

インドネシア共和国

鉱物資源開発基礎調査

第 3 卷

空中磁気探査報告書

JICA LIBRARY



1055333[7]

昭和46年 3 月

海外技術協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '87.4.10	108
登録 No. 08414	66.1
	KE

要 旨

インドネシア共和国スラウエシ島中西部において、空中磁気探査および空中写真撮影作業を行なった。本調査の目的は岩石の磁性変化により、調査地域の岩相および地質構造を明らかにし、鉱物資源開発基礎調査の資料とすることにある。

本報告書は、空中探査の現場作業、使用機器、記録および関連して行なわれた地上物理探査に関して述べ、かつ現地調査後に行なわれた記録の整理、編集、解析およびそれらの地質的解釈に関しても言及した。

空中磁気探査の主要な解釈結果を要約すると、次のごとくなる。

1. データの一般的性質

エネルギー・スペクトル解析により、空中磁気データから二つの磁気構造成分が解析された。

- (a) 地表面下2～300m以内に起因し、地形効果をも含んだ浅部構造によるもの。
- (b) 深部の磁気源のみならず、一部では深部での岩石磁性変化に起因する本質的な深部異常によるもの。

2. 岩 相

調査地域の大部分を占めている花崗岩質岩石は、磁性が非常に弱いか、ほとんどないことがわかった。帯磁率から求められた磁鉄鉱含有量は0.1%よりも少なく、非常に低い値であった。堆積物、粘板岩および結晶片岩類も一般に事実上磁性に欠けていた。

片麻岩帯は、多少磁性があり、一般に周囲の花崗岩帯から明瞭に検出することができた。斑れい岩や安山岩を含んだ塩基性ないし超塩基性火成岩が貫入または噴出していると思われる領域は、一般に0.5～2%の磁鉄鉱含有量を示す大きな振幅の異常からなっていた。11個の明瞭な塩基性貫入岩体が解釈され、これらの解析された規模および強い磁性は、それらのうちのいくつかは、古い火山の核であったことを暗示している。

マカッサル海峡に隣接したマムジュ・ドダ Embaymentおよび調査地域南東部タワエリア地溝の堆積物内の火山岩質岩の存在は、中ないし高い振幅の磁気異常パターンおよびこれに関連した磁性示徴から明白であり、これらの磁気特性は両沈降帯の形成に大きな役割を演じたと推測される正断層の検出に役立っている。

3. 構 造

バルー断層は、調査地域を横切って事実上連続的な線構造として磁気記録に見られる。この大きな構造の東西の領域は、構造的にかつある程度岩相的に異なっているように思われる。

調査地域の東端に分布している広範な変成帯の西側は、断層で境されていると考えられる。

タワエリア地溝は、この断層系の一部であり、強い磁性の火山岩質岩石を含んでいると考えられる堆積岩からなっている。この断層パターンは、一連の長いNE-SW方向および西向き断層によって切られていると考えられる。マカッサル海峡に隣接した堆積盆地の形成と関連していると思えるNE-SW、NW-SEおよび北向きの断層は、堆積物中の火山岩によると考えられる磁気異常によって検出できる。

目 次

要 旨	i
1. 序 論	1
1-1 調査地域概要	1
1-2 作業工程	1
2. 調査作業	5
2-1 空中磁気探査と空中写真撮影作業との関連	5
2-2 空中磁気探査および空中写真撮影測線配置	5
2-3 機内機器および地上磁力計	6
2-3-1 Gulf Mark III 機上磁力計	6
2-3-2 Gulf Mark I 地上磁力計	6
2-3-3 Honeywell 電波高度計	9
2-3-4 C. A. R. L. Mark VII 位置標定用カメラ	9
2-3-5 Wild RC-9 超広角空中写真用カメラ	9
2-4 現場調査班	11
2-5 飛行成果	11
3. 地上における磁気探査作業	13
3-1 探査機器検査・現地版等磁力線図作成・地表磁気探査	13
3-1-1 探査機器検査	13
3-1-2 現地版等磁力線図	13
3-1-3 地表磁気探査	13
3-2 岩石磁気測定	14
4. 空中磁気記録の整理・編集	17
4-1 現地航跡標定	17
4-2 略集成写真	17
4-3 航跡標定	17
4-4 磁気原図作成のための位置標定	17
4-4-1 トラッキングカメラ刻時マークおよびドップラー航法	17
4-4-2 ドップラーによる測定結果と公刊図面との対応	18
4-4-3 ネットワーク法および磁気図の完成	18
4-5 地磁気日変化補正および基準磁界補正	24

4-5-1	基準線	24
4-5-2	日変化補正	24
4-5-3	閉塞誤差	24
4-5-4	基準磁界補正	24
4-6	等磁力線図	26
4-7	磁気図と略集成写真との対応	26
5.	空中磁気記録の解析	27
5-1	デジタイジング	27
5-2	回帰平面	27
5-3	エネルギー・スペクトラム	28
5-3-1	スペクトラム成分の意義	31
5-4	マッチトフィルター	31
5-5	深部構造成分の Downward Continuation および疑似重力法	33
5-5-1	Downward Continuation	33
5-5-2	疑似重力法	33
5-6	浅部構造成分等磁力線図	35
5-7	磁気異常解析	35
5-7-1	磁気異常解析	35
5-7-2	モデルの意義	35
5-7-3	磁気異常解析手順	36
5-8	構造解釈および磁気ユニット	38
5-8-1	磁気ユニット	38
5-8-2	構造解釈	38
6.	解 釈	39
6-1	本調査地域地質概要：予備的知識	39
6-2	磁気ユニットおよび地質構造	40
6-2-1	図面 1	41
6-2-2	図面 2	42
6-2-3	図面 3	43
6-2-4	図面 4	44
6-2-5	図面 5	45
6-2-6	図面 6	45

6-2-7	図面 7	47
6-2-8	図面 8	48
6-2-9	図面 9	48
6-3	空中磁気探査結果からみた地質構造	50
6-3-1	地質構造の概要	50
6-3-2	超塩基性貫入岩	50
6-3-3	片麻岩または角閃岩質変成岩帯	53
6-3-4	マムジュ・ドダ Embayment の形成	53
6-4	今後の調査方針	53
付 録		
	参考文献	55

插 圖

Fig. 1	Location Map, West-Central Sulawesi Area	
	Aeromagnetic Survey	2
Fig. 2	Relief Map of Survey Area	3
Fig. 3	Generalized Project Flow Chart	4
Fig. 4a	Airborne Gulf Mk. III Magnetometer Profile Sample Trace "Area of Low Magnetic Relief"	7
Fig. 4b	Airborne Gulf Mk. III Magnetometer Profile Sample Trace "Area of High Magnetic Relief"	8
Fig. 5	Ground Station Monitor, Gulf Mk. I Magnetometer Sample Trace	10
Fig. 6	Airborne Radio Altimeter Profile	10
Fig. 7	Flight Production Chart	12
Fig. 9	Location Map Showing Sites of Rock Samples for Magnetization Measurement	15
Fig. 11	Assembly of Doppler Network	19
Fig. 18	Logarithmic Energy Spectrum	30
Fig. 19a	Weighting Function Profile; Resolution of Regional Component	32
Fig. 19b	Weighting Function Profile; Resolution of Downward Continued Regional Component	32
Fig. 24	Computed Prism Model Anomaly Charts	37
Fig. 29	Generalized Geological Synthesis	51

插 表

Table 1	Rock Magnetization Measurements	16
Table 2	Intersections of Survey Control and Traverse Lines	18
Table 3	Reference Fiducial Locations	21
Table 4	Geomagnetic Component Sulawesi (1970)	25
Table 5	Location of Interpreted Ultrabasic Zones	52

付 図

Fig. 8	Photo Index Map	1/500,000
Fig. 10	Photomosaic Composite	1/250,000
Fig. 12	Magnetic Base Map	1/250,000
Fig. 13	Magnetic Survey Control Network	1/250,000
Fig. 14	Magnetic Field Adjustment System	1/250,000
Fig. 15	Total Magnetic Intensity Map (9 map sheets; Fig. 15-1 - Fig. 15-9 inclusive)	1/50,000
Fig. 16	Total Magnetic Intensity Map (3 map sheets; Fig. 16-1 - Fig. 16-3 inclusive)	1/100,000
Fig. 17	Total Magnetic Intensity Map (1 map sheet)	1/250,000
Fig. 20	Regional Magnetic Component Map (9 map sheets; Fig. 20-1 - Fig. 20-9 inclusive)	1/50,000
Fig. 21	Regional Magnetic Component Map (3 map sheets; Fig. 21-1 - Fig. 21-3 inclusive)	1/100,000
Fig. 22	Near-Surface Magnetic Component Map (9 map sheets; Fig. 22-1 - Fig. 22-9 inclusive)	1/50,000
Fig. 23	Near-Surface Magnetic Component Map (3 map sheets; Fig. 23-1 - Fig. 23-3 inclusive)	1/100,000
Fig. 25	Near-Surface Magnetic Interpretation Map (9 map sheets; Fig. 25-1 - Fig. 25-9 inclusive)	1/50,000
Fig. 26	Near-Surface Magnetic Interpretation Map (3 map sheets; Fig. 26-1 - Fig. 26-3 inclusive)	1/100,000
Fig. 27	Regional Magnetic Interpretation Map (9 map sheets; Fig. 27-1 - Fig. 27-9 inclusive)	1/50,000
Fig. 28	Regional Magnetic Interpretation Map (3 map sheets; Fig. 28-1 - Fig. 28-3 inclusive)	1/100,000

1. 序 論

1970年9月、海外技術協力事業団は、インドネシア共和国スラウェシ島中西部4ブロックにおける鉱物資源開発基礎調査の一環として、空中調査の開始を認可した。

空中物理探査の一般的な目的は、空中磁気探査により概査を行うことであり、本調査と併行して行なわれた地表地質調査・写真地質調査と一体となるものである。

インドネシア当局の9月下旬の認可のもとに、飛行作業はスラウェシ島パルー (Palu) を基地に1970年9月28日開始された。

1-1 調査地域概要

Fig.1に示した如く、本調査地域はインドネシア・スラウェシ島中西部に位置しており、北限を南緯1°、南限を南緯2°、東限を東経120°28'27.79"および西限を中部スラウェシの西海岸とする区域である。

本調査地域の面積は約14,160km²であり、かなり起伏の激しい地形で、西部の海拔高度0mからほぼ3,000mまで達する東部の森林山岳地形で特徴づけられる。地形図 (Fig. 2)は、西部マカッサル海峡 (Selat Makassar) に沿う小さな海岸平原を示しており、パルー峡谷が中部山岳部を北北西-南南東方向に切り刻んでいることを示している。

外部からの陸路は非常に限られている。パルー飛行場はスラウェシの州都マカッサルと不定期便で連絡されており、海路はドンガラ (Donggala) の小さな港によっている。

年間の雨量は4月と11月に最大で、8月中旬に最小となる。空中調査は最適飛行時期の終り近く、徐々に悪化する気象条件のもとで行なった。

1-2 作業工程

調査計画の時点で、空中調査・地表調査のために作業工程図が作られた。この工程図は Fig.3に示すように、空中写真撮影・物理探査・地表地質調査および写真地質調査とが密接な相互関係を持つことを示している。

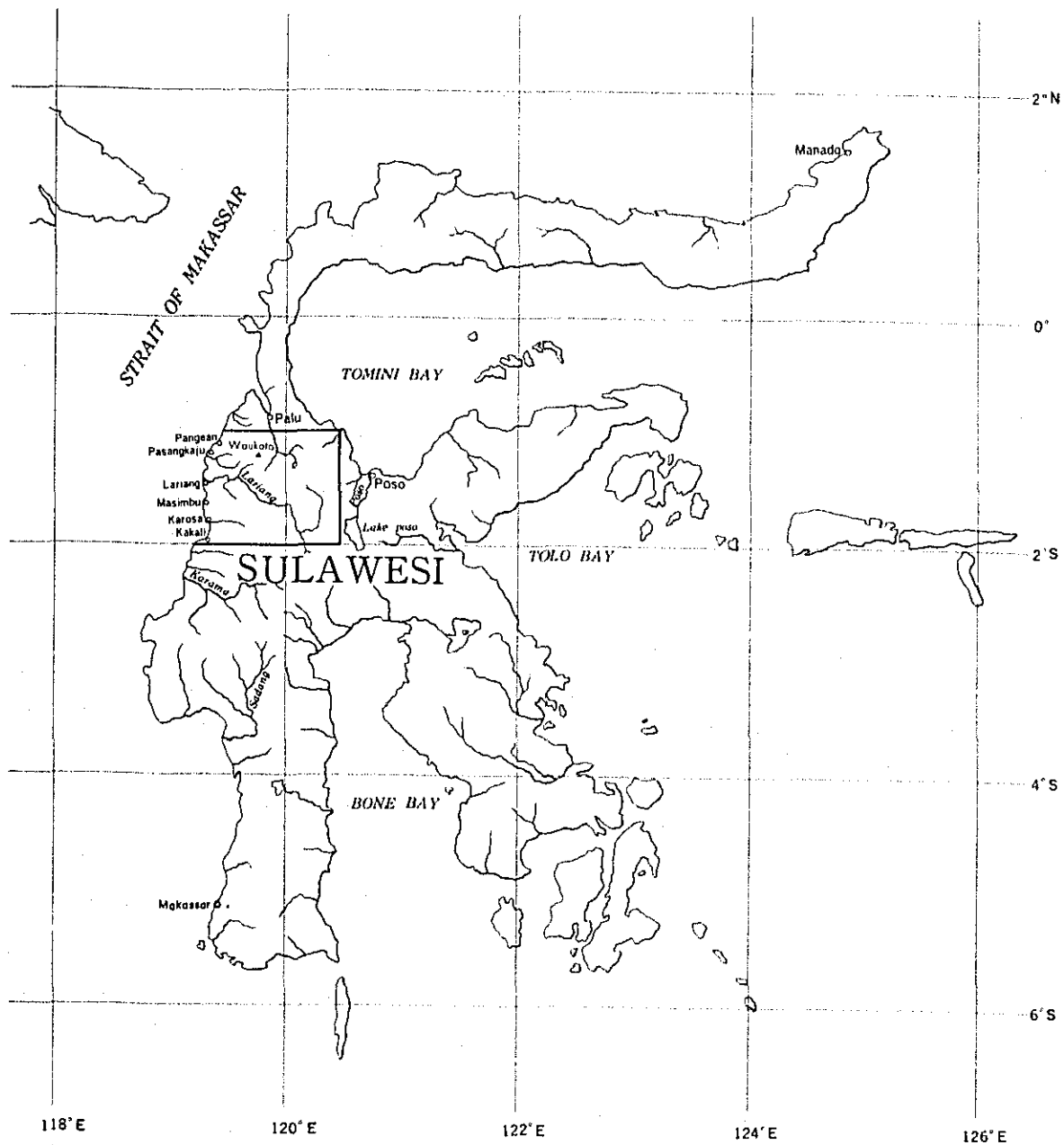
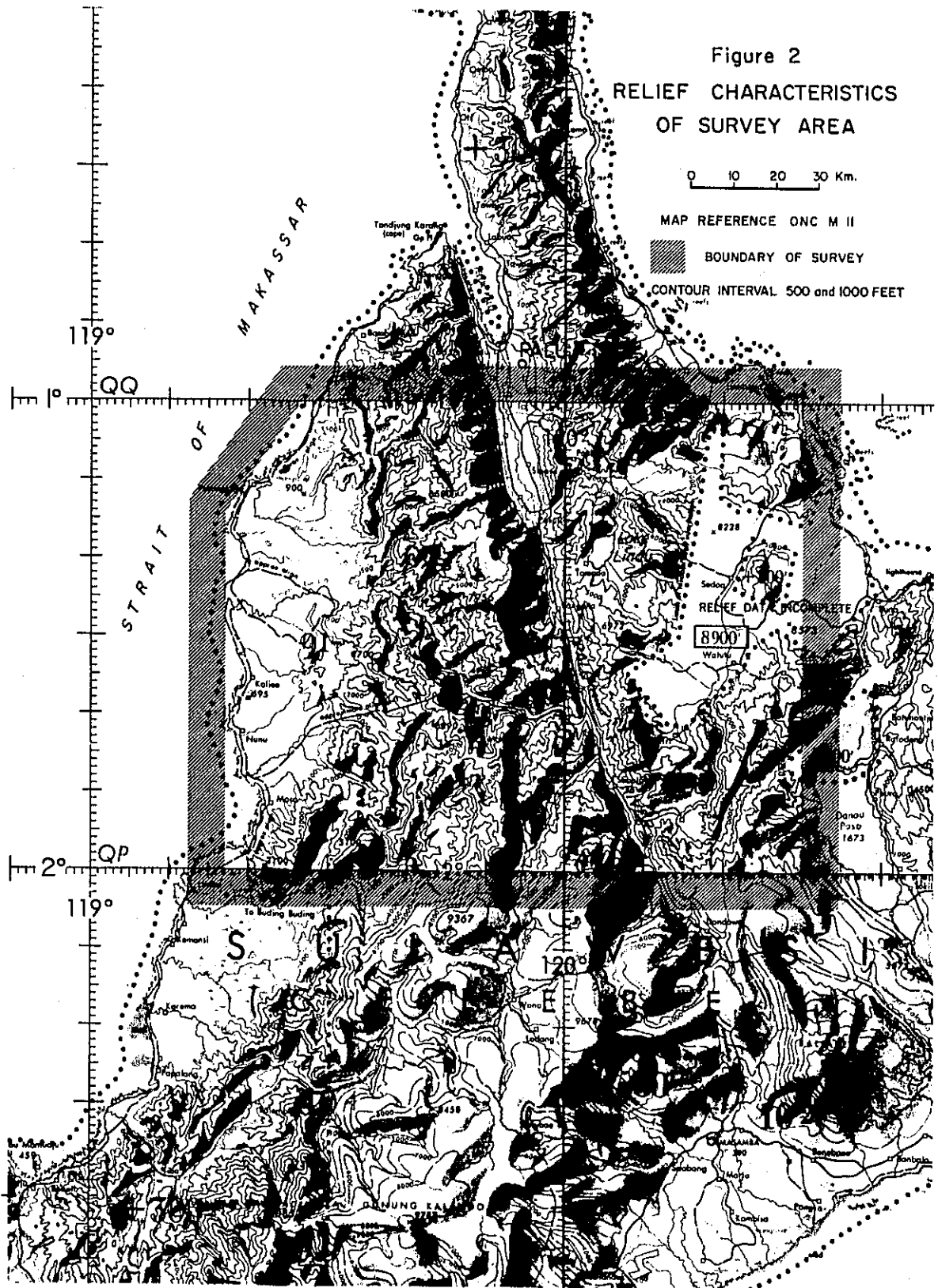


