

フィリピン共和国ブギアス地区
地熱開発計画調査報告書
(第一次)

——要約——

1981年9月

国際協力事業団

鉦計資

81-154

フィリピン共和国ブギアス地区
地熱開発計画調査報告書
(第一次)

——要 約——

JICA LIBRARY



104599311

1981年9月

国際協力事業団

国際協力専門団	
受入 月日 5月12日	218
登録No. 14009	2643 MPN

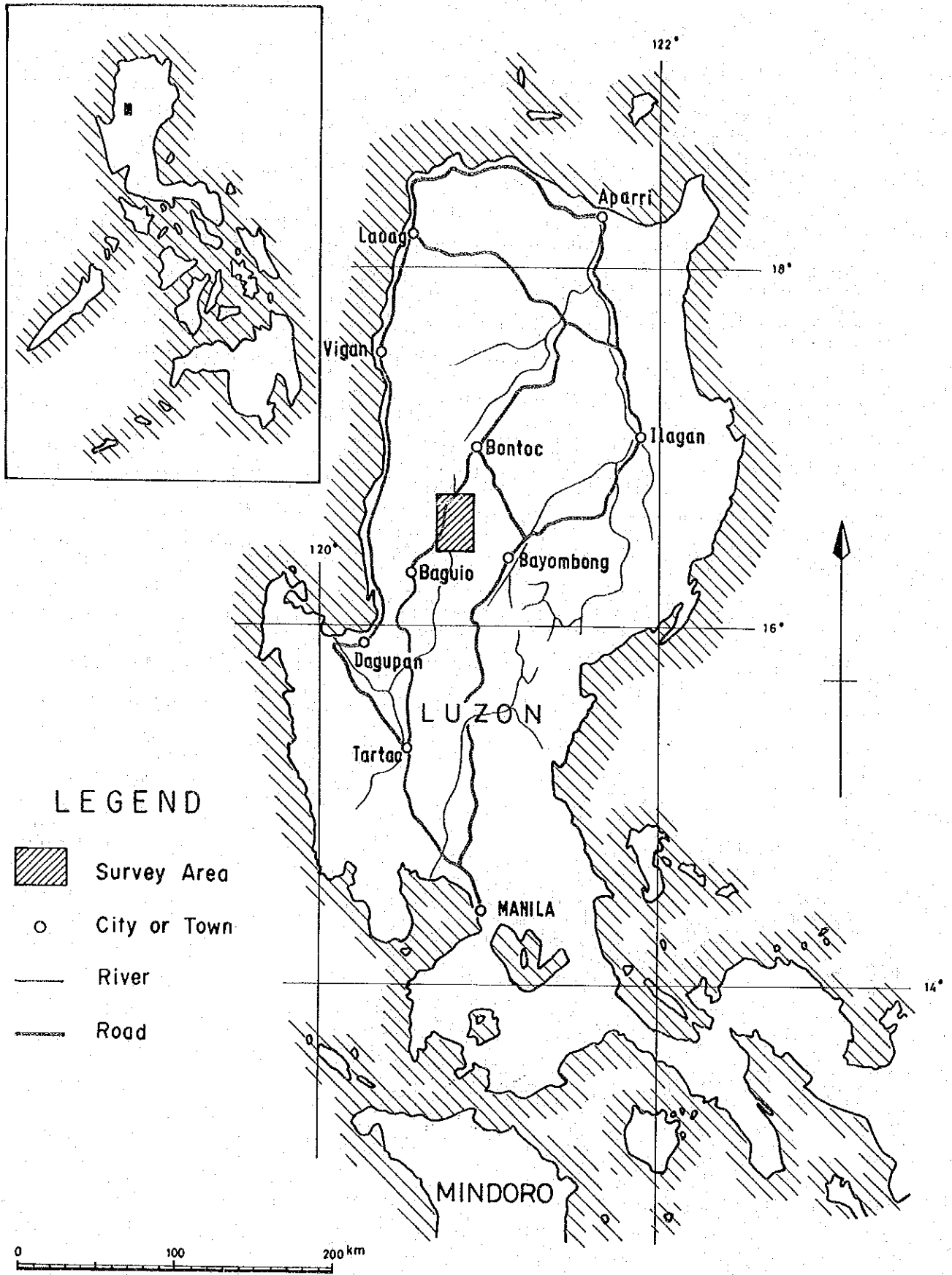


Fig I-1-1 LOCATION OF THE SURVEY AREA

「要約」の目次

第1章 序 論	1
1-1 調査の目的	1
1-2 調査の経緯	1
1-3 調査団の編成	3
1-4 調査日程	4
1-5 調査団の訪問機関	5
第2章 探査結果の要約	6
2-1 地質調査	7
2-2 地化学探査	7
2-3 重力探査	7
2-4 磁気探査	8
第3章 地熱系の考察	10
第4章 結論と勧告	12
4-1 結 論	12
4-2 勧 告	13

「要約」の図表一覧

第2章 2-1 地質調査

- Fig. II-1-1 Coverage of Geological survey routes.
Fig. II-1-6 Geological Map of Semidetailed Survey
Fig. II-1-7 Geological Map of Reconnaissance Survey
Fig. II-1-2 Depth Contours of Upper Surface of Subducting Crustal Units
Table II-1-3 Generalized stratigraphic section in the Survey Area

2-2 地化学探査

- Fig. II-2-5 Isothermal Map
Table II-2-4 Computed chemical Geothermometry

2-3 重力探査

- Fig. II-3-8 Bouguer Anomaly $\rho = 2.6$
Fig. II-3-11 Residual Gravity Map $\lambda = 1.8 \sim 9.5$

2-4 磁力探査

- Fig. II-4-6 Filtered Magnetic Map
Fig. III-1-1 Consolidated Geophysical Anomaly

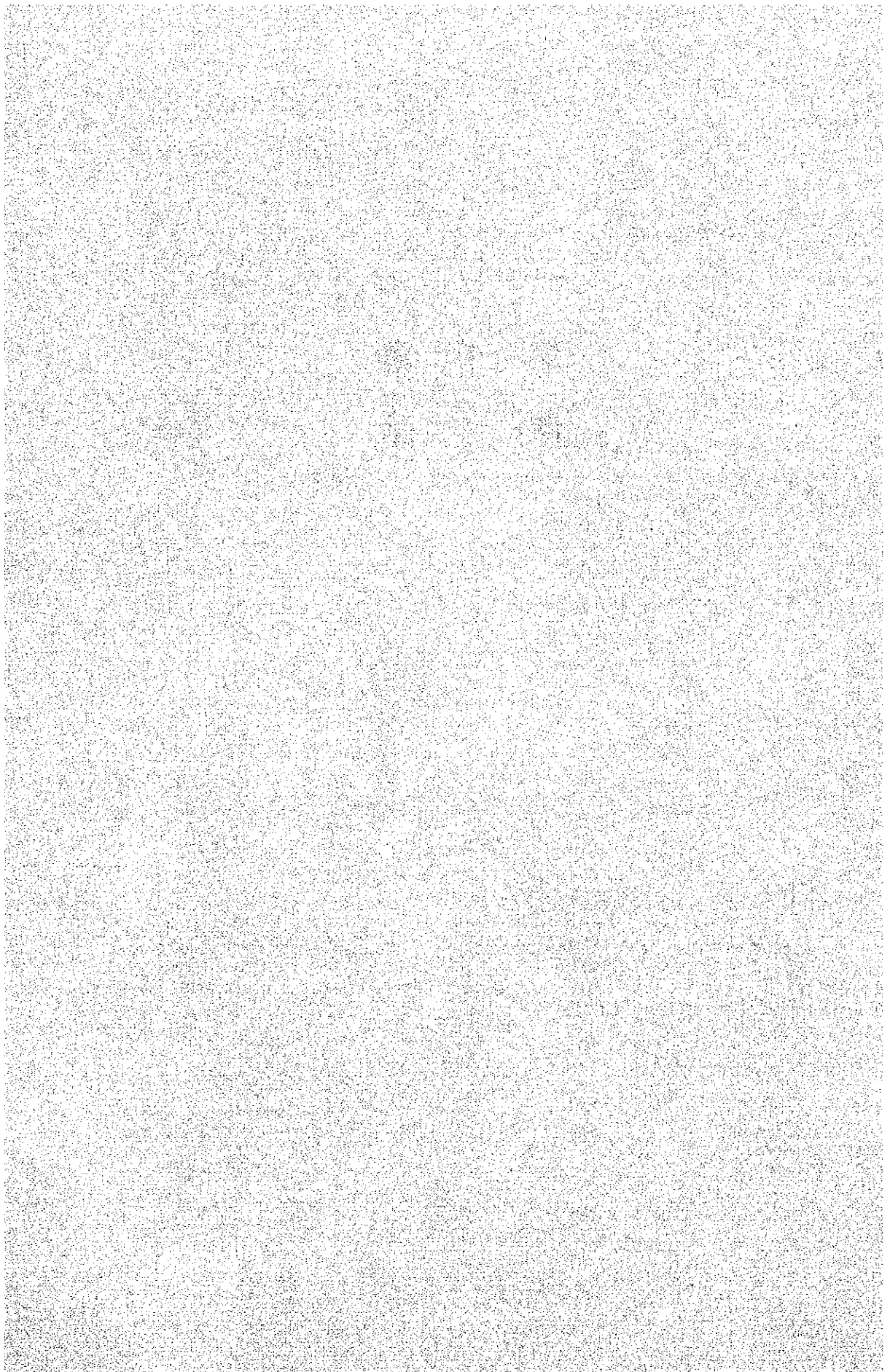
第3章 地熱系の考察

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

第4章 結論と勧告

- 4-1 結論 Proposed Site for Heat Gradient Hole
4-2 勧告 Proposed Survey Area for the Next Phase

