

ペルー共和国
鉱物資源開発基礎調査

第 3 卷

空中磁気探査報告書

昭和 47 年 11 月

海外技術協力事業団
金属鉱物探鉱促進事業団

ペルー共和国
鉱物資源開発基礎調査

第 3 卷

空 中 磁 気 探 査 報 告 書

昭和 47 年 11 月

海外技術協力事業団
金属鉱物探鉱促進事業団

國際協力事業團

受入月日

國際協力事業團	
受入月日 34. 3. 15	709
	66.1
登録No. 00266	KE

受入月日

登録No.

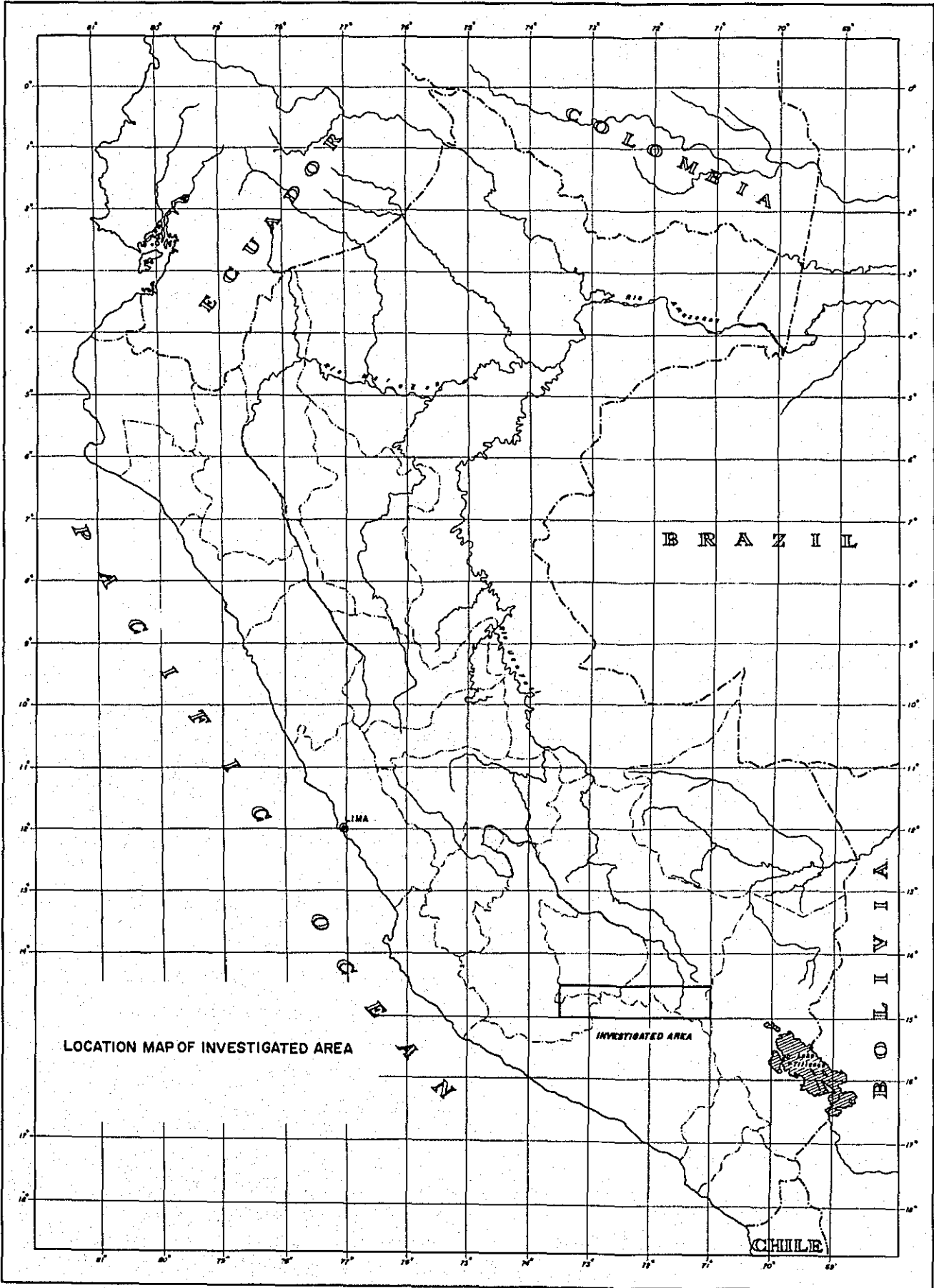
序 文

1971年、海外技術協力事業団は、ペルー共和国ヤウリ地区における資源開発協力基礎調査の一環として、空中磁気探査を実施した。

ペルー共和国当局の認可のもとに、飛行作業はペルー共和国アレキパ(Arequipa)を基地に8月12日開始された。

本調査の目的は、本調査と並行して行われた写真地質調査および地表地質調査と一体となって、調査地域の岩相および地質構造を明らかにし、鉱物資源開発のための基礎的資料を作成することにある。

本報告書は空中磁気探査の現場作業から始まって、その後の記録の整理、編集、解析作業を述べ、その解析結果ならびに地質的解釈に関して記述した。また関連して行なわれた岩石磁気測定についても述べた。



目 次

序 文

1. 結論および今後の調査に対する意見	1
1-1 結 論	1
1-2 今後の調査に対する意見	2
2. 調 査 概 要	5
2-1 調査地域概要	5
2-2 調査計画	5
2-3 作業工程	5
3. 調 査 作 業	7
3-1 調査に用いられた基本図面およびモザイク写真類	7
3-2 飛行基地および飛行状況	7
3-3 現場調査班	7
3-4 調査機器	7
3-5 データの検査	8
4. 岩 石 磁 気 測 定	9
5. データの整理・編集	11
5-1 飛行航跡標定	11
5-2 磁気データの整理	11
5-3 Calcomp 断面図	11
5-4 制御解析	11
5-5 残 差	12
5-6 等磁力線図	12
6. 空 中 磁 気 図 の 解 析	13
6-1 空中磁気図の解析	13
6-2 空中磁気データの数値化	14

6-3	鉛直二次微分法	14
6-4	Upword Continuationの方法	16
6-5	磁気異常解析	18
7.	解 釈	27
7-1	調査地域の地質概要	27
7-2	磁気データの解析と解釈	28
7-2-1	浅部構成成分	29
7-2-2	深部構成成分	33
	参 考 文 献	39

付 図

Map No	Title	Scale
MAP 1-1 & 1-2	TOTAL MAGNETIC INTENSITY MAP	1:100,000
MAP 2-1 & 2-2	TOTAL MAGNETIC INTENSITY MAP	1:200,000
MAP 3-1 & 3-2	NEAR-SURFACE MAGNETIC COMPONENT MAP	1:100,000
MAP 4-1 & 4-2	NEAR-SURFACE MAGNETIC COMPONENT MAP	1:200,000
MAP 5-1 & 5-2	DEEP MAGNETIC COMPONENT MAP	1:100,000
MAP 6-1 & 6-2	DEEP MAGNETIC COMPONENT MAP	1:200,000
MAP 7-1 & 7-2	INTERPRETATION MAP OF NEAR- SURFACE MAGNETIC COMPONENT	1:100,000
MAP 8-1 & 8-2	INTERPRETATION MAP OF NEAR- SURFACE MAGNETIC COMPONENT	1:200,000
MAP 9-1 & 9-2	INTERPRETATION MAP OF DEEP MAGNETIC COMPONENT	1:100,000
MAP 10-1 & 10-2	INTERPRETATION MAP OF DEEP MAGNETIC COMPONENT	1:200,000
MAP 11	AREAS RECOMMENDED TO FURTHER INVESTIGATION	1:100,000

FIGURE 1—FIGURE 11 : PROFILE |A—PROFILE K (1:200,000)

1. 結論および今後の調査に対する意見

1-1 結 論

- (1) 本調査によって磁性岩体の立体的分布が詳かにされ、この分布から浅部、深部の地下構造が推定された。
- (2) 本調査地域の中では極めて多くの磁気異常が観測されたが、これらの磁気異常をひきおこしている磁性岩体の殆どは、地表または地下浅部に存在する第四紀の火山岩類である。
- (3) 本調査地域は、浅部磁性岩体の軸の方向から考えて、いくつかのゾーンに分けることができる。あるゾーンの中では、磁性岩体が (a)WNW-ESE方向の軸を持って分布しており、また他のあるゾーンでは (b)ENE-WSW方向の軸を持って分布している。またこのような規則性を持たないゾーンもあるが、本調査地域西半部では、(a)または(b)の規則性を持つゾーンが多い。
- (4) (3)で述べた規則性は、アンデス山脈の造山運動または構造に何らかの関係を有するものと推定されるが、鉱床との関係は推定しがたく、また調査地域西半部に分布している浅部磁性岩体 — 第四紀火山岩類 — と鉱床とを結びつけて考えることは極めて困難である。
- (5) 本調査地域内には、地下深部に存在して磁気異常をひきおこしている大規模磁性岩体（深部磁性岩体）も多数存在している。しかしながら、その個数は浅部磁性岩体のそれに比べると極めて少ない。
- (6) 深部磁性岩体の殆どは、みかけ帯磁率から推定して閃緑岩質岩石または花崗岩質閃緑岩と推定され、その一部が地表または地表付近まで貫入して、小規模の磁気異常をひきおこしている所もある。
- (7) 調査地域内の西側3分の2の部分においては、深部磁性岩体はWNW-ESE方向に配列しており、この配列はアンデス山脈の構造に一致していると考えられる。
- (8) ヤウリ (Yauri) を中心とする盆地構造は磁気図上にも明瞭に現われている。写真地質解析結果によれば、この盆地内に深成岩の露出が多く、これらの深成岩に密接な関係を持つ、いくつかの鉱床が存在している。
- (9) 鉱床生成に密接な関係を持つ深成岩は調査地域東半部に多く、西半部には少ない。しかも西半部に存在する深成岩は地表への露出は殆どなく、第四紀火山岩類に覆われていて、鉱床の存在に結びつけて推定することは極めて困難である。
- (10) 空中磁気探査および写真地質の解析結果を総合的に考察して、今後さらに詳しい調査を実施すべき区域と探鉱有望地区とを選ぶことができた。

1-2 今後の調査に対する意見

浅部構造解析結果、深部構造解析結果、写真地質解析結果から、将来、鉱床の発見される可能性の最も強い区域は、Fig. 1-1で示すⅡ区域であり、他の区域にあっては、この可能性は小さいと結論することができる。

Ⅱ区域の中で、有望な地区をさらに限定することも可能である。接触型鉱床にしる、ポーフイリーカバー型鉱床にしる、これらの生成にとって地質的環境としては、一般に酸性から中性の貫入岩類の存在が必要である。通常これら貫入岩類の帯磁率は小さいが、硫化鉱床に磁鉄鉱が随伴している場合には、磁気異常が生ずる。特に貫入岩類の縁辺部に磁気異常が生じている場所は注目すべきである。また接触型鉱床にとっては、石灰岩の存在が重要な条件のひとつである。以上の諸点から、有望地区の選択にあたって考慮すべき条件は

- (1) 酸性、中性の貫入岩類が存在すること、
- (2) これら貫入岩類の縁辺部に磁気異常が生じていること、
- (3) 貫入岩が石灰岩に貫入していること、
- (4) さらに、貫入岩が地表に露出しているその周辺で地下の比較的浅所に潜在していて、その縁辺部に磁気異常を生じている場合もあるから、そのような場所を選び出すこと

などであるが、まず第一に、本調査地域、特にⅡ区域において写真地質解析より知られた貫入岩の存在する場所は、ことごとく地上の綿密な地質調査を実行することが望ましい。(2)、(3)、(4)に着目して今後の探鉱有望地区をさらに限定すれば、MAP 11: Areas recommended to further investigationに示すとおりである。

特に1地区内にはチンタヤ(Tintaya)、アタラヤ(Atalaya)等の大鉱床が存在しており、地質的環境から考えても、さらに鉱床の発見の可能性の大きい地区である。図中の矢印をつけたところは貫入岩が地表下比較的浅いところで、矢印の方向に延長していると推定される場所である。

2地区内の花崗岩質岩石2-Gは地下浅所でさらに西方に延長しており、その縁辺部が点線で示した附近にあるものと予想される。

Ⅱ区域内では、磁気探査では解明できない磁性の非常に弱い深成岩の潜在も考えられるので、他の方法による物理探査の適用も考慮すべきである。

Ⅱ区域以外では、Ⅰ区域においてその磁気的特徴がヤウリを中心とする盆地のそれによく似ており、写真地質解析結果からは、深成岩の地表における分布は認められなかったが、空中磁気探査からは大規模な深成岩の存在が確認された。磁気異常の形から、この深成岩は調査地域西方にさらに連なっているように予想される。

上述したことから、今後の調査の方針としては、

- (1) ヤウリ盆地を中心とするⅡ区域の重力探査を実施し、磁気探査では解明されなかつた磁性の弱い深成岩や基盤岩についての、より詳しい構造を把握すること。
- (2) Ⅱ区域の地表地質調査を実施し、より詳しい地質情報を得ること。
- (3) Ⅱ区域内の1, 2, 3, 4地区は特に鉱床発見の可能性の非常に強い地区であると判断され、この地区内では特に綿密な地質調査を実施すること。
- (4) 1, 2, 3, 4地区の深部電気探査を実施し、深成岩の形態を詳細に把握すること。
- (5) 機会があればⅠ区域の地質調査の実施と、これより西方に続く未調査地域の空中磁気探査と地質調査を実施すること。

