

## 茨城県日立—千葉県鴨川地域の空中磁気異常と地質構造

## 第 I 報 調査データ処理法および解析結果

堀川義夫\* 津 宏治\*\* 小川克郎\*\*\*

Aeromagnetic Anomalies and Geological Features  
in the Hitachi (Ibaraki Prefecture)—Kamogawa (Chiba Prefecture) Area

## Part I Data Aquisition, Processing and Interpretation

Yoshio HORIKAWA, Hiroji TSU and Katsuro OGAWA

**Abstract:** This report refers to an aeromagnetic survey over the continental shelf and the neighbouring on-shore area (Kanto Plain) of southern Northeast Japan, from Hitachi in the north, through Kashimanada, Choshi, the east coast of the Boso Peninsula, to Kamogawa in the south (Fig. 1). The survey was carried out by the Geological Survey of Japan in December 1971 as a part of the aeromagnetic survey project covering the whole continental shelf areas around Japan. Total length of 6,700 kilometers of aeromagnetic traverses were flown and 13,200 square kilometers of area was covered. The results of the survey are presented as contour maps of total intensity isogam anomalies (Fig. 13) after correction of the IGRF (International Geomagnetic Reference Field) and of magnetic basement (Fig. 16).

This paper describes the outlines of survey equipment and operation, data compilation, interpretation procedures, and geological features deduced from the magnetic basement map.

The magnetic basement map delineated the eastward extension of the sedimentary basin beneath the Kanto Plain as follows:

- 1) An area of thick sedimentary basin is located in the northeastern portion of the survey area, i.e., off the coast of Kashimanada. Total thickness of more than 6 km is expected at the basin center which is situated 50 km off the coast. This basin is probably the southernmost part of the Off-Joban basin which is located to the north of the surveyed area.
- 2) This basin becomes shallower southwards toward Choshi where the minimum depth to the basement is no greater than 1 km.
- 3) The depth of the basement becomes again deeper toward the south from Choshi and may reach 5 km off the coast of the southern Boso Peninsula. However, it may become shallower at the southern end of the Boso Peninsula.

## 1. 緒 言

日立—鴨川海域（関東海域）の空中磁気探査は特別研究「陸棚海域地下資源賦存に関する基礎調査研究」の一環として、昭和46年12月に実施され、空中磁気図として出版された（堀川ほか、1974）。その後磁気異常の定量解析が進み、本地域の堆積盆の分布状況の概要及び基盤岩類の帯状配列について新たな知見を得た。本稿（第I報）では、調査法、データ処理法、及び定量解析法について述べ、次に、得られた磁気基盤深度分布図に基づき、本

海域及び隣接陸域の堆積盆の分布形態について論じる。なお、基盤岩類の分布についての地質学的解釈は第II報で具体的に論ずる。

## 2. 探 査 概 要

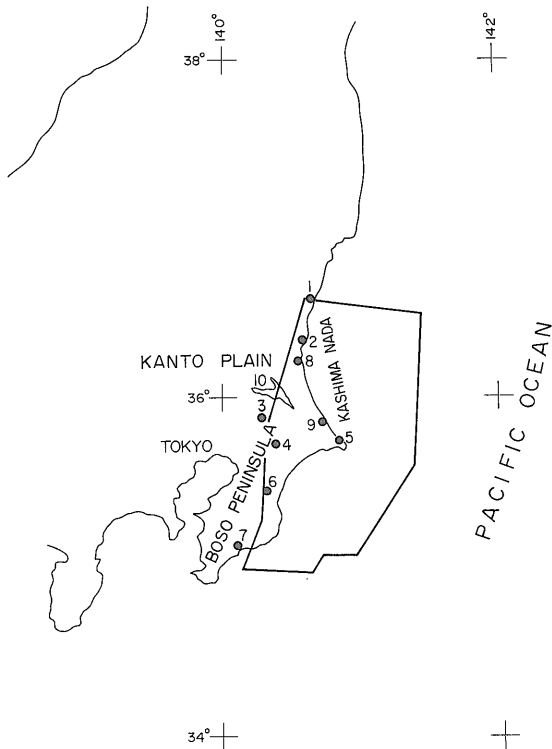
空中磁気探査の範囲は、第1図に示すように北は日立市南部の北緯36°30′より南は鴨川市付近の北緯34°55′まで、東は東経140°15′までの陸棚海域から、西は日立市—成田市—鴨川市を結んだ線の東側の陸域までで、その探査面積は約13,200 km<sup>2</sup>、そのうち陸域が約3,500 km<sup>2</sup>を占めている。

測線の配置は航空機航跡決定にロランCシステムを用

\* 物理探査部

\*\* 元物理探査部（現石油開発技術センター）

\*\*\* 地殻熱部



1. 日立 Hitachi, 2. 那珂湊 Nakaminato, 3. 竜ヶ崎 Ryugasaki,
4. 成田 Narita, 5. 銚子 Choshi, 6. 茂原 Mobara,
7. 鴨川 Kamogawa, 8. 大洗 Oarai, 9. 鹿島 Kashima, 10. 霞ヶ浦 Kasumigaura

第1図 空中磁気探査区域図  
Areal map of aeromagnetic survey

第1表 空中磁気探査概要

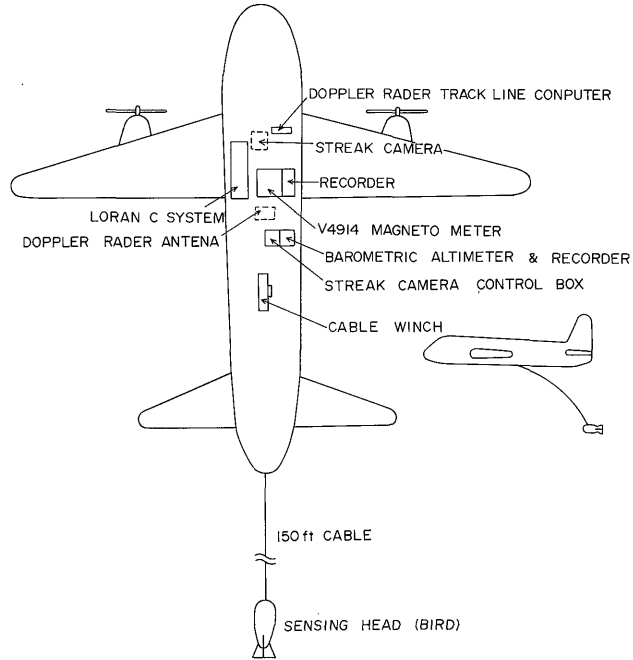
Discription of aeromagnetic survey off the coast of Hitachi—Kamogawa

探 査 海 域	茨城県日立市沖—千葉県鴨川市沖陸棚海域およびこれに隣接する陸域
探 査 研 究 期 間	昭和46年12月3日—12月26日
飛 行 基 地	千葉県東葛飾郡沼南町海上自衛隊下総航空基地
航 空 機	YS-11 型式 JA8612
観 測 装 置	第2表に示す
飛 行 日 数	12日間
飛 行 回 数	13回
飛 行 時 間	46時間
飛 行 高 度	1,500 ft
探 査 面 積	約 13,200 km <sup>2</sup>
有 効 測 線 長	6,700 km
測 線 間 隔	主測線約 3 km 交叉測線約 7 km
測 線 方 向	主 測 線 N77°W ロランC SSO-X レーン方向 交叉測線 N24°E ロランC SSO-Y レーン方向
探 査 研 究 担 当	堀川義夫・田村芳雄・小川克郎
航 空 機 機 上 作 業	日本航空機輸送㈱
航 跡 図・磁 気 原 図	アジア航測㈱
磁 気 図 縮 尺	10万分の1, 20万分の1, 50万分の1
磁 気 図 種 類	IGRF 残差図, 鉛直二次微分図
地 磁 気 日 変 化 観 測 点	千葉県横芝町・茨城県旭村

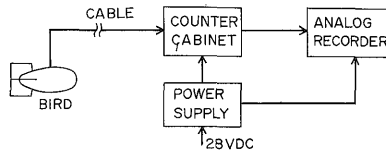
第2表 探査装置の概要  
Specifications of the instruments of aeromagnetic survey

観 測 機 器	型 式 等	精 度 等
空 中 磁 力 計	USA, VARIAN 社 V4914 型プロトン磁力計	0.22γ/1count (日本付近 1024Gate の場合) サンプルング間隔; 0.9秒
地 上 磁 力 計	USA, VARIAN 社 V4938 型 Rb および Cs 磁力計	精 度; ±0.01 γ 測定間隔; 10 <sup>-3</sup> 秒 (連続)
対 地 撮 影 カ メ ラ	ナック社 35mm ST-102 型ストロークカメラ	
ロ ラ ン C 受 信 機	古野電機製 LR-3A ロラン C-A 受信機	SS3-X 局 (北海道) 15m/0.1μsec SS3-Y 局 (沖 縄) 30m/0.1μsec (関東沖付近地上波使用の場合)
ド ッ プ ラ ー レ ー ダ ー	G.P.L. 社製 AN/APN-153 (V) ドップラーレーダー	総合精度 0.8% (飛行距離に対して)
気 圧 高 度 計	東京航空計器製気圧高度計 気圧高度変換器 TP-80	作動範囲; -1,000 ~ +40,000 ft 精 度; 4% (100 ft のとき)

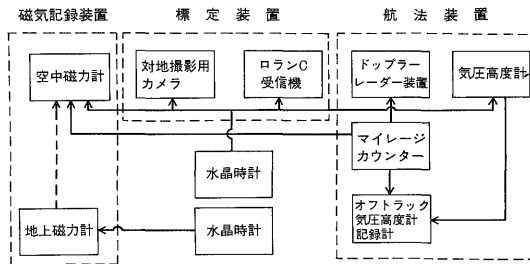
航空機内における探査装置の配置



V4914型空中磁力計の構成



探査装置と時刻照合ブロックダイアグラム



第2図 空中磁気探査システム  
Hardware system of aeromagnetic survey

いたため、主測線をSS 3-X局(北海道)レーン沿い(N 77°W)に約3 km間隔、交叉測線をこれとほぼ直角方向、SS 3-Y局(沖縄)レーン沿い(N 24°E)に約7 km間隔に設定した。有効測線長約6,700 kmである。その他、探査研究期間、研究担当者など探査概要を第1表に示した。

空中磁気探査システムは第2図に示したように、空中磁力計一式、航跡標定用対地撮映ストリークカメラ、海域部航跡標定および航法用のロランC-A受信装置一式、ドップラーレーダー、気圧高度計、およびこれらの各種装置の記録を時刻照合するための水晶時計等から構成されている。これらの探査装置・航法装置については、陶山(1968, 1970)、小川(1970)に詳細に述べられているので概要を第2表に示すにとどめる。

### 3. データ処理

#### 3.1 航跡図および磁気原図の作成

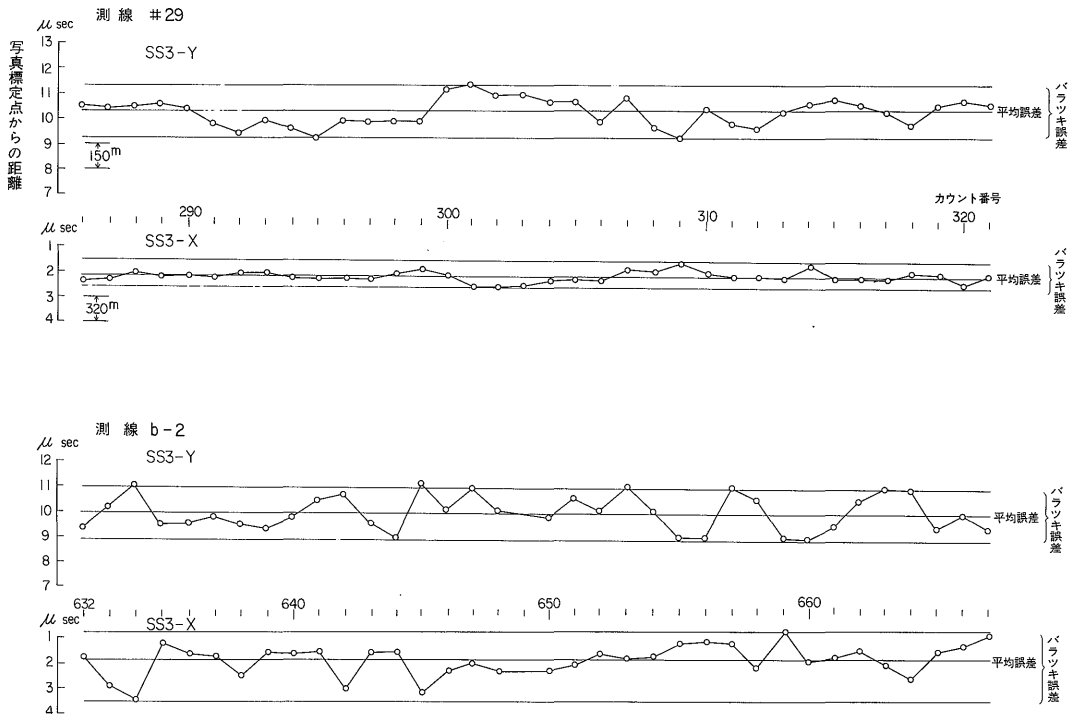
海域の空中磁気探査では、磁気図の精度を陸域と同様の水準を保つため、特に航跡図の精度をよく決めることと、地球磁界の日変化を精度よく除去することが重要である。小川ら(1971)はロランC電波航法を用いた場合の海域の空中磁気図作成の方法について論じ、平均誤差

ベクトル、バラツキ誤差ベクトル、日変化地域補正等の補正方法を導入して、磁気図の精度を向上させている。当探査海域の磁気図作成においても、この手法によって航跡図および磁気図の精度の向上をはかった。

ロランCによる位置標定には種々の誤差が含まれているが、この誤差は陸域での対地写真による標定位置との比較によって見積ることができる。第3図は測線#29, b-2について写真標定点(実航跡)とロランC標定点の誤差(誤差ベクトル)をSS 3-Y局とSS 3-X局の成分に分解して表わしたもので、SS 3-Y局で約10  $\mu$ sec, SS 3-X局で約2  $\mu$ secの平均誤差ベクトルが認められる。海域でのロランC位置補正は、陸域での平均誤差ベクトルが測線の終端(東方約80 km)まで適用できると仮定して、海域の航跡を陸域で求めたロランCの平均誤差ベクトル量だけ移動して決定した。

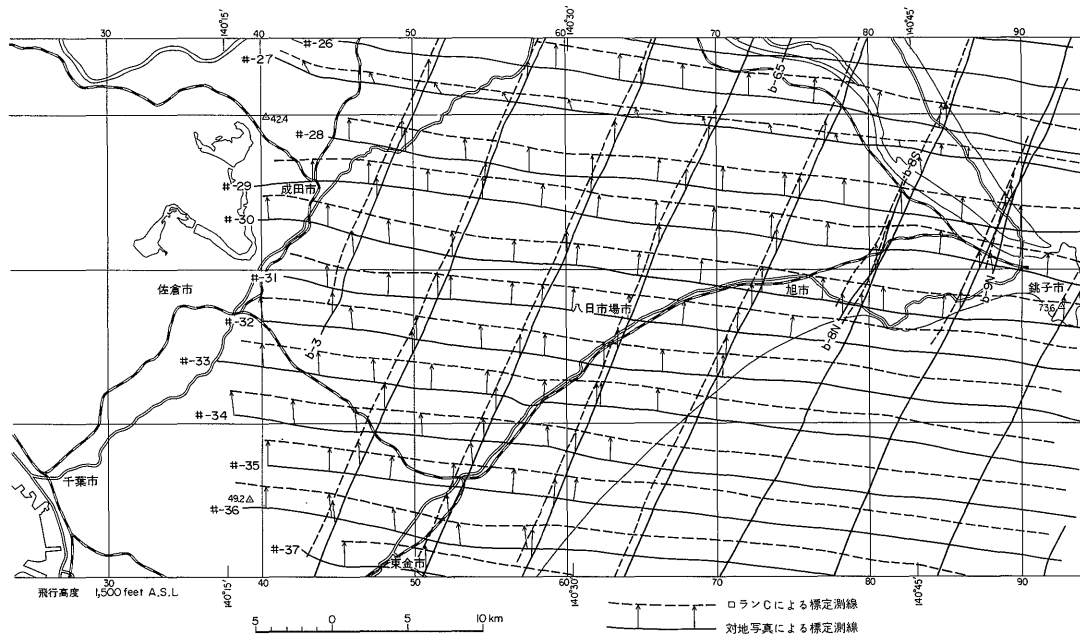
第4図に探査区域の中央部陸域の各測線について、誤差ベクトルの補正量を示したものである。各測線とも補正量がほぼ一定し、また測定日が異なっても大きな変化は認められない。