第 1 章
序 論



第 1 章 序 論

1-1 調査の目的

この調査は、フィリピン共和国 (The Republic of the Philippines) 政府の要請に基づき、同国ベンゲット (Benguet) 州に位置するプギアス地熱地帯に対し、地質調査・地化学探査ならびに物理探査などの諸調査を実施したものである。この地熱地帯は、現在地熱開発中のダクラン (Daklan) 地熱地帯の北方にあり、有望視されている地域であるが、調査井の掘削に先だち精密調査を行ない地質構造および地熱貯留層の規模・深度を究明し、次に行なわれるべき調査井の位置・掘削深度を決定することを目的とした。

1-2 調査の経緯

フィリピン共和国は、我が国同様環太平洋火山帯に属し、多地域に亘って地熱開発の可能性が大きい。このため、1973年以来、イタリア、ニュージーランド、アメリカの指導のもとに地熱開発がすすめられ、ことに1970年の石油危機以来、その開発は急速にすすめられ、ティウィ (Tiwi)、マキリン-バナハウ (Makiling - Banahaw or Mak - Ban)、パリンピノン (Palimpinon)、トンゴナン (Tongonan) の4地熱発電所が建設され、その発電量は1980年に446 MWとなり、イタリアを抜いて米国に次ぐ世界第二位の実績をもつに至った。

今後、フィリピン政府の10ヶ年計画によれば、1989年までにダクランを含む2地熱地帯で692孔の地熱井を掘削し、最終年度には1,975 MWの地熱発電を計画している。

しかし、急速な地熱開発は資金的にも技術的にも困難な面が多く、アメリカ、イタリア、ニュージーランド等の援助を受けてきている。

こうした背景の下に、フィリピン共和国政府は日本政府に対し、プギアス等6地域についての地熱開発調査の要請を行い、この要請に基づいて日本政府は、地熱開発に関する技術協力を実施することとなった。国際協力事業団は、昭和55年3月2日より同年3月24日までの23日間、渡辺憲一氏を団長とする5名の事前調査団を現地に派遣し、

- 1) フィリピン政府の要請内容の確認
- 2) 対象地域の既存データの解析・検討
- 3) 対象地域の概略踏査
- 4) 今後の調査協力内容の策定
- 5) スコープオブワークのとりきめ

を目的として、ダクラン、プギアス、モンテラゴ (Montelago) およびマビニ (Mabini) の4地域を対象に調査を実施した。

この結果、4地域に期待される地熱ポテンシャルの程度を、ダクラン(中)＞ブギアス、モンテラゴ(小,中)＞マビニ(小)と考え、このうち、ダクランとモンテラゴは、現在イタリア政府が協力中であるため、ダクランに北接するブギアスの開発を要請された。

本調査は、事前調査団と比側によりとりきめられた Implementing Arrangement 及び Minutes of Meeting に従い、整合的に計画、実施されたものであり、1983年9月まで予定されている3段階調査の初年次をなすものである。

1-3 調査団の編成

調査団の編成は下記のとおりである。

区 分	氏 名	所 属	担 当
団 長	坂 井 定 倫	三菱金属(株)地熱開発室室長(大手開 発(株)嘱託技師長)	総 括
	米 田 一 弘	国際協力事業団 鉱工業計画調査部 資源調査課	業 務 調 整
副団長	服 部 旭	大手開発(株)地熱調査部次長	物 理 探 査
団 員	窪 田 康 宏	三菱金属(株)地熱開発室課長(大手開 発(株)地熱調査部付)	地化学探査
"	福 田 浩	大手開発(株)物理探査部課長代理	物 理 探 査
"	中 野 啓 二	大手開発(株)地熱調査部課長代理	地 質 調 査
"	前 田 孝 雄	大手開発(株)地質調査部主任技師	地 質 調 査
"	賀 来 学	大手開発(株)物理探査部主任技師	物 理 探 査

カウンターパート

Project Manager	Alfredo C. Troncales
Acting Div. Chief	
Senior Geologist	Elmer H. Ibarra
Supervising Geochemist	Zalzon Espina
Geothermal Engineer	Edgar S.D Olympia
Geologist II	Conrado C. Panem
Chief Geophysicist	Edward S. Bernard
Senior Geophysicist	Egai S. Aguas
Geologist	Romeo R. Tena
"	Narciso V. Salvania
"	Helene G. Aniceto
Geologic Aides	Benjamin Mata
"	Leonardo U. Elemia

1-4 調査日程

日順	月日	曜日	調査日程	日順	月日	曜日	調査日程
1	1981年 1-20	火	東京発→マニラ着	31	2-19		窪田団員 東京発→マニラ着
	21		大使館, JICA事務所, BED表敬		20		関係先表敬
	22		BED調査計画打合せ		21		マニラ→バギオ
	23		// 資料・資機材調達		22	日	バギオ→プギアス
5	24		マニラ→バギオ	35	23		地化学探査開始
	25	日	バギオ→プギアス		24		
	26		現地巡検・予察		25		
	27		↑ A段階地質調査開始		26		B段階地質調査開始
	28		重力探査開始		27		
10	29			40	28		
	30		団長 プギアス→バギオ着	3-1	日		
	31		// バギオ発→マニラ着		2		団長 東京発→マニラ着
	2-1	日	BED報告, 資料収集		3		BED打合せ
	2				4		マニラ→バギオ
15	3			45	5		バギオ→プギアス
	4				6		地質調査
	5				7		//
	6				8	日	// 現地作業完了
	7				9		調査結果の検討
20	8	日		50	10		//
	9				11		プギアス→バギオ
	10				12		バギオ→マニラ
	11				13		資料整理 資機材梱包
	12				14		計算整理 輸出手続
25	13			55	15	日	//
	14				16		中間報告書作成
	15	日			17		//
	16				18		中間報告 検討会
	17				19		関係先帰国挨拶
30	18			60	20	金	マニラ→東京

担当	氏名	昭和56年				
		1/20	2/2	2/19	3/2	3/20
団長	坂井定倫	(14)				(19)
副団長	服部 旭	(60)				
地化学	窪田康宏	(30)				
地質	中野啓二	(60)				
	前田孝雄	(60)				
物探	福田 浩	(60)				
	賀来 学	(60)				

()内 現地日数

1-5 調査団の訪問機関

○ 在フィリピン共和国日本大使館
一等書記官 高 梨 圭 介

○ 国際協力事業団マニラ事務所
所 長 三 浦 敏 一
神 田 道 男

○ エネルギー省 (Bureau of Energy Development)
Wenceslao R. de la Paz, Director
Arthur Saldival Sali, PhD, Deputy Director

○ P N O C (Philippine National Oil Company)
Arturo P. Alcaraz, PhD, Geothermal Consultant

○ N P C (National Power Corporation)
Rogello Datuin, PhD, Senior Engineer Specialist
Professor, Univ. of the Philippines

第 2 章

探査結果の要約

第 2 章 探査結果の要約

2-1 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・東西の地壘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侵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、現在見られる地壘、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侵入、中新世後期の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もみ見られる。トッキン沢上流の地熱変質は、変質範囲が狭く、強珪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・ α -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」とであると判断される。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、 α -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。

2-2 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 付近で取れんし、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、SiO₂ 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1400 m 付近と考察された。したがって、標高1400 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。

2-3 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1100 m から、マウンテンレイクの2340 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、西はシネブシブ西方のハルシマ道路の屈曲点から東はダリモナ上流及び、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，ボドにかけてのNW-SE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事が出来る。
- (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) シネブシブからボ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，ボ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。

2-4 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40961r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～玄武岩質岩体及び貫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。

