

カニノ共産黨カニオバシニ地域
濟然開流動力基礎觀查報告書

第3年次

昭和27年3月

高橋勲 事務局長
金原敏 委員

印刷
35-220

ケニア共和国ケリオバレー地域
資源開発協力基礎調査報告書

第3年次

JICA LIBRARY



1029505[3]

昭和61年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '86. 5. 30	407
登録No. 12722	66.1
	MPN

は し が き

日本国政府はケニア共和国政府の要請にこたえ、同国の北西部に位置するケリオバレー地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査等の鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は昭和60年度が第3年次にあたり、金属鉱業事業団は3名の調査団を編成して、昭和60年6月28日から昭和60年9月15日まで現地に派遣した。

現地調査はケニア共和国政府関係諸機関、特にケリオバレー開発公社及び環境・天然資源省鉱山地質局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は第3年次の調査をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに本調査の実施にあたって御協力をいただいたケニア共和国政府関係者ならびに外務省、通商産業省、在ケニア日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

昭和60年12月

国際協力事業団
総裁 有田圭輔

金属鉱業事業団
理事長 西家正起

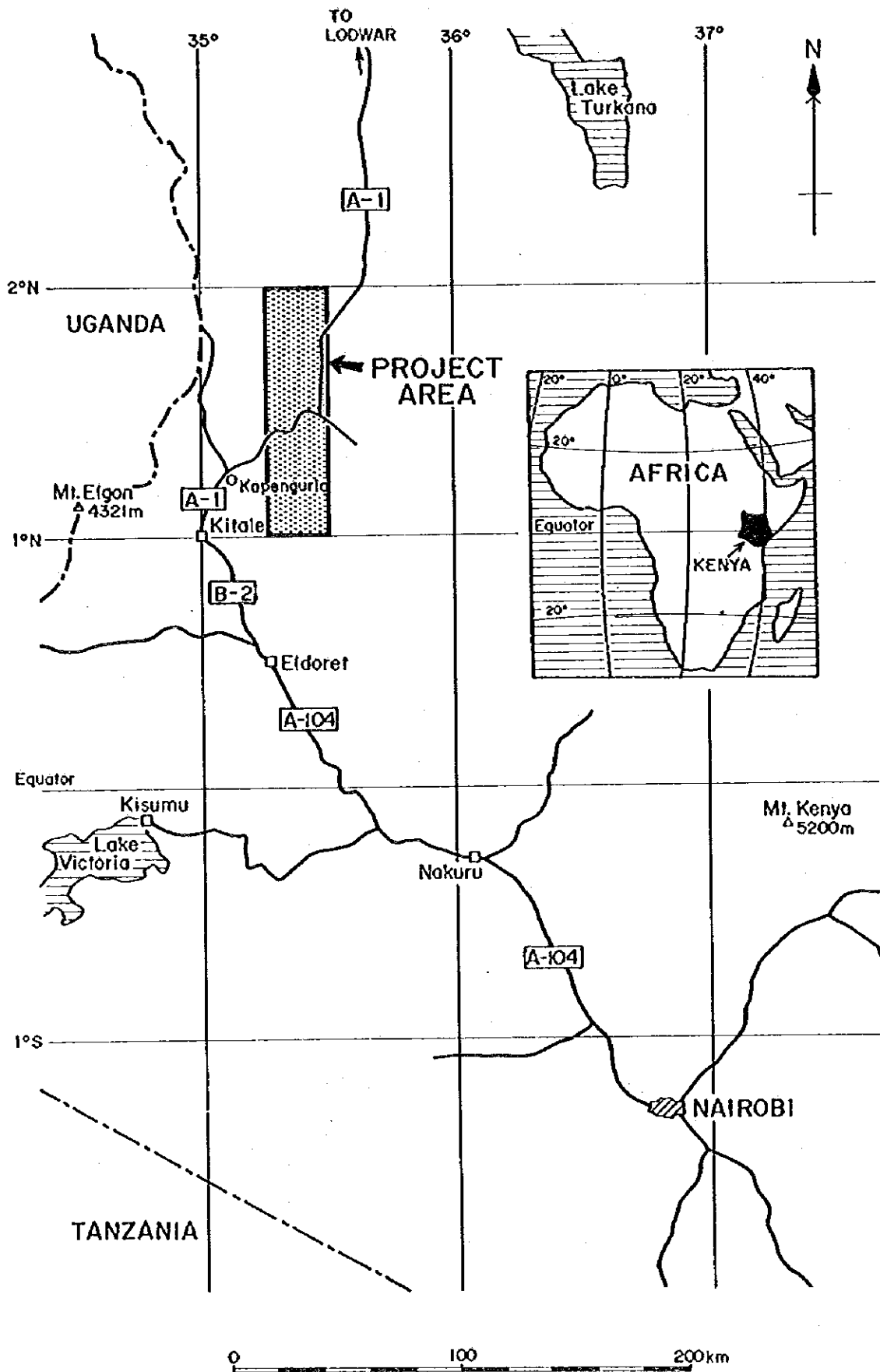
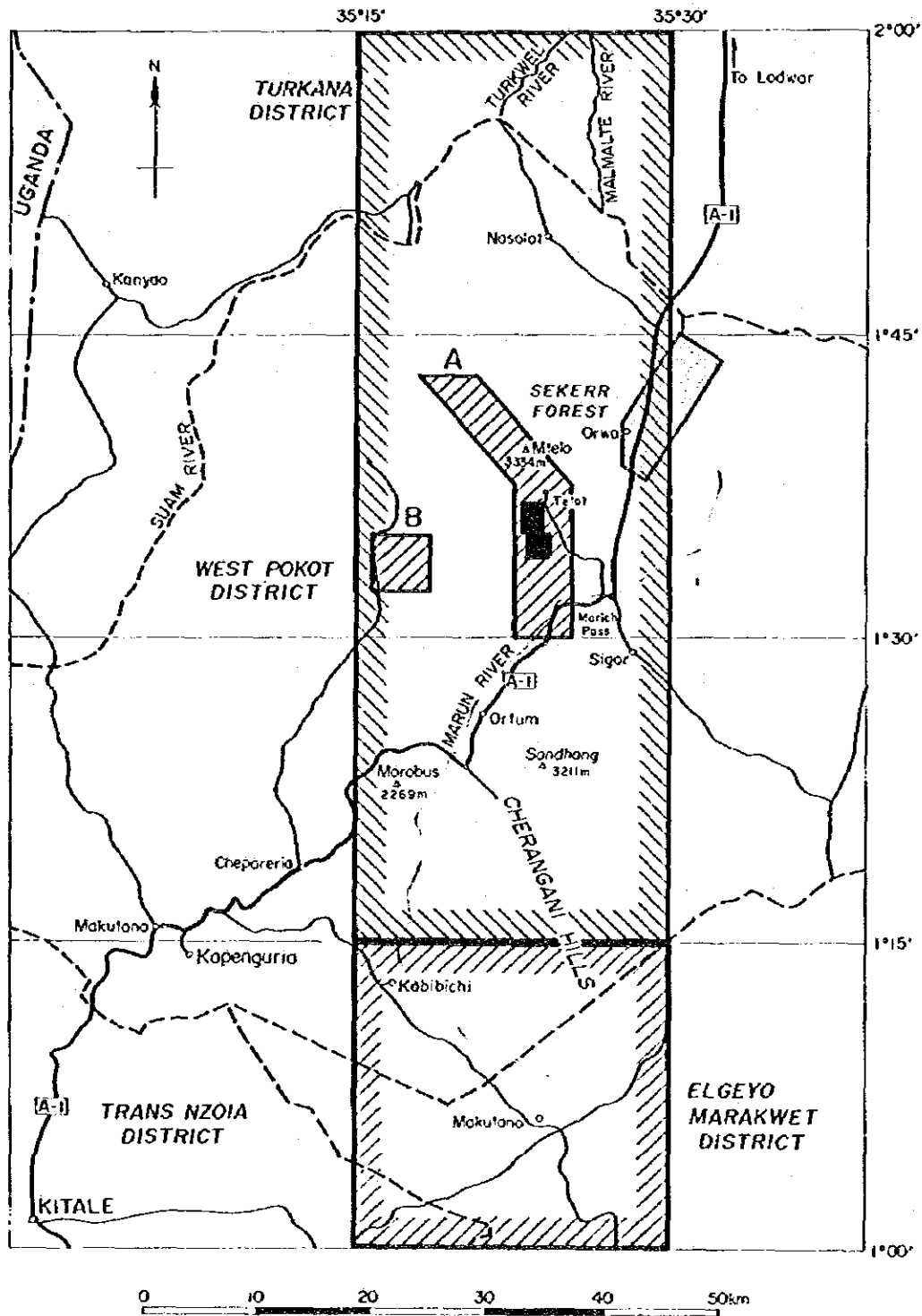


図1 調査位置図(ケリオバレー地域)








-  Phase I Regional Survey Area
-  Phase I Semi-detailed Survey Area (A, B)
-  Phase II Regional Survey Area
-  Phase II Detailed Survey Area
-  Phase III Geophysical Survey Area

図2 調査位置図 (物理探査)

要 約

ケニア共和国ケリオバレー地域における鉍物資源開発協力基礎調査は、昭和58年から昭和60年に至る3ケ年にわたって実施された。

本調査の目的は、同地域における地質構造と鉍化作用との関連性、地化学及び地球物理学的特性等を総合的に考察することにより、調査地域における鉍床賦存有望地区を抽出することである。

第3年次の調査の物理探査地域は、東リフトバレーの西端部にあたり、第1年次概査区域の北東部にある。調査地にはケニア政府により空中磁気探査が実施されており、強い磁気異常が検出され、超塩基性岩の分布が期待された地区である。

本調査は、この推定された超塩基性岩の物性を地上重力探査及び地上磁気探査により解明し、クロム鉍床胚胎の可能性を調査することを目的として実施された。

本地区の地質は西端部に帯状に分布する基盤の片状花崗岩と、区域の大部分を占めて広く分布する第四紀の沖積層からなる。

重力の分布状況から、地質構造は、NE-SW性が顕著であり、地区西側では、南東方向に急傾する断層構造が推定される。これはリフトバレー西端の断層を示すものであろう。調査地の中央部は、南西方向に深度を増す基盤のくぼんだ舟状の構造が推定される。この基盤部は、地表下250m付近にあるものと推定される。

空中磁気探査により把握された磁性岩体は、地上磁気探査から、北部で2連の、南部で1連の磁気異常体として捉えられる。北部の磁性岩体は、帯磁率測定結果から、蛇紋岩などの超塩基性岩体である可能性が強く、ロート状の形態を有し、浅部で薄く拡がった縁辺部が、2連の強い磁気異常体として捉えられたものと判断される。この縁辺部は、東側のものが幅100～500mで延長6Km、西側のものは幅200～400mで延長2Kmあり、地表下50～200mにある。また、中心部は幅1Km程度で地表下250m以深にあるものと推定される。

南部の磁性岩体は、規模が小さく、深度が深いか、または帯磁率の低い岩体であると推定される。

北部の岩体が蛇紋岩であれば、クロム鉍床や風化残留ニッケル鉍床が期待できる。しかし、この岩体の規模及び、Telot 蛇紋岩体に賦存する既知鉍床を基準にすれば、予想される鉍床はレンズ状小鉍体の集まりと推定され、稼行対象となりうる十分な鉍量を獲得する

ための探査はかなり困難になるものと考えられる。さらに、この岩体は軟弱な沖積層下であり、深度が深く、また、岩体の中央部を水量の多い Weiwei 川が流れている等を考慮すれば、開発のコストはかなり高くなるものと判断される。

目 次

はしがき

位置図

要 約

第1章 序 論	1
1-1 調査概要	1
1-1-1 調査目的	1
1-1-2 調査内容	1
1-1-3 調査団の編成	2
1-2 現地概要	4
1-2-1 位置・交通	4
1-2-2 地 形	4
1-2-3 気候・植生	4
第2章 調査結果	7
2-1 測線設定	7
2-2 重力探査	11
2-2-1 調査方法	11
1. 測定方法	11
2. 重力計	11
3. 重力基準	11
4. 水準測量	12
2-2-2 データ処理及び解析方法	12
1. データ処理	12
2. 解析方法	19
2-2-3 調査結果	25
1. ブーグ異常	25
2. 正規構造	29
2-2-4 解析結果	29
2-2-5 ま と め	33

2-3 磁気探査	34
2-3-1 調査方法	34
1. 測定計画	34
2. 磁力計	34
3. 磁気異常	35
4. 日変化補正	35
2-3-2 解析方法	42
2-3-3 調査結果	55
2-3-4 解析結果	55
2-3-5 まとめ	68
第3章 結 論	73
参考文献	79

付 図

図 1	調査位置図(ケリオバレー地域)	(1)
図 2	調査位置図(物理探査)	(2)
図 2-1	測線位置図	9
図 2-2	重力値算出の流れ図	13
図 2-3	地形補正に用いた円盤	17
図 2-4	G-H関係図	23
図 2-5	ブーグ異常図 ($\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$)	27
図 2-6	余剰重力図	31
図 2-7	ワコール基点における磁気変化(7月7日~9月2日)	37
図 2-8(1)~(7)	2次元ダイクモデルの磁気異常(伏角 -20°)	43
図 2-9(1)~(3)	シートモデルの磁気異常(伏角 -20°)	50
図 2-10(1)~(2)	プリズムモデルの磁気異常(伏角 -20°)	53
図 2-11	磁気異常図	57
図 2-12(1)~(9)	磁気異常の解析断面	59
図 2-13	調査地の空中磁気図	71
図 3-1	解析結果平面図	75
図 3-2	総合解析断面図	77

付 表

表 1-1	物理探査の概要	1
表 1-2	室内試験試料の数量	1
表 2-1	基準重力	12
表 2-2	地形補正の範囲	16
表 2-3	岩石サンプルの密度及び帯磁率測定結果	21
表 2-4(1)~(3)	基点における磁気観測値	39

別 添 図

第 1 図	測線位置図	1 : 1 0, 0 0 0
第 2 図	ブーグ異常図 ($\rho = 2.4 \text{ g/cm}^3$)	1 : 1 0, 0 0 0
第 3 図	ブーグ異常図 ($\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$)	1 : 1 0, 0 0 0
第 4 図	余剰重力図	1 : 1 0, 0 0 0
第 5 図	磁気異常図	1 : 1 0, 0 0 0
第 6 図	解析結果平面図	1 : 1 0, 0 0 0
第 7 図	総合解析断面図	1 : 1 0, 0 0 0

第1章 序 論

1-1 調査概要

1-1-1 調査目的

ケニア共和国ケリオバレー地域において実施している資源開発協力基礎調査は、同地域において地質区分を明確にし、鉱物資源有望地区を抽出することを目的としている。

第3年次の調査にあたる本年度の調査地は、空中磁気探査によって強い磁気異常が検出された地区であり、しかも調査地の南東方約10Kmにはクロム鉄床を胚胎するTelot蛇紋岩体が分布することなどからクロム鉄床賦存が期待されている。

調査の重点課題は、重力探査及び磁気探査を実施することにより、超塩基性岩の分布とその物性を解明し、クロム鉄床胚胎の可能性やニッケル鉄床賦存の可能性を明らかにすることにある。

1-1-2 調査内容

調査の概要を表1-1に、室内試験試料の数量を表1-2に示した。

調査地区は、初年度概査区域の北部地域に相当し、準精査A地区の北東にあたる60Km²である。

表1-1 物理探査の概要

Method	Outline of Works	
Gravity Survey	Area covered	: 60 Km ²
	Length of surveyed line	: 210 Km
	Station	: 1100 points
	Station interval	: 200 m
	Leveling	: 1100 points
Magnetic Survey	Area covered	: 60 Km ²
	Length of surveyed line	: 210 Km
	Station	: 2155 points
	Station interval	: 100 m

表1-2 室内試験試料の数量

Item	Amounts
Magnetic susceptibility	50
Density	50

物理探査は、日本人3名並びにケニア人5名（地質技師2名、物理探査技師2名及び測量技師1名）によって実施され、210Kmの伏開測量並びに重力測定及び水準測量を1100点、磁気測定2155点を実施した。測線・測点の位置は、航空写真から作成した1:10,000の地形図により計画した。重力測定はLaCoste and Romberg G-206型重力計、磁気測定はScintrex社製MP-2型プロトン磁力計を用いた。

1-1-3 調査団の編成

本年次調査の計画策定・現地折衝及び現地調査に参加した調査員は次のとおりである。

(1) 調査計画及び現地折衝

日本側

逆瀬川 敏 夫	金属鉱業事業団
山 本 恭 久	"
北 良 行	"
鈴木 洋 介	同ナイロビ海外調査員
中 野 修	在ケニア日本国大使館
赤 星 昇	国際協力事業団
高 橋 昭	同ナイロビ事務所
下 村 則 夫	"
末 森 満	"

ケニア側

S. K. Tubei	ケリオバレー開発公社
A. M. Ngumi	"
G. Y. O. Owayo	鉱山地質局
F. G. Theuri	"

(2) 現地調査

日本側

渡 部 春 夫	団 長	住鉱コンサルタント株式会社
高 城 元 治	団 員	"
土 田 清 治	"	"

ケニア側

A.M. Ngumi 団 長 ケリオバレー開発公社

M.C. Lilako 団 員 "

J.J. Maneno 団 員 欽山地質局

W. Muthigani " "

G.M. Kavuthi " "

1-2 現地概要

1-2-1 位置・交通

本調査の実施されたケリオバレー地域は、ケニア北西部の Rift Valley 州にあって、West Pokot 郡と Turkana 郡また一部は Trans Nzoio 州と Elgyo Marquet 州の 4 郡にまたがり、北緯 1°00' と 2°00' 及び東経 35°15' と 35°30' の 4 線に囲まれる、面積約 3070 Km² の長方形の範囲である。この地域は同時にケリオバレー開発公社の領域に含まれている。ケリオバレー開発公社の領域は、ケニア最北部にある Turkana 湖に流入する河川の流域をすべて含み、同公社の名前は、そのほぼ中心部を北流する大河ケリオバレーにちなんで命名された。この領域は、赤道以北のケニアのリフトバレーも含んでいる。

物理探査の実施された地区は、本地域の北東部に位置し、北緯 1°40' 東経 35°30' を中心とする面積 60 Km² の範囲である。

また、物理探査地域には国道 A-1 号線が通っており、首都ナイロビから約 500 Km にあるケリオバレー調査地域の中心 Ortum から約 30 Km で調査地に到着することができる。

1-2-2 地 形

調査地域周辺は、先カンブリア時代の基盤からなる高原地帯にあり、中新世以降の地殻変動によるリフトバレーの形成と火山活動が、この地域の形成に大きな影響を与えている。

アフリカ東部を南北に貫くリフトバレーは東アフリカで東西 2 本に分かれ、東リフトバレーがケニア西部を南北に走っている。

物理探査の実施された本調査地は、この東リフトバレーの西端部にあたり、リフトバレー断層で境された海拔 700m~800m の半砂漠~ブッシュランドになっており、第四紀の沖積層の堆積した平坦地である。

調査地区の北部には、Turkana 湖に流入する Turkana 湖水系の Wei-Wei 川が南から北に向けて流れている。また、乾期には涸れる Orwa 沢と Mahany 沢が調査地内を西部山地から東方向に流れ Wei-Wei 川の支流をなしている。

1-2-3 気候・植生

本調査地は、ブッシュランドからなり、気候は全般に赤道型年変化を示す。雨期と乾期がそれぞれ 2 回あって、12 月~3 月が暖乾期、3 月~6 月が大雨季、6~9 月が冷乾期、

9月～11月が小雨期である。しかし、降水量は年によって大きく変動することがあり、干ばつの被害をうけることも多い。

調査地域の気候は半砂漠気候で、気温は日中35℃以上に上昇し、夜間は10℃以下にまで下がる。雨量は年間300～800mm程度である。

本地区の植生は、トゲ科の樹木やサボテン類からなるブッシュ帯である。調査地内ではトウモロコシや砂糖きびが、Wei-Wei川やOrwa沢沿いに少々耕作されている他は、ヤギ、牛等の家畜の放牧がなされている。

第2章 調査結果

2-1 測線設定

調査地域は、アフリカ大地溝帯（リフトバレー）の東部地溝の西側にあり、調査地周辺の地質は角閃岩相に属する先カンブリア紀のモザンビーク変成岩及びこれを買く貫入岩類からなり、南北性の顕著な構造パターンを呈している。

調査地の地質は、モザンビーク変成岩の黒雲母片麻岩や角閃石片麻岩などからなる変成岩類と、花崗岩類から超塩基性岩に及ぶ貫入岩類からなると考えられるが、調査地の北西部の花崗岩類や基盤岩露出地域はともかくとして、調査地の大半を占める第四紀堆積物の分布する平坦地は岩石の露出がほとんどみられず、基盤岩類や貫入岩類の分布形態については不明な所が多い。しかし、調査地付近の地質構造がNNW-SSE方向の向斜を基本とし、同方向の転倒褶曲の発達と、N-S～NNW-SSE系断層に特徴づけられることなどから、これにはほぼ直交するN62°48'W～S62°48'Eの4Kmの測線を250m間隔に56測線設定した。測点間隔と測点数は、重力探査では200m間隔、1100点、磁気探査では100m間隔、2155点とした。

測量は、ポケットコンパスと100mテープを用いて、3～5班編成により実施した。

測線・測点の配置を第1図及び図2-1に示した。

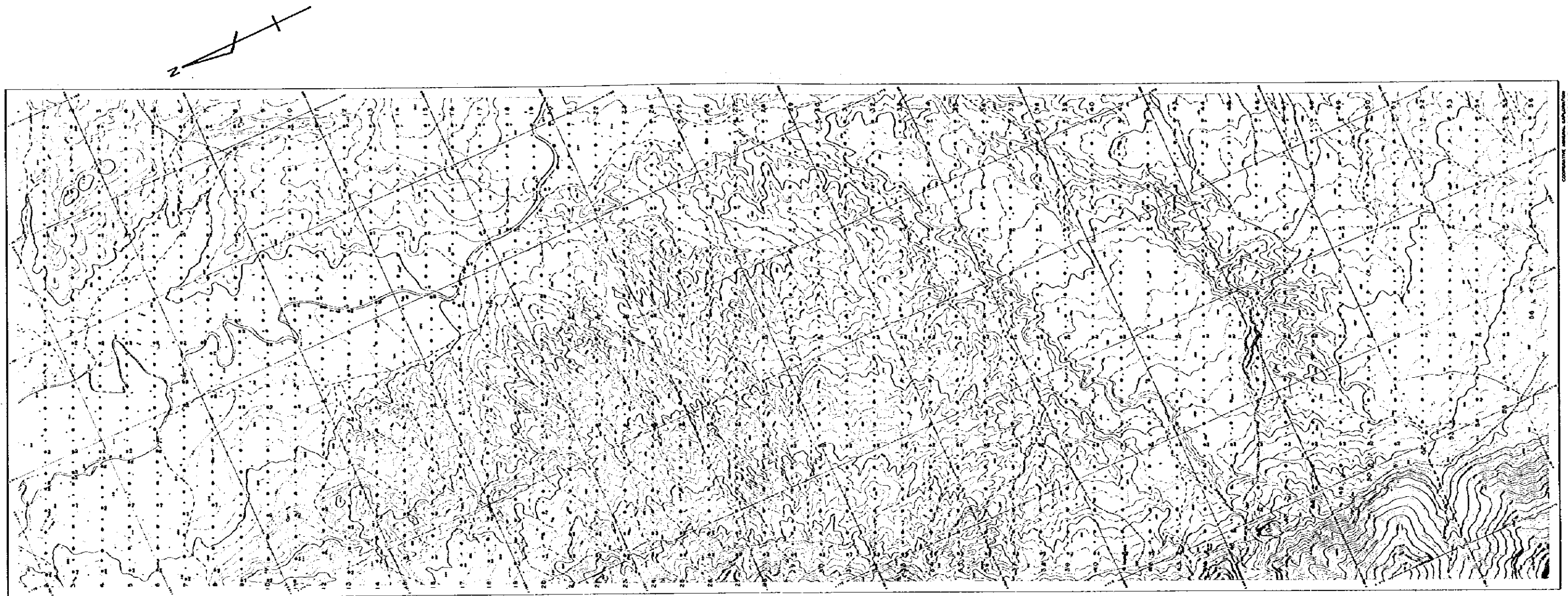


图2-1 测线位置图

LEGEND

- 1. Major Observation Point and its Number
- 2. Major and Grid Observation Point and its Number