Figure 1
LOCATION MAP
WEST-CENTRAL SULAWESI AREA
AEROMAGNETIC SURVEY

Figure 2
RELIEF CHARACTERISTICS
OF SURVEY AREA



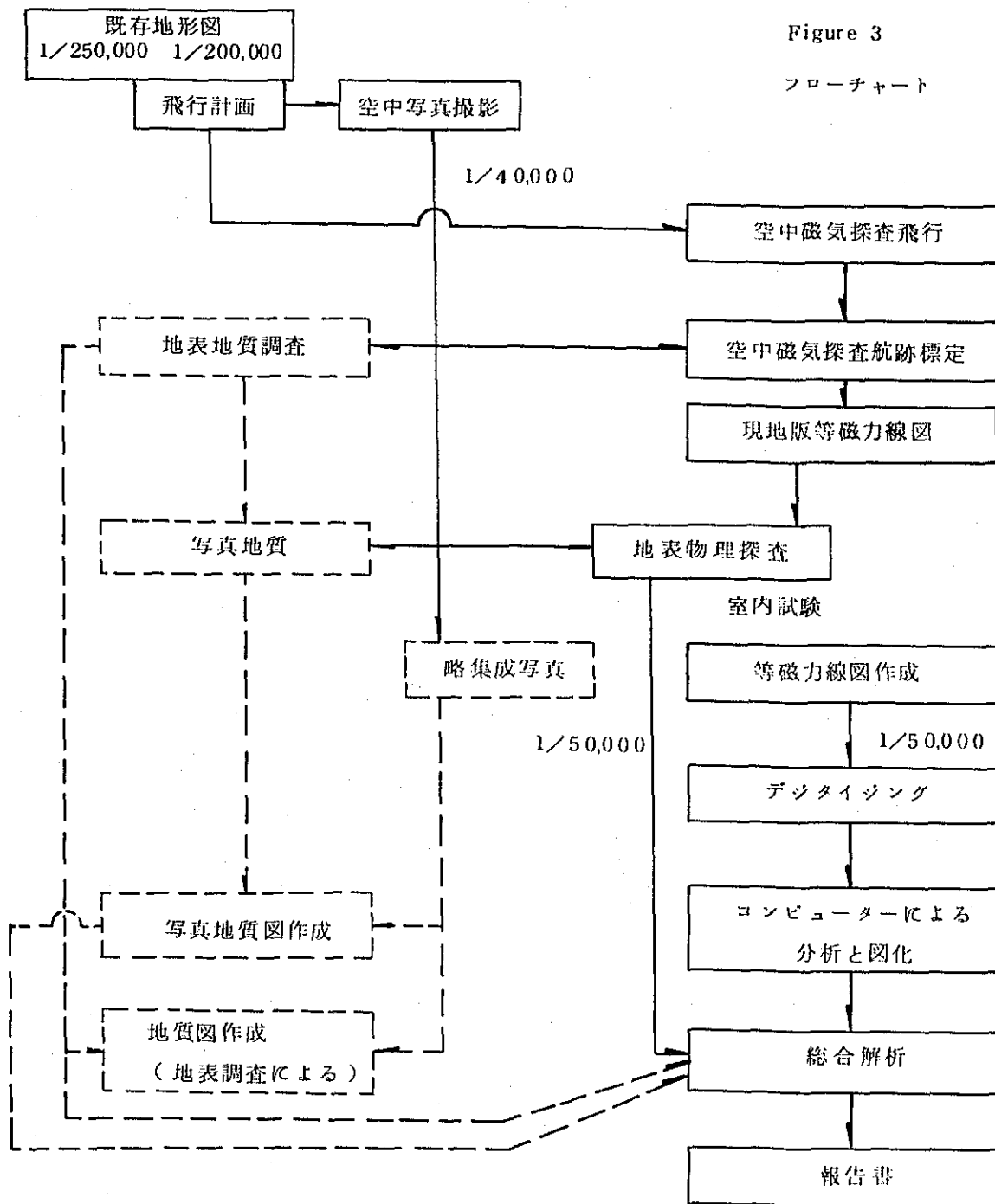


Figure 3

フローチャート

図面縮尺 1/50,000

1/100,000

2. 調査作業

本調査地域には局部的に、縮尺1/250,000、100mコンターの地形図図化に用いられたかなり古いトリメトロゴン(trimetrogon)空中写真がある。(AME Series T503, Sheet SA-50.8 Pasangkaju参照)。

これとは別に、インドネシア政府の縮尺1/200,000の地形図が本調査地域をおおっている；この地形図は種々の図面の再編集であると思われる。本調査の航法のため、これら二つの公刊図面を再編集し、より信頼性のある縮尺1/100,000の特別な地形図を作成し使用した。

2-1 空中磁気探査と空中写真撮影作業との関連

本調査計画では、空中写真を地質解釈および図化に用いることになっていた。空中写真撮影はインドネシアの乾期でも、ほぼ6日に1日しか実施できないということは予想された。それゆえ雲量が多く写真撮影が不可能な日には空中磁気探査を行なうべく、空中写真撮影・空中磁気探査の両調査に使用しえる飛行機を選ぶことが实际的であった。

モザイクの作成に先んじて概略の位置標定のため準備された縮尺1/100,000の地形図を用い、ドップラー航法(Doppler navigation)により空中磁気探査は許容される精度で行なえることがわかった。

2-2 空中磁気探査および空中写真撮影測線配置

空中磁気探査の仕様は主測線方向が南北で、測線間隔が1.5 km、平均対地高度250mであった。しかし前述の如く本調査地域の地形は非常に起伏が激しい。それゆえ飛行機の安全確保の面から平均対地高度600mがとられた。南北方向の測線は赤道地帯の磁気探査に対して適しており、飛行高度600mは、火山地形のような起伏の激しい地域における空中磁気探査にとって最適であるとMalahoff(1969)によってすすめられた対地高度500mにほぼ近い。

マカッサル海峡に沿う小さな堆積盆地では、測線間隔4.5 kmがとられた。東西方向のタイ・ラインは、測線間隔が緯度7.5'すなわちほぼ14 km間隔にした。

空中写真撮影の仕様は測線方向が南北で、平均縮尺1/40,000であった。焦点距離88 mmの超広角カートグラフィック・カメラを用い、所要の撮影高度は各測線に沿い平均対地高度4,000 mである。極端な地形高度の変化のため、撮影高度は海岸地帯での海拔高度4,000 mから山岳地帯での海拔高度5,300 mまで変化させ、測線間隔は6.2 kmにした。東西方向のタイ・ラインは緯度30'間隔で、ほぼ55 km間隔にした。またブルー峡谷に沿ってもタイ・ラインをもうけた。

超広角カメラを用いることにより、物理探査用飛行機での縮尺1/40,000 空中写真撮影が可

能となる。同様に重要なことは、このカメラを用いることにより高い雲を避け比較的低い高度で撮影可能であり、大気中の霞による写真の質への影響を少なくすることができる。

2-3 機内機器および地上磁力計

調査に使用した飛行機は双発エアロコマンダー (Aero Commander) 680 E型で、長距離用タンクを装備していた。

Gulf Mark ■ フラックスゲート磁力計のセンサーはエアロコマンダーの尾部に "スティンガー" (Stinger) として装備された。付帯する機内機器は次のものからなっている；

電波高度計	: Honeywell HG9050
ドップラー航法装置	: Marconi 623型
ドリフト・メーター	: B-3, ジャイロ安定器付
トラッキング・カメラ	: 35mm C.A.R.L. Mark VII, フレームカメラ,

空中写真撮影に適した日には、Wild 社製 RC-9 カメラ (88mm 超広角レンズ, 228mm × 228mm フィルムサイズ) を Gulf 磁力計, 35mm トラッキング・カメラに置き換えて装置した。RC-9 カメラは 35mm トラッキング・カメラに用いられたのと同じ窓 (飛行機の中央部にある) に装置した。

これらの機器および付属した記録装置は次の通りである。

2-3-1 Gulf Mk. ■ 機上磁力計

この磁力計は約 0.5 ガンマ (gamma) の磁場変化に感じる飽和鉄心型磁力計である。磁力計頭部は、たがいに直角方向の三つの磁心棒システムからなっており、動作中そのうち二つの出力がゼロとなるようなサーボ機構を用いて、第三のシステムにより全磁力を測定する。

機上磁力計からの出力はアナログチャートに赤インクで記録される。感度は、25.4 cm の記録紙巾が 300 ガンマになるようにした。記録紙送り速度は 1 cm がほぼ 0.5 km になるように調整した。探査中の磁気データのうち、変化の激しいものおよび変化のゆるやかなものの代表的なデータが Fig. 4a と Fig. 4b に示されている。

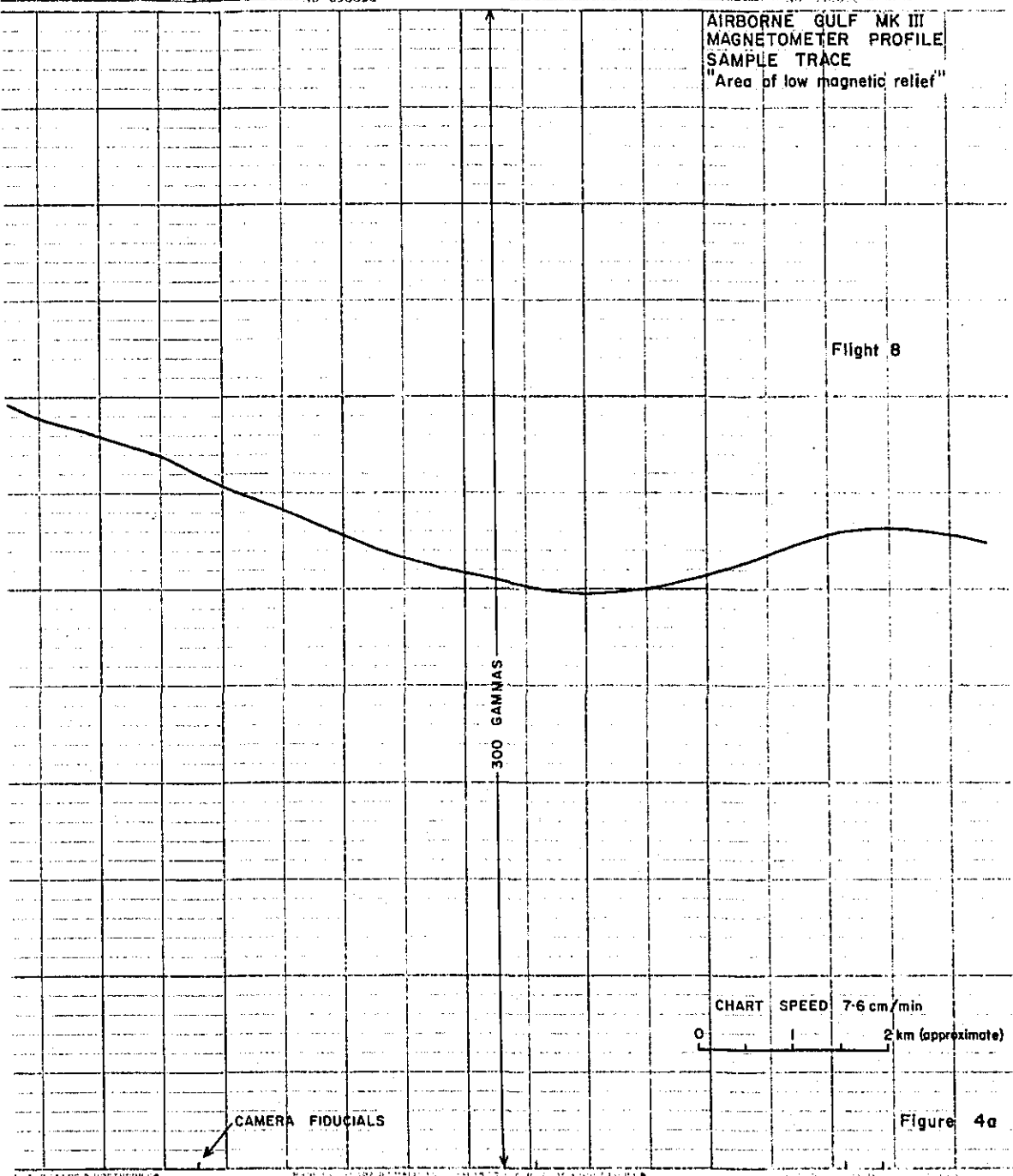
2-3-2 Gulf Mk. I 地上磁力計

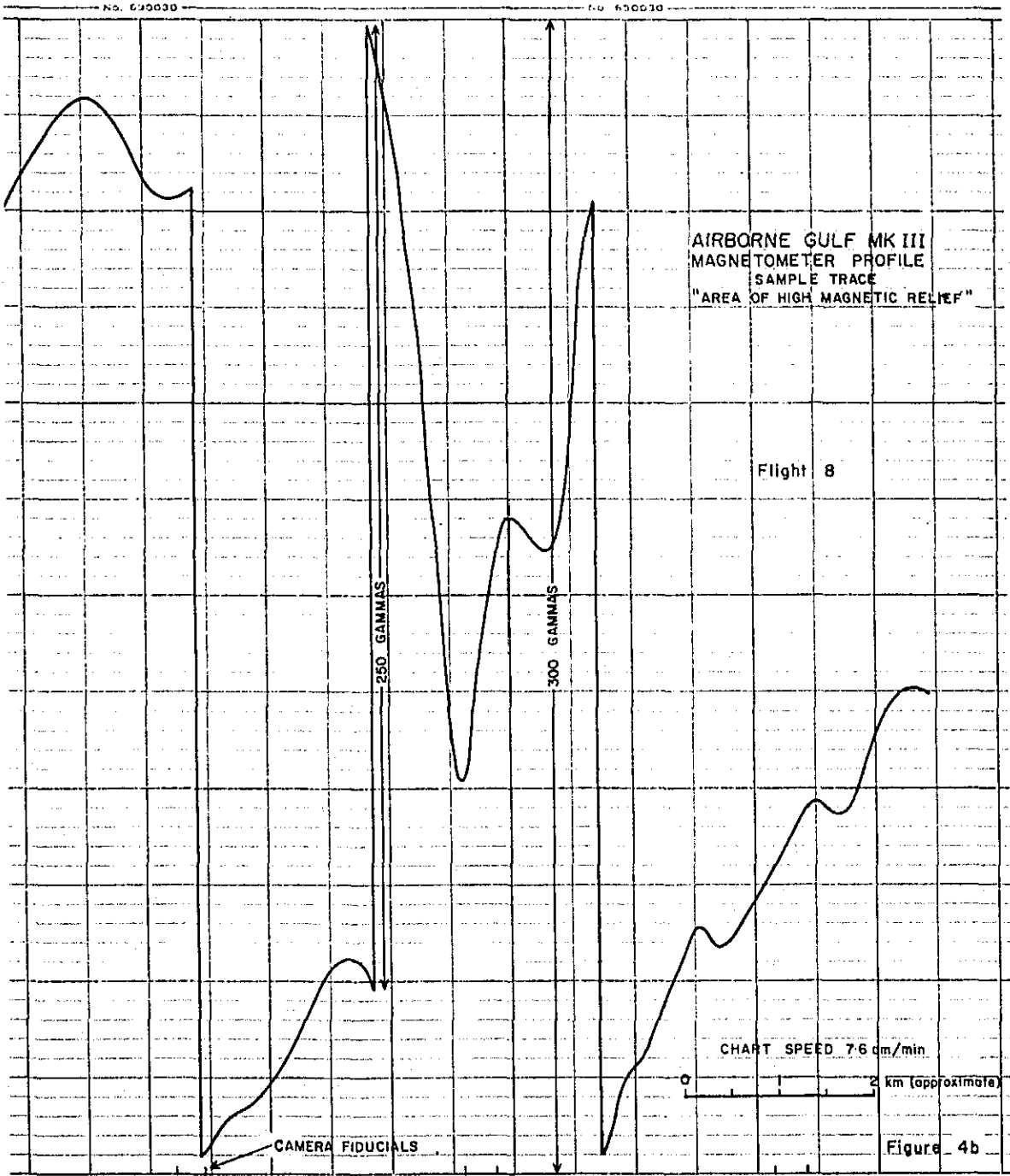
この磁力計は、磁気嵐によって起こるような地磁気全磁力の時間による変化を記録するように設計されている。これらの擾乱中には探査を中断する。

磁力計は一定方向に保たれた飽和鉄心型磁力計よりなっており、記録器およびリモート・コンソールを備えた三脚台上に置かれた。

地上磁力計の出力は 11.4 cm の巾を持つ曲線スケール記録紙に連続的に記録された。記録紙

AIRBORNE GULF MK III
MAGNETOMETER PROFILE
SAMPLE TRACE
"Area of low magnetic relief"





MADE IN CANADA BY HETTINGER CHARTS LTD. TORONTO, ONT. CANADA

MADE IN CANADA BY HETTINGER CHARTS LTD. TORONTO, ONT. CANADA

送り速度は1時間に30.5 cmである。Fig. 5は地上磁力計のサンプルを示している。

記録紙のフルスケールは250ガンマの磁力値の変化をあらわし、一時間ごとに刻時マークが記録紙の端に記録された。

2-3-3 Honeywell 電波高度計(HG9050)

この高分解能高度計は飛行機と最も近い物体との間の距離を測る。高度計は4,600 MHz (megahertz)で動作している電磁波パルス型の狭い孔を持つ送波器からなっている。

高度計からの出力は正方スケールアナログ記録紙に記録される(Fig. 6参照)；

記録紙送り速度 : 5 cm/分

フル・スケール ; 12.7 cm - 高度 1,524 m 上端が 0 m.