上述した区域は Fig. 1-1に示すとおりであるが、1, 2, 3, 4地区は MAP 11 (縮尺 1/100,000) に詳しく示してある。

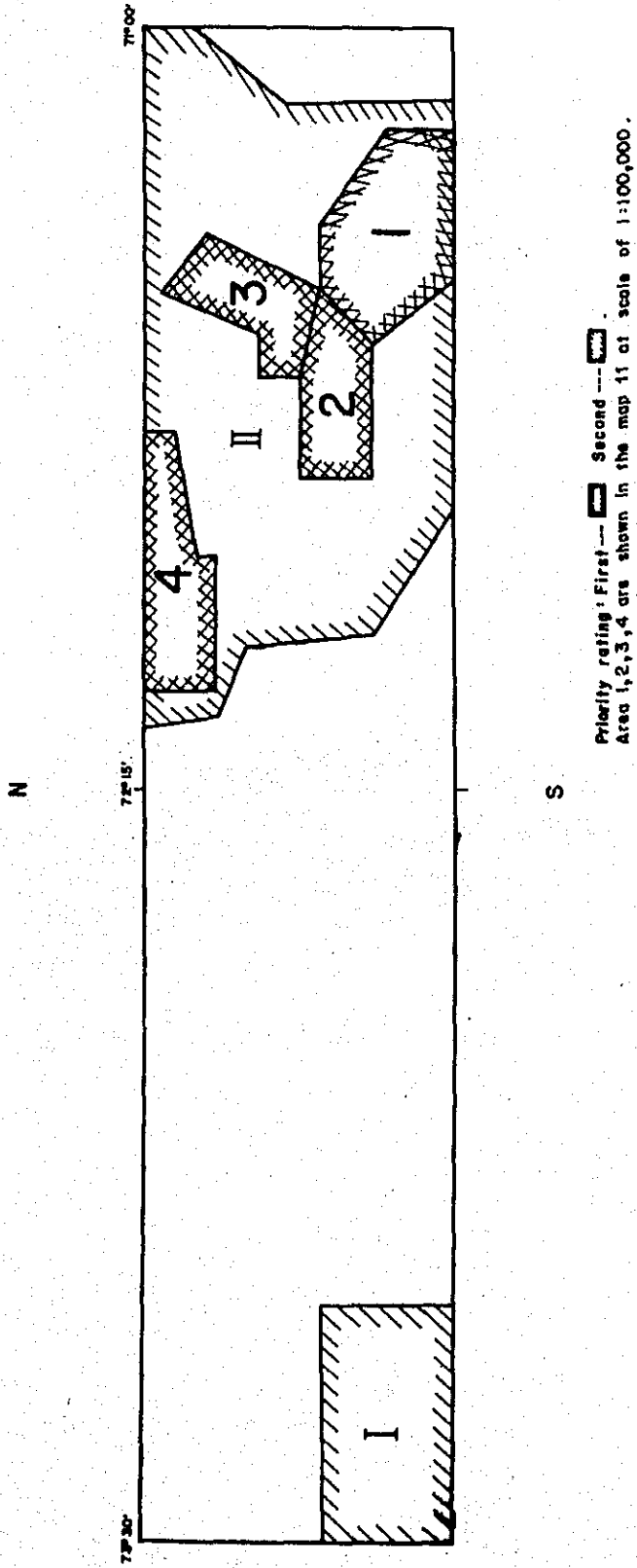


Fig 1-1 AREAS RECOMMENDED TO FURTHER INVESTIGATION

2. 調査概要

2-1 調査地域概要

Location mapに示されるように、本調査地域はペルーの南部に位置しており、南緯 $14^{\circ}30'$ 、同 $15^{\circ}00'$ 、および西経 $71^{\circ}00'$ 、同 $73^{\circ}30'$ で画される長方形の地域で、面積約 $15,000\text{ km}^2$ の山岳地域である。調査地域東部は平原で海拔約 3900 m であり、西部は頂上が 5300 m に及ぶ山岳があり、また、深い峡谷や狭い谷によって分断されている。

2-2 調査計画

調査測線は次のように計画された。

	方向	測線間隔	1本の測線長	本数	計
主測線	南北方向	約 1 km	55 km	270本	$14,850\text{ km}$
タイライン	東西方向	約 9 km	269 km	7本	$1,883\text{ km}$
合計					$16,733\text{ km}$

山頂に対して飛行機の安全高度を保った上で、空中で磁気データが連続的であるように、海拔 $18,500\text{ ft}$ (約 5650 m)の一定高度で全城を飛行するように計画された。

2-3 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 (Fig. 2-1) が示すように、空中写真撮影、写真地質調査、空中磁気探査、および地表地質調査は密接な相互関係を持つものである。

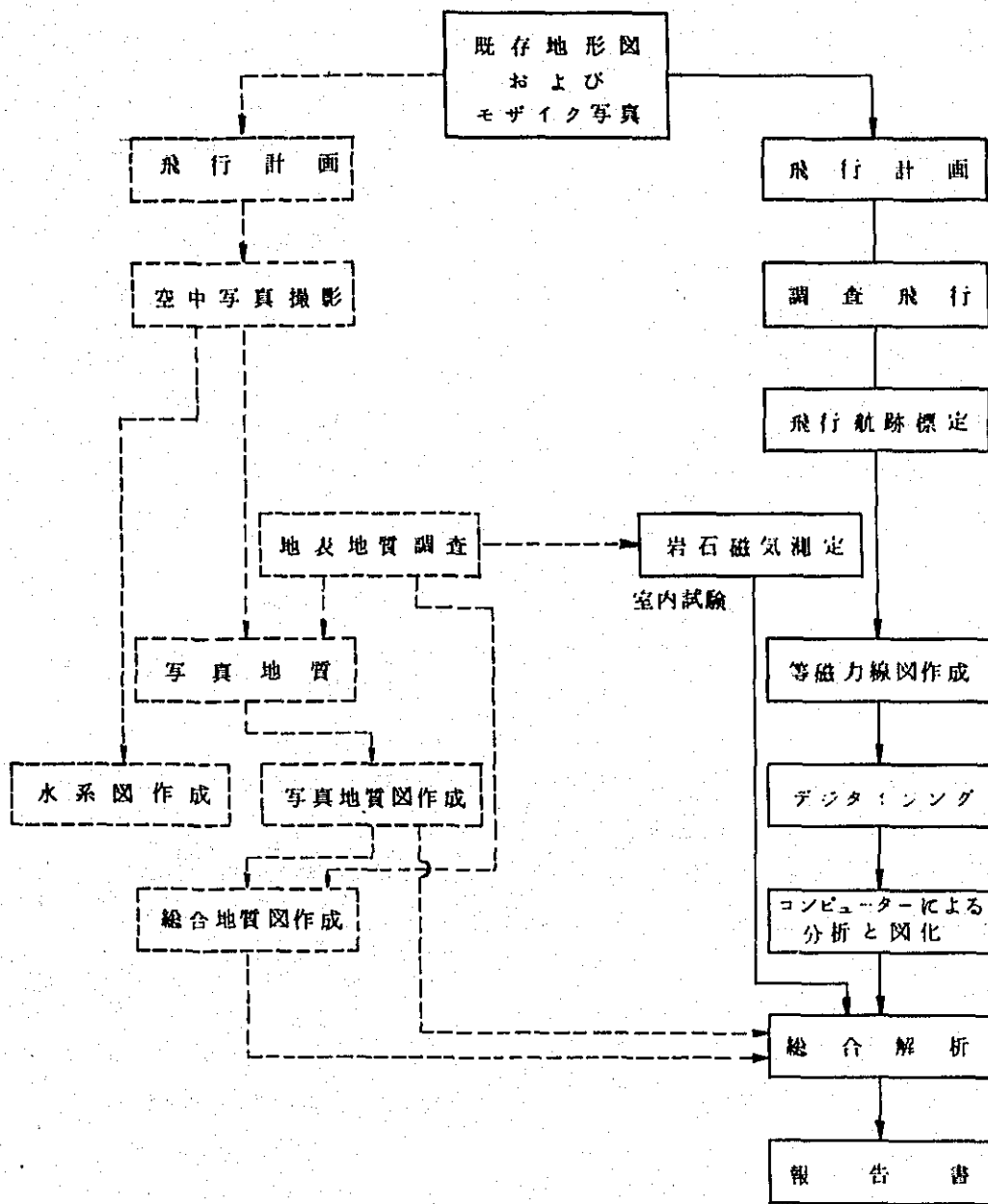


Fig. 2-1 作業工程図

3. 調査作業

3-1 調査に用いられた基本図面およびモザイク写真類

この調査のために、ペルー政府から入手したこの調査地域に関連ある地図類、モザイク写真類を使用した。西経 $73^{\circ}00'$ ～ $73^{\circ}30'$ の区域では、縮尺 $1/100,000$ の地形図があらゆる目的に用いられた。西経 $72^{\circ}00'$ ～ $73^{\circ}00'$ の区域については、使用できる最大縮尺の地形図は縮尺 $1/200,000$ のものであった。この地形図は航法用に使用された。そして最終の編集用基本図面のために4倍に引き延ばされた。またこの区域の飛行航跡標定には、モザイク化されていない航空写真が使用された。西経 $71^{\circ}00'$ ～ $72^{\circ}00'$ の区域では、航法および航跡標定のために、モザイク写真が使用された。そして一つ一つの標定点は縮尺 $1/100,000$ の地形図に移された。その地形図は最終基本図を作成するのに用いられた。

3-2 飛行基地および飛行状況

調査地域東方のフリアカ (Juliacca) から、タイラインを飛ぶことは好都合であったので、フリアカを基地として、1971年8月19、20日の2フライトでタイラインを完了した。主測線の調査のためには、調査地域の南に位置するアレキパ (Arequipa) がフリアカよりずっと海拔が低く、雲による影響が少ないので便利な基地であった。調査員は21、22両日にアレキパに移動し、24日に調査を再開した。

調査は、主として雲と乱気流のため何度も飛行を中断することになって、思うように進まず、終了したのは9月20日であった。地磁気日変化のために調査が遅れることはなかった。

3-3 現場調査班

調査は下記の調査班員により実施された。

調査班長	I. Gaüzere
副班長	A. Cassin
データ・マン	N. Krumm
パイロット	W. Beaumont
交代パイロット	N. Spraggs
エレクトロニクス・オペレーター	J.O. Poirier
技師	K. Proctor

3-4 調査機器

調査用飛行機には、N151Dと登録されたダグラスDC-3を使用した。飛行機に

はセシウム磁力計を搭載しており、そのセンサーは機体磁気をさけるために、飛行機の下にケーブルで吊されている。この磁力計は水晶時計の制御によって1秒間隔で、地球磁場の全磁力値を、0.01 γ の精度で測定する。この時計は全ての記録に、同時に、基準マークを送る。

測定値は磁気テープにデジタルで記録される。また同時に、モニターのために、アナログの形で記録される。アナログ記録は、自動的にステップの変る100 γ フルスケールで、10インチ巾のチャート紙上に記録された。アナログレコードの別のチャンネルに、Rosemount 気圧高度計で測られた高度変化が記録された。

飛行機には、また、航法補助としてBendixドップラーシステムが搭載されている。デジタル磁気テープには時刻および磁気測定値が、高度、ドップラー進行方向の距離、横ずれの距離と共に、記録される。正確な飛行航跡は2種のトラッキングカメラ — 連続ストリップ、シングル・フレーム — によって、35mmフィルムに写された。

同種の磁力計が飛行基地で作動され、磁場の時間変化がアナログおよびデジタルで記録された。空中と地上の磁力計による測定は、各フライト前に合わされた水晶時計によって同期された。

3-5 データの検査

各調査飛行後、アナログ記録によってデータの質が検査され、編集された。航跡フィルムは現像され、航跡は地形図あるいはモザイク写真上に落され、そして検査された。

4. 岩石磁気測定

空中磁気探査の解析の参考とするため、地表地質調査班により空中磁気探査、及び地質調査地域内で、多くの岩石試料が収集された。これら試料を収集した位置は浅部構成成分解図に記されている。

Table 4-1 はこれら試料の岩相および帯磁率の測定結果を示している。帯磁率測定は付録コンサルタント所有のBison Instruments Model 3101を用いてなされた。

採取した岩石は、安山岩類、花崗岩類、凝灰岩類、堆積岩類に分けることができる。それらの個数と帯磁率平均値は下記のとおりである。

安山岩類	17ヶ	0.88×10^{-3}	c.g.s.c.m.u./cc
花崗岩類	11ヶ	1.22×10^{-3}	"
凝灰岩類	7ヶ	0.13×10^{-3}	"
堆積岩類	7ヶ	0.07×10^{-3}	"

以上の平均値から、安山岩類、花崗岩類は他の二種類に比べて磁性が強いことは明らかである。花崗岩類の帯磁率が通常の花崗岩のそれよりも大きいように思われるが、これは花崗岩類の中に閃緑岩質岩石が含まれているためと推定される。

岩石標本の約4分の3は空中磁気探査地域の東側半分において収集されたため、地域全体の岩石の帯磁率について議論することは困難であると思われるが、以上の平均値に基づき、本調査地域の岩石の磁性について、おおまかに推定することは可能である。

Table 4-1 Susceptibilities of the rocks sampled in the survey area

Sample No	Susceptibility ($\times 10^{-3}$ c.g.s.c.m.u./cc)	Lithology	Layer
※ A-1	2.18	Granite	3
- 2	0.02	Tuffaceous dacite	2
- 3	0.23	Andesite flow	2
- 4	0.53	Andesite	2
- 6	0.84	Andesitic volcanic breccia	2
- 7	0.05	Tuff breccia	2
- 8	2.26	Basalt flow	1
- 9	1.13	Basalt lava	1
- 10	0.28	Andesitic volcanic flow	2

Sample No	Susceptibility ($\times 10^{-3}$ c.g.s.e.m.u./cc)	Lithology	Layer
A-11	0.30	Tuff	1
-15	0.87	Andesite	2
K-2	0.03	Limestone	4
-6	0.09	Granite	3
-8	0.24	Andesite agglomerate	2
-15	0.27	Dacitic tuff	2
-15'	1.13	Andesite	2
-19	2.74	Andesite	2
-29	0.05	Tuff	1
-30	0.12	Calcareous tuff	4
-31	1.76	Granite	3
-34	0.05	Andesite	2
T-1	0.13	Red tuff	1
-2	0.03	Quartzite	4
-3	0.01	Limestone	4
-4	0.03	Diorite	3
-5	0.02	Sandy tuff	1
-6	2.22	Sandstone	5
-7	0.02	Tuffaceous shale	1
-8	0.98	Sandstone conglomerate	2
-9	0.36	Sandstone	2
-10	0.03	Siltstone	1
-11	0.07	Granitic rock	3
S-1	0.36	Granitic rock	3
-2	0.03	Andesite	2
-3	1.55	Quartz porphyry	1
-4	0.11	Andesite	2
-5	1.29	Andesite	2
-6	0.69	Granitic rock	4 or 3
※ -7	1.94	Granitic rock	3
-8	0.03	Granitic rock	3
-9	0.03	Sandstone	4
-10	4.73	Dioritic porphyry	3

注 Layer 1 Quaternary 4 Lower Mesozoic
2 Tertiary 5 Paleozoic
3 Upper Mesozoic

※：調査地域外で採取された岩石。したがって関連図面に記載されていない。

5. データの整理編集

データはオタワ (Ottawa) に送られて編集され、二種の最終的成果、すなわち全磁力図および Calcomp 断面図が作成された。そのために次のような過程がふまれた。