2-2 重力探査

重力探査は、基盤構造を明らかにするために、ケリオバレープロジェクト地域内の 60Km² に実施した。

2-2-1 調査方法

1. 測線設定

測線・測点配置を第1図、図2-1に示した。計画測点は1100点であったが、実際に測定した測点は1118点であり、すべての測点について水準測量により高度を明らかにした。

調査面積は60Km²で、測点間隔は200mであり、これらの位置は、伐開測量により設けた測線上に設定した。

2. 重力計

La Coste and Romberg G型重力計を使用し、用いた重力計の仕様は下記のごとくである。

製作番号	G-206
レンジ	0.0-7335.25
読取精度	±0.01 mgal

ラコステ重力計は、リセットをすることなく全世界で使用することができ、ドリフトは1ヶ月で0.5 mgal以下と小さく、極めて精度がよい。ラコステ重力計には、調査地の高度や緯度の相違による測定値を、重力値のミリガルに変換するための係数を持っている。今回の測定値で使用したG-206型重力計の変換係数値を下記に示す。

100以上の測定値	ミリガル変換値	100以下の補正値
1300	1361.31	1.04730
1400	1466.04	1.04742

3. 重力基準

重力基準は、調査の基地であるワコール(Wakorr)にワコール9000番として設定した。この基点の重力値は、ケニア国国土地理院(ナイロビ中央から北東方向約4マイル地点)にある重力基準点との比較測定により設定した。その値は977,657.338mgalであった。この重力基準点の重力値は1958年に振り子により、その絶対値が測定されたもので、977,510.4mgalとされた。

表 2 - 1 基 準 重 力

	Nairobi (Survey of Kenya)	Wakorr 9000
Latitude	1°14'55"S	1°29'40"N
Longitude	36°51'24"E	35°24'25"E
Date of Observation	1985.7.3	1985.7.4
Time of Observation	12h 27m	10h 03m
Reading Value	1225.271	1337.079
Milligal Value	1283.016	1400.143
Earth Tide Correction (mgal)	0.139	-0.020
Instrument Correction (mgal)	0.000	0.000
Corrected Value (mgal)	1283.185	1400.123
Gravity Value (mgal)	977,540.4	977,657.338

4. 水準測量

全重力測点について、直接水準測量法により高度を測定した。使用した水準測量器は日本国測機舎製B-2型オートレベルNo.73432であった。

水準測量の基準高度は、調査地付近に高度の明らかな水準点や三角点が存在しないことから、写真測量により求められた18測線のNo.38の近くの丘の頂上の893mを採用した。

2-2-2 データ処理及び解析方法

1. データ処理

1) 重力値の算出

重力値算出は図2-2に示す流れに従って実施した。

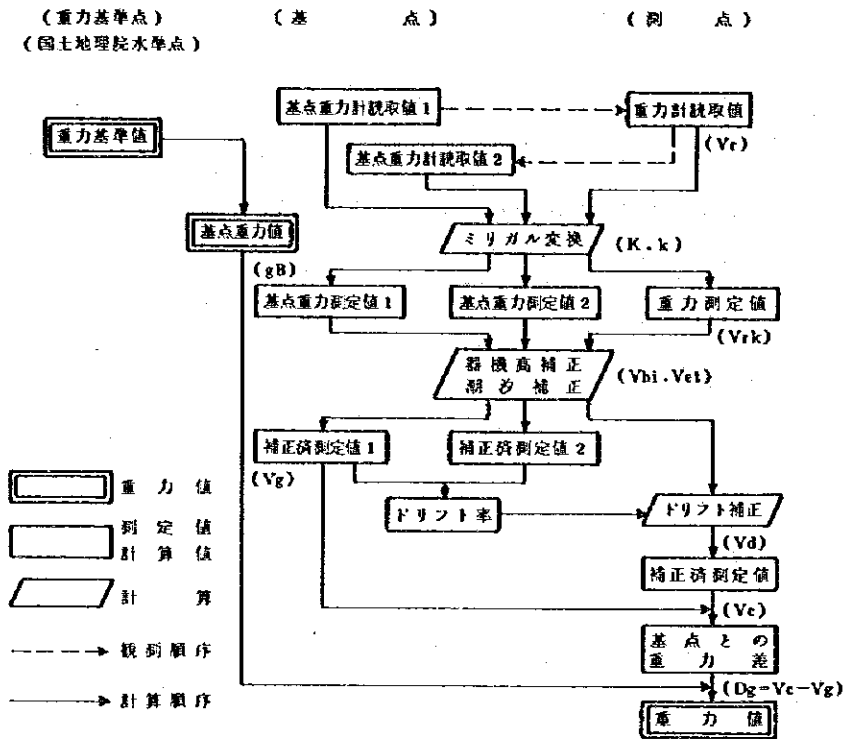


図2-2 重力値算出の流れ図

この過程には重力計ダイアルの読取値を重力単位 (mgal) に換算する「ミリガル変換」、重力の日変化を補正する「潮汐補正」、重力計の測定位置に関する「器機高補正」及び基点における閉塞誤差を補正する「ドリフト補正」の各計算がある。

(1) ミリガル変換

ラコステ重力計のダイアル読取値を重力単位 (mgal) に変換するには、製作会社が各重力計に添付している重力計定数表を用いる。重力計定数表には、ダイアル読取値100毎の定数 (K: mgal単位) とその間のスケール・コンスタント (k) が記載されている。仮にダイアル読取値を3219.876 とすると、ミリガル変換は、次式でおこなわれる。

$$Vrk = K_{3200} + (3219.876 - 3200) \times k_{3200}$$

Vrk : 重力測定値 (mgal)

K_{3200} : ダイアル読取値3200で指定される定数 (mgal)

k_{3200} : ダイアル読取値3200で指定されるスケール・コンスタント

(2) 潮汐補正

潮汐補正は、月、太陽などの天体による引力 (起潮力) と、それによって生じる地球の変形 (地球潮汐) とが重力測定に及ぼす影響を除去する補正である。天体の起潮力は

次式によって計算される。

$$U = \frac{3}{2} GM \frac{a}{r^3} \left\{ 3 \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \cdot \left(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) + \sin 2\varphi \cdot \cos \theta \cdot \sin 2\delta \right. \\ \left. + \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi \cdot \cos 2\theta \right\}$$

U : 天体の起潮力

G : 万有引力定数

M : 天体の質量

a : 地球の中心から測定点までの距離

r : 天体と地球との距離

φ : 測定点の緯度

δ : 天体の赤緯（赤道から南北に測った角度）

θ : 天体の時角（天体の子午面と測定点の子午面との間の角度）

天体の起潮力は月と太陽によるものが他の天体に比較して圧倒的に大きいため、通常重力調査では、この2つの天体のみを考える。

(3) 器機高補正

器機高補正は、水準測量の測定点と重力測定点との高さの差に関する補正で、一般には、測定値を水準測量の測定点の高さに換算する。

補正は地表付近（厳密には回転楕円体表面）の平均的な重力垂直勾配0.3086mgal/mを用い、次式でおこなった。

$$V_{hi} = 0.3086h_i$$

V_{hi} : 器機高補正值 (mgal)

h_i : 水準測量の測定点から重力計上面までの高さ (m)

(4) ドリフト補正

ドリフトは、重力計のスプリング固定系の伸びに起因する重力計ダイヤル値の変化で、経時時間に比例する。このダイヤル値の変位を補正するのがドリフト補正であるが、実際のダイヤル値の変化にはドリフトによるものの他に、運搬時の機械的ショックや気温・気圧の変化による不規則な変位があり、普通ドリフト補正という場合、これらを含む。補正は、基点における2回の重力測定値に、潮汐補正と器機高補正を施した後の数値の差（閉塞誤差）を時間に比例して各測点に配分する方法でおこなっている。

(5) 重力値の算出

重力測定値 V_{rk} に対して以上に記述した各補正を実施すると、次式により、補正済重力測定値 V_c が得られる。

$$V_c = V_{rk} + V_{et} + V_{hi} + V_d$$

V_c : 補正済重力測定値

V_{rk} : 重力測定値

V_{et} : 潮汐補正值

V_{hi} : 器機高補正值

V_d : ドリフト補正值

基点の重力測定値については、ドリフト補正は不要で、潮汐補正と器機高補正を施し補正済重力測定値を得る。各測点の重力値は、次式によって計算される。

$$g = g_B + (V_c - V_g)$$

g : 測点の重力値

g_B : 基点の重力値

V_g : 基点の補正済重力測定値

2) 重力補正

重力補正は、重力値に種々の補正を施して地下の構造を反映するブーゲ異常を求め一連の計算で、緯度補正、地形補正、ブーゲ補正、フリーエア補正に分けて計算をおこなう。

(1) 緯度補正

緯度補正は正規重力式によっておこなった。正規重力 γ は測点の緯度 φ から次式によって求められる。

$$\gamma = \frac{a\gamma_E \cos^2 \varphi + b\gamma_P \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}}$$

a : 回転楕円体の赤道半径 (6,378.14Km)

b : 回転楕円体の極半径 (6,356.18Km)

γ_E : 回転楕円体の赤道正規重力 (978.032gal)

γ_P : 回転楕円体の極正規重力 (983,218gal)

上式は、1976年IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics : 国際測地学及

び地球物理学連合)が、測地基準系1976の中で標準的な地球重力を与えるものとして公認しているものである。

重力調査では、実用上、正規重力式を次の近似式(正規重力の実用式という)に展開して使用している。

$$r = 978031.85 (1 + 0.005278895 \sin^2 \varphi + 0.000023462 \sin^4 \varphi) \quad (\text{mgal})$$

(2) 地形補正

地形補正は、測点の周囲の地形の凹凸が重力計に及ぼす影響を補正するもので、平坦な地形では補正量が0となり、急峻な地形では補正量が数10mgalに達することもある。補正量は、測点より高い山岳部分の補正についても、また、測点より低い谷部の補正についても必ず正となる。

地形補正は、測点のまわりの地形を測点からの距離の違いにより3つの地形に分けて実施した。

これらの地形の範囲と大きさを表2-2に示した。

表2-2 地形補正の範囲

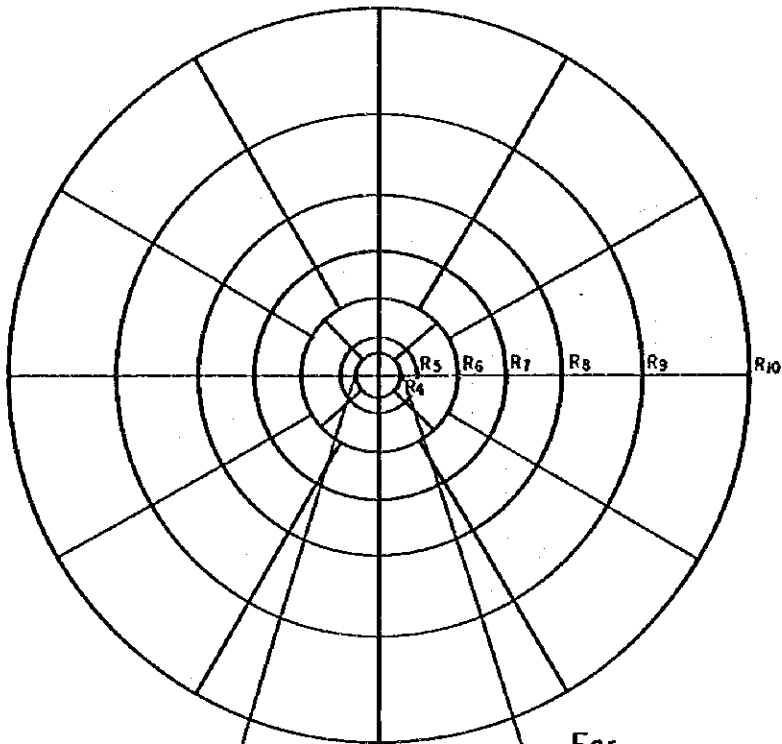
名 称	補正の範囲	補正に使用した地形図
遠方地形	0.4 ~ 10 Km	1/50,000
近傍地形	0.02 ~ 0.4 Km	1/10,000
周辺地形	0.00 ~ 0.02 Km	スケッチ

(a) 遠方・近傍地形の補正

遠方と近傍の地形補正は、図2-3に示したような、地形の補正区画に分割した円盤を用いて実施した。各補正区画の中心の地形高度をその区画の平均高度とみなして、各区画の地形補正量を計算し、それらを集計した値を地形補正量とした。遠方の補正は400m~10Kmの領域を64個の区画に、近傍の補正は20m~400mの領域を24個の区画に分割しHammerの方法を用いて補正をおこなった。

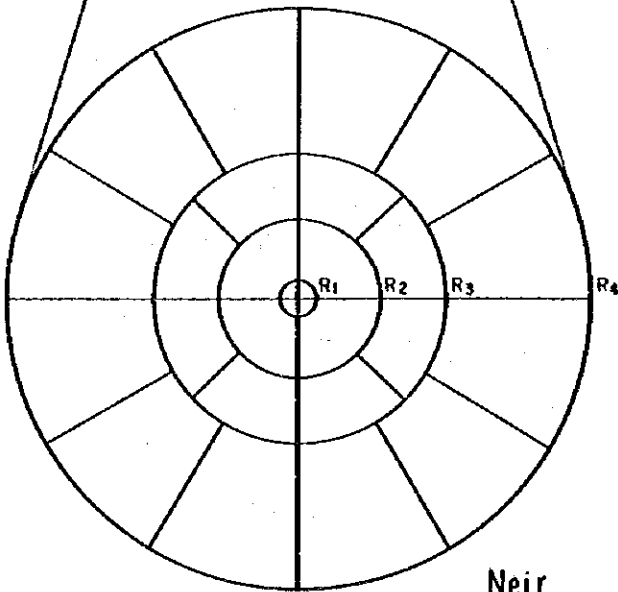
使用した計算式を次に示す。

$$\delta g_1 = \frac{2\pi G\rho}{n} (R_2 - R_1 + \sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2})$$



	区画数
R_4 : 0.4km	8
R_5 : 1.0	8
R_6 : 2.0	12
R_7 : 3.3	12
R_8 : 5.0	12
R_9 : 7.0	12
R_{10} : 10.0	

Far

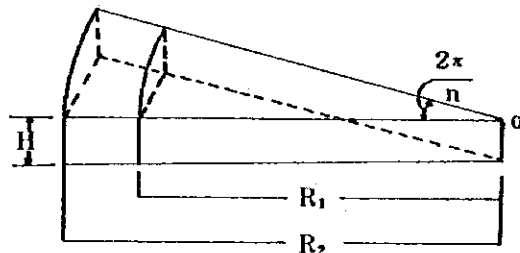


	区画数
R_1 : 20 ^m	4
R_2 : 100	8
R_3 : 200	12
R_4 : 400	

Near

図 2 - 3 地形補正に用いた円盤

- δg_T : 地形補正值
- G : 万有引力定数
- ρ : 密度
- R_1 : 同心円柱内径までの距離
- R_2 : 同心円柱外径までの距離
- H : 補正区画と測点との高度差
- n : 補正区画の等分数

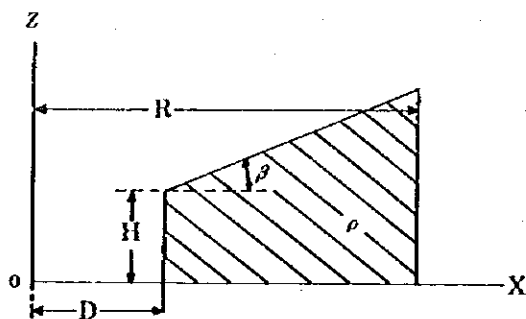


(b) 周辺の補正

「周辺」の補正は、測点から20mの範囲の地形凹凸を、測点から2方向の断面に表示して実施した。

この補正の数式と概念図を次に示す。

$$\delta g_T = 2G\rho \int_D^R \left\{ \tanh^{-1} \sqrt{\frac{R^2 - X^2}{R^2 + H_0^2}} - \tanh^{-1} \sqrt{\frac{R^2 - X^2}{R^2 + (X \tan \beta + H - H_0 - D \tan \beta)^2}} \right\} dX$$



- δg_T : 地形補正值
- G : 万有引力定数
- ρ : 密度
- D : 測点から崖までの距離
- H : 崖の高さ
- β : 崖の傾斜角
- R : 補正範囲
- H_0 : 重力計の重錘の高さ (0.15m)

(3) ブーグ補正

異なった高さで測定された重力値は、その標高差の間に介在する物質（岩石）による引力だけ大きさが異なるはずで、これを補正するのがブーグ補正である。一定の基準面と各測点を通る基準面に並行な面との間の物質の影響を除去する。基準面として、通常ジオイド面が使用される。補正はジオイド面と測点を通る基準面に並行な面との間を無限平板と仮定して次式によっておこなった。

$$\delta g_b = -2\pi G\rho H \doteq -0.0419\rho H$$

δg_b : ブーグ補正值 (mgal)

G : 万有引力定数 ($6.670 \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{gsec}^2$)

ρ : 補正密度 (g/cm^3)

H : 測点の標高 (m)

ρ はブーグ密度といい、通常は、地表とジオイド面の間の岩石平均密度を採用する。

(4) フリーエア補正

フリーエア補正は標高差にだけ起因する重力の差を補正するもので、地表付近の平均的な重力垂直勾配 $0.3086 \text{mgal}/\text{m}$ を用いて次式でおこなった。

$$\delta g_f \doteq \frac{2r}{R} H \doteq 0.3086 H$$

δg_f : フリーエア補正值 (mgal)

r : 正規重力 (mgal)

R : 測点から地球の中心までの距離 (m)

H : 測点の標高 (m)

(5) ブーグ異常値

重力値に対して緯度補正、地形補正、ブーグ補正、フリーエア補正を施すと、次式によりブーグ異常値が得られる。

$$\Delta g_b = g - r + \delta g_t + \delta g_b + \delta g_f$$

Δg_b : ブーグ異常値

2. 解析方法

地表で観測される重力異常は、種々の深度、種々の形状をもった地下構造による重力異常が重畳したものである。従って、目的とする地下構造を的確にかつ容易に表現し、また解析することが必要である。このために、ブーグ異常図に対してフィルター処理を

施して異常を分解する。本調査では、移動平均法により、余剰重力値を算出した。

次に、調査地の基盤構造を定量的に明らかにするために、基盤層とその第四紀被覆層からなる2層構造による2次元定量解析を実施した。これらの解析をするにあたっては調査地に分布する岩石・地層の密度をどのように設定するかが解析の精度に大きく作用する。

1) 密度仮定

ブーゲ異常図を作成するには、密度を仮定することが必要であるが、実際には地下構造を密度構造として表現することは極めて困難で、いくつかの資料から仮定することになる。

(1) 岩石試料の密度測定

本調査では、地表の岩石55個を採取し、乾燥及び湿潤の2状態の密度を計測した。各試料の測定結果と岩石別の平均密度を表2-3に示した。なお、蛇紋岩、クロム鉱石や基盤岩類の一部については、調査地区外で採取した。

本調査地には、先カンブリア系のモザンビーク変成岩が基盤を構成し、これを買入岩類からなる。基盤岩は主として泥質～砂質堆積岩起源及び塩基性火山岩起源の片麻岩類・珪岩等からなるが、これらの平均密度は自然状態で $2.57 \sim 3.07 \text{ g/cm}^3$ であった。次に買入岩類であるが斑レイ岩が 2.94 g/cm^3 と大きく、蛇紋岩の 2.69 g/cm^3 がこれに続き、花崗岩類が 2.54 g/cm^3 と比較的小さい値を示した。また、玄武岩溶岩は 2.80 g/cm^3 で比較的大きい。なお、クロム鉱石は 3.84 g/cm^3 と極めて大きい値を示し、このクロム鉱石を除いた全試料の平均密度は 2.70 g/cm^3 であった。

岩石別平均密度から重力異常分布を推定することは、基盤岩類の密度変化($2.57 \sim 3.07 \text{ g/cm}^3$)と買入岩類や溶岩の密度変化($2.52 \sim 2.94 \text{ g/cm}^3$)とがほぼ同じレンジであることから、地質構造が試錐等である程度解明された時点でないと、困難である。しかしながら、調査地の基盤岩類の被覆層は、第四紀の沖積層からなり、多くの礫を含んでいるが未固結層であることから、基盤岩類との間には、大きな密度差があることが推定される。したがって大局的な調査地の密度構造は基盤岩類との被覆層との2層を想定した。

(2) G-H関係

重力値は測点標高が増すにしたがって減少するが、その減少率は、フリーエア及びブーゲ補正の和 $0.3086 - 0.0419 \cdot \rho$ に等しい。従って、測点標高を横軸にと

表 2-3 岩石サンプルの密度及び帯磁率測定結果

Group	Sample No.	Rock Name	Location	Density (gt/cm ³)			Susceptibility (x10 ⁶ cgs-emu)	
				Dry	Wet	Average	emu/cm ³	Average
Siliceous Dikes	1	Silicified brecciated rock	0/50	2.65	2.66		60.9	
	2	"	23/32	2.52	2.53	2.55 (2.57)	232.7	235.7
	3	"	9/42	2.49	2.52		414.0	
Basalts	4	Basalt	5/11	2.83	2.84		402.2	
	5	"	3/13	2.81	2.82		682.3	
	6	"	"	2.80	2.82		774.0	
	7	"	3/10	2.81	2.83		386.3	
	8	"	2/13	2.81	2.83	2.80 (2.82)	598.5	435.5
	9	"	2/7	2.80	2.82		231.0	
	10	"	2/9	2.76	2.79		198.6	
Gabbros	11	"	4/4	2.78	2.80		211.2	
	12	Gabbro	Wakorr	2.96	2.97	2.94 (2.95)	211.2	197.1
	13	"	"	2.91	2.92		183.0	
	14	Serpentinite	Telot	2.78	2.79		5,401.3	
Serpentinites	15	"	"	2.69	2.70		4,816.4	
	16	"	"	2.58	2.59	2.69 (2.71)	3,122.1	4,532.6
	17	Silicified serpentinite	"	2.61	2.63		4,175.4	
	18	Talc rock	"	2.81	2.83		5,147.6	
Chromite Ores	19	Chromite ore	"	3.85	3.87	3.84 (3.86)	259.9	382.8
	20	"	"	3.83	3.85		505.6	
Foliated granites	21	Granite	14/41	2.46	2.51		101.8	
	22	"	10/44	2.54	2.56		221.0	
	23	"	Wakorr	2.59	2.60		310.0	
	24	"	?	2.52	2.55		54.6	
	25	"	22/40	2.55	2.57		144.1	
	26	"	22/41	2.49	2.52		159.4	
	27	"	?	2.51	2.55		722.1	
	28	"	52/34	2.59	2.60	2.52 (2.54)	167.2	202.5
	29	"	23/36	2.56	2.58		47.6	
	30	"	23/35	2.49	2.52		157.2	
	31	"	24/39	2.52	2.55		113.9	
	32	"	53/32	2.54	2.57		24.1	
	33	"	21/40	2.50	2.54		74.0	
	34	"	52/30	2.56	2.58		144.1	
	35	"	48/38	2.57	2.59		170.8	
	36	"	12/34	2.44	2.47		301.3	
	37	Silicified granite	9/37	2.48	2.50		227.5	
38	"	9/38	2.39	2.42		397.8		
39	"	11/40	2.49	2.52		309.9		
Basic schists	40	Hornblend-chlorite schist	Telot	2.87	2.89	2.81 (2.84)	190.2	121.3
	41	Chlorite schist	"	2.72	2.75		62.5	
	42	"	"	2.84	2.87		111.2	
Siliceous schists	43	Muscovite-quartz schist	Turkwel Gorge	2.55	2.58	2.57 (2.60)	333.9	321.1
	44	"	"	2.56	2.59		402.7	
	45	Quartz schist	Telot	2.60	2.62		226.7	
Hornblend gneisses (Amphibolites)	46	Hornblend gneiss	Just NW to the Area	3.11	3.13		115.1	
	47	"	"	3.19	3.20		256.6	
	48	"	26/42	3.06	3.06	3.07 (3.08)	269.5	183.3
	49	"	Turkwel Gorge	3.12	3.14		223.3	
	50	"	Telot	2.86	2.89		52.1	
Biotite gneisses	51	Biotite gneiss		2.60	2.61		231.2	
	52	"	20/41	3.01	3.03		261.3	
	53	"	Old Road (Orwa)	2.82	2.83	2.79 (2.81)	193.6	285.2
	54	"	Turkwel Gorge	2.84	2.86		392.1	
	55	"	Orwa	2.69	2.70		347.7	
Average				2.69	2.71	2.70	683.9	

