

#### 4-3 解析方法及び結果

##### 4-3-1 帯磁率測定結果 (Table II-4-1)

既述の如く、磁気異常をもたらす岩体を解析するためには、岩石の帯磁率・その深さ及び形状をきめなければならない。現地で採取した岩石サンプルは、次の方法により帯磁率の測定を実施した。

岩石サンプルは、非磁性のハンマーにより粉碎され、めのうの乳鉢により80メッシュアンダーの粉末としたのち、定められた形状のプラスチック容器に入れて測定される。測定システムの諸元は以下のとおりである。

品名 BISON帯磁率測定器 (U.S.A.)  
型名 3101A型  
測定範囲  $(1 \sim 100,000) \times 10^{-6}$  e.m.u/cc

容積帯磁率Kは次式で求められる。

$$K = R \times \left( \frac{d}{d'} \right)^2 \times \frac{\sigma}{\sigma'} \times f \times 10^{-6} \text{ e.m.u/cc}$$

R : Bison 3101Aによる読取値

$$d/d' : \frac{\text{基準サンプル直径 (1 inch)}}{\text{サンプル直径}} = 1.00$$

$$\sigma/\sigma' : \frac{\text{岩石状態の比重}}{\text{粉末状態の比重}}$$

f : コイル定数 = 1.00

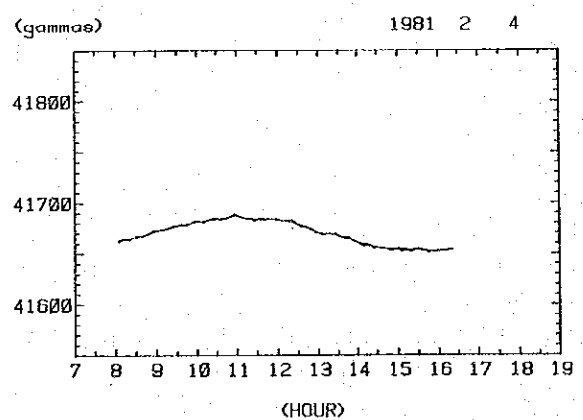
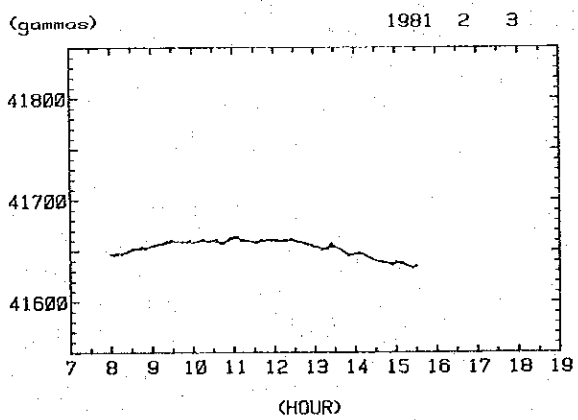
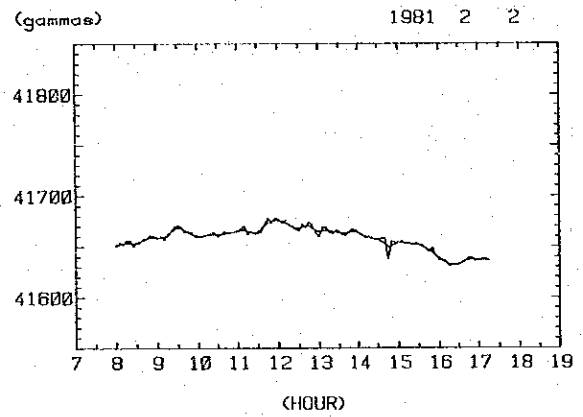
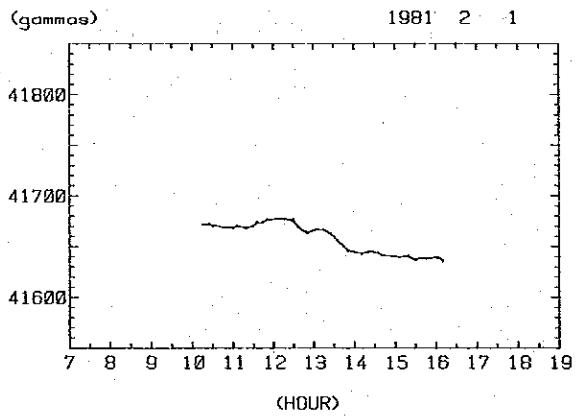
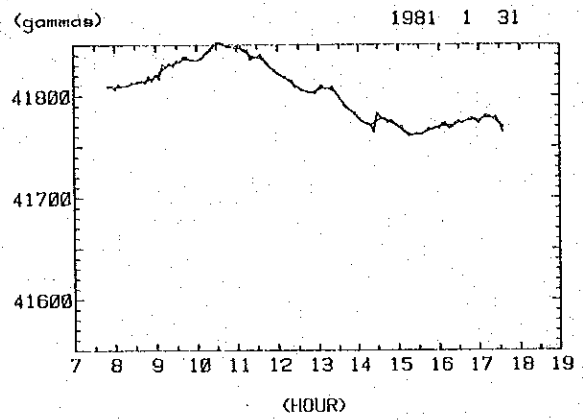
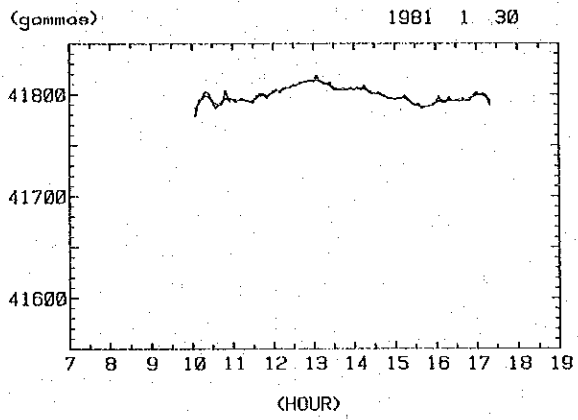
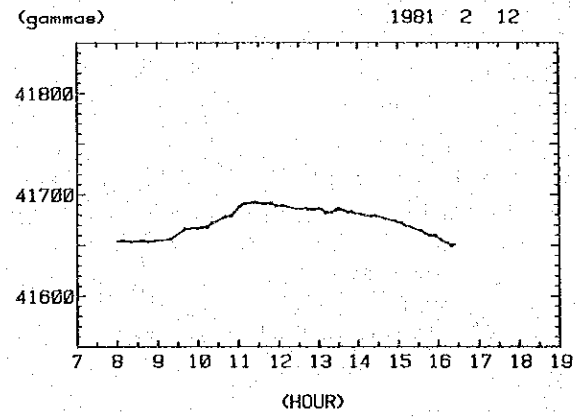
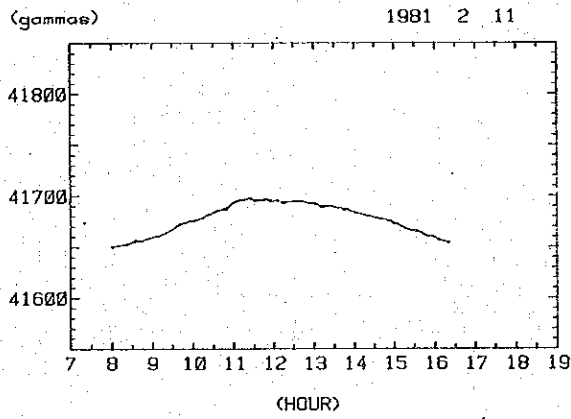
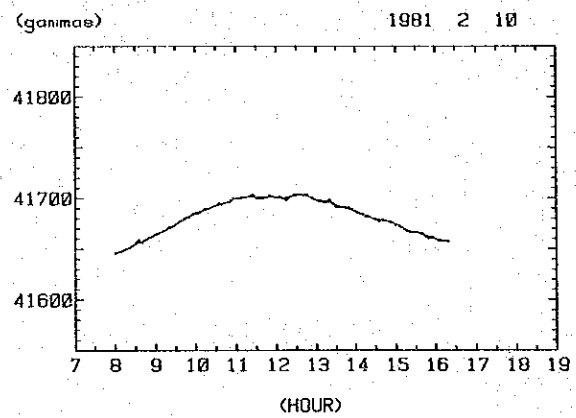
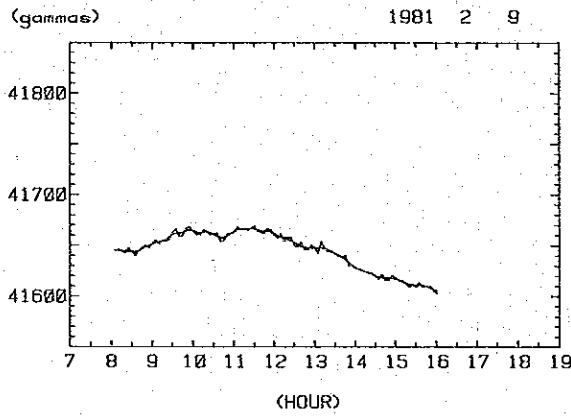
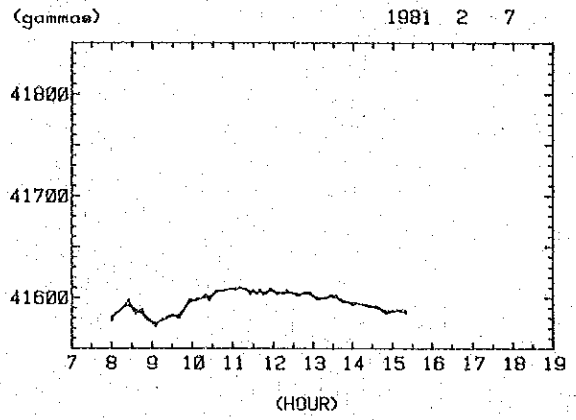
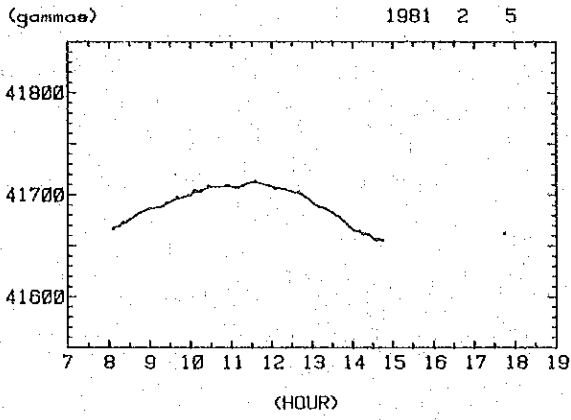
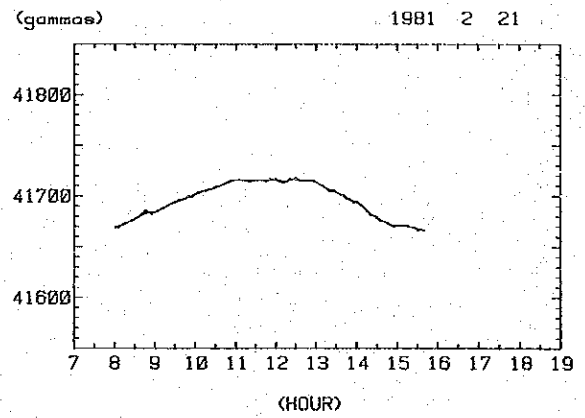
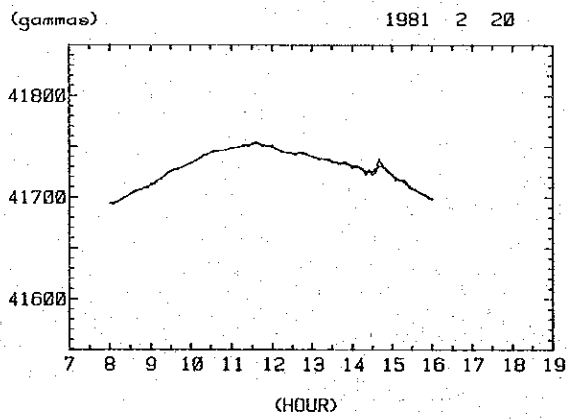
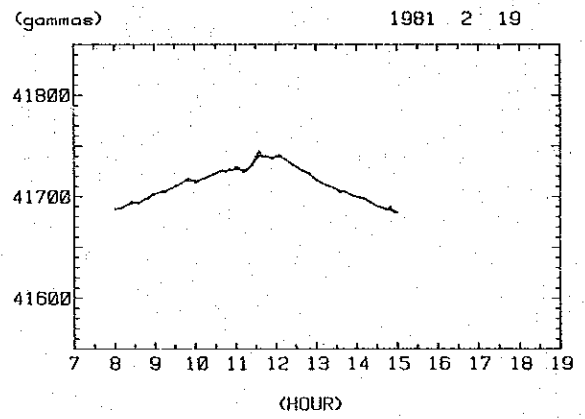
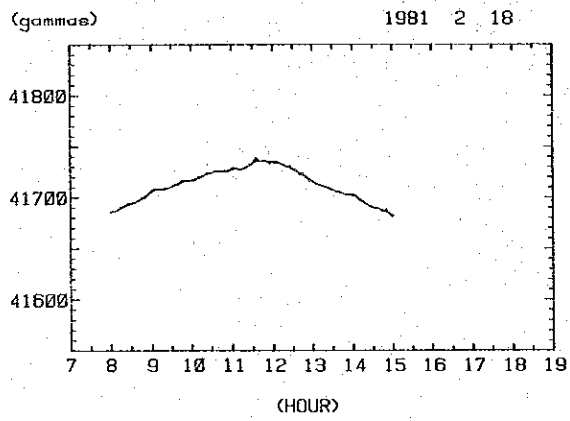
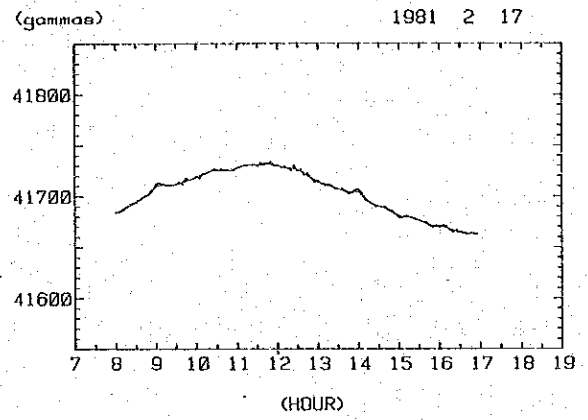
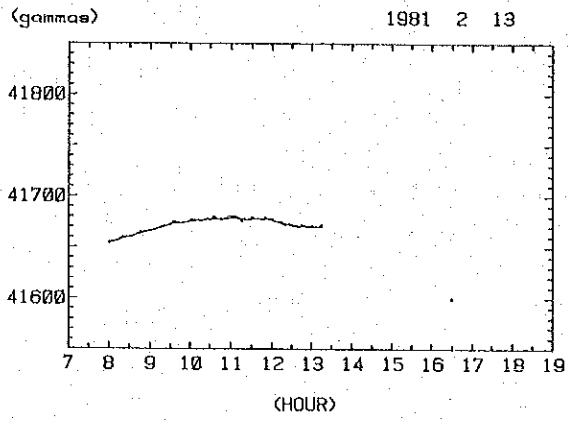