5-1 飛行航跡標定

主測線とタイラインの交差する正確な点が、両測線の 3.5 mm の航跡フィルムから確認され、そしてその点が基本地形図に落とされた。それから、すべての位置が標準 UTM (Universal Transverse Mercator) 格子によって数値化された。数値化された飛行航跡は、その交差する点と他のキー・ポイントの間の飛行機の対地速度を計算することによって検査された。不規則な速度の所は再検討され、エラーの原因が取り除かれた。

5-2 磁気データの整理

磁力計による測定は、機上および地上ともに、正確と完全を確保するため、再確認、検査された。できる限り磁場の時間的変化を取り除くために、空中磁気値から地上磁気値が引かれた。結果として、その差は零に近いので、元の測定値に近い値にするために任意の一定値、26.000 r が加えられた。この段階で、ノイズ・スパイクを取り除くために、データに非線形フィルターが施された。

5-3 Calcomp 断面図

各測線の (空中) - (地上) 磁気値の断面図は 30 インチ Calcomp プロッターによって作られ、二本の全磁力の断面図および一本の鉛直微分の断面図で表わされた。地域的影響を取り除くために各測線の始めと終りを同じレベルにするように一次地域補正を全磁力値に施した。二本の全磁力断面図は縦軸のスケールのみ違っている。一本はフライン・スケールとして 20 r/inch であり、一本はコース・スケールとして 50 r/inch で描かれている。タイラインおよび主測線 83~143 では磁気異常が大きいため、コース・スケールは 100 r/inch で描かれた。鉛直微分は CGG (Compagnie Générale de Géophysique) の H. Naudy によって開発された方法によって、微分間隔 3 秒で計算され、1 インチについて 0.0952 r/foot で描かれた。

5-4 制御解析

データのレベルを水平にするために、各交点における (空中) - (地上) 磁気値は主測線およびタイライン上に記入された。主測線とタイライン上の値の差 (L-T) は図式的に分析され、矛盾のないように調整された。大きな差は再検討され、補正された。

5-5 残 差

各主測線およびタイラインの(空中)-(地上)磁気値は残差として、最終補正のために整えられた。補正は次の順序で行なわれた。

(a) 上述の制御解析

(b) 次の IGRF (International Geomagnetic Reference Field) の値から、南北、東西両方向に線形補間で計算された地域補正

14° S	74° W	27130	gammas
14° S	72° W	26895	"
16° S	72° W	26490	"
16° S	74° W	26750	"

(c) IGRF の値を引くと、磁気値は再び零に近くなるので、任意の定数 10,000 r が加えられて、最終的な値がすべて、正の値になるようにされた。

最終残差はこれらの補正によって、飛行測線に沿って 2.5 秒間隔で計算された。そして縮尺 1/50,000 の図面に転写された。

5-6 等磁力線図

転写された残差値は、磁気傾度の緩やかな所は 0.5 r 単位でコンターが描かれ、最終的に縮尺 1/50,000 の 10 枚の等磁力線図が描かれた。最終図面は写真で縮小されて、縮尺 1/100,000 と 1/200,000 の図面にされた。

6. 空中磁気図の解析

6-1 空中磁気図の解析

空中磁気図に現われた磁気異常は、地表および地中の岩体が地球磁場によって磁化されてできる誘導磁場によって、またその岩体のもつ残留磁気によって生じたものである。誘導磁場の強さは岩体のもつ帯磁率の大きさによって異なる。本解析では残留磁場は無視し得ると考え、磁気異常は誘導磁化によるもののみとして考察をすすめた。

調査地域は磁気伏角が約 -4° であるので、誘導磁化によって磁性岩体のは、真上に負の磁気異常が生ずる。

空中磁気図を一見して、磁気異常のこみ工合、形、規模の大きさ等の違いが有ることがわかる。そしてそれらは地質条件の違いを反映しているものである。

具体的には、個々の異常について適当なモデルを当てはめて、その異常をひき起している岩体の深さ、形態、大きさ、みかけ帯磁率等が定量的に計算される。

さらに詳しい解析を行なうために、種々のFilter計算がなされる。本解析では、浅部構造成分および深部構造成分を分離抽出するために、二次微分法およびUpward Continuationの二つのFilter計算がなされた。

二次微分図からは周期の長い、振幅の大きい異常によって隠されている、周期の短い異常の検出、磁性岩体の境界の位置等の情報が得られる。

Upward図においては、周期の短い異常が減衰され、規模の大きな磁性岩体による周期の長い、振幅の大きい異常を検出することができる。Upward図は定量的にも解析される。

このようにして定性的、定量的になされた解析結果は、地質情報やその他の情報と共に検討されて、地下構造図が作成される。

以上の解析作業を図式化するとFig. 6-1のようになる。

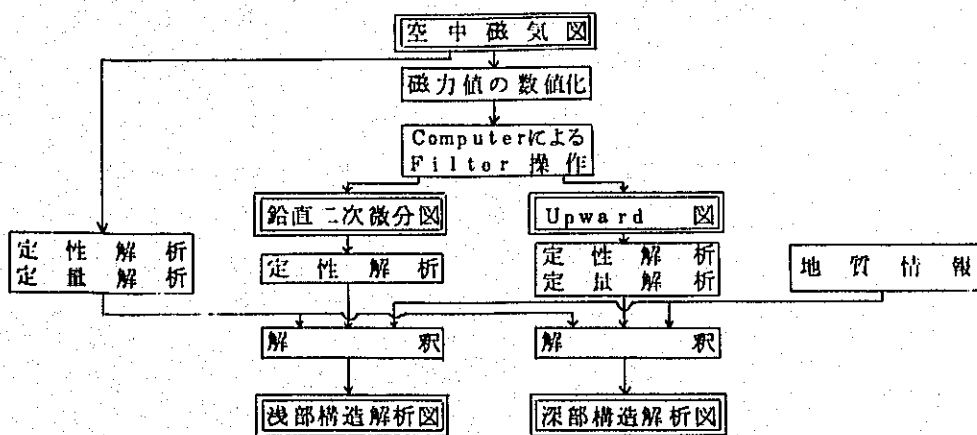


Fig. 6-1 空中磁気解析作業

6-2 空中磁気データの数値化

二次微分法や Upward Continuation の Filter 操作を施すために、空中磁気データは正方向格子上で数値化される。

縮尺 1/50,000 の空中磁気図から格子間隔 1 km (2 cm 格子) で数値化した。56 × 272, 総計 15,232 個の格子点上の磁気値を 0.1 ガンマの単位まで読みとった。原点、すなわちこの格子の (1, 1) 点を (14°30'07" S, 73°29'58" W) にとった。

6-3 鉛直二次微分法

鉛直二次微分法は磁気異常の短周期成分を増幅し、長周期成分を減衰する High Pass Filter としての性質を有する。

したがって地表付近の浅部構成成分を抽出するのに、全磁力図に鉛直二次微分法を適用して鉛直二次微分図を作成した。

鉛直二次微分図は、主として Rosenbach による (1) 式、周縁部で Henderson & Zietz による (2) 式を利用して作成された。

$$\frac{\partial^2 \Delta T}{\partial Z^2} = \frac{1}{S^2} \cdot \frac{1}{24} (96 \Delta T_0 - 72 \Delta T_1 - 32 \Delta T_2 + 8 \Delta T_4) \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta T}{\partial Z^2} = \frac{2}{S^2} (3 \Delta T_0 - 4 \Delta T_1 + \Delta T_2) \quad (2)$$

ただし、 $\Delta T_1 = \frac{\Delta T_{11} + \Delta T_{12} + \Delta T_{13} + \Delta T_{14}}{4}$, $\Delta T_2 = \frac{\Delta T_{21} + \Delta T_{22} + \Delta T_{24}}{4}$

$$\Delta T_4 = \frac{\Delta T_{41} + \Delta T_{42} + \Delta T_{43} + \Delta T_{44} + \Delta T_{45} + \Delta T_{46} + \Delta T_{47} + \Delta T_{48}}{8}$$

ただし、 $\Delta T_{11}, \Delta T_{12}, \dots, \Delta T_{48}$ の位置は Fig. 6-2 に示す。

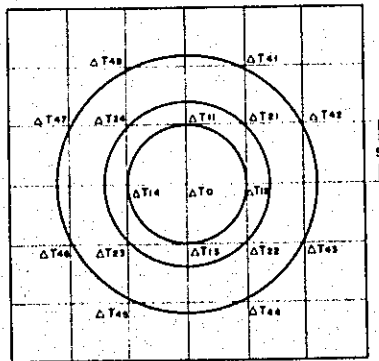


Fig. 6-2 鉛直二次微分計算の格子点配置

計算は 6-2 で数値化された 1 km ごとの格子点について、(1)式および(2)式を用いて $S = 1 \text{ km}$ で実施した。

鉛直二次微分の周波数特性を Fig. 6-3 に示す。鉛直二次微分法による磁気異常の減衰の程度は、その異常の周波数/格子間隔(以下 C/G とする)の格子方向の成分(ここでは南北方向、東西方向の成分)によって異なる。すなわち異常の形、大きさによって異なると言ってもよい。

Fig. 6-3 から、本解析で使われた Rosenbach の式による計算では、 $C/G =$ 約 0.4 以上すなわち波長=約 2.5 km 以下の短周期の異常は約 5 倍に増幅され、 $C/G = 0.1$ すなわち波長=10 km くらいの異常は約 1/2 に減衰することがわかる。

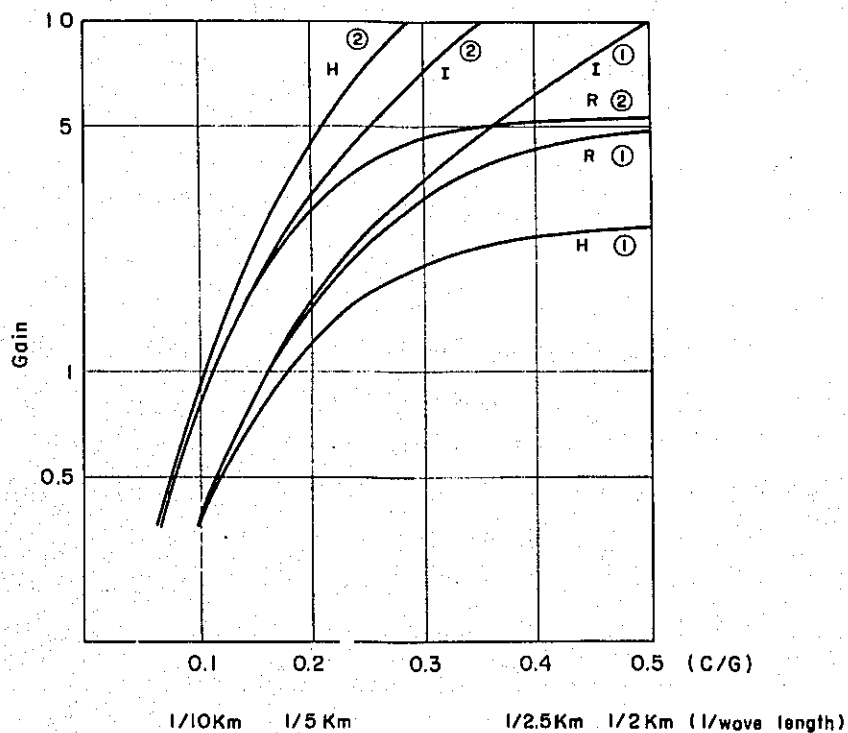


Fig. 6-3 鉛直二次微分の周波数特性

I : 理論的鉛直二次微分

R : Rosenbach の式

H : Henderson & Zietz の式

① : 磁気異常の東西方向(もしくは南北方向)の $C/G=0$ とした場合の南北方向(もしくは東西方向)の C/G の違いによる減衰の様子を示す。

② : 磁気異常の東西方向、南北方向の C/G が同じ場合(完全な円い形の磁気異常)の C/G の違いによる減衰の様子を示す。

でき上った鉛直二次微分図は

MAP 3-1, 3-2 (縮尺 1/100,000)

MAP 4-1, 4-2 (縮尺 1/200,000)

である。

この二次微分図では、地表付近の小規模な磁性岩体によって誘起されたと考えられる短周期の磁気異常は増幅され、独立した異常となって顕出された。また深部の大規模な磁性岩体によって誘起されたと考えられる長周期の磁気異常は減衰した。したがって、もとの空中磁気図と併用して、浅部構造成分の解析に有効であった。

6-4 Upward Continuationの方法

地表付近の小規模な磁性岩体により誘起されたと考えられる短周期の磁気異常を減衰し、長周期の磁気異常を卓越させて磁気図の大きなパターンを捉え易くする、すなわち深部構造成分を抽出するために Upward Continuation の方法を適用した。

空中磁気図(海拔 5,650m 水平飛行)から、Upward Continuation の方法により、海拔 6,650m の面での磁気図を作成した。

Upward Continuation には、坪井・友田によって三次元に拡張された $(\sin X)/X \cdot (\sin Y)/Y$ の方法を用いた。

具体的には、6-2で数値化された1kmごとの格子点について、(9×9)の正方行列で与えられる Mufti の Upward Continuation の係数 Fig 6-4を Convolution の操作により掛けあわせ、合計する。その和が各格子点での、海拔 5,650m から海拔 6,650mに Upward Continuation された磁力値である。Upward Continuation の係数としては、 $d = 1.0S$ ($S = 1km$)のものを用いた。ここで Upward Continuation される距離は格子間隔と同じ1kmである。

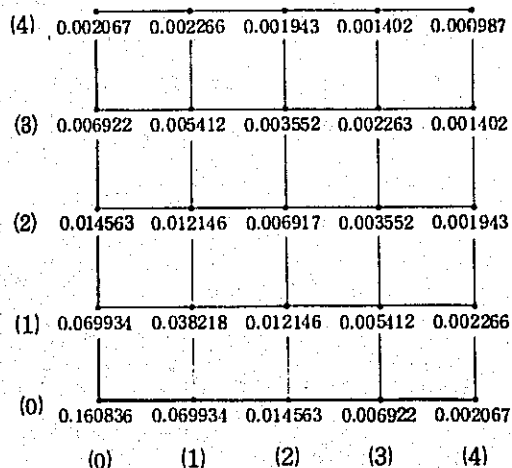


Fig. 6-4 Coefficients of Upward Continuation

Upward Continuation の周波数特性を Fig.6-5 に示す。磁気異常の減衰の程度は二次微分法と同様に、 O/G の南北方向および東西方向の成分によって異なる。

この図から、計算に使われた Mufti の係数では、 O/G が小さいすなわち波長の長い異常はもちろん減衰しないが、逆に C/G の大きい異常でも減衰の程度は約 $1/2$ であることがわかる。従って短周期の異常でも振幅の大きいものは Upward 図にも残ることになる。最も減衰するのは $O/G = 0.2$ 前後すなわち波長=約 5 Km 前後の異常である。