() wet

り、縦軸に重力値をとって緯度補正済重力値をプロットすれば各点のつくる直線の勾配から、調査地域の平均的な岩石密度 ρ が推定できる。

測点標高と重力値の関係を表現するものが図2-4のG-H関係図である。今回の調査では、通常の重力調査と異なり、測点高度差が100mと小さく、G-H関係図上のデータのバラツキが極めて大きいことから、この関係図から平均的密度を推定することは困難と考える。

(3) 補正密度の決定

補正密度は、岩石試料の平均密度が 2.70g/cm^3 であり、岩盤内の亀裂や第四紀層の分布等を考慮しなければならないこと、また、 $\rho = 2.60\text{g/cm}^3$ の等重力線図が地質に対する相関性がすぐれていると判断されることから、解析には $\rho = 2.60\text{g/cm}^3$ の等重力線図を採用した。

2) フィルター解析

ブーグ異常図に現われる重力分布は、地下の密度分布の異常に起因するものであるが、これは深さや規模の異なった岩石の密度分布の異常の和である。探査の目的外の構造の影響を除去し、目的とする地下構造を最もよく反映する異常を抽出するのがフィルター解析である。

本調査では瀬谷氏の方法を採用し、正規構造図を作成した。

$$\Delta G = \frac{1}{21} [4G_0 + 8\bar{G}(s) - 6\bar{G}(2s) - 6\bar{G}(3s)]$$

ΔG : 正規構造重力値

G_0 : 測点の重力値

$G(ns)$: 半径 ns の円周上の4つの点の平均重力値

s : サンプルング間隔(200m)

3) 断面解析

あるポテンシャル分布に対してこれと同じポテンシャル分布を与える解は無数に存在する。このうちで最も現地の状況に対応するとみられる解が採用される。

重力分布に対しては、この重力異常を発生する地下構造は、

- ① 種々の密度差を持った多角岩体の集合である。
- ② 地下の密度変化が深度の関数であるとした堆積構造である。
- ③ 一様な密度の堆積層と基盤岩とからなる2層構造である。

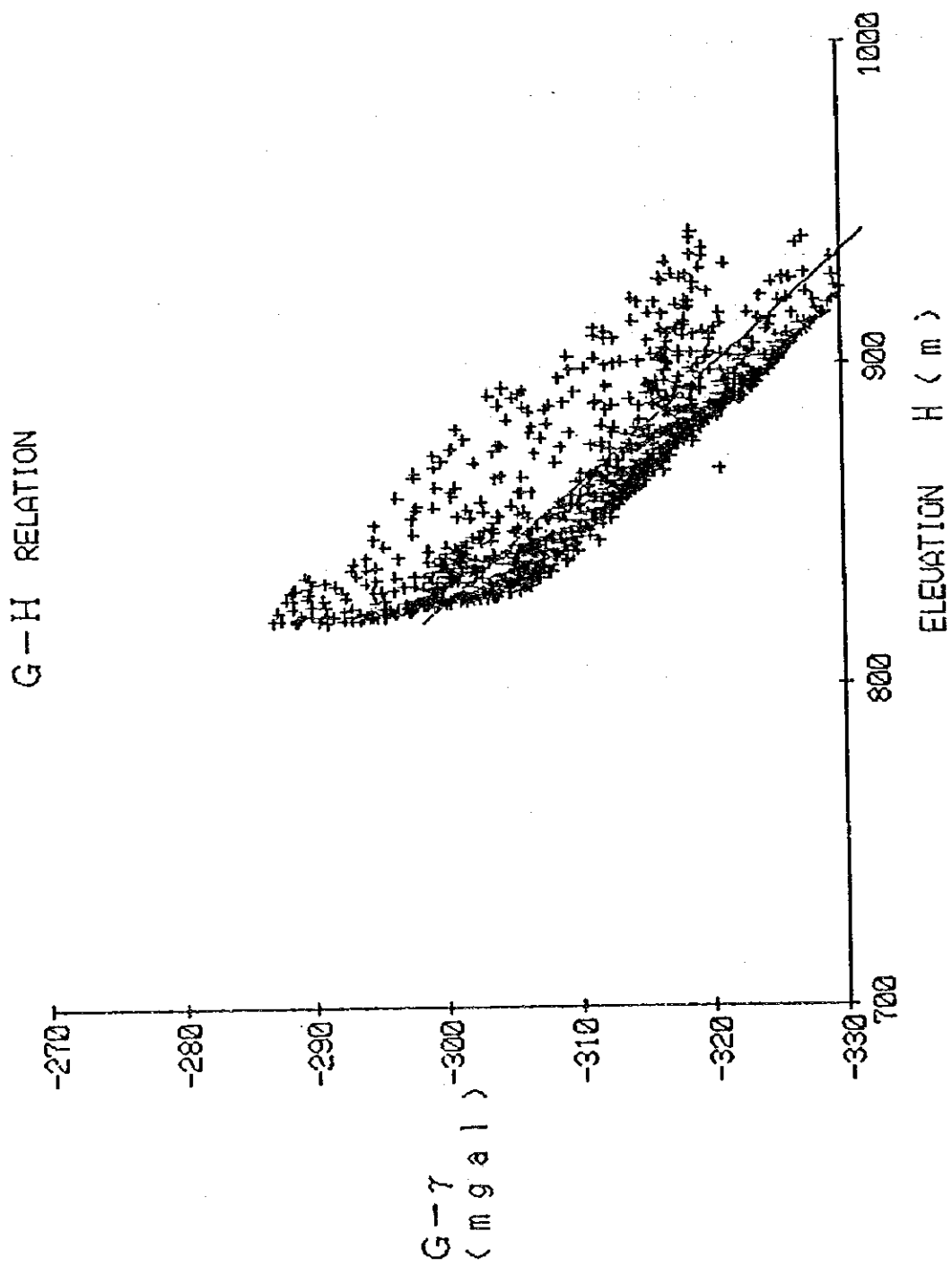


图 2-4 G-H 關係图

というような様々の仮定が採用される。

種々の余剰重力に対して、また調査地域の地質状況に応じてこれらの解法を種々組合せて解析するのが一般的である。これらの解法のうち成層構造と考えられる地域に対する解析結果は比較的よく地質構造を説明出来るため良く利用されており、この場合の解析法にも種々の手法が考案されている。本調査の解析には、従来から一般的に利用されている Talwani の方法を採用した。

Talwani の方法

Talwani の方法による二次元断面解析は、密度モデルによる計算ブーグ異常値と観測ブーグ異常値を対比させながら、最も近似する計算ブーグ異常値が得られるまで、密度構造モデルをトライアル・アンド・エラーによって求める手法である。計算は次に示す Talwani の基本式に従った。

$$Ag = 2G\Delta\rho \sum Zi$$

$$Zi = \frac{(X_{i+1} - X_i) \cdot \{ Z_i (X - X_{i+1}) - Z_{i+1} (X - X_i) \}}{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}$$

$$\times \left\{ \tan^{-1} \frac{Z_i}{X_i - X} - \tan^{-1} \frac{Z_{i+1}}{X_{i+1} - X} + \frac{1}{2} \cdot \frac{Z_{i+1} - Z_i}{X_{i+1} - X_i} \cdot \log \frac{(X_{i+1} - X)^2 + Z_{i+1}^2}{(X_i - X)^2 + Z_i^2} \right\}$$

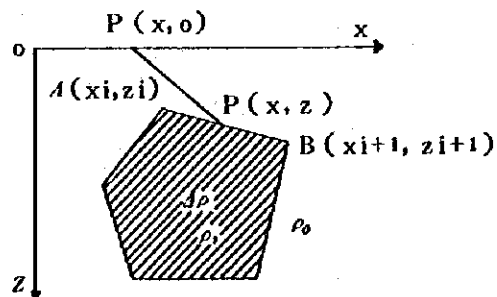
ただし、多角形の一辺が垂直 ($X_i = X_{i+1}$) の場合には、

$$Zi = \frac{X_i - X}{2} \cdot \log \frac{(X_i - X)^2 + Z_{i+1}^2}{(X_i - X)^2 + Z_i^2}$$

また、多角形の一辺が水平 ($Z_i = Z_{i+1}$) の場合には

$$Zi = -Z_i \left(\tan^{-1} \frac{Z_i}{X_i - X} - \tan^{-1} \frac{Z_i}{X_{i+1} - X} \right)$$

- Ag : 重力異常値
- G : 万有引力定数
- $\Delta\rho$: 密度差



2-2-3 調査結果

1. ブーグ異常

調査地の地質構造を最も良く反映していると考えられるブーグ異常図 ($\rho = 2.60 \text{ g/cm}^3$) 第3図, 図2-5で, 調査地の重力分布を説明する。

調査地のブーグ異常値は, 南端部の -142 mgal から, 北部の -122 mgal の間に分布し, 最大で 20 mgal の差がある。

ブーグ異常分布は①等重力線が調査地に推定されるNE-SW方向の地質構造を強く反映して北東方向に流れ, 北西部から南東部にかけて重力が急傾斜で低下する。②調査地中央部では低重力異常を形成し, この付近の基盤の盆状構造を反映するが, この低重力異常も, 15測線以北では不明瞭となる。③これに伴って等重力線も調査地北部では東西方向に変化し, この付近で基盤構造の変化が推定される。

調査地北西部の重力急傾斜帯についてみると, 南東方向に $5 \sim 10 \text{ mgal/Km}$ で強く傾斜している。これは大局的には高密度基盤が南東方向に向って急傾斜していることを反映したものと考えられるが, 調査地付近には, 西から東に向って重力の低下する一般的傾向や, 地下深部における地質構造の変化も考えられ, これらのことを考慮する必要があるであろう。しかし, 本調査では, 調査範囲が狭すぎて, 現時点ではこれを明らかにすることはできない。

急傾斜帯には, 当然基盤が断層状に南東方向に落ち込んでいることも考えられ, 傾度の特に急な所がこれに相当するが, 9測線 \times 40付近から20測線 \times 38付近にかけて, 及び13測線 \times 38付近から36測線 \times 28付近にかけての急傾斜部がこれに相当するであろう。また, 調査地の北部や南西部では, 前者が北東方向に, 後者では南方向に急傾斜帯の方向が変化する傾向がみられ, これはこの付近で基盤構造がそれぞれの方向に変化するためであろう。

調査地中央の低重力異常は, 幅 $1 \sim 2 \text{ Km}$, 延長 10 Km 以上の南西方向に開いた細長い低異常を示し, 南西方向に徐々に重力が低くなる傾向がみられる。しかし, この低異常内にも18 \sim 26測線の \times 20付近を中心とした地区, 17 \sim 20測線の \times 4付近, 25測線 \times 10付近, 32測線 \times 14付近, 及び36測線 \times 14付近には重力の局所的な低下部があり, 基盤の局所的なくぼみや, 密度の低下帯が推定される。

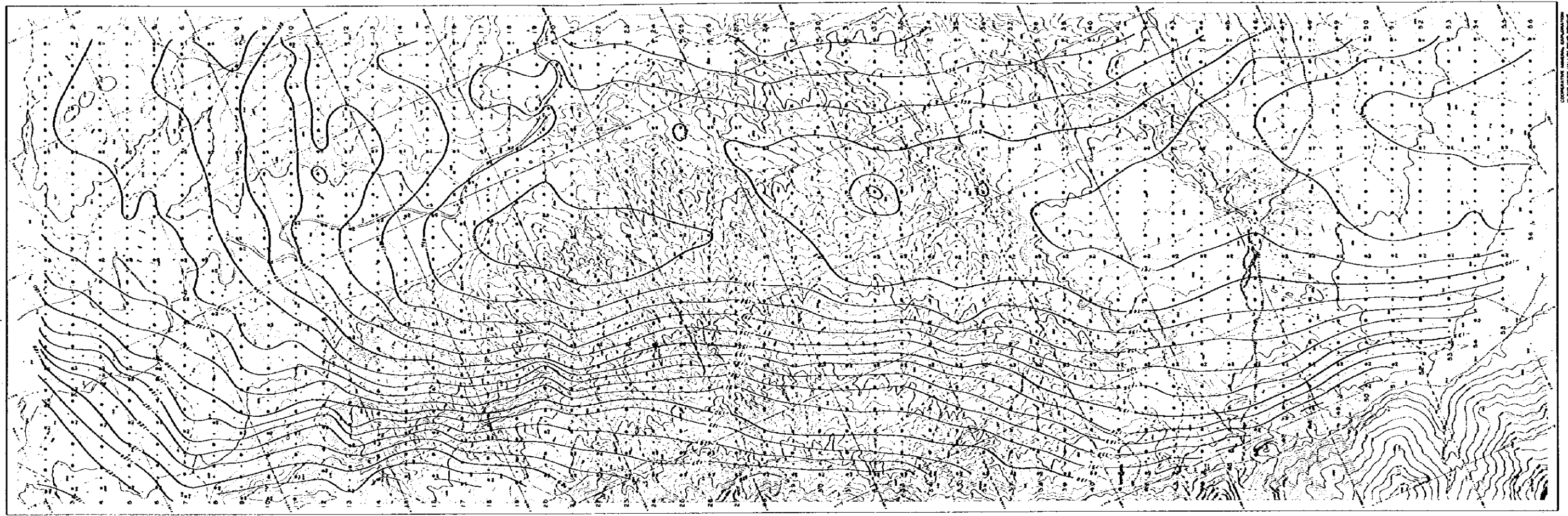
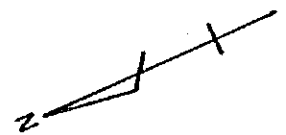


図2-5 プーゲ異常図 ($\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$)

LEGEND

- Magnetic Declination Point in Meter
- Magnetic Intensity Observation Point in Meter
- 1 mgal
- - - 5 mgal

2. 正規構造

ブーグ異常図には、地下深部や調査地付近の大規模な地質構造を反映した長波長を示す異常、鉍床探査に直接関係しているであろう断層や、小～中規模の貫入岩類などを反映する中波長の異常、また、測定の精度や小規模な補正できない地形などによる、ノイズに相当する短波長の異常が含まれている。これらの各種の異常から、目的とする地質構造を最もよく反映するような波長からなる異常を検出するのがフィルター解析である。今回の調査では、測線間隔が 250 m、測点間隔が 200 m であること、目的とするクロム鉍床を胚胎するであろう超塩基性岩の規模が 500 m 程度であることなどから、波長 1Km 程度の異常を検出した。これが余剰重力図第 4 図、図 2-6 である。

これによると、余剰重力の正異常が、重力の急傾斜帯に NE-SW 方向に連なって分布し、低重力異常帯にも NE-SW~NNE-SSW 方向並びに調査地北部で、ENE-WSW 方向の異常が検出された。一方、調査地南部にも NW-SE 方向に若干の正異常が検出されており、これらは、基盤の断層状構造や、高密度貫入岩体の潜在を示唆している。

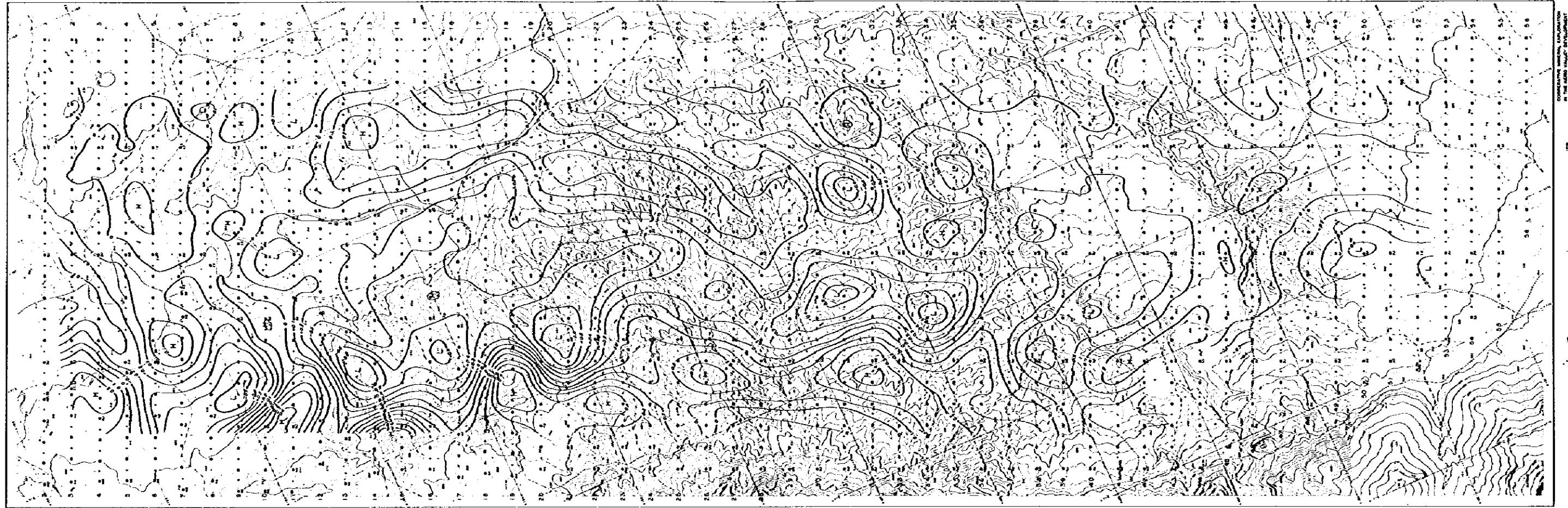
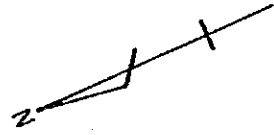
余剰重力の負異常は、正異常と対をなして分布するが、大局的には基盤のくぼみや、基盤や被覆層の低密度帯を反映しているものと考ええる。

2-2-4 解析結果

重力分布から地下構造を定量的に解析するには、分布する岩石の密度分布が試錐等で、ある程度明らかになっていなければならない。本調査地のように、西部での基盤岩の露出は明らかであるが、第四紀層の厚く堆積する東部の基盤岩の深度が不明で、しかも重力分布に大規模な地質構造を反映した傾向がみられる場合などは、定量的な基盤の解析に誤差が生じる。

本調査においては、このような状況下において、密度差が最も明瞭である基盤岩とその被覆層との 2 層からなる地質構造を仮定し、基盤の地下形態を解析した。この際、基盤の平均密度を 2.6 g/cm^3 とし、第四紀の崖錐堆積物や、河床砂礫などの未固結被覆層を 1.6 g/cm^3 と仮定し、従って密度差 1.0 g/cm^3 とした。また、密度差 0.8 及び 1.2 g/cm^3 の場合での基盤構造も解析断面に併せて記入してあるので、ボーリング等で基盤構造が明らかになった場合の参考になるであろう。

第 6、7 図及び図 3-1、3-2 に基盤の深度図を示した。これによると基盤岩は、 $10 \sim 20$ 度で調査地中央に向って傾斜し、基盤が地表下 100m に達するのは基盤の露出



中国科学院地球物理研究所
 地质研究所
 地质研究所
 地质研究所

图2-6 余剩重力图

LEGEND

- ⊙ Magnetic Observation Point and its Number
- ⊙ Magnetic and Gravity Observation Point and its Number
- 0 mgal
- 0 mgal

する山際にはほぼ平行して、これより1～1.5Kmである。基盤は全体に調査地中央でくぼんだ舟状構造をしており、しかも、調査地の南側で基盤は深く、27測線から南側では、基盤は地表下200mに達する。また、調査地で最も深い250m以深の基盤のくぼみは35測線から45測線の中央部及び48測線から52測線の東側に解析された。一方基盤の全般的にくぼんだ調査地中央には、基盤の若干の盛り上がり、張り出し、又は周辺より密度の高い地質構造が解析された。盛り上がりとして、12測線の610付近から30測線の620付近、張り出し部として、6測線610付近、20測線626付近、40測線626付近、44測線630付近、及び47測線616付近を指摘できる。これらの異常は余剰重力の正異常として検出された場所でもあり、高密度貫入岩の潜在帯かもしれない。

2-2-5 ま と め

① 調査地付近に分布する採取したサンプルの岩石密度の平均は、クロム鉱石を除いて自然状態で 2.69 g/cm^3 、湿潤状態で 2.71 g/cm^3 であり、これらの亀裂やブーグ異常図の地形との相関等を考慮して、調査地の岩石の平均密度を 2.60 g/cm^3 とするのが妥当と考える。ちなみにクロム鉱石は 3.84 g/cm^3 、玄武岩類は 2.80 g/cm^3 、蛇紋岩類 2.69 g/cm^3 、並びにBasement 基盤を構成するモザンビーク変成岩類は $2.57 \sim 3.07 \text{ g/cm}^3$ である。一方、第四紀の末固結層の密度を推定することは極めて困難であるが、かなり多くの礫を含んでいる事等から 1.6 g/cm^3 程度が推定される。従って、大局的には調査地の密度構造は基盤岩類とこの被覆層の2層から構成されていると考えてよい。

② 調査地のブーグ異常は、基盤の地質構造を極めて良く反映する。すなわち、調査地西側は各所に推定される断層状構造を反映して、重力の急傾斜帯を形成し、基盤が南東方向に急傾斜していることを示している。また、調査地の中央部には低ブーグ異常が細長く南方に開いて分布し、基盤の舟状構造が推定される。一方、調査地の北部では、等重力線が東西方向に変わることから、地質構造の東西方向の変化が推定される。

③ 波長約1Kmの余剰重力異常には、小～中規模の高密度岩類や断層構造の反映と考えられる正異常が検出され、調査地西部では断層状構造を、中央部では、基盤の局部的な隆起部や貫入岩の潜在を示唆する。

④ 調査地の密度基盤は、調査地中央に向って徐々に深くなり、地表下250m以深に達するものと考えられる。この凹地には数10mの若干の基盤の盛り上がりが見られ、余剰重力の正異常とはほぼ一致する。

2-3 磁気探査

2-3-1 調査方法

1. 測定計画

測点配置を第1図、図2-1に示した。計画測点は2,155点であったが、実際測定した測点は2,170点であった。

調査面積は60 Km²である。重力探査で設定した測線上に測点間隔100 mで実施した。

2. 磁力計

Scintrex MP-2型 プロトン磁力計を使用した。

MP-2型 プロトン磁力計の仕様を下記に示す。

分解能	1 nT
精度	±1 nT
測定レンジ	20,000 ~ 100,000 nT (25段)