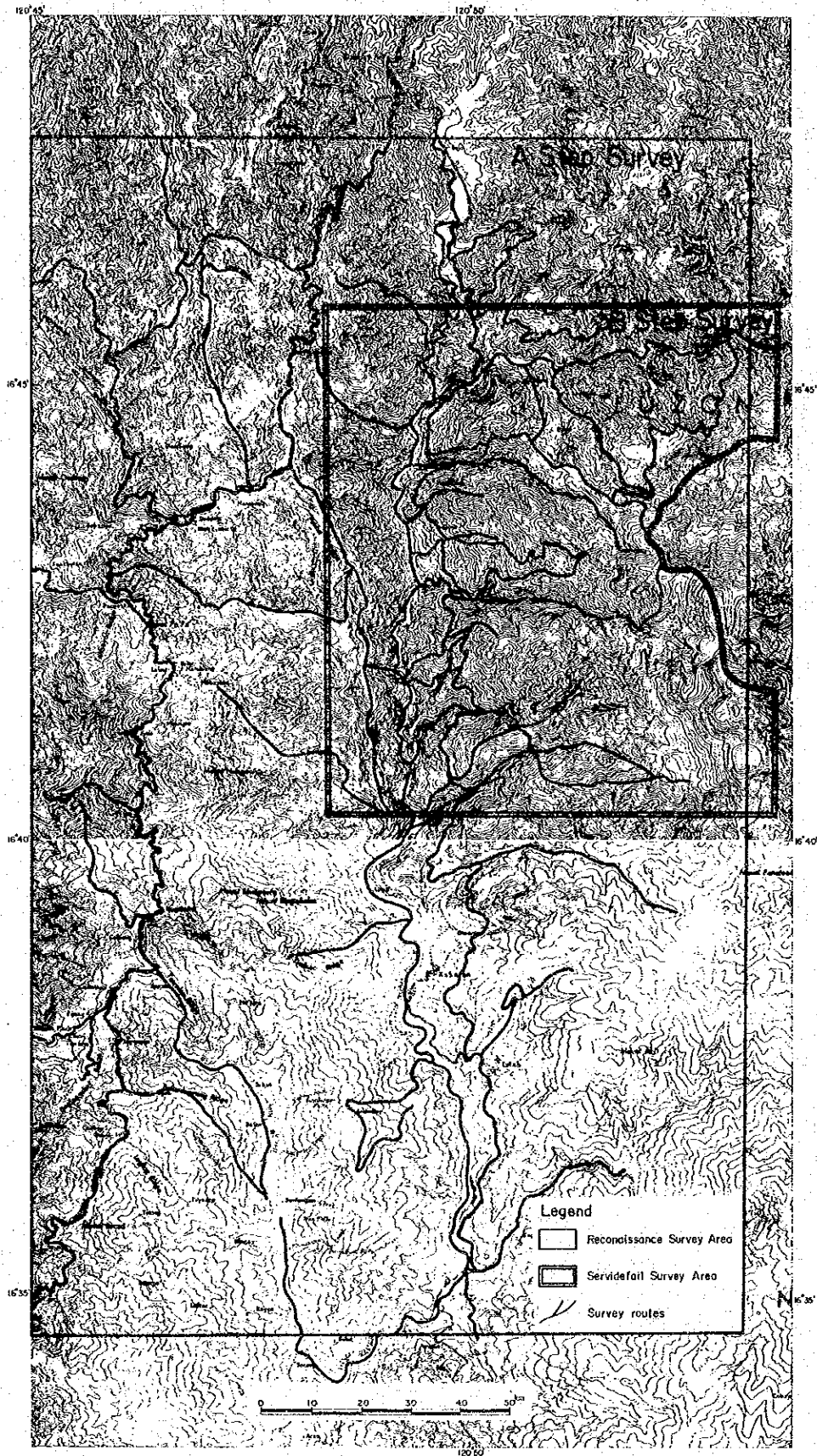


Fig. II-1-1

Coverage of Geological Survey Route



Legend

(Quaternary)

Bodo F. dacitic pyroclastics (pumice tuff, pyroclastic flow)

(Tertiary)

(Upper Miocene) Loo F. hb andesite-hb dacite lava, pyroclastics

(Lower Miocene)

- Batan River pillow lava M. basaltic pillow lava, pyroclastics
- Kagosit An. volcanic M. px andesitic hyaloclastic tuff, pyroclastics
- Buguis CR. alternation M. alternation of fine tuff-tuff breccio
- Taking CR. Ba-An volcanic M. andesitic pyroclastics
- basaltic pillow lava
- limestone
- andesitic lava
- basaltic pyroclastic
- Koyapas CR. pillow lava M. basaltic pillow lava

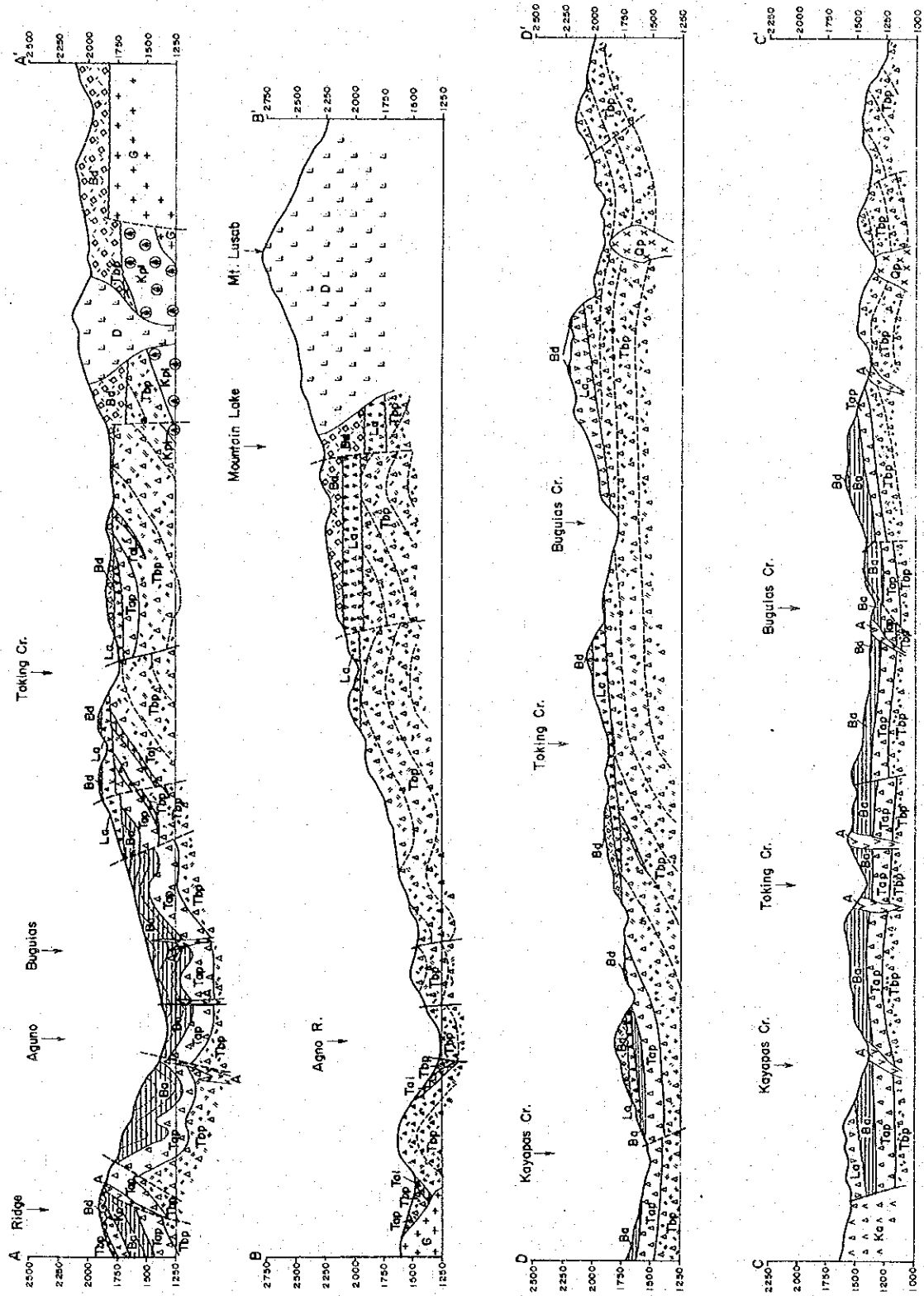
(Intrusive rocks)

- bi-hb dacite
- rhyolite-dacite
- andesite-hb andesite porphyry
- diorite-granodiorite porphyry
- diorite Qtz-diorite granodiorite