地磁気日変化観測は千葉県横芝町と茨城県旭村の2地点で実施した。観測期間中大きな地磁気のじょう乱日はなく、第5図に日変化曲線の1例を示したが、2地点間

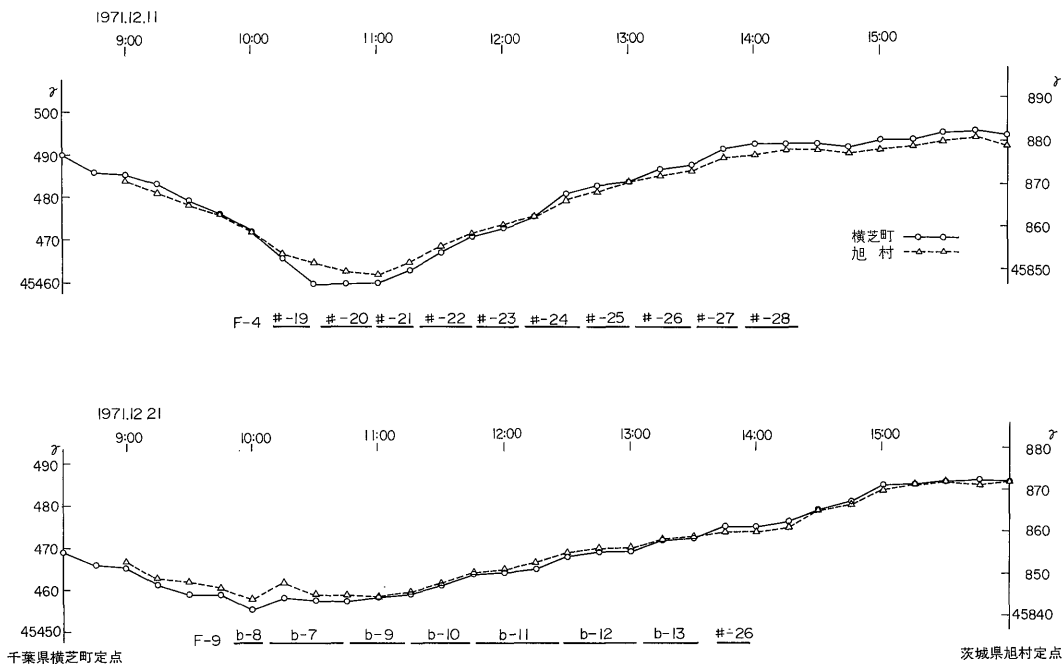


第3図 陸域における標定誤差ベクトルをXおよびY成分に分解したもの

X and Y components of deviation vector between positioned by Loran-C and positioned by Streak camera



第4図 各測線の誤差ベクトル  
Fright line positioned by Loran-C and the corrected line



第5図 地磁気日変化曲線図  
Geomagnetic diurnal variation curve

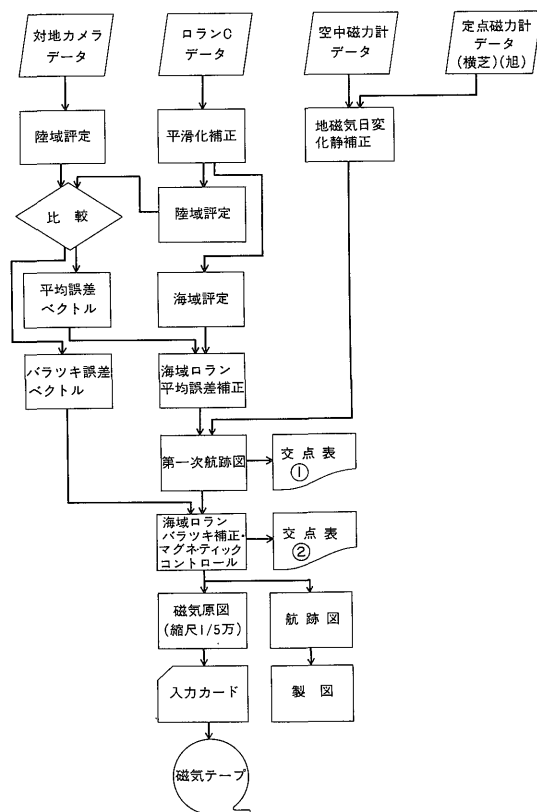
での位相差は無く、振幅が最大数  $r$  程度であるため、地磁気日変化の地域的補正は実施していない。

ロランC平均誤差ベクトルによる航跡補正を行った後の主測線と交叉測線との交点の磁気値差で、 $\pm 3$  ガンマ以上のものが交点数の30%あり、これをロランCパラツキ誤差ベクトルの範囲内で、交点磁気値を最小になるように測線を修正した結果、約90%を $\pm 2$  ガンマ以内の磁気値差にすることができた。

以上の手法で作成した航跡図に5  $r$  ごとに磁気値を記入し、5  $r$  間隔の等磁力線を描き5万分の1空中磁気原図を作成し、1 km 間隔の格子点データの磁気テープを編集した。第6図に以上の空中磁気探査データ処理のフローチャートを示した。

### 3.2 磁気データのリダクション

磁気原図には局部異常の他に、地球深部に起因する基準磁界が含まれているので、これを除去し局部的磁気異常を抽出し、地表近くの構造特性が明らかになるような図面を作成しなければならない。



第6図 空中磁気探査データ処理フローチャート (グリッドデータ作成まで)

Flow chart of aeromagnetic data processing

基準磁界の除去にはIGRF (International Geomagnetic Reference Field) を用いた。IGRF残差図 (磁気変化図) は局所的な磁気異常が抽出され、定性・定量解析の基本図となる。第13図は10  $r$  コンターの IGRF残差図である。

鉛直二次微分は、干渉した磁気異常を個々の磁気異常に分解し、磁性岩体の平面形状の推定に用いられる高帯域通過フィルターである。

計算式は次の ROSENBAUGH (1953) の式を用いた。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{24S^2} (96T(0) - 72\bar{T}(S) - 32\bar{T}(\sqrt{2}S) + 8\bar{T}(\sqrt{5}S))$$

$S$ ; 計算格子間隔

ここに、 $\bar{T}(\sqrt{2}S)$  等は半径  $\sqrt{2}S$  の格子点上の磁気値の平均値である。

半径  $\sqrt{2}S$  の円周上の格子点の入力は存在するが、半径  $\sqrt{5}S$  の円周上の格子点の入力が欠ける場合には次の HENDERSON and ZIETZ (1949) の式を用いた。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{S^2} (6T_0 - 8\bar{T}_1 + 2\bar{T}_2)$$

$S$ ; 計算格子間隔

$T_0$ ; 計算点

$\bar{T}_1$ ; 半径  $S$  の円周上の磁気値の平均値

$\bar{T}_2$ ; 半径  $\sqrt{5}S$  の円周上の磁気値の平均値

第14図は鉛直二次微分図である。

### 4. 解析法

今回用いた磁気異常解析法を次に述べる。

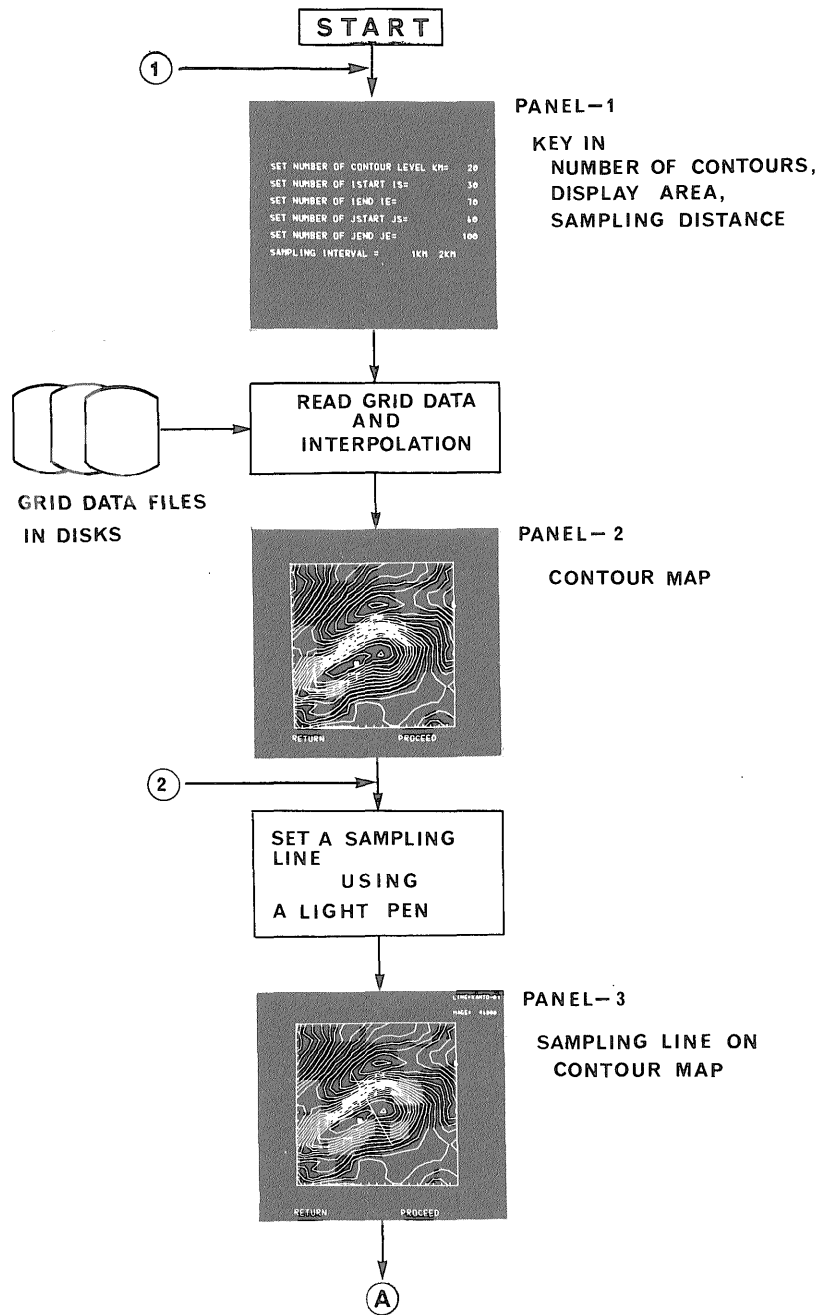
磁気異常を発生させている磁性岩体の形状、深度、磁化率等の未知パラメータは、グラフィックディスプレイ装置を利用したマン・マシン・コミュニケーション手法による磁気データの一貫解析法“IMIS” (Interactive Magnetic Interpretation System) (小川ほか, 1975; OGAWA and Tsu, 1976) により決定された。本解析法は既存の解析法にくらべ、次に述べる3つの特長をもっている。