<プロトン磁力計について>

地球磁界の測定に核磁気共鳴型磁力計が用いられるようになって久しいが、近年計器の小型化、デジタル表示化などにより、急峻地形の野外調査に好能率で利用されるようになった。

核磁気共鳴型磁力計は、水素の原子核(Proton)の磁気回転特性を利用したものであり、プロトンが地球磁界の中でコマのような動き(自由才差運動)をするときの周期を測定することによって、地球磁界の強さを測定しようとするものである。

プロトンは水、ケロシン、アルコールなどに豊富に存在するため、これを封入した容器にコイル(検出素子又は励起コイル)を巻き、一時的に地球磁界より大きな磁界(励起磁界)を加えるとプロトンは励起磁界の方向に整列する。次に、電流を切り、励起磁界を取り去ると、地球磁界の中で才差運動を行う。このときの才差運動の周波数 f と、外部磁界の強さ H_0 との間には次の式が成り立つ。

$$H_0 = 2 \pi f / \gamma$$

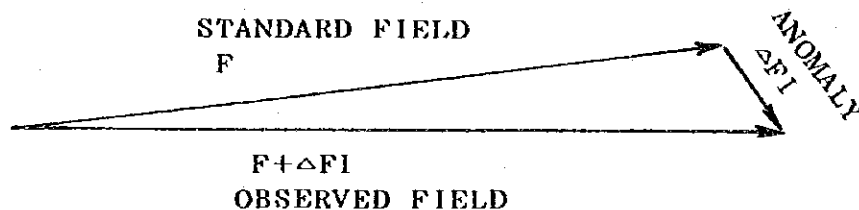
ここに、 γ は磁気回転比(磁気能率/角運動量)と呼ばれ、核の種類によってきまる物

理常数である。(プロトンでは0.26752)

このようにして、同一の励起コイルにより、地球磁場に比例した周波数を測定することができる。

3. 磁気異常

測定される地球磁界の強さは、方向に無関係な地球磁界ベクトルの大きさ(スカラー量)であり、その点での標準磁力と、真の磁気異常とのベクトル合成を意味している。



特に、地表磁気探査の場合で、磁気異常が測定器に近く、かつ強い場合には、全磁力の偏倚は全磁力の異常に対応しないが、磁気異常物体による非対称アノマリーの解析により、十分に分布形態を考察することが出来る。

異常の波長が長い場合は、異常物体の頂部の深度が深いか、その幅が広い場合であり、磁気異常の変化からその深度、形態、帯磁率の差を定量的に算出することが出来る。

一方、異常の波長が短いものは、地表付近の異常物体によるものが多く、特に急変する場合は、人工構築物の影響を注意しなければならない。

4. 日変化補正

磁気探査では、日変化と短周期変化の補正が必要なおことがある。即ち、調査期間が長く、測定される異常が小さい場合とか、磁気高緯度帯でオーロラによる磁気パルスが生じる場合などである。

本調査では、基準点を定め、長周期、短周期の磁気変化を補正し、また磁気嵐を監視するため、磁気探査実施時間帯の磁気観測を15分間隔でおこなった。この結果を図2-7に示した。これによると、1日の間におこる短周期の磁気変化は50nT以下であったが、調査期間中の長周期の磁気変化では100nT以上であり、決して小さい値ではなかった。従って全測定値に日変化、経時変化補正を実施した。

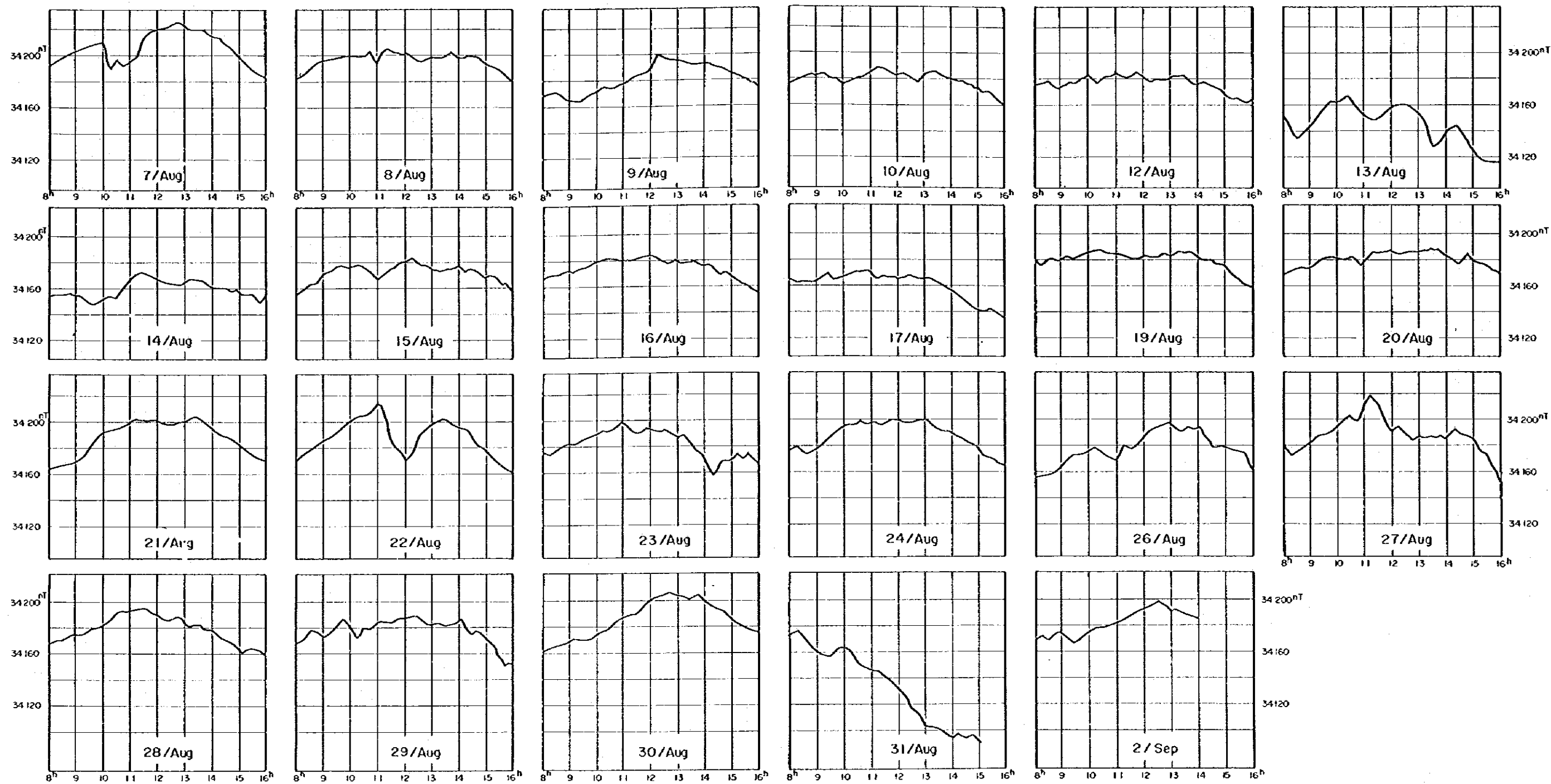


図2-7 ワコール基点における磁気変化(7月7日~9月2日)

表2-4(1) 基点における磁気観測値

TIME	Diurnal Variation (nT)							
	7/AUG	8/AUG	9/AUG	10/AUG	12/AUG	13/AUG	14/AUG	15/AUG
8:00	34193	34184	34168	34176	34176	34155	34156	34155
8:15	34196	34185	34169	34179	34176	34137	34156	34158
8:30	34198	34189	34170	34181	34177	34135	34155	34164
8:45	34202	34194	34170	34183	34174	34139	34157	34164
9:00	34204	34196	34164	34183	34174	34145	34155	34171
9:15	34206	34197	34166	34184	34177	34152	34154	34173
9:30	34208	34198	34166	34182	34178	34159	34148	34177
9:45	34210	34199	34169	34180	34181	34164	34148	34176
10:00	34211	34199	34172	34177	34186	34164	34152	34177
10:15	34201	34199	34175	34178	34177	34163	34155	34177
10:30	34206	34200	34175	34181	34181	34165	34155	34176
10:45	34203	34203	34176	34182	34183	34165	34159	34172
11:00	34206	34194	34178	34186	34185	34158	34166	34167
11:15	34209	34204	34181	34189	34182	34150	34171	34170
11:30	34215	34206	34184	34189	34182	34149	34172	34175
11:45	34219	34201	34186	34187	34185	34150	34169	34179
12:00	34221	34201	34188	34184	34182	34153	34168	34181
12:15	34222	34201	34199	34184	34178	34158	34165	34182
12:30	34224	34196	34198	34182	34180	34160	34164	34180
12:45	34225	34196	34196	34178	34180	34161	34164	34178
13:00	34223	34198	34194	34185	34183	34159	34164	34175
13:15	34220	34198	34195	34186	34183	34154	34167	34174
13:30	34221	34199	34193	34186	34183	34145	34166	34174
13:45	34220	34202	34192	34182	34178	34129	34165	34176
14:00	34215	34199	34192	34180	34177	34130	34162	34176
14:15	34212	34200	34193	34179	34178	34137	34161	34174
14:30	34209	34199	34190	34179	34176	34144	34160	34170
14:45	34205	34198	34188	34176	34174	34142	34158	34172
15:00	34199	34194	34186	34173	34169	34132	34159	34168
15:15	34194	34190	34184	34170	34166	34126	34155	34169
15:30	34190	34188	34182	34170	34167	34118	34156	34164
15:45	34187	34186	34178	34167	34163	34117	34150	34164
16:00	34184	34178	34176	34161	34166	34116	34155	34157
16:15		34177	34174	34156	34158	34115	34149	34149
16:30			34169	34154	34157	34113	34146	

表2-4(2) 基点における磁気観測値

TIME	Diurnal Variation (nT)							
	16/AUG	17/AUG	19/AUG	20/AUG	21/AUG	22/AUG	23/AUG	24/AUG
8:00	34167	34166	34180	34170	34164	34170	34176	34177
8:15	34169	34163	34176	34172	34165	34174	34174	34178
8:30	34171	34163	34179	34173	34167	34179	34176	34179
8:45	34172	34163	34181	34174	34168	34182	34178	34176
9:00	34173	34164	34181	34175	34169	34186	34182	34177
9:15	34172	34166	34183	34179	34174	34188	34182	34182
9:30	34175	34169	34182	34183	34182	34194	34186	34186
9:45	34177	34165	34184	34183	34188	34198	34186	34189
10:00	34180	34167	34185	34181	34192	34202	34189	34195
10:15	34182	34169	34187	34181	34194	34203	34190	34197
10:30	34182	34171	34187	34183	34196	34204	34192	34196
10:45	34182	34171	34185	34176	34197	34208	34195	34199
11:00	34180	34171	34185	34180	34200	34215	34198	34197
11:15	34181	34166	34184	34185	34202	34205	34196	34198
11:30	34181	34167	34182	34186	34201	34183	34187	34196
11:45	34183	34167	34181	34186	34201	34178	34192	34198
12:00	34184	34166	34182	34187	34202	34170	34194	34200
12:15	34184	34166	34183	34185	34199	34174	34192	34199
12:30	34181	34168	34182	34186	34198	34190	34192	34198
12:45	34179	34166	34184	34186	34199	34194	34192	34199
13:00	34180	34166	34183	34187	34200	34197	34190	34199
13:15	34179	34165	34185	34187	34203	34200	34186	34200
13:30	34179	34162	34186	34188	34203	34201	34187	34195
13:45	34180	34159	34186	34188	34200	34199	34181	34193
14:00	34176	34157	34184	34181	34196	34197	34174	34190
14:15	34176	34152	34180	34180	34190	34197	34171	34188
14:30	34175	34149	34181	34178	34189	34189	34159	34185
14:45	34171	34145	34177	34185	34186	34180	34160	34182
15:00	34170	34141	34175	34178	34183	34178	34169	34178
15:15	34165	34140	34170	34177	34179	34173	34168	34173
15:30	34161	34142	34166	34175	34174	34166	34175	34171
15:45	34159	34140	34160	34172	34172	34163	34172	34167
16:00	34157	34135	34158	34167	34170	34161	34169	34165
16:15	34156	34145	34157	34159	34167	34160	34166	34160
16:30	34154	34144	34155	34154	34164	34158	34160	34156

表 2 - 4 (3) 基点における磁気観測値

TIME	Diurnal Variation (nT)						
	26/AUG	27/AUG	28/AUG	29/AUG	30/AUG	31/AUG	2/SEP
8:00	34155	34179	34168	34167	34161	34174	34170
8:15	34156	34173	34170	34170	34163	34176	34171
8:30	34157	34175	34171	34177	34164	34170	34169
8:45	34159	34178	34173	34177	34166	34166	34173
9:00	34164	34182	34175	34173	34168	34161	34175
9:15	34171	34187	34175	34176	34170	34158	34168
9:30	34172	34189	34179	34181	34170	34157	34167
9:45	34173	34391	34180	34186	34171	34164	34171
10:00	34175	34197	34182	34182	34173	34164	34175
10:15	34178	34200	34187	34170	34175	34161	34178
10:30	34176	34203	34192	34178	34178	34151	34179
10:45	34169	34199	34192	34180	34184	34148	34180
11:00	34168	34213	34193	34183	34186	34145	34183
11:15	34181	34217	34194	34185	34188	34146	34184
11:30	34179	34214	34195	34184	34189	34141	34188
11:45	34177	34197	34192	34186	34195	34138	34191
12:00	34185	34191	34190	34188	34200	34132	34193
12:15	34190	34193	34186	34189	34202	34126	34196
12:30	34193	34190	34186	34189	34204	34116	34197
12:45	34195	34183	34188	34185	34206	34112	34195
13:00	34197	34186	34186	34183	34203	34102	34190
13:15	34195	34186	34182	34184	34203	34102	34192
13:30	34191	34186	34182	34181	34201	34101	34188
13:45	34194	34187	34178	34182	34204	34096	34186
14:00	34193	34180	34177	34184	34200	34094	34185
14:15	34194	34191	34174	34185	34197	34096	
14:30	34180	34189	34168	34176	34193	34095	
14:45	34178	34187	34162	34177	34192	34096	
15:00	34179	34185	34163	34174	34187	34092	
15:15	34177	34175	34163	34168	34184	34085	
15:30	34176	34173	34162	34158	34180	34078	
15:45	34174	34163	34159	34150	34177	34081	
16:00	34165	34162	34158	34152	34175	34076	
16:15	34166	34151	34157		34167	34074	
16:30	34160	34149	34157		34165	34072	

2-3-2 解析方法

調査地の地磁気(全磁力 34,000nT, 伏角 20°S)におけるプリズム, ダイク及びステップモデルでの標準曲線を作成し, これらの曲線と測定した典型的な磁気異常曲線とのカーブマッチング法により解析した。

計算したモデルカーブの一部を図 2-8, 2-9, 2-10に示した。また, 解析に用いた計算式を次に示す。

$$\frac{F_p(x, 0, 0)}{I_p} = \left[\cos^2 \delta \tan^{-1} \left(\frac{\alpha_1 \beta_1}{r_0 h} \right) - \sin^2 \delta \tan^{-1} \left(\frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_1^2 + r_0 h + h^2} \right) + \sin \delta \cos \delta \cdot \log \right.$$

$$\left. \left(\frac{r_0 - \beta_1}{r_0 + \beta_1} \right) \right] \left| \begin{array}{l} \alpha_u \\ \alpha_l \end{array} \right| \begin{array}{l} \beta_u \\ \beta_l \end{array} \quad \begin{array}{l} I_p = XF \quad \delta = 90^\circ - I \\ r_0^2 = \alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h-z)^2, \alpha_1 = \alpha - x, \beta_1 = \beta - y \end{array}$$

- $F_p(x, 0, 0)$: 磁気異常(プリズム)
 I_p : 磁化の強さ
 X : 帯磁率
 F : 地球磁場の強さ
 I : 地球磁場の伏角
 h : 測定点から磁性岩体頂部までの深さ

$$\frac{F(x, 0, 0)}{I_p} = 2 C \sin d \left[\sin \phi \left(\tan^{-1} \frac{x+a}{h} - \tan^{-1} \frac{x-a}{h} \right) + I_n \frac{r_2}{r_1} \cos \phi \right]$$

$$C = 1 - \cos^2 I \cos^2 A \quad \phi = 2i - d, \quad i = \tan^{-1} (\tan I / \sin A)$$

$F_d(x, 0, 0)$: 磁気異常(ダイク)

- d : ダイクの傾斜角
 a : ダイクの半幅

$$r_1 = \sqrt{(x+a)^2 + b^2}, \quad r_2 = \sqrt{(x-a)^2 + b^2}$$

- x : ダイクの延長に対しての垂線

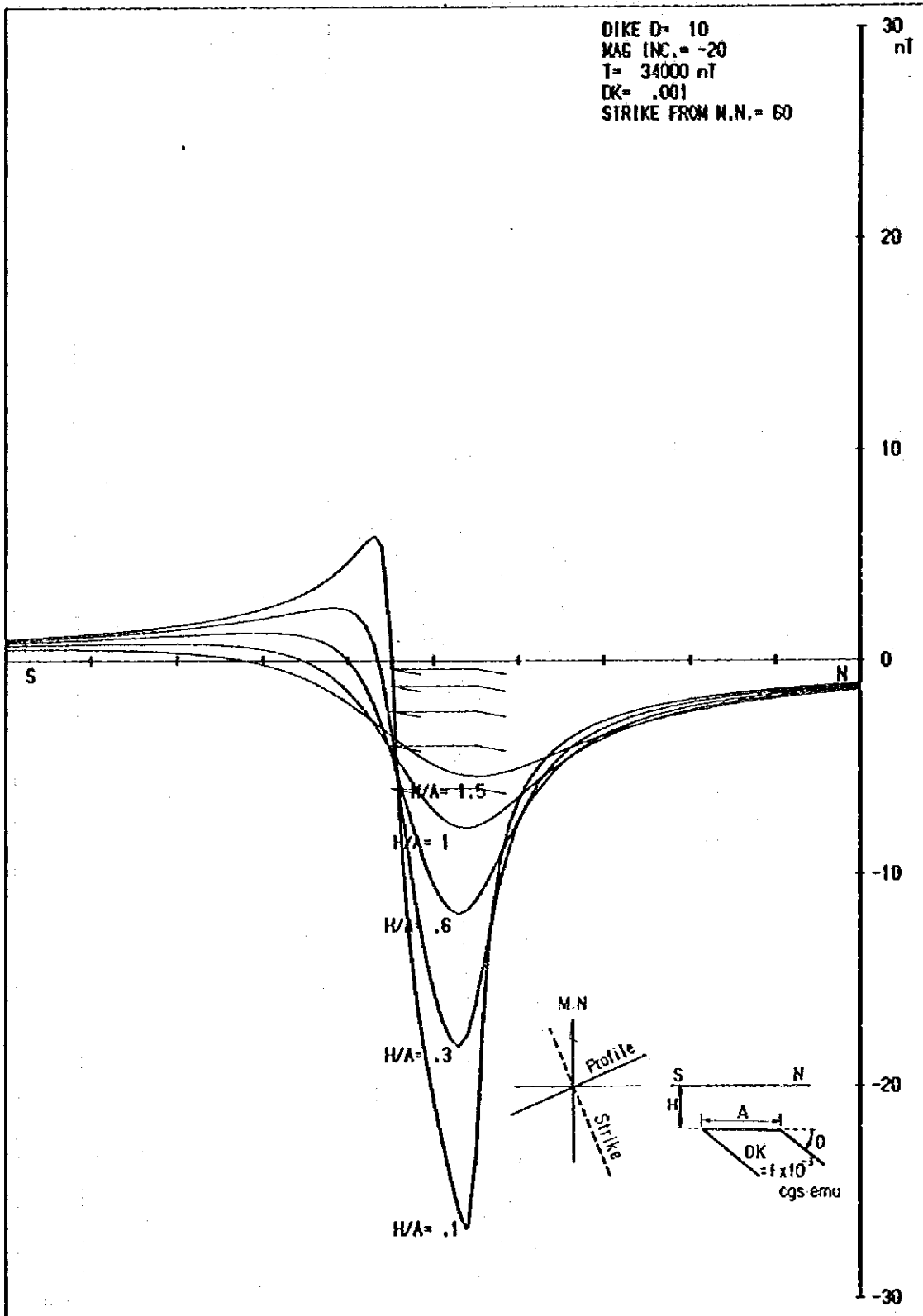


図2-8(i) 2次元ダイクモデルの磁気異常(伏角 -20°)