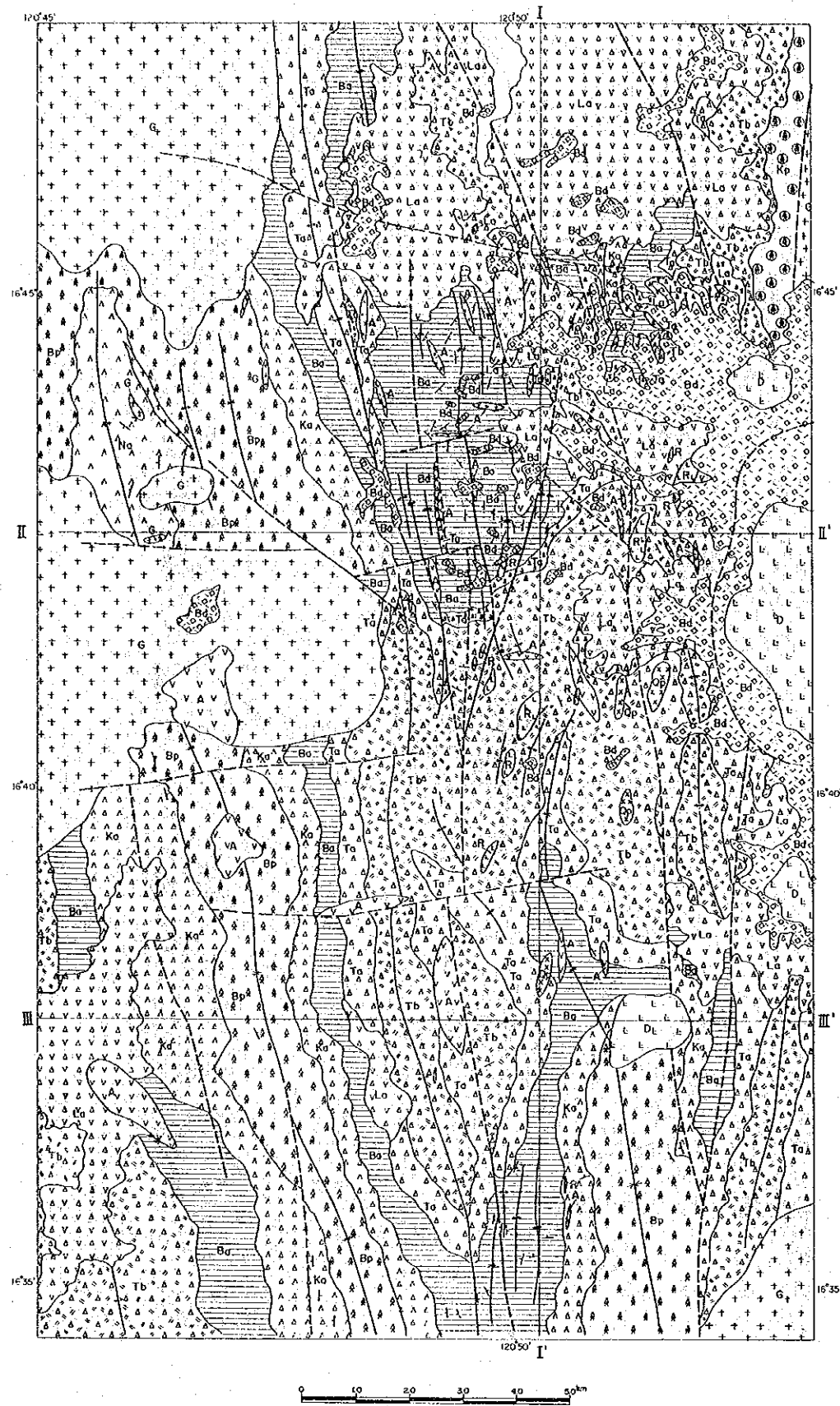
- strike and dip
- fault
- anticline
- syncline

Fig. II-1-6

Geological Map of Semidetailed Survey



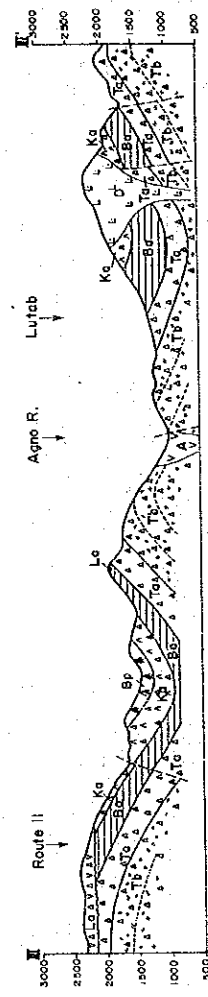
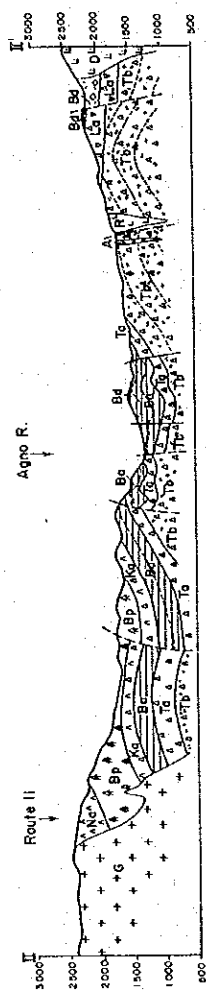
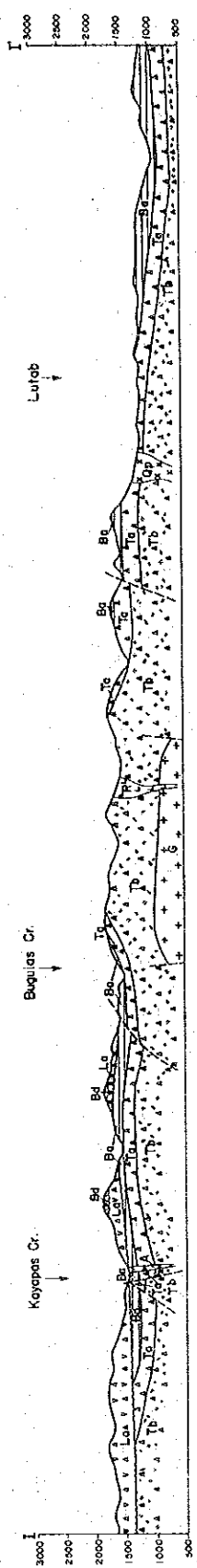
Geological Profiles of Fig. II-1-6



Legend

- (Quaternary)
- Bodo F. dactylic pyroclastics (pumice tuff, pyroclastic flow)
- (Tertiary)
- Loo F. hb-andesite - dacite lava, pyroclastics
- (Miocene)
- Buguis F.
- Nanayangan CR. An. M. px-andesite lava, pyroclastics
 - Balan River pillow lava M. basaltic pillow lava, pyroclastics
 - Kapost. An. volcanic M. px-andesitic hyaloclastic tuff, pyroclastics
 - Buguis CR. at. M. alternation of fine tuff - tuff breccio
 - Toking CR. andesitic pyroclastics
 - Ba-An vol. canic. M. basaltic pyroclastic
 - Kayapas CR. pillow lava M. basaltic pillow lava
- (Intrusive rocks)
- bi-hb dacite
 - rhyolite - dacite
 - andesite - hb andesite porphyry
 - diorite - granodiorite porphyry
 - diorite Qtz-diorite granodiorite
 - strike and dip
 - fault
 - anticline
 - syncline

Fig. II-1-7 Geological Map of Reconnaissance Survey



Geological Profiles of Fig. II-1-7

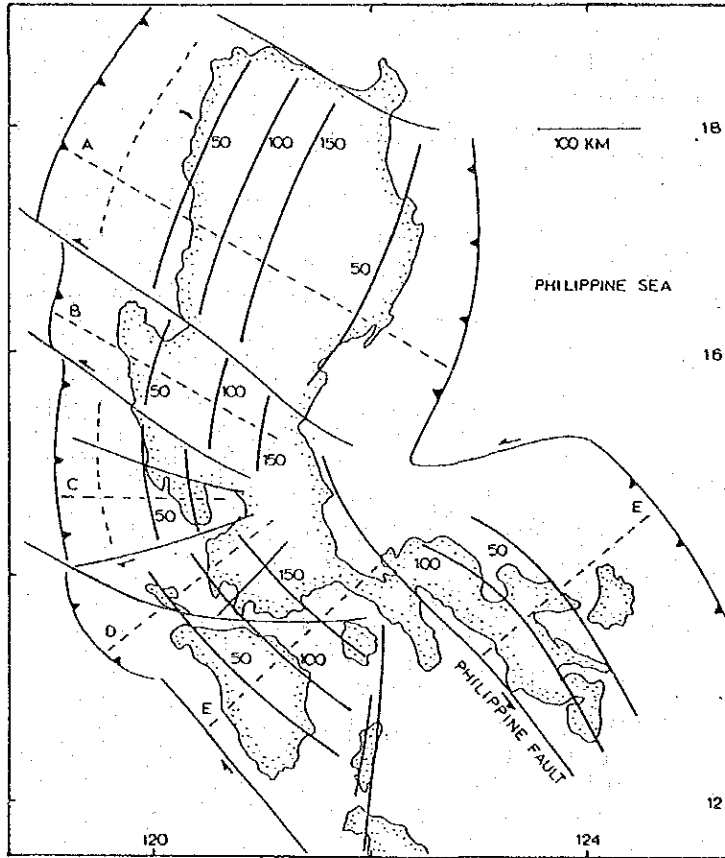
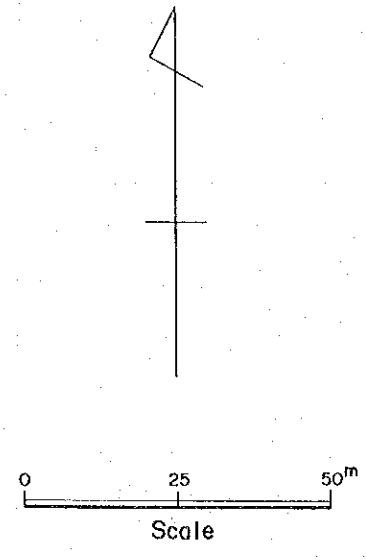
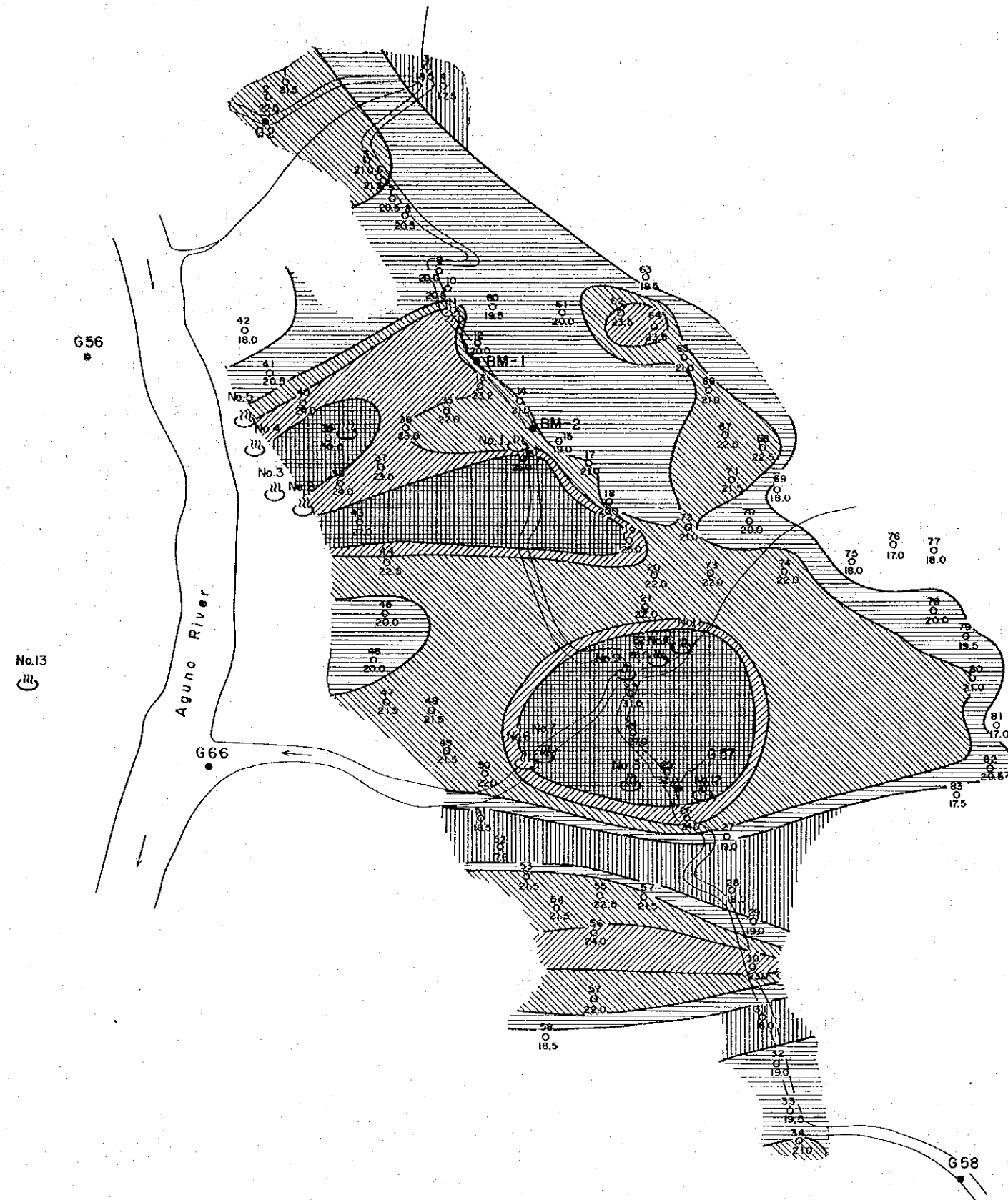