Fig. II-4-3 Diurnal Variation at Magnetic Station

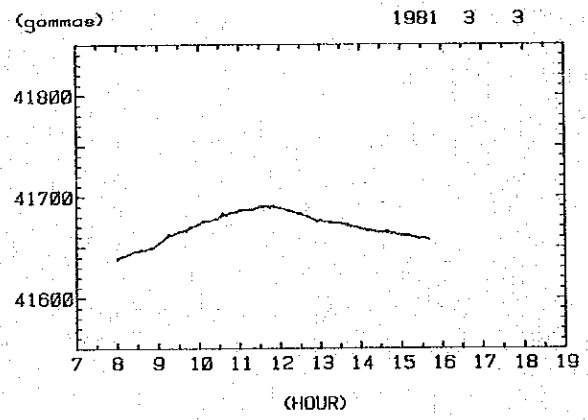
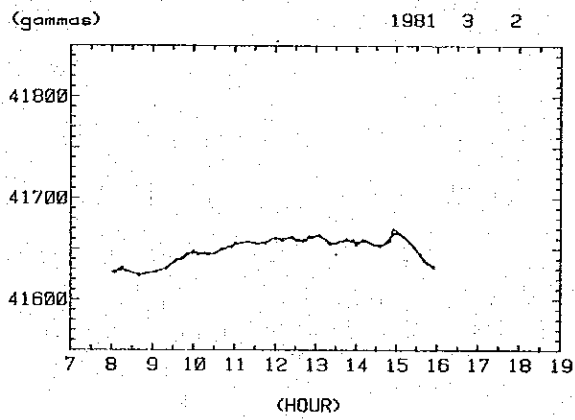
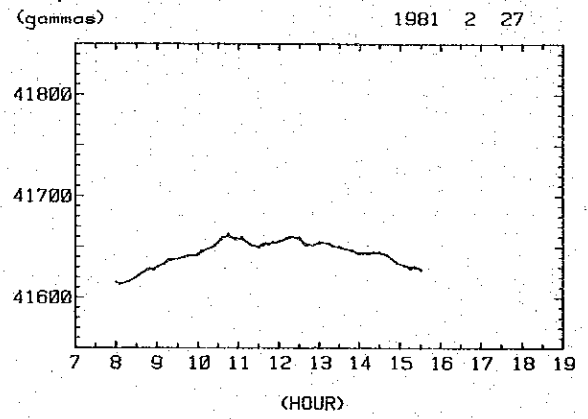
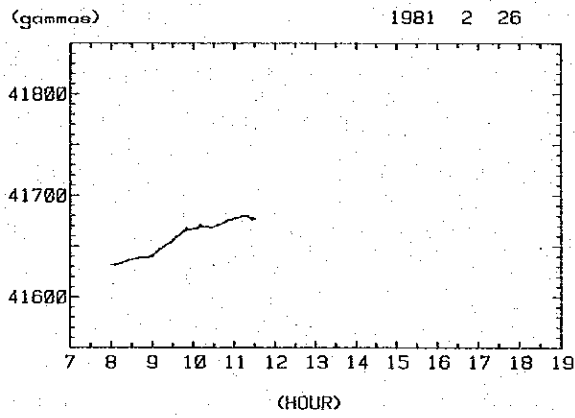
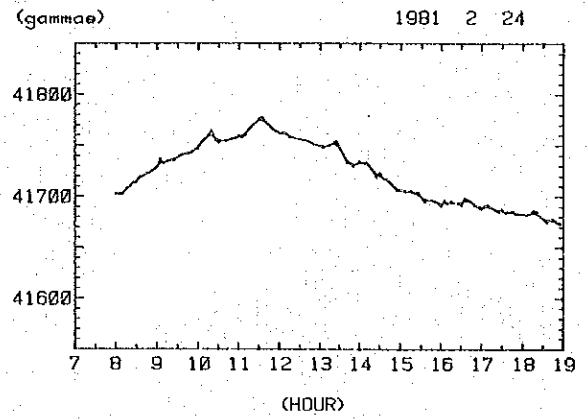
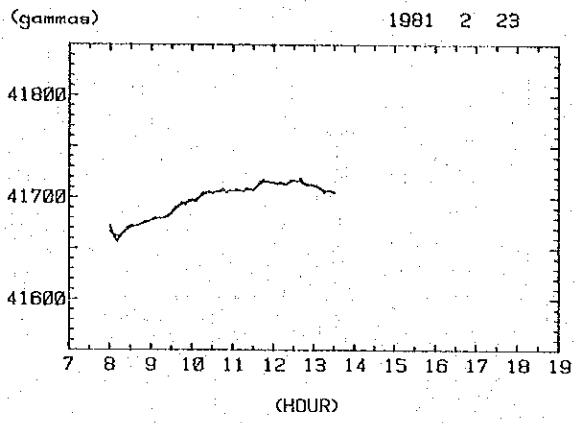
















(gammas)

1981 3 4

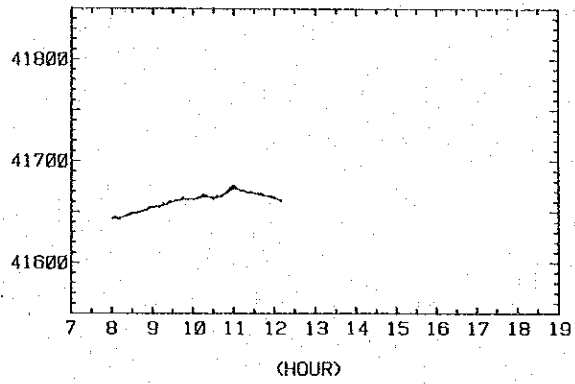




Table II-4-1 Magnetic Susceptibility

測定機 BISON 3101  
 地区名 大手開発株式会社 大通試験所  
 測定者 56年4月20日

サンプル No	岩石名	ケース No	W <sub>0</sub> (g)	W (g)	W' (g)	σ' (g/cc)	σ (g/cc)	σ' σ	倍率 X	測定値 R (e-m.u/g)	X (e-m.u/g)	k (e-m.u/cc)	備 考
1	M-17	1	60.32	11962	59.30	1.91	2.75	1.44	1	2272		3276	basic andesite
2	19	2	60.43	11802	57.59	1.85	2.80	1.51		1010		1527	andesitic fine tuff
3	37	3	60.62	11349	52.87	1.70	2.37	1.39		514		716	andesitic pillow lava
4	42	4	60.48	11628	55.80	1.79	2.47	1.38		47		65	fine - coarse tuff
5	57	5	60.54	11598	55.44	1.78	2.60	1.46		3286		4792	andesite dyke
6	61	6	60.52	12030	59.78	1.92	2.66	1.38		4782		6617	hb-andesite
7	74	7	60.50	11959	59.09	1.90	2.58	1.36		2456		3335	hb-andesite
8	N-10	8	60.60	12104	60.44	1.94	2.55	1.31		2585		3391	qtz-diorite
9	11	9	60.40	12323	62.83	2.02	2.67	1.32		7596		10038	brecciated andesite
10	12	10	60.62	11992	59.30	1.91	2.59	1.36		2070		2811	hb-andesite
11	15	1	60.32	11502	54.70	1.76	2.47	1.40		1342		1884	hb-qtz-diorite
12	26	2	60.43	11561	55.18	1.77	2.66	1.50		3120		4677	andesite
13	33	3	60.62	12018	59.56	1.92	2.60	1.36		2406		3266	px-hb-andesite
14	39	4	60.48	11520	54.72	1.76	2.50	1.42		1288		1830	hb-andesite
15	76	5	60.54	11379	53.25	1.71	2.63	1.54		2956		4540	hb-andesite
16	79	6	60.52	10515	44.63	1.44	2.39	1.67		46		77	altered-tyholite
17	83	7	60.50	11058	50.08	1.61	2.32	1.44		936		1348	tuff breccia
18	N-113	8	60.60	11840	57.80	1.86	2.44	1.31	1	1166		1531	hb-dacite
19	115	9	60.40	11419	53.79	1.73	2.60	1.50		3544		5329	hb-andesite
20	118	10	60.62	11606	55.44	1.78	2.52	1.41		1946		2751	hb-andesitic porphyry
21	134	1	60.32	11156	51.34	1.65	2.53	1.53		1614		2473	hb-andesitic tuff breccia
22	142b	5	60.54	11086	50.32	1.62	2.51	1.55		224		347	tuffaceous limestone
23	156	2	60.43	10919	48.76	1.57	2.56	1.63		1414		2309	andesite brecciated lava
24	161	3	60.62	11397	53.35	1.72	2.50	1.46		585		852	basic andesite
25	165	4	60.48	11216	51.68	1.67	2.43	1.46		786		1145	tuff breccia

W<sub>0</sub> : 容器の重さ  
 W : 粉末サンプル+容器の重さ  
 W' : 粉末サンプルの重さ  
 σ : 岩石状態の比重  
 σ' : 粉末状態の比重  
 V : 粉末サンプルの体積  
 σ/σ' : 空層率  
 X : 倍率  
 d/d' : 直径比  
 V = πr<sup>2</sup> h cm<sup>3</sup>  
 V = 31.096  
 (d/d')<sup>2</sup> = (2.54/d)<sup>2</sup>  
 (d/d') = 1.000  
 f : ニール定数=1  
 K : 容積荷磁率  
 K = R · X (d/d')<sup>2</sup> · (σ/σ') · f × 10<sup>-7</sup>



4-3-2 モデル計算

磁気探査で測定される磁力値はポテンシャル量であり、磁気異常を誘起する磁性岩体モデルは無限に存在する。これらの無限個のモデルの中から、対象とする地域の地質構造に対して妥当なモデルを選択することが必要である。磁気異常の定量解析は、球状、円柱状、角柱状、断面状及びダイク状構造などの単一構造とこれらを相互に組み合わせた構造を仮定して行なわれる。

本調査は特に測線を設定することもなく、重力探査測点とその中間点について測定されたものであり、主に磁気探査法の指導を目的として実施されたものである。

本調査地域は磁気伏角が $20^\circ$ であるため、磁気異常には負の異常が卓越している。また、そのコンターパターンは球状構造のようなモデルでも東西方向へコンターが広がる傾向がみられ、磁気異常を誘起した磁性岩体の東西両端を決定するのは困難な場合が多い。高磁性岩体の上では負の異常が検出されるが、平面図上で正の異常が独立してみられる場合は、この正異常が検出された付近に、周囲と比較して帯磁率の低い岩体の存在が推定され、特に地熱地帯においては、岩石の消磁効果という面で興味深い箇所である。

Fig II-4-4 に、伏角 $20^\circ$ におけるダイク状モデルによる磁気異常を示す。この場合磁北に対する走向 $\theta$ は $90^\circ$ であるが、一般に、ダイク状構造による磁気異常は次式で与えられる。

$$T_D(y, 0) = \Delta K \cdot T_0 (1 - \cos^2 I \sin^2 D) \sin d \left\{ \cos \left( 2i - d - \frac{\pi}{2} \right) \left( \tan^{-1} \frac{y + \frac{w}{2}}{z} - \tan^{-1} \frac{y - \frac{w}{2}}{z} \right) + \sin \left( 2i - d - \frac{\pi}{2} \right) \ln \frac{(y + \frac{w}{2})^2 + z^2}{(y - \frac{w}{2})^2 + z^2} \right\}$$