2-3-4 C. A. R. L. Mk VII 位置標定用カメラ

この位置標定用カメラ(トラッキングカメラ)は35mmフィルムを用いたフレーム・カメラであり、フレーム・サイズは縦25mm横28mm、焦点距離48.5mmである。横方向の撮影範囲は対地高度の1.5倍であり、縦方向の撮影範囲はそれよりも多少小さい。各々のフレームには、露出の瞬間フレームの端に“Veeder”のカウンター番号をうつすプリズムによって番号がうたれた。10枚毎の露出と連動して、fiducial pulseがすべての機上記録紙に記録された。カメラはドップラー装置により400m間隔でトリガーされた。

2-3-5 Wild RC-9 超広角空中写真用カメラ

RC-9カメラは空中写真撮影および地形図作成のための主要な機器となっている。このカメラの主要な性能は：

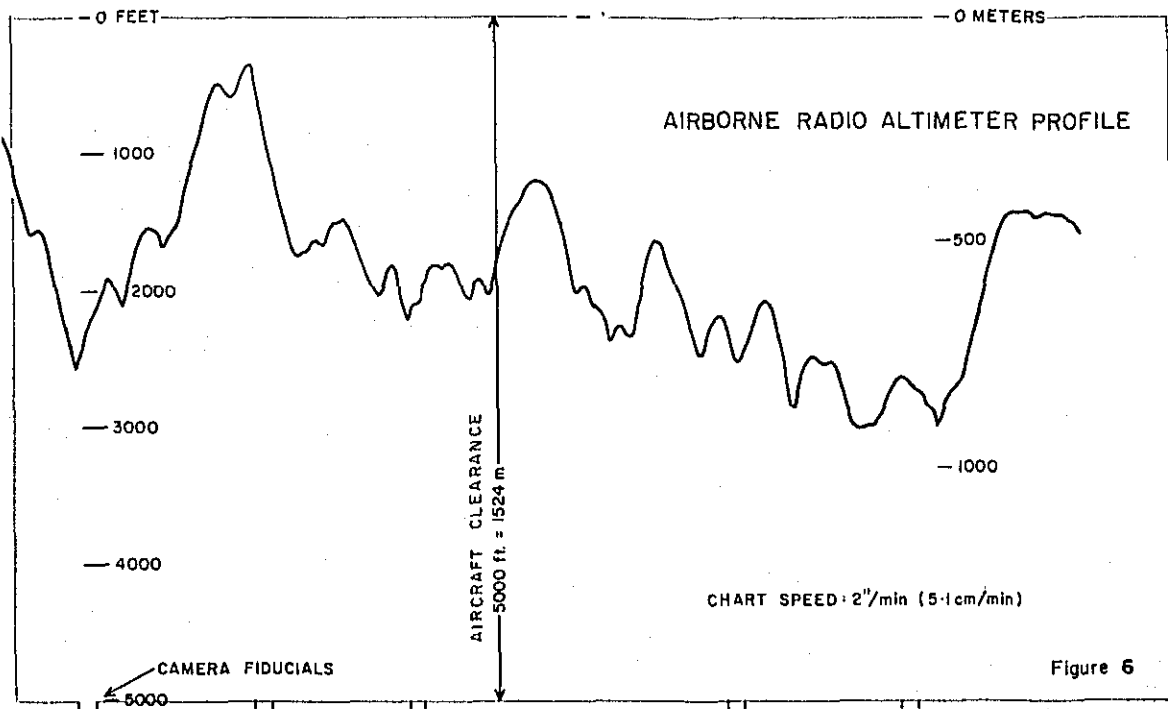
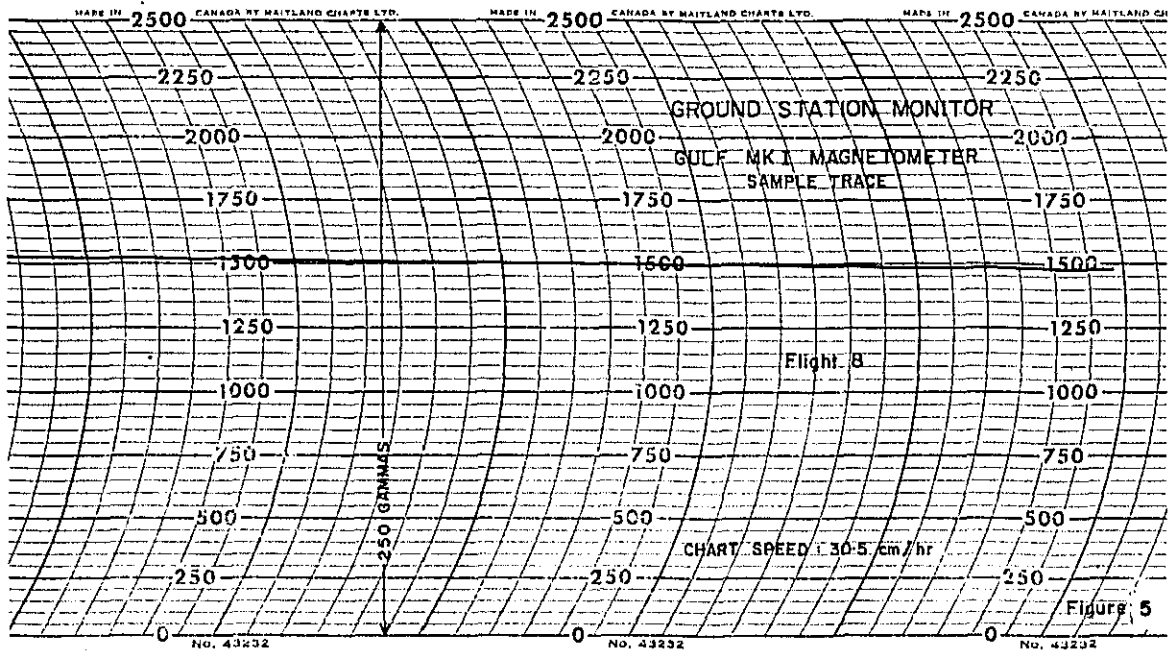
(1) 焦点距離 : 88 mm

(2) 広 角 : 120°

(3) フィルム・サイズ : 228 mm × 228 mm

(4) B3Bカメラ距離計による重複度調節

88mmの短かい焦点距離および120°の広角により、標準的な90°焦点距離152mmのカメラを用いた際の必要な高度に比して、ほぼ60%の高度で写真撮影が可能である。



2-4 現場調査班

スラウェシ島パルーを基地としての空中磁気探査・空中写真撮影作業は下記の調査班により実施した；

- (1) 調査班長（航空機パイロット）および交代パイロット
- (2) 副班長（ナビゲーター／空中写真撮影士）
- (3) エレクトロニクス技術者／オペレーター
- (4) 室内写真作業技術者
- (5) データ・マン
- (6) 航空機整備士
- (7) 主任技師（物理探査担当）
- (8) 技師（同上）

2-5 飛行成果

空中磁気探査測線は、南北方向に 88 本の主測線、東西方向に 9 本のタイ・ラインおよび南西部に 1 本斜めのタイ・ラインを設定した。空中写真撮影測線は、南北方向に 22 本の主測線、東西方向に 3 本のタイ・ラインおよびパルー峡谷に沿って 1 本のタイ・ラインを設定した。

Fig.7 に示した図は、1970年9月28日パルーを基地に調査を開始してから、10月27日本調査を終了するまでの30日間の飛行成果を総延長距離にて示している。一日平均の成果は：

空中磁気探査 345.6 km

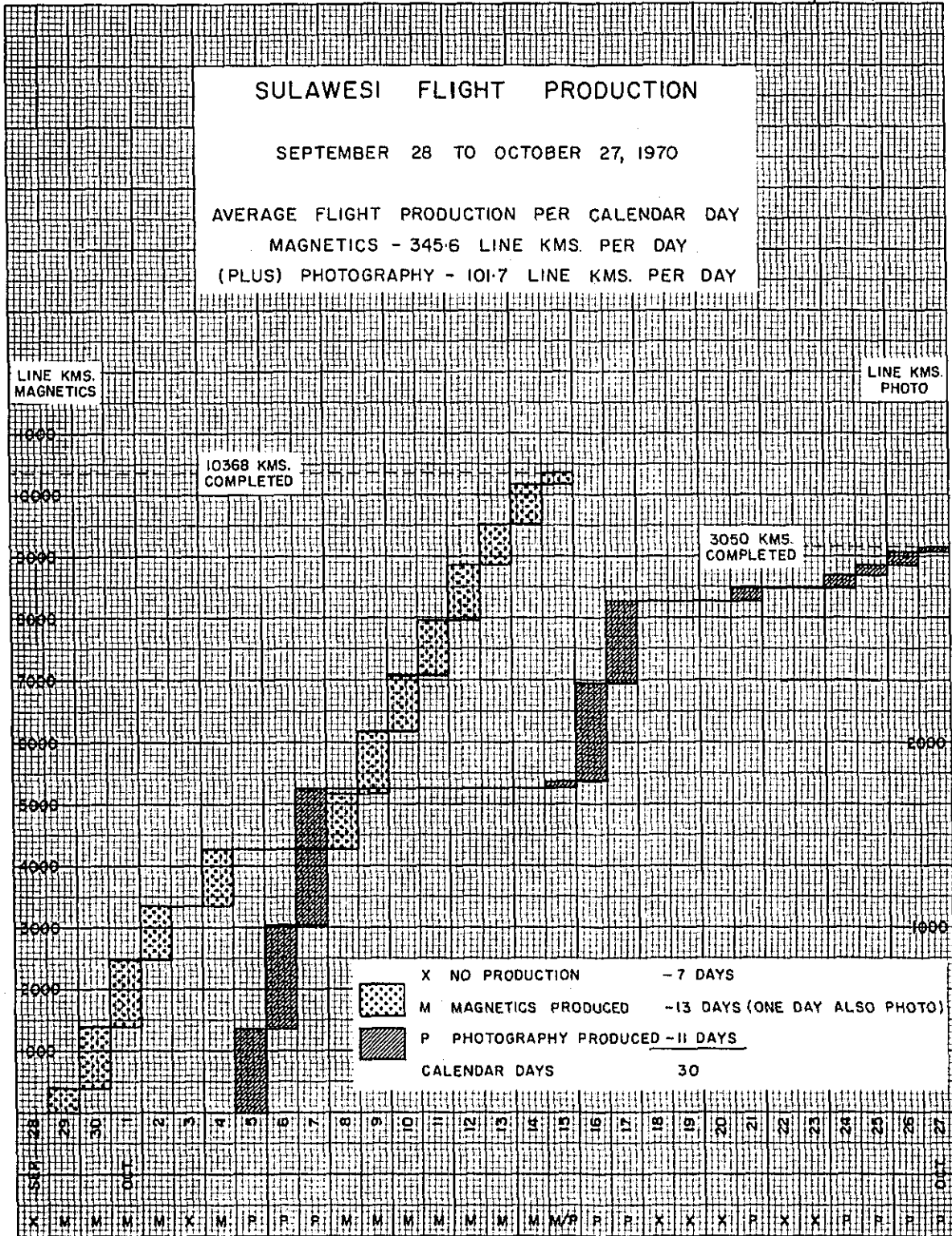
および

空中写真撮影 101.7 km

であり、雲量の少ない日には空中写真撮影を優先して実施した。

空中写真撮影の現地版標定図は、調査終了後、前述の1/100,000地形図を縮小した1/250,000の図面に記入して、インドネシア当局に提出した。Fig.8は縮尺1/500,000に拡大した既存地形図にプロットした空中写真標定図である。

Figure 7



K&E 10 X 10 TO THE 1/4 INCH 359-12
 KEUFFEL & ESSER CO. MADE IN U.S.A.

3. 地上における磁気探査作業

3-1 探査機器検査・現地版等磁力線図作成・地表磁気探査

1970年10月16日から23日にかけて本調査物理探査班は、バルーにて種々の磁気探査作業を実施した。この作業はOTCA(海外技術協力事業団)を代表する駒井二郎氏の検査を受けた。これらの作業は下記の通りである。

3-1-1 探査機器検査

空中磁気探査作業の遂行に当り、仕様書の遵守および測定機器の検査が行なわれた。

- (1) 地上モニター磁力計記録の点検によると、本調査中の地磁気日変化は全く小さく、一般に一時間に20ガンマにも達しない変化の割合であり、包絡線雑音は2ガンマより小さかった。
- (2) 機上記録の点検によると、記録は事実上良好であり、1ガンマを越えるような固有雑音はなかった。
- (3) 電波高度計記録の点検によると、高度計はよい分解能を示し、高度0~1,520mに対し記録はよい直線対応をなしていた。

3-1-2 現地版等磁力線図

空中磁気記録は、調査地域の一般的な磁気特性を調べ、地表地質調査および地表物理探査のための資料とすべく現地にて50ガンマの等値線間隔、縮尺1/160,000にて現地版等磁力線図を作成した。

本調査地域は、次の三つの磁気特性をもつ区域に分けられるように思われる；

- (1) マカッサル海峡に沿った第三紀堆積盆地とかなりよく一致する低磁性変化の区域
- (2) 事実上磁性に欠けていると思われる中央区域
- (3) 中ないし高磁性によって特徴づけられる東部区域

また非常に多くの断層帯が等磁力線図のコンターパターンから解釈された；バルー断層帯(フォッサ・サラシナ)は直線状にてはっきり表われていた。

3-1-3 地表磁気探査

河川の氾濫および道路状況の悪条件のため、地表磁気探査作業は非常に限られた。わずかに一本の測線がバルーから南東へ向う道路に沿って設定され、1kmの測線長でわずか10ガンマの変化が観測された。このことは当地域の空中磁気探査で観測されたごとく、非常に低い磁性変化を裏付けている。

3-2 岩石磁気測定

現地作業中(1970年10月~11月)地表地質班により、12個の岩石試料が収集された。これらの試料は、空中磁気記録解析の資料として、岩石磁気の室内測定用に用いた。Fig.9は概略地質図にこれら試料を収集した位置を示している。

Table 1はこれら試料の岩相および帯磁率、残留磁気の測定結果を示している。帯磁率測定は地質調査所所有 Bison Instruments Model 3101-A を用いて行なった。残留磁気測定は、無定位磁力計を用い東北大学で行なった。

12個の試料のうち11個は、花崗岩・花崗閃緑岩・変成岩の試料であり、 100×10^{-6} c.g.s. 電磁単位 (electromagnetic units) 以下の極端に弱い磁性を示している。このことは0.1%以下の磁鉄鉱含有量に相当している。(Grant and West, 1965, "Interpretation Theory in Applied Geophysics" pp. 366-368)。このことより、酸性貫入岩や堆積岩によって構成されている本調査内の区域は、ほとんど磁性がないか、あっても弱いことが明白である。

火成岩の一試料安山岩は、 $2,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. 電磁単位 (磁鉄鉱含有率約1%) を越える帯磁率を示しており、酸性火成岩のそれよりもはるかに大きい値を示している。それゆえ、大きな磁性変化が塩基性火成岩によって構成されている区域に対して期待される。

上記の測定値は、下記の T. Nagata (1969) による帯磁率測定値とよく一致している。

Rock Type	$k \times 10^{-6}$ c.g.s.
Basaltic rocks	10,000
Andesite rocks	1,000 ※
Granitic rocks	100 ※
Sediments	10

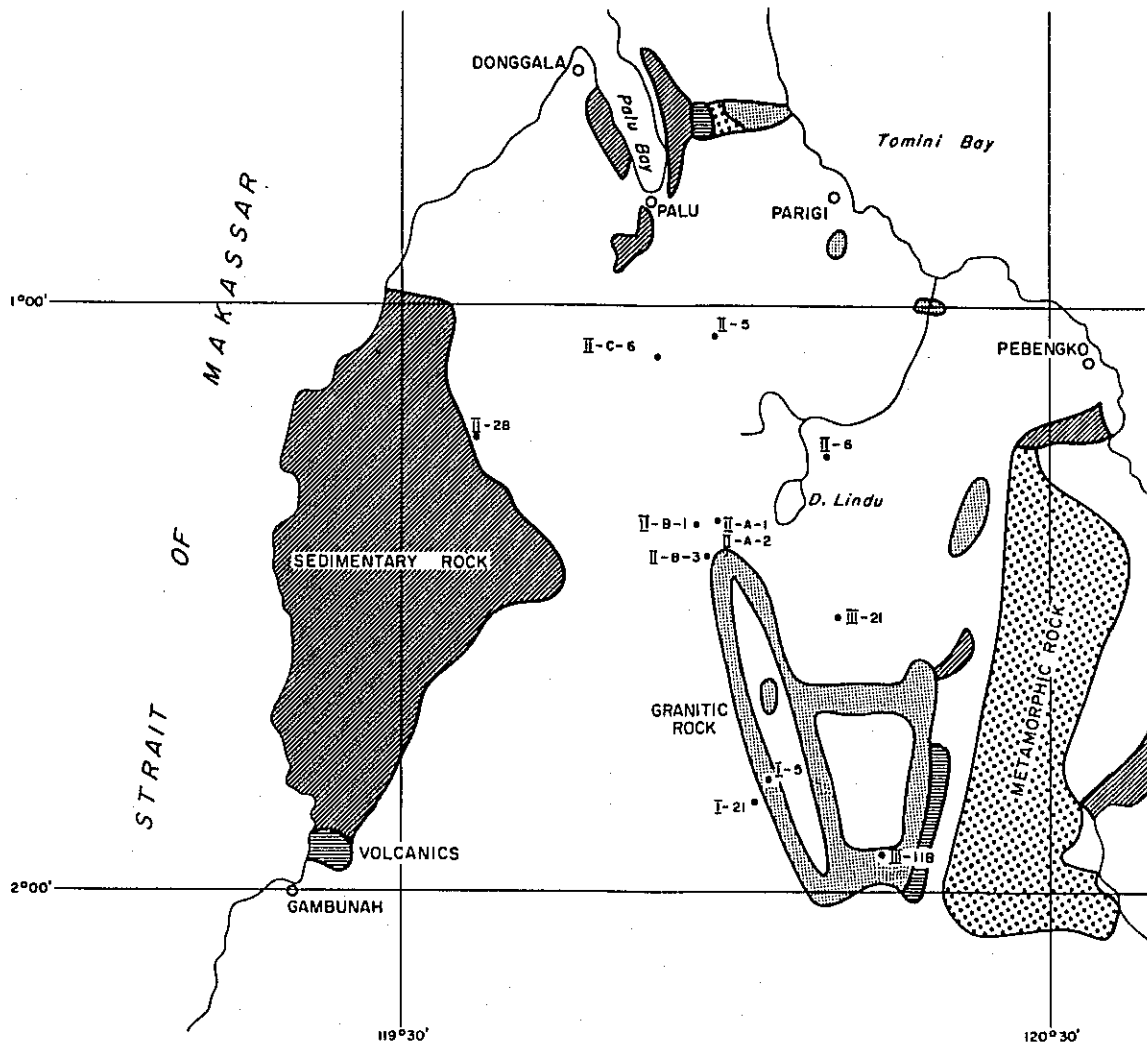


Figure 9
LOCATION MAP*

SHOWING SITES OF ROCK SAMPLES FOR MAGNETIZATION MEASUREMENT



* REFERENCE: USGS MAP (1965) "GEOLOGIC MAP OF INDONESIA" (1:2,000,000)

Table 1 : ROCK MAGNETIZATION MEASUREMENTS

Sample No.	Magnetic Susceptibility $\times 10^{-6}$ c.g.s.e.m.u.	Remanent Magnetization			Lithology
		Intensity $\times 10^{-6}$ c.g.s.e.m.u.	Dec.	Incl.	
I-5	<100	2			Biotite granite
I-21	2060 *	170	65.26E	26.61N	Hornblende biotite andesite
II-A-1	<100	9	55.32E	15.08S	Biotite granodiorite
II-A-2	<100	9	27.30E	34.52S	Biotite plagioclase schist
II-B-1	<100	3	102.74E	32.65N	Biotite granite
II-B-3	<100	2			Biotite schist
II-C-6	<100	131	11.09E	58.51N	Biotite Hornblende granite
II-5	<100	120	3.07E	61.35N	Biotite sheared granite
II-6	<100	6	60.21E	26.42S	Biotite hornfels
II-30	<100	2	164.05W	46.32N	Hornblende dacite
III-11B	100 *	0.4			Biotite granite
III-21	<100	0.5			Quartz sericite chlorite schist

4. 空中磁気記録の整理・編集

空中磁気記録の整理および編集手順を以下に記述する。

4-1 現地航跡標定

現地にて、35mmトラッキング・カメラ・フィルムを用い、各測線を縮尺1/40,000 空中写真の三枚毎の密着焼(228×228 mm)上に標定した。この作業は、後に全調査地域を覆うモザイク写真を用いて行なう標定に対する暫定的なものである。

4-2 略集成写真

調査終了後、本調査の空中写真を用いて、略集成写真(モザイク写真)を縮尺1/50,000で、9図面に編集した。このモザイク写真をつくった目的の一つは、空中磁気探査航跡標定であった。またこのモザイク写真作成の主要な目的は、地表地質データと写真地質成果の編集を助けることであった。