Fig. II-1-2 Depth Contours of Upper Surface of Subducting Crustal Units



No. 15
□

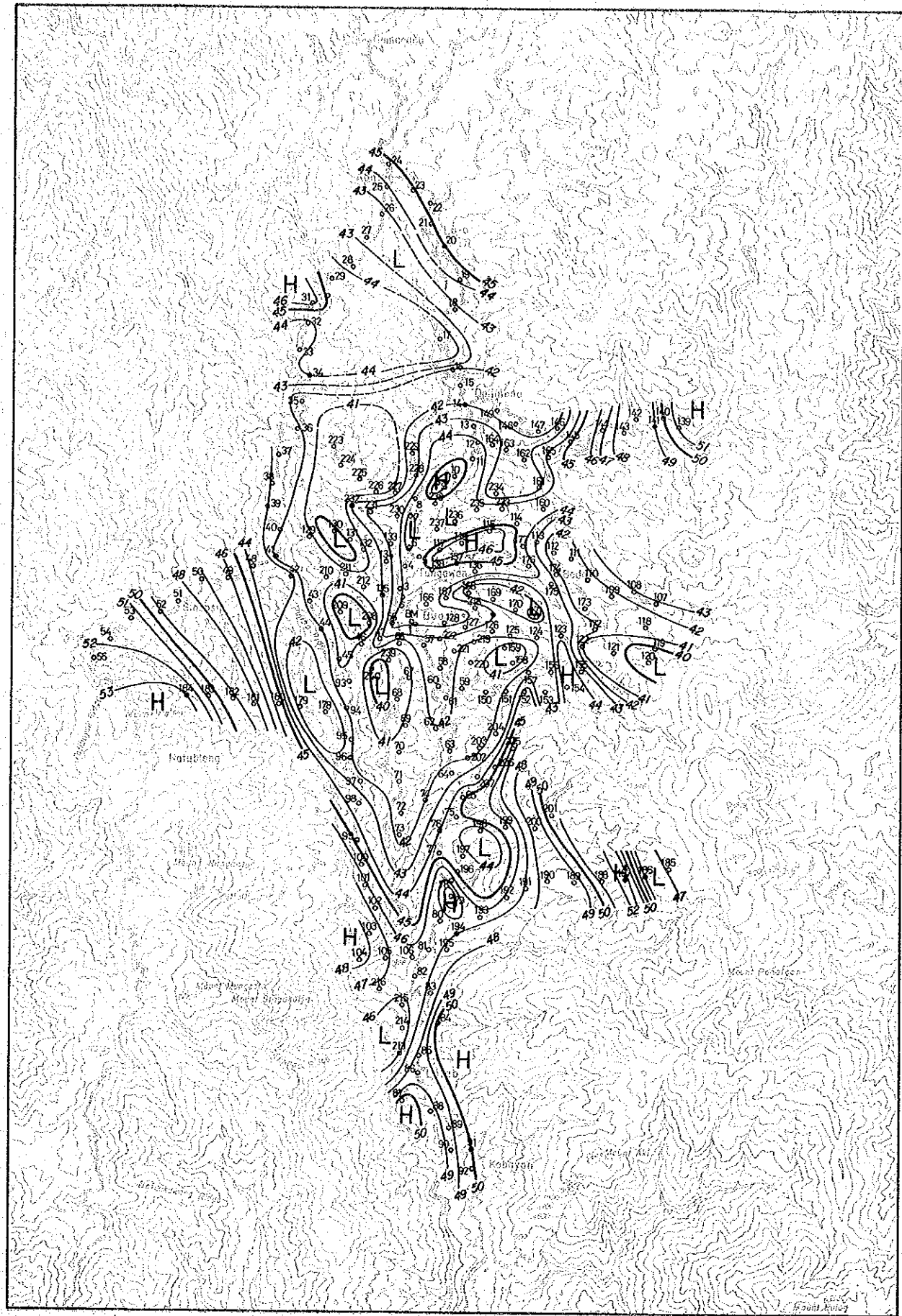
LEGEND

- 73 Hole No. > 25.0°C
- o 1m depth hole
- 22.0 Measured temperature (°C)
- G Gravity observation point 23.0~24.9°C
- BM Bench mark 21.0~22.9°C
- Hot spring 19.0~20.9°C
- No. Collected sample < 18.9°C

Fig. II-2-5 Isothermal Map

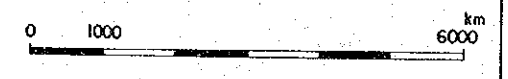
Table II-2-4 Computed Chemical Geothermometry

Sample No.	T SiO ₂ (°C)	T Na-K (°C)	T Na-K-Ca (°C)	T Na-K-Ca-Mg (°C)
Bug - 1	149	226	250	180
3	153	228	252	197
4	150	228	251	189
5	153	221	249	191
6	149	225	250	192
9	158	221	255	175
10	153	230	255	183