但し、 $y$  : 磁北と $D (= 90^\circ - \theta)$ の方向で、  
ダイク状構造の走向と直交する方向

$z$  : 鉛直下方が正で、ダイク状構造の上面の深さ

$w$  : ダイク状構造の幅

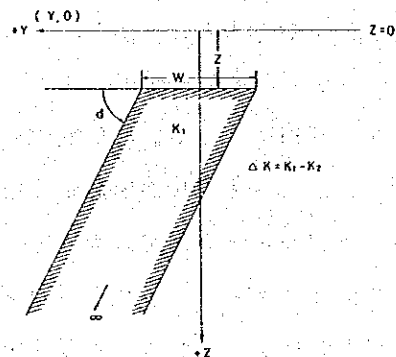
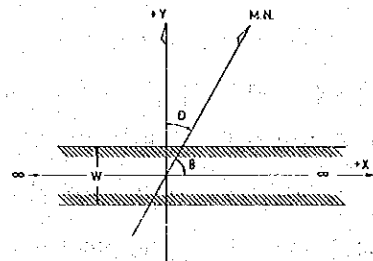
$\Delta K = K_1 - K_2$  : 帯磁率の差

$T_0$  : 地球磁場の強さ

$I$  : 地球磁場の伏角

$d$  : ダイク状構造の傾斜角

$i$  :  $\tan^{-1} (\tan I / \cos D)$  : 見掛の伏角



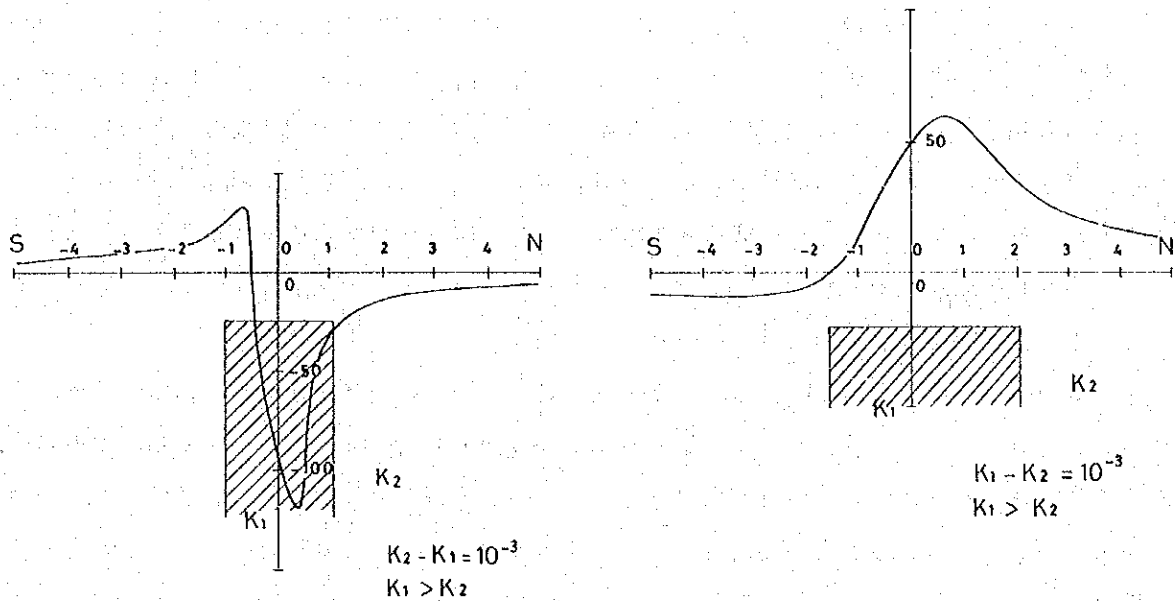


Fig. II-4-4 Magnetic Anomaly Caused by Dyke

#### 4-3-3 等磁力線図からの解釈

各測点で読みとられた全磁力異常  $r_0$  より、観測日の日変化  $\Delta r_d$  を補正し、全データの平均値  $\bar{r}$  を差し引いたものを磁気異常  $\Delta r$  と呼ぶ。

本観測における平均値  $\bar{r}$  は  $40961r$  であった。

$$\Delta r = r_0 - \Delta r_d - \bar{r}$$

この値には、地表付近の岩石による局所異常、地形による影響、人工構築物のノイズなど比較的波長の短い異常も含まれている。Fig II-4-5 Observed Magnetic Map には、これらのノイズも含まれた磁気異常図を示す。忠実にコンターをひくことは困難であるため、大きな傾向についてのみ等磁力線を引いた。

これによると、ブギアス村北方の Toking 沢北部には東西に延びる高磁気異常は主として低磁性岩体に対応することから、この地域は東西系の断層を境にして比較的磁性が低いローフォーメーションの堆積岩類によるものと思われる。

ブギアス村周辺は広く低磁気異常の中にあるが、ブギアスから東南東にのびる比較的磁性の強いゾーンがあってこれが地熱変質を受けていると思われる地域と一致しており、ボドアン村及び、イフガオ州との州境にも同様の異常が散見されるので興味ある異常である。

#### 4-3-4 フィルター図からの解釈

地表付近の地形・地質による擾乱を避け、比較的深部の磁気異常を強調するため、フィルタ

一処理を施した。通常は、等磁力線を格子状に切り、これらの交点の値を読みとり、これに特定の定数を乗じてフィルター処理を施す。しかし、本地域は山間地であり、十分な測点密度が得られないため、測定ルート沿いの各測定値について移動平均による平滑化を行なった。平均を求めた円盤は、直径1000mのものであり、この円内に含まれる全てのデータの相加平均をとって、その中心の値とした。すべての処理は、測点の番号、測定値、X座標、Y座標をコンピューターに入力し、以上の方法によりノイズカットフィルターを施して、X-Yプロッターに図化させた。( Fig II-4-6 Filtered Magnetic Map )

この結果、小規模な構造は除去され、以下に大別するいくつかの大規模構造が明らかとなった。

- (1) トッキン沢沿い及びその北側に位置する低磁気異常帯——高磁性岩体
- (2) (1)より東西に延びる低磁気異常帯——高磁性岩体
- (3) ブギアス沢上流の低磁気異常帯——高磁性岩体
- (4) ブギアス・セントラルより東にのびる弱い高磁気異常帯——低磁性岩体
- (5) ダリモナ ( Dalimona ) 以北で東西にのびる高磁気異常帯——低磁性岩体

(1)については、トッキン沢北部に広く分布するローフォーメーションの安山岩～玄武岩質岩体によるものと思われるが、地表にも砂鉄の堆積が散見されるところである。

(2)については、ブリボ峯の東側に沿う南北系の弱線とトッキン沢からハルシマ道路にかけての東西系の弱線に沿って貫入、露出している安山岩質な貫入岩体による複合効果によるものと考えられる。

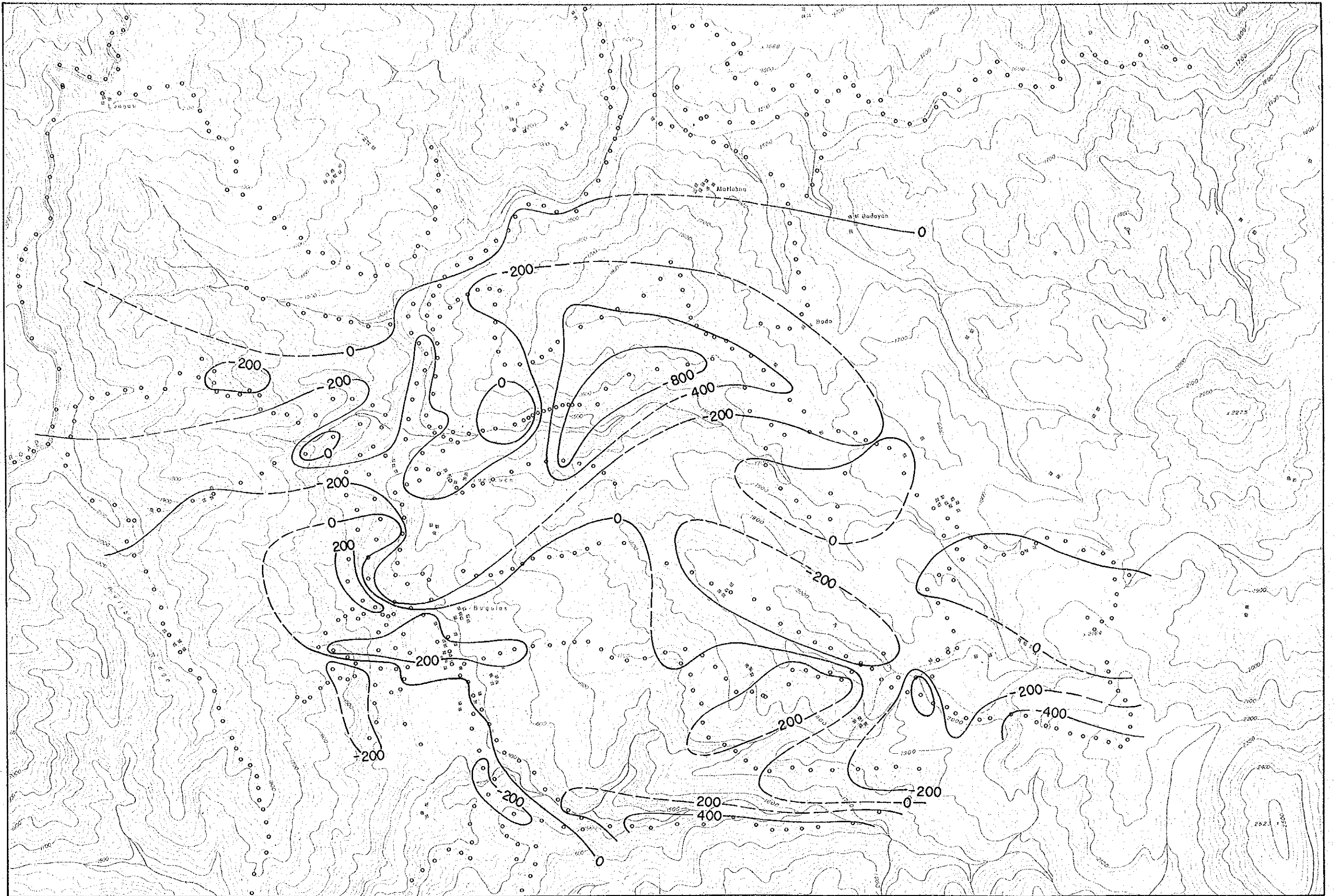
(3)についても、安山岩～角閃石安山岩斑岩の分布とよく一致している。

(4)は明瞭なものではないが、ブギアスセントラルの東側を中心として広く弱磁性岩体による高磁性異常が見られる。これは、比較的磁性の弱いブギアスフォーメーションに、温泉をもたらした熱変質作用が加わり、広い弱磁性帯をなしているためと思われる。この弱異常は東にのびてポドアンに続くため、この延長が期待されるところである。