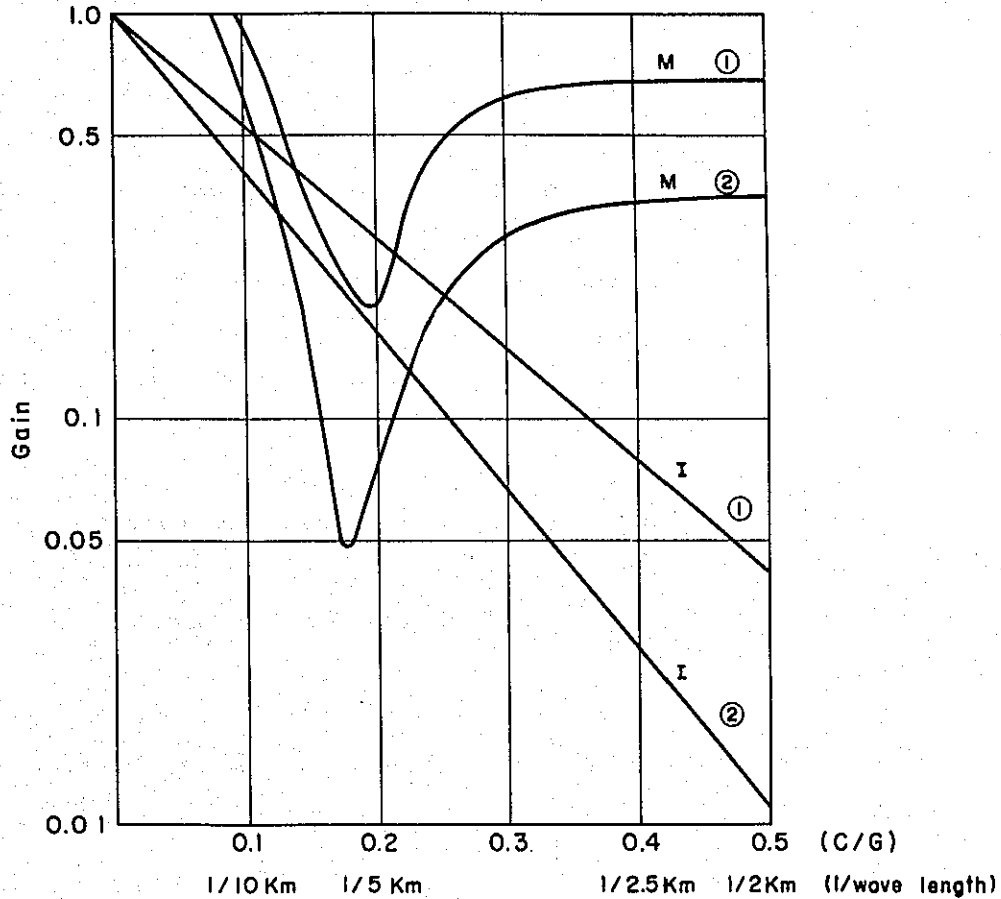


Fig. 6-5 Upward Continuation の周波数特性

I : 理論的 Upward Continuation

M : Mufti の式

① : 磁気異常の東西方向 (もしくは南北方向) の $O/G = 0.05$ とした場合の南北方向 (もしくは東西方向) の O/G の違いによる減衰の様子を示す。

② : 磁気異常の東西方向, 南北方向の O/G が同じ場合 (完全な円形の磁気異常) の O/G の違いによる減衰の様子を示す。

できしった Upward 図は

MAP 5-1, 5-2 (縮尺 1/100,000)

MAP 6-1, 6-2 (縮尺 1/200,000)

である。

この Upward 図では、地表付近の小規模磁性岩体による磁気異常が減衰し(ただし前述のごとく、短周期のものでも振幅の大きなものは減衰はするが残っている)、深部の大規模磁性岩体によると思われる長周期磁気異常が残った。したがって深部の地下構造を推定するのに有用であった。

6-5 磁気異常解析

個々の磁気異常を解析することにより、それをひき起している磁性岩体の形、大きさ、地表面下の埋没深度、およびみかけ帯磁率がわかる。

磁気異常の解析には主として曲線照合法を用い、場合によっては特性点法を併用した。曲線照合法は、基本的には、観測された異常曲線を適当なモデル計算によって求められた異常曲線、いわゆる標準曲線と照合して、磁性岩体の種々の要素を決める方法である。

モデル計算は磁気伏角 5° としてなされた。Fig. 6-6 ~ Fig. 6-10 にいくつかのプリズムモデルによる磁気異常パターンおよび断面図を示した。また Fig. 6-11 にダイク状構造による磁気異常の現われ方を、Fig. 6-12 にステップ状構造による磁気異常の現われ方を、Fig. 6-13 にシート状構造による磁気異常の現われ方を示した。

本解析では、内部が一様に磁化されている底のない(無限長)プリズムの標準曲線を主として用い、必要に応じてダイクモデル、ステップモデル等の標準曲線を用いた。

この曲線照合法によって空中磁気図および Upward 図に現われた個々の磁気異常の原因となる磁性体の形、大きさ、深さ、みかけ帯磁率が求められた。なおみかけ帯磁率 dK は、次の関係式を用いて求められた。

$$dK = \frac{1}{T_0} \cdot \frac{dT_0}{dT_m} \text{ c.g.s.e.m.u./cc}$$

ただし、 $T_0 = 27,000 \text{ r}$ (本調査地域の地磁気全磁力)

dT_0 は観測された異常の振幅の磁力値

dT_m は照合したモデルによる異常の振幅(この場合全磁力値 $= 1 \text{ r}$ で計算されている)