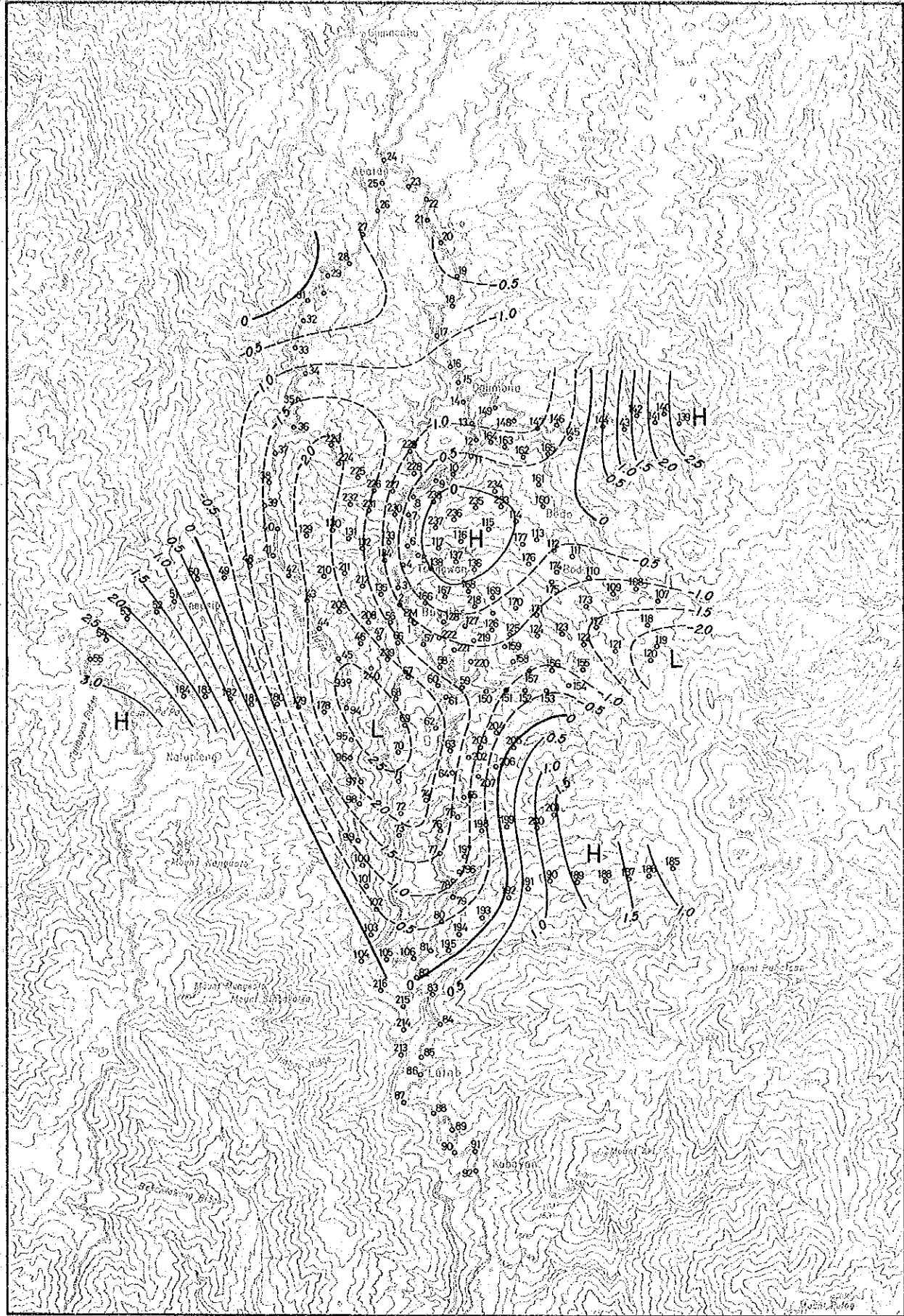


Buguias Geothermal Development Survey
 the Republic of the Philippines

BOUGUER ANOMALY MAP
 ($\rho = 2.6$)



Jan ~ Feb, 1981, Fig. II-3-8

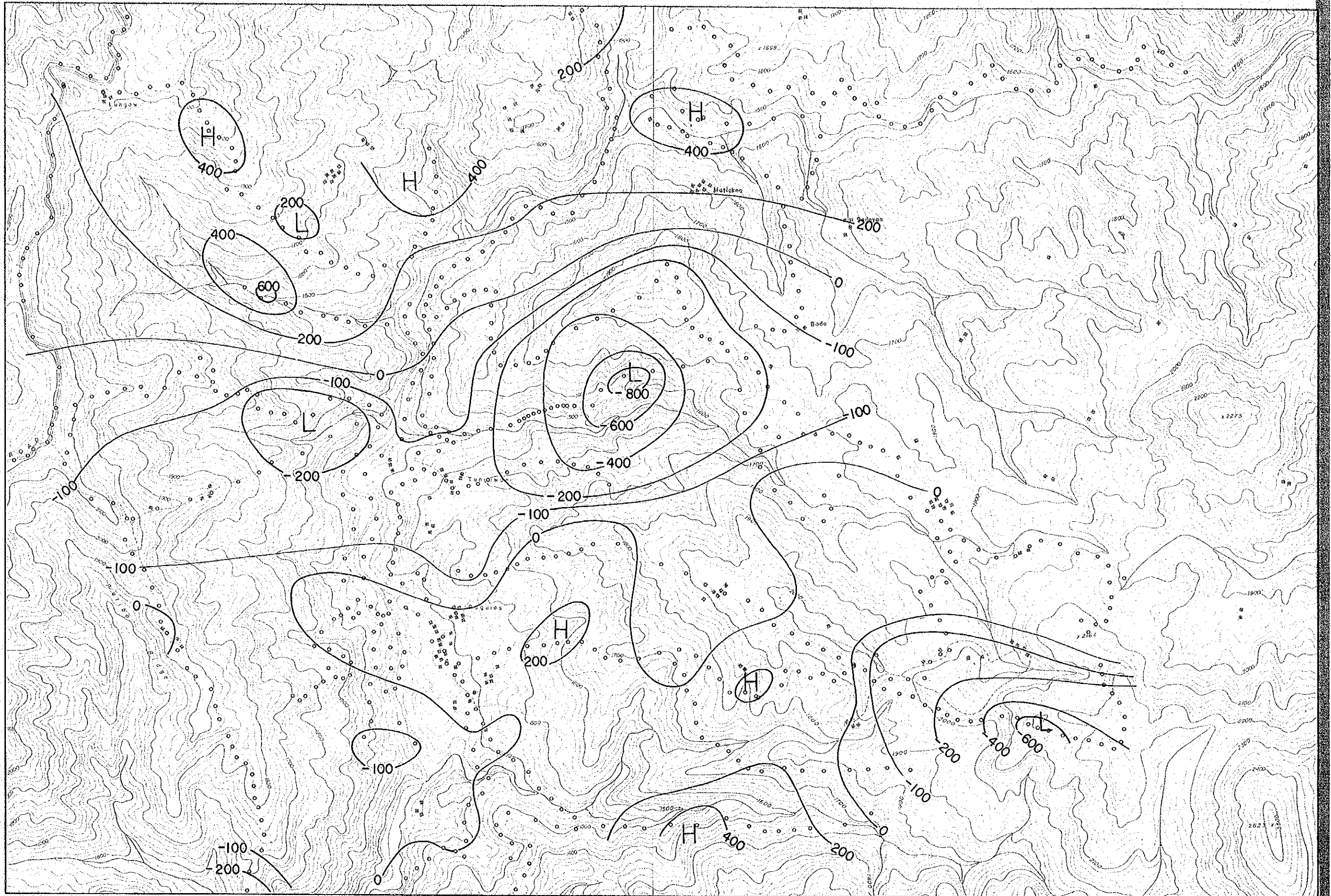


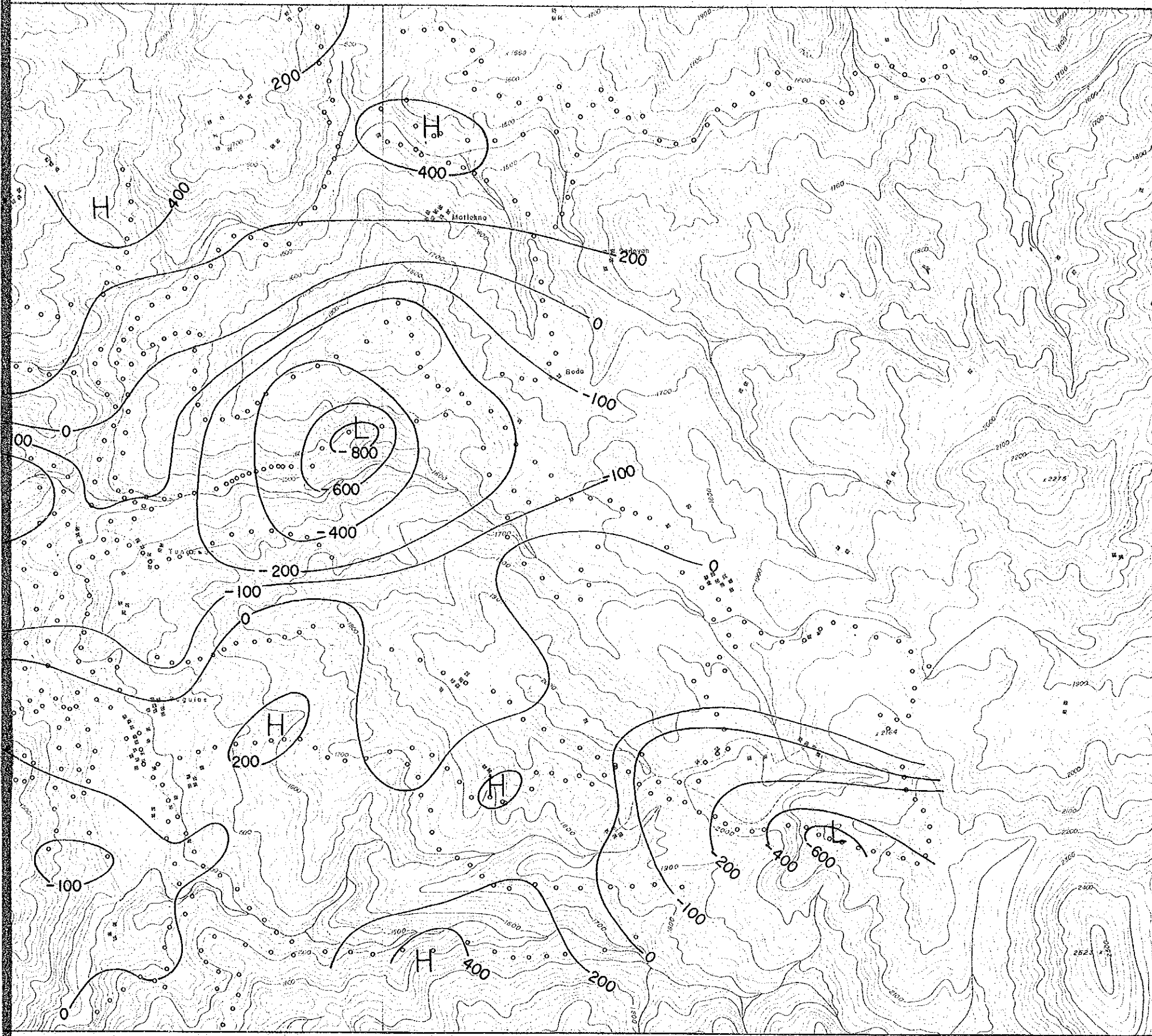
Buguias Geothermal Development Survey
 the Republic of the Philippines