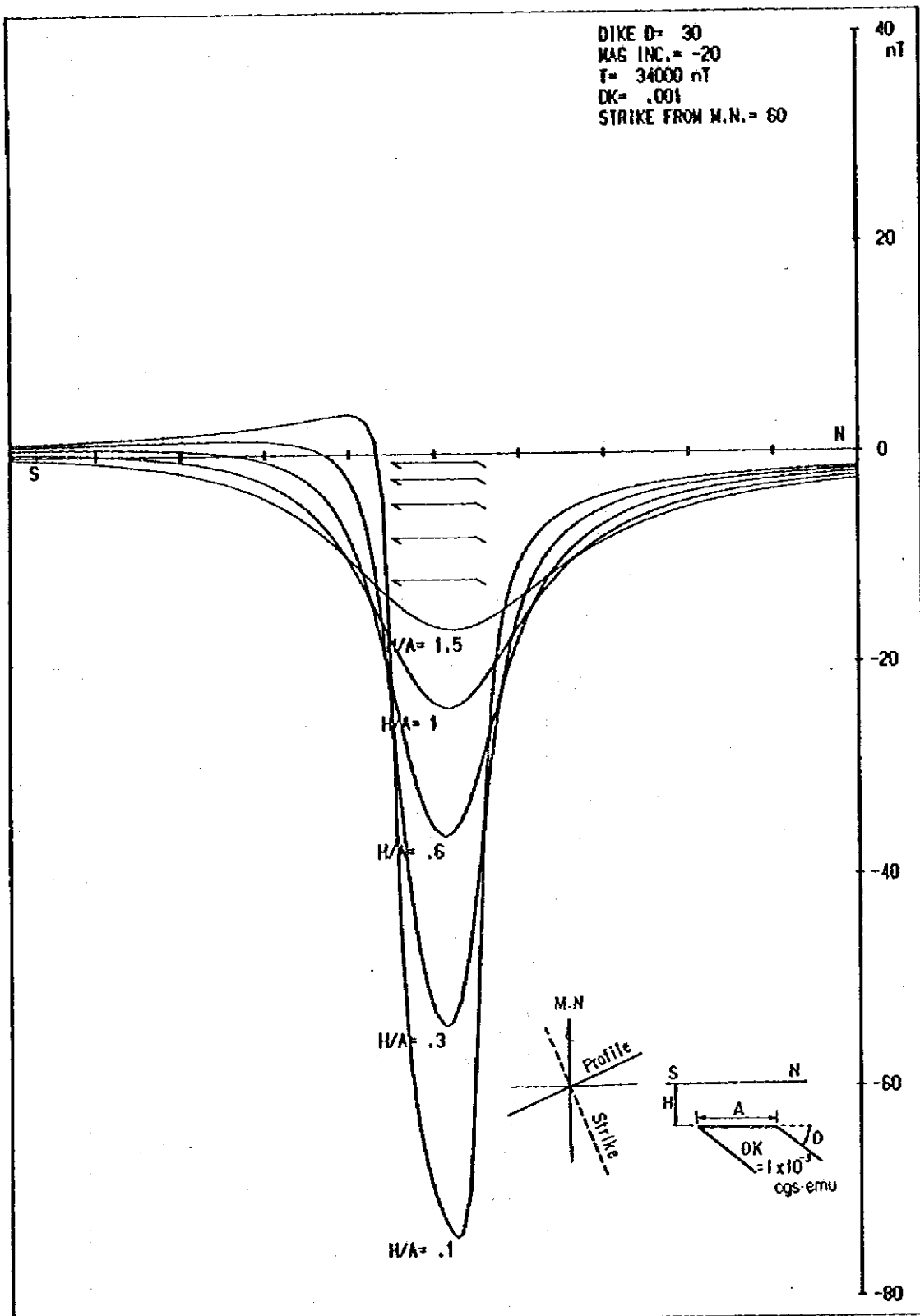


図 2-8 (2) 2次元ダイクモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

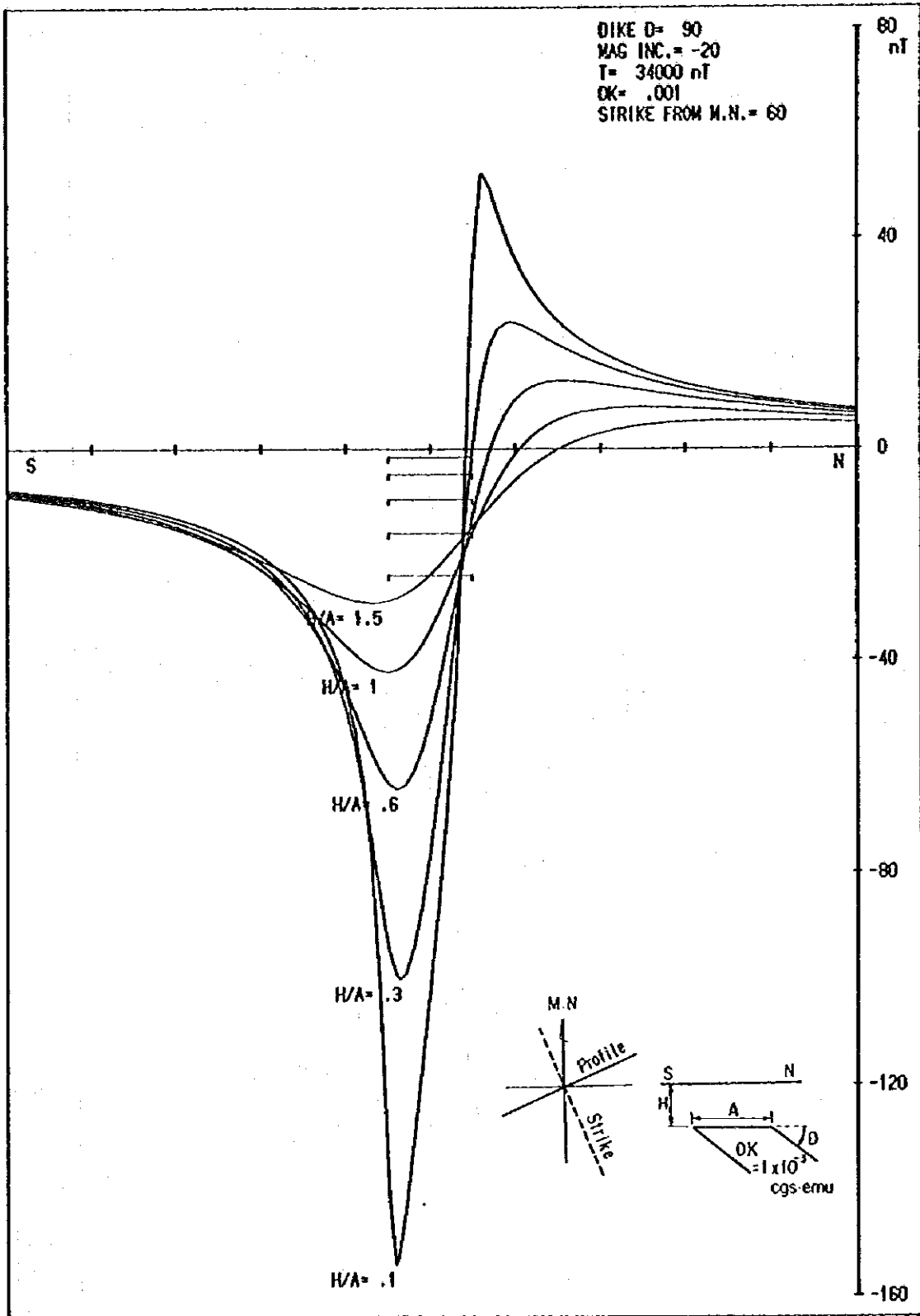


図2-8(3) 2次元ダイクモデルの磁気異常(伏角 -20°)

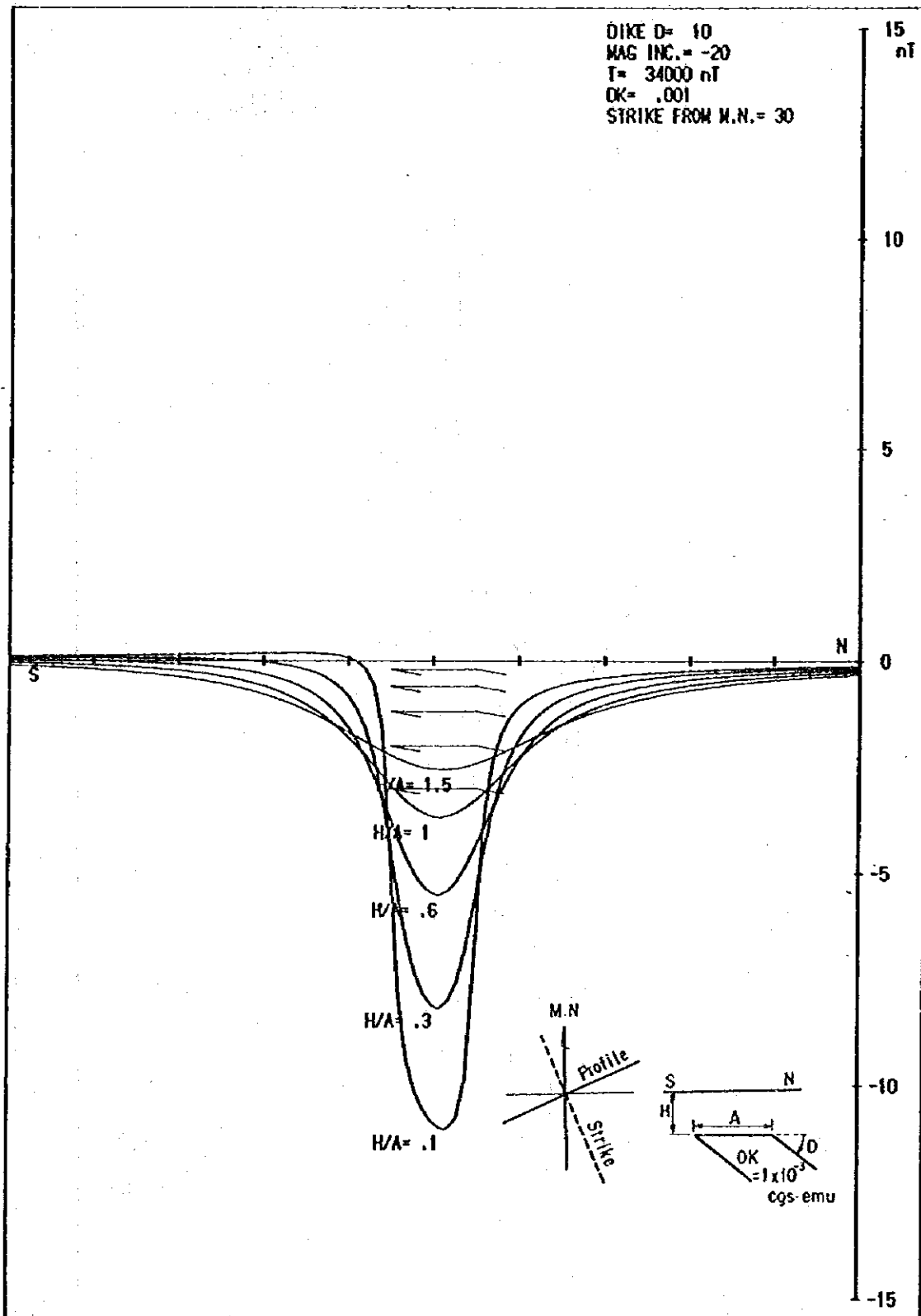


図 2-8(4) 2次元ダイクモデルの磁気異常(伏角 -20°)

