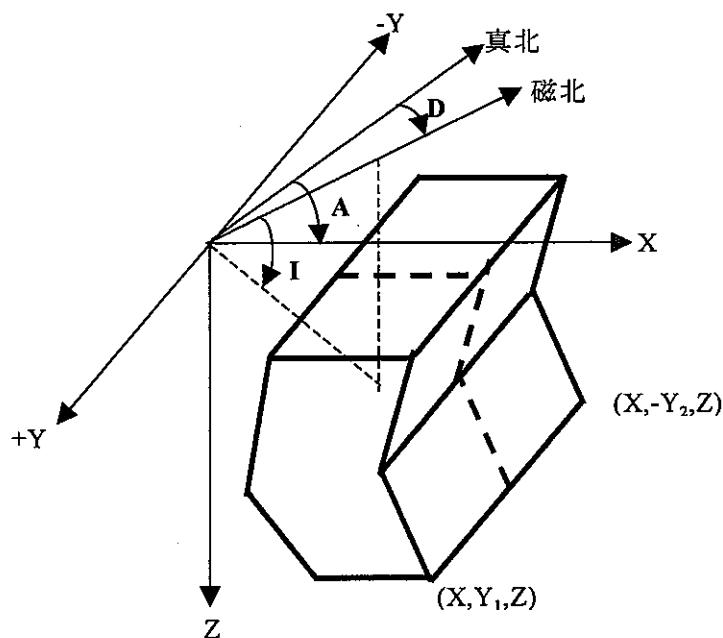
II. 解析方法

II. 解析方法

解析は、図1に示すような流れ図にしたがって行った。

1. 基本式

下図に座標系を示す。 y 軸は磁性体の走向方向に一致し、 $x-z$ 平面が磁性体に直交している。 A は x 軸が真北となす角であり、 I と D はそれぞれ地球磁場の伏角と偏角である。



任意の磁性体による磁気異常は次式で与えられる：

$$\vec{H}(\vec{r}) = \nabla \int_V (\vec{M} \cdot \nabla) (1/|\vec{r} - \vec{r}_0|) d\vec{r}^3. \quad (1)$$

ここで、 \vec{M} は磁化の強さで、誘導磁化のみの場合はその絶対値は kT_0 で与えられ(k 、 T_0 はそれぞれ磁性体の帯磁率と地球磁場の平均強度)、 \vec{r} は原点から磁性体外部の任意の点までの距離ベクトル、 \vec{r}_0 は原点から磁性体内部までの距離ベクトルで、積分は磁性体全体(V)にわたって行われる。

磁性体が一様に磁化しているとすると、(1)式は x 、 y 、 z 成分に分けて次のように書くことができる。

$$H_x = 2M_x P_x + 2M_z Q, \quad H_y = -2M_y R, \quad H_z = 2M_x Q - 2M_z P_z \quad (2)$$

ここで、

$$P_x = \partial^2 U / \partial x^2, \quad P_z = -\partial^2 U / \partial z^2, \quad Q = \partial^2 U / \partial x \partial z, \quad R = -\partial^2 U / \partial y^2 \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_V \left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \right) dV \quad (4)$$

原点を計算点に置くと(3)式の第1式は次のように書き直せる。

$$P_x = \frac{1}{2} \iint \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} dx dy dz \quad (5)$$

y 方向について($-y_2, y_1$)間で積分すると(5)式は次のようになる。

$$P_x = \frac{1}{2} \iint \frac{\partial^2}{\partial x^2} [\ln(r_1 + y_1) - \ln(r_2 + y_2)] dx dy dz \quad (6)$$

ここで、 $r_1 = (x^2 + y_1^2 + z^2)^{1/2}$ 、 $r_2 = (x^2 + y_2^2 + z^2)^{1/2}$ である。 x に関して積分すると、

$$P_x = \frac{1}{2} \oint \frac{\partial}{\partial x} \frac{\ln(r_1 + y_1)}{\ln(r_2 + y_2)} dz = -\frac{1}{2} \oint \left(\frac{y_1}{r_1} + \frac{y_2}{r_2} \right) \frac{x}{x^2 + z^2} dz \quad (7)$$

同様に

$$P_z = -\frac{1}{2} \oint \left(\frac{y_1}{r_1} + \frac{y_2}{r_2} \right) \frac{z}{x^2 + z^2} dx \quad (8)$$

$$Q = -\frac{1}{2} \oint \left(\frac{y_1}{r_1} + \frac{y_2}{r_2} \right) \frac{z}{x^2 + z^2} dz \quad (9)$$

$$R = -\frac{1}{2} \oint \left(\frac{y_1}{r_1} \frac{x}{z^2 + y_1^2} + \frac{y_2}{r_2} \frac{x}{z^2 + y_2^2} \right) dz \quad (10)$$

多角形プリズムの一辺については、 $z = m_i x + z_{0i}$ ($m_i = (z_{i+1} - z_i) / (x_{i+1} - x_i)$)で与えられるので、プリズムの全辺について総和をとることでそれぞれを計算できる。

全磁力異常 T は次式で与えられる。

$$T = H_z \sin I + H_x \cos I \cos A + H_y \cos I \sin A \quad (11)$$

磁性体の磁化の方向は地球磁場の方向に一致すると仮定する(誘導磁化)と、磁化の x, y, z 成分は次のようなになる。

$$M_x = kT_0 \cos I \cos A \quad (12)$$

$$M_y = kT_0 \cos I \sin A \quad (13)$$

$$M_z = kT_0 \sin I \quad (14)$$

したがって、

$$T/kT_0 = P_x \cos^2 I \cos 2A + P_z (\cos^2 I \sin^2 A - \sin^2 I) + Q \cos A \sin 2I \quad (15)$$

(15)式が 1 個の磁性体に対応するので、全磁性体モデルについて計算すると全体の磁気異常が計算される。

2. 最急降下法(Steepest descent method)

2.5 次元断面逆解析では、最急降下法によって各モデルの帯磁率(k_n)、頂点の x_i^n 、 z_i^n 座標を変数として、観測値と計算値との間の差が最小となるように反復計算を行っている。