である。

計算された個々の磁気異常と地質情報とを対比してなされた地下構造の解釈を7に述べる。

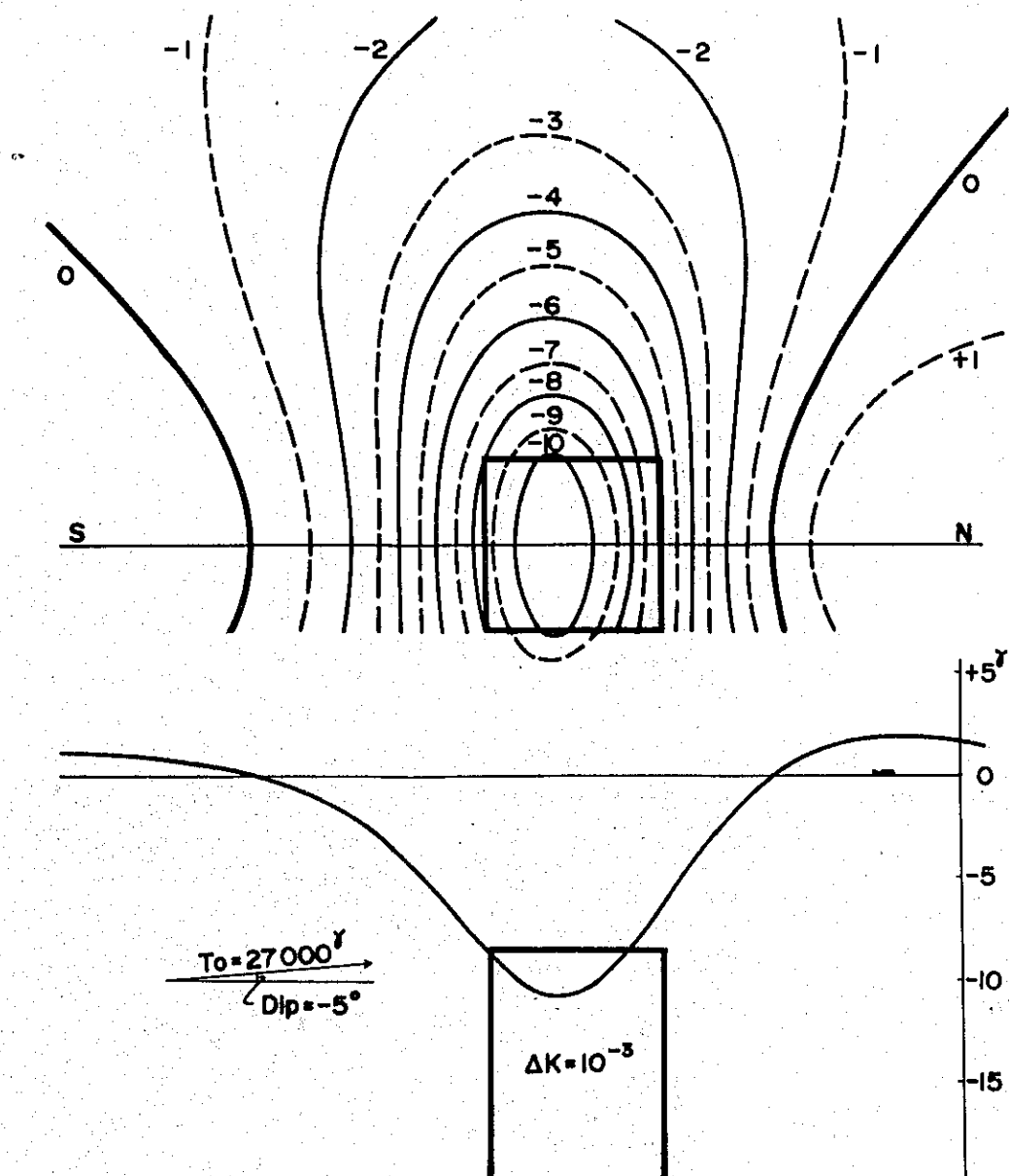


Fig. 6-6 Total magnetic anomaly by a prism model

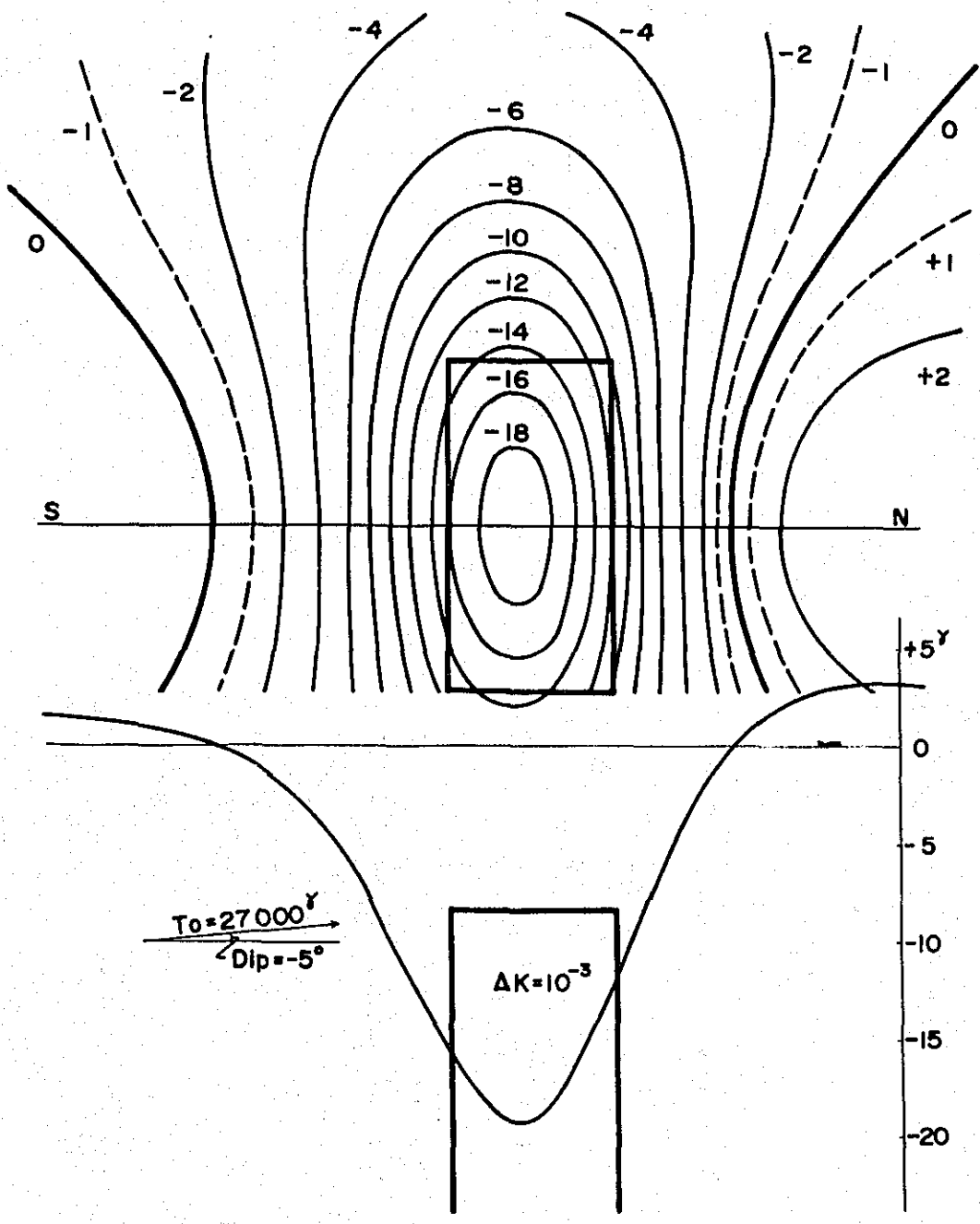


Fig. 6-7 Total magnetic anomaly by a prism model

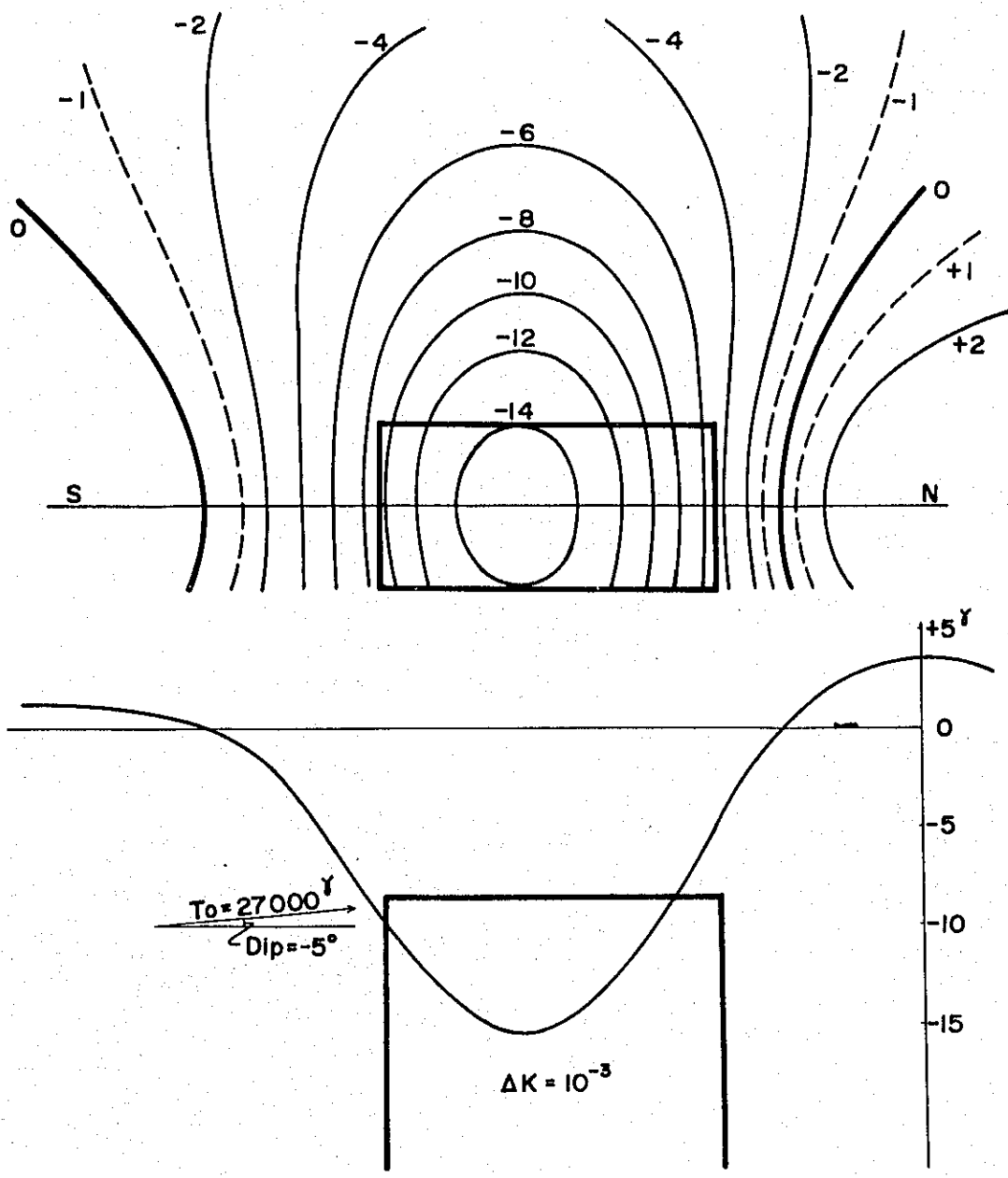


Fig. 6-8 Total magnetic anomaly by a prism model

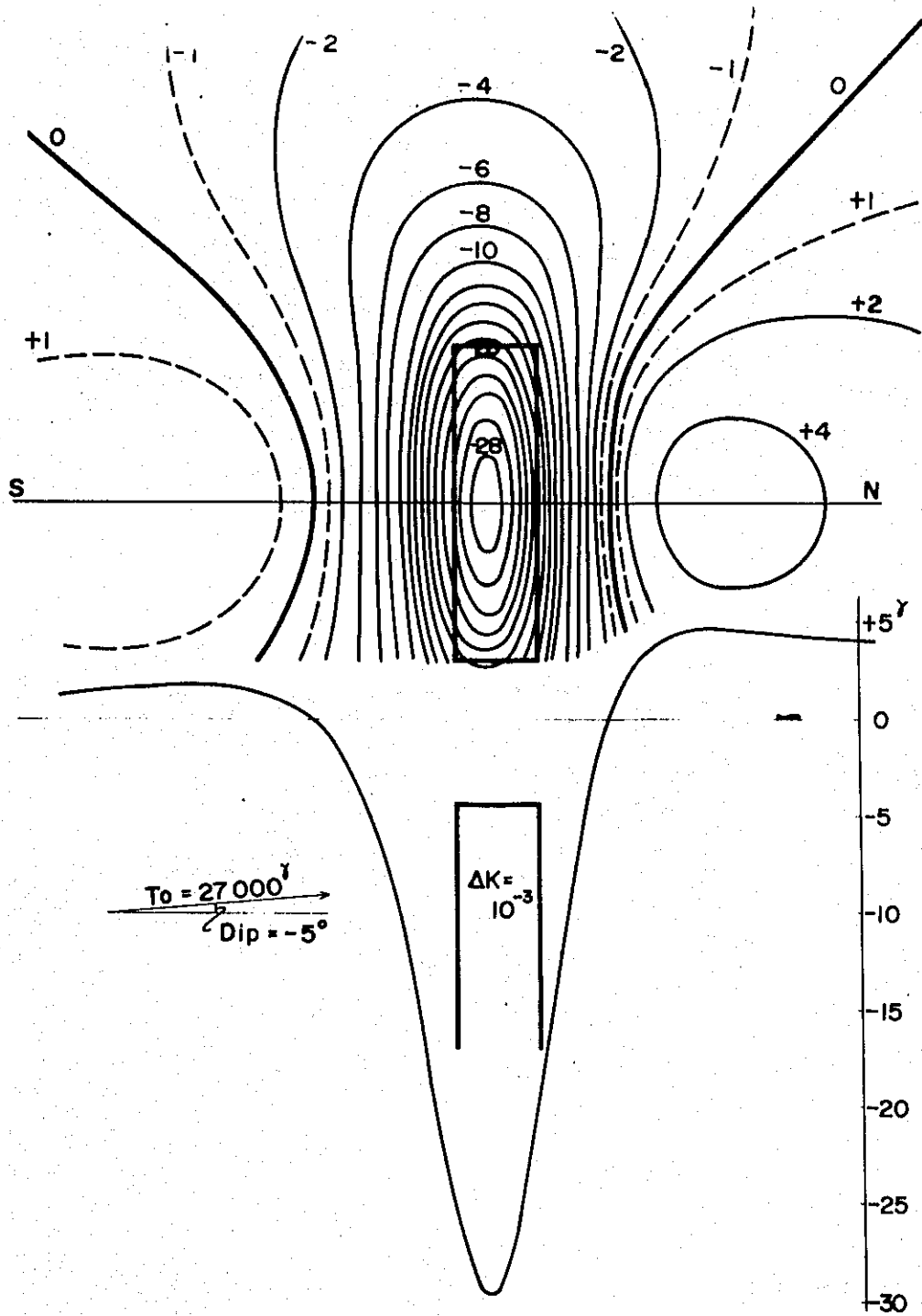


Fig. 6-9 Total magnetic anomaly by a prism model

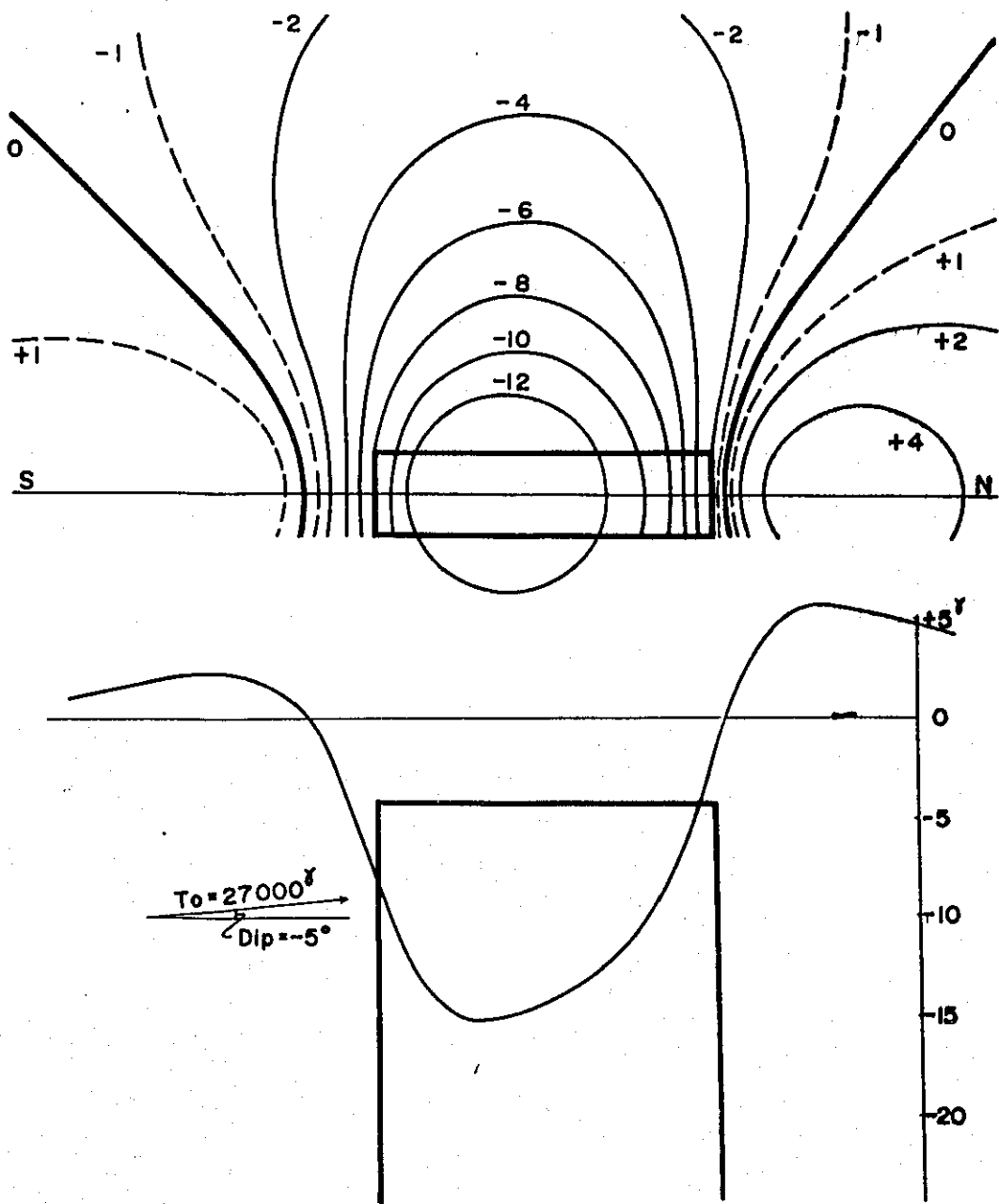


Fig. 6-10 Total magnetic anomaly by a prism model

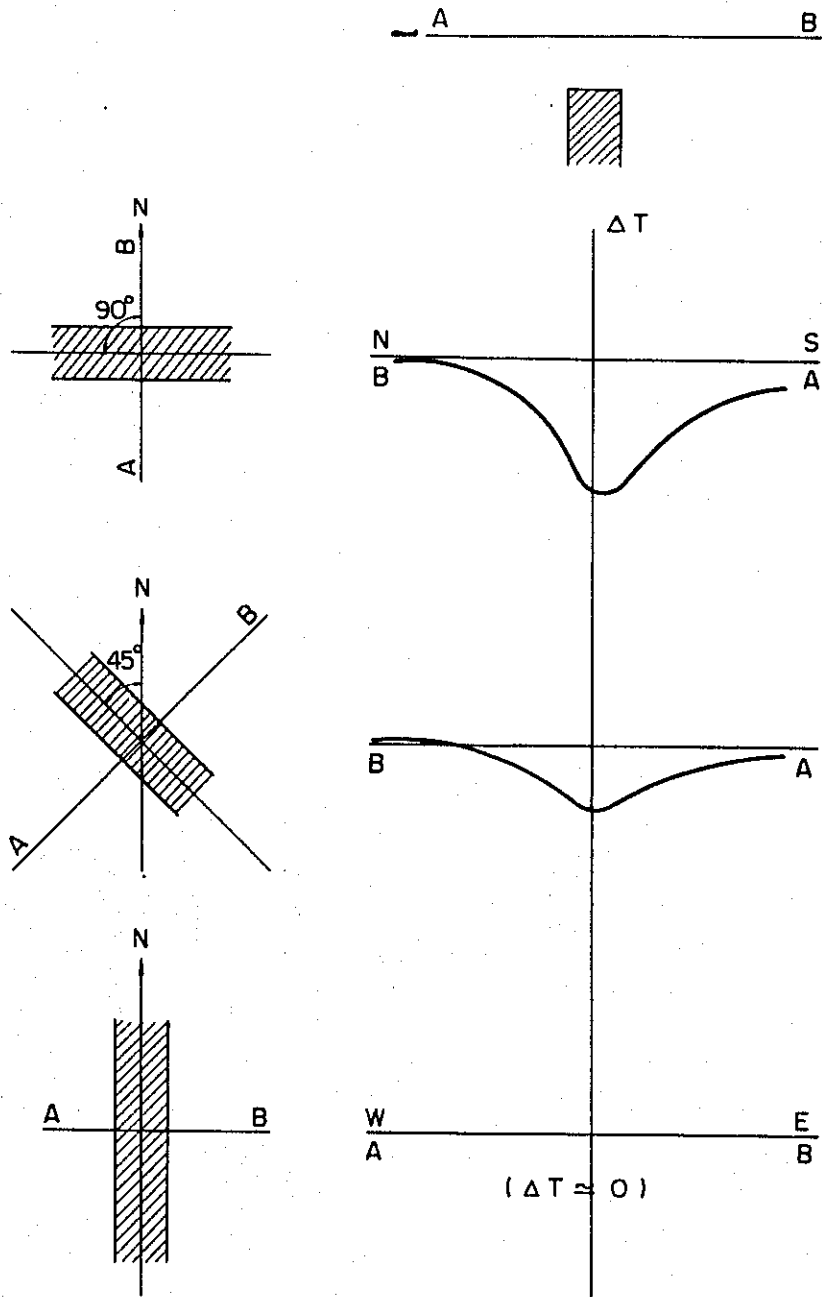


Fig.6-11 Theoretical curves of total magnetic anomaly by dyke models

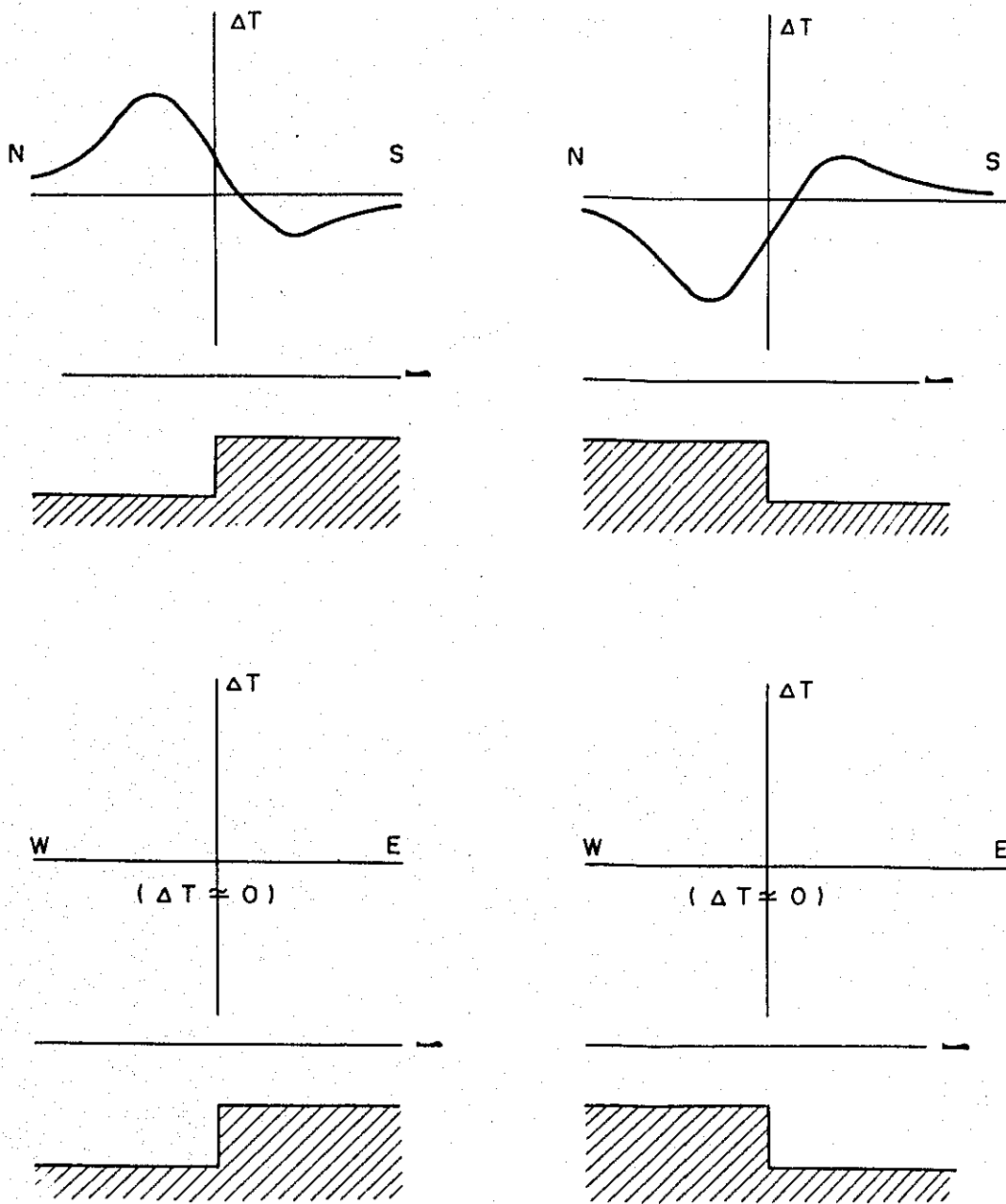


Fig. 6-12 Theoretical curves of total magnetic anomaly by step models

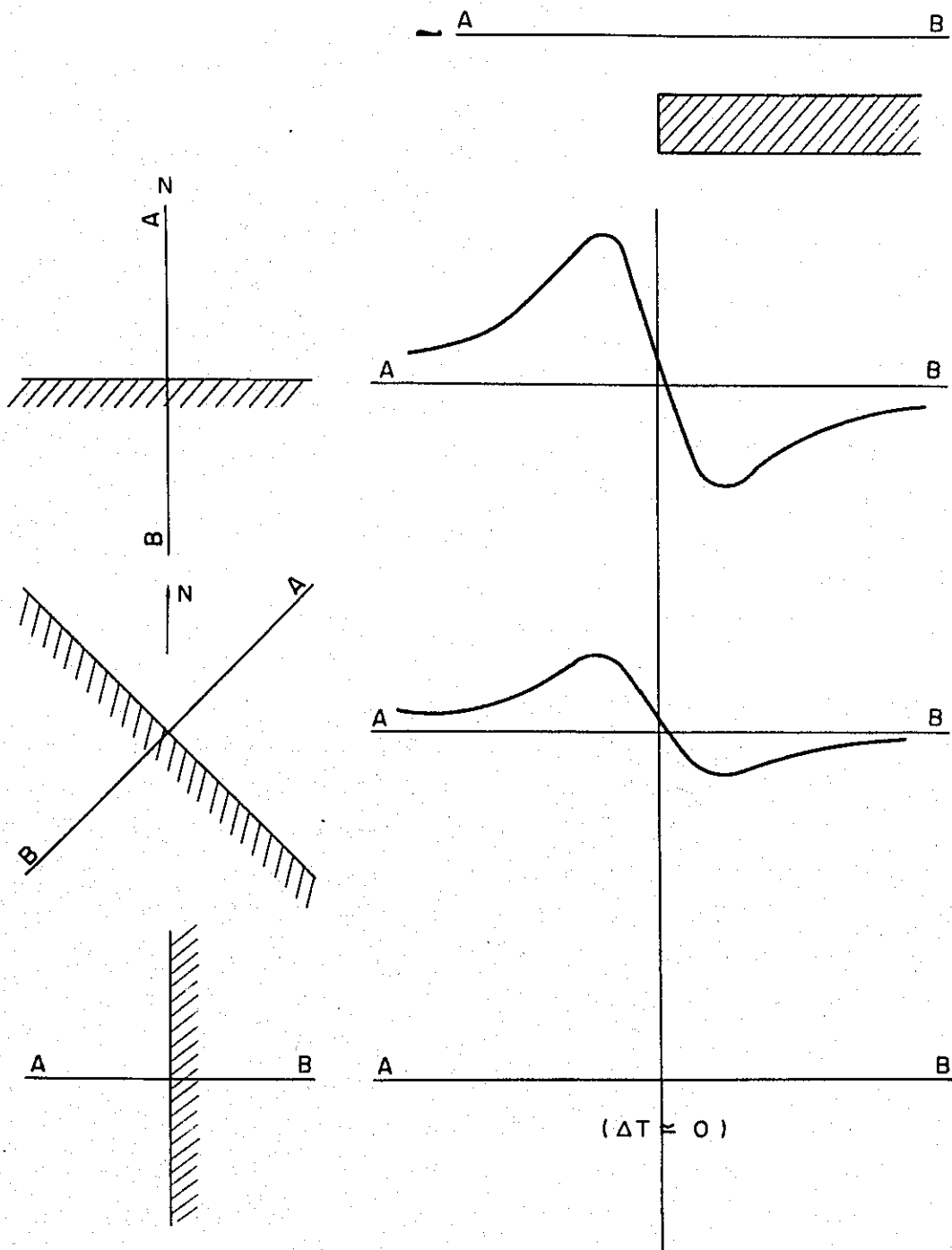


Fig.6-13 Theoretical curves of total magnetic anomaly by sheet models

7. 解 釈

7-1 調査地域の地質概要

本調査と並行して行なわれた写真地質調査および地表地質調査の結果によって、調査地域の地質概要を示すと次のようである。(Fig 7-1 参照)

本調査地域は大きくみて、東部の中生代～第四紀の堆積岩類を主とした盆地地域と、中～西部の第三紀～第四紀の火山岩類を主とした高標高地域(標高4000～5000m)に分けられ、地質構造はNNW-SSEの方向性に著しく支配されている。