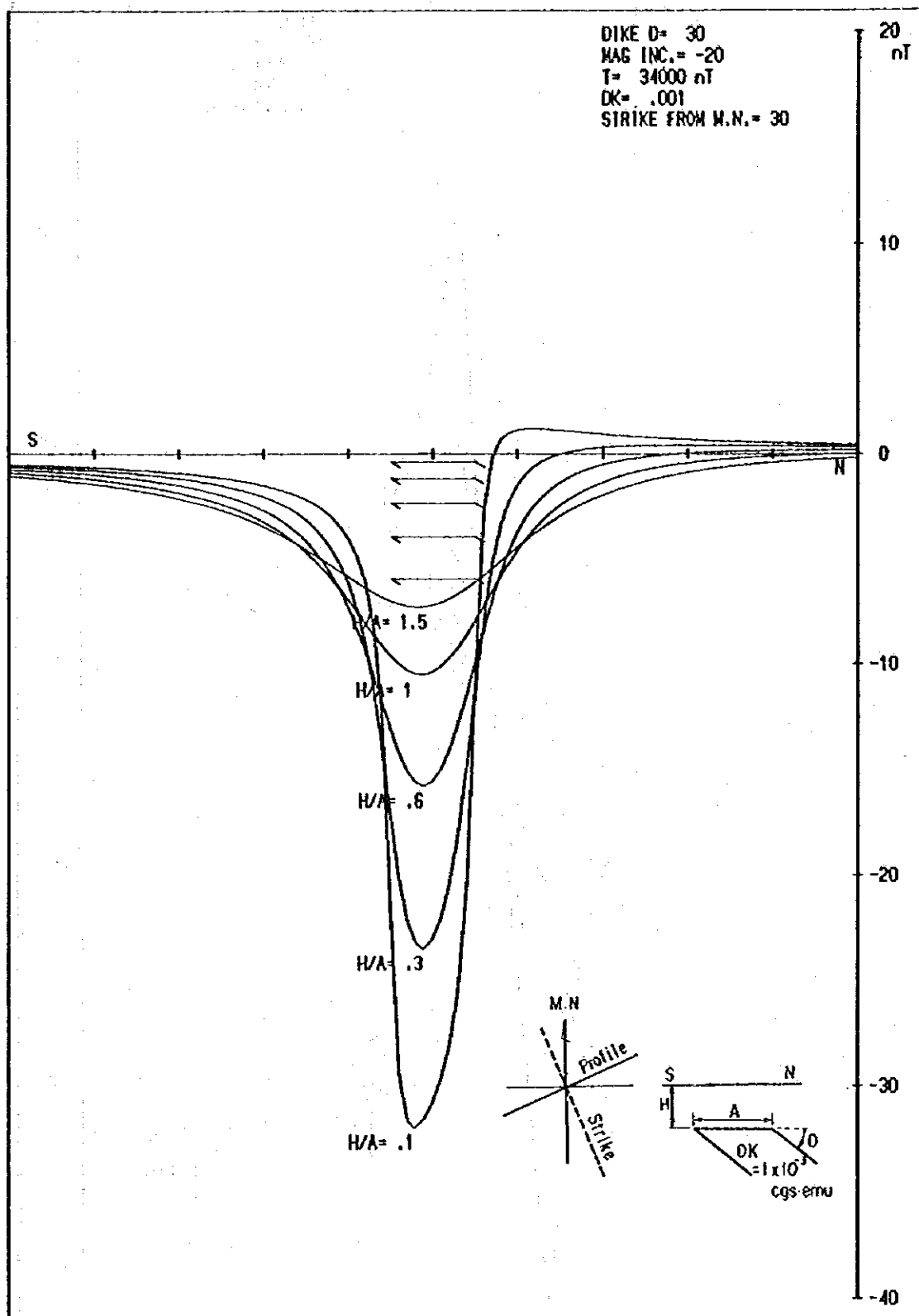


図 2-8(5) 2次元ダイクモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

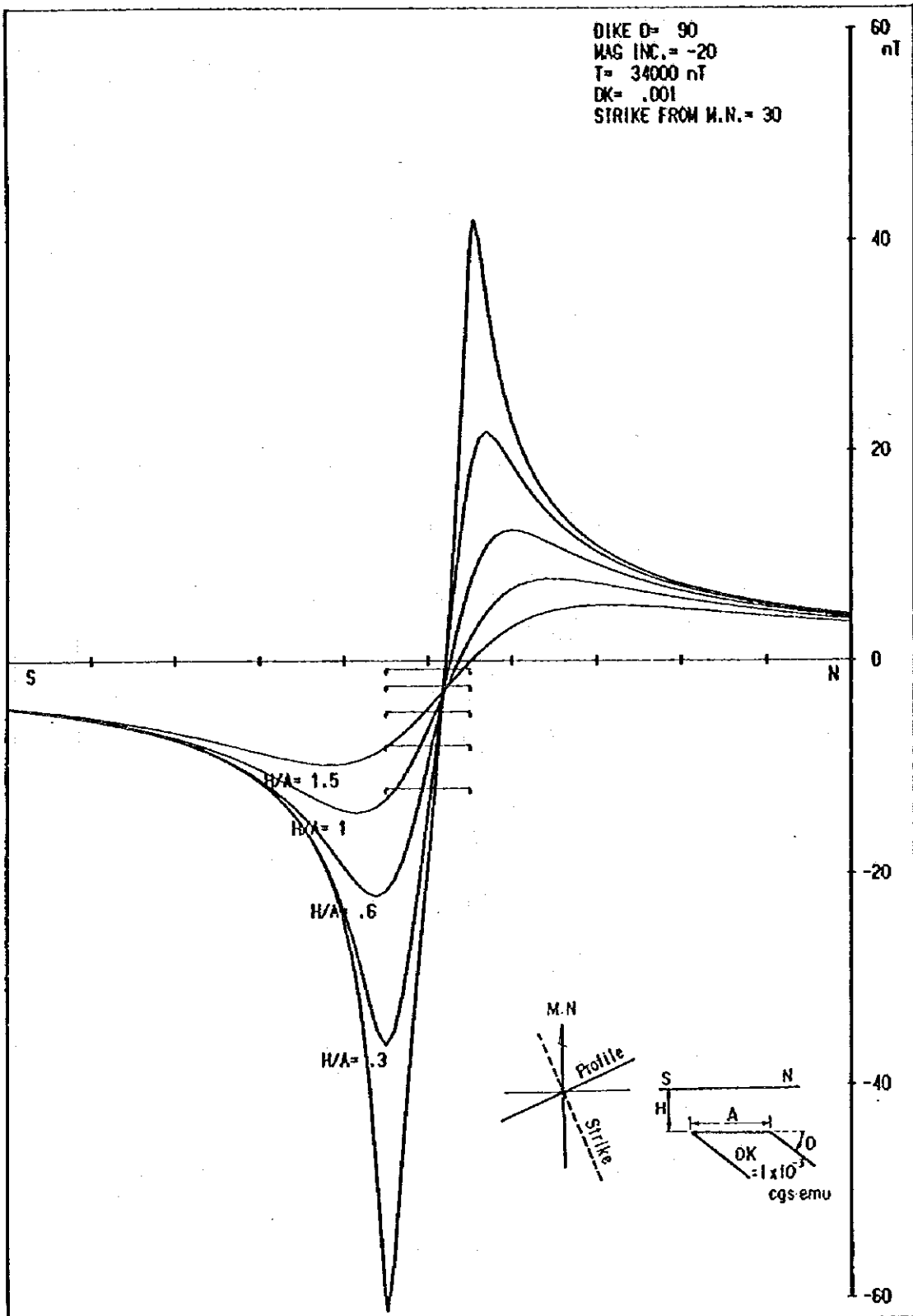


図 2-8 (6) 2次元ダイクモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

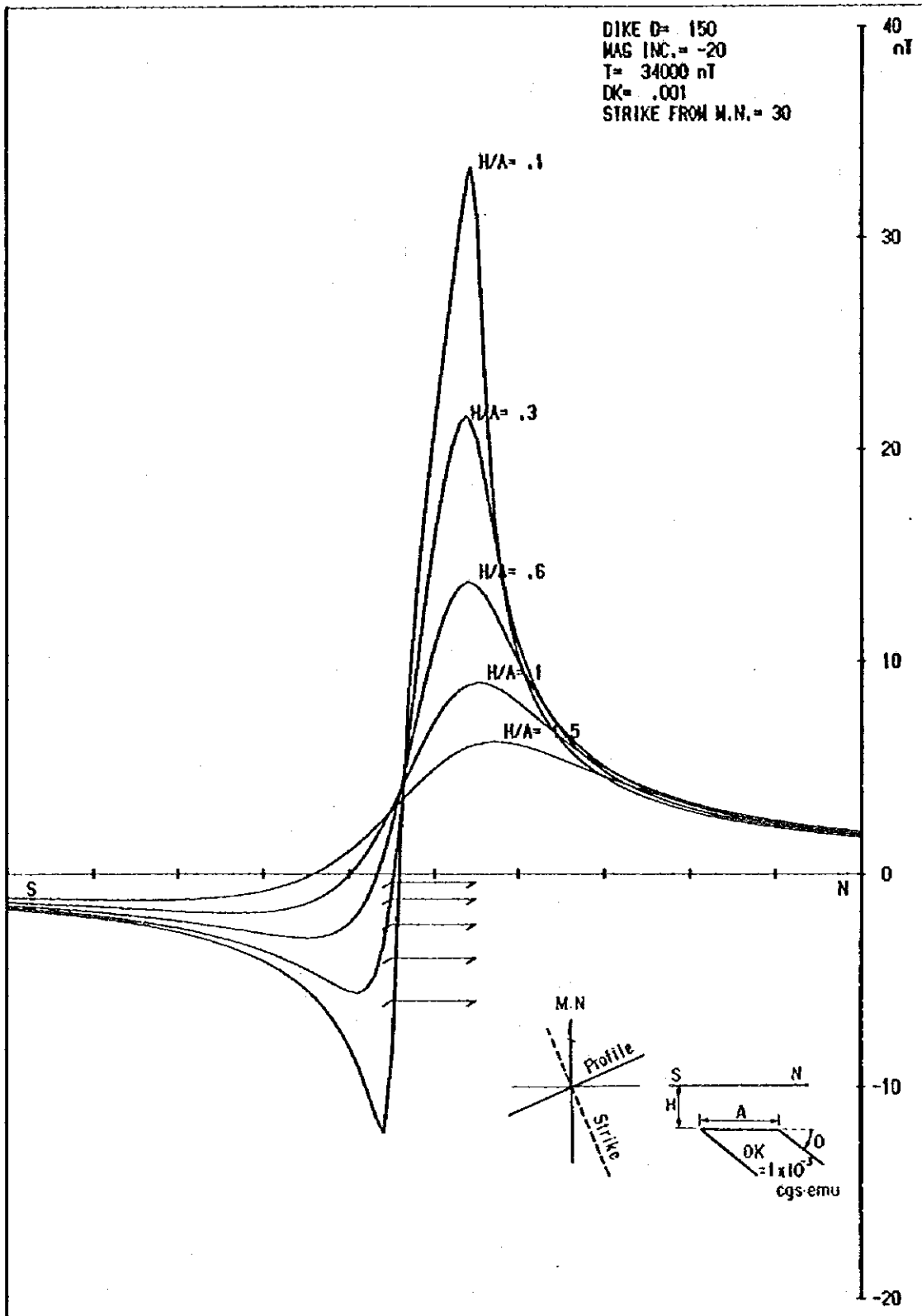


図 2-8(7) 2次元ダイクモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

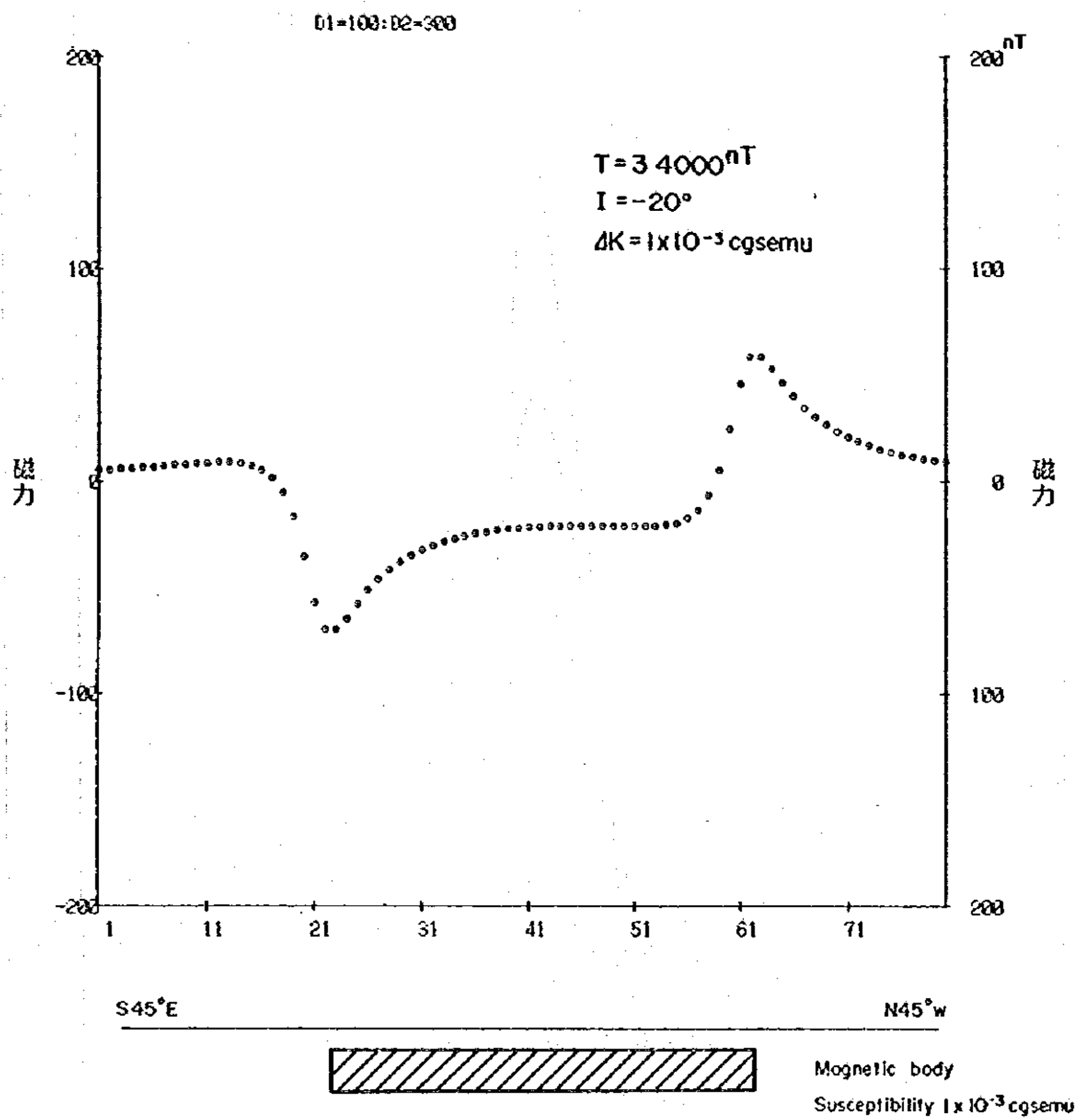


図 2 - 9 (1) シートモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

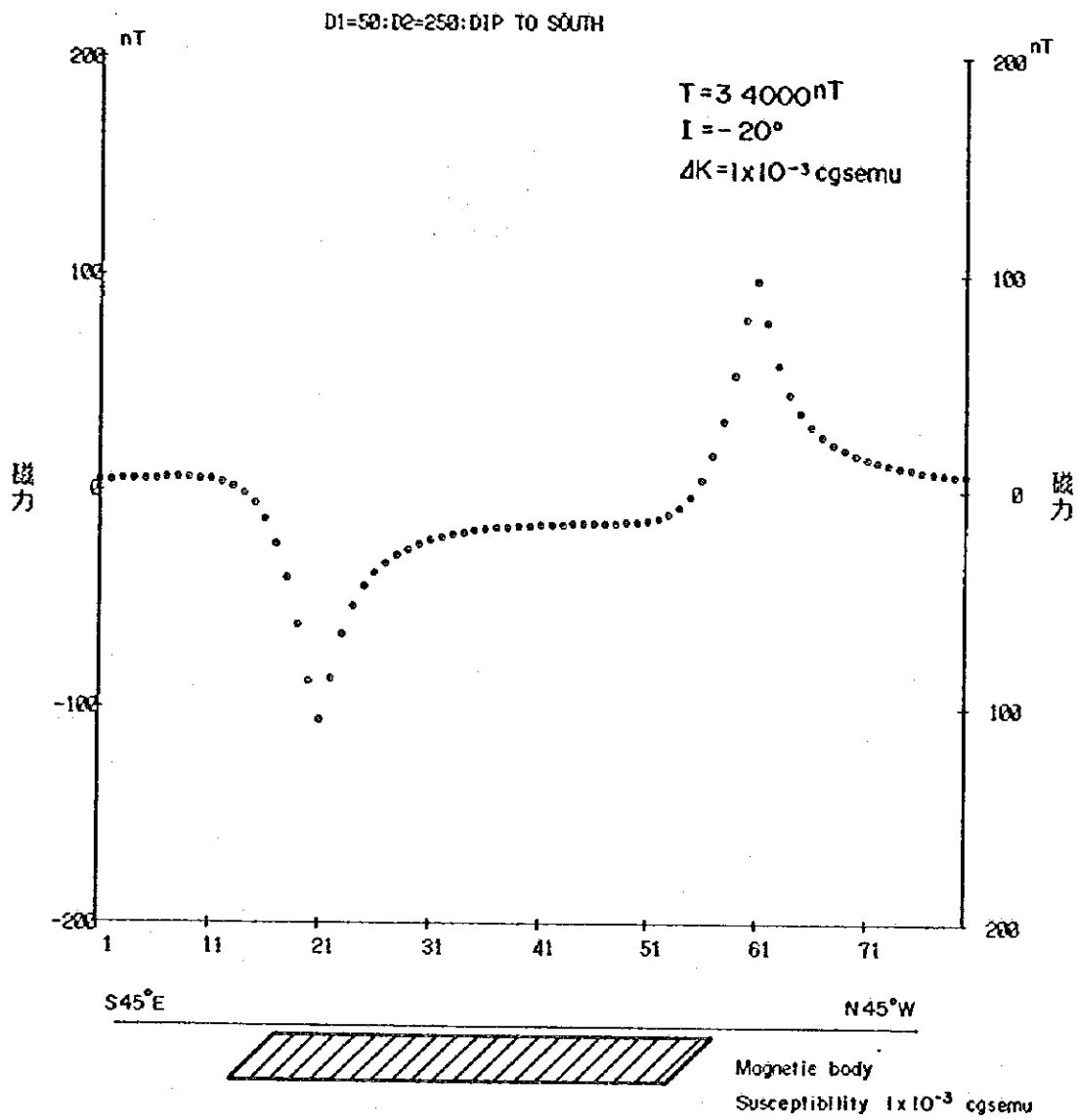


図 2-9 (3) シートモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

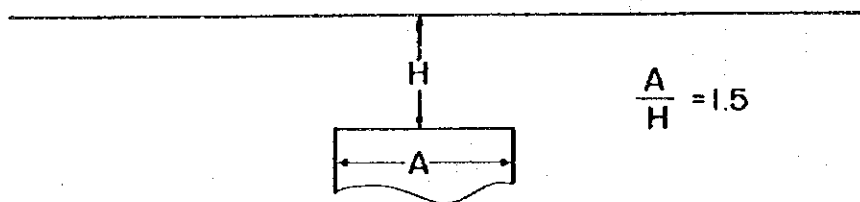
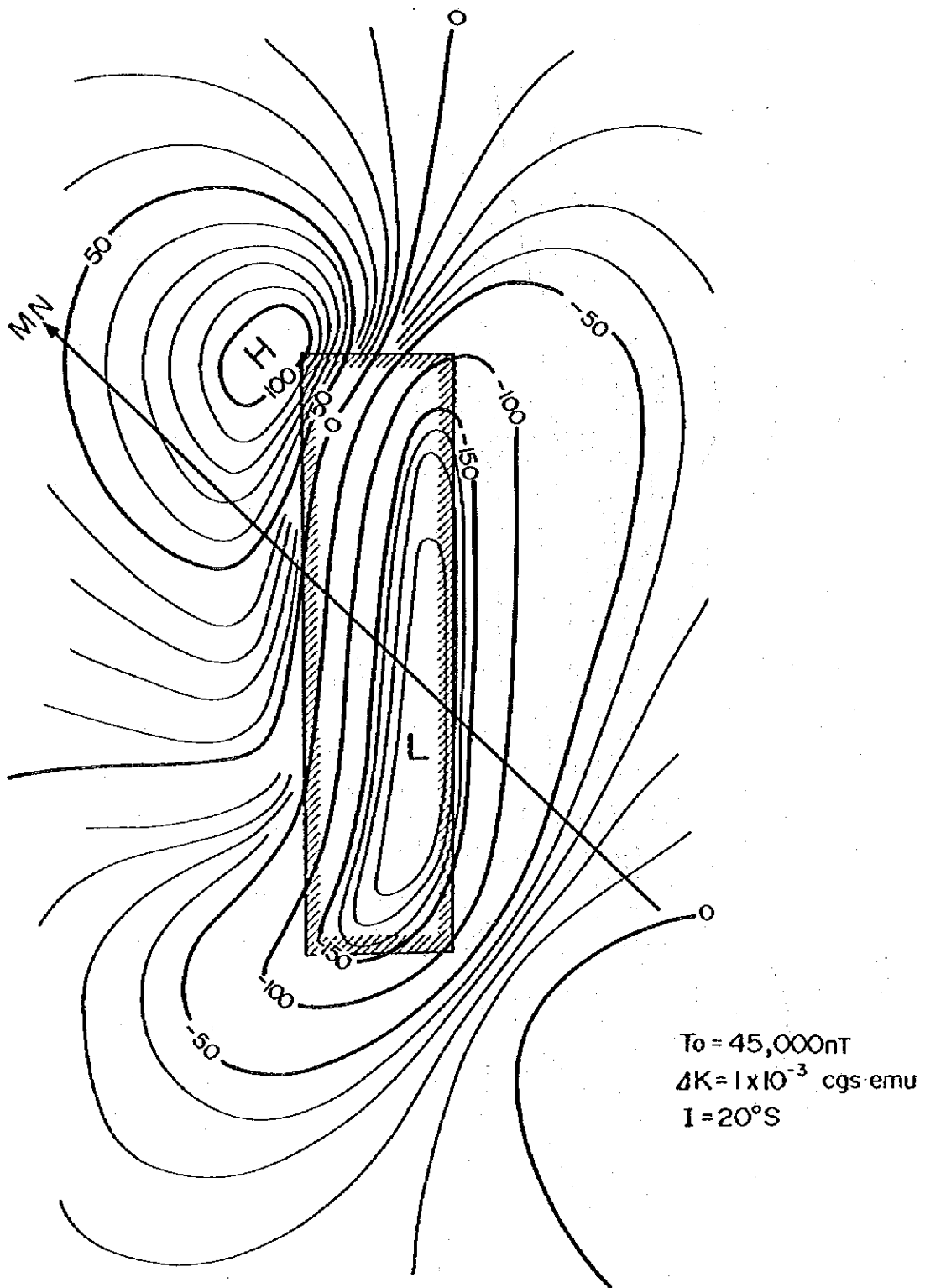
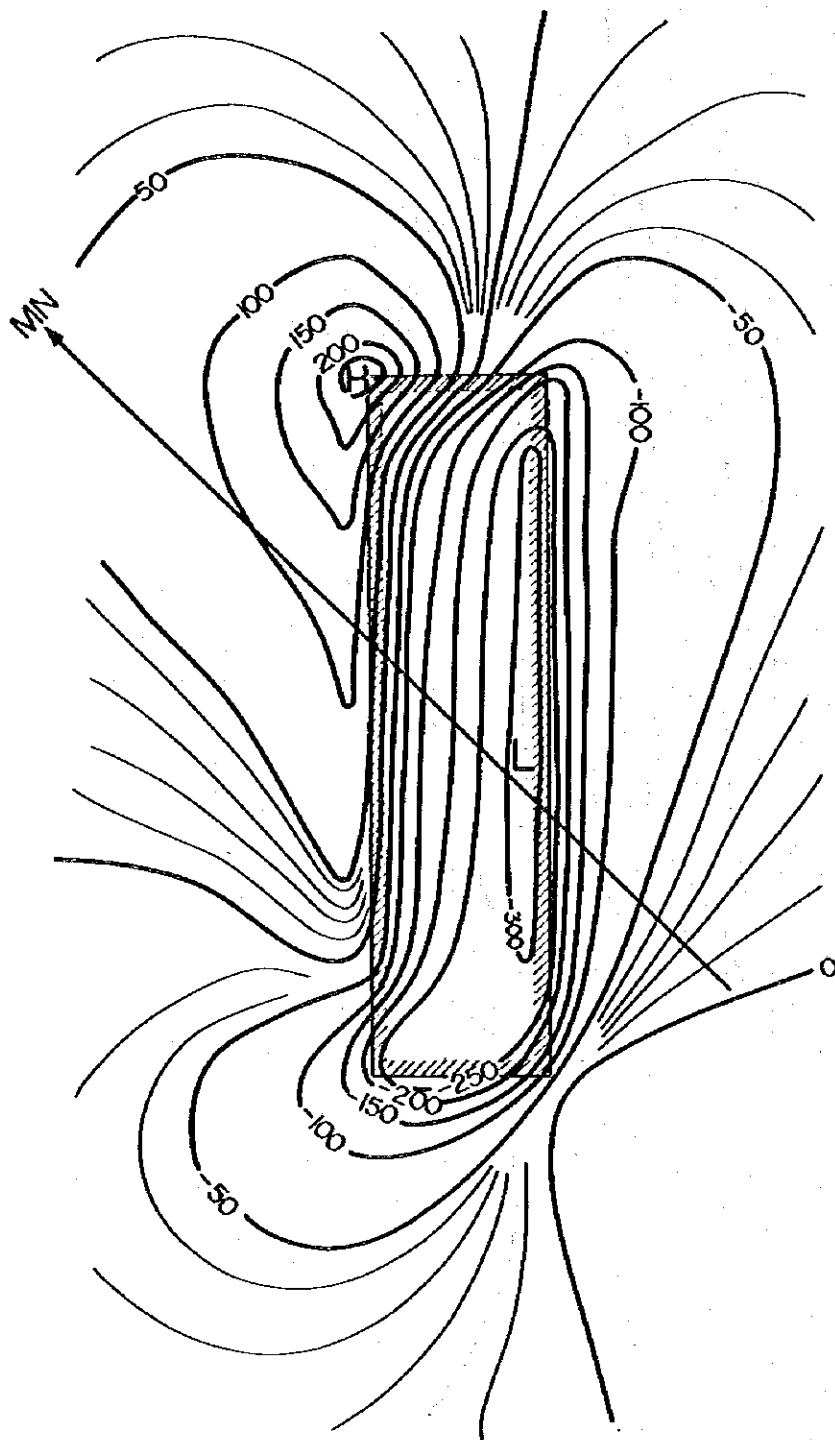


図 2-10 (i) プリズムモデルの磁気異常 (伏角 20°)



$T_0 = 45,000 \text{ nT}$
 $\Delta K = 1 \times 10^{-3} \text{ cgs} \cdot \text{emu}$
 $I = 20^\circ \text{ S}$

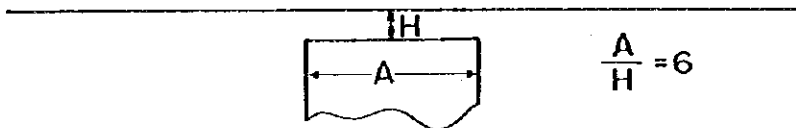


図 2-10 (2) プリズムモデルの磁気異常 (伏角 -20°)

2-3-3 調査結果

調査地の磁気異常は、最大値が9測線 $\#$ 29の35,637nT, 最小値が9測線 $\#$ 27の32,698nTであり、この差は2,939nTであった。しかし、平均的な調査地の磁力値は34000nT付近であろう。第5図及び図2-11に磁気異常分布を示した。

調査地には短周期の磁気異常が多く分布し、特に調査地北部には振幅が500nTを越えるような異常が各所に検出された。しかし、これらの短波長異常は、調査地北部では12測線 $\#$ 36付近からENE方向と、30測線 $\#$ 20付近からNE方向の2列にまとまって連なる。しかしこれらの異常群は調査地北東部で一所になる傾向がみられる。本調査地のような地磁気の高緯度地域(伏角 -20°)では磁性岩体の境界付近に強い磁気異常が現われる(図2-9参照)ことから、これらの一連の異常群は一つの大きな磁性岩体の境界を捉えているものと考えられる。

一方、調査地南部においても、北部の異常群に比べて強くはないが、最大振幅300nT程度の磁気異常群が検出された。この異常群は北側ではほぼN-S方向を示すが、南側ではNE-SW方向に連なる。本異常群も一つの磁性岩体の境界の一部を捉えているものと推定される。

2-3-4 解析結果

解析結果を第6図、図3-1、及び第7図、図3-2、図2-12(1)~(9)に示した。

磁気図に表現された磁気異常は、小規模な高異常・低異常からなる複雑な異常帯を形成している。調査地北東部に検出された異常帯は特に複雑であり、一つの大きな均質な磁性岩体を表わしているというよりも、実際には傾斜したり、帯磁率が局部的に大きく変化したり、自然残留磁気(Natural remanent magnetism NRM)を有したり、浅かったり、深かったりといったことが考えられる。このような複雑な磁気分布を示す場合の磁気解析には計算に限界があり、普通は一つの大きな均質な磁性岩体として解析する。このことから解析された磁性岩体は磁性を帯びた貫入岩を大局的につかんでいると考えた方がよい。一方、調査地のような地磁気伏角 20° S地域においては、磁性岩体に自然残留磁気がないとすると、岩体の北側境界において正の異常を、南側境界では負の異常を示す(図2-10参照)。また、正異常・負異常の大きさの比については、磁性岩体の傾斜の相違で変化する(図2-8参照)。

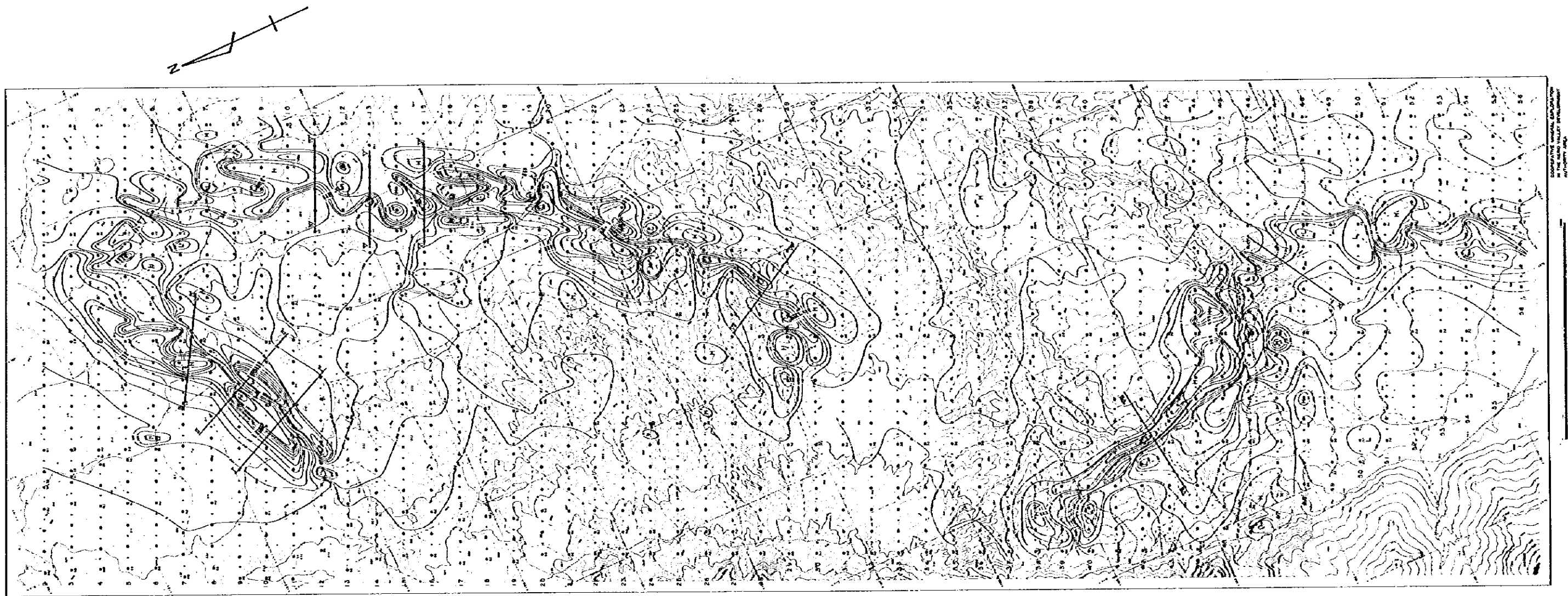
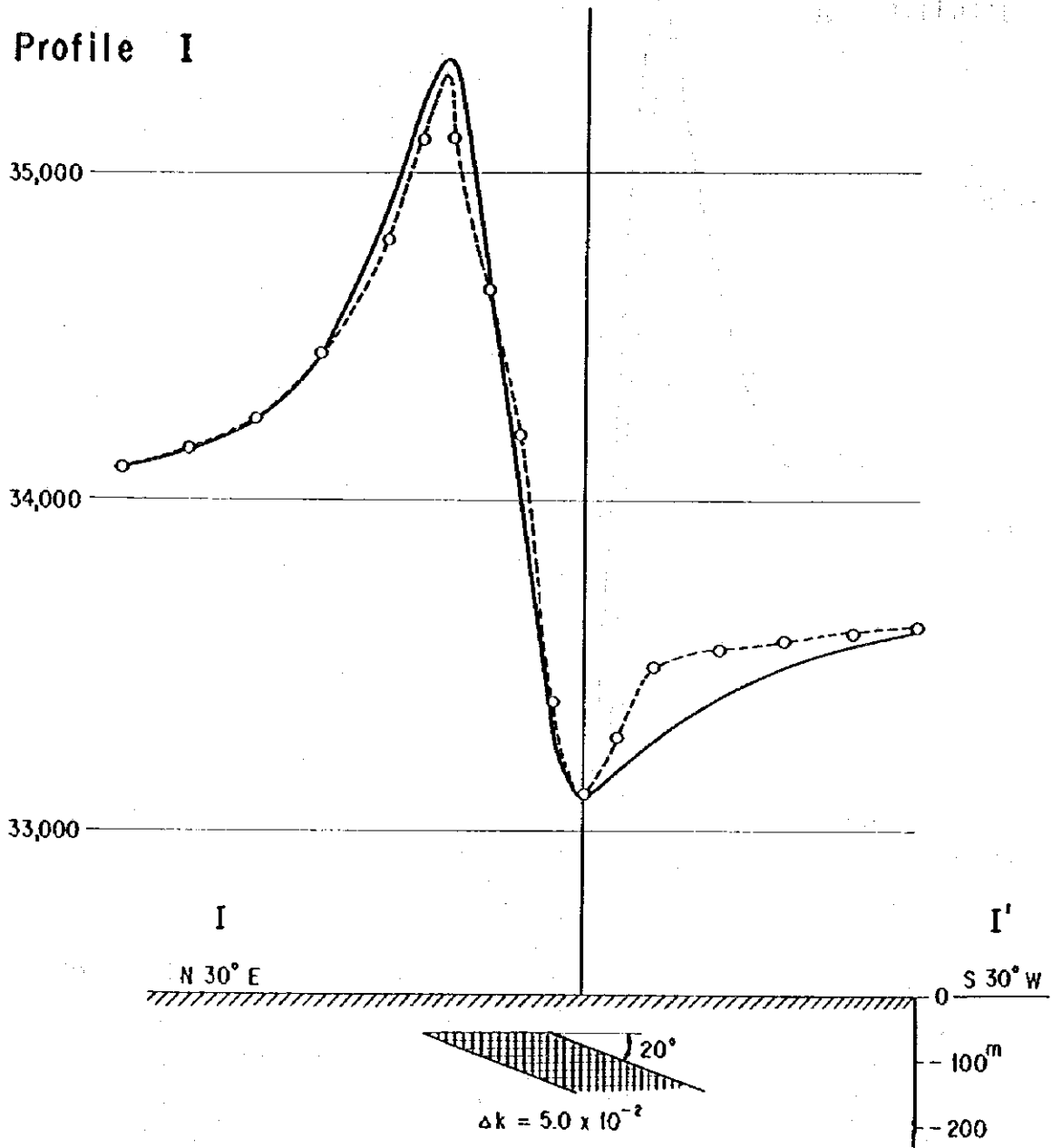


图 2-11 磁 气 异 常 图

LEGEND

- Magnetic Observation Point and its Name
- ⊙ Magnetic and Gravity Observation Point and its Name
- 100 : 154 300 + 100147
- ~ : 100 m
- ~ : 20 m
- H : High Anomaly
- L : Low Anomaly

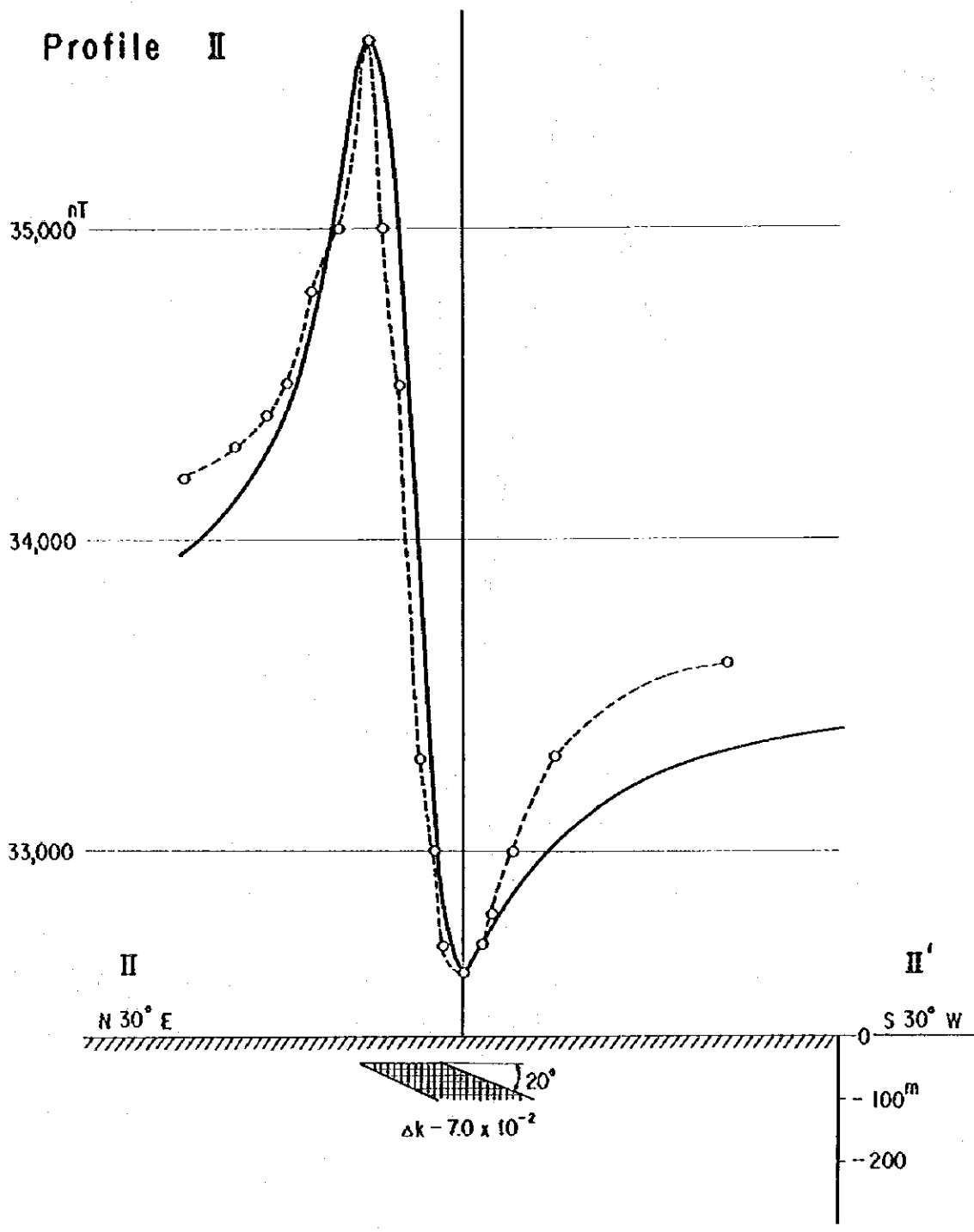
Profile I



LEGEND

- Observed Curve
- Calculated Curve
- //// Topography
- ▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body.