最急降下法は、多変数関数 $f(x)$ の制約化なし最小化手法であり、各反復において以下の手順を繰り返すことにより点列 $\{x_k; k_n, x_i^n, z_i^n; n=1, N, i=1, M_n\}$ を生成する。ここで、 N は磁性体のモデル数、 M_n は n 番目の磁性体の多角形プリズムの辺数である。与えられた点 x_k から負の勾配の方向 $d_k = -\nabla f(x_k)$ に直線探索を行って $f(x_k + \alpha d_k)$ が最小となるようなステップ幅 $\alpha > 0$ を見つけ、次の点 x_{k+1} を $x_{k+1} = x_k + \alpha d_k$ で決定する。この手順を繰り返して、観測値と計算値との間の差 $[f(x)]$ が最小となる点列 $\{x_k; k_n, x_i^n, z_i^n; n=1, N, i=1, M_n\}$ を見つける。

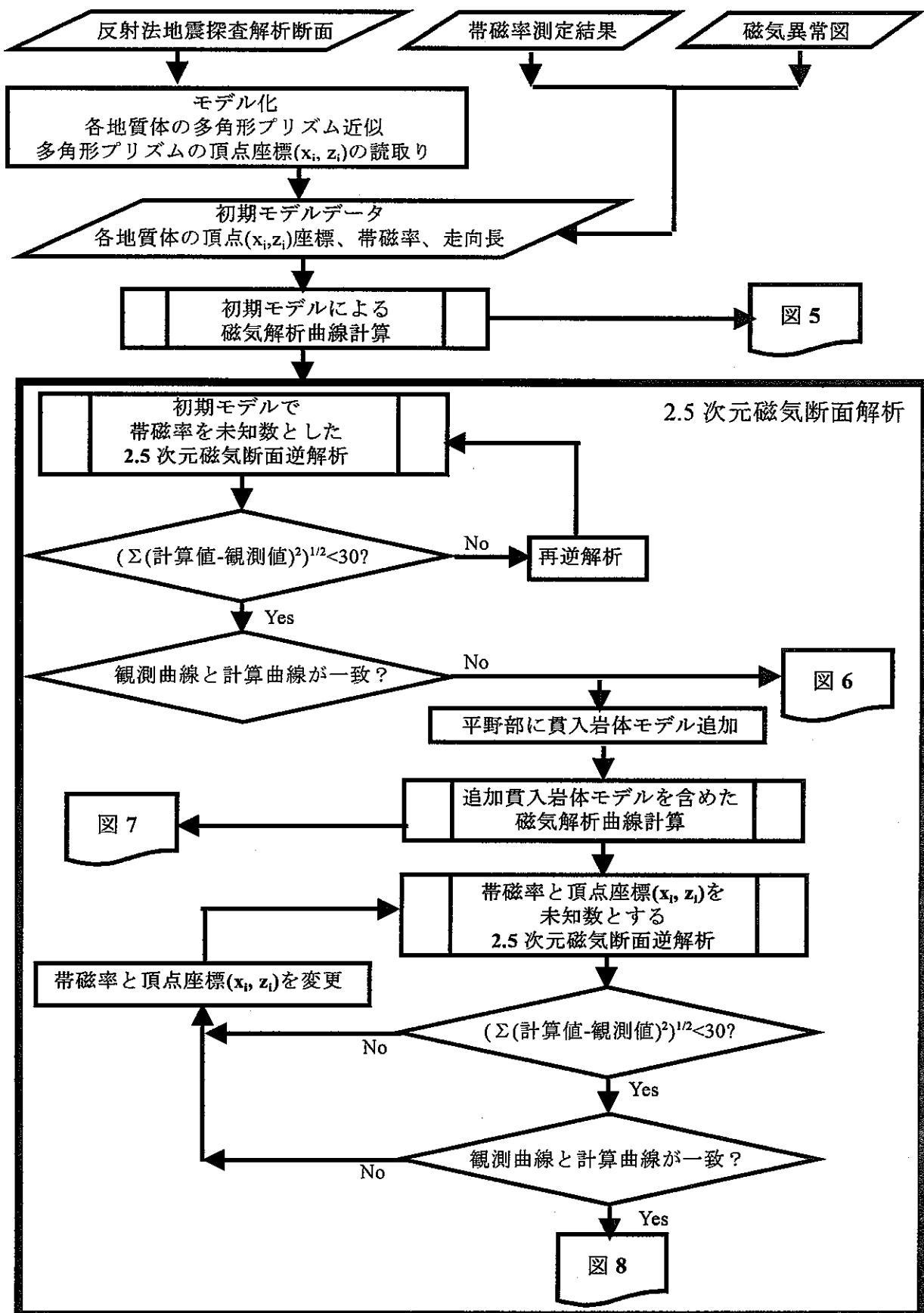


図 1 解析の流れ図

III. 解析結果

III. 解析結果

1. 帯磁率測定結果

7 km × 7 km の調査地域内で採取された 15 個の岩石試料の採取点位置を図 2 に示す。

岩石試料は、密度測定後、粉碎され、Bison 帯磁率計で帶磁率が測定された。測定結果を表 1 に示す。

表 1 帯磁率測定結果一覧表

No.	地點 略号	地層・岩石名	帶磁率 ($\times 10^{-3}$ emu/cc)	平均帶磁率 ($\times 10^{-3}$ emu/cc)	磁気解析 区分番号
1	MHt-1	真昼川層 凝灰角礫岩	0.053	0.039	1
2	MHt-2		0.028		
3	MHt-3		0.035		
4	NW-1	真昼川層 ハイアロクラスタイト	0.018	0.044	2
5	HN-1		0.033		
6	HN-1		0.081		
7	IJ-1	弥勒層 軽石質凝灰岩	0.179	0.202	3
8	IJ-1		0.229		
9	IJ-3		0.197		
10	O-1	弥勒層 泥岩	0.157	0.144	4
11	K-1		0.143		
12	K-10		0.172		
13	KS-1		0.104		
14	H-1	荒川安山岩	0.970	0.909	5
15	H-1		0.847		