1) 既存のコンピュータを用いた解析法において、その入力データは

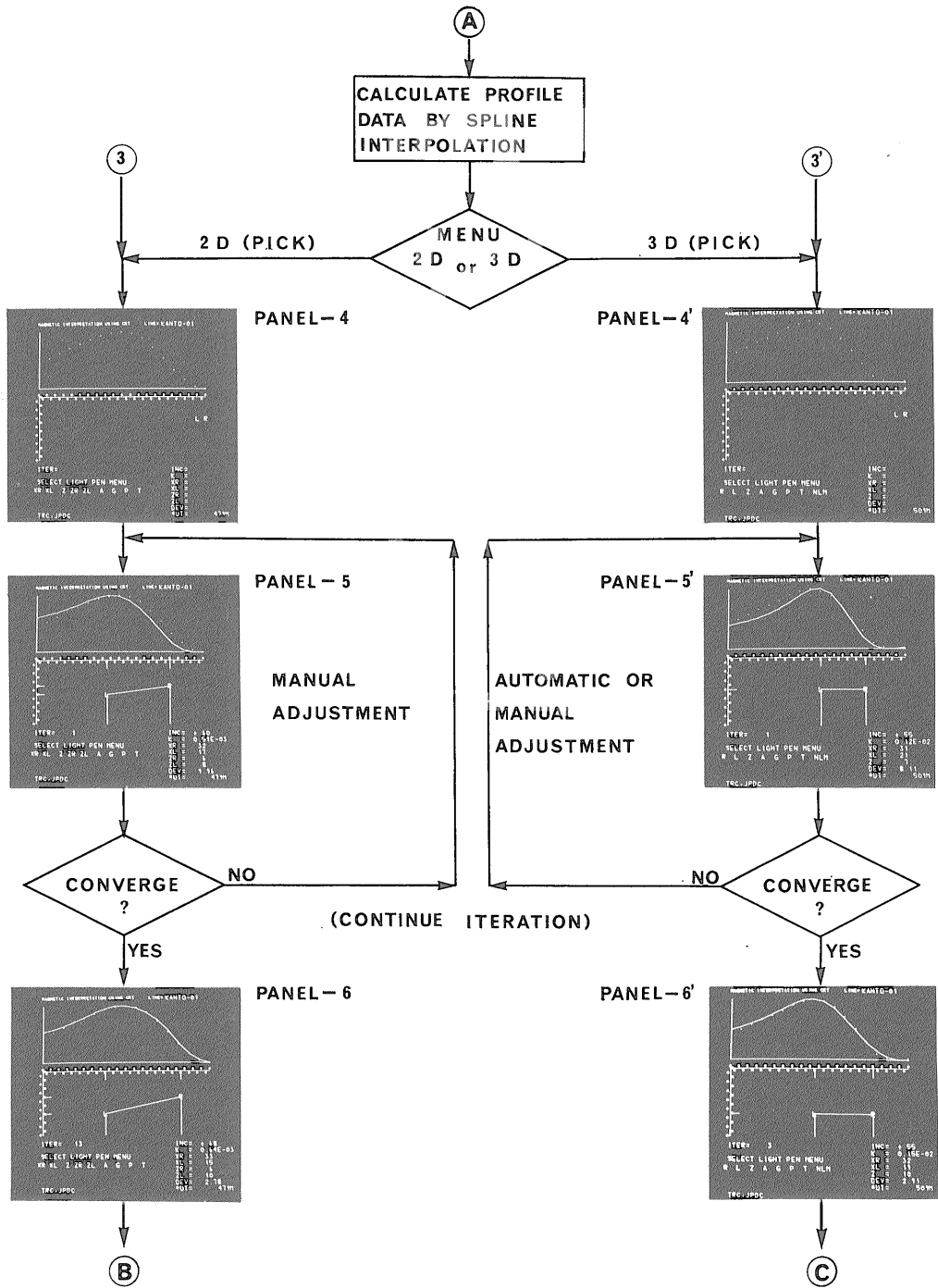
磁気図→解析断面位置の指定→磁気データの読取  
→カードにパンチ→読み込み

のごとき流れを通る。しかもそれらは繁雑な手作業であり、解析能率を向上させる上での大きな障害となっていた。

一方、本解析法では、これら一連の作業はグラフィック画面を通して、解析者が簡単な指示を行うだけで

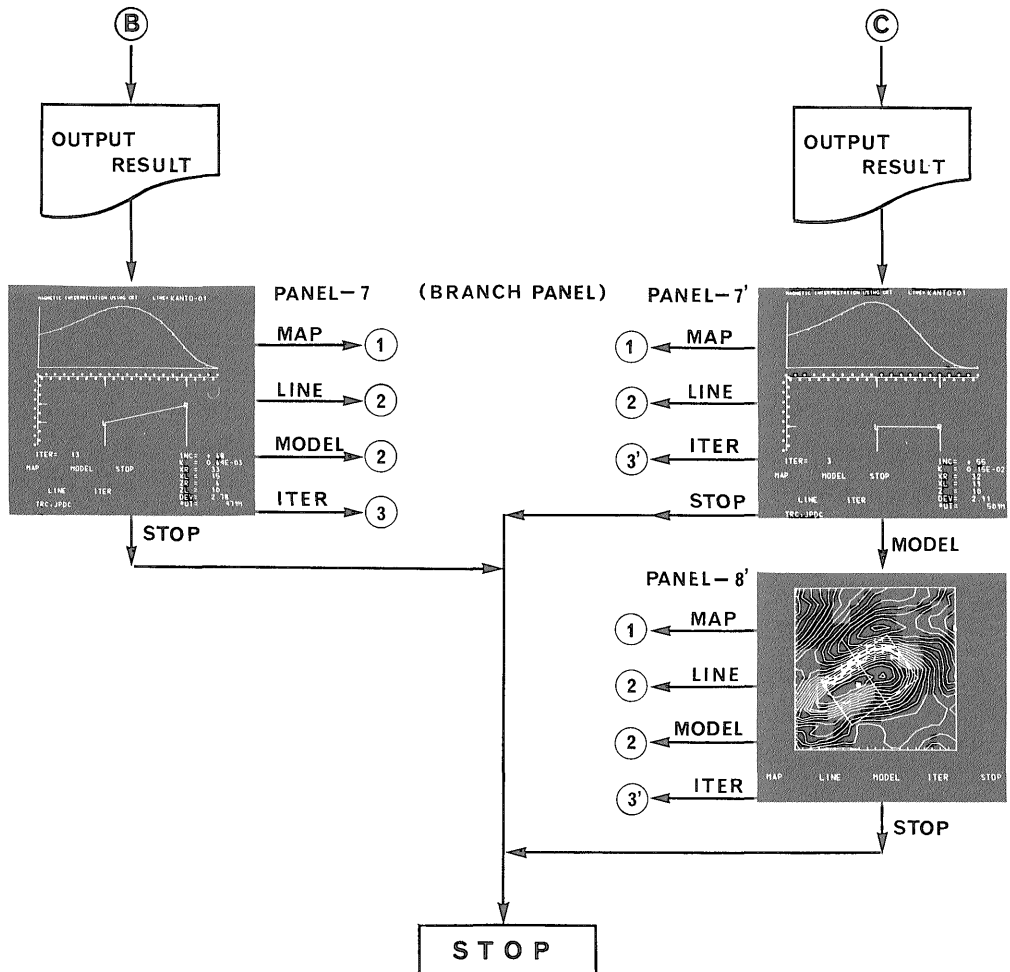


第7図 解析法フローチャート  
Flow chart of interpretation



第7図 (つづき)





第7図 (つづき)

良く、解析能率の大幅な向上を可能にしている。

- 2) 最小二乗法にもとづく磁気異常の自動解析では、磁性岩体の諸パラメータが正規方程式に関して非線型となり、最適解を得ることが必ずしも容易ではない(津・小川, 1973)。この困難さも、本解析法では計算機のもつ計算の迅速さ、正確さと解析者の視覚的能力や経験に基づく判断能力を融合させることにより克服することが出来、結果として最適解を容易に得ることができる。
- 3) 解析の段階で誤操作を行った場合の回復操作とか、磁気異常の特性に応じてのモデル岩体の選択とか、解析システム内での分岐操作等が極めて容易に行えるようになっている。

第7図は本解析法のフローチャートである。これに従い説明を加える。

i) 磁気コンターマップの表示

空中磁気探査により作成された格子点磁気データは、一つの調査につき数万個得られるが、これを磁気ディスクに一つのファイルとして登録しておく。本解析法では個々の磁気異常について個別的に解析を進める方式をとっているため、表示される磁気コンターマップは解析の対象とする磁気異常を含むようにする。Panel-1 は表示領域の始点、終点の座標、表示されるコンターの木数等をディスプレイ画面上で指定した例である。この指定にもとづき、ディスクに格納されている磁気データファイルより該当する領域内のデータのみが読み込まれ、内挿

補正計算により各コンターの座標が決定される。それにより得られたコンターマップを Panel-2 に示す。

ii) 解析断面位置指定とプロフィール・データ

i) により得られた磁気コンターマップ中の磁気異常について解析に必要なプロフィール磁気値を求めなければならない。このプロフィール磁気値は想定される磁性岩体の走向に直交し、しかも他の磁気異常による干渉の少ない場所でなければならない。この指定はコンターマップ上において適当と思われる場所で始点、終点をライトペンにより指示すれば良い。又、プロフィール磁気値はプロフィール近傍の格子点磁気値より線形補間法、スプライン補間法の組合わせにより求められる。

iii) 解析モデルの選択と各種定数の入力

解析の対象となる磁気異常に応じて、2次元プリズムモデルか3次元プリズムモデルかのいずれかを選択することが出来る。ここで2次元モデルを選択するには、走向方向の波長がそれに直交する方向の波長にくらべて2倍以上ある事が必要である。この選択の後、解析に必要なパラメータ (地球磁場の強さ、偏角、伏角) を入力す

る。

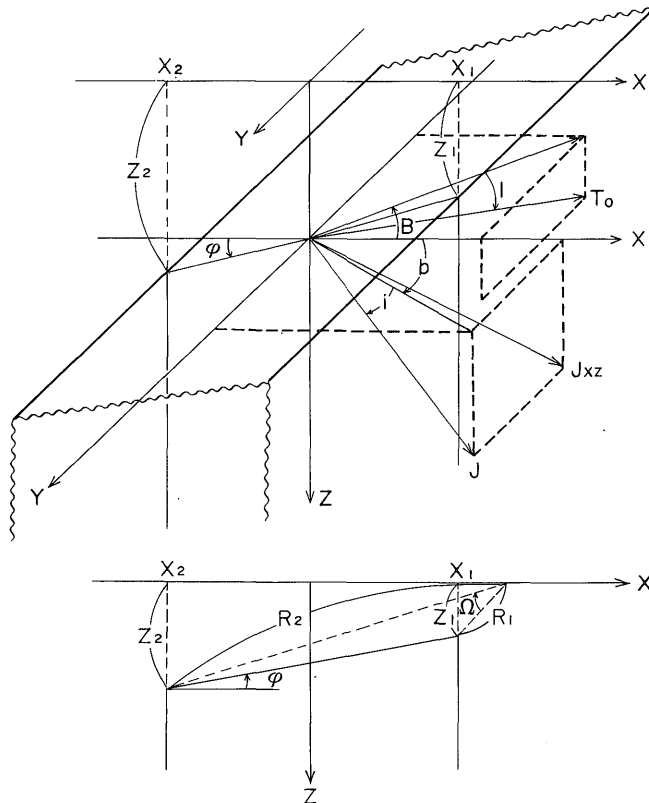
iv) 解析

Panel-4, 4' はそれぞれ、二次元モデル解析、三次元モデル解析ルーチンにおいて表示される最初のパネルである。

上半部に点線で示される測定磁気値 (ii) により得られたもの) に対して、下半部においてモデル岩体を仮定し、そのモデル岩体によるレスポンス磁気値との誤差平方和が最小になるようにモデル岩体の位置、形状、深度、合成磁化ベクトルの伏角等を解析者が試行錯誤により変更するか、あるいは、コンピュータにより自動的に変更する (津・小川, 1973)。この様にして、最終的に得られたモデル岩体が磁気異常を発生させている磁性岩体を最も良く説明するものであるとする。

Panel-5, 5' はそれぞれ1回目の試行におけるモデル岩体の形状、及びモデル岩体によるレスポンス磁気値 (実線) を示したものである。

ここで、二次元モデル、三次元モデルによるレスポンス磁気値の計算には以下の式を用いた。



第8図 2次元ダイクモデルにおける各パラメーターの定義  
Definition of parameters in case of 2-dimensional dyke model

- a) 二次元モデルによるレスポンス磁気値の計算式  
第8図で与えられる記号を用いると、全磁力異常 ( $\Delta T$ ) は次式で表わされる。

$$\Delta T(x, 0) = C \cdot J_{xz} \cdot \delta T_{xz}(x, 0)$$

ここで

$$\begin{aligned} c &= \cos I \cos B \cos i' + \sin I \sin i' \\ \delta T_{xz}(x, 0) &= \Delta X(x, 0) \cos i' + \Delta Z(x, 0) \sin i' \\ \Delta X(x, 0) &= (R \cos \varphi - 2 \sin \varphi) M' - 2\Omega N' \\ \Delta Z(x, 0) &= (-R \sin \varphi - 2 \cos \varphi) M' - RN' \\ M' &= -(\sin i' \cos \varphi + \cos i' \sin \varphi) \\ N' &= \cos i' \end{aligned}$$

$$R = \log(R_2/R_1)^2$$

$J_{xz}$ ;  $x-z$  面に投影した磁化ベクトルの強さ

$i$ ;  $\delta T_{xz}$  の伏角

$I$ ; 地球磁場の伏角

$B$ ; 地球磁場の偏角 (X軸より反時計方向に測る)

$\varphi$ ; モデル岩体の頂部傾角

- b) 三次元モデルによるレスポンス磁気値の計算式  
第9図で与えられる記号を用いると、全磁力異常 ( $\Delta T$ ) は次式で表わされる (BHATTACHARYYA, 1964)。

$$\Delta T(x, y, H) = J \times G(x, y, H)$$

$$\begin{aligned} G(x, y, H) &= \left( \frac{\alpha_{23}}{2} \log \left( \frac{r_0 - \alpha_1}{r_0 + \alpha_1} \right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log \left( \frac{r_0 - \beta_1}{r_0 + \beta_1} \right) \right. \\ &\quad \left. - \alpha_{12} \log(r_0 + H) - lL \tan^{-1} \right. \\ &\quad \left( \frac{\alpha_1 \beta_1}{r_0^2 + r_0 H - \beta_1^2} \right) \\ &\quad \left. - mM \tan^{-1} \left( \frac{\alpha_1 \beta_1}{r_0^2 + r_0 H - \alpha_1^2} \right) \right. \\ &\quad \left. + nN \tan^{-1} \left( \frac{\alpha_1 \beta_1}{r_0 H} \right) \right) \frac{\alpha_u \beta_u}{|\alpha_1 \beta_1|} \end{aligned}$$

ここで

$H$ ; モデル岩体の頂部深度

$2L_x, 2L_y$ ;  $x$  方向,  $y$  方向のモデル岩体の幅

$J$ ; 磁化ベクトル

$J$ ;  $J$  の強さ

$T_0$ ; 地球磁場ベクトル

$T_0$ ; 地球磁場の全磁力

$l, m, n$ ; ベクトル  $J$  の方向余弦

$L, M, N$ ; ベクトル  $T_0$  の方向余弦

$i$ ; ベクトル  $J$  の伏角

$I$ ; ベクトル  $T_0$  の伏角

$b$ ; ベクトル  $J$  の偏角

$B$ ; ベクトル  $T_0$  の偏角

$$\alpha_{12} = Lm + Ml, \alpha_{13} = Ln + Nl, \alpha_{23} = Mn + Nm$$

$$\alpha_1 = \alpha - x, \beta_1 = \beta - y$$

$$\alpha_u = L_x - x, \alpha_l = -L_x - x$$

$$\beta_u = L_y - y, \beta_l = -L_y - y$$

$$r_0^2 = (\alpha - x)^2 + (\beta - y)^2 + H^2$$

レスポンス磁気値と測定磁気値のマッチングが不十分と認められると、再びモデル岩体の形状、位置等に変更を加え、両者の誤差が十分小さくなるようにする。この変更は手動、および自動の二通りあり、この二つの方法を併用することにより収束を迅速に行うことが出来る。通常、数回-10回程の反復回数で収束する。

Panel-6, 6'はそれぞれ収束したと認められる結果を示したものである。ここで右下欄には収束時における、形状、位置、有効磁化率、誤差の標準偏差等が表示される。ここで述べた有効磁化率 ( $K_e$ ) は

$$K_e = J/T_0$$

で定義され、岩石標本を室内実験により測定される磁化率 ( $K$ ) と少し異なる。このため、 $K_e$  と  $K$  を直接比べるのではなく、 $K$  に代えて

$$K_e = \frac{C|J_T|}{T_0}$$

を用い、比較した方がよい。

ここで

$$J_T = KT_0 + T_R$$

$$C = 1 + \cos^2 i (\cos^2 \beta - 1)$$

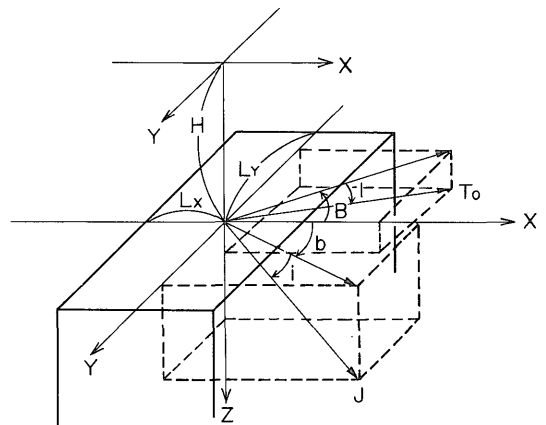
$T_0$ ; 地球磁場ベクトル

$T_0$ ; 地球磁場ベクトルの強さ

$J_R$ ; 残留磁化ベクトル

$i$ ;  $J_T$  の伏角

$\beta$ ;  $J_T$  のプロファイル・ラインより測った偏角



第9図 3次元角柱モデルにおける各パラメーターの定義

Definition of parameters in case of 3-dimensional prismatic body

v) 分岐, 誤操作に対する修正

i)-iv) により一通りの解析が終了すると, Panel-7, 7' の分岐メニューに示されるごとく, 本解析システムの任意のステップへ分岐することが出来る. 又, 3次元モデルによる解析ルーチンにおいては, 最適構造モデルの平面形状, 位置を磁気コンターマップに重ねてディスプレイすることも可能である (Panel-8').

解析のそれぞれのステップにおける解析者の操作には誤操作を行うことが十分予想されるが, その場合の修正, 回復等も容易に行えるようになっている.

5. 磁気異常の解析結果

IGRF 残差図および鉛直二次微分図(第13図, 第14図)に現われている磁気異常の波形, 振幅, 配列方向(系列)などの特徴(第10図)により, 本地域をA-Fの6つの

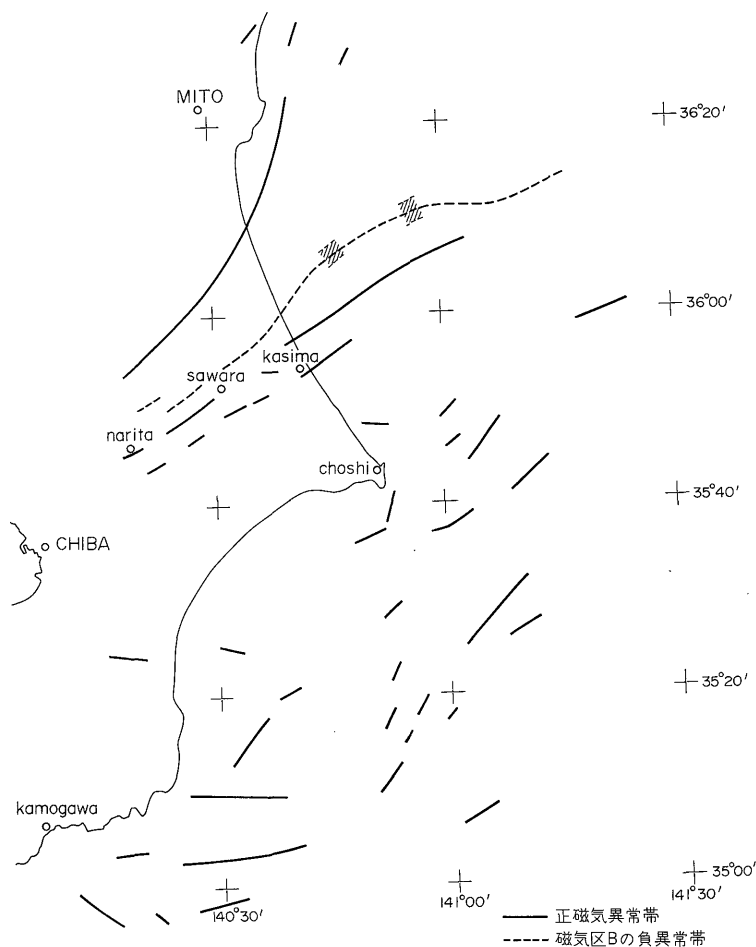
磁気区に分け(第11図)各磁気区の主な磁気異常について, 前節で述べた解析法により定量解析を行った. 第15図は解析により求められた, 磁気構造の頂部深度と有効帯磁率を示したものである. またグラフィックディスプレイのパネルに表示された解析例の一部を第12図に示した.