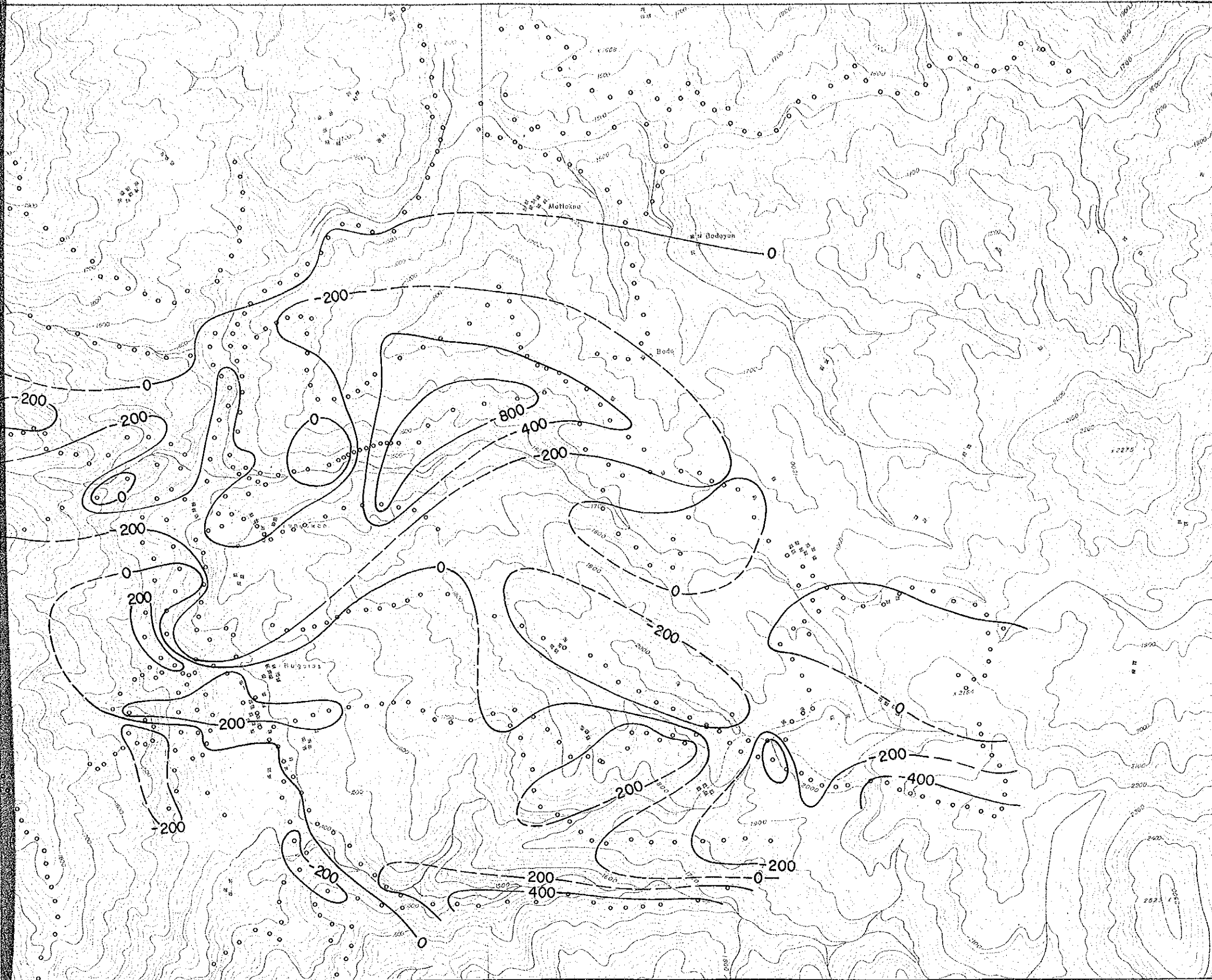


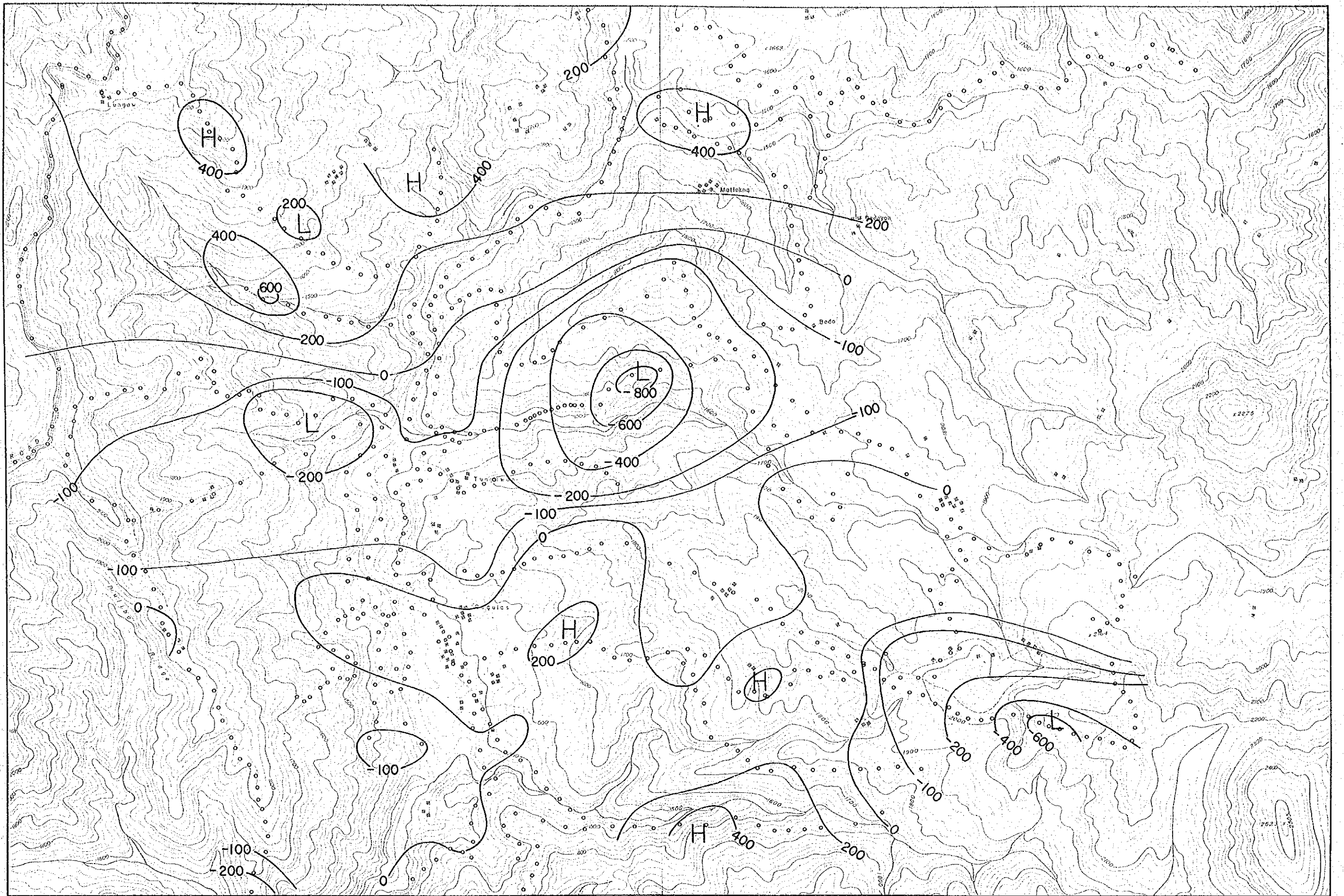
Buguias Geothermal Development Survey  
the Republic of the Philippines

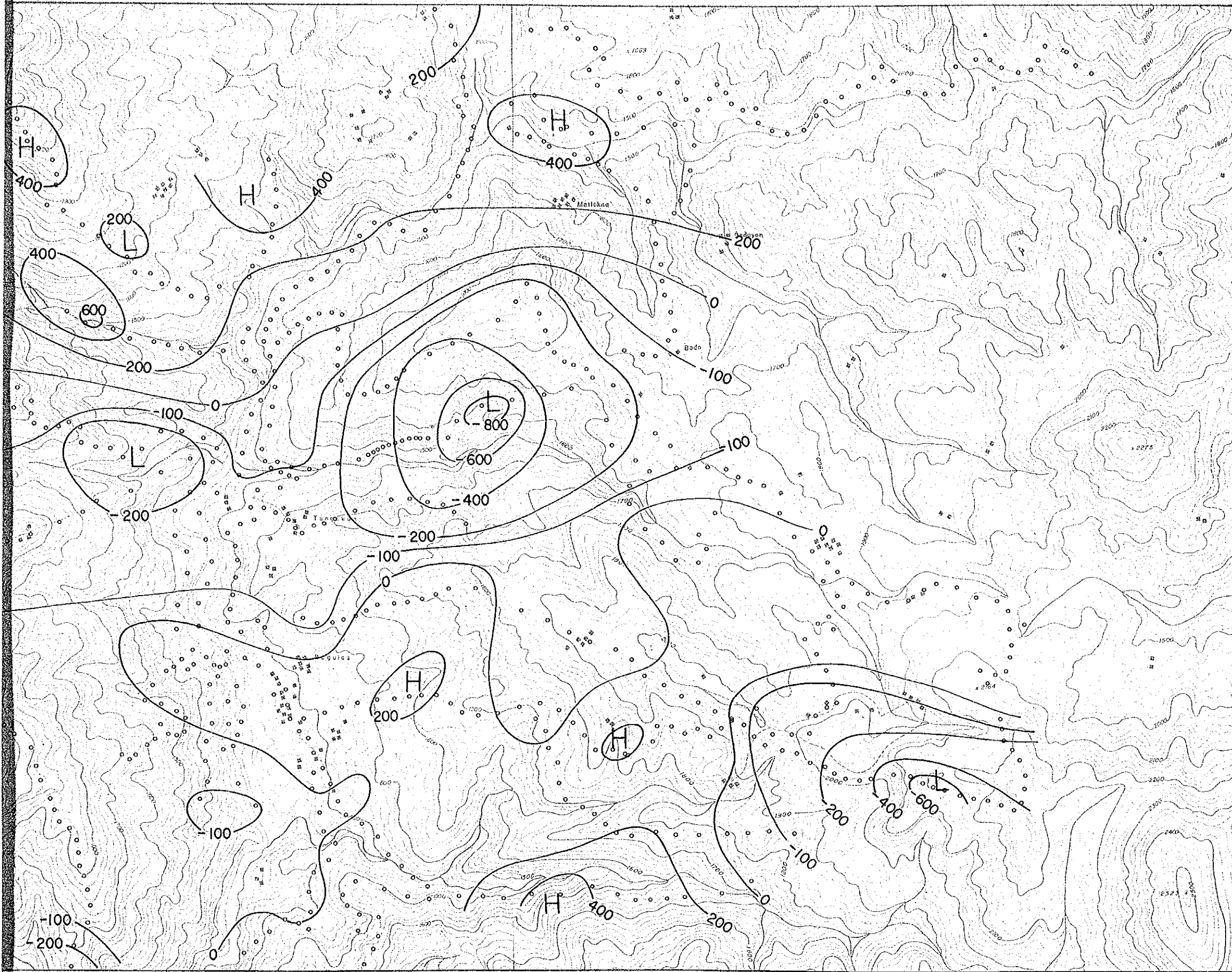
### OBSERVED MAGNETIC MAP



Jan ~ Feb, 1981 Fig. II-4-5







Bugias Geothermal Development Survey  
 the Republic of the Philippines

**FILTERED MAGNETIC  
 MAP**



Jan ~ Feb, 1981 Fig. II - 4 - 6



## 第Ⅲ編 総合検討





# 第 1 章

## 探査結果の要約



## 第 1 章 探査結果の要約

### 1-1 地質調査

1) 調査地域の地質は、3つの地層と貫入岩類から構成され、3つの地層は下位より上部漸新統～下部中新統のプギアス層、上部中新統のロー層および上部洪積統と考えられるブドー層からなる。プギアス層は、最大層厚3,500mに達し、海成の環境で堆積した地層で、かんらん石玄武岩質および輝石安山岩質の火山岩類と堆積岩類から主に構成され、その岩相から6つの部層に分けられ、これらは褶曲構造を形成している。ロー層は、最大層厚800mの陸成の環境で堆積した地層で、普通角閃石安山岩質および普通角閃石石英安山岩質の火山岩類からなり、調査地域の北東部および南西部に分布する。ブドー層は、最大層厚400m、陸成の酸性火山岩類で、溶岩円頂丘の活動を伴うものであり、一部粗粒の湖沼性堆積物を伴う。

2) 地質構造は、褶曲構造と断裂構造が重複した南北性の方向が卓越する一見複雑な構造を示す。しかし、基本的には南北・東西の地塁と地溝の組合せによる地塊構造を示す。この褶曲構造は、ほぼ南北性の褶曲軸を持ち、褶曲の波長から長波長の褶曲と短波長の褶曲とに分けられるが、ともに基盤岩の断裂に起因する箱型褶曲により形成されたものと考察される。断裂構造は、深成岩類の分布に示されるように南北・東西の組合せで、本地域の地塊構造の基本は中新世中期の深成岩類の進入により形成されたものである。その後NE-SWおよびNW-SE方向の断層運動が加わり、現在見られる地塁、地溝構造の組合せによる地塊構造が完成したと考察される。東部の南北性隆起帯と中央部の東西性隆起帯のカルミネーショントラップに、ブドー層に見られる第四紀火山活動の中心が位置している。

3) 本地域の火成活動は、漸新世後期から中新世初期にまたがる塩基性の海底火山活動、中新世中期の花崗閃緑岩ないし石英閃緑岩からなるブルトンの進入、中新世後期中性ないし酸性の陸上火山活動および火山-深成岩岩株の貫入が特徴的である。洪積世後期の普通角閃石安山岩から普通角閃石含有黒雲母石英安山岩へと酸性化する陸上火山活動が行われ、この最後のステージに普通角閃石黒雲母石英安山岩質溶岩円頂丘群の噴出が行われた。

4) 本地域の地表での変質は、緑色粘土鉱物を特徴とする埋没変成作用、黄鉄鉱の強い鉱染を伴う鉱化変質作用、白色の2次鉱物からなる地熱変質作用の3種の変成・変質作用が識別される。地熱変質は、トッキン沢上流と調査範囲東側のイフガオ側にのみ見られる。トッキン沢上流の地熱変質は、変質範囲が狭く、強珩化帯から白色粘土化帯へと移化する。この変質帯では、明バン石・ $\alpha$ -クリストバライト・トリディマイトが見られ、現在では温泉徴候は全くないが、鉱物組合せから噴気帯の「一種の化石」と判断される。一方の、調査範囲の東側の変質帯には、噴気・沸とう泉を伴う噴気変質帯があり、 $\alpha$ -クリストバライト・トリディマイト・硫黄などが生成されている。