表 1 によれば、荒川安山岩 (5) > 弥勒層軽石質凝灰岩 (3) > 弥勒層泥岩 (4) > 真昼川層ハイアロクラスタイト (2) > 真昼川層凝灰角礫岩 (1) の順に帶磁率が低くなり、火山岩類が堆積岩類よりも高磁性であるという一般的な傾向と良く一致している。磁気異常への寄与の度合いは、荒川安山岩が最も大きく、他の岩石は極めて小さいものと予想される。

一方、本調査地域南西方の六郷町大森山地区では小規模ながら地上磁気探査が実施され、同時にコアサンプル(210 個)の帶磁率測定を行っている(金属鉱業事業団、1973)¹。その結果によれば、岩石の帶磁率を次のように分類している：

岩石名	平均帶磁率 ($\times 10^{-3}$ emu/cc)
泥質/砂質/軽石質凝灰岩・泥岩・砂岩	0.002~0.010
貫入岩類(安山岩)	0.390~0.500
石英安山岩	0.007~0.300
ガラス質凝灰岩、火山礫～礫質凝灰岩	0.003~0.300

この帶磁率測定結果は、本解析における測定結果とほぼ同じであり、今回の測

¹ 金属鉱業事業団(1973): 昭和 47 年度精密調査報告書 和賀雄物地域、p.46-47。

定結果は測定個数は少ないながらも妥当なものであるといえる。

しかしながら、今回の帯磁率測定値全体としては、荒川安山岩、ハイアロクラサイト、凝灰岩および角礫凝灰岩などの火山岩類が一般的な帯磁率の値よりも低く、磁気断面解析では、帯磁率を未知数として取り扱わざるを得ないと考えられる。

2. 断面解析結果

千屋断層地区の磁気異常図を図3に示す。また、同図中にD-E-F断面線の位置を示す。

本地区の磁気異常分布の大局的な傾向は次のようである。

全体として、南北系の磁気異常群が卓越し、東から西に向かって、山地部では大振幅の高・低磁気異常群、千屋丘陵部では小振幅の低磁気異常群、さらに千屋丘陵西縁から横手盆地にかけては中振幅の高磁気異常群がそれぞれ分布している。また、千屋断層地区南西部には地区外南方に存在する大規模な高磁性体に起因する低磁気異常が見られる。

磁気異常分布と岩相分布との間には、東部および中央部では極めて良好な対応が見られるが、西部～中央南部にかけては一致がほとんど見られず、特に、千屋断層西部の横手盆地では高磁気異常群に対応する地層・岩石が地表にはまったく見られない。

平成8年度の断面磁気解析は、西部(横手盆地)と東部の高磁気異常群を引き起こしている磁性岩体の分布と形状を推定するために、4本の断面線を設定して行われた。このうち、D-E-F断面では、千屋断層西部の横手盆地に西傾斜のダイク状の磁性体群の存在が推定され、帯磁率($0.7\sim1.8\times10^{-3}$ emu/cc)から安山岩または玄武岩の貫入岩に対応するものとされた。

図4に、反射法地震探査で得られた地質構造断面を示す。また、反射法地震探査測線の位置を、地質図および帯磁率測定試料採取位置図とともに図2に示す。

本地区的地磁気の三要素は以下のとおりである。

全磁力強度	48,030 nT
伏 角	53.0° N
偏 角	8.2° W

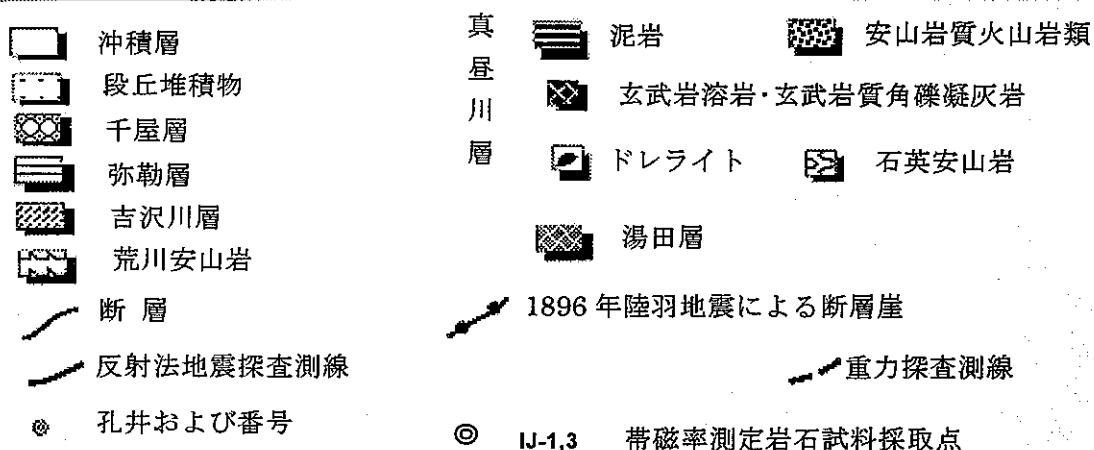
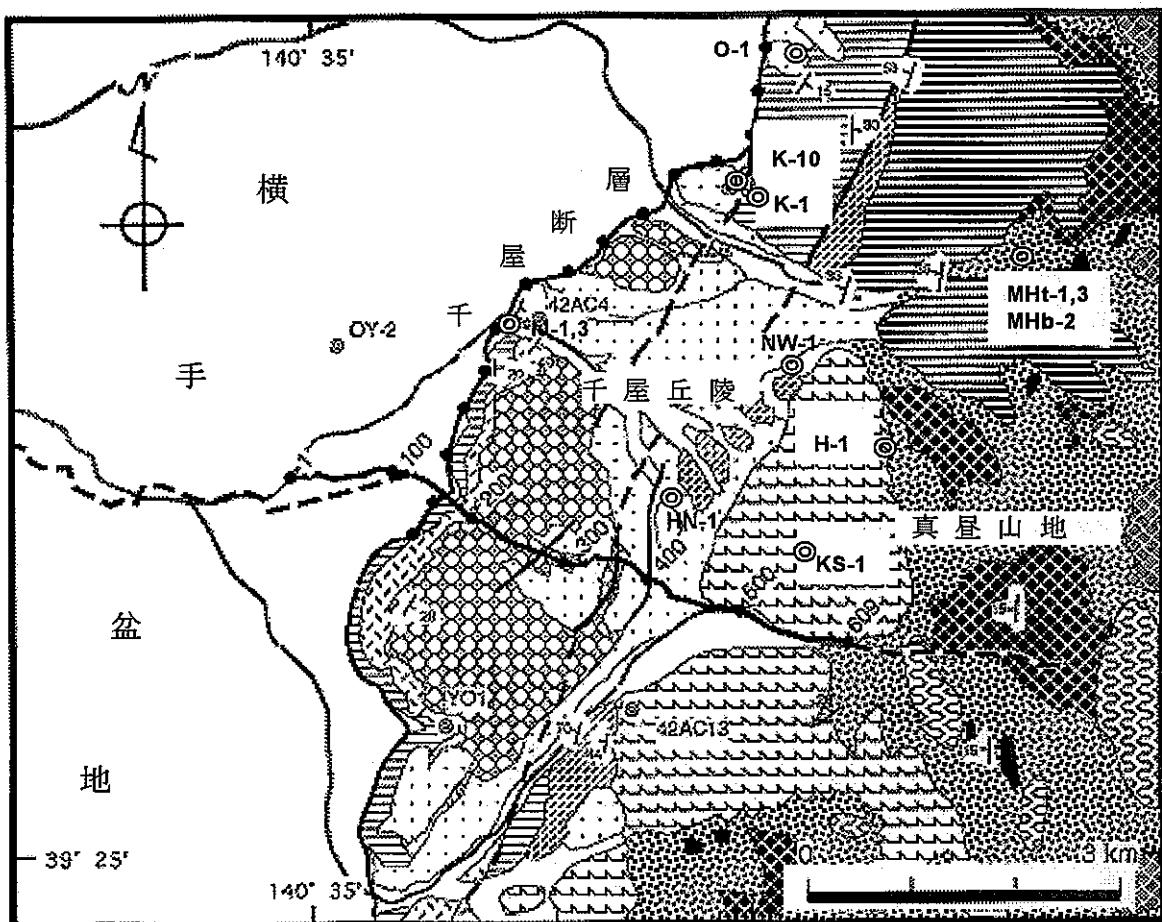