次に各磁気区の磁気異常の解析結果について述べるが, その地質学的な解釈については第II報で論ずる.

5.1 磁気区A

探査地域の北東端の日立市南部およびその沖合から那珂湊沖合を通り, 竜ヶ崎東部に延びる正磁気異常帯である.

日立市南部地域とその沖合の短波長で振幅が50-150  $\gamma$  の異常を構造番号A-1 (以下構造番号は第15図を参照), 那珂湊沖の短波長の振幅が100  $\gamma$  程度の異常をA-2, 大洗



第10図 正磁気異常分布図

Distribution map of positive magnetic anomalies



第11図 磁気区区分図  
Magnetic provinces

町沖合から霞ヶ浦を経て竜ヶ崎東部に達するNNE-SSWからNE-SW方向を示す長波長で振幅が50 $\gamma$ 程度の正磁気異常帯をA-3とした。A-1の陸域部の異常は、地表近くに磁性岩体の存在が推定され、その有効帯磁率<sup>1)</sup>Keは、 $2.9 \times 10^{-3}$  emu/cc (以下 emu/cc 省略) の強い値を示している。日立沖合の磁性岩体の埋没深度<sup>2)</sup> Hは、2.4 km, Keは $1 \times 10^{-3}$  である。A-2は那珂湊沖の異常でHは2.4-2.8 km, Keは $1.4-2.2 \times 10^{-3}$ , A-3ではHは2.4-4.5 kmで岩体幅は北部が広く18 km程度で、南下するにつれて狭少になっており、Keは $2.5-4.0 \times 10^{-4}$ で北部の岩体より帯磁率が弱くなっている。

### 5.2 磁気区B

鹿島灘沖約40 km 付近より鹿島町を通り成田市を結ぶNE-SW方向を示す磁気異常帯で、構造番号をB-1—B-4とした。B-1は鹿島灘に分布する長波長で、振幅が約100 $\gamma$ を示し磁性岩体のHは3.4-5.8 kmでNEに向うほど深くなる傾向が認められ、Keは $1-2 \times 10^{-3}$ である。B-2は陸域の佐原市—成田市の中間の、短波長で振幅70 $\gamma$ を示す磁気異常で、岩体のHは0.9-1.0 km, Keは $6-7 \times 10^{-4}$ である。B-3はB-2の南に分布する短波長で振幅の小さい異常で、Hは1-1.5 km, Keは $5 \times 10^{-4}$ で

ある。B-4は成田市付近に分布する異常でHは1.8 km, Keは $5.4 \times 10^{-4}$ である。この他に波長、振幅とも小さい異常が分布しているが、帯磁率の弱い磁性岩体が浅く分布しているものと推定される。

### 5.3 磁気区C

鹿島灘東方約60 kmの海域に中心を持つ長波長で振幅が約80 $\gamma$ 程度のNE-SW方向を示す異常である。Hは9 km程度で非常に深くなっている。またKeは $1.1 \times 10^{-3}$ と大きな値を示している。

### 5.4 磁気区D

銚子東方および東南方海域には、短波長で振幅の小さいNE-SW方向の磁気異常が断続的に分布している。これらの磁性岩体の埋没深度は浅くHは0.3-3 km, Keは $2-12 \times 10^{-4}$ である。銚子南方約5 km沖には短波長で振幅が400 $\gamma$ を越す。N-SおよびENE-WSW方向の特徴的な磁気異常が認められる。

磁性岩体のHは0.1-0.5 kmと非常に浅くKeは $2.5-3.3 \times 10^{-3}$ の強い帯磁率を持っている。

### 5.5 磁気区E

構造番号E-2は房総半島御宿沖合に長波長で振幅が100 $\gamma$ のE-W方向の異常と、やや短波長のNE-SW方向の異常とが干渉して、一つの異常を形成している。

NE-SW方向の磁性岩体の深度は浅く、Hは1.6-2.4 km, Keは $2.6-6.2 \times 10^{-4}$ , E-W方向の磁性岩体のHは2.8-7.5 kmで、Keは $2.6-7.8 \times 10^{-4}$ であり、この岩体では南側が浅くなる傾向がある。E-1は茂原市南部の振幅が30 $\gamma$ 程度の弱異常で、Hは2.5 km, Keは $3.6 \times 10^{-4}$ を示している。

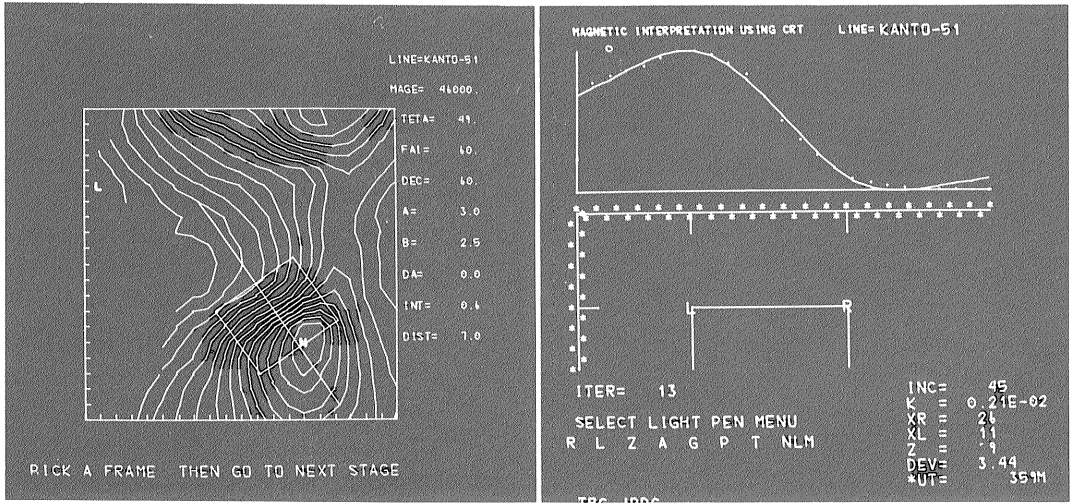
### 5.6 磁気区F

鴨川東方海域にE-W方向に延びる、短波長の振幅が10-50 $\gamma$ の異常で二系列認められる。F-1は岩体のHは0.5 km, Keは $3.9 \times 10^{-4}$ , F-2のHは1.4 km, Keは $3.1 \times 10^{-4}$ である。本磁気区は探査海域の南端にあたるため磁気異常の全貌は不明である。以上A—Fまでの磁気区に分けた異常帯の他に、2-3の弱異常帯が分布している。すなわち、第15図にみられるように探査海域北東部には長波長の異常が発達し、磁気基盤が非常に深くなっていることが推定される。また九十九里沿岸からその東方海域の弱異常地域も、浅部に磁性岩体の分布が認められず磁気基盤深度が深いと推定される。

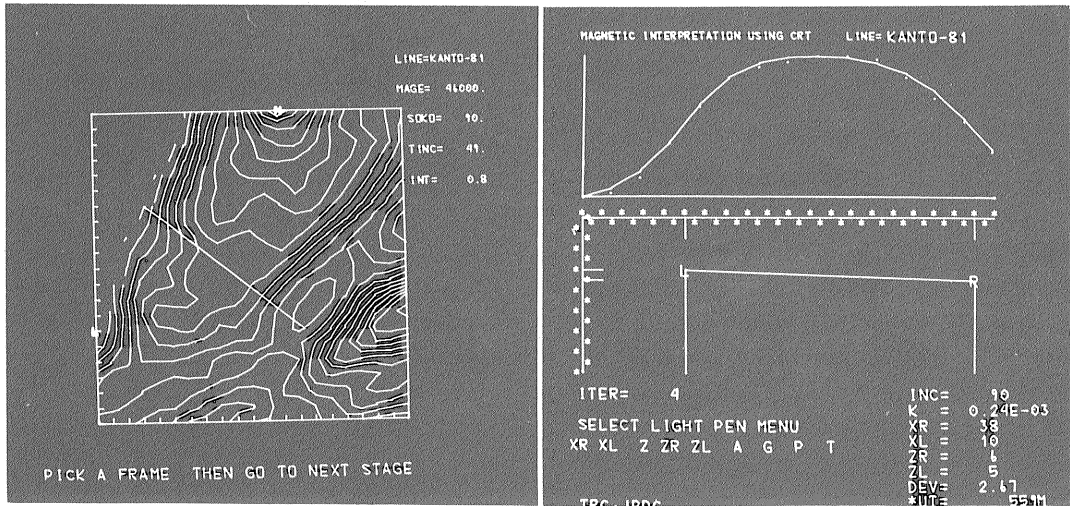
## 6. 磁気基盤と堆積盆の分布

空中磁気探査は石油探鉱の初期の段階で、基盤岩類の形状を決定し、堆積盆の分布状況の概略を把握するために用いられている。この場合基盤岩類とは含油可能性を

1) 第4章解析法を参照のこと  
2) 埋没深度は海水面からの深さ



A-2



A-3

磁気区 A

第12図 磁気異常解析例  
Examples of interpretation

もつ堆積層の基盤を形成する岩石という意味である。もし基盤が火成岩類又は変成岩類である場合には、磁気異常の解析で得られた磁性岩体（一般に火成岩類・変成岩類）の埋没深度を連ねて作成される磁気基盤深度図が基盤にほぼ対応することになる（小川，1973）。

第16図は個々の磁気異常を解析して求めた磁気異常発生源の深度をもとにして、磁気基盤の深度分布を示し

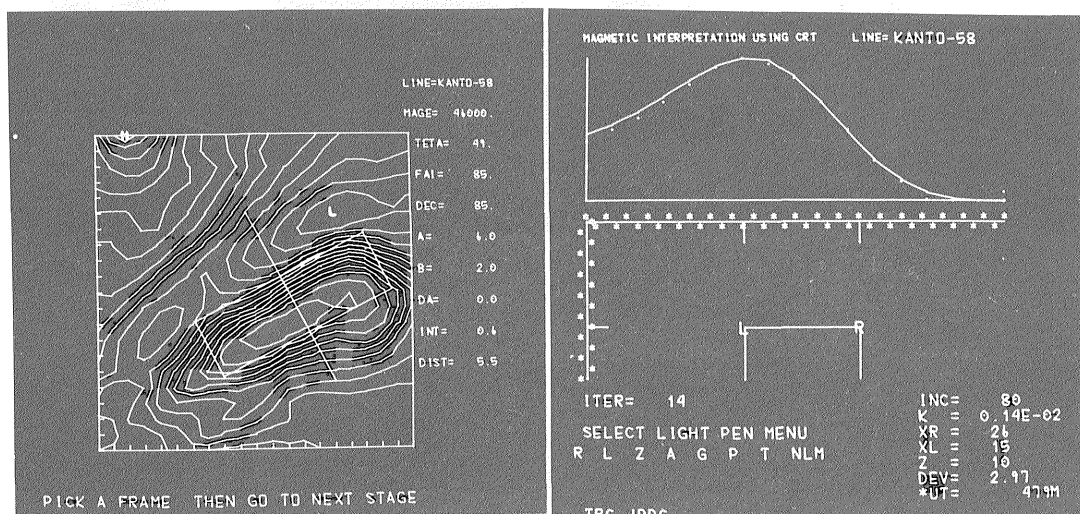
たものである。しかし、それぞれの磁性岩体の属する地質時代は様々であり、磁気基盤面が地質の基盤に対応しているわけではない。しかしながら磁気的基盤深度分布は、堆積物の厚さの分布を大局的に示すものと考えられる。本探査海域において実施された、反射法地震探鉱（阿竹，1973）の結果から得られた基盤岩の分布状況は次の通りである。銚子東方海域に基盤岩類の隆起部があ

り、その北側は鹿島灘沖より NE 方向に向かって基盤が沈降し、堆積層の分布が厚くなり、常磐沖堆積盆へと連なっている。銚子以南では基盤の高まりが NE-SW 方向に延び、これを中心として西側と東側に厚い堆積層の発達が認められている。このような結果と磁気基盤深度分布とを比較すると、大局的に良い一致を示している。しかし、一般に磁気基盤深度は反射法地震探査の結果よりも深く表われている。これはこの地域に分布が予想され

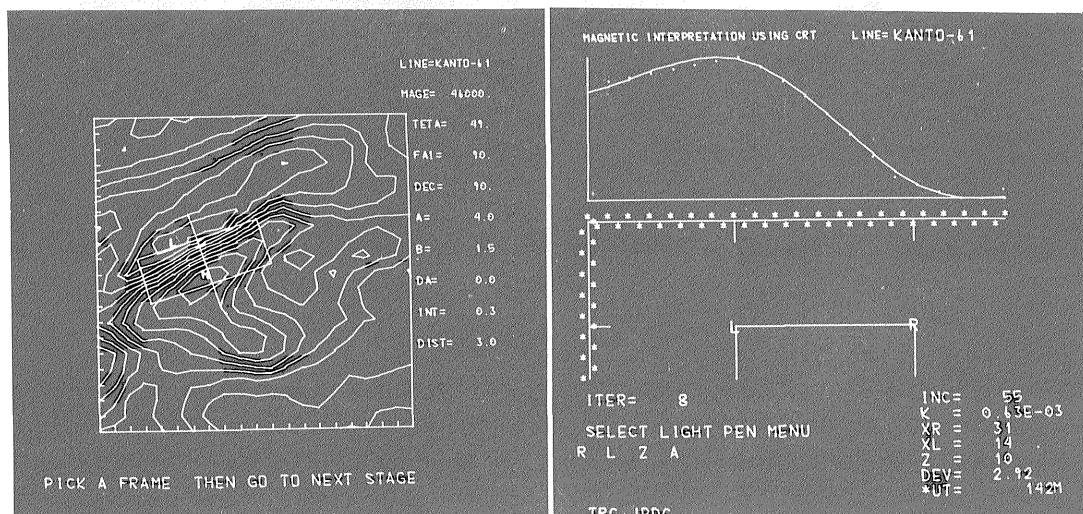
る古第三系・白亜系の地層の磁性が弱いため、磁気基盤とはなりがたく、したがって、磁気基盤深度には白亜系の地層までを含めた堆積物の層厚が表わされているためと推定される。