本報告書のため、9面のモザイク写真を縮尺1/250,000のモザイク写真に縮小した(Fig.10)。

4-3 航跡標定

本調査の空中写真による縮尺1/50,000のモザイク写真を用い、手始めに航跡標定を行なった。このモザイク標定により空中磁気探査の主測線とタイ・ラインとの交点を標定した。

4-4 磁気原図作成のための位置標定

空中磁気探査記録を等磁力線図に編集する原図として、当初は縮尺1/50,000モザイク写真の使用を計画していた。しかし残念なことにインドネシア当局は、空中写真フィルムの日本への一時的持出し許可を速かには決定しなかった。それゆえ修正モザイク写真作成に必要な空中三角測量を行なうための十分な時間がなかった。

空中磁気探査の主測線とタイ・ラインとの交点の標定に用いられた略モザイク写真は、精度のよい等磁力線図作成のためには十分でないことがわかった。それゆえ、それにかわる磁気図の編集手順を本調査においては用いた。

本調査に用いた方法は、下記のデータに基づいた“多格子法”ともいべきものである；

- (1) 測線に沿ったドブラー記録
- (2) 多数の主測線とタイ・ラインとの交点 — これらの交点は地理的に公刊地形図上に正確におとされる。

4-4-1 ドラッキング・カメラ刻時マークおよびドブラー航法

前述のごとく、35mmトラッキング・カメラの十枚毎の露出マークが記録装置アナログ・チャートの縁に刻時ペンにて記録され、物理探査記録との対応がなされた。トラッキング・カ

メラの露出は、飛行機のドップラー航法システムにより、航跡に沿って0.4 km 間隔でトリガーされた。アナログ・チャート自身は7.6 cm/分の速さであり、すなわちチャートのスケールは飛行機の速度により変化し、記録されたトラッキング・カメラ刻時マークは記録のいかなる部分のスケールをも正確に決める目安となる。

4-4-2 ドップラーによる測定結果と公刊図面との対応

縮尺1/250,000 公刊地形図にもとづき、航跡に沿ってのドップラーにより測定した距離の精度決定を試みた。本調査地域の北東・北西および南西端に位置した主測線とタイ・ラインとの交点5点を地形図上におとした(Table 2)。

Table 2. INTERSECTION OF SURVEY CONTROL AND TRAVERSE LINES

Point	Control Line	Traverse Line	Latitude	Longitude
1	C-1	T-1	1° 00' 19" S	120° 28' 45" E
2	C-1	T-76	1° 00' 30"	119° 29' 00"
3	C-3	T-76	1° 15' 50"	119° 27' 50"
4	C-3	T-85	1° 15' 50"	119° 20' 45"
5	C-9	T-85	1° 59' 20"	119° 20' 45"

点1と点2とが東西方向の基線を構成する。点2・3・4および点5が、マカッサル海峡近くに南北方向の二本の基線を構成する。C-1 測線(C:タイ・ライン)に沿った東西方向の基線の場合、ドップラーによる測定距離は公刊地形図と対比すると0.06 km 以内の誤差で一致していた。

同じことが、南北方向の基線の一方、すなわち点2と点3とを結んだ基線の場合にも言える。点4と点5とを結んだ基線の場合、ドップラーによる測定距離は地形図と対比して2%長かった。

したがって、空中磁気記録の編集は、ドップラーによる測定と主測線とタイ・ラインとの交点とから決められた測線長のネットワークを用いて行なうことが十分可能であることを示している。

4-4-3 ネットワーク法および磁気図の完成

9本の東西方向のタイ・ラインと、10本毎の南北方向の主測線により、本調査のネットワークを設定した。各線分の長さは航跡に沿ったドップラー測定値より決めた。ネットワーク

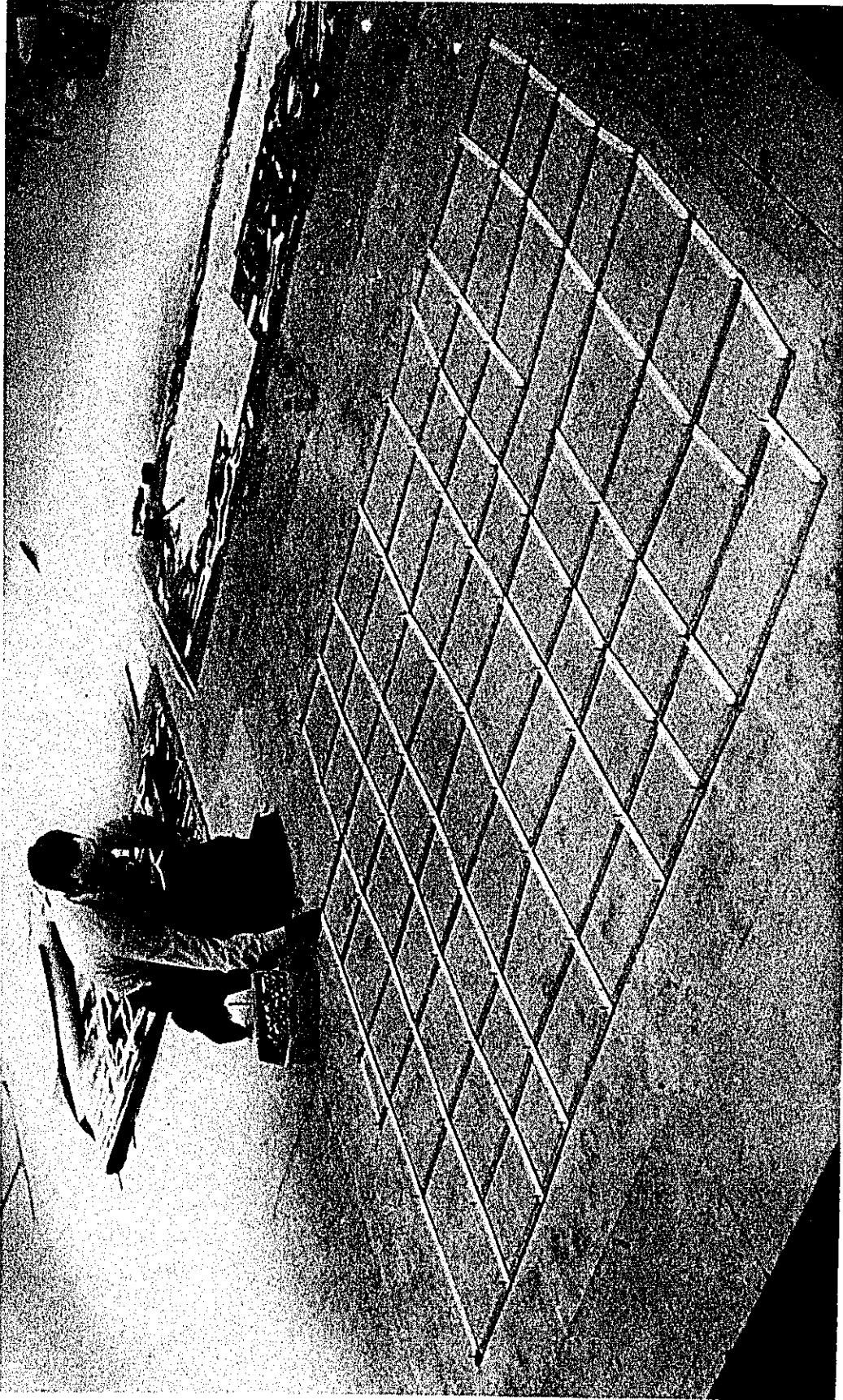


FIG. II ASSEMBLY OF DOPPLER NETWORK

は、縮尺 1/50,000 の地形図上に置いたマイラー上に重ねられ、マイラーには 10 分間隔で経緯度線が引かれてある(“Universal Transverse Mercator Grid Tables”にもとづいた)。普通航空測量にて用いられるテンプレット法(slotted template)により、ネットワークを機械的に組立て(Fig.11参照)、Table2の5点を用いて固定した。これらの点は、北端・西端にあり、ネットワークの基準点となった。

その後、すべてのネットワークの交点をマイラー上におとした。トッブラーによるネットワーク図は、それから一連の交点を直線で結び、残りの主測線は、主測線とタイ・ラインとの交点の位置をトラッキング・カメラ・フィルムを用いて標定し、ネットワーク内に配置した。

Fig.12は全測線ネットワーク(磁気原図)の縮小図面(縮尺1/250,000)であり、この図面が測線配置を示している。またこの図面および他のすべての図面に、80個の“参照点”(reference fiducial)が示されている。これらの点は、1/50,000モザイク写真と正確に対応できる測線の交点である。またこれらの点を用いることにより、対応する等磁力線図、解析図およびモザイク写真相互の関係がつけられる。Table2の5つの基準点は、夫々参照点18, 1, 6, 5 および60に相当している。Table3は参照点の位置を、主測線およびタイ・ライン上での35mmトラッキング・カメラ・フィルムの刻時マークを用いて書き表わしている。

Fig.13は、Fig.12を用いて、上述の磁気原図を作るのに用いたドッブラーによる距離測定値を示している。

この図に示された測線配置は、タイ・ライン間では直線にて示しているが、実際には方向が多少変化している。しかし直線からのこれらのずれは非常に小さいので無視できる。

Table 3: REFERENCE FIDUCIAL LOCATIONS

Magnetic Sheet No.	Photo Mosaic Sheet No.	Circuit Fiducial	Line Intersection Position			
			Control Line		Traverse Line	
			No.	35 mm. fid	No.	35 mm. fid
1	1	1	C-1	632.2	T-76	2265.6
		2	C-1	590.3	T-64	18.7
		3	C-2	59.5	T-76	2229.3
		4	C-2	103.2	T-64	54.3
		5	C-3	673.3	T-85	4816.5
		6	C-3	706.8	T-76	2195.0
		7	C-3	742.4	T-67	4203.4
2	2	8	C-1	576.2	T-60	635.7
		9	C-1	526.1	T-47	608.0
		10	C-1	474.6	T-33	2375.6
		11	C-2	121.2	T-60	670.2
		12	C-2	180.7	T-44	2272.8
		13	C-2	223.0	T-33	2339.2
		14	C-3	776.8	T-58	2264.2
		15	C-3	835.8	T-42	1235.9
3	3	16	C-3	869.8	T-33	2307.8
		17	C-1	425.8	T-20	1151.5
		18	C-1	354.7	T-1	638.1
		19	C-2	240.9	T-28	53.0
		20	C-2	269.5	T-20	1190.8
		21	C-2	309.0	T-10	681.7
		22	C-2	343.1	T-1	676.0
		23	C-3	888.2	T-28	85.7
		24	C-3	916.6	T-20	1220.4
4	4	25	C-3	958.5	T-10	654.8
		26	C-3	992.6	T-1	704.5
		27	C-4	36.1	T-85	4786.5
		28	C-4	70.0	T-76	2164.7
		29	C-4	114.8	T-65	481.0
		30	C-5	724.2	T-88	4999.1
		31	C-5	679.3	T-76	2126.2
		32	C-5	638.2	T-65	443.2
		33	C-6	788.2	T-88	5029.3
		34	C-6	834.4	T-76	2095.8
		35	C-6	874.7	T-65	412.1

Table 3: REFERENCE FIDUCIAL LOCATIONS
(Continued)

Magnetic Sheet No.	Photo Mosaic Sheet No.	Circuit Fiducial	Line Intersection Position			
			Control Line		Traverse Line	
			No.	35 mm. fid	No.	35 mm. fid
5	5	36	C-4	133.3	T-60	736.7
		37	C-4	172.3	T-49	1330.6
		38	C-4	216.8	T-37	1630.2
		39	C-4	238.5	T-32	1914.3
		40	C-5	617.8	T-60	772.8
		41	C-5	577.5	T-49	1362.7
		42	C-5	533.5	T-37	1598.8
		43	C-5	512.8	T-32	1945.8
		44	C-6	894.5	T-60	805.6
		45	C-6	935.0	T-49	1399.1
		46	C-6	981.3	T-37	1559.7
47	C-6	1000.0	T-32	1986.8		
6	6	48	C-5	499.5	T-28	150.8
		49	C-5	460.9	T-19	2635.1
		50	C-5	396.4	T-2	487.4
		51	C-6	1013.0	T-28	191.2
		52	C-6	1089.7	T-7	2030.0
		53	C-6	1113.7	T-2	444.7
7	7	54	C-7	1473.5	T-85	4676.9
		55	C-7	1439.6	T-76	2056.1
		56	C-7	1406.5	T-67	4063.8
		57	C-8	1563.5	T-83	2667.5
		58	C-8	1590.5	T-76	2021.3
		59	C-8	1625.3	T-67	4029.2
		60	C-9	2223.4	T-85	4613.2
		61	C-9	2191.0	T-76	1991.8
		62	C-9	2155.4	T-67	3999.3
		8	8	63	C-7	1378.3
64	C-7			1335.8	T-49	1430.6
65	C-7			1290.5	T-37	1529.3
66	C-7			1269.4	T-31	2169.0
67	C-8			1652.2	T-60	876.8
68	C-8			1704.0	T-46	352.0
69	C-8			1757.4	T-32	2054.5
70	C-9			2126.3	T-59	323.1
71	C-9			2071.2	T-45	296.4
72	C-9			2041.7	T-37	1462.4

Table 3: REFERENCE FIDUCIAL LOCATIONS
(Continued)

Magnetic Sheet No.	Photo Mosaic Sheet No.	Circuit Fiducial	Line Intersection Position			
			Control Line		Traverse Line	
			No.	35 mm. fid	No.	35 mm. fid
9	9	73	C-7	1259.0	T-28	220.7
		74	C-7	1234.5	T-22	1040.3
		75	C-7	1160.2	T-2	410.5
		76	C-8	1768.4	T-29	349.7
		77	C-8	1844.3	T-11	970.0
		78	C-8	1872.3	T-1	877.9
		79	C-9	2002.9	T-26	2838.0
		80	C-9	1952.6	T-13	1584.9

4-5 地磁気日変化補正および基準磁界補正

4-3章で述べたおよそ15km間隔のネットワーク交点の分布は、日変化補正および基準磁界補正を行なうのに適当な格子であった。しかしこれらの位置の多くは高い磁気勾配の位置に近く、正確な日変化補正を行なうには望ましくない位置であった。そのためこれに変わる主測線とタイ・ラインとの交点が、低い磁気勾配の位置に選ばれた。

磁気記録補正のために選ばれた点格子は、“Circuit Fiducial” を結んだ閉路からなるパターンを形成している。

4-5-1 基準線

磁気記録を簡便に扱うため、任意の基準線を用い、磁気強度の観測値41,500ガンマを任意の値4,500ガンマに等しいとした。すなわち37,000ガンマの有効基準値をもつ。磁気図(4-6章参照)が磁力値の絶対値41,750ガンマではなく、あるいはまた基準磁界を取り除いた残差約650ガンマでもなく、4,750ガンマのような値を持つのは、この任意の基準線を使用したためである。

4-5-2 日変化補正

隣接するCircuit Fiducial間で、地上モニター磁力計記録の点検が地磁気日変化の値を決定するため行なった。それによると、この変化は全く直線的で、通常15kmの測線長に対し1または2ガンマ以下であった(最大で5ガンマ)。日変化は机上磁気記録より差し引いた。

4-5-3 閉塞誤差

すべてのCircuit Fiducialで、主測線とタイ・ラインとの磁力値の差を求めた。この差(日変化補正後の)は、主に南北方向の主測線と東西方向のタイ・ラインとの間の飛行高度の違いによっている。各々の閉路に関し、4個のCircuit Fiducialでの主測線とタイ・ラインとの磁力値の差を閉路のまわりで加え合せたものが閉塞誤差であり、その値がすべての閉路で計算された。閉塞誤差は非常に小さい値で、およそ60kmの距離で4~5ガンマ程度であった。その後、閉塞誤差を閉路の4辺に沿って距離に比例して配分した。

4-5-4 基準磁界補正

磁気プロファイルを見ると、かなり急な勾配が、特に南北方向に明らかに見られる。これは主に当該地域の大局的地磁気成分によるものである。この成分は地球深部、地表面下約3,000kmのコアーとマンツルの境界面近くに起因するものである。地質学的な目的のためには、こ

の大きな成分を取り除くことが、より有効である。本調査地域の大局的地磁気成分は、'International Association of Geomagnetism and Aeronomy' に採用されている、"International Geomagnetic Reference Field" (I. G. R. F.) をもとにして決めた。この I. G. R. F. は非常に高い高度での Satellite による測定にもとづき求められ、8 次の球面調和関数で表わされている。

本調査地域の I. G. R. F. を計算するために用いたコンピューター・プログラム (Environmental Science Service Administration, U. S. A. によるもの) の入力は、その点の経緯度、探査高度および観測年度よりなっている。Table 4 は本調査地域の経度 25', 緯度 20' の間隔で 16 点行なった計算結果である。例えば、南緯 1°40', 東経 120°05', 海拔高度 1,600 m での 1970 年の地磁気要素は;

全 磁 力 : 42,231.7 ガンマ
 伏 角 : 23.7° S
 偏 角 : 1.5° E

Table 4 より、地磁気傾度はおよそ南北に 5 ガンマ/km、東西に 1 ガンマ/km であることがわかる。

Table 4: GEOMAGNETIC COMPONENT* SULAWESI (1970)

longititude \ latitude	119°15'E	119°40'E	120°05'E	120°30'E
1°00'S elevation	42044.7 (600 m)	42010.4 (1100 m)	41962.1 (2200 m)	41966.7 (800 m)
1°20'S elevation	42168.5 (600 m)	42132.5 (1200 m)	42101.8 (1500 m)	42064.0 (2100 m)
1°40'S elevation	42299.8 (600 m)	42253.4 (1700 m)	42231.7 (1600 m)	42214.0 (2500 m)
2°00'S elevation	42430.6 (600 m)	42388.9 (1500 m)	42337.4 (2800 m)	42337.1 (1700 m)

*Based on International Geomagnetic Reference Field 1965

16個の I. G. R. F. の値を、本調査地域をおおひ磁力図として大局的地磁気成分を計算するのに用いた。この図により、各々の磁気プロファイルに基準点をプロットした。この基準点は、前述の日変化補正および分配された閉塞誤差をも含んでいる。

Fig. 14 は、格子交点における補正磁力値を順次示すため、縮尺 1/250,000 の磁気原図を合成したものである。

4-6 等磁力線図

10 ガンマ毎（基準線をもとに）の位置と極大値・極小値の位置を各々の磁気プロファイル上にしるし、その位置を 35mm トラッキング・カメラの刻時マークと対比し、縮尺 1/50,000 の磁気原図にかかれた測線上におとした。

次に、プロットされた等値点をスムーズに結び、等値間隔 10 ガンマの等値線図を描いた。この図が等磁力線図で、1/50,000 (Fig. 15, 9 図面)、1/100,000 (Fig. 16, 3 図面) および 1/250,000 (Fig. 17, 1 図面) の三種類の縮尺で示されている。この図にはまた、測線、主要な地形、参照点および経緯度線が含まれている。この等磁力線図は、地磁気の I. G. R. F. 近似による補正後の地磁気全磁力方向の磁化の強さの変化を示している。