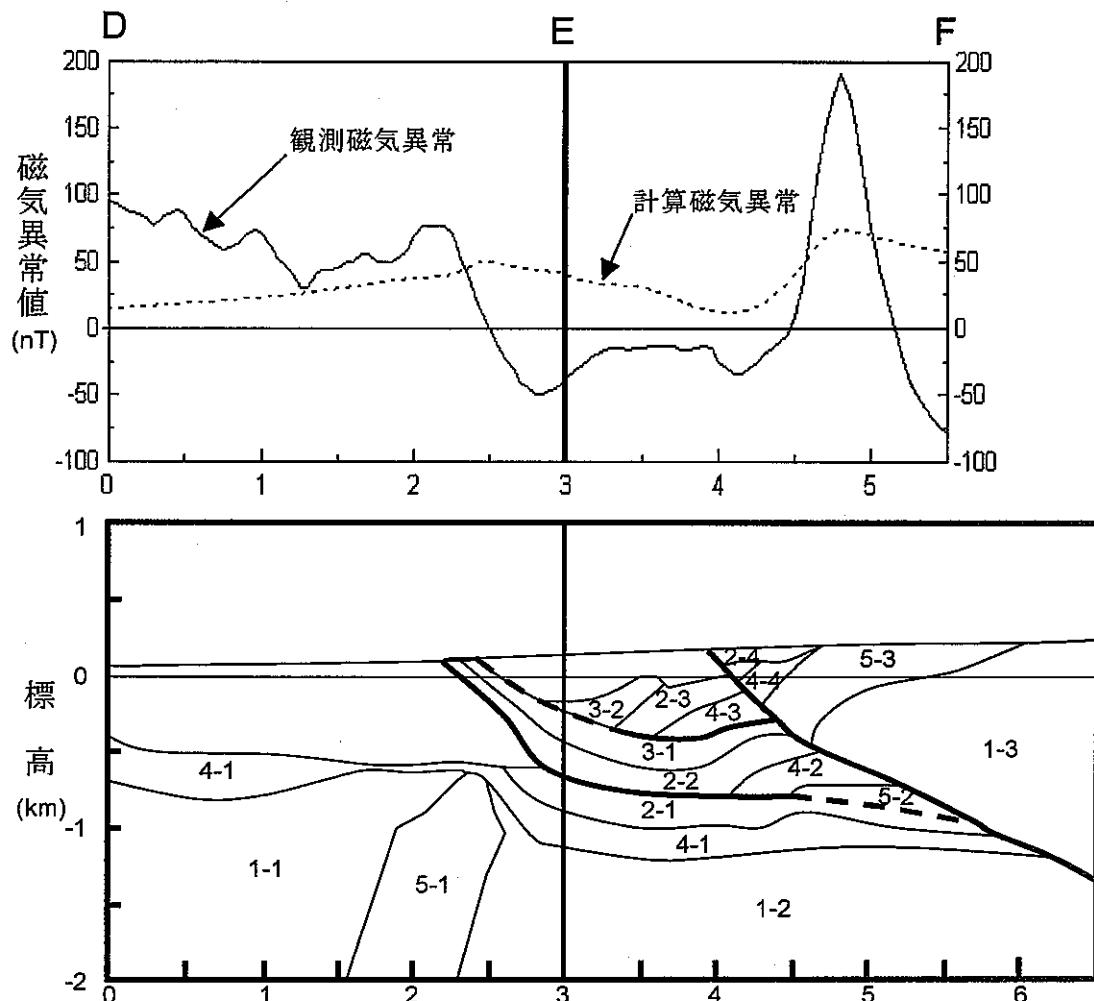
図2 岩石試料採取位置図
(Sato, et. al. (1997)²より引用)

² Sato, H., Ikeda, Y., Imaizumi, T., and Ikawa, T. (1997): Evolution of the active Senya thrust fault, northern Honshu, Japan, in print.