### 7. 結 語

日立―鴨川海域空中磁気探査の調査データの処理法の概要および、グラフィックディスプレイ装置を用いた磁気



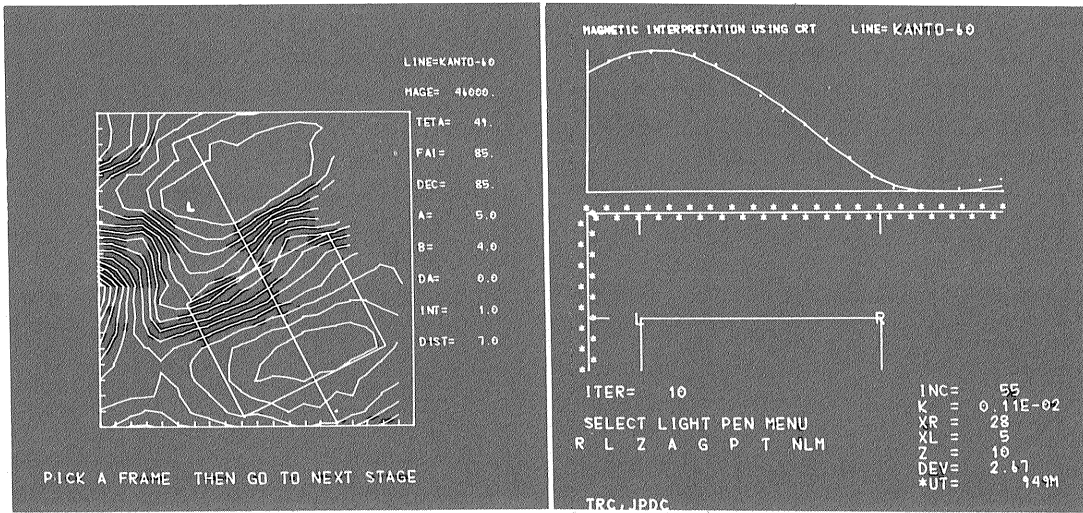
B-1



B-2

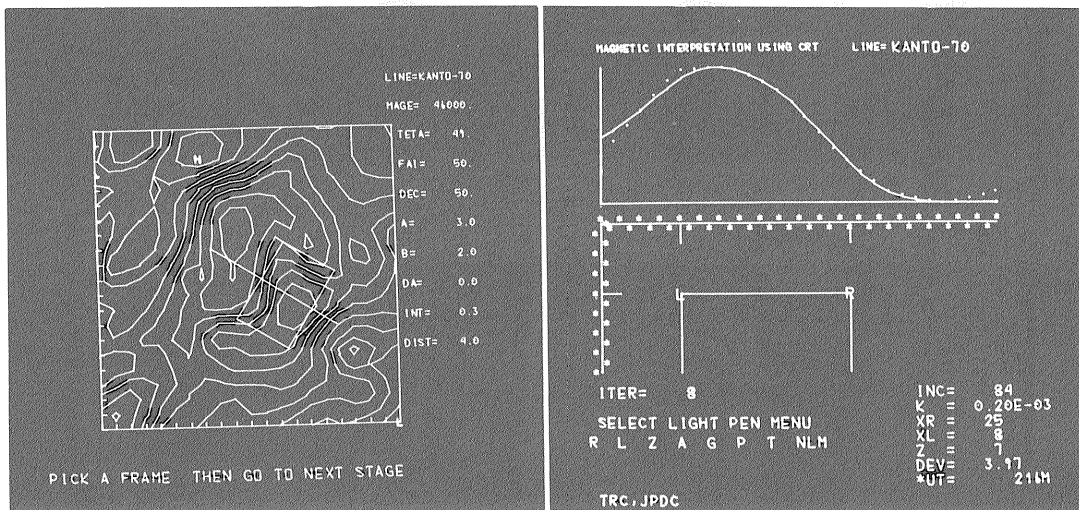
## 磁気区 B

第12図 (つづき)



G-1

磁気区 C



D-3

第12図 (つづき)

異常解析法について述べ、二次元ダイクモデルおよび三次元プリズムモデルによって定量解析を行った。

空中磁気異常の波形・振幅・配列等から各磁気区に区分し、磁性岩体の埋没深度、形状および有効帯磁率を求め、これらの結果から磁気基盤深度分布図を作成し、当該探査海域の堆積層の厚さの分布について大局的に知ることができた。すなわち、銚子からその東方海域にかけて基盤隆起帯が分布する。これを中心とし北側は鹿島灘よ

りNE方向に向かって基盤が沈降し、厚い堆積層の発達 が推定され、常磐沖堆積盆へと連なっていると考えら れる。銚子東方海域以南ではNE-SW方向に基盤隆起帯が 考えられ、これのW側の九十九里沖海域から房総半島東 方海域にかけては基盤沈降部に相当し、堆積層の発達が 推定される。この堆積層は関東構造盆地の東縁部に相当 するものと考えられる。

房総半島鴨川付近からその海域にはE-W方向の基盤

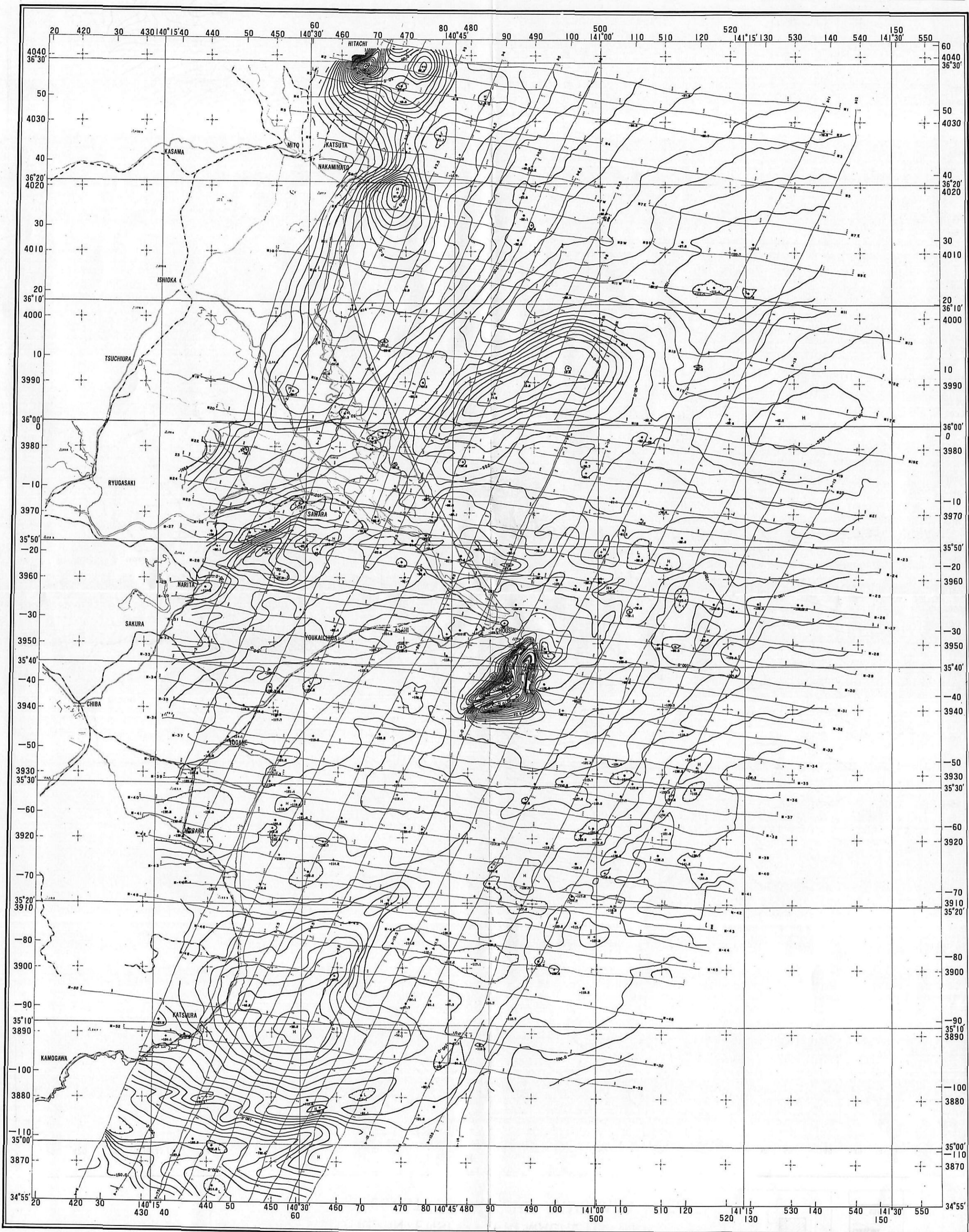
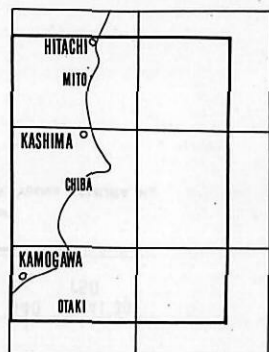
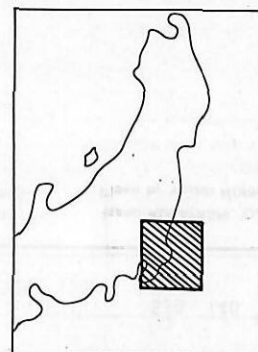


第13図 日立一鴨川海域空中磁気図 (IGRF 残差図)

Total intensity isogram map (residuals of the International Geomagnetic Reference Field) off the coast of Hitachi—Kamogawa

日立一鴨川海域空中磁気図

TOTAL INTENSITY AEROMAGNETIC MAP  
OFF THE COAST OF HITACHI—KAMOGAWA AREA



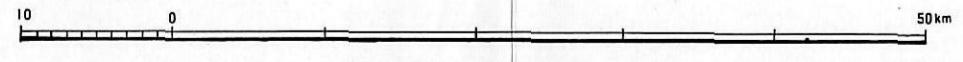
RESIDUAL MAGNETIC ANOMALIES REMOVED THE INTERNATIONAL GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD (I.G.R.F.) (1965)  
FLOWN 1,500 FEET ABOVE SEA LEVEL  
— PLANE RECTANGLE COORDINATES II  
- - - UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR GRID ZONE 54  
4,000 ..... KILOMETER UNIT

MAGNETIC FIELD FOR CENTER OF AREA  
TOTAL INTENSITY 46,000 GAMMAS  
INCLINATION 49°N  
DECLINATION 6°10'W

100.0  
150.0  
MAGNETIC CONTOURS  
INTERVAL 10 GAMMAS  
X-34200  
TRACKLINE RATH AND  
TRACKLINE NUMBER

Isamu KOBAYASHI, Director  
Flown by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA, Katsurō OGAWA and  
Yoshihiko ONO, in 1971  
Compiled and Edited by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA,  
Katsurō OGAWA and Kenzō BABA in 1973

SCALE 1:500,000

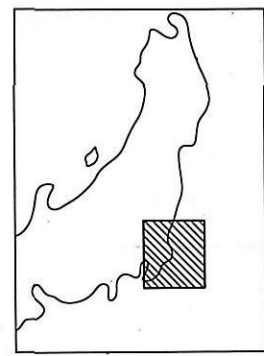


GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN  
1973

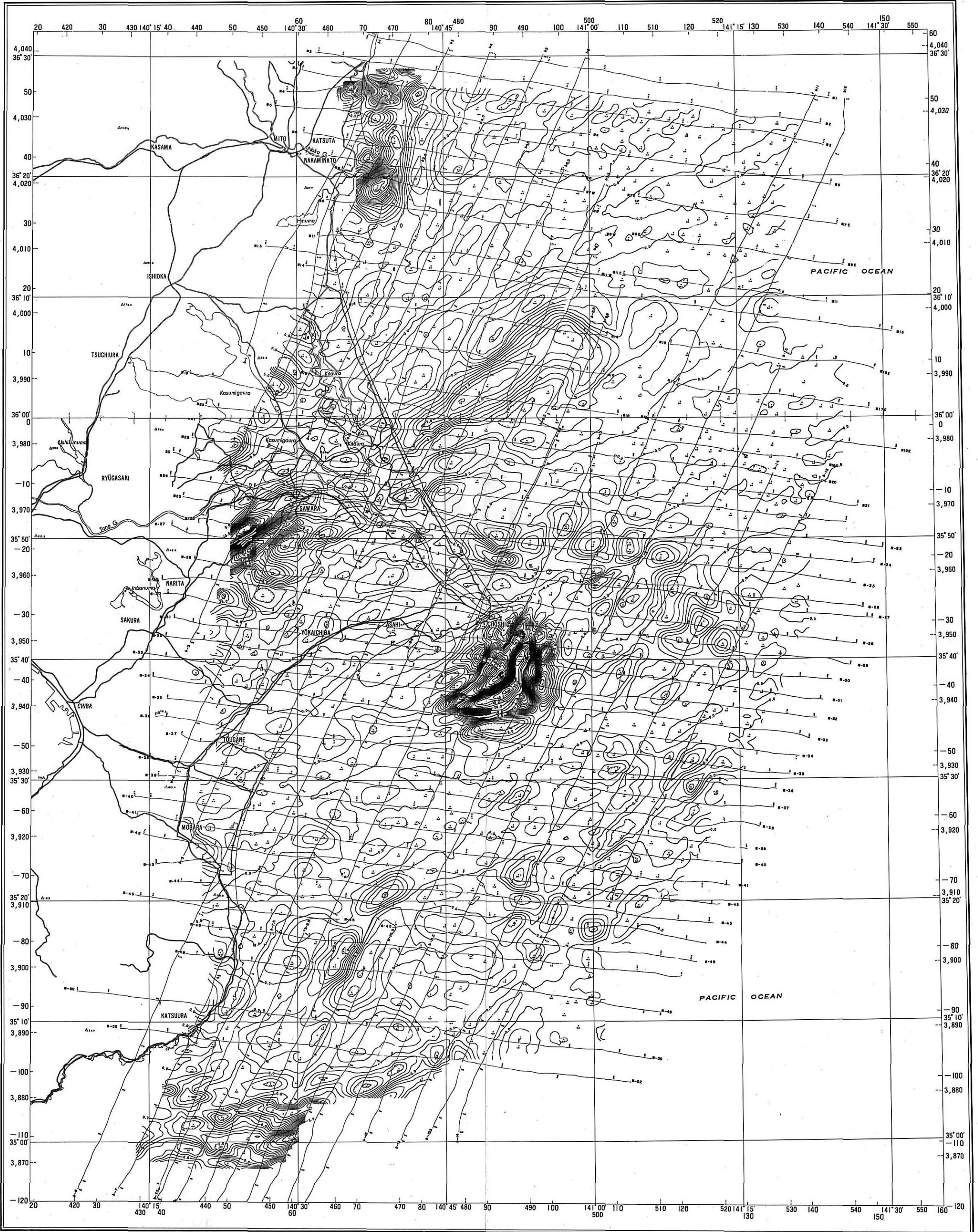
2-nd vertical derivative map

日立—鴨川海域空中磁気図

TOTAL INTENSITY AEROMAGNETIC MAP  
OFF THE COAST OF HITACHI—KAMOGAWA AREA



HITACHI	
MITO	
KASHIMA	
CHIBA	
KAMOGAWA	
OTAKI	



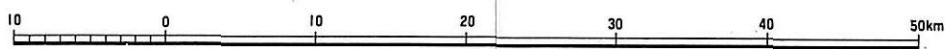
THE SECOND VERTICAL DERIVATIVES  
OF THE OBSERVED FIELD,  $\delta = 4\text{km}$   
FLOWN 1,500 FEET ABOVE SEA LEVEL  
— PLANE RECTANGLE COORDINATES IX  
--- UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR GRID ZONE 54  
3,900..... KILOMETER UNIT