東部の堆積岩類を主とした地域では、(1)カニピア川(Rio Canipia)とサラド川(Rio Salado)の間の部分およびベリーリエ(Velille)附近には下部～中部白亜紀の珪岩(Yura Formation)、(2)カニピア川左岸部、カニピア川～サラド川間、サラド川右岸には灰色～黒色石灰岩(Ferrobamba F.)があり、また(3)北東部には上部白亜紀の赤色砂岩と頁岩等の互層(Capas Rojas F.)が広く分布している。

これらの層には花崗岩質岩石(花崗閃緑岩、閃緑岩、トーナライトなど)が貫入している。

上記(3)の南西および南側には断層を境界として、(4)下部第三紀の火山岩、火山性礫岩、砂岩およびシルト岩(Puno Group etc.)が存在する。

またこれより新しく、(5)第四紀の凝灰岩、凝灰質砂岩、および礫岩などの堆積岩類(Barroso Group)もこの地域(特に調査地域中部の方へ多く)に存在する。

上述のうち、(1)および(2)は海成岩、(3)、(4)および(5)の堆積岩類は、いずれも火山性の堆積物を主とした大陸棚堆積物で、NNW-SSE方向に帯状の分布をなしている。

中～西部は、主に花崗岩質岩石を基盤とし、その上に堆積している第三紀の火山岩類(安山岩・玄武岩などの凝灰岩～凝灰角礫岩からなるセンカ火山岩類もしくはタカサ層群)がベリーリエ川(Rio Velille)流域、サント川(Rio Santo)流域、ヤナマ川(Rio Yanama)左岸、チュンパヨ・ロマス(Chumpayo・Lomas)附近、パカパウサ川(Rio Pacapausa)流域、およびハクルタ川(Rio Jaculta)とコルカアンベ川(Rio Colcahambe)にはさまれた部分などの主として谷部にみられる。

この第三紀火山岩類の上に第四紀の火山岩類(石英安山岩・玄武岩などの溶岩流・凝灰岩・凝灰角礫岩、石英安山岩・安山岩の溶岩流、石英安山岩質の凝灰岩～凝灰角礫岩、および玄武岩・安山岩・石英安山岩などの溶岩流・凝灰角礫岩などからなるパロッソ層群)がほぼ全域にわたって重なっている。

また、北部の谷部に上部ジュラ～下部白亜紀の黒色頁岩および砂岩(Yura F.)などの堆積岩類が狭小の範囲に分布する。

調査地域全域にわたって、いままて述べた堆積物の上に、氷河堆積物、融氷流水堆積物、および河成堆積物などが各々狭小な範囲で分布している。調査地域北東端のバヤッ

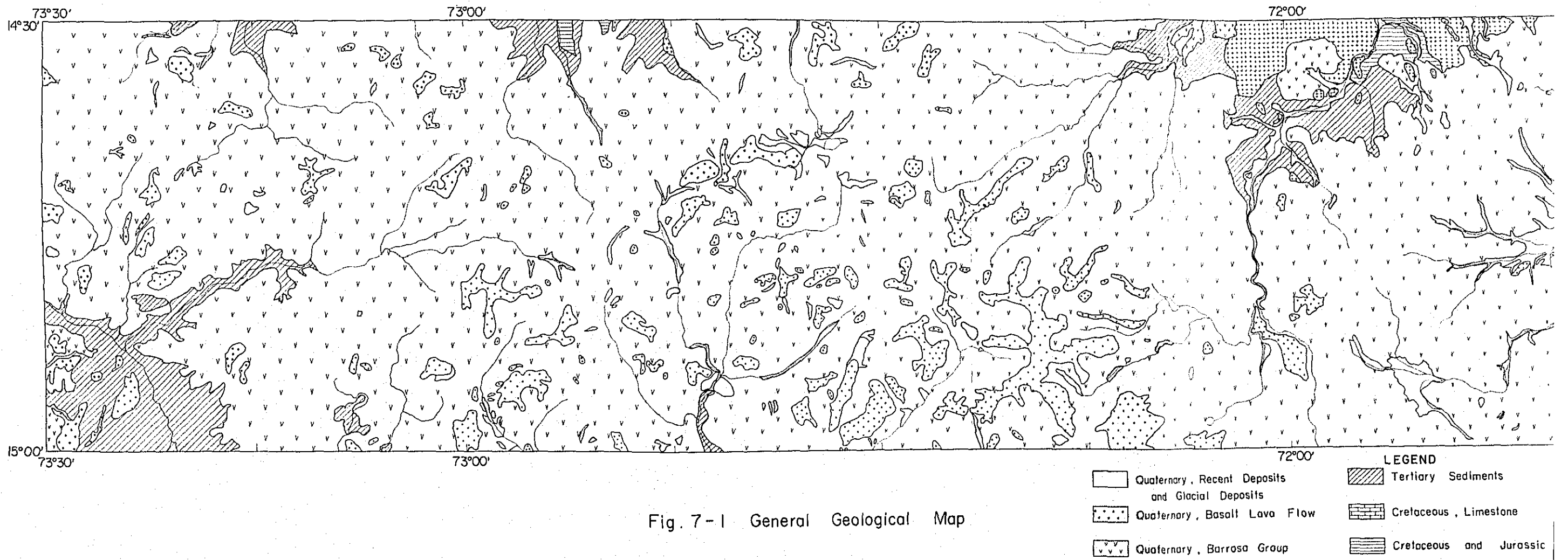
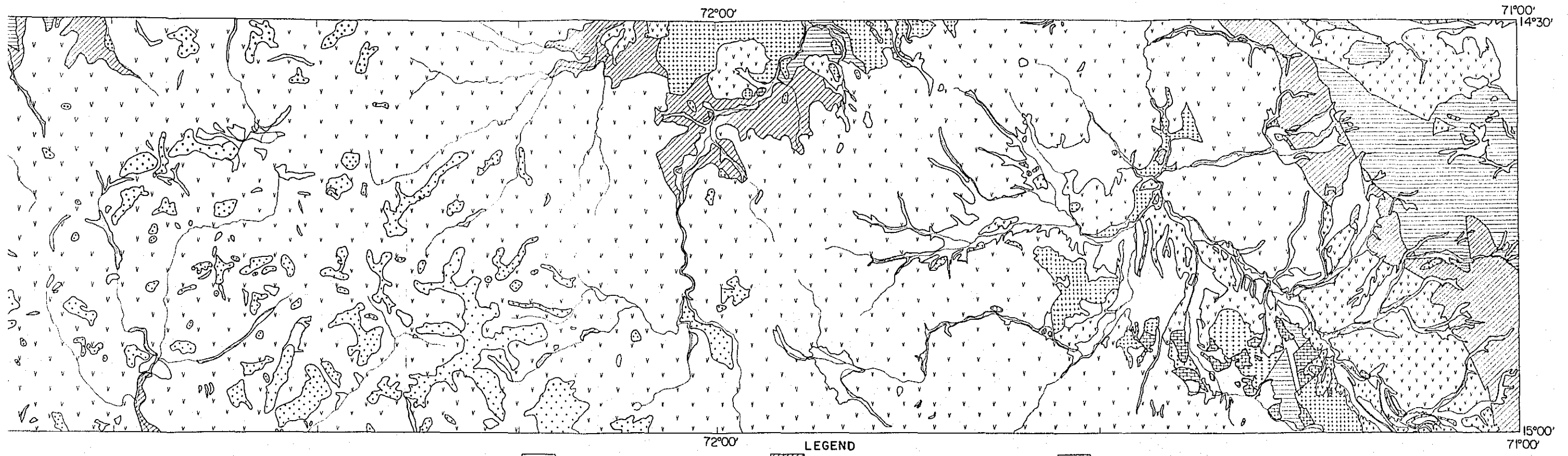