(1) 磁気解析曲線

図3に示す反射法地震探査で得られた地質構造断面を、帯磁率にしたがって5グループに分けた後、地質体を多角形プリズムで近似し、各多角形プリズムの頂点のx、z座標を読み取り、入力座標データを作成した。

地質体にそれぞれ帯磁率を与えて計算した結果を図5に示す。



磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名	磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名
1-1	0.039	5.0	真昼川層 角礫凝灰岩	4-1	0.144	5.0	弥勒層 泥岩
1-2				4-2			
1-3				4-3			
2-1	0.044	5.0	真昼川層 ハイアロクラ スタイル	4-4	0.909	3.0	荒川安山岩 貫入岩類
2-2				5-1			
2-3				5-2			
2-4				5-3			
3-1	0.202	5.0	弥勒層 軽石質凝灰岩				
3-2							

*: 走向長

図5 初期構造断面および磁気異常断面

図中の表には、磁性体の番号と与えた帯磁率、対応する地層・岩石名、さらに、断面に直交する方向に磁性体が連続する長さ[走向長]を磁気異常図から判断して、[長さ]として示している。

図5から明らかなように、計算曲線は測定曲線と大幅に異なっており、多角柱プリズムの帯磁率と、形状・深度を順次変えて2.5次元解析を行う必要があると考えられる。

D-E断面では、中央部の磁気異常のピークの位置が南東にずれており貫入岩体(5-1)の位置、形状および帯磁率を大幅に変更する必要がある。さらに、北西側(D)の高磁気異常をこのモデルではまったく説明できないので、磁性体を追加する必要がある。また、昨年度の解析で行ったように断面の範囲外にも高磁性体を設定することが必要である。

E-F断面では、比較的シャープな異常が説明できておらず、荒川安山岩(5-3)に相当するモデルの帯磁率を変化させてみてどの程度まで観測磁気異常に照合できるかをまず検討し、必要に応じて形状を変化させる必要がある。

(2) 2.5次元磁気断面解析

A 変数：帯磁率

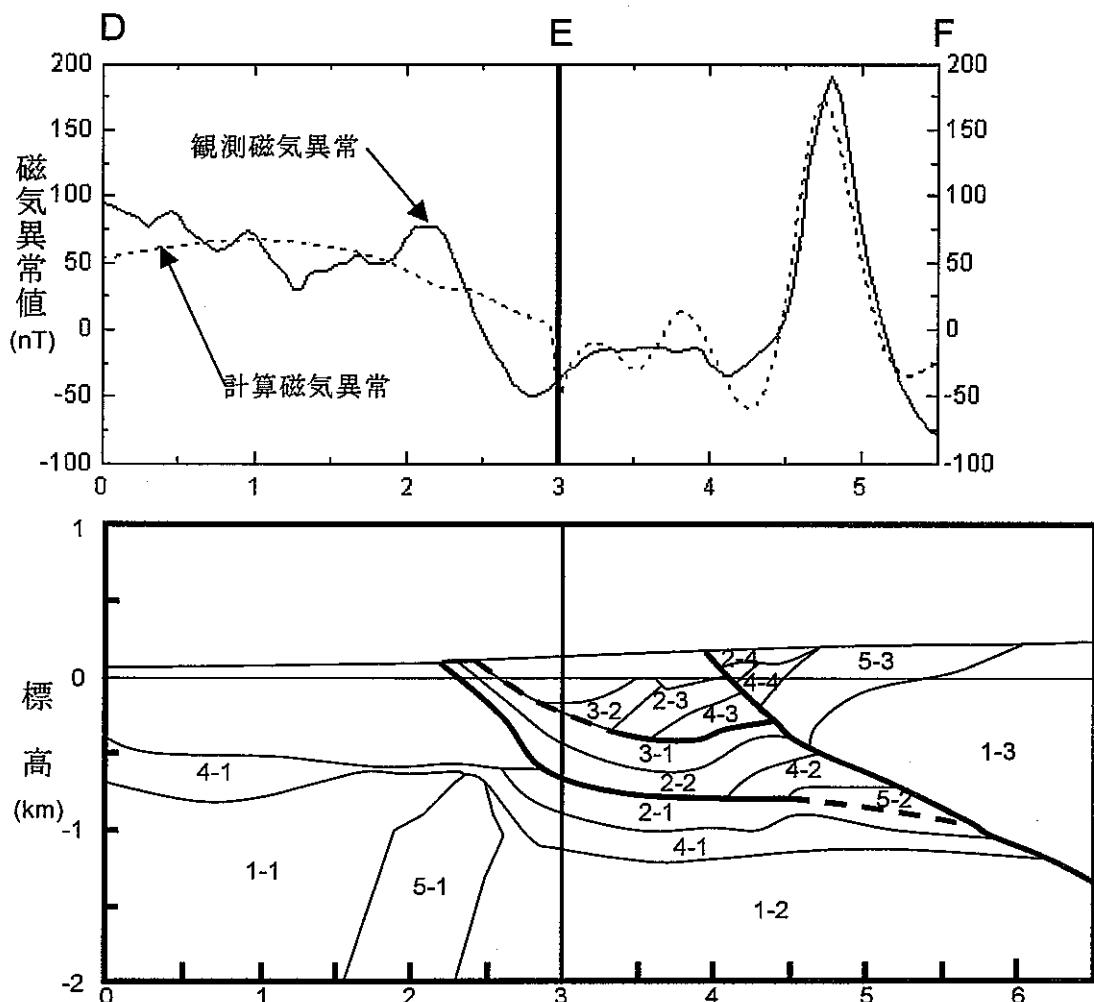
主に磁気異常を誘起すると考えられる荒川安山岩および真昼川層角礫凝灰岩の帯磁率のみを未知数として、2.5次元半自動解析を行った。解析結果を図6に示す。

計算曲線を単純に観測曲線と比較すると、全体としては、図5よりも一致しているといえる。D-E断面では小さなピークはあらわされていないが、傾向がほぼ一致している。一方、E-F断面では東部の高磁気異常が良く一致している。

しかしながら、図中の表に示すように、帯磁率が負(1-1; -0.775×10^{-3} emu/cc、1-3; -3.504×10^{-3} emu/cc、5-1; -0.101×10^{-3} emu/cc)となるか、極めて高い値(5-2; 6.893×10^{-3} emu/cc、5-3; 7.902×10^{-3} emu/cc)を示している。