MAGNETIC FIELD FOR CENTER OF AREA  
TOTAL INTENSITY 46,000 GAMMAS  
INCLINATION 49° N  
DECLINATION 6° 10' W

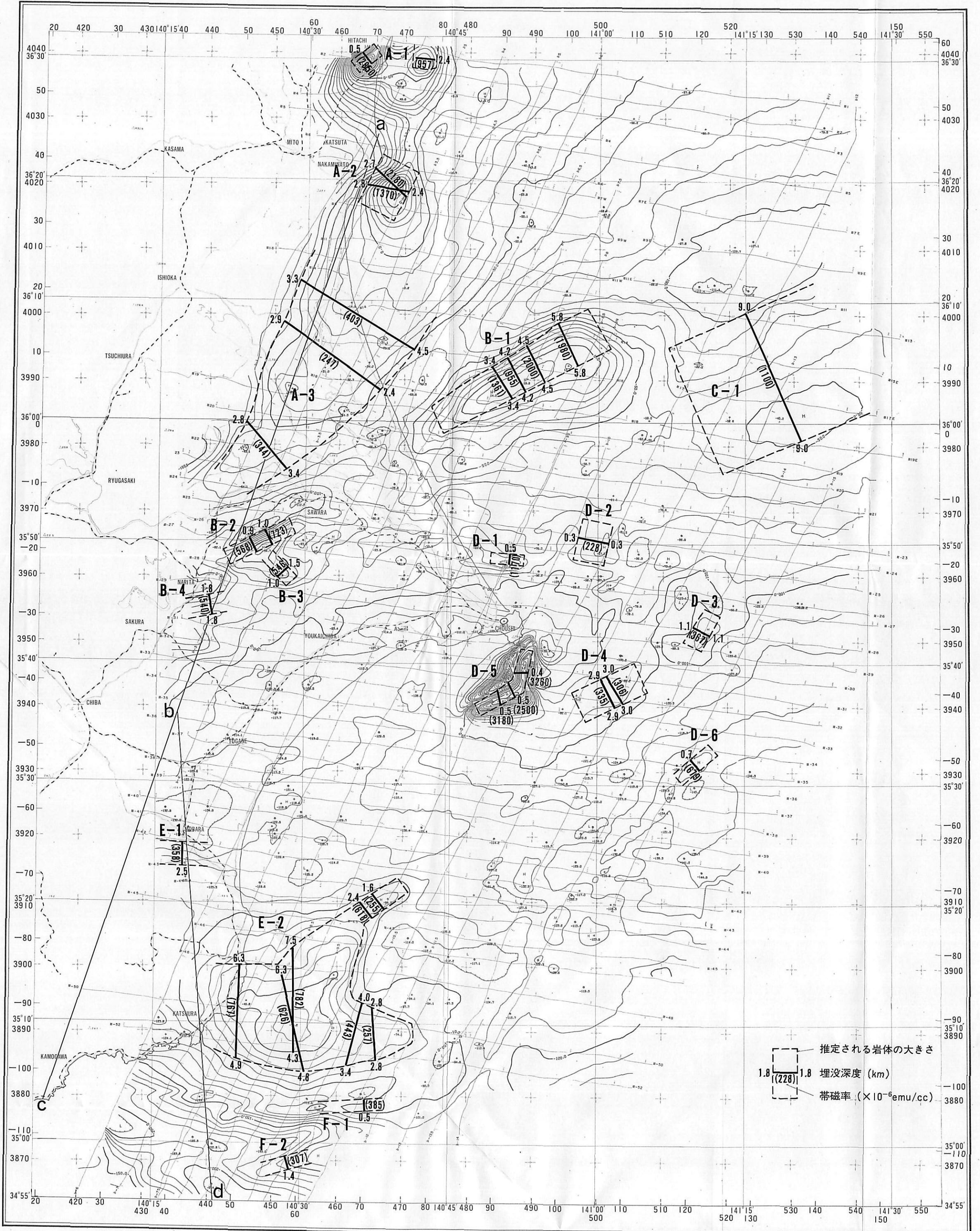
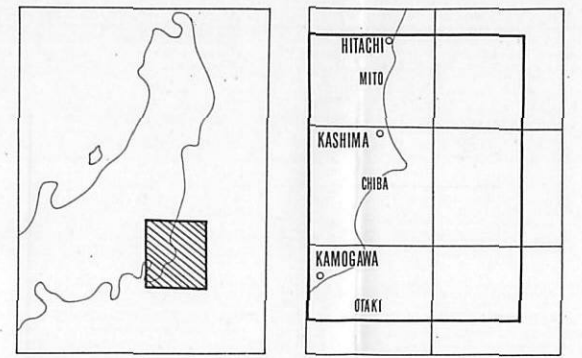
10.0  
15.0  
#13  
MAGNETIC CONTOURS  
INTERVAL 1 GAMMA/km<sup>2</sup>  
TRACKLINE PATH AND  
TRACKLINE NUMBER

Isamu KOBAYASHI, Director  
Flown by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA  
Katsuro OGAWA and Yoshihiko ONO, in 1971  
Compiled and Edited by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA,  
Katsuro OGAWA and Kenzō BABA, in 1973

SCALE 1:500,000



日立一鴨川海域空中磁気図  
TOTAL INTENSITY AEROMAGNETIC MAP  
OFF THE COAST OF HITACHI-KAMOGAWA AREA



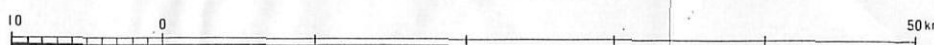
RESIDUAL MAGNETIC ANOMALIES REMOVED THE INTERNATIONAL  
GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD (I.G.R.F.) (1965)  
FLOWN 1,500 FEET ABOVE SEA LEVEL  
— PLANE RECTANGLE COORDINATES II  
— UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR GRID ZONE 54  
4.000 ..... KILOMETER UNIT

MAGNETIC FIELD FOR CENTER OF AREA  
TOTAL INTENSITY 46,000 GAMMAS  
INCLINATION 49°N  
DECLINATION 6°10'W

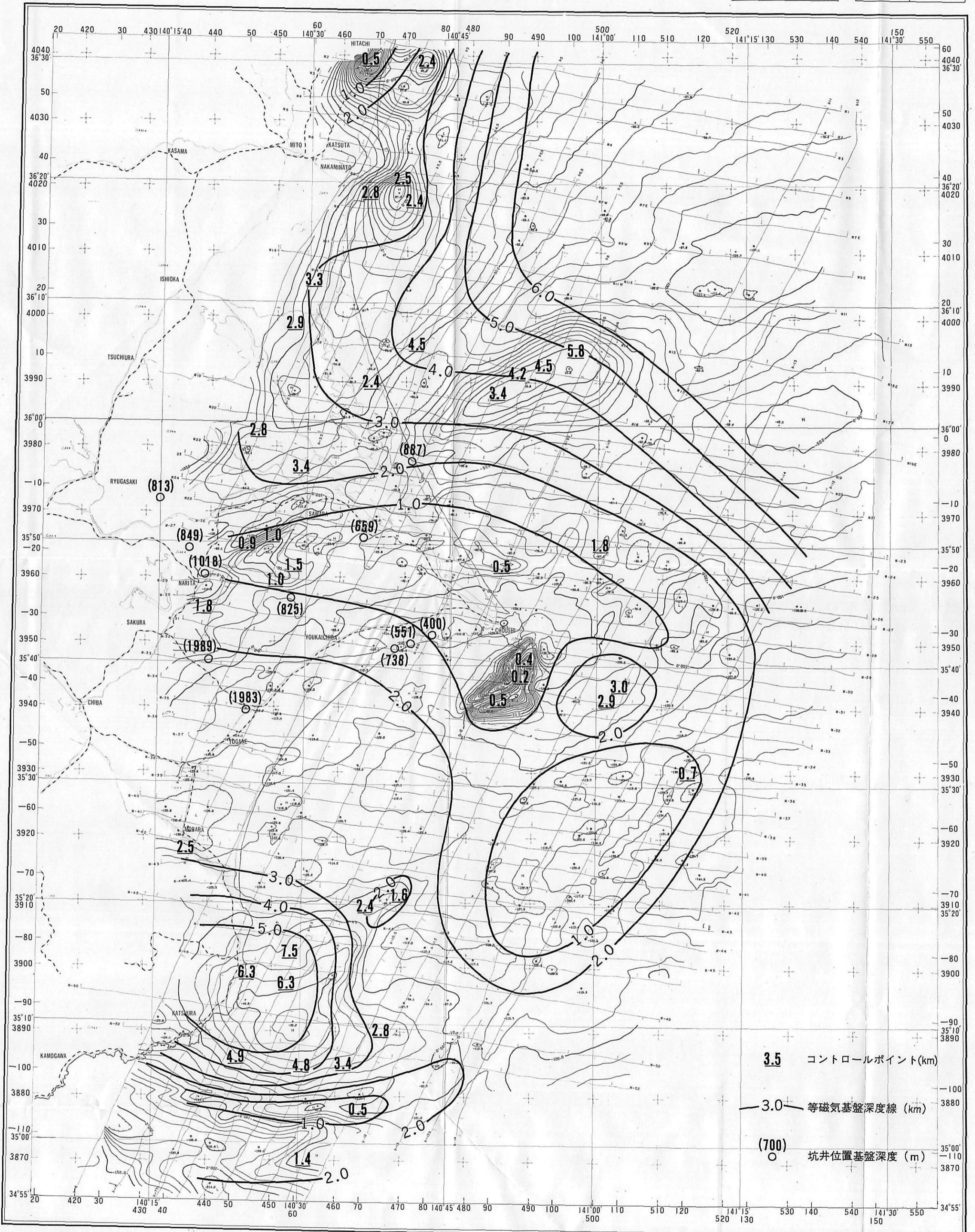
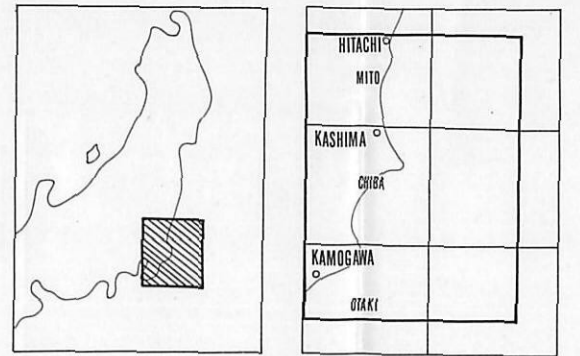
100.0  
150.0  
MAGNETIC CONTOURS  
INTERVAL 10 GAMMAS  
X-34200  
TRACKLINE RATH AND  
TRACKLINE NUMBER

Isamu KOBAYASHI, Director  
Flown by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA, Katsurō OGAWA and  
Yoshihiko ONO, in 1971  
Compiled and Edited by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA,  
Katsurō OGAWA and Kenzō BABA in 1973

SCALE 1:500,000



日立一鴨川海域空中磁気図  
TOTAL INTENSITY AEROMAGNETIC MAP  
OFF THE COAST OF HITACHI-KAMOGAWA AREA



3.5 コントロールポイント(km)  
3.0 等磁気基盤深度線 (km)  
(700) 坑井位置基盤深度 (m)

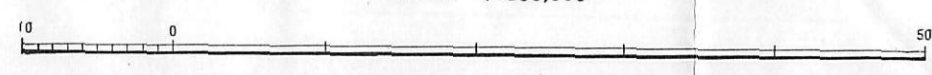
RESIDUAL MAGNETIC ANOMALIES REMOVED THE INTERNATIONAL  
GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD (I.G.R.F.) (1965)  
FLOWN 1,500 FEET ABOVE SEA LEVEL  
— PLANE RECTANGLE COORDINATES IX  
— UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR GRID ZONE 54  
4,000 KILOMETER UNIT

MAGNETIC FIELD FOR CENTER OF AREA  
TOTAL INTENSITY 46,000 GAMMAS  
INCLINATION 49°N  
DECLINATION 6°10'W

MAGNETIC CONTOURS  
INTERVAL 10 GAMMAS  
TRACKLINE RATH AND  
TRACKLINE NUMBER  
X-34200

Isamu KOBAYASHI, Director  
Flown by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA, Katsurō OGAWA and  
Yoshihiko ONO, in 1971  
Compiled and Edited by Yoshio HORIKAWA, Yoshio TAMURA,  
Katsurō OGAWA and Kenzō BABA in 1973

SCALE 1:500,000



隆起帯が分布するが、これは、房総半島南部を E-W 方向に延びる嶺岡隆起帯の E 方向への延長と考えられ、関東構造盆地の南限を示すものであろう。

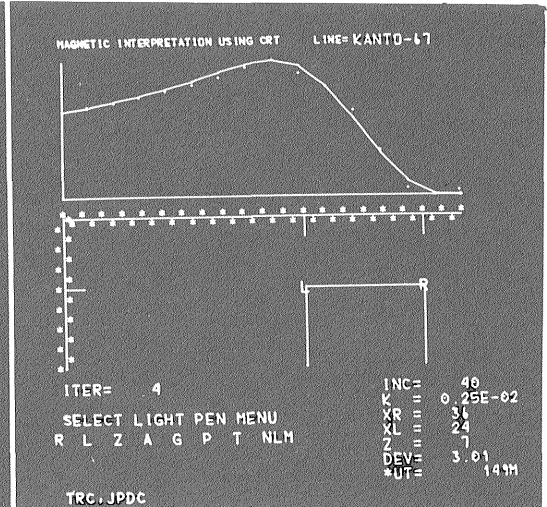
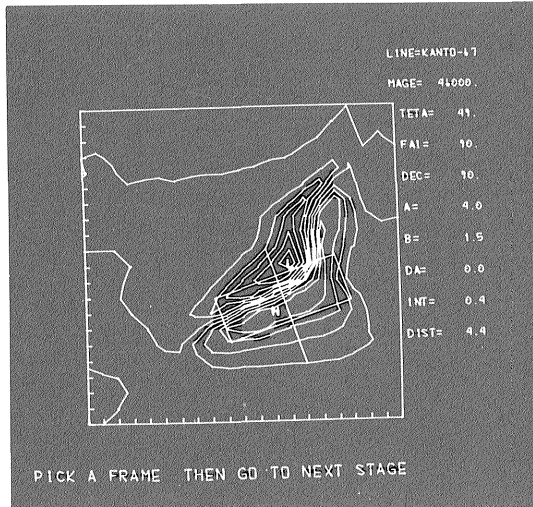
以上は磁気的基盤面より上部の堆積層の分布状況の概略について述べたが、基盤構造についても次のようなことが推定された。

(基盤構造についての詳しい議論については第 II 報に論ずる)

磁気異常分布状態とその解析結果から幾つかの磁気区

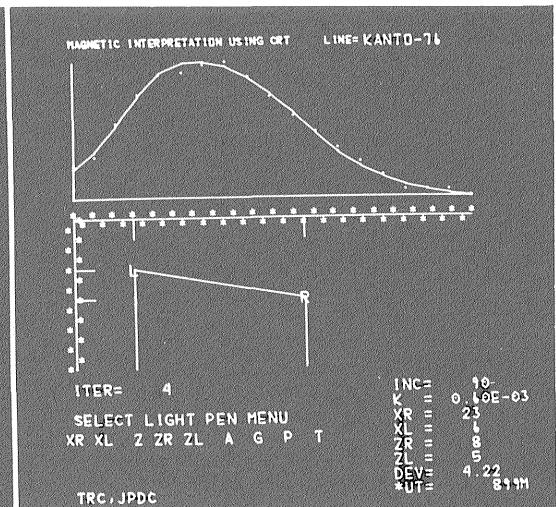
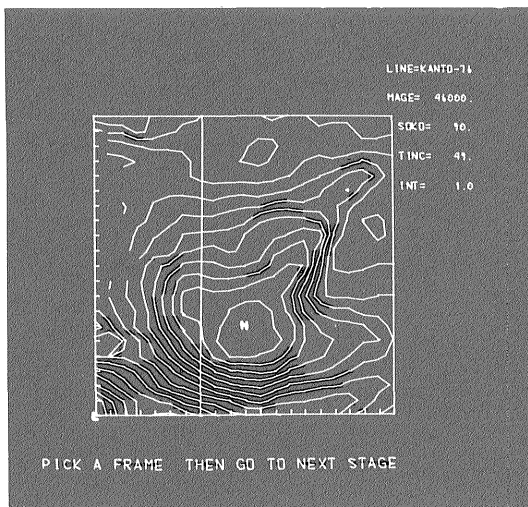
に区分し、これを地質区(帯)に対応づけた結果

- i) 磁気区 A は阿武隈帯に対応づけられ、那珂湊沖から SW 方向に延び東部関東平野下へ延びる。
- ii) 磁気区 B・C は三波川帯に対応づけられ、関東平野東部では NE-SW 方向を示す阿武隈帯と接するが、海域では ENE 方向に延びる。
- iii) 磁気区 D は秩父帯、また磁気区 E・F は四万十帯にそれぞれ対応づけられ、海域ではそれぞれ E 方向へ延びる。