Fig. 7-1 General Geological Map










LEGEND					
	Quaternary, Recent Deposits and Glacial Deposits		Tertiary Sediments		Granitic Rocks (intruded into Pre-Tertiary rocks)
	Quaternary, Basalt Lava Flow		Cretaceous, Limestone		
	Quaternary, Barraso Group		Cretaceous and Jurassic Sediments		

Fig. 7-1 General Geological Map

パヤクマ川(Rio Payacchuma) 上流に分布するもの、チャリュタ川(Rio Challuta) 両岸に分布するもの、およびハロ・マ・ヨ川(Rio Jaro Mayo) 左岸側に分布するものなどが比較的広い分布面積を有している。

7-2 磁気データの解析と解釈

磁気データの解析と解釈の結果は、下記の2種類の解析図と11本の解析断面図に表わした。

MAP 7-1, 7-2	浅部構造成分解析図 (Interpretation map of near-surface magnetic component)	S=1:100,000
MAP 8-1, 8-2	"	S=1:200,000
MAP 9-1, 9-2	深部構造成分解析図 (Interpretation map of deep magnetic component)	S=1:100,000
MAP 10-1, 10-2	"	S=1:200,000
FIGURE 1 ~FIGURE 11	解析断面図 (Magnetic profile and sub-surface structure)	

解析断面位置は上記解析図に示した。

浅部構造成分の解析は、全磁力図 (MAP 1-1, 1-2: Total magnetic intensity map) および浅部構造成分等磁力線図 (MAP 3-1, 3-2: Near-surface magnetic component map) に基づいてなされた。

深部構造成分の解析は、全磁力図 (MAP 1-1, 1-2), および深部構造成分等磁力線図 (MAP 5-1, 5-2: Deep magnetic component map) に基づいてなされた。

解析と考察のステップは次のとおりである。

- (a) 上記の縮尺 1/100,000 各種磁力線図および磁気断面図上における解析作業
- (b) 磁性体の境界、形状、断層などを推定するための手段として磁気トレンドのスケッチ
- (c) (b)項の結果と負異常の特徴から磁性体の境界と形状および断層の存在を推定
- (d) 空中写真地質データを含む既存の地質資料と磁気図との対比
- (e) 既知鉱床及び写真地質で解明した貫入岩と、磁気異常との関係を検討
- (f) 上記の縮尺 1/200,000 各種磁力線図より規模の大きい地域的傾向の把握
- (g) 以上の諸作業の後に解析図 (Interpretation map) の作成

浅部構造、深部構造の各成分についての解析結果を述べる前に、全磁力図 (Total magnetic intensity map (MAP 1-1, 1-2)) に基づいて、本調査地域の磁氣的

特徴について述べれば次のとおりである。

極めて多くの磁気異常が複雑なコンターパターンを形成しており、一見して本調査地域が火山岩地帯であると推定される。しかしながら、調査地域の東半部においては堆積岩が卓越していると認められる部分もある。また異常の殆どはその波長から、浅部に存在する磁性岩体によってひきおこされたものと推定され、深部に存在する磁性岩体による異常は、浅部磁性岩体による異常にかくされており、深部磁性岩体に起因していると容易に識別できる異常は少ない。浅部に存在する火山岩による異常の形状と地形との間には強い対応関係があると推定される部分もある。

7-2-1 浅部構成成分

浅部に存在し、磁気異常をひきおこしている磁性岩体は浅部構成成分解析図(M A P 7-1, 7-2, 8-1, 8-2)に示されたが、写真地質解析による地質区分に従えば、その殆どは第四紀の火山岩類であり、次いで第三紀上部の火山岩類および第三紀花崗岩類の順となっている。これより古い白亜紀、ジュラ紀に属する岩石によってひきおこされた異常は殆どみられない。磁性岩体の頂部が地表附近に存在するものは、写真地質解析によって知られた地表地質と対比することができる。その対比から同一地質に属する磁性岩体のみかけ帯磁率の平均値を計算することができる。平均値を算出するためには、その数が少なすぎて平均値として不適当なものもあるが、本調査地域内の地質の磁気特性の大略を知ることができる。平均値と地質は下記のとおりである。(単位は $\times 10^{-3}$ c. g. s. e. m. u. / cc)

		帯磁率	磁性岩体の数	
Quaternary	Recent	Lava Flow (Black Basalt)	6.3 (18ヶ)	
		(Lava Flow or Tuff breccia of Andesite, Dacite, Basalt etc.)	2.1 (11ヶ)	
	Barroso Group	Middle	(White Tuff, Tuffaceous Sandston, Tuffaceous Conglomerate etc.)	1.8 (6ヶ)
			(White Grey Dacitic Tuff, Tuff breccia)	2.0 (12ヶ)
		Lower	(Lava Flow, Tuff breccia and Tuff of Basalt, Andesite, Dacite etc.)	2.7 (36ヶ)
			(Andesitic Tuff breccia)	3.5 (7ヶ)
Tertiary	Seneca Volcanics and/or Tacaza Group	(Bedded Tuff, Tuff breccia of Andesite, Basalt etc.)	3.0 (3ヶ)	
		Granitic Rocks	2.9 (5ヶ)	

調査地域は、浅部磁性岩体の軸の方向や断層線又は磁気的不連続線に基づいていくつかのゾーンに分けることができる。また、これらの線を境にして火山活動に違いがあったものと推定することができる。A, B, C, ……の文字をつけたこれらのゾーンは、下記のように各ゾーンに分布する浅部磁性岩体の配列の規則性の違いによって、四つのグループに分類することができる。

磁性岩体の軸の方向	ゾーン名	断層の存在の多少
I WNW - ESEが多く岩体の配列に規則性がみられる。	B ₂	中
	C ₁	多い
	C ₃	"
	E ₁	"
	E ₃	"
II ENE - WSWが多く岩体の配列に規則性がみられる。	C ₃	中
	C ₄	"
	C ₆	多い
	D ₂	中
	E ₂	少ない
III WNW - ESEとENE - WSWが相半ばし、岩体の配列に規則性がみられる。	B ₃	中
	D ₄	多い
	G	"
IV 軸の方向と岩体の配列に規則性がみられない。	A	少ない
	B ₁	"
	C ₂	"
	D ₁	"
	D ₃	"
	F	"
	H	多い

I, II, IIIの各グループにおいては磁性岩体の分布は密であるが、IVグループにおいてはこれが疎となっている。各グループに属するゾーンの配列の様子を模式図として、Fig. 7-2 (General trend of axes of near-surface magnetic rocks) のように表わすことができる。

これら軸の方向性から大局的にみれば、本調査地域西半部においては、各ゾーン内の浅部磁性岩体はWNW-ESEまたはENE-WSWの方向性をもって分布しており、しかもIグループを大略的に結ぶ線とIIグループを大略的に結ぶ線は、IIIグループの浅部磁性岩体の軸の一般的傾向に類似した形を作っているとみなすことができる。このような方向性はアンデス山脈の造山運動、または構造に何らかの関係を有するものと推定される。

Aゾーンは断層④、⑤によってB₁, B₂ゾーンと境いされており、これらの断層を境にして磁気異常のパターンに明瞭な違いが認められる。即ち、Aゾーンにおいては浅部磁性岩体による波長の短い異常の殆どは閉じた異常ではなく、コンターの重みとなっている。他方、他のゾーンにみられる浅部磁性岩体に起因する異常の多くは閉じた異常になっている。したがって、Aゾーンの磁気パターンは他のゾーンのそれに比べて著しく異なっている。

これらの重みの異常をひきおこしている浅部磁性岩体の多くは第三紀センカ火山岩類 (Seneca Volcanics) もしくはタカサ層群 (Tacaza Group) の安山岩、玄武岩の凝灰角礫岩類であり、他に若干の第四紀バロソ層群 (Barroso Group) 下部の玄武岩、安山岩の凝灰岩がある。このゾーンの中央部にみられる大規模な異常は後述(7-2-2)する地下深部に存在する磁性岩体に起因するものである。

B₁ ~ B₂, C₁ ~ C₂, D₁ ~ D₂, E₁ ~ E₂, Gの各ゾーンの異常をひきおこしている浅部磁性岩体の殆どは、第四紀バロソ層群に属する火山岩類と最も新しい黒色玄武岩である。E₂ゾーンにおいては黒色玄武岩によってひきおこされた異常が著しく多い。F, G, Hゾーンは各々①, ②, ③, ④, ⑤の断層によって境いされているものと推定され、FとHゾーンに挟まれたGゾーンは、これら三つのゾーンの中では、火山活動が最も激しかったものと推定される。

Fゾーンにおいては、第四紀と第三紀上部層の火山岩類による異常の他に、花崗岩質岩石自身によって、またはこの岩石とこれに接する岩石の接触部に磁鉄鉱が凝縮した部分によってひきおこされたと考えられる磁気異常が数箇所存在する。それらの磁性岩体番号はF-4, F-5, F-10, F-11, F-13である。

Hゾーンにおいては、花崗岩質岩石又はその周辺部の磁鉄鉱凝縮部に起因する異常が最も多く、それらはH-2, H-5, H-6, H-7, H-9, H-10, H-11, H-17, H-18, H-19, H-20, H-23, H-24である。次いで第四紀の火山岩類、第三紀下部

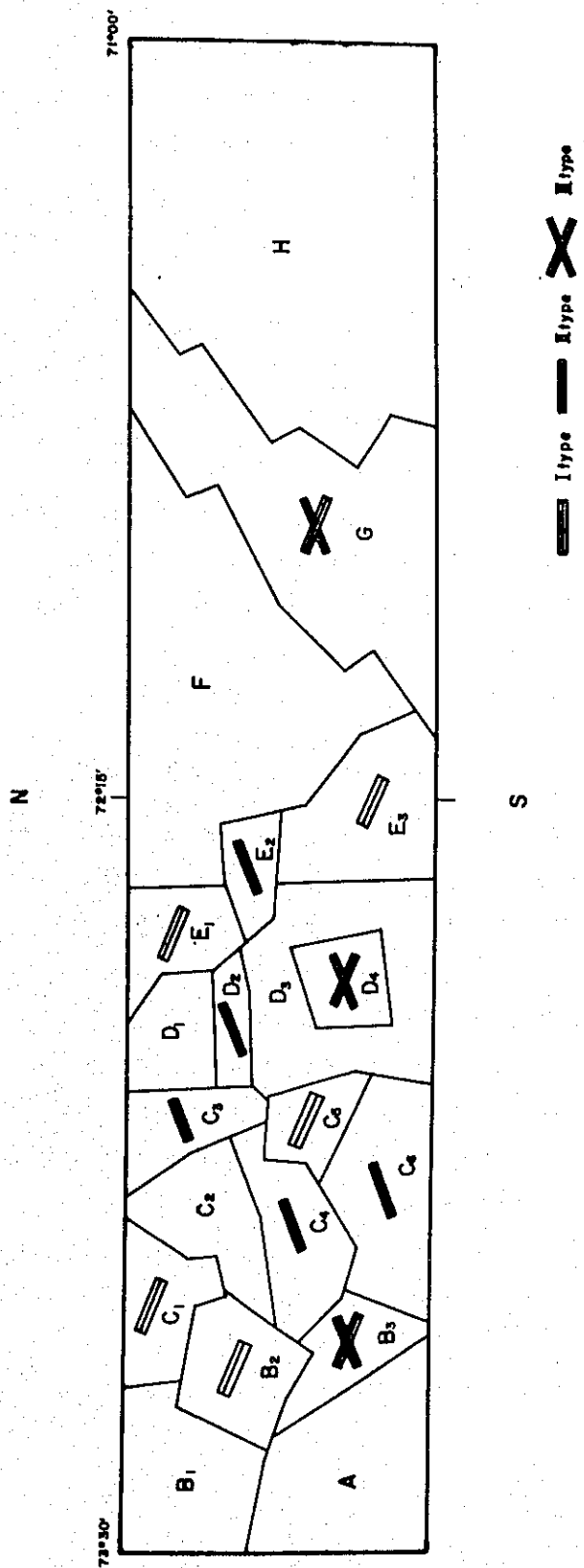


Fig. 7-2 GENERAL TREND OF AXES OF NEAR-SURFACE MAGNETIC ROCKS

層の火山岩類による異常が多い。また、このゾーンにはヤウリをほぼ中心にして断層⑬、⑭、⑮と⑯、⑰に挟まれた盆地が存在するが、この盆地は本調査地域の東南東方向に位置するチチカカ湖 (Laguna Titicaca) から続く広大な盆地の一部であり、このヤウリ盆地に上述したような花崗岩質岩石による磁気異常が集中している。このことはこのゾーンに接触型鉱床やポーフィリーカバー型鉱床賦存の可能性が大きいことを意味する。この点で、F、H二つのゾーンは他のゾーンに比べて新鉱床の発見が期待される区域である。

本調査地域全体として火山活動が極めて激しかったことが認められ、また、非常に多くの断層が推定される。これらの断層は NNW - SSE の方向をもつものが著しく多く、この方向性はアンデス山脈の地質構造に支配されていると考えられる。

調査地域の大部分は火山岩類に覆われているが、これら火山岩類の全ての部分が強い磁性を持っているわけではなく、一部分が強い磁性を持っているにすぎない。このことから、激しい火山活動に伴う熱水変成作用が強く及んだ部分はその磁性を失ない、すなわち火山岩に含まれる磁鉄鉱が酸化物や硫化物に変わり、その磁性を失なったものと考えられ、この作用の及ばなかった部分が現在でも強い磁性を有しているものと推定される。また、火山岩が磁性を持っていても、その厚さが薄く、測定の対象高度が大きいために観測されなかった異常もあるものと考えられる。

7-2-2 深部構造成分

解析された深部磁性岩体には番号をつけ、深度、みかけ帯磁率、大略の形とともに深部構造成分解析図 (MAP 9-1, 9-2, 10-1, 10-2) に示した。深部磁性岩体の数は 26 個であるが、半数以上が調査地域の東半部に分布しており、岩体の規模も比較的大きく、東西に連なって分布しているが、西半部においては規模は小さく、しかも離散孤立して分布している。これら深部磁性岩体の深度、みかけ帯磁率等は Table 7-1 に示すとおりであるが、地質との関係や岩体の特徴について以下に述べる。