## 1-2 地化学探査

1) 1 m 深地温測定は、地熱徴候の見られるブギアス村周辺で実施され、その結果は地温高異常帯と温泉の分布とがよく対応している。

2) 1 m 深地温測定では、東西性の4つの地温高異常帯を抽出し、これら高異常帯の伸長する方向が温泉水の流動方向を示していると思われる。高異常帯は、標高1,400 m 付近で収れんし、標高が1,400 m 以上になると急激に常温に移化する。このことは、この地域の地熱流体の賦存上面が1,400 m 付近に位置することを示唆している。

3) 全ての温泉徴候は、ブギアス村周辺のアグノ川両岸地区に分布し、温泉の湧出が認められる。一部の温泉には炭酸ガスを主成分とするガスを伴う。

温泉沈澱物は、主に炭酸塩鉱物からなり、アグノ川左岸側標高1,650 m 以下のカヤバス沢からマウンテンレイク沢まで南北に約7 km の範囲に点在している。このことは、過去においてより広範囲に温泉徴候が存在していたことを示すと考えられる。

4) アグノ川右岸の温泉水を除く、全ての温泉水は食塩泉型に属し、深部地熱流体からもたらされたものである。温泉水のCa・Mg量は、他の多くの地熱水と比較して多いが、これは地熱流体がCa・Mgに富むブギアス層を通過する中で岩石と反応しCa・Mgの増加をみたと考察される。

温泉水の化学温度は、SiO<sub>2</sub> 温度で150°C前後、Na-K温度で250°C前後、Na-K-Ca-Mg温度で185°C前後と計算され深部の地熱貯留層は200°Cを超えると思われる。

5) ブギアス村付近の地熱貯留層の賦存レベルは1,400 m 付近と考察された。したがって、標高1,400 m 以上で実施される地温測定調査は、地熱流体の上限レベルを十分に深く掘り下げて、地温勾配を測定すべきと考えられる。

## 1-3 重力探査

調査地域の地形は急峻な山岳地形とこれを南北に切るアグノ川により特徴づけられ、重力探査のフィールドとしては非常に不利な条件にある。測点の標高は、アグノ川下流の1,100 m から、マウンテンレイクの2,340 m まで変化している。調査地域における概略の重力構造を把握するため、北はアバタンから西はカバヤンに至る道路沿いと、西はシネブンブ西方のハルシマ道路の屈曲点から東はタリモナ上流及び、ポドアン東方のイフガオ州境に至る十字形の基幹線を設定した。その他の点はブギアス村を中心とする2 km × 3 km の範囲に設定し、原則として測点の間隔は500 m とした。

測点総数	241点	{	水準測量を実施したもの	132
			トランシットによるトラバース測量を実施したもの	8
			精密気圧高度計により測高したもの	101

使用機器	LaCoste	G-236	重力計	1台
	Paulin	MDM-5	精密気圧高度計	2台
	測機舎	B-2	自動レベル	1台

電子計算機による高精度の各種補正（潮汐補正，ドリフト補正，緯度補正，地形補正，高度補正）を施した結果，補正密度2.60のブーゲー異常図が最もよく地下構造を反映していることが判明した。これを用い，いくつかのバンドパスフィルターによる残留重力図を作成して，各波長域に対応する地質構造を考察した。

重力探査による解釈は以下の通りである。

- (1) 調査地域の縁辺部は，東部イフガオ州境を除き顕著な高重力異常を呈し，数条の断層が確認された。
- (2) これら高重力異常に囲まれ，ブリボ峯に沿う南北性の向斜軸があり，ブギアス周辺には小規模な低重力構造が見られる。
- (3) 深度約1.5 km程度までの構造を良く表現している $\lambda = 0.25 \sim 1.8$ の余剰重力図には，アグノ川西側の褶曲構造，アバタンの南からダリモナ，ポドにかけてのNW-S E系の断層，ダリモナの南側を東西に切る断層，ブギアス南東方のNE-SW系の断層，およびダリモナとブギアスの間にみられる重質な貫入岩体等の分布をみることが出来る。
- (4)  $\lambda = 1.8 \sim 9.5$ 及び $\lambda = 9.5$ のハイカットフィルター図には，深部構造として，ブギアスを中心とする直径5~7 km程度の盆状構造があり，本地域の深部が地熱貯留構造として適した地質構造であることを裏づけており，同時に東に開いた低重力構造から，同様の貯留構造がイフガオ側にも潜在することを示唆している。
- (5) シネブシブからポドアンに至る東西断面のモデル計算には，Regionalで示された深部重力基準面の起伏，Residualで示された数100 m深のステップ状構造及びBouguer異常図にみられる浅部構造が示されている。これによれば，シネブシブ東方の東落しの断層は，本地域の大規模地溝帯の西縁をなすものと思われる。第一層と第二層の境界には多くのブロック運動がみられるが，ポドアン付近を通る東落しの構造は，比較的浅所の貯留構造を規制するものとして注目される。

#### 1-4 磁気探査

重力探査の測点とその中間点について地表磁気探査を実施し，地質との対応，地熱変質による消磁効果について検討した。測定機は，日本より機械供与されたプロトン磁力計を用い，測定者は日本の指導によりすべてフィリピン側技術者により実施された。

重力探査と同様に調査地域の磁気異常の概略を知るためアバタンからカバヤンに至る道路や

ハルシマ道路についても実施したが、周辺部はブギアス村周辺と比較してまとまった異常が検出されなかったため、北はダリモナから南はブギアス沢に至る地域について図化し検討を行った。測点は原則として重力測点間に3～4点とし測点間隔を約150mとした。

測点総数	1000点	定点ブギアス村内
使用機器	移動測定用	Barringer Research GM-122 1台
	定点観測用	Geometrics G-816 2台

測定値は、低緯度地帯特有の日変化の影響を受けているため、定点で観測された日変化量を測定時刻により補正を施し、さらに全平均値40961 $\gamma$ を差し引いた。この補正済値には、地表付近の地形、地質ノイズが含まれているため、移動平均によるフィルター処理を施し、解析平面図を作成した。

磁気伏角20°の本地域では、帯磁率の高い高磁性岩体の上では負の低磁気異常が、また、帯磁率が低いかまたは熱変質による消磁効果を受けたところでは、正の高磁気異常が検出される。このことから、異常を分類すれば次の様に大別出来る。

- (1) トッキン沢沿い及びその北側に検出された低磁気異常帯は、ローフォーメーションの安山岩～玄武岩質岩体及び異入岩体によるものと思われる。地表には砂鉄の堆積が散見されている。この異常は東西にのび、これはE-W系の弱線に沿って貫入した高磁性岩体によるものと思われる。
- (2) ブギアスセントラルから東方にのびる高磁気異常—弱磁性岩体は、比較的磁性の弱いブギアスフォーメーションに、温泉をもたらした熱変質作用が加わったものであると考えられる。この弱異常は東にのびてポドアンへ続くため、この延長方向は地熱の熱源に近づくと思われ期待される。

岩石サンプルの帯磁率測定の結果からは、安山岩類が $10^{-3} \sim 10^{-2}$  e. m. u. で比較的帯磁率が高いが、明瞭な有意差はなく今後より多くのサンプルにつき検討をする必要がある。

## 第 2 章

### 地熱系の考察





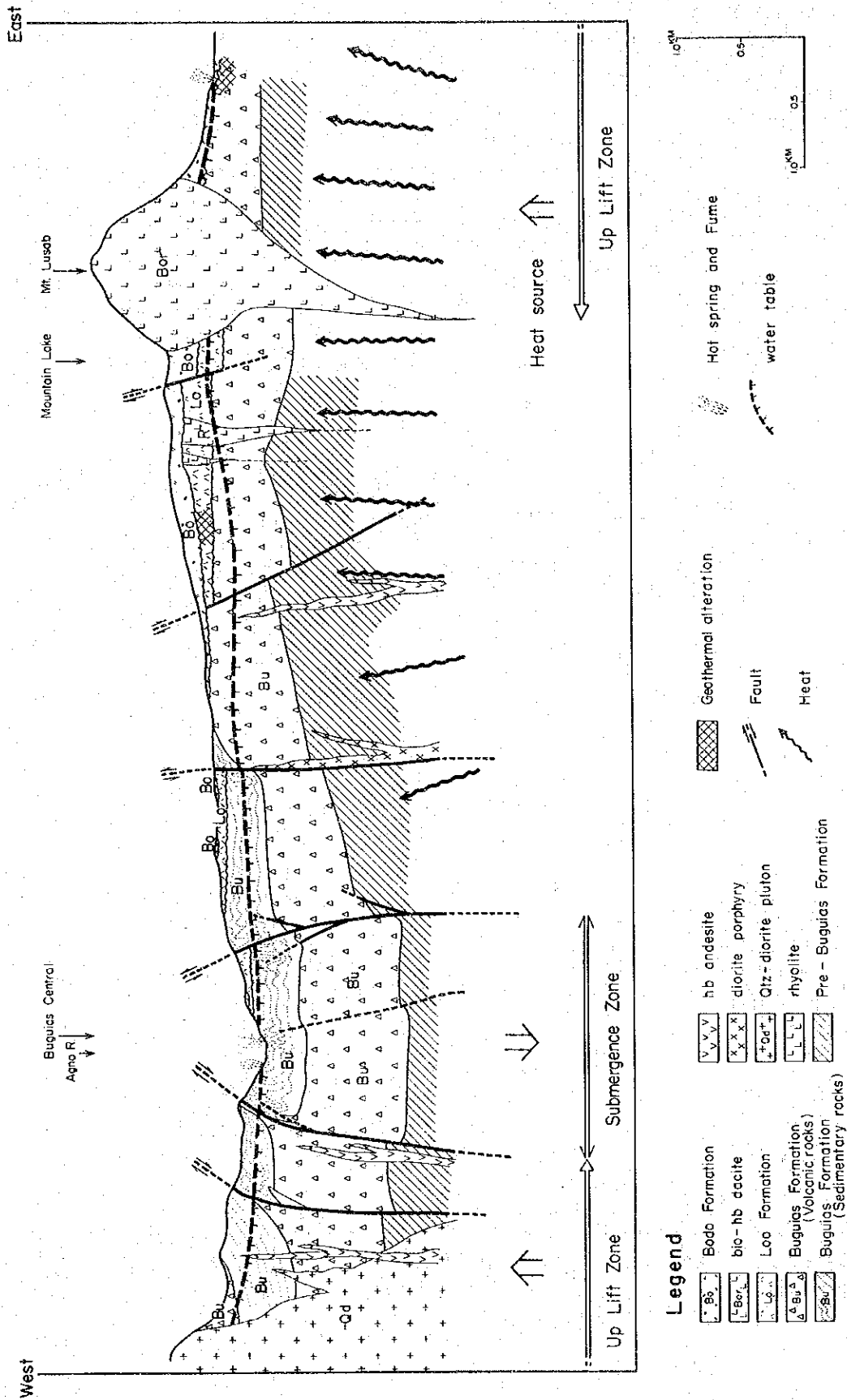
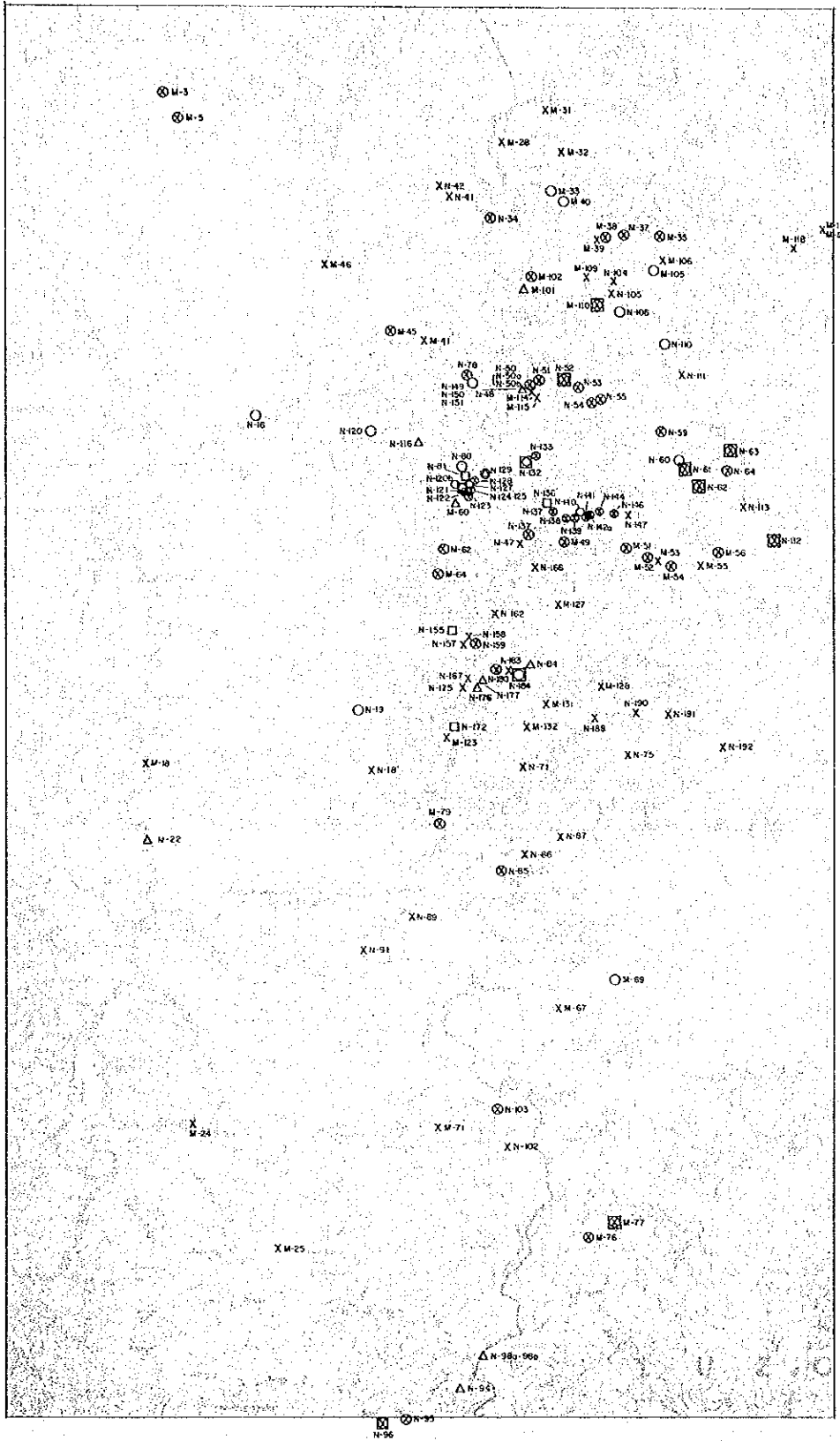