RESIDUAL GRAVITY MAP
 ($\lambda = 1.8 \sim 9.5$)

0 1000 6000 km

Jan ~ Feb, 1981 Fig. II-3-11



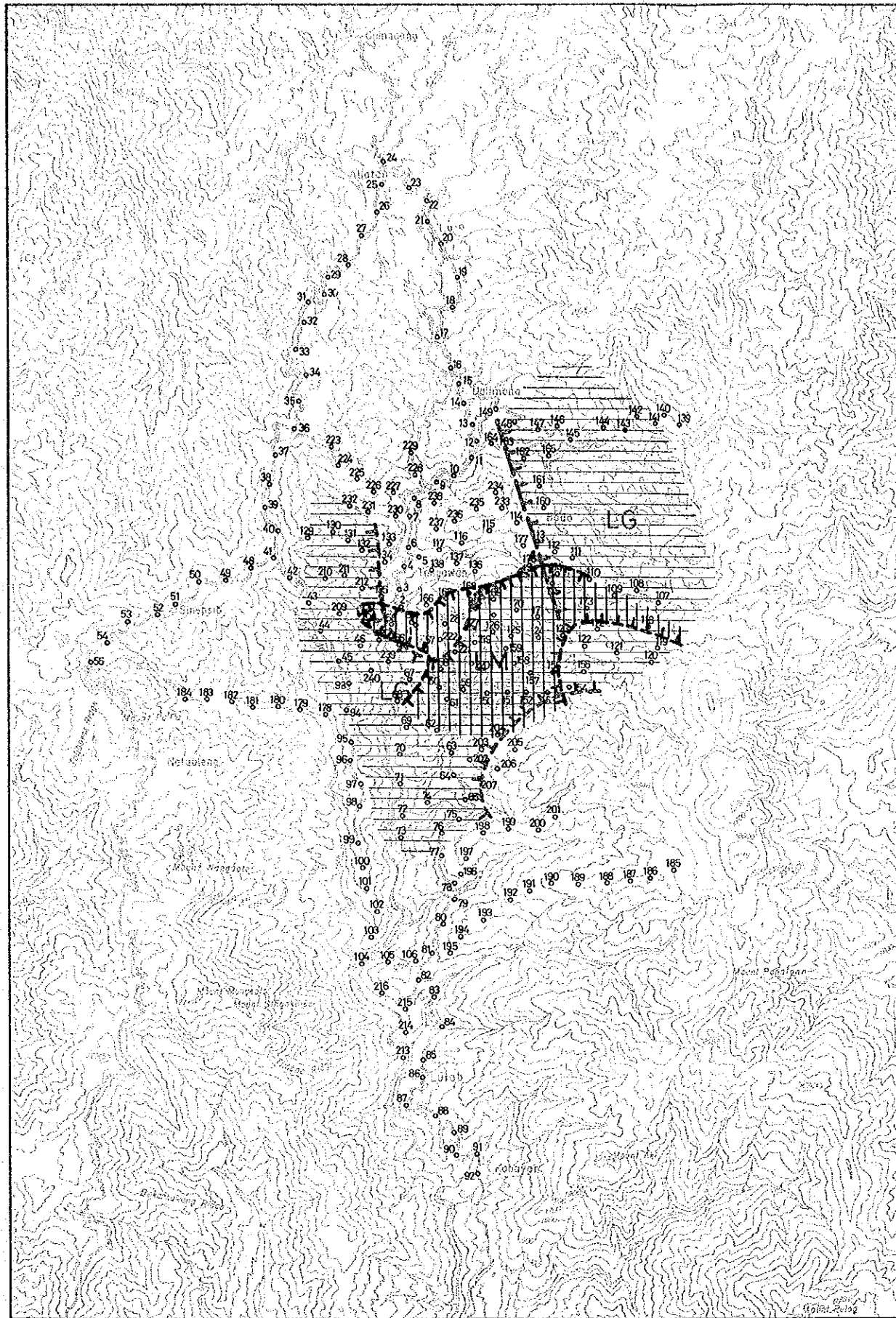


Buguis Geothermal Development Survey
 the Republic of the Philippines

**FILTERED MAGNETIC
 MAP**

0 500 1500^m

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



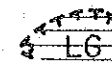
Buguias Geothermal Development Survey
the Republic of the Philippines

CONSOLIDATED
GEOPHYSICAL ANOMALY



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

LEGEND



Low Gravity Zone



Fault Structure



Weak Magnetized Zone

第 3 章

地熱系の考察

第 3 章 地 熱 系 の 考 察

3-1 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。

3-2 調査結果と地熱

1) 本地域の地質構造は、漸新統上部～中新統下部のブ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、ブ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、また東西系地塁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、ブ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 4.8 mgal 以下を低重力異常 5.2 mgal 以上を高重力異常とする当地熱地帯はブ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、それを取りまく北部、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、SiO₂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。

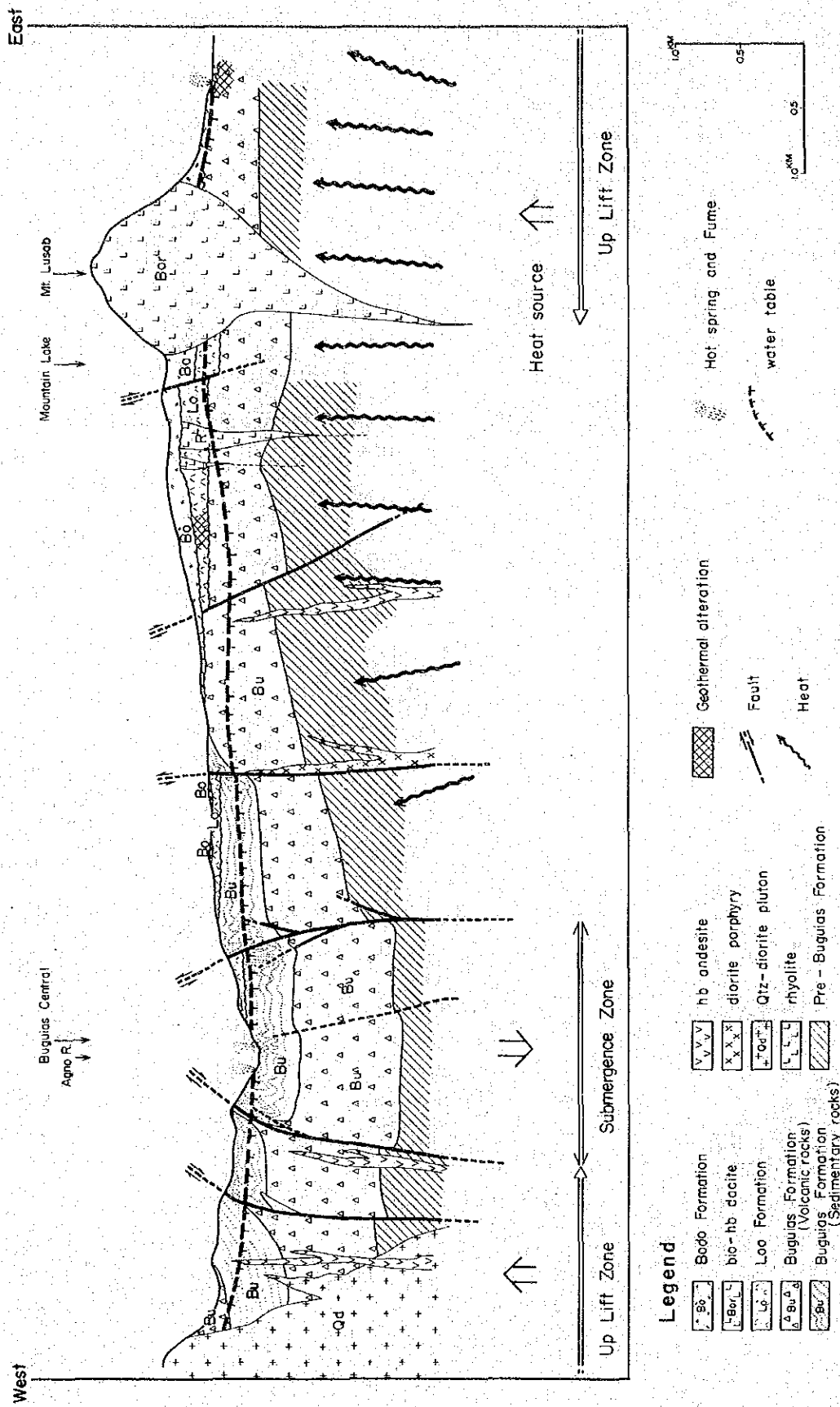


Fig. III-1-2 Structural Schema of Geothermal System in Buguias Area

第 4 章

結 論 と 勸 告

第4章 結論と勧告

4-1 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わせた地塊構造を示し、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25km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2,050m付近 (重力測点10.7付近)
- ② ボドアン南東2kmの標高2,150m付近 (重力測点12.0付近)
- ③ ボドー (Bodo) 南方の標高1,800m付近 (重力測点11.2付近)
- ④ トッキン (Toking) 沢下流の標高1,500m付近 (重力測点13.7付近)
- ⑤ ブギアス村の標高1,400m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ボドー周辺で、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。