図 2 - 12 (1) 磁気異常の解析断面

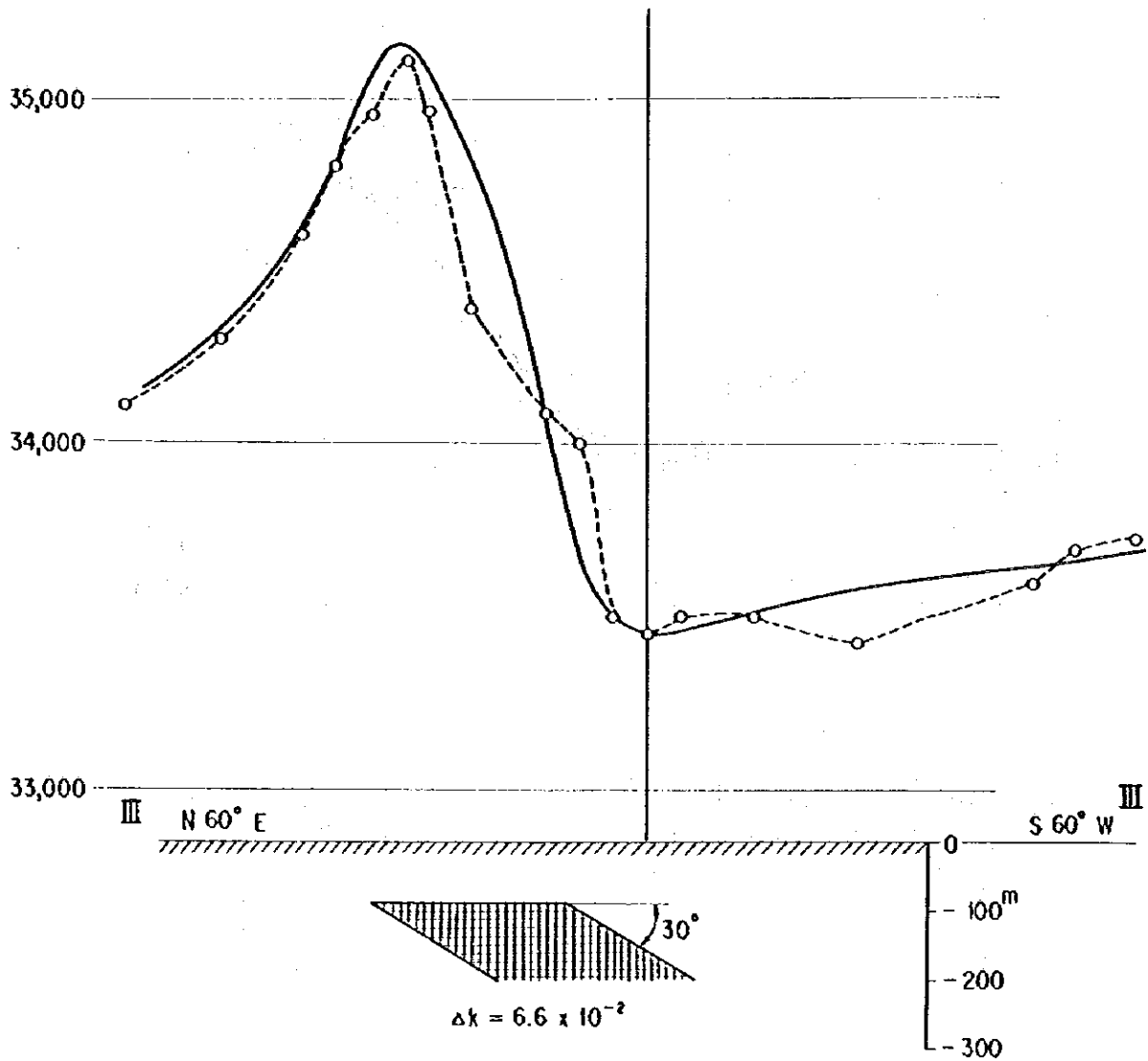


LEGEND

- Observed Curve
- ~~~~~ Calculated Curve
- ////// Topography
- ▨▨▨▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (2) 磁気異常の解析断面

Profile III

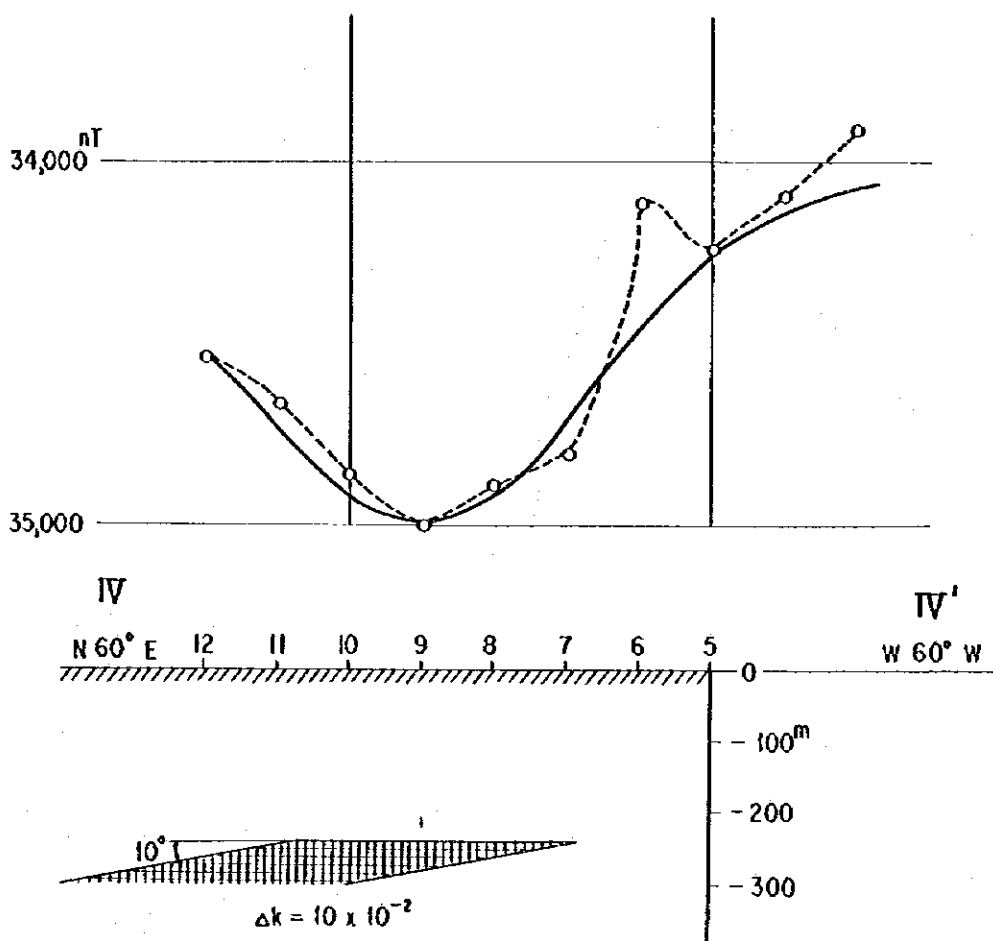


LEGEND

- Observed Curve
- ~ Calculated Curve
- //// Topography
- ▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (3) 磁気異常の解析断面

Profile IV

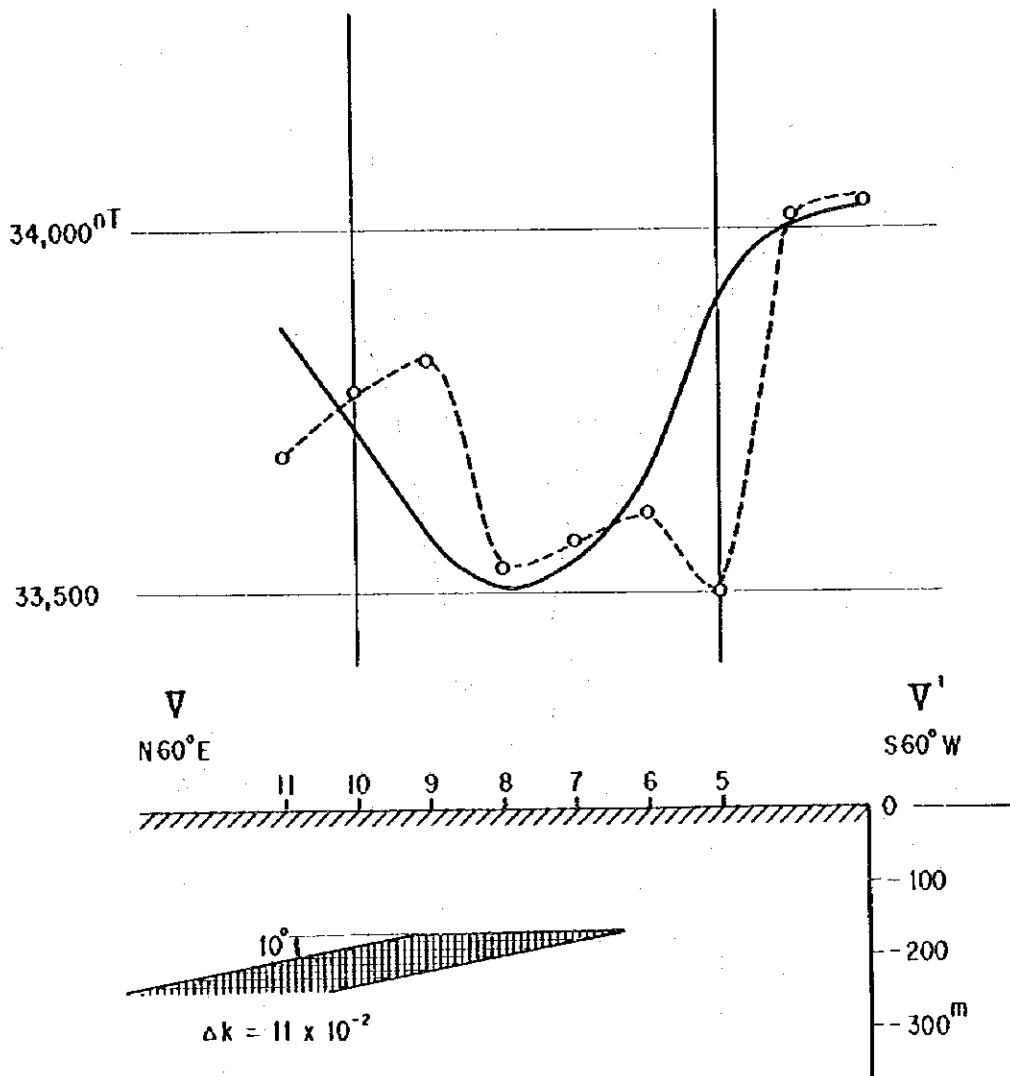


LEGEND

- Observed Curve
- ~ Calculated Curve
- //// Topography
- ▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (4) 磁気異常の解析断面

Profile V

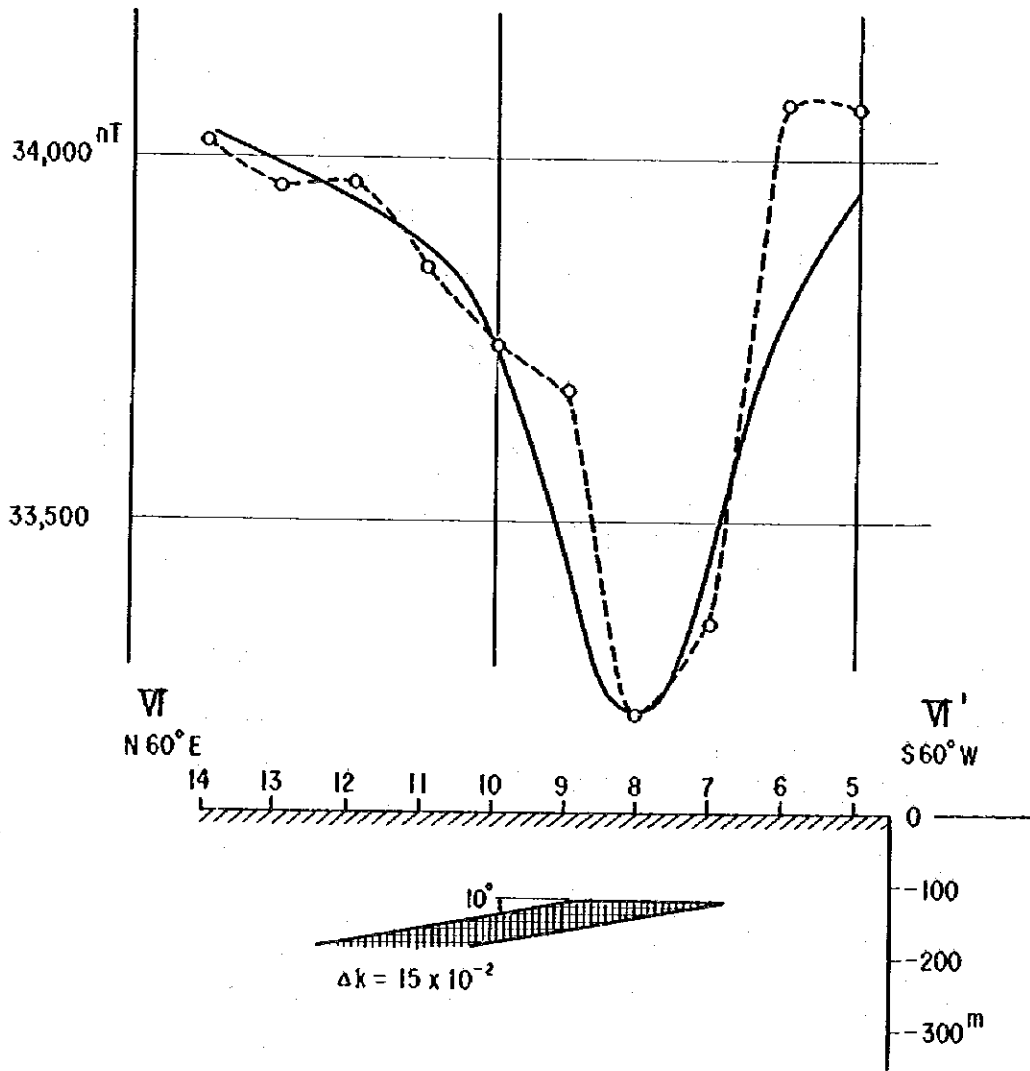


LEGEND

- Observed Curve
- ~~~~~ Calculated Curve
- ////// Topography
- ||||| Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (5) 磁気異常の解析断面

Profile VI



LEGEND

- - - - ○ Observed Curve
- ~ Calculated Curve
- //// Topography
- ||||| Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (6) 磁気異常の解析断面

Profile VII

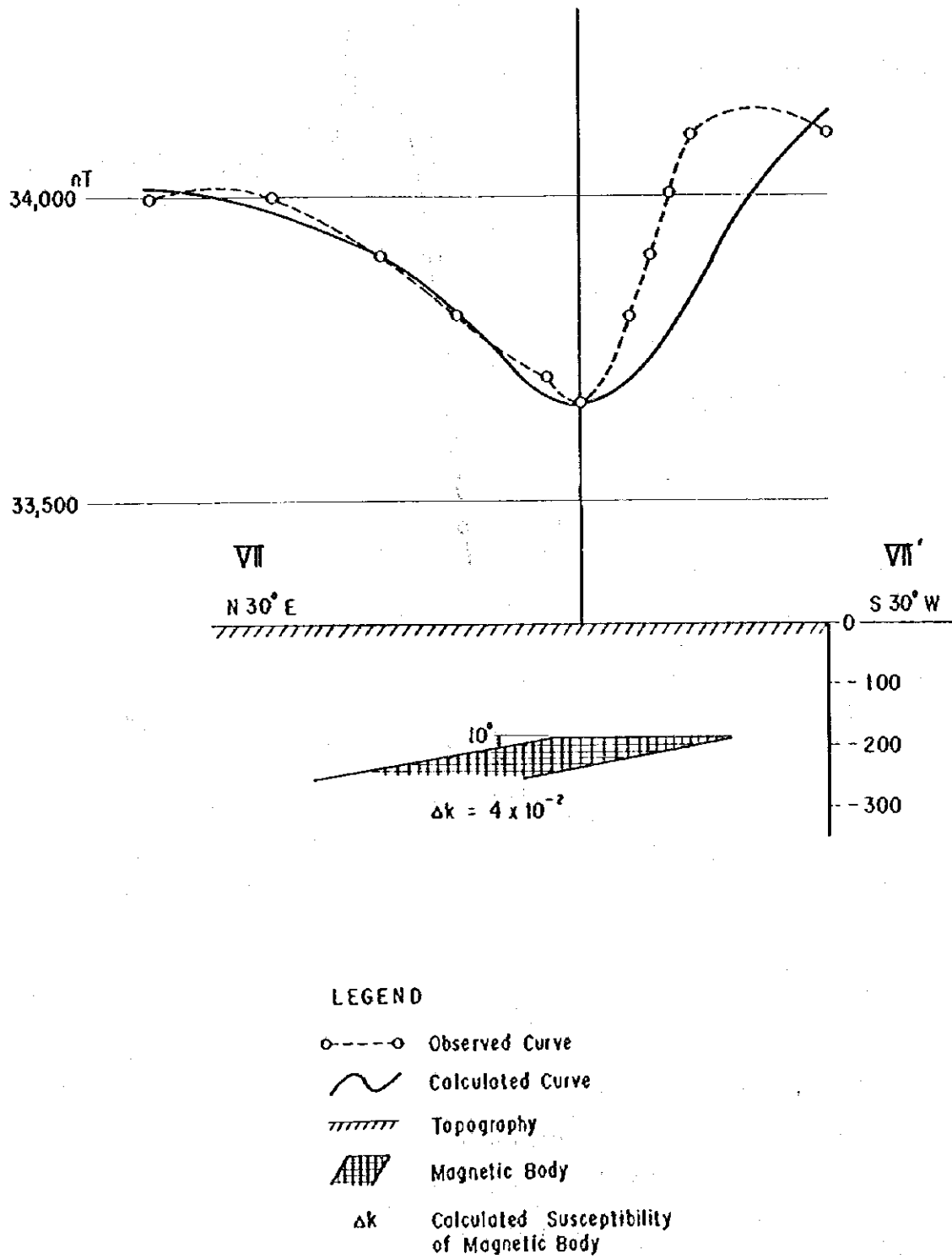
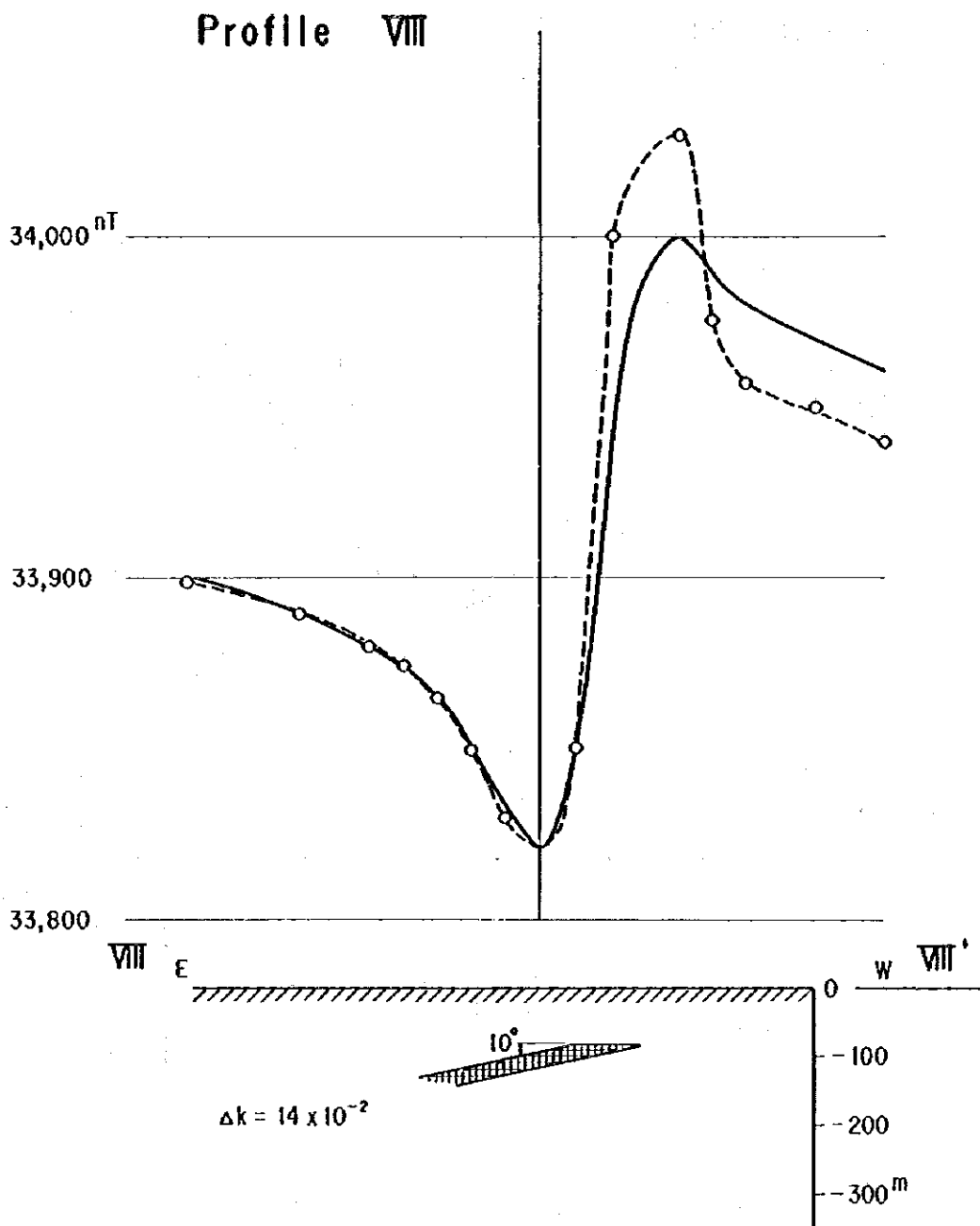