Fig. III-1-2 Structural Schema of Geothermal System in Buguias Area





Legend

- O X-Ray
- X Thin Section
- Chemical Analysis
- △ Fossil



Fig.II-1-32 Location Map of Sample



## 第 2 章 地 熱 系 の 考 察

### 2 - 1 地 質 構 造 と 地 熱 流 体

地熱探査とは換言すれば高温流体の探査である。従って、地質調査、地化学探査および各種物理探査の目的は、水の貯留しうる地質構造と熱源の位置を明らかにすることである。世界的に地熱資源が地溝帯に多く存在することは、地熱帯が熱の担体である水の貯留の良い条件—地質構造—を有するためである。また地溝帯近辺に火山があれば、地熱帯としてはさらに有望と考えられる。

普通、帯水盆構造は、不透水層と透水層とのなす構造に規制されるが、高温の水は粘性係数が極めて小さくなるので、まったく割目のない地層以外は完全な不透水層となり得ないと思われる。従って、地熱貯留層を規制する構造は、むしろ個々の地層の性状ではなく、それらの組合わさった大きな地質構造であると考えられる。一般に地熱井（生産井）からの地熱流体の汲み上げの影響は、時に数km以上に及ぶと考えられ、地下水の流れは岩石の狭義の空隙率ではなく、微細な割れ目を含む広義の空隙率に支配されるものである。特に、粘性係数の小さな高温熱水の流動を考える場合には、微細な割れ目も無視できないと考えられる。また、地表徴候の多い所が必ずしも深部に優良な高温流体の賦存することを示唆せず、さらに調査井が掘削されている場合でも深部熱水の湧出孔の直接地下に高温岩体貯留層の中心があるとは限らない。

本調査の結果の解析にあたっては、この事を考慮しつつ解釈する必要がある。

### 2 - 2 調 査 結 果 と 地 熱

1) 本地域の地質構造は、漸新統上部～中新統下部のプギアス層堆積時から第四紀石英安山岩円頂丘の形成まで引き続いた褶曲運動と地塊運動によって特徴づけられており、現在の地表地熱徴候帯は地質構造と深い関わりをもっている。即ち、プギアス村を中心とした地熱徴候地帯は重力探査の結果から見られるように、探査範囲東部の石英安山岩質円頂丘から西部に延びる陥没状構造の中にみられ、また東西系地壘構造の北縁に位置している。

2) 熱源としては、東に延びる傾向を示す低重力帯の中にみられる石英安山岩円頂丘が考えられる。この円頂丘の西側には、プギアス地熱徴候帯があり東方のイフガオ州には、より活発な地熱活動が観察されている。イフガオ州側の地熱徴候については、今後の探査により地質構造と地熱徴候の関係を明らかにし、当地域地熱系の全体像を把握する必要がある。

3) 地熱流体の賦存に好適な盆状構造は重力探査の結果からも認められている。概括的に 48 mgal 以下を低重力異常 52 mgal 以上を高重力異常とする当地熱地帯はプギアス村を中心として直径約 5～7 km の規模の陥没状構造があるのに対し、それをとりまく北部、南部及び西部では、高密度の盛り上りが確認されている。これは世界各地の地熱地帯が規模の大きい地溝状

の中ないしは、その周辺に存在している事実と一致しており、現在みられる地熱徴候地帯が陥没構造を示す範囲の中に存在していることは、地熱構造の解明に有力な示唆を与えている。

4) 現在の温泉湧出はブギアス村周辺の標高 1,400 m 以下の地域に限られている。これは、現在の地下水面を顕わしているが、炭酸塩を主体とする温泉沈澱物は、現在温泉湧出が認められない標高 1,400 m 以上の地点でも観察される。

また温泉活動によって生成されたとと思われる地熱変質帯がトッキン沢上流の標高 1,900 m 付近に存在することは、河川の侵食が進まない以前には、かなり広範囲な地熱活動があったことを示唆している。

5) ブギアス村に見られる温泉の温度は、NaCl 型で約 40°C から 70°C までの低温であり、その化学成分は一般的な深部地熱流体にくらべて Ca や Mg に富んでいる。これは地熱流体の上昇過程に於いて周辺の岩石との交互作用によるものと考えられ、SiO<sub>2</sub> 地化学温度計が最も低い値を示しているのも、地表冷水の混入によるものと考えられる。しかし Na, K, および Ca 補正を行った地化学温度計は 200°C を越えており、当地域には地熱発電に必要且つ十分な高温地熱流体の賦存を暗示している。

6) 地下に熱変質を受けた高温岩体があると消磁効果により磁性が弱められ、その地域は高磁気異常として認められる。当地域の低磁性岩体が形成する高磁気異常は、ブギアス村の温泉徴候帯より東に延びる低重力異常帯とよく一致して検出されており、地熱流体の流れを示唆するものとして興味深い。

## 第 3 章

### 結 論 と 勧 告





## 第3章 結論と勧告

### 3-1 結論

ブギアス地区の地表には顕著な地熱徴候はみられないが、本調査により調査地域の東部の深部について優勢な地熱流体の潜在が期待され、さらに将来の探査を継続する価値が認められた。即ち、

1. 地質構造は、地質調査、重力探査の結果から調査地域の東西両翼における隆起帯とブギアス村周辺の南北系の地溝帯等が組み合さった地塊構造を示し、深部にはブギアス村を中心とする東に開いた盆状構造があり、地熱流体の貯留に適した地質構造が確認された。
2. 地化学探査による温泉水は食塩泉型で、その化学成分から計算された貯留層温度は200℃を超えている。このことから、深部地熱流体は将来の地熱発電のために十分高温な地熱資源であることが予想される。また、熱変質による消磁効果を検出するため実施された磁気探査では、微弱ながらブギアス村から東に延びボドアン ( Bodoan ) 東部に至る弱磁性帯が捕捉され、地熱流体の流れを示唆するものと考えられる。
3. 本地域の熱源は、調査地域東部に噴出した第四紀石英安山岩溶岩円頂丘下と考えられる。これは、当地域における最も新しい火山活動 ( 16,870年B, C ) であり、現在ブギアスの南方約25 kmで開発中のダクラン ( Daklan ) の探査結果からも裏づけられる。
4. 今回の調査範囲は、熱源と考えられる上記石英安山岩溶岩円頂丘の西側に限られている。しかしながら低重力異常帯は、調査地域の東部に伸びる傾向が見られ、また、石英安山岩溶岩円頂丘東側には優勢な地熱徴候が確認されている。従って、当地域の地熱系の全体像を把握するためには、溶岩円頂丘の東側についても基礎調査を実施するのが望ましい。

以上のことから、地熱流体の動きを確認するために以下の位置に地温測定調査井を掘削する必要がある。

候補地 ( 次図 Proposed Site of Gradient Holes 参照 )

- ① ボドアン東方のイフガオ ( Ifgao ) 州との境界近く、標高2,050 m 付近 ( 重力測点107 付近 )
- ② ボドアン南東2 kmの標高2,150 m 付近 ( 重力測点120 付近 )
- ③ ボドー ( Bodo ) 南方の標高1,800 m 付近 ( 重力測点112 付近 )
- ④ トッキン ( Toking ) 沢下流の標高1,500 m 付近 ( 重力測点137 付近 )
- ⑤ ブギアス村の標高1,400 m 付近 ( 重力測点1 付近 )

⑥ トッキン沢上流の標高1,900 m付近(重力測点109付近)

なお、掘削深度は地下深部の地温勾配を知るため、地熱流体の賦存域を十分深く掘り下げる必要がある。

以上の候補地は次の理由により選定された。

- 熱の供給源は第四紀石英安山岩溶岩円頂丘下に存在すると考えられるため、この溶岩円頂丘周辺の地熱資源とブギアス村の地熱徴候を関連づける必要がある。
- より熱源に近いと思われるポドー周辺で、熱水の貯留に適する地溝状構造(NNW-SSE)が、地質調査、物理探査から推定されている。

### 3-2 勸告

今年度の調査結果をもとに、次年度の地熱開発計画調査を具体的に推進するため、次の諸点に留意して調査をすすめることを勧告する。

- (1) 当地域の地熱貯留層の規模を知るため、調査地域東部を中心に次図の測線について比抵抗法電気探査を実施し、貯留層に関連の深い低比抵抗帯、断層、キャップロック等を捕捉する。

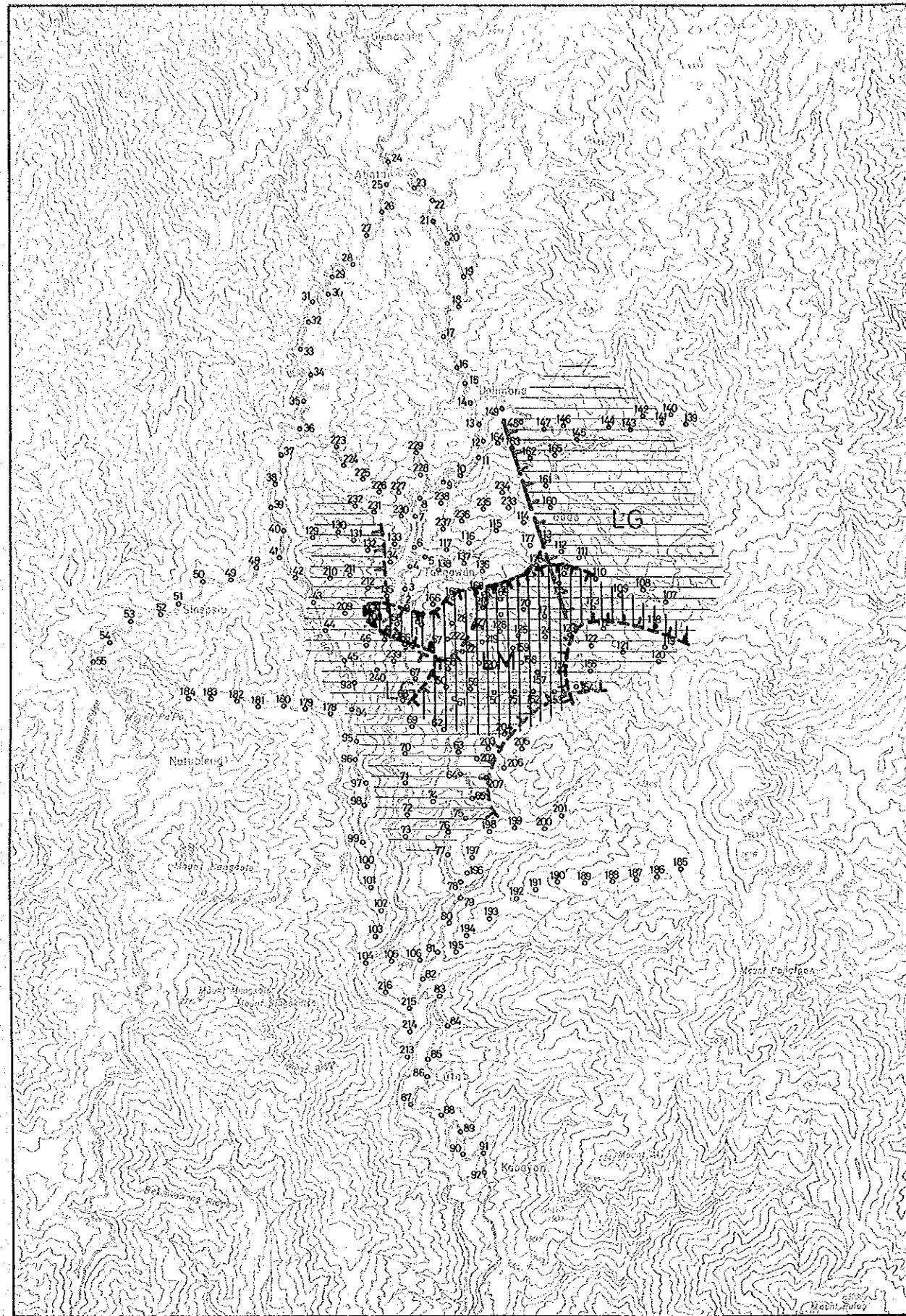
測線は少なくとも3本、延1.6 km以上とし、測点は原則として250 m間隔、電極間隔を10~1500 mまで拡げるシュランベルジャー型電極配置とする。