帯磁率が負の値を示すことは考えられないので、帯磁率のみを変数とした半自動断面解析結果は、磁性体の帯磁率のみならず深度、形状を変更することが必要であることを示している。

D-E断面では、北西(D)に向かって磁力値が上昇する傾向を説明できず、また、ピークに対応した計算曲線が得られていないので、貫入岩体(5-1)の北西の真昼川層角礫凝灰岩(1-1)中におよび断面外に高磁性体を設定する必要がある。



磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名	磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名	
1-1	-0.775	5.0	真昼川層 角礫凝灰岩	4-1	0.144	5.0	弥勒層 泥岩	
1-2	0.229			4-2				
1-3	-3.504			4-3				
2-1	0.044	5.0	真昼川層 ハイアロクラ タイト	4-4				
2-2				5-1	-0.101	3.0	荒川安山岩 貫入岩類	
2-3				5-2	6.893	5.0		
2-4				5-3	7.902	3.0		
3-1	0.202	5.0	弥勒層 軽石質凝灰岩					
3-2								

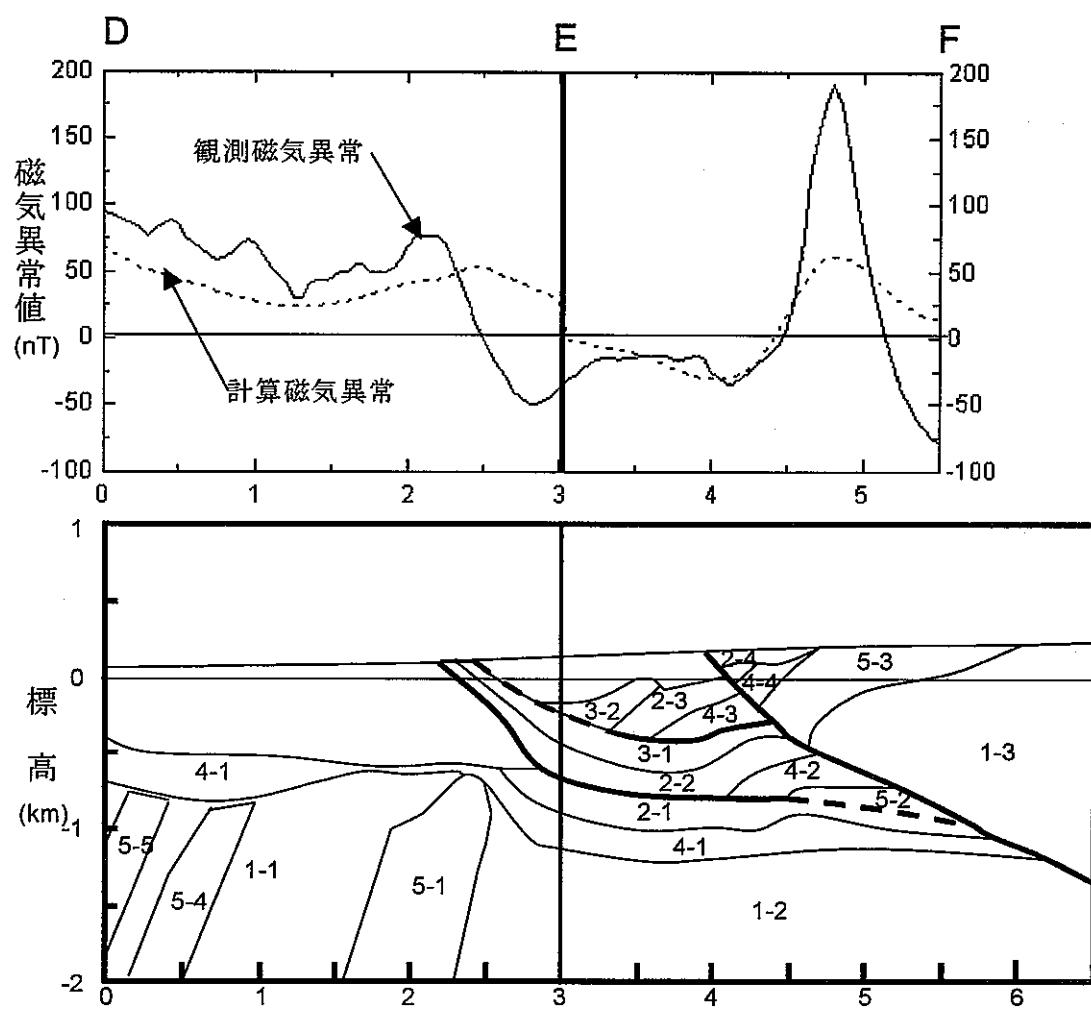
*: 走向長

図 6 構造断面および磁気異常断面(帯磁率のみ変化)

B 貫入岩体追加モデル

(1)および A での検討結果から、初期モデルに、貫入岩体に対応するダイク状の 3 個の磁性体を真昼川層角礫凝灰岩(1-1)中および断面外に設定した。追加した構造を図 7 に示す。また、図 7 には、このモデルによる計算曲線を合わせて示

す。なお、荒川安山岩および貫入岩類の帶磁率は収束を早めるために、 $1.2 \sim 3.0 \times 10^{-3}$ emu/cc と岩石試料の帶磁率の 1.5~3 倍に設定した。



磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名	磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名
1-1	0.039	5.0	真昼川層 角礫凝灰岩	4-1	0.144	5.0	弥勒層 泥岩
1-2				4-2			
1-3				4-3			
2-1	0.044	5.0	真昼川層 ハイアロクラ タイト	4-4	3.00	3.0	貫入岩類
2-2				5-1			
2-3				5-2			
2-4				5-3			
3-1	0.202	5.0	弥勒層 軽石質凝灰岩	5-4	3.00	3.0	貫入岩類
3-2				5-5			
5-6	3.00		貫入岩類	(X=-5km 附近に L=4km で設定)			

図 7 構造断面および磁気異常断面(貫入岩類追加)