図 2 - 12 (7) 磁気異常の解析断面

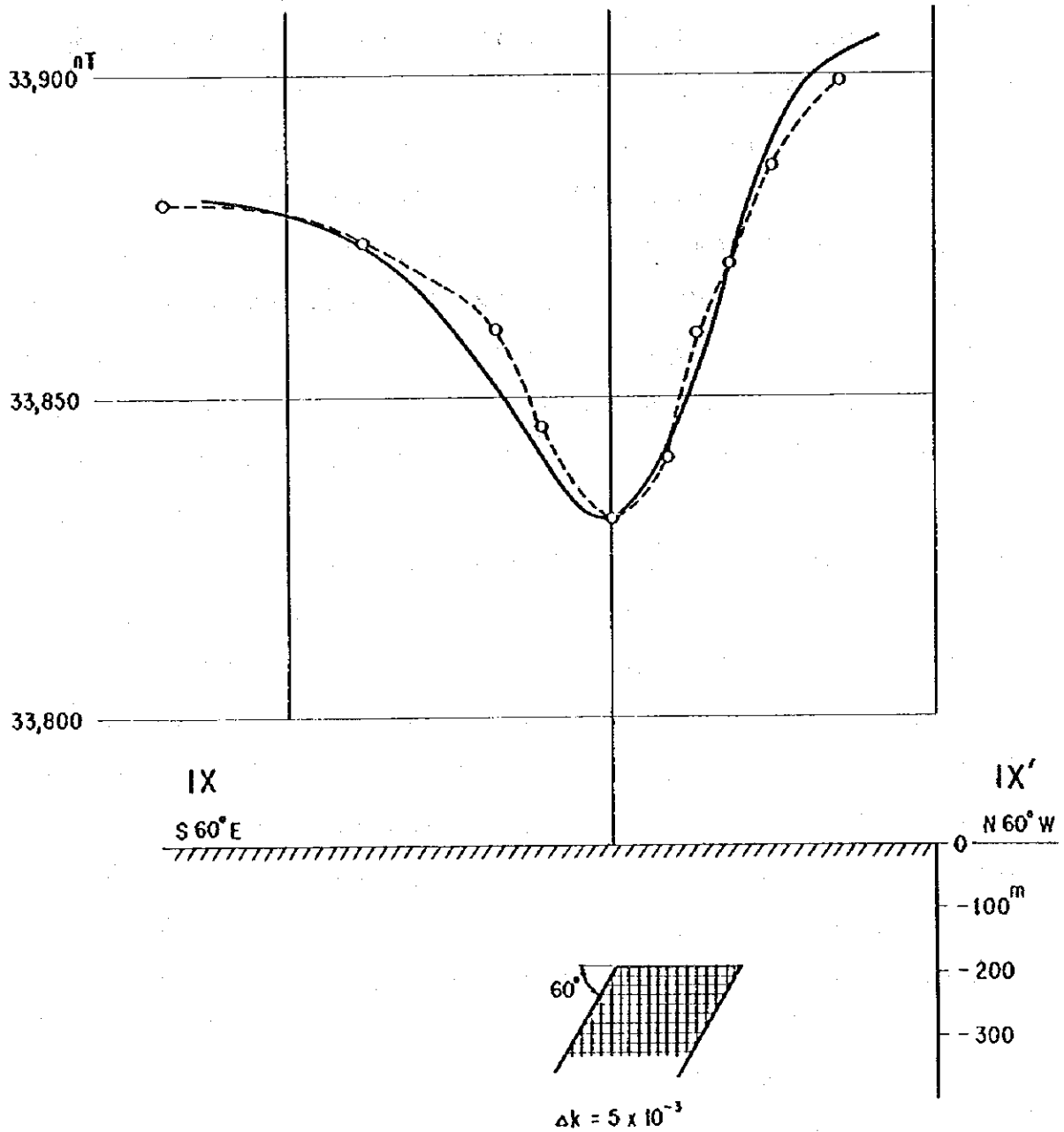


LEGEND

- Observed Curve
- ~~~~~ Calculated Curve
- ////// Topography
- ▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (8) 磁気異常の解析断面

Profile IX



LEGEND

- Observed Curve
- ~ Calculated Curve
- //// Topography
- ▨ Magnetic Body
- Δk Calculated Susceptibility of Magnetic Body

図 2 - 12 (9) 磁気異常の解析断面

本調査においては、調査地北部に2連の、南部に1連の磁性岩体が解析された。これによると、北部の磁性岩体は、東側のものが幅100～500 m, N 50°E～N 20°E, 延長約6 Km, 西側のものが幅200～400 m, N 60°E, 延長約2 Kmである。これらの磁性岩体は東側のものが低角度(約10°)でNW方向に傾斜しており、西側のものがこれと反対にSE方向に20～30°で傾斜する。本調査に先だつて実施された空中磁気探査の結果によると、これらの2連の磁気異常帯は、形態の異なった2つの大きな磁気異常として捉えられている。すなわち、この空中磁気異常から解析される磁性岩体は、図2-13に示すように2連の磁気異常に挟まれた中央に解析される。このことは、空中磁気異常から解析された磁性岩体は、比較的深部の磁性岩の根に相当する貫入部を表わし、地上での磁気探査から解析された2連の磁気異常は、このロート状の磁性岩体の浅部での薄く拡がった縁部を表わしていると考えられる。なお、地上磁気探査で解析された磁性岩体は地表から50～200 m以深であり、空中磁気図から解析された磁性岩体は地表下250 m以深である。

次に、調査地南部に検出された磁性岩体は全体としては幅100～400 mで、N 40°E～N 10°W, 延長4 Km以上の帯状の磁性岩体として解析されたが、3つの部分に分割され、磁性的に不連続な断層状の構造で境されていることが判明した。これらの岩体はいずれも西側に傾斜しており、北側と南側のものは10°～20°の低角度で、中央のものは60°～90°の高角度をなしている。この磁気異常帯に相当する位置にも、空中磁気異常が検出されており、北部で検出された磁気異常と同様に、空中磁気異常から解析される磁性岩体は、磁性を示す貫入岩の根に相当する芯部にあたり、深度も300 m以深と深く、地上の磁気探査から解析される磁性岩は浅部に拡がる磁性岩体の傘に相当する部分とも考えられる。

2-3-5 ま と め

① 調査地付近に分布し、今回の調査で採取した岩石サンプルの平均帯磁率は基盤岩類(モザンビーク変成岩)が $121.3 \sim 321.1 \times 10^{-6}$ cgs・emuであり、貫入岩類は、花崗岩の 202.5×10^{-6} cgs・emu, 斑レイ岩の 197.1×10^{-6} cgs・emuが小さく、蛇紋岩類の 4532.6×10^{-6} cgs・emuがずば抜けて大きい。また、玄武岩溶岩の 435.5×10^{-6} cgs・emuが比較的大きいが、一般的な玄武岩に比べて(10^{-3} オーダー)小さい(表2-3)。このことから、本調査で検出された強い磁気異常は、蛇紋岩類がその発生源の主体と考えられ、一部玄武岩の帯磁率の強い部分も異常を形成しているかもしれない。

② 調査地には、北部に2連、南部に1連の3つの磁気異常群が検出され、北部の異常

群の東側異常はNNE--SSW方向に6Kmにわたって連なり、西側の異常はNE--SW方向に2Kmにわたって強く検出された。一方、南部の異常群は、異常の振幅が小さく、これから解析される磁性岩体は比較的深いか、帯磁率が小さいものと推定される。

③ 各磁気異常群から解析される磁性岩体は、幅数100mで延長数Kmの岩脈として解析される。北部のものは緩傾斜で互いに向き合って傾斜し、地下深部で一体化していることが推定される。一方、南部のものは西に傾斜し、調査地の南西方向に潜在していることが推定される。

④ 空中磁気探査結果と今回の地上磁気探査結果とは大局的には一致する。しかし、これらの異常から解析される磁性岩体の形態は異なる。これは、本調査地のような磁気的低緯度地帯では地上磁気探査異常が、磁性岩の境界に強く表われる傾向に対して、測定高度の高い空中磁気異常は、岩体の中心部を強く反映するためと考える。このことから空中磁気異常から解析される磁性岩体は高帯磁率貫入岩の貫入の中心部を、地上磁気探査から解析される磁性岩の位置は貫入岩の縁辺部を表わしている可能性が強い。

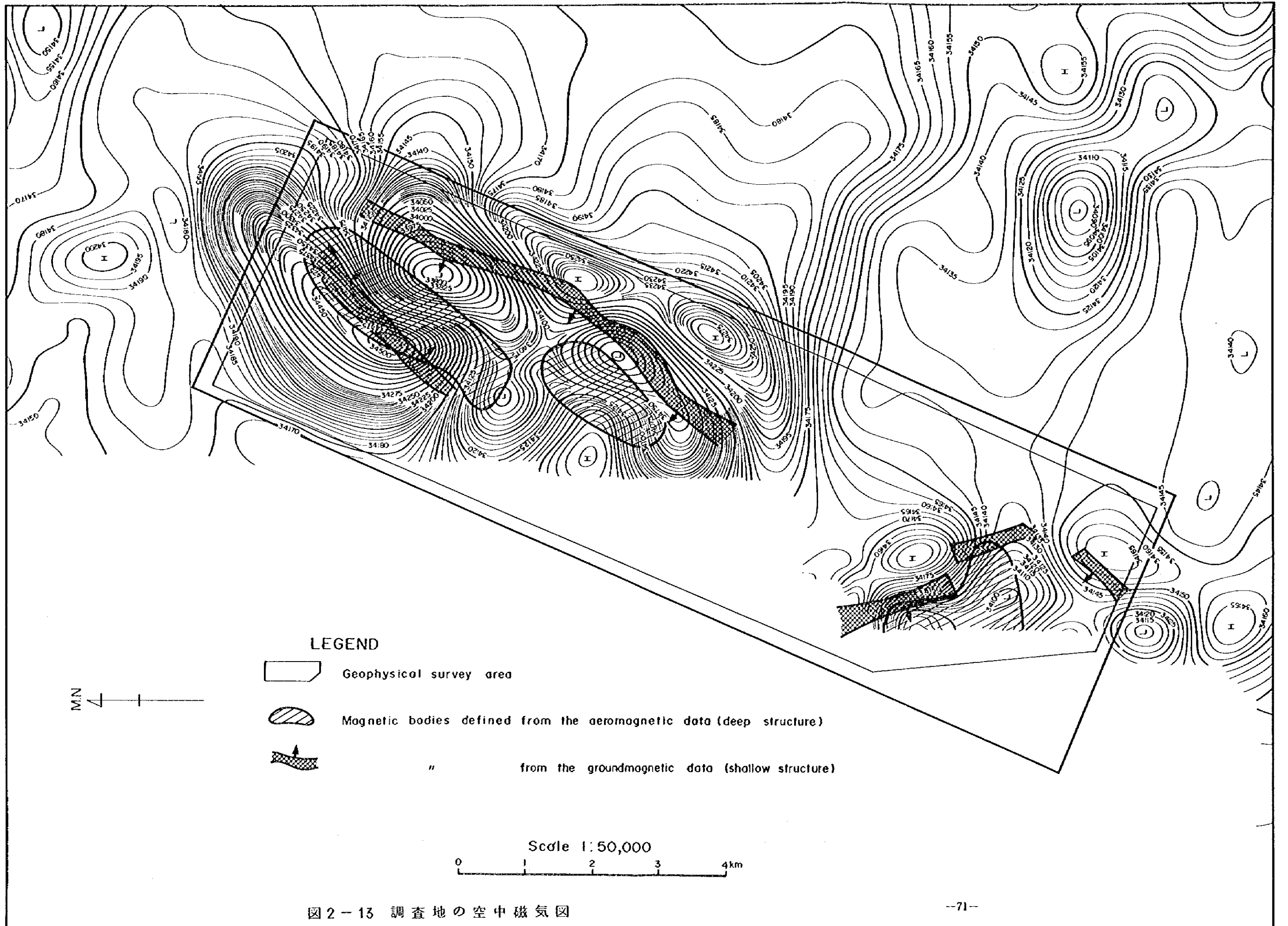


図2-13 調査地の空中磁気図

第3章 結 論

重力探査及び磁気探査の結果から、以下の結論が得られた。

① 本地区は、モザンビーク造山帯に属するが、調査地のほぼ全域に第四紀の土壌、河床砂礫、崖錐堆積物などからなる沖積層が覆っており、地質は明瞭には捉えられない。しかし調査地には、モザンビーク変成岩と呼ばれる広域変成岩が基盤をなし、これを買く花崗岩、蛇紋岩や斑レイ岩などの岩脈～岩株の分布と中新世以降の玄武岩等の火山岩の分布が考えられる。

② 調査地域の地質構造は、NNW-SSE方向に伸びる向斜を基本とし、著しい転倒褶曲の発達を特徴とする。断層はN-S～NNW-SSE系、NE-SW系、NW-SE系のものが発達し、地域全体は、リフトバレーの西縁を画す地塊となっている。しかし、今回物理探査の実施された地区は、断層により西側の地塊から隔てられたリフトバレー内にあたり、調査地の西部にみられる貫入岩類の並びや伸びの方向、重力の分布状況等から、NE-SW系の地質構造が顕著と考えられる。

③ 調査地の重力分布は基盤の地質構造を顕著に反映し、調査地西側では、南東方向に落ちる断層構造を反映して、重力の急傾斜を形成する。一方、調査地の中央部は低重力帯をなし、調査地の中央で基盤がくぼんだ舟状構造が推定される。このくぼみは基盤層とこれを覆う被覆層との密度差を 1.0 g/cm^3 とした場合、地表下250 mに達する。

④ 基盤岩には、余剰重力異常から基盤の断層状構造や貫入岩類の潜在、及び基盤岩の高みが推定される。

⑤ 調査地付近で採取した岩石サンプルの物性試験によると、岩石密度ではクロム鉄石が最も高く、平均で 3.84 g/cm^3 を示し、基盤のモザンビーク変成岩類は、 $2.57\sim 3.07\text{ g/cm}^3$ であった。貫入岩類は、斑レイ岩が 2.94 g/cm^3 これに蛇紋岩が 2.69 g/cm^3 が続き、花崗岩類の 2.52 g/cm^3 が最も小さい。また玄武岩は 2.80 g/cm^3 である。

一方、岩石の磁性では、蛇紋岩類の $4532.6 \times 10^{-6}\text{ cgs} \cdot \text{emu}$ が際立って大きく、玄武岩の $435.5 \times 10^{-6}\text{ cgs} \cdot \text{emu}$ がこれに続いたが、通常の玄武岩に比べて小さかった。また、基盤岩類や他の貫入岩類は $121.3\sim 382.8 \times 10^{-6}\text{ cgs} \cdot \text{emu}$ と弱い磁性を示した。

⑥ 調査地には、北部に2連、南部に1連の3つの大きな磁気異常群が検出された。これらに対応して、北部に2岩体、南部に1岩体の磁性を帯びた貫入岩が推定された。

⑦ 高磁性貫入岩は、その中心部が地表から250 m以深に存在すると考えられる。この高磁性貫入岩が蛇紋岩等の超塩基性岩である可能性が強く、この場合クロム鉄床や風

化残留作用によるニッケル鉱床の潜在が期待される。しかし、この潜在岩体の規模及び調査地付近のTelot蛇紋岩体に分布する既知鉱床の埋蔵量や品位から推定して、大規模な鉱床が期待できるものではない。また、岩体が軟弱な沖積層下であり、さらに中心部を水量の多いWei Wei川が流れ、地形的制約や深度を考えると露天掘りが難しいうえに、インフラ等を考慮すると経済性は低く、探鉱価値は大きくないものとする。

しかし、今後これらの高磁性岩体の探査を試錐等により続ける場合は基盤が浅く、貫入岩の潜在深度も浅いことが期待される調査地北部地域の高磁性岩体に的を絞った探査を展開していくことが望まれる。

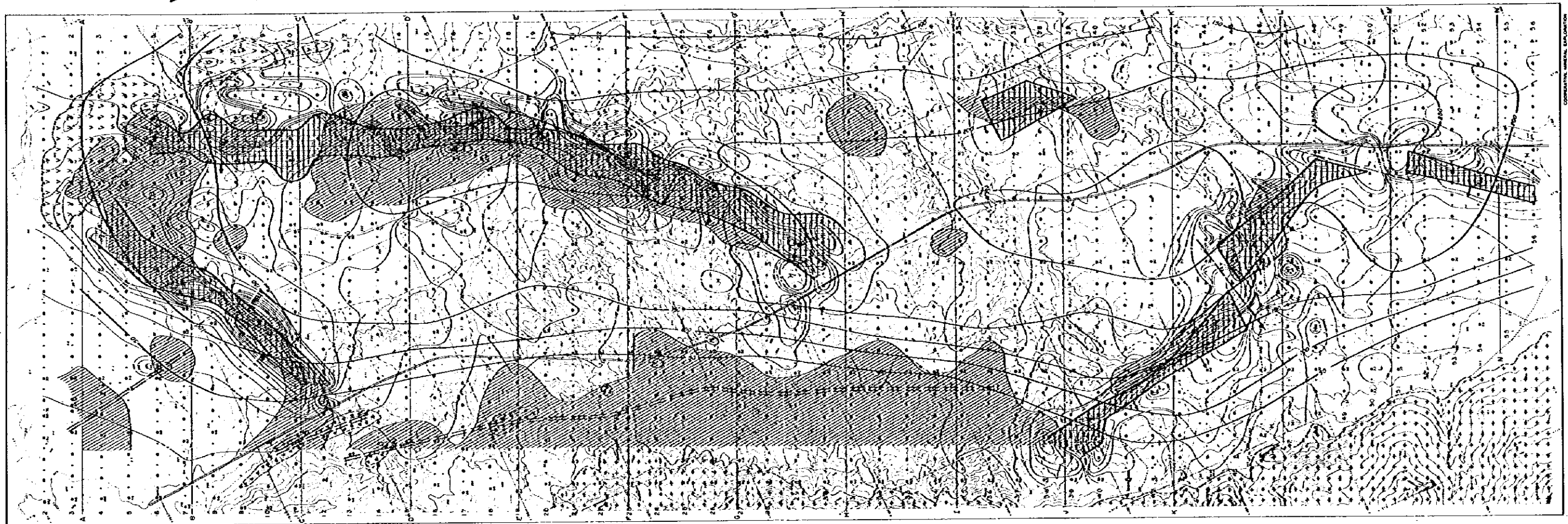


圖 3-1 解析結果平面圖

LEGEND

- Magnetic Discontinuity
- Magnetic and Gravity Discontinuity
- 100 : (34,500 + 100) ft
- 200 : 100 ft
- 300 : 200 ft
- H High Anomaly
- L Low Anomaly
- The National Highway 8-1
- ▨ Crooked Highly Magnetized Body and the Dip Angle
- Highly Residual Gravity Anomaly
- Edge of Basement Unit
- ▧ Magnetic Discontinuity
- ▧ Faced Granite
- Basalt (Fault Zone)
- Silicous Brecciated Dyke
- ▧ Fault (Inferred)

CORPORATION, MINERAL EXPLORATION IN THE HAINAN ISLAND, HAINAN PROVINCE

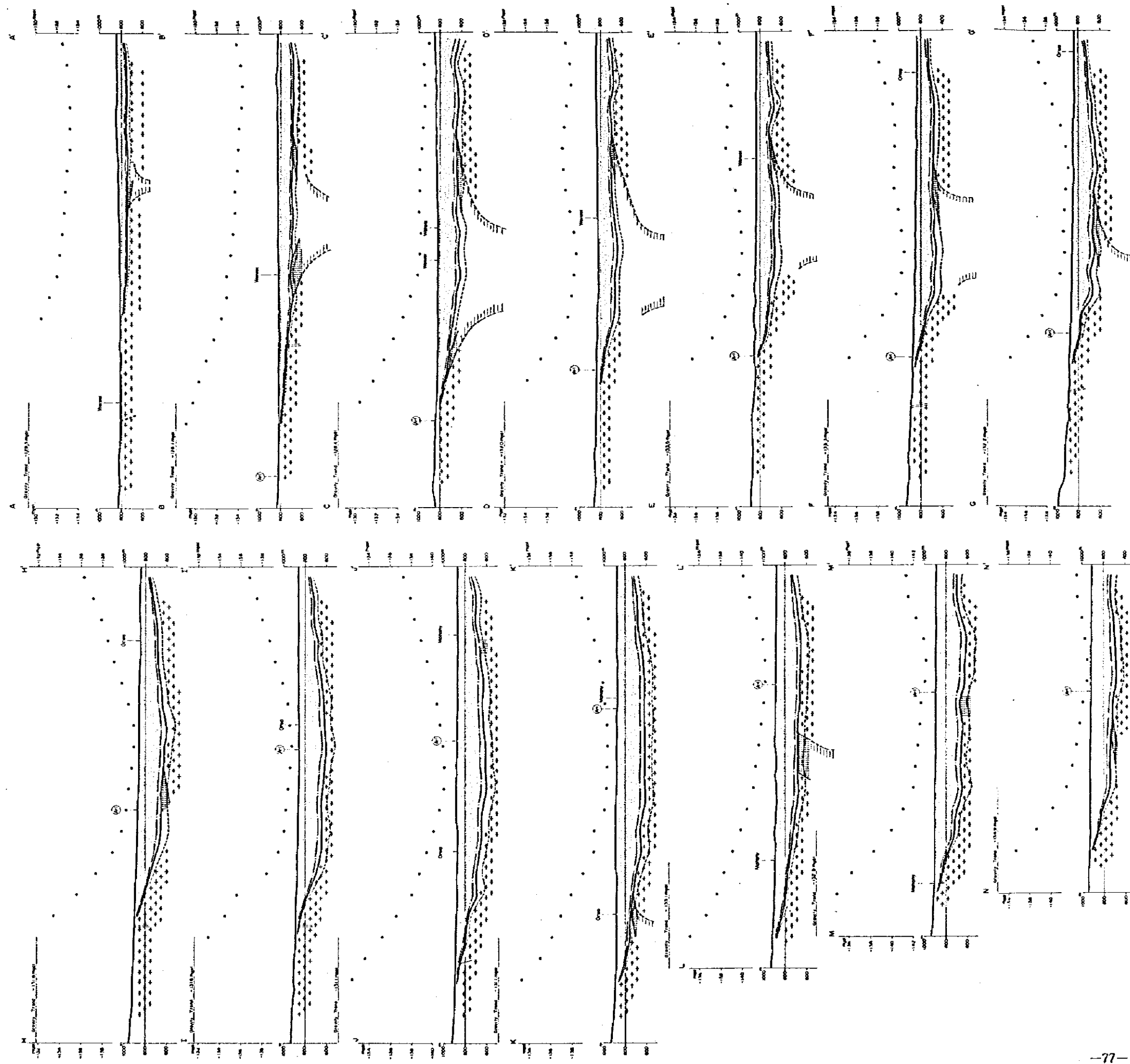


图 3-1-2 綜合解析断面图

参 考 文 献

- Grant F.S. and West, G.F. (1965) : Interpretation Theory in Applied Geophysics, Part II GRAVITY AND MAGNETIC METHODS, P235~P254 , P355 - P381
- Bhattacharyya, B.K. (1964) : Magnetic Anomalies due to Prismshaped Bodies With Arbitrary Polarization, Geophysics, Vol. XXIX P517 - 531
- Reford, M.S. (1964) : Magnetic Anomalies Over Thin Sheet , Geophysics, Vol. XXIX P532 - 536
- Talwani, M. and Worze, J.L. (1959) : Computations for Two-dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone, Journal of Geophysical Research, Vol. 64, P49~59.
- Spector, A. and Grant, F.S. (1970) : Statistical Models for Interpreting Aeromagnetic Data, Geophysics, Vol. 35, P293-302

JICA