D-5

磁気区 D



E-2

磁気区 E

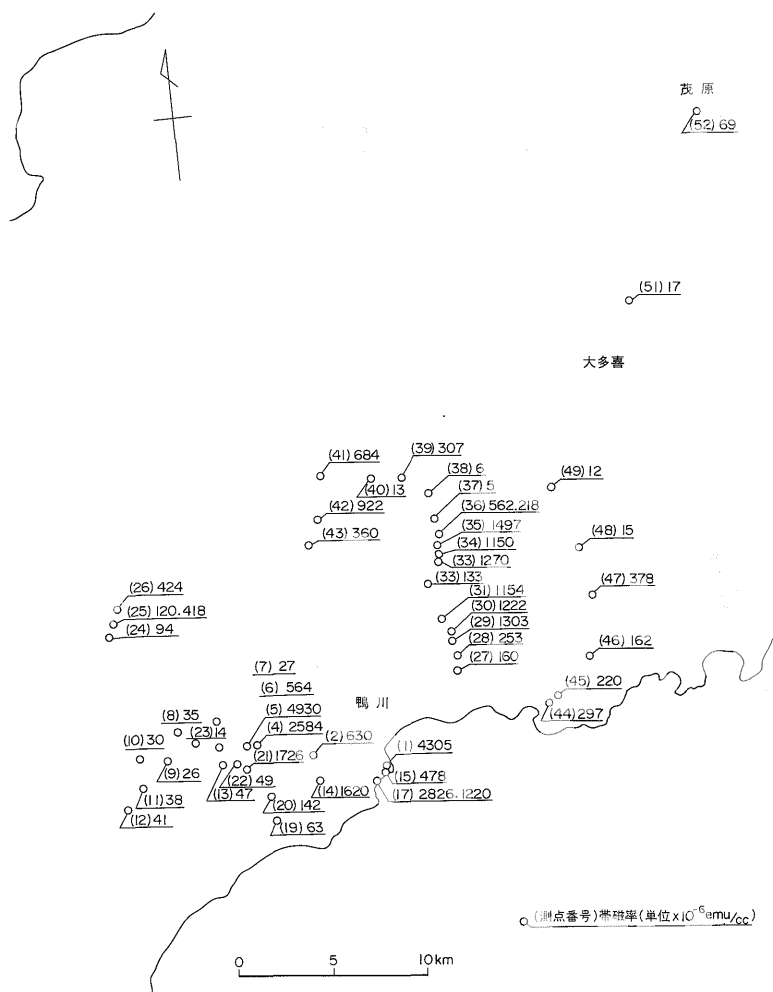
第12図 (つづき)

付 録 岩 石 磁 気

磁気異常の解析・解釈の際には、探査区域内およびその周辺に分布する岩石の磁氣的性質を知ることが必要である。筆者らの 1 人堀川と田中信一は房総半島中部・銚子および茨城県那珂湊地域の地表岩石について磁性測定を行った。野外での帯磁率の測定および整形試料の帯磁率測定には、パイソン社 3101 型帯磁率計を用い、自然残

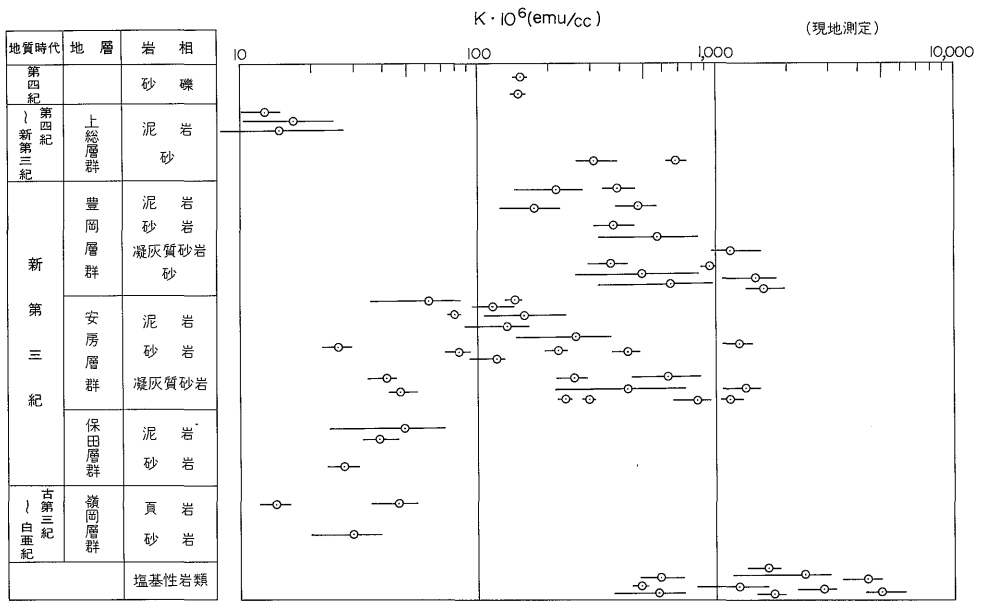
留磁気の測定には、PAR 社 SM-1 型スピナー磁力計を使用した。

房総半島中部にはいわゆる嶺岡隆起帯の先新第三系基盤岩類が、ほぼ E-W 方向の構造を示し露出し、その両側には新第三系堆積層が発達している。帯磁率の測定結果を A-1、A-2 図に示した。嶺岡層群・保田層群に貫



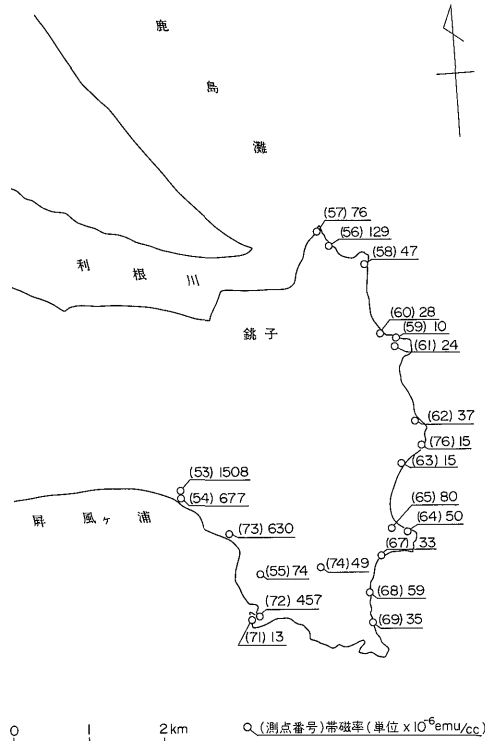
A-1 図 千葉県房総半島中部地域岩石帯磁率測定地点および測定値

Sampling points and observed susceptibilities of rock specimen in the middle of Boso peninsula

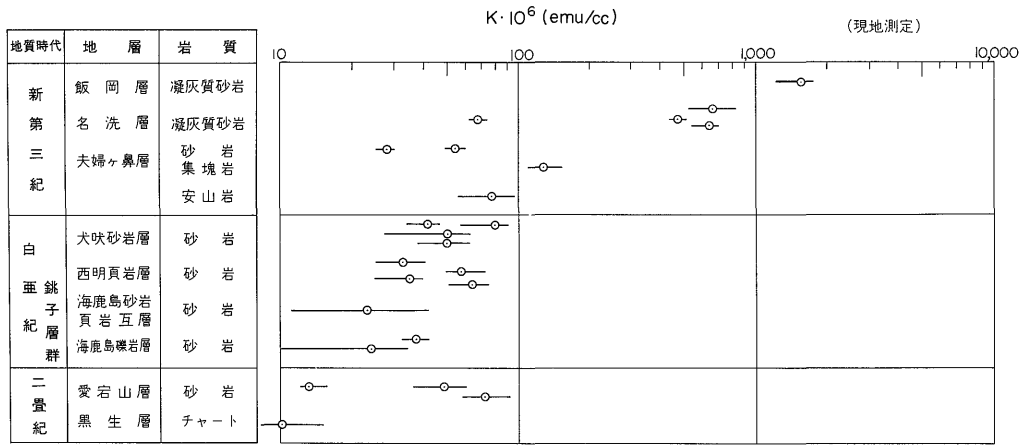


(注) 地質層序は千葉県地質図(1959)による

A-2図 千葉県房総半島中部地域地質層序と帯磁率(K)分布  
Susceptibility distribution map versus stratigraphic succession

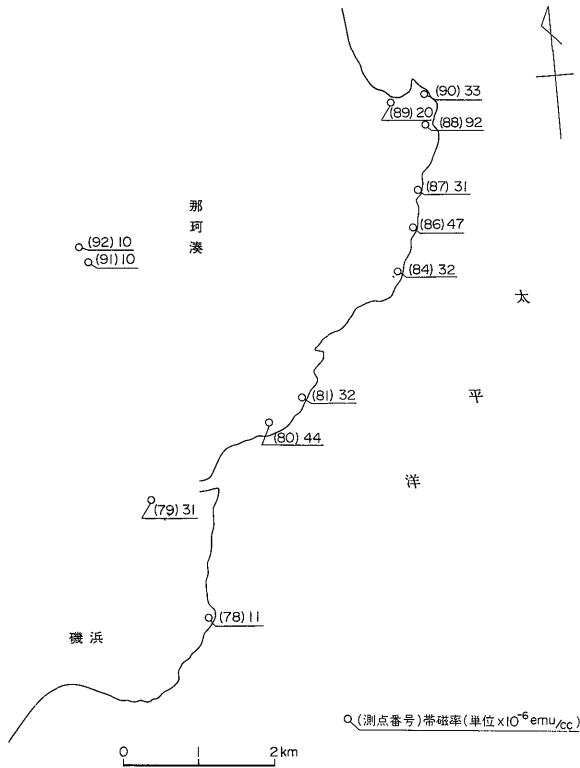


A-3図 千葉県銚子地域岩石帯磁率測定地点および測定値  
Sampling points and observed susceptibilities of rock specimen near the Choshi



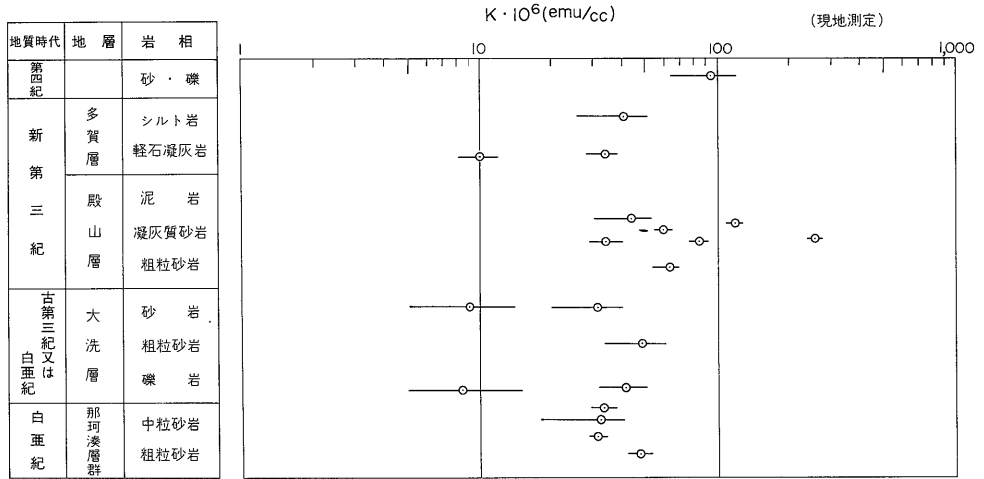
(注) 地質層序は千坂(1972)による

A-4図 千葉県錫子地域地質層序と帯磁率 (K) 分布  
Susceptibility distribution map versus stratigraphic succession



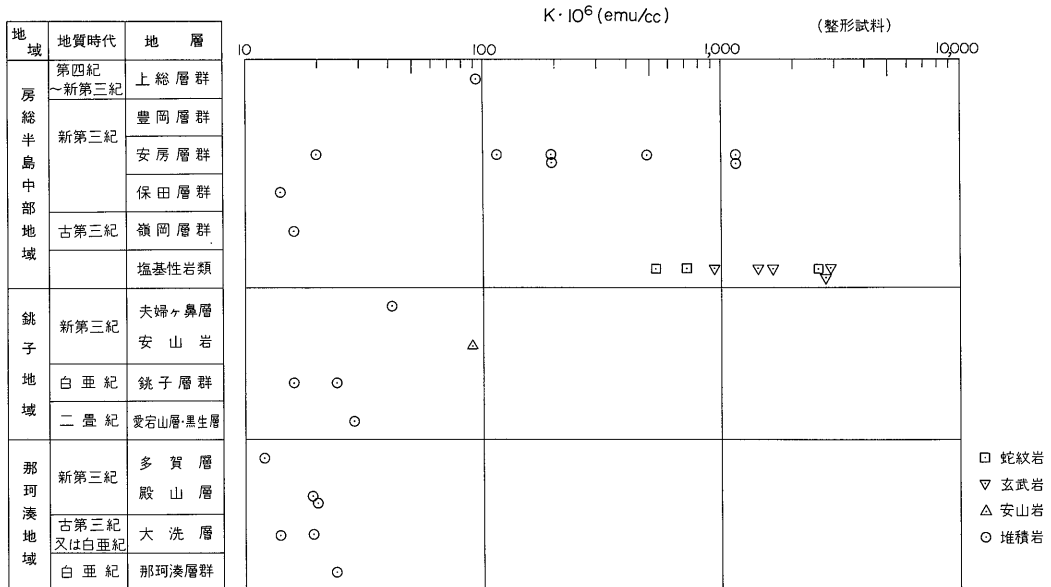
A-5図 茨城県那珂湊地域岩石帯磁率測点地点および測定値  
Sampling points and observed susceptibilities of rock specimen near the Nakaminato