4-2 勸告

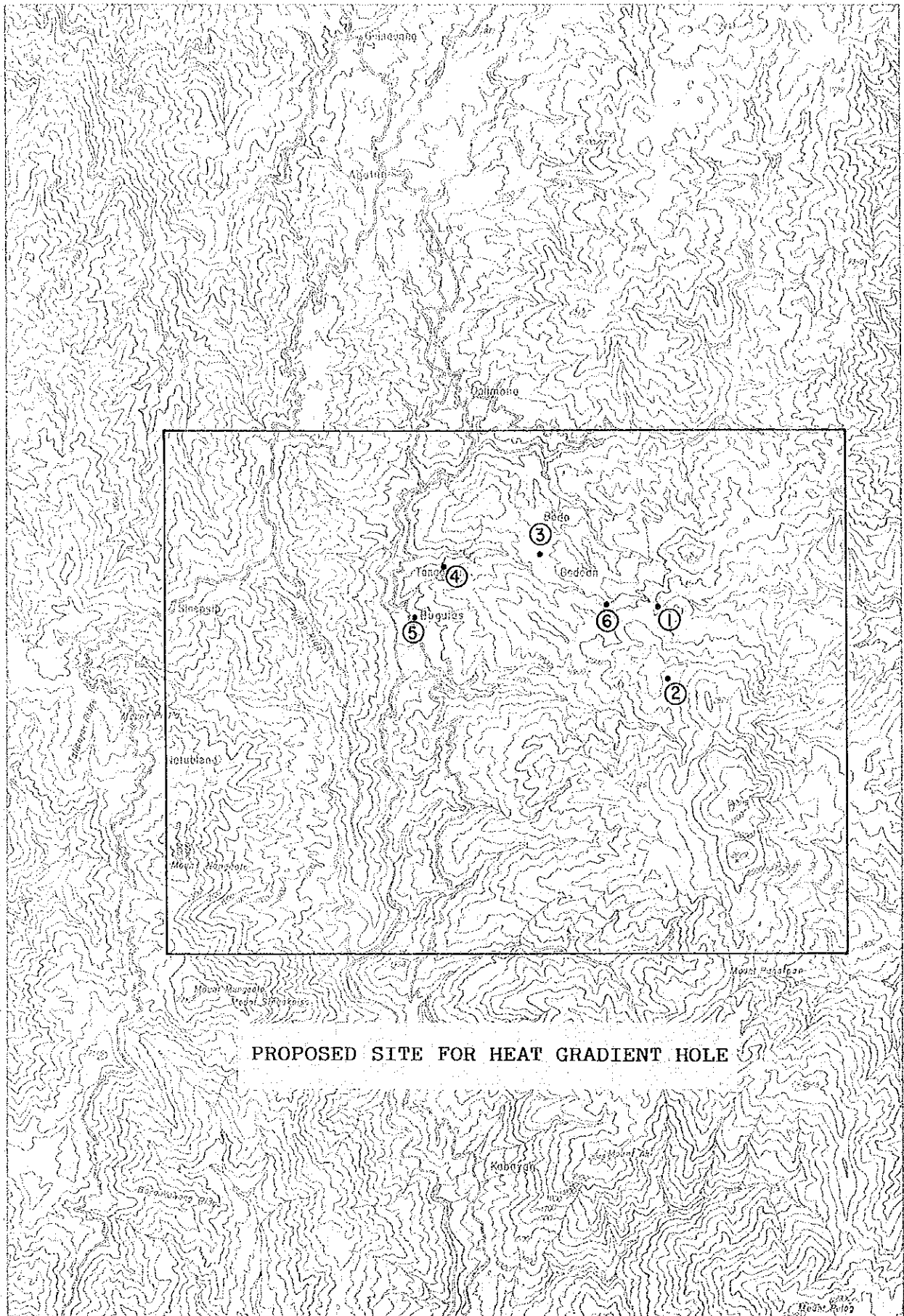
今年度の調査結果をもとに、次年度の地熱開発計画調査を具体的に推進するため、次の諸点に留意して調査をすすめることを勧告する。

- (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)

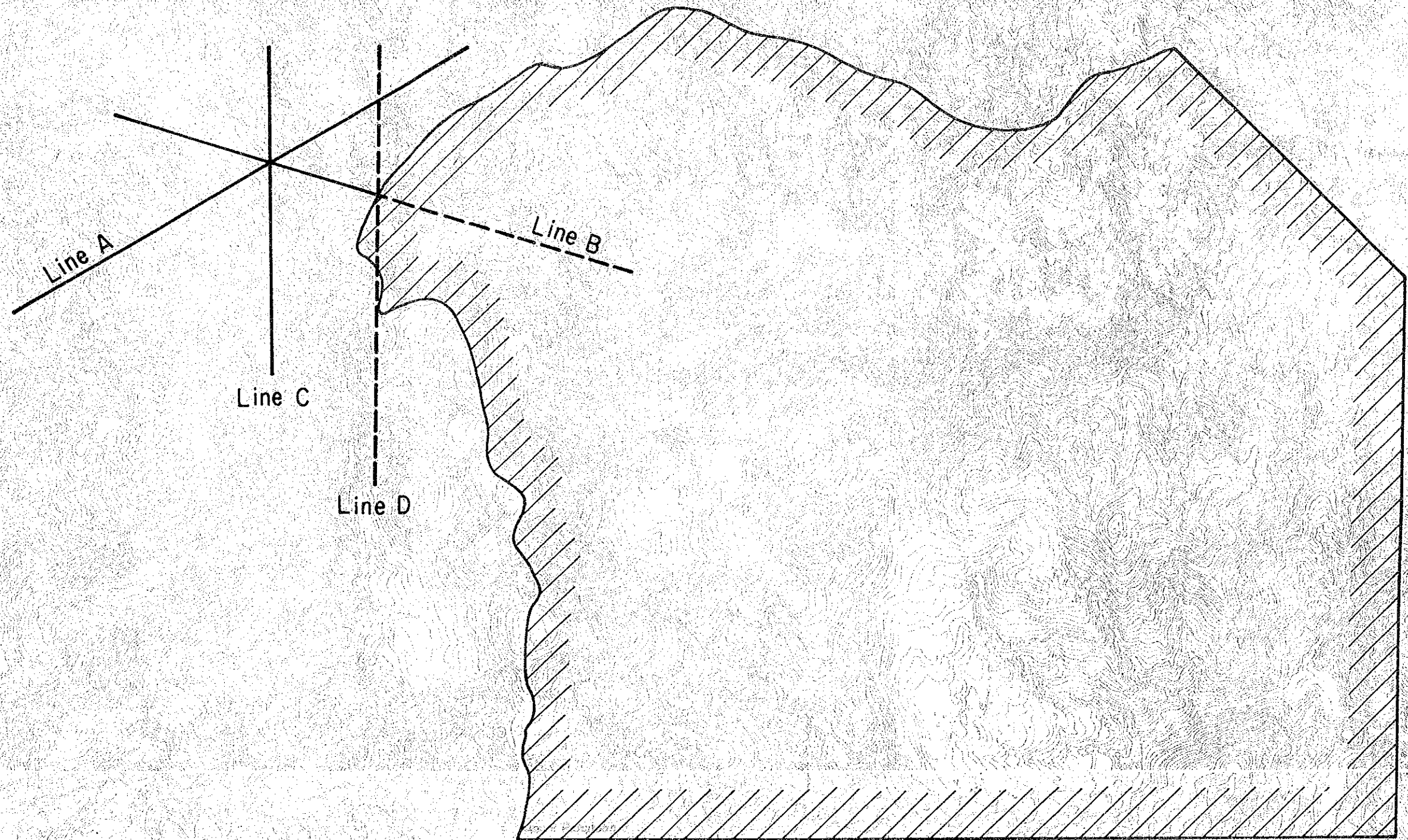
- (2) 地温測定調査井については、全量コアを採取して検鏡、X線回折、各種物性測定を行ない、掘削終了後は、温度検層、電気検層を実施して地質構造と地熱系について総合的に検討する。
- (3) 優勢な地熱徴候の確認されているイフガオ州側については、次図の約80 km²について地質調査、地化学探査、重力探査、電気探査をブギアス側より延長して実施し、熱源と推定される第四紀溶岩円頂丘の東西について比較検討を行なって地熱系の全体像を把握する。



PROPOSED SITE FOR HEAT GRADIENT HOLE

PROPOSED SURVEY AREA FOR THE NEXT PHASE

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



JICA