(Proposed Survey Area 参照)

- (2) 地温測定調査井については、全量コアを採取して検鏡、X線回折、各種物性測定を行ない、掘削終了後は、温度検層、電気検層を実施して地質構造と地熱系について総合的に検討する。

- (3) 優勢な地熱徴候の確認されているイフガオ州側については、次図の約80 kmについて地質調査、地化学探査、重力探査、電気探査をブギアス側より延長して実施し、熱源と推定される第四紀溶岩円頂丘の東西について比較検討を行なって地熱系の全体像を把握する。





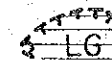
Buguios Geothermal Development Survey  
the Republic of the Philippines

## CONSOLIDATED GEOPHYSICAL ANOMALY



Jan ~ Feb, 1981 Fig. III-1-1

### LEGEND



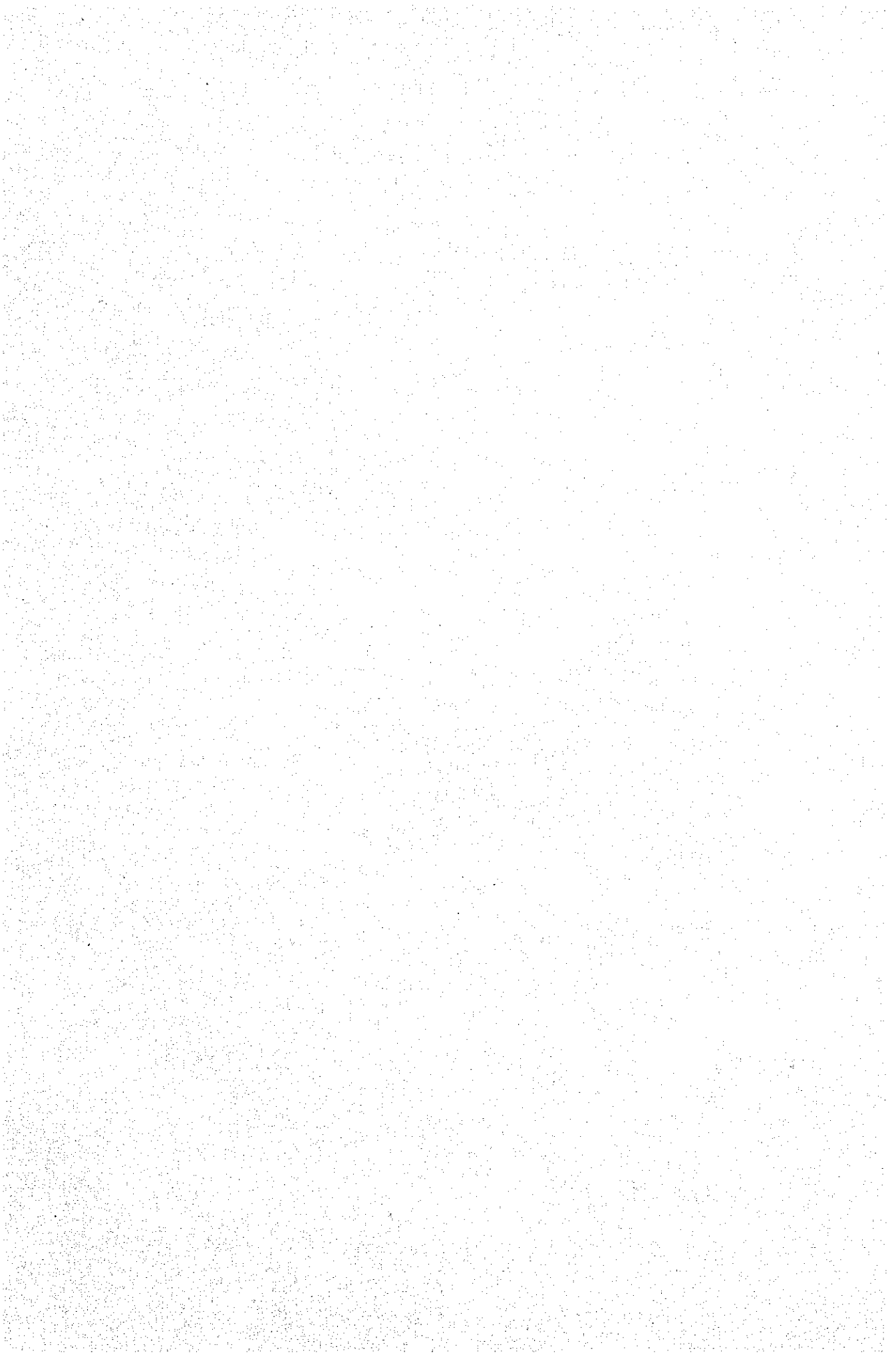
Low Gravity Zone

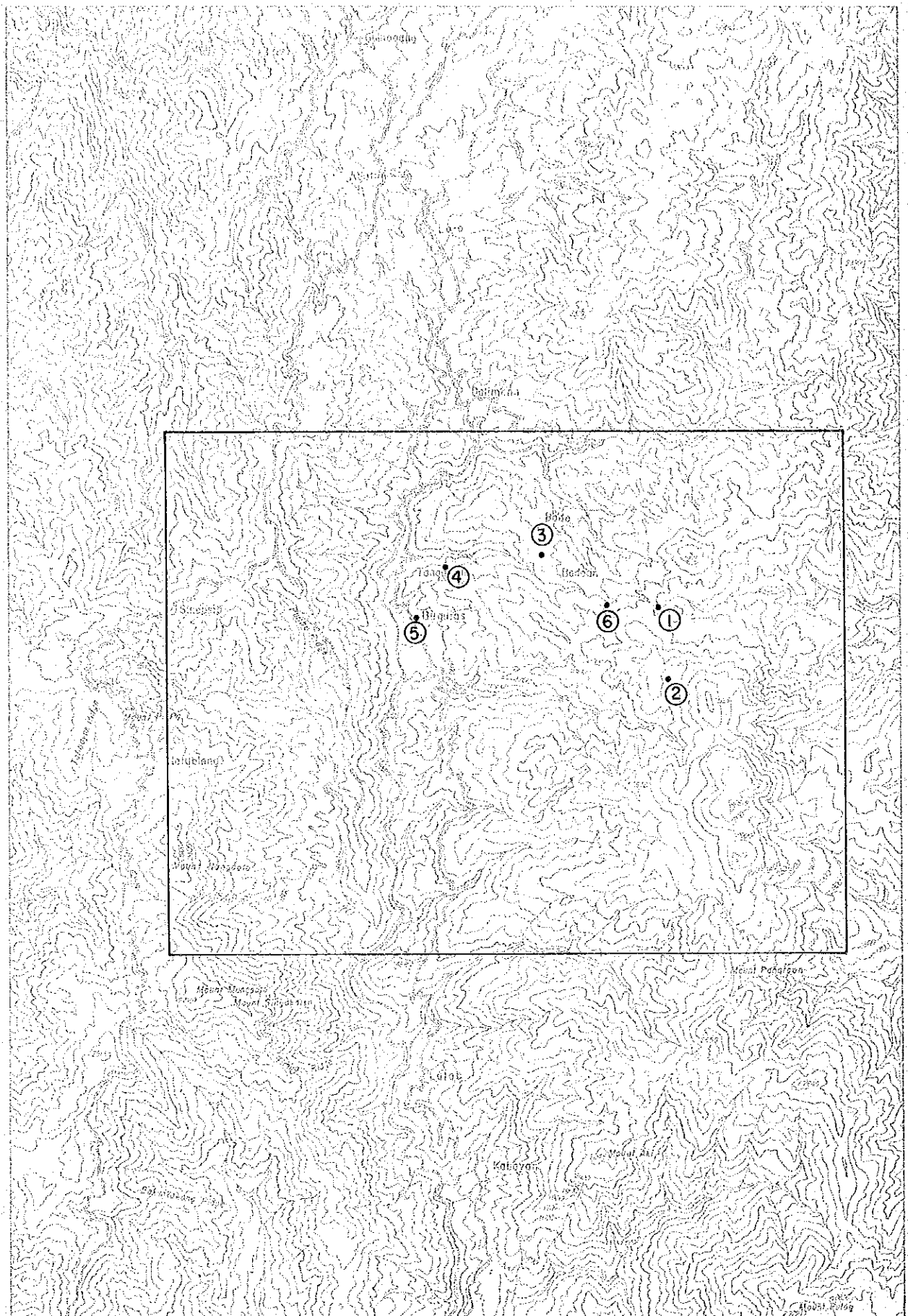


Fault Structure



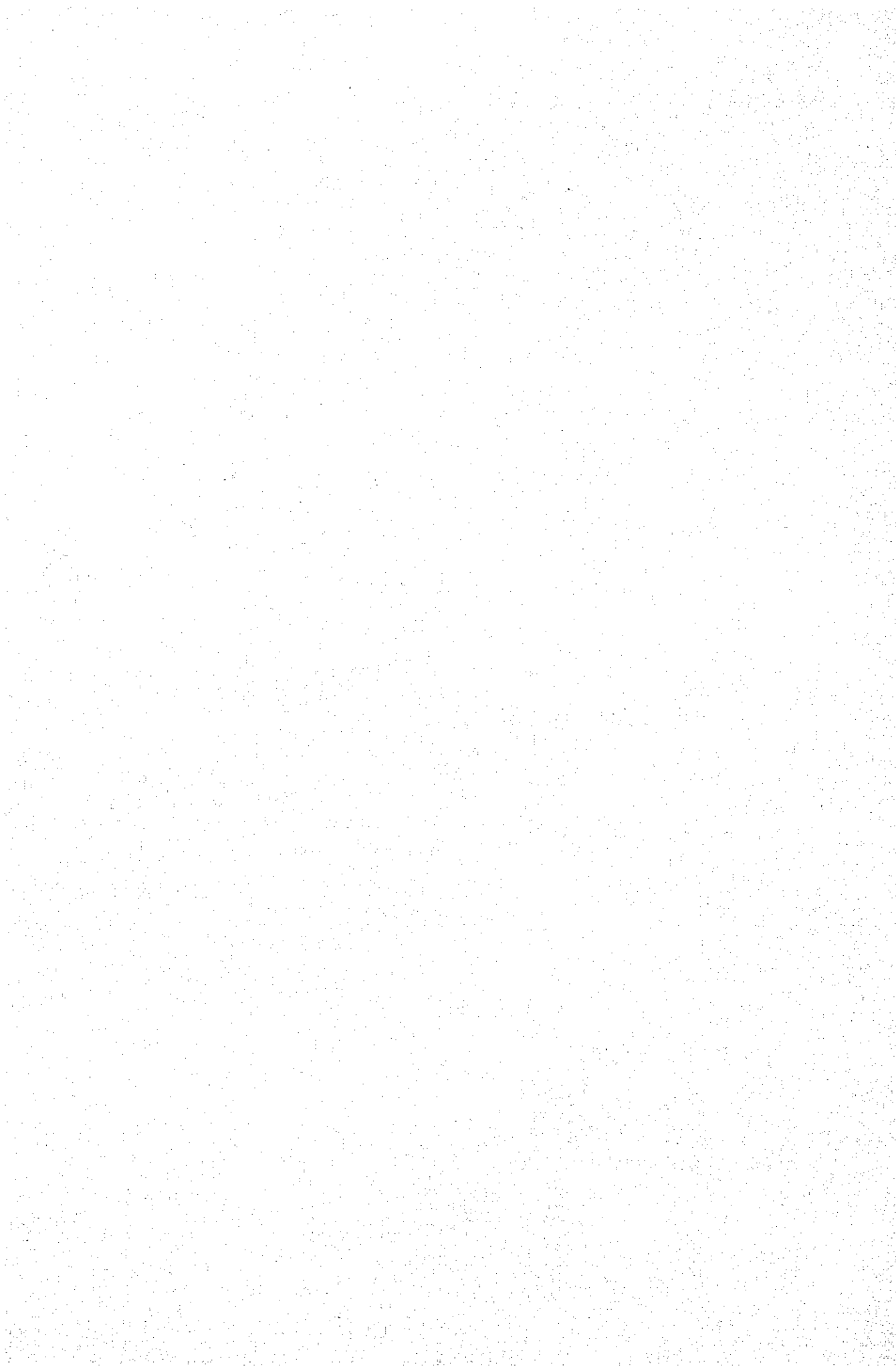
Weak Magnetized Zone




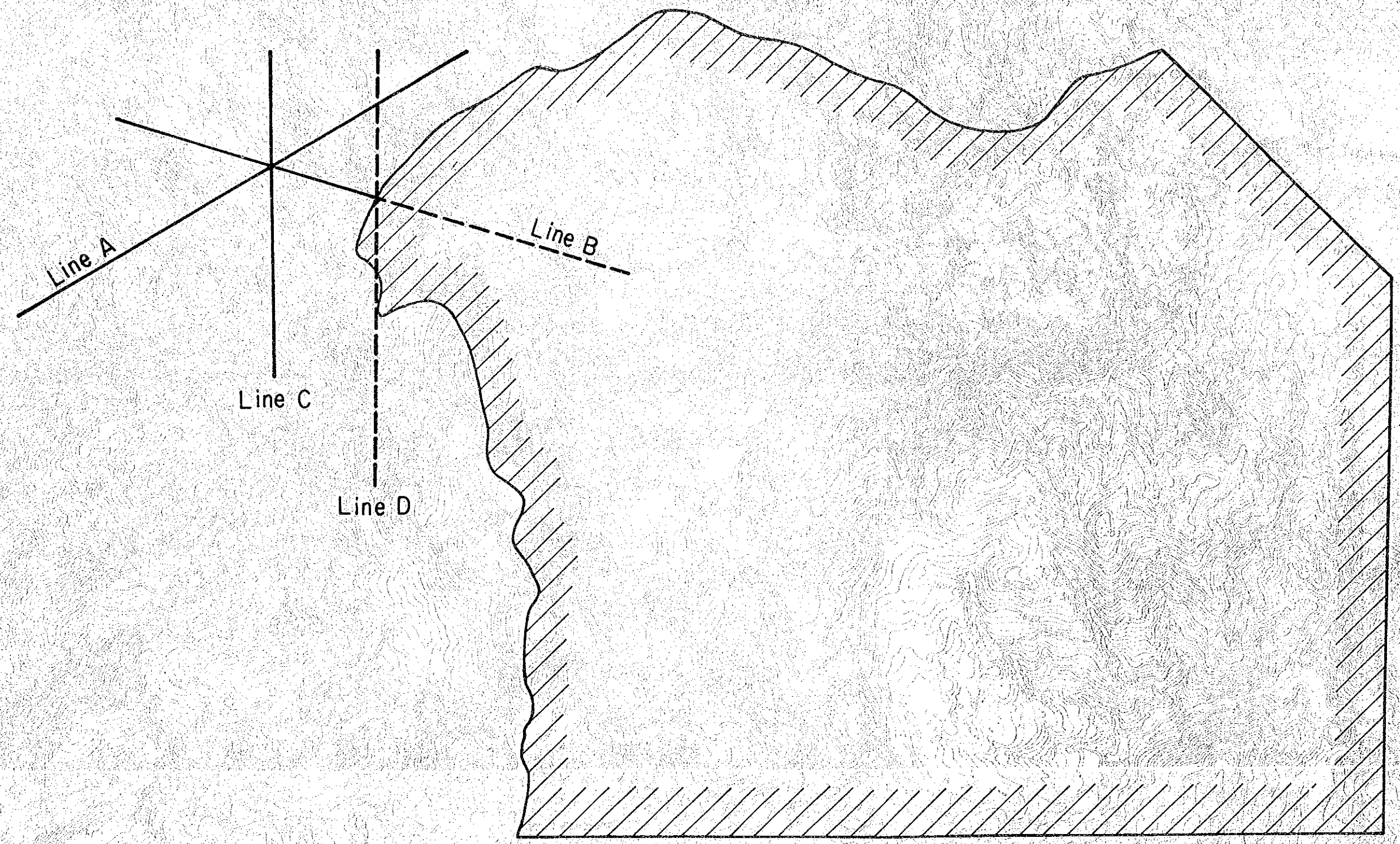








- Proposed Electrical Survey Line
- - - Alternative
-  Proposed Survey Area in Ifugao Province





## **Appendices**

- **Results of X-ray Diffraction**
- **Results of Microscopic Observation of Thin Section**
- **Chemical Analysis of Whole Rock and Normative Mineral Composition**
- **Computed Results of Magnetic Survey**
- **Computed Results of Gravity Survey**



Mineral	Sample Number	Mineral Groups												Other Minerals		
		clay minerals	zeolite minerals	silica minerals	silicate minerals	oxide minerals	gypsum	anhydrite	alunite	pyrite	manetite	native sulfur	hematite			
hematite	N-122															
native sulfur	N-123															
manetite	N-124															
pyrite	N-125															
alunite	N-126															
anhydrite	N-127															
gypsum	N-128															
siderite	N-129															
dolomite	N-130															
calcite	N-131															
biotite	N-132															
amphibole	N-133															
pyroxene	N-134															
potash feldspar	N-135															
plagioclase	N-136															
quartz	N-137															
tridymite	N-138															
$\alpha$ -cristobalite	N-139															
vairakite	N-140															
heulandite	N-141															
laumontite	N-142															
analcime	N-143															
stilbite	N-144															
mordenite	N-145															
clinoptilolite	N-146															
pyrophyllite	N-147															
kaolinite	N-148															
halloysite	N-149															
chlorite	N-150															
sericite	N-151															
chlorite/montmorillonite	N-152															
sericite/montmorillonite	N-153															
vermiculite	N-154															
saponite	N-155															
montmorillonite	N-156															

Mineral	Sample Number	Mineral Groups												Other Minerals		
		clay minerals	zeolite minerals	silica minerals	silicate minerals	oxide minerals	gypsum	anhydrite	alunite	pyrite	manetite	native sulfur	hematite			
hematite	M-3															
native sulfur	M-4															
manetite	M-5															
pyrite	M-6															
alunite	M-7															
anhydrite	M-8															
gypsum	M-9															
siderite	M-10															
dolomite	M-11															
calcite	M-12															
biotite	M-13															
amphibole	M-14															
pyroxene	M-15															
potash feldspar	M-16															
plagioclase	M-17															
quartz	M-18															
tridymite	M-19															
$\alpha$ -cristobalite	M-20															
vairakite	M-21															
heulandite	M-22															
laumontite	M-23															
analcime	M-24															
stilbite	M-25															
mordenite	M-26															
clinoptilolite	M-27															
pyrophyllite	M-28															
kaolinite	M-29															
halloysite	M-30															
chlorite	M-31															
sericite	M-32															
chlorite/montmorillonite	M-33															
sericite/montmorillonite	M-34															
vermiculite	M-35															
saponite	M-36															
montmorillonite	M-37															

Results of X-ray Diffraction



Sample No.	Rock Name	Formation Name or Member Name	Texture	Phenocryst												Groundmass												Secondary Mineral												
				Q	K-f	Pl	Bt	Hb	Au	Hy	Ol	Op	Q	Si	K-f	Pl	Hp	Opx	Ol	Op	Cl	Q	Si	Co	Sr	Mon	Sap	Chl	Kao	Act	Ep	Op	Zeo	Ab	Al	St				
M-3	hb-qtz diorite	(Intrusive rock)	holocr., porphyritic	○																																				
5	hb-dacite	( do )	intersetal	○	○	△																																		
25	lapilli tuff	Kagosiit and member	pyroclastic	○			○																																	
37	hb-andesite	(Intrusive rock)	hypocrystalline	△	○		○																																	
45	hb-qtz diorite	( do )	holocrystalline	△	○		○																																	
46	su-hb-andesite	( do )	hypocrystalline	○	○		○																																	
67	bio granodiorite	( do )	holocrystalline	○	○		○																																	