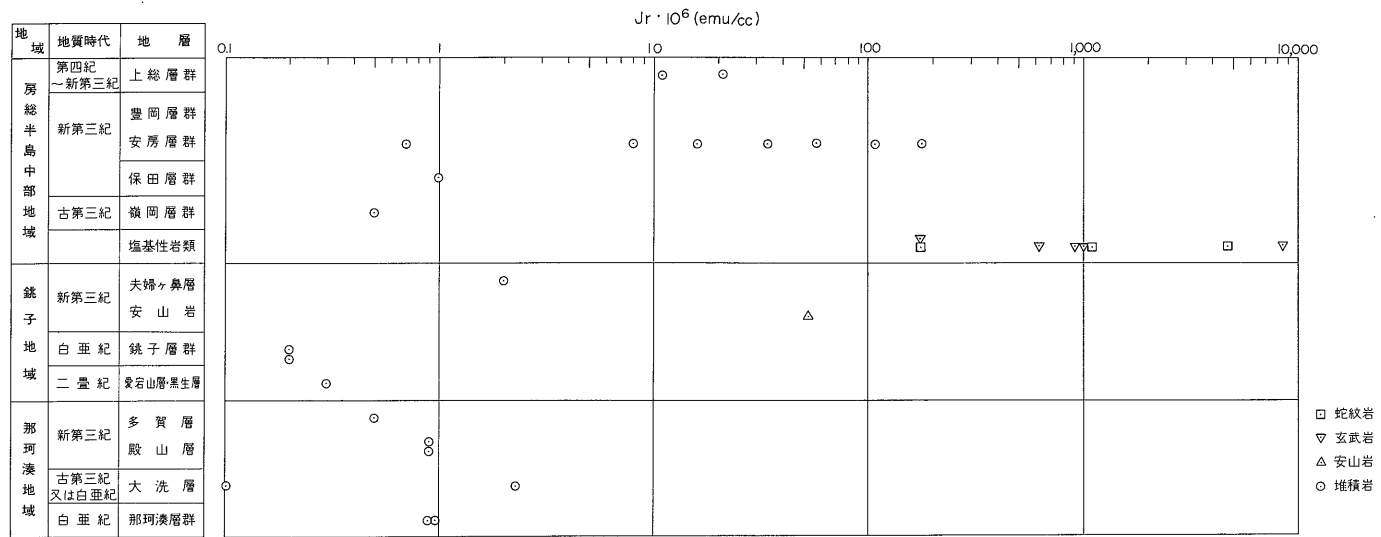


(注) 地質層序は坂本(1974)による

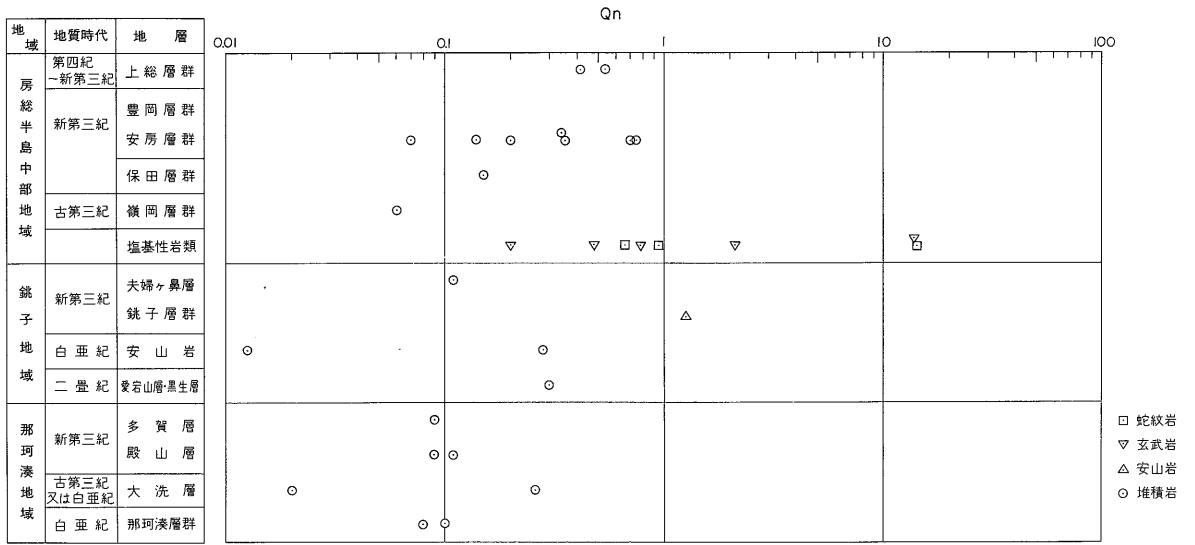
A-6図 茨城県那珂湊地域地質層序と帯磁率 (K) 分布  
Susceptibility distribution map versus stratigraphic succession



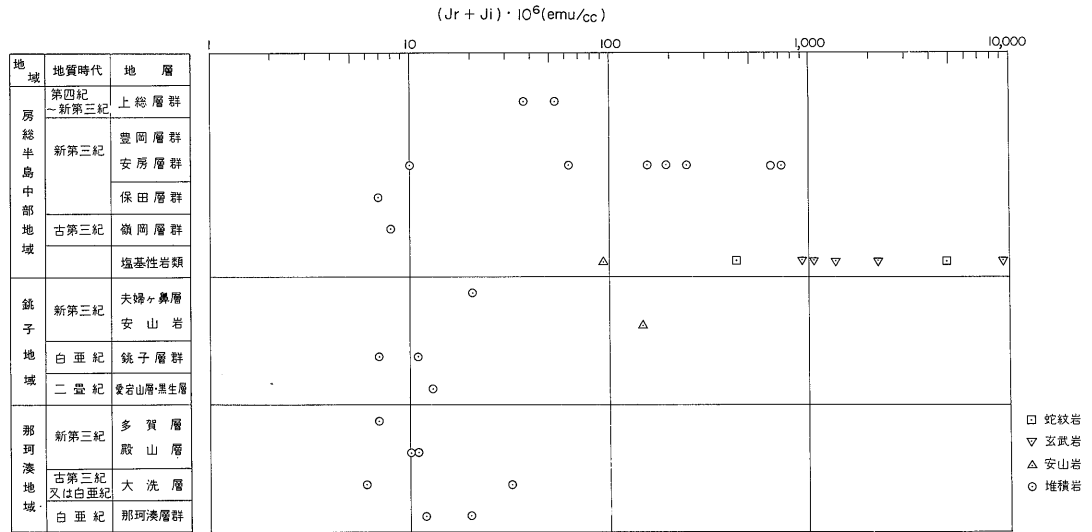
A-7図 房総半島中部・銚子那珂湊地域帯磁率の垂直分布  
Vertical distribution of susceptibilities



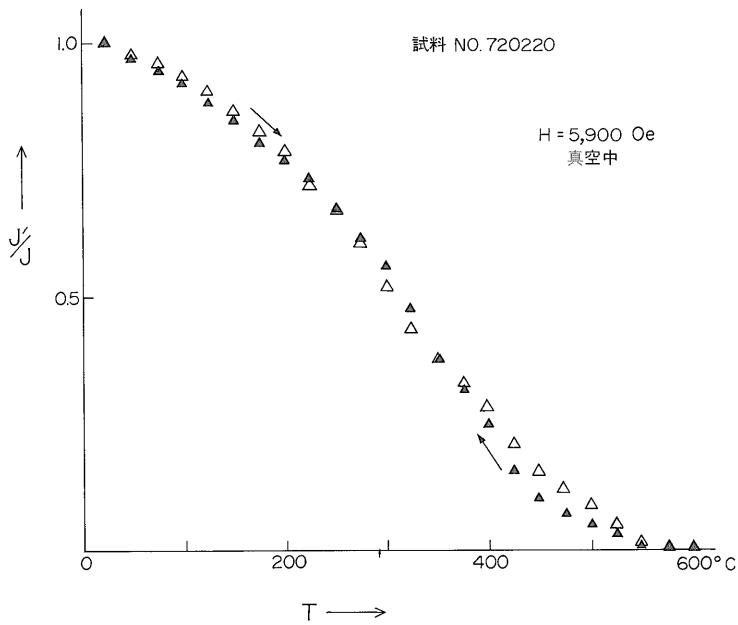
A-8図 自然残留磁気の垂直分布  
Vertical distribution of natural remanent magnetization



A-9図  $Q_n$  値の垂直分布  
Vertical distribution of  $Q_n$



A-10図  $(J_r + J_i)$  の垂直分布  
Vertical distribution of  $(J_r + J_i)$



A-11図 安房層群凝灰質砂岩の熱磁気曲線  
Thermomagnetic curve of tuffaceous sandstone

入したと考えられる塩基性火成岩類 (河井, 1957) の帯磁率は  $0.5-6 \times 10^{-3}$  emu/cc (以下 emu/cc を省略) の強い値を示すほか, 新第三紀安房層群・豊岡層群砂岩・凝灰質砂岩 (千葉県, 1959) が,  $0.1-1.8 \times 10^{-3}$  の堆積岩としては強い帯磁率を示している。

銚子東端部に分布する古生層 (チャート・砂岩) 中生層 (砂岩) および新第三紀夫婦ヶ鼻層は  $1-14 \times 10^{-5}$  の弱い帯磁率を示している (A-3・A-4 図参照)。

茨城県那珂湊地域に発達する白亜紀-新第三紀堆積岩の帯磁率も A-5・A-6 図に示すように  $0.8-10 \times 10^{-5}$  の弱い値である。

次に整形試料 ( $1'' \phi \times 1''$ ) の帯磁率・自然残留磁気の測定結果を A-7・A-8 図に, またこれらの結果から得られた自然残留磁気と感応磁気の比 ( $Q_n$  値) および和を A-9 図・A-10 図に示した。

岩石の帯磁率は近似的にはその中に含有される磁鉄鉱の量に比例するとみることができる。岩石の容積磁化率と磁鉄鉱の含有量との相関を求めた, MOONEY and BLEIFUSS (1953) の実験式から, 帯磁率の強い安房層群凝灰質砂岩・砂岩の含有量を求めると, 0.1-1 vol % 程度になる。これらのうち, 凝灰質粗粒砂岩 (試料 No. 720220) について熱磁気試験を実施した結果, A-11 図に示すような J-T 曲線が得られ, キョーリ点が  $540^\circ\text{C}$  で磁鉄鉱のそれ ( $58^\circ\text{C}$ ) よりも低いことから, この鉱物は火成岩起源のチタノマグネタイトと推定される。

磁気図の解析・解釈の際, 自然残留磁気 (NRM) の方

向は, 岩体の磁化方向を変える意味で問題となり, 特に NRM の方向が逆帯磁している場合は解析・解釈上誤りが生じる。今回測定した試料のなかで感応磁気に比べ NRM が大きいのは, 房総半島中部に分布する塩基性火成岩類であり, これらについて NRM の方向を測定しシュミットネットに投影し A-12 図に示した。これによると正常磁化であることが認められる。

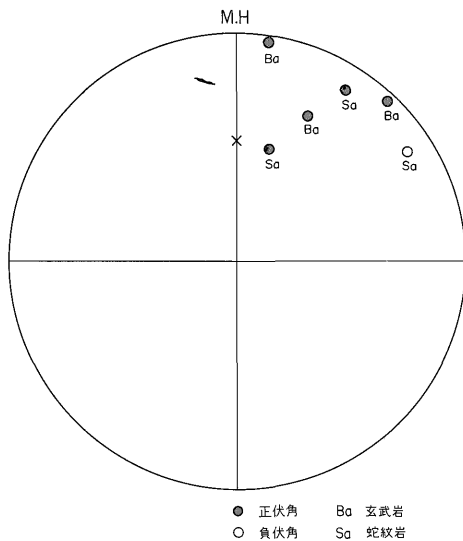
以上の結果から房総半島中部に露出する塩基性火成岩類は帯磁率自然残留磁気とも強く, これらの岩石が磁気基盤を形成すると考えられる。また新第三紀安房層群・豊岡層群の凝灰質砂岩・砂岩も比較的強い帯磁率を示すが, 地層全体の中で占める比率は小さいと考えられるので, これらの地層が磁気基盤となる可能性はすくない。

以上, 東関東沿岸地域に分布する地表岩石の帯磁率について述べてきたが, 関東平野下に伏在する古期岩類の帯磁率についてはどうであろうか。関東山地に分布する三波川・秩父・四万十帯の古期岩類は帯状構造を示しながら, NW-SE 方向から E-W 方向をとり, 関東平野の基盤岩類として伏在していると考えられている。現在これらの古期岩類の帯磁率測定資料は少なく, 秩父地域で実施された空中磁気探査 (金属鉱業事業団, 1972) に伴う磁性測定結果では次の通りである。三波川変成岩類 (結晶片岩類) が  $1.5 \times 10^{-4}$  程度, 秩父古生層 (砂岩) が,  $1.7-2.4 \times 10^{-4}$ , 白亜紀砂岩・粘板岩 (山中部溝帯) が  $1 \times 10^{-4}$  程度の弱い帯磁率である。閃緑岩類は 6 コ平均値で  $2.2 \times 10^{-3}$  の強い帯磁率を持っている。また四万十層群に貫入したと考えられる石英斑岩は 4 コ平均値で  $0.4 \times 10^{-4}$  の弱い値を示している。

三波川帯の結晶片岩類は帯磁率が弱い, 本変成帯には塩基性岩類が伴われている場合が多いので, その分布が空中磁気図に明瞭に表われている例 (田村ほか, 1973; 津ほか, 1977) もあり, 本変成帯は地質上の基盤であると共に磁気的基盤になり得ると考えてよい。

山梨県甲府盆地周辺および丹沢山地には石英閃緑岩類-花崗岩類が分布している。これらの帯磁率 (斎藤ほか, 1974) は, 御岳昇仙峡の花崗岩類が  $1.3-1.7 \times 10^{-5}$  であるが, 東山梨郡牧丘町周辺の花崗閃緑岩類は 4 コ平均値で  $2.8 \times 10^{-3}$  の強い帯磁率を示している。また丹沢山地に分布する石英閃緑岩-花崗閃緑岩は 7 コの平均値で  $6 \times 10^{-3}$  の強い値を示している。

筑波山地の花崗岩類の帯磁率 (斎藤ほか, 1974) は弱く 6 コの平均値で  $2.1 \times 10^{-5}$  である。東関東沿岸地域および関東山地に分布する各種岩石の帯磁率について概略まとめると次の通りで, これらの値を参考にして空中磁気図の解析・解釈を行った。



A-12 図 鴨川付近塩基性岩類の NRM の方向  
Direction of NRM of basic rocks in Kamogawa area

第三紀・白亜紀堆積岩類	$10^{-5}$ - $10^{-4}$ emu/cc	
第三紀深成岩類	$10^{-8}$	〃
白亜紀花崗岩類	$10^{-5}$	〃
塩基性岩類	$10^{-4}$ - $10^{-3}$	〃
秩父古生層	$10^{-5}$ - $10^{-4}$	〃
三波川変成岩類	$10^{-4}$	〃

文 献

- 阿竹宗彦 (1973) 物理探査の成果—関東・東海地域. 日本の石油鉱業と技術, p. 101.
- BHATTACHARYA, B.K. (1964) Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization. *Geophysics*, vol. 29, p. 517-531.
- 千葉県 (1959) 20万分の1千葉県地質図.
- 千坂武志・加瀬靖之・山崎良雄 (1972) 千葉県銚子半島の地質. 日本地質学会第79年総会ならびに年会見学旅行案内書, p. 1~129.
- HENDERSON, R. G. and ZIETZ, I. (1949) The Computations of second vertical derivatives of geomagnetic fields. *Geophysics*, vol. 14, p. 508-516.
- 堀川義夫・田村芳雄・小川克郎 (1974) 日立—鹿島海域空中磁気図. 地質調査所.
- ・———・——— (1974) 鹿島—鴨川海域空中磁気図. 地質調査所.
- 河井興三 (1957) 千葉県鴨川町付近の地質. 石油技術協会誌, vol. 22, no. 6, p. 1-8.
- 金属鉱業事業団 (1972) 秩父地域空中磁気探査報告書.
- MOONEY, M. M. and BLEIFUSS, R. (1953) Magnetic susceptibility measurements in Minnesota, Part II analysis of field result. *Geophysics*, vol. 18, p. 383-393.
- 小川克郎 (1970) 空中磁気探査の装置. 物理探査, vol. 23, no. 5, p. 43-52.
- ・堀川義夫・陶山淳治 (1971) 海域における空中磁気図作成上の問題—ローランC航法の場合. 物理探査, vol. 24, no. 6, p. 43-51.
- 小川克郎 (1973) 空中磁気図解析・解釈法の研究. 地調報告, no. 247, p. 1-107.
- ・津 宏治 (1975) グラフィックディスプレイによる磁気データの一貫解析法—IMIS, 石油開発公団石油開発技術センター技術資料第5号, p. 112.
- OGAWA, K. and TSU, H. (1976) Magnetic interpretation using interactive computer graphics. *Report of Technology Research Center, J.P.D.C.*, no. 3, p. 1-19.
- ROSENBACH, O. (1953) A contribution to the computation of second derivative from gravity data. *Geophysics*, vol. 18, p. 894-912.
- 斎藤友三郎・堀川義夫・田中信一・中井順二・田村芳雄 (1974) 岩石の密度. 磁化率および弾性波速度測定. 日本鉱業会物探データ処理研究会報告, A-1, p. 63-93.
- 坂本 亨・田中啓策・曾屋龍典・野間泰二・松野久也 (1972) 那珂湊地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 11 p.
- 陶山淳治 (1968) 空中磁気探査. 物理探査技術協会20周年記念, p. 127-140.
- (1970) 空中磁気図の作成について. 物理探査, vol. 23, no. 3, p. 170-178.
- 田村芳雄・津 宏治・小川克郎 (1973) 浜松—豊橋海域空中磁気図. 地質調査所.
- 津 宏治・小川克郎 (1973) 3次元角柱による磁気異常の自動解析. 物理探査, vol. 26, no. 2, p. 5-21.
- ・堀川義夫・馬場健三 (1977) 豊橋—尾鷲海域空中磁気図. 地質調査所.

(受付: 1979年1月19日; 受理: 1979年2月28日)