D-E 断面の計算曲線では、北西に向かって磁力値が上昇する傾向が認められる。また、E-F 断面では振幅は一致しないが、高・低磁気異常のピークの位置がほぼ

一致している。

C 磁気構造

図 7 に示した地下構造モデルについて、荒川安山岩および貫入岩類の帯磁率、深度および形状を変数として半自動解析を行った。すなわち、他の 4 グループについては反射法地震探査から得られた構造と岩石試料の帯磁率を採用した。

半自動解析に際しては、形状を変数とするこれらの地質体が、反射法地震探査で決定した千屋断層や他の断層を横切らないように、都度、 x 、 z 座標をチェックした。また、帯磁率が大きく変化する場合には、対応する地質体の帯磁率を変数から除外して深度と形状を変数として、半自動解析を継続した。

計算曲線と観測曲線の差の RMS 値が 30nT 以下になったとき収束したと判断して半自動解析を終了した。

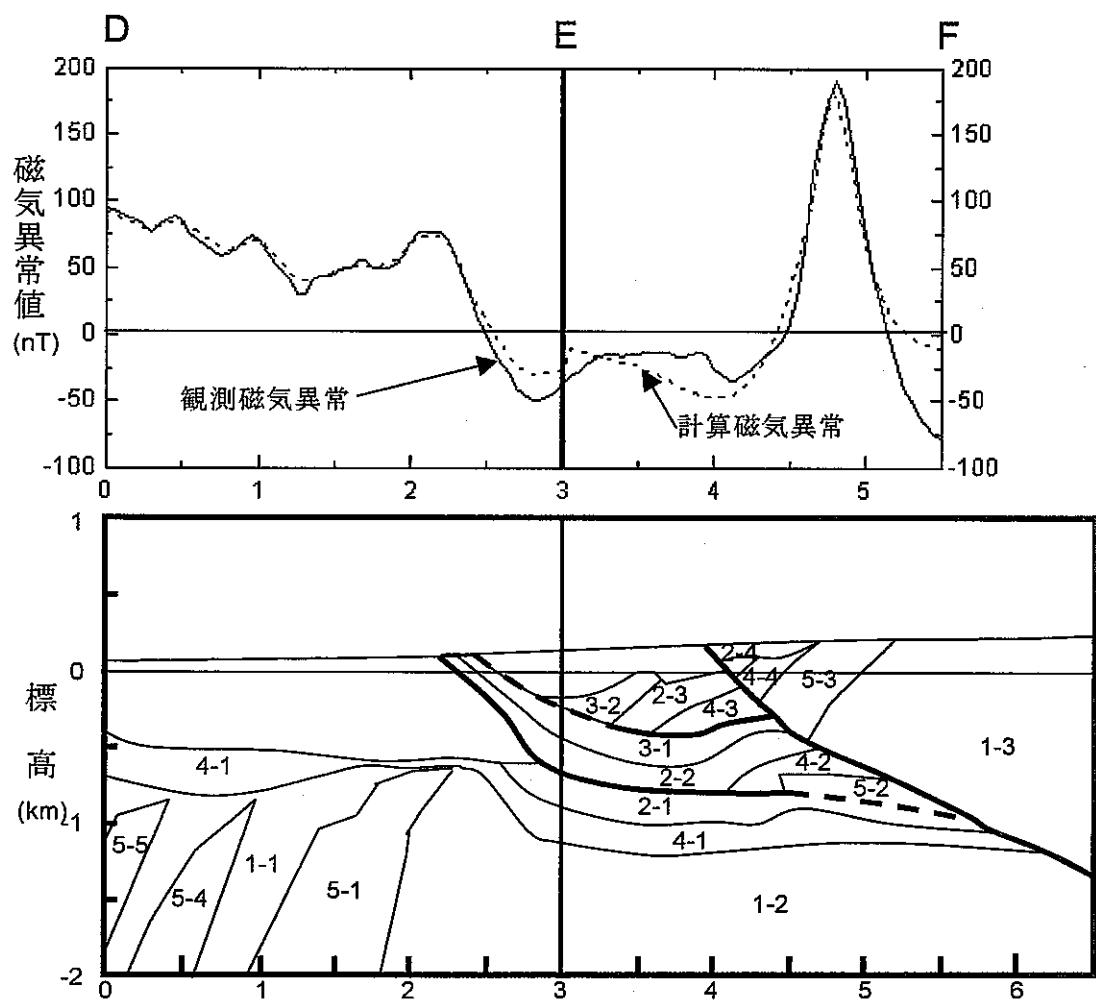
2.5 次元半自動解析で得られた最終的な磁気構造断面を図 8 に示す。

E-F 断面の E 側(中央部)を除いて全体として、計算曲線と観測曲線との間に極めて良い一致が見られる。

貫入岩体(5-1)と荒川安山岩(5-3)の位置および形状が大きく変わった。貫入岩体(5-1)は、北西に全体として移動し、また、岩体の上部では細くなっている。また、荒川安山岩(5-3)は、初期モデルでは東に厚く張り出していたのに対し、張り出しに相当する部分が全くなくなり、見かけ上西傾斜の構造に変化している。

新たに設定した貫入岩体(5-4、5-5)は上端が先鋭化した構造に変わっている。一方、荒川安山岩(5-2)は厚みが増すとともに西に伸びてきている。

荒川安山岩および貫入岩類の最終的な帯磁率は、 $2.18 \sim 3.63 \times 10^{-3}$ emu/cc と安山岩あるいは玄武岩の一般的な帯磁率の範囲内に収まっている。



磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名	磁性体番号	帯磁率 [$\times 10^{-3}$ emu/cc]	長さ* [km]	対応する地層・岩石名
1-1	0.039	5.0	真昼川層 角礫凝灰岩	4-1	0.144	5.0	弥勒層 泥岩
1-2				4-2			
1-3				4-3			
2-1				4-4			
2-2	0.044	5.0	真昼川層 ハイアロクラ スタイト	5-1	2.97	3.0	貫入岩類
2-3				5-2	2.68	5.0	荒川安山岩
2-4				5-3	2.18	3.0	
3-1	0.202	5.0	弥勒層 軽石質凝灰岩	5-4	3.00	3.0	貫入岩類
3-2				5-5	3.01	3.0	貫入岩類
5-6	3.63		貫入岩類	(X=-5km付近に L=4kmで設定)			