77	altered andesite	Kaypas cr. and member	intersetal	○			○																																	
79	cautereous lapilli tuff	Tokang cr. and & bas. volc. member	pyroclastic	○			○																																	
106	altered basalt	( do )	amygdaloidal	○			○																																	
115	altered basalt	( do )	intergranular	○			○																																	
N-34	hy-a-andesite	Leo formation	intersetal	○			○																																	
41	altered andesite	Tokang cr. and & bas. volc. member	hyaloplitic	△			○																																	
50a	altered hyalodacite	( do )	pyroclastic	△			○																																	
55	su-b-basalt	( do )	amygdaloidal	○			○																																	
65	altered rock	Leo formation	pyroclastic																																					
64	bi-hb-dacite	Budo formation	porphyritic	○	○	△																																		
71	altered dacite	(Intrusive rock)	porphyritic	△			○																																	
N-78	altered dacite tuff	Buguis cr. alternative member		△			○																																	
95	su-andesite	Kagosit and member	hyaloplitic	○			○																																	
96	su-b-basalt	Baton river pillow lava member	intersetal	○			○																																	
100	andesite lapilli tuff	Tokang cr. and & bas. volc. member	pyroclastic	○			○																																	
104	andesite lapilli tuff	Tokang cr. and & bas. volc. member	pyroclastic	○			○																																	
112	su-hb-bio dacite	Bodo formation	porphyritic	○	○	△																																		
128	limy mud stone	Buguis creek alternative member	clastic																																					
133	hy. su-hb-andesite	Leo formation	intersetal	○			○																																	
135	accidental lapilli tuff	Buguis cr. alternative member	pyroclastic				○																																	
139	andesite hyaloclastite	Tokang cr. and & bas. volc. member	( do )	○			○																																	
180	bi-kyorite	Tokang cr. and & bas. volc. member	felty	○			○																																	
P-1	altered dacite	Budo formation	porphyritic																																					

○ : abundant, △ : common, • : rare

### Results of Microscopic Observation of Thin Section





Sample No	M-52	M-77	N-96	N-112	N-125	M-110	N-61	N-62	N-63	N-132	D-1
SiO <sub>2</sub>	68.65	45.00	55.10	60.25	47.90	73.03	58.50	73.83	45.36	46.14	86.42
TiO <sub>2</sub>	0.29	1.09	0.71	0.72	0.93	0.23	0.68	0.19	0.42	0.44	0.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.92	20.62	14.06	17.44	17.38	13.14	18.60	15.11	21.27	12.42	1.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.99	3.03	3.68	3.75	3.45	1.95	0.87	1.32	0.60	0.44	2.44
FeO	1.83	6.68	3.66	1.58	3.88	0.54	2.73	0.29	0.14	2.87	0.07
Fe					0.57		1.07			1.12	
MnO	0.09	0.16	0.21	0.12	0.17	0.11	0.09	0.01	0.01	0.11	0.01
MgO	1.01	5.70	4.64	2.98	4.29	0.63	2.51	0.20	0.01	4.68	0.14
CaO	1.29	9.80	9.31	5.89	8.92	1.76	0.45	0.17	0.13	10.76	0.18
Na <sub>2</sub> O	3.85	2.77	1.71	3.90	3.37	3.39	0.52	4.50	1.62	0.03	0.10
K <sub>2</sub> O	1.53	0.48	1.14	1.42	0.69	1.99	1.32	1.48	2.63	0.28	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.14	0.23	0.18	0.19	0.08	0.14	0.04	0.19	0.11	0.03
CO <sub>2</sub>	1.98		0.98		1.90	0.42	4.06			14.15	
S					0.66		1.23			1.29	
SO <sub>3</sub>					0.13		0.26		20.23		0.47
H <sub>2</sub> O (+)	2.11	4.12	3.19	0.95	3.93	2.02	5.40	1.33	5.46	4.73	3.80
H <sub>2</sub> O (-)	0.14	0.24	1.82	1.28	0.92	1.08	0.86	0.98	1.48	0.16	4.14
TOTAL	99.78	99.83	99.44	99.46	99.28	99.37	99.29	99.45	99.54	99.73	99.63
Q	39.43		21.42	16.04	5.04	44.40	53.01	41.44	45.35	44.31	85.21
C	7.93					5.11	16.80	5.89	2.04	12.07	0.82
or	9.04	2.84	0.83	8.39	4.08	11.76	7.80	8.75		1.65	0.18
ab	32.58	23.44	14.47	33.00	28.52	28.69		38.08		0.25	0.85
an		42.41	30.27	25.89	30.26	0.81	1.02	0.58			0.70
ne											
wo		2.21	3.65	0.90	1.73						
di		1.39	2.65	0.78	0.56						
en		0.69	0.66		0.09						
fs	2.12	2.83	8.91	6.64	10.12	1.57		0.50	0.02	1.82	0.35
hy		1.40	2.24								
en		6.99									
fs		3.82									
fo											
ol											
fa											
mt	1.44	4.35	5.34	3.40		1.43	0.29	0.42	8.05	0.36	
ll	0.61	2.07	1.35	1.37		0.44	1.36	0.36	0.28	0.76	8.17
hm				1.41		0.96	0.67	1.03	0.57	0.19	2.44
ap	0.31	1.32	0.53	0.42		0.19		0.09	0.25	0.31	0.07
pr							2.28			2.40	
th											
cc	2.00		2.12			0.91	0.10			18.92	
(MgCO <sub>2</sub> )	2.11						5.23			8.26	
(FeCO <sub>2</sub> )							3.56			4.05	
al									43.93		
ru											0.44
TOTAL	97.57	94.76	94.43	98.23	93.57	96.27	94.12	97.14	92.49	95.35	91.22

Chemical Analysis of Whole Rock and Normative Mineral Composition