4-7 磁気図と略集成写真との対応

等磁力線図に示した参照点を、35mm トラッキング・カメラ・フィルムを用いて、縮尺 1/50,000 モザイク写真上にも示した。このことは、モザイク写真にもとづいて行なった結果、例えば地表地質調査および写真地質判読の成果図、との対応をつけるために行なった。

参考のため、Circuit Fiducial もまた、縮尺 1/250,000 モザイク写真に示した (Fig. 10)。更に、磁気記録および等磁力線図と、現地データおよび写真地質図とを正確に対応づけるため、主測線とタイ・ラインに沿った 35mm トラッキング・カメラのすべての刻時マークを 1/50,000 モザイク写真の作業用図面と、個々の 1/40,000 密着写真の作業用コピーにおとした。

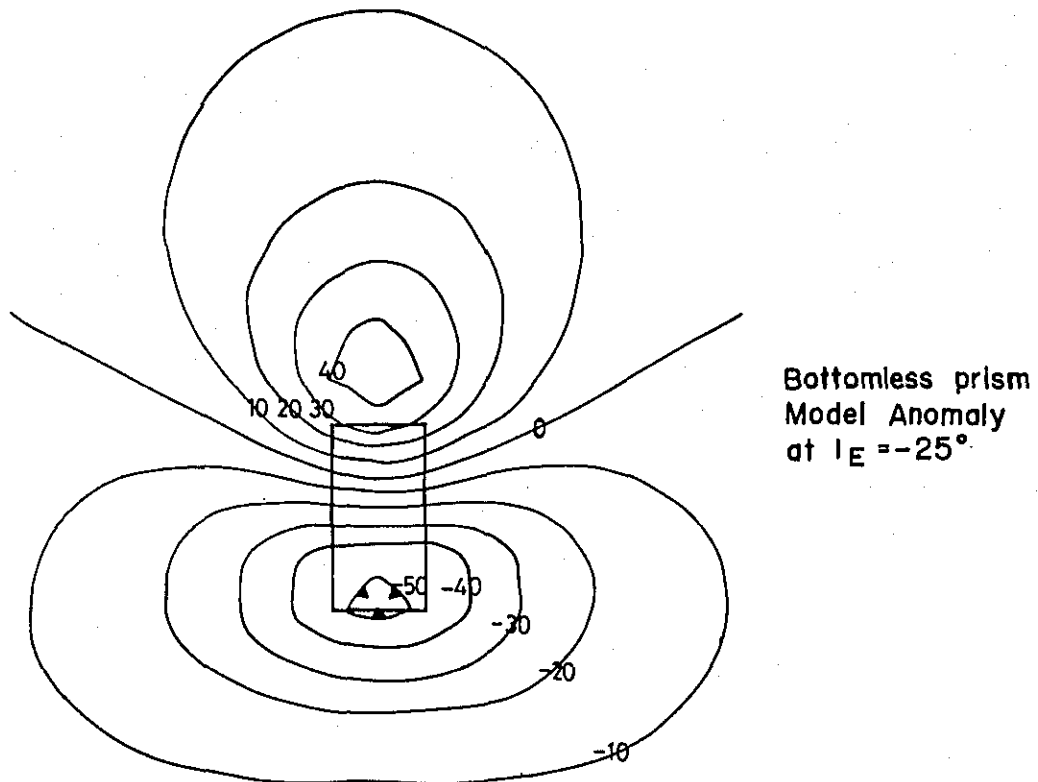
5. 空中磁気記録の解析

5-1 デジタイジング

空中磁気データの適切なサンプリングは、正方格子上でデジタイジングすることによって行われる、この場合、格子間隔は測線間隔の半分よりも狭くとる。縮尺1/50,000の各等磁力線図をつなぎ合せ、格子間隔0.635km(1/2インチ格子)でデジタイジングした。214×176のグリッド・マトリックスで総計37,664個の格子点を設けた。原点、すなわちこの格子の(1, 1)点を最西端測線88の最南端(2°00'S, 119°17.1'E)にとり、データを10ガンマの単位でデジタイジングした。デジタイジングに伴う誤りは、異常に大きな水平勾配をもつ記録を検査するための、コンピューター・プログラムを用いて行なった。

5-2 回帰平面

本調査地域の磁気緯度、すなわち伏角 -25° (または $25^\circ S$)での磁気異常は、隣接した正負のピーク(下のモデルに示したごとく、ほぼ等しい振巾)からなっていることが予想される。



デジタル化された磁気データを調整するため、最小自乗法を用いた一次傾向面が、デジタル化されたデータに対して適用された。この一次傾向面の式は

$$T_0(x, y) = c_1 + c_2x + c_3y$$

ここで、 $T_0(x, y)$ は (x, y) 点における計算値を示し、 x と y は夫々デジタル化の原点(1, 1)から北、東へkm単位で測られ、 c_1, c_2, c_3 は係数である。求められた係数の値は、

$$c_1 = 4,818.8 \text{ ガンマ}$$

$$c_2 = -0.4 \text{ ガンマ/km}$$

$$c_3 = -0.8 \text{ ガンマ/km}$$

である。本調査地域の中心部では $T_0 = 4,742$ ガンマであり、この値は4-5章基準線の項で述べた4,500ガンマなる値に匹敵する。

5-3 エネルギー・スペクトラム

デジタル化された空中磁気データ ΔT のエネルギー・スペクトラム(energy spectrum)を計算した。この計算法はSpector(1968)によって発表されている。それは、デジタル化された図面の大きさが限定されることにより起る歪の影響を回避するため、最初にデータに次の" data window "を乗ずることからなっている：

$$G(x, y) = \frac{1}{4} \left(1 + \cos \frac{2\pi x}{L_x}\right) \left(1 + \cos \frac{2\pi y}{L_y}\right)$$

ここで、 L_x, L_y は図面長である。

複素スペクトラム(complex spectrum)は、この式を数値変換することにより計算される：

$$\Delta \bar{T}(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta T(x, y) \cdot G(x, y) \cdot e^{-2\pi i(f_x x + f_y y)} dx dy$$

ここで $f_x = 0, \Delta f_x, 2 \Delta f_x, \dots, 1/2 \Delta x$

$f_y = 0, \Delta f_y, 2 \Delta f_y, \dots, 1/2 \Delta y$

であり、 Δx は格子間隔0.635 km

$1/(2 \Delta x)$ は folding frequency 0.8 cycle/km(cpkm)

である。また $\Delta f_x = 1/L_x, \Delta f_y = 1/L_y$ (cpkm)は、図面の x, y 方向に相当する周波数増分である。

複素スペクトラムは、実数部と虚数部とで書き表わされる：

$$\Delta \bar{T} = R - iQ$$

エネルギー・スペクトラムは次の式から求められる：

$$E(f_x, f_y) = |\Delta \bar{T}|^2 = R^2 + Q^2$$

エネルギー・スペクトラムの radial component だけが解析には用いられ、この radial component は周波数平面上で方位角に関して E を平均化することによって求められる；

$$E(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E d\theta$$

ここで $\theta = \tan^{-1}(fx/ly)$ 。

この方法を用いた解析法は Spector と Grant (1970) によって示されている。

エネルギー・スペクトラムの radial component の対数形を Fig. 18 に示している。これによると、曲線を 3 つの部分に分けられることが明白である。すなわち 1 つは非常に低い周波数で $0 \sim 0.1$ cpkm であり、周波数の増加とともにスペクトラムの急速な減衰が明らかに深部すなわち探査高度下 5.5 ± 0.4 km に起因していることを示している。この深度は、次の関係式を用いて、対数エネルギー・スペクトラム曲線の勾配から求められる。

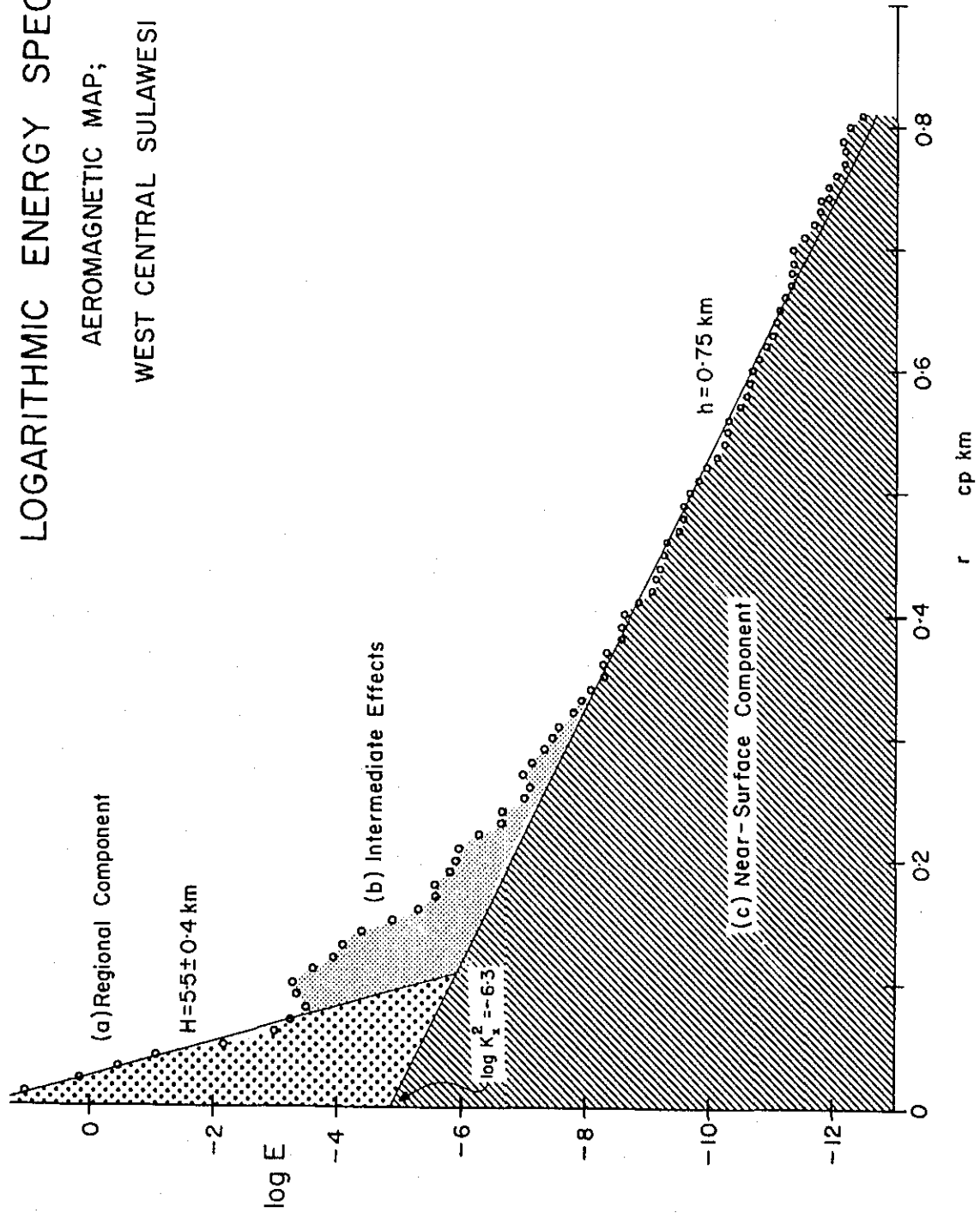
$$H = -\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\log E_1 - \log E_2}{\tau_1 - \tau_2}$$

中間の周波数では、スペクトラム曲線のよりゆるやかな傾斜が、およそ 1.5 km の平均深度での磁気源に起因していることを示している。

スペクトラム曲線の残りの部分、すなわち 0.25 cpkm よりも大きな周波数、あるいは 4 km よりも小さい波長の部分は、地表面下ほぼ 200 m 以内の磁気源によるものを示している。

LOGARITHMIC ENERGY SPECTRUMS

AEROMAGNETIC MAP;
WEST CENTRAL SULAWESI



5-3-1 スペクトラム成分の意義

3つの周波数帯0～0.1, 0.1～0.25および0.25～0.8 cpkmにおける対数エネルギー・スペクトラムの勾配の差は, 3種の明瞭な埋没深度での磁気源によることを示している;

- (1) 深部構造 : 平均深度 地表面下 4.9 km
- (2) 中間構造 : 平均深度 地表面下 0.9 km
- (3) 浅部構造 : 平均深度 地表面下 0.15 km

スペクトラムに対して, 他のより信頼のできる説明ができる。すなわち(1), (2)の成分はおそらく基盤における磁性の地域的变化による影響, 例えばより磁性の弱い花崗岩体によって分離された安山岩質火山岩または磁鉄鉱に富んだ片麻岩帯, を反映しており, また成分(3)すなわち浅部構造はこれらの中の個々の異常の他に, 調査地域の極端に激しい地形からくる影響の反映でもある。このことは浅部異常分布と深部異常分布(5-4章に後述されるマッチトフィルターにより分離される)との広がり方が図面上でその位置が一致することにより立証されるであろう。

一方, マカッサル海峡に沿った本調査地域西部では, 深部に起因する異常が予想される。この地域では, 新期(第三紀)堆積物が磁性を帯びた結晶岩類を覆って, かなり厚く堆積しているものと思われる。

5-4 マッチトフィルター

マッチトフィルターは, すべての波長について, 深部構造より浅部構造を分離するように設計されたプロセスである。このフィルターは浅部構造と深部構造とが, 空中磁気図に対してなされたエネルギー・スペクトラムにおいて, 個々に識別されるときにのみ効果的に適用される。マッチトフィルターは, その名が示す通り, エネルギー・スペクトラムの特徴を利用して設計されている。

二つの深度 h , H と "Power ratio" K_x とが, フィルター演算に必要な変数である(Fig. 18 参照)。深部成分を求めるためのフィルター演算は, 次式の数値計算によって, 加重関数とデジタイジグした磁気データの Convolution によって行なわれる;

$$\Delta T_f(x, y) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta T(\xi, \eta) \cdot W(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(\xi, \eta) d\xi d\eta}$$

WEIGHTING FUNCTION PROFILES

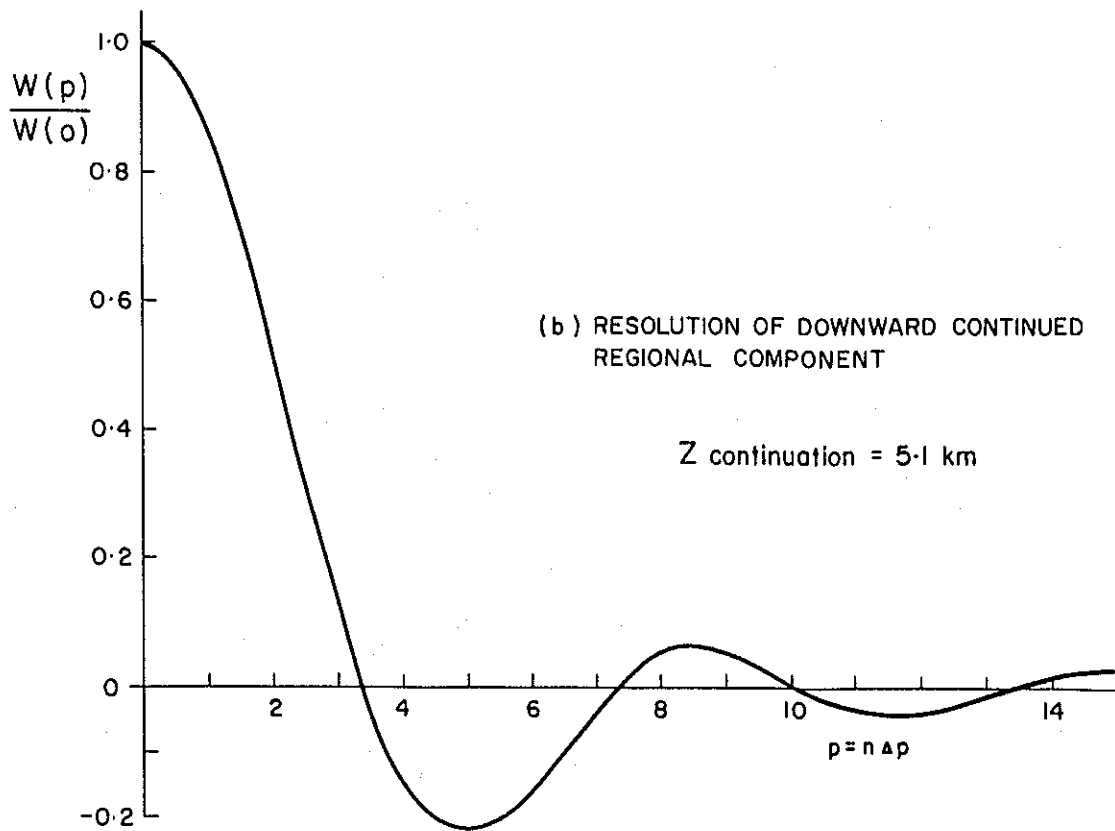
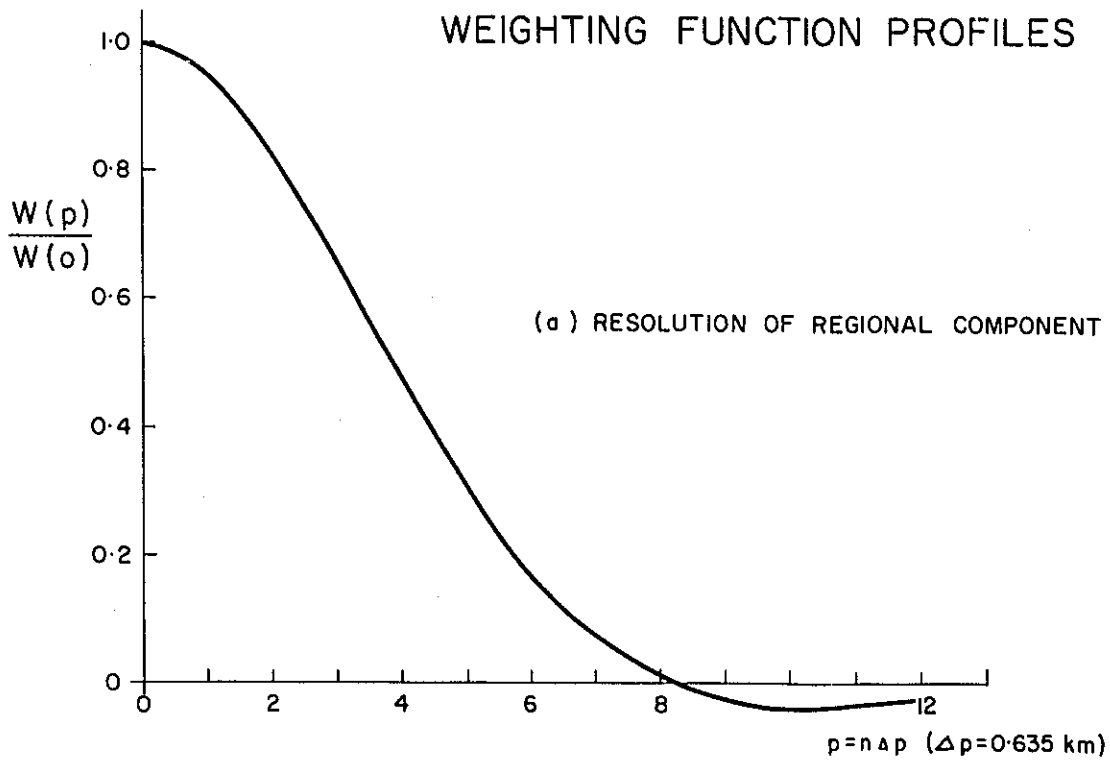


Figure 19

ここで、加重函数Wは次の式を用いて計算される。

$$W(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{r J_0(pr)}{1 + K_x \cdot e^{(H-h)r}} dr$$

ここで $P^2 = x^2 + y^2$

正規化された加重函数のプロファイルが Fig. 19a に示されている。フィルターの有効幅は、概々7格子単位または5 km であることがわかる。これは、フィルター演算が完全には有効でない本調査図の周辺部に隣接した領域の幅である。5格子単位または3 km の境界領域は成果図において空白のままにしておいた。

深部構造成分等磁力線図は、20ガンマの等値間隔で、縮尺1/50,000 (Fig. 20, 9 図面) および縮尺1/100,000 (Fig. 21, 3 図面) にて示している。

5-5 深部構造成分の Downward Continuation および疑似重力法

解析のため、更に次のコンピューター処理がデジタイジングの形で深部構造成分に対し適用された。

- (1) 深部構造の分解能を増すための Downward Continuation
- (2) 磁性体の輪郭をより明確に知るための疑似重力法 (Magnetic Pole Reduction)

5-5-1 Downward Continuation

Downward Continuation 作業のため、デジタイジングしたデータは、次の加重函数と Convolution される；

$$W(x, y) = W(p) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{zr} \cdot J_0(pr) r dr}{1 + K_x \cdot e^{(H-h)r}}$$

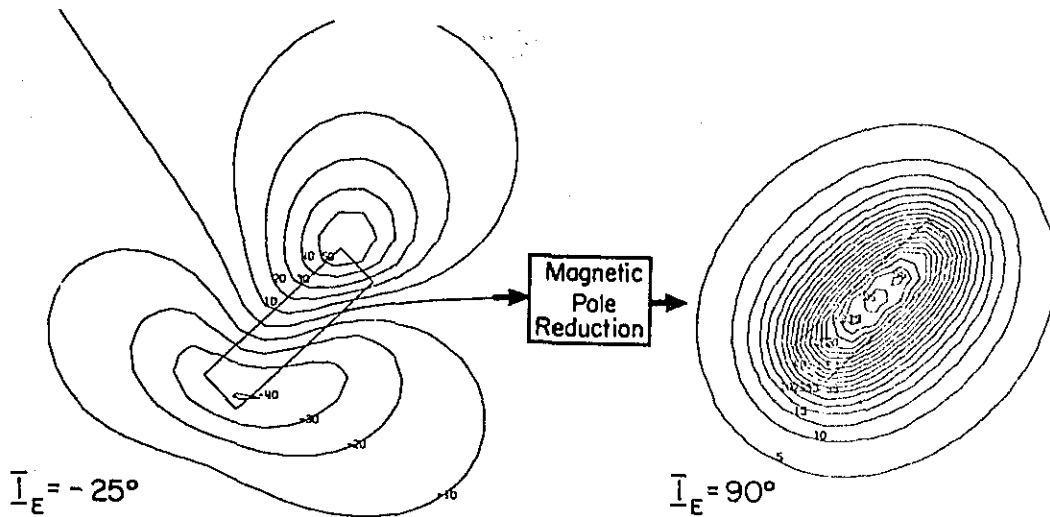
ここで、zは引き下げた深度であり5.1 km とした。Kx, Hおよびhは、深部構造成分を求めの際の、マッチフィルターに用いられたものと同じである。加重函数W(p)/W(0)のプロファイルを Fig. 19bに示している。

深部構造成分の Downward Continuation は、縮尺1/250,000等値間隔20ガンマでつくった。この図面は、特に観測された異常パターンの切断 (truncation), ずれ (offset) または線構造 (lineation) にもとづいた断層構造解析のための作業用図面として用いた。

5-5-2 疑似重力法

深部構造成分等磁力線図の疑似重力法もまた、構造解析のため実施した。本調査地域では25°S (-25°) という小さな伏角のため、各磁気異常は、磁性体の北端および南端近くにある正異常と負異常との両者によって特徴づけられる。加えるに、低伏角地帯では、東西方向の磁

性体による異常が、南北方向のそれによる異常に比較して、より強い磁性を示すことは基本的な性質である。このことは、東西方向の構造に比して、南北方向の構造を検出することを困難にしている。この困難さを除き、それによって構造解析を助けるべく、もう一つのコンピューター処理、疑似重力法を深部構成成分に適用した。この方法によると、観測された異常は、下図に示すごとく、磁極（伏角 $I_E = 90^\circ$ ）におけるのと等価な異常に変換される。



疑似重力法は、等磁力線図 $\Delta\bar{T}$ の計算された複素スペクトラムを利用して行なう。（5-3章複素スペクトラムの計算の項参照）。 $\Delta\bar{T}$ を実数部と虚数部とに分けて書くと、

$$\Delta\bar{T} = R - iQ$$

疑似重力法での複素スペクトラムは

$$\Delta\bar{T}' = R' - iQ'$$

である。ここで

$$R' = [R(A^2 - B^2) - Q(2AB)] / (A^2 + B^2)^2$$

$$Q' = [Q(A^2 - B^2) + R(2AB)] / (A^2 + B^2)^2$$

$$A = \sin I_E$$

$$B = \cos I_E \cdot \sin(D_E + \tan^{-1} f_x/f_y)$$

I_E, D_E は夫々地磁気伏角および偏角

疑似重力法による等磁力線図 $\Delta T'$ は、逆フーリエ交換の数値解法を用いて得られる；

$$\Delta T'(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta\bar{T}'(f_x, f_y) \cdot e^{2\pi i(f_x x + f_y y)} df_x df_y$$

疑似重力法による深部構造成分等磁力線図は、等値間隔 20 ガンマ、縮尺 1/250,000 でつくった。この図面は、断層構造解釈および磁性体の輪郭を明瞭に知るための作業用図面として用いた。

5-6 浅部構造成分等磁力線図

地表面下比較的浅部の磁性体による異常を解析するため、深部構造成分を全等磁力線図から差し引いた(回帰平面を差し引く、5-2章参照)。

この残差が浅部構造成分を表わしている。浅部構造成分等磁力線図は、等値間隔 10 γ 、縮尺 1/50,000 (Fig. 22, 9 図面) 1/100,000 (Fig. 23, 3 図面) にて示している。

5-7 磁気異常解析

5-7-1 磁気異常解析

深部構造成分および浅部構造成分等磁力線図に示された異常パターンの解析により、次の事柄を知ることができる；

- (a) 磁性体の大きさおよび形状
- (b) 地表面下の埋没深度
- (c) 帯磁率比
- (d) 地形効果との関係
- (e) 地質構造

磁性体の形状、埋没深度および帯磁率比を求める解析法は、Vacquier et al (1951) の方法によった。この方法は、基本的には適当なモデル計算によって求められた異常と、観測された異常とを照合するグラフ的手順である。この手順に用いられた基本的なモデルは、次の仮定をもつ "bottomless prism" である；

- (a) 垂直な側面と水平な上面とをもつ
- (b) プリズムの底は非常に深く、その影響は無視することができる
- (c) プリズム内の磁化は一様である

5-7-2 モデルの意義

bottomless prismモデルは、次の様な場合の磁気異常解析に適している。

すなわち (a) 磁性体の接触部が急な傾斜角をもつとき、例えば塩基性貫入岩、片麻岩帯等、または (b) 磁性体が、磁力計からその上面に致る深度よりも、はるかに厚い厚さをもつとき、例えば厚い火山流等。

5-7-3 磁気異常解析手順

磁気異常解析の手順は下記の通りである。

(1) モデル計算は伏角を -25° として、幅・長さおよび走向に関し、多種のモデル形に対して行なった。多くのこれらモデルチャートが Vacquier et al (1951) によって示されている。今回はこれに加えて、コンピューター・プログラムを用いて得られたモデルチャートにより補充した。プログラムは Bhattacharyya (1964) のプリズムに対する数学表現を用いている。プログラムの入力パラメーターは、地磁気的全磁力・伏角・偏角の外にプリズムの磁化ベクトル・プリズム位置・幅・長さおよび深度である。

Fig. 24 は、本作業のため編集されたモデルチャートを、プリズムの輪郭とともに示している。

(2) 各々の観測された磁気異常に対して、その形状が最も良く似ているモデル・チャートがえらばれた。この異常照合にもとづき、解析された磁性体の位置・長さおよび幅を示すため、等磁力線図上にモデルの輪郭が描かれた。

(3) 深度決定(飛行高度下)は、観測された異常の勾配を、モデルの異常の勾配と直接比較することによって求めた。

(4) 帯磁率比は、次の関係式を用いて求めた。

$$K = \frac{1}{T_0} \cdot \frac{\Delta T_{\text{obs.}}}{\Delta T_{\text{model}}} \quad \text{c. g. s. 電磁単位}$$

ここで、 T_0 は 42,100 ガンマで、本調査地域の地磁気全磁力

$\Delta T_{\text{obs.}}$ は観測された異常の振巾(最大値と最小値の差)の磁力値

ΔT_{model} はモデルの異常振巾

である。

いくつかのモデルに対しては、T. Nagata (1969) による経験式を用いて求められた磁鉄鉱含有量を体積パーセントで示した。

(5) 深度は、観測された異常の位置を電波高度計記録と対比することにより、地表面下の深度(メートル単位)に補正した。電波高度計記録からわかるように、本調査地域の起伏の激しい地形によって生じる飛行機の対地高度の急速な変化のため、深度決定の精度は $\pm 25\text{m}$ である。

(6) 地形効果は、電波高度計記録を点検することによって検出した。異常が、飛行機高度の急速な減少と一致したとき、すなわち山岳地帯を飛んでいるときで、飛行機の対地高度が500mより低かった場合には、異常がおそらく地形効果であるということの意味するため“T”というしるしを図面に付した。

以上のことを、観測した異常の解析として行った。これらの解析は、等磁力線図および深部

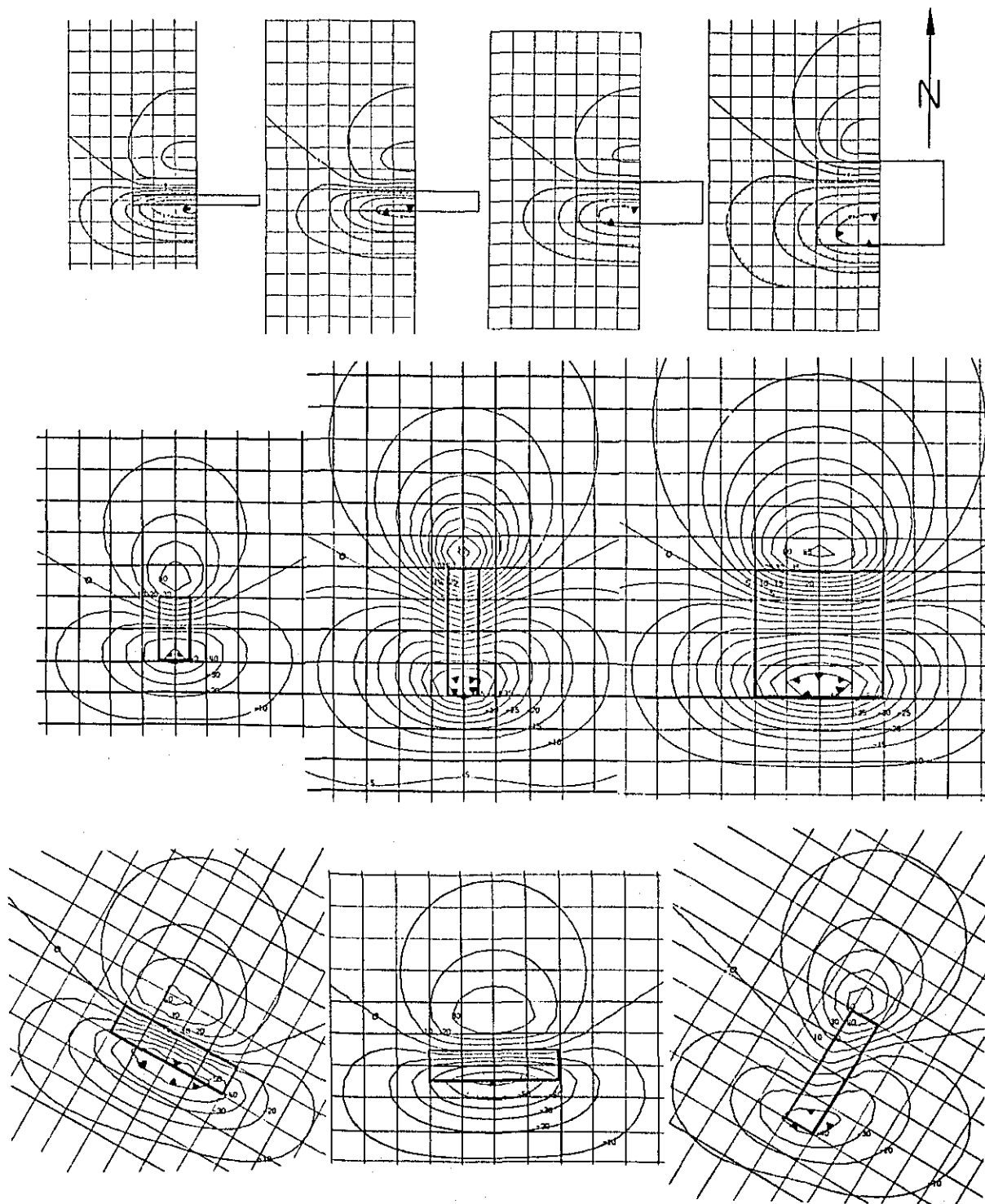


Figure 24
 COMPUTED PRISM MODEL ANOMALY CHARTS; $I_E = -25^\circ$

構造成分等磁力線図に明瞭に表われているすべての異常に対して行なった。

これ以上の厳密な解析，例えば広範囲なモデル・タイプの使用，誘導磁気に対する残留磁気比等は次の理由により試みなかった；

- (a) データに対しての地形効果の非常な複雑さ
- (b) 本調査が概査であるという性質，すなわち広い測線間隔

5-8 構造解釈および磁気ユニット

5-7章に述べられたごとく，個々の磁性体の位置・深度・形状・帯磁率比および地形効果が異常の解析より求められた。

5-8-1 磁気ユニット

求められた帯磁率比にもとづき，磁化の強さから区別できる磁性体の概形を示した。これらの領域を，本報告書では“磁気ユニット”(magnetic unit)と呼ぶ。

磁化の強さの差による領域の区分は，岩相の変化を表わす示徴として解釈した。岩石試料の磁気測定結果から，例えば花崗岩質岩石は 100×10^{-6} c. g. s. 電磁単位以下の弱い磁性をもち，これに比して塩基性火山岩は例えば $2,000 \times 10^{-6}$ c. g. s. 電磁単位程度の強い磁性をもつことが予想される。

5-8-2 構造解釈

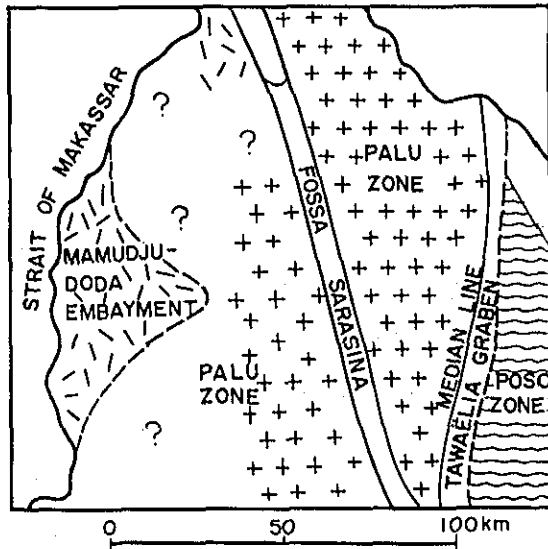
磁性体の明瞭なずれ，変位および異常パターンまたは磁気ユニットの連続した線構造が，断層構造を解釈するのに用いられた。

これらの結果を，写真地質解析の結果を参考にして，6章に論じている。

6. 解 釈

6-1 本調査地域地質概要：予備的知識

本調査に入る前には、調査地域の大部分の地質がほとんど知られていなかった。わずかに、1948年までに得られた地質データの編集が、Van Bemmelen (1949) によってなされている。これによると、調査地域の北部と南東部のみ地質図が作成され、地質概要が記されている。6つの主要な構造および岩相の概要を以下に述べる。



Generalized Geological Map
of Sulawesi,
Block 4.
(Van Bemmelen, 1949)

(a) 中央の構造帯はパルー帯 (Palu Zone) と称され、主に後期中生代から新生代にかけて貫入した広範囲な花崗閃緑岩塊およびそれに附随した変成岩すなわち角閃岩 (激しく摺曲された珪線石)、黒雲母に富んだ片麻岩からなっている。パルー帯の東は中央構造線 (Median Line) によって境され、またパルー断層 (Fossa Sarasina) によって東西に分割されている。モレングラフ (Molengraff) 山岳部に位置するパルー断層の西側地区は、花崗岩およびそれに附随した片麻岩、結晶片岩からなっている。現在活火山はないが、調査地域外のすぐ南の石英安山岩質凝灰岩の分布より、第4紀の火成活動が考えられてきた。

Van Bemmelen は、蛇紋岩、石英安山岩および安山岩がパルー帯で観察されたと報告して

いる。

(b) 東側の構造帯はポソ帯 (Poso Zone) と称され、ブルー帯とは中央構造線によって分けられている。ポソ帯は非常に褶曲した変成岩、主として白雲母に富んだ結晶片岩よりなっている。変成の程度は、ポソ帯の東側から西側に行くに従って増す。若い (例えば 第三紀) 火山岩や酸性深成岩体は、ポソ帯では見つけられていない。それに反して、第三紀の後期火山活動が中央構造線の西側で広く行なわれていたように思われる。ポソ帯の岩石は、明らかに本調査地域の他の岩石よりもはるかに古く、先カンブリア紀から中生代のころと思われている。

(c) タワエリア地溝 (Tawaèlia Graben) は、中央構造線の東側に位置したポソ帯のかなりはっきりした構造的な亜帯であり、東をポソ帯の結晶片岩に接しており、褶曲と破碎の著しい第三紀堆積物および石英安山岩質ないし安山岩質火山岩からなっている。

火山岩は西側では主要な岩石であり、明らかに地溝の最深部を占めている。ブルー帯の花崗閃緑岩に接した断層はミロナイト化作用によって特徴づけられている。

(d) 第三紀のマムジュ・ドダ (Mamudju-Doda) Embayment は激しく褶曲し、断層に切られた第三紀海成層の厚い堆積盆である。海成層は、わづかながら石炭の薄層を挟在する石灰岩、礫岩、砂岩からなり、マカッサル海峡に沿った西部海岸帯を構成する。火山岩質の構成物を伴う堆積物も観察されている。ラリアン (Lariang) 川の近くに、少くとも 5,000 m の層厚を有する砂質頁岩と所々に石灰岩を持つ地層が、北に延びる断層帯とともに観察された。

(e) ブルー断層帯 (Fossa Sarassina) は、ブルー湾から中央構造線までの 200 Km を越える若い断層谷であり、ブルー帯を斜めに切る NNW-SSE 方向をもつ。その谷は西側を起伏に富むモレングラフ山地で境される。

(f) 中央構造線は、ブルー帯の花崗閃緑岩塊を切り、ボーン (Bone) 湾からゴロンタロ (Gorontalo) 湾までの 180 Km にも及んでいる。ミロナイトは中央構造線に沿って観察されている。中央構造線は、西から東へ動いた一連の衝上断層であると思われる。

なお、6-2章、6-3章では次のことを述べている。すなわち、

(a) 磁気記録より解析され写真地質判読と対照された磁気ユニット、磁性体および構造の詳細な記述

(b) 本調査地域の地質構造の特性を考慮し、空中磁気探査によって得られた結果に対するまとめおよび結果。

6-2 磁気ユニットおよび地質構造

磁気異常解析、磁気ユニットおよび構造解釈の結果は、2種類の解析図として示している。すなわち、

浅部構造成分解析図 Fig. 25 (縮尺 1/50,000)

Fig. 26 (縮尺 1/100,000)

深部構造成分解析図 Fig. 27 (縮尺 1/50,000)

Fig. 28 (縮尺 1/100,000)

以下は、識別できる磁気特性の領域として概形を示した磁気ユニットに対する、各図面ごと(縮尺 1/50,000 の図幅による)の記述である。これは、写真地質判読結果をも参考にしている。また断層構造も記した。できるだけ、深部および浅部構造成分解析図の両図面に対応した磁気ユニットには、同じ番号を記すようにした。

以下の説明は、浅部構造成分解析図に描かれた結果に、直接対応しており、注釈が加えられた時のみ、深部構造成分解析図に対応するものとする。

6-2-1 図面-1

Unit 1: 調査地域の大部分を覆う基盤は、非常に弱い磁氣的性質か、または磁氣的性質に欠けていることによって特徴づけられる。飛行機の対地高度が低下したところでは、地形効果による磁気異常が生じたが、これらの異常より求められた帯磁率は小さく、 100×10^{-9} c. g. s. 電磁単位(以下単に c. g. s. と記す)、すなわち磁鉄鈹含有量が 0.1% 以下であった。このことは花崗岩質岩石に対して共通していた。

未凝固堆積物、第三紀堆積岩、粘板岩および特に深成岩のうち花崗岩質岩石の領域などは、一般にこの種の磁氣的性質を示している。

図面-1において、磁気 unit 1 は、図面の西側 3分の2 を占めるマムジュ・ドダ Embayment の沖積層、第三紀堆積岩およびその他の領域の花崗岩質岩石に対比している。

Unit 2: これは東に伸び、図面-2にまで及んでおり、地表面下 50 ~ 600 m の深度で、 $K = 1,000 \sim 10,000 \times 10^{-9}$ c. g. s. の帯磁率をもつ NW-SE 方向の異常によって特徴づけられる。この Unit は、浅部構造成分および深部構造成分等磁力線図の両図に見られ、写真地質判読では、花崗岩質岩石および粘板岩(地表踏査で確認されている)を含んだ領域とされている。しかし磁気データは、花崗岩質岩石や粘板岩としては非常に高い磁鉄鈹含有量 0.5 ~ 2% を示しており、塩基性貫入岩の可能性も考えられる。

Unit 3: 図面の中北部にあり、 $K = 100 \sim 200 \times 10^{-9}$ c. g. s. なる低ないし中程度の帯磁率をもつ南-北方向の磁性体で、写真地質判読では第三紀堆積物とされている。磁気探査により解釈された断層は写真地質判読によるものと一致している。この Unit は一部、第三紀堆積岩を挟在した火山岩、または第三紀堆積岩におおわれたより古い結晶岩からなる非常に浅い基盤の様相を呈している。

Unit 3b : Unit 3a と並んで直ぐ北側にあり、花崗岩質岩石に相当したかなり強い磁性 $K = 300 \sim 800 \times 10^{-6}$ c.g.s. を示している。この Unit は磁鉄鉱に富んだ片麻岩質体の存在を暗示している。深部構成成分および浅部構成成分の両図面に対応が見られる。

Unit 4 : 図面-1 の南東部にあり、低ないし中程度の磁性、すなわち $K = 200 \sim 400 \times 10^{-6}$ c.g.s. (磁鉄鉱含有量は 0.2% 以下) なる領域としてのレンズ状の Unit である。この Unit は Unit 3b に明瞭な岩相と同じような種類の岩相の存在を暗示している。

構造 : 二本の NNE-SSW 方向をもつ断層が、図面 1 の中北部に解釈される。これらの断層は E-W 方向をもつ断層によって更に切られているように思える。NNE-SSW 方向をもつ断層が、露出した花崗岩の西端となっている可能性が強い、例えば花崗岩と堆積物との境界は、Unit 3b の西端付近における写真地質図のそれから、かなり東へずれていると思われる。

同じことが、Unit 3a, 4 の西端付近に関しても言える。

6-2-2 図面-2

Unit 1 : 図面-1 参照。図面-2 におけるこの Unit は、図面-2 のほとんどの西側 3分の2 を占める、花崗岩および粘板岩に対比される。

Unit 2 : 図面-2 の西側周辺部に位置する。図面 1 参照。

Unit 7 : バルー断層に接した、中南部に位置する N-S 方向をもつ局所的なもので、 $K = 400 \sim 500 \times 10^{-6}$ であり、おそらく花崗岩中に、磁鉄鉱が局部的に富んだものである。

Unit 8 および Unit 8a : 低ないし中程度の磁性、すなわち $K = 300 \sim 1,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる広範囲な領域で、バルー断層の東側に分布し、図面-3 から西へ伸びている。この Unit は、広範囲な磁鉄鉱に富んだ片麻岩または角閃岩体の分布を示している。

Unit 8a は、Unit 8 の垂帯で、強い磁性 $K = 500 \sim 2,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. を示している。この Unit は、一般に花崗岩およびバルルー (Palulu) 盆地の未凝固湖成堆積物をおおっている。Unit 8a としては角閃岩帯中の蛇紋岩が考えられる。

磁性変化の低ないしほとんどない領域が、バンガ (Bangga) の南、バルー川に接した花崗岩帯に見られる。

構造 : バルー断層の北側への伸長である断層が、磁気データ、特に磁鉄鉱に富んだ片麻岩または角閃岩 (Unit 8) の西側の境界を形成している深部構成成分に見られる。

他に多くの南北に走る断層が、図面-2 の東部の磁気パターンにより示されており、これらはフォト・リエアメントの方向の唐突な変化に対比している。

N-S 方向をもつ断層が、図面-2 の西端近く、Unit 1 と Unit 2 の接触面に考えら

れる。これらが一連のフォト・リニアメントと対比されることはかなり明白である。

6-2-3 図面-3

Unit 1: 花崗岩に相当する磁性の低いないしはほとんどない領域である。図面-1参照。

Unit 8 および Unit 8a: 図面の西側ほぼ半分以上を占め、一連の中ないし高程度の磁性すなわち $K = 300 \sim 1,000 \times 10^6$ c.g.s. をもつ領域で、西側の図面-2, 南側の図面-6に伸びている。一般に、このUnitの異常は、断層によって中断される以外は、南西方向に走っている。

このUnitの分布は、花崗岩質片麻岩または角閃岩とされている領域とよく対比される。この磁気Unitはバルー帯のほとんど全域に分布する磁性の弱い花崗岩の亜種と思われる。比較的磁性の強いUnit 8a, すなわち $K = 1,000 \sim 4,000 \times 10^6$ c.g.s. は、塩基性岩(蛇紋岩等)に対比されるものと思われる。深部構造成分は、Unit 8が強い磁性体の突き出た領域であり、この磁性変化がおそらく基盤岩質の大局的变化によっていることを示している。

Unit 12: 図面の東側周辺部に位置し、 $1,000 \times 10^6$ c.g.s.なるオーダーの帯磁率をもつ、非常に強い異常の分布によって明瞭に識別される。Unit 12とUnit 1との境界は、Van Bemmelenの論文中の中央構造線(Median Line)と一致している。

Unit 12は、タワエリア地溝と堆積物中の火山岩(南側のそれよりも多少磁性が弱い)に対比される異常であると思われる。この地溝は、写真地質図ではそれほど明瞭には表わされていない。Unit 12および中央構造線は、深部構造成分等磁力線図には明瞭でないが、そのDownward Continuationおよび疑似重力法の図には、はっきりと表われている。深部構造成分等磁力線図に明瞭でないのは、磁気赤道付近での南北方向の構造が表われ難いということに原因するものと思われる。

構造: 図面-1, 図面-2の構造に比較して、断層としての岩体の変形がこの領域では顕著である。それらの傾向により下記のごとく分けられる;

- (a) 図面中央部にあり、図面-6より北へ伸びているNW-SE方向の断層で、片麻岩(または角閃岩)帯とタワエリア地溝での変位を引き起こしている。
- (b) 特に、図面の南西部に見られるNE-SW方向をもつ断層で、花崗岩質片麻岩帯の変位を引き起こし、その境界となっている。
- (c) 図面南東部のアーチ形の北向きの断層で、タワエリア地溝の変形を引き起こしており、これは衝上断層と思われる。これら断層線の多くは、写真地質判読のリニアメントと対応できる。

前述したごとく、中央構造線およびタワエリア地溝は、この図面の磁気記録より立証されよ

う。

6-2-4 図面-4

Unit 1 : 図面-1 に述べたと同様、磁性に欠け、マムジュ・ドダ Embayment の厚い第三紀堆積物および磁鉄鉱に乏しい花崗岩質岩石に対比される。

Unit 5 : 主に第三紀堆積物でおおわれた北東部に見られ、中ないし高程度の磁性すなわち $K = 200 \sim 2,200 \times 10^{-6}$ c.g.s. なるかなり局所的なものである。明瞭な磁性変化が、深部構造成分および浅部構造成分等磁力線図の両図に見られる。また第三紀堆積物の下およそ 100~300 m のところにある花崗岩質片麻岩のためと思われる岩石の磁化の強さのかなり明瞭な変化が表われている。

Unit 29 : この Unit は、中北部に位置し、浅部構造成分等磁力線図における異常 ($K = 400 \sim 700 \times 10^{-6}$ c.g.s.) および深部構造成分等磁力線図における明瞭な異常 ($K = 1,200 \times 10^{-6}$ c.g.s.) によって表わされている。異常は、第三紀堆積物および中積層におおわれた領域で、地表面下およそ 500 m の深さに起因するものと思われる。またこれは、堆積物下 500 m にある磁鉄鉱に富んだ片麻岩質花崗岩、またはより可能性の強い考えとして、堆積物内に第三紀火山岩類を含むことが考えられる (Unit 30 参照)。

Unit 30 : 中央部に位置し、強い磁性、すなわち $K = 1,500 \times 10^{-6}$ c.g.s. (磁鉄鉱含有量はおよそ 0.8%) である。深度は浅く、0~100 m で、堆積物の予想される層厚よりもかなり小さい値を示している。このことは、これらの異常が Unit 29 のそれと同様、堆積物内の火山岩によるものと思われる。

Unit 31 および Unit 31a : これは中東部に位置した高磁気異常で、本調査中最も顕著な異常の一つである。より磁性の強い Unit 31a の帯磁率は、 $7,500 \times 10^{-6}$ c.g.s. すなわち磁鉄鉱含有量 2~3% にも達している。この Unit の西端をなす断層は、写真地質判読による花崗岩と堆積岩との境界線とほぼ一致している。非常に強い磁性は、この顕著な磁気 Unit が花崗岩ではなく、超塩基性貫入岩によることを示している。図面-7, 8, 9 に見られる安山岩質火山岩および斑れい岩もまた、同じような磁気応答をもっている。空中磁気データに明瞭に見られる超塩基性岩を確証すべく、詳細な地表踏査が切望される。

構造 : Unit 31 の境界として、NNE-SSW 方向をもつ西落ちの断層が考えられる。この断層は、写真地質判読によるマムジュ・ドダ Embayment の堆積物と花崗閃緑岩塊との境界線に一致している。深部構造成分異常解析の結果、垂直移動は 500 m である。

Unit 30, 29 の境界である二つの NNE-SSW 方向をもつ断層にも、第三紀堆積物の大きな垂直移動が考えられる。

北東部には、二つのNW - SE方向をもつ断層が示されている。

これらの断層は図面-5から伸びており、マムジュ・ドダ Emdayment の東へ伸長したものの境界で、地溝状構造を形成しているものと思われる。

6-2-5 図面-5

Unit 1 : 事実上、磁性に欠けている領域で、花崗岩塊およびごく狭い領域の粘板岩に対比される。

Unit 6 : 北西端に位置し、磁気的にはUnit 31aに似た高異常、すなわち $K = 1,000 \sim 5000 \times 10^{-6}$ c.g.s. のごく局部的な領域である。この領域の写真地質判読は花崗岩としているけれども、これら岩石の強い磁性は、超塩基性岩の存在を示している。

さらに詳細な地表踏査が望まれる。

Unit 8 : 北東部に位置し、図面-2および3より南西に伸びる低ないし中程度の磁性、すなわち $K = 500 \times 10^{-6}$ c.g.s. をもつ領域である。片麻岩または角閃岩帯に対比されることは明白で、異常パターンはおそらく褶曲および縞状構造に対比しているものと思われる。

Unit 14b : 図面-6 参照。

Unit 18 および Unit 18a : Unit 18 は、バルー断層に隣接した非常に強い磁性の領域として、深部構造成分および浅部構造成分等磁力線図の両図によく表われている。

Unit 18a は超塩基性貫入岩の可能性が考えられる。

Unit 20 : 中南部に見られ、片麻岩に対比される $K = 100 \sim 400 \times 10^{-6}$ c.g.s. の広く分離された異常帯である。

Unit 21a : 図面-8 の Unit 21 から伸び、 $K = 500 \sim 1,300 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる強い磁性をもつ局部的なものである。この強い磁性は安山岩質火山岩の存在を暗示している。

バルー川沿いに、多数の孤立した火山岩が写真地質では判読されているが、これらは磁気的には意味がないものと思われる。

構造 : バルー断層は、浅部構造成分および深部構造成分等磁力線図における磁気異常の明瞭な offset および truncation によって明らかである。

図面の西部を横切って、長い連続したNW - SE 方向の断層が予想される。写真地質判読と一部対比でき、特に二つの断層のうちの南側の断層は、リニアメントとして見られる。

6-2-6 図面-6

Unit 1 : 磁性の低いないしはほとんどない領域で、 $K = 100 \times 10^{-6}$ c.g.s. または、それよりも小さい値の、図面の中央部をおおう広範囲な領域であり、西部の花崗閃緑岩塊および

東部のボン帯の結晶片岩に対比される。

Unit 8およびUnit 8a : 図面-3参照。

Unit 12: 北東部に位置し、中ないし強い磁性、すなわち $K = 300 \sim 800 \times 10^{-6}$ c.g.s. の東向きの異常よりなるかなり狭い磁性体である。写真地質判読によると、このUnitは、片麻岩帯に位置しているが、タワエリア地溝の安山岩質火山岩、すなわちUnit 17の北側伸長部である可能性が強い。

Unit 14a および Unit 14b : 北西部および中西部に位置した中程度の磁性、すなわち $K = 100 \sim 500 \times 10^{-6}$ c.g.s. の細長い異常の狭い磁性体である。これらの異常は、おそらく花崗岩と片麻岩との累帯構造によるものと思われる。

Unit 15: 南西部に位置し、かなり明瞭で局所的な磁性の変化、すなわち $K = 400 \sim 4,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. という帯磁率をもつ高異常である。このUnitは、写真地質図で花崗岩質とされているが、強い磁性は、これらの岩石が安山岩質火山岩(図面-8に明瞭に見られる)の可能性が強いことを示している。この岩石帯が図面-8の南部にある安山岩質火山岩の伸長であるか、超塩基性貫入岩であるかを確証すべく、詳細な地表踏査が望まれる。

Unit 17: 東部にあり、強い磁性、すなわち $K = 1,500 \sim 2,500 \times 10^{-6}$ c.g.s., 磁鉄鉱含有量約0.8%なる二つの細長い連続した、振巾の大きい異常である。このUnitは、ボン帯の結晶片岩に隣接したパアント(Paanto)盆地の湖成堆積物におおわれた領域に位置している。これら異常の源としては、比較的新しい安山岩質火山岩からなる、いわゆるタワエリア地溝の落ち込んだ地塊が考えられる。

Unit 17a: Unit 17に隣接してあり、Unit 17の磁性の弱い亜帯である。この領域は、新しい堆積物によっておおわれているため、写真地質によって岩相を判読することができなかったが、磁気特性から見て、タワエリア地溝の堆積物中に含まれる第三紀火山岩であると考えられる。

Unit 19: 中程度の磁性をもち、帯磁率が $200 \sim 500 \times 10^{-6}$ c.g.s. の局所的な領域である。このUnitは、Unit 17, 17aの南側伸長部であると思われる、おそらく東側の結晶片岩累層群に隣接したタワエリア地溝の新しい火山岩に起因するものと思われる(写真地質図では花崗岩とされているが)。

構造: 主要な構造としては次のものが明瞭である。

- (1) 図面の中央部に顕著な花崗岩塊を横切って、連続的に伸びていると思われる一連のNW-SE およびNE-SW方向をもつ断層。これら断層の一部はフォト・リニアメントと一致している。

(2) ポソ帯の結晶片岩累層群に隣接したタワエリア地溝。

6-2-7 図面-7

Unit 1 : 写真地質判読において、第三紀堆積物および沖積層とされたものに対比され、事実上磁性に欠けている領域である。

Unit 32 : 北東部に見られ、 $K = 200 \sim 400 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる局所的な磁気異常である。磁気特性の類似性から、北側の Unit 29, 30 および 31 に述べられたと同様のことが、この Unit に対しても言える。堆積層内の火山岩は、ここでは地表面下 350m 程度の深さと考えられる。

Unit 33 : 南西部に位置し、低ないし中程度の磁化の強さ、すなわち $K = 200 \sim 600 \times 10^{-6}$ c.g.s. をもつ。弱い磁性により、直ぐ東側にある Unit 34 と区別される。この Unit の磁性体は、地表面下 150 ~ 400m の深さにあり、第三紀堆積物でおおわれている。この Unit も、第三紀堆積物におおわれ、低ないし中程度の磁性をもつ Unit 29, 30, 31 および 32 に類似しており、それゆえ堆積層内の火山岩に起因するものと思われる。

Unit 33a : Unit 33 の南西部に位置し、磁化の強さの点で Unit 33 に類似している、すなわち $K = 300 \sim 500 \times 10^{-6}$ c.g.s.。この Unit は、少なくとも北側の部分は、古い地質図に見られる Kentallenite と一致している。Kentallenite は Monzonite に似た酸性貫入岩タイプのものである。磁性が弱いということは、この Unit を Kentallenite によるものとする考えを妨げはしないが、堆積岩地域内の火山岩の可能性も考えられる。

Unit 34 および Unit 34a : 中南部に位置し、中ないし比較的高い磁化の強さ、すなわち $K = 100 \sim 1,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる領域である。

この Unit と、写真地質で判読された安山岩質火山岩とはよく一致している。亜帯である Unit 34a は、Unit 34 のそれよりもより高い磁化の強さ、すなわち $K = 2,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. を示している。

写真地質判読による dyke は、周囲の安山岩質噴出岩と比較して、磁気特性を示す差異は見られなかった。

Unit 34 に囲まれた領域のある部分は、帯磁率が 100×10^{-6} c.g.s. か それ以下であるという磁性から見て、Unit 1 と考えられる。このことは、火山岩相の変化、例えばより酸性な噴出岩への転移の可能性を示しているものと考えらるべきである。

非常に広範囲な強い磁性 ($K = 2,000 \sim 2,200 \times 10^{-6}$ c.g.s.) をもつ明瞭な領域が、Unit 34 として、深部構造成分等磁力線図に示されている。これはおそらく、安山岩に起因する塩基性貫入岩によるものと思われる。この貫入岩はまた、地理的に Unit 33 および 33a につながり、第三紀堆積岩地域内の火山岩である可能性も考えられる。

構造：Unit 34の安山岩質火山岩は、一連のNE-SW方向をもつ断層によって切られ、変位されているように思える。これらの断層の最西端のものは、写真地質フォト・リエアメント 20 と一致しており、少なくとも200m西側が落ちた正断層と考えられる。北東部のWNW-ESE方向をもつ断層は、第三紀堆積物中に見られるフォト・リエアメントと一致している。このことは、隣接する磁気Unitが、第三紀堆積岩地域内の火山岩に起因するものであるということを示している。

6-2-8 図面-8

Unit 1：花崗岩と粘板岩よりなる、磁性の非常に弱い領域である。

Unit 21：北東部にあり、花崗岩質片麻岩に対比される一連の弱い磁性、すなわち $K = 200 \sim 300 \times 10^{-6}$ なる領域である。

Unit 23：中程度の磁性という点でUnit 21に似ており、粘板岩帯に位置しているが、二つの超塩基性斑れい岩貫入体（Unit 24a, Unit 24b）に関連しているものと思われる。

Unit 24aおよびUnit 24b：非常に強い磁性によって特徴づけられる二つの局所的な領域である。これらの異常は、超塩基性貫入岩（斑れい岩）に起因するものと考えられる。貫入岩の深部源が深部構造成分等磁力線図によく表われている。

Unit 26：中西部の花崗岩帯とされているところにある、磁性の強い（ $K = 700 \sim 900 \times 10^{-6}$ c.g.s.）、極端に局所的な領域である。これらの異常は、花崗岩よりなる貫入岩に伴った塩基性岩と思われる、例えばUnit 24a, 24bおよび27に明瞭に見られた斑れい岩に類似したもの。

Unit 27：中央部にある非常に小さな二つの領域で、Unit 24a, 24b および 26に類似しており、おそらく同じ岩相からなるものと思われる。西側のUnitは花崗岩と粘板岩との境界に位置している。この境界は鉱物探鉱上重要かと思える。

Unit 28およびUnit 28a：このUnitは南東部に位置し、その輪郭は安山岩質火山岩とされている領域に非常によく一致している。磁性は $K = 200 \sim 800 \times 10^{-6}$ c.g.s.と比較的強く、Unit 28の垂帯であるUnit 28aはそれよりも強い磁性を示している。安山岩質火山岩帯は浅部構造成分および深部構造成分等磁力線図の両図によく表われている。

Unit 29：図面-9参照。

構造：二つのNW-SE方向をもつ断層が図面南東部の安山岩質帯の周辺に見られ、それを切っている。これら断層のうちの一つは、斑れい岩貫入体と解釈されたUnitの周辺となっている。バル-断層の一部が北東端に沿って見られる。

6-2-9 図面-9

Unit 1：帯磁率が $50 \sim 200 \times 10^{-6}$ c.g.s. という一般に非常に弱い磁性の領域で、バル-

帯の花崗岩およびボソ帯の結晶片岩累層群の大部分に対比される。

Unit 13 : 結晶片岩累層群内にあり、低ないし中程度の磁性、すなわち $K = 200 \sim 400 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる領域である。

Unit 19 : 図面を横切って、図面-6より南へ伸びており、 $K = 400 \sim 1,000 \times 10^{-6}$ c.g.s. なる強い磁性をもっている。このUnitは、強い磁性の火山岩物質を含んだ第三紀堆積物とされている領域とほぼ一致している。磁気データから、この堆積物が火山岩を含み、写真地質判読で言われている、いわゆる“タワエリア地溝”に連続的に分布していることが明瞭である。

Unit 19a : Unit 19内にあり、 $K = 2,000 \sim 5,000 \times 10^{-6}$ c.g.s., すなわち磁鉄鉱含有量が1%以上の極端に強い磁性をもっている。写真地質判読によると、ボンバ(Bomba)およびパダ(Pada)の南東、タイ・ライン-8の南に位置するUnit 19aは、粗粒玄武岩すなわち塩基性貫入岩形のものである。これらは、タワエリア地溝に沈殿した火山岩質なもの、すなわち超塩基性貫入岩に起因する領域であると思われる。

Unit 22 : 北西部にあり、浅部構造成分および深部構造成分等磁力線図の両図によく表われている強い磁性、 $K = 2,700 \times 10^{-6}$ c.g.s. の領域で、花崗岩質片麻岩帯の南端に位置している。このUnitはENE-WSW方向をもつ断層によって境されている。しかし、強い磁性は塩基性貫入岩が存在していることを暗示しており、詳細な地表踏査が望まれる。加うるに、このUnitの北側境界となっている断層帯近くに、鉱物の存在可能性が考えられる。

Unit 28 および Unit 28a : 強い磁性 ($K = 1,000 \sim 2,600 \times 10^{-6}$ c.g.s.) をもつ領域で、図面-8に見られる安山岩質火山岩に対比されるものの東側伸長部である。このことより磁気記録は安山岩質火山岩が、写真地質図に示されたのよりも、さらに東へ伸びていることを暗示している。

Unit 29 : 図面の西端に沿って見られ、中ないし強い磁性 ($K = 300 \sim 1,100 \times 10^{-6}$ c.g.s.) を示している。Unit 28と同じく、おそらくこのUnitも安山岩質火山岩の北側伸長部であると思われる。

構造 : この図面中最も明瞭な構造は、東の結晶片岩累層群に隣接し、堆積岩地域内に火山部層を含んだ、南北方向に走るいわゆるタワエリア地溝である。この地溝は、一連の東西方向に走る断層によって切られている。

ブルー断層が、深部構造成分および浅部構造成分等磁力線図の両図に表われている。

6-3 空中磁気探査結果からみた地質構造

空気磁気データの詳細な解析にもとづき、かつ写真地質判読結果を参考にして、本調査地域の地質構造に関し以下のことが言える (Fig. 29 参照)。

6-3-1 地質構造の概要

Van Bemmelen (1949) によって述べられた本調査地域の一般的な地質構造は、本空中磁気データから明白な主要地質構造と一致している。

(1) パルー帯は、帯磁率がほとんど 100×10^{-6} c. g. s. 以下の、すなわち磁鉄鉱含有量が 0.1 % 以下の、磁性の低いないしは欠けていることによって特徴づけられる広範囲な花崗閃緑岩塊から主になっている。

花崗閃緑岩塊は、広範囲にわたる一様な磁氣的性質のもととなっているように思える。

(2) パルー地溝 (フォッサ・サラシナ) は、事実上調査地域の北端から南端までの連続的な構造と考えられる。磁気記録では、東側の断層がより明瞭であり、本報告書ではそれをパルー断層とした。

(3) 磁氣的性質の弱いボン帯の変成岩から、パルー帯の花崗岩質岩石を分離する中央構造線は、ボン帯の垂帯である強い磁性の火山岩を含んでいる。タワエリア地溝の西側周辺部として識別することができる。

(4) 事実上磁性に欠けている第三紀堆積物からなるマムジュ・ドダ Embayment は、堆積物内に、磁性のある火山岩を部分的に含んでいる。

6-3-2 超塩基性貫入岩

数多くの強磁性帯が、浅部構造成分および特に深部構造成分等磁力線図に顕著である。それらは、おそらく超塩基性貫入岩によるものと解釈される。これらのうち9ヶ所はパルー帯にあり、そのうち3ヶ所が安山岩質火山岩または貫入斑れい岩に関連しており、そのうち2ヶ所がタワエリア地溝の火山岩内に位置している。

解釈した超塩基性帯およびその位置を Table 5 に示した (Fig. 29 参照)。

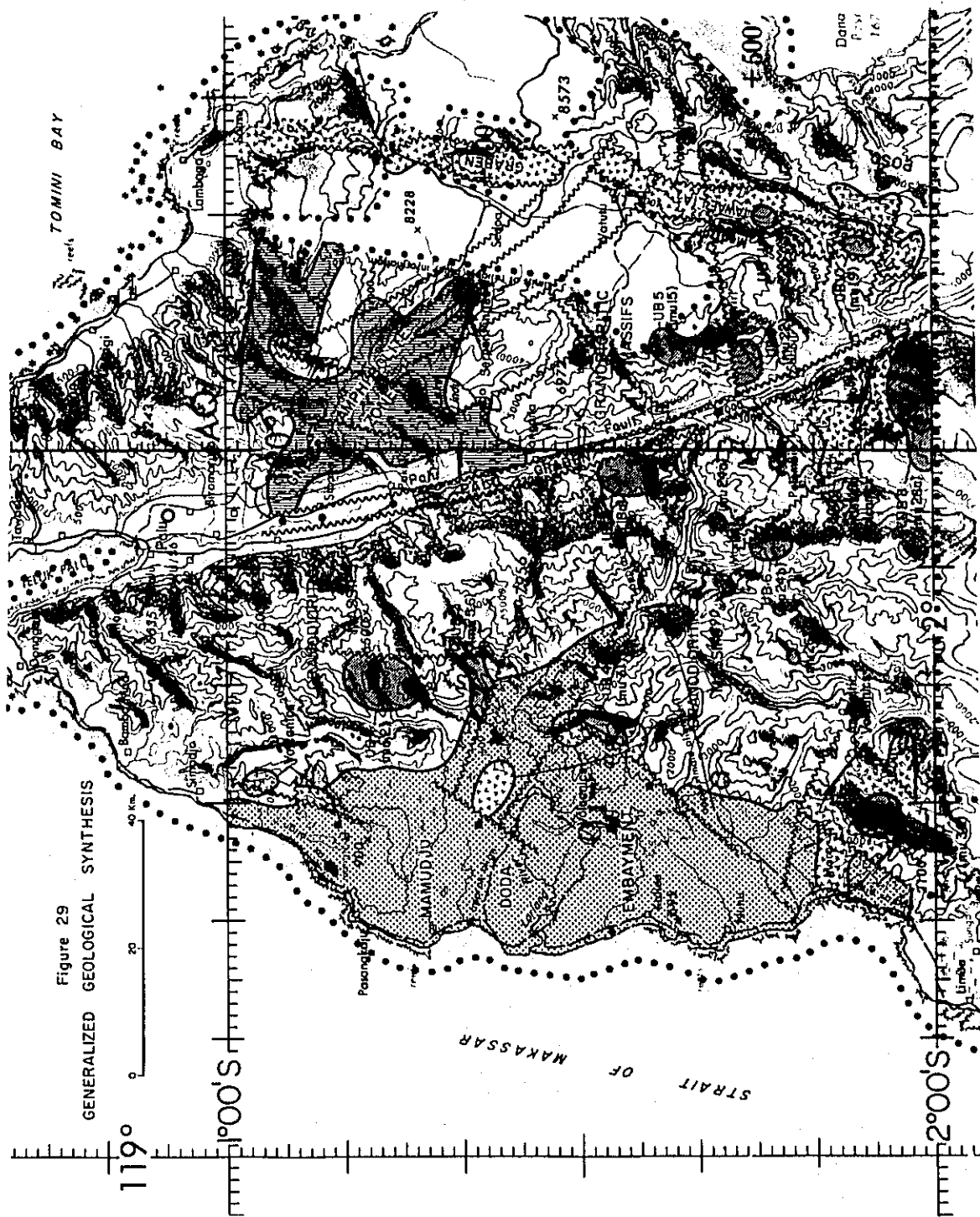


Table 5: LOCATION OF INTERPRETED ULTRABASIC ZONES

No.	Magnetic Unit	Location		Photogeological Association
UB ₁	2	1°12'S	119°40'E	granite, slate
UB ₂	5, 6	1°21'	119°40'	granite, slate
UB ₃	18a	1°33'	119°57'	granite, adjacent to Palu Graben
UB ₄	31	1°31'	119°35'	granite
UB ₅	15	1°38'	120°09'	granite
UB ₆	24b, 24a	1°46'	119°53'	granite, gabbro
UB ₇	34a	1°55'	119°28'	andesitic volcanics
UB ₈	28a	1°57'	120°05'	andesitic volcanics
UB ₉	22	1°45'	120°07'	gneiss
UB ₁₀	19a	1°54'	120°17'	Tawaëlia Graben
UB ₁₁	19a	1°46'	120°20'	Tawaëlia Graben

上記の超塩基性帯は、花崗岩質底盤の塩基性磁気相としてあらわれた古い火山の核であったと思われる。加うるに、マムジュ・ドダ Embayment およびタワエリア地溝の第三紀堆積物内にある磁氣的火山岩の存在が観測されたことから、火成活動がこれら二つの構造（おそらくバルー地溝も）の形成期に起ったものと思われる。

6-3-3 片麻岩または角閃岩質変成岩帯

一般にNW - SE 方向をもつ中ないし大振幅の異常帯が、図面-2および図面-3に広く分布している。これは、磁気Unit 8として分類されており、写真地質図の片麻岩質と対比される。しかし空中磁気データは、大局的変成作用なるこの領域が、写真地質図に示された分布よりもかなり広範囲に分布していることを示している。図面-3 (Unit 8a)に見られる特に強い磁性のNW - SE方向をもつ異常は、蛇紋岩の可能性を暗示している。

6-3-4 マムジュ・ドダ Embayment の形成

マムジュ・ドダ Embayment の周辺に沿って多くの断層が解釈された。これらの断層は、おそらく非常に大きい垂直変位をもつ正断層であると思われる。ラリアン川近くの Embayment の東側伸長部は、おそらく地溝状の凹地であろう。いくつかの断層は火山岩の分布に伴って起ったものと思われる。

前述のごとく、マムジュ・ドダ Embayment の一部およびパルー地溝、タワエリア地溝の形成は、同時期であり、安山岩質火山岩に伴っているものと考えられる。

6-4 今後の調査方針

本空中磁気探査は、スラウェシ島 No.4 ブロック資源開発のための基礎資料を得るために行なわれた。金属鉱床探査のための今後の調査方針としては、下記の個々の岩相、構造および接触帯のより詳細な物理探査ならびに地表踏査が切望される、すなわち

- (1) 超塩基性貫入岩帯
- (2) 変成岩帯 — 蛇紋岩化の可能性のある領域には特に注意すべきである
- (3) 中央構造線に隣接し、それに変位を起した断層、剪断帯およびタワエリア地溝に隣接した断層、剪断帯。

電気伝導性の硫化鉱物探査のための物理探査が、ヘリコプターまたはSTOL型飛行機を用いて、最も効果的に行なわれるであろう。すすめられる調査方法としては;

1. ヘリコプターによるEM法 : ヘリコプターの下 30 mにある固定ブーム中にある 10 m 離された共軸の垂直発信および受信コイルからなっている。

この方法による有効的な探査深度は、地表の電気伝導度の関数であるが、一般に受信器および送信器からおよそ 60 ~ 80 m である。EM 応答は飛行機の対地高度の変化に影響されることが多く、木の高さや非常に深い地表の風化岩が、この方法の有効性を限定してくる。

2. ヘリコプターまたは飛行機による VLF - EM 法 : これは新しい方法で、オーストラリア・ハワイおよび日本にある 15,000 ~ 25,000 hertz なる軍の電波送信器から発せられる電波による電磁場を利用している。VLF - EM 法は、固定ブーム式に比較して、高度に関して

の非常に少ない減衰率のため地形効果が非常に少ない。

使用している大きな周波数により、比較的小規模な鉱体、例えば局所的な硫化鉱化作用、剪断接触帯、角礫岩帯、断層および変質帯からの高い応答を得ることができる。

EM法と併行して、磁気探査が望まれる。

放射能探査および地表重力探査は、本調査地域の非常に起伏の激しい地形状況から見てすめられない、特に重力探査の場合には、地形補正に必要な大縮尺の地形図に欠けていることが致命的である。

本報告書の調査記録の解釈は、現時点で入手できた地質的情報および磁気探査結果を参考にして、主に地球物理的解釈を行なった。それゆえ、本調査地域に精通している地表地質調査班によって慎重に利用されるべきであり、地質調査班による地質的意義の再評価が望まれる。将来詳細な調査を待って再検討するなら、本報告書の意義もさらに高められるであろう。

付録

参 考 文 献

- | | | |
|----------------------------|------|--|
| Bhattacharyya, B.K. | 1964 | "Magnetic Anomalies Due to Prism-Shaped Bodies with Arbitrary Polarization"
GEOPHYSICS, V.21,
pp.517-531 |
| Grant, F.S. and West, G.F. | 1965 | "Interpretation Theory in Applied Geophysics"
McGraw Hill, New York,
pp.366-368 |
| Malahoff, A. | 1969 | "Magnetic Studies over Volcanics in the Earth's Crust and Upper Mantle",
pp.436-446
A.G.U. Geophysical
Monograph 13 |
| Nagata, T. | 1969 | "Reduction of Geomagnetic Data and Interpretation of Anomalies in the Earth's Crust and Upper Mantle",
pp.391-398
A.G.U. Geophysical
Monograph 13 |

- | | | |
|---|------|--|
| Spector, A. | 1968 | "Spectral Analysis of Aero-
magnetic Maps"
Ph. D. Thesis, University
of Toronto |
| Spector, A. and Grant, F.S. | 1970 | "Statistical Models for
Interpreting Aeromagnetic
Data"
GEOPHYSICS, V. 35,
pp. 293-302 |
| United States Geological Survey | 1965 | "Geological Map of Indonesia"
Map 1-414,
Scale 1 : 2,000,000 |
| U. S. S. R. Academy of Sciences | 1966 | "Tectonic Map of Asia"
Scale 1 : 5,000,000 |
| Vacquier, V., Steenland, N. C.,
Henderson, R. G. and Zietz, I. | 1955 | "Interpretation of Aero-
magnetic Maps"
Geol. Soc. America
Memoir 47 |
| Van Bemmelen, R. W. | 1949 | "The Geology of Indonesia"
Govt. Printing Office,
The Hague |