図 8 磁気構造断面および磁気異常断面

3. 総合解析

反射法地震探査で得られた地質構造断面を基に、2.5次元半自動磁気断面解析を行った結果、断層に直交する地下2km、東西6kmの地区の地質(磁気)構造について、次のような知見が得られた(図8参照)。

断層位置を固定し、磁性体が断層を横切らないように解析を進めたことから当然であるが、本地区の地質構造は断層により規制されている。

貫入岩体の分布は、千屋断層西側の真昼川層角礫凝灰岩の中に限定され、いずれも弥勒層・吉沢川層の泥岩の下部に位置し、頂部の深度は-0.6km ASL 以深である。これらの貫入岩体は西傾斜を示しており、断層西側の横手盆地側では東側とは異なる地質構造を反映していると考えられる。本調査地域の北西方の仙北村真山地区では安山岩あるいは粗粒玄武岩の貫入岩体の存在が確認されており(金属鉱業事業団、1972)³、本解析の結果存在が推定された貫入岩体は、これらの貫入岩類に対応するものと考えられる。

第四紀断層の東側に分布する荒川安山岩は、反射法地震探査で推定されたほど東に厚く張り出しておらず、見かけ上、幅500m程度の西傾斜で分布している。

4. 考 察

反射法地震探査測線とほぼ一致するD-E-F断面について、反射法地震探査による地質構造断面を基に、2.5次元半自動磁気断面解析を行った。その結果、千屋断層に直交する地下2km、東西6kmの範囲の地質(磁気)構造を推定することができた。

磁気解析を行う場合、調査地域内に分布する地質体の帯磁率データが十分にあれば、未知数が1個減らすことができ、地質体の深度、形状に大きく比重を置いてより詳細な解析ができることになる。

昨年度の断面解析では帯磁率データが全くなく、一般的な値を参考にして解析を進めざるを得ず、解析結果も貫入岩体が断層を切るなど不自然な結果が得られている。

図9に岩石の一般的な帯磁率の傾向を示す。火山岩類についてみてみると、安山岩は 10^{-3} emu/cc付近を中心として分布し、最大は 4×10^{-3} emu/cc程度であり、玄武岩は 2×10^{-3} emu/cc付近に中心を持ち、最大は 10^{-2} emu/ccまで伸びている。

本年度は、調査地域内で採取した15個の岩石試料の帯磁率が得られ、解析の

³ 金属鉱業事業団(1972): 昭和46年度精密調査報告書 和賀雄物地域。

一助となったが、今回の測定結果および金属鉱業事業団(1973)¹による測定結果は、安山岩の一般的な帶磁率の中心値より低く得られている。今回の測定結果については、すべて地表で採取した試料のため風化、変質等の影響を受けて帶磁率が低くなったものと考えられる。

したがって、帶磁率測定結果のみを利用して、岩石の帶磁率を固定して磁気異常計算を行うと観測磁気異常の振幅を満足する計算曲線が得られないために、帶磁率を未知数として扱わざるを得なかった。

今後、空中磁気データの解析を行う場合には、できる限り、風化・変質を受けていない岩芯の帶磁率データを収集し、解析に使用することが望まれる。

本解析のように、反射法地震探査結果のような異なる物性による解析結果を利用して、解析を行うことにより、より精度が高く、より詳細な構造を把握することが可能であることが判明した。今後、同様の活断層調査を含む地質構造調査を行う場合には、数種類の調査法を組み合わせた総合的な解析を行うことが望まれる。

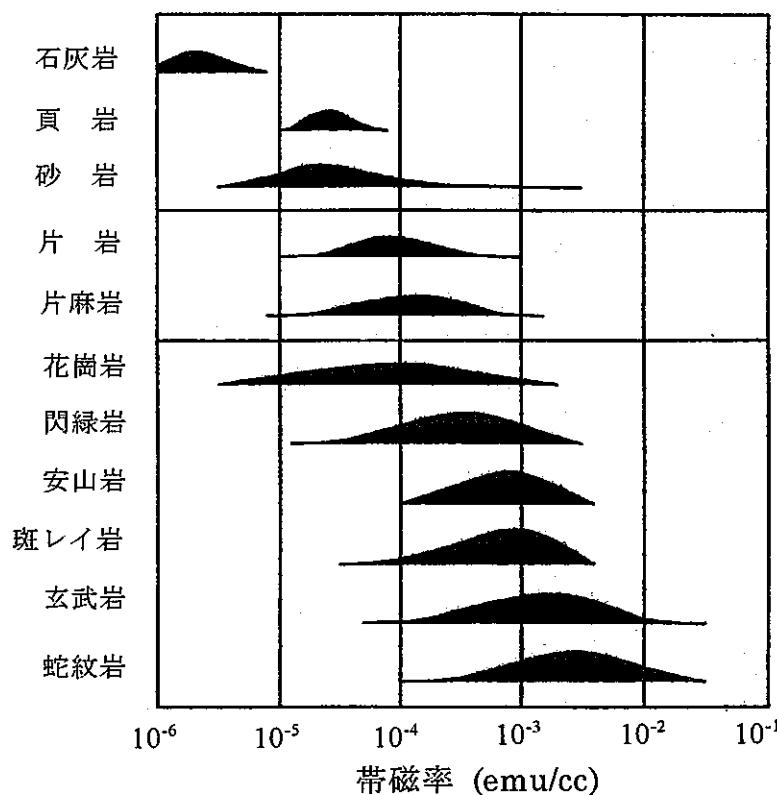


図 9 岩石の帶磁率 (物理探査学会(1989)⁴より)

⁴ 物理探査学会 (1989): 物理探査用語辞典。

参考文献

Cady, J. W. (1980): Calculation of gravity and magnetic anomaly of finite length right polygonal prisms, Geophysics, Vol. 45, No. 10, pp. 1507-1512.

金属鉱業事業団(1973): 昭和47年度精密調査報告書 和賀雄物地域、p.46-47。

Sato, H., Ikeda, Y. Imaizumi, T., and Ikawa, T. (1997): Evolution of the active Senya thrust fault, northern Honshu, Japan, in print.

金属鉱業事業団(1972): 昭和46年度精密調査報告書 和賀雄物地域。

物理探査学会編 (1989): 物理探査用語辞典。