岩体 1 は、頂部が南半分では海拔約 2,100 m であり、北半分では断層によって約 3,300 m の落差をもって落ち込んでいる。さらに南北方向の断層を境にして岩体東端部分は南東へ折れ曲がっているものと推定される。この岩体は磁気異常の形から推定して、さらに西側に連なっている大規模な磁性岩体の一部と考えられる。

Table 7-1 Dimensions of deep magnetic bodies

Rock No.	Situation (in meters)		Susceptibility contrast ($\times 10^{-3}$ c.g.s.e.m.u./cc)	Notes
	Below ground surface	Above sea level		
1	1,300~2,300	2,100	3.6	Dioritic rock
2	1,000~3,200	1,400	2.0	"
3	400	3,600	2.0	Plutonic rock
4	1,000	3,600	3.0	"
5	1,000	3,000	8.5	Basic rock or Basalt
6	0~200	5,000	1.4	Volcanic rock
7	1,100	3,900	2.0	Plutonic rock
8	700	4,100	4.4	"
9	900	3,600	9.0	Basic rock or Basalt
10	1,500	3,100	2.6	Plutonic rock
11	3,000	1,200	1.5	Granitic diorite
12	Difficult to define the boundary of magnetic body			"
13	500~1,000	4,000	1.2	"
14	1,500	3,200	1.3	"
15	3,500	1,200	1.4	"
16	1,500	2,700	1.9	"
17	2,000	2,200	3.2	Dioritic rock
18	3,000	800	3.0	"
19	2,800	1,800	2.2	Granitic diorite
20	1,000~2,100	3,300~1,900	1.1	"
21	400	3,500	0.7	"
22	100	3,900	0.8	"
23	400	3,600	2.1	"
24	4,000	0	0.3	"
25	900	3,700	2.8	"
26	800~1,000	3,400~3,200	0.3 ~ 1.3	"

岩体 2 は中央部が細く、蝶のような形をしている。この中央部は断層によって切られているものと推定され、その頂部は海拔約 1,400 m であるが、南端部分が上方へつきており、頂部は海拔約 3,600 m である。岩体 1, 2 は深いところでは一体になっている深成岩、おそらく閃緑岩質岩石と推定される。

岩体 3, 4 は頂部がともに海拔約 3,600 m である。

岩体 5 は 8.5×10^{-3} の非常に大きなみかけ帯磁率を有している。この岩体の中心から東方約 12 km のところには花崗岩質岩石が露出しているが、それによる磁気異常はみられない。このことから推定して、岩体 5 は、これとは岩相の異なる塩基性深成岩の一部盛上がりであろう。岩体 3, 4, 5 は地下深部に存在する大規模岩体である深成岩の一部が盛上がったものと考えられ、みかけ帯磁率の差は岩相の違いによるものと考えられる。

岩体 6 の頂部は海拔約 5,000 m ではほぼ地表附近にあるが、写真地質解析の結果によれば、この附近には深成岩の分布はみられない。この事実から考えて、この岩体は大容積の火山岩であろうと推定される。この岩体は断層を境にして岩体 7 に接しているものと考えられる。岩体 7, 8 はみかけ帯磁率から考えて、深成岩、おそらく閃緑岩質岩石と推定され、深部においては一連の岩体であろう。

岩体 9 は、みかけ帯磁率が 9.0×10^{-3} で極めて大きい値を有するが、岩体 5 と同様、塩基性深成岩または玄武岩であると推定される。またこの岩体は北へ傾斜しているようである。

岩体 10 は頂部の海拔約 3,100 m であり、この岩体の東端は断層に接して落ち込んでいるものと推定される。

岩体 11 は断層を境にして岩体 12 に連なっているものと推定されるが、岩体 12 の境界は、この北側の磁気データがないため、不確かである。南側のデータのみから計算すればほぼ MAP 9-2 に示した位置になるものと推定される。岩体 11, 12 が位置する地表には花崗岩質岩石が広い面積をもって分布しているが、地表に分布するこの岩体による磁気異常と考えられるものは観測されていない。この事実から、地表に分布するこの花崗岩質岩石は、垂直的にその岩相が変化しており、即ちこの岩石の磁性は漸次変化しており、地表に近いところで弱く、地下深部で強くなっているものと思われる。したがって、これら地表に分布する花崗岩質岩石は、花崗岩質閃緑岩と推定される深部磁性岩体 11 と 12 の一部盛上がり部分と考えられる。

岩体 13 は頂部の海拔約 4,000 m、地表下 500 ~ 1,000 m 程度であり、北側は約 2,300 m 落ちこんでいる。また東側は、断層を挟んで岩体 13' に連なっているものと推定される。これらの岩体も花崗岩質閃緑岩であろう。

岩体 14 は約 70° の角度で北へ傾斜しており、岩体 16 の深部から盛上がったものと

推定される。

岩体 15, 16, 17 はほぼ東西に連なって分布しており, 岩体 17 の北東部に連なる岩体 18 からは, さらに北東方向へ岩体 23, 24, 26 が連なり, また南東方向へは岩体 19, 20, 21 などが連なって分布している。

岩体 15 は約 70° の角度で南側へ傾斜しており, 東側は断層で境いされて岩体 16 へ連なっている。

この岩体 16 の頂部は南側が階段状に落ち込んでおり, この岩体の深部から北側部分が盛上がったものと推定される。

岩体 17 は非常に規模の大きい岩体であり, 頂部の海拔が約 2200m で約 70° の角度で南側へ傾斜しており, この岩体の北東部は断層によって一度落ち込み, この落ち込み部分が岩体 18 となっている。

この岩体 18 の東側では断層によって持ち上がって, 岩体 19, 23 へと連なっているものと推定される。みかけ帯磁率から考えて岩体 17, 18 は閃緑岩質岩石と推定される。岩体 19, 20, 21, 22 はそれぞれ断層によって頂部の高度に差が生じたものと推定され, みかけ帯磁率の違いは岩相の違いによるものと考えられる。

岩体 20 の西側部分は約 45° の角度で, 東側部分は約 70° の角度で北側へ傾斜している。さらに西側部分の頂部の海拔は約 3300m であり, 東側に傾斜して低くなり東側部分のそれは約 1900m となっている。

岩体 22 は北側部分が地表付近まで盛上がっており, 南側では階段状に落ち込んでいるものと推定される。これらの岩体 19, 20, 21, 22 は花崗岩質閃緑岩であると推定されるが, 岩体 19 は他の三者に比べてみかけ帯磁率がやや大きい。

岩体 23 は約 20° の角度で北側へ傾斜しており, また, この岩体の上面の北西部分は, 断面図 (FIGURE 8) にも示したとおり磁性を有する部分が欠落しているものと推定される。

岩体 24 は, 岩体 26 の一部落ちこんだ部分であり, この岩体の東端および西端は断層によって岩体 23, 25 に接しているものと推定される。岩体 23, 24, 25, 26 は花崗岩質閃緑岩と推定されるが, 岩体 24 および岩体 26 の西側部分ではみかけ帯磁率が非常に小さい。

サンタ・ルシア・デ・ピチガ (Santa Lucia de Pichigua) の西方を流れるアプリマック川 (Rio Aprimac) 流域沿いに分布している花崗岩質岩石の南側部分では地下深部において岩体 18 に, 北側部分では岩体 23 に連なっている。コボラケ (Coporake) 南部から西部にかけて地表に分布している花崗岩質岩石は深部岩体 17 の一部盛上がり部分, ヤウリの南東に分布している花崗岩質岩石は深部岩体 19, 20 の一部盛上がり部分と推定される。

本調査地域東半部の地表に分布している花崗岩質岩石は、深部磁性岩体の一部が地表に露出したものと推定され、これらの岩石の貫入活動時に有していた成分、貫入した地質的環境、その後の風化や浸食等の様々な要因によって、その磁氣的性質が異なっているものと考えられ、特に垂直方向に磁氣的性質が変化しているように思われる。浅部に存在するか深部に存在するかの違いにかかわらず、これらの貫入岩は鉄床の生成に重要な関係をもつものと推定される。

本調査地域内の深部における大きな構造を把握するために、深部磁性岩体の分布状況とその頂部の海拔を模式的に表わせれば、Fig. 7-3 のようになる。これらの磁性岩体の頂部の高度から、全地域をⅠ、Ⅱ、Ⅲの3つの区域に分けることができる。磁性を有する深成岩という観点からのみ考えれば、深成岩の盛上がりはⅡ区域において最も大きいと考えられる。しかしながら、写真地質解析結果によれば、Ⅲ区域においては他の区域に比べて、花崗岩質岩石が地表に広範に分布している。これらの地表に露出している花崗岩質岩石の多くは、深部磁性岩体のほぼ真上に分布している。このことから地表に分布する花崗岩質岩石は深部磁性岩体の一部盛上がり部分と考えられる。しかしながら、写真地質解析図と浅部構造解析図の比較から、地表に露出している花崗岩質岩石は磁性の無い部分が多いことが明らかであり、したがって、深くなるにつれてこれら岩石は一樣な磁性を持つようになり、これが深部磁性岩体として解析されたものと推定される。したがって、Ⅲ区域に存在する花崗岩質岩石は垂直方向に岩相が変化し、地表附近では花崗岩質であり深部においては閃緑岩質であろうと考えられる。

上で述べたことから、磁性のある深成岩も磁性のない深成岩も含めて、それらの頂部の高さを考えれば、Ⅲ区域において最も高く海拔約 4,000 m 前後である。Ⅲ以外の区域では、写真地質解析結果から、地表には深成岩の分布は殆どみられなく、また潜在していてもその磁性が無ければ、磁気探査からはその存在を知ることはできない。Ⅰ、Ⅱ区域において深成岩の立体的分布を知るためには、磁気探査より解析された深部磁性岩体についての情報を鍵とするより方法がない。したがってⅠ、Ⅱ区域についてはこれを鍵とし、Ⅲ区域については上述したことを推定の根拠として、本調査地域全体の深成岩の上面の高さを再考すれば、深成岩の盛上がりはⅡ、Ⅲ区域がほぼ同じ高さであり、Ⅰ区域へ向かって漸次低くなっているものと推定される。またⅠ、Ⅱ区域内の深部磁性岩体は離散的に、しかも孤立して分布しているので水平的なつながりについては非常に考え難いが、大局的にみれば、磁性岩体の配列はほぼ WNW - ESE 方向の軸を持って盛上がりと落込みを示している。この軸の方向はアンデス山脈の地質構造と一致しているものと考えられる。さらに深部構造成分磁力線図からも多くの断層が推定できる。

特にⅢ区域においては深部磁性岩体、即ち深成岩がⅠ、Ⅱ区域に比べて非常に多く、この深成岩より地表附近まで盛上がった、鉄床に密接に関係のあると考えられる貫入岩の分布が多い。したがってⅢ区域は今後さらに詳しい調査を要する区域である。

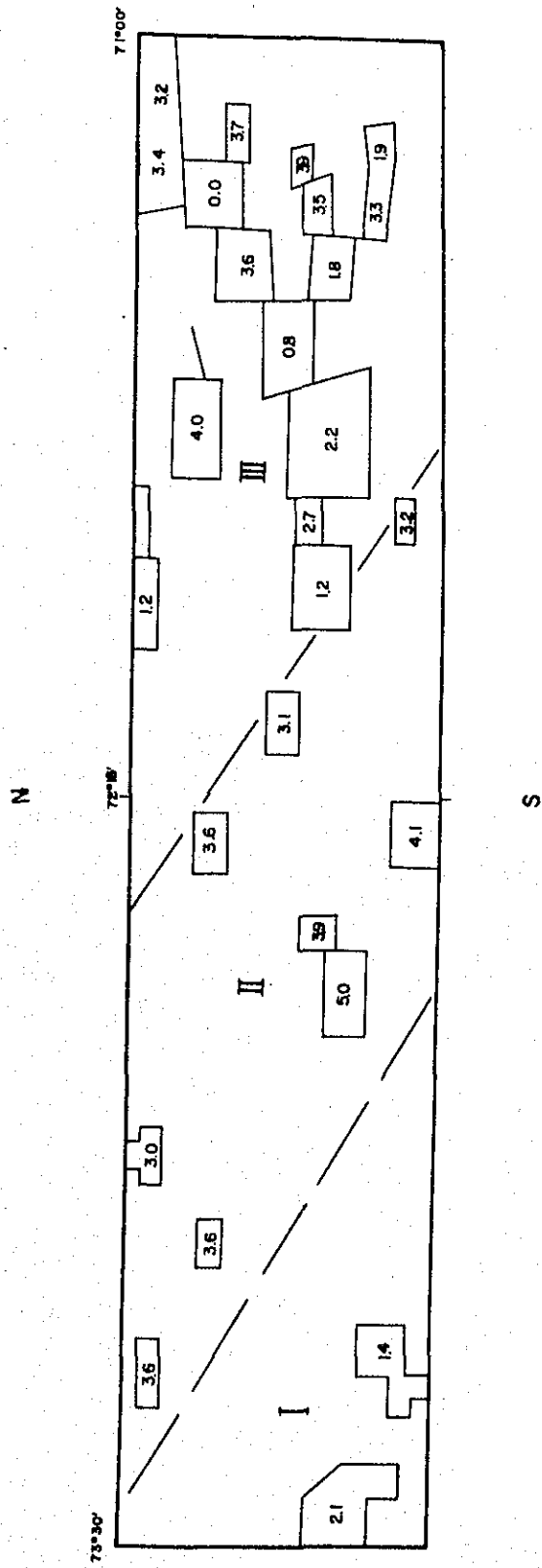


Figure shows height of magnetic body above sea level in X 1000 meters.

Fig .7-3 DISTRIBUTION OF DEEP COMPONENT MAGNETIC BODY

参 考 文 献

- (1) Dreyer, H. and Naudy, H., 1967,
Essai de filtrage non-linéaire appliqué aux profils aéromagnétiques:
Geophysical Prospecting V.16, No 2, P.171
- (2) Mesko, O.A., 1966,
Two-dimensional filtering and second derivative method, Geophysics,
V.31, P.606-617
- (3) Darby, E.K., and Davies, E.B., 1967,
The analysis and design of two-dimensional filters for two-dimensional
data. Geophysical Prospecting, V. 15, P. 383-406
- (4) Rosenbach, O., 1953,
A contribution to the computation of "second derivatives" from
gravity data : Geophysics, V. 18, P. 46-71
- (5) Henderson, R.G., and Zietz, I., 1949,
The computation of second vertical derivatives of geomagnetic
fields : Geophysics, V.14, P.508-516
- (6) Oldham, C.H.G., 1969,
The $(\sin X)/X \cdot (\sin Y)/Y$ method for continuation of potential
fields : Mining Geophysics, V.2, P.591-605
- (7) Mufti, I.R., 1972,
Design of small operators for the continuation of potential field
data : Geophysics, V.37, P.